

水利水电工程隧洞超前地质预报规程

**Code for advanced geological prediction of tunnels of water
and hydropower projects**

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。

2.0.7 超前地质预报 advanced geological prediction

在分析已有地质资料的基础上,采用地质调查、地球物理探测、超前钻探、超前导洞等手段和超前地质综合预报方法,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。

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。
- 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 为优化设计、制定施工方案提供地质依据。

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现行国家标准《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487和现行行业标准《引调水线路工程地质勘察规范》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 m~150 m。

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《水利水电工程地质测绘规程》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《水利水电工程施工地质规程》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应存在一定的物性差异。
 - 2 应具备观测系统布置所需要的场地空间。
 - 3 应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 不良地质体与围岩应存在明显的波阻抗差异。
 - 2 应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 直达波初至应起跳明显，反射波波组应清晰。
 - 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 应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 应结合隧洞勘察、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、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，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 MHz~100 MHz。
- 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，必要时宜在洞壁、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，不宜小于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紧贴，移动时应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 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 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 不良地质体与围岩应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 应校正发送电流切断时间的影响。
- 3 数据应进行归一化、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。

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范围内应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的间距不应小于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，特别是地质条件复杂、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应采用超前钻探法。

7.1.2 超前钻探法可分为常规钻探法和水平定向钻探法，常规钻探法宜适用于中、短距离预报，水平定向钻探法宜适用于长距离预报。

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，地质条件复杂洞段宜采用回转取心钻，采用钻爆法施工时宜综合利用凿岩机加深炮孔。

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个~5个钻孔，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个~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宜为30 m~50 m；加深炮孔宜较爆破孔深3 m~5 m。

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，孔深宜为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 m~30 m。

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 m~5 m，瓦斯突出煤层钻孔重叠长度宜为5 m~8 m。

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、设备机具选择应按现行行业标准《水利水电工程钻探规程》SL/T 291的规定执行。

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 孔内测试应符合下列规定：

1 综合测井、钻孔声波、钻孔全景数字成像和放射性测试应按现行行业标准《水利水电工程勘探规程 第1部分：物探》SL/T 291.1的规定执行。

2 地应力测试应按现行行业标准《水利水电工程岩石试验规程》SL/T 264的规定执行。

3 有毒有害气体测试宜按现行国家标准《工作场所空气有毒物质测定》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现行行业标准《水利水电工程坑探工程》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现行行业标准《水利水电工程施工地质规程》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现行行业标准《水利水电工程施工地质规程》SL/T 313的规定，比例精度宜满足下列规定：

1 地质展示图比例宜为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 应采用地质作图、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 应进行地层界线、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 应对围岩稳定、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, 可采用聚焦电法探测岩溶水发育特征, 可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 工作方法与原理。
- 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

表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）	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）	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	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	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	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	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		>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

表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；低瓦斯或无含瓦斯地层，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
<p>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）；σ_{\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。</p>				

附录C 隧洞地质风险分级

表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

表D 隧洞不良地质体（现象）征兆特征

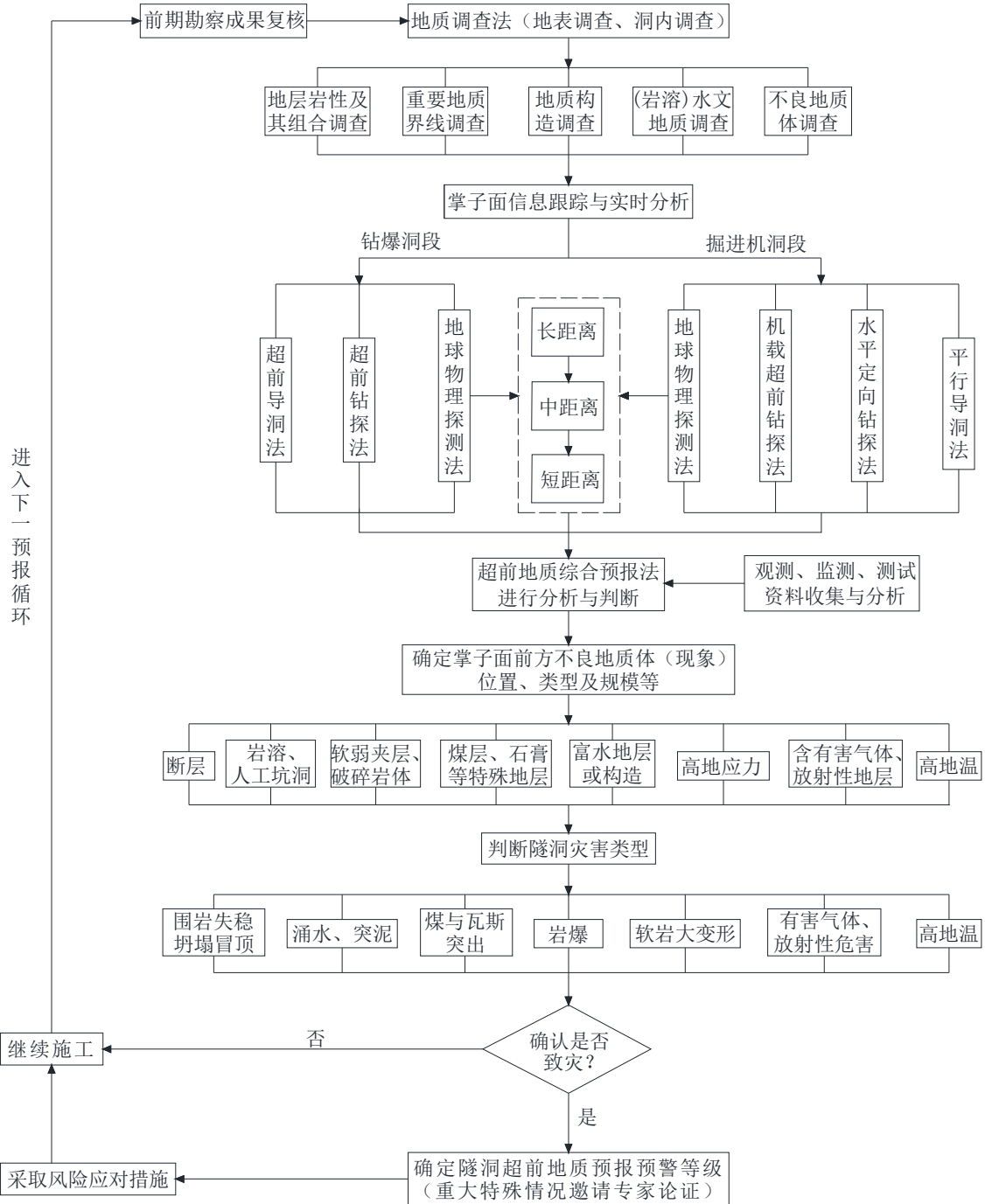
不良地质体（现象）类型	掌子面附近征兆特征
断层破碎带	<ol style="list-style-type: none"> 1、岩体中节理组数急剧增加。岩层产状不清，硬质岩和断层产状平行的贯穿性裂隙出现，裂隙面有擦痕，而可溶岩裂隙密集发育，且夹泥越来越多。 2、岩层牵引褶曲或牵引褶皱的出现。 3、岩石强度的明显降低，岩体风化加剧，呈全风化状态，一般状态下保留岩体原有结构面形态。 4、压碎岩、碎裂岩、断层角砾岩等构造岩的出现。 5、临近富水断层前断层泥岩、页岩等隔水岩层明显湿化软化，或出现淋水和其它涌水现象。
岩溶或采空区	<ol style="list-style-type: none"> 1、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	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 1、强烈爆裂如枪炮响声，岩石弹射爆出；或发出微弱噼啪啵啵响声，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小时~3小时内。
软岩大变形	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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、喷水等动力现象。 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

表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(m)	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。	5~15	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。	15~30	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。	>30	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 为了便于在执行本标准条文时区别对待，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

- 《工作场所空气有毒物质测定》 GBZ/T 300
《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

中国水利学会标准

水利水电工程隧洞超前地质预报规程

T/CHES XXX—20XX

条文说明

目 次

1 总则.....	33
2 术语.....	35
3 基本规定.....	36
4 超前地质预报设计.....	38
4.1 一般规定.....	38
4.2 预报设计.....	39
5 地质调查法.....	41
6 地球物理探测法.....	44
6.1 一般规定.....	44
6.2 弹性波法.....	44
6.3 探地雷达法.....	44
6.4 瞬变电磁法.....	45
6.5 聚焦电法.....	45
7 超前钻探法.....	46
7.1 一般规定.....	46
7.2 常规钻探法.....	47
7.3 水平定向钻探法.....	49
7.4 钻孔孔内测试.....	50
8 超前导洞法.....	51
9 超前地质综合预报法.....	52
10 超前地质预报实施.....	54
10.1 一般规定.....	54
10.2 实施细则.....	54
10.3 不良地质体预报.....	54
11 成果报告编制.....	59
附录A 隧洞超前地质预报方法及适用条件.....	61
附录B 地质复杂程度分级.....	62
附录C 隧洞地质风险分级标准.....	63
附录D 隧洞不良地质体（现象）征兆特征.....	64
附录E 隧洞超前地质预报预警分级.....	67
附录F 隧洞超前地质预报实施流程.....	68

Contents

1	General provisions	33
2	Vocabulary	35
3	Basic requirements	36
4	Design of advanced geological prediction	38
4.1	General requirements	38
4.2	Design of prediction	39
5	Geological investigation method	41
6	Geophysical detection method	44
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	Focused-electrical 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	50
8	Advanced pilot tunnel method	51
9	Comprehensive advanced geological prediction method	52
10	Implementation of advanced geological prediction	54
10.1	General requirements	54
10.2	Implementation rules	54
10.3	Prediction of unfavourable geological body	54
11	Preparation of results report	59
Appendix A	Methods and applicable conditions of advanced 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 unfavourable geological body of tunnel	64
Appendix E	Warning classification of advanced geological prediction of tunnel	67
Appendix F	Implementation process of advanced geological prediction of tunnel	68

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

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/668015037034006027>