

# 城市轨道交通工程 地质风险防控技术标准

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

【条文说明】

## 目 次

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 1 总 则.....                | 1  |
| 2 术 语.....                | 2  |
| 3 基本规定.....               | 6  |
| 3.1 总体要求.....             | 6  |
| 3.2 勘察设计阶段地质风险防控一般要求..... | 7  |
| 3.3 施工阶段地质风险防控一般要求.....   | 12 |
| 4 地质风险评估.....             | 13 |
| 4.1 一般规定.....             | 13 |
| 4.2 勘察设计阶段地质风险评估.....     | 13 |
| 4.3 施工阶段地质风险评估.....       | 14 |
| 5 明（盖）挖法工程地质风险控制.....     | 16 |
| 5.1 设计.....               | 16 |
| 5.2 施工.....               | 17 |
| 6 矿山法工程地质风险控制.....        | 19 |
| 6.1 设计.....               | 19 |
| 6.2 施工.....               | 21 |
| 7 盾构法工程地质风险控制.....        | 22 |
| 7.1 设计.....               | 22 |
| 7.2 施工.....               | 25 |

|                  |    |
|------------------|----|
| 8 地下水风险专项控制..... | 31 |
| 8.1 设计.....      | 31 |
| 8.2 施工.....      | 32 |

## 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、矿山法和盾构法三大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。其他施工工法相对应用较少，但可供参考，如高架结构地下部分施工可参考明挖法、顶管施工可部分参考盾构法。

## 2 术 语

### 2.0.1 地质风险 geological risk

本文是根据《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》提及的工程风险的细化和延伸解释（住房和城乡建设部令第 37 号，2018 年）第六条第 1 款的规定（勘察单位应当根据工程实际及工程周边环境资料，在勘察文件中说明地质条件可能造成的工程风险）。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、细分风险源或表现类型，各种典型地质条件及其易发的工程风险清单如下表所示。

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（槽）困难 | 偏斜与塌孔（方） | 开挖面坍塌 | 围护桩间土脱落 | 围护结构变形过大甚或坍塌 | 地表变形过大或坍塌 | 周边建（构）筑物变形过大、开裂甚或坍塌 | 围护结构渗漏与桩间土流失或坍塌 | 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  |
|             | 大粒径土层       | ★           |          |       | ★       |              |           |                     | ★               |      | 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 | 隧道上拱下沉易侵限 | 马头门开挖坍塌 | 大管棚施作塌孔形成空洞或地面坍塌 | 初支结构过失稳、大变形或开裂 | 地层液化 | 土体坍塌与围岩失稳 | 地表沉降 |
|-------------|-------------|-------------------|--------------|------------|-----------|---------|------------------|----------------|------|-----------|------|
| 典型地质条件或地层结构 | 填土层         | ★                 | ★            | ★          |           |         |                  |                |      |           |      |
|             | 砂性土层        | ★                 |              | ★          | ★         | ★       | ★                | ★              | ★    |           | ★    |
|             | 大粒径土层       | ★                 |              | ★          |           | ★       | ★                |                |      | ★         |      |
|             | 细粗粒土组合地层    | ★                 |              | ★          | ★         | ★       | ★                |                |      | ★         | ★    |
|             | 新近积土层       |                   |              |            | ★         | ★       |                  |                |      |           |      |
|             | 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       | 盾构组拆装时起重设备倾覆 | 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 |
|             | 大粒径土层       | ★                 |              |              | ★           |      |                 |       |          | ★      |      |       |       |
|             | 细粗粒土组合地层    | ★                 |              | ★            |             | ★    | ★               |       | ★        |        |      |       |       |
|             | 新近积土层       |                   |              |              |             | ★    |                 | ★     |          |        |      |       |       |
|             | 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 | 明挖法  | ★     | ★     | ★       | ★    | ★    | ★            | ★       | ★      |         |
|      | 矿山法  | ★     | ★     |         | ★    |      | ★            |         | ★      |         |
|      | 盾构法  | ★     | ★     |         |      | ★    | ★            |         | ★      | 渗漏、盾尾击穿 |

总体来说,地质风险主要来自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、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为对施工技术、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 geological risk assessment

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、地质风险评价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应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控的实际需要,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 geological risk unit

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宜以工程纵向、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宜以地质条件、工法、埋深及其变化为主进行划分。

#### 2.0.4 地质风险控制 geological risk control measures

勘察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,以预测和预控为主;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、开挖或掘进方法、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,以预测和预控为主;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,以实时控制为主。

## 3 基本规定

### 3.1 总体要求

3.1.1 本条是《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB50652 和《城市轨道交通工程建设安全风险技术管理规范》DB11/1316 相关条款的沿用或细化。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；勘察设计阶段应查明地质条件，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应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，施工过程应开展全面的地质风险动态评估、必要的地质超前探测预报工作和试开挖（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。

3.1.2 本条所列几种情况均属于重大地质风险情况，有的对城市轨道交通工程非常不利，不仅对工程建设质量安全和长期运营安全均影响极大，工程安全风险突出，也可能较大幅度增加工程建设成本和工期；有的是是现行相关法规政策和技术标准严格限制在这些高地质风险区段实施工程建设。因此原则上应优先考虑风险规避策略。

3.1.3 文中各种高地质风险区段或情况，应在工程建设及风险管理中应予以高度重视，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、专项应急预案等。其中，2 大范围分布深厚填土和 4 施工时地下水条件发生重大变化主要针对采用明挖法与矿山法施工的工程；7 其他无法避让的重大地质风险区段是对 3.1.2 条的补充或延伸，主要针对实际规划建设中遭遇 3.1.2 条所列重大地质风险情况但又实在无法避让，那么在工程勘察设计和施工中，必须开展相应的地质风险防控专项工作。

3.1.4 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，宜开展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，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。

3.1.5 施工现场应当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，应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失甚或坍塌、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、开挖面失稳甚或塌陷等，其中基坑或隧道开挖面失稳甚或坍塌、地表变形过大或坍塌、围护结构渗漏与桩间土流失甚或坍塌、基底突涌、隧道拱顶坍塌、隧道开挖面涌水、涌土或涌砂、盾构滞排、掘进困难甚或卡壳、盾尾渗漏甚或突涌等。

### 3.2 勘察设计阶段地质风险防控一般要求

3.2.1 提供的勘察成果文件应满足现行相关勘察技术标准、设计要求和工程安全风险控制的实际需要，并分阶段进行，满足不同设计阶段的深度要求。勘察工作中要求开展相应的地质风险辨识与分析工作，是对《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》（住建部令第37号）之“第六条 勘察单位应当根据工程实际及工程周边环境资料，在勘察文件中说明地质条件可能造成的工程风险”的充分响应和具体落实。要求勘察单位站在勘察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。

3.2.2 以地下工程为主的城市轨道交通工程一般位于城市主要道路下方，沿线地下管线、市政设施等建（构）筑物等周边环境设施密集且复杂。由于地下管线及构筑物属于施工盲点，容易造成损坏，因此，勘探作业过程中对地下管线及构筑物的现场保护是勘察重点考虑的问题之一，所有勘察钻孔必须采取相应措施避开所有地下管线及构筑物，确保管线及构筑物的安全。地下管线及构筑物的避让和现场保护总体原则遵循“查、访、探、挖、护、听”六字方针，即查：认真研究建设单位提供的管线资料，确定沿线管线的分布和具体位置，并进一步查询、收集管线竣工资料；访：走访各管线主管单位确定沿线管线的分布和具体位置，走访沿线的居民了解管线施工的历史；探：采用管线探测仪进行现场实地探测确定管线的位置；

挖：采取挖探的办法确定浅部管线的位置；护：将钻孔周围距离小于 2 m 的管线位置标示出来，给予保护，听：在钻探过程中听到有异响或钻机有异常，立即停钻。钻孔完成后如不及时或妥善回填，可能造成以下问题（1）间接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。

3.2.3 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应根据相关规范，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。

3.2.4 城市轨道交通工程大多位于繁华城市交通要道，或临近众多且复杂或重要的建构筑物、地下管线等周边环境，很多钻孔受场地条件限制一时不能实施；另外由于地质条件的复杂性及分布的随机性，现有勘察技术手段或常规勘察精度难以完全查清其确切分布状况及物理力学性质等，有必要重点说明由此可能产生的地质风险，并提出处理建议。

3.2.5 受勘察精度和场地条件的影响，工程勘察工作并不能解决施工中所有的工程地质问题，应根据工程实际需要进行相应的施工勘察和专项勘察工作，应针对施工方法、施工工艺的特殊要求和施工中出现的工程地质问题等工作，提供地质资料，满足施工方案调整和风险控制的要求。

3.2.6 城市轨道交通工程线路长、穿越的工程地质单元多、工程地质和水文地质条件复杂，同时城市轨道交通勘察不仅要为工程结构设计服务，还需要满足施工的需要。不同的工法工艺对地质条件的适应性不同，需要的岩土参数不同，对地下水的敏感性不同，需要解决的地质风险问题也不相同，因此应采用综合勘察手段，结合设计和施工需求，有针对性的开展勘察工作。在各阶段的勘察均要根据施工方法的要求开展相应的勘察工作。不同施工工法的勘察应结合工法的具体特点、地质条件选取合理的勘察手段和方法，并进行分析评价，提出适

合工法要求的措施、建议及岩土参数。

以上各款所列地层或组合是基于相关研究成果统计出的北京地区典型地质条件类型,具有明显的北京特色和地质条件代表性。

人工填土、新近沉积土、污染土与有害气体等地层,宜首先采取工程地质调查与测绘方法,从宏观上获取场地地质条件的必要手段。同时,加强工程地质调查与测绘工作有助于增加地质信息量,指导后期勘探量布置,在岩土勘察工作中起到事半功倍的作用,同时也能获取到常规钻探所不能获取的信息,例如:通过调查,可以了解填土坑位置的地形和地物的变迁,填土的来源、堆积年限和堆积方式;了解新近沉积土地形、地貌特征,尤其是沿线微地貌与新近沉积土分布的关系,以及古牛轭湖、埋藏谷,暗埋的塘、沟、渠等分布范围及形态;了解场地污染源的位置、成分、性质、污染史及对周边的影响;调查了解线路通过地区是否存在有害气体及其种类、分布情况。

根据相关研究,北京地区尤其是城市经过若干年的大规范城市建设和地下空间建造,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,主要存在于以下部位:(1)基坑开挖出现过流土、流砂的部位以及基槽回填不密实的部位;(2)隧道开挖后,隧道顶部围岩发生沉降与上部硬壳层之间地下空洞;(3)市政道路下方,特别是管线密集区、暗渠集中区,存在老化管线、渗漏管线以及管线肥槽以及路基回填不密实的部位或者非开挖管道施工封堵注浆不严,使地下水沿管道流动,带走泥沙形成地下空洞或水囊;(4)人防等地下工程部位。某些地下人防工程建设年代已久失修,多处出现破损及塌方,在地下水作用下,大量的泥土流入洞中,造成人防工程上方出现大面积的空洞或水囊。地层空洞或水囊区段的勘察一般采用地球物理探测和钻探验证相结合的方法,施工期间尚应进行详查。砂性土层是指粗砂、中砂、细砂、粉砂和砂质粉土地层的统称。该类砂层一般分布于古河道附近或冲积平原等范围,在北京地区广泛分布,薄厚上有所差异,其中北京西部靠近山前范围砂层局部分布或者透镜体分布,厚度也比较薄,约1~5m。砂性土层尤其是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。

大粒径土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,局部颗粒极大并表现为漂石、孤石的粗碎屑堆积物。大粒径土层具有内摩擦角大,几乎无粘聚力,强度高和流塑性差等特性,自稳能力差、卵石颗粒点对点传力、卵石颗粒强度高、颗粒间空隙

大、渗透系数大、颗粒粒径分布范围广等特性。北京市地处永定河洪冲积扇的中上部，第四系松散土层及砂卵石层遍布全市其地质沉积层的“相变”十分明显，西部的粗大颗粒沉积物向东很快渐变为细小颗粒沉积物，西部单一的砂卵石层向东很快渐变为粘性土和粉细砂互层的多层状态。西部将以砂卵石的大粒径土层为主，如卢沟桥地区和石景山首钢一带，其砂卵石级配良好，最大颗粒可达 40cm 以上。西南部、北部或西北部，将会碰到有少量粘性土的砂卵石地层和全断面的砂卵石地层，这些地层含砂率大约在 25% - 40% 之间。而在东部，则主要是粘性土或砂性土。

大粒径土层单纯依靠取样进行室内试验，很难可靠把握砂卵石地层的工程特性。查明卵石地层的分布规律、颗粒级配、透水性及富水性，卵石地层的物理力学指标的测试应以现场调查、现场试验和室内试验相结合，且侧重于原位试验。可通过走访和调查，对沿线及其附近基所揭露地层进行资料收集，包括：地层结构、地层岩性、组成成分、漂石、卵石的最大粒径、有效粒径、平均粒径及其分布特征。必要时可采用人工探井，揭示卵石地层的地质情况，并取样进行现场称重和量测以及室内试验和测试，以获取卵石地层中漂石、卵石的最大粒径、平均粒径和有效粒径和卵石强度等参数。卵石地层中填充物性质和含量对隧道注浆加固至关重要，对于隧道洞身范围的卵石地层可采用 SM 植物胶卵石钻探工艺取芯，保证试样样品的采取、准确分层、真实反映卵石层填充情况。由于卵石地层渗透系数大，水量丰富，应采取水文地质试验的方法确定渗透系数和影响半径，为地下水控制提供依据。可通过重型动力触探试验、波速试验等原位测试手段确定卵石层的密实度。采用点荷载和单轴抗压强度试验测定卵石强度等指标，为卵石地层中盾构机选型提供可靠依据。采用粉晶 X 衍射定性半定量分析或磨片鉴定方法测定卵石的矿物成分，以确定卵石中石英含量大小，为盾构刀具的选择以及不同规格刀具之间的相互配置提供重要参数。

细粗粒土组合地层是指在地下车站基坑开挖侧壁或地下隧道开挖断面范围内，由粘性土、粉土、砂土、卵石地层中的两种或几种地层组成。典型地层组合形式包括上部粉土下部粘性土层、上部砂卵石下部粘性土层、上部粘性土下部粉土层、上部粘性土下部砂卵石层。上部粉土下部粘性土层、上部粘性土下部粉土层、上部砂土下部粘性土层的地层结构主要分布在北京地区的北部、东部和南部，上部砂卵石下部粘性土层主要分布在北京地区的中部、北京东部和南部地区的深部。北京地区北部、东部及南部古河道地貌范围内，浅部地层多为新近沉积土层，深度约 5~15m 不等，以粘性土、粉土、砂土互层为主，东部砂土占比较高。上述地层工程性质相对较差，粘性土层结构性差、压缩性高、均匀性较差、抗剪强度低、遇扰

动极易变形；粉土、砂土处于稍密和中密状态，且多具液化潜势，深度约 10m 以下多处于饱水状态。北京地区中部卵石层分布相对较浅，深度约 15m 以下既有分布，密实度为中等到密实，粒度中等、强度较高，工程性质相对较好，多与粘性土、粉土互层，其与粉土、砂土一起组成该区域潜水的主要含水层，深度约 30m 以下一般为承压水的含水层；北京地区北部、东部、南部卵石层分布深度较大，一般分布在深度 30m 以下，且颗粒粒径较小，其与同深度的粉土、砂土组成高承压水的含水层。

土岩复合地层是典型的上软下硬地层，主要表现为上部是相对软弱地层，下部是坚硬岩石地层。北京地区是山前冲洪积平原区域，土岩复合地层分布广泛，西部和北部土岩复合地层埋深相对南部和东部较浅。土岩复合地层兼具第四系土层的相对软弱性与基岩的高强度特性。工程范围内土岩应力状态、结构特征差异明显。工程开挖区间内土岩界面起伏大，土岩含水量、渗透性、干密度、孔隙度等差异明显。对土岩复合地层和基岩隆起区，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。

城市轨道交通工程经常要穿越和跨越江、河、湖、沟、渠、塘等各种类型的地表水体。地表水体是控制线路工程的重要因素，而且施工风险极高，易产生灾难性的后果，如上海地铁 4 号线联络通道的坍塌导致江水灌入隧道，北京地铁也发生过雨后河水上涨灌入隧道的情况。因此查明地表水体的分布、水位、水深、水质、防渗措施、淤积物分布及地表水与地下水的水力联系等，对工程施工及其安全风险控制十分重要。

3.2.7 地质风险较高的单元、特殊工程部位和地质风险突变位置是高地质风险区段，如填土厚度突变、土岩复合地层结合面、基岩隆起部位、透镜体等，可采取加密勘探点布设、加深勘探深度、加强地质风险分析等方式或手段进行重点勘察，必要时进行专项勘察，以满足工程设计、施工及其风险防控的实际需要。

工程设计中应重视工程地质与水文地质条件及由此带来的工程安全风险，通过该阶段相对静态的地质风险评估，可为制定或优化工程设计方案及相关技术措施提供依据和支撑，同时针对地质风险尤其是较为突出的地质风险单元，宜进行地质风险控制的针对性设计。对评定为 I 级地质风险情况，进行针对性的过程中专项设计，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级地质风险单元、地质风险等级突变结合处和有关危大工程关键部位为高风险区段或部位，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。

3.2.8 人工填土、软弱性较强的新近沉积土等土层的自稳性较差、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。

3.2.9 工程施工距勘察报告提交日期较长并需补充地下水勘察的时间要求一般指为工程开挖施工时，已距离勘察报告提交日期超过半年或以上。另外，施工期间场地地下水或周边地表水条件等发生较大变化的情况主要包括：临近在施基坑、施工遇汛期、已有止水帷幕等。

3.2.10 污染土和有害气体一般具有腐蚀性和毒性，现场钻探、取样及测试时应采取相应的防护措施，避免对勘探作业及相关人员造成健康安全风险。

3.2.11 冻结法是利用人工制冷技术，用于富水软弱地层的暗挖施工固结地层。通常当土体的含水量大于 2.5%、地下水含盐量不大于 3%、地下水流速不大于 40m/d 时，均可适用常规冻结法，当土层含水量大于 10%和地下水流速不大于 7~9m/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，宜现场实测。

### 3.3 施工阶段地质风险防控一般要求

3.3.1 施工阶段包括施工准备期和施工过程，地质风险控制应结合地质核查结果、设计措施、环境条件、工艺工法等优化风险单元及风险等级，并调整风险专项设计和施工方案。

3.3.2 本条细分为两部分工作，施工前应根据勘察设计文件、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，应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 2m 的空洞可采用先填砂再注浆填充处理，小于 2m 的空洞可直接注浆填充处理；地层中存在水囊时，应先确定并截断水源，引流后进行注浆回填。

3.3.3 上述几种情况为地质风险突出区段、部位或对象，有必要加强检测、加固设计和监测分析等施工过程风险动态分析与控制措施，确保地质风险防控的时效性和合理性。其中第 2

款主要针对基坑（含暗挖施工竖井和盾构始发到达井）坑边堆载超标，以及基坑所处相对软弱、强度较低、厚度较大或稳定性较差的地层，如填土、新近沉积土、软弱夹层等；第3款要求施工中通过加强地下水及周边地表水的监测和分析，有利于预控地下水风险。

3.3.7 上述几种情况容易导致施工过程中地质风险加大，有必要开展补充地质风险评估，必要时进一步完善地质风险控制措施，必要时组织专家论证，尤其是近年来北京市部分河流定期生态放水和汛期强降雨增多，导致施工时的地下水条件与勘察设计文件发生很大变化，其中西部地区尤为突出，需要加强地质风险评估与控制，以及勘察、设计、施工和监测等方面的工作，确保地质风险防控的时效性和合理性。同时施工中通过提高工程监控量测频率和分析反馈，能大大提升信息化施工和风险管控水平。

3.3.8 污染土地层中施工编制专项运输和处置方案，尚应报地方环保部门批准。污染土的处理措施应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，对重金属污染土宜采用异位修复措施，稳定后进行土壤养护。

## 4 地质风险评估

### 4.1 一般规定

4.1.2 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。

4.1.4 地质风险分级参照了安委办〔2016〕11号《关于实施遏制重特重大事故工作指南和构建双重预防机制的意见》中有关安全风险等级和有关行业或城市的安全风险分级管控政策文件，具有较强的适用性和一定的针对性。

### 4.2 勘察设计阶段地质风险评估

4.2.1 本条及下辖各款是3.2.1条的延伸和响应。勘察阶段的地质风险辨识与分析应与相应各设计阶段（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。

4.2.2 本条及下辖各款是对地质风险分析内容及相关要求的细化阐述，其中地质风险单元和分级是相对初步的，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。

4.2.3 地质条件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、系统的辨识各类不良地质风险对风险管控至关重要。地质风险因素辨识应从地质角度辨识处因地质条件复杂性、变异性和不确定性等而导致的工程安全风险，地质风险因素辨识清单应作为

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。清单内容应包括工点名称、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宜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。

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。

4.2.5 地质风险单元划分应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型式、厚度、深度等内容；北京地区特殊地质区段或部位主要包括软弱夹层、厚层填土、孤石漂石、地层空洞或水囊、富水及水压较大地层、基岩隆起、有害气体等。

4.2.6 上述各款情况属于安全风险有较大影响的区段或部位，进一步细分地质风险单元，并根据风险分析结果，可适当提高地质风险等级。

4.2.7 工程设计过程中，因各种原因经常发生设计方案或措施调整现象，如其所需的工程地质及水文地质条件勘察精度不满足勘察设计标准和工程实际需要，开展地质风险核查评估是十分必要的，如地质风险发生较大的升级变化，可对原地质风险控制设计方案和措施进行完善或优化，必要时进行补充勘察。其中，可进步加强勘察、强化监测方案和优化完善设计方案或加强工程措施等工作。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，具体修正依据如下：

1 当地质风险为Ⅰ级时，工程风险等级应定为一级；

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。

#### 4.3 施工阶段地质风险评估

4.3.1 施工阶段应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。

根据北京市和相关城市既有安全风险评估做法经验，施工准备期地质风险评估宜由施工单位自行完成，并经工点设计单位认可，亦可委托第三方专业咨询机构协助完成。

4.3.2 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。

4.3.3 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，应及时重新辨识、分析、评价及定级，优化完善工程措施，做好动态管控，确保风险降低至可接受范围。

4.3.4 根据北京地区多年来城市轨道交通工程建设及风险管控经验，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，必须进行地质风险单元及等级核查，必要时在此

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/748017065117006072>