

城市轨道交通工程地质风险控制 技术指南

住房和城乡建设部

2020年9月

目录

前言.....	1
第一章 总则与基本规定.....	1
1.1 总则.....	1
1.2 基本规定.....	1
1.3 术语.....	2
1.4 编制依据.....	3
第二章 地质风险管理基本要求.....	5
2.1 一般规定.....	5
2.2 地质风险单元划分.....	5
2.3 地质风险辨识.....	6
2.4 地质风险评价与分级.....	7
2.5 地质风险管控措施.....	14
第三章 不良地质作用.....	16
3.1 一般规定.....	16
3.2 岩溶.....	16
3.3 采空区.....	23
3.4 地裂缝.....	28
3.5 断裂带.....	34
3.6 有害气体.....	38
3.7 空洞、水囊.....	43
第四章 特殊性岩土.....	47
4.1 一般规定.....	47
4.2 填土.....	47
4.3 软土.....	53
4.4 风化岩与残积土.....	58
4.5 孤石.....	62
4.6 湿陷性黄土.....	68
4.7 膨胀岩土.....	72
4.8 卵石地层.....	75

4.9 富水砂层.....	79
第五章 复杂地层结构.....	86
5.1 一般规定.....	86
5.2 复合地层.....	86
5.3 基岩凸起.....	91
5.4 风化深槽.....	95
5.5 隐伏冲沟.....	98
5.6 暗浜.....	100
5.7 岩性突变.....	102
5.8 岩相突变.....	105
5.9 硬质岩脉.....	107
5.10 地貌突变.....	109
第六章 地下水.....	112
6.1 一般规定.....	112
6.2 明挖法风险.....	112
6.3 矿山法风险.....	114
6.4 盾构法风险.....	115
6.5 冻结法风险.....	116
6.6 工程结构风险.....	117
6.7 勘察措施.....	117
6.8 设计措施.....	117
6.9 施工措施.....	119

前言

为贯彻落实《中华人民共和国安全生产法》《建设工程安全生产管理条例》《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》和《全国安全生产专项整治三年行动计划》等法律法规制度，指导城市轨道交通建设工程应对地质风险，预防和减少各类事故发生，住房和城乡建设部组织有关单位编制《城市轨道交通工程地质风险控制技术指南》（以下简称指南）。

城市轨道交通工程大多为地下工程，面临复杂地质环境，地质风险控制尤为重要。本指南围绕工程建设地质风险控制，在全国范围内开展广泛调研，实地考察北京、青岛、宁波、广州、贵阳、重庆等地质条件复杂城市，总结各地应对地质风险的成功经验，形成可复制、可推广的技术管理措施。指南系统梳理不良地质作用、特殊性岩土、复杂地层结构以及地下水对工程建设的不利影响，按照不同施工工法分别提出针对性的勘察、设计、施工措施。指南起草后，广泛征求各地城市轨道交通工程质量安全监管部门、参建单位的意见，进行反复修改完善，形成终稿。

主编单位：北京城建勘测设计研究院有限责任公司

参编单位：北京市轨道交通设计研究院

北京市轨道交通建设管理有限公司

深圳地铁建设集团有限公司

青岛地铁集团有限公司

宁波市轨道交通集团有限公司

杭州市建设工程质量安全监督总站

厦门市轨道交通集团有限公司

贵阳市城市轨道交通集团有限公司

天津市地下铁道集团有限公司

兰州市轨道交通有限公司

杭州市地铁集团有限责任公司

南通城市轨道交通有限公司

福州地铁集团有限公司

哈尔滨地铁集团有限公司

重庆市轨道交通（集团）有限公司
西安市轨道交通集团有限公司
北京城市快轨建设管理有限公司
合肥城市轨道交通有限公司
北京市建设工程安全质量监督总站
中铁十六局集团地铁工程公司
中铁开发投资集团有限公司
中国中铁四局集团有限公司
中铁隧道集团二处有限公司
福建省建筑设计研究院有限公司

本指南的主要起草人员：金淮、刘永勤、马海志、孙红斌、杜英豪、王思锴、周玉凤、何海健、谢峰、韩泽坤、黄溯航、程海陆、郑世宇、毛海超、刘丹、李世民、周明科、徐浩、高文新、张建全、申斌、刘伟、张语涛、金鑫、杨萌、何英达、白纯钢、何山、徐庆辉、刘永淼、宇亚飞、吴照章、占文峰、童朝宝、王新线、陈发达、温克兵、王祥、陈建、龚英杰、王世展、田建华、郑群、刘少凯、姜敬波、孙松建、董凯、秦建设、张鑫、林莉、禹富偲、魏良丰、孙智勇、杨建国、张波、宁锐、马俊、王秋生、邓能伟、张兆军、刘宏岳、王涛。

本指南的主要审核人员：贺长俊、竺维彬、刁日明、鲁屹、张自太、李少波、韩学诠、韩少光、帅玉兵、方江华、刘方克、张春旺、刘鑫、杨和平、吴涛、何峰、徐耀德、盛锦松、张海波、李松梅、陈万立、史文杰、苏志辉。

第一章 总则与基本规定

1.1 总则

1.1.1 为保证城市轨道交通工程施工安全，有效应对地质风险，指导工程参建各方进一步辨识和控制地质风险，防范地质风险的不利影响，提升地质风险控制的科学性和针对性，减少因地质风险造成的各类事故、问题，制定本指南。

1.1.2 本指南适用于新建城市轨道交通建设工程地质风险管理工作，改建、扩建工程可参照执行。

1.1.3 地质风险控制是城市轨道交通建设工程安全风险管理的一项基础性内容，必须不断提升对地质风险的认知水平和管控能力。

1.1.4 城市轨道交通建设工程的建设、勘察、设计、施工、监理等单位在地质风险控制中应严格遵守法律、法规和工程建设强制性标准的规定，持续完善地质风险控制对策措施。

1.1.5 鼓励采用先进的科学技术和方法，提高地质风险控制的质量和效果。

1.1.6 城市轨道交通建设工程地质风险控制除应符合本指南外，还应符合国家现行有关标准规范的规定。

1.2 基本规定

1.2.1 地质风险控制应贯穿工程规划、建设、管理的全过程。

1.2.2 建设单位牵头组织实施地质风险控制相关的管理工作，确保地质风险管理所需条件和投入。

1.2.3 勘察单位提交的勘察文件应当真实、准确、可靠，符合国家规定的勘察深度要求，满足设计、施工的要求，并结合工程特点在勘察文件中说明地质条件可能造成的工程风险，必要时提出专项勘察建议。

1.2.4 设计单位负责识别和评价地质风险可能造成的工程风险，提出设计控制措施，并在施工过程中根据工程情况动态设计。

1.2.5 施工单位负责识别和评价地质风险可能造成的施工风险，在施工方案中提出针对性控制措施、工序流程和工艺要求，并组织实施。

1.2.6 监理单位负责审查施工方案中针对地质风险的控制措施,监督施工单位按照设计要求和施工方案落实地质风险控制措施。

1.2.7 当场地内地质风险较高时(一、二级风险),应针对不良地质条件开展专项勘察、专项设计并编制专项施工方案。

1.2.8 建设单位在组织开展风险评估时应充分考虑地质风险对工程的不利影响。

1.2.9 各地宜根据地区地质条件和经验,制定本区域地质风险等级划分标准及地质风险控制细则。

1.2.10 施工前条件核查时,应将不良地质条件风险控制措施作为主控项目进行施工前条件核查。

1.3 术语

1.3.1 地质风险

城市轨道交通土建工程建设活动中,由于地质条件的复杂性、变异性和不确定性导致工程质量、安全、工期、造价等受到较大影响的可能性及其后果严重程度。

1.3.2 地质条件

工程建设活动影响范围内、客观存在的工程地质及水文地质条件,包括地质构造、水文气象、地形地貌、地层岩性、地下水等。

1.3.3 不良地质条件

是指工程建设中常见的不良地质作用、特殊性岩土及复杂地层结构。

1.3.4 不良地质作用

不良地质作用是指由地球内力或外力以及人类活动产生对工程可能造成危害的地质作用。城市轨道交通工程修建过程中常见的不良地质有岩溶、采空区、地裂缝、断裂带、有害气体、空洞、水囊等。

1.3.5 特殊性岩土

特殊性岩土是指含有特殊矿物成分和结构,具有特殊的物理、力学和化学性质,并影响工程地质条件的岩石与土体。城市轨道交通工程修建过程中常见的特殊性岩土有填土、软土、风化岩、孤石、湿陷性黄土、富水砂层、卵石地层等。

1.3.6 复杂地层结构

复杂地层结构是指一种地层空间分布复杂或地层组合多变的地质现象。城市轨道交通

通工程修建过程中常见的复杂地层结构有复合地层、基岩凸起、风化深槽、隐伏冲沟、暗浜、岩性突变、岩相突变、硬质岩脉、地貌突变等。

1.3.7 地下水

地下水是储存在地面以下岩石和土孔隙、裂隙及溶洞中的水，城市轨道交通工程修建过程中常见的地下水主要有上层滞水、潜水、承压水、层间水、岩溶水和裂隙水等。其中，上层滞水是包气带中局部隔水层上积聚的重力水；潜水是地面下第一个稳定隔水层以上饱水带中具有自由水面的地下水；承压水是充满在上下两个隔水层之间的含水层中，测压水位高出其顶板的地下水；层间水是存在于上下两个隔水层之间的含水层中，无压或有压的地下水；岩溶水是赋存于可溶性岩的溶蚀裂隙和溶洞中的地下水；裂隙水是赋存于岩体裂隙中的地下水。

1.3.8 地质风险单元

以地质条件为基础，考虑工程建设的周边环境、施工方法等施工条件划分出的最小风险控制单元，以达到聚焦具体工程风险、精准控制工程风险的目的。

1.3.9 地质风险分级

根据地质条件特性及其导致某种工程风险事件发生的可能性和后果严重程度划分风险等级的活动。

1.4 编制依据

1.4.1 本指南制定的主要依据：

- 1 《中华人民共和国安全生产法》
- 2 《建设工程安全生产管理条例》
- 3 《生产安全事故应急条例》
- 4 《中共中央国务院关于推进安全生产领域改革发展的意见》
- 5 《国务院安委会办公室关于实施遏制重特大事故工作指南构建双重预防机制的意见》（安委办〔2016〕11号）
- 6 《住房和城乡建设部办公厅关于加强城市轨道交通工程关键节点风险管控的通知》（建办质〔2017〕68号）
- 7 《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》（住房和城乡建设部令第37号）
- 8 《住房和城乡建设部办公厅关于实施〈危险性较大的分部分项工程安全管理规定〉有关问题的通知》（建办质〔2018〕31号）

9 《住房和城乡建设部办公厅关于印发城市轨道交通工程土建施工质量标准化管
理技术指南的通知》（建办质〔2018〕65号）

10 《住房和城乡建设部办公厅关于印发城市轨道交通工程建设安全生产标准化管理
技术指南的通知》（建办质〔2020〕27号）

11 《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB50307）

12 《岩土工程勘察规范》（GB50021）

13 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》（GB50652）

14 《盾构法隧道施工及验收规范》（GB50446）

15 《地下铁道工程施工标准》（GB/T51310）

16 《地铁设计规范》（GB50157）

17 《铁路桥涵工程施工安全技术规程》（TB10303）

18 《地质灾害危险性评估规范》（DZ/T0286）

19 《湿陷性黄土地区建筑标准》（GB50025）

20 《膨胀土地区建筑技术规范》（GB50112）

21 《工程地质手册》（第五版）

22 《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120）

第二章 地质风险管理基本要求

2.1 一般规定

2.1.1 城市轨道交通工程应开展地质风险管理工作。地质风险管理包括地质风险因素识别、地质风险单元划分、地质风险辨识、地质风险评价与分级、地质风险控制措施建议等。

2.1.2 城市轨道交通岩土工程勘察技术交底,应在地质风险辨识的基础上说明地质条件可能造成的工程风险。

2.1.3 设计单位在开展工程设计时,必须充分熟悉场地不良地质条件,对存在疑问的地方,书面向勘察单位提出。

2.1.4 城市轨道交通工程建设范围内存在不良地质条件时,应开展地质风险专项评估工作,划分地质风险单元、预测地质风险事件、判定地质风险等级、提出地质风险控制措施建议。

2.1.5 城市轨道交通工程应将地质风险评估纳入安全风险管理体系,在勘察设计和施工阶段明确建设、勘察、设计、施工、监理、监测等单位的工作内容。

2.1.6 城市轨道交通工程应采用先进的科学技术和方法进行管理,进行地质条件验证、地质超前预报、地质风险评估和地质风险管理,提高不良地质条件风险控制的质量和效果。

2.1.7 城市轨道交通工程应在勘察设计和施工过程中进行地质风险跟踪,当环境影响造成地质条件变化、导致设计方案变更以及实际地质条件与原勘察成果不符或针对地质风险的处理效果不满足要求时,均应进行地质风险再评估。

2.2 地质风险单元划分

2.2.1 地质风险评估应依据下列基础资料划分地质风险单元:

- 1 工程区域地质、水文、气象、自然环境等资料。
- 2 工程规划、可行性研究和岩土工程勘察报告等资料。
- 3 工程区域内的建(构)筑物、市政管线、铁路、公路等周边环境资料。
- 4 城市轨道交通工程设计资料。
- 5 城市轨道交通工程相关事故资料等。

2.2.2 地质风险单元划分应遵循逢变必分的原则,根据地质条件复杂程度结合线路敷设方式、线路埋设深度、构筑物结构形式、施工方法、环境条件等进行划分,遇下列情况时应划分地质风险单元:

- 1 地形地貌发生变化时。
- 2 穿越地层围岩等级变化时。
- 3 岩土类型及岩土参数发生较大变化时。
- 4 地下水类型不同或水位、含水层厚度发生较大变化时。
- 5 敷设方式发生变化时。
- 6 线路埋设深度变化较大时。
- 7 结构形式发生变化时。
- 8 施工方法发生变化时。
- 9 穿越环境类型发生变化时。

2.2.3 当遇下列对工程风险影响较大的特殊部位时,应进一步细分地质风险单元:

- 1 隧道洞径范围内存在两级以上围岩(如软硬复合地层)的部位。
- 2 隧道上方存在厚层人工填土或软土的部位。
- 3 开挖面地层严重不均匀的部位。
- 4 存在特殊地质现象(含不良地质作用、特殊性岩土、孤石、漂石、硬质岩脉、风化深槽、富水砂层等)、特殊地形的部位。
- 5 隧道地下水条件发生变化的部位。
- 6 隧道围岩变形不能及时反映到地表,地表变形监测效果不明显的部位。
- 7 受现场环境条件影响,勘察精度不足或未进行勘察的部位。
- 8 隧道上方及周边存在变形控制要求高的既有轨道交通线(站)、既有管线或建(构)筑物的部位。

2.3 地质风险辨识

2.3.1 地质风险辨识应根据地质风险单元的工程地质、水文地质条件,结合类似工程的事故案例、工程经验以及可能采用的施工工艺、工法,分析预测可能发生的地质风险。

2.3.2 明挖施工应分析基坑坍塌、基底隆起、基底突涌、围护结构渗漏、围护结构变形、地表过量沉降、爆破振动、降水困难、中毒窒息等风险。

2.3.3 盾构施工应分析地面坍塌、进出洞坍塌、进出洞突涌、中途换刀检修、密封失效、

过大沉降、掘进受阻、刀盘刀具非正常磨损、中毒窒息、爆炸等风险。

2.3.4 矿山法施工应分析地面坍塌、掌子面坍塌、掌子面突涌、初支过载、过量沉降、爆破飞石、降水困难、中毒窒息、爆炸等风险。

2.3.5 城市轨道交通工程应分析结构渗漏、结构上浮、结构不均匀变形、结构坍塌、周边环境变化等风险。

2.4 地质风险评价与分级

2.4.1 地质风险评价指标体系包括可能性指标与后果严重程度指标，分级标准如下：

1 可能性分级标准：地质风险可能性等级分为频繁的、可能的、偶尔的、罕见的、不可能的五级。

2 后果严重程度分级标准：后果严重程度宜按风险损失的严重性程度划分灾难性、非常严重的、严重的、需考虑的、可忽略的五级。

2.4.2 地质风险可能性等级可采用定量或定性方法确定。

2.4.3 地质风险可能性采用定量评价时，应针对不同地质风险单元搜集近年地质风险发生情况，结合行业实践经验，进行地质风险事件发生可能性评价，确定地质风险发生可能性等级。地质风险发生可能性等级的判别指标宜采取概率或频率表示，划分标准见下表。

表 2.4.1 可能性等级（定量表达）

等级	1	2	3	4	5
可能性	频繁的	可能的	偶尔的	罕见的	不可能的
概率或频率值	>0.1	0.01~0.1	0.001~0.01	0.0001~0.001	<0.0001

注:1 当概率值难以取得时，可用年发生频率代替。

2 风险发生概率等级应优先采用定量判断标准确定。当无法进行定量计算时，可采用定性判断标准确定。

2.4.4 地质风险可能性采用定性评价时，可根据不良地质条件的类型及其与工程的位置关系进行评价。

1 各类不良地质条件下，发生风险的可能性可参照表 2.4.2 至表 2.4.11。

表 2.4.2 不良地质作用影响下明挖法施工的地质风险可能性分级表

不良地质 风险类型	岩溶	采空区	地裂缝	有害气体	断裂带	空洞、水囊

基坑失稳	可能	可能	偶尔	罕见	偶尔	可能
局部坍塌	频繁	可能	可能	罕见	可能	频繁
基底隆起	罕见	罕见	罕见	偶尔	偶尔	罕见
基底突涌	可能	罕见	偶尔	罕见	可能	偶尔
侧壁渗漏	可能	偶尔	偶尔	罕见	可能	可能
环境过量变形	可能	频繁	可能	偶尔	偶尔	可能
爆破飞石	可能	可能	不可能	不可能	偶尔	不可能
降水困难	频繁	可能	可能	不可能	可能	偶尔
中毒窒息	偶尔	可能	罕见	频繁	罕见	罕见

说明：根据不良地质条件下发生某种风险事件的可能性大小，将风险可能性分级定为频繁、可能、偶尔、罕见、不可能。

表 2.4.3 特殊性岩土影响下明挖法施工的地质风险可能性分级表

不良地质 风险类型	人工填土	软土	风化岩	孤石	湿陷性黄土	膨胀岩土	卵石地层	富水砂层
基坑失稳	频繁	频繁	可能	罕见	罕见	罕见	偶尔	频繁
局部坍塌	频繁	频繁	可能	偶尔	可能	可能	偶尔	频繁
基底隆起	偶尔	频繁	罕见	不可能	罕见	可能	罕见	偶尔
基底突涌	罕见	偶尔	可能	不可能	罕见	罕见	可能	频繁
侧壁渗漏	可能	频繁	可能	罕见	罕见	罕见	可能	频繁
环境过量变形	频繁	频繁	偶尔	偶尔	罕见	可能	罕见	频繁
爆破飞石	罕见	不可能	可能	可能	不可能	偶尔	罕见	不可能
降水困难	可能	频繁	可能	罕见	偶尔	罕见	可能	偶尔
中毒窒息	罕见	偶尔	罕见	不可能	罕见	罕见	罕见	不可能

说明：根据不良地质条件下发生某种风险事件的可能性大小，将风险可能性分级定为频繁、可能、偶尔、罕见、不可能。

表 2.4.4 复杂地层结构影响下明挖法施工的地质风险可能性分级表

地层结构 风险类型	复合 地层	基岩 凸起	风化 深槽	隐伏 冲沟	暗浜	岩性 突变	岩相 突变	硬质 岩脉	地貌突变
基坑失稳	可能	偶尔	偶尔	可能	可能	偶尔	可能	罕见	偶尔
局部坍塌	可能	偶尔	可能	可能	频繁	可能	可能	罕见	偶尔
基底隆起	罕见	偶尔	罕见	偶尔	偶尔	偶尔	罕见	罕见	偶尔

基底突涌	偶尔	偶尔	可能	偶尔	可能	偶尔	偶尔	偶尔	偶尔
侧壁渗漏	频繁	偶尔	偶尔	偶尔	可能	可能	可能	罕见	偶尔
环境过量变形	偶尔	罕见	偶尔	偶尔	可能	可能	可能	罕见	偶尔
爆破飞石	可能	可能	罕见	罕见	不可能	偶尔	可能	可能	偶尔
降水困难	罕见	可能	罕见	偶尔	偶尔	可能	可能	罕见	偶尔
中毒窒息	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见

说明：根据不良地质条件下发生某种风险事件的可能性大小，将风险可能性分级定为频繁、可能、偶尔、罕见、不可能。

表 2.4.5 不良地质作用影响下矿山法施工的地质风险可能性分级表

不良地质 风险类型	岩溶	采空区	地裂缝	有害气体	断裂带	空洞、水囊
地面坍塌	可能	频繁	偶尔	偶尔	可能	频繁
冒顶	可能	可能	可能	偶尔	频繁	可能
掌子面坍塌	可能	可能	可能	偶尔	频繁	频繁
掌子面突涌	可能	可能	偶尔	偶尔	可能	频繁
环境大变形	可能	可能	可能	偶尔	可能	可能
爆破飞石	可能	偶尔	不可能	不可能	偶尔	不可能
降水困难	频繁	偶尔	偶尔	罕见	频繁	偶尔
中毒窒息	偶尔	偶尔	罕见	频繁	罕见	罕见
爆炸	罕见	可能	罕见	可能	罕见	罕见

说明：根据不良地质条件下发生某种风险事件的可能性大小，将风险可能性分级定为频繁、可能、偶尔、罕见、不可能。

表 2.4.6 特殊性岩土影响下矿山法施工的地质风险可能性分级表

不良地质 风险类型	人工 填土	软土	风化岩	孤石	湿陷性黄土	膨胀岩土	卵石地层	富水砂层
地面坍塌	频繁	频繁	可能	罕见	罕见	罕见	偶尔	频繁
掌子面坍塌	频繁	频繁	频繁	可能	可能	可能	频繁	频繁
掌子面突涌	可能	罕见	可能	罕见	罕见	罕见	可能	频繁
环境过量变形	频繁	频繁	可能	罕见	可能	可能	可能	频繁
爆破飞石	罕见	不可能	偶尔	可能	不可能	偶尔	偶尔	不可能
降水困难	可能	频繁	可能	罕见	偶尔	偶尔	可能	可能

中毒窒息	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见	罕	罕见
爆炸	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见

说明：根据不良地质条件下发生某种风险事件的可能性大小，将风险可能性分级定为频繁、可能、偶尔、罕见、不可能。

表 2.4.7 复杂地层结构影响下矿山法施工的地质风险可能性分级表

地层结构 风险类型	复合 地层	基岩 凸起	风化 深槽	隐伏 冲沟	暗浜	岩性 突变	岩相 突变	硬质 岩脉	地貌 突变
地面坍塌	频繁	可能	可能	可能	可能	可能	偶尔	偶尔	可能
冒顶	频繁	偶尔	可能	可能	频繁	可能	偶尔	偶尔	可能
掌子面坍塌	频繁	偶尔	可能	频繁	可能	可能	可能	偶尔	偶尔
掌子面突涌	可能	偶尔	偶尔	可能	可能	可能	可能	偶尔	偶尔
环境过量变形	可能	偶尔	偶尔	可能	可能	可能	可能	罕见	偶尔
爆破飞石	偶尔	频繁	偶尔	偶尔	不可能	可能	偶尔	频繁	偶尔
降水困难	频繁	可能	偶尔	可能	偶尔	可能	偶尔	罕见	可能
中毒窒息	罕见	罕见	罕见	罕见	偶尔	罕见	罕见	罕见	罕见
爆炸	罕见	罕见	罕见	罕见	偶尔	罕见	罕见	罕见	罕见

说明：根据不良地质条件下发生某种风险事件的可能性大小，将风险可能性分级定为频繁、可能、偶尔、罕见、不可能。

表 2.4.8 不良地质作用影响下盾构法施工的地质风险可能性分级表

不良地质 风险类型	岩溶	采空区	地裂缝	有害气体	断裂带	空洞、水囊
地面坍塌	可能	可能	偶尔	偶尔	可能	频繁
进出洞坍塌	可能	可能	偶尔	可能	可能	频繁
进出洞突涌	可能	可能	偶尔	可能	可能	频繁
环境过量变形	可能	可能	可能	偶尔	偶尔	频繁
栽头	频繁	频繁	罕见	偶尔	偶尔	可能
滞排	偶尔	偶尔	偶尔	罕见	偶尔	罕见
掘进受阻	偶尔	偶尔	偶尔	罕见	可能	罕见
刀盘刀具非正常磨损	偶尔	偶尔	罕见	不可能	频繁	不可能
偏离轴线	偶尔	偶尔	偶尔	偶尔	可能	偶尔
中毒窒息	偶尔	偶尔	罕见	频繁	罕见	罕见

爆炸	罕见	罕见	罕见	频繁	罕见	罕见
----	----	----	----	----	----	----

说明：1 岩溶、采空区、地裂缝等不良地质条件不宜使用盾构工法。

2 根据不良地质条件下发生某种风险事件的可能性大小，将风险可能性分级定为频繁、可能、偶尔、罕见、不可能。

表 2.4.9 特殊性岩土影响下盾构法施工的地质风险可能性分级表

不良地质 风险类型	人工 填土	软土	风化岩	孤石	湿陷性黄土	膨胀岩土	卵石地层	富水砂层
地面坍塌	可能	偶尔	偶尔	可能	罕见	罕见	可能	频繁
进出洞坍塌	频繁	频繁	偶尔	可能	罕见	罕见	频繁	频繁
进出洞突涌	频繁	频繁	偶尔	可能	罕见	罕见	频繁	频繁
环境过量变形	频繁	频繁	偶尔	偶尔	罕见	罕见	罕见	频繁
掘进受阻	偶尔	罕见	偶尔	频繁	罕见	可能	频繁	偶尔
刀盘刀具非正常磨损	偶尔	罕见	可能	可能	罕见	罕见	频繁	偶尔
滞排	偶尔	不可能	偶尔	频繁	罕见	可能	可能	罕见
中毒窒息	偶尔	偶尔	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见
爆炸	罕见	偶尔	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见	罕见

说明：根据不良地质条件下发生某种风险事件的可能性大小，将风险可能性分级定为频繁、可能、偶尔、罕见、不可能。

表 2.4.10 复杂地层结构影响下盾构法施工的地质风险可能性分级表

地层结构 风险类型	复合 地层	基岩 凸起	风化 深槽	隐伏 冲沟	暗浜	岩性 突变	岩相 突变	硬质 岩脉	地貌 突变
地面坍塌	频繁	偶尔	可能	可能	偶尔	偶尔	偶尔	偶尔	偶尔
进出洞坍塌	可能	偶尔	可能	可能	偶尔	可能	可能	偶尔	偶尔
进出洞突涌	可能	罕见	偶尔	偶尔	偶尔	可能	可能	偶尔	偶尔
环境过量变形	频繁	偶尔	偶尔	偶尔	可能	偶尔	偶尔	偶尔	偶尔
掘进受阻	可能	频繁	罕见	偶尔	罕见	偶尔	偶尔	频繁	偶尔
滞排	可能	可能	偶尔	可能	不可能	偶尔	偶尔	可能	偶尔
轴线偏离	频繁	可能	偶尔	偶尔	偶尔	可能	可能	可能	偶尔
刀盘刀具非正常磨损	频繁	频繁	罕见	罕见	不可能	可能	可能	频繁	偶尔
中毒窒息	罕见	罕见	罕见	罕见	偶尔	罕见	罕见	罕见	罕见
爆炸	罕见	罕见	罕见	罕见	偶尔	罕见	罕见	罕见	罕见

说明：根据不良地质条件下发生某种风险事件的可能性大小，将风险可能性分级定为频繁、可能、偶尔、罕见、不可能。

表 2.4.11 地下水影响下工程施工地质风险可能性分级表

地下水类型 风险类型	上层滞水	潜水	承压水	裂隙水	岩溶水
基坑失稳	偶尔	可能	频繁	可能	可能
局部坍塌	频繁	可能	可能	可能	可能
基底隆起	罕见	罕见	频繁	偶尔	可能
侧壁渗漏	频繁	频繁	频繁	频繁	频繁
基底突涌	罕见	罕见	频繁	偶尔	可能
环境过量变形	可能	可能	可能	可能	可能
地面坍塌	频繁	频繁	罕见	可能	频繁
掌子面坍塌	频繁	频繁	可能	频繁	频繁
拱顶冒顶	频繁	频繁	偶尔	频繁	频繁
掌子面突涌	频繁	频繁	频繁	频繁	频繁
进出洞坍塌	频繁	频繁	频繁	偶尔	偶尔
进出洞突涌	频繁	频繁	频繁	偶尔	偶尔
螺旋输送机喷涌	罕见	频繁	频繁	可能	可能
盾尾渗漏	罕见	偶尔	频繁	可能	可能

说明：根据不良地质条件下发生某种风险事件的可能性大小，将风险可能性分级定为频繁、可能、偶尔、罕见、不可能。

2 不良地质条件与工程的位置关系可分为开挖范围内、主要影响区、次要影响区和一般影响区。基坑工程影响区划分见表 2.4.12，矿山及盾构隧道工程影响区划分见表 2.4.13。

表 2.4.12 基坑工程影响区划

工程影响分区	区域范围
主要影响区	基坑周边 0.7H 范围内
次要影响区	基坑周边 0.7H~1.0H 范围内
一般影响区	基坑周边 1.0H 范围外

注：H 为基坑设计深度。

表 2.4.13 矿山及盾构隧道工程影响区划

工程影响分区	区域范围
主要影响区	隧道正上方及周边 0.7H 范围内
次要影响区	隧道周边 0.7H~1.0H 范围内
一般影响区	隧道周边 1.0H 范围外

注：H 为矿山法隧道底板的埋深。

3 当不良地质条件覆盖整个工程影响区或者位于开挖范围和主要影响区时，可能性等级不做调整；当不良地质条件主要位于次要影响区及以外时，可能性等级可下调一级。

2.4.5 地质风险后果严重程度等级可采用定量或定性方法确定。应根据不同地质风险单元可能发生的风险事件，结合工程规模、工法特点、周边环境，分析风险事件发生后可能造成的最大人员伤亡、经济损失、工期延误、环境影响和社会影响，综合参考类似工程事故案例，进行综合评价。

2.4.6 当地质风险后果严重程度采用定量评价方法时，可参照《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》相关内容进行定量评价。

2.4.7 当地质风险后果严重程度采用定性评价方法时，可根据地质风险危害程度等级、可能发生的部位、影响周边环境情况、事件发生紧急程度、应急措施实施难度等确定地质风险后果的严重程度。

2.4.8 地质风险等级划分为四级，可按表 2.4.19，根据地质风险发生的可能性和后果严重程度采用风险矩阵的方式进行分级。

表 2.4.19 地质风险等级标准

后果严重程度 可能性等级		A	B	C	D	E
		灾难性的	非常严重的	严重的	需考虑的	可忽略的
1	频繁的	一级	一级	一级	二级	三级
2	可能的	一级	一级	二级	三级	三级
3	偶尔的	一级	二级	三级	三级	四级
4	罕见的	二级	三级	三级	四级	四级
5	不可能的	三级	三级	四级	四级	四级

2.4.9 当出现下列情况时，应及时开展地质风险再评估重新评定地质风险等级：

- 1 周边建设活动、自然灾害、气象条件变化，导致地质条件发生变化。
- 2 设计方案（工法、工艺、埋深、工程规模等）发生变化。
- 3 周边环境变化导致风险发生后经济损失等级变化。
- 4 社会环境发生变化导致风险发生后社会影响等级变化。
- 5 施工过程中地质风险控制效果较差。

6 通过补充勘察或超前探测等手段探明了前序勘察工作地质条件不明区域情况。

2.4.10 工程风险等级可参照下列规定进行修正：

1 当地质风险为一级时，整个工程风险等级应定为一。

2 当地质风险为二级时，整个工程风险等级应上调一级（工程风险等级已经为最高级时维持不变）。

3 当地质风险为三级时，整个工程风险等级保持不变。

4 当地质风险为四级时，整个工程风险等级可根据工程实际情况保持不变或下调一级。

2.4.11 地质风险评估报告应包括下列内容：

1 工程概况（含设计条件、施工工法工艺、地质条件、环境条件）。

2 编制依据。

3 评估方法。

4 地质风险单元划分。

5 各单元地质风险分析及风险等级。

6 地质风险控制措施建议。

7 地质风险清单。

2.5 地质风险管控措施

2.5.1 各参建单位应根据不同地质风险单元的风险等级，明确风险管控责任、制定相关制度、实施风险管控，将地质风险控制在可接受范围之内，防范生产安全事故发生。

2.5.2 建设单位宜委托专业机构开展地质风险评估，并将评估结果及时提交给建设、设计、施工、监理等单位。

2.5.3 勘察单位应在详细勘察成果中对拟建场地的工法适用性进行评价，分析并说明地质条件可能造成的工程风险，提出地质风险控制措施建议。当地质风险等级为一、二级时，宜根据工程实际情况开展专项勘察。

2.5.4 设计单位应根据地质风险评估报告，采取设计措施降低风险等级。根据地质风险调整后的工程风险为一、二级时，应开展专项设计。

2.5.5 施工单位应根据勘察成果及地质风险评估报告，结合施工方案对施工过程中可能遇到的地质风险进行评估，采取施工措施。

2.5.6 施工单位采取管控措施之前应首先进行地质条件核查，采取技术手段核查开挖面

地质情况与原勘察结果的一致性，当差异较大时，应及时上报建设、勘察、设计单位，由建设单位组织勘察、设计、施工、监理单位进行现场踏勘并提出处理意见。

2.5.7 施工单位应严格按照设计单位提出的地质处理措施实施并将处理效果反馈设计单位。

2.5.8 城市轨道交通工程应急预案应包含各类不良地质条件可能引起的安全风险控制措施。当发生地质条件突变、地质风险控制措施效果较差，导致工程整体风险高时，应根据应急预案采取地质超前预报、设计施工措施，控制风险发展。

第三章 不良地质作用

3.1 一般规定

3.1.1 城市轨道交通工程建设场地存在不良地质作用时，应采取措施查明其种类、发育程度并分析评价其对工程建设可能造成的危害，必要时进行专项地质风险勘察评估。

3.1.2 城市轨道交通线路穿越不良地质作用中强发育区时，勘察、设计单位应进行专项勘察、专项设计（专项设计中应包含应急预案要求），施工单位应按照相关要求编制专项施工方案，并经过专家论证。

3.1.3 受不良地质作用影响场地，应按照施工工序逐项分析不良地质作用对明挖、矿山及盾构等工法施工带来的工程风险，并提出相应措施。

3.2 岩溶

3.2.1 特性与评价

1 岩溶是地表水和地下水对可溶性岩层（碳酸盐类、硫酸盐类、卤盐类等）进行的以化学溶蚀作用为主，以流水冲蚀和潜蚀、坍塌和堆积等机械作用为辅，产生的各种地质作用、地表和地下形态、现象的总称，又称喀斯特地貌。中国是喀斯特地貌分布面积最大的国家，其中广西、贵州和云南东部是世界岩溶地貌分布最典型的集中区。

2 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，是城市轨道交通工程建设的重要风险因素之一。

3 可按下列条件判断岩溶存在可能性：

- 1) 是否有可溶性岩石存在。
- 2) 岩石是否具有一定的透水性。
- 3) 是否具有溶蚀能力的流动地下水。

4 岩溶按埋藏条件分类应符合表 3.2.1 规定。

表 3.2.1 按埋藏条件的岩溶分类及其特征

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	10≤H<30	H≥30	—
地表水与地下水连通情况	密切	较密切	一般不密切	不密切

注：岩溶、土洞按充填情况均可划分为无充填、半充填和全充填三种情况。

岩溶按发育情况分类应符合表 3.2.2 的规定。

表 3.2.2 岩溶发育程度等级划分表

岩溶发育程度	特征	参考性指标		
		地表岩溶发育密度 (个/km ²)	钻孔线溶率 (%)	钻孔遇溶率 (%)
强	碳酸盐岩性较纯，连续厚度较大，出露面积较广，地表有较多洼地、漏斗、落水洞、地下岩溶发育，多岩溶大泉和暗河，岩溶发育深度较大	>5	>20	>30
中	以次纯碳酸盐为主，多间夹型。地表有洼地、漏斗、落水洞发育，地下洞穴通道不多，岩溶大泉数量较少，暗河稀疏，深部岩溶不发育	5~1	20~5	30~10
弱	以不纯碳酸盐为主，多间夹型或互夹层，地表岩溶形态稀疏发育，地下洞穴较少，岩溶大泉及暗河较少	<1	<5	<10

注：发育程度从强烈发育到弱发育判定，满足其中一个条件即可定为该等级。

5 对轨道交通建设有直接影响的岩溶因素包括规模大小、覆跨比、充填情况、溶蚀裂隙的发育情况、发育强度等级、暗河、岩溶的富水情况和水力性质、岩溶水的流向、流速。其中主控因素为分布位置、岩溶规模、地下水水力性质及覆跨比。

6 岩溶的危害程度等级可参照表 3.2.3 执行。

表 3.2.3 岩溶危害程度等级参照表

危害程度等级	岩溶规模	地下水	覆跨比	充填情况
一级	直径大于 1.5m	岩溶水具承压性且水头大于 10m 或有暗河及储水溶腔分布	小于 1	无填充
二级	直径在 1.0m~1.5m 之间	岩溶水具承压性且水头大于 5m 小于等于 10m	大于等于 1、小于 2	无填充
三级	直径在 0.5m~1.0m 之间	岩溶水具承压性且水头小于等于 5m	大于等于 2、小于 3	松散填充

四级	直径小于 0.5m	无地下水	大于等于 3	松散填充
----	-----------	------	--------	------

注：岩溶规模、地下水、覆跨比中有一项满足，则基本危害程度等级按最高级考虑。

7 岩溶地层对工程结构可能产生以下不利影响：

- 1) 在岩溶危害程度等级为三级及以上的场地，应分析岩溶对结构可能产生的不良影响。
- 2) 岩溶发育可能带来地基承载力不足风险。当地基主要受力层范围内有岩溶发育或可溶性岩石发生断裂，在断裂、裂隙处，地下水流易将物质迁运至别处，使土层不断瓦解形成溶洞，最终上部覆盖层失稳，导致地基承载力不足。
- 3) 岩溶发育可能带来地基失稳风险。当基底附近存在岩溶时，受地铁运营振动影响，基底薄层岩层可能发生断裂、坍塌，造成地基失稳。
- 4) 隧道顶板、边墙影响范围若存在岩溶，处理不当，可能发生管片结构失稳，结构过大变形的风险。
- 5) 隧道顶板、边墙影响范围若存在岩溶水，若防渗质量较差、可能发生渗漏影响隧道使用的风险。
- 6) 岩溶水可能存在对结构腐蚀的风险。
- 7) 岩溶进一步发育、发展可能引起永久性结构破坏的风险。

3.2.2 明挖法风险

- 1 采用明挖法施工时，应按照施工工序逐项分析岩溶对明挖法施工带来的工程风险。
- 2 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。
- 3 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。
- 4 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。

3.2.3 矿山法风险

- 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可能造成危害的风险。

3.2.4 盾构法风险

1 盾构法施工应根据隧道穿越地段岩溶地质条件和地下水条件开展盾构机选型工作。

2 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。

3 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。

4 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。

5 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。

6 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。

7 可溶岩表层粘性土及充填粘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。

3.2.5 勘察措施

1 岩溶勘察应采用工程地质测绘与调查、物探、钻探等多种手段结合的方法进行，应分阶段进行，并在代表性物探异常点布置验证钻孔查明下列内容：

- 1) 区域地表水、地下水的分布情况及汇流情况。
- 2) 区域构造尤其是断裂分布情况。
- 3) 可溶岩埋藏深度、岩面起伏情况及岩面附近覆土性质。
- 4) 土洞、溶洞的分布位置、连通性、规模大小、覆跨比、充填物的厚度、性质。
- 5) 岩溶溶蚀破碎带及裂隙的发育情况。
- 6) 岩溶的见洞率、线溶率及发育程度等级。
- 7) 可溶岩的富水情况及暗河的分布情况。
- 8) 岩溶水流向、流速、水位和水力性质。

2 岩溶勘察应满足下列要求：

1) 初步勘察阶段应查明岩溶洞隙及其伴生土洞、塌陷的分布、发育程度和发育规律，并按场地的稳定性和适宜性进行分区。

2) 详细勘察阶段应查明拟建工程范围及有影响地段的各种岩溶洞隙和土洞的位

置、规模、埋深，岩溶充填物性状和地下水特征，对地基基础设计和岩溶的治理提出建议。

3) 施工阶段为设计服务的补充勘察应进一步确定围护结构深度、桩基或地基处理深度。施工阶段为施工服务的补充勘察，应进一步查明拟建工程范围内岩溶洞隙和土洞的位置、规模、埋深，对岩溶处理措施提出建议。

3 初步勘察和详细勘察阶段，岩溶发育区勘察成果中宜提供中、微风化岩面等高线图。

4 当详勘钻孔间距过大或平面范围缺少钻孔，或勘察成果表明地质条件存在剧变，或勘察成果存在疑问或矛盾及设计认为有必要的其它情况时，应开展补充详勘工作。

5 由于溶（土）洞发育的复杂性，详勘及施工阶段为设计服务的补充勘察、专项勘察仍可能不足以指导施工阶段岩溶处理，因此施工阶段仍有必要开展施工勘察，对岩溶发育情况进行超前探测。

6 岩溶地区勘察钻孔在完成测试工作后，应对钻孔岩面以上土层及时进行封孔。勘察钻孔作为地下水的通道，可短期内诱发土洞、地面塌陷等，应及时封孔，封孔质量需按规定进行抽查。

7 在岩溶发育地区进行加密补勘以探明未知岩溶。

8 勘察报告中应对岩溶的工程风险进行系统性分析，并提出处理措施建议。

3.2.6 设计措施

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 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。

3 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盾构机进行选型分析。

4 设计应开展应对基坑围护结构施工、土方开挖、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。

5 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。

6 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。

7 针对沿线房屋建筑，应根据不同线段岩溶发育情况、施工和运营风险进行房屋保护专项设计。

8 针对沿线既有铁路、公路、桥梁、文物、地表水体等重大风险源进行专项保护设计。

3.2.7 施工措施

1 施工单位应按照相关要求编制岩溶控制专项施工方案，并经过专家论证。

2 必要时应进行岩溶施工勘察，勘察应包括下列内容：

1) 核对岩溶工点的工程地质资料。

2) 对施工中发生的岩溶工程地质问题，提出工程措施意见和施工注意事项。

3) 岩溶发育路堑地段，宜在路基面上进行物探，辅以钻探验证，查明隐伏岩溶形态和空间分布。

4) 必要时采用物探或钎探、风枪钻等简易勘探对隧道基底岩溶发育情况进行普查和钻探验证。

5) 覆盖型岩溶可能产生地面塌陷地段，应根据施工揭露及钻探情况，分析可能塌陷的范围、程度，提出调整工程措施、建议。

6) 岩溶地质条件复杂、发育程度强烈，可能存在涌水突泥危害的隧道，应采用超前物探、钻探等综合超前预报方法，预报掌子面前方溶洞发育情况、充填情况及充填物性质，围岩裂隙产状及充填情况，地下水情况。

7) 岩溶强烈发育的线段，必要时进行补充钻探、孔内电视，查明岩溶发育情况。

3 施工单位在进行岩溶处理时，应严格按照设计提供的岩溶处理方案执行，明挖基坑岩溶处理应遵循“地面处理为主”的原则、隧道岩溶处理遵循“洞内和洞外措施相结合”的原则。

4 岩溶处理施工时，做好施工方案和技术交底，并对现场管理人员和作业工人进行培训。

5 明挖法施工时，应采取以下施工措施：

1) 在岩溶发育地区进行加密补勘以探明未知岩溶。

2) 在溶洞顶板施钻时应先用小冲程开孔，并注意旋转钻头，溶洞开口后，要及时抛填片石和粘土块填筑，逐渐进入正常钻孔。

3) 采用“溶（土）洞填充+水泥土墩柱”的方法提高地基承载力。

4) 当发生围护结构成孔（槽）漏浆、埋钻时，可采用以下方法进行现场处理：

① 穿透溶洞时，应密切注意护筒/槽内泥浆面的变化，发现漏浆及时提起钻头，

向孔内补水注浆，采取相应堵浆措施，保持水压力。

②若不能保持水压，应及时进行抛填，将片石、粘土及水泥制成混合物，视漏浆程度反复抛填，每次应达到 **1m~3m**，直到不漏浆为止。

③对于钻孔灌注桩，当钢护筒底部漏浆时，可继续下沉钢护筒，并用粘土封闭护筒周围缝隙，防止地表水继续渗入，然后向孔内填掷粘土块和碎石，填筑高度以高出钢护筒底 **1m** 为宜，最后用小冲程反复冲砸，达到加固钢护筒底部孔壁与堵漏的目的。

④当漏浆太快，散填难以达到目的时，应采用集中抛填将粘土袋、袋装水泥、片石等集中在短时间内大量填入。

5) 对于溶洞较发育地区，如抛填措施无效时，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) 采用格栅状抽条加固、水泥石墩柱可以对可能产生突水的节理、裂隙及通道进行处理，并实现对基坑进行分块，施工时当基底出现突（涌）水时可以分块进行处理。

6 矿山法隧道施工，应采取以下施工措施：

1) 在岩溶发育地区需进行加密补勘、地质预报与超前钻孔以探明未知岩溶。

2) 对探明的危害程度等级为一二级的岩溶进行地面预填充、加固处理，采用“溶（土）洞填充+水泥石墩柱”的方法提高地基承载力。

3) 进行洞内超前小导管、大管棚支护。

4) 进行洞内预注浆、爆破等需钻孔时，应先查明钻机钻进范围内，是否存在岩溶水。

5) 爆破时采用短进尺、少装药、多炮眼的方式。

6) 隧道开挖后，及时进行后续支护施工、尽早封闭成环。

7) 隧道初支封闭后，应对初支壁后 **3m** 范围进行探测，发现有溶洞应及时填充。

7 盾构法隧道施工，应采取以下施工措施：

1) 在岩溶发育地区需进行加密补勘以探明未知岩溶。

2) 对探明的危害程度等级为一二级的溶（土）洞可进行地面预填充、加固处理。

3) 对盾构设备停机进行专项维保，确保盾构机以正常姿态和完好的设备状态进入岩溶区，宜将盾构进入岩溶区初始段设为试掘进段，对掘进参数及监测数据、巡视情况等详细记录并总结分析，形成岩溶段试掘进报告以指导后续施工。

4) 岩溶段掘进中应确保成型隧道轴线满足设计要求。推进过程保持速度平稳、姿

态稳定，确保匀速地穿越，减少盾构推进对前方土体造成的扰动，尽量防止破坏溶洞。

5) 应根据掘进参数和岩层特性，选定适合常压开仓的位置对刀具进行检查、更换。

6) 在岩溶段地下水丰富的情况下，一旦出现螺旋机喷涌，应立即停止掘进，并施做止水环，以减少隧道后方来水。

7) 岩溶段宜采用双液同步注浆，快速固结稳定管片。

8) 岩溶段掘进通过后，及时进行洞内二次注浆，有效控制隧道沉降和渗漏水，同时做好工后沉降观测，对隧道总体稳定进行分析。

9) 采用盾构机测量自动导向系统和人工测量辅助进行盾构姿态控制，确保掘进成型隧道满足设计要求，需要人工由盾构始发井对洞内控制桩点进行复测。

10) 根据上一环掘进前后的盾构姿态和盾尾间隙情况，选择合适的管片类型和最优的管片拼装点位；加强对管片拼装手的培训。

11) 安排专人进行隧道管片防水材料粘贴，使用前专人检查防水材料的粘贴质量，管片运输至作业面后再次检查确认防水材料粘贴质量，不合格品运输至地面进行更换。

12) 结合地层情况，盾构掘进做好同步注浆，减少后期管片渗漏水情况。

8 预处理后的溶洞，应根据设计要求对其处理结果进行检测。

3.3 采空区

3.3.1 特性与评价

1 采空区指地下矿层采掘后遗留下来的地下空洞，采空区的存在使得轨道交通建设面临很大的安全问题，人员与机械设备均可能掉入采空区内部受到伤害。

2 采空区的存在常会引起岩层移动，进而造成地表拉裂、隆起、倾斜、扭曲，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、采空区顶板冒落塌陷情况难以预测等特点。

3 采空区可能富集地下水及残留瓦斯，在隧道开挖施工期间诱发涌水及中毒、爆炸等风险。

4 采空区类型可根据开采规模、形式、时间、采深及矿层倾角及充填处理情况等进行分类：

1) 可根据开采规模和采空区面积划分为大面积采空区及小窑采空区。

2) 可根据矿层开采形式划分为长壁式开采、短壁式开采、条带式开采、房柱式开

采等采空区。

3) 可根据开采时间和采空区地表变形阶段分为老采空区、新采空区和未来(准)采空区。

4) 可根据埋深及采深、采厚比分为浅层采空区、中深层采空区和深层采空区。

5) 可根据矿层倾角分为水平(缓倾斜)采空区、倾斜采空区和急倾斜采空区。

4 采空区具有隐伏性强、空间分布特征规律性差、采空区顶板冒落塌陷情况难以预测等特点,应开展专项勘察、专项设计、制定专项施工方案及应急预案。

5 影响采空区风险的因素有采空区的类型、开采规模、埋深、矿体倾角、地表变形、是否储水、采空区连通情况等,其中主控风险指标为开采面积、开采深度、采厚比、矿体倾角、地表变形。

6 采空区的危害程度等级可参照表 3.3.1 执行。

表 3.3.1 采空区危害程度等级参照表

危害程度等级	开采面积、深度、采厚比	矿体倾角	地表变形
一级	浅部缓倾斜矿层采空面积>拟建场区的 2/3,且法向采空厚度>2.5m;浅部急倾斜矿层法向采空厚度>3m	大于 55°	地表倾斜>10mm,地表曲率>0.6mm/m ² 或水平变形>6mm/m
二级	浅部缓倾斜矿层采空面积≤拟建场区的 2/3,或法向采空厚度<2.5m;浅部急倾斜矿层法向采空厚度≤3m	30° -55°	地表倾斜大于 6-10mm,地表曲率 0.3-0.6mm/m ² 或水平变形 3-6mm/m
三级	采空区深度 200-300m 且采厚比<60	15° -30°	地表倾斜 3-6mm,地表曲率 0.2-0.3mm/m ² 或水平变形 2-3mm/m
四级	采空区深度 300-400m 且采厚比≥60	小于 15°	地表倾斜<3mm,地表曲率<0.2mm/m ² 或水平变形<2mm/m

注: 1 采空区深度类型:

1) 浅层采空区: 采空区深度<50m, 或 50m-200m 且采厚比<30。

2) 中层采空区: 采空区深度 50m-200m 且采厚比≥30, 或采空区深度 200m-300m 且采厚比<60。

3) 深层采空区: 采空区深度>300m 且采厚比≥60。

2 采空区角度类型: 缓倾斜(水平): 角度小于 15°; 倾斜平缓: 15°-55°; 急倾斜: >55°。

3 危害程度等级: 一级: 任何一条符合应定为一级; 二级: 符合一条, 但不符合一级的定为二

级；三级：符合一条，但不符合二级的定为三级；四级：三条均符合。

7 采空区对工程结构可能产生以下不利影响：

1) 在采空区危害程度等级为三级以上的场地，应分析采空区对结构可能产生的不良影响。

2) 采空区发育可能带来的地基稳定性问题，当基底存在采空区时，受地铁运营振动、地震、邻近施工等影响，基底岩层可能发生断裂、坍塌，造成地基失稳。

3) 施工通过采空区后在采空区内施作的永久结构，若施工过程中处理不到位可能在使用期间出现一些结构风险。一般来说明挖法和矿山法施工的结构可能出现渗漏水、结构开裂等结构风险；盾构法施工的结构可能存在渗漏水、管片错台等结构风险。

3.3.2 明挖法风险

1 基坑围护结构施工中，因施工工艺的选择不当，可能存在塌孔、埋钻的风险，若采空区内有回填土，存在填土中的大颗粒含量影响施工工艺适用性的风险。

2 采空区围岩一般为基岩地层，基岩岩性强度的各项异性，可能造成钻进困难，另外由于基岩裂隙发育，成孔过程中，容易出现漏浆现象，岩层倾角大，容易造成孔斜，严重时折断钻杆，造成成孔困难或者钢筋笼无法下入。

3 明挖施工临近或通过采空区时，可能出现围护结构变形超限、基坑周边地表开裂和沉降变形，严重的出现基坑垮塌；明挖基坑采用锚拉支护结构的，若锚固段进入采空区影响区，可能存在锚固失效造成基坑失稳。

3.3.3 矿山法风险

1 矿山法隧道施工时，存在因机器震动、爆破对采空区围岩造成扰动，破坏其结构平衡诱发采空区塌陷的风险。

2 矿山施工遇到采空区位于隧道顶部或侧面时，可能出现涌突水、涌泥、隧道垮塌等风险；当采空区位于隧道底部时，可能出现隧道初支变形、沉降超限、隧道塌陷等风险。

3 采空区若有瓦斯聚积，采用爆破施工时可能带来瓦斯爆炸的风险。

4 有毒有害气体对人体可能造成伤害的风险。

3.3.4 盾构法风险

1 采空区内可能存在人工回填土，填土成分复杂、对盾构机刀具可能造成损害；隧道掘进过程中遇见未查明的采空区，易发生盾构栽头风险；遇见基岩凸起，可能存在扭矩瞬

间增大，盾构参数难以控制，易发生盾构姿态偏移的风险。

2 盾构法施工遇到采空区位于隧道下方时，容易造成盾构下沉，发生盾构停机甚至报废事件；采空区位于隧道侧面或顶部时可能造成盾构姿态难以控制，发生停机风险。

3.3.5 勘察措施

1 采空区勘察宜以收集资料、调查访问为主，辅以必要的钻探、物探、变形监测及水文测试等工作；已有资料不满足勘察要求时，应以钻探及物探工作为主。

2 采空区勘察范围宜以对拟建轨道有影响的采空区地表移动盆地分布范围为准，勘探深度宜深入采空区底板稳定地层 2m 以下。

3 收集资料宜包括矿层的特征、开采信息、地表已有变形特征、地表移动盆地特征、地下水开采情况、当地建筑变形及防治措施经验等。

4 物探宜根据采空区的埋深选择多种方法的综合物探，测线布置应重点沿轨道轴线，同时兼顾采空区的范围。

5 应根据地表变形监测资料划分移动盆地范围，预测后续变形值。

6 宜根据开采条件判别法、地表移动变形预测法、极限平衡分析法、数值模拟等方法对采空区场地稳定性进行评价，对轨道建设的适宜性及稳定性做出评价。

7 采空区描述应符合下列要求：

- 1) 采空区的类型、数量、规模及其连通性。
- 2) 勘察时采空区位埋深与标高。
- 3) 采空区周围岩土体稳定性。
- 4) 采空区是否储水和毒气。

8 勘察报告中应对采空区的工程风险进行系统性分析，并提出处理建议。

9 查明采空区附近的抽排水情况及其对采空区稳定性的影响。

3.3.6 设计措施

1 采空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。对探明的危害程度等级为一、二级的采空区应进行专项加固处理设计。

2 采空区位于隧道上方时，应根据隧道拱部与采空区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。对隧道上方采空区存在积水的情况，应设计钻孔并预留排水管的方式排水。

- 3** 采空区位于隧道中部时，若采空区未坍塌充填，可在隧道衬砌两侧边墙外设计护墙和回填；若采空区已坍塌充填，对充填物可设计换填或周边注浆加固方式进行处理。
- 4** 采空区位于隧道下方时，若采空区底板与隧底间的距离较小，可采取混凝土换填、注浆回填等设计措施处理；若采空区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理。在对采空区进行处理的同时，应加强隧道的初支及二衬结构设计。
- 5** 对于开采为无序开采，私采乱挖，没有历史记录，同时无法保证勘察准确无误的采空区应采取注浆加固设计。
- 6** 对于埋深较大且不易进入机械和人员的地下空体，设计可采用充填法进行处理。
- 7** 采空区空体分布深度不同，且不易开辟运输通道时，设计可采取湿式充填。
- 8** 对于采空区内埋深在 30m 以上的空体可以设计人工放顶后分层碾压或注浆充填处理方式进行处理，对于埋深在 30m 以下的地下空体设计可采取钻孔注浆充填。
- 9** 采空区煤层为急倾煤层，采空区宽度较小、深度较大，地铁隧道可采用地下桥方案。
- 10** 隧道穿越煤层采空区时，隧道开挖围岩可能产生较大变形，设计可适当增加衬砌结构的预留变形量。

3.3.7 施工措施

- 1** 对探明危害程度等级为一二级的采空区应进行专项加固施工。
- 2** 针对采空区引起的地面沉降、地面塌陷、地裂缝、基坑垮塌、隧道围岩破碎坍塌等地质灾害，应结合工程施工条件，选择如下施工措施：
 - 1) 充填处理采空区。将废石或各种充填材料送入采空区，把采空区充填密实，用充填体支撑采空区，控制地压活动，减少矿体上部地表下沉量，并防止矿岩内因火灾。主要有开挖回填、注浆充填、水充填等。此方法适用于充填成本较低或无法穿越采空区的施工情况。
 - 2) 预沉降法、高能量强夯法。此法主要适用于埋深浅、充分采动、顶板完全垮落、基底压力小、地基处理设计等级为乙、丙级的采空区地基处理。
 - 3) 注浆加固强化采空区围岩结构。此法适用于埋深较大，围岩质量相对较好的采空区处理。与注浆充填不同的，该法仅加固采空区围岩结构，并没有完全充填采空区。
 - 4) 避让法等。当采空区分布面积过大，充填注浆造价过高时，可考虑采用跨越和穿越法，并应综合采空区类型、顶板管理形式、停采时间、顶底板埋深及岩性、覆岩特

征、冒落物形状、水文地质条件以及建筑的规模、功能、荷载性及其对差异变形的适应性、施工技术条件与环境等因素。

3 采空处理后应进行相关的检测：采用钻探取芯、物探检测、注浆结实体强度检测、孔内成像、波速测试、补注浆、压水实验等方法结合起来进行注浆质量检测，包括注浆填充率、结石体强度、岩土体波速、注浆量等。若检测不满足工程实际需求，则需再次注浆及再次检测。

4 不同施工方法的施工要求：

1) 明挖法施工的部位，一般采用预处理填筑，确保明挖施工时不在基坑围护结构背后存在采空区。

2) 矿山法施工部位一般采用超前预注浆处理，对采空区进行注浆充填，待采空区充填密实后再暗挖通过，有积水和有毒有害气体的采空区，还应先打孔泄水和释放有毒有害气体再进行注浆充填；矿山法通过采空区时，应全程做好有毒有害气体实时监测。

3) 盾构法施工时应做好预处理，可通过盾构机进行超前注浆充填周边采空区，待周边孔洞充填密实后再掘进通过，并控制好盾构掘进速度和姿态。

5 隧道穿越瓦斯等有毒、有害气体地层属高风险作业。当工作面瓦斯气体浓度超过 5% 以上时，遇明火或火花易引起燃烧，甚至爆炸，将对人员和工程造成极大危害。因此在施工前，根据沿线隧道穿越范围有害气体分布情况和施工工法需要，对有毒有害气体进行提前释放。

6 虽然已对有害气体采取提前释放，在施工期间仍有可能出现有害气体局部积聚，影响施工安全时，应做好施工通风工作。

7 施工过程中应对隧道内瓦斯浓度进行 24h 监测，尤其是隧道拱顶易于形成瓦斯积聚且风流不易到达的地方。监测采用人工监控和自动监控系统相结合的监控方案。

3.4 地裂缝

3.4.1 特性与评价

1 地裂缝是地表岩、土体在自然或人为因素作用下，产生开裂，并在地面形成一定长度和宽度的裂缝的一种地质现象。

2 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城市轨道交通工程带来较大的困难。

3 根据地裂缝场地勘探标志层的不同，地裂缝场地可分为一、二、三类，如表 3.4.1 所示。

表 3.4.1 地裂缝场地分类表

	一类场地	二类场地	三类场地
标志层	地表层	上更新统和中更新统红褐色古土壤	1 埋藏深度 40~80m 的中更新统和湖相沉积； 2 60~500m 深度内可连续追索的六个人工地震反射层组
条件	1 场地内的地裂缝是活动的，在地表已形成破裂； 2 地表破裂具有清晰的垂直位移，地面呈台阶状； 3 地表破裂有较长的延伸距离； 4 地表破裂与错断上更新统或中更新统的隐伏地裂缝位置相对应	1 场地内的地裂缝现今没有活动，或活动产生的地表破裂已被人类工程活动掩埋； 2 场地内埋藏有上更新统或中更新统红褐色古土壤	不符合一类场地、二类场地条件的地裂缝场地都可属于三类场地

4 历史上我国许多地方都出现过地裂缝。华北广大地区、山西运城鸣条岗、陕西的礼泉、泾阳均曾出现地裂缝；目前最具有代表性的属于西安地裂缝，到目前为止已发现 14 条。

5 影响地裂缝风险的主要因素有活动分级、经济损失量、沉降值、差异性沉降变形、地下水开采等。

6 地裂缝危害程度等级可参照下表执行：

表 3.4.2 地裂缝危害程度等级参照表

风险分级	活动分级	沉降值h	差异性沉降变形 $\Delta\lambda$	地下水开采
一级风险	强	$h \geq 50\text{mm}$	$\Delta\lambda \geq 10\text{cm}$	附近集中开采地下水，有效距离 $L \leq 100\text{m}$
二级风险	中等	$50\text{mm} > h \geq 10\text{mm}$	$10\text{cm} > \Delta\lambda \geq 1\text{cm}$	附近未发现集中开采地下水
三级风险	弱	$h < 10\text{mm}$	$\Delta\lambda < 1\text{cm}$	

注：各项指标中满足任3项指标确定其危害程度等级，危害程度等级按最高级考虑。

1活动分级指标：

- 1) 活动强：速率 $>20 \text{ mm/a}$ （在拟建线路上有明显变形破损现象者）。
- 2) 活动中等：速率 $5 \sim 20 \text{ mm/a}$ （在拟建线路两侧 500m 以内有变形破坏显示者）。
- 3) 活动弱：速率 $<5 \text{ mm/a}$ （在拟建线路 500m 以内无变形显示者）。

2 沉降值和差异变形量:

1) S级表示地裂缝活动引起的沉降值 $h \geq 50\text{mm}$, 差异性沉降变形 $\Delta \lambda \geq 10\text{cm}$, 对工程结构进行完全破坏。

2) A级表示地裂缝活动引起的沉降值 $50\text{mm} > h \geq 20\text{mm}$ 。差异性沉降变形 $10\text{cm} > \Delta \lambda \geq 5\text{cm}$, 对工程结构危害程度较大, 需要采取必要结构控制措施减小对本工程的影响。

3) B级表示地裂缝活动引起的沉降值 $20\text{mm} > h \geq 10\text{mm}$ 。差异性沉降变形 $5\text{cm} > \Delta \lambda \geq 1\text{cm}$, 对工程结构影响程度一般, 整体结构均发生沉降所引发的差异性沉降变形对工程影响适中, 在有适当结构控制措施时项目在此区域内影响较小。

4) C级表示地裂缝活动引起的沉降值 $10\text{mm} > h$ 。差异性沉降变形 $1\text{cm} > \Delta \lambda$, 对工程结构影响程度较小, 地裂缝活动引起的沉降值和差异性沉降变形对工程影响均较小, 在此区域内的项目开发较为可行。

7 地裂缝对工程结构可能产生以下不利影响:

1) 地裂缝活动时, 隧道结构将沿着预设的滑动面下沉及扭转变形, 进而拉伸产生破坏。

2) 由地裂缝活动引起结构变形时, 会导致施工后期铺设轨道结构高度变化的积累, 进而影响竣工后地铁正常运营。

3.4.2 明挖法风险

1 地裂缝段由于工程性质较差, 在成孔过程中反复钻进和提升, 孔壁扰动后易于坍塌。

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、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坍塌。

3 由于近年来地下水的大量开采, 地裂缝活动频繁, 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。

3.4.3 矿山法风险

1 地裂缝错断带结构松散, 并可能形成过水通道, 故在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 衬砌变形破坏风险:

1) 拉张 - 挤压破坏。当地裂缝垂直位错超过某一定值时, 位于地裂缝上盘的隧道

底部出现脱空，衬砌顶部将产生拉应力，底部产生压应力。当拉、压应力超出了隧道衬砌的抗拉和抗压强度后，位于下盘的隧道衬砌顶部在距离裂缝一定距离处出现开裂，隧道产生拉张 - 挤压破坏。随着地裂缝垂直位错量的进一步增大，隧道衬砌顶部裂缝向两侧扩展而使衬砌产生环向开裂。

2) 直接剪断破坏。当地裂缝在过量抽取地下承压水或大地震等作用下，其活动量突然增大，隧道上覆土层的重力和两侧土体向下运动产生的侧壁摩擦阻力在衬砌内部产生较大的剪力，使隧道产生直接剪断破坏。

3.4.4 盾构法风险

地裂缝段一般不建议采用盾构法施工。

3.4.5 勘察措施

1 地裂缝场地勘察可分为地裂缝勘察阶段和地裂缝补充勘察阶段，对特大型地裂缝场地宜进行初步的地裂缝勘察，然后分区进行地裂缝勘察和地裂缝补充勘察。

1) 一类场地地裂缝勘察阶段，应进行以下工作：

①收集拟建场地附近地裂缝研究、勘察资料，进行系统的综合分析。

②现场地裂缝调查。了解拟建场地构造地貌形态；地表破裂产生的时间、发展过程；地表破裂的形态、活动方式、垂直位移；追踪地表破裂的延伸方向、延伸距离。

③采用槽探、钻探等方法，确定地表破裂与隐伏地裂缝的关系。

④选择典型破裂点，测量其平面坐标，测点间距宜为 10~20m。

2) 二类场地地裂缝勘察阶段，应进行以下工作：

①收集拟建场地附近地裂缝研究、勘察资料，进行系统的综合分析。

②现场地裂缝调查。了解拟建场地及附近地区构造地貌形态，地裂缝的活动情况。

③采用钻探为主的的勘探方法，查明上标志层的产状和错断位置。

④勘探孔的深度应揭穿二类标志层，地裂缝每一侧的勘探孔数不宜少于 3 个，勘探线的长度不宜小于 30m，确定二类标志层错断的勘探孔间距不宜大于 4m。

⑤勘探线间距不宜大于 30m，地裂缝拐弯幅度较大地段，勘探线间距不宜大于 15m。每个场地的勘探线数量不宜少于 3 条。

⑥测量全部勘探点的平面坐标和孔口高程，图示地裂缝的地面坐标值。

3) 三类场地地裂缝勘察阶段, 应进行以下工作:

①收集拟建场地附近地裂缝研究、勘察资料, 进行系统的综合分析。

②现场地裂缝调查。了解拟建场地及附近地区构造地貌形态, 地裂缝的活动情况。

③采用人工浅地震反射波法勘探和钻探, 查明隐伏地裂缝的位置。使用人工浅地震反射波法勘探的场地, 应对其二分之一的异常点进行钻探验证。

④钻探孔的深度宜为 60~80m, 一般孔间距 40~80m, 确定三类标志层错断的勘探孔间距不宜大于 10m, 地裂缝每一侧的勘探孔数不宜少于 3 个。三类场地的勘探线间距宜为 50~80m, 每个场地的勘探线不宜少于 3 条。

⑤采用人工浅地震反射波法勘探时, 宜进行现场试验, 确定合理的仪器参数和观测系统。野外数据采集系统的基本要求为: 覆盖次数不宜少于 24 次。道距 3~5m, 偏移距不小于 50m。

⑥测量勘探孔和桩号位的坐标和地面高程, 图示地裂缝的地面坐标值。

3.4.6 设计措施

1 在地铁工程选线时多采用正交穿越地裂缝破碎带的方式, 以此减少地裂缝破碎带对地铁工程的影响长度。

2 结构设计措施:

1) 在地裂缝带内设沉降缝, 预留净空变形量, 做好沉降缝处的防水、止水工作。

2) 加强结构刚度, 同时预留轨道、接触网等的调整空间。

3) 加强地裂缝变形带内的变形监测, 同时对地裂缝带采取特殊防水措施, 并进行必要的基础处理工作。

4) 地裂缝主变形区内坑道支护桩的设计应考虑地裂缝破碎带土体的性质差异。

5) 明挖车站基坑开挖范围内分布有地质裂缝时, 建议对车站围护结构进行优化设计, 采取有效措施, 加强止水效果。

3 建筑设计措施:

1) 采用合理的避让距离。

2) 加强建筑物适应不均匀沉降的能力。

3) 采用防水措施或地基处理措施, 避免水浸入地裂缝。

4) 在地裂缝影响区范围内, 不得采用用水量较大的地基处理方法。

3.4.7 施工措施

1 针对明挖法施工中的围护桩（墙）塌孔风险应对措施：

1) 围护结构成孔时，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。

2) 增加护筒长度。

2 针对明挖法施工中的基坑侧壁渗水坍塌风险应对措施：

1) 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止水和加固措施，并辅以基坑外降水。

2) 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，对围护桩（墙）背后已出现的空洞进行注浆回填。

3 针对明挖法施工中的主体结构裂缝、防水失效风险应对措施：

设置特殊变形缝，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。

4 针对矿山法施工中的开挖面渗水、涌水、坍塌风险应对措施：

地裂缝段采用矿山法施工时应采取降水、超前小导管注浆加固、WSS 深孔注浆加固三方面的措施，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。

5 针对矿山法施工中的衬砌变形破坏风险应对措施：

1) 应采取地质降水措施，结构处理措施和道床处理措施。

2) 在跨地裂缝上、下盘主变形区，将扁钢板作成抱箍固定在隧道衬砌外围或直接浇在衬砌内，其上焊接一钢筋做的测杆使其穿越地层延伸至地表，在地表做好醒目标记作为测点（上、下盘的地铁隧道衬砌各布设一个），对测点进行长期地表高精度水准测量，根据测点沉降变形的大小，进行实时准确快速的直接式预警。

3) 在地裂缝主变形区隧道底部与土层接触面上沿纵向埋设压力传感器，根据接触压力的变化判断隧道底部是否脱空，从而进行间接式预警。

6 针对周边地表沉降、塌陷风险应对措施：

1) WSS 深孔注浆加固方案。

2) 超前小导管预注浆加固方案。

3) 增设临时仰拱方案。

4) 增加地下管网监测。

7 针对周边建（构）物开裂风险应对措施：

- 1) 洞外可采用隔离桩处理措施，也可采用建（构）筑物地基加固方案。
- 2) 洞内可采用超前大管棚加固方案，也可采用双排小导管等地层预加固方案。

3.5 断裂带

3.5.1 特性与评价

1 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。

2 由于断裂带内岩体破碎，稳定性差，很可能诱发次生地质灾害，从而对地铁工程建设和人民生活造成危害，具有如下特征：

1) 活动性：活动断裂带是地表表层薄弱地带，直接影响到地铁工程建设场地的整体稳定性，若有新的地壳运动发生，往往会产生新的位移，危及地铁结构的安全。

2) 断裂带岩体的破碎性：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，易造成地铁结构断裂或倾斜，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) 断裂带两侧岩性的不均匀性：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，盾构掘进时易造成刀盘偏磨严重等事故。

4) 断裂带的富水性：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，隧道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。

3 抗震设防烈度等于或大于 7 度的重大工程场地应进行活动断裂(以下简称断裂)勘察。断裂勘察应查明断裂的位置和类型，分析其活动性和地震效应，评价断裂对工程建设可能产生的影响并提出处理方案。

4 全新活动断裂可按表 3.5.1 分级。

表 3.5.1 全新活动断裂分级划分表

断裂分级	活动性	平均活动速率 v (mm/a)	历史地震震级 M
------	-----	----------------------	---------------

一级	中晚更新世以来有活动性,全新世活动强烈	$v > 1$	$M \geq 7$
二级	中晚更新世以来有活动性,全新世活动较强烈	$1 \geq v \geq 0.1$	$7 > M \geq 6$
三级	全新世有微弱活动	$v < 0.1$	$M < 6$

5 断裂带对工程结构可能产生以下不利影响:

1) 活动断裂带直接影响到地铁工程建设场地的整体稳定性,若有新的地壳运动发生,往往会产生新的位移,危及地铁结构的安全。

2) 由断裂活动引起结构变形时,会导致施工后期铺设轨道结构高度变化的积累,进而影响竣工后地铁正常运营。

3.5.2 明挖法风险

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。

3.5.3 矿山法风险

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,隧道工程通过断裂破碎带地段,在开挖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。

3.5.4 盾构法风险

1 断裂带上、下两盘的岩性往往不同，接触带岩层的整体性、岩性均一性极差，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。

3.5.5 勘察措施

1 断裂勘察，应搜集和分析有关文献档案资料，包括卫星航空相片，区域构造地质，强震震中分布，地应力和地形变，历史和近期地震等，同时，结合物探资料推测断层数量、走向、倾向、倾角，结合地质雷达资料及联合剖面资料，推断断层影响带宽度。综合野外物探、钻探成果及区域地质资料，推断断层类别。

2 断裂带勘察工作应重点查明断层的产状、性质、断层两盘相对运动和断距、断裂带规模、破碎程度和胶结情况、富水程度等。

3 应采用多种方法手段确定断层。断层的识别可通过地貌、构造、地层标志和岩浆活动与矿化作用以及岩相与厚度的急变等方法。通过区域地质和前期资料初推断裂位置后，在专项勘察中，一般通过钻探来揭示这些断层活动的特征。当任何线状或面状地质体，如地层、岩脉、片理或相带等沿走向突然中断或被错移，则直接标志着断层的存在；而断层活动引起的构造强化，如构造透镜体、挤压破碎现象和各种擦痕，也是识别的重要依据。

4 应针对断裂破碎含水带进行抽水试验评价地下水富水程度。

3.5.6 设计措施

1 轨道交通建设，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。

2 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，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对断裂带进行全面加固和止水处理，确保开挖安全。

3 根据隧道断面尺寸、围岩情况针对性采取安全可行的超前支护措施（超前小导管注浆、

超前管棚等)和开挖支护方式(台阶法、CD法、CRD法等),开挖做到“短进尺、快封闭”,开挖断面及时封闭,确保开挖支护安全。

4 针对探明的断裂带分布和地层富水情况,对隧道结构及防水进行设计加强,视情况设置变形缝及预留变形量。

3.5.7 施工措施

1 穿越断裂带施工期间必须切实做好超前地质预报工作,由于地层断裂带的复杂性,以及单一超前地质预报手段的局限性和适应性,需要采取综合超前地质预报技术,综合运用多种预报手段通过多角度、多参数对掌子面前方的地质情况进行预报,常用的方法包括超前地质钻孔、数字全景孔内成像、TSP、地质雷达、红外探水等。

2 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或隧道局部坍塌,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,应加强各类支护措施。

3 采用明挖或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,可采用超前注浆、局部降水、主动引排、合理避让等措施组织结构开挖施工。

4 严禁断裂带附近深层地下水的开采,尽早建立地铁沿线附近断裂带和地下水动态监测网,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铁安全运营的影响,并采取相应处理措施。

5 在施工中采用物探和钻探结合、长短地质预报系统互相印证,精确确定地层富水条件,断层、风化槽变化范围、规模,以备有计划的采取施工对策。

6 隧道内应设计足够的集水坑和抽水能力,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。

7 在各通道口及重要部位加设移动式防水闸门,一旦发生突泥突水灾害,人员撤离后可将防水闸门关闭,以阻挡灾害的蔓延。防水闸门主要设置在可能出现突发涌水的断层破碎带及其他不良地质地段开挖前,应选择在地质条件较好的地段,防水闸门采用内置型钢骨架、外贴钢板的可拆卸重复利用结构,可循环使用。

8 矿山法施工时,开挖施工采用台阶法开挖:爆破采用减震爆破技术(如预留光爆层光爆技术或预裂爆破技术),以减少围岩松弛圈的厚度,保护隧道围岩及结构的稳定。对V级围岩衬砌,采用临时仰拱支护,同时采用全断面深孔注浆,开挖前并打设小导管进

行注浆保护。同时，应提前在初支上明显的标记出不良地质段的范围，二衬施工时，应先完成其他地段的二衬浇筑后，再逐步拆除这部分支撑、回筑二衬。加强监控量测，随时掌握开挖过程中围岩的动态和支护结构的稳定状态，并据此确定相应的施工措施，确保施工安全。

9 盾构法施工时，应采取超前地质预报手段探明碎裂岩及节理密集带的岩体破碎情况及水量大小，以确定适合的掘进参数。根据施工方案，利用盾构机自带的超前支护系统对前方地层进行注浆预加固。

10 盾构机在穿越断裂带前，应做好盾构机的检查，保证盾构机能均匀快速通过断裂带。采用土压平衡模式掘进，应密切关注掘进参数的变化，并加以控制，正确选用土体改良添加剂，预防“喷涌”、预防结“泥饼”，严格控制出土量和注浆量。

11 保证管片螺栓的质量，施工过程中管片螺栓要紧固到位，管片壁后及时施做止水环。

12 为顺利通过断层、破碎带等不良地质段，盾构设备应具备足够脱困的能力，施工时将设备提前解锁脱困模式，在发生卡机、卡刀盘等情况时，优先使用脱困模式进行处理；根据设备自身情况，储备足量的易损件，出现故障能及时修复，减少通过时的停机时间；通过前，对刀盘及刀具进行全面检修、更换，避免在破碎带内更换刀具；对距离较长，必须进行刀具更换的，应根据钻孔取芯情况，提前选取相对较好的位置进行更换。

13 按照设计要求提前布置监测点，如穿越桥梁等重要建（构）筑物，采取全自动监测系统，提高监测的及时性、准确性，通过时加强监测频率，并及时反馈指导施工。

14 通过时，在地表铺设钢板，并根据刀盘掘进及时调整钢板位置，减少地表坍塌风险。

15 施工前编制通过断裂带的针对性应急预案，备好充足的应急物资，做好应急演练。

3.6 有害气体

3.6.1 特性与评价

1 有害气体中对城市轨道交通建设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。

2 有害气体直接影响施工、运营期的人员身体健康、还可能影响轨道交通地基和围岩的稳定性，属轨道交通建设和运营期的重大风险，勘察、设计、施工及后期运营各阶段应分别做好有害气体的探查、治理、防治和监测工作。

3 有害气体的分类：

1) 人类活动产生的有害气体。包括日常生活、工业生产、航空航天等。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。

2) 自然产生的有害气体。煤层和天然气地质构造岩层，河湖相、海相、沼泽相沉积环境下沉积的淤泥、淤泥质土及其它岩土层。

4 在城市轨道交通地下工程通过工业垃圾和生活垃圾地段、富含有机质的软土地区，以及煤、石油、天然气层或曾发现过有害气体的地区应开展有害气体勘察工作。

5 有害气体场地专项勘察中针对浅层有害气体的专项勘察工作，以查明其埋深、分布范围、气体成分、变化规律为主，并提出处理措施，对后期施工提供指导建议，以保障工程的顺利进行。

6 有毒气体分布场地专项勘察应搜集区域及场地地质与水文地质资料、环境资料，开展调查与测绘、勘探（建井）与采样、现场测试和室内试验检测等工作，可采用适用的工程物探、化探技术：

1) 有毒气体分布场地专项勘察工作应对现场调查与测绘、勘探和建井、现场采样、室内试验与现场测试全过程的环境、职业健康安全进行策划与控制，应采取相应的防护措施，避免对相关人员进行健康风险。

2) 有害气体生气层、储气层的埋深、长度、厚度、与线路交角、分布趋势、物理化学性质及封闭圈特征。有害气体的类型、含量、浓度、压力，预测施工时有害气体突出危险性、突出位置、突出量，评价有害气体对施工及运营的影响，提出工程措施的建议。

3) 必要时编制详细工程地质图（比例尺 1:500~1:5000）、工程地质纵、横断面图（比例尺 1:200~1:2000），应填绘有害气体的类型、分布范围及生气层、储气层的具体位置、有关测试参数等。

7 影响有害气体风险的主要因素有有害气体的种类、含量以及开挖空间的密闭性等。目前，城市轨道交通工程中，基坑（槽）开挖、地下洞室开凿和隧道掘进过程遇到的常见的有害气体为瓦斯（沼气），其主要成分为甲烷（ CH_4 ）；其次为硫化氢、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳等。

8 有害气体的危害主要有三种方式：

1) 使人不适和窒息。空气中甲烷含量增加到 43%以上时，氧气浓度就会降低到 12%以下，这时人就会失去理智，时间稍长即可窒息死亡。当瓦斯浓度增加到 57%以上时，空气中氧含量降到 9%以下，能使人立即死亡。

2) 燃烧和爆炸。当浓度在 2%-5%或超过 8%时, 瓦斯遇到火源一般会发生燃烧。含量在 5%-8%之间, 同时空气中的氧气含量不低于 12%, 瓦斯遇到明火就会发生爆炸。如果瓦斯和空气混合气体中含有其他可燃性气体时, 爆炸界限还要扩大。

3) 地面及建(构)筑物沉降。地层中有害气体的排放, 改变原有地层气、液、固的三相组成, 结构力学性质发生变化, 发生压缩变形, 造成施工作业面失稳, 周边土层扰动破坏, 地面及周边建(构)筑物发生沉降开裂等, 带来市政管线损毁等次生灾害。

3.6.2 风险辨识

1 管线改移过程中, 有限空间作业可能受到管线渗漏的有毒有害气体或缺氧环境导致人员中毒或窒息的风险。

2 围护结构采用人工挖孔桩时, 如遇有毒有害气体, 可能产生人员中毒和窒息的风险。

3 施工过程中可能遭遇未知地下设施(如遭遇液态废物、地理污罐或管线等), 导致人员发生中毒和窒息的风险。

4 基坑开挖过程中, 通风不畅或作业人员未配置相关防护器具进行防护, 可能受到有害气体对现场管理及作业人员造成伤害。

5 矿山法施工过程中, 遇到不明来历的有害气体导致人员中毒或窒息的风险。

6 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的风险。

7 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。

8 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。

9 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。

10 有害气体对混凝土浇筑产生影响, 可能导致结构质量缺陷的风险。如混凝土浇筑质量不佳, 可能导致有害气体渗入结构内部。

3.6.3 勘察措施

1 初步查明地下浅层有害气体在不同区域是否有赋存, 及在空间分布上的差异性。

2 测定土体中有害气体含量、主要化学成分、浓度; 查明有害气体的分布及量测其压力, 划定影响工程区域的分布范围。

3 分析有害气体的赋存规律、来源, 判定施工中是否发生井喷或是否需预放气, 评价其

可能造成的危害，为工程设计和施工提出针对性防治措施和建议。

4 按照相关规范，提供有害气体专项勘察报告，为设计、施工和有害气体治理提供依据。

5 有害气体采用气体探测仪器，配用气体压力表及流量计，以查明含气土层的顶底板埋深及气体压力和流量参数。同时进行气体现场点火试验，并取气体样本进行成分分析。进行气体排气观测，绘制观测曲线，探明排气规律。

3.6.4 设计措施

1 地下洞室中防范有害气体对人身安全的威胁，在工程场址的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。

2 有害气体的治理设计应充分考虑环境保护和工程安全的双重要求，可选择土工施工技术（封闭、抽水、真空吸引等）、工业生产技术（建立工厂、利用成套工业设备，通过清洗、融化、化学分解等）、生物技术（通过微生物进行分解、浓缩、高等植物吸收等）等技术手段进行处理。

3 若不能避开，应选择气体含量相对低的地层或构造部位。

4 对于勘察过程中地层发现有害气体逸出的地区，必须在设计中针对有害气体的特性，在地铁构筑物的结构设计上予以足够的重视。

3.6.5 施工措施

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 地下车站的防治措施：

1) 施工单位在土方开挖前应对有害气体的治理效果进行检测和评估。

2) 施工中严格消防措施，施工作业面范围内严禁明火。

3) 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。

4) 加强灌注桩成孔、地下连续墙成墙的监测工作，发现异常情况时，应停止施工，查明原因。

5) 必要时设置一定数量的沼气释放孔。

3 盾构区间的防治措施：

1) 为每台盾构机配置气体探测设备，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。

- 2) 盾构施工作业面范围内严禁明火。
- 3) 加强盾构机内的通风、换气措施。
- 4) 必要时，在盾构机前进方向预先设置沼气释放孔放气。

4 当盾构区间需设置沼气释放孔时，可按如下原则布置：

- 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，防治明火靠近。
- 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。
- 8) 沼气释放孔的布置原则见图 3.4.1-3.4.2 所示。

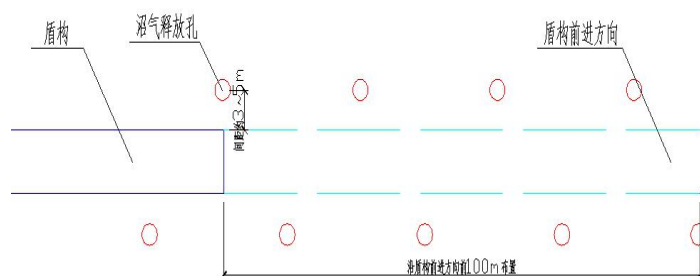


图 3.4.1 沼气释放孔平面布置示意图

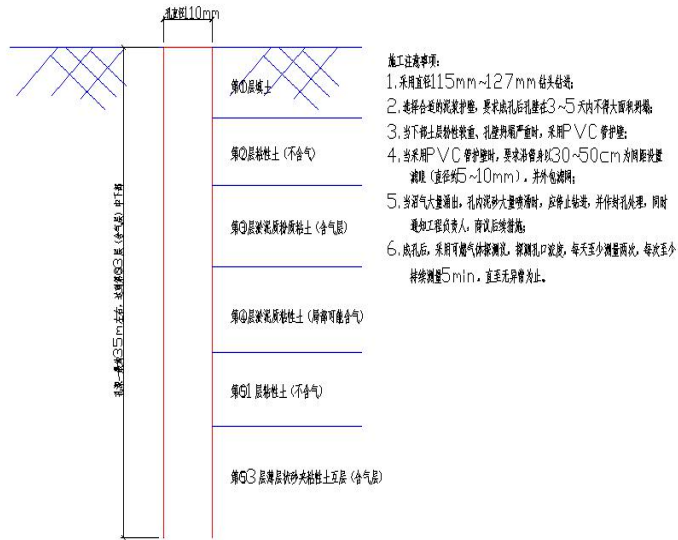


图 3.4.2 沼气释放孔剖面示意图

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可能引起的工程风险, 配备防毒设施和装备, 并制定应急措施。

6 在施工过程中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。

3.7 空洞、水囊

3.7.1 特性与评价

1 城市地下空洞的形成原因较为复杂, 在灰岩地段主要是由于地下水的侵蚀作用形成的岩溶空洞。在其他围岩地段主要是由于地层起伏较大加上后期的人类工程行为的多次改造处理而产生。地下工程施工引起的地层失水, 在地面硬壳层与以下地层间也易形成地下空洞。此外, 陈旧的地下管井、人防工事等早期废弃构筑物也是形成地下空洞的原因之一。地下空洞充填物为水时, 即为水囊。

2 地下空洞根据其充填物的状态分为水囊、气囊、球形风化的薄弱带或孤石、杂物等, 因其充填状态复杂, 其力学性能与土力学的基本原则相去甚远, 难以探测。

3 空洞、水囊对工程结构可能产生以下不利影响:

1) 隧道易发生过大不均匀沉降、结构不均匀变形、开裂等风险。

2) 隧道若位于高承压性地下水、复杂岩溶水、断裂构造水中时, 主体结构可能存

在发生破坏渗漏的风险。

3.7.2 矿山法风险

地面下沉或坍塌，并容易发生坍塌冒顶现象，易瞬间发生重大事故，如图 3.7.1 所示。

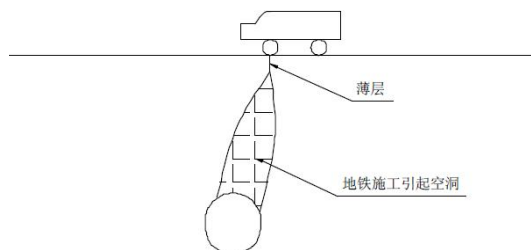


图 3.7.1 矿山法施工风险示意图

3.7.3 盾构法风险

1 地面塌陷风险，如图 3.7.2 所示。

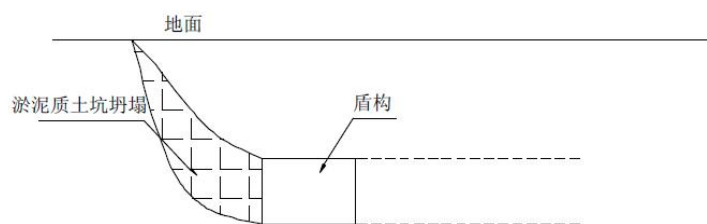


图 3.7.2 盾构施工引起的路面塌陷

2 含水层导入隧道，给隧道掘进造成安全隐患。

3 盾构机裁头的风险。

3.7.4 勘察措施

1 现有的地质勘察一般较难发现，只能在工程实施过程中采取补充钻探、超前钻孔及加强工程技术措施，减小其灾害程度。

2 在地铁隧道施工前可先利用地质雷达对隧道地表进行探测，探明地表浅层范围内可能存在的空洞、水囊，估计部分可能存在的浅层充填、半充填空洞和深层地下空洞。再根据地质雷达探测结果、前期详细勘察资料的地质状况，综合分析，进行针对性的地质补勘。基本探查出施工范围内可能会对工程施工产生危害的大范围地质空洞。

3 地质雷达对 5m 深度范围内的水囊、气囊可基本探明地下空洞的位置及范围，对 5m 以下和其它类型的地下空洞基本不具备参考价值。目前主要的技术手段仍主要是通过地质钻孔，根据探测取出的充填物的性状，根据经验来判断。

4在施工过程中也可根据地层的情况选择采用沿开挖面斜向外打探孔的方式进行超前地质预报。该类探孔分为深孔和中浅孔两类，一般在采用两种钻孔相结合的方法进行钻探。

5在钻孔过程中，若工作面局部出水量较大，则增加探水孔数量，以便准确预测预报并进行应急准备。钻机钻孔时要固定牢固，并安设孔口管及高压闸阀，确保超前钻孔涌出高压地下水时，能够有效地控制。

3.7.5 设计措施

1 设计单位应充分了解空洞、水囊的特性、工程特点及风险，必要时可要求补充勘察。

2 矿山法施工应加强隧道支护、止水设计，盾构法施工应及时调整掘进参数。

3 根据施工过程中动态勘察揭示的地质情况及时调整设计方案。

4 设计应加强结构设计，防止不均沉降和变形对结构和运营产生不利影响。

3.7.6 施工措施

1在工程中遇到地质空洞时，首先应采取可靠的探测方法弄清空洞的大小、埋深、具体位置以及根据施工准备阶段探孔取出的空洞内充填物的情况来选择处理方案，对不同的空洞情况采取灵活的处理措施，从而达到安全、经济、合理的效果。

2根据探测出的空洞规模大小情况来确定空洞处理方案：

1) 如果空洞规模较小，一般采取地面或洞内压注水泥浆或水泥砂浆。

2) 如果空洞规模较大，一般采取回填混凝土处理，地表处理也可采取旋喷和深搅。

隧道内处理宜采取帷幕注浆的方式分段通过。

3根据探地质空洞与隧道的位置关系来确定处理方案：

1) 位于隧道拱顶、边墙上部、中部的空洞，空洞的处理的目的是为了提高和保证隧道开挖的安全性，充填的介质主要起稳定围岩的作用，承受的荷载相对来说较小，采用压注浆水泥浆。

2) 位于隧道边墙下部的空洞，其充填物要满足稳定围岩的需要，而且承受的荷载较大，采用压注水泥砂浆或回填素混凝土处理。

3) 位于隧道底部的空洞，其充填物不仅要满足稳定围岩的需要，也要满足隧道基底长期稳定的需要，因而填充物质要整体性好，强度高，变形小，采用回填素混凝土处理。

4空洞处理效果检查：地下空洞处理完成后**28d**，应进行钻孔抽芯检测，满足相关的要

求（强度、渗透系数等）后才能继续组织隧道内掘进施工，否则应采取加强补注浆的方式处理。

5支撑处理：增设临时仰拱，缩小开挖步距，缩短钢格栅距离。

6地表降水：施工时，需要在隧道两侧位置实施管井降水处理，同时要达到应有的降水效果，还要控制好隧道上覆土层的含水量。

第四章 特殊性岩土

4.1 一般规定

4.1.1 城市轨道交通工程建设场地存在着特殊性岩土时，应采取措施查明其种类、岩土特性并分析评价其对工程建设可能造成的危害，必要时进行专项地质风险评估。

4.1.2 特殊性岩土对城市轨道交通工程影响不同，应按其不同特点进行重点勘察，在对工程建设影响较大的情况下，可进行专项设计及专项施工方案的编制。

4.1.3 当建设场地存在特殊性岩土时，应按照施工工序逐项分析其对明挖法、矿山法及盾构法等工法施工带来的工程风险，并提出相应措施。

4.2 填土

4.2.1 基本特征

1 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，是城市轨道交通工程建设的常见的风险因素之一，参建各方应高度重视，做好填土的勘察、评估、设计、施工、监测与检测工作。

2 填土根据物质组成和堆填方式，可分为下列四类：

1) 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。

2) 杂填土：含有大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等杂物。

3) 冲填土：由水力冲填泥砂形成。

4) 压实填土：按一定标准控制材料成分、密度、含水量，分层压实或夯实而成。

3 当遇厚层填土或成分复杂填土，应开展针对填土的专项勘察。

4 填土对工程结构可能产生以下不利影响：

1) 填土松散、压缩性较高，承载力低，一般未经处理很难满足承载力要求。

2) 填土作为工程建筑地基，易发生压缩变形、湿陷变形等现象，因此容易造成工程建筑沉陷、开裂、倾倒。

4.2.2 明挖法风险

1 基坑围护结构施工时，孔（槽）壁不稳，有塌孔和埋（卡）钻的风险，同时填土中大颗粒（尤其是含有钢筋），易造成孔（槽）垂直度偏差加大，加速成孔（槽）机械磨损的风险。

2 填土地层土钉施工风险主要存在以下两个方面：

1) 人工填土尤其是杂填土中常含有大量的建筑垃圾，会造成土钉成孔困难。

2) 人工填土一般比较松散，自稳能力差，极易出现塌孔。

3 填土地层锚杆施工风险主要存在以下两个方面：

1) 采用普通锚杆钻机容易出现塌孔等现象（机理同土钉），导致锚杆施工无法成孔。

2) 因人工填土孔隙大、渗透性不均匀，容易产生漏浆现象，若管理不善，会造成灌浆质量差，导致锚杆侧摩阻力低，使锚杆的抗拔承载力不足。

4 填土地层围护桩（墙）施工风险主要存在以下两个方面：

1) 由于人工填土具有松散、自稳能力差、孔隙率大、渗透性不均匀等特性，围护桩（墙）在人工填土地层中成孔易出现塌孔、漏浆严重等风险。

2) 如遇大块混凝土会造成钻孔偏斜、钻具磨损严重，甚至无法进尺。

5 人工填土一般比较松散、自稳能力差，土方开挖施工中易出现开挖面坍塌的风险。

6 人工填土具有压缩性高，不均匀，地基承载力低的特性，挖运机具在该地层上进行作业时，极易发生倾覆的风险。

7 围护体系使用过程中，填土地层基坑侧壁易发生渗水、桩间土流失风险，主要存在以下两个方面：

1) 人工填土具有孔隙大、不均匀，土层底部起伏大的特点，有些人工填土层底部会存在滞水。

2) 如果降水或者止水效果不好，会出现基坑侧壁渗水。

8 围护体系使用过程中，由于填土抗剪强度指标低、对锚杆提供的侧摩阻力小，容易发生蠕变，达不到设计要求的抗拔力，导致基坑开挖过程中围护结构变形过大，严重时可能造成基坑支护体系失稳。

4.2.3 矿山法风险

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，容易发生掌子

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。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。

4.2.4 盾构法风险

1 盾构始发、达到区域，端头加固效果不佳风险，主要表现以下两个方面：

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。

4.2.5 勘察措施

1 填土勘察应包括下列内容：

1) 搜集资料，调查地形和地物的变迁，填土的来源、堆积年限和堆积方式。

2) 查明填土的分布、厚度、物质成分、颗粒级配、均匀性、密实性、压缩性和湿陷性。

3) 判定地下水对建筑材料的腐蚀性。

2 填土勘察应加密勘探点，确定暗埋的塘、浜、坑的范围。勘探孔的深度应穿透填土层。

3 勘探方法应根据填土性质确定。对由粉土或黏性土组成的素填土，可采用钻探取样、轻型钻具与原位测试相结合的方法；对含较多粗粒成分的素填土和杂填土宜采用动力触探、钻探，并应有一定数量的探井。

4 填土的工程特性指标宜采用下列测试方法确定：

1) 填土的均匀性和密实度宜采用触探法，并辅以室内试验。

2) 填土的压缩性、湿陷性宜采用室内固结试验或现场载荷试验。

3) 杂填土的密度试验宜采用大容积法。

4) 对压实填土, 在压实前应测定填料的最优含水量和最大干密度, 压实后应测定其干密度, 计算压实系数。

5 填土的岩土工程评价应符合下列要求:

1) 阐明填土的成分、分布和堆积年代, 判定地基的均匀性、压缩性和密实度; 必要时应按厚度、强度和变形特性分层或分区评价。

2) 对堆积年限较长的素填土、冲填土和由建筑垃圾或性能稳定的工业废料组成的杂填土, 当较均匀和较密实时可作为天然地基; 由有机质含量较高的生活垃圾和对基础有腐蚀性的工业废料组成的杂填土, 不宜作为天然地基。

3) 填土地基承载力应结合地区经验按有关标准综合确定。

4) 当填土底面的天然坡度大于 20% 时, 应验算其稳定性。

6 填土地基基坑开挖后应进行施工验槽。处理后的填土地基应进行质量检验。对复合地基, 宜进行大面积载荷试验。

4.2.6 设计措施

1 基底人工填土厚度较薄, 地基承载力要求不高, 可进行换填处理, 换填材料视填土层底的原状土类别, 分别采用灰土或者级配碎石。

2 人工填土厚度较大, 对基底承载力要求不是很高, 可采用强夯法、CFG 桩、柱锤冲扩桩等复合地基。

3 如果对承载力要求较高, 可直接采用桩基。

4 矿山法开挖时可采取以下措施:

1) 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。

2) 适当加大锁口圈梁的宽度和厚度。

3) 加强锁脚锚杆的施工。

4) 加密小导管和格栅间距, 减少开挖进尺。

5) 制定专项治理措施, 一般采用全断面注浆加固, 并扩大围岩的加固范围等措施。

5 盾构端头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。

6 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, 常用的加固方案有搅拌桩法、旋喷桩法、注浆法、冻结

法等。

4.2.7 施工措施

1 土钉成孔时，当土钉长度小于 6m 时，可采用打入式钢花管注浆代替土钉。如果仍遇到大块的建筑垃圾，打入式花管也无法成孔，可适当调整土钉位置或角度，避让大块建筑垃圾。当土钉长度大于 6m 时，可采用跟管钻机施工。

2 锚杆成孔时，当普通锚杆钻机无法成孔时，可采用跟管钻进方式成孔，并及时进行二次补浆甚至三次补浆，必要时可进行劈裂注浆。

3 围护桩墙成孔（槽）时，可采取如下措施：

1) 如果人工填土层厚度较薄时，可采用增加护筒长度（导墙高度）的方法，防止出现塌孔、漏浆等现象。

2) 如果人工填土厚度较大，可采用人工挖孔代替钻机成孔，遇到大块建筑垃圾时采用人工破除方法予以解决。

4 土方开挖时，可放大开挖面坡度，其中上部人工填土部位适当加大坡度，并减少每层开挖深度，严禁超挖。

5 挖运机具进行作业时，宜减少每层开挖深度，及时硬化挖运作业坑内的运输道路。

6 桩间土渗漏、桩间土流失时，可采取如下措施：

1) 及时寻找并切断补给水源。

2) 插设导流管引排，将人工填土层中的滞水排出。

3) 加强桩间土防护措施，必要时采取注浆等加固措施。

4) 对已经形成的空洞，待桩间土支护面层具有一定的强度时，再利用预留注浆管或导流管进行注浆填充。

7 锚杆过大变形风险时，可采取如下措施：

1) 调整锚杆角度，并使锚杆的锚固段尽量避开人工填土层。

2) 如无法避开时，可采用二次压力注浆提高锚杆的抗拔承载力。

3) 加强变形监测。

4) 必要时对主动土压力区进行加固，加固方法可根据人工填土的主要成分，分别选用搅拌桩、旋喷桩、地面深孔注浆等。

8 围护体系有坍塌风险时，可采取如下措施：

1) 应加强变形监测和人工巡视，

2) 当围护体系变形过大, 且变形长期达不到稳定状态, 地面出现明显裂缝时, 应立即采取坡底堆土反压、坡顶卸载等处理措施。

3) 在采取上述措施的同时, 留下相关的影音资料, 组织召开专家会议, 对基坑支护体系的安全性进行评估。

4) 必要时搭建临时施工架构, 对支护体系进行加固, 如增加锚杆等。

5) 对未进行基坑支护的区域, 可调整基坑设计方案, 必要时可对主动土压力区和被动土压力区进行土体加固, 方法同前。

6) 对加固效果进行评价, 确认控制进一步变形后, 再进行下一步的基坑开挖。

9 矿山法施工时, 可采取如下措施:

1) 加密小导管和格栅间距, 减少开挖进尺。

2) 采用全断面注浆加固, 并扩大围岩的加固范围等措施。

3) 对具备条件的填土区进行地面注浆加固。

10 端头加固效果不佳, 可采取如下措施:

1) 适当增大加固区段的范围, 加密注浆加固钻孔间距。

2) 重点控制加固的薄弱环节, 包括桩的咬合位置、加固体与围护结构之间的间隙等。

3) 采用竖直抽芯和水平探孔相结合的方式检查洞门加固效果。竖直抽芯的部位要注重桩的咬合部位, 芯样的连续性应达到 90% 以上; 水平探孔的位置主要分布在洞门周围。

4) 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。

5) 对抽芯和探孔部位进行有效的注浆充填。

11 盾构掘进时可采用地面预处理或洞内处理的方法。

12 盾构掘进时, 宜增加注浆量, 控制掘进姿态, 勤纠缓纠, 管片螺栓复紧。

13 洞内处理障碍物时可采取以下措施:

1) 对地面开挖面前方 20m 实行超声波障碍物探测, 及时查出大石块、废桩等; 预设从密封舱隔板中向工作面延伸的钻机, 对障碍物进行预破除。

2) 气压进出闸门, 局部气压下密封舱排障, 对刀盘维修。

3) 设置石块破碎机, 将石块破碎到粒径 10mm 以下, 以便泥浆泵排出。渣土分离排放系统满足泥水处理及环保要求。

4.3 软土

4.3.1 基本特征

1 软土是指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 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。

3 软土的特性：

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，山区的软土可能还要大些。

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 $i \times (10^{-6} \sim 10^{-8})$ cm/s 之间，属微透水或不透水层。

一般砂层软土渗透性高于淤泥质软土，可以通过降水工程改善其土层物理特性，有利于施工安全性。

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（但在静置一段时间后，土粒与水分子等重新排列，恢复絮凝结构，强度又可得到恢复）。

6) 流变性（蠕变性）。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。作为建筑物地基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 $\phi = 0$ ，黏聚力 c 一般小于 20kPa，排水固结条件下， $\phi = 10^\circ \sim 15^\circ$ ， $c = 20\text{kPa}$ 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 分类标准见表 4.3.1 所示。

表 4.3.1 软土的分类标准

土的名称	划分标准	备注
淤泥	$e \geq 1.5, IL > 1$	e ——天然孔隙比； IL ——液性指数； Wu ——有机质含量
淤泥质土	$1.5 > e \geq 1.0, IL > 1$	
泥炭	$Wu > 60\%$	
泥炭质土	$10\% < Wu \leq 60\%$	

5 对工程地质条件复杂或有特殊要求的建筑物，必要时应进行施工勘察或专门勘察。勘察工作满足国家、地方有关技术标准和设计技术要求。

6 软土对工程结构可能产生以下不利影响：

- 1) 由于软土强度较低，一般不宜直接作为建筑地基。
- 2) 当软土为天然地基或软土地基处理不到位时，建筑物会有不均匀沉降、倾斜等风险。
- 3) 软土地基上的隧道结构，在周边有工程施工扰动的情况下，可能出现隧道变形、沉降、隆起的风险。
- 4) 当地表堆载过大时，可能导致软土地基上的隧道结构发生椭圆、开裂、渗漏等风险。

4.3.2 明挖法风险

1 地连墙施工风险分析：

- 1) 在采用机械或人工开挖导墙过程中，可能出现土体丧失整体稳定性的风险。
- 2) 在地下连续墙墙体混凝土浇筑过程中，由于软土的低强度、流变性和触变性等特点导致槽壁不稳定，发生局部坍塌的风险。在混凝土浇筑过程中，由于施工原因（清槽、刷壁不彻底，泥浆比重过大）泥浆沉积或残留的沙袋不能被混凝土置换在墙体中形成空洞的质量风险。
- 3) 在地下连续墙成槽施工过程中，引发周边建筑物变形的风险。

4) 在钢筋笼吊装过程中, 吊车地基不稳造成钢筋笼吊装失稳的风险。

5) 在地下连续墙成槽, 抓取槽段内土层时, 可能出现槽外自稳能力差的土体向槽内坍塌的风险。

2 土方开挖风险分析:

1) 基坑土方开挖过程中, 改变了原状土体的受力状态, 由于软土的流变性、触变性和低强度特性可能产生塌方的风险。

2) 基坑开挖后, 由于软土的低强度和高地下水导致围护结构在外侧土压力的作用下发生过大变形甚至破坏的风险。

3) 由于临时立柱施工时穿透承压水层, 且临时立柱与周边土体、混凝土不密实发生桩底承压水沿桩体周围涌出的风险。

4.3.3 矿山法风险

1 由于软土的流变性和触变性, 不宜采用矿山法施工。

2 如有特殊需要, 一般采用地层注浆加固或冻结后, 进行管棚支护开挖。

4.3.4 盾构法风险

1 盾构始发、到达施工风险分析:

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 risk。

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、粉土等透水性强的地层, 可能出现孔洞, 盾构洞门凿除时造成地下水突涌的风险。

2 盾构掘进施工风险分析:

1) 应分析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) 软土的粘性使盾构机外壳粘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。

4.3.5 勘察措施

1 城市轨道交通工程的软土勘察应包括下列内容：

- 1) 软土的成因类型、形成年代、岩性、分布规律、厚度变化、地层结构及均匀性。
- 2) 软土分布区的地形、地貌特征，尤其是沿线微地貌与软土分布的关系，以及古牛轭湖、埋藏谷，暗埋的塘、浜、坑、穴、沟、渠等分布范围及形态。
- 3) 软土硬壳层的分布、厚度、性质及随季节变化情况；硬夹层的空间分布、形态、厚度及性质；下伏硬底层的岩土组成、性质、埋深和起伏。
- 4) 软土的沉积环境、固结程度、强度、压缩特性、灵敏度、有机质含量等。
- 5) 地下水类型、埋藏深度与变化幅度、补给与排泄条件，软土中各含水层的分布、颗粒成份、渗透系数；地表水汇流和水位季节变化、地表水疏干条件等。
- 6) 调查基坑开挖施工、隧道掘进、基桩施工、填筑工程、工程降水等造成的土性变化、土体位移、地面变形及由此引起的工程设施受损或破坏及处理的情况。

4.3.6 设计措施

1 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，采取下列措施：

- 1) 选择适宜的结构体系和基础形式。
- 2) 墙体宜选用轻质材料。
- 3) 加强结构的整体性和空间刚度。
- 4) 预留适应沉降的净空。

2 基坑工程及明挖区间：

- 1) 基坑围护结构基本采用刚度较大的地下连续墙。
- 2) 设计应采用大刚度围护结构+多道支撑，分层放坡开挖，快挖快撑，严禁超挖的模式是基坑安全和变形控制的基石。

4.3.7 施工措施

1 软土地基处理措施：

1) 对暗浜、暗塘、墓穴、古河道的处理:

①当范围不大时,一般采用基础加深或换垫处理。

②当宽度不大时,一般采用基础梁跨越处理。

③当范围较大时,一般采用短桩处理。

2) 对表层或浅层不均匀地基及软土的处理:

①对不均匀地基常采用机械碾压法或夯实法。

②对软层常采用垫层法。

3) 对厚层软土处理:

①采用堆载预压法或真空预压法,或在地基土层中埋置砂井、袋装砂井或塑料排水板与预压相结合的方法处理。

②采用复合地基,包括砂桩、碎石桩、灰土桩、旋喷桩和小断面的预制桩等。

③采用桩基,穿透软土层以达到增大承载力和减小沉降量的目的。

2 软土基坑处理措施:

1) 减少分层分段数量。

2) 快速封闭基坑。

3) 及时架设支撑。

4) 控制纵向坡比,防止地表水深入基坑。

3 软土盾构处理措施:

对于软土盾构区间,加强盾构机姿态控制和管片壁后同步注浆,防止在施工中出现蛇形前进或垂直姿态下掉等事故。

1) 盾构始发和到达前,对洞门影响范围采用地基加固,如搅拌桩或冻结法加固,防止掘进时洞门处发生涌水、涌砂。

2) 注意盾构机掘进时候分区推力设置和姿态控制,防止盾构机始发时栽头或发生左右偏差。盾构机外壳粘结水泥土块引发过大地层损失。盾构管片二次注浆时发生错台和涌水。

3) 流变性较大的软土地层盾构掘进过程中,应严格控制每环出土量,严禁超挖,加强监测土仓压力和地表沉降变化情况。

4) 区间隧道联络通道施工过程中,注意集水井较深开挖部位的突涌水及引发的塌陷;冻结法施工联络通道引发附近盾构管片过大隆沉和破坏以及成型隧道管片破裂渗漏、错台或破损严重;联络通道冻结和开挖过程中发生塌方引起地面坍塌;防止融沉注

浆的地表沉陷。

5) 加强盾构掘进施工的地表环境保护。注意泥水盾构的泥水排送管路堵塞致舱内压力增大, 地面冒浆; 特别注意盾构施工引发运营地铁线路的安全; 降低盾构施工引发地表过大沉降和建筑、道路、地下管线破坏事故。

6) 特殊软土沼泽区域注意处理盾构施工过程中人员发生有害气体中毒。

4.4 风化岩与残积土

4.4.1 基本特征

1 风化岩是指岩石在风化应力等作用下, 使其结构、成分、性质产生不同程度变异的岩石。岩石已完成风化而未经搬运的称为残积土。

2 风化地层的特点:

- 1) 残积层、全风化层塑性指数低, 遇水崩解。
- 2) 强、中风化层渗透系数大, 容易具承压性。
- 3) 残积层、全风化层、强风化层往往有风化核(孤石)存在。

表 4.4.1 岩石按风化程度分类

风化程度	野外特征	风化程度参数指标	
		波速比	风化系数
未风化	结构和构造未变, 岩质新鲜, 偶见风化痕迹	0.9~1.0	0.9~1.0
微风化	结构和构造基本未变, 仅节理面有铁锰质渲染或矿物略有变色, 有少量风化裂隙	0.8~0.9	0.8~0.9
中等风化	1 组织结构部分破坏, 矿物成分基本未变, 沿节理面出现次生矿物, 风化裂隙发育; 2 岩体被节理、裂隙分割成块状 200mm~500mm; 硬质岩, 锤击声脆, 且不易击碎; 软质岩, 锤击易碎; 3 用镐难挖掘, 用岩芯钻方可钻进	0.6~0.8	0.4~0.8
强风化	1 组织结构大部分破坏、矿物成分已显著变化; 2 岩体被节理、裂隙分割成块状 20mm~200mm, 碎石用手可以折断; 3 用镐可挖掘, 用干钻不易钻进	0.4~0.6	<0.4
全风化	1 结构已基本破坏, 但尚可辨认; 2 岩石已风化成坚硬或密室土状, 可用镐挖, 干钻可钻进; 3 需用机械普遍刨松方能铲挖满载	0.2~0.4	—
残积土	组织结构全部破坏, 已风化成土状, 锹镐易挖掘, 干钻易钻进, 具可塑性	<0.2	—

注：1. 波速比为风化岩与新鲜岩石压缩波速度之比。

2. 风化系数为风化岩石与新鲜岩石饱和单轴抗压强度之比。

3. 岩石风化程度除按表列野外特征和定量指标划分外，也可根据当地经验划分。

4. 花岗岩类岩石，可采用标准贯入试验划分， $N \geq 50$ 为强风化； $50 > N \geq 30$ 为全风化； $N < 30$ 为残积土。

5. 泥岩和半成岩，可不进行风化程度划分。

3 风化岩对工程结构可能产生以下不利影响：

1) 结构设计应分析地下水对结构的渗透作用，判断结构渗漏的可能性。

2) 风化岩渗透系数大，容易具承压性，对主体结构防水体系影响较大，主体结构施工过程导致结构发生上浮或不均匀沉降变化。

3) 残积层、全风化层、强风化层往往有风化核（孤石），存在孤石处理后加固不当造成主体结构不均匀沉降。

4.4.2 明挖法风险

1 在基坑施工过程中，应分析基坑内风化岩遇水软化，强度等力学性质变差，地基承载力降低，造成围护结构失稳、坍塌的风险。

2 在基坑施工过程中，应分析由于花岗岩残积土和花岗岩风化带遇水易软化崩解，造成开挖面易坍塌，并且随着开挖暴露时间的延长，影响范围可能进一步扩大的风险。

3 若基坑开挖范围内土层含水量高、透水性强，应分析开挖面汇流积水、基底被水浸泡软化，导致地基承载力不足的风险。

4.4.3 矿山法风险

1 掌子面或掌子面拱顶为残积土层，该地层遇水后软化崩解，掌子面地层自稳性变差，易导致掌子面渗水、坍塌。

2 涌水涌泥，引发变形或坍塌，隧道周边地面引发沉降，影响周边建（构）筑物安全。

4.4.4 盾构法风险

1 在粘土矿物含量高的残积层、混合岩全、强风化地层进行盾构施工，极易在刀盘开口处和土仓聚集泥饼，泥饼形成后，掘进速度急剧下降，刀盘扭矩也会上升，大大降低掘进效率，刀具发生磨损。

2 在风化岩地层中掘进，经常遇到软硬不均的复合地层，易出现轴线偏离、刀具磨损、滞排、掘进困难等风险。

4.4.5 勘察措施

1 风化岩和残积土的勘察应着重查明下列内容：

- 1) 母岩地质年代和岩性。
- 2) 划分岩石的风化程度。
- 3) 岩脉和风化花岗岩中球状风化体(孤石)的分布。
- 4) 岩土的统一性、破碎带和软弱夹层的分布。
- 5) 地下水赋存条件。

2 风化岩和残积土的勘探测试应符合下列要求：

- 1) 勘探点间距应取规定的小值。
- 2) 应有一定数量的探井。
- 3) 宜在探井中或用双重管、三重管采取试样，每一风化带不应少于 3 组。
- 4) 宜采用原位测试与室内试验相结合，原位测试可采用圆锥动力触探、标准贯入试验、波速测试和载荷试验。
- 5) 室内试验对相当于极软岩和极破碎的岩体，可按土工试验要求进行，对残积土，必要时应进行湿陷性和湿化试验。

3 对花岗岩残积土，应测定其中细粒土的天然含水量、塑限、液限。

4 花岗岩类残积土的地基承载力和变形模量应采用载荷试验确定。有成熟地方经验时，对于地基基础设计等级为乙级、丙级的工程，可根据标准贯入试验等原位测试资料，结合当地经验综合确定。

4.4.6 设计措施

1 隧道周边帷幕注浆（必要时设计为全断面+周边帷幕注浆），如地表有条件情况下可采用搅拌桩、旋喷桩或井点降水等措施，进行断面加固止水和地下降水，避免富水软化的问题。

2 采用超前预支护管棚工艺，起到拱部管间的软弱围岩能形成微拱，具有足够数量能扩散或传递围岩压力中，实际起简支梁作用，两端的支撑梁便是简支梁的弹性支撑。超前管棚做顶板及侧壁支撑，为后续的隧道开挖奠定了坚实的基础，且施工快、安全性高、工期短。

4.4.7 施工措施

1 针对围护结构失稳、坍塌风险应对措施：

1) 减弱或切断基坑内外地层间的水力联系。

2) 基坑内基底加固。基坑开挖前对基坑内基底以下一定范围内的风化土层（包括残积土、全风化土层）进行旋喷桩预加固形成复合地基。

3) 基坑内注浆止水。基坑开挖前对基坑内基底以下一定范围内风化土层采用梅花形布置袖阀管低压注浆，以填充土层内原生节理、孔隙，阻断基岩裂隙水向上渗流的通道，注浆填充、挤密也可对风化土有一定程度的改良。

4) 基坑外注浆止水。基坑开挖前，在基坑围护结构外围采用前进式注浆工艺，目的是在围护结构外侧形成一道防渗帷幕，减弱或切断基坑内外强、中风化带间的水力联系。

5) 基坑内降水。基坑开挖前、开挖中至结构施工期间采用集水井（重力式）或井点强制式）方式进行基坑内降水，目的是通过降水始终保持基坑内开挖面或基底面不泡水。井点降水常见有井点、管井等降水形式。该控制措施工艺成熟，工程投资小，但花岗岩风化土层为弱微透水性土，该地层采用重力式降水速度慢、工效低，采用井点降水效果较好，但井点降水工艺相对复杂，对基坑开工进度有一定的影响。

2 针对开挖面坍塌风险应对措施：

1) 开挖前进行基坑内降水，或采用基坑内开挖面上方设置排水沟，或基坑内设置集水坑，及时将汇集的水进行抽排。

2) 为防止开挖面塌陷或地下水汇流形成泥石流威胁后方基底，每完成机械开挖一个区段即在靠近开挖面设横向挡土墙，挡土墙可采用型钢插入基底，横向用方木绑扎在型钢上，安设潜水泵，分段抽水。

3 针对地基承载力不足风险应对措施：

1) 为防止地基基面大面积浸水，在基坑两侧、中部开挖排水沟槽，在开挖面设置集水坑并安放抽水机，抛填片石前在沟槽中布设 $\Phi 100\text{mm}$ 的PVC盲管并覆以碎石，确保排水流畅。

2) 基地软化的地层需要进行换填，为保证换填层厚度，人工清底要将被水浸泡软化的地层清除直至未被扰动的地层或较坚硬地层。

3) 由于基底冒水和开挖面汇流积水，人工清底很难彻底清除被浸水扰动软化崩解的残积土，可选择进行抛填片石，在抛填片石的过程中要不断把片石挤压出来的泥土清

理干净。

4 针对集水坑开挖困难风险应对措施：集水坑可采用单管旋喷护壁桩，旋喷桩之间咬合，嵌入基底不小于 2m，待旋喷桩达到强度后，再进行开挖。也可在旋喷桩内插入钢管或型钢增加刚度。

5 针对隧道掌子面坍塌风险，可采用地面注浆、洞内注浆、冻结法等施工措施。

6 针对盾构刀具结泥饼风险应对措施：

- 1) 在到达该地层前把刀盘的部分刀具换成齿刀，增加刀盘的开口率。
- 2) 掘进时注泡沫剂，改善土体的和易性，预防粘土结块。
- 3) 刀盘背面和土仓隔板上增设搅动棒，增加搅动棒强度和范围，并且（空心）棒内还可预留注水孔，以便清洗刀盘和土仓。
- 4) 如果地层隔水性好，则可采用气压平衡模式掘进。
- 5) 在有条件的情况下，掘进过程中，进行空转刀盘，使泥饼在离心力作用下脱落。
- 6) 使用分散剂浸泡，分散泥饼。
- 7) 在开挖面稳定的前提下，人工清除泥饼。
- 8) 压气作业进舱清除泥饼。

7 盾构施工过程中可采取带压换刀措施，注意事项如下：

- 1) 通过计算和试验确定合理气压，稳定开挖面并防止地下水渗漏。
- 2) 刀盘前方地层和土仓满足气密性要求。
- 3) 专业技术人员对开挖面稳定状态和刀盘、刀具磨损状况进行检查，确定换刀专项方案和安全操作规定。
- 4) 作业人员应按换刀专项方案和安全操作规定作业。
- 5) 保持开挖面和土仓空气新鲜。
- 6) 作业人员进仓工作时间符合《盾构法隧道施工与验收规范》GB50446 的规定。

4.5 孤石

4.5.1 基本特征

1 孤石是残留于风化岩体中，多为中～微风化状，周围岩体多为全风化状，主要是不均匀风化的产物（如花岗岩球状风化），孤石是独立存在的，一般处的位置不高。

2 孤石单轴抗压强度非常高，其四周主要为全、强风化花岗岩带，两种地层强度差异非

常大，且四周的土层稳定性差。

3 孤石多赋存于花岗岩岩体风化壳内，从以往城市轨道交通工程实践中发现，孤石多存在于残积土层或花岗岩全、强风化带中，孤石的大小也受到局部岩性条件和地质条件等因素的影响，但是这种情况比较少见。在我国南方沿海地区，如福建、广东、广西等地的工程中均有发现孤石。

表 4.5.1 城市轨道交通工程已发现漂石孤石的城市

地层类型	分布城市
漂石	北京、成都、兰州等
孤石	广州、深圳、东莞、福州、武汉等

4 孤石是由地质作用形成，同周边地层差异性明显，颗粒直径较大，能够显著影响既定工法的一类地质体，依据工程现状分 2 种类型：

1) 残积岩层内的球状微风化岩块，离散性强、强度高、与周边地层地质差异性较大，埋深与所处地层有关，多在地下 10-20m 范围微风化基岩层面以上。

2) 沉积地层内的孤石，多由冲积或洪积形成，属于地质演化过程中的偶然现象，具有很强的离散性，强度较高，同所在地层差异性较大，埋深与所处沉积地层有关，有时也出露在地表。

5 施工阶段结合已完成的勘察成果，对工点孤石发育的区段划分孤石发育等级。

表 4.5.2 孤石发育等级特征表

孤石发育等级	见孤石率 (%)	串珠状孤石孔数 (个)	孤石线发育率 (%)	孤石发育特征
孤石强烈发育	≥10%	≥4	≥3%	常位于燕山期花岗岩发育区的山丘或丘间沟谷地带，风化壳较厚，孤石岩质新鲜、岩体完整且与围岩风化程度差异大；钻孔见孤石率高，串珠状孤石发室，揭露孤石的钻孔连续分布
孤石中等发育	5~10%	2~3	1~3%	介于强烈发育和弱发育之间
孤石弱发育	1~5%	1	0.5~1%	常位于混合花岗岩、花岗片麻岩发育区，揭露的孤石风化程度较深（以中风化或强风化为主），孤石与围岩风化程度差异小；区段未揭露或孤石零星揭露孤石；未揭露串珠状孤石发室，揭露孤石的钻孔未连续分布
孤石微发育	<1%	0	<0.5%	钻孔未揭露孤石或仅揭露个别厚度较小、风化程度较深的孤石

注：1 同一工点分布多个区段穿越花岗岩、混合花岗岩或花岗片麻岩残积土、全风化带、强风化带的盾构区间时，在 4.5.2 条原则基础上，以区段为对象划分各区段孤石发育等级。

2 见孤石率指揭露孤石的钻孔数占总钻孔数的百分比，其中总孔数统计时包括区段范围内工可

勘察、初勘、详勘及孤石加密勘察钻孔，不包括其它非地铁工程利用孔。

3 串珠状孤石钻孔是指同一钻孔深度范围内揭露到 2 个（含）以上孤石的钻孔。

4 线孤石率是指统计区段范围内揭露的所有孤石总厚度，占对应范围内全部钻孔中孤石和花岗岩类残积土、全风化和土状强风化带的总揭露厚度百分比。

5 同一档次的三个划分指标中，根据最不利组合的原则，从高到低，有一个指标达标即可定为该等级。

5 当孤石普遍分布时，建设单位应委托开展专项勘察、专项设计，施工单位应编制专项施工方案，并经专家论证后实施。

4.5.2 明挖法风险

1 明挖车站或区间竖井等围护结构范围内存在孤石，将对围护结构施工如钻孔灌注桩的成孔、地下连续墙的成槽等造成很大的施工困难。

2 围护结构成孔或成槽等过程中遇孤石地层时，导致钻头钻进方向或抓斗成槽方向偏离设计轴线，造成围护结构（钻孔灌注桩、地下连续墙等）偏斜，垂直度达不到设计与规范要求。尤其地下连续墙垂直度不足时，相邻两幅连续墙接头部位出现间隙，形成水土渗漏通道，引起围护结构渗漏、基坑外侧水土流失。

4.5.3 矿山法风险

1 矿山法区间隧道、施工横通道或联络通道等初期支护结构的位置尤其是拱顶部位存在孤石，将可能在隧道开挖过程中孤石坠落，伤及施工人员；而孤石上方土体易因未进行加固或加固不到位，导致土方坍塌等事故发生。

2 隧道初支结构位置的孤石坠落，孤石侵入到隧道初支结构位置，尤其是位于隧道拱顶部位的漂石孤石易在隧道开挖过程中坠落，造成施工人员伤亡。

3 孤石坠落后引起其上方土体坍塌，对于体积较大的孤石，利用超前小导管注浆对其上方土体进行加固比较困难，容易出现无法加固或加固不到位。

4.5.4 盾构法风险

1 盾构区间隧道开挖范围内存在孤石，给盾构施工带来很大的困难，不仅导致盾构掘进困难，掘进速度缓慢，而且在掘进过程中对地层造成较大扰动，导致产生较大的地表沉降，对隧道影响范围内的建（构）筑物保护极其不利。

2 造成刀具、刀盘严重磨损，孤石与四周地层强度差异大，相对较难被盾构刀具破碎，易随盾构的推进在刀盘前方滚动，长期与刀具、刀盘摩擦，加速了刀具、刀盘的磨损。

3 盾构姿态难以控制，孤石随盾构的推进在刀盘前方滚动，与其四周地层形成软硬不均的地层，导致盾构机刀盘受力不均，盾构姿态波动较大。

4 对地层扰动大、造成较大地表沉降，孤石随盾构的推进在刀盘前方滚动的过程中，对周边地层产生很大的扰动，易引起地表隆起或沉降。

5 开挖面土体失稳坍塌导致作业人员伤亡、地表沉陷，孤石周边的较软弱地层通常稳定性较差，开舱过程中开挖面土体易失稳坍塌；采取预加固措施时，存在地层加固不到位而导致土体坍塌的风险。

6 盾构开仓清障时，存在引起掌子面失稳及坍塌风险，石块过大进入螺旋机，造成螺旋机轴卡断。

4.5.5 勘察措施

1 孤石勘察和处理应结合设计方案、线路走向、隧道埋深、地形地貌以及地层岩性等综合考虑；勘察单位需查明孤石的分布特定与范围、强度与形态，并为下一步的施工勘察提供建议。

2 孤石加密勘察原则上以加密钻探为主，有条件时宜结合物探方法进行综合勘察，当采用物探方法时须进行钻探验证。

3 初勘阶段、详勘阶段孤石加密钻孔布置位置与隧道结构的位置关系和初勘、详勘钻孔相同，即陆地钻孔位于区间隧道结构外侧 3~5m，水域钻孔位于区间隧道结构外侧 5~8m；施工勘察阶段孤石加密钻孔原则上布置于单线隧道正中心。

4 在详细勘察阶段，勘察单位应按照以下的要求开展工作：

1) 详勘布孔时，设计单位应全面分析初勘成果、邻近线路既有勘察成果、线路埋深与岩土层的位置关系、地形地貌等因素，初步判断孤石发育段、对应段孤石对工程的影响，在详勘布孔阶段适当加密详勘钻孔间距。

2) 城市轨道交通工程建设一般需要勘察单位在完成详勘外业后尽快提交各工点详勘成果，以利于施工图设计和施工，原则上详勘阶段不要求同步开展孤石加密勘察工作（有特殊情况经另行研究后除外）。

3) 详勘钻孔如揭露孤石应采取孤石岩样，应进行天然状态单轴极限抗压强度试验，必要时进行孤石矿物组成、含量分析。

5 尽管施工补勘弥补了详勘的不足，但由于方法的局限性，仍不能百分比查明的孤石的分布，这就要求采用有效的物探的方法来辅助：

1) 地面物探技术包括超高密度直流电法、地质雷达和地震映像法、瑞雷波法。

2) 孔内物探技术包括钻孔回波交汇法和跨孔弹性波 CT 法、跨孔电磁波 CT 法和跨孔电阻率 CT 法。

3) 业内最新物探技术包括微动探测技术和三维电阻率 CT 法。

6 详勘揭露孤石时，施工阶段建议按照以下原则开展孤石加密勘察：

1) 对于孤石弱发育、中等发育和强发育区段，先分别按照 10m、5m、5m 间距布置孤石加密勘察钻孔。

2) 有条件时宜增加采用井间电阻率层析成像或井间弹性波层析成像物探工作，当揭示到的物探异常疑为孤石时，应在物探异常部位增加钻孔，验证孤石发育情况。

3) 加密过程中结合新完成的钻孔、物探验证孔揭露情况动态复核孤石发育等级。如果孤石发育等级升高，则根据复核后的孤石发育等级，按本条第 1 款继续加密钻孔；如果孤石强烈发育区加密过程中动态复核仍为孤石强烈发育时，则对应区段按照 2.5m 间距布置孤石加密勘察钻孔；依此类推。

7 孤石加密勘察钻孔深度应不小于结构底板以下 1m；当采用井间电阻率层析成像或井间弹性波层析成像进行井间物探时，加密钻孔深度还应满足物探对于孔深的要求。

4.5.6 设计措施

1 设计线站位及工法应充分比选论证，结合站位周边区域孤石发育程度，通过调整线站位、工法，尽量避开孤石发育区段，减小工程施工难度，降低工程施工风险。

2 针对明挖工法围护结构范围内孤石预处理，设计单位应结合站点地质条件、围护结构方案、周边环境等进行技术经济比选。可考虑预爆破、全回转全套管钻机取芯、旋挖钻+合金筒钻取芯等处理方案。

3 针对盾构掘进过程中，可能遇到的掘进困难、坍塌、卡机等风险问题，可采用以下设计措施：

1) 提前补勘，探明孤石分布情况，大小及位置。

2) 地面提前采取深孔爆破措施。

3) 开仓换刀选择合适的位置，提前做好开仓前方土体预加固。

4) 上软下硬，加强提前考虑刀具的配置，控制好掘进速率。有条件的情况先首先进行地面深孔爆破预裂。

4.5.7 施工措施

1 施工单位应结合初勘、详勘、施工阶段盾构区间孤石加密勘察成果，开展后续孤石探查及孤石处理工作。

2 当明挖法围护结构范围内存在较大孤石，且受周边环境条件限制，围护结构成槽（孔）困难时，首先采用冲击钻机破碎法进行过程处理，若孤石强度过高、冲击过程缓慢则采用潜孔钻机钻密孔后再采用冲击钻机破碎法进行处理。

3 明挖围护结构“一槽两钻”等补勘要求应由设计单位结合站点实际情况提出。明挖工法围护结构孤石常用的预处理方案有以下几种：

1) 地面钻孔预爆破处理法：从地面钻孔，埋设炸药，将围护结构范围内的孤石进行预爆破处理，其后进行成槽（成桩）作业。采用地面钻孔预爆破法进行孤石处理，地面钻孔预爆破法施工难度不大，爆破后孤石可以形成较小的碎块，处理效果较好。对周边环境有较大影响，当成槽附近存在输油管、居住小区等对爆破敏感建构筑物时，不宜采用。

2) 全回转全套管钻机取芯处理法：从地面采用全回转全套管钻机掘进，将孤石钻穿，将孤石取出，其后进行成槽（成桩）作业。

3) 旋挖钻+合金筒钻取芯处理法：从地面采用旋挖钻掘进，采用普通钻头钻至孤石位置时，根据孤石的厚度更换为合适的合金钻头，待旋挖钻机打穿孤石后，将孤石取出，其后进行成槽（成桩）作业。旋挖钻取芯法施工环境影响小，进尺速度快，可将孤石岩芯整体取出，处理效果较好。

4 当采用全回转全套管钻机取芯、旋挖钻+合金筒钻取芯处理孤石时，宜与围护结构成槽（孔）工艺统筹考虑。

5 当盾构掘进前方出现侵入洞身的直径较大（孤石单向最大尺寸大于 0.3m）的孤石，盾构无法正常掘进通过时，宜采用预处理。

6 孤石发育区，盾构机选型应充分考虑孤石对盾构掘进的影响，可在盾构土仓内安装超声波探测系统，时刻监视掌子面前方的变化，提前发现前方的孤石；盾构机宜配备对土体加固及破除孤石的相应设备（如超前钻孔注浆机、小凿岩机等设备）。

7 盾构工法孤石预处理以地面钻孔预爆破处理为主，在周边环境条件不允许使用爆破的情况下，可采用旋挖钻+合金筒钻取芯处理、全回转全套管钻机取芯处理等。

8 爆破处理应根据实验的爆破效果调整钻孔间距、深度、装药量的参数。

9 爆破处理完成后，应进行爆破效果检查。当孤石直径小于 2m 时，设置一个爆破检测

孔，当孤石直径超过 3m 时，每隔 2m 设置一个爆破检测孔。检测孔的孔径为 80mm。检测孔须封堵密实。应结合盾构掘进过程中出渣和刀具磨损情况，综合判定较为经济合理的岩石碎块直径（建议不超过 30cm），进而优化和调整爆破参数。

10 孤石爆破后应进行注浆加固。盾构施工到达前，需要对盾构范围内爆破区中松动的土层进行预注浆，以防局部坍塌对盾构掘进及地面建筑物产生影响，浆液采用单液浆。加固参数如下：**a.**注浆浆液采用水泥浆，水泥采用 42.5 级普通硅酸盐水泥，水灰比 0.8:1~1:1；**b.**注浆压力 0.5~0.8MPa，注浆压力逐步提升，达到注浆压力后稳压 10min；**c.**注浆扩散半径 1m；**d.**浆液注入速度 30L/min。

11 针对孤石处理后残留物、孤石侵入基坑会造成土方开挖边坡滑塌风险，可采用以下施工应对措施：

1) 做好孤石处理记录，土方开挖过程中，对孤石处理位置进行探挖，确定孤石残留物尺寸位置，再进行周边土方开挖。

2) 土方开挖过程中严格按照分层、分段开挖，控制放坡比例，如遇孤石优先对孤石位置进行开挖，暴露孤石位置及大小，及时对孤石进行破碎处理。

3) 加强土方开挖人员安全教育培训，土方开挖严格按照专项方案执行。

4) 安排专人盯控孤石处理范围的土方开挖工作。

5) 土方开挖前做好相应的应急物资储备。

12 必要时编制盾构掘进专项施工方案，严格按方案组织实施，确定各种地层具体掘进参数。

4.6 湿陷性黄土

4.6.1 基本特征

1 湿陷性黄土是指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 湿陷性黄土是一种非饱和的欠压密土，粉粒（粒径 0.05~0.005mm）含量一般在 60%以上，具有大孔和垂直节理，孔隙比大多在 1.0~1.1 之间。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，浸水后土的结构破坏发生显著附加变形。

3 湿陷性黄土的最大特点是无水情况下强度较高，能保持很好的直立性，遇水后强度迅

速降低，会发生局部坍塌。

4 湿陷性黄土对工程结构可能产生以下不利影响：

1) 当地基不处理或仅消除地基的部分湿陷量时，建筑物可能会不均匀沉降、倾斜和构件等不利情况。

2) 深基坑围护结构外侧湿陷性黄土浸水湿陷后，易产生基坑坍塌或超量的变形；周边建筑物的变形加大，出现过量的沉降或裂缝等危害。

3) 地下车站、隧道位于湿陷性黄土地基上，特别是自重湿陷性黄土地基上时，地基湿陷变形可使车站或隧道产生不均匀沉降。

4) 对采用浅基础的附属建构物，如出入口等，黄土地基湿陷变形产生不均匀沉降，使墙体开裂。

4.6.2 明挖法风险

1 在湿陷性黄土地层中采用湿式成孔（槽）方法进行围护桩（墙）施工时，易因护壁泥浆渗入湿陷性黄土地层而引起相应地层发生湿陷，在成孔（槽）过程中引起塌孔（槽），继而出现周边地面及建（构）筑物沉降风险。

2 湿陷性黄土地层在放坡开挖揭露后，由于开挖面有一定的坡度，开始暴露时土体结构竖向节理处于稳定状态，并且能有一定的强度，但是在暴露时间较长，且受到雨水、地层滞水作用下土体结构立刻破坏而转为流塑状，从而产生滑动流失，在坡面上形成空洞。

3 基坑开挖至基坑底部时，基底渗水或降雨会对基坑底部湿陷性黄土基底浸泡，承载能力急剧降低后，对主体结构的承载能力也随之降低，若产生不均匀沉降，主体结构将会产生开裂、甚至破坏等风险。

4 由于基坑在土方开挖过程中揭露湿陷性黄土后对已湿陷的黄土地层形成的土洞回填处理不理想，或者在某些情况下黄土地层含水量较大，并且水源补给较快，导致在开挖喷护过后在围护结构上出现较多渗漏水，影响围护结构稳定性。

5 在基坑开挖过程中，桩间土刚暴露时，如果桩间土为湿陷性黄土，且含水量较大，土体结构会立刻破坏而转为流塑状，从而产生滑动流失，在围护桩间形成空洞，影响围护结构整体稳定性。

6 湿陷性黄土地层在遇水湿陷后，强度损失较大，并伴随有较高的压缩性，因此该地层会产生较大的沉降，从而造成建（构）筑物墙体变形、开裂。

7 在地铁明挖基坑周边的建（构）筑物下方存在湿陷性黄土的，会受基坑开挖的地层应

力释放而产生向基坑的侧向土压力，地层在遇水湿陷后产生沉降会随地铁明挖基坑开挖而变形增加，地层变形较为显著，从而更加剧建（构）筑物沉降的幅度。

4.6.3 矿山法风险

1 在洞门破除过程中，如竖井周围降水效果不理想，洞门处拱部土体会因为存在湿陷性黄土，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 初支结构施工完成后，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 在地铁矿山法隧道沿线的建（构）筑物下方存在湿陷性黄土的，会受隧道开挖的地层应力释放而产生土压力的自我平衡过程，围岩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。

4.6.4 盾构法风险

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，可能会出现盾构机栽头的风险。

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。

4.6.5 勘察措施

1 查明湿陷性黄土层的时代、成因、分布、岩土物理力学特征、湿陷系数、自重湿陷系数和湿陷起始压力，判定场地湿陷类型和地基湿陷等级等，并结合工程特点和设计要求，对场地、地基做出评价，对地基处理措施提出建议。

2 采取不扰动土样，必须保持其天然的湿度、密度和结构，并应符合 I 级土样质量的要求。

3 根据不同工程特点，分析湿陷性黄土对其影响，如桩基工程，基坑工程等。

4.6.6 设计措施

1 地下车站多用明挖法施工，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。

2 暗挖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等对基底湿陷性黄土进行处理。

3 盾构区间由于施工方法的特殊性，地基处理方法的选择性极少，从目前情况来看，仅有注浆法可以选择。可采洞内注浆法或者地表注浆加固方案进行处理。

4.6.7 施工措施

1 在钻孔阶段应注意在湿陷性黄土地层里的钻进速度和钻压的控制，减小机械钻孔对孔壁湿陷性黄土的扰动。

2 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。

3 明挖施工主体结构基坑底部湿陷性黄土采用垫层法、换填法、重锤夯实（强夯法）、挤密法、预浸水法、桩基础法、高压旋喷桩、水泥搅拌桩、化学加固法等进行处理。

4 竖井开挖过程中对井壁已揭露的湿陷性黄土地层应立即进行格栅安装，并合理打设锚管，适时进行注浆，对于已湿陷的黄土地层应尽快在初支背后进行封堵回填，对于存在厚度较大、范围较广的湿陷性黄土地层应提前对该地层进行注浆加固。

5 矿山法施工中的马头门破除用大管棚+小导管对洞门处土体进行预加固，可有效避免因洞门临空面较大的情况下拱部地层不良所造成的坍塌风险，也可在竖井开挖前对马头门前方的地层进行旋喷注浆加固措施。另外，要严格控制洞门破除过程中开挖循环进尺深度和洞口密拼格栅的安装封闭时机。

6 控制初支结构过大变形，在允许范围内缩小上、下台阶距离，尽早使初支结构进行闭合。对初支背后土体进行回填注浆加固，减小地层变形。加强降水井抽排，并核查隧道上方地层有水管线渗漏情况，及时进行处理，减小地层渗水。

7 在盾构通过湿陷性黄土地层时，加强掘进参数和掘进速度的控制，减小盾构施工对地层的扰动。加强同步注浆方量及缩短砂浆初凝时间，防止盾构在湿陷性黄土中出现二次沉降。提高盾构刀盘仓压力，防止掌子面出现坍塌。

8 当发现地基浸水湿陷和建（构）筑物产生裂缝时，应暂时停止施工，切断有关水源，

查明浸水的原因和范围，对建（构）筑物的沉降和裂缝加强观测，并绘图记录，经处理后方可继续施工。

4.7 膨胀岩土

4.7.1 基本特性

1 膨胀岩土包括膨胀岩和膨胀土，膨胀岩属于极软岩中的特殊类型，含有大量亲水矿物，亲水性异常强烈；膨胀土是指土中黏粒成分主要由亲水矿物组成，同时具有显著地吸水膨胀和失水收缩两种变形特性的黏性土。

2 控制膨胀土胀缩势能大小的物质成分主要是土中蒙脱石的含量、离子交换量以及小于 $2\mu\text{m}$ 的黏粒含量。这些物质成分本身具有较强的亲水特性，是膨胀土具有较大胀缩变形的物质基础；除亲水特性外，物质本身的结构也很重要，电镜试验证明，膨胀土的微观结构属于面—面叠聚体，它比团粒结构有更大的吸水膨胀和失水收缩的能力。

3 膨胀岩土对工程结构可能产生以下不利影响：

1) 当桩基础位于膨胀岩土体内，应分析该范围内突膨胀土在遇水失水后发生胀缩变形，从而造成桩身与其相裹的土壤之间形成较大缝隙的可能性。

2) 应分析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，引起基础整体下沉的可能性。

4.7.2 明挖法风险

1 采用明挖法施工时，应按照施工工序逐项分析膨胀岩土对明挖法施工带来的工程风险。

2 基坑围护结构施工前，应分析膨胀岩土对锚杆成孔与锁定的影响，以及后期锚杆类支护工程失效或破坏、灌注桩缩径以及塌孔的可能性。

3 应分析大气剧烈影响深度范围内土体的胀缩性会对锚杆的工作状态产生影响的可能性。

4 基坑开挖过程中，应分析由于膨胀土吸水膨胀软化、失水收缩干裂，对环境湿热变化敏感，坡体发生边坡失稳、边坡局部崩塌等风险。

5 基坑使用过程中，应分析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，引起基础整体下沉的可能性。

4.7.3 矿山法风险

- 1 竖井开挖施工参照明挖法风险执行。
- 2 隧道开挖时，应分析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 隧道施工过程中应考虑开挖或支护不当，造成顶部或侧壁大面积垮塌导致片帮、冒顶的风险。

4.7.4 盾构法风险

- 1 盾构竖井开挖风险分析参照明挖法风险执行。
- 2 盾构选型中，开挖直径和盾体形状的选择，应考虑岩体膨胀抱盾壳的风险。
- 3 盾构掘进过程中，应分析膨胀荷载引起膨胀力对结构产生不利影响的风险。

4.7.5 勘察措施

- 1 膨胀岩土地区勘探，勘探点宜结合地貌特征和工程类型布置，采用钻探和井探相结合，钻探宜采用干钻。
- 2 勘探孔深度，除应超过压缩深度外，尚应大于大气影响深度。勘探孔深度还应满足各类工程设计的需要。
- 3 在大气影响深度内的土试样，取样间隔宜为 1m，在大气影响深度以下，取样间隔可适当增大。
- 4 膨胀土室内试验，一般应包括常规物理力学指标、无侧限抗压强度、自由膨胀率，一定压力下的膨胀率、收缩系数、膨胀力等特性指标，必要时可测定蒙脱石含量和阳离子含量；计算在荷载作用下的地基膨胀量时，应测定土样在自重与附加压力之和作用下的膨胀率；必要时，进行三轴剪切试验、残余强度试验等。

4.7.6 设计措施

- 1 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。
- 2 结构设计方案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。
- 3 土体膨胀时有可能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。

4.7.7 施工措施

1 明挖法施工过程中，可在土工格栅加筋柔性支护，能够有效地保湿防渗，且允许边坡少量湿胀变形可释放边坡土体大部分应力和膨胀力，加之柔性挡墙具有足够的自重，能抵抗土压力；在土工格室加土钉支护，提高稳定性的同时起到封闭防水的作用，可有效防止边坡发生失稳破坏。

2 矿山法施工时，可采取以下的措施：

1) 竖井开挖，遇地下水富集地段，可采用提前地表帷幕注浆或全套管咬合桩兼做止水帷幕的方案处理，做好止水，防止侧壁土体含水量增减；锁口段挡水墙设计过程中应满足最大雨量要求，防止地表水流入竖井，并可在竖井周边设置截水沟。

2) 马道头开挖，施工之前进行超前小导管注浆，对将要开挖的土体做好加固，并在开挖前检验注浆加固效果；开挖过程中，为防止破坏原有结构，应架设临时钢支撑，并对支撑进行监测；对马头门周边土体及结构进行加固。

3) 小导洞开挖，可进行小导管超前注浆加固，对土体进行加固、止水；开挖过程中，及时封闭掌子面，在下一循环开挖前，进行小导管超前注浆加固；若水量较大，小导管超前注浆加固效果不理想，水量一直较大，考虑采用冻结法等特殊施工工艺。

4) 隧道土方开挖，开挖前可进行小导管超前注浆加固，对土体进行加固、止水；开挖过程中，应及时封闭掌子面。

3 盾构法施工时，可采取以下措施：

1) 当隧道下方或上方存在膨胀土时，可以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。

2) 当隧道单侧或两侧存在膨胀土时，在一定膨胀力范围内可以不做针对处理。若膨胀力过大，应根据围岩应力重分布的规律有针对性的特殊处理，譬如改变钢筋布设形式，增加负筋，避免膨胀力过大引起的反弯矩导致管片结构破坏。

3) 在盾构施工过程中，应充分保证管片的防水能力和抗渗能力，包括接缝处及管片自身的防水。施工过程中应保证盾尾注浆质量，并适当地进行二次补浆，尽量减少或杜绝地下水沿管片流失。

4.8 卵石地层

4.8.1 基本特性

1 卵砾石层是指在天然土层中，以卵石、砾石为主，含有砂土及少量粘性土的粗碎屑堆积物。天然卵砾石层是由大小不一的颗粒所构成的。

2 卵石地层具有砾石强度高、地层渗透性强、局部含有大粒径漂石、石英长石等硬质矿物含量大等特点。

3 多位于河流冲积扇的中上部，卵砾石在我国大部分省市均有分布，以北京、成都、长春等地区尤为典型。

4 卵石地层对工程结构可能产生以下不利影响：

1) 由于卵砾石地层具有粒径大、渗透性强、孔隙大且连通等工程特点，致使围护结构(桩、墙等)施工时，存在泥浆严重渗漏的风险，造成资源浪费的同时，还会对周边环境造成不良影响，严重时会出现塌孔、地面沉降及建（构）筑物变形等风险。

2) 卵砾石地层中的砾石具有强度高、硬度大、耐磨性好等特点。在卵砾石地层中进行围护结构施工，机具的磨损问题突出。当卵石粒径大且强度较高时，既难以破碎又无法直接取出，导致钻孔难度增加，钻具磨损严重，更换频繁，而且可能会出现卡钻、掉钻及其他机具损毁的施工风险。

3) 卵砾石层颗粒之间一般无胶结、无粘结力，结构相对松散，颗粒大小不同，大颗粒卵石对孔壁稳定性影响很大，对施工扰动反应灵敏，是一种典型的力学结构不稳定地层，在此地层钻进成桩(锚索、土钉钻孔)，保持孔壁稳定非常困难。而且，由于地层渗透性大，导致泥浆液面难以保持，无法平衡地层压力，难以满足孔壁稳定的要求，从而易出现塌孔，孔径超径现象严重，有时甚至发生埋钻事故。

4) 卵砾石地层具有粒径大、密实度高、硬度高等工程特性，在此类地层中施工地下连续墙时，很难控制槽壁的垂直度，容易使分块墙体和隔桩之间接触不紧密，而发生渗漏。混凝土灌注过程中槽壁坍塌，导致墙体夹砂渗漏。由于卵砾石地层颗粒之间的孔隙大且连通、渗透性强，一旦发生渗漏，地下水迅速补给，给工程施工带来比较大的风险和隐患。

4.8.2 明挖法风险

1 围护结构（桩、墙等）施工时，存在泥浆严重渗漏的风险，造成资源浪费的同时，还

会对周边环境造成不良影响，严重时会出现塌孔、地面沉降及建（构）筑物变形等风险。

2 围护结构施工，机具的磨损问题突出。当卵石粒径大且强度较高时，既难以破碎又无法直接取出，导致钻孔难度增加，钻具磨损严重，更换频繁，而且可能会出现卡钻、掉钻及其他机具损毁的施工风险。

3 钻进成桩（锚索、土钉钻孔），保持孔壁稳定非常困难。而且，由于地层渗透性大，导致泥浆液面难以保持，无法平衡地层压力，难以满足孔壁稳定的要求，从而易出现塌孔，孔径超径现象严重，有时甚至发生埋钻事故。

4 施工地下连续墙时，很难控制槽壁的垂直度，容易使分块墙体和隔桩之间接触不紧密，而发生渗漏。混凝土灌注过程中槽壁坍塌，导致墙体夹砂渗漏。由于卵砾石地层颗粒之间的孔隙大且连通、渗透性强，一旦发生渗漏，地下水迅速补给，给工程施工带来比较大的风险和隐患。

5 卵砾石地层多为砂层充填，颗粒间无粘结力，桩间锚喷不及时，或存在地下水时，容易发生桩间土流失，地下水易携带卵砾石地层中细颗粒排出流失，严重时造成地面沉降或建（构）筑物变形。

4.8.3 矿山法风险

1 竖井开挖时，大颗粒卵石对井壁稳定性影响很大，处理大颗粒卵石时，容易出现井壁失稳，井壁超挖，锚管施工困难也容易导致井壁坍塌。

2 卵砾石地层稳定性较差，不易成拱，在竖井侧壁破除马头门或开挖时，极易造成地层稳定性破坏，导致坍塌，引起地面沉降。

3 大管棚、小导管超前支护施做、成孔困难，难度非常大，如遇到漂石更是难上加难。由于大粒径卵砾石地层强度差异大，大颗粒卵石随机分布，因此钻进时钢管很难控制偏斜，容易发生偏离预定轴线情况。

4.8.4 盾构法风险

1 端头加固效果不佳。端头加固时容易出现桩孔垂直度不够，桩身偏斜，加固体不连续，桩间不咬合，加固体的抗渗性达不到要求。

2 盾构掘进方向偏离。由于大粒径卵砾石力学性质差异大，且分布不稳定，盾构姿态控制困难，容易发生盾构掘进方向偏离预定轴线情况。

3 盾构掘进开挖面失稳风险。卵砾石地层颗粒之间为点对点传力模式，盾构周围地层成拱性极差。若开挖面支撑压力不足，或螺旋输送机的排土量大于刀盘切削土量时，在刀

盘前上方会产生较大的空洞区域，卵石或砾石将相继松动，在开挖面上方将会引起较大的塌落区，使得上覆土层产生较大的松动范围。若盾构隧道覆土较浅，将引起较大的地表沉降。

4 盾构掘进滞排。在卵砾石地层中掘进时，由于卵砾石颗粒硬度高、粒径大，一般不易破碎，进入土(泥水)仓后会导致机械损坏如磨损搅拌棒、卡死螺旋机可能导致施工过程中换刀频繁、堵塞螺旋机、堵塞泥水管路等。

5 盾构在该地层中进行开仓，容易引发卵砾石坍塌事故，严重时可能会危及地表建(构)筑物的安全，造成巨大的经济损失。

4.8.5 勘察措施

1 勘察方法主要是室内试验和抽水试验。

2 查明卵砾石地层的分布规律、颗粒级配、并对透水性及富水性进行查明。

3 隧道开挖施工前，对沿线地层和管线进行一次普查，对发现有管线渗漏的情况立即通知相关单位进行修补和加固，同时采取可靠的保护措施。

4 勘察报告中应对卵砾石地层的工程风险进行系统性分析，并提出处理建议。

4.8.6 设计措施

1 大粒径卵石对围护结构的施工将产生较大影响，设计施工时应充分考虑其影响选择经济合理的施工方法和工艺。

2 在土钉墙施工时，设计施工应选择合适的浆液配比及施工工艺对注浆量进行控制，应确保凝固后的锚固体充满土钉孔。

3 矿山法施工过程中，大粒径卵石会增大管棚、超前小导管成孔难度，同时容易造成支护构件的偏移，从而影响支护结构的安全，设计施工时应予以考虑。

4 砂卵石地层中注浆，易发生漏浆现象，设计施工时应选择合理的浆液配比及施工工艺对注浆量进行控制，并确保超前支护的效果。

5 矿山法在竖井开挖过程中，土压力较大，土体会产生一定的变形，可能发生边坡失稳现象。因此必须设计好竖井围护系统，竖井内还应加钢横梁支撑支护体系，并保证马头门施工的稳定。

6 矿山法施工横通道土体的自稳能力较差，很难形成自然拱隧道，施工时易产生坍塌，因此设计施工应加强该位置的支护，采取超前加固并及时支护。

7 盾构法掘进施工中刀盘刀具磨损大，导致频繁进仓检修更换作业，设计应根据地层、

掘进距离等综合考虑换刀检修预加固点。

4.8.7 施工措施

1 采用人工成孔、全套管钻进、乌卡斯钻机等适合卵砾石地层的施工工艺和设备，并增加储备，及时修复磨损机具。

2 根据砂卵石的粒径大小选择合适的成孔工艺，根据卵砾石级配调整施工参数，当遇大粒径漂石无法钻进时，可采用孔底爆破的方式进行处理。

3 围护结构施作过程中，提前做好地层注浆加固、止水等措施，地下连续墙成槽过程中严格控制垂直度，做好接缝处处理，并对地下连续墙的渗漏情况进行检测。

4 矿山法竖井施工过程中，需对井壁小导管进行注浆加固、控制开挖步距、提高监测频率、并采取支撑措施。

5 加强超前支护施工质量，保证超前小导管或管棚的数量、长度、外插角和搭接长度，严格控制注浆和注浆压力，并根据地层特性调整注浆参数及工艺。

6 加强监控量测，加强地下水位监测、井壁和隧道渗漏水巡视，根据检测结果调整施工工艺和参数。

7 针对卵砾石地层小导管打设困难，相对一般地层而言，小导管参数选择时尽量选用“短”、“细”钢管；“短”指的是在保证 1m 重叠基础上每榀一打，榀距视小导管打设难易进行调整；“细”指的是小导管在保证刚度要求的前提下尽量减小管径，以减少打设摩擦阻力，方便打设。

8 在施工过程中对难以自稳的卵石地层，可首先预埋套管喷射混凝土封闭掌子面，然后从套管内风镐顶进小导管，以稳定工作面，避免小导管打设时震动坍塌。

9 针对钢管偏斜，采用有线仪器定向、一次性导向跟管钻进技术，以管棚钢管为钻杆，采取钻进、铺管一次完成，加强过程监控与纠偏。

10 根据地层特点选取合理的刀盘刀具，并对土体进行塑流化改良，合理选择施工参数，并对开挖面土压平衡动态控制（地面隆起和沉降）。

11 采用自动导向系统和人工测量辅助进行盾构姿态监测；采用分区操作盾构推进油缸控制盾构掘进方向。

12 根据卵石级配、松散程度和颗粒大小等岩土参数确定选用合适的地层加固工艺及参数，当选用旋喷桩加固时应考虑卵石地层难以切割，影响加固范围，应加密钻孔间距。当选用深孔注浆工艺时，应考虑卵石地层难以控制注浆范围，应分层分段进行注浆。

13 当施工引起的地面塌陷与隆起过大时，将使附近既有建（构）筑物变形或沉降增大，影响其安全与正常使用；对于地下管网，将因地层变形而产生弯曲与破坏，施工中应加强监测。

14 在施工过程中因围（支）护体系及开挖机械震动容易扰动地层，土层的沉降变形比其他土层（粘性土、粉土层）大得多，施工中应严格控制地表变形。

4.9 富水砂层

4.9.1 基本特性

1 富水砂层是指富含地下水的粗砂、中砂、细砂、粉砂和砂质粉土地层。其中，以粉细砂为主的富水砂层施工风险较大。

2 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，开挖过程极易出现突水涌砂和坍塌。

3 富水砂层分布于古河道附近或冲积平原等范围，在全国各地广泛分布。

4 富水砂层对工程结构可能产生以下不利影响：

- 1) 富水砂层尤其液化地层，车站结构或者衬砌有不均匀沉降和管片渗漏水可能性。
- 2) 富水粉细砂层或者液化土层水位较高时，可能引发管片上浮。
- 3) 砂层液化时，应分析液化工况下对隧道结构抗浮和土层强度产生不利影响。

4.9.2 明挖法风险

1 围护结构施工地质风险分析：

- 1) 孔（槽）工艺对砂土的扰动可能导致进一步加大液化趋势的风险。
- 2) 围护结构施工，可能存在桩（墙、土钉、锚杆）成孔（槽）塌孔的风险，后期预应力不足、断桩、渗漏等风险。
- 3) 砂土地层锚索成孔施工可能存在塌孔、地面沉降的风险。
- 4) 施工 SMW 工法桩时，在粉细砂层，由于可压缩性差，容易出现挤压密实，阻力增大、电流异常，从而导致闷钻。
- 5) 地下连续墙槽段接缝处，由于施工过程中绕流处理不彻底，接头桩倾斜刷壁不到位，造成接头夹泥，在粉细砂地层高水头作用下，产生管涌。
- 6) 在成孔过程中，由于高水头的作用，地下水和粉细砂层会沿着钢套管外侧从孔

口流(涌)出,在这种情况下,当砂土流失达到一定量时,势必会造成地面塌陷。

7) 注浆后,未凝固的水泥浆液在高水头地下水作用下,有可能将水泥浆液从孔内挤出,造成锚固段失效,抗拔力不够。

8) 桩间土喷护不及时、钢筋网片与桩不能很好的连接、基坑外侧地下水的控制失效、水泥土搅拌桩等止水帷幕搭接不好、止水帷幕质量不好存在空洞等因素造成桩间土流砂。

2 土方开挖过程中,存在基坑渗漏、流砂、桩间流土的风险及承压水造成基底突涌的风险。

3 基坑降水过程中,地下水动态变化、基坑渗漏可能导致水土流失、地表沉降的风险。

4 基坑开挖与使用过程中,存在周边地表水和雨水、管线水进入基坑的风险。

4.9.3 矿山法风险

1 粉细砂层地层富含地下水,应分析流砂、涌砂风险。

2 砂层由于粘聚力较小,土方开挖时应分析现隧道塌方、冒顶的风险。

3 松散的粉细砂层,自稳能力特别差,当竖井开挖深度过大,开挖范围过长时,容易导致侧壁的坍塌,具体风险表现见 4.9.2 节。

4 马头门与竖井交界面,洞室形状突变,应力集中,是施工过程中的薄弱部位,粉细砂层自稳能力特别差,开挖时破坏了土层中的应力平衡,容易造成塌方。

5 粉细砂地层中一般含水量大,且土体松散,大管棚施工时出砂量过大或坍孔易导致管棚周围形成空洞,严重时导致地面塌陷。

6 在隧道施工过程中注意观察由于施工震动引发的砂土液化现象。

4.9.4 盾构法风险

1 盾构始发、到达施工风险分析:

1) 盾构始发、到达区,存在流砂、涌砂风险,应采取消除或者降低液化的方法对始发和到达区进行加固。

2) 盾构始发、到达,应分析洞门喷涌进而导致地面沉降或塌陷的风险。

2 盾构掘进施工风险分析:

1) 盾构施工过程中应分析砂土液化、盾尾泄露、同步注浆效果差、掘进压力不稳定、刀盘抱死的可能性,并制定应对措施。

2) 盾构在掘进过程中,对地层扰动较大,在扰动条件下极易产生液化。应分析刀

盘转动引发饱和砂土液化或者加重液化的可能性，并制定应对措施。

3) 盾构掘进时，受砂层摩擦影响，可能发生盾尾密封、铰接密封失效风险。

4) 盾构掘进同步注浆时，应分析砂土液化造成注浆压力大、盾尾和管片壁后注浆困难的可能。

5) 盾构开仓时，掌子面失稳、涌水涌砂风险。

3 盾构竖井开挖应分析基坑坍塌的风险。

4 开洞门、联络通道施工采用冻结法时，应分析砂土液化地层冻结体解冻失稳的风险。

4.9.5 勘察措施

1 城市轨道交通工程的富水砂层勘察应包括下列内容：

1) 勘察单位应对富水地层的工程性质、稳定性进行综合评价，并对设计和施工措施提出建议，包括地基承载力评价和基础形式建议、围护结构形式和降排水措施建议、地层加固措施和开挖方法建议、结构上浮风险和处理建议。

2) 施工中应通过超前地质预报，对不良地质作用、特殊岩土及地下水提前采取应对措施。将施工过程中揭示的地质情况反馈设计单位，及时调整支护参数。

3) 马头门、隧道和联络通道施工或盾构开仓前对地层进行加固的，可根据需要对地层处理效果进行扫描，供设计单位进行风险分析。

4) 查明地下水的埋藏条件，提供地下水位及其变化幅度。需要对地下水进行控制(降水或隔渗)，应进行专门的水文地质勘察。

5) 当开挖可能产生流砂、流土、管涌等渗透性破坏时，应有针对性地进行勘察，分析评价其产生的可能性及对工程的影响。当基坑开挖过程中有渗流时，地下水的渗流作用宜通过渗流计算确定。

6) 勘察单位应根据需要对盾构开仓门部位上方环境建/构筑物进行勘察，并提供给设计单位，用于分析开仓土体失稳对环境的影响。

2 勘察手段与方法：

1) 富水砂层勘察手段主要以标准贯入试验为主，必要时可辅助静力触探试验。

2) 标准贯入试验可根据贯入击数估算砂土密实度、变形参数、地基承载力、单桩承载力，砂土的液化，成桩的可能性等。

3) 地面下存在饱和砂土时，除 6 度外，应进行液化判别。液化判别孔标贯间距 20m 以上 1.0m，20m 以下不大于 2.0m。

4) 富水砂层水文地质参数可通过抽水试验、长期水位观测等方法获取。

4.9.6 设计措施

- 1 富水砂层区地铁工程围护结构设计的首要目的是固砂阻水，保持砂层稳定性，不产生流砂。
- 2 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。
- 3 应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。
- 4 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，施工缝的处理。
- 5 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。加强同步注浆和二次注浆。
- 6 对马头门开挖、联络通道施工、小导洞施工和盾构开仓等部位的结构和地层加固措施开展专项设计，并遵循下列原则：
 - 1) 尽量避免在粉细砂层采用大管棚支护措施，一般可采用套管护壁。
 - 2) 遇松散砂层应提前注浆加固。
- 7 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。

4.9.7 施工措施

- 1 在富水砂层进行明挖施工时，针对围护结构施工时槽壁坍塌、地表塌陷等风险，可采取下列措施：
 - 1) 控制地下水位在开挖面以下，防止地下水控制不力导致纵坡坍塌。
 - 2) 施工前宜进行试成孔，以测定数量。
 - 3) 泥浆配合比等施工参数必须严格按照首件参数执行。
 - 4) 加快工序的衔接速度，减少暴露时间。
 - 5) 针对吹填砂地层，成槽前采用三轴搅拌桩进行地层加固。
 - 6) 成槽过程中减少不必要的槽壁扰动，禁止无关设备行走。
 - 7) 提前储备冲击钻和旋挖钻等障碍物处理设备，应对加固体侵入槽段内情况。
 - 8) 对导墙背后空洞处进行注浆加固或回填高强度砂浆。
- 2 在富水砂层进行明挖施工时，针对土方开挖过程中的边坡滑塌、周边建（构）筑物沉

降等风险，可采取下列措施：

- 1) 严格控制边坡坡度，分层分段开挖。
- 2) 减少基坑土体暴露时间，快挖快撑。
- 3) 开挖面设置明排水沟和集水井。
- 4) 对连续墙间存在缺陷可能的墙间和阴阳角及异型幅接头部位进行旋喷桩加固，墙间旋喷桩止水加固至岩面，并做好施工期间的质量把控。

5) 施工前进行试降水试验，通过降水监测周边建（构）筑物的沉降，确定沉降指标。

6) 施工前在重点建（构）筑物及重大管线间打设回灌井及跟踪注浆孔，当监测数据异常时，及时采取补偿注浆措施，保证建（构）筑物的安全。

3 在富水砂层进行明挖施工时，针对围护体系使用期间的闷钻、坍塌、支护桩间或连续墙搭接处渗漏、基底突涌等风险，可采取下列措施：

1) 施工 SMW 工法桩时，应根据粉土粉细砂地层的特点，出现阻力增大、电流异常时，应及时采取提钻、复搅的方法施工。

2) 地连墙施工时采用降水、提高泥浆指标或槽壁两侧加固等形式，防止地下连续墙成槽塌方。

3) 采用坑外 WSS 注浆加固止水、坑外旋喷桩加固止水、坑内挖坑直接堵缝法或挖坑插压钢板堵缝法等，防止地下连续墙接缝处渗漏。

4) 采取不断根据实际成槽情况调整泥浆配比，保持槽壁的稳定性和垂直度，成槽时注意垂直度及成槽速度，在成槽结束后吊放锁口管后用泥土尽量将锁口管背侧填实，避免防止锁口管提拔过早等措施，防止地下连续墙混凝土绕流。

5) 控制孔内水压、泥浆比重、钻进速度和井内清孔，防止钻孔灌注桩塌孔。

6) 在高水头砂层锚索开孔、成孔过程中，采用套管与钻杆同步钻进成孔工艺，有效控制排渣，在开孔位置采用防涌砂装置来平衡外部水土压力，防止高水头粉细砂层锚杆锚索施工地面塌陷。

7) 通过增加锚固段长度的方法来确保其抗拔力，再通过拔出套管后的快速封堵来避免出现涌砂，防止预应力锚杆锚索锚固段失效。

8) 加强基坑外地下水控制措施，并做好导排措施。围护桩间土脱落、涌土流砂情况严重时，进行注浆封堵。

9) 安装实时监测设备，当基坑开挖到安全水位位置及时开启减压井，并在过程加

强巡视。

4 在富水砂层进行明挖施工时，针对主体结构上浮风险，可采取下列措施：

- 1) 严格执行顶板封底后进行减压井封井。
- 2) 加快顶板压顶梁施工和土方回填。

5 在富水砂层进行马头门开挖时，针对洞门环向施工缝或变形缝渗漏水，可采取下列措施：

- 1) 洞门结构和相邻结构界面处，应将先期灌注混凝土凿毛并处理干净。
- 2) 中埋式止水带位置应与变形缝的中心线重合，采用扁钢固定夹紧止水带。
- 3) 检查先期甩搓的防水层是否已经破损，如已破损，需进行修复。
- 4) 预埋设置注浆管，混凝土浇筑振捣时注意对注浆管的保护，避免破损和堵塞。

6 在富水砂层进行矿山法隧道开挖时，针对掌子面坍塌、拱顶坍塌、涌水等风险，可采取下列措施：

1) 隧道开挖前，如地层有渗水现象，要用洛阳铲对前方地层进行超前探查，查明前方地层及水层情况，避免前方存在水囊、空洞，造成开挖时土体坍塌和涌水事故。

2) 查明雨污水、供水管线渗漏或破裂情况，以及地表水体与开挖面的水位联系。采取切断水源、降水、局部注浆止水、开挖面全断面注浆等地下水控制措施。

- 3) 开挖前采用自进管棚或超前小导管进行超前加固。
- 4) 采用超前炮孔配合红外线探水进行超前地质探水。
- 5) 开挖后立即进行初期支护，加强注浆堵水。

7 在富水砂层进行盾构施工时，针对涌水涌砂、砂土液化、地面塌陷等风险，应采取下列措施：

1) 对于砂土液化采取基底加固措施。

2) 定期对盾尾密封、螺旋密封、铰接密封等进行专项检查。

3) 盾构机应具备加泥浆/泡沫功能，螺旋出土器应设有防喷装置（如盾构机螺旋机宜采用前后两道闸门），防止喷涌带来的地面沉降。

4) 一旦发现盾尾有泥沙漏涌迹象，应立即停止推进并进行封堵。

5) 膨润土泥浆或泡沫剂、聚氨酯、海绵板、快凝快硬水泥等物资及设备应预备充足，并能够在规定时限内到达抢险位置。

8 盾构开仓、联络通道施工时，有条件时应对地层进行冻结加固和降水处理。

9 盾构始发、到达时，应做好端头加固及洞门密封，控制掘进压力，必要时增加降水井。

10 具备施工条件的前提下，应采取必要的对建（构）筑物等的加固保护措施，并加强监测工作。

第五章 复杂地层结构

5.1 一般规定

5.1.1 当在复杂地层结构分布范围内进行勘察时,应按复杂场地考虑钻孔布置或在详细勘察阶段根据钻探情况加密钻孔。

5.1.2 当复杂地层结构对工程影响很大时,设计单位应针对复杂地层结构进行专项设计,必要时进行专家评审。

5.1.3 当复杂地层结构对工程影响很大时,施工单位应针对复杂地层结构制定专项施工方案,必要时进行专家评审。

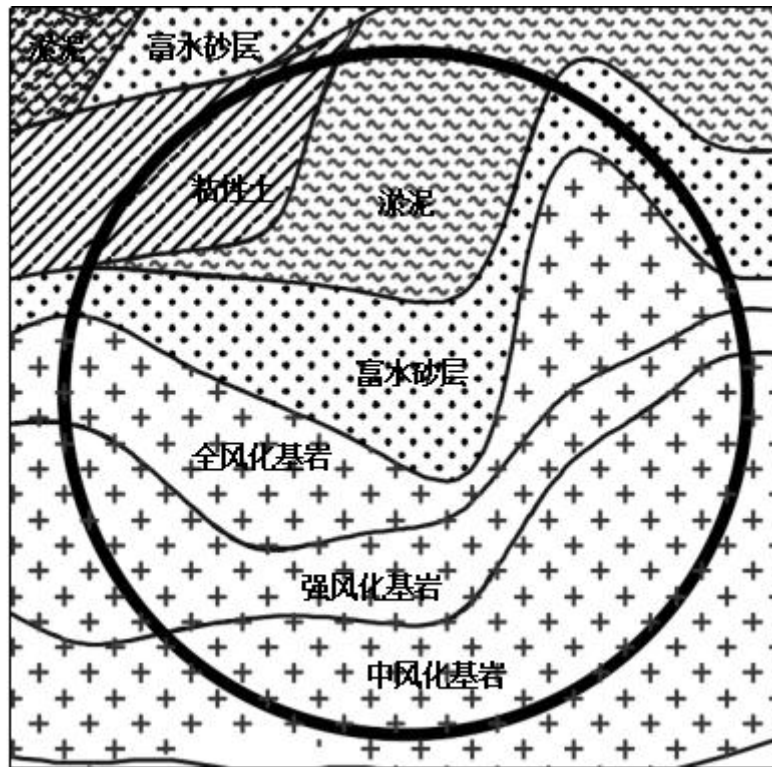
5.2 复合地层

5.2.1 特性与评价

1 复合地层是指在地下隧道工程开挖断面范围内,由两种或两种以上不同地层组成,且这些地层的岩土力学、工程地质和水文地质等特征相差悬殊。

2 复合地层的组合方式多样,典型地层组合形式包括:

- 1) 隧道开挖面上部为软土、粉土、富水砂层等相对软弱地层,下部为坚硬岩石地层。
- 2) 隧道开挖面上部为工程性质较好的粘性土层下部为富承压水的砂卵石土层。
- 3) 隧道开挖面地层为软硬相间地层。



3 根据岩土施工工程分级，隧道开挖面复合地层的不均匀程度可以参照表 5.1 进行划分：

表 5.1 隧道开挖面地层不均匀程度分级参照表

不均匀程度	开挖面岩土施工工程分级差别
一级	相差 4 级及以上
二级	相差 3 级
三级	相差 2 级

注：开挖面富水时，则不均匀程度按提高一级考虑。

表 5.2 岩土施工工程分级表

岩土施工工程分级	分类	岩土名称及特征
I	松土	砂类土、种植土、未经压实的填土
II	普通土	可塑和软塑的粘性土、膨胀土，粉土，Q ₃ 、Q ₄ 黄土，松散、稍密、中密的角砾、圆砾，松散、稍密的碎石、卵石，压密的填土，风积沙
III	硬土	坚硬的粘性土、膨胀土，Q ₁ 、Q ₂ 黄土，密实的角砾、圆砾，中密、密实的碎石、卵石，各种风化成土状的岩石
IV	软质岩	块石、漂石，含块石、漂石 30%~50% 的土，岩盐，各类较软岩、软岩及成岩作用差的岩石：泥质砾岩，煤、凝灰岩、云母片岩、千枚岩，岩石饱和单轴抗压强度 < 30MPa
V	次坚石	各种硬质岩：硅质页岩、钙质岩、白云岩、石灰岩、泥灰岩、玄武

		岩、片岩、片麻岩、正长岩、花岗岩，岩石饱和单轴抗压强度在30~60MPa之间
VI	坚石	各种极硬岩：硅质砂岩、硅质砾岩、石灰岩、石英岩、大理岩、玄武岩、闪长岩、花岗岩、角岩，岩石饱和单轴抗压强度>60MPa

注：表中所列岩石均按完整结构岩体考虑，若岩体极破碎、节理很发育或强风化时，其等级应按表对应等级降低一个等级

4 复合地层对工程结构可能产生以下不利影响：

1) 位于填土、软土、富水砂层等软弱松散地层中的隧道，建成后可能发生隧道结构下沉、边墙内敛、开裂、漏水等风险。

2) 隧道位于软硬复合地层、尤其是开挖面地层力学性质差异较大、不均匀性突出时，隧道易发生过大大不均匀沉降、结构不均匀变形、开裂等风险。

3) 隧道位于高承压性地下水、复杂岩溶水、断裂构造水中时，主体结构可能存在发生破坏渗漏的风险。

5.2.2 矿山法风险

1 矿山法隧道开挖面为填土、软土、粉土、富水砂层等多元复合地层时，开挖过程中易出现掌子面涌水、涌砂、隧道失稳的风险。

2 隧道上部为富水砂层、饱和软土、下部为硬质岩层，采用矿山法爆破开挖时，受爆破震动影响，存在初支结构骤然变形、掌子面和隧道突然坍塌、泥沙倒灌、地表沉陷等风险。

3 隧道开挖面上部为工程性质较好的粘性土层，下部为富承压性的砂卵石层，若地下水控制效果不利，下部砂卵石层发生流失、隧道开挖面下部被掏空、上部粘性土层塌陷变形导致围岩坍塌的风险。

4 若开挖掌子面地层软硬相间、岩性及其强度变化剧烈，容易出现隧道变形难以控制、围岩极易坍塌风险。

5 复合地层中可能存在空洞、水囊，当开挖面接近空洞、水囊时，可能存在隧道涌水、涌砂的风险。

6 若隧道上方存在地表水体，复合地层稳定性较差，施工易导致围岩变形过大，可能发生地表水体渗漏、倒灌入隧道的风险。

5.2.3 盾构法风险

1 盾构机穿越复合地层往往导致盾构掘进困难，并易引发地面沉陷、管线破裂、建（构）筑物破坏等风险。

2 隧道掌子面存在上软下硬复合地层时，盾构机掘进过程中，上部软弱地层较容易被刀盘切削进入土舱，但下部坚硬岩层不易被刀盘破碎，存在施工过程中盾构机姿态难以控制、偏离设计线路的风险。

3 隧道上部存在富水砂层、下部为坚硬岩层，不利于盾构参数调整，可能发生隧道顶部富水砂层涌入并淹没盾构机、泥沙倒灌隧道、地面塌陷的风险。

4 在盾构上部为硬粘土、下部为承压水砂层时，由于硬粘土过硬很难顶进，而承压水砂层则因受压不足不能疏干可能发生液化流失导致盾构突沉风险；另因过硬粘土卡住密封舱搅拌棒使粘土与砂土不能拌合排出，致使盾构下部砂土液化由螺旋输送机流出，可能发生盾构底部脱空下沉风险。

5 盾构开挖面存在软硬复合地层时，可能造成掘进困难、发生刀盘磨损严重、卡死、盾构偏移的风险；若下部为软弱地层，易发生盾构机头下沉、超挖并导致盾构上部地层失稳坍塌或地面沉陷的风险。

6 若开挖掌子面地层复杂，若预处理措施不当或盾构切削刀具事先配备不足，容易出现盾构转速难以控制、盾构偏移轴线、刀盘开裂、刀具卡死、盾构损坏、隧道变形难以控制、前方土体反复过大扰动导致地层坍塌风险。

7 盾构下穿地表水体，当盾构处于饱水复合地层中，发生涌水突沉引起上方地表水体沉陷，产生涌水裂隙，可能发生大量地表水由盾尾或开挖的缺陷处涌入而淹没隧道的风险。

5.2.4 勘察措施

1 对复合地层及其富水情况，应采用调绘、钻探、原位测试、物探、挖探、水位观测、水文试验等相结合的综合手段进行探查。

2 当不均匀程度为一级时，勘察单位应按复杂场地考虑钻孔布置或在详细勘察阶段根据钻探情况加密钻孔。

3 勘察单位应探明复合地层的详细地质条件，包括下列内容：

1) 对隧道拱顶存在填土、砂土、粉土、淤泥等软土等不良地层的分布特点、黏粒含量、力学性质和富水情况进行重点探测。

2) 查明隧道开挖影响范围内残积土层、岩石产状、风化带、破碎带的分布情况和岩石抗压强度等力学特性和富水特性。

3) 重点查明开挖区域地下水类型和补给条件、地层渗透特性、隧道涌水量等。

4) 查明地表水体或水囊的分布特点、与地下水的水力联系情况等。

4 针对复合地层隧道施工区域应加密勘探点，探明地层、水文特性以及特殊地质现象分

界线。

5 针对复合地层隧道施工区域应加密进行现场原位测试、室内试验，以进一步查明特殊地质现象的特殊物理力学特性及水文特性。

6 对复杂水文地质条件，应进行水文专项勘察，包括水位长期测量、进行水文试验获取水文参数等。

7 勘察单位应对复合地层的岩土施工工程分级、围岩等级、工程力学性质、稳定性进行综合评价，并对设计和施工提出岩土工程风险分析与提示，包括下列内容：

1) 穿越复合地层，由于地层突变可能导致掌子面失稳、隧道塌陷、地面下沉（甚至塌陷）的风险分析与提示；

2) 地下（表）水对隧道工程的风险分析与提示。

8 对复合地层，应结合设计、施工进度进行动态勘察，并将施工过程中揭示的地质情况及时反馈设计单位，以便及时调整隧道支护和施工参数。

5.2.5 设计措施

1 设计单位在开展工程设计时，应了解复合地层分布不均及突变的特点，以及地下水对复合地层容易诱发坍塌的风险，必要时可要求补充加密勘察。

2 当不均匀程度为一级时，设计单位应进行专项设计，并进行专家评审。

3 为确保矿山法施工隧道开挖面的稳定，防止拱顶软弱地层坍塌，可设计隧道半断面深孔注浆法对上部软弱地层进行加固。

4 盾构施工有必要时可对上部软弱土层进行加固改良设计，减少软硬差异。

5 复合地层可能导致盾构带压开仓，针对盾构带压开仓应进行专项设计，提前采取措施加固地层。

6 隧道穿越断裂破碎带时，矿山法施工应加强隧道支护、止水设计，盾构法施工应及时调整掘进参数。

7 对复合地层，应进行动态设计，根据施工过程中动态勘察揭示的地质情况及时调整设计方案。

8 隧道穿越软硬复合地层、断裂破碎带等复合地层，设计应加强结构设计，防止不均沉降和变形对结构和运营产生不利影响。

5.2.6 施工措施

1 施工单位在进行地质条件核查时，应对复合地层情况进行重点核查，施工前应进行超前地质预报，对复合地层及地下水提前采取应对措施。

- 2** 当不均匀程度为一级时，施工单位应制定专项施工方案，并进行专家评审。
- 3** 矿山法开挖时现场应准备必要的应急物资和设备，在开挖面出现失稳或渗漏征兆时，应及时对开挖面进行挂网喷射混凝土封闭，并采取补充加固等措施。
- 4** 盾构施工时遵循“低转速、小贯入度、小推力、低扭矩”原则，控制土压、出土量、注浆量、注浆压力等关键参数，减少对地层的扰动。必要时对隧道上部软弱土层进行加固改良，减少软硬差异，盾构机进出洞部分的围岩提前加固，防止盾构机偏离轴线；对于盾构机无法破除的硬岩，应采取辅助措施处理，如预先采用冲孔破除或爆破处理等。
- 5** 盾构机在复合地层进行开舱作业，易引发开挖面土体失稳坍塌。应采取下列措施：
- 1) 具备施工条件下应采取地层加固措施。
 - 2) 在开舱前对地层加固效果进行检测，开挖面稳定性和气密性必须满足人员进舱作业的要求。
 - 3) 开舱作业期间在刀盘开口部位应设置挡板进行封闭。
 - 4) 可参考泥水盾构制造泥膜的方式，采用浓稠膨润土浆或砂浆进行填舱置换。当采用砂浆时应注意防止盾体被包裹和刀盘、螺旋输送机被固结。
- 6** 盾构施工时严格控制刀具的贯入度、扭矩、转速，降低刀具与硬岩之间的冲击力，减少刀具在碰撞产生的崩裂、脱落、变形等不正常损坏。
- 7** 盾构机穿越复合地层时换刀风险较大，应采取下列措施：
- 1) 施工前制定刀具更换计划，尽量在进入特殊地质现象前进行刀具更换；
 - 2) 提前选取合理的刀具检查与更换位置，及时进行刀具更换，必要时应采取预加固处理措施；
 - 3) 刀具更换前对盾构机设备进行检查和维修。
- 8** 对易结泥饼地层，可加注泡沫或聚合物或膨润土等，改善土体的和易性和塑性。
- 9** 盾构机在承压水砂层中掘进时，应及时调整盾构土仓正面压力设定，并辅以必要的砂土改良措施，以保证盾尾密封。
- 10** 对复合地层，应进行动态施工，根据超前预报或动态勘察揭示的地层水文条件及时调整施工参数，必要时可调整施工工艺和设备。

5.3 基岩凸起

5.3.1 特性与评价

1 受区域地质构造和差异风化作用影响，基岩全、强风化带厚度差异及中-微风化带埋藏深度差异均较大，中-微风化带埋藏深度显著浅于周围的地质现象即为基岩凸起。

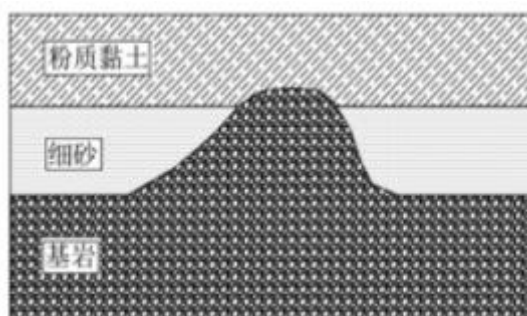


图 5.3.1 基岩凸起

2 基岩凸起内全、强风化带厚度较小，岩石强度显著高于周围地层。

3 基岩凸起在花岗岩分布地区比较常见，常与孤石伴生。

4 隧道位于基岩凸起与软地层过渡带，因地层力学性质差异较大、不均匀性突出，隧道工程结构易发生过大不均匀沉降、不均匀变形、开裂等风险。

5.3.2 矿山法风险

1 基岩凸起顶部位于隧道结构内、基岩凸起土石分界面由于土壤空隙中移动的水分受到孔隙度极低的中-微风化岩体阻挡，常在岩体表面汇集成水流，水量丰富。若围岩中地下水控制不利，可能发生隧道渗漏、涌水、涌砂的风险。

2 由基岩凸起向第四纪松散地层掘进的过渡带，若超前支护措施未及时调整，可能发生隧道围岩变形过大、支护结构失效、隧道坍塌的风险。

3 由第四纪松散地层向基岩凸起掘进的过渡带，若岩面水未进行有效控制，岩面形成软弱滑动面，可能发生开挖面上部土体向开挖反方向滑塌的风险。

4 采用爆破法洞内破除基岩凸起时，隧洞上部相对松散软弱土层受扰动极易产生初支破坏、拱顶坍塌、地下水倒灌隧道的风险。

5.3.3 盾构法风险

1 盾构机若由相对软弱地层向基岩凸起掘进时，可能造成掘进困难、发生刀盘磨损严重、刀盘刀具卡死、损坏、斜刀、摔刀、刀具偏磨、盾构机偏移甚至盾构机瘫痪无法正常推进的风险。

2 盾构机由软地层向基岩凸起推进时，滚刀很难产生足够的反力将基岩凸起破碎。若不破碎，盾构机掘进时，基岩凸起会在刀盘前方随着盾构机掘进方向移动，对地层造成很大的扰动，造成隧道坍塌、地面沉降塌陷的风险。

3 盾构机由基岩凸起向软地层掘进时，硬质岩面往下倾斜，原先的硬岩刀由于自身刀具重，起动扭矩大，在软地层中掘进时因起动扭矩不足可能造成刀具偏磨，还易发生盾构机头下沉、超挖并导致盾构上部地层失稳坍塌或地面沉陷的风险。

4 采用钻孔爆破或冲孔碎岩方式处理基岩凸起时，可能发生开挖面崩塌风险，或冲孔碎岩不彻底，发生隧道顶部地面过大沉降的风险。

5 若硬质基岩凸起坡度起伏较大，可能发生盾构机偏移或被卡住、蛇行推进，若注浆不及时，可能产生地面沉降甚至塌陷、隧道管片破损以及盾构机损坏等风险。

6 隧道上部存在富水砂层，若盾构掘进导致围岩变形失稳，可能发生隧道顶部富水砂层涌入隧道、淹没盾构机、地面塌陷的风险。

5.3.4 勘察措施

1 应采用钻探、原位测试、物探等相结合的综合手段进行探查。

2 针对基岩凸起区域、尤其是软层与基岩凸起过渡且对工程影响较大的区段，应加密勘探点，探明基岩凸起岩面起伏状况及突起内风化带的界线。

3 对位于隧道结构范围内的基岩凸起部分，应加密进行现场原位测试、加密取样进行单轴抗压强度试验，以准确查明基岩强度并划分风化强度差异带。

4 通过钻探、物探手段查明基岩凸起内破碎带的发育和分布情况，查明破碎带的宽度、深度和富水情况。

5 应查明基岩凸起上覆填土、砂土、粉土、淤泥等不良地层的分布特点、力学性质。

6 应采取水位量测、水文试验等手段查明基岩凸起内及上覆地层的含水情况、富水程度、渗透系数等水文参数。

7 勘察成品中应对基岩凸起的分布范围、强度指标、围岩等级及稳定性、富水状况进行综合评价，并对设计和施工提出岩土工程风险分析与提示。

8 为更准确掌握基岩凸起的分布情况，为基岩突出处理方案提供依据，应进行动态勘察，必要时可进行补充勘察或专项勘察。

5.3.5 设计措施

1 设计单位在开展工程设计时，应了解基岩凸起的空间分布特点、风化带划分和强度特征，必要时可要求补充加密勘察。

2 设计应根据基岩凸起上覆土层及其富水情况、基岩凸起的本身特性，对不同工法在基岩凸起中施工可能产生的风险和适用性进行专项分析，对基岩面为富水砂层的情况设计措施应针对性加强。

- 3** 矿山法施工时应应对基岩凸起过渡带的围岩加固或地下(表)水控制措施进行专项设计,对基岩凸起岩面富集地下水应予以考虑。
- 4** 若基岩凸起顶部位于隧道洞身范围,开挖面分布有其他相对软弱地层,为防止拱顶软弱地层坍塌,矿山法施工可设计隧道半断面深孔注浆法对上部软弱地层进行加固。
- 5** 对采用洞内爆破、地面钻孔爆破、人工挖孔桩破碎、冲击破碎等方法处理基岩凸起应进行专项设计。
- 6** 对基岩凸起上覆富水砂层、隧道围岩性质较差、隧道顶距富水砂层较近(小于2倍洞径)时,不建议采用爆破法破除基岩凸起。
- 7** 盾构穿越区段有基岩凸起分布时,应根据基岩强度、富水情况等条件针对性设计、选择适宜的盾构机型、刀盘和盾构掘进参数。
- 8** 若采用地面注浆加固基岩凸起两端及上覆地层,以减少软硬差异利于盾构推进时,应对注浆范围、注浆工艺及参数等进行专项设计。
- 9** 对盾构带压开仓进行硬质岩石处理应进行专项设计,提前采取措施加固地层。
- 10** 隧道穿越基岩凸起内破碎带时,矿山法施工应加强隧道支护、止水设计,盾构法施工应及时调整掘进参数。
- 11** 对基岩凸起与第四纪地层、全、强风化岩接触部位,应对结构的抗变形能力、地基不均匀沉降和稳定性进行专项分析和设计。
- 12** 对基岩凸起分布区段,应进行动态设计,根据施工过程中动态勘察揭示的地质情况及时调整设计方案。

5.3.6 施工措施

- 1** 施工单位在进行地质条件核查时,应对基岩凸起部位进行重点核查。在基岩凸起的地下线段施工前应进行超前地质预报,并对基岩风化程度和强度突变及地下水提前采取应对措施。
- 2** 矿山法施工,应采用小导管注浆、管棚、止水帷幕和降水等措施进行地下水控制。
- 3** 矿山法施工时,应对影响隧道稳定性的基岩凸起上覆不良地层尤其是富水砂层提前进行加固,必要时可采用物探、钻探取样等方法对加固效果进行检测。
- 4** 现场应准备必要的应急物资和设备,在开挖面出现失稳或渗漏征兆时,应及时采取补充加固等措施。
- 5** 盾构施工时严格控制刀具的贯入度、扭矩、转速,降低刀具与硬岩之间的冲击力,减少刀具在碰撞产生的崩裂、脱落、变形等不正常损坏。

6 对 RQD 值小于 25% 的基岩凸起或其周围能够较好使其在盾构机刀盘转动时不随之发生转动的基岩凸起，可采取盾构机直接破碎通过。

7 对 RQD 值大于 25% 的基岩凸起，不能通过盾构机直接破除的，可预先采取如下措施：

1) 当基岩凸起较小时，对其周边风化土层进行袖阀管地面或洞内预加固，以提供盾构机破岩和人工破岩的条件。

2) 洞内静态爆破或火药爆破，地面钻孔爆破或冲孔破除基岩凸起。

3) 人工破除基岩凸起，破除时可采用岩石分裂机等设备。

4) 很大的基岩凸起采用地面挖竖井的方法进行破除。

8 检测通过钻孔取芯出来的岩石，对岩石进行研磨性分析，预判盾构机刀具磨损情况，预测盾构机一次掘进可达长度，并根据盾构机一次掘进可达长度设置进仓点并对进仓点区域设置加固区。

9 掘进过程中注意观察盾构机掘进的异常情况以及掘进参数的异常变化(例如速度突然变慢、推力、扭矩突然增大、刀盘振动、盾构机有异响等)，判断是否碰到基岩凸起，掘进过程中随时监测刀具和刀盘的受力状态，确保其不超载并观测刀盘是否受力不均，以防刀盘产生变形。

10 在基岩凸起地层中施工，盾构机刀具(包括刀盘)磨损和破损严重，对刀具和刀盘应勤检查、勤更换。在出基岩凸起时，应及时更换刀具。

11 对长度较大、硬度较高的基岩凸起，可采用矿山法开挖基岩凸起硬岩，盾构空推方式进行隧道施工。

5.4 风化深槽

5.4.1 特性与评价

1 基岩地区岩石在风化作用下产生的不均匀风化现象，在局部受构造水流等多种作用的影响形成沟槽状风化条带，称为风化深槽。

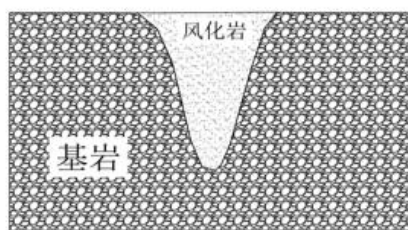


图 5.4.1 风化深槽典型地质剖面

2 风化深槽内与深槽两侧地层变化较大，深槽内地层相对软弱，赋水性较强。

3 风化深槽对工程结构可能产生以下不利影响：

1) 隧道位于岩体风化特征差异悬殊处、尤其是隧道走向地层力学性质差异较大、不均匀性突出时，隧道易发生过大的不均匀沉降、结构不均匀变形、开裂等风险。

2) 隧道若位于高承压性地下水、复杂岩溶水、断裂构造水中时，主体结构可能存在发生破坏渗漏的风险。

5.4.2 矿山法风险

1 风化深槽段围岩破碎，岩体强度低，自稳能力差，若位于地下水位中，水压大，在极端地质条件下存在发生渗透破坏的可能，施工难度及风险极大。

2 矿山法施工，若由风化程度高的相对软地层向风化程度低的相对硬地层开挖时，存在开挖困难的风险。

3 若隧道上方存在地表水体，隧道施工导致围岩变形过大，可能发生地表水体渗漏、倒灌隧道的风险。

5.4.3 盾构法风险

1 盾构机穿越风化深槽往往导致盾构机掘进困难，并易引发地面沉陷、管线破裂、建(构)筑物破坏等风险。

2 隧道掌子面及隧道顶部围岩存在岩体风化特征差异较大时，盾构机掘进过程中，风化程度高的相对软地层较容易被刀盘切削进入土舱，但风化程度低的相对硬地层极其不易被刀盘破碎，存在施工过程中盾构机姿态难以控制、偏离设计线路的风险。

3 隧道上部存在富水砂层，若盾构机掘进参数调整不利，可能发生隧道顶部富水砂层涌入并淹没盾构机、泥沙倒灌隧道、地面塌陷的风险。

4 盾构机下穿地表水体，当盾构机推进挤压导致前方土体隆起过多，或盾构机处于饱和含水砂层中，发生涌水突沉引起上方地表水体沉陷，产生涌水裂隙，可能发生大量地表水由盾尾或开挖的缺陷处涌入而淹没隧道的风险。

5 若盾构机掘进方向风化深槽的岩性及其强度变化大，预处理措施不当或盾构机切削刀具事先配备不足，存在由于盾构推进受阻、姿态频动而致前方土体反复、过大扰动导致地层坍塌风险；遇风化程度低的岩石，盾构机推力猛增或刀盘转速较快可导致刀盘刀具

卡死、损坏甚至盾构机瘫痪而无法正常工作风险。此种情况不建议采用盾构法施工。

5.4.4 勘察措施

- 1** 对风化深槽及其富水情况，应采用调绘、钻探、原位测试、物探、挖探、水位观测、水文试验等相结合的综合手段进行探查。
- 2** 勘察单位应查明风化深槽结构的地质条件，包括下列内容：
 - 1) 查明隧道开挖影响范围内残积土层、岩石产状、风化带、破碎带的分布情况和岩石抗压强度等力学特性和富水特性。
 - 2) 重点查明开挖区域地下水类型和补给条件、地层渗透特性、隧道涌水量等。
 - 3) 查明地表水体或水囊的分布特点、与地下水的水利联系情况等。
- 3** 针对风化深槽隧道施工区域应加密勘探点，探明地层、水文特性以及风化深槽的风化分界线。
- 4** 针对风化深槽隧道施工区域应加密进行现场原位测试、室内试验，以进一步查明其特殊物理力学特性及水文特性。
- 5** 对复杂水文地质条件，应进行水文专项勘察，包括水位长期测量、进行水文试验获取水文参数等。
- 6** 勘察单位应对风化深槽的围岩等级、工程力学性质、稳定性进行综合评价，并对设计和施工提出岩土工程风险分析与提示，包括下列内容：
 - 1) 穿越风化深槽，由于岩性及其强度变化大，可能导致掌子面失稳、隧道塌陷、地面下沉（甚至塌陷）的风险分析与提示。
 - 2) 地下（表）水对隧道工程的风险分析与提示。
- 7** 对岩性及其强度变化大，应结合设计、施工进度进行动态勘察，并将施工过程中揭示的地质情况及时反馈设计单位，以便及时调整隧道支护和施工参数。

5.4.5 设计措施

- 1** 设计单位在开展工程设计时，应充分了解风化深槽的岩性、工程特点及风险，必要时可要求补充加密勘察。
- 2** 矿山法施工时应应对围岩加固或地下（表）水控制措施进行专项设计。
- 3** 矿山法施工应加强隧道支护、止水设计，必要时采用管棚支护。盾构法施工应及时调整掘进参数。
- 4** 盾构施工有必要时需进行加固改良，减少软硬差异。

5 对复杂地层结构，应进行动态设计，根据施工过程中动态勘察揭示的地质情况及时调整设计方案。

6 隧道穿越软硬复合地层、断裂破碎带等复合地层，设计应加强结构设计，防止不均沉降和变形对结构和运营产生不利影响。

5.4.6 施工措施

1 施工单位在进行地质条件核查时，应对风化深槽情况进行重点核查。对开挖面前方地层进行探测预报，判明地层和含水情况，为超前支护和止水提供依据，及时修改或加强超前支护和支护参数，必要时采用管棚支护。施工开挖接近设计探明的富水带时，应分析和观察开挖工作面岩性变化，遇有探孔突水、突泥、渗水增大和整体性变差等现象，及时调整施工方法。

2 对地表沉降、拱顶下沉、围岩收敛进行量测，及时对数据进行整理分析，及时反馈于设计和施工，及时优化设计参数和施工方法。

3 根据不同地质情况和开挖方式，采用超前小导管预注浆加固地层的超前支护措施，注浆选材视不同岩层和地下水情况，通过注浆加固周边围岩，提高其自承能力，减少围岩松弛变形。在全断面帷幕注浆后，进行超前大管棚支护是必要的，超前大管棚与注浆加固圈共同作用，能够加固围岩并截堵地下水。

4 盾构施工时遵循“低转速、小贯入度、小推力、低扭矩”原则，控制土压、出土量、注浆量、注浆压力等关键参数，减少对地层的扰动。必要时对隧道上部软弱土层进行加固改良，减少软硬差异，盾构进出洞部分的围岩提前加固，防止盾构机偏离轴线；对于盾构机无法破除的硬岩，应采取辅助措施处理，如采用冲孔破除或爆破处理等。

5.5 隐伏冲沟

5.5.1 特性与评价

1 冲沟是由间断流水在地表冲刷形成的沟槽。隐伏冲沟是被第四纪土层覆盖的冲沟。

2 隐伏冲沟由于埋藏于土层之下不易探明，冲沟内与冲沟两侧地层变化较大，冲沟内一般赋水性较强。

5.5.2 矿山法风险

1 由于山体存在偏压存在、洞内爆破扰动过大等原因，可能导致塌方、初衬开裂、大变

形等风险。

2 由于洞内防排水措施欠佳、地表地下水影响等原因，可能导致渗漏水、护拱沉陷、地表开裂等风险。

3 由于初期支护不及时、护拱强度、刚度和基础承载力不足等原因，可能存在边坡失稳、偏移等的风险。

5.5.3 盾构法风险

1 跨越隐伏冲沟地层掘进困难，易引发地表沉陷、大变形、坍塌、空腔等风险。

2 若停止掘进有卡机下沉和陷困风险。

3 隧道上部若存在富水砂层或补给源充足的地下水，极易发生突水、泥砂倒灌风险。

5.5.4 勘察措施

1 对隐伏冲沟地层及其富水情况，应采用调绘、钻探、原位测试、物探（主要是高密度电法）、水位观测等相结合的综合手段进行探查。

2 勘察单位应探明隐伏冲沟结构的地质条件，包括下列内容：

1) 查明隧道开挖影响范围内残积土层、岩石产状、风化带、破碎带的分布情况和岩石抗压强度等力学特性和富水特性。

2) 重点查明开挖区域地下水类型和补给条件、地层渗透特性、隧道涌水量等。

3 针对隐伏冲沟隧道施工区域应加密勘探点：利用已有钻探与物探（主要为高密度电法）资料，进行综合分析，优化隐伏冲沟区钻孔布置，进行现场原位测试、室内试验，进一步查明隐伏冲沟区域地质情况。

4 钻进过程中不得产生跳动和位移，并根据进尺快慢及钻进压力来判断基岩的软硬程度。

5 稳定水位观测：应进行终孔稳定水位观测，终孔稳定水位观测前应将孔内残余循环液提捞干净。

6 必要情况下，可采用红外摄像头直接观察隐伏冲沟地质情况。

7 对大挖大填时可能诱发工程性的滑坡地质灾害，应重点进行边坡的防护，必要时进行专门的边坡勘察。

8 勘察单位应对隐伏冲沟的围岩等级、工程力学性质、稳定性进行综合评价，并对设计和施工提出岩土工程风险分析与提示。

5.5.5 设计措施

- 1 设计单位应充分了解隐伏冲沟地层的特点及其风险，必要时可要求加密勘察。
- 2 对隐伏冲沟地层结构，应进行动态设计，根据施工过程中动态勘察揭示的地质情况及时调整设计方案。
- 3 设计应加强结构设计，防止不均沉降和变形对结构和运营产生不利影响。

5.5.6 施工措施

- 1 施工单位在进行地质条件核查时，应对隐伏冲沟情况进行重点核查。
- 2 开挖后围岩塑性发展范围较大，施工中应加强超前支护施工质量，控制好自进式管棚外插角和搭接长度，并注浆加固围岩（固结灌浆），密实堵水，提高顶部围岩承载力，有效发挥预支护作用。
- 3 当出现洞内变形异常、地表沉降急剧增大或严重开裂时，应停止洞内施工，进行地表注浆和洞内注浆加固岩体，变形稳定后再进行施工。
- 4 护拱顶部回填土应均匀密实，做好填土表面排水沟，对于洞内渗漏水严重区域应局部径向注浆止水和增加二衬环向盲管排水。
- 5 对于隐伏冲沟内地表水采取引流或堵截措施，防止流水冲刷洞体影响施工和下渗弱化岩体强度、导致洞内渗漏水等。

5.6 暗浜

5.6.1 特性与评价

- 1 暗浜是一种不良地质情况，是指某地方原来的地貌为河道，有淤泥沉积，后被土填埋，但是沉积的淤泥仍在，这种情况不利于施工，尤其对基础建设存在隐性危害。
- 2 在人类活动中，大量的河道、水塘被填埋形成暗浜。暗浜一般有浜底淤泥和成分复杂、工程性质较差的厚层填土，在我国东南沿海城市较为多见。
- 3 江浙一带工程施工中经常会碰到场地内纵、横暗浜分布的情况，并且暗洪的深度较大，大多达到 3~4 m 的深度。根据以往大量的施工经验，暗洪底部一般均存在有厚约 1.5m 的淤泥，并且上部填土大多夹水回填，土层结构松散，土的物理性能很差，特别是暗浜底部的淤泥层性能更差。

表 5.6.1 暗浜土的类型

土名	土性	特征	分布
素填土	粉质粘性土	土质较均匀,成分单一	郊区居多
杂填土	建筑、工业垃圾混粘性土	土质不均匀,成分复杂	市区、城乡接合部
杂填土	生活垃圾为主	土质不均匀,成分复杂	市区、城镇及民宅附近
冲填土	粉性土或砂土	土质较均匀,成分单一	沿长江口、黄浦江一带
侵染土	各类人工填土	富含有机质	接近浜底
浜底淤泥	有机质土	土质极差,富含有机质	浜底

4 暗浜对工程结构可能产生以下不利影响:

- 1) 隧道易发生过大大不均匀沉降、结构不均匀变形、开裂等风险。
- 2) 隧道若位于高承压性地下水、复杂岩溶水、断裂构造水中时,主体结构可能存在发生破坏渗漏的风险。

5.6.2 矿山法风险

- 1 暗浜段地层过于软弱,不宜直接采用矿山法施工,当必须采用时,应先对地层进行加固。
- 2 当地层加固效果不佳时,易出现渗漏、过大变形或坍塌等风险。

5.6.3 盾构法风险

- 1 如果在城市轨道交通工程勘察阶段未查明暗浜分布范围、填土厚度及其工程性质,或未对查明的暗浜采取有效的地基处理,将增大盾构进出洞施工过程的风险。
- 2 在场地堆积荷载大、地表下土层力学性质较差的条件下,盾构机推进过程中存在地面沉陷与破裂、不均匀沉降等风险。

5.6.4 勘察措施

- 1 应采取收集历史河流图,现场走访调查等方法,进行有针对性的探摸,尽可能减少勘察工作量。调查工作主要了解暗浜的范围、填埋时间、回填物质来源,原河道的疏浚情况,洪底淤泥初步分布规律,并用以指导现场探摸及工作量的合理布置。
- 2 小螺纹钻是探摸暗洪最常用的手段,可用以探摸暗洪的分布范围,并能直观看到洪底淤泥和填土的分布变化,故应有目的地布设。
- 3 轻便静力触探及轻型动力触探能连续、直观地反映土体的强度变化与土体的不均匀性,尤其能正确区分洪底淤泥、填土及侵染土的界线。
- 4 当场地条件受限无法实施钻探和小螺纹钻时,可采用微动探测等物探方法探测暗浜的深度及其横向结构特征。

5.6.5 设计措施

- 1 设计单位应充分了解暗浜的分布、岩土特性、工程特点及风险。
- 2 矿山法施工应加强隧道支护、止水设计并对加固体的检测提出具体要求。
- 3 盾构法施工应根据现场地层条件变化及时调整掘进参数。
- 4 根据施工过程中动态勘察揭示的地质情况及时调整设计方案。
- 5 设计应加强结构设计，防止不均沉降和变形对结构和运营产生不利影响。

5.6.6 施工措施

- 1 施工单位在进行地质条件核查时，应对暗浜部位的情况进行重点核查。
- 2 当车站出入口、车辆基地等构筑物位于暗浜部位时，可采用换填法将暗浜土挖出，以强度较高的土或水泥换填。
- 3 对暗浜采用加固措施进行加固时，应对加固体的强度、连续性等进行现场检测。
- 4 在暗浜处进行水泥压密注浆加固时，注浆采取自下而上分层注浆方法，控制分层注浆提升速度；注浆时采用间隔跳打法施工，以防互相穿孔而影响施工质量。

5.7 岩性突变

5.7.1 特性与评价

- 1 岩性突变是指在地下隧道工程开挖断面范围内和开挖延伸方向上，地层岩性突然发生变化，这种岩性突变的特点是不经过任何过渡阶段，直接从一种地层到另一地层。
- 2 岩性突变一般为在同一个施工流水段内，在隧道掘进方向上，掌子面岩性由硬突变软或由软变硬，或者水文地质条件突变，由无水变为有水。
- 3 岩性突变一般由构造或者人为改造引起，随机性和不确定性非常强，对施工安全造成很大影响。

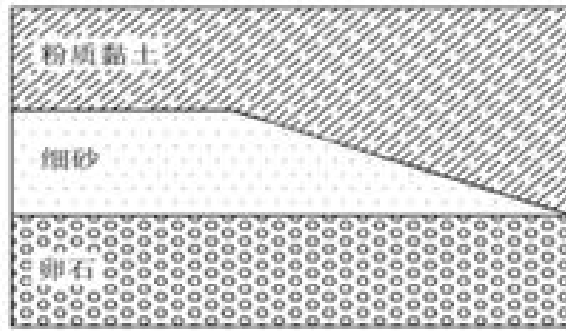


图 5.7.1 岩性突变

4 岩性突变对工程结构可能产生以下不利影响：

1) 隧道位于岩性突变地层中，因地层力学性质差异较大、不均匀性突出，隧道易发生过大不均匀沉降、结构不均匀变形、开裂等风险。

2) 隧道位于岩性突变交接部位，易形成地下水通道，若防水措施不到位，造成隧道漏水。

5.7.2 矿山法风险

1 矿山法施工掌子面遇到岩性突变，特别是由基岩突变成松散地层、由原状沉积土突变为松散人工填土等，超前支护措施未及时调整，可能发生隧道围岩变形过大、支护结构失效、隧道坍塌的风险。

2 矿山法施工掌子面由于岩性突变，导致岩性的渗透性发生巨大变化，由原来无水状态突变为有水，或者形成地下水突涌通道，造成涌水涌砂，使得支护结构失效，造成隧道坍塌风险。

5.7.3 盾构法风险

1 盾构机在岩性突变地层中掘进时，当由软岩突变成硬岩时，可能造成掘进困难、发生刀盘磨损严重、刀盘刀具卡死、损坏、斜刀、摔刀、刀具偏磨、盾构机偏移甚至盾构机瘫痪无法正常推进的风险。

2 盾构机在岩性突变地层中掘进时，当由硬岩突变成软岩时，易发生盾构机头下沉、超挖并导致盾构机上部地层失稳坍塌或地面沉陷的风险。

3 若盾构机掘进方向岩性及其强度变化频繁，若预处理措施不当或盾构机切削刀具事先配备不足，存在由于盾构机推进受阻、姿态频动而致前方土体反复、过大扰动导致地层坍塌风险；遇硬质透镜体，盾构机推力猛增或刀盘转速较快可导致刀盘刀具卡死、损坏甚至盾构机瘫痪而无法正常工作风险。

5.7.4 勘察措施

- 1** 对于人工填土造成的岩性突变，应充分搜集资料，调查地形和地物的变迁，了解场地是否经过人为改造，同时查明填土的来源、堆积年限和堆积方式，查明填土的分布、厚度、物质成分、颗粒级配、均匀性、密实性、压缩性和湿陷性。
- 2** 对于构造引起的岩性突变，应采用钻探、原位测试、物探等相结合的综合手段进行探查。
- 3** 通过现场水文地质试验等手段查明岩性突变含水情况、富水程度、渗透系数等水文参数。
- 4** 对于可能存在岩性突变的地层段，勘察单位应对本段的围岩等级、工程力学性质、稳定性进行综合评价，并对设计和施工提出岩土工程风险分析与提示。

5.7.5 设计措施

- 1** 设计单位在开展工程设计时，应了解岩性突变的特点、空间分布特点和强度特征，必要时可要求补充勘察。
- 2** 设计应根据岩性突变的随机特性，对不同工法在岩性突变地层中施工可能产生的风险和适用性进行专项分析。
- 3** 若岩性突变位于隧道洞身范围，开挖面分布有其他相对软弱地层，为防止拱顶软弱地层坍塌，矿山法施工可设计隧道半断面深孔注浆法对上部软弱地层进行加固。
- 4** 盾构穿越区段岩性突变地层，应根据基岩强度、富水情况等条件针对性设计、选择适宜的盾构机型、刀盘和盾构掘进参数。
- 5** 对岩性突变分布区段，应进行动态设计，根据施工过程中动态勘察揭示的地质情况及时调整设计方案。

5.7.6 施工措施

- 1** 对于存在岩性突变矿山法施工段，施工前应进行超前地质预报，对岩性突变情况进行重点核查，并对岩性变化和强度突变及地下水提前采取应对措施。
- 2** 根据岩性突变的特点，做好各种突发状况的应急预案，现场应准备必要的应急物资和设备，在开挖面出现失稳或渗漏征兆时，应及时采取补充加固等措施。
- 3** 盾构施工时严格控制刀具的贯入度、扭矩、转速，降低刀具与硬岩之间的冲击力，减少刀具在碰撞产生的崩裂、脱落、变形等不正常损坏。

4 掘进过程中注意观察盾构机掘进的异常情况以及掘进参数的异常变化(如速度突然变慢、推力、扭矩突然增大、刀盘振动、盾构机有异响声等)，判断是否碰到岩性突变。

5.8 岩相突变

5.8.1 特性与评价

1 岩相是一定沉积环境中形成的岩石或岩石组合。岩相是随时间的发展和空间条件的改变而变化的。沉积岩的相可分陆相、海相、海陆过渡相三种基本类型。

2 岩相的变化可以从横向和纵向两方面来观察。同一岩层在水平方向的相变反映了，同一时期不同地区的自然地理条件的差异。在垂直岩层剖面方向上的相变则反映了同一地区但不同时间的自然地理环境的改变，而自然地理环境的重大改变则往往是地壳运动的结果。

3 海相沉积的特点：以化学岩、生物化学岩和粘土岩为主，如石灰岩等。离海岸愈远，碎屑沉积颗粒愈细。在水平方向上岩相变化小，沉积物中含海生生物化石和矿物。

4 陆相沉积的特点：沉积物多以碎屑、粘土和粘土沉积为主，岩石碎屑多具棱角，分选欠佳，在水平方向上岩相变化大，含陆生生物化石。

5 岩相突变使得岩石物理力学性质发生根本变化，对施工安全造成很大影响。

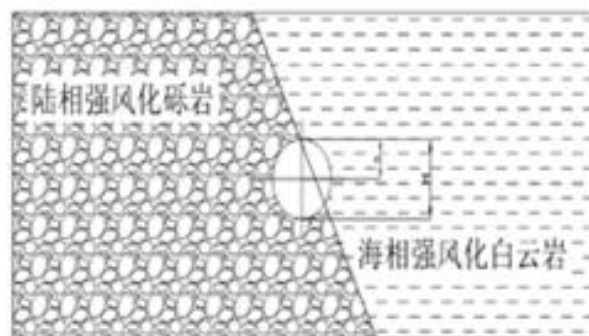


图 5.8.1 岩相突变

3 岩相突变对工程结构可能产生以下不利影响：

1) 隧道位于岩相突变地层中，由于沉积环境不一样，不同岩相的腐蚀性差异较大，对工程的耐久性产生影响。

2) 隧道位于岩相突变交接部位，易形成地下水通道，若防水措施不到位，可能造成隧道漏水。

5.8.2 矿山法风险

- 1 矿山法施工掌子面遇到岩相突变，掌子面物理力学性质发生变化，如支护参数未及时调整，易导致掌子面渗水、坍塌。
- 2 矿山法施工掌子面由于岩相突变，如地层赋水条件发生较大变化，易造成涌水涌泥，引发变形或坍塌，隧道周边地面引发沉降，影响周边建（构）筑物安全。

5.8.3 盾构法风险

- 1 隧道掌子面及隧道顶部围岩位于岩相突变地层中，盾构机掘进过程中，上部软弱地层较容易被刀盘切削进入土舱，但下部坚硬岩层不易被刀盘破碎，易导致盾构上部地层失稳坍塌或地面沉陷的风险。
- 2 隧道掌子面及隧道底部围岩位于岩相突变地层中，盾构机掘进过程中，若下部为软弱地层，易发生盾构机头下沉、盾构机姿态难以控制、偏离设计线路的风险。

5.8.4 勘察措施

- 1 岩相与地壳运动的速度和幅度有关，岩相变化大时，说明地壳的升降比较频繁。
- 2 岩相变化的勘察应采用区域地质调查和现场实测相结合，对沿线的构造历史要充分了解。
- 3 海相沉积水平向变化小，陆相沉积垂直向变化小，勘察过程中应先确定成因，再根据成因有针对性的布置勘察工作量。
- 4 通过构造带的位置判定，加强现场的勘探工作，确定岩相突变的位置。

5.8.5 设计措施

- 1 设计单位在开展工程设计时，应了解岩相突变的特点、空间分布和强度特征，必要时可要求补充勘察。
- 2 设计应根据岩相突变的随机特性，对不同工法在岩性突变地层中施工可能产生的风险和适用性进行专项分析。
- 3 由于沉积环境不一样，不同岩相的腐蚀性差异较大，对工程的耐久性产生影响，设计应根据不同的地下环境条件，选择钢筋及混凝土型号。

5.8.6 施工措施

- 1 施工单位在进行地质条件核查时，应对岩相突变情况进行重点核查。
- 2 在岩相突变地段进行矿山法施工时，应控制施工进度，对现场岩土层的变化进行地质确认，并加强支护措施。
- 3 在盾构掘进过程中，注意观察渣土变化并重点关注掘进参数及盾构机掘进的异常情况。

5.9 硬质岩脉

5.9.1 特性与评价

- 1 硬质脉岩指经常呈脉状产出的火成岩，硬质脉岩一般深度不大，规模较小，其成分常和一定的深成岩相关，以浅色矿物为主要成分的有细晶岩和伟晶岩，以暗色矿物集中呈现的为煌斑岩。主要类型为花岗斑岩和玢岩等。它们在空间分布上常与一定的岩浆岩体有密切关系，并产于岩体内或岩体周围的围岩中，少数也可远离岩体分布。
- 2 硬质岩脉的岩石强度显著高于周围岩层。
- 3 硬质岩脉在花岗岩分布地区比较常见。

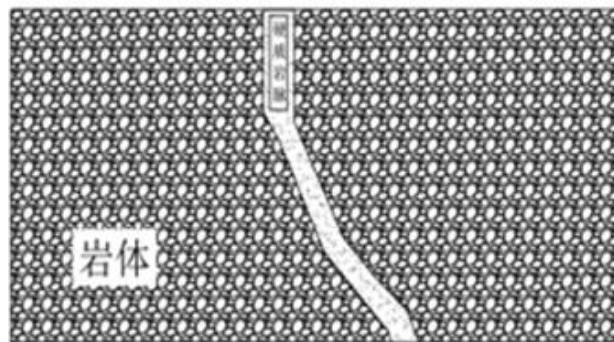


图 5.9.1 硬质岩脉

4 硬质岩脉对工程结构可能产生以下不利影响：

- 1) 隧道位于硬质岩脉与软地层过渡带，因地层力学性质差异较大、不均匀性突出，隧道易发生过大不均匀沉降、结构不均匀变形、开裂等风险。
- 2) 岩脉附近可能是地下水的通道。

5.9.2 矿山法风险

- 1 矿山法施工，如遇硬质岩脉，岩土施工等级显著增高，开挖困难。
- 2 采用爆破法洞内破除硬质岩脉时，隧道上部相对软弱地层受扰动极易产生初支破坏、拱顶坍塌、地下水倒灌风险。
- 3 硬质岩脉形成地下水连通通道，造成涌水涌泥，引发变形或坍塌，隧道周边地面引发沉降，影响周边建（构）筑物安全。

5.9.3 盾构法风险

- 1 盾构施工遇到硬质岩脉时，滚刀很难产生足够的反力将硬质岩脉破碎，导致盾构机卡死，掘进受阻。
- 2 由于硬质岩脉与周围岩层力学性质差异大，且分布不稳定，盾构姿态控制困难，容易发生盾构机掘进方向偏离预定轴线情况。

5.9.4 勘察措施

- 1 应采用物探、钻探等相结合的综合手段进行探查。
- 2 针对硬质岩脉区域，应加密勘探点，探明基岩岩脉的走向和产状，加密取样进行单轴抗压强度试验和岩矿鉴定，以准确查明硬质岩脉的分布、强度和矿物成分。
- 3 勘察成果中应对硬质岩脉的分布范围、强度指标、围岩等级及稳定性、富水状况进行综合评价，并对设计和施工提出岩土工程风险分析与提示。

5.9.5 设计措施

- 1 设计单位在开展工程设计时，应了解硬质岩脉的空间分布特点和强度特征，必要时可进行补充勘察。
- 2 设计应根据硬质岩脉的特性，当采用洞内爆破、地面钻孔爆破、人工挖孔桩破碎等方法处理硬质岩脉时，应进行专项设计。
- 3 盾构穿越区段有硬质岩脉分布时，应根据基岩强度、富水情况等条件针对性设计、选择适宜的盾构机型、刀盘和盾构掘进参数。
- 4 在硬质岩脉地层中掘进，当盾构施工需要带压开仓时，应进行专项设计，提前采取措施加固地层。
- 5 在硬质岩脉分布区段，应进行动态设计，根据施工过程中揭示的地质情况及时调整设

计方案。

5.9.6 施工措施

- 1 在硬质岩脉分布地段，施工单位在进行地质条件核查时，应对硬质岩脉情况进行重点核查。施工过程中应采用超前地质预报，分析预测掌子面前方硬质岩脉分布情况，对硬质岩脉风化程度和强度及其变化采取应对措施。
- 2 现场应准备必要的应急物资和设备，在开挖面出现失稳或渗漏征兆时，应及时采取补充加固等措施。
- 3 盾构施工时严格控制刀具的贯入度、扭矩、转速，降低刀具与硬岩之间的冲击力，减少刀具在碰撞产生的崩裂、脱落、变形等不正常损坏。
- 4 掘进过程中注意实时观察盾构机掘进的异常情况以及掘进参数的异常变化。
- 5 在硬质岩脉地层中施工，刀具(包括刀盘)磨损和破损严重，对刀具和刀盘应勤检查。

5.10 地貌突变

5.10.1 特性与评价

1 受内、外营力地质作用或人为作用影响，造成了地表起伏、地壳表层物质不断风化、剥蚀、搬运和堆积，从而形成了现代地面的各种差异较大的地貌形态，从一种地貌跨入另一种地貌的过渡地段称为地貌突变。

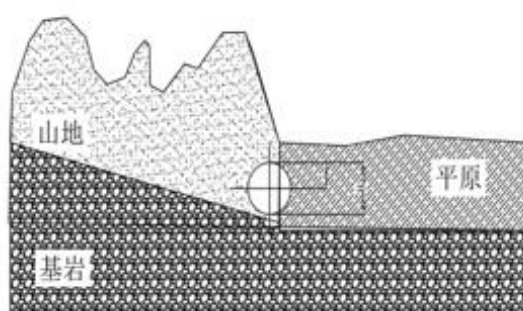


图 5.10.1 地貌突变

- 2 地貌突变主要表现于山地、平原、河谷等两个或多个地貌形态交界处，常伴有岩性突变、水文地质条件突变等。
- 3 隧道位于地貌突变过渡带，因上覆土层压力差异较大，且地质力学性质差异和不均匀性突出，隧道易发生过大大不均匀沉降、结构不均匀变形、开裂等风险。

5.10.2 矿山法风险

- 1 地貌突变处水文地质条件差异较大，受大气降水影响较为显著，交界面处可能造成地表水和地下水汇集，若地下水控制不利，可能发生隧道渗漏、涌水、涌砂的风险。
- 2 地貌突变必然导致上覆土层压力突变，若超前支护措施未及时调整，可能发生隧道围岩变形过大、支护结构失效、隧道坍塌的风险。
- 3 采用爆破法施工时，隧道上部地貌突变过渡带相对松散软弱土层受扰动极易产生初支破坏、拱顶坍塌、地下水倒灌的风险。

5.10.3 盾构法风险

- 1 地貌突变过渡带，盾构若由相对软弱地层向山体等较硬地层掘进时，可能造成掘进困难、发生刀盘刀具磨损严重、卡死、损坏、偏磨、盾构机偏移甚至盾构机瘫痪无法正常推进的风险。
- 2 盾构机由较硬地层向软地层掘进时，易发生盾构机栽头、超挖并导致盾构机上部地层失稳坍塌或地面沉陷的风险。
- 3 地貌突变过渡带隧道上部若存在富水地层，盾构机掘进可能导致围岩变形失稳，可能发生隧道顶部水涌入隧道、淹没盾构机、地面塌陷的风险。

5.10.4 勘察措施

- 1 应采用地质调查、构造分析、钻探、原位测试、物探等相结合的综合手段进行探查。
- 2 针对地貌突变过渡带，应加密勘探点，探明基岩地貌突变过渡带界线、深度和富水情况。
- 3 应分析大气降雨对地貌突变过渡带地下水的补给及影响。
- 4 为更准确掌握地貌的分布情况，可在施工阶段进行动态勘察，必要时进行补充勘察或专项勘察。

5.10.5 设计措施

- 1 设计单位在开展工程设计时，应了解地貌突变的空间分布特点、地层条件变化、地下水赋存状态和动态变化等，必要时可要求补充勘察。
- 2 设计应根据地貌突变上覆土层及其富水情况，对不同工法在地貌突变中施工可能产生的风险和适用性进行专项分析。

- 3** 矿山法施工时应对地貌突变过渡带的围岩加固或地下(表)水控制措施进行专项设计。
- 4** 地貌突变过渡带内采用洞内爆破时, 应进行专项设计。
- 5** 盾构穿越地貌突变过渡带时, 应根据工程地质、水文地质等条件针对性设计、选择适宜的盾构机型、刀盘和盾构掘进参数。
- 6** 隧道穿越地貌突变过渡带时, 矿山法施工应加强隧道支护、止水设计, 盾构法施工应及时调整掘进参数。
- 7** 对地貌突变过渡带应进行动态设计, 根据施工过程中动态勘察揭示的地质情况及时调整设计方案。

5.10.6 施工措施

- 1** 对于地貌突变地段的隧道施工前应进行超前地质预报, 并对围岩等级进行现场确认。
- 2** 矿山法施工时, 应采用小导管注浆、管棚、止水帷幕和降水等措施进行地下水控制。
- 3** 矿山法施工时, 应对影响隧道稳定性的上覆不良地层尤其是富水砂层提前进行加固, 必要时可采用物探等方法对加固效果进行检测。
- 4** 现场应准备必要的应急物资和设备, 在开挖面出现失稳或渗漏征兆时, 应及时采取补充加固等措施。
- 5** 盾构掘进过程中注意观察盾构机的异常情况以及掘进参数的异常变化(如速度突然变慢、推力、扭矩突然增大、刀盘振动、盾构机有异响等), 判断是否进入地貌突变过渡带, 掘进过程中随时监测刀具和刀盘的受力状态。

第六章 地下水

6.1 一般规定

6.1.1 上层滞水是引起土质边坡滑塌、路基冻胀病害的重要因素，是诱发冒顶、掌子面塌方的主要原因之一。

6.1.2 潜水的含水层岩性主要是砂土、卵砾石，由于地层透水性强、富水性好，易产生渗透变形、土体流失—潜蚀、管涌等，严重时造成体积很大的“空洞”，威胁地铁结构的基坑侧壁或围岩的整体稳定；潜水可能引起锚杆或土钉与周围土体之间握裹力降低，对地铁结构施工影响较大。在富水性较强的地层中，基坑隧道涌水量较大，可能出现地下水降排困难；在弱富水地层中可能出现疏不干效应。

6.1.4 承压水的一个重要特征是承压性，如果受地质构造影响或钻孔穿透隔水层时，地下水就会受到水头压力而自动上升。当地铁结构的基坑底或围岩底板进入承压水层或隔水层顶板的预留厚度不足承压水将隔水层顶板冲破，可能造成基坑隧道突涌现象，还可能导致基底隆起、地基强度降低、围岩失稳。

6.1.5 采用施工降水措施时，应从降水效果以及降水对周边环境影响等方面分析对工程可能产生的风险。

6.1.6 采用施工止水措施时，应从工艺、地层适应性、设备适应性、检测技术及评定标准等方面分析对工程可能产生的风险。

6.1.7 当遇下列情况时，应开展场地水文地质专项勘察和风险评估工作：

- 1 场地内存在着对工程有影响的多层地下水时。
- 2 工程影响范围内存在着基岩裂隙水或岩溶水，对工程影响较大时。
- 3 场地内承压水水头压力较大，影响基坑和隧道稳定性时。
- 4 场地内地下水位于强富水地层时。

6.2 明挖法风险

6.2.1 坑底以下有水头高于坑底的承压水含水层，且未用截水帷幕隔断其基坑内外的水力联系时，可能存在突涌风险。

6.2.2 产生基坑突涌的风险因素包括：

1 隔水帷幕存在不封闭施工缺陷，未隔断承压水层。

2 基底未作封底加固处理或加固质量差（坑底加固施工方法不合理、加固范围或深度不足、参数不合理）。

3 减压降水井设置数量、深度不足。

4 承压水位观测不力。

5 减压降水井损坏失效。

6 减压降水井未及时开启或过程断电。

7 在地下水作用下、在施工扰动作用下坑底地层软化。

6.2.3 坑底以下为级配不连续的砂土、碎石土含水层时，可能存在管涌风险。

6.2.4 当基坑邻近地层范围内有地下水影响时，可能存在基坑整体滑动失稳风险。

6.2.5 当基坑邻近地层范围内有地下水影响时，可能存在基坑坑底隆起失稳风险。

6.2.6 桩（墙）支护工程，由于地下水作用，可能因支护结构（包括桩、墙、支撑系统等）的强度、刚度或稳定性不足引起支护系统破坏而造成基坑倒塌、破坏。

6.2.7 悬挂式隔水帷幕底端位于碎石土、砂土或粉土含水层时，可能存在流土风险。

6.2.8 放坡开挖工程，基坑开挖范围内有地下水，未采取降水措施时，可能存在基坑坍塌风险。

6.2.9 土钉墙支护工程，涉及含水的粉土、粉细砂、砂层等地层，未采取降水措施时，可能存在基坑塌方风险。

6.2.10 涉及锚杆的支护工程，在高承压水情况下，存在涌水、涌砂风险。

6.2.11 人工挖孔工程，挖孔施工区有地下水时，可能存在孔壁塌落风险。

6.2.12 当基坑开挖深度内有粉土或粉砂、细砂含水层，且在降水后存在疏不干的问题时，可能存在流砂风险。

6.2.13 明挖法降水可能对其影响范围内的周边环境带来过大变形或不均匀沉降的风险。

6.2.14 桩（墙）支护工程，基坑开挖后隔水帷幕可能存在变形风险，严重时造成围护结构侵限。同时，变形还会对周边建（构）筑物、地下管线等产生影响。

6.2.15 桩（墙）支护工程采用隔水帷幕隔水的，隔水帷幕沿基坑周边未形成连续的闭合体，可能存在渗漏水风险，如渗漏点位于富水细颗粒地层，因渗水携带细颗粒造成开挖范围以外地层损失，引起建筑物沉降、地面塌陷等环境危害。

6.2.16 隔水帷幕渗漏风险因素包括：

1 隔水帷幕缺陷（垂直度控制、机械施工水平、施工原因），如咬合桩、旋喷桩垂直度大导致咬合量不够、旋喷桩、搅拌桩等在卵石等大粒径地层中止水效果不好等。

2 隔水帷幕施工工艺不合理（如在状态稍密-中密的粉土或砂土地层采用水泥土搅拌桩或 SMW 工法，施工质量差）。

3 围护桩桩位偏差。

4 断桩夹泥（塌孔、施工异常未及时发现）。

5 连续墙槽段之间的接头选型不合理、槽壁及接头不能保持竖直，垂直度及局部偏差大；槽底泥浆和沉淀物置换和清除不够。

6.2.17 桩（墙）支护工程，采用隔水帷幕隔水的，隔水帷幕结构的入土深度不足，存在基坑稳定性、周边环境安全风险。

6.2.18 落底式隔水帷幕进入下卧隔水层的深度不足，存在渗透稳定性风险。

6.3 矿山法风险

6.3.1 喷锚逆筑法竖井工程，竖井开挖范围内存在地下水的，风险参考明挖法。

6.3.2 矿山法掌子面（尤其是拱顶）遇粉细砂地层，注浆加固效果不好，存在流泥流砂、甚至坍塌风险。

6.3.3 矿山法如遇地层水囊时，存在涌水、流泥、流砂风险。

6.3.4 矿山法采用降水施工，对于疏不干的界面水，存在流泥流砂、桩间土体流失等现象，如长时间水土流失，极易造成周边地层过度沉降，从而引发周边地下管线、建构筑物的变形破坏。

6.3.5 矿山法采用降水施工，对于粉土、黏性土、淤泥质土层，疏干困难，存在失稳、坍塌风险。

6.3.6 矿山法采用降水施工，对于卵砾石富水地层，地下水抽降困难，存在地下水水位无法降至设计深度以下、从而引发涌入风险。

6.3.7 矿山法降水可能对其影响范围内的周边环境带来过大变形和不均匀沉降的风险。

6.3.8 采用洞桩法进行钻孔咬合桩止水，受施工空间（需要在导洞内施作）、设备（需要在受限狭小空间内的小型设备）、工艺（可能只能采用硬咬合）等因素限制，施工质量难以保障，主要风险因素如下：

1 设备及工艺：采用洞内泵吸式反循环钻机、硬咬合，存在垂直度偏差大导致隔水

帷幕渗漏风险。

2 材料：当素桩强度与周围地层强度相差较大，咬合施工时钻头易向强度低的土层偏斜，存在钢筋桩咬合时垂直度偏差大导致隔水帷幕渗漏风险。

3 施工过程中的检测手段：采用的超声波垂直度检测仪精度较差，存在垂直度偏差大导致隔水帷幕渗漏风险。

4 施工效果验证手段：缺乏可靠的开挖前止水效果验证手段，开挖前无法进行效果验证质量隐患多风险。

6.3.9 采用洞桩法进行超高压旋喷桩侧壁止水，受施工空间（需要在导洞内施作）、设备（需要在受限狭小空间内的小型设备）等因素限制，施工质量不如明挖法施作易于保证。超高压旋喷桩封底止水，施工范围大，地层适应性难以保证，主要风险因素如下：

1 地层适应性：对卵石地层的适应性差，存在无法形成连续桩体、渗漏严重风险。

2 质量检测手段：缺乏可靠的质量检测手段，目前采用的检测方法（声波透射法、广波法、三维电视成像法）均达不到检测效果，只能靠开挖验证，存在开挖前无法进行效果验证、开挖后质量隐患多风险。

6.3.10 采用深孔注浆进行地下工程止水，存在渗漏水风险，主要风险因素如下：

1 地层适应性：粉细砂地层注浆效果不易保证，存在渗漏、坍塌风险。

2 适用范围：适用于局部小规模止水，大规模止水存在失效风险。

3 质量检测手段：缺乏可靠的质量检测手段，只能靠开挖验证，存在开挖前无法进行效果验证、开挖后质量隐患多风险。

6.4 盾构法风险

6.4.1 盾构竖井开挖风险分析参照明挖法风险执行，盾构横通道开挖风险分析参照矿山法风险执行。

6.4.2 盾构掘进过程中，遇到富水地层，加之施工原因，螺旋输送机等部门可能存在喷涌风险。

6.4.3 螺旋输送机喷涌风险因素包括：

1 盾构施工时地质条件、水文情况、掘进参数是喷涌发生的决定因素，在砂卵石等富水地层地下水的通路没有阻断、泡沫、膨润土等添加剂使用不当，渣土改良不理想，未能有效改变渣土渗透性，在水流大或者水力梯度大的情况下，极易发生喷涌。

2 在中风化或者微风化岩层中，若裂隙水发育，后方水路又未封闭，开挖仓内渣土

由于流水的影响难以改良时，也经常发生喷涌现象。

3 高压力的水体穿越开挖仓和螺旋输送机后其压力水头没有递减到位，渗流夹带土颗粒在输送到螺旋输送机排渣门出口的一瞬间，由于下方式敞开的皮带输送机受料端处于无压状态，渗流水便在突然压力降低的情况下带动正常输送的渣土喷涌而出。

6.4.4 盾构管片拼装过程中，已拼成管片存在渗漏的风险。

6.4.5 高地下水位时，盾尾注浆参数控制不当，存在盾尾击穿、涌水、涌砂等风险。

6.4.6 盾尾注浆时的主要风险因素有：

1 盾尾油脂注入不及时、注入量不足，导致漏水。

2 盾尾注浆压力过大，导致盾尾击穿，产生涌水、涌砂。

3 二次注浆压力过大，导致管片被压破裂，产生错台和涌水、涌砂。

6.4.7 盾构始发、到达时存在涌水、涌砂、隧道破坏、地面沉降、坍塌风险。

6.4.8 盾构始发、到达时涌水、涌砂、隧道破坏、地面沉降、坍塌风险因素包括：

1 盾构始发、到达打开洞门时，由于土体自立性较差，导致开挖面土体失稳现象。

2 正面土体加固范围或加固方法选择不合理。

3 处于粉土层或砂层等具有承压水性的地层时，未进行承压水处理。

6.4.9 富水地层联络通道施工止水难度大，风险高。联络通道或泵房底板下存在承压水且隔水层厚度不足时，可能存在突涌风险。

6.5 冻结法风险

6.5.1 当地下水流速大于 5m/d、未采取辅助降速措施时，存在冻结止水失效风险。

6.5.2 隧道内钻孔施工时，开孔易引起涌水、涌砂风险。

6.5.3 冻结孔施工过程中孔口管脱落、冻结管断裂等发生孔口水砂涌出风险。

6.5.4 冻结孔施工偏斜太大，存在冻结壁不交圈，引发渗漏水风险。

6.5.5 冻结和开挖过程中发生冻结管断裂和盐水漏失风险，影响冻结效果。

6.5.6 发生严重机电事故或停电引起长时间停冻风险。

6.5.7 冻结管归集后憋气或渗漏水，导致该分组盐水不循环，存在冻结盲区风险。

6.5.8 开挖过程因冻结壁不交圈、解冻或破坏引起出水冒泥，初支支护严重变形或破坏风险。

6.5.9 开挖过程因冻结壁冻结厚度不足，冻结壁变形量大，存在失稳风险。

6.5.10 开挖施工挖漏冻结管，导致冻结管断裂或盐水漏失，存在局部冻结止水失效风

险。

6.5.11 地层水土流失、冻胀、融沉和开挖引起周边隧道管片、地下管线和地面道路、设备及建（构）筑物严重变形甚至破坏风险。

6.6 工程结构风险

6.6.1 地下水可能造成地下工程结构上浮或受浮力破坏的风险。

6.6.2 地下水位上升可能造成地下工程结构受力增加。

6.6.3 地下水可能造成地下工程结构渗漏。

6.6.4 地下水可能造成地下工程结构腐蚀。

6.6.5 地下水位变化可能造成地下工程结构不均匀沉降，从而引起结构破坏。

6.7 勘察措施

6.7.1 地下工程应分层观测地下水位，宜对每个车站、区间工点建立长期水位监测点。

6.7.2 地下水丰富时，应开展水文地质专项勘察工作，查明地层及地下水赋存条件。

6.7.3 当地表周围存在地表水时，应分析地表水和地下水的关系。

6.7.4 勘察报告中应对地下水的工程风险进行系统性分析，并提出处理措施建议。

6.7.5 水文地质勘察应分析评价建设场地内地下水动态，地表水体与地下水之间、地下水控制影响深度内各含水层的性质及含水层之间的水力联系特征。

6.7.6 水文地质勘察应分析评价相邻工程地下水控制对拟建工程的影响。

6.7.7 水文地质勘察应调查受拟建工程地下水控制影响范围内建（构）筑物及设施的性质和状况，查明受地下水控制影响需要采取保护措施的环境对象。

6.7.8 水文地质勘察现场勘察工作结束后，应对不再利用的试验孔进行封孔处理。

6.8 设计措施

6.8.1 设计文件应对地下结构的抗浮、抗渗、抗洪等进行分析。

6.8.2 当地下水风险高时，应开展地下水控制的专项设计。

6.8.3 地下水控制设计应充分考虑环境保护和工程安全的双重要求，可采用“降、截、排、灌、冻”等方法。

6.8.4 根据勘察成果，分析地下水影响，采用适宜的降水与回灌方案，避免对周边环境

影响。采用降水方法控制地下水时，应对降水引起的地表和周边环境的沉降进行计算。

6.8.5 地下水控制设计图纸应明确地下水水位的监测要求。

6.8.6 设计应根据水文地质情况及地区经验，采用适宜的围护形式及接缝止水措施，避免围护渗漏。

6.8.7 当基坑底下存在承压水时，应进行坑底抗突涌稳定性验算。当不满足抗突涌稳定性要求时，可采取在承压水含水层内设置减压井或增加隔水帷幕深度等方法。

6.8.8 坑底以下存在管涌风险时，应进行土的管涌可能性判别。

6.8.9 基坑设计时，考虑地下水作用，进行基坑整体滑动稳定性验算、坑底隆起稳定性验算。

6.8.10 悬挂式隔水帷幕底端位于碎石土、砂土或粉土含水层时，对均质含水层，应进行地下水渗流的流土稳定性验算。对渗透系数不同的非均质含水层，宜采用数值方法进行渗流稳定性分析。

6.8.11 对地下结构上浮和受浮力破坏的风险，设计阶段要综合考虑和采取以下措施：

1 勘察单位应搜集当地水文历史资料，根据多年统计经验推算出需要考虑的抗浮水位高度，并考虑将来使用期水位的变化综合确定设计抗浮水位，并在勘察报告中明确。

2 当无历史数据时，设计时应估计地下水位高度，可按最不利情况取值。

3 如场地标高在施工期间发生大面积改变，设计需重新核实设防水位。

4 设计应考虑上部建筑高低悬殊引起的地下室结构局部抗浮的受力差异。

5 设计图纸应对施工过程提出对阶段性抗浮的施工要求，包括施工程序和施工措施的时间要求。

6.8.12 地下水降水设计应注意降水引起的细颗粒流失问题，通过反滤层粒径级配的设计、井管外包滤网的设计、合理的抽降深度及时间控制等避免该类风险的出现。

6.8.13 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。

6.8.14 采用止水方案时，采取适宜的隔水帷幕形式，充分考虑帷幕体与围护结构的咬合偏差，采取合理的帷幕组合形式，确保止水效果。充分考虑防渗漏措施，并明确渗漏检测要求。

6.8.15 隔水帷幕应沿基坑周边形成连续的闭合体。同一基坑内有几个不同开挖深度或有几种支护结构时，应保持基坑底部隔水帷幕轮廓线的连续。

- 6.8.16** 隔水帷幕工程设计方案应提出试验、检测、监测要求。
- 6.8.17** 隔水帷幕的厚度应满足材料的允许渗透坡降的要求，并应满足支护结构的强度和变形要求。
- 6.8.18** 隔水帷幕结构的最小入土深度应大于由基坑渗流计算得到的入土深度，并应满足基坑稳定性、支护结构的经济性和周边环境安全性要求。
- 6.8.19** 落底式隔水帷幕进入下卧层的深度应满足规范渗透稳定性要求，且不宜小于1.5m。
- 6.8.20** 桩式帷幕设计中应注意桩长影响，根据设备能力和地层情况，推算下端咬合量，满足规范最低要求，同时制定应急预案。
- 6.8.21** 地下连续墙槽段之间的接头宜根据各地情况灵活选用接头形式。无特殊要求的，可采用锁口管柔性接头，对地下连续墙槽段间防水或连接刚度有特殊要求时，也可采用防水接头或刚性接头，必要时可在接口位置设置旋喷桩进行加强，同时制定应急预案。
- 6.8.22** 注浆隔水帷幕仅适用于小规模、小范围的止水施工，在粉细砂地层很难达到止水效果，同时细化制定预案。
- 6.8.23** 冻结法冻结壁应按受压结构、封闭形式设计。
- 6.8.24** 冻结法冻结壁结构形式选择应有利于控制土层冻胀与融沉对周围环境的影响。
- 6.8.25** 冻结法设计需注重薄弱点部位的细化设计，完善薄弱点部位的检测要求，同时制定应急预案。
- 6.8.26** 富水地层盾构的始发与接收，具备降水条件的，推荐采用降水+端头加固。对于盾构始发处于软弱地层的地段，设计时应进行计算分析，确保加固长度满足要求，对于处于具有承压性的地段时，设计应进行降承压水处理，使承压水水头控制在安全范围内，同时做好防渗、防突涌措施。不具备降水条件的，推荐采用钢套筒始发和接收。
- 6.8.27** 富水地层联络通道开挖，必要时，对联络通道部位的工程地质、水文地质条件进行施工核查；联络通道拱腰以上部位入水的，推荐采用降水或冻结法施工；联络通道或泵房底板下存在承压水且隔水层厚度不足时，推荐采用减压降水或冻结法施工。

6.9 施工措施

- 6.9.1** 施工单位进场后应核查场地地下水的具体情况。
- 6.9.2** 施工单位应按照相关要求编制地下水控制专项施工方案，并经过专家论证。

6.9.3 地下水控制专项方案应充分分析地下水的工程风险,以及采取控制措施工艺的地质适应性。

6.9.4 地下水控制措施实施过程中应注意施工质量控制,确保措施落实到位,保障地下水控制效果。

6.9.5 施工过程中应对地下水位进行长期分层监测,地下水监测措施宜符合要求。

6.9.6 施工单位在土方开挖前应对地下水的控制效果进行检测和评估。

6.9.7 施工过程中出现渗漏水、降水效果不佳、水降不下去等异常情况时,应及时汇报给业主方,并通报给设计单位和勘察单位。

6.9.8 采用明挖法施工时,应按照施工工序逐项分析地下水对明挖法施工带来的工程风险。

6.9.9 基坑围护结构施工前,应分析地下水对桩(墙、土钉、锚杆)成孔、灌注的影响,以及后期断桩、夹砂、渗漏的可能性。

6.9.10 土方开挖前,应分析基坑渗漏、流砂、桩间流土的可能性,分析承压水造成基底突涌的可能性,并预测事件发生后果的严重程度。

6.9.11 基坑开挖过程中,应分析场地周边不确定水出现的可能性,地下水的动态变化幅度,以及出现后造成的土体软化,围护结构压力加大等不良影响。

6.9.12 基坑使用过程中分析周边地表水和雨水、管线水进入场地的可能性,判断其产生的不良影响,并做好场地排水措施,做好防汛和管线爆裂的应急准备。

6.9.13 当地下水位于底板以上时,明挖施工应采取明确的地下水控制措施。

6.9.14 施工过程,加强施工规范性管控,确保基坑围护结构及止水桩变形处于可控范围内,避免侧壁变形过大,导致帷幕破坏失效。

6.9.15 对基坑坑底突涌风险,施工措施包括:

- 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。

6.9.16 涉及锚杆的支护工程,在高承压水情况下:

- 1 在高水头砂层锚索开孔、成孔过程中,采用套管与钻杆同步钻进、打击成孔工艺,

有效控制排渣，在外套管钻进过程中将周围土体挤压密实，增大外套管与砂层之间的摩阻力来平衡高水头下的渗流力。同时在开孔位置采用防涌砂装置来平衡外部水土压力，进一步控制成孔过程中涌套管外的涌砂、涌水，内钻杆则通过泵入一定的压力水，平衡孔内的水土压力。

2 注浆后，拔出套管时，水泥浆液是否涌出取决于水泥浆液压力与地下水压力是否平衡。存在涌浆现象的，应通过增加锚固段长度的方法来确保其抗拔力，再通过拔出套管后的快速封堵来避免出现涌砂。

3 拔出套管所有管节后，孔口会出现涌浆继而涌砂，必须采用快速封堵材料封堵，可采用一种吸水快速膨胀、形状可任意塑造的膨胀止水纱袋。

6.9.17 开马头门前关键节点条件验收应将地下水的控制效果检测以及地下水风险分析作为主控条件。

6.9.18 隧道开挖时应分析地下水对小导管打设、管棚施工、注浆等超前支护的影响，重点分析预测掌子面突水涌砂的可能性。

6.9.19 隧道施工过程中注意观察初支结构和掌子面的地下水渗漏情况，当出现有不明来历的地下水时应察看水的颜色、气味、温度，并取水样进行水化学分析。

6.9.20 降水可能对周边环境造成较大影响，必要时采取如下施工措施：

1 灌浆或压力注浆填充。

2 回灌措施。

6.9.21 矿山法降水施工，对于疏不干的界面水，开挖过程中及时采取插设盲管导排措施，避免渗透携带细颗粒，导排措施应根据出水情况灵活调整。

6.9.22 矿山法降水施工，遇到难以疏干的粉土、淤泥质土层时，采用水平向轻型井点降水方法，通过施加真空负压有效疏干弱透水层内地下水，提高土体物理力学性质。

6.9.23 矿山法降水施工，遇到抽降困难的卵砾石富水地层时，针对电路故障造成大量抽水设备无法工作的风险，应设置双电源工点系统，如备用发电机、二路电源，以应对紧急停电时快速恢复抽水。

6.9.24 隔水帷幕施工应设置试验段，充分检验止水效果。

6.9.25 对隔水帷幕，施工措施包括：

1 基坑开挖前应进行坑内抽水试验，并通过坑内外地下水位和出水量变化，验证帷幕的隔水效果。

2 隔水帷幕施工方案应根据帷幕设计、设备条件等分析可能发生的帷幕结构缺陷，

编制修复预案，并在施工过程中严格执行。

3 加强施工质量控制，施工前应按要求进行交底，对施工工序、关键环节旁站监督，强化隐蔽工作验收；对于出现断桩等异常情况的部位及时采取补救方案，补桩加强；施工过程中严格控制施工步序，按照设计步序施工，严禁超挖。

6.9.26 隔水帷幕发生过度变形时的施工措施：

1 采用止水的基坑工程根据场区条件，宜在坑外设置一定数量的应急减压井，当地下水位浮动（上升）时，可应急启动减压，降低地下水位，减少围护结构侧向土压。

2 采用旋喷或搅拌止水桩的基坑工程应在坑外设置水位观测井并加强保护，关注地下水位变化，根据监控情况及时调整优化基坑支护参数及地下水处理措施。

3 采取止水方式的基坑工程应重点关注以下部位围护结构的稳定状态，如：基坑阳角、基坑端头（斜向支撑区域）、宽大基坑支撑布置不规则区域。

4 规范施工，充分利用基坑时空效应，遵循“分层、分段、分块，限时开挖，及时支护”原则。

6.9.27 采用冻结法施工的风险应对措施：

1 开孔引起涌水涌砂控制措施。冻结管开孔应避免管片手孔、接缝、主筋和钢管片的肋板。开始时放慢钻进速度，避免管片混凝土开裂。

2 帷幕透水引起涌水、涌砂风险控制措施。开挖前装好安全防护门，采取边探边挖措施，探多少挖多少，开挖步距控制在 0.5m，及时架设水平钢支撑和背板，在钢支撑架两个垂直方向布置收敛监测点，进行两个方向收敛监测，同时加强测温孔的监测。

6.9.28 盾构掘进过程中，应分析地下水造成螺旋输送机等部门喷涌的可能性，并制定应对措施。

6.9.29 管片拼装过程中，应分析地下水造成管片渗漏的可能性，并观察已拼装管片的渗漏情况。

6.9.30 在承压含水层掘进时，应分析盾尾渗漏风险，并定期对盾构机的密封系统进行检查。盾尾注浆发生错台、涌水、涌砂风险时，及时注入足量盾尾油脂，设定合适注浆压力。

6.9.31 施工过程中，应对基坑止水措施进行质量检测：

1 连续墙帷幕应进行槽壁垂直度检测、槽底沉渣厚度检测、墙体混凝土质量检测不合格时钻芯法验证)、开挖前帷幕效果检验。

2 桩式帷幕应进行桩体质量检验、开挖前帷幕效果检验。

3 注浆隔水应对注浆效果进行检查、评定注浆隔水效果（分析法、检查孔法、过程类、物探法 4 种方法中选择 2-3 种方法组合使用）。

4 冻结止水应对冻结孔、冻结管、供液管、冷冻站安装、冷冻站运转等项目进行中间检验，对冻结壁形成中盐水系统、冻结壁厚度与温度、泄压孔、探孔等进行检测与判定。

6.9.32 施工过程中，应分工法制定地下水应急预案。

1 明挖法：应针对基坑坍塌、支护结构侧向位移、基坑坑底隆起、涌水涌砂、隔水帷幕部位渗水与漏水等施工风险编制应急预案。

2 矿山法：应针对掌子面突泥涌水、有压管线泄漏、管线断裂、地面坍塌、地表沉降过大、结构收敛、拱顶沉降过大、初支结构开裂等施工风险编制应急预案。

3 盾构法：应针对地表变形过大，周边环境变形超限，盾构隧道埋深变化大、水压高，盾构机螺旋输送机等部门喷涌，已拼成管片渗漏，盾尾击穿，管片错台和涌水、涌砂，盾构始发、到达时存在涌水、涌砂，地面沉降、坍塌，联络通道或泵房底板下方突涌等施工风险编制应急预案。

4 冻结法：应针对钻孔施工涌水、涌砂，孔口管脱落、冻结管断裂孔口水砂涌出，开挖过程中冻结壁渗漏、涌水等施工风险编制应急预案。