

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2010年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标〔2010〕43号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，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，编制了本标准。

本标准的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 工程勘察及建（构）筑物调查；5 荷载；6 材料；7 隧道结构计算；8 隧道衬砌；9 抗震设计；10 防水与防腐蚀；11 壁后注浆；12 地层加固及施工辅助措施；13 附属结构；14 周边环境保护及风险控制；15 工程监测。

本标准由住房和城乡建设部负责管理，由北京城建设计发展集团股份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，请寄送北京城建设计发展集团股份有限公司（地址：北京市西城区阜成门北大街5号；邮编：100037）。

本标准主编单位：北京城建设计发展集团股份有限公司
广州地铁设计研究院有限公司

本标准参编单位：上海市隧道工程轨道交通设计研究院
中铁二院工程集团有限责任公司
中铁第四勘察设计院集团有限公司
西南交通大学
北京市水利规划设计研究院
北京电力经济技术研究院有限公司
中国建筑科学研究院有限公司
北京市煤气热力工程设计院有限公司

本标准主要起草人员：杨秀仁 鲁卫东 史海欧 杨志豪
何 川 管攀峰 林 刚 邓朝辉
耿 萍 郭德友 延 波 罗俊成
曹伟飏 李继波 穆永梅 高文生
贾永刚 陆景慧 徐文田 肖明清
薛光桥 孙文昊 蒋 超 罗世培
郭 俊 封 坤 李志南 李 伟
本标准主要审查人员：朱合华 仲建华 袁大军 蒋树屏
张海波 孙 巍 高辛财 石新栋
王建明 徐正良

住房城乡建设部
浏览专用

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	9
3.1	一般规定	9
3.2	盾构隧道平纵断面设计	11
3.3	盾构隧道内净空确定	12
3.4	盾构隧道防火设计	14
3.5	盾构隧道耐久性设计	15
3.6	盾构选型	16
4	工程勘察及建（构）筑物调查	18
4.1	工程勘察	18
4.2	建（构）筑物调查	23
5	荷载	25
5.1	荷载分类及荷载效应组合	25
5.2	永久荷载	28
5.3	可变荷载	29
5.4	偶然荷载作用	29
6	材料	31
6.1	一般规定	31
6.2	混凝土	31
6.3	钢材	31
7	隧道结构计算	33
7.1	一般规定	33

7.2	横向内力计算	33
7.3	纵向内力计算	38
7.4	变形计算	38
7.5	抗浮稳定性验算	39
7.6	管片接头计算	40
7.7	二次衬砌计算	42
7.8	大断面及特殊隧道计算	42
8	隧道衬砌	44
8.1	一般规定	44
8.2	管片构造	44
8.3	管片拼装	46
8.4	钢筋混凝土管片	47
8.5	钢管片	49
8.6	二次衬砌	50
9	抗震设计	51
9.1	一般规定	51
9.2	设计地震动参数	53
9.3	抗震计算	55
9.4	抗震、减震措施	57
10	防水与防腐蚀	59
10.1	一般规定	59
10.2	防水等级和防水标准	59
10.3	管片结构自防水	60
10.4	管片接缝防水	60
10.5	防腐蚀	61
11	壁后注浆	63
12	地层加固及施工辅助措施	64
12.1	一般规定	64
12.2	注浆加固	65
12.3	深层搅拌加固	65

12.4	高压喷射注浆加固	66
12.5	地层冻结加固	66
12.6	降水	67
13	附属结构	68
13.1	盾构工作井	68
13.2	联络通道	69
13.3	排水泵站	69
13.4	风井	70
13.5	内部结构	70
13.6	其他附属结构	70
14	周边环境保护及风险控制	72
14.1	地表沉降	72
14.2	建(构)筑物保护	72
14.3	风险控制	73
15	工程监测	74
15.1	一般规定	74
15.2	监测范围	74
15.3	监测项目	75
15.4	监测点布设	76
15.5	监测频率	77
15.6	监测控制值	78
附录 A	反应位移法	80
附录 B	静力法	89
附录 C	时程分析法	93
	本标准用词说明	96
	引用标准名录	97

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	9
3.1	General Requirements	9
3.2	Plane and Profile Design of Shield Tunnels	11
3.3	Determination of Shield Tunnel inner Clearance	12
3.4	Fire Prevention Design of Shield Tunnels	14
3.5	Durability Design of Shield Tunnels	15
3.6	Type of Shield	16
4	Engineering Survey and Structure Investigation	18
4.1	Engineering Survey	18
4.2	Structure Investigation	23
5	Loads	25
5.1	Types and Combinations of Loads	25
5.2	Permanent Loads	28
5.3	Variable Loads	29
5.4	Accidental Loads	29
6	Material	31
6.1	General Requirements	31
6.2	Concrete	31
6.3	Steel	31
7	Tunnel Structural Calculation	33
7.1	General Requirements	33

7.2	Horizontal Internal Force Calculation of Segments	33
7.3	Longitudinal Internal Force Calculation of Segments	38
7.4	Deformation Calculation of Segments	38
7.5	Verification of Floatation Stability	39
7.6	Calculation of Joints	40
7.7	Calculation of Secondary Lining	42
7.8	Calculation of Large-section Tunnels and Special Tunnels	42
8	Tunnel Lining	44
8.1	General Requirements	44
8.2	Segment Arrangement	44
8.3	Segment Structure	46
8.4	Reinforced Concrete Segments	47
8.5	Steel Segments	49
8.6	Secondary Lining	50
9	Seismic Design	51
9.1	General Requirements	51
9.2	Design Parameters	53
9.3	Seismic Calculation	55
9.4	Seismic Structural Measures	57
10	Waterproofing and Corrosion Control	59
10.1	General Requirements	59
10.2	Grade and Standard of Waterproofing	59
10.3	Self Waterproofing of Segments	60
10.4	Waterproofing of Joints	60
10.5	Corrosion Control	61
11	Backfill Grouting	63
12	Ground Improvement and Auxiliary Measures	64
12.1	General Requirements	64
12.2	Static Grouting	65
12.3	Deep Mixing Grouting	65

12.4	High Pressure Jet Grouting	66
12.5	Ground Freezing	66
12.6	Dewatering	67
13	Auxiliary Structures	68
13.1	Working Shafts	68
13.2	Cross Passages	69
13.3	Pump Stations	69
13.4	Ventilation Shafts	70
13.5	Inner Structures	70
13.6	Other Auxiliary Structures	70
14	Environment Protection and Risk Control	72
14.1	Ground Subsidence	72
14.2	Adjacent Structure Protection	72
14.3	Risk Control	73
15	Monitoring and Measuring	74
15.1	General Requirements	74
15.2	Scope	74
15.3	Items	75
15.4	Distribution and Methods	76
15.5	Frequency	77
15.6	Control Value and Alarm Value	78
	Appendix A Response Displacement Method	80
	Appendix B Revised Inertial Force Method	89
	Appendix C Time-history Analysis Method	93
	Explanation of Wording in this Standard	96
	List of Quoted Standards	97

1 总 则

1.0.1 为在盾构隧道工程设计中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全可靠、节能环保、技术先进、经济适用，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于城市轨道交通、铁路、城市道路、公路、水利、电力行业和给水、排水、燃气、热力、城市地下综合管廊等市政行业盾构隧道的新建工程设计。

1.0.3 盾构隧道工程设计除应符合本标准外，尚应符合国家现行相关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 盾构 shield

在钢壳体保护下完成隧道掘进、出渣、管片拼装等作业，由主机和后配套设备组成的全断面推进式隧道施工机械设备。根据开挖面的稳定方式，分为土压平衡式盾构、泥水平衡式盾构、敞开式盾构和气压平衡式盾构。

2.1.2 盾构隧道 shield tunnel

采用盾构掘进并拼装预制管片衬砌的圆形、双圆形或类矩形隧道。

2.1.3 盾构始发 shield launch

盾构开始掘进的施工过程。

2.1.4 盾构接收 shield arrival

盾构到达接收位置的施工过程。

2.1.5 盾构工作井 shield working shaft

盾构组装、解体、调头、空推、吊运管片和输送渣土等使用的竖井，包括盾构始发工作井、盾构接收工作井、检查工作井等。

2.1.6 二次衬砌 secondary lining

在管片衬砌内部设置的第二层永久性支护结构，一般采用现浇钢筋混凝土或混凝土。

2.1.7 隧道覆盖层厚度 tunnel overburden

隧道顶部岩层和土层的厚度之和。

2.1.8 标准环 standard ring

两侧环面平行的管片衬砌环。

2.1.9 楔形环 tapered ring

两侧环面不平行的管片衬砌环，亦称转弯环。

2.1.10 楔形量 taper

楔形环最大环宽与最小环宽之差。

2.1.11 通用环 universal ring

一种通用的楔形环，可以通过该楔形环的不同组合形成直线隧道和不同半径的曲线隧道。

2.2 符 号

2.2.1 荷载及荷载组合

A_h ——水平设计地震动峰值加速度；

a_i ——结构 i 单元埋深 z 处的地层峰值加速度；

a_{\max} ——地表水平向设计地震动峰值加速度；

$a_{\max II}$ ——II类场地地表设计地震动峰值加速度；

C ——结构或构件达到正常使用要求的规定限值（变形、裂缝等）；

E_{ih} ——水平地震惯性力；

E_{iv} ——竖向地震惯性力；

F_{AX} 、 F_{AY} ——作用于 A 点的水平向、竖向的节点力；

f ——惯性力；

f_i ——结构 i 单元上作用的惯性力；

J ——盾构最大总顶推力；

M ——弯矩设计值；

M_1 ——修正后的管片接头弯矩；

M_2 ——修正后的管片截面弯矩；

m ——参与组合的永久荷载数；

N ——轴力设计值；

n ——参与组合的可变荷载数；

P ——每组千斤顶顶推力；

S_C ——人防荷载作用效应值；

S_{EHK} 、 S_{EVK} ——水平和竖向地震作用效应值；

$S_{G_{jk}}$ ——按第 j 个永久荷载标准值 G_{jk} 计算的荷载效应值；

$S_{Q_{ik}}$ ——按可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值；

S_d ——荷载基本组合或偶然组合的效应设计值（弯矩、剪力和轴力等）；

T ——螺栓拉力；

U ——上浮力；

V ——剪力设计值；

W_a ——隧道覆盖层的有效压重；

W_s ——隧道结构自重；

τ_A ——点 A 处的剪应力。

2.2.2 材料性能和抗力

R ——抗浮力；

R_d ——结构构件抗力的设计值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

$[\sigma]$ ——环向螺栓允许拉应力。

2.2.3 几何参数

A ——密封垫沟槽截面积；

A_o ——弹性密封垫橡胶部分的截面积；

A_{ln} ——局部受压面积；

A_b ——局部受压计算底面积；

A_s ——隧道横截面面积；

a ——局部受压区宽度，应取千斤顶撑靴的宽度；

B ——计算单元宽度；

B_c ——衬砌环在隧道中心轴线水平投影位置平均环宽；

B_i ——上覆土柱宽度；

B_m ——洞门处井壁厚度；

b ——局部受压区高度；

c ——千斤顶撑靴沿宽度方向与管片边缘的距离；

D_o ——隧道外径；

- D_m ——洞门直径；
 d ——结构纵向的计算宽度；
 e ——千斤顶撑靴沿高度方向相对于管片中心线的偏心距；
 H ——地表至抗震基准面的地层厚度；
 H_c ——地表至隧道中心的距离；
 H_i ——隧道中心埋深；
 h ——管片高度；
 h_i ——上覆土柱的计算高度；
 h_{1i} 、 h_{2i} ——衬砌内、外侧任一点 i 至地表面的距离；
 L ——地层剪切波波长；
 L_1 ——表层地层的剪切波波长；
 L_2 ——计算基准面地层剪切波波长；
 L_t ——地层弹簧的影响长度；
 L' ——与隧道纵轴呈 45° 角入射时，地震波沿隧道轴线的波长；
 l ——相邻计算单元长度平均值；
 l_s ——衬砌环宽度；
 R ——最小曲线半径；
 r ——隧道横断面衬砌中轴线半径；
 U_{hc} ——隧道中心处地层的水平位移最大值；
 U'_{hc} ——与隧道纵轴呈 45° 角入射时，隧道中心处地层的水平位移最大值 U_{hc} 在隧道轴向方向的分量；
 $u(z)$ ——深度 z 处自由地层位移；
 $u(z_B)$ ——结构底部深度 z_B 处自由地层位移；
 $u_A(x, z)$ ——深度 z 处自由地层位移沿隧道轴向的分量；
 $u_T(x, z)$ ——深度 z 处自由地层位移沿垂直隧道轴向的分量；
 $u'(z)$ ——深度 z 处与结构底部的自由地层位移差；
 V_v ——地层空隙体积；
 V_w ——隧道结构排开水的体积；

z_A ——作用点 A 的埋深；
 α ——地面坡度角；
 α_m ——隧道轴线与洞口轴线的夹角；
 α_s ——弹簧的作用中心线与水平线的夹角；
 Δ ——管片楔形量；
 Δ_e ——始发或接收井预留洞口直径大于盾构外径的差值；
 Δ_g ——盾构基座高程误差；
 Δ_s ——测量误差；
 θ ——单元节点处的法向与水平向的夹角；
 θ_o ——管片接头转角；
 Φ_s ——盾构外径。

2.2.4 设计参数和计算系数

F_a 、 F_u ——场地地震动峰值加速度、峰值位移调整系数；
 K_f ——抗浮稳定安全系数；
 K_v ——竖向地震动峰值加速度与水平峰值加速度的比值；
 α_M ——弯矩系数；
 α_v ——充填系数；
 β_T ——拉伸轴力系数；
 β_C ——压缩轴力系数；
 β_c ——混凝土强度影响系数；
 β_l ——混凝土局部受压时的强度提高系数；
 γ_{EH} 、 γ_{EV} ——水平和竖向地震作用分项系数；
 γ_G 、 γ_Q 、 γ_C ——永久荷载、可变荷载、人防荷载作用分项系数；
 γ_J ——千斤顶顶推力分项系数；
 γ_L ——可变荷载考虑设计使用年限的调整系数；
 γ_0 ——结构重要性系数；
 λ_1 、 λ_2 ——内、外侧地震时的侧压力系数；
 λ 、 λ' ——内、外侧侧压力系数；

ξ ——弯矩传递系数；

ψ_{C_i} ——第 i 个可变荷载的组合值系数；

Ψ_{q_i} ——可变荷载的准永久值系数。

2.2.5 其他

E ——螺栓弹性模量；

E_s ——衬砌弹性模量；

$(EI)_{eq}$ ——盾构隧道等效抗弯刚度；

$(EA)_{eq}^C$ ——盾构隧道等效抗压刚度；

$(EA)_{eq}^T$ ——盾构隧道等效抗拉刚度；

G_G ——地层动剪切模量；

g ——重力加速度；

I_s ——衬砌断面惯性矩；

K ——地层基床系数；

K_J ——隧道横截面螺栓抗拉刚度；

K_n ——地层法向基床系数；

K_T ——结构纵向单位长度内横向地层弹簧刚度 (kN/m)；

$K_{\theta+}$ 、 $K_{\theta-}$ ——接头的正弯矩回转弹簧刚度、负弯矩回转弹簧刚度；

k ——地基法向弹簧刚度；

\bar{k}_h ——地层平均水平基床系数；

k_j ——单个螺栓的抗拉刚度；

k_l ——地层轴向弹簧刚度；

k_t ——地层横向弹簧刚度；

\bar{k}_v ——地层平均垂直基床系数；

m_{is} ——隧道衬砌计算点的质量；

m_i ——结构 i 单元的质量；

n_j ——千斤顶组数；

n_j ——纵向螺栓个数；

Q ——注浆量；

T_g ——地层固有周期特征值；

- T_s ——地层固有周期；
- u_{\max} ——地表水平向设计地震动峰值位移；
- $u_{\max II}$ ——II类场地地表设计地震动峰值位移；
- V_s 、 V_0 ——地层剪切波波速、计算基准面地层的剪切波波速；
- β_1 、 β_2 ——内、外侧产生最大推力时的破裂角；
- γ ——土体重度；
- γ_w ——地下水重度；
- η ——轴向拉伸或压缩范围；
- θ ——地震角；
- θ_0 ——土柱两侧摩擦角；
- ν_G ——地层的泊松比；
- ϕ ——地震波的传播方向与隧道轴线的夹角；
- ϕ_0 ——隧道横截面中性轴半径处与隧道中心水平线的夹角；
- φ_g ——围岩计算内摩擦角。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 盾构隧道工程设计前，必须按基本建设程序进行岩土工程勘察。

3.1.2 盾构隧道工程总体布置应满足隧道正常使用功能、盾构施工工艺、运营管理与维护、防灾救援等要求。

3.1.3 盾构隧道设计应计及隧道施工和建成后对环境造成的不利影响，并应根据规划条件计及未来周围环境发生改变时对隧道的影响。

3.1.4 当盾构隧道衬砌设计时，应根据结构破坏可能产生后果的严重性，采用不同的安全等级。盾构隧道衬砌安全等级的划分应符合表 3.1.4 的规定。

表 3.1.4 盾构隧道衬砌安全等级

安全等级	破坏后果	盾构隧道类型
一级	很严重	轨道交通、铁路、城市道路、公路、电力行业盾构隧道； 给水、燃气和城市地下综合管廊盾构隧道； 设计使用年限为 100 年的排水、热力盾构隧道； 建筑物级别为 3 级及以上的水工盾构隧道
二级	严重	设计使用年限为 50 年的排水、热力盾构隧道； 建筑物级别为 3 级以下的水工盾构隧道

3.1.5 城市轨道交通、铁路、城市道路、公路、水利和电力行业盾构隧道，以及给水、燃气和城市地下综合管廊盾构隧道设计使用年限应为 100 年；排水、热力盾构隧道设计使用年限宜为 100 年。

3.1.6 盾构隧道内净空尺寸应满足建筑限界、使用功能、施工工艺等要求，并应考虑施工误差、测量误差、结构长期变形、位移及后期沉降等的影响。

3.1.7 盾构隧道设计应采用以概率论为基础的极限状态法，并应对承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行计算。

3.1.8 盾构隧道应按施工阶段和正常使用阶段分别进行结构强度、刚度和稳定性计算。对于钢筋混凝土结构，应对使用阶段进行裂缝宽度验算；荷载偶然组合可不验算结构的裂缝宽度。

3.1.9 一般环境钢筋混凝土结构正截面受力裂缝控制等级应为三级，最大计算裂缝宽度允许值应符合表 3.1.9 的规定。

表 3.1.9 一般环境钢筋混凝土结构正截面最大计算裂缝宽度允许值

结构类型		允许值 (mm)
管片		0.2
二次衬砌	干湿交替环境	0.2
	与污水、蒸汽等 介质接触环境	0.2
	其他环境	0.3
其他构件	迎土面	0.2
	背土面	0.3

注：1 当保护层厚度大于 30mm 时，最大裂缝宽度计算式中的保护层厚度计算值取为 30mm；

2 厚度不小于 300mm 的钢筋混凝土结构可不计干湿交替作用；

3 处于冻融环境或化学侵蚀环境下的结构，其最大计算裂缝宽度允许值按现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的规定取值。

3.1.10 盾构隧道的耐久性应根据隧道结构的设计使用年限、隧道所处的环境类别及作用等级进行设计。

3.1.11 水工隧道的内水压力应呈现单一压力状态。有压隧道顶部应有不小于 2.0m 的内水压力水头，无压隧道出口段可在汛期出现明满流交替运行方式。当遇到明满流交替运行工况时，应采取有效工程措施应对气蚀、振动等不利影响。

3.2 盾构隧道平纵断面设计

3.2.1 盾构隧道选线时应避开滑坡、崩塌、地陷、泥石流、地裂缝、活动断裂等危险地段。

3.2.2 盾构隧道平面、纵断面设计应符合下列规定：

1 盾构隧道平面、纵断面设计应符合国家现行相关行业的隧道设计标准的规定。

2 隧道线路平面宜为直线或大半径曲线；确定隧道线路平面最小曲线半径时宜计及盾构设备的转弯能力。

3 隧道线路纵断面坡度不宜小于 0.1%，确定最大坡度时宜计及盾构机及后配套运输设备的爬坡能力。

4 盾构始发和盾构接收位置应根据地形、地质及环境条件，结合盾构施工工艺要求综合确定。

3.2.3 隧道覆盖层厚度及相邻隧道间距离应符合下列规定：

1 直径 10m 及以上隧道的覆盖层厚度不宜小于 10m，直径小于 10m 隧道的覆盖层厚度不宜小于隧道外径。

2 有压水工隧道的垂直和侧向覆盖层厚度，当围岩较完整且无不利结构面时，不宜小于最大内水压力水头的 40%。

3 并行有压水工隧道间的净距不宜小于后施工隧道外径的 2 倍；直径 10m 及以上并行无内压隧道间的净距不宜小于 10m，直径小于 10m 并行无内压隧道间的净距不宜小于后施工隧道外径。

4 上下叠落隧道或交叉隧道，当先施工下方隧道时，隧道间的净距不宜小于后施工隧道外径的 50%；当先施工上方隧道时，隧道间的净距不宜小于后施工隧道外径。

3.2.4 当隧道覆盖层厚度或相邻隧道间距离不能满足本标准第 3.2.3 条规定时，应结合隧道所处的地质和环境条件，对隧道和地层变形进行分析，并采取相应的加强措施。

3.2.5 盾构隧道不宜穿越下列地层，确需穿越时，应采取针对性工程措施。

- 1 长区段的半软半硬地层、孤石或漂石地层。
- 2 岩溶发育、暗河、采空区、富含可燃气体、高膨胀性等不良地质体。
- 3 长区段且深厚的欠固结软土地层。
- 4 地质断裂带或地裂缝。

3.2.6 盾构隧道不宜位于可液化地层中。当隧道周边存在可液化地层时，应根据地层的液化等级、液化范围及与隧道的位置关系等因素，分析地层液化后对隧道结构强度和稳定性的不利影响，并应采取相应的地层消除液化或隧道结构加强措施。

3.2.7 下穿水域的盾构隧道设计应符合下列规定：

- 1 隧道宜选择河（海）床稳定、冲刷深度小的地段通过，不宜穿越河（海）床的局部深槽、深坑区域。
- 2 纵断面设计时应根据河流最高和最低设计水位、河床最大冲刷深度及最大冲刷线等因素综合确定最小覆盖层厚度。
- 3 覆盖层厚度不宜小于隧道外径，并应大于水利及航运部门对规划航道深度和船舶锚击深度的要求。
- 4 河床最大冲刷深度应按不低于百年一遇的洪水频率确定。
- 5 当存在驳岸、码头、沉船等既有构筑物或地下障碍物时，宜绕避或从下方穿越，也可从地面清除障碍物后再通过。

3.3 盾构隧道内净空确定

3.3.1 城市轨道交通盾构隧道内净空尺寸应符合下列规定：

- 1 地铁盾构隧道限界设计应符合国家现行标准《地铁设计规范》GB 50157 和《地铁限界标准》CJJ/T 96 的规定。
- 2 单洞双线盾构隧道宜在线路间设置耐火极限不低于 3.00h 的防火隔墙；防火隔墙及每隔一定距离设置的联络通道和防火门设计应符合现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 和《地铁设计防火标准》GB 51298 的规定。
- 3 在满足建筑限界及其他使用功能要求下，沿径向应预留不小于 100mm 的施工误差和后期变形富裕空间。

3.3.2 公路盾构隧道内净空尺寸应符合下列规定：

1 公路盾构隧道内净空尺寸应符合现行行业标准《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》JTG 3370.1 中车道宽度、侧向宽度及建筑限界高度的规定。

2 当采用路面结构下部专用管线廊道时，可不设置检修道，但应保留不小于 0.25m 的余宽。

3 当特长及长隧道内未设置硬路肩或硬路肩宽度小于 2.5m 时，单洞双车道隧道内应设置紧急停车带，单洞三车道隧道可不设置紧急停车带，单洞四车道以上可不设置紧急停车带。紧急停车带宽度、间距等设置要求应符合现行行业标准《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》JTG 3370.1 相关规定。

4 当利用车道下层空间作为人行疏散通道时，通道净宽不宜小于 2m，净高不宜小于 2.2m。

5 在建筑限界之外，应满足烟道、风机、信号灯、照明灯等设备等各类管线布置的要求。

6 在满足建筑限界及其他使用功能要求下，沿径向应预留不小于 150mm 的施工误差和后期变形富裕空间。

3.3.3 城市道路盾构隧道内净空尺寸应符合下列规定：

1 内净空尺寸应符合现行行业标准《城市道路工程设计规范》CJJ 37 中车道宽度、侧向净宽及道路最小净高的规定。

2 两车道及以上的盾构隧道可不设置检修道和应急车道。

3 利用车道下层空间作为人行疏散通道时，通道净宽不应小于 1.2m，净高度不应小于 2.1m。

4 在建筑限界之外，应满足烟道、风机、信号灯、照明灯等设备等各类管线布置要求。

5 在满足限界及其他使用功能要求下，沿径向应预留不小于 150mm 的施工误差和后期变形富裕空间。

3.3.4 铁路盾构隧道内净空尺寸应符合下列规定：

1 内净空尺寸应满足现行行业标准《铁路隧道设计规范》TB 10003 中关于铁路隧道建筑限界、隧道净空有效面积、救援

通道和安全空间等要求。

2 内净空尺寸应满足曲线段限界加宽或隧道中心线偏移的要求。

3 对有砟轨道且有大型机械养护要求的隧道，内净空应满足大型养路机械作业要求。

4 利用车道下层空间作为疏散通道时，通道净宽不应小于0.75m，净高不应小于2.0m，楼梯处通道净宽可适当减少。

5 在满足建筑限界及其他使用功能要求下，沿径向尚应预留不小于150mm的施工误差和后期变形富裕空间。

3.3.5 水工隧道内净空尺寸应满足各种运行条件过流能力要求，并应符合现行行业标准《水工隧洞设计规范》SL 279的规定。

3.3.6 给水、排水、燃气、热力等市政隧道内净空尺寸应满足相应行业管线的使用功能、工艺设计、隧道施工及管道设备安装、更换和检修维护等要求。

3.3.7 城市地下综合管廊内净空尺寸应根据入廊管线的种类、规格、数量、安装、运行、维护等要求综合确定，并应符合现行国家标准《城市综合管廊工程技术规范》GB 50838的规定。

3.4 盾构隧道防火设计

3.4.1 盾构隧道的耐火等级应为一级。隧道建筑材料除嵌缝材料外，应采用不燃材料。

3.4.2 盾构隧道结构防火设计标准应根据隧道的用途、交通组成、通风条件、环境条件和隧道长度综合确定。

3.4.3 城市轨道交通、铁路、城市道路及公路盾构隧道防火设计应符合下列规定：

1 城市道路及公路隧道盾构主体承重结构的耐火极限不应低于2h。

2 城市轨道交通盾构隧道主体承重结构的耐火极限不应低于3h。

3 铁路隧道盾构隧道主体承重结构的耐火极限不应低

于 3h。

4 用于安全疏散、紧急避难和灭火救援的平行导洞、横向联络通道、竖（斜）井、专疏散避难通道、独立避难间等，其承重结构的耐火极限不应低于隧道主体结构耐火极限要求。

5 隧道附属地面结构的耐火等级不应低于二级，耐火极限不应低于 1.5h。

6 钢筋混凝土衬砌应有抗热冲击、耐高温的能力。

7 钢管片和铸铁管片应采取防火隔热措施。

8 下穿通航河流且河流宽度大于 1000m 的水底隧道应采取结构防火措施。

3.4.4 盾构隧道结构防火设计应在可能的火灾场景下，对衬砌结构爆裂损伤、抗渗耐久性、变形及承载力进行测试，并通过采取合理的措施，使衬砌结构满足防火设计要求。

3.4.5 盾构隧道结构防火设计应满足下列规定：

1 盾构隧道结构不应失稳或垮塌。

2 盾构隧道结构及接头不宜丧失防水能力。

3 盾构隧道结构不宜产生不可接受的变形。

4 火灾对结构的损伤宜限制在可接受的范围内，灾后可修复。

3.4.6 盾构隧道结构防火设计采用的火灾场景应计及下列因素：

1 隧道内最高温度随时间的变化曲线。

2 隧道横断面上温度的分布模式。

3 沿隧道纵向温度的分布模式。

3.5 盾构隧道耐久性设计

3.5.1 盾构隧道混凝土结构耐久性设计应包括下列内容：

1 确定隧道结构的设计使用年限、环境类别和环境作用等级。

2 提出对混凝土材料的耐久性基本要求。

3 确定构件中钢筋的混凝土保护层厚度。

- 4 提出构件的裂缝控制要求。
 - 5 确定隧道的防水构造及防水材料要求。
 - 6 提出隧道所处环境条件下的耐久性技术措施。
 - 7 提出隧道施工阶段的养护及质量验收要求。
 - 8 提出隧道使用阶段的检测和维护要求。
- 3.5.2** 当安全等级为一级的盾构隧道处于严重腐蚀环境作用时，宜采取附加防腐蚀措施。
- 3.5.3** 当使用期间隧道内部存在大量腐蚀性介质时，盾构隧道应设置二次衬砌，并应根据腐蚀性介质类型及腐蚀性的不同，采取相应的结构抗腐蚀性设计。
- 3.5.4** 盾构隧道内管线支架宜采用预埋件连接方式，不宜大量采用植筋和后锚固方式。
- 3.5.5** 钢结构构件防腐蚀设计应符合现行行业标准《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 的规定。钢管片与空气、土壤或地下水接触的部分及连接螺栓应进行长效防腐蚀处理。
- 3.5.6** 隧道结构混凝土耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 的相关规定。

3.6 盾构选型

- 3.6.1** 盾构类型应根据工程地质与水文地质条件、工程条件（包括地面环境、地下障碍物、周边建筑物）、隧道设计条件（包括隧道轴线、衬砌形式、断面尺寸、长度），以及施工安全、环保和工期要求，并结合以往施工经验等因素综合确定。
- 3.6.2** 当掘进区段地层较均匀且无地下水或少量地下水、地层透水性较差、地层以黏性土为主或隧道埋深较浅时，宜采用土压平衡盾构，并宜配备向开挖面添加泥浆或泡沫的设备。
- 3.6.3** 当掘进区段地层及环境条件较复杂且隧道直径较大、地层透水性较好且地下水压力大于 250kPa 或需精确控制开挖面压力时，宜采用泥水平衡盾构。
- 3.6.4** 当掘进区段内地层岩石和土层交互分布、开挖面地层强

度或稳定性差异较大时，宜采用复合盾构。

3.6.5 当掘进区段存在长距离的卵石、圆砾、漂石等地层及岩土复合地层时，应为盾构配备有利于实施刀具维修、换刀、土体改良等措施的设备。特殊地段大直径盾构机选型可配备部分常压背装式刀具、全断面超前注浆、超前探测、刀具监测等设备。

3.6.6 当掘进区段存在长距离的微风化花岗岩、砾岩等坚硬岩质地层（饱和单轴抗压强度大于70MPa）及复合岩石地层时，宜采用全断面隧道掘进机（TBM）或者盾构/TBM双模式切换的掘进机，同时应配备有利于实施刀盘维修、换刀等措施的设备。

住房城乡建设部
浏览专用

4 工程勘察及建（构）筑物调查

4.1 工程勘察

4.1.1 盾构隧道工程勘察应按不同设计阶段的技术要求开展相应工作。

4.1.2 盾构隧道工程勘察应为下列工作提供资料：

- 1 隧道线路和盾构工作井设计。
- 2 盾构设备选型、设计制造和刀盘、刀具设计。
- 3 盾构管片及管片背后注浆设计。
- 4 隧道附属结构及地层加固设计。
- 5 盾构推进压力、推进速度、盾构姿态等施工工艺参数确定。
- 6 盾构开仓检修与换刀位置选定。
- 7 工程风险评估、工程周边环境保护及工程监测设计。

4.1.3 盾构隧道工程勘察应符合下列规定：

1 应查明场地岩土类型、成因、工程性质与分布，应查明高灵敏度软土层、松散砂土层、高含水量的黏性土层、含承压水砂层、软硬不均地层、含漂石或卵石地层等的分布和特征，并应分析评价其对盾构设计、施工和运营的影响。

2 基岩地区应查明岩土分界面位置、岩石坚硬和风化程度、构造破碎带、岩面分布与特征，并应评价其对盾构施工的影响。

3 应查明砂、卵石层的颗粒组成、最大粒径、曲率系数、不均匀系数及土层的黏粒含量。

4 应查明岩石裂隙特征、岩石质量指标（RQD 值）、饱和抗压强度、矿物成分、耐磨矿物成分及含量。

5 应查明沿线水文地质条件、含水层类型和性质等；对于分布有多层含水层或承压含水层的区段，应查明含水层渗透性及

承压水头高度等水文地质参数。

6 应查明对工程有影响的地表水体的分布和地下水的埋藏条件，应查明地下水腐蚀性，并应评价其对盾构施工及隧道衬砌的影响。

7 下穿水域的盾构隧道应查明水文条件、水下地形、河(海)床演变、基床冲刷深度资料。

8 当盾构隧道沿线场地存在活动断裂、地裂缝、岩溶、地面沉降区、有害气体、采空区、孤石、球形风化体等对工程设计方案和施工有重大影响的不良地质或特殊地质且无法规避时，应进行专项勘察并提出地质评价和处理建议。

9 应进行场地地震效应勘察，应分析评价隧道下伏淤泥层及易产生液化地层对盾构施工及隧道运营的影响，并应提出处理措施的建议。

10 对盾构工作井和联络通道等附属结构的工程地质及水文地质条件应进行分析和评价，并应针对可能存在的岩土工程问题提出岩土加固范围和方法建议。

11 盾构隧道工程地质勘察岩土参数应符合表 4.1.3 的规定。

表 4.1.3 盾构隧道工程地质勘察岩土参数

类别	参数
地下水	地下水位
	承压水头
	流速、流向
力学性质	地基承载力、无侧限抗压强度
	黏聚力、内摩擦角
	压缩模量、回弹模量、压缩系数
	泊松比
	静止侧压力系数
	标贯击数

续表 4.1.3

类别	参数
力学性质	基床系数
	岩石质量指标 (RQD 值)
	岩石天然抗压强度
物理性质	相对密度、含水量、孔隙比、渗透系数
	含砾石量、含砂量、含粉砂量、含黏土量
	卵、砾石中的石英、长石等硬质矿物含量
	最大粒径卵、砾石形状、尺寸及硬度
	特征粒径 d_{50} 、 d_{10} 及不均匀系数 d_{50}/d_{10} 、颗粒级配曲线
	液限、塑限、液化判别
	灵敏度
	剪切波速和动剪切模量
化学成分	颗粒较细的中风化、强风化及全风化泥岩地层黏性指标和矿物成分
	侵蚀性介质含量
	有毒有害气体成分、压力、含量

4.1.4 勘探孔布置应符合下列规定：

1 隧道勘探孔宜在隧道两侧交错布置；当两条平行隧道间净距小于或等于 15m 时，勘探孔可在双线隧道两侧交错布置。

2 隧道勘探孔宜布置在隧道结构外侧 3m~5m 处，水底隧道勘探孔宜布置在隧道结构外侧 6m~12m 处。

3 隧道勘探孔平面布置及深度应符合表 4.1.4 的规定。当受地形地貌等因素限制时，应利用钻孔和物探相结合的方式查明地层情况。

表 4.1.4 隧道勘探孔平面布置及深度

勘察阶段	勘探孔平面布置	勘探孔深度
可行性 研究勘察	勘探孔间距不宜大于 1000m，且每一工程地质单元均应有勘探孔	勘探孔深度应满足场地稳定性、适宜性评价和隧道选线、工法选择的需要

续表 4.1.4

勘察阶段	勘探孔平面布置	勘探孔深度
初步勘察	勘探孔间距宜为 100m~200m	对 I 级~IV 级围岩, 勘探孔深度不宜小于隧道底部以下 1m~5m; 对 V~VI 级围岩, 勘探孔深度不宜小于隧道底部以下 $1.5D_0 \sim 2.0D_0$ 。
详细勘察	山区隧道的勘探孔按地质构造布置, 间距不宜大于 50m; 城市隧道的勘探孔间距, 复杂场地宜小于 30m, 中等复杂场地宜为 30m~40m, 简单场地宜为 40m~50m	一般性勘探孔深度不宜小于隧道底部以下 $1.5D_0 \sim 2.0D_0$ 。或隧道底部以下中风化岩或微风化岩 3m, 控制性勘探孔深度不宜小于隧道底部以下 $2.5D_0 \sim 3.0D_0$ 。或隧道底部以下中风化岩或微风化岩 5m

注: D_0 为隧道外径。

4 在隧道洞口、盾构工作井、联络通道、工法变换处等部位应布设勘探孔; 在地貌、地质单元交接部位和地层变化较大地段应加密勘探孔; 当遇到岩溶或破碎带时, 勘探孔深度应加深。

5 勘察完成后应对勘探孔进行封孔处理, 并应记录钻孔内遗留物。

4.1.5 盾构始发、盾构接收施工区域勘探孔布置应符合下列规定:

1 勘探孔位置应设在洞口外侧 2m~3m 处。

2 当隧道覆盖层厚度不大于 10m 时, 洞口外侧至少应布设 1 个勘探孔; 当隧道覆盖层厚度大于 10m 时, 应在洞口隧道两侧各布设 1 个勘探孔。

3 当盾构直径大于 10m 时, 应增设勘探孔, 勘探孔间距不应大于 10m。

4 每个洞口外侧的连续取土孔不应少于 1 个。

4.1.6 联络通道勘探孔布置应符合下列规定:

1 至少应有 2 个钻孔, 并应绘制沿联络通道纵向的地质

剖面。

2 当联络通道长度大于 30m 或地质条件复杂时，勘探孔间距不应大于 10m。

3 连续取土孔不应少于 1 个。

4.1.7 盾构隧道岩溶专项勘察应符合下列规定：

1 岩溶专项勘察应在详细勘察的基础上对勘察范围内溶洞和土洞的分布、埋深和发育程度等作进一步勘察分析和研究，应进一步评价场地的工程地质条件并提出岩溶治理建议。

2 岩溶专项勘察应采用工程地质测绘与调查、综合物探、钻探、钻孔电视等多种手段结合的方法进行。

3 岩溶的分类和分级应符合现行行业标准《铁路工程不良地质勘察规程》TB 10027 的规定。

4 勘探孔应在隧道两侧交错布置；当两条隧道间净距不大于 6m 时，勘探孔可在双线隧道两侧交错布置。

5 勘探孔纵向间距控制不应大于 15m。

6 盾构始发、盾构接收洞口外侧 2m~3m 处，隧道两侧应各布设 1 个勘探孔。

7 岩溶区勘探孔深度进入隧道底部以下中、微风化岩层不应小于 10m，揭露溶洞时进入溶洞以下不应小于 10m。

4.1.8 场地地震效应勘察应符合下列规定：

1 应根据国家批准的地震安全性评价报告、地震动参数区划和有关规范的规定，提出场地的抗震设防烈度、设计基本加速度和设计地震分组。

2 应确定场地类别；当位于抗震危险地段时，应提出专门研究的建议。

3 当抗震设防烈度为 6 度时，对标准设防类盾构隧道可不进行场地地震液化判别和处理；对重点设防类盾构隧道宜按 7 度的要求进行场地地震液化判别和处理。

4 当抗震设防烈度为 7 度及以上时，对重点设防类和标准设防类盾构隧道应按本地区抗震设防烈度的要求或经主管部门批

准的工程场地地震安全性评价的结果进行场地地震液化判别。

5 对重点设防类盾构隧道，宜对遭遇罕遇地震（E3）作用时的场地液化效应进行评价。

6 对于判定为可液化的场地，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定确定其液化指数和液化等级。

7 倾斜场地或液化层倾向水面或临空面时，应评价液化引起土体滑移的可能性。

4.2 建（构）筑物调查

4.2.1 盾构隧道设计前应对隧道穿越和隧道施工影响范围内的建（构）筑物进行调查。

4.2.2 建（构）筑物调查应在取得工程沿线地形图、管线及地下设施分布图等资料的基础上，采用实地调查、资料调阅、现场勘查与探测等多种手段相结合的方法进行。

4.2.3 盾构隧道工程建（构）筑物调查范围应为以隧道中心线为对称轴的条带状区域。当隧道顶板埋深小于或等于 3 倍隧道外径时，调查范围边线与隧道衬砌外边缘之间距离不宜小于 3 倍隧道顶板埋深；当隧道顶板埋深大于 3 倍隧道外径时，调查范围边线与隧道衬砌外边缘之间距离不宜小于 3 倍隧道外径。城市轨道交通盾构隧道工程建（构）筑物调查范围边线与隧道衬砌外边缘之间距离不应小于 30m、3 倍隧道顶板埋深和 3 倍隧道外径中的最大值。

4.2.4 地上建（构）筑物应调查建筑层数、高度、结构形式、基础形式、基础埋深（标高）、基底附加压力。对采用复合地基、桩基的建（构）筑物，应包括地基基础的结构参数、施工工艺。

4.2.5 地下建（构）筑物及人防工程应调查工程的平面布置、外轮廓尺寸、顶板和底板标高、施工方法、结构形式、变形缝设置、围护结构和抗浮措施。人防工程应调查防护等级、出入口位置。

4.2.6 路基结构应调查轨道交通或道路等级、路面材料、路面

宽度、路堤高度、支挡结构形式及地基与基础结构。

4.2.7 桥梁结构应调查桥梁类型、结构布置、桥长、桥宽、跨度、墩柱基础形式、桩基或地基加固设计参数、运营年限。

4.2.8 市政地下管线应调查管线的类型、平面位置、埋深（或高程）、断面尺寸、敷设方式、材质、管节长度、接口形式、介质类型、工作压力、工作井及阀门位置、运营年限。

4.2.9 水工建（构）筑物调查应包括下列内容：

1 枢纽布置、特征水位、隧道泄洪或导流标准、水库调度运行方式、河道取（用）水原则。

2 机电设备及调压（减泄压）、闸（阀）门设置。

3 水工建（构）筑物的类型、结构形式、基础形式、衬砌情况、运营年限。

4.2.10 架空高压线塔（杆）调查应包括电压等级、悬高、走廊宽度、高压线塔（杆）基础形式、埋置深度，以及电缆与隧道的交汇点坐标。

4.2.11 文物调查应包括其名称、等级、文物保护控制范围、结构形式、基础形式、埋置深度等，并应包括古木名树。

4.2.12 地下障碍物调查应包括影响盾构施工的地下空洞、古井、降水井、取水井、古墓葬、遗留桩基、锚杆（锚索）、抛石、沉船等。

5 荷 载

5.1 荷载分类及荷载效应组合

5.1.1 盾构隧道的荷载分类应符合表 5.1.1 的规定。

表 5.1.1 盾构隧道荷载分类

荷载类型		荷载名称
永久荷载		结构自重
		地层压力
		隧道上方和破坏棱体范围内的设施及建筑物压力
		外水压力
		预加应力
		设备重量
		地基下沉影响
可变荷载	基本可变荷载	地面超载和车辆荷载
		隧道内部管道支架水平推力
		隧道内人群荷载
		隧道内车辆荷载及其动力作用
	其他可变荷载	内水压力
		温度作用
		冻胀力和膨胀力
		施工荷载
		水锤压力
		偶然荷载
偶然荷载	地震作用	
	人防荷载	
	沉船、抛锚或河道疏浚产生的撞击力等其他偶然荷载	

5.1.2 盾构隧道结构设计应根据使用过程中在结构上可能同时

出现的荷载，按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行组合，并应取各自最不利的组合进行设计。

5.1.3 对于承载能力极限状态，应按荷载的基本组合或偶然组合计算荷载组合的效应设计值，并按下式进行计算：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (5.1.3)$$

式中： γ_0 ——重要性系数；

S_d ——荷载组合的效应设计值，包括组合的弯矩、剪力和轴力设计值等；

R_d ——结构构件抗力的设计值。

5.1.4 重要性系数应符合下列规定：

1 安全等级为一级和二级的结构构件，重要性系数应分别取 1.1 和 1.0。

2 当进行施工阶段承载力验算时，重要性系数应取 1.0。

3 当进行偶然组合验算时，重要性系数应取 1.0。

5.1.5 荷载基本组合的效应设计值应按下列式计算确定：

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G_{jk}} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} S_{Q_{ik}} \quad (5.1.5)$$

式中： γ_{G_j} ——第 j 个永久荷载的分项系数；

γ_{Q_i} ——第 i 个可变荷载的分项系数，除施工荷载分项系数应取 1.2 外，其他可变荷载分项系数应取 1.50；
当可变荷载效应对结构有利时应取 0；

γ_{L_i} ——第 i 个可变荷载考虑设计使用年限的调整系数；

$S_{G_{jk}}$ ——按第 j 个永久荷载标准值 G_{jk} 计算的荷载效应值；

$S_{Q_{ik}}$ ——按可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值；

m ——参与组合的永久荷载数；

n ——参与组合的可变荷载数。

5.1.6 荷载效应偶然组合的设计值应按下列公式计算确定：

地震组合：

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G_{jk}} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} \psi_{C_i} S_{Q_{ik}} + \gamma_{EH} S_{E_{HK}} + \gamma_{EV} S_{E_{VK}} \quad (5.1.6-1)$$

人防组合：

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G_{jk}} + S_C \quad (5.1.6-2)$$

式中： ψ_{C_i} ——第 i 个可变荷载的组合值系数，应取 0.6；

γ_{EH} 、 γ_{EV} ——水平和竖向地震作用分项系数；

S_{EHK} 、 S_{EVK} ——水平和竖向地震作用效应值；

S_C ——人防荷载作用效应值。

5.1.7 永久荷载的分项系数应按表 5.1.7 采用。

表 5.1.7 永久荷载分项系数

永久荷载	结构自重、 地下水压力	其他 永久荷载
当永久荷载效应对结构不利时	1.25	1.35
当永久荷载效应对结构有利时	1.0	1.0

5.1.8 可变荷载考虑设计使用年限的调整系数应按表 5.1.8 采用。

表 5.1.8 可变荷载考虑设计使用年限的调整系数

结构设计使用年限（年）	50	100
γ_L	1.0	1.1

5.1.9 水平和竖向地震作用分项系数的确定应符合表 5.1.9 的规定。

表 5.1.9 地震作用分项系数

地震作用	水平地震作用分项系数 γ_{EH}	竖向地震作用分项系数 γ_{EV}
仅计算水平地震作用	1.3	—
同时计算水平与竖向地震作用 (水平地震为主)	1.3	0.5
同时计算水平与竖向地震作用 (竖向地震为主)	0.5	1.3

5.1.10 对于正常使用极限状态,应根据不同的设计要求,采用荷载的标准组合和准永久组合,并按满足下列要求:

$$S_d \leq C \quad (5.1.10)$$

式中: C ——结构或构件达到正常使用要求的规定限值,例如变形、裂缝等的限值。

5.1.11 荷载标准组合和准永久组合的效应设计值应分别按下列公式计算:

$$\text{标准组合:} \quad S_d = S_{G_k} + \sum_{i=1}^n S_{Q_{ik}} \quad (5.1.11-1)$$

$$\text{准永久组合:} \quad S_d = S_{G_k} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Q_{ik}} \quad (5.1.11-2)$$

式中: ψ_{qi} ——第 i 个可变荷载的准永久值系数,应取 0.8。

5.2 永久荷载

5.2.1 结构自重应按结构设计尺寸及材料计算重度确定,并应包括隧道内部行车道板、分隔墙板、管道及支架等自重荷载。

5.2.2 当盾构隧道位于岩石中时,地层压力宜根据围岩分级按现行行业标准《铁路隧道设计规范》TB 10003 的规定确定。

5.2.3 位于碎石土、砂土、标贯击数大于 8 的粉土或黏性土中的盾构隧道,竖向地层压力的计算方法应符合下列规定:

1 对于覆盖层厚度不大于 2 倍隧道外径的浅埋盾构隧道,竖向地层压力应按全土柱重量计算。

2 对于覆盖层厚度大于 2 倍隧道外径的深埋盾构隧道,竖向地层压力宜计及土体卸载拱作用的影响。

5.2.4 位于标贯击数不大于 8 的粉土或黏性土中的盾构隧道,竖向地层压力应按隧道顶面以上全部土柱重量计算。

5.2.5 盾构隧道长期使用阶段的水平地层压力宜按静止土压力计算。

5.2.6 外水压力和浮力计算应符合下列规定:

1 盾构隧道外水压力应根据施工阶段和长期使用过程中的

地下水位的变化按静水压力计算。

2 黏性土地层中的外水压力宜按水土合算的方法确定，砂性土地层中的外水压力应按水土分算的方法确定。

5.2.7 设备荷载和荷载作用范围应根据设备实际重量、动力影响、设备位置及安装运输路径确定。

5.3 可变荷载

5.3.1 盾构隧道使用期间地面超载不应小于 20kPa；施工期间盾构始发井和接收井周边地面超载应根据实际情况分析后取用，且不应小于 30kPa。

5.3.2 位于道路下方的盾构隧道，当覆盖层厚度小于 1.5m 时，应按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的规定确定地面车辆荷载；当覆盖层厚度不小于 1.5m 时，地面车辆荷载宜按 20kPa 的均布荷载取值。

5.3.3 人群均布荷载应按 4.0kPa 计算。

5.3.4 施工荷载应包括设备运输及吊装荷载、施工机具及人员活载、施工堆载、千斤顶推力及注浆压力。

5.3.5 盾构隧道内车辆荷载及动力作用应根据车辆轴重和排列计算，并应用通过的重型设备车辆进行验算。

5.3.6 温度变化对隧道衬砌结构的影响应根据地层和隧道内的年平均温度、最冷（热）月平均温度确定。热力盾构隧道设计应计及结构内外壁面温差对结构的作用。

5.3.7 受冻害影响的隧道设计应计及冻胀力，冻胀力可根据现行行业标准《水工建筑物抗冰冻设计规范》SL 211 确定。

5.3.8 隧道内水压力应根据隧道进、出口水位，结合隧道各种运行工况，按可能出现的最大内水压力（包括动水压力）确定。

5.4 偶然荷载作用

5.4.1 地震作用应按现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 规定的本地区抗震设防要求确定；对进行过工程场地

地震安全性评价的，应采用经国务院地震工作主管部门批准的建设工程的抗震设防要求确定，但不应低于本地区抗震设防要求确定的地震作用。

5.4.2 人防荷载计算应符合国家现行标准《人民防空工程设计规范》GB 50225 和《轨道交通工程人民防空设计规范》RFJ 02 的规定。

5.4.3 沉船荷载应按工程水域可能通航的最大船舶类型分析确定。

6 材 料

6.1 一 般 规 定

6.1.1 盾构隧道的工程材料应根据隧道衬砌类型、受力条件、使用要求和环境条件等选用，并应满足可靠性、耐久性和经济性要求。

6.1.2 盾构隧道的受力结构宜采用钢筋混凝土材料，也可采用优质结构钢材、球墨铸铁、型钢混凝土组合材料和钢纤维混凝土材料。

6.2 混 凝 土

6.2.1 管片衬砌混凝土强度等级不应低于 C50，二次衬砌混凝土强度等级不应低于 C35。

6.2.2 混凝土的材料性能设计参数应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

6.2.3 隧道衬砌应采用防水混凝土。当混凝土结构有耐腐蚀要求时，应采用相应的耐腐蚀混凝土。

6.2.4 防水混凝土不应采用高水化热水泥，宜掺入高效减水剂、粉煤灰或磨细矿渣，并按现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的规定控制水泥用量，限制水胶比，以及控制混凝土入模温度。

6.3 钢 材

6.3.1 钢筋、预埋件的材料性能和设计参数应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

6.3.2 钢筋材料性能应符合下列规定：

- 1 受力钢筋宜采用 HRB400、HRB500 钢筋。

- 2 箍筋宜采用 HPB300、HRB400 钢筋。
- 6.3.3** 钢筋混凝土管片环向受力普通钢筋应符合下列规定：
- 1 钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25。
 - 2 钢筋的屈服强度实测值与屈服强度标准值的比值不应大于 1.30。
 - 3 钢筋最大拉力下的总伸长率实测值不应小于 9%。
- 6.3.4** 型钢及螺栓的材料性能和设计参数应满足现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。
- 6.3.5** 钢管片及二次衬砌结构的钢材宜采用 Q235、Q355 或 Q390，其质量等级不应低于 B 级，其材质与材料应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《建筑结构用钢板》GB/T 19879 的规定。
- 6.3.6** 钢管片及二次衬砌结构的钢材应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《建筑结构用钢板》GB/T 19879 的规定，并应符合下列规定：
- 1 钢材应为镇静钢，宜采用 Q235、Q355 或 Q390，其质量等级不应低于 B 级。
 - 2 钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85。
 - 3 钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于 20%。
 - 4 钢材应有良好的焊接性和合格的冲击韧性。
- 6.3.7** 钢纤维类型应选用高强钢丝切断型钢纤维，钢纤维材料参数应符合现行行业标准《混凝土用钢纤维》YB/T 151 的规定。钢纤维掺量不应小于 $25\text{kg}/\text{m}^3$ 。
- 6.3.8** 管片连接螺栓的机械性能宜选用 4.6、5.6、6.8 或 8.8 级，应有较好的耐腐蚀性和抗冲击韧性，表面应进行防腐蚀处理。

7 隧道结构计算

7.1 一般规定

7.1.1 盾构隧道结构计算应以工程勘察报告为依据，并应计及隧道施工和建成以后对环境的影响，以及环境的改变对隧道结构的作用。

7.1.2 盾构隧道结构计算模型应根据衬砌构造特点、施工工艺、衬砌与地层相互作用及装配式管片衬砌接头形式等确定。

7.1.3 当盾构隧道上方存在不对称竖向荷载时，或侧向水平荷载可能出现偏载时，应按荷载的实际分布情况计算。

7.1.4 当给水、热力和城市地下综合管廊盾构隧道衬砌结构计算时，应计入设备自重及管道支架推力的作用。

7.2 横向内力计算

7.2.1 隧道横向内力计算应分别选取隧道覆盖层最厚和最薄、地下水位最高和最低、存在超载或偏压、隧道穿越地层条件突变处等不利位置进行。

7.2.2 隧道管片横向内力计算模型宜采用匀质圆环模型、弹性铰模型、梁-弹簧模型或梁-接头模型。

7.2.3 当采用匀质圆环模型（图 7.2.3）进行管片衬砌计算时，应符合下列规定：

- 1 衬砌环整体刚度应折减。
- 2 错缝拼装衬砌环应根据环间剪力传递作用进行弯矩修正。
- 3 错缝拼装衬砌环在纵向接头处的接头弯矩应按下式计算：

$$M_1 = (1 - \xi)M \quad (7.2.3-1)$$

式中： ξ ——弯矩传递系数；

M ——匀质圆环模型的计算弯矩（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；

M_1 ——修正后的管片接头弯矩（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）。

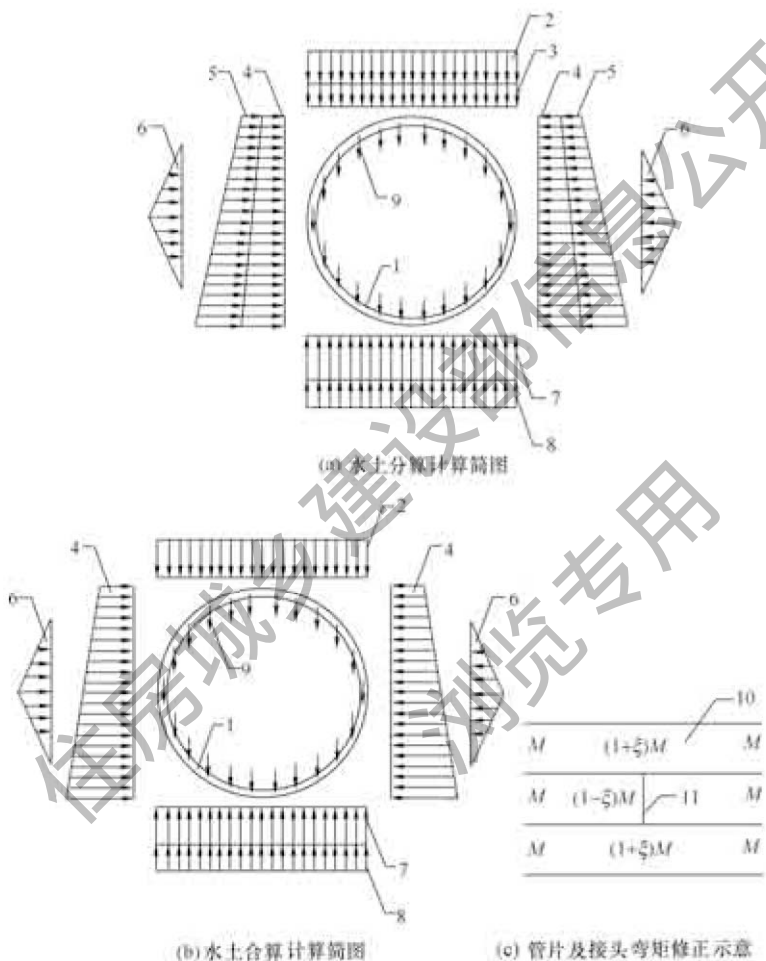


图 7.2.3 匀质圆环模型

- 1—衬砌环；2—竖向土压力及地面超载；3—竖向水压力；4—侧向土压力；
 5—侧向水压力；6—地层水平抗力；7—竖向水土压力引起的地层反力；
 8—管片自重引起的地层反力；9—管片自重；10—管片；11—接头

4 与纵向接头位置对应的相邻管片截面弯矩应按下式计算：

$$M_2 = (1 + \xi)M \quad (7.2.3-2)$$

式中： M_2 ——修正后的管片截面弯矩（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）。

7.2.4 当采用弹性铰模型（图 7.2.4）进行管片衬砌计算时，应符合下列规定：

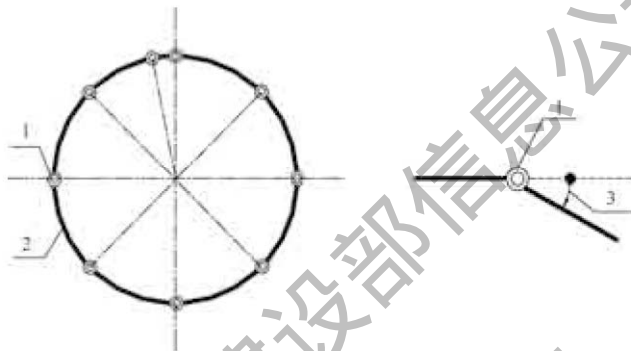


图 7.2.4 弹性铰模型

1—环向接头回转弹簧；2—管片本体；3—环向接头转角

- 1 弹性铰圆环承受的荷载应与弹性匀质圆环模型相同。
- 2 管片接头应等效为可承担弯矩的弹性铰，弹性铰刚度宜由数值模拟配合经验确定，有条件时可采用试验确定。
- 3 弹性铰承受的弯矩应按下列公式计算：

$$\text{当 } M_o > 0 \text{ 时, } M_o = K_{\theta+} \theta_o \quad (7.2.4-1)$$

$$\text{当 } M_o < 0 \text{ 时, } M_o = K_{\theta-} \theta_o \quad (7.2.4-2)$$

式中： M_o ——衬砌结构接头处所承受的弯矩（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ），以内侧受拉为正，外侧受拉为负；

θ_o ——接头转角（rad）；

$K_{\theta+}$ 、 $K_{\theta-}$ ——接头的正弯矩回转弹簧刚度（ $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$ ）、负弯矩回转弹簧刚度（ $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$ ）。

7.2.5 当采用梁-弹簧模型（图 7.2.5）进行管片衬砌计算时，应符合下列规定：

- 1 衬砌环环向接头应采用回转弹簧模拟。
- 2 衬砌环纵向接头应采用剪切弹簧模拟。
- 3 剪切弹簧和回转弹簧的刚度可按试验或经验确定。

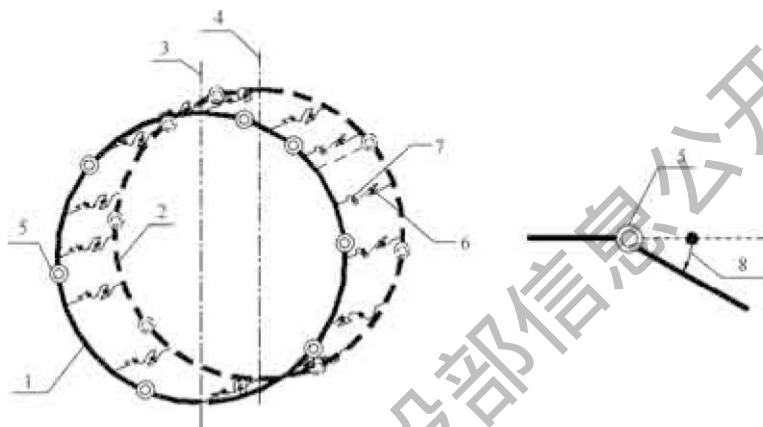


图 7.2.5 梁-弹簧模型

- 1—衬砌环 A 管片本体；2—相邻衬砌环 B 管片本体；3—衬砌环 A 竖直轴；
4—衬砌环 B 竖直轴；5—环向接头回转弹簧；6—环间径向剪切弹簧；
7—环间切向剪切弹簧；8—环向接头转角

7.2.6 当采用梁-接头模型（图 7.2.6）进行管片衬砌计算时，应符合下列规定：

- 1 衬砌环应采用梁单元模拟。
- 2 环向及纵向接头应采用接头单元模拟。

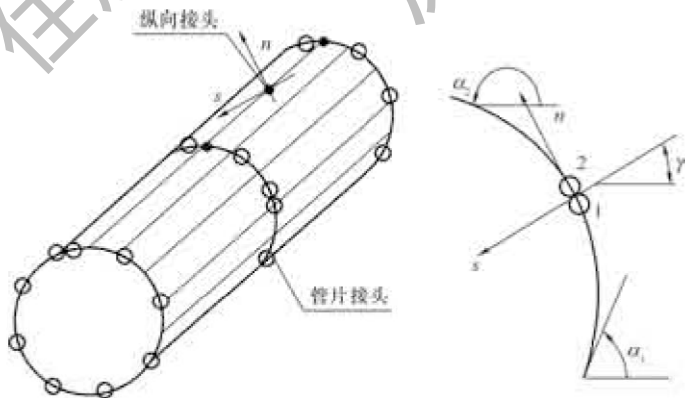


图 7.2.6 梁-接头模型

- 1—接头节点 1；2—接头节点 2

7.2.7 管片衬砌与地层间的相互作用（图 7.2.7）计算应符合下列规定：

1 计算模型宜采用局部地基弹簧模型；地基弹簧应基于局部变形理论和温克尔假定，并应采用法向受压地基弹簧和切向地基弹簧模拟；当模拟土拱效应时，宜采用全周地基弹簧模型，在拱顶位置施加可法向受拉地基弹簧。

2 地基弹簧刚度应按下列公式计算确定：

$$k = K_n B l \quad (7.2.7-1)$$

$$K_n = \bar{k}_h \cos^2 \alpha_s + \bar{k}_v \sin^2 \alpha_s \quad (7.2.7-2)$$

式中： k ——地基法向弹簧刚度（kN/m）；

K_n ——地层法向基床系数（kN/m³）；

B ——计算单元宽度（m）；

l ——相邻计算单元长度平均值（m）；

\bar{k}_h ——地层平均水平基床系数（kN/m³）；

\bar{k}_v ——地层平均垂直基床系数（kN/m³）；

α_s ——弹簧的作用中心线与水平线的夹角。

3 切向地基弹簧刚度可取为法向地基弹簧刚度的 1/3。

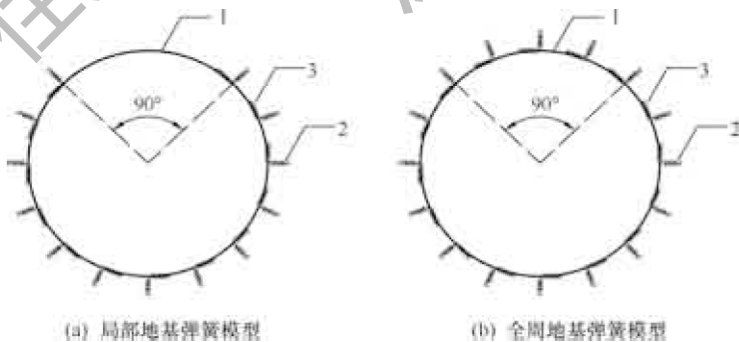


图 7.2.7 管片衬砌与地层相互作用计算模型

1—衬砌环；2—法向地基弹簧；3—切向地基弹簧

7.2.8 钢（铸铁）管片面板和背板应作为承受均匀分布荷载的构件，根据管片的材料特性和结构特性进行设计。

7.3 纵向内力计算

7.3.1 当遇下列情况之一时，应对隧道纵向强度和变形进行计算：

- 1 隧道覆盖层厚度或地层沿隧道纵向有较大变化。
- 2 隧道穿越重要建（构）筑物或直接承受较大局部荷载。
- 3 地基沿隧道纵向产生不均匀沉降。
- 4 小半径曲线隧道承受盾构千斤顶推力作用。
- 5 隧道下穿水域，河（海）势有较大变化，河（海）床有较大冲淤变化。

7.3.2 管片衬砌结构纵断面内力计算可采用梁-弹簧模型或等效刚度模型，并应符合下列规定：

1 当采用梁-弹簧模型计算时，应将管片衬砌结构沿纵向模拟为由弹性节点连接在一起的地基梁，管片环缝接头及纵向螺栓作用应由弹性节点的轴向、剪切和转动刚度模拟。

2 当采用等效刚度模型计算时，应将管片衬砌结构沿纵向模拟为地基梁，并应通过折减地基梁刚度模拟管片环接头对纵向刚度的削弱。

7.3.3 纵断面方向管片结构与地层间的相互作用应根据弹性地基梁理论采用地基弹簧模拟，并应符合本标准第 7.2.7 条的规定。

7.4 变形计算

7.4.1 盾构隧道衬砌结构应按荷载效应准永久组合进行变形计算。

7.4.2 盾构隧道收敛变形和接缝张开量限值应符合表 7.4.2 的规定。

表 7.4.2 隧道收敛变形和接缝张开量限值

类别	限值
收敛变形	$\leq 2\% D_0$ (错缝拼装) 或 $3\% D_0$ (通缝拼装), 且 $\leq 50\text{mm}$
接缝张开量	$\leq 2\text{mm}$ (岩质地层或周边存在重要建(构)筑物), 或 $\leq 4\text{mm}$ (大断面盾构隧道或位于软土地层), 且小于弹性密封垫的允许张开量

注: 1 表中 D_0 指隧道外径;

2 表中收敛变形和接缝张开量限值不含管片拼装误差造成的变形量。

7.5 抗浮稳定性验算

7.5.1 位于地下水位以下且覆盖层厚度小于隧道外径的盾构隧道, 应按最不利工况进行抗浮稳定验算。隧道抗浮稳定性应按下列公式进行验算:

$$\text{抗浮稳定安全系数: } K_f = \frac{R}{U} \quad (7.5.1-1)$$

$$\text{抗浮力: } R = W_s + W_a \quad (7.5.1-2)$$

$$\text{上浮力: } U = \gamma_w V_w \quad (7.5.1-3)$$

式中: K_f ——抗浮稳定安全系数;

R ——抗浮力 (kN/m);

U ——上浮力 (kN/m);

W_s ——隧道结构自重 (kN/m);

W_a ——隧道覆盖层的有效压重 (kN/m);

V_w ——隧道结构排开水的体积 (m^3/m);

γ_w ——地下水重度 (kN/m^3), 可按 $10\text{kN}/\text{m}^3$ 采用。

7.5.2 隧道抗浮稳定性验算应符合下列规定:

1 施工期间应按常水位计算, 正常使用期间应按抗浮设防水位计算。

2 施工期间结构自重应按管片自重计算, 正常使用期间结构自重可按管片自重与道床自重等永久荷载之和计算。

3 抗浮稳定安全系数在施工期间不应小于 1.1, 在使用期

间不应小于 1.2。

7.6 管片接头计算

7.6.1 盾构隧道衬砌结构应进行管片接头计算，并应符合下列规定：

1 管片接头计算内容应包括接管片接头强度验算及接缝张开量计算。

2 管片接头强度验算应包括连接螺栓抗拉强度、抗剪强度、混凝土局部受压强度验算，并宜包括螺栓手孔处管片本体的抗剪和抗冲切承载力验算。

3 当管片接头处设有凹凸榫槽时，可不进行螺栓的抗剪强度验算。

7.6.2 管片衬砌环向螺栓强度验算应符合下列规定：

1 钢筋混凝土管片的环向螺栓应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中矩形截面偏心受压构件的承载能力极限状态模型计算螺栓拉应力。

2 钢管片的环向螺栓应采用以管片边缘为回转中心的模型计算螺栓拉应力。

7.6.3 管片衬砌纵向螺栓强度验算应符合下列规定：

1 纵向螺栓应进行管片拼装阶段抗剪强度验算。

2 位于 7 度及以上地震设防区的隧道应进行地震作用下的纵向螺栓抗拉强度验算。

7.6.4 盾构千斤顶作用下管片环缝接头局部受压强度（图 7.6.4）应按下列公式验算：

$$P = \gamma_j \frac{J}{n_j} \quad (7.6.4-1)$$

$$P \leq 1.35 \beta_c \beta_l f_c A_m \quad (7.6.4-2)$$

$$\beta_l = \sqrt{\frac{A_b}{A_m}} \quad (7.6.4-3)$$

$$A_m = ab \quad (7.6.4-4)$$

$$A_b = (a + 2c)(h - 2e) \quad (7.6.4-5)$$

式中： P ——每组千斤顶顶推力（kN）；

J ——盾构最大总顶推力（kN）；

n_j ——千斤顶组数；

γ_j ——千斤顶顶推力分项系数，应取 1.2；

β_c ——混凝土强度影响系数，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定取用；

β_l ——混凝土局部受压时的强度提高系数，大于 3 时应取 3；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）；

A_{ln} ——局部受压面积（m²）；

A_b ——局部受压计算底面积（m²）；

h ——管片高度（mm）；

a ——局部受压区宽度，取千斤顶撑靴的宽度；

b ——局部受压区高度，取千斤顶撑靴的高度（计及撑靴偏心布置）与管片高度（减去防水槽和嵌缝槽高度后）的重叠部分；

c ——千斤顶撑靴沿宽度方向与管片边缘的距离（mm），当 $c > b$ 时，取 b ；

e ——千斤顶撑靴沿高度方向相对于管片中心线的偏心距，取 25mm。

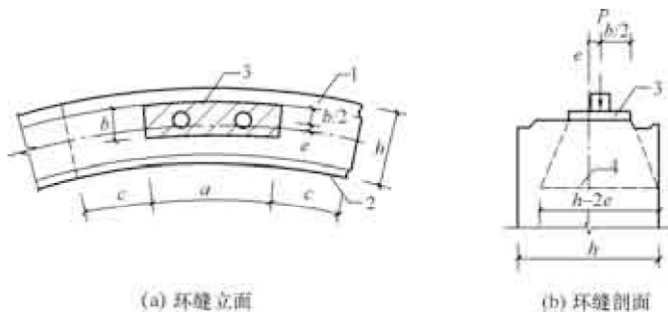


图 7.6.4 管片环面局部受压计算简图

1—防水槽；2—嵌缝槽；3—局部受压计算面积；4—局部受压计算底面积

7.6.5 当进行钢筋混凝土管片螺栓手孔设计时，应对螺栓连接处混凝土环肋、端肋结构进行抗剪和抗冲切承载力验算，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。

7.6.6 当进行钢管片接头设计时，应对接头钢板进行抗压强度、抗剪强度、局部稳定性验算，并应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。

7.7 二次衬砌计算

7.7.1 当符合下列情况之一时，应对二次衬砌结构进行受力计算：

1 二次衬砌为结构主体，而管片衬砌为某一特定时期使用的临时结构。

2 二次衬砌与管片衬砌同时作为隧道主体结构协同受力。

3 二次衬砌用于对管片衬砌补强或加固作用。

7.7.2 当二次衬砌用于隧道防蚀、抗渗、校正中心线偏离及隧道内部装饰等，可不进行结构计算。

7.7.3 当管片衬砌与二次衬砌之间结合面较平滑或者存在防水板时，应按复合式衬砌进行计算。当管片衬砌与二次衬砌之间结合面不平整、不光滑或设有抗剪措施时，应按叠合式衬砌进行计算。

7.7.4 隧道内有行车道板、竖向隔墙等内部承载结构且与衬砌结构有连接时，应对隧道结构进行整体结构的稳定性和强度计算，并应对连接位置局部节点结构强度进行验算。

7.8 大断面及特殊隧道计算

7.8.1 对大断面及超大断面、构造形式复杂的隧道，或承受大偏压、高水压、严重形变压力等条件下的特殊隧道，应采用整体化的分析方法进行衬砌结构的内力和变形计算。

7.8.2 整体化的分析方法应计及管片接头刚度的非线性特性、

衬砌结构-地层（地下水）的交互作用特性，并应体现施工期间的结构受荷特征，宜采用三维分析模型。

7.8.3 应按整体化的分析方法，分别对隧道运营期以及主要施工阶段，进行结构计算。

住房和城乡建设部信息中心
浏览专用

8 隧道衬砌

8.1 一般规定

8.1.1 盾构隧道横断面形状宜为圆形或类矩形，衬砌结构宜采用单层预制装配式衬砌形式。对需要采用进一步措施防止隧道渗水、减小管片衬砌腐蚀、修正隧道施工误差、减少运营隧道噪声和振动的隧道，或需要做内部装饰的隧道，可采用双层衬砌形式。

8.1.2 隧道管片构造应根据隧道类型、受力条件、盾构设备等要求，以及经济性、可靠性、耐久性和便于制造、运输、安装等条件确定。

8.1.3 管片衬砌应采用具有一定刚度的柔性结构，同时应限制其在荷载作用下的变形并满足受力和防水要求。

8.1.4 根据盾构隧道结构抗渗、抗裂、防火等要求，可采用添加钢纤维、聚丙烯纤维等材料的复合纤维钢筋混凝土管片或设置二次衬砌。

8.2 管片构造

8.2.1 衬砌环宜由多块标准块、两块邻接块和一块封顶块组成，其分块方式应根据管片制作、运输、盾构推进千斤顶布置、拼装方式、结构受力与变形、防水要求等因素综合确定。

8.2.2 钢筋混凝土管片宜为平板型管片，钢管片宜为箱形管片；大直径盾构隧道也可采用钢筋混凝土箱形管片。

8.2.3 除楔形环外，管片的平面投影形状宜为矩形。

8.2.4 管片宽度应根据隧道最小曲线半径、隧道直径、管片制作、运输、管片拼装工艺以及盾构千斤顶行程等因素综合确定，并宜采用较大的管片宽度。

8.2.5 封顶块接头角和插入角应根据截面内力传递、拼装方式、盾构设备及管片生产条件等因素综合确定。在满足施工要求下宜采用较小的接头角和插入角。

8.2.6 管片螺栓手孔、定位孔、起吊孔、注浆孔的位置与尺寸，应根据管片连接、起吊和拼装方式以及壁后注浆要求和结构受力等因素确定。

8.2.7 管片螺栓孔直径宜按表 8.2.7 选用。

表 8.2.7 管片螺栓孔直径 (mm)

螺栓直径	20	24	27	30	36	40
螺栓孔最小处直径	23~26	27~30	30~33	33~36	39~42	43~46

8.2.8 管片上宜预埋壁后注浆预埋件，注浆预埋件设计应有利于施工及运营阶段注浆孔外水压力的有效封堵。当采用抓举头吊装时，起吊孔宜与注浆孔合并设置。

8.2.9 采用真空吸盘吊装的管片，应在内弧面预留拼装定位孔；每块管片上定位孔数量不应少于 2 个，定位孔宜为杯状结构，杯口直径不宜小于 100mm，定位孔深度不宜小于 150mm。

8.2.10 管片接头构造应符合下列规定：

1 管片接头构造可根据隧道变形要求、接头张开量限值、盾构千斤顶受力要求等采用平板型、凹凸榫槽型等形式。

2 当隧道所处地层为深厚软土地层时，管片环缝接头环面构造宜采用凹凸榫槽形式。

3 管片纵缝接头可采用定位棒辅助拼装定位。

8.2.11 每块管片上应清晰标注不易被磨损的标识。

8.2.12 盾构隧道与联络通道等附属结构连接部位的特殊环管片应符合下列规定：

1 当采用全环钢管片形式时，钢管片应分为衬砌开口部位的可拆卸临时钢管片和永久结构钢管片，全部钢管片通过钢材精加工制作，钢管片材料应符合本标准第 6 章的规定。

2 当采用钢筋混凝土管片加钢管片形式时，衬砌开口部位

应采用钢管片，其余部位可采用钢筋混凝土管片。

3 当采用全环钢筋混凝土管片形式时，衬砌开口部位可通过切割钢筋混凝土管片形成开口，开口周边应施作加强环梁。

8.3 管片拼装

8.3.1 管片拼装方式宜采用错缝拼装方式；当联络通道等部位需要通缝拼装时，连续通缝拼装的环数不应大于 2 环。

8.3.2 盾构隧道管片环组合方式应符合下列规定：

1 管片环的组合可采用普通环组合方式或通用环组合方式。

2 当采用普通环组合方式时，管片环宜分为标准环、左楔形环和右楔形环 3 种类型。

3 当采用通用环组合方式时，管片环宜为通用楔形环 1 种类型。

4 普通环组合方式和通用环组合方式应能模拟直线隧道和不同半径的曲线隧道。

8.3.3 盾构隧道设计宜进行管片环组合设计，对隧道线路进行拟合并确定不同类型管片环的数量。拟合后的隧道中心线与理论隧道中心线间误差不应大于 20mm。

8.3.4 楔形环楔形量设计应符合下列规定：

1 楔形量应根据管片环类型及拼装方式、隧道直径、管片宽度、最小转弯半径、曲线拟合误差和盾尾间隙等综合确定。

2 楔形量大小应能满足曲线线路拟合及施工纠偏的需要。

3 楔形环可为单面楔形或双面楔形形式。

4 当根据线路最小曲线半径计算楔形量时，管片环平均楔形量应按下式计算：

$$\Delta = B_c \times D_o / R \quad (8.3.4)$$

式中： Δ ——计算平均楔形量 (m)；

B_c ——衬砌环在隧道中心轴线水平投影位置平均环宽 (m)；

D_o ——隧道外径 (m)；

R ——最小曲线半径 (m)。

5 楔形环楔形量可根据管片环平均楔形量和管片环组合设计确定, 并且不宜大于 90mm。

8.3.5 管片接头的连接方式应符合下列规定:

- 1 管片接头宜采用螺栓连接。
- 2 根据管片形式、接头受力要求、拼装要求、接头止水要求等可采用弯螺栓、直螺栓、斜螺栓连接方式。
- 3 螺栓的机械性能等级应满足构造和结构受力要求。
- 4 螺栓手孔设计应满足管片、螺栓受力及螺栓紧固操作要求。

8.3.6 衬砌环整环水平拼装试验的拼装允许偏差应符合下列规定:

- 1 相邻环环面间隙不得大于 2mm。
- 2 纵缝相邻块块间间隙不应大于 2mm。
- 3 成环内直径应为 $\pm 2\text{mm}$ 。
- 4 成环外径应为 $+6\text{mm}$, -2mm 。
- 5 螺栓孔不同轴度应小于 1mm。

8.4 钢筋混凝土管片

8.4.1 钢筋混凝土管片厚度应根据隧道直径、埋深、工程地质及水文地质条件、施工阶段和使用阶段的荷载等情况确定, 管片厚度宜符合表 8.4.1 的规定, 且最小厚度不宜小于 250mm。

表 8.4.1 管片厚度

隧道外径 D_0 (m)	$2 \leq D_0 < 5$	$5 \leq D_0 < 8$	$D_0 \geq 8$
管片厚度 h (m)	$0.06D_0 \sim 0.10D_0$	$0.05D_0 \sim 0.06D_0$	$0.04D_0 \sim 0.05D_0$

注: 表中 D_0 指隧道外径。

8.4.2 钢筋混凝土管片接缝构造应满足受力、拼装定位、防水的要求, 其尺寸和角度应有利于减少局部应力集中以及管片制造、运输、拼装过程中的碰撞破损, 并应符合下列规定:

- 1 管片边缘应设倒角，倒角尺寸不应小于 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 。
- 2 管片接缝内侧边缘处应预留嵌缝槽（图 8.4.2），嵌缝槽深宽比不应小于 2.5，槽宽不宜小于 10mm ，槽深不宜小于 25mm 。

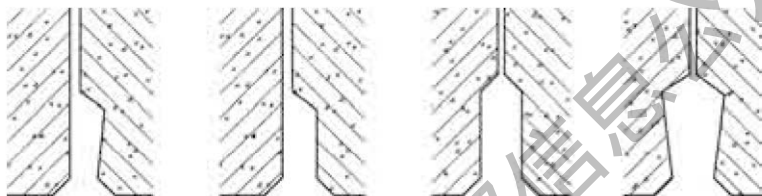


图 8.4.2 管片嵌缝槽断面构造形式

- 3 当采用错缝拼装时，管片环缝应设置缓冲衬垫。
- 8.4.3 钢筋混凝土管片环缝凹凸榫槽设计应符合下列规定：**
- 1 凹凸榫槽宜设置于管片厚度方向的中部，其尺寸拟定时应不影响管片外侧的防水密封垫槽和内侧的嵌缝槽设置。
 - 2 凹凸榫槽应进行盾构千斤顶作用下的混凝土局部受压承载能力验算。
 - 3 管片凹凸榫槽的形状应平顺，榫槽间隙尺寸应与管片制作误差、管片拼装进度相匹配。
- 8.4.4 钢筋混凝土管片配筋构造应符合下列规定：**
- 1 管片主筋宜采用肋梁式主筋配筋形式，肋梁箍筋直径不宜小于 6mm ，间距不宜大于 200mm ；各主筋肋梁间应设置构造钢筋连接。
 - 2 当采用板式配筋形式时，管片主筋及分布筋最大间距不宜大于 200mm ，管片内外层主筋之间应设置拉筋，拉筋直径不宜小于 8mm 。
 - 3 管片手孔、螺栓孔、预留孔洞、预埋件等部位应设置构造加强钢筋。
 - 4 最外层钢筋的混凝土保护层厚度应根据环境类别及设计使用年限确定，不应小于表 8.4.4 中规定的数值，且不应大于 50mm 。

表 8.4.4 最外层钢筋的混凝土保护层厚度 (mm)

设计使用年限	迎土侧	背土侧
100 年	35	25
50 年	30	20

8.4.5 钢筋混凝土管片应采用高精度钢模制作，管片允许偏差应符合下列规定：

- 1 宽度应为 $\pm 1.0\text{mm}$ （管片外径小于 10m 时），或为 $\pm 0.4\text{mm}$ （管片外径不小于 10m 时）。
- 2 弧长、弦长应为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。
- 3 厚度应为 $+3\text{mm}$ ， -1mm 。
- 4 螺栓孔直径及螺栓孔位置应为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。
- 5 混凝土接触面不平整度应为 $\pm 0.5\text{mm}$ ，每延米平整度应为 $\pm 0.2\text{mm}$ 。

8.4.6 钢筋混凝土管片内弧面及端面上各类孔洞及沟槽尺寸和角度应满足预制时脱模的要求，脱模角度不宜小于 3° 。

8.4.7 钢筋混凝土管片内表面永久性标记应符合下列规定：

- 1 永久性标识应镜像铸在模板上，其余标识可喷涂于管片内弧面角部。
- 2 应采用文字标示管片厂家编码、模具编号、管片分块号，标示框凹陷深度不应超过 8mm。
- 3 宜采用圆形凹点标示管片主筋位置，凹陷深度不应超过 5mm。
- 4 宜标示螺栓对齐标志。

8.5 钢 管 片

8.5.1 钢管片可用于联络通道接口、地层不稳定或岩性变化较大、上部作用集中荷载等结构或荷载变化较大处，以及热力隧道事故人孔、推力较大的固定支架、管线分支等位置。

8.5.2 钢管片分块接头应采用高强度螺栓连接。

8.5.3 钢管片制作精度不应低于混凝土管片的精度。

8.5.4 当衬砌环由多个钢管片组合形成时，钢管片尺寸应预留公差。

8.6 二次衬砌

8.6.1 当盾构隧道采用双层衬砌时，二次衬砌设计应结合隧道使用功能、隧道直径、环境条件及衬砌受力等综合确定。二次衬砌可为素混凝土、钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土、钢内衬或钢板与混凝土复合结构等形式。水工隧道二次衬砌还可为钢管、钢管混凝土复合结构或钢管钢筋混凝土复合结构。

8.6.2 城市轨道交通、铁路、城市道路和公路盾构隧道二次衬砌不应采用素混凝土结构。

8.6.3 水工盾构隧道宜设置二次衬砌，并应根据其承担的内水压力合理确定二次衬砌的结构形式。

8.6.4 当二次衬砌采用混凝土或钢筋混凝土结构时，变形缝的形式和间距可根据围岩条件、二次衬砌类型、使用要求以及使用期间隧道内部温度相对于隧道施工时的变化等，按类似工程的经验确定。

8.6.5 根据二次衬砌与管片衬砌结合方式的不同，衬砌可分为复合式和叠合式两种形式。当采用复合式衬砌时，应在二次衬砌和管片衬砌之间设置防（排）水板或隔离层；当采用叠合式衬砌时，应对管片衬砌内表面基层进行表面处理。

8.6.6 当设置混凝土或钢筋混凝土二次衬砌时，二次衬砌的顶部应采用高强无收缩材料进行回填灌浆。回填灌浆的范围宜在顶部或顶拱中心角 $90^{\circ} \sim 120^{\circ}$ ，灌浆压力和灌浆管布置应根据二次衬砌材料、厚度和施工工艺等确定。

9 抗震设计

9.1 一般规定

9.1.1 盾构隧道工程必须进行抗震设计。

9.1.2 盾构隧道抗震设计应符合下列规定：

1 位于设防烈度 6 度地区的中、小直径盾构隧道，除另有规定外，可不进行抗震计算，但应按本标准第 9.4 节的规定采取抗震措施。

2 位于设防烈度 9 度及以上地区或有特殊抗震要求的盾构隧道，其抗震设计应进行专门研究。

9.1.3 盾构隧道的抗震设防类别应根据隧道遭遇地震后可能造成的人员伤亡、经济损失、社会影响及其在抗震救灾中的作用等因素确定，应符合现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 的相关规定，并应符合下列规定：

- 1 表 9.1.3 中所列的盾构隧道应按重点设防类设防。
- 2 除重点设防类外的其他盾构隧道均应按标准设防类设防。

表 9.1.3 重点设防类盾构隧道

隧道功能	盾构隧道
给水	20 万人口以上城镇、抗震设防烈度为 7 度及以上的县及县级市的输水管线隧道
排水	20 万人口以上城镇、抗震设防烈度为 7 度及以上的县及县级市的污水干管隧道（含合流）
燃气	20 万人口以上城镇、县及县级市的高压和次高压输配气管道隧道
热力	50 万人口以上城镇的供热主干线隧道
综合管廊	城市地下综合管廊隧道
交通	高速铁路隧道、城市轨道交通隧道、高速公路隧道、一级公路隧道

注：交通类水底盾构隧道按重点设防类设防。

9.1.4 各抗震设防类别结构的抗震设防标准，应符合下列规定：

1 标准设防类地震作用和抗震措施应按现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 规定的本地区抗震设防要求确定。

2 重点设防类地震作用应按现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 规定的本地区抗震设防要求确定，或采用经地震主管部门批准的工程场地地震安全性评价的结果确定，但不应低于本地区抗震设防要求确定的地震作用。

9.1.5 盾构隧道的抗震性能要求等级应符合表 9.1.5 的规定。

表 9.1.5 抗震性能要求等级

性能要求等级	抗震性能要求
性能要求 I	地震作用下，隧道工程不损坏，应能保持其正常使用，结构处于弹性工作阶段，不影响周围环境和市政设施正常使用
性能要求 II	地震作用下，隧道工程不损坏或仅需对非重要结构部位进行一般修理，短期内能恢复其正常使用功能，结构局部进入弹塑性工作阶段，对周围环境影响轻微，不影响隧道设施正常使用
性能要求 III	地震作用下，隧道不应出现局部或整体坍塌，修复后隧道设施可正常使用，结构处于弹塑性工作阶段，无重大人员伤亡，对周围环境不产生严重影响，修复后隧道设施可正常使用

9.1.6 盾构隧道抗震设防水准及性能要求应符合表 9.1.6 的规定。

表 9.1.6 盾构隧道抗震设防水准及性能要求

抗震设防水准			设防类别	性能要求
地震影响	重现期（年）	50 年超越概率		
多遇地震 E1	50	63%	重点设防类	I
			标准设防类	I
设防地震 E2	475	10%	重点设防类	I
			标准设防类	II
罕遇地震 E3	1600~2475	2%~3%	重点设防类	II
			标准设防类	III

9.2 设计地震动参数

9.2.1 设计地震动参数应符合现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 的规定；已进行工程场地地震安全性评价的隧道工程，设计地震动参数值应根据场地地震安全性评价报告选取，但不应低于本地区抗震设防烈度确定的地震动参数。

9.2.2 抗震计算时应根据抗震分析方法的不同采用相应的设计地震动参数，设计地震动参数应采用地震加速度（速度、位移）时程曲线、峰值加速度或峰值位移。

9.2.3 当基本地震动峰值加速度不小于 $0.3g$ 时，设计地震动参数应通过工程场地地震安全性评价确定，并不应小于本条文规定的数值；当基本地震动峰值加速度小于 $0.3g$ 时，设计地震动参数可按下列规定取值，或通过工程场地地震安全性评价确定。

1 II类场地地表设计地震动峰值加速度 $a_{\max\text{II}}$ 应按表9.2.3-1的规定确定。

表 9.2.3-1 II类场地地表设计地震动峰值加速度 $a_{\max\text{II}}$ (g)

地震动峰值加速度分区	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
E1 地震作用	0.03	0.05	0.08	0.10	0.15	0.20
E2 地震作用	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
E3 地震作用	0.12	0.22	0.31	0.40	0.51	0.62

注：表中 g 为重力加速度。

2 其他类别工程场地地表水平向设计地震动加速度 a_{\max} 按下式确定：

$$a_{\max} = F_a \cdot a_{\max\text{II}} \quad (9.2.3-1)$$

式中： a_{\max} ——地表水平向设计地震动峰值加速度 (g)；

F_a ——场地地震动峰值加速度调整系数；

$a_{\max\text{II}}$ ——II类场地地表设计地震动峰值加速度 (g)。

3 场地地震动峰值加速度调整系数 F_a 可按表 9.2.3-2 所给数值分段线性插值确定。

表 9.2.3-2 场地地震动峰值加速度调整系数 F_u

II 类场地设计地震动峰值加速度 $a_{\max II}$ (g)	场地类别				
	I 0	I 1	II	III	IV
≤ 0.05	0.72	0.80	1.00	1.30	1.25
0.10	0.74	0.82	1.00	1.25	1.20
0.15	0.75	0.83	1.00	1.15	1.10
0.20	0.76	0.85	1.00	1.00	1.00
0.30	0.85	0.95	1.00	1.00	0.95
≥ 0.40	0.90	1.00	1.00	1.00	0.90

4 II 类场地地表设计地震动峰值位移 $u_{\max II}$ 应按现行国家标准《中国地震动参数区划图》GB 18306 中地震动峰值加速度分区值及地震等级确定，并应符合表 9.2.3-3 的规定。

表 9.2.3-3 II 类场地的设计基本地震动峰值位移 $u_{\max II}$ (m)

地震动峰值加速度分区 (g) 地震作用	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
E1	0.02	0.04	0.05	0.07	0.10	0.14
E2	0.03	0.07	0.10	0.13	0.20	0.27
E3	0.08	0.15	0.21	0.27	0.35	0.41

5 其他类别工程场地地表水平向设计地震动峰值位移 u_{\max} 应按下式确定：

$$u_{\max} = F_u \cdot u_{\max II} \quad (9.2.3-2)$$

式中： u_{\max} ——地表水平向设计地震动峰值位移 (m)；

F_u ——场地地震动峰值位移调整系数；

$u_{\max II}$ ——II 类场地地表设计地震动峰值位移 (m)。

6 场地地震动峰值位移调整系数 F_u 可按表 9.2.3-4 所给数值分段线性插值确定。

表 9.2.3-4 场地设计基本地震动峰值位移调整系数 F_v

II 类场地设计基本地震动峰值位移 $u_{\max II}$ (m)	场地类别				
	I 0	I 1	II	III	IV
≤ 0.03	0.75	0.75	1.00	1.20	1.45
0.07	0.75	0.75	1.00	1.20	1.50
0.10	0.80	0.80	1.00	1.25	1.55
0.13	0.85	0.85	1.00	1.40	1.70
0.20	0.90	0.90	1.00	1.40	1.70
≥ 0.27	1.00	1.00	1.00	1.40	1.70

9.2.4 场地竖向设计地震动峰值加速度取值应分别取水平向峰值加速度的 30%、50% 及 70% 对结构进行验算。在活动断裂附近，竖向峰值加速度还应取 1.0 倍水平向峰值加速度值对结构进行验算。

9.3 抗震计算

9.3.1 盾构隧道抗震计算应符合下列规定：

- 1 简化计算模型应能反映隧道在地震作用下的实际工作状态。
- 2 计算分析时应考虑隧道几何形体及地震动输入方向等最不利工况的影响。

3 计算结果应经分析判断，确认其合理且有效后方可用于隧道工程设计。

9.3.2 盾构隧道抗震计算应包括横向和纵向抗震计算；地形或地质条件变化较大的盾构隧道区段及空间效应明显的异形盾构隧道、隧道交叉部位，应建立三维模型进行抗震计算。

9.3.3 盾构隧道抗震计算方法应根据地层条件、隧道几何形体、输入地震动等因素确定，且宜按表 9.3.3 采用。反应位移法、静力法和时程分析法计算应分别符合本标准附录 A、附录 B 和附录 C 的规定。

表 9.3.3 盾构隧道抗震计算方法

维度	地层情况	输入地震动	抗震计算方法
横向	均质地层	设防烈度或峰值加速度	静力法
		场地地表峰值位移	解析法/横向反应位移法
		地震动时程曲线	静力法/横向反应位移法/ 时程分析法
	成层地层	设防烈度或峰值加速度	静力法
		场地地表峰值位移	横向反应位移法
		地震动时程曲线	静力法/横向反应位移法/ 时程分析法
复杂地层	设防烈度或峰值加速度	静力法	
	地震动时程曲线	时程分析法	
纵向	均质地层	场地地表峰值位移	解析法/纵向反应位移法
	地质或地形突变	地震动时程曲线	广义纵向反应位移法/ 时程分析法
三维	均质/成层/地质或 地形突变/复杂地层	地震动时程曲线	时程分析法

9.3.4 盾构隧道抗震计算模型应符合下列规定：

1 应沿盾构隧道纵向选取一个或多个地层条件和结构形式具有代表性的横断面或纵向区段为分析对象。

2 当抗震计算采用反应位移法时，设计地震作用基准面宜取在隧道结构以下剪切波速不小于 500m/s 的地层位置；对于第四纪覆盖层厚度小于 70m 的场地，设计地震作用基准面到结构的距离不应小于隧道高度的 2 倍或取至基岩面；对于第四纪覆盖层厚度大于或等于 70m 的场地，宜取在距地表 70m 深度的位置。

3 当抗震计算采用时程分析法时，应选用能减小地震波边界反射作用的边界条件；模型的计算范围应能够较真实地模拟半无限体地层的特性，具体宜按本标准附录 C 取值。

9.3.5 管片衬砌及盾构隧道与联络通道、盾构工作井或通风井

连接处应进行地震作用下的结构强度和变形验算，并应符合下列规定：

1 抗震性能要求Ⅰ的盾构隧道应进行结构强度和变形验算，隧道直径最大变形量不应大于隧道外径的0.3%。

2 抗震性能要求Ⅱ的盾构隧道应进行结构变形验算，隧道直径最大变形量不应大于隧道外径的0.6%。

3 结构强度验算时应按荷载效应偶然组合进行计算；结构变形验算时应按荷载效应标准组合进行计算。

4 含有结构性二次衬砌的双层衬砌盾构隧道，应同时对二次衬砌进行结构强度和变形验算。

5 隧道与未设变形缝的横通道连接处宜进行抗震性能验算。

6 隧道与盾构工作井或通风井连接处宜进行抗震性能验算。

7 抗震性能要求Ⅰ和性能要求Ⅱ的盾构隧道，管片之间及隧道与附属结构接头处的变形量应满足防水密封垫要求的允许值。

9.4 抗震、减震措施

9.4.1 盾构隧道在下列位置宜设变形缝或采取增强环缝变形能力的措施：

1 盾构隧道与车站、联络通道、区间风井等构筑物相接处。

2 盾构隧道与明挖或暗挖法隧道相接处。

3 隧道周边地层或荷载发生较大变化处。

9.4.2 盾构隧道变形缝设计应符合下列规定：

1 变形缝两侧的结构不得产生影响使用的差异沉降。

2 变形缝间距应根据隧道纵向允许沉降曲率、沉降差等要求确定。

3 变形缝处弹性密封垫应加厚，其构造应符合本标准第10.4节的规定。

9.4.3 盾构隧道的接头构造应能减小地震时管片接头的错动和防止管片变位引起的磕碰破坏。

9.4.4 盾构隧道宜避免穿越断层破碎带、地裂缝或地形地质条件发生突变区域。当需穿越时，隧道抗震构造措施应符合下列规定：

1 断层破碎带抗震设防范围应包括断层破碎带和两侧的过渡段。

2 断层破碎带抗震设防范围内隧道应采取增强环缝变形能力的措施，并应加强管片结构或采取特殊设计。

3 应根据地层可能发生的蠕动量或错动量增大隧道断面净空尺寸。

4 所采取构造措施应使隧道震后易于快速修复。

9.4.5 盾构隧道不宜穿越可能发生液化的地层。当确需穿越时，抗震措施应符合下列规定：

1 应分析土层液化对隧道结构稳定的不利影响。

2 重点设防类的盾构隧道应采取地层抗液化措施完全消除地层的液化沉陷；标准设防类的盾构隧道宜采取地层抗液化措施完全消除或部分消除地层的液化沉陷。

3 盾构隧道环缝可设置凹凸榫槽。

4 隧道可局部或全长设置二次衬砌。

9.4.6 盾构隧道内部构件的抗震构造措施应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定。

10 防水与防腐蚀

10.1 一般规定

10.1.1 盾构隧道防水与防腐蚀设计应根据使用功能与要求、结构特点、水文地质条件、使用环境条件、施工条件确定。

10.1.2 盾构隧道附属结构的防水设计，应按现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 执行。

10.2 防水等级和防水标准

10.2.1 盾构隧道的不同防水等级的适用范围应符合表 10.2.1 的规定。

表 10.2.1 不同防水等级的适用范围

防水等级	适用范围
一级	城市轨道交通车站及机电设备集中区段；高速公路、一级公路、二级公路、城市道路隧道的拱部、边墙、路面、设备箱洞；三级公路、四级公路隧道的设备箱洞；Ⅰ级铁路隧道，Ⅱ级铁路电化隧道、车站隧道及机电设备洞室；有冻害地段的Ⅱ级铁路非电化隧道、城市地下综合管廊
二级	城市轨道交通的区间隧道；电力隧道；高速公路、一级公路、二级公路、城市道路隧道的车行横通道、人行横通道；三级公路、四级公路隧道；Ⅱ级铁路非电化隧道、隧道内一般洞室；水工隧道；电力隧道；燃气隧道；热力隧道

10.2.2 盾构隧道的防水标准应符合表 10.2.2 的规定。

表 10.2.2 盾构隧道的防水标准

防水等级	防水标准
一级	不得渗水，结构表面不应有湿渍
二级	顶部不得滴漏，其他部位不得漏水，结构表面可有少量湿渍，总湿渍面积不应大于总防水面积的 2/1000，任意 100m ² 防水面积上的湿渍不应超过 3 处，单个湿渍的最大面积不应大于 0.2m ² ；隧道工程中漏水的平均渗水量不应大于 0.05L/(m ² ·d)，任意 100m ² 防水面积渗水量不应大于 0.15L/(m ² ·d)

10.3 管片结构自防水

10.3.1 钢筋混凝土管片应采用防水混凝土制作，其抗渗等级不应小于 P10，氯离子扩散系数不宜大于 $3 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 。

10.3.2 混凝土管片的裂缝宽度不得大于 0.2mm，并不得贯通。

10.3.3 钢筋混凝土管片应进行单块检漏试验。管片外表在设计抗渗压力下，恒压 2h，最大渗水深度不得超过主筋保护层厚度。

10.4 管片接缝防水

10.4.1 管片接缝至少应设置一道密封垫。当管片厚度不小于 400mm 且隧道处于富含水区域时，应设置两道密封垫；当管片厚度小于 400mm 且处于富含水区域时，宜在管片密封垫表面增设遇水膨胀条等加强防水。

10.4.2 密封垫应沿管片侧面成环设置。密封垫沟槽形式、截面尺寸应与密封垫形式和尺寸相匹配。

10.4.3 密封垫沟槽截面面积应按下式计算：

$$A = (1 \sim 1.15)A_0 \quad (10.4.3)$$

式中：A——密封垫沟槽截面面积；

A_0 ——弹性密封垫橡胶部分的截面积。

10.4.4 密封垫宜采用三元乙丙橡胶类或遇水膨胀橡胶与三元乙丙橡胶的复合材料等，密封垫应符合下列规定：

1 密封垫应在计算的接缝最大张开量和估算的错台量情况下，在 2 倍~3 倍埋深水头的压力下不渗漏。

2 密封垫的压缩永久变形率不应大于 25%。

3 接缝闭合压缩力应小于千斤顶最大顶力。

4 热力隧道的密封垫应满足耐热（老化）要求。

5 当封顶块采用纵向插入方式时，密封垫表面应涂抹润滑剂。

6 变形缝环缝密封垫表面应增设遇水膨胀橡胶片加强防水。

10.4.5 嵌缝防水设计应符合下列规定：

1 嵌缝材料应具有良好的不透水性、粘结性、耐久性、弹性和抗下坠性。

2 嵌缝槽宜采用弹性、刚性或遇水膨胀类密封材料进行嵌缝。

3 热力隧道的嵌缝材料应满足耐热（老化）要求。

4 变形缝嵌缝槽宜采用弹性密封材料进行嵌缝。

10.4.6 螺栓孔防水应符合下列规定：

1 螺栓孔口应设置锥形倒角的螺孔密封圈沟槽。

2 螺栓孔密封圈的外形应与沟槽相匹配。

3 螺孔密封圈应采用合成橡胶或遇水膨胀橡胶制品。

10.4.7 注浆孔的注浆管密封圈和注浆管盖密封圈，应符合下列规定：

1 注浆管密封圈应在管片混凝土浇筑前固定在注浆管四周，单道或多道设置。

2 注浆管密封圈和注浆管盖密封圈应采用遇水膨胀橡胶制品。

10.5 防 腐 蚀

10.5.1 盾构隧道防腐蚀设计应符合下列规定：

1 当隧道处于对混凝土有中等以上腐蚀的地层时，钢筋混凝土管片迎水面应涂抹外防腐涂层，防腐蚀涂层应具有防水性能。

2 钢管片、外露螺栓和垫片等金属构件，均应采取防腐蚀措施。

10.5.2 钢筋混凝土管片防腐蚀涂层应符合下列规定：

1 防腐蚀涂层宜为环氧或改性环氧类封闭型材料、水泥基渗透结晶型或硅氧烷类材料。

2 防腐蚀涂层应具有良好的耐化学腐蚀性、抗微生物侵蚀性、耐水性、耐磨性，并应无毒或低毒。

3 防腐蚀涂层应满足在盾尾刷挤压和摩擦下不损伤、不

渗水。

10.5.3 钢管片防腐应符合下列规定：

- 1 钢管片表面应先做除锈处理，再涂刷防腐涂料。
- 2 钢管片背板、环板及端板等构件外露表面宜涂刷环氧富锌底漆和无溶剂超厚膜型环氧涂料。
- 3 钢管片内格腔表面宜涂冷镀锌涂料。施工结束后内格腔宜采用硫酸盐微膨胀混凝土进行充填。

10.5.4 金属构件防腐应符合下列规定：

- 1 外露的螺栓、螺母、垫片等金属构件，应采用无铬锌铝片涂层、热喷锌加无铬锌铝片涂层或多元合金共渗加无铬锌铝片涂层等环保型的材料进行防腐处理。
- 2 外露的螺栓、螺母、垫片应结合手孔封堵措施进行覆盖保护。隧道水平直径线以下范围的手孔内外露螺栓宜采用速凝混凝土或防腐水泥砂浆填充覆盖；隧道水平直径线以上范围的手孔内外露螺栓宜采用塑料保护罩覆盖，塑料保护罩内应填充速凝水泥、防腐水泥砂浆或发泡聚氨酯。

11 壁后注浆

11.0.1 盾构隧道施工应进行壁后注浆。壁后注浆应根据地层特点、管片结构受力及变形要求、环境控制和现场具体情况，通过同步注浆、即时注浆或二次注浆的方式进行。

11.0.2 壁后注浆应满足固结强度、凝结时间、可填充性、流动性、收缩率 and 环境保护要求。注浆材料应根据地质条件、设计要求、周边环境及现场具体情况综合确定。

11.0.3 注浆压力值应根据地质条件、注入方式、管片类型、设备性能、浆液特性和隧道埋深等综合确定，并宜在地层阻力强度的基础上增加 0.05MPa~0.1MPa。

11.0.4 同步注浆量可按下式计算：

$$Q = \alpha_v V_v \quad (11.0.4)$$

式中：Q——注浆量 (m³)；

α_v ——充填系数，可根据地质条件、施工水平、浆液类型等采用 1.2~2.5；

V_v ——管片外侧与盾壳外侧地层间空隙体积 (m³)。

11.0.5 二次注浆宜通过管片预留注浆孔完成，也可通过地面或地层注浆等方式完成。

11.0.6 壁后注浆应明确注浆时序、注浆材料、注浆压力、注浆量及注浆填充效果等要求。

12 地层加固及施工辅助措施

12.1 一般规定

12.1.1 盾构隧道在始发、到达、浅覆土、联络通道、换刀与检修或邻近建（构）筑物等区段，宜根据具体情况采取相应的地层加固或施工辅助措施。

12.1.2 地层加固工法或施工辅助措施应根据工程地质、周边环境、现场情况，经技术经济比较确定。

12.1.3 地层加固工法可采用注浆、深层搅拌、高压喷射注浆、地层冻结、素（玻璃纤维筋）混凝土桩或连续墙；施工辅助措施可采用降水、气压、管棚、钢护筒或盾构工作井内灌填低强度等级砂浆、混凝土、灌水等方法。

12.1.4 盾构始发、盾构接收区域地层加固设计应满足加固体抗弯、抗剪、抗冲切等强度要求及整体稳定性要求。

12.1.5 盾构始发、过站和盾构接收区域地层加固工法，应根据隧道洞门拆除方法、洞门尺寸、隧道埋深、工程地质和水文地质条件、盾构选型、地下管线、地面环境保护要求等，经技术经济比较确定。

12.1.6 盾构隧道施工辅助措施应根据隧道埋深和盾构型式，地质条件、环境要求等，经技术经济比较确定。

12.1.7 当盾构始发或盾构接收洞口处于砂性地层且地下水位（或水头）较高时，宜根据地区经验采取降水或地层冻结等施工辅助措施防止涌水涌砂。

12.1.8 地层加固工法及施工辅助措施应进行现场或室内试验检验其实施效果。

12.1.9 当联络通道结构位于含水软弱地层时，地层加固工法应根据工程地质与水文地质和周边环境条件确定，必要时应同时采

取降水、洞内支撑等措施。

12.2 注浆加固

12.2.1 对砂土、粉土、黏性土、强风化岩和一般填土层，地层加固可采用注浆法。

12.2.2 注浆加固应根据地层条件、施工环境等，确定注浆方法、浆液材料和注浆范围。

12.2.3 注浆加固宜选用以水泥为主剂的浆液。浆液配合比设计应根据工程要求、水文地质情况确定，施工前应进行配比试验。浆液材料不得污染地下水。

12.2.4 注浆钻孔布置宜采用梅花形，口径宜为 70mm～120mm，间距宜为 0.6m～1.8m，垂直精度应小于 1%。注浆顺序宜先外围，后中间。

12.2.5 注浆量和注浆压力应根据地层特性和浆液渗透的影响及现场试验后确定。

12.2.6 注浆加固后地层无侧限抗压强度不宜小于 1.0MPa，应对加固效果进行检测。

12.3 深层搅拌加固

12.3.1 对淤泥质黏土、淤泥质粉质黏土、黏土、粉质黏土、黏质粉土等软土地层，地层加固宜采用深层搅拌法。

12.3.2 施工前应根据要求进行成桩试验，并应确定深层搅拌的注浆配比和注浆量、搅拌提升速度等施工参数。

12.3.3 搅拌桩的垂直度偏差不得大于 1.5%，桩位偏差不得大于 50mm，桩径偏差不得大于 4%。

12.3.4 深层搅拌桩 7 天无侧限抗压强度不应低于 0.2MPa，加固后地层无侧限抗压强度应大于 1.0MPa，应对加固效果进行检测。

12.4 高压喷射注浆加固

12.4.1 对淤泥质黏土、淤泥质粉质黏土、黏质粉土、砂质粉土、粉砂等地层，地层加固可采用高压喷射注浆法。

12.4.2 高压喷射注浆加固参数应根据功能要求、工程地质和水文地质以及场地条件进行选择。高压喷射注浆加固范围宜达到隧道外轮廓线以外 50% 的隧道外径。

12.4.3 高压喷射注浆加固设计应根据工程地质和水文地质条件、加固区范围及深度、加固体改良要求、场地条件等因素确定，可采用双重管或三重管法。

12.4.4 高压喷射注浆材料可选用单液型，也可选用双液型。

12.4.5 高压喷射注浆钻孔垂直度允许偏差不得大于 1.0%，桩位和桩体直径偏差不得大于 50mm，桩身中心允许偏差不得大于桩身设计直径的 20%。

12.4.6 加固后地层无侧限抗压强度宜大于 1.0MPa，应对加固效果进行检测。

12.5 地层冻结加固

12.5.1 含水地层加固可采用地层冻结法。

12.5.2 当采用地层冻结加固时，地下水流速不应大于 5m/d，附近 600m 范围内不应有抽水量超过 600m³/h 的水源井、抽水量大于 200m³/h 的连续抽水或地下河道等。

12.5.3 地层冻结加固设计应对地层冻胀和冻融对周围环境及建（构）筑物影响进行分析，当影响较大且不可接受时应采取减小地层冻胀和冻融量的工程措施。当冻结加固用于暗挖隧道施工时，冻结体厚度及强度应满足土方开挖和结构施工期间地层稳定性要求。

12.5.4 地层冻结加固设计应包括下列主要内容：

- 1 冻结壁结构方案比较与选择。
- 2 冻结壁的承载力和变形验算。

- 3 冻结孔布置设计。
- 4 冻结壁形成验算。
- 5 冻结制冷系统的设计要求。
- 6 对冻结壁的监测与保护要求。
- 7 可能对周围环境和建（构）筑物产生影响的分析。
- 8 对周围环境和建（构）筑物的影响监测与保护要求。

12.6 降 水

12.6.1 降水井类别应根据地层特点、地层渗透系数、降水水位要求等因素确定，可采用轻型井点、喷射井点、电渗井点、管井、大口井、辐射井等。降水井适用范围宜符合表 12.6.1 的规定。

表 12.6.1 降水井的适用范围

项次	降水井类别	土层渗透系数(m/d)	降低水位(m)
1	单层轻型井点	0.1~50	3~6
2	多层轻型井点	0.1~50	6~12
3	喷射井点	0.1~20	8~20
4	电渗井点	<0.1	<6
5	管井	1~200	>5
6	大口井	1~200	5~20
7	辐射井	0.1~20	<20

12.6.2 降水设计应符合下列规定：

1 降水井布置应根据降水要求、施工场地、对环境的影响等因素确定，并应布置在盾构隧道外侧 2m~3m，其密度及深度应按降水要求和地质条件计算后确定。

2 降水井结构设计及降水深度应能满足盾构隧道施工要求。

3 隧道周边应设置水位观测井，观测降水效果。

4 对影响范围内的建（构）筑物及地下管线的沉降和水平位移，应制定观测和保护措施。

13 附属结构

13.1 盾构工作井

13.1.1 盾构隧道施工宜设置盾构工作井。盾构工作井宜与车站端头井、明挖基坑或隧道附属设施结合设置，也可单独设置。

13.1.2 盾构工作井应根据地质条件、环境条件等，选择安全、经济、对周边影响小的施工方法。施工方法可采用明挖法、倒挂井壁法或沉井法。

13.1.3 盾构工作井的净空尺寸应符合下列规定：

1 盾构工作井净空尺寸应根据盾构类型及尺寸、重量、顶推力、施工工艺等因素确定，并应满足盾构起吊、安装、解体、检修、转体或整体移位等施工要求。

2 盾构工作井的平面内净空宽度宜大于盾构主机直径 2m。

3 始发井的平面内净空长度宜大于盾构主机长度 3m。

4 接收井的平面内净空长度宜大于盾构主机长度 1m。

5 靠近洞门处的始发井、接收井的底板，宜位于进出洞洞门底标高以下不小于 0.56m。

13.1.4 盾构始发井的结构布置应满足反力架的设置要求。当利用后座墙为千斤顶提供支撑时，应利用土体抗力；当土体抗力及墙后土体变形不能满足盾构始发及墙体变形要求时，应采取地层加固措施。

13.1.5 盾构工作井洞门处应设置满足盾构始发和接收要求的洞门密封装置，洞门结构内应设置洞门密封装置预埋件。

13.1.6 盾构工作井预留洞门直径应按下式计算：

$$D_m = B_m \cdot \tan\alpha_m + \Phi_s / \cos\alpha_m + \Delta_e + \Delta_s + \Delta_g \quad (13.1.6)$$

式中： D_m ——洞门直径（m）；

B_m ——洞门处井壁厚度（m）；

- α_m ——隧道轴线与洞口轴线的夹角（采取平面或纵坡夹角的值）（度）；
- Φ_s ——盾构外径（m）；
- Δ_c ——始发或接收井预留洞口直径大于盾构外径的差值（m），始发井取 0.1m，接收井取 0.2m；
- Δ_s ——测量误差（m），取 0.1m；
- Δ_g ——盾构基座高程误差（m），取 0.05m。

13.2 联络通道

13.2.1 根据隧道使用功能或防灾疏散要求，相邻盾构隧道之间可设置联络通道。联络通道沿隧道纵向的设置间距、净空尺寸应满足相关行业标准要求，并宜选在地质条件和环境条件较好、工程施工风险较小的位置。

13.2.2 联络通道可采用矿山法、盾构法或顶管法施工。当联络通道穿越含水土层时，宜采取降水或地层加固等施工辅助措施。

13.2.3 联络通道宜采用钢筋混凝土复合衬砌结构或预制装配结构，断面轮廓宜采用拱顶直墙或圆形断面结构形式。

13.2.4 联络通道与正线隧道连接处宜设置变形缝，接口部位应设置遇水膨胀橡胶条、预埋注浆管等防水措施。

13.2.5 联络通道两侧的正线隧道应设置加强衬砌段，每侧加强衬砌段端头距离联络通道结构边的距离不宜小于 2 环管片宽度。

13.3 排水泵站

13.3.1 当隧道使用期间需要排水时，盾构隧道纵断面最低点宜设置排水泵站。排水泵站设置位置、数量、有效容积等应满足相关行业隧道设计标准的要求。

13.3.2 排水泵站可采用下列形式布置：

- 1 与联络通道结合布置。
- 2 设置于隧道一侧的侧式泵站。
- 3 当隧道内部有空间时，设置于隧道内部。

13.4 风 井

13.4.1 当隧道使用期间需要通风或排烟时，盾构隧道宜设置风井。风井设置位置、数量及构造应满足相关行业隧道设计标准的要求。

13.4.2 风井可兼作盾构工作井。

13.4.3 风井施工方法应根据工程地质与水文地质、周边环境等条件确定，宜采用明挖法。

13.5 内部结构

13.5.1 盾构隧道内部横隔板、竖向隔墙等结构可采用现浇、预制件拼装或部分预制件与部分现浇相结合的方法施工。

13.5.2 内部结构及与管片衬砌的连接设计应对运营期衬砌环变形引起的不利影响进行分析。

13.5.3 当横隔板上承受汽车或列车等动荷载时，横隔板两端不宜通过植筋方式直接与衬砌管片连接。

13.5.4 当预制构件与衬砌结构同步施工时，预制构件沿隧道纵向幅宽宜与衬砌环同宽；相邻预制构件之间应进行连接，预制构件底部与衬砌管片之间应采用混凝土或砂浆填充密实。

13.5.5 隧道内的应急疏散平台与隧道衬砌结构应采用预埋件连接。

13.5.6 当隧道内设置独立排烟道时，烟道板设计应符合下列规定：

1 烟道板耐火极限不应低于 30min。

2 烟道板应具有良好的密封性能，允许漏风量应满足通风排烟设计的要求。

13.6 其他附属结构

13.6.1 城市道路和公路盾构隧道内部车道两侧与管片衬砌间应设置防撞设施，隧道顶部应设置防火内衬。

13.6.2 水工隧道应根据水锤综合防护要求设置调压井、安全阀和通气设施；排气井、排空井、连通井、检修井和人员设备进口应根据运行、调度和检修需要设置。井室宜与盾构工作井、施工竖井联合布置，井壁与隧道连接部位应设止水措施。

13.6.3 热力隧道应设事故人孔。事故人孔的设置应符合现行行业标准《城镇供热管网设计规范》CJJ 34 的相关规定。

13.6.4 燃气、热力盾构隧道应设管道安装孔。管道安装孔宽度不应小于 0.6m 且应大于隧道内最大管道的外径加 0.1m，其长度应满足 12m 长的管材吊装进入隧道。当有设备进出时，安装孔宽度还应满足设备进出的要求。

13.6.5 燃气隧道和纳入天然气管道的综合管廊中通风口、通风设施、检漏设施等均应满足安全、防爆要求。

14 周边环境保护及风险控制

14.1 地表沉降

14.1.1 盾构隧道施工时应控制工程施工引起的地表沉降和地层变形，其变形控制值应根据工程场地、地质情况、邻近建（构）筑物等实际情况确定，并应采取相关变形控制措施。

14.1.2 盾构隧道施工引起的地表沉降控制值应符合本标准第15章的相关规定。

14.1.3 盾构隧道施工引起的地层损失率不应大于1.5%。当隧道位于饱和流塑状的软土地层中时，地层损失率不应大于1%。当隧道周边环境条件和地层条件较复杂且邻近有重大风险源邻近建（构）筑物时，地层损失率不应大于0.5%。

14.1.4 当两条相邻隧道间净距小于隧道外径时，应根据工程地质条件、周围环境、两隧道净距等，对相邻隧道施工重复扰动对周边环境、隧道结构自身强度和刚度的影响进行分析。当影响较大且不可接受时，应采取地层加固或隧道内支撑等相关工程措施。

14.2 建（构）筑物保护

14.2.1 当盾构隧道下穿或邻近建（构）筑物时，应按本标准第4.2节的规定对建（构）筑物进行调查。当工程风险较大时应进行风险评估。

14.2.2 建（构）筑物变形控制值应根据当地经验和工程类比确定，并应采取相应的工程技术措施确保建（构）筑物的安全及正常使用功能。

14.2.3 隧道风险控制设计应根据建（构）筑物结构形式、工程地质条件、隧道直径及埋深、隧道与建（构）筑物的相对位置关系等确定。

14.2.4 当盾构隧道周边环境条件和地层条件均较复杂且邻近有重大风险建（构）筑物时，应对隧道施工可能引起的地层变形进行分析预测，分析预测方法可采用 PECK 法和三维有限元数值模拟方法。当有可靠经验时，可根据当地工程经验对分析结果进行修正。应结合工程经验对地层变形预测结果进行判断，确认合理后方可用于风险工程设计。

14.3 风险控制

14.3.1 盾构隧道风险控制设计应辨识勘察、设计和施工风险，并以现状调查和地质勘察资料为基础，选择合理的设计方案和进行充分的风险分析，制定可靠的风险控制措施，将工程风险程度降低到可接受水平。

14.3.2 当无法探明工程地质或水文地质风险时，应从隧道选线、施工工法等角度进行设计方案比选，同时应制定应急预案，并应进行风险工程论证。

14.3.3 盾构隧道风险控制设计时应区分工程自身风险、地质风险和環境风险，对工程风险进行分级，并应提出相应的工程实施方案、风险控制指标和风险控制措施。

14.3.4 盾构隧道重大地质风险和環境风险工程应开展工程风险评估、专项设计和专项论证工作。

14.3.5 当盾构隧道施工可能引发城市道路沉陷、地下管线沉降或隆起变形过大时，应明确具体的管线保护和风险控制工程措施。

14.3.6 当盾构隧道邻近输油管道工程时，盾构隧道与输油管道的最近距离宜符合现行国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253 的规定。

14.3.7 当盾构隧道邻近液化天然气气化站的液化天然气储罐、天然气放散总管等构筑物时，盾构隧道与天然气储罐、天然气放散总管的最近距离宜符合现行国家标准《城镇燃气设计规范》GB 50028 的规定。

15 工程监测

15.1 一般规定

15.1.1 盾构隧道应对隧道结构、附属结构、周围岩土体及周边环境进行工程监测。

15.1.2 盾构隧道工程监测设计应包括监测范围、监测项目、监测点的布设位置和数量、控制指标等。

15.1.3 盾构隧道工程监测范围、监测项目、监测点的布设位置和数量应满足反映隧道结构和周边环境变化特征和安全状态的要求。

15.1.4 当遇到下列情况之一时，应进行专项监测：

- 1 盾构隧道穿越或邻近既有轨道交通、铁路设施。
- 2 盾构隧道穿越重要的建（构）筑物、高速公路、桥梁、机场跑道等。
- 3 盾构隧道下穿河流、湖泊等地表水体。
- 4 盾构隧道穿越岩溶、断裂带、地裂缝等不良地质体。
- 5 盾构隧道穿越重要燃气、供水等市政管道。

15.1.5 工程监测应贯穿盾构隧道工程施工全过程。盾构隧道完成贯通且周围岩土体和周边环境变形趋于稳定时，可结束监测工作。

15.2 监测范围

15.2.1 盾构隧道工程监测范围应根据地质条件、隧道设计、环境条件等并结合当地的工程经验确定。

15.2.2 盾构隧道工程的监测范围不应小于隧道正上方隧道轴线两侧地表沉降曲线（图 15.2.2）边缘 $2.5i$ 处之间的距离。

15.2.3 当遇到下列情况时应调整监测范围：

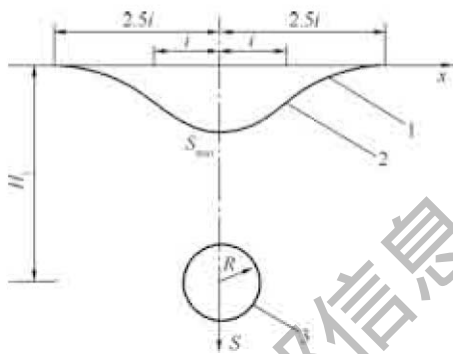


图 15.2.2 盾构隧道地表沉降曲线

1—沉降曲线；2—反弯点；3—隧道

注： i 为地表沉降曲线 Peck 公式中的沉降槽宽度系数； H_i 为隧道中心埋深； S_{\max} 为隧道中线的地面沉降量。

1 当隧道周边土体主要以淤泥、淤泥质土或其他高压缩性土为主时，应根据工程经验扩大监测范围。

2 当隧道穿越岩层时，应按照隧道覆盖层厚度和岩层的构造及产状等实际情况综合确定监测范围。

3 当隧道穿越断裂破碎带、岩溶、土洞等不良地质体或特殊性岩土发育区域时，应根据其分布和对工程的危害程度分析确定监测范围。

15.3 监测项目

15.3.1 盾构隧道和周围岩土体监测项目应符合表 15.3.1 的规定。

表 15.3.1 监测项目

类别	监测项目
必测项目	地表隆起或沉降
	隧道竖向位移、水平位移及净空收敛
	邻近建(构)筑物竖向位移、裂缝
	地下管线变形

续表 15.3.1

类别	监测项目
选测项目	地层位移(包括垂直和水平)
	地层压力
	地下水位、孔隙水压力
	管片结构应力

- 注：1 隧道竖向位移包括隧道沉降和上浮；
 2 邻近建（构）筑物竖向位移包括整体沉降、整体倾斜和局部倾斜；
 3 对于特殊性岩土地层的盾构隧道，应根据特殊性岩土地层的工程特点对监测项目进行调整。

15.3.2 工程周边环境条件复杂的区域，宜对环境风险等级高、现状安全状态差、控制标准高的环境对象进行重点监测。

15.4 监测点布设

15.4.1 监测点布设应符合下列规定：

1 监测点布设应满足反映监测对象实际状态和变化规律、分析工程安全状态的要求。

2 对于管片衬砌和周边岩土体位移、内力最大的部位及其变化最大的部位，影响工程安全的关键部位，隧道与附属结构连接处及其他特殊部位应布设监测点。

3 监测点布设时，宜使监测断面可反映监测对象或监测项目的监测数据的相互关系或内在变化规律。

4 周边环境监测点的布设应根据各类环境对象的性质、环境风险等级、与隧道的位置关系、地质条件和监测方法综合确定。

15.4.2 监测断面布设应符合下列规定：

1 盾构始发与接收段、联络通道附近、左右线交叠或邻近、小半径曲线段等地段应布设监测断面。

2 存在地层偏压、围岩软硬不均、地下水位较高等地质条件复杂地段应布设监测断面。

3 下穿或邻近重要建（构）筑物、地下管线、河流湖泊等周边环境条件复杂地段应布设监测断面。

15.5 监测频率

15.5.1 监测频率应根据工程筹划、施工进度等情况，结合监测对象和监测项目的特点、工程地质及水文地质条件和当地工程经验等综合确定。

15.5.2 盾构隧道管片结构、周围岩土体和周边环境的监测频率可按表 15.5.2 执行。

表 15.5.2 盾构隧道工程监测频率

监测部位	监测对象	开挖面距监测断面的距离	监测频率
开挖面 前方	周围岩土体和 周边环境	$5D < L \leq 8D$	1 次/(3d~5d)
		$3D < L \leq 5D$	1 次/2d
		$L \leq 3D$	1 次/d
开挖面 后方	管片结构、周围 岩土体和周边 环境	$L \leq 3D$	(1 次~2 次)/d
		$3D < L \leq 8D$	1 次/(1d~2d)
		$L > 8D$	1 次/(3d~7d)

- 注：1 D 为盾构隧道开挖直径（m）， L 为开挖面距监测断面的水平距离（m）；
2 管片结构位移、净空收敛宜在衬砌环脱出盾尾且能通视时开始监测；
3 监测数据趋于稳定后，监测频率宜为 1 次/15d~1 次/30d。

15.5.3 当遇到下列情况之一时，应提高监测频率：

- 1 监测数据异常或变化速率较大。
- 2 存在勘察未发现的不良地质条件，且影响工程安全。
- 3 地表、建（构）筑物等周边环境发生较大沉降、不均匀沉降。
- 4 盾构始发、接收以及停机检修或更换刀具期间。

15.5.4 穿越既有城市轨道交通、铁路和重要建（构）筑物的盾构隧道宜对关键监测项目进行实时监测。

15.6 监测控制值

15.6.1 盾构隧道设计应确定监测项目的控制值，监测控制值应满足地下工程结构安全及周边环境保护的要求。

15.6.2 盾构施工引起建筑物变形应满足现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的相关要求。

15.6.3 盾构施工引起桥梁的变形监测控制值应符合国家现行标准《地铁设计规范》GB 50157、《城市桥梁养护技术标准》CJJ 99、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D 3363 和《铁路桥涵设计规范》TB 10002 中的有关规定。

15.6.4 盾构施工引起道路的变形监测数据控制值应符合现行行业标准《公路沥青路面养护技术规范》JTG 5142、《公路水泥混凝土路面养护技术规范》JTJ 073.1 和《城市道路工程设计规范》CJJ 37 的有关规定。

15.6.5 盾构施工引起城市轨道交通既有线的变形监测数据控制值应符合现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157 和《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 的有关规定，并应满足线路维修的相关要求。

15.6.6 盾构施工引起铁路的变形监测数据控制值应符合现行行业标准《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413 的有关规定。

15.6.7 盾构施工引起地下管线的变形监测数据控制值应符合相关管线工程规范和管线产权部门的要求。

15.6.8 盾构隧道监测控制值应根据工程地质条件、隧道设计参数、周边环境条件及当地工程经验，按表 15.6.8 采用。

表 15.6.8 盾构隧道监测控制值

监测项目	累计值(mm)	变化速率(mm/d)
地表沉降	10~40	3~5
地表隆起	10	3

续表 15.6.8

监测项目	累计值(mm)	变化速率(mm/d)
隧道竖向位移	10~20	2~3
隧道水平位移	5~10	1~2
隧道差异沉降	$0.04\%L_s$	—
隧道净空收敛	$0.2\%D_0 \sim 0.3\%D_0$	3

注：1 D_0 为盾构隧道外径； L_s 为沿隧道轴向两监测点间距；

2 当盾构隧道穿越本标准第 15.1.4 条中提及的相关工程或设施时，监测控制值结合工程实际情况确定。

附录 A 反应位移法

A.1 横向反应位移法

A.1.1 横向反应位移法中，衬砌结构宜采用梁单元模拟，衬砌与地层的相互作用宜采用压缩弹簧和剪切弹簧模拟（图 A.1.1）。

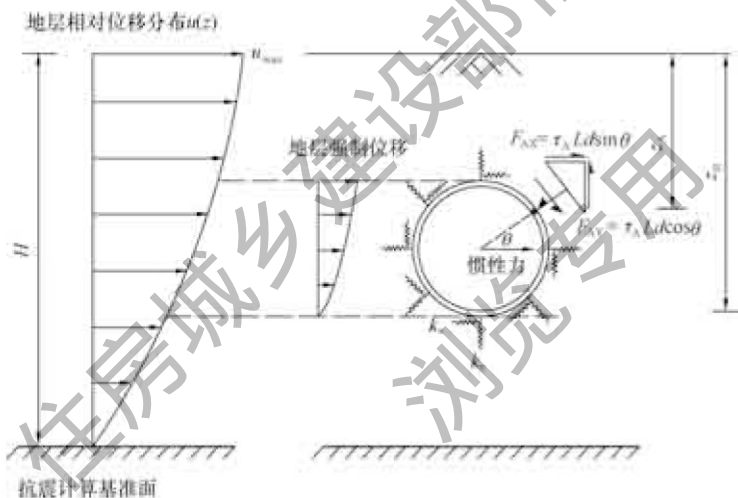


图 A.1.1 横向反应位移法计算模型示意

A.1.2 横向反应位移法应计算地层相对位移、结构惯性力、周围地层剪应力三部分地震作用：

1 地层相对位移：

1) 地层深度 z 处与结构底部的自由地层位移差应按下式计算：

$$u'(z) = u(z) - u(z_B) \quad (\text{A.1.2-1})$$

式中： $u'(z)$ ——深度 z 处与结构底部的自由地层位移差（m）；

$u(z)$ ——深度 z 处自由地层位移（m）；

$u(z_B)$ ——结构底部深度 z_B 处自由地层位移 (m)。

2) 深度 z 处自由地层位移宜根据工程场地的加速度时程计算获得, 当地层近似均匀时, 也可按下式计算:

$$u(z) = u_{\max} \cos\left(\frac{\pi z}{2H}\right) \quad (\text{A. 1. 2-2})$$

式中: u_{\max} ——场地地表设计地震动峰值位移, 其值按本标准 9. 2. 3 条规定选取 (m);

H ——地表至抗震基准面的地层厚度 (m)。

2 结构惯性力:

$$f_i = m_i a_i \quad (\text{A. 1. 2-3})$$

$$a_i = a_{\max} \cos\left(\frac{\pi z}{2H}\right) \quad (\text{A. 1. 2-4})$$

式中: f_i ——结构 i 单元上作用的惯性力 (kN);

m_i ——结构 i 单元的质量 (10^3 kg);

a_i ——结构 i 单元埋深 z 处的地层峰值加速度, 计算中结构各单元峰值加速度可取结构横断面形心处地层加速度峰值 (m/s^2)。

3 周围地层剪应力:

1) 由地层剪应力导致的单元节点力应按下列公式计算:

$$F_{AX} = \tau_A L_t d \sin\theta \quad (\text{A. 1. 2-5})$$

$$F_{AY} = \tau_A L_t d \cos\theta \quad (\text{A. 1. 2-6})$$

$$\tau_A = \frac{\pi G_G}{2H} u_{\max} \sin\left(\frac{\pi z_A}{2H}\right) \quad (\text{A. 1. 2-7})$$

式中: F_{AX} 、 F_{AY} ——作用于 A 点的水平向、竖直向的节点力 (kN);

τ_A ——点 A 处的剪应力 (kN);

L_t ——地层弹簧的影响长度, 取值为相邻两单元长度各取一半之和 (m);

d ——结构纵向的计算宽度, 一般取单位长度 (m);

θ ——单元节点处的法向与水平向的夹角 ($^\circ$);

G_G ——地层动剪切模量 (kPa);

z_A ——作用点 A 的埋深 (m)。

- 2) 点 A 处的剪应力 τ_A 宜根据工程场地的加速度时程计算获得, 当地层近似均匀时, 也可按公式 (A.1.2-7) 计算。

A.1.3 横向反应位移法中, 地层法向、切向弹簧刚度可近似按下列公式计算:

$$\text{法向:} \quad k_n = \frac{2G_G L_t d}{R} \quad (\text{A.1.3-1})$$

$$\text{切向:} \quad k_s = \frac{3G_G L_t d}{2R} \quad (\text{A.1.3-2})$$

式中: R ——隧道半径 (m);

d ——结构纵向的计算宽度, 一般取单位长度 (m)。

A.2 纵向反应位移法

A.2.1 在纵向反应位移法计算中, 衬砌结构宜采用梁单元模拟, 衬砌与地层相互作用可采用横向地层弹簧和轴向地层弹簧模拟, 模型总长度不宜小于一个地震波的波长或取隧道全长 (图 A.2.1)。

A.2.2 当盾构隧道穿越复杂地层时, 宜根据工程场地的加速度时程计算出自由场地层的实际位移反应, 将该时程内地层的最大

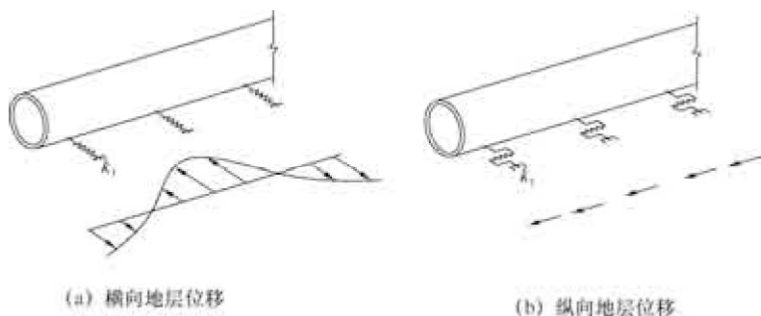


图 A.2.1 隧道纵向反应位移法计算模型示意

位移以强制位移的形式通过地层弹簧作用于弹簧的固定端对隧道结构进行计算。

A. 2.3 当地层近似均匀时，可假设与地震波传播方向垂直的地层位移分布按正弦规律变化（图 A. 2. 3-1），振幅为场地地表设计地震动峰值位移 u_{\max} 。纵向的反应位移法中轴向地层位移和横向地层位移（图 A. 2. 3-2）可按下列公式计算：

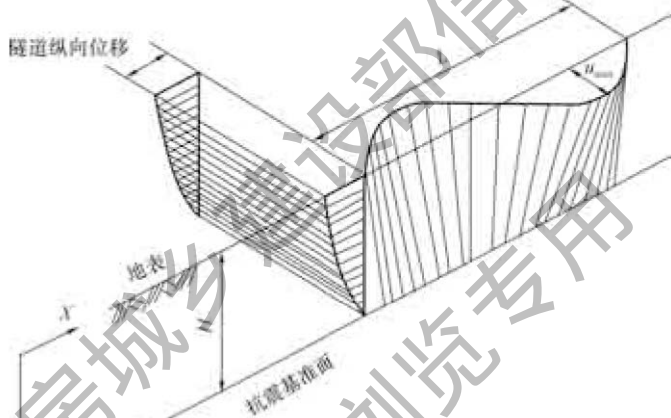


图 A. 2. 3-1 纵向反应位移法地层位移示意

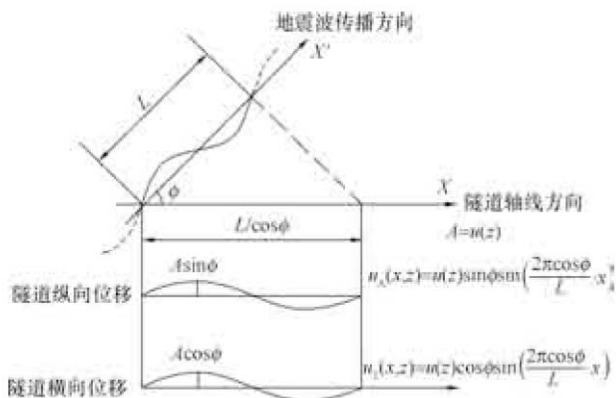


图 A. 2. 3-2 隧道纵向反应位移法位移分解示意

$$\text{轴向: } u_A(x, z) = u(z) \sin\phi \sin\left(\frac{2\pi \cos\phi}{L} \cdot x\right) \quad (\text{A. 2. 3-1})$$

$$\text{横向: } u_T(x, z) = u(z) \cos\phi \sin\left(\frac{2\pi \cos\phi}{L} \cdot x\right) \quad (\text{A. 2. 3-2})$$

$$L = \frac{2L_1 L_2}{L_1 + L_2} \quad (\text{A. 2. 3-3})$$

$$L_1 = V_s T_s \quad (\text{A. 2. 3-4})$$

$$L_2 = V_0 T_s \quad (\text{A. 2. 3-5})$$

$$T_g = \frac{4H}{V_s} \quad (\text{A. 2. 3-6})$$

式中: $u_A(x, z)$ ——深度 z 处自由地层位移沿隧道轴向的分量 (m);

$u_T(x, z)$ ——深度 z 处自由地层位移沿垂直隧道轴向的分量 (m);

L ——地层剪切波波长;

L_1 ——表层地层的剪切波波长 (m);

L_2 ——计算基准面地层剪切波波长 (m);

V_s ——表层地层的剪切波波速 (m/s);

V_0 ——计算基准面地层的剪切波波速 (m/s);

T_g ——地层固有周期特征值 (s);

T_s ——地层固有周期 (s), 取 $1.25T_g$;

ϕ ——地震波的传播方向与盾构隧道轴线的夹角 ($^\circ$)。

A. 2. 4 纵向反应位移法中, 地层横向弹簧刚度及轴向弹簧刚度宜按下列公式计算:

$$\text{横向: } k_t = KD_0 L_1 \quad (\text{A. 2. 4-1})$$

$$\text{轴向: } k_l = 1/3k_t \quad (\text{A. 2. 4-2})$$

式中: k_t ——地层横向弹簧刚度 (kN /m);

k_l ——地层轴向弹簧刚度 (kN /m);

K ——地层基床系数 (kN /m³);

D_0 ——隧道直径 (m);

L_1 ——隧道纵向计算长度，取纵向相邻两单元长度各取一半之和（m）。

A.3 均匀地层中圆形盾构隧道地震内力简化计算公式

A.3.1 均匀地层中圆形盾构隧道横断面地震内力（图 A.3.1）可按下列公式计算：

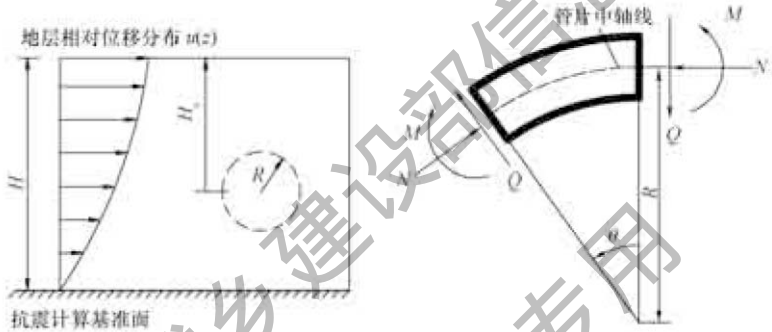


图 A.3.1 横向地震内力正负号约定（图示为正）

$$M(\theta) = \frac{1.3 \times 3\pi E_s I_s}{2RH} u_{\max} \sin\left(\frac{\pi H_c}{2H}\right) C \sin(2\theta) \quad (\text{A.3.1-1})$$

$$N(\theta) = -\frac{1.3 \times 3\pi E_s I_s}{R^2 H} u_{\max} \sin\left(\frac{\pi H_c}{2H}\right) \left(1 + \frac{G_G R^3}{6E_s I_s}\right) C \sin(2\theta) \quad (\text{A.3.1-2})$$

$$Q(\theta) = -\frac{1.3 \times 3\pi E_s I_s}{R^2 H} u_{\max} \sin\left(\frac{\pi H_c}{2H}\right) C \cos(2\theta) \quad (\text{A.3.1-3})$$

$$C = \frac{4(1-\nu_G)G_G R^3}{(3-2\nu_G)G_G R^3 + 6(3-4\nu_G)E_s I_s} \quad (\text{A.3.1-4})$$

式中： H_c ——地表至隧道中心的距离（m）；

R ——隧道横断面衬砌中轴线半径（m）；

E_s ——衬砌弹性模量（kPa）；

I_s ——衬砌断面惯性矩 (m^4);

ν_G ——地层的泊松比。

A. 3. 2 均匀地层中圆形盾构隧道纵向地震内力可按下列公式计算:

1 地震波的传播方向与隧道轴线夹角为 45° 时, 隧道所受轴力最大, 最大轴向拉力和轴向压力及相关系数可按下列公式计算:

$$N_{T\max} = \beta_T \alpha_c \frac{2\pi U'_{hc}}{L} (EA)_{\text{eq}}^T \quad (\text{A. 3. 2-1})$$

$$N_{C\max} = \beta_C \alpha_c \frac{2\pi U'_{hc}}{L} (EA)_{\text{eq}}^C \quad (\text{A. 3. 2-2})$$

$$\beta_T = \frac{(EA)_{\text{eq}}^T}{(EA)_{\text{eq}}^C} \cdot \frac{\alpha_T}{\alpha_c} \left[1 + \frac{\cos(2\pi\eta/L')}{\cosh(\lambda_T\eta)} \right] \quad (\text{A. 3. 2-3})$$

$$\beta_C = 1 + \frac{\cos(2\pi\eta/L')}{\cosh[\lambda_c(L'/2 - \eta)]} \quad (\text{A. 3. 2-4})$$

$$\lambda_T = \sqrt{\frac{K_I}{(EA)_{\text{eq}}^T}} \quad (\text{A. 3. 2-5})$$

$$\lambda_C = \sqrt{\frac{K_I}{(EA)_{\text{eq}}^C}} \quad (\text{A. 3. 2-6})$$

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_T L'}\right)^2} \quad (\text{A. 3. 2-7})$$

$$\alpha_C = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_C L'}\right)^2} \quad (\text{A. 3. 2-8})$$

$$\begin{aligned} & \frac{2\pi}{\lambda_T L'} \alpha_T \tanh(\lambda_T \eta) + \frac{2\pi}{\lambda_C L'} \alpha_C \tanh\left[\lambda_C \left(\frac{L'}{2} - \eta\right)\right] \\ &= (\alpha_T - \alpha_C) \tan\left(2\pi \frac{\eta}{L'}\right) \end{aligned} \quad (\text{A. 3. 2-9})$$

$$(EA)_{\text{eq}}^C = E_s A_s \quad (\text{A. 3. 2-10})$$

$$(EA)_{\text{eq}}^T = \frac{E_s A_s}{1 + \frac{E_s A_s}{l_s K_J}} \quad (\text{A. 3. 2-11})$$

$$L' = \sqrt{2}L \quad (\text{A. 3. 2-12})$$

$$K_J = n_j \times k_j \quad (\text{A. 3. 2-13})$$

式中： β_T ——拉伸轴力系数；

β_C ——压缩轴力系数；

K_1 ——结构纵向单位长度内纵向地层弹簧刚度（kN/m）；

η ——轴向拉伸或压缩范围；

L' ——与隧道纵轴呈 45° 角入射时，地震波沿隧道轴线的波长（m）；

U'_{he} ——与隧道纵轴呈 45° 角入射时，隧道中心处地层的水平位移最大值 U_{he} 在隧道轴向方向的分量（m）；

$(EA)_{eq}^C$ ——盾构隧道等效抗压刚度（kN）；

$(EA)_{eq}^T$ ——盾构隧道等效抗拉刚度（kN）；

A_s ——隧道横截面面积（ m^2 ）；

K_J ——隧道横截面螺栓抗拉刚度（kN/m）；

k_j ——单个螺栓的抗拉刚度（kN/m）；

n_j ——纵向螺栓个数；

l_s ——衬砌环宽度（m）。

2 当地震波的传播方向与隧道轴线夹角 ϕ 为 0° 时，衬砌结构将产生最大弯矩，最大弯矩及相关系数可按下列公式计算：

$$M_{\max} = \alpha_M \frac{4\pi^2 U_{he}}{L^2} (EI)_{eq} \quad (\text{A. 3. 2-14})$$

$$\alpha_M = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_M L}\right)^4} \quad (\text{A. 3. 2-15})$$

$$\lambda_M = \sqrt[4]{\frac{K_T}{(EI)_{eq}}} \quad (\text{A. 3. 2-16})$$

$$(EI)_{eq} = \frac{\cos^3 \phi_0}{\cos \phi_0 + (\pi/2 + \phi_0) \sin \phi_0} E_s I_s \quad (\text{A. 3. 2-17})$$

$$\phi_0 + \cot \phi_0 = \pi \left(0.5 + \frac{K_J}{E_s A_s / l_s}\right) \quad (\text{A. 3. 2-18})$$

式中： α_M ——弯矩系数；

K_T ——结构纵向单位长度内横向地层弹簧刚度 (kN /m)；

U_{hc} ——隧道中心处地层的水平位移最大值 (m)；

L ——地层剪切波波长 (m)；

ϕ_0 ——隧道横截面中性轴处半径与隧道中心水平线的夹角；

$(EI)_{eq}$ ——盾构隧道等效抗弯刚度 (kN · m²)。

附录 B 静 力 法

B.0.1 当采用静力法计算时，应计算的地震作用包括衬砌自重地震惯性力、上覆土柱地震惯性力、地震侧向土压力增量三部分（图 B.0.1）。

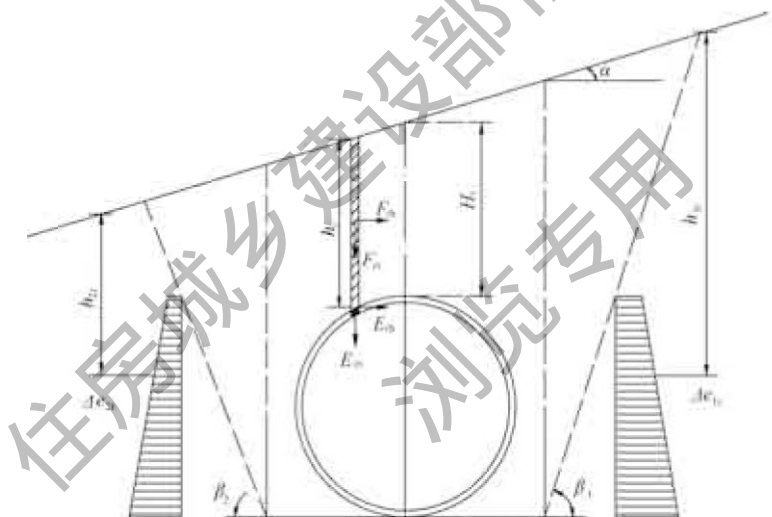


图 B.0.1 静力法计算简图

B.0.2 修正的静力法中地震作用计算应符合下列规定：

1 衬砌自重地震惯性力应按下列公式计算：

1) 衬砌水平和竖向地震惯性力：

$$\text{水平：} \quad E_{ih} = A_h m_{is} \quad (\text{B.0.2-1})$$

$$\text{竖向：} \quad E_{iv} = K_v A_h m_{is} \quad (\text{B.0.2-2})$$

式中： E_{ih} ——水平地震惯性力（kN）；

E_{iv} ——竖向地震惯性力（kN）；

A_h ——水平设计地震动峰值加速度 (m/s^2);

m_{is} ——隧道衬砌计算点的质量 ($10^3 kg$);

K_v ——竖向地震动峰值加速度与水平峰值加速度的比值。

2) 水平设计地震动峰值加速度 A_h 应按本标准第 9.2 节规定取值。

3) 竖向地震动峰值加速度与水平峰值加速度的比值 K_v 应按本标准第 9.2.4 条规定取值。

2 上覆土柱地震惯性力应按下列公式计算:

1) 上覆土柱地震惯性力可按作用于土柱单元质心考虑, 其值应按下列公式计算。计算结构内力时, 应采用力的平移定理, 将该地震荷载简化为作用于衬砌上半部的各节点力和节点弯矩:

上覆土柱水平地震作用:

$$F_{ih} = A_h Q_i / g \quad (\text{B. 0. 2-3})$$

上覆土柱竖向地震作用:

$$F_{iv} = K_v A_h Q_i / g \quad (\text{B. 0. 2-4})$$

上覆土柱垂直土压力:

$$Q_i = \frac{\gamma}{2} [2h_i B_i - (\lambda_1 h_i^2 + \lambda_2 h_i^2) \tan \theta_0] \quad (\text{B. 0. 2-5})$$

式中: g ——重力加速度 (m/s^2);

γ ——围岩重度 (kN/m^3);

h_i ——上覆土柱的计算高度 (m);

B_i ——上覆土柱宽度 (m);

θ_0 ——土柱两侧摩擦角 ($^\circ$);

λ_1 、 λ_2 ——内、外侧地震时的侧压力系数。

2) 上覆土柱的计算高度 h_i 可通过查表 B. 0. 2-1 中隧道拱顶处对应上覆土柱等效计算高度 H_v 及地面坡度角 α 求出。

表 B. 0. 2-1 拱顶处上覆土柱等效计算高度 (H_v) 取值

跨度	6m 及以下	6m~8m	8m~10m	10m~12m	12m~15m
V 级围岩	4.0 D_0	3.0 D_0	2.5 D_0	2.2 D_0	1.8 D_0
IV 级围岩	2.5 D_0	2.2 D_0	2.0 D_0	1.8 D_0	1.5 D_0

注：表中 D_0 为盾构隧道外径 (m)。

3) 内、外侧地震时的侧压力系数及相关系数按下列公式计算：

$$\lambda_1 = \frac{(\tan\beta_1 - \tan\varphi_1)(1 - \tan\theta_1 \tan\theta)}{(\tan\beta_1 - \tan\alpha)[1 + \tan\beta_1(\tan\varphi_1 - \tan\theta_1) + \tan\varphi_1 \tan\theta_1]} \quad (\text{B. 0. 2-6})$$

$$\lambda_2 = \frac{(\tan\beta_2 - \tan\varphi_2)(1 + \tan\theta_2 \tan\theta)}{(\tan\beta_2 + \tan\alpha)[1 + \tan\beta_2(\tan\varphi_2 - \tan\theta_2) + \tan\varphi_2 \tan\theta_2]} \quad (\text{B. 0. 2-7})$$

$$\tan\beta_1 = \tan\varphi_1 + \sqrt{\frac{(\tan^2\varphi_1 + 1)(\tan\varphi_1 - \tan\alpha)}{(\tan\varphi_1 - \tan\theta_1)}} \quad (\text{B. 0. 2-8})$$

$$\tan\beta_2 = \tan\varphi_2 + \sqrt{\frac{(\tan^2\varphi_2 + 1)(\tan\varphi_2 + \tan\alpha)}{(\tan\varphi_2 - \tan\theta_2)}} \quad (\text{B. 0. 2-9})$$

$$\varphi_1 = \varphi_g - \theta \quad (\text{B. 0. 2-10})$$

$$\varphi_2 = \varphi_g + \theta \quad (\text{B. 0. 2-11})$$

$$\theta_1 = \theta_0 - \theta \quad (\text{B. 0. 2-12})$$

$$\theta_2 = \theta_0 + \theta \quad (\text{B. 0. 2-13})$$

式中： φ_g ——围岩计算内摩擦角 (°)；

θ ——地震角 (°)，按表 B. 0. 2-2 选取，无地震时取 $\theta=0$ ；

α ——地面坡度角，当地面为平坡时 $\alpha=0$ ；
 β_1 、 β_2 ——内、外侧产生最大推力时的破裂角（°）。

表 B. 0. 2-2 水平基本地震动加速度峰值与地震角对应关系表

设防烈度(度)	7		8		9
水平基本地震动峰值 加速度(g)	0.10	0.15	0.2	0.3	0.4
地震角 θ	1°30'		3°	4°30'	6°

3 地震时侧向土压力增量按下列公式计算：

内侧土压力增量：

$$\Delta e_{1i} = \gamma h_{1i} (\lambda_1 - \lambda) \quad (\text{B. 0. 2-14})$$

外侧土压力增量：

$$\Delta e_{2i} = \gamma h_{2i} (\lambda_2 - \lambda') \quad (\text{B. 0. 2-15})$$

式中： λ 、 λ' ——内、外侧侧压力系数；

h_{1i} 、 h_{2i} ——衬砌内、外侧任一点 i 至地表面的距离（m）。

附录 C 时程分析法

C.1 计算模型

C.1.1 当隧道纵向结构形式连续、规则、横向断面构造不变，周围土层沿纵向分布一致时，可按平面应变问题进行横断面方向抗震计算。

C.1.2 隧道场地地形与地质条件复杂、隧道联络横通道与主隧道连接处及盾构隧道与竖井、通风井连接处等复杂情况，应按空间问题进行三维抗震计算。

C.1.3 计算模型边界宜采用黏性人工边界或黏弹性人工边界，并应符合下列规定：

- 1 模型顶面宜取地表面。
- 2 模型中隧道结构侧壁至模型侧边界的距离不应小于结构水平有效宽度 (D) 的 3 倍 (图 C.1.3-1~C.1.3-3)。
- 3 当地下结构埋深较浅，结构与基岩的距离大于 3 倍地下结构竖向有效高度 (H) 时，计算模型底部边界不应小于结构竖向有效高度的 3 倍 (图 C.1.3-1)。
- 4 当地下结构埋深较深，结构与基岩的距离小于 3 倍地下结

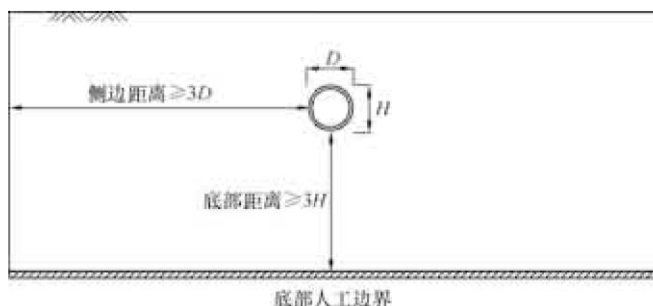


图 C.1.3-1 埋深较浅时计算模型

构竖向有效高度时，计算模型底面宜取至基岩面（图 C. 1. 3-2）。

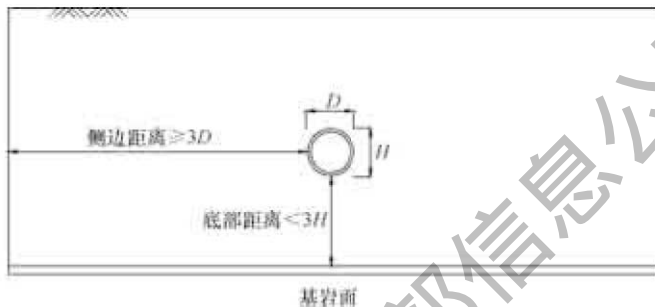


图 C. 1. 3-2 埋深较深时计算模型

5 当地下结构埋深嵌入基岩时，计算模型底面边界应取至基岩面以下（图 C. 1. 3-3）。

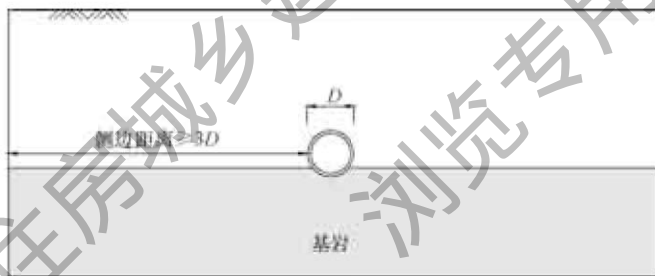


图 C. 1. 3-3 地下结构嵌入基岩时计算模型

6 按平面应变模型进行横断面方向抗震计算时，地层宜采用平面单元模拟，衬砌宜采用梁单元等模拟；按三维模型进行抗震计算时，地层宜采用实体单元模拟，衬砌宜采用壳单元、实体单元等模拟。

7 计算模型中网格尺寸应小于输入地震动最高频率对应波长的 $1/8$ 。

C. 2 输入地震动

C. 2. 1 时程分析法输入地震动可采用加速度时程，地震波选取

应符合下列规定：

1 当选用的地震波数量大于 7 条时，宜取计算结果平均值进行盾构隧道抗震验算及设置构造措施。

2 选用的地震波数量不宜少于 3 条，当地震波的样本数量较少时，应取计算结果包络值进行抗震设计。

3 可采用人工合成的方法给出地震动时程曲线，人工合成地震波的峰值加速度、峰值位移应与设计地震动峰值加速度、峰值位移一致。

4 地震动宜从模型底面边界输入。

住房城乡建设部信息中心
浏览专用

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，在条件许可时首先应这样做的：
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 本标准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 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 3 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 4 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 5 《城镇燃气设计规范》 GB 50028
- 6 《地下工程防水技术规范》 GB 50108
- 7 《地铁设计规范》 GB 50157
- 8 《建筑工程抗震设防分类标准》 GB 50223
- 9 《人民防空工程设计规范》 GB 50225
- 10 《输油管道工程设计规范》 GB 50253
- 11 《混凝土结构耐久性设计标准》 GB/T 50476
- 12 《城市综合管廊工程技术规范》 GB 50838
- 13 《城市轨道交通工程监测技术规范》 GB 50911
- 14 《地铁设计防火标准》 GB 51298
- 15 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 16 《中国地震动参数区划图》 GB 18306
- 17 《建筑结构用钢板》 GB/T 19879
- 18 《城镇供热管网设计规范》 CJJ 34
- 19 《城市道路工程设计规范》 CJJ 37
- 20 《地铁限界标准》 CJJ/T 96
- 21 《城市桥梁养护技术标准》 CJJ 99
- 22 《建筑钢结构防腐技术规程》 JGJ/T 251
- 23 《公路水泥混凝土路面养护技术规范》 JTJ 073. 1
- 24 《公路桥涵地基与基础设计规范》 JTG 3363
- 25 《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》 JTG 3370. 1

- 26 《公路沥青路面养护技术规范》JTG 5142
- 27 《公路桥涵设计通用规范》JTG D60
- 28 《轨道交通工程人民防空设计规范》RFJ 02
- 29 《水工建筑物抗冰冻设计规范》SL 211
- 30 《水工隧洞设计规范》SL 279
- 31 《铁路桥涵设计规范》TB 10002
- 32 《铁路隧道设计规范》TB 10003
- 33 《铁路工程不良地质勘察规程》TB 10027
- 34 《铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10413
- 35 《混凝土用钢纤维》YB/T 151