

ICS 编号
CCS 编号

团体标准

T/CHES XXX—20XX

替代 T/CHES XXX—XXXX

水利水电工程隧洞超前地质预报规程

Code for advance geological prediction of tunnel of water
and hydropower projects

（征求意见稿）

请将你们发现的有关专利的内容和支持性文件随意见一并返回

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

前 言

按照中国水利学会团体标准编制工作安排，依据《工程建设标准编写规定》[2008]182号的规定，经规程编制组广泛调查研究，认真总结水利水电工程隧洞超前地质预报方面的工程经验，特别是复杂地质条件下深埋长隧洞超前地质预报相关工程实践，在广泛征求意见的基础上，制定了本标准。

本标准共11章、6个附录，主要技术内容有：总则、术语、基本规定、超前地质预报设计、地质调查法、超前钻探法、超前导洞法、地球物理探测法、超前地质综合预报法、超前地质预报实施、成果报告。

本标准批准部门：中国水利学会

本标准主持机构：中国水利学会

本标准解释单位：

本标准主编单位：长江三峡勘测研究院有限公司（武汉）

本标准参编单位：水利部水利水电规划设计总院

新疆水利水电勘测设计研究院

中水北方勘测设计研究有限责任公司

长江地球物理探测（武汉）有限公司

吉林省水利水电勘测设计研究院

云南省水利水电勘测设计研究院

湖南省水利水电勘测设计规划研究总院有限公司

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：李会中 段世委 周 云 王吉亮

王兆云 罗 飞 高义军 陈长生

赵永川 宋宝玉 张建清 张拥军

滕 杰 徐 磊 卢长伟 李 坤

史存鹏 马 军 田 毅 王强翔

王旺盛 张海平 许 琦 周宣兆

本标准技术内容审查人：

本标准体例格式审查人：

本规程由中国水利学会负责管理，长江三峡勘测研究院有限公司（武汉）负责具体技术内容的解释，在执行过程中，如有意见和建议，请及时反馈给中国水利学会（通信地址：北京市西城区白广路二条16号中国水利学会；邮政编码：100053；电话：010-63204693；电子邮箱：slxhttbz2020@163.com），以供今后修订时参考。

目 次

前 言2

目 次.....3

1 总则.....1

2 术语.....2

3 基本规定.....3

4 超前地质预报设计.....5

5 地质调查法.....7

6 超前钻探法.....8

 6.1 一般规定.....8

 6.2 常规钻探法.....8

 6.3 水平定向钻探法.....8

7 超前导洞法.....10

8 地球物理探测法.....11

 8.1 一般规定.....11

 8.2 弹性波法.....11

 8.3 探地雷达法.....12

 8.4 瞬变电磁法.....13

 8.5 聚焦电法.....13

9 超前地质综合预报法.....15

10 超前地质预报实施.....16

 10.1 一般规定.....16

 10.2 实施细则.....16

 10.3 不良地质体预报.....17

11 成果报告.....20

附录A 地质复杂程度划分.....21

附录B 隧洞地质灾害风险分级标准.....22

附录C 隧洞超前地质预报实施流程.....23

附录D 超前地质预报预警分级标准.....24

附录E 隧洞超前地质预报方法及适用条件.....25

附录F 隧洞不良地质体（现象）征兆特征.....26

条文说明.....27

1 总则

1.0.1 为规范水利水电工程隧洞超前地质预报工作，明确超前地质预报工作内容、方法与技术要求，提高超前地质预报质量，降低施工安全风险，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于引调水工程隧洞、水库枢纽工程地下洞室超前地质预报。

1.0.3 深埋长隧洞和施工过程中可能遇到影响施工安全、围岩稳定等重大地质问题的其他地下开挖工程应进行隧洞超前地质预报。

1.0.4 本标准引用以下标准：

GB 50487 水利水电工程地质勘察规范

SL 166 水利水电工程坑探工程

SL/T 291 水利水电工程钻探规程

SL/T 291.1 水利水电工程勘探规程 第1部分：物探

SL/T 299 水利水电工程地质测绘规程

SL/T 313 水利水电工程施工地质规程

SL 629 引调水线路工程地质勘察规范

1.0.5 水利水电工程隧洞超前地质预报除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 地质预报 geological prediction

在前期工程地质勘察的基础上，通过分析、研究施工过程中揭露的地质现象和已有的工程检测、监测、探测资料，对可能遇到的工程地质、水文地质条件及可能引起的地质问题所进行的预先分析与判断。

2.0.2 隧洞超前地质预报 advance geological prediction of tunnel

在分析已有地质资料的基础上，采用地质调查、物探、超前钻探、超前导洞等手段和地质综合分析方法，对隧洞（井）开挖面前方的不良地质体的性状、位置、产状、规模及可能的危害等进行的探测、分析与判断。

2.0.3 不良地质体 unfavorable geological body

可能引起地下工程垮塌、冒顶、软岩大变形、涌水、突泥等地质灾害的地质体，如断层破碎带、裂隙密集带、岩溶、软岩、储水构造等。

2.0.4 地质调查法 geological survey method

在收集和分析已有地质资料基础上，通过开展地表补充地质调查和隧洞内地质编录等方式对地质资料进行核查和补充，推测掌子面前方一定范围内地质条件的超前地质预报方法。

2.0.5 超前钻探法 advanced geological drilling method

采用地质钻探设备或定向钻探设备在掌子面或边墙施做超前钻孔，探查掌子面前方或四周一定范围内地质条件。

2.0.6 超前导洞法 advanced pilot tunnel method

在隧洞开挖方向开挖一条超前小洞径导洞，根据导洞所揭示的地质情况，推测正洞掘进面前方一定范围内地质条件。

2.0.7 地球物理探测法 geophysical detection method

以地质体物性差异为基础，通过仪器观测自然或人工物理场变化，确定地质体空间分布和物性参数，主要包括地震波法、弹性波反射法、地质雷达法、瞬变电磁法、激发极化法、红外探测法等方法。

2.0.8 超前地质综合预报法 advanced comprehensive geological prediction

根据预报对象的特点，以两种或两种以上的相互验证或互补性预报手段为基础，以地质综合分析判断为核心，运用地质学理论，对比、论证、推断和预报隧洞施工前方的工程地质和水文地质情况的超前地质预报方法。

3 基本规定

3.0.1 隧洞超前地质预报目的应包括：

- 1 探测隧洞掌子面前方一定范围内的工程地质和水文地质条件，及时发现地质异常情况，指导工程施工顺利进行，为选择开挖断面、优化支护设计参数和施工方案提供依据。
- 2 预防隧洞涌水、突泥、垮塌、冒顶等地质灾害发生，降低施工安全风险。
- 3 为编制竣工文件提供资料。

3.0.2 隧洞超前地质预报应包括下列内容：

- 1 断层带、裂隙密集带、破碎带等地质构造预报，预测其位置、范围、规模、产状及富水性。
- 2 岩溶、采空区等不良地质现象预报，预测其位置、范围、规模、充填情况等。
- 3 地下水预报，预测含水层、储水构造、岩溶管道的分布、规模、富水情况等。
- 4 破碎岩层、软弱夹层和特殊岩土层等不良地层预报，预测其分布、厚度、岩性及性状、结构特征等。
- 5 根据隧洞超前地质预报情况，进行地质灾害类型和风险程度划分，提出地质建议。

3.0.3 超前地质预报工作应遵循下列程序：

- 1 设计超前地质预报方案。
- 2 制定超前地质预报实施细则。
- 3 实施超前地质预报，优化超前地质预报方案设计和工作布置。
- 4 编制预报成果，提出工作建议。

3.0.4 可行性研究阶段应提出超前地质预报的初步设想，初步设计阶段应进行超前地质预报设计。

3.0.5 隧洞超前地质预报设计应对隧洞分段进行地质复杂程度分级和风险等级划分，确定重点预防地段、次重要预报地段和常规预报地段，结合施工方案选择合适的预报方法。地质复杂程度分级宜符合附录A的规定，隧洞风险等级划分宜符合附录B的规定。

3.0.6 隧洞超前地质预报实施前应根据前期勘察设计成果及相关资料编制实施细则，实施细则应按照规定程序审批后执行，变更时应办理变更审批。

3.0.7 隧洞开挖施工单位应积极组织或配合实施超前地质预报工作，将超前地质预报实施宜纳入隧洞施工工序管理，实施流程宜符合附录C的规定。

3.0.8 现场每一循环工序完成后应根据预警级别及时提交隧洞超前地质预报成果报告或简报，超前地质预报预警分级宜符合附录D的规定；项目完成后应编制超前地质预报结果总报告。

3.0.9 在隧洞超前地质预报工作中，建设、勘察设计、施工、监理等参建单位应分工明确、

落实责任、相互配合，做到信息传递顺畅、反馈及时、决策迅速、处理得当。

3.0.10 预报的地质条件与原地质条件发生重大变化、可能遇到重大地质问题时，应及时提出专项勘察研究的建议。专项勘察应符合GB 50487和SL 629的规定。

4 超前地质预报设计

4.0.1 隧洞超前地质预报设计应遵循下列原则：

- 1 应根据地质条件、施工方法、预报内容进行隧洞超前地质预报设计。
- 2 应遵循动态设计原则，当施工作业环境发生变化，或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，应相应调整设计方案。
- 3 应以综合地质分析为主线，其他预报方法和资料分析应在地质分析的指导下进行。

4.0.2 隧洞超前地质预报设计应根据地质复杂程度分级情况，分析可能存在的地质风险类型，划分灾害风险等级，选择与预报对象相适应的方法或组合，并贯穿于施工全过程，隧洞超前地质预报方法宜符合附录E的规定。

4.0.3 超前地质预报方法宜包括：

- 1 地质调查：包括地表地质调查、洞内地质调查。
- 2 超前钻探：包括常规钻探、水平定向钻探。
- 3 超前导洞：包括平行导洞、正洞导洞。
- 4 地球物理探测：包括弹性波法、探地雷达法、瞬变电磁法、聚焦电法等。
- 5 超前地质综合预报。

4.0.4 超前地质预报可分为长距离、中距离和短距离预报，并应以长距离预报指导中、短距离预报，其方法选择宜符合下列规定：

- 1 短距离预报：预报长度小于30m，宜采用地质调查法、探地雷达法、聚焦电法、常规钻探法等。
- 2 中距离预报：预报长度30~100m，宜采用地质调查法、弹性波法、瞬变电磁法、常规钻探法等。
- 3 长距离预报：预报长度大于100m，宜采用水平定向钻探、弹性波法等。

4.0.5 地质条件复杂、风险程度高的洞段应采用超前地质综合预报，应做到钻探与物探相结合、长中短距离相结合、地表与地下相结合，并应相互补充验证。

4.0.6 含有害气体、放射性物质等特殊地层和存在高地温、高地应力洞段应按国家现行有关标准开展专项工作。

4.0.7 隧洞超前地质预报设计应编制设计报告，并应包括下列内容：

- 1 工程地质及水文地质条件，存在的主要工程地质问题。
- 2 分段规划、地质复杂程度分级、隧洞地质灾害风险等级。
- 3 预报目的。
- 4 设计原则、预报内容、预报方法选择、技术要求等。
- 5 实施方案。

- 6 工作管理、安全措施。
- 7 工作量、占用工作面时间。
- 8 概预算。
- 9 其他需要说明的问题。

5 地质调查法

5.0.1 地质调查应在收集、复核和分析已有地质资料的基础上进行。

5.0.2 地质调查法主要包括地表地质调查和洞内地质调查，适用于各种地质条件下的隧洞超前地质预报。

5.0.3 地质调查应包括下列内容：

- 1 地形地貌、地层岩性出露及接触关系等特征。
- 2 断裂、褶皱构造与裂隙发育规律。
- 3 岩溶发育规律、走向、形态、充填和赋水情况。
- 4 地表水系，地下水类型和发育规律及其出露位置和流量大小。
- 5 不良地质体位置、性质、规模和可能造成的灾害等。

5.0.4 地表调查工作方法、技术要求宜符合SL/T 299的规定；在露头条件差的地段宜布置坑、槽、井等勘探点，其技术要求宜符合SL 166的规定；产状稳定的层状地层或构造可通过放线距原理分析预报隧洞地质条件。

5.0.5 洞内地质调查可结合施工地质工作开展，其工作内容、方法、技术要求宜符合SL/T 313的规定。

5.0.6 地质调查应重点分析下列内容：

- 1 地形地貌成因及其与地层岩性、地质构造的关系。
- 2 植被情况、地表水及其与地下水补给、径流和排泄关系。
- 3 地表和隧洞内地层分界线相关性。
- 4 构造要素与隧洞几何参数相关性，确定断层类型、破碎带宽度及透水性和富水性。
- 5 褶皱轴的延伸情况、倾伏方向及两翼产状、节理发育特征及其富水段位置。

5.0.7 地质调查时应根据不良地质体的分布情况、发育规律、征兆特征，预测掌子面前方可能出现的不良地质体或不良地质现象，不良地质体（现象）征兆特征宜符合附录F的规定。

5.0.8 应根据地质调查结果，及时复核和修正超前地质预报区段划分情况，调整地质预报设计方案。

6 超前钻探法

6.1 一般规定

6.1.1 地质条件复杂、可能遇到影响施工安全、围岩稳定的洞段宜进行超前钻探，超前钻探应在地质分析的基础上制定超前钻探方案，根据钻探目的确定钻探方法、钻孔深度、取芯情况等。

6.1.2 常规钻探法适用于钻爆法、部分隧道掘进机施工隧洞的中、短距离预报，水平定向钻探法适用于各种隧洞长距离预报。

6.2 常规钻探法

6.2.1 常规钻探宜采用冲击钻进、回转取芯钻进，一般地段宜采用冲击钻，复杂地段宜采用回转取芯钻。

6.2.2 常规钻探应符合下列规定：

- 1 应采取安全防护措施。
- 2 钻探过程中应进行现场钻探记录，地质编录、保存影像资料。
- 3 回转取芯钻孔应绘制钻孔柱状图。

6.2.3 钻孔数量应根据地质条件复杂程度、洞室断面尺寸等确定，并应符合下列规定：

- 1 断层、裂隙密集带、破碎岩层、软弱夹层、特殊岩土层等每勘探循环不少于1个钻孔。
- 2 富水破碎带、岩溶发育区、采空区、瓦斯地层等每勘探循环宜布置3~5个钻孔，地质条件复杂时，可适当增加。

6.2.4 钻孔孔深应符合下列规定：

- 1 在地质条件复杂洞段，钻探深度范围应延伸至地下工程开挖轮廓线外10m~30m。
- 2 单个钻孔深度应根据勘探循环长度确定，连续预报时前后两循环钻孔重叠3m~5m。

6.2.5 隧洞和地下工程开挖轮廓线周边钻孔的外插角宜为15°~45°。

6.2.6 钻孔直径应满足孔内测试的要求。

6.2.7 钻进方法、设备机具选择、钻进工艺应符合SL/T 291的规定。

6.2.8 钻进中应制定涌水突泥预防措施，保障工作人员和机械设备的安全。

6.3 水平定向钻探法

6.3.1 水平定向钻孔轨迹轴线宜与隧洞设计轴线同轴或平行，可根据地形地质条件、施工方案选用平行的“一”形或同轴的“L”形轨迹。

6.3.2 钻机类型和取心方案应根据预报目的确定。

6.3.3 水平定向钻孔结构应根据场地条件、地质岩性、钻孔轨迹、钻机类型、钻进工艺、冲

洗液种类和护壁方式、取心取样和孔内测试要求等进行综合设计。

6.3.4 每钻进10m应测量一次钻孔的倾斜角、方位角，钻孔倾角和方位角的测量精度宜分别为 $\pm 0.1^\circ$ 和 $\pm 3^\circ$ ，水平定向钻进轨迹垂直偏差每1000m不宜超过 $\pm 2\text{m}$ ，水平偏差每1000m不宜超过 $\pm 3\text{m}$ ，当超过此值应立即采取纠偏措施。

6.3.5 钻进过程中应详细记录钻进速度、钻进压力、扭矩、泥浆泵压等钻探参数，认真观察记录岩渣和冲洗液的形状和变化情况，分析钻探资料和岩心情况，并可在孔内进行间断取心、水压致裂、综合测井和孔内电视等相关测试。

6.3.6 水平定向钻探成果包括班报表、轨迹记录表、柱状图、不良地质记录表等。

7 超前导洞法

7.0.1 超前导洞法可用于断层破碎带、裂隙密集带、软弱夹层、特殊岩土层、岩溶等不良地质体超前地质预报。

7.0.2 超前导洞预报方法宜采用平行超前导洞法和正洞超前导洞法，其布置宜结合交通洞、排水洞、辅助洞和施工超前导洞进行。

7.0.3 超前导洞法地质预报应满足下列规定：

- 1 应对导洞进行地质编录。
- 2 宜进行岩体密度、岩体强度等物理力学试验。
- 3 应进行不良地质体预报。

7.0.4 超前导洞法地质预报成果应包括下列内容：

- 1 综合说明。
- 2 地质展示图和工程地质剖面图。

7.0.5 超前导洞法综合说明应包括下列内容：

- 1 导洞概况，包括超前导洞的断面尺寸、与主洞的位置关系等。
- 2 地质说明，包括地层岩性，断层破碎带、裂隙密集带、软弱夹层、特殊岩土层、岩溶等不良地质体的分布位置、范围、产状、性状、充填及其展布，地下水活动情况等。
- 3 围岩分段分级。
- 4 地质综合分析及超前地质预报结果。

7.0.6 超前导洞法图件编录内容应符合SL/T 313的规定，比例精度应满足下列规定：

- 1 地质展示图比例1:100~1:500。
- 2 工程地质剖面图，横向比例宜为1:500~1:5000，纵向比例宜为1:200~1:5000。

8 地球物理探测法

8.1 一般规定

8.1.1 地球物理探测法宜包括弹性波法、瞬变电磁法、探地雷达法、聚焦电法等。

8.1.2 物探仪器及其附属设备应根据探测要求、地质条件等选配。

8.1.3 地球物理探测法应用条件应符合下列规定：

- 1 探测目标体与周围介质存在一定的物性差异。
- 2 具备观测系统布置所需要的场地空间。
- 3 满足探测激发与接收信号的背景要求。

8.1.4 复杂地质条件宜采用多种不同类型的物探方法进行超前地质预报。

8.1.5 物探记录应包括仪器检定或校准记录、仪器检查记录、数据原始记录、数据检查和评价记录、成果校审记录等。

8.1.6 物探资料解译应结合地质、设计和施工资料综合分析。

8.2 弹性波法

8.2.1 弹性波法可用于断层、破碎带、岩溶、软弱夹层、蚀变岩等不良地质体探测，定性半定量评价岩体完整程度。

8.2.2 弹性波法应用条件应符合下列规定：

- 1 不良地质体与围岩应存在明显的波阻抗差异。
- 2 不良地质体在弹性波传播方向应具有一定的厚度且应大于有效波波长的1/4。
- 3 现场测试应保证不少于300m范围内无明显的振动干扰。

8.2.3 弹性波法探测距离不宜大于150m，在岩溶、破碎带等复杂地质条件地段预报距离不宜大于100m。

8.2.4 弹性波法进行连续预报时，前后两次探测的重叠长度不宜小于10m。

8.2.5 弹性波法激发与接收应符合下列规定：

- 1 接收传感器与围岩之间应牢固耦合。
- 2 激发与接收信号应同步。
- 3 直达波初至起跳明显，反射波波组清晰。
- 4 检查记录与观测记录波形应一致或相似。

8.2.6 数据处理和解译应符合下列规定：

- 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 应根据现场观测系统，将所有检波点的地震数据转换到建立的坐标系中。
- 3 应利用配套处理软件，对采集到的合格数据进行反演处理，获取预报成果图。

4 应根据各反射层视波速的绝对值和波速的相对变化初步确定不良地质体的位置和规模。

5 应结合隧洞勘察、掌子面附近的地质资料进行解释和推断。

8.2.7 成果图应标注隧洞桩号或深度信息，并宜包括纵波视速度、横波视速度、动泊松比、密度、杨氏模量等岩体物理力学参数，以及偏移成像、反射界面等二维和三维图。

8.3 探地雷达法

8.3.1 探地雷达法可用于岩溶、断层、破碎带、软弱夹层以及地下水富集区等不良地质体探测。

8.3.2 探地雷达法应用条件应符合下列规定：

- 1 不良地质体与围岩应存在明显介电特性差异，电磁波反射信号特征明显。
- 2 测试面应相对平缓，无障碍。
- 3 现场测试应保证附近30m范围内无强电磁干扰。

8.3.3 探地雷达法探测距离不宜大于30m，岩溶、破碎带及地下水富集区等复杂地质条件地段探测距离不宜大于20m。

8.3.4 探地雷达法进行连续预报时，前后两次探测的重叠长度不宜小于5m。

8.3.5 探地雷达法数据采集应遵循下列原则：

- 1 宜选用点测剖面法。
- 2 天线主频率范围宜选择50MHz~100MHz。
- 3 测线布置宜采用水平布置模式，数量应不少于2条，可根据掌子面尺寸和地质条件增加测线数量，必要时应在洞壁、底板、拱顶等位置布置测线。

4 采集模式宜采用点测模式，点距不宜大于0.2m，当掌子面作业风险较大时，可视情况采用时间模式。

5 采样时窗应根据围岩电磁波波速与探测距离确定，一般不小于500n，采样点数应大于512个。

- 6 天线支撑器材应选用绝缘材料。
- 7 测试过程中，应保持天线与掌子面尽量紧贴，移动时尽量沿测线方向保持水平。
- 8 重点异常区应重复探测，重复性较差时应查明原因。
- 9 检查记录与原始记录波形应基本一致，异常位置无明显变化。

8.3.6 探地雷达数据处理方法应符合下列规定：

- 1 应采用滤波去除干扰波。
- 2 应选取合适的增益参数，突显异常区域。
- 3 可采用反褶积压制多次反射波。
- 4 可采用偏移归位倾斜层反射波界面。

8.3.7 探地雷达资料解译应包括以下内容：

- 1 复核、筛选干扰异常。
- 2 判断识别反射波波形、能量强度、初始相位、频率等特征。
- 3 在地质分析基础上，确定异常特征，给出地质解译结果。

8.3.8 成果图应标注隧洞桩号或深度信息。

8.4 瞬变电磁法

8.4.1 瞬变电磁法可用于探测地下水富集区等低阻不良地质体。

8.4.2 瞬变电磁法应用条件应符合下列规定：

- 1 不良地质体与围岩存在明显的电阻率差异。
- 2 围岩电性特征稳定，异常范围和幅值等特征可以被探测和追踪。
- 3 接收线圈附近不应存在大型金属构件、磁性物体，采集时宜切断附近施工用电。

8.4.3 瞬变电磁法现场工作装置可采用中心回线、重叠回线等装置。

8.4.4 瞬变电磁法探测距离不宜大于80m。

8.4.5 瞬变电磁法连续预报时，前后两次探测的重叠长度不宜小于10m。

8.4.6 瞬变电磁法数据采集应符合下列规定：

- 1 测线布置宜采用扇形扫描方式，扇形扫描角度间隔宜为 15° ，特殊情况时，可采用矩形扫描方式，掌子面水平测点点距宜为0.5m~1m。
- 2 测试前应将施工台架、大型机械等金属构件退离掌子面不少于20m。
- 3 测线布置宜根据掌子面尺寸和现场实际情况，分别沿斜上、水平、斜下方向，布置不少于3条测线。
- 4 装置测量中心宜与测点重合，误差应小于接收线框边长的10%。
- 5 可疑点、突变点、异常点应重复观测。

8.4.7 瞬变电磁法数据处理、解释应符合下列规定：

- 1 资料处理前，应检查原始数据记录、测点编录、仪器工作记录。
- 2 应校正发送电流切断时间的影响。
- 3 应进行数据归一化、滤波等处理。
- 4 应根据瞬变电磁响应的时间特征、测深曲线特性划分背景场及异常场，确定地质电性模型，划分异常。

8.4.8 成果图应标注隧洞桩号或深度信息。

8.5 聚焦电法

8.5.1 聚焦电法可用于探测地下水富集区等低阻不良地质体。

8.5.2 聚焦电法探测距离不宜大于30m。

8.5.3 聚焦电法连续探测时，前后两次探测的重叠长度不宜小于5m。

8.5.4 聚焦电法的观测系统布置应符合下列规定：

1 采用聚焦电阻率或激发极化预报时，应根据观测系统布置要求，在距掌子面后方80m范围内分多圈均匀布置多个供电A极；测量N极应布置在隧洞出口方向，电极N与掌子面的距离不应小于10倍的供电A极与测量M极之间的距离；供电B极距掌子面的距离应远小于N极，且与电极N的间距不小于10倍的供电A极与测量M极之间的距离，测量M极宜在掌子面呈网状布置，并记录其坐标。

2 掘进机施工时，应将多个同性源供电电极A均匀搭载在掘进机的护盾或边墙上，各电极间应进行电流屏蔽，测量电极宜采用伸缩方式布置在刀盘上。

8.5.5 聚焦电法数据采集时应符合下列规定：

1 探测前应开展现场试验，查明现场干扰信号和干扰源分布情况及强度，并根据现场情况和预报需要，选择合适的仪器测量参数。

2 应检查电极与围岩的接触是否良好，对于不极化电极应检查电极极差，其绝对值不应超过2mV。

3 采集区内应清除或避开附近的电磁干扰源，当不能清除或避开时，应在记录中注明并标出位置。

4 坏点数据的数量不应超过全部数据的1%，且坏点不应连续出现。

8.5.6 聚焦电法的资料处理与解译应符合下列规定：

1 对观测数据进行预处理，降低观测数据中的干扰因素。

2 使用处理软件整理每个测点对应极距的电流、电位差、视极化率、半衰时和自然电位等参数。

3 绘制视极化率、半衰时曲线。

4 反演计算掌子面前方电阻率分布，针对多解性宜采用已知地质信息和先验约束。

5 可根据二维或三维图像的电阻率异常，圈定异常范围。

6 可根据电阻率、视极化率、半衰时异常判断掌子面前方富水情况。

8.5.7 成果图应标注隧洞桩号或深度信息。

9 超前地质综合预报法

9.0.1 对地质条件中等～极复杂和隧洞地质灾害风险Ⅰ、Ⅱ级洞段，应进行超前地质综合预报。

9.0.2 超前地质综合预报前宜搜集下列资料：

- 1 工程设计资料。
- 2 区域地质图和水文地质图。
- 3 已有工程地质勘察成果。
- 4 施工地质编录资料。
- 5 影像资料。
- 6 监测与测试资料。
- 7 其它相关资料。

9.0.3 超前地质综合预报应遵循下列原则：

- 1 不同预报方法相互补充验证。
- 2 以地质分析为核心，对不同方法的预报成果及其他相关资料进行综合分析。
- 3 循序渐进，不断总结经验，动态调整或改进预报方法。

9.0.4 超前地质综合预报工作程序宜符合下列规定：

1 以地质调查法为基础，结合已有的地质资料，分析隧洞沿线不良地质体和地下水活动特征，复核隧洞地质复杂程度，确定超前地质预报方案。

2 长、中、短距离相结合，优先采用地球物理探测法和常规钻探法，必要时采用超前导洞法或水平定向钻探法，由远及近探测不良地质体分布及发育特征，地下水活动情况等。

3 以工程地质分析原理为依据，对不同方法的预报结果进行地质综合分析，提出超前地质综合预报成果。

9.0.5 掘进机施工洞段，超前地质综合预报应结合岩碴特征、掘进参数等分析进行。

9.0.6 超前地质综合预报应及时汇总分析各预报手段实施情况与预报结果，综合分析取舍后得出预报结论，编制超前地质综合预报成果。

10 超前地质预报实施

10.1 一般规定

10.1.1 实施超前地质预报应全面了解隧洞区地质情况，分析和掌握存在的主要工程地质问题、主要地质灾害隐患及其分布范围等，复核地质复杂程度分级、超前地质预报方案的内容。

10.1.2 隧洞超前地质预报实施单位在开工前应依据超前地质预报设计方案、结合场地条件编制隧洞超前地质预报实施细则。

10.1.3 实施过程中应重点预报断层、岩溶、不良地层等不良地质体以及随之产生的涌水、突泥、塌方、冒顶等地质灾害，并及时将超前地质预报成果报送相关单位。

10.2 实施细则

10.2.1 隧洞超前地质预报实施细则应包括下列内容：

- 1 工程概况。
- 2 编制依据。
- 3 地质概况，主要包括地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质，重点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。
- 4 地质复杂程度分级、隧洞地质灾害风险等级。
- 5 预报目的。
- 6 超前地质预报方案、分段预报内容及具体预报方法、技术要求、预报工作量。
- 7 实施工艺流程及操作要点。
- 8 组织机构及投入的人力、设备资源。
- 9 环境、质量、安全保证措施。
- 10 成果资料编制的内容与要求。
- 11 工作制度，包括与施工、监理、勘察设计、建设单位的联系制度，地质预报成果报告提交的时限、信息传递方式等。
- 12 地质预报成果的验证及技术总结的要求。
- 13 其他需要说明的问题。

10.2.2 承担隧洞超前地质预报实施单位应具有实施超前地质预报的工作能力，应根据预报设计方案和合同规定配备专业人员和仪器设备，仪器设备的性能、精度及效率应能满足预报和工期的要求。

10.2.3 超前地质预报实施方法应根据实际地质情况及时进行调整，并按有关程序批准后执行。

10.3 不良地质体预报

10.3.1 断层超前地质预报实施应符合下列规定：

- 1 断层预报应探明断层的分布位置、产状、断层破碎带的规模、物质组成、富水情况等，并分析其对隧洞的危害程度。
- 2 断层预报应以地质调查法为基础，以弹性波反射法探测为主，必要时采用高分辨直流电法探测断层带地下水的发育情况及超前钻探法验证。
- 3 当隧洞施工接近规模较大的断层时，应注意观测可能前兆，并可通过地表补充地质调查、洞内地质调查、地表与地下构造相关性分析、断层趋势分析等手段预报断层的分布位置。
- 4 断层破碎带与周围介质多存在明显的物性差异，可采用弹性波反射法探测破碎带的位置及分布范围。
- 5 断层为面状结构面，可采用超前钻探法较准确预报其位置、宽度、物质组成及地下水发育情况等。
- 6 断层预报可按下列步骤进行：
 - 1) 根据区域地质资料、工程地质平面图与纵断面图以及必要的地表补充地质调查，进一步核实断层的性质、产状、位置与规模等。
 - 2) 采用弹性波反射法确定断层在隧洞内的大致位置和宽度。
 - 3) 必要时采用高分辨直流电法探测断层带地下水的发育情况；
 - 4) 必要时采用超前钻探预报断层的确切位置和规模、破碎带的物质组成及地下水的发育情况等。
 - 5) 采用隧洞内地质素描、地质作图及断层趋势分析等手段预报断层的分布位置。
 - 6) 分析断层与其他结构面组合构成的潜在不稳定块体分布情况。
 - 7) 地质综合判析，提交地质综合分析成果报告。

10.3.2 岩溶超前地质预报实施应符合下列规定：

- 1 岩溶预报应探明岩容在隧洞内的分布位置、规模、充填情况及岩溶水的发育情况，分析其对隧洞的危害程度。
- 2 岩溶预报应以地质调查法为基础，以超前钻探法为主，结合多种物探手段进行综合超前地质预报，并应采用长距离预报指导中短距离预报的方法。
- 3 岩溶预报可按下列步骤进行：
 - 1) 充分收集、分析、利用已有区域地质和工程地质资料，辅以工程地质补充调绘，查明隧址区工程地质与水文地质条件，分析岩溶发育的规律，宏观掌握区域地质条件，指导超前地质预报工作。
 - 2) 根据区域地质和工程地质资料，核查、领会设计文件中地质复杂程度分级和超前地质预报方案。

3) 根据隧洞内地质素描结果,验证、调整地质复杂程度分级和超前地质预报方案。

4) 根据地质条件,可采用弹性波反射法进行长、中距离探测,以探明规模较大、可足以被探测的岩溶形态;采用高分辨直流电法进行中、短距离探测,可定性探测岩溶水;采用地质雷达进行短距离探测,以查明岩溶位置、规模和形态。

5) 根据地质复杂程度分级、隧洞内地质素描、物探异常带进行地质超前钻探预报和验证,对富水岩溶发育地段,地质超前钻探必须连续重叠式进行。超前钻探揭示岩溶后,应适当加密,必要时采用地质雷达及其他物探手段进行短距离的精细探测,配合钻探查清岩溶规模及发育特征。

6) 岩溶发育区必须进行加深炮孔探测。

7) 地质综合判析,提交地质综合分析成果报告。

10.3.3 不良地层超前地质预报实施应符合下列规定:

1 不良地层预报应在分析隧洞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、特性和构造规律,预报不良地层的分布位置,评价不良地层对隧洞的危害。

2 应根据预报方法特点、隧洞地层与构造特点、隧洞施工方法等选择对不良地层的预报方法,应以地质分析法、弹性波法、探地雷达法、超前钻探为主,其他方法为辅;预报体系流程应为中短距离预报循环探测、短距离预报验证。

3 不良地层预报可按下列步骤进行:

1) 应依据产状预测夹层、软硬岩性分界面、煤系地层及构造在隧洞中线的位置;根据洞内围岩地层顺序特征、地层发育呈现的过渡特征识别、标志层等预测前方不良地层。

2) 采用弹性波法进行长距离预测,确定煤层等不良地层在隧洞内的大致位置和厚度。

3) 探地雷达法宜用于对硬质岩中发育的不良地层进行进一步的短距离预报。

4) 接近不良地层前,应对不良地层进行超前钻探,以预报不良地层的准确位置。

5) 进行隧洞揭露不良地层时的危险性预测。

6) 综合分析,提交地质综合分析成果报告。

10.3.4 地下水富集区超前地质预报实施应符合下列规定:

1 对地下水富集体进行超前地质预报应初步确定地下水富集区在隧洞前方的分布位置、赋存介质、富水程度、均一程度等,分析地下水对隧洞的危害程度。

2 地下水富集区预报应以地质调查法为基础,以超前钻探法为主,结合多种物探手段进行综合超前地质预报,并宜采用长距离预报指导中短距离预报的方法。

3 对地下水富集区预报可按下列步骤进行:

1) 应收集前期的勘察资料、隧洞施工地质编录成果等,熟悉地下水富集区的宏观

地质环境、工程地质与水文地质条件、对涌水、突泥问题的地质评价等。

2) 复核隧洞地质复杂程度分级和超前地质预报方案。

3) 利用弹性波法进行长距离预测，根据预报成果初步确定前方是否存在富水洞段及其大致分布位置。

4) 当接近富水洞段时，采用聚焦电法或探地雷达法，进一步确定富水洞段的具体位置和范围。

5) 必要时进行超前钻探，超前钻探应设有防突装置，钻探过程中应进行水压、流量观测。

6) 分析、预测隧洞揭露地下水富集体的危害性，确定隧洞风险等级。

7) 地质综合判析，提交地质综合分析成果报告。

11 成果报告

11.0.1 单次地质超前预报工作完成后，应及时编制单次超前地质预报成果；项目实施完成后，应编制超前地质预报总报告，并按程序进行校核和审查。

11.0.2 单次超前地质预报成果宜采用简报、通报等形式，并宜包括下列内容：

- 1 概述，主要包括工程概况、工程地质、复杂程度、风险等级等。
- 2 工作布置、工作量、工作时间和工作内容。
- 3 工作方法与原理。
- 4 超前地质预报结果及综合分析。
- 5 结论和建议。
- 6 附图与附表。

11.0.3 超前地质预报总报告应包括文字报告和附图附件，并应符合下列规定：

1 文字报告宜包括下列内容：

- 1) 工程概况。
- 2) 地质概况，包括原有地质资料的概略情况及其结论，施工开挖过程中揭示的不良地质、特殊岩土及存在的主要工程地质问题。
- 3) 设计预报方案和实施预报方案。
- 4) 设计工作量和实际完成工作量。
- 5) 预报成果与施工验证对比分析。
- 6) 超前地质预报工作经验总结。
- 7) 新技术、新设备、新方法应用推广情况。
- 8) 其他需要说明的问题。
- 9) 结论与建议。

2 附图和附件宜包括下列内容：

- 1) 附图包括钻孔柱状图、典型物探解译图、预报方案布置图、典型地质剖面等。
- 2) 附件包括测试成果表、重点部位单次超前地质预报成果。

附录A 地质复杂程度划分

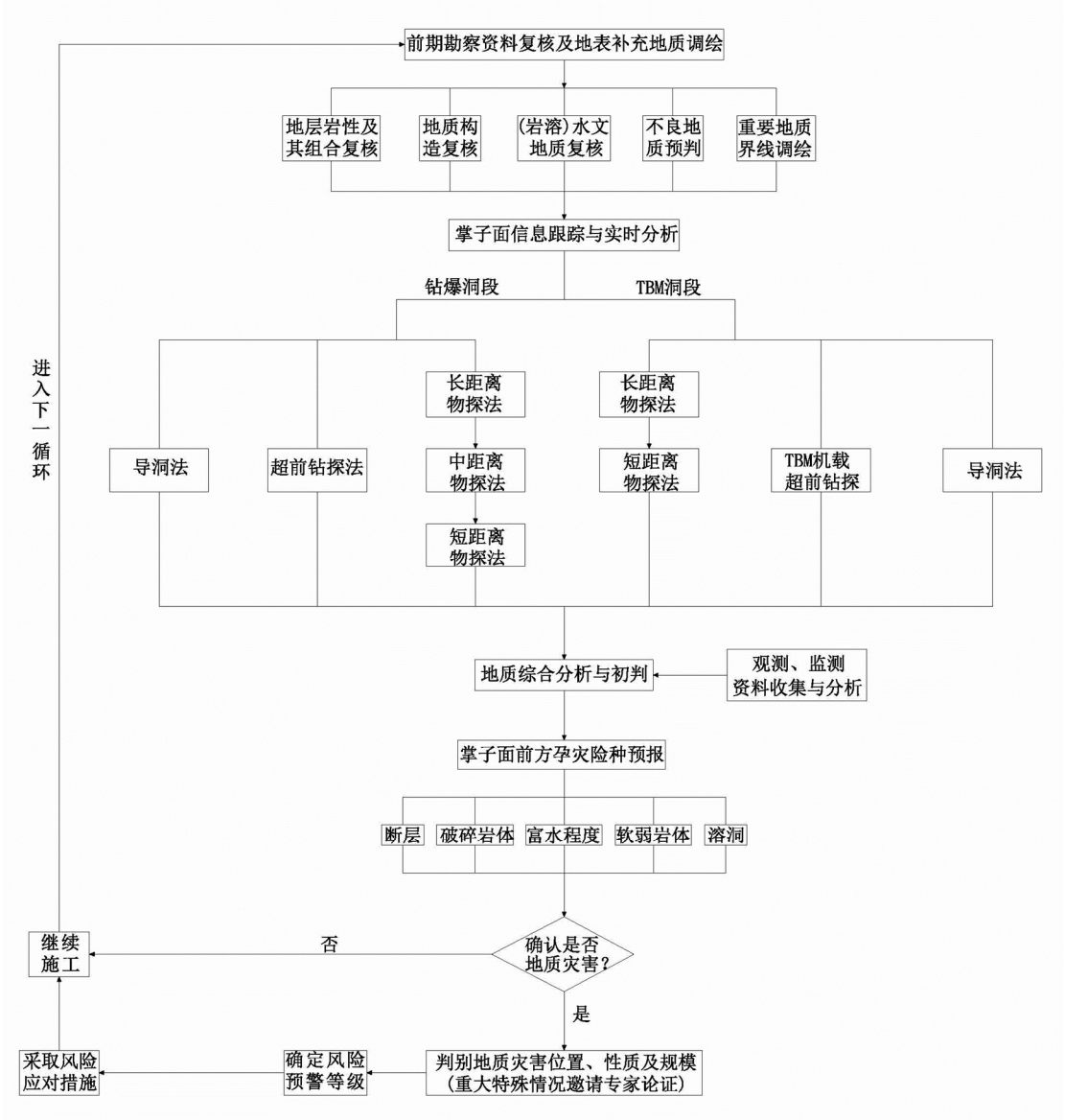
影响因素	地质复杂程度划分			
	极复杂	复杂	中等复杂	简单
围岩条件	V类	IV类	III类	I、II类
断层稳定程度	大型断层破碎带、自稳能力差、富水、可能引起大型失稳坍塌	中型断层带，软弱，中～弱富水，可能引起中型坍塌	中小型断层，弱富水，可能引起小型坍塌	中小型断层，无水，掉块
岩溶发育程度	强烈岩溶发育，以大型暗河、廊道、较大规模溶洞、竖井和落水洞为主，地下洞穴系统基本形成	中等发育，沿断层、层面、不整合面等有显著溶蚀，中小型串珠状洞穴发育，地下洞穴系统未形成，有小型暗河或集中径流	弱发育，沿裂隙、层面溶蚀扩大为岩溶化裂隙或小型洞穴，裂隙联通性差，少见集中径流，常有裂隙水流	微弱发育，以裂隙状岩溶或溶孔为主，裂隙不连通，裂隙透水性差
涌水突泥程度	特大型涌水（涌水量 $>10000\text{m}^3/\text{h}$ ）、大型涌水（涌水量 $1000\sim10000\text{m}^3/\text{h}$ ）、突泥、高水压	较大型涌水（涌水量 $500\sim1000\text{m}^3/\text{h}$ ）、突泥	中型涌水（涌水量 $100\sim500\text{m}^3/\text{h}$ ）、突泥	小型涌水（涌水量 $<100\text{m}^3/\text{h}$ ），涌水、突泥可能性极小
地应力影响程度	极高地应力（ $\sigma_{\max} \geq 40\text{MPa}$ ）或强烈、极强岩爆（ $R_c/\sigma_{\max} < 2$ ），开挖过程中硬质岩出现大片爆裂，出现强烈岩块弹出，持续时间长，洞壁岩体发生剥离新生裂缝多；软质岩出现显著隆起或剥离等大变形，钻孔岩芯有饼化现象，岩体有剥离，不易成形	高地应力（ $20 < \sigma_{\max} \leq 40\text{MPa}$ ）或中等岩爆（ $2 \leq R_c/\sigma_{\max} < 4$ ），开挖过程中硬质岩有出现岩爆弹射现象，有一定的持续时间，洞壁岩体有剥离和掉块现象，新生裂缝较多；软质岩洞壁岩体位移显著，持续时间较长，成洞条件差，钻孔岩芯有饼化现象	中等地应力（ $10 < \sigma_{\max} \leq 20\text{MPa}$ ）或轻微岩爆（ $4 \leq R_c/\sigma_{\max} < 7$ ），开挖过程中硬质岩洞壁岩体局部有剥离和掉块现象，零星间断发生，成洞性尚好；软质岩开挖过程中洞壁岩体局部有位移，成洞性尚好	低地应力（ $\sigma_{\max} \leq 10\text{MPa}$ ）或无岩爆现象发生（ $R_c/\sigma_{\max} \geq 7$ ）
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 $f \leq 0.5$ ，煤的破坏类型为III类及以上	高瓦斯：全洞段的瓦斯涌出量 $\geq 0.5\text{m}^3/\text{min}$	低瓦斯：全洞段的瓦斯涌出量 $< 0.5\text{m}^3/\text{min}$	无含瓦斯地层
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，严重影响施工或对施工影响大	存在安全隐患，对设备及施工人员有一定威胁，对施工存在一定影响	可能存在安全问题，对施工影响较小	局部可能存在安全问题，采取简单处理即可，对施工影响很小
诱发环境问题的程度	可造成重大环境灾害	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	—

注： R_c 为岩石单轴饱和抗压强度（MPa）； $\sigma_{\max}$ 为最大地应力值（MPa）。

附录B 隧洞地质灾害风险分级标准

风险分级要素			I	II	III
地质条件	潜在风险类型		区域性断裂、大型断层	中型断层	小断层
	断层	围岩失稳变形、塌方、涌水、突泥			
	岩溶	围岩失稳变形、塌方、涌水、突泥	岩溶强~中等发育	岩溶弱发育	岩溶微发育
	向斜构造	涌水	大型储水向斜核部	中、小型储水向斜核部	导水性差的小型向斜核部
	破碎地层	围岩失稳变形、涌水、突泥、流砂	区域性断裂、大型断层影响带	中型断层影响带	小型断层影响带、裂隙密集带
	特殊地层	有毒有害气体	煤系地层 经勘察钻孔测试有毒有害气体超标的地层	经勘察钻孔测试存在有毒有害气体但未超标的地层	经勘察钻孔测试不存在有毒有害气体的地层
		放射性	火成岩 经勘察钻孔测试放射性超标的地层	变质岩 经勘察钻孔测试存在放射性但未超标的地层	沉积岩 经勘察钻孔测试不存在放射性的地层
探（预）测成果	物探异常	围岩失稳变形、涌水、突泥	明显异常段	局部异常段	稍异常段
	单位长度最大涌水量（m³/d·m）	涌水、突泥	>20	*20~5	*≤5
	地应力	岩爆	强烈岩爆、极强岩爆	中等岩爆	轻微岩爆或无岩爆
		软岩大变形	极严重挤压变形	严重挤压变形	中等及以下挤压变形
环境因素	可能诱发环境地质问题程度		对地表泉、井有影响较大	对地表泉、井有一定影响	对地表泉、井有基本无影响
注：1.除有*项为非决定因子外，其他任一项因子，即可确定该隧洞段风险等级；当有多个风险等级时，取其最高者为该隧洞段风险等级。 2.鉴于TBM施工洞段一旦遭遇地质灾害，其损失之严重、处理难度之大、处理周期之长，当地质风险初判为II级以下时，宜按II级考虑。 3.隧洞涌水量采用地下水动力学法解析解所得，地质条件复杂洞段涌水量可采用GMS数值模型计算。 4.单位长度最大涌水量判据中I级风险洞段完全覆盖极高危险区与高危险区涌水洞段；II级风险洞段部分涵盖一般危险区中可能对环境有影响的洞段。 5.风险等级为I级、II级洞段必须坚持开展专项超前地质预报工作，III级洞段应坚持施工期常规地质预报工作。					

附录C 隧洞超前地质预报实施流程



图C 地质超前预报工作流程

附录D 超前地质预报预警分级标准

预警级别	预报情况	距掌子面距离	风险级别与处理措施
紧急警报（A）	对洞室稳定有重大影响的断裂破碎带、充水岩溶洞穴、具备渗透破坏可能的富水带，可能产生冒顶、塌方、洞室严重变形、涌水、突泥等重大地质问题。	5~15m	地质灾害风险级别Ⅰ级，暂停掘进，多种方法综合。预报预报成果应立即送达。
预警预报（B）	发现胶结程度一般的断裂带、轻微岩溶迹象、一般富水带，可能产生洞室稳定、较大涌水（掌子面涌水量大于100m ³ /h）等较严重地质问题。	15~30m	地质灾害风险级别Ⅱ级，放缓掘进，加密超前探孔。预报成果应在24小时内送达。
提示性预报（C）	上述预报情况之外。	>30m	地质灾害风险级别Ⅲ级，正常施工，注意安全，预报成果应在48小时内送达。

附录E 隧洞超前地质预报方法及适用条件

预报方法		适用性	预报距离（m）	施工影响	场地及环境要求
地质调查法		是普遍采用的一种预报方法，需结合地面、洞内地质调查，对于各种地质现象的进行预报	—	需清洗洞壁，对施工基本无影响	盾构或 TBM 施工无法进行地质素描
地球物理探测法	弹性波法（炸药震源）	适用于断层、破碎带、岩溶、软弱夹层等不良地质体的大致位置探测。	100~150	需按照相关要求布置较多数量的钻孔，测试时间约2小时，占用施工时间较长	接收孔至工作面间需清场，并停止洞内较大震动干扰的施工作业
	弹性波法（非炸药震源）	适用于断层、破碎带、岩溶、软弱夹层等不良地质体的大致位置探测。	80~120	需按照相关要求布置一定数量的钻孔，测试时间约1小时	现场测试应保证不少于300m范围内无明显振动干扰
	探地雷达法	适用于岩溶、断层、破碎带、软弱夹层以及地下水富集区等不良地质体的进一步探测。	20~30	现场测点布置和测试在掌子面附近，测试时间约半小时	掌子面应相对平缓，无障碍，附近30m范围内无强电磁干扰
	瞬变电磁法	适用于探测地下水富集区等低阻不良地质体。	50~80	现场测点布置和测试在掌子面附近，测试时间约半小时	接收线圈站附近不宜存在大型金属构件，采集时宜切断附近施工用电
	聚焦电法	适用于探测地下水富集区等低阻不良地质体。	20~30	现场测点布置和测试在掌子面附近，测试时间约1小时	测试范围内无强电磁干扰
超前钻探法	常规钻探	适用于地质条件复杂、可能遇到影响施工安全、围岩稳定的洞段	10~30	冲击钻探约2小时，取芯钻探占用时间长	设备较大，受场地限制
	水平定向钻探		>1000	可与隧洞开挖分开实施，影响较小	需布置专用场地
超前导洞法		适用于断层破碎带、裂隙密集带、软弱夹层、特殊岩土层、岩溶等不良地质体超前地质预报	—	正洞超前导洞占用隧洞施工工期较长，平行超前导洞影响较小	受场地条件限制大
超前地质综合预报法		适用于地质条件中等~极复杂和隧洞地质灾害风险Ⅰ、Ⅱ级洞段的地质预报	—		

附录F 隧洞不良地质体（现象）征兆特征

不良地质体（现象）类型	掌子面附近征兆特征
断层破碎带	1、岩体中节理组数急剧增加。岩层产状不清，硬质岩和断层产状平行的贯穿性裂隙出现，裂隙面有擦痕。而可溶岩裂隙密集发育，且夹泥越来越多。 2、岩层牵引褶曲或牵引褶皱的出现。 3、岩石强度的明显降低，岩体风化加剧，呈全风化状态，一般状态下保留岩体原有结构面形态。 4、压碎岩、碎裂岩、断层角砾岩等构造岩的出现。 5、临近富水断层前断层泥岩、页岩等隔水岩层明显湿化软化，或出现淋水和其它涌水现象。
岩溶或采空区	1、临近前裂隙、溶隙明显增多，且出现较多的铁染锈或黏土。 2、岩层明显湿化、软化，或洞顶出现淋水现象，较大裂隙出现喷水现象且不间断。 3、小溶洞出现的频率增加，且多有水流河沙或水流痕迹，常伴有钙华堆积物。 4、钻孔或炮孔中的涌水量剧增，颜色变浑，且夹有泥沙或小砾石。 5、临近掌子面有流水声。 6、超前钻孔有凉风冒出或开挖面、临近掌子面空气变冷或发生雾气。 7、临近积水采空区，岩层中出现暗红色水锈或渗水中挂红。
涌水、突泥	1、压碎岩、碎裂岩、断层角砾岩等构造破碎特征或囊状风化体的出现并伴有渗水或射流现象。 2、临近向斜或单斜含水层明显有湿化、软化，出现淋水、裂隙渗水，裂隙面流出稀泥、细砂。 3、已开挖洞段岩层发生破裂变形并伴有渗水、流出细砂、稀泥。 4、渗水洞段水量突变，超前钻孔涌水量突增，颜色变浑浊。 5、临近掌子面有流水声。 6、临近积水采空区，岩层中出现暗红色水锈或渗水中挂红。
围岩垮塌	1、拱顶岩石开裂，裂缝旁有岩粉喷出或洞内无故尘土飞扬。 2、初期支护不明原因开裂掉块、支撑拱架变形或发生声响。 3、拱顶岩石掉块或裂缝沿走向逐渐扩大，切割岩块体发生凸出变形等。 4、干燥围岩突然涌水或裂隙渗水、裂隙面流出稀泥及细砂等。 5、结构面临空、泥质或岩屑充填洞段。
软岩大变形	1、极软岩埋深大于100m，软岩埋深大于300m。 2、压碎岩、碎裂岩、糜棱岩等构造破碎特征体的出现并伴有渗水现象 3、开挖隧洞掌子面洞顶出现塌落或条带掉块，洞壁出现挤出、突出或剪断，洞底出现隆起现象。 4、初期支护措施中喷混凝土出现开裂、剥落，钢架出现压弯、扭曲、剪断等现象，底脚横向支撑钢架折弯、扭曲变形等现象。 5、超前孔出现缩径、夹钻、塌孔等现象。 6、高外水压力或膨胀岩的膨胀力叠加。 7、初期支护后的洞段沉降和收敛变形同时发生。
煤层瓦斯突出	1、开挖掌子面岩层压力增大，有鼓壁或鼓裂，深部岩层或煤层的破裂声明显、响煤炮、掉渣、支护严重变形。 2、瓦斯浓度突然增大或忽高忽低，掌子面温度降低，闷人，有异味等。 3、煤层结构变化明显，层理紊乱，由硬变软，煤由湿变干，光泽暗淡，煤层顶、底板出现断裂、波状起伏等。 4、超前钻孔时有顶钻、夹钻、顶水、喷孔等动力现象。 5、掌子面发出瓦斯强涌出的嘶嘶声，同时带有粉尘；掌子面附近，时常听到沉雷声或闷雷声。 6、掌子面有移动感。

水利水电工程隧洞超前地质预报规程

条文说明

目次

1 总则.....29

2 术 语.....30

3 基本规定.....31

4 超前地质预报设计.....33

5 地质调查法.....34

6 超前钻探法.....37

 6.1 一般规定.....37

 6.2 常规钻探法.....38

 6.3 水平定向钻探法.....40

7 超前导洞法.....41

8 地球物理探测法.....42

 8.1 一般规定.....42

 8.2 弹性波法.....42

 8.3 探地雷达法.....42

 8.4 瞬变电磁法.....43

 8.5 聚焦电法.....43

9 超前地质综合预报法.....44

10 超前地质预报实施.....46

11 成果报告.....50

附录A 地质复杂程度分级.....52

附录B 隧洞地质灾害风险分级标准.....53

附录C 隧洞超前地质预报实施流程.....54

附录D 超前地质预报预警分级标准.....55

附录E 隧洞超前地质预报方法及适用条件.....56

附录F 隧洞不良地质体（现象）征兆特征.....57

1 总则

1.0.1 隧洞施工中涌水突泥、岩爆、变形失稳等突发地质灾害常给工程带来巨大的损失，轻则设备损毁，重则人员伤亡、工程延期，甚至还会发生水资源枯竭、地面塌陷等生态环境灾害，处置不当可能造成严重的社会影响。做好隧洞超前地质预报工作，可以科学规避施工灾害，是保证隧洞施工安全的重要环节和重要技术手段。目前隧洞超前地质预报工作在水利水电工程，尤其是引调水工程隧洞中的重要性已经得到了工程界的一致认可。因此制订本标准旨在统一隧洞超前地质预报在水利水电隧洞工程中的工作程序和工作内容，明确技术要求和方法，规范、指导水利水电工程隧洞超前地质预报工作，为及时调整隧洞设计参数、优化防护措施和施工组织提供依据，是隧洞施工安全、质量、工期、环境和控制投资的重要技术支撑。

1.0.3 由于受现场条件、勘察技术方法、勘察工程量的限制，前期地质勘察工作不可能查明深埋长隧洞可能遇到的涌水、突泥、软岩变形、岩爆、有毒有害气体等影响洞室施工安全或围岩稳定的地质问题，许多重大地质问题需要随着隧洞施工开挖，采用地质调查、物探、超前钻探、超前导洞等手段和地质综合分析方法进一步论证。因此，要求深埋长隧洞和施工过程中可能遇到影响施工安全、围岩稳定等重大地质问题的其他地下开挖工程开展超前地质预报工作。

2 术 语

施工地质工作中的地质预报是在通过分析、研究已有资料和施工过程中揭露的地质现象而进行的预先分析与判断，一般不开展勘探工作量，仅开展少量现场简易观测工作。隧洞超前地质预报是一项专门性工作，需开展大量地质调查、钻探、硐探、物探等勘探工作，工作流程包括收集资料和现场调查、地质复杂程度分级、超前地质预报设计、预报实施细则编制、现场实施、资料处理与解译、超前地质预报和预报成果验证等，而且现场实施、资料处理与解译、超前地质预报和预报成果验证需要循环进行。因此这里对隧洞超前地质预报和施工地质工作的地质预报分别进行定义予以区分。

3 基本规定

3.0.1 隧洞超前地质预报是保证隧洞施工安全的重要环节和重要技术手段，可以预防地质灾害和降低安全风险，同时起到优化设计和指导施工的作用。

3.0.2 对隧洞超前地质预报主要工作内容进行了规定。

1~4 断层带、裂隙密集带、破碎带、岩溶、采空区、测含水层、储水构造、破碎岩层、软弱夹层和特殊岩土层等是围岩失稳变形、涌水突泥等地质灾害的高发区，因此是超前地质预报的重点关注内容。

5 进行地质灾害类型和风险程度划分，为优化设计方案和指导施工提供地质依据和支撑。

3.0.3 前期设计的超前地质预报方案和实施细则，是基于前期勘察资料制定，具体实施超前地质预报过程中，由于地质条件的复杂、多变性，可根据实际施工揭露的地质条件，不断优化超前地质预报方案设计和工作布置。

3.0.4 可行性研究阶段应根据隧洞地质复杂程度和风险等级提出超前地质预报的初步设想，预估超前地质预报工作量和费用，已便于超前地质预报专题单独立项，初步设计阶段应进行专门的超前地质预报设计，细化超前地质预报各项工作。

3.0.5 对隧洞地质复杂程度和风险等级进行划分，不同地段采取不同的预报方法，有利于抓住重点，增强隧洞超前地质预报的针对性，集中优势资源，提高预报准确性，而对于地质条件简单，风险低的地段则可以减少采用的预报手段，节省有限的地质预报资源。地质条件复杂、地质灾害风险Ⅰ级为重点预防地段，地质条件中等复杂、地质灾害风险等级Ⅱ级次重要预报地段，地质条件简单、地质灾害风险Ⅲ级为常规预报地段。

3.0.6 隧洞施工超前地质预报实施细则一般在项目进场后编制，用于规范现场超前地质预报工作流程，主要内容是针对现场施工工序而采取的技术措施、人员和设备组织、现场协调等，内容因行业、发包方不同而存在差异。

3.0.7 超前地质预报的实施需要占用施工工作面和时间，影响施工单位的工作效率，超前地质预报单位应实时掌握工作面地质条件和施工工序，根据超前地质预报设计和实际揭露的地质条件，选择合适的工序和时间开展超前地质预报，尽快完成超前地质预报工作，并与隧洞开挖施工单位的保持好沟通，保证超前地质预报工作能够顺利实施，另外超前地质预报设计时将超前地质预报实施纳入隧洞施工工序管理也是一项重要的保障措施。

3.0.8 现场每一循环工序完成后都需要提交隧洞超前地质预报成果，成果形式可以是报告也可以是简报，如果发现岩溶、涌水、突泥等重大地质地质和风险，可以先口头或电话通知，随后再及时提交书面报告。

3.0.9 超前地质预报、设计和施工是一有机整体，涉及建设、勘察、设计、施工、监理等参建单位，只有参建各方责任明确、协调一致、相互配合，才能保证信息传递顺畅、决策迅

速、处理得当。建设单位需根据地质超前预报提出的重大地质异常情况，召开由参建各方参加的会议，给出指导性意见和建议，对预报的地质问题和灾害风险，及时处理；设计单位需根据预报情况及时调整设计方案；施工单位需针对预报的灾害风险，及时调整施工工序，采取安全应对措施，消除隐患，保障施工安全；监理单位需对施工单位采取的措施进行监督以保证施工安全和质量。

3.0.10 参建四方应该要根据超前地质预报的成果充分讨论和分析后，必要时召开专家咨询会，确定预报地质条件与原地质条件发生确实发生重大变化、或可能遇到重大地质问题时，才能提出专项勘察研究建议，并由建设单位另行委托有相关资质的勘察单位进行专项勘察工作。

4 超前地质预报设计

4.0.1 本条对隧洞超前地质预报的设计原则进行了规定，隧洞超前地质预报以地质条件为基础，结合施工工法及预报内容选择确定合理的预防方法，并遵循动态设计原则，根据预报实施工作中掌握的地质情况，及时调整预报方法和技术要求等。

2 采用动态设计原则，要求施工过程中及时将实际开挖的地质情况与预报结果进行对比分析，并根据实际地质情况及时调整超前地质预报方案，按有关程序经批准后执行。通过动态设计，有助于总结经验教训、指导和改进超前地质预报工作、提高超前地质预报水平。

3 综合地质分析在超前地质预报工作中具有非常重要的作用，是在充分利用前期地质勘察成果的基础上，结合施工期地质调查、物探、超前钻探、超前导洞，在收集隧洞施工监测、地下水监测等信息基础上，对掌子面前方可能存在的风险类型、等级进行综合研判。必要时需邀请现场施工地质人员参与综合地质分析。

4.0.2 根据隧洞地质复杂程度进行分级情况，不同级别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；一般地段减少采用的预报手段，可节省有限的地质预报资源。

4.0.3 超前地质预报方法众多，但必须要坚持以地质综合分析法为核心的原则，具体超前地质预报方法选取时必须要结合现场地质条件和施工方法，采取与之相适应的预报方法，或者多种预报方法相结合，相互验证。

4.0.4 根据多年来隧洞施工超前地质预报的现状，长距离、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，习惯上，长距离预报达到100m，中距离预报在30～100m，短距离预报在30m以内。预报距离与地层物理性质、施工方式有关，地层岩性越坚硬、完整，预报距离越远，地层岩性越软弱、破碎，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。

4.0.5 在一般钻爆法施工中，洞径大的隧洞有时采用导洞开挖，这种导洞具有超前地质预报的作用。超前钻探一般都是在物探预报出现异常时，进行一种补充验证的方法和手段。现场超前预报工作要与施工工序相衔接，钻爆施工法工序为“爆破一出渣一爆破”循环，TBM施工工序主要为“掘进一检修一掘进”循环，现场超前预报工作也应采取循环。超前预报的循环频率一般与施工循环频率一致，地质条件较好时，可以低于施工循环频率。有些搭载在TBM上的预报方法可与施工同时工作，进行在线监测预报。根据现场地质和施工情况，确定是否需要同时采取电磁与地震两种互补的物探方法进行预报，两种物探方法可以排除干扰异常。

5 地质调查法

5.0.1 地质调查收集资料主要为项目前期各阶段勘察成果资料，以及附近地质条件相同或相近的工程地质勘察成果资料。包括工程地质及水文地质测绘、物探、钻探、孔内综合测试成果。以上资料在进行超前预报时宜现场复核，并将已完成洞段地质编录成果与原勘察剖面成果进行比照，以指导未开挖段超前预测工作。孔内测试成果主要包括水文地质测试成果、地应力测试成果、地温测试成果、有害气体测试成果、放射性测试成果。水文地质测试成果包括压水试验透水率、由抽水试验确定的富水性及可能涌水量资料。有害气体包括CO、甲烷、瓦斯气体等。

5.0.2 地表地质调查线路布置应与隧洞轴线方向一致，可视地层、构造出露情况布置辅助调查线路，方向宜垂直于地层走向及构造线轴线方向。浅埋跨越沟谷段、构造发育段及穿越采空区洞段宜在前期已有勘察成果资料基础上补充地表调查。在地质测绘基础上，可补充适当的物探工作，必要时可布置钻探和槽探工作来查明构造及不良地质体分布和发育特征。对于前期勘察阶段确认地质条件简单、围岩稳定性较好、构造不发育段可不进行地面地质调查。

洞内地质调查是超前地质预报工作的基础。对隧洞开挖工作面及洞壁进行地质编录、统计，与原勘察成果进行比照，进行地层层序对比、地层界线和构造线地下和地表相关性分析、构造要素与隧洞几何参数的相关性分析，判断已开挖断面的稳定性，推测开挖工作面前方可能揭示的地质情况及不良地质现象，并对可能存在的工程地质问题进行预测预报，如地层岩性、地质构造、岩溶发育情况、涌水及突泥可能性、较岩变形、岩爆发生的可能性、规模和等级等情况。

5.0.3 规定了地质调查的主要内容。断裂构造、岩溶等不良地质现象是制约隧洞施工安全的主要因素，地表调查时应重点关注。其中岩溶发育规律应重点调查暗河、大型洞穴、蓄水构造、地表岩溶露头和洼地、泉水等，同时还要调查垂直渗流带、水平径流带、深部缓流带的分布位置及特征及对岩溶发育的影响。另外也可根据工作区具体地质环境条件增加调查项目，如部分软岩的膨胀性，玄武岩夹层分布规律，东北地区玄武岩具有夹层多、成分复杂，分布规律差，具有涌水量大、易冒顶等特点。

5.0.4 该条规定了地表地质调查的工作方法、技术要求。地面地质调查中对产状稳定、露头零星的地层或构造可采用放线距原理绘制地质或构造界线。利用放线距原理绘制地质界线具体步骤（见图1）：

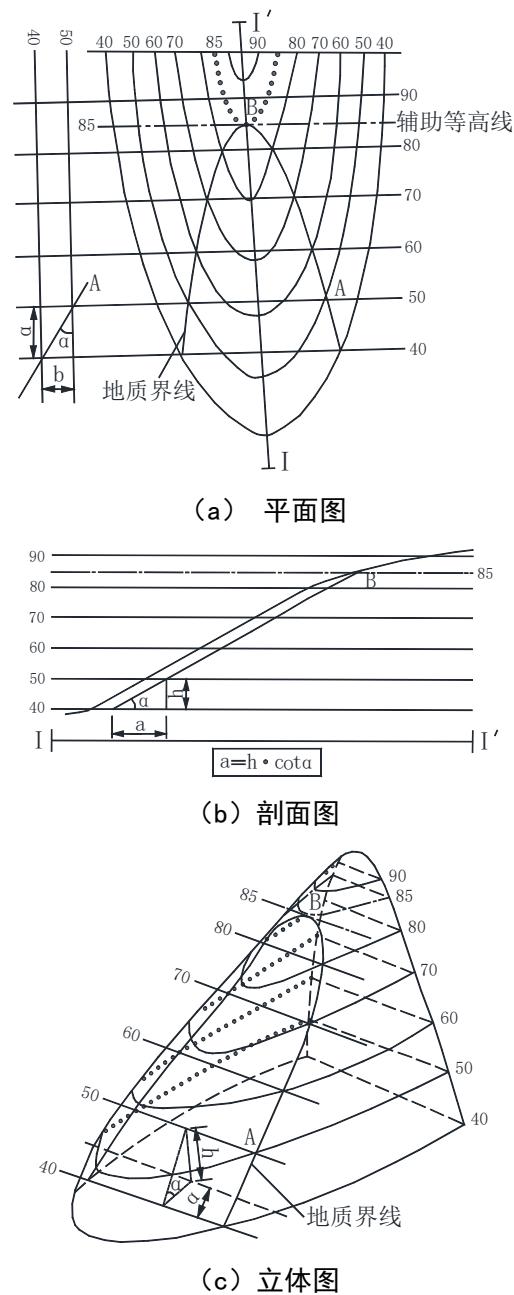


图1 利用放线距原理绘制地质界线示例

第一步：在地形图上标定已知界线露头点位置A，通过该位置绘出一条走向投影线。

第二步：计算放线距a：

$$a=h\cot \alpha$$

式中 h——等高距；

α ——岩层倾角；

a——实地水平距离，应按比例尺折算成图上的平距。

第三步：按放线距沿倾向依次画出一系列不同高程的走向线。

第四步：将地质现象各相同高程的走向线与相同高程地形等高线的交点，依次用圆滑曲线连接起来，即为该岩层界面的地质界线。通过沟谷或山脊处，地质界线应发生V形转

折，可用插入法作出辅助等高线用于较准确画出界线转折。

5.0.5 该条规定洞内地质调查可结合施工地质工作开展，洞内地质编录时若洞壁有岩粉，需先进行清洗，洞内地质编录范围一般包括掌子面、顶拱、两侧壁，当底板以下存在采空区或较大溶洞，存在底板向上涌水的可能时还要包括底板；洞内地质调查除了记录地质条件外，还要重点记录塌方部位、方式与规模及随时间的变化情况，如果遇到各种坑道和洞穴时，还需要分析坑洞与隧道的空间关系图。

5.0.6 该条主要要求通过地质现象分析地质作用的本质与核心。地形地貌的形成是地层岩性、地质构造等综合作用的结果，岩性对一个地区的地貌影响主要表现在岩石的物理化学性质的差异，坚硬岩石通常表现为突出的正向地貌(山地、丘陵等)，相对软弱岩石出露之处，地貌上形成负向地貌(谷地、盆地等)，灰岩易易被水溶液溶蚀形成喀斯特地貌。断裂带岩体破碎，易风化，往往与沟谷形成有关，背斜的顶部受张力影响裂隙较发育，容易被侵蚀成谷，向斜槽部受挤压力岩层坚硬，不易被侵蚀，反而成山峰。地下水排泄区地下水相对丰富，往往植被发育等。

5.0.7 该条规定地质调查时应注意根据不良地质体征兆特征，预测掌子面前方可能出现的不良地质体，以便及时采取相应的预防措施，在总结了大量引水及交通隧洞工程实践成果资料的基础上在附录D中列举了不同类型不良地质问题可能出现的征兆特征。

5.0.8 该条规定了隧道超前地质预报时，根据地质调查结果复核和修正超前地质预报区段划分情况，及时调整地质预报设计方案，提高准确性。

6 超前钻探法

6.1 一般规定

6.1.1 超前钻探可用于任何不良地质体的探测，能比较直观地探明钻孔深度范围内的地层岩性、岩体完整程度、岩溶、涌水、突泥、采空区、有害气体等分布情况，但由于其施工速度慢、费用较高，一般主要用于对富水软弱断层破碎带、富水充填岩溶、煤层瓦斯、重大物探异常等的验证、确认，必要时还可进行孔内测试、取样和试验。

6.1.2 常规超前钻探法又可分为超前地质钻探和加深炮孔钻探，常规钻探法因钻进工艺受限，水平（或倾斜）探测深度一般只能达到数十米，超过百米容易出现塌孔、卡钻和孔斜度难以控制等问题，施工难度极大，因此，目前国内外的常规钻探法预报一般只用于100m以内的中、短距离隧洞超前地质预报。加深炮孔探测是利用风钻或凿岩台车在隧洞开挖工作面钻小孔径浅孔获得地质信息的一种方法，具有设备移动灵活、操作方便、费用低、占用隧洞施工时间相对较短的特点，且钻爆法施工时也可与爆破孔同时施作。此外，由于其可打数量较多的钻孔，大大增加了揭示地质情况的几率，效果明显。加深钻孔钻探孔深要较爆破孔（或循环进尺）深3m以上。需注意的是，加深炮孔钻探严禁在爆破残眼中施钻。

水平定向钻技术(Horizontal Directional Driller, 简称 HDD), 是利用钻孔的自然弯曲规律以及人工造斜工具, 使钻孔按设计要求倾斜钻进至目的层的上部(造斜点), 再采用定向技术钻进至预定目标层的一种钻探方法。其主要由高强度钻杆、螺杆马达、无磁钻铤、随钻测量(MWD)、PDC钻头、牙轮钻头等部分组成。主要原理是利用螺杆马达把水能转换为机械能, 带动钻头进行回转钻进, 利用随钻测量技术来实现对孔底信息的传输, 然后利用孔口监视器实时监测钻孔轨迹, 并及时调整螺杆马达工具面角, 通过调节钻孔倾斜角的变化来达到钻孔轨迹的变化, 最终保证钻孔轨迹精确入靶。水平定向钻进技术以其独有的先进性、适应性以及准确的中靶性, 已被广泛应用于石油与天然气、煤矿与固体矿产的勘探开发以及供水、电力、电讯、天然气、煤气和石油等管线铺设施工等领域。近年来, 定向钻进技术逐步扩大到深埋长大隧道勘察中, 如1997年挪威将定向钻进技术成功应用于oslofjord隧道和Trekantsambandet隧道勘察; 1998年美国马萨诸州水资源局(MWRA)将定向钻进技术应用于地铁供水隧道勘察; 意大利 Geodata公司在阿尔卑斯山隧道勘察中, 采用定向钻探技术钻深长度2200m; 1964年至1981年日本青函隧道第1次使用小直径水平定向取心钻探技术, 共钻进105孔, 总长48000m, 钻进最长距离为2150m; 2020年中科非开挖技术股份有限公司在乌尉高速天山胜利隧道项目采用水平定向钻探钻进长度2271m; 珠江三角洲水资源配置工程穿越狮子洋水道采用水平定向钻探钻进长度936.2m。水平定向钻进技术具有距离长、精度高、速度快和适应性强的优点, 能够在隧道地质勘察中弥补传统地质勘察存在的不足, 沿隧道轴线布置水平定向钻孔事实上就是超前钻探孔, 起到了长距离超前地质预报的作用, 因此, 发展水平定向钻孔技术, 沿隧道设计轴线布置长距离水平定

向勘察孔或超前预报孔，将定向钻进技术与钻探取心技术结合，辅以随钻测量技术、综合测井技术，对隧道沿线长距离的围岩岩性、断层构造、岩溶或裂隙水、地温、有害气体等进行超前地质预报，降低地质安全风险可能带来的生命财产危害具有重要意义。目前，水平定向钻孔已广泛应用于煤矿井下地质构造、地下水和瓦斯等超前地质预报和治理，而在铁路、公路和水利工程隧洞超前地质预报中应用相对甚少，具有一定的应用前景。

6.2 常规钻探法

6.2.1 由于回转取芯钻占用掌子面时间长、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。冲击钻进则可利用风钻或凿岩台车等在隧洞开挖工作面钻小孔径浅孔获取地质信息，一般用于岩溶发育区，冲击钻进具有利用现场掘进设备、移动灵活、操作方便、费用低、占用隧道施工时间短等特点，但由于冲击钻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。为提高钻进速度，减少超前钻探占用开挖工作面的时间，可采用冲击钻和回转取芯钻相结合的方式，一般地段采用冲击钻，复杂地段采用回转取芯钻，必要时还可进行孔内测试和取样进行室内试验。

6.2.2 对隧洞内常规钻探安全措施和技术要求进行了规定。

1 隧洞内进行钻探较地面钻探风险因素更加突出，需要制定安全措施，人员防护及机具性能需满足相关要求。钻进实施过程中操作人员严禁正对钻机，以免高压涌水冲出钻杆伤人，对煤系地层可进行孔内煤与瓦斯参数测定，采用水循环钻，并采取适宜防治措施，防治煤与瓦斯突出。

2 在钻探过程中通过记录钻机转速、返水情况，可以间接了解到地层或地下水情况。冲击钻通过观察和记录钻进过程声响、钻速、岩粉、卡钻、钻杆震动、冲洗液的颜色及流量变化、天然气和瓦斯检测情况，可以粗略的探明岩性、岩体强度、岩体完整程度、溶洞、暗河、石油天然气和瓦斯及地下水发育情况等。具体为：①通过鉴定岩粉的成分可了解前方地层的岩性。②根据钻进速度判定：钻机在相同岩层中的钻进速度是均一的，结合隧洞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。③根据卡钻情况、钻杆振动情况、塌孔等现象，可粗略判断前方岩体的完整程度。④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，可粗略判定钻孔前方岩层的变化；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。⑤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。

3 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，回转取芯钻能比较直观地探明钻孔所经过部位的地层岩性、岩体完整程度、岩溶及地下水发育情况等，取出

的岩芯按先后顺序摆放、标注，并由地质技术人员进行岩芯地质编录与拍照，并编制钻孔柱状图。

6.2.3 超前钻探越多，预报越精准，但钻探占用开挖面的时间越长，因此超前钻探需结合地质复杂程度及洞径大小综合确定。地质条件简单地段可以布置一个超前钻孔，地质条件复杂地段针对性的增加超前钻探。超前钻探虽然直观，但也存在漏报的可能性，对大角度相交的大型断层、破碎带等面状构造一般都能揭露，但对于管道状溶洞、巷道采空区及囊状富水区则有漏报的可能性，一般需多布置超前钻孔。

6.2.4 对超前地质钻孔来说，钻进距离越长，对施工的指导意义越大，但随着钻进距离的加大，其钻进速度会逐步降低。随着钻孔深度增加，钻杆受到的摩阻力和钻头受到的冲击阻力增大，钻机的能量损失也越大，钻进速度也越慢；钻孔深度加大，取芯拔钻、下钻占用的时间也将增加。另外，随着钻孔深度的增加，钻具下垂加大，孔位易偏离设计值；钻孔深度较大处揭露地下水时处理难度也会加大等。通过对七八个钻孔钻进速度的统计分析，在不同的深度，其平均钻进速度见说明表1。以完成一个循环四个超前钻孔为例，进场时需要将钻孔设备运送至开挖工作面，终孔后需要将钻孔设备撤离，进场和撤离平均需要1.8h。综合分析孔内钻进和进场、撤离的时间，不同深度钻孔其综合效率统计结果见说明表2。从表中可以看出：综合效率最高的循环长度是45m（此统计结果仅限于冲孔钻）。考虑诸多因素在内，目前设计中超前地质钻孔深度一般为每循环30m左右。

说明表1 不同深度钻进速度统计表

钻孔深度（m）		0~5	5~15	15~25	25~35	35~55	55~75	75~95	95~120
钻进效率（m/h）	冲击钻	4.6	5.1	4.9	4.7	3.8	2.6	2.2	2.1
	取芯钻	0.8	0.75	0.7	0.6	0.5	0.45	0.4	0.3

说明表2 钻孔循环长度与综合效率统计表（冲击钻）

循环长度（m）	循环时间（h）	综合效率（m/h）
15	4.85	2.06
30	7.95	3.14
45	11.65	3.43
60	16.20	3.39
90	28.79	2.95

上述是以国产常用地质钻机为例进行的统计分析，目前国内外市场上先进钻机钻进速度快，进退场时间短，但钻机价格昂贵，使用成本高，一般长大复杂重点隧道工程、投资大的工程采用。

6.2.5 地下工程开挖轮廓线周边钻孔既要探测前方地质情况，同时也要探测周边地质情况，一般选择15~45°斜孔两者可以同时兼顾。

6.2.6 当超前地质钻孔需要进行物探测试时，其孔径还需要能放入物探仪器和测试的要求。

6.2.8 在高压水富集洞段，需安设孔口管，并应将孔口管固定，装上阀门；当水压超过10MPa时，需在孔口管上焊接法兰盘，并用锚杆将法兰盘固定在岩壁上，孔口管锚固可采用环氧树脂、锚固剂，亦可采用HSC浆液或性能相近的TGRM浆液锚固，浆液水灰比宜为

1:0.3~1:0.4，锚固长度宜为2.0m，孔口管外端应露出工作面0.2m。

6.3 水平定向钻探法

6.3.1 水平定向钻机的选择应根据预测距离和现场施工条件选项合适的机型，水平定向钻孔的布置在有条件的情况下应布置在开挖掌子面，且与洞轴线平行或同轴的“一”型，如图1（a）。但隧洞施工中往往受场地和施工条件的限制无法做的钻孔与隧洞同轴布置，此时可将钻孔布置于距掌子面一定距离的位置，选用平行或同轴“L”型轨迹，如图1（b）和（c）。当洞内无条件安装水平定向钻机，而却有必要布置水平定向钻孔进行超前预报，且洞顶地面有条件布置水平定向钻机时，亦可将水平定向钻孔布置于洞顶地面，如图1（d），预报掌子面前方的地质条件。

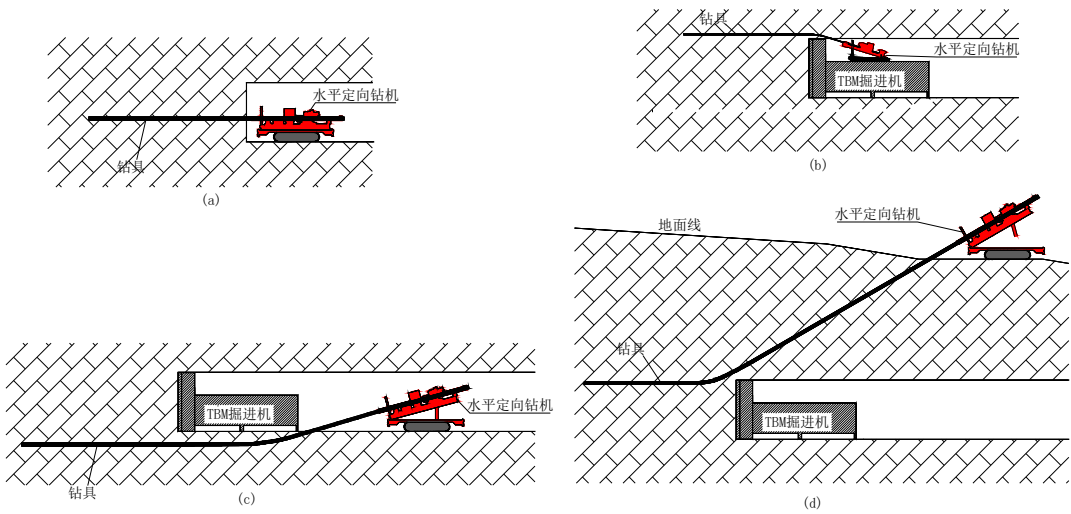


图1 水平定向钻孔示意图

7 超前导洞法

7.0.1 超前导洞预报主要是通过揭示导洞通过洞段的地质情况，采用地质理论分析和作图法预报隧洞地质条件，主要适用于断层破碎带、裂隙密集带、软弱夹层、特殊岩土层、岩溶等，当地下特别丰富，涌水突泥可能性较大且危害性大时，应在超前导坑中利用物探、钻探手段探测导洞前方的地质条件。

7.0.2 平行超前导洞是在隧洞的左边或右边一定距离开挖一个平行的断面较小的隧洞，通过地质理论和作图法预报隧洞地质条件的方法。平行导洞一般结合施工洞、排水洞、通风洞等综合利用。正洞超前导洞是在隧洞正洞中某个部位开挖一个断面较小的隧洞以探明地质情况的方法，该方法更直接、更准确揭露隧洞地质条件，可作为隧洞施工工法的一种，既开挖了隧洞，又探明了地质。

7.0.3 超前导洞地质编录范围包含边墙、顶拱、底板和工作面的地质描述。在超前导洞开挖过程中，应根据地质条件复杂程度选用地质测绘、物探、地质超前钻探等方法，防止导洞开挖引起地质灾害。

7.0.6 超前导洞工程地质纵断面图宜包含地层岩性、地质构造、特殊性岩土、岩溶、涌水、突泥及坍塌变形地段位置、围岩分段分级等。

8 地球物理探测法

8.1 一般规定

8.1.1 地球物理探测法根据物性原理可以分为：弹性波法、电磁法、电法等。本规程中主要介绍隧洞超前地质预报中常用的成熟方法，如弹性波法包括TSP法、TGS法、TRT法、TGP法等，电磁法包括瞬变电磁法、探地雷达法，以及聚焦电法等。

8.1.4 复杂地质条件一般采用不少于2种、且物性原理不同的物探方法进行超前地质预报，进行相互验证。分别利用弹性波法以及电磁法或电法，获取前方一定范围岩体的弹性和电性特征，根据多参数特征对不良地质体进行预报。

8.1.5 物探仪器应每年进行1次年度校准检定；一般情况下，生产项目上每个季度应进行不少于1次自校准；特殊情况下，根据实际情况加密校准频次；存在仪器设备检修与进出场时，仪器设备在开展超前预报工作前需立即进行一次校准。超前预报工作每次出工与收工时，应对仪器设备进行外观与功能检查，定期对设备进行清洗与保养，并保留仪器检查记录。开展物探法超前预报工作时，需记录隧洞信息、地质信息、观测系统、设备参数、原始数据等，保留记录班报。物探超前预报工作结束后，需对原始数据进行检查和评价，并保留相关记录，对于不合格的原始数据不应采用，应尽快重新采集数据。物探预报成果提交之前，应由具有专业技术水平的技术人员或专家对资料进行校核和审查工作，并保留记录。

8.2 弹性波法

8.2.1 弹性波法主要用于获取掌子面前方一定范围内岩体的波速、密度等弹性参数，根据波速异常或波阻抗异常推断是否存在断层、破碎带、岩溶、软弱夹层等不良地质体。

8.2.2 弹性波法由于应用条件所限，一般用于中大型不良地质体的探测，对于体积较小或物性差异不大的不良地质体不敏感。

8.2.3 弹性波法的预报距离与地震波原始数据的信噪比有关，原始数据信噪比越高，有效探测距离越大，但预报距离一般不超过150m；当原始数据信噪比较低、地质条件较差时时，应根据情况减小预报距离。

8.2.5 弹性波法连续预报的目的主要为对上次预报成果的符合，且探测距离越远精度越低，远处预报成果的探测误差较近处的探测误差大。

8.3 探地雷达法

8.3.1 探地雷达的工作原理主要基于高频电磁波的反射，电磁波会在具有明显介电差异的界

面产生反射、相位反转、频率变化等，从而实现对岩溶、断层、破碎带、软弱夹层以及地下水富集区等不良地质体探测。

8.3.2 探地雷达发射的电磁波在岩体中的波速主要受岩体的相对介电常数和电导率影响，不同岩性、不同含水率的岩体其电磁波波速差异较大，需在实际预报工作中开展参数试验，选取合适的预报参数开展预报工作。

8.3.3 探地雷达预报距离主要和围岩的地质情况有关，在岩体质量较好、较干燥的岩体中，电磁波衰减较慢，从而探测距离越长；在岩体质量较差、含水率较高的岩体中，电磁波衰减较快，从而探测距离越短。

8.3.5 探地雷达测线布置时应根据隧洞掌子面的实际情况，在保证安全的情况下，对掌子面布置不少于2条测线，对于岩溶发育或地质条件复杂的区域，应尽量在掌子面上、中、下不同的部位增加测线，尽可能实现多方位的覆盖，必要时需在边墙和底板上布置测线。

8.4 瞬变电磁法

8.4.1 瞬变电磁法主要通过向掌子面前方发射一次脉冲电磁场，然后接收前方介质的感应二次涡流场，实现对地下水富集区等低阻不良地质体的探测，该方法主要被用于地下水等低阻异常的探测。

8.4.2 瞬变电磁法现场测试时受周围环境影响较大，测试前应移走或尽量避开机械设备与金属物体、导线等。支撑天线的器材应选用绝缘材料，天线操作人员尽量少配带金属物件，并避免站在天线法向方向内。

8.5 聚焦电法

8.5.1 聚焦电法工作原理主要基于岩体电阻率数值的差异，通过电阻率、极化率、半衰时等参数实现对地下水等低阻异常的探测。

8.5.4 聚焦电法应根据施工环境（钻爆法施工或TBM施工）、现场工作条件和探测要求选择电阻率法或激发极化法，按照聚焦测深装置布置观测系统。TBM施工环境必要时，需提前对TBM刀盘进行钻孔改装。

8.5.5 聚焦电法数据采集的前提为采集电极与供电电极与岩体的接地效果，应保证所有电极的接地电阻满足探测要求，个别电极接地效果较差的时候，宜采用浇盐水等措施降低接地电阻。

9 超前地质综合预报法

9.0.1 本规程所指的综合预报法，是根据预报对象的特点，以两种或两种以上的相互验证或互补性预报手段为基础，以地质综合分析判断为核心，运用地质学理论，对比、论证、推断和预报隧洞施工前方的工程地质和水文地质情况的超前地质预报方法。现行的超前地质预报标准主要以地质复杂程度来确定预报方案，本规程以地质环境条件为基础，通过对水工隧洞施工可能诱发的主要地质灾害类型、规模、危害程度等情况的分析进行隧洞施工风险分级，作为预报方案设计及实施的依据，主要强调地质灾害风险的预报。规定中所指地质条件中等～极复杂和隧洞地质灾害风险Ⅰ、Ⅱ级洞段，主要是根据附录A及附录B表中的分级或划分标准结果。当预报对象按照上述中任何一种结果，均需进行综合预报。

9.0.2 预报前的资料搜集是进行综合预报的基础，亦是进行地质调查方法的前置环节。地质资料分析具有指导其它预报方法的作用，同时对物探和钻探资料的解释和应用，都离不开施工过程中观测和收集的地质资料，缺少了这一基础环节，采用任何超前探测方法都难以取得好的效果。

9.0.3 主要对超前地质综合预报遵循的原则进行规定。

1 不同的预报方法均有其自身的适应范围、探测优势和预报距离，单一的物探预报技术的准确性并不十分可靠，常常存在漏报、误报等问题。对于Ⅰ、Ⅱ级风险隧洞，为了尽可能减少漏报、误报的出现，准确的获得地质异常体的空间位置、规模等信息，就需要采取长、中、短距离预报相结合的方式，从异常体的不同物性特征入手，选择多种方法进行预报，扬长补短、相互补充、相互验证、相互约束，通过多种预报结果的综合对比和联合解译实现掌子面前方不良地质体的定性和定量解释，并分析可能发生的地质灾害，同时提出相应的处理措施和避险方案，确保施工安全。

2 本规程强调以地质分析为核心，是由于前期掌握的地质情况与实际地质情况可能存在较大的差异，低风险隧洞也可能变为高风险或中风险隧洞，并且每种预报方法都存在不足，因此隧洞施工过程中需采用地质分析法，随施工进度及时掌握隧洞地质情况变化，尽可能的避免由于地质情况差异造成的施工风险，同时能根据地质情况变化及时调整隧洞施工风险分级，优化完善超前地质预报设计及实施方案。

3 超前地质综合预报方法及方案的选择需要考虑地质条件、物性特征、环境条件、干扰因素、施工工艺、预报距离、预报精度、不良地质体性质分布等，采取适宜的方法及多种预报方法的综合应用，以期达到最佳的预报效果。但由于受客观自然条件及技术水平的限制，隧洞实际地质情况不可能完全与设计吻合，而超前地质预报设计主要依据对前期地质资料总结分析的基础上进行，当差异较大时需根据实际情况及时调整超前地质预报工作方案，遵循动态设计的原则。

9.0.4 主要对超前地质综合预报工作程序进行规定。

1 规程中所指中、长距离预报，是建立在宏观地质预报基础上的，主要任务是在较远的距离内大致确定不良地质性质与规模，除了为短距离预报提供指导外，同时主要目的还能为施工单位制定一个相对长时间施工计划提供科学的依据。短距离预报是在中、长距离预报的基础之上进行，预报距离一般在20~30m之内，是对不良地质体类型、规模、位置特征的更准确预报，并预估可能发生的地质灾害，提出施工建议，保障施工安全。根据多年来隧洞施工地质超前预报的现状，长距离、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，习惯上，长距离预报达到100m，中距离预报在30m~100m，短距离预报在30m以内。而强调长、中、短距离预报相互结合，是由于物探预报距离与地层物理性质、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，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，需在具体实施中根据综合条件设计具体方案。

2 物探方法在预报中所占用比例最高，但物探探测是一种间接方法，同时物探预报方法的选择是以物性条件为前提的，易受隧洞内施工机械、设施的干扰，干扰源主要包括噪声、振动、电流、电磁等因素。为了避免误判而影响施工安全，针对 I、II 级风险隧洞的重大地质灾害预报，专门强调应优先安排常规钻孔进行验证。由于超前导洞法或水平定向钻探法占用掌子面时间长、工作效率低且费用高，实际工作中除遇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灾害危险洞段必须使用外，一般情况应用较少。

3 规程强调在提交预报成果时，以工程地质分析原理为依据，主要是基于超前地质预报工作的实施是以地质条件为前提的，不论采用何种方法手段，最终都要回归地质解释。

9.0.5 钻爆法和掘进机法是最具典型代表的隧洞施工方法。其中掘进机施工洞段的选择本身受综合工程地质及水文地质条件的限制最为明显。掘进参数是在勘测设计阶段的地质条件结论明确前提下设定的，能反映开挖段的综合地质条件及主要地质灾害要点。岩碴特征是反映掘进段地层岩性、岩体结构、地质构造及水文地质条件的主要因素，岩体在新鲜完整的情况下，掘进机破碎的石渣大小比较均匀，岩块表面无浸染现象和裂隙充填物等；反之，若岩体结构面较为发育，呈镶嵌结构或碎裂结构时，掘进机在施工掘进中沿岩体裂面掉落，石渣大小混杂，而且结构面上多有浸染，张开结构面内常有泥或岩脉充填。据此，可以了解隧洞围岩结构面的发育部位、宽度、密度及其填充情况和粗糙度等。预报方法选择时可考虑地质条件、物性条件、场地条件等的限制，还需考虑与施工方法相配合，根据施工工艺的不同选择适合的预报方法与预报流程。在预报结果分析时，应随时根据岩碴特征、掘进参数的变化情况，综合考虑预报段地层地质特征，为预报成果提供最客观的基础地质资料。

10 超前地质预报实施

10.1.1 超前地质预报工作开展前，全面了解隧洞区地质情况，分析和掌握存在的主要工程地质问题、主要地质灾害隐患及其分布范围等，复核地质复杂程度分级、超前地质预报方案的内容，以便确定更有针对性的实施细则。

10.2.3 为了预报更有针对性，在实施超前地质预报过程中，当实际地质条件发生变化时，需及时对预报实施方法进行适当调整，调整包括对预报方法的增减或变更。在进行调整前需按有关程序申报，在获得批准后方可实施。

10.3.1 对断层进行地质预报实施要求进行的规定。

1 断层是隧道开挖过程中常见的对隧道围岩稳定性影响较大的构造形式之一，是地下水的富集场所和流动通道，灰岩地区岩溶常与其相伴而生，隧道内塌方、涌水突泥多与其有关。影响断层破碎带稳定性的地质因素主要有断层上下盘岩性和岩石力学性质、断层的力学性质、断层复合与复合特征、断层破碎带厚度、断层破碎带物质组成和固结程度、断层破碎带的围岩结构、断层破碎带的产状及其与隧道的空间关系以及地下水和地应力的影响等。

3 鉴于断层和各预报方法的特点，预报步骤可以循序渐进的选择一种或多种预报方法。大、中型断层在地表多有所表现，其在隧洞施工接近时往往具有明显的预兆，采用地质调查法通过地表地质调查进行地表地下构造相关分析、洞内地质调查结果进行趋势分析可大致预报断层的出露位置。弹性波法或瞬变电磁法能有效预报目标较大的大、中型断层，探地雷达、超前钻孔能有效预报短距离的小断层，而聚集电法、探地雷达等可对断层带地下水的发育情况进行预测预报。

6 根据断层的规模、富水程度及对工程的危害程度决定是否进行超前钻探，超前钻探可采取取芯钻探或不取芯钻探，取芯钻探不仅可以判断断层带的富水情况，还可可确定断层带的物质组成、胶结程度、断层的宽度等；不取芯钻探可以判断断层带的富水情况，可以根据钻进速度、回水颜色等初步确定断层的宽度。接近断层时节理裂隙将更为发育，因而也可采用洞内掌子观附近的地质素描法初步判断即将揭露断层的位置；利用地质分析法可判断断层在隧洞内的延伸长度。

10.3.2 岩溶预报主要是预报岩溶在隧道中的分布位置、规模、充填情况及岩溶水的发育情况，分析对隧道施工的影响。

1 由于岩溶发育的复杂性、隐蔽性、不确定性，岩溶发育的宏观规律理论上可说清楚，但具体到哪个位置是否发育岩溶、岩溶的规模、充填情况等，目前根据理论还很难说清楚。据目前科技发展水平，靠单一的某种预报手段是很难满足快速安全施工需要的，必须进行综合超前地质预报，综合超前地质预报方法中必须包含超前钻探。应当说目前岩溶探测仍是超前地质预报的技术难题，必须慎重对待。

岩溶地区隧底隐伏岩溶洞穴的探测是不是属于超前地质预报的范畴有些争议，有些人认为超前地质预报是为施工安全服务的，只往开挖工作面前方预报不负责探测隧底；有些人认为地质预报不仅是为施工安全服务的，还应为动态设计及隧道处理提供资料。其实这些争议的解决要看委托方与被委托方是怎么签订的地质预报合作协议以及设计单位对被委托方探测资料的认可程度。

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，以地质分析法为基础，采用物探、钻探预报方法，长短搭配，相互佐证。预报实施时可以循序渐进的选择一种或多种预报方法。地质分析法的主要内容包括：地层岩性，可溶性岩层与非可溶性岩层的分布与接触关系，用地表与地下相关性分析，分析隧洞内可能出现大型溶洞、暗河的位置。弹性波法或瞬变电磁法能有效预报成规模的的大型溶洞或地下暗河，探地雷达、超前钻孔能有效预报相对独立的溶穴、溶腔或小型溶洞，而聚集电法、探地雷达等可对溶洞的充水情况进行预测预报。

3 岩溶预报后需提交预备分析报告，分析岩溶发育规律及特征，并着重查明和分析以下方面的内容：

①地层岩性：可溶性岩层与非可溶性岩层的分布与接触关系，可溶性岩层的成分、结构和溶解性，特别是强溶岩（质纯层厚的灰岩、盐岩）的地层层位和展布范围，及其与隧道线路中线的相互关系。

②地质构造：隧洞区的构造类型，褶皱轴的位置、两翼岩层产状；断裂带的位置、规模、性质、产状，特别是两条或两条以上断层交汇的位置（侵蚀性地下水的有利通道）；主要节理裂隙的性质、宽度、间距、延伸方向、贯通性及充填情况等；新构造运动的性质、特点等。分析上述构造与岩溶发育的关系及不同构造部位岩溶发育特征和发育程度的差异性，划分岩溶发育带；分析上述构造与隧道线路中线的相互关系。

③岩溶地下水：地下水的埋藏、补给、径流和排泄情况、水位动态及水力连通情况，分析隧道受岩溶地下水影响的程度。

④隧道处于岩溶垂直分带的部位：根据隧道线路高程、穿越山区地形、地表岩溶发育情况、区域和隧洞区侵蚀基准面等，判断隧洞处于岩溶垂直分带的部位。

⑤岩溶发育的层数：根据岩性、新构造运动和水文地质条件，结合地表测绘，查明岩溶

发育的层数及与隧道的关系。

⑥依据岩溶发育的垂直分带性、隧洞高程和地下水季节的变化，判断那些可能与隧洞相遇的溶洞、暗河的含水量，或分析那些不与隧洞相遇的有水溶洞或暗河对隧洞施工的影响程度。

⑦岩溶形态:岩溶形态的类型、位置、大小、分布规律、形成原因及与地表水、地下水的联系，以及地表岩溶形态和地下岩溶形态的联系。

⑧结合有利于岩溶发育的岩层层位和构造位置，在大小封闭的洼地内、当地河流岸边或其他部位，查明大型溶洞或暗河的入口、出口的位置及高程，并结合可能成为暗河通道的较大断层或较紧闭背斜褶皱的核部位置、产状，推断暗河大致通道，确定能否与隧道相遇或与隧道的大概空间位置关系。

⑨根据褶皱轴、断层、节理密集带、可溶岩与非可溶岩接触带、陡倾角可溶性岩、质纯层厚可溶性岩层的位置与产状，用地表与地下相关性分析法，分析隧道内可能出现大型溶洞、暗河的位置。

另外，隧洞处于季节变动带与水平径流带时发生涌水突泥的可能性较大，对该项的宏观分析判断应引起重视。可溶性岩层与非可溶性岩层互层、地壳强烈升降运动、水文地质条件改变等均产生岩溶的成层性。

10.3.3 对不良地层进行地质预报实施要求进行的规定。

1 不良地层主要包括软弱地层、煤系地层、（极硬岩）等。隧洞施工过程中，揭露软弱夹层时，存在隧洞围岩稳定性差、围岩易发生较大变形等问题。如果采用TBM施工，易产生机头下沉，调向困难；纵坡超限，撑靴接地比压不足；围岩收敛变形，易造成卡机等问题；当隧洞揭露煤系地层时，不仅隧洞稳定性会受到影响，更重要的是可能引起有害气体突然释放，发生燃烧、闪爆、爆炸，严重威胁隧洞施工人员和设备的安全。

2 不良地层预报步骤可以循序渐进的选择一种或多种预报方法。采用地质调查法通过地表地质调查进行地层相关分析、洞内地质调查结果进行趋势分析可大致预报不良地层的出露位置。弹性波法或瞬变电磁法能有效预报目标较大、具有一定厚度的不良地层，探地雷达、超前钻孔能有效预报短距离的不良地层，对于煤层以及有可能诱发瓦斯灾难性事故的地层，必要时要采用相应的气体检测仪进行瓦斯突出性预测预报。

10.3.4 对地下水富集区进行预报实施要求进行的规定。

1 地下水富集区主要包括断层破碎带、褶曲核部、裂隙密集带、不整合接触带、岩溶发育区、第四系松散堆积层及采空区等，具有分布规律性差，富水程度不均一的特点。隧洞施工揭露地下水富区时，易发生涌水、突泥等，对现场的施工人员、设备的安全威胁较大，同时也可能影响已施工隧洞的稳定性。隧洞涌水、突泥多与含水丰富的断层、溶洞、暗河等密切相关，查明了断层、溶洞、暗河，也基本可以确定涌水、突泥的发生洞段了。

2 对地下水的预报步骤可以循序渐进的选择一种或多种预报方法。采用地质调查法通

过地表地质调查进行地层相关分析、洞内地质调查结果进行趋势分析对宏观地质环境、水文地质条件进行评价，对地下水富集区进行预测。弹性波法能有效预报目标较大、具有一定规模的构造、溶洞，探地雷达、聚集电法能有效预报短距离的富水地层，超前钻孔是预报或验证富水地层最直接的方法，利用观测装置其可对水压、水量进行预测。

11 成果报告

11.0.1 本条对超前地质预报成果的提交形式进行了规定，分为单次超前地质预报成果与工程超前地质预报总报告两种。前者是基础，后者是汇总；前者要求形式精炼、突出问题、指导性强，后者要求内容全面、系统总结、提升技术。在隧洞循环掘进过程中，通过单次超前地质预报成果，可以提前了解、掌握隧洞前方可能出现的不良地质条件，分析隧洞前方围岩可能出现的坍塌、涌水突泥等不良地质问题，并采取相应措施，以便选择合适的处理时机，达到处理效果最好，代价最低；同时消除安全隐患、降低施工风险。工程超前地质预报全部完成后，预报单位应编制工程超前地质预报总报告。总报告不仅应包含各单次预报内容，且应对整个工程的超前地质预报工作情况进行回顾、分析、总结，增强专业经验积累、提高专业预报水平。

11.0.2 本条规定了单次超前地质预报成果的形式与内容。其形式可以结合工程的特点、预报设计方案要求等综合确定。

1 概述中，可包含工程概况、工程地质条件、隧洞复杂程度、风险分级等。同时，根据前期地质资料、已开挖洞段围岩揭露情况及附近段曾出现的主要地质问题，分析前方洞段可能出现的主要不良地质体类型，选取适当的预测方法，合理布置工作量。

4 单次预报结论除应根据本次一种或多种预报手段的成果进行分析外，还应结合本次预报范围内已有的长中短预报成果、掌子面附近围岩的揭露情况进行综合分析，以便综合判定预报段不良地质问题的类别与严重程度。

5 单次预报成果中应有较为明确的结论，不能含糊其词。当地质条件复杂时，可建议相关方对资料进行综合分析或进一步采取其他手段进行预测预报；紧急情况下，可现场要求施工单位暂缓掘进。

6 主要附图、附表能较直观的表现超前地质预报工作的开展与成果内容，如：桩号，工作布置、检测数据、解译成果等，一般应随单次预报成果一并提交。

11.0.3 超前地质预报总报告是工程超前地质预报工作的专题报告；报告由两大部分组成，即文字报告与附图附件。

1 本款主要对文字报告正文内容进行了规定。

1) 工程概况中除介绍工程一般性情况外，还应包含隧洞的相关设计信息：洞径、洞长、坡比、排水条件、围岩类型、支护措施及施工开挖方式、总工期等。

2) 工程地质条件及主要工程地质问题在前期地质资料中一般都有详细分析论述，对主要地质构造、软弱夹层、特殊岩土、岩溶、水文地质条件等情况及特征要给予特别关注，这些信息是预判隧洞潜在地质灾害类型与风险等级的依据，有针对性的开展超前地质预报工作的前提。

3) ~4) 隧洞开挖过程中可能出现水文、工程地质条件与前期资料偏差的问题,同时,施工现场环境、工期等也可能限制一些预报手段的采用,因此,超前地质预报具体实施过程中有必要对设计预报方案进行调整,实行动态预报。基于以上原因,实际预报手段及组合形式、预报重点部位划分、工作量布置等都可能与原预报方案存在一定差异,报告中应予以说明。

5) ~6) 预报成果与施工对比验证工作贯穿于预报工作的全过程。其目的是为了let预报人员更好的熟悉工程区岩土物性特征,分析干扰因素影响等,不断从已完成的预报工作中总结经验,提高成果解译水平和预报精准度,从而使预报成果更好的指导施工开挖与支护。

7) 对工程超前预报中采用的新技术、新设备、新方法的预报效果进行分析,对行之有效的新技术、新设备、新方法在行业中进行宣传、推广,促进隧洞超前地质预报专业的发展,提升复杂地质条件下隧洞施工能力。

2 本条要求总报告中附必要的图纸,各预测方法及提交的相应图纸。具体如下:

超前钻:钻孔柱状图。

弹性波法:观测系统工作布置图、P波、S波偏移归位与拟地震波形图、估算速度与反射系数图、地质界面产状图。

探地雷达法:探地雷达测线布置图、探地雷达图像、地质推断解释图。

瞬变电磁法:物探数据采集点布置图、视电阻率等值线剖面图、地质推断解释图。

聚焦电法:测量电极布置图、电阻率和激发极化率曲线图、电阻率等值线剖面图、地质推断解释图。

附录A 地质复杂程度分级

隧洞地质复杂程度分级主要考虑了围岩条件、断层稳定程度、岩溶发育程度、涌水突泥情况、地应力、瓦斯影响程度、对施工影响程度和诱发环境问题的程度等八个方面因素，地质条件复杂程度从极复杂开始，向简单推定，以最先满足为准，当有一项满足条件时，即可判断为相应级别。

围岩类别主要根据GB50487《水利水电工程地质勘察规范》划分，主要考虑了岩石强度、岩体完整性、岩体结构类型、岩层走向与洞轴线的关系、水文地质条件等因素。

断层规模主要根据SL/T 229《水利水电工程地质测绘规程》划分，大型断层指延伸长度大于1km，宽度大于10m的的断层或区域断裂，中型断层指延伸长度大于100m，宽度0.1~1m的断层，小型断层指延伸长度大于10m，宽度小于0.1m的断层。

岩溶发育程度根据《水利水电工程地质手册》划分确定。涌水突泥中的涌水量指隧洞开挖期间，正常情况下隧洞涌水量，并非突水量，主要涌水突泥程度结合铁路工程隧洞超前预报经验进行的划分。

附录B 隧洞地质灾害风险分级标准

重点预报：采用地质调查法、物探法、超前钻探法、超前导洞法及观测监测信息综合预报。重大特殊地质情况邀请专家论证。物探及超前钻探密度相对较高。

次重点预报：采用地质分析法、物探法、超前钻探法、超前导洞法及观测监测信息综合预报。物探及超前钻探密度相对较低。

施工超前地质预报：指施工单位结合自身工程经验和隧洞地质特点，采用施工巡视和观测、加深炮孔探测、物探和超前地质钻探等手段，对其负责的隧洞开挖前进方向的地质条件及可能遇到的影响施工安全或围岩稳定的重要地质问题（断层破碎带、岩溶、软弱地层、含有害气体的地层、涌水、突泥等）进行预报。

专项超前地质预报：指由具备较高理论水平和丰富实践经验、具有类似工程业绩的专业超前地质预报团队，采用地质调查法、物探法、超前钻探（导洞）法，辅以收集的水文气象监测及安全监测资料等综合分析手段对招标文件界定的 I、II 级地质风险洞段或施工揭露地质条件复杂洞段进行综合超前地质预报。

附录C 隧洞超前地质预报实施流程

超前地质预报实施流程应坚持“以地质综合分析为核心，综合物探、超前钻探与地质分析相结合，洞内外结合，长中短预测结合，物性参数互补，观测、监测护航”的原则。超前地质预报单位应根据隧洞具体地质条件及潜在地质风险类型，结合自身优势编制超前地质预报工作程序框图，并针对隧洞每个地质风险类型编制预报流程。

每次超前地质预报完成后，超前地质预报承担单位需及时向监理单位报送预报成果，同时报送建设单位、设计单位、施工单位。各单位收到预报成果后，应及时对预报的风险进行研判并提出相应的初步处置建议，确认高风险等级，提出启动应急预案的建议。

监理单位应及时组织各参建方对预报成果及处置建议进行研究，根据处置建议，设计单位进行设计方案动态调整，施工单位调整施工方案和支护措施。

建设单位和施工单位应根据预报成果确定的风险等级和处置建议，决定是否启动施工安全应急预案。

超前地质预报承担单位应按月编制超前地质预报月报，并报送监理、建设单位、设计单位、施工单位。

附录D 超前地质预报预警分级标准

超前地质预报的主要目的是预报掌子面前方的地下水涌水突泥风险和重大不良地质体(如岩溶、断裂带等)，当地下水或重大不良地质体等地质灾害越临近掌子面，则所面临的风险也越大，所需要采取的应急措施也不同。为确保施工安全，准确、快速传递重大地质灾害临近掌子面的预报信息尤为重要，超前地质预报承担单位完成的短距离预报报告须建立提示性预报、预警预报、紧急警报三级预报方式。

预报风险A级：隧洞超前地质预报成果揭示，存在对洞室稳定有重大影响的断裂破碎带、强烈岩溶迹象（如充水岩溶洞穴、无充填大型岩溶洞穴等）、可能具备渗透破坏的富水带，可能产生冒顶、塌方、洞室严重变形、涌水突泥等重大地质问题和对工程区环境影响严重的风险，必须立即采取避险及预防措施，属于紧急警报，预报成果须在出报告后立即送达。

预报风险B级：隧洞超前地质预报成果揭示，存在胶结程度一般的断裂带、中等~轻微岩溶迹象，可能影响洞室稳定、较大涌水等较严重地质问题和对工程区环境有影响的风险，需积极采取预防措施，属于预警预报，预报成果要求在出报告后24小时内送达。

预报风险C级：隧洞超前地质预报成果揭示的风险程度小于A、B级预报风险，属于提示性预报，预报成果要求在出报告后48小时内送达。

附录E 隧洞超前地质预报方法及适用条件

地质调查法通过地质调查，可随时掌握隧洞开挖工作面的地层、岩性、地质构造、地下水等地质条件的变化，及时分析可能出现的施工地质问题，以便确定预报内容，合理选择预报方法，操作简单，费用低，是隧洞施工超前地质预报的基础。

物探法具有设备轻便，适用范围广、效率高等特点，且费用适中，是隧洞施工超前地质预报广泛采用的方法，其基本原理是通过对岩（土）体（介质）物性参数的测试以及对物性异常现象的分析，探测岩（土）体的地层岩性、地质构造、地下水及不良地质现象的空间分布和地质特征。因此，被探测的岩（土）体要具有物探所要求的基本条件，一是探测对象与其相邻介质必须存在一定的物性差异，并具有足以被探测的规模；二是存在电、磁、振动等外界干扰时，探测对象的异常能够从干扰背景中区分出来。

超前钻探可以比较直观地探明钻孔经过部位的地层岩性、岩体完整程度、岩溶和地下水分布情况等。需要时，还可以进行钻孔测试、取样试验，缺点是速度慢、费用高，占用施工工作面。加深炮孔探测属于钻探的一种，是利用风钻或凿岩台车在隧洞开挖工作面钻小孔径浅孔获得地质信息的一种方法，具有设备移动灵活、操作方便、费用低、占用隧洞施工时间相对较短的特点，且钻爆法施工时也可与爆破孔同时施作。此外，由于其可打数量较多的钻孔，大大增加了揭示地质情况的几率，效果明显。加深钻孔钻探孔深要较爆破孔（或循环进尺）深3m以上。需注意的是，加深炮孔钻探严禁在爆破残眼中施钻。

超前导洞法具有更直观、更准确的优点。但平行超前导洞费时、费力，且费用很高，主要结合通风洞、交通洞实施；而正洞超前导洞作为隧洞施工的一部分，既开挖了隧洞又探明了地质情况，主要在大断面隧洞施工中应用。

附录F 隧洞不良地质体（现象）征兆特征

隧洞不良地质体及地质问题众多，本规程主要对隧洞施工中常见且危害较大的几种类型不良地质体或不良地质现象的征兆特征进行总结。

（1）断层破碎带

断层破碎带是隧洞施工中最常见也是最复杂的不良地质体，隧洞施工因断层破碎带造成的灾害主要有破碎带围岩失稳塌方、富水带涌水突泥等。区域性断裂延伸长度大于10km至数十公里，断层破碎带宽度多为数十米，为隧洞施工困难部位，表中所列征兆一般均有不同程度的表现。大型断层延伸长度一般小于10km，断层带宽度为数米至数十米，表中所列征兆一般均有岩层及构造的表现。中、小型规模较小，延伸一般长度小于1km，表中所列征兆不一定有地层及构造上的表现，需结合现场实际及时判断。征兆中有关“临近富水断层前断层泥岩、页岩等隔水岩层明显湿化软化，或出现淋水和其它涌水现象”的表述是指出该种情况下灾害破坏最为严重，实际施工中因掘进方向的不确定性，在断层的上下盘位置同样具备破坏风险，需结合实际综合判断。

（2）岩溶及采空区

碳酸岩溶地层在全国范围内均有不同程度的出露，西南地区出露面积较大，岩溶造成的危害主要是涌水突泥、围岩垮塌。采空区泛指人类采矿活动形成的坑道，包含正在使用的开采矿洞。坑道常分布在老矿山附近及大型采矿区域临近地带，其中残留老硐内通常富集有瓦斯、硫化氢、二氧化硫等有毒有害气体，大部分残留硐采空区可能被水或泥质充填，隧洞揭露采空区可能发生涌水突泥、瓦斯气体突出、有害气体中毒等事故。

表中所列地质征兆主要针对岩溶和采空区含水水体具有涌水风险及共有的施工地质特征表现现象。实际上两者在临近附近时地质条件差异较大，如岩溶含水水体一般有伴生的溶蚀地质特征或现象，而采空区多系人工开挖所致，临近时不一定有明显的地质特征或岩体结构变化现象，考虑到作为地下储水体施工中临近时所具备的一致基本水文地质特征表现，加上相同的灾害破坏风险，作为同一类不良地质体进行探测或防范。实际施工中应结合现场征兆及地质资料、物探探测成果进行判断。

（3）涌水、突泥

附录表中有关涌水、突泥破坏的地质征兆仅针对一般情况下的施工现场的地质表现，实际上引起涌水、突泥的地质因素及诱因是多方面的，如溶洞水体（暗河）或采空区（储水体）的客观存在，断层破碎带的发育及叠加作用，软岩大变形及围岩垮塌产生的诱发因素等，均能产生较大规模的涌水、突泥灾害破坏。

其中第1~3条地质征兆，在临近导水断层及向斜储水构造时，地质特征表现尤为明显。导水断层一般为张性断层，且沿断层走向均有较大的断层泉出露，泉水的补给范围较

大，来水较远，不仅仅为上层滞水，局部可能具有承压性质。而向斜储水构造为主要的储水体，其含水层水量赋存条件具备多样性及复杂性。以上两者产生破坏的地质征兆具备极强的隐蔽性，根据国内工程统计，典型的条件有以下两种：一是当向斜核部岩层为岩溶地层（透水层）与非可溶岩（隔水层）呈前者在上，后者在下情况时，为典型的储水构造，底部隔水层将上部透水层汇集的地下水储存在核部，形成富水地质体，施工中尤其注意干燥岩质洞段突然开始渗水，且渗流量有增大趋势，应注意分析围岩所处构造部位，重点考虑周边不透水层被击穿的风险；二是软岩与硬岩、隔水层与富水层相间分布，开挖过程中未及时实施超前钻孔和超前地质预报，围岩地质条件发生突变或揭穿导水断层时，施工面失去足够的岩层保护厚度，承压水击穿隔水层引起涌水突泥。实际中尤需根据现场征兆结合地质构造的分析提前进行判断。

（4）围岩垮塌

围岩垮塌变形破坏是隧洞施工过程一类较为常见的地质灾害，这类灾害的一般表现是支离破碎或较为松散的围岩山体产生冒落问题与塌方问题。表中所列的岩体开裂、尘土飞扬、掉块、渗水等都是结构面扩大连通的征兆。

（5）软岩大变形

软岩大变形在隧洞施工中安全隐患是一个循序渐进的过程，在初期处理措施不当或不到位时，影响施工安全和运行安全。除了附录表中的地质征兆外，施工前期对软岩、较软岩洞段应重点分析隧洞埋深、所处构造单元，充分认识地应力对软岩塑性流变的控制作用显得尤为重要。同时在施工中进行及时合理的支护措施，避免因后期衬施时间过晚造成初期支护完全失效的后果。规程中所列征兆实际为在开挖初期及过程中支护措施不合理或措施实施过晚时的典型表现现象。

（6）煤层瓦斯突出

本规程所指煤层瓦斯突出泛指在隧洞施工中遇到的煤层瓦斯、石油天然气、硫化氢等天然有毒有害气体。煤系地层及含炭质泥页岩地层有毒有害气体主要为瓦斯，其主要成分为甲烷，另外含有少量的乙烷、丙烷、硫化氢、一氧化碳等，在煤层或岩体中以游离态和吸附态存在。当瓦斯浓度为5%~16%、洞内有火源和充足的氧气会发生瓦斯爆炸，当瓦斯含量（每吨煤瓦斯含量） $w \geq 10 \text{ m}^3/\text{t}$ ，瓦斯压力 $P \geq 0.74 \text{ MPa}$ 可能会出现瓦斯突出现象。一般容易富集瓦斯的地方为废弃矿井、矿洞、巷道或发生煤层自燃的地区。

关于煤层瓦斯突出部分，在煤层分布范围广泛的隧洞或坑道开挖中，一般均设置有监测措施，目前应用广泛的“声发射”的监测频率仪器，检测有毒有害气体出现前或临近段产生突变及短暂平稳现象的变化来判断预测灾害。实际需结合地质征兆及监测数据综合判断，用于指导施工。