

中华人民共和国国家标准

# 工 程 测 量 标 准

Code for engineering surveying

GB/T50026—201×

主编部门：中国有色金属建设协会

批准部门：中华人民共和国建设部

# 目 次

1 总 则 .....	8
2 术语和符号 .....	9
2.1 术 语.....	9
2.2 符 号.....	10
3 平面控制测量 .....	13
3.1 一般规定.....	13
3.2 卫星定位测量.....	13
(I) 卫星定位测量的主要技术要求.....	13
(II) 卫星定位测量控制网的设计、选点与埋石 .....	14
(III) 卫星定位测量控制网的观测.....	14
(IV) 卫星定位测量数据处理.....	15
3.3 卫星定位实时动态测量.....	17
(I) 卫星定位实时动态测量的主要技术要求 .....	17
(II) 卫星定位实时动态控制测量的设计、选点与埋石 .....	17
(III) 卫星定位实时动态控制测量.....	17
(IV) 卫星定位实时动态控制测量数据处理.....	18
(V) 卫星定位实时动态控制测量外业检核 .....	19
3.4 导线测量.....	19
(I) 导线测量的主要技术要求.....	19
(II) 导线网的设计、选点与埋石 .....	20
(III) 水平角观测.....	20
(IV) 距离测量.....	21
(V) 导线测量数据处理 .....	23
3.5 三角形网测量.....	25
(I) 三角形网测量的主要技术要求 .....	25
(II) 三角形网的设计、选点与埋石 .....	25
(III) 三角形网观测.....	26

(IV) 三角形网测量数据处理.....	26
3.6 自由设站法测量.....	29
4 高程控制测量.....	30
4.1 一般规定.....	30
4.2 水准测量.....	30
4.3 电磁波测距三角高程测量.....	32
4.4 卫星定位高程测量.....	33
5 数字地形测量.....	34
5.1 一般规定.....	34
5.2 图根控制测量.....	37
(I) 图根平面控制.....	38
(II) 图根高程控制.....	40
5.3 测绘方法与技术要求.....	40
(I) RTK 测图.....	40
(II) 全站仪测图.....	42
(III) 地面三维激光扫描测图.....	42
(IV) 移动测量系统测图.....	44
(V) 低空数字摄影测图.....	47
(VI) 机载激光雷达 (LiDAR) 扫描测图.....	47
5.4 一般地区地形测图.....	48
5.5 城镇建筑区地形图测图.....	50
5.6 工矿区现状图测量.....	50
5.7 水域地形测量.....	51
5.8 数字地形图.....	54
(I) 数字地形图制作.....	54
(II) 纸质地形图数字化.....	55
(III) 数字地形图修测.....	56
(IV) 数字地形图编绘.....	56
5.9 数字线划图 (DLG).....	57

5.10	数字高程模型 (DEM)	59
5.11	数字正摄影像图 (DOM)	60
5.12	数字三维模型	61
6	线路测量	63
6.1	一般规定	63
6.2	铁路、公路测量	63
6.3	架空索道测量	65
6.4	自流和压力管线测量	66
6.5	架空送电线路测量	67
7	地下管线测量	70
7.1	一般规定	70
7.2	地下管线探查	70
7.3	地下管线测量	72
7.4	地下管线图绘制	73
7.5	地下管线信息系统	73
8	施工测量	75
8.1	一般规定	75
8.2	施工控制测量	75
	(I) 场区平面控制网	75
	(II) 场区高程控制网	77
8.3	工业与民用建筑施工测量	77
	(I) 建筑物施工控制网	77
	(II) 建筑物施工放样	78
8.4	水工建筑物施工测量	81
8.5	桥梁施工测量	82
	(I) 桥梁控制测量	82
	(II) 桥梁施工放样	83
8.6	核电厂施工测量	85
	(I) 平面控制网	85

(II) 高程控制网 .....	85
(III) 核岛、常规岛施工放样.....	86
8.7 隧道施工测量.....	89
8.8 综合管廊施工测量.....	92
9 竣工总图的编绘与实测 .....	94
9.1 一般规定.....	94
9.2 竣工总图的编绘.....	94
9.3 竣工总图的实测.....	95
10 变形监测 .....	96
10.1 一般规定.....	96
10.2 水平位移监测基准网.....	97
10.3 垂直位移监测基准网.....	98
10.4 基本监测方法与技术要求.....	99
10.5 工业与民用建筑变形监测.....	103
10.6 水工建筑物变形监测.....	105
10.7 地下工程变形监测.....	107
10.8 桥梁变形监测.....	110
10.9 滑坡监测.....	111
10.10 核电厂变形监测.....	112
10.11 数据处理与变形分析.....	113
10.12 变形监测信息系统.....	114
附录 A 精度要求较高工程的中误差评定方法.....	115
附录 B 平面控制点标志及标石的埋设规格.....	116
附录 C 方向观测法度盘和测微器位置变换计算公式....	119
附录 D 高程控制点标志及标石的埋设规格.....	120
附录 E 建筑方格网点标石规格及埋设.....	123
附录 F 建（构）筑物主体倾斜率和按差异沉降.....	124

推算主体倾斜值的计算公式 .....	124
附录 G 基础相对倾斜值和基础挠度计算公式.....	125
本规范用词说明 .....	126
部分条文说明.....	127
1 总 则 .....	128
2.2 符 号.....	132
3 平面控制测量.....	133
3.2 卫星定位测量.....	134
3.3 卫星定位实时动态测量.....	140
(I) 卫星定位实时动态测量的主要技术要求.....	140
(II) 卫星定位实时动态控制测量的设计、选点与埋石.....	140
3.4 导线测量.....	142
3.5 三角形网测量.....	149
3.6 自由设站法测量.....	152
4 高程控制测量 .....	153
4.1 一般规定.....	153
4.2 水准测量.....	153
4.3 电磁波测距三角高程测量.....	155
4.4 卫星定位高程测量.....	157
5 数字地形测量 .....	159
5.3 测绘方法与技术要求.....	163
(I) RTK 测图 .....	163
(III) 地面三维激光扫描测图.....	165
(IV) 移动测量系统测图.....	166
5.4 一般地区地形测图.....	167

5.5	城镇建筑区地形图测图.....	168
5.6	工矿区现状图测量.....	168
5.7	水域地形测量.....	168
5.8	数字地形图.....	169
	(I) 数字地形图制作.....	169
	(II) 纸质地形图数字化.....	170
	(III) 数字地形图修测.....	170
	(IV) 数字地形图编绘.....	171
6	线路测量.....	171
6.1	一般规定.....	171
6.2	铁路、公路测量.....	171
6.3	架空索道测量.....	172
6.4	自流和压力管线测量.....	173
6.5	架空送电线路测量.....	173
7	地下管线测量.....	175
7.1	一般规定.....	175
7.2	地下管线的调查.....	175
7.3	地下管线施测.....	176
7.4	地下管线图绘制.....	176
7.5	地下管线信息系统.....	176
8	施工测量.....	177
8.1	一般规定.....	177
8.2	施工控制测量.....	177
	(I) 场区平面控制网.....	177
	(II) 场区高程控制网.....	179
8.6	核电厂施工测量.....	179
	(I) 平面控制网.....	179
	(II) 高程控制网.....	182
	(III) 核岛、常规岛施工放样.....	182

9	竣工总图的编绘与实测 .....	183
9.1	一般规定 .....	183
9.2	竣工总图的编绘 .....	183
9.3	竣工总图的实测 .....	183
10	变形监测 .....	184
10.1	一般规定 .....	184
10.2	水平位移监测基准网 .....	186
10.3	垂直位移监测基准网 .....	187
10.4	基本监测方法与技术要求 .....	187
10.5	工业与民用建筑变形监测 .....	189
10.6	水工建筑物变形监测 .....	190
10.7	地下工程变形监测 .....	190
10.8	桥梁变形监测 .....	191
10.9	滑坡监测 .....	192
10.10	核电厂变形监测 .....	192
10.11	数据处理与变形分析 .....	192



## 1 总 则

**1.0.1** 为了统一工程测量的技术要求，做到技术先进、经济合理，使工程测量成果满足质量可靠、安全适用的原则，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于工程建设领域的通用性测量工作。

**1.0.3** 工程测量应以中误差作为衡量测绘精度的标准，二倍中误差作为极限误差。

注：本标准条文中的中误差、闭合差、限差及较差，除特别标明外，通常采用省略正负号表示。

**1.0.4** 工程测量作业所使用的仪器和相关设备，应做到及时检查校正，加强维护保养、定期检修；对所使用的软件，应经过测试或验证。

**1.0.5** 对工程中所引用的测量成果资料，应进行检核。

**1.0.6** 各类工程的测量工作，除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 卫星定位测量 satellite positioning

利用两台或两台以上接收机同时接收多颗定位卫星信号，确定地面点相对位置的方法，简称为卫星定位。

#### 2.1.2 卫星定位测量控制网 satellite positioning control network

利用卫星定位测量技术建立的测量控制网，简称为卫星定位控制网或卫星定位网。

#### 2.1.3 卫星定位实时动态控制测量 RTK control survey

利用载波相位实时动态差分（real time kinematic -RTK）测量技术建立控制网的方法。

#### 2.1.4 三角形网 triangular network

由一系列相连的三角形构成的测量控制网，是对已往三角网、三边网和边角网的统称。

#### 2.1.5 三角形网测量 triangular control network survey

通过测定三角形网中各三角形的顶点水平角、边的长度，确定控制点位置的方法。其是对已往三角测量、三边测量和边角网测量的统称。

#### 2.1.6 2"级仪器 2" class instrument

指一测回水平方向中误差标称为 2"的测角仪器，分别包括全站仪、电子经纬仪、光学经纬仪。0.5" 级仪器、1"级仪器和 6"级仪器的定义方法相似。

#### 2.1.7 5mm 级仪器 5mm class instrument

指当测距长度为 1km 时，由电磁波测距仪器的标称精度公式计算的测距中误差为 5mm 的仪器，分别包括测距仪、全站仪。1mm 级仪器和 10 mm 级仪器的定义方法相似。

#### 2.1.8 数字地形图 digital topographic map

将地形信息按一定的规则和方法采用计算机生成和计算机数据格式存储的地形图。

#### 2.1.9 纸质地形图 paper topographic map

将地形信息直接用符号、注记及等高线表示并绘制在纸质或聚酯薄膜上的正射投影图。

#### 2.1.10 变形监测 deformation monitoring

对建（构）筑物及其地基、建筑基坑或一定范围内的岩体及土体的位移、沉降、倾斜、挠度、裂缝和相关影响因素（如，地下水、温度、应力应变等）进行监测，并提供变形分析预报的过程。

#### 2.1.11 地面三维激光扫描技术 terrestrial three dimensional laser scanning technology

基于地面固定站的一种通过发射激光获取被测物体表面三维坐标、反射光强度等多种信息的非接触式主动测量技术。

#### 2.1.12 点云 point cloud

以离散、不规则方式分布在三维空间中的点的集合。

#### 2.1.13 点云配准 point cloud registration

把不同站点获取的点云数据变换到同一坐标系的过程。

#### 2.1.14 地面三维激光扫描标靶 the target of terrestrial three dimensional laser scanning

用一定材质制作的具有规则几何形状的标志，该类标志在点云中能够很好地被识别和量测，从而可以用于点云数据质量检查及点云配准等工作。

#### 2.1.16 全球导航卫星系统 global navigation satellite system

全球卫星导航系统中的一个或多个系统，并结合区域导航定位系统进行导航定位，同时提供卫

星的完备性检验信息和足够的导航安全告警信息；是一个全球性的位置和时间测定系统，包括一种或几种卫星星座、机载接收机和系统完备监视。

#### 2.1.16 北斗卫星导航系统 BeiDou navigation satellite system

由中国自主研发可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠定位、导航、授时服务，并具有短报文通信能力的全球卫星导航系统。

#### 2.1.17 连续运行基准站系统 continuously operating reference station system

由多个连续运行的 GNSS 基准站及计算机网络、通信网络等组成，用于提供不同精度、多种方式定位服务的信息系统，简称 CORS 系统。

缩略语

BDS——BeiDou Navigation Satellite System，北斗卫星导航系统

GLONASS——Global Navigation Satellite System，格洛纳斯卫星导航系统

GPS——Global Positioning System，全球定位系统

HDOP——Horizontal Dilution of Precision，平面位置精度因子

MTBF——Mean Time between Failures，平均故障间隔时间

PDOP——Position Dilution of Precision，位置精度因子

RTD——Real-Time Differential，实时动态码相位差分

RTK——Real-Time Kinematic，实时动态测量

TCP/IP——Transmission Control Protocol/Internet Protocol，传输控制/网络通信协议

VDOP——Vertical Dilution of Precision，高程精度因子

## 2.2 符 号

$A$  —— 卫星定位接收机标称的固定误差；

$a$  —— 电磁波测距仪器标称的固定误差；

$B$  —— 卫星定位接收机标称的比例误差系数、隧道开挖面宽度；

$b$  —— 电磁波测距仪器标称的比例误差系数；

$C$  —— 照准差；

$D$  —— 电磁波测距边长度、RTK 测量参考站到检查点的距离、送变电路档距；

$D_g$  —— 测距边在高斯投影面上的长度；

$D_H$  —— 测区平均高程面上的测距边长度；

$D_p$  —— 测线的水平距离；

$D_0$  —— 归算到参考椭球面上的测距边长度；

$d$  —— 卫星定位测量控制网相邻点间的距离、灌注桩的桩径；

$DS05$ 、 $DS1$ 、 $DS3$  —— 水准仪型号；

$f_\beta$  —— 方位角闭合差；

$H$  —— 水深、建（构）筑物的高度、安装测量管道垂直部分长度、桥梁索塔高度、隧道埋深；

$H_m$  —— 测距边两端点的平均高程；

$H_p$  ——测区的平均高程；  
 $h$  —— 高差、建筑施工的沉井高度、地下管线的埋深、隧道高度；  
 $h_d$  —— 基本等高距；  
 $h_m$  ——测区大地水准面高出参考椭球面的高差；  
 $i$  —— 水准仪视准轴与水准管轴的夹角；  
 $K$  —— 大气折光系数；  
 $L$  —— 水准测段或路线长度、天车或起重机轨道长度、桥的总长、桥的跨径、隧道两开挖洞口间长度、监测体或监测断面距隧道开挖工作面的前后距离；  
 $l$  —— 测点至线路中桩的水平距离、桥梁所跨越的江（河流、峡谷）的宽度；  
 $M$  —— 测图比例尺分母、中误差；  
 $M_w$  —— 高差全中误差；  
 $M_\Delta$  —— 高差偶然中误差；  
 $m$  —— 中误差  
 $m_D$  —— 测距中误差；  
 $m_H$  —— 地下管线重复探查的平面位置中误差；  
 $m_v$  —— 地下管线重复探查的埋深中误差；  
 $m_\alpha$  —— 方位角中误差；  
 $m_\beta$  —— 测角中误差；  
 $N$  —— 附和路线或闭合环的个数；  
 $n$  —— 测站数、测段数、边数、基线数、三角形个数、建筑物结构的跨数；  
 $P$  —— 测量的权；  
 $R$  —— 地球平均曲率半径；  
 $R_A$  ——参考椭球体在测距边方向法截弧的曲率半径；  
 $R_m$  ——测距边中点处在参考椭球面上的平均曲率半径；  
 $S$  —— 边长、斜距、两相邻细部点间的距离、转点桩至中桩的距离；  
 $T$  —— 边长相对中误差分母；  
 $W$  —— 闭合差；  
 $W_x$ 、 $W_y$ 、 $W_z$  ——坐标分量闭合差；  
 $W_f$ 、 $W_g$ 、 $W_j$ 、 $W_b$  —— 分别为方位角条件、固定角条件、角一极条件、边（基线）条件自由项的限差；

$y_m$ ——测距边两端点横坐标的平均值；  
 $\alpha$ ——垂直角、地面倾角、比例系数；  
 $\delta_h$ ——对向观测的高差较差；  
 $\delta_{1,2}$ ——测站点（1）向照准点（2）观测方向的方向变化值；  
 $\Delta$ ——测段往返高差不符值；  
 $\Delta d$ ——长度较差；  
 $\Delta H$ ——复查点位与原点位的埋深较差；  
 $\Delta S$ ——复查点位与原点位间的平面位置偏差；  
 $\Delta\alpha$ ——补偿式自动安平水准仪的补偿误差；  
 $\mu$ ——单位权中误差；  
 $\sigma$ ——基线长度中误差；度盘和测微器位置变换值。

### 3 平面控制测量

#### 3.1 一般规定

**3.1.1** 平面控制网的精度，按高低划分为等与级两种规格。等次由高向低依次划分为二、三、四等，级次由高向低依次划分为一、二、三级。

**3.1.2** 平面控制网的建立，可采用卫星定位测量、卫星定位实时动态测量、导线测量、三角形网测量等方法。

**3.1.3** 卫星定位测量，适用于二、三、四等和一、二级控制网的建立；卫星定位实时动态测量，适用于一、二、三级控制网的建立；导线测量适用于三、四等和一、二、三级控制网的建立；三角形网测量，适用于二、三、四等和一、二级控制网的建立。

**3.1.4** 平面控制网的布设，应遵循下列原则：

1 首级控制网的布设，应因地制宜且要兼顾网的拓展；当与国家坐标系统联测时，还应顾及联测方案。

2 首级控制网的等级，应根据工程规模、控制网的用途和精度要求确定。

3 加密控制网，可越级布设或同等级扩展。

**3.1.5** 平面控制网的坐标系统，应在满足测区内投影长度变形不大于 25mm/km 的要求下，作下列选择：

1 采用 2000 国家大地坐标系，统一的高斯正形投影 3°带平面直角坐标系统。

2 采用高斯正形投影 3°带，投影面为测区抵偿高程面或测区平均高程面的平面直角坐标系统。或任意带，投影面为 1985 国家高程基准面的平面直角坐标系统。

3 小测区或有特殊精度要求的专用控制网，可采用独立坐标系统。

4 在已有平面控制网的地区，可沿用原有的坐标系统。

5 厂区内可采用建筑坐标系统。

6 大型的有特别要求的工程项目或新建城市平面控制网，坐标系统可进行专项设计。

#### 3.2 卫星定位测量

(I) 卫星定位测量的主要技术要求

**3.2.1** 各等级卫星定位测量控制网的主要技术指标，应符合表 3.2.1 的规定。

表 3.2.1 卫星定位测量控制网的主要技术指标

等级	平均边长 (km)	固定误差 A (mm)	比例误差系数 B (mm/km)	约束点间的 边长相对中误差	约束平差后 最弱边相对中误差
二等	9	≤10	≤2	≤1/250000	≤1/120000
三等	4.5	≤10	≤5	≤1/150000	≤1/70000
四等	2	≤10	≤10	≤1/100000	≤1/40000
一级	1	≤10	≤20	≤1/40000	≤1/20000
二级	0.5	≤10	≤40	≤1/20000	≤1/10000

**3.2.2** 各等级控制网的基线精度，按 (3.2.2) 式计算。

$$\sigma = \sqrt{A^2 + (B \cdot d)^2} \quad (3.2.2)$$

式中  $\sigma$  —— 基线长度中误差 (mm);  
 $A$  —— 固定误差 (mm);  
 $B$  —— 比例误差系数 (mm/km);  
 $d$  —— 平均边长 (km)。

3.2.3 卫星定位测量控制网观测精度的评定, 应满足下列要求:

1 控制网的测量中误差, 按 (3.2.3-1) 式计算;

$$m = \sqrt{\frac{1}{3N} \left[ \frac{WW}{n} \right]} \quad (3.2.3-1)$$

式中  $m$  —— 控制网的测量中误差 (mm);  
 $N$  —— 控制网中异步环的个数;  
 $n$  —— 异步环的边数;  
 $W$  —— 异步环环线全长闭合差 (mm)。

2 控制网的测量中误差, 应满足相应等级控制网的基线精度要求。

$$m \leq \sigma \quad (3.2.3-2)$$

(II) 卫星定位测量控制网的设计、选点与埋石

3.2.4 卫星定位测量控制网的布设, 应符合下列要求:

1 应根据工程项目的实际情况、精度要求、卫星状况、接收机的类型和数量以及测区已有的测量资料进行综合设计。有特殊精度要求的工程项目应进行控制网“专项”设计, 必要时应进行控制网优化。

2 首级网布设时, 宜联测 2 个以上国家高等级控制点、国家连续运行参考站点或地方坐标系的高等级控制点。

3 对控制网内的长边, 宜构成大地四边形或中点多边形。

4 各等级控制网应由独立观测边构成一个或若干个闭合环或附合路线, 构成闭合环或附合路线的边数不宜多于 6 条。

5 各等级控制网中独立基线的观测总数, 不宜少于必要观测基线数的 1.5 倍。

6 加密网应根据工程需要, 在满足本标准精度要求的前提下, 可采用灵活的布网方式。

7 对于拟采用卫星定位实时动态测量方法作业的工程项目, 在控制网的布设中应顾及参考站点的分布及位置。

3.2.5 卫星定位测量控制点位的选定, 应符合下列要求:

1 点位应选在土质坚实、稳固可靠、易于长期保存的地方, 同时要利于加密和扩展, 每个控制点至少应有一个通视方向。

2 点位要求视野开阔, 高度角在 15° 以上的范围内, 应无障碍物; 点位附近不应有强烈干扰接收卫星信号的干扰源或强烈反射卫星信号的物体, 距大功率无线电发射源宜大于 200m, 距高压输电线路或微波信号传输通道宜大于 50m。

3 充分利用符合要求的旧有控制点。

3.2.6 控制点埋石应符合附录 B 的规定, 并绘制点之记。

(III) 卫星定位测量控制网的观测

3.2.7 卫星定位测量控制网观测作业的基本技术要求, 应符合表 3.2.7 的规定。

表 3.2.7 卫星定位测量控制网测量作业的基本技术要求

等 级	二 等	三 等	四 等	一 级	二 级
接 收 机 类 型	多频或多系统	多频或多系统	多频或多系统	多频	多频
仪 器 标 称 精 度	3mm+1ppm	5mm+2ppm	5mm+2ppm	10mm+5ppm	10mm+5ppm
观 测 量	载波相位	载波相位	载波相位	载波相位	载波相位

卫星高度角 (°)	静态	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15
	快速静态	—	—	—	≥15	≥15
有效观测卫星数	静态	≥5	≥5	≥4	≥4	≥4
	快速静态	—	—	—	≥5	≥5
观测时段长度 (min)	静态	30~90	20~60	15~45	10~30	10~30
	快速静态	—	—	—	10~15	10~15
数据采样间隔 (s)	静态	10~30	10~30	10~30	10~30	10~30
	快速静态	—	—	—	5~15	5~15
点位几何图形强度因子 (PDOP)		≤6	≤6	≤6	≤8	≤8

**3.2.8** 对于规模较大的工程项目,应根据项目委托方要求,结合已有资料、实地踏勘情况及相关的技术规范,编制作业计划。

**3.2.9** 卫星定位测量测站作业,应满足下列要求:

- 1 观测前,应对接收机进行预热和静置,同时应检查电池的容量、接收机的内存和可储存空间是否充足。
- 2 天线安置的对中误差,不应大于 2mm;天线高的量取应精确至 1mm。
- 3 观测中,应避免在接收机近旁使用无线电通讯工具,并应防止人员和其他物体触碰天线或阻挡卫星信号。
- 4 雷雨天气时,应停止作业。
- 5 作业过程中不得进行接收机关闭又重新启动、改变卫星截止高度角、改变数据采样间隔和改变天线位置等操作。
- 6 作业同时,应做好测站记录,包括控制点点名、接收机序列号、仪器高、开关机时间等相关的测站信息。

#### (IV) 卫星定位测量数据处理

**3.2.10** 数据处理准备,应满足下列要求:

- 1 不同定位系统或不同品牌接收机联合作业时的观测数据,应转换成统一的标准格式。
- 2 屏蔽原始数据中的无效观测值和冗余信息。
- 3 整理并编辑好测站记录。

**3.2.11** 基线解算,应满足下列要求:

- 1 起算点的单点定位观测时间,不宜少于 30min。
- 2 基线解算可根据观测等级和实际情况选择单基线解算模式、多基线解算模式或整体解算模式。
- 3 基线解算应采用双差固定解。
- 4 基线解算结果应包括基线向量的三维坐标增量及其方差—协方差阵和基线长度等信息。

**3.2.12** 卫星定位控制测量外业观测的全部数据应经同步环、异步环或附合线路、复测基线检核,并应满足下列要求:

- 1 同步环各坐标分量闭合差及环线全长闭合差,应满足 (3.2.12-1) ~ (3.2.12-5) 式的要求:

$$W_x \leq \frac{\sqrt{n}}{5} \sigma \quad (3.2.12-1)$$

$$W_y \leq \frac{\sqrt{n}}{5} \sigma \quad (3.2.12-2)$$

$$W_z \leq \frac{\sqrt{n}}{5} \sigma \quad (3.2.12-3)$$



$$W \leq \frac{\sqrt{3n}}{5} \sigma \quad (3.2.12-4)$$

$$W = \sqrt{W_X^2 + W_Y^2 + W_Z^2} \quad (3.2.12-5)$$

式中  $n$ ——同步环中基线边的个数；

$W_X$ 、 $W_Y$ 、 $W_Z$ ——同步环环坐标分量闭合差 (mm)；

$W$ ——同步环环线全长闭合差 (mm)。

2 异步环或附合线路各坐标分量闭合差及全长闭合差，应满足 (3.2.12-6) ~ (3.2.12-10) 式的要求：

$$W_X \leq 2\sqrt{n}\sigma \quad (3.2.12-6)$$

$$W_Y \leq 2\sqrt{n}\sigma \quad (3.2.12-7)$$

$$W_Z \leq 2\sqrt{n}\sigma \quad (3.2.12-8)$$

$$W \leq 2\sqrt{3n}\sigma \quad (3.2.12-9)$$

$$W = \sqrt{W_X^2 + W_Y^2 + W_Z^2} \quad (3.2.12-10)$$

式中  $n$ ——异步环或附合线路中基线边的个数；

$W$ ——异步环或附合线路全长闭合差 (mm)。

3 复测基线的长度较差，应满足 (3.2.12-11) 式的要求：

$$\Delta d \leq 2\sqrt{2}\sigma \quad (3.2.12-11)$$

式中  $\Delta d$ ——复测基线的长度较差。

**3.2.13** 当同步环、异步环或附合路线、复测基线中的观测数据不能满足检核要求时，应对成果进行全面分析，并舍弃不合格基线后重新构成异步环，应保证舍弃基线后，所构成异步环的边数不应超过 3.2.4 条第 4 款的规定。否则，应重测该基线或有关的同步图形。

**3.2.14** 外业观测数据检验合格后，应按 3.2.3 条对卫星定位测量控制网的观测精度进行评定。

**3.2.15** 卫星定位测量控制网的无约束平差，应符合下列规定：

1 选用与导航定位卫星系统一致的坐标系进行三维无约束平差，并提供各观测点在该坐标系中的三维坐标、各基线向量三个坐标差观测值的改正数、基线长度、基线方位及相关的精度信息等。

2 无约束平差的基线向量改正数的绝对值，不应超过相应等级的基线长度中误差的 3 倍。

**3.2.16** 卫星定位测量控制网的约束平差，应符合下列规定：

1 选用国家坐标系或地方坐标系，对无约束平差后的观测量进行二维或三维约束平差。

2 对于已知坐标、距离或方位，可以强制约束，也可加权约束。约束点间的边长相对中误差，应满足表 3.2.1 中相应等级的规定。

3 约束平差的基线向量改正数与经过剔除粗差后无约束平差结果的同一基线相应改正数较差的绝对值，不应超过相应等级基线中误差的 2 倍。

4 平差结果，应输出观测点在相应坐标系中的二维或三维坐标、基线向量的改正数、基线长度、基线方位角等，以及相关的精度信息。需要时，还应输出坐标转换参数及其精度信息。

5 控制网约束平差的最弱边边长相对中误差，应满足表 3.2.1 中相应等级的规定。

### 3.3 卫星定位实时动态测量

#### (I) 卫星定位实时动态测量的主要技术要求

**3.3.1** 卫星定位实时动态测量模式，可采用单基站 RTK 测量也可采用网络 RTK 测量；在已建立连续运行参考站系统的区域，宜采用网络 RTK 测量；困难地区，也可采用后处理动态测量模式。

**3.3.2** 卫星定位实时动态平面控制测量的主要技术要求，应符合表 3.3.2 的规定。

表 3.3.2 卫星定位实时动态平面控制测量的主要技术要求

等级	相邻点间距离 (m)	点位中误差 (mm)	边长相对中误差	起算点等级	流动站到单基准站间距离 (km)	测回数
一级	≥500	50	≤1/30000	——	——	≥4
二级	≥250	50	≤1/14000	四等及以上	≤6	≥3
三级	≥100	50	≤1/7000	四等及以上	≤6	≥3
				二级及以上	≤3	

注：1 一级动态平面控制测量作业，须采用网络 RTK 测量技术；

2 网络 RTK 测量可不受起算点等级、流动站到单基准站间距离的限制，但应在连续运行参考站系统的有效服务范围内；

3 困难地区相邻点间距离可缩短至表中的 2/3。

**3.3.3** 卫星定位实时动态控制测量接收机的选用，宜采用动态水平方向固定误差不超过 10mm、比例误差系数不超过 2mm/km 和垂直方向固定误差不超过 20mm、比例误差系数不超过 4mm/km 的双频 RTK 接收机。

**3.3.4** 卫星定位实时动态控制测量作业时，截止高度角 15° 以上的卫星个数不应少于 5 颗，卫星分布几何精度因子不应大于 6。

**3.3.5** 流动站接收机的点位校核，应符合下列规定：

- 1 作业前应在同等级或高等级点位上进行校核，且不少于 2 点；
- 2 作业中若出现卫星失锁或数据通讯中断，也应在同等级或高等级点位上进行校核，且不少于 1 点；
- 3 平面位置偏差不应大于 50mm，高程偏差不应大于 70mm。否则，应重新设置流动站。

#### (II) 卫星定位实时动态控制测量的设计、选点与埋石

**3.3.6** 卫星定位实时动态控制测量点位的选择，应符合本章 3.2.5 条的要求，且每个测区固定角复核测量的点位分布和固定边复核测量的点位分布分别不少于 2 组。

**3.3.7** 点位选定后应进行现场标识，必要时绘制点位分布略图；点位的埋石，应符合附录 B 的规定，必要时绘制控制点点之记。

#### (III) 卫星定位实时动态控制测量

**3.3.8** 网络 RTK 测量作业，应在连续运行参考站系统的有效服务区域内进行。作业前，应在连续运行参考站系统服务中心进行登记、注册，以获得系统服务的授权，并应正确设置各项网络参数，如通信参数、IP 地址、APN、端口、差分数据格式等。

**3.3.9** 网络 RTK 测量前，应进行下列检查并正确设置各项参数、量取天线高：

1 流动站与连续运行参考站系统的数据通信连通检查，数据采集器（或电子手簿）与接收机（天线）的数据连通检查。

2 流动站接收机天线与主机及电源等的连接可靠性检查，电子手簿和主机的电源电量、内存或储存卡容量检查，各项参数设置正确性检查。

3 对中整平后，应量取天线高度精确至 1mm，并正确设置天线高类型（斜高、垂高）和量取位置（天线相位中心、天线顶圈、天线底部等）。

4 接收机的平面收敛阈值不应超过 20mm，垂直收敛阈值不应超过 30mm。

**3.3.10** 网络 RTK 测量应在接收机已得到模糊度固定解状态下方可进行数据采集记录。单次测回的点位中误差不应大于 20mm，高程中误差不应大于 30mm，采集测回数应符合表 3.3.2 规定。

**3.3.11** RTK 控制测量作业，应采用多测回法观测，并符合下列规定：

1 作业前和测回间均应进行接收机初始化，测回间的时间中断间隔应大于 60 秒。

2 应在得到 RTK 固定解且收敛稳定后开始记录观测值，且不少于 10 个，取其平均值作为本测回的观测结果。

3 经纬度记录应精确至 0.00001"，坐标与高程记录应精确至 0.001m。

4 测回间的平面坐标分量较差的绝对值不应超过 20mm，垂直坐标分量较差的绝对值不应超过 30mm。应取各测回结果的平均值作为最终观测成果。

**3.3.12** RTK 测量时，当初始化时间较长无法获得固定解时，宜重新启动接收机进行初始化。重启后仍不能获得固定解时，应选择其它位置进行测量。

**3.3.13** 进行后处理动态测量时，流动站应预先在静止状态下观测 1min~2min，在卫星不失锁的情况下，可连续进行动态测量。

**3.3.14** 单基站 RTK 测量的基准站设置，应符合下列规定：

1 基准站可设置在已知点位上，也可随意设站。当在已知点位设站时应精确对中，在手簿中正确设置仪器高类型（斜高、垂高）及量取位置（天线相位中心、天线顶部和天线底部），并精确量取天线高至 1mm。

2 正确连接电台至接收机并设置电台频率、通道等参数。

3 在接收机手簿中正确选择电台类型、电台频率、天线类型、仪器类型、作业模式、数据端口、蓝牙端口等设备参数。

4 正确输入基准站坐标、高程、数据单位、尺度因子、投影参数和坐标转换参数等计算参数。

5 在测区周边及中部选取不少于 4 个已知点进行校核测量，并计算转换参数。其平面精度不大于 20mm，垂直精度不大于 30mm。

**3.3.15** 单基站 RTK 作业的平面收敛阈值和垂直收敛阈值，应符合 3.3.9 条 4 款的规定。作业过程中，不允许对基准站的设置、基准站天线的位置和高度进行更改操作。

**3.3.16** 单基站 RTK 测量中对不同或多个基准站定位的，其差分解算结果互差不应大于 50mm，取平均值作为最终结果。

**3.3.17** 单基站 RTK 控制测量的作业半径不宜超过 5km。

**3.3.18** 单基站 RTK 控制测量的观测要求，还应符合 3.3.11 条~3.3.12 条的规定。

#### (IV) 卫星定位实时动态控制测量数据处理

**3.3.19** 卫星定位实时动态控制测量成果应包括点号、三维坐标、三维坐标精度、天线高及与观测值相应的解的类型、卫星数、PDOP、观测时间等基本信息。

**3.3.20** 坐标转换参数的计算与应用，应符合下列规定：

1 所用已知点的地心坐标框架应与计算转换参数时所用地心坐标框架一致；计算转换参数的控制点应均匀分布在测区周边及中部。

- 2 当测区已有转换参数时，可直接利用原参数。
- 3 当测区有 3 个或 3 个以上控制点，且同时具有地心和参心坐标系成果时，可通过随机软件直接计算转换参数。
- 4 当测区有 3 个或 3 个以上控制点，且具有参心坐标系成果时，可在控制点上架设接收机采集地心坐标，再通过随机软件计算转换参数。
- 5 参与计算坐标转换参数的已知点的点位中误差统计值，不应超过 20mm。

(V) 卫星定位实时动态控制测量外业检核

3.3.21 卫星定位实时动态控制测量成果宜采用多种方法进行检核，并符合下列规定：

- 1 检核点应均匀分布于测区的中部及周边。
- 2 固定边、固定角及导线法联测检核，宜按低一等级的导线测量技术要求执行，并符合表 3.3.21 的规定。

表 3.3.21 RTK 平面控制点检核测量技术要求

等级	边长检核		角度检核		导线联测检核	
	测距中误差(mm)	边长较差的相对中误差	测角中误差(″)	角度较差限差(″)	角度闭合差(″)	边长相对闭合差
一级	15	1/14000	8	14	$16\sqrt{n}$	1/10000
二级	15	1/7000	12	20	$24\sqrt{n}$	1/5000
三级	15	1/4000	20	30	$40\sqrt{n}$	1/3000

3 外业检核也可采用已知点比较法、复测比较法等，并按式 (3.3.21) 统计检核点的精度，检核点的点位中误差  $M_{\Delta}$  不应超过 50mm。

$$M_{\Delta} = \sqrt{\frac{[d\Delta d\Delta]}{2N}} \quad (3.3.21)$$

式中： $M_{\Delta}$ ——检核点的点位中误差(mm)；

$d\Delta$ ——检核点两次测量较差的差值(mm)；

$N$ ——检测点个数。

### 3.4 导线测量

#### (I) 导线测量的主要技术要求

3.4.1 各等级导线测量的主要技术要求，应符合表 3.4.1 的规定。

表 3.4.1 导线测量的主要技术要求

等级	导线长度(km)	平均边长(km)	测角中误差(″)	测距中误差(mm)	测距相对中误差	测回数			方位角闭合差(″)	导线全长相对闭合差
						1″级仪器	2″级仪器	6″级仪器		
三等	14	3	1.8	20	1/150000	6	10	—	$3.6\sqrt{n}$	$\leq 1/55000$
四等	9	1.5	2.5	18	1/80000	4	6	—	$5\sqrt{n}$	$\leq 1/35000$

一级	4	0.5	5	15	1/30000	—	2	4	$10\sqrt{n}$	$\leq 1/15000$
二级	2.4	0.25	8	15	1/14000	—	1	3	$16\sqrt{n}$	$\leq 1/10000$
三级	1.2	0.1	12	15	1/7000	—	1	2	$24\sqrt{n}$	$\leq 1/5000$

注：1 表中  $n$  为测站数；

2 当测区测图的最大比例尺为 1:1000 时，一、二、三级导线的导线长度、平均边长可适当放长，但最大长度不应大于表中规定相应长度的 2 倍。

**3.4.2** 当导线平均边长较短时，应控制导线边数不超过表 3.4.1 相应等级导线长度和平均边长算得的边数；当导线长度小于表 3.4.1 规定长度的 1/3 时，导线全长的绝对闭合差不应大于 0.13m。

**3.4.3** 导线网中，结点与结点、结点与高级点之间的导线段长度不应大于表 3.4.1 中相应等级规定长度的 0.7 倍。

## (II) 导线网的设计、选点与埋石

**3.4.4** 导线网的布设应符合下列规定：

- 1 导线网用作测区的首级控制时，应布设成环形网，且宜联测 2 个已知方向。
- 2 加密网可采用单一附和导线或结点导线网形式。
- 3 结点间或结点与已知点间的导线段宜布设成直伸形状，相邻边长不宜相差过大，网内不同环节上的点也不宜相距过近。

**3.4.5** 导线点位的选定，应符合下列规定：

- 1 点位应选在土质坚实、稳固可靠、便于保存的地方，视野应相对开阔，便于加密、扩展和寻找。
- 2 相邻点之间应通视良好，其视线距障碍物的距离，三、四等不宜小于 1.5m；四等以下宜保证便于观测，以不受旁折光的影响为原则。
- 3 当采用电磁波测距时，相邻点之间视线应避开烟囱、散热塔、散热池等发热体及强电磁场。
- 4 相邻两点之间的视线倾角不宜过大。
- 5 充分利用旧有控制点。

**3.4.6** 导线点的埋石应符合附录 B 的规定。三、四等点应绘制点之记，其他控制点可视需要而定。

## (III) 水平角观测

**3.4.7** 水平角观测所使用的全站仪、电子经纬仪，应符合下列相关规定：

- 1 照准部旋转轴正确性指标：管水准器气泡或电子水准器长气泡在各位置的读数较差，1"级仪器不应超过 2 格，2"级仪器不应超过 1 格。
- 2 水平轴不垂直于垂直轴之差指标：1"级仪器不应超过 10"，2"级仪器不应超过 15"。
- 3 补偿器的补偿要求，在仪器补偿器的补偿区间，对观测成果应能进行有效补偿。
- 4 垂直微动旋转使用时，视准轴在水平方向上不产生偏移。
- 5 仪器的基座在照准部旋转时的位移指标：1"级仪器不应超过 0.3"，2"级仪器不应超过 1"。
- 6 光学（或激光）对中器的视轴（或激光束）与竖轴的重合度不应大于 1mm。

**3.4.8** 水平角观测宜采用方向观测法，并符合下列规定：

- 1 方向观测法的技术要求，不应超过表 3.4.8 的规定。

表 3.4.8 水平角方向观测法的技术要求

等级	仪器精度等级	半测回归零差（"）限差	一测回内 2C 互差（"）限差	同一方向值各测回较差（"）限差
----	--------	-------------	-----------------	-----------------

三、四等	1" 级仪器	6	9	6
	2" 级仪器	8	13	9
一级及以下	2" 级仪器	12	18	12

注：当观测方向的垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 的范围时，该方向 2C 互差可按相邻测回同方向进行比较，其值应满足表中一测回内 2C 互差的限值。

2 当观测方向不多于 3 个时，可不归零。增加 6 秒级仪器

3 当观测方向多于 6 个时，可进行分组观测。分组观测应包括两个共同方向（其中一个为共同零方向）。其两组观测角之差，不应大于同等级测角中误差的 2 倍。分组观测的最后结果，应按等权分组观测进行测站平差。

4 各测回间应配置度盘。度盘配置应符合附录 C 的规定。

5 水平角的观测值应取各测回的平均数作为测站成果。

**3.4.9** 三、四等导线的水平角观测，当测站只有两个方向时，宜以奇数测回和偶数测回分别观测导线前进方向的左角和右角。观测右角时，应以左角起始方向为准变换度盘位置，也可用起始方向的度盘位置加上左角的概值在前进方向配置度盘。

左角平均值与右角平均值之和与  $360^\circ$  之差，不应大于本标准表 3.4.1 中相应等级导线测角中误差的 2 倍。

**3.4.10** 水平角观测的测站作业，应符合下列规定：

1 仪器或反光镜的对中误差不应大于 2mm。

2 水平角观测过程中，气泡中心位置偏离整置中心不宜超过 1 格。四等及以上等级的水平角观测，当观测方向的垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 的范围时，宜在测回间重新整置气泡位置。有垂直轴补偿器的仪器，可不受此款限制。

3 如受外界因素（如震动）的影响，仪器的补偿器无法正常工作或超出补偿器的补偿范围时，应停止观测。

4 当测站或照准目标偏心时，应在水平角观测前或观测后测定归心元素。测定时，投影示误三角形的最长边，对于标石、仪器中心的投影不应大于 5mm，对于照准标志中心的投影不应大于 10mm。投影完毕后，除标石中心外，其他各投影中心均应描绘两个观测方向。角度元素应量至  $15'$ ，长度元素应量至 1mm。

**3.4.11** 水平角观测误差超限时，应在原来度盘位置上重测，并应符合下列规定：

1 一测回内 2C 互差或同一方向值各测回较差超限时，应重测超限方向，并联测零方向。

2 下半测回归零差或零方向的 2C 互差超限时，应重测该测回。

3 若一测回中重测方向数超过总方向数的  $1/3$  时，应重测该测回。当重测的测回数超过总测回数的  $1/3$  时，应重测该站。

**3.4.12** 首级控制网所联测的已知方向的水平角观测，应按首级网相应等级的规定执行。

**3.4.13** 每日观测结束，应对外业记录手簿进行检查，当使用电子记录时，应保存原始观测数据，打印输出相关数据和预先设置的各项限差。

#### (IV) 距离测量

**3.4.14** 控制网的边长，应采用全站仪或电磁波测距仪测距。

**3.4.15** 本标准对中、短程测距仪器的划分，短程为 3km 以下，中程为 3~15km。

**3.4.16** 测距仪器的标称精度，按 (3.4.16) 式表示。

$$m_D = a + b \times D \quad (3.4.16)$$

式中  $m_D$  —— 测距中误差 (mm);

$a$  —— 标称精度中的固定误差 (mm);

$b$  —— 标称精度中的比例误差系数 (mm/km);

$D$  —— 测距长度 (km)。

**3.4.17** 测距仪器及相关的气象仪表, 应校验。在高海拔地区使用空盒气压表时, 宜送当地气象台(站)校准。

**3.4.18** 各等级控制网边长测距的主要技术要求, 应符合表 3.4.18 的规定。

表 3.4.18 测距的主要技术要求

平面控制网等级	仪器精度等级	每边测回数		一测回读数较差 (mm)	单程各测回较差 (mm)	往返测距较差 (mm)
		往	返			
三等	5 mm 级仪器	3	3	≤5	≤7	≤2(a+b×D)
	10 mm 级仪器	4	4	≤10	≤15	
四等	5 mm 级仪器	2	2	≤5	≤7	
	10 mm 级仪器	3	3	≤10	≤15	
一级	10 mm 级仪器	2	—	≤10	≤15	—
二、三级	10 mm 级仪器	1	—	≤10	≤15	

注: 1 测回是指照准目标一次, 读数 2~4 次的过程;

2 困难情况下, 边长测距可采用不同时间段测量代替往返观测。

**3.4.19** 测距作业, 应符合下列规定:

1 测站对中误差和反光镜对中误差不应大于 2mm。

2 当观测数据超限时, 应重测整个测回, 如观测数据出现成群时, 应分析原因, 采取相应措施重新观测。

3 四等及以上等级控制网的边长测量, 应分别量取两端点观测始末的气象数据, 计算时应取平均值。

4 测量气象元素的温度计宜采用通风干湿温度计, 气压表宜选用高原型空盒气压表; 读数前应将温度计悬挂在离开地面和人体 1.5m 以外阳光不能直射的地方, 读数应精确至 0.2℃; 气压表应置平, 指针不应滞阻, 读数应精确至 50Pa。

5 测距边用电磁波测距三角高程测量方法测定的高差进行修正时, 垂直角的观测和对向观测高差较差要求, 可按本标准第 4.3.2 条、第 4.3.3 条中五等三角高程测量的有关规定放宽 1 倍执行。

**3.4.20** 每日观测结束, 应对外业记录进行检查。当使用电子记录时, 应保存原始观测数据, 打印输出相关数据和预先设置的各项限差。

**3.4.21** 普通钢尺量距的主要技术要求, 应符合表 3.4.21 的规定。

表 3.4.21 普通钢尺量距的主要技术要求

等级	边长量距较差相对误差	作业尺数	量距总次数	定线最大偏差 (mm)	尺段高差较差 (mm)	读定次数	估读值至 (mm)	温度读数至 (°C)	同尺各次或同段各尺的较差 (mm)
二级	1/20000	1~2	2	50	≤10	3	0.5	0.5	≤2
三级	1/10000	1~2	2	70	≤10	2	0.5	0.5	≤3

注: 1 量距边长应进行温度、坡度和尺长改正;

2 当检定钢尺时, 相对误差不应大于 1/100000。

## (V) 导线测量数据处理

**3.4.22** 观测数据中含有偏心测量成果时, 应先进行归心改正计算。

**3.4.23** 水平距离计算, 应符合下列规定:

- 1 测量的斜距, 须经气象改正和仪器的加、乘常数改正后才能进行水平距离计算;
- 2 两点间的高差测量, 宜采用水准测量。当采用三角高程测量时, 高差应进行大气折光改正和地球曲率改正;
- 3 水平距离可按 (3.4.22) 式计算:

$$D_p = \sqrt{S^2 - h^2} \quad (3.4.23)$$

式中:  $D_p$ ——测线的水平距离 (m);

$S$ ——经气象及加、乘常数等改正后的斜距 (m);

$h$ ——仪器的发射中心与反光镜的反射中心之间的高差 (m)。

**3.4.24** 导线网水平角观测的测角中误差, 应按 (3.4.23) 式计算:

$$m_\beta = \sqrt{\frac{1}{N} \left[ \frac{f_\beta f_\beta}{n} \right]} \quad (3.4.24)$$

式中  $f_\beta$ ——导线环的角度闭合差或附和导线的方位角闭合差 (");

$n$ ——计算  $f_\beta$  时的相应测站数;

$N$ ——闭合环及附和导线的总数。

**3.4.25** 测距边的精度评定, 应按 (3.4.25-1)、(3.4.25-2) 式计算; 当网中的边长相差不大时, 可按 (3.4.25-3) 式计算网的平均测距中误差。

1 单位权中误差:

$$\mu = \sqrt{\frac{[Pdd]}{2n}} \quad (3.4.25-1)$$

式中  $d$ ——各边往、返测的距离较差 (mm);

$n$ ——测距边数;

$P$ ——各边距离的先验权, 其值为  $\frac{1}{\sigma_D^2}$ ,  $\sigma_D$  为测距的先验中误差, 可按测距仪器的标

称精度计算。

2 任一边的实际测距中误差:

$$m_{Di} = \mu \sqrt{\frac{1}{P_i}} \quad (3.4.25-2)$$

式中  $m_{Di}$ ——第  $i$  边的实际测距中误差 (mm);

$P_i$ ——第  $i$  边距离测量的先验权。



3 网的平均测距中误差:

$$m_{Di} = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \quad (3.4.25-3)$$

式中  $m_{Di}$  —— 平均测距中误差 (mm)。

**3.4.26** 测距边长度的归化投影计算, 应符合下列规定:

1 归算到测区平均高程面上的测距边长度, 应按 (3.4.25-1) 式计算:

$$D_H = D_P \left( 1 + \frac{H_P - H_m}{R_A} \right) \quad (3.4.26-1)$$

式中  $D_H$  —— 归算到测区平均高程面上的测距边长度 (m);

$D_P$  —— 测线的水平距离 (m);

$H_P$  —— 测区的平均高程 (m);

$H_m$  —— 测距边两端点的平均高程 (m);

$R_A$  —— 参考椭球体在测距边方向法截弧的曲率半径 (m)。

2 归算到参考椭球面上的测距边长度, 应按 (3.4.26-2) 式计算:

$$D_0 = D_P \left( 1 - \frac{H_m + h_m}{R_A + H_m + h_m} \right) \quad (3.4.26-2)$$

式中  $D_0$  —— 归算到参考椭球面上的测距边长度 (m);

$h_m$  —— 测区大地水准面高出参考椭球面的高差 (m)。

3 测距边在高斯投影面上的长度, 应按 (3.4.25-3) 式计算:

$$D_g = D_0 \left( 1 + \frac{y_m^2}{2R_m^2} + \frac{\Delta y^2}{24R_m^2} \right) \quad (3.4.26-3)$$

式中  $D_g$  —— 测距边在高斯投影面上的长度 (m);

$y_m$  —— 测距边两端点横坐标的平均值 (m);

$R_m$  —— 测距边中点处在参考椭球面上的平均曲率半径 (m);

$\Delta y$  —— 测距边两端点横坐标的增量 (m)。

**3.4.27** 一级及以上等级的导线网计算, 应采用严密平差法; 二、三级导线网, 可根据需要采用严密或简化方法平差。采用简化方法平差时, 成果表中的方位角和边长应采用坐标反算值。

**3.4.28** 导线网平差时, 角度和距离的先验中误差, 可分别按本标准第 3.4.24 条、第 3.4.25 条中的方

法计算，也可用数理统计等方法求得的经验公式估算先验中误差的值，并用以计算角度及边长的权。

**3.4.29** 平差计算时，对计算略图和计算机输入数据应仔细校对，对计算结果应进行检查。打印输出的平差成果，应包含起算数据、观测数据以及必要的中间数据。

**3.4.30** 平差后的精度评定，应包含有单位权中误差、点位误差椭圆参数或相对点位误差椭圆参数、边长相对中误差或点位中误差等。采用简化平差时，平差后的精度评定，可简化。

**3.4.31** 内业计算中数字取位，应符合表 3.4.31 的规定。

表 3.4.31 内业计算中数字取位要求

等级	观测方向值及各项修正数 (")	边长观测值及各项修正数 (m)	边长与坐标 (m)	方位角 (")
三、四等	0.1	0.001	0.001	0.1
一级及以下	1	0.001	0.001	1

### 3.5 三角形网测量

#### (I) 三角形网测量的主要技术要求

**3.5.1** 各等级三角形网测量的主要技术要求，应符合表 3.5.1 的规定。

表 3.5.1 三角形网测量的主要技术要求

等级	平均边长 (km)	测角中误差 (")	测边相对中误差	最弱边边长相对中误差	测回数				三角形最大闭合差 (")
					0.5" 级仪器	1" 级仪器	2" 级仪器	6" 级仪器	
二等	9	1	$\leq 1/250000$	$\leq 1/120000$	9	12	—	—	3.5
三等	4.5	1.8	$\leq 1/150000$	$\leq 1/70000$	4	6	9	—	7
四等	2	2.5	$\leq 1/100000$	$\leq 1/40000$	2	4	6	—	9
一级	1	5	$\leq 1/40000$	$\leq 1/20000$	—	—	2	4	15
二级	0.5	10	$\leq 1/20000$	$\leq 1/10000$	—	—	1	2	30

注：测区测图的最大比例尺为 1:1000 时，一、二级网的平均边长可适当放长，但不应大于表中规定长度的 2 倍。

**3.5.2** 三角形网中的角度宜全部观测，边长可根据需要选择观测或全部观测。观测的角度和边长均应作为三角形网中的观测量参与平差计算。

**3.5.3** 首级控制网定向时，方位角传递宜联测 2 个已知方向。

#### (II) 三角形网的设计、选点与埋石

**3.5.4** 工程进场前，应进行资料收集和现场踏勘，对收集到的相关控制资料和地形图应进行综合分析并在图上进行网形设计和精度估算，在满足精度要求的前提下，合理确定网的精度等级和观测方案。

**3.5.5** 三角形网的布设，应符合下列要求：

- 1 首级控制网中的三角形，宜布设为近似等边三角形。三角形的内角不应小于 30°；受地形条件限制时，个别角可放宽，但不应小于 25°。
- 2 加密的控制网，可采用插网、线形网或插点等形式。
- 3 三角形网点位的选定，除应符合本标准第 3.4.5 条 1~4 款的规定外，二等网视线距障碍物的距离不宜小于 2m。

**3.5.6** 三角形网点位的埋石应符合附录 B 的规定，二、三、四等点应绘制点之记，其他控制点可视需要而定。

### (III) 三角形网观测

**3.5.7** 三角形网的水平角观测，宜采用方向法观测。二等三角形网亦可采用全组合观测法。

**3.5.8** 三角形网的水平角观测，除满足本标准第 3.4.1 条外，其他要求按本标准第 3.4.7 条、第 3.4.8 条及第 3.4.10~3.4.13 条规定执行。当使用 0.5" 级仪器进行水平角观测时，测站限差应满足表 3.6.4 的要求。

**3.5.9** 二等三角形网测距边的边长测量除满足本标准第 3.5.1 条和表 3.5.9 外，其他技术要求应按本标准第 3.4.14~3.4.17 条及第 3.4.19 条、第 3.4.20 条规定执行。

表 3.5.9 二等三角形网边长测量主要技术要求

平面控制网等级	仪器精度等级	每边测回数		一测回读数较差 (mm)	单程各测回较差 (mm)	往返较差 (mm)
		往	返			
二等	5mm 级仪器	3	3	≤5	≤7	≤2(a+b·D)

注：1 测回是指照准目标一次，读数 2~4 次的过程；

2 根据具体情况，测边可采取不同时间段测量代替往返观测。

**3.5.10** 三等及以下等级的三角形网测距边的边长测量，除满足本标准第 3.5.1 条外，其他要求按本标准第 3.4.14~3.4.20 条规定执行。

### (IV) 三角形网测量数据处理

**3.5.11** 观测数据中含有偏心测量成果时，应先进行归心改正计算。

**3.5.12** 三角形网的测角中误差，应按 (3.5.12) 式计算：

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[WW]}{3n}} \quad (3.5.12)$$

式中  $m_{\beta}$ ——测角中误差 (");

$W$ ——三角形闭合差 (");

$n$ ——三角形的个数。

**3.5.13** 水平距离计算和测边精度评定按本标准第 3.4.23 条和第 3.4.25 条执行。

**3.5.14** 测区需要进行高斯投影时，四等及以上等级的方向观测值，应进行方向改化计算。四等网亦可采用简化公式。

1 方向改化计算公式：

$$\delta_{1,2} = \frac{\rho}{6R_m^2}(x_1 - x_2)(2y_1 + y_2) \quad (3.5.14-1)$$

$$\delta_{2,1} = \frac{\rho}{6R_m^2}(x_2 - x_1)(y_1 + 2y_2) \quad (3.5.14-2)$$

2 方向改化简化计算公式：

$$\delta_{1,2} = -\delta_{2,1} = \frac{\rho}{2R_m^2}(x_1 - x_2)y_m \quad (3.5.14-3)$$

式中  $\delta_{1,2}$ ——测站点 (1) 向照准点 (2) 观测方向的方向变化值 (");

$\delta_{2,1}$ ——测站点 (2) 向照准点 (1) 观测方向的方向变化值 (");

$x_1$ 、 $y_1$ 、 $x_2$ 、 $y_2$ ——1、2 两点的坐标值 (m);

$R_m$ ——测距边中点处在参考椭球面上的平均曲率半径 (m);

$y_m$ ——1、2 两点的横坐标平均值 (m)。

**3.5.15** 高山地区二、三等三角形网的水平角观测, 若垂线偏差和垂直角较大, 其水平方向观测值应进行垂线偏差的修正。

**3.5.16** 测距边长度的归化投影计算, 应按本标准第 3.4.25 条规定执行。

**3.5.17** 三角形网外业观测结束后, 应计算网的各项条件闭合差。各项条件闭合差不应大于相应的限值。

1 角—极条件自由项的限值, 应按 (3.5.17-1) 式计算:

$$W_j = 2 \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\sum \text{ctg}^2 \beta} \quad (3.5.17-1)$$

式中  $W_j$ ——角—极条件自由项的限值;

$m_\beta$ ——相应等级的测角中误差 (");

$\beta$ ——求距角。

2 边 (基线) 条件自由项的限值, 应按 (3.5.17-2) 式计算:

$$W_b = 2 \sqrt{\frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum \text{ctg}^2 \beta + \left(\frac{m_{S_1}}{S_1}\right)^2 + \left(\frac{m_{S_2}}{S_2}\right)^2} \quad (3.5.17-2)$$

式中  $W_b$ ——边 (基线) 条件自由项的限值;

$\frac{m_{S_1}}{S_1}$ 、 $\frac{m_{S_2}}{S_2}$  ——起始边边长相对中误差。

3 方位角条件的自由项的限值, 应按 (3.5.17-3) 式计算:

$$W_f = 2 \sqrt{m_{\alpha_1}^2 + m_{\alpha_2}^2 + nm_\beta^2} \quad (3.5.17-3)$$

式中  $W_f$ ——方位角条件的自由项的限值 (");

$m_{\alpha_1}$ 、 $m_{\alpha_2}$ ——起始方位角中误差 (");

$n$ ——推算路线所经过的测站数。

4 固定角自由项的限值，应按 (3.5.17-4) 式计算：

$$W_g = 2\sqrt{m_g^2 + m_\beta^2} \quad (3.5.17-4)$$

式中  $W_g$ ——固定角自由项的限值 (")；

$m_g$ ——固定角的角度中误差 (")。

5 边一角条件的限值，应按 (3.5.17-5) 式计算：

三角形中观测的一个角度与由观测边长根据各边平均测距相对中误差计算所得的角度限差，应按下式进行检核：

$$W_r = 2\sqrt{2\left(\frac{m_D}{D}\rho\right)^2 (ctg^2\alpha + ctg^2\beta + ctg\alpha ctg\beta) + m_\beta^2} \quad (3.5.17-5)$$

式中  $W_r$ ——观测角与计算角的角值限差 (")；

$\frac{m_D}{D}$ ——各边平均测距相对中误差；

$\alpha$ 、 $\beta$ ——三角形中观测角之外的另两个角；

$m_\beta$ ——相应等级的测角中误差 (")。

6 边一极条件自由项的限值，应按 (3.5.17-6) 式计算：

$$W_z = 2\rho\frac{m_D}{D}\sqrt{\sum\alpha_w^2 + \sum\alpha_f^2} \quad (3.5.17-6)$$

$$\alpha_w = ctg\alpha_i + ctg\beta_i \quad (3.5.17-7)$$

$$\alpha_f = ctg\alpha_i \pm ctg\beta_{i-1} \quad (3.5.17-8)$$

式中  $W_z$ ——边一极条件自由项的限值 (")；

$\alpha_w$ ——与极点相对的外围边两端的两底的余切函数之和；

$\alpha_f$ ——中点多边形中与极点相连的辐射边两侧的相邻底角的余切函数之和；四边形中内辐射边两侧的相邻底角的余切函数之和以及外侧的两辐射边的相邻底角的余切函数之差；

$i$ ——三角形编号。

**3.5.18** 三角形网平差时，观测角（观测方向）和观测边均应视为观测值参与平差，角度和距离的先验中误差，应按本标准第 3.5.12 条、第 3.4.24 条中的方法计算，也可用数理统计等方法求得的经验公式估算先验中误差的值，并用以计算角度（或方向）及边长的权。平差计算按本标准第 3.4.28~3.4.29 条规定执行。

**3.5.19** 三角形网内业计算中数字取位，二等应符合表 3.5.19 的规定，其余各等级应符合本标准表 3.4.30 的规定。

表 3.5.20 内业计算中数字取位要求

等级	观测方向值及各项修正数 (")	边长观测值及各项修正数 (m)	边长与坐标 (m)	方位角 (")
二等	0.01	0.0001	0.001	0.01

### 3.6 自由设站法测量

**3.6.1** 自由设站法适用于控制点的加密测量、需要在测区中心位置临时设站测量（控制点位无法保存）、需要通过控制点（或基准点）坐标传递或连续传递进行施工测量（或变形监测）等情形。

**3.6.2** 作业前，应对周边既有控制点进行检查并采用符合要求的控制点。周边既有控制点个数不少于 3 点，测站至可通视的控制点距离不宜超过 300m，测站与控制点连线的夹角宜为  $30^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 。

**3.6.3** 自由设站法作业宜使用具有自动目标搜索、自动照准、自动观测、自动记录功能的全站仪，仪器标称的测角精度不宜低于  $2''$ ，测距精度宜高于  $2\text{mm}+3\text{ppm} \times D$ 。

**3.6.4** 自由设站法水平角观测应采用全圆方向法观测，其主要技术要求应符合 3.5.1 条的规定，且满足本标准 3.4.8 条、3.4.10 条和 3.4.11 条的要求。测站观测限差应满足表 3.6.4 的要求。若需分组观测，应采用同一归零方向，并重复观测一个方向。

表 3.6.4 水平角观测的主要技术要求

仪器精度等级	半测回归零差 (")	一测回内 2C 互差 (")	同一方向值各测回较差 (")
0.5" 级仪器	3	5	3
1" 级仪器	6	9	6
2" 级仪器	8	13	9

**3.6.5** 自由设站法距离测量宜与水平角观测同时进行，边角同测时距离测回数宜与角度测回数相同，且半测回间的距离互差及测回间的距离互差均不大于 2mm。

**3.6.6** 作业时，宜同时测定测站的温度与气压值进行距离观测值气象改正，温度读数精确至  $0.2^{\circ}\text{C}$ ，气压读数精确至  $0.5\text{hPa}$ 。也可将气象元素直接输入全站仪，利用仪器的内置程序自动进行距离气象改正。

**3.6.7** 自由设站法测量，宜按下列步骤进行：

- 1 根据工程需要和周边控制点精度情况，选择适当精度的全站仪。
- 2 在通视良好的中心区域架设全站仪，在周边可通视的既有控制点（不少于 3 点）架设觇标和反射棱镜，并分别精确量取仪器高和觇标高。
- 3 在全站仪中依次输入既有控制点的点名、坐标与高程值，也可提前录入相关控制点的信息。
- 4 量取并记录测站的温度与气压值，也可将气象元素直接输入全站仪。
- 5 依次选择并瞄准既有控制点，采用全圆方向法逐点逐测回进行方向和距离测量并自动记录。
- 6 利用自由设站法数据处理软件，对观测数据进行处理。也可利用全站仪内置软件直接计算测站坐标与交会残差，并进行残差分析。
- 7 若某个观测方向的计算残差较大，则可舍弃该方向，并重新进行交会计算。
- 8 设站点的位精度满足要求后，方可进行其他工序的测量工作。
- 9 所有测量工作完成后，应进行归零检查，归零差不应大于表 3.6.4 中同一方向各测回较差的 2 倍。

## 4 高程控制测量

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 高程控制测量精度等级的划分，依次为二、三、四、五等。各等级高程控制宜采用水准测量，四等及以下等级可采用电磁波测距三角高程测量，五等也可采用卫星定位高程测量。

**4.1.2** 首级高程控制网的等级，应根据工程规模、控制网的用途和精度要求合理选择。首级网应布设成环形网，加密网宜布设成附和路线或结点网。

**4.1.3** 测区的高程系统，宜采用 1985 国家高程基准。在已有高程控制网的地区测量时，可沿用原有的高程系统；小测区联测有困难时，也可采用假定高程系统。

**4.1.4** 高程控制点间的距离，一般地区应为 1~3km，工业厂区、城镇建筑区宜小于 1km。但一个测区及周围至少应有 3 个高程控制点。

### 4.2 水准测量

**4.2.1** 水准测量的主要技术要求，应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 水准测量的主要技术要求

等级	每千米高差全中误差 (mm)	路线长度 (km)	水准仪型号	水准尺	观测次数		往返较差、附和或环线闭合差	
					与已知点联测	附和或环线	平地 (mm)	山地 (mm)
二等	2	—	DS1	条码因瓦/线条式因瓦	往返各一次	往返各一次	$4\sqrt{L}$	—
三等	6	$\leq 50$	DS1	条码因瓦/线条式因瓦	往返各一次	往一次	$12\sqrt{L}$	$4\sqrt{n}$
			DS3	条码式玻璃钢/双面		往返各一次		
四等	10	$\leq 16$	DS3	条码式玻璃钢/双面	往返各一次	往一次	$20\sqrt{L}$	$6\sqrt{n}$
五等	15	—	DS3	条码式玻璃钢/单面	往返各一次	往一次	$30\sqrt{L}$	—

注：1 结点之间或结点与高级点之间，路线的长度，不应大于表中规定的 0.7 倍。

2  $L$  为往返测段，附和或环线的水准路线长度 (km)； $n$  为测站数。

3 数字水准测量和同等级的光学水准测量精度要求相同，作业方法在没有特指的情况下均称为水准测量。

4 DS1 级数字水准仪若与条码式玻璃钢水准尺配套，其精度相当于 DS3 级。

5 条码式因瓦水准尺和线条式因瓦水准尺在没有特指的情况下均称为因瓦水准尺。

**4.2.2** 水准测量所使用的仪器及水准尺，应符合下列规定：

1 水准仪视准轴与水准管轴的夹角  $i$ ，DS1 型不应超过  $15''$ ；DS3 型不应超过  $20''$ 。

2 补偿式自动安平水准仪的补偿误差  $\Delta\alpha$ ，二等水准不应超过  $0.2''$ ，三等不应超过  $0.5''$ 。

3 水准尺上的米间隔平均长与名义长之差，线条式因瓦水准尺不应超过  $0.15\text{mm}$ ；条形码尺不应超过  $0.10\text{mm}$ ；木质双（单）面水准尺不应超过  $0.5\text{mm}$ 。

**4.2.3** 水准点的布设与埋石，除应符合本标准第 4.1.4 条外还应符合下列规定：

1 点位应选在土质坚实、稳固可靠的地方或稳定的建筑物上，且便于寻找、保存和引测；采用数字水准仪作业时，水准路线还应避开电磁场的干扰。

2 宜采用水准标石，也可采用墙水准点。标志及标石的埋设应符合附录 D 的规定。

3 埋设完成后，二、三等点应绘制点之记，其他控制点可视需要而定。必要时还应设置指示桩。

**4.2.4** 水准观测，应在标石埋设稳定后进行。水准观测宜采用数字水准仪和条形码水准尺作业，也

可采用光学水准仪和线条式因瓦尺或黑红面水准尺作业。

4.2.5 采用数字水准仪作业时，主要技术要求应符合表 4.2.5 的规定。

表 4.2.5 数字水准仪观测的主要技术要求

等级	水准仪级别	水准尺类别	视线长度 (m)	前后视的距离较差 (m)	前后视的距离较差累积和	视线离地面最低高度 (m)	测站两次观测的高差较差 (mm)	数字水准仪重复测量次数
二等	DS1	条码式因瓦尺	50	1.5	3	0.55	0.7	2
三等	DS1	条码式因瓦尺	100	2.0	5	0.45	1.5	2
四等	DS1	条码式因瓦尺	100	5.0	10	0.35	3.0	2
	DS1	条码式玻璃钢尺	100	5.0	10	0.35	5.0	2
五等	DS3	条码式玻璃钢尺	100	近似相等	—	—	—	—

- 注： 1 二等数字水准测量观测顺序，奇数站应为后-前-前-后，偶数站应为前-后-后-前。  
 2 三等数字水准测量观测顺序应为后-前-前-后；四等数字水准测量观测顺序应为后-后-前-前。  
 3 水准观测时，若遇到地面震动较大，应暂时停止测量，直至震动消失。

4.2.6 采用光学水准仪作业时，主要技术要求应符合表 4.2.6 的规定。

表 4.2.6 光学水准仪观测的主要技术要求

等级	水准仪型号	视线长度 (m)	前后视的距离较差 (m)	前后视的距离较差累积 (m)	视线离地面最低高度 (m)	基、辅分划或黑、红面读数较差 (mm)	基、辅分划或黑、红面所测高差较差 (mm)
二等	DS1	50	1	3	0.5	0.5	0.7
三等	DS1	100	3	6	0.3	1.0	1.5
	DS3	75				2.0	3.0
四等	DS3	100	5	10	0.2	3.0	5.0
五等	DS3	100	近似相等	—	—	—	—

- 注： 1 二等光学水准测量观测顺序，往测时，奇数站应为后-前-前-后，偶数站应为前-后-后-前。返测时，奇数站应为前-后-后-前，偶数站应为后-前-前-后。  
 2 三等光学水准测量观测顺序应为后-前-前-后；四等光学水准测量观测顺序应为后-后-前-前。  
 3 二等水准视线长度小于 20m 时，视线高度不应低于 0.3m。  
 4 三、四等水准采用变动仪器高度观测单面水准尺时，所测两次高差较差，应与黑面、红面所测高差之差的要求相同。

4.2.7 两次观测高差较差超限时应重测。重测后，二等水准应选取两次异向观测的合格结果，其他等级则应将重测结果与原测结果分别比较，较差不超过限值时，取其结果的平均数。

4.2.8 当水准路线需跨越江河（湖塘、宽沟、洼地、山谷等）时，应符合下列规定：

- 1 水准作业场地应选在跨越距离较短、土质坚硬、密实便于观测的地方；标尺点须设立或选择其它固定标志。
- 2 两岸测站和立尺点应对称布设。跨越距离小于 200m 时，可采用单线过河；大于 200m 时，应采用双线过河并组成四边形闭合环。往返较差、环线闭合差应符合表 4.2.1 的规定。
- 3 跨河水准观测的主要技术要求，应符合表 4.2.8 的规定。

表 4.2.8 跨河水准测量的主要技术要求

跨越距离 (m)	观测次数	单程测回数	半测回远尺读数次数	测回差 (mm)		
				三等	四等	五等



<200	往返各一次	1	2	—	—	—
200~400	往返各一次	2	3	8	12	25

注：1 一测回的观测顺序：先读近尺，再读远尺；仪器搬至对岸后，不动焦距先读远尺，再读近尺；

2 当采用双向观测时，两条跨河视线长度宜相等，两岸岸上长度宜相等，并应大于 10m；当采用单向观测时，可分别在上午、下午各完成半数工作量。

4 当跨越距离小于 200m 时，也可采用在测站上变换仪器高度的方法进行，两次观测高差较差不应超过 7mm，取平均值作为观测高差。

4.2.9 水准测量的数据处理，应符合下列规定：

1 每条水准路线分测段施测时，应按（4.2.9-1）式计算每千米水准测量的高差偶然中误差，绝对值不应超过本标准表 4.2.1 中相应等级每千米高差全中误差的 1/2。

$$M_{\Delta} = \sqrt{\frac{1}{4n} \left[ \frac{\Delta\Delta}{L} \right]} \quad (4.2.9-1)$$

式中  $M_{\Delta}$  —— 高差偶然中误差(mm)；

$\Delta$  —— 测段往返高差不符值(mm)；

$L$  —— 测段长度(km)；

$n$  —— 测段数。

2 水准测量结束后，应按（4.2.9-2）式计算每千米水准测量高差全中误差，绝对值不应超过本标准表 4.2.1 中相应等级的规定。

$$M_w = \sqrt{\frac{1}{N} \left[ \frac{WW}{L} \right]} \quad (4.2.9-2)$$

式中  $M_w$  —— 高差全中误差(mm)；

$W$  —— 附和或环线闭合差(mm)；

$L$  —— 计算各  $W$  时，相应的路线长度(km)；

$N$  —— 附和路线和闭合环的总个数。

3 当二、三等水准测量与国家水准点附和时，高山地区应进行正常位水准面不平行改正和其重力异常归算改正。

4 各等级水准网，应按最小二乘法进行平差并计算每千米高差全中误差。

5 高程成果的取值，二等水准应精确至 0.1mm，三、四、五等水准应精确至 1mm。

### 4.3 电磁波测距三角高程测量

4.3.1 电磁波测距三角高程测量，宜在平面控制点的基础上布设成三角高程网或高程导线。

4.3.2 电磁波测距三角高程测量的主要技术要求，应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 电磁波测距三角高程测量的主要技术要求

等级	每千米高差全中误差 (mm)	边长 (km)	观测方式	对向观测高差较差 (mm)	附和或环形闭合差(mm)
四等	10	≤ 1	对向观测	$40\sqrt{D}$	$20\sqrt{\sum D}$
五等	15	≤ 1	对向观测	$60\sqrt{D}$	$30\sqrt{\sum D}$

注：1  $D$  为测距边的长度 (km)。

2 起迄点的精度等级，四等应起迄于不低于三等水准的高程点上，五等应起迄于不低于四等的高程点上。

3 路线长度不应超过相应等级水准路线的总长度。

**4.3.3 电磁波测距三角高程观测的技术要求，应符合下列规定：**

- 1 电磁波测距三角高程观测的主要技术要求，应符合表 4.3.3 的规定：

表 4.3.3 电磁波测距三角高程测量的主要技术要求

等级	垂直角观测				边长测量	
	仪器精度等级	测回数	指标差较差 (″)	测回较差 (″)	仪器精度等级	观测次数
四等	2″ 级仪器	3	≤7″	≤7″	10mm 级仪器	往返各一次
五等	2″ 级仪器	2	≤10″	≤10″	10mm 级仪器	往一次

- 2 垂直角的对向观测，当直觇完成后应即刻迁站进行返觇测量；
- 3 仪器、反光镜或觇牌的高度，应在观测前后各量测 1 次，并精确至 1mm，取平均值作为最终高度。

**4.3.4 电磁波测距三角高程测量的数据处理，应符合下列规定：**

- 1 直返觇的高差，应进行地球曲率和折光差的改正。
- 2 平差前，应按本标准 (4.2.9—2) 式计算每千米高差全中误差。
- 3 各等级高程网，应按最小二乘法进行平差并计算每千米高差全中误差。
- 4 高程成果的取值，应精确至 1mm。

#### 4.4 卫星定位高程测量

**4.4.1 卫星定位高程测量，仅适用于五等及以下等级高程测量。**

**4.4.2 卫星定位高程测量作业宜与平面控制测量一起进行，应按本标准第 3.2 节的有关规定执行。**

**4.4.3 卫星定位高程测量联测的主要技术要求，应符合下列规定：**

- 1 卫星定位高程网宜与四等或四等以上的水准点联测。联测的高程点，宜分布在测区的四周和中央。若测区为带状地形，联测的高程点应分布于测区两端及中部。
- 2 联测点数，宜大于选用计算模型中未知参数个数的 1.5 倍，点间距宜小于 10km。
- 3 地形高差变化较大的地区，应适当增加联测的点数。

**4.4.4 卫星定位高程测量数据处理，应符合下列规定：**

- 1 应充分利用区域似大地水准面精化成果或当地的重力大地水准面模型、资料。
- 2 对联测的已知高程点应进行可靠性检验，剔除不合格点。
- 3 对于地形平坦的小测区，可采用平面拟合模型；对于地形起伏较大的大面积测区，宜采用曲面拟合模型或者采用分区拟合的方法进行。
- 4 拟合高程计算，不宜超出拟合高程模型所覆盖的范围。

**4.4.5 对卫星定位高程测量成果，应进行检验。检测点数应不少于全部高程点的 10% 且不少于 3 个点；高差检验，可采用相应等级的水准测量方法或电磁波测距三角高程测量方法进行，高差较差不应大于  $30\sqrt{D}$  mm， $D$  为检查路线的长度，单位为 km。**

## 5 数字地形测量

### 5.1 一般规定

5.1.1 地形图测图的比例尺，根据工程的设计阶段、规模大小和运营管理需要，可按表 5.1.1 选用。

表 5.1.1 测图比例尺的选用

比例尺	用 途
1:5000	可行性研究、总体规划、厂址选择、初步设计等
1:2000	可行性研究、初步设计、矿山总图管理、城镇详细规划等
1:1000	初步设计、施工图设计；城镇、工矿总图管理；竣工验收等
1:500	

注：1 精度要求较低的专用地形图，可按小一级比例尺地形图的规定进行测绘或利用小一级比例尺地形图放大成图；

2 局部施测大于 1:500 比例尺的地形图，除另有要求外，可按 1:500 地形图测量的要求执行。

5.1.2 数字地形测量图形成果分别包括数字地形图、数字线划图（DLG）、数字高程模型（DEM）、数字正射影像图（DOM），特征可按表 5.1.2 分类。

表 5.1.2 数字地形测量图形成果的分类特征

产品特征	图形成果类型					
	纸质地形图原图	数字地形测量图形成果				
		数字地形图	数字线划图	数字高程模型	数字正射影像图	数字三维模型
数据来源	平板测图、人工手绘、模拟航测成图	全站仪测图、卫星定位实时动态测图、扫描数字化	数字测图、数字航空摄影测量、扫描数字化	数字航空摄影、机载激光雷达、3D 激光扫描	数字航空摄影、低空无人机摄影、遥感影像	倾斜摄影测量
技术特性	纸质图可量测、透明底图可晒图复制	地形要素的分类与代码、可量测、编辑、计算、查询	矢量格式、自由缩放、可量测、叠加、漫游、查询	立体直观、自由旋转、可量测切割	精度高、信息丰富、直观逼真、现势性强等	真实性强、性价比高、立体直观、自由旋转、单张影像可量测
表达方法	线划、颜色、符号、注记、等高线、分幅、图廓整饰	线划、颜色、符号、注记、等高线、分幅、图廓整饰	计算机可识别的代码系统和属性特征	矩形格网或三角网（TIN）构建模型	同时具有地图几何精度和影像特征的图像	真实反映地物外观、位置、高度等属性的三维数据模型
数学精度	测量及图解精度	测量精度	测量精度	格网精度、分辨率	空间分辨率	空间分辨率、纹理质量
提交成果	纸质图、必要时附详细部点成果表	各类文件：如原始文件、成果文件、图形信息数据文件等	DLG 数据、元数据和文档资料	DEM 数据、元数据和文档资料	DOM 数据、元数据和文档资料	DSM 数据、纹理数据和文档资料
工程应用	几何作图	借助计算机及其外部设备供规划设计使用	生成地理空间数据库和数字地形图供规划设计使用	数字沙盘、土石方量计算、线路工程选线	城市？管理、农村土地调查、区（流）域生态监测	应急指挥、国土资源管理、数字城市、灾害评估、房产税收等

注：数字地形图同时包括原有纸质地形图的扫描数字化方式。

5.1.3 地形的类别划分和基本等高距的确定，应分别符合下列规定：

1 应根据地面倾角  $\alpha$  大小，确定地形类别；

平坦地：  $\alpha < 3^\circ$ ；

丘陵地：  $3^\circ \leq \alpha < 10^\circ$ ；

山地：  $10^\circ \leq \alpha < 25^\circ$ ；

高山地：  $\alpha \geq 25^\circ$ 。

2 基本等高距，应按表 5.1.3 选用。

表 5.1.3 基本等高距 (m)

地形类别	比 例 尺			
	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
平坦地	0.5	0.5	1	2
丘陵地	0.5	1	2	5
山 地	1	1	2	5
高山地	1	2	2	5

注：1 一个测区同一比例尺，宜采用一种基本等高距；

2 水域测图的基本等深距，可按水底地形倾角所比照地形类别和测图比例尺选择。

5.1.4 地形测量数据源获取的方式，分别包括单基站 RTK 测图、网络 RTK 测图、全站仪测图、地面三维激光扫描测图、移动测量系统测图、低空数字摄影测图和机载激光雷达扫描测图等方法。

5.1.5 地形测量的区域类型，可划分为一般地区、城镇建筑区、工矿区和水域。数字地形测量的基本精度要求，应符合下列规定：

1 地形图图上地物点相对于邻近图根点的点位中误差，不应超过表 5.1.5—1 的规定。

表 5.1.5—1 图上地物点的点位中误差

区域类型	点 位 中 误 差 (mm)
一般地区	0.8
城镇建筑区、工矿区	0.6
水域	1.5

注：1 隐蔽或施测困难的一般地区测图，可放宽 50% ；

2 1:500 比例尺水域测图、其他比例尺的大面积平坦水域或水深超出 20m 的开阔水域测图，根据具体情况，可放宽至 2.0mm。

2 等高（深）线的插求点或数字高程模型格网点相对于邻近图根点的高程中误差，不应超过表 5.1.5—2 的规定。

表 5.1.5—2 等高（深）线插求点的高程中误差

一般地区	地形类别	平坦地	丘陵地	山 地	高山地
	高程中误差 (m)	$\frac{1}{3} h_d$	$\frac{1}{2} h_d$	$\frac{2}{3} h_d$	$1 h_d$
水域	水底地形倾角 $\alpha$	$\alpha < 3^\circ$	$3^\circ \leq \alpha < 10^\circ$	$10^\circ \leq \alpha < 25^\circ$	$\alpha \geq 25^\circ$
	高程中误差 (m)	$\frac{1}{2} h_d$	$\frac{2}{3} h_d$	$1 h_d$	$\frac{3}{2} h_d$

注：1  $h_d$  为地形图的基本等高距 (m)。

2 隐蔽或施测困难的一般地区测图，可放宽 50% 。

3 当作业困难、水深大于 20m 或工程精度要求不高时，水域测图可放宽 1 倍。

3 工矿区细部坐标点的点位和高程中误差，不应超过表 5.1.5—3 的规定。

表 5.1.5—3 细部坐标点的点位和高程中误差

地 物 类 别	点位中误差 (mm)	高程中误差 (mm)
主要建（构）筑物	50	20
一般建（构）筑物	70	30

4 地形点的最大点位间距，不应大于表 5.1.5—4 的规定。

表 5.1.5-4 地形点的最大点位间距 (m)

比例尺		1: 500	1: 1000	1: 2000	1: 5000
一般地区		15	30	50	100
水域	断面间	10	20	40	100
	断面上测点间	5	10	20	50

注：水域测图的断面间距和断面的测点间距，根据地形变化和用图要求，可适当加密或放宽。

5 地形图上高程点的注记，当基本等高距为 0.5m 时，应精确至 0.01m；当基本等高距大于 0.5m 时，应精确至 0.1m。

5.1.6 数字线划图宜采用摄影测量或三维激光扫描方法获取数据源并生成图形成果，线划图上地物点平面位置中误差、高程注记点的高程中误差、等高线高程中误差，应分别符合表 5.1.6-1、表 5.1.6-2 的规定。

表 5.1.6-1 平面位置中误差 (m)

比例尺	地形类别	
	平地、丘陵地	山地、高山地
1:500	0.3	0.4
1:1000	0.6	0.8
1:2000	1.2	1.6
1:5000	2.5	3.75

注：1:500 测图平地、丘陵地的平面位置中误差不能满足表中精度要求时，应采用平高全野外控制布点。

表 5.1.6-2 高程中误差 (m)

地形类别		平地		丘陵地			山地			高山地		
基本等高距		0.5	1.0	0.5	1.0	2.0	1.0	2.0	5.0	1.0	2.0	5.0
1:500	高程注记点高程中误差	0.14	-	0.20	-	-	0.60	-	-	0.80	-	-
	图幅等高线高程中误差	0.17	-	0.25	-	-	0.70	-	-	1.00	-	-
1:1000	高程注记点高程中误差	0.14	0.30	-	0.40	-	0.60	-	-	0.80	1.60	-
	图幅等高线高程中误差	0.17	0.35	-	0.50	-	0.70	-	-	1.00	2.00	-
1:2000	高程注记点高程中误差	0.14	0.30	-	0.40	-	-	1.20	-	-	1.60	-
	图幅等高线高程中误差	0.17	0.35	-	0.50	-	-	1.40	-	-	2.00	-
1:5000	高程注记点高程中误差	-	0.30	-	-	0.80	-	-	2.50	-	-	4.00
	图幅等高线高程中误差	-	0.35	-	-	1.00	-	-	3.00	-	-	5.00

注：1 1:500 测图平地、丘陵地的高程的中误差与 1:1000~1:5000 测图平地的高程的中误差不能满足表中精度要求时，应采用平高全野外控制布点。

2 大面积森林、沼泽和沙漠地区数字线划图的高程中误差可放宽至 1.5 倍，其它特殊要求应在技术设计书中明确规定。

3 1:500~1:5000 比例尺测图的高山地图幅等高线高程中误差及 1:2000、1:5000 比例尺测图的山地图幅等高线高程中误差均取地形变换点处。

5.1.7 数字高程模型宜采用摄影测量方法或三维激光扫描方法获取数据源，数据应由规则格网点数据和特征点数据以及边界数据组成，高程数据取位至 0.1m。数字高程模型格网间距的选取和格网点

高程中误差应符合表 5.1.7 的规定。

表 5.1.7 数字高程模型的格网间距及格网点高程中误差

比例尺	格网间距 (m)	格网点高程中误差(m)			
		平坦地	丘陵地	山地	高山地
1:500	0.5	0.2	0.4	0.5	0.7
1:1000	1.0	0.2	0.5	0.7	1.5
1:2000	2.0	0.4	0.5	1.2	1.5
1:5000	2.5	0.7	1.5	2.5	4.0

注：大面积森林、沼泽等隐蔽地区数字高程模型的高程中误差可放宽至 1.5 倍，内插点的高程中误差可放宽至 1.2 倍。

**5.1.8** 数字正射影像图的数据源宜采用航空摄影测量或卫星遥感方法获取，并通过影像纠正、镶嵌、剪切等技术生成正射影像图，其主要技术要求应符合下列规定：

- 1 数字正射影像图的地面分辨率不应大于表 5.1.8 的规定。

表 5.1.8 数字正射影像图地面分辨率 (m)

比例尺	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
影像地面分辨率(m)	0.1	0.2	0.4	1.0

- 2 数字正射影像图地物点的平面位置中误差，对于平坦地、丘陵地不应大于图上 0.6mm，对于山地、高山地不应大于图上 0.8mm。

**5.1.9** 数字地形图和数字线划图的分幅和编号，应符合下列规定：

- 1 地形图的分幅，可采用正方形或矩形方式。
- 2 图幅的编号，宜采用图幅西南角坐标的千米数表示。
- 3 带状地形图或小测区可采用顺序编号。
- 4 对于已施测过地形图的测区，亦可沿用原有的分幅和编号。

**5.1.10** 数字地形图和数字线划图的图式和要素分类代码的使用，应符合下列规定：

- 1 地形图图式，应符合现行国家标准《国家基本比例尺地图图式 第 1 部分：1:500 1:1000 1:2000 地形图图式》GB/T 20257.1 和《国家基本比例尺地图图式 第 2 部分：1:5000 1:10000 地形图图式》GB/T 20257.2。

- 2 地形图要素分类代码，宜符合现行国家标准《1:500 1:1000 1:2000 地形图要素分类与代码》GB 14804 和《1:5000 1:10000 1:25000 1:50000 1:100000 地形图要素分类与代码》GB/T 15660。

- 3 图式和要素分类代码的不足部分可自行补充，并应编写补充说明。对于同一个工程或区域，应采用相同的补充图式和补充要素分类代码。

**5.1.11** 数字线划图、数字高程模型、数字正射影像图的成果文件命名宜按现行行业标准《基础地理信息数字产品数据文件命名规则》CH/T 1005 的规定命名，数据存储格式宜满足现行国家标准《地理空间数据交换格式》GB/T 17798 的要求。

**5.1.12** 数字测量成果的质量检查，应分别符合下列规定：

- 1 数字地形图，应经过内业检查、实地全面对照及实测检查并满足 5.8.14 条的要求。
- 2 数字线划图，应全部进行内业质量检查并符合 5.9.7 条的规定。
- 3 数字高程模型，应进行外业实测检查并统计精度且应符合 5.10.6 的规定。
- 4 数字正射影像图，应进行数学基础、覆盖范围、影像清晰度、色彩均衡度、镶嵌拼接痕迹及地物点量测检查，并符合 5.11.7 条的规定。

## 5.2 图根控制测量

**5.2.1** 图根平面控制和高程控制测量，可同时进行，也可分别施测。图根点相对于邻近等级控制点的点位中误差不应大于图上 0.1mm，高程中误差不应大于基本等高距的 1/10。

5.2.2 对于较小测区，图根控制可作为首级控制。

5.2.3 图根点点位标志宜采用木（铁）桩，当图根点作为首级控制或等级点稀少时，应埋设适当数量的标石。

5.2.4 解析图根点的数量，一般地区不宜少于表 5.2.4 的规定。

表 5.2.4 一般地区解析图根点的数量

测图比例尺	图幅尺寸 (cm)	解析图根点数量(个)	
		全站仪测图	GPS (RTK) 测图
1:500	50×50	2	1
1:1000	50×50	3	1~2
1:2000	50×50	4	2
1:5000	40×40	6	3

注：表中所列数量，是指施测该幅图可利用的全部解析控制点数量。

5.2.5 图根控制测量内业计算和成果的取位，应符合表 5.2.5 的规定。

表 5.2.5 内业计算和成果的取位要求

各项计算修正值 (" 或 mm)	方位角计算值 (" )	边长及坐标计算 值(m)	高程计算值 (m)	坐标成果 (m)	高程成果 (m)
1	1	0.001	0.001	0.01	0.01

( I ) 图根平面控制

5.2.6 图根平面控制测量，可采用卫星定位实时动态法、图根导线、极坐标法和边角交会法等。

5.2.7 卫星定位实时动态图根控制测量的主要技术要求，应符合下列规定：

1 卫星定位实时动态图根控制测量，可采用单基站 RTK 测量模式也可采用网络 RTK 测量模式直接测定图根点的坐标和高程。接收机的选型与定位卫星的数量、分布，应分别符合本标准第 3.3.3 条、第 3.3.4 条的规定。

2 卫星定位实时动态法图根控制测量的主要技术要求，应符合表 5.2.7 的规定。

表 5.2.7 卫星定位实时动态平面控制测量的主要技术要求

等级	相邻点间距离 (m)	点位中误差 (mm)	边长相对 中误差	起算点 等级	流动站到单基准站 间距离(km)	测回数
图根	≤100	50	≤1/4000	四等及以上	≤6	≥2
				三级及以上	≤3	

注：1 网络 RTK 测量可不受起算点等级、流动站到单基准站间距离的限制，但应在 CORS 系统有效服务范围内。

2 困难地区相邻点间距离缩短至表中的 2/3，边长较差不应大于 2cm。

3 图根控制测量作业的其他技术要求，应符合本标准第 3.3.8~3.3.16 条的规定。

5.2.8 图根控制测量的成果检查，应符合下列规定：

1 检核点应均匀分布于测区的中部及周边。

2 检查方法可采用边长检核、角度检核或导线联测检核等，限差应符合表 3.3.16 的规定。

表 3.3.16 图根控制点检核测量技术要求

等级	边长检核		角度检核		导线联测检核	
	测距中误差 (mm)	边长较差的 相对中误差	测角中误差 (" )	角度较差限差 (" )	角度闭合差 (" )	边长相对 闭合差
图根	20	1/2500	20	60	$60\sqrt{n}$	1/2000

3 外业检核也可采用已知点比较法、复测比较法等，并应按式 (3.3.21) 统计检核点的精度，

检核点的点位中误差  $M_{\Delta}$  不应大于图上 0.1mm，高程中误差不应大于基本等高距的 1/10。

**5.2.9 图根导线测量，应符合下列规定：**

- 1 图根导线测量，宜采用 6"级仪器 1 测回测定水平角。主要技术要求，不应超过表 5.2.9 的规定。

表 5.2.9 图根导线测量的主要技术要求

导线长度(m)	相对闭合差	测角中误差(")		方位角闭合差(")	
		一般	首级控制	一般	首级控制
$\leq \alpha \times M$	$\leq 1/(2000 \times \alpha)$	30	20	$60\sqrt{n}$	$40\sqrt{n}$

注：1  $\alpha$  为比例系数，取值宜为 1，当采用 1:500、1:1000 比例尺测图时， $\alpha$  值可在 1~2 之间选用。

2  $M$  为测图比例尺的分母；但对于工矿区现状图测量，不论测图比例尺大小， $M$  均应取值为 500。

3 隐蔽或施测困难地区导线相对闭合差可放宽，但不应大于  $1/(1000 \times \alpha)$ 。

- 2 在等级点下加密图根控制时，不宜超过 2 次附和。

- 3 图根导线的边长，宜采用电磁波测距仪器单向施测，也可采用钢尺单向丈量。

- 4 图根钢尺量距导线，还应符合下列规定：

- 1) 对于首级控制，边长应进行往返丈量，较差的相对误差不应大于 1/4000。

- 2) 量距时，当坡度大于 2%、温度超过钢尺检定温度范围  $\pm 10^\circ\text{C}$  或尺长修正大于 1/10000 时，应分别进行坡度、温度、尺长的修正。

- 3) 导线长度小于规定长度的 1/3 时，绝对闭合差不应大于图上 0.3mm。

- 4) 对于测定细部坐标点的图根导线，当长度小于 200m 时，绝对闭合差不应大于 0.13m。

**5.2.10 对于难以布设附和导线的困难地区，可布设成支导线。支导线的水平角观测可用 6"级经纬仪施测左、右角各 1 测回，其圆周角闭合差不应超过 40"。边长应往返测定，其较差的相对误差不应大于 1/3000。导线平均边长及边数，不应超过表 5.2.10 的规定。**

表 5.2.10 图根支导线平均边长及边数

测图比例尺	平均边长 (m)	导线边数
1:500	100	3
1:1000	150	3
1:2000	250	4
1:5000	350	4

**5.2.11 极坐标法图根点测量，应符合下列规定：**

- 1 宜采用 6"级全站仪或 6"级经纬仪加电磁波测距仪，角度、距离 1 测回测定。

- 2 观测限差，不应超过表 5.2.11-1 的规定。

表 5.2.11-1 极坐标法图根点测量限差

半测回归零差 (" )	两半测回角度较差 (" )	测距读数较差 (mm)	正倒镜高程较差 (m)
$\leq 20$	$\leq 30$	$\leq 20$	$\leq h_d/10$

注： $h_d$  为基本等高距 (m)。

- 3 测设时，可与图根导线或二级导线一并测设，也可在等级控制点上独立测设。独立测设的后视点，应为等级控制点。

- 4 在等级控制点上独立测设时，可直接测定图根点的坐标和高程，并将上、下两半测回的观测值取平均值作为最终观测成果，点位误差应满足本标准第 5.2.1 条的要求。

- 5 极坐标法图根点测量的边长，不应大于表 5.2.11-2 的规定。

表 5.2.11-2 极坐标法图根点测量的最大边长

比 例 尺	1:500	1:1000	1:2000	1:5000



最大边长 (m)	300	500	700	1000
----------	-----	-----	-----	------

6 使用时, 应对观测成果进行充分校核。

5.2.12 图根解析补点, 可采用有校核条件的测边交会、测角交会、边角交会或内外分点等方法。采用测边交会和测角交会时, 交会角应在  $30^\circ \sim 150^\circ$  之间, 观测限差应满足表 5.2.11—1 的要求。分组计算所得坐标较差, 不应大于图上 0.2mm。

### (II) 图根高程控制

5.2.13 图根高程控制, 可采用图根水准、电磁波测距三角高程和卫星定位 RTK 测量方法。

5.2.14 图根水准测量, 应符合下列规定:

- 1 起算点的精度, 不应低于四等水准高程点。
- 2 图根水准测量的主要技术要求, 应符合表 5.2.14 的规定。

表 5.2.14 图根水准测量的主要技术要求

每千米高差全中误差 (mm)	附和路线长度 (km)	水准仪型号	视线长度 (m)	观测次数		往返较差、附和或环线闭合差 (mm)	
				附和或闭合路线	支水准路线	平地	山地
20	$\leq 5$	DS10	$\leq 100$	往一次	往返各一次	$40\sqrt{L}$	$12\sqrt{n}$

注: 1  $L$  为往返测段、附和或环线的水准路线的长度 (km);  $n$  为测站数;

2 水准路线布设成支线时, 路线长度不应大于 2.5km。

5.2.15 图根电磁波测距三角高程测量, 应符合下列规定:

- 1 起算点的精度, 不应低于四等水准高程点。
- 2 图根电磁波测距三角高程的主要技术要求, 应符合表 5.2.15 的规定。

表 5.2.15 图根电磁波测距三角高程的主要技术要求

每千米高差全中误差 (mm)	附和路线长度 (km)	仪器精度等级	中丝法测回数	指标差较差 (")	垂直角较差 (")	对向观测高差较差 (mm)	附和或环形闭合差 (mm)
20	5	6" 级仪器	2	25	25	$80\sqrt{D}$	$40\sqrt{\Sigma D}$

注:  $D$  为电磁波测距边的长度 (km)。

3 仪器高和觇标高的量取, 应精确至 1mm。

5.2.16 卫星定位 RTK 图根高程控制测量作业方法, 应符合本章 5.2.7 条的规定。

## 5.3 测绘方法与技术要求

### (I) RTK 测图

5.3.1 RTK 测图应使用双频或多频卫星定位接收机, 仪器标称精度不低于  $10\text{mm}+5\text{ppm}$ ; 作业可采用单基站 RTK 模式, 也可采用网络 RTK 模式。在已建立连续运行参考站系统的区域, 宜采用网络 RTK 测量。在建筑物或林木密集区域, 宜采用多星座系统。

5.3.2 作业前, 应搜集下列资料:

- 1 测区的控制点成果、卫星定位测量资料及连续运行参考站系统的覆盖情况。
- 2 测区的平面基准和高程基准的参数, 包括: 参考椭球参数, 中央子午线经度, 纵、横坐标的加常数, 投影面正常高, 平均高程异常等。
- 3 定位卫星系统的地心坐标框架与测区地方坐标系的转换参数及相应参考椭球的大地高基准与测区的平面高程基准的转换参数。
- 4 网络 RTK 使用前, 应在其服务中心进行登记、注册, 获得系统服务的授权。

5.3.3 转换关系的建立, 应符合下列规定:

- 1 基准转换, 可采用重合点求定参数 (七参数或三参数) 的方法进行。
- 2 坐标转换参数和高程转换参数的确定宜分别进行; 坐标转换位置基准应一致, 重合点的个数

不少于四个，且应分布在测区的周边和中部；高程转换可采用拟合高程测量的方法，按本标准第 4.4 节的有关规定执行。

3 坐标转换参数也可直接应用测区 GPS 网二维约束平差所计算的参数。

4 对于面积较大的测区，需要分区求解转换参数时，相邻分区应不少于 2 个重合点。

5 转换参数宜采取多种点组合方式分别计算，再进行优选。

**5.3.4** 既有转换参数（模型）的应用，应符合下列规定：

1 转换参数（模型）的应用，不应超越转换参数的计算所覆盖的范围，且参考系统使用正确。

2 正式使用前，应对转换参数(模型)的精度、可靠性进行分析和实测检查。检查点应分布在测区的中部和边缘。采用 RTK 图根点测量方法检测，其检测结果平面较差不应大于图上 0.1mm，高程较差不应大于等高距的 1/10；超限时，应分析原因并重新建立转换关系。

3 对于地形趋势变化明显的大面积测区，应绘制高程异常等值线图，分析高程异常的变化趋势是否同测区的地形变化相一致。当局部差异较大时，应加强检查，超限时，应进一步精确求定高程拟合方程。

4 网络 RTK 的平面坐标系与项目坐标系不兼容时，应通过校准建立转换关系。

**5.3.5** 单基站点位的选择，应符合下列规定：

1 应根据测区面积、地形地貌和数据链的通讯覆盖范围，均匀布设参考站。

2 单基站点位的地势应相对宽阔，周围无高度角超过 15°的障碍物和强烈干扰接收卫星信号或反射卫星信号的物体。

3 单基站的有效作业半径，不应超过 10km。

**5.3.6** 单基站的设置，应符合下列规定：

1 接收机天线应精确对中、整平。对中误差不应大于 5mm；天线高独立量取两次，交叉应小于 3mm。

2 正确连接天线电缆、电源电缆和通讯电缆等；接收机天线与电台天线之间的距离，不宜小于 3m，电台天线设置应尽可能高。

3 电台频率的选择，不应与作业区其他无线电通信频率相冲突。

**5.3.7** 流动站的作业，应符合下列规定：

1 流动站接收机天线高设置宜为 2m，变换天线高时须对手簿作相应更改。

2 流动站作业的有效卫星数不宜少于 6 个，多星座系统有效卫星数不宜少于 7 个，PDOP 值应小于 5，并应采用固定解成果，其水平均方根误差应小于 2cm（或 3cm），垂直均方根误差应小于 5cm；

3 应正确设置项目参数、天线高、天线类型、PDOP、高度角、QC 值等。

4 每点观测时间不应少于 5 个历元（1 秒历元）。

5 流动站的初始化，应在比较开阔的地点进行。

6 作业前，宜检测二个以上不低于图根精度的已知点。检测结果与已知成果的平面较差不应大于图上 0.2mm，高程较差不应大于基本等高距的 1/5。

7 作业中，如出现卫星信号失锁，应重新初始化，并经重合点测量检查合格后，方能继续作业。

8 结束前，应进行已知点检查。

9 每日观测结束，应及时转存测量数据至计算机并做好数据备份。

10 数字地形图的测绘，按本节 5.3.6 条执行。

**5.3.8** 分区作业时，应测出各区界线外图上 5mm。

**5.3.9** 不同基准站作业时，流动站应检测一定数量的地物重合点。点位较差不应大于图上 0.6mm，高程较差不应大于基本等高距的 1/3。

**5.3.10** 对采集的数据应进行检查处理，删除或标注作废数据、重测超限数据、补测错漏数据。

## (II) 全站仪测图

**5.3.11** 全站仪测图所使用的仪器和应用程序，应符合下列规定：

- 1 宜使用 6"级全站仪，其测距标称精度不应低于 10mm+5ppm。
- 2 测图的应用程序，应满足内业数据处理和图形编辑的基本要求。
- 3 数据通讯格式，宜采用或能够转换为通用数据格式。

**5.3.12** 全站仪测图的方法，可采用编码法、草图法或内外业一体化的实时成图法等。

**5.3.13** 全站仪测图的仪器安置及测站检核，应符合下列要求：

- 1 仪器的对中偏差不应大于 5mm，仪器高和反光镜高应量至 1mm。
- 2 数据采集开始前和结束后，应对后视点的距离和高程进行检核，检核的距离较差不应大于图上 0.2mm，高程较差不应大于基本等高距的 1/5。
- 3 作业过程中和作业结束前，应对定向方位进行检查。

**5.3.14** 全站仪测图的测距长度，不应超过表 5.3.14 的规定。

表 5.3.14 全站仪测图的最大测距长度

比例尺	最大测距长度 (m)	
	地物点	地形点
1:500	160	300
1:1000	300	500
1:2000	450	700
1:5000	700	1000

**5.3.15** 数字地形图测绘，应符合下列要求：

- 1 当采用草图法作业时，应按测站绘制草图，并对测点进行编号。测点编号应与仪器的记录点号相一致。草图的绘制，宜简化标示地形要素的位置、属性和相互关系等。
- 2 当采用编码法作业时，宜采用通用编码格式，也可使用软件的自定义功能和扩展功能建立用户的编码系统进行作业。
- 3 当采用内外业一体化的实时成图法作业时，应实时确立测点的属性、连接关系和逻辑关系等。
- 4 在建筑密集的地区作业时，对于全站仪无法直接测量的点位，可采用支距法、线交会法等几何作图方法进行测量，并记录相关数据。

**5.3.16** 全站仪测图，可按图幅施测，也可分区施测。按图幅施测时，每幅图应测出图廓线外 5mm；分区施测时，应测出各区界线外图上 5mm。

**5.3.17** 对采集的数据应进行检查处理，删除或标注作废数据、重测超限数据、补测错漏数据。对检查修改后的数据，应及时与计算机联机通讯，生成原始数据文件并做备份。

## (III) 地面三维激光扫描测图

**5.3.18** 地面三维激光扫描仪可应用于 1:500 和 1:1000 比例尺的地形图测量，也可用于更大比例尺的地形测图。作业时应采用 RTK 或全站仪作业模式进行地面控制测量与标靶测量。

**5.3.19** 地面三维激光扫描测图在地形测绘中应科学设置公共控制点，并将所有的坐标系转换到同一公共坐标系中。

**5.3.20** 作业前，应做下列准备工作：

- 1 依据区域类型及地物点的点位中误差，按表 5.3.20 点云测量要求设置采样点间距。

表 5.3.20 点云测量要求 (图上 mm)

等级	特征点间距中误差	点位相对于临近控制点中误差	采样点间距
一般地区	0.6	≤0.8	≤0.2
城镇建筑区、工矿区	0.5	≤0.6	≤0.1
水域	1.2	≤1.5	≤0.3

注：采样点间距指在有效测程内的数据采集设置的点间距。

- 2 检查地面三维激光扫描仪各部件状态及连接情况、电源与内存容量、通电后的工作状态。
- 3 具有对中功能的地面三维激光扫描仪应进行对中功能检查。

4 对外置同轴相机的参数进行检查，分别包括相机主距、像主点、畸变参数、相对于扫描仪的安装姿态参数等的标定。

**5.3.21** 地面三维激光扫描作业应依地面控制测量、扫描站布测、标靶布测、设站扫描、外业数据检查与备份的流程进行。

**5.3.22** 地面控制网及标靶测量应整体设计，分级布设，并应符合下列规定：

1 控制点位应均匀分布在物方且能有效控制扫描对象的范围，若采用分区扫描作业，还应兼顾各区扫描点云数据的配准要求；小区域控制点的数量不少于 4 个；大区域控制点按 500m 间距布设。

2 当扫描对象一侧难以满足控制点的布设要求且扫描基站一侧有条件布设更高精度的控制点时，控制点可只布设在扫描基站附近，但要求控制点易于辨识，测量精度提高一级。

3 当物方为高反射率的规则目标时，可直接利用其特征位置作为控制点，否则应在物方安置标靶。

4 控制点联测宜与激光扫描同步进行；

5 对具有对中整平装置的 3D 激光扫描仪，宜在图根及以上等级控制点上设站扫描。扫描前，仪器应整平对中，后续定向处理时基站点可作为控制点使用；

6 若在同一次扫描中单独定义扫描控制点区域时，扫描间隔宜按标靶上可获得的激光点不少于 9 个进行确定。

**5.3.23** 标靶的规格宜满足下列要求：

1 标靶宜为规则的球状目标，目标直径应大于该处预计扫描点间距的 3~5 倍。

2 当标靶布设在扫描对象一侧时，可使用半球面标靶。

3 若扫描仪具有分区域定义扫描分辨率的功能，可在扫描对象一侧使用较小直径的标靶并专门对其定义 1cm~2cm 的扫描间隔；标靶应架设在空旷突出位置，提高其在点云中的空间分辨效果。

**5.3.24** 标靶布设与观测应符合下列规定：

1 标靶应在扫描范围内均匀布置且高低错落，每一扫描站的标靶个数应不少于 4 个，相邻两扫描站的公共标靶个数应不少于 3 个。

2 明显的地物特征点可作为标靶使用。

3 标靶位置宜采用 RTK 进行测量，也可采用全站仪测量。观测时，可在同一参考站（控制点）观测两测回，或在不同参考站（控制点）施测两次，平面、高程较差应不大于 2cm，取平均值作为最终成果。

**5.3.25** 测站扫描应符合下列规定：

1 测站视野应开阔，且能有效覆盖扫描区域内的地物、地形、地貌等，并在此基础上尽可能减少测站的数量。

2 根据测区比例尺的要求调整采样精度，使采集到的数据更加匹配。

3 测区面积较大时，应分区扫描然后进行配准拼接。不同测站位置、不同视角的扫描区域的重叠度不宜小于 20%。

4 测站可布设在高处，在扫描仪有效测程内扫描光束与地面的交角以正交为宜。

5 物方设置标靶时，应精确识别并扫描标靶。

6 项目需要时，宜在激光扫描的同期获取影像数据。

- 7 应在大比例尺地形图、平面图或草图上标注扫描测站位置和扫描日期。
  - 8 扫描过程中若出现断电、死机、仪器位置变动等情形，应初始化扫描仪，并重新扫描。
  - 9 扫描作业结束后，应将扫描数据及时备份，并检查点云数据覆盖范围完整性、标靶数据完整性和可用性。对缺失和异常数据，应及时补扫。
  - 10 受物体遮挡激光扫描区域没有激光点云数据时，可在现场选取另一处可通视位置作为辅助扫描基站进行补充扫描，也可使用其它方法进行点云的补充。
- 5.3.26** 宜采用多视角、多点位测设的方式，弥补一次扫描精度不足的缺陷，并将三维激光扫描仪布设于各控制点形成的扫描重叠区进行扫描。
- 5.3.27** 地面三维激光扫描数据处理应依点云拼接、绝对定向、降噪与抽稀、图像数据处理、彩色点云制作、三维建模、DEM 制作、数字线划图生成等流程进行。数据处理的主要技术要求，应符合下列规定：
- 1 扫描点云可选择控制点、标靶或地物特征点进行拼接，应采用不少于 3 个同名点，拼接后同名点的点位中误差应不低于表 5.3.20 中特征点间距中误差的 1/2。
  - 2 拼接后的点云数据，应采用不少于 3 个均匀分布的已知点（标靶或站心点）进行整体点云的绝对定向。定向残差应小于表 5.3.20 中点位相对于临近控制点中误差的 1/2；单测站点云数据的绝对定向可采用已知点和已知方位。
  - 3 根据项目要求可对点云数据进行降噪与抽稀，降噪处理应采用滤波或人机交互模式，抽稀不影响目标物特征识别与提取，且抽稀后点间距应满足表 5.3.20 的要求。
  - 4 图像数据处理分别包括色彩调整、畸变纠正、图像配准和数据转换。色彩调整应做到反差适中、色彩一致；畸变纠正应消除视角或镜头畸变引起的图像变形；图像配准应做到图像细节清晰、无配准镶嵌缝隙；图像数据宜转换成通用数据格式。
  - 5 可根据点云识别及可视化要求，利用扫描时获取的影像数据为点云着色，制作彩色点云数据。
  - 6 将需要建模区域的点云数据导入三维建模软件构建区域模型。
  - 7 DEM 制作分别包括地面点提取，特征点线提取，三角网（或规则格网）构建及模型内插、接边、镶嵌、裁切等，以及 DEM 模型数据编辑与外业检查等等。
  - 8 对内业无法判定点云数据的地物应进行外业核查和补测。
- 5.3.28** 地物绘制前，需将特征点与原始点云数据再次核对，确保特征点的位置正确。等高线绘制时，应同时比对原始点云数据及影像数据，确保真实、完整反映地形的起伏变化特征。
- 5.3.29** 在数字地形图生成前，应对点云数据的精度进行检查。检查时可由点云数据提取特征点，并与 RTK 或者全站仪测量的同名点进行比对，统计检查的中误差应满足表 5.3.20 的要求。

#### (IV) 移动测量系统测图

- 5.3.30** 移动测量系统作业，需满足以下基本要求：
- 1 应保障设备工作正常，出现异常情况时应做好记录。
  - 2 对于遮挡严重或无法进入的路段应做好记录，现场条件允许时，应及时补采。
  - 3 恶劣天气出现时，应停止作业并对系统设备做好防护措施。
  - 4 对采集的相关数据，应及时做好质量检查和数据备份工作。
- 5.3.31** 移动测量系统作业前的准备工作，包括资料收集与分析、现场踏勘、设备校验、技术设计、路线规划、控制测量、基准站设计等内容。
- 5.3.32** 移动测量系统的校验，应符合下列规定：
- 1 作业前，应采用室外检验场实测 POS 系统、激光扫描仪、相机的主要参数以及（及其）相对位置关系。
  - 2 绝对标定距离应根据项目测距范围确定，不宜小于 20m，激光雷达标定点密度不宜小于

50p/m<sup>2</sup>。

3 检校限差应满足平面位置较差不大于 0.05m，高程较差不大于 0.05m。

4 可量测相机内方位元素不低于 0.5 像素。

5 可量测相机姿态位置的线元素不大于 1cm，角元素不低于 0.01°。

6 激光扫描仪姿态位置的线元素不大于 1cm，角元素不低于 0.01°。

**5.3.33** 移动测量系统的路线规划，需顾及测区道路交通情况、导航定位卫星信号的接收情况和太阳方位角，并满足下列要求：

1 路线规划包括初始化位置、结束位置、行进路线、移动速度、保障措施等。

2 宜先沿主要道路、河流规划，再沿次要道路、支流规划外业采集路线。

3 采集时，宜沿直行道路优先采集，双向通行道路宜往返采集，并应避免重复。

4 作业时段，宜选择天气较好、光线充足、行人车辆较少的时间段采集。

5 在导航定位卫星信号较差，无法满足观测精度要求的区段，应布设地面控制点。

**5.3.34** 移动测量系统的基准站，宜选择连续运行参考站（CORS）。当需自行布设基准站时，宜在已知点上架设双基准站，精度不低于一级，有效作业半径不大于 10km，视场内障碍物的高度角不大于 15°。

**5.3.35** 基准站作业，应符合下列规定：

1 基准站观测时间段，应覆盖移动测量系统的数据采集时间；基准站数据采样间隔不应大于 1s。

2 基准站观测人员不得离开基准站，并应避免基准站受到震动或被移动，防止人员和车辆靠近。

3 作业期间不得改变基准站天线的位置和高度，也不得在基准站旁使用手机、对讲机等无线电通信设备。

**5.3.36** 移动测量系统数据采集作业前，应对车辆与供电设备状态、各组件连接与工作状态、数据存储和备份空间、卫星定位测量基准站状态进行检查，符合要求后，才能开始数据采集。

**5.3.37** 定位定姿数据采集，应符合下列规定：

1 每次作业前应采用静态或动态方式进行 IMU 初始化，初始化地点应空旷、无遮挡、无高压线或高压铁塔，避开水塘和桥梁。

2 初始化作业应在导航定位卫星信号正常，有效卫星数不少于 6 颗，PDOP 小于 4 时进行。

3 数据采集结束后，应检查数据完整性，对于临时基准站应将点位进行标识。

**5.3.38** 实景影像采集，应符合下列规定：

1 采集过程中，应注意避免逆光；进出隧道、立交桥等光线变化较大区段时，应降低车速，及时调整曝光、增益等参数；

2 影像采集宜采用距离触发方式，并根据影像采集设备的性能控制采集速度，保证曝光间距满足项目对影像的要求。

**5.3.39** 视频采集时，应注意临停车时宜暂停视频采集，对保密点应作录音说明。

**5.3.40** 激光点云采集，应符合下列规定：

1 激光数据的回波比例不低于 90%。

2 根据激光扫描仪的性能，控制采集速度，保证点云密度满足项目要求。

**5.3.41** 数据处理流程包括对定位定姿数据、实景影像、全景影像、视频、激光点云等数据的预处理与数据融合处理，处理后数据文件的组织与存储管理应符合 CH/T 6003-2016《车载移动测量数据规范》的相关规定。

**5.3.42** 定位定姿数据处理，应符合下列规定：

1 选取距当次测量区域最近的卫星定位测量基准站数据进行解算或采用多基站数据联合解算。

2 在导航定位卫星信号较差或者长期失锁的情况下，应采取地面控制点纠正的方法提高定位定姿处理精度。

3 应输出定位定姿精度、初始化参数等信息。

4 应根据工程要求和实际测量情况进行控制点纠正。

5 导航定位卫星信号观测良好情况下组合导航定位数据处理结果应满足项目要求。

表 5.3.42 GNSS/IMU 联合平差中误差要求

项目	中误差
平面位置	<0.03 m

高程	<0.06 m
侧滚角	<0.03 °
俯仰角	<0.03 °
行车方向偏角	<0.05 °

**5.3.43** 实景影像数据处理，应符合下列规定：

- 1 地理参考后的实景影像应包含坐标和时间信息，对于可量测实景影像还应包含姿态信息。
- 2 应根据项目要求进行匀光匀色处理。
- 3 应根据相关规定进行加密和隐私处理。

**5.3.44** 全景影像与视频数据处理，应符合下列规定：

- 1 全景影像的拼接错位不应大于 5 个像素。
- 2 视频数据、全景影像应匹配坐标和时间信息，全景影像还宜匹配姿态信息。
- 3 应根据项目要求进行匀光匀色处理。
- 4 应根据相关规定进行加密和隐私处理。
- 5 车载可定位视频的数据精度，其平面精度应优于 2 米，高程精度应优于 5 米。
- 6 在车载运动状态下进行动态测量，全景影像测量精度标准按表 5.3.44 的规定执行。

表 5.3.44 车载全景影像测量精度标准 (m)

级别	平面精度	高程精度	相对量测精度
1级	0.5	1.0	0.2
2级	5.0	10.0	0.2

**5.3.45** 激光点云数据处理，应符合下列规定：

- 1 激光点云应包含绝对坐标和时间信息。
- 2 应对激光点云进行噪声处理，确保噪声率不高于 5%。
- 3 激光点云精度，按表 5.3.45 的规定执行。

表 5.3.45 车载激光扫描数据精度 (m)

级别	平面精度	高程精度	距离范围
1级	0.05	0.05	50
2	0.1	0.1	100
3	0.2	0.2	200

**5.3.46** 应通过相机的精确外方位元素和点云坐标来计算查找与点云精确对应的影像值进行点云与影像融合。

**5.3.47** 地理要素的采集，应符合下列规定：

- 1 地理要素的分类与代码，应符合国家标准《基础地理信息要素分类与代码》GB/T 13923 的相关规定。
- 2 宜采用交互立体量测模式采集管线、管线井、独立树、电线杆、电力线等独立地物要素和线要素。
- 3 宜采用切片投影式采集房屋、道路、植被、河流等线状、面状地物要素。
- 4 应根据矢量要素类型、位置，设置切片点云的层数、厚度。
- 5 根据切片点云，描绘编辑矢量要素。

**5.3.48** 数据输出格式，应符合下列规定：

- 1 实景影像的影像数据，采用 jpg 或 tif 格式；可量测实景影像定向数据采用 txt 格式。
- 2 360 度全景影像数据，采用 jpg 或 tif 格式。
- 3 车载激光扫描数据，采用 LAS 格式。
- 4 车载移动视频数据，采用 MPEG-4 或 MPEG-2 格式。车载可定位视频包含车载视频数据、视频拍摄时间参数数据和车载平台的三维位置数据。
- 5 车载平台的三维位置数据，采用 txt 格式。
- 6 视频拍摄的时间参数数据，采用 txt 格式。

**5.3.49** 移动测量系统外业数据采集结束后应进行数据检查，内容包括：点云精度、全景影像与点云配准精度、全景影像质量及数量、测区覆盖情况、工程之间叠加检查等。经过检查合格的数据，才能进入下一步内业采集提取。

#### (V) 低空数字摄影测图

**5.3.50** 低空数字摄影测图适用于 1: 500、1: 1000、1: 2000、1:5000 航测成图。

**5.3.51** 低空数字摄影飞行器的有效载荷不低于 3Kg, 续航能力宜大于 1.5h, 巡航速度不大于 120km/h, 且能够加载卫星导航定位设备和定位定姿系统。

**5.3.52** 低空数字摄影相机的成像探测器面阵应不小于 2000 万像素，最高快门速度应不低于 1/1000 秒，镜头应采用对焦无限远定焦焦距镜头。

**5.3.53** 低空数字摄影相机的在使用前应进行检校，包括相机的主点坐标、主距和畸变差方程系数检校及外业检校场检校，按《数字航摄仪检定规程按》CH/T 8021。

**5.3.54** 低空摄影的飞行质量，分别包括：航向倾角、航摄旋偏角、航线弯曲度、航高差、影像航向（旁向）重叠度及航摄分区等技术要求，应符合国家标准《工程摄影测量规范》GB 50167 的相关规定。

**5.3.55** 低空数字航摄影像的质量，应符合下列规定：

- 1 影像分辨率应不低于 25 $\mu$ m。
- 2 影像应清晰，层次丰富，反差适中，色调柔和；须能辨认出与地面分辨率相适应的细小地物影像，能够建立清晰的立体模型。
- 3 影像上不应有云、云影、烟、大面积反光、污点等缺陷。若影像存在少量缺陷，但不应影响立体模型的连接和立体采编。
- 4 在曝光瞬间，因飞机飞行造成的像点位移不宜大于 1 个像素，最大不应大于 1.5 个像素。
- 5 拼接影像应无明显模糊、重影和错位现象。

**5.3.56** 像控点布设和空中三角测量的主要技术要求，应满足下列要求：

- 1 像控点布设可根据航线数目选用航线网布点或区域网布点。
- 2 像控点测量可采用导线测量、卫星定位测量或 RTK 测量方法，测量的相关技术要求应满足本标准 5.2 节的规定。
- 3 空中三角测量分别包括航摄影像的内定向、相对定向、绝对定向和网平差计算等，对于具有卫星导航定位和惯性导航系统的辅助空中三角测量，在网平差时应导入摄站坐标、像片外方位元素进行联合平差。
- 4 像控点布设和空中三角测量的其他技术要求，应符合国家标准《工程摄影测量规范》GB 50167 的相应规定。

**5.3.57** 低空数字摄影的数据质量检查，应进行飞行质量检查、POS 数据检查、影像质量检查、空三质量检查等。检查合格后，方能进行内业的数据采集。

#### (VI) 机载激光雷达 (LiDAR) 扫描测图

**5.3.58** 机载激光雷达扫描航飞应根据所使用的机载激光雷达 (LiDAR) 和数码相机的技术参数以及采集数据的精度要求进行设计，并应符合下列要求：

- 1 激光数据航带间不得有绝对漏洞，旁向重叠宜为 20%，最低不应小于 10%。
- 2 航线数据文件应包括航线号、航带顺序及系统工作参数等信息。
- 3 航线布设宜在中高分辨率的具有空间地理定位的卫星遥感影像上进行，也可在表 5.3.55-1 规定比例尺的纸质地形图上布设。

表 5.3.58-1 航飞设计用图比例尺选择



测图比例尺	航飞设计用图比例尺
1:500	1:10000~1:25000
1:1000	
1:2000	
1:5000	1:25000~1:50000

4 机载激光雷达测图相对航高和点云密度,宜根据用户的使用要求确定,也可按表 5.3.55-2 选用。

表 5.3.58-2 机载激光雷达测图相对航高和点云密度

测图比例尺	航高	扫描点间距 (m)	扫描点云密度 (点/m <sup>2</sup> )
1:500	500	0.4	6.25
1:1000	1000	0.7	2.04
1:2000	2000	1.2	0.69
1:5000	3000	2.5	0.16

5 激光点精度应满足本标准 5.1.5 条的相关点位精度要求。植被茂密或低反射率地区,激光点的精度可放宽 50%。

**5.3.59** 地面基站布设与控制联测应符合下列要求:

1 激光雷达扫描测量作业时,应布设 1~3 个卫星定位地面基站,基站间距以 15~30km 为宜,特殊情况站间距不应超过 50km。

2 卫星定位的数据采样间隔不宜大于 1 秒,同步观测的有效卫星数不少于 5 颗。PDOP 值不应大于 6,卫星定位宜采用载波相位实时动态差分模式,并采用双差固定解成果。

3 地面基站可就近联测国家高等级控制点。

4 地面基站的点位精度宜采用本标准表 3.2.1 中一级控制点的要求。

**5.3.60** 检校场宜选择就近的同类型检校场。当需要在测区进行检校时,检校场的布设应按《工程摄影测量规范》GB 50167 的有关规定执行,并利用检校场飞行数据和偏心测量数据,计算出侧滚角(Roll)、俯仰角(Pitch)和航偏角(Heading)的偏心角分量。

**5.3.61** 机载激光雷达扫描测图,应符合下列要求:

1 激光雷达扫描测量前,应精确测定激光扫描仪、惯性导航仪(IMU)和数码相机的偏心分量,精确至 10mm;对激光雷达扫描设备的飞行控制系统、激光扫描仪和数码相机、卫星定位接收机天线及惯性导航仪(IMU)的工作状态进行检查,完好后方可航飞扫描。

2 分别设置激光雷达设备的扫描镜摆动角度、扫描频率、脉冲等工作参数和数码相机的曝光度、快门速度、ISO 值等参数。

3 飞机进入预设航线,红外激光发生器向扫描镜连续发射激光,随飞机和扫描镜的运动,扫描激光光束覆盖整个测区。同时数码相机根据预设参数自动获取测区影像,必要时可通过显示屏的影像质量随时调整相机参数。

**5.3.62** 机载激光雷达扫描数据处理应结合 POS 数据、卫星导航定位数据进行联合平差计算;必要时应对点云数据进行分类,将建筑物、植被等非地表数据与纯地表数据进行分离,并分层存储。

**5.3.63** 机载激光点云数据应转换为用户坐标系和用户高程系,测区平面坐标转换按照本标准 3.3.20 条的规定执行;测区卫星定位拟合高程测量计算按照本标准 4.4 节的规定执行。

**5.3.64** 机载激光雷达扫描的数据质量检查,应包括下列内容:

1 检查地面基站数据是否记录完整,分析该数据的可靠性。

2 检查 POS 数据的数量是否完整,进行质量评定,对于数据不完整测区进行补测。

3 检查激光点云数据,查看数据完整性,检查有无数据漏洞,分析并剔除点云数据中的粗差点。

4 检查影像数据是否完整,有无漏片;曝光是否正常,云影、清晰度、色彩是否满足要求。

## 5.4 一般地区地形测图

**5.4.1** 一般地区地形测量宜采用 RTK 测图或全站仪测图方法。

**5.4.2** 地形测绘的内容应包括测量控制点、水系、居民地及设施、交通、管线及附属设施、境界、地貌、植被与土质等要素，并应注记地理名称、说明、各种数字的必要内容。

**5.4.3** 各等级测量控制点应测量其几何中心位置，并表示其类型、等级、点名和高程。

**5.4.4** 水系及附属设施，应按实际形状测绘，水涯线宜按当日水位测定。水渠应测注渠顶边高程；堤、坝应测注顶部及坡脚高程；泉、井应测注泉的出水口或井台高程；水塘应测量塘顶边，小型鱼塘、水塘根据需要测注水面高程。当河沟、水渠在地形图上的宽度小于 1mm 时，可用单线表示。

**5.4.5** 居民地各类建筑物及其主要附属设施应按外围轮廓测绘，根据测图比例尺大小或用图需要，对测绘内容和取舍范围可适当加以综合。临时性建筑可不测。

建筑物外廓以墙基为准，并注明结构和层数。当建（构）筑物轮廓凸凹部分在 1:500 比例尺图上小于 1mm 或在其他比例尺图上小于 0.5mm 时，可综合舍去。

**5.4.6** 独立性地物的测绘，能按比例尺表示的，应实测外廓，填绘符号；不能按比例尺表示的，应准确表示其定位点或定位线。

**5.4.7** 一般地区的居民地名称、政府机关、工厂、学校、农场、企业单位以及具有标志性作用的建筑物等均应注记。

**5.4.8** 具有分界作用的垣栅应按类别测绘，并根据永久性、规整性、重要性综合取舍。道路隔离栏及绿化护栏可不测绘。

**5.4.9** 交通及附属设施，均应按实际形状测绘，测绘注记清楚道路的类别、等级、路面材料、相交关系及各级道路通过关系。并应符合下列规定：

1 铁路应测注轨面高程，在曲线段应测注内轨面高程；公路路中、道路交叉口、桥面等，应测注高程；涵洞应测注洞底高程。1:2000、1:5000 比例尺地形图，可适当舍去火车站范围内的附属设施。

2 铁路与公路平面相交时，不应中断铁路符号；立交桥应按投影原则，上层保持完整，下层被上层遮盖部分断开，桥墩柱根据需要测绘。

3 高架铁路、高架公路应实测边线投影位置和墩柱。路堤、路堑、挡土墙等应实测并测注坡顶、坡脚高程。

4 道路通过居民地并继续通往别处的，宜连续测绘道路；房屋等建筑物与道路边线重合时可不绘路边线。

**5.4.10** 架空、地面、管堤敷设的管道均应实测，并绘制相应符号，注记使用性质；线路密集部分或居民区的低压电力线和通讯线，可选择主干线测绘；当管线直线部分的支架、线杆和附属设施密集时，可适当取舍；当多种线路在同一杆柱上时，应择其主要表示。地下管线检修井宜实测表示。

**5.4.11** 地貌要素的测绘应符合下列规定：

1 地貌宜用等高线表示，崩塌残蚀地貌、坡、坎和其他地貌，应用相应符号或配合等高线表示。居民地建筑区、乱掘、乱堆、垃圾堆等地域可不绘等高线。大面积的盐田、基塘区，根据需要可不绘等高线；

2 山顶、鞍部、凹地、山脊、谷底、台地及倾斜变换处，应测注高程点。露岩、独立石、土堆、陡坎等，应注记高程或比高；

3 人工修成或自然形成的坡、坎，应实测其上棱线；当有明显坡坎脚线时，应测绘坡、坎脚线。坡度在 70° 以上时应以陡坎表示，70° 以下时应以斜坡表示；在图上投影宽度小于 2mm 的斜坡，应以陡坎表示；

4 斜坡、陡坎、梯田坎的坡面投影宽度在地形图上大于 2mm 时，应实测坡脚；小于 2mm 时，可量注比高。当两坎间距在 1:500 比例尺地形图上小于 10mm、在其他比例尺地形图上小于 5mm 时或坎高小于基本等高距的 1/2 时，可适当取舍。

**5.4.12** 植被与土质的测绘，应按其经济价值和面积大小适当取舍，并应符合下列规定：

1 农业用地的稻田、旱地、菜地、水生作物地、园地、林木地等应按边界或地类界实测区分，并配置相应符号。土质应按类别测绘，并配置符号表示；

- 2 地类界与线状地物重合时，只绘线状地物符号；
  - 3 同一地段生长多种植物时，可按经济价值和数量适当取舍，植被符号连同土质符号配合表示，但不应大于 3 种。大面积分布的植被、土质在能表达清楚时，可采用注记说明；
  - 4 稻田应测出田间的代表性高程，当田埂宽在地形图上小于 1mm 时，可用单线表示。
- 5.4.13 地形图上各种名称的注记，应采用现有的法定名称。使用地方字时应附注汉语拼音和读音。

## 5.5 城镇建筑区地形图测图

5.5.1 城镇建筑区地形测量宜采用全站仪或 RTK 测图法。

5.5.2 各类建构物、管线、交通等及其相应附属设施和独立性地物的测量，应按本章 5.6.2~5.6.5 条执行。

5.5.3 房屋、街巷的测量，对于 1: 500 和 1: 1000 比例尺地形图，应分别实测；对于 1: 2000 比例尺地形图，小于 1m 宽的小巷，可适当合并；对于 1: 5000 比例尺地形图，小巷和院落连片的，可合并测绘。

街区凸凹部分的取舍，可根据用图需要和实际情况确定。

5.5.4 各街区单元的出入口及建筑物的重点部位，应测注高程点；各种管线的检修井，电力线路、通信线路的杆（塔），架空管线的固定支架，应测出位置，并适当测注高程点。

5.5.5 对于地下建构物，可只测量其出入口和地面通风口位置和高度。

5.5.6 小城镇的测绘，可按本标准 5.6 节的要求执行。街巷的取舍，可按 5.7.3 条适当放宽。

## 5.6 工矿区现状图测量

5.6.1 工矿区现状图测量，宜采用全站仪测图也可采用 RTK 测图法。测图比例尺，宜采用 1:500 或 1:1000。

5.6.2 建（构）筑物宜测量其主要细部坐标点及有关元素。细部坐标点的取舍，应根据工矿区建（构）筑物的疏密程度和测图比例尺确定。建（构）筑物细部坐标点测量的位置可按表 5.6.2 选取。

表 5.6.2 建（构）筑物细部坐标点测量的位置

类别	坐标	高程	其他要求
建（构）筑物	矩形	主要墙角	主要墙外角、室内地坪
	圆形	圆心	地面
	其他	墙角、主要特征点	墙外角、主要特征点
地下管道	起、终、转、交叉点的管道中心	地面、井台、井底、管顶 下水测出入口管底或沟底	经委托方开挖后施测
架空管道	起、终、转、交叉点的支架中心	起、终、转、交叉点、变坡点的 基座面或地面	注明通过铁路、公路的净空 高
架空电力线路、 电讯线路	铁塔中心，起、终、转、交叉 点杆柱的中心	杆（塔）的地面或基座面	注明通过铁路、公路的净空 高
地下电缆	起、终、转、交叉点的井位或 沟道中心，入地处、出地处	起、终、转、交叉点，入地点、 出地点、变坡点的地面和电缆面	经委托方开挖后施测
铁路	车档、岔心、进厂房处、直线 部分每 50m 一点	车档、岔心、变坡点、直线段每 50m 一点、曲线内轨每 20m 一点	
公路	干线交叉点	变坡点、交叉点、直线段每 30~ 40m 一点	
桥梁、涵洞	大型的四角点，中型的中心线 两端点，小型的中心点	大型的四角点，中型的中心线两 端点，小型的中心点、涵洞进出 口底部高	

注：1 建（构）筑物轮廓凸凹部分大于 0.5m 时，应丈量细部尺寸。

2 厂房门宽度大于 2.5m 或能通行汽车时，应实测位置。

5.6.3 细部坐标点的测量，应符合下列规定：

1 细部坐标宜采用全站仪极坐标法施测，细部高程可采用水准测量或电磁波测距三角高程的方法施测。现场作业条件允许时，也可采用卫星定位实时动态测量方法同时测取细部点的坐标和高程，

但须对其平面坐标观测值进行偏心改正。

细部测量精度应满足本章表 5.1.5—3 的要求。成果取值，应精确至 0.01m；

2 细部坐标点的检核，可采用丈量间距或全站仪对边测量的方法进行，也可采用卫星定位实时动态重复测量点位进行。两相邻细部坐标点间，反算距离与检核距离的较差，不应超过表 5.6.3 的规定；重复测量点位的较差不得超过本章 5.3.12 条 2 款的检查限差要求。

表 5.6.3 反算距离与检核距离较差的限差

类别	主要建（构）筑物	一般建（构）筑物
较差的限差（mm）	$70 + S/2000$	$100 + S/2000$

注：S 为两相邻细部点间的距离(mm)。

3 细部坐标点的综合信息，宜在点或地物的属性中进行表述。当不采用属性表述时，应对细部坐标点进行分类编号，并编制细部坐标点成果表；当细部坐标点的密度不大时，可直接将细部坐标或细部高程注记于图上。

5.6.4 对于工矿区其他地形、地物的测量，可按本章 5.4 节和 5.5 节的有关规定执行。

5.6.5 工矿区应绘制现状总图。当有特殊需要或现状总图中图面负载较大且管线密集时，可分类绘制专业图。其绘制要求，按本标准 9.2.4~9.2.8 条的技术要求执行。

## 5.7 水域地形测量

5.7.1 水深测量可采用有模拟记录的单波束回声测深仪或多波束测深系统，在浅水区宜采用测深锤或测深杆。

当采用多波束测深系统进行水域测量时，本标准适用于水深不超过 500m 的水域，可用于沿江、沿海港口、航道测量作业。

测深点定位可采用卫星定位测量法、无线电定位法、交会法、极坐标法、断面索法等。

5.7.2 水深测量方法应根据水下地形状况、水深、流速和测深设备合理选择。测深点的深度中误差，不应超过表 5.7.2 的规定。

表 5.7.2 测深点深度中误差

水深范围（m）	测深仪器或工具	流速（m/s）	测点深度中误差（m）
0~4	宜用测深杆	—	0.10
0~10	测深锤	< 1	0.15
1~10	测深仪	—	0.15
10~20	测深仪或测深锤	< 0.5	0.20
> 20	测深仪	—	$H \times 1.5\%$
1~500	多波束测深系统	—	$0.3 \sim H \times 2\%$

注：1 H 为水深（m）。

2 水底树林和杂草丛生水域不适合使用回声测深仪。

3 当精度要求不高、作业特殊困难、用测深锤测深流速大于表中规定或水深大于 20m 时，测点深度中误差可放宽 1 倍。

5.7.3 测深点的布设，应符合下列规定：

1 测深点宜按断面方向布设。

2 单波束测深主测深线宜垂直于等深线总方向或岸线。

3 多波束扫测主测深线方向宜平行于测区较长边或河道走向。

4 单波束测深断面间距不应大于图上 20mm，测深点间距不应大于图上 40mm。多波束断面间距需根据水下地形和水深计算，其有效扫测应全覆盖测区。特殊要求时，可根据工程需要适度加密。

5.7.4 水域地形测量与陆上地形测量应互相衔接。作业应充分利用岸上经检查合格的控制点；当控

制点的密度不能满足工程需要时，应布设适当数量的控制点。

**5.7.5** 在水下环境不明的区域进行水域地形测量时，必须了解测区的礁石、沉船、水流、和险滩等水下情况。作业中，如遇有大风、大浪，应停止水上作业。

**5.7.6** 水尺的设置应符合下列规定：

1 水尺的位置，应避开回流、壅水、行船和风浪的影响，尺面应顺流向岸；

2 水尺的密度应据现场比降和潮汐变化情况合理布设，一般地段 1.5~2.0km 设置一把水尺；山区峡谷、河床复杂、急流滩险河段及海域潮汐变化复杂地段，300~500m 设置一把水尺。

3 河流两岸水位差大于 0.1m 时，应在两岸设置水尺；

4 测区范围不大且水面平静时，可不设置水尺，但应于作业前后测量水面高程；

5 当测区距离岸边较远且岸边水位观测数据不足以反映测区水位时，应增设水尺。

**5.7.7** 水位观测的技术要求，应符合下列规定：

1 水尺零点高程的联测，不低于图根水准测量的精度；

2 作业期间，应定期对水尺零点高程进行检查；

3 水深测量时的水位观测，宜提前 10 分钟开始推迟 10 分钟结束；作业中，应按一定的时间间隔持续观测水尺，时间间隔应根据水情、潮汐变化和测图精度要求合理调整，以 10~30 分钟为宜；水面波动较大时，宜读取峰、谷的平均值，读数精确至 10mm；

4 当水位的日变化小于 0.2m 时，可于每日作业前后各观测一次水位，取其平均值作为水面高程。

**5.7.8** 采用测深仪或数字测深仪测深，应符合下列规定：

1 工作电压与额定电压之差，直流电源不应超过 10%，交流电源不应超过 5%。

2 实际转速与规定转速之差不应超出  $\pm 1\%$ ，超出时应加修正。

3 电压与转速调整后，应在深、浅水处作停泊与航行检查，当有误差时，应绘制误差曲线图予以修正。

4 测深仪换能器可安装在距船头 1/3~1/2 船长处，入水深度以 0.3~0.8m 为宜。入水深度应精确量至 1cm。

5 定位中心应与测深仪换能器中心设置在一条垂线上，其偏差不得超过定位精度的 1/3，否则应进行偏心改正。

6 每次测量前后，均应在测区平静水域进行测深比对，并求取测深仪的总改正数。比对可选用其他测深工具进行。对既有模拟记录又有数字记录的测深仪进行检查时，应使数字记录与模拟记录一致，二者不一致时以模拟记录为准。

7 测深过程应实测水温及水中含盐度，并进行深度改正。

8 测量过程中船体前后左右摇摆幅度不宜过大。当风浪引起测深仪记录纸上的回声线波形起伏值，在内陆水域大于 0.3m、海域大于 0.5m 时，宜暂停测深作业。

**5.7.9** 采用多波束测深系统测深，应符合下列规定。

1 姿态仪的安装应能准确反映测船或多波束换能器的位置，其方向线平行于船的首尾线。

2 电罗经应安装在测船的首尾线上，读数零点应指向船首。

3 系统各配套设备的传感器位置与测量船参考坐标系原点的偏移量应精确测量，读数至厘米，

4 校准区域的平均水深须大于或等于测区的最大水深，在有条件的情况下，应选择在实施过多波束或大比例单波束加密测量的水域。校准项目应包括时延、横摇倾角、纵摇倾角、艏摇。

5 多波束测深应保证测量时换能器的姿态与校准时的姿态相同。系统的校准参数应由两人以上分别计算。参数一经确定，不得随意修改。系统中设备安装位置变动或更换设备后应重新进行校准。

6 水深测量前应在不浅于测区水深的平坦水域进行多波束测深正交比对和用单波束进行校核，其比对互差均应满足表 5.7.15 的要求。

7 测量作业时应实时监测各个传感器回波信号质量，不符合要求时应停止作业。

8 测深检查线应垂直主测线布设，其测线长度不得少于总测线长度的 1%。当采用多波束测深系统做检查线测量时，应使用其中心区域的波束。使用单波束测深仪做检查线测量时宜配备姿态传感器。

**5.7.10** 交会法、极坐标法定位，应符合下列规定：

- 1 测站点的精度，不应低于图根点的精度。
- 2 作业中和结束前，均应对起始方向进行检查，方向偏差不应超过 1′，超限时应予改正。
- 3 交会法定位的交会角宜控制在 30°~150°之间。

**5.7.11** 断面索法定位，索长的相对误差应小于 1/200。

**5.7.12** 无线电定位，应根据仪器的实际精度、测区范围、精度要求及地形特征合理配置岸台；岸台的个数及分布，应满足水域地形测图的需要。

**5.7.13** 水深测量定位宜采用实时动态 RTK 技术，也可采用伪距定位码差分 RTD (DGPS) 技术；当定位精度符合工程要求时，还可采用后处理载波相位差分技术。RTK 水深测量定位的主要技术要求，应符合下列规定：

- 1 参考站点位的选择和设置，应符合本章 5.3.5 和 5.3.6 条的规定，作业半径可放宽至 20km。
- 2 流动天线应牢固地安置在船侧较高处并与金属物体绝缘，天线位置宜与测深仪换能器处于同一垂线上。
- 3 流动接收机作业的有效卫星数不宜少于 5 颗，PDOP 值应小于 6。
- 4 流动接收机的测量模式、基准参数、转换参数和数据链的通讯频率等，应与参考站相一致，并应采用双差固定解成果。
- 5 水深测量作业前、结束后，应将流动卫星定位接收机安置在控制点上进行检查；作业中，若发现问题也应及时进行检验和比对。
- 6 定位数据与测深数据应同步，否则应进行延时改正。

**5.7.14** 当采用 RTK 实时定位三维水深测量时，除符合 5.7.13 条的规定外，还应满足下列要求：

- 1 当测区在控制网覆盖范围之内时，转换参数可利用测区内分布均匀的四个及以上控制点求得。
- 2 沿海地区当控制网不能覆盖测区时，采用海上临时定点水位站的水位对 RTK 水位进行修正。
- 3 内河、山区的带状测区，参与转换计算的控制点间距宜小于 5km，并按两岸交叉分布。控制点间的高差不宜大于 50m。
- 4 宜采用三维姿态传感器对横摇、纵摇进行姿态改正。卫星定位天线高应量至换能器底部并精确至 10mm。
- 5 宜采用对 RTK 三维水深测量自动化成图和传统水位观测模式下水深测量自动化成图均能兼容的测量软件，并可提取 RTK 水位。
- 6 水深测量前应把流动站架设到未参与转换计算的等级控制点上进行检测比对，平面坐标较差不应大于 50mm，高程较差不应大于  $30\sqrt{D}$  mm (D 为基准站到检查点的距离，单位为千米)。
- 7 RTK 定位数据的更新率不应小于 10Hz。
- 8 作业时，应实时监控 PDOP 值和 RTK 定位状态，记录数据为 RTK 固定解。
- 9 应严格控制船速，避免突然加速、减速和大角度转弯。在气象、海况恶劣，影响 RTK 解算时应停止作业。

**5.7.15** 测深过程中或测深结束后，应对测深断面进行检查。检查断面与测深断面宜垂直相交，检查点数不应少于 5% 待定。检查断面与测深横断面相交处，图上 1mm 范围内水深点的深度较差，不应超过表 5.7.15 的规定。

表 5.7.15 深度检查较差的限差

水深 $H$ (m)	$H \leq 20$	$H > 20$
深度检查较差的限差(m)	0.4	$0.02 \times H$

## 5.8 数字地形图

### (I) 数字地形图制作

#### 5.8.1 数字地形图制作软件，应满足下列要求：

- 1 首次使用前，应对软件的功能、图形输出的精度进行全面测试。满足本标准要求和工程需要后，方能投入使用。
- 2 数据的传输通信应具有通用数据接口，数据格式为通用格式。
- 3 制作软件的线划和图形符号库应满足相应比例尺地形图对图式图列的规定。
- 4 使用时，应严格按照软件的操作要求作业。

#### 5.8.2 外业采集数据的处理，应符合下列规定：

- 1 外业采集数据应及时转存至计算机并生成原始数据文件；数据量较少时也可采用键盘输入，但应加强检查。
- 2 应采用数据处理软件，将原始数据文件中的控制测量数据、地形测量数据和检测数据进行分离（类），并分别进行处理。
- 3 对外业采集数据的处理，可增删和修改测点的编码、属性和信息排序等，但不得修改三维坐标数据。
- 4 生成等高线时，应确定地性线的走向和断裂线的封闭。

5.8.3 图形要素应分层表示。分层的方法和图层的命名对同一工程宜采用统一格式，也可根据工程需要对图层部分属性进行修改。

5.8.4 使用数据文件自动生成的图形或使用批处理软件生成的图形，应对其进行必要的人机交互式图形编辑。

#### 5.8.5 轮廓符号的编辑，应符合下列规定：

- 1 依比例尺编辑的轮廓符号，应保持轮廓位置的精度。
- 2 半依比例尺编辑的线状符号，应保持主线位置的几何精度。
- 3 不依比例尺编辑的符号，应保持其主点位置的几何精度。

#### 5.8.6 居民地的编辑，应符合下列规定：

- 1 城镇和农村的街区、房屋，均应按外轮廓线准确编辑。
- 2 街区与道路的衔接处，应留出 0.2mm 的间隔。

#### 5.8.7 水系的编辑，应符合下列规定：

- 1 水系应先绘桥、闸，其次绘双线河、湖泊、渠、海岸线、单线河，然后绘堤岸、陡岸、沙滩和渡口等；
- 2 当河流遇桥梁时应中断；单线沟渠与双线河相交时，应将水涯线断开，弯曲交于一点。当两双线河相交时，应互相衔接、圆滑。

#### 5.8.8 交通及附属设施的编辑，应符合下列规定：

- 1 当编辑道路时，应先绘铁路，再绘公路及大车路等。
- 2 当实线道路与虚线道路、虚线道路与虚线道路相交时，应实部相交。
- 3 当公路遇桥梁时，公路和桥梁应留出 0.2mm 的间隔。

#### 5.8.9 等高线的编辑，应符合下列规定：

- 1 应保证精度，线划均匀、光滑自然。
- 2 当图上的等高线遇双线河、渠和不依比例尺编辑的符号时，应中断。

#### 5.8.10 境界线的编辑，应符合下列规定：

- 1 凡编辑有国界线的地形图，必须符合国务院批准的有关国境界线的绘制规定；

2 境界线的转角处，不得有间断，并应在转角上绘出点或曲折线。

**5.8.11** 各种注记的配置，应分别符合下列规定：

1 文字注记，应使所指示的地物能明确判读。一般情况下，字头应朝北。道路河流名称，可随现状弯曲的方向排列。各字侧边或底边，应垂直或平行于线状物体。各字间隔尺寸应在 0.5mm 以上；远间隔的亦不宜超过字号的 8 倍。注字应避免遮断主要地物和地形的特征部分；

2 高程的注记，应注于点的右方，离点位的间隔应为 0.5mm；

3 等高线的注记字头，应指向山顶或高地，字头不应朝向图纸的下方。

**5.8.12** 数字地形图的分幅，除满足本标准 5.1.6 条外，还应满足下列要求：

1 分区施测的地形图，应进行图幅裁剪。分幅裁剪时（或自动分幅裁剪后），应对图幅边缘的数据进行检查、编辑。

2 分区编辑的地形图，应进行区域接边数据进行检查和编辑，对发现问题及时修改。分区接边误差应符合本节 5.3.28 条的规定。

3 图廓及坐标格网编辑，应采用成图软件自动生成。

**5.8.13** 数字地形图的编辑检查，应包括下列内容：

1 图形的连接关系是否正确，是否与草图一致、有无错漏等。

2 各种注记的位置是否适当，是否避开地物、符号等。

3 各种线段的连接、相交或重叠是否恰当、准确。

4 等高线的编辑是否与地性线协调、注记是否适宜、断开部分是否合理。

5 对间距小于图上 0.2mm 的不同属性线段，处理是否恰当。

6 地形、地物的相关属性信息赋值是否正确。

**5.8.14** 数字地形图编辑处理完成后，应按相应比例尺打印地形图样图，进行内外业检查和绘图质量检查。外业检查应采用实地全面对照与实测检查相结合的方法，实测检查可采用 RTK 法，也可采用全站仪测图法。实测检查量不应少于测图工作量的 10%，检查的统计结果，应满足表 5.1.5—1~5.1.5—3 的规定。

## (II) 纸质地形图数字化

**5.8.15** 纸质地形图的数字化，宜采用图形扫描仪扫描数字化；扫描原图的比例尺不应小于数字化地形图的比例尺；数字化图中的地形、地物要素和各种注记的图层设置及属性表示，应满足用户要求和数据入库需要；扫描数字化的软件系统，应具备下列基本功能：

1 图纸定向和校正；

2 数据采集和编码输入；

3 数据的计算、转（变）换和编辑；

4 图形的实时显示、检查和修改；

5 点、线、面状地形符号的绘制；

6 地形图要素的分层管理；

7 栅格数据的运算（包括灰度值变换、栅格图像的平移和栅格图像的组合等）；

8 坐标转换；

9 线状栅格数据的细化；

10 栅格数据的自动跟踪矢量化；

11 人机交互式矢量化。

**5.8.16** 扫描数字化的定向，应符合下列规定：

1 宜选用内图廓的四角坐标点或格网点作为定向点。

2 定向点不应少于 4 点，位置应分布均匀、合理。



- 3 当地形图变形较大时，应适当增加图纸定向点。
- 4 定向完成后，应作格网检查。其坐标值与理论坐标值的较差，不应大于图上 0.3mm。

**5.8.17** 地形图要素的数字化，应符合下列规定：

1 对图纸中有坐标数据的控制点和建（构）筑物的细部坐标点的点位绘制，不得采用数字化的方式而应采用输入坐标的方式进行；无坐标数据的控制点可不绘制。

2 图廓及坐标格网的绘制，应采用输入坐标的方法由绘图软件按理论值自动生成，不得采用数字化方式产生。

3 原图中地形、地物符号与现行图式不相符时，应采用现行图式规定的符号。

4 点状符号、线状符号和地貌、植被的填充符号的绘制，应采用绘图软件生成；各种注记的位置应与符号相协调，重叠时可进行交互式编辑调整。

5 等高线、地物线等线条的数字化，应采用线跟踪法。采样间隔合理、线划粗细均匀、线条连续光滑。

**5.8.18** 每幅图数字化完成后，应进行图幅接边和图边数据编辑；接边完成后，应输出检查图。检查图与原图比较，点状符号及明显地物点的偏差不宜大于图上 0.2mm，线状符号的误差不宜大于图上 0.3mm。

### (III) 数字地形图修测

**5.8.19** 数字地形图修测前应进行实地踏勘，确定修测范围。如修测的面积超过原图总面积的 1/5，应重新进行测绘。

**5.8.20** 数字地形图修测的图根控制，应符合下列规定：

1 应充分利用经检查合格的原有邻近图根点；高程应从邻近的高程控制点引测。

2 局部修测时，测站点坐标可利用原图已有坐标的地物点按内插法或交会法确定，检核较差不应大于图上 0.2mm。

3 局部地区少量的高程补点，也可利用 3 个固定的地物高程点作为依据进行补测，其高程较差不得超过基本等高距的 1/5，并应取用平均值。

4 当地物变动面积较大、周围地物关系控制不足，应补设图根控制。

**5.8.21** 数字地形图的修测，应符合下列规定：

1 新测地物与原有地物的间距中误差，不得超过图上 0.6mm。

2 数字地形图的修测方法，可采用 RTK 测图、全站仪测图和支距法等。

3 当原有地形图图式与现行图式不符时，应以现行图式为准。

4 地物修测的连接部分，应从未变化点开始施测；地貌修测的衔接部分应施测一定数量的重合点。

5 除对已变化的地形、地物修测外，还应对原有地形图上已有地物、地貌的明显错误或粗差进行修正。

6 修测完成后，宜按图幅将修测情况作记录，并绘制略图。

**5.8.22** 纸质地形图的修测，宜将原图数字化再进行修测。

### (IV) 数字地形图编绘

**5.8.23** 数字地形图的编绘，应选用内容详细、现势性强、精度高的已有资料，包括图纸、数据文件、图形文件等进行编绘。

**5.8.24** 编绘图应以实测图为基础进行编绘，各种专业图应以地形图为基础结合专业要求进行编绘；编绘图的比例尺不应大于实测图的比例尺。

**5.8.25** 数字地形图编绘作业，应符合下列规定：

- 1 原有资料的数据格式应转换成同一数据格式。
- 2 原有资料的坐标、高程系统应转换成编绘图所采用的系统。
- 3 地形图要素的综合取舍，应根据编绘图的用途、比例尺和区域特点合理确定。
- 4 编绘图应采用现行图式。
- 5 编绘完成后，应对图的内容、接边进行检查，发现问题应及时修改。

## 5.9 数字线划图 (DLG)

**5.9.1** 数字线划图的数据源宜采用摄影测量、移动测量系统、地面三维激光扫描、机载激光雷达扫描、纸质地形图扫描数字化等方法获取。

**5.9.2** 数字摄影测量的定向建模，应符合下列规定：

1 若有空中三角测量加密成果宜选择空三导入建模；如已知左、右像片内外方位元素宜选择安置内外方位元素直接自动完成像对定向建模；全野外布点宜选择单模型定向进行建模；没有像对内外方位元素的定向建模，应采用已有加密成果，完成内定向、相对定向和绝对定向。

2 对于推扫式航摄影像的空中三角测量加密成果进行导入定向建模时，宜将较大的区域划分成较小模块。

3 相邻模型的作业区边界应无缝拼接；相邻区域网的接边，应比较相邻区域网的同名加密点坐标是否满足精度要求。

4 裁切的核线影像与相对定向、核线重采样、绝对定向成果应相互一致。

5 建模后，需检查单模型的上下视差、像控点的平面坐标和高程残差、与相邻模型的同名点高程较差。

**5.9.3** 数字线划图数据采集，应满足下列要求：

1 数据采集可采用先内业测图、后外业调绘再编绘成图，或先外业调绘、后内业成图的方式。

2 对要素实体进行图形采集的同时，宜按《基础地理信息要素分类与代码》GB/T 13923 规定，对要素实体以点、线、面以及注记方式进行分类采集，并根据专业设计的要求分层存放。像片测图范围超出像片上定向点连线不应大于 10mm，超出部分离像片边缘不应小于 10mm。

3 点状要素按定位点采集，有向点要素还需要再采集第二点确定其方位角；线状要素(如公路、铁路等)按中心线采集，对依比例尺表示的线状要素同时应采集其边线；有向线要素按前进方向符号右置的规则采集，线状要素遇其他要素时(如河流遇桥梁等)应不间断连续采集。

4 采集依比例尺表示的地物，测标中心应切轮廓线或拐角测点连线。采集不依比例尺、半依比例尺表示的地物时，测标应切准其相应的定位点或定位线；采集独立地物依比例尺表示时，应实测外轮廓，填绘符号；不依比例尺表示时，应表示其定位点或定位线。

5 采集等高线时宜采用测标切准模型描绘。在等倾斜地段，计曲线间距在图上小于 5mm 时，可内插首曲线；在山头、山麓、坡折地、台阶地等的倾斜变换处，首曲线不能显示地貌特征和形态时，应加测间曲线，测绘等高线拐点应与地貌的合、分水线套合一致；图上首曲线间距大于 5cm 的平坦地区应插绘间曲线；凹地及凹凸难辨的地形，应加绘示坡线。等高线描绘误差，平地、丘陵地不应大于 1/5 基本等高距，山地、高山地不应大于 1/3 基本等高距。

6 像对之间数据应在测图过程中进行连接与接边。像对间地物接边差应小于地物点平面中误差的 2 倍。等高线接边差宜小于 1 个基本等高距，山地、高山地可适当放宽，并按地物接边限差要求执行。

7 其它要素实体及附属设施的采集，应符合国家标准《工程摄影测量规范》GB 50167 中相应规定。

**5.9.4** 数字线划图的外业调绘，应符合下列规定：

1 调绘宜采用放大像片进行，并对内业成图进行全面实地检查、修测和补测，并对地理名称进行调查注记，对房檐进行改正等。

2 调绘范围应调绘出测图范围外 10mm，并不应存在漏洞。调绘界限右、下应为直线，左、上应为曲线，但不应分割重要地物和街区。

3 调绘内容应按现行地形图图式在调绘片上表示，常用的、重复次数频繁的符号可简化，大面积的植被可用文字注记。地物与地貌的类别、属性应以调绘片为准。位置、形状应以立体模型为准，切准地物轮廓线的误差不应大于图上 0.2mm。

4 调绘完成后应进行调绘片之间的接边检查, 确保接边处房屋轮廓、道路、管线、河流、植被等的性质、等级、宽度和符号, 以及各项注记保持一致。外业调绘的整饰格式及其他要求还应符合《1:500 1:1000 1:2000 地形图航空摄影测量外业规范》GB/T 7931 及《1:5000 1:10000 地形图航空摄影测量外业规范》GB/T 13977 的相关规定。

#### 5.9.5 数字线划图的数据编辑, 应按下列要求执行:

1 数据编辑应在专用图形编辑系统上, 依据相应比例尺图式的要求以及外业调绘结果, 对各类要素按照综合取舍的原则进行数据编辑, 并保证各类要素的属性、几何类型和空间拓扑关系的完整、正确。

2 数字线划图成果图形文件格式宜为三维或二维的 DXF(DWG)、DGN 及适合于今后应用的其他格式。图形表达包括符号、线型、色彩、注记以及图面整饰等应按《国家基本比例尺地图图式 第 1 部分: 1:500 1:1000 1:2000 地形图图式》GB/T 20257.1 或《国家基本比例尺地图图式 第 2 部分: 1:5000 1:10000 地形图图式》GB/T 20257.2 规定执行。

3 各类建(构)筑物及其主要设施编辑要求: 根据测图比例尺及用图需要对各类建(构)筑物的采集内容进行合理取舍, 必要时对房檐进行改正。对各类建(构)筑物轮廓凸凹部分在 1:500 比例尺图上小于 1mm 或在其他比例尺图上小于 0.5mm 时, 可用直线连接; 对 1:2000 比例尺地形图上宽度小于 1m 的小巷可合并; 对小于 1:5000 比例尺地形图上连片的小巷和院落可合并。

4 交通及附属设施的编辑要求: 双线道路与房屋、围墙等高山地面的建筑物边线重合时, 可以建筑物边线代替道路边线, 道路边线与建筑物的接头处, 应间隔 0.2mm; 铁路与道路水平相交时, 铁路符号不中断, 将道路符号中断; 不在同一水平相交时, 道路的交叉处应绘制桥涵符号; 公路路堤或路堑应分别绘出路边线与堤或堑边线, 两者重合时, 可将其中之一移动 0.2mm; 对小于 1:2000 比例尺地形图, 可舍去密集区域的附属设施, 小路可选择表示。

5 管线的编辑要求: 城市建筑区内电力线, 通信线可不连接, 但应绘出连线方向; 同一杆架上有多种线路时, 表示其中主要的线路; 架空的、地面上的有管堤的管线应表示, 密集时可取舍。

6 水系及附属设施的编辑要求: 河流遇桥梁、水坝、水闸等应中断; 水涯线与陡坎重合时, 可用陡坎边线代替水涯线, 水涯线与斜坡脚重合时, 仍应在坡脚将水涯线绘出; 水渠应测注渠顶高程, 堤、坝应测注顶部及坡脚高程; 当河沟、水渠图上宽度小于 1mm 时, 宜用单线表示。

7 境界线的编辑要求: 凡绘制有国界线的图, 必须按国家有关规定执行; 境界线的转角处不应有间断, 应在转角上绘出点或曲线、直线; 境界线以线状地物一侧为界时, 应离线状地物 0.2 mm 按图式绘制; 如以线状地物中心为界, 不能在线状符号中心绘出时, 可沿两侧每隔 3cm~5cm 交错绘出 3~4 节符号, 但在境界相交或明显拐弯及图廓处, 境界符号不应省略, 以明确走向和位置。

8 地貌的编辑要求: 等高线遇到房屋及其它建筑物, 双线道路、路堤、路堑、坑穴、陡坎、斜坡、湖泊、双线河、双线渠、水库、池塘以及注记等均应中断; 当等高线的坡向不能判别时, 应加绘示坡线; 在植被覆盖区, 可根据需要进行植被高度改正; 山顶、鞍部、凹地、山脊、谷底及倾斜变换处应测注高程点, 露岩、独立石、土堆、堤、坎、坑等应注记高程或比高。

9 植被的编辑要求: 同一地类界范围内的植被, 其符号可均匀配置, 同一地类界范围内有两种以上植被时, 其符号可按实际情况配置; 地类界与地面上有实物的线状符号重合时, 可省略不绘; 无实物的线状符号重合时, 将地类界移位 0.2 mm 绘出; 梯田坎的坡面投影宽度在地形图上大于 2mm 时, 应实测坡脚; 小于 2mm 时, 可测注比高。当两坎间距在 1:500 比例尺地形图上小于 10mm, 在其他比例尺地形图上小于 5mm 或坎高小于等高距的 1/2 时, 可取舍。

10 注记的编辑要求: 文字注记要使所表示的地物能明确判读, 字头朝北; 对于道路河流名称, 可随线状弯曲的方向排列, 名字侧边或底边, 应垂直或平行于线状物体; 文字注记的字体、大小应按设计要求标注。高程注记宜注于点的右方, 距离点位 0.5 mm。注记时应避免压盖遮断主要地物和地形特征部分。等高线注记字头应指向山顶或高地, 字头不宜指向图纸的下方, 地貌复杂的地方, 应注意配置, 保持地貌的完整。

#### 5.9.6 数字线划图图幅接边, 应符合下列规定:

1 各图幅之间应实现无缝接边, 各类地物的拼接, 不应改变其实际形状及相关位置; 地貌接边不应产生变形; 同名地物属性应一致。

2 同比例尺同精度图幅接边, 地物平面位置较差或等高线的高程较差不应大于本标准 5.1.6 条规定的地物平面位置中误差或图幅等高线高程中误差的 2 倍, 在限差以内则取中数接边。

3 同比例尺不同精度的图幅接边, 地物平面位置较差或等高线的高程较差不应大于本标准 5.1.6 条规定的地物平面位置中误差之和或图幅等高线高程中误差之和的 2 倍, 在限差以内则按其中误差

的比例进行配赋接边。

4 不同比例尺的图幅接边，平面位置实地较差不应大于本标准 5.1.6 条规定的两种比例尺相应地物平面位置中误差化算为实地长度之和，在限差以内则将实际较差按中误差的比值进行配赋作为平面的最后使用值；等高线的高程较差不应大于本标准 5.1.6 条规定的两种比例尺相应幅等高线高程中误差之和，在限差以内则按中误差的比例进行配赋接边。

5 与已成图或出版图接边时，如接边差不大于上述限差规定时，则只改新图；如大于上述限差规定时，应认真检查，如确认新图无误，则以新图为准。

**5.9.7** 数字线划图成果应全部进行内业质量检查，并应符合下列规定：

- 1 要素应完整，不应遗漏，多边形应闭合。
- 2 点、线、面拓扑关系应正确，要素的相互关系应正确，相邻图幅接边应正确、属性一致。
- 3 要素的位置精度应符合设计要求。
- 4 分层、分类代码和属性值内容应正确。
- 5 图廓、方格网、控制点输入精度应与理论值一致；地物、地貌各要素表示应正确、齐全，图式符号运用应正确。
- 6 元数据和图历表填写应完整清楚，各项资料应齐全。

## 5.10 数字高程模型 (DEM)

**5.10.1** 数字高程模型的数据源，宜采用摄影测量数据、机载激光雷达数据、地面三维激光扫描、多孔径合成雷达数据，也可采用全野外法实测数据。

**5.10.2** 数字高程模型的构建，应符合下列规定：

- 1 对模型构建软件，应先进行全面测试。满足本标准要求和工程需要后，方能投入使用。
- 2 对构建模型的数据源，须进行分类整理、数据格式及坐标转换，并进行粗差检验与剔除。可通过模型与数字地形图等高线数据叠合对比的方法进行检查。对发现的不合理之处，应及时进行处理；必要时，应适当增补特征点线，并重新构建模型。
- 3 一个数字高程模型应只有一个封闭的外边界线，但其内部的道路、建筑物、水域、地形突变等断裂线，均应独立连成内边界线；不同的内边界线可以相邻，但不得相交。
- 4 必要时，可对构建的数字高程模型进行模型优化。

**5.10.3** 采用不规则三角网法构建数字高程模型时，应符合下列规定：

- 1 确定并完整连接地性线、断裂线、边界线等特征线。
- 2 以同一特征线上相邻两点的连线，作为构建三角形的必要条件。
- 3 构建三角形宜使三角形的边长尽可能接近等边、三角形的边长之和最小或三角形外接圆的半径最小。
- 4 当采用等高线数据构建三角网时，宜将等高线作为特征线处理，并满足 1~3 款规定。
- 5 不规则三角网点数据，宜通过插值处理生成规则的格网点数据。

**5.10.4** 采用规则格网法构建数字高程模型时，应符合下列规定：

- 1 根据离散点数据插求格网点高程，可采用插值法、曲面拟合法，也可二者混合使用。
- 2 格网点的高程，也可由等高线数据插求。
- 3 特征线两侧的离散点，不应同时用于同一插值或拟合方程的建立。

**5.10.5** 数字高程模型的数据采集应按下列要求执行：

- 1 数据采集可采用系统自动生成方式或人机交互采集方式。
- 2 特征点线应采用人工立体量测，测标精确对准地面，对特征点或特征线进行三维坐标量测。除地形特征线外，还需要量测以下与高程有关的要素：
  - 1) 水岸线：对于静止水面，精确量测水位高程并按此高程采集水岸线，整个水域范围按此高程构建平三角形，并按此高程对 DEM 格网点赋值。双线河流水岸线的高程应依据上下游水位点高程进行分段内插赋值；
  - 2) 森林区域线：在林区生成 DEM 时，应减去平均树高获取地面高程；
  - 3) 非相关区域线：当某区域影像相关效果不好时，精确量测边界点及内部桩点高程，内插得

到格网点高程。

3 采用像方和物方的采集和编辑方式，对立体匹配生成 DEM 进行观测、检查、修改；在编辑过程中，应根据需要可加测特征点线，使物方 DEM 更好贴近地面；等高程的范围(如静止水域)所有格网点应设置为同一高程；有地物覆盖的区域应减去相应覆盖高度(如树高)。

4 单模型 DEM 接边时，应检查接边重叠带内同名格网点的高程，若其高程较差大于 2 倍 DEM 高程中误差，则视为超限，应记录形成粗差点文件，分别返回各自像对的 DEM，显示所有粗差点，并进行接边修测；并按以上方法依次完成图幅范围内所有单模型 DEM 之间的接边。

5 图幅 DEM 镶嵌、裁切与接边应符合下列规定：

- 1) 数字高程模型可按图幅建立，也可按摄影分区建立。以内图廓线最小外接矩形，向四边扩展约 10mm 的覆盖范围为存储单元生成成果数据。
- 2) 应在图幅范围内所有像对 DEM 的接边较差符合要求后进行图幅 DEM 镶嵌；镶嵌时，对参与接边的所有同名格网点高程取其均值作为各自格网点高程，同时形成接边精度报告；
- 3) DEM 镶嵌完成后，按 1) 中规定的存储单元起止格网点坐标进行矩形裁切。
- 4) 相邻 DEM 应接边，接边后不应出现裂隙现象，重叠部分的高程值应一致；相邻存储单元的 DEM 数据应平滑衔接。

6 DEM 数据检查要求：

- 1) 物方 DEM 的检查：检查立体模型重建后像控点的高程残差，是否符合要求；在影像立体模型上，检查物方 DEM 格网点高程模型是否贴近地表，重点检查有无粗差点。
- 2) 利用左、右正射影像进行零立体检查：如果是采用数字摄影测量系统同时进行 DEM、DOM 数据采集，则应利用 DEM 所制作的左、右正射影像的零立体效应检验其 DEM 质量；如果左、右正射影像构成的零立体影像出现地形起伏，则说明该处 DEM 有误差；如果发现影像模糊，则应检查该处 DEM 是否有粗差；对出现粗差及地形起伏的地方做标记，返回重新建模，检查原因，进行修测编辑。
- 3) 像对 DEM 接边的检查：检查单模型 DEM 各条边的接边精度是否都在要求范围之内；
- 4) 图幅 DEM 的精度检查：利用野外实测或空三加密得到的高程检查点，通过 DEM 内插得到相应点位上的高程，统计计算两者的高程较差，检查高程中误差是否满足规定要求。

5.10.6 数字高程模型建立后应进行检查，并符合下列规定：

1 对用实测数据所建立的数字高程模型，应进行外业实测检查并统计精度。检查点与模型插值点的高程较差不应大于本标准 5.1.7 条相应高程中误差的 2 倍。模型格网点的高程中误差，按(5.10.6)式统计计算，其值不应大于本标准 5.1.7 条的规定：

$$M_h = \sqrt{\frac{[\Delta h_i \Delta h_i]}{n}} \quad (5.10.6)$$

式中  $M_h$ —— 模型的高程中误差 (m)；

$n$ —— 检查点个数；

$\Delta h_i$ —— 检测高程与模型高程的较差 (m)。

2 对等高线作为数据源所建立的数字高程模型，可采用等高线套合检验法。

## 5.11 数字正射影像图 (DOM)

5.11.1 数字正射影像图的制作应采用数字航空摄影影像、卫星遥感影像，其比例尺可依影像分辨率的大小选用 1:500、1:1000、1:2000 或 1:5000。

5.11.2 制作正射影像图的影像资料质量应满足下列要求：

1 DOM 黑白影像灰阶不低于 8bit，DOM 彩色影像灰阶不低于 24 bit；灰度直方图基本呈正态分布。

2 DOM 影像应清晰易读、反差适中、色调均衡，无明显像片拼接痕迹。

3 DOM 影像不应有重影、模糊或纹理断裂等现象，影像应连续完整，灰度无明显不同。对于

彩色影像色彩应均衡一致。

4 DOM 的地物地貌应真实, 无扭曲变形, 无噪声、云影等缺陷。

5 DOM 的整体外观应整洁、美观。

5.11.3 影像数据作为 DOM 的主体数据, 应以配有地理定位信息的 Tiff 格式或 GeoTiff 格式存储。必要时, 还可套合地名、高程注记点及相关信息, 并进行图幅整饰。

5.11.4 数字正射影像图数据的地理定位信息除包括 Tiff 格式或 GeoTiff 格式外, 也可用地理定位数据文件进行描述。当采用地理定位数据文件时, 该文件应包含以下内容:

- 1 影像数据的地面分辨率。
- 2 影像数据的西南角地理坐标坐标。
- 3 影像数据的东、西、南、北方向的像元数。

5.11.5 数字正射影像可以采用立体建模微分纠正法或单景微分纠正法, 并应符合下列规定:

- 1 正射影像参数按影像地面分辨率和成图比例尺要求进行设置; 影像重采样方法宜选择双三次卷积内插法。
- 2 利用像片内外方位元素定向参数以及 DEM 对数字航空影像或核线影像进行微分纠正重采样, 宜在建模后对左片、右片同时进行正射纠正, 也可单独对左片或右片进行正射纠正, 依次完成图幅范围内所有像片的正射纠正。

5.11.6 数字正射影像镶嵌与裁切, 应符合下列规定:

- 1 数字正射影像应按图幅或分区进行, 每一镶嵌单元应选取该范围内的所有影像。
- 2 在相邻影像之间, 可人工选择镶嵌线, 也可采用控制点连线作为镶嵌线以便自动进行批处理, 镶嵌的地物影像应完整; 相邻 DOM 影像镶嵌处的接边差不应大于两个像元。
- 3 镶嵌两侧存在纹理、色调差异时, 应进行影像编辑。编辑后镶嵌线附近影像色调应一致, 反差适中, 相邻影像之间不应存在明显镶嵌痕迹。
- 4 数字正射影像应按照内图廓线最小外接矩形范围, 外扩 10mm 进行影像裁切; 裁切后生成 GeoTiff 格式栅格影像文件, 或按《地理空间数据交换格式》GB/T 17798 要求制作图幅正射数据文件及其附加信息文件。

5.11.7 数字正射影像的数据检查, 应满足下列要求:

- 1 检查 DOM 数学基础是否正确, 数据覆盖范围是否符合要求。
- 2 生产中采用左片、右片同时正射纠正时, 应对左、右正射影像进行零立体观测检查, 不应出现明显的地形起伏。
- 3 检查整幅影像是否清晰, 纹理、色调是否均衡一致, 无明显的像片拼接痕迹。
- 4 检查 DOM 影像之间接边差, 其限差应满足表 5.11.7 的要求。

表 5.11.7 数字正射影像图接边限差

比例尺		1 : 500	1 : 1000	1 : 2000	1 : 5000
接边限差 (m)	平地、丘陵地	0.3	0.6	1.2	2.5
	山地、高山地	0.4	0.8	1.6	3.75

5 在 DOM 上对范围内所有平面检测点进行量测, 统计其平面位置中误差, 形成精度检测报告, 检查是否达到规定要求。

## 5.12 数字三维模型

5.12.1 数字三维模型的制作, 宜以数字地形测量成果数据为基础, 或通过倾斜摄影测量、近景摄影测量、激光扫描或实地测量等方式采集的纹理信息, 进行建模。

5.12.2 数字三维模型按性质可分为地形三维模型、地物三维模型、规划设计三维模型; 按精度及功能性可划分为粗模、精模、全息模。

5.12.3 数字三维模型制作采集的纹理数据, 应符合下列要求:

- 1 纹理数据应色调均匀、反差适中、自然美观, 真实反映实际材质的图案、质感、颜色等。
- 2 对视角或镜头畸变引起的纹理数据变形应进行调整。

- 3 对纹理数据中含有的建模影像以外的其他影像应进行处理。
- 4 对纹理数据的影像应进行比例变换,使相同层次模型的纹理分辨率相近。
- 5.12.4 数字三维模型的纹理应与模型细节层次相匹配。其尺寸应为 2 的 n 次幂,不宜超过 2048×2048 像素。
- 5.12.5 数字三维模型的空间坐标系统,宜采用 2000 国家大地坐标系统和 1985 国家高程基准。也可沿用当地的平面坐标系统和高程基准,并与国家平面坐标系统和高程基准建立联系。
- 5.12.6 数字三维模型的属性信息应包含描述模型类型、用途和特征等基本属性信息和各自专题属性。
- 5.12.7 数字三维模型建模单元的划分,应符合下列规定:
  - 1 建模单元宜以相对稳定的自然地形地物分界,并考虑建筑、景观、生态等要素的相对完整。
  - 2 建模单元宜结合行政区划界线,实现无缝衔接。
  - 3 建模单元应完整覆盖建模区域。
- 5.12.8 数字三维模型的建模,应满足下列要求:
  - 1 模型外形主要结构应表达清楚,准确并且完整,其底部应与附着面保持一致。
  - 2 严格按照测量数据进行模型制作,尺度比例应准确。特殊模型及细节结构须进行实地测量。
  - 3 在不影响模型自身表现效果及视觉效果的前提下,宜尽量减少模型的几何面数。
  - 4 模型的摆放应以实际情况为依据合理摆放,并应考虑其与周边模型的相对关系。
  - 5 构建模型时,应将地形、地物模型与其对应的纹理数据进行有效融合。
- 5.12.9 数字三维模型及纹理的命名须唯一,宜使用字母、数字和下划线表示,并应具有可扩充性。
- 5.12.10 数字三维模型成果应进行内业质量检查,并应符合下列规定:
  - 1 模型数据要素不应有遗漏,不同类型、不同比例尺数据的集成关系应完整正确,不宜有冗余。
  - 2 模型数据的平面坐标及高程应以实际测量值为准,并符合不同模型类别的技术要求。
  - 3 模型数据的属性信息描述应准确清晰,且具有现势性。
  - 4 应按需求及时或定期对模型数据进行更新。
  - 5 模型数据的拓扑关系应正确。
- 5.12.11 数字三维模型成果,应使用专业软件输出三维模型和三维数据等成果,三维数据宜为通用可交换格式。
- 5.12.12 数字三维模型成果宜与专业数学模型、BIM 数据等在系统中进行深度融合,并进行剖面分析、填挖方分析、淹没分析及专业分析模拟等。
- 5.12.13 数字三维模型成果应根据国家相关法规要求,采取相应保密措施。

## 6 线路测量

### 6.1 一般规定

- 6.1.1** 本章适用于铁路、公路、架空索道、各种自流和压力管线及架空送电线路工程的通用性测绘工作。
- 6.1.2** 线路控制测量的坐标系统和高程基准，分别按本标准3.1.4条和4.1.3条中的规定选用。
- 6.1.3** 线路的首级平面控制，宜采用卫星定位静态测量方法，加密网宜采用卫星定位实时动态测量方法或导线测量方法，并靠近线路贯通布设。
- 6.1.4** 线路的高程控制，宜采用水准测量或电磁波测距三角高程测量方法，并靠近线路布设。
- 6.1.5** 平面控制点的点位，宜选在稳固可靠、土质坚实、便于观测、易于长期保存的地方。高程控制点的点位，应选在施工干扰区外围稳固可靠的地方。平面和高程控制点的点位，应根据需要埋设标石。
- 6.1.6** 线路测图的比例尺，可按表6.1.6选用。

表 6.1.6 线路测图的比例尺

线路名称	带状地形图	工点地形图	纵断面图		横断面图	
			水平	垂直	水平	垂直
铁路	1:1000 1:2000 1:5000	1:200 1:500	1:1000 1:2000 1:10000	1:100 1:200 1:1000	1:100 1:200	1:100 1:200
公路	1:2000 1:5000	1:200 1:500 1:1000	1:2000 1:5000	1:200 1:500	1:100 1:200	1:100 1:200
架空索道	1:2000 1:5000	1:200 1:500	1:2000 1:5000	1:200 1:500	—	—
自流管线	1:1000 1:2000	1:500	1:1000 1:2000	1:100 1:200	—	—
压力管线	1:2000 1:5000	1:500	1:2000 1:5000	1:200 1:500	—	—
架空送电线路	—	1:200 1:500	1:2000 1:5000	1:200 1:500	—	—

注：1 1:200比例尺的工点地形图，可按对1:500比例尺地形测图的技术要求测绘。

2 当架空送电线路通过市区的协议区或规划区时，应根据当地规划部门的要求，施测1:1000或1:2000比例尺的带状地形图。

- 6.1.7** 带状地形图测绘，对于中、长距离线路项目宜采用低空数字摄影测图或机载激光雷达(LiDAR)扫描测图，对于短距离线路项目可采用RTK测图或全站仪测图作业方法。工点地形图的测绘宜采用RTK测图、全站仪测图或地面三维激光扫描测图等方法。
- 6.1.8** 当线路与已有的道路、管道、送电线路、通信线路等交叉时，应根据需要测量交叉角、交叉点的平面位置和高程及净空高或负高。
- 6.1.9** 纵断面图图标格式中平面图栏内的地物，可根据需要实测位置、高程及必要的高度。
- 6.1.10** 所有线路的起点、终点、转角点和铁路、公路的曲线起点、终点，均应埋设固定桩。
- 6.1.11** 线路施工前，应对其定测线路的控制点和曲线要素点进行复测，满足要求后方可放样。

### 6.2 铁路、公路测量

- 6.2.1** 高速公路和一级公路的控制测量。平面控制可采用卫星定位测量和导线测量方法，按本标准3.2、3.3节中的有关规定执行，导线总长可放宽一倍；高程控制应布设成附和路线，按本标准4.2节中四等水准测量的有关规定执行。



6.2.2 铁路、二级及以下等级公路的平面控制测量，应符合下列规定：

- 1 平面控制测量可采用导线测量方法。导线的起点、终点及每间隔不大于30km的点上，应与高等级控制点联测检核；当联测有困难时，可分段增设卫星定位测量控制点。
- 2 导线测量的主要技术要求，应符合表6.2.2的规定。

表 6.2.2 铁路、二级及以下公路导线测量的主要技术要求

导线长度 (km)	边长(m)	仪器精度 等级	测回数	测角中误差 (")	测距相对中误差	联测检核	
						方位闭合差(")	相对闭合差
≤30	400~600	2" 级仪器	1	12	≤1/2000	$24\sqrt{n}$	≤1/2000
		6" 级仪器		20		$40\sqrt{n}$	

注：表中 $n$ 为测站数。

3 分段增设卫星定位测量控制点时，其测量的主要技术要求，按本标准3.2节的规定执行。

6.2.3 铁路、二级及以下等级公路的高程控制测量，应符合下列规定：

- 1 高程控制测量的主要技术要求，应符合表6.2.3的规定。

表 7.2.3 铁路、二级及以下公路高程控制测量的主要技术要求

等级	每千米高差全中误差 (mm)	路线长度 (km)	往返较差、附合或环线闭合差 (mm)
五等	15	30	$30\sqrt{L}$

注： $L$ 为水准路线长度 (km)。

- 2 水准路线应每隔30km与高等级水准点联测一次。

6.2.4 定测放线测量，应符合下列规定：

- 1 作业前，应收集初测导线或航测外控点的测量成果，并应对初测高程控制点逐一检测。高程检测较差不应超过 $30\sqrt{L}$  mm ( $L$ 为检测路线长度，单位为km)。
- 2 放线测量应根据图纸上定线线位，采用RTK法、极坐标法、拨角法或支距法进行。
- 3 交点的水平角观测，正交点1测回，副交点2测回。副交点水平角观测的角值较差不应大于表6.2.4-1的规定。

表 6.2.4-1 副交点测回间角值较差的限差

仪器精度等级	副交点测回间角值较差的限差 (" )
2" 级仪器	15
6" 级仪器	20

4 线路中线测量，应与初测导线、航测外控点或卫星定位测量控制点联测。联测间隔宜为5km，特殊情况下不应大于10km。线路联测闭合差不应大于表6.2.4-2的规定。

表 6.2.4-2 中线联测闭合差的限差

线路名称	方位角闭合差 (" )	相对闭合差
铁路、一级及以上公路	$30\sqrt{n}$	1/2000
二级及以下公路	$60\sqrt{n}$	1/1000

注： $n$ 为测站数；计算相对闭合差时，长度采用初、定测闭合环长度。

6.2.5 定测中线桩位测量，应符合下列规定：

- 1 线路中线上，应设立线路起终点桩、千米桩、百米桩、平曲线控制桩、桥梁或隧道轴线控制桩、转点桩和断链桩，并应根据竖曲线的变化适当加桩。
- 2 线路中线桩的间距，直线部分不应大于50m，平曲线部分宜为20m。当铁路曲线半径大于800m且地势平坦时，其中线桩间距可为40m。当公路曲线半径为30~60m或缓和曲线长度为30~50m时，其中线桩间距不应大于10m；对于公路曲线半径小于30m、缓和曲线长度小于30m或回头曲线段，中

线桩间距均不应大于5m。

3 中线桩位测量误差，直线段不应超过表6.2.5-1的规定；曲线段不应超过表6.2.5-2的规定。

表 6.2.5-1 直线段中线桩位测量限差

线路名称	纵向误差 (m)	横向误差 (m)
铁路、一级及以上公路	$\frac{S}{2000} + 0.1$	0.1
二级及以下公路	$\frac{S}{1000} + 0.1$	0.1

注：S为转点桩至中线桩的距离 (m)。

表 6.2.5-2 曲线段中线桩位测量闭合差限差

线路名称	纵向相对闭合差 (m)		横向闭合差 (m)	
	平地	山地	平地	山地
铁路、一级及以上公路	1/2000	1/1000	0.1	0.1
二级及以下公路	1/1000	1/500	0.1	0.15

4 断链桩应设立在线路的直线段，不得在桥梁、隧道、平曲线、公路立交或铁路车站范围内设立。

5 中线桩的高程测量，应布设成附和路线，其闭合差不应超过  $50\sqrt{L}$  mm (L为附和路线长度，单位为km)。

6.2.6 横断面测量的误差，不应超过表6.2.6的规定。

表 6.2.6 横断面测量的限差

线路名称	距离(m)	高程(m)
铁路、一级及以上公路	$\frac{l}{100} + 0.1$	$\frac{h}{100} + \frac{l}{200} + 0.1$
二级及以下公路	$\frac{l}{50} + 0.1$	$\frac{h}{50} + \frac{l}{100} + 0.1$

注：1 l为测点至线路中线桩的水平距离 (m)。

2 h为测点至线路中线桩的高差 (m)。

6.2.7 施工前应复测中线桩，当复测成果与原测成果的较差符合表6.2.7的限差规定时，应采用原测成果。

表 6.2.7 中线桩复测与原测成果较差的限差

线路名称	水平角 (")	距离相对中误差	转点横向误差(mm)	曲线横向闭合差 (mm)	中线桩高程 (mm)
铁路、一级及以上公路	≤30	≤1/2000	每100m小于5，点间距大于等于400m小于20	≤100	≤100
二级及以下公路	≤60	≤1/1000	每100m小于10	≤100	≤100

### 6.3 架空索道测量

6.3.1 架空索道的平面控制测量，宜采用卫星定位测量，也可采用导线测量方法。

**6.3.2** 导线测量的相对闭合差，不应大于1/1000；方位角闭合差，不应超过 $30\sqrt{n}$ （方位角闭合差单位为"， $n$ 为测站数）。

**6.3.3** 当架空索道起点至转角点或转角点间的距离大于1km时，应增加方向点。方向点偏离直线，应在 $180^\circ\pm 20''$ 以内。

**6.3.4** 架空索道的起点、终点、转点和方向点的高程测量，可采用图根水准或图根电磁波测距三角高程测量方法。

**6.3.5** 纵断面测量，在转角点及方向点之间应进行附和。其距离相对闭合差不应大于1/300，高程闭合差不应超过 $0.1\sqrt{n}$ （高程闭合差单位为m， $n$ 为测站数）。山脊、山顶的纵断面点，不应少于3点；山谷、沟底，可适当简化。

**6.3.6** 当线路走向与等高线平行时，线路附近的陡峭地段，应视需要加测横断面。

#### 6.4 自流和压力管线测量

**6.4.1** 自流和压力管线平面控制测量，可采用卫星定位实时动态测量方法或导线测量方法。

当采用卫星定位实时动态测量方法时，应符合下列1~4款规定；当采用导线测量方法时，应符合下列5~7款规定。

- 1 应沿线路每隔 10km 布设（或成对布设）卫星定位测量控制点，并埋设标石。标石的埋设规格，应符合附录 B 的规定。
- 2 所有卫星定位测量控制点宜沿线路贯通布设。
- 3 卫星定位控制测量，应采用卫星定位静态测量模式进行观测，并符合本标准 3.2 节的有关规定；
- 4 线路其他控制点，可采用卫星定位实时动态图根控制测量方法，并满足本标准 5.2.7 条的规定。
- 5 导线测量的主要技术要求，应符合表 6.4.1 的规定。

表 6.4.1 自流和压力管线导线测量的主要技术要求

导线长度 (km)	边长 (km)	测角中误差(")	联测检核		适用范围
			方位角闭合差(")	相对闭合差	
≤30	<1	12	$24\sqrt{n}$	1/2000	压力管线
≤30	<1	20	$40\sqrt{n}$	1/1000	自流管线

注： $n$ 为测站数。

**6** 导线的起点、终点及每间隔不大于 30km 的点上，应与高等级平面控制点联测。当导线联测有困难时，可分段测设卫星定位测量控制点作为检核。

**7** 导线点宜埋设在管道线路附近且在施工干扰区的外围。管道线路的起点、终点和转角点也可作为导线点。

**6.4.2** 自流和压力管线高程控制测量，应符合下列规定：

- 1 水准测量和电磁波测距三角高程测量的主要技术要求，应符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 自流和压力管线高程控制测量的主要技术要求

等级	每千米高差全中误差 (mm)	路线长度 (km)	往返较差、附和或环线闭合 差 (mm)	适用范围
五等	15	30	$30\sqrt{L}$	自流管线
图根	20	30	$40\sqrt{L}$	压力管线

注：1  $L$ 为路线长度 (km)；

2 作业时,根据需要压力管线的高程控制精度可放宽 1~2 倍执行。

2 卫星定位高程测量,应符合本标准 4.4 节的相关规定。

**6.4.3** 自流和压力管线的中线测量,应符合下列规定:

1 当管道线路相邻转角点间的距离大于 1km 或不通视时,应加测方向点。

2 线路的起点、终点、转角点和方向点的位置和高程应实测,并符合下列规定:

1) 当采用极坐标法测量时,角度、距离 1 测回测定,距离读数较差应小于 20mm;高程可采用变化镜高的方法各测一次,两次所测高差较差不应大于 0.2m。

2) 当采用 RTK 测量方法时,每点应观测两次,两次测量的纵、横坐标及高程的较差均不应大于 0.2m。

3 当管道线路的转弯为曲线时,应实测线路偏角、计算曲线元素、测设曲线的起点、中点和终点。

4 断链桩应设置在管道线路的直线段,不得设置在穿跨越段或曲线段。断链桩上应注明管道线路来向和去向的里程。

**6.4.4** 管线的断面测量,应符合下列规定:

1 纵断面测量时,在转角点与转角点之间或转角点与方向点之间应进行附和。其距离相对闭合差不应大于 1/500,高程闭合差不应超过  $0.2\sqrt{n}$  (高程闭合差单位为 m,  $n$  为测站数)。

2 纵断面测量的相邻断面点间距,不应大于图上 5cm;在地形变化处应加测断面点,局部高差小于 0.5m 的沟坎可舍去;当线路通过河流、水塘、道路或其他管道时也应加测断面点。

3 横断面测量的相邻断面点间距,不应大于图上 2cm。

## 6.5 架空送电线路测量

**6.5.1** 架空送电线路平面控制宜采用卫星定位测量,精度不宜低于一级 GNSS 控制,高程控制宜采用卫星定位拟合高程测量,精度不宜低于五等;控制点间距不宜大于 10km,应大致沿路径布设。当线路较长时,宜每 100km 与国家控制点联测一次。

**6.5.2** 架空送电线路的直线桩、塔位桩应满足:相邻直线桩、塔位桩的横向偏离直线值应不大于 50mm,相对高差不大于 0.3m。直线桩、塔位桩的累距、桩间距、档距注记宜取位至 1m,高程注记宜取位至 0.1m

**6.5.3** 现场选线、定线、定位测量时,RTK 仪器选用应满足本标准 3.3.3 条,全站仪测角精度不应低于 5" 级,测距精度不应低于 10mm 级。大跨越测量,全站仪测角精度不应低于 2" 级。

**6.5.4** 拟定送电线路路径调绘时,应满足下列要求:

1 调绘的范围,应根据设计需要、输电线路的电压等级、现场环境来确定。路径宽度宜为中心线两侧各 100~300 米,情况复杂处可适当扩大范围。

2 调绘的内容,包括重要的交叉跨越、沿线的植被,以及影响路径方案的重要建构物,如学校、采石场、加油站、鞭炮厂、炸药库、油库、工矿区、军事设施、信号发射台、地震监测站、规划区和新增建构物等。

3 需在底图或影像上标注交叉跨越处的公路、铁路、河流、渡槽、电力线路、通信线路、架空或埋地管线、重要建构物等的位置、名称;设计需要时,还需调查并标注铁路、公路交叉处的里程;电力线路需调查线路名称、电压等级、杆塔号、杆塔高度,通信线路的等级、走向、杆高。

**6.5.5** 架空送电线路的选线,应根据批准的路径方案,配合设计实地选定。当采用航空摄影、机载激光扫描、卫星遥感等拟定送电线路时,可采用室内选线、实地定线。选线测量应满足下列规定:

1 坐标系统、高程基准应与控制测量保持一致。

2 实地选线可采用卫星静态定位、RTK 测量或全站仪测量,转角坐标相对邻近的控制点或转角桩的坐标中误差不应大于 50mm,高程中误差不应大于 70mm。

3 线路转角角度宜精确至 1′，转角点的平面坐标、高程宜精确至 10mm。

4 宜包括重要交叉跨越测量、影响设计的重要地物位置测量、拥挤路段房屋分布图测量、大跨越塔位测量。

5 线路通过新建重要地物、协议区、工矿区、建构筑物密集地段时，应进行必要的联系测量。

#### 6.5.6 定线测量，应符合下列规定：

1 定线测量可采用直接定线或间接定线。直接定线可采用 RTK 放样、全站仪测量水平角、光学经纬仪正倒镜分中法；间接定线可采用导线法。

2 定线测量的主要技术要求，应符合表 6.5.6 的规定。

表 6.5.6 定线测量的主要技术要求

定线方式	仪器对中 误差	水准器气泡 偏离值	测水平角法	正倒镜定点法	距离相对误差
直接定线	≤3mm	≤1 格	180°±1′	每 100m 不大于 60mm	—
间接定线	≤3mm	≤1 格	-	每 10m 不大于 3mm	≤1/2000

注：1) 钢尺量距应往返进行，当量距边小于 20m 或大于 80m 时，应适当提高测量精度。

2) RTK 定向要求直线桩位横向偏离直线不大于 50mm。

3 定线桩之间距离测量和高差测量。RTK 测量时，应测量两个测回，测回间的坐标较差不超过 20mm，高程较差不大于 50mm；全站仪测量时，应对向观测各一测回或同向变换棱镜高度观测两测回，测回间距离较差不应大于 1/1000，高差较差不应大于 0.4S，S 为测距边长，以 km 计，不足 0.1km 时按 0.1km 计。

4 当边长超过 400m 时，电磁波测距应进行大气折光系数改正、地球曲率改正。

#### 6.5.7 交叉跨越测量，应符合下列规定：

1 交叉跨越测量宜 RTK 配合全站仪测量，交叉点的悬高宜采用全站仪就近桩位设站测量。

2 交叉跨越点相对邻近直线桩或塔位桩：距离相对误差不应大于 1/200，高程相对误差不应大于 0.3m。

3 跨越已有线路时，应测绘交叉点的顶点位置和高程；钻越已有线路时，应测绘交叉点的低点位置和高程。地下管线可测量交叉点的地面位置和高程。当左右边线与中心线交叉处不等高或交叉角较小时，应测量有影响一侧或两侧边线点、危险点的位置和高程。线状地物应测绘其平面走向。

4 二级及以上通信线、10kV 及以上的电力线、有危险影响的建构筑物应测量一个测回，并在平面图栏注记交叉角度，且注记锐角值，取值至 1′。

5 线路边线宽度内或附近的已有线路的杆塔应施测杆塔顶点高程。

6 线路交叉跨越 35kV 及以上的电力线路，宜测量交叉处两侧的杆塔顶点、导地线挂点的位置和高程，并应标注线路名称和杆塔编号，通信线应标注其等级和交叉角，其它交叉跨越物应标注其名称、材料。设计有要求时，还应标注测量时的温度，并精确至 0.1℃。

7 交叉跨越边线范围外的横向坡度达到或超过 1:3，应测绘风偏。

8 交叉的铁路、公路及管线应测绘交叉处的轨顶高、路面高、管顶高，其中铁路、公路应标注左右去向和交叉处中心的里程。电气化铁路的牵引线按交叉线路要求测量和标注。

9 线路交叉跨越处的河流、水库和水淹区，应配合水文专业测绘洪水位、积水位高程，并标注发生时的年月日。

10 重要交叉跨越可根据设计专业需要，测绘交叉跨越分图。

#### 6.5.8 平断面测量，应符合下列规定：

1 线路的边线距离、最大风偏距按线路设计要求确定。

2 平断面测量宜起讫于变电站或已有线路连接杆塔；如需分段测量时，应从转角桩处分开，且相邻两段都应联测接头桩；线路转角处的平断面测量以角平分线为界，分支塔以横担方向为界。

3 平断面实地测量宜采用 RTK 测量、全站仪测量。断面点间距不宜大于 20m，平地不宜大于

50m，地形变化处应适当加密测点，独立山头断面点不应少于 3 点。

在航测、遥感或激光雷达点云所生成的数字高程模型上自动提取断面点时，断面点间距宜为 5m。

4 导线对地安全距离紧张处，应适当加密测量断面点；线路中线至风偏范围内，突兀的地形点应作为危险点测量。

5 当边线地形高出中心线 0.5m 时，应施测边线的纵断面。

6 当送电线路通过和接近斜坡、陡岸或高大建（构）筑物时，应按需要施测风偏横断面或风偏危险点；

7 在线路经过山谷、深沟等不影响送电导线对地距离安全之处，纵断面线可中断。

8 平面测量应符合下列规定：

1) 平面图中线路测量宽度：500kV 及以下电压等级的平面测量宽度为线路中线两侧各 50m，500kV 以上线路宽度为 75m。

2) 平面图应测量线路测量范围内有影响的建构筑物、道路、管线、河、沟、塘、渠、水库、坟地、陡坎、悬崖、地类界等；

3) 房屋应测量平面位置，并且标注离线路最近点的偏距。断面图上绘出地面及房顶高程，且应区分平顶房、尖顶房。房屋离线路中线的偏距差值不应大于 0.1m，房屋边长相对误差不应大于 0.04S，S 为房屋边长，单位为 m。

4) 应对送电线路走廊内的植被进行调绘，林木需标注种类、高度、胸径、密度和边界。

9 平断面的图式应符合《330kV~750kV 架空输电线路勘测规范》GB/T50548 的规定。

**6.5.9** 超出线路边线宽度的横向断面坡度大于 1:3 时，应测绘横断面图，横断面图的绘图比例宜为 1:1000。

**6.5.10** 水中立塔时，应测绘水下塔位地形图，比例尺宜为 1:500，测点间距不宜大于 5m，地形复杂的应加密测点。

**6.5.11** 杆塔桩定位时，RTK 测量宜用邻近的控制桩做基准站，网络 RTK 应在有效范围内；全站仪测量宜在邻近的直线桩上架站测量。

**6.5.12** 杆塔基断面图、地形图测量应满足下列要求：

1 塔基断面宜与杆塔定位测量同步进行，其测量范围要超出基础保护范围或由设计专业指定。塔基断面应测绘 4 个塔腿方向的塔基断面，断面塔基断面应准确反映断面变化情况。设计需要时，可加测塔位前、后、左、右 4 个方向的断面。

2 塔基断面图的纵、横比例尺宜为 1:100 或 1:200。不同方向的塔基断面应以文字或字母进行标注。

3 测量塔基断面时，应根据工程需要测量塔位地形图。塔位地形图可采用国家坐标或独立坐标。当采用国家坐标时，应绘出线路中心线，且在边界处标注相邻塔位编号。塔位地形图的范围不应小于塔基断面。塔位地形图的比例尺可为 1:200 或 1:300，图式参照 1:500 地形图。

**6.5.13** 在定位过程中，应进行以下校测：

1 有危险影响的中线、边线、建构筑物等；

2 重要的交叉跨越的位置、高程、交叉角等；

3 线路的直线性、转角度数等；

4 检查重要地物是否遗落，遗落的要补测。

**6.5.14** 线路施工前，应对杆塔位桩或直线桩进行复测，并满足下列要求：

1 直线偏离度、线路转角的复测成果与原成果的较差，不应大于 1'30"；

2 桩间距离的相对误差不应大于 1/500，高程较差不大于 0.3m；

3 交叉跨越距离的相对误差不大于 1/200，高差较差不大于 0.3m；

4 地形点的高程较差应不大于 0.5m。

## 7 地下管线测量

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 本章适用于各种地下管线的探查和测量。

**7.1.2** 地下管线探测的对象包括：电力、电信、给水、排水、燃气、热力、工业管道、综合管廊、其他管线。管线分类及拼音代码应符合表7.1.2的规定。

表 7.1.2 管线分类及拼音代码

管线类型	字母代码	简写
电力管线	DL	L
通信管线	TX	D
给水管线	JS	J
排水管线	PS	P
燃气管线	RQ	M
热力管线	RL	R
工业管线	GY	G
综合管廊	ZH	Z
其他管线	QT	B

**7.1.3** 地下管线探测的内容包括：查明地下管线的种类、平面位置、走向、埋深或高程、规格、性质、材质等，编绘地下管线图，根据需要建立地下管线信息管理系统。

**7.1.4** 地下管线探测的项目类型包括：地下管线普查、建设工程地下管线详查、地下管线竣工测量。

**7.1.5** 地下管线测量的坐标系统和高程基准，宜与原有基础资料相一致。平面和高程控制测量，可根据测区范围大小及工程要求，分别按本标准第3章和第4章有关规定执行。

**7.1.6** 地下管线测量成图比例尺，宜选用 1:500 或 1:1000，长距离专用管线可选用 1:2000~1:5000。

**7.1.7** 地下管线图的测绘精度，应满足实际地下管线的线位与邻近地上建（构）筑物、道路中心线或相邻管线的间距中误差不超过图上 0.6 mm。

**7.1.8** 作业前，应充分收集测区已有的地下管线施工图、竣工图、现状图和管理维修资料等。

**7.1.9** 地下管线探测应进行技术准备，技术准备的内容可根据探测工程类型确定。

**7.1.10** 地下管线现况调绘应对已有的地下管线资料进行收集、分类、整理，编绘地下管线现况调绘图。

**7.1.11** 地下管线探测应根据地下管线现况调绘情况进行项目现场踏勘，初步拟定针对项目的探测方法与技术。

**7.1.12** 地下管线探测应根据现场踏勘结果，对拟定的探查方法与技术进行有效性试验，确定采用的探查方法与技术，提出拟采用的探查仪器设备。

### 7.2 地下管线探查

**7.2.1** 地下管线探查应在地下管线现况调绘的基础上，采用实地调查和仪器探查相结合的方法进行。地下管线探查应查清各种地下管线的敷设状况、在地面上的投影位置和埋深，同时应查明管线种类、性质、规格、材质、流向、电缆根数、附属设施等属性。

7.2.2 管线点分为明显管线点和隐蔽管线点二类。明显管线点应进行实地调查、测量有关数据和采集信息，隐蔽管线点应采用物探或开挖方法进行探测。

7.2.3 隐蔽管线点探查的水平位置偏差 $\Delta S$ 和埋深较差 $\Delta H$ ，应分别满足(7.2.3-1)、(7.2.3-2)式的要求。

$$\Delta S \leq 0.10 \times h \quad (7.2.3-1)$$

$$\Delta H \leq 0.15 \times h \quad (7.2.3-2)$$

式中  $h$  为管线埋深(m)，当 $h < 1m$ 时，按 $1m$ 计。

7.2.4 管线点，宜设置在管线的起止点、转折点、分支点、变径处、变坡处、交叉点、变材点、出(入)地口、附属设施中心点等特征点上；管线直线段的采点间距，宜为图上 $100mm \sim 300mm$ ；隐蔽管线点，应明显标识。

7.2.5 地下管线的调查项目和取舍标准，宜根据委托方要求确定，也可依管线疏密程度、管径大小和重要性按表 7.2.5 确定。

表 7.2.5 地下管线调查项目和取舍标准

管线类型	埋深		断面尺寸		材质	取舍要求	其他要求
	外顶	内底	管径	宽×高			
给水	*	—	*	—	*	内径 $\geq 50\text{ mm}$	—
排水	管道	—	*	—	*	内径 $\geq 200\text{ mm}$	注明流向
	方沟	—	*	—	*	方沟断面 $\geq 300\text{ mm} \times 300\text{ mm}$	
燃气	*	—	*	—	*	干线和主要支线	注明压力
热力	直埋	*	—	—	*	干线和主要支线	注明流向
	沟道	—	*	—	*	全测	
工业管道	自流	—	*	—	*	工艺流程线不测	—
	压力	*	—	*	*		自流管道注明流向
电力	直埋	*	—	—	—	电压 $\geq 380V$	注明电压
	沟道	—	*	—	*	全测	注明电缆根数
电信	直埋	*	—	*	—	干线和主要支线	—
	管块	*	—	—	*	全测	注明孔数
综合管廊	—	*	—	*	*	内径 $\geq 2000\text{ mm}$ 或截面 $\geq 2000\text{ mm} \times 2000\text{ mm}$	权属单位和埋设年代

注：1 \* 为调查或探查项目；

2 管道材质主要包括：钢、铸铁、钢筋砼、砼、石棉水泥、陶土、PVC塑料等。沟道材质主要包括：砖石、管块等。

7.2.6 在明显管线点上，应查明各种与地下管线有关的建(构)筑物和附属设施。

7.2.7 地下管线详查应依据工程建设的需要进行，管线探查区域应包含工程的施工区域及周边有影响的区域，踏勘范围宜适当拓宽。

7.2.8 对于无特征点或附属物管线直线段的探查管线点设置，普查项目管线点间距不应大于 $70m$ ，详查项目管线点间距不应大于 $30m$ ；对于管线曲线段，管线点设置须能反映其弯曲特征。

7.2.9 地下管线详查应在下列位置加测管线点：

- 1 在工程设计的桩位(基础)附近应加测或加密管线点，并标明已有管线与设计桩位的实际距离。
- 2 在设计管线与已有管线交叉点的两侧应加测管线点，并标明已有管线的深度。

7.2.10 当采用探测手段无法查明地下管线的空间位置时，宜进行局部开挖或打样洞探查；若现场条件不允许开挖及打样洞时，则应采用权属单位提供的资料或根据实地标志来进行管线定位，但应在管线图件或记录表的备注中说明数据来源，并在管线图中以虚线表示。

7.2.11 地下管线的实地调查，宜有权属单位的人员或熟悉管线情况的人员参加。实地调查应开启各类检查井，仔细查看井内情况，并对明显管线点作详细调查、量测和记录。实地调查还应注意周边河涌、桥梁边出露的管线。

7.2.12 地下管线的物探探查是在现况资料收集和实地调查的基础上，根据不同的地球物理条件，选



用不同的物探方法进行准确定位、定深的过程。应遵循如下原则：

- 1 从已知到未知。
- 2 从简单到复杂。
- 3 优先采用有效、轻便、快速、成本低的方法。
- 4 复杂条件下应采用多种探查方式或方法，互相验证。

**7.2.13** 地下管线的物探探查，有电法、磁法、地震法、井中探测等。不论选用何种物探方法，必须具备以下条件：

- 1 被探查的地下管线与其周围介质之间有明显的物性差异。
- 2 被探查的地下管线所产生的异常场须有足够的强度，能被仪器获取，进行定量分析和属性判断。
- 3 接收信号能从干扰背景中或处理后的数据中，分辨出被探管线所产生的异常。

**7.2.14** 地下管线施工详查探测，应联系管线权属单位共同参与，由管线探测单位与施工单位共同实施完成。对实地存在，但是技术条件限制无法探明，探测信号明显，但是与管线资料不符的管线，各权属单位应派人现场指认。

**7.2.15** 常规方法难以查明的管线、涉及重要工程的地下管线以及超深(埋深大于4米)管线，应做专项地下管线探查，宜采用磁梯度与钻孔技术等探测。

**7.2.16** 对隐蔽管线的探查，应符合下列规定：

- 1 探查作业，应按仪器的操作规定进行。
- 2 作业前，应在测区的明显管线点上进行比对，确定探查仪器的修正参数。
- 3 对隐蔽管线点探查结果，应采用重复探查和开挖验证的方法进行质量检验，并分别满足下列要求：

1) 重复探查的点位应随机抽取，点数不宜少于探查点总数的 5%，并分别按 (7.2.16—1)、(7.2.16—2)式计算隐蔽管线点的平面位置中误差  $m_H$  和埋深中误差  $m_V$ ，其数值不应超过本标准 7.2.3 条限差的 1/2；

隐蔽管线点的平面位置中误差：

$$m_H = \sqrt{\frac{(\Delta S_i \Delta S_i)}{2n}} \quad (7.2.16-1)$$

隐蔽管线点的埋深中误差：

$$m_V = \sqrt{\frac{(\Delta H_i \Delta H_i)}{2n}} \quad (7.2.16-2)$$

式中  $\Delta S_i$  —— 复查点位与原点位间的平面位置偏差 (mm)；

$\Delta H_i$  —— 复查点位与原点位的埋深较差 (mm)；

$n$  —— 复查点数。

2) 开挖验证的点位应随机抽取，点数不宜少于隐蔽管线点总数的 1%，且不应少于 3 个点；所有点的平面位置误差和埋深误差，不应超过 7.2.3 条的规定。

### 7.3 地下管线测量

**7.3.1** 图根控制测量，按本标准 5.2 节的规定执行。

**7.3.2** 管线点相对于邻近控制点的测量点位中误差不应大于 50mm，测量高程中误差不应大于 20mm。

**7.3.3** 地下管线图测量，包括管线线路、管线附属设施和地上相关的主要建（构）筑物等。

**7.3.4** 管线点的平面坐标可采用全站仪极坐标法或卫星定位 RTK 法施测，高程可采用水准测量或电磁波测距三角高程测量的方法施测。点位的调查编号应与测量点号相一致或对应。

7.3.5 管线附属设施以及地上相关的主要建（构）筑物、道路、围墙等的测量，应按本标准 5.3.1～5.3.17 条执行。

## 7.4 地下管线图绘制

7.4.1 地下管线应绘制综合管线图。当线路密集或工程需要时，还应绘制专业管线图。

7.4.2 地下管线图的图幅与编号，宜与测区原有地形图保持一致。也可采用现行设计图幅尺寸 A0、A1、A2 等。

7.4.3 地下管线图的图式和要素分类代码，应符合下列规定：

1 地下管线图图式，应采用国家标准《1:500、1:1000、1:2000 地形图图式》（GB/T20257.1）。

2 地下管线及其附属设施的要素分类代码，应采用国家标准《1:500 1:1000 1:2000 地形图要素分类与代码》（GB 14804）。

3 对于图式和要素分类代码中的不足部分，应进行补充。补充的图式和代码，可根据工程总图、给排水、热力、燃气、电力、电信等专业的国家标准或行业标准中的相关部分进行确定。

7.4.4 地下管线图的绘图软件应分别符合本标准 5.8.1 条的规定。

7.4.5 数字地下管线图的编辑处理，应符合下列规定：

1 综合管线图，宜分色、分层表示。

2 管线图上高程点的注记，应精确至 0.01m。

3 管线图的编辑处理，应按本标准 5.8.1～5.8.14 条的相关规定执行。

7.4.6 纸质地下管线图的绘制，应满足下列要求：

1 管线图的绘制，应符合本标准 5.8.5～5.8.8 条的相关规定。

2 综合管线图，可分色表示。

3 管线的起点、分支点、转折点及终点的细部坐标、高程及管径等，宜注记在图上。坐标和高程的注记，应精确至 0.01m。当图面的负荷较大时，可编制细部坐标成果表并在图上注记分类编号。但对同一个工程或同一区域，应采用同一种方法。

4 直立排列或密集排列的管线，可用一条线上分别注记各管线代号的方法表示；当密集管线需要分别表示时，如图上间距小于 0.2mm，应按压力管线让自流管线、分支管线让主干管线、小管径管线让大管径管线、可弯曲管线让不易弯曲管线的原则，将避让管线偏移，绘图间距宜为 0.2mm。根据需要，管线局部可绘制放大图。

5 同专业管线立体相交时，宜绘出上方的管线，下方的管线两侧各断开 0.2mm；不同专业管线相交时不应断开。

6 管沟的绘制，宜用双线表示，双线间距为 2.5mm；当管沟宽度大于图上 2.5mm 时，应按实际宽度比例绘制；管沟尺寸应在图上标注。

## 7.5 地下管线信息系统

7.5.1 地下管线信息系统，可按城镇大区域建立，也可按居民小区、校园、医院、工厂、矿山、民用机场、车站、码头等独立区域建立，必要时还可按管线的专业功能类别如供油、燃气、热力等分别建立。

7.5.2 地下管线数据库应按照统一的数据标准，实现信息的实时交换、共建共享、动态更新。

7.5.3 地下管线数据库设计应在需求调查基础上进行需求分析，需求调查内容应包括已有管线资料情况、管线管理要求、管线更新需求、已有软硬件平台等，经过需求分析组织进行数据库设计

7.5.4 地下管线信息数据库及系统建设应包括立项可行性论证、需求分析、系统总体设计、系统详细设计、编码实现、样区实验、系统集成与试运行、成果提交与验收、系统维护等工作阶段，每个阶段应编制相应的报告。

7.5.5 地下管线要素分类应按照一致性、稳定性、完整性、适用性的原则。地下管线信息的要素标识

码，可按现行国家标准《城市地理要素—城市道路、道路交叉口、街坊、市政工程管线编码结构规则》(GB/T14395)的规定执行；地下管线信息的分类编码，可按现行行业标准《城市地下管线探测技术规程》(CJJ61 J271)的相关规定执行。不足部分，可根据其编码规则扩展和补充。

**7.5.6** 地下管线要素的扩充应在同级分类的基础上逐级进行，扩充的下级类应能归入相应的上级类中，同时应在相关数据中说明，但码位不得扩充。

**7.5.7** 地下管线应按管线要素的点、线、面、辅助点、辅助线和注记等不同数据类型分层，综合管廊可按点、线结构进行区分。

**7.5.8** 地下管线属性结构设计时，应确定字段数量、字段名称、字段类型、字段长度、小数位数、完整性约束、域值等，各管线点表、管线线表、管线面表、管线辅助点表、管线辅助线表、管线注记点表。

**7.5.9** 地下管线的属性字段数量可根据实际需要在现有基础上扩展，扩展的字段名称或其语义不应与所在数据表中已有的字段名称或语义重复，已有的字段、字段类型不应重新定义，已有字段的字段长度、小数位数可根据实际需要扩充。

**7.5.10** 地下管线的材质、埋设方式、使用状态、特征、附属物等属性应编制数据字典。

**7.5.11** 地下管线信息系统，应具有以下基本功能：

- 1 地下管线图数据库的建库、数据库管理和数据交换。
- 2 管线数据和属性数据的输入和编辑。
- 3 管线数据的检查、更新和维护。
- 4 管线系统的检索查询、统计分析、量算定位和三维观察。
- 5 用户权限的控制。
- 6 网络系统的安全监测与安全维护。
- 7 数据、图表和图形的输出。
- 8 系统的扩展功能。

**7.5.12** 地下管线信息系统的建立，应包括以下内容。

- 1 地下管线图库和地下管线空间信息数据库。
- 2 地下管线属性信息数据库。
- 3 数据库管理子系统。
- 4 管线信息分析处理子系统。
- 5 扩展功能管理子系统。

**7.5.13** 地下管线信息系统建立后，应根据管线的变化情况和用户要求进行定期维护、更新。

**7.5.14** 地下管线数据应满足三维建模的要求。地下管线及附属设施三维要素模型应依据地下管线探测成果数据制作，模型的平面精度、高程精度、属性等应与依据的地下管线探测数据保持一致。

## 8 施工测量

### 8.1 一般规定

- 8.1.1** 本章适用于工业与民用建筑、水工建筑物、桥梁、核电厂、隧道及综合管廊的施工测量。
- 8.1.2** 施工测量前，应收集有关测量资料，熟悉施工设计图纸，明确施工要求，制定施工测量方案。
- 8.1.3** 大中型的施工项目，应先建立场区控制网，再分别建立建筑物施工控制网；小规模或精度高的独立施工项目，可直接布设建筑物施工控制网。
- 8.1.4** 场区控制网，应充分利用勘察阶段已有平面和高程控制网。原有平面控制网的边长，应归算到场区的主施工高程面上，并进行复测检查。精度满足施工要求时，可作为场区控制网使用。否则，应重新建立场区控制网。
- 8.1.5** 新建立场区控制网，应满足下列要求：
- 1 平面控制网宜布设为自由网。
  - 2 平面控制网的观测数据，不宜进行高斯投影改化，观测边长宜归算到测区的主施工高程面上。
  - 3 自由网可利用原控制网中的点组（由三个或三个以上的点组成条文说明）进行定位。小规模场区控制网，也可选用原控制网中一个点的坐标和一个边的方位进行定位。
  - 4 平面控制网的坐标系统应与规划设计阶段的坐标系统建立换算关系。高程系统宜与规划设计阶段保持一致。
- 8.1.6** 建筑物施工控制网，应根据场区控制网进行定位、定向和起算；控制网的坐标轴，应与工程设计所采用的主副轴线一致；建筑物的±0高程面，应根据场区水准点测设。
- 8.1.7** 控制网点，应根据设计总平面图和施工总布置图布设，并满足建筑物施工测设的需要。

### 8.2 施工控制测量

#### (I) 场区平面控制网

- 8.2.1** 场区平面控制网，可根据场区的地形条件和建（构）筑物的布置情况，布设成建筑方格网、卫星定位测量控制网、导线网或三角形网等形式。
- 8.2.2** 场区平面控制网，应根据工程规模和工程需要分级布设。对于建筑场地大于  $1\text{km}^2$  的工程项目或重要工业区，应建立一级及以上精度等级的平面控制网；对于场地面积小于  $1\text{km}^2$  的工程项目或一般性建筑区，可建立二级精度的平面控制网。
- 场区平面控制网相对于勘察阶段控制点的定位精度，不应大于 50mm。
- 8.2.3** 控制网点位应选择通视良好、土质坚实、便于施测、利于长期保存的地点，并应埋设稳固的标石，必要时还应增加强制对中装置。标石的埋设深度，应根据地质条件、冻深和场地设计标高确定。
- 8.2.4** 建筑方格网的建立，应符合下列规定：
- 1 建筑方格网测量的主要技术要求，应符合表 8.2.4-1 的规定。

表 8.2.4-1 建筑方格网测量的主要技术要求

等级	边长 (m)	测角中误差 (")	测距相对中误差
----	--------	-----------	---------

一级	100~300	5	$\leq 1/30000$
二级	100~300	8	$\leq 1/20000$

2 建筑方格网点的布设，应与建（构）筑物的设计轴线平行，并构成正方形或矩形格网。

3 建筑方格网的测设方法，可采用布网法或轴线法。采用布网法时，宜增测方格网的对角线；采用轴线法时，长轴线的定位点不得少于 3 点，点位偏离直线应在 5" 以内，短轴线应根据长轴线定向，其直角偏差应在 5" 以内。水平角观测的测角中误差不应大于 2.5"。

4 建筑方格网点应埋设顶面为标志板的标石，标石埋设应符合附录 E 的规定。

5 建筑方格网的水平角观测可采用方向观测法，其技术要求应符合表 8.2.4-2 的规定。

表 8.2.4-2 水平角观测的主要技术要求

等级	仪器精度等级	测角中误差 (")	测回数	半测回归零差 (")	一测回内 2C 互差 (")	各测回方向较差 (")
一级	1" 级仪器	5	2	$\leq 6$	$\leq 9$	$\leq 6$
	2" 级仪器	5	3	$\leq 8$	$\leq 13$	$\leq 9$
二级	2" 级仪器	8	2	$\leq 12$	$\leq 18$	$\leq 12$
	6" 级仪器	8	4	$\leq 18$	—	$\leq 24$

6 建筑方格网的边长应采用电磁波测距仪器往返观测各 1 测回测定，并应进行温度、气压和仪器加、乘常数改正。

7 观测数据经平差处理后，应将测量坐标与设计坐标进行比较，确定归化数据，并在标石标志板上将点位归化至设计位置。

8 点位归化后，应进行角度和边长的复测检查。角度偏差值和边长偏差值应符合表 8.2.4-3 的规定。

表 8.2.4-3 建筑方格网角度和边长复测检查的偏差限值

等级	角度偏差	边长偏差
一级	$\leq 8''$	$\leq D/25000$
二级	$\leq 12''$	$\leq D/15000$

注：D 为方格网的边长

8.2.5 场区控制网采用卫星定位测量控制网时，其主要技术要求应符合表 8.2.5 的规定。

表 8.2.5 场区卫星定位测量控制网的主要技术要求

等级	边长 (m)	固定误差 A (mm)	比例误差系数 B (mm/km)	边长相对中误差
一级	300~500	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 1/40000$
二级	100~300			$\leq 1/20000$

8.2.6 场区控制网采用导线网时，相邻边的长度比不宜超过 1: 3，其主要技术要求应符合表 8.2.6 的规定。

表 8.2.6 场区导线测量的主要技术要求

等级	导线长度 (km)	平均边长 (m)	测角中误差 (")	测距相对中误差	测回数		方位角闭合差 (")	导线全长相对闭合差
					2" 级仪器	6" 级仪器		
一级	2.0	100~300	5	1/30000	3	—	$10\sqrt{n}$	$\leq 1/15000$
二级	1.0	100~200	8	1/14000	2	4	$16\sqrt{n}$	$\leq 1/10000$

注：n 为测站数。

8.2.7 场区控制网采用三角形网时，其主要技术要求应符合表 8.2.7 的规定。

表 8.2.7 场区三角形网测量的主要技术要求

等级	边长 (m)	测角中误差 (")	测边相对中误差	最弱边边长相对中误差	测回数		三角形最大闭合差 (")
					2" 级仪器	6" 级仪器	
一级	300~500	5	≤1/40000	≤1/20000	3	—	15
二级	100~300	8	≤1/20000	≤1/10000	2	4	24

8.2.8 卫星定位测量控制网、导线网及三角形网测量的其他技术要求，可按本标准第 3 章有关规定执行。

(II) 场区高程控制网

8.2.9 场区的高程控制网，应布设成闭合环线、附和路线或结点网。

8.2.10 大中型施工项目的场区高程测量精度，不应低于三等水准。其主要技术要求，应按本标准第 4.2 节的有关规定执行。

8.2.11 水准点可单独布设在场地相对稳定的区域，也可设置在平面控制点的标石上。水准点间距宜小于 1km，距离建（构）筑物不宜小于 25m，距离回填土边线不宜小于 15m。

8.2.12 施工中，当少数高程控制点标石不能保存时，应将其高程引测至稳固的建（构）筑物上，引测的精度，不应低于原高程点的精度等级。

8.3 工业与民用建筑施工测量

(I) 建筑物施工控制网

8.3.1 建筑物施工控制网，应根据建筑物的设计形式和特点，布设成十字轴线或矩形控制网。施工控制网的定位应符合本章 8.1.6 条的规定。

8.3.2 建筑物施工平面控制网，应根据建筑物的分布、结构、高度、基础埋深和机械设备传动的连接方式、生产工艺的连续程度，分别布设一级或二级控制网。其主要技术要求，应符合表 8.3.2 的规定。

表 8.3.2 建筑物施工平面控制网的主要技术要求

等级	边长相对中误差	测角中误差
一级	≤1/30000	$7'' / \sqrt{n}$
二级	≤1/15000	$15'' / \sqrt{n}$

注：n 为建筑物结构的跨数。

8.3.3 建筑物施工平面控制网的建立，应符合下列规定：

- 1 控制点，应选在通视良好、土质坚实、利于长期保存、便于施工放样的地方。
- 2 控制网加密的指示桩，宜选在建筑物行列线或主要设备中心线方向上。
- 3 主要的控制网点和主要设备中心线端点，应埋设固定标桩。
- 4 控制网轴线起始点的定位误差，不应大于 2cm；两建筑物（厂房）间有联动关系时，不应大于 1cm，定位点不得少于 3 个。
- 5 水平角观测的测回数，应根据表 8.3.2 中测角中误差的大小，按表 8.3.3 选定。

表 8.3.3 水平角观测的测回数

测角中误差 仪器精度等级	2.5"	3.5"	4.0"	5"	10"
1" 级仪器	4	3	2	—	—
2" 级仪器	6	5	4	3	1
6" 级仪器	—	—	—	4	3

6 矩形网的角度闭合差，不应大于测角中误差的 4 倍。

7 边长测量宜采用电磁波测距的方法，作业的主要技术要求应符合本标准表 3.3.18 的相关规定。二级网的边长测量也可采用钢尺量距，作业的主要技术要求应符合本标准表 3.3.21 的规定。

8 矩形网应按平差结果进行实地修正，调整到设计位置。当增设轴线时，可采用现场改点法进行配赋调整；点位修正后，应进行矩形网角度的检测。

**8.3.4** 建筑物的围护结构封闭前，应根据施工需要将建筑物外部控制转移至内部。内部的控制点，宜设置在浇筑完成的预埋件上或预埋的测量标板上。引测的投点误差，一级不应超过 2mm，二级不应超过 3mm。

**8.3.5** 建筑物高程控制，应符合下列规定：

1 建筑物高程控制，应采用水准测量。附和路线闭合差，不应低于四等水准的要求。

2 水准点可设置在平面控制网的标桩或外围的固定地物上，也可单独埋设。水准点的个数，不应少于 2 个。

3 当场地高程控制点距离施工建筑物小于 200m 时，可直接利用。

**8.3.6** 当施工中高程控制点标桩不能保存时，应将其高程引测至稳固的建筑物或构筑物上，引测的精度，不应低于四等水准。

## (II) 建筑物施工放样

**8.3.7** 建筑物施工放样，应具备下列资料：

- 1 总平面图。
- 2 建筑物的设计与说明。
- 3 建筑物的轴线平面图。
- 4 建筑物的基础平面图。
- 5 设备的基础图。
- 6 土方的开挖图。
- 7 建筑物的结构图。
- 8 管网图。
- 9 场区控制点坐标、高程及点位分布图。

**8.3.8** 放样前，应对建筑物施工平面控制网和高程控制点进行检核。

**8.3.9** 建筑物轴线放样，宜满足下列要求：

- 1 放样宜采用 2" 级全站仪，先由控制点放样出建筑物外廊主要轴线点，偏差不大于 4mm。
- 2 检核和调整主要轴线点位置，轴线点间距离偏差应符合表 8.3.11 规定。
- 3 内部轴线点可由主要轴线点采用内分法放样。
- 4 检核相邻轴线点间距，偏差应小于 5mm。

**8.3.10** 在施工的建（构）筑物外围，应建立线板或轴线控制桩。线板应注记中心线编号，并测设标高。线板和轴线控制桩应注意保存。必要时，可将控制轴线标示在结构的外表面上。

**8.3.11** 建筑物施工放样，应符合下列要求：

- 1 建筑物施工放样、轴线投测和标高传递的偏差，不应超过表 8.3.11 的规定。

表 8.3.11 建筑物施工放样、轴线投测和标高传递的允许偏差

项 目	内 容		允许偏差 (mm)
基础桩位放样	单排桩或群桩中的边桩		±10
	群 桩		±20
各施工层上放线	轴线点		±4
	外廓主轴线长度 $L$ (m)	$L \leq 30$	±5
		$30 < L \leq 60$	±10
		$60 < L \leq 90$	±15
		$90 < L \leq 120$	±20
		$120 < L \leq 150$	±25
		$150 < L \leq 200$	±25
		$L > 200$	按施工允许偏差 1/4 取值
	细部轴线		±2
	承重墙、梁、柱边线		±3
非承重墙边线		±3	
门窗洞口线		±3	
轴线竖向投测	每 层		3
	总高 $H$ (m)	$H \leq 30$	5
		$30 < H \leq 60$	10
		$60 < H \leq 90$	15
		$90 < H \leq 120$	20
		$120 < H \leq 150$	25
		$150 < H \leq 200$	30
		$H > 200$	按施工允许偏差 1/4 取值
标高竖向传递	每 层		±3
	总高 $H$ (m)	$H \leq 30$	±5
		$30 < H \leq 60$	±10
		$60 < H \leq 90$	±15
		$90 < H \leq 120$	±20
		$120 < H \leq 150$	±25
		$150 < H \leq 200$	±30
		$H > 150$	按施工允许偏差 1/4 取值

**2** 施工层标高的传递，宜采用悬挂钢尺代替水准尺的水准测量方法进行，并应对钢尺读数进行温度、尺长和拉力改正。

传递点的数目，应根据建筑物的大小和高度确定。规模较小的工业建筑或多层民用建筑，宜从 2 处分别向上传递，规模较大的工业建筑或高层民用建筑，宜从 3 处分别向上传递。

传递的标高较差小于 3mm 时，可取其平均值作为施工层的标高基准，否则，应重新传递。

**3** 施工层的轴线投测，宜使用 2" 级激光经纬仪或激光铅直仪进行。控制轴线投测至施工层后，应在结构平面上按闭合图形对投测轴线进行校核。合格后，才能进行本施工层上的其他测设工作；否则，应重新进行投测。

**4** 施工的垂直度测量精度，应根据建筑物的高度、施工的精度要求、现场观测条件和垂直度测量设备等综合分析确定，但不应低于轴线竖向投测的精度要求。

**5** 大型设备基础浇筑过程中，应及时监测。当发现位置及标高与施工要求不符时，应立即通知施工人员，及时处理。



**8.3.12 结构安装测量的精度，应分别满足下列要求：**

- 1 柱子、桁架或梁安装测量的偏差，不应超过表 8.3.12—1 的规定。

表 8.3.12—1 柱子、桁架或梁安装测量的允许偏差

测量内容		允许偏差 (mm)
钢柱垫板标高		±2
钢柱±0 标高检查		±2
混凝土柱（预制）±0 标高检查		±3
柱子垂直度检查	钢柱牛腿	5
	柱高 10m 以内	10
	柱高 10m 以上	$H/1000 \leq 20$
桁架和实腹梁、桁架和钢架的支承结点间相邻高差的偏差		±5
梁间距		±3
梁面垫板标高		±2

注：H 为柱子高度 (mm)。

- 2 构件预装测量的偏差，不应超过表 8.3.12—2 的规定。

表 8.3.12—2 构件预装测量的允许偏差

测量内容	允许偏差 (mm)
平台面抄平	±1
纵横中心线的正交度	$\pm 0.8 \sqrt{l}$
预装过程中的抄平工作	±2

注：l 为自交点起算的横向中心线长度的米数。长度不足 5m 时，以 5m 计。

- 3 附属构筑物安装测量的偏差，不应超过表 8.3.12—3 的规定。

表 8.3.12—3 附属构筑物安装测量的允许偏差

测量项目	允许偏差 (mm)
栈桥和斜桥中心线的投点	±2
轨面的标高（平整度）	±2
相邻轨面的高差	±4
轨道跨距的丈量	±2
管道构件中心线的定位	±5
管道标高的测量	±5
管道垂直度的测量	$H/1000$

注：H 为管道垂直部分的长度 (mm)。

**8.3.13 设备安装测量的主要技术要求，应符合下列规定：**

- 1 设备基础竣工中心线必须进行复测，两次测量的较差不应大于 5mm。
- 2 对于埋设有中心标板的重要设备基础，其中心线应由竣工中心线引测，同一中心标点的偏差不应超过 ±1mm。纵横中心线应进行正交度的检查，并调整横向中心线。同一设备基准中心线的平行偏差或同一生产系统的中心线的直线度应在 ±1mm 以内。
- 3 每组设备基础，均应设立临时标高控制点。标高控制点的精度，对于一般的设备基础，其标高偏差，应在 ±2mm 以内；对于与传动装置有联系的设备基础，其相邻两标高控制点的标高偏差，应在 ±1mm 以内。

## 8.4 水工建筑物施工测量

**8.4.1** 水工建筑物施工平面控制网的建立，应满足下列要求：

1 施工平面控制网，可采用卫星定位测量控制网、导线网、三角形网等形式；首级施工平面控制网等级，应根据工程规模和建筑物的施工精度要求按表 8.4.1—1 选用。

表 8.4.1—1 首级施工平面控制网等级的选用

工程规模	混凝土建筑物	土石建筑物
大型工程	二等	二等 或 三等
中型工程	三等	三等 或 四等
小型工程	四等 或 一级	一级

2 各等级施工平面控制网的平均边长，应符合表 8.4.1—2 的规定。

表 8.4.1—2 水工建筑物施工平面控制网的平均边长

等级	二等	三等	四等	一级
平均边长 (m)	800	600	500	300

注：对于施工场地大且受布点限制的水工建筑物，平均边长可适当放长，但不宜大于表中规定长度的 2 倍。

3 施工平面控制网宜按两级布设。控制点的相邻点位中误差，不应大于 10mm。对于大型的、有特殊要求的水工建筑物施工项目，其最末级平面控制点相对于起始点或首级网点的点位中误差不应大于 10mm。

4 施工平面控制测量的其他技术要求，应符合本标准第 3 章的有关规定。

**8.4.2** 水工建筑物施工高程控制网的建立，应满足下列要求：

1 施工高程控制网，宜布设成环形或附和路线。

2 施工高程控制网等级的选用，应符合表 8.4.2 的规定。

表 8.4.2 施工高程控制网等级的选用

工程规模	混凝土建筑物	土石建筑物
大型工程	二等 或 三等	三等
中型工程	三等	四等
小型工程	四等	五等

3 施工高程控制网的最弱点相对于起算点的高程中误差，对于混凝土建筑物不应大于 10mm，对于土石建筑物不应大于 20mm。根据需要，计算时应顾及起始数据误差的影响。

4 施工高程控制测量的其他技术要求，应符合本标准第 4 章的有关规定。

**8.4.3** 水工建筑物施工控制网应定期复测，复测精度与首次测量精度相同。复测周期宜为一年。受施工影响使点位遭到破坏或遇外界因素（如周边局部小型地震）影响点位稳定性时，应加密复测。

**8.4.4** 填筑及混凝土建筑物轮廓点的施工放样偏差，不应超过表 8.4.4 的规定。

表 8.4.4 填筑及混凝土建筑物轮廓点施工放样的允许偏差

建筑材料	建筑物名称	允许偏差 (mm)	
		平面	高程
混凝土	主坝、厂房等各种主要水工建筑物	±20	±20
	各种导墙及井、洞衬砌	±25	±20
	副坝、围堰心墙、护坦、护坡、挡墙等	±30	±30
土石料	碾压式坝（堤）边线、心墙、面板堆石坝等	±40	±30

	各种坝（堤）内设施定位、填料分界线等	±50	±30
--	--------------------	-----	-----

注：允许偏差是指放样点相对于邻近控制点的偏差。

#### 8.4.5 建筑物混凝土浇筑及预制构件拼装的竖向测量偏差，不应超过表 8.4.5 的规定。

表 8.4.5 建筑物竖向测量的允许偏差

工程项目	相邻两层对接中心线的相对允许偏差 (mm)	相对基础中心线的允许偏差 (mm)	累计偏差 (mm)
厂房、开关站等的各种构架、立柱	±3	$H/2000$	±20
闸墩、栈桥墩，船闸、厂房等侧墙	±5	$H/1000$	±30

注：H 为建（构）筑物的高度 (mm)。

#### 8.4.6 水工建筑物附属设施安装测量的偏差，不应超过表 8.4.6 的规定。

表 8.4.6 水工建筑物附属设施安装测量的允许偏差

设备种类	细部项目	允许偏差 (mm)		备注
		平面	高程 (差)	
压力钢管安装	始装节管口中心位置	±5	±5	相对钢管轴线和高程基点
	有连接的管口中心位置	±10	±10	
	其他管口中心位置	±10	±15	
平面闸门安装	轨间间距	-1~+4	—	相对门槽中心线
弧形门、人字门安装	—	±2	±3	相对安装轴线
天车、起重机轨道安装	轨距	±5	—	一条轨道相对于另一条轨道
	平行轨道相对高差	—	±10	
	轨道坡度	—	$L/1500$	
水轮发电机	座环安装（中心和方位）	±5	±3	相对机组中心线和高程基准点
	机坑里衬及窝壳安装（中心）	±10	±10	

注：1 L 为天车、起重机轨道长度 (mm)；

2 垂直构件安装，同一铅垂线上的安装点点位中误差不应大于±2mm。

## 8.5 桥梁施工测量

### (I) 桥梁控制测量

8.5.1 桥梁施工项目，应建立桥梁施工专用控制网。对于跨越宽度较小的桥梁，也可利用勘测阶段所布设的等级控制点，但必须经过复测，并满足桥梁控制网的等级和精度要求。

8.5.2 桥梁施工控制网等级的选择，应根据桥梁的结构和设计要求合理确定，首级网应符合表 8.5.2 的规定。

表 8.5.2 桥梁首级施工控制网等级的选择

桥长 $L$ (m)	跨越的宽度 $l$ (m)	平面控制网的等级	高程控制网的等级
$L > 5000$	$l > 1000$	二等 或 三等	二等
$2000 \leq L \leq 5000$	$500 \leq l \leq 1000$	三等 或 四等	三等
$500 < L < 2000$	$200 < l < 500$	四等 或 一级	四等
$L \leq 500$	$l \leq 200$	一级	四等 或 五等

注：1  $L$  为桥的总长；

2  $l$ 为跨越的宽度指桥梁所跨越的江、河、峡谷的宽度。

**8.5.3** 桥梁施工平面控制网的建立，应符合下列规定：

- 1 桥梁施工平面控制网，宜布设成自由网，并根据线路测量控制点定位。
- 2 控制网可采用卫星定位测量控制网、三角形网或导线网等形式，可采用一次布网也可采用分级布网。
- 3 控制网的边长，宜为主桥轴线长度的0.5~1.5倍。
- 4 当控制网跨越江河时，每岸控制点不应少于3点，其中轴线上每岸宜布设2点。
- 5 施工平面控制测量的其他技术要求，应符合本标准第3章的有关规定。

**8.5.4** 桥梁施工高程控制网的建立，应符合下列规定：

- 1 两岸的水准测量路线，应组成一个统一的水准网。
- 2 每岸水准点不应少于3点。
- 3 跨越江河时，根据需要，可进行跨河水准测量。
- 4 施工高程控制测量的其他技术要求，应符合本标准第4章的有关规定。

**8.5.5** 桥梁控制网在使用过程中应定期检测，检测精度与首次测量精度相同。检测周期宜为一年。

(II) 桥梁施工放样

**8.5.6** 桥梁施工放样前，应熟悉施工设计图纸，并根据桥梁设计和施工的特点，确定放样方法。平面位置放样宜采用极坐标法、多点交会法等，高程放样宜采用水准测量方法。

**8.5.7** 桥梁基础施工测量的偏差，不应超过表 8.5.7 的规定。

表 8.5.7 桥梁基础施工测量的允许偏差

类别	测量内容		允许偏差 (mm)
灌注桩	群桩		40
	单排桩		20
沉桩	群桩	中间桩	$d/5$ ，且 $\leq 100$
		外缘桩	$d/10$
	单排桩	顺桥纵轴线方向	16
		垂直桥纵轴线方向	20
沉井	顶面中心、底面中心	一般	$h/125$
		浮式	$h/125 + 100$
垫层	轴线位置		20
	顶面高程		0~-8

注：1  $d$ 为桩径 (mm)。

2  $h$ 为沉井高度 (mm)。

3 允许偏差是指相对于邻近控制点的偏差。

**8.5.8** 桥梁下部构造施工测量的偏差，不应超过表 8.5.8 的规定。

表 8.5.8 桥梁下部构造施工测量的允许偏差

类别	测量内容	允许偏差 (mm)	备注
----	------	-----------	----

承台	轴线位置		6	相对控制点
	顶面高程		±8	
墩台身	轴线位置		4	
	顶面高程		±4	
墩、台帽或盖梁	轴线位置		4	
	支座位置		2	
	支座处顶面高程	简支梁	±4	相对控制点
		连续梁	±2	

8.5.9 桥梁上部构造施工测量的偏差，不应超过表 8.5.9 的规定。

表 8.5.9 桥梁上部构造施工测量的允许偏差

类别	测量内容		允许偏差 (mm)	备注
梁、板安装	支座中心位置	梁	2	相对轴线点
		板	4	
	梁板顶面纵向高程		±2	相对控制点
悬臂施工梁	轴线位置	跨距小于或等于 100 m 的	4	相对轴线点
		跨距大于 100 m 的	$L/25000$	
	顶面高程	跨距小于或等于 100 m 的	±8	相对控制点
		跨距大于 100 m 的	$\pm L/12500$	
		相邻节段高差	4	
主拱圈安装	轴线横向位置	跨距小于或等于 60 m 的	4	相对轴线
		跨距大于 60 m 的	$L/15000$	
	拱圈高程	跨距小于或等于 60 m 的	±8	相对控制点
		跨距大于 60 m 的	$\pm L/7500$	
腹拱安装	轴线横向位置		4	相对轴线
	起拱线高程		±8	相对控制点
	相邻块件高差		2	
钢筋混凝土索塔	塔柱底水平位置		4	相对控制点
	倾斜度		$H/7500$ ，且 $\leq 12$	
	系梁高程		±4	相对控制点
钢梁安装	钢梁中线位置		4	相对轴线
	墩台处梁底高程		±4	相对控制点
	固定支座顺桥向位置		8	相对轴线点

注：1  $L$  为跨径 (mm)；

2  $H$  为索塔高度 (mm)。

## 8.6 核电厂施工测量

### (I) 平面控制网

**8.6.1** 核电厂施工平面控制网的等级可划分为初级网、次级网和微网；初级网的精度不应低于本标准第 3 章四等平面控制网测量精度，次级网不应低于本标准第 3 章三等平面控制网测量精度，微网宜根据项目的具体要求确定其精度。

**8.6.2** 初级平面控制网的网点应在厂区均匀布设，网的平均边长不超过 1km，最弱点点位中误差不应大于 30mm，网形可采用卫星定位网或三角形网形式；初级网观测与数据处理的其他技术要求分别按本标准第三章 3.2、3.5 节中四等平面控制网的有关规定执行。

**8.6.3** 次级平面控制网应依初级网进行定位、定向；点位宜按核电厂总平面布置图和施工总布置图布设，网的平均边长宜为 200m，控制点应采用永久性强制对中观测墩，网形可采用三角形网或卫星定位网形式，次级网观测与数据处理的其他技术要求分别按本标准第三章 3.5、3.2 节的三等平面控制网的有关规定执行。

**8.6.4** 微网宜布设成短边三角形网或导线网形式，厂房内部微网相邻点间距宜为 5m~30m，平均边长宜为 20m；微网观测宜采用多联脚架法，水平角观测的测回数 0.5"级仪器宜为 4 测回观测，1"级仪器宜为 6 测回观测；控制点的坐标中误差和相邻点相对坐标中误差均不应大于 2mm；控制网中的插点，宜采用自由测站法同精度观测；微网观测和数据处理的其他技术要求分别按本标准第三章 3.5 节、3.4 节一级网的有关规定执行。

**8.6.5** 次级网、微网的观测数据，不得进行高斯投影改化，宜将观测边长归算到核岛、常规岛等主厂房区域的场平标高面上。

**8.6.6** 厂房内部的微网观测、安装的定位和检查、局部控制网加密等项精密测量工作，宜在同等气象条件下进行。当环境因素变化显著时，应对温度、气压的影响进行改正。

### (II) 高程控制网

**8.6.7** 核电厂施工高程控制网可划分为初级高程控制网、次级高程控制网、微型高程控制网。

**8.6.8** 初级高程控制网，应布设成闭合环线、附和路线或结点网形式，最弱点高程中误差不应超过 10mm，观测精度不低于四等水准。初级网水准点的布置还应满足本标准 8.2.11 条的规定。

**8.6.9** 次级高程控制网，其网点的数量不应少于 3 个，最弱点高程中误差不应超过 1mm，观测应采用水准测量方法往返观测并满足表 8.6.9-1 和表 8.6.9-2 的规定。点位宜布设在施工变形区以外、基础稳定、易于寻找和长期保存的地方；若在建筑区内，其点位与邻近建筑物的距离宜大于建筑物基础最大宽度的 2 倍，其标石埋深应大于邻近建筑物基础的深度；也可将点位镶嵌在裸露的基岩上，或在原状土层内采用深埋式水准标志。

表 8.6.9-1 次级网、微网高程控制测量的主要技术要求

项 目	每千米高差全中误差 (mm)	相邻点高差中误差 (mm)	每站高差中误差 (mm)	往返较差、附和环线闭合差 (mm)	检测已测高差较差 (mm)
次级网 微 网	2	0.5	0.15	$0.30\sqrt{n}$	$0.4\sqrt{n}$

注：n 为测站数。

表 8.6.9-2 次级网、微网水准观测的主要技术要求

项 目	水准仪型号	水准尺	视线长度(m)	前后视的距离较差(m)	前后视的距离较差累积(m)	视线离地面最低高度(m)	基本分划、辅助分划读数较差(mm)	基本分划、辅助分划所测高差较差(mm)
次级网 微 网	DS05	因瓦	30	0.5	1.5	0.5	0.3	0.4

注：1 数字水准仪观测，不受基、辅分划读数较差指标的限制，但测站两次观测的高差较差，应满足表中相应等级基、辅分划所测高差较差的限值；

2 水准路线跨越江河时，应进行相应等级的跨河水准测量，其指标不受该表的限制，按本标准第4章的规定执行；

3 DS05级水准仪视准轴与水准管轴的夹角不得大于10''。

**8.6.10** 微型高程控制网，应由埋设在各厂房内底板基础平台上的2~3个水准点组成闭合水准路线，观测采用水准测量方法往返观测并满足表8.6.9-1和表8.6.9-2的规定。底板以上各楼层的高程控制测量应以底板微网水准点为基准进行传递，也可在各单体厂房内部另外引测高程控制点传递高程。

**8.6.11** 水准观测的其他技术要求，应符合本标准第4章二等水准测量的有关规定，水准标石的埋设应按本标准附录D的规定执行。

**8.6.12** 核电厂建设与运营期，均应对控制网进行定期复测，并符合下列规定：

- 1 建网初期每1~3个月复测一次，点位稳定后宜半年复测一次。
- 2 受到爆破、地震等外界影响时，应及时复测，并应对次级网点位的稳定性、可靠性进行评估。
- 3 次级网每期复测的结果应与当前使用的成果进行较差分析，当较差不超过较差中误差的2倍时，宜采用原测量成果。
- 4 微网应独立复测，不宜再与次级网联测，只作内部相对位置的检查和调整。每期复测的结果应与前期成果进行较差分析，同时应对点位的变化趋势作出判断。
- 5 次级网复测数据处理，应依据控制点稳定性分析结果，并以稳定点为起算数据进行严密平差计算。
- 6 微网复测数据处理，应合理选取拟稳点和非拟稳点，采用拟稳平差法进行计算。

**8.6.13** 底板微网的坐标竖向投测宜采用天底准直法，其竖向投点误差不宜超过1mm。新投测的底板平面基点应与该楼层新增的加密点共同构网，并应采用多联脚架法进行边、角组合观测。

**8.6.14** 底板微网的高程竖向传递宜采用悬吊钢尺、水准仪读数的方法进行，观测时应采用两台水准仪楼上和楼下同时读数，并量取环境温度。对观测高差应进行温度和尺长改正。

### (III) 核岛、常规岛施工放样

**8.6.15** 核岛、常规岛施工放样前，应收集下列技术资料：

- 1 施工图纸，包括土石方开挖图、总平面图、厂房基础图、各楼层平面图、结构模板图、设备基础图、设备安装图及技术条件、管网图等。
- 2 建筑物或设备的设计与说明，特别是限差的要求。
- 3 设计变更。
- 4 各级控制网资料。

**8.6.16** 施工测量控制基准的选择原则应符合下列规定：

- 1 对于基坑开挖土石方工程及独立的建构筑物，其施工测量基准应为初级网或次级网。
- 2 对于相互联系的建筑物，其施工测量基准应为次级网或该区域厂房内部微网。
- 3 对于某一建筑物内部结构或设备，施工测量基准应采用该区域微网。
- 4 当已有控制点不能满足施工放样时，可适当建立加密控制网点和临时加密点。
- 5 每个厂房只限有一个高程基准点。各厂房高程基准点的高程值确定后，不应改变。

**8.6.17** 核电厂施工放样，应符合下列规定：

- 1 施工放样可采用全站仪极坐标法、距离方向交会法和基准线法、弦线支距法等方法。高程放

样应采用水准测量方法。

2 施工放样的位置精度，宜与设计人员共同确定。常规的设备基础、构件与设备安装放样要求，可按8.6.19~8.6.20条执行。

3 对重要的和精度要求高的结构、设备及构件，宜编制专用的测量放样方案。施工放样测量完成后，宜进行同等精度的检查测量。

4 施工放样完成后，应进行检查复核，并编制相应的测量放样和检查记录。

5 对施工现场各种点、线、部件的测量放线标识，应准确、明晰。墨迹弹线应清晰耐久，线划宽度不宜大于1.5mm。

8.6.18 大型设备基础浇筑过程中，应进行测量监测。当发现位置及标高与设计要求不符时，应即刻通知施工人员，并及时进行处理。

8.6.19 混凝土工程施工及构件安装测量的允许偏差应满足表8.6.19的要求。

表 8. 6. 19 混凝土工程施工及构件安装测量的允许偏差

项目	测量内容	允许偏差 (mm)	
垫层、墙、柱、基础、楼板	平面位置控制线	±10	
	标高线	±10	
各施工层上放线	轴线位置	±10	
	墙、梁、柱边线	±10	
普通预埋件	位置、标高	±10	
预埋螺栓	中心线位置	±5	
预埋管	中心线位置	±5	
预留洞	中心线位置	±10	
钢衬里	衬里平整度	±15 (2m长度最大起拱值小于5mm)	
筒体	径向位置 (半径)	±50	
截锥体	径向位置 (半径)	±50	
环形吊车牛腿	位置	±25	
	顶面标高	0~-8	
支承环	平整度	±3	
柱	中心线对轴线位置	±5	
	上下柱接口中心线位置	±3	
	垂直度	H≤5m	±5
		5m<H<10m	±10
		H≥10m	H/1000, 且≤20
	牛腿上表面和柱顶标高	H≤5m	0~-5
H>5m		0~-8	
梁或吊车梁	中心线对轴线位置	±5	
	梁上表面标高	0~-5	

8.6.20 核岛主要设备及汽轮机基座预埋件的测量允许偏差应满足表8.6.20-1~表8.6.20-5的要求。

表 8. 6. 20-1 核岛主系统设备预埋件测量允许偏差

类别	允许偏差 (mm)
----	-----------



	平面	平整度	标高
蒸气发生器下部水平支撑预埋件	±10	5	±3
蒸气发生器上部水平支撑预埋件		5	±3
主管道过渡段支架预埋件		10	±5
阻尼器埋件		10	—
稳压器垂直支撑预埋件		—	0~10
稳压器水平防甩支架预埋件		10	—
主管道穿墙套管		—	±5
蒸气发生器和冷却剂泵垂直支撑预埋件		10	±3

表 8. 6. 20-2 反应堆相关的测量允许偏差

项目	测量内容		允许偏差 (mm)
反应堆压力容器环形支撑在二次灌浆前后	平面位置尺寸	X 方向	±0.5
		Y 方向	±0.5
	标高 Z 方向		±1
	平整度		0.5
反应堆压力容器	平面位置尺寸	X 方向	±0.5
		Y 方向	±0.5
	标高 Z 方向		±0.5
	平整度		0.16
	侧向间隙		(0, +0.1)
堆腔密封环	上部支撑环平行度		≤2
	上部支撑环内径		±5
	凸缘上表面与密封环槽底间的距离		±2

表 8. 6. 20-3 蒸汽发生器、主泵泵壳相关的测量允许偏差

项目	测量内容		允许偏差 (mm)
蒸汽发生器垂直支撑基板在二次灌浆前后	垂直支撑底板标高		±3
	垂直支撑底板平整度		1
	垂直支撑基板	位置尺寸	±2
		角度	±30"
	垂直支撑	位置尺寸	±2
		角度	±30"
	垂直支撑垂直度 (热态)		±5
蒸汽发生器水平支撑	下部水平支撑最终安装位置		±5
	下部水平支撑最终安装标高		±5
	下部水平支撑档架与档块的间隙	前端	±4
		两侧	±2
	蒸汽发生器上部支撑环安装标高		±10
	上部滑板与蒸汽发生器支撑环间间隙 (二次灌浆前、后进行检查)	主泵对侧 (30mm)	±5
		主泵侧 (30mm)	±5
阻尼器基板平面度 (到货接收检查及二次灌浆后检查)		0.15mm/800	

	阻尼器基板安装标高（二次灌浆前、后检查）	±10
	阻尼器基板安装垂直度（二次灌浆前、后检查）	±2
	阻尼器支座中心标高	±15
蒸汽发生器	设备垂直度（约 9m高处测量）	±5
	蒸汽发生器热段入口管嘴中心标高	±2
主泵泵壳	泵壳上表面标高	±1
	泵壳上表面平整度	2

表 8.6.20-4 稳压器及其支撑的允许偏差

项目	测量内容		允许偏差 (mm)
稳压器支撑	稳压器支撑环板	平整度	≤1
		标高	±2
		位置尺寸	±7
	水平档块标高		±20
	水平档块安装	轴线角向	±20
径向		±1	
稳压器	稳压器安装垂直度（8m高处测量）		±5
	稳压器安装位置偏移量（角向）		±7

表 8.6.20-5 反应堆堆坑贯穿件、汽轮机基座预埋件的允许偏差

项目	测量内容	允许偏差 (mm)
反应堆堆坑贯穿件	反应堆堆坑贯穿件安装位置	±1
	主回路管道热段中心线标高	±4
	防甩限位器与主回路管道间间隙	±15
汽轮机基座预埋件	标高及中心轴线	≤2
	水平倾斜度	≤1/2500
	垂直面相对机组中心线的垂直度	≤1/2500
	中轴线与机组中心线的平行度（准直度）	≤1/10000
	汽门台板中心线与机组中心线的平行度	≤1/500
	直埋的地脚螺栓或钢套管铅垂偏差	<L/450

注：L为预埋长度（mm）。

## 8.7 隧道施工测量

**8.7.1** 隧道工程施工前，应熟悉隧道工程的设计图纸，并根据隧道的长度、线路形状和对贯通误差的要求，进行隧道测量控制网的设计。

**8.7.2** 隧道工程的相向施工中线在贯通面上的贯通误差，不应大于表 8.7.2 的规定。

表 8.7.2 隧道工程的贯通限差

类别	两开挖洞口间长度 (km)	贯通误差限差 (mm)
横向	$L < 4$	100
	$4 \leq L < 8$	150
	$8 \leq L < 10$	200

高程	不限	70
----	----	----

注：作业时，可根据隧道施工方法和隧道用途的不同，当贯通误差的调整不会显著影响隧道中线几何形状和工程性能时，其横向贯通限差可适当放宽1~1.5倍。

**8.7.3 隧道控制测量对贯通中误差的影响值，不应大于表 8.7.3 的规定。**

表 8.7.3 隧道控制测量对贯通中误差影响值的限值

两开挖洞口间的长度 (km)	横向贯通中误差 (mm)				高程贯通中误差(mm)	
	洞外控制测量	洞内控制测量		竖井联系测量	洞外	洞内
		无竖井的	有竖井的			
$L < 4$	25	45	35	25	25	25
$4 \leq L < 8$	35	65	55	35		
$8 \leq L < 10$	50	85	70	50		

**8.7.4 隧道洞外平面控制测量的等级，应根据隧道的长度按表 8.7.4 选取。**

表 8.7.4 隧道洞外平面控制测量的等级

洞外平面控制网类别	洞外平面控制网等级	测角中误差 (")	隧道长度 $L$ (Km)
卫星定位测量控制网	二等	—	$L > 5$
	三等	—	$L \leq 5$
三角形网	二等	1.0	$L > 5$
	三等	1.8	$2 < L \leq 5$
	四等	2.5	$0.5 < L \leq 2$
	一级	5	$L \leq 0.5$
导线网	三等	1.8	$2 < L \leq 5$
	四等	2.5	$0.5 < L \leq 2$
	一级	5	$L \leq 0.5$

**8.7.5 隧道洞内平面控制测量的等级，应根据隧道两开挖洞口间长度按表 8.7.5 选取。**

表 8.7.5 隧道洞内平面控制测量的等级

洞内平面控制网类别	洞内导线网测量等级	导线测角中误差 (")	两开挖洞口间长度 $L$ (Km)
导线网	三等	1.8	$L \geq 5$
	四等	2.5	$2 \leq L < 5$
	一级	5	$L < 2$

**8.7.6 隧道洞外、洞内高程控制测量的等级，应分别依洞外水准路线的长度和隧道长度按表 8.7.6 选取。**

表 8.7.6 隧道洞外、洞内高程控制测量的等级

高程控制网类别	等级	每千米高差全中误差 (mm)	洞外水准路线长度或两开挖洞口间长度 $S$ (Km)
水准网	二等	2	$S > 16$
	三等	6	$6 < S \leq 16$
	四等	10	$S \leq 6$

**8.7.7 隧道洞外平面控制网的建立，应符合下列规定：**

- 1 控制网宜布设成自由网，并根据线路测量的控制点进行定位和定向。
- 2 控制网可采用卫星定位测量控制网、三角形网或导线网等形式，并沿隧道两洞口的连线方向布设。
- 3 隧道的各个洞口（包括辅助坑道口），均应布设 2 个以上且相互通视的控制点。

4 隧道洞外平面控制测量的其他技术要求，应符合本标准第 3 章的有关规定。

**8.7.8** 隧道洞内平面控制网的建立，应符合下列规定：

1 洞内的平面控制网宜采用导线形式，并以洞口投点（插点）为起始点沿隧道中线或隧道两侧布设成直伸的长边导线或狭长多环导线。

2 导线的边长宜近似相等，直线段不宜短于 200m，曲线段不宜短于 70m；导线边距离洞内设施不小于 0.2m。

3 当双线隧道或其他辅助坑道同时掘进时，应分别布设导线，并通过横洞连成闭合环。

4 当隧道掘进至导线设计边长的 2~3 倍时，应进行一次导线延伸测量。

5 对于长距离隧道，可加测一定数量的陀螺经纬仪定向边。

6 当隧道封闭采用气压施工时，对观测距离必须作相应的气压改正。

7 洞内导线测量的其他技术要求，应符合本标准 3.3 节的有关规定。

**8.7.9** 隧道高程控制测量，应符合下列规定：

1 隧道洞内、外的高程控制测量，宜采用水准测量方法。

2 隧道两端的洞口水准点、相关洞口水准点（含竖井和平洞口）和必要的洞外水准点，应组成闭合或往返水准路线。

3 洞内水准测量应往返进行，且每隔 200~500m 应设立一个水准点。

4 隧道高程控制测量的其他技术要求，应符合本标准第 4 章的有关规定。

**8.7.10** 隧道竖井联系测量的方法，应根据竖井的大小、深度和结构合理确定，并符合下列规定：

1 作业前，应对联系测量的平面和高程起算点进行检核。

2 竖井联系测量的平面控制，宜采用光学投点法、激光准直投点法、陀螺经纬仪定向法或联系三角形法；对于开口较大、分层支护开挖的较浅竖井，也可采用导线法（或称竖直导线法）。

3 竖井联系测量的高程控制，宜采用悬挂钢尺或钢丝导入的水准测量方法。

**8.7.11** 隧道洞内施工测量，应符合下列规定：

1 隧道的施工中线，宜根据洞内控制点采用极坐标法测设。当掘进距离延伸到 1 至 2 个导线边（直线不宜短于 200m、曲线部分不宜短于 70m）时，导线点应同时延伸并测设新的中线点。

2 当较短隧道采用中线法测量时，其中线点间距，直线段不宜小于 100m，曲线段不宜小于 50m。

3 对于大型掘进机械施工的长距离隧道，宜采用激光指向仪、激光经纬仪或陀螺仪导向，也可采用其他自动导向系统，其方位应定期校核。

4 隧道衬砌前，应对中线点进行复测检查并根据需要适当加密。加密时，中线点间距不宜大于 10m，点位的横向偏差不应大于 5mm。

**8.7.12** 陀螺经纬仪定向边的选择与测量，应满足下列要求：

1 隧道内陀螺经纬仪定向边，宜选择长度大于 70m 的长边，视线距隧道边或障碍物的距离不小于 0.5m。

2 隧道陀螺经纬仪定向边方位角测量，应遵循应先在地面已知边上测量，再下到地下定向边上测量，最后在回到地面已知边上进行复核测量的顺序。

3 陀螺经纬仪定向可采用跟踪逆转点法、中天法，也可采用半自动或全自动定向方法。

4 陀螺经纬仪定向测量的测回数宜采用三测回，观测者宜由同一人完成。

5 陀螺方位角一测回观测，应按下列步骤进行：

1) 以经纬仪正倒镜观测测线的陀螺方向值，即测前方向值。

2) 采用上架式陀螺经纬仪时应进行近似指北，近似陀螺北与陀螺子午线的偏差：跟踪逆转点法应小于 60'，中天法应小于 10'。

3) 观测悬挂带零位值，即测前零位。

4) 用跟踪逆转点法、中天法、或其它方法精确测定陀螺北的方向值。

5) 观测悬带零位值，即测后零位。

6) 再以经纬仪正倒镜观测测线的陀螺方向值，即测后方向值。前后方向值的较差 2"级不应大于 10"，6"级经纬仪不应大于 25"。

6 陀螺方位角的观测限差，应符合下列规定：

1) 采用跟踪逆转点法观测时，应连续观测 5 个逆转点，并计算 3 个陀螺摆动中值。各中值的较差对于 15"级陀螺经纬仪不应大于 20"，对于 25"级陀螺经纬仪不应大于 35"。

2) 采用中天法观测时，应连续观测 5 个中天时间，计算 3 个“两侧摆动”的时间差。时间差较差，应符合表 8.7.12 的规定。

表 8.7.12 时间差较差的限差

仪器类型	相邻 $\Delta t$ 之差的限差 (s)	间隔 $\Delta t$ 之差的限差 (s)
15" 级	0.4	0.6
25" 级	0.5	0.8

8.7.13 施工过程中，应对隧道控制网定期复测。

8.7.14 隧道贯通后，应对贯通误差进行测定，并在调整段内进行中线调整。

8.7.15 当隧道内可能出现瓦斯气体时，必须采取安全可靠的防爆措施，并须使用防爆型测量仪器。

## 8.8 综合管廊施工测量

8.8.1 综合管廊测绘包括综合管廊本体测绘和入廊管线测绘。

8.8.2 综合管廊控制测量应符合下列要求：

1 城市管廊的首级平面控制网的精度不应低于四等，高程控制网的精度不应低于三等。

2 平面坐标、方位及高程可利用综合管廊两端的在地面控制点通过支导线方式传递到综合管廊内，当传递边长短、仰角大时，应增加观测测回数。

3 综合管廊内支导线应测定左右角 1 测回观测，边长应往返观测。

8.8.3 综合管廊本体应测定干线综合管廊、支线综合管廊和缆线管廊及附属设施的空间特征，并符合下列规定：

1 综合管廊两端、坡度或走向变化处的内壁角点坐标和高程、横断面形状与尺寸、底部中线位置及高程；当具备测绘条件时，可测绘其外壁角点的坐标和高程等。

2 综合管廊各个舱室的位置、内底高程及形状、尺寸。

3 综合管廊检修井（人孔）、转折点、变坡点的位置及内底高程。

4 地面出入口、通风口、投料口等附属设施的位置及高程。

8.8.4 综合管廊本体测绘，应符合下列规定：

1 可根据现场条件，采用全站仪、水准仪、激光扫描仪或钢尺进行测绘。

2 底部中线点位置及高程测绘的间隔宜为 50m 左右。

3 当综合管廊内与地面测定的为同一设施时，可利用内外相对位置关系检查综合管廊内位置测定的准确性。

4 综合管廊结构主体测绘宜在综合管廊建造阶段进行。现状测绘时，可做必要的核查或补测。

8.8.5 入廊管线测绘，应符合下列规定：

1 入廊管线测绘可通过量测管线与综合管廊内壁的相对位置关系来进行，量测时可使用钢尺、投点尺等工具。

2 电力、通信等安放在综合管廊两侧墙壁上并利用托架固定的管线，应量测其相对于综合管廊内底的高度，并调查电缆尺寸、电缆条数以及走向等。

3 给水、热力等安放在固定墩上的管线，应量测相对于综合管廊内底的高度及控制阀等管点设施的位置，并调查管线的管径、材质、走向等。

8.8.6 综合管廊测绘成果分别包括特征成果表、平面图、横断面图等。

8.8.7 综合管线三维模型应分别包括干线管廊、支线管廊、缆线管廊及其附属设施等。

**8.8.8** 综合管线三维模型的建立，应符合下列规定：

- 1 综合管廊本体位置和形状等应基于现状测绘、竣工测绘等成果资料确定，高程信息可实地测量或由相关资料获得。
- 2 综合管廊的材质特征宜实地采集，无法采集真实纹理的应采用标准纹理。
- 3 综合管廊模型宜利用施工测量资料、竣工测量资料和管线普查资料自动生成，也可利用交互式 CAD 进行几何建模或激光扫描方式建模。
- 4 综合管廊附属设施应建立通用模型库。

## 9 竣工总图的编绘与实测

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 建筑工程项目施工完成后，应根据工程需要编绘或实测竣工总图。竣工总图，宜采用数字竣工图。

**9.1.2** 竣工总图的比例尺，宜选用 1:500；坐标系统、高程基准、图幅大小、图上注记、线条规格，应与原设计图一致；图例符号，应采用现行的国家标准《总图制图标准》GB/T50103。

**9.1.3** 竣工总图应根据设计和施工资料进行编绘。当资料不全无法编绘时，应进行实测。

**9.1.4** 竣工总图编绘完成后，应经原设计及施工单位技术负责人审核、会签。

### 9.2 竣工总图的编绘

**9.2.1** 竣工总图的编绘，应收集下列资料：

- 1 总平面布置图；
- 2 施工设计图；
- 3 设计变更文件；
- 4 施工检测记录；
- 5 竣工测量资料；
- 6 其他相关资料。

**9.2.2** 编绘前，应对所收集的资料进行实地对照检核。不符之处，应实测其位置、高程及尺寸。

**9.2.3** 竣工总图的编制，应符合下列规定：

- 1 地面建（构）筑物，应按实际竣工位置和形状进行编制；
- 2 地下管道及隐蔽工程，应根据回填前的实测坐标和高程记录进行编制；
- 3 施工中，应根据施工情况和设计变更文件及时编制；
- 4 对实测的变更部分，应按实测资料编制；
- 5 当平面布置改变超过图上面积 1/3 时，不宜在原施工图上修改和补充，应重新编制。

**9.2.4** 竣工总图的绘制，应满足下列要求：

- 1 应绘出地面的建（构）筑物、道路、铁路、地面排水沟渠、树木及绿化地等；
- 2 矩形建（构）筑物的外墙角，应注明 2 个以上点的坐标；
- 3 圆形建（构）筑物，应注明中心坐标及接地处半径；
- 4 主要建筑物，应注明室内地坪高程；
- 5 道路的起终点、交叉点，应注明中心点的坐标和高程；弯道处，应注明交角、半径及交点坐标；路面，应注明宽度及铺装材料；
- 6 铁路中心线的起终点、曲线交点，应注明坐标；曲线上，应注明曲线的半径、切线长、曲线长、外矢矩、偏角等曲线元素；铁路的起终点、变坡点及曲线的内轨轨面应注明高程；
- 7 当不绘制分类专业图时，给水管道、排水管道、动力管道、工艺管道、电力及通信线路等在总图上的绘制，还应符合 9.2.5~9.2.7 条的规定。

**9.2.5** 给水排水管道专业图的绘制，应满足下列要求：

- 1 给水管道，应绘出地面给水建筑物及各种水处理设施和地上、地下各种管径的给水管线及其

附属设备。

对于管道的起终点、交叉点、分支点，应注明坐标；变坡处应注明高程；变径处应注明管径及材料；不同型号的检查井应绘制详图。当图上按比例绘制管道结点有困难时，可用放大详图表示；

2 排水管道，应绘出污水处理构筑物、水泵站、检查井、跌水井、水封井、雨水口、排出水口、化粪池以及明渠、暗渠等。检查井，应注明中心坐标、出入口管底高程、井底高程、井台高程；管道，应注明管径、材质、坡度；对不同类型的检查井，应绘出详图；

3 给水排水管道专业图上，还应绘出地面有关建（构）筑物、铁路、道路等。

**9.2.6** 动力、工艺管道专业图的绘制，应满足下列要求：

1 应绘出管道及有关的建（构）筑物。管道的交叉点、起终点，应注明坐标、高程、管径和材质；

2 对于沟道敷设的管道，应在适当地方绘制沟道断面图，并标注沟道的尺寸及各种管道的位置；

3 动力、工艺管道专业图上，还应绘出地面有关建（构）筑物、铁路、道路等。

**9.2.7** 电力及通信线路专业图的绘制，应满足下列要求：

1 电力线路，应绘出总变电所、配电站、车间降压变电所、室内外变电装置、柱上变压器、铁塔、电杆、地下电缆检查井等；并应注明线径、送电导线数、电压及送变电设备的型号、容量；

2 通信线路，应绘出中继站、交接箱、分线盒（箱）、电杆、地下通信电缆人孔等；

3 各种线路的起终点、分支点、交叉点的电杆应注明坐标；线路与道路交叉处应注明净空高；

4 地下电缆，应注明埋设深度或电缆沟的沟底高程；

5 电力及通信线路专业图上，还应绘出地面有关建（构）筑物、铁路、道路等。

**9.2.8** 当竣工总图中图面负载较大但管线不甚密集时，除绘制总图外，可将各种专业管线合并绘制成综合管线图。综合管线图的绘制，也应满足 9.2.5~9.2.7 条的要求。

### 9.3 竣工总图的实测

**9.3.1** 竣工总图的实测，宜采用全站仪测图及数字编辑成图的方法。成图软件的选用，应满足本标准第 5.8.1 条要求。

**9.3.2** 竣工总图中建（构）筑物细部点的点位和高程中误差，应满足本规范表 5.1.5—3 的规定。

**9.3.3** 竣工总图的实测，应在已有的施工控制点上进行。当控制点被破坏时，应进行恢复。

**9.3.4** 对已收集的资料应进行实地对照检核。满足要求时应充分利用，否则应重新测量。

**9.3.5** 竣工总图实测的其他技术要求，应按本规范第 5.6 节的有关规定执行。



## 10 变形监测

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 本章适用于工业与民用建（构）筑物、建筑场地、地基基础、水工建筑物、地下工程建（构）筑物、桥梁、滑坡等的变形监测。

**10.1.2** 重要的工程建（构）筑物，在工程设计时，应对变形监测的内容和范围做出统筹安排，并由监测单位制定详细的监测技术设计方案。首次观测，宜获取监测体初始状态的观测数据。

**10.1.3** 变形监测的等级划分及精度要求，应符合表 10.1.3 的规定。

表 10.1.3 变形监测的等级划分及精度要求

等级	垂直位移监测		水平位移监测	适用范围
	变形观测点的高程中误差(mm)	相邻变形观测点的高差中误差(mm)	变形观测点的点位中误差(mm)	
一等	0.3	0.1	1.5	变形特别敏感的高层建筑、高耸构筑物、工业建筑、重要古建筑、大型坝体、精密工程设施、特大型桥梁、大型直立岩体、大型坝区地壳变形监测等
二等	0.5	0.3	3.0	变形比较敏感的高层建筑、高耸构筑物、工业建筑、古建筑、特大型和大型桥梁、大中型坝体、直立岩体、高边坡、重要工程设施、重大地下工程、危害性较大的滑坡监测等
三等	1.0	0.5	6.0	一般性的高层建筑、多层建筑、工业建筑、高耸构筑物、直立岩体、高边坡、深基坑、一般地下工程、危害性一般的滑坡监测、大型桥梁等
四等	2.0	1.0	12.0	观测精度要求较低的建（构）筑物、普通滑坡监测、中小型桥梁等

注：1 变形观测点的高程中误差和点位中误差，是指相对于邻近基准点的中误差；

2 特定方向的位移中误差，可取表中相应等级点位中误差的  $1/\sqrt{2}$  作为限值；

3 垂直位移监测，可根据需要按变形观测点的高程中误差或相邻变形观测点的高差中误差，确定监测精度等级。

**10.1.4** 变形监测网的网点，宜分为基准点、工作基点和变形观测点。其布设应符合下列要求：

1 基准点，应选在变形影响区域之外稳固可靠的位置。每个工程至少应有 3 个基准点。大型的工程项目，其水平位移基准点应采用带有强制归心装置的观测墩，垂直位移基准点宜采用双金属标或钢管标。

2 工作基点，应选在比较稳定且方便使用的位置。设立在大型工程施工区域内的水平位移监测工作基点宜采用带有强制归心装置的观测墩，垂直位移监测工作基点可采用钢管标。对通视条件较好的小型工程，可不设立工作基点，在基准点上直接测定变形观测点。

3 变形观测点，应设立在能反映监测体变形特征的位置或监测断面上，监测断面一般分为：关键断面、重要断面和一般断面。需要时，还应埋设一定数量的应力、应变传感器。

**10.1.5** 监测基准网，应由基准点和部分工作基点构成。监测基准网应每半年复测一次；当对变形监测成果发生怀疑时，应随时检核监测基准网。

**10.1.6** 变形监测网，应由部分基准点、工作基点和变形观测点构成。监测周期，应根据监测体的变形特征、变形速率、观测精度和工程地质条件等因素综合确定。监测期间，应根据变形量的变化情况适当调整。

**10.1.7** 首期监测宜进行两次独立测量。随后各期的变形监测，应满足下列要求：

- 1 在较短的时间内完成。
- 2 采用相同的图形（观测路线）和观测方法。
- 3 使用同一仪器和设备。
- 4 观测人员相对固定。
- 5 记录相关的环境因素，包括荷载、温度、降水、水位等。
- 6 采用统一基准处理数据。

**10.1.8** 变形监测作业前，应收集相关水文地质、岩土工程资料和设计图纸，并根据岩土工程地质条件、工程类型、工程规模、基础埋深、建筑结构和施工方法等因素，进行变形监测方案设计。

方案设计，应包括监测的目的、技术依据、精度等级、监测方法、监测基准及基准网精度估算和点位布设、观测周期、项目预警值、使用的仪器设备、数据处理方法和成果质量检验等内容。

**10.1.9** 每期观测前，应对所使用的仪器和设备进行检查、校正，并作好记录。

**10.1.10** 每期变形监测结束后，应及时处理监测数据。当数据处理结果出现下列情况之一时，必须即刻通知委托单位，必要时，可提高监测频率或增加监测内容：

- 1 变形量或变形速率达到变形预警值或接近允许值。
- 2 变形量或变形速率出现异常变化。
- 3 建（构）筑物的裂缝或地表的裂缝快速扩大。

**10.1.11** 重要的建（构）筑物及其附属设施的变形监测，应结合工程运营管理需要，逐步实现自动化监测或进行自动化监测改造。

## 10.2 水平位移监测基准网

**10.2.1** 水平位移监测基准网，可采用三角形网、导线网、卫星定位测量控制网和视准轴线等形式。当采用视准轴线时，轴线上或轴线两端应设立校核点。

**10.2.2** 水平位移监测基准网宜采用独立坐标系统，并进行一次布网。必要时，可与国家坐标系统联测。狭长形建筑物的主轴线或其平行线，应纳入网内。大型工程布网时，应充分顾及网的精度、可靠性和灵敏度等指标。

**10.2.3** 基准网点位，宜采用有强制归心装置的观测墩。观测墩的制作与埋设，应符合附录 B 中 B.3 的规定。

**10.2.4** 水平位移监测基准网测量的主要技术要求，应符合表 10.2.4 的规定。

表 10.2.4 水平位移监测基准网的主要技术要求

等级	相邻基准点的点位中误差(mm)	平均边长 L (m)	测角中误差(″)	测边相对中误差	水平角观测测回数		
					0.5″级仪器	1″级仪器	2″级仪器
一等	1.5	≤300	0.7	≤1/300000	9	12	—
		≤200	1.0	≤1/200000	6	9	—
二等	3.0	≤400	1.0	≤1/200000	6	9	—
		≤200	1.8	≤1/100000	4	6	9
三等	6.0	≤450	1.8	≤1/100000	4	6	9
		≤350	2.5	≤1/80000	2	4	6
四等	12.0	≤600	2.5	≤1/80000	—	4	6

注：1 水平位移监测基准网的相关指标，是基于相应等级相邻基准点的点位中误差的要求进行确定的；

2 具体作业时，也可根据监测项目的特点在满足相邻基准点的点位中误差要求前提下，进行专项设计；

3 卫星定位测量基准网，不受测角中误差和水平角观测测回数指标的限制。

**10.2.5** 监测基准网的水平角观测，宜采用方向观测法。其技术要求应符合本标准 3.3.8 条的规定。

一等三角形监测网的三角形闭合差不超过 2.5"。(闭合差源自国家三角测量规范)

10.2.6 监测基准网边长,宜采用电磁波测距。其主要技术要求,应符合表 10.2.6 的规定。

表 10.2.6 测距的主要技术要求

等级	仪器精度等级	每边测回数		一测回读数较差(mm)	单程各测回较差(mm)	气象数据测定的最小读数		往返较差(mm)
		往	返			温度(°C)	气压(Pa)	
一等	1 mm 级仪器	4	4	1	1.5	0.2	50	$\leq 2(a+b \times D)$
二等	2 mm 级仪器	3	3	3	4			
三等	5 mm 级仪器	2	2	5	7			
四等	10 mm 级仪器	4	—	8	10			

注: 1 测回是指照准目标一次,读数 2~4 次的过程;

2 根据具体情况,测边可采取不同时间段代替往返观测;

3 测量斜距,须经气象改正和仪器的加、乘常数改正后才能进行水平距离计算;

4 测距往返较差,应依经加乘常数改正且归化至同一高程面的平距计算,改正计算时  $a$ 、 $b$  分别为相应等级所使用仪器标称的固

定误差和比例误差系数,  $D$  为测量斜距 (Km)。

10.2.7 对于三等以上的卫星定位测量基准网,应采用双频接收机,并采用精密星历进行数据处理。

10.2.8 水平位移监测基准网测量的其他技术要求,按本标准第 3 章的有关规定执行。

### 10.3 垂直位移监测基准网

10.3.1 垂直位移监测基准网,应布设成环形网并采用水准测量方法观测。观测宜采用数字水准仪,也可采用光学水准仪;一、二等垂直位移监测应采用因瓦条码标尺,三、四等也可采用玻璃钢条码尺。

10.3.2 基准点的埋设,应符合下列规定:

- 1 应将标石埋设在变形区以外稳定的原状土层内,或将标志镶嵌在裸露基岩上。
- 2 利用稳固的建(构)筑物,设立墙水准点。
- 3 当受条件限制时,在变形区内也可埋设深层钢管标或双金属标。
- 4 大型水工建筑物的基准点,可采用平洞标志。
- 5 基准点的标石规格,可根据现场条件和工程需要,按本标准附录 D 进行选择。

10.3.3 垂直位移监测基准网的主要技术要求,应符合表 10.3.3 的规定。

表 10.3.3 垂直位移监测基准网的主要技术要求

等级	相邻基准点高差中误差(mm)	每站高差中误差(mm)	往返较差或环线闭合差(mm)	检测已测高差较差(mm)
一等	0.3	0.07	$0.15\sqrt{n}$	$0.2\sqrt{n}$
二等	0.5	0.15	$0.30\sqrt{n}$	$0.4\sqrt{n}$
三等	1.0	0.30	$0.60\sqrt{n}$	$0.8\sqrt{n}$
四等	2.0	0.70	$1.40\sqrt{n}$	$2.0\sqrt{n}$

注:表中  $n$  为测站数。

10.3.4 数字水准仪观测的主要技术要求,应符合表 10.3.4 的规定。

表 10.3.4 数字水准仪观测的主要技术要求

等级	水准仪级别	水准尺类别	视线长度(m)	前后视的距离较差(m)	前后视的距离较差累积(m)	数字水准仪重复测量次数
一等	DS05	条码式因瓦	15	0.3	1.0	4
二等	DS05	条码式因瓦	30	0.5	1.5	3

三等	DS05	条码式因瓦	50	2.0	3	2
	DS1	条码式因瓦	50	2.0	3	3
四等	DS1	条码式因瓦	75	5.0	8	2
	DS1	条码式玻璃	75	5.0	8	3

注：水准观测时，若遇到地面震动较大，应暂时停止测量，直至震动消失。

10.3.5 光学水准仪观测的主要技术要求，应符合表 10.3.5 的规定。

表 10.3.5 光学水准仪观测的主要技术要求

等级	水准仪级别	水准尺类别	视线长度(m)	前后视的距离较差(m)	前后视的距离较差累积(m)	视线离地面最低高度(m)	基本分划、辅助分划读数较差(mm)	基本分划、辅助分划所测高差较差(mm)
一等	DS05	线条式因瓦尺	15	0.3	1.0	0.5	0.3	0.4
二等	DS05	线条式因瓦尺	30	0.5	1.5	0.5	0.3	0.4
三等	DS05	线条式因瓦尺	50	2.0	3	0.3	0.5	0.7
	DS1	线条式因瓦尺	50	2.0	3	0.3	0.5	0.7
四等	DS1	线条式因瓦尺	75	5.0	8	0.2	1.0	1.5

注：水准路线跨越江河时，应进行相应等级的跨河水准测量，其指标不受该表的限制，按本标准第 4 章的规定执行。

10.3.6 观测使用的水准仪和水准标尺，应符合本标准 4.2.2 条的规定，DS05 级水准仪视准轴与水准管轴的夹角不得大于 10"。

10.3.7 起始点高程，宜采用测区原有高程系统。较小规模的监测工程，可采用假定高程系统；较大规模的监测工程，宜与国家水准点联测。

10.3.8 水准观测的其他技术要求，应符合本标准第 4 章的有关规定。

#### 10.4 基本监测方法与技术要求

10.4.1 变形监测的方法，应根据监测项目的特点、精度要求、变形速率以及监测体的安全性等指标按表 10.4.1 选用，也可同时采用多种方法联合监测，危险复杂的监测项目宜采用自动化监测方法。

表 10.4.1 变形监测方法的选择

类别	监测方法
水平位移监测	三角形网、极坐标法、交会法、自由设站法、卫星定位测量、地面三维激光扫描法、多孔径合成雷达 SAR 和 INSAR 干涉测量方法、微变形测量 (IBIS-L) 测量法、正倒垂线法、视准线法、引张线法、激光准直法、精密测 (量) 距、伸缩仪法、多点位移计、倾斜仪等
垂直位移监测	水准测量、液体静力水准测量、电磁波测距三角高程测量、INSAR 干涉测量方法等
三维位移监测	全站仪自动跟踪测量法、卫星实时定位测量 (GPS-RTK) 法、摄影测量法等
主体倾斜	经纬仪投点法、差异沉降法、激光准直法、垂线法、倾斜仪、电垂直梁等
挠度观测	垂线法、差异沉降法、位移计、挠度计等
监测体裂缝	精密测 (量) 距、伸缩仪、测缝计、位移计、摄影测量等
应力、应变监测	应力计、应变计

10.4.2 当采用三角形网测量时，其技术要求应符合本标准 10.2 节的相关规定。

10.4.3 交会法、极坐标法的主要技术要求，应符合下列规定：

1 用交会法进行水平位移监测时，宜采用三点交会法；角交会法的交会角，应在 60°~120°之间，边交会法的交会角，宜在 30°~150°之间。

2 用极坐标法进行水平位移监测时，宜采用双测站极坐标法，其边长应采用电磁波测距仪测定。

3 测站点应采用有强制对中装置的观测墩，变形观测点，可埋设安置反光镜或觇牌的强制对中装置或其他固定照准标志。

10.4.4 自由设站法的主要技术要求，应符合下列规定：

- 1 控制点的数量不少于 3 个，宜分布在三角形网的外围或两端。
- 2 水平角宜采用全圆方向法观测。若需分组，则需同一归零方向，并至少重复观测一个方向。
- 3 自由设站法测量应边角同步观测且测回数相同，并满足本标准表 10.2.4 的要求。
- 4 水平角观测和距离测量的其它技术要求应符合本标准第 3 章的相关规定。

10.4.5 视准线法的主要技术要求，应符合下列规定：

- 1 视准线两端的延长线外，宜设立校核基准点。
- 2 视准线应离开障碍物 1m 以上。
- 3 各测点偏离视准线的距离，不应大于 2cm；采用小角法时可适当放宽，小角角度不应超过 30"。
- 4 视准线测量，可选用活动觇牌法或小角度法。当采用活动觇牌法观测时，监测精度宜为视准线长度的 1/100000；当采用小角度法观测时，监测精度应按（10.4.5）式估算：

$$m_s = m_\beta L / \rho \quad (10.4.5)$$

式中： $m_s$ — 位移中误差（mm）；

$m_\beta$ — 测角中误差（"）；

$L$ — 视准线长度（mm）；

$\rho$ — 206265"。

- 5 基准点、校核基准点和变形观测点，均应采用有强制对中装置的观测墩。
- 6 当采用活动觇牌法观测时，观测前应对觇牌的零位差进行测定。

10.4.6 引张线法的主要技术要求，应符合下列规定：

- 1 引张线长度大于 200m 时，宜采用浮托式。
- 2 引张线两端，可设置倒垂线作为校核基准点，也可将校核基准点设置在两端山体的平洞内。
- 3 引张线宜采用直径为  $\phi 0.8\text{mm} \sim \phi 1.2\text{mm}$  的不锈钢丝。
- 4 观测时，测回较差不应超过 0.2mm。

10.4.7 正、倒垂线法的主要技术要求，应符合下列规定：

- 1 应根据垂线长度，合理确定的重锤重量或浮子的浮力。
- 2 垂线宜采用直径为  $\phi 0.8\text{mm} \sim \phi 1.2\text{mm}$  的不锈钢丝或因瓦丝。
- 3 单段垂线长度不宜大于 50m。
- 4 需要时，正倒垂可结合布设。
- 5 测站应采用有强制对中装置的观测墩。
- 6 垂线观测可采用光学垂线坐标仪，测回较差不应超过 0.2mm。

10.4.8 激光测量的主要技术要求，应符合下列规定：

- 1 激光器（包括激光经纬仪、激光导向仪、激光准直仪等）宜安置在变形区影响之外或受变形影响较小的区域。激光器应采取防尘、防水措施。
- 2 安置激光器后，应同时在激光器附近的激光光路上，设立固定的光路检核标志。
- 3 整个光路上应无障碍物，光路附近应设立安全警示标志。
- 4 目标板（或感应器），应稳固设立在变形比较敏感的部位并与光路垂直；目标板的刻划，应均匀、合理。观测时应将接收到的激光光斑，调至最小、最清晰。

10.4.9 地面三维激光扫描仪用于变形监测时，其主要技术要求应符合下列规定：

- 1 适用于四等精度的垂直位移监测和三、四等精度的水平位移监测。

- 2 扫描仪应安置在具有强制对中装置的稳定控制点上。
- 3 应在扫描范围内均匀布设标靶且高低错落；每一扫描站的标靶个数不应少于 4 个，相邻两扫描站的公共标靶个数不应少于 3 个。
- 4 标靶的三维坐标测量，应使用全站仪（或 RTK 法）在同一测站（或基准站）上精确测量两次，或在不同测站（或基准站）上各测量一次，其平面、高程较差均不大于 20mm，取平均值作为最终成果。
- 5 扫描时，四等垂直位移监测的采样点间距宜为 3mm，测回数宜为 7 测回；三四等水平位移监测的采样点间距宜分别为 3mm 和 10mm，测回数宜分别为 7 测回和 4 测回。
- 6 扫描作业结束后，应将数据导入电脑，检查点云数据覆盖范围完整性、标靶数据完整性和可用性。对缺失和异常数据，应及时补扫。
- 7 使用控制点、标靶、特征地物点建立转换矩阵对点云数据进行配准，建立转换关系。
- 8 其它技术要求应符合本标准 5.3 的有关规定。

**10.4.10** 当采用水准测量方法进行垂直位移监测时，应符合下列规定：

- 1 垂直位移监测网的主要技术要求，应符合表 10.4.10 的规定。

表 10.4.10 垂直位移监测网的主要技术要求

等级	变形观测点的高程中误差(mm)	每站高差中误差(mm)	往返较差、附和或环线闭合差(mm)	检测已测高差较差(mm)
一等	0.3	0.07	$0.15\sqrt{n}$	$0.2\sqrt{n}$
二等	0.5	0.15	$0.30\sqrt{n}$	$0.4\sqrt{n}$
三等	1.0	0.30	$0.60\sqrt{n}$	$0.8\sqrt{n}$
四等	2.0	0.70	$1.40\sqrt{n}$	$2.0\sqrt{n}$

注：表中  $n$  为测站数。

- 2 数字水准仪观测的主要技术要求，应符合本标准 10.3.4 条的规定；光学水准仪观测的主要技术要求，应符合本标准 10.3.5 条的规定。

**10.4.11** 静力水准测量，应满足下列要求：

- 1 静力水准观测的主要技术要求，应符合表 10.4.11 的规定。

表 10.4.11 静力水准观测的主要技术要求

等级	仪器类型	读数方式	两次观测高差较差(mm)	环线及附和路线闭合差(mm)
一等	封闭式	接触式	0.15	$0.15\sqrt{n}$
二等	封闭式、敞口式	接触式	0.30	$0.30\sqrt{n}$
三等	敞口式	接触式	0.60	$0.60\sqrt{n}$
四等	敞口式	目视式	1.40	$1.40\sqrt{n}$

注：表中  $n$  为高差个数。

- 2 观测前，应对观测头的零点差进行检验。
- 3 应保持连通管路无压折，管内液体无气泡。
- 4 观测头的圆气泡应居中。
- 5 两端测站的环境温度不宜相差过大。
- 6 仪器对中误差不应大于 2mm，倾斜度不应大于 10'。
- 7 宜采用两台仪器对向观测，也可采用一台仪器往返观测。液面稳定后，方能开始测量；每观测一次，应读数 3 次，取其平均值作为观测值。

**10.4.12** 电磁波测距三角高程测量，宜采用中点单觇法，也可采用直返觇法。其主要技术要求应符合下列规定：

- 1 垂直角宜采用 1"级仪器中丝法对向观测各 6 测回，测回间垂直角较差不应大于 6"。
- 2 测距长度宜小于 500m，测距中误差不应超过 3mm。
- 3 觇标高（仪器高），应精确量至 0.1mm。
- 4 必要时，测站观测前后各测量一次气温、气压，计算时加入相应改正。

**10.4.13** 主体倾斜和挠度观测，应符合下列规定：

- 1 可采用监测体顶部及其相应底部变形观测点的相对水平位移值计算主体倾斜。
- 2 可采用基础差异沉降推算主体倾斜值和基础的挠度。
- 3 重要的直立监测体的挠度观测，可采用正倒垂线法、电垂直梁法。
- 4 监测体的主体倾斜率和按差异沉降推算主体倾斜值，按本标准附录 F 的公式计算。按差异沉降推算基础相对倾斜值和基础挠度，按本标准附录 G 的公式计算。

**10.4.14** 当监测体出现裂缝时，应根据需要进行裂缝观测并满足下列要求：

- 1 裂缝观测点，应根据裂缝的走向和长度，分别布设在裂缝的最宽处和裂缝的末端。
- 2 裂缝观测标志，应跨裂缝牢固安装。标志可选用，镶嵌式金属标志、粘贴式金属片标志、钢尺条、坐标格网板或专用量测标志等。
- 3 标志安装完成后，应拍摄裂缝观测初期的照片。
- 4 裂缝的量测，可采用比例尺、小钢尺、游标卡尺或坐标格网板等工具进行；量测应精确至 0.1mm。
- 5 裂缝的观测周期，应根据裂缝变化速度而定。裂缝初期可每半个月观测一次，基本稳定后宜每月观测一次，当发现裂缝加大时应及时增加观测次数，必要时应持续观测。

**10.4.15** 全站仪自动跟踪测量的主要技术要求，应符合下列规定：

- 1 测站应设立在基准点或工作基点上，并采用有强制对中装置的观测台或观测墩；测站视野应开阔无遮挡，周围应设立安全警示标志；应同时具有防水、防尘设施。
- 2 监测体上的变形观测点宜采用观测棱镜，距离较短时也可采用反射片。
- 3 数据通讯电缆宜采用光缆或专用数据电缆，并应安全敷设，连接处应采取绝缘和防水措施。
- 4 作业前应将自动观测成果与人工测量成果进行比对，确保自动观测成果无误后，方能进行自动监测。
- 5 测站和数据终端设备应具备有不间断电源。
- 6 数据处理软件，应具有观测数据自动检核、超限数据自动处理、不合格数据自动重测，观测目标被遮挡时，可自动延时观测处理和变形数据自动处理、分析、预报和预警等功能。

**10.4.16** 当采用摄影测量方法时，应满足下列要求：

- 1 应根据监测体的变形特点、监测规模和精度要求，合理选用作业方法，可采用时间基线视差法、立体摄影测量方法或实时数字摄影测量方法等。
- 2 监测点标志，可采用十字形或同心圆形，标志的颜色应使影像与标志背景色调有明显的反差，可采用黑、白、黄色或两色相间。
- 3 像控点应布设在监测体的四周；当监测体的景深较大时，应在景深范围内均匀布设。像控点的点位精度不宜低于监测体监测精度的 1/3。  
当采用直接线性变换法解算待定点时，一个像对的控制点宜布设 6~9 个；当采用时间基线视差法时，一个像对宜布设 4 个以上控制点。
- 4 对于规模较大、监测精度要求较高的监测项目，可采用多标志、多摄站、多相片及多量测的方法进行。
- 5 摄影站，应设置在带有强制归心装置的观测墩上。对于长方形的监测体，摄影站宜布设在与物体长轴相平行的一条直线上，并使摄影主光轴垂直于被摄物体的主立面；对于圆柱形监测体，摄影站可均匀布设在与物体中轴线等距的周围。
- 6 多像对摄影时，应布设像对间起连接作用的标志点。
- 7 变形摄影测量的其他技术要求，应满足《工程摄影测量规范》(GB50167)的有关规定。

**10.4.17** 当采用卫星定位实时动态测量（RTK）方法时，其主要技术要求应符合下列规定：

- 1 应设立永久性固定参考站作为变形监测的基准点，并建立实时监控中心。
- 2 参考站，应设立在变形区之外或受变形影响较小的地势较高区域，上部天空应开阔，无高度角超过 10°的障碍物，且周围无导航定位卫星信号的反射物（大面积水域，大型建构物），及无高压线、电视台、无线电发射站、微波站等干扰源。
- 3 流动站的接收天线，应永久设置在监测体的变形观测点上，并采取保护措施。接收天线的周围无高度角超过 10°的障碍物。变形观测点的数目应依具体的监测项目和监测体的结构灵活布设。有效观测卫星数不少于 5 颗，并采用固定解成果。
- 4 数据通讯，对于长期的变形监测项目宜采用光缆或专用数据电缆通信，对于短期的监测项目也可采用无线通信网络传输数据。

**10.4.18** 应力、应变监测的主要技术要求，应符合下列规定：

- 1 监测点，应根据设计要求和工程需要合理布设。
- 2 传感器应具有足够的强度、抗腐蚀性和耐久性，并具有抗震和抗冲击性能；传感器的量程宜为设计最大压力的 1.2 倍，其精度应满足工程监控的要求；连接电缆应采用耐酸碱、防水、绝缘的专用电缆。
- 3 传感器埋设前，应进行密封性检验、力学性能检验和温度性能检验，满足要求后方可使用。
- 4 传感器应密实埋设，其承压面应与受力方向垂直；连接电缆应进行编号。
- 5 传感器预埋稳定后，方能测定静态初始值。
- 6 应力、应变监测周期，宜与变形监测周期同步。

**10.4.19** 多孔径合成雷达 SAR 和 INSAR 干涉测量方法，应符合以下规定：采用重复轨道 InSAR 系统时，由于轨道不能完全平行，应对存在夹角的 SAR 复图像对进行精确配准。

## 10.5 工业与民用建筑变形监测

**10.5.1** 工业与民用建筑变形监测项目，应根据工程需要按表 10.5.1 选择。

表 10.5.1 工业与民用建筑变形监测项目

项 目		主要监测内容		备 注
场 地		垂直位移		建筑施工前
基坑	支护边坡	不降水	垂直位移	回填前
			水平位移	
		降水	垂直位移	降水期
			水平位移	
	地下水位			
	地基	基坑回弹		基坑开挖期
分层地基土沉降		主体施工期、竣工初期		
地下水位		降水期		
建筑物	基础变形	基础沉降	主体施工期、竣工初期	
		基础倾斜		
	主体变形	水平位移	竣工初期	
		主体倾斜		
		建筑裂缝	发现裂缝初期	
		日照变形	竣工后	

**10.5.2** 拟建建筑场地的沉降观测，应在建筑施工前进行。变形观测，可采用四等监测精度，点位间距，宜为 30~50m。

**10.5.3** 基坑的变形监测，应符合下列规定：

- 1 基坑变形监测的精度，不宜低于三等。



2 变形观测点的点位，应根据工程规模、基坑深度、支护结构和支护设计要求合理布设。普通建筑基坑，变形观测点点位宜布设在基坑的顶部周边，点位间距以 10~20m 为宜；较高安全监测要求的基坑，变形观测点点位宜布设在基坑侧壁的顶部和中部；变形比较敏感的部位，应加测关键断面或埋设应力和位移传感器。

3 水平位移监测可采用极坐标法、交会法等；垂直位移监测可采用水准测量方法、电磁波测距三角高程测量方法等。

4 基坑变形监测周期，应根据施工进度确定。当开挖速度或降水速度较快引起变形速率较大时，应增加观测次数；当变形量接近预警值或有事故征兆时，应持续观测。

5 基坑开始开挖至回填结束前或在基坑降水期间，还应对基坑边缘外围 1~2 倍基坑深度范围内或受影响的区域内的建（构）筑物、地下管线、道路、地面等进行变形监测。

**10.5.4** 对于开挖面积较大、深度较深的重要建（构）筑物的基坑，应根据需要或设计要求进行基坑回弹观测，并符合下列规定：

1 回弹变形观测点，宜布设在基坑的中心和基坑中心的纵横轴线上能反映回弹特征的位置；轴线上距离基坑边缘外的 2 倍坑深处，也应设置回弹变形观测点。

2 观测标志，应埋入基底面下 100~200mm。其钻孔必须垂直，并应设置保护管。

3 基坑回弹变形观测精度等级，宜采用三等。

4 回弹变形观测点的高程，宜采用水准测量方法，并在基坑开挖前、开挖后及浇灌基础前，各测定 1 次。对传递高程的辅助设备，应进行温度、尺长和拉力等项修正。

**10.5.5** 重要的高层建筑或大型工业建（构）筑物，应根据工程需要或设计要求，进行地基土的分层垂直位移观测，并符合下列规定：

1 地基土分层垂直位移观测点位，应布设在建（构）筑物的地基中心附近。

2 观测标志埋设的深度，最浅层应埋设在基础底面下 500mm；最深层应超过理论上的压缩层厚度。

3 观测标志，应由内管和保护管组成，内管顶部应设置半球状的立尺标志。

4 地基土的分层垂直位移观测宜采用三等精度，且应在基础浇灌前开始；观测的周期，应符合本标准 10.5.8 条 3 款的规定。

**10.5.6** 地下水位监测，应符合下列规定：

1 监测孔（井）的布设，应顾及施工区至河流（湖、海）的距离、施工区地下水位、周边水域水位等因素。

2 监测孔（井）的建立，可采用钻孔加井管进行，也可直接利用区域内的水井。

3 水位量测，宜与沉降观测同步，但不得少于沉降观测的次数。

**10.5.7** 工业与民用建（构）筑物的水平位移测量，应符合下列规定：

1 水平位移变形观测点，应布设在建（构）筑物的下列部位：

1) 建筑物的主要墙角和柱基上以及建筑沉降缝的顶部和底部。

2) 当有建筑裂缝时，还应布设在裂缝的两边。

3) 大型构筑物的顶部、中部和下部。

2 观测标志宜采用反射棱镜、反射片、照准觇牌或变径垂直照准杆。

3 水平位移观测周期，应根据工程需要和场地的工程地质条件综合确定。

**10.5.8** 工业与民用建（构）筑物的沉降观测，应符合下列规定：

1 沉降观测点，应布设在建（构）筑物的下列部位：

1) 建（构）筑物的主要墙角及沿外墙每 10~15m 处或每隔 2~3 根柱基上。

2) 沉降缝、伸缩缝、新旧建（构）筑物或高低建（构）筑物接壤处的两侧。

3) 人工地基和天然地基接壤处、建（构）筑物不同结构分界处的两侧。

4) 烟囱、水塔和大型储藏罐等高耸构筑物基础轴线的对称部位，且每一构筑物不得少于 4

个点。

5) 基础底板的四角和中部。

6) 当建(构)筑物出现裂缝时,布设在裂缝两侧。

2 沉降观测标志应稳固埋设,高度以高于室内地坪( $\pm 0$ 面)0.2~0.5m为宜。对于建筑立面后期有贴面装饰的建(构)筑物,宜预埋螺栓式活动标志;

3 高层建筑施工期间的沉降观测周期,应每增加1~2层观测1次;建筑物封顶后,应每3个月观测一次,观测一年。如果最后两个观测周期的平均沉降速率小于0.02mm/日,可以认为整体趋于稳定,如果各点的沉降速率均小于0.02mm/日,即可终止观测。否则,应继续每3个月观测一次,直至建筑物稳定为止。

工业厂房或多层民用建筑的沉降观测总次数,不应少于5次。竣工后的观测周期,可根据建(构)筑物的稳定情况确定。

**10.5.9** 建(构)筑物的主体倾斜观测,应符合下列规定:

1 整体倾斜观测点,宜布设在建(构)筑物竖轴线或其平行线的顶部和底部,分层倾斜观测点宜分层布设高低点。

2 观测标志,可采用固定标志、反射片或建(构)筑物的特征点。

3 观测精度,宜采用三等水平位移观测精度。

4 观测方法,可采用经纬仪投点法、前方交会法、正垂线法、激光准直法、差异沉降法、倾斜仪测记法等。

**10.5.10** 当建(构)筑物出现裂缝且裂缝不断发展时,应进行建筑裂缝观测。裂缝观测,应满足本标准10.4.12条的要求。

**10.5.11** 当建(构)筑物因日照引起的变形较大或工程需要时,应进行日照变形观测且符合下列规定:

1 变形观测点,宜设置在监测体受热面不同的高度处。

2 日照变形的观测时间,宜选在夏季的高温天进行。一般观测项目,可在白天时间段观测,从日出前开始定时观测,至日落后停止。

3 在每次观测的同时,应测出监测体向阳面与背阳面的温度,并测定即时风速、风向和日照强度。

4 观测方法,应根据日照变形的特点、精度要求、变形速率以及建(构)筑物的安全性等指标确定,可采用交会法、极坐标法、激光准直法、正倒垂线法等。

## 10.6 水工建筑物变形监测

**10.6.1** 水工建筑物及其附属设施的变形监测项目和内容,应根据水工建筑物结构及布局、基坑深度、水库库容、地质地貌、开挖断面和施工方法等因素综合确定。监测内容应在满足工程需要和设计要求的基础上,可按表10.6.1选择。

表 10.6.1 水工建筑物变形监测项目

阶段	项目	主要监测内容
施工期	高边坡开挖稳定性监测	水平位移、垂直位移、挠度、倾斜、裂缝
	堆石体监测	水平位移、垂直位移
	结构物监测	水平位移、垂直位移、挠度、倾斜、接缝、裂缝
	临时围堰监测	水平位移、垂直位移、挠度
	建筑物基础沉降观测	垂直位移
	近坝区滑坡监测	水平位移、垂直位移、深层位移
	库周跨断裂(断层)监测	水平位移、垂直位移、裂缝

运行期	坝体	混凝土坝	水平位移、垂直位移、挠度、倾斜、坝体表面接缝、裂缝、应力、应变等
		土石坝	水平位移、垂直位移、挠度、倾斜、裂缝等
		灰坝、尾矿坝	水平位移、垂直位移
		堤坝	水平位移、垂直位移
	涵闸、船闸		水平位移、垂直位移、挠度、裂缝、张合变形等
	库首区、库区	滑坡体	水平位移、垂直位移、深层位移、裂缝
		地质软弱层	
		跨断裂（断层）	
高边坡			

10.6.2 施工期变形监测的精度要求，不应超过表 10.6.2 的规定。

表 10.6.2 施工期变形监测的精度要求

项目名称	位移量中误差 (mm)		备注
	平面	高程	
高边坡开挖稳定性监测	3	3	岩石边坡
	5	5	岩土混合或土质边坡
堆石体监测	5	5	
结构物监测	根据设计要求确定		
临时围堰监测	5	10	
建筑物基础沉降观测	—	3	
裂缝观测	1	—	混凝土构筑物、大型金属构件
	3	—	其他结构
近坝区滑坡监测	3	3	岩体滑坡体
	5~6	5	岩土混合或土质滑坡体

注：1 临时围堰位移量中误差是指相对于围堰轴线，裂缝观测是指相对于观测线，其他项目是指相对于工作基点而言；

2 垂直位移观测，应采用水准测量；受客观条件限制时，也可采用电磁波测距三角高程测量。

10.6.3 混凝土水坝变形监测的精度要求，不应超过表 10.6.3 的规定。

表 10.6.3 混凝土水坝变形监测的精度要求

项 目			测量中误差	
水平位移 (mm)	坝 体	重力坝、支墩坝	1.0	
		拱 坝	径 向	2.0
			切 向	1.0
	坝 基	重力坝、支墩坝	0.3	
		拱 坝	径 向	1.0
			切 向	0.5
垂 直 位 移 (mm)			1.0	
挠 度 (mm)			0.3	
倾 斜 (")	坝 体		5.0	
	坝 基		1.0	
坝体表面接缝、裂缝 (mm)			0.2	

注：1 中小型混凝土水坝的水平位移监测精度，可放宽 1 倍执行；土石坝，可放宽 2 倍执行；

2 中小型水坝的垂直位移监测精度，小型混凝土水坝不应超过 2mm，中型土石坝不应超过 3mm，小型土石坝不应超过 5mm。

10.6.4 水坝坝体变形观测点的布设，应符合下列规定：

1 坝体的变形观测点，宜沿坝轴线的平行线布设。点位宜设置在坝顶和其他能反映坝体变形特征的部位；在关键断面、重要断面及一般断面上，应按断面走向相应布点。

2 混凝土坝每个坝段，应至少设立 1 个变形观测点；土石坝变形观测点，可均匀布设，点位间距，不应超过 50m。

3 有廊道的混凝土坝，可将变形观测点布设在基础廊道和中间廊道内。

4 水平位移与垂直位移变形观测点，可共用同一桩位。

**10.6.5** 水坝的变形监测周期，应符合下列规定：

1 坝体施工过程中，应每半个月或每个月观测 1 次。

2 坝体竣工初期，应每个月观测 1 次；基本稳定后，宜每 3 个月观测 1 次。

3 土坝宜在每年汛前、汛后各观测 1 次。

4 当出现下列情况之一时，应及时增加观测次数。

1) 水库首次蓄水或蓄水排空。

2) 水库达到最高水位或警戒水位。

3) 水库水位发生骤变。

4) 位移量显著增大。

5) 对大坝变形影响较大的高低温气象天气。

6) 库区发生地震。

**10.6.6** 灰坝、尾矿坝的变形监测，可根据水坝的技术要求适当放宽执行。

**10.6.7** 堤坝工程在施工期和运行期的变形监测内容、精度和观测周期，应根据堤防工程的级别、堤形、设计要求和水文、气象、地形、地质等条件合理确定。

**10.6.8** 大型涵闸除进行位移监测外，还应进行闸门、闸墙的张合变形监测。监测中误差不应超过 1.0mm。大型涵闸的变形观测点，应布设在闸墙两边和闸门附近等位置。

**10.6.9** 库首区、库区地质缺陷、跨断裂及地震灾害监测，应符合下列规定：

1 库首区、库区地质缺陷监测的对象包括滑坡体、地质软弱层、施工形成的高边坡等。其监测项目、点位布设和观测周期，按本章 10.9 节的有关规定执行。

2 跨断裂及地震灾害监测，应结合地震台网的分布及区域地质资料进行，并满足下列要求：

1) 监测点位，应布设在地质断裂带的两侧；点位间距，根据需要合理确定。必要时还应进行平洞监测。

2) 变形监测宜采用三角形网、GPS 网、水准测量、精密测（量）距、裂缝观测等方法。重要监测项目，变形观测点的点位和高程中误差不应超过 1.0mm；普通监测项目，精度可适当放宽。

3) 监测周期，应按不同监测区域的重要性和危害程度分别确定。对于重要的、变形速率较快的监测体，宜每周观测 1 次；变形速率较小时，其监测周期可适当加大。

## 10.7 地下工程变形监测

**10.7.1** 地下工程变形监测项目和内容，应根据埋深、地质条件、地面环境、开挖断面和施工方法等因素综合确定。监测内容应根据工程需要和设计要求，按表 10.7.1 选择。应力监测和地下水位监测选项，应满足工程监控和变形分析的需要。

表 10.7.1 地下工程变形监测项目

阶段	项目		主要监测内容	
施 工 阶 段 地 下 工 程	地下建 (构)筑物	支护结构	位移监测	支护结构的水平侧向位移、垂直位移
				立柱的水平位移、垂直位移
			挠度监测	桩墙挠曲

	基坑		应力监测	桩墙侧向水土压力和桩墙内力、支护结构界面上侧向压力、水平支撑轴力、地基反力、地层压力、静水压力及浮力	
			地基	位移监测	基坑回弹、分层地基土沉降
				地下水	基坑内外地下水位
	地下建(构)筑物	结构、基础	位移监测	主要柱基、墩台的垂直位移、水平位移、倾斜	
				连续墙水平侧向位移、垂直位移、倾斜	
				建筑裂缝	
				底板的垂直位移	
			挠度监测	桩墙(墙体)挠曲、梁体挠度	
	应力监测	侧向地层抗力及地基反力、地层压力、静水压力及浮力			
	地下隧道	隧道结构	位移监测	隧道拱顶下沉、隧道底面回弹、衬砌结构收敛变形	
				衬砌结构裂缝	
				围岩内部位移	
			挠度监测	侧墙挠曲	
			地下水	地下水位	
	应力监测	围岩压力及支护间应力、锚杆内力和抗拔力、钢筋格栅拱架内力及外力、衬砌内应力及表面应力			
	受影响的地面建(构)筑物、地表沉降、地下管线	地表面、地面(下)建(构)筑物、地下管线	位移监测	地表沉降	
				建(构)筑物水平位移、垂直位移、倾斜	
				建(构)筑物裂缝	
				地下管线的水平位移、垂直位移	
地下水			地下水位		
地下工程运营阶段	地下建(构)筑物	结构、基础	位移监测	主要柱基、墩台的垂直位移、水平位移、倾斜	
				连续墙水平侧向位移、垂直位移、倾斜	
				建筑裂缝	
				底板的垂直位移	
			挠度监测	连续墙挠曲、梁体挠度	
	地下水	地下水位			
	地下隧道	结构、基础	位移监测	衬砌结构变形	
				衬砌结构裂缝	
				拱顶下沉	
				底板垂直位移	
挠度监测			侧墙挠曲		

**10.7.2** 地下工程变形监测的精度，应根据工程需要和设计要求合理确定，并符合下列规定：

1 重要地下建(构)筑物的结构变形和地基基础变形，宜采用二等精度；一般的结构变形和基础变形，可采用三等精度。

2 重要的隧道结构、基础变形，可采用三等精度；一般的结构、基础变形，可采用四等精度。

3 受影响的地面建(构)筑物的变形监测精度，应符合表 10.1.3 的规定。地表沉降和地下管线变形的监测精度，不低于三等。

**10.7.3** 地下工程变形监测的周期，应符合下列规定：

1 地下建(构)筑物的变形监测周期应根据埋深、岩土工程条件、建筑结构和施工进度确定。

2 隧道变形监测周期，应根据隧道的施工方法、支护衬砌工艺、横断面的大小以及隧道的岩土工程条件等因素合理确定。

当采用新奥法施工时，新设立的拱顶下沉变形观测点，其初始观测值应在隧道下次掘进爆破前获取。变形观测周期，应符合表 10.7.3—1 的规定。

表 10.7.3—1 新奥法施工拱顶下沉变形监测的周期

阶段	0~15 天	16~30 天	31~90 天	>90 天
周期	每日观测 1~2 次	每 2 日观测 1 次	每周观测 1~2 次	每月观测 1~3 次

当采用盾构法施工时，对不良地质构造、断层和衬砌结构裂缝较多的隧道断面的变形监测周期，在变形初期宜每天观测 1 次，变形相对稳定后可适当延长，稳定后可终止观测。

3 对于基坑周围建（构）筑物的变形监测，应在基坑开始开挖或降水前进行初始观测，回填完成后可终止观测。其变形监测宜与基坑变形监测同步。

4 对于受隧道施工影响的地面建（构）筑物、地表、地下管线等的变形监测，应在开挖面距前方监测体  $H+h$ （ $H$  为隧道埋深，单位为 m； $h$  为隧道高度，单位为 m）时进行初始观测。观测初期，宜每天观测 1~2 次，相对稳定后可适当延长监测周期，恢复稳定后可终止观测。

当采用新奥法施工时，其地面建（构）筑物、地表沉陷的观测周期应符合表 10.7.3—2 的规定。

表 10.7.3—2 新奥法施工地面建（构）筑物、地表沉陷的观测周期

监测体或监测断面距开挖工作面的前、后距离	$L < 2B$	$2B \leq L < 5B$	$L \geq 5B$
周期	每日观测 1~2 次	每 2 日观测 1 次	每周观测 1 次

注：1 表中  $L$  为监测体或监测断面距开挖工作面的前、后距离，单位为 m； $B$  为开挖面宽度，单位为 m；

2 新奥法施工时，当地面建（构）筑物、地表沉陷观测 3 个月后，可根据变形情况将观测周期调整为每月观测 1 次，直到恢复稳定为止。

5 地下工程施工期间，当监测体的变形速率明显增大时，应及时增加观测次数；当变形量达到预警值或有事故征兆时，应持续观测。

6 地下工程在运营初期，第一年宜每季度观测一次，第二年宜每半年观测一次，以后宜每年观测 1 次，但在变形显著时，应及时增加观测次数。

10.7.4 地下工程基坑变形监测的主要技术要求，应符合本标准 10.5.3 条 1~4 款的规定；应力监测的计量仪表，应满足测试要求的精度；基坑回弹、分层地基土和地下水位的监测，应分别符合本标准 10.5.4~10.5.6 的规定。

10.7.5 地下建（构）筑物的变形监测，应符合下列规定：

1 水平位移观测的基准点，宜布设在地下建（构）筑物的出入口附近或地下工程的隧道内的稳定位置。工作基点，应设置在底板上便于观测的相对稳定位置，且不少于 3 点；变形观测点，应布设在变形比较敏感的柱基、墩台和梁体上；水平位移观测，可采用交会法、视准线法、极坐标法、自由设站法、激光准直法、三维激光扫描法等，必要时也可采用全站仪自动跟踪测量法。

2 垂直位移观测的基准点，应选在地下建（构）筑物的出入口附近不受沉降影响的区域，也可将基准点选在地下工程的隧道横洞内，必要时应设立深层钢管标，基准点个数不应少于 3 点；变形观测点应布设在主要的柱基、墩台、地下连续墙墙体、地下建筑底板上；垂直位移观测宜采用水准测量方法或静力水准测量方法，精度满足要求时，也可采用电磁波测距三角高程测量法或三维激光扫描法。

10.7.6 隧道的变形监测，应符合下列规定：

1 隧道的变形监测，应对距离开挖面较近的隧道断面、不良地质构造、断层和衬砌结构裂缝较多的隧道断面的变形进行监测。

2 隧道内的基准点，应埋设在变形区外相对稳定的地方或隧道横洞内。必要时，应设立深层钢管标，位移监测基准点个数不宜少于 3 点。

3 变形观测点应按断面布设。当采用新奥法施工时，其断面间距宜为 10~50m，点位应布设在

隧道的顶部、底部和两腰，必要时可加密布设，新增设的监测断面宜靠近开挖面。当采用盾构法施工时，监测断面应选择并布设在不良地质构造、断层和衬砌结构裂缝较多的部位。

4 隧道拱顶下沉和底面回弹，宜采用水准测量方法。

5 衬砌结构收敛变形，宜采用收敛计进行监测，也可采用极坐标法测量、全站仪自由设站法、三维激光扫描等方法。

6 必要时，可在地表布设沉降监测横断面，埋设土体分层沉降计、沉降磁环、测斜管等。

10.7.7 地下建筑物的建筑裂缝观测，按本标准 10.4.14 条的要求执行。

10.7.8 地下建（构）筑物、地下隧道在施工和运营初期，还应对受影响的地面建（构）筑物、地表、地下管线等进行同步变形测量，并符合下列规定：

1 地面建（构）筑物的垂直位移变形观测点应布设在建筑物的主要柱基上，水平位移变形观测点宜布设在建筑物外墙的顶端和下部等变形敏感的部位。点位间距以 15m~20m 为宜。

2 地表沉陷变形观测点应布设在地下工程的变形影响区内。新奥法隧道施工时，地表沉陷变形观测点，应沿隧道地面中线呈横断面布设，断面间距宜为 10~50m，两侧的布点范围宜为隧道深度的 2 倍，每个横断面不少于 5 个变形观测点。

3 变形区内的燃气、上水、下水和热力等地下管线的变形观测点，宜设立在管顶或检修井的管道上。变形观测点可采用抱箍式和套筒式标志；当不能在管线上直接设点时，可在管线周围土体中埋设位移传感器间接监测管线的变形。

4 变形观测宜采用水准测量方法、极坐标法、交会法等。

10.7.9 地下工程变形监测的各种应力应变传感器，应布设在不良地质构造、断层、衬砌结构裂缝较多和其他变形敏感的部位，并与水平位移和垂直位移变形观测点相协调；应力、应变监测的主要技术要求，应符合本标准 10.4.18 的规定。

10.7.10 地下工程运营期间，变形监测的内容可适当减少，监测周期也可相应延长，但应满足运营安全监控的需要。其主要技术要求与施工期间相同。必要时，可将监测方法升级为自动化监测系统。

## 10.8 桥梁变形监测

10.8.1 桥梁变形监测的内容，应根据桥梁结构类型按表 10.8.1 选择。

表 10.8.1 桥梁变形测量项目

类型	施工期主要监测内容	运营期主要监测内容
梁式桥	桥墩垂直位移 梁体水平位移、徐变(垂直位移)、挠度(垂直位移)	桥墩垂直位移 桥面水平位移、挠度(垂直位移)
拱桥	桥墩垂直位移 装配式拱圈水平、垂直位移	桥墩垂直位移 桥面水平位移、垂直位移
悬索桥 斜拉桥	索塔倾斜、索塔摆动(塔顶水平位移)、塔基垂直位移 桥面线形(水平位移、垂直位移)、挠度(垂直位移) 锚碇水平位移、垂直位移	索塔倾斜、索塔摆动(塔顶水平位移)、塔基垂直位移 桥面线形(水平位移、垂直位移)、挠度(垂直位移)
桥梁两岸边坡	桥梁两岸边坡水平位移、垂直位移	桥梁两岸边坡水平位移、垂直位移

10.8.2 桥梁变形监测的精度，应根据桥梁的类型、结构、用途等因素综合确定，特大型桥梁的监测精度，不宜低于二等，大型桥梁不宜低于三等，中小型桥梁可采用四等。

10.8.3 变形监测可采用卫星定位测量、极坐标法、精密测(量)距、导线测量、前方交会法、正垂线法、激光准直法、水准测量等。

10.8.4 大型桥梁的变形监测，必要时应同步观测梁体和桥墩的温度、水位和流速、风力和风向。

10.8.5 桥梁变形观测点的布设，应满足下列要求：

1 桥墩的垂直位移变形观测点，沿桥墩的纵、横轴线布设在外边缘，也可布设在墩面上。每个桥墩的变形观测点数，视桥墩大小布设 1~4 点。

2 梁体的徐变、挠度观测点，在支点、跨中梁体截面布点，每个梁体截面的观测点数，视截面大小布设 2~5 点。

悬臂法浇筑或安装梁体的桥面线形观测点，布设在每段梁体的前端截面，每个梁体截面观测点数，视截面大小布设 2~5 点。

支架法浇筑或安装梁体的桥面线形观测点，在桥墩和梁体的 1/4、1/2、3/4 处截面布点。每个梁体截面的观测点数，视截面大小布设 2~5 点。

3 索塔垂直位移变形观测点，宜布设在索塔底部的四角；索塔倾斜、摆动变形观测点，宜在索塔的顶部、中部和下部并沿索塔横向轴线对称布设。

4 斜拉桥、悬索桥桥面线形、挠度观测点，在桥墩（索塔）和拉索锚固点梁体截面布点，每个梁体截面的观测点数，视截面大小布设 2~5 点。

5 桥梁两岸边坡变形观测点，宜成排布设在边坡的顶部、中部和下部，点位间距以 10m~20m 为宜。

**10.8.6** 桥梁施工期的变形监测周期，应跟据桥梁的类型、施工工序、设计要求等因素确定。

**10.8.7** 桥梁运营期的变形监测，每年应观测 1 次。也可在每年的夏季和冬季各观测 1 次。当洪水、地震、强台风等自然灾害发生时，应适当增加观测次数。

## 10.9 滑坡监测

**10.9.1** 滑坡监测的内容,应根据滑坡危害程度或防治工程等级,按表 10.9.1 选择。

表 10.9.1 滑坡监测内容

类型	阶段	主要监测内容
滑坡	前期	地表裂缝
	整治期	地表的水平位移和垂直位移、深部钻孔测斜、土体或岩体应力、水位
	整治后	地表的水平位移和垂直位移、深部钻孔测斜、地表倾斜、地表裂缝、土体或岩体应力、水位

注：滑坡监测，必要时还应监测区域的降雨量和进行人工巡视。

**10.9.2** 滑坡监测的精度，不应超过表 10.9.2 的规定。

表 10.9.2 滑坡监测的精度要求

类型	水平位移监测的点位中误差 (mm)	垂直位移监测的高程中误差 (mm)	地表裂缝的观测中误差 (mm)
岩质滑坡	±5	±5	±0.5
土质滑坡	±10	±10	±3.0

注：水平位移和垂直位移的监测中误差是相对于基准点或工作基点。

**10.9.3** 滑坡水平位移观测，可采用交会法、极坐标法、GPS 测量和多摄站摄影测量方法；深层位移观测，可采用深部钻孔测斜方法。垂直位移观测，可采用水准测量和电磁波测距三角高程测量方法。地表裂缝观测，可采用精密测(量)距方法。

**10.9.4** 滑坡监测变形观测点位的布设，应符合下列规定：

1 对已明确主滑方向和滑动范围的滑坡，监测网可布设成十字形和方格形，其纵向应沿主滑方向，横向应垂直于主滑方向；对主滑方向和滑动范围不明确的滑坡，监测网宜布设成放射形。

2 点位应选在地质、地貌的特征点上。

3 单个滑坡体的变形观测点不宜少于 3 点。

4 地表变形观测点，宜采用有造强制对中装置墩标，困难地段也应设立固定照准标志。

**10.9.5** 滑坡监测周期，宜每月观测一次。并可根据早、雨季或滑坡速度的变化进行适当调整。

邻近江河的滑坡体，还应监测水位变化。水位监测次数，不应少于变形观测的次数。

**10.9.6** 滑坡整治后的监测期限，宜在单元滑坡内所有监测点三年内变化不显著并预计若干年内周边



环境无重大变化时，可适当延长监测周期或结束阶段性监测。

**10.9.7** 工程边坡和高边坡监测的点位布设，可根据边坡的高度，按上中下成排布点。其监测方法、监测精度和监测周期与滑坡监测的基本要求一致。

## 10.10 核电厂变形监测

**10.10.1** 核电厂变形监测项目分别包括厂区内核岛、常规岛等重要建构（筑）物、水工建筑物、边坡等的变形监测。

**10.10.2** 核电厂变形监测基准网宜由次级网的基准点和工作基点构成，并应符合下列规定：

- 1 基准点数量不应少于 3 个，点位应选在主要厂区周边、变形影响区域之外、稳固可靠的位置。
- 2 工作基点数量宜为 6~8 个，宜选在核岛和常规岛等主要厂房周围、相对稳固且方便使用的位置。
- 3 基准点和工作基点的布设应整体设计，并应进行一次布网。

**10.10.3** 核电厂项目变形监测点应埋设在监测体上且最能反映变形特征和变形明显的部位。

**10.10.4** 核电厂项目变形监测应根据适用对象选择相应的精度等级，核岛、常规岛等主体建筑物变形监测应按照本标准二等变形监测要求施测，附属设施、边坡、水库坝体、码头、环廊基础等的变形监测可按照本标准三等变形监测要求施测。

**10.10.5** 每个重要的建（构）筑物都应有独立的变形测量监测系统。在工程设计时，应对变形监测的内容进行统筹安排；在工程建造时，各项监测设施应随施工的进展及时埋设安装。

**10.10.6** 核电厂项目水平位移监测可采用测角前方交会法、边角交会法、极坐标法、小角法、经纬仪投点法、视准线法、正垂线或倒垂线法。

**10.10.7** 核电厂项目核岛、常规岛等建筑物的垂直位移监测宜采用精密水准测量方法，在变形较大或不便于立尺的地方可同时辅以静力水准法独立监测。单体构件可采用测微水准仪或机械倾斜仪、电子倾斜仪等测量方法。

**10.10.8** 核岛、常规岛等建（构）筑物的沉降观测点应按照设计图埋设，并宜符合下列规定：

- 1 宜埋设在建筑物四角或沿着外墙每 10m~15m 处或每隔 2 根~3 根柱子柱基上。
- 2 宜埋设在裂缝、沉降缝或伸缩缝的两侧。
- 3 宜埋设在人工地基和天然地基的接壤处，可埋设在建筑物不同结构的分界处。
- 4 宜埋设在烟囱、水塔或大型储藏罐等高耸构筑物的基础轴线的对称部位，每宜构筑物不得少于 4 个点。

施工期间的沉降观测周期应按照施工进度和荷载变化情况确定，施工期间，测量频率为每 3 个月 1 次，施工过程中若暂停工，停工时及重新开工时，应各测量 1 次，停工期间间隔三个月测量 1 次。建筑物在使用期间，第一年测量 1 次，之后每三年测量 1 次。

**10.10.9** 核电厂水坝变形监测，其点位布设、精度和监测周期应符合下列规定：

1 水坝的变形监测点宜沿着坝轴线的平行线布设，点位应设在坝顶和其他能反映坝体变形特征的部位；混凝土坝每个坝段应至少设立 1 个变形监测点；土石坝的变形监测点应均匀布设，点位间距不应超过 50m。水平位移监测点和垂直位移监测点应合设在同一个标墩上。

2 水坝的水平位移和垂直位移观测，观测点相对于工作基点的坐标中误差和高程中误差，对于中型混凝土坝二者均不应超过 1mm，对于小型混凝土坝均不应超过 2mm；对于中型土石坝均不应超过 3mm，对于小型土石坝均不应超过 5mm。

3 坝体施工过程中，变形监测应每半个月或每个月观测 1 次；竣工初期，应每个月观测 1 次；坝体基本稳定后，宜每 3 个月观测 1 次；当发生水库空库容、水库水位发生骤变、水库达到最高水位或警戒水位、位移量显著增大等情况时，应及时增加观测次数。

**10.10.10** 核电厂边坡和高边坡监测的点位布设可根据边坡的高度，按上、中、下成排布点，应同时进行水平位移和垂直位移监测。监测周期宜为每月观测 1 次，并可根据旱、雨季和位移速率的变化

进行适当调整。

## 10.11 数据处理与变形分析

**10.11.1** 对变形监测的各项原始记录，应及时整理、检查。

**10.11.2** 监测基准网的数据处理，应符合下列规定：

- 1 观测数据的改正计算、检核计算和数据处理方法，按本标准第 3、4 章的相关规定执行。
- 2 规模较大的网，还应对观测值、坐标和高程值、位移量进行精度评定。
- 3 应利用稳定的基准点作为起算点；监测基准网平差的起算点，必须是经过稳定性检验合格的点或点组。监测基准网点位稳定性的检验，可采用下列方法进行。

1) 采用最小二乘测量平差的检验方法。复测的平差值与首次观测的平差值较差 $\Delta$ ，在满足(10.11.2)式要求时，可认为点位稳定。

$$\Delta < 2\mu\sqrt{2Q} \quad (10.11.3)$$

式中  $\Delta$ ——平差值较差的限值；

$\mu$ ——单位权中误差；

$Q$ ——权系数。

- 2) 采用数理统计检验方法；
- 3) 采用 1)、2) 项相结合的方法。

**10.11.3** 变形监测网观测数据的改正计算和检核计算，应符合本节 10.11.2 条第 1、2 款的规定；监测网的数据处理，可采用最小二乘法进行平差。

**10.11.4** 变形监测数据处理中的数值取位要求，应符合表 10.11.4 的规定。

表 10.11.4 数据处理中的数值取位要求

等级	方向值(″)	边长(mm)	坐标(mm)	高程(mm)	水平位移量(mm)	垂直位移量(mm)
一、二等	0.01	0.1	0.1	0.01	0.1	0.01
三、四等	0.1	1	1	0.1	1	0.1

**10.11.7** 监测项目的变形分析，对于较大规模的或重要的项目，宜包括下列内容；较小规模的项目，至少应包括 1~3 款的内容。

- 1 观测成果的可靠性。
- 2 监测体的累计变形量和两相邻观测周期的相对变形量和变形速率。
- 3 相关影响因素（荷载、气象和地质等）的作用分析。
- 4 回归分析。
- 5 有限元分析。

**10.11.8** 变形监测项目，应根据工程需要，提交下列有关资料：

- 1 设计方案。
- 2 基准点、工作基点的布设位置图。
- 3 变形监测成果图表，主要包括以下内容：
  - 1) 监测点位置分布图；建筑裂缝位置及观测点分布图。
  - 2) 水平位移量曲线图；等沉降曲线图（或沉降曲线图）。
  - 3) 有关荷载、温度、水平位移量相关曲线图；荷载、时间、沉降量相关曲线图；位移（水平或垂直）速率、时间、位移量曲线图。
  - 4) 其他影响因素的相关曲线图。

- 5) 变形监测过程中出现的异常、预警及其他特殊情况说明。
- 4 基准点稳定性分析资料。
- 5 变形监测报告。

## 10.12 变形监测信息系统

**10.12.1** 变形监测信息系统宜包括数据采集、数据传输与通信、数据处理与分析、可视化演示、预警与报警等模块。

**10.12.2** 变形监测的数据记录、计算资料及成果的管理和分析宜采用变形监测信息系统进行，且应具备下列功能：

- 1 应能接收各期变形监测的观测数据和接入其他类型传感器设备的监测数据。
- 2 应能对各期观测数据进行检核、处理和粗差剔除，且能建立观测数据、计算数据、成果数据的相应数据库。
- 3 应能进行监测基准网观测数据的平差计算和基准点的稳定性分析。
- 4 应能对所有监测点的变化进行统计分析、生成变形测量成果图表、且能对变形结果的危害程度做出预警、报警。
- 5 应具有数据查询、数据上传，且能进行数据建模、宜具有监测结果的三维可视化表达功能。
- 6 应具有根据不同警报类型、警报级别为每个监测的项目建立预警及报警处置预案的功能。
- 7 应具有用户管理、数据与信息管理和系统安全维护功能。

**10.12.3** 变形监测信息系统的基本性能指标，应满足下列要求：

- 1 系统平均无故障时间（MTBF）应大于 6300h，系统的故障率应低于 5%。
- 2 数据存储容量应满足项目 2 年数据的存储量。
- 3 实时通讯时通讯误码率应小于  $10^{-8}$ ，延时应小于 500ms。

**10.12.4** 系统宜采用作图分析法、统计分析法、对比分析法、建模分析法等对监测数据进行变形的几何分析和物理解释；当利用变形量与变形因子关系模型进行变形趋势预报时，应给出预报结果的误差范围及适用条件。

**10.12.5** 系统在评审验收之前应进行试运行。验收内容应包括文档验收、程序验收等。

## 附录 A 精度要求较高工程的中误差评定方法

**A.0.1** 对于精度要求较高的工程，且多余观测数小于 20 时，可按本附录的方法评定观测精度。

**A.0.2** 评定对象的中误差，应按 (A.0.2) 式计算：

$$\sigma = K_M m \quad (\text{A.0.2})$$

式中  $\sigma$  —— 评定对象的中误差（母体中误差估值）；

$K_M$  —— 修正系数；

$m$  —— 由观测数据计算的中误差（子样中误差）。

**A.0.3** 评定对象的中误差值，应满足 (A.0.3) 式要求：

$$\sigma \leq \sigma_0 \quad (\text{A.0.3})$$

式中  $\sigma_0$  —— 本规范规定的评定对象的中误差值。

**A.0.4** 观测中误差修正系数，应根据多余观测个数  $n$  按表 A.0.4 选取

表 A.0.4 观测中误差修正系数表

多余观测个数（或自由度） $n$	$K_M$ 值
1	2.22
2	1.47
3	1.29
4	1.20
5	1.15
6	1.12
7	1.10
8	1.08
9	1.07
10	1.05
11	1.04
12	1.04
13	1.03
14	1.02
15	1.02
16	1.01
17	1.01
18	1.01
19	1.00
20	1

## 附录 B 平面控制点标志及标石的埋设规格

### B.1 平面控制点标志

**B.1.1** 二、三、四等平面控制标志可采用磁质或金属等材料制作，其规格如图B.1.1和图B.1.2所示。

**B.1.2** 一、二级小三角点，一级及以下导线点、埋石图根点等平面控制点标志可采用 $\phi 14\sim\phi 20$ 、长度为30cm~40cm的普通钢筋制作，钢筋顶端应锯“十”字标记，距底端约5cm处应弯成勾状。

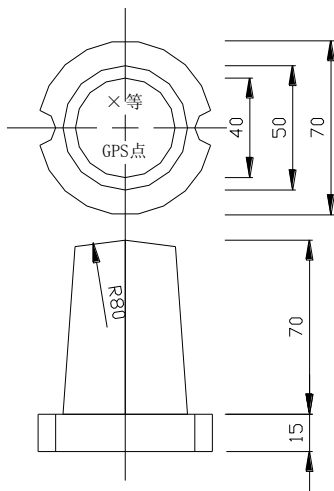


图 B.1.1 磁质标志图  
(单位: mm)

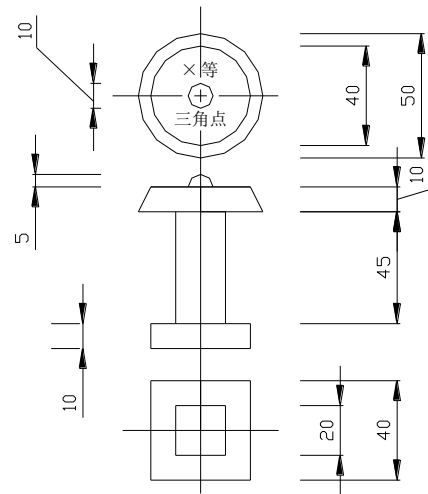


图 B.1.2 金属标志图  
(单位: mm)

### B.2 平面控制标石埋设

- B.2.1** 二、三等平面控制点标石规格及埋设结构图，如图B.2.1所示，柱石与盘石间应放1cm~2cm厚粗砂，两层标石中心的最大偏差不应超过3mm。
- B.2.2** 四等平面控制点可不埋盘石，柱石高度应适当加大。
- B.2.3** 一、二级平面控制点标石规格及埋设结构图，如图B.2.2所示。
- B.2.4** 三级导线点、埋石图根点的标石规格及埋设，可参照图B.2.2略缩小或自行设计。

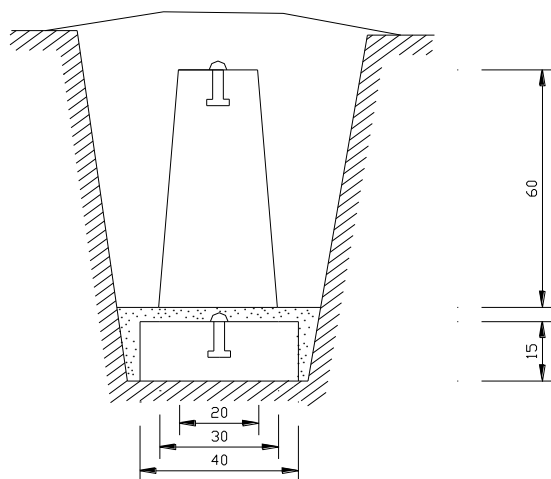


图 B.2.1 二、三等平面控制点标石埋设图  
(单位: cm)

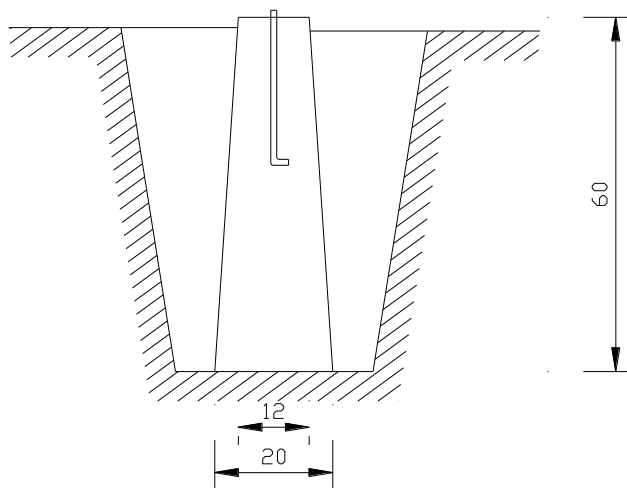


图 B.2.2 一、二级平面控制点标石埋设图  
(单位: cm)

### B.3 变形监测观测墩结构图

- B.3.1** 变形监测观测墩制作规格，如图B.3.1所示。

B.3.2 墩面尺寸可根据强制归心装置尺寸而定。

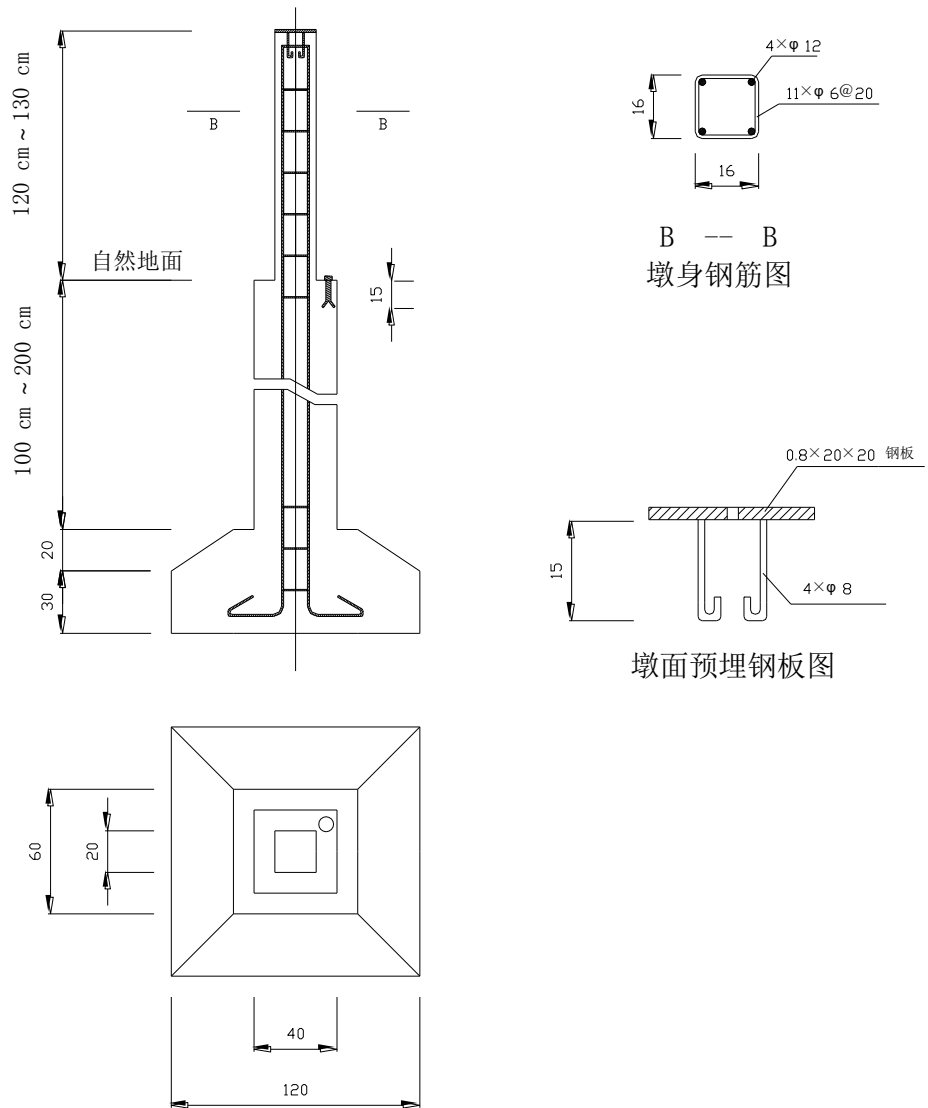


图 B.3.1 变形监测观测墩图  
(单位: cm)

## 附录 C 方向观测法度盘和测微器位置变换计算公式

**C.0.1** 光学经纬仪、编码式测角法和增量式测角法全站仪（或电子经纬仪）在进行方向法多测回观测时，应配置度盘。

**C.0.2** 采用动态式测角系统的全站仪或电子经纬仪不需进行度盘配置。

**C.0.3** 度盘和测微器位置变换计算公式：

$$\sigma = \frac{180^\circ}{m}(j-1) + i(j-1) + \frac{\omega}{m}(j - \frac{1}{2}) \quad (\text{C.0.3})$$

式中： $\sigma$ ——度盘和测微器位置变换值（° ′ ″）；

$m$ ——测回数；

$j$ ——测回序号；

$i$ ——度盘最小间隔分划值（光学经纬仪的 1″ 级为 4′，2″ 级为 10′）；

$\omega$ ——测微盘分格数（值）（光学经纬仪的 1″ 级为 60 格；2″ 级为 600″）；

**注：**由于全站仪（电子经纬仪）没有单独的测微器，且不同厂家和不同型号的全站仪（电子经纬仪）度盘的分划格值、细分技术和细分数不同，故，不做测微器配置的严格规定，对于普通工程测量项目，只要求按度数均匀配置度盘。有特殊要求的高精度项目，可根据仪器商所提供的仪器的技术参数按公式（C.0.3）进行配置，并事先编制度盘配置表。

**C.0.4** 根据公式（C.0.3），1″ 级光学经纬仪方向观测法度盘配置，应符合表 C.0.4-1 的要求；2″ 级光学经纬仪方向观测法度盘配置，应符合表 C.0.4-2 的要求。

表 C.0.4-1 1″ 级光学经纬仪方向观测度盘配置表

测回数 测回序号	12	9	6	4
1	00° 00′ 05″ (2 <sup>8</sup> )	00° 00′ 7″ (3 <sup>8</sup> )	00° 00′ 10″ (05 <sup>8</sup> )	00° 00′ 15″ (08 <sup>8</sup> )
2	15° 04′ 15″ (7 <sup>8</sup> )	20° 04′ 20″ (10 <sup>8</sup> )	30° 04′ 30″ (15 <sup>8</sup> )	45° 04′ 45″ (22 <sup>8</sup> )
3	30° 08′ 25″ (12 <sup>8</sup> )	40° 08′ 33″ (17 <sup>8</sup> )	60° 08′ 50″ (25 <sup>8</sup> )	90° 08′ 75″ (38 <sup>8</sup> )
4	45° 12′ 35″ (17 <sup>8</sup> )	60° 12′ 47″ (23 <sup>8</sup> )	90° 12′ 70″ (35 <sup>8</sup> )	135° 12′ 105″ (52 <sup>8</sup> )
5	60° 16′ 45″ (22 <sup>8</sup> )	80° 16′ 60″ (30 <sup>8</sup> )	120° 16′ 90″ (45 <sup>8</sup> )	
6	75° 20′ 55″ (27 <sup>8</sup> )	100° 20′ 73″ (37 <sup>8</sup> )	150° 20′ 110″ (55 <sup>8</sup> )	
7	90° 24′ 65″ (32 <sup>8</sup> )	120° 24′ 87″ (43 <sup>8</sup> )		
8	105° 28′ 75″ (37 <sup>8</sup> )	140° 28′ 100″ (50 <sup>8</sup> )		
9	120° 32′ 85″ (42 <sup>8</sup> )	160° 32′ 113″ (57 <sup>8</sup> )		
10	135° 36′ 95″ (47 <sup>8</sup> )			
11	150° 40′ 105″ (52 <sup>8</sup> )			
12	165° 44′ 115″ (57 <sup>8</sup> )			

表 C.0.4-2 2″ 级光学经纬仪方向观测度盘配置表

测回数 测回序号	9	6	3	2
1	00° 00′ 33″	00° 00′ 50″	00° 01′ 40″	00° 02′ 30″
2	20° 11′ 40″	30° 12′ 30″	60° 15′ 00″	90° 17′ 30″
3	40° 22′ 47″	60° 24′ 10″	120° 28′ 20″	
4	60° 33′ 53″	90° 35′ 50″		
5	80° 45′ 00″	120° 47′ 30″		
6	100° 56′ 07″	150° 59′ 10″		
7	120° 07′ 13″			
8	140° 18′ 20″			
9	160° 29′ 27″			
10				
11				
12				



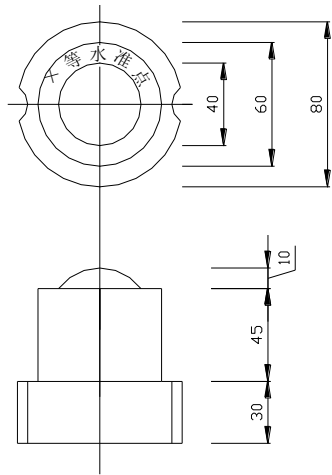
## 附录 D 高程控制点标志及标石的埋设规格

### D.1 高程控制点标志

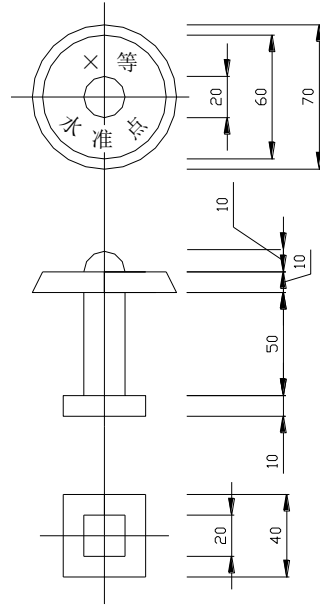
**D.1.1** 二、三、四等水准点标志可采用磁质或金属等材料制作，其规格如图D.1.1和图D.1.2所示。

**D.1.2** 三、四等水准点及四等以下高程控制点亦可利用平面控制点点位标志。

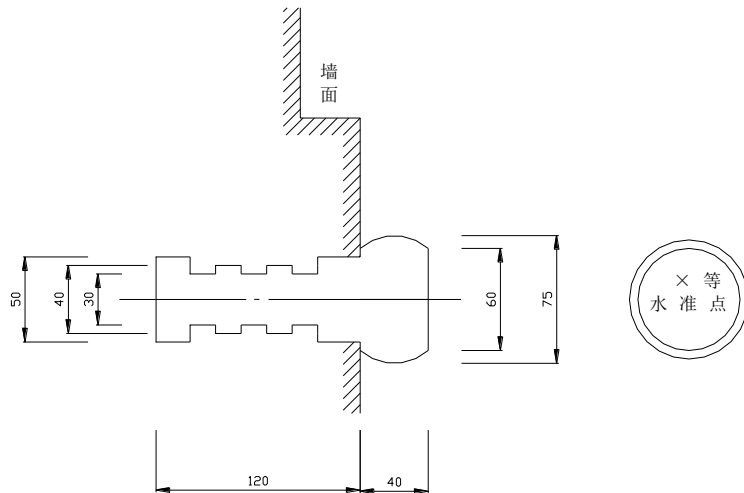
**D.1.3** 墙脚水准点标志制作和埋设规格结构图，如图D.1.3所示。



图D.1.1 磁质标志图  
(单位: mm)



图D.1.2 金属标志图  
(单位: mm)



图D.1.3 墙角水准点标志图  
(单位: mm)

### D.2 水准点标石埋设

- D.2.1 二、三等水准点标石规格及埋设结构图，如图D.2.1所示。
- D.2.2 四等水准点标石的埋设规格结构图，如图D.2.2所示。
- D.2.3 冻土地区的标石规格和埋设深度，可自行设计。
- D.2.4 线路测量专用高程控制点结构图，如图D.2.2所示，也可自行设计。

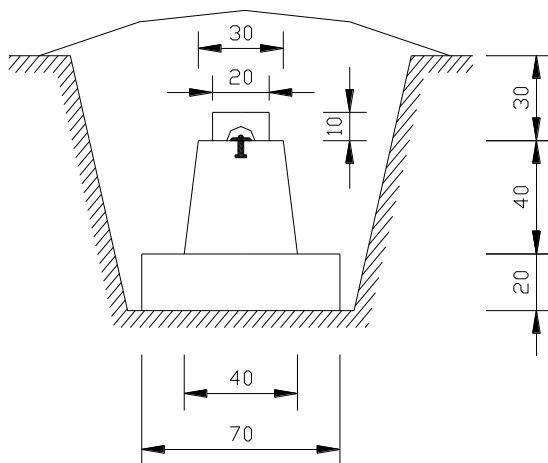
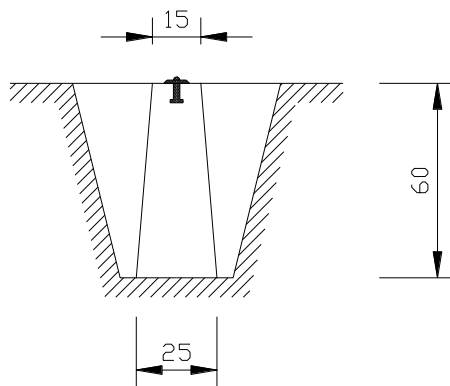


图 D.2.1 二、三等水准点标石埋设图  
(单位: cm)

图D. 2.2 四等水准点标石埋设图



(单位: cm) 图 D. 2. 2 四等水准图 D. 2. 2 四等水准点标石埋设图  
(单位: cm) D.2.2 四等水准点标石埋设图

(单位: cm) 点标石埋设图  
(单位: cm)

### D. 3 深埋水准点结构图

**D.3.1** 测温钢管式深埋水准点规格及埋设结构图，如图D.3.1所示。

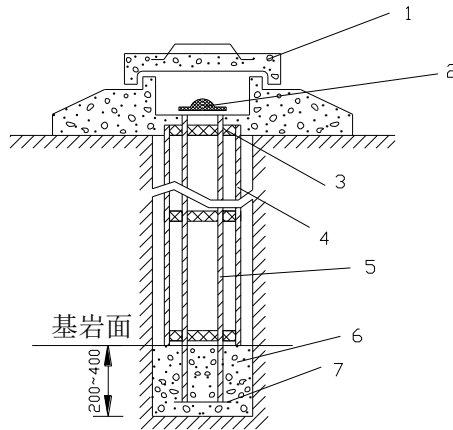


图 D.3.1 测温钢管标剖面图 (单位: cm)

1—标盖；2—标心（有测温孔）；3—橡皮环；4—钻孔保护钢管；5—心管（钢管）；  
6—混凝土（或M20水泥砂浆）；7—心管封底钢板与根络。

**D.3.2** 双金属标深埋水准点规格及埋设结构图，如图D.3.2所示。

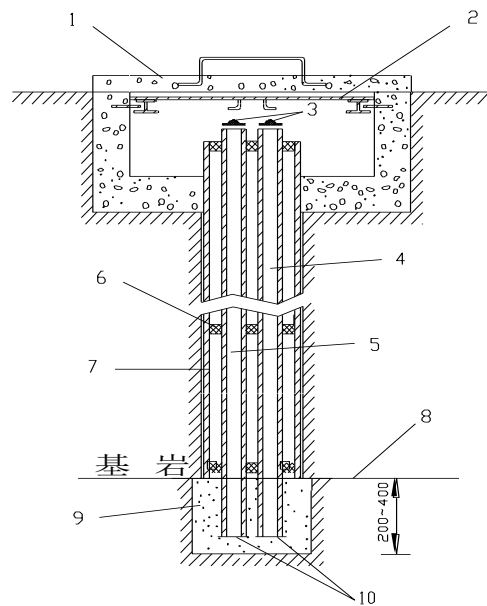


图 D.3.2 双金属标剖面图 (单位: cm)

1—钢筋混凝土标盖；2—钢板标盖；3—标心；4—钢心管；5—铝心管；6—橡胶环；  
7—钻孔保护钢管；8—新鲜基岩面；9—M20 水泥砂浆；10—心管底板与根络。

## 附录 E 建筑方格网点标石规格及埋设

**E.0.1** 建筑方格网点标石形式、规格及埋设应符合图 E.0.1 的规定，标石顶面宜低于地面 20~40cm，并砌筑井筒加盖保护。

**E.0.2** 方格网点平面标志镶嵌铜芯表示，铜芯直径应为 1~2mm。

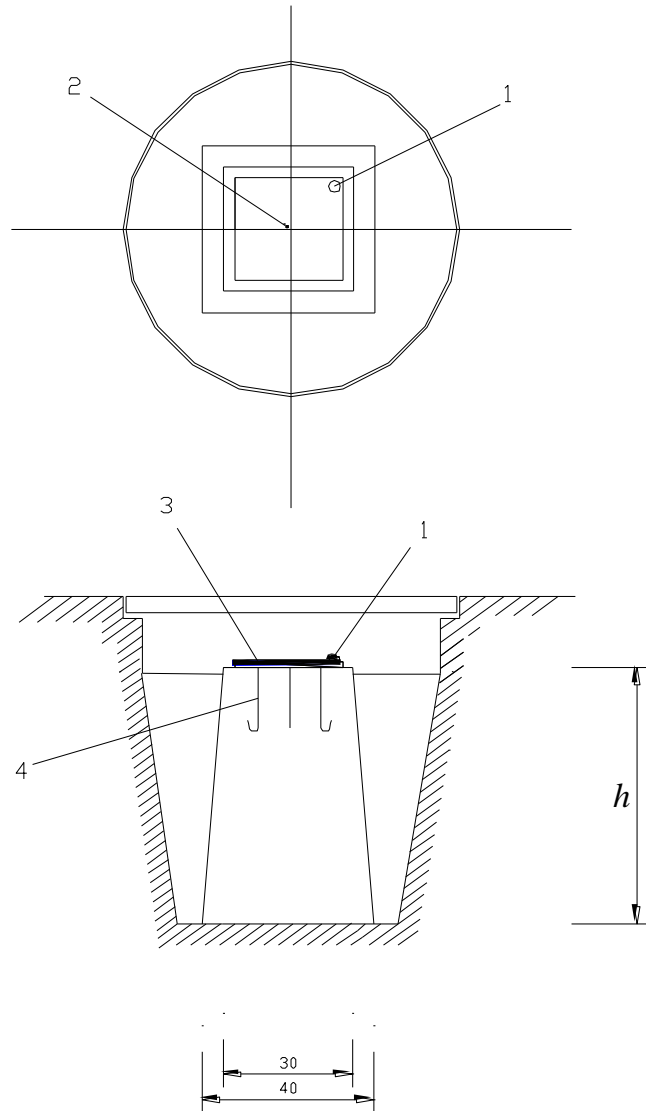


图 E.0.1 建筑方格网点标志规格、形式及埋设

(单位: cm)

1— $\phi 20\text{mm}$  铜质半圆球高程标志；2— $\phi 1\sim 2\text{mm}$  铜芯平面标志；3— $200\times 200\times 5\text{mm}$  标志钢板；4—钢筋爪； $h$ —为埋设深度，根据地冻线和场地平整的设计高程确定。

## 附录 F 建（构）筑物主体倾斜率和按差异沉降

### 推算主体倾斜值的计算公式

**F.0.1** 建（构）筑物主体的倾斜率，应按（F.0.1）式计算。

$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta D}{H} \quad (\text{F.0.1})$$

式中  $i$  —— 主体的倾斜率；

$\Delta D$  —— 建（构）筑物顶部观测点相对于底部观测点的偏移值（m）；

$H$  —— 建（构）筑物的高度（m）；

$\alpha$  —— 倾斜角（°）。

**F.0.2** 按差异沉降推算主体的倾斜值，应按（F.0.2）式计算。

$$\Delta D = \frac{\Delta S}{L} H \quad (\text{F.0.2})$$

式中  $\Delta D$  —— 倾斜值（m）；

$\Delta S$  —— 基础两端点的沉降差（m）；

$L$  —— 基础两端点的水平距离（m）；

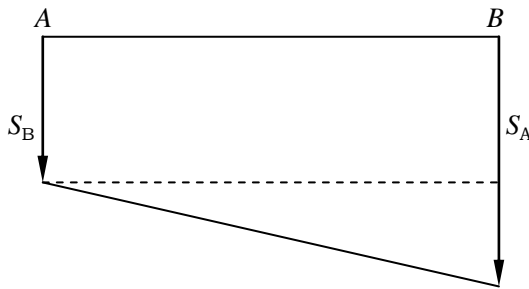
$H$  —— 建（构）筑物的高度（m）。

## 附录 G 基础相对倾斜值和基础挠度计算公式

**G.0.1** 基础相对倾斜值  $\Delta S_{AB}$  应按 (G.0.1) 式进行计算:

$$\Delta S_{AB} = \frac{S_A - S_B}{L} \quad (\text{G.0.1})$$

式中  $\Delta S_{AB}$  —— 相对倾斜值;  
 $S_A$ 、 $S_B$  —— 倾斜段两端观测点 A、B 的沉降量 (m);  
 $L$  —— A、B 间的水平距离 (m);

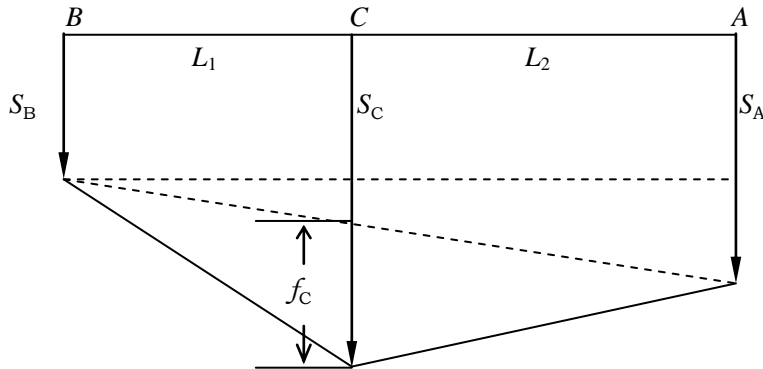


附图 G.0.1 基础的相对倾斜

**G.0.2** 基础的挠度  $f_C$  应按 (G.0.2) 式计算。

$$f_C = \Delta S_{BC} - \frac{L_1}{L_1 + L_2} \Delta S_{AB} \quad (\text{G.0.2})$$

式中  $f_C$  —— 挠度 (m);  
 $\Delta S_{BC}$  —— B、C 两点的沉降差 (m);  
 $\Delta S_{AB}$  —— A、B 两点的沉降差 (m);  
 $L_1$  —— B、C 两点间的水平距离 (m);  
 $L_2$  —— A、C 两点间的水平距离 (m)。



附图 G.0.2 基础的挠度

## 本规范用词说明

**H.0.1** 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1** 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

**2** 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

**3** 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

**H.0.2** 条文中指定必须按其他有关标准、规范执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……规定”。非必须按所指定的标准、规范或其他有关规定执行时，写法为“可参照……”。

中华人民共和国国家标准

# 工 程 测 量 标 准

GB50026—200×

部分条文说明



# 1 总 则

**1.0.1** 本标准是根据住房和城乡建设部建标函[2015]274号文《关于印发“2016年工程建设标准规范制订、修订计划”的通知》的要求，在《工程测量规范》(GB50026—2007)(以下简称《07规范》)的基础上修订而成的，并将名称变更为《工程测量标准》。

《07规范》执行以来，对保证工程测量作业质量，促进测绘事业的发展，起到了应有的作用。十多年来，测绘科技与测绘技术装备发生了较大的变化，因此，在维持《07规范》总体框架基本不变的情况下，对其进行了一次全面修订。作为全国测绘行业的一部大型基础性的国家标准，修订主要体现原则性的和全国通用性的技术要求，因地制宜的具体细节和技术指标，留给相关的行业标准和地方标准规定。

**1.0.2** 工程建设通常包括勘察、设计、施工、生产运营和维护管理等阶段，每个阶段都需要进行相应的测绘工作。

**1.0.3** 关于工程测量的精度衡量标准：

**1** 根据偶然中误差出现的规律，以二倍中误差作为极限误差时，其误差出现的或然率不大于**5%**，这样规定是合理的。

**2** 对精度要求较高的工程，且多余观测数较少时，可采用附录A中数理统计方法计算测量精度，说明如下：

根据数理统计原理中子样中误差与母体方差的 $\chi^2$ 分布关系，有：

$$\sigma = m \sqrt{\frac{n}{\chi^2}} \quad (1)$$

令

$$K_M = \sqrt{\frac{n}{\chi^2}} \quad (2)$$

则有

$$\sigma = K_M m \quad (3)$$

以上式中  $\sigma$  ——母体中误差估值（评定对象的中误差）；

$K_M$  ——子样中误差的修正系数；

$m$  ——子样中误差（由观测数据计算的中误差）；

$n$  ——多余观测个数。

令规范规定的中误差为 $\sigma_0$

则母体中误差估值小于或等于规范规定的中误差的概率为：

$$P(\sigma \leq k \sigma_0) = P = 1 - \alpha \quad (4)$$

或

$$P(\sigma > k \sigma_0) = 1 - P = \alpha \quad (5)$$

式中  $\alpha$  称为显著水平， $1 - \alpha$  称为置信水平或置信概率。 $\alpha$  在数理统计理论中一般的取值为0.1、0.05和0.001。

但 $\alpha$ 的这种取值，跟工程测量的实际观测特点不尽一致。工程测量是用少量的观测个数算得的

中误差（子样中误差）与规范规定的中误差（母体中误差 $\sigma_0$ ）进行比较，判别其是否达到要求。

在正态分布的概率统计中，小于1倍中误差（即 $k=1$ ）的概率为0.68268；则 $\alpha=1-0.68268=0.31732$ 。

在 $\chi^2$ 检验中，对测量中误差置信概率的取值，应与正态分布的检验相同，即其右尾的 $\alpha$ 也应为0.31732。

按（1.2）式计算的 $K_M$ 结果见表1。

表1 置信概率为0.68268的 $K_M$ 值及归算值

自由度（或多余观测个数） $n$	$K_M$ 值	$K_M$ 归算值
1	2.4461	2.2244
2	1.6186	1.4718
3	1.4151	1.2868
4	1.3218	1.2020
5	1.2675	1.1526
6	1.2316	1.1200
7	1.2059	1.0966
8	1.1865	1.0789
9	1.1712	1.0650
10	1.1588	1.0538
11	1.1486	1.0444
12	1.1399	1.0366
13	1.1324	1.0298
14	1.1260	1.0239
15	1.1203	1.0188
16	1.1153	1.0142
17	1.1107	1.0101
18	1.1067	1.0064
19	1.1030	1.0030
20	1.0997	1
40	1.0649	
100	1.0382	
500	1.0159	
$\infty$	1	

从表1.1可以看出，只有当 $n$ 为无穷大时， $K_M$ 为1。也就是说由观测数据统计的子样中误差等于估算的母体中误差，除此之外，所有由观测数据统计的子样中误差均需要修正。

但从测量的角度，多余观测数不可能是无穷的多，通常认为多余观测数为20以上时，子样中误差等于估算的母体中误差（其差异小于10%）。即 $n=20$ 时，令 $K_M=1$ ，按比例将多余观测数小于20的 $K_M$ 值进行归算，见表1.1第3列的 $K_M$ 归算值，取其小数两位作为附录A表A.0.4的修正系数。

现以由8个三角形构成的某四等三角形网为例，说明附录A表A.0.4的应用。

如果按 8 个三角形闭合差算得的测角中误差  $m_{\beta}$  为  $2.3''$ （其测角的多余观测数为  $8 < 20$ ），则其母体中误差的估算值为： $\sigma = K_M m = 1.19 \times 2.3'' = 2.48'' < 2.5''$ ，即满足四等三角形网对测角中误差的要求。如果  $m_{\beta}$  为  $2.4''$ ，则  $\sigma = 2.59'' > 2.5''$  不能满足四等三角形网对测角中误差的要求。

**1.0.4** 测量仪器是工程测量的主要工具，其良好的运行状态对工程测量作业起到至关重要的作用，所以本规范要求对测量仪器和相关设备要加强维护保养、定期检修。本次修订增加了对数据处理软件要进行测试或验证的要求。

**1.0.5** 对工程中所引用的测量成果资料进行严格的检核是工程测量作业的一项必要环节和重要工作内容。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

**2.1.1** 卫星定位测量的概念，主要是面向多元化的全球空间卫星定位系统而提出的，如美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、中国的北斗 BeiDou Navigation Satellite System (BDS) 和欧洲的 GALILEO 等卫星导航定位系统。其不仅仅局限于美国的 GPS。工程测量主要采用载波相位观测值进行相对定位。

上世纪 50 年代末，美国海军着手建立 Navy Navigation Satellite System，简称 NNSS，即海军卫星导航系统，其是利用多普勒卫星定位技术进行测速和定位的卫星导航系统。由于该系统中卫星的轨道都通过地极，也称为子午卫星系统，该系统可以认为是 GPS 系统的前身。而俄罗斯格洛纳斯卫星导航系统的英文名称为 Global Navigation Satellite System，简称为 GLONASS，取词方式为英文名称下划线的字母，英文名称却是全球卫星导航系统。国际民航组织 (ICAO) 为打破美俄对全球卫星导航系统独霸，于上世纪 90 年代初提出了纯民间的建立“GNSS 系统”计划方案。国内很多学者或教科书也喜欢用 Global Navigation Satellite System 首个字母的缩写 GNSS 泛指全球所有的卫星导航系统。为了避免概念的混淆与误解，规范组在 2003 年就提出了卫星定位测量的概念并编入《07 规范》中，该概念也在后续的多部国家与行业测绘标准中得到引用。

**2.1.2** 卫星定位测量控制网，是对应用空间卫星定位技术建立的工程控制网的统称。

**2.1.3~2.1.4** 三角形网和三角形网测量的统一概念，是对已往的三角网、三边网、边角网的概念综合，也是因为纯粹的三角网、三边网已极少应用，所以不再严加区分。

三角形网测量的含义相对旧有的边角网测量的概念有所拓展，即要将所有观测的角度、边长观测值作为观测量看待。

**2.1.5** 关于测角仪器的分级与命名。

我国对光学经纬仪的系列划分方法为  $DJ_{05}$ 、 $DJ_1$ 、 $DJ_2$ 、 $DJ_6$  等。随着全站仪、电子经纬仪的普及应用，这一划分方法已显得不够全面。为了规范编写的方便，修订采用了大家对常规测量仪器的习惯称谓，并跟原来的划分方法保持一致，在概念上略作拓展。即，测角的 0.5"、1"、2"、6" 级仪器分别包括全站仪、电子经纬仪和光学经纬仪，并分别命名为 0.5" 级仪器、1" 级仪器、2" 级仪器和 6" 级仪器。

对于其他精度的仪器，如，3"、5" 等类型，使用时，按“就低不就高”的原则归类。

**2.1.6** 关于测距仪器的分级与命名。

修订没有采取既往对测距仪按每千米标称的测距中误差  $m_D$  的三级 (I、II、III) 划分方法，而采用按测距仪器的标称精度直接表示，并分为 1mm 级仪器、5mm 级仪器和 10 mm 级仪器三个类别。由于 20mm 级的仪器已不再生产，作业中也很少使用，故取消了该级别的定义。对精度要求较高的测量项目，有时会采用 1mm、2mm 的测距仪器，其含义是相同的。

这里测距仪的概念拓展为测距仪器，其涵盖电磁波测距仪和全站仪。

**2.1.7** 本规范数字地形图的概念涵盖内外业一体化数字测图数字成图所获得的数字地形图 (即实测数字线划图, Digital Line Graphic, 缩写 DLG) 和经原图数字化所获得的数字地形图 (即栅格地形图, Digital Raster Graphic, 缩写 DRG) 两种类型。

**2.1.8** 纸质地形图的概念是对传统平板测图、手工描图所获得的地形图产品的概括。

**2.1.9** 变形监测是对变形测量概念的拓展，主要是为了扩大工程测量作业者的服务领域，也是全面进行变形分析和变形监测预报的需要。故，增加了应力、应变、地下水、环境温度等监测项目和监测内容。

## 2.2 符 号

关于其中固定误差和比例误差系数的符号说明：

符号  $A$ 、 $B$  适用于公式  $\sqrt{A^2+B^2} \cdot D$ ，符号  $a$ 、 $b$  适用于公式  $\sigma = a + b \cdot D$ ，二者是两种不同的精度表达式。

## 3 平面控制测量

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 本规范首次明确了等级控制网自高向低的划分方法,即等次要高于级次,末等之后才是级次。强调的目的是为了避免工程建设领域中一些行业标准和技术文件制订与编写时对等级的应用混乱。

**3.1.2** 卫星定位测量技术以其精度高、速度快、全天候、操作简便而著称,已被广泛应用于测绘领域,故本规范将卫星定位测量技术列为平面控制网建立的首选方法。

目前,世界上四大全球导航定位卫星系统已经基本建成,分别是美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、中国的北斗 BDS 和欧洲的 GALILEO 系统。全球导航定位卫星系统领域已呈现出多元化或多极化的格局,《07 规范》修订组于 2003 年开始修订时便提出了卫星定位测量概念,就是提前为这一格局应运而生的。卫星定位测量所面向的正是多系统、多星座卫星导航定位系统。

根据工程测量部门现时的情况和发展趋势,首级网大多采用卫星定位测量控制网,加密网较多采用导线或导线网形式。三角形网用于建立大面积控制或控制网加密已较少使用。所以本章依《07 规范》架构按卫星定位测量、导线测量和三角形网测量的顺序编写,但增加了卫星定位实时动态测量一节。

**3.1.3** 明确了不同的作业方法所适用的建立平面控制网的等级范围。《07 规范》在修订时,已将卫星定位测量控制网精度等级纳入工程测量的同一精度体系,精度等级的划分与传统的三角形网(三角网、三边网、边角网)精度等级划分方法相同,依次为二、三、四等和一、二级。导线及导线网测量精度等级的划分不变,依然为三、四等和一、二、三级。本次修订增加了卫星定位实时动态测量,其适用范围限定在级次,即一、二、三级平面控制网的建立,级次的划分和导线测量的划分方法一致。

要说明的是,从本章内容和章节的编排上,依旧采用按作业方法进行分类的方式。主要是这种分类方式更具有良好的可操作性,另外从作业方法的编排上也体现了选择各种测量手段的主次之分,这也是根据工程应用情况确定的,也体现了测量作业方法的发展与应用趋势。

**3.1.4** 随着科学技术的发展,测量仪器和计算手段都得到了相应的提高。因此工程控制网不再强调逐级布网。只要在满足精度要求的前提下,各等级均可作为测区的首级控制网。当测区已有高等级控制网时,可越级布网。

**3.1.5** 满足测区内投影所引起的长度变形不大于 25mm/km,是建立或选择平面坐标系统的前提条件。因为每千米长度变形为 25mm 时,即其相对中误差为 1/40000。这样的长度变形,可满足大部分建设工程施工放样测量精度不低于 1/20000 的要求。经过近 40 年的应用,该指标已成为建立区域控制网的基本原则。在此基础上,对坐标系统的选择,要求首先考虑采用 2000 国家大地坐标系统一的高斯投影 3°带平面直角坐标系统,与国家所要求的坐标系统相一致;其次,可采用高斯投影 3°带,投影面为测区抵偿高程面或测区平均高程面的平面直角坐标系统;再次,可采用任意带,投影面为 1985 国家高程基准面的平面直角坐标系统;特殊要求的工程,也可采用建筑坐标系或独立坐标系统。本次修订明确了对 2000 国家大地坐标系的优先使用要求,补充了大型的有特别要求的工程项目或新建城市平面控制网的坐标系统可进行专项设计的要求。

**1** 国家 2000 大地坐标系的定义与所采用的地球椭球参数如下:

2000 国家大地坐标系是地心坐标系,原点为包括海洋和大气在内的整个地球的质量中心,Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议极地方向(BIH 国际时间局),X 轴指向 BIH1984.0 定义的零子午面与协议赤道的交点,Y 轴按右手坐标系确定。采用 2000 国家大地坐标系后仍采用无潮汐系统。

长半轴  $a=6378137\text{ m}$

扁率  $\alpha=1/298.257222101$

地心引力常数  $GM=3.986004418\times 10^{14}\text{ m}^3\text{ s}^{-2}$

自转角速度  $\omega=7.292115\times 10^{-5}\text{ rad s}^{-1}$

短半轴  $b = 6356752.31414$  m  
极曲率半径  $= 6399593.62586$  m  
第一偏心率  $e = 0.0818191910428$

2 其他常用的大地坐标系地球椭球基本参数如下:

1980 年西安坐标系的地球椭球基本几何参数

长半轴  $a = 6378140$  m  
短半轴  $b = 6356755.2882$  m  
扁率  $\alpha = 1/298.257$   
第一偏心率平方  $e^2 = 0.00669438499959$   
第二偏心率平方  $e'^2 = 0.00673950181947$

1954 年北京坐标系的地球椭球基本几何参数

长半轴  $a = 6378245$  m  
短半轴  $b = 6356863.0188$  m  
扁率  $\alpha = 1/298.3$   
第一偏心率平方  $e^2 = 0.006693421622966$   
第二偏心率平方  $e'^2 = 0.006738525414683$

WGS-84 大地坐标系的地球椭球基本几何参数

长半轴  $a = 6378137$  m  
短半轴  $b = 6356752.3142$  m  
扁率  $\alpha = 1/298.257223563$   
第一偏心率平方  $e^2 = 0.00669437999013$   
第二偏心率平方  $e'^2 = 0.006739496742227$

## 3.2 卫星定位测量

### (I) 卫星定位测量的主要技术要求

**3.2.1** 卫星定位测量控制网主要技术要求的确定, 是从工程测量对相应等级的大型工程控制网的基本技术要求出发, 并以三角形网的基本指标为依据制定的, 也是为了使卫星定位测量的应用具有良好的可操作性而提出的。表 3.2.1 中平均边长、固定误差  $A$  和比例误差系数  $B$  的序列值是卫星定位测量控制网设计的重要基础指标。

**3.2.2** 相邻点的基线长度中误差公式中的固定误差  $A$  和比例误差系数  $B$ , 与接收机厂家给出的精度公式 ( $a + b \text{ ppm} \times D$ ) 中的  $a$ 、 $b$  含义相似。厂家给出的公式和规范 (3.2.2) 式是两种类型的精度计算公式, 应用上各有其特点。基线长度中误差公式主要应用于控制网的设计和野外观测数据的检核, 按表 3.2.1 取值。

**3.2.3** 卫星定位测量控制网外业观测精度的评定, 应按异步环的实际闭合差进行统计计算。这里采用全中误差的计算方法, 来衡量控制网的实际观测精度, 网的全中误差不应超过基线长度中误差的理论值。

### (II) 卫星定位测量控制网的设计、选点与埋石

**3.2.4** 卫星定位测量控制网布设的技术要求:

1 卫星定位测量控制网的设计是一个综合设计的过程, 首先应明确工程项目对控制网的基本精度要求, 然后才能确定控制网或首级控制网的基本精度等级。最终精度等级的确立还应考虑测区现

有测绘资料的精度情况、计划投入的接收机的类型、标称精度和数量、定位卫星的健康状况和所能接收的卫星数量，同时还应兼顾测区的道路交通状况和避开强烈的卫星信号干扰源等。

2 由于卫星定位测量所获得的是空间基线向量或三维坐标向量，属于其相应的空间坐标系（如 GPS WGS—84 坐标系），故，应将其转换至国家坐标系或地方独立坐标系方能使用。为了实现这种转换，便要求联测若干个旧有控制点以求得坐标转换参数。故，规定联测 2 个以上高等级国家平面控制点、国家连续运行参考站点或地方坐标系的高等级控制点。卫星定位测量控制网的观测数据与区域内国家连续运行参考站点进行联合解算，是获取 2000 国家大地坐标系坐标成果的重要途径。本次修订增加了联测国家连续运行参考站点的要求。

对控制网内的长边，宜构成大地四边形或中点多边形的规定，主要是为了保证控制网进行约束平差后坐标精度的均匀性，也是为了减少尺度比误差的影响。

3 规范课题组对  $m \times n$  环组成的连续网形进行了研究（2003 年），结果见表 3.1；

表 2 控制网最简闭环的边数分析

最简闭环的基线数	网的平均可靠性指标	平均可靠性指标满足 1/3 时的条件	图 形	备 注
3	$\frac{2}{3 + \frac{1}{n} + \frac{1}{m}}$	不限		三角形 点数: $nm+n+m+1$ 总观测独立基线数: $3nm+n+m$ 环数: $2nm$ 必要基线数: $nm+n+m$ 多余观测数: $2nm$
4	$\frac{1}{2 + \frac{1}{n} + \frac{1}{m}}$	$n = m \geq 2$		四边形 点数: $nm+n+m+1$ 总观测独立基线数: $2nm+n+m$ 环数: $nm$ 必要基线数: $nm+n+m$ 多余观测数: $nm$
5	$\frac{3}{7 + \frac{3}{n} + \frac{3}{m}}$	$n = m \geq 3$		五边形 点数: $(nm+n+m+1) 4/3$ 总观测独立基线数: $(nm+n+m) 2/3$ 环数: $nm$ 必要基线数: $(nm+n+m) 4/3$ 多余观测数: $nm$
6	$\frac{1}{3 + \frac{2}{m} + \frac{1}{n}}$	$n = m = \infty$		六边形 点数: $2nm+2n+m+1$ 总观测独立基线数: $3nm+2n+m$ 环数: $nm$ 必要基线数: $2nm+2n+m$ 多余观测数: $nm$
8	$\frac{1}{4 + \frac{2}{n} + \frac{2}{m}}$	无法满足		八边形 $n$ 表示列数; $m$ 表示行数 点数: $3nm+2n+2m+1$ 总观测独立基线数: $4nm+2n+2m$ 环数: $nm$ 必要基线数: $3nm+2n+2m$ 多余观测数: $nm$
10	$\frac{1}{5 + \frac{2}{n} + \frac{3}{m}}$	无法满足		十边形 点数: $4nm+3n+2m+1$ 总观测独立基线数: $5nm+3n+2m$ 环数: $nm$ 必要基线数: $4nm+3n+2m$ 多余观测数: $nm$

从表 3.1 中可以看出，三条边的网型、四条边  $n=m \geq 2$  的网型、五条边  $n=m \geq 3$  的网型、六条边无限大的网型都能达到要求。八条、十条边的网型规模不管多大均无法满足网的平均可靠性指标为 1/3 的要求。故，规定卫星定位测量控制网中构成闭环或拟合路线的边数以 6 条为限值。简言之，如果异步环中独立基线数太多，将导致这一局部的相关观测基线可靠性降低。



4 由于卫星定位测量过程中, 要受到各种外界因素的影响, 有可能产生粗差和各种随机误差。因此, 要求由非同步独立观测边构成闭合环或附合路线, 就是为了对观测成果进行质量检查, 以保证成果可靠并恰当评定精度;

在一些规范和专业教科书中, 各有观测时段数、施测时段数、重复设站数、平均重复设站数、重复测量的最少基线数、重复测量的基线占独立确定的基线总数的百分数等不同概念和技术指标的规定, 且在观测基线数的计算中均涉及到 GPS 网点数、接收机台数、平均重复设站数、平均可靠性指标等四项因素; 工程应用上也显得比较繁琐、条理不清。

规范课题组研究认为: GPS 控制网的工作量与接收机台数不相关 (2003 年)。

若采用符号:  $N_p$ —— GPS 网点数;  $K_i$  —— 接收机台数;  $N_r$  —— 平均重复设站数。

全网总的站点数为  $N_p \times N_r$ ; 全网的观测时段数为  $\frac{N_p N_r}{K_i}$ ;  $K_i$  台接收机观测一个时段的独立

观测基线数为  $K_i - 1$  条。

$$\text{则全网的独立观测基线数为 } S = \frac{N_p N_r}{K_i} (K_i - 1) \quad (6)$$

由于网的必要观测基线数为  $N_p - 1$  (此处仅以自由网的情形讨论)。

$$\text{则多余独立观测基线数为 } N_{\text{多}} = S - (N_p - 1) \quad (7)$$

$$\text{网的平均可靠性指标为 } \tau = \frac{N_{\text{多}}}{S} = \frac{S - (N_p - 1)}{S}$$

$$\text{即 } \tau = 1 - \frac{N_p - 1}{S} \quad (8)$$

$$\text{可将公式 (3.3) 转换为 } S = \frac{N_p - 1}{1 - \tau} \quad (9)$$

工程控制网通常取 1/3 为网的可靠性指标, 即有

$$S = 1.5(N_p - 1) \quad (10)$$

故, 规定全网独立观测基线总数, 不宜少于必要观测基线数的 1.5 倍。必要观测基线数为网点数减 1。作业时, 应准确把握以保证控制网的可靠性。

5 由于实时动态 RTK 作业对参考站点位的选择有具体要求, 所以在布设首级控制网时, 应顾及参考站点位的分布和观测条件的满足。

### 3.2.5 关于控制点点位的选定:

1 卫星定位测量控制网的点位之间原则上不要求通视, 但考虑到在使用其他测量仪器对控制网进行加密或扩展时的需要, 故提出控制网布设时, 每个点至少应与一个以上的相邻点通视;

2 卫星高度角的限制主要是为了减弱对流层对定位精度的影响, 由于随着卫星高度的降低, 对流层影响愈显著, 测量误差随之增大。因此, 卫星高度角一般都规定大于 15°;

定位卫星信号本身是很微弱的, 为了保证接收机能够正常工作及观测成果的可靠性, 故应注意避开周围的电磁波干扰源。

如果接收机同时接收来自卫星的直接信号和很强的反射信号,这样会造成解算结果不可靠或出现错误,这种影响称为多路径效应。为了减少观测过程中的多路径效应,故提出控制点位要远离强烈反射卫星接收信号的物体。本次修订进一步明确了对信号干扰源或反射源的距离要求。

3 符合要求的旧有控制点就是指满足卫星定位测量的外部环境条件、满足网形和点位要求的旧有控制点。

3.2.6 布设在高层建筑物顶部的点位,其标石要求浇筑在楼板的混凝土面上。内部骨架可采用在楼板上钉入3~4个钢钉或膨胀螺栓,再绑扎钢筋。标石底部四周要求采取防漏措施。

### (III) 卫星定位测量控制网的观测

3.2.7 关于卫星定位测量控制网作业的基本技术要求:

1 卫星定位根据定位模式的不同分为绝对定位和相对定位,本标准所指的定位方式为相对定位。依据测距的原理,卫星定位可划分为伪距法定位和载波相位差分定位。本章的卫星定位特指载波相位差分定位,测地型接收机目前主要采用载波相位观测值进行相对定位。

2 随着全球卫星导航系统的不断发展完善和不同系统之间的相互合作,使得卫星定位采用多系统、多星座、多频点进行快速、高效、高可靠性定位成为可能。目前的接收机已经发展成为复合型的卫星导航系统终端且具有良好的兼容性和互通性。任何用户都可以用一个多系统的接收机采集各个系统的数据或者各系统数据的组合来实现导航定位。四大全球卫星导航系统分别包括:我国的北斗系统 BDS 发射三个频率的载波信号,分别是 B1、B2 和 B3;美国的 GPS 系统播发三种频率的载波,分别是 L1、L2 和 L5;俄罗斯的 GLONASS 系统发射两种载波,分别是 G1 和 G2;欧洲的 GALILEO 系统发射三种频率载波,分别是 E1、E5 和 E6。卫星的信号数据主要包括码伪距、载波相位值、多普勒频移、载噪比、导航电文等。全球卫星导航系统发展应用初期,把只能接收一种载波信号的接收机称为单频接收机,能同时接收两种载波的接收机称为双频接收机,能同时接收3个及3个以上频率载波信号的接收机称为多频接收机。双频或多频技术可以形成更多观测噪声小、电离层残差小的组合观测量,以此可以建立较为严密的电离层修正模型,通过改正计算,能够消除或减弱电离层折射对观测量的影响,从而获得很高的精度。而旧有的单频接收机,虽然可以利用导航电文所提供的参数,对观测量进行电离层影响修正,但由于修正模型尚不完善,故精度较差。本次标准修订将《93 规范》的双频、单频接收机更新为多频或多系统接收机,对相应等级的仪器精度也做了适当调整,仪器精度提高后更容易满足相应等级控制网的观测要求。

3 全球四大卫星导航系统均采用地心坐标系,坐标系的定义与命名方法相同,而实现与维护方法有异。标准名称及缩写分别为:2000 中国大地坐标系统 China geodetic coordinate system 2000 (CGCS2000),美国 WGS-84 大地坐标系 World Geodetic System -84,俄罗斯 PZ-90 大地坐标系 PZ-90 Geodetic System,欧洲 Galileo 大地参考坐标系 Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF)。

4 定位卫星有两种星历,即卫星广播星历和精密星历。通常我们所直接接收到的星历便是卫星广播星历,它是导航电文中用于确定导航卫星精确位置的预报参数,是一种外推星历或者说预估星历。虽然在定位卫星广播星历中给出了卫星钟差的预报值,但误差较大。可见卫星广播星历的精度相对不高,但通常可满足工程测量的需要。对于有特殊精度要求的工程控制网,例如高精度变形监测网,需采用精密星历处理观测数据,才能获得更高的基线测量精度。精密星历就是指经事后处理得到的导航卫星高精度轨道数据。

5 工程控制网的建立,可采用静态和快速静态两种卫星定位作业模式。根据工程控制网的应用特点,规定了建立四等以上工程控制网时,需采用静态定位。为了快速求解整周未知数,要求每次至少观测5颗卫星。由于快速静态定位对直接观测基线不构成闭合图形,可靠性较差。所以,规定仅在一、二级采用。

6 观测时段的长度和数据采样间隔的限制,是为了获得足够的数量。足够的数量有利于整周未知数的解算、周跳的探测与修复和观测精度的提高。由于接收机的性能和功能在不断的提高和完善,对接收时段长度的要求也不尽相同,故,本标准不做严格的规定。

7 卫星定位的精度因子通常包括:平面位置精度因子 HDOP,高程位置精度因子 VDOP,空间

位置精度因子 PDOP，接收机钟差精度因子 TDOP，几何精度因子 GDOP 等；

用户接收机普遍采用空间位置精度因子（又称图形强度因子）PDOP 值，来直观地计算并显示所观测卫星的几何分布状况。其值的大小与观测卫星的高度角以及观测卫星在空间的几何分布变化有关。所测卫星高度角越小，分布范围越大，PDOP 值越小。实际观测中，为了减弱大气折射的影响，卫星高度角不能过低。

中国卫星导航系统管理办公室于 2013 年 12 月发布《北斗卫星导航系统公开服务性能规范（1.0 版）》中规定了 PDOP 可用性指标的要求，见表 3。

表 3 北斗系统服务区内公开服务 PDOP 可用性指标

服务可用性	参考指标	约束条件
PDOP	$\geq 0.98$	PDOP $\leq 6$ ；服务区任意点，任意 24 小时

这里的北斗系统公开服务的 PDOP 可用性是指规定时间内，规定条件下，规定服务区内 PDOP 值满足 PDOP 限值要求的时间百分比。

为了保证观测精度，在卫星高度角大于  $15^\circ$  的情况下，规定四等及以上等级限定为 PDOP $\leq 6$ ，一、二级限定为 PDOP $\leq 8$  是可行的。

作业过程中，如受外界条件影响，持续出现观测卫星的几何分布图形很差，即 PDOP 值不能满足规范的要求时，则要求暂时中断观测并作好记录；待条件满足要求时，可继续观测；如果经过短时等待，依然无法满足要求时，则需要考虑重新布点。

**8** 由于工程控制网边长相对较短（二等网的平均边长也不超过 10km），卫星信号在传播中所经过的大气状况较为相似，即同步观测中，经电离层折射改正后的基线向量长度的残差小于  $1 \times 10^{-6}$ 。若采用双频或多频接收机，其残差会更小。加之在测站上所测定的气象数据，有一定局限性。因此，作业时可不观测相关气象数据。

**3.2.8** 卫星定位测量作业计划的编制仅限于规模较大的测区，其目的是为了进行统一的组织协调并做到对整个测区状况和天上的卫星运行情况心中有数。编制预报表时所需测区中心的概略经纬度，可从小比例尺地图上量取并精确至分。小测区则无需进行此项工作。

**3.2.9** 关于卫星定位测量的测站作业：

**1** 接收机预热和静置的目的，是为了让接收机自动搜索并锁定卫星，并对机内的卫星广播星历进行更替，同时也是为了使机内的电子元件运转稳定。随着接收机制造技术的进一步完善，本条对预热和静置的时间不做统一规定，应根据接收机的品牌及性能具体掌握。

**2** 关于天线安置对中误差和天线高量取的规定，主要是为了减少人为误差对测量精度的影响，通常情况下都应该满足这一要求。

本条只提供了量取天线高的限差要求，由于接收机天线类型的多样化，天线高量取部位不尽相同，因此，作业前应熟悉所使用接收机的操作手册，并严格按手册要求量取。

**3** 由于接收机数据采集的高度自动化，其记录载体不同于常规测量，人们容易忽视数据采集过程的其他操作。如果不严格执行各项操作或人工记录有误，如点名、点号混淆将给数据处理造成麻烦，天线高量错也将影响成果质量，以致造成超限返工。因此，应认真做好测站记录。

**4** 修订进一步明确了作业过程中不得进行接收机关闭又重新启动、改变卫星截止高度角、改变数据采集间隔和改变天线位置等操作，目的是为了确保同步观测的数据量与数据质量，也是为了保证观测计划的有效实施。

#### （IV）卫星定位测量数据处理

**3.2.10** 随着不同定位系统间的合作融合与发展，不同品牌的接收机终端数据也将彼此兼容和互通，对卫星定位数据处理也将提出更多的要求。本条的数据处理准备就是将不同的数据格式转换为统一的标准数据格式，然后进行处理。本条为新增内容。

**3.2.11** 关于基线的解算：

1 基线解算时，起算点在地心坐标系中的坐标精度，将会影响基线解算结果的精度。单点定位是直接获取已知点在地心坐标系中已知坐标的方法。理论计算和试验表明：用 30min 单点定位结果的平均值作为起算数据，可以满足  $1 \times 10^{-6}$  相对定位的精度要求。

2 多基线解算模式和单基线解算模式的主要区别是，前者顾及了同步观测图形中独立基线之间的误差相关性，后者没有顾及。大多数商业化软件基线解算只提供单基线解算模式，在精度上也能满足工程控制网的要求。因此，规定两种解算模式都是可以采用的。

3 由于基线长度的不同，观测时间长短和获得的数据量将不同，所以，解算整周期模糊度的能力不同。能获得全部模糊度参数整数解的结果，称为双差固定解；只能获得双差模糊度参数实数解的结果，称为双差浮点解；对于较长的基线，浮点解也不能得到好的结果，只能用三差分相位解，称为三差解。

基于对工程控制网质量和可靠性的要求，规定基线解算结果应采用双差固定解。

**3.2.12** 外业观测数据的检核，包括同步环、异步环和复测基线的检核，分别说明如下：

1 由同步观测基线组成的闭合环称为同步环。同步环闭合差理论上应为零。但由于观测时同步环基线间不能做到完全同步，即观测的数据量不同，以及基线解算模型的不完善，即模型的解算精度或模型误差而引起同步环闭合差不为零。因此，应对同步环闭合差进行检验；

2 由独立基线组成的闭合环称为异步环。异步环闭合差的检验是卫星定位测量控制网质量检核的主要指标。计算公式是按误差传播规律确定的，并取 2 倍中误差作为异步环闭合差的限差；

3 重复测量的基线称为复测基线。其长度较差也是按误差传播规律确定的，并取 2 倍中误差作为复测基线的限差。

以上三项检核计算中  $\sigma$  的取值，按本标准 (3.2.2) 式计算。

**3.2.13** 在异步环检核和复测基线比较检核中，允许舍去超限基线而不予重测或补测，但舍去超限基线后，异步环中所含独立基线边数不宜多于 6 条，反之就需重测。

**3.2.15** 关于无约束平差的说明：

1 无约束平差的目的，是为了提供卫星定位网平差后在相应地心坐标系中的三维坐标，同时也是为了检验卫星定位测量控制网本身的精度及基线向量之间有无明显的系统误差和粗差。

2 无约束平差是在相应的地心坐标系中进行。通常以一个控制点的三维坐标作为起算数据进行平差计算，实为单点位置约束平差或最小约束平差，其与完全无约束的亏秩自由网平差是等价的，因此称之为无约束平差。起算点坐标可选用控制点 30 分钟的单点定位结果（规范 3.2.11 条）或已知控制点的既有三维坐标。

3 基线向量改正数的绝对值限差的提出，是为了对基线观测量进行粗差检验。即基线向量各坐标分量改正数的绝对值，不应超过相应等级的基线长度中误差  $\sigma$  的 3 倍。超限时，认为该基线或邻近基线含有粗差，应采用软件提供的自动方法或人工方法剔除含有粗差的基线，并符合标准 3.2.13 条的规定。

**3.2.16** 关于约束平差的说明：

1 约束平差的目的，是为了获取卫星定位网在国家或地方坐标系的控制点坐标数据；这里的地方坐标系是指除标准国家坐标系统以外的其他坐标系统，即本标准 3.1.5 条 2~6 款所采用的坐标系统。

2 约束平差是以国家或地方坐标系的某些控制点的坐标、边长和坐标方位角作为约束条件进行平差计算。必要时，还应顾及卫星定位网与地面网之间的转换参数。

3 对已知条件的约束，可采用强制约束，也可采用加权约束。

强制约束，是指所有已知条件均作为固定值参与平差计算，不需顾及起算数据的误差。其要求起算数据应有很好的精度且精度比较均匀。否则，将引起卫星定位网发生扭曲变形，显著降低网的精度。

加权约束，是指顾及所有或部分已知约束数据的起始误差，按其不同的精度加权约束，并在平

差时进行适当的修正。定权时，应使权的大小与约束值精度相匹配。否则，也会引起卫星定位网的变形，或失去约束的意义。

平差时，在约束点间的边长相对中误差满足本标准表 3.2.1 相应等级要求的前提下，如果约束平差后最弱边的相对中误差也满足相应的要求，可以认为网平差结果是合格的。

4 对已知条件的约束，有三维约束和二维约束两种模式。三维约束平差的约束条件是控制点的三维大地坐标或三维直角坐标、空间边长、大地方位角；二维约束平差的约束条件是控制点的平面坐标、水平距离和坐标方位角。

### 3.3 卫星定位实时动态测量

#### (I) 卫星定位实时动态测量的主要技术要求

**3.3.1** 单基站 RTK 测量方式是临时架设一个（或多个）基准站，在小区域范围内采用电台或 GPRS、CDMA 等无线通讯方式向流动站用户发播差分改正数的一种测量方式。与网络 RTK 测量作业方式比较，单基站 RTK 的作业受距离制约，存在定位精度不均匀、可靠性差等缺点。在一些通信信号较弱或覆盖不到的困难地区，无法实时进行单基站 RTK 和网络 RTK 测量，现场可以采用后处理动态测量的模式进行 RTK 测量。

**3.3.2** 基于卫星定位实时动态平面控制测量点位精度、相对精度和可靠性的考虑，将其控制测量精度定位于“级”次等级并划分为一、二、三级，其点位间距与相对精度取值沿用本标准的精度序列规格并参考导线的要求确定。考虑到边长越短相对精度越低的特点，故点位间距为最小间距和导线平均边长的含义不同。由于一级控制测量在生产应用中较为普遍，考虑到网的整体可靠性和网点精度均匀性要求，强调一级实时动态平面控制测量须采用网络 RTK 作业模式。

**3.3.3** 动态卫星定位测量设备的选用是依据常见生产厂家的仪器精度指标确定的，其中，比例误差系数单位表示为 mm/km。要说明的是：通常系数是没有单位的，这里是按大家的作业习惯进行表述，目的是取代  $10^{-6}$ 。

**3.3.4** 导航定位卫星的空间几何分布状况，对地面定位测量精度影响很大。本条的卫星数是指流动站和基准站的共用卫星数量。

**3.3.5** RTK 测量每个测设点都是相互独立的，点与点之间没有直接关系，对于因意外产生的粗差无法发现。因此，为提高 RTK 测量的可靠性，保证仪器各种设置正确，测量过程中应选择一定数量的已知坐标点进行测量校核，以检查用户站设备的可靠性以及坐标转换参数的准确性。本条规定作业前应在测区内或周边校核不少于两个已知点，并记录和计算校核结果。控制点位置偏差依据四等以下控制网最弱边边长中误差（或最弱点点位中误差）不应超过 50mm 确定，高程的偏差按严于图根高程确定为不大于 70mm。通常一二三级工程控制网的高程控制应进行四等水准测量，这里的高程偏差限于高程检核。

#### (II) 卫星定位实时动态控制测量的设计、选点与埋石

**3.3.6** RTK 测量的精度会受到各种因素的影响，由于载波相位进行测量具有多值性，初始化过程中各种误差以及数据链传输过程中外界环境、电磁波干扰产生的误差的影响，可能导致整周模糊度解算不可靠。同时，RTK 测设点间的相互独立与传统测量强调的相邻点间相对关系有着根本上的区别。为了确保控制点的可靠性，要求进行固定角和固定边复核检查。

#### (III) 卫星定位实时动态控制测量

**3.3.8** CORS 系统是动态的、连续的空间数据参考框架，是一种快速、高精度获取空间信息的重要基础设施。安全、有序和合理使用是系统稳定运行的基础，因此，系统用户需要经过申请、登记、注册，并获得系统的授权后，方可登陆系统，得到系统提供的服务。

**3.3.9** RTK 测量时，仪器对中误差、测量天线高的误差，都将影响 RTK 测量的成果，因此应对三脚

基座和仪器上的水准器进行检查校正，以尽量减少系统误差的影响。

**3.3.10** RTK 作业受到地形、地物和电磁波等诸多外界环境因素影响，有些因素是作业员现场可以识别的，还有很多因素是无法现场判定，对观测结果的影响很难通过判断来确定。为了保证成果数据的质量，通过观测前对仪器的精度指标进行设置来获得可靠的结果，因为在周围观测情况不利于 RTK 作业的条件下，也可以获得 RTK 固定解，但获得的多次坐标成果相互间跳动大、不稳定，有存在粗差的可能性。如果在这样情况下进行 RTK 作业，那么 RTK 定位的精度、可靠性会很差。因此，根据 RTK 测量水平精度高、垂直精度低的特性，设置相应的水平精度和垂直精度收敛阈值。

**3.3.11** RTK 一测回观测需要搜索、锁定卫星，进行初始化，稳定收敛后才可进行观测，根据多种类型仪器的测试结果，完成测前的一系列准备工作平均在 40 秒以上，为了保证测回间的初始化时间，测回间的时间中断间隔应大于 60 秒。同时，测回间隔一段时间可以消除因卫星分布不同、差分信号不同、电离层扰动影响等产生单次整周模糊度确定不可靠的影响，从而保证各测回间的相互独立。

经过大量试验统计，RTK 测量的平面点位中误差优于  $\pm 30\text{mm}$ ，坐标分量应优于  $\frac{30}{\sqrt{2}} = 21\text{mm}$ ，因

此，本规范规定测回间的平面坐标分量较差应小于 20mm，垂直分量较差应小于平面坐标分量的 1.5 倍，即 30mm。

**3.3.12** RTK 解算时是通过无线通信链路获取差分数据，有些作业区通信条件较差或者存在未知干扰源，将导致 RTK 测量初始化困难；有时这种影响是短时间的，经过重新启动 GNSS 接收机，可能会恢复正常，当重新启动多次仍不能获得固定解时，表明此处不适合进行 RTK 测量，应选择其它位置进行测量以提高工作效率。

**3.3.13** 后处理动态测量不同于实时单基准 RTK 和网络 RTK 测量，首先要求流动站在静止状态下对卫星进行观测一段时间，获得初始化，这个初始化结果是后续测量的起算数据，在测量过程中不能丢失，一旦丢失，就需要重新初始化。

**3.3.14** 单基站 RTK 测量的基准站设置是关键性第一步，基准站的选择直接影响到作业半径和效率。若基准站选择不当，基准站观测数据质量和无线通讯信号传播质量无法保证，该基准站支持的所有流动站都不能顺利作业，或者造成基准站频繁迁站，影响工作进程。基准站的设置要与当前作业方式匹配，还要与流动站的模式匹配。

**3.3.18** 单基站 RTK 测量和网络 RTK 测量，主要在定位方法、通讯手段和仪器设置等方面不一样。但两者在 RTK 测量时，流动站的操作程序、作业方法和技术要求基本一致。

#### (IV) 卫星定位实时动态控制测量数据处理

**3.3.19** RTK 测量数据输出时一般采用接收机随机配备的商用软件，需要根据本条要求的输出内容进行设置输出，便于检查人员对外业采集的信息进行相应的检查。

**3.3.20** 坐标系转换参数的获取有多种方式，可视具体情况灵活采用。根据仪器设备使用的情况，主要提供三种转换参数的作业方式。一种是已有该区域的坐标转换参数；二种是事先可以收集到足够数量的同时具有地心坐标和参心坐标成果的控制点；三种是事先只收集到足够数量的具有参心坐标成果的控制点，其地心坐标需要实地采集获取。从使用方便和精度考虑，应按上述三种方式顺序选择。

由于收集到的控制点来源、精度不一定统一，其相互间的符合性很难一致，坐标系转换参数是通过一定的数学模型利用重合点来拟合计算的，参与拟合控制点的分布对于参数计算、测量成果的精度都有很大影响，由于无法准确规定拟合的控制点分布，只能用均匀分布来限制拟合误差在作业过程中的扩大。同时，为了控制转换参数的精度，依据测设的 RTK 点的点位精度相对于基准站不超过 50mm 的要求，拟合控制点能控制作业区域前提下，转换参数残差应小于点位误差的 1/3，综合考虑其他因素，本条规定了平面坐标转换的残差应不大于 20mm。

### (V) 卫星定位实时动态控制测量外业检核

**3.3.21** RTK 测量应有一定数量的检核点，检核点应均匀分布于作业区的中部和边缘，以保证测量成果的可靠性。

RTK 平面控制点应采用常规方法进行边长、角度检核，导线联测按相应的下一个等级要求执行。当采用导线联测的方法进行检核时，该导线同时可以应用于相应工程，不必另行布设导线。

检核时常采用以下几种方法进行。

**1** 已知点比较法：用 RTK 测出已知控制点的坐标进行比较检核，发现问题即采取相应措施予以改正。已知点比较法主要用于检查 RTK 系统状态和仪器设置是否正确。

**2** 重测比较法：每次初始化成功后，先重测部分已测过的 RTK 测量点，确认无误后才进行 RTK 测量。重测检核宜间隔一定时间，可以检核不同卫星分布、不同 DOP 值下，RTK 的测量精度。

**3** 常规测量方法：用常规仪器对 RTK 测量的点对进行边长、高差、角度测量，任意的 RTK 控制点作为常规导线和高程起算点，按附和导线或高程计算检核点的坐标或高程。

## 3.4 导线测量

### (I) 导线测量的主要技术要求

**3.4.1** 导线测量的主要技术要求说明如下：

**1** 随着全站仪在我国的普及应用，工程测量部门对中小规模的控制测量大部分采用导线测量的方法。基于控制测量的技术现状和应用趋势的考虑，本规范修订时，依旧维持《07 规范》导线测量精度等级的划分和主要技术要求不变，将导线测量方法排列在三角形网测量之前。

导线测量的主要技术要求，是根据多数工程测量单位历年来实践经验、理论公式估算以及《78 规范》科研课题试验验证，基于以下条件确定的。

**1)** 三、四等导线的测角中误差，采用同等级三角形网测量的测角中误差值  $m_{\beta}$ ；

**2)** 导线点的密度应比三角形网密一些，故三、四等导线的平均边长  $S$ ，采用同等级三角形网平均边长的 0.7 倍左右；

**3)** 测距中误差，是按以往中等精度电磁波测距仪器标称精度估算值制定的，近年来电磁波测距仪器的精度都相应提高，该指标是容易满足的；

**4)** 设计导线时，中间最弱点点位中误差采用 50mm；起始误差  $m_{起}$  和测量误差  $m_{测}$  对导线中点的影响按“等影响”处理。

**2** 关于导线长度规定的说明：

对于导线中点（最弱点）即有：
$$m_{起中} = m_{测中} = \frac{50}{\sqrt{2}} \quad (11)$$

最弱点点位中误差：
$$m_{最弱}^2 = m_{起中}^2 + m_{测中}^2 \quad (12)$$

由于中点的测量误差包含纵向误差和横向误差两部分，即有：

$$m_{测中}^2 = m_{纵中}^2 + m_{横中}^2 \quad (13)$$

附合于高级点间的等边直伸导线，平差后中点纵横向误差可按 (14)、(15) 式计算：

$$m_{纵中} = \frac{1}{2} m_D \sqrt{n} \quad (14)$$

$$m_{横中} = 0.35 m_{\beta} (S) \sqrt{5+n} \quad (15)$$

式中： $n$  为导线边数， $(S)$  为导线总长。

则，所求的导线长度的理论公式为：

$$\frac{0.1225m_{\text{p}}^2}{S}(S)^3 + 0.6125m_{\text{p}}^2(S)^2 + \frac{0.25m_{\text{D}}^2}{S}(S) - 1250 = 0 \quad (16)$$

分别将各等级的  $m_{\text{p}}$ 、 $S$  及  $m_{\text{D}}$  值代入 (3.8) 式，解出  $(S)$ ，即得导线长度。

### 3 关于相对闭合差限差的说明：

理论和计算证明：附和导线中点和终点的误差比值，横向误差为 1:4，纵向误差、起始数据的误差均为 1:2。

则有，导线终点的总误差  $M_{\text{终}}$  的理论公式为：

$$M_{\text{终}} = \sqrt{4m_{\text{纵}}^2 + 16m_{\text{横}}^2 + 4m_{\text{起}}^2} \quad (17)$$

取 2 倍导线终点的总误差作为限值。

则，导线全长相对闭合差为：

$$1/T = 2M_{\text{终}} / (S) \quad (18)$$

按 1~3 款计算，并适当取舍整理，得出导线测量的主要技术要求如标准表 3.4.1。

以上导线测量的主要技术要求，与《78 规范》科研课题在某测区的试验报告所提指标基本相符合。

4 由于本规范 3.4.9 条规定：当三、四等导线测量的测站只有两个方向时，须观测左右角。故，将三等导线 2" 级仪器的观测测回数规定为 10 测回，以便左右角各观测 5 测回（三等三角形网测量的水平角观测测回数 2" 级仪器为 9 测回）；

5 注 2 中，一、二、三级导线平均边长和总长放长的条件，是测区不再可能施测 1:500 比例尺的地形图。按 1:1000 估算，其点位中误差放大一倍，故平均边长相应放长一倍。

### 3.4.2 关于导线长度小于规定长度 1/3 时，全长绝对闭合差不应大于 0.13m 的说明：

根据理论公式验证，直伸导线平差后，导线终点的总误差和导线中点的点位中误差的关系为：

$$M_{\text{终}} = K m_{\text{中}} \quad (19)$$

则导线全长的相对闭合差为：

$$1/T = 2M_{\text{终}} / (S) = 2K m_{\text{中}} / (S) \quad (20)$$

当附和导线长度小于规范表 3.3.1 所规定长度 1/3 时，导线全长的最大相对闭合差，不能满足规范的最低要求。此时，要求以导线终点的总误差  $M_{\text{终}}$  来衡量。按起算误差和测量误差等影响、测角

误差和测距误差等影响考虑，则  $K$  为  $\sqrt{7}$ ；因  $m_{\text{中}}$  为 50mm，根据 (19) 式，则  $M_{\text{终}}$  约等于 130mm。

3.4.3 从较常用的导线网形出发，当最弱点的中误差与单一附和导线最弱点中误差近似相等时，经过计算，各图形结点间、结点与高级点间长度约为附和导线长度的 0.5~0.75 倍，本规范取用 0.7 倍来限制结点间、结点与高级点间的导线长度。

## (II) 导线网的设计、选点与埋石

### 3.4.4 导线网的布设要求：



1 首级网布设成环形网的要求，主要是基于首级控制应能有效地控制整个测区并且点位分布均匀而提出的；

2 直伸布网，主要指导线网中结点与已知点之间、结点与结点之间的导线段宜布设成直伸形式；直伸布网时，测边误差不会影响横向误差，测角误差不会影响纵向误差。这样可使纵横向误差保持最小，导线的长度最短，测边和测角的工作量最少；这是构网的原则，作业时应尽量直伸布网。

3 导线相邻边长不宜相差过大（一般不宜超过 1:3 的比例），主要是为了减少因望远镜调焦所引起的视准轴误差对水平角观测的影响；

4 不同环节的导线点相距较近时，相互之间的相对误差较大。

#### 3.4.5 导线点的选定：

1 关于视线，在《07 规范》修订时已将测线和视线距离障碍物的要求进行了统一，通常情况下不再做严格的区分，这种处理是合理的。

2 相邻两点之间的视线倾角不宜过大的规定，是因为当视线倾角较大或两端高差相对较大时，高差的测量误差将对导线的水平距离产生较大的影响。

由本标准（3.4.23）式，测距边的中误差可表示为：

$$m_D^2 = \left(\frac{S}{D} m_s\right)^2 + \left(\frac{h}{D} m_h\right)^2 \quad (21)$$

式中

$h$ ——测距边两端的高差；

$S$ ——测距边的长度；

$D$ ——测距边平距的长度；

$m_D$ ——测距边的中误差；

$m_s$ ——测距中误差；

$m_h$ ——高差中误差。

由（21）式可以看出：测距边两端高差越大，高差中误差  $m_h$  对测距边的中误差  $m_D$  影响也越大。

因而，本标准提出测距边视线倾角不能太大的要求。

### （III）水平角观测

#### 3.4.7 水平角观测仪器作业前检验。

水平角观测所用的仪器是以 1" 级、2" 级和 6" 级仪器为基础，根据实际的检查需要和相关仪器的精度，分别规定出不同的指标。

本条增加了全站仪、电子经纬仪的相关检验要求，其中包括电子气泡和补偿器的检验等。

对具有补偿器（单轴补偿、双轴补偿或三轴补偿）的全站仪、电子经纬仪的检验可不受本条前 3 款相关检验指标的限制，但应确保在仪器的补偿区间（通常在 3' 左右），补偿器对观测成果能够进行有效地补偿。

光学（或激光）对中器的视轴（或射线）与竖轴的重合度指标，是指仪器高度在 0.8m 至 1.5m 时的检验残差不应大于 1mm。

#### 3.4.8 水平角方向观测法的技术要求。

1 关于表 3.4.8 中部分观测指标的说明：

1) 2C 互差的限差；

仪器视准轴误差( $C$ )和横轴误差( $i$ ), 对同一方向盘左观测值减盘右观测值的影响公式为:

$$L-R = \frac{2C}{\cos \alpha} + 2i \operatorname{tg} \alpha \quad (22)$$

当垂直角 $\alpha=0$ 时,  $L-R=2C$ 。即只有视线水平时,  $L-R$ 才等于2倍照准差, 因此,  $2C$ 的较差受垂直角的影响为:

$$\begin{aligned} \Delta_{2c} &= \left(\frac{2C}{\cos \alpha_1} + 2i \operatorname{tg} \alpha_1\right) - \left(\frac{2C}{\cos \alpha_2} + 2i \operatorname{tg} \alpha_2\right) \\ &= 2C\left(\frac{1}{\cos \alpha_1} - \frac{1}{\cos \alpha_2}\right) + 2i(\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2) \\ &\approx C \frac{\alpha_1^2 - \alpha_2^2}{\rho^2} + 2i \operatorname{tg} \Delta \alpha \end{aligned} \quad (23)$$

对于 $2''$ 级仪器,  $2C$ 可校正到小于 $30''$ , 即 $C \leq 15''$ , 这时(23)式右端第一项取值较小。例如:  $\alpha_1 = 5^\circ$ ,  $\alpha_2 = 0^\circ$ 时,  $C \frac{\alpha_1^2 - \alpha_2^2}{\rho^2} = 0.12''$ , 当 $\alpha_1 = 10^\circ$ ,  $\alpha_2 = 0^\circ$ 时,  $C \frac{\alpha_1^2 - \alpha_2^2}{\rho^2} = 0.46''$ 。

可见, 此值与一测回内 $2C$ 互差限差 $13''$ 相比是较小的, 因此(23)式第二项才是影响 $2C$ 较差变化的主项。

对于 $2''$ 级仪器, 一般要求 $i \leq 15''$ , 但是由于测角仪器水平轴不便于外业校正, 所以若 $i$ 角较大时, 也得用于外业。

$i$ 角对 $2C$ 较差的影响, 见表3。

表3  $i$ 角对 $2C$ 较差的影响值 $2i \operatorname{tg} \Delta \alpha$

$i \backslash a$	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$
$15''$	$2.6''$	$5.3''$	$8.0''$
$20''$	$3.5''$	$7.1''$	$10.7''$

由表列数值可知, 对 $2C$ 互差即使允许放宽30%或50%, 有时还显得不够合理, 但是若再放宽此限值, 则对于 $i$ 角较小的仪器又显得太宽, 失去限差的意义。因此, 规范表3.4.8注释规定: 当观测方向的垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 时, 该方向 $2C$ 互差可按相邻测回同方向进行比较。

2) 当采用 $2''$ 级仪器观测一级及以下等级控制网时, 由于测角精度要求较低, 边长较短、成像清晰, 因此对相应的观测指标适当放宽;

3) 全站仪、电子经纬仪用于水平角观测时, 其主要技术要求同本条表3.4.8, 但不受光学测微器两次重合读数之差指标的限制。

2 观测方向不多于3个时可不归零的要求, 是根据历年来的实践经验确定的。由于方向数少, 观测时间短, 不归零对观测精度影响不大。相反, 归零观测也会增加观测的工作量, 因此没有必要;

3 观测方向超过6个时, 可进行分组观测的要求, 是由于方向数多, 测站的观测时间会相应加长, 气象等观测条件变化较大, 各项观测限差不容易满足要求。因此, 宜采用分组观测的方法进行;

4 当应用全站仪、电子经纬仪进行角度测量时, 通常应进行度盘配置。因为电子测角可分为三种方法, 即编码法、动态法和增量法。前两种属于绝对法测角, 后一种属于相对法测角。不论是采用编码度盘还是光栅度盘, 度盘的分划误差都是电子测角仪器测角误差的主要影响因素。只有采用动态法测角系统的仪器在测量中不需要配置度盘, 因为该方法已有效地消除了度盘的分划误差。目

前工程类的全站仪、电子经纬仪很少采用动态法测角系统，故规定应配置度盘。

**3.4.9** 当三、四等导线测量的测站只有两个方向时，须观测左右角，且要求配置度盘。但对于三等导线用 2" 级仪器观测并按附录 C 公式计算度盘配置时，其结果如表 4。其配置尾数全为 30"，容易产生系统性差错，故，观测时应注意适当调整度盘的尾数值配置。

表 4 2" 级光学经纬仪的度盘配置

测回序号 $j$	$\sigma$
1	0°0'30"
2	18°11'30"
3	36°22'30"
4	54°33'30"
5	72°44'30"
6	90°55'30"
7	109°06'30"
8	127°17'30"
9	145°28'30"
10	163°39'30"

**3.4.10** 关于测站的技术要求：

**1** 增加仪器、反光镜（或觇牌）用脚架直接在点位上整平对中时，对中误差不应大于 2mm 的限制，以减少人为误差的影响；

**2** 由于本标准各等级水平角观测的限差是基于视线水平的条件下规定的。当观测方向的垂直角超过  $\pm 3^\circ$  时，竖轴的倾斜误差对水平角观测影响较大，故要求在测回间重新整置气泡位置，观测限差还应满足 3.4.8 条第 1 款的规定；

另外，测回间对气泡位置的整置，即可通过调节竖轴的不同倾斜方位，使仪器误差在各测回间水平角的平均数中有所削弱。

具有垂直轴补偿器的仪器（补偿范围一般为  $3'$ ），其对观测的水平角可以进行自动改正，故不受此款的限制；作业时，应注意补偿器处于开启状态。

**3** 剧烈震动下，补偿器无法正常工作，故应停止观测。即便关闭补偿器，也无法获得好的观测结果；

**4** 鉴于工程测量作业中有时需要进行偏心观测，对归心元素测定的各项精度指标，都是在保证水平角观测精度的前提下提出的，测定时也是容易达到的。

**3.4.12** 对已知方向的联测精度，宜采用与所布设首级网的等级相同，不必采用过高的精度，更不必采用与联测已知点相同的精度。

**3.4.13** 增加了对电子记录和全站仪内存记录的要求。

#### (IV) 距离测量

**3.4.14** 电磁波测距仪器在测绘生产中已普遍应用，但考虑到有些施工单位出于习惯或工作简便的考虑，本次修订依旧保留钢尺量距的技术要求。特殊情况下的钢尺量距（如高程竖向传递），其作用仍无法替代。

**3.4.16** 仪器厂家多采用固定误差和比例误差来直观表示测距仪器的精度。《07 规范》修订时删去了测距仪器分级的内容，改用仪器的标称精度直接表示，这种简洁的表示方法得到了很多行业标准的响应与普遍引用，这种表示方法证明是合理的。

**3.4.17** 在高海拔地区作业时，对辅助工具送当地气象台（站）的检验校正是有必要的。

**3.4.18** 测距的主要技术要求，是根据多数工程测量部门历年来的工程实践经验，基于以下条件制定的：

- 1 一测回读数较差是根据各等级仪器每千米标称精度规定的。
  - 2 单程各测回较差为一测回较差乘以 $\sqrt{2}$ 。
  - 3 往返较差的限差，取相应距离仪器标称精度的 2 倍；
  - 4 仪器的精度等级和测回数，是根据相应等级平面控制网要求达到的测距精度而给出的规定。
- 3.4.19** 测距边用垂直角进行平距改正时，垂直角的观测误差将对水平距离的精度产生影响。由高差

测定误差 ( $m_h$ ) 引起水平距离改正数的中误差  $m_D$  为：

$$m_D = \frac{h}{S} m_h \quad (24)$$

按 (24) 式分析，通常  $h$  之值远比  $S$  之值小得多，故其高程误差影响水平距离改正的中误差则更微小。本规范 4.3.2 条五等电磁波测距三角高程测量每千米高差中误差仅为 15mm，故本条规定其垂直角的观测和对向观测高差较差放宽一倍，是完全能保证测距边精度的。

**3.4.21** 关于钢尺量距的说明：

1 普通钢尺量距在施工测量中的应用还很普遍，所以保留这部分内容，并采用量距一词，以示区分：

2 本标准表 3.4.1 中导线测量的主要技术要求，是针对电磁波测距而设计的技术规格。若导线边长采用普通钢尺量距，钢尺丈量较差的相对误差并不能代表规范表 3.4.1 中测距相对中误差。但根据各工程测量单位的实际作业经验，量距较差相对误差与导线全长相对闭合差的关系，其比例约为 1:2。因此，表 3.4.21 可分别适用于二、三级导线边长的量距工作。

(V) 导线测量数据处理

**3.4.22** 偏心观测在工程测量中已较少使用。使用时，归心改正按 (25) 或 (26) 式计算：

- 1 当偏心距离  $e \leq 0.3\text{m}$  时，可按近似公式计算：

$$\Delta D_e = -e \cdot \cos \theta - e' \cos \theta' \quad (25)$$

式中： $\Delta D_e$ ——归心改正值；

$e$ ——测站偏心值；

$e'$ ——镜站偏心值；

$\theta$ ——测站偏心角；

$\theta'$ ——镜站偏心角。

- 2 当偏心距  $e \geq 0.3\text{m}$  时，根据余弦定理，水平距离按下式计算。

$$D = \sqrt{e^2 + S^2 - 2eS \cos \theta} \quad (26)$$

式中： $D$ ——归化后的水平距离；

$e$ ——偏心距；

$S$ ——测量水平距离；

$\theta$ ——偏心角。

**3.4.23** 水平距离计算公式说明如下：

- 1 当边长  $S \leq 15\text{km}$  时，其弧长与弦长之间差异较小，由图 1，根据余弦定理，有

$$D_0^2 = 2R^2 - 2R^2 \cos \theta \quad (27)$$

则 
$$\cos \theta = 1 - \frac{D_0^2}{2R^2} \quad (28)$$

又 
$$S^2 = (R + H_1)^2 + (R + H_2)^2 - 2(R + H_1)(R + H_2)\cos \theta \quad (29)$$

令两点间的高差 
$$h = H_1 - H_2 \quad (30)$$

则，归算到参考椭球面上的水平距离严密计算公式为：

$$D_0 = \frac{\sqrt{(S+h)(S-h)}}{\sqrt{\left(1 + \frac{H_1}{R}\right)\left(1 + \frac{H_2}{R}\right)}} \quad (31)$$

归算到测区平均高程面  $H_0$  上的水平距离严密计算公式为：

$$D_H = \frac{\sqrt{(S+h)(S-h)}}{\sqrt{\left(1 + \frac{H_1 - H_0}{R + H_0}\right)\left(1 + \frac{H_2 - H_0}{R + H_0}\right)}} \quad (32)$$

式中：  $D_H$ ——归化到测区平均高程面上的水平距离 (m)；

$S$ ——经气象及加、乘常数等改正后的斜距 (m)；

$D_0$ ——归化到参考椭球面上的水平距离 (m)；

$H_1$ 、 $H_2$ ——分别为仪器的发射中心与反光镜的反射中心的高程值 (m)；

$h$ ——仪器的发射中心与反光镜的反射中心之间的高差 (m)；

$H_0$ ——测区平均高程面的高程 (m)；

$R$ ——地球平均曲率半径 (m)。

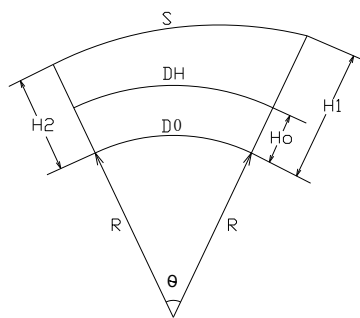


图 1 观测边长归化计算

(32) 式可以看作是水平距离计算的通用严密公式。应用时，当  $H_0$  为 0 时，其计算结果为参考椭球面上的水平距离；当  $H_0$  取测区平均高程面的高程时，其结果为测区平均高程面上的水平距离；当  $H_0$  取测区抵偿高程面的高程时，其结果为测区抵偿高程面上的水平距离；当  $H_0$  取测线两端的平

均高程时，其结果为测线的水平距离。

2 如令 (32) 式的分母为

$$K = \sqrt{\left(1 + \frac{H_1 - H_0}{R + H_0}\right) \left(1 + \frac{H_2 - H_0}{R + H_0}\right)} \quad (33)$$

则有 
$$D_p = \frac{1}{K} \sqrt{S^2 - h^2} \quad (34)$$

通过计算，当  $H_0$  为测线两端的平均高程时， $K \approx 1$ ，其误差小于  $10^{-8}$ 。

则测线的水平距离计算公式可表示为：

$$D_p = \sqrt{S^2 - h^2} \quad (35)$$

要说明的是，在上面公式的推导中，椭球高是以正常高代替，椭球高只有在高等级大地测量中才用到。由于工程测量控制网边长较短、控制面积较小，椭球高和正常高之间的差别通常忽略不计。

**3.4.26** 本条给出了测距长度归化到不同投影面的计算公式。在作业时，应根据本规范 3.1.5 条对平面控制网的坐标系统选择的不同而取用不同的公式。

**3.4.27** 关于严密平差和近似平差方法的选用。根据历年来各工程测量单位的实践经验，对一级及以上精度等级的平面控制网，只有采用严密平差法才能满足其精度要求。对二级及以下精度等级的平面控制网，由于其精度要求较低一些，允许有一定的灵活性，不作严格的要求。

**3.4.28** 关于先验权计算。控制网平差时，需要估算角度及边长先验中误差的值，并用于计算其先验权的值。根据实践经验，采用经典的计算公式或数理统计的经验公式估算先验中误差，用于平差迭代计算，其最终平差结果是一样的，二者都是可行的办法。

**3.4.30** 根据历年来的实践经验，本条列出了一些必要的精度评定项目，需要时，作业者还可以增加更细致的精度评定项目。

**3.4.31** 内业计算中数字取位的要求，是为了保证提交成果的精度。

### 3.5 三角形网测量

#### (I) 三角形网测量的主要技术要求

**3.5.1** 随着全站仪在工程中的普遍应用，角度和距离测量已不再像以前那么困难，现在的外业观测不仅灵活且很方便。就布网而言，纯粹的三角网、三边网已极少应用。所以，《07 规范》修订时提出了三角形网测量的统一概念，对已往的三角网、三边网、边角网不再严加区分，将所有的角度、边长观测值均作为观测量看待。三角形网测量的精度指标，也是基于原三角网和三边网的相关指标制定。具体指标的确立，是根据工程测量单位完成的工程控制网统计资料并顾及不同行业的测量技术要求，在综合分析的基础上确定的，说明如下：

1 关于测角中误差和测回数。

本标准对二、三、四等三角形网测量的测角中误差仍分别沿用我国经典的 1.0"、1.8"、2.5" 的划分方法。

水平角观测的测回数是依据工程测量单位的统计结果确定的，见表 5。

表 5 水平角观测中误差与测回数统计表

1" 级			2" 级		
测回数	测角中误差 (")	网的个数	测回数	测角中误差 (")	网的个数
3	0.90~1.66	4	1	5.00	1
4	0.89~2.40	8	3	2.40	2
6	0.80~1.70	17	4	1.55~2.10	4

8	0.85~1.68	3	6	1.30~2.50	9
9	0.55~1.79	26	8	1.90~2.20	5
10	1.01	1	9	0.95~1.80	6
12	0.40~1.02	7	9	2.12	1
			12	1.17~1.64	2

## 2 关于平面控制网的基本精度。

工程平面控制网的基本精度，应使四等以下的各级平面控制网的最弱边边长（或最弱点点位）中误差不大于 1:500 或 1:1000 比例尺地形图上 0.1mm。即，中误差相当于实地的 5cm 或 10cm。因此，本规范取四等三角形网最弱边边长中误差为 5cm。

就一般工程施工放样而言，通常要求新设建筑物与相邻已有建筑物的相关位置误差（或相对于主轴线的位位置误差）小于 10~20cm；对于改、扩建厂的施工图设计，通常要求测定主要地物点的解析坐标，其点位相对于邻近图根点的点位中误差为 5~10cm。因此，本规范所规定的控制网精度规格，是可以满足大比例尺测图并兼顾一般施工放样需要的。

## 3 关于测边相对中误差和最弱边边长相对中误差的精度系列。

测边相对中误差的精度系列，沿用《93 规范》三边测量测距相对中误差精度系列；最弱边边长相对中误差的精度系列，沿用《93 规范》三角测量最弱边边长相对中误差精度系列。这两种精度系列都是做过严格的理论推导和试验验证取得的。而三角形网则集两种精度系列于一体，不仅完全保证控制网的精度符合相应等级的精度要求，而且在工程作业中更容易实现。

## 4 关于各等级三角形网的平均边长。

根据一些工程测量单位的作业经验和对工程施工单位的调查走访认为，四等三角形网的平均边长为 2km，最弱边边长相对中误差不低于 1/40000，即相对点位中误差为 5cm，这样密度和精度的网，可以满足一般工程施工放样的需要。故，本规范四等三角形网的平均边长规定为 2km。其余各等级的平均边长，基本上按相邻两等级之比约为 2:1 的比例确定，即有：三等为 4.5km，二等为 9km，一级为 1km，二级为 0.5km。

5 本标准表 3.5.1 注释中平均边长适当放长的条件，是测区不再可能施测 1:500 比例尺的地形图。按 1:1000 比例尺地形图估算，其点位中误差放大一倍，故平均边长相应放长一倍。

## 6 修订增加了 0.5" 级高精度仪器的测量要求。

3.5.2 三角形网测量概念的提出，就是将所有的角度、边长观测值均作为观测量看待，所以均应参加平差计算。

## （II） 三角形网的设计、选点与埋石

3.5.4 随着测绘科技的发展和作业技术手段的提高，工程测量已不再强调逐级布网，但应重视在满足工程项目基本精度要求的情况下，合理确定网的精度等级和观测方案，也允许在满足精度要求的前提下，采用比较灵活的布网方式。

## 3.5.5 关于三角形网设计、选点内容修订的几点说明：

1 由于工程测量单位在对三角形网加密时，现已很少采用插网、线性网或插点等形式，所以《07 规范》修订时取消了插网、线性网或插点的具体技术要求，仅保留相关概念和方法，同时也是为了表明不提倡这三种加密方式，可采用其他更容易、更方便、更灵活、更经济的方式加密，比如卫星定位测量方法和导线测量方法。

2 《07 规范》取消了采用经典的线性锁布设一、二级小三角的内容。主要是因为线性锁加密方法，现时已没有作业者采用，这种处理方法证明是合理的。

3 《07 规范》取消了建造觇标的相应条款，是因为目前的工程测量单位在工程项目的实施中很少建造觇标，同时造标也会增加工程成本。故，通常情况下本标准不主张建造觇标。如需要建造，可参考相关国家标准或行业标准进行。

## （III） 三角形网观测

**3.5.7** 由于工程控制网的平均边长较短，成像清晰、稳定（相对大地测量而言），通常测站的观测时间也较短，因此，方向观测法是三角形网水平角观测的主要方法。鉴于二等三角形网的精度要求较高，因此，也可采用全组合观测法。

**3.5.8** 对于二等三角形网的水平角观测，有些规范要求：当垂直角超过  $3^\circ$  时， $1''$  级光学经纬仪，要在方向观测值中加入垂直轴倾斜改正，即，要在每个目标瞄准后读取气泡的偏移值。

鉴于工程控制网边长较短，本规范不要求进行此项改正，但观测过程中对光学经纬仪的气泡偏离值要求较严，也不允许超过 1 格（注：尽管  $1''$  级仪器照准部旋转正确性指标值为不超过 2 格）。

**3.5.9~3.5.10** 由于导线测量的分级为三、四等和一、二、三级，故增加二等三角形网边长测量的技术要求，其余等级的边长测量则直接参见导线测量的相关条文。

#### (IV) 三角形网测量数据处理

**3.5.12** 归心改正计算，可按本规范条文说明 3.3.22 条的公式计算。

**3.5.15** 增加了二、三、四等三角形网的方向观测值，应进行高斯投影方向改化的技术要求，并提供了方向改化的计算公式。即要求把椭球面上的方向观测值归化到高斯平面上，才能进行三角形网的平差计算（距离的归化投影计算也是如此见本规范条文说明 3.3.26 条）。

**3.5.16** 关于垂线偏差的修正：

垂线偏差的修正，通常只有国家一、二等控制网才需要进行此项改正计算，对于国家三、四等控制网和工程测量控制网，一般不必进行。观测方向垂线偏差改正的计算公式如下：

$$\delta_u = (\eta \cos A - \xi \sin A) \operatorname{ctg} z \quad (36)$$

$$\eta = u \sin \theta \quad (37)$$

$$\xi = u \cos \theta \quad (38)$$

式中： $\delta_u$ ——观测方向垂线偏差改正；

$\eta$ ——垂线偏差卯酉分量；

$\xi$ ——垂线偏差的子午分量；

$A$ ——以法线为准的大地方位角；

$z$ ——照准方向的天顶距；

$u$ ——垂线偏差的弧度元素；

$\theta$ ——垂线偏差的角度元素。

但在高山地区或垂线偏差较大的地区作业时，其垂线偏差分量  $\eta$ 、 $\xi$  较大，照准方向的高度角也很大时，其对观测方向的影响接近或大于相应等级控制网的测角中误差，有的影响更大。近年来的一些研究成果表明，垂线偏差对山区三角形网水平方向和垂直角的影响不可忽视。故，规定对高山地区二、三等三角形网点的水平角观测值，应进行垂线偏差的修正是完全必要的。具体作业时，还应参考国家大地测量的相关规范进行。

**3.5.18** 各种几何条件的检验是衡量其整体观测质量的主要标准，其理由如下：

1 测站的外业观测的检查，只能反映出测站的内部符合精度，其仅能部分体现出观测质量，无法体现系统误差的影响，更不能反映整体三角形网的观测质量；

2 就单个三角形而言，其闭合差只能反映出该三角形的观测质量或测角精度；

3 对于整个三角形网，其以三角形闭合差为数最多，因此按菲列罗公式（规范 3.5.13 条）计算出的测角中误差，是衡量三角形网整体测角精度的主要指标。但当三角形的个数较少时，其可靠性就不是很高；

4 对三角形网所构成的各种几何条件的检验，是衡量其整体观测质量的充分条件。不满足时，应及时检查处理或进行粗差剔除，然后才能进行控制网的整体解算。



由于计算机的普及应用，本次修订时取消了有关对数形式的检验计算公式。

**3.5.19** 三角形网的平差计算，不再强调起始边或起算边的概念，故将其按观测值处理。

### 3.6 自由设站法测量

**3.6.1** 本次修订引入自由设站法测量，该方法适用于工程控制网点的同精度加密，是对卫星定位测量、导线测量和三角形网测量方法的补充，但不属于控制测量作业的基本方法。

自由设站法测量适用于很多需要进行坐标传递的情形，也包括变形监测的基准传递。

**3.6.2** 周边既有控制点的坐标精度、位置分布及相对于设站点的构图，对后方交会的结果会产生一定程度的影响，因此，自由设站的位置选择与交会方向应有所讲究。

**3.6.3** 自由设站的位置常常位于不能永久设站或不便设站的测区（或施工工地）中心位置，能够高精度快速获取设站点的坐标与定向方位角正是该方法的优势，因此，对仪器的精度和功能提出了较高的要求。

**3.6.4** 用自由设站法对控制网进行加密或进行坐标传递时，宜采用与周边控制点相同的精度等级。故要求采用同等级加密，水平角方向观测法的测回数 and 测站限差及边长测距中误差与相应等级的三角形网测量要求一致。

**3.6.6** 当采用自由设站法进行高精度控制测量加密时，应及时精确测定测站的温度与气压值并对交会边长进行气象改正。

## 4 高程控制测量

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 高程控制测量精度等级的划分，仍然沿用《07 规范》的等级系列。

**4.1.2** 区域高程控制测量首级网等级的确定，一般根据工程规模或控制面积、测图比例尺或用途及高程网的布设层次等因素综合考虑。

**4.1.3** 我国的高程系统采用 1985 国家高程基准，其高程起算点是位于青岛的“中华人民共和国水准原点”，高程值为 72.2604m。1956 年黄海平均海面及相应的水准原点高程值为 72.289m，两系统相差 -0.0286m。对于一般地形测图来说可采用该差值直接换算。但对于高程控制测量，由于两种系统的差值并不是均匀的，其受施测路线所经过地区的重力、气候、路线长度、仪器及测量误差等不同因素的影响，须进行具体联测确定差值。

本条“高程系统”的含义不是大地测量中正常高系统、正高系统等意思。

假定高程系统宜慎用。

**4.1.4** 高程控制点数量及间距的规定，是根据历年来工程测量部门的实践经验总结出来的，便于使用且经济合理。

### 4.2 水准测量

**4.2.1** 关于水准测量的主要技术要求：

**1** 本规范水准测量采用每千米高差全中误差的精度与《国家一、二等水准测量规范》(GB 12897)和《国家三、四等水准测量规范》(GB 12898)相同。五等水准是因工程需要而对水准测量精度系列的补充，其每千米高差全中误差仍沿用《07 规范》的指标。

**2** 本条所规定的附合水准路线长度，在按级布设时，其最低等级的最弱点高程中误差为 30mm 左右（已考虑起始数据误差影响）。

**3** 本条中的附合或环线四等水准测量，工测部门都采用单程一次测量。实践证明是能达到规定精度的；因为四等水准与三等水准使用的仪器、视线长度、操作方法等基本相同，只有单程和往返的区别；按此估算，四等水准单程观测是能达到规定精度指标的。

**4** 关于山地水准测量的限差：

在山地进行三、四等水准测量时，由于受客观条件的限制，其往返较差、附合或环线闭合差的限值可适当放宽，分别为  $\pm 15\sqrt{L}$  和  $\pm 25\sqrt{L}$ 。但实测中，其限差常以测站数  $n$  来衡量，为此将上述限差转换为每站中误差的限差，通常每千米按 16 站计算，即

$$L = \frac{n}{16} \quad (39)$$

则

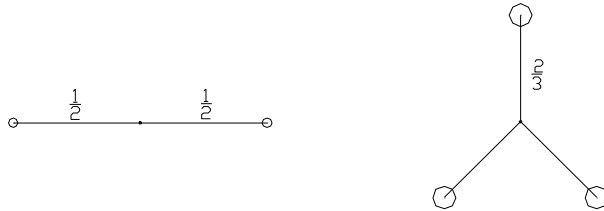
$$\text{三等限差} \quad \Delta = \pm 15\sqrt{L} = \pm 15\sqrt{\frac{n}{16}} \approx \pm 4\sqrt{n} \quad (40)$$

$$\text{四等限差} \quad \Delta = \pm 25\sqrt{L} = \pm 25\sqrt{\frac{n}{16}} \approx \pm 6\sqrt{n} \quad (41)$$

5 关于结点间或高级点间的路线长度，其是基于以下两种图形进行推论。

图 2 中，“⊙”表示高级点，“•”表示最弱点（由于图形的对称性，图中未标出全部最弱点）。

图 2 单一附和路线和最简结点网



推论可知：附和水准路线的最弱点在路线的中部，结点网的最弱点位于每个环节的 3/4 处。欲使两种图形最弱点的高程中误差相等，结点网的各环节长度应为单一附和水准路线长度的 2/3 倍。

故本规范表 4.2.1 的注 1 中，采用 0.7 倍的指标。

6 修订完善了对数字水准测量的要求。就精度而言，数字水准测量和同等级的光学水准测量的精度要求是相同的。但数字水准仪的测量精度和所配套的条码水准尺的材质是相关的，只有使用标准配套的因瓦条码水准尺才能达到或接近数字水准测量的理论精度；当配套的水准尺为条码式玻璃钢尺时，其精度须降级使用。故在表 4.2.1 的注 5 中作出 DS1 级数字水准仪若与条码式玻璃钢水准尺配套，其精度相当于 DS3 级的说明。

4.2.2 本条是对水准测量所使用的仪器及配套水准尺提出的要求。

4.2.4 水准标石埋设稳定是开始进行等级水准测量的重要前提条件，这里给予特别强调。就新技术推广而言，本标准优先提倡数字水准测量方法。

4.2.5 4.2.6 分别给出了数字水准仪和光学水准仪作业的主要技术要求。这里的部分指标二者略有差异，主要跟读数（成像）原理不同有关。相关技术指标主要参考《国家一、二等水准测量规范 2006》和《国家三、四等水准测量规范》GB/T12898 制定。

4.2.8 由于交通、水利等国家基础建设的快速发展，跨河水准在工程测量中的应用越来越多，跨河水准测量的主要技术要求，是根据水运工程行业长期的经验总结制定的。对于工程测量单位较少涉及的大型跨越项目（跨越距离 > 400m），其技术要求，可参考相关国家标准或行业标准执行。必要时，在满足工程精度要求的前提下，也可单独制定跨河水准测量方案。

4.2.9 关于水准测量数据处理的精度评定公式：

水准测量的精度评定，通常采用 (42)、(43) 两个公式计算。

$$M_{\Delta} = \pm \sqrt{\frac{1}{4n} \left[ \frac{\Delta\Delta}{L} \right]} \quad (42)$$

$$M_w = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \left[ \frac{WW}{L} \right]} \quad (43)$$

(43) 式是利用测段的往返高差不符值来推求水准观测中误差，其主要反映了测段间偶然误差的影响，因此称为水准测量每千米高差的偶然中误差。

(4.4) 式是利用附和或环线闭合差来推求水准观测中误差，其反映了偶然误差和系统误差的综合影响，因此称为水准测量每千米高差的全中误差。

### 4.3 电磁波测距三角高程测量

#### 4.3.2 电磁波测距三角高程测量的主要技术要求:

1 直返觇观测每千米高差中误差。

1) 直返觇观测每千米高差中误差的计算公式为:

$$m_{\text{hkm}} = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2}(\sin\alpha \cdot m_s)^2 + \frac{1}{2\rho^2}(S \cdot \cos\alpha \cdot m_\alpha)^2 + \left(\frac{S^2}{4R} \cdot m_{\Delta k}\right)^2 + m_G^2\right) / S \cos\alpha} \quad (44)$$

式中:

$m_{\text{hkm}}$  —— 直返觇观测每千米高差中误差;

$\alpha$  —— 垂直角;

$S$  —— 电磁波三角高程测量斜距;

$R$  —— 地球曲率半径;

$m_G$  —— 仪器和觇标的量高中误差;

$m_{\Delta k}$  —— 直返觇折光系数之差的中误差。

2) 各项误差估算:

测距误差:  $m_s$  对高差的影响与垂直角  $\alpha$  的大小有关, 一般中、短程电磁波测距仪器的测距精度

$m_s$  为  $5 + 5\text{ppm} \times D$ , 由于测距精度高, 因此它对高差精度的影响很小。

测角误差: 垂直角观测误差  $m_\alpha$  对高差的影响随边长  $S$  的增加而增大, 这一影响比测边误差的影响要大得多。为了削减其影响, 主要从两方面考虑, 一是控制边长不要过长, 本规范规定不要超过 1km。二是增加垂直角的测回数, 提高测角精度。

测角误差估算如下:

$$\text{设} \quad m_{\text{正镜}} = m_{\text{倒镜}} = m_{\text{半测回}} \quad (45)$$

则, 指标差中误差和指标差较差中误差为:

$$m_{\text{指标差}} = \sqrt{\frac{1}{4}m_{\text{正镜}}^2 + \frac{1}{4}m_{\text{倒镜}}^2} = \frac{m_{\text{半测回}}}{\sqrt{2}} \quad (46)$$

$$m_{\text{指标差较差}} = \sqrt{2} m_{\text{指标差}} = m_{\text{半测回}} \quad (47)$$

垂直角一测回测角中误差和测回较差的中误差为

$$m_{\text{垂直角一测回}} = \sqrt{\frac{1}{4}m_{\text{正镜}}^2 + \frac{1}{4}m_{\text{倒镜}}^2} = \frac{m_{\text{半测回}}}{\sqrt{2}} \quad (48)$$

$$m_{\text{测回较差}} = \sqrt{2} m_{\text{垂直角一测回}} = m_{\text{半测回}} \quad (49)$$

垂直角  $n$  测回测角中误差为

$$m_{\text{垂直角 } n \text{ 测回}} = \frac{m_{\text{半测回}}}{\sqrt{2n}} \quad (50)$$

根据本规范 4.3.3 条中指标差较差和垂直角较差的规定限差，即，四等为  $7''$ ，五等为  $10''$ 。则相应的  $m_{\text{半测回}}$  值，四等为  $3.5''$ ，五等为  $5''$ 。四等 3 测回观测的测角中误差为  $1.43''$ ，五等 2 测回观测的测角中误差为  $2.5''$ 。该推算结果和《93 规范》的实验结果是吻合的，多年来的工程实践证明，也是容易达到的。

$2''$  级全站仪和电子经纬仪的垂直角观测精度通常为  $2''$ ， $2''$  级光学经纬仪的垂直角观测精度相对较低，且不同厂家的仪器差别较大。本次修订删去了对光学经纬仪垂直角观测的要求。

大气折光影响的误差：垂直角采用对向观测，而且又在尽量短的时间内进行，大气折光系数的变化是较小的，因此，即刻进行的对向观测可以很好地抵消大气折光的影响。但实际上，无论采取何种措施，大气折光系数不可能完全一样，直觇和返觇时的  $K$  值总会有一定差值，所以，对向观测时  $m_{\Delta K}$  应是直返觇大气折光系数  $K$  值之差的影响。

根据修订组曾在平坦地的电磁波测距三角高程测量试验研究资料，计算出一小时、半小时、15 分钟折光系数变化的影响如表 6 所示。

表 6 折光系数的变化对高差平均值和高差较差的影响

时间间隔	1 小时	0.5 小时	15 分钟
$m_{(k_1-k_2)}$	0.06833	0.02416	0.00854
$m_{\left(\frac{k_1+k_2}{2}\right)}$	0.16524	0.05842	0.02065

注： $m_{(k_1-k_2)}$  用于对直返觇高差平均值影响的误差估算， $m_{\left(\frac{k_1+k_2}{2}\right)}$  用于对直返觇高差较差影响的误差估算。

仪器和觇标的量高误差：作业时仪器高和觇标高各量两次并精确至  $1\text{mm}$ ，其中误差按  $1\sim 2\text{mm}$  计。

顾及以上四种主要误差的影响，即测距中误差取  $5 + 5\text{ppm} \times D$ ；垂直角观测中误差，四等取  $2''$ ，五等取  $3''$ ；折光系数按 1 小时变化估计；仪器和觇标的量高中误差取  $2\text{mm}$ 。则可推算出电磁波测距三角高程对向观测的每千米高差中误差，见表 7。

表 7 电磁波测距三角高程测量对向观测的每千米高差中误差

距离 (km)		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
$m_{\text{hkm}}$ (mm)	四等	5.5	5.4	6.0	6.8	7.6	8.4	9.3	10
	五等	6.5	7.3	8.4	9.6	11	12	13	14

从表 7 验算可看出，边长为  $1\text{km}$  时，每千米高差测量中误差四等可达  $7.6\text{mm}$ 、五等可达  $11\text{mm}$ ，若再顾及其他系统误差的影响，如垂线偏差等，则要满足四等  $10\text{mm}$ 、五等  $15\text{mm}$  是不困难的。

## 2 电磁波测距三角高程测量的对向观测高差较差。

1) 一些试验和工程项目证明：用四等水准测量的往返较差  $20\text{mm} \sqrt{L}$  要求电磁波测距三角高程测量的对向观测较差是很难达到的。试验结果统计见表 8，其较差取  $30\sqrt{D}$ 。

表 8 电磁波测距三角高程测量对向观测高差较差

地区	项目	边数	边长(km)		较差大于 $\pm 30\sqrt{D}$		备注
			最大	最小	边数	百分比	

珠海	试验项目	62	<1		3	4.8	
西南某矿区	试验项目	61	1.83	0.05	5	8.2	其中两条边大于 1km
迁安	工程项目	70	0.92	0.14	4	5.7	
西南某矿区	工程项目	126	—	—	2	—	

从表 8 可看出：对于  $\pm 30\sqrt{D}$  的限差要求，也有相当比例的直返觇较差超限。

2) 大气折光对直返觇较差的影响比对高差平均值的影响大 2~3 倍（表 6）。

3) 垂线偏差对直返觇较差也有一定影响。

顾及以上三点，本规范将四等对向观测高差较差放宽至  $\pm 40\sqrt{D}$ ；五等相应调整为  $\pm 60\sqrt{D}$ 。

3 附合或环形闭合差。

由于对向观测高差平均值能较好地抵消大气折光的影响，并顾及其他影响因素，本规范表 4.3.2 中附合或环形闭合差规定为：四等  $\pm 20\sqrt{\sum D}$ ，五等  $\pm 30\sqrt{\sum D}$ ，即和四、五等水准测量的限差相一致。

4 有些学者认为：“三角高程测量的误差大致与距离成正比，因此其‘权’应为距离平方的倒数，不能简单的套用水准测量的精度估算与限差规定的形式。”

修订组认为，既然将电磁波测距三角高程测量应用于四五等高程控制测量，那么其主要技术指标，如每千米高差全中误差、附合或环线闭合差就必须与水准高程控制测量相一致。

至于观测权的问题，需在水准测量和电磁波测距三角高程测量混合平差时考虑。

4.3.3 为了减少大气折光对电磁波测距三角高程测量精度的影响（参见表 6），要求即刻迁站进行返觇测量，这样整个测线的环境条件相对稳定，折光系数变化不大，取往返高差的平均值可削弱折光差的影响。

4.3.4 由于电磁波测距三角高程测量，大多是在平面控制点的基础上布设的。测距边超过 200m 时，地球曲率和折光差对高差将产生影响，因此，本条 1 款规定应进行此项改正计算。

#### 4.4 卫星定位高程测量

4.4.1 关于卫星定位高程测量和应用等级的确定：

由于我国采用的是正常高高程系统，我们所应用的高程是相对似大地水准面的高程值，而卫星定位高程是相对于椭球面的高程值，为大地高。二者之间的差值为高程异常。因此，确定高程异常值，是卫星定位高程测量的必要环节。高程异常的确定方法，一般分为数学模型拟合法和用地球重力场模型直接求算。对于一般工程测量单位而言，由于无法获得必要的重力数据，主要是根据联测的水准资料利用一定的数学模型拟合推求似大地水准面。

1 卫星定位高程测量数学模型拟合法。

大地高  $H$  与正常高  $h$  的关系为：

$$h = H - \xi \quad (51)$$

$$\xi = f(x, y) \quad (52)$$

式中： $\xi$ ——高程异常拟合函数。

高程异常拟合函数，应根据工程规模、测区的起伏状况和高程异常的变化情况选择合理的拟合形式。除了平面拟合、曲面拟合和表 9 第 3 栏中的拟合形式外，还有自然三次样条函数、几何模型法、附加参数法、相邻点间高程异常差法、附加已有重力模型法、神经网络法等。方法的选择，在满足本规范精度要求的前提下，不做具体规定。

## 2 卫星定位高程测量精度统计。

国内部分工程项目卫星定位拟合高程精度统计资料，见表 9。

表 9 卫星定位拟合高程精度统计表

测区	面积 (km <sup>2</sup> )	拟合类型	结点个数	检查点数	中误差 (mm)
遵化测区	10×12	平面拟合	3~4	10~9	8~10
		二次曲面	6	7	7~14
王滩试验	170	多项式	10	17	14
		多面函数	10	17	15
某地	50×10	曲面样条	6~18	108~96	73~76
		二次多项式	6~18	108~96	80~189
		加权平均	6~18	108~96	205~273
海心岛	37	平面模型	6	6	11
		二次曲面	6	6	12
		多重曲面	6	6	12
汕头特区	—	二次曲面	9	10	22
		二次曲面	9	5 (拟合区外)	290
某地	100	最佳三点平面	6~8	10~8	25~38
		二次多项式	6~8	10~8	26~33
		多面函数	6~8	10~8	22~34
海莱	140	—	外围 5 点中部 3 点	13	3
		—	外围 8 点	13	3
		—	东部 8 点西部 0 点	13	4
某地	—	多面函数	3~6	19~22	15~25
鲁西南	300	平面拟合	4~10	15~9	16~31
		平面相关	4~10	15~9	16~33
		二次多项式	6~7	13~12	17~18

注：部分工程实例来自 1992~2003 年国内公开发表的刊物。

从表 9 看出，少部分测区拟合精度较差，大多数测区可达到四等精度。为了稳妥安全，本标准将卫星定位高程测量，定位在五等精度。

### 4.4.3 卫星定位高程测量的主要技术要求：

- 1 由于拟合区外部检查点的中误差显著增大，故要求联测点宜均匀分布在测区周围。
- 2 为了保证拟合高程测量的可靠性和进行粗差剔除并合理的评定精度，故规定对联测点数的要求。

间距小于 10km 的要求，见 4.4.4 条的说明。

- 3 卫星定位高程测量一般在平原或丘陵地区使用，但对于高差变化较大的地区，由于重力异常的变化导致高程异常变化较大。故要求增加联测点和检查点的数量。

#### 4.4.4 关于卫星定位高程计算：

- 1 对于似大地水准面的变化，通常认为受长、中、短波项的影响。长波 100km 以内曲面非常光滑；中波 20~100km 仅区域或局部发生变化；短波小于 20km 受地形起伏影响。因此利用已有的重力大地水准面模型能改善长、中波的影响。短波影响靠联测点的密度来弥补，故 4.4.3 条规定联测点的点间距不大于 10km；

- 2 拟合高程模型的优化或多方案比较，是为了获取较好的拟合精度，这也是作业中普遍采用的方法；

- 3 对于超出拟合高程模型所覆盖范围的推算点，因缺乏必要的校核条件，所以在高程异常比较大的地方要慎用，并且要严格限制边长。

- 4 我国很多地区已有区域似大地水准面精化成果，应充分利用并可以获得良好的可靠结果。

## 5 数字地形测量

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 地形图的比例尺，反映了用户对地形图精度和内容的要求，是地形测量的基本属性之一。地形图的比例尺，要求按设计阶段、规模大小和运营管理需要选用，主要基于以下因素考虑：

**1** 用图特点、用图细致程度、设计内容和地形复杂程度是选择地形图比例尺的主要因素；

对于比较简单情况，应采用较小比例尺；对于综合性用图与专业用图，需兼顾多方面需要，通常提供较大比例尺图；对于分阶段设计的情况，通常初步设计选择较小比例尺，两阶段设计合用一种比例尺的，一般选取一种适中的比例尺（1:1000 或 1:2000）或按施工设计的要求选择比例尺。

**2** 建厂规模、占地面积是选择比例尺的重要因素；

小型厂矿或单体工程设计，其用图要求精度不一定很高，但要求较大的图面以能反映设计内容的细部，因此多选用较大比例尺。

**3** 1:500~1:5000 比例尺系列地形图，基本概括了工程测量的服务范畴。

目前，大量的 1:1000 比例尺地形图，已用于各专业的施工设计，所以，1:1000 比例尺地形图，应为施工设计的基本比例尺图。但是，还有不少厂矿企业或单项工程的施工设计，也采用 1:500 比例尺地形图，其主要原因在于：1:1000 比例尺的图面偏小，并不是因为其精度不够。对于工业厂区、城市市区，情况有所不同，由于精度要求高，内容也复杂，以 1:500 比例尺图居多。还有一些工厂区，采用 1:500 比例尺作为维修管理用图。至于小城镇和部分中等城市，测绘 1:1000 比例尺图已能满足需要。根据目前现状，本规范仍把 1:500 比例尺列为常用测图比例尺。对于大部分线路测量（如铁路、公路等）、矿山、地质勘探、大型工程项目的初步设计，1:2000 也是较常用的测图比例尺。1:5000 比例尺地形图，一般为规划设计用图的最大比例尺。

**5.1.2** 随着测绘科技的快速发展，数字地形测量图形成果出现了多样性。本标准把数字地形测量图形成果分为纸质地形图原图、数字地形图、数字线划图（DLG）、数字高程模型（DEM）、数字正射影像图（DOM）、数字三维模型。并按数据来源、技术特性、表达方法、数学精度、提交成果的表现形式和工程应用等六种特征对数字地形测量图形成果进行了区分。本条为修订新增内容。

**5.1.3** 关于地形类别的划分和基本等高距的选择：

**1** 大比例尺地形测量的地形类别划分，是根据工程建设用地对地面坡度的要求和工程用图的实际情况确定的。仍沿用《93 规范》的划分方法，即，平坦地  $\alpha < 3^\circ$ ；丘陵地  $3^\circ \leq \alpha < 10^\circ$ ；山地  $10^\circ \leq \alpha < 25^\circ$ ；高山地  $\alpha \geq 25^\circ$  四类；

水域地形类别的划分与陆地相同，也按水底地形倾角分为四类（水底地形倾角可从小比例尺的水下地形图中获取）。

**2** 地形图的基本等高距，是以等高线的高程中误差的经验公式验算：

$$m_h = \frac{1}{4} h_d + \frac{0.8M}{1000} \operatorname{tg} \alpha \quad (5.1)$$

式中  $m_h$  ——等高线高程中误差；

$h_d$  ——基本等高距；

$M$  ——测图比例尺分母；

$\alpha$  ——地面倾角。

其中，等高线的高程中误差  $m_h$  的取值，对于常用的设计坡度，均不应大于基本等高距的 1/2；



对于较大的设计坡段，也不应大于一倍基本等高距。

实际上，地形图对高程精度的要求，很大程度体现在基本等高距的选择问题上，在缓坡地 1:1000~1:5000 比例尺，多取基本等高距（ $h_d$ ）为比例尺分母（ $M$ ）的  $\frac{1}{2000}$ ，山地为  $\frac{1}{1000}$ ；1:500 比例尺的最小基本等高距为 0.5m。

基本等高距的规格，可保持等高线的名义值没有较大出入，同时还考虑等高线不宜过密，规格不宜过多等因素。

**5.1.4** 本条是根据获取数据源的不同方式，基于当前测绘新技术的发展水平和应用现状对数字地形测量的测图方法进行了分类。

**5.1.5** 区域类型划分是根据工程测量部门多年来的实践经验确定的并划分为：一般地区，城镇建筑区、工矿区和水域，但随着数字化测图的广泛应用，各区域类型受施测方法的影响已被弱化。本次修订仍沿用《07 规范》的区域类型划分方法，考虑到水域测量与陆地地形测量并没有实质性的区别，本次修订仍将水域测量和陆地地形测量的内容作了部分融合，并将一些主要技术指标列入本章的一般规定中。

关于地形测量的基本精度要求：

衡量地形图测量的技术指标主要有：地物点的点位中误差、等高线插求点的高程中误差、细部点的平面和高程中误差和地形点的最大点位间距等。

**1** 地形图图上地物点相对于邻近图根点的点位中误差，主要是根据用图需要和工程测量部门测图的实际情况确定的。

**1)** 根据以往用户对地形图的使用情况，工矿区的改扩建项目对精度要求较高，一般的图面精度无法满足其要求；城镇居民小区的地形图主要用于规划红线，牵涉到拆迁问题，对地形图精度要求也较高；城镇居住区应保留的建筑，对新建建筑的制约比较强，则要求图面位置较准确，以满足新建建筑对楼位间安全距离的要求；非建筑区的设计内容受已有地物的制约因素较少，有较大的选择余地。城镇居住区的地形图，由于要提供给各部门使用，保留时间要求 10~20 年，且要求不断进行修、补测，故要求地形图的精度有所储备。

根据目前多数工程测量部门的实际情况，测图方法、作业手段都有很大的改进，地形点的实际精度也提高很多。从设计部门的使用情况看来，大部分要求的是电子版地形图，很少采用复制拼接、图上直尺量算等方法进行设计。

考虑到测图和用图部门自身和相互间的发展不完全平衡，本次修订对地形图的精度指标未作调整。

**2)** 由于水域内的工程设施，一般多在 20m 水深范围内，而靠岸边的浅水区域，又多是施工重点，从工程需要出发，精度要求有所侧重。设计和施工要求近岸地形变化大的水域精度应高一些。大面积平坦区域与离岸线远的水域精度可放宽些。此外，1:500 比例尺测图或交会距离在图上大于 100cm 时，要达到较高精度比较困难，因此也应适当放宽。而对于采用卫星定位接收机或其他较高精度仪器进行作业时，其满足精度要求是不成问题的。水域地形测量定位的试验值，见表 5.1。

表 5.1 水域地形测量定位精度的试验值

试验方法	比例尺	测点数	点位中误差（图上 mm）
前方交会陆上模拟	1:500	194	±0.80
前方交会常规作业	1:2000	204	±0.80; ±1.20
经纬仪垂直角定位	1:5000	200	±1.20
全站仪极坐标测量陆上模拟	1:1000	300	±0.50
实时差分 DGPS 方式陆上模拟	1:1000	236	±0.80
RTK 方式陆上模拟	1:1000	433	±0.20
GPS 后差分处理	1:1000	225	±0.80

顾及水域地形测量作业中受其他因素的影响，本规范的水域地形测量定位的点位中误差确定为图上 1.5mm。

**2** 等高（深）线插求点的高程中误差，与工程设计应用高程数据进行土方预算、竖向设计、基

基础埋深设计等的关系较为密切。长期应用证明，本款指标是适宜的。加之数字测图的精度还会有所改善，满足该指标更是不成问题。

### 3 关于细部坐标点的点位中误差。

为了使设计或运营管理者应用原图时，能有足够的精度，并符合新设建筑与邻近已有建筑的相关位置误差小于 10~20cm 的要求，故确定工业建筑区主要建（构）筑物的细部点相对于邻近图根点的点位中误差，不应超过 5 cm。

对于棱角不明显建（构）筑物，由于存在判别误差，其实测轴线和理论轴线（或理论中心）也存在误差。而对铁路、给水排水管道、架空线路等施工对象，其定位精度也是有区别的。因此，将诸如此类内容划归为一般建（构）筑物的细部点，其点位中误差规定为 7cm。

4 由于工程用图不但要使用等高线，而且还要使用施测的地形点，所以将地形测图地形点的最大点位间距作为地形图的基本指标之一。表 5.1.5—4 中规定的各种比例尺地形测图地形点的最大点位间距，是根据地面坡度、等高线曲率变化、等高线插求点的高程精度、测量误差综合确定的，其相当于图上 2~3 cm 的间距。

对于水域地形测图，由于水下地形的起伏状况难以直观判别，所以要求断面间距和断面上测点间距较陆地地形图点间距密一些。通常，水下地貌垂直于岸线的地形变化远大于平行于岸线的地形变化，所以断面间距应大于测点间距。规范规定的断面间距和断面上测点间距分别相当于图上 2cm 和 1cm。

**5.1.6** 本条是对摄影测量方法或三维激光扫描方法测图成果数字线划图(DLG)中地物点平面位置中误差、高程注记点的高程中误差、等高线高程中误差的技术精度指标的规定，为修订新增内容。

**5.1.7** 实践证明，采样间隔与数字高程模型的精度要求、测图比例尺、图上所表示的地形起伏频率、地形特征以及计算机技术水平等有关。一般数字高程模型的精度要求越高，点的密度就越大，地形越复杂。为了正确反映地形特征，也要求有较大的点位密度。鉴于现代计算机技术的发展水平，本条对原规范中的技术指标进行了调整，目的是建立高精度的数字高程模型，以满足不同工程建设项目的需要。本条为修订新增内容。

**5.1.8** 数字正射影像图的数据源宜采用航空摄影测量或卫星遥感方法获取，并通过影像纠正、镶嵌、剪切等技术生成正射影像图。本条依据正射影像图在工程应用领域的实际情况，参照《工程摄影测量规范》GB50167 制定了相关分辨率指标，为修订新增内容。

**5.1.9** 地形图的分幅及编号方法，是工程测量部门历年来经验的总结，其形式简单，使用方便，已为广大用户和测量部门所接受。

**5.1.12** 数字地形图成果检查办法及检查工作量的要求，是历年来工程测量部门为了确保成图质量而总结出来的一套行之有效的办法。

### (I) 图根平面控制

**5.2.1** 为了保证大比例尺地形图质量，图根点相对于邻近等级控制点的点位中误差不应大于图上 0.1mm，这是一个传统指标，主要是基于人工展点误差和眼睛分辨率的考虑。

**5.2.4** 关于图幅中解析图根点的数量。

随着测绘高新技术的快速发展和应用，平板测图已在作业中不再使用，本次修订也将其删去。但平板测图依旧是工程测量经典的测图方法，其对图幅中解析图根点的数量要求，正是为了保证在不同测站测图时以最大视距测得的地形点能够衔接。取最大视距长度的 0.7 倍作为半径求出单个图根点有效测图面积，再分别推算出各种比例尺每幅图最少图根点的个数（相当于困难类别 I 类地区）。然后按两相邻困难类别梯度系数 0.75（概值）换算出困难类别 III 类地区每幅图的图根点数量，见表 5.2 第 5 列。对于其他困难类别地区，作业者可按该方法进行推算。

表 5.2 一般地区解析图根点的数量

测图比例尺	图幅尺寸 (cm)	解析图根点数量(个)		
		全站仪测图	GPS (RTK) 测图	平板测图

1:500	50×50	2	1	8
1:1000	50×50	3	1~2	12
1:2000	50×50	4	2	15
1:5000	40×40	6	3	30

注：表中所示数量，是指施测该幅图可利用的全部解析控制点数量。

对于全站仪测图，由于电磁波测距代替了视距测量，有效降低了解析图根点密度的要求，表中数值约为平板测图所需解析图根点个数的 1/4。

RTK 测图对解析图根点的要求，主要是用于对系统的校正、检核或进行全站仪联合作业使用。

**5.2.5** 图根控制测量内业计算和成果的取位要求，是为了避免计算过程对观测精度的损失。

**5.2.7** 卫星定位实时动态图根控制测量的主要技术要求。为修订新增内容。

**5.2.8** 图根控制测量的成果检查，为修订新增内容。

**5.2.9** 关于图根导线测量的规定：

**1** 图根附合导线长度。

导线全长的最大相对闭合差的估算公式为：

$$\frac{1}{T} = \frac{2KM_2}{L} \quad (5.2)$$

式中  $K$ ——导线端点闭合差与导线中间点平差后点位中误差的比例系数；

$L$ ——导线全长；

$M_2$ ——导线中间点平差后的点位中误差。

根据 5.2.1 条“图根点相对于邻近等级控制点的点位中误差不应大于图上 0.1mm”的规定，则有实地误差

$$M_2 = 0.1M \quad (5.3)$$

式中  $M$  为测图比例尺的分母。

按双等影响考虑，有  $K = \sqrt{7}$

令导线全长相对闭合差

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{2000 \times \alpha} \quad (5.4)$$

由 (5.2) 式有 
$$\frac{1}{2000 \times \alpha} = \frac{2\sqrt{7} \cdot 0.1M}{L}$$

则 
$$L = 1058\alpha M \text{ (mm)} = 1.058\alpha M \text{ (m)} \quad (5.5)$$

所以本规范取附合导线长度为  $L = \alpha M$ 。

**2** 对于地形隐蔽和地物复杂的地区，布设一个层次的图根控制，其图根点数量往往难以满足要求，需要进行二次加密。由 5.2.1 条知，图根点的点位中误差不大于图上 0.1mm，因此，二次附合图根点相对于等级控制点的点位精度，可按  $0.1 \times \sqrt{2} \text{ mm}$  估算，对地形图的精度影响不大。

**3** 关于图根钢尺量距导线，考虑到一些施工测量单位在小范围内还在使用，本次修订予以保留。

**1)** 本条第 4 款第 2 项，对于钢尺丈量的边长，当温度、坡度，尺长三项中任何一项超限时，均应进行修正；

**2)** 本条第 4 款第 3、4 项的说明，参考本标准 3.4.2 条说明。

**5.2.10** 关于支导线边数的规定。

由于电磁波测距和钢尺量距两种方法所得边长的精度不等，故在相同精度要求的条件下，按直伸等边支导线推算端点的纵横向误差。

$$m_t = \sqrt{nm_s^2 + \lambda^2 L^2} \quad (5.6)$$

或 
$$m'_t = \sqrt{n} (a + b \cdot D) \quad (5.7)$$

$$m_u = \frac{m_\beta}{\rho} \cdot L \sqrt{\frac{n+1.5}{3}} \quad (5.8)$$

式中  $m_t$  为量距支导线端点的纵向中误差；

$m'_t$  为测距支导线端点的纵向中误差；

$m_u$  为支导线端点的横向中误差。

计算时， $m_\beta$  取 20"， $m_s$  取  $\frac{S}{2 \times 3000}$ ， $a + b \times D$  取  $10 + 5\text{ppm} \times D$ ， $\lambda$  取 0.00005。

则支导线的推算和取用边数为：

表 5.2 图根支导线边数的选取

比例尺	支导线端点点位中误差 (m)	支导线边长 (m)	量距支导线边数	测距支导线边数	规范取用边数
1:500	0.05	100	3.1	3.6	3
1:1000	0.1	150	4.1	4.6	3
1:2000	0.2	250	4.8	5.4	4
1:5000	0.5	350	7.6	8.1	4

**5.2.11** 关于极坐标法布设图根点。

图根点点位中误差按图上 0.1mm，测角中误差按 20"，测距中误差按 20mm 计。则，比例尺为 1:500 时，边长可达 450m；为 1:1000 时，边长可达 1000m。考虑一定的精度储备和作业方便，故，极坐标法布设图根点的最大边长采用表 5.2.11-2 所列数据。

**5.2.10** 用交会法进行图根解析补点时，根据理论计算分析，当交会角在 30°~150°之间，交会误差较小，交会补点的质量较高。

(II) 图根高程控制

**5.2.13** 修订增加了卫星定位 RTK 图根高程控制测量作业方法。

**5.2.14** 图根水准测量的技术要求，是根据每千米高差中误差为 20mm 进行设计，并参考历年来的实践经验制定的。

由于五等水准是因工程需要而对水准测量精度系列的补充（见本规范 4.2.1 条说明），就应用的普遍性而言，本条将图根水准起算点的精度，定位于四等水准高程点。

对于水准支线的布设，因其不能附和或闭合至高级点且精度较低，因此，本规范将路线长度缩短为附和路线长度的一半，即不大于 2.5km，并采用往返观测。

**5.2.15** 图根电磁波测距三角高程测量，其闭合差与 5.2.14 条  $40\sqrt{L}$  相当，附和路线长度，通常也应与图根水准测量相当。

5.3 测绘方法与技术要求

(I) RTK 测图

**5.3.1** 本次修订将 RTK 测图作为数字地形测量的首选方法进行编排较《07 规范》有所不同。

RTK 测图应使用双频或多频卫星定位接收机，在建筑物或林木密集区域，宜采用多星座系统。为修订新增内容。

**5.3.2** 本条所列资料是 RTK 测图应具备的基础性资料，不仅要收集控制点在国家或地方坐标系和高程系的坐标、高程，而且还应收集其在相应的全球卫星定位系统的地心坐标系的坐标、高程资料（如北斗系统的 2000 大地坐标系的地心坐标和椭球高），以便求算转换参数或验证转换参数。

对已有转换参数的测区，应尽量收集应用。修订增加了对网络 RTK 的应用要求。

本条将国家高程基准以外的其他高程基准称为地方高程基准。

**5.3.3** 由于卫星定位接收机所获得的是接收机天线相位中心在多个卫星定位系统中的空间三维直角坐标，而我们通常所使用的是国家或地方坐标及正常高系统系统之间的转换，是由基准转换、平面坐标转换和高程转换构成。

#### 1 关于基准转换

要将空间三维直角坐标转换到高斯平面，必须通过某一椭球面作为过渡。这种转换可采用三参数或七参数法实现。对于小于  $80\text{km}\times 80\text{km}$  测图范围，一般可采用三参数单点定位确定转换关系；较大测图区域宜采用七参数多点定位确定转换关系。

一般来说，地方坐标系采用平均高程面或补偿高程面作为投影面，这个投影面与区域椭球面不平行，因此，在确定区域椭球的元素和定位时，应尽可能使投影面与区域椭球面吻合。事实上，在区域椭球面确定方面存在不足，较多采用我国的参考椭球参数。

#### 2 关于平面坐标转换

依据原有的中央子午线的经度将地方参考椭球（区域椭球）大地坐标转换到高斯平面。为了保证转换坐标的起始数据与地方平面坐标系统的一致性，可在高斯平面坐标系内将卫星定位网进行平移和旋转来实现。确定平移、旋转和缩放四参数，不应少于 4 个已知点，并采用最小二乘法求解。

#### 3 关于高程转换

高程转换，可采用拟合高程测量的方法进行，其起算点的精度应采用图根以上的高程控制点精度。参见本规范 4.4 节的有关说明。

**5.3.4** 由于转换参数的质量与所用控制点的精度及分布有关，因此转换参数的使用具有区域性，仅适用于所用控制点圈定的范围及邻近区域，但其外推精度明显低于内插精度，故，规定不应超越转换参数的计算所覆盖的范围。

**5.3.5** 有文献认为，在  $15\text{km}$  之内 RTK 数据处理的载波相位的整周模糊度能够得到固定解，定位精度达到厘米级。卫星定位高程测量中误差通常是平面中误差的 2 倍，且与到参考站之间的距离成正比关系。为保证工程测图的高程精度，将作业半径限定为  $10\text{km}$  较为适宜，即控制在短基线范围内。

**5.3.7** 由于 RTK 测量的浮动解成果精度极差，无法满足工程测图的要求。故，规定必须采用固定解成果。

**5.3.9** 不同参考站作业时，要求检测一定数量的地物重合点。重合点点位较差的限差，取城镇建筑区地形测量的地物点点位中误差的值（见本规范表 5.1.5-1）；重合点高程较差的限差，取一般地区地形测量（平坦地）高程中误差的值（见本规范表 5.1.5-2）。

### （II）全站仪测图

**5.3.11** 本条是对全站仪测图所用仪器和应用程序的基本规定，对电子手簿的采用未作具体要求。测图的应用程序，是指全站仪的基本功能程序，除满足测量的基本程序要求外，还应具有数据记录、存储、代码编辑、通讯等功能，以满足内业数据处理和图形编辑的需要。采用常用数据格式的规定，主要是为了满足数据交换的需要。

**5.3.12** 本规范将全站仪测图（也称为野外数据采集）分为三种类型：即编码法、草图法和内外业一体的实时成图法。但随着全站仪外围配套设备的逐步完善，有些电子手簿、电子平板或掌上电脑可绘制基本的草图，此时草图的概念较人工绘制纸质草图已有所延伸。

**5.3.13** 本条规定了全站仪测图，测站安置和检核的基本要求，检核的平面和高程中误差取 2 倍的图

根点位置与高程中误差。

### 5.3.14 关于全站仪测图的测距长度。

测点的观测中误差可按(5.9)式估算：

$$m_p = D \sqrt{\left(\frac{m_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2} \quad (5.9)$$

式中  $D$ ——测点至测站的距离；

$\frac{m_D}{D}$ ——测距相对中误差，按 1/5000 综合考虑；

$m_\beta$ ——测角中误差，按 45" 计。

当测点距离为 100m，则可计算出每百米测点点位中误差为 3cm；考虑到数据采集时，觇牌棱镜的对中偏差、测站点误差以及实测时的客观条件限制等因素，故，取采用规范表 5.3.14 的限值。

**5.3.15** 本条是全站仪测图三种作业方法的最基本要求。无论采用何种方法，对于测点的属性、地形要素的连接关系和逻辑关系等均应在作业现场清楚记载。

本条第 4 款几何作图法是对全站仪测图法的补充。对几何作图法的测量数据可采用电子手簿、全站仪或人工白纸草图等形式记录。

**5.3.16** 测出界线外的目的，主要是为了地形图的拼接检查。

**5.3.17** 原始数据文件是十分重要的文件，应注意备份。数据编辑时，如数据记录有误，可修改测点编号、编码、排序等，但对于记录中的三维坐标、角度、距离等测量数据不能修改，应对错误数据进行检查分析，及时补测或返工重测。

### (III) 地面三维激光扫描测图

**5.3.18** 地面三维激光扫描技术获取的数据由点云和影像组成，不仅记录了扫描对象的坐标数据和尺寸信息，更能自动记录其拓扑与纹理信息，使得传统点测量向“形测量”转化。与全站仪、RTK 测图、航空数字摄影测图等方法相比，地面三维激光扫描测图法具有如下特点：

- 1) 非单点式测量，不需要使用照准部；
- 2) 360 度全方位全要素获取数据，无需绘制草图；
- 3) 不采集影像数据时，可夜间作业，对环境适应性强；
- 4) 直接获取被测物体表面三维坐标，无透视投影变形。

地面三维激光扫描测图法仍需要采用全站仪或 RTK 配合进行控制测量和标靶测量，且激光点云要一定重叠度，相邻测站间距不能太远。地面三维激光扫描测图适宜于相对开阔区域，要求测量精度高、地理要素较全的地形测绘项目，也适宜于建筑与结构物平立剖面、道路纵横断面、边坡防护、隧道断面及收敛等反应三维空间信息的工程测量，不适宜于密集房屋、树木区域的地形测量，以及小比例尺地形测绘。

**5.3.20** 地面三维激光扫描测图方法对于采样点间距提出要求，提高点云分辨率，以便在点云中更容易更准确地识别地形要素。不同仪器采样点间距参数设置方法各异，也可以换算为激光步进角度进行设置。

地面三维激光扫描仪的相机仅用于获取点云颜色信息，分为外置同轴相机和内置相机，由于该相机不用于摄影测量，所以不需要对主距、像主点、畸变参数标定。外置相机在作业前应检查影像和点云匹配情况，确保无明显偏差。如有偏差，则需重新标定安装姿态参数。

**5.3.21、5.3.22** 地面三维激光扫描仪按照定姿定位方法分为三类：

(1) 类似全站仪具备后视定向功能，应参照全站仪测图模式进行图根控制测量，碎部采集时采用激光扫描法代替全站仪单点采集法，测量时应对中整平，作业前对对中功能进行检校。

(2) 不具备后视功能的, 采用标靶测量定位。

(3) 具备同轴 RTK 集成功能的扫描仪, 同步可采用 RTK 进行控制测量。

**5.3.24** 扫描作业中的标靶一般有两项用途: (1) 作为测站拼接时的连接点(同名点); (2) 测出标靶的靶心坐标, 在点云向大地坐标转换时作为控制点。标靶分为球面标靶和平面标靶, 球面标靶的靶心位置难以直接测量, 所以不宜用作坐标转换的控制点。测站间拼接属于刚体空间变换, 可采用 3 个标靶, 但是无多余观测, 无法评估拼接精度, 因此规范规定不少于 4 个标靶。

**5.3.25** 为了达到更高精度, 扫描时应保证两测站间有足够重叠度。根据测站间拼接方式而定扫描的重叠度: 当采用标靶作为拼接点, 拼接精度较高, 重叠度可以低些; 当采用地物点作为拼接点, 拼接精度相对较低, 需要采用自动配准算法进行精度调整。由于重叠度及其对拼接精度的影响无法严格计算, 依据《工程摄影测量规范》推荐重叠度为 20% 的要求。但是, 具体执行时无法度量重叠度指标, 只能根据该指标估计两测站之间的设站距离。(关于重叠度, 有些生产单位对采样点间距或采集分辨率要求相邻扫描站间有效点云的重叠度不低于 30%, 困难区域不低于 15%, 水电行业规定为 10%, 工程摄影测量规范规定为 20%)

**5.3.27** 地面三维激光扫描测图可不获取影像数据, 仅仅利用三维点云测图, 因此可不需要进行影像数据处理和点云着色。点云拼接采用点云配准算法, 给定两组有重复区域的点云数据, 通过坐标变换将两组数据对齐, 使之转换到相同的坐标系下。坐标变换旋转矩阵  $R$  和平移分量  $T$  解算的方法, 分为四元素法、最小二乘法、遗传算法等。

基于地物特征点的拼接精度一般在 cm 级别, 需要进一步采用自动配准算法调整拼接精度。常用的自动配准算法为迭代最近点配准算法 (ICP, Iterative Closest Point), 一般商用的点云处理软件均具备该功能。迭代最近点配准算法是在相邻点云中搜索最邻近点对, 利用找到的最近点对计算刚体变换参数, 描述为: 给定点集  $Q (q_1, q_2, \dots, q_n)$ , 参考点集  $P (p_1, p_2, \dots, p_n)$ , 求出旋转矩阵  $R$  和平移矩阵  $T$  的最优解, 使得点集  $Q$  和  $P$  中对应点的距离最小 (见式 1)。点对搜索及变换参数的解算均为迭代计算过程, 配准精度达到指定阈值, 则迭代结束。

$$\arg \min \sum_{i=1}^n |q_i - R * p_i - T| \quad (\text{式 1})$$

点云数据中存在脱离扫描目标物的异常点、孤立点时, 需采用滤波或人机交互进行降噪处理; 图像出现曝光过度、曝光不足、阴影、相邻图像间的色彩差异等现象时, 应进行色彩调整保持图像反差适中、色彩一致; 因视角或镜头畸变引起变形影响使用时, 应对图像的变形部分作纠正处理; 图像配准时, 应保证图像细节表现清晰, 无配准镶嵌缝隙。选择点云对应的图像数据, 根据相机与扫描仪的姿态参数制作彩色点云, 彩色点云在图像重叠区域应无明显色彩差异。

**5.3.28** 根据不同地物特点, 规范建议了相应地形要素的采集制作方法, 包括人机交互提取和点云剖切投影提取, 目前尚无成熟的软件基于点云自动拟合制图。采用人机交互提取特征点线, 在三维点云中人工判读, 交互式描绘制作地形图。点云剖切投影提取要素, 按设定高度提取激光点云切片, 将切片数据正射投影到平面, 基于投影点云切片描绘地形要素, 这是目前激光点云制图中比较常用的方法。高程点和等高线均采用地面点云采集制作, 因此需要将点云按照地面点和非地面点分类。无法判定或者漏测的地物, 一般为扫描仪不宜扫到的地方, 采用其他作业方法进行补测更为妥当。

#### (IV) 移动测量系统测图

**5.3.30** 采用移动测量系统开展作业, 需满足相关基本要求, 包括设备、环境、天气、数据质量和备份等因素。该作业方法为规范修订新增内容。

**5.3.33** 移动测量系统的路线规划, 需顾及测区道路交通情况、导航定位卫星信号的接收情况和太阳方位角。

**5.3.34** 移动测量系统的基准站, 宜选择连续运行参考站 (CORS 站)。

- 5.3.35** 基准站作业，应符合观测时间段、基站天线位置、观测人员等相关规定。
- 5.3.36** 移动测量系统数据采集作业前，应对车辆与供电设备、各组件、数据存储和备份空间等进行检查，符合要求后，才能开始数据采集。
- 5.3.37** 定位定姿数据采集，应在导航卫星信号正常的前提下进行 IMU 初始化，并在数据采集结束后检查数据完整性。
- 5.3.38** 实景影像采集，应注意光线环境的变化；应提前设置好影像采集的触发模式。
- 5.3.40** 激光点云采集，应保证激光数据回波比例、激光扫描仪性能等符合相关规定。
- 5.3.41** 数据处理流程包括对定位定姿数据、实景影像、全景影像、视频、激光点云等数据的预处理与数据融合处理，处理后数据文件的组织与存储管理应符合行业标准《车载移动测量数据规范》CH/T 6003-2016 的相关规定。
- 5.3.42** 定位定姿数据是移动测量系统搭载的 IMU/DGPS 组合的高精度位置与姿态测量系统（position and orientation system, POS）在系统作业期间采集的数据,利用装在移动载体上的 GPS 接收机和设在地面上的一个或多个基站上的 GPS 接收机同步而连续地观测 GPS 卫星信号，精密定位主要采用差分 GPS 定位（DGPS）技术，而姿态测量主要是利用惯性测量装置（IMU）来感测飞机或其他载体的加速度，经过积分运算，获取载体的速度和姿态等信息。定位定姿数据处理是移动测量系统数据处理的重要基础。
- 5.3.43** 实景影像包含坐标、时间、姿态信息，在数据处理中，应根据需要进行匀光匀色、加密等处理。
- 5.3.44** 关于全景影像与视频数据处理：  
每张全景影像由多个相机在同一时刻曝光的图片拼接而成，使得不同相机之间的图片存在曝光差异，这就导致了不同影像之间存在色差，对于匀光匀色的处理其目的是保证拼接处的颜色均匀过渡，不存在人眼可辨的色差。而隐私的处理，主要指借助相关处理工具将车牌号及人脸等隐私信息进行自动模糊化处理，其目的是保障数据在分发使用时不涉及敏感隐私信息。  
车载可定位视频的数据精度，主要是指与其关联的卫星定位测量三维位置的精度。
- 5.3.46** 激光点云是通过激光扫描仪获取的目标点三维坐标和该点的反射强度值。将点云数据赋予真实的 RGB 值，能更加真实地反映目标点的属性，也更加方便点云数据的利用。
- 5.3.47** 地理要素的采集涉及地理要素的分类与代码，根据不同的地理要素类别宜采用交互立体量测、切片投影采集等方式进行。
- 5.3.46** 移动测量系统根据应用需求不同，存在多种形式的输出，包括实景影像、全景影像、激光数据、视频数据等，应采用通用格式进行数据共享及应用。

(V) 低空数字摄影测图（新增）

(VI) 机载激光雷达（LiDAR）扫描测图（新增）

## 5.4 一般地区地形测图

- 5.4.4** 由于渠和塘的顶部有时难以区分出明显的界线，因此应选择测出其顶部的适当位置，以不对渠、塘的容积大小产生疑义为原则。
- 5.4.5** 对建（构）筑物轮廓凹凸较小的部分，可视为一直线看待，并用直线连接表示，主要是基于测图工作量和设计部门使用方便的考虑。
- 5.4.6** 对于一些独立性地物，如水塔、烟囱、杆塔，在图上比较明显、重要而又不能按比例尺表示其外廓形状时，要求准确表示其定位点或定位线位置。
- 5.4.9** 对于 1:2000、1:5000 比例尺地形图交通及附属设施的测绘，不可能像 1:1000 或 1:500 地形测图那样详细，因此可适当舍去车站范围内的次要附属设施，以突出交通线路为主要目标。
- 5.4.10** 对于密集的线路，按选择要点的原则进行测绘。其目的是在满足用户需要的基础上，使图纸



负载合理，清晰易读。

**5.4.13** 对地形图上的注记要求使用法定名称，法定名称是指各级主管机关颁布的名称。名称的注记不得自行命名。

## 5.5 城镇建筑区地形图测图

**5.5.1** 对于城镇建筑区 1:500 比例尺的地形测量，目前较多采用全站仪测图，故将其作为首选方法。而 RTK 测图方法一般用于直接测定图根点的坐标和高程。

**5.5.3** 对于街区凸凹部分的取舍，本规范没有给出具体规定，是因为如果规定街区或建筑区凹凸部分大于 0.5m 时应实测，则测绘内容太多。如果按照图上大于 0.5mm 的应施测表示，则城镇建筑区 1:500 测图，实地仅有 25cm，统一规定起来比较困难。所以作业时，要求应根据用图的需要和实际情况确定。

**5.5.4** 高程点的注记位置和间距要求，主要是根据用户需要确定的。

**5.5.6** 由于小城镇规划设计和其他设计对地形图的要求有别于大、中城市，故规范对此作了放宽处理。

## 5.6 工矿区现状图测量

**5.6.2** 使用全站仪法和 RTK 法进行细部坐标测量已十分方便，按表 5.6.2 进行细部测量，通常可满足工矿区现状图测量的需要。数字地形图已成为测绘部门的主要产品，对细部测量的要求是否简化还须进一步调研总结。

**5.6.3** 关于细部坐标和细部高程测量的相关说明如下：

1 长期实践证明，采用全站仪或经纬仪加电磁波测距仪施测细部点的坐标和高程，是完全可以满足细部点精度要求的；

2 对于反算距离与检核距离较差的限差，其是根据以往经纬仪和钢尺量距施测细部坐标的统计资料确定的。反算距离与检核距离较差的大小，除与细部坐标点相对于邻近图根点的点位中误差有关外，还与施测细部点的两图根点之相对点位误差以及检核误差有关。随着全站仪的普及应用，满足限差要求不成问题；

3 随着数字地形图在各行业的广泛应用，对地物属性的综合体现，显得尤为重要。故本款新增了对点或地物属性的要求。

**5.6.4** 工矿区现状图中的其他地形、地貌，是指测区内的普通或简易建（构）筑物及一般地形、地貌。

## 5.7 水域地形测量

**5.7.1** 采用卫星定位测量技术对测深点进行定位，已得到广泛的应用，目前的发展已相对成熟。水深测量可采用有模拟记录的单波束回声测深仪或多波束测深系统，多波束测深系统为修订新增内容。

**5.7.3** 测深断面布设应根据工程用途和水深测量的方式确定。单波束测深断面间距和测深点间距是根据水运工程行业基本要求，这里只做最大值规定。具体要求据工程用途参照《水运工程测量规范》JTS131。多波束断面间距需根据地形、水深和重叠度计算。

**5.7.6** 水尺设置的原则：所设立的水尺对水位变化的范围能做到有效的控制，且相邻水尺的控制范围要有适当的重叠，水位观测资料要能充分反映全测区水位的变化。所以当水尺的控制范围不能重叠时，应增设水尺。

**5.7.7** 为了与水深测量精度相匹配，并略高于其精度，因此对于水尺零点高程的联测，要求不低于图根水准测量精度的规定是适宜的。

**5.7.8** 对测深仪作业规定说明如下：

1 对于工作时电压与额定电压及实际转速与规定转速之差的变动范围，这里仅作了一般性规定。作业时，还应以仪器说明书（鉴定书）为依据，适当调整；

2 换能器安装位置的规定，主要是要求尽量避免因船体运动（摇晃）而产生的干扰。船首附近受水流冲击影响较大，也容易在换能器底部产生气泡。故将换能器安装在距船头  $1/3 \sim 1/2$  船长处是比较合适的；

3 对于坡度变化较大的水下地形，如果定位中心与换能器中心偏移较大将导致所测的水深图失真，影响成图质量，因此必须进行偏心改正；

4 根据实践经验及有关资料，测船因风浪造成的摇动大小，取决于风浪的强弱及测船的抗风性能，而测深仪记录纸上回声线的起伏变化可反映出其对测深的影响。当起伏变化不大时，风浪对测深精度影响不大，可正常作业。如记录纸上出现有  $0.4 \sim 0.5\text{m}$  的锯齿形变化时，实际水面浪高一般将超出其值  $1 \sim 2$  倍，此时船身大幅度摇动，直接造成换能器入水深度变化较大，引起测深误差较大。按海上和内河船舶的抗风能力，规定了内陆水域和海域不同的回声线波形起伏限值。

**5.7.9** 为修订新增内容，是多波束测深系统的器安装、校准、精度和检核做基本规定。其具体要求可参照《水运工程测量规范》执行。

**5.7.10、5.7.11、5.7.12** 为传统定位方法，保留使用。

**5.7.13** 卫星定位测深点位置的要求说明如下：

1 技术要求主要是基于本规范第 3 章和本章 5.3 节的内容，并参考国内《海道测量规范》、《水运工程测量规范》JTS131 等的相关规定而提出的，着重考虑了水深测量实际需要及目前卫星定位接收机现状；

2 在控制点上对流动 GNSS 接收机进行检验和比对时间的长短，以能判断 GNSS 接收机可稳定接收数据并能测出（或解算出）坐标为原则；

3 由于 GNSS 接收机与测深仪是两种类型的仪器，即 GNSS 接收机用于点位测量，测深仪用于水深测量。两种仪器采集到的数据进入计算机时，必须保持同步。

**5.7.14** 对采用 RTK 三维水深测量天线高量取、转换参数求得和验证、RTK 水位修正，作业时船体姿态改正、测量软件、检测精度等主要技术环节做基本规定，其细则需参照《水运工程测量规范》JTS131。

**5.7.15** 由于受多种因素的影响，对  $20\text{m}$  以下的水深测量，取不同深度测点深度中误差平均值的  $2\sqrt{2}$  倍，即为  $0.4\text{m}$ ，作为比对较差的限值指标；对大于  $20\text{m}$  的水深测量，将前述  $0.4\text{m}$  的限值按  $20\text{m}$  水深折合成百分比误差，即为  $0.02 \times H$ （m）。

## 5.8 数字地形图

### (I) 数字地形图制作

**5.8.1** 目前，数字化成图软件版本较杂，其输出结果也不尽相同，特别是在线型、图块的使用上，虽然输出纸图是一致的，但其电子版图却有许多差别。为此，本标准对数字地形图的编辑处理给出了相关的具体要求，对数字地形图编辑处理软件的测试和使用作出了基本规定。

**5.8.2** 数据处理，是数字地形图绘制的重要环节。数据处理软件通常与成图软件为一体，组成数字地形图绘制系统。其基本功能是将采集的数据传输至计算机，并将不同记录格式的数据进行转换、分类、计算、编辑，为图形处理提供必要的绘图信息和数据源。

随着数字地形图的广泛应用，更加强调地形图各种属性信息的重要性。因此，地形、地物相关属性信息的编写赋值，是数字地形图编辑的一项重要内容。例如，有些数字地形图产品的等高线没有具体的高程赋值，给设计部门的应用造成一定的困难。

**5.8.3** 对地形图要素进行分层表示是十分必要的。基于目前的现状，本标准对地形要素的分层等属性不作统一规定。

**5.8.4** 受成图软件功能的限制，在批量生成图形时，会出现一些符号、文字注记、高程注记、线条相互交叉重叠等现象；曲线拟合时，如拟合参数选取不当，也会使曲线失真。因此，对所生成的图形还应进行全面的校对、检查和编辑处理。

**5.8.5** 规定了编辑地物轮廓符号应符合的规定。

**5.8.6~5.8.10** 规定了居民地、水系、交通、等高线、境界线编辑时应遵循的原则。

**5.8.11** 规定了文字注记及等高线注记应符合的规定。

**5.8.12** 关于数字地形图分幅。

1 根据成图需要进行分幅裁剪时，要求检查编辑每幅图的图边数据，避免出现以下情况：

- 1) 点位（如控制点、地形点等）与注记分离；
- 2) 点状符号（如独立地物、控制点、管线等符号）被裁分；
- 3) 注记文字被裁分，出现注记不完整；
- 4) 图边线条（或文字）被意外删除等。

2 图廓及坐标格网要求采用成图软件自动绘制。当个别格网需要编辑时，应采用坐标展绘。在计算机屏幕量取的图廓及格网坐标应和理论值一致。

**5.8.13** 数字地形图的编辑检查，是计算机成图不可缺少的一个过程。

**5.8.14** 图形编辑完成后，要求在绘图仪上按相应比例尺输出检查图，除对图面内容进行内外业检查外，还要求检查绘图质量。这里的绘图质量检查，主要是指图廓线的绘制精度检查。

## (II) 纸质地形图数字化

**5.8.15** 纸质地形图的数字化，是将原有的纸质地形图转化为数字地形图的过程。主要用于图纸的更新、修测、建立地形图数据库等。纸质地形图的数字化的方法主要有两种，即图形扫描仪扫描数字化法和数字化仪手扶跟踪数字化法。

图形扫描仪扫描数字化法，是将原有纸质地形图扫描为栅格图（又称为数字栅格图 DRG），通过矢量化后生成数字地形图的过程。其数字化速度较快，但在扫描过程中，会出现微小变形而降低精度。

数字化仪手扶跟踪数字化法，是通过数字化仪直接在原图上进行采点并生成数字地形图(DLG)的过程。其数字化精度较高，但速度较慢。目前该方法已很少使用，故修订删去该方法。

本标准给出了数字化软件应具备的基本功能。

**5.8.16** 图形扫描仪扫描数字化法的图像定向（即图像纠正）是数字化作业的重要环节。

定向点应选择具有理论坐标值的点位，其数量应根据原图检查情况合理确定。定向的误差来源主要是原图的综合误差（包括扫描图像的变形）和数字化综合误差。当定向检查点与理论值的差值较大时，应分析原因并适当增加图纸定向点，分区定向。

**5.8.17** 为保证纸质地形图数字化质量，标准给出了地形图要素数字化应符合的规定。

**5.8.18** 图幅接边和图边数据编辑是纸质地形图数字化作业的必要环节。对于数字化了的纸质地形图的检查方法，一般采用检查图与原图套合的方法进行。其误差来源考虑了图形输出误差 0.15mm；采点的点位误差 0.1mm，线状符号误差 0.2mm。故检查图与原图比较，数字化点状符号及明显地物点的平面位移中误差、线状符号的平面位移中误差分别规定为 0.2mm 和 0.3mm。

## (III) 数字地形图修测

**5.8.19~5.8.22** 地形图的修测，是为了满足用户对地形图现势性的需要。作业时，应根据地形（地

物、地貌)的变化情况和用户需求,确定测区范围、制定修测方案。标准给出了地形图修测的具体规定。

#### (IV) 数字地形图编绘

**5.8.23~5.8.25** 地形图的编绘,主要是基于经济合理的考虑,将不同时期、不同比例尺的综合图和专业图进行统一编绘,生成新的满足用户需求的成果。标准给出了地形图编绘的原则性规定。

##### **5.9 数字线划图(DLG)(新增)**

##### **5.10 数字高程模型(DEM)(新增扩大)**

##### **5.11 数字正摄影像图(DOM)(新增)**

##### **5.12 数字三维模型(新增)**

## 6 线路测量

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 本章是各种线路工程测量的通用性技术要求,可满足线路工程选线、定线和施工各阶段的需要。

**6.1.3** 规范修订增加了GPS测量方法,这种方法方便、快捷且能有效保证线路测量的精度。

**6.1.5** 对于控制点是否埋设标石,不做具体规定,可根据实际需要确定。这是因为如果初测和定测间隔时间较长,就应考虑埋设标石。如果初测和定测一并进行,则有的控制点可不埋设标石。在人烟稀少地区,即使初测和定测间隔时间较长,也可不埋设标石。反之,则应考虑控制点位的长期保存的问题。

**6.1.6** 线路测量的带状地形图,主要用于方案比较和纸上定线;工点地形图,主要用于站场、隧道口、桥涵、泵站、取水构筑物、杆塔基础等设计;纵横断面图,主要用于竖向设计和土方量计算。

对带状地形图和工点地形图的施测,采用何种比例尺,应根据所需精度、幅面长度、图面负荷(含地形、地貌及设计占用图幅的复杂程度)、经济合理等因素,综合考虑选用。

**6.1.7~6.1.10** 其是各种线路测量的共性要求,也是作业时都应满足的基本要求。

### 6.2 铁路、公路测量

**6.2.1** 考虑到所在的地区、线路位置要求同国家点附合有一定的困难,最弱点点位中误差可按满足1/1000(或1/2000)比例尺测图的需要,故附合导线的长度在3.3节规定的基础上放宽一倍。

**6.2.2** 关于铁路、二级及以下等级公路的平面控制测量:

1 导线测量是铁路、公路线路测量的常用方法。为了使导线能得到可靠的检核和防止粗差,故提出联测要求。当导线联测有困难时,应预先用GPS测量方法进行控制点加密;

2 导线测量的主要技术要求表6.2.2中的相关指标,较《93规范》而言,作了适当的调整和完善。去掉了很少采用的真北观测方法和限差;测角中误差采用三级导线和图根导线的指标值;

根据实践和理论分析,为了减小导线的横向误差,应尽量减少转折角的个数,导线边则宜长些。但考虑到定线和地形测图的需要,导线平均边长限定在400~600m较为适宜。

**6.2.3** 关于铁路、二级及以下公路的高程控制测量。

根据本规范4.2.1条规定五等的每千米全中误差为15mm。而线路端点高程中误差要满足1/2000比例尺测图需要,取基本等高距的1/20,即 $m_h = 10\text{cm}$ 。由中误差公式 $m_h = M_w \sqrt{L}$ 计算可得 $L = 44\text{km}$ 。为了留有一定的储备精度,并与平面控制的联测距离相协调,故规定水准路线应每隔30km与高等级水准点联测一次。

#### 6.2.4 定测放线测量的技术要求:

- 1 由于定测与初测阶段有一定的时间间隔,对定测时所收集的控制点成果必须作相应的检测,确保定、初测成果的一致性。检测的精度要求与初测一致,即要求采用五等水准的精度;
- 2 极坐标法和GPS—RTK法定线,是目前较常用的方法;
- 3 对于交点的水平角观测,根据铁道部门的实践经验,确定正交点点位,有时会遇到各种障碍,直接设置仪器会比较困难,通常采用副交点观测代替。为防止误差累积,故规定副交点观测2测回;
- 4 铁路、一级及以上公路的测量限差相当于图根导线的指标,而二级及以下公路的限差比图根导线的指标还低一级,是容易达到的。

#### 6.2.5 定测中线桩位测量的技术要求:

- 1 相关的中线桩,都是线路中线控制的必要桩位;
- 2 本款综合了铁路、公路行业对线路中线桩的间距要求;
- 3 对中线桩位测量的直线和曲线部分的限差,分别列表。其限差分为两档,即铁路、一级及以上公路列为一档,二级及以下公路列为另一档;

规范表 6.2.5—1 和表 6.2.5—2 中的相关精度指标,主要是基于传统的曲线测设方法制定的。此次修订仍采用这些精度指标,对于全站仪测设曲线也是很容易达到的。

传统方法进行曲线测设的纵向闭合差,主要由总偏角的测角误差、切线和弦长的丈量误差所构成,通常,总偏角的测角中误差将使计算的各项曲线要素产生同向误差,这种误差在曲线测设中互相抵消,切线和弦长丈量时的系统误差在纵向闭合差中影响甚微,偶然误差是影响纵向闭合差的主要因素。

- 4 断链桩应设在线路的直线段,本次修订突出这一要求。当然按作业习惯也可设立在直线上的百米桩或20m整倍数的桩上,本规范不做严格要求;

- 5 中线桩位高程测量的限差,是按(6.1)式计算:

$$W = \pm 2\sqrt{m_{起}^2 + m_{测}^2} \cdot \sqrt{L} \quad (6.1)$$

当起算点中误差 $m_{起}$ 取用15mm(五等水准),测量中误差 $m_{测}$ 取用20mm(图根水准)时,即有 $50\sqrt{L}$ 。

6.2.6 横断面测量限差公式,是依据误差理论统计出的实用表达式。

6.2.7 为保证线路工程质量,要求在施工前进行中线桩复测,并将复测数据与原测成果进行比较,改正超限的桩位,确保所有施工中线桩位置的准确性。

### 6.3 架空索道测量

6.3.1 随着测绘仪器设备的不断更新与发展,全站仪与GPS接收机已成为较常用的仪器装备,这里将其列为首选。当然,对精度要求不高的架空索道测量也可以选择其他测量设备。

6.3.2 按索道设计对施工要求,一般索道相邻支架间的偏角不许超过 $\pm 30''$ ;支架间距误差不超过架间距的1/500。由此确定了架空索道导线测量的基本精度指标。

6.3.3 增加方向点主要是为了满足施工需要和通视要求。起点到转角点或转角点间距离大于1km时,

方向点偏离直线不应超过 $180^{\circ} \pm 20''$ 的规定,较设计要求的 $\pm 30''$ (见6.3.2条说明)有所提高,这主要是出于对载人索道和大型运输索道安全的考虑。

**6.3.4** 根据架空索道施工安装时,架顶、索底标高误差通常不超过1/1000架间距的要求,若测量限差采用测高误差与距离之比不低于1/2000考虑。则,图根水准和图根电磁波测距三角高程测量方法均可满足其对高程的精度要求。

**6.3.5** 对于架空索道的纵断面测量,保留了《93规范》的基本指标,具体施测方法可根据现有条件选择。由于架空索道的杆塔通常设置在山脊、山顶部位,而在山谷、沟底设置的可能性小,故要求在山脊、山顶的断面点要密些,在山谷、沟底,可适当简化。

**6.3.6** 为了保证高程精度和提高杆塔位置设计的准确性,要求在线路走向与等高线平行的陡峭地段,根据需要加测横断面。

## 6.4 自流和压力管线测量

**6.4.1** 关于自流和压力管线平面控制测量。

1 管线平面控制测量的精度,对一般自流管线,根据多年来的实践经验,其纵向误差达到1/500,就能满足设计要求,故测量精度提高一倍,规定为1/1000;压力管线设计要求稍高,规定为1/2000;

2 修订增加了GPS—RTK定位的方法,给出了对控制点的布设要求。成对布设GPS点且要求互相通视的目的,是为了GPS—RTK的作业检核,也是为了后续使用其他常规仪器作业的考虑;成对布设GPS点的数量,可根据工程需要确定。如后续作业使用GPS—RTK定位方法,则要求每隔10km布设一个控制点,作为GPS—RTK参考站;GPS—RTK作业的检核,可采用同一参考站或不同参考站下的两次独立测量进行;

3 长距离管线的导线测量的主要技术指标,是根据管线平面控制测量的精度(本条说明1款)要求进行了细化。并参照铁路、公路对线路控制的规定,增加了每隔30km附合一次的要求。

**6.4.2** 关于自流和压力管线高程控制测量。

1 管线高程控制测量的精度,对压力管线,采用图根水准可满足精度要求;自流管线对高程的精度要求稍高些,规定采用五等水准测量;

2 水准测量和电磁波测距三角高程测量是五等和图根高程控制测量的基本作业方法。为了和平面控制测量相一致,规定附合路线长度为30km;

3 GPS拟合高程测量的精度,可满足自流和压力管线的要求。

**6.4.3** 本条综合了长距离输水、输气、输油等管线的中线测量要求,并结合长期的实践经验给出了相关技术指标。就目前的测量设备水平而言,该规定是容易达到的。

**6.4.4** 本条给出了管线断面测量的具体要求。地形变化处是断面的特征点,因而要求加测断面点。

## 6.5 架空送电线路测量

**6.5.1** 架空送电线路的选线,是根据不同的电压等级和不同的地段,在各种不同的比例尺地形图上进行方案设计(一般为1:5万~1:1万),并经相关部门批准,才能进行实地选线。对线路通过协议区和相关地物比较密集的地段,为了保证线路的安全,要求进行必要的联测和相关地物、地貌测量。

**6.5.2** 关于架空送电线路的定线测量说明如下:

1 对于方向点偏离直线的精度,根据一般设计要求,杆塔偏离直线相差 $3' \sim 4'$ 时,所引起的垂直于线路方向的水平负荷、放电间隙的改变及绝缘子串的歪斜程度是允许的。从施工工艺来看,当偏离 $1'$ 时,相邻杆塔的绝缘子串的歪斜是用肉眼观察不出来的。取其较高要求,方向点偏离直线不应超过 $1'$ ;

2 经综合试验分析，正倒镜分中法延伸直线，其精度受仪器对中误差、置平误差、目标偏斜误差和照准误差等的影响。采用规范规定的指标，基本上能满足定线误差不超过  $180^\circ \pm 1'$  的精度要求。但在前视过长或后视过短时，则应从严掌握；

3 对于间接定线，根据间接定线的方向偏差不大于  $1'$  的要求

$$\text{则 } m_u = \frac{L \times 60''}{2\rho} \quad (6.2)$$

取桩间距为 300m，有  $m_u=0.043\text{m}$ 。

根据电力部门的试验论证，当采用四边形时，量距精度估算公式为：

$$m_L = \frac{1}{2} \sqrt{m_u^2 + m_A^2} \quad (6.3)$$

式中： $m_A$ ——量距边起始点的横向误差，取值为 0.016m；

将  $m_u$  和  $m_A$  数值代入 (6.3) 式，得  $m_L = 0.02\text{m}$ 。

由不同丈量距离算得的相对中误差列于表 6.1。可以看出，当采用钢尺量距时，相对中误差大于 1/4000 时，就需采取必要的量距措施，才能达到精度要求。

根据试验证明，当丈量长度小于 20m 时，求得的延伸直线也很难满足精度要求。

因此，规范规定丈量长度大于 80m 或丈量长度小于 20m 时，应适当提高测量精度；

表 6.1 不同距离算得的相对中误差

$L$ (m)	20	40	60	80	100
$m_L / L$	1/1000	1/2000	1/3000	1/4000	1/5000

4 定线桩之间距离测量的相对误差，是根据 500kV 架空送电线路确定的裕度值不大于 1m 的规定，并在各项误差概略分析的基础上推算的。对于大档距，要求采用电磁波测距，其测距精度为  $1/D$  ( $D$  为档距，单位为 m)，即实地档距中误差为 1m。

### 6.5.3 断面测量的技术要求：

1 断面测量的精度要求是和定线桩之间的距离和高差测量精度相匹配；

2 断面点的选取，直接与设计排位有关。设计排位，与送电导线弧垂变化的对地面安全距离、杆塔类型及地形、地物的变化特征等因素有关；

对于山区送电线路，杆塔位通常立在山头制高点或附近位置，要求不应少于 3 个断面点以反映地形变化；送电导线的最大弧垂处，如对应地形为深凹山谷，断面点可少测或不测。

3 在送电导线对地安全距离的危险地段或在离杆塔位  $1/4$  档距内地形高差变化较大的区段，由于送电导线轨迹对地切线变化较大，则要求加测断面点；

4 对于送电导线排列较宽的线路，边线断面施测的位置，由设计人员确定。通常，当送电线路与所通过的缓坡、梯田、沟渠、堤坝交叉角较小时，如边线对应中线高出 0.5m 以上的地形、地物，要求施测边线断面；

5 由于线路施工后，其走廊内植被将保持，因此应在断面测量的平面图上注明植被名称、高度及界限。线路交叉跨越的相对关系也应在图上绘出。

6.5.4 根据《110~500KV 架空送电线路施工及验收规范》(GB50233)中的相关规定，以相邻直线桩为基准，其横线路方向偏差不大于 50mm。定位时若跳桩或远距离定杆(塔)位，按直线精度要求，满足不了上述规定，故本条要求在就近桩位测定杆(塔)位置。

6.5.5 在杆(塔)位排定后，对于送电导线排列较宽的线路，当对地构成危险时，不仅要测中线与被交叉跨(穿)越物的位置和高度，还要施测边线与被交叉跨(穿)越物的位置和高度。

由于送电导线的风偏摆动，可能对地面安全构成威胁，故规范要求施测风偏横断面或风偏危险点。

**6.5.7** 10kV 以下的架空送电线路一般为单杆，距地面较近，送电导线横向跨度也较小。测量时，其技术要求可适当放宽。对于 500kV 及以上电压等级的架空送电线路，由于投资大，为了降低工程造价，选择最优路径方案，建设单位一般要求采用数字摄影及卫星定位测量等技术。

## 7 地下管线测量

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 本条确定地下管线测量的适用范围。其中探查的含义，是指在收集已有管线资料的基础上，采用对明显管线点实地调查、隐蔽管线点探查、疑难管线点位开挖等方法，查明地下管线的相对关系及相关属性，并将管线特征点标示在地面上的过程。测量的含义，是指对已查明标示出的地下管线点及附属设施进行测量，并编绘综合、专业地下管线图的过程。地下管线测量，是调查和测绘全过程的统称。

**7.1.2** 地下管线分为地下管道和地下电缆两类，不包括地下人防巷道。地下管道有给水、排水、燃气、热力和工业管道，其中排水管道还可分为雨水、污水及雨污合流管道；工业管道主要包括油管、化工管、通风管、压缩空气、氧气、氮气、氯气和二氧化碳等管道；地下电缆有电力和电信，其中电信包括电话、广播、有线电视和各种光缆等。修订增加了表 7.1.2 管线分类及拼音代码。

**7.1.4** 修订新增了地下管线探测项目类型的分类。

**7.1.5** 地下管线测量成果作为规划、建设、管理部门的重要资料，是与其他已有基础资料结合应用的，因此坐标系统和高程基准应与原有主要基础资料保持一致，其控制测量作业方法与本标准 3、4 章相同。

**7.1.6** 地下管线测量的成图比例尺，主要是基于地下管线测量是在相应比例尺地形图基础上附加更多的内容和信息，所以管线图的比例尺是按该地区地形图最大比例尺确定。对于道路与建筑物密集的建成区，直接选用 1: 500 比例尺。对于长距离专用管线，在满足变更、维护与安全运营需要的基础上兼顾整体性，适当放小比例尺至 1: 2000~1: 5000。

**7.1.7** 地下管线图的测绘精度，与城镇建筑区、工矿区地形图图上地物点相对于邻近图根点的点位中误差不大于 0.6mm 的要求相一致（见本规范 5.1.5 条）。

**7.1.8** 对原有地下管线资料的收集整理是很重要的环节。从地下管线测量工程实践来看，首先是现状调绘。即，将已有地下管线情况根据竣工资料、设计图纸或其他变更维修资料标示在已有的大比例尺地形图上，作为野外实际调查的参考和有关属性说明的依据，减少实地作业的盲目性。对部分埋设年代早或资料不全的管线，甚至可采取请当时参与设计、施工或其他熟悉情况的人指导，将管线大致位置标注在图上。这些做法均会有效提高实际调查的效率。

**7.1.9~7.1.12** 修订新增了地下管线探测的技术准备、资料收集编绘、现状调查、现场踏勘、探查试验、方案设计等过程。

### 7.2 地下管线的调查

**7.2.3** 由于目前普遍使用的管线探测仪器多是以电磁场原理为基础设计的，埋深越大探测误差越大。实际作业时，不同地段信号干扰因素及施测人员的操作熟练程度也影响探查的精度，所以对其精度过细的划分意义不大。探查的精度公式是以仪器的基本精度指标为依据，结合长期的实践经验确定的。本公式适用于浅于 4m 的管线探测，可满足一般工程测量项目的需要。



**7.2.4** 关于管线点设置的要求。通常对所有的明显管线特征部位，都要求设点；对隐蔽管线点，要以明显标识为原则；在标明所有特征点基础上，对直线段适当加测管线点，对曲线段加密增设管线点，以能用管线点拟合出来的走向与实际管线线路相符合为原则。

**7.2.5** 地下管线调查需查明的内容和取舍标准，是以满足多数用户对地下管线图的使用要求为基础，以既能把握主体管线的来龙去脉，又能剔除次要管线对管线总体走向与连接关系的干扰为原则确定的。并要求做到经济、合理、实用。具体作业时，对管线的最终取舍，应结合管线测量项目的性质并根据不同工程规模、特点、管线疏密程度等，以满足委托方要求为准。

**7.2.6** 管线测量的目的是为管线的使用、规划和建设服务的，其相关的建（构）筑物和附属设施段是管线维护、扩展、变更的主要部位，故要求查明。

**7.2.16** 隐蔽管线探查的技术要求：

**1** 由于探查仪器的类型与探查方法较多，操作程序也不尽相同。为保证探查的有效精度，故，要求作业人员应严格执行所使用仪器的操作规定；

**2** 由于地区差异、探测人员的操作习惯与作业经验，都会引起系统性探查误差。故，要求在作业区明显管线点上进行探查结果的比对，以确定探查的有效方法和仪器的修正参数；

**3** 由于探查技术发展与探查设备性能的局限性，如在管线埋设过深、密集且纵横交错、信号受干扰较大等部位会出现很难核实管线点的现象，对此要求采用开挖的方法进行验证；

**4** 为保证探查成果精度与质量，采用重复探查和开挖验证的方法对隐蔽管线点的探查成果进行质量检验。

对于开挖验证方法的采用，尚存在争议。一种意见认为，既然无损伤探查技术已经成熟，通过重复探查并进行精度统计基本能反映管线探查的精度，若再于明显管线点附近进行探查验证后就无需进行开挖验证。另一种意见认为，探查仪器精度和稳定性在不断提高，对管线走向明显不存在疑难的部位，可以不进行开挖验证；但对存在疑难点的部位必须进行开挖验证。

### 7.3 地下管线施测

**7.3.2** 对于明显管线点，要求按主要建（构）筑物细部坐标点的测量精度施测（见本规范表 5.1.5-3），对于隐蔽管线探查点，采用该精度也不会造成探查精度的损失。

**7.3.4** 本条规定了管线施测的基本方法，其中 RTK 法是管线点测量较常用的方法。管线点调查编号与测量点号的相一致或对应，是防止管线探查成果出现粗差的有效措施。

### 7.4 地下管线图绘制

**7.4.1** 对于一般地下管线测量项目，要求绘制综合管线图。即，将各种专业管线与沿管线两侧的主要建（构）筑物等表示在同一张图上。对于密集的管线线路或工程需要时，要求分专业绘制管线图。即，将不同的专业管线和沿管线两侧的建（构）筑物等分别绘制在不同的专业管线图上。

**7.4.2** 一般工程项目的分幅与编号，通常要求与原有地形图一致，即采用本规范 5.1.6 条的规定；单一的管线测量项目，通常是以表示管线的连续性为主，也可采用现行设计图幅。

**7.4.3** 本条要求对地下管线图的图式和要素分类代码，首先采用现行国家标准，对不足部分，可采用相关专业的行业规定或惯用符号补充表示，并在项目技术报告书中予以说明。

**7.4.5** 综合管线图要求分层分色表示，主要是基于成图的需要和用户使用方便。

**7.4.6** 纸质管线图绘制技术要求的提出，是考虑到纸质管线图尚应用，其应用现状与纸质地形图相似。

### 7.5 地下管线信息系统

**7.5.1** 地下管线信息系统，是工程测量在信息管理领域的延伸。近年来，此类项目在国内已逐步展开。标准给出了一些原则性的规定，有待在今后的工程实践中进一步总结和完善。

本章所指的地下管线信息系统，是基于数字地下管线图和相应的管线属性数据成果，建立的一种区域性或专业性的独立系统。对已具有信息管理系统的行业或区域，可将本系统作为完整的子系统纳入或链接到其信息库。

地下管线信息系统的建立，只能是一个基础的或基本的框架，其应用领域将随着用户认识水平的不断提高和需求的不断增加，系统的服务功能还需要进一步的扩展，如，管理方案和事故处理方案的制定，标准管网设备库和管线辅助设施的管理等。

**7.5.12** 为了使地下管线信息系统能够与其他信息管理系统相兼容，故应该使用统一的标准编码与标识。对不足部分，应根据其编码规则结合行业的特点进行扩展和补充。

**7.5.13** 只有对地下管线信息系统进行不断的维护和更新，才能保持其现势性，也才能为用户提供更精良的信息服务。

## 8 施工测量

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 本条是施工测量的适用范围，修订增加了核电厂、综合管廊的施工测量。

**8.1.3** 施工控制网通常分为场区控制网和建筑物施工控制网，后者是在前者或勘察阶段的控制网基础上建立起来的。对于规模较小的单体项目或当项目间无刚性联接时，可根据实际情况，减少施工控制网的布网层次，直接布设建筑物施工控制网。

**8.1.4** 对勘察阶段控制网的充分利用，主要是基于全局和经济的考虑。投影到主施工高程面的要求，主要是为了施工时对已知坐标和边长使用方便。

**8.1.5** 新建的场区施工控制网不同于原有控制网下的加密网，其性质是自由网。这里所谓的自由网，主要是指控制网的平差计算要独立进行，不受上级控制网或起始数据的影响。亦即，坐标系统是一致的或延续的，但其精度或自身精度是独立的。

要求利用原控制网的点组对新建的场区施工控制网进行定位。点组定位的含义，是指定位后各点剩余误差的平方和最小。小规模场区控制网，可简化定位。

工程项目的施工区一般较小，为避免施工控制网的长度变形对施工放样的影响，可将观测边长归算到测区的主施工高程面上，没有必要进行高斯投影。

### 8.2 施工控制测量

#### (I) 场区平面控制网

**8.2.2** 场区施工控制网分级布设不同于常规控制测量逐级控制或加密，场区一、二级控制测量只是精度等级不同，没有先后次序之分。具体作业要根据工程规模和工程需要选择合适的精度等级。新建场区控制网应该与勘察阶段控制网的平面基准保持一致，对于新建、扩建、改建项目，要求场区施工控制点相对于勘察阶段控制点的点位精度，不应大于 50mm。

**8.2.3** 施工控制点是施工定位的依据，将在未来长时期使用，只有这些点位完好无损，才能确保定位测量的正确性。施工控制点标石的埋设深度，应考虑埋至比较坚实的原状土或持力层上，并考虑冻深情况。埋设在设计回填范围内的控制点极不稳定，因此要求根据场地设计标高确定标石的位置及埋深。

**8.2.4** 对于建筑方格网的建立说明如下：

1 一般性建筑物定位的点位中误差  $m_{\text{点}} \leq 10\text{mm}$ , 而点位误差受场区控制点的起算误差和放样误差的共同影响, 即:

$$m_{\text{点}}^2 = m_{\text{控}}^2 + m_{\text{放}}^2 \quad (9.1)$$

规定放样中误差  $m_{\text{放}}$  为 6mm, 则,  $m_{\text{控}} = 8\text{mm}$

若 
$$m_{\text{控}}^2 = m_{\text{s}}^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} S^2 \quad (9.2)$$

在边角误差等影响下有: 
$$m_{\text{控}}^2 = 2m_{\text{s}}^2 \quad (9.3)$$

或 
$$m_{\text{控}}^2 = 2 \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} S^2 \quad (9.4)$$

则: 
$$m_{\text{s}} = m_{\text{控}} / \sqrt{2} = 5.66 \text{ mm}$$

控制点间的平均距离为 200m, 则测距相对中误差为:

$$m_{\text{s}} / S = 5.66 / 200000 = 1/35400, \text{ 取 } m_{\text{s}} / S = 1/30000$$

由 (9.4) 式, 有 
$$m_{\beta} = \frac{m_{\text{控}} \rho}{\sqrt{2} S} \quad (9.5)$$

则 
$$m_{\beta} = 5.8'' , \text{ 取 } m_{\beta} = 5''$$

基于以上估算, 确定了一级方格网的基本指标, 二级方格网的基本指标是在此基础上, 作适当调整确定的。

2 布网法是目前较普遍采用的敷设建筑方格网的方法。其特点是一次整体布网, 经统一平差后求得各点的坐标最或是值, 然后改正至设计坐标位置。规模较大的网, 增测对角线有利于提高网的强度和加强检核;

轴线法是先测设控制轴线 (相当于较高级别的施工控制), 再将方格网分割成几个大矩形。标准规定轴交角的观测精度为  $2.5''$ , 其目的是为了减小整个网形的扭曲。

3 方格网水平角观测相对勘察阶段的控制网, 其测回数略有增加, 观测限差提高一个级别。

4 为了确保点位归化的正确性、故要求对方格网的角度和边长进行复测检查。复测检查的偏差限值, 分别取其相应等级的测角中误差和边长中误差的  $\sqrt{2}$  倍。

8.2.5 场区卫星定位测量控制网边长和边长相对中误差指标与三角形网相同。对于边长较短的控制网, 应注意观测方法, 保证测角精度, 否则相对精度难以满足要求。

8.2.6 根据施工项目对场区控制网的要求和方格网的基本精度指标, 从保证相邻最弱点精度出发, 给出了场区导线控制测量的基本要求, 其主要指标与本标准 3.4 节要求是一致的。

8.2.7 三角形网测量技术指标, 是基于相邻最弱点的点位中误差为 10mm (施工要求) 提出的。以二级三角形网为例, 其平均边长为 200m, 测边相对中误差为 1/20000。根据 (9.5) 式, 其测角中误差为:

$$m_{\beta} = \frac{m_{\text{点}} \rho}{\sqrt{2} S} = \frac{10 \times 206265}{\sqrt{2} \times 200000} \approx 8''$$

## (II) 场区高程控制网

**8.2.10** 施工放样中,要求工业场地和城镇拟建区场地平整、建筑物基坑、排水沟、下水管道等的竖向相对误差不应大于 $\pm 10\text{mm}$ 。因此,要求场区的高程控制网不低于三等水准测量精度。

## 8.6 核电厂施工测量

### (I) 平面控制网

**8.6.1** 初级网是核电厂的首级控制网,是将国家或地方坐标系统和高程系统引入核电厂区内,作为厂区各种比例尺地形图测绘、厂区总平面设计、工程地质勘察、五通一平以及建立次级控制网的基础。

次级网是为了满足核岛、常规岛和各子项精密工程施工放样、设备安装、调试和竣工测量提供统一完整的精密控制基础和相应的精密测量控制资料,所布设的相对精度高于初级网的精密工程测量控制网。平面控制点埋设采用永久性强制对中观测墩,为保证控制点的稳定性,控制点观测墩采用钢筋混凝土浇注,浇注完后需养护不少于 20 天。观测墩深入基岩 500mm 以下,顶面预埋不锈钢强制对中盘,强制对中盘与观测墩内主筋焊接连结。新建观测墩应达到稳定后方可开始观测。

微网是布设在核电厂房内部的精密工程测量控制网。虽然次级网的精度很高,但是次级控制点和加密控制点无法观测到建构筑物内部,因此就需要在建构筑物内部建立微网。微网控制点位是设计图给定的,不能随意改变。微网控制点是各层施工测量定线、放线,设备安装和校核的基准。微网是以次级网为基础建立起来的。影响微网点位精度的主要因素是对中误差,因此仪器的对中器应严格校正准确,并应采用精密基座。

精密工程控制网的等级,一般不具有上级网控制下级网的意义,而具有点位配合和精度配合的意义,但也允许越级发展。

从国内已投产的浙江秦山、广东大亚湾和岭澳、江苏田湾等核电厂的工程建设经验来看,除秦山核电一期未建立初级网外,其它几个核电厂的施工控制网,都是按初级网、次级网、微网三个等级布设的。如果规划设计阶段所施测的首级平面、高程控制网能够满足核电厂在施工建设阶段对测区平面、高程起算点以及附属设施施工测量的需要,则可以减少施工控制网的布网层次,省略初级网而直接布设次级网。

**8.6.2** 大亚湾核电厂是我国大陆第一座大型商业核电厂,其测量工作参照执行了法国电力部 EDF 制定的《法国压水堆核岛土建设计与建造规程》RCC-G88,该规程第 2 部分实施准则、第 2.11 章测量、公差及判断中,对核电厂工程测量控制网的分级布设,以及初级网、次级网和微网的基本精度要求都作了明确的规定。国内随后的几个核电厂建设项目,如岭澳、秦山(二、三期)、田湾等,根据工程建设需要或参照了该规程的基本要求,其主厂区及其附属设施区域工程测量控制网的等级划分以及对应的精度指标都与其相一致。

坐标中误差是指控制点的纵向、横向坐标中误差。本条规定的最弱点坐标中误差不应超过 2cm,是要求每个控制点的纵向、横向坐标中误差都优于 2cm。

**8.6.3** 次级网点位选择的基本要求:根据核电厂厂区总平面布置图,尽可能选在通视良好、便于施测、基础稳定、易于长期保存的地方;使其在施工中不被摧毁、无需搬迁,并能保持良好的通视视线(避免因各厂房施工进度使点位之间的通视受到影响),以便于复测。

观测墩是一个高约 1.2m 的固定的钢筋混凝土平截棱锥体,它们可以直接固定在外露的基岩上,也可通过钻孔灌注桩深埋至稳定的基岩,必要时还可使用水泥沉桩或倒垂点锚桩,四周宜设置有红白相间的安全保护栏杆。顶部的强制对中底盘应调整水平,倾斜度不得大于 1/1000,底盘对中误差

不应大于 0.1mm。

**8.6.4** 根据施工测量需要，除在厂房内部按设计要求预埋点位标志外，必要时可适当增加少量过路点，使控制点间构成三角形、大地四边形、矩形、中点多边形、折线形和多边形等基本网形。厂房内部微网尽可能按边角网布设。

平面坐标中误差、相邻点相对坐标中误差，是微网最基本的精度要求，必须满足。

由于短边测角误差大，影响角度观测量精度的主要因素是仪器对中与觇标偏心误差、目标照准误差以及仪器本身误差等。因此，角度观测量的综合误差应按下式估算。

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{m_e^2 + m_v^2 + m_1^2}$$

式中  $m_e$  —— 对中及偏心误差对角度测量的综合影响 (″)；

$m_v$  —— 目标照准误差 (″)；

$m_1$  —— 按菲列罗公式计算的先验测角中误差 (″)。

根据武汉大学出版社出版的《数字测图原理与方法》(ISBN 7-307-04311-4/P 79) 第五章 §5.4 节中对水平角观测中的几种主要误差来源的说明，仪器对中误差如图 1 所示，设  $O$  为测站标志中心， $O'$  为仪器中心， $\beta$  为无对中误差时的角度(即正确的角度)， $\beta'$  为有对中误差时的角度(即实测的角度)， $e$  为对中误差。

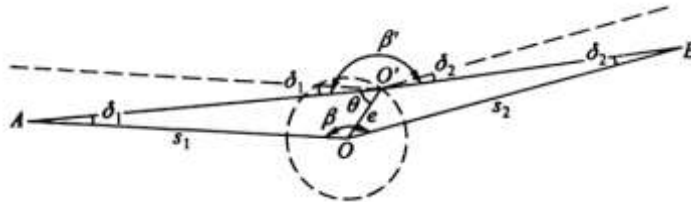


图 1 仪器对中误差

参考该书中的推导结果，仪器对中误差对水平角影响的中误差为：

$$m_{\text{中}} = \frac{\rho e}{\sqrt{2}} \cdot \frac{s_{AB}}{s_1 \cdot s_2}$$

由上式知，仪器对中误差对水平角的影响与两目标之间的距离  $s_{AB}$  成正比，即水平角在 180° 时影响最大，此时  $s_{AB} = s_1 + s_2$ ；而与测站至目标的距离  $s_1$  和  $s_2$  的乘积反比，距离越短，影响越大。因此，对于短边测角，要特别注意对中误差的影响。

觇标偏心误差如图 2 所示， $A$ 、 $B$  分别为标志实际中心， $A'$ 、 $B'$  为照准的中心。 $\beta$  为正确的角度， $\beta'$  为观测的角度， $e_1$ 、 $e_2$  为觇标偏心误差。

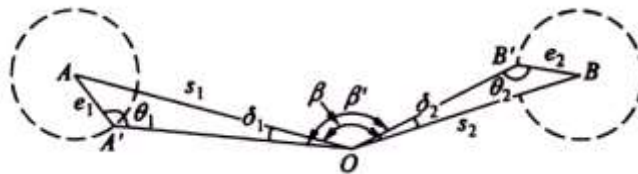


图 2 觇标偏心误差

参考该书中的推导结果，觇标偏心误差对水平角影响的中误差为：

$$m_{\text{偏}} = \rho \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{e_1^2}{s_1^2} + \frac{e_2^2}{s_2^2}}$$

由上式知，目标偏心误差对水平角的影响与测站至目标的距离  $s_1$  和  $s_2$  有关，距离越短，影响越大，但与角度本身的大小无关。

由此，仪器对中与觇标偏心误差对角度测量的综合影响为：

$$m_e = \sqrt{m_{中}^2 + m_{偏}^2}$$

$$= \sqrt{\frac{\rho^2}{2s_2^2 s_1^2} [s_2^2 e_1^2 + s_1^2 e_2^2 + e^2 (s_2^2 + s_1^2 - 2s_2 s_1 \cos \beta)]}$$

核电厂内部微网，边长一般为 5m~30m 不等，平均边长约 20m。根据上式计算仪器对中与觇标偏心误差对角度测量的综合影响为：

当  $e_1 = e_2 = e = 0.3\text{mm}$ 、 $s_1 = s_2 = 20\text{m}$ 、 $\beta = 180^\circ$  时，误差最大，即  $m_e = \pm 5.4''$ ；

值得注意的是，目标偏心误差和仪器对中误差均属于“对中”性质的误差。就对中本身而言，它是偶然误差，一旦目标标志和仪器已经安置，则对中误差的真值不再发生变化，因此无论水平角观测多少个测回，这两项误差分别在各测回之间均保持相同，绝不会因增加测回数而减少它们对水平角观测成果的影响。

照准误差主要与望远镜的放大倍率、人眼的判别能力、照准标志的形状及目标影像的亮度和清晰度等因素有关，一般认为人眼分辨两个点的最小视角为  $60''$ ，三次照准取平均值的照准误差  $m_v$  约为：

$$m_v = \pm 60'' / (\sqrt{3} v)$$

式中  $v$  —— 望远镜的放大倍率。

对于 Leica TCA2003 型全站仪，有  $v = 30$ ，故仪器照准误差为：

$$m_v = \pm 60'' / (30 \times \sqrt{3}) = \pm 1.2''$$

采用电子仪器观测时，不考虑测微器读数误差的影响。当三角形的个数较少时，测角中误差宜用经验值代替。通常取 DJ1 型仪器的测角中误差先验值为  $\pm 1''$ 。

因此估算的角度观测量的综合误差为：

$$m_b = \pm \sqrt{5.4^2 + 1.2^2 + 1^2} = \pm 5.6''$$
，取测角中误差为  $5''$ ；

其中，每个三角形的最大角度闭合差为  $2\sqrt{3}m_b$ 。

微网测量一般采用多联脚架法，并使用天底仪协助仪器、觇标精确对中，观测过程中仪器对中（觇标偏心）误差的影响较小。由于受场地条件等的限制，厂房内部微网的观测网形难以全部构成三角形等基本图形，实际测角中误差可能有一定出入。之所以对影响角度观测量精度的几个主要因素进行分析，并推导其综合影响大小，主要为了推算三角形最大角度闭合差的限差值，以剔除原始观测数据中可能存在的粗差、提高微网测量精度和可靠性。微网测量通常使用 DJ05 型 Leica TCA2003 全站仪，采用常规边角网施测，但受厂房施工、设备安装等现场条件的限制，无法对控制网的网形及边长、角度做出具体要求。采用多联脚架法可减少仪器对中和目标照准误差的影响，但控制网形、调焦、照准、整平以及仪器本身、周围环境等因素的不利影响也不容忽视。由于现场条件及观测时段的限制，微网测量通常采用完全的边角联测，观测所有可通视的边长和方向，控制网通常都有较多的多余观测量，宜通过三角形最大角度闭合差限差值来分析并剔除粗差。

**8.6.5** 施工测量使用的是控制点间的实际距离，将施工控制网的基线长度投影到核电厂的核岛、常规岛等主要厂房区域的场平标高面上，是为了施工时对已知坐标和边长使用方便，同时保证设备、构件的安装精度。但核电厂的主要厂房区域一般较小，为避免施工控制网的长度变形对施工放样的影响，只需将观测边长归算到测区的主要厂房区域的场平标高面上，没有必要进行高斯投影。

**8.6.6** 由于反应堆等厂房内部微网控制点与钢衬或壁体相连，建网时与使用时的温差对微网的影响不可忽视。由于受到沉降、收缩等影响，网点之间的水平长度会发生一定的变化，必须进行检测，并对控制点加温度改正，方可保证测量精度。

## (II) 高程控制网

**8.6.8** 测区高程起算点，可以是规划设计阶段施测的首级高程网点，也可以直接采用测区附近的国家三等及以上等级水准点。应根据预计水准路线长度以及最弱点高程中误差的精度要求合理选择初级网的水准观测等级，但场区初级网高程测量精度，不应低于四等水准。

**8.6.9** 观测精度同本标准第10章二等垂直位移的监测精度。

若位于主场区外围的首级高程控制网中的水准点，其埋设规格满足规范要求，可直接作为次级网的高程基准点。三个及以上的基准点，才能构成独立的高程自校系统。

对次级网、微网高程控制测量的主要技术要求说明如下：

1 相邻点高差中误差、每站高差中误差、检测已测高差较差是核电厂设计文件《核岛土建技术规格书—工程测量》变形监测系统章节中对水准基准点的基本精度要求，经过了多年的工程实践证明是合理可行的，是制定相关技术指标的依据。

2 取水准观测的往返较差、附和或环线闭合差为每站高差中误差的 $2\sqrt{n}$ 倍，作为各自的限值，其中 $n$ 为站数。

**8.6.12** 由于现场施工交叉进行，区域内的控制点容易受到填挖方、抽水、机械震动、车辆行驶乃至撞击等因素的影响而产生位移，因此必须对次级网和微网进行定期复测，通过对测量结果的综合分析来检验控制网点位的稳定性。建网初期的复测周期不宜超过3个月一次。

次级网复测，对于坐标较差超限的点，应尽量不再使用，同时还应对超限点位可能造成的影响进行评估，并提出建议。

各厂房内部微网点一般预埋在每层楼板的混凝土基础面上，由于混凝土基础在浇灌后的几个月内会产生微量收缩，微网点的平面位置会随之变化。在混凝土龄期，尽量利用中心点设站和周边点定向的定位方法。在养护期过后，需要对控制点进行复测，在进入安装阶段，需要再次检查。

**8.6.13** 天底准直法：在所需施工楼层使用精密基座安置天底垂准仪，通过预留在楼板中的垂直通视孔，以天底方向投测光束与底板层上平面控制点标志中心严格重合的方式，将平面基准传递到施工层。在仔细对中、精确整平后，保持脚架和基座不动，再换上仪器、棱镜或觇牌，即完成垂直方向平面位置的精确传递。

## (III) 核岛、常规岛施工放样

**8.6.15** 核电厂建筑施工放样要求具备的施工图纸较多，因为核电厂，尤其是核岛厂房不同层，结构均有变化，设备很多，作业空间有限，施工放样前必须了解这些施工图纸，一方面有利于制定出优秀的方案，另一方面会避免和减少位置和作业空间的冲突。

**8.6.17** 重要的和精度要求高的结构、设备及构件包括：反应堆压力容器、主泵、蒸汽发生器、主管道、装卸料机、稳压器、安注箱、检查井、人员闸门、设备闸门、水封门、环吊、牛腿、钢衬里、汽轮机等。

**8.6.18** 大型设备基础的安装孔或槽会提供一定的余量来保证设备的顺利安装，但该余量的设计主要针对砼浇注过程中的小变形和砼凝固过程中的变形，在砼浇注过程中砼本身的流动和振捣棒对钢筋和设备基础往往会形成较大的位移，并且该位移会超过安装孔或槽所提供的余量，导致安装不能顺利进行，所以必须进行监测。

**8.6.19~8.6.20** 对于核电厂施工放样来说，图纸或说明中要求的精度是必须要满足的，只有在图纸或说明中无具体要求时，才可参照本标准8.6.19条~第8.6.20条执行。

## 9 竣工总图的编绘与实测

### 9.1 一般规定

**9.1.1~9.1.3** 竣工总图与一般的地形图不完全相同，主要是为了反映设计和施工的实际情况，是以编绘为主。当编绘资料不全时，需要实测补充或全面实测。为了使实测竣工总图能与原设计图相协调，因此，其坐标系统、高程基准、测图比例尺、图例符号等，应与施工设计图相同。

采用数字竣工图要求的提出，主要是考虑到设计、施工图多数采用数字图形式，也是考虑到用户对竣工总图的方便使用和将来的补充完善。

### 9.2 竣工总图的编绘

**9.2.1、9.2.2** 完整充分的收集、整理已有的设计、施工和验收资料，是编绘竣工总图的首要任务。与实地的对照检查，是为确定资料的完整性、正确性和需要实测补充的范围。

**9.2.3** 由于竣工总图基本上是一种设计图的再现，因此，图的编制内容及深度也基本上和设计图一致，本条是竣工总图编制的基本原则。

**9.2.4** 本次修订对竣工总图的绘制，按三种情况进行分类。即，简单项目，只绘制一张总图；复杂项目，除绘制总图外，还应绘制给水排水管道专业图、动力工艺管道专业图、电力及通信线路专业图等；较复杂项目，除绘制总图外，可将相关专业图合并绘制成综合管线图。

本条是简单项目竣工总图的绘制要求，是根据历年来的编绘经验确定的。

**9.2.5** 给水管道的各种水处理设施，主要包括：水源井、泵房、水塔、水池、消防设施等；地上、地下各种管径的给水管线及其附属设备，主要包括：检查井、水封井、水表、各种阀门等。

**9.2.6** 动力管道主要包括：热力管道、煤气管道等；工艺管道主要包括：输送各种化学液体、气体的管道；管道的构筑物主要包括：地沟、支架、各种阀门，涨缩圈以及锅炉房、烟囱、煤场等。

**9.2.7** 电力及通信线路主要包括：地上、地下敷设的电力电信线和电缆。地上敷设方式包括：塔杆架设、沿建（构）筑物架设、多层管桥架设等；地下敷设方式包括直埋、地沟、管沟、管块等。

**9.2.8** 综合管线图是对地上、地下各种专业管线在同一图中进行综合表示。当管道密集处及交叉处在平面图上无法清楚表示其相互关系时，可采用剖面图表示，必要时，也可以采用立体图表示。总之，以清晰表示为原则。

### 9.3 竣工总图的实测

**9.3.1~9.3.5** 当竣工总图无法编绘时，应采用实测的方法进行。本节给出了竣工总图实测的基本原则和主要技术要求。



## 10 变形监测

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 本章是为了满足工程建设领域对变形监测的需要而编制的。修订时，增加了一些新的测量方法和物理的监测方法，也将《93规范》中变形测量一词引伸为变形监测。

为了对监测体的变形情况有更全面准确的把握，使监测数据基本能反映监测体变化的真实情况，反映变形量（位移量和沉降量的统称）与相关变形因子间的物理关系或统计关系，找出监测体的变形规律，合理地解释监测体的各种变化现象，比较准确地评价监测体的安全态势，并提供较为准确的分析预报，是变形监测的目的。

**10.1.2** 建（构）筑物在施工期和运营期的变形监测，是建设项目的必要环节，其能及时地为项目的施工安全和运营安全提供监测预报。因此，对重要的建（构）筑物，要求在项目的设计阶段对变形监测的内容、范围和必要监测设施的位置做出统筹安排，也应由监测单位制定详细的监测方案。

初始状态的观测数据，是指监测体未受任何变形影响因子作用或变形影响因子没有发生变化的原始状态的观测值。该状态是首次变形观测的理想时机，但实际作业时，由于受各种条件的限制却较难把握，因此，首次观测的时间，应选择尽量达到或接近监测体的初始状态，以便获取监测体变形全过程的数据。变形影响因子，是对变形影响因素的细化，其是导致监测体产生变形的主要原因，也是变形分析的主要参数。

**10.1.3** 关于变形监测的等级划分及精度要求：

**1** 变形监测的精度等级，是按变形观测点的水平位移点位中误差、垂直位移的高程中误差或相邻变形观测点的高差中误差的大小来划分的。其是根据我国变形监测的经验，并参考国外规范有关变形监测的内容确定的。其中，相邻点高差中误差指标，是为了适合一些只要求相对沉降量的监测项目而规定的；

**2** 变形监测分为四个精度等级，一等适用于高精度变形监测项目，二、三等适用于中等精度变形监测项目，四等适用于低精度的变形监测项目；

变形监测的精度指标值，是综合了设计和相关施工规范已确定了的允许变形量的1/20作为测量精度值，这样，在允许变形范围之内，可确保建（构）筑物的安全使用，且每个周期的观测值能反映监测体的变形情况；

**3** 重大地下工程，是指开挖面较大、地质条件复杂和环境变形敏感的地下工程，其他则为一般地下工程。

**10.1.4** 变形监测点的分类，是按照变形监测精度要求高的特点，以及标志的作用和要求不同确定的，本规范将其分为三种：

**1** 基准点，是变形监测的基准，点位要具有更高的稳定性，且须建立在变形区以外的稳定区域。其平面控制点位，一般要有强制归心装置；

**2** 工作基点，是作为高程和坐标的传递点使用，在观测期间要求稳定不变。其平面控制点位，也要具有强制归心装置；

**3** 变形观测点，直接埋设在能反映监测体变形特征的部位或监测断面两侧。要求结构合理、设置牢固、外形美观、观测方便且不影响监测体的外观和使用。

监测断面，是根据监测体的基础地质条件、建筑结构的复杂程度和对监测体安全所起作用的重要性进行划分的。

**10.1.5** 监测基准网布设的目的，主要是为了建立变形监测的基准体系。复测的目的，是为了检验基准点的稳定性和可靠性。

基准体系的建立，是确定监测体变形量大小的依据。但由于自然条件的变化，人为破坏等原因，不可避免地有个别点位会发生变化，为了验证基准网点的稳定性，对其进行定期复测是必要的，复

测时间间隔的长短，要根据点位稳定程度或自然条件的变化情况来确定。

**10.1.6** 变形监测网的布设，是为了直接获取监测体的变形量。变形监测周期，应根据监测体的特性、变形速率、变形影响因子的变化和观测精度等综合确定。当监测体的变形受多因子影响时，以其作用最短的周期为监测周期。

监测周期并非一成不变，作业过程中要依据监测体变形量的变化情况适当调整，以确保监测结果和监测预报的适时准确。

通常，当最后的三个较长监测周期的变形量小于观测精度时，可视监测体为稳定状态。

**10.1.7** 本条是各期变形监测的作业原则，主要为了将观测中的系统误差减到最小，从而达到保障监测精度的目的。

**10.1.10** 由于变形监测的目的，是及时掌握监测体的变形情况，确保监测体在施工或运营期间安全，并提供准确的安全预报。所以，一旦观测成果出现本条所指的 3 种异常情形，要求即刻通知建设单位和施工单位，及时采取相应措施，防止工程事故发生。

常见的建（构）筑物的地基变形允许值，参考表 10.1。其他类型的监测项目的变形允许值，可参考相关的设计规范，或由设计部门确定。变形监测的变形量预警值，通常取允许变形值的 75%。

表 10.1 建筑物的地基变形允许值

变 形 特 征	地基土类别	
	中、低压缩性土	高压缩性土
砌体承重结构基础的局部倾斜	0.002	0.003
工业与民用建筑相邻柱基的沉降差		
(1) 框架结构	0.002 <i>Z</i>	0.003 <i>Z</i>
(2) 砌体墙填充的边排柱	0.0007 <i>Z</i>	0.001 <i>Z</i>
(3) 当基础不均匀沉降时不产生附加应力的结构	0.005 <i>Z</i>	0.005 <i>Z</i>
单层排架结构（柱距为 6m）柱基的沉降量（mm）	(120)	200
桥式吊车轨道的倾斜（按不调整轨道考虑）		
纵向	0.004	
横向	0.003	
多层和高层建筑的整体倾斜		
$H \leq 24$	0.004	
$24 < H \leq 60$	0.003	
$60 < H \leq 100$	0.0025	
$H > 100$	0.002	
体型简单的高层建筑基础的平均沉降量（mm）	200	
高耸结构基础的倾斜		
$H \leq 20$	0.008	
$20 < H \leq 50$	0.006	
$50 < H \leq 100$	0.005	
$100 < H \leq 150$	0.004	
$150 < H \leq 200$	0.003	
$200 < H \leq 250$	0.002	
高耸结构基础的沉降量（mm）		
$H \leq 100$	400	
$100 < H \leq 200$	300	
$200 < H \leq 250$	200	

注：1 本表引用自《建筑地基基础设计规范》（GB50007）；

2 表中数值，为建筑物地基实际最终变形允许值；

3 有括号的数值，仅适用于中压缩性土；

4 *Z* 为相邻柱基的中心距离，单位为 mm；*H* 为自室外地面起算的建筑物高度，单位为 m；

5 倾斜，指基础倾斜方向两端点的沉降差与其距离的比值；

6 局部倾斜，指砌体承重结构沿纵向 6~10m 内，基础两点的沉降差与其距离的比值。

## 10.2 水平位移监测基准网

**10.2.1** 三角形网是变形监测基准网常用的布网形式，其图形强度、可靠性和观测精度都较高，可满足各种精度的变形监测对基准网的要求。GPS定位技术在变形监测基准网的建立中，正在发挥着越来越重要的作用。导线网以其布网形式灵活见长，但其检核条件较少，常用于困难条件下低等级监测基准网的建立。视准轴线是最简单的监测基准网，但须在轴线上或轴线两端设立检核点。

**10.2.2** 水平位移监测基准网的布设：

- 1 由于变形监测是以单纯测定监测体的变形量为目的，因此，采用独立坐标系即可满足要求；
- 2 由于变形监测区域面积一般较小，采用一次布网形式，其点位精度比较均匀，有利于保证基准网的布网精度；
- 3 将狭长形建筑物的主轴线或其平行线纳入网内，是监测基准网布网的典型做法；
- 4 大型工程布网时，应充分顾及网的精度、可靠性和灵敏度等指标的规定为新增内容，主要是基于大型工程监测精度要求较高、内容较多、监测周期较长的考虑；

**10.2.3** 由于监测基准网的边长较短，观测精度和点位的稳定性要求较高，采用有强制归心装置的观测墩是较为普遍的做法。

**10.2.4** 水平位移监测基准网测量的主要技术要求：

1 相邻基准点的点位中误差，是制定相关技术指标的依据。其也是和表10.1.3中变形观测点的点位中误差系列数值相同。但变形观测点的点位中误差，是指相对于邻近基准点而言；而基准点的点位中误差，是相对相邻基准点而言；

理论上，监测基准网的精度应采用高于或等于监测网的精度，但如果提高监测基准网点的精度，无疑会给高精度观测带来困难，加大工程成本。故，采用相同的点位中误差系列数值。换句话说，监测基准网的点位精度和监测点的点位精度要求是相同的。

2 关于水平位移变形监测基准网的规格。

为了让变形监测的精度等级（水平位移）一、二、三、四等和工程控制网的精度等级系列一、二、三、四等相匹配或相一致，仍然取0.7"、1.0"、1.8"和2.5"作为相应等级的测角精度序列，取1/300000、1/200000、1/100000和1/80000作为相应等级的测边相对中误差精度序列，取12、9、6、4测回作为相应等级的测回数序列，取1.5mm、3.0mm、6mm和12mm作为相应等级的点位中误差的精度序列。

根据纵横向误差计算点位中误差的公式

$$m_{\text{点}} = L \sqrt{\left(\frac{m_{\beta}}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{1}{T}\right)^2} \quad (10.1)$$

可推算出监测基准网相应等级的平均边长，如表10.2；

表：10.2 水平位移监测基准网精度规格估算

等级	相邻基准点的点位中误差(mm)	测角中误差(")	测边相对中误差	平均边长计算值(m)	平均边长取值(m)
一等	1.5	0.7	≤1/300000	315	300
		1.0	≤1/200000	215	200
二等	3.0	1.0	≤1/200000	431	400
		1.8	≤1/100000	226	200
三等	6.0	1.8	≤1/100000	452	450
		2.5	≤1/80000	345	350
四等	12.0	2.5	≤1/80000	689	600

要说明的是，相应等级监测网的平均边长是保证点位中误差的一个基本指标。布网时，监测网的平均边长可以缩短，但不能超过该指标，否则点位中误差将无法实现。平均边长指标也可以理解为相应等级监测网平均边长的限值。以四等网为例，其平均边长最多可以放宽至600m，反之点位中误差将达不到12.0mm的监测精度要求。

3 关于水平角观测测回数。

对于测角中误差为 $1.8''$ 和 $2.5''$ 的水平位移监测基准网的测回数,采用相应等级工程控制网的传统要求,见本规范第3章。

对于测角中误差为 $0.7''$ 和 $1.0''$ 的水平位移监测基准网的测回数,分别规定为12测回和9测回(1"级仪器),主要是由于变形监测网边长较短,目标成像清晰,加之采用强制对中装置,根据理论分析并结合工程测量部门长期的变形监测基准网的观测经验,制定出相应等级的测回数。其较《93规范》的测回数有所减少,例如一等网的观测,规定为采用1"级仪器,测角中误差为 $0.7''$ 时,测回数为12测回。工程实践也证明,测回数在12测回以上时,测回数的增加,对测角精度的影响很小。

另外,在国家大地测量中,测角中误差为 $0.7''$ 时,将1"级仪器的测回数规定为:三角网21测回,导线网15测回(注:测回数,是按全组合法折算成方向法的测回数);本次修订将监测基准网的测回数规定为12测回,其较国家导线测量的测回数(15)略少。

测角中误差为 $1.0''$ 时,在国家大地测量中,将1"级仪器的测回数规定为:三角网15测回,导线网10测回(注:测回数,是按全组合法折算成方向法的测回数);在本规范第3章中,将1"级仪器的测回数规定为12测回。本次修订将监测基准网的测回数规定为9测回,其与国家导线测量的测回数(10)接近,较《93规范》的测回数降低一个级别。

4 当水平位移监测基准网设计成GPS网时,须满足表10.2.4中相应等级的相邻基准点的点位中误差的精度要求,基准网边长的设计须和观测精度相匹配。

**10.2.6** 对于三、四等监测基准网,采用与本规范第3章相同的电磁波测距精度系列,即5mm级仪器和10mm级仪器,补充了一、二等监测基准网的1mm级和2mm级仪器的测距精度系列。考虑到监测基准网的精度较高,对测回数作了适当调整。

**10.2.7** 三等以上的GPS监测基准网,只有采用精密星历进行数据处理,才能满足相应的精度要求。

### 10.3 垂直位移监测基准网

**10.3.2** 本条给出了不同类型基准点的埋设要求,作业时,可根据工程的类型、监测周期的长短和监测网精度的高低合理选择。

**10.3.3** 关于垂直位移监测基准网的主要技术要求:

1 相邻基准点的高差中误差,是制定相关技术指标的依据。其也是和表10.1.3中变形观测点的高程中误差系列数值相同。但变形观测点的高程中误差,是指相对于邻近基准点而言,其与相邻基准点的高差中误差概念不同;

2 每站高差中误差,采用本规范传统的系列数值,经多年的工程实践证明是合理可行的,其保证了各级监测网的观测精度;

3 取水准观测的往返较差或环线闭合差为每站高差中误差的 $2\sqrt{n}$ 倍,取检测已测高差较差为每站高差中误差的 $2\sqrt{2}\sqrt{n}$ 倍,作为各自的限值,其中 $n$ 为站数。

**10.3.4** 水准观测的主要技术要求,是参考了《国家一、二等水准测量规范》(GB12897-91)、《国家三、四等水准测量规范》(GB12898-91)和本规范4.2节水准测量的相关要求制定的。

### 10.4 基本监测方法与技术要求

**10.4.1** 本条列出了不同监测类别的变形监测方法。具体应用时,要根据监测项目的特点、精度要求、变形速率以及监测体的安全性等指标,综合选用。本次修订增加了一些新的观测方法和物理的监测方法。

**10.4.2、10.4.3** 三角形网、交会法、极坐标法,是水平位移观测常采用的方法。

**10.4.4** 视准线法主要用于单一方向水平位移测量,本条给出了作业的具体要求。

**10.4.5** 引张线法适用于单一方向水平位移测量,其主要构成和要求说明如下:

1 引张线分为有浮托的引张线和无浮托的引张线。其由端点装置、测点装置、测线及保护管等组成。固定端装置包括定位卡、固定栓；加力端包括定位卡、滑轮和重锤等。要求对所有金属材料做防锈处理，或重要部件如 V 型槽、滑轮等要求采用不锈钢材制作；

2 有浮托的引张线的测点装置包括水箱、浮船、读数尺及测点保护箱；无浮托的引张线则无水箱、浮船；

3 测线一般采用 0.8~1.2mm 的不锈钢丝。测线越长，所需拉力越大，所选钢丝的极限拉力应为所需拉力的 2 倍以上。40~80kg 的拉力，适用于 200~600m 长度的引张线。

**10.4.6** 正、倒垂线法，是大坝水平位移观测行之有效的办法。该方法也可在高层建筑物的主体挠度观测中采用。对正倒垂线的主要构成和要求分别说明如下：

1 正垂线由悬线装置、不锈钢丝或不锈因瓦丝、带止动叶片的重锤、阻尼箱、防锈抗冻液体、观测墩、强制对中基座、安全保护观测室等组成；

悬挂点应考虑换线及调整方便且必须保证换线前后位置不变；观测墩宜采用带有强制对中底盘的钢筋混凝土墩，必要时可建观测室加以保护；不锈钢丝或不锈因瓦丝的极限拉力应大于重锤重量的 2 倍；在竖井、野外等易受风影响的地方，应设置直径大于 100mm 的防风管。

重锤重量一般按 (10.2) 式确定：

$$W > 20(1 + 0.02L) \quad (10.2)$$

式中：W — 重锤重量，单位为 kg；

L — 测线长度，单位为 m。

2 倒垂线由固定锚块、无缝钢管保护管、不锈钢丝或不锈因瓦丝、浮体组（浮筒）、防锈抗冻液体（变压油）、观测墩、强制对中基座、安全保护观测室等组成；

钻孔保护管宜用经防锈处理的无缝钢管，壁厚宜在 6.5~8mm，内径大于 100mm；观测墩宜采用带有强制对中底盘的钢筋混凝土墩，必要时可建观测室加以保护；不锈钢丝或不锈因瓦丝的极限拉力应大于浮子浮力的 3 倍。

浮体组宜采用恒定浮力式，也可是非恒定浮力式。浮子的浮力一般按 (10.3) 式确定：

$$P > 200(1 + 0.01L) \quad (10.3)$$

式中：P — 重锤重量，单位为 N；

L — 测线长度，单位为 m。

**10.4.7** 激光测量技术，在变形监测项目中有所应用。基于安全的考虑，要求在光路附近设立安全警示标志。

**10.4.9** 本条给出了静力水准测量作业的具体要求，为新增加内容。取表 10.3.3 中水准观测每站高差中误差系列数值的 2 倍，作为静力水准两次观测高差较差的限值。取表 10.3.3 中水准观测的往返较差、附和或环线闭合差，作为静力水准观测的环线及附和路线的闭合差。静力水准测量仪器的种类比较多，作业时应严格按照仪器的操作手册进行测量。

**10.4.10** 电磁波测距三角高程测量，可用于较低精度（三、四等）的垂直位移监测。

**10.4.11** 本条给出了主体倾斜和挠度观测的常用方法和计算公式。对其中电垂直梁法说明如下：

1 电垂直梁法的设备是由安装在被监测物体上的专用支架（加工）、专用电垂直梁倾斜仪传感器、专用电缆、读数仪等组成；

2 安装电垂直梁倾斜仪传感器的支架时，应注意仪器量程的有效性；

3 用专用电垂直梁倾斜仪传感器直接测量被监测物体的相对转角时，应根据结构的几何尺寸换算出被监测部位的位移量；

4 电垂直梁法观测的技术要求，可按产品手册进行。

**10.4.12** 裂缝观测主要是测定监测体上裂缝的位置和裂缝的走向、长度、宽度及其变化情况，其是变形监测的重要手段之一。裂缝的变化情况，可局部反映监测体的稳定性或治理的效果。裂缝观测

要细心进行，尽量减少不规范量测所带来的影响。

**10.4.13** 自动跟踪测量全站仪是全站仪系列中的高端产品，在大型工程中已得到较为广泛的应用。反射片通常用于较短的距离测量，其精度可满足普通精度的变形监测的需要。鉴于变形监测的重要性，要求数据通信稳定、可靠，故数据电缆以光缆或专用电缆为宜。

**10.4.14** 摄影测量，是变形监测较常使用的方法之一，无论是对单体建筑物的变形监测，还是较大面积的山体滑坡监测，都有所应用。为了使用方便，修订增加编写了摄影测量的主要技术要求，其他相关规定，参见《工程摄影测量规范》(GB50167)。

**10.4.15** 卫星实时定位(GPS-RTK)技术，主要适用于变形量大、需要连续监测、适时处理数据、即时预报的监测项目。

**10.4.16** 应力、应变监测是属于物理的监测方法，为规范新增内容。本条给出了应力、应变传感器的必要性能、检验要求和埋设规定。

## 10.5 工业与民用建筑变形监测

**10.5.1** 本条给出了工业与民用建筑在施工和运营期间对建筑场地、建筑基坑、建筑主体进行变形监测的主要内容。

**10.5.2** 拟建建筑场地的沉降观测，主要是为了确定建筑场地的稳定性。通常采用水准测量的方法，确定地面沉陷、地面裂缝或场地滑坡等的稳定性。

**10.5.3** 基坑支护结构的安全，是建筑物基础施工的重要保证。基坑的变形监测，具体反映了基坑支护结构的变化情况，并为其安全使用提供准确的预报。

根据经验，通常将基坑开挖深度的4%，作为基坑顶部侧向位移的施工监测预警值。监测精度通常采用二、三等。

**10.5.4** 由于地面大量卸载，原来的土体平衡被打破，基坑的回弹量较大，故会发生基坑底面的“爆底”或“鼓底”现象。所以基坑的回弹对重要建(构)筑物的影响不容忽视。对基坑回弹观测，目前认识较统一，即就是测定大型深埋基础在地基土卸载后相对于开挖前基坑内外影响范围内的回弹量。本条给出了回弹观测的具体规定。

**10.5.5** 地基土分层观测，就是测定高层或大型建筑物地基内部各分层土的沉降量、沉降速率以及有效压缩层的厚度。

观测标志的埋设深度，最深应超过地基土的理论压缩层厚度(根据工程地质资料确定)，否则将失去土的分层沉降观测的意义。

**10.5.6** 地下水位的变化，也是影响建筑物沉降变化的重要因素。故，对地下水位变化比较频繁的地区或受季节、周边环境(江、河等)水位变化影响较大的地区，要进行地下水位监测。本条为新增内容。

当地下水位的变化，成为影响建筑物沉降的主要因素时(如基坑降水或潮汐)，要及时根据地下水位的变化调整沉降观测周期。

**10.5.8** 关于建(构)筑物的沉降观测周期和终止观测的沉降稳定指标：

1 建(构)筑物沉降观测的时间长短，以全面反映整个沉降过程为宜；

2 对于建(构)筑物沉降观测，广大作业人员和建设单位，都希望规范能给出一个恰当的终止观测的稳定指标值。

经规范组调研，不同地域的指标有所差异，基本上在0.01~0.04mm/日之间。为稳妥，规范修订采用相对较严的0.02mm/日，作为统一的终止观测稳定指标值。

3 修订增加建筑物封顶后每3个月观测一次并持续观测一年的要求，主要是考虑多数建筑物在封顶后一年大多都可进行竣工验收且建筑物的沉降趋于稳定(日沉降速率小于0.02mm/日)。

**10.5.9** 建(构)筑物的主体倾斜观测，是指测定其顶部和相应底部观测点的相对偏移值。本条给出了采用水平位移观测方法测定建(构)筑物主体倾斜的具体规定。当建(构)筑物整体刚度较好时，

也可采用基础差异沉降推算主体倾斜的方法，参见本规范 10.4.11 条的相关规定。

**10.5.11** 日照变形量，与日照强度和建筑的类型、结构及材料相关。其周期性的变化较为显著，对建筑结构的抗弯、抗扭、抗拉性能均有一定影响。因此，应对特殊需要的建（构）筑物进行日照变形观测。本条给出了日照变形观测的具体要求。

## 10.6 水工建筑物变形监测

**10.6.1** 本条给出了水工建筑物的开挖场地、围堰、坝体、涵闸、船闸和库首区、库区，在施工和运营期间的主要监测内容。

本规范将工矿企业的灰坝、尾矿坝等也在此归类（见本规范 10.6.6 条），监测内容可参照选取、监测精度可适当放宽。

就水工建筑物的变形监测而言，本规范提倡采用自动化监测手段。目前，在国内多个大型水工建筑物的施工和运营中都有所采用且效果良好。但对一些关键部位的自动化监测设施，在应用初期，有必要采用与人工测读同步进行的方法，以便得到完整、准确、可靠的监测数据。

**10.6.2** 施工期变形监测是为保证施工安全而进行的阶段性变形监测。监测内容和监测精度是参照《水电水利工程施工测量规范》（DL/T5173）和《水利水电工程施工测量规范》（SL52—93）对本规范相关内容进行修订的，并对个别指标做了适当调整。

**10.6.3** 混凝土水坝变形监测的精度要求，是在《93 规范》的基础上，参照《混凝土坝安全监测技术规范》（DL/T5178）综合制定的，并增加了挠度观测的精度要求。

**10.6.4** 本条是水坝变形观测点布设的基本要求，监测断面及观测点的布置，宜遵循少而精的原则。

**10.6.5** 水坝的变形监测周期，是根据我国大坝施工和大坝安全监测的长期实践经验制定的。

本条对《93 规范》的相关内容作了细化处理，可操作性更强。

在 4 款中所列几种情况，是大坝变形的最敏感时期，要求增加观测次数，以取得完整有效的分析数据，也可对主体工程设计作进一步验证。

**10.6.6** 由于灰坝、尾矿坝是用来集中堆放工业废渣、废料等污染物的，虽然规模不大，但其对环境的危害性较大，故，提出要对坝体的安全性进行监测。变形监测可参照水坝的主要技术要求放宽执行。

**10.6.7** 堤坝工程属土坝或夹防渗心墙，变形监测的精度要求一般相对较低。具体监测精度可根据堤防工程的级别、堤形、设计要求和水文、气象、地形、地质等条件综合确定。

**10.6.8** 大型涵闸监测的精度指标，是参照混凝土坝变形监测的精度要求确定的。

**10.6.9** 库区地质缺陷、跨断裂及地震灾害的监测，是为确保水利枢纽工程安全运行而进行的一项重要监测工作。其主要是为了分析评价水库蓄水对周围环境的影响和周围环境的变化对水库运行的影响等，根据影响的程度将其分为重要监测项目和普通监测项目。本条是库首区、库区地质缺陷、跨断裂及地震灾害监测的原则性规定。

## 10.7 地下工程变形监测

**10.7.1** 地下工程主要是指位于地下的大型工业与民用建筑工程，包括地下商场、地下车库、地下仓库、地下车站及隧道等工程项目。

地下工程所处的环境条件与地面工程全然不同，由于自然地质现象的复杂性、多样性，地下工程变形监测对于指导施工、修正设计和保证施工安全及营运安全等方面具有重要意义。实践表明，如对地下建筑物和地下隧道的变形控制不力，将出现围岩迅速松弛，极易发生冒顶塌方或地表有害下沉，并危及地表建（构）筑物的安全。

地下工程变形监测，一般分为施工阶段变形监测和运营阶段变形监测。本条按这两个阶段分别给出了相关的监测项目和主要监测内容。

**10.7.2** 地下建（构）筑物和隧道的结构、基础变形，与其埋设深度、开挖跨度、围岩类别、支护类型、施工方法等因素有关。由于水土压力的变化，势必要对地面的建（构）筑物及地下的管线设施，造成影响。本条对相关的监测项目分别给出了不同的监测精度要求。

地下建（构）筑物的监测精度，通常较地面同类建（构）筑物提高一个监测精度等级。

隧道监测精度，主要是根据铁路、公路隧道设计和施工规范中初期支护相对位移允许值，并结合隧道工程变形监测的特点综合确定的。

受影响的地面建（构）筑物的变形监测精度，是根据该建（构）筑物的重要性和变形的敏感性来确定的。

**10.7.3** 地下工程变形监测周期与埋深、地质条件、环境条件、施工方法、变形量、变形速率和监测点距开挖面的距离等因素有关。就不同监测体分别说明如下：

1 由于地下建（构）筑物的多样性和岩土工程条件的复杂性，因此，变形监测周期要根据具体情况并配合施工进度确定；

2 常见的隧道施工方法有新奥法和盾构法两种，根据施工工艺的不同，分别给出了不同的监测周期要求；

对于盾构法施工的隧道，由于隧道的管片衬砌支护和隧道掘进几乎同时进行，管片背后的注浆也能及时的跟进，该施工工艺的整体安全性较好。因此，只需对不良地质构造、断层和衬砌结构裂缝较多的隧道断面进行变形监测。

3 基坑开挖或基坑降水，会破坏周围建（构）筑物基础的土体平衡，因此要对相关建（构）筑物进行变形监测，变形监测的周期要求与基坑的安全监测同步进行；

4 隧道的掘进，会对隧道上方的地面建（构）筑物造成影响，特别是采用新奥法掘进工艺。首次观测要求在影响即将发生前进行，即在开挖面距前方监测体  $H+h$ （ $H$  为隧道埋深， $h$  为隧道高度）前进行初始观测。

5 第 5、6 两款的要求，与对地面建（构）筑物的监测要求相同，也符合变形监测的基本原则。

**10.7.5、10.7.6** 地下建（构）筑物和隧道变形监测的变形观测点布设和观测要求：

1 地下工程基准点的布设和地面的要求有所不同，根据地下工程的特点，分别给出了地下建（构）筑物和隧道基准点的布设要求；

2 地下建（构）筑物的变形观测点要求布设在主要的柱基、墩台、地下连续墙墙体、地下建筑底板上，隧道的变形观测点要求按断面布设在顶部、底部和两腰，这些都是监测体上的基本特征点。规范对新奥法的断面间距提出了具体要求（10~50m），由于盾构法施工工艺的整体安全性较好，故不做具体规定，只要求对不良地质构造、断层和衬砌结构裂缝较多部位的断面进行监测；

3 变形观测方法与地面的基本相同。收敛计适用于隧道衬砌结构收敛变形测量，作业时应注意其精度须满足位移监测的要求。

**10.7.8** 本条对受影响的不同对象，如地面建（构）筑物、地表、地下管线等的点位布设分别给出了具体要求。地下管线变形观测点采用抱箍式和套筒式标志，主要是防止对监测体造成破坏；当不能在管线上直接设点时（如燃气管道），可在管线周围土体中埋设位移传感器间接监测。

**10.7.9** 地下工程变形监测布设各种物理监测传感器（应力、应变传感器和位移计、压力计等）的目的，主要是为了监测不良地质构造、断层、衬砌结构裂缝较多部位和其他变形敏感部位的内部（深层）压力、内应力和位移的变化情况，为进一步治理和防范提供依据。

**10.7.10** 在地下工程运营期间，各种位移的变化进入相对缓慢的阶段，因此，变形监测的内容可适当减少，监测周期也可相应延长。

## 10.8 桥梁变形监测

**10.8.1** 桥梁的种类较多，主要以梁式桥、拱桥、悬索桥、斜拉桥为主。十多年来，我国各种桥梁的建设速度发展很快，桥梁的变形监测是桥梁施工安全和运营安全必不可少的内容。本条按桥梁的类型分别列出了施工期和运营期的主要监测项目。本节为规范新增内容。

**10.8.2** 特大型、大型、中小型桥梁的划分方法，可参考相关公路、铁路桥梁设计和施工规范的划分方法确定，本规范不再另行规定。

**10.8.3** GPS 测量、极坐标法、精密测（量）距、导线测量、前方交会法和水准测量是桥梁变形监测的常用方法。正垂线法和电垂直梁法分别见本规范 10.4.6 和 10.4.11 的相关说明。

**10.8.4** 温度因素是分析研究大桥结构及基础变形不可缺少的条件。因此，对重要的特大型桥梁有必要建立与变形监测同步的温度量测系统，以便掌握大桥及其基础内的温度分布与温度变化规律。水位和流速、风力和风向等是引起桥梁变形的外界因素。



**10.8.5** 本条针对桥型、桥式、桥梁结构的不同,结合本规范表 10.8.1 的监测内容,分别给出了桥墩、梁体和构件(悬臂法浇筑或安装梁体、支架法浇筑梁体、装配式拱架)、索塔、桥面、桥梁两岸边坡等不同类型的变形点位布设要求,这些都是桥梁变形监测的重要特征部位。

**10.8.6** 由于各种类型桥梁的施工工艺流程差别较大,建设周期也不同、跨越的形式不同(江河、沟谷)很难做出统一的要求。因此,本规范对桥梁施工期的变形监测周期,不做具体规定。

**10.8.7** 对桥梁运营期的变形监测,要求每年观测 1 次或每年的夏季和冬季各观测 1 次。这是保证桥梁安全运营的常规要求。洪水、地震、强台风等自然灾害的发生,会对桥梁的安全构成威胁,因此,要求在此阶段适当增加观测次数。

## 10.9 滑坡监测

**10.9.1** 滑坡是一种对工程安全有严重威胁的不良地质作用和地质灾害,可能造成重大人身伤亡和经济损失,并产生严重后果。因此,规范修订增加了滑坡监测的内容;

本条按三个阶段(前期、整治期、整治后)分别给出了主要的监测内容。降雨和山洪是山体滑坡的主要诱发因素,因此,降雨期间,有必要密切关注滑坡的动向。

**10.9.2** 本条按滑坡体的性质,将其分为岩质滑坡和土质滑坡两种,分别按水平位移、垂直位移和地表裂缝给出了相应的监测精度指标。

**10.9.3** 本条给出了滑坡监测的常用方法。当滑坡体的滑移速度较快时,也可采用其他自动化程度较高的方法。

**10.9.4** 滑坡监测变形观测点的布设方法和点位要求,是为了准确掌握滑坡体的整体滑移情况而制定的,也是根据滑坡监测部门多年来的工程经验总结出来的。

**10.9.5** 由于旱季发生滑坡的可能性较少、雨季则较多,因此,旱季可减少观测次数,雨季则要求增加观测次数。

江河水位变化会对邻近江河的滑坡体产生影响。因此,要求在滑坡监测时,要同时观测邻近的江河水位。

**10.9.6** 单元滑坡内所有监测点三年内变化不显著,可认为滑坡体已相对稳定。在周围环境无大变化时,可减少监测次数或结束阶段性监测。

**10.9.7** 边坡稳定性监测,可为工程的安全施工和运营提供重要保证。本规范将其纳入滑坡监测的范畴一并编写,其主要技术要求是相一致的。

## 10.10 核电厂变形监测

**10.10.1** 本节适用于核电厂厂区内核岛、常规岛等重要建构(筑)物、水工建筑物、边坡等在施工与运营阶段的变形监测工作。

**10.10.2** 核电厂变形监测基准网采用施工控制网次级网的点位来构成。

**10.10.4** 根据核电厂建设的性质和使用的测量仪器的情况,核电厂变形监测分为两个精度等级。一是主要建筑区,该区域建筑物基础较好,变形量相对较小,对变形的要求较高;二是附属建筑区,该区域建筑物基础相对较差,变形量相对较大,对变形的要求也低一些。因此主要建筑区采用二等变形监测精度,附属建筑区采用变形监测三等精度。

**10.10.5** 每个重要的建(构)筑物都应有独立的变形测量监测系统是核电厂建设的特殊要求。

**10.10.8** 核岛、常规岛等建(构)筑物沉降观测的周期,根据施工进度和荷载变化情况确定,由于核电厂建(构)筑物施工周期较长,因此施工期间监测时间间隔和普通工业与民用建筑相比也相应延长,确定为 3 个月 1 次。

## 10.11 数据处理与变形分析

**10.11.2** 关于监测基准网的数据处理:

- 1 观测数据的改正计算和检核计算是数据处理的首要步骤;

2 良好的观测数据，是变形监测的质量保证。规模较大的网，由于观测数据量较大，很难直接判断观测质量的高低，因此，要求进行精度评定。精度评定，可采用本规范第3、4章的相关方法或其他数理统计方法；

3 基准网平差的起算点，要求是稳定可靠的点或点组。最小二乘测量平差检验法是点位稳定性检验的常用方法。本规范提倡采用其他更好的、更可靠的统计检验方法。

**10.11.3** 监测基准网和变形监测网，只是构网内涵的不同，没有等级的差异，二者的观测方法和精度要求是完全等同的（参见本规范第10.2.4和10.3.3条的说明），故，其数据处理方法也是相同的。

**10.11.5** 本条是根据目前国内外变形分析的理论并结合监测工程的要求确定。其中的观测成果可靠性分析、累计变形量和两相邻观测周期的相对变形量分析、相关影响因素的作用分析是变形分析的基本内容，要求所有的监测项目都应该做到。回归分析和有限元分析是对较大规模或重要的监测项目的要求。

通过准确全面的变形分析，可对监测体的变形情况做出恰当的物理解释。

**10.11.6** 将《93规范》中按水平位移测量和垂直位移测量分别提交资料的要求，改为按监测工程项目提交资料。

其他影响因素的相关曲线图主要有：位移量、降雨量与时间关系曲线图、位移量与降雨量相关曲线图、位移量与地下水动态相关曲线图、深部位移量曲线图等。