

ICS
CCS P

团 体 标 准

T/CHES XXX—20XX

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

（报批稿）

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》（建标〔2008〕182号）的要求，经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工作经验，特别是复杂地质条件下深埋长隧洞超前地质预报工程实践，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、地球物理探测法、超前钻探法、超前导洞法、超前地质综合预报法、超前地质预报实施、成果报告编制。

本标准由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条16号，邮编100053），以便今后修订时参考。

主 编 单 位：长江三峡勘测研究院有限公司（武汉）

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有限责任公司

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

广东省水利电力勘测设计研究院有限公司

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 卢长伟 张建清 张拥军

王汇明 滕 杰 徐 磊 李 坤

史存鹏 符 锐 马 军 田 毅

王强翔 王旺盛 张海平 许 琦

周宣兆 李 军

主要审查人：马毓淦 徐士忠 孙庆国 蔡正银

路新景 王星照 李宗龙 刘云祯

目 次

1 总则 1

2 术语 2

3 基本规定 3

4 超前地质预报设计 4

 4.1 一般规定 4

 4.2 预报设计 4

5 地质调查法 6

6 地球物理探测法 8

 6.1 一般规定 8

 6.2 弹性波法 8

 6.3 探地雷达法 9

 6.4 瞬变电磁法 10

 6.5 聚焦电法 10

7 超前钻探法 12

 7.1 一般规定 12

 7.2 常规钻探法 12

 7.3 水平定向钻探法 13

 7.4 钻孔孔内测试 14

8 超前导洞法 15

9 超前地质综合预报法 16

10 超前地质预报实施 17

 10.1 一般规定 17

10.2 实施细则 17

10.3 不良地质体预报 18

11 成果报告编制 21

附录A 隧洞超前地质预报方法及适用条件 22

附录B 隧洞地质复杂程度分级 23

附录C 隧洞地质风险分级 24

附录D 隧洞不良地质体（现象）征兆特征 25

附录E 隧洞超前地质预报预警分级 26

附录F 隧洞超前地质预报实施流程 27

本标准用词说明 28

引用标准名录 29

条文说明 30

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms	2
3	Basic Requirement	3
4	Design of Advance Geological Prediction	4
4.1	General Requirements	4
4.2	Design of Prediction	4
5	Geological Investigation Method	6
6	Geophysical Detection Method	8
6.1	General Requirements	8
6.2	Elastic Wave Reflection Method	8
6.3	Ground Penetrating Radar Method	9
6.4	Transient Electromagnetic Method	10
6.5	Focusing Electric Method	10
7	Advanced Geological Drilling Method	12
7.1	General Requirements	12
7.2	Conventional Drilling Method	12
7.3	Horizontal Directional Drilling Method	13
7.4	Tests in Borehole	14
8	Advanced Pilot Tunnel Method	15
9	Comprehensive Advanced Geological Prediction Method	16
10	Implementation of Advance Geological Prediction	17
10.1	General Requirements	17
10.2	Implementation Rules	17
10.3	Prediction of Unfavorable Geological Body	18
11	Preparation of Results Report	21
Appendix A	Methods and Applicable Conditions of Advance Geological Prediction of Tunnel	22
Appendix B	Classification of Geological Complexity of Tunnel	23
Appendix C	Classification of Geological Risk of Tunnel	24

Appendix D Symptom Characteristics of Undesirable Geological Body of Tunnel	25
Appendix E Warning Classification of Advance Geological Prediction of Tunnel.....	26
Appendix F Implementation Process of Tunnel Advance Geological Prediction of Tunnel	27
Explanation of Wording In This Code	28
List of Quoted Standards	29
Explanation of Provisions	30

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目的、内容、程序、方法与技术要求，提高超前地质预报质量与水平，降低施工安全风险，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程隧洞和其他地下开挖工程。

1.0.3 隧洞超前地质预报的设计、实施应积极采用新技术、新材料、新设备、新工艺。

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

2 术语

2.0.1 不良地质体 unfavorable geological body

可能引起隧洞涌水突泥与围岩变形、失稳等问题的地质体，如断层破碎带、裂隙密集带、储水构造、溶洞、不稳定块体，以及软岩、煤层、石膏、膨胀岩等。

2.0.2 地质调查法 geological survey method

在收集和分析已有地质资料基础上，通过开展地表地质调查和隧洞内地质编录等方式对地质资料进行复核、分析和判断，推测隧洞掌子面前方一定范围内地质条件的超前地质预报方法。

2.0.3 地球物理探测法 geophysical detection method

通过仪器观测自然或人工物理场变化，分析地质体地球物理特性差异，探测隧洞掌子面前方一定范围内地质条件的超前地质预报方法。

2.0.4 超前钻探法 advanced geological drilling method

采用常规地质钻探设备、水平定向钻探设备在隧洞掌子面或边墙实施超前钻孔或利用加深炮孔，探查隧洞掌子面前方或周边一定范围内地质条件的超前地质预报方法。

2.0.5 超前导洞法 advanced pilot tunnel method

沿隧洞开挖方向或平行隧洞开挖方向开挖超前小断面平洞，探查隧洞掌子面前方一定范围内地质条件的超前地质预报方法。

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

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条件的超前地质预报方法。

3 基本规定

3.0.1 隧洞超前地质预报应根据地质条件、施工工法、现场条件选择合适的预报方法，预报隧洞围岩条件、灾害类型及危害程度，确定预报预警等级，提出地质建议。

3.0.2 隧洞超前地质预报目的应符合下列规定：

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，为优化设计、制定施工方案提供依据。

2 降低隧洞涌水、突泥、塌方、冒顶、岩爆、有毒有害气体等灾害发生几率和危害程度。

3.0.3 隧洞超前地质预报应包括下列内容：

1 断层带、裂隙密集带、破碎带等地质构造的位置、范围、产状、性状及富水性。

2 岩溶、采空区等不良地质现象的位置、范围、规模、充填情况等。

3 地下水的含水层、储水构造、岩溶管道的分布、规模、富水情况及水压等。

4 破碎地层、软弱地层、煤层、石膏、膨胀岩等不良地层的分布、厚度、岩性及性状、结构特征等。

5 不利结构面及其组合形成的不稳定块体的位置、规模、稳定性等。

6 有毒有害气体、放射性、岩爆、高地温的位置、危害程度等。

3.0.4 隧洞超前地质预报应遵循下列程序：

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。

3.0.5 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、责任清晰、相互配合，确保信息通畅、反馈及时、决策迅速、处理得当。

3.0.6 重大风险隧洞应加强超前地质预报，涌水突泥等风险区段应严格落实有疑必探、先探后挖、不探不挖。

3.0.7 预报地质条件与前期勘察成果发生重大变化且可能遇到重大地质问题时，应及时提出专门性工程地质勘察研究的建议。专门性工程地质勘察应符合GB 50487和SL 629的规定。

4 超前地质预报设计

4.1 一般规定

4.1.1 隧洞超前地质预报设计应遵循下列原则：

- 1 以地质条件、施工工法、现场条件、预报内容为依据，确定合理可行的技术方案。
- 2 以地质分析为核心，多种预报方法相结合，地表和地下相结合，长、中、短距离预报相结合，做到相互补充和验证。
- 3 将动态设计理念贯穿全过程，不断总结经验，及时调整隧洞超前地质预报设计。

4.1.2 隧洞超前地质预报应以有效探查隧洞掌子面前方地质条件为前提，可采用地质调查法、地球物理探测法、超前钻探法、超前导洞法和超前地质综合预报法，其应用范围和适用条件宜符合附录A的规定。

4.1.3 隧洞超前地质预报宜分为短距离、中距离和长距离预报，并符合下列规定：

- 1 短距离预报长度不宜大于30m。
- 2 中距离预报长度宜控制在30～150m。
- 3 长距离预报长度宜大于150m。

4.2 预报设计

4.2.1 勘察设计单位应在可行性研究阶段提出超前地质预报的初步方案并估算工作量及费用，在初步设计阶段进行超前地质预报专项设计并确定工作量及费用，在招标设计阶段编制超前地质预报专项设计文件。

4.2.2 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地质风险等级划分，确定重点预报洞段。隧洞地质复杂程度分级、隧洞地质风险分级应符合附录B和附录C的规定。

4.2.3 隧洞超前地质预报设计应根据地质风险等级，选择与预报对象相适应的方法或组合，并应符合下列规定：

- 1 地质风险Ⅰ级洞段应采用地质调查法、地球物理探测法、超前钻探法或超前导洞法、超前地质综合预报法。
- 2 地质风险Ⅱ级洞段应采用地质调查法、地球物理探测法、超前地质综合预报法，并宜采用超前钻探法或超前导洞法进行验证。
- 3 地质风险Ⅲ级洞段宜以地质调查法和地球物理探测法为主，并采用加深炮孔或超前钻探进行验证。

4.2.4 含有害气体、放射性物质等特殊地层和存在高地温、高地应力洞段宜采用超前钻探法进行取样试验和孔内测试工作，并提出专项监测工作建议。

4.2.5 超前地质预报设计应根据隧洞地质条件、施工工法和预报方法确定单次预报距离、重

叠长度、循环次数，并计算工作量和占用工作面时间。

4.2.6 隧洞超前地质预报设计应编制设计文件，设计文件宜包括下列内容：

- 1** 工程概况、前期勘察设计情况、编制依据等。
- 2** 工程地质及水文地质条件，存在的主要工程地质问题。
- 3** 隧洞地质复杂程度分级、隧洞地质风险分级、分段预报规划。
- 4** 预报目的、预报内容。
- 5** 设计原则、预报方法、技术要求。
- 6** 预报技术方案与实施。
- 7** 工作管理、安全措施。
- 8** 工作量、占用工作面时间、费用。
- 9** 其他需要说明的问题。

5 地质调查法

5.0.1 地质调查法应包括地表地质调查和洞内地质调查，可适用于各种地质条件下的隧洞超前地质预报。

5.0.2 地质调查应在收集和分析已有地质及相关资料的基础上进行，主要资料宜包括下列内容：

- 1 区域地质图和区域水文地质图。
- 2 前期勘察成果。
- 3 工程设计文件。
- 4 地质灾害发育概况及地质灾害分布图。
- 5 施工地质编录资料。
- 6 监测与测试资料。

5.0.3 地质调查应包括下列内容：

- 1 地形地貌、地层岩性及其出露位置、接触关系等。
- 2 软弱夹层、破碎带、煤层、石膏、膨胀岩等不良地层的出露位置、宽度及产状变化。
- 3 褶皱、断层、裂隙的出露位置、规模、性质、产状及其发育规律。
- 4 岩溶洞穴位置、规模、形态、连通性、充填及地下水活动情况。
- 5 人工坑洞位置、高程、走向、赋水情况、坍塌情况及其空间上与隧洞的关系。
- 6 地表水系分布位置、流（体）量、水质等，地下水出露位置、发育条件及其水质、流量等。
- 7 不良地质体位置、性质、规模等。
- 8 地表、洞内各种监测资料的收集和分析等。
- 9 掘进机施工洞段岩碴特征、掘进参数等。

5.0.4 地表调查工作方法、技术要求应符合SL/T 299的规定。

5.0.5 洞内地质调查应结合施工地质工作开展，其工作内容、方法、技术要求应符合SL/T 313的规定。

5.0.6 地质调查过程中对隧洞安全有潜在影响的现象应进行地质观测，地质观测工作应符合下列规定：

- 1 隧洞沿线及附近的泉、井、湖泊、河流等水体的流量、水位应进行地质观测，观测频次可根据距隧洞掌子面的远近确定。
- 2 隧洞内地下水集中出露点的流量或压力宜进行地质观测。
- 3 隧洞进出口及浅埋段的地表裂缝、沉降变形应进行地质观测。
- 4 隧洞内的围岩变形、开裂、岩爆宜进行地质观测。

5.0.7 地质调查和观测资料整理可采用地层对比、地质类比、放线距原理及趋势分析等方法，

并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，出水点与地层岩性、断层、岩溶、地下暗河等的关系，地表水、大气降水对隧洞的影响。
 - 3 地表和隧洞内地层分界线相关性，影响隧洞安全特殊岩层的标志层。
 - 4 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 断层、裂隙等构造要素与隧洞几何参数相关性，确定构造类型、破碎带宽度及透水性和富水性。
 - 6 岩溶所属地层、构造部位及其发育规律，岩溶展布空间与隧洞的关系。
 - 7 不良地质体临近前兆特征。
 - 8 围岩变形、失稳的原因及其对继续掘进施工的影响。
- 5.0.8** 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D的规定。
- 5.0.9** 地质调查后应根据实际地质情况绘制地质平面图、剖面图和隧洞展示图，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 地球物理探测法

6.1 一般规定

- 6.1.1** 地球物理探测法宜分为弹性波法、探地雷达法、瞬变电磁法、聚焦电法等。
- 6.1.2** 地球物理探测仪器及其附属设备应根据探测要求、工作环境、地形地质条件等选配。
- 6.1.3** 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。
- 6.1.4** 复杂地质条件宜采用多种不同类型的地球物理探测方法进行超前地质预报。
- 6.1.5** 地球物理探测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。
- 6.1.6** 地球物理探测资料解译应结合地质、设计和施工资料综合分析，并提出预报结论。

6.2 弹性波法

- 6.2.1** 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。
- 6.2.2** 弹性波法应用条件应符合下列规定：
- 1 不良地质体与围岩存在明显的波阻抗差异。
 - 2 保证现场测试时检波器附近不少于100m范围内无明显大型机械等产生的振动干扰。
- 6.2.3** 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。
- 6.2.4** 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。
- 6.2.5** 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。
- 6.2.6** 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 所有检波点数据应根据现场观测系统转换到建立的坐标系中。
 - 3 采集到的合格数据应利用配套处理软件进行反演处理，获取预报成果图。
 - 4 根据各反射层视波速和波速的相对变化初步确定不良地质体的位置和规模。
 - 5 结合隧洞勘察、掌子面附近的地质资料进行解译和推断。

6.2.7 成果图宜包括纵波视速度、横波视速度、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，并应标注隧洞桩号或深度信息。

6.3 探地雷达法

6.3.1 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。

6.3.2 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 测试面相对平缓、无障碍。
- 3 现场测试区内保证无强电磁干扰。

6.3.3 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。

6.3.4 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。

6.3.5 探地雷达法数据采集应遵循下列原则：

- 1 数据采集宜选用点测剖面法。
- 2 天线主频率范围宜选择50~100MHz。
- 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，可采用时间连续采集模式。
- 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500ns，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。
- 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。

6.3.6 探地雷达数据处理方法应符合下列规定：

- 1 采用滤波去除干扰波。
- 2 选取合适的增益参数，突显异常区域。
- 3 当多次反射波影响较严重时应采用反褶积压制多次反射波。
- 4 探测地下倾斜层位置时应采用偏移归位倾斜层反射波界面。

6.3.7 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 确定异常特征，结合地质分析，给出解译结果。

6.3.8 成果图宜包括每条测线的雷达波形图或伪色彩图，并应标注隧洞桩号或深度信息。

6.4 瞬变电磁法

6.4.1 瞬变电磁法可用于探测地下水富集区等低阻不良地质体。

6.4.2 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，采集时宜切断掌子面附近20m范围内的施工用电。

6.4.3 瞬变电磁法现场工作装置可采用中心回线、重叠回线、偶极等装置。

6.4.4 瞬变电磁法探测距离不宜大于80m。

6.4.5 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。

6.4.6 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，扇形扫描角度间隔不宜大于 15° ，特殊情况时，可采用矩形扫描方式，掌子面测点点距宜为0.5m~1m。
- 2 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。
- 3 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%。
- 4 测试前应将施工台架等大型金属构件，挖掘机、装载机等大型机械退离掌子面不少于20m。
- 5 可疑点、突变点、异常点应重复观测。

6.4.7 瞬变电磁法数据处理与解译应符合下列规定：

- 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 校正发送电流切断时间的影响。
- 3 进行数据归一化、滤波等处理。
- 4 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。

6.4.8 成果图宜包括每条测线的多测道图和对应的视电阻率分布图，并应标注隧洞桩号或深度信息。

6.5 聚焦电法

6.5.1 聚焦电法可用于探测地下水富集区等低阻不良地质体。

6.5.2 聚焦电法探测距离不宜大于30m。

6.5.3 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。

6.5.4 聚焦电法观测系统布置应符合下列规定：

- 1 在距掌子面后方80m范围内分多圈均匀布置多个供电A极。
- 2 测量M极宜在掌子面呈网状布置。
- 3 测量N极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。
- 4 供电B极距掌子面的距离应远大于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。
- 5 岩石掘进机施工时，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。
- 6 测量各测线极点的位置坐标。

6.5.5 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 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。

6.5.6 聚焦电法的数据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 根据二维或三维图像的电阻率异常，圈定异常范围。
- 6 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。

6.5.7 成果图宜包括视极化率、半衰时曲线，以及视电阻率三维分布图或二维切片图，并应标注隧洞桩号或深度信息。

7 超前钻探法

7.1 一般规定

7.1.1 超前钻探法可适用于各种地质条件下的隧洞超前地质预报，并可分为常规钻探法和水平定向钻探法，常规钻探法适用于中、短距离预报，水平定向钻探法适用于长距离预报。

7.1.2 地质条件复杂、地球物理探测异常、可能遇到影响施工安全和围岩稳定的洞段超前地质预报宜采用超前钻探法。

7.1.3 超前钻探方案应在地质分析的基础上制定，并根据预报目的和内容确定钻探方法、钻孔深度、取心要求及测试项目等。

7.2 常规钻探法

7.2.1 常规钻探宜采用潜孔钻进、凿岩机钻进、回转取心钻进，钻探方法宜结合地质条件、施工方法选择确定，地质条件简单洞段宜采用潜孔钻，钻爆法宜利用凿岩机加深炮孔，地质条件复杂洞段宜采用回转取心钻。

7.2.2 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、特殊岩土层等每个预报循环不应少于1个钻孔。

2 富水破碎带、岩溶发育区、采空区、瓦斯地层等每个预报循环宜布置3~5个钻孔，探测工作面前方及周围一定范围地质情况，地质条件复杂时可适当增加。

3 地球物理探测预报异常部位的钻孔数量应根据异常范围确定。

4 钻爆法施工洞段每个预报循环宜布置3~8个加深炮孔。

5 岩石掘进机施工洞段钻孔数量宜结合搭载钻机的设计位置确定。

7.2.3 钻孔孔深应符合下列规定：

1 钻孔孔深应根据预报目的、预报距离确定，并根据钻进情况及时进行调整。

2 连续钻探预报时，每个预报循环钻进孔深30~50m；加深炮孔较爆破孔深3~5m。

3 岩石掘进机上搭载的钻机的孔深宜结合孔位和钻孔夹角确定，一般孔深30m。

4 地质条件复杂洞段探测周围的钻孔钻探终孔位置应延伸至隧洞开挖轮廓线外10~30m。

5 验证孔的孔深应根据异常分布位置确定，孔深应穿透异常区进入稳定地层不小于3m。

7.2.4 连续预报时前后两个预报循环的钻孔重叠长度宜为3~5m，瓦斯突出煤层钻孔重叠长度宜为5~8m。

7.2.5 钻孔宜根据隧洞断面尺寸布置，隧洞掌子面上钻孔方向宜与隧洞方向一致，开挖轮廓线周边钻孔的外插角宜为15~45°。

7.2.6 钻孔直径应满足钻探取样、孔内测试的要求。

7.2.7 钻进方法、钻进工艺、设备机具选择应符合SL/T 291的规定。

7.2.8 超前钻探安全防护措施应符合下列规定：

1 钻机前方应安设挡板，严禁在钻孔的轴向后方站人。

2 高压水、有害气体富集洞段，孔口应安设孔口管、闸阀等预防高压突水、有害气体扩散装置，孔口管安设应牢固，达到设计承受压力方可钻进施工。

3 富水区隧洞内超前钻探时，对软弱破碎地层应设置止浆墙，发现岩壁片帮破坏、钻孔中水压、水量突然增大及有顶钻等异常情况时，必须停止钻进，撤出人员，然后采取措施进行处理。

4 瓦斯突出煤层超前钻探应单工序作业，钻机应采用防爆型，在钻机回风侧10m范围内应当设置超限报警断电功能甲烷传感器，钻进应湿式钻进，进入煤层后宜干钻取样，钻进时出现喷孔、顶钻等动力现象的，应立即停止作业，撤出人员，然后按防突措施处理。

7.2.9 常规钻探现场记录及岩心鉴定应符合下列规定：

1 钻探过程中应进行现场钻探记录，包括钻进压力、钻进速度、岩粉颜色和特征、冲洗液颜色和流量变化、振动、卡钻、突进、空洞、涌水涌砂等异常情况。

2 非取心钻钻孔应进行岩屑鉴定，结合地质资料、钻探记录等判断岩石名称、强度、风化状态以及溶洞、暗河等不良地质现象等。

3 回转取心钻孔应进行地质编录、岩心拍照。

7.2.10 常规钻探应及时进行资料整理和成果编制，成果包括钻孔布置图、钻孔柱状图、钻孔测试成果、岩心照片等。

7.3 水平定向钻探法

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

7.3.2 钻机类型和取心方案应根据预报目的和预报内容确定。

7.3.3 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。

7.3.4 钻进过程中应定期测量钻孔的倾斜角、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 $\pm 3^\circ$ ，当水平钻进轨迹偏离设计轨迹时应及时采取纠偏措施。

7.3.5 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，观察记录岩渣特征和冲洗液的颜色、流量变化情况，分析钻探资料和岩心情况，并可在孔内进行间断取心、综合测井和钻孔彩电等相关测试。

7.3.6 水平定向钻探资料及成果宜包括班报表、轨迹记录表、不良地质记录表、钻孔柱状图、钻孔测试成果、岩心照片等。

7.4 钻孔孔内测试

7.4.1 钻孔孔内测试项目应根据预报内容确定，并应符合下列规定：

1 详细了解孔内地层岩性、地质构造、岩溶水文地质、地温、放射性等地质条件时，宜进行综合测井、钻孔声波和钻孔全景数字成像。

2 岩溶发育地层宜进行孔内雷达探测钻孔周围一定范围内的溶洞、暗河、地下水等。

3 存在有害气体、瓦斯突出洞段，应进行有害气体含量、涌出量、压力测试，并应采样进行室内检测。

4 高地应力洞段宜进行地应力测试。

7.4.2 孔内测试前应根据钻孔测试项目的需求做好扫孔、洗孔或注水等准备工作。

7.4.3 综合测井、钻孔声波、钻孔全景数字成像和放射性测试应按SL/T 291.1的规定执行，地应力测试应按SL/T 264的规定执行，有毒有害气体测试宜按GBZ/T 300的规定执行。

7.4.4 孔内测试完成后应及时进行资料整理，并绘制相应的图表，成果内容应符合下列规定：

1 单孔声波测试孔应绘制声波速度曲线。

2 钻孔全景数字成像应形成全孔壁展示图，并对断层、破碎带、软弱夹层、岩溶等地质现象进行描述、统计。

3 钻孔雷达测试孔应进行雷达图像处理，确定异常体位置、方向和延伸范围。

4 有害气体、地应力及放射性测试完成后应提交测试成果报告，并根据测试报告圈定有害气体、高地应力、高地温及放射性地层的洞段。

5 同一钻孔的测试成果宜标示在同一张图或钻孔柱状图上。

8 超前导洞法

8.0.1 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。

8.0.2 超前导洞预报方法宜采用正洞超前导洞法和平行超前导洞法，平行导洞宜结合交通洞、排水洞、辅助洞等布置。

8.0.3 超前导洞实施宜符合SL 166的规定。

8.0.4 超前导洞法地质预报应符合下列规定：

- 1 进行导洞地质编录，地质编录内容应符合SL/T 313的规定。
- 2 进行地下水、围岩变形、岩爆等地质现象观测试验。
- 3 进行有害气体及放射性物质测试。

8.0.5 超前导洞资料分析应符合下列规定：

- 1 超前导洞应通过洞内编录资料和现场观测、监测成果，对主洞围岩稳定、涌水、突泥、高地应力、有害气体及放射性危害地层进行预报。
- 2 平行导洞应根据导洞与主洞的空间或平面关系，通过地质理论和作图分析法预报主洞地质条件。

8.0.6 超前导洞法地质预报成果应包括下列内容：

- 1 地质说明。
- 2 地质展示图和工程地质剖面图。

8.0.7 超前导洞法地质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 地质概况，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、岩溶高地应力、有害气体及放射性地层等不良地质体的分布位置、范围、性状，以及地下水活动情况等。
- 3 围岩分级级隧洞工程地质分段。
- 4 地质综合分析及超前地质预报结论、建议。

8.0.8 超前导洞法图件内容宜符合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 工程地质纵剖面图，横向比例宜为1：500～1：5000，纵向比例宜为1：200～1：5000。

9 超前地质综合预报法

9.0.1 超前地质综合预报除应搜集各种超前地质预报方法成果外，尚应搜集下列资料：

- 1 工程设计资料。
- 2 气象水文资料。
- 3 工程地质勘察成果。
- 4 施工地质编录资料。
- 5 监测与测试资料。
- 6 其它相关资料。

9.0.2 超前地质综合预报应遵循下列原则：

- 1 以地质理论为指导，全过程跟踪、指导超前地质预报方案设计、方法选择、工作布置、成果分析及风险处置。
- 2 以地质分析为核心，系统分析各种预报资料，提出综合预报成果。
- 3 以动态优化为原则，循序渐进、总结经验，改进预报方法、提升预报成果。

9.0.3 超前地质综合预报工作程序应符合下列规定：

- 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，复核隧洞地质条件复杂程度，确定超前地质预报方案。
- 2 长、中、短距离预报相结合，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综合地质分析，提出超前地质综合预报成果。

9.0.4 超前地质综合预报应依据前期勘察成果、其他超前地质预报成果和监测测试资料等，充分运用地质学理论与方法，进行地质综合分析和研判，得出预报结论，并应符合下列规定：

- 1 采用地质作图、地层层序对比、地质类比、趋势分析等，分析推断隧洞内地层岩性、地质构造等地质情况。
- 2 进行地层界线、构造线、断层要素等与隧洞几何参数相关性分析，分析推测不良地质体的分布位置、规模、产状、性状及延伸情况。
- 3 对围岩稳定、涌水突泥、瓦斯突出、岩爆等进行分析，对掌子面前方可能存在的灾害类型、危害程度、预警等级进行综合研判。

9.0.5 超前地质综合预报应考虑地表水体、极端天气和雨季等气象水文条件对隧洞水文地质条件的影响。

9.0.6 超前地质综合预报成果宜包括文字报告，不良地质体分布图、风险和预警等级分段等附图，以及其他预报方法成果资料。

10 超前地质预报实施

10.1 一般规定

10.1.1 超前地质预报实施前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,复核地质复杂程度分级、超前地质预报技术方案。

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,实施细则应先审批后执行。

10.1.3 隧洞超前地质预报实施应纳入施工工序管理,隧洞施工单位应配合或组织实施超前地质预报工作。

10.1.4 超前地质预报实施过程中应重点预报断层、岩溶、不良地层、地下水富集区等不良地质体,以及可能产生的隧洞涌水突泥与围岩变形失稳等地质问题。

10.1.5 每个超前地质预报循环实施完成后应根据预报预警级别及时提交预报成果,超前地质预报预警分级宜符合附录E的规定。

10.1.6 超前地质预报实施流程宜符合附录F的规定,对不良地质体预报应采取长、中、短距离预报相结合,长距离预报指导中短距离预报,短距离预报进行验证。

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 隧洞地质复杂程度分级、隧洞地质风险等级。
- 5 预报目的和预报内容。
- 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 地质预报成果验证及技术总结要求。
- 13 其他需要说明的问题。

10.2.2 隧洞超前地质预报实施单位应根据实施细则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 实施细则应根据实际地质情况及时进行调整,经审批后执行。

10.3 不良地质体预报

10.3.1 断层破碎带超前地质预报实施应符合下列规定:

1 断层破碎带超前预报内容应包括断层破碎带的分布位置、产状、规模、物质组成、富水情况等,并分析其对隧洞的危害程度,确定地质风险等级。

2 断层破碎带超前地质预报方法应以地质调查法、弹性波法、探地雷达法为主,异常洞段宜采用超前钻探法或超前导洞法进行验证。

3 断层破碎带超前地质预报可按下列步骤进行:

1) 根据区域地质资料、勘察成果、施工地质编录以及地表地质调查,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) 硬质岩中断层破碎带的电阻率、介电常数与围岩有明显差异时,宜采用探地雷达法进一步探明断层破碎带的位置和宽度。

4) 断层破碎带地下水富集时宜采用聚焦电法进一步探测断层位置、宽度、地下水富水范围和程度等。

5) 地质条件复杂时宜采用超前钻探法或超前导洞法探明断层破碎带的位置和规模、物质组成、胶结程度,以及地下水类型、活动状态、水量或压力水头等。

6) 当隧洞施工接近断层时,应加强洞内地质调查观测断层前兆,并通过洞内地质编录、断层趋势分析等手段预测洞内断层的分布位置。

7) 统计断层、裂隙发育规律,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,观测地下水活动状态,判断是否存在围岩失稳和涌水突泥等风险。

8) 采用超前地质预报综合预报法进行综合判析,提交综合分析成果报告。

10.3.2 岩溶超前地质预报实施应符合下列规定:

1 岩溶超前地质预报内容应包括岩溶在隧洞内的分布位置、规模、充填情况及岩溶水的发育特征和活动情况,分析其对隧洞的危害程度,确定地质风险等级。

2 岩溶超前地质预报方法应采用地质调查法、弹性波法、探地雷达、聚焦电法和超前钻探法进行超前地质预报。

3 岩溶超前地质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勘察成果资料,开展工程地质调查,了解隧洞沿线工程地质与水文地质条件,分析岩溶发育特征及规律。

2) 根据区域地质和工程地质资料,核查设计文件中地质风险分级和超前地质预报方

案。

3) 根据隧洞内地质编录成果, 验证、调整地质风险分级和超前地质预报方案。

4) 根据地质条件, 可采用弹性波法探测规模较大的岩溶及形态; 采用聚焦电法探测岩溶水发育特征; 采用地质雷达法查明岩溶位置、规模和形态。

5) 地质调查和地球物理探测异常部位应进行超前钻探预报和验证; 超前钻探揭示岩溶后, 应适当加密钻探, 并采取孔内地质雷达进行探测。

6) 岩溶发育地段应采用地球物理探测法进行隧洞周围隐伏岩溶洞穴的探测, 地球物理探测异常部位宜采用钻探进行验证, 并作出隐伏岩溶预测图。

7) 采用超前地质预报综合预报法进行综合判析, 提交综合分析成果报告。

10.3.3 不良地层超前地质预报实施应符合下列规定:

1 不良地层预报内容应包括破碎岩层、软弱夹层、煤层、石膏、膨胀岩等的分布位置、厚度、产状及性状等, 评价不良地层对隧洞的危害, 确定地质风险等级。

2 不良地层的预报方法应根据隧洞地层与构造特点、隧洞施工方法等确定, 应以地质调查法、弹性波法、探地雷达法为主, 可采用超前钻探法或超前导洞法进行验证。

3 不良地层超前地质预报可按下列步骤进行:

1) 根据区域地质资料、勘察成果资料, 开展地质调查, 根据产状预测夹层、软硬岩性分界面、煤系地层及构造在隧洞中线的位置。

2) 采用洞内地质编录, 根据洞内围岩地层顺序特征、地层厚度、地层发育呈现的过渡特征识别、标志层、地层产状等预测前方不良地层的位置。

3) 采用弹性波法进行中长距离探测不良地层在隧洞内的大致位置和厚度。

4) 对硬质岩中发育的不良地层宜采用探地雷达法进行短距离预报。

5) 接近不良地层前, 宜进行超前钻探或超前导洞探明不良地层的准确位置、规模和性状。

6) 隧洞内可能有通过平均厚度为0.3m及以上的煤层时, 在距离煤层10m处进行瓦斯突出危险性预测。

7) 对含有害气体、放射性地层进行检测监测。

8) 进行隧洞揭露不良地层时的危险性预测。

9) 采用超前地质预报综合预报法进行综合判析, 提交综合分析成果报告。

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 地下水富集区超前地质预报内容应包括地下水富集区的分布位置、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, 确定地质风险等级。

2 地下水富集区超前地质预报方法应以地质调查法、弹性波法和聚焦电法、超前钻探法进行超前地质预报。

3 地下水富集区超前地质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，复核对涌水、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) 利用弹性波法进行中长距离预测，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) 当接近富水区域时，宜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) 在可能发生涌水突泥洞段应进行超前钻探，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区的危害性。

7) 采用超前地质预报综合预报法进行综合判析，提交综合分析成果报告。

11 成果报告编制

11.0.1 隧洞超前地质预报工作完成后应编写预报成果报告,隧洞超前地质预报成果宜包括单次报告、阶段性报告和总报告。

11.0.2 单次超前地质预报工作完成后,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;项目实施过程中可编制阶段性超前地质预报报告。

11.0.3 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,包括工程概况、工程地质、复杂程度、风险等级等。
- 2 工作内容、工作布置、工作量和工作时间。
- 3 工作方法 with 原理。
- 4 超前地质预报成果及其综合分析。
- 5 结论和建议。
- 6 附图与附表。

11.0.4 超前地质预报总报告和阶段性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) 附图包括预报方案布置图、钻孔柱状图、平硐展示图、地球物理探测解译图、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 隧洞超前地质预报方法及适用条件

预报方法		适用工法	适用条件	预报距离 (m)	施工影响	场地及环境要求
地质调查法		钻爆法、TBM法	最基本的超前地质预报方法，适用于各种地质条件的初步预测	—	需清洗洞壁，对施工影响较小	盾构或双护盾TBM施工无法进行洞内地质编录
地球物理探测法	弹性波法（炸药震源）	钻爆法、敞开式TBM法	适用于断层、破碎带、岩溶、软弱夹层等不良地质体的探测	100~150	需布置钻孔，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）	钻爆法、TBM法	适用于断层、破碎带、岩溶、软弱夹层等不良地质体的探测	50~100	需按照相关要求布置一定数量钻孔，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	钻爆法	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，测区范围内无强电磁干扰
	瞬变电磁法	钻爆法	适用于地下水富集区等低阻不良地质体的探测	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	钻爆法、TBM法	适用于地下水富集区等低阻不良地质体的探测	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	钻爆法、TBM法	适用于各种地质条件的预报，主要用于地质条件复杂、地质风险Ⅰ、Ⅱ级的洞段	30~50	非取心钻探约2小时，取心钻探占用时间长	设备较大，受场地限制
	水平定向钻探	钻爆法、TBM法		>300	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		钻爆法、TBM法	适用于各种地质条件的预报，主要用于断层破碎带、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	>30	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		钻爆法、TBM法	主要适用于地质条件中等~复杂和隧洞地质风险Ⅰ、Ⅱ级洞段的超前地质预报	—		
注：1 短距离预报包括地质调查法、探地雷达法、聚焦电法、常规钻探法等。 2 中距离预报包括地质调查法、弹性波法、瞬变电磁法、常规钻探法、超前导洞法等。 3 长距离预报包括地质调查法、水平定向钻探法、超前导洞法等。						

附录B 隧洞地质复杂程度分级

分级 影响因素		复杂	中等复杂	简单
围岩类别		V类	IV类、III类	II、I类
断层破碎带		区域性断裂、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，自稳能力一般，弱富水，可能引起小型坍塌	小型断层、裂隙，自稳能力好，无水，掉块
向斜		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
岩溶		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，地下水活动强烈，系统性径流。	岩溶中等发育，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	岩溶弱发育，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		大型涌水（涌水量 $>10\text{m}^3/\text{min}$ ）、突泥	中型涌水（涌水量 $1\sim 10\text{m}^3/\text{min}$ ）、突泥	小型涌水（涌水量 $<1\text{m}^3/\text{min}$ ），突泥可能性极小
地应力	硬岩岩爆	极高地应力（ $\sigma_{\max} \geq 40\text{MPa}$ ），强烈、极强岩爆（ $R_c/\sigma_{\max} < 2$ ），钻孔岩心饼化现象明显。	高地应力（ $20 < \sigma_{\max} \leq 40\text{MPa}$ ），中等岩爆（ $2 \leq R_c/\sigma_{\max} < 4$ ），钻孔岩心有饼化现象	中低地应力（ $\sigma_{\max} \leq 20\text{MPa}$ ），轻微岩爆或无岩爆现象发生（ $R_c/\sigma_{\max} \geq 4$ ）
	软岩大变形	软质岩出现显著隆起或剥离等极严重的挤压变形，隧洞不易成形	软质岩洞壁岩体位移显著，围岩变形较严重，持续时间较长，成洞条件差	软质岩开挖过程中洞壁岩体成洞性尚好，仅局部有中等以下挤压位移
有害气体、瓦斯突出		有害气体超过短间接接触容许浓度或最高容许浓度；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	有害气体未超过短间接接触容许浓度；高瓦斯，全洞段瓦斯涌出量 $\geq 0.5\text{m}^3/\text{min}$	存在有害气体但未超标或不存在有害气体；低瓦斯或无瓦斯地层，全洞段瓦斯涌出量 $< 0.5\text{m}^3/\text{min}$
地球物理探测异常情况		明显异常段	局部异常段	异常不明显或无异常段
注：1.从复杂到简单，符合一条即可。 2. R_c 为岩石单轴饱和抗压强度（MPa）； $\sigma_{\max}$ 为最大地应力值（MPa）。 3.有害气体浓度系根据勘探孔检测获得。				

附录C 隧洞地质风险分级

风险分级 分级要素		重大风险（I级）	较大风险（II级）	一般风险（III级）
隧洞地质复杂程度		复杂	中等复杂	简单
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	局部可能存在安全问题，对施工影响较小
环境因素	可能诱发环境地质问题程度	对地表泉、井、湖泊等影响较大，可能出现泉、井、湖泊疏干和地面塌陷破坏。	对地表泉、井、湖泊等有一定影响。 地表可能出现轻微下沉或裂缝等变形现象	对地表泉、井、湖泊等基本无影响。 对地面基本无影响
	对既有建筑物的影响	对上部既有建（构）筑物影响较大	对上部既有建（构）筑物影响较小	对上部既有建（构）筑物无影响
注：当有多个风险等级时，取其最高者为该隧洞段风险等级。				

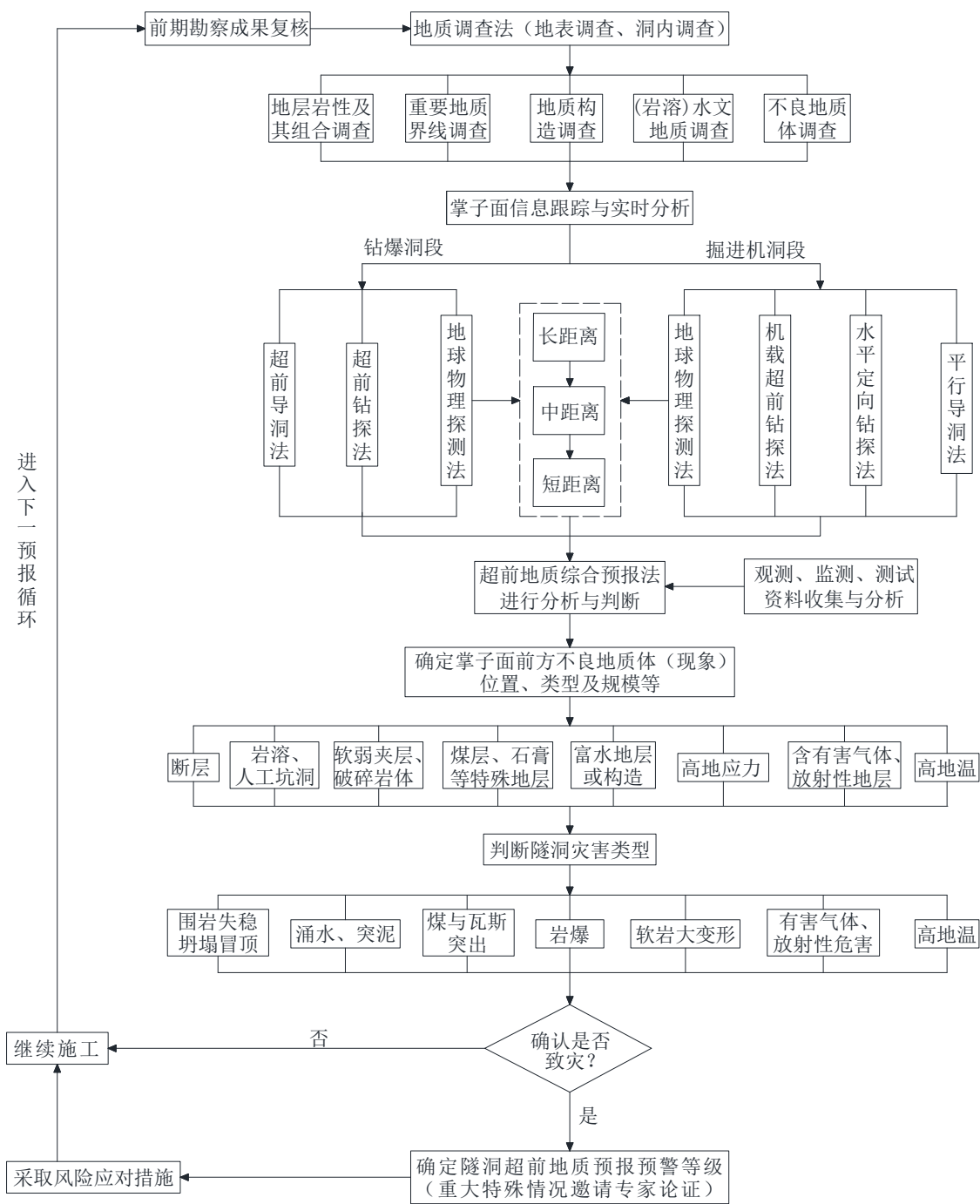
附录D 隧洞不良地质体（现象）征兆特征

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，较大裂隙出现不间断喷水现象。 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处挂红。
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处挂红。
围岩失稳	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、存在泥质或岩屑充填软弱结构面及其不利组合。
岩爆	1.强烈爆裂如枪炮响声，岩石弹射爆出；或发出微弱噼噼啪啪响声，岩石剥离坠落。 2.石块由母岩弹出，呈现中间厚、周边薄的棱块、透镜体、鳞片状或片状。 3.岩爆坑边缘多为阶梯面，其中一组爆裂面与开挖洞壁平行，另一组与洞壁斜交。 4.爆裂面以新鲜破裂为主，爆裂纹定向排列，与隧洞切向应力大体平行。 5.岩爆发生位置多在新开挖工作面及其附近，发生时间多在爆破后2~3小时内。
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、糜棱岩等构造破碎岩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。
煤与瓦斯突出	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。

附录E 隧洞超前地质预报预警分级

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）	发现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，可能产生洞室严重变形、冒顶、塌方、涌水、突泥、强烈岩爆、瓦斯突出等重大地质问题。	5~15m	地质风险级别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，可能产生洞室失稳、中型涌水、中等岩爆、高瓦斯或有害气体超标等较严重地质问题。	15~30m	地质风险级别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F 隧洞超前地质预报实施流程



图F 隧洞超前地质预报实施流程

本标准用词说明

- 1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，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该这样做的：
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

- 水利水电工程地质勘察规范 GB 50487
水利水电工程坑探工程 SL 166
水利水电工程岩石试验规程 SL/T 264
水利水电工程钻探规程 SL/T 291
水利水电工程勘探规程 第1部分：物探 SL/T 291.1
水利水电工程地质测绘规程 SL/T 299
水利水电工程施工地质规程 SL/T 313
引调水线路工程地质勘察规范 SL 629
工作场所空气有毒物质测定 GBZ/T 300

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..... 34

2 术 语..... 36

3 基本规定..... 37

4 超前地质预报设计..... 39

 4.1 一般规定..... 39

 4.2 预报设计..... 40

5 地质调查法..... 42

6 地球物理探测法..... 45

 6.1 一般规定..... 45

 6.2 弹性波法..... 45

 6.3 探地雷达法..... 45

 6.4 瞬变电磁法..... 46

 6.5 聚焦电法..... 46

7 超前钻探法..... 47

 7.1 一般规定..... 47

 7.2 常规钻探法..... 48

 7.3 水平定向钻探法..... 50

 7.4 钻孔孔内测试..... 51

8 超前导洞法..... 52

9 超前地质综合预报法..... 53

10 超前地质预报实施..... 55

 10.1 一般规定..... 55

 10.2 实施细则..... 55

 10.3 不良地质体预报..... 55

11 成果报告编制.....60

附录A 隧洞超前地质预报方法及适用条件..... 62

附录B 地质复杂程度分级.....63

附录C 隧洞地质风险分级标准..... 64

附录D 隧洞不良地质体（现象）征兆特征..... 65

附录E 隧洞超前地质预报预警分级..... 68

附录F 隧洞超前地质预报实施流程.....69

Contents

1	General Provisions	33
2	Terms	35
3	Basic Requirement	36
4	Design of Advance Geological Prediction	38
4.1	General Requirements	38
4.2	Design of Prediction	38
5	Geological Investigation Method	39
6	Geophysical Detection Method	41
6.1	General Requirements	44
6.2	Elastic Wave Reflection Method	44
6.3	Ground Penetrating Radar Method	44
6.4	Transient Electromagnetic Method	45
6.5	Focusing Electric Method	45
7	Advanced Geological Drilling Method	46
7.1	General Requirements	46
7.2	Conventional Drilling Method	47
7.3	Horizontal Directional Drilling Method	49
7.4	Tests in Borehole	49
8	Advanced Pilot Tunnel Method	51
9	Comprehensive Advanced Geological Prediction Method	16
10	Implementation of Advance Geological Prediction	54
10.1	General Requirements	54
10.2	Implementation Rules	54
10.3	Prediction of Unfavorable Geological Body	54
11	Preparation of Results Report	59
Appendix A	Methods and Applicable Conditions of Advance Geological Prediction of Tunnel	61
Appendix B	Classification of Geological Complexity of Tunnel	62
Appendix C	Classification of Geological Risk of Tunnel	63
Appendix D	Symptom Characteristics of Undesirable Geological Body of Tunnel	64

Appendix E Warning Classification of Advance Geological Prediction of Tunnel 67

Appendix F Implementation Process of Tunnel Advance Geological Prediction of Tunnel 67

1 总则

1.0.1 “十四五”时期我国将以建设水灾害防控、水资源调配、水生态保护功能一体化的国家水网为核心，加快完善水利基础设施体系，解决水资源时空分布不均问题，提升国家水安全保障能力，重点实施重大引调水工程、调蓄工程以及农村灌排工程体系建设。由于地理和地形的原因，国家水网建设往往涉及大量隧洞工程，且引调水隧洞具有埋深大、距离长、地质条件复杂等特点，施工时须进行隧洞超前地质预报工作，因此制定本标准可以更好地服务国家战略性重大水利工程。

隧洞施工中涌水突泥、岩爆、围岩失稳等突发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，可以科学规避隧洞风险，是保证隧洞施工安全的重要环节和手段。目前隧洞超前地质预报工作在水利水电工程，尤其在引调水工程隧洞施工中的重要性已经得到了工程界的一致认可，因此制定本标准是统筹发展和安全，建设更高水平平安中国的需要。

水利水电行业标准《水利水电工程施工地质规程》（SL/T313-2021）和《引调水线路工程地质勘察规范》（SL629-2014）要求隧洞施工前应进行隧洞超前地质预报工作，隧洞超前地质预报设计应根据隧洞工程地质、水文地质条件和预报目的、内容编制，但缺少一套可以指导操作的隧洞超前地质预报规程。因此制定本标准可以填补水利行业技术标准空白，规范协调水利行业标准体系，对指导隧洞超前地质预报工作具有重要意义。

目前水利水电行业隧洞超前地质预报工作大部分都由隧洞施工单位实施，费用一般从措施费支出，手段以地球物理探测为主，缺少全盘规划设计，未能纳入隧洞施工工序，存在隧洞超前地质预报立项缺乏依据、费用来源不清晰、施工工序混乱等问题。因此制订本标准可以规范水利水电工程隧洞超前地质预报工作程序、工作内容、技术要求和办法，指导与提高水利水电工程隧洞超前地质预报工作水平，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、工程建设质量、工期与投资控制的重要保障措施。

本标准以隧洞施工中可能遇到的围岩失稳、涌水突泥、岩爆、软岩大变形、瓦斯突出等地质问题为导向，总结和吸收近年来水利水电工程隧洞超前地质预报工作经验和科研成果，形成一个以地质分析为核心，以地质调查、地球物理探测、超前钻探、超前洞探为基本手段，长、中、短期预报相结合的隧洞超前地质综合预报体系，契合大中型水利水电隧洞工程建设发展的需要。

1.0.2 隧洞包括引调水隧洞、导流洞、交通洞，地下开挖工程包括地下厂房、大型地下洞室群等。由于受现场条件、勘察技术方法、勘察工程量的限制，前期勘察成果不可能查明隧洞和地下开挖工程可能遇到的涌水、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，尤其是深埋长隧洞、穿越大型地表水体或建筑物的隧洞肯能遇到的灾害和危害更加突出，许多重大地质问题需要随着隧洞施工开挖，采用地质调查、地球物理探测、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。另外根据《水利水电工程施工地质规程》（SL/T313-2021）的规定，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均需要开展超前地质预报工作。

1.0.3 隧洞超前地质预报是一项复杂的系统工程，需要地质、物探、钻探、测绘、信息化技术等多专业共同参与完成，制定本标准有利于隧洞超前地质预报新技术、新方法的推广应用，提高行业发展水平。

2 术 语

2.0.6 隧洞施工过程中，存在的风险因素比较多，虽然隧洞超前地质预报方法很多，但单一方法具有一定的局限性，各有优缺点，采用单一的方法进行分析解译时，存在一定的不足，为了有效降低施工安全风险，需要以地质分析为核心、多种预报方法相结合、地表与地下相结合、长、中、短距离预报相结合的超前地质预报综合分析体系，以提高超前地质预报的准确性。

3 基本规定

3.0.1 本条规定了隧洞超前地质预报的任务。由于受各种条件限制，如高山峡谷地段、建筑物密集区、铁路公路军事等重要建筑物区、航道繁忙水域等，无法按规范要求开展地质勘察工作，需在施工期根据地质条件、施工工法和现场作业条件选择合适的超前地质预报方法进行超前地质预报工作，保证隧洞施工的安全进行。

3.0.2 本条规定了隧洞超前地质预报的目的。隧洞超前地质预报是保证隧洞施工安全的重要环节和手段，通过隧洞超前地质预报，可以进一步查明隧洞掌子面前方工程地质条件和水文地质条件，有效预防隧洞灾害发生和降低安全风险，同时起到优化设计和指导施工的作用。

3.0.3 本条对隧洞超前地质预报主要工作内容进行了规定。

1~5 断层带、裂隙密集带、破碎带、岩溶、采空区、含水层、储水构造、破碎岩层、软弱地层、特殊岩土层和不稳定块体等是围岩变形失稳、涌水突泥等灾害的高发区，因此是超前地质预报的重点关注内容。

6 岩爆等级按GB50487分为轻微岩爆、中等岩爆、强烈岩爆和极强岩爆四级，轻微岩爆围岩表层有爆裂射落现象，岩爆零星间断发生，影响深度0.1~0.3m，中等岩爆围岩有爆裂弹射现象，有一定的持续时间，影响深度0.3~0.5m，强烈岩爆围岩大片爆裂，出现强烈弹射，持续时间长，影响深度1~3m，极强岩爆围岩严重爆裂，大块岩片剧烈弹射，持续时间长，影响深度大于3m。

3.0.4 本条规定了隧洞超前地质预报工作程序。

3 超前地质预报方案和实施细则是基于前期勘察资料制定，由于地质条件的复杂性，具体实施超前地质预报过程中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布置。如果采用新技术、新材料、新设备、新工艺或预报方法适用性有待进一步验证，隧洞施工时也可以开展现场试验研究，根据研究成果优化调整超前地质预报的设计方案、工作布置等。

3.0.5 超前地质预报设计、实施是一有机整体，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，才能保证信息通畅、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，召开参建各方联席会议，针对预报的地质问题和灾害风险，提出处理方案；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。

3.0.6 根据国务院安委会办公室、住房和城乡建设部、交通运输部、水利部等单位联合发文《关于进一步加强隧道工程安全管理的指导意见》（安委办[2023]2号）的要求，高风险隧道应开展专项安全设计和综合风险评估，确定合理工期指标、设计充分辅助措施、科学制定施工工期，实施过程中做好超前地质预报，突水突泥等风险区段应严格落实有疑必探、先探

后挖、不探不挖。

3.0.7 参建各方需对超前地质预报成果进行充分讨论和分析，必要时召开专家咨询会，确定预报地质条件与前期勘察成果存在重大变化，或可能遇到重大地质问题时，须及时提出专项勘察研究建议，并由建设单位委托有相关资质的勘察单位承担完成。

4 超前地质预报设计

4.1 一般规定

4.1.1 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、现场条件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。

1 地质条件是隧洞超前地质预报设计的基础，施工方法和现场条件又影响制约超前地质预报方法的选择，预报内容是进行超前预报的目的，因此，超前地质预报需在地质条件、施工方法、现场条件和预报内容的基础上进行设计。

2 超前地质预报方法众多，但必须坚持以综合地质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。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、地球物理探测、超前钻探、超前导洞，在收集隧洞施工安全监测、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。

3 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成果进行对比分析，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。

4.1.2 地质调查法是一种传统的、实用和基本的超前地质预报方法，具有综合和指导其他预报方法的作用，地质调查法对施工影响小、操作方便，提交资料及时，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，及时补充和完善隧洞设计地质资料，便于施工与设计资料进行对比，积累经验。地球物理探测法适用范围广、方法多、设备轻便、效率高，是超前地质预报的重要手段，但各种地球物理探测方法都需具备一定的应用条件，只有在物性资料和地质资料齐全的基础上进行定量解释，才能获得准确的解释参数，其装置的选择、测线的布置、采集的数据质量和资料的处理与解释都直接关系到地球物理探测的效果，因此需合理的使用。超前钻探法可以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，具有直观性、客观性。但速度慢、费用高，影响隧洞施工，一般都是在地球物理探测预报可能出现异常时，采取的一种补充验证方法和手段。在钻爆法施工中，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。

4.1.3 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150m以上，中距离预报在30~150m，短距离预报在30m以内。预报距离与地层岩性、施工方法等有关，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，要求预报距离相对较短。

4.2 预报设计

4.2.1 可行性研究阶段应根据隧洞地质复杂程度和地质风险等级提出超前地质预报的初步构想，预估超前地质预报工作量和费用，以便于超前地质预报专题单独立项，初步设计阶段需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量和概算，避免后期因其产生费用问题发生的各种纠纷，地质条件复杂洞段一般需进行专项招标，需要编制超前地质预报专项设计文件。

4.2.2 对隧洞地质复杂程度和地质风险等级进行划分，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、地质风险Ⅰ级为重点预报地段，地质条件中等复杂、地质风险等级Ⅱ级为次重要预报地段，地质条件简单、地质风险Ⅲ级为一般超前地质预报地段。

4.2.3 根据隧洞地质风险等级情况，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。

1 隧洞地质风险Ⅰ级洞段预报方法和资料分析需在地质调查的基础上进行，通过调查调查进行长距离预报，指导地球物理探测方法选择，采用弹性波反射法进行中距离探测，聚焦电法或探地雷达进行中、短距离探测，地球物理探测方法选择中、短距离组合，且预报方法宜参数互补，并采取超前钻探法进行验证，每种预报方法需循环进行。同时需要根据隧洞断面大小、不良地质体性状布置一定数量的超前钻探或超前导洞进行探测，然后在孔内或洞内开展测试与地球物理探测工作，做到各种方法相互补充验证。

2 隧洞地质风险Ⅱ级洞段预报方法和资料分析需在地质调查的基础上进行，优先采用弹性波反射法进行中距离探测，必要时采取聚集电法进行中、短距离补充探测，同时需布置少量的超前钻探或超前导洞进行验证。

3 隧洞地质风险Ⅲ级洞段适当减少超前地质预报手段，一般在地质调查的基础上选择一种地球物理探测方法或超前钻探方法（如加深炮孔）进行预报，一方面可节省地质预报资源，另一方面减少超前地质预报工作对隧洞施工进度的影响，地球物理探测异常地段需采用超前钻探进行验证。

4.2.4 有害气体含量、放射性物质辐射程度、高地应力和高地温的预报需进行取样试验和原位测试，因此需结合超前钻探进行。

4.2.5 预报距离越长，对施工指导意义越大，但精度往往较低，预报距离短，精度高，但需要不断的进场、退场，占用隧洞施工时间长，影响隧洞施工，因此超前地质预报设计时，需根据不同预报方法和预报内容选择合适的预报距离，有利于计算工作量和现场操作时间。

4.2.6 超前地质预报设计要以工程地质勘察成果为依据，首先根据勘察成果分析存在的主要

工程地质问题，然后进行隧洞地质复杂程度分级、隧洞地质风险等级划分，在此基础上再进行分段预报规划设计，明确每段超前预报目的和预报内容，最后结合施工方法等选择合适的预报方法，编制超前地质预报技术方案和实施方案，统计工作量和计算费用等。

5 地质调查法

5.0.1 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，可补充适当的地球物理探测工作，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。

洞内地质调查主要是指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、软岩变形、硬岩岩爆发生的可能性、规模和等级等情况。

5.0.2 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、前期勘察及各种测试成果等。以上资料在进行超前预报时需现场复核，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。监测测试资料主要包括隧洞施工现场对有害气体、放射性、地温、地应力的监测测试，以及对地表水和地下水变化、地表裂缝和洞内围岩变形等的监测。

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 and 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，如软岩膨胀性、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。

9 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工程地质及水文地质条件的限制最为明显。掘进参数是在前期勘测设计阶段的地质条件明确前提下设定的，能反映开挖段的综合地质条件及不良地质体要点。岩碴特征是掘进段地层岩性、地质构造、岩体结构的综合反映，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。预报方法选择时不仅要考虑地质条件、物性条件、场地条件等的限制，还需要考虑与施工方法相配套，根据施工工艺的不同选择适合的预报方法与预报

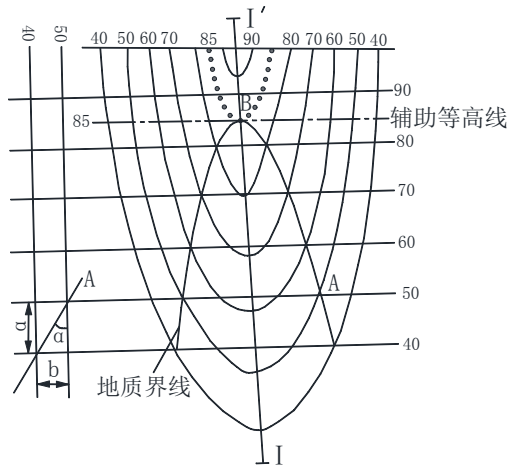
流程。在预报结果分析时，应随时根据岩碴特征、掘进参数的变化情况，综合考虑预报段地层地质特征，为预报成果提供最客观的基础地质资料。

5.0.4 该条规定了地表地质调查的工作方法、技术要求。地表地质调查工作步骤主要包括测绘综合地层柱状图、确定地层填图单位、观察描述、标测地质点和地质测绘线路，勾绘地质图，测制地质剖面图等。地表地质调查内容主要包括地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、物理地质现象等。

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洞的空间关系图。

5.0.6 地质观测是对特定地质现象及其变化进行追踪观察或简易量测的工作，隧洞超前地质预报地质观测重点部位包括地表水、地下水、地表变形和洞内变形。

5.0.7 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，岩性对一个地区地貌的影响主要表现在岩石抗风化侵蚀能力的差异，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，背斜的核部受张力影响裂隙较发育，容易被侵蚀成谷，向斜核部受挤压作用结构紧密，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。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）：



(a) 平面图

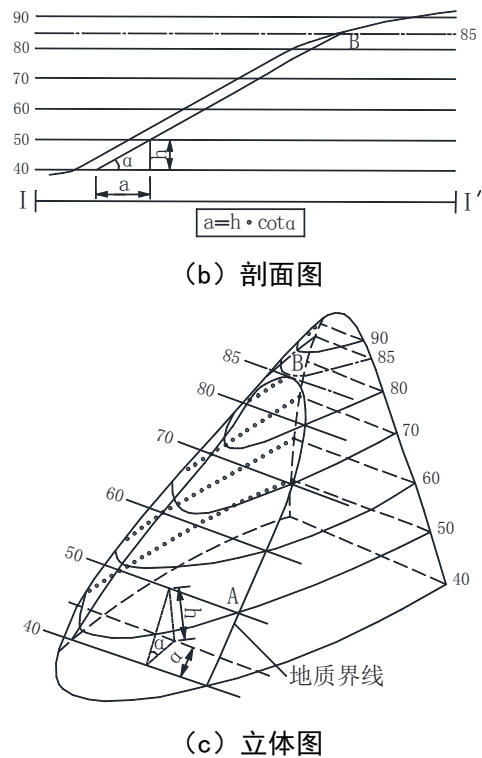


图1 利用放线距原理绘制地质界线示例

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：将地质体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。

5.0.8 该条规定地质调查时应注意根据不良地质体或不良地质现象征兆特征，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，在总结了大量水利水电及交通隧洞工程实践成果资料的基础上在附录D中列举了几种常见的不同类型不良地质问题可能出现的征兆特征。

5.0.9 该条规定了地质调查法的主要图件成果，并应根据地质调查成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 地球物理探测法

6.1 一般规定

6.1.1 根据物性原理地球物理探测法可以分为弹性波法、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，电磁法包括探地雷达法、瞬变电磁法，以及聚焦电法等。

6.1.4 地质条件复杂洞段一般采用不少于两种、且物性原理不同的地球物理探测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。

6.1.5 地球物理探测仪器每年需进行1次年度校准检定，一般情况下，生产项目上每个季度进行不少于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。开展地球物理探测法超前预报工作时，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。地球物理探测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。地球物理探测预报成果提交之前，需要由具有专业技术人员或专家对资料进行校核和审查工作，并保留记录。

6.2 弹性波法

6.2.1 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。

6.2.2 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，不良地质体在弹性波传播方向具有一定的厚度且要大于有效波波长的1/4。

6.2.3 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，预报距离受各种干扰因素影响，预报距离不宜超过100m。

6.2.4 弹性波法连续预报的目的主要为对上次预报成果的复核，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，因此规定在连续预报时重叠长度不低于10m，可以保证预报效果，同时兼顾工作效率。

6.3 探地雷达法

6.3.1 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。

6.3.2 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。

6.3.3 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。

6.3.5 本条主要对探地雷达法数据采集要求进行了规定。

2 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、顶拱和底板上布置测线。

4 当掌子面作业风险较大时，采用时间连续采集模式可以提高探测效率，减少测试时间，降低作业风险。

6.4 瞬变电磁法

6.4.1 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。

6.4.2 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。

6.5 聚焦电法

6.5.1 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。

6.5.4 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施工时，视需要需提前对TBM刀盘进行改装。

6.5.5 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。

7 超前钻探法

7.1 一般规定

7.1.1 超前钻探法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，适用于各种不良地质体的探测，但由于其施工进度慢、费用较高、占用隧洞施工时间较长，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、地球物理探测异常部位等的验证、确认，必要时还可进行孔内测试、取样和试验。

常规超前钻探法又可分为超前地质钻探和加深炮孔钻探，常规钻探法利用转盘控制钻孔方向，可以开展垂直孔、斜孔和水平孔的钻探，因钻进工艺受限，水平（或倾斜）探测深度一般只能达到百余米，超过两百米容易出现塌孔、卡钻和孔斜度难以控制等问题，长距离水平钻探效率低、精度差、施工难度大，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异常情况的几率，效果明显。加深炮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、方位角来实现钻孔轨迹的调整，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洞勘察中，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进长度2200m；1964年至1981年日本青函隧道第一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；中国地质探矿工艺研究所在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，能够在隧洞地质勘察中弥补传统地质钻探存在的不足，沿隧洞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，发展水平定向钻探技术，沿隧洞设计轴线布置长距离水平定向勘探孔或超前预报孔，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，对隧洞沿线长距离的地层岩性、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，具有一定的推广应用前景。

7.2 常规钻探法

7.2.1 由于取心钻探占用掌子面时间长、工作效率低，地质条件简单隧洞中较少使用，潜孔钻、凿岩机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获取地质信息，具有利用现场掘进设备、移动灵活、操作方便、费用低、占用隧洞施工时间短等特点，但由于潜孔钻或凿岩机钻由施工操作人员操作、不能取心，主要靠操作人员主观感觉和观察岩屑进行判断，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，一般采用潜孔钻、凿岩机钻与回转取心钻相结合的方式，地质条件简单地段采用潜孔钻，钻爆法利用凿岩机加深炮孔，复杂地段采用回转取心钻，必要时还可进行孔内测试和取样试验。

7.2.2 超前钻孔越多，预报越精准，但钻探占用开挖面的时间就越长，对隧洞施工干扰影响就越大，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。距预测煤层15m~20m（垂距）处，需采用超前探孔确定煤层准确位置，超前探孔应不少于3个，分别探测开挖工作面前方上部及左右部位煤层位置，探测孔结合煤层走向、煤层倾角合理布置，掌握其赋存情况及瓦斯状况。

7.2.3 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，其钻进效率会逐步降低。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，取心拔钻、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。

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
	取心钻	0.8	0.75	0.7	0.6	0.5	0.45	0.4	0.3

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，一般在长大复杂重点隧洞工程、投资大的工程中采用，每个循环钻孔深度可以适当延长。

7.2.4 根据防治煤与瓦斯突出细则（2019年版）要求保留不少于5m的安全厚度，因此规定瓦斯突出煤层钻孔重叠长度为5~8m。

7.2.5 隧洞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。

7.2.6 当超前地质钻孔需要进行取样试验或综合测井测试时，其孔径还要满足试验样品直径、和测试仪器直径的要求，钻孔直径一般60~120mm。

7.2.8 隧洞内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。

1 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；另外，钻机前方需安设挡板，严禁在钻孔的轴向后方站人，防止钻机 and 高压冲出岩屑、泥沙伤人。

2 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。

4 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。顶钻、喷孔等瓦斯动力现象预示着前方存在较大的瓦斯压力，其中喷孔是公认的直接预示有突出危险性的现象，顶钻在相当程度上也代表了煤与瓦斯的突出危险性。

《防治煤与瓦斯突出规定》（2019年版），当工作面出现喷孔、顶钻等动力现象、工作面出现明显的突出预兆时，必须采取区域综合防突措施。

7.2.9 本条对隧洞内钻探记录和岩心鉴定进行了规定。

1~2 在钻探过程中通过记录钻机钻进速度、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 对回转取心钻的岩芯进行鉴定是判定岩性最为准确可靠的方法，回转取心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。

7.3 水平定向钻探法

7.3.1 水平定向钻机的选择应根据预报距离和现场施工条件选择合适的机型，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2（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2（b）和（c）。当洞内无条件安装水平定向钻机，而确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孔时，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。

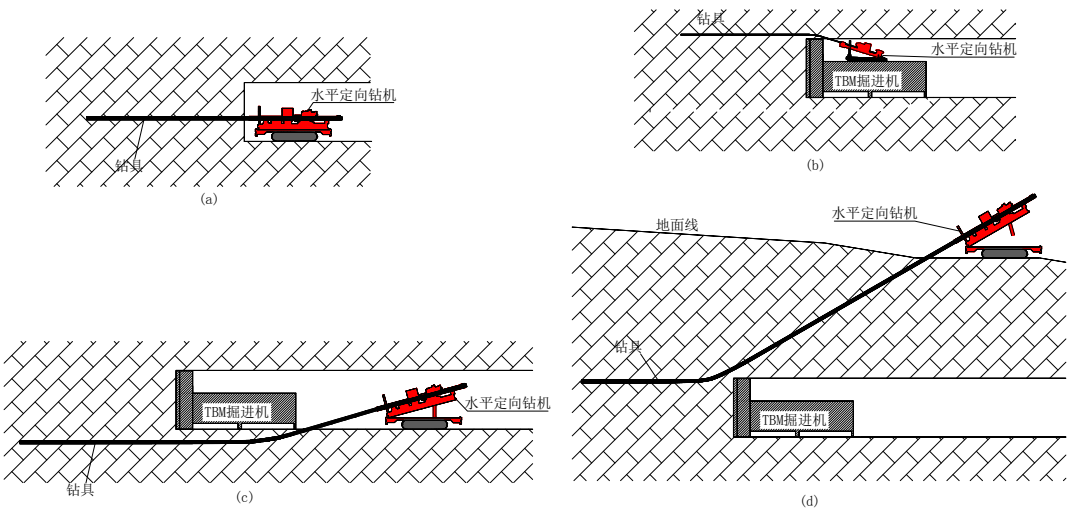


图2 水平定向钻孔示意图

7.3.4 钻孔倾斜角和方位角是测量钻孔实际轨迹的主要参数，因此在钻进过程中需要不断对

其进行量测，当通过测量计算出钻进轨迹偏离钻孔设计轨迹时，就需及时采取纠偏措施对钻头姿态进行调整，确保钻孔轨迹位于受控范围内。这里测量精度主要是对测量仪器的精度要求。

7.4 钻孔孔内测试

7.4.1 综合测井主要包括井径测井、井斜测井、井温测井、电阻率测井、自然电位测井、自然伽马测井及密度测井等。同一钻孔采用多种方法进行测试时，一般按井温测井、钻孔全景数字成像、井径测井、井斜测井、自然伽马测井、密度测井、自然电位测井、电阻率测井、其他测井的顺序进行。

7.4.3 《工作场所空气有毒物质测定》为系列标准，分160个部分，涉及的物质和检测方法较多，对于某项有毒物质的测定按GBZ/T 300的相关部分的规定进行测定，瓦斯压力可以按《煤矿井下煤层瓦斯压力的直接测定方法》（AQ 1047-2007）进行测定，在无统一标准规定时，也可以按国内外公认的测定方法进行测定。

8 超前导洞法

8.0.1 超前导洞预报主要是通过导洞揭示穿越洞段的地质情况，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，当地下水特别丰富，涌水突泥可能性较大且危害性大时，需要在超前导洞中利用地球物理探测、超前钻探手段探测导洞前方的地质条件。

8.0.2 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，该方法能更直接、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。平行超前导洞是在隧洞的周边一定距离开挖一个与主洞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。

8.0.3 在超前导洞开挖过程中，需要根据地质条件复杂程度选用地质调查、地球物理探测、超前钻探等方法，预防导洞开挖引起灾害发生。

8.0.4 本条主要对超前导洞地质预报主要工作内容进行了规定。

1 超前导洞地质编录范围包含边墙、顶拱、底板和工作面。

8.0.8 超前导洞工程地质纵断面图的内容包含地层岩性、地质构造、特殊性岩土、岩溶、涌水、突泥及坍塌变形地段位置、围岩分级及隧洞工程地质分段等。

9 超前地质综合预报法

9.0.1 资料搜集是进行超前地质综合预报的基础，地质资料分析具有指导其它预报方法的作用，是进行地质调查方法的前置环节，同时也对地球物理探测成果解译和钻探岩心鉴定具有重要作用。

9.0.2 本条主要对超前地质综合预报遵循的原则进行了规定。

1 不同的预报方法均有其自身的适应地质条件、探测优势和预报距离，单一的地球物理探测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，因此从超前地质预报方案设计、方法选择、工作布置及成果分析以及风险处置都需要全过程结合工地地质条件进行。

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，当差异较大时遵循动态设计的原则，根据实际情况及时调整超前地质预报工作方案。

9.0.3 本条主要对超前地质综合预报工作程序进行了规定。

1 通过地表地质调查和洞内施工揭露的地质条件，结合搜集的资料，对隧洞沿线的断层、向斜、岩溶等不良地质体及其涌水突泥、岩爆、有害气体的危害程度等进行分析判断，复核前期勘察时隧洞地质复杂程度，确保超前地质预报方案合理可靠。

2 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体的性质与规模，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，并预估可能发生的灾害类型和危害程度，提出施工措施建议，保障施工安全。而强调长、中、短距离预报相结合，是由于地球物理探测预报距离与地层物理性质、施工方法有关，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，需在具体实施中根据综合条件设计具体方案。目前地球物理探测方法在预报中所占用比例最高，但地球物理探测是一种间接方法，同时地球物理探测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 级风险隧洞的重大隧洞灾害预报，专门强调须采用超前钻探法进行验证。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、地球物理探测明显异常区等地质风险大的洞段必须使用外，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。

9.0.4 综合超前地质预报是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。首先对前期勘察成果、其他超前地质预报成果和监测测试资料的整理，通过地质作图、地层层序对比、地质类比、趋势分析等方法，由地表到地下，确定隧洞围岩地质条件；然后结合隧洞断面及走向，分析不良地质体与隧洞的位置关系，以及不良地质体的性状及延伸情况；最后通过地质分析和力学机制分析，必要时采用定性分析和定量计算对围岩稳定、涌水突泥、瓦斯突出、岩爆等的灾害类型、危害程度进行评价，提出预报预警分级。

10 超前地质预报实施

10.1 一般规定

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，以便制定更有针对性的实施细则。

10.1.2 隧洞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，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。

10.1.3 超前地质预报工作要与施工工序相衔接，钻爆法施工工序为“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，超前地质预报工作也需纳入施工循环工序。超前地质预报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。由于超前地质预报实施需要占用施工工作面和时间，影响施工单位工作效率，超前地质预报单位需要实时掌握工作面地质条件和施工工序及进度，根据超前地质预报设计和实际揭露地质条件，选择合适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，并且要与隧洞开挖施工单位保持沟通，保证超前地质预报工作能够顺利实施。因此，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是非常重要的。

10.1.4 断层往往岩体破碎，容易引起围岩失稳，同时也是储水地层，甚至与地表水系连通，容易发生涌水突泥，溶洞是地下水系的主要通道，易发生涌水突泥，特殊岩土层主要是容易发生大变形的软岩、瓦斯突出的煤层等，这些地层或构造产生的危害大，因此是隧洞超前地质预报的重点。

10.1.5 现场每一个预报循环工作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、突泥等重大地质问题和风险，可以先口头或电话通知，随后再尽快提交书面报告。

10.2 实施细则

10.2.1 本条规定了隧洞超前地质预报实施细则的内容，主要由隧洞超前地质预报实施单位根据超前地质预报设计方案，结合工作场地条件编制。

10.2.3 为了预报更具针对性，在实施超前地质预报过程中，当实际地质条件发生变化时，需及时对实施细则中的预报方案进行适当调整，调整包括对预报方法的增减或变更等，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 不良地质体预报

10.3.1 本条对断层进行地质预报实施要求进行了规定。

1 断层是隧洞开挖过程中常见的对隧洞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，隧洞内塌方、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胶结程度、断层破碎带的上下盘岩体结构、断层破碎带的产状及其与隧洞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。

1) 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、洞内地质调查成果进行趋势分析可大致预报断层的出露位置。

2) ~4) 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、超前钻探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富集情况进行预测预报。

5) 根据断层规模、富水程度及对工程的危害程度决定是否进行超前钻探，超前钻探可采取取心钻探或不取心钻探，取心钻探不仅可以判断断层带的富水情况，还可确定断层带的物质组成、胶结程度、断层宽度等；不取心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宽度。

6) 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，接近断层时节理裂隙将更为发育，因而也可采用洞内掌子面附近的地质编录初步判断是否接近断层位置，通过地质分析可以初步判断断层在隧洞内的延伸长度。

10.3.2 对岩溶进行超前地质预报实施要求的规定。

1 岩溶预报主要是预报岩溶在隧洞中的分布位置、规模、充填情况及岩溶水的发育特征和活动情况，分析对隧洞施工的影响。

2 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，必须进行超前地质综合预报，其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。

3 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，采用地球物理探测、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大型溶洞或地下暗河，探地雷达、超前钻探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。

6) 岩溶地区隧洞周围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洞周围;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洞处理提供资料。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。

7) 岩溶预报后需提交综合超前地质预报成果,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,及其与隧洞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;分析上述构造与隧洞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,分析隧洞受岩溶地下水影响的程度。

④隧洞处于岩溶垂直分带的部位:根据隧洞线路高程、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其与隧洞的关系。

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,推断暗河大致通道的位置、分布,确定能否与隧洞相遇或与隧洞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,分析隧洞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的规定。

1 不良地层主要包括破碎岩体、软弱夹层、煤系地层、极硬岩、含有害气体、放射性物质地层等。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。

3 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、洞内地质调查成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、超前钻探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，必要时采用相应的气体检测仪进行瓦斯突出性预测预报。

6) 根据《防治煤与瓦斯突出规定》（2019年版）新建矿井需对井田范围内采掘工程可能揭露的所有平均厚度在 0.3m 及以上的煤层，根据地质勘查资料和邻近生产矿井资料等进行建井前突出危险性评估。穿层钻孔预抽井巷揭煤区域煤层瓦斯区域防突措施的钻孔需在揭煤工作面距煤层最小法向距离 7m 以前实施，并结合实际工作经验，本规程选择在距离厚度大于0.3m煤层10m前开展突出危险性预测工作，主要手段为采用不少于3个钻孔分别探测开挖面前方上部及左右部位煤层的位置，钻孔应穿过煤层进入稳定层不少于0.5m，同时需开展相应的取样试验、检测工作，测定瓦斯压力、瓦斯含量等参数。危险性预测临界值一般根据试验确定，无试验确定时，可按下表3进行突出预测。

表3 超前突出危险性预测临界值

瓦斯压力P/MPa	瓦斯含量W/（m ³ /t）	突出预测
P<0.74	W<8m ³ /t（构造带W<6m ³ /t）	无突出危险
瓦斯压力或瓦斯含量任何一项超过上述指标		突出危险

10.3.4 对地下水富集区进行预报实施要求进行的的规定。

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集区时，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。

3 对地下水富集区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、洞内地质调查成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 成果报告编制

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、阶段性超前地质预报成果和超前地质预报总报告三种。前者是基础，后两者是汇总；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。超前地质预报工作全部完成后，预报单位应编制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。项目实施过程中，根据工作需要或合同要求，编制阶段性超前地质预报成果，对已开展工作情况、取得的成果及存在的问题、解决办法等进行回顾性总结，以利于下一步工作的开展。

11.0.2 本条主要对各种超前地质预报成果编制时间进行了规定，单次超前地质成果预报要及时准确指导施工，因此要求工作完成后及时编制；超前地质预报总报告为竣工验收提供必要的技术支撑，因此要求预报工作完成后对全过程的预报资料进行整理编制，阶段性预报成果在实施过程中根据工作需要或合同约定的要求编制，一般包括月报、季报、年报等。

11.0.3 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，选取适当的预报方法，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、附表能较直观的表达或反映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成果的系统全面总结，阶段性报告主要包括月报、季报、年报等。报告由两部分组成，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,报告中都需予以说明。

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。其目的是为了让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) 对超前预报工作中采用的新技术、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附图,各预测方法及提交的相应附图要求如下:

地质调查法:地质图、隧洞展示图、剖面图等。

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:测线测点布置图、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。

超前钻探法:钻孔柱状图。

超前导洞法:导洞展示图。

附录A 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本方法。

地球物理探测法具有设备轻便，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，探测掌子面前方一定范围内的地层岩性、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）体要具有地球物理探测所要求的基本条件，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、岩溶发育情况和地下水活动状态等。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。

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B 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、断层破碎带与向斜构造条件、岩溶发育程度、涌水突泥情况、地应力、有害气体与瓦斯影响程度等八个方面因素，地质条件复杂程度从复杂开始，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。

断层破碎带规模主要根据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，涌水突泥程度主要结合铁路工程隧洞超前预报经验进行划分。

有害气体接触限值需根据中华人民共和国国家职业卫生标准《工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》（GBZ 2.1-2019）确定，最高容许浓度（MAC）是指在一个工作日内、任何时间、工作地点的化学有害因素均不应超过的浓度。短时间接触容许浓度（PC—STEL）是指在实际测得的8h工作日、40h工作周平均接触浓度遵守PC—TWA的前提下，容许劳动者短时间（15min）接触的加权平均浓度。PC—TWA为时间加权平均容许浓度，以时间为权数规定的8h工作日、40h工作周的平均容许接触浓度。

预测煤层突出危险性的指标根据《防治煤与瓦斯突出细则》（2019年版）确定，结合可用煤的破坏类型、瓦斯放散初速度指标（ ΔP ）、煤的坚固性系数（ f ）和煤层瓦斯压力（ P ），其判断煤层突出危险性的临界值，当全部指标达到或超过其临界值时，或钻孔施工过程中发生喷孔、顶钻等明显突出征兆时，确定为突出煤层。当 $f \leq 0.3$ 、 $P \geq 0.74\text{MPa}$ ，或者 $0.3 < f \leq 0.5$ 、 $P \geq 1.0\text{MPa}$ ，或者 $0.5 < f \leq 0.8$ 、 $P \geq 1.5\text{MPa}$ ，或者 $P \geq 2.0\text{MPa}$ 的，也确定为突出煤层。

附录C 隧洞地质风险分级标准

隧洞地质风险主要结合地质复杂程度、地质因素对隧洞施工的影响程度及可能诱发的环境问题等三个方面确定。隧洞地质风险Ⅰ级洞段为重点预报洞段，需采用地质调查法、地球物理探测法、超前钻探法、超前导洞法及超前地质综合预报法进行相互验证，重大特殊地质情况邀请专家论证，地球物理探测及超前钻探密度相对较高。地质风险Ⅱ级洞段为次重点预报，主要采用地质调查法、地球物理探测法、超前钻探法、超前导洞法及超前地质综合预报法几种或全面进行探测，地球物理探测密度较高，超前钻探密度相对较低。地质风险Ⅲ级洞段为一般预报洞段，实施单位结合工程经验和隧洞地质特点，依据《水利水电工程施工地质编录规程》（SL/T313）开展预报工作，主要包括采用施工巡视和观测、加深炮孔探测、地球物理探测和超前地质钻探等一两种手段，对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。

附录D 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、小型断层规模较小，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

碳酸盐岩溶地层在全国范围内均有不同程度的分布，西南地区分布面积较大，岩溶造成的危害主要是涌水突泥、围岩塌陷。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，其中残留老洞内通常富集有瓦斯、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。实际上两者在临近时地质条件差异较大，如岩溶含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、地球物理探测成果进行判断。

（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，软岩大变形及围岩失稳产生的诱发等，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）围岩失稳

围岩失稳是隧洞施工过程一类较为常见的灾害，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展连通的征兆。

（5）岩爆

岩爆是指地下开采深部或构造应力很高的区域，临空岩体积聚的应变能突然而猛烈地全部释放，致使岩体发生像爆炸一样的脆性断裂。冲击地压造成大量岩石崩落，并产生巨大声响和气浪冲击，不但影响隧洞施工安全，还有可能对隧洞产生破坏，甚至影响地面建筑物。若工程区位于以构造应力为主的强烈上升地区（产生岩爆无临界深度）或洞室埋深大于500m以上的以自重应力为主的地区，或洞室地处高山峡谷区、属边坡应力集中的傍山隧洞（室），并具备围岩岩质硬脆、完整性好~较好、无地下水等四项基本条件，即可能产生岩爆。根据有关研究成果，最大主应力与岩体节理（裂隙）的夹角与岩爆关系密切，在其他条件相同情况下，夹角越小，岩爆越强烈，当夹角小于 20° 时可能发生强烈或极强烈岩爆；当夹角大于 50° 时可能发生轻微岩爆。

（6）软岩大变形

软岩大变形在隧洞施工中的发展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。

（7）煤与瓦斯突出

煤与瓦斯突出是一种瓦斯特殊涌出的现象，即在压力作用下，破碎的煤与瓦斯由煤体内突然向采掘空间大量喷出的现象，具有极大的破坏性。本规程所指煤与瓦斯突出泛指在隧洞

施工中遇到的煤层与瓦斯、石油天然气、硫化氢等天然有毒有害气体突出。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。煤与瓦斯每次突出前都有预兆出现，但出现预兆的种类和时间是不同的，因此在煤层分布范围广泛的隧洞开挖中，一般需设置有监测措施，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。

附录E 隧洞超前地质预报预警分级

隧洞超前地质预报的主要目的是预报掌子面前方的重大不良地质体(如岩溶、断裂带等)和涌水突泥等灾害,当重大不良地质体或地下水富集区越临近掌子面,则隧洞所面临的风险也越大,所需要采取的应急措施也更强。为确保施工安全,准确、快速传递重大不良地质体或涌水突泥等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,可能产生洞室严重变形、塌方、冒顶、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,预报成果须在每次预报完成后立即送达。

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,预报成果要求在每次预报完成后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,预报成果要求在每次预报完成后48小时内送达。

附录F 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，综合地质调查、地球物理探测、超前钻探、超前导洞与地质分析相结合，洞内外结合，长中短预测结合，物性参数互补，测试、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，确认高风险等级的，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。