

附件 1

团 体 标 准

T/CMEA**-2025

城市地下工程施工超前地质预报技术规程

Technical regulations for advanced geological prediction technology
of urban underground engineering construction

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国市政工程协会 发布

中国市政工程协会团体标准

城市地下工程施工超前地质预报技术规程

Technical regulations for advanced geological prediction technology
of urban underground engineering construction

(征求意见稿)

T/CMEA XXX-2025

主编单位：中国地质大学（武汉）

武汉地质工程勘察院有限公司

青岛理工大学

批准单位：中国市政工程协会

施行日期：2025 年 XX 月 XX 日

中国建筑工业出版社

2025 北京

中国市政工程协会团体标准公告

2025 年第 XX 号（总第 XX 号）

现批准《城市地下工程施工超前地质预报技术规程》为
本协会团体标准，编号为 T/CMEAXXXX-2025，自 2025 年
XX 月 XX 日起实施。

本文件由我协会组织中国建筑工业出版社出版发行。

前言

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

本文件共分 6 章和 10 个附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、超前地质预报实施方案、城市地下工程施工超前地质预报方法、超前地质预报成果报告与管理。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国市政工程协会管廊及地下空间专业委员会归口，由中国地质大学（武汉）负责具体内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至中国地质大学（武汉）（地址：湖北省武汉市洪山区鲁磨路 388 号，邮编：430074），以便修订时参考。

主编单位：中国地质大学（武汉）

武汉地质工程勘察院有限公司

青岛理工大学

参编单位：长江三峡勘测研究院有限公司（武汉）

广东有色工程勘察设计院

中国地质工程集团有限公司

安徽水文地质工程地质有限公司

武汉地铁集团有限公司

武汉市市政建设集团有限公司

广州市市政工程设计研究总院有限公司

中铁开发投资集团有限公司

中铁西南科学研究院有限公司

核工业(天津)工程勘察院有限公司

中煤科工集团南京设计研究院有限公司

安徽理工大学

深圳市特区铁工建设集团有限公司

中冶华亚建设集团有限公司

武汉汇科质量检测有限责任公司

中国二十冶集团有限公司

北京市政建设集团有限责任公司

主要起草人：XXX

主要审查人：XXX

目 次

前言	4
1 总则	5
2 术语	6
3 基本规定	9
4 超前地质预报实施方案	12
5 城市地下工程施工超前地质预报方法	14
5.1 地质调查法	14
5.2 地质超前钻探法	16
5.3 地质雷达法	19
5.4 地震波反射法	22
5.5 瞬变电磁法	25
5.6 孔中物探法	27
5.7 高分辨直流电法	33
5.8 微动探测法	36
5.9 激发极化法	39
6 超前地质预报成果报告与应用	47
6.1 超前地质预报成果报告	47
6.2 超前地质预报成果应用	47
附 录 A 城市地下工程地质描述记录	50
附 录 B 超前地质预报钻探施工记录表	53
附 录 C 钻孔柱状图	54
附 录 D 地质雷达法观测系统示意图	55
附 录 E 地震波法观测系统示意图	56
附 录 F 瞬变电磁法观测系统示意图	57
附 录 G 孔间电阻率层析成像法观测系统示意图	58
附 录 H 孔间雷达法观测系统示意图	59
附 录 I 激发极化法观测系统示意图	60

附 录 J 预报方法应用范围和适用条件	61
本文件用词说明	62
引用标准名录	63
条文说明	64

Table of Contents

Preface	4
1 General Provisions	5
2 Terminology	6
3 Basic Regulations	8
4 Implementation Plan for Advanced Geological Forecasting	12
5 Advanced Geological Forecasting Methods for Urban Underground Engineering	
15	
5.1 Geological Survey Method	15
5.2 Geological advanced drilling method	17
5.3 Geological Radar Method	20
5.4 Seismic wave reflection method	22
5.5 Transient Electromagnetic Method	25
5.6 In hole geophysical method	26
5.7 High resolution DC method	31
5.8 Micro motion detection method	34
5.9 Induced Polarization Method	37
6 Report and Management of Advanced Geological Forecasting Results	44
6.1 Advanced Geological Forecasting Results Report	44
6.2 Application of Advanced Geological Forecasting Results	44
Appendix A Geological Description Record of Urban Underground Engineering	46
Appendix B Advanced Geological Prediction Drilling Construction Record Table	49
Appendix C Borehole Bar Chart	50
Appendix D Schematic Diagram of Geological Radar Observation System	51
Appendix E Schematic Diagram of Seismic Wave Observation System	52
Appendix F Schematic Diagram of Transient Electromagnetic Observation System	53
Appendix G Schematic diagram of borehole resistivity tomography observation	
system	54

Appendix H Schematic Diagram of Inter hole Radar Observation System	55
Appendix I Schematic Diagram of Induced Polarization Observation System	56
Explanation of Vocabulary in this Regulation	57
Article Explanation	58

1 总则

1.1.1 为规范城市地下工程施工超前地质预报技术工作，针对不同施工工法的城市地下工程制定科学、有效的超前地质预报实施方案，提高超前地质预报水平，保证城市地下工程质量和施工安全，制定本文件。

1.1.2 本文件适用于城市地下工程施工的超前地质预报的方案编制、技术方法及仪器仪表的选用、成果应用等工作。

1.1.3 城市地下工程施工超前地质预报除应符合本文件外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.1.1 超前地质预报 advanced geological prediction

以地质调查为基础，多种探测手段相结合，综合分析、预报城市地下工程工作面前方可能遇到的不良地质体及由此可能发生的地质灾害的性质、分布位置、规模，并提出相应措施建议的综合地质方法。

2.1.2 掌子面 tunnel face

地下工程正在开挖的掘进面。

2.1.3 地质调查法 geological survey method

地质调查法是根据城市地下工程勘察资料 and 施工过程中掌握的地质情况，通过地层层序、地层分界线、岩层产状及构造线地下和地表相关性分析、不良地质体与地下工程几何参数的相关性分析、地下工程内不良地质体的临近前兆特征分析等，利用常规地质理论、地质作图和趋势分析等，推测开挖工作面前方可能揭示地质情况的一种超前地质预报方法。

2.1.4 地质超前钻探法 geological drilling method

在城市地下工程开挖工作面或其侧洞沿开挖前进方向实施超前地质钻孔，以探明开挖工作面前方地质条件的方法。

2.1.5 地球物理勘探 geophysical exploration

利用物理学的原理、方法和专门的仪器设备，获得工程区岩土介质的物理性质和地球物理场的分布特征，对不良地质体或地质构造进行勘探的方法技术，简称“物探”。

2.1.6 综合物探 comprehensive physical exploration

根据勘探对象所具有的不同物理性质，采取两种或两种以上有效的物探方法进行探测并对资料进行综合分析解释。

2.1.7 地质雷达法 ground penetrating radar method

利用雷达发射天线向地下发射高频脉冲电磁波，由接收天线接收目的体的反射电磁波，实现探测目的体的一种物探方法。

2.1.8 地震波反射法 seismic reflection method

地震波反射法是利用人工激发的弹性波（地震波）或声波在不均匀地质体中产生的反射波特性来预报城市地下工程开挖工作面前方地质条件的一种物探方法。

2.1.9 瞬变电磁法 transient electromagnetic method

利用探测地质体与围岩的电磁特性差异，通过观测脉冲电磁场感应的二次电磁场的分布规律探测掌子面前方一定范围地质情况的物探预报方法。

2.1.10 孔中物探法 borehole geophysical method

利用不同地下介质之间的物性差异，借助钻孔中探测仪器对天然场或人工场的分布与变化进行观测，推断、解释孔壁及周围一定范围地质情况的勘探方法。

2.1.11 高分辨直流电法 high-resolution direct current instrument

通过研究电场或电磁场的分布规律预报开挖工作面前方储水，导水构造分布和发育情况的一种直流电法探测技术。

2.1.12 微动探测法 microtremor survey method

利用微动信号推断地下岩层性质和形态的地球物理勘探方法。

2.1.13 激发极化法 induced polarization method

利用探测地质体与围岩的激电效应差异，通过观测和分析激电场的分布规律探测掌子面前方一定范围地质情况的物探预报方法。

2.1.14 物性 physical properties

探测对象所具有的物理性质。

2.1.15 纵波 dilatational wave

质点振动方向与波的传播方向一致的体波，又称压缩波。

2.1.16 横波 transverse wave

质点振动方向与波的传播方向垂直的体波，又称剪切波。

2.1.17 同相轴 phase axis

波形记录上同一信号源的各道相同相位的连线。

2.1.18 视电阻率 apparent resistivity

在地下介质电阻率不均匀的情况下，用均匀介质的电阻率理论表达式计算得到的电阻率值。其数值与介质电阻率、形态和观测条件等有关。

2.1.19 相对介电常数 relative permittivity

介质相对于真空的介电常数。

3 基本规定

3.1.1 地质预报应根据地质特点，设计和施工要求确定预报目的，目的应包括下列内容：

- 1 查清掌子面前方一定距离范围内存在的工程地质水文地质条件，特别是可能导致施工地质灾害发生的不良地质体的分布位置，性质及规模；
- 2 降低施工地质灾害发生风险和灾害损失，保障施工安全；
- 3 为工程设计优化，施工方案决策以及不良地质体工程处置提供地质依据；
- 4 为编制竣工文件提供地质资料。

3.1.2 超前地质预报的任务应包括下列内容：

- 1 地层岩性预报，主要为岩性，风化带，蚀变带，破碎岩体，软弱夹层和特殊岩土等地质状况；
- 2 地质构造预报，特别是对断层，节理密集带，褶皱轴，岩性接触面等影响岩体完整性的构造发育情况的预报；
- 3 不良地质体预报，主要为岩溶，人为坑洞等的位置、规模和充填性；
- 4 地下水预报，包括掌子面前方一定范围内的孔隙水、裂隙水和岩溶水的分类及其赋存特征，特别是断层或破碎带赋水特征，岩溶和人为坑洞充水充泥情况，地层赋水特征等。

3.1.3 超前地质预报工作应根据勘察阶段所确定的地质条件复杂程度和施工方法选择合适的预报方法，并根据开挖揭示的地质情况进行动态调整。其工作流程可按图 3.1.3 所示的进行。

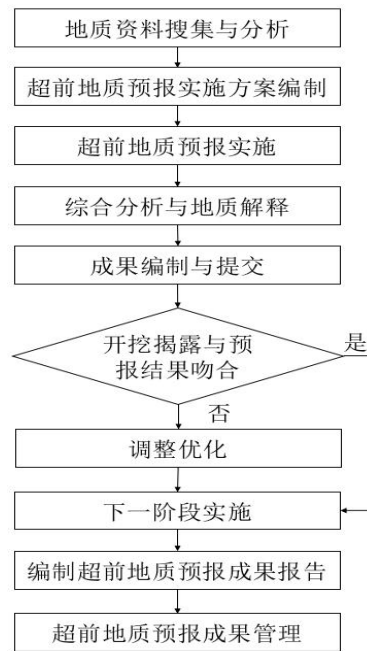


图 3.1.3 超前地质预报流程图

3.1.4 预报仪器使用和管理应符合下列要求：

- 1 用于超前地质预报的仪器应符合国家及行业现行有关标准的规定；
- 2 应按仪器设备的检验周期和技术指标对仪器进行定期检验，检验合格或达标的方可继续，使用每次检验的结果应有记录；
- 3 操作人员应熟悉仪器设备性能，并严格按照仪器作业指导书和使用说明书操作；
- 4 预报工作前，应对预报仪器进行检查调试及校验；
- 5 预报工作时，若出现仪器不正常，应排除故障并经检查正常后才能继续工作；
- 6 预报工作结束后，应检查仪器并维护保养，保持完整、清洁、干燥；
- 7 主机和主要配件应存放在清洁，干燥，防尘，通风，无腐蚀性气体，无强电磁辐射的仪器专用库房内，所有仪器状态应标识明显；
- 8 内置充电电池的仪器长期不使用时，应定期充电维护。

3.1.5 物探预报方法应在正式预报前进行预报试验，试验工作应符合下列要求：

- 1 试验工作应在地质条件已知的洞段进行；

2 预报试验工作内容应包括物性参数测试、现场干扰信号和干扰源分布情况及强度试验、预报方法适应性试验、预报距离和解释精度试验、仪器工作参数选择试验、预报方法组合和循环预报距离试验等；

3 预报试验期间应及时对比分析试验成果，做出明确结论。

3.1.6 物探预报现场工作应满足下列要求：

1 现场预报工作前，应收集勘察阶段的勘察设计资料；当地质条件和施工条件复杂时，宜补充地表地质调查，收集和分析邻近地质资料；

2 地质情况复杂的浅埋段宜补充地表物探预报；

3 现场预报工作时，应根据选择的物探预报方法，降低工作区域周围施工干扰至预报数据质量要求的范围内；

4 现场预报工作时，应严格按各预报方法的现场作业指导书进行操作，保证现场安全；

5 预报工作期间，当遇到预报质量明显下降时，应做补充试验，找出原因，调整预报方法、技术参数和循环预报方式；

6 预报工作期间，应填写预报班报、原始记录、检查验收记录等。

3.1.7 超前地质预报工作应建立质量保证体系，实行全过程质量控制并符合安全、环保的相关要求。

4 超前地质预报实施方案

4.1.1 在实施城市地下工程施工超前地质预报工作前应根据城市地下工程潜在风险，结合施工方法、施工组织管理等编制超前地质预报实施方案，指导预报工作。

4.1.2 城市地下工程勘察设计资料的收集与分析应包括下列主要内容：

- 1 收集前期城市地下工程勘察设计资料，熟悉设计文件、资料、图纸；
- 2 了解城市地下工程穿越的地层层序、岩性及其在城市地下工程轴线上的分布范围，不同岩层的工程地质、水文地质特性，特殊地层（煤层、可溶岩地层、膏岩层等）的分布，圈定地表补充调查的区域；
- 3 了解特殊地质构造（如断层等）在城市地下工程轴线上的分布位置，断层及破碎带宽度、性质，明确地层、不良构造与城市地下工程的相互关系及因城市地下工程施工揭穿可能发生的地质灾害，提出地表补充调查的重点。

4.1.3 城市地下工程施工超前地质预报实施方案应根据地质、环境复杂程度给出每一段落的超前地质预报方案，当城市地下工程施工过程中揭示围岩情况与方案不符时，应及时动态调整实施方案。

4.1.4 超前地质预报的方法应根据预报方法应用范围和适用条件（参见附录 J）、隧道地质复杂程度分级（Q/CR 9217-2015 附录 B），按表 4.1.4 的规定选择预报方法。

表 4.1.4 超前地质预报方法选择

隧道地质条件	应采用的预报方法
简单或中等复杂，且为 I ~ III 级围岩段	地质调查法+地震波法（或地质雷达法、瞬变电磁法、激发极化法等）
复杂；IV ~ V 级围岩段	地质调查法+地震波法+地质雷达法（或瞬变电磁法、激发极化法等）
很复杂；重大物探异常区	地质调查法+地震波法+地质雷达法（或瞬变电磁法、高分辨直流电法、激发极化法、孔中物探法等）+超前钻探法

4.1.5 城市地下工程施工超前地质预报实施方案应包括下列主要内容：

- 1 超前地质预报的目的、原则、方法及技术要求；
- 2 地质、环境复杂程度分级；
- 3 给出每一段落的详细预报方案；
- 4 施工单位的配合要求；

- 5 超前地质预报工作安全措施；
- 6 地质预报成果报告的提交时限，信息传递方式等；
- 7 地质预报成果的验证及技术总结的要求；
- 8 其他需要说明的问题。

5 城市地下工程施工超前地质预报方法

5.1 地质调查法

5.1.1 地质调查法宜包括地表补充地质调查、地质编录等，应根据城市地下工程已有勘察资料、地表补充地质调查和跟踪地质调查，通过地层层序对比、地层分界线及构造线地下和地表相关性分析、断层要素与城市地下工程几何参数的相关性分析、临近城市地下工程的不良地质体前兆分析等，利用常规地质理论、地质作图和趋势分析等，推测开挖工作面前方可能揭示地质情况。

5.1.2 地表补充地质调查应在城市地下工程施工前补充地质调查的基础上，对存疑虑的相关重大地质异常地段进一步补充的地面地质调查工作。超前地质预报可只对地表进行补充地质调查，若需进行地表补充地质勘探工作，必须由城市地下工程勘察设计单位实施，须满足设计变更和优化的需要。

5.1.3 地质编录应将城市地下工程开挖所揭露的地层岩性、地质构造、结构面产状、地下水出露位置及出水状态、出水量、溶洞等用文字、素描、照片等形式准确地记录下来并编制成图表。地质编录工作包括：开挖工作面和侧壁的地质编录，地层分界线及构造线地下和地表相关性分析、地质填图等。

5.1.4 开挖工作面和洞身的地质编录应在开挖后立即进行，并在城市地下工程全程不间断实施。

5.1.5 开挖工作面地质编录应符合下列技术要求：

1 开挖工作面地质编录应随城市地下工程开挖及时进行，对地层岩性变化位置、构造发育部位、岩溶发育带附近等复杂、重点地段应每开挖循环进行一次地质编录，其他一般地段不应超过 10m 进行一次地质编录；

2 地质编录图、记录必须在现场进行，不得回忆编制或室内制作；

3 地质编录一律“写实”，不做任何换算；

4 地质编录图式、图例、比例、用语应统一；

5 特殊段落，按要求采取标本以供鉴别；

6 根据城市地下工程施工所揭露地质情况，参见本文件附录 A.1 的规定填写洞内地质描述记录表；当采用钻爆法施工时，参见本文件附录 A.2 的规定

进行掌子面地质描述；当采用 TBM 法施工时，参见本文件附录 A.3 的规定进行地质展视。

5.1.6 洞身地质编录应符合下列技术要求：

1 洞身地质编录是对城市地下工程拱顶、左右拱腰、左右边墙进行的地质编录、文字记录、摄像，直观反映城市地下工程周边地层岩性的分布情况及不良地质体的发育位置、形态、规模，及在空间上对城市地下工程的影响程度等；

2 按照开挖工作面地质编录的内容和现场记录格式，每循环（地质条件简单地段可适当放宽）开挖后对城市地下工程洞身进行地质编录和数码摄像；

3 地层分界线及构造线地下和地表相关性分析；

4 地层分界线地下和地表相关性分析主要内容包括：在地表地质调查中根据不同时代地层的岩性组合特征及古生物化石特征（沉积岩）查明地层分界线；根据地表地层的岩性组合关系及产状确定地下地层岩性分界线；

5 构造线地下和地表相关性分析主要内容包括：确定构造线在地表的展布特征（地貌特征、地层的重复和缺失、断层面特征）以及构造线两侧岩性的特征，特别是构造带岩性的组合及变化特征；根据构造线的展布特征大致确定构造线在地下的范围；依据地表构造带岩性的组合及变化特征确定地下构造线。

5.1.7 地质调查法超前地质预报应编制下列资料：

1 地质调查法预报报告；

2 开挖工作面地质素描图，比例尺根据需要确定；

3 城市地下工程洞身地质展示图，比例为 1：100～1：500；

4 地层分界线及构造线城市地下工程内和地表相关性分析预报图（必要时作），比例尺根据需要确定；

5 地质复杂地段纵、横断面图，比例为 1：100～1：500；比如城市地下工程中揭示的需要特殊处理的岩溶洞穴、断层破碎带等，应为设计提供纵、横断面图等；

6 地质监测与测试资料，包括城市地下工程内地下水出漏点位置及水量统计表；重大涌水地段、水量、水压及涌（渗）水——降雨时间关系图，其他资料；

- 7 有关影像资料；
- 8 洞内地质编录为城市地下工程施工超前地质预报提供基础地质资料，应在城市地下工程施工全过程进行，但其成果一般不单独编制，可在物探预报报告中给出；
- 9 开挖工作面地质素描图，比例尺根据需要确定；
- 10 地层分界线及构造线城市地下工程内和地表相关性分析预报图（必要时作），比例尺根据需要确定；
- 11 地质监测与测试资料。

5.2 地质超前钻探法

5.2.1 地质超前钻探法可用于各种地质条件下钻爆法施工地下工程的超前地质探测。根据钻探的深度可分为短距离（钻探深度 3~6m）；中距离（钻探深度 6~50m）；长距离（钻探深度 50~150m）。

5.2.2 地质超前钻探工作应符合下列规定：

- 1 实施地质超前钻探的人员应经技术培训和考核，经考核合格后方可上岗；
- 2 钻探前地质技术人员应进行技术、质量交底；
- 3 超前钻探过程中应在现场做好钻探记录，包括钻孔位置、开孔时间、终孔时间、孔深、钻进压力、钻进速度随钻孔深度变化情况、冲洗液颜色和流量变化、涌砂、空洞、振动、卡钻位置、突进里程、冲击器声音的变化等；
- 4 超前钻探过程中应及时鉴定岩芯、岩粉，判定岩石名称，对于断层带、溶洞填充物、煤层、代表性岩土等应拍摄照片备查，并选择代表性岩芯整理保存，重要工程钻探过程监理应进行旁站；
- 5 在富水地段进行超前钻探时必须采取防突措施；测钻孔内水压时，需安装孔口管，接上高压球阀、连接件和压力表，压力表读数稳定一段时间后即可测得水压；
- 6 应加强钻进设备的维修与保养，使钻机处于良好状态；强化协调和管理，各方应积极配合，缩短施钻时间。

5.2.3 地质超前钻探应编制探测成果报告，内容包括工作概况、钻孔探测结果、地质超前钻探柱状图（格式见附录 B、C），应附钻孔布置图、代表性岩芯照片等。

5.2.4 短距离地质超前钻探应符合下列要求：

1 短距离地质超前钻探主要是利用风钻或凿岩台车等在地下工程钻爆开挖工作面钻小孔径浅孔获取地质信息的一种方法，也称为加深炮孔探测；

2 短距离地质超前钻探预报距离：3～6m；

3 短距离地质超前钻探适用于各种地质条件下城市地下工程的超前地质探测，尤其适用于富水带和岩溶发育区；

4 孔深应较爆破孔（或循环进尺）深 3m 以上；

5 富水带的短距离地质超前钻探应终孔于城市地下工程开挖轮廓线以外 2～3m；

6 孔径宜与爆破孔相同；

7 孔数、孔位应根据开挖断面大小和地质复杂程度确定；

8 连续预报时前后两个循环钻孔应重叠 2～3m；

9 在富水岩溶发育区每循环必须按设计认真实施，发现异常情况应及时反馈信息，严禁盲目装药放炮；

10 钻到溶洞和岩溶水时，应视情况采用中、长距离地质超前钻探和其他探测手段，查明情况，确保施工安全，为变更设计提供依据；

11 短距离地质超前钻探测严禁在爆破残眼中实施；

12 揭示异常情况的钻孔资料应作为技术资料保存。

5.2.5 中距离地质超前钻探应符合下列要求：

1 中距离地质超前钻探适用于各种地质条件下的钻爆法施工地下工程超前地质预报，主要采用冲击钻和回转取芯钻进行探测；

2 中距离地质超前钻探预报距离：6～50m；

3 孔数：断层、节理密集带或其他破碎富水地层每循环宜钻 1 孔；富水岩溶发育区每循环宜钻 3～5 个孔，揭示岩溶时，应适当增加，以满足安全施工和溶洞处理所需资料为原则；

4 孔深：钻探过程中应进行动态控制和管理，根据钻孔情况可适时调整钻孔深度，以达到预报目的为原则；在需连续钻探时，一般每循环钻 30m；连续预报时前后两循环钻孔应重叠 3~5m；富水岩溶发育区超前钻探应终孔于城市地下工程开挖轮廓线以外 5m；

5 孔径：钻孔直径与潜孔钻机设备钻杆直径相同（一般为：75mm）；

6 角度：城市地下工程开挖轮廓线外的钻孔宜按 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 外擦角进行。

5.2.6 长距离地质超前钻探应符合下列要求：

1 长距离地质超前钻探适用于各种地质条件下的城市地下工程钻爆法施工超前地质预报，对于 I 级风险预报区必须采用，II 级风险预报区可选择性的使用，主要选择快速超前水平钻机设备；

2 长距离地质超前钻探预报距离：50~150m；

3 孔数：断层、节理密集带或其他破碎富水地层每循环宜钻 1 孔；富水岩溶发育区每循环宜钻 3~5 个孔，揭示岩溶时，应适当增加，以满足安全施工和溶洞处理所需资料为原则；

4 孔深：钻探过程中应进行动态控制和管理，根据钻孔情况可适时调整钻孔深度，以达到预报目的为原则；在需连续钻探时，一般每循环可钻 30~50m，必要时也可钻 100m 以上的深孔；连续预报时前后两循环钻孔应重叠 5~10m；富水岩溶发育区超前钻探应终孔于城市地下工程开挖轮廓线以外 5~10m；

5 孔径：钻孔直径应满足钻探取芯、取样和孔内测试的要求；

6 角度：城市地下工程开挖轮廓线外的钻孔宜按 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 外擦角进行；

7 长距离地质超前钻探主要采用冲击钻和回转取芯钻，二者应合理搭配使用，提高预报准确率和钻探速度，减少占用开挖工作面的时间；

8 一般地段采用冲击钻；冲击钻不能取芯，但可通过冲击器的响声、钻速及其岩粉、卡钻情况、钻杆震动情况、冲洗液的颜色及回水流量变化等粗略探明岩性、岩石强度、岩体完整程度、溶洞、暗河及地下水发育情况等；

9 复杂地质地段采用回转取芯钻。回转取芯钻岩芯鉴定准确可靠，地层变化里程可准确确定，一般只在特殊地层、特殊目的地段、需要精确判定的情况下使用。比如煤层取芯及试验、溶洞及断层破碎带物质成分的鉴定、岩土强度试验取芯等。

5.2.7 成果解释应符合下列规定：

- 1 对回转取芯钻的岩芯进行鉴定是判定岩性最为准确可靠的方法；
- 2 根据岩粉判定：在采用冲击钻时，孔中不断有岩粉被高压风吹出，通过鉴定岩粉的成分，可了解前方地层的岩性；
- 3 根据钻进速度判定：相同钻压下钻机在相同岩层中的钻进速度是均一的，结合城市地下工程开挖揭示的地层岩性，根据钻机在钻进过程中的速度变化、是否有卡钻等现象，可粗略判断前方岩体的强度、完整程度以及是否存在不良地质体等；
- 4 根据卡钻情况、钻杆震动情况、塌孔等现象，可粗略判断前方岩体的完整程度；
- 5 根据冲洗液判定：钻机在钻进过程中，通过冲洗液颜色的变化，可粗略判定钻孔内岩层的变化；根据冲洗液流量的增减可粗略判断岩体的完整程度及地下水发育情况；
- 6 根据冲击器工作时的声响可粗略判断岩体的强度变化，声音清脆而响亮一般是硬质岩，声音沉闷而微弱一般为软质岩或土层。

5.3 地质雷达法

5.3.1 地质雷达法可用于岩溶、断层破碎带、软弱夹层等不均匀地质体及其含水情况的高分辨率探测。

5.3.2 仪器的技术指标应符合下列要求：

- 1 系统增益不应低于 150dB；
- 2 信噪比应大于 60dB；
- 3 采样间隔不应大于 0.5ns、模数转换器不应低于 16 位；

4 具有可选的信号叠加、实时滤波、点测与连续测量、手动与自动位置标记等功能；

5 相同条件下，地质雷达探测原始记录与结果应具有良好的重复性，波形一致，地质异常没有明显的位移。

5.3.3 应用条件应符合下列要求：

1 探测目的体与周边介质之间应存在明显介电常数差异，电磁波反射信号明显；

2 探测目的体具有足以被探测的规模，测线方向岩体表面应相对平缓，无障碍，易于天线移动；

3 不能探测极高电导屏蔽层下的目的体或目的层；

4 测区附近不能有大范围的金属构件、焊接施工或无线电发射等较强的电磁波干扰；

5 地质雷达连续预报时前后两次重叠长度应不小于 5m。

5.3.4 预报距离及数据采集应符合下列要求：

1 在泥质和软弱破碎地层或岩溶发育区，一般每次预报距离应为 15m，不宜超过 20m；

2 在岩体较破碎的软岩、较软岩地层每次可预报 20～25m，不宜超过 30m；

3 在岩体完整、较完整的硬质岩地层每次可预报 25～30m，不宜超过 35m；

4 通过现场试验选择雷达天线的工作频率、确定介电常数；

5 测网密度、天线间距和天线移动速度应反映出探测对象的异常，由于掌子面通常采用上、下导洞开挖，工作面很狭小，根据工作面的具体情况，在检测过程中宜采用两横两竖布线；可根据现场情况灵活布置测线，原则上应尽可能靠近工作面轴心位置，使测线距离尽可能长、尽可能多地采集数据，以备后期数据的分析处理；宜以掌子面为中心布置多条测线，宜参见本文件附录 D 的要求；

6 选择合适的时间窗口和采样间隔，并根据数据采集中的干扰变化和效果及时调整工作参数；

7 地质雷达数据采集时的信号触发方式一般宜采用电测深法测量；

8 隧址区内不应有较强的电磁波干扰；现场测试时必须清除或避开测线附近的金属物等电磁干扰物；如采用非屏蔽天线，掌子面后方 25m 范围内不能有开挖台车和装载机汽车等大体积金属，否则探测数据无效；

9 支撑天线的器材应选用绝缘材料；

10 测线方向的岩体表面应相对平整，最大凹陷和凸起不得超过 30cm，无障碍，且天线易于移动；测试过程中，应保持工作天线的平面与探测面基本平行，距离相对一致；

11 现场记录应注明观测到的不良地质体与地下水体的位置与规模等；

12 重点异常区应重复观测，重复性较差时应查明原因。

5.3.5 资料整理应符合下列规定：

1 地质雷达数据总体质量评价分为合格、不合格两种；

2 数据质量合格的标准：观测系统布置（测线，天线选择等）正确，采集方法正确；记录信噪比高，雷达波信号清晰；测线与雷达采集数据图像对应正确；

3 数据质量不合格的标准：电磁波信号无法分辨；信噪比低，干扰波严重影响到预报范围的电磁波；地质雷达采集数据图像坐标与测线坐标对应误差大于 20cm。

5.3.6 探测的资料解释应符合下列规定：

1 地质雷达采集数据质量要达到合格，雷达波形清晰；

2 雷达数据解释前应对采集数据进行数据处理，比如滤波、信号增益等数字信号处理，如果数据较难判断，还应进行道分析、FK 滤波、正常时差校正、褶积、速度分析、消除背景干扰等处理；

3 结合城市地下工程地质情况、城市地下工程施工情况，探测体的物理性质等因素综合分析雷达剖面数据；

4 地质雷达法预报应编制探测报告，内容包括：探测工作概况、采集及解释参数、测线布置图（表）、探测时间剖面图、地质解译结果等。判断测试掌子面前方可能遇到的不良地质体（包括性质、性态、规模和地下水），并且综合判断前方地质情况，对前方围岩级别给出初步判定，并作出相应的结论与建议。

5.4 地震波反射法

5.4.1 地震波反射法可用于探测施工前方较长距离内地层岩性、地质构造等的位置、规模和空间分布。

5.4.2 仪器的技术指标应符合下列要求：

- 1 仪器动态范围应不小于 120db；仪器的 A/D 模数转换不应小于 18 位；仪器噪音折合到输入端不应大于 3 微伏；
- 2 仪器输入应不少于 6 个通道的信号采集，对于采用多波的仪器应满足不少于两个接收点的三分量地震波采集道；
- 3 仪器的记录长度应能够满足预报距离的要求；
- 4 仪器的采样间隔设置应在 30 微秒~250 微秒间具有多档选择，以适应不同城市地下工程围岩探测的要求，一般硬岩宜采用小的采样间隔，软岩采用稍大的采样间隔；
- 5 仪器的接收装置应具有高灵敏度的响应特性，对于三分量接收装置已具有良好的指向性；
- 6 相同条件下，探测原始记录与结果应具有良好的重复性，波形一致，地质异常没有明显的位移；
- 7 仪器与配套设备应具有防震、防尘、防潮功能，适应城市地下工程环境下使用；
- 8 仪器的存储介质在城市地下工程内外温差较大的条件下应具有防结露功能，防止数据的丢失；
- 9 仪器采集时不宜选择使用滤波档，因特殊需要使用滤波档时，不应造成有效波记录的畸变，并应有对比记录。

5.4.3 应用条件应符合下列要求：

1 被探测地质体与周围介质间应存在较明显的波阻抗差异并具有足以被探测到的规模，被追踪地层应具有一定的规模，且应大于有效波波长的 1/4；

2 断层或岩性界面的倾角应大于 35° ，构造走向与城市地下工程轴线的夹角应大于 45° ；

3 被探测的断层应有明显的断距；

4 周围没有震源干扰信号，信噪比较高；

5 城市地下工程应该进洞 65m 以上；

6 二衬和开挖掌子面之间的距离不少于 65m；

7 已开挖段城市地下工程侧壁围岩钻孔成孔率达到 90%以上；

8 台阶法开挖城市地下工程，上下台阶开挖的最大间距大于 65m 或小于 10m；

9 实施地震波反射法的测试区段不能有车行横洞或人行横洞；

10 地震波反射法的实施应符合有效地激发与接收弹性波的基本原则，原则上地震波反射法测试不在 IV、V 级围岩中进行。

5.4.4 预报距离与数据采集应符合下列规定：

1 在软弱破碎地层或岩溶发育区，一般每次预报距离应为 100m 左右，不宜超过 120m；

2 在岩体完整的硬质岩地层每次可预报 120~150m，但不宜超过 160m；

3 城市地下工程位于曲线上或坡度超过百分之十时，预报距离不宜太长；

4 记录首波（即由震源产生的直达波）中纵波与横波的同相轴应具有清晰分离的特征，应依据记录上的同相轴判断纵波与横波的速度，干扰背景不应影响初至波时间的读取和波形的对比；观测系统参见本文件附录 E 的规定进行布置；

5 地震波激发应在注水的条件下采用炸药激发；

6 数据采集时应尽可能减少城市地下工程内其他震源震动产生的地震波、声波的干扰，并应采取压制弹性波、声波干扰的措施；

7 采集地震波记录时，应满足激发与接收同步进行的条件，接收延迟误差不应大于 3 毫秒；每次探测采集的有效地震波的道数宜在 18~24 道，不应小于 18 个有效道，如有工作道不正常，则应重新进行数据采集；

8 弹性波接收装置应与城市地下工程围岩直接或者间接牢固接触，接触位置应与围岩完全凝固耦合；

9 上下台阶法开挖城市地下工程，当台阶长度大于 65m 时，可在上台阶上开展测试工作，当台阶长度小于 10m 时，可在下台阶开展测试，当台阶长度介于两者之间时，原则上不再适合地震波法测试，如果要开展地震波法测试，激发孔和接收孔应高于下台阶至少 1m；

10 地震波反射法连续预报时，前后两次预报区段重叠长度不应少于 10m；

11 地下工程坡度超过千分之五时（包括斜井段施工），激发孔和接受孔的布设须与城市地下工程坡度相同。

5.4.5 资料整理应符合下列规定：

- 1 干扰背景不应影响初至时间的读取和波形的对比；
- 2 反射波同相轴必须清晰；
- 3 不工作道应不超过 4 个，且不连续出现；
- 4 地震波反射法质量检查记录与原观测记录的同相轴应有较好的重复性和波形相似性；

5 数据质量合格的标准：记录首波（即由震源产生的直达波）中纵波与横波的同相轴应具有清晰分离；记录信噪比高，波信号清晰；

6 数据质量不合格的标准：记录首波（即由震源产生的直达波）中纵波与横波的同相轴应没有分离；信噪比低，干扰波严重影响到预报范围的波。

5.4.6 资料的解释应符合下列规定：

- 1 处理前应剔除不符合记录要求的地震道数据；
- 2 采用计算机对反射波特征明显、信噪比高、同相轴清晰、的地震道数据记录进行相位追踪对比；

3 根据波视速度的差异，确定反射界面在城市地下工程轴向前方的距离、位置、规模，反射界面与洞轴方向的夹角；

4 依据时间剖面图、瞬时振幅图，结合地质资料进行分析，对比和追踪波组的相似性、波振幅的衰减程度、振动的同相性和连续性等特征，判释和确定反射波组对应的层位、被测地质体的接触关系、构造形态等；

5 在软弱破碎地层或岩溶发育区，每次预报距离；

6 在岩体完整的硬质岩地层，每次预报距离；

7 城市地下工程位于曲线段施工时，预报距离。

5.4.7 报告编制主要包括下列内容：

1 城市地下工程工程概况、城市地下工程地质概况、物探工作概况等；

2 探测开挖工作面地质编录；

3 运用的物探方法原理及采用的仪器设备、具体仪器型号等；

4 超前预报工作的实施、观测系统、采集方法、数据质量等；

5 数据处理：采用的软件及处理流程、参数选择说明、处理成果及质量评价等；

6 资料分析与判释，附上相应的地震波反射法成果图件；

7 结论和建议：结论中应详细阐述所预报洞段围岩地质条件，尤其是影响施工方案调整、具有安全隐患的地质条件，根据不同的围岩条件逐段对围岩级别进行预判；建议中应对所预报洞段提出相应的支护类型和参数，对具有安全隐患的地质体，给出合理的处理方案以及施工中应注意的问题；

8 其他需要说明的问题。

5.5 瞬变电磁法

5.5.1 瞬变电磁法可用于开挖工作面前方或下方中距离范围内不良地质预报，尤其适用于探测充填断层破碎带、充水溶洞等良导体的存在，探测对象应具有可被探测规模。

5.5.2 瞬变电磁法距离应符合下列规定：

1 在岩体完整、构造简单的硬质岩地层，一般每次预报距离宜在60m~80m 范围内；

- 2 在软弱破碎地层，一般每次预报距离宜在 40m~60m 范围内；
- 3 连续预报时相邻两次预报范围的搭接距离应大于 20m。

5.5.3 仪器的技术指标应符合下列要求：

- 1 A/D 转换器不低于 24 位；
- 2 动态范围不低于 120dB；
- 3 仪器发射频率可调，备选频率个数不应低于 4 个；
- 4 电流关断时间不应大于 20 μ s，发射电流不应小于 3A；
- 5 发射波形应稳定，电流平台波动幅度不应超过 5%。

5.5.4 观测系统布置应符合下列要求：

- 1 应根据现场条件和探测要求确定发射线框面积和发射频率，参见本文件附录 F；
- 2 重叠回线装置应采用线圈接收，中心回线与多点阵列式装置应采用探头接收，多点阵列式应在发射线圈内部均匀布设多个探头；
- 3 发射线框发射面积应固定，采用硬支架方式；
- 4 发射线框移动位置应精确，采用固定标尺底座控制发射线框移动；
- 5 采用中心回线测量时，应采用支架固定，保障测量探头位于线框中心。

5.5.5 现场工作应符合下列规定：

- 1 探测前应开展现场试验，对环境噪声的强度进行评估，并根据现场情况和预报需要，选择合适的频率和叠加次数；
- 2 现场数据采集前，大型金属设备应远离掌子面不得少于 15m；
- 3 数据采集过程中金属、磁性物体不应接近线框；
- 4 使用磁探头时，其方向应与发射线框的法线方向一致；
- 5 瞬变电磁宜采用收发一体、带屏蔽的仪器设备。

5.5.6 数据采集应符合下列规定：

- 1 数据采集前，应对探头的重复性进行检查；
- 2 在每次供电激发后，应检查观测数据质量；

3 应根据接收曲线光滑程度判断叠加次数，根据信号的强度确定发射频率、延长/缩短采样时间判断采集数据是否完整；

4 应根据记录特征，分析存在的噪声干扰类型，采取干扰源控制措施；

5 对质量不合格的电磁记录，应重新测量；

6 原始记录上不应有强烈的干扰背景，衰减曲线应完整光滑；

7 现场采集数据的质量检查应采用重复观测方式，检查量不应小于总工作量的 5%，且检查量不少于 2~3 点，复测记录应无明显变化及异常。

5.5.7 资料整理与解释应符合下列规定：

1 应根据现场采集数据的质量及解释的需要，选择处理方法和步骤；

2 对于原始数据，应首先进行饱和段数据切除；

3 对于偶然的数据跳变，采取人工手动修正或滤波算法对数据进行必要的预处理；

4 对于受到线圈互感影响的，应根据线圈匝数进行前期矫正工作；

5 对于曲线总体的衰减趋势进行统计，可用晚期道的时间常数进行评估，比较相邻测点间的连续性。

5.6 孔中物探法

5.6.1 孔中物探法可用于探查开挖工作面前方或下方的地质构造、裂隙带、破碎带、溶洞溶隙以及地下水等不良地质的发育、分布及连通性，包括利用开挖工作面前向水平钻孔开展孔中物探方法和利用地表垂直钻孔开展的地表孔中物探法。

5.6.2 孔中物探法包括孔间电阻率层析成像法、孔间雷达法、孔间电磁波法、单孔雷达法、孔中瞬变电磁法等，应根据地质条件和探测任务选择具体方法，确定观测装置及工作参数。

5.6.3 应用条件应符合下列要求：

1 探测目标体与周围介质间应存在明显电性、磁性或弹性差异；

2 探测目标体应具有可被探测规模；

3 钻孔内壁应保持光滑，不塌孔，破碎围岩中钻孔完整性应不影响探测条件。

5.6.4 现场工作应符合下列规定：

- 1** 钻孔应指向掌子面前方，钻孔后方应留有足够的仪器操作空间；
- 2** 钻孔（套管）内径不小于 75mm，孔深不小于钻孔间距的 1.5 倍；
- 3** 探测前应进行探孔；
- 4** 进行数据采集时，应同步记录仪器孔中部分的深度信息；
- 5** 进行连续孔中探测时，仪器孔中部分的递送与收回速度应保持恒定。

5.6.5 资料处理与解释应符合下列规定：

- 1** 应结合地质、钻探等已有资料，对孔中探测数据进行处理与解释；
- 2** 采用多种方法对相同钻孔进行孔中探测时，应联合多种方法探测成果进行综合解释。

5.6.6 孔间电阻率层析成像法应符合下列要求：

- 1** 仪器应具有采集、显示和存储数据功能，具有对电缆、电极接地、系统状态、电压可调和参数设置的监测功能；
- 2** 应具有朝向掌子面前方的两个或多个钻孔，钻孔形成的探测剖面或探测空间应位于城市地下工程掌子面前方主要探测区域内；
- 3** 孔间电阻率层析成像法的观测系统应根据探测任务要求和测区电性条件等实际情况和经验进行设计（参见附录 G）；复杂条件下，应采用多种观测系统，但不得相互替代观测数据；
- 4** 探测前应先检查孔壁、孔深，钻孔应用清水循环冲洗；
- 5** 应使用非金属材质的套管和电缆递送杆，非金属套管应密布小孔，以使管内孔液与管外孔液导通；
- 6** 向钻孔内灌注孔液时，应注意孔口的密封，保证探测时孔液稳定充填，为孔中电极提供良好的耦合条件；
- 7** 应记录钻孔的倾斜方位和顶角、电缆的递送和安装情况，待电缆送入钻孔并稳定后做固定的深度标记，记录和换算孔中每个电极点的空间坐标；
- 8** 应在极化稳定和建立恒稳电场后，测试孔中电极的接地电阻，接地电阻值一般小于 $2\text{k}\Omega$ ；

9 现场观测时，应绘制孔间电阻率层析成像观测系统空间布置图，记录现场条件，并应注明特殊环境因素；

10 应采用反演成像方法计算获得孔间电阻率分布；

11 资料分析和解释应根据不同介质的电性特征及变化规律，结合相关资料和工作条件，分析和判断目标异常，确定异常体的性质、位置和规模等；

12 数据预处理时，可进行数据平滑、滤波处理；

13 对于数据突变点、畸变点，可结合相邻测点数值进行修正；

14 可采用光滑约束反演、结构约束反演、多尺度反演等方法处理孔间电阻率数据；

15 对于连续监测的数据集，宜采用时移反演或四维电阻率反演方法处理；

16 成像的影像宜采用伪彩色色块、等值线方式。

5.6.7 孔间雷达法应符合下列要求：

1 孔间雷达法探测对象应具有可被探测规模，且与周围介质间应存在明显的介电常数或电导率差异；

2 应使用收发分离式天线，发射与接收天线的工作频率应保持一致，仪器 A/D 转换精度应不小于 16 位，动态范围应不低于 100dB；

3 收发天线应具有深度测量功能，分辨率不应小于 0.1m，且接收天线应具有自动深度记录功能；

4 探测前应确认钻孔通畅，仪器工作正常，孔中探测部分水密性良好；

5 探测前应测量两个钻孔的间距、夹角；

6 应根据被测环境衰减情况和分辨率要求合理选择孔中天线频率；当探测条件复杂时可选择两种或两种以上不同频率的天线进行探测；

7 应根据天线频率和两孔间距合理选择时间窗口和采样间隔，并根据数据采集效果及时调整工作参数，探测时应观察到较为明显的直达波信号；

8 应使用非金属材质的递送杆进行天线递送；

9 探测时应首先固定发射天线位置，沿钻孔方向移动接收天线，直至无法观察到较为明显的直达波信号为止；然后移动发射天线至下一发射位置，继续按上述说明移动接收天线；

10 探测时接收天线保持匀速运动，并与仪器的扫描速度相匹配；

11 应输入现场采集参数，包括探测深度、两孔间距、工作频率和收发天线位置间距等；

12 应剔除不合格的数据道；

13 应结合介电常数分布、电导率分布、钻孔柱状图、地质条件、介质电性特性、和已知干扰等信息对不良地质体的属性和位置进行综合分析；

14 可采用频率域滤波、时间域滤波等技术手段降低干扰；

15 可采用图像增益等技术增强雷达图像；

16 可通过层析成像或全波形反演技术获取两孔之间的介电常数分布和电导率分布情况。条件允许时，宜采用携带约束的全波形反演技术。

5.6.8 孔间电磁波法应符合下列要求：

1 孔间电磁波法探测对象应具有可被探测规模，且与周围介质间应存在明显的介电常数或电导率差异；

2 应选用电磁波透视仪，工作频率应具有一定可选范围，且频率稳定；接收机输入端噪声水平不宜大于 $0.2 \mu V$ ；接收机测量范围宜为 20dB~140dB，动态范围不宜小于 100dB，测量允许偏差为 $\pm 3dB$ ；

3 应配备 1MHz~64MHz 不同主频的系列天线，发射与接收天线应具有良好的绝缘性和密封性，发射机的发射功率不应小于 10W；

4 应具有朝向掌子面前方的两个或多个钻孔，钻孔形成的探测剖面或探测空间应位于城市地下工程掌子面前方主要探测区域内；

5 探测前应确认钻孔通畅，仪器工作正常；

6 探测前应测量两个钻孔的间距、夹角；

7 应选取不少于两个发射频率和相应的天线进行全孔段同步观测，选择观测数据不小于 110dB 时的最高频率为工作频率；

8 应根据周边介质吸收系数，探测目标体规模，两钻孔间距等合理选择工作频率、时间窗口和测点间距，测点间距不宜大于 1m，可根据目标体尺寸、分辨率要求加密点距，探测时应观察到较为明显的直达波信号；

9 应使用非金属材质的递送杆进行天线递送；当仪器距孔口或洞口较近时，应用金属板将洞口、孔口进行封闭；

10 一般先进行水平同步和斜同步观测，当现场观测发现异常或观测值发生畸变时，应重复观测和加密观测；

11 点扇形扫描探测时，应首先固定发射天线位置，沿钻孔方向移动接收天线，直至无法观察到较为明显的直达波信号为止；然后移动发射天线至下一发射位置，继续按上述说明移动接收天线（参见附录 H）；

12 探测时接收天线保持匀速运动，并与仪器的扫描速度相匹配；

13 应输入现场采集参数，包括探测深度、两孔间距、工作频率和收发天线位置间距等；应建立坐标系，将各测点的发射点与接收点转换为成像剖面的二维坐标，并与相应的观测数据建立数据文件；

14 对数据应按成像计算格式要求进行整理、编辑、剔除坏值等预处理；

15 应根据地质资料、物性参数、观测系统、成像精度、分辨率和任务要求选择和建立数学物理模型；网格单元尺寸不应小于测点间距；

16 应结合钻孔柱状图、地质条件、介质电性特性和已知干扰等信息对不良地质体的属性和位置进行综合分析。

5.6.9 单孔雷达法应符合下列要求：

1 单孔雷达法探测对象应具有可被探测规模，且与周围介质间应存在明显的介电常数或电导率差异；

2 单孔雷达仪器发射与接收天线的工作频率应保持一直，仪器 A/D 转换精度应不小于 16 位，动态范围应不低于 100dB；

3 收发天线应具有深度测量功能，宜具有定向发射或定向接收功能；

4 应具有朝向掌子面前方的至少一个钻孔，探测前应确认钻孔通畅，仪器工作正常，孔中探测部分水密性良好；

5 应记录钻孔的倾斜方位和顶角，利用测距轮记录天线进入孔中的深度，记录和换算孔中每个探测位置的空间坐标；

6 应根据被测环境衰减情况和分辨率要求合理选择孔中天线频率；当探测条件复杂时可选择两种或两种以上不同频率的天线进行探测；

7 应根据天线频率和目标探测深度合理选择时间窗口和采样间隔，并根据数据采集效果及时调整工作参数，探测时应观察到较为明显的直达波信号；

8 应使用非金属材质的套管，并使用非金属材质的递送杆进行天线递送；

9 探测时应固定发射天线和接收天线间距，沿钻孔方向移动收发天线对，直至探测完成整个钻孔；

10 探测时接收天线保持匀速运动，并与仪器的扫描速度相匹配；

11 应输入现场采集参数，包括探测深度、工作频率和收发天线间距等；

12 应剔除不合格的数据道；

13 应结合钻孔柱状图、地质条件、介质电性特性和已知干扰等信息对不良地质体的属性和位置进行综合分析；

14 可采用频率域滤波、时间域滤波等技术手段降低干扰；

15 可采用图像增益等技术增强雷达图像；

16 可通过多钻孔单孔雷达探测结果联合解释来确定异常体方位角。

5.6.10 孔中瞬变电磁法应符合下列要求：

1 孔中瞬变电磁法预报对象应具有可被探测规模，且与周围介质间应存在明显的电磁特性差异；

2 主机应具备信号数字化处理功能和存储功能；

3 接收探头应具有三分量测量功能和深度记录功能；

4 电磁发射线圈应布置于待测钻孔孔口平面；

5 电磁发射线圈平面应与待测钻孔垂直，待测钻孔轴线应与线圈轴线重合；

6 探头应置于待测钻孔孔口，依次向孔底推进；

7 发射线圈应为发射阶跃波形脉冲信号的多匝小回线装置；

- 8 应参见本文件检查数据质量；
- 9 应输入测点深度、间距以及发射信号频率等预报参数；
- 10 应绘制不同发射信号频率下的衰减电压图；
- 11 多个探测孔时，应通过多个钻孔的孔中瞬变电磁预报结果联合解释。

5.7 高分辨直流电法

5.7.1 高分辨直流电法可用于探测任何地层中存在的地下水体位置及相对赋水量大小，如断层破碎带、溶洞、溶隙、暗河等地质体。

5.7.2 应用条件应符合以下要求：

1 开展高分辨直流电法应具备以下工作条件：目标体与围岩之间存在较明显的电阻率差异；目标体有一定的规模和合适的埋深，能实测到其可靠异常；目标体异常能从干扰背景中分辨；具备必要的地形条件和接地条件；

2 不宜开展高分辨直流电法工作的情况如下：接地严重困难，弃点、废点过多；地电断面中存在强烈的电性屏蔽层；存在无法压制的工业游散电流等电噪音干扰；地形切割剧烈或水系发育等。

5.7.3 现场踏勘应符合下列规定：

1 踏勘原则：方法有效性和可行性已明确的测区，可不开展现场踏勘；方法有效性或可行性存疑的测区，应进行现场踏勘；

2 了解测区的地形、地貌、植被、通视、通行、交通运输和通讯等工作条件；

3 核实可供利用的地质工程点、测绘控制点标志、以往的物化探测网及异常标志等；

4 了解地质情况，侧重了解勘察目标和围岩的分布情况，现场测定电性参数或采集电性标本；

5 落实所有预布置测线施工的可行性或可行的调整方案；

6 实测测区的人文电噪音水平与特点；

7 了解在测区开展勘察活动时的人文环境与地方性法规等；

8 方法有效性和可行性基本具备，可转入设计编写阶段；

9 方法有效性存疑时，应开展专门的方法有效性试验；

10 当目标体与围岩电阻率差异不明显，或实际探测深度达不到要求或因人文干扰、通行条件导致数据采集工作不可行时，不宜开展此项工作。

5.7.4 测区范围应符合下列规定：

1 测区范围应依据工作任务及测区的地质条件确定，范围应包括目标体的异常分布区域，且适当扩延至背景区，以能较完整地反映异常为原则；如施工过程中发现设计范围内的异常不封闭，可申请外扩测区范围；

2 当相邻区域曾进行过电阻率测深工作，应使一部分拟设计的测深点与已知测深点重合；

3 确定测区应考虑地形、地貌，并兼顾施工方便，力求资料完整和测区形态规整。

5.7.5 测线方向应符合下列规定：

1 测线应垂直于探测目标体走向且宜与勘探线重合；查证物化探异常时应垂直于待查证异常的走向；目标体走向非单一时，垂直于主目标体或主构造走向，必要时也可分段控制；

2 对于走向近乎垂直的两组探测目标体，必要时应分别布置垂直于两组走向的测线；

3 为了解目标体沿走向的断面电阻率特征时，测线可沿目标体走向布线；

4 线路工程勘察中的测线多沿线路布线，测线方向与线路一致；

5 在施工过程中，当发现测线方向不合适时可申请调整设计。

5.7.6 装置选择的原则应符合下列规定：

1 根据勘察任务、目标体形态特征、地电条件、场地范围、地形情况、纵横向分辨率要求和干扰情况等因素合理选择；

2 在探测缓倾斜层状目标体时，宜选用对称四极或赤道偶极装置；

3 在探测局部目标体（二维、三维目标体）时，宜在单侧三极、三极联合、轴向偶极等装置中选用；若异常体的产状未知或多变，宜采用三极联合装置。

5.7.7 电极距选择的原则应符合下列规定：

1 应完整控制探测目标，最小电极距可获得被测目标顶部以浅的围岩信息，最大电极距能探测到被测目标底部以深的围岩信息；

2 所选电极距系列的间隔应合理，对应目标探测深度区间应有足够多的电极距；

3 每个电极距应能观测到足够大的有效信号。

5.7.8 电极排列方向应满足下列要求：

1 测深点的电极排列方向应大体相同；

2 宜与电测深剖面方向一致；

3 探测电阻率各向异性时，应设计一定数量的十字电阻率测深点；

4 探测倾斜或垂直分界面时，可布成平行与垂直于界面两个方向。

5.7.9 电阻率参数测定方法应按下列原则选择：

1 电阻率参数测定应覆盖测区内主要地层、岩性和探测目标体的岩性，选用露头法为主，无露头条件时可选用标本法；

2 选用标本法为主的测区存在露头时，还应选择有代表性的露头进行测定；

3 只要条件具备，应利用电测井或井旁测深方法获得电阻率参数。

5.7.10 数据采集应符合下列规定：

1 现场采集数据时应布设 3 个以上的发射电极，进行空间交汇，区分各种影响，并压制不需要的信号，突出城市地下工程前方地质异常体的信号；

2 开机检测仪器是否工作正常；

3 发射、接收电极间距测量准确，偏差应小于 5cm；

4 无穷远电极应大于 4~5 倍的探测距离；

5 发射、接收电极接地良好；

6 电池电量充足；

7 数据重复测量误差应小于 5%，否则应检查电极和仪器电源是否正常、工频干扰是否过大等；

8 高分辨直流电法有效预报距离不宜超过 80m，连续探测时前后两次应重叠 10m 以上；

5.7.11 资料处理、分析与解释应符合下列规定：

1 资料处理应使用仪器配套的处理软件系统；在数据处理过程中，应采用增加有效信号、压制干扰信号等手段提高信噪比，使视电阻率等值线图能够清晰成像；

2 地质异常体（储、导水构造）判断标准应以现场多次采集分析验证的数据为依据，总结规律，找出隧址区异常标准值；

3 高分辨直流电法预报应编制探测报告，内容包括探测工作概况、地质解析结果、视电阻率等值线图。

5.8 微动探测法

5.8.1 微动探测法可用于城市地下的地层结构、断层、孤石、溶洞等不良地质体的探测可用于。

5.8.2 仪器的技术指标应符合下列要求：

1 应选用微动探测专用仪器，不宜采用锤击、电火花或爆炸等人工源作为激发震源的工程地震仪；

2 仪器符合一致性要求；

3 拾震器宜采用速度型传感器，电压输出灵敏度 $\geq 2\text{Vcm/s}$ ，固有频率应满足勘探深度要求，自重 3~5kg；

4 模/数转换不宜低于 24 位，采样时间间隔 $\leq 10\text{ms}$ ，动态范围不宜小于 128d；

5 仪器折合到输入端的噪声水平应低于 1μ ；

6 各台站（记录仪）间的时间同步误差小于 0.5 个采样间隔；

7 记录仪连续工作时长不宜低于 24 小时；

8 仪器设备的防水等级在 IPX4 以上，避免观测期间突然下雨导致仪器出现故障；

9 现场实测施工前，同一台阵的观测仪器应进行一致性测试；只有一致性测试结果达标才能正式开始施工；

10 将全部仪器放置在同一场地，同步采集 10~20min 的微动数据；计算微动数据的功率谱、功率谱之比、相干系数和相位差；在有效的工作频率范围内，仪器的一致性应优于 95%；

11 日常施工过程中，每天对实测微动数据进行波形回放，检查仪器是否具有较好的一致性。如出现波形异常，应重新进行仪器一致性测试。

5.8.3 数据采集应符合下列规定：

1 仪器放置到勘探点/观测点位，拾震器调平放稳，应与地面保持最佳的耦合状态；

2 台阵中各台仪器应都设置好、进入正常工作状态后，才能开始采集数据，每个勘探点采集时长 15~30min；微动采集时长与观测台阵形式、勘探深度和噪音环境有关；

3 详细记录仪器采集参数设置和野外现场工作环境，应字迹清楚，不应出现涂改；

4 仪器进入正常工作状态后，应保持周围环境相对安静，尽量避免人为振动干扰；

5 收工后应及时读取当天采集微动数据，检查确认采集数据是否有效，并存盘备份；

6 为保证现场数据采集质量，采取任务分解、责任落实到专人的质保措施，施工过程中宜建立“自检、互检及抽检”的三级质量监管、保障体系；

7 每天现场数据采集工作完成后，现场技术人员应对当天施工质量实测数据进行“自检”；

8 回放微动波形记录，检查实测数据质量；若发现异常波形，达不到质量要求，应重新补测；

9 对微动数据进行初步处理，检查中间结果（如 SPAC 系数）是否符合要求；若不符合要求，应重新补测；

10 现场项目组成员应对当天现场工作质量的“互检”；确认初步检查结果正确与否；对每个勘探点的原始记录质量进行评级；按技术要求每天填写现场

施工班报、质量自检、互检表；保存和备份原始数据；现场原始资料（班报、质量自检、互检表等）交项目组专人保管；

11 项目负责人应不定期抽检，对项目组现场组织、生产管理、安全措施等情况进行全面检查，重点检查观测数据质量，以确保全部观测数据合格、可靠有效；

12 实测数据应随机抽样复测检查；对每条测线随机抽取部分勘探点进行重复观测，以检验观测数据的可重复性；抽样复测率不宜少于总勘探点数的5%；

13 对以上各项质量检查、监管中发现的施工质量、组织及安全等问题，都应及时通知项目组整改。确保现场采集的微动数据合格率达100%，优良率达到95%以上。

5.8.4 资料整理应包括下列内容：

- 1** 项目施工方案（含施工实际材料图）；
- 2** 现场工作总结（验收）报告；
- 3** 实测数据，包括：仪器一致性测试数据及结果，实测微动数据，测点施测资料（测点坐标、高程数据）；
- 4** 现场工作原始资料，包括：现场工作班报；现场工作质量自检、互检表；
- 5** 其它与项目相关的资料。

5.8.5 数据处理应符合下列规定：

- 1** 微动数据处理包括微动测深法、二维微动剖面法及微动谱比法（H/V法）三大类；微动数据处理软件应具有瑞雷波频散特性分析、频散曲线反演、速度剖面成像和微动谱比计算等功能；
- 2** 微动测深法数据处理包括瑞雷波频散特性分析、频散曲线正反演，可以获得地层介质分层结果（地层S波速度结构）；
- 3** 瑞雷波频散特性分析方法包括空间自相关法（SPAC法）、扩展空间自相关法（ESPAC法）和频率-波数法（F-K法）；本规范推荐使用SPAC法/ESPAC法；

4 SPAC 法/ESPAC 法的计算步骤为空间自相关系数计算、频散曲线提取和 S 波速度估算。

5.8.6 资料解释应符合下列规定：

- 1 尽可能收集已知地质、钻孔和其它物探资料，从已知到未知；
- 2 定性解释：参考剖面附近的钻探资料，以微动剖面 V_x 速度变化特征为主要依据，追踪、勾画出岩性界面；分析视 S 波速度 (V_x) 剖面特征，依据 V_x 剖面的背景值、速度及其梯度变化等综合因素，识别并勾画圈定速度异常的范围；再对速度异常进行地质解释，判断断层破碎带、岩溶、软土、采空区等不良地质现象，确定它们的位置及形态；
- 3 定量解释：尽可能利用测线上/测线旁钻探资料对剖面进行标定，以提高确定界面深度的精度；总结测区岩性与 V_x 的关系，对速度异常做出地质解释，精确勾画出地质异常体的边界，对分布范围、形态做出定量解释；测区多条测线成果资料的综合解释，确定探测对象的空间分布范围。

5.8.7 成果报告编写及归档应符合下列规定：

- 1 按要求编写“成果报告”；
- 2 成果报告应内容全面、结构完整、重点突出、文字简明、图件齐全、结论明确、建议合理。
- 3 报告评审需提交的成果资料：项目合同；项目施工设计；现场工作总结报告；成果报告（含各项成果图件）；
- 4 资料归档：实测数据类（测点坐标，实测微动数据）；中间资料（施工方案、工作总结报告及相关资料）；成果资料类（成果报告，含成果图件）；技术管理文件类（招标文件、中标通知书、项目合同、任务书、工作方案评审意见书、野外工作验收意见书、成果报告验收意见、验收人员名单等）。

5.8.8 项目委托方应对现场工作的设计、施工、组织管理及实际完成情况进行验收评价，形成验收意见。

5.9 激发极化法

5.9.1 激发极化法可用于探查隧道掌子面前方含水异常等地质情况，其探测对象应具有可被探测规模，且与周围介质间应存在明显的电阻率和极化率差异。

5.9.2 仪器的技术指标应符合下列要求：

- 1 发送设备一般有大功率（ $>20\text{kW}$ ）、中功率（ $5\text{kW}\sim 20\text{kW}$ ）和小功率（ $<5\text{kW}$ ）之分；
- 2 勘探深度较大（ $\geq 150\text{m}$ ）、地表接地条件差或低阻背景分布区，宜选用中、大功率发送设备；
- 3 勘探深度不大（ $<150\text{m}$ ）、中高阻背景分布区，可选择中、小功率发送设备；
- 4 对于短导线工作方式而言，应尽可能选择使用具备“GPS 授时同步”，或者“钟控同步”功能的时间域激电仪，不宜选择使用“找 ΔU_1 升（降）沿同步”的时间域激电仪；
- 5 在同等情况下，尽可能选择观测精度高且性能稳定的仪器设备。

5.9.3 应用条件应符合下列要求：

- 1 目标体与围岩之间有明显激发极化性质差异，且目标体的规模和埋深适当，能够在地表引起可测量能分辨的异常；
- 2 人为电干扰强度不大，目标体异常能从背景或干扰中分离出来；
- 3 当存在干扰体时，能用物化探、地质方法区分异常的性质或能减少异常多解性；
- 4 具备必要的地形条件、接地条件。

5.9.4 数据采集应符合下列规定：

- 1 短导线工作方式，一般采用双向短脉冲供电，读取参数为 ΔU_1 （或 ΔU ）和 ηS ；
- 2 长导线工作方式，可采用双向短脉冲或长脉冲供电，读取参数为 ΔU_1 （或 ΔU ）和 ηS ；
- 3 应供大电流（一般不小于 1A ）激发；
- 4 使用“找 ΔU_1 升（降）沿同步”的仪器系统，一般要求一次场 ΔU_1 或 ΔU ） $\geq 5\text{mV}$ （有干扰时应明显大于干扰强度，且不低于 10mV ）；使用“其

它方式同步”的仪器系统，一般要求一次场 ΔU_1 ，（或 ΔU ） $\geq 3\text{mV}$ （有干扰时应明显大于干扰强度，且不低于 6mV ）；观测系统布置应符合本文件附录 I 的规定；

5 ΔU_2 一般要求大于 0.3mV ；在干扰较小的地区，应大于 1mV ；在明显干扰的地区， ΔU_2 宜大于干扰信号幅度的 3 倍；

6 选择二次场多块采样输出模式，固定仪器内设叠加次数为 1 次，进行多次观测；当出现两次观测值满足衰减规律（即 $\eta S_1 > \eta S_2 > \eta S_3 > 0$ ）且首块极化率值相近时，即为合格数据；两次首块极化率值相近指的是当 $\eta S_1 > 3\%$ 时，两次观测值的相对误差 $\delta \leq 20\%$ ； $\eta S_1 \leq 3\%$ 时，两次差值的绝对值 $\Delta \leq 1\%$ ；

7 相邻点视极化率值突变、仪器读数不稳或显示出超差等错误指示信息时，应分别检查仪器及其外部回路是否存在问题，观测周围是否存在人文干扰因素，并采取重复观测等措施以查明原因；必要时，应逐点回测至与 3 个正常点的观测值相符或相近；

8 参与平均的一组 ηs 中，最大值与最小值之差与其平均值之比不得超过 $\sqrt{2n}\epsilon$ ，在需要用均方误差衡量观测质量的地段，最大值与最小值之差不得大于 $\sqrt{2n}\epsilon$ （ m 、 ϵ 分别为设计观测均方相对误差与均方误差， n 为参与平均的观测次数）；

9 误差过大舍去的次数应少于总观测次数的三分之一（因某些故障或突然性干扰影响而中断的观测，不作舍数计算）；若超限的观测数据过多，应停止观测，进行检查和处理；

10 对重复观测的有效数据计算算术平均值，并作为该观测点最终的基本观测数据。

5.9.5 资料处理、分析与解释应符合下列规定：

1 数据处理应有明确的针对性，一般用于滤除干扰，确保处理后有用信息的高保真度；

2 分析、利用已有资料，包括地质、地形、综合物化探和前人推断的成果及其依据；

3 分析资料的可用性；对资料完整性有缺陷的，必要时应进行补充采集；

4 每个异常均需进行定性解释，异常定性应力求减少多解性；

5 解释推断的重点是任务书和设计中明确的探测目标体，凡推荐验证的异常，其解释推断须精细；

6 凡需图示的推断成果，均应进行定量反演，对异常源几何与物性参数的反演力求准确；

7 避免欠推断与过度推断；

8 定性解释、定量反演结果均应经另一人独立重新解释推断复核；

9 分析异常间的相关性并与地质、其它物化探资料进行综合，作出全测区目标体分布特征的地质推断解释。

5.9.6 编制成果报告应包含以下内容：

1 项目来源、工作性质、目的任务、完成情况；

2 测区概况和以往工作评价；测区的地质特征及电性特征；

3 目标体和干扰体的识别特征；产生异常的其它地质原因等；

4 时间域激电、测地测区布置；野外方法技术；资料处理和测深剖面（或三维观测数据）反演方法技术及其质量检查结果与可靠性评价等；

5 解释推断的方法；测区背景区确定、异常划分和背景区地质解释推断的依据与结果；解释推断结果的可靠性分析等；

6 结论与建议：对照本项目的地质任务，对激电勘察成果给出明确的地质结论并进行评价，对取得的其它成果给出结论和说明，对未解决或未肯定的地质问题及原因予以说明。具体提出测区内进一步地质、物化探及异常工程查证工作的建议，说明这些工作的意义、任务、范围、配合程序及应注意的问题。

5.9.7 仪器使用维护应符合以下要求：

1 主要仪器和设备均应建立使用档案，并随同仪器保存；

2 所有仪器设备应按操作规程和其说明书使用，及时维修保养；

3 主要仪器设备应由专人分工保管和使用，人员变动时，交接双方应共同对仪器设备进行鉴定并办理交接手续；

4 仪器及发电机等设备均应定期检查和维修在使用和运输过程中，应注意防潮，防震，防曝晒和防冻裂工作完毕，应及时把所有开关或旋扭恢复到非工作状态，水冷引擎冬季应注意防冻；

5 仪器设备的历次检查，维修要详细载入档案，仪器性能鉴定情况应同原始材料一起提交有关部门审验；

6 仪器设备发生重大故障后，经检修，鉴定和记录在案，方可用于生产；

7 在长途运输或长期存放前，应对仪器设备进行检修，维护及妥善包装仪器内部的一次性电池应取出，若为可充电电池则应根据厂家要求定期充电；

8 用可充电电池作仪器电源时，工作前应检查电池电压是否满足当天工作时间要求，禁止在电压不足的情况下工作；

9 操作人员必须详细阅读仪器说明书，了解仪器的工作原理并掌握仪器的正确使用方法；

10 工作前应先低压“预热”，工作正常后再转换到高压档工作；

11 发送机工作时，电流与电压不得超过仪器额定值；

12 对于具有多个手动电压档的发送机，在执行换电压档操作前，应确认发送机处在非供电的状态，有特殊要求的发送机还应按要求在关闭高压并等待确认电压为 0 伏或小于 10 伏后进行；

13 仪器保险丝应按允许电流选用，不得用高熔点导线代替；保险丝烧断后，应查明原因，排除故障后方可更换；

14 发送机应在通风，避雨和遮阳处工作；

15 在进行标本，露头物性测量和小极距测深时，总场电位不得超过仪器的最大测程；

16 用镉镍电池或锂电池作仪器电源时，工作前应充足电，工作时注意电池电压是否满足要求，禁止在电压不足的情况下工作；

17 如暂停观测时间较长，应及时切断仪器电源；

18 如仪器带有拨盘开关，应尽可能减少拨动次数；

19 仪器出现错误指示或故障时，如仪器是智能式的，并自带检查程序，操作员可在现场按检查程序检查仪器，但不得在野外打开仪器进行检修；

20 仪器检修时应关机，焊接时应切断烙铁电源；

21 应绝缘良好，避免机械损伤，使用期间应定期检查及时修补；

22 长期存放或长途运输前，应将潮湿导线及时晾干；

23 新的或生产用的导线，不得剪断移作它用；

24 用干电池或锂电池作供电电源时，连续的供电电流不得超过电池额定的最大放电电流；需要大电流时，应用多组电池并联；并联电池的彼此电压不得超过百分之五，内阻差不得超过百分之二十，停止用电后，应将电池与外部联线断开；

25 用发电机作供电电源时，应配有可调的平衡负载，禁止空载或超载，工作时应随时注意其运转是否正常；

26 整流器的工作电流与电压不得超过额定值，禁止过载工作，其工作频率应与发电机输出相数和频率一致，波纹系数应小于 3%；

27 各种电源均应避免受潮或过热；在严寒季节工作时应采取防冻措施；

28 金属电极应经常保持表面清洁无锈，用多根电极作供电电极时，应用裸导线连接；

29 当采用 Cu-CuSO₄ 液态不极化电极工作时，应尽量使其不被曝晒，不被雨淋，并保持清洁，注意补充饱和硫酸铜溶液。

5.9.8 技术安保应符合以下规定：

1 野外工作期间，应经常进行安全生产教育；

2 在使用仪器设备时，应遵守有关操作规程规定；

3 所有野外工作人员，应有安全用电和触电后急救的常识，电源和发送机工作人员应着绝缘胶鞋和绝缘手套等防护用品；

4 对供电电流较大的测段或附近有人，牲畜活动的工区，应派专人看守供电电极，巡视供电导线；

5 应在确信供电回路和电极接地均属正常且人员已离开裸露导线和供电电极时方可供电；在未确认停止供电时不得触摸供电电极在发电机停息后方可

通知收线和移动供电电极，在供电回路上有人处理故障时不得供电，即使故障已经排除，也要与处理故障者取得联系并确认后方可供电；

6 雷雨时停止现场工作。

5.9.9 外业异常研究应符合以下规定：

1 在对异常进行分析，研究的基础上，选择推断的重要目标体异常和对推断解释具有代表性的异常进行外业异常研究；

2 外业异常研究通常采用综合剖面测量方式进行，异常研究剖面长度应涵盖异常的整体范围，两侧皆应进入一段背景场；

3 外业异常研究的方法应首选同参数测深类电法；剖面应实测地形，地表地质，物性；一般还应视探测目标体种类进行化探采样；异常定性难度大的应视目标体物性条件增加其他物探方法；为提高异常定量反演的可靠性或加大探测深度，允许采用不同种类（或装置）电法参与异常研究工作；

4 异常研究剖面应绘制地形-地质-物探（化探）综合剖面图；

5 异常研究工作应为全测区异常定性，定量解释推断提供重要依据。

5.9.10 质量评述应结合以下内容：

1 工作方法是否正确，仪器的性能是否符合要求，作业的规范性如漏电检查，重复观测和取数等；

2 质量检查结果及其可靠性（含检查方式的规范性，检查点的代表性，统计计算的规范性，是否存在系统误差等）；

3 可疑点是否都进行了复查；

4 异常的完整性（含丢点情况）；

5 异常研究是否充分；

6 物性工作是否满足要求等。

5.9.11 成果报告编写应符合以下规定：

1 成果报告编写的准备工作应与野外工作同时进行，并有计划系统地收集，整理所需的资料；

2 报告所用资料应是经过质量验收合格的正式资料；

3 成果报告编写应由专人负责，在合同或设计规定的时间内完成，成果报告要全面反映设计书规定的任务完成情况和所取得的成果，附有表示工作情况和成果的图片；

4 应在全面掌握实际资料的基础上，分析，研究，综合，逐步形成有依据且合理的结论；

5 应结合实际情况，合理组织内容与取材，立论有据，观点明确，重点突出，文图呼应，对于重大争论问题，应加以反映；

6 文字报告层次清楚，内容简明扼要，以成果解释推断和工作结论，建议为重点，所用名词，术语，符号，编号，格式等符合标准或规范；

7 插图（表），附图和附表内容力求完整，系统、图表清楚醒目，繁简得当，美观整洁，便于使用。

6 超前地质预报成果报告与应用

6.1 超前地质预报成果报告

6.1.1 超前地质预报成果报告应包括单次预报成果报告、综合分析报告、开挖结果对比反馈报告、月报、年报、竣工总报告。

6.1.2 现场预报工作结束后，应在 24h 内出具预报报告，经校核和审查合格后，应及时提交 给有关各方，并应按有关规定进行归档。

6.1.3 单次预报成果报告内容宜包括下列内容：

- 1** 工程概况，预报时的掌子面里程时，已开挖段落的工程地质与水文地质条件；
- 2** 超前地质预报方法及仪器，观测系统与参数设置、环境干扰情况；
- 3** 数据质量检查与评价；
- 4** 地质分析成果、物探预报分析成果；
- 5** 预报结论及建议。

6.1.4 月报、年报内容应在单次预报成果报告基础上增加当月、当年的预报工作量、预报成果与开挖揭示对比情况、下一步的预报建议等方面内容。

6.1.5 城市地下工程施工超前地质预报竣工总报告应包括下列内容：

- 1** 工程概况；
- 2** 地质概况，包括原有地质资料及施工开挖过程中揭示的不良地质情况；
- 3** 预报方法原理、现场实施、质量控制情况；
- 4** 统计各预报方法实际工作量；
- 5** 预报与开挖揭示对比情况；
- 6** 工作总结分析与建议，包括采用新技术、新设备、新方法的情况。

6.2 超前地质预报成果应用

6.2.1 超前地质预报成果应进行信息化管理并纳入施工工序管理体系，对原始数据及预报成果进行系统、规范管理。

6.2.2 应对城市地下工程掘进情况进行跟踪，对比分析超前地质预报结果与开挖揭示情况并进行管理，提高超前地质预报质量。

6.2.3 当预报结论与开挖揭露结果相符时，沿用原超前地质预报设计方案，进入下阶段实施，当预报结论与开挖揭露结果不符时，应重新优化设计。

6.2.4 超前地质预报成果信息化管理系统应满足下列要求：

1 系统服务单位应包括建设管理单位、监理单位、设计单位、施工单位、预报实施单位、科研攻关单位等，实现成果信息实时共享；

2 系统使用人员应包括建设管理人员、监理人员、设计人员、施工人员、地质勘察人员、超前探测数据采集人员、预报数据处理解译人员、会诊专家团队、科研人员等；

3 系统选择应以功能全面、展示直观、智能便捷为原则，应在使用过程中具备开发和优化能力。

6.2.5 超前地质预报成果信息化管理系统宜具备下列功能：

1 超前预报质量管理；

2 超前预报数据共享；

3 安全控制决策，宜包括风险预警、高风险城市地下工程施工许可、安全处置方案决策、掘进机控制参数智能优化等；

4 虚拟地质与可视化，展示已开挖洞段的三维虚拟地质模型；

5 延报、漏报级地质风险预警；

6 成果展示，宜包括超前地质预报成果的展示、城市地下工程虚拟现实体验、典型案例展示等。

6.2.6 预报成果对施工决策的指导宜按照超前地质预报施工许可机制执行，应满足下列要求：

1 预报成果无异常时正常施工；

2 预报成果有异常时应根据预报结果提供施工建议和风险评估报告，并会同各方及专家判断是否满足施工要求，若满足应正常施工，若不满足应暂停施工；

3 暂停施工后应根据预报成果和现场情况采取加强支护、监控量测、补充预报等措施，优化并报送施工方案后再次进行风险评估，满足施工要求后应恢复施工。

附 录 A 城市地下工程地质描述记录

表 A.1 城市地下工程地质描述记录表

项目（城市地下工程）名称：_____

记录编号：_____

第 页

里程桩号					岩石名称	岩石风化程度	围岩级别	层位	不良地质	工程地质与水文地质描述	涌水情况		标志物采样			产状			
序号	起		止								状态	大小	名称	位置(m)	编号	倾向	倾角	走向	位置(m)

注：长度单位：m；涌水量单位：L/s；角度单位：°

记录：

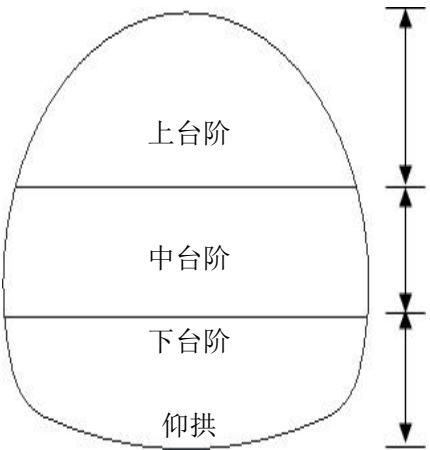
日期：

检查：

表A.2 掌子面地质描述记录表

施工里程：_____ 编录日期：_____

报告编号：_____ 预报单位：_____

序号	项目名称	状态描述				
		开挖宽度 (m)	开挖高度 (m)	开挖面积 (m ²)	开挖方式	其他：
1	掌子面尺寸					
2	掌子面状态	稳定	正面掉块	正面挤出	正面不能自稳	其他：
3	毛开挖面状态	自稳	随时间松弛、掉块	自稳困难、要及时支护	要超前支护	其他：
4	岩石强度 (Mpa)	30-60	15-30	5-15	<5	其他：
5	风化程度	微风化	弱风化	强风化	全风化	其他：
6	裂隙宽度 (mm)	>5	3-5	1-3	<1	其他：
7	裂隙状态	密集	部分张开	开口	夹有粘土	其他：
8	涌水状态	无水	渗水	整体湿润	涌出或喷出	集中大桶水
9	岩溶发育程度		微	弱	中等	强烈
10	设计围岩类别			建议围岩类别		
附图			地质描述			

记录：_____ 复核：_____

表 A.3 TBM 城市地下工程地质展视图

城市地下工程方位：_____ 比例：_____ 作图日期：_____

展视图	左边墙	
	拱部	
	右边墙	
里程桩号		
设计工程地质条件		
施工揭示工程地质条件		
设计水文地质条件		
施工揭示水文地质条件		
设计围岩分级		
施工围岩分级		
施工揭示不良地质体特征		
建议处理措施		

绘制：

复核：

附录 B 超前地质预报钻探施工记录表

表B.1 超前地质预报钻探施工记录表

钻孔编号：_____ 孔口位置：_____ 掌子面里程桩号：_____ 终孔里程：_____ 钻孔日期：_____

序号	开孔时间	终孔时间	钻孔深度 (m)	钻进速度 (m/min)	钻进压力 (MPa)	岩性描述	钻进情况（冲洗液颜色、涌砂、空洞、震动，卡钻位置，突进里程，冲击器声音变化，断层、溶洞充填等情况）

操作：_____ 技术负责：_____ 记录：_____ 复核：_____

附 录 C 钻孔柱状图

表 C.1 钻孔柱状图

工程名称：_____ 钻孔编号：_____

开孔时间：				孔口里程：	孔口位置：		立角：			
终孔时间：							偏角：			
地层时代	层底里程	层底深度（m）	分层厚度（m）	柱状图（比例）	采样位置	工程地质简述	出水位置	出水量（m3/h）	孔径（mm）	备注

完成单位名称：_____ 编写：_____ 复核：_____

附录 D 地质雷达法观测系统示意图

表D.1 地质雷达法观测系统示意图

探测方式	掌子面超前探测	边墙和底板探测
测线布置	以掌子面为中心布置多条测线	沿侧壁中间线高度位置布置测线；当隧道洞径较大时，宜在侧壁增加测线，可在城市地下工程底板或顶拱布置测线
测量要求	地质雷达沿测线匀速移动探测，移动速率应与仪器的扫描速率相匹配。测线表面起伏较大时采用点测方式，不应大于尼奎斯特采样间隔，且不宜大于1.0m， 同一异常在雷达剖面上的反映不宜少于3个连续测点 测试过程中应对异常观测点进行重复观测	
观测系统	示意图	
	掌子面 测线位置 掌子面测线 掌子面超前探测	
	掌子面 测线位置 掌子面测线 掌子面超前探测	

附 录 E 地震波法观测系统示意图

表E. 1 地震波法观测系统示意图

观测系统	观测点	检波器/接收传感器	震源
	类型	可选用三分量或单分量检波器	可选用机械震源、锤击震源、炸药震源、TBM 掘进破岩振动震源等
	布置区域	震源和检波器一般安装在掌子面后方约10m~70m范围内。 当采用TBM掘进破岩振动作为震源时，接收传感器应在掌子面后方约10m~70m范围内，同时在刀盘后方安装先导（参考）传感器	
	示意图		

附 录 F 瞬变电磁法观测系统示意图

表F.1 瞬变电磁法观测系统示意图

	观测点	发射线圈
数量大小	对于中心回线装置：观测点一般位于发射线圈中心，数量为1个。阵列观测装置：一般采用3行3列的9个观测点垂直分量采集	根据城市地下工程实际大小ZZ，采用不同大小的发射线圈，一般采用3m×3m的矩形线框。
类型	瞬变电磁用探头	一般选用低阻值电线
布置方式	布置在掌子面上	布置在掌子面上，紧贴掌子面
观测系统	示意图 The diagram illustrates two types of transient electromagnetic observation systems for tunneling: Center Loop System (中心回线装置): The side view shows a single observation point (观测点) at the center of the coil (发射回线) on the tunnel face (掌子面). The top-down view shows a single observation point (观测点) within the coil (发射回线), with an arrow indicating the coil's movement direction (线圈移动方向). Array Observation System (阵列观测装置): The side view shows a vertical array of observation points (观测点) along the tunnel face (掌子面). The top-down view shows a 3x3 grid of observation points (观测点) within the coil (发射回线), with an arrow indicating the coil's movement direction (线圈移动方向).	

附 录 G 孔间电阻率层析成像法观测系统示意图

表 G.1 孔间电阻率层析成像法观测系统示意图

观测系统	二维孔间电阻率层析成像方法		三维孔间电阻率层析成像方法	
	钻孔数量	2个	钻孔数量	2 个及以上
	钻孔直径	内径不小于75mm		
	现场测量与记录内容	钻孔倾斜方位和顶角		
	示意图			
	双极-双极法(bipole-bipole)			
	偶极-偶极法(dipole-dipole)			
	单极-三极法(pole-tripole)			
	○ 测量电极 ● 供电电极			

附 录 H 孔间雷达法观测系统示意图

表 H.1 孔间雷达法观测系统示意图

观测系统	数量	两个或以上
	位置	从城市地下工程边墙或掌子面向城市地下工程前方打孔
	间距	实际探测时应根据雷达信号衰减情况适当调整两孔间距
	直径	应大于孔中天线直径
	夹角	任意两个钻孔之间的夹角不宜过大
	平面	两个钻孔宜尽量处于一个平面内
	套管	如若钻孔周围介质极为破碎，应使用非金属钻孔保护套管
	递送杆	应使用非金属材质递送杆
	示意图	

附 录 I 激发极化法观测系统示意图

表 I.1 激发极化法观测系统示意图

供电电极		测量电极	
电极A	方边墙上布置不少于15个供电电极圈，对于TBM法城市地下工程可布置在护盾及边墙上，每圈4~8个同性供电电极，应在城市地下工程掌子面后方布置的范围不小于80m，建议掌子面上布置1个电极A0；	电极M	测量电极的数量不少于12个，尽量均匀的分布在掌子面上
电极B、电极N	应布置在掌子面后方，电极N与掌子面的距离应不小于10倍的供电电极A与测量电极M之间的距离，电极B距掌子面远于电极N，且与电极N的间距不小于10倍的供电电极A与测量电极M之间的距离。		

示意图

观测系统

● 供电电极 ○ 测量电极

附录 J 预报方法应用范围和适用条件

预报方法应用范围和适用条件参见表J.1~J.2。

表 J.1 预报方法应用范围

预报方法	不良地质及地质灾害					
	涌水突泥	断层破碎带	岩溶及采空区	软弱地层	高地应力	瓦斯地层
地质调查法	●	●	●	●	●	●
地质超前钻探法	●	●	●	●	○	●
地质雷达法	●	●	●	○	-	○
地震波反射法	○	●	●	●	-	○
瞬变电磁法	●	○	○	○	-	○
孔中物探	●	●	●	●	-	○
高分辨直流电法	●	●	●	○	-	○
微动勘探法	○	○	○	-	-	-
激发激化法	●	○	○	-	-	○

注：●主要方法，○辅助方法，-不适用。

表 J.2 预报方法适用条件

预报方法	预报距离	施工影响	适用施工方法
地质调查法	均适用	不影响施工	钻爆法、TBM法
地质超前钻探法	视钻孔深度而定	占用隧道掌子面时间长	钻爆法、TBM法
地质雷达法	中距离、短距离	现场测点布置和测试要求掌子面附近施工暂停约0.5h， 三维探测需约1h	钻爆法
地震反射波法	长距离、中距离	爆炸激发和接收需暂停掌子面施工约1h	钻爆法、TBM法
瞬变电磁法	中距离	现场测点布置和测试要求掌子面附近施工暂停约1h	钻爆法
孔中物探	视钻孔深度而定	孔中数据采集时间约1h	钻爆法、TBM法
高分辨直流电法	地表宏观预报	地表工作，不影响施工	钻爆法、TBM法
微动勘探法	中距离、短距离	现场测点布置和测试要求掌子面附近施工暂停约1h	钻爆法
激发激化法	中距离	现场测点布置和测试要求掌子面附近施工暂停约1h	钻爆法

本文件用词说明

1 为便于在执行本文件条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

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”。

引用标准名录

- 1 《引调水线路工程地质勘察规范》SL629-2014

中国市政工程协会团体标准

城市地下工程施工超前地质预报技术规程

xxx -2024

条文说明

目 次

1	总则	2
3	一般规定	3
4	超前地质预报实施方案	7
5	城市地下工程施工超前地质预报方法	8
5.1	地质调查法	8
5.2	地质超前钻探法	11
5.7	高分辨直流电法	12
6	超前地质预报成果报告与应用	13
6.2	超前地质预报成果应用	13

1 总则

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。为了减少篇幅，只列文号，未抄录原条文。

3 一般规定

3.1.1 城市地下工程施工超前地质预报可以及时掌握和反馈城市地下工程地质条件信息，调整和优化城市地下工程设计参数、防护措施，为优化城市地下工程施工组织、制定施工安全应急预案、控制工程变更设计提供依据。做好城市地下工程施工超前地质预报工作，可以有效预防各类突发性地质灾害，降低地质灾害发生几率，有效规避工程建设风险，对城市地下工程信息化施工、灾害防治和安全保障具有重要作用。

3.1.2 本条所列举的城市地下工程施工超前地质预报主要预报内容，是对城市地下工程施工中可能遭遇的不良地质体情况的总结，并且能用相应的超前地质预报方法探测。然而实际工程面临的地质情况十分复杂，当遇到未在本文件中列出的其他复杂地质情况时，需要结合工程实际情况，通过试验研究解决工程问题。

3.1.3 城市地下工程工程地质条件复杂性分级是在各阶段勘测设计研究成果的基础上，根据城市地下工程的工程地质与水文地质条件、地质因素等，采用各种单项工程地质条件分别对城市地下工程施工影响程度及其诱发环境问题的程度等，对城市地下工程分段进行地质条件复杂程度评价与分级。《铁路隧洞超前地质预报规程》（Q/CR 9217-2015）附录 B 地质复杂程度分级标准在研究和总结多年来铁路隧道工程勘察设计、施工、试验研究等客观实际的基础上，将隧洞地质条件复杂程度分为很复杂、复杂、中等复杂和简单四个等级（见表 3.1.3-1）。采用的地质影响因素主要为：①岩溶发育程度；②涌水、涌泥程度；③断层稳定程度；④地应力影响程度；⑤瓦斯影响程度等。该分级标准未考虑洞长、埋深、围岩类别、岩体强度、地层温度、外水压力等影响施工方法的其他因素，因此该标准主要适用于隧洞施工超前地质预报设计之前需对隧洞进行地质复杂程度分级，以指导超前地质预报实施工作。实际预报时主要依据不同的地质复杂程度分级，针对不同类型的地质问题，选择适宜的方法和技术进行探测，并贯穿于隧洞开挖施工全过程。《引调水线路工程地质勘察规范》（SL629-2014）表 3.0.7-2 隧洞工程地质条件复杂程度划分表将隧洞地质条件复杂程度分为复杂、简单二个等级（见表 3.1.3-2）。采用的地质影响因素主要为：①埋深及长度、地表有无水体、是否在城镇地下穿越；②地形、物理地质现象、环境地质条件；③地层岩性，是

否存在工程地质性质不良岩体或第三系、第四系地层；④地质构造，是否存在大断裂或活动性断裂，高地应力高低；⑤是否存在有害气体、地温异常、岩爆；⑥水文地质条件，是否存在岩溶或富水层（带）分布；⑦进出口地质条件，边坡稳定性。该划分标准主要适宜于前期勘察设计阶段对隧洞地质条件复杂程度的划分，城市地下工程可根据实际情况参照以上标准进行分级。

说明表 3.1.3-1 隧洞地质条件复杂程度分级表（引自 Q/CR 9217-2015）

复杂程度影响因素		很复杂	复杂	中等复杂	简单
地质条件复杂（含物探异常）	岩溶发育程度	强烈发育，以大型暗河、廊道、较大规模溶洞、竖井和落水洞为主，地下洞穴系统基本形成	中等发育，沿断层、层面、不整合面等有显著溶蚀，中小型串珠状洞穴发育，地下洞穴系统未形成，有小型暗河或集中径流	弱发育，沿裂隙、层面溶蚀扩大为岩溶化裂隙或小型洞穴，裂隙连通性差，少见集中径流，常有裂隙水流	微弱发育，以裂隙状岩溶或溶孔为主，裂隙不连通，裂隙透水性差
	涌水、涌泥程度	特大型涌突水（涌水量 $>100000\text{m}^3/\text{d}$ ）、大型涌突水（涌水量 $10000\sim100000\text{m}^3/\text{d}$ ）、突泥，高水压	大型涌突水（涌水量 $1000\sim10000\text{m}^3/\text{d}$ ）、突泥	中型涌水（涌水量 $100\sim1000\text{m}^3/\text{d}$ ）、涌泥	小型涌水（涌水量 $<100\text{m}^3/\text{d}$ ），涌突水可能性极小
	断层稳定程度	大型断层破碎带、自稳能力差、富水，可能引起大型失稳坍塌	中型断层破碎带、软弱、中～弱富水，可能引起中型坍塌	中小型断层、弱富水，可能引起小型坍塌	中小型断层、无水，掉块
	地应力影响程度	极高应力（ $R_c/\sigma_{\max}<4$ ），开挖过程中硬质岩时有岩爆发生，有岩块弹出；软质岩岩芯常有饼化现象，岩体有剥离，位移极为显著	高应力（ $R_c/\sigma_{\max}=4\sim7$ ），开挖过程中硬质岩可能出现岩爆，岩体有剥离和掉块现象；软质岩岩芯时有饼化现象，岩体位移显著	——	——
	瓦斯影响程度	瓦斯突出：瓦斯压力 $P\geq 0.74\text{MPa}$ ，瓦斯放散初速度 $\Delta P\geq 10$ ，煤的坚固性系数 $f\leq 0.5$ ，煤的	高瓦斯：全工区的瓦斯涌出量 $\geq 0.5\text{m}^3/\text{min}$	低瓦斯：全工区的瓦斯涌出量 $< 0.5\text{m}^3/\text{min}$	无

		破坏类型为III类及以上			
地质因素对隧洞施工影响程度		危及施工安全，可能造成重大安全事故	存在安全隐患	可能存在安全问题	局部可能存在安全问题
诱发环境问题的程度		可能造成重大环境灾害	施工、防治不当，可能诱发一般环境问题	特殊情况下可能出现一般环境问题	无
注： R_c 为岩石单轴饱和抗压强度（MPa）； σ_{max} 为最大地应力值（MPa）。					

说明表 3.1.3-2 隧洞工程地质条件复杂程度划分（引自 SL629-2014）

复杂程度影响因素	复杂	简单
1	深埋长隧洞、穿越地表水体隧洞、城镇地下隧洞	——
2	地形不完整、物理地质现象发育、环境地质条件差	地形完整，物理地质现象不发育，环境地质条件较好
3	地层岩性复杂，工程地质性质不良岩体大面积分布或洞段主要为第三系、第四系地层	地层岩性较单一，无工程地质性质不良岩体分布
4	地质构造复杂，有大断裂或活动性断裂通过，高地应力	地质构造较简单、断裂构造不发育，地应力较低
5	存在有害气体，或地温异常，或中等以上岩爆	无有害气体、地温异常、围岩变形及岩爆问题
6	水文地质条件复杂，岩溶发育，有强透水带或承压水分布。可能存在突水（泥）问题	水文地质条件简单，无富水层（带）分布
7	进出口地质条件差，边坡不稳定	进出口地质条件较好，边坡稳定
注：①本表不适用黄土隧洞；②划分可按“一项符合，就高划类”的原则执行。		

3.1.4 本条所列举的城市地下工程施工超前地质预报仪器的管理规定，仪器应由专人管理，仪器设备应以一台一档的方式建立档案，及时并详细记录其使用及交接情况、检定/校准情况、故障情况和维修处理结果等，且均应有明显的状态标识。仪器运输前应进行妥善包装，包装箱内要有防震设施，箱外应注明“防潮、防震、勿倒置”等字样或警示符号，不宜托运的仪器和部件应派专人携带，仪器到达工地后应检查。用于物探工作的仪器应检定、校准或测试合格。仪器校验周期不宜超过一年，仪器主机的主要部件维修后应重新检验，并记录处理过程。

3.1.5 本条所列举的城市地下工程施工超前地质预报试验的主要内容，试验方案的制定应现场踏勘，分析地质、设计、施工等相关资料，根据测区条件和物探任务制定。试验地段尽量选择在已有钻孔或地质、设计、施工等情况较明显、无干扰的地方，主要是保证试验获得较普遍的规律；在对于不同的工况和试验环境下，可以对试验步骤和试验内容进行相应的调整，包括仪器选择、装置类型、预报距离等。应及时对试验效果作出结论，条件许可应进行现场验证。

4 超前地质预报实施方案

4.1.2 城市地下工程地表补充调查应包括下列主要内容：

- 1 对已有地质勘察成果的熟悉、核查和确认；
- 2 地层、岩性在城市地下工程地表的出露及接触关系，特别是标志层的熟悉和确认；
- 3 断层、褶皱、节理密集带等地质构造在城市地下工程地表的出露位置、规模、性质及其产状变化情况；
- 4 岩石节理、裂隙统计分析及地应力场研究；
- 5 地表岩溶发育位置、规模及分布规律；
- 6 煤层、石膏、膨胀岩、含石油天然气、含放射性物质等特殊地层在地表的出露位置、宽度及其产状变化情况；
- 7 人为坑洞走向、展布、高程、涌水、塌方等，分析其与城市地下工程的空间关系；
- 8 特殊岩土的调查（膨胀土、膨胀岩、软岩等）。

5 城市地下工程施工超前地质预报方法

5.1 地质调查法

5.1.1 地质调查预报法是一种传统的、实用的和基本的超前地质预报方法，具有综合和指导其他其他预报方法的作用。地质调查预报法不占用城市地下工程施工时间、不干扰施工、设备简单、操作方便，提交资料及时，预报效果好。它不仅是一种地质预报方法，而且还可以对勘察设计地质资料进行核实、补充和完善。地质调查预报法对技术人员的地质基础知识及经验要求较高，需由专业地质人员完成。

5.1.2 地表补充地质调查应包括下列主要内容：

- 1 地层在地表的出露与接触关系及其岩性特征，特别是影响城市地下工程施工安全的标志层；
- 2 地形地貌特征；
- 3 褶皱、断层、节理密集带等地质构造在隧址区地表的出露位置、规模、性质及其产状变化；
- 4 地表水和地下水露头调查，必要时应进行观测和试验；
- 5 地表岩溶形态，发育位置、规模、性质及分布规律；
- 6 煤层、石膏层、膨胀岩层、含气地层、含放射性地层等特殊地层在地表的出露位置、宽度、产状及其产状变化；
- 7 人为坑道分布位置、走向、高程及人为坑道与城市地下工程的空间关系。

5.1.3 在城市地下工程开挖后，应将揭露的地层岩性及其接触关系、地质构造、地下水及其他不良地质现象如实反映在城市地下工程纵断面图上。城市地下工程洞身地质展示图用压平法展开，当城市地下工程形态规则时，采用规则形态绘制两壁一项。若洞体形态简单、围岩组份均匀、两壁变化不大时，也可只绘制一壁一项。要求城市地下工程地质展示图能够直观反映城市地下工程周边地层岩性及不良地质体的发育规模，在空间上对城市地下工程的影响程度等。

5.1.4 断层破碎带、岩溶、高磨蚀性硬岩、高地温、有害气体、放射性物质为重要的不良地质现象，突水突泥为重要的地质灾害，应进行专门调查，城市地下工程施工超前地质预报中对于断层破碎带的地质调查应包括：

1 断层的位置、性质、产状和规模（长度、宽度和断距），破碎带中构造岩的特点；

2 断层上下盘的地层岩性、破碎情况及错动方向；

3 主断裂和伴生与次生构造形迹的组合关系；

4 断层形成的时代、应力状态及活动性。

城市地下工程施工超前地质预报中岩溶地质调查应调查地层岩性、地形地貌、岩层产状、地下水位、可溶岩与非可溶岩接触带、层面与层间裂隙等内容。

TBM 城市地下工程施工超前地质预报中对高磨蚀性硬岩进行地质调查时应同时考虑岩石岩性、石英含量、岩体抗压强度、完整程度以及结构面因素对岩石强度的影响。具体应包括以下内容：

1 地质年代、地质名称、风化程度、颜色、主要矿物、结构、构造。对沉积岩应着重描述沉积物的颗粒大小、形状、胶结物成分和胶结程度；对岩浆岩和变质岩应着重描述矿物成分、矿物结晶大小和结晶程度；

2 结构面类型、性质、产状、组合形式、发育程度、延展情况、闭合程度、粗糙程度、频度、充填情况和充填物性质以及充水性质等；

3 结构体的类型、形状、大小和结构体在围岩中的受力情况等。

当城市地下工程经过地温梯度异常、地表热显示发育的地区施工过程中，可能出现高岩温或高温热水（汽）等热害现象，应对高地温区域开展补充地质调查工作，并包括以下内容：

1 调查沿线地表热显示分布情况；

2 地层岩性、地质构造及其演化、新构造运动、地震及岩浆（火山）活动情况与地热显示、地热异常的关系；

3 工作区热水系统的水文地质特征；

4 工作区的热储、盖层、导水和控热构造，区域热场特征，地下热水补给、径流、排泄条件和规律，地下热水的动态及其与一般地下水的关系，测定地热异常区，划分地温带；

5 预测可能出现高温热害的地段、危害程度以及处理原则、建议。

当掘进路线通过煤层、厚层湖沼、石油、天然气层、含气的圈闭构造时，应调查有毒有害气体的含量、压力、性质，判断其对城市地下工程施工的影响。有害气体根据其存在环境和基本成分可分为可燃气体、缺氧气体、毒气。TBM 超前地质预报中对有害气体进行地质调查应包括：

- 1 有害气体类型、物理化学性质及危害；
- 2 含气岩层岩性及特征：岩性、位置、层数、层厚及其空间变化特征；
- 3 围岩的岩性及与含气岩层的空间关系；
- 4 含气岩层的构造位置以及形成（储积）有害气体的地质构造；
- 5 地下水与有害气体的共存关系；
- 6 对有害气体地段采取有害气体监测并提出处理措施、意见。

线路通过有放射性矿床分布、高辐射地带、水源放射性超过限制浓度地区应按放射性地区进行地质调查。TBM 超前地质预报中对放射性物质进行地质调查应包括：

- 1 了解区内放射性异常的分布、范围、类型、规模和地层、岩性、构造的空间关系；
- 2 线路所经过地区应调查区内各类岩性 γ 特性（环境地表 γ 辐射剂量率、城市地下工程空气中氡浓度、地表、地下水中放射性核素浓度）；
- 3 进行放射性分级和放射工作场所分区、评价放射性对施工的影响和必须采取的防护措施。

城市地下工程超前预报中对突水突泥致灾构造进行地质调查主要包括对致灾构造进行分类判断，以及对突水突泥前兆特征进行辨识。其中，突水突泥主要致灾构造类型包括溶蚀裂隙型、溶洞溶腔型、管道及地下暗河型、富水断层型、导水断层型、阻水断层型、侵入接触型、层间裂隙型、不整合接触型、差异风化型和特殊条件型。常见致灾构造前兆特征如下：

- 1 岩溶类致灾构造前兆：
- 2 频繁出现铁染锈或夹黏土裂隙或溶蚀裂隙；
- 3 岩层湿化、软化现象明显，有水滴附着或出现滴水、淋水现象；
- 4 小溶洞频频出现，含有水流或痕迹以及河沙；
- 5 钻孔涌水量剧烈增加，呈喷射状，且夹有泥沙或磨圆度好的砾石等充填物；
- 6 钻孔中有冷风冒出，或听到明显的水流声；
- 7 岩层渗水或涌水时清时浊，或出现冒泥；
- 8 空气温度明显降低，阴冷潮湿，出现雾气；
- 9 断层类致灾构造前兆：
- 10 围岩节理组数出现急剧增加；
- 11 出现由弧形节理组成的小型帚状构造或反倾节理；
- 12 岩石破碎、强度显著降低，出现铁锈染压碎岩、碎裂岩等；
- 13 临近富水断层下盘的泥岩、页岩等隔水岩层湿化、软化现象显著，淋水现象明显，同时出现其他水流痕迹；
- 14 当城市地下工程揭示或穿越火成岩侵入接触富水带、层间裂隙发育区、不整合接触带、花岗岩风化深槽、人工开挖富水空间等条件下，也可能诱发突水突泥灾害。

5.1.6 目前基于图像识别、三维激光扫描的城市地下工程掌子面岩体裂隙、岩层产状的识别技术正在开展应用研究，主要利用此类技术实现掌子面与洞身图像、点云的实时或定时采集，并建立数据实时传输功能，即可实现岩体裂隙、岩层产状及围岩级别的远程识别和判识，从而实现各类地质条件的远程信息化处理，可以极大的节约人力、物力，并缩短现场工作时间，提高工作效率。

5.2 地质超前钻探法

5.2.1 由于超前地质钻探占用掌子面时间长、工作效率低，实际工作中较小使用，一般在富水软弱断层破碎带、富水岩溶发育区、煤层瓦斯发育区、重大物探异常区等地质条件复杂时采用。加深炮孔探测是利用风钻或凿岩台车等在城市地下工程开挖工作面钻小孔径浅孔获取地质信息的一种方法，一般用于岩溶发育区，

加深炮孔具有利用现场掘进设备、移动灵活、操作方便、费用低、占用城市地下工程施工时间短等特点，但由于加深炮孔由施工操作人员操作、不能取芯，主要靠操作人员主观感觉和观察岩粉，预报人员较难参与，资料准确性和真实性难保障。

5.7 高分辨直流电法

5.7.1 根据经验总结归一化值视电阻率在 40~60 之间时多存在地质异常体(储、导水构造)。

6 超前地质预报成果报告与应用

6.2 超前地质预报成果应用

6.2.5 城市地下工程目前，指导掘进机施工方案选择主要以人工经验与人为操控为主，导致目前的控制系统对掘进环境的适应性差，难以很好的匹配地质和岩体条件。不良地质施工风险评价和安全控制决策系统根据 TBM 工作参数、施工方案、预报成果、虚拟展示，以多目标动态规划及专家决策方法为基础，具体分为常规地层和高风险不良地质地层两种情况针对性研究。对于常规地层，应以高效节能为目标，智能优化掘进机的操作参数以适应当前地层。针对高风险不良地质地层，应以安全为首要目标，参考现有应对相似不良地质的成功施工案例进行专家决策。安全控制决策包括风险预警、高风险城市地下工程施工许可、安全处置方案决策、掘进机控制参数智能优化等。即利用掘进段岩体地质条件、TBM 机械电液参数、不良地质信息等海量多元信息，综合评估掘进机施工条件与安全状态，实现 TBM 掘进风险动态预警。通过大数据分析技术对海量施工案例与历史数据进行综合分析、特征提取与规律挖掘，建立施工方案专家决策方法与掘进参数智能优化方法。实现施工方案与掘进参数的智能化匹配决策。

6.2.6 根据城市地下工程施工超前地质预报成果指导城市地下工程施工宜采用预报成果指导施工许可机制，施工许可机制中以城市地下工程施工超前地质预报和动态风险评估为起点，是否满足施工许可条件为判据。在无明显异常或存在小型不良地质和岩性变化是认为满足施工许可条件，TBM 借鉴高效节能掘进参数指导正常施工。当存在明显异常体时会同业主、施工单位、监理、专家顾问开展施工风险研判和施工建议讨论，认为满足施工许可条件时正常施工，不满足施工许可条件时暂停施工并优化施工方案、变更施工设计，采取补充预报、监控量测、加强支护等手段后再次判断是否满足施工许可条件，决定正常施工或暂停施工。