

# 前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2013年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标〔2013〕6号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订了《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ 72-2004。

本标准主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 勘察方案；5 地下水勘察；6 室内试验；7 原位测试；8 岩土工程评价；9 检验和监测；10 特级勘察；11 岩土工程勘察报告。

本标准修订的主要内容是：1. 勘察等级增加了特级；2. 增加了设计参数检验术语，对抗浮设防水位的术语作了修改；3. 对天然地基勘察方案勘探点布设，在花岗岩残积土地地区的钻孔深度和连续记录的静力触探或动力触探测试的数量作了调整；4. 对综合确定抗浮设防水位作了修改和补充；5. 增加了按复合地基载荷试验测求的复合地基变形模量  $E_{0,sp}$  估算复合地基变形量的方法；6. 取消了用静力触探试验成果估算预制桩单桩极限承载力；7. 增加了回弹模量和回弹再压缩模量室内试验要点及估算回弹量和回弹再压缩量的公式；8. 对采用标准贯入试验成果估算预制桩竖向极限承载力作了修改和调整；9. 对嵌岩灌注桩岩石极限侧阻力、极限端阻力经验值作了修改和调整；10. 对泥浆护壁灌注桩不同岩土的抗拔系数  $\lambda$  作了补充规定。

本标准由住房和城乡建设部负责管理，由机械工业勘察设计院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送机械工业勘察设计院有限公司（地址：西安市咸宁中路51号，邮编：710043）。

本标准主编单位：机械工业勘察设计研究院有限公司

本标准参编单位：北京市勘察设计研究院有限公司

上海岩土工程勘察设计研究院有限公司

深圳市勘察测绘院有限公司

中国建筑科学研究院

建设综合勘察研究设计院有限公司

同济大学

上海长凯岩土工程有限公司

深圳市建设综合勘察设计院有限公司

本标准主要起草人员：张 炜 张旷成 沈小克 顾国荣

丘建金 周宏磊 张继文 杨石飞

陈 晖 郭明田 高文生 高广运

高术孝 张文华 侯东利 张 武

本标准主要审查人员：龚晓南 戴一鸣 王步云 顾晓鲁

徐张建 梁金国 化建新 康景文

王卫东 王笃礼 崔鼎九

# 目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	7
4	勘察方案	13
4.1	一般规定	13
4.2	天然地基	14
4.3	桩基	17
4.4	复合地基	18
4.5	基坑工程	20
5	地下水勘察	22
6	室内试验	25
7	原位测试	27
8	岩土工程评价	33
8.1	场地稳定性评价	33
8.2	天然地基评价	34
8.3	桩基评价	39
8.4	复合地基评价	44
8.5	高低层建筑差异沉降评价	46
8.6	地下室抗浮评价	48
8.7	基坑工程评价	51
9	检验和监测	53
9.1	设计参数检验	53
9.2	施工检验	54

9.3 现场监测	55
10 特级勘察	58
11 岩土工程勘察报告	63
11.1 一般规定	63
11.2 勘察报告主要内容和要求	63
11.3 图表及附件	65
附录 A 回弹模量和回弹再压缩模量室内试验要点	67
附录 B 天然地基极限承载力估算	69
附录 C 用变形模量 $E_0$ 估算天然和复合地基最终沉降量	72
附录 D 标准贯入试验成果估算预制桩竖向极限承载力	77
附录 E 大直径桩端阻力载荷试验要点	80
附录 F 原位测试参数估算群桩基础最终沉降量	82
附录 G 抗浮桩和抗浮锚杆抗拔静载荷试验要点	86
附录 H 竖向和水平向基准基床系数载荷试验要点	89
附录 J 回弹变形和回弹再压缩变形计算用表	90
本标准用词说明	93
引用标准名录	94

# Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	3
3	Basic Requirements .....	7
4	Investigation Plan .....	13
4.1	General Requirements .....	13
4.2	Natural Ground .....	14
4.3	Piled Foundation .....	17
4.4	Composite Ground .....	18
4.5	Excavation Engineering .....	20
5	Groundwater Investigation .....	22
6	Laboratory Tests .....	25
7	In-situ Tests .....	27
8	Geotechnical Engineering Evaluation .....	33
8.1	Site Stability .....	33
8.2	Natural Ground .....	34
8.3	Piled Foundation .....	39
8.4	Composite Foundation .....	44
8.5	Differential Settlements of Variable-rise Building-Complex .....	46
8.6	Prevention of Basement Up-Floating .....	48
8.7	Excavation Engineering .....	51
9	Verification and Monitoring .....	53
9.1	Design Parameter Verification .....	53

9.2	In-Situ Inspection .....	54
9.3	On-spot Monitoring .....	55
10	Geotechnical Investigation Special Grade .....	58
11	Geotechnical Investigation Report .....	63
11.1	General Requirements .....	63
11.2	Main Contents and Requirements of Report .....	63
11.3	Charts and Accessories .....	65
Appendix A	Key Points for Laboratory Tests of Rebound Deformation and Rebound Recompression Deformation Moduli .....	67
Appendix B	Estimation of Natural Ground Ultimate Bearing Capacity .....	69
Appendix C	Estimation of the Final Settlement of Natural and Composite Ground by the Deformation Moduli $E_0$ .....	72
Appendix D	Estimation of Ultimate Vertical Capacity of Precast Pile by Standard Penetration Test .....	77
Appendix E	Key Points for Tip Resistance Load Test of Large Diameter Pile .....	80
Appendix F	Estimation of Final Settlement of Group Pile Using In-situ Test Parameter .....	82
Appendix G	Key Points for Uplift Load Test of Anti-floating Pile and Anti-floating Anchor .....	86
Appendix H	Key Points For Load Test of Vertical and Horizontal Base Coefficients of Subgrade Reaction .....	89
Appendix J	Calculating Table for Determining Rebound Deformation and the Rebound-Recompression	

Deformation .....	90
Explanation of Wording in This Standard .....	93
List of Quoted Standards .....	94

住房和城乡建设部信息公开  
浏览专用

# 1 总 则

**1.0.1** 为在高层建筑岩土工程勘察中贯彻执行国家技术经济政策，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量和保护环境，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于高层建筑和高耸结构的岩土工程勘察。

**1.0.3** 高层建筑和高耸结构的岩土工程勘察除应符合本标准规定外，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 高层建筑岩土工程勘察** geotechnical investigation of tall buildings

采用工程地质测绘与调查、勘探、原位测试、室内试验等针对性的勘察手段和方法，对高层建筑和高耸结构场地稳定性、地基稳定性、地基岩土条件、地下水以及它们与工程之间的相互关系进行调查，并在此基础上对高层建筑地基基础、基坑工程等作出工程评价和预测建议。

**2.1.2 一般性勘探点** general exploratory point

为查明地基主要受力层性质，满足主要受力层地基承载力评价等问题的需要布设的勘探点。

**2.1.3 控制性勘探点** control exploratory point

为控制场地地层结构，满足场地、地基基础和基坑工程的稳定性、变形等评价要求布设的勘探点。

**2.1.4 取样、测试勘探点** exploratory point for sampling or in-situ testing

采取不扰动土试样、岩石试样或进行原位测试的勘探点。

**2.1.5 基准基床系数** basic coefficient of subgrade reaction

采用边长为 300mm 的方形标准刚性承压板的静力载荷试验，测取得半无限空间地基竖向或水平向表面某点的压力强度与该点相应变形的比值。

**2.1.6 抗浮设防水位** ground water level for prevention of up-floating

为满足地下结构抗浮设防安全及抗浮设计技术经济合理的需要，根据场地水文地质条件、地下水长期观测资料和地区经验，

预测地下结构在施工期间和使用年限内可能遭遇到的地下水最高水位，用于设计按静水压力计算作用于地下结构基底的最大浮力。

### 2.1.7 突涌 piping

弱透水土层的自重压力小于其下部承压水水头压力时，土体隆起破坏并同时发生喷水、冒砂的现象，系黏性土渗流破坏的一种形式。

### 2.1.8 设计参数检验 design parameter verification

在设计、施工期间，对地基基础和基坑工程设计中的控制性设计参数进行检验校核的各种原位测试工作。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 几何参数

$A$ ——基础底面积；

$A_p$ ——桩端面积；

$B$ ——假想实体基础的等效基础宽度；

$b$ ——基础底面宽度；

$d$ ——基础埋置深度或桩身直径；

$d_c$ ——控制性勘探孔深度；

$d_g$ ——一般性勘探孔深度；

$L$ ——建筑物长度；

$l$ ——桩长度、分段桩长或基础长度；

$H_g$ ——自室外地面算起的建筑物高度；

$h_{ri}$ ——桩身全断面嵌入第  $i$  层中风化、微风化岩层内长度；

$u$ ——桩身周长；

$u_l$ ——桩群外围周长；

$u_r$ ——嵌岩桩嵌岩段周长。

### 2.2.2 土、岩性能指标与性质参数

$a$ ——压缩系数；

$c$ ——黏聚力；  
 $C_c$ ——压缩指数；  
 $C_r$ ——回弹再压缩指数；  
 $C_s$ ——回弹指数；  
 $c_u$ ——十字板剪切强度；  
 $C_v$ ——固结系数；  
 $e$ ——孔隙比；  
 $E_0$ ——土的变形模量；  
 $E_m$ ——旁压模量；  
 $E_r$ ——回弹模量；  
 $E_{rc}$ ——回弹再压缩模量；  
 $E_s$ ——土的压缩模量；  
 $d_s(G_s)$ ——岩土体的相对密度（比重）；  
 $I_L$ ——液性指数；  
 $k$ ——渗透系数；  
 $p_c$ ——土的先期固结压力；  
 $\gamma$ ——土的重力密度；  
 $\mu$ ——土的泊松比；  
 $w$ ——含水量，含水率；  
 $\varphi$ ——内摩擦角。

### 2.2.3 原位测试参数、指标

$f_s$ ——双桥静力触探侧壁摩阻力；  
 $K_v$ 、 $K_h$ ——竖向、水平向基准基床系数；  
 $N_{63.5}$ ——重型圆锥动力触探试验实测锤击数；  
 $N_{120}$ ——超重型圆锥动力触探试验实测锤击数；  
 $p_t$ ——旁压试验临塑压力；  
 $p_L$ ——旁压试验极限压力；  
 $N$ ——标准贯入试验实测锤击数；  
 $p_s$ ——单桥静力触探比贯入阻力；  
 $q_c$ ——双桥静力触探锥头阻力；

$T$ ——场地土的卓越周期；

$v_s$ ——剪切波波速。

#### 2.2.4 抗力、作用与效应参数

$f_a$ ——深宽修正后的地基承载力特征值；

$f_{ak}$ ——地基承载力特征值；

$f_{hak}$ ——原位测试深度处均一土层的地基承载力特征值；

$f_{hu}$ ——原位测试深度处均一土层的地基极限承载力；

$f_r$ ——岩石饱和单轴极限抗压强度；

$f_u$ ——由极限承载力公式计算的地基极限承载力；

$f_{sk}$ ——复合地基加固后桩间土承载力特征值；

$f_{spk}$ ——复合地基承载力特征值；

$F_a$ ——抗浮桩或抗浮锚杆抗拔承载力特征值；

$k_0$ ——静止侧压力系数；

$p$ ——对应于荷载效应准永久组合时的基底平均压力；

$p_0$ ——对应于荷载效应准永久组合时的基底平均附加压力，旁压试验初始压力或载荷试验求得的比例界限压力；

$p_z$ ——土的有效自重压力；

$q_{pr}$ ——桩端岩石极限端阻力；

$q_{ps}$ ——桩端土极限端阻力；

$q_{sir}$ ——桩侧第  $i$  层岩层极限侧阻力；

$q_{sis}$ ——桩侧第  $i$  层土的极限侧阻力；

$Q_u$ ——单桩竖向极限承载力；

$Q_{ul}$ ——单桩抗拔极限承载力；

$R_a$ ——单桩竖向承载力特征值。

#### 2.2.5 计算参数

$A_i$ ——平均附加应力系数在第  $i$  层土的层位深度内积分值；

$E_s$ ——在钻孔位置处、地基变形计算深度范围内的岩土层

压缩模量当量值；

$m$ ——面积置换率；

$s$ ——基础沉降量或载荷试验沉降量；

$z_n$ ——沉降计算深度。

### 2.2.6 系数

$K$ ——安全系数，地基不均匀系数限值；

$N_\gamma$ 、 $N_q$ 、 $N_c$ ——地基承载力系数；

$\zeta_\gamma$ 、 $\zeta_q$ 、 $\zeta_c$ ——基础形状系数；

$\psi_s$ ——沉降计算经验系数。

### 3 基本规定

**3.0.1** 高层建筑岩土工程勘察，应针对高层建筑特点，重视地区经验，广泛搜集资料，明确勘察任务要求，采用有针对性的勘察手段，提出资料真实准确、评价合理、建议可行的岩土工程勘察报告或工程咨询报告。

**3.0.2** 高层建筑岩土工程勘察的勘察等级，应根据高层建筑规模和特征、场地、地基复杂程度以及破坏后果的严重程度，划分为三个等级，具体划分时，应符合表 3.0.2 的规定。

表 3.0.2 高层建筑岩土工程勘察等级划分

勘察等级	高层建筑规模和特征、场地和地基复杂程度及破坏后果的严重程度
特级	符合下列条件之一，破坏后果很严重： 1 高度超过 250m（含 250m）的超高层建筑； 2 高度超过 300m（含 300m）的高耸结构； 3 含有周边环境特别复杂或对基坑变形有特殊要求基坑的高层建筑
甲级	符合下列条件之一，破坏后果很严重： 1 30 层（含 30 层）以上或高于 100m（含 100m）但低于 250m 的超高层建筑（包括住宅、综合性建筑和公共建筑）； 2 体型复杂、层数相差超过 10 层的高低层连成一体的高层建筑； 3 对地基变形有特殊要求的高层建筑； 4 高度超过 200m，但低于 300m 的高耸结构，或重要的工业高耸结构； 5 地质环境复杂的建筑边坡上、下的高层建筑； 6 属于一级（复杂）场地，或一级（复杂）地基的高层建筑； 7 对既有工程影响较大的新建高层建筑； 8 含有基坑支护结构安全等级为一级基坑工程的高层建筑

续表 3.0.2

勘察等级	高层建筑规模和特征、场地和地基复杂程度及破坏后果的严重程度
乙级	符合下列条件之一，破坏后果严重： 1 不符合特级、甲级的高层建筑和高耸结构； 2 高度超过 24m、低于 100m 的综合性建筑和公共建筑； 3 位于邻近地质条件中等复杂、简单的建筑边坡上、下的高层建筑； 4 含有基坑支护结构安全等级为二级、三级基坑工程的高层建筑

- 注：1 建筑边坡地质环境复杂程度按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 划分判定；
- 2 场地复杂程度和地基复杂程度的等级按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 判定；
- 3 基坑支护结构的安全等级按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 判定。

### 3.0.3 勘察阶段的划分应符合下列规定：

1 对勘察等级为特级或复杂场地、复杂地基的高层建筑岩土工程勘察，勘察阶段应划分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察三个阶段；

2 当场地勘察资料缺乏、建筑总平面布置未定，对勘察等级为甲级的单体高层建筑，或勘察等级为甲级和乙级的高层建筑群的岩土工程勘察，勘察阶段应分为初步勘察和详细勘察两阶段；

3 当场地已有勘察资料能满足初步设计要求，且建筑总平面位置已定时，对甲级和乙级的单体高层建筑，可将初步勘察和详细勘察两阶段合并为一阶段，直接进行详细勘察；

4 当场地和地基复杂，施工中可能出现或已出现有关岩土工程问题时，应进行施工勘察；

5 基槽开挖到底后，应进行施工验槽和验桩。

### 3.0.4 进行勘察工作前，应详细了解和研究勘察技术要求，并应依据勘察阶段取得委托方提供的下列资料：

1 可行性研究勘察应取得的资料包括：

- 1) 拟建高层建筑的场址地点、占地面积和征地情况；
  - 2) 高层建筑的高度，结构类型、地下室层数；
  - 3) 场地周边环境，包括既有建筑、道路和地表水体的有关情况；
  - 4) 设计方的技术要求。
- 2 初步勘察应取得的资料包括：
- 1) 建设场地建筑红线角点坐标；附有主楼、裙房、地下室位置的平面图；建筑群的幢数及平面位置；
  - 2) 建筑的层数和高度，地下室的层数；
  - 3) 场地的拆迁及分期建设情况；
  - 4) 勘察场地周边环境条件，既有地下管线及其他地下设施情况；
  - 5) 设计方的技术要求。
- 3 详细勘察前应取得的资料包括：
- 1) 附有建筑红线角点坐标、地形等高线和 $\pm 0.00$ 高程的建筑总平面布置图；
  - 2) 建筑结构类型、特点、层数、总高度和地下室层数；
  - 3) 预计的地基基础类型、平面尺寸、荷载、埋置深度和允许变形要求等；
  - 4) 场地地表水汇集及排泄情况；
  - 5) 地质灾害评估资料，超限高层建筑地震安全性评价报告；
  - 6) 勘察场地周边环境条件，包括既有建筑基础类型、埋深、既有道路等级、既有地下管线及其他地下设施情况；
  - 7) 设计方的技术要求。
- 3.0.5** 各勘察阶段的勘察方案，应根据高层建筑规模和结构特征、场地和地基复杂程度、委托方的要求，由勘察单位制定。
- 3.0.6** 可行性研究勘察应以搜集资料和工程地质调查为主，从工程地质和岩土工程的角度对拟建高层建筑的可行性、适宜性作



出评价并提出建议，并应符合下列规定：

1 应根据区域性地质资料从断裂稳定性、地震稳定性、斜坡稳定性、岩溶稳定性、特殊岩土稳定性等方面，初步判断场地对拟建高层建筑的可行性和适宜性；

2 当已有地质资料不足，对影响项目建设的可行性和适宜性问题作出明确判断依据不充分时，宜进行工程地质测绘和少量针对性的勘探、测试工作；

3 可行性研究勘察报告应对所选场址、建设拟建高层建筑的可行性、适宜性作出判断、比选和评价，对后续的勘察程序及勘察要解决的重点问题、勘探测试手段等提出意见和建议。

**3.0.7** 初步勘察阶段应在查明地貌、不良地质作用、特殊性岩土、地层结构、岩土特性和地下水埋藏条件的基础上，对场地稳定性和适宜性作出评价；对地基基础方案选型进行初步论证，并提供相关资料、参数和建议，并应符合下列规定：

1 应查明场地所处地貌单元形态和类型；

2 应查明断裂、斜坡、岩溶、地震和特殊岩土等对场地稳定性的影响，提出避让或整治措施的建议；

3 应查明场地地层时代、成因、地层结构、风化带和岩土物理力学性质，对地基基础方案和基坑支护方案选型进行初步论证和评价；

4 应查明地下水类型、补给、径流、排泄条件、年变化幅度和腐蚀性，应从初步勘察阶段起设置地下水观测孔进行长期观测。

**3.0.8** 详细勘察阶段采取的勘探、测试手段应具有针对性，应详细查明场地工程地质条件和地下水埋藏条件；应为评价、计算地基稳定性、承载力、土压力和变形提供所需资料和参数指标；应为地基基础设计、不良地质作用和特殊性岩土治理、抗浮设计、基坑支护设计、地下水控制等提出建议。

**3.0.9** 详细勘察阶段应符合下列规定：

1 应详细查明建筑场地地层结构和岩土物理力学性质，并

重点查明基础下软弱和坚硬地层的分布及其特性；对于岩质地基和岩质基坑工程，应查明岩石坚硬程度、岩体完整程度、基本质量等级、各风化带厚度及主要结构面的产状；

2 应查明地下水的初见及稳定水位、埋藏条件、类型、补给、径流及排泄条件、季节变化幅度和腐蚀性；应对抗浮设防水位、主要岩土层的渗透系数、基坑工程中地下水控制措施提出建议；当建议采用降水控制措施时，应评价降水对周边环境的影响；

3 根据高层建筑的勘察等级和场地工程地质、水文地质条件，应对地震效应、地基基础方案选型进行论证分析并提出建议；

4 当建议采用天然地基时，应对地基的均匀性、承载力、软弱下卧层、变形、横向倾斜等进行分析评价；应提供设计计算所需各种参数、指标；宜对持力层选择、基础埋深等提出建议；

5 当建议采用复合地基时，应对复合地基增强体类型、持力层选择进行分析评价；

6 当建议采用桩基时，应对桩基类型、持力层选择进行分析评价；应提供桩的极限侧阻力、极限端阻力和变形计算的有关参数；宜对沉桩或成桩可行性、施工对环境的影响和应注意的问题提出建议；

7 高层建筑岩土工程勘察应包括基坑工程勘察的内容，通过勘察应对基坑工程的设计、施工方案提出意见和建议；宜建议各侧边涵盖最不利因素、供设计用于计算的地质剖面；应提供计算基坑稳定性、土压力、变形所需的参数；

8 对开挖深度超过 15m 的土质和风化岩基坑，宜提供回弹模量和回弹再压缩模量，需要时应布设回弹观测，实测基坑的回弹量；对天然地基或复合地基宜在开挖卸荷后基础底面处进行载荷试验，为最终确定天然地基承载力特征值或复合地基承载力特征值和变形参数进行验证；

9 应对不良地质作用和特殊岩土的防治提出建议，提供所

需参数；

10 应对初步勘察中遗留的有关问题提出结论性意见。

3.0.10 高层建筑应从底板施工起进行沉降观测；基坑工程应从围护结构施工起，对支护结构、邻近建筑道路和管线的变形、支护结构应力等进行监测；并宜进行设计参数检验和施工检验。

## 4 勘察方案

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 高层建筑可行性研究勘察、初步勘察阶段勘察方案的编制除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定外，尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

**4.1.2** 高层建筑初步勘察除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的相关规定外，尚应符合下列规定：

1 勘探点的布置应能控制整个建筑场地，勘探线的间距宜为 50m~100m，勘探点的间距宜为 30m~50m；

2 每栋高层建筑不宜少于一个控制性勘探点；

3 勘探点深度应满足查明地层结构、评价场地稳定性、确定地基承载力、确定场地覆盖层厚度、进行变形计算等所需深度的要求。

**4.1.3** 详细勘察阶段勘探点的平面布置，应根据高层建筑平面形状、荷载的分布情况确定，并应符合下列规定：

1 当高层建筑平面为矩形时，应按双排布置；当为不规则形状时，宜在凸出部位的阳角和凹进的阴角布设勘探点；

2 在高层建筑层数、荷载和建筑体形变异较大位置处，应布设勘探点；

3 对勘察等级为甲级的高层建筑，当基础宽度超过 30m 时，应在中心点或电梯井、核心筒部位布设勘探点；

4 独栋高层建筑的勘探点数量，对勘察等级为甲级及其以上的不应少于 5 个，乙级不应少于 4 个；控制性勘探点的数量，对勘察等级为甲级及其以上的不应少于 3 个，乙级不应少于 2 个；

5 湿陷性黄土、膨胀土、红黏土等特殊岩土应布设适量

的探井；

6 高层建筑群可按建筑物并结合方格网布设勘探点。相邻的高层建筑，勘探点可互相共用，控制性勘探点的数量不应少于勘探点总数的 1/2。

**4.1.4** 详细勘察阶段采取不扰动土试样和原位测试数量应符合下列规定：

1 独栋高层建筑采取不扰动土试样和原位测试勘探点的数量不宜少于全部勘探点总数的 2/3，对勘察等级甲级及其以上者不宜少于 4 个，对乙级不宜少于 3 个；

2 独栋高层建筑每一主要土层，采取不扰动土试样或十字板剪切、标准贯入试验等原位测试数量不应少于 6 件（组、次），当采用连续记录的静力触探或动力触探时，不应少于 3 个孔；

3 同一建筑场地当有多栋高层建筑时，每栋建筑的数量可适当减少。

**4.1.5** 对于深层土体，黏性土宜采用三重管单动回转取土器，砂土宜采用环刀取土器。

**4.1.6** 根据工程需要和对不易取得 I 级不扰动土样的土类，应布置适宜的原位测试方法评价其工程性质。

**4.1.7** 评价土的湿陷性、膨胀性、饱和砂土和粉土地震液化、确定场地覆盖层厚度、查明地下水渗透性等勘探点深度和测试试验深度，尚应符合国家现行有关规范的要求。

**4.1.8** 在断裂破碎带、冲沟地段、地裂缝等不良地质作用发育场地及位于斜坡上或坡脚下的高层建筑，当需进行整体稳定性验算时，控制性勘探点的深度应满足评价和验算的要求。

## 4.2 天然地基

**4.2.1** 详细勘察阶段勘探点间距应根据高层建筑勘察等级控制在 15m~30m 范围内，并应符合下列规定：

- 1 勘察等级为甲级及其以上宜取较小值，乙级可取较大值；
- 2 在暗沟、塘、浜、湖泊沉积地带和冲沟地区，在岩性差

异显著或基岩面起伏很大的基岩地区，在断裂破碎带、地裂缝等不良地质作用场地，勘探点间距宜取小值并可适当加密；

3 在浅层岩溶发育地区，宜采用浅层地震勘探和孔间地震 CT 或孔间电磁波 CT 测试等地球物理勘探与钻探相配合进行，查明溶洞和土洞发育程度、范围和连通性。钻孔间距宜取小值或适当加密，溶洞、土洞密集时宜在每个柱基下布置勘探点。

#### 4.2.2 高层建筑详细勘察阶段勘探孔的深度应符合下列规定：

1 控制性勘探点深度应超过地基变形计算深度。

2 控制性勘探点深度，对于箱形基础或筏形基础，在不具备变形深度计算条件时，可按下列式计算确定：

$$d_c = d + \alpha_c \beta b \quad (4.2.2-1)$$

式中： $d_c$ ——控制性勘探点的深度（m）；

$d$ ——箱形基础或筏形基础埋置深度（m）；

$\alpha_c$ ——与土的压缩性有关的经验系数，根据基础下的地基主要上层按表 4.2.2 取值；

$\beta$ ——与高层建筑层数或基底压力有关的经验系数，对勘察等级为甲级的高层建筑可取 1.1，对乙级高层建筑可取 1.0；

$b$ ——箱形基础或筏形基础宽度，对圆形基础或环形基础，按最大直径考虑，对不规则形状的基础，按面积等代方形、矩形或圆形面积的宽度或直径考虑（m）。

表 4.2.2 经验系数  $\alpha_c$ 、 $\alpha_g$  值

值别 \ 土类	碎石土	砂土	粉土	黏性土 (含黄土)	软土
$\alpha_c$	0.5~0.7	0.7~0.8	0.8~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0
$\alpha_g$	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.7	0.7~1.0	1.0~1.5

注：1 表中范围值对同一类土中，地质年代老、密实或地下水位深者取小值，反之取大值；

2  $b \geq 50\text{m}$  时取小值， $b \leq 20\text{m}$  时，取大值， $b$  为 20m~50m 时，取中间值。

3 一般性勘探点的深度应适当大于主要受力层的深度，对于箱形基础或筏形基础可按下列式计算确定：

$$d_g = d + \alpha_g \beta b \quad (4.2.2-2)$$

式中： $d_g$ ——一般性勘探点的深度（m）；

$\alpha_g$ ——与土的压缩性有关的经验系数，根据基础下的地基主要土层按表 4.2.2 取值。

4 一般性勘探点，在预定深度范围内，有比较稳定且厚度超过 3m 的坚硬地层时，可钻入该层适当深度并能正确定名和判明其性质；当在预定深度内遇软弱地层时应加深或钻穿。

5 在基岩和浅层岩溶发育地区，当基础底面下的土层厚度小于地基变形计算深度时，一般性钻孔应钻至完整、较完整基岩面；控制性钻孔应深入完整、较完整基岩不小于 5m；专门查明溶洞或土洞的钻孔深度应深入洞底完整地层不小于 5m。

6 在花岗岩地区，对箱形或筏形基础，勘探孔宜穿透强风化岩至中等风化、微风化岩，控制性勘探点宜进入中等、微风化岩 3m~5m，一般性勘探点宜进入中等、微风化岩 1m~2m；当强风化岩很厚时，勘探点深度宜穿透强风化中带，进入强风化下带，控制性勘探点宜进入 3m~5m，一般性勘探点宜进入 1m~2m。

4.2.3 采取不扰动土试样或进行原位测试的竖向间距，基础底面下 1.0 倍基础宽度内宜按 1m~2m，基础底面下 1.0 倍基础宽度以下可根据土层变化情况适当加大距离。

4.2.4 采取岩土试样和进行原位测试除应符合本标准第 4.1.5 条规定外，尚应符合下列规定：

1 在地基主要受力层内，对厚度大于 0.5m 的夹层或透镜体，应采取不扰动土试样或进行原位测试；

2 当土层性质不均匀时，应增加取土数量或原位测试次数；

3 岩石试样的数量每层不应少于 6 件（组），以中等风化、微风化岩石作为持力层时，每层不宜少于 9 件（组）；

4 地下室侧墙计算、基坑稳定性计算或锚杆设计所需的抗剪强度指标试验，每主要土层采取不扰动土试样不应少于 6 件（组）。

4.2.5 对勘察等级为甲级及其以上的高层建筑，或工程经验缺乏，或研究程度较差的地区，应布设静载荷试验确定天然地基持力层的承载力特征值和变形模量。

### 4.3 桩 基

4.3.1 端承型桩勘探点平面布置应符合下列规定：

1 勘探点应按柱列线布设，其间距应能控制桩端持力层面和厚度的变化，宜为 12m~24m；

2 对荷载较大或复杂地基的一柱一桩工程，应每柱设置勘探点；

3 在勘探过程中发现基岩中有构造破碎带，或桩端持力层为软硬互层且厚薄不均，或相邻勘探点所揭露桩端持力层面坡度超过 10%，勘探点应适当加密；

4 岩溶发育场地，当以基岩作为桩端持力层时应按柱位布孔，同时应辅以各种有效的地球物理勘探手段，应查明拟建场地范围及有影响地段的各种岩溶洞隙和土洞的位置、规模、埋深、岩溶堆填物性状和地下水特征。

4.3.2 摩擦型桩勘探点平面布置应符合下列规定：

1 勘探点应按建筑物周边或柱列线布设，其间距宜为 20m~30m，当相邻勘探点揭露的主要桩端持力层或软弱下卧层层位变化较大，影响桩基方案选择时，应适当加密勘探点；

2 对基础宽度大于 30m 的高层建筑，其中心宜布设勘探点；带有裙楼或外扩地下室的高层建筑勘探点布设时应将裙楼和外扩地下室与主楼一同考虑。

4.3.3 端承型桩勘探孔的深度应符合下列规定：

1 当以可压缩地层（包括全风化和强风化岩）作为独立桩基桩端持力层时，勘探点深度应能满足沉降计算的要求，控制性勘探点的深度应深入预计桩端持力层以下  $5d\sim 8d$ （ $d$  为桩身直径，或方桩的换算直径），直径大的桩取小值，直径小的桩取大值，且不应小于 5m；一般性勘探点的深度应达到预计桩端下



$3d \sim 5d$ ,且不应小于 3m;

2 对一般岩质地基的嵌岩桩,控制性勘探点应钻入预计嵌岩面以下  $3d \sim 5d$ ,且不应小于 5m,一般性勘探点深度应钻入预计嵌岩面以下  $1d \sim 3d$ ,且不应小于 3m;

3 对花岗岩地区的嵌岩桩,控制性勘探点深度应进入中等、微风化岩 5m~8m,一般性勘探点深度应进入中等、微风化岩 3m~5m;

4 对于岩溶、断层破碎带地区,勘探点应穿过溶洞或断层破碎带进入稳定地层,进入深度不应小于  $3d$ ,且不应小于 5m;

5 具多韵律薄层状的沉积岩或变质岩,当风化带内强风化、中等风化、微风化岩呈互层出现时,对拟以微风化岩作为持力层的嵌岩桩,勘探点深度进入微风化岩不应小于 5m。

#### 4.3.4 摩擦型桩勘探点的深度应符合下列规定:

1 一般性勘探点的深度应进入预计桩端持力层或预计最大桩端入土深度以下不小于 5m;

2 控制性勘探点的深度应达群桩桩基(假想的实体基础)沉降计算深度以下 1m~2m,群桩桩基沉降计算深度宜取桩端平面以下附加应力为上覆土有效自重压力 20%的深度,或按桩端平面以下  $1B \sim 1.5B$  ( $B$  为假想实体基础宽度)的深度考虑。

#### 4.3.5 桩基勘察的岩土试样采取及原位测试应符合本标准第 4.1.5 条规定外,尚应符合下列规定:

1 当采用嵌岩桩时,其桩端持力层的每种岩层,每个建筑场地应采取不少于 9 组的岩样进行天然和饱和单轴极限抗压强度试验;

2 以不同风化带作桩端持力层的桩基工程,勘察等级为甲级及以上时控制性钻孔宜进行波速测试,按波速值、波速比或风化系数划分岩石风化程度,划分标准应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定。

## 4.4 复合地基

### 4.4.1 对拟采用复合地基的场地,勘察前应收集本地区同类高

层建筑的复合地基工程经验和附近场地的地质资料，确定本地区复合地基设计与施工的关键岩土工程问题以及复合地基勘察的重点任务和关键内容，明确复合地基现场试验的必要性和基本要求。

**4.4.2** 勘察方案应根据建筑地基处理目的和增强体类型进行布设，并应符合下列规定：

1 应查明建筑场地各岩土层分布及性状和地下水的分布及类型，并取得各岩土层承载力特征值、压缩模量以及计算单桩承载力、变形等所需的参数；

2 应查明相对软弱土层的分布范围、深度和厚度情况，以及设计、施工所需的有关技术资料；

3 应查明适宜作为桩端持力层的土层埋深、厚度及其物理力学性质，以及地基土的承载力特征值；

4 对黏性土地基，应取得地基土的压缩模量、不排水抗剪强度、含水量、地下水位及 pH 值、有机质含量等指标；对饱和软黏性土地基，尚应取得灵敏度、固结系数等指标；

5 对湿陷性黄土地基，应重点查明场地湿陷类型、地基湿陷等级、湿陷性土层的分布范围，非湿陷性土层的埋深及性质，提供地基土的湿陷系数、自重湿陷系数、干密度、含水量、最大干密度和最优含水量等指标；

6 对砂土、粉土地基，应重点查明建筑场地液化等级，提供地基土层的标准贯入试验锤击数、静力触探试验比贯入阻力或锥尖阻力和侧壁摩阻力、密实度和液化土层的层位及厚度。

**4.4.3** 当高层建筑拟采用复合地基时，勘探点布设和勘探深度应符合下列规定：

1 勘探点平面布设应按天然地基勘察方案布设，并应符合本标准第 4.2 节的规定；当适宜作为桩端持力层的土层顶面高程、厚度变化较大时，应加密勘探点，查明其变化；

2 勘探点深度应符合本标准第 4.3 节桩基勘察的要求，查明适宜作为桩端持力层的地层分布情况和下卧岩土层的性状。

## 4.5 基坑工程

**4.5.1** 基坑工程勘察应与高层建筑地基勘察同步进行。当已有勘察资料不满足要求时，应对基坑工程进行补充勘察。

**4.5.2** 基坑工程勘察前，应取得委托方提供的下列资料：

- 1 本基坑的外轮廓线，开挖深度；
- 2 周边道路和各类地下管线的资料；
- 3 邻近地下工程的基本情况；
- 4 邻近建（构）筑物的结构类型、层数、地基与基础类型、埋深、持力层等资料；
- 5 周边地表水汇集、排泄以及地下管网渗漏情况。

**4.5.3** 勘察范围应根据开挖深度和场地的岩土工程条件确定，宜在开挖边界线外 1 倍~2 倍开挖深度范围内布置适量勘探点，深厚软土地基、膨胀土地基可适当扩大范围；当开挖边界外无法进行勘探时，应通过调查和搜集取得相应资料。

**4.5.4** 勘探点应沿基坑各侧边布设，其间距应根据地层复杂程度确定，宜取 15m~30m，且每一侧边的剖面线勘探点不宜少于 3 个。当场地存在软土、饱和粉细砂、深厚填土、暗沟、暗塘等特殊地段以及岩溶地区，应适当加密勘探点，查明其分布和工程特性。

**4.5.5** 勘探点的深度不宜小于基坑开挖深度的 2 倍，并应穿过软弱土层和饱和砂层。当在要求的勘探深度内遇到微风化岩石时，控制性勘探点深度可进入微风化岩 3m~5m，一般性勘探点深度可进入微风化岩 1m~3m，每个侧边控制性勘探点数量不宜少于该侧边勘探点数量的 1/3，且不宜少于 1 个。

**4.5.6** 对岩质基坑，勘察工作应以工程地质测绘、调查为主，以钻探、地球物理勘探、原位测试及室内试验为辅；基坑施工期间，宜进行施工地质工作，应查明的内容如下：

- 1 岩石的坚硬程度、完整程度和风化带的划分；
- 2 软弱外倾结构面等主要结构面的力学属性、产状、延伸长度、结合程度、充填物状态、充水状况，组合关系与临空面的关系；

3 坡体的含水状况等。

**4.5.7** 基坑工程勘察试样采取、室内试验和原位测试，除应符合本标准第 4.1.5 条采样规定外，尚应符合下列规定：

1 室内试验应符合下列规定：

- 1) 抗剪强度试验除常规的快剪及固结快剪试验外，尚应进行三轴固结不排水试验和三轴不固结不排水试验；
- 2) 对饱和软土应进行高压固结试验判定其应力历史，必要时，测定其黏粒含量；
- 3) 对砂土应作休止角试验，并宜进行颗粒分析试验，绘制颗粒粒径分布曲线；
- 4) 当人工素填土厚度大于 3.0m 时，应进行重度和抗剪强度试验；
- 5) 对岩质基坑，当存在顺层或外倾岩体软弱结构面时，宜在现场或室内测定结构面的抗剪强度。

2 原位测试应符合下列规定：

- 1) 对一般黏性土和砂土应进行标准贯入试验；
- 2) 对淤泥、淤泥质土应进行十字板剪切和静力触探试验；
- 3) 对碎石土和厚度大于 3.0m 的杂填土应进行重型或超重型动力触探试验；
- 4) 当设计需要时可进行基准基床系数载荷试验、扁铲侧胀试验或旁压试验。

**4.5.8** 对场地地下水的勘察，除应符合本标准第 5 章要求外，尚应符合下列规定：

1 当含水层为卵石层或含卵石颗粒的砂层时，应详细描述或测求卵石的颗粒组成、粒径大小；

2 当附近有地表水体时，宜在其间布设一定数量的勘探孔或观测孔，查明地下水与地表水体之间的水力联系；

3 当场地水文地质资料缺乏或在岩溶发育地区，应进行单孔或群孔分层抽水试验，测求其渗透系数、影响半径、单井涌水量等水文地质参数。

## 5 地下水勘察

**5.0.1** 高层建筑地下水勘察应根据工程需要，查明地下水的类型、埋藏条件和变化规律，提供水文地质参数；应针对地基基础形式、基坑和边坡支护形式、施工方法等情况分析评价地下水对地基基础设计、施工和环境影响，预估可能产生的危害，提出预防和处理的建议。

**5.0.2** 对已有地区经验或场地水文地质条件简单，且有常年地下水位监测资料的地区，地下水的勘察可通过调查方法掌握地下水的性质、埋藏条件和变化规律，并宜包括下列内容：

- 1 地下水的类型、主要含水层及其渗透特性；
- 2 地下水的补给、径流和排泄条件、地表水与地下水的水力联系；
- 3 历史最高、最低地下水位及近 3 年~5 年水位变化趋势和主要影响因素；
- 4 区域性气象资料；
- 5 地下水腐蚀性和污染源情况。

**5.0.3** 在无经验地区，当地下水的变化或含水层的水文地质特性对地基评价、地下室抗浮和地下水控制有重大影响时，在调查和满足本标准第 5.0.2 条要求的基础上，应进行专项水文地质勘察，并应符合下列规定：

- 1 应查明地下水类型、水位及其变化幅度；
- 2 应明确与工程相关的含水层相互之间的补给关系；
- 3 应测定地层渗透系数等水文地质参数；
- 4 在初步勘察阶段应设置长期水位观测孔或孔隙水压力计；
- 5 对与工程结构有关的含水层，应采取有代表性水样进行水质分析；

6 在岩溶地区，应查明场地岩溶裂隙水的主要发育特征及其不均匀性。

5.0.4 当勘察遇有地下水时，应量测水位，也可埋设孔隙水压力计，或采用孔压静力触探试验进行量测，但在黏性土中应有足够的消散时间；当场地有多层对工程有影响的地下水时，应在代表性地段布设一定数量钻孔分层量测水位。

5.0.5 含水层的渗透系数等水文地质参数的测定，应根据岩土层特性和工程需要，由现场钻孔或探井抽水试验、注水试验或压水试验确定。

5.0.6 地下水对工程的作用和影响评价应符合下列规定：

1 对地基基础、地下结构应评价地下水对结构的上浮作用；对节理不发育的岩石和黏土且有地方经验或实测数据时，可根据经验或实测数据确定其对结构的上浮作用；有渗流时，地下水的水头和作用宜通过渗流计算进行分析评价；

2 验算基坑和边坡稳定性时，应评价地下水及其渗流压力对基坑和边坡稳定的不利影响；

3 采取降水措施时在地下水位下降的影响范围内，应评价降水引发周边环境地面沉降及其对工程的危害；

4 当地下水位回升时，应评价可能引起的土体回弹和附加的浮力等；

5 在湿陷性黄土地区应评价地下水位上升对湿陷性的影响；

6 对粉细砂、粉土地层，应评价在有水头压差情况下产生潜蚀、流砂、管涌的可能性；

7 在地下水位下开挖基坑，应评价降水或截水措施的可行性及其对基坑稳定和周边环境的影响；

8 当基坑底面下存在高水头的承压含水层时，应评价坑底土层的隆起或产生突涌的可能性；

9 在粉土、砂土、卵石地层中，当可能受潮汐波动或地下水渗流影响时，应评价灌注桩、搅拌桩以及注浆工程产生水泥土流失或水泥浆液呈支脉状流失的影响。

**5.0.7** 地下水的物理、化学作用的评价应符合下列规定：

1 对地下水位以下的工程结构，应评价地下水对混凝土、钢筋混凝土结构中的钢筋的腐蚀性，评价方法应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 执行；

2 对软岩、强风化、全风化岩石、残积土、湿陷性土、膨胀岩土和盐渍岩土，应评价地下水位变化所产生的软化、崩解、湿陷、胀缩和潜蚀等有害作用；

3 在冻土地区，应评价地下水对土的冻胀和融陷的影响。

**5.0.8** 当任务需要时，应对地下水的分布和动态特征进行分析，评估工程建设对场地水文地质环境可能造成的影响，提出地下水控制的建议，评估、模拟、预测深基坑降水引起的地下水渗流场的变化及对地面沉降的影响，并提出防治措施建议。

## 6 室内试验

**6.0.1** 地基承载力计算所需的抗剪强度试验应符合下列规定：

1 当勘察等级为特级或甲级时，应采取质量等级为Ⅰ级的土试样，进行三轴压缩试验；

2 抗剪强度试验方法应根据施工速度、地层条件和计算公式等选用，宜符合地基土实际受力状况，对饱和黏性土或施工速率较快、排水条件差的土，可采用不固结不排水剪，对饱和软黏性土，应对试样在有效自重压力预固结后再进行试验，总应力法提供不固结不排水条件下的黏聚力、内摩擦角参数；经过预压固结的地基，可根据其固结程度采用固结不排水剪，总应力法提供固结不排水条件下的黏聚力、内摩擦角指标；

3 三轴压缩试验结果应提供摩尔圆及其强度包线。

**6.0.2** 地基沉降计算所用的压缩性指标，根据不同计算方法，可采用下列试验方法确定：

1 当采用分层总和法进行沉降计算时，单轴压缩试验最大压力应超过预计土的有效自重压力与附加压力之和，压缩性指标应取土的有效自重压力至土的有效自重压力与附加压力之和压力段的计算值；

2 当根据应力历史进行固结沉降计算时，应采取质量等级为Ⅰ级的土样进行试验，固结试验的最大压力应满足绘制完整的 $e-\log p$ 曲线的需要，并求得先期固结压力( $p_c$ )、压缩指数( $C_c$ )和回弹再压缩指数( $C_r$ )，回弹压力宜模拟现场卸荷条件；

3 当进行群桩基础变形验算时，对桩端平面以下压缩层范围内的土，应测求土的压缩性指标，试验压力不应小于实际土的有效自重压力与附加压力之和；

4 当依据基坑开挖卸荷引起的回弹量和回弹再压缩量时，



应进行压缩—回弹—再压缩固结试验，获取回弹模量和回弹再压缩模量，其试验时加卸荷压力宜模拟实际加、卸荷状况。试验除应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123的有关要求外，尚应按本标准附录 A 回弹模量和回弹再压缩模量室内试验要点执行。

**6.0.3** 当基坑开挖采用明沟、井点或管井抽水降低地下水位时，宜根据土性情况进行有关土层的常水头或变水头渗透试验。

**6.0.4** 为验算边坡稳定性和支挡设计需要所进行的抗剪强度试验，宜采用三轴压缩试验，验算整体稳定性和抗隆起稳定性宜采用不固结不排水试验（UU）；当有地区经验时，也可采用直剪快剪试验。计算土压力宜采用固结不排水试验（CU），当需按有效应力法计算土压力时，宜采用测孔隙水压力的固结不排水试验（ $\overline{CU}$ ）；当有地区经验时，也可采用直剪试验的固结快剪试验。

**6.0.5** 当需根据室内岩石试验结果确定嵌岩桩单桩竖向极限承载力时，应进行饱和单轴抗压强度试验。对于在地下水位以下、多韵律薄层状的黏土质沉积岩或变质岩，可采用天然湿度试样，不进行饱和处理；对较为破碎的中等风化带岩石，取样确有困难时，可取样进行点荷载强度试验，其试验标准及与岩石单轴抗压强度的换算关系应分别按现行国家标准《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266 和《工程岩体分级标准》GB/T 50218 执行。

**6.0.6** 当进行地震反应分析和地基液化判别时，可采用动三轴试验、动单剪试验和共振柱试验，测定地基土的动剪切模量和阻尼比等参数。

## 7 原位测试

**7.0.1** 高层建筑岩土工程勘察中原位测试项目，应根据工程计算分析的需要和设计要求，针对性地选择适宜本场地岩土工程条件的原位测试方法。

**7.0.2** 原位测试成果应结合钻探、室内土工试验、原型试验、地区工程经验经综合分析后使用。

**7.0.3** 原位测试所用的仪器和设备应定期校准、标定。

**7.0.4** 原位测试项目可根据设计要求、测定参数、主要用途按表 7.0.4 选用。

表 7.0.4 原位测试项目

试验项目	测定参数	主要用途
浅层、深层 载荷试验	加荷-沉降曲线、比例界限压力 $p_0$ (kPa)、极限压力 $p_u$ (kPa) 和变形模量	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 确定岩土承载力</li> <li>2 确定天然地基和复合地基的变形模量</li> <li>3 计算土的基床系数</li> </ol>
大直径桩端阻力 载荷试验	加荷-沉降曲线	测定大直径桩（含扩底桩）端阻力
现场剪切 试验	抗剪强度参数：黏聚力 $c$ (kPa)、内摩擦角 $\varphi$ ( $^\circ$ )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 评定岩土抗剪强度</li> <li>2 估算岩土承载力</li> <li>3 评估边坡稳定性</li> <li>4 计算主动或被动土压力</li> </ol>
静力触探 试验	单桥比贯入阻力 $p_s$ (MPa)， 双桥锥尖阻力 $q_c$ (MPa)、 侧壁摩阻力 $f_s$ (kPa)、 摩阻比 $R_f$ (%)， 孔压静力触探的孔隙水压力 $u$ (kPa)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 判别土层均匀性和划分地层</li> <li>2 选择桩基持力层、估算单桩承载力</li> <li>3 估算地基土承载力、压缩模量和变形模量</li> <li>4 判断沉桩可能性</li> <li>5 判别地基土液化可能性及液化等级</li> </ol>

续表 7.0.4

试验项目	测定参数	主要用途
标准贯入试验	标准贯入实测击数 $N$ (击)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 判别土层均匀性、密实度和划分地层和风化带</li> <li>2 判别地基液化可能性及液化等级</li> <li>3 估算地基承载力、压缩模量和变形模量</li> <li>4 选择桩基持力层、估算单桩承载力</li> <li>5 判断沉桩的可能性</li> </ol>
圆锥动力触探试验	动力触探击数 $N_{10}$ 、 $N_{63.5}$ 、 $N_{120}$ (击)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 判别土层均匀性、密实度和划分地层</li> <li>2 估算地基土承载力、变形模量</li> <li>3 选择桩基持力层、估算单桩承载力</li> </ol>
十字板剪切试验	不排水抗剪强度峰值 $c_u$ (kPa) 和残余值 $c'_u$ (kPa)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 测求饱和软黏性土的不排水抗剪强度和灵敏度</li> <li>2 估算地基土承载力和单桩承载力</li> <li>3 计算基坑、边坡的土压力和稳定性</li> <li>4 判断软黏性土的应力历史</li> </ol>
现场抽(注)水试验	地下水位、单孔(井)涌水量和岩土层渗透系数 $k$ (m/d), 群孔(井)抽水试验可测求影响半径、释水系数、给水度、越流系数等参数	为基础抗浮设计和基坑工程提供水文地质参数
旁压试验	初始压力 $p_0$ (kPa)、临塑压力 $p_l$ (kPa)、极限压力 $p_L$ (kPa) 和旁压模量 $E_m$ (kPa)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 测求地基土的临塑荷载和极限荷载强度, 估算地基土的承载力</li> <li>2 估算地基土的变形模量, 估算沉降量</li> <li>3 估算桩基承载力</li> <li>4 计算土的侧向基床系数</li> <li>5 自钻式旁压试验可确定土的原位水平应力和静止侧压力系数</li> </ol>

续表 7.0.4

试验项目	测定参数	主要用途
扁铲侧胀试验	侧胀模量 $E_D$ (kPa)、侧胀土性指数 $I_D$ 、侧胀水平应力指数 $K_D$ 和侧胀孔压指数 $U_D$	1 划分土层和区分土类 2 计算土的侧向基床系数 3 判别地基土液化可能性
波速测试	压缩波速 $v_p$ (m/s)、剪切波速 $v_s$ (m/s)	1 划分场地类别 2 划分岩石风化带 3 提供地震反应分析所需的场地土动力参数 4 评价岩体完整性 5 估算场地卓越周期
场地微振动测试	场地卓越周期 $T$ (s) 和脉动幅值	确定场地卓越周期

**7.0.5** 高层建筑岩土工程勘察原位测试应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。

**7.0.6** 平板载荷试验尚应符合下列规定：

1 平板载荷试验应采用圆形或矩形刚性承压板，承压板面积应根据高层建筑附加荷载、岩土性状、均匀性及下卧层深度等因素确定，浅层土载荷试验承压板面积不应小于  $1.00\text{m}^2$ ；深层土载荷试验承压板面积不应小于  $0.50\text{m}^2$ ，岩石载荷试验承压板面积不宜小于  $0.07\text{m}^2$ ；

2 浅层载荷试验承压板设置高程宜与浅基础底面高程一致，或与设计要求的受检岩土层高程一致；

3 为求取地基承载力特征值、桩端阻力特征值和变形模量的浅层和深层载荷试验均应采用沉降相对稳定法，并应采用线性回归分析求取或验证比例界限压力特征点，相关系数不应小于 0.90，比例界限前各级压力下的沉降量按线性回归方程计算，比

例界限以后各点的沉降量按实测沉降取值；

4 每一受检岩土层的试验数量不应少于 3 个。

**7.0.7** 现场剪切试验包括土体现场直剪试验、岩体现场直剪试验和岩体现场三轴试验三类，可根据分析计算需要和设计要求选择合适的方法。每一岩土层的试验数量不宜少于 3 处。

**7.0.8** 静力触探试验尚应符合下列规定：

1 当贯入深度超过 30m 或由厚层软土层贯入硬土层时，应采用导向护管或测斜探头；

2 当采用水冲法下护管时，水冲深度应小于已贯入深度 1m，护管深度应小于水冲深度；

3 当采用测斜探头时，应量测探头倾斜角，校正分层界线。

**7.0.9** 超深标准贯入试验可采用实测锤击能量器，并根据能量衰减及上覆压力对标贯击数的影响进行修正。当根据标准贯入试验击数评估试验土体的密实程度及确定设计参数时，应剔除可能受到地下水作用引起的塌孔、涌砂影响的试验结果。

**7.0.10** 当需利用圆锥动力触探试验划分地层和划分风化程度界限或提供岩土体的力学参数时，每个场地宜布设不少于 3 个点的圆锥动力触探与取土试验孔（井）的对比试验，分析判定分层的超前、滞后效应和所得力学参数的匹配性。

**7.0.11** 十字板剪切试验尚应符合下列规定：

1 十字板头压至预定试验深度后应静止 2min~3min 后，方可开始试验；

2 试验时十字板头应以  $1^\circ/10s \sim 2^\circ/10s$  的速度进行扭转剪切，十字板头每转  $1^\circ$  测读一次，应在 3min~4min 内测得峰值强度，当出现峰值强度或稳定值后，再继续测记 1min；

3 试验点的竖向间距宜为 1m~2m；

4 实测十字板强度  $c_u$  值是随深度的增加而增加，不宜以其平均值或标准值作为该层土的抗剪强度指标；

5 如需做重塑土试验，应松开夹具使钻杆顺着剪切方向快速旋转 6 圈，使十字板头周围土层充分搅动，重复上述第 2 款，

可测得重塑土的抗剪强度。

**7.0.12** 现场抽（注）水试验尚应符合下列规定：

1 抽水试验段孔径应根据含水层的性质、渗透性和过滤器的类型确定，实际孔径不得小于设计井径；安装过滤器前，将孔内沉渣清除，并保证井壁的稳定；沉淀管应封底，并采用找中器使过滤器居于中间位置，井管上端口应居于钻孔中心，过滤器安装深度的允许偏差宜控制在 $\pm 200\text{mm}$ 以内；

2 抽水试验井管安装后，稀释井内泥浆并在过滤器与孔壁之间及时、连续填充级配砾料，随填随测；过滤器上部的井管外围选用优质黏土或黏土球封闭止水，井管口外围应封闭；

3 正式抽水试验前，抽水孔应进行反复清洗，达到水清砂净无沉淀；

4 注水试验的试验段应采用清水钻进，孔底沉淀物厚度不应大于 $5\text{cm}$ ，并应减少对试验段土层的扰动；

5 注水试验采用孔壁进水时，对于孔壁稳定性差的试验段可采用过滤器护壁；试验段长度可为 $2\text{m}\sim 3\text{m}$ ，非试验段可用套管隔离，应保证止水效果，套管接头应密合止水；试验段隔离以后，向套管内注入清水，使管中水位高出地下水位一定高度或至套管顶部作为初始水头，停止供水并开始记录管内水位变化情况。

**7.0.13** 波速试验可分为单孔法和跨孔法，尚应符合下列规定：

1 测试孔应垂直，成孔深度宜大于试验深度 $0.5\text{m}\sim 1.0\text{m}$ ，采用泥浆护壁成孔后应采用清水洗孔 $15\text{min}\sim 30\text{min}$ ；

2 成孔后可直接测试，亦可下套管后测试。当采用成孔后直接测试时孔径应符合检波器直径要求；当采用下套管测试时，成孔孔径应与套管外径相配；下套管时底部宜封闭，套管内宜灌满清水沉入孔内，套管接头应紧固并采取止水措施；套管下至预定深度固定，孔壁与套管的间隙用中粗砂填实或进行灌浆处理；填砂或灌浆一周后，方可进行测试；

3 跨孔法波速试验应有2个或2个以上测试孔，孔位可呈

直线或放射状布置，孔距宜为 4m。

**7.0.14** 地面或地下微振动测试，尚应符合下列规定：

1 测点数量应根据工程要求、场地面积及周边环境确定，且不宜少于 2 点；每个测点应放置 1 组 3 个方向相互垂直的拾振器，拾振器宜放置在平整后的天然土层上或指定的测试位置；

2 在孔内测试时，测点深度应根据工程需要确定，应使拾振器紧密地接触孔底或孔壁，同时应在孔口布置一组拾振器，地下及地面同步测试；

3 测点应远离各类干扰源，测试时间应选择在场环境干扰最低的时间段进行。

## 8 岩土工程评价

### 8.1 场地稳定性评价

**8.1.1** 高层建筑岩土工程勘察应查明影响场地稳定性的不良地质作用，评价其对场地稳定性的影响程度。

**8.1.2** 对于存在不良地质作用，经技术经济论证能治理的高层建筑场地，应提出防治方案建议。经论证属于滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害的危险区域，不应建造高层建筑。

**8.1.3** 场地稳定性评价应符合下列规定：

1 应划分对建筑抗震有利、一般、不利和危险的地段，提供建筑场地类别和岩土的地震稳定性评价，对需要采用时程分析法补充计算的建筑，尚应根据设计要求提供有代表性的地层结构剖面、场地覆盖层厚度和有关动力参数；

2 场地内存在浅理的全新活动断裂和发震断裂时，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 提出避让的最小距离；

3 应查明非全新活动断裂的破碎带发育程度，并提出相应的地基处理措施；

4 场地内存在正在活动的地裂缝时，应提出避让距离和采取的措施；

5 在地面沉降持续发展地区，应搜集地面沉降历史资料，预测地面沉降发展趋势，提出高层建筑应采取的措施建议。

**8.1.4** 位于斜坡地段的高层建筑，其场地稳定性评价应符合下列规定：

1 高层建筑场地不应选在滑坡体上，对选在滑坡体附近的建筑场地，应对滑坡进行专项勘察，验算滑坡稳定性，论证建筑场地的适宜性，并提出治理措施建议；



2 位于斜坡上的高层建筑，应为设计提供进行高层建筑整体稳定性验算所需的地层剖面及有关计算参数；

3 位于边坡下的高层建筑，应分析评价边坡的整体稳定性及对高层建筑的影响。

**8.1.5** 高层建筑场地应选择在对建筑抗震有利地段或一般地段；当不能避开不利地段时，应采取有效的防护治理措施，并不应在危险地段建设高层建筑。

**8.1.6** 建筑场地类别应根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度划分；抗震设防烈度为7度~9度地区，应采用多种方法综合判定饱和砂土和粉土（不含黄土）地震液化的可能性，并提出处理措施的建议；6度地区可不进行判别，对液化沉陷敏感的乙类建筑可按7度的要求进行判别。

**8.1.7** 溶洞和土洞发育地段，应查明基础底面以下溶洞、土洞大小及顶板厚度，研究地基加固措施。

**8.1.8** 在滨海、滨湖饱和软黏性土地区，应查明软土的时代、成因和物理力学性质，评价大面积挖、填方可能引起软土流动，造成对本工程和周边环境的影响；8度及8度以上地区软弱黏性土应进行震陷判别和危害性分析；均应提出防治建议。

**8.1.9** 在地下采空区，应查明采空区上覆岩层的性质、地表变形特征、采空区的埋深和范围，根据高层建筑的基底压力，评价场地稳定性。

## 8.2 天然地基评价

**8.2.1** 天然地基分析评价应包括下列内容：

- 1 评价地基稳定性并提出处理措施的建议；
- 2 评价地基均匀性；
- 3 提出地基持力层建议；
- 4 提供地基持力层和软弱下卧层地基承载力特征值；
- 5 预测高层和高低层建筑地基的变形特征；
- 6 对地基基础选型提出建议。

8.2.2 天然地基方案应在拟建场地整体稳定性基础上，根据附属建筑、相邻的既有或拟建建筑、地下设施和地基条件可能发生显著变化的影响等情况进行分析论证。

8.2.3 对判定为不均匀的地基，应进行沉降、差异沉降、倾斜等特征分析评价，并应提出相应建议。符合下列情况之一者，应判定为不均匀地基：

1 地基持力层跨越不同地貌单元或工程地质单元，工程特性差异显著。

2 地基持力层虽属于同一地貌单元或工程地质单元，但存在下列情况之一：

1) 中—高压缩性地基，持力层底面或相邻基底高程的坡度大于 10%；

2) 中—高压缩性地基，持力层及其下卧层在基础宽度方向上的厚度差值大于  $0.05b$  ( $b$  为基础宽度)。

3 同一高层建筑虽处于同一地貌单元或同一工程地质单元，但各处地基土的压缩性有较大差异时，可在计算各钻孔地基变形计算深度范围内当量模量的基础上，根据当量模量最大值  $\bar{E}_{\text{smax}}$  和当量模量最小值  $\bar{E}_{\text{smin}}$  的比值判定地基均匀性。当  $\frac{\bar{E}_{\text{smax}}}{\bar{E}_{\text{smin}}}$  大于表

8.2.3 中地基不均匀系数界限值  $K$  时，可按不均匀地基考虑。

表 8.2.3 地基不均匀系数  $K$  界限值

同一建筑物下各钻孔 压缩模量当量值 $\bar{E}_s$ 的平均值 (MPa)	$\leq 4$	7.5	15	$> 20$
不均匀系数界限值 $K$	1.3	1.5	1.8	2.5

在地基变形计算深度范围内，某一个钻孔的压缩模量当量值  $\bar{E}_s$  应根据平均附加应力系数在各层土的层位深度内积分值  $A_i$  和各土层压缩模量  $E_{si}$  (按实际应力段取值) 按下式计算：

$$\bar{E}_s = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{E_{si}}} \quad (8.2.3)$$

式中： $\bar{E}_s$ ——压缩模量当量值；

$A_i$ ——第  $i$  层土的层位深度内平均附加应力系数的积分值。

**8.2.4** 地基承载力应根据岩土工程条件选择适宜的原位测试和室内试验方法，结合理论计算、设计需要和工程经验进行综合评价。特殊土的地基承载力评价应根据特殊土的相关规范和地区经验进行。当需验证地基承载力特征值和变形模量时，宜在大面积开挖卸荷后的基础底面处进行载荷试验。

**8.2.5** 岩石地基应根据现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 划分和评定岩石坚硬程度、岩体完整程度、风化程度和岩体基本质量等级，其承载力特征值应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 确定。

**8.2.6** 地基承载力计算应符合下列规定：

- 1 应验算持力层及软弱下卧层的地基承载力；
- 2 当高层建筑周边的附属建筑基础处于超补偿状态，且其与高层建筑不能形成刚性整体结构时，应根据由此造成高层建筑基础侧限力的永久性削弱及其对地基承载力的影响进行验算；
- 3 当拟提高附属建筑部分基底压力，以加大其地基沉降、减小高低层建筑之间的差异沉降时，应同时验算地基承载力及地基极限承载力。

**8.2.7** 地基承载力特征值  $f_{ak}$  和修正后的地基承载力特征值  $f_a$  应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 确定。地基承载力特征值  $f_{ak}$  也可按本标准附录 B 进行估算，采用估算的地基极限承载力  $f_u$  除以安全系数  $K$  确定。

**8.2.8** 采用旁压试验（PMT）成果估算岩性均一土层的竖向地基承载力时，可按下列方法进行承载力估算，并结合其他评价方法综合判定：

1 通过旁压临塑压力估算原位测试深度处地基承载力特征值时，应按下式计算：

$$f_{hak} = \lambda(p_f - p_0) \quad (8.2.8-1)$$

式中： $f_{\text{hak}}$ ——原位测试深度处均一土层的地基承载力特征值 (kPa)，在无经验地区，在原位测试深度处用浅层或深层载荷试验验证；

$p_0$ ——由旁压试验曲线和经验综合确定的土的初始压力 (kPa)；

$p_f$ ——由旁压试验曲线确定的临塑压力 (kPa)；

$\lambda$ ——修正系数，结合地区经验取值，但不应大于 1。

2 通过旁压极限压力估算原位测试深度处地基极限承载力  $f_{\text{hu}}$  和原位测试深度处地基承载力特征值  $f_{\text{hak}}$  时，可按下列公式计算：

$$f_{\text{hu}} = p_L - p_0 \quad (8.2.8-2)$$

$$f_{\text{hak}} = f_{\text{hu}}/K \quad (8.2.8-3)$$

式中： $f_{\text{hu}}$ ——原位测试深度处均一土层的地基极限承载力 (kPa)；

$p_L$ ——由旁压试验曲线确定的极限压力 (kPa)；

$K$ ——旁压极限承载力安全系数，根据地区经验在 2~4 之间选取，且  $f_{\text{hak}}$  不高于临塑压力  $p_f$ 。

**8.2.9** 当地基、地基整体稳定且持力层为完整、较完整的中等风化、微风化岩体时，可不进行地基变形验算。其他地基的最终沉降宜按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定的方法计算，也可按本标准规定的其他计算方法，并应根据后期地面填方和相邻建设工程的影响进行地基沉降预测。

**8.2.10** 对不能准确取得压缩模量的地基土，包括碎石土、砂土、花岗岩残积土、全风化岩、强风化岩等，可按本标准附录 C 采用变形模量  $E_0$  分别估算高层建筑箱形或筏形基础及扩展基础或条形基础的地基沉降量。

**8.2.11** 当地基由饱和土层组成且次固结变形忽略不计时，根据 I 级土样的标准固结试验结果，可采用下列计算方法分层预测超固结土、正常固结土和欠固结土的基础沉降，然后合计估算总沉降，并结合地区经验进行修正和判断：

1 利用标准固结试验测求土的回弹再压缩指数 ( $C_r$ )、压缩指数 ( $C_c$ )、初始孔隙比 ( $e_0$ ) 和先期固结压力 ( $p_c$ )，根据先期固结压力  $p_c$  与土的有效自重压力  $p_z$  的比值——超固结比 OCR，确定土的固结状态。当超固结比  $OCR < 1.0$  时，为欠固结土；当 OCR 为  $1.0 \sim 1.2$  时，可视为正常固结土；当  $OCR > 1.2$  时，可视为超固结土。

2 超固结土的固结沉降量可按下列规定估算：

1) 当超固结土层中的  $p_{0i} + p_{zi} \leq p_{ci}$  时，该层土的固结沉降量可按下式估算：

$$s_i = \frac{h_i}{1 + e_{0i}} C_{ri} \log \left( \frac{p_{zi} + p_{0i}}{p_{zi}} \right) \quad (8.2.11-1)$$

式中： $s_i$ ——第  $i$  层土的固结沉降量 (mm)；

$h_i$ ——第  $i$  层土的平均厚度 (mm)；

$e_{0i}$ ——第  $i$  层土的初始孔隙比平均值；

$C_{ri}$ ——第  $i$  层土的回弹再压缩指数平均值；

$p_{zi}$ ——第  $i$  层土的有效自重压力平均值 (kPa)；

$p_{0i}$ ——对应于荷载效应准永久组合时，第  $i$  层土有效附加压力平均值 (kPa)；

$p_{ci}$ ——第  $i$  层土的先期固结压力平均值 (kPa)。

2) 当超固结土层中的  $p_{0i} + p_{zi} > p_{ci}$  时，该层土的固结沉降量可按下式估算：

$$s_i = \frac{h_i}{1 + e_{0i}} \left[ C_{ri} \log \left( \frac{p_{ci}}{p_{zi}} \right) + C_{ci} \log \left( \frac{p_{zi} + p_{0i}}{p_{ci}} \right) \right] \quad (8.2.11-2)$$

式中： $C_{ci}$ ——第  $i$  层土的压缩指数平均值。

3 当为正常固结土时，该层土的固结沉降量可按下式估算：

$$s_i = \frac{h_i}{1 + e_{0i}} C_{ci} \log \left( \frac{p_{zi} + p_{0i}}{p_{zi}} \right) \quad (8.2.11-3)$$

4 当为欠固结土时，该层土的沉降量可按式估算：

$$s_i = \frac{h_i}{1 + e_{0i}} C_{ci} \log\left(\frac{p_{zi} + p_{0i}}{p_{ci}}\right) \quad (8.2.11-4)$$

5 整个沉降计算深度内的总沉降量应为各土层沉降量之和。沉降计算深度对于中、低压缩性土应算至有效附加压力等于上覆土有效自重压力 20% 处，对于高压缩性土应算至有效附加压力等于上覆土有效自重压力 10% 处。当无相邻荷载影响时，亦可按本标准附录 C 计算沉降量。

**8.2.12** 高层建筑整体倾斜宜结合建筑物荷载分布和地层分布情况进行分析。

### 8.3 桩基评价

**8.3.1** 桩基工程分析评价宜具备下列条件：

- 1 了解工程结构的类型、特点、荷载情况和变形控制等要求；
- 2 掌握场地的工程地质和水文地质条件，了解岩土体的非均质性、随时间延续的增减效应以及土性参数的不确定性；
- 3 了解分析地区经验和类似工程的经验；
- 4 缺乏经验地区通过设计参数检验和施工检验取得实测数据，调整和修改设计和施工方案。

**8.3.2** 桩基评价应包括下列内容：

- 1 提出桩型和桩端持力层的建议；
- 2 提供建议桩型的侧阻力、端阻力和桩基设计其他岩土参数；
- 3 对沉（成）桩可能性、桩基施工对环境影响进行评价。

**8.3.3** 当任务需要时，可对下列内容进一步评价或提出专门的工程咨询报告：

- 1 估算单桩、群桩承载力和桩基沉降量；
- 2 对各种可能的桩基方案进行技术经济分析比选，并提出

建议；

3 对欠固结土和有大量堆载的桩基，分析桩侧产生负摩阻力的可能性及其对桩基承载力的影响并提出相应防治措施的建议；

4 当持力层为倾斜地层、层面起伏大或岩土中有洞穴时，评价桩的稳定性，并提出处理措施的建议。

#### 8.3.4 桩端持力层选择应符合下列规定：

1 持力层宜选择层位稳定、压缩性较低的可塑—坚硬状态黏性土、中密以上的粉土、砂土、碎石土和残积土，以及不同风化程度的基岩；不应选择在可液化土层、湿陷性土层或软土层中；

2 当存在软弱下卧层时，桩端以下硬持力层厚度宜超过 3 倍桩径；扩底桩的持力层厚度宜超过 3 倍扩底直径，且均不宜小于 5m。

#### 8.3.5 桩型选择应根据工程性质、地质条件、施工条件、场地周围环境及经济指标等综合确定，并应符合下列规定：

1 当持力层顶面起伏不大、坡度小于 10%、周围环境允许且沉桩可能时，可采用钢筋混凝土预制桩；

2 当荷载较大，桩较长或需穿越一定厚度的坚硬土层，需选用较重的锤，锤击过程可能使桩身产生较大锤击应力时，宜采用预应力桩；或经方案比较，证明技术可行、经济合理时，也可采用钢桩；

3 当土层中有难以清除的孤石或有硬质夹层、岩溶地区或基岩面起伏大的地层，均不宜采用钢筋混凝土预制桩、预应力桩和钢桩，可采用钢筋混凝土灌注桩；

4 在基岩埋藏相对较浅，单柱荷载较大时，宜采用嵌岩钢筋混凝土灌注桩；

5 当场地周围环境保护要求较高、采用钢筋混凝土预制桩或预应力桩难以控制沉桩挤土影响时，可采用钢筋混凝土灌注桩或压入式 H 型钢桩。

**8.3.6** 当挤土桩需贯穿的岩土层中分布有一定厚度的或需进入一定深度的坚硬状态黏性土、中密以上的粉土、砂土、碎石土和全风化、强风化基岩时，应从下列因素综合考虑其沉桩的可能性：

- 1 各岩土组成的力学特性；
- 2 桩的结构、强度、形式和设备能力；
- 3 类似工程经验等；
- 4 在工程桩施工前进行沉桩试验，测定压入桩贯入阻力及打入桩总锤击数、最后 1m 锤击数及贯入度；
- 5 在打入桩沉桩过程中进行高应变动力法试验，测定打桩过程中桩身压应力和拉应力，根据试验结果评定沉桩可能性、桩进入持力层后单桩承载力的变化以及其他施工参数。

**8.3.7** 沉（成）桩对周围环境的主要影响分析评价宜包括下列内容：

- 1 锤击沉桩产生的多次反复振动，对邻近既有建（构）筑物及公用设施等的损害；
- 2 对饱和黏性土地基宜分析评价大量、密集的挤土桩或部分挤土桩对邻近既有建（构）筑物和地下管线等造成的影响；
- 3 大直径挖孔桩成孔时，分析评价松软地层可能坍塌的影响、降水对周围环境影响以及有毒、有害或可燃气体对人身安全的影响；
- 4 灌注桩施工中产生的泥浆对环境的污染。

**8.3.8** 挤土桩和部分挤土桩可根据工程和周围环境条件，选择下列一种或几种措施减少沉桩影响：

- 1 合理安排沉桩顺序；
- 2 控制沉桩速率；
- 3 设置竖向排水通道；
- 4 在桩位或桩区外预钻孔取土；
- 5 设置防挤沟等。

**8.3.9** 单桩承载力应通过现场静载荷试验确定。估算单桩承载



力时应结合地区的经验,采用静力触探试验、标准贯入试验或旁压试验等原位测试结果进行计算,并根据地质条件类似的试桩资料综合确定。单桩竖向承载力特征值  $R_a$  可按下式确定:

$$R_a = Q_u / K \quad (8.3.9)$$

式中:  $R_a$ ——单桩竖向承载力特征值 (kN);

$Q_u$ ——单桩竖向极限承载力 (kN);

$K$ ——安全系数,按本标准所列计算式所估算的  $Q_u$  值,均可取  $K=2$ 。

**8.3.10** 当以静力触探试验确定预制桩的单桩竖向极限承载力时,可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 估算。

**8.3.11** 当根据标准贯入试验结果,确定预制桩、预应力管桩、沉管灌注桩的单桩竖向极限承载力时,可按本标准附录 D 估算。

**8.3.12** 对嵌入中等风化和微风化岩石中的嵌岩灌注桩,可根据岩石的坚硬程度、单轴抗压强度和岩体完整程度,按下式估算单桩极限承载力:

$$Q_u = u_s \sum_{i=1}^n q_{sis} l_i + u_r \sum_{i=1}^n q_{sir} h_{ri} + q_{pr} A_p \quad (8.3.12)$$

式中:  $Q_u$ ——嵌入中等风化、微风化岩石中的灌注桩单桩竖向极限承载力 (kN);

$u_s$ 、 $u_r$ ——分别为桩身在土、全风化、强风化岩石和中等、微风化岩石中的周长 (m);

$q_{sis}$ 、 $q_{sir}$ ——分别为第  $i$  层土、岩的极限侧阻力 (kPa),  $q_{sis}$  可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 确定,  $q_{sir}$  可按表 8.3.12 经地区经验验证后确定;

$q_{pr}$ ——岩石极限端阻力 (kPa),应按本标准附录 E 大直径桩端阻力载荷试验要点确定,岩石极限侧阻力宜用载荷试验确定,当无条件进行载荷试验时,可按表 8.3.12 经地区经验验证后确定;

$h_{ri}$ ——桩身全断面嵌入第  $i$  层中风化、微风化岩石内长度 (m);

$A_p$ ——桩底端面积 ( $m^2$ )。

表 8.3.12 嵌岩灌注桩岩石极限侧阻力、极限端阻力经验值

岩石风化程度	岩石饱和单轴极限抗压强度标准值 $f_{rk}$ (MPa)	岩体完整程度	岩石极限侧阻力 $q_{sr}$ (kPa)	岩石极限端阻力 $q_{pr}$ (kPa)
中等风化	软岩 $5 < f_{rk} \leq 15$	极破碎、破碎	300~800	3000~9000
中等风化或微风化	较软岩 $15 < f_{rk} \leq 30$	较破碎	800~1200	9000~16000
微风化	较硬岩 $30 < f_{rk} \leq 60$	较完整	1200~2000	16000~32000

- 注：1 表中极限侧阻力和极限端阻力适用于孔底残渣厚度为 50mm~100mm 的钻孔、冲孔、旋挖灌注桩；对于残渣厚度小于 50mm 的钻孔、冲孔灌注桩和无残渣挖孔桩，其极限端阻力可按表中数值乘以 1.1~1.2 取值；
- 2 对于扩底桩，扩大头斜面及斜面上直桩部分 1.0m~2.0m 不计侧阻力（扩大头直径大者取大值，反之取小值）；
- 3 风化程度愈弱、抗压强度愈高、完整程度愈好、嵌入深度愈大，其侧阻力、端阻力可取较高值，反之取较低值，也可根据  $f_{rk}$  值按内插法求取；
- 4 对于软质岩，单轴极限抗压强度可采用天然湿度试样进行，不经饱和处理。

8.3.13 预制桩的桩周土极限侧阻力  $q_{sis}$  可根据旁压试验曲线的极限压力  $p_L$  按表 8.3.13 确定；桩端土的极限端阻力  $q_{ps}$  可按下列公式估算：

$$\text{黏性土：} \quad q_{ps} = 2p_L \quad (8.3.13-1)$$

$$\text{粉土：} \quad q_{ps} = 2.5p_L \quad (8.3.13-2)$$

$$\text{砂土：} \quad q_{ps} = 3p_L \quad (8.3.13-3)$$

当为钻孔灌注桩时，其桩周土极限侧阻力  $q_{sis}$  可按预制桩的 70%~80% 采用；桩的极限端阻力  $q_{ps}$  可按预制桩的 30%~40% 采用。

表 8.3.13 预制桩的桩周极限侧阻力  $q_{s1}$

$q_{s1}$ (kPa) 土性	旁压试验 $p_L$												
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	$\geq 2600$
黏性土	10	24	36	50	64	74	80	86	90				
粉土		24	40	52	66	76	84	92	96	98	100		
砂土		24	40	54	68	84	94	100	106	110	114	118	120

注：1 表中数值可内插；

2 表中数据对无经验的地区应先进行验证。

**8.3.14** 详细勘察阶段，桩基沉降验算宜根据工程性质及设计要求，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 计算最终沉降量，亦可在取得地区经验后用有关原位测试参数按本标准附录 F 估算。

**8.3.15** 对需估算桩基最终沉降量的高层建筑，应提供土试样压缩曲线、地基土在有效自重压力至有效自重压力加附加压力之和时的压缩模量  $E_s$ 。对无法或难以采取不扰动土样的土层，可在取得地区经验后根据原位测试参数按本标准附录 F 表 F.0.2 换算土的压缩模量  $E_s$  值。

## 8.4 复合地基评价

**8.4.1** 勘察等级为乙级的高层建筑采用复合地基方案时，应符合本节的规定，勘察等级为甲级的高层建筑拟采用复合地基方案时，尚应进行充分论证。

**8.4.2** 高层建筑岩土工程勘察中复合地基评价应包括下列内容：

1 根据设计条件、工程地质和水文地质条件、环境及施工条件，对复合地基增强体的类型和提出建议；

2 提供桩间土天然地基承载力特征值和增强体桩侧、桩端阻力特征值等有关复合地基承载力设计及变形分析所需的计算

参数；

- 3 建议增强体的加固深度及桩端持力层；
- 4 建议桩端进入持力层的深度；
- 5 提供地下水的埋藏条件和腐蚀性评价，对淤泥和泥炭土应提供有机质含量，分析对复合地基桩体的影响，并提出处理措施和建议；
- 6 对复合地基设计参数检验和设计、施工中注意的问题提出建议；

- 7 对复合地基的检验、监测工作提出建议。

**8.4.3** 高层建筑复合地基增强体选型的建议应符合下列规定：

- 1 对深厚软土地基，不宜建议采用散体材料（桩）增强体；
- 2 当地基承载力或变形不能满足设计要求时，应建议采用刚性或半刚性桩；

- 3 当以消除建筑场地砂土液化为主要目的时，宜建议选用砂石挤密桩；当以消除地基土湿陷性为主要目的时，宜建议选用灰土挤密桩。

**8.4.4** 高层建筑复合地基的承载力特征值和变形模量应通过单桩或多桩复合地基载荷试验确定。

**8.4.5** 当复合地基受力层范围内存在软弱下卧层时，应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定进行验算。

**8.4.6** 高层建筑复合地基的变形计算应符合下列规定：

- 1 刚性桩、半刚性桩复合地基变形计算应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行。为计算变形的复合地基模量宜采用复合地基载荷试验所求得的复合地基变形模量  $E_{0,sp}$ ，按本标准附录 C 估算刚性桩或半刚性桩复合地基沉降量；

- 2 其他增强体类型复合地基加固深度范围内，复合土层的压缩模量可按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的规定取值。

**8.4.7** 复合地基施工检验除应符合本标准第9章有关规定外，尚应符合下列规定：

1 复合地基方案选型期间，未进行过复合地基载荷试验或增强体载荷试验的工程，应进行复合地基载荷试验或增强体载荷试验的施工检验。复合地基载荷试验要点和试验数量，应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 执行；

2 当复合地基以刚性灌注桩作为增强体时，其桩身质量应采用低应变法、钻芯法等进行检验，检测具体方法和数量应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行；

3 桩间土性状改善程度，宜根据土类选用静力触探、十字板剪切试验、圆锥动力触探、标准贯入试验和钻探取土试验等方法进行检验。

## **8.5 高低层建筑差异沉降评价**

**8.5.1** 存在下列情况之一时，应进行高低层建筑差异沉降分析评价：

- 1 主体与裙房或附属地下建筑结构之间不设永久沉降缝；
- 2 内部荷载差异显著，平面不规则或荷载分布不均造成建筑物显著偏心；
- 3 采用不同类型基础；
- 4 不均匀地基或压缩性较高的地基。

**8.5.2** 在详细勘察阶段，差异沉降分析可根据各建筑物或各建筑部分的基底平均竖向荷载分别估算建筑重心、角点的地基沉降量。沉降估算应包括相邻建筑和结构施工完成后地基剩余沉降的影响，结合基础整体刚度情况和实测资料类比，综合评估各建筑部分的沉降特性及其影响。处于超补偿状态的基础，应采用地基回弹再压缩模量和建筑基底总压力进行沉降估算。

**8.5.3** 差异沉降分析时，当数据资料不能满足要求时，应进行补充勘察并提供所需成果。

**8.5.4** 对荷载差异显著的高低层建筑工程，在下列情况下，宜

采用经过工程有效验证的模型，进行地基基础与上部结构共同作用分析，为确定地基方案提供依据：

1 采取可能的设计、施工调整措施后，相邻建筑或各建筑部分估算的差异沉降接近现行标准限值或设计限值时；

2 按沉降控制设计的摩擦桩；

3 高层建筑主楼及其附属建筑采用联合基础时；

4 基坑开挖引起的地基回弹再压缩量占地基总沉降量的比例超过 20% 时。

**8.5.5** 在进行沉降估算或配合设计对地基基础与上部结构共同作用分析时，宜考虑下列因素的影响：

1 地下水位变化和岩土参数的不确定性；

2 荷载偏心作用；

3 地基回弹再压缩的影响；

4 桩间土对建筑基底荷载的分担；

5 施工顺序、施工阶段和施工后浇带的影响；

6 结构施工完成后至沉降稳定期间的地基剩余沉降。

**8.5.6** 当预测的差异沉降接近或超过现行规范标准或设计的限值时，可对结构设计或施工提出下列减少地基差异沉降不利影响的建议：

1 调整地基持力层：高层建筑部分宜选择排水固结较快、后期沉降小的土层和岩层；裙房部分宜选择压缩性相对较高的土层；

2 不同建筑物或建筑部分的建造顺序；

3 设置沉降缝或施工后浇带及其位置，施工后浇带的浇筑时间；

4 适当扩大高层建筑部分基底面积；

5 低层裙房、地下建筑物采用条基或独立柱基加防水板的基础形式，宜增加裙房结构自重、配重或覆土；

6 调整高层建筑与裙房之间的连接刚度，或采用变刚度调平设计，并进行桩长、桩径、桩间距的优化；

- 7 进行局部换土、加固处理或采用局部深基础方案；
- 8 减少地基差异沉降的措施，宜兼顾建筑基础结构抗浮问题。

**8.5.7** 进行上部结构、基础与地基共同作用分析的工程，应进行基坑回弹与沉降监测。

## 8.6 地下室抗浮评价

**8.6.1** 地下室抗浮评价应包括下列基本内容：

- 1 分析提出合理的抗浮设防水位建议；
- 2 根据抗浮设防水位，结合地下室埋深、结构自重等情况，对抗浮有关问题提出建议；
- 3 对可能设置抗浮锚杆、抗浮桩或采取其他抗浮措施的工程，应提供极限侧阻力和抗拔系数 $\lambda$ 等设计计算参数的建议值。

**8.6.2** 抗浮设防水位的综合确定应符合下列规定：

- 1 抗浮设防水位宜取地下室自施工期间到全使用寿命期间可能遇到的最高水位。该水位应根据场地所在地貌单元、地层结构、地下水类型、各层地下水水位及其变化幅度和地下水补给、径流、排泄条件等因素综合确定；当有地下水长期水位观测资料时，应根据实测最高水位以及地下室使用期间的水位变化，并按当地经验修正后确定；

- 2 施工期间的抗浮设防水位可按勘察时实测的场地最高水位，并根据季节变化导致地下水水位可能升高的因素，以及结构自重和上覆土重尚未施加时，浮力对地下结构的不利影响等因素综合确定；

- 3 场地具多种类型地下水，各类地下水虽然具有各自的独立水位，但若相对隔水层已属饱和状态、各类地下水有水力联系时，宜按各层水的混合最高水位确定；

- 4 当地下结构邻近江、湖、河、海等大型地表水体，且与本场地地下水有水力联系时，可按地表水体百年一遇高水位及其波浪雍高，结合地下排水管网等情况，并根据当地经验综合确定

抗浮设防水位；

5 对于城市中的低洼地区，应根据特大暴雨期间可能形成街道被淹的情况确定，对南方地下水位较高、地基土处于饱和状态的地区，抗浮设防水位可取室外地坪高程。

8.6.3 当建设场地处于斜坡地带且高差较大或者地下水赋存条件复杂、变化幅度大、地下室使用期间区域性补给、径流和排泄条件可能有较大改变或工程需要时，应进行专门论证，提供抗浮设防水位的专项咨询报告。

8.6.4 对位于斜坡地段的地下室或其他可能产生明显水头差的场地上地下室，进行抗浮设计时，应分析地下水渗流在地下室底板产生的非均布荷载对地下室结构的影响。

8.6.5 地下室在稳定地下水位作用下的浮力应按静水压力计算。对临时高水位作用下所受的浮力，在黏性土地层中可根据当地经验适当折减。

8.6.6 当地下室自重及其承受的荷载小于地下水浮力作用时，宜设置压重或设置抗浮锚杆或抗浮桩。对高层建筑附属裙房或主楼以外、独立结构的地下室宜推荐选用增加配重或抗浮锚杆；对地下室所受浮力较大或地下室地基较差时宜推荐选用抗浮桩。

8.6.7 未设置抗浮锚杆或抗浮桩，仅以建筑自重或附加填土或配重抗浮的地下室，应考虑施工期间各种工况下不利荷载组合时地下室的临时抗浮稳定性，并应采取可靠的控制地下水位措施，防止地下室上浮。

8.6.8 抗浮桩和抗浮锚杆的抗拔承载力应通过现场抗拔静载荷试验确定。

8.6.9 初步设计时，抗浮桩的单桩抗拔极限承载力可按式估算：

$$Q_{ul} = \sum_{i=1}^n \lambda_i q_{si} u_i l_i \quad (8.6.9)$$

式中： $Q_{ul}$ ——单桩抗拔极限承载力（kN）；

$u_i$ ——桩的破坏表面周长（m），对于等直径桩取  $u_i =$



$\pi d$ ，对于扩底桩按表 8.6.9-1 取值；

$q_{si}$ ——桩侧表面第  $i$  层岩土의抗压极限侧阻力 (kPa)；  
应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 确定；

$\lambda_i$ ——第  $i$  层土의抗拔系数，当无当地经验时，可按表 8.6.9-2 取值；

$l_i$ ——第  $i$  层土의桩长 (m)。

表 8.6.9-1 扩底桩破坏表面周长  $u_i$

自桩底起算的长度 $l_i$	$\leq 5d$	$> 5d$
$u_i$	$\pi D$	$\pi d$

注：D—桩的扩底直径 (m)；d—桩身直径 (m)。

表 8.6.9-2 抗拔系数  $\lambda_i$

桩型	预制桩		泥浆护壁的冲孔、钻孔、旋挖灌注桩			
	砂土	黏性土、 粉土	砂土	黏性土、 粉土	全风化、 强风化岩	中等风化、 微风化岩
$\lambda_i$	0.5~	0.7~	0.4~	0.5~	0.7~	0.8~
	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8	0.9

注：1 桩长  $l$  与桩径  $d$  之比小于 20 时， $\lambda_i$  取较小值，反之取较大值；

2 砂土、粉土密度较小、黏性土状态较软者， $\lambda_i$  取较小值，反之取较大值；

3 风化程度越强取较小值，反之取较大值；

4 表中  $\lambda_i$  值在有充分试验依据的条件下，可根据地区经验作适当调整。

**8.6.10 群桩可能发生整体破坏时，单桩的抗拔极限承载力可按  
下式验算：**

$$Q_{wL} = \frac{1}{n} \sum \lambda_i q_{si} u_i l_i \quad (8.6.10)$$

式中： $u_i$ ——桩群外围周长；

$n$ ——桩群内的桩数。

**8.6.11 抗浮桩抗拔承载力特征值可按式计算：**

$$F_{al} = Q_{wL} / 2.0 \quad (8.6.11)$$

式中： $F_{a1}$ ——抗浮桩抗拔承载力特征值（kN）。

**8.6.12** 抗浮锚杆承载力特征值可按下列式估算：

$$F_{a2} = \sum f_{\text{su}i} u_i l_i \quad (8.6.12)$$

式中： $F_{a2}$ ——抗浮锚杆抗拔承载力特征值（kN）；

$u_i$ ——锚固体周长（m），对于等直径锚杆取  $u_i = \pi d$ （ $d$ 为锚固体直径）；

$f_{\text{su}i}$ ——第  $i$  层岩土体与锚固体粘结强度特征值（kPa），宜按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 确定。

## 8.7 基坑工程评价

**8.7.1** 基坑工程岩土工程评价应包括下列内容：

1 对基坑支护方案 and 解决基坑工程可能产生的主要岩土工程问题提出建议，应提供基坑工程设计和施工所需的岩土参数；

2 对地下水控制方案提出建议，场地拟采取降水措施时，应提供水文地质计算有关参数和预测降水对周边环境可能造成的影响；

3 对基坑周边环境可能产生的影响进行预测，并对基坑工程的监测提出建议。

**8.7.2** 宜根据场地所在地貌单元、地层结构、地下水特征，提供基坑各侧壁安全可靠、经济合理、有代表性的综合地质剖面。

**8.7.3** 基坑工程各项计算参数的试验方法和取值，应根据其用途和计算方法按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 确定。

**8.7.4** 当地表附近有地表水体时，宜分析场地地下水与邻近地表水体的补给、径流、排泄条件，判明地表水与地下水的水力联系，以及对场地地下水水位、基坑涌水量的影响。

**8.7.5** 当基坑底部为饱和软土或基坑深度内有软弱夹层时，应进行抗隆起和整体稳定性验算；当基坑底部为砂土层，尤

其是粉细砂地层并存在承压水时，应进行抗渗流稳定性验算，并提供有关参数和防治措施的建议；当土的有机质含量超过10%时，如建议采用水泥土方案，应分析有机质对水泥土可凝固性的影响。

## 9 检验和监测

### 9.1 设计参数检验

9.1.1 设计参数检验宜包括下列内容：

- 1 大直径桩端阻力载荷试验；
- 2 单桩竖向抗压、抗拔静载荷试验；
- 3 单桩水平静载荷试验；
- 4 复合地基的静载荷试验；
- 5 抗浮桩和抗浮锚杆抗拔试验；
- 6 最终确定天然地基承载力的载荷试验；
- 7 重要岩土层现场抗剪强度试验；
- 8 判定沉桩可能性的沉桩试验。

9.1.2 对于勘察等级为甲级及以上的高层建筑，单桩抗压、抗拔承载力应采用现场单桩竖向抗压、抗拔静载荷试验进行检验，在同一条件下不应少于3根。试验方法应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行。当基础埋置深度很大，宜在开挖卸荷后的基础底面进行试桩，此时，也可采用自平衡法进行试桩。

9.1.3 单桩水平承载力和桩侧土的水平抗力系数的比例系数应通过单桩水平静载荷试验进行检验，其数量不应少于3根。试验方法应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 执行。

9.1.4 大直径桩的端阻力应采用大直径桩单桩端阻力载荷试验进行检验，其数量不宜少于3根。试验方法应按本标准附录 E 执行。

9.1.5 对于采用复合地基的高层建筑，应进行单桩或多桩复合地基载荷试验，以最终确定复合地基承载力和变形模量，试验点

的数量不应少于 3 点。试验方法应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 和《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 执行。

**9.1.6** 对于高层建筑的抗浮桩和抗浮锚杆，应进行抗拔静载荷试验确定其抗拔承载力，宜采用循环加、卸载法，试验数量不应少于 3 根。试验方法应按本标准附录 G 执行。

**9.1.7** 用于基坑支护的锚杆（土钉），应进行现场试验确定其抗拔承载力，试验数量每一主要土层不宜少于 3 根。试验方法应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 执行。

**9.1.8** 当基础埋置深度超过 15m 时，最终确定天然地基或复合地基承载力特征值和变形模量的浅层平板载荷试验，宜在开挖卸荷后的基础底面进行，其数量不应少于 3 处。试验方法应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 执行。

**9.1.9** 当以现场直接剪切试验确定岩土体抗剪强度时，试验方法应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 执行，其数量不应少于 2 组。

**9.1.10** 当以荷载试验确定地基的竖向和水平方向基准基床系数时，试验方法应按本标准附录 H 执行。

## 9.2 施工检验

**9.2.1** 施工检验应包括下列内容：

- 1 基槽检验；
- 2 桩基持力层检验；
- 3 复合地基、桩基检测；
- 4 岩土性状、地下水埋藏特征的核查。

**9.2.2** 基槽检验应在天然地基开挖或基坑开挖到底时进行，应检查其揭露的地基条件与勘察成果的相符性，包括用轻便动力触探等手段检测暗浜、古井、墓穴的位置、土层的分布、持力层的埋深和岩土性状等。

**9.2.3** 桩基工程应通过试钻或试打检验岩土条件与勘察成果的

相符性。对大直径挖孔桩，应核查桩基持力层的岩土性质、埋深和起伏变化情况。桩身质量可采用反射波法、声波透射法或钻芯法检测，单桩承载力可采用静载荷试验检测。

**9.2.4** 复合地基工程应根据复合地基类型对增强体和桩间土进行检测，检测方法可按现行行业标准《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 执行。

**9.2.5** 当发现岩土性状、地下水埋藏特征与原勘察报告不符或有异常时，应对出现的问题进行分析并提出解决意见，必要时可进行施工阶段补充勘察。

### 9.3 现场监测

**9.3.1** 工程施工及使用过程中应对岩土体性状、周边环境、相邻建筑、地下管线设施所引起的变化进行现场监测，并视其变化规律和发展趋势，提出相应的防治措施。任务需要时，现场监测主要包括下列内容：

- 1 基坑工程监测；
- 2 基底回弹观测；
- 3 沉桩施工监测；
- 4 地下水长期观测；
- 5 建筑物沉降观测。

**9.3.2** 现场监测应根据委托方要求、工程性质、施工场地条件与周围环境受影响程度有针对性地施工开始进行。当出现下列情况之一时，应开展相应监测工作：

- 1 基坑开挖施工引起周边土体位移、坑底土隆起影响支挡结构、相邻建筑和地下管线设施的安全时；
- 2 地基加固或打入桩施工时，可能影响相邻建筑、地下管线和道路安全时；
- 3 当地下水位的升降影响岩土的稳定时；
- 4 当地下水上升对建（构）筑物产生浮托力或对地下室和地下构筑物的防潮、防水产生较大影响时。

**9.3.3** 现场监测前应进行踏勘、编制工作纲要、设置监测点和基准点、测定初始值、确定报警值。

**9.3.4** 基坑施工前应对周围建筑物和有关设施的现状、裂缝开展情况等进行调查，并应进行记录或拍照、摄像作为施工前档案资料。

**9.3.5** 各类仪器设备在埋设安装前均应进行重新标定。各种测量仪器除精度需满足设计要求外，应定期由法定计量单位进行检验、校正，并出具合格证。

**9.3.6** 现场监测的结果应分析整理、仔细校核，及时提交当日报表。当监测值达到报警指标时，应及时签发报警通知。必要时，应根据监测结果提出施工建议和预防措施。

**9.3.7** 基坑工程监测应按现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 执行。

**9.3.8** 坑底回弹监测应符合下列规定：

1 监测点宜按剖面布置，监测剖面宜从中部开始向纵向和横向延伸，数量不应少于 2 条；

2 剖面上监测点间距宜为 10m~30m，数量不宜少于 3 个；

3 直接监测点竖向上宜布置在基坑底部 0.2m~0.3m 或基底相应的目标土层内。

**9.3.9** 沉桩施工监测应根据工程情况、有关规范和设计要求选择下列部分或全部内容进行：

1 在挤土桩和部分挤土桩沉桩施工影响范围内地表土和深层土体的水平、竖向位移和孔隙水压力的变化情况；

2 邻近建筑物的沉降及邻近地下管线水平、竖向位移；

3 当为锤击法沉桩时，还应根据需要监测振动和噪声。

**9.3.10** 地下水长期观测应符合下列规定：

1 观测孔宜按三角形布置，同一水文地质单元观测孔数不宜少于 3 个；

2 地下水位变化较大的地段或上层滞水或裂隙水赋存地段，均应布置观测孔；

3 在邻近地表水体的地段，应观测地下水与地表水的水力联系；

4 地下水受污染地段，应定期进行水质变化的观测；

5 观测期限应至少有一个水文年；

6 对采用基底地下水减压法抗浮工程，应在基底均匀布置水压力计，每个基底不应少于 4 处，监测应从基础顶板完成后开始，监测频率不应少于每 6 个月一次，监测期限不应小于设计正常使用期。

### 9.3.11 建筑物沉降观测应符合下列规定：

1 在被观测建筑物周边的适当位置，应布置 2 个~3 个沉降观测水准基点。水准基点标石应埋设在基岩层或其他稳定地层中。埋设位置以不受周边建（构）筑物基础压力的影响为准，在建筑区内，水准基点与邻近建筑物的距离应大于建筑物基础最大宽度的 2 倍；

2 沉降观测点的布设应根据建筑物体形、结构形式、工程地质条件等确定，可沿建筑物外墙周边、角点、中点每隔 10m~15m 或每隔 2 根~3 根柱基设置。对高低层连接处、不同地基基础类型、沉降缝连接处以及荷载有明显差异处，均应布置沉降观测点；

3 沉降观测应根据建筑物的重要性、使用要求、基础类型、工程地质条件及预估沉降量等因素综合确定；

4 宜在基础底板浇筑后开始测量，施工期间宜每增加一层观测一次，竣工后，第一年每隔 2 个~3 个月观测一次，以后每隔 4 个~6 个月观测一次，直至沉降相对稳定为止；

5 沉降相对稳定标准可根据观测目的、要求并结合地基土压缩性确定，高层建筑采用半年内日平均沉降速率（0.01~0.02）mm/d 作为沉降相对稳定标准，对软土地基沉降观测时间宜持续 5 年~8 年；

6 埋设在基础底板上的初始沉降观测点应随施工逐层向上引测至地面以上。



## 10 特级勘察

**10.0.1** 勘察等级为特级的高层建筑岩土工程勘察（以下简称特级勘察），其勘察阶段应按本标准第 3.0.3 条规定分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察三阶段进行。

**10.0.2** 特级勘察应根据原位测试、原型试验或类似工程实测沉降反分析，结合地区经验综合论证后提出计算稳定性、承载力、强度、变形分析评价的参数。

**10.0.3** 特级勘察勘探点布置范围应包括核心筒、主楼投影区、主楼外扩区（一般为建筑物边线外一至二柱跨），并宜与结构设计共同确定边线取值；勘探点数量、间距及控制性勘探点的数量应符合本标准第 4 章勘察等级甲级的规定，控制性勘探点宜布置在建筑物主体四周角点及核心筒中心部位。

**10.0.4** 特级勘察勘探点深度应根据基础埋深、荷载分布、地层结构及基础方案等条件综合确定，并应符合下列规定：

1 当以可压缩土层（包括全风化和强风化岩）作为桩筏、桩箱基础桩端持力层时，一般性勘探孔的深度应进入预计最大桩端入土深度以下不小于  $0.7b$ （ $b$  为筏形或箱形基础宽度），控制性勘探孔孔深应达到桩端平面以下附加应力为上覆土有效自重压力 20% 的深度，并不小于桩端平面以下  $1.5b$ ，当遇微风化基岩时，一般性勘探孔可钻入微风化岩 1m~3m 后终孔，控制性勘探孔可钻入微风化岩 3m~5m 后终孔；

2 对一般岩质地基的嵌岩桩，一般性勘探孔深度应钻入预计嵌岩面以下  $3d\sim 5d$ ，控制性勘探孔应钻入预计嵌岩面以下  $5d\sim 8d$ ，并应满足筏形或箱形基础平面以下不小于  $1.0b$ 。

**10.0.5** 为场地地震反应分析提供资料的勘探孔，应能代表场地的地层结构和不同工程地质单元，孔深应进入基岩层且剪切波速

不小于 500m/s。当基岩埋深大于 100m，且有邻近或区域深孔资料、土动力参数可参照时，孔深可适当减少，但不应小于 100m。

**10.0.6** 特级勘察应结合土层条件及工程要求，进行下列原型试验：

1 当拟以坚硬密实土、砂、卵石层或全、强风化岩作为特级勘察超高层建筑桩基或复合桩基持力层时，应进行桩基或复合桩基载荷试验，以提供相应地基的承载力特征值和变形模量；

2 宜实测基坑回弹量；

3 当桩基采用超长桩、后注浆、扩底桩等技术时，应结合试成（沉）桩以及现场静载试验实测结果提供相应设计、施工参数；

4 当水文地质参数难以通过室内试验获取时，应通过单井或群井抽水试验提供相应参数；

5 抗浮桩、抗浮锚索、锚杆应进行抗拔力试验。

**10.0.7** 评价大直径超长桩对桩基承载力及建筑物沉降影响时，宜分析下列因素的影响：

1 尺寸效应对单桩承载力影响；

2 超长桩桩身压缩量；

3 嵌岩桩中非嵌岩段侧阻力的贡献；

4 主楼外扩区与投影区、核心筒桩基变刚度协调底板变形。

**10.0.8** 基础埋深较大时，应分析卸荷引起的地基土回弹和回弹再压缩对工程的不利影响，估算地基土的回弹量和回弹再压缩量，分析地基土应力历史对回弹量的影响。地基的回弹变形量  $s_r$ 、地基的回弹再压缩量  $s_{rc}$  可按下列公式估算：

1 正常固结土可按下列公式估算：

$$s_r = \psi_r \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zci}}{E_{ri}} h_i \quad (10.0.8-1)$$

$$s_{rc} = \psi_{rc} \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zci}}{E_{rci}} h_i \quad (10.0.8-2)$$

$$\sigma_{zci} = \delta_m \alpha_i p_c \quad (10.0.8-3)$$

$$\sigma_{zrci} = \delta_m \alpha_i p_{0c} \quad (10.0.8-4)$$

式中： $s_r$ 、 $s_{rc}$ ——地基的回弹量（mm）、地基的回弹再压缩量（mm）；

$\sigma_{zri}$ ——由于基坑开挖卸荷，引起基础底面处及底面以下第  $i$  层土中点处产生向上回弹的附加应力，相当于该处有效自重压力的减量（kPa），为负值；

$\sigma_{zrci}$ ——基坑开挖卸荷回弹后，随着结构施工再加荷，加至卸除基坑底面以上土的有效自重压力时，基坑底面及基坑底面以下第  $i$  层土中点产生的附加应力的增量（kPa），为正值；

$\psi_r$ 、 $\psi_{rc}$ ——回弹量计算经验系数和回弹再压缩量计算经验系数，应根据类似工程条件下沉降观测资料及群桩作用情况综合确定，当无经验时可取 1.0；

$n$ ——地基变形计算深度范围内所划分的土层数；

$h_i$ ——第  $i$  层土厚度（m）；

$\delta_m$ ——由 Boussinesq 解，换算为 Mindlin 解的应力修正系数，可按本标准附录 J 确定，当  $\delta_m > 1.0$  时取  $\delta_m = 1.0$ ；

$\alpha_i$ ——按 Boussinesq 解的竖向附加应力系数，可根据本标准附录 C 表 C.0.3 确定， $l$ 、 $b$  分别为基础底面的长度和宽度， $z_i$  为基坑底面至第  $i$  层土中点的距离；

$p_c$ ——基坑底面处有效自重压力（kPa），地下水位以下应扣除浮力；

$p_{0c}$ ——基坑开挖卸荷后，随着结构施工基坑底面处新增的附加压力；

$E_{ri}$ 、 $E_{rci}$ ——第  $i$  层土的回弹模量、回弹再压缩模量（MPa），按本标准附录 A 回弹模量和回弹再压缩模量室内试验要点确定。

2 当需分析地基土应力历史对回弹量的影响时,可采用回弹指数  $C_{si}$ 按下列公式估算地基回弹量:

$$s_r = \psi_r \sum_{i=1}^n \frac{C_{si} h_i}{1 + e_{0i}} \lg \left[ \frac{p_{czi} + \sigma_{zi}}{p_{czi}} \right] \quad (10.0.8-5)$$

$$p_{czi} = p_{ci} \cdot \delta_m \quad (10.0.8-6)$$

式中:  $C_{si}$ ——坑底开挖面以下第  $i$  层土的回弹指数,  $C_{si}$  可用  $e$ - $\log p$  曲线按应力变化范围确定;

$e_{0i}$ ——第  $i$  层土的初始孔隙比;

$p_{czi}$ ——考虑应力修正系数 ( $\delta_m$ ) 后的第  $i$  层土层中心点的原有土层有效自重压力 (kPa);

$p_{ci}$ ——第  $i$  层土的原有有效自重压力 (kPa)。

**10.0.9** 当地基回弹量按本标准第 10.0.8 条估算时,计算深度应自基坑底面算起,算到坑底以下 1.5 倍基坑开挖深度处,当在计算深度以下尚有软弱下卧土层时,应算至软弱下卧层底部。

**10.0.10** 估算基坑回弹对桩基影响时宜同时分析单桩在上部荷载作用下产生沉降的影响。

**10.0.11** 邻近重大市政设施、重要建筑、地铁的超高层建筑,评价其施工对周边环境造成的影响时宜分析下列因素的影响:

- 1 基坑工程开挖引起的坑壁侧向位移和坑底土体回弹;
- 2 长时间的基坑降水活动引起大面积土体沉降,进而引起周边环境的差异沉降;
- 3 密集高层建筑的桩基拖带影响范围内地铁隧道共同沉降;
- 4 周边各类工程活动在空间与时间上的叠加影响效应;
- 5 在工程活动作用时,周边环境自身结构的变形响应。

**10.0.12** 特级勘察应根据设计要求进行设计参数检验,当采用天然地基时,应进行浅层平板载荷试验,以最终确定持力层的承载力特征值、变形模量或竖向基床系数;当采用桩基时,应进行基桩竖向抗压、抗拔载荷试验或水平载荷试验,以最终确定基桩的抗压、抗拔承载力特征值、桩侧地基土水平抗力系数的比例系数,基桩的竖向、水平向基床系数等参数。

**10.0.13** 底板监测可根据荷载分布特点布置，并宜包括下列内容：

- 1 底板挠曲、差异变形；
- 2 底板钢筋应力；
- 3 基底土压力；
- 4 基底回弹量和回弹再压缩量；
- 5 底板施工过程中大体积混凝土水化热；
- 6 桩端阻力、桩侧摩阻力分布规律。

## 11 岩土工程勘察报告

### 11.1 一般规定

**11.1.1** 高层建筑岩土工程勘察报告应结合工程特点和主要岩土工程问题进行编写，并应资料完整、真实准确、数据无误、图表清晰、结论有据，工程措施建议因地制宜、合理可行。文字报告与图表部分应协调一致。

**11.1.2** 针对特殊、复杂、疑难问题，可根据任务要求，进行有关的专门岩土工程勘察与评价，提供专题咨询报告。

### 11.2 勘察报告主要内容和要求

**11.2.1** 高层建筑岩土工程初步勘察报告应满足初步设计的要求，对拟建场地的稳定性和建筑适宜性作出明确判断，作为设计确定高层建筑总平面布置、选择地基基础类型、防治不良地质作用的依据。

**11.2.2** 高层建筑岩土工程详细勘察报告应满足施工图设计要求，为高层建筑地基基础设计、地基处理、基坑与边坡工程、基础施工方案及地下水控制方案的确定等提供岩土工程资料，并应作出相应的分析和评价。高层建筑岩土工程详细勘察报告应包括下列内容：

- 1 建筑、结构条件及荷载特点，地下室层数、基础埋深及形式等基本情况；
- 2 场地和地基的稳定性，不良地质作用、特殊性岩土和地震效应评价；
- 3 采用天然地基的可能性，地基均匀性、承载力评价；
- 4 对复合地基和桩基的桩型和桩端持力层选择，桩的侧阻力、端阻力提出建议；

- 5 地基变形特征预测；
- 6 地下水和地下室抗浮评价；
- 7 基坑开挖和支护的评价；
- 8 施工中应注意的工程问题及工程对环境的影响分析与评价；
- 9 对检测与监测的建议；
- 10 对初步勘察中遗留的问题作出结论。

**11.2.3** 详细勘察报告应阐明影响高层建筑的场地、地基稳定性及不良地质作用的分布及发育情况，评价其对工程的影响。场地地震效应的分析与评价应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定；建筑边坡稳定性的分析与评价应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的规定。

**11.2.4** 详细勘察报告应对地基岩土层的空间分布规律、均匀性、强度和变形性质及与工程有关的其他特性进行定性和定量评价。岩土参数指标的分析 and 选用应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定。

**11.2.5** 详细勘察报告应阐明场地地下水的类型、埋藏条件、水位、渗流状态，提供有关水文地质参数，并应评价地下水对混凝土和钢筋混凝土中钢筋的腐蚀性以及对深基坑、边坡工程的不良影响。深基础位于地下水位以下者，应分析地下水对成桩工艺及复合地基施工的影响。

**11.2.6** 天然地基方案应对地基持力层及下卧层进行分析，提出地基承载力和沉降计算的岩土参数和指标，宜结合工程条件对地基变形进行分析评价。当采用岩石作为天然地基持力层时，应鉴定岩层的时代、名称和风化程度，并进行岩石坚硬程度、岩体完整程度和岩体基本质量等级的划分，以确定岩石地基的承载力。

**11.2.7** 桩基方案应分析提出桩型、桩端持力层的建议，提供桩基承载力和桩基沉降计算的参数，宜进行不同情况下桩基承载力和桩基沉降量的分析与评价，对各种可能选用的桩基方案宜进行

必要的分析比较，提出建议。

**11.2.8** 复合地基方案应根据高层建筑特征及场地条件，建议增强体类型，并提供加固深度或桩端持力层建议。应提供复合地基承载力及变形分析计算所需的岩土参数指标。

**11.2.9** 基坑工程应根据基坑的规模及场地条件，对基坑支护方案、基坑工程可能产生的主要岩土工程问题等提出建议。应根据场地水文地质条件，对地下水控制方案提出建议。

**11.2.10** 勘察报告应根据可能采用的地基基础方案、基坑支护方案及场地的工程地质、水文地质环境条件，对地基基础及基坑支护等施工中应注意的岩土工程问题及设计参数检测、现场检验、监测工作提出建议。

**11.2.11** 当遇到下列特殊岩土工程问题时，应根据任务要求进行专门岩土工程工作或分析研究，提供专题咨询报告：

1 场地范围内或附近存在性质或规模尚不明确的活动断裂及地裂缝、滑坡、高边坡、地下采空区等不良地质作用的工程；

2 水文地质条件复杂或环境特殊，需现场进行专门水文地质试验，以确定水文地质参数的工程；或需进行专门的施工降水、截水设计，并需分析研究降水、截水对建筑本身及邻近建筑和设施等周边环境影响的工程；

3 对地下水防护有特殊要求，需进行专门的地下水动态分析研究、专门进行地下室抗浮设计的工程；

4 建筑结构特殊或对差异沉降有特殊要求，需进行专门的上部结构、地基与基础共同作用分析计算与评价的工程；

5 根据工程要求，需对地基基础方案进行优化、比选分析论证的工程；

6 抗震设计所需的时程分析评价；

7 有关工程设计重要参数的最终检测、核定等。

### 11.3 图表及附件

**11.3.1** 高层建筑岩土工程勘察报告所附图件应体现勘察工作的



主要成果，反映拟建场地的地层结构与岩土工程性质的变化，并与报告书文字相互呼应。主要图件及附件应包括下列内容：

1 岩土工程勘察任务委托书（含建筑物基本情况及勘察技术要求）；

2 拟建建筑平面位置及勘探点平面布置图；

3 工程地质钻孔柱状图或综合工程地质柱状图；

4 工程地质剖面图；

5 当工程地质条件复杂或地基基础分析评价需要时，宜绘制下列图件：

1) 关键地层层面等高线图和等厚度线图；

2) 工程地质三维图；

3) 工程地质分区图；

4) 基坑各侧壁代表性的综合地质剖面；

5) 特殊土或特殊地质问题的专门性图件；

6) 设计参数检验、原型试验的图件。

**11.3.2** 高层建筑岩土工程勘察报告所附表格和曲线宜包括下列内容：

1 土工试验及水质分析成果表；

2 地基土原位测试试验曲线及数据表；

3 岩土层的强度和变形试验曲线；

4 重要的岩土工程设计分析成果图表等。

## 附录 A 回弹模量和回弹再 压缩模量室内试验要点

**A.0.1** 回弹模量和回弹再压缩模量应按室内固结试验测得的回弹曲线和回弹再压缩曲线计算求取。卸荷回弹引起回弹量的计算深度宜等同于沉降计算深度。

**A.0.2** 基础底面下第  $i$  层土回弹曲线和回弹再压缩曲线（图 A.0.2）测求，应符合下列规定：

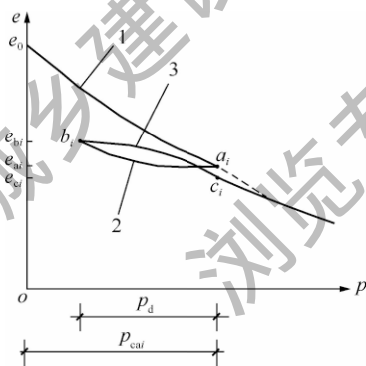


图 A.0.2 第  $i$  层土回弹曲线和回弹再压缩曲线示意图  
1—恢复自重压力压缩曲线；2—回弹曲线；3—回弹再压缩曲线

**1** 在基础底面下第  $i$  层土中点  $a_i$  处取不扰动土样，切取环刀进行标准固结试验，分级加荷至取样深度  $a_i$  点的有效自重压力  $p_{cui}$  处， $p_{cui} = \gamma'_h h_i$  ( $\gamma'_h$  为  $h_i$  深度以上土的按厚度加权平均有效重度，位于地下水位以下的土层取浮重度， $h_i$  为第  $i$  层中点取样深度)；

**2** 从第  $i$  层中点有效自重压力  $p_{cui}$  处开始分级卸荷，分级不少于 2 个点，卸荷压力  $p_d$  按基础底面埋深确定，即  $p_d = \gamma'_d d$

( $\gamma'_d$  为基础埋置深度  $d$  以上土层按厚度加权平均有效重度)，卸至  $p_d=0$  处，可获得回弹曲线  $a_i$ 、 $b_i$  点的孔隙比；

3 在  $p_d=0$  处，再分级加荷至  $p_{cui}$  处，可获得回弹再压缩曲线上  $c_i$  点处的孔隙比；

4 根据回弹曲线和回弹再压缩曲线，按下列公式计算第  $i$  层回弹模量  $E_{ri}$  和回弹再压缩模量  $E_{rci}$ ；

$$E_{ri} = (1 + e_{ai}) \frac{p_d}{e_{bi} - e_{ai}} \quad (\text{A. 0. 2-1})$$

$$E_{rci} = (1 + e_{bi}) \frac{p_d}{e_{bi} - e_{ci}} \quad (\text{A. 0. 2-2})$$

式中： $E_{ri}$ 、 $E_{rci}$ ——第  $i$  层土的回弹模量，第  $i$  层土的回弹再压缩模量；

$e_{bi}$ 、 $e_{ai}$ 、 $e_{ci}$ ——回弹曲线和回弹再压缩曲线上，分别为  $b_i$ 、 $a_i$ 、 $c_i$  点固结压力下相对稳定后的孔隙比。

**A. 0. 3** 加荷、卸荷分级压力按取土深度和开挖深度，由试验设计确定；加荷和卸荷每级压力后，每小时变形小于等于 0.01mm 时，作为相对稳定标准。

**A. 0. 4** 试验中的其他要求应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 标准固结试验的规定。

## 附录 B 天然地基极限承载力估算

**B.0.1** 天然地基极限承载力可按下列公式估算：

$$f_u = \frac{1}{2}N_\gamma \zeta_\gamma b \gamma + N_q \zeta_q \gamma_0 d + N_c \zeta_c \bar{c}_k \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$f_{ak} = f_u / K \quad (\text{B.0.1-2})$$

式中： $f_u$ ——地基极限承载力 (kPa)；

$f_{ak}$ ——地基承载力特征值 (kPa)；

$N_\gamma$ 、 $N_q$ 、 $N_c$ ——地基承载力系数，根据地基持力层代表性内摩擦角标准值 $\bar{\varphi}_k$  (°)，按表 B.0.1-1 确定；

$\zeta_\gamma$ 、 $\zeta_q$ 、 $\zeta_c$ ——基础形状修正系数，按表 B.0.1-2 确定；

$b$ 、 $l$ ——分别为基础（包括箱形基础和筏形基础）底面的宽度与长度，当基础宽度大于 6m 时，取  $b = 6\text{m}$ ；

$\gamma_0$ 、 $\gamma$ ——分别为基底以上和基底组合持力层的土体平均重度 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )。位于地下水位以下且不属于隔水层的土层取浮重度；当基底土层位于地下水位以下但属于隔水层时， $\gamma$  可取天然重度；如基底以上的地下水与基底高程处的地下水之间有隔水层，基底以上土层在计算  $\gamma_0$  时可取天然重度；

$d$ ——基础埋置深度 (m)；

$\bar{c}_k$ ——地基持力层代表性黏聚力标准值 (kPa)；

$K$ ——安全系数，应根据建筑安全等级和土性参数的可靠性在 2~3 之间选取。

**B.0.2** 天然地基极限承载力计算时，基础埋置深度  $d$  应根据不同情况按下列规定选取：

1 一般自室外地面高程算起,对于地下室采用箱形或筏形基础时,自室外天然地面起算,采用独立柱基或条形基础时,从室内地面起算;

2 在填方整平地区,可自填土地面起算;但若填方在上部结构施工后完成时,自填方前的天然地面起算;

3 当高层建筑周边附属建筑为超补偿基础时,宜分析周边附属建筑基底压力低于土层自重压力的影响。

表 B.0.1-1 极限承载力系数表

$\bar{\varphi}_k$ (°)	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\bar{\varphi}_k$ (°)	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.14	1.00	0.00	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.20	14.47
2	5.63	1.20	0.15	28	25.80	14.72	16.72
3	5.90	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.40	22.40
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.30	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.80	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.20	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.90	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.10	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.80	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.40	5.39	46	152.10	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.20	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.20	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.60	9.44	50	266.89	319.07	762.86
25	20.72	10.66	10.88				

注:  $N_q = e^{\pi \tan \bar{\varphi}_k} \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\bar{\varphi}_k}{2} \right)$ ,  $N_c = (N_q - 1) \cot \bar{\varphi}_k$ ,  $N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \bar{\varphi}_k$ 。

表 B.0.1-2 基础形状修正系数

基础形状	$\zeta_{\gamma}$	$\zeta_{\eta}$	$\zeta_c$
条形	1.00	1.00	1.00
矩形	$1 - 0.4 \frac{b}{l}$	$1 + \frac{b}{l} \tan \bar{\varphi}_k$	$1 + \frac{b}{l} \frac{N_q}{N_c}$
圆形或方形	0.60	$1 + \tan \bar{\varphi}_k$	$1 + \frac{N_q}{N_c}$

住房和城乡建设部信息中心  
浏览专用

## 附录 C 用变形模量 $E_0$ 估算天然 和复合地基最终沉降量

**C.0.1** 对筏形和箱形基础，地基最终平均沉降量可按式估算：

$$s = \psi_s p b \eta \sum_{i=1}^n \left( \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{E_{0i}} \right) \quad (\text{C.0.1})$$

式中： $s$ ——地基最终平均沉降量 (mm)；

$\psi_s$ ——沉降经验系数，根据地区经验确定，对花岗岩残积土  $\psi_s$  可取 1；

$p$ ——对应于荷载效应准永久组合时的基底平均压力 (kPa)，地下水位以下扣除水浮力；

$b$ ——基础底面宽度 (m)；

$\delta_i$ 、 $\delta_{i-1}$ ——沉降应力系数，与基础长宽比 ( $l/b$ ) 和基底至第  $i$  层和第  $i-1$  层 (岩) 土底面的距离  $z$  有关，可按表 C.0.1-1 确定；

$E_{0i}$ ——基底下第  $i$  层土的变形模量 (MPa)，可通过载荷试验或地区经验确定；

$\eta$ ——考虑刚性下卧层影响的修正系数，可按表 C.0.1-2 确定。

**表 C.0.1-1 按  $E_0$  估算地基沉降应力系数  $\delta_i$**

$m = \frac{2z}{b}$	圆形基础 $b = 2r$	矩形基础 $n = l/b$						条形基础 $n \geq 10$
		1.0	1.4	1.8	2.4	3.2	5.0	
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.4	0.067	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.104
0.8	0.163	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.208
1.2	0.262	0.299	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.311

续表 C. 0. 1-1

$m = \frac{2z}{b}$	圆形基础	矩形基础 $n=l/b$						条形基础 $n \geq 10$
	$b=2r$	1.0	1.4	1.8	2.4	3.2	5.0	
1.6	0.346	0.380	0.394	0.397	0.397	0.397	0.397	0.412
2.0	0.411	0.446	0.472	0.482	0.486	0.486	0.486	0.511
2.4	0.461	0.499	0.538	0.556	0.565	0.567	0.567	0.605
2.8	0.501	0.542	0.592	0.618	0.635	0.640	0.640	0.687
3.2	0.532	0.577	0.637	0.671	0.696	0.707	0.709	0.763
3.6	0.558	0.606	0.676	0.717	0.750	0.768	0.772	0.831
4.0	0.579	0.630	0.708	0.756	0.796	0.802	0.830	0.892
4.4	0.596	0.650	0.735	0.789	0.837	0.867	0.883	0.949
4.8	0.611	0.668	0.759	0.819	0.873	0.908	0.932	1.001
5.2	0.624	0.683	0.780	0.844	0.904	0.948	0.977	1.050
5.6	0.635	0.697	0.798	0.867	0.933	0.981	1.018	1.095
6.0	0.645	0.708	0.814	0.887	0.958	1.011	1.056	1.138
6.4	0.653	0.719	0.828	0.904	0.980	1.031	1.092	1.178
6.8	0.661	0.728	0.841	0.920	1.000	1.065	1.122	1.215
7.2	0.668	0.736	0.852	0.935	1.019	1.088	1.152	1.251
7.6	0.674	0.744	0.863	0.948	1.036	1.109	1.180	1.285
8.0	0.679	0.751	0.872	0.960	1.051	1.128	1.205	1.316
8.4	0.684	0.757	0.881	0.970	1.063	1.146	1.229	1.347
8.8	0.689	0.762	0.888	0.980	1.078	1.162	1.251	1.376
9.2	0.693	0.768	0.896	0.989	1.089	1.178	1.272	1.404
9.6	0.697	0.772	0.902	0.998	1.100	1.192	1.291	1.431
10.0	0.700	0.777	0.908	1.005	1.110	1.205	1.309	1.456
11.0	0.705	0.786	0.912	1.022	1.132	1.230	1.349	1.506
12.0	0.710	0.794	0.933	1.037	1.151	1.257	1.384	1.550

注：1  $l$  与  $b$  分别为矩形基础的长度与宽度 (m)；2  $z$  为基础底面至该层土底面的距离 (m)；3  $r$  为圆形基础的半径 (m)。表 C. 0. 1-2 修正系数  $\eta$ 

$m = \frac{z_n}{b}$	$0 < m \leq 0.5$	$0.5 < m \leq 1$	$1 < m \leq 2$	$2 < m \leq 3$	$3 < m \leq 5$	$m > 5$
$\eta$	1.00	0.95	0.90	0.80	0.75	0.70

C. 0. 2 按变形模量  $E_0$  预测沉降时，沉降计算深度  $z_n$  可按下式



确定:

$$z_n = (z_m + \xi b)\beta \quad (\text{C. 0.2-1})$$

式中:  $z_n$ ——沉降计算深度 (m);

$z_m$ ——与基础长宽比有关的经验值, 按表 C. 0.2-1 确定;

$\xi$ ——折减系数, 按表 C. 0.2-1 确定;

$\beta$ ——调整系数, 按表 C. 0.2-2 确定。

表 C. 0.2-1  $z_m$  值和折减系数  $\xi$

$l/b$	1	2	3	4	$\geq 5$
$z_m$	11.6	12.4	12.5	12.7	13.2
$\xi$	0.42	0.49	0.53	0.60	1.00

表 C. 0.2-2 调整系数  $\beta$

土类	碎石土	砂土	粉土	黏性土、花岗岩残积土	软土
$\beta$	0.30	0.50	0.60	0.75	1.00

当无相邻荷载影响, 基础宽度在 30m 范围内时, 基础中点的地基沉降计算深度也可按下式计算:

$$z_n = b(2.5 - 0.4 \ln b) \quad (\text{C. 0.2-2})$$

**C. 0.3** 对扩展基础、条形基础按变形模量  $E_0$  预测地基沉降时, 可按下列公式估算:

$$s = \eta \sum_{i=1}^n \frac{p_{0i}}{E_{0i}} h_i \quad (\text{C. 0.3-1})$$

$$p_{0i} = \alpha_i (p_k - p_c) \quad (\text{C. 0.3-2})$$

式中:  $s$ ——地基最终沉降量 (mm);

$E_{0i}$ ——基底下第  $i$  层土的变形模量 (MPa);

$h_i$ ——第  $i$  层土的厚度 (m);

$\eta$ ——沉降计算经验系数, 对花岗岩类的土岩层可取 0.8;  
对其他土层宜根据实测资料和工程经验确定;

$p_{0i}$ ——第  $i$  层中点处的附加压力 (kPa);

$p_k$ ——对应于荷载效应标准永久组合基础底面的平均压力 (kPa);

$p_c$ ——基础底面上土的自重压力标准值 (kPa);

$\alpha$ ——矩形基础和条形基础均布荷载作用下中心点竖向附加应力系数, 可根据表 C.0.3 确定,  $l$ 、 $b$  分别为基础底面的长度和宽度,  $z_i$  为基础底面至第  $i$  层土中点的距离。

表 C.0.3 矩形基础和条形基础均布荷载作用下中心点  
竖向附加应力系数  $\alpha$  (Boussinesq 解)

$2z/b$	$l/b$											条形基础
	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	3	4	5	6	10	
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.2	0.994	0.995	0.996	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
0.4	0.960	0.968	0.972	0.974	0.975	0.976	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977
0.6	0.892	0.910	0.920	0.926	0.930	0.932	0.936	0.936	0.937	0.937	0.937	0.937
0.8	0.800	0.830	0.848	0.859	0.866	0.870	0.878	0.880	0.881	0.881	0.881	0.881
1.0	0.701	0.740	0.766	0.782	0.793	0.800	0.814	0.817	0.818	0.818	0.818	0.818
1.2	0.606	0.651	0.682	0.703	0.717	0.727	0.748	0.753	0.754	0.755	0.755	0.755
1.4	0.522	0.569	0.603	0.628	0.645	0.658	0.685	0.692	0.694	0.695	0.696	0.696
1.6	0.449	0.496	0.532	0.558	0.578	0.593	0.627	0.636	0.639	0.640	0.642	0.642
1.8	0.388	0.433	0.469	0.496	0.517	0.534	0.573	0.585	0.590	0.591	0.593	0.593
2.0	0.336	0.379	0.414	0.441	0.463	0.481	0.525	0.540	0.545	0.547	0.549	0.550
2.2	0.293	0.333	0.366	0.393	0.416	0.433	0.482	0.499	0.505	0.508	0.511	0.511
2.4	0.257	0.294	0.325	0.352	0.374	0.392	0.443	0.462	0.470	0.473	0.477	0.477
2.6	0.226	0.260	0.290	0.315	0.337	0.355	0.408	0.429	0.438	0.442	0.446	0.447
2.8	0.201	0.232	0.260	0.284	0.304	0.322	0.377	0.400	0.410	0.414	0.419	0.420
3.0	0.179	0.208	0.233	0.256	0.276	0.293	0.348	0.373	0.384	0.389	0.395	0.396
3.2	0.160	0.187	0.210	0.232	0.251	0.267	0.322	0.348	0.360	0.366	0.373	0.374
3.4	0.144	0.169	0.191	0.211	0.229	0.244	0.299	0.326	0.339	0.345	0.353	0.354

续表 C.0.3

2z/b	l/b										条形 基础	
	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	3	4	5	6		10
3.6	0.131	0.153	0.173	0.192	0.209	0.224	0.278	0.305	0.319	0.327	0.335	0.337
3.8	0.119	0.139	0.158	0.176	0.192	0.206	0.259	0.287	0.301	0.309	0.318	0.320
4.0	0.108	0.127	0.145	0.161	0.176	0.190	0.241	0.269	0.285	0.293	0.303	0.306
4.2	0.099	0.116	0.133	0.148	0.163	0.176	0.225	0.254	0.270	0.278	0.290	0.292
4.4	0.091	0.107	0.123	0.137	0.150	0.163	0.211	0.239	0.255	0.265	0.277	0.280
4.6	0.084	0.099	0.113	0.127	0.139	0.151	0.197	0.226	0.242	0.252	0.265	0.268
4.8	0.077	0.091	0.105	0.118	0.130	0.141	0.185	0.213	0.230	0.240	0.254	0.258
5.0	0.072	0.085	0.097	0.109	0.121	0.131	0.174	0.202	0.219	0.229	0.244	0.248
6.0	0.051	0.060	0.070	0.078	0.087	0.095	0.130	0.155	0.172	0.184	0.202	0.208
7.0	0.038	0.045	0.052	0.059	0.065	0.072	0.100	0.122	0.139	0.150	0.171	0.179
8.0	0.029	0.035	0.040	0.046	0.051	0.056	0.079	0.098	0.113	0.125	0.147	0.158
9.0	0.023	0.028	0.032	0.036	0.041	0.045	0.064	0.081	0.094	0.105	0.128	0.140
10.0	0.019	0.022	0.026	0.030	0.033	0.037	0.053	0.067	0.079	0.089	0.112	0.126
12.0	0.013	0.016	0.018	0.021	0.023	0.026	0.038	0.048	0.058	0.066	0.088	0.106
14.0	0.010	0.012	0.013	0.015	0.017	0.019	0.028	0.036	0.044	0.051	0.070	0.091
16.0	0.007	0.009	0.010	0.012	0.013	0.015	0.022	0.028	0.034	0.040	0.057	0.079
18	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.012	0.017	0.023	0.028	0.032	0.047	0.071
20	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.009	0.014	0.018	0.023	0.027	0.040	0.064
25	0.003	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.009	0.012	0.015	0.017	0.027	0.051
30	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012	0.019	0.042
35	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.005	0.006	0.008	0.009	0.015	0.036
40	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.004	0.005	0.006	0.007	0.011	0.032

## 附录 D 标准贯入试验成果估算 预制桩竖向极限承载力

**D.0.1** 采用标准贯入试验成果测求混凝土预制桩的极限侧阻力可按表 D.0.1 取值。

**表 D.0.1 用标准贯入实测击数  $N$  测求混凝土预制桩极限侧阻力  $q_{sis}$**

土的名称	标准贯入试验实测击数 $N$ (击)	混凝土预制桩极限侧阻力 $q_{sis}$ (kPa)
淤泥	$N < 3$	14~20
淤泥质土	$3 < N \leq 5$	22~30
黏性土	流塑 $N \leq 2$	24~40
	软塑 $2 < N \leq 4$	40~55
	可塑 $4 < N \leq 8$	55~70
	硬可塑 $8 < N \leq 15$	70~86
	硬塑 $15 < N \leq 30$	86~98
	坚硬 $N > 30$	98~105
粉土	稍密 $2 < N \leq 6$	26~46
	中密 $6 < N \leq 12$	46~66
	密实 $12 < N \leq 30$	66~88
粉细砂	稍密 $10 < N \leq 15$	24~48
	中密 $15 < N \leq 30$	48~66
	密实 $N > 30$	66~88
中砂	中密 $15 < N \leq 30$	54~74
	密实 $N > 30$	74~95
粗砂	中密 $15 < N \leq 30$	74~95
	密实 $N > 30$	95~116

续表 D. 0.1

土的名称	标准贯入试验实测击数 N (击)	混凝土预制桩极限侧阻力 $q_{sis}$ (kPa)
砾砂	密实 $N > 30$	116~138
全风化软质岩	$30 < N \leq 50$	100~120
全风化硬质岩	$40 < N \leq 70^*$	140~160
强风化软质岩	$N > 50$	160~240
强风化硬质岩	$N > 70^*$	220~300

- 注：1 全风化、强风化软质岩和全风化、强风化硬质岩系指其母岩分别为  $f_{rk} \leq 15\text{MPa}$ 、 $f_{rk} > 30\text{MPa}$  的岩石；
- 2 单桩极限承载力最终宜通过单桩静载荷试验确定；
- 3 表中数据可根据地区经验作适当调整；
- 4 带\*者，主要适用于花岗岩、花岗片麻岩和火山凝灰岩硬质岩。

**D. 0.2** 采用标准贯入试验成果测求混凝土预制桩的极限端阻力可按表 D. 0.2 取值。

表 D. 0.2 用标准贯入试验实测击数测求混凝土预制桩极限端阻力  $q_{ps}$ 

土层类别	强风化软质岩 $N > 50$		全风化软质岩 $30 < N \leq 50$		$15 < N \leq (40)$ 中密— 密实中、 粗、砾砂	$4 < N \leq (40)$ 可塑—坚硬 黏性土		$6 < N \leq 30$ 中密—密实粉土		
	强风化硬质岩 $N > 70^*$	全风化硬质岩 $40 < N \leq 70^*$	硬质岩	软质岩		中密、 密实 $15 \sim (40)$	硬塑、 坚硬 $15 \sim (40)$	可塑、 硬可塑 $4 \sim 15$	密实 $12 \sim 30$	中密 $6 \sim 12$
$q_{ps}$ (kPa)	N (击)		入土深度 (m)							
$< 9$	7000~	6000~	5000~	4000~	4000~	2500~	850~	1500~	950~	
					7500	3800	2300	2600	1700	
9~16	9000	7500	6500	5000	5500~	3800~	1400~	2100~	1400~	
					9500	5500	3300	3000	2100	

续表 D. 0. 2

土层类别	强风化软质岩 $N > 50$ 强风化硬质岩 $N > 70^*$		全风化软质岩 $30 < N \leq 50$ 全风化硬质岩 $40 < N \leq 70^*$		$15 < N \leq (40)$ 中密— 密实中、 粗、砾砂	$4 < N \leq (40)$ 可塑—坚硬 黏性土	$6 < N \leq 30$ 中密—密实粉土		
$q_{ps}$ (kPa) N (击) 入土 深度 (m)	硬质岩	软质岩	硬质岩	软质岩	中密、 密实 15~ (40)	硬塑、 坚硬 15~ (40)	可塑、 硬可塑 4~15	密实	中密
16~30	9000~	7500~	6500~	5000~	6500~ 10000	5500~ 6000	1900~ 3600	2700~ 3600	1900~ 2700
>30	11000	9000	8000	6000	7500~ 11000	6000~ 6800	2300~ 4400	3600~ 4400	2500~ 3400

注：1 表中极限端阻力  $q_{ps}$  可根据标准贯入试验实测击数用插入法求取，表中  $N$  值带 ( ) 者，系为插入法用；

2 表中中密—密实的中砂、粗砂、砾砂的  $q_{ps}$  范围值，中砂取小值，粗砂取中值，砾砂取大值；

3 表中数据可根据地区经验作适当调整；

4 带 \* 者，主要适用于花岗岩、花岗片麻岩和火山凝灰岩硬质岩。

**D. 0. 3** 采用标准贯入试验成果可按下式估算预制桩单桩竖向极限承载力：

$$Q_u = u \sum q_{s_i} l_i + q_{ps} A_p \quad (D. 0. 3)$$

式中： $q_{s_i}$ ——第  $i$  层土的极限侧阻力 (kPa)；

$q_{ps}$ ——桩端土极限端阻力 (kPa)。

## 附录 E 大直径桩端阻力载荷试验要点

**E.0.1** 大直径桩极限端阻力载荷试验应采用圆形刚性承压板，其直径应为 0.8m。

**E.0.2** 承压板应置于桩端持力层上，亦可在试井完成后，直接在外径为 0.8m 的钢环内浇灌混凝土而成，当试井直径大于承压板直径时，紧靠承压板周围外侧的土层高度不应小于 0.8m；承压板上用小于试井直径的钢管联结，延伸至地面进行加荷；亦可利用井壁护圈作反力加荷，沉降观测宜直接在底板上进行。

**E.0.3** 加荷等级可按预估极限端阻力的  $1/15 \sim 1/10$  分级施加，最大荷载应达到破坏，且不应小于设计端阻力的两倍。

**E.0.4** 在加每级荷载后的第一小时内，每隔 10min、10min、10min、15min、15min 观测一次，以后每隔 30min 观测一次。

**E.0.5** 在每级荷载作用下，当连续 2h，每小时的沉降量小于 0.1mm 时，则认为已经稳定，可施加下一级荷载。

**E.0.6** 符合下列条件之一时可终止加载：

1 当荷载—沉降曲线上，有可判定极限端阻力的陡降段，且沉降量超过  $(0.04 \sim 0.06) d$  ( $d$  为承压板直径)，压缩性小的岩土取小值，反之取大值；

2 本级沉降量大于前一级沉降量的 5 倍；

3 某级荷载作用下经 24h 沉降量尚不能达到稳定标准；

4 当持力层岩土层坚硬，沉降量很小时，最大加载量已不小于设计端阻力 2 倍。

**E.0.7** 卸载观测应符合下列规定：

1 卸载的每级荷载为加载每级荷载的 2 倍；

2 每级卸载后，隔 15min、15min、30min 观测一次，即可卸下一级荷载；

3 全部卸载后隔 3h~4h 再测读一次。

**E.0.8** 端阻力特征值的确定应符合下列规定：

1 满足终止加载条件前三条之一时，其对应的前一级压力定为极限端阻力；

2 当  $p-s$  曲线有明显的比例界限时，取比例界限所对应压力为端阻力特征值，但其值不应大于最大加载量或极限端阻力的一半；

3 当  $p-s$  曲线无明显的拐点时，可取  $s=(0.008\sim 0.015)d$ （对全风化、强风化、中等风化岩取较小值，对黏性土取较大值，砂类土取中间值）所对应的  $p$  值，作为端阻力特征值，但其值不应大于最大加载量或极限端阻力的一半。

**E.0.9** 同一岩土层参加统计的试验点不应少于 3 点，当试验实测值的极差不超过平均值的 30% 时，取此平均值作为极限端阻力或端阻力特征值。



## 附录 F 原位测试参数估算群桩基础最终沉降量

**F.0.1** 用原位测试参数换算土压缩模量  $E_s$ ，或直接用原位测试参数估算预制群桩基础沉降量的方法适用于一般黏性土、粉土和砂土地基，应符合下列规定：

- 1 桩中心距小于  $6d$ 、排列密集的预制桩群桩基础；
- 2 桩基承台、桩群和桩间土可视为实体基础，不计入沿桩身的应力扩散；
- 3 沉降计算深度自桩端全断面平面算起，算至有效附加压力等于土有效自重压力的 20% 处，有效附加压力应计入相邻基础影响；
- 4 各地区应根据当地的工程实测资料统计对比、验证，确定相应的桩基沉降计算经验系数。

**F.0.2** 对无法或难以采取不扰动土试样的填土、粉土、砂土和深部土层，可根据静力触探试验、标准贯入试验和旁压试验测试参数按表 F.0.2 的经验关系换算土的压缩模量  $E_s$  值，此压缩模量为有效自重压力至有效自重压力加附加压力之和段的压缩模量。

表 F.0.2 土的压缩模量  $E_s$  与原位测试参数的经验关系

原位测试方法	土性	$E_s$ (MPa)	适用深度(m)	适用范围值
静力触探试验	一般黏性土	$E_s = 3.3p_s + 3.2$ $E_s = 3.7q_c + 3.4$	15~70	$0.8 \leq p_s \leq 5.0$ (MPa) $0.7 \leq q_c \leq 4.0$ (MPa)
	粉土及粉细砂	$E_s = (3 \sim 4)p_s$ $E_s = (3.4 \sim 4.4)q_c$	20~80	$3.0 \leq p_s \leq 25.0$ (MPa) $2.6 \leq q_c \leq 22.0$ (MPa)
标准贯入试验	粉土及粉细砂	$E_s = (1 \sim 1.2)N$	<120	$10 \leq N \leq 50$ (击)
	中、粗砂	$E_s = (1.5 \sim 2)N$		$10 \leq N \leq 50$ (击)

续表 F. 0. 2

原位测试方法	土性	$E_s(\text{MPa})$	适用深度(m)	适用范围值
旁压试验	一般黏性土	$E_s = (0.7 \sim 1)E_m$	$>10$	
	粉土	$E_s = (1.2 \sim 1.5)E_m$		
	粉细砂	$E_s = (2 \sim 2.5)E_m$		
	中、粗砂	$E_s = (3 \sim 4)E_m$		

注：表中经验公式仅适用于桩基，使用前应根据地区资料进行验证。

### F. 0. 3 预制群桩基础最终沉降量可按下列公式估算：

$$s = \eta \psi_{s1} \psi_{s2} \sum_{i=1}^n \frac{p_{0i} h_i}{E_{si}} \quad (\text{F. 0. 3-1})$$

$$\eta = 1 - 0.5 p_{cz} / p_0 \quad (\text{F. 0. 3-2})$$

式中： $s$ ——桩基最终沉降量（mm）。

$\eta$ ——桩端入土深度修正系数； $\eta < 0.3$ 时，取0.3；

$p_{cz}$ ——桩端处土的有效自重压力（kPa）；

$p_0$ ——对应于荷载效应准永久组合时的桩端处的有效附加压力（kPa）；

$\psi_{s1}$ ——桩侧土性修正系数，当桩侧土有层厚不小于0.3B（B为等效基础宽度）的硬塑状的黏性土或中密—密实砂土时， $\psi_{s1} = 0.7 \sim 0.8$ ；可塑状黏性土或稍密砂土时， $\psi_{s1} = 1$ ；流塑状淤泥质土时， $\psi_{s1} = 1.2$ ；

$\psi_{s2}$ ——桩端土性修正系数，当桩端下有层厚 $\geq 0.5B$ 的硬塑状的黏性土或中密—密实砂土时， $\psi_{s2} = 0.8$ ；可塑状黏性土或稍密砂土时， $\psi_{s2} = 1$ ；流塑状淤泥质土时， $\psi_{s2} = 1.1$ ；

$p_{0i}$ ——桩端下第*i*土层中的平均有效附加压力（采用Boussinesq应力分布解）（kPa）；

$E_{si}$ ——桩端下第*i*土层中的平均压缩模量（MPa），可按表F. 0. 2确定；

$h_i$ ——桩端下第  $i$  土层的厚度 (m)。

**F.0.4** 采用静力触探试验或标准贯入试验方法估算桩基础最终沉降量,可按下列公式计算:

$$s = \psi_s \frac{p_0}{2} B \eta / (3.3 \bar{p}_s) \quad (\text{F.0.4-1})$$

$$s = \psi_s \frac{p_0}{2} B \eta / (4 \bar{q}_c) \quad (\text{F.0.4-2})$$

$$s = \psi_s \frac{p_0}{2} B \eta / \bar{N} \quad (\text{F.0.4-3})$$

$$B = \sqrt{A} \quad (\text{F.0.4-4})$$

式中:  $s$ ——桩基最终沉降量 (mm);

$\psi_s$ ——桩基沉降估算经验系数,应根据类似工程条件下沉降观测资料和经验确定;

$B$ ——等效基础宽度 (m);

$\eta$ ——桩端入土深度修正系数;可按式 (F.0.3-2) 计算,  $\eta < 0.3$  时,取 0.3;

$A$ ——等效基础面积 ( $\text{m}^2$ );

$\bar{p}_s$ ——取 1 倍  $B$  范围内静探比贯入阻力按厚度修正平均值 (MPa);

$\bar{q}_c$ ——取 1 倍  $B$  范围内静探锥尖阻力按厚度修正平均值 (MPa);

$\bar{N}$ ——取 1 倍  $B$  范围内标准贯入试验击数按厚度修正平均值,计算方法与静力触探计算方法相同。

**F.0.5** 静力触探比贯入阻力按厚度修正平均值  $\bar{p}_s$  (图 F.0.5) 可按下式计算:

$$\bar{p}_s = \sum_{i=1}^n p_{si} I_{si} h_i / \left( \frac{1}{2} B \right) \quad (\text{F.0.5})$$

式中:  $p_{si}$ ——桩端以下第  $i$  层土的比贯入阻力 (MPa);

$I_{si}$ ——第  $i$  层土应力衰减系数,取该层土深度中点处与桩端处为 1.0,一倍等效基础宽度深度处为 0 的应力三角形交点值;

$h_i$ ——桩端下第  $i$  层土厚度 (m)。

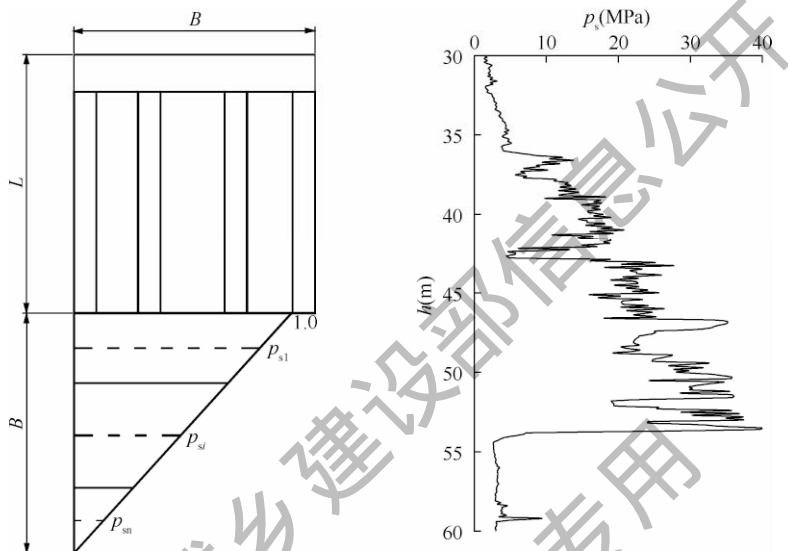


图 F.0.5  $\bar{p}_s$  计算方法示意图

## 附录 G 抗浮桩和抗浮锚杆 抗拔静载荷试验要点

**G.0.1** 试验应采用接近于抗浮桩和抗浮锚杆的实际工作条件的试验方法，以确定单桩（或单根锚杆）的抗拔极限承载力。

**G.0.2** 试验的加载装置，对抗浮桩可采用液压千斤顶加载，对抗浮锚杆可采用穿孔液压千斤顶加载。千斤顶和油泵的额定压力必须大于试验压力，且试验前应进行标定。加载反力装置的承载力和刚度应满足最大试验荷载的要求。

**G.0.3** 计量仪表（测力计、位移计和计时表等）应满足测试要求的精度。位移量一般采用百分表或电子位移计测量，对大直径桩应在其两个正交直径方向对称安置 4 个位移测试仪表，中、小直径桩可安置 2 个或 3 个位移测试仪表。

**G.0.4** 在确定桩身强度或锚杆锚固段浆体强度达到设计要求的前提下，从成桩或锚杆注浆后到开始试验的休止时间，对于砂土和粉土，不应少于 10d；对于非饱和黏性土，不应少于 15d；对于饱和黏性土，不应少于 28d，对于泥浆护壁灌注桩，宜适当延长休止时间。

**G.0.5** 对于重要工程或缺乏经验的地层，试验桩（或锚杆）数应不少于 3 根。

**G.0.6** 进行抗拔力试验时，预计最大试验荷载应加至破坏或预估抗拔设计承载力的两倍。试验桩或试验锚杆的配筋应满足最大试验荷载的要求。

**G.0.7** 根据抗浮桩和抗浮锚杆的实际受荷特征，加荷方式宜采用循环加、卸载法，加荷等级与位移测读间隔时间应按表 G.0.7 确定。

**G.0.8** 当出现下列情况之一时，即可终止加载，此时的荷载为

破坏荷载：

表 G.0.7 循环加、卸荷等级与位移观测间隔时间

加荷标准 循环数	加荷量 预计最大试验荷载 (%)								
	第一循环	10	—	—	—	30	—	—	—
第二循环	10	30	—	—	50	—	—	30	10
第三循环	10	30	50	—	70	—	50	30	10
第四循环	10	30	50	70	80	70	50	30	10
第五循环	10	30	50	80	90	80	50	30	10
第六循环	10	30	50	90	100	90	50	30	10
观测总时间 (min)	5	5	5	5	10	5	5	5	5

注：在每级加荷等级观测时间内，测读桩锚头位移不应少于3次。

- 1 锚头或桩头位移不收敛；
- 2 某级荷载作用下，锚头或桩头变形量达到前一级荷载作用下的5倍；
- 3 抗浮桩累计拔出量超过100mm或抗浮锚杆累计拔出量超过设计允许值。

**G.0.9** 在每级加荷等级观测时间间隔内，位移增量不超过0.1mm，并连续出现两次，即可认为变形相对稳定，方可加下一级荷载，否则应按间隔时间继续观测，直到位移增量在2h内小于2.0mm，方可施加下一级荷载。

**G.0.10** 抗浮桩和抗浮锚杆抗拔试验结果应进行详细记录，并绘制有关图表，编写详细的分析报告。

**G.0.11** 可根据下列方法确定抗浮桩或抗浮锚杆抗拔极限承载力：

- 1 试验出现破坏时，取破坏荷载的前一级荷载作为抗拔极限承载力；

2 在最大试验荷载下未达到本标准第 G.0.8 条规定的破坏标准时，取最大试验荷载为抗拔极限承载力；

3 根据荷载与变形及时间的关系，取荷载-变形 ( $Q-s$ ) 曲线陡升起始点所对应的荷载或  $s-\lg t$  曲线尾部显著弯曲点所对应的前一级荷载为抗拔极限承载力。

## 附录 H 竖向和水平向基准基床 系数载荷试验要点

**H.0.1** 竖向和水平向载荷试验应布置在有代表性的平面位置和高程处，压缩层内每个土层不宜少于 3 组试验。

**H.0.2** 竖向基准基床系数载荷试验的试坑直径不应小于承压板边长的 3 倍，水平向基准基床系数载荷试验承压板设置深度不应小于 1.0m。

**H.0.3** 用于基床系数载荷试验的标准承压板应为方形，其边长应为 300mm。

**H.0.4** 最大加载量应达到破坏。承压板的安装、加载分级、观测时间、稳定标准和终止加载条件等，应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 浅层平板载荷试验要点的要求。

**H.0.5** 根据载荷试验成果分析要求，应绘制荷载强度  $p$  与沉降或水平变形  $s$  曲线，必要时绘制各级荷载下沉降或水平变形  $s$  与时间  $t$  或时间对数  $\lg t$  曲线；根据  $p-s$  曲线拐点，结合  $s-\lg t$  曲线特征，确定比例界限压力。

**H.0.6** 根据标准承压板载荷试验  $p-s$  曲线，可按下式计算竖向基准基床系数  $K_v$  或水平基准基床系数  $K_h$  ( $\text{kN/m}^3$ )：

$$K_v \text{ 或 } K_h = \frac{p_0}{s} \quad (\text{H.0.6})$$

式中： $p_0$ ——实测  $p-s$  关系曲线上比例界限压力，如  $p-s$  关系曲线无明显直线段， $p_0$  可取极限压力之半 ( $\text{kPa}$ )；

$s$ ——为相应于该  $p_0$  值的沉降量或水平变形 ( $\text{m}$ )。

**H.0.7** 对于非标准承压板载荷试验计算的基床系数，可不进行面积大小的修正。



## 附录 J 回弹变形和回弹再压缩变形计算用表

**J.0.1** 矩形和条形均布荷载作用下中心点 Boussinesq 解竖向附加应力系数可按本标准表 C.0.3 确定。

**J.0.2** 由 Boussinesq 解变为 Mindlin 解的应力修正系数  $\delta_m$  可按表 J.0.2 确定。

表 J.0.2 应力修正系数  $\delta_m$

$h/B$ $L/B$	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
1	1.000	0.954	0.899	0.814	0.750	0.702	0.663	0.633	0.608	0.588	0.570
1.1	1.000	0.960	0.905	0.819	0.756	0.707	0.669	0.638	0.613	0.593	0.575
1.2	1.000	0.965	0.911	0.825	0.762	0.713	0.674	0.643	0.618	0.597	0.580
1.3	1.000	0.970	0.916	0.830	0.767	0.718	0.680	0.649	0.623	0.602	0.585
1.4	1.000	0.975	0.921	0.836	0.772	0.723	0.685	0.653	0.628	0.607	0.589
1.5	1.000	0.979	0.925	0.840	0.777	0.728	0.689	0.658	0.633	0.611	0.594
1.6	1.000	0.983	0.929	0.845	0.782	0.733	0.694	0.663	0.637	0.616	0.598
1.7	1.000	0.987	0.933	0.849	0.786	0.737	0.699	0.667	0.642	0.620	0.602
1.8	1.000	0.990	0.937	0.854	0.791	0.742	0.703	0.672	0.646	0.624	0.606
1.9	1.000	0.993	0.941	0.857	0.795	0.746	0.707	0.676	0.650	0.629	0.610
2.0	1.000	0.996	0.944	0.861	0.799	0.750	0.711	0.680	0.654	0.632	0.614
2.2	1.000	1.000	0.950	0.868	0.806	0.758	0.719	0.688	0.662	0.640	0.622
2.4	1.000	1.000	0.954	0.874	0.813	0.765	0.726	0.695	0.669	0.647	0.629
2.6	1.000	1.000	0.959	0.879	0.818	0.771	0.733	0.701	0.675	0.654	0.635
2.8	1.000	1.000	0.962	0.884	0.824	0.776	0.738	0.707	0.682	0.660	0.641
3.0	1.000	1.000	0.965	0.888	0.828	0.782	0.744	0.713	0.687	0.665	0.647
3.2	1.000	1.000	0.967	0.891	0.832	0.786	0.749	0.718	0.692	0.671	0.652

续表 J.0.2

$\begin{array}{c} h/B \\ L/B \end{array}$	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
3.4	1.000	1.000	0.969	0.894	0.836	0.790	0.753	0.722	0.697	0.675	0.657
3.6	1.000	1.000	0.970	0.897	0.839	0.794	0.757	0.727	0.701	0.680	0.661
3.8	1.000	1.000	0.971	0.899	0.842	0.797	0.761	0.730	0.705	0.684	0.666
4.0	1.000	1.000	0.972	0.900	0.845	0.800	0.764	0.734	0.709	0.687	0.669
4.2	1.000	1.000	0.972	0.902	0.847	0.803	0.767	0.737	0.712	0.691	0.673
4.4	1.000	1.000	0.973	0.903	0.849	0.805	0.769	0.740	0.715	0.694	0.676
4.6	1.000	1.000	0.973	0.904	0.850	0.807	0.772	0.742	0.718	0.697	0.679
4.8	1.000	1.000	0.972	0.905	0.851	0.809	0.774	0.744	0.720	0.699	0.681
5.0	1.000	1.000	0.972	0.905	0.853	0.810	0.775	0.746	0.722	0.701	0.683
5.2	1.000	1.000	0.972	0.906	0.854	0.811	0.777	0.748	0.724	0.703	0.686
5.4	1.000	1.000	0.971	0.906	0.854	0.813	0.778	0.750	0.726	0.705	0.687
5.6	1.000	1.000	0.971	0.906	0.855	0.814	0.780	0.751	0.727	0.707	0.689
5.8	1.000	1.000	0.970	0.906	0.856	0.815	0.781	0.753	0.729	0.708	0.691
6.0	1.000	1.000	0.970	0.906	0.856	0.815	0.782	0.754	0.730	0.710	0.692
6.2	1.000	1.000	0.969	0.906	0.856	0.816	0.783	0.755	0.731	0.711	0.693
6.4	1.000	1.000	0.968	0.906	0.857	0.816	0.783	0.756	0.732	0.712	0.695
6.6	1.000	1.000	0.968	0.906	0.857	0.817	0.784	0.756	0.733	0.713	0.696
6.8	1.000	1.000	0.967	0.906	0.857	0.817	0.785	0.757	0.734	0.714	0.697
7.0	1.000	1.000	0.966	0.906	0.857	0.818	0.785	0.758	0.734	0.715	0.697
7.2	1.000	1.000	0.966	0.905	0.857	0.818	0.785	0.758	0.735	0.715	0.698
7.4	1.000	1.000	0.965	0.905	0.857	0.818	0.786	0.759	0.736	0.716	0.699
7.6	1.000	1.000	0.964	0.905	0.857	0.818	0.786	0.759	0.736	0.717	0.699
7.8	1.000	0.999	0.964	0.905	0.857	0.819	0.787	0.760	0.737	0.717	0.700
8.0	1.000	0.998	0.963	0.904	0.857	0.819	0.787	0.760	0.737	0.718	0.701
8.2	1.000	0.998	0.963	0.904	0.857	0.819	0.787	0.760	0.737	0.718	0.701
8.4	1.000	0.997	0.962	0.904	0.857	0.819	0.787	0.761	0.738	0.718	0.701

续表 J.0.2

$h/B$ $L/B$	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
8.6	1.000	0.996	0.962	0.904	0.857	0.819	0.787	0.761	0.738	0.719	0.702
8.8	1.000	0.996	0.961	0.903	0.857	0.819	0.788	0.761	0.738	0.719	0.702
9.0	1.000	0.995	0.961	0.903	0.857	0.819	0.788	0.761	0.739	0.719	0.702
9.2	1.000	0.994	0.960	0.903	0.857	0.819	0.788	0.761	0.739	0.720	0.703
9.4	1.000	0.994	0.960	0.903	0.857	0.819	0.788	0.762	0.739	0.720	0.703
9.6	1.000	0.993	0.959	0.903	0.857	0.819	0.788	0.762	0.739	0.720	0.703
9.8	1.000	0.993	0.959	0.902	0.857	0.819	0.788	0.762	0.739	0.720	0.704
10.0	1.000	0.993	0.959	0.902	0.857	0.819	0.788	0.762	0.740	0.720	0.704

注： $L$ 为基坑长， $B$ 为基坑宽， $h$ 为挖深。

## 本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，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：  
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：  
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，在条件许可时首先这样做的：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 3 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 4 《土工试验方法标准》GB/T 50123
- 5 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 6 《工程岩体分级标准》GB/T 50218
- 7 《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266
- 8 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330
- 9 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497
- 10 《高层建筑筏形与箱形基础技术规范》JGJ 6
- 11 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 12 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 13 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 14 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 15 《建筑地基检测技术规范》JGJ 340