

北京市地方标准

DB

编 号：DB11/T 2379—2024

# 城市轨道交通工程地质风险防控技术标准

Technical standard for prevention and control of geological  
risk of urban rail transit engineering

2024-12-26 发布

2025-04-01 实施

北京市住房和城乡建设委员会  
北京市市场监督管理局

联合发布

北京市地方标准

# 城市轨道交通工程地质风险防控技术标准

Technical standard for prevention and control of geological  
risk of urban rail transit engineering

编 号：DB11/T 2379-2024

主编单位：北京城建设计发展集团股份有限公司  
北京城建勘测设计研究院有限责任公司  
北京市轨道交通设计研究院有限公司

批准部门：北京市市场监督管理局  
施行日期：2025年04月01日

2024 北京

## 前 言

根据北京市市场监督管理局《2023年北京市地方标准制定项目计划》的通知（市监发〔2023〕4号）的要求，标准编制组经过深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准主要技术内容包括：1、总则；2、术语；3、基本规定；4、地质风险评估；5、明（盖）挖法工程地质风险控制；6、矿山法工程地质风险控制；7、盾构法工程地质风险控制；8、地下水风险控制。

本标准由北京市住房和城乡建设委员会、北京市规划和自然资源委员会和北京市市场监督管理局共同负责管理，由北京市住房和城乡建设委员会归口、组织实施，并负责组织编制单位对标准具体内容进行解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至北京城建设计发展集团股份有限公司（地址：北京市西城区阜成门北大街五号，邮政编号：100037，联系电话：13032283053，联系邮箱：gaoyx912@163.com）。

本标准主编单位：北京城建设计发展集团股份有限公司

北京城建勘测设计研究院有限责任公司

北京市轨道交通设计研究院有限公司

本标准参编单位：北京市建设工程安全质量监督总站

北京市轨道交通建设管理有限公司

北京城市快轨建设管理有限公司

北京市政建设集团有限责任公司

北京城建轨道交通建设工程有限公司

北京市建设工程质量第三检测所有限责任公司

北京中天路通智控科技有限公司

中铁十九局集团轨道交通工程有限公司

中铁隧道局集团有限公司

中铁十六局集团有限公司

北京市勘察设计研究院有限公司

北京市市政工程设计研究总院有限公司

中铁二十二局集团有限公司

中航勘察设计研究院有限公司

本标准主要起草人员：刘永勤 郭建斌 徐耀德 王思锴 何海健

毛海超 刘 学 付春青 刘魁刚 杨开武  
张春旺 田建华 刘 丹 卢 蓉 杨 萌  
谢 峰 高 涛 李芳凝 乔国刚 李名淦  
张韶文 李松梅 贺美德 陶水忠 赵 辉  
王云龙 张绍宽 王 泰 夏 源 杨世鹏  
毕旭亮 刘 兵 李江舟 王鑫平 王 法  
张 功 朱 剑 李广江 王 浩 祝建勋  
涂 闻 霍永生 刘 源 刘高杰 刘学峰  
吴凤明 冯 涛 傅湘萍 王西地 李 庚  
王 辉 苑露莎 邬秋实 马永尚 钟巧荣  
刘天奇 张国强 高 清 郑 杰 范 涛  
张志鹏 孙长军 叶新丰 申庆梦 张 涛  
张殿龙 郭双燕 王健淇 李建光 孙红福  
刘宇鼎 刘海峰 刘 威 高 悅 迟洪利  
金 淮 曹伍富 吕培印 张 瑞 叶 锋  
李 玲 郭英杰 杨志勇

本标准审查人员：

# 目 次

1 总 则 .....	1
2 术 语 .....	2
3 基本规定 .....	3
4 地质风险评估 .....	5
5 明（盖）挖法工程地质风险控制 .....	7
5.1 设计 .....	7
5.2 施工 .....	8
6 矿山法工程地质风险控制 .....	10
6.1 设计 .....	10
6.2 施工 .....	11
7 盾构法工程地质风险控制 .....	13
7.1 设计 .....	13
7.2 施工 .....	13
8 地下水风险控制 .....	16
8.1 设计 .....	16
8.2 施工 .....	17
附录 A 城市轨道交通工程地质风险等级标准 .....	20
附录 B 地质风险因素辨识清单 .....	21
附录 C 地质风险单元及风险等级表 .....	22
本标准用词说明 .....	23
附：条文说明 .....	24

# **Contents**

<b>1 General provisions.....</b>	1
<b>2 Terms.....</b>	2
<b>3 Basic requirements.....</b>	3
<b>4 Geological risk assessment .....</b>	5
<b>5 Geological risk control measures of open-cut method engineering.....</b>	7
5.1 Geological risk design control.....	7
5.2 Geological risk construction control.....	8
<b>6 Geological risk control measures of mining method engineering.....</b>	10
6.1 Geological risk design control.....	10
6.2 Geological risk construction control.....	11
<b>7 Geological risk control measures of shield method engineering.....</b>	13
7.1 Geological risk design control.....	13
7.2 Geological risk construction control.....	13
<b>8 Geological risk control measures of groundwater.....</b>	16
8.1 Geological risk design control.....	16
8.2 Geological risk construction control.....	17
<b>Appendix A List of geological risk classification standard.....</b>	20
<b>Appendix B List of geological risk identification factors.....</b>	21
<b>Appendix C Table of geological units and risk classification .....</b>	22
<b>Explanation of wording in this standard.....</b>	23
<b>Addition: Explanation of provisions.....</b>	24

## 1 总 则

1.0.1 为规范城市轨道交通工程的地质风险防控，有效预防和控制城市轨道交通工程建设中的地质风险，制定本标准。

1.0.2 本标准主要适用于北京市行政区域内城市轨道交通工程建设采用明（盖）挖法、矿山法和盾构法施工的工程。

1.0.3 城市轨道交通工程的地质风险防控应遵循安全可靠、技术可行、经济合理和绿色环保的原则。

1.0.4 城市轨道交通工程的地质风险防控除应符合本标准外，尚应符合国家及北京市现行有关规范及规范的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 地质风险 geological risk

工程建设活动中，由于工程地质及水文地质条件导致的工程风险。

### 2.0.2 地质风险评估 geological risk assessment

对地质风险进行风险辨识与界定、风险分析与单元划分、风险评价与分级，并提出地质风险防控措施建议。

### 2.0.3 地质风险单元 geological risk unit

根据场地工程地质及水文地质条件、地质风险类别、地质条件与工程结构的空间位置关系、施工工法工艺等，划分出的不同地质风险区段或范围。

### 2.0.4 地质风险防控 geological risk prevention and control measures

在规划、可行性研究、勘察设计、施工等各阶段或工程建设全过程，对地质风险开展风险评估、风险控制、监测、预警及处理，降低或消除地质风险的一系列工作。

### 3 基本规定

3.0.1 地质风险防控应贯穿城市轨道交通工程建设全过程,各阶段应开展地质风险防控工作,并符合下列规定:

1 线路建设规划和可行性研究阶段应规避重大地质风险,开展重大地质风险辨识,进行方案的技术安全经济比选等工作;

2 勘察设计阶段应预控地质风险,开展地质风险全面辨识、分析、地质风险单元划分与分级和评估,制定地质风险控制设计方案和技术措施;

3 施工阶段应全面控制地质风险,开展地质风险动态评估,制定地质风险控制施工方案,采取安全技术措施,实施信息化施工和风险动态管控。

3.0.2 勘察设计和施工阶段应根据地质风险单元划分与分级等地质风险评估结果,调整工程风险等级,分别有针对性制定或优化工程方案和措施。

3.0.3 地质风险等级分为 I 级(重大风险)、II 级(较大风险)、III 级(一般风险)和IV 级(低风险)四级风险。地质风险等级标准可按附录 A 进行划分。

3.0.4 对 I 级、II 级地质风险单元,勘察设计和施工阶段应重点开展地质风险防控工作,并符合下列规定:

1 根据相关规范标准和设计要求,开展针对性勘察或专项勘察,勘察成果中应进行专门说明;

2 制定针对性的地质风险设计控制措施,严格落实到设计文件(图纸)中。专项设计应充分考虑地质风险因素;

3 制定针对性的地质风险控制专项施工措施、监测方案和应急预案。施工中按规定开展针对性应急演练和评估;

4 施工过程中宜开展地质风险动态评估,加密监控量测布点和频次,及时预警与反馈;

5 基坑和矿山法隧道开挖施工时应对开挖面进行地质描述和风险分析。

3.0.5 出现下列情形时,应补充勘察和地质风险评估,优化地质风险控制措施:

1 场地地质条件复杂或施工过程中出现地质异常,且可能对工程结构及工程施工产生较大影响;

2 设计方案或工程措施发生变更;

3 场地地下水或周边地表水条件等发生较大变化;

4 存在对工程有影响的邻近工程施工、振动等作业活动。

3.0.6 对强度较低或自稳定性较差且分布厚度及范围较大的地层，应重点开展如下工作：

- 1 进行地基承载力验算。地基承载力不满足要求时，宜采取地面预加固或换填、铺垫钢板等预处理措施；
- 2 宜将深层土体位移监测项目列为必测项目，施工中宜加密监测；
- 3 制定合理可行的岩土体加固方案，采用可靠的施工设备和工艺参数，提高加固体质量检测的抽检率。

3.0.7 采用明（盖）挖法、矿山法施工的结构基础处于中等以上液化地层时，应根据地基液化等级和抗震设防要求，选用相应的抗液化设计措施，并对液化地层进行地基处理。围护结构宜采用地下连续墙或咬合桩，嵌入到非液化地层，并按永久结构设计。

3.0.8 污染土或有害气体地层，应重点开展下列工作：

- 1 对污染土范围内的主体结构进行防腐蚀及抗裂控制设计，明确施工期及运营期防护要求；
- 2 根据污染土范围、浓度毒性等特征进行污染土预处理设计，编制专项处置方案；开挖施工前对污染土进行先期处理；重金属污染土宜采用异位修复处理方案；
- 3 隧道工程应进行防护设计和电气设备防爆处理设计，相关设备应满足防爆防毒要求；
- 4 基坑止水帷幕宜采用防止有害气体泄漏的材料；
- 5 隧道施工中遇有害气体地层应严格遵循“先通风、再检测、后作业”的原则，作业面范围内不宜明火作业。盾构掘进前应对盾构密封系统进行全面检查和处理；
- 6 污染土和有害气体地层中进行作业和抢险施救时，应按规定做好个人防护。

3.0.9 勘察阶段钻孔完成后应按有关规定及时回填密实，并记录回填方法、材料和过程。

3.0.10 勘察阶段应设置地下水位长期观测孔，并做好保护和维护。

3.0.11 施工阶段应根据地层实际开展地层空洞探测工作。发现存在空洞、土质疏松区或水囊的，应及时处理。

3.0.12 工程建设中地质风险防控宜采用先进适用的智能化工具或信息化手段。

## 4 地质风险评估

4.0.1 地质风险评估应包括地质风险辨识、单元划分和风险评价及分级等工作，宜形成地质风险因素辨识清单、地质风险单元及风险等级表等地质风险评估成果。地质风险因素辨识清单、地质风险单元及地质风险等级表分别见附录 B、附录 C。

4.0.2 地质风险评估宜采用定性和定量相结合的方法。

4.0.3 地质风险辨识应根据工程地质与水文地质条件，识别工程区段或部位的地质风险因素、涉及范围、可能发生风险类别，并充分考虑下列情况：

- 1 基坑侧壁地层、隧道围岩及地下水分布的复杂性、变化性；
- 2 岩土参数及获取方法的可靠性；
- 3 地层、地下水及分布与结构的空间关系；
- 4 施工工法及围（支）护方案的合理性、安全性；
- 5 地下水控制与注浆加固等工程辅助措施的适宜性、可靠性；
- 6 勘察范围、内容及精度等的符合性和适宜性。

4.0.4 地质风险单元划分应充分考虑施工工法、围（支）护方案、工程单元等要素。下列情况宜划分出不同的地质风险单元和地质风险等级：

- 1 地形地貌发生较大变化；
- 2 围岩等级发生较大变化；
- 3 地层分布、厚度及相关岩土参数发生较大变化；
- 4 地下水类型或水位、含水层厚度发生较大变化；
- 5 工程地质与水文地质条件与结构位置关系发生变化；
- 6 存在水囊、孤石、漂石、富水砂层、高承压水、土岩复合地层或基岩隆起、污染土或有害气体等特殊地质现象；
- 7 周边存在变形控制要求高的既有轨道交通线（站）、地下管线等建（构）筑物等。

4.0.5 地质风险评价与分级应在风险辨识与地质单元划分的基础上进行综合分析，充分考虑工程地质条件与水文地质条件及其变化可能导致地质风险发生的类型、范围与主控因素。

4.0.6 当地质条件发生变化或设计方案调整后，应核查地质风险评估结果，明确地质风险控制方案和工程措施。

4.0.7 勘察工作中应进行地质风险辨识，形成初步的地质风险因素辨识清单，并符合下列规定：

- 1 可行性研究勘察重点分析场地不良地质作用、特殊性岩土、不利地质条件等对线路方案、重点车站及区间的地质风险；
- 2 初步勘察初步分析场地工程地质与水文地质条件对各车站、区间、车辆段等的地质风险；
- 3 详细勘察全面分析场地工程地质与水文地质条件对各车站、区间、车辆段等的地质风险，重点分析危险性较大分部分项工程的地质风险。

4.0.8 工程设计应根据勘察成果及其地质风险辨识分析成果、初步方案及相关工程经验，开展地质风险评估，编制地质风险因素辨识清单，划分地质风险单元，评价地质风险并确定地质风险等级。

4.0.9 施工前宜根据地质条件核查结果、设计文件（图纸）、施工方案及相关工程措施、设计阶段地质风险评估成果等，进行地质风险评估，核查地质风险单元及等级。地质风险评估中应包括主要施工工艺的地质条件适宜性评价等内容。

4.0.10 施工过程中宜根据工程地质水文地质条件的变化，结合施工工序工况、周边环境控制要求、监测数据及预警信息等，动态评估地质风险。

4.0.11 施工过程中存在如下情况时，应提高地质风险等级，调整所涉施工区段或部位的施工工艺与参数，并加强安全技术措施：

- 1 勘察精度不满足施工要求的特殊区段或部位；
- 2 矿山法隧道拱顶存在厚层人工填土、松散粉土砂土或软土的部位；
- 3 矿山法隧道拱顶或开挖面地层严重不均匀；
- 4 地层分布、厚度及相关岩土参数发生较大变化；
- 5 围岩等级发生 2 级以上突变的部位；
- 6 水文地质条件发生较大变化的部位；
- 7 隧道围岩变形过大但地表变形监测值未协调反应的区段或部位。

## 5 明（盖）挖法工程地质风险控制

### 5.1 设计

5.1.1 明（盖）挖法工程设计应根据场地工程地质与水文地质条件、周边环境条件及保护要求，结合场地附近或类似工程经验等，选择合理可行的围（支）护结构设计方案和地下水控制、土体加固等工程措施。

5.1.2 围（支）护结构应根据场地地质风险等级及单元分区，结合基坑平面、深度、周边环境条件及保护要求等，进行分区设计，不同支护形式转换处应采取加强措施。

5.1.3 场地存在厚度较大的强度较低或自稳定性较差地层时，明（盖）挖法工程设计宜符合下列规定：

- 1 增加支撑体系冗余度或围支护结构刚度，第一道支撑宜采用钢筋混凝土支撑；
- 2 增加支护结构深度，支护结构宜穿透相对软弱地层，嵌固至下伏坚硬土层；
- 3 地下连续墙宜在异形幅、邻幅接头、阴阳角和软弱夹层处等部位的外侧地面，采用旋喷桩或水泥搅拌桩等加固措施，对导墙部位进行土层换填、槽壁预加固或增加导墙深度等措施；
- 4 土钉墙支护可采用加密土钉、超前微型桩、复合土钉墙应力锚杆补强加固；
- 5 基坑坑底地层地基承载力不能满足要求时，采用旋喷桩或搅拌桩等地基加固措施；
- 6 降低基坑土方开挖面坡率。

5.1.4 场地存在富水砂性土层或承压水时，明（盖）挖法工程设计宜根据水文地质条件、基坑深度及结构特点、周边环境条件及变形控制要求等，综合确定地下水控制方案和措施，并符合下列规定：

- 1 排桩、锚杆支护体系应采用降水辅助措施，且先实施工程降水；锚杆应选用套管成孔工艺，并在开孔位置采用防涌砂涌水装置；
- 2 合理验算和评估降水对基坑周边建（构）筑物、管线、道路等的影响时，若影响较大时，宜采取具有止水功能的支护结构形式；
- 3 地下连续墙宜采用刚性或防水接头，接头位置可增设坑外注浆加固或旋喷桩加固止水等措施；
- 4 坑内宜设置降水井或减压井，并布置集水坑、排水沟等辅助措施；
- 5 当基底下存在承压水时，应进行坑底抗突涌稳定性验算。当不满足要求时，宜采取减压井降水或止水措施。

5.1.5 场地存在孤石、大漂石地层，明（盖）挖法工程设计宜符合下列规定：

1 支护结构采用钻孔灌注桩、地下连续墙时，可采用全套筒冲抓成孔工艺或冲击加旋挖结合工艺、预爆破处理方案；

2 支护结构采用锚索及土钉墙时，宜采用跟管钻进的机械成孔工艺。

5.1.6 场地存在土岩复合地层和基岩隆起时，明（盖）挖法工程设计宜符合下列规定：

1 对土岩结合部位的结构抗变形能力、稳定性和不均匀沉降进行专项分析；

2 根据基岩风化及软硬程度，合理设置围护桩嵌岩深度或锚杆（索）长度；

3 基岩上覆地层稳定性较差、富水性较强或强度较低时，对围护结构外侧土体进行预加固；

4 土岩结合部位界面水或基岩裂隙水的水量较丰富或水压较大时，宜采取基坑外降水或深孔注浆、坑内径向注浆止水或集水坑抽排等措施；

5 基坑内基岩采用爆破处理措施时，应开展专项设计。

5.1.7 当地层为不均匀地基时，可采取结构加强或岩土加固等措施。

## 5.2 施工

5.2.1 明（盖）挖法施工应根据基坑结构特点、周边环境、施工季节等，遵循先撑后挖、分层分段、对称均衡的开挖支护原则，严禁反坡、超挖及掏挖施工。

5.2.2 明（盖）挖法施工宜进行试挖，应根据试挖及工程监测情况，优化参数及结构施工方案，严格控制差异沉降超限。

5.2.3 场地存在厚度较大的强度较低或自稳定性较差地层时，明（盖）挖法施工宜符合下列规定：

1 土钉墙支护施工可采用打入式钢花管注浆土钉、跟管钻机施工，并及时补浆；

2 地下连续墙施工可根据地层和设计墙幅长度等情况，选用合适的成槽机，合理划分单元槽段及其施工顺序。成槽时根据不同的地层土质条件选用合适的泥浆种类及比重，并宜通过试验确定。成槽过程中慢速钻进或挖掘，并加强槽深、垂直度等参数的检测与控制；

3 钻孔灌注桩施工宜采用长套筒或泥浆护壁工艺，适当提高泥浆的比重和黏度，降低泥浆的滤失量，成孔作业时应随时监测泥浆比重等参数，加强孔位、孔深、垂直度的检测与质量控制；

4 锚杆（索）支护成孔时应控制钻机钻速。普通锚杆钻机无法成孔时，宜采用跟管钻进的机械成孔工艺，及时多次补浆，可对锚杆进行劈裂注浆。锚杆采用劈裂注浆时，宜根据土

层特性设置试验段，以确定扩散范围、注浆压力、初凝时间、浆液配比等参数；

5 基坑开挖期间严格控制分层开挖高度及坡度。边坡保留时间较长时，应采取帆布、塑料薄膜苫盖、挂网喷护等坡面保护措施。

5.2.4 场地存在富水砂性土层或高承压水时，明（盖）挖法施工应重点开展下列工作：

- 1 地下水控制或止水加固及其效果检测；
- 2 围护结构桩（墙）施工宜采用泥浆护壁工艺，选择合适的泥浆指标；成桩（槽）过程中严格控制垂直度等指标，做好接头防水处理；
- 3 土方开挖前对围护结构渗漏情况进行检测。发现渗漏时，应进一步探明并切断补给水源，土方开挖时宜根据围护结构形式、含水层类型、渗漏范围、渗漏量等要素，选择合理的导流引排、旋喷加固或注浆堵漏等地下水处理措施；
- 4 基坑开挖中当存在基坑侧壁渗漏水时，可根据地下水实际情况，增设坑内集排水措施或坑边截水措施；
- 5 基坑内施作工程桩时，桩的施工工作面标高宜高于所穿过承压水头标高 1 m 以上；
- 6 土方开挖期间应对桩间土随挖随挂网喷射混凝土。

5.2.5 场地存在分布不均的大粒径土、土岩复合地层或基岩隆起时，围护结构施工前宜进行试桩（试成槽）或地质核查。根据试桩（试成槽）报告或地质核查结果，调整相关施工工艺及参数。

5.2.6 场地地层存在孤石、漂石或硬度较大的基岩时，围护结构施工时宜选择胎体厚、水口少、硬度高的钻头钻进。采用爆破处理时，应进行试爆破，并根据试爆破效果调整钻孔间距、深度、装药量等参数。

## 6 矿山法工程地质风险控制

### 6.1 设计

6.1.1 下列地层不宜采用矿山法方案：

- 1 厚度大、松散、均匀性较差，且通过技术措施无法保证暗挖施工安全或变形控制要求的填土层或软弱新近沉积土层；
- 2 分布范围广的工业污染土或有害气体地层；
- 3 地下水位相对较高、渗透系数大，采用降水方案但预测降水效果无法保证暗挖施工安全的厚层大粒径富水地层。

6.1.2 矿山法工程设计应结合场地地层及地下水分布、地下水位与矿山法结构的相对关系、开挖支护方法和周边环境条件及控制要求等，采取合理和综合性的地下水控制方案。当地下水位较高、缺少降水实施条件或降水方案不可行时，应采取地层止水加固措施。

6.1.3 同一工程区段存在不同地质风险单元时，矿山法工程设计宜采取针对性分区开挖支护措施。

6.1.4 矿山法工程存在自稳性、均匀性较差的地层时，应根据地层所处隧道结构位置，采取相应的加固措施：

- 1 位于拱部时，宜采取适宜的地面对预加固或洞内拱部地层预加固措施；
- 2 位于开挖面时，宜对开挖地层采取小导管注浆、帷幕或全断面深孔注浆、加密超前小导管支护、大管棚支护或管幕等预加固措施；
- 3 位于拱脚或墙角时，宜采取加密钢格栅纵向连接筋、对拱脚或墙角进行支垫或进行地基加固等措施；采用止水加固为主的地下水控制方案时，宜采用全断面或帷幕深孔注浆措施，选择水泥-水玻璃双液浆。

6.1.5 存在地层空洞时，宜根据空洞大小和充填物情况，采取下列设计措施：

- 1 空洞洞径大于 2 m 的无充填或半充填空洞，采取先填砂处理、后注浆加固的措施，对全充填砂泥空洞采用压力注浆的加固填充措施，注浆材料宜采用水泥浆或水泥-水玻璃混合浆液；
- 2 对洞径小于 2 m 的空洞，根据空洞与隧道位置关系来确定适宜的处理方法，宜采用直接注浆充填措施，并根据地层情况选择不同的浆液类型；
- 3 对水囊区段，应先对水囊进行处理，然后进行超前支护和预加固措施。

6.1.6 矿山法隧道地层为土岩复合地层或基岩隆起，宜采用预加固、爆破辅助开挖和减振降噪措施。开挖面基岩裂隙水较丰富时，宜采用降水方案或超前小导管注浆、全断面帷幕注浆止水措施。爆破应进行专项设计，宜采用光面爆破或预裂爆破法。

6.1.7 联络通道结构位于富水或软弱地层时，宜根据地层类型及地下水情况，采取降水、地面预加固、洞内冻结法、洞内预支撑等工程措施。

## 6.2 施工

6.2.1 矿山法隧道施工应严格遵守“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”原则，开展信息化施工和地质风险控制。

6.2.2 矿山法隧道地层为下列情况，应制定地质风险专项施工措施和应急预案：

- 1 大粒径地层或基岩地层并采用爆破方案；
- 2 高承压地下水；
- 3 污染土和有害气体。

6.2.3 矿山法隧道施工应安装视频监控设备，并确保掌子面在可视范围内，监控并全面记录掌子面地质、地下水及其风险控制情况，以及支护开挖、注浆加固等施工全过程。

6.2.4 对Ⅰ级、Ⅱ级地质风险单元，矿山法隧道施工应根据地质风险类型及地层情况，开展超前地质探测工作，并选择合适的探测方式。

6.2.5 在不稳定的土层、破碎或风化岩体中进行浅埋、较大跨径隧道施工，宜采用分部开挖法、侧壁导坑法、中隔墙法及PBA法等相结合的施工开挖方法。较小跨径隧道施工时，宜采用环形留核心土法、台阶法等开挖方法。

6.2.6 对地质条件较差或注浆效果不佳的区段或部位，宜根据施工及地层实际等，采取如下工程措施：

- 1 缩短每榀开挖进尺；
- 2 减小格栅间距；
- 3 支护跟土方开挖工序紧密协调，逐榀进行开挖及支护；
- 4 减少围岩土体开挖暴露时间，及时支护、快速封闭成环；
- 5 临时停工的掌子面采用型钢挂网喷射混凝土封闭；
- 6 优化导洞、台阶、核心土等设计规模及参数；
- 7 初支过程中及时分段、进行背后注浆，多导洞开挖时多次补充注浆，根据地层情况合理和严格控制注浆压力和注浆量；

8 加强监控量测，根据监测结果调整施工工艺和参数。

6.2.7 矿山法隧道拱顶或开挖面地层自稳性较差时，支护开挖施工宜采用人工开挖支护方式，避免选用施工振动较大的机械设备，小导管打设宜采用振动力小的打设方式。

6.2.8 矿山法施工的工程下穿或紧邻地表水体时，施工中宜采取铺设防渗毯等工程措施，阻断水力联系。

## 7 盾构法工程地质风险控制

### 7.1 设计

7.1.1 盾构法工程应根据场地工程地质与水文地质条件、地质风险评估结果等，结合类似地层盾构工程经验，进行盾构选型和方案比选。

7.1.2 应根据工程地质与水文地质条件、周边环境及管控要求等，合理选择盾构始发、接收位置和方案，并根据地层地下水情况采用合适的端头加固措施：

- 1 杂填土或高孔隙率填土层、地层空洞或水囊地层，宜采用深孔注浆加固，增加加固区段范围，加密注浆钻孔；
- 2 富水砂性土层尤其是地下水位较高时，宜采用降水或冻结法加固；
- 3 富水大粒径地层，宜采取降水或深孔注浆加固。土层密实度大、渗透性强时，注浆加固宜加大注浆加固范围、加密注浆孔间距；
- 4 细粗粒土组合地层，宜采用注浆、搅拌桩或高压旋喷桩加固。注浆加固时宜采用劈裂注浆法，搅拌桩或高压旋喷桩可增大加固范围、减小桩间距；
- 5 土岩复合地层或基岩隆起，宜根据土岩界面水或基岩裂隙水的含水层分布及涌水量大小等，采用降水、止水或相结合的地下水控制措施；
- 6 对加固体与围护结构之间的间隙、桩的咬合位置、洞门周围等薄弱部位，宜进行注浆加固。

7.1.3 盾构长距离掘进时，宜设计竖井、横通道用于检修。

7.1.4 盾构掘进应选择地层土体稳定性较好、地面条件良好的地段进行开仓换刀，如换刀地点地层强度不足，应设计地面预加固措施。以下地层情况不宜进行开仓换刀，设计宜制定刀具更换方案：

- 1 隧道上方存在厚度较大、孔隙率高或不均匀的填土层或新近沉积土层，地层空洞或水囊；
- 2 隧道断面地层为富水的砂性土层或大粒径地层；
- 3 隧道断面地层为土岩复合地层或基岩隆起。

### 7.2 施工

7.2.1 盾构施工应结合工程地质与水文地质条件、地质风险类型等进行盾构选型，宜符合下

列规定：

- 1 石英含量高的砂性土层，应选择适宜的刀盘结构形式，合理布设刀具；渗透性较大的富水砂性土层，应考虑螺旋输送器喷涌的影响，进行针对性参数设计；
- 2 卵石、漂石等大粒径地层，宜选用安装齿刀和滚刀能够互换的刀盘，刀盘面板增加耐磨层，同时增强刮刀耐磨性和抗冲击性；
- 3 土岩复合地层或基岩隆起地层，宜加强滚刀配置，增加刀盘开口率；可采用复合式刀盘，根据岩石强度，选择匹配的硬岩刀具和耐磨刀具；合理布置滚刀与先行刀的比例；
- 4 黏粒含量较高的地层，宜选用大开口率的刀盘，土仓内应设置主动搅拌棒，刀盘中心处设置冲刷孔，土仓内中心位置设置泥浆注入孔；
- 5 富水且水压较大的地层，应选择合理的渣土改良系统，盾构机应具备加泥浆或泡沫功能，螺旋出土器应设有防喷装置，盾构系统合理设定盾构油脂注入压力。

7.2.2 盾构掘进施工应根据地质条件、地质风险单元及其风险分级，划分不同的掘进组段，确定合理的掘进参数并动态调整。在掘进至 I 、 II 级地质风险单元前宜设置试验段。

7.2.3 盾构始发、接收段土体加固宜根据设计和实际地层情况，合理选取加固工艺和参数，填土、砂性土、大粒径土、土岩复合和基岩隆起等地层，宜通过试验确定。对加固体与围护结构之间的间隙、桩的咬合位置、洞门处等部位的土体加固应加强质量控制和效果检测。

7.2.4 不同地层中盾构掘进施工，应采取相应的地质风险控制施工措施，并符合下列规定：

- 1 黏粒含量较高地层，应根据黏粒含量大小选择合适的泥浆参数和渣土改良剂，掘进中添加适量的土体改良剂或土体改良时添加分散剂，出现泥饼时可使用分散剂泡仓法清除，或适时高速空转刀盘、向泥土仓内注水等方法脱落清除；
- 2 土岩复合地层与基岩隆起和石英含量高砂层，应采用滚刀，开启刀盘加泡沫、加水装置，严格控制刀具的贯入度、扭矩、转速。承压水区段盾构刀盘驱动处宜采用高负荷、高性能的土砂密封圈，盾尾密封采用多道密封刷，对密封系统进行专项检查，不合格时及时更换；对前方存在侵入洞身的直径较大的漂石层、硬度较高的岩石层，及时采用预处理措施，根据刀具的磨损情况，提前制定换刀计划，选择在适当地层中开仓更换刀具；掘进中注意观察盾构掘进参数的变化及异常情况，确保刀具和刀盘受力均匀；
- 3 地层存在空洞或水囊区段、土岩复合地层与基岩隆起地层，掘进前对盾构前进方向 20 m 范围内地面进行雷达探测；掘进中加密地面变形监测，严格控制盾构掘进压力等参数；
- 4 地层空洞或水囊区段，应及时采取注浆或回填处理措施；
- 5 密实砂性土层、大粒径地层、土岩复合地层与基岩隆起地层，遵循“低转速、小贯入

度、小推力、低扭矩”原则，控制好土压、出土量、注浆量、注浆压力等掘进关键参数，合理调整掘进方式。掘进中加密刀具磨损监测，保持铰接有一定的伸出量。发生卡机、卡刀盘等情况时，优先使用脱困模式自行处理，或采用注泥浆、主动缩铰接的方式将盾构刀盘后退使刀盘脱困，并根据地层情况选择合适的渣土改良剂，设定合理的泡沫发泡倍率和气体量，进行多次改良。发现盾构铰接、盾尾泄漏时立即处理；

5 承压水地层，对盾尾密封、螺旋密封、铰接密封等进行专项检查，严禁随意打开有内外水力联系的设备部件。

## 8 地下水风险控制

### 8.1 设计

8.1.1 应根据场地水文地质条件、施工工法、支护形式及开挖方式等，结合地区工程经验和工期筹划，经技术经济安全方案比选，采用适宜的地下水控制方案或措施，并符合下列规定：

- 1 明（盖）挖法工程宜采用成熟可靠的降、止水方案；
- 2 矿山法工程宜采用降水方案或堵、排相结合的地下水综合处理措施；
- 3 采用降水方案时，降水（井）设计参数应根据含水层、隔水层特征、基坑或隧道涌水量、基坑或隧道形状等综合确定。当受场地条件所限地面降水井无法封闭时，可在基坑内增加降水井或在局部相应位置增加止水措施，或暗挖工程增设导洞内管井降水或施工竖井内辐射井降水；
- 4 冻结法布管设计应与结构设计、开挖支护相匹配。当场地地下水流速大于 5 m/d、承压水砂层、存在古河道等情况时，设计上应采取针对性措施；

5 地下水控制设计方案应包括地下水位、出水量等监测项目，厚层富水含砂地层应增设出砂量监测，冻结法应包括冻结壁温度、水压力等监测。

8.1.2 降水设计应对降水影响范围内的建（构）筑物、道路、管线等因降水引起的沉降进行预测。周边建（构）筑物基础埋深较大时，宜作为隔水边界条件。当降水对周边环境可能产生不利影响时，应提出可靠的预防和保护措施，宜采用止水或降水-回灌方案。

8.1.3 承压水控制设计应按最不利条件对地下水突涌可能性进行评价。当不满足抗突涌要求时，应采取减压降水或增加隔水帷幕深度等方法。承压水头较高时，宜同时设计应急降水井；采用地下连续墙止水宜选用适宜的接头形式。

8.1.4 多层地下水控制设计应根据各层地下水及含水层性质，按最不利条件进行抗突涌及防渗流稳定性验算，选择适宜的地下水控制方案，并符合下列规定：

- 1 采取降水方案时，地下水位降深值应根据各层地下水位综合确定，各层地下水的涌水量计算应综合分析各层水的性质，选取正确的计算模型和参数，分层计算涌水量；
- 2 采用止水方案时，落底式隔水帷幕应进入下部隔水层一定深度，以满足防渗流要求。悬挂式隔水帷幕宜在基坑内增设疏干井或基坑外增设减压井；
- 3 当槽底上下两个含水层之间为弱透水层时，应考虑地下水越流补给的影响。

8.1.5 存在相邻降水工程时，应综合分析相邻工程降水周期、降深等与本工程的相互关系，合理制定本工程的地下水控制方案。方案中应充分考虑相邻工程停止降水后，水位回升对本工程的影响。

8.1.6 地下水控制设计应充分考虑施工期间工程场地附近地下水的动态变化，尤其是区域性地表水生态补水、极端强降雨天气等不利因素，制定合理的地下水控制方案。

## 8.2 施工

8.2.1 施工过程中应做好地下水控制的水位监测与效果检测，确保施工作业条件和结构、周边环境安全。

8.2.2 对上层滞水，施工中宜采取如下处理措施：

1 填土中上层滞水可采用深孔注浆加固；管道渗漏产生的上层滞水，应查找并封堵渗漏点或对渗漏水进行导排；与地表水有水力联系的上层滞水，宜采用注浆方法截断补给源；

2 基坑工程中可采用渗井、真空泵抽吸等方式处理上层滞水，对消除上层滞水后可能产生的地层疏松区，应采用注浆、灌注砂浆等方式进行填充处理。

8.2.3 对富水性强的潜水或承压水，降水施工宜重点采取如下措施：

1 进行抽水试验，复核降水设计参数，优化降水方案；

2 合理控制降速、降深，并根据含水层类型、地下水位高低、涌水量大小等确定；

3 渗透系数大、巨厚的含水层，应核算含水层过水断面的单井出水量和涌水量，适当增加降水井数量，或采用大功率水泵；

4 现场应配置备用电源，确保降水持续；

5 带压封井时应制定封井专项方案，明确封井时间、顺序及封井方式。

8.2.4 对多层地下水，降水施工中宜重点采取如下措施：

1 对工程有影响的多层地下水位进行分层监测；

2 降水井结构应分层设置滤管和管外黏土球分层止水，含水层性质差别较大时，应根据含水层岩性及粒径，降水井结构应分层设计滤料和滤网规格。

8.2.5 当存在含水层底部界面残留水或“疏不干”效应时，宜重点采取如下地下水处理措施：

1 残留水量较小时，可采用导流引排或深孔注浆止水处理；

2 残留水量较大时，应根据残留水的严重程度和含水层颗粒大小，分别采用引排、轻型井点、集水坑明排等单一或组合补充措施，砂性土或大粒径地层含水层底板的残留水或基岩裂隙水，可采用疏干井降水或导流引排措施。

8.2.6 存在相邻降水工程时，应同步实施降水，形成区域性降水效果。

8.2.7 降水施工宜重点采取如下控制地面沉降风险的措施：

- 1 合理控制降速、降深；
  - 2 加强抽水量、出砂量的监测和降水影响范围内的地面、重要环境设施的变形或沉降监测；
  - 3 地面发生沉降时应及时分析原因，确因降水造成的，可采用级配砂石回填降水井，回填前预埋注浆管，回填到地面后再注浆加固地层，沉降较严重时可实施降水回灌。
- 8.2.8 止水帷幕施工应重点采取如下控制渗漏风险的措施：
- 1 根据帷幕体与围护结构的搭接方式、咬合偏差，采取合理的帷幕组合形式；
  - 2 高压旋喷工艺施作的帷幕桩深度超过 15 m 时，宜采用双排咬合搭接桩式帷幕；
  - 3 加强帷幕体的质量控制和检测，采用声波透射法检测判定帷幕体质量不合格时，采用钻芯法复核验证；
  - 4 对判定为存在渗漏风险的部位提前采取截水堵漏措施。

8.2.9 地下连续墙施工应重点采取如下控制接头渗漏水风险的措施：

- 1 根据地下水性质、水压、围护结构变形预测、支撑形式及布置等，合理确定地下连续墙接头类型。高水压、强渗透地层及薄壁地下连续墙结构中宜选用刚性或防水接头，接头防水及刚度无特殊要求时可采用锁口管柔性接头；
- 2 高水压、强渗透地层、围护结构阳角或环境风险等级较高的基坑工程，地下连续墙宜在槽段接口处增设坑外旋喷止水、深孔注浆等补充措施；
- 3 避免地下连续墙分幅接头设置在端墙跨中、阴阳角、转角等结构受力复杂区段；
- 4 加强地连墙成槽质量控制和墙体垂直度等关键参数的检测，确保其满足规范要求。

8.2.10 注浆止水施工中应重点采取如下控制止水失效风险的措施：

- 1 注浆止水范围宜大于开挖轮廓线周圈 2 m，并满足抗突涌要求；
- 2 根据注浆范围和隧道开挖形式布置深孔注浆孔位，采用单排或双排孔布置时，任意断面各注浆孔间距不应大于 2 倍的扩散半径，多排孔应采用梅花形布置；
- 3 可通过调整注浆孔角度、短孔与长孔相结合等方式消除注浆盲区；
- 4 注浆完成后，及时对注浆效果进行检验。

8.2.11 冻结法施工宜重点采取以下控制冻结失效风险的措施：

- 1 在冻结壁形成期间，冻结壁外 200 m 区域内的含水层不宜采取降水或回灌措施；
- 2 确保冻结壁温度、冻结土体强度等符合设计要求；

3 冷冻施工采用双路供电。

## 附录 A 城市轨道交通工程地质风险等级标准

表 A.0.1 地质风险等级划分参考标准

风险等级	基本划分标准（满足其一）		与工程风险关系
I 级 (重大风险)	地面沉降发育区域；大范围分布污染土和有害气体区域；采空区、废弃矿井与坑道；活动断裂区、地裂缝发育区；其他地质灾害易发区		对工程风险影响极大。所涉工程自身风险应为一级(一级除外)，环境风险宜上调一级(特级、一级除外)
II 级 (较大风险)	基坑、竖井、桥墩基础	施工范围内地形地貌变化大；存在厚层填土、软土层或软弱夹层；存在严重液化地层或富水砂层；存在高承压水、厚层渗透性大的潜水含水、水囊或富水基岩裂隙水；邻近地表水与地下水有水力联系	对工程风险影响大。所涉工程自身风险等级宜为一级(一级除外)，环境风险宜上调一级(特级、一级除外)
	矿山法隧道 (含浅埋暗挖、钻爆法)	隧道范围内覆土浅或上覆地形地貌变化大；隧道断面或拱顶存在厚层填土、地层疏松区、软土层、严重液化地层或富水砂层；I 级或 II 级围岩或围岩等级发生 2 级以上突变；隧道断面存在土岩复合地层或基岩隆起；隧道断面或拱顶存在高承压水、厚层渗透性大的潜水含水层、多层地下水、水囊、界面水或富水基岩裂隙水；隧道邻近地表水且与地下水有水力联系	
	盾构、TBM 及顶管隧道	隧道范围内覆土浅或上覆地形地貌变化大；隧道断面或拱顶存在厚层填土、地层疏松区、软土层、严重液化地层或富水砂层；围岩等级发生 2 级以上突变；隧道断面存在孤石、漂石等大粒径地层；隧道断面存在土岩复合地层或基岩隆起；隧道断面或拱顶存在高承压水、水囊或富水基岩裂隙水；隧道邻近地表水且与地下水有水力联系	
III 级 (一般风险)	II 级和 IV 级地质风险所属基本划分标准之间的情形		对工程风险有一定影响。所涉工程自身风险和环境风险保持不变
IV 级 (低风险)	施工范围内地形地貌、地层结构、地下水条件较简单或分布连续稳定；基坑侧壁地层或隧道围岩为 IV 或 V 级；无不良地质、特殊岩土或围岩突变		对工程风险影响较小。所涉工程自身风险和环境风险等级可保持不变或下调一级

## 附录 B 地质风险因素辨识清单

表 B. 0. 1 地质风险因素辨识清单

线路名称：

工点名称：

序号	工程区段或部位	地质风险因素 (地层及地下水特征)	涉及范围	易发风险 (风险类别)	备注
1					
2					
3					
...					

注：1、工程单元指满足各建设阶段的内容及深度要求的工程单元范围，可行性研究阶段为单位子单位工程及重点危大分项工程，初步设计阶段为单位子单位及各项相关危大分项工程，施工图阶段为子单位及各项危大分部分项工程，施工阶段为子单位及各项危大分部分项工程；

2、涉及范围指线路里程范围、工程区段划分或有关工程部位。

## 附录 C 地质风险单元及风险等级表

表 C.0.1 地质风险单元及风险等级表

序号	地质风险单元	涉及范围	地质风险等级	(地质风险因素) 地层及地下水特征	工程特征	易发风险	针对性风险控制措施
1							
2							
3							
...							

线路名称：

工点名称：

- 注：1、涉及范围指线路里程范围、工程区段划分或有关工程部位；  
2、工程特征包括但不限于施工工法、支护体系形式、埋深及断面大小、地下水控制与土体加固等辅助措施等。

## 本标准用词说明

1 为方便在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的；

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的；

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的；

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”；

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

北京市地方标准

# 城市轨道交通工程地质风险防控技术标准

Technical standard for prevention and control of  
geological risk of urban rail transit engineering

DB11/T 2379-2024

## 条文说明

2024 北京

# 目 次

1 总 则 .....	26
2 术 语 .....	27
3 基本规定 .....	31
4 地质风险评估 .....	36
5 明（盖）挖法工程地质风险控制 .....	39
5.1 设计 .....	39
5.2 施工 .....	40
6 矿山法工程地质风险控制 .....	42
6.1 设计 .....	42
6.2 施工 .....	43
7 盾构法工程地质风险控制 .....	45
7.1 设计 .....	45
7.2 施工 .....	45
8 地下水风险控制 .....	47
8.1 设计 .....	47
8.2 施工 .....	48

## 1 总 则

1.0.2 北京市城市轨道交通土建工程建造方法主要采用的是明（盖）挖法、矿山法和盾构法等施工工法及其相应的工程辅助措施，发生的地质风险事件及其防控技术经验具有代表性、适用性和推广性。其他施工工法应用及地质风险管理经验相对较少，但其中地面、高架结构地下部分施工可参考明（盖）挖法，机械顶管和 TBM 施工可参考盾构法。

## 2 术 语

2.0.1 地质风险是工程风险的重要或直接诱导因素，是工程风险的主要组成部分、风险源或类型。北京市典型地质条件及其易发的工程风险清单可参考下表。

表 1 典型地质条件明（盖）挖法工程易发工程风险

	风险类型	桩（墙）成孔	偏斜与塌孔	开挖面坍塌	围护桩间土	围护结构变形过大或坍塌	地表变形过大或坍塌	周边建筑物变形过大、开裂	围护结构渗漏与桩间土	基底突涌	其他风险
典型地质条件或地层结构	填土层	★	★	★	★	★	★	★			挖运机具倾覆、地基承载力不足与沉降过大
	砂性土层	★	★	★	★	★	★	★	★	★	涌土流砂、地连墙混凝土绕流、砂土液化
	大粒径地层	★			★				★		施工机具损毁及磨损
	细粗粒土组合地层			★				★	★		涌土流砂、地连墙混凝土绕流、砂土液化
	新近沉积土层			★		★		★			挖运机具倾覆、地基承载力不足与沉降过大
	土岩复合地层和基岩隆起	★	★	★		★		★			
	污染土和有害气体										作业人员健康安全和开挖弃土污染环境

表2 典型地质条件矿山法工程易发工程风险

	风险类型	隧道拱顶坍塌	结构开裂与不均匀沉降变形	掌子面涌土涌水与塌陷	隧道上拱下沉易侵	马头门开	大管棚施作塌孔形成空洞或	初支结构过失稳、大变形或	地层液化	土体坍塌与围岩失	地表沉陷
典型地质条件或地层结构	填土层	★	★	★							
	砂性土层	★		★	★	★	★	★	★		★
	大粒径地	★		★		★	★			★	
	细粗粒土	★		★	★	★	★			★	★
	新近沉积				★	★					
	土岩复合地层和基岩隆起			★	★		★		★	★	★
	污染土和有害气体										
作业人员健康安全、开挖弃土污染环境											

表3 典型地质条件盾构法工程易发工程风险

	风险类型	始发接收端加固效果不佳	盾构组装拆卸吊装时起重设备倾覆	盾构掘进姿态差、方向偏离	盾构掘进坍塌或机具陷落	刀盘磨损	掌子面突涌、管片渗漏或盾尾击穿	刀盘结泥饼	盾构洞门土体坍塌	盾构机易卡壳	盾尾泄露	地下水突涌	其他风险
典型地质条件或地层结构	填土层	★	★	★	★								
	砂性土层	★		★		★	★			★	★		注浆效果差
	大粒径地层	★			★					★			
	细粗粒土组合地层	★		★		★	★		★				
	新近沉积土层					★		★					
	土岩复合地层和基岩隆起	★		★		★	★			★	★		地表塌陷
	污染土和有害气体	作业人员健康安全、开挖弃土污染环境											

表 4 典型地下水条件易发工程风险

	风险类型	突涌与管涌	工作面坍塌	围护结构稳定性	流砂流土	涌土涌砂	地面沉降过大甚或地面塌陷	基底渗透稳定性	周边环境安全	其他
施工工法	明(盖)挖法	★	★	★	★	★	★	★	★	
	矿山法	★	★		★		★		★	
	盾构法	★	★			★	★		★	渗漏、盾尾击穿

具体而言，地质风险主要来自场地工程地质与水文地质条件的复杂性、不确定性和对工程施工不利等要素，其中复杂性主要表现为特殊或不良地质条件、水文地质条件、岩土特征及其分布的不均匀性、多变性。不确定性主要表现为地质条件分布及其岩土特性的精度、深度等难以满足工程设计和施工的精准需求，需要继续开展相应的补充勘察和施工地质等工作，如地层空洞探查、超前地质探查预报等。不利于工程实施的地质条件主要表现对施工技术、工艺有特殊的要求，并造成施工难度加大和工程安全风险升高。

2.0.2 地质风险评估是工程风险评估的重要组成部分和支撑性基础工作，专门从地质条件影响或地质因素角度，遵循风险评估工作的基本内容与程序，开展的针对性风险评估和风险预防控制工作，包括地质风险因素辨识、地质风险分析与单元划分、地质风险评价与分级和地质风险防控措施建议等环节和内容。其中，在地质风险分析基础上完成的地质单位划分，在地质风险评价基础上完成的地质风险分级工作，将分别作为细化或完善工程自身风险和环境风险单元及分级的重要判据。地质风险评估总体遵循谁实施谁负责的原则，工程建设各阶段各责任主体分别开展相应的地质风险评估工作，并满足工程建设各阶段的工作内容、深度要求和工程风险管理的实际需要，也可根据工作需要，通过购买第三方专业咨询服务，协助完成地质风险评估成果等工作。

2.0.3 地质风险单元划分是地质分析的主要内容和结果。通过地质风险分析及其进一步的地质风险单元划分，为地质风险评价与分级以及进一步的工程安全风险评价与分级提供参考依据，以达到分区化、差异化和精准评估和防控地质风险的目的。其中，区间、长距离车站、车辆段等里程范围分布较长的线状工程以工程纵向、地质条件变化为主进行划分，短距离车站、车站附属结构等里程范围分布较短的工程以地质条件、工法、埋深及其变化为主进行划分。

2.0.4 地质风险防控是地质风险评估、预防预控、控制与处置的统称，贯穿规划、可行性研究、勘察设计、施工等各阶段或工程建设全过程，其中，规划及可行性研究阶段的地质风险防控工作主要是进行重大地质风险的辨识、规避和必要的重大方案比选。勘察设计阶段的勘察工作方面进行的地质风险控制措施主要是针对不同或特殊的地质条件，采用合理可行的勘察方法或手段、准确探明地层地下水分布、提供科学合理的岩土参数等，进行初步的地质风险辨识和分析。设计方面的地质风险控制措施主要针对勘察查明或未完全探明的各种不同或特殊地质条件及其地质风险情况，并区别不同地质风险等级，制定安全可靠、合理可行和针对性的设计方案和工程技术措施，如施工工法、围（支）护方案、开挖方法、土体加固和地下水控制措施等，为施工阶段地质风险控制提供合理和可靠依据，以预防预控为主。施工方面的地质风险控制措施主要针对设计给定的地质风险控制措施，制定针对性和合理可行的施工方案、进一步核查地质条件、采取与地质条件相适应的施工技术、方法与工艺、开展有效的监测、检测、预警等信息化施工手段等，全面实施对地质风险的现场实时和动态控制，以全面和实时控制为主。

### 3 基本规定

3.0.1 本条是现行国家标准《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》（GB 50652）和现行北京市地方标准《城市轨道交通工程建设安全风险技术管理规范》（DB11/T 1316）相关条款的引用或细化，其中线路建设规划和可行性研究阶段通过重大地质风险的辨识和评价，合理选择线路走向、敷设方式、站位选址、施工工法和埋深布置等。勘察设计阶段查明地质条件，结合工程设计特征、工程安全风险控制及深度要求等，进行全面和相对静态的地质风险辨识、分析、评价、地质风险单元划分和分级工作，在此基础上制定或优化细化工程安全风险分级清单、地质风险控制设计方案和相应的技术措施，最终体现在相应的施工图设计图纸中。施工阶段的施工准备期开展全面的地质风险核查，制定或优化针对性的地质风险控制施工方案和安全技术措施，施工过程开展全面的地质风险动态评估、必要的地质超前探测和试开挖（掘进）工作，优化相关施工工艺参数，有效实施信息化施工和施工风险控制。

3.0.3 主要根据《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》（GB 50652）和政府文件中有安全风险等级，并结合地质风险的特点及其与工程风险的关系，确定的地质风险等级标准，具有良好的适用性和针对性。

3.0.4 针对各种高地质风险区段或情况，在工程建设及风险管理中予以高度重视，开展相应的地质风险专项防控工作，包括但不限于地质风险专项评估或专题研究、开展补充勘察或专项勘察、专项设计、专项施工措施、加强监测以及专项应急预案等。

北京地区的Ⅰ级地质风险主要包括：地面沉降发育区域、大范围分布污染土和有害气体区域、采空区、废弃矿井与坑道、活动断裂区、地裂缝发育区及其他地质灾害易发区等予以避让，无法避让的重点开展地质风险防控工作。

Ⅱ级地质风险主要包括：

1) 高承压水或水文地质条件复杂区域，主要分布在北京市区中东部即北京平原区永定河冲洪积扇中下部，一方面存在多层地下水（如台地潜水、层间潜水、潜水、承压水），另一方面，相对较深部地层的承压水水头较高，对三层及以下地下车站或其相应区间施工风险影响较大；

2) 深厚填土主要分布在北京市老旧城区、古旧河、湖、沟、坑地区和西部取土坑、采砂（石）坑区，采用明（盖）挖法或矿山法施工时，工程安全风险高；

3) 西部局部地区存在土岩复合地层和基岩隆起，是典型的上软下硬地层或周软中硬地层，局部大粒径颗粒极大，局部地区由于填土或挖方等产生较大的地形地貌变化突出；

4) 北京地区尤其是城市经过若干年的大规模城市建设地下空间建造，部分区域的浅层地表下或填土层中存在地层空洞、水囊区段；

5) 施工时地下水条件发生重大变化主要是指近年来西部地表水生态补水，西部和中部的地下水位普遍抬升，整体地下水位和局部区段界面水给轨道交通工程建设的地下水控制和结构防水带来严峻挑战，主要影响的是针对采用明（盖）挖法与矿山法施工的工程等。

(1) 对填土、新近沉积土、污染土与有害气体等地层，可通过现场走访调查和地形地貌调查等方式，了解地层的成因、形成年代与方式、类型及分布等。对砂性土层，查明土层及地下水的分布范围、厚度及粒径组成、矿物成分、密实度、渗透系数等物理力学指标有助于了解地质风险情况，隧道拱顶和开挖范围内的砂层加密土体现场取样，增加原位测试数量对地质风险控制有帮助。对大粒径地层，示意的调查方法为现场调查、现场试验和室内试验相结合，且侧重于现场试验，重点查明大粒径地层的空间分布、颗粒级配、最大粒径、强度、矿物成分、渗透系数等物理力学指标。对土岩复合地层与基岩隆起，重点查明土岩分界面、岩石产状、风化带、风化程度、岩石的物理力学性质、强度参数及矿物成分、破碎带分布和富水情况。对污染土与有害气体，识别污染成分、污染途径、污染范围并进行分级评价。当场地范围内分布有多层对工程有影响的地下水时，分层观测地下水位和测定水文地质参数。冻结法工程重点测定地下水流速、流向、含盐量、地温等参数，当土层含水量大于10%和地下水流速不大于7~9 m/d时，冻土扩展速度和冻结体形成的效果最佳，因此地下水流速和含盐量是冻结法施工成败的关键，测试方法为现场实测。

(2) 工程设计中重视地质风险，根据地质风险等级及类别等，结合施工工法、围（支）护方案、辅助工程措施及与结构的相对关系等，制定或优化工程设计方案及相关技术措施，针对地质风险尤其是较为突出的地质风险单元，进行地质风险控制的针对性设计，一方面通过采取加强技术措施和监测及预警标准，充分落实到施工图纸中，另一方面加强重视和技术管理，确保重大风险控制设计受控。I级、II级地质风险单元，可通过制定更严格或分区分阶段的安全控制指标、合理设置或增加监测项目、加大监测频次等监测设计方案，为针对性信息化施工和施工风险监控奠定基础。填土、软弱性较强的新近沉积土等土层的自稳定性较差、强度较低、对施工扰动产生变形的敏感性较强，通过设置深层土体沉降监测项目，能够更好地加强监测及分析，有利于对地表变形过大或坍塌、基坑隧道开挖面失稳甚或坍塌、隧道拱顶坍塌等突出地质风险的综合研判和预控。

(3) 施工现场根据地质风险类型及其应急预案，在现场合适位置备足合适的应急物资和设备，尤其是在汛期、地质风险较高单元或部位、发生较多工程监测或巡视预警进行施工

时，结合工程现状和实际需要，备足合适的应急物资和设备，便于及时采取补充止水加固等现场处置措施。其中，主要的地质风险类型包括明（盖）挖法工程的开挖面坍塌、地表变形过大或坍塌、围护结构渗漏与桩间土流或坍塌、基底突涌等，矿山法工程的隧道拱顶坍塌、地层过大沉降甚至地面塌陷、隧道开挖面坍塌、隧道开挖面涌水、涌土或涌砂、马头门开挖渗水或坍塌等，盾构工程的洞门土体坍塌或地下水突涌、盾构姿态差或掘进方向偏离、盾构滞排、掘进困难甚或卡壳、盾构螺旋出土器口部或刀盘处喷涌、盾尾渗漏甚或突涌、开挖面失稳或塌陷等。

（4）地质风险突出的区段或单元，高频率的监测反馈及预警分析能很大程度提升信息化施工及风险管控水平。

3.0.5 受勘察精度和场地条件的影响，勘察工作并不能完全解决施工中所有的工程地质问题，一方面根据场地地质条件复杂程度、施工方法、施工工艺的特殊要求等，另一方面是设计方案或措施出现调整、施工中出现的新的地质问题等。

场地地下水或周边地表水条件变化主要包括两种情况：

- 1) 工程施工一般距勘察报告提交日期较长，多数情况下工程开挖施工时已距离勘察报告提交日期超过半年或以上；
- 2) 施工期间存在邻近在施基坑、开挖施工遇汛期或暴雨或长时间连续降雨、已建成止水帷幕等。

3.0.6 本条主要针对自稳定性差、高孔隙率、不均匀的填土层或新近沉积土层，尤其是局部地层空洞或水囊地层。场地存在这些软弱土层或工程需要时，需要对基坑或隧道周边、盾构端头井、马头门开口段进行止水加固，对其加固体进行质量检测，地质风险突出区段或部位，提高抽测率，并采用先进可靠的综合检测手段。选择重型机械设备进行成桩成槽作业、盾构端头井进行盾构机安拆吊装时，也需要对这些软弱土层地基的承载力进行核验。如盾构工程在选择起重设备时，根据盾构机安拆吊装的设备重量等验算场地承载力，地基强度和深度满足吊装设备的承载力需要。如不满足时，对所涉区域进行地面预加固有助于预防盾构机组装和拆卸吊装时起重设备倾覆的风险。

3.0.7 对处于易液化的饱和粉土或饱水砂性土层中的基坑或隧道结构，设计中根据现行规范《城市轨道交通结构抗震设计规范》（GB 50909）相关要求，判别地基液化等级，并按抗震设防类别选用相应的抗液化措施。同时根据液化地层分布范围、厚度、液化等级等，采用相应的地基处理措施，地基处理措施包括碎石桩、换填、注浆、搅拌桩、旋喷桩等。

3.0.8 工程选址和选线时首先避开污染土层和含有害气体的地层，若无法避开，则选择有害

气体含量相对较低的地层构造部位。设计和施工时根据污染土的性质和环境作用等级等，确定盾构管片及其他永久结构工程材料的等级。根据有害气体的分布、含量、成分、性质等对电气设备采取防爆处理，并选用适宜的施工材料。污染土地层中施工编制专项运输和处置方案，报地方环保部门批准。污染土的处理措施按污染性质分类治理，如对有机类或挥发类污染土可采用水泥窑焚烧处置措施，对重金属污染土采用异位修复措施，稳定后进行土体养护。

3.0.9 钻孔完成后如不及时或妥善回填，可能造成以下后续施工风险和间接地质风险问题，

(1) 形成地下水联络通道，尤其是地层较深部存在承压水的情况下，可导致隧道施工期间，地下水沿未填埋钻孔上升涌入隧道或基坑，造成突涌风险。(2) 可能造成暗挖或盾构隧道施工注浆浆液沿未封闭钻孔溢流或喷出，导致注浆失效，并影响地面人员及交通安全。

3.0.10 城市轨道交通工程建设周期较长，一般会跨越多个水文年，地下水变幅较大，同时地下水位动态受大气降水、人工生态补水、人工开采影响因素多，为及时准确掌握地下水位及动态变化，自勘察开始设置地下水位长期观测孔，并定期观测，指导动态设计和信息化施工。尤其是 2018 年以来北京市平原区地下水受生态补水工程、大气降水等因素影响，地下水位开始出现大幅抬升，给工程施工及其安全风险防控带来很大压力。地下水位长期观测孔根据相关规范，结合地下水类型、层次及含水层特征，按严格实行分层观测，并确保长期有效，如观测孔要设置在利于长期保存的位置，孔口设立保护装置等，甚至可作为地下车站的后期运营的一项长期监测参数，移交至运营单位管理和使用，服务于运营安全管理。

3.0.11 本条细分为两部分工作，施工前根据勘察设计文件、地下管线探测报告等，开展地层空洞普查，施工过程中根据工程监测及变形或预警情况等，并结合工程需要，进行地层空洞针对性探测。针对发现的地层空洞或水囊，根据地层空洞或水囊大小及性质等，进行分类处理，一般原则是，对大于 2 m 的空洞可采用先填砂再注浆填充处理，小于 2 m 的空洞可直接注浆填充处理。地层中存在水囊时，先确定并截断水源，引流后进行注浆回填。

3.0.12 为加强对地质风险尤其是高地质风险单元的防控，提高地质风险监控和管理的时效性和科学性，实时或自动化的工程监测或监控，采用智能化仿真软件或自动巡检机器人、构建专业化或集成化信息系统或数智化管控平台等，有助于加强风险的实时分析、反馈、快速预警、及时处理及相关动态管控工作。

## 4 地质风险评估

4.0.1 本条是对地质风险评估内容和程序的规定，借鉴了相关风险评估与管理的法规或工程技术标准。地质风险辨识、分析、单元划分和风险分级依序推进、相互关联，其中地质风险分析的核心内容和成果是地质风险单元划分，地质风险评价的核心内容和成果是地质风险分级。可根据工程实际需要，可形成专项地质风险评估成果，亦可将地质风险评估成果落实到相应阶段的整体工程安全风险评估成果和相关技术文件中，如设计阶段的设计文件和专项设计，施工阶段的施工专项方案、监测方案、应急预案和监理细则等，并实质性体现地质风险评估相关内容。

4.0.2 风险评估的方法包括各种定性、定量和定性与定量相结合的方法，根据城市轨道交通工程建设经验，结合现行国标《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》（GB 50652）和现行北京市地方标准《城市轨道交通土建工程设计安全风险评估规范》（DB11/ 1067）等规范要求，地质风险评估采取定性和定量相结合的方法较妥，采用定量甚至人工智能研判的评估方法是发展趋势。

4.0.3 地质风险辨识是城市轨道交通工程建设安全风险管理的基础和前提，全面、系统地辨识各类不良地质风险对风险管控至关重要。地质风险因素辨识从地质角度辨识出因地质条件复杂性、变异性、不确定性和不可预测性等而导致的工程安全风险，地质风险因素辨识清单作为工程安全风险因素辨识清单的补充与细化。目前风险辨识中可采用的方法较多。本规范推荐选用检查表法、专家调查法两种方法。另外，每个工程的建设条件和内容存在一定的差异，需将客观辨识和专家调查法主观辨识相结合，这样可更好地全面辨识各种建设风险。清单内容包括工点名称、子单位及相关危大分部工程、地层及地下水特征、涉及区段、里程范围或部位等信息。

根据北京市和相关城市既有安全风险评估做法经验，该阶段地质风险辨识由工点设计单位初步辨识、总体设计单位复核汇编完成，或委托第三方专业咨询机构协助完成。

4.0.4 地质风险单元是以地质条件为基础，考虑工程设计特征、施工方法、工程周边环境等工程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。地质风险单元划分根据地质条件复杂程度及地质风险因素辨识结果，结合设计方案与技术措施、施工方法以及周边环境条件等进行划分。其中，结构特征包括车站或区间的形式、厚度、深度等内容。地质风险单元及地质风险分级表包括地质风险单元、地质风险等级、工程设计特征（工法、支护形式、地基加固方案、结构方案等）、地层及地下水特征、涉及区段、里

程范围或部位、易发风险事件等内容。本条各款情况属于安全风险有较大影响的区段或部位，需要进一步细分地质风险单元。根据风险分析结果，可适当提高地质风险等级。地质风险分级是工程安全风险分级尤其是工程自身风险分级的重要基础和等级修正调整依据，具体修正原则如下：

- 1、当地质风险为Ⅰ级时，工程风险等级为一级；
- 2、当地质风险为Ⅱ级时，工程风险等级可上调一级（工程风险等级已经为最高级时维持不变）；
- 3、当地质风险为Ⅲ级时，工程风险等级保持不变；
- 4、当地质风险为Ⅳ级时，工程风险等级可根据工程实际情况保持不变或下调一级。

4.0.7 勘察阶段开展地质风险辨识与分析工作。勘察单位站在单位和工程安全的角度，根据已完成的勘察阶段性成果并在最终勘察成果文件中予以体现，针对各类不同地质条件、工程特性及其可能存在地质风险，进行全面和有针对性的地质风险辨识和分析，为设计和施工及其工程安全风险防控提供专业性和合理化建议。

勘察各阶段的地质风险辨识与分析与相应各设计阶段（可行性研究、初步设计、施工图设计）的设计深度要求和危大工程安全管理相协调一致。其中相关单位（子单位）及其分部分项工程是与地质风险相关的危险性较大工程，包括车站主体结构和附属结构等，基坑明挖工程的围护结构施工、支撑、开挖、土体加固与地下水控制等，矿山法工程洞口及暗挖里程段的开挖、初支及喷混、注浆止水、土体加固及地下水控制等，盾构工程洞口及掘进里程段的掘进开挖、注浆、土体加固、换刀等。该阶段的地质风险因素辨识、地质风险单元和等级划分是相对初步的，重点从地质及其导致工程安全风险角度，需要给出工程及影响范围内各类不同地质条件及其风险的分区分段及其初始风险等级，为后续设计、施工期间更为详细的地质风险单元划分及其风险分级提供支撑和依据。

4.0.9 施工阶段在设计阶段地质风险评估的基础上，根据拟采用的施工方法、技术、工艺、参数和施工工序工况等，结合同期或已开展的地层空洞普查探测及空洞处理情况、地质条件核查（如地下水位）或超前地质预报、周边环境条件核查等，通过施工组织设计和安全专项施工方案等，进行地质风险因素再辨识，根据工程实际适当调整或细化地质风险单元，调整地质风险等级等地质风险核查评估工作，以满足工程施工及其安全风险防控的需要加强与勘察、设计单位的沟通确认和技术交底。当发现地质条件变化较大时，及时上报建设单位，必要时进行补充勘察或补充完善工程措施。同时，该阶段地质风险评估的内容要求具体落实到专项施工方案中。

本条主要涉及基坑围护结构及工程桩、高架结构桩基、土体预加固、地下水控制或处理，隧道洞内外注浆加固、地下水控制与处理，盾构掘进及开仓换刀（具体表现为盾构适应性评估、盾构掘进地质组段划分）、冻结法工程等，确保评估成果满足指导施工安全风险控制的基本要求。根据评估结果对施工工艺和参数进行优化，并闭环落实到施工方案。

4.0.10 本条是对施工过程地质风险动态评估的规定。城市轨道交通工程以线性工程为主，工程地质水文地质条件在三维尺度及延展上均可能发生较大变化，其复杂性、变化性、不可确定性等导致施工过程地质风险易发的主要来源，因此，要求施工过程中做好地质风险动态调整及管控，当地质条件核查与勘察结果不一致、地质条件发生变化或要施工工艺发生实质性改变时，及时重新辨识、分析、评价及定级，优化完善工程措施，做好动态管控，有助于风险降低至可接受范围。

4.0.11 根据北京地区多年来城市轨道交通工程建设及风险管理经验，本条及下辖各款均容易导致工程实际中地质风险常见易发或增大，进行地质风险单元及等级核查，必要时在此基础上优化或完善工程方案或施工措施，确保施工方案及工程措施安全可行和经济合理。其中第6款中水文地质条件发生较大变化主要指含水层类型及厚度、水位或水头高度、涌水量等发生较大变化。

## 5 明（盖）挖法工程地质风险控制

### 5.1 设计

5.1.2 同一工程场区工程地质水文地质条件存在较大变化的可能，包括从基坑竖向的地层结构及厚度变化、纵向上地层岩性及厚度、地下水分布等发生变化，如土岩复合地层、基岩隆起、透镜体、软弱夹层等，针对地层变化，工程设计时可通过地质风险单元及风险等级等予以充分考虑，进行分区支护结构设计，局部地质条件不好、地质风险较大的单元可通过减小围护桩间距、增加桩嵌固深度、增大桩径或墙厚、增大重叠长度等措施，控制由此带来的潜在地质风险。另一方面，基坑工程分区支护结构设计结合周边环境控制要求、工程自身支护特点，细化支护结构设计及周边环境保护措施。

5.1.3 北京地区较普遍存在连续性分布的填土、新近沉积土和强度低的细粒土、砂性土地层，这些土层厚度较大、强度较低或自稳定性较差，基坑工程设计时予以重视，以预防因这些不良地质条件带来的风险。其中：

第1款主要考虑两方面因素，其一内支撑体系的受力明确，施作方便、快速，较锚固体系等隐蔽性较强的支护类型，施工的可靠性、工艺本身的复杂性等均有造成锚固效力降低的可能，其二对于地质风险等级较高的地层，设计按最不利情况考虑，加大支撑体系冗余度，预控围护体系坍塌风险是必要的；

第2、3款与第1款的要求是连续一致的，需要注意的是对于下伏坚硬土层埋深较深，增加嵌固深度的经济性不合理且根据勘查提供的数据计算地基承载力不能满足要求时，采取旋喷桩或搅拌桩等地基加固措施，预控围护体系坍塌、成槽塌方、周边建构筑物变形过大、导墙塌孔、漏浆或塌方等风险，其中地面以下4m以内地层采用增加导墙深度的方法，4m以上地层采用槽壁预加固的方法，尤其是提出了在结构上较为复杂的部位增加设计措施，换填处理根据坑底的原状好土层类型采用适合的换填材料，对地基承载力要求较高时，采用桩基；

第4款是为预控土钉墙支护体系的围护体系坍塌，预控地基承载力不足与沉降过大风险，设计层面根据设计计算与类似工程经验，提出的预防放坡开挖基坑，坑内土方作业边坡等临时性坡道坍塌的风险。

5.1.4 本条中第1、2、4款主要是为预防基坑侧壁或桩（墙）渗漏、围护体系或土方开挖面坍塌、桩间土水土流失、涌水涌砂等风险，其中第1款中具止水功能的围护结构形式主要包括地下连续墙、围护桩外增设旋喷桩等风险，第2款是为预防地连墙接缝处渗漏、地连墙混

凝土绕流等风险。第 5 款是为预防基底突涌破坏风险。

5.1.5 本条是为预防桩（墙）成孔（槽）困难或偏斜、成孔漏浆、钻具损毁严重等风险。第 2 款是为预防成孔塌孔（方）等风险。

5.1.6 第 1 款是因为土岩结合部位的上下地层物理力学性质差异大，以预防桩（墙）成孔（槽）困难、偏斜与塌孔（方）等风险；

第 2 款是为预防围护结构变形过大等风险，基岩隆起不宜采用吊脚桩，围护桩嵌入基底下基岩深度原则为强风化岩层不小于 3.5 m，中风化岩层不小于 2.5 m，微风化岩层不小于 1.5 m。

采用锚杆（索）支护结构时，锚固段延伸至岩层内一定深度；

第 3 款是为预防基坑围护结构侧壁渗漏风险；

第 4 款是为预防围护结构渗漏、变形过大甚至坍塌等风险；

第 5 款是预防桩（墙）成孔（槽）困难、偏斜与塌孔（方）等风险。

5.1.7 本条是针对地层分布不均匀地基可能造成结构立柱、结构墙的差异沉降风险考虑的设计处理措施，如结构加强和岩土地基加固。

## 5.2 施工

5.2.3 针对第 2 款，地连墙导墙施工时采用现浇混凝土刚性地面或铺设钢箱板，控制应力集中和振动造成槽壁变形。对存在厚度较大、强度较低或自稳定性较差地层的导墙部位按设计要求采取换填加固措施时，采用质地坚硬、强度较高、性能稳定、具有抗侵蚀性的换填材料（如素土、灰土、煤渣、矿渣等）等（采用分层压、夯、振动等方法，使之达到设计要求的密实度），防止出现塌孔、漏浆等现象，混凝土达到设计强度前，避免重型机械设备在导墙附近停留或行驶。换填地基进行载荷试验检验。

抓斗成槽时，保持槽壁液面稳定，避免泥浆液面起伏较大，降低槽壁上部局部坍塌的风险。成槽完成后，及时完成吊放钢筋笼、水下浇筑混凝土等工序，缩短槽段的搁置时间。

当场地存在厚度较大、强度较低或自稳定性较差的地层时，若采用钻孔灌注桩支护，采取长套筒或泥浆护壁施工工艺，通过加长套筒，可避免成桩过程中槽壁滑塌、桩身夹泥夹砂，甚至断桩的风险。若采用泥浆护壁工艺，通过试桩、类似工程经验等确定泥浆护壁参数，保证成槽质量及槽壁的稳定性，可大大提高成桩质量，减少桩体侵限、偏斜、夹泥夹砂等质量缺陷，避免后期开挖的风险。考虑施工工艺、施工机械条件、基坑深度、工人操作水平及施工允许偏差等多重因素，为降低桩体侵限风险，桩体外放量选择 100mm~200 mm，钻孔灌注桩完成后按设计要求进行桩身垂直度和桩体质量检验。

5.2.4 本条针对富水砂性土层或高承压水的支护开挖重点施工措施。其中：

第1-3款采用地连墙结构止水时，地连墙施工前根据地层和设计墙幅长度等情况，选用合适的成槽机及尺寸、合理划分单元槽段及其施工顺序，成槽时根据不同的地层土质条件选用合适的泥浆及比重并通过试验确定，成槽时慢速钻进或挖掘，保持槽壁液面稳定，避免泥浆液面起伏较大，降低槽壁上部局部坍塌的风险。成槽完成后，及时完成吊放钢筋笼、水下浇筑混凝土等工序，缩短槽段的搁置时间。地连墙接头是止水的薄弱部位，增加防地下水绕流措施，接头施工过程中多次刷壁，保证接头连接处干净无夹泥。采用降水方案时，加强降水施工质量控制，重点管控成井深度、滤料质量及填装质量控制、洗井等，并进行试抽及预降水，降水中根据含水层类型、地下水位高低、涌水量大小等，合理控制降速、降深（防止坑外周边建（构）筑物及地面发生过大沉降），加强降水工程日常维护，保证连续降排水。采用止水方案时，根据基坑深度、结构特点、工程地质及水文条件及周边环境控制要求等选择适宜的止水工艺、材料及施工机械等。

第4款：排水沟与基坑边缘的距离大于2m，排水沟底和侧壁做防渗处理，沟深和宽度根据基坑排水量确定，沟底宽不小于0.3m，坡度不小于0.1%。集水井在地下结构外边距坡脚不小于0.5m位置，集水坑大小和数量根据地下水水量大小和积水面积确定，且直径（或宽度）不小于0.6m，沟底深不小于0.5m，间距不大于30m。

第5款：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。当地铁结构的工作面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。为了确保工程桩施工期间作业安全，避免桩施工期间通过桩孔发生承压水上翻造成水土流失等风险，桩基施工工作面保证高于承压水水头标高一定位置。当桩穿过多层承压含水层时，高于最高的承压水水头。

5.2.5 对于硬度较低的，采用旋挖钻+合金筒钻取芯处理法与全回转全套筒钻机取芯处理法。对硬度较高的地层，采用爆破预处理或冲击钻机破碎法进行预处理，钻孔时泥浆相对密度控制在1.1~1.3。采用探孔器进行钻孔灌注桩垂直度检测。

5.2.6 采用硬度高钻头如孕镶金刚石钻头进行围护桩钻进，可有效地控制施工机具磨损，避免卡钻甚至损毁风险。采用试爆破的目的是提高爆破的精度和效率，控制爆破开挖的范围，避免超挖和二次爆破。

## 6 矿山法工程地质风险控制

### 6.1 设计

6.1.1 第1款：填土分素填土、杂填土和冲填土几类，素填土未经人工压实或自重压密，均匀性和密实度较差，杂填土则具有不均匀、厚度和密度变化大、变形大、压缩性大、强度低、孔隙大且渗透性不均匀等工程性质，冲填土具有均匀性差、土质软塑、排水固结差等工程性质。另外，北京地区特有的、部分区域存在的新近沉积土层，有些区段具有较强的软土性质。这些地层中进行暗挖施工很容易导致不均匀沉降、坍塌等风险，不建议采用矿山法施工。

第2款：工业污染土是近代工业生产产生的废弃物无组织排放或排放系统失效，使其渗入土层，导致土的物理、力学、化学性质发生变化，直接影响工程施工人员的身体健康。有害气体地层是指由于有机物腐烂导致产生的甲烷和硫化氢等气体大量储存的地层，一定浓度以上的有害气体会对施工人员人体造成损害，还容易发生爆炸等安全事故。

第3款：北京市西部或位于永定河冲洪积扇上部地区，地层主要为厚层大粒径的砂卵砾石层，渗透系数大，尤其近些年来北京市降水量偏多、加强生态补水，区域性地下水位不断升高，计算涌水量很多，采用降水方案的部分地铁建设工地发生地下水位降不下去、难以采取有效的止水补充措施，给暗挖施工安全及工期甚至运营安全等造成极大影响。

6.1.2 根据既有工程经验，以下情形考虑采用止水措施：

- (1) 降水方法不可行，如地下水位高、降水量过大导致降不下去，降水效果不佳、降水所产生的附加沉降或造成的细颗粒流失可能导致周边环境损害等；
- (2) 降水实施条件不具备，如地面无法布置降水井、隧道无法设置降水导洞、无水管网设施无或不完善等；
- (3) 降水方案措施欠经济合理。但矿山法（PBA法除外）施工的地铁车站、存在变断面、大断面的地铁隧道区段等，因采用帷幕隔水方法不可行或经济不合理，可考虑采用降水方案。

6.1.3 对地质风险相对大的单元或不同地质风险单元结合处，矿山法施工时采取加强超前小导管注浆措施，富水粉细砂地层可采取前进式二重管深孔注浆措施。深厚填土地层可采取超前小导管注浆或深孔注浆等超前加固措施。土体严重松散、无法留置核心土或遇到重大环境风险工程时，需对掌子面进行预注浆。存在水囊区或存在多层地下水、地下水位高或承压水头大时，根据不同地层地下水情况分别采取引流疏排或超前止水加固措施。设计可要求大范围施工前设置一定长度的试验段，以验证工程措施的有效性。

6.1.4 自稳定性较差的地层包括杂填土、新近沉积土、饱和粉土、饱水或松散的砂性土、卵砾石层等地层，预加固措施包括地面高压旋喷、深孔注浆，洞内上半断面深孔注浆、超前小导管支护或大管棚支护等，设计重点通过上述措施，预防拱顶坍塌、马头门坍塌、地层过大沉降以及地面塌陷等风险。隧道开挖面或拱脚、墙角地层自稳定性、均匀性较差时，设计重点通过上述措施预防开挖面坍塌、开挖面涌水、涌土或涌砂、导洞初支结构过大变形等。

6.1.5 矿山法隧道施工中遭遇地层空洞可能会造成附近建（构）筑物下沉、开裂或地下管线破裂等问题，严重时容易酿成重大安全事故。根据相关规范要求，施工前开展地层空洞探测及其风险评估工作。设计根据空洞大小和充填情况，采取不同的预处理措施。

6.1.6 基岩为硬岩地层时，采用爆破法辅助开挖，设计中重点关注：

- 1、基岩裂隙水的承压性；
- 2、针对开挖面破碎岩体的超前加固措施；
- 3、根据基岩性质、强度及裂隙发育等情况，选择合理的槽眼布置、炸药品种和用量、起爆时差、爆破循环进尺等，合理提供爆破设计的各项参数；
- 4、地层中的监测工作，重点包括爆破振动、裂隙水、洞内噪声与气体、地表及周边建（构）筑物的监测点布设。

6.1.7 联络通道上行和下行隧道间的横向通道，沿纵向每隔一定距离设置。联络通道一般深度较大，受地面条件和埋深限制，一般采用矿山法暗挖施工，容易在高水头作用下发生涌水事故，一般采用地层加固措施（如降水、地面预加固、洞内冻结法、洞内支撑等）以控制工程风险。主要为了有效预防联络通道施工时发生洞门地下水喷涌、开挖面失稳或地面塌陷等工程安全风险。

## 6.2 施工

6.2.3 目前，北京市城市轨道交通工程建设中基本实现了视频监控安装全覆盖，矿山法隧道因其作业环境特点，空间可视度和清晰度相对较差，视频监控终端摄像头确保清洁、可移动和不受破坏，以便能清晰记录掌子面及其附近的作业活动情况，同时加强视频监控值守，配合施工监控量测和人工巡视，有利于对地质风险进行动态评估和实时控制，尤其是对易塌方、涌水涌砂地段，视频监控有发挥更大风险监控作用的潜力。

6.2.4 超前地质探测是矿山法工程的重要辅助工序，尤其遇到Ⅰ级、Ⅱ级地质风险单元的情况下。其中如因勘察精度所限，隧道拱顶和开挖面地层的精确性不易掌握，或者存在较大的变化性、不可确定性，尤其是对拱顶或开挖面存在稳定性较差、地层差异性较大的地层，前

者如杂填土、软弱砂性土夹层、富水砂层及空洞水囊等，后者如孤石、土岩界面及起伏、基岩隆起等。拱顶或开挖面地层自稳定性较差时，采用沿开挖面斜向外打的探孔，深孔和中浅孔相结合。地层空洞或地下水较丰富区段，采用地质雷达探测方式。

6.2.6 地质条件较差多指自稳定性差、强度低的地层或组合结构、软硬不均、存在软弱夹层等的地层。减小格栅间距指的是连立密排格栅，如三榀格栅。如可通过纵向连接筋选用机械连接方式，以减少围岩土体开挖暴露时间。优化导洞及初支施作顺序、加大相邻导洞开挖步距、减小台阶长度、减少核心土坡度等，是优化导洞、台阶、核心土等设计规模及参数的有效措施。

6.2.7 矿山法隧道拱顶或开挖面遇自稳定性较差的填土、新近沉积土、第四纪粉土或砂性土、卵砾石等地层，易产生失稳坍塌风险，在支护开挖施工中重点关注。其中，粉土或砂性土可采用静力钻孔方式，砂层、圆砾地层可采用吹孔成孔后插入小导管的方式，避免振动太大更易导致地层失稳。遇大粒径地层采用机械方式成孔，避免人工打设小导管困难。

## 7 盾构法工程地质风险控制

### 7.1 设计

7.1.1 盾构机的选型考虑的首要因素为地质条件，具体根据地质风险分级等评估结果，进行针对性设计，首要目标是保持开挖面的稳定。对自立性能较差的松散类地层，尽量使用闭胸式盾构。隧道设计条件也是盾构选型时要考虑的重要内容，若隧道的曲线半径非常小，为减小盾构掘进时的超挖量和对地层的扰动，并有利于管片衬砌的拼装，往往选用铰接盾构。对于大直径和超大直径盾构隧道，选用泥水平衡盾构。比选要素包括从技术经济安全工期环保等方面，其中地质条件是核心考虑因素。如富水砂卵砾石层、土岩界面水或基岩裂隙水丰富的土岩复合地层和基岩隆起区中采用盾构法施工时，综合比选泥水盾构和土压盾构方案。地层水压过大时，采用泥水平衡盾构机，如采用土压平衡盾构机，盾构螺旋机采用双闸门（闸门通过耐压试验）或双螺旋设计。

7.1.2 地层预加固方案包括加固施工工艺、范围、参数等。以上规定一方面是为了满足防渗止水、加固防塌等技术或安全要求，另一方面是为了有效预防始发接收端加固效果不佳、涌水涌砂、洞门地下水突涌或坍塌等风险。盾构采用钢套筒始发或接收时，适当优化地层预加固措施。

7.1.4 根据地质条件的不同，盾构可采取加压和常压两种换刀方式。常压换刀选择地层比较稳定、无大量地下水涌出、无有毒气体存在的地方，或在预定地点通过采取降水或地层加固措施保证盾构前方地层稳定后，由施工人员进入土仓更换受损刀具。

### 7.2 施工

7.2.1 第1款：砂性土层中盾构掘进，易导致始发接收端加固效果不佳、盾尾泄漏（尤其富水粉砂粉土层）、同步注浆效果差、盾构喷涌及盾构姿态差（尤其富水砂层）、刀盘磨损（砂层中石英含量高情况）、盾构推力过大（密实砂性土层）等风险的选型要求。

第2款：大粒径地层中盾构掘进，易导致始发接收端加固效果不佳、刀盘刀具磨损、盾构掘进方向偏离、盾构掘进开挖面失稳、盾构掘进滞排、盾构开仓换刀掌子面失稳及坍塌、因地下水造成掌子面突涌、管片渗漏或盾尾击穿等风险。

第3款：土岩复合地层与基岩隆起中盾构掘进，易导致盾构始发接收段加固效果不佳、盾构掘进方向偏离、地表沉降难以控制并易造成地表塌陷、刀具磨损严重、盾构机易卡壳、裂隙

水处理不当引起管片渗透或刀盘处突涌等风险。

第4款：盾构机掘进断面为黏粒含量较高的地层，刀盘易结泥饼。

第5款：主要涉及富水的砂性土层、大粒径地层和土岩界面水或基岩裂隙水丰富的土岩复合地层或基岩隆起，为预防螺旋出土器口部或刀盘处喷涌、盾尾击穿导致渗漏、突涌或管片渗漏、盾构超挖、开挖面失稳或地面塌陷等风险。

7.2.2 盾构法施工的掘进参数会因地质单元分布的变化而调整，对于地质风险大的区段、单元或部位，由于盾构掘进参数与地层之间的适应性差别大，从而会产生塌陷、隆起、涌水等风险，所以设置试验段来进一步优化盾构掘进参数，以便选取更合理的盾构施工控制指标。

7.2.3 为有效控制盾构始发、接收端加固效果不佳，在杂填土或高孔隙率填土层，地层空洞，水囊地层，进行施工前探测（主要是障碍物、空洞、水囊等）。对加固体与围护结构之间的间隙、桩的咬合位置等薄弱部位进行重点控制。加强土体加固效果检测。对抽芯和探孔部位进行有效的注浆充填。加固效果不佳及时补充加固处理，无水砂性土层加固，通过试桩调整施工工艺和加固参数，在洞门附近加密旋喷和搅拌桩间距。采用垂直抽芯和水平探孔相结合的方式检测加固体抗渗性能或检查洞门加固效果，水平探孔位置主要分布在洞门周圈。在大粒径地层，加固施工过程严格控制注浆压力、注浆量等工艺参数。对加固体与围护结构之间的间隙、桩的咬合位置等薄弱部位进行重点控制。

7.2.4 第1款：本款是针对控制刀盘结泥饼风险，降低结泥饼发生概率，或出现泥饼时采取的针对性清除措施。

第2款：本条针对不同特殊地层盾构掘进中可能导致的刀盘刀具磨损风险采取针对性防控措施。

第3款：本款针对不同特殊地层盾构掘进中控制盾构超挖或开挖面失稳甚至地面塌陷风险。

第4款：本款是针对盾构推力过大或掘进困难甚至卡壳风险的控制措施。

## 8 地下水风险控制

### 8.1 设计

8.1.1 第 4 款 根据《城市轨道交通工程冻结法施工技术规范》DB11/T 1972 的第 3.0.1 条“冻结法专项设计和施工与结构设计和施工相匹配”和第 5.1.4 条“水文地质条件出现下列情况之一时，设计采取针对性措施”等所涉，防止冻结失效；

第 5 款：根据《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ/T 111 相关条款所设，防止砂层流失过大造成地面沉降。工程降排水含砂量控制指标为开始抽水半小时内含砂量小于万分之一，正常降水运行时含砂量小于 5 万分之一。辐射井的抽水半小时内含砂量小于 2 万分之一，正常运行时含砂量小于 20 万分之一。

8.1.2 地下水抽降将引起大范围的地面沉降。基坑围护结构渗漏亦易发生基坑外侧土层坍陷、地面下沉，引发基坑周边的环境风险问题。因此，为有效控制基坑周边的地面变形，在高地下水位地区的甲级基坑或基坑周边环境保护要求严格时，进行基坑降水和环境保护的地下水控制专项设计。基坑降水对降水深度进行检验，基坑回灌对回灌量和回灌水位进行检验。埋置较深的地下建（构）筑物，尤其是既有地铁等线状工程设施，形成明显的隔水边界，能改变区域浅层地下水渗流场，使地下水及其控制的预测、分析和控制更为复杂，在采用三维数值模拟分析的基础上进行综合计算分析。

8.1.3 采用地下连续墙或隔水帷幕隔离地下水，隔离帷幕渗透系数小于  $1.0 \times 10^{-4} \text{m/d}$ ，竖向截水帷幕深度插入下卧不透水层，其插入深度满足抗渗流稳定的要求。针对高承压水情况，根据工程经验，设计上考虑应急降水井，采用地下连续墙止水选用防水性能好的刚性或防水接头。

8.1.4 对于多层地下水的控制，一般都同时存在疏干和减压降水问题，因此要求地下水位降深值根据各层地下水位综合确定，各层地下水的涌水量计算综合分析各层水的性质，选取正确的计算模型和参数，分层计算涌水量，不统一取为第一层地下水降低至基底以下的水位降低值。

第 2 款：当上层地下水下部隔水层底部还存在承压水时，对下部隔水层渗透稳定性进行验算，当验算不满足要求时采取封底隔渗或减压降水措施。悬挂式隔水帷幕设计重点考虑基底所在含水层及地下水的性质。

8.1.5 相邻工程如采用降水施工，使区域地下水位降低，总体有利于本工程地下水控制（回灌则相反），但要充分分析其对本工程地下水控制的利弊，合理优化本工程的地下水控制方案或措施。

8.1.6 地下水位的变化也是影响建筑物沉降变化的重要因素，故对地下水位变化比较频繁的地区或受季节、周边环境（江、河等）水位变化影响较大的地区，要进行地下水位监测。当地下水位的变化成为影响建筑物沉降的主要因素时（如基坑降水或潮汐），及时根据地下水位的变化调整沉降观测周期。尤其是近些年来北京市区域地表水不定期或周期性集中生态放水补给地下水，如永定河、潮白河等，严重扰乱北京平原区自然状态下的地下水位及其动态变化。同时，极端的短时强降雨对地下水的瞬时补给作用十分明显，因此也要重点考虑。

## 8.2 施工

8.2.3 第4款：基坑内疏干井或减压井封井结合降水地下水位、降水井出水量、施工工况等综合确定，可分阶段进行封井，并尽量减少带压封井数量。封井和停止降水能满足阶段性抗浮的要求。降水结束后按要求及时封井处理，并根据废弃取水井的危险程度采取不同的封井方式，对于风险较小的废弃取水井可采取井盖封堵。风险较大的废弃取水井全井回填，可不完全清除井管，必要时对清除导致含水层层间连通的井管和滤料后全孔回填。当采用全井回填时，优先采用无污染的粘土（球、块）回填或水泥浆回填，井径较大的可使用水泥砂浆回填。其次采用无污染的井周围的原土或与水井地层相近的原土回填。对于周围有建筑物、构筑物或道路，在抽水过程中因返砂而导致水井周围出现空洞，对回填有沉降要求，且附近没有饮用水源井的废弃井，选用水泥水玻璃双液灌浆回填。承压含水层基岩水井，基岩段选用水泥浆灌浆回填。

8.2.4 多层含水层降水，一般都会存在“疏不干”效应或现象，即含水层底部界面会存在残留水，采取辅助降排水措施进行治理。根据含水层岩性和颗粒大小，轻型井点管井一般采用跟管钻进或空气动力潜孔锤钻进工艺施工。轻型井点降水广泛适用于处理界面残留水、上层滞水、局部渗水等，是地下水控制行之有效的辅助方法。根据含水层分布，轻型井点降水分为水平井和斜井两种。水平井可在含水层与隔水层分界面处布设、多管阶梯状布设或沿隧道周边环向布设。倾斜井点沿开挖隧道上台阶或上层导洞边墙设置，随掌子面向前开挖而逐步打设，井点管向隧道外侧倾斜。

8.2.9 地下连续墙作为止水帷幕的一种形式，有别于旋喷桩、搅拌桩、咬合桩及注浆等止水帷幕类型，其结构连续、刚度大，止水性能尤为突出，因其在止水及变形控制效果方面优势

明显，在地下水位持续回升的背景下，轨道交通工程涉水深大基坑工程选用地下连续墙的比例较高。接头作为地连墙墙体相对薄弱的部位受地层条件、结构特点及施工控制等诸多因素影响存在一定渗漏的风险。