

附件 1

团 体 标 准

T/CMEA**-2025

城市地下工程施工不良地质处治 技术指南

Technical for treatments of adverse geological formations in urban
underground engineering construction

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国市政工程协会 发布

中国市政工程协会团体标准

城市地下工程不良地质处治技术指南

Technical for treatments of unfavorable geological conditions in urban
underground infrastructure construction

(征求意见稿)

T/CMEA **-2025

主编单位：中国地质大学（武汉）

中建三局第一建设工程有限责任公司

批准单位：中国市政工程协会

施行日期：2025 年 XX 月 XX 日

中国建筑工业出版社

2025 北京

中国市政工程协会团体标准公告

2025 年第 XX 号（总第 XX 号）

现批准《城市地下工程施工不良地质处治技术指南》为
本协会团体标准，编号为 CMEA**-2025，自 2025 年 XX 月
XX 日起实施。

本标准由我协会组织中国建筑工业出版社出版发行。

前 言

根据《中国市政工程协会关于下达<2021 年度第二批中国市政工程协会团体标准制（修）订计划>的通知》（中市协[2021]63 号）的要求，本文件编制组经广泛调查研究，总结工程实践经验，参考国内有关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本文件。

本文件共分 7 章，主要技术内容是：总则、术语和符号、基本规定、不良地质分类和分级、地下工程的处治要求、不良地质的处治方法、处治措施检测及检测。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国市政工程协会管廊及地下空间专业委员会归口，由中国地质大学（武汉）负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请寄送至中国地质大学（武汉）（地址：湖北省武汉市洪山区 388 号，西区教二楼 702，邮政编码：430074，焦玉勇），以便修订时参考。

主编单位：中国地质大学（武汉）

中建三局第一建设工程有限责任公司

参编单位：上海公路桥梁（集团）有限公司

中国地质工程集团有限公司

安徽理工大学

住建部科技促进中心

中建八局科技建设有限公司

河北铸诚工矿机械有限公司

中国城市建设研究院有限公司

核工业华东建设工程集团有限公司

南昌市城市规划设计研究总院

广州市市政工程设计研究总院有限公司

主要起草人：XXX

主要审查人：XXX

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	5
4 不良地质分类和分级	6
4.1 一般规定	6
4.2 软岩	6
4.3 软土	7
4.4 填土	8
4.5 黄土	8
4.6 膨胀土	9
4.7 盐渍土	10
4.8 断层破碎带	10
4.9 岩溶	11
4.10 地裂缝	13
4.11 采空区	13
4.12 富水地层	14
4.13 有害气体	16
4.14 冻土	17
4.15 高地温	19
5 地下工程的处治要求	21
5.1 明挖法	21
5.2 矿山法	24
5.3 盾构法	28
5.4 TBM 法	32
5.5 顶管法	34
6 不良地质的处治方法	38

6.1 注浆	38
6.2 回填	40
6.3 超前支护和地层加固	41
6.4 不良地质置换	41
7 处治措施监测及检测	42
7.1 一般规定	错误！未定义书签。
7.2 处置监测	42
7.3 检测与评估	43
本文件用词说明	49
引用标准名录	50
条文说明	50

Contents

1 General Principles	错误！未定义书签。
2 Terminology and Symbols	错误！未定义书签。
2.1 Terminology	错误！未定义书签。
2.2 Symbols	错误！未定义书签。
3 Basic	5
4 Classification and Grading of Adverse Geological Conditions	错误！未定义书签。
4.1 General	55
4.1 Soft Rock	错误！未定义书签。
4.2 Soft Soil	7
4.3 Filled Soil	8
4.4 Collapsible Loess	8
4.5 Expansive Stratum	8
4.6 Saline Soil	9
4.7 Fault Fracture Zone	10
4.8 Karst Stratum	错误！未定义书签。
4.9 Ground Fissure	错误！未定义书签。
4.10 Subsidence Area	错误！未定义书签。
4.11 High Ground Stress	错误！未定义书签。
4.12 Water-soaked ground	错误！未定义书签。
4.13 Harmful Gas	错误！未定义书签。
4.14 Tundra	错误！未定义书签。
4.15 High geo-temperature	20
5 Disposal Requirements for Underground Engineering	错误！未定义书签。
5.1 Cut and Cover Method	22
5.2 Mining Method	25
5.3 Shield Tunneling Method	29
5.4 TBM (Tunnel Boring Machine) Method	33
5.5 Pipe Jacking Method	35

6 Disposal Methods for Adverse Geological Conditions	38
6.1 Grouting	38
6.2 Backfilling	40
6.3 Advanced Support and Reinforcement	41
6.4 Replacement of Adverse Geological Conditions	42
7 Monitoring and Testing of Disposal Measures	43
7.1 General	43
7.2 Monitoring Content and Methods	43
7.3 Inspecting and Assessment	44
Explanation of Terms	49
List of Referenced Standards	50
Explanation of Clauses	51

1 总 则

1.0.1 为了规范城市地下工程施工不良地质处治技术工作，针对不良地质条件的地下工程制定科学、有效的处治技术实施体系，提高不良地质处治水平，保证地下工程质量和施工安全，制定本文件。

1.0.2 本文件适用于城市地下工程施工不良地质处治。

1.0.3 城市地下工程施工不良地质处治除应符合本文件外，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 不良地质 unfavorable geological conditions

地下工程建设有不利或不良影响的地质条件或地质体,易造成地下工程本身及周边环境坍塌、变形、突水涌泥、卡机、沉陷等安全隐患和威胁。

2.2.2 软岩 soft rock

饱和单轴抗压强度小于 30MPa 的岩石。

2.1.3 软土 soft soil

天然孔隙比大于或等于 1.0,且天然含水量大于液限的细粒土,包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。

2.1.4 湿陷性黄土 collapsible loess

在一定压力下受水浸湿,土结构迅速破坏并产生显著附加下沉的黄土。

2.1.5 自重湿陷性黄土 loess collapsible under overburden pressure

在上覆土的自重压力下受水浸湿,发生显著附加下沉的湿陷性黄土。

2.1.6 膨胀土 expansive soil

土中黏粒成分主要由亲水性矿物组成,同时具有显著的吸水膨胀和失水收缩两种变形特性的黏性土。

2.1.7 断层破碎带 fractured zone

由断层两盘相对滑动使两侧岩面受力破坏而形成的与断层面方向基本一致的长条状岩层破碎带。

2.1.8 岩溶 karstic formation

受水的化学和物理作用,产生溶蚀、迁移、沉积等现象的岩体。

2.1.9 地裂缝 ground fissure

地表岩、土体在自然或人为因素作用下,产生开裂、差异错动,并在地面形成一定长度和宽度的裂缝并造成危害的一种地质现象。

2.1.10 采空区 mined-out area

开采后的采出空间;广义指该采出空间及其覆岩失稳导致的地表移动和变形

破坏的区域或范围。

2.1.11 富水地层 water-soaked ground

含有丰富地下水的地质，通常具有较高的含水量和渗透性。

2.1.12 高地温 high geo-temperature

全新世火山或岩浆活动强烈、地温梯度异常、地表热显示发育地区或深埋隧道以及施工过程中可能出现高岩温或高温热水（汽）等热害现象的地区。

2.1.13 注浆法 slip casting method

将某些能固化的浆液注入岩土地基的裂缝或孔隙中，以改善其物理力学性质的方法。

2.1.14 明挖法 open excavation method

地下结构工程施工时从地面向下分层、分段依次开挖，直至达到结构要求的尺寸和高程，然后在基坑中进行主体结构施工以及防水作业，最后恢复地面的一种工法。

2.1.15 矿山法 mining method

一种采用凿岩爆破方式破岩，纵向分段横向全断面或分部开挖至设计轮廓后即对围岩进行适当支撑或支护，然后进行整体式衬砌作为永久性支护的施工方法。

2.1.16 盾构法 shield

一种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的施工方法。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。

2.1.17 硬岩岩石掘进机法 TBM

一种成了机械、电子、液压、激光、控制等技术，具有高度机械化和自动化特点用于隧道开挖和衬砌的机械设备。也称为全断面隧道掘进机或硬岩掘进机。

2.1.18 顶管法 pipe jacking

借助顶推装置，将预制管节顶入岩土层中的地下管道非开挖施工方法。

2.2 符号

e——天然孔隙比

W_u——有机质含量

δ_s ——湿陷系数

P_s ——湿陷起始压力

δ_{ef} ——自由膨胀率

3 基本规定

3.0.1 当地下工程存在不良地质时，勘测设计阶段应对其区域不良地质条件进行分类和分级，并开展不良地质探测和处治方案设计，将费用纳入工程概算。

3.0.2 地下工程不良地质处治是保证地下工程施工安全的重要环节和重要技术手段，应将它列为施工的必要环节和工序。

3.0.3 地下工程不良地质处治实施工作应符合施工安全规定。

3.0.4 地下工程不良地质处治应符合地下工程不良地质处治要求，并对围岩位移、地表沉降、衬砌与支护变形等进行监测，提高处治质量，保障施工安全。

3.0.5 不良地质处治的监测工作应及时进行，并减少对地下工程其它工序施工的影响和干扰，监测成果应报送有关各方。

4 不良地质分类和分级

4.1 一般规定

4.1.1 不良地质应根据地下工程的岩土工程勘察报告进行分类和分级。

4.1.2 不良地质应根据成因和特征分为质地型不良地质、结构型不良地质和环境型不良地质三大类。

4.1.3 质地型不良地质应包括软岩、软土、填土、湿陷性黄土、膨胀土、盐渍土等。

4.1.4 结构型不良地质应包括断层破碎带、岩溶、地裂缝、沉陷区等。

4.1.5 环境型不良地质应包括高地应力、富水地层、有毒有害气体、高地温、冻土地层等。

4.2 软岩

4.2.1 在工程力作用下能产生显著塑性变形的工程岩体应判定为软岩。

4.2.2 软岩根据力学和塑性变形特点应按表 4.2.2 进行分类。

表 4.2.2 软岩分类

分类	泥质含量	σ_c (MPa)	塑性变形特点
膨胀性软岩 (低强度软岩)	> 25%	< 25	在工程力作用下, 沿片架状硅酸盐粘土矿物产生滑移, 遇水显著膨胀等
高应力软岩	$\leq 25\%$	≥ 25	遇水发生少许膨胀, 在高应力状态下, 沿片架状粘土矿物发生滑移
节理化软岩	低~中等	少含	沿节理等结构面产生滑移、扩容等塑性变形
复合型软岩	低~高	含	具有上述某种组合的复合型机理

注: σ_c 为岩石单轴抗压强度 (MPa)。

4.2.3 膨胀性软岩根据矿物组合特征和饱和吸水率应按表 4.2.3 进行分级。

表 4.2.3 膨胀性软岩分级

膨胀性软岩	蒙脱石含量 (%)	干燥饱和吸水率 ω_0 (%)	自由膨胀变形量 (%)
弱膨胀性软岩	< 10	< 10	< 10

中膨胀性软岩	10~30	10~50	10~15
强膨胀性软岩	> 30	> 50	> 15

4.2.4 高应力软岩根据应力水平应按表 4.2.4 进行分级。

表 4.2.4 高应力软岩分级

高应力软岩	应力水平 (MPa)
高应力软岩	25~50
超高应力软岩	50~75
极高应力软岩	> 75

4.2.5 节理化软岩根据结构面组数和间距应按表 4.2.5 进行分级。

表 4.2.5 节理化软岩分级

节理化软岩	节理组数	单位面积节理书 J_s (条/m ²)	完整系数 k_v
较破碎软岩	1~3	8~15	0.55~0.35
破碎软岩	≥ 3	15~30	0.35~0.15
极破碎软岩	无序 ≥ 3	> 30	< 0.15

注: $k_v = (V_{pm}/V_{pr})^2$, V_{pm} 为节理岩体弹性波纵波速度 (km/s); V_{pr} 为完整岩块弹性波纵波速度 (km/s)。

4.2.6 复合型软岩为膨胀性软岩 (低强度软岩)、高应力软岩、节理化软岩的组合, 包括: 高应力-膨胀性复合型软岩、高应力-节理化复合型软岩、高应力-节理化-膨胀性复合型软岩。

4.3 软土

4.3.1 天然孔隙比大于或等于 1.0, 且天然含水量大于液限的细粒土应判定为软土。

4.3.2 软土根据天然孔隙比和有机质含量应按表 4.3.2 进行分类。

表 4.3.2 软土分类及其物理力学指标

指标	淤泥质土	淤泥	泥炭质土	泥炭
天然孔隙比 e	$1.0 \leq e \leq 1.5$	$e > 1.5$	$e > 3$	$e > 10$
有机质含量 (%)	3~10	3~10	10~60	> 60

4.3.3 当软土层层理良好时，地层交互层或夹层中的少数密实颗粒、粉土或砂层可作为软土层中的变异土层进行处理。

4.4 填土

4.4.1 人类活动堆填、弃置的建筑垃圾、生活垃圾、工业废料、冲填土、填筑土，应判定为填土。

4.4.2 填土根据物质组成和堆填方式应按表 4.4.2 进行分类。

表 4.4.2 填土分类

类型	特征
素填土	由碎石土、砂土、粉土和黏性土等一种或几种材料组成，不含杂物或含杂物很少
杂填土	含有大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等杂物，土质不均
冲填土	由水力冲填泥沙形成，土层分布不均，多呈透镜状、薄片状
填筑土	经分层碾压或夯实填筑的土，一般成分单一，土质较均匀

4.5 黄土

4.5.1 判定为黄土的土应在第四纪以来在干旱和半干旱地区形成，并应具有以下特征。

- 1 颜色为淡黄、灰黄、黄褐、棕褐或棕红色。
- 2 颗粒组成以粉粒（0.075~0.005mm）为主，一般不含粗颗粒，富含碳酸钙，常形成钙质结核。
- 3 具多孔性，一般肉眼可见大孔隙、虫孔等。孔隙比一般为 0.7~1.2。
- 4 土质均匀、无层理，有堆积间断的剥蚀面和埋藏的古土壤层。
- 5 具垂直节理，边坡在天然状态下能保持直立。
- 6 表层多具湿陷性，易产生潜蚀形成陷穴或落水洞。

4.5.2 具有本文件 4.5.1 的大部分特征，含层理、颗粒组成比较复杂(含砾石、砂等)的土，应判定为为黄土状土。

4.5.2 黄土的湿陷性应根据湿陷系数 δ_s 判定，并按表 4.5.2 进行分类。

表 4.5.2 湿陷性黄土湿陷程度划分表

湿陷系数	$\delta_s \leq 0.015$	$0.015 \leq \delta_s \leq 0.030$	$0.030 < \delta_s \leq 0.070$	$\delta_s > 0.070$
湿陷程度	无湿陷性	湿陷性轻微	湿陷性中等	湿陷性强烈
分类	非湿陷性黄土	湿陷性黄土		

4.5.3 湿陷性黄土可分为自重湿陷性黄土和非自重湿陷性黄土,应按表 4.5.3 的规定进行湿陷等级划分。

表 4.5.3 湿陷性黄土地基的湿陷等级

场地湿陷类型 $\Delta_s(\text{mm})$ / $\Delta_{zs}(\text{mm})$	非自重湿陷性场地	自重湿陷性场地	
	$\Delta_{zs} \leq 70$	$70 < \Delta_{zs} \leq 350$	$\Delta_{zs} > 350$
$50 < \Delta_s \leq 100$	I (轻微)	I (轻微)	II (中等)
$100 < \Delta_s \leq 300$		II (中等)	
$300 < \Delta_s \leq 700$	II (中等)	* II (中等) 或 III (严重)	III (严重)
$\Delta_s > 700$	II (中等)	III (严重)	IV (很严重)

注: * 湿陷量计算值 $\Delta_s \geq 600\text{mm}$ 、自重湿陷量计算值 $\Delta_{zs} \geq 300\text{mm}$ 时,可判为III级;其他情况可判为II级。

4.6 膨胀土

4.6.1 当场地土体同时满足以下工程地质特征且自由膨胀率 $\geq 40\%$ 时,应判定为膨胀土。

1 裂隙发育,常有光滑面和擦痕,有的裂隙中充填着灰白、灰绿色粘土。在自然条件下呈坚硬或硬塑状态。

2 多出露于二级或二级以上阶地、山前和盆地边缘丘陵地带,地形平缓,无明显自然陡坎。

3 常见浅层塑性滑坡、地裂,新开挖坑(槽)壁易发生塌等。

4 建筑物裂缝随气候变化而张开和闭合。

4.6.2 膨胀土膨胀潜势的划分应根据自由膨胀率按表 4.6.2 进行。

表 4.6.2 膨胀土的膨胀潜势分类

自由膨胀率 F_s (%)	$40 \leq F_s < 65$	$65 \leq F_s < 90$	$F_s \geq 90$
膨胀潜势	弱	中	强

4.7 盐渍土

4.7.1 易溶盐含量大于或等于 0.3%且小于 20%，并具有溶陷或盐胀等工程特性的土，应判定为盐渍土。

4.7.2 盐渍土根据盐的化学成分应按表 4.7.2 进行分类。

表 4.7.2 盐渍土按盐的化学成分分类

盐 渍 土 分 类	盐 分 比 值	
	$D_1 = \frac{c(\text{Cl}^-)}{2c(\text{SO}_4^{2-})}$	$D_2 = \frac{2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-)}{c(\text{Cl}^-) + 2c(\text{SO}_4^{2-})}$
氯 盐 渍 土	$D_1 > 2$	—
亚 氯 盐 渍 土	$1 < D_1 \leq 2$	—
亚 硫 酸 盐 渍 土	$0.3 \leq D_1 \leq 1$	—
硫 酸 盐 渍 土	$D_1 < 0.3$	—
碱 性 盐 渍 土	—	$D_2 > 0.3$

注：c (Cl⁻)、c (SO₄²⁻)、c (CO₃²⁻)、c (HCO₃⁻) 分别表示氯离子、硫酸根离子、碳酸根离子、碳酸氢根离子在 0.1kg 土中所含毫摩尔数，单位为 mmol/0.1kg。

4.7.3 盐渍土根据含盐量应按表 4.7.3 进行盐渍化程度分级。

表 4.7.3 盐渍土的盐渍化程度分级

盐渍土的 盐渍化程度分级	土层的平均含盐量 $\overline{DT}$ (%)		
	氯盐渍土及 亚氯盐渍土	硫酸盐渍土及 亚硫酸盐渍土	碱性盐渍土
弱盐渍土	$0.3 < \overline{DT} \leq 1$	—	—
中盐渍土	$1 < \overline{DT} \leq 5$	$0.3 < \overline{DT} \leq 2$	$0.3 < \overline{DT} \leq 1$
强盐渍土	$5 < \overline{DT} \leq 8$	$2 < \overline{DT} \leq 5$	$1 < \overline{DT} \leq 2$
超盐渍土	$\overline{DT} > 8$	$\overline{DT} > 5$	$\overline{DT} > 2$

4.8 断层破碎带

4.8.1 断层破碎带根据力学性质按表应 4.8.1 进行分类。

表 4.8.1 不同力学性质断层破碎带分类

断层性质 \ 分带	构造岩带	断层影响带
压性	由断层泥、糜岩、断层角砾岩、压片岩等组成。孔隙极小，孔隙率低，起隔水作用	影响带较宽,分支断层、节理及破劈理较发育。透水性和含水性较强
扭性	由糜棱岩、断层角砾岩等组成。孔细小，孔隙率较低。在多数情况下起相对隔水作用	岩石受牵引较强,扭节理密集，并常有 S 型及反 S 型张扭性节理。透水性和含水性较强
张性	由压碎岩、碎块岩、断层角砾岩组成,结构较疏松,胶结较弱。孔隙较大，孔隙率较高，透水性和含水性较强	张裂隙发育,但裂隙带延伸不长。透水性和含水性较强

4.8.2 断层破碎带根据宽度应按表 4.8.2 进行分级。

表 4.8.2 断层破碎带宽度分级

断层破碎带宽度 H (m)	$H < 10$	$10 \leq H \leq 20$	$H > 20$
断层破碎带分级	小	中	大

4.9 岩溶

4.9.1 岩溶根据埋藏条件应按表 4.9.1 进行分类。

表 4.9.1 岩溶埋藏条件分类

类型	裸露型	浅覆盖型	深覆盖型	埋藏型
地表可溶岩出露情况	大部分	少量	几乎没有	无
覆盖层	土	土	土	非可溶岩
覆盖土厚度 h (m)	$h < 10$	$h < 30$	$h \geq 30$	—
地表水和地下水联通情况	密切	较密切	一般不密切	不密切

4.9.2 岩溶根据发育特征应按表 4.9.2 进行分类。

表 4.9.2 岩溶发育程度分类

指标		级别		
		强烈发育	中等发育	弱发育
定性指	岩溶形态	以大型暗河、廊道，较大规模溶洞、竖井和落水洞为主	沿断层、层面等结构面有显著溶蚀，中小型串珠状溶洞发育	以裂隙状小型溶洞或溶孔为主

标	连通性	基本形成地下洞穴系统	地下洞穴未形成	裂隙连通性差
	地下水	发育大型暗河	中小型暗河或集中径流	少见集中径流，常见裂隙水流
定量指标	钻孔见洞率 k_j (%)	$k_j > 30$	$10 \leq k_j \leq 30$	$k_j < 10$
	钻孔线岩溶率 k_x (%)	$k_x > 20$	$5 \leq k_x \leq 20$	$k_x < 5$

4.9.3 溶洞根据发育规模应按表 4.9.3 进行分类。

表 4.9.3 溶洞发育规模分类

发育规模	小型溶洞	中型溶洞	大型溶洞	巨型溶洞
溶洞洞径 (m)	水平 < 3 竖向 < 6	$3 \leq \text{水平} < 6$ $6 \leq \text{竖向} < 12$	$6 \leq \text{水平} \leq 12$ $12 \leq \text{竖向} \leq 24$	水平 > 12 竖向 > 24

4.9.4 溶洞富水程度根据涌水量大小应按表 4.9.4 进行分类。

表 4.9.4 溶洞富水程度分类

富水程度	贫水	弱富水	中等富水	强富水
溶洞涌水量 Q (m^3/d)	$Q \leq 100$	$100 < Q \leq 1000$	$1000 < Q \leq 10000$	$Q > 10000$

注：表中溶洞涌水量指集中涌水量或 100m 洞长累计涌水量。

4.9.5 溶洞充填物稳定状况根据充填物特征应按表 4.9.5 进行判定。

表 4.9.5 溶洞充填物稳定状况划分

充填物稳定状况	充填物特征
稳定	充填物主要为坚硬黏性土，或密实的砂土，或密实、钙质、铁质胶结的碎石土、大块石土等，自稳性较好
基本稳定	充填物主要为可塑~硬塑状的黏性土，或稍密~中密砂质土，或稍密~中密的碎石土、角砾土等，有一定自稳性，可能引起小型坍塌
不稳定	充填物主要为软塑~流塑状的黏性土，或稍密以下的粉细砂，或稍密以下稍湿至潮湿的碎石土、角砾土，或泥砾石、泥块石等，自稳性较差，可能引起中型~大型塌方

4.9.6 溶腔稳定状况根据溶腔地质特征应按表 4.9.6 进行判定。

表 4.9.6 溶腔稳定状况划分

溶腔稳定状况	溶腔地质特征
稳定	洞顶石钟乳密集分布，节理不发育且无缓倾的结构面，完整岩层厚度与溶洞最大跨度之比大于 0.8，自稳性较好，偶有掉块
基本稳定	洞顶石钟乳稀疏分布，洞底有少量崩塌堆积物，节理较发育且存在缓倾的弱~中风化结构面，完整岩层厚度与溶洞最大跨度之比介于 0.5~0.8，有一定自稳性，可发生小型坍塌

不稳定	洞顶无石钟乳分布，洞底有崩塌堆积物，节理发育且存在缓倾的夹泥或强风化结构面，完整岩层厚度与溶洞最大跨度之比小于 0.5，自稳性差，可发生中型~大型塌方
-----	---

4.10 地裂缝

4.10.1 地裂缝根据累计长度和影响范围应按表 4.10.1 进行规模分级。

表 4.10.1 地裂缝规模分级

规模等级	巨型	大型	中型	小型
累计长度 L (m)	$L \geq 10000$	$10000 > L \geq 1000$	$1000 > L \geq 100$	$L < 100$
影响范围 A (km ²)	$A \geq 10$	$10 > A \geq 5$	$5 > A \geq 1$	$A < 1$

4.11 采空区

4.11.1 采空区根据开采状态应按表 4.11.1 进行分类。

表 4.11.1 采空区开采状态分类

类型	特征
新采空区	正在开采或停采但地表移动变形衰退期尚未结束的采空区
老采空区	已停止开采且地表移动变形衰退期已结束的采空区

4.11.2 采空区根据开采深度及深厚比应按表 4.11.2 进行分类。

表 4.11.2 采空区开采深度分类

类型	特征
浅层采空区	采深 $H < 50\text{m}$ ，或 $50\text{m} \leq \text{采深 } H < 200\text{m}$ 且深厚比 $H/M < 30$ 的采空区
中深层采空区	$50\text{m} \leq \text{采深 } H < 200\text{m}$ 且深厚比 $H/M \geq 30$ ，或 $200\text{m} \leq \text{采深 } H < 300\text{m}$ 且深厚比 $H/M < 60$ 的采空区。
深层采空区	采深 $H \geq 300\text{m}$ ，或 $200\text{m} \leq \text{采深 } H < 300\text{m}$ 且深厚比 $H/M \geq 60$ 的采空区。

4.11.3 采空区场地稳定性的判别，应符合下列规定：

1 判别标准应以工程类比和本地区经验为主，并应综合考虑各类采空区要素进行判别。

2 无地区类似经验时，长壁式充分采动采空区场地宜以采空区终采时间为评价指标，按表 4.11.3-1 进行判别。不规则柱式采空区场地宜按深厚比为评价指

标，按表 4.11.3-2 进行判别。

表 4.11.2-1 按终采时间确定采空区场地稳定性等级（长壁式采空区）

覆岩类型	场地影响范围内采空区终采时间 (a)		
	稳定	基本稳定	不稳定
软弱岩	> 2.0	1.0~2.0	< 1.0
中硬岩	> 3.0	2.0~3.0	< 2.0
坚硬岩	> 5.0	3.0~5.0	< 3.0

注：本表适用于采深小于 400m 的采空区场地。

表 4.11.3-2 按深厚比确定采空区场地稳定性等级（不规则柱式采空区）

覆岩类型	深厚比 (H/M)		
	稳定	基本稳定	不稳定
软弱岩	> 120	120~100	< 100
中硬岩	> 100	100~80	< 80
坚硬岩	> 80	80~60	< 60

4.12 富水地层

4.12.1 富水地层的地下水应按表 4.12.1 进行分类。

表 4.12.1 地下水埋藏条件和含水层性质分类

按含水层性质 按埋藏条件	松散岩类孔隙水	基岩裂隙水	岩溶水
上层滞水	包气带中局部隔水层上的水，主要是季节性存在的水	坚硬基岩风化壳中的季节性存在的水	垂直渗入带中的季节性 及经常存在的水
潜水	坡积、冲积、洪积、湖积、冰积、冰水沉积物中的水。当经常出露或十分接近地表时，成为沼泽水；沙漠及滨海沙丘中的水	坚硬基岩上部裂隙带中的水	裸露岩溶化岩层中的水

承压水	松散沉积物构成的向斜和盆地中的水；松散沉积物构成的单斜和山前平原中的水	构造盆地或向斜中基岩的层状裂隙水；单斜岩层中层状裂隙水；构造断裂带及不规则裂隙中的深层水	构造盆地或向斜盆地中岩溶化岩层中的水；单斜中岩溶化岩层中的水
-----	-------------------------------------	--	--------------------------------

4.12.2 松散岩类孔隙水富水性等级根据表 4.12.2 进行判别。

表 4.12.2 松散岩类孔隙水富水性等级划分

地区	富水性等级	单井涌水量 (m ³ /d)	单位涌水量 (L/s·m)	地下水补给模数 (L·s ⁻¹ ·km ⁻²)
山前地区	极丰富	> 5000	> 5	> 20
	丰富	1000~5000	1~5	7~20
	中等	100~1000	0.5~1	3~7
	微弱	< 100	< 0.5	< 3
平原地区	丰富	> 3000	> 3	> 15
	中等	1000~3000	1~3	10~15
	微弱	100~1000	0.5~1	5~10
	弱	< 100	< 0.5	< 5
滨海地区	丰富	> 500	> 2	> 10
	中等	200~500	1~2	5~10
	微弱	100~200	0.5~1	3~5
	弱	< 100	< 0.5	< 3

4.12.3 基岩裂隙水富水性等级根据表 4.12.3 进行判别。

表 4.12.3 基岩裂隙水富水性等级划分

地区	富水性等级	单井涌水量 (m ³ /d)	泉水流量 (L/s)	地下水补给模数 (L·s ⁻¹ ·km ⁻²)
碎屑岩裂隙孔隙水	丰富	> 500	> 50	> 5
	中等	300~500	10~50	3~5
	微弱	100~300	5~10	1~3

	弱	< 100	< 5	< 1
碳酸岩盐类裂隙 溶洞水	丰富	> 3000	> 1000	> 15
	中等	1000~3000	500~1000	7~15
	微弱	100~1000	100~500	1~7
	弱	< 100	< 100	< 1
基岩裂隙水	丰富	> 700	> 100	> 7
	中等	300~700	50~100	3~7
	微弱	100~300	10~50	1~3
	弱	< 100	< 10	< 1

4.13 有害气体

4.13.1 矿井中有害气体主要有一氧化碳、氧化氮、硫化氢、二氧化硫、氨等和爆炸性气体（瓦斯等），有害气体的最高允许浓度应符合表 4.13.1 规定。

表 4.13.1 矿井有害气体最高允许浓度

名称	最高允许浓度（%）
一氧化碳 CO	0.0024
氧化氮（换算成 NO ₂ ）	0.00025
二氧化硫 SO ₂	0.0005
硫化氢 H ₂ S	0.00066
氨 NH ₃	0.004

4.13.2 矿井中只要有一个煤（岩）层发现瓦斯，该矿井即为瓦斯矿井。根据矿井相对瓦斯涌出量、矿井绝对瓦斯涌出量、工作面绝对瓦斯涌出量和瓦斯涌出形式，按表 4.13.2 进行等级划分。

表 4.13.2 瓦斯矿井等级划分

分级	条件
----	----

低瓦斯矿井 (同时满足右侧条件)	矿井相对瓦斯涌出量不大于 $10 \text{ m}^3/\text{t}$ 矿井绝对瓦斯涌出量不大于 $40 \text{ m}^3/\text{min}$ 矿井任一掘进工作面绝对瓦斯涌出量不大于 $3 \text{ m}^3/\text{min}$ 矿井任一采煤工作面绝对瓦斯涌出量不大于 $5 \text{ m}^3/\text{min}$
高瓦斯矿井 (具备右侧条件之一)	矿井相对瓦斯涌出量大于 $10 \text{ m}^3/\text{t}$ 矿井绝对瓦斯涌出量大于 $40 \text{ m}^3/\text{min}$ 矿井任一掘进工作面绝对瓦斯涌出量大于 $3 \text{ m}^3/\text{min}$ 矿井任一采煤工作面绝对瓦斯涌出量大于 $5 \text{ m}^3/\text{min}$
突出矿井	—

4.14 冻土

4.14.1 具有负温或零温度并含有冰的土（岩）应判定为冻土。

4.14.2 根据冻土冻结状态持续时间长短应按表 4.14.2 进行分类, 包括: 多年冻土、隔年冻土、季节冻土。

表 4.14.2 按冻结状态持续时间分类

类型	持续时间 T	地面温度 (°C) 特征	冻融特征
多年冻土	$T \geq 2$ 年	年平均地面温度 ≤ 0	季节融化
隔年冻土	$2 \text{ 年} > T > 1$ 年	最低月平均地面温度 ≤ 0	季节冻结
季节冻土	$T < 1$ 年	最低月平均地面温度 ≤ 0	季节冻结

4.14.3 季节冻土和季节融化层土的冻胀性, 根据土冻胀率 n 的大小按表 4.14.3 进行分级。

表 4.14.3 季节冻土与季节融化层土的冻胀性分级

土的名称	冻前天然含水量 ω (%)	冻结期间地下水位距冻结面的最小距离 h_w (m)	平均冻胀率 η (%)	冻胀等级	冻胀类别
碎 (卵) 石, 砾、粗、中砂 (粒径 $< 0.074\text{mm}$ 、含量 $< 15\%$), 细砂 (粒径 $< 0.074\text{mm}$ 、含量 $< 10\%$)	不考虑	不考虑	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
碎 (卵) 石, 砾、粗中砂 (粒径 $< 0.074\text{mm}$ 、含量 $> 15\%$), 细砂 (粒	$\omega \leq 12$	> 1.0	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 1.0	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$12 < \omega \leq 18$	> 1.0			

径<0.074mm、含量>10%)		≤ 1.0	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$\omega \geq 18$	> 0.5			
		≤ 0.5	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
粉砂	$\omega \leq 14$	> 1.0	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 1.0	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$14 < \omega \leq 19$	> 1.0			
		≤ 1.0	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$19 < \omega \leq 23$	> 1.0			
		≤ 1.0	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$\omega > 23$	不考虑	$\eta > 12$	V	特强冻胀
粉土	$\omega \leq 19$	> 1.5	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 1.5	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$19 < \omega \leq 22$	> 1.5			
		≤ 1.5	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$22 < \omega \leq 26$	> 1.5			
		≤ 1.5	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$26 < \omega \leq 30$	> 1.5			
		≤ 1.5	$\eta > 12$	V	特强冻胀
	$\omega > 30$	不考虑			
粘性土	$\omega \leq \omega_p + 2$	> 2.0	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 2.0	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$\omega_p + 2 < \omega \leq \omega_p + 5$	> 2.0			
		≤ 2.0	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$\omega_p + 5 < \omega \leq \omega_p + 9$	> 2.0			
		≤ 2.0	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$\omega_p + 9 < \omega \leq \omega_p + 15$	> 2.0			
		≤ 2.0	$\eta > 12$	V	特强冻胀
	$\omega > \omega_p + 15$	不考虑			

注：① ω_p 为塑限含水量（%）； ω 为冻前天然含水量在冻层内的平均值；

② 盐渍化冻土不在表列；

③ 塑性指数大于 22 时，冻胀性降低一级；

④ <0.005mm 粒径含量>60%时，为不冻胀土；

⑤ 碎石类土当填充物大于全部质量的 40%时，其冻胀性按填充物土的类别判定。

4.14.4 多年冻土的融化下沉性，根据土的融化下沉系数 δ_0 的大小按表 4.14.4 进行分级。

表 4.14.4 季节冻土与季节融化层土的冻胀性分级

土的名称	总含水量 ω (%)	平均融沉系数 δ_0	融沉等级	融沉类别
------	----------------------	-------------------	------	------

碎（卵）石、砾、粗、中砂（粒径 $<0.074\text{mm}$ 、含量 $<15\%$ ）	$\omega < 10$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉
	$\omega \geq 10$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉
碎（卵）石、砾、粗中砂（粒径 $<0.074\text{mm}$ 、含量 $>15\%$ ）	$\omega < 12$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉
	$12 \leq \omega < 15$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉
	$15 \leq \omega < 25$	$3 < \delta_0 \leq 10$	III	融沉
	$\omega \geq 25$	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉
粉、细砂	$\omega < 14$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉
	$14 \leq \omega < 18$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉
	$18 \leq \omega < 28$	$3 < \delta_0 \leq 10$	III	融沉
	$\omega \geq 28$	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉
粉土	$\omega < 17$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉
	$17 \leq \omega < 21$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉
	$21 \leq \omega < 32$	$3 < \delta_0 \leq 10$	III	融沉
	$\omega \geq 32$	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉
粘性土	$\omega < \omega_p$	$\delta_0 \leq 1$	I	不融沉
	$\omega_p \leq \omega < \omega_p+4$	$1 < \delta_0 \leq 3$	II	弱融沉
	$\omega_p+4 \leq \omega < \omega_p+15$	$3 < \delta_0 \leq 10$	III	融沉
	$\omega_p+15 \leq \omega < \omega_p+35$	$10 < \delta_0 \leq 25$	IV	强融沉
含土冰层	$\omega \geq \omega_p+35$	$\delta_0 > 25$	V	融陷

注：① 总含水量 ω ，包括冰和未冻水；

② 盐渍化冻土、冻结泥炭化土、腐殖土、高塑性粘土不在表列。

4.15 高地温

4.15.1 全新世火山或岩浆活动强烈、地温梯度异常、地表热显示发育地区或深埋隧道以及施工过程中可能出现高岩温或高温热水（汽）等热害现象的地区，应判

定为高地温。

4.15.2 地温带分类与分级、热害评估应符合表 4.15.2 规定。

表 4.15.2 地温带划分及热害评估分级

地温带分类	温度 t 界限 (°C)	断裂导热水能力	地温带分级	热害评估等级
常温带	$t \leq 28$	差	I	无
低高温带	$28 < t \leq 37$	弱	II	轻微
中高温带	$37 < t \leq 50$	中等	III	中等
高高温带	$50 < t \leq 60$	较强	IV	较严重
超高温带	$t > 60$	强	V	严重

5 地下工程的处治要求

5.1 明挖法

5.1.1 明挖法施工区域存在软岩和软土时，工程处治应符合下列规定：

- 1 应采用大刚度围护结构加多道支撑的方式；
- 2 软土基坑开挖应减少分层分段数量、及时架设支撑、控制纵向坡比，防止基坑开挖变形；
- 3 施工过程中不宜进行超挖；
- 4 软土基坑开挖后及时封闭，避免长时间暴露。

5.1.2 明挖法施工区域存在人工填土时，工程处治应符合下列规定：

- 1 应严格根据设计和施工方案控制开挖深度和坡率，不应陡坡开挖、超挖；
- 2 当填土层无法满足明挖法基坑边坡稳定要求时，应根据填土类型设计土钉或锚杆进行坡面防护；
- 3 当填土层均匀性差，厚度不一时，宜使用与导墙高度适宜的护筒的方法进行加固；
- 4 当填土内上层滞水较发育，易产生桩间土渗漏、桩间土流失，施工应及时进行坡面防护，并设置导流管，必要时采取注浆加固。
- 5 当基底人工填土厚度较薄且地基承载力要求不高时，可采用置换方法进行处治，置换材料根据填土层底的原状土类别选用采用灰土或者级配碎石；
- 6 当人工填土厚度较大时，可采用强夯法、CFG 桩、柱锤冲扩桩等复合地基进行处治。

5.1.3 明挖法施工区域存在湿陷性黄土或液化地层时，工程处治应符合下列规定：

- 1 当湿陷程度为强烈并且湿陷等级大于 III 级时，地下工程施工应采用加固方法进行处治；
- 2 当湿陷程度为中等或湿陷等级为 II 及以上时，可根据地下工程的类别和湿陷性黄土的特性综合选择注浆、回填、超前支护和置换进行处治；
- 3 当明挖施工主体结构基坑底部存在湿陷性黄土时，应采用适当地基加固措

施处治。

5.1.4 明挖法施工区域存在膨胀地层时，工程处治应符合下列规定：

- 1 应设计支护加强措施并预留施作空间，设计应考虑膨胀力对结构产生不利影响；
- 2 当开挖区域以膨胀地层为主时，工应做好防水、止水措施，基坑内外应设置集排水措施；
- 2 当开挖边坡有膨胀土时，应及时进行坡面防护和架设支撑；
- 3 开挖完成后应及时封闭，避免长时间积水或暴晒。

5.1.5 明挖法施工区域存在盐渍土时，工程处治应符合下列规定：

- 1 盐渍土施工过程中应对基坑外地面硬化，并限制重载车辆和堆载，防止基坑外地面塌陷；
- 2 盐渍土施工过程中应完善基坑内外排水措施，减少地下水进入基坑内；
- 3 盐渍土施工过程中宜及时施作底板，避免基底浸水。

5.1.6 明挖法施工区域存在探明的断裂带分布时，工程处治应符合下列规定：

- 1 宜采用地层超前加固措施进行处治，超前加固可采用全断面注浆、周边帷幕注浆或地面深孔注浆等注浆加固方式对断裂带进行全面加固和止水处理；
- 2 当活动断裂带的土体、岩体裂隙多、工程性质相对较差时，应根据裂缝带特征和渗水情况，加强明挖区域的支护措施；
- 3 宜建立地地下工程施工区域附近断裂带和地下水动态监测网，控制断裂带附近深层地下水的开采，监测断裂带的活动迹象，掌握地下水的动态变化，及时评价断裂带可能活动对地下工程的影响，并采取相应处理措施。

5.1.7 明挖法施工区域存在岩溶地层时，工程处治宜符合下列规定：

- 1 当岩溶地层存在探明的全空溶洞且空洞内含岩溶水较少时，应先抽出岩溶水后，再向溶洞内充填细砂、或粒径较小的砂石，填充时宜采取压力吹灌的方式；
- 2 当岩溶地层存在完全填充溶洞时，宜采用注浆方式直接向溶洞内压注水泥浆，注浆压力不应超过 0.5MPa；
- 3 当岩溶地层探测到大量岩溶水填充的溶洞时，应将溶洞内的岩溶水抽排干

净之后，再以全空溶洞的处理方式按本条 1 进行处理；

4 当岩溶地层承载力不足时，可采用“溶（土）洞填充+水泥土墩柱”的方法提高地基承载力；

5 当岩溶较发育地区采用抛填和吹灌无效时，可采用全护筒跟进方法，并使其长度跟进至岩溶底部岩层；

6 当岩溶地区开挖基底涌水量较大时，宜采用格栅状抽条加固和水泥土墩柱对基坑进行分块处理。

5.1.8 明挖法施工区域存在地裂缝时，工程处治应符合下列规定：

1 优先通过设计合理的避让距离；

2 宜对明挖法基坑内地裂缝两侧并沿基坑宽度外扩一定范围内采用旋喷桩进行止水和加固，并辅以基坑外降水；

3 当地裂缝涌水量较大时，应及时寻找并切断补给水源，插设导流管引排，将地裂缝段破碎地层中的滞水排出，加强桩间土防护措施，并对围护桩(墙)背后已出现的空洞进行注浆回填；

4 当明挖法围护结构采用钻孔灌注桩时，合理选择泥浆配比，进行有效护壁，防止出现塌孔、漏浆等现象；

5 对开挖区域的围护结构进行优化设计，加强止水设计；

6 应在地下工程结构体应设计变形缝，变形缝还应设置封闭的止水带，同时在变形缝两侧预埋多次性注浆管，当地下工程结构体变形形成的空隙时刻进行注浆填充。

5.1.9 明挖法施工区域存在采空区时，工程处治应符合下列规定：

1 当沉陷区的地面沉降影响地下工程结构安全时，应设计加强围护结构设计；

2 其他情况宜根据沉降勘察成果合理增加沉降缝并预留足够沉降量；

3 施工过程应调查周边建构筑物情况，并加强监测。

5.1.10 明挖法施工区域存在富水地层时，工程处治宜符合下列规定：

1 应富水砂层区的围护结构应能固砂阻水，保持砂层稳定性，不产生流砂；

2 宜采取隔降结合的地下水处理措施，降低水头高度或封堵各种可能的渗漏路径，降低施工风险；

3 设计阶段应考虑富水砂层地质条件下的防水体系设计，提高防水卷材铺设

质量、混凝土浇筑质量和养护，结构细节部位的处理；

4 应开展施工降排水专项设计，并在施工过程中根据降排水效果调整治理方案，专项方案中应明确封井要求以确保降水井封井安全。

5.1.11 明挖法施工区域存在探明有害气体时，工程处治宜符合下列规定：

1 开挖前应对有害气体的治理效果进行检测和评估；

2 施工阶段应对有害气体灾害进行超前地质预测，并在开挖设备上安装有害气体探头或者传感器；

3 施工中应严格消防措施，施工作业面范围内严禁明火；

4 配置气体探测设备，设置合理的预警值，针对可能出现的各种风险编制应急预案；

5 采用灌注桩成孔、地下连续墙成墙工艺时，发现异常情况时应停止施工，查明原因；

6 可选择封闭、抽水、真空抽吸等工程技术进行处治，也可设计成套工业设备并采用清洗、融化、化学分解，或采用微生物进行分解、浓缩、高等植物吸收等生物技术进行处理；

7 可设置一定数量的排气孔释放有害孔。

5.1.12 明挖法施工区域存在冻土时，工程处治宜符合下列规定：

1 明挖法基坑围护结构设计应考虑冻胀和融陷对围护结构的影响，避免季节性冻土地基在冻结和融化过程中过大的冻融变形对建筑物造成严重破坏；

2 选线应尽可能绕避冻土区。无法绕避时，明挖法基坑周边应设计深挖排水沟；

3 设计时应合理确认基础深度和位置，宜采用桩基础。

5.2 矿山法

5.2.1 矿山法施工区域存在软岩和软土时，工程处治应符合下列规定：

1 宜采用地层注浆加固或冻结后，进行管幕支护开挖；

2 矿山法隧道穿越软土地层宜采用初期支护+二次衬砌的复合式衬砌；

3 初期支护背后如果存在空隙，应及时将空隙进行回填；

4 初期支护的拱顶和侧墙宜采用多心圆的结构形式承受上部荷载，仰拱和侧

墙连接可采用圆弧连接或直角连接。

5.2.2 矿山法施工区域存填土时，工程处治应符合下列规定：

- 1 当地下工程基底人工填土厚度较薄，地基承载力要求不高时，宜采用灰土或者级配碎石进行置换处理；
- 2 采用超前注浆的方法固化开挖填土层，使其开挖时保证自稳；
- 3 宜适当加大锁口圈梁的宽度和厚度；
- 4 宜加密小导管和格栅间距，减少开挖进尺；
- 5 宜采用全断面注浆加固，并扩大填土的加固范围。

5.2.3 矿山法施工区域存在黄土地层时，工程处治应符合下列规定：

- 1 应根据地勘资料和本文件 4.5 章规定，判定施工区域湿陷性黄土类型；
- 2 当确定为非自重湿陷性黄土地层时，可根据后期规划情况（新建建筑物、填方等）及地下水位可能上升的幅度，判断场地湿陷的可能性，并采取相应的防治措施；
- 3 当矿山法无法避让自重湿陷性黄土地层时，应根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-2004)，消除地下工程地基的全部湿陷量；同时，应在隧道基底采用防、排水措施，减小隧道底板以下湿陷性黄土地基浸水；
- 4 当湿陷性黄土地基承载力较弱，矿山法区间可选用微型桩法、洞内二重管旋喷加固、垫层法、挤密法、桩基础法以及深层搅拌桩法对基底湿陷性黄土进行处理；
- 5 矿山法隧道拱脚位置宜微型钢管桩，与拱架连为整体，增强拱脚位置地基承载力，减小不均匀沉降，防止衬砌开裂。

5.2.4 矿山法施工区域存在膨胀地层时，工程处治应符合下列规定：

- 1 断面设计宜适当的加大仰拱矢跨比可以更为有效的抵御来自围岩向上的作用力；
- 2 宜在初期支护和二次衬砌之间设置缓冲层，以吸收围岩压力，进一步改善隧道衬砌结构受力；
- 3 宜采用超前地质水平钻孔的方法，探测开挖面前方的地质状况和地下水情况；
- 4 矿山法施工前宜进行小导管对土体进行超前注浆加固，当水量较大时，可

采用冻结法等特殊施工工艺；

5 矿山法应保障各工序之间要连续、紧凑，缩短各工序之间的距离和作业时间，初支施工结束后应及时施作二衬仰拱，尽早封闭成环。

5.2.5 矿山法施工区域存在盐渍土时，工程处治应符合下列规定：

- 1 二衬及隔水层结构均应加强混凝土浇筑质量控制，避免拱顶出现空洞；
- 2 二衬混凝土施工应确保钢筋保护层厚度满足要求，防止地下水对钢筋的腐蚀；
- 3 洞内施工应严格控制施工用水量，尽量避免因施工用水造成对围岩的溶蚀；
- 4 开挖后尽快封闭围岩，减少空气中水分溶解袭夺盐渍土层，防止崩塌；
- 5 二衬钢筋绑扎时应加强对钢筋表面环氧涂层的保护，以及对反粘式防水板的保护，避免其因外力造成自粘失效而脱落，或是被钢筋刺破；
- 6 矿山法隧道初期支护与二衬间宜增设防水素混凝土隔水层；
- 7 止水结构均应不含钢材，隔水结构和二衬纵向施工缝宜采用中埋式橡胶止水带；环向施工缝宜采用中埋式橡胶止水带+背贴式止水带；隔水结构与二衬的施工缝应错开设置。

5.2.6 矿山法施工区域存在探明的断层破裂带时，工程处治应符合下列规定：

- 1 应对探明的断层破裂带进行全面加固和止水处理，宜采用全断面注浆、周边帷幕注浆、地面深孔注浆等注浆加固方式；
- 2 矿山法施工通过活动断裂带时，应结合断裂带埋深、水系发育、水源补给和周边地表水存储情况，制定专项处理方案，宜采用超前注浆、局部降水、主动引排的方法进行处治。

5.2.7 矿山法施工区域存在岩溶地质时，工程处治应符合下列规定：

- 1 当岩溶危害程度等级为三级及以上时，应开展岩溶控制的专项设计，专项设计中应包含应急预案要求；
- 2 当岩溶危害程度等级为一、二级时，应对岩溶空洞进行专项加固处理设计；
- 3 当岩溶空洞区位于隧道上方时，应根据隧道拱部与岩溶空洞底板的距离进行有针对性的设计，可采取加强隧道超前支护和初期支护、加强二次衬砌、设置护拱、超前注浆或径向注浆等设计措施进行处理，对隧道上方岩溶空洞存在积水的情况，应设计钻孔并预留排水管；

4 当岩溶空洞位于隧道中部时，若岩溶空洞未坍塌充填，可在隧道衬砌两侧边墙外设计护墙和回填，若岩溶空洞已坍塌充填，可对充填物采用换填或周边注浆加固方式进行处理。

5 岩溶空洞位于隧道下方时，若岩溶空洞底板与隧底间的距离较小，可采取混凝土换填、注浆、回填等处治措施；若岩溶空洞底板与隧底间的距离较大，可合理选择钢管桩注浆加固、混凝土回填或桩筏结构跨越等设计措施进行处治。

6 对于埋深较大且不易进入机械和人员的岩溶空洞，可采用充填法进行处理。

5.2.8 矿山法施工区域存在地裂缝时，工程处治应符合下列规定：

1 地裂缝影响段应采用分段结构进行设计，并采用柔性接头进行处理，预留变形缝适应地裂缝的变形。

2 地裂缝地段应以主变形区作为设防区，并且设防长度应为 65m，按 10m 进行隧道结构分段，微变形按 10~15m 进行分段来设置特殊变形缝，释放错动产生的变形；

3 矿山法施工过程中宜采取降水、超前支护、注浆加固等处治措施，并加强监控量测，增加地质素描和超前地质预报等地质探查手段，确保无水作业及土方开挖安全；

4 应预埋可多次注浆的注浆管，预备紧急情况时进行应急堵漏处理。

5.2.9 矿山法施工区域存在采空区时，工程处治应符合下列规定：

1 矿山法地下工程施工时，应尽可能的避开建筑群，并且使线路处于地表均匀采空区内，且应通过监测和测量取得隧道施工后的地表沉降及隆起值；

2 应根据地勘资料和现场实际情况加强超前支护；

3 当使用台阶法进行开挖时，应合理控制导洞台阶长度，减少开挖过程中上下台阶跟进时间差及拱部回填时间差；

4 矿山法开挖后应及时进行初期支护，提高围岩的自稳能力。

5.2.10 矿山法施工区域存在富水地层时，工程处治应符合下列规定：

1 应对结构进行抗浮设计，确保地下工程结构在富水地层满足抗浮要求；

2 宜采取隔降结合的地下水处理措施，降低水头高度，封堵可能的渗漏路径；

3 当遇到松散砂层时应提前注浆加固；

4 粉细砂层不应采用大管棚支护，宜采用套管护壁；

5 应开展施工降排水专项设计，并在施工过程中根据降排水效果调整治理方案。专项方案中应明确封井要求，确保降水井封井安全；

6 当存在砂土液化地层时，应根据液化层的埋深、厚度、施工方法及造价确定液化层的处理方案，宜采用液化土围封处理、换填处理、加固处理、加密的方式进行处治。

5.2.11 矿山法施工区域存在有害气体时，工程处治应符合下列规定：

1 施工阶段，应对有害气体灾害进行超前地质预测，在钻机钻头安装有害气体探头或者传感器；

2 有害气体区段的专项施工方案应充分分析有害气体在施工过程中易引起的工程风险，配备防毒设施和装备，并制定应急措施；

3 施工阶段应安排专人每天持气体检测仪进行巡视，发现异常及时采取应急措施。

5.2.12 矿山法施工区域存在有冻土时，工程处治应符合下列规定：

1 在具有冻胀性的围岩内，应考虑围岩产生的冻胀效应对隧道结构的施加压力，对衬砌结构进行优化设计；

2 隧道结构应设计保温隔热层，防止衬砌背后排水系统冻结，保持排水畅通，消除或减轻衬砌的冻胀力；

3 优化隧道防水设计，增设防冻保温措施，减少冻害；

4 宜采用保温法或拦截法对沿线的冻土进行处理。

5.3 盾构法

5.3.1 盾构法施工区域存在软土地层时，工程处治应符合下列规定：

1 确定软土层埋深和范围，根据区间两边车站埋深、区间地质情况和周边环境，调整线路平面和隧道纵坡，宜尽量规避软土层；

2 盾构始发前根据地层情况，宜对盾构始发端头土层采用搅拌桩或冻结法等加固措施；

3 当软土承载力较低时，宜采取软基预加固处理减少地层隆沉变形，抑制管片上浮，能提高隧道与周围土体的整体性。

5.3.2 盾构法施工区域存在填土时，工程处治应符合下列规定：

1 当盾构端头填土稳定性无法满足设计要求时,宜采用搅拌桩法、旋喷桩法、注浆法、冻结法等进行加固;

2 当盾构浅埋施工时,应根据坍塌及地层失压的风险评估采取地表预加固措施。

5.3.3 盾构法施工区域存在黄土地层时,工程处治应符合下列规定:

1 应根据地勘资料和本文件 4.5 章节规范,判定场地是否为自重湿陷性黄土;

2 当确定为非自重湿陷性黄土地层,可根据后期规划情况(新建建筑物、填方等)及地下水位可能上升的幅度,判断场地湿陷的可能性,并采取相应的防治措施;

3 当无法完全避让自重湿陷性黄土地层时,应根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-2004),消除盾构区间的湿陷量,并设计隧道基底的防水和排水措施;

4 宜采用旋喷桩法、三轴搅拌桩法、孔内深层强夯法和注浆加固法对湿陷性黄土地层进行加固。

5.4.4 盾构法施工区域存在膨胀地层时,工程处治应符合下列规定:

1 当膨胀地层不满足盾构区间承载力设计要求时,宜采洞内注浆法或者地表注浆加固方案进行处理,地表加固可选用搅拌桩、旋喷桩、强夯等地基处理方法;

2 设计中应考虑到在膨胀地层性质变化差异较大的地段及施工期间受强降雨或暴雨等因素引起地下水陡增对盾构施工产生影响;

3 结构设计方案中应注意膨胀地层的膨胀力对结构产生不利影响,加固地层或增加衬砌结构强度;

4 土体膨胀时有易造成管片结构过量变形,预留变形量应加大;

5 当隧道下方或上方存在膨胀地层时,宜通过增加管片局部配筋量来满足设计要求,或者采用通缝拼装方式来降低管片结构受力。

5.4.5 盾构法施工区域存在盐渍土时,工程处治应符合下列规定:

1 盾构施工前宜采用换填法、预溶法、化学改良等方法对盐渍土地层进行预处理,降低盐渍土中的盐分和水分,提高盐渍土的稳定性;

2 应加强盾构管片和施工设备的耐久性;

3 应考虑盐渍土层的盐胀性,增加隧道结构设计冗余度,管片内轮廓预留补

强空间；

4 管片钢筋表面应增设环氧涂层，提高抗腐蚀性宜，管片工程材料宜选用低热水泥和膨胀剂；

5 应对盾构法的注浆材料、浆液配比和注浆压力等注浆参数进行优化，针对盐渍土的地层提高注浆加固效果；

6 管片外侧宜选用高渗透性改性环氧防水（防腐）涂料涂刷，并提高管片接缝防水材料的耐腐蚀性。

5.3.6 盾构法施工区域存在探明的断层破裂带时，工程处治应符合下列规定：

1 宜根据探明的断裂带分布和地下水情况进行超前地层加固措施进行处治，可采用盾构机超前注浆、地面深孔注浆等注浆加固方式对断裂带进行全面加固和止水处理；

2 应根据探明的断裂带分布和地下水情况对盾构衬砌结构及防水进行设计加强，并设置变形缝及预留变形量；

3 对于高水压断层破碎带，管片结构防水应设置二次衬砌，并在管片结构设泄水孔。

5.3.7 盾构法施工区域存在岩溶地质时，工程处治应符合下列规定：

1 当岩溶危害程度等级为三级及以上时，应开展岩溶控制的专项设计，专项设计中应包含应急预案要求；

2 岩溶空洞位于地表移动活跃、非连续变形地段，设计应以规避风险为主。对探明的危害程度等级为一、二级的岩溶空洞应进行专项加固处理设计；

3 岩溶空洞位于盾构隧道上方时，应根据盾构隧道拱顶与岩溶空洞底板的距离进行有针对性的设计；

4 岩溶空洞位于盾构隧道中部时，若岩溶空洞未坍塌充填，可对岩溶空洞进行回填；若岩溶空洞已坍塌充填，可对充填物采用换填或周边注浆加固方式进行处理；

5 岩溶空洞位于盾构隧道下方时，若岩溶空洞顶部与隧底间的距离较小，可采取混凝土换填、注浆回填等措施处理；若岩溶空洞顶部与隧底间的距离较大，可合理选择钢管桩注浆加固、混凝土回填等设计措施进行处理。

5.3.8 盾构法施工区域存在地裂缝时，工程处治应符合下列规定：

1 当盾构下穿地裂缝时，宜采用正交穿越地裂缝破碎带的方式，线路与地裂缝交角不应小于 30°，且位错量 $\leq 100\text{mm}$ ；当盾构隧道直接穿越时位错量 $> 100\text{mm}$ ；

2 盾构隧道衬砌结构设计应加强螺栓和衬砌的刚度；

3 应地下工程施工期间加强地表调查和盾构隧道的监测。

5.3.9 盾构法施工区域存在采空区时，工程处治应符合下列规定：

1 应优化管片防水设计，根据地勘资料、施工环境、地层压力、隧道断面大小和衬砌结构，合理选择管片接缝防水材料，减少衬砌接缝处渗漏水引起隧道周围地层孔隙水流失，避免采空区二次沉降；

2 盾构机掘进前，应充分掌握施工影响范围内的地面建筑物、地下管线、地下障碍物、地下设施等，对容易受地面沉降影响的建构筑物 and 地下管线进行计算分析，对重要建筑物采取事前保护措施，降低风险。

5.3.10 盾构法施工区域存在富水地层时，工程处治应符合下列规定：

1 当盾构始发井和接收井位于富水地层时，应对地层进行加固，并在盾构机进出洞前采取隔离和降水结合的处理措施，降低水头高度或封堵各种可能的渗漏路径；

2 当富水地层为高水头环境时，盾构隧道管片应增设注浆孔，采用同步注浆和二次注浆的方式进行处治；

3 当盾构开仓部位遇松散砂层时，应采取提前注浆加固措施；

4 盾构法施工区域存在砂土液化地层时，应采用地面加固的方式进行处治，处治后待地表沉降趋于稳定后再开始盾构施工。

5.3.11 盾构法施工区域存在有害气体时，工程处治应符合下列规定：

1 应为盾构机配置气体探测设备，并设置合理的预警值，针对可能出现的各种风险编制应急预案；

2 盾构施工作业范围内应严禁明火；

3 应加强盾构机内的通风、换气措施；

4 宜在盾构机前进方向预先设置沼气释放孔放气；

5 有害气体区段的专项施工方案应充分分析有害气体在施工过程中易引起的工程风险，配备防毒设施和装备，并制定应急措施；

6 盾构施工过程中应安排专人每天持气体检测仪进行巡视，发现异常及时采

取应急措施；

7 施工过程中发现有害气体治理效果不佳、存在有毒和有异味气体等异常情况时，应及时汇报给业主，并通报给设计单位和勘察单位。

5.3.12 当盾构区间需设置沼气释放孔时，释放孔布置用遵循下列原则：

- 1 沿盾构前进方向在详勘揭示有沼气分布区域预先布置释放孔；
- 2 孔间距一般约 10~15m，当遇大量沼气溢出时，加密布置（间距 5~10m）；
- 3 根据盾构推进速度，先在盾构前方 100m 范围内布置释放孔，此后，随盾构推进，释放孔相应前移布置；
- 4 沿盾构边线双排布置，释放孔距盾构边线约 3~5m；
- 5 释放孔的深度以达到沼气可能的最深分布范围为宜，具体深度应结合实际地质情况确定；释放孔直径约 110mm 左右；
- 6 安排专人看护已施工的释放孔，防止明火靠近；
- 7 在孔口用可燃性气体探测仪探测沼气浓度变化情况及沼气释放情况。

5.3.12 盾构法施工区域存在冻土时，工程处治应符合下列规定：

- 1 在具有冻胀性的围岩内，应考虑围岩产生的冻胀效应对管片结构的施加压力，适当加强管片的结构强度设计；
- 2 针对冻土层，应采用具有抗冻性的混凝土，并严格控制其水灰比设计值，管片生产时控制混凝土最大水灰比限值；
- 3 管片材料设计时，宜增设使用引气剂；
- 4 应优化隧道防水设计，增设防冻保温措施，减少渗漏水造成的冻害。

5.4 TBM 法

5.4.1 TBM 隧道（洞）工程在设计和施工前，应按基本建设程序和《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定执行岩土工程勘察。

5.4.2 采用 TBM 法施工首先应进行地质条件适应性评估，查明隧址区的工程地质和水文地质条件，确定有无影响采用 TBM 法施工的地质因素及其影响程度，为判定隧道工程能否采用掘进机法施工提供必要的地质依据。

5.4.3 隧道（洞）施工前，应对掘进机设备进行选型，做到配套合理，充分发挥施工机械的综合效率，提高机械化施工水平。

5.4.4 TBM 法施工区域存在软岩地层时，工程处治应符合下列规定：

- 1 软岩大变形洞段应采用扩挖、超前预加固等措施掘进，并加强变形监控量测；
- 2 软岩大变形洞段掘进时，应快速通过；
- 3 采用敞开式掘进机时，应加强支护；
- 4 采用护盾式掘进机时，宜根据围岩变形量调整扩挖参数和管片类型。

5.4.5 TBM 法施工区域存在探明的断层破裂带时，工程处治应符合下列规定：

- 1 断层破碎带掘进施工可根据其分布范围、性状及掘进机性能，采取调整掘进参数、超前支护或围岩加固等相应的工程措施；
- 2 在 TBM 通过小型断层破碎带时，可调整掘进参数快速连续通过；
- 3 敞开式掘进机通过较大断层破碎带时，应采取下列措施：
 - （1）按设计要求加强 L1 区围岩支护，可采取钢管(瓦)片钢筋排、钢拱架、喷混凝土、锚杆等措施及时封闭破碎岩层；
 - （2）及时进行清渣；
 - （3）当围岩无法给撑靴提供足够反力时，应采取临时加固措施。
- 4 护盾式掘进机通过较大断层破碎带时，应采取下列措施：
 - （1）宜增加管片的强度和刚度；
 - （2）及时进行回填；
 - （3）当围岩无法给撑靴提供足够反力时，可利用管片提供掘进推力。
- 5 在断层破碎带区域通过后，应加强变形监测。

5.4.6 TBM 法施工区域存在岩溶地质时，工程处治应符合下列规定：

- 1 TBM 通过前应探明岩溶地质发育状况，以采取针对性的措施；
- 2 岩溶洞段，宜采用低转速、小推力的掘进参数，降低岩溶区掌子面围岩不均匀对 TBM 的损伤；
- 3 岩溶影响安全掘进时，应停机对影响区岩溶进行填充加固满足条件后恢复掘进；
- 4 TBM 通过后对影响隧道（洞）结构安全的岩溶，应按照设计要求填充处理；

5 TBM 通过富水岩溶地层时，应根据洞穴连通情况、补水来源，采取排、堵、截等处理措施；

6 岩溶区无法给撑靴提供足够反力时，采用临时加固措施。

5.4.7 TBM 法施工区域存在富水地层时，工程处治应符合下列规定：

- 1 富水洞段掘进施工应遵循“先探后堵”的原则；
- 2 富水洞段掘进前应采用超前地质预报进行探水；
- 3 掘进至富水段前 3m~5m 处，应停机，再采用超前钻机探水；
- 4 应采用超前钻机印证富水段水量，进行超前注浆堵水，堵水完成后，恢复掘进，再次探水—堵水—掘进；
- 5 若遇掘进过程中发生富水洞段突泥突水，应立即启动应急预案；
- 6 洞内涌渣宜采用人工配合机械方式及时清理。

5.4.8 TBM 法施工区域存在冻土时，工程处治应符合下列规定：

- 1 在季节性冻土发育区，因冻胀融沉等作用可能对 TBM 隧道产生影响；
- 2 冻结状态时，虽然压缩性变小并具有较高强度，但在冻结过程中产生体积膨胀，形成地面隆起和地基鼓胀；冻土融化后，岩土中冰屑的骨架支撑作用消失，导致体积缩小，地基承载力降低，压缩性增大，岩土体下沉陷落；
- 3 当冻土作为 TBM 隧道的地基土时，因冻胀融沉的反复活动，易引起隧道结构沉陷、开裂、倾倒、地铁线路凹凸不平，甚至局部陷落，威胁交通与运输安全。

5.5 顶管法

5.5.1 顶管法施工区域存在软岩或软土地层时，工程处治应符合下列规定：

- 1 在顶管埋置较深、顶进力较大的软土地区，工作井宜采用沉井或地下连续墙；
- 2 在软土层中顶进混凝土管时，为防止管节飘移，宜将前 3~5 节管体与顶管机联成一体；
- 3 曲线顶管在软土地区施工时，为防止管道向曲线外侧位移失控，应增大测量频率。

5.5.2 顶管法施工区域存在填土时，宜对填土区域全断面注浆加固，扩大顶管围土的加固范围。

5.5.3 顶管法施工区域存在湿陷性黄土地层时，工程处治应符合下列规定：

- 1 应根据地勘资料及相关规范，判定场地是否为自重湿陷性黄土；
- 2 当无法完全避让自重湿陷性黄土地层时，可采用旋喷桩法、三轴搅拌桩法、孔内深层强夯法和注浆加固法处治湿陷性黄土地层。

5.5.4 顶管法施工区域存在膨胀地层时，工程处治应符合下列规定：

- 1 宜增加管节局部配筋量以平衡的膨胀力对结构产生不利影响；
- 2 当顶管上方或下方存在膨胀土时，应增加顶管施工期间的监测频率，避免由膨胀地层引起的偏移。

5.5.5 顶管法施工区域存在盐渍土地层时，工程处治应符合下列规定：

- 1 管节保存、运输和拼接过程中，应当确保管节无破损和裂缝，防止盐渍土层地下水对钢筋的腐蚀；
- 2 顶管施工过程中及时进行同步注浆和二次注浆，避免管节后方出现空洞；
- 3 管节拼装过程中，应分析地下水造成管节渗漏的可能性，并观察已拼装管节的渗漏情况，如有渗漏及时修补注浆；
- 4 采取地面钻孔注浆和洞内注浆等措施限制地下水流动。

5.5.6 顶管法施工区域存在探明的断层破裂带时，工程处治应符合下列规定：

- 1 应根据探明的断裂带分布和地下水情况采用地面注浆加固方式对断裂带进行全面加固和止水处理；
- 2 当顶管始发工作井无法避开探明的断层破裂带时，应在工作坑洞口设置止水装置，止水装置联结环板应与工作井壁内的预埋件焊接牢固，且用胶凝材料封堵。

5.5.7 顶管法施工区域存在岩溶地质时，工程处治应符合下列规定：

- 1 岩溶空洞位于顶管上方时，应根据顶管拱顶与岩溶空洞底板的距离进行稳定性评估，当不满足要求时可采用换填或注浆加固方式进行处理；
- 2 岩溶空洞位于顶管中部时，应对岩溶空洞进行注浆加固处理；
- 3 岩溶空洞位于顶管下方时，若岩溶空洞顶部与顶管底部的距离较小，可采取混凝土换填、注浆回填等措施处理。

5.5.8 顶管法施工区域存在地裂缝时，不宜采用顶管法施工。

5.5.9 顶管法施工区域存在采空区时，工程处治应符合下列规定：

1 应优化管节接头防水设计，合理选择管节接头防水材料，减少渗漏水引起隧道周围地层孔隙水流失，避免采空区二次沉降；

2 顶管施工前，应充分掌握施工影响范围内的地面建筑物、地下管线、地下障碍物、地下设施等，对容易受地面沉降影响的建构筑物 and 地下管线进行计算分析，对重要建筑物采取事前保护措施，降低风险。

5.5.10 顶管法施工区域存在富水地层时，工程处治应符合下列规定：

1 当顶管发井和接收井位于富水地层时，应对其进行加固，并在顶管机进出洞前采取隔离和降水结合的处理措施；

2 在砂性土、粉土等土层宜采用盘根止水；在粘性土土层宜采用橡胶板止水；在承压水土层中宜用组合形式止水；顶管结束后，管道与洞口的间隙应及时进行封堵；

3 当施工区域存在砂土液化地层时，应采用地面加固的方式进行处治，处治后待地表沉降趋于稳定后再开始施工，宜采用泥水平衡顶管机进行顶管施工。

5.5.11 顶管法施工区域存在有害气体时，应加强对有毒、有害气体的检测与防护。对于顶管施工过程中有毒有害气体的聚集区域，应通过合理设置通风装置来实现井下、管内的通风换气。并安排专人定时对管内气体进行检测，保障作业环境内拥有健康的气体环境。

5.5.12 顶管法施工区域存在冻土时，工程处治应符合下列规定：

1 在具有冻胀性的围岩内，应考虑围岩产生的冻胀效应对管节结构的施加压力，适当加强管节的结构强度设计。

2 针对冻土层，选择合适的工程材料，混凝土需有抗冻性要求，在满足其他条件前提下，严格控制其水灰比设计值。管片生产时控制混凝土最大水灰比限值；

3 管节材料设计时，宜增设使用引气剂；

4 优化隧道防水设计，宜增设防冻保温措施，减少渗漏水造成的冻害；

5 顶管施工过程中应进行同步注浆，管节拼装后及时进行二次注浆，回填管节后面的空洞，防止空洞内积水冻胀而产生冻胀力；

6 在顶管施工过程中，应充分保证管节的防水能力和抗渗能力，包括接缝处

及管节自身的防水。防止渗漏水冻胀对管节结构和管节防水产生破坏。

6 不良地质的处治方法

6.1 注浆

6.1.1 城市地下工程注浆设计和施工前，应进行详细的岩土工程勘察，查明周边环境、地下埋设物、地质构造、岩土性质、水文条件等，明确注浆目的和注浆标准，制定注浆施工方案。

6.1.2 注浆施工方案应包括工程概况、注浆范围、注浆前准备工作（劳动力、机械设备、材料）、注浆孔布置图、注浆孔布设参数表、注浆材料及配比、注浆施工方式及工艺、注浆参数和注浆结束标准、注浆效果检查方法及要求、进度安排、安全质量环境保证措施等内容。

6.1.3 注浆施工前应具备以下资料：

1 岩土工程勘察资料：

- 1) 场地地层结构、岩土物理力学性质、岩土的渗透性及腐蚀性；
- 2) 空洞、采空区及裂缝等的分布特征；
- 3) 场地附近水源分布情况及其补给关系。

2 建筑物地基及基础类型、平面图及荷载分布；

3 注浆场地和邻近区域内建筑物、构筑物、地下管线及地下设施等调查资料；

4 注浆施工图设计文件；

5 主要施工设备的技术性能资料；

6 注浆材料的质量检测报告。

6.1.4 应根据注浆目的、岩土体性质、水文地质条件、工程特点等综合确定注浆施工方法，注浆施工方式的选择应符合以下要求：

1 针对地下工程施工容易造成地表下沉、围岩失稳和坍塌、围岩大变形的地段，可选择采用地表注浆、洞内超前注浆、围岩径向注浆、旋喷桩等注浆加固方式；

2 针对地下工作面前方发现水体，可能出现涌水时，可根据前方围岩地质条件、水文地质图条件、施工条件等，可选择采用超前全断面帷幕注浆、超前周边注浆和超前局部注浆等注浆堵水方式；

3 对于开挖后周边围岩出现涌水、股状水、大面积渗水时，可根据围岩条件、地下水类型、地下水性质、补给条件、水量、水压及对工程的影响程度等，可选择采用全断面径向注浆、局部径向注浆和径向点注浆等注浆堵水方式；

4 超前注浆作业面与注浆加固（堵水）段之间应有足够的地层安全防护厚度，当围岩强度、稳定性不能满足注浆施工要求时，应设止浆墙。

6.1.5 对于无注浆经验的地层和特殊工程，注浆施工前应在地表代表性地段进行注浆试验，当试验效果不能满足工程需要时，应及时调整注浆方案。

6.1.6 注浆材料应根据工程地质条件、水文地质条件、注浆目的、注浆工艺、设备和成本等因素确定，宜选取普通硅酸盐水泥、超细水泥、硫铝酸盐水泥、水玻璃等常用注浆材料，严禁使用有毒、污染性强的化学浆液。

6.1.7 注浆范围、注浆工艺、浆液配比、注浆段落长度、注浆压力应根据工程性质、工程所处地质条件、注浆目的和标准、施工环境等因素综合确定。

6.1.8 注浆设备应满足下列要求：

1 成孔设备选型应根据注浆对象的工程特点与地质条件、注浆工艺所要求的孔深、孔径等条件确定；

2 浆液泵送设备选型应满足注浆工艺要求，具有调节流量、压力的功能，泵送浆液应能保持均匀稳定，泵压能力宜大于设计最大注浆压力的 1.5 倍；

3 浆液配制设备生产能力和注浆泵泵送能力应与设计要求的注浆速度相匹配，应能保证不间断供浆；

4 双液注浆泵混合器应有单向逆止功能，禁止使用三通代替；

5 输浆管应采用高压胶管，高压胶管和阀门能承受的压力应不低于注浆泵额定压力的 1.2 倍；

6 注浆孔口应设置压力表，压力表宜采用抗振型压力表，压力表量程应与高压胶管承压匹配；

7 注浆量计量仪表应有效、准确。

6.1.9 钻孔布设应避开城市地下埋设物，注浆孔数、布孔方式及钻孔角度应根据岩土体性质、地下水情况、注浆范围、设备能力、浆液有效扩散半径、钻孔偏斜率和对注浆效果的要求等综合确定。

6.1.10 注浆过程应做好钻孔注浆记录，记录每孔的钻孔情况、浆液材料及配比、

凝胶时间、注浆时间、注浆压力、浆液流量等，并记录注浆过程中发生的异常情况。

6.1.11 注浆后宜采用分析法、检查孔法、物探法等进行注浆质量检验，确保达到设计要求，否则应对注浆的薄弱部位重新打孔补充注浆。

6.2 回填

6.2.1 不良地质的回填处治应综合考虑工程类型、场地条件、地质水文条件、不良地质特征来选择回填材料和填方施工工艺。

6.2.2 回填料粘土含量不应大于 5%，并且不应使用淤泥、膨胀土以及有机质含量大于 5% 的土作填料。

6.2.3 填料应采用粒径不大于 800 的自然级配块石，其中粒径大于 500 的块石不宜大于总质量的 30%。

6.2.4 回填前宜对回填区域底部铺填块石粒径不小于 800 的大块石作为暗渗排水结构层，铺填厚度不宜小于 2m。

6.2.5 填方边坡高度较高时应采用分级放坡，每级平台宽度宜取 1m~2.5m，边坡坡率可通过稳定性分析计算确定，当缺少分析数据时，边坡坡率可取 1:1.25~1:2.25。

6.2.6 坡顶应设置截水沟，每级平台及坡脚应设置排水沟，坡顶、坡底汇集的水应集中排放。

6.2.7 不良地质回填应满足以下规定：

1 回填前应清除洼地原有植被层，且清除的植被层不应作为填料回填。回填前应在洼地内按设计要求做好暗渗排水结构层；

2 填料铺填应采用渐进式法；

3 填料应分层回填、分层处理，分层厚度可根据试验并结合当地工程经验确定，单次摊铺厚度不宜大于最大粒径的 1.5 倍；

4 分层填筑应堆填摊铺，不应抛填施工；

5 单次摊铺厚度不应大于 1.5m。

6.3 超前支护和地层加固

6.3.1 超前支护及围岩加固措施应由视围岩条件、涌水状况、施工工艺、环境要求、施工及结构、周边建 (构)筑物的安全要求确定。

6.3.2 超前支护锚杆可用于开挖临空后可能存在剥落或局部坍塌的软弱围岩及缓倾岩层地段。

6.3.3 超前支护小导管可用于自稳时间短的软弱破碎带或浅埋、偏压等地段。

6.3.4 超前支护管棚可用于洞口及洞身浅埋段、软弱围岩或断层破碎带、地表有重要建 (构) 筑物等地段。

6.3.5 隧道开挖掌子面自稳能力差时，宜采用水平旋喷、喷射混凝土封闭、锚杆加固、开挖工作面注浆等综合加固措施。

6.3.8 采用超前支护的不良地质区域，宜设置钢架作为超前锚杆、超前小导管、超前管棚等的尾端支点。

6.3.9 当对粉砂层进行超前支护时，应沿洞身纵向增加超前支护。

6.3.10 超前支护的工艺选择宜符合以下要求：

- 1 地下水较少的软弱破碎围岩的隧道工程宜采用超前锚杆或超前小导管支护；
- 2 围岩压力变化快、围岩变形大或对地表下沉有较严格限制要求的软弱破碎围岩隧道工程可采用管棚作为超前支护；
- 3 一般软弱破碎围岩、地下水丰富的松软围岩宜采用超前小导管注浆加固；
- 4 预注浆方法可根据支护设计需求应用在多种工况。

6.4 不良地质置换

6.4.1 不良地质置换应根据施工工艺、结构特点、荷载性质、场地土质条件、施工机械设备及填料性质和来源等进行置换设计和材料选择。

6.4.2 当采用抛石料进行不良地质置换时，应满足下列要求：

- 1 抛石料宜选择强度高、质地弱风化或新鲜、耐风化且具有良好抗水性的石料；
- 2 含泥砂量应小于 15%，且石块单重宜在 1kg~1000 kg之间，级配连续；

3 当缺乏石料时，经过论证也可使用其它替代材料。

6.4.2 不良地质置换法处治施工作业前，应完成下列准备工作：

- 1 掌握详细的岩土工程勘察资料、填筑材料、地下工程总体结构设计资料等；
- 2 结合工程实际情况，了解当地地基处理经验和施工条件；
- 3 调查邻近建筑、地下工程和有关管线等情况；
- 4 了解工程周边的其它环境情况。

6.4.3 不良地质置换可按以下要求进行选择：

- 1 更换土体：挖除旧土，更换新土。主要适用于小范围的软弱土；
- 2 冲击置换：利用振捣器进行冲击振捣，在振捣形成的空间内置换碎石料。

主要适用于松散沙土、粉土和人工填土；

3 夯实置换法：对不良地质进行夯击，然后置换块石、碎石。主要适用于粘性软弱土；

4 碎石桩置换：在软土中挖掘出柱体空间，填满碎石，形成碎石桩柱体。主要适用于软土地基；

5 石灰置换法：在不良土体中填入生石灰，生石灰吸水凝固膨胀，形成石灰体。主要适用于含水量高的人工填土或软土地基；

6 EPS 轻填法：用发泡聚苯乙烯（EPS）置换地基。主要适用于填方工程；

7 在盐渍土地区，针对仅 1m~5m 盐渍土，应将盐渍土层全部挖除。

7 处治措施监测及检测

7.1 处置监测

7.1.1 不良地质的处置后的明挖法工程监测应符合国家标准 GB50497 建筑基坑工程监测技术规范的要求。

7.1.2 不良地质的处置后的矿山法、盾构法、TBM 法和顶管法的工程监测应符合国家标准城市轨道交通工程测量规范 GB/T50308 的要求。

7.1.3 不良地质处置后的岩体应按照现场监控量测项目应满足表 7.1.3 的要求。

表 7.1.3 各类围岩监测项目

围岩条件	监测项目									
	A				B					
	洞内 外观 察	净空 变位	拱顶 下沉	地 表 下 沉	围岩 位移	锚杆 轴力	衬砌 应力	锚杆 拉拔	围岩 条件	洞内 弹性 波
硬岩（Ⅱ~Ⅳ）	◎	◎	◎	△	△	△	△	△	△	△
软岩（Ⅳ~Ⅴ）	◎	◎	◎	△	△	△	△	△	△	△
软岩（Ⅴ~Ⅵ）	◎	◎	◎	△	◎	◎	○	△	○	△
土沙	◎	◎	◎	◎	○	△	△	○	◎	△

注 ◎为必须进行项目；○为应进行项目；△为必要时进行项目。

7.1.4 不良地质处治宜根据工程类型、处治方法和水文地质条件综合采用洞内观察、净空变位监测、拱顶下沉监测、地表下沉监测、围岩位移监测、锚杆拉拔抗力量测、锚杆拉力量测、衬砌内力监测等检测方法。

7.2 检测

7.2.1 软岩处治后的检测应符合以下规定：

- 1 软岩处治后的检测宜采用综合物探、钻探、坑探相结合的综合勘探方法，查明处治后软岩地层的孔隙性、均匀性、软弱夹层及软岩基底的特征；
- 2 软岩勘探点应结合处治工程布置在轴线断面上，勘探深度应至软岩基床下稳定岩土层内不小于5m；
- 3 检测中应观测地下水位、注意岩土潮湿程度，地下水发育时做水文地质试验，并取样作水质分析，遇软弱夹层时应取样做物理力学试验；
- 4 软岩取原状土样困难时，可在现场开展原位测试工作。

7.2.2 软土处治后的检测应符合以下规定：

- 1 软土处治后的检测宜采用综合物探、钻探、坑探相结合的综合勘探方法，查明处治后软土地层的孔隙比、均匀性、软弱夹层及软土基底的特征；
- 2 软土勘探点应结合处治工程布置在轴线断面上，勘探深度应至软土层以下不小于5m；

3 检测中应观测地下水位、注意软土潮湿程度，地下水发育时做水文地质试验，并取样作水质分析,遇软弱夹层时应取样做物理力学试验；

4 软土取原状土样困难时，可采用标准贯入试验、静力触探、剪切波速测试等方法。

7.2.3 填土处治后的检测应符合以下规定：

1 填土处治后的检测宜采用综合物探、钻探、坑探相结合的综合勘探方法，查明处治后填土地层的孔隙比、均匀性、软弱夹层及填土基底的特征；

2 填土勘探点应结合处治工程布置在轴线断面上，勘探深度应至填土层以下不小于5m；

3 检测中应观测地下水位、注意填土潮湿程度，地下水发育时做水文地质试验，并取样作水质分析,遇软弱夹层时应取样做物理力学试验；

4 填土取原状土样困难时，可采用标准贯入试验、静力触探、剪切波速测试等方法。

7.2.4 湿陷性黄土处治后的检测应符合以下规定：

1 湿陷性黄土处治后的检测宜采用综合物探、钻探、坑探相结合的综合勘探方法,查明处治后湿陷性黄土地层的孔隙比、均匀性、软弱夹层及湿陷性黄土基底的特征；

2 湿陷性黄土勘探点应结合处治工程布置在轴线断面上，勘探深度应至湿陷性黄土层以下不小于5m；

3 检测中应观测地下水位、注意湿陷性黄土潮湿程度，地下水发育时做水文地质试验，并取样作水质分析,遇软弱夹层时应取样做物理力学试验；

4 湿陷性黄土取原状土样困难时，可采用标准贯入试验、静力触探、剪切波速测试等方法。

7.2.5 膨胀地层处治后的检测应符合以下规定：

1 膨胀地层处治后的检测宜采用综合物探、钻探、坑探相结合的综合勘探方法,查明处治后膨胀地层的孔隙比、均匀性、软弱夹层及膨胀地层基底的特征；

2 膨胀地层勘探点应结合处治工程布置在轴线断面上，勘探深度应至膨胀地层以下不小于5m；

3 检测中应观测地下水位、注意膨胀地层的潮湿程度，地下水发育时做水文

地质试验，并取样作水质分析,遇软弱夹层时应取样做物理力学试验；

4 膨胀地层取原状土样困难时，可采用标准贯入试验、静力触探、剪切波速测试等方法。

7.2.6 盐渍土处治后的检测应符合以下规定：

1 盐渍土处治后的检测宜采用综合物探、钻探、坑探相结合的综合勘探方法，查明处治后盐渍土的孔隙比、均匀性、软弱夹层及盐渍土基底的特征；

2 盐渍土勘探点应结合处治工程布置在轴线断面上，勘探深度应至盐渍土以下不小于5m；

3 检测中应观测地下水位、注意盐渍土的潮湿程度，地下水发育时做水文地质试验，并取样作水质分析,遇软弱夹层时应取样做物理力学试验。

7.2.7 断层破裂带处治后的检测应符合以下规定：

1 断层破裂带处治后的检测应查明断层破裂带处治的范围和厚度，以及胶结程度及含水情况等；

2 断层破裂带宜采用地球化学、地球物理、钻探等手段确定处治后的断层特征；裸露活动断层宜采用垂直断裂带走向布置探槽的方式确定断层的特征。

7.2.8 岩溶地层处治后的检测应符合以下规定：

1 岩溶地层处治后的检测应主要采用物探与钻探相结合的综合勘探方法进行；

2 岩溶地层处治后应查明处治后的覆盖层厚度、可溶岩顶、底板空间位置、未完全处理的溶蚀破碎带、岩溶洞穴、土洞分布及充填情况、充填物性质；

3 岩溶富水区范围及空间分布，暗河平面位置及高程，水位及波动规律，地下水流向、流速；

4 深基坑、矿山法、盾构法、TBM法和顶管法等工程，应结合工程需要进行水文地质试验；

5 覆盖层土样应做物理力学性质、膨胀性、渗透性试验,必要时进行矿物与化学成分分析；

6 溶洞处治区域应做物理力学性质试验，应阐明处治施工过程和范围；

7 岩溶发育且存在隐伏洞穴的岩溶地层处治后，应在主发育方向时应进行洞穴连通试验；水文地质条件复杂的隧道应进行水文地质动态观测；岩溶地面塌陷

严重地段处治过程中还宜进行地面变形和塌陷监测、地表水和地下水水位的监测。

7.2.9 地裂缝处治后的检测应符合以下规定：

1 地裂缝处治后的检测应查明地裂缝处治的范围和厚度，以及胶结程度及含水情况等；

2 地裂缝宜采用地球化学、地球物理、钻探等手段确定处治后的断层特征；裸露活动断层宜采用垂直断裂带走向布置探槽的方式确定断层的特征。

7.2.10 采空区处治后的检测应符合以下规定：

1 采空区处治后的检测宜以收集与沉降有关的资料为主，必要时可采用钻探、物探和水文地质试验进行检测；

2 检测应查明采空区处治后的地层层序、厚度、变形层位的分布、处治层承压性，各含水层之间的或与地表水之间的水力联系；

3 采空区处治后宜对地面沉降进行长期观测，按不同的地面沉降结构单元体设置高程基准标、地面沉降标和分层沉降标，按Ⅱ等水准测量的规定进行精密水准测量。

7.3.11 富水地层处治后的检测应符合以下规定：

1 富水地层处治后的检测宜采用物探、钻探、坑探与原位测试相结合的综合勘探方法；

2 富水地层的处治后检测应进行稳定性检算和地下工程的需要进行分层取样，测试岩土的物理力学性质和水理性质，水下工程基础为软质岩层时应进行崩解试验、抗压强度试验或旁压试验等；

7.3.12 有害气体处治后的检测应符合以下规定：

1 有害气体处治后的检测宜以钻探为主，结合物探测井、现场测试和室内试验，查明有害气体处治后的气体含量、压力及涌出量；

2 有害气体处治后应检测有害气体含气量、气体浓度、气体压力、有害气体物理化学性质、处治后顶、底板物理力学性质；

7.3 评估

7.3.1 软岩处治后的评估应符合以下规定：

1 软岩处治评价应包括自身的稳定性及其在明挖法、矿山法、盾构法、TBM

法和顶管法等施工过程中对周边环境的稳定性；

2 岩体的稳定性评价应包括处治后软岩体沿地面或软弱夹层变形失稳的可能性，岩石成分、岩块大小与均匀性、岩块结构的密实程度及不均匀下沉量，地下水对岩体稳定性的影响。

7.3.2 软土处治后的评估应符合以下规定：

1 软土处治评价应包括自身的稳定性及其在明挖法、矿山法、盾构法、TBM法和顶管法等施工过程中对周边环境的稳定性；

2 岩土体的稳定性评价应包括处治后软土体沿地面或软弱夹层变形失稳的可能性，处治后的软土成分、密实程度及不均匀下沉量，地下水对岩土稳定性的影响。

7.3.3 填土处治后的评估应符合以下规定：

1 填土处治评价应包括自身的稳定性及其在明挖法、矿山法、盾构法、TBM法和顶管法等施工过程中对周边环境的稳定性；

2 岩土体的稳定性评价应包括处治后填土体沿地面或软弱夹层变形失稳的可能性，处治后的填土成分、密实程度及不均匀下沉量，地下水对岩土稳定性的影响。

7.3.4 湿陷性黄土处治后的评估应符合以下规定：

1 湿陷性黄土处治评价应包括自身的稳定性及其在明挖法、矿山法、盾构法、TBM法和顶管法等施工过程中对周边环境的稳定性；

2 岩土体的稳定性评价应包括处治后湿陷性黄土体沿地面或软弱夹层变形失稳的可能性，处治后的湿陷性黄土成分、密实程度及不均匀下沉量，地下水对岩土稳定性的影响。

7.3.5 膨胀地层处治后的评估应符合以下规定：

1 膨胀地层处治评价应包括自身的稳定性及其在明挖法、矿山法、盾构法、TBM法和顶管法等施工过程中对周边环境的稳定性；

2 岩土体的稳定性评价应包括处治后膨胀地层体沿地面或软弱夹层变形失稳的可能性，处治后的膨胀地层成分、密实程度及不均匀下沉量，地下水对岩土稳定性的影响。

7.3.6 盐渍土处治后的评估应符合以下规定：

1 盐渍土处治评价应包括自身的稳定性及其在明挖法、矿山法、盾构法、TBM法和顶管法等施工过程中对周边环境的稳定性；

2 岩土的稳定性的评价应包括处治后盐渍土体沿地面或软弱夹层变形失稳的可能性，处治后的盐渍土成分、密实程度及不均匀下沉量，地下水对岩土稳定性的影响。

7.3.7 断层破裂带处治后的评估应包括自身的稳定性及其在明挖法、矿山法、盾构法、TBM法和顶管法等施工过程中对周边环境的稳定性。

7.3.8 岩溶地层处治后的评估应符合以下规定：

1 岩溶地层处治评价应根据处治方法、原土层性质、厚度、结构，岩溶发育程度、洞穴充填情况，地下水位及波动情况、地下水开采情况及影响范围等主要因素进行综合评价；

2 深基坑、矿山法、盾构法、TBM法和顶管法等工程应评价处治后的稳定性与塌陷风险。

7.3.9 地裂缝处治后的评估应包括自身的稳定性及其在明挖法、矿山法、盾构法、TBM法和顶管法等施工过程中对周边环境的稳定性；

7.3.10 采空区处治后的评估应包括沉陷区的岩性、处治工法和厚度，处治后硬土层和软弱压缩层的分布，主要可压缩层和含水层的变形特征、第四纪含水层的水文地质特征。

7.3.11 富水地层处治后的评估应包括处治后地层的物理、水理、力学性质，工程荷载及其他人类作用对地层的稳定影响。

7.3.12 有害气体处治后的评估应包括有害气体对施工及运营的影响、处治后有害气体含量和压力等进行综合评价、对明挖法、矿山法、盾构法、TBM法和顶管法等施工的危险性预测。

本文件用词说明

1 为便于在执行本文件条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

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”；

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”；

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

- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025
- 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003
- 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 《建筑材料放射性核素限量》GB 6566
- 《混凝土外加剂》GB 8076
- 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》GB/T 20491
- 《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176
- 《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690
- 《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》GB/T 35164
- 《建筑消石灰》JC/T 481
- 《预拌砂浆用保水剂》JC/T 2389
- 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《砌筑砂浆增塑剂》JG/T 16
- 《抹灰砂浆增塑剂》JG/T 426
- 《混凝土用复合合料》JG/T 486

中国市政工程协会团体标准

《城市地下工程施工不良地质处治技术 指南》

条文说明

目 录

1	总则.....	53
2	术语和符号.....	54
4	不良地质分类和分级.....	55
4.2	软岩.....	55
4.4	填土.....	56
4.5	湿陷性黄土.....	57
4.6	膨胀地层.....	57
4.7	盐渍土.....	57
4.8	断层破裂带.....	58
4.9	岩溶.....	59
4.10	地裂缝.....	60
4.11	采空区.....	60
4.12	富水地层.....	60
4.13	有害气体.....	61
4.14	冻土.....	61
4.15	高地温.....	61
5	地下工程的处治要求.....	62
5.1	明挖法.....	62
5.2	矿山法.....	66
5.3	盾构法.....	71
5.4	TBM 法.....	77
5.5	顶管法.....	78
6	不良地质的处治方法.....	81
6.1	注浆.....	81
6.2	回填.....	81
6.3	超前支护和加固.....	81
7	处治措施监测及检测.....	83
7.2	监测内容及方法.....	83

1 总则

1.0.1 本文件提供了地下工程施工不良地质的分类和分级、处治方法、处治要求、处治措施监测及检测，针对不良地质条件的地下工程制定科学、有效的处治技术实施体系，提高不良地质处治水平，保证地下工程质量和施工安全。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1~2.1.9 编列了本文件引用的术语，术语参照了《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012、《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012、《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB50086-2015、《公路路堑边坡超前支护设计规范》DB61/T 973-2015、《地下工程防水技术规范》GB50108-2008、《隧道工程防水技术规范》CECS 370-2014、《公路隧道施工技术细则》JTG/T D70-2010、《高速铁路隧道工程施工技术规程》Q/CR 9604-2015、《铁路隧道工程施工技术指南》TZ204-2008等相关规范规程的定义。

4 不良地质分类和分级

4.2 软岩

4.2.1 软岩是一种特定环境下的具有显著塑性变形的复杂岩石介质，可分为地质软岩和工程软岩两大类。地质软岩指强度低、孔隙度大、胶结程度低、受构造面切割及风化影响显著或含有大量膨胀性黏土矿物的松、散、软、弱岩层，该类岩石多为泥岩、页岩、粉砂岩和泥质砂岩，是天然形成的复杂的地质介质；工程软岩是指在工程力作用下能产生显著塑性变形的工程岩体。工程软岩强调软岩所承受的工程力荷载的大小，强调从软岩的强度和工程力荷载的对立统一关系中分析、把握软岩的相对性实质。当工程荷载相对于地质软岩（如泥页岩等）的强度足够小时，地质软岩不产生软岩显著塑性变形力学特征，即不作为工程软岩，只有在工程力作用下发生了显著变形的地质软岩，才作为工程软岩；在大深度、高应力作用下部分地质硬岩（如泥质胶结砂岩等）也呈现了显著变形特征，则应视其为工程软岩。

4.2.3 膨胀型软岩常导致隧道底鼓。

4.3 软土

软土广泛分布在沿海、长江黄河等中下游平原及五大湖泊周边等区域。在长三角和珠三角地区的较多海相和湖相沉积的土层的物理性质较差的软土地层，地下水水位埋深较浅，地下水由浅部土层中的潜水、砂性土中的微承压水及深部粉（砂）性土层中的承压水组成，软土具有如下特性：

1 天然含水量大。软土液限一般在 40%~60%，天然含水量大于 35%，饱和度大于 95%。软土的天然含水量虽然大于液限，呈软塑或半流塑状态，但只要不被破坏扰动，仍可处于软塑状态，而一经扰动，土的结构受到破坏，将立即变成流塑状态；

2 孔隙比大。软土的孔隙比大于 1.0，一般介于 1.0~2.0 之间，最大可超过 2.0，山区的软土更大；

3 透水性差。软土的含水量虽然很高，但透水性能很差，特别是垂直向透水性更差，垂直向渗透系数一般在 $1 \times (10^{-6} \sim 10^{-8}) \text{ cm/s}$ 之间，属微透水或不

透水层；

4 高压缩性。软土属高压缩性土，压缩系数 a_{1-2} ，一般大于 0.5MPa^{-1} ，且其压缩变形大部分发生在垂直压力为 0.1MPa 左右时；

5 触变性。软土经扰动由可塑状态转变为流动（流塑）状态的特性称为触变性。软土一经扰动，其强度降低；

6 流变性。软土在荷载长期作用下，压缩变形有随时间延长而增长的特性叫流变性。一般流变速度很小，每年只移动几厘米，但持续时间很长，有的持续达数十年。在剪切力作用下，土体长期出现缓慢的剪切变形，这对建筑物地基的沉降有较大影响；

7 不均匀性。由于沉积环境的变化，土质均匀性差。例如三角洲相、河漫滩相软土常夹有粉土或粉砂薄层，具有明显的微层理构造，水平向渗透性常好于垂直向渗透性。湖泊相、沼泽相软土常在淤泥或淤泥质土层中夹有厚度不等的泥炭或泥炭质土薄层或透镜体，极易产生不均匀沉降；

8 抗剪强度低。软土的抗剪强度很低。不排水剪切时，内摩擦角 φ 为 0 ，黏聚力一般小于 20kPa ，排水固结条件下， φ 为 $10\sim 15^\circ$ ， c 为 20kPa 左右。当然抗剪强度的大小与施加荷载的速度和排水固结条件有关。

4.3.1 本条参考《岩土工程勘察规范》GB50021-2001。

4.3.2 软土的工程性质特点是高压缩性，低强度，高灵敏度和低透水性。在较大的地震力作用下易出现震陷，表 4.3.2 参考《公路工程地质勘察规范》JTGC20-2011。

4.4 填土

填土通常指人类活动过程中随机堆填而成的无序堆积体，因其特殊的成因，具有不均匀、欠固结、湿陷、松散等特性，是地下工程施工的常见的风险因素之一。

4.4.1 本条参考《公路工程地质勘察规范》JTGC20-2011。

4.4.2 本条参考《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 和《公路工程地质勘察规范》JTGC20-2011。

4.5 湿陷性黄土

湿陷性黄土是指在一定压力下受水浸湿，土体结构迅速破坏，并产生显著附加下沉的黄土。湿陷性黄土是一种非饱和的欠压密土，在上覆土层自重应力作用下，或者在自重应力和附加应力共同作用下，浸水后湿陷性黄土的结构破坏发生显著附加变形。湿陷性黄土的无水情况下强度较高，能保持很好的直立性，但遇水后强度迅速降低，会发生局部坍塌。

4.5.1 本条参考《公路工程地质勘察规范》JTGC20-2011。

4.5.2 本条参考《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025-2018。

4.5.3 湿陷性黄土分为自重湿陷性黄土和非自重湿陷性黄土。

1 自重湿陷性黄土是指 P_s 小于上覆土的饱和自重时，该土层在上覆土层自重压力的作用下受水即刻发生湿陷，称为自重湿陷性黄土。

2 非自重湿陷性黄土 P_s 大于上覆土的饱和自重，则土层在上覆土自重压力作用下，并不发生湿陷，称为非自重湿陷性黄土。

自重湿陷性黄土的分类参考《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025-2018 的分类规定。

4.6 膨胀地层

本节参考《膨胀土地区建筑技术规范》GBJ112。

膨胀地层随环境的干湿变化，会出现吸水显著膨胀、软化、崩解和失水急剧收缩、开裂、硬结现象，并能产生往复胀缩变形的黏性土。

红黏土是碳酸盐岩的风化物，经红土化作用后形成富含铁铝氧化物，黏土矿物以伊利石、蒙脱石为主的褐红、棕红色黏性土，且具有遇水软化、失水收缩强烈、裂隙发育、易剥落、压缩性较低、液限和强度较高等工程地质特征时，红黏土多存在膨胀性。

4.7 盐渍土

本节参考《盐渍土地区建筑技术规范》GB/T 50942-2014。

盐渍土是盐土和碱土以及各种盐化、碱化土壤的总称。盐渍土具有特殊的工

程特性，当盐渍地中的地基含水率较高时，易于融化的盐类则就会呈现液态，土体性质发生变化，土体的强度会大大降低，从而影响到地下工程的稳定性，盐渍土具有如下特征：

1 盐胀性，硫酸盐类盐渍土包括氯-硫酸盐渍土和硫酸盐渍土。硫酸盐渍土具有一定的盐胀性，比如在环境温度或者湿度发生变化时，盐渍土的体积发生膨胀，有可能对地下工程或地下构筑物产生极大的危害，一般认为当硫酸盐渍土路基的含盐量在 2%左右时，膨胀较小，不影响土体的密度，如果超过这个数值，其膨胀程度大大增加；

2 溶陷性，盐渍土遇水之后会产生比较严重的溶陷性。盐渍土中的钠、钾、镁盐都属于易溶盐类，其在干燥条件下的特点为强度高，压缩性小，但遇水溶解后，盐渍土的物理力学强度会有显著下降，这时就会发生溶陷现象。溶陷量的多少主要取决于盐渍土中易溶盐的性质、分布形态及其含量，还与盐渍土的性质，结构状态，土层厚度有关，以及浸水量、浸水方式和浸水时间；如果进水时间长、进水量大，盐渍土中的固体颗粒很有可能会被水流带走而发生潜蚀溶陷；

3 腐蚀性，盐渍土中的盐溶液会导致地下工程材料发生物理腐蚀和化学腐蚀。在温度变化较大或者干湿交替的地方，易发生物理腐蚀，产生结晶之后，结晶具有较大的内应力，使得地下构筑物由内而外逐渐失稳；

4 氯盐对盐渍土夯实性和压缩性影响，氯盐在盐渍土中的存在会使得土的细粒分散从而引起部分的脱水作用，从而使得土中的最佳含水量降低，同时由于氯酸盐自身具有较强的保湿性和吸湿性，可使其土体中的水量保持在最佳含水量的附近，并在经过反复的冲击过程后得到进一步夯实，对于干旱地区的地下工程施工有极大的优势，但同时它也要求在填土中不得有盐结晶的存在。

4.8 断层破裂带

断裂带亦称“断层带”，是由主断层面及其两侧破碎岩块以及若干次级断层或破裂面组成的地带，是岩体中最软弱地带，地质灾害高度集中，是极易发生造价、工期、质量三失控地带。断裂带内岩体破碎，稳定性差，很可能诱发次生地质灾害，断裂带具有如下特征：

1. 活动性：活动断裂带是地表表层薄弱地带，直接影响到地下工程施工场地

的整体稳定性，若有新的地壳运动发生，往往会产生新的位移，危及地下工程整体结构的安全；

2. 破碎性：断裂构造降低了岩体的强度及稳定性，断层破碎带力学强度低，压缩性增大，会发生较大沉陷，易造成地下工程结构断裂或倾斜，断裂面是极不稳定的滑移面，对基坑边坡稳定、隧道围岩稳定常有重要影响；

3. 不均匀性：断裂带上、下两盘的岩性往往不同，接触带岩层的整体性、岩性均一性极差，顶管、盾构和 TBM 掘进时易造成刀盘偏磨严重等事故；

4. 富水性：断裂构造带不仅使岩体破碎，而且断裂构造破碎带常为地下水良好的通道，地下工程通过断裂破碎带地段，易发生坍塌、甚至冒顶；基坑开挖易产生突涌，若持续降水又易造成管涌、土体流失、围护桩身前倾，基坑周边地面下沉，房屋开裂等事故。

4.9 岩溶

岩溶常有溶洞、土洞、溶沟、溶槽、溶隙、竖井、落水洞、暗河及岩溶塌陷区伴生，岩溶发育程度及充填情况、覆盖层厚度等差异较大，富水性较强且含水极不均匀。

岩溶地层的地下空洞使得地下工程施工面临很大的安全问题，人员与机械设备均可能掉入地下空洞受到伤害。地下空洞的存在还会引起岩层移曲，形成地表阶梯状、漏斗状塌陷坑等，具有隐伏性强、空间分布特征规律性差、地下空洞顶板冒落塌陷情况难头预测等特点。

岩溶水是赋存于可溶岩地层中的裂隙、溶隙、溶洞及暗河管道水，对地下工程影响较大的为溶洞及暗河管道水。当隧道揭示或与富水溶腔间岩盘厚度不足时，易发生突水灾害。当隧道下穿洼地、槽谷、落水洞等岩溶负地形时，由于地表汇水集中灌入式补给，地下水水量大，容易排水不畅形成局部高水压，从而诱发突涌水灾害。

4.9.1 岩溶分类参考《公路岩溶隧道设计与施工技术规范》JTG/T3373-2024。

充填型溶洞指溶洞内有充填物充填的溶洞，充填物有黏性土（称充填黏土型溶洞）、淤泥（称充填淤泥型溶洞）、粉细砂（称充填粉细砂型溶洞）、块石土（称充填块石土型溶洞）、黏土及砂砾石（称充填泥砾石型溶洞）、水（称充

水型溶洞)等。半充填型溶洞指溶洞内既有部分充填物,又有一部分空腔的溶洞。无充填型溶洞指溶洞内无充填物的空溶洞。

4.9.2 本条参考《公路岩溶隧道设计与施工技术规范》JTG/T3373-2024。

4.10 地裂缝

本节参考《地裂缝地质灾害监测规范》T/CAGHP 008-2018。

地裂缝变形带的物理力学性质相对较差,主要是由于变形带内裂缝及裂隙增多,并使地表水下渗所致。一般情况下,地表 10m 以下变形带土体裂缝趋于闭合,同时受地表水影响减弱,从而使变形带内外岩土物理力学性质差异变小。变形带附近土层较差的物理力学性质给地下工程施工带来较大的困难。

4.11 采空区

本节参考《采空区公路设计与施工技术规范》JTG/T3331-03-2024。

4.11.1 采空区可引起建筑物倾斜,引起地基破坏而失稳,滨海城市会造成海水倒灌,给城市生产和生活造成很大的影响。

4.11.3 线路通过可能发生采空区时,应预测发生的可能性,分析对工程可能造成的影响,提出预防和控制的建议。

4.12 富水地层

4.12.1 根据地下水的形成条件和赋存特征,将地下水类型可分为:松散岩类孔隙水、基岩裂隙水两大类型。其中松散岩类孔隙水依其含水介质水力特征又可分为孔隙潜水和孔隙承压水两个亚类;基岩裂隙水根据岩组特征和裂隙差异分为层状岩类裂隙水和块状岩类裂隙水两个亚类。鉴于考虑分层开采,多层承压水则根据换算后的分层涌水量的迭加值作为评价富水性的评价指标。基岩裂隙水由于受岩性组合特征、断裂构造性质、裂隙发育程度、岩石风化破碎以及埋藏条件等诸多因素影响,含水层厚度变化大,富水性相对不均一。目前仅在基岩区进行过枯季测流以及泉水调查,采用溪沟枯季地下迳流模数和泉的天然流量作为评价富水性的主要指标。

4.12.2 本条参考《水文地质调查与评价》。

4.13 有害气体

本节参考《煤矿安全规程》（2024）。

有害气体中对地下工程施工影响较大的主要为浅层气，浅层气是地下空间开发所可能遇到的地质灾害之一。

4.13.1 如垃圾填埋，化工厂排出的有害气体，工程爆破和工程机械工作、矿物燃烧、航空航天推进器燃料燃烧排出的气体；

4.14 冻土

本部分参考《冻土工程地质勘察规范》GB50324-2001。

4.15 高地温

4.15.1 本条参考《铁路工程地质勘察规范》TB T 10403-2004。

4.15.2 本条参考《铁路工程不良地质勘察规程》TB 10027-2022。

5 地下工程的处治要求

5.1 明挖法

明挖法通常分为无支护放坡开挖和基坑支护开挖两种形式。放坡开挖的优点是不必设置支护结构,而且主体结构施工时场地较大,便于施工布置;缺点是开挖工程量相对较大,而且占用场地大,适合在旷野采用明挖法修建的地下工程。在场地受限的情况下,如地下工程施工,常采用基坑支护开挖方法。通常,为保证基坑侧壁稳定及邻近建筑物的安全,需采取基坑侧壁的支护加固措施,即设置基坑支护结构,包括支护桩墙、支撑系统、围檩、防渗帷幕、土钉及锚杆等。基坑支护结构安全与否不仅直接关系到所建工程的成败,而且关系到邻近已建工程的安危。

明挖法的应用与许多因素相关,如建筑周边的环境条件,工程地质、水文地质条件,结构物的埋深及技术经济指标等。因此,选用明挖法修建各种地下工程时,应全面、综合考虑各种因素。

1 浅埋地下工程施工。常见的浅埋地下工程主要有地铁车站、地铁行车通道、城市地下人行通道、地下综合管网工程等。这些浅埋工程的覆土厚度(埋入土中的深度)多为5~10m,一般都采用明挖法施工。在某些情况下有的深达10多m甚至20多m的地下工程,也可采用明挖法施工。但是。明挖法施工明显受结构埋深的制约。当埋深较大时,由于施工技术难度大,同时往往因开挖和回填工程量很大,工程费用有可能比暗挖法高,此时从技术经济角度考虑,选用明挖法就不适宜了。

2 平面尺寸较大的地下工程。某些地下工程埋深不大,但平面尺寸很大,如一些城市的地下广场、大规模地铁车站、地下商场等,其内部结构也多采用一般的梁板结构,这类工程适宜采用明挖法施工。对于这类大平面尺寸的地下工程,明挖法施工时通常采用分部开挖法或沟槽开挖法。先在周边开挖至设计标高,建造好外围结构,然后开挖中间部分,再进行内部结构施工及顶板施工和覆土回填。

3 基坑工程。基坑工程是许多工程建设的辅助工程,并且基坑工程也只能采用明挖法施工。

4 其他工程。与高层建筑深基坑工程类似有些工程在施工中也需要深基坑作为施工辅助工程，如桥梁工程中的锚碇基坑工程，需要将锚碇板埋置于很深的土层中，这就需要开挖深基坑。此外，盾构法和顶管法施工的施工井也采用自地面垂直向下开挖的明挖法进行修建。

5.1.1 软土具有流动性、高压缩性，力学性质差，稳定性差，明挖法施工时易发生基坑边坡及围护结构失稳。此外，软土力学性质差，强度较低，作为天然地基或地基处理施工不到位时，明挖法施工过程中易产生不均匀沉降、倾斜等风险。

5.1.2 填土结构松散，成分复杂，均匀性、密实性差，强度较低，具有湿陷性，浸水后易发生湿陷破坏，明挖法施工时易使基坑边坡及围护结构失稳。此外填土力学性质差异大，均匀性差，强度较低，明挖法施工过程中易产生不均沉降。当填土内上层滞水较发育，易产生桩间土渗漏、桩间土流失。

5.1.3 明挖法施工中处理湿陷性黄土时可选用的处理方法相对较多，应根据建筑物的类别和湿陷性黄土的特性，并考虑施工设备、施工进度、材料来源和当地环境等因素，经技术经济综合分析比较后选择地基处理方法。放坡开挖过程中对已揭露的湿陷性黄土挂网喷护，对已湿陷的黄土地层封堵回填，必要时分层挂网进行回填；对于厚度较大、范围较广的湿陷性黄土地层提前进行注浆加固。

5.1.4 设计中应考虑到在膨胀岩土层性质变化差异较大的地段及施工期间受强降雨或暴雨等因素引起地下水陡增对施工产生影响，在地下工程施工中应注意膨胀岩土的膨胀力对结构产生不利影响，并采取相应的应对措施。土体膨胀时有易造成支护结构过量变形，预留变形量应加大，同时须考虑支护加强措施以及施作空间。

5.1.5

1 盐渍土对地下工程的影响主要体现在其溶陷性、盐胀性、腐蚀性。

2 当地下构筑物的围土遭遇水的侵蚀时，会引起土体中盐类溶解产生额外的沉陷，导致地基基础强度丧失，承载力下降，地基土沉陷。

3 当温度或含水量变化引时，易引起盐渍土发生盐胀，导致盐渍土体积增大。另外，盐渍土一般多含硫酸盐及氯盐，可能对钢筋混凝土中的钢筋产生较强的腐蚀性。

5.1.6 断裂带对明挖法施工和地下构筑物可能存在如下的影响：1) 断裂带力学强

度低，稳定性差，易引起基坑边坡垮塌；2)断裂带常为地下水良好的通道，基坑开挖易产生突涌；3)断裂带位置持续降水易造成管涌、土体流失、基坑周边地面下沉房屋开裂等风险；4)断裂带位置降水或者止水效果不佳，会出现基坑侧壁渗水，严重时会导致桩间土流失、桩间护壁面层脱落，桩(墙)背后形成空洞，甚至引起地面沉降或塌陷；5)饱和砂土在地震作用下易产生液化，易产生涌水涌砂，地面沉降严重造成边坡及基坑失稳风险。

由于活动断裂带的土体、岩体裂隙多、工程性质相对较差，施工时可能会造成基坑坑壁坍塌，也可能出现沿裂缝带的集中渗水现象；基底还可能出现不均匀沉降。

5.1.7 明挖法施工区域存在岩溶地层时，存在如下风险：

1 明挖基坑围护结构施工可能发生卡钻、漏浆、埋钻的风险，以及岩面起伏造成围护结构施工和质量把控困难、造成工期长、接缝渗漏、墙底不能完全满足嵌固深度的风险；

2 明挖基坑开挖过程中，可能发生突水、涌泥、涌砂、机械陷落、地基承载力不足、地基不稳定等风险；

3 明挖基坑开挖过程中，可能出现基坑及周围地面坍塌、管线破裂、建(构)筑物损坏等风险，抽排的同时注意观测水位的变化，若水位变化较快，则表明该溶洞内的水不具备连通性，此时将溶洞内的岩溶水抽排干净之后，以全空溶洞的处理方式进行处理；若抽水过程中水位变化较慢或不变化，则表明该溶洞内的岩溶水与地下其他水系具有水力联系（但在无干扰时不具备流动性），此时应立即停止抽排，并扩大探孔的范围。

5.1.8 明挖法施工区域存在地裂缝时，存在如下风险：

1 地裂缝段由于工程性质较差，施工扰动后容易发生坍塌；

2 地裂缝段土体破碎，具有孔隙大、不均匀等特点，如果降水或者止水效果不佳，会出现基坑侧壁渗水。严重时会导致桩间土流失、间护壁面层脱落，桩(墙)背后形成空洞，甚至引起地面沉降或坍塌；

3 由地下水的大量开采引发的地裂缝活动频繁，会造成地裂缝上、下盘出现不均匀沉降，容易造成地下工程结构开裂，防水失效；

4 采用防水措施或地基处理措施，避免水浸入地裂缝；

5 进行优化设计考虑地裂缝破碎带土体的性质差异；

6 变形缝防水由外侧全包的“且”形止水带和内侧“U”形止水带形成第一道和第二道封闭的止水带，同时在变形缝两侧预埋多次性注浆管，用以对以后产生变形形成的空隙进行注浆填充。

5.1.9 明挖法施工区域存在沉陷区时，存在如下风险：

1 沉陷区为抽汲地下水或水压下降引起的大面积地面沉降时，可能产生地面塌陷风险；

2 抽汲地下水易引起水位地质条件变化，劣化工程地质条件；

3 沉陷区的地面沉降易造成周边建构筑物开裂、基坑坍塌。

5.1.10 高地应力易引起岩爆、软岩大变形等工程地质问题，对明挖法影响较小。

5.1.11 明挖法施工区域存在富水地层时，存在如下风险：1)围护结构施工的振动，易对砂土产生扰动，进一步加剧液化风险 2)基坑开挖过程中，易产生渗流，造成基坑边坡及围护结构失稳，在动水压力作用下，基底易产生突涌的风险。处治之前应针对探明的断裂带分布和地层富水情况，设计切实可行的超前地层加固措施，并确保开挖安全。

当明挖法出现突涌时，应按以下规定进行处治：

1 具备条件时应尽可能切断坑内外承压水层的水力联系，隔断承压含水层；

2 基坑内局部深坑部位应采用水泥土搅拌桩或旋喷桩加固，并保证其施工质量；

3 通过计算确定减压降水井布置数量与滤头埋置深度，并通过抽水试验加以验证；

4 坑内承压水位观测井应单独设置，并连续观测、记录水头标高；

5 在开挖过程中应采取保护措施，确保减压降水井的完好性；

6 按预定开挖深度及时开启减压降水井，并确保双电源供电系统的有效性。

5.1.12 明挖法施工区域存在有害气体时，存在如下风险：

1 有害气体受含量及开挖空间密闭性影响，可能产生现场作业人员窒息等影响，现场若遇火源，甚至易产生燃烧和爆炸风险；

2 有害气体的排放，易改变岩土层三相组成，产生压缩变形，造成基坑结构失稳。

有害气体处治的设计应充分考虑环境保护和工程安全的双重要求。

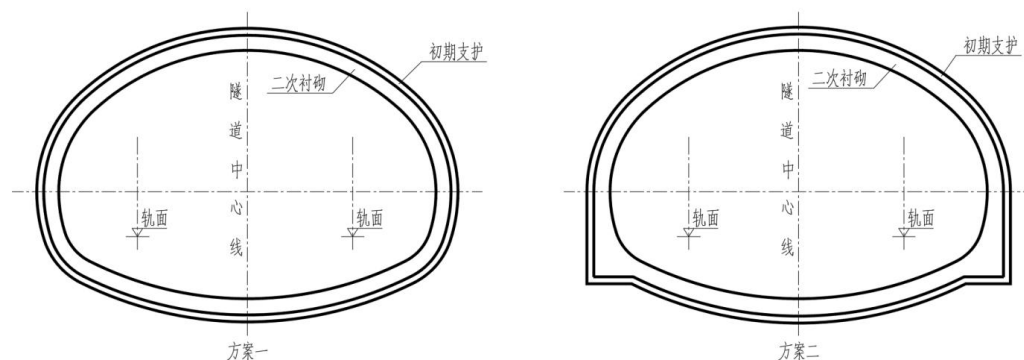
5.2 矿山法

5.2.1 软土地层具有的流变性和触变性，不宜采用矿山法施工，如有特殊需要，可采用地层注浆加固或冻结后，进行管棚支护开挖，并加强矿山法隧道的设计。

1 采用管幕支护时，管幕钢管内宜予以填充，以防止今后钢管锈透砂土流入，使地层产生空洞。管幕施工也会产生一定的沉降，其沉降量的大小因施工工艺的不同而不同，在设计时应注意考虑。

2 初期支护中钢架的连接节点是其薄弱环节，应当合理设计钢架节点及连接方式，增加钢架可靠性。初期支护是直接承受地层荷载的结构体系，其形式是否合理也将影响到施工期间的稳定和沉降。区间隧道拱顶和侧墙采用多心圆结构形式对承受上部荷载、确保结构受力合理是非常重要和正确的。

3 初期支护背后多数存在空隙，这些空隙如果不及时回填，将增加后期的地面沉降，更重要的是这些空隙的存在，使得隧道的实际受力状况与设计计算采用的受力模式发生变化，将可能导致隧道受力不合理，继而引起结构开裂。



(1) 仰拱和侧墙采用圆弧连接

(2) 仰拱和侧墙采用直角连接

图 5.3.1 区间隧道断面图示例

5.2.2 矿山法施工区域存在填土时，存在如下风险：

1 人工填土土质松散、强度低、自稳时间短、自稳能力差，土方开挖时，容易发生开挖面坍塌、初支超载或地表塌陷；

2 雨、污水管道施工回填土不实，若管道接口长期渗漏，极易形成水囊。矿山法土方开挖时，易引发由于水囊破裂导致的涌水和坍塌，乃至造成管线断裂；

3 填土作为地下工程建筑地基是，易发生压缩变形、湿陷变形等现象，因

此容易造成结构体的沉陷、开裂和倾倒。

换填材料视填土层底的原状土类别确定选用灰土或者级配碎石。

5.2.3 矿山法施工区域存在黄土地层时，存在如下风险：

1 黄土地层湿陷后在洞门拱部土体自稳性差，开挖扰动后易产生坍塌；

2 隧道开挖掌子面出现湿陷性黄土地层时，在地层中含水量较大时，湿陷性黄土遇水后结构强度迅速损失，自稳性几乎消失，掌子面土体快速形成流塑状态，如果开挖扰动较大时会产生坍塌的风险；

3 初期支护结构施工完成后，若上部存在湿陷性黄土地层时，隧道围岩遇水湿陷后会对初支结构产生较大的侧向土压力，初支结构格栅之间的连接强度不足以抵御侧向土压力的推力，格栅间将产生差异沉降变形，甚至出现开裂；

4 矿山法隧道沿线的建(构)筑物下方存在湿陷性黄土的，会受矿山法开挖的地层应力释放而产生土压力的自我平衡过程，围会沿隧道径向产生一定的土压力，地层在遇水湿陷后产生沉降会随地铁隧道开挖而变形，地层变形较为显著，从而更加剧建(构)筑物沉降的幅度。

黄土隧道应遵循“短进尺、短台阶、强支护、早成环、紧二衬”的原则进行开挖施工。初期支护要遵循“不缺不弱”的原则，开挖后及时按照支护需求和支护参数进行初期支护施工，对边墙进行开挖时，要及时对边墙进行落地接长，促使其及时封闭成环；

如果在开挖过程中，确实遇到和地勘报告情况差别较大的地质情况，需要及时和设计单位反馈，采取补充勘察、设计变更，同时要提前做好应急预案，有效应对施工过程中的突发状况；

隧道拱脚处地基反力最大，此处衬砌结构对地基承载力的要求较高，为防止地基承载力不足造成隧道发生不均匀沉降。

5.2.4 矿山法施工区域存在膨胀地层时，存在如下风险：

1 膨胀土及红黏土中因其具有较多的膨胀性黏土矿物，遇水时易发生膨胀，具有很强的胀缩性，隧道开挖过程中，易对衬砌结构产生不利影响；

2 矿山法隧道开挖时，土体开挖由于地下水的变化，导致膨胀土地区采用矿山法施工增大隧道以上土体沉降的风险；

3 矿山法隧道施工过程中开挖或支护不当，可能造成顶部或侧壁大面积垮

塌导致片帮、冒顶的风险。

土体膨胀时有易造成支护结构过量变形，初支预留变形量应加大，同时须考虑支护加强措施以及施作空间。结构设计方案中应注意膨胀岩土膨胀力对结构产生不利影响，并采取相应的应对措施，断面设计适当的加大仰拱矢跨比可以更为有效的抵御来自围岩向上的作用力，同时仰拱厚度的增加会使仰拱整体强度增加，在进行良好的防排水措施后，基本可以对膨胀上拱现象进行一个较为良好的控制。

断面设计考虑隧道运营期间，由于膨胀变形发展时间长并持续对二次衬砌施加荷载，在初期支护和二次衬砌之间设置缓冲层可以吸收围岩压力，进一步改善隧道衬砌结构受力外。还可以起到隔水、防腐、提供预留变形空间等作用。

5.2.5 矿山法施工区域存在盐渍土时，存在如下风险：

- 1 盐渍土对工程的影响主要体现在其溶陷性、盐胀性、腐蚀性；
- 2 当隧道周围土体遇水的侵蚀时，会引起土体中盐类溶解产生额外的沉陷或拱顶空洞，导致隧道围土强度丧失，发生坍塌；
- 3 当温度或含水量变化引时，易引起盐渍土发生盐胀，导致盐渍土体积增大。另外，盐渍土一般多含硫酸盐及氯盐，可能对结构体钢筋混凝土中的钢筋产生较强的腐蚀性；
- 4 充分利用混凝土自身良好的自防水性阻断地下水和氯离子对二衬钢筋的侵蚀。

5.2.6 矿山法施工区域存在断层破裂带时，存在如下风险：

- 1 断层破碎带岩体受强烈挤压作用脆性破裂成碎粒和碎粉状，矿物蚀变现象明显，夹有泥状错碎物，并穿插岩脉。断层破碎带的构成主要为弱胶结、散体状成分，自稳性差，隧道开挖扰动下，极易发生坍塌事故；
- 2 断层破碎带、节理发育带等不良地质地段，围岩自稳性差，透水性强，属于高渗透性地层，地下工程通过断裂破碎带地段，在矿山法施工过程中存在降水效果不理想、拱顶围岩变形过大而导致的掌子面渗水、涌水，易发生坍塌、甚至冒顶；
- 3 当隧道下穿江河湖海等高水压力水体时，上覆水体对断层破碎带产生较大的动水压力，存在渗透破坏的可能，进而增加塌方及突涌水的危险性。很高的渗

水压力可导致地下水通过高渗透性地层大量涌入隧道形成突涌而淹没隧道；

4 断裂构造降低了岩体的强度及稳定性，断层破碎带力学强度低，压缩性增大，易造成地铁结构断裂或倾斜，断裂面是极不稳定的滑移面，对隧道围岩稳定常有重要影响。

矿山法施工应建议避让全新活动断裂和发震断裂。避让距离应根据断裂的等级、规模、性质、覆盖层厚度、地震烈度等因素，按有关标准综合确定，如无法规避则需要按本条规定进行处治：

1 针对探明的断裂带分布和地层富水情况，设计切实可行的超前地层加固措施；

2 在发生大量涌水的情况下，抽排水能延迟积水高度，为人员撤离和处理提供条件。

5.2.7 矿山法施工区域存在岩溶地质时，存在如下风险：

1 矿山法隧道施工时，因机器震动、爆破等因素影响对周边溶洞、土洞造成扰动，可能破坏其结构平衡诱发塌陷；或直接被揭露，从而发生岩溶水突涌现象，导致突水、突泥等事故发生的风险；

2 隧道开挖时揭露溶洞、土洞，其原有的平衡结构被打破，可导致开挖面及其周边区域的岩土体发生坍塌；

3 隧道开挖过程中，应预防岩溶洞穴中可能存在的有害气体对人体易造成危害的风险。矿山法区间隧道岩溶处理设计方案应遵循“先预报、再验证处治、后施工”的总体处治原则，对影响施工安全和影响后期运营的溶洞必须处治，岩溶空洞区位于地表移动活跃、非连续变形地段，设计应以规避风险为主。

设计应根据可溶岩的强度、裂隙溶蚀发育情况、岩溶与结构的位置关系、岩溶发育程度、岩溶的充填情况及充填物物理力学性质、岩溶水的水力性质，对矿山法隧道结构选型、开挖工法和支护参数等进行选择分析；设计应开展应对基底突涌、隧道围岩及基底岩溶处理、防突水的专题研究分析。设计应开展岩溶风险因素、风险事件及后果的专题研究分析；设计应根据车站、区间的施工方法、岩溶的发育程度、岩溶与结构的位置关系、岩溶的覆跨比、岩溶裂隙发育情况、岩溶的充填情况、岩溶水的类型及运营后的风险等情况综合确定岩溶处理方案。

5.2.8 矿山法施工区域存在地裂缝时，存在如下风险：

1 地裂缝错断带结构松散，并可能形成过水通道，故在矿山法开挖地裂缝施工过程中存在掌子面渗水、涌水及局部坍塌的较大风险；

2 存在衬砌变形破坏风险，包括拉张—挤压破坏和直接剪断破坏。

5.2.9 矿山法施工区域存在沉陷区时，存在如下风险：1)竖井和横通道施工中，止水帷幕失效会造成大量地下水流失，竖井和横通道施工过程中土层孔隙水逐步流失，形成较大规模的降水漏斗造成地表大面积的沉降。2)渗漏水可能会带走土层中的土粒，使土层中产生更大的孔隙，造成结构上部空洞或坍塌。

1 矿山法地下工程施工时，要充分考虑到含水软弱地层和地面建筑的影响，线路设计时，根据实际情况适当调整双线隧道间距和隧道埋深有利于降低地表沉降；

2 如适当的增加超前支护结构刚度和增加小导管的加固长度；

3 施工工序应合理控制导洞台阶长度，例如台阶过短，台阶处的系统支护能力偏弱，台阶过长则造成封闭周期加长，此二者都能加大拱部土体沉降；若掌子面自稳性较好应尽可能采用全断面开挖，减少分部，可避免因分部过多而产生的叠加累积沉降。因此建议根据土质不同合理选择。

5.2.10 矿山法施工区域存在高地应力时，存在如下风险：

1 硬质岩可能发生岩爆，造成开挖工作面严重破坏、设备损坏和人员伤亡；

2 高地应力的软质岩可能发生大变形，造成开挖工作面严重破坏、大范围坍塌冒顶，甚至诱发地表开裂、山体滑坡等地质灾害；

3 缓倾软质岩层可能发生隧道底鼓风险。

采用直眼掏槽和水压爆破工艺进行开挖一方面提高光面爆破效果，降低对围岩的扰动，改善洞壁应力条件，降低爆破动应力场的叠加；另一方面水压爆破产生的水汽有助于软化围岩，降低围岩应力，减少岩爆事件发生，发生岩爆时，应快速安装支护拱架，或采用喷射混凝土进行应急支护。

5.2.11 矿山法施工区域存在富水地层时，存在如下风险：1)粉细砂富水地层，存在流砂、涌砂风险，严重时开会导致空洞和地面坍塌；2)富水砂层由于黏聚力较小，开挖时存在隧道塌方、冒顶的风险；4)矿山法施工过程中还存在由于施工震动引发的砂土液化风险。

开挖前采用自进管棚或超前小导管进行超前加固。

矿山法降水设计，遇到抽降困难的卵砾石富水地层时，考虑到过水断面的限制，必要时通过计算，增加降水井数量，在拟开挖范围外布置两圈或两圈以上的降水井，有效增大降水井总体抽排能力。

根据土层地震液化的影响因素分析，结构的覆土埋深是激发土层地震液化的重要方面，适当加大隧道的覆土埋深，可以增大基底以下土层的竖向限制压力，土层需要更大的孔隙水压力才能产生砂(粉)土液化。埋深的增加可以减少地铁地下结构由于土体液化所导致的结构上浮，同时，地下结构地震作用所导致的结构附加内力随着埋深的增加而上升较小。因此，加大结构埋深，穿越液化层的区间结构应作为抵抗地震液化灾害的主要措施和手段。

5.2.12 矿山法采用爆破施工工艺时，如遇易燃易爆气体，可能导致隧道内爆炸，因此，矿山法设计选择中应尽量避免不利地层的影响，如天然气源岩、天然气储层、煤系地层淤泥质土层及放射性元素氡含量高的地层、含生活垃圾的填土、有害气体等，若不能避开，应选择气体含量相对低的地层或构造部位。

施工过程中发现有害气体治理效果不佳、存在有毒和有异味气体等异常情况时，应及时汇报给业主，并通报给设计单位和勘察单位。

保温法：即采用保温的方法，将季节冻结线提高到地下水位以上，或降低地下水位到季节冻结层以下。如采用草皮、泥炭、塔头草等就地保温材料，作为建筑物的保温层，使季节冻结线提高到地下水位以上，从而使地下水不具有承压水头，就形成不了冰椎、冰丘等有害现象。又如通过开挖地下保温渗沟，把地下水汇集起来，排出线路或建筑物以外，人为地降低了地下水位，以消除病害对线路及建筑物造成的危害。

拦截法：即暴露深层冻土的方法，开挖冻结沟降低季节冻结线的深度，加速冻结进程。如在冻结季节开始前，在与地下水流向成垂直方向开挖沟渠，称为冻结沟。铲除地表覆盖的草皮、泥炭、塔头草等保温较好的土层，使季节冻结层与多年冻土层在冬季形成一道整体的、封闭的地下截水墙。从而防止冰锥、冰丘侵袭。

5.3 盾构法

5.3.1 盾构法施工区域存在软土地层时，1)盾构始发、到达区域，主要有以下风

险:①盾构组装或拆卸起吊时, 由于软土层地基承载力低导致起重设备倾斜或倾覆和风险。②在开洞门时, 由于软土的低强度、高承压水, 有些含腐殖质过多导致的局部土体坍塌和喷水涌砂的风险。③软土地层往往不均匀分布着砂层、粉土等透水性强地层, 可能出现孔洞, 盾构洞门凿除时造成地下水突涌的风险。2) 盾构掘进过程中, 主要有以下风险: ①由于软土的触变性和地下水的高承压性导致盾构施工过程中, 因密封不到位可能出现盾构机内地下水突涌的风险; ②软土地层盾构掘进管片发生上浮的风险; ③软土层中富含有机质产生甲烷等有害气体的风险; ④盾构在高流变性地层中施工轴线控制难度较大, 盾构机始发姿态易发生偏差, 掘进遇到岩层差异易导致刀盘扭矩过大或机体偏转, 在软土复合地层盾构机易发生栽头; ⑤软土的黏性使盾构机外壳黏结水泥土块引发过大地层损失的风险⑥盾构在软土中掘进, 推力小导致管片防水材料压缩量不足, 防水失效的风险。⑦隧道周边加卸载可引发成型隧道变形、管片错台、破裂、渗漏等风险。

盾构法隧道在未加固的软土层中始发, 易引起管片上浮, 采用搅拌桩或冻结法等加固措施可防止掘进时洞门处发生涌水、涌砂。

由于软土承载力较低, 具有高压缩性, 采取软基预加固处理设计, 可减少地层隆沉变形, 并有效上浮抑制管片, 能提高隧道与周围土体的整体性, 保证盾构在浅埋始发掘进过程有一定的安全储备。

5.3.2 盾构法施工区域存在填土时, 存在如下风险: 1)盾构始发、达到区域, 主要有以下风险:①填土一般成份复杂、不均匀, 加固时若遇到大块混凝土等废弃物会导致旋喷、搅拌、注浆等成孔困难。②填土土层松散、孔隙大、杂质含量高, 在施工过程中有效加固范围难以控制, 导致加固效果不佳, 开洞门时容易导致涌水坍塌。2)填土一般比较松散、自稳能力差、自稳时间短, 盾构掘进时容易造成盾构参数和姿态难以控制、塌方等。同时填土中含有硬杂质时, 会导致盾构掘进困难及掘进中发生地层击穿泄压的风险。3) 当杂填土主要由碎砖、瓦砾、混凝土块等组成时, 盾构推进工作面前方可能会出现各种障碍物, 如废弃钢筋混凝土桩、旧桥台、人防工事等对盾构机刀具会造成一定的损害。

当盾构端头填土 加固时适当增大加固区段的范围, 加密注浆加固钻孔间距如发现加固效果达不到要求, 应分析原因, 立即采取有针对性的补充加固措施。常用的加固方案有搅拌桩法、旋喷桩法、注浆法、冻结法等。

盾构浅埋施工时，应评估坍塌及地层被击穿失压的风险，必要时宜采取地表预加固措施，应考虑合理的换刀加固区。

5.3.3 盾构法施工区域存在湿陷性黄土地层时，存在如下风险：1)在盾构机自重和地下水的共同作用下，湿陷性黄土的结构迅速破坏，承载力急剧降低，产生显著的附加下沉，可能会出现盾构机裁头的风险。2)在盾构机推力和地下水的共同作用下，刀盘前方湿陷性黄土的结构迅速破坏，承载力急剧降低，上部土体随之下沉，出现地表沉降的风险。

当发现地下结构沉降和地下水位变化出现异常时，应会同有关部门研究采取相应的处理措施。坚持长时期不间断的观测，分析判断地基变形的原因和发展趋势，从而可以采取的措施，切断水源，制止湿陷变形的发展。

对于自重湿陷性黄土场地内穿越的盾构隧道，除采取相应的地基处理措施外，还需要注意辅助防治措施，施工和运营期间沉降观测和地下水位观测应按现行国家标准及设计要求进行。

5.3.4 盾构法施工区域存在膨胀地层时，1)盾构竖井开挖过程中，主要有以下风险：①膨胀岩土对锚杆成孔与锁定的影响会导致后期锚杆类支护工程失效、破坏，对灌注桩存在缩径以及塌孔的风险；②基坑开挖过程中，膨胀土吸水膨胀软化、失水收缩干裂，对环境湿热变化敏感，坡体易发生边坡失稳、边坡局部崩塌等风险；③基坑使用过程中，由于膨胀土体本身的裂隙性，地表水沿缝隙造成桩端持力层土壤受到扰动，降低桩基础承载力，引起基础整体下沉。2)膨胀地层可能岩体膨胀抱盾壳的风险。3)盾构掘进过程中，膨胀荷载引起的膨胀力会对盾构衬砌结构产生不利影响而导致失稳。

盾构区间由于施工方法的特殊性，地基处理方法的选择性较少，从目前情况来看，仅有洞内注浆法可以选择。

当隧道下方或上方存在膨胀土时，通过增加管片局部配筋量来满足设计要求，或者采用通缝拼装方式来降低管片结构受力，同时须考虑管片结构加强措施以及施作空间。

5.3.5 盾构法施工区域存在盐渍土时，存在如下风险：1)盐渍土对工程的影响主要体现在其溶陷性、盐胀性、腐蚀性。2)当盾构法施工区域遭遇水的侵蚀时，会引起土体中盐类溶解产生额外的沉陷，导致盾构衬砌结构围土的强度丧失，承载

力下降，可能产生空洞和沉降。3)当温度或含水量变化引时，易引起盐渍土发生盐胀，导致盐渍土体积增大，增加衬砌结构或盾壳荷载；4)盐渍土一般多含硫酸盐及氯盐，可能对钢筋混凝土中的钢筋产生较强的腐蚀性。

盐渍土地区的防腐措施其基本原则是“预防为主，防治结合”，勘察应对该地区的潜在盐渍化进行专项评价，对盐渍土类型进行勘察，判断腐蚀类型，提出相应的处理方案。

管片材料采用低热水泥和膨胀剂，可提高抗渗、氯离子扩散、抗硫酸盐侵蚀等耐久性指标；

5.3.6 盾构法施工区域存在断层破裂带时，存在如下风险：1) 断裂带上、下两盘的岩性往往不同，接触带岩层的整体性、岩性均性极差，盾构掘进时易造成盾构推进困难、偏离设计轴线、卡机、管片破损、刀盘刀具偏磨严重、施工进度慢等情况。2) 断裂构造带不仅使岩体破碎，而且断裂构造破碎带常为地下水良好的通道，当采用盾构法施工通过断裂破碎带地段，且隧道上方存在透水地层时，极易发生涌水、盾构设备及隧道被淹、隧道开挖面坍塌、甚至冒顶等情况。

盾构隧道穿越断裂带往往遇到高水压问题，尤其是海域断裂带，给管片设计带来巨大的挑战。对于高水压断层破碎带管片结构防水应采取防排结合，设置二次衬砌，管片结构设泄水孔，对地下水采取排水减压，限压排放措施，以排为主、以防为辅。

5.3.7 盾构法施工区域存在岩溶地质时，存在如下风险：1)盾构隧道掘进施工过程中，可能破坏岩溶、土洞原有平衡，发生洞穴塌陷、进而导致地面塌陷和地面建筑物沉降过大的风险；2)采用泥水平衡盾构时，大量岩块堆积在泥水仓底，存在搅拌棒、格栅易被破坏风险；3)溶洞的存在使地层软硬不均，易发生盾构姿态偏移；遇见未查明岩洞、土洞时，易发生仓内瞬间失压、盾构栽头风险；4)岩溶地层开挖面软硬不均、凹凸不平的特点对盾构机刀盘磨损严重，存在刀盘被快速破损的风险；5)盾构隧道施工过程中，易发生岩溶水击穿盾尾密封，岩溶水涌入隧道的风险；6)可溶岩表层黏性土及充填黏性土的存在以及大块岩石堆积在仓底易发生结泥饼、滞排、喷涌风险。

设计应根据车站、区间的施工方法、岩溶的发育程度、岩溶与结构的位置关系、岩溶的覆跨比、岩溶裂隙发育情况、岩溶的充填情况、岩溶水的类型及运营

后的风险等情况综合确定岩溶处理方案，以降低工程风险和施工难度。

5.3.8 盾构法施工区域存在地裂缝时，一般不建议采用盾构法施工，存在如下风险：1)地裂缝错动会导致盾构管片衬砌受破损与开裂破坏，影响地下工程的正常运营，特别是处于地裂缝附近的隧道衬砌破坏严重，地裂缝错动作用下，结构发生剪切与弯曲变形，结构顶部环向张开、纵向错位变形，并由于地层两侧围岩产生向下的摩阻力不等，致使上盘衬砌纵向两侧受力不均，导致结构扭转变形。2)地裂缝带围岩裂隙较多、工程性质较差，施工时易导致结构坍塌，地下水渗入地下工程结构内部或结构内水体渗入地裂缝带，导致黄土、软土湿陷性变形与不均匀沉降，加剧结构破坏。

线路与地裂缝交角不应小于 30° ，可减少地裂缝破碎带对地铁工程的影响长度。

盾构隧道在地裂缝错动下的破坏模式为剪切破坏(正交时)或扭剪破坏(斜交时)。管环间会出现明显的不均错动变形管环的受拉或受压也使接头发生张开或挤压。由于螺栓与衬砌的刚度差异隧道开裂位置首先且主要集中在手孔附近的衬砌上。此外，与地裂缝相交的部分管环会出现偏压状态。因此，为了保证结构安全，盾构隧道设计设防应重点加强螺栓和衬砌的刚度。

由于地裂缝的活动受到诸多因素影响且具有分时分段性，目前方法主要以地表调查、监测数据综合判断为主，确定盾构隧道与地裂缝交汇位置处的活动速率，结合结构设计使用年限估算地裂缝的累积错动沉降量。

5.3.9 盾构法施工区域存在沉陷区时，在长期地面沉降作用下，盾构隧道会随着地面沉降而发生变形。由于沉陷区沉降大小存在差异，势必造成差异沉降，使盾构结构产生位移差，严重的差异沉降会导致盾构隧道结构产生裂缝，引起漏水、渗水事故。

当盾构法在沉陷区进行隧道区间施工时，要充分考虑到含水软弱地层和地面建筑的影响，尽可能的避开建筑群，并且尽量保证隧道线路处于地表均匀沉降区内，在进行施工设计时，需要考虑二次沉降的影响，并且正确估价地表沉降及其危害。在条件允许的情况下，尽量通过监测和测量取得盾构施工后的地表沉降及降起值。

5.3.10 盾构法施工区域存在高地应力时，存在以下风险：1)硬质岩可能发生岩爆，

盾构掘进过程中,崩落的岩块可能损伤盾构机等设备,造成设备损坏和人员伤亡。
2)软质岩可能发生大变形,易造成衬砌结构变形等风险。

在高应力挤压变形条件下,需要 TBM 具有护盾保护功能,因此采用双护盾 TBM 更合适。在发生地应力释放的情况下,由于护盾和管片的保护作用,岩爆不会影响 TBM 的正常掘进。

充分合理利用岩爆的预测成果,提前做好岩爆的防治和处理准备恰当区分岩爆等级和相应的岩爆处理措施,合理安排岩爆高发段的施工工序,把岩爆对工程进度和工程投资的影响降到最低点

向岩体注水可软化岩石降低岩石的强度和弹模,提高其塑性变形能力,使得围岩中的地应力得到很好的释放,不利于积蓄弹性应变能。

5.3.11 盾构法施工区域存在富水地层时, 1) 盾构始发和到达施工存在以下风险分析: ①盾构始发、达到区,存在较高的流砂涌砂风险; ②盾构始发和到达时洞门喷涌会导致地面沉降或塌陷的风险。2) 盾构掘进施工存在以下风险: ①盾构施工过程中富水地层引起的砂土液化、盾尾泄露、同步注浆效果差等会导致掘进压力不稳定、刀盘抱死; ②盾构在掘进过程中对地层扰动较大,在富水地层下极易产生液化; ③盾构掘进同步注浆时,砂土液化可能造成注浆压力大、盾尾和管片壁后注浆困难; ④盾构开仓时,掌子面失稳、涌水涌砂风险。3) 盾构竖井开挖存在基坑坍塌的风险。

设计单位应开展施工降排水专项设计,并在施工过程中根据降排水效果调整治理方案。专项方案中应明确封井要求,确保降水井封井安全。

在高水头环境下,盾构隧道的设计应比选排水隧道、排堵结合和全包防水等方式。设计应对管片嵌缝防水和止水胶条进行计算,并适当加强。

盾构开仓等部位的结构和地层加固措施开展专项设计,并遵循遇松散砂层应提前注浆加固原则。

砂土液化盾构隧道施工过程地面变形也较大,采用地面加固后沉降发展很快趋于稳定,但仍存在地表沉降和隆起现象,区间隧道设计时应尽量位于稳定持力地层中。

5.3.13 盾构法施工区域存在有害气体时,存在以下风险: 1) 盾构区间隧道穿越淤泥、淤泥质黏土等可能产生不害气体的地层时,存在有害气体通过盾尾或破损

管片处进入隧道，导致人员中毒、窒息的风险。2) 盾构在含有害气体地层中掘进时，开仓及螺旋出土导致气体泄漏进入隧道，遇高温高压或漏电等导致爆炸的风险。3) 盾构掘进遇天然气、油气等管线，导致有害气体泄露，易发生人员中毒、窒息或爆炸的风险。

当盾构法施工区域存在冻土时，可能造成如下的影响：**1** 在季节性冻土发育区，冻胀融沉等作用可能对盾构隧道产生影响；**2** 冻结状态时，虽然压缩性变小并具有较高强度，但在冻结过程中产生体积膨胀，形成地面隆起和地基鼓胀；冻土融化后，岩土中冰屑的骨架支撑作用消失，导致体积缩小，地基承载力降低，压缩性增大，岩土体下沉陷落；**3** 当冻土作为盾构隧道的地基土时，因冻胀融沉的反复活动，易引起隧道结构沉陷、开裂、倾倒、地铁线路凹凸不平，甚至局部陷落，威胁交通与运输安全。

在混凝土中掺入引气剂是提高其抗冻性的有效方法。混凝土拌合时掺入引气剂后，产生大量的空气泡使受压空隙水排入其中，有效减小静水压力，从而提高混凝土的抗冻性。

5.4 TBM 法

全断面隧道掘进机是指通过开挖并推进式前进实现隧道全断面成型，且带有周边壳体的专用机械设备。主要包括盾构机、岩石隧道掘进机、顶管机等。我国的 TBM 法施工一般指岩石隧道掘进机，即通过旋转刀盘并推进，使滚刀挤压破碎岩石，采用主机带式输送机出渣的全断面隧道掘进机。岩石隧道掘进机包括敞开式岩石隧道掘进机、单护盾岩石隧道掘进机及双护盾岩石隧道掘进机等。岩石隧道掘进机也称硬岩掘进机或 TBM。[来源：GB/T 41051-2021]

5.4.1 当隧道长度大于 10km，且工程地质、水文地质条件较适宜时应优先考虑采用 TBM 法施工。建议避让岩溶、断层破碎带、软岩、富水地层。针对探明的不良地质分布情况，且线位无法避免，可采用钻爆法通过。

5.4.3 TBM 设备选型应遵循下列原则：安全性、可靠性、先进性、经济性相统一；满足隧道外径、长度、埋深和地质条件、沿线地形以及洞口条件等环境条件；满足安全、质量、工期、造价及环保要求；后配套设备与主机配套，满足生产能力与主机掘进速度相匹配，工作状态相适应，且能耗小、效率高的原则，同时应具

有施工安全、结构简单、布置合理和易于维护保养的特点。[来源：T/CSPSTC 54-2020]

5.4.4 TBM 隧道穿越软岩地层时，应加强初期支护刚度，超前加固围岩，辅以长锚杆或锚索径向加固围岩。变形极为严重时应采用人工扩挖或钻爆法处理。

5.4.5 本条规定断层破碎带宜进行超前支护或围岩加固，主要方法包含超前灌浆、超前小导管等措施，根据现场围岩情况注单液浆(水泥浆液)或双液浆(水泥-水玻璃浆液)加固围岩并止水。

5.4.6 TBM 隧洞在岩溶地质段施工过程中，应对影响安全掘进的岩溶进行充填加固，主要方法为其按规模大小、填充情况及地下水流量大小进行划分，从而制定合理的治理方案。

5.4.7 本节规定 TBM 开挖施工过程中，对可能出现突水、突泥地段，需制定相应处理措施，可采取如下处理措施：

（1）超前注浆止水主要作用是封堵裂隙、隔离水源、阻塞水点、减少洞内涌水量；

（2）掘进机在隧道（洞）开挖过程中，根据超前探水钻孔及地质工程师对掌子面前方涌水征兆的分析，在进入富水段前进行超前阻水注浆施工。阻水注浆前，应保证刀盘前有至少 5m 的不透水层作为止浆盘，灌注水泥浆液堵水防渗；

（3）如果掘进机已掘进至富水带，刀盘前方掌子面出现大股涌水并伴随塌腔，掘进机停止掘进，灌注水泥-水玻璃双液浆阻水，灌浆方式采用分段下行式注浆，注浆孔钻进一段压一段。为防止浆液回流渗入掌子面与刀盘之间及减少浆液渗入量，解决方法为在实际工作面前方设置止浆塞，止浆塞深度应超过 10m，采用低压向孔内灌入具有速凝效果的水泥-水玻璃双液浆加速凝固。

5.5 顶管法

5.5.1 顶管法施工区域存在软岩和软土时，软土的黏性使顶管设备外壳黏结水泥土块引发过大地层损失的风险。顶进在软土中掘进，推力小导致管片防水材料压缩量不足，防水失效的风险。

结构设计应根据建筑物类别、建筑物的不均匀沉降、倾斜和构件等不利情况采取合理的设计措施。

顶管法施工区域存在填土时，容易发生坍塌、地表塌陷。管道施工回填土不实，若管道接口长期渗漏，极易形成水囊。隧道土方开挖时，易引发由于水囊破裂导致的涌水和坍塌，乃至造成管线断裂。

5.5.3 顶管法施工区域存在湿陷性黄土时，存在以下风险：1）遇水后土体强度迅速降低，会发生局部坍塌。2）在顶管机械推力和地下水的共同作用下，顶进作业面前方湿陷性黄土的结构迅速破坏，承载力急剧降低，上部土体随之下沉，出现地表沉降的风险。

对于自重湿陷性黄土场地内的顶管法除采取相应的地基处理措施外，还需要注意辅助防治措施，施工和运营期间沉降观测和地下水位观测应按现行国家标准及设计要求进行。当发现地下结构沉降和地下水位变化出现异常时，应会同有关部门研究采取相应的处理措施。坚持长时期不间断的观测，分析判断地基变形的原因和发展趋势，从而可以采取的措施，切断水源，制止湿陷变形的发展。

5.5.4 顶管法施工区域存在膨胀地层时，存在以下风险：1）顶进施工过程中，膨胀荷载引起膨胀力将增加顶管的顶进力，甚至将管节抱死。2）膨胀地层的岩土体有挤压顶进管道破坏结构的危险。

顶管结构设计应根据建筑物类别、建筑物的不均匀沉降、倾斜和构件等不利情况采取合理的设计措施，土体膨胀时有易造成管节结构过量变形，预留变形量应加大。

当隧道下方或上方存在膨胀土时，也可以通过增加管节局部配筋量来满足设计要求。

5.5.5 顶管法施工区域存在盐渍土时，存在以下风险：1）当管节周围土体遭遇水的侵蚀时，会引起土体中盐类溶解产生额外的沉陷，导致围土强度丧失，增加顶管顶进力；2）当温度或含水量变化引时，易引起盐渍土发生盐胀，导致盐渍土体积增大。3）盐渍土一般多含硫酸盐及氯盐，可能对钢筋混凝土中的钢筋产生较强的腐蚀性。

5.5.6 顶管法施工区域存在断层破裂带时，存在以下风险：1）断层破碎带的构成主要为弱胶结、散体状成分，自稳性差，顶管法掘进扰动下，极易发生坍塌事故。2）断裂构造降低了岩体的强度及稳定性，断层破碎带力学强度低，压缩性增大，断裂面是极不稳定的滑移面，易造成顶管管节倾斜、错位或断裂。

顶管法施工建议避让全新活动断裂和发震断裂。针对探明的断裂带分布情况，且线位无法避免，设计切实可行的超前地层加固措施。

5.5.7 顶管法施工区域存在岩溶地质时，存在以下风险：1)顶管法施工时，因机器震动、掘进等因素影响对周边溶洞、土洞造成扰动，可能破坏其结构平衡诱发塌陷；或直接被揭露，从而发生岩溶水突涌现象，导致突水、突泥等事故发生的风险。2)施工顶进时揭露溶洞、土洞，其原有的平衡结构被打破，可导致开挖面及其周边区域的岩土体发生坍塌，将顶管机或管道抱死。

设计应根据可溶岩的埋深、岩溶分布位置、发育程度对结构和施工的影响，研究线路的平面位置及合理埋置深度。设计应开展岩溶风险因素、风险事件及后果的专题研究分析。设计顶管始发工作井、顶管机类型、施工方法、岩溶的发育程度、岩溶与结构的位置关系、岩溶的覆跨比、岩溶裂隙发育情况、岩溶的充填情况、岩溶水的类型及运营后的风险等情况综合确定岩溶处理方案。

5.5.8 地裂缝变形带的物理力学性质相对较差，主要是由于变形带内裂缝及裂隙增多，并使地表水下渗所致。变形带附近土层较差的物理力学性质，因此地裂缝段一般不建议采用顶管法施工。

5.5.9 顶管法施工区域存在沉陷区时，存在以下风险：1)顶管机正面土体失衡引起的地面沉降与隆起。2)管道外周空隙引起的地面沉降与隆起。3)管道与周围土体摩擦引起的地面沉降与隆起。4)管道接口渗漏引起的地面沉降与隆起。

5.5.10 顶管法施工区域存在高地应力时，存在以下风险：1)硬质岩可能发生岩爆，损伤顶管机和其他设备。2)软质岩可能发生大变形，易造成管节卡死。

5.5.11 顶管法施工区域存在富水地层时，存在以下风险：1)富水砂层的工程特性是砂层松散、地下水丰富、自稳性差、流动性强、震动条件下易液化，顶管施工过程极易出现突水涌砂和坍塌；2)在顶进施工过程中避免由于施工震动引发的砂土液化现象，增加顶管顶进力或导致管节抱死。

设计阶段应对结构进行抗浮设计，确保结构自身满足抗浮要求。应采取隔隆结合的地下水处理措施，降低水头高度或封堵各种可能的渗漏路径，降低施工风险。

设计单位应开展施工降排水专项设计，并在施工过程中根据降排水效果调整治理方案。专项方案中应明确封井要求，确保降水井封井安全。

砂土液化顶管机施工过程地面变形也较大，采用地面加固后沉降发展很快趋于稳定，但仍存在地表沉降和隆起现象，此外设计阶段还需对顶管结构进行抗浮设计，确保结构自身满足抗浮要求。

5.5.12 顶管法施工区域存在有害气体时，存在以下风险：1) 顶管施工穿越淤泥、淤泥质黏土等可能产生不害气体的地层时，存在有害气体通过顶管机或管节连接处处进入管内，导致人员中毒、窒息的风险。2) 顶管在含有害气体地层中掘进时，开仓及螺旋出土导致气体泄漏进入管道内，遇高温高压或漏电等导致爆炸的风险。3) 顶管机掘进遇天然气、油气等管线，导致有害气体泄露，易发生人员中毒、窒息或爆炸的风险。

6 不良地质的处治方法

6.1 注浆

6.1.1 注浆目的包括堵水、加固、堵水和加固。

6.1.2 注浆加固多采用水泥注浆或水泥—水玻璃注浆。水泥注浆一般适用于处理节理岩石的边坡和岩质滑坡的滑面，但当节理裂隙小于 $0.15\sim 0.20\text{mm}$ 时，再采用水泥注浆就不会取得好的效果。原因是即使很细的水泥（粒径为 $30\sim 50\mu\text{m}$ ）也不能浸入这样的小裂隙内。水泥注浆也可用于砾石类土和粗砂土层，因为此类土的空隙直径一般都大于 0.15mm ，但是对于粘性土和细砂层来说不适用的。

如果空隙很大，尤其是在岩土中地下水流速很大时，不宜用水泥注浆（宜采用触变浆液）。当地下水流速大于 600m/d 时，采用注浆的可能性和效果应该根据试验结果决定。

6.2 回填

6.2.6 清除的植被层不作为填料回填，但可统一堆放作为后期绿化及复垦使用。渐进式法回填可使细粒填料能更好的充填粗粒填料之间的空，增加回填密实度

6.3 超前支护和加固

6.3.9 粉砂层受扰动坍塌严重，为保证洞身开挖人员的安全，开挖前沿洞身纵向

增加超前支护。

6.3.10 超前小导管注浆对围岩加固的范围和强度是有限的,因此主要适用于一般软弱破碎围岩、地下水丰富的松软围岩。预注浆从掌子面前方的围岩中将浆液注入,从而提高地层的强度、稳定性和抗渗性,形成较大范围的筒状封闭加固区,然后在其范围内进行开挖作业

7 处治措施监测及检测

7.1 处置监测

7.1.1 现场监控量测项目分为 A 类监测项目(必测项目)和 B 类监测项目(应该进行的或必要时进行的选测项目)两大类。必测项目是用以判断围岩的变化情况,测定支护结构工作状态,为施工中确保围岩稳定,并通过判断围岩的稳定性来指导设计、施工而进行的经常性监测;选测项目:选测项目是用以判断隧道围岩松动状态、喷锚支护效果等为目的进行的量测。

注 2 必测项目监测方法较简单、费用较少、可靠性较高,但对监视围岩稳定性、指导设计与施工却有直接意义。由于围岩和支护结构的位移是多项动态变化的综合、直接反映,故隧道施工中均应进行围岩和支护的位移监测、拱顶下沉量测,因此将这 2 项测试项目列为必测项目。选测项目是对一些有特殊意义和具有代表性的区段进行补充测试,以求更深入地掌握围岩的稳定状态与锚喷支护的效果,对未开挖区的设计与施工具有指导意义。这类量测项目测试较为麻烦、量测项目多、费用较大,一般只根据需要进行选择其中的部分项目进行测试。

7.1.2

1 洞内观察

洞内观察是监视围岩稳定性既省事又有效的一种方法,是工程现场施工的重要环节,可以作为判断施工方案的重要依据,对有经验的工程技术人员,据此可以确定开挖、支护方法,甚至判断工程事故的先兆洞内观察的内容包括:隧道内地质条件的变化情况、节理裂隙的发育和扩展情况、渗漏水情况、隧道暴露面有无松动岩石、锚杆有无松动、喷层有无开裂、衬砌上有无裂隙等。

2 净空变位监测

净空变位是判断围岩动态变化最主要的量测项目,这项量测设备简单,操作方便,但对监测围岩动态有很大作用。通过内空变位量测以掌握断面变形状态及变位收敛情况,根据变位速度判断围岩稳定性,确定是否需增打锚杆及判断断面闭合时期等。它是判断围岩动态的最主要的量测项目,特别是当围岩为垂直岩层时,内空收敛位移量测更具有非常重要的意义。

洞周收敛是隧道周边各点趋向隧道中心的内部净空尺寸的变化，收敛位移测主要是指对隧道壁面两点间水平距离的变形量的量测，拱顶下沉以及底板隆起位移量的量测等。常用方法有穿孔钢卷尺式收敛计、穿孔钢卷尺式测距仪、光电测距仪、精密经纬仪或全站仪等。

3 拱顶下沉监测

顶板下沉监测主要是监测顶板绝对下陷量，防止发生坍塌。对于围岩为水平岩层时，顶板下沉量测值是反映隧洞安全及稳定性的重要数据。拱顶沉降监测一般在拱顶用短锚杆设置挂钩，用钢丝悬挂标尺，通过水准仪测量标尺的沉降即可。

4 地表下沉监测

对于浅埋隧道的 V~M 级围岩，一般为软弱破碎岩层，其稳定性较差，当覆盖层厚度小于 20m 的单线隧道和覆盖层厚度小于 40m 的双线隧道，应进行地表下沉监测。为判定隧道开挖施工对地面的影响程度和范围，有必要进行地表下沉监测。

地面下沉全位移值包括隧道开挖面处的位移值、监测开始前已发生的位移与位移的量测值三者之和。地表下沉监测可用普通水准仪，配合水准尺进行，测点和拱顶下沉量测布置在同一断面上。

5 围岩位移监测

围岩位移监测主要是判断围岩的松动区、强度下降区及弹性区的范围，据此进一步确定锚杆长度。

一般在围岩中安设单点位移计或多点位移计进行量测。单点位移计结构简单，制作容易，测试精度高，受外界因素影响小，容易保护。若钻孔足够深时孔底可视为不动点，测得的是位移绝对值。多点位移计按监测仪器的不同分为机械式、电测式、电阻应变式，按安装方式分为：并联式串联式(孔口、孔底固定)。单点位移计通常与多点位移计配合使用。

6 锚杆拉拔抗力量测

锚杆拉拔抗力量测可以检查锚杆安设质量及锚固效果，判断锚杆长度是否适宜。可以通过使用安装在承压板与锚头之间的锚杆拉力计进行量测。

7 衬砌内力监测

衬砌内力监测主要是判断衬砌结构中的应力状态及所承受的荷载，确保衬砌结构的安全。一般通过割断主钢筋并与结构主筋串联焊接的预埋应力计、或与结构主钢筋并联的应变计来量测，应力计和应变计在混凝土结构内应对称地布置在相应的钢筋层上。

8 锚杆拉力量测

锚杆拉力量测可以了解锚杆中的应力分布状态，判断是否需要修改错样设计长度及数量。一般通过与锚杆串联的预埋应力计、或与锚杆并联连接的预埋应变计来量测，应力计和应变计的应变片的黏贴，事先应对锚杆表面作特殊加工后，要防潮、密封。