**团体标准**

**T/JSTJXH xxx-xxxx**

城市轨道交通工程隧道施工

超前地质预报技术标准

**Technical standard for**

**geological forecast of subway tunnel**

**xxxx-xx-xx**发布  **xxxx-xx-xx**实施

江苏省土木建筑学会 发布

**江苏省土木建筑学会标准**

城市轨道交通工程隧道施工

超前地质预报技术标准

**Technical standard for**

**geology forecast of subway tunnel**

**T/JSTJXH xxx-xxxx**

**批准机构：江苏省土木建筑学会**

**施行日期：xxxx年x月x日**

**前 言**

为进一步规范城市轨道交通隧道施工超前地质预报工作，提高超前地质预报水平，降低施工风险，编制组经深入调查研究，认真总结工程实践经验，充分吸收公路、铁路等隧道超前地质预报先进技术，并在广泛征求意见的基础上，编制本标准。

本标准由江苏省土木建筑学会负责管理，由xxx负责解释。在执行过程中如有意见或建议，请与xxx公司联系（地址：xx 邮编：xxx 电话：xxx）。

本标准主要包括：城市轨道交通隧道施工超前地质预报的基本规定、预报设计、针对不良地质体的预报方法、数据采集与处理、预报成果及相关附录。

本标准主编单位： 徐州地铁集团有限公司

江苏省土木建筑学会城市轨道交通专业委员会

本标准参编单位： 徐州中矿岩土技术股份有限公司

江苏南京地质工程勘察院

中铁第六勘察设计院集团有限公司

中煤建设集团有限公司

中铁上海设计院集团有限公司

徐州建设集团有限公司

南京地铁集团有限公司

苏州市轨道交通集团有限公司

无锡地铁集团有限公司

常州市轨道交通发展有限公司

南通城市轨道交通有限公司

本标准主要起草人：

本标准主要审查人：

**目 次**

[1 总则 1](#_Toc112158170)

[2 术语 2](#_Toc112158171)

[3 基本规定 4](#_Toc112158172)

[4 超前地质预报设计 7](#_Toc112158173)

[4.1 设计原则 7](#_Toc112158174)

[4.2 预报方法 7](#_Toc112158175)

[5 断层预报 10](#_Toc112158176)

[5.1 一般规定 10](#_Toc112158177)

[5.2 预报方法选择 10](#_Toc112158178)

[6 岩溶预报 12](#_Toc112158179)

[6.1 一般规定 12](#_Toc112158180)

[6.2 预报方法选择 12](#_Toc112158181)

[7 复合地层预报 14](#_Toc112158182)

[7.1 一般规定 14](#_Toc112158183)

[7.2 预报方法选择 14](#_Toc112158184)

[8 采空区及人造空洞预报 16](#_Toc112158185)

[8.1 一般规定 16](#_Toc112158186)

[8.2 预报方法选择 16](#_Toc112158187)

[9 孤石预报 18](#_Toc112158188)

[9.1 一般规定 18](#_Toc112158189)

[9.2 预报方法选择 18](#_Toc112158190)

[10 富水区预报 19](#_Toc112158191)

[10.1 一般规定 19](#_Toc112158192)

[10.2 预报方法选择 19](#_Toc112158193)

[11 超前水平定向预报法 21](#_Toc112158194)

[11.1 一般规定 21](#_Toc112158195)

[11.2 预报要求 21](#_Toc112158196)

[12 数据采集与处理 23](#_Toc112158197)

[12.1 数据采集 23](#_Toc112158198)

[12.2 数据处理 25](#_Toc112158199)

[12.3 资料解译 25](#_Toc112158200)

[13 预报成果分析与评价 26](#_Toc112158201)

[附录A 一般安全防护规定 27](#_Toc112158202)

[附录B 隧道内邻近不良地质体前兆特征 28](#_Toc112158203)

[附录C 物探仪器性能指标规定 29](#_Toc112158204)

[本标准用词说明 31](#_Toc112158205)

[引用标准名录 32](#_Toc112158206)

附：[条文说明 33](#_Toc112158207)

**Contents**

[1 General Provisions 1](#_Toc101522691)

[2 Terms 2](#_Toc101522692)

[3 Basic Requirements 4](#_Toc101522693)

[4 Advance Geology Forecast Design 7](#_Toc101522696)

[4.1 Design Principles 7](#_Toc101522697)

[4.2 Forecast Methods 7](#_Toc101522698)

[5 Fault Forecast 10](#_Toc101522701)

[5.1 General Requirements 10](#_Toc101522702)

[5.2 Choice of Forecasting Methods 10](#_Toc101522703)

[6 Karst Forecast 12](#_Toc101522704)

[6.1 General Requirements 12](#_Toc101522705)

[6.2 Choice of Forecasting Methods 12](#_Toc101522706)

[7 Composite Strata Forecast 14](#_Toc101522707)

[7.1 General Requirements 14](#_Toc101522708)

[7.2 Choice of Forecasting Methods 14](#_Toc101522709)

[8 Goaf and Artificial Cavity Forecast 16](#_Toc101522710)

[8.1 General Requirements 16](#_Toc101522711)

[8.2 Choice of Forecasting Methods 16](#_Toc101522712)

[9 Floater Forecast 18](#_Toc101522713)

[9.1 General Requirements 18](#_Toc101522714)

[9.2 Choice of Forecasting Methods 18](#_Toc101522715)

[10 Water-rich Stratum Forecast 19](#_Toc101522716)

[10.1 General Requirements 19](#_Toc101522717)

[10.2 Choice of Forecasting Methods 19](#_Toc101522718)

[11 Advanced Horizontal Directional Investigation Method 21](#_Toc101522719)

[11.1 General Requirements 21](#_Toc101522720)

[11.1 Forecasting Requirements 21](#_Toc101522720)

[12 Data Collect and Process 23](#_Toc101522719)

[12.1 Data Collect 23](#_Toc101522720)

[12.1 Data Process 25](#_Toc101522723)

[12.2 Data Interpretat 25](#_Toc101522724)

[13 Analysis Evaluation and Forecast Results 26](#_Toc101522722)

[Appendix A General Safety Precautions 27](#_Toc101522726)

[Appendix B Geological Precursor of Near the Unfavorable Geological Body in Tunnel 28](#_Toc101522727)

[Appendix C Specifications for the Performance Index of Geophysical Instruments 29](#_Toc101522727)

[Expanation of Wording in this Specification 31](#_Toc101522728)

[List of Quoted Standards 32](#_Toc101522729)

[Addition: Explanation of Provisions 33](#_Toc101522729)

1. 总则
   * 1. 为规范城市轨道交通隧道施工超前地质预报工作，提高超前地质预报水平，降低施工风险，制定本标准。
     2. 本标准适用于城市轨道交通隧道施工超前地质预报工作。
     3. 城市轨道交通隧道施工超前地质预报应根据隧道内地质条件、周边环境和预报对象，选择适宜的方法并积极采用综合超前地质预报方法，提高预报的准确性。
     4. 城市轨道交通隧道施工超前地质预报鼓励采用信息化、智能化的新技术、新设备、新方法，但在首次使用时，应开展预报试验工作以确定其有效性。
     5. 城市轨道交通工程隧道施工超前地质预报除应符合本标准外，尚应符合国家、行业和地方现行有关标准的规定。
2. 术语
   * 1. 超前地质预报 geological forecast

隧道施工过程中，在既有地质资料的基础上，采用地质调查法、物探和其他勘探手段分析查明隧道前方工程地质、水文地质和不良地质体的一种地质勘探方法。

* + 1. 综合超前地质预报 comprehensive geology forecast

采用两种或两种以上有效预报手段进行相互验证的超前地质预报方法。

* + 1. 地质调查法 geological survey method

根据已有的勘察资料和隧道施工过程中揭露的地质情况，综合分析地层层序、地层分界线、地质构造、不良地质体与隧道空间位置关系、不良地质体前兆特征等，采用常规地质理论查明隧道前方地质条件的方法。

* + 1. 超前钻探法 advance investigation drilling method

在隧道开挖工作面上实施超前地质钻孔，以查明隧道前方地质条件的方法。

* + 1. 超前水平定向预报法 advance horizontal directional investigation drilling method

隧道掘进前，在地面布置沿隧道延伸的地质钻孔，结合孔内综合物探手段查明隧道前方地质条件的方法。

* + 1. 物性 physical properties

被探测地质体所具有的物理性质。

* + 1. 地球物理勘探 geophysical prospecting

地球物理勘探简称物探，是以目标地质体与周围介质的物性差异为前提，通过仪器观测自然或人工物理场的变化，查明目标地质体的空间分布范围及属性的勘探方法。

* + 1. 地震波法 seismic method

利用人工激发的地震波在地层中传播所产生的反射波或折射波特性来查明隧道前方地质条件的方法。

* + 1. 地质雷达法 ground penetrating radar method

利用发射天线向地层发射高频脉冲电磁波，根据反射电磁波特性来查明隧道前方地质条件的方法。

* + 1. 直流电法 direct current instrument method

通过研究人工激发电场在地层干扰下的分布规律查明隧道前方地质条件的方法。

* + 1. 瞬变电磁法 transient electromagnetic method

利用不接地回线发送脉冲式一次电磁场，用线圈观测由该脉冲电磁场感应的涡流产生的二次电磁场的空间和时间分布，从而查明隧道前方地质条件的方法。

* + 1. 管波法 tube wave detecting method

管波法是在钻孔中利用“管波”作为探测物理场，查明孔旁一定范围内的溶洞、溶蚀裂隙、软弱夹层等不良地质体的物探方法。

* + 1. 异常体 anomaly

物探方法探测到的物理场参数明显高于或低于周围地层正常值的地质体。

* + 1. 断层 fault

地壳运动造成地质体的错断。

* + 1. 岩溶 karst

水对可溶岩石不断冲蚀及伴生机械侵蚀后形成的裂隙或空腔。

* + 1. 复合地层 composite strata

隧道工程开挖断面范围内，由两种或两种以上岩土力学、工程地质和水文地质等特征相差悬殊的地层构成的地层。

* + 1. 采空区 goaf

地下矿体采出后形成开采空洞。

* + 1. 孤石 floater

赋存于松散层中经不均匀风化形成的岩石块体。

* + 1. 富水区 water-rich stratum

隧道掘进影响范围内相较周围地层明显富水的地质区域。

1. 基本规定
   * 1. 超前地质预报方法的选择应根据各预报方法的特点和适用范围，并考虑城市地质环境、隧道特征及掘进方法等因素因地制宜、综合确定。
     2. 超前地质预报的安全工作应符合本标准中附录A的规定。
     3. 隧道超前地质预报应达到以下目的：
        1. 进一步查清隧道开挖掌子面前方工程地质与水文地质条件；
        2. 查明掌子面前方不良地质体的分布，确定其对隧道施工的影响；
        3. 为优化隧道掘进工序提供地质依据。
     4. 超前地质预报应包含下列主要内容：
        1. 地层岩性预报；
        2. 不良地质预测预报；
        3. 地下水预测预报；
        4. 为编制竣工文件和运营维护提供基础资料。
     5. 城市轨道交通隧道施工前，应根据前期各阶段勘察资料、地质环境条件复杂程度、潜在地质风险等因素开展超前地质预报设计。
     6. 超前地质预报的仪器设备应符合相关行业技术标准的规定。
     7. 超前地质预报工作应由隧道建设单位或施工单位组织具有相关资质和能力的第三方单位实施。
     8. 超前地质预报应纳入隧道勘察设计和施工统一管理流程中，对参建各方责任有以下要求：
        1. 建设单位应负责预报方案的审批，并对预报过程进行监督和检查；
        2. 勘察设计单位应在勘察设计报告中明确地质复杂程度分级，必要时指出典型不良地质条件发育规律，确定需要进行超前地质预报的线段及要求；
        3. 预报实施单位应结合前期地质及设计资料编制超前地质预报实施细则，经审查和批准后负责组织实施；预报实施单位及时将超前地质预报成果报送施工、监理、勘察设计、建设单位，并对超前地质预报成果及其真实性负责；
        4. 施工单位应积极组织配合超前地质预报工作，将超前地质预报工作纳入施工组织设计，利用超前地质预报资料及时指导施工；
        5. 施工单位与超前地质预报实施单位应加强沟通，及时反馈超前地质预报与掘进地质条件匹配程度，预报实施单位应根据匹配程度及时修正预报参数，提高预报准确度；
        6. 各参建单位根据超前地质预报突发地质情况，及时启动安全应急预案。
     9. 当采用物探方法预报时，应充分分析信号干扰程度，在信号干扰相对可控情况下进行。
     10. 当物探预报发现重大异常时，应安排超前钻探或综合预报手段进行探测。
     11. 超前地质预报应根据隧道掘进工序分阶段进行，各阶段应整理预报成果和相关材料，隧洞或标段完成后编制超前地质预报总结报告。
     12. 隧道超前地质预报应按相关规范进行地质条件复杂程度分级，确定重点预报地段和预报对象，并应遵循动态分级原则，根据预报成果及掘进掌握的实际地质情况，及时复核调整未预报段的地质复杂程度分级和重点预报对象。
     13. 隧道超前地质预报可采用地质勘察与预报相结合、物探与钻探相结合、长距离与短距离相结合、地面与洞内相结合的综合预报方法，综合分析，提高预报准确性。
     14. 地质条件复杂的，应进行综合超前地质预报。
     15. 超前地质预报各类空间位置点测量可选用全站仪、GNSS、激光测距仪、测量尺等测绘工具，测量精度应满足Ⅱ类地质勘察点精度，现场测量工作完成后，应及时处理测量成果。
     16. 在接近目标不良地质体时，应综合所有预报、勘察和施工资料，绘制地质平面或剖面图，结合附录B为施工提供相关地质资料。
     17. 隧道超前地质预报可按图3.0.17 所示的工作程序进行。



**图3.0.17 隧道超前地质预报工作程序图**

1. 超前地质预报设计
   1. 设计原则
      1. 城市轨道交通工程隧道在施工图计阶段应进行相应的超前地质预报设计，预报方法的选择应与施工方法相适应。
      2. 城市轨道交通工程隧道超前地质预报设计前，应根据隧道的工程地质与水文地质条件、地质因素对隧道施工影响程度及诱发环境问题的程度等，对隧道分段进行地质复杂程度分级。隧道地质复杂程度可按《铁路隧道超前地质预报技术规程》Q/CR 9217 分为复杂、较复杂、中等复杂和简单四级。
      3. 应遵循动态设计原则，当地质条件与原设计不符或预报结果与实际开挖揭示不一致时，必须及时调整设计方案。
      4. 对含可燃性气体、放射性物质等特殊地层隧道及深埋隧道内的地温、地应力等地质问题应按国家现行有关标准进行监测测试。
   2. 预报方法
      1. 城市轨道交通工程隧道超前地质预报可采用地质分析法、超前钻探法、物探法等：
         1. 地质分析法：包括隧道地表补充地质调查、洞内掌子面地质素描和洞身地质素描、地层分界线及构造线地下和地表相关性分析、地质作图等；
         2. 超前钻探法：超前钻探法、加深炮孔探测及孔内摄影等；
         3. 物探法：主要包括地震波法、瞬变电磁法、地质雷达法、直流电法、综合测井法等。
      2. 超前地质预报可采用洞内中长距离预报、短距离预报和地面预报方式，预报长度的划分和预报方法的选择可执行下列规定：
         1. 中长距离预报：预报长度30m~100m，可采用地质调查法、地震波法、瞬变电磁法及超前钻探等；
         2. 短距离预报：预报长度30m以内，可采用地质调查法、瞬变电磁法、地质雷达探测法及小于30m的超前钻探等；
         3. 地面预报：隧道埋深100m以内，可采用微动、瞬变电磁法、直流电法、跨孔CT及钻探等。
      3. 超前地质预报应针对隧道施工存在的地质问题，并依据其复杂程度，通过多种预报方法和手段的有效组合进行综合超前地质预报。采用综合超前地质预报方法时应满足以下要求：
         1. 综合超前地质预报可采用中长距离宏观预报与短距离准确预报相结合，洞内与地面预报相结合，地质方法与物探方法、钻探方法相结合；
         2. 进行综合预报时，不同物探方法的测线宜保持一致；
         3. 不同预报方法的预报成果应对比分析、综合解释，并编制地质综合分析成果报告。
      4. 超前地质预报设计应编制超前地质预报设计文件，并应包括下列主要内容：
         1. 隧道工程地质及水文地质条件，着重说明不良地质与特殊岩土、可能存在的主要工程地质问题及地质风险；
         2. 地质复杂程度分级；
         3. 超前地质预报的目的；
         4. 超前地质预报的设计原则、预报方案、（分段）预报内容、方法选择及不同方法的组合关系、技术要求（同一种预报方法或不同预报方法间的重叠长度、超前钻孔的角度及长度等）；
         5. 超前地质预报实施工艺要求（必要时提出）；
         6. 超前地质预报工作安全措施；
         7. 超前地质预报工作量、占用工作面的时间；
         8. 超前地质预报概预算；
         9. 其他需要说明的问题。
      5. 在地质条件复杂或现场环境干扰较大，采用单一方法不能准确预报隧道前方地质情况时，应采用综合预报手段进行作业。
      6. 不同预报方法的预报成果，应综合解释，在排除明确由干扰信号引起的假异常后，确定最符合各方法预报结果的单一结论。
      7. 采用新的超前地质预报方法或技术时，应开展预报试验工作。
         1. 开展超前预报试验工作前，应制定试验方案。
         2. 应提交结论明确的试验成果报告，并经施工单位组织的专家评审认定后方可投入实施。
         3. 试验工作宜包含的主要内容：
2. 物性参数测试、现场干扰源分布及影响程度测试；
3. 预报方法对特殊地质条件适应性测试；
4. 预报距离和解释精度测试；
5. 仪器工作参数选择测试；
6. 其他试验工作。
   * + 1. 通过专家评审认定的试验工作成果可作为正式预报成果使用。
       2. 试验工作开展两次均不能通过专家评审认定时，该方法不应投入使用。
7. 断层预报
   1. 一般规定
      1. 断层预报应验证前期勘察已发现的断层，查明前期勘察中未发现的断层。
      2. 断层预报应收集分析既有资料，包括断层的性质、产状、断层破碎带的宽度、填充物、含水性和断层活动性等，初步分析断层与预报隧道的相互关系。
      3. 断层预报应进一步查明断层与隧道的空间关系，探明断层的性质、产状、断层破碎带的宽度、富水情况等，并分析其对隧道的危害程度。
   2. 预报方法选择
      1. 断层预报方法宜按照地质调查与物探相结合、中短距离预报相结合、不同物探方法相结合的原则选择预报方法：
         1. 中距离预报可采用地质调查法和地震波法、地面物探法；
         2. 短距离预报宜以地质雷达法为主，必要时采用直流电法或瞬变电磁法探测断层带富水情况。
      2. 预报流程宜遵循中距离和短距离双循环预报原则，根据掘进方法、施工循环进度确定中、短预报的循环距离，中距离预报、短距离验证，必要时钻探验证。
      3. **地质调查法**
         1. 调查分析隧道沿线地层产状；确认断层位置、性质、产状等属性；查明地下水的径流方向及断层与隧道线路轴线的位置关系。
         2. 地质素描应对隧道内地层、主要地质构造位置和岩性进行记录，并描述具体情况。
         3. 隧道内地质素描及其环境要求：
8. 隧道内地质素描宜包含掌子面、侧壁和拱顶部位；
9. 地质素描宜在初期支护前开展，地质条件复杂地段应每开挖循环进行一次素描，其他地段宜每10m～15m进行一次；
10. 地质素描成果应清晰表示断层破碎带的位置、产状、宽度、性质、含水情况、岩体完整性等；
11. 现场记录应包含照片、视频等影像资料。
    * 1. **地震波法**
         1. 适用环境：断层破碎带应具有一定宽度且连续，破碎带的波阻抗与围岩存在明显差异；断层破碎带走向及倾角与隧道轴线前进方向的夹角不宜小于45°。
         2. 地震预报法应通过数据处理计算得出断层破碎带的二维或三维图像、隧道轴向纵横波速度和泊松比曲线。
         3. 地震预报法应依据反射层的空间分布解释断层破碎带在空间的几何形态，依据轴向波速和泊松比曲线的异常宽度推测断层破碎带的宽度和在轴线的位置，宜给出断层带的富水性。
         4. 地震层析成像法应通过计算得出的图像异常特征解释断层破碎带空间几何形态、宽度和在隧道轴线的位置。
         5. 在断层带验证后，宜在掘进不超过断层带20m时再次开展超前探测。
      2. **地质雷达法**
         1. 主要用于短距离探测，验证中距离预报中发现的断层目标异常体。
         2. 宜在掌子面按水平或垂直方向布置不少于2条测线，且线距不小于1.5m，宜选择和断层带夹角较大的方向。
         3. 根据掌子面平整度和作业条件选择连续测量法或点测法，作业环境较好情况下宜优先选择连续测量法，点测预报测点间距不宜超过20cm。
         4. 应根据地质雷达图像异常特征，进一步确定断层带的位置、破碎程度、岩石完整性、富水情况。
12. 岩溶预报
    1. 一般规定
       1. 岩溶预报应对隧道前方开展预报工作，岩溶发育强烈时宜对隧道底板进行探测。
       2. 岩溶预报充分收集区域岩溶地质资料和勘察资料，分析地层岩性、地质构造、地下水发育程度、岩溶的分布范围、规模及充填情况等。
       3. 岩溶预报应探明溶洞的位置、规模、充填情况等，并分析其对隧道施工的影响程度。
    2. 预报方法选择
       1. 岩溶预报宜按照洞内外结合，以洞内为主；中短结合，以短距离为主的原则采用地质调查与物探相结合、物探与钻探相结合的综合超前地质预报方法：
          1. 地质调查法适用于各种地质情况，依据地质勘察资料和隧道内地质调查，对地层岩性、地质构造、岩溶发育等进行相关性分析，推测隧道区间岩溶和溶洞的发育情况；
          2. 短距离预报宜选用地质雷达法对岩溶裂隙带、溶洞和富水性进行有效预报；
          3. 中距离预报宜采用地震波法对大型溶洞和富水性岩溶区进行探测；
          4. 应采用超前钻探法对复杂地段或存在涌水突泥风险区的溶洞进行验证。
       2. 应根据岩溶发育情况选择合适的超前地质预报方法组合，并在实施过程中根据地质情况进行动态调整。
       3. **地质调查法**
          1. 应调查隧道施工期隧道周围及掌子面地质条件，对岩性、岩层产状、构造、含水特性及含泥情况等特征进行分析，对岩溶预报重点区和岩溶涌水突泥进行必要的前兆性预判。
          2. 隧道内地质素描及其环境要求：
13. 隧道内地质素描宜包含掌子面和侧壁；
14. 地质素描宜在初期支护前开展，地质条件复杂地段宜每开挖循环进行一次素描，其他地段宜每10m～20m进行一次；
15. 地质素描成果应清晰表示岩溶的规模、形态、位置和构造部位，填充物成分、状态，以及岩溶展布的空间关系等；
16. 现场记录应包含照片、视频等影像资料。
    * 1. **地质雷达法**
         1. 应在掌子面布置不少于3条测线，可采用一字型、十字形或井字形布置。必要时，应在隧道侧壁增加测线，以增大地质雷达探测范围。
         2. 现场条件允许时，首选点测模式，减小天线抖动造成的干扰；掌子面平整度较高时可采用连续扫描模式，宜对可疑地段进行重复测量。
         3. 采集时窗宜在600ns～700ns，掌子面含水或夹泥严重时应结合地质雷达信号进行调试，适当减小时窗，但不得低于400ns。
         4. 应结合雷达图像形态、频率分布、信号相位等，判断岩溶分布、大小、充填情况。
         5. 存在纵向长度大于2m的岩溶时，宜将越过该岩溶后的掘进面作为下一次地质雷达探测的起点。
      2. **超前钻探法**
         1. 超前钻探孔宜以物探预报成果为基础，孔位、孔数、孔深需满足物探异常区验证和涌水突泥区探查的需要。
         2. 钻孔内宜根据需要布置适当的孔内物探工作，孔内进行管波法时，钻孔宜向下倾斜一定角度、保证管波探头与孔壁的耦合效果。
         3. 钻孔的施工和记录应满足相关规范的要求。
17. 复合地层预报
    1. 一般规定
       1. 复合地层预报应在分析已有地质勘察资料和现场地质调查资料的基础上，了解地层岩性结构、特性和风化规律。
       2. 复合地层预报应根据预报方法特点、隧道地层特征、施工方法和设计要求等综合选择预报方法，地质条件复杂、风险程度高隧道段应采用针对性强、适用性好的多种方法进行综合预报。
       3. 复合地层预报宜做到地质与物探相结合、中短距离预报相结合、地面与地下预报相结合，相互验证，提高预报准确性。
       4. 复合地层预报应查明复合地层分界面。
    2. 预报方法选择
       1. 复合地层预报方法的选择应在对区域地质资料、工程地质资料和前期勘察资料的充分分析基础上进行，结合预报距离选择合适的预报方法：
          1. 中距离预报主要采用地质调查法和地震波法；
          2. 短距离预报宜以地质雷达法为主。
       2. 预报流程应遵循中短距离循环预报、短距离验证的原则，根据掘进方法、施工循环进度确定中、短预报的循环距离。
       3. **地质调查法**
          1. 应依据隧道地质勘察资料划分隧道围岩复合地层分布情况，预测其与隧道掌子面和轴线的相对位置。
          2. 应根据成因分析原始、次生和构造软弱夹层的物理特性。
          3. 应根据临近断层、围岩地层顺序特征识别和预测软弱岩层。
       4. **地震波法**
          1. 适用环境：软弱岩层的倾角与隧道轴线前进方向的夹角不宜小于45°；软弱岩层的波阻抗明显低于一般岩层且厚度不小于有效波长的1/4；当洞内条件条件不满足时，可采用地面探测方式。
          2. 根据同相轴不连续性和振幅能量变化、结合地质资料，初步分析复合地层在空间的几何形态及位置。
          3. 应通过数据处理计算得出软弱岩层及基岩风化层的二维或三维图像、隧道轴向纵横波速度和泊松比曲线。
          4. 应根据轴向波速和泊松比曲线的异常宽度，结合地质资料，解释软弱岩层及基岩风化层在空间的几何形态，推测软弱岩层及基岩风化层的宽度和与轴线的相对位置。
       5. **地质雷达法**
          1. 地质雷达法适用于短距离预报软弱岩层、岩性分界面和基岩风化程度等复合地层、划分地层界面。
          2. 宜与中距离预报同时启动，连续预报时两次预报的重叠洞段宜不小于有效预报长度的1/4。
          3. 根据掌子面平整度和作业条件选择连续测量法或点测法，作业环境较好情况下优先选择连续测量法，点测预报测点间距不宜超过20cm。
          4. 接近前期预报软弱岩层5m～10m位置，地质雷达应增加预报频率、详细探测软弱岩层或异常边缘距施工掌子面的距离，为超前钻孔提供孔位、孔深资料。
          5. 应根据地质雷达图像异常特征，进一步确定软弱岩层、岩性分界面和基岩风化程度分界面空间展布状态及其与隧洞的相互关系。
       6. **超前钻探法**
          1. 应动态控制和管理钻探过程，根据钻探情况可适当调整钻孔数量、位置和深度；
          2. 地质条件复杂时，宜增加钻孔数量与钻探深度，钻孔直径应满足钻探取芯和孔内测试的要求；
          3. 应控制钻进方向与钻孔偏移量；
          4. 应做好钻孔编录、钻进参数记录与分析；
          5. 在富水地段进行超前钻探时应采取突水突泥防范措施。
18. 采空区及人造空洞预报
    1. 一般规定
       1. 采空区及人造空洞预报应充分收集采矿资料、地质资料，分析采空区形成历史、规模及塌陷历史；人造空洞预报应收集空洞设计施工资料，分析空洞形成条件、空洞尺寸及规模等。
       2. 采空区及人造空洞预报应分析采空区或人造空洞变形影响范围，判断与隧道的空间位置关系。
       3. 采空区及人造空洞预报宜以地表专项勘察为主、隧道内预报为辅。
       4. 采空区及人造空洞预报应探明采空区及人造空洞预报分布范围、规模、覆岩结构、充水情况、围岩破碎情况、塌陷冒落、裂隙发育等情况。
    2. 预报方法选择
       1. 预报方法的选择应在对区域地质资料、前期勘察资料和采矿资料、人造空洞设计施工资料的充分分析基础上进行，根据沿线采空区和人造空洞的分布范围、规模和隧道的相对位置关系选择预报方法。
       2. 预报方法宜采用地质调查法为主，地震波法为辅，必要时采用地质雷达法等详细探测方法的预报原则。
       3. **地质调查法**
          1. 通过收集资料和走访调查查明采空区开采情况和人造空洞的建设情况，查明采空区范围、开采历史、开采时间、开采方式、采深采厚、塌陷情况等；查明人造空洞的范围、结构和变形破坏情况。
          2. 对隧道开挖段进行工程地质测绘查明隧道内采空区和人造空洞的分布、规模，围岩岩性、围岩破坏程度及充填物状况、水文地质条件。
       4. **地**震波法
          1. 地震波反射法应依据地震反射波相位、纵波横波比值和泊松比判断采空区或空洞大小及充填情况。
          2. 对于沿地层层面分布的“一字形”空洞，当采空区或空洞走向与隧道夹角大于45°时，解译位置可能存在误差，应结合其他手段进一步确定后采纳。
       5. **地质雷达法**
          1. 主要用于精细探测中距离预报中发现的采空区或人造空洞及地质调查中发现的隧道下方可能存在的采空区或人造空洞。
          2. 宜在掌子面布置不少于2条测线，测线方向宜采用水平或垂直方向。
          3. 宜采用连续测量法，在掌子面平整度较差或信号较弱时可采用点测法，但测点距离不应超过20cm。
          4. 应根据地质雷达图像异常特征，进一步确定采空区或人造空洞的位置、规模、含水情况。
19. 孤石预报
    1. 一般规定
       1. 孤石预报应应在施工前收集资料，然后根据前期勘察资料和现场掘进情况确定孤石发育程度，确定是否可能存在大量孤石或大尺寸孤石。
       2. 孤石预报应应通过勘察资料分析孤石类别，厘清孤石与周围松散层介质的物性差异。
       3. 孤石预报应包含孤石的分布位置、大小、强度等，并评价对隧道施工的影响。
    2. 预报方法选择
       1. 孤石预报可采用地震波法和钻探法。
       2. 当超前预报重点是要查明一定隧道里程范围内孤石分布时，可在隧道掘进前采用超前水平定向钻探法开展中距离预报。
       3. **地震波法**
          1. 地震波法适用于具有较大反射面的孤石，对于沿隧道串珠状分布孤石探测效果一般，须结合其他勘探手段综合解译。
          2. 地震波反射法应依据地震反射波相位、纵波横波比值和可溶岩泊松比判断孤石大小与位置。
          3. 地震波法宜用于中距离的孤石预报，一般每次探测距离应在40m左右，不宜超过60m。
       4. **超前钻探法**
          1. 用于孤石预报的超前钻探，宜以物探预报资料为基础，针对待探对象合理布置钻孔数量、位置和长度。
          2. 超前钻孔内应按本相关行业标准要求利用孔中地质雷达、综合测井等进一步探查钻孔周围可能存在的其他孤石体。
20. 富水区预报
    1. 一般规定
       1. 预报与黏土、黏土夹石充填溶洞和饱水泥夹石断层破碎带、采空区或人造空洞等有关的富水区时，应与断层、岩溶、采空区、人造空洞等预报方法一起实施综合预报。
       2. 富水区预报内容应包括富水区的位置、规模、富水情况等，并分析其对隧道施工和隧道安全的影响。
    2. 预报方法选择
       1. 应根据预报方法特点、隧道地质特点、施工方法选择预报方法，宜选用电磁类方法进行预报。
       2. 宜采用瞬变电磁法进行中距离预报，采用地质雷达法和直流电法进行短距离预报，必要时进行钻探验证。
       3. **瞬变电磁法**
          1. 瞬变电磁法一般每次探测距离应在50m左右，不宜超过60m。存在富水区异常时，宜在掘进超过富水区10m后再次进行探测。
          2. 瞬变电磁法应探明富水区距掌子面的距离、富水情况。
       4. **直流电法**
          1. 直流电法不宜单独使用，应结合其他手段进行综合预报。
          2. 直流电法一般每次探测距离应在25m左右，不宜超过30m。
          3. 应保证发射和接收电极接地良好。
          4. 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。
       5. **地质雷达法**
          1. 地质雷达法用于富水区预报时，宜以连续测量为主，掌子面平整度较差时可以采用点测模式，点距不得大于20cm，测线宜水平布置，不得少于2条。
          2. 地质雷达法应在接近富水构造或异常区5m～10m位置探测含水构造或异常区距掌子面的距离、规模、富水情况，为超前钻探提供孔位、孔深情况。
          3. 预报应根据雷达反射波相位、振幅和频率综合判断富水情况，并应结合异常规模来预报涌泥突水情况。
          4. 在验证存在富水区时，本次地质雷达的有效探测距离宜至富水区中心点为止，下一次探测应在掘进超过富水区后即开展。
       6. **超前钻探法**
          1. 应在地质雷达或电法预报建议的孔位、孔深的基础上进行超前钻，超前孔应探明含水体规模、充填物及富水情况。
          2. 超前钻孔应安装有泄压阀门的套管。
21. 超前水平定向预报法
    1. 一般规定
       1. 当常规勘察或超前地质预报方法无法准确查明不良地质体赋存状况时，可采用超前水平定向预报法进行超前地质预报。
       2. 超前水平定向预报法宜由超前水平定向钻探和孔内物探测试两部分构成，钻孔可采用综合测井、管波法、孔中瞬变电磁法、孔中地质雷达法、跨孔CT法、钻孔电视等物探手段。
       3. 根据钻进过程中是否同时采用物探手段可将超前水平定向预报法分为随钻预报法和钻后预报法，当场地条件、工期状况允许时，宜采用随钻预报法。
       4. 根据是否设置出土点可将超前水平定向预报法分为通孔预报法和盲孔预报法，当地面场地条件允许时，宜采用通孔预报法。
       5. 根据钻孔取芯情况可将超前水平定向预报法分为取芯预报法和无芯预报法，当场地条件、工期状况允许时，宜采用取芯钻孔。
    2. 预报要求
       1. 采用超前水平定向预报法时宜具备下列资料，宜在进场施工前对资料真实性进行复核确认：
          1. 工程区域地下管线分布资料；
          2. 地形地貌测量资料；
          3. 附近区域的地质勘察资料；
          4. 地面及周边环境等相关资料；
          5. 高压电线等电磁干扰资料。
       2. 宜结合钻进过程中的现场观察记录、钻进工作参数和孔内物探测试成果，综合探查钻孔岩土性变化、前方及周边的不良地质体情况。
       3. 钻探过程现场观察记录应包括施钻与终钻时间、钻进深度、冲洗液颜色、有无异味、返渣颗粒大小、形状、岩性，以及卡钻、跳钻、坍孔等异常情况等。
       4. 钻进成孔设备应配套自动记录系统对钻进工作参数进行记录，宜包括与钻进深度相对应的钻进速度、推进压力、转速、进水量、排水压、扭矩等。
       5. 单个预报钻孔预报断面面积不宜大于10m2，超前预报段钻孔轨迹精度不应低于0.5m，相邻钻孔在隧道断面内的距离应大于1.5m。
       6. 超前水平定向预报法所用的钻进和勘探设备应具备足够的轴向拉伸强度、环刚度、一定的轴向弹性变形能力，并应符合有关材料国家现行标准的规定。
       7. 钻进泥浆配置应符合钻探行业相关标准规定。
       8. 超前水平定向预报法施工时应做好环境保护、安全保护和文明施工，确保周边的建筑物、相邻和相交管线及地下构筑物不受损坏，避免上覆岩土层、道路等出现沉陷、坍塌或隆起。
22. 数据采集与处理
    1. 数据采集
       1. 数据采集前，应对仪器进行检查和环境干扰测试，并减少振动和电磁信号的影响。
       2. 应根据现场噪声强度、频率分布、电磁干扰、探测范围要求等条件选择仪器设备和设置采集参数。
       3. 地震波法现场数据采集应满足下列要求：
          1. 应根据设计的观测系统，进行接收点、激发点或炮点施工，并进行编号标识；
          2. 设计观测系统时，接收点、激发点或炮点之间严禁出现空腔（如斜井/横洞/避车洞/牵引变电站等）；
          3. 发射点或接收点位置允许偏差应为±0.1m；
          4. 孔内传感器接收或孔内激发的仪器设备应按设计的观测系统进行钻孔，激发孔下斜10°～20°，接收孔上斜5°～10°，在岩体较破碎洞段或土层段，宜插入PVC管进行保护；
          5. 宜建立三维坐标系，测量观测系统布置范围内的掌子面里程、激发点与接收点、不规则洞壁段坐标；
          6. 采用爆破激发应符合国家现行标准GB 6722《爆破安全规程》的规定；
          7. 采集系统采用爆炸激发时，触发延迟时间不应大于50μs；
          8. 激发触发应选在噪音振幅峰值较小的时段进行；
          9. 分量检波器探头的X、Y、Z方向应与设计方向一致，采用孔内安装时，套管的倾斜允许偏差应为±5°；
          10. 每次激发时，应核对激发点编号、准确填写班报。
       4. 电磁法类（地质雷达法、瞬变电磁法、直流电法等）现场数据采集应满足下列要求：
          1. 地质雷达法、瞬变电磁法作业前，应对隧道掌子面进行加工，使掌子面尽量平整；
          2. 掌子面下方不应有大量积水；
          3. 测线起始点、测线在掌子面的边界点和中心点应测量定位；
          4. 测试过程中的测量应使用非金属测量尺或测量绳；
          5. 测试前应移开近掌子面附近洞段的金属物体，测试过程中不应有金属、磁性物质接近测量系统；
          6. 支撑天线的器材应选用绝缘材料，天线操作人员不宜佩带含有金属成分的物件，不应携带通讯工具，并应与工作天线保持相对固定的位置；
          7. 天线与主机的连接电缆必须散开，测试过程中应保持连接电缆与天线的位置相对固定；
          8. 应对异常位置进行重复观测，重复观测数据与原始数据一致性良好，且没有明显移位。
       5. 预报记录应客观真实，宜包含：原始调研、观测记录、纸质及电子原始数据、地质素描、测线附近干扰物、测试现场地质特点、现场影像资料、现场工作验收记录等。
       6. 原始记录内容应完整、书写工整、现场责任人签字清晰，电子记录日期、文件名正确对应。
       7. 现场工作完成后，预报实施人员应及时对全部记录进行自检。
       8. 预报原始资料存在下列情况之一者为不合格：
          1. 记录不全；
          2. 测点、测量桩号或观测系统等班报主要内容出现错误；
          3. 原始记录有擦拭、涂改、撕页、签字不全等情况；
          4. 原始电子资料缺失或与记录内容不符；
          5. 主要仪器参数错误或信噪比低，干扰信号严重影响到有效信号；
          6. 未进行质量检查或检查不合格。
    2. 数据处理
       1. 应及时对现场采集的物探数据进行预处理，主要包括文件导出、重命名、参数改正、数据合并、数据过滤等。
       2. 各类数据处理、解译软件的操作流程应符合仪器、软件厂商的要求，数据处理步骤应结合现场实际情况调整。
       3. 采用等值线方式进行绘图时，单次预报同一方法不同测线的成果图色标宜保持一致。
       4. 超前钻孔应以钻孔柱状图形式出图，并编制探测报告，内容宜包括工程概况、钻孔位置、钻探成果、钻孔柱状图，必要时提供代表性岩芯照片等。。
    3. 资料解译
       1. 应结合隧道勘察、掌子面附近的地质资料进行解释和推断。
       2. 物探成果应结合地质资料进行解译，绘制相应的预报地质成果图，并明确标明地质异常体的形状、位置、方位等空间要素信息。
       3. 地震法宜根据各反射层绝对波速和波速相对变化确定软弱夹层、断层破碎带、节理密集带的位置和规模，并结合岩体纵波速度等力学参数对围岩级别进行初步评估。
       4. 综合预报手段要给出相互修正后的一致结果，并对方法之间的差异做出说明，差异较大时应着重说明取舍原因及处理原则，为后期同类情况的资料解译做出参照。
23. 预报成果分析与评价
    * 1. 超前地质预报成果宜包含阶段成果、最终成果报告和图件、数据资料等内容。
      2. 预报成果应做到资料完整、测线布置记录准确、数据无误、图表齐全、字迹清晰、图面整洁。
      3. 综合预报时不同方法的出图比例尺应一致，预报成果出图比例宜为1:100～1:500之间，物探方法的成果图宜符合DZ/T 0069《地球物理勘查图图式图例及用色标准》中相关规定。
      4. 阶段报告和最终成果报告结论应一致，针对不一致的情况应做出明确的原因说明。
      5. 单次预报成果报告内容宜包括下列内容：
         1. 预报项目施工、地质概况；
         2. 预报方法及设备仪器；
         3. 现场布置及工作量；
         4. 数据处理及解译；
         5. 结论与建议；
         6. 附图、附表。
      6. 预报竣工报告内容宜包括：
         1. 工程概况；
         2. 项目施工设计、地质及物探条件；
         3. 预报方法技术及工程量；
         4. 预报质量控制；
         5. 数据处理、资料整理和分析解释；
         6. 预报成果；
         7. 预报成果验证情况；
         8. 预报结论与建议；
         9. 附图、附表。

一般安全防护规定

超前地质预报人员应认真学习、执行隧道施工安全规程和钻探安全技术操作规程。上岗人员必须经过安全生产教育，具有安全生产的基本知识。

超前地质预报实施前应积极识别各种安全危险源，采取防范措施，保障人员和机械设备的安全。

进入隧道工作人员必须穿戴合体的工作服、防护靴、安全帽和防尘（防毒）口罩等防护用品。

严禁上班前和工作中饮酒。

地质预报工作必须在现场找顶作业结束（必要时初期支护）后进行，开始工作前应观察、轻敲操作空间上方、周围，特别是钻探开挖工作面附近，确定是否还有危石存在，确保预报人员的安全。

高处作业时作业台架必须安设牢固，台架周围应设置防护栏，凡患有高血压、心脏病等不适应高处作业者不得上架作业。

钻机使用的高压风、高压水的各连接部件均应采用符合要求的高压配件，管路应连接，安设牢固，并应经常检查，防止管接头脱落、管路爆裂造成高压风、水伤人；高压电路接线应由专业电工操作。

钻孔时，钻机前方应安设挡板，严禁在钻孔的轴向后方站人，以防钻具和高压冲出的岩屑、泥沙等伤人。

为便于控制超前钻孔揭露大量地下水时的水流，孔口应安设孔口管和闸阀，且孔口管必须安设牢固，防止水压将孔口管冲出伤人。

隧道内邻近不良地质体前兆特征

断层带的邻近前兆特征主要有：

* + - 1. 节理组数急剧增加；
      2. 岩层牵引褶曲出现；
      3. 岩石强度明显降低；
      4. 压碎岩、碎裂岩、断层角砾岩等出现；
      5. 邻近富水断层前断层下盘泥岩、页岩等隔水岩层明显湿化、软化，或出现淋水和其他涌突水现象。

大型溶洞水体或暗河的邻近前兆特征主要有：

* + - 1. 隧道围岩裂隙、溶隙出现较多的铁染锈迹或黏土；
      2. 围岩出现明显的湿化、软化，或出现淋水现象；
      3. 小规模溶洞、溶隙出现的频率明显增加且多有水流、河沙或水蚀痕迹；
      4. 超前钻孔涌水量剧增，且夹有泥沙或砾石；
      5. 超前钻孔内有凉风冒出；
      6. 隧道内有明显流水声。

采空区及人造空洞的邻近前兆特征主要有：

* + - 1. 围岩锚固件或炸药孔的突然出现；
      2. 非地质因素下岩土层突然变化；
      3. 具有一定规模的矿层，且围岩裂隙逐渐增多；
      4. 邻近富水采空区前，裂隙水流出现，超前钻孔涌水量剧增。

物探仪器性能指标规定

地震法仪器性能指标应符合下列要求：

* + - 1. 应具有触发信号同步、信号放大、增益调整、噪声监测、滤波等功能的数字化地震波接收设备；
      2. 接收道数二维反射不应少于6道，三维反射不应少于12道，反射层析成像法不应少于9道；
      3. 最小采样间隔不应大于0.05ms；
      4. 每道最少样点数不应少于1024点；
      5. 模数转换精度不应低于24bit；
      6. 放大器动态范围不应小于96dB；
      7. 频率响应范围宜为2Hz～5000Hz；
      8. 加速度或速度传感器频率范围不窄于20Hz～2000Hz；
      9. 加速度传感器灵敏度不应低于0.5V/g，速度传感器灵敏度不应低于0.5V/cm/s。

地质雷达仪器性能指标应满足下列规定：

* + - 1. 应具有信号叠加、滤波、点测与连测、手动与自动位置标记等功能；
      2. 脉冲重复频率不应小于100kHz；
      3. 数转换精度不应低于16bit；
      4. 最小采样间隔不应大于0.05ns；
      5. 动态范围不宜小于120dB；
      6. 应具有自动和手动增益调节功能，增益点数不应少于3个；
      7. 具有32次以上信号叠加功能；
      8. 应具有垂向滤波功能；
      9. 天线中心频率允许偏差应为±5%；
      10. 天线频带范围不应小于中心频率的0.25倍～2倍。

瞬变电磁仪发射机的性能指标应满足下列规定：

* + - 1. 应具有过压和过流保护功能；
      2. 最大发射电流不低于3A，发射信号宜为双极性方波，时间宜随取样道数选择值而变化；
      3. 发射基频频率宜能在2.5Hz～225Hz范围内分档；
      4. 最小关断时间不应大于0.5μs；
      5. 发射线圈最大边长不应大于2m。

瞬变电磁仪接收机的性能指标应满足下列规定：

* + - 1. 通道灵敏度不应大于0.5mV；
      2. 最小叠加次数不应小于1000次；
      3. 最大采样率不应小于10μs；
      4. 带宽不应窄于10Hz～7.5kHz；
      5. 最大时窗不应小于160ms；
      6. 增益范围宜为0dB～140dB；
      7. 本底噪声应小于1μV；
      8. 工频干扰抑制宜大于60dB。

直流电法仪的性能指标应满足下列规定：

* + - 1. 应具有测量一次场电位和电流、二次场电位和衰减时间的功能；
      2. 应有与发射机、电极转换控制器相配套的控制管理功能；
      3. 采样频率不应小于100Hz；
      4. 模数转换精度不应低于16bit；
      5. 测量电流误差不应大于1%，分辨率不应低于0.01mA；
      6. 测量电压误差不应大于1%，分辨率不应低于0.01mV；
      7. 极化补偿范围不应小于±1V；
      8. 输入阻抗不应小于20MΩ；
      9. 对50Hz工频干扰抑制应大于80dB。

物探仪器设备种类较多，本标准未明确规定的性能指标，宜符合CJJ/T 7《城市工程地球物理探测标准》中的相关规定。

本标准用词说明

* + - 1. 为便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格不同的用词、用语说明如下：

1）表示很严格，非这样不可的用词：

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用词：

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，首先应这样做的用词：

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”。

* + - 1. 本标准中指明应按其他相关标准和规范执行的写法为“应按……执行”或“应符合……的规定”。

引用标准名录

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用的文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB 50307 城市轨道交通岩土工程勘察规范

GB 6722 爆破安全规程

GB/T 14499 地球物理勘查技术符号

DZ/T 0054 定向钻探技术规程

DZ/T 0069 地球物理勘查图图式图例及用色标准

DZ/T 0153 物化探工程测量规范

JT/T 1060 桥梁隧道结构用工程雷达

CJJ/T 7 城市工程地球物理探测标准

CECS 382 水平定向钻法管道穿越工程技术规程

城市轨道交通工程地质风险控制技术指南

**江苏省土木建筑学会标准**

城市轨道交通工程隧道施工

超前地质预报技术标准

T/JSTJXH XXX

**条文说明**

**目 次**

[1 总则 36](#_Toc114735255)

[3 基本规定 37](#_Toc114735256)

[4 超前地质预报设计 39](#_Toc114735257)

[4.1 设计原则 39](#_Toc114735258)

[4.2 预报方法 39](#_Toc114735259)

[5 断层预报 42](#_Toc114735260)

[5.1 一般规定 42](#_Toc114735261)

[5.2 预报方法选择 42](#_Toc114735262)

[6 岩溶预报 45](#_Toc114735263)

[6.1 一般规定 45](#_Toc114735264)

[6.2 预报方法选择 45](#_Toc114735265)

[7 复合地层预报 49](#_Toc114735266)

[7.1 一般规定 49](#_Toc114735267)

[7.2 预报方法选择 49](#_Toc114735268)

[8 采空区及人造空洞预报 50](#_Toc114735269)

[8.1 一般规定 50](#_Toc114735270)

[8.2 预报方法选择 50](#_Toc114735271)

[9 孤石预报 51](#_Toc114735272)

[9.1 一般规定 51](#_Toc114735273)

[9.2 预报方法选择 51](#_Toc114735274)

[10 富水区预报 52](#_Toc114735275)

[10.1 一般规定 52](#_Toc114735276)

[10.2 预报方法选择 52](#_Toc114735277)

[11 超前水平定向钻探法预报 53](#_Toc114735278)

[11.1 一般规定 53](#_Toc114735279)

[11.2 预报要求 58](#_Toc114735280)

[12 数据采集与处理 60](#_Toc114735281)

[12.1 数据采集 60](#_Toc114735282)

[12.2 数据处理 61](#_Toc114735283)

[12.3 资料解译 63](#_Toc114735284)

[13 分析评价与预报成果 64](#_Toc114735285)

1. 总则

**1.0.1** 城市轨道交通隧道一般处于城市建成区或待建区，周边各类建设项目可参照的地质资料较多，但各类电磁噪声、车辆噪声等干扰源较多，受人文条件影响大，对不良地质体的勘探精度要求高。鉴于以上特殊性，有必要制定本标准，规范城市轨道交通隧道施工超前地质预报工作。

**1.0.3** 城市轨道交通隧道施工前一般有较详尽的地质资料和详细勘察资料，对于可能出现的不良地质体大多有一定了解，因此可以根据预报对象的特点和现场作业条件制定超前地质预报方案。

**1.0.4** 各种新技术、新设备、新方法快速发展，尤其是以物探手段为主的超前地质预报工作，设备、技术更新很快，故本标准鼓励对新技术的使用，且对新技术设置了试验章节，确保试验段结果可靠度，在准确、可靠的前提下保证城市轨道交通隧道施工超前地质预报工作方法的常用常新。

1. 基本规定

**3.0.1** 超前地质预报是保障隧道施工安全的重要措施和技术手段，有些行业将其列为隧道施工的必要环节和工序。每种超前地质预报方法都具有一定的适用条件，这些适用条件主要涉及隧道的工程地质特点和施工方式。

**3.0.3** 城市轨道交通隧道施工超前地质预报主要是指导施工和预防与地质灾害相关的安全事故，便于施工方根据掘进掌子面前方地质情况及时采取相关的施工技术措施、避免地质灾害事故的发生。

**3.0.7** 超前地质预报是一个系统工程，需要一个专业团队，主要包括地质、物探、钻探专业的人员。由于物探预报方法仪器多，质量控制环节多，需要现场仪器操作、资料处理等方面的专业物探人员组成的团队，同时还需要对各种预报方法的预报资料进行综合分析解释，得出正确的结论。因此，必须配备专业的物探和地质人员。

**3.0.8** 超前地质预报组织管理工作非常重要，有效的组织管理可以及时掌握和反馈隧道地质条件信息，调整和优化隧道施工、防护措施，为优化隧道施工组织、制定施工安全应急预案、控制工程变更设计提供依据。做好超前地质预报工作，可以预防各类突发性地质灾害，降低地质灾害发生机率，有效规避工程建设风险，实现隧道施工质量、安全、工期、环境和投资控制目标。建设单位是工程责任和管理的主体，是监督和检查的主导者；勘察设计单位掌握隧道地质和设计的主要资料，便于系统分析；监理单位具备掌握和沟通各方信息的条件，全局协调和监督；施工单位是隧道施工建设的现场承担者，直面安全风险，也是超前预报工作的现场配合和风险规避者。

**3.0.9** 不同于公路或铁路隧道施工超前预报，物探方法用于城市轨道交通隧道施工超前地质预报时，不仅会受到现场作业的机械设备影响，还会受到地表或浅层的电磁信号、车辆震动信号等干扰，若不排除这些干扰或采取措施压制干扰，极易引起假异常，甚至导致不良地质体的信号淹没在噪声中。采用盾构法施工时不宜使用电磁感应类物探方法（瞬变电磁法、地质雷达法等）。

**3.0.10** 物探手段为不接触测量，单个物探方法往往只能探测1个或几个物性参数，且受现场干扰和采样点、采样精度影响较大，会存在多解性问题，导致对物探信号异常的解译出现偏差，因此当解译判断存在重大风险的地质异常时，宜采用综合预报手段或钻探法进行确认，给出最终解译结果。

**3.0.12** 根据隧道的地质条件，对不同的地段采取不同的预报方法，益于抓住重点，增强针对性，集中优势资源，提高预报准确性；一般地段可减少采用的预报手段，节省有限的地质预报资源。但是前期资料可能与实际不符，这种情况做出的预报设计会不满足预报需要，因此需要根据掘进时得到的新信息和预报成果动态调整，不断优化预报方案。

1. 超前地质预报设计
   1. 设计原则

**4.1.2** 在进行城市轨道交通隧道施工超前地质预报前，一般有较详尽的地质资料和详勘报告，对于可能出现的不良地质体和地质灾害已有一定程度的了解，因此由设计单位按照预报对象来进行预报设计。

* 1. 预报方法

**4.2.1** 本条所列检测方法均为成熟可靠的超前地质预报方法，在各地区的城市轨道交通、铁路、公路等隧道的超前地质预报中均有广泛应用。瞬变电磁法虽然在城市轨道交通隧道施工中应用不多，但是根据经验并多方咨询，在公路、铁路隧道和煤矿巷道中用于富水区超前探测效果良好，因此一并加入本标准。另外，管波等物探手段主要用于钻孔超前探测的辅助手段，在本章节未重点提及。

**4.2.1-3** 物探类预报方法主要分为地震波类和电磁法类，每种方法下又细分不同的装置形式或数据采集、处理方式，因此本标准仅规定对各物探方法观测系统的基本要求。

**1** 隧道施工超前探中常用的地震波法预报系统从原理上讲都是利用的反射波，例如TSP、TST、TGP、TRT系统等，前三者较为类似，观测系统和数据的处理方式都较为接近，主要是波形叠加处理；TRT系统则采用了三维分布的接收传感器，在掌子面多点激发，然后对数据进行空间地震波反射扫描层析成像处理。因此，下文按照地震波反射法和地震波反射层析成像法分别提出要求。

地震反射观测系统布置宜符合下列规定：

1. 观测系统应布置在位于施工掌子面后方约60m～80m的范围内；
2. 观测系统宜采用单壁多点激发，双壁多点3分量纵横波接收观测方式；
3. 二维观测时，两侧壁应各布置不少于一个3分量接收器，激发点不应少于18个，且接收孔和激发孔应在同一平面内；
4. 三维观测时，应在两侧壁同一断面上各布置不少于1个3分量接收器，激发点数不应少于18个，且激发点应在同一平面内。

地震反射层析成像观测系统布置宜符合下列规定：

1. 观测系统宜布置在施工掌子面后方50m的范围内；
2. 宜在近掌子面左右边墙腰部布置激发点且激发点数不宜少于12个，宜在双壁及顶拱布置不少于10个单分量接收检波器，条件允许时可布置多分量检波器；
3. 对于TBM施工法，宜使用TBM护盾上安装的自动机械震源或锤击震源。

**2** 地质雷达法优先选用屏蔽天线，减小现场周边电磁干扰。

**3** 瞬变电磁法采用线框接收时宜使用重叠回线装置，采用磁探头接收时应使用中心回线装置，或采用反磁通瞬变电磁一体化收发装置等。

测线布置宜符合下列要求：

1. 水平测线宜以线框的法线方向与隧道左壁垂直为起点（0°），顺时针方向每15°布置一个测点，当线框的法线方向与隧道开挖方向一致后（90°），每隔0.5m布置一个测点，依次进行扇形扫描，直至线框的法线方向与隧道右壁垂直（180°）。铅垂测线宜以线框的法线方向与隧道开挖方向呈45°为起点，每隔15°布置一个测点，直至线框的法线方向与隧道开挖方向呈135°；
2. 掌子面水平测点间距宜为0.5m，扇形扫描角度间隔宜为15°。

**4** 直流电法宜选择电阻率法、激发极法、自然电位法，测量装置宜选择三极、二极装置或聚焦测深装置，电极布置宜符合下列要求：

1. 电阻率、激发极化预报距离小于10m时，宜在掌子面四周均匀布置4个恒流供电A极，B极应布置在隧道出口方向，距A极的距离不应小于10倍最大测量距离，测量点宜在掌子面呈网状布置；
2. 电阻率、激发极化预报距离大于10m时，宜在距掌子面0m、2m、6m、10m、20m位置分别均匀布置4个恒流供电A极，B极应布置在隧道出口方向，距A极的距离不应小于5倍预报距离，测量点宜在掌子面呈网状布置；
3. 盾构掘进时，宜将多个同性源供电电极A均匀搭载在盾构机的护盾或边墙上，各电极间应进行电流屏蔽，测量电极宜采用伸缩阵列方式布置在刀盘上。

**4.2.2**中距离和短距离预报只是一个相对概念，没有一个准确的数据。预报距离和精度与地层物理性质、施工方式有关，地层岩性越硬、完整，预报距离越远，地层岩性越软、破碎、含水率越高，预报距离相对较短。同时，掘进速度越快，要求预报距离较远，掘进速度慢，预报距离相对要求较短。

连续预报时的搭接长度与使用的预报方法、预报距离、地质情况均有关系。

**4.2.3** 充分利用隧道勘察设计阶段的地质资料是编制超前预报技术方案的必要工作，这些资料在预报工作过程中对资料分析判断也十分重要。在实际工作中，应根据隧道自身的工程地质特点，针对不同隧段的工程地质和水文地质条件和现场干扰水平，对隧段分段分析可能存在的不良地质体并进行风险评估，建立不同地质、工程条件下的超前预报体系，避免多种预报方法“一哄而上”的局面，虽投入了大量的人力物力，却没有取得预期的效果。在超前地质预报的具体实施中，重点是预报手段的可操作性，应确定好隧道施工超前地质预报的组织管理，给超前地质预报必要的施工时间和作业环境。

**4.2.5** 不同预报方法的原理不同，单一的物探方法一般只针对某一种或几种物性，最终结果应该以基础地质资料为指导，以钻探结果为基准，根据物探结果划分异常体并确定其位置和性状等。

**4.2.7** 对于新技术、新设备、新方法的试验报告，其成果应当是明确的，主要是分析其在特定地质条件下的可靠性、抗干扰能力、预报精度与距离等，并与现有技术进行对比分析。同时，通过现场试验确定新技术、新设备、新方法在特定环境中的工作参数、需要的现场条件、人员等实施细节和数据处理方式。

**4.2.7-5** 主要是为了限制试验次数，避免多次不必要试验。当试验工作开展两次均不能通过专家评审认定时，基本可以认为该方法在该环境下的可靠性和有效性为低，当前不适宜进入生产环境使用。

1. 断层预报
   1. 一般规定

**5.1.1** 断层及破碎带是城市轨道交通隧道施工中常为遇到的复杂不良地质体，在断层破碎带中发生的洞内工程地质问题也极为复杂和严重。大多数情况下，在隧道开挖前都会有一定的详勘资料，对于较大断层带已经有基本掌握，超前地质预报的主要目的体现为验证前期发现的资料，并进一步确定断层带的位置、产状、导水情况等；除此之外，还担负了查明一些在前期详勘阶段未揭露的小断层的任务。

**5.1.3** 断层破碎带引起的现象不仅包括破碎带的围岩失稳塌方，断层泥、碎块石夹粘土、构造角砾岩、碎裂岩、糜棱岩等的失稳塌方和变形，往往还伴随着富水带的涌水，有时甚至会伴随发生洞内泥石流。一般来说，压性和压扭性断层，其主带内多充填有断层泥及糜棱岩，具一定的隔水性，故上盘常富水，其主要工程地质问题是破碎带围岩的变形和失稳塌方，当隧洞施工揭穿主带进入富水区后则易发生涌水、涌泥和塌方；张性断层，破碎带中很少含粘土质物质，导水性能较好，隧洞施工揭穿张性断层破碎带时极易发生塌方和涌水。

* 1. 预报方法选择

**5.2.1** 断层大小不一、规模不等，但都破坏了岩层的连续性和完整性，在断层带上往往岩石破碎，容易成为导水带。但是，对城市轨道交通隧道施工影响较大的往往是较大或者导水的断层带，因此不能盲目的一律采用单一方法进行短距离精细预报，而应该采用宏观手段先行、精细手段细化的原则来制定预报方案，做到高效、准确、精细探测。

**5.2.3** 地质调查法一般采用常规地质理论和作图法，根据隧道已有勘察资料、地表补充地质调查资料、洞内地质调查资料、隧道开挖工作面地质素描，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、断层要素与隧道几何参数的相关性分析、地质作图和趋势分析、前兆分析等，对开挖工作面前方可能揭示的地质情况进行预测预报。

**5.2.3-1** 断层破碎带破坏了岩层的连续性，往往会成发育为导水带，通过水系的改向等特征可以从识别出断层带的存在。

**5.2.4-1** 地震波法主要用于中远距离预报，受限于采集数据量有限，且深部信号的信噪往往比较低，导致其分辨率远低于地质雷达法等手段，因此要求断层带有一定的规模。同时，如果断层带的走向与隧道掘进方向夹角过小，反射信号会变得很弱，则断层带在地震叠加剖面图上可能只有一个点的异常信号，极容易被误认为是干扰波而被忽略掉。

**5.2.4-3** 通常来讲，反射波振幅越高，反射系数和波阻抗的差别越大；若横波S反射波比纵波P强，则表明岩层饱含地下水，比较任何反射振幅时都必须小心，因为反射振幅易受随机噪音和数据处理的影响；当Vp/Vs明显增加（减小）或泊松比突然增大，则常常因流体的存在而引起；若Vp下降，则表明裂隙密度或孔隙度增加。一般来讲，固结的岩石Vp/Vs＜2.0，泊松比＜0.33；当岩石的孔隙充满水时，Vp/Vs从1.4→2.0；当岩石的孔隙充满气时，Vp/Vs从1.3→1.7；水饱和的未固结地层Vp/Vs＞2.0。当岩体中含流体时，Vp与孔隙度和孔隙中流体的性质有关，Vp会明显降低；Vs只与骨架速度有关而与孔隙中流体无关，Vs不发生明显变化。关于沉积岩的泊松比：未固结的土层，往往具有非常高的泊松比（0.4以上）；泊松比常随孔隙度的减小及沉积物固结而减少，高孔隙度的饱和砂岩往往具有较高的泊松比（0.3～0.4），气饱和高孔隙度砂岩往往具有较低的泊松比（如低到0.1）。

**5.2.4-4** 反射波层析成像法（TRT）引入时间较短，没有TSP等系统应用广泛，成果解释主要遵循下述准则：异常体的结构，反射体越多，越离散，则岩体完整性越差，极性空间中变化越频繁和杂乱，岩体越破碎；地震波反射出现错断或局部消逝为断层。

**5.2.4-5** 地震波信号经过断层带时会发生反射、折射、绕射等现象，会导致断层带后的地震波信号传播方向不可控且明显变弱，难以分辨平行断层，且极有可能被多次反射信号所掩盖。因此，在确认断层带的存在后或不存在断层带，但是因为岩石破碎程度高等表现出断层带的假异常信号，则要在掘进该段不超过20m时作为下一次探测的起点。

**5.2.5-2** 地质雷达法主要用于精细探测断层带，在测线方向和断层带方向接近时，断层带将成为雷达信号的背景场，难以进行分析；要求测线不小于2条且线距不低于2m，以通过异常信号的极值位置确定断层带的倾向。

**5.2.5-3** 断层带一般规模较大，掌子面的不平整对信号的识别影响较小，而连续测量法的数据量大，作业效率高，便于获得连续性较高的雷达图像，有利于断层带的识别。

**5.2.5-4** 在单波形或wiggle方式下，产状平整断层面的波形一般比较尖细，含水裂隙带或断层破碎带的波形稍宽一些；且在含水断层带边界处，会形成强反射带。

1. 岩溶预报
   1. 一般规定

**6.1.1** 该条属于对岩溶空洞比较特殊的要求，尤其在发育有规模较大的空洞时，隧道下方溶洞的探查同样重要。

**6.1.2** 岩溶发育具有较为明显的区域特征，针对岩溶开展的预报工作应充分收集分析当地的岩溶资料，明确基本的形成形式、赋存条件、分布规律、充填情况等基本要素。

* 1. 预报方法选择

**6.2.1** 选择岩溶预报的方法时首先要考虑岩溶发育规模、探测距离和探测要求。工程地质调查法主要是在分析岩溶发育机理的基础上，结合隧道水文地质情况，大致推测出隧道线路上岩溶形态的分布规律，从而划分岩溶超前预报的重点地段并推测。此种方法可推测整个区间岩溶的发育情况，结果较为宏观，可作为超前地质预报地段选址的判断方法，能起到提高岩溶超前预报的准确性和经济性的效果，但不能作为岩溶发育的定量分析方法。查阅文献和其他城市地铁超前探项目后，认为地质雷达效果最好，可以区分充水、充泥、空洞，但是探测距离短；其次是TSP等弹性波法，但是对界面不连续、发育无规则的地质体效果不理想，只能用于发育规模较大的岩溶，应用场景较少；在铁路、公路隧道超前探中有利用瞬变电磁法探测大型岩溶的案例，考虑到城市隧道中电磁干扰严重（现有仪器一般都是非屏蔽天线，浅层管线、地下结构干扰和掌子面后方金属体干扰严重），不予采用。

**6.2.2** 基于岩溶发育的复杂性、隐蔽性、不确定性，对岩溶不良地质体的预测预报，一般应采用以地质法为基础的综合预报方法。采用宏观预报指导微观预报、短距离探测为主的探测原则。针对有较大空洞、充水的情况，近距离验证的工作尤为重要。

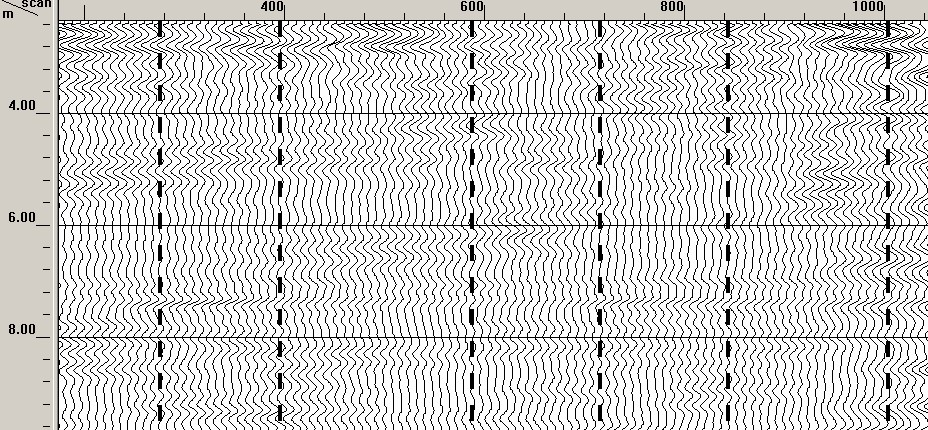
**6.2.4-1** 地质雷达主要是对测线正前方面状范围进行探测，测线间距过大会导致部分规模较小的溶洞被遗漏或信号较弱，影响对岩溶的判断。

**6.2.4-2** 岩溶发育规模一般较小，部分地区以黏土填充为主，在掌子面平整度一般时，若采用连续测量模式，天线抖动产生的信号异常掩盖掉黏土填充的小溶洞的信号，且极容易出现强烈的多次反射波。点测模式虽然测点数较连续模式少，但是信号稳定，成果可信度更高。

**6.2.4-3** 在岩系地层中，采集时窗600ns～700ns，对应的探测深度一般为25～30m，但是水或夹泥会严重影响信号强度，此时晚期信号基本为环境噪声，意义不大。

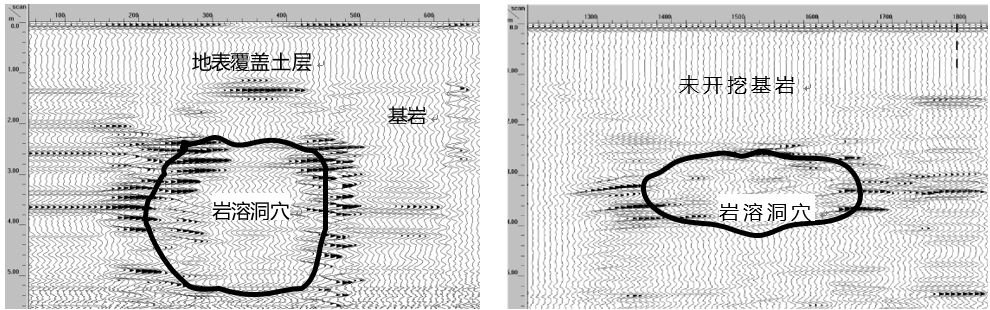
**6.2.4-4** 利用地质雷达进行岩溶探测时，可以参考但不限于以下经验：

砂岩、灰岩等完整新鲜岩石，均一性较好，雷达反射波强度很弱，常为低幅高频细密波，如图6-1所示：

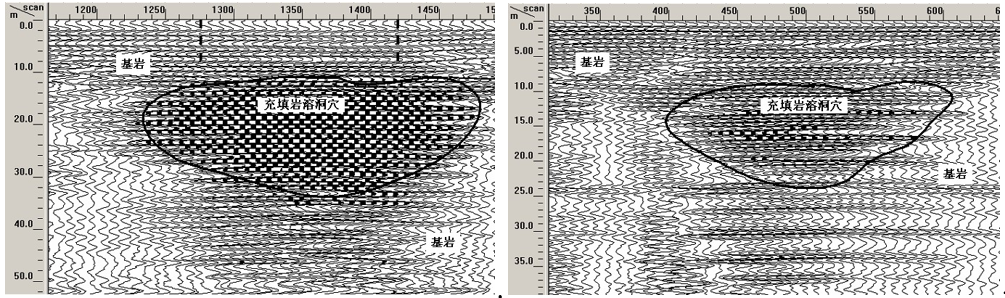


**图6-1 完整性较好的灰岩**

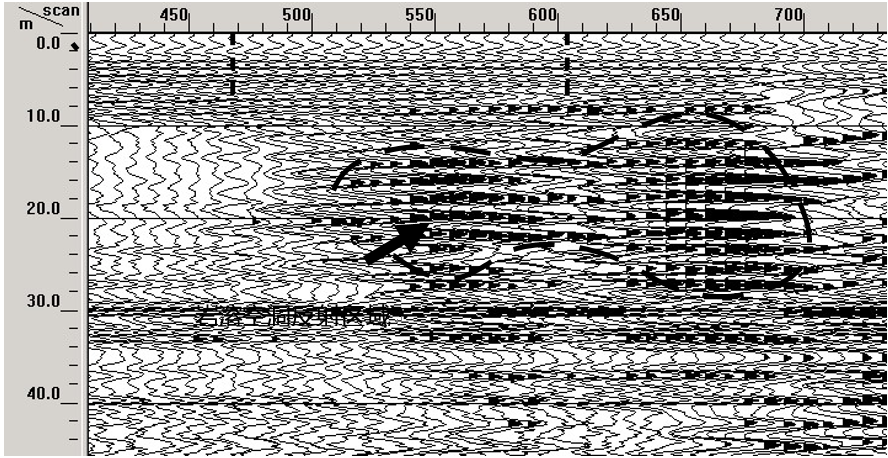
如说明图6-2～图6-6为几种典型岩溶洞穴的雷达图像。溶洞的典型特征是在边界形成强反射带，由于基岩和充填物性质的显著差异，充填型岩溶洞穴会形成中间和周围基岩反射程度的强烈差别，特别是有水充填的岩溶空洞。实际探测过程中，对岩溶空洞的判定首先要明确岩溶存在的可能性，然后再对出现的雷达物探异常区进行地质解释，综合判定岩溶空洞的分布状态。



**图6-2 中空干燥岩溶洞穴**  **图6-3 中空干燥岩溶洞穴**

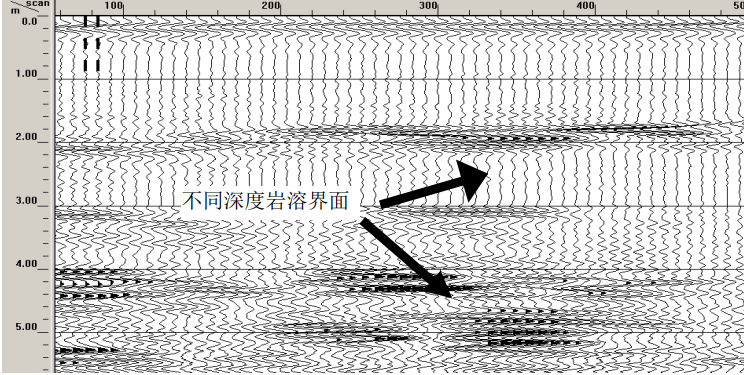


**图6-4 淤泥充填岩溶洞穴**   **图6-5 淤泥充填岩溶洞穴**

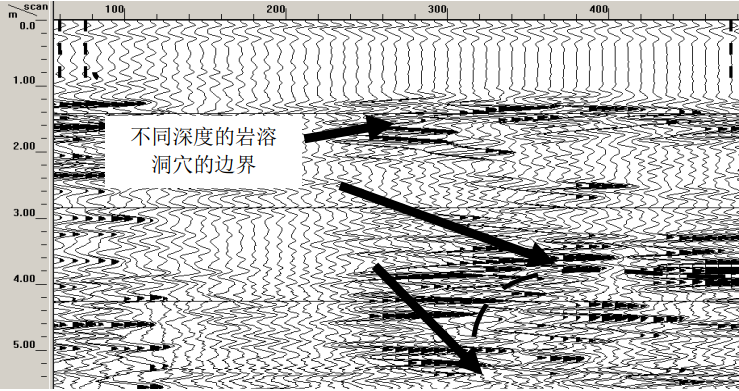


**图6-6 充水型岩溶洞穴**

前后叠置的串状溶洞分析：岩溶洞穴的空间形态十分复杂，当在隧道中实施探测时，可能出现在探测方向不同深度处多个溶洞同时存在的状况，对于这种状况应用地质雷达探测是可行的，因为雷达接收的是各个界面的反射波，深度不同的界面其反射波到达接收天线的时间长短是不一样的，距工作面越远则反射波时程越大，正像不同深度的地层界面都能反映到时间剖面上一样，不同深度的岩溶洞穴边界面也都能反映到时间剖面上，从而一个测线可以对不同深度溶洞的边界形态都能够反映出来，见图6-7和图6-8。



**图6-7 前后叠置的串状溶洞雷达探测剖面图**



**图6-8 前后叠置的串状溶洞雷达探测剖面图**

**6.2.6-2** 钻探法属于直接探测法，无法识别钻孔周围的溶洞，因此可以结合管波、超声波或综合测井等手段使用。在以往案例中，有使用孔中电视法的案例，但是利用该方法时需要先洗孔，近似水平的钻孔洗孔难度较大且容易导致孔壁坍塌，施工效率低；且该方法本质上仍属于直接测量法，只能探测被钻孔揭露的溶洞，性价比较低。管波、超声波法的探测距离较远，测量半径约1.5m，效果较好；综合测井法只能探测钻孔周边约30cm的范围，通常用于对钻孔周边近距离内可能存在的岩溶发育进行确认。

**6.2.6-3** 管波法等孔中物探手段均需要充填介质和孔壁进行耦合，该介质一般为泥浆，因此需要钻孔有一定角度，便于浆液的留存。

1. 复合地层预报
   1. 一般规定

**7.1.4** 软弱岩层通常指强度和弹模特别低的基岩，有的岩性尚坚硬，但由于风化影响或裂隙节理密集而成为软弱岩层，有的则由于岩性本身软弱而成。软弱岩层遇水后通常有两种破坏方式：一是软化、碎裂、崩解，但体积基本不增加；二是体积发生膨胀，最终导致软化、松散。软弱岩层的存在对隧道掘进施工、支护造成安全隐患，因此有必要查明其分界面，采取对应措施。

* 1. 预报方法选择

**7.2.1** 软弱岩层具有弹性波速度低、导电阻高的物理特点，同时，岩层具有较好的空间展布，采用物探方法预报效果较好。

**7.2.5-5** 地质雷达图像的地质解释要结合已知地质资料，运用电磁波的运动学、电磁学特征和介质的物理特征金综合分析。软弱地层的雷达图像特征表现：反射同相轴明显，反射波呈负强反射，后续波衰减快。

1. 采空区及人造空洞预报
   1. 一般规定

**8.1.1** 区域内的矿种及采矿历史一般可通过矿业权开展查阅，区域采空区地质灾害发育规律一般跟地区采矿历史有关，故应充分收集。然后，根据矿业权资料，进一步查找采矿、地质、地灾等资料，以及拟建线路附近已有建设工程的压覆矿、地灾评估、采空区稳定性评价等相关报告。

**8.1.3** 与其它天然形成的不良地质体不同，采空区及人造空洞由于形成历史短，可能处于破坏地质应力历史的不稳定发展过程中，故应充分分析后再行探测预报。

* 1. 预报方法选择

**8.2.2** 更多的还是不能盲目扩大超前预报的作用，更不能去代替专项勘察。

**8.2.4-2** 对于与隧道走向相似的“一字形”空洞，其断面基本等同于地震波的反射面，过大或过小时都会对地震波信号的判断产生较大影响，容易发生误判，且难以判断空洞的走向长度。

**8.2.5-3** 地质雷达法的主要作用是确认采空区或人造空洞的准确位置和规模，采用连续测量法即可达到效果，且数据连续性更好，对异常的判断更精细。

1. 孤石预报
   1. 一般规定

**9.1.1** 孤石发育具有较为明显的地域发育特征，前期一般可以通过地质资料和详勘资料划定出孤石的发育带。一般来讲，对城市轨道交通隧道施工影响较大的是大尺寸孤石或密集分布的孤石，单个小体积的孤石影响不大，不需要特殊考虑。

* 1. 预报方法选择

**9.2.1** 不同于其他不良地质体的预报，孤石预报是在低波速、低电阻率、高衰减系数的松散层中找到高波速、高电阻率的异常体，常规物探手段使用的地震、电磁信号都难以穿透松散层，效果较差。综合考虑后，将地震波法列为预报手段，但是其预报距离要大幅缩减，只能达到中短距离预报，且只能用于大尺寸孤石的探测。

**9.2.4-2** 松散层中的钻孔一般难以保持不漏水的状态，管波等地震波类物探手段难以和孔壁进行耦合，因此选用综合测井、钻孔电视等方法进行补充探测。

1. 富水区预报
   1. 一般规定

**10.1.1** 溶洞、断层破碎带、采空区或人造空洞等分布时往往富含水，因此在预报这些不良地质体时应综合考虑其影响，一并预报分析。

* 1. 预报方法选择

**10.2.2** 富水区预报应当选用对水比较敏感的直流电法和电磁类方法。瞬变电磁是一种具有一定预报长度的探测方法，结合短距离的地质雷达和直流电法，可以兼顾不同长度的预报。

**10.2.3-1** 瞬变电磁是一种基于电阻率差异的电磁感应勘探方法，近些年来作为一种有效的水体探测方法被应用到隧道超前预报。隧道超前预报瞬变电磁和地表瞬变电磁法的数据处理基本类似，但受隧道环境的影响，隧道瞬变电磁法采用全空间瞬变响应和多方向测试，线圈的法线方向可看作探测方向，数据要按方向进行剖面处理，并进行视电阻率的转换、时深转换并绘制视电阻率等值线剖面图，最后结合已有的地质资料解释异常情况。

1. 超前水平定向钻探法预报
   1. 一般规定

**11.1.1** 城市轨道交通隧道一般处于城市建成区或待建区，上方常会存在各种建（构）筑物导致不具备常规垂直钻孔勘探条件。

水平定向钻技术最早起源于石油钻井工业，广泛用于市政管道、油气管道的建设领域。超前水平定向钻探法将传统的地勘取芯技术与水平定向钻技术结合，辅以孔内测试技术，能直观、准确地了解隧道前方不良地质情况。我国引入超前水平定向钻探技术较晚，但是近年来在理论研究和设备研发方面得到快速提升，在徐州市轨道交通1号线一期工程、广州市轨道交通7号线二期工程、乌尉高速天山胜利隧道项目均有应用，且效果显著。

徐州市轨道交通1号线站东广场站~徐州火车站站区间范围内，因徐州火车站及其铁路线的存在，该区域不具备地面勘探施工条件，虽然利用了部分铁路勘探期间的钻孔资料，但数量、间距和深度均达不到详勘要求，致使徐州火车站及铁道下方地质条件不清，尤其是基岩岩溶地质情况不明，对盾构施工造成极大风险。徐州中矿岩土技术股份有限公司（原徐州中国矿大岩土工程新技术发展有限公司）采用超前水平定向钻探技术对改范围进行了探测，主要目的是探明一定长度、深度范围内的地层情况，着重勘探岩溶发育情况，获取基岩地层工程地质参数。

实际施工时，目标段首先考虑设置于隧道断面下方，为综合反应隧道底面岩溶发育情况，布置2孔/隧道以达到勘探目的。勘探段隧道断面在剖面上总体水平，最大坡率为26‰（≈1.5°），即要求钻孔轨迹在造斜段从入土角调整为近水平状态。定向钻施工期间站东广场站明挖基坑西端头已就位盾构机，不具备平面上轨迹直接重合的条件，经过现场踏勘分别选定了行吊轨道南北两侧两块场地，分别完成左线底部的L1、L2孔，右线底部的R1、R2孔。因造斜段轨迹水平向客观上已偏离盾构轨迹，故设计时造斜段即调整水平偏移量至预定目的断面位置。如图11-1所示，轨迹均位于隧道下方1.0m处，距离单线中轴2.0m，其中L1最先施工，为保障轨迹不进入隧道范围并积累钻进参数而错开约3.0m距离。



**图11-1 勘探目的段钻孔轨迹断面相对位置图**





**图11-2 左线L1孔钻进剖面及平面轨迹记录**





**图11-3 右线R1孔钻进剖面及平面轨迹记录**

在成孔后，对钻孔进行了综合测井测试，测井项目包括：双侧向电阻率、补偿声波、井径、井斜方位和自然伽马测井。

岩性划分根据测井综合处理结果进行岩性分类：

1）岩性类型：泥岩，泥质灰岩，泥灰岩，灰岩

2）统计方法：根据测井综合处理的泥质含量高低进行统计，即：

灰岩：SH≤10%则XL1＝100％，XL2、XL3、XL4＝0；

含泥灰岩：10<SH≤25%则XL2＝100％，XL1、XL3、XL4＝0；

泥灰岩：25>SH>50%则XL3＝100％，XL1、XL2、XL4＝0；

泥岩：SH≥50%则XL4＝100％，XL1、XL2、XL3＝0。

根据各类曲线的不同组合，各孔分小层后统一解译，其中L1孔共解释250.0m/56层，灰岩117.5m/28层，泥质灰岩132.5m/28层。L2孔共解释255.0m/90层，灰岩121.828m/45层，泥质灰岩133.172m/45层。从解译结果可以看出火车站下方基岩地层以灰岩泥质灰岩互层为主。

岩溶发育情况主要依据综合测井曲线进行：

1）L1孔解释：共解释250.0m/79层；岩溶发育7.75m/5层；溶蚀裂隙发育（碎石充填）17.75m/12层；溶蚀裂隙发育（黏土充填）129.25m/31层；灰岩95.25m/31层。。

2）L2孔解释：共解释255.0m/96层；岩溶发育3.25m/3层；溶蚀裂隙发育（碎石充填）42.75m/22层；溶蚀裂隙发育（黏土充填）128.875m/40层；灰岩80.125m/31层。

**11.1.2** 在通孔勘探时由接收工作坑出土点至入土点进行勘探，可以极大程度地降低探测装置的卡钻率和损坏率，并提高采集数据的连续性。

**11.1.4** 两类工法区别如图11-4所示：



**图11-4 超前水平定向钻探工法分类**

通孔和盲孔工作流程分别如图11-5和图11-6所示：



**图11-5 通孔勘探施工工法流程图**



**图11-6 盲孔勘探施工工法流程图**

**11.1.5** 结合水平定向钻的装备情况，目前国内装备水平定向取芯装置的设备较少且效率较低，现有的钻机大多采用无芯钻进工艺，因此综合实际情况，并不强制要求取芯，但是需要结合综合测井等孔中手段进行探测。

* 1. 预报要求

**11.2.5** 要求相邻钻孔在隧道内的距离大于1.5m，主要是基于对隧道断面的覆盖和成本考虑，并为孔中CT（电磁波、地震波）的使用提供基础条件。

**11.2.7** 泥浆配置应进行检测，施工现场检测宜包括下列内容：

1）配置用水的pH值，可采用pH试纸检测；

2）泥浆的比重，可采用比重计或比重秤检测；

3）泥浆的粘度，可采用马氏漏斗测定；

4）失水量，可采用气压式失水量仪检测。

1. 数据采集与处理
   1. 数据采集

不同厂家、不同型号仪器的采集方式均不一致，因此本章节仅按照地震法和电法两个大类对数据采集提出基本要求。其他未提及事宜，推荐以仪器厂家手册为准。

**12.1.1**铁路、公路、水电水利和工民建等各行业对物探仪器设备均有相应技术标准，按相关行业标准要求配备仪器设备。超前地质预报的仪器设备主要为物探仪器设备和少量现场观测或测试的量测设备，预报使用的物探仪器主要为地震和电法类仪器，其仪器性能指标规定与国内工程物探标准相近，物探仪器大多不属于计量设备，在使用期间，只需进行检查即可，而现场观测和量测仪器或器具应根据要求进行定期检查或检定。

**12.1.5** 物探测试的观测记录主要是每次预报工作仪器所采集的物探数据和信息，同时也包括工程信息、仪器参数、观测系统参数、人员等有关信息，是下一步进行数据检查、数据处理的流程载体和质量追索依据。

**12.1.7** 自检是现场预报操作人员完成现场工作后对采集数据信息和现场记录对应关系的确认，保证预报数据真实、无误。

**12.1.8-2** 本条主要针对物探预报工作，测点或观测系统错误，将直接导致数据处理出现错误，得出错误的预报结论。

**12.1.8-3** 涂改、擦拭或撕页的记录会造成信息失真、追索困难，打印记录、计算机媒体记录的数据文件号是唯一的，如媒介记录的文件名与纸质班报记录的文件名不能对应。

* 1. 数据处理

**12.2.2** 不同厂家的仪器和软件数据处理操作不尽相同，在此仅给出推荐步骤。

* + - 1. 反射数据处理宜按下列处理步骤和要求进行：

1. 数据处理前应根据现场测量数据建立二维或三维几何模型；
2. 应根据现场测量数据计算每个炮点的偏移距，利用现场测量的接收探头套管或检波器姿态参数将三分量地震数据转换到建立的坐标系中；
3. 三分量数据模块的时间窗口长度不应小于预报距离的2倍；
4. 宜将初至信号前的信号进行归零处理；
5. 应对信号进行频谱分析，确定优势频率范围，滤除声波；也可根据隧道岩性物理特点，选择带通滤波；
6. 应根据初至波相位特征拾取每道初至纵波时间，可对排列初至时间曲线上的奇异点进行调整和屏蔽，宜使排列初至时间成一条直线；
7. 可根据实际炮点位置对初至时间曲线进行斜率或截距的偏移校正处理，使截距时间为0；
8. 应对处理后的地震信号进行能量均衡处理、倾角滤波处理，提取来自掌子面前方的反射波；
9. 应进行纵横波分离处理，将X、Y、Z分量转换成P、SH、SV波进行反射处理；
10. 可采用直达波、模型试算、偏移地震数据至共反射距离道集等方式进行速度分析；
11. 应分析斜率和校正的速度模型的合理性来选取合适的拾取速度；
12. 应计算从炮点到潜在反射点再到接收位置的最终纵波和横波时间来进行深度偏移处理；
13. 应拾取覆盖次数不小于全部炮点20%的反射点来构建反射层；
14. 可利用各反射层的纵波和横波速度参数计算各反射层的泊松比等动力学参数，评估岩层的岩体质量。
    * + 1. 反射层析成像数据处理宜按下列处理步骤和要求进行：
15. 数据处理前应根据现场测量数据建立三维几何模型；
16. 应根据现场观测系统，将三分量地震数据转换到建立的坐标系中；
17. 应对信号进行频谱分析，确定优势频率范围，滤除声波；也可根据隧道岩性物理特点，选择带通滤波；
18. 应对处理后的地震信号进行能量均衡处理、F-K二维滤波处理，提取来自掌子面前方的有效信号；
19. 应采用波速扫描对比分析方法，测算预报范围段的岩体波速、提高三维成像精度；

可选用波形、强度、相关等不同参数进行叠加成像，可选择单一纵波、单一横波、纵横波综合成像进行分析。

* + - 1. 地质雷达数据处理宜符合下列要求：

1. 可根据需要选取删除无用道、水平比例归一化、增益调整、地形校正、频率滤波、f-k倾角滤波、反褶积、偏移、空间滤波、点平均等处理方法；
2. 雷达数据中出现全正、全负或正负半周不对称的情况时，应进行去除直流漂移处理；
3. 可用f-k倾角滤波除去倾斜层状的干扰波，但使用前应进行水平比例归一化和地形校正，并应事先确定无同样倾角的有效层状反射波；
4. 可用平滑数据的点平均法去除信号中的高频干扰，参与平均的点数宜为奇数，最大值宜小于采样率与低通频率之比；
5. 应通过宽角法或穿透法测试成果计算预报地层的电磁波速度，将雷达时间剖面转换为深度剖面；
6. 应采用合适的增益和雷达图像形式绘制雷达成果图。
   * + 1. 瞬变电磁法数据处理应符合下列要求：
7. 先对每个测点测试的各测道数据曲线进行跳点平滑预处理；
8. 分别生成各测线的不同装置倾角姿态下的剖面测深曲线图，反演出每条测线的视电阻率—时间剖面图；
9. 根据试验或开挖验证所率定的时间与深度关系函数，将视电阻率—时间图转换成视电阻率—深度图。
   * + 1. 直流电法数据处理应符合下列规定：
10. 应使用预报系统设备相应的处理软件整理每个测点对应极距的视电阻率、极化率、半衰时和自然电位等参数；
11. 应绘制视极化率、半衰时曲线；
12. 应反演计算掌子面前方二维或三维电阻率分布，针对多解性，宜采用已知地质信息和先验约束；
13. 应确定二维或三维图像的电阻率异常，圈定异常范围；
14. 对于TBM施工隧道，宜采用基于统计比例的干扰去除方法压制观测数据中TBM干扰。

**12.2.3** 本条主要是针对物探法的预报成果，要求在同一次探测或相邻隧段的探测数据成图时，采用相同的色标，同一颜色对应的物性值应保持一致，便于不同测线的对比。

* 1. 资料解译

**12.3.2** 物探成果形式多样，专业性较强，但最后都应以地质成果的方法反应出来，便于工程施工和地质人员正确使用。

**12.3.4** 事实上，大多数预报方法都只能从某一方面对不良地质体进行刻画，不同预报手段得到的结果可能不完全相同，甚至会存在局部冲突。这时，就需要对各预报方法得到的结论进行综合判断，例如地震法对结构的反应更加准确，而瞬变电磁法对富水性的反应更加灵敏，几种方法取长补短，综合解释，将多解性降到最低，避免相互矛盾或无统一意见的结论。

1. 分析评价与预报成果

**13.0.4** 大多数情况下，阶段报告得到的成果结论应该和最终成果结论一致，但是部分情况下，例如多个隧段同时进行超前地质预报，随着隧洞掘进过程中对地质体的不断揭露，对异常图像的识别有了更深的认识，可能会对已有成果做出新的解译和判断。