

DB52

贵州省地方标准

DB52/T 1512—2020

水利水电工程隧洞施工超前地质预报 技术规程

2020 - 11 - 13 发布

2021 - 03 - 01 实施

贵州省市场监督管理局

发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 3

5 基本规定 3

6 预报方案设计 5

7 预报方法 6

8 不良地质体预报 15

9 预报成果 18

附录 A （规范性） 隧洞超前地质预报风险等级划分 20

附录 B （资料性） 超前地质预报工作流程图 22

附录 C （资料性） 洞内不良地质体临近前兆特征表 23

附录 D （规范性） 高、中风险隧洞预报工作流程图 24

附录 E （规范性） 低风险隧洞预报工作流程图 25

附录 F （资料性） 不良地质体预报方法适应性列表 26

附录 G （资料性） 超前地质预报方法适用情况对比表 27

附录 H （资料性） 隧洞施工掌子面地质素描记录表 28

附录 I （资料性） 隧洞开挖洞壁地质展示图 29

附录 J （资料性） 地震反射波法观测系统设计图（TSP） 30

附录 K （资料性） 地震层析成像系统设计图（TRT） 31

附录 L （资料性） 聚焦电流法观测系统设计图 32

附录 M （资料性） 红外探测野外记录表 33

附录 N （资料性） 隧洞超前钻探钻孔柱状图 34

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意：本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由贵州省水利水电勘测设计研究院有限公司提出。

本文件由贵州省水利标准化委员会归口。

本文件起草单位：贵州省水利水电勘测设计研究院有限公司、中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司、贵州省水利投资（集团）有限责任公司

本文件主要起草人：熊勇、谭天元、武兴亮、张伟、高奋飞、杜兴忠、向国兴、陈强、袁代江、李明卫、吴擎文、赵德才、杨文、刘骅标、韦斯、张威、熊杰、侯迪、李析男、杨刚、付国栋、叶生华。

水利水电工程隧洞施工超前地质预报技术规程

1 范围

本文件规定了水利水电工程隧洞施工超前地质预报的总则、基本规定、预报方案设计、预报方法、不良地质体预报、预报成果等要求。

本文件适用于“一云一网一平台”总体架构下的系统和平台规划、建设。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修订单）适用于本文件。

- GB 6722 爆破安全规程
- GB 50487 水利水电工程地质勘察规范
- SL 326 水利水电工程物探规程
- SL 398 水利水电工程施工通用安全技术规程
- SL 567 水利水电工程地质勘察资料整编规程
- SL 629 引调水线路工程地质勘察规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

隧洞 tunnel

水利水电工程隧洞主要包括引(输)水隧洞、导流洞、泄洪洞。

3.2

掌子面 tunnel face

隧洞开挖掘进的工作面。

3.3

老硐 old underground workings

人类采矿活动形成的矿坑、矿洞，不包含正在使用的开采矿洞。

3.4

钻爆施工法 drilling and blasting method

使用钻孔进行爆破开挖的隧洞掘进施工方法。

3.5

TBM 施工法 Tunnel boring machine

采用全断面岩石掘进机进行隧洞掘进的施工方法。

3.6

超前地质预报 geology forecast

以地质为基础，多种勘测手段相结合，综合分析，预测隧洞掌子面前方可能遇到的不良地质体的类型、分布位置、规模及可能诱发的地质灾害，并提出相应处理建议的综合勘测方法。

3.7

隧洞超前地质预报风险分级 safety classification of tunnel construction

根据已知隧洞地质资料，从岩溶发育程度、涌水突泥程度、构造发育规模、有害气体浓度、老硐采空区分布等因素对隧洞施工进行风险评估分级。

3.8

长距离、中距离、短距离预报 long, medium and short range forecast

习惯上预报距离大于80 m称为长距离预报，预报距离30 m~80 m称为中距离预报，预报距离在30 m以内称为短距离预报。

3.9

地质调查分析法 geological survey analysis method

根据隧洞勘测资料和隧洞施工过程中掌握的地质情况，利用地质理论、地质作图和趋势分析等手段，预测掌子面前方地质情况的预报方法。

3.10

超前钻探法 advance borehole drilling

在隧洞开挖掌子面进行钻探，以获取地质情况的预报方法。

3.11

地震波法 seismic wave method

利用地震波传播理论探测隧洞掌子面前方一定范围内地质情况的预报方法。

3.12

瞬变电磁法 transient electromagnetic method (TEM)

利用电磁感应原理探测隧洞掌子面前方一定范围内地质情况的预报方法。

3.13

探地雷达法 method of ground penetrating radar (GPR)

利用探地雷达探测隧洞掌子面前方一定范围内地质情况的预报方法。

3.14

聚焦电流法 DC focus method

利用聚焦电流法勘探原理探测隧洞掌子面前方一定范围内地质情况的预报方法。

4 总则

4.1 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、招标设计、施工图设计阶段均应按附录 A 规定明确隧洞超前地质预报的预报风险等级，并进行超前地质预报设计，计列投资。

4.2 预报风险等级为高风险、中风险的隧洞应采用地质调查分析、物探与超前钻探相结合的方法进行超前地质预报；预报风险等级为低风险隧洞，主要采用地质调查分析法进行超前地质预报，当施工过程中揭露的地质条件与设计差异较大，存在施工安全风险时，应及时调整预报风险等级。

4.3 各参建单位在超前预报工作中应分工明确、相互配合，参建各方职责应符合下列要求：

- a) 建设单位（项目法人）应负责超前地质预报方案的审批；
- b) 勘测设计单位应分析和研究超前地质预报成果，提出施工建议；
- c) 预报单位应充分利用前期勘探成果，编制超前地质预报实施方案，按程序审批后组织实施，及时将预报成果提交建设、勘测设计、施工、监理单位；
- d) 监理单位应对预报工作的实施进行监督管理，协调各参建单位，确保预报工作有序实施；
- e) 施工单位应积极配合预报工作的实施，并将预报工作纳入施工组织设计及现场施工工序管理，及时利用超前地质预报成果指导施工。

5 基本规定**5.1 超前地质预报目的与内容****5.1.1 超前地质预报的目的：**

- a) 进一步查明隧洞掌子面前方工程地质、水文地质条件及不良地质体的类型、规模、分布情况，为隧洞施工提供指导；
- b) 降低地质灾害发生的几率及危害程度；
- c) 为设计优化、变更和施工处理提供依据；
- d) 为编制竣工文件提供基础资料。

5.1.2 超前地质预报的内容：

- a) 软弱夹层及煤系地层预报：软弱夹层、破碎岩层、煤系地层等的分布、厚度、岩性特征、结构特征预报；

- b) 构造破碎带预报：断层、裂隙密集带、破碎带等的分布、规模及富水情况等预报；
- c) 涌水突泥预报：含水层、储水构造及空间、岩溶暗河等的分布、规模、富水程度、涌水量、涌水压力进行预报；
- d) 岩溶预报：岩溶与隧洞的空间位置关系、规模、充填及富水情况预报；
- e) 老硐及采空区预报：老硐及采空区在隧洞施工影响范围内的分布位置、规模、充填及富水情况预报；
- f) 有害气体预报：有害气体类型及其与地层或地质体的关系、空间分布范围及其与隧洞关系预报。

5.2 超前地质预报工作流程

5.2.1 超前地质预报实施前应充分收集隧洞的区域地质、水文地质、工程地质及地质灾害资料，结合现场踏勘补充地质调查，分析隧洞施工存在的主要工程地质问题，施工可能遇到的地质灾害类型、分布范围、危害程度等，编制超前地质预报实施方案，并报建设单位审批。

5.2.2 超前地质预报实施前应开展预报试验，了解隧洞区段的地质和地球物理参数特征，为合理选择物探预报方法及参数等提供依据。试验工作宜包括：

- a) 物性参数测试试验、现场干扰源调查；
- b) 预报方法适应性试验；
- c) 预报距离试验；
- d) 仪器工作参数选择试验；
- e) 预报方法组合试验；
- f) 其它试验工作。

5.2.3 超前地质预报应遵循循序渐进的原则，不断总结预报成果和开挖验证情况，指导下一循环的预报工作。

5.2.4 超前地质预报应以地质调查分析为基础，长短距离预报方法相结合、物探预报与超前钻探揭露相结合的综合预报方式，并对预报资料进行综合分析，相互验证、相互补充，提高预报准确性。

5.2.5 超前地质预报应结合隧洞施工工艺和预报方法特点，确定预报距离和循环周期。

5.2.6 物探预报发现对施工安全存在影响的异常时，应采用超前钻探进一步验证及详查。

5.2.7 超前地质预报应保证预报成果的及时性，长距离预报成果报送不宜超过 24 小时，短距离预报成果报送不宜超过 12 小时，发现存在施工安全隐患异常时，应立即通知相关单位。

5.2.8 每次预报实施后应编制成果简报，可根据不同预报时段编制月报、年报及竣工报告。

5.2.9 超前地质预报的实施流程参照附录 B 执行。

5.3 预报现场工作

5.3.1 超前地质预报工作的地质点、物探剖面应使用施工测量控制网进行放点、收点，测量误差应符合施工精度要求。

5.3.2 仪器设备的检查和使用应符合 SL 326 的要求。

5.3.3 超前地质预报工作的实施应符合如下安全要求：

- a) 贯彻“安全第一、预防为主、综合治理”的方针，遵守隧洞施工方制定的安全规章制度；
- b) 预报作业安全防护设施、危险物品管理应符合 SL 398 的要求；
- c) 预报前应巡察操作空间周围有无安全隐患，确保人员的安全；
- d) 预报实施过程中应参照附录 C 隧洞内不良地质体临近前兆特征表，密切注意洞内情况，及时规避风险，杜绝危及人身伤害安全事故；
- e) 岩体中含有瓦斯、页岩气等易燃易爆气体，钻孔施工应采用水循环钻进，物探设备应采用防爆型；

- f) 隧洞内有害气体的最大允许浓度应满足 SL 629 的要求;
- g) 钻机使用高压风、高压水, 管路连接应安设牢固, 并经常检查;
- h) 采用超前钻探预报可能发生涌水突泥、有害气体突出洞段时, 应制定涌水突泥、有害气体扩散安全应急预案, 应安设孔口管和闸阀;
- i) 地震波法预报使用炸药、雷管应由取得公安部门签发的爆破作业、爆炸物品使用许可证件的人员领用, 并按照 GB 6722 要求进行操作。

6 预报方案设计

6.1 预报方案设计应根据隧洞工程地质、水文地质条件及在隧洞施工过程中可能遇到的地质灾害类型、规模、分布、危害程度, 按附录 A 的规定进行预报风险分级, 结合隧洞施工工艺、流程及预报方法的特点编制预报实施方案。

6.2 预报方案应遵循动态设计原则, 根据隧洞开挖实际情况, 及时调整超前地质预报风险分级、预报方法和技术要求, 并贯穿于整个施工过程。

6.3 预报风险等级为高、中风险的隧洞, 应按附录 D 的预报流程进行预报方案设计。

6.4 预报风险等级为低风险的隧洞, 应按附录 E 预报流程进行预报方案设计, 当施工揭露地质条件与设计差异较大, 存在施工安全风险时, 应及时调整预报风险等级和预报工艺流程。

6.5 预报方案设计应根据隧洞地质情况、地球物理条件、预报环境条件、掌子面前方可能发育的不良地质体情况、施工工艺等参照附录 F、附录 G 采用适宜的方法, 并鼓励采用新技术、新方法及综合预报方法。

6.6 预报方案设计应根据隧洞地质条件、施工进度、施工工艺和预报方法特点选择预报方法, 设计预报循环流程, 并符合下列规定:

- a) 长距离预报宜采用地震波法、地质调查分析法, 一次预报掌子面前方不少于 80 m 的范围, 相邻两次预报重叠洞段不小于 10 m, 并贯穿整个隧洞;
- b) 中距离预报宜采用瞬变电磁法、地质调查分析法, 一次预报掌子面前方不少于 50 m 的范围, 相邻两次预报重叠洞段不小于 10 m;
- c) 短距离预报宜采用探地雷达法、聚焦电流法、超前钻探法、红外探测法、地质调查分析法, 一次预报掌子面前方不少于 20 m 的范围, 相邻两次预报重叠洞段不小于 5 m。
- d) 钻爆掘进宜选用地质调查分析法、地震波法、瞬变电磁法、探地雷达法、红外探测法、超前钻孔法, 并进行长短预报结合和验证结合的循环预报方式;
- e) TBM 掘进宜选用地质调查分析法、地震波法、聚焦电流法、红外探测法, 并进行长短预报结合和验证结合的循环预报方式。

6.7 预报方案设计内容包括:

- a) 隧洞工程概况;
- b) 超前地质预报目的与任务;
- c) 隧洞工程地质特征、水文地质条件及可能存在的主要施工地质风险问题;
- d) 预报风险程度分级;
- e) 预报方法与技术、预报流程;
- f) 组织机构、人员配置、仪器设备;
- g) 进度计划、质量控制措施;
- h) 预报成果内容、成果提交方式;
- i) 预报安全专项方案。

6.8 预报方案应纳入工程建设项目管理。

7 预报方法

7.1 地质调查分析法

7.1.1 地质调查分析应贯穿于隧洞超前地质预报全过程，地质工作应符合 GB 50487 的规定。

7.1.2 地质调查分析法应利用已有隧洞勘测资料、地表地质调查资料、洞内地质调查资料进行宏观预报；利用隧洞掌子面地质素描、地下水观测、隧洞内不良地质体的临近前兆特征等进行短距离预报。

7.1.3 地质调查分析法预报内容应包括：

- a) 地层岩性：包括地层年代、结构、岩性、层间结合程度、风化程度及地层厚度；
- b) 地质构造：包括断层、褶皱、节理裂隙特征；
- c) 岩溶：包括岩溶分布、规模、形态及充填情况与隧洞的空间关系；
- d) 软弱夹层及煤系地层：包括软弱夹层及煤系地层性状、规模、分布及与隧洞的空间关系及有害气体调查；
- e) 坑洞及采空区：包括坑洞及采空区的分布、规模、富水情况、有害气体情况及其与隧洞的空间关系；
- f) 地表不良地质体：应记录不良地质体部位、类型、规模及其随时间的变化特征，并分析原因及其对隧洞开挖的影响。

7.1.4 地质调查分析法预报宜采用：

- a) 地层层序对比；
- b) 地表和洞内地层分界线及构造线相关性分析；
- c) 隧洞内不良地质体临近前兆分析；
- d) 地表及洞内水文地质观察和分析；
- e) 工程地质类比分析。

7.1.5 地表地质调查分析宜符合下列要求：

- a) 收集已有勘测成果资料；
- b) 根据需要进行及时补充地表地质调查和水文地质调查资料；
- c) 根据地层出露情况，分析地质构造、软弱夹层及煤系地层的分布；
- d) 根据地表洼地、落水洞、岩溶塌陷、井泉点等分布情况，分析岩溶发育程度，推测地下暗河系统规模、分布情况；
- e) 调查坑洞及采空区分布、规模、富水情况、有害气体情况及其与隧洞的空间关系。

7.1.6 洞内地质素描应符合下列要求：

- a) 对洞内揭露的地层岩性、地质构造、结构面产状、地下水出露点位置及出水状态、出水量、煤层、溶洞等进行记录，绘制图表和素描；
- b) 参照附录 H 对隧洞掌子面进行地质素描，参照附录 I 对拱顶、左右边墙进行地质素描，直观描述隧洞周边地层岩性及不良地质体的发育规模，分析评价对隧洞的影响程度；
- c) 参照附录 C 对洞内临近不良地质体现象进行观测记录，及时提出处置措施建议；
- d) 地质素描应随开挖及时进行，高风险、中风险洞段应每 5m 进行素描，其它洞段宜每 10m~20m 或地质条件发生变化时及时进行，地质素描应在初期支护之前进行。

7.1.7 地质调查应及时对资料进行整理，内容宜包括：

- a) 隧洞洞身地质剖面图及开挖地质展视图；
- b) 特殊地段纵、横断面图；
- c) 相关影像资料；
- d) 地质调查分析成果图表。

7.2 地震波法

7.2.1 地震波法可选择地震波反射法和地震反射层析成像法。

7.2.2 地震波法适用于划分地层界线、查找地质构造、探测不良地质体在掌子面前方的分布。

7.2.3 地震波法预报应满足下列要求：

- a) 探测对象与相邻介质应存在较明显的波阻抗差异，具有足以被探测的规模；
- b) 构造走向与隧洞轴线的夹角不宜小于 30° ；
- c) 噪音监控显示的噪音小于 36 db。

7.2.4 地震波法仪器性能指标应符合下列要求：

- a) 应具有触发信号同步、信号放大、增益调整、噪声监测、滤波等功能的数字化地震波接收设备；
- b) 接收道数二维反射不应少于 6 道，三维反射不应少于 12 道；
- c) 最小采样间隔不应大于 0.05 ms；
- d) 记录长度可选，每道最少样点数不应少于 1024 点；
- e) A/D 转换不应低 24 bit；
- f) 放大器动态范围不应小于 96 dB；
- g) 频率响范围宜为 2 Hz~2000 Hz；
- h) 当采用锤击作为震源时，仪器应具有数据叠加功能。

7.2.5 传感器性能指标应符合下列要求：

- a) 频率响应范围不窄于 0.5 Hz~5000 Hz；
- b) 加速度传感器灵敏度不应低于 0.5 V/g，速度传感器灵敏度不应低于 0.5 V/cm/s。

7.2.6 预报距离应符合下列规定：

- a) 岩体完整、岩质较硬洞段采用炸药作为震源时，预报距离宜每 120 m 预报 1 次，采用锤击作为震源时，宜每 80 m 预报 1 次；
- b) 岩体破碎、岩质较软洞段采用炸药作为震源时，预报距离宜每 80 m 预报 1 次，用锤击作为震源时，宜每 60 m 预报 1 次。

7.2.7 地震反射波法现场工作应符合下列规定：

- a) 地震反射法预报观测系统参照附录 J 布置，系统位于施工掌子面后方约 60 m 的范围，炮孔应布置在构造走向与隧洞轴线呈锐角一侧；
- b) 宜采用单壁多孔（点）激发，双壁 3 分量纵横波接收观测方式，激发孔（点）数不少于 24 个，接收孔和炮孔应在同一平面上；
- c) 应根据设计的观测系统，对接收孔和炮孔位置放点，并进行编号标识；
- d) 炮孔、接收孔孔斜水平方向偏差不宜大于 1° 、垂直方向偏差不宜大于 5° ，水平位置偏差不宜大于 5 cm；
- e) 在进行数据采集前，应测量炮孔及接收孔的位置、孔斜；
- f) 接收器与围岩应紧密接触，深度偏差不宜大于 1 cm；
- g) 三分量检波器探头的 X、Y、Z 方向应与设计方向一致；
- h) 采用炸药作为震源时，数据采集前应准确测量炸药的入孔深度，深度偏差不宜大于 5 cm；采用锤击作为震源时，锤击位置偏差不宜大于 10 cm；
- i) 隧洞已做初期支护，采用锤击作为震源时，锤击点后面应无空腔。

7.2.8 地震反射层析成像法现场工作应符合下列规定：

- a) 地震层析成像法观测系统参照附录 K 布置；
- b) 应根据设计的观测系统，进行接收点和激发点位置测量放点，并进行编号标识；
- c) 锤击点应选在裂隙少、岩体完整、稳定的位置，锤击点位置偏差不宜大于 10 cm；

- d) 隧洞已做初期支护，锤击点后面应无空腔；
- e) 接收点应按设计的观测系统进行钻孔安装或使用石膏粘贴安装，位置偏差不宜大于 10 cm；
- f) 单分量检波器极性应指向隧洞开挖方向，三分量检波器极性应为隧洞开挖、水平和垂直方向；
- g) 应以最外层检波点所在位置构成的圆弧断面为起点建立坐标系，测量观测系统布置范围内掌子面里程、击发点与接收点的坐标。

7.2.9 地震波法数据采集工作应符合下列规定：

- a) 数据采集应尽量消除噪声干扰，噪音监控显示的噪音宜小于 36 dB 时进行数据采集；
- b) 药量大小应通过试验确定，防止药量过大或过小；
- c) 装药包安置在炮孔底部，并用水封住炮孔；
- d) 采集数据时，应先检测无线计时精度，延迟误差不应大于 $\pm 25 \mu s$ ；
- e) 采集系统采用爆炸激发时，使用瞬发电雷管触发延迟时间不应大于 $50 \mu s$ ；
- f) 应现场检查每个激发点记录质量是否合格，记录不合格时，应查明原因，重新采集；
- g) 每次激发时，应核对激发点编号、准确填写班报。

7.2.10 地震波法数据采集质量评价应符合下列要求：

- a) 单炮记录缺失任何一个接收器的任何一个分量的信号或信号不正确，该炮记录为不合格；
- b) 全部单炮记录合格率低于 80% 或合格率虽然大于 80%，但出现连续 2 炮及以上记录不合格或空炮，本次预报数据质量不合格；
- c) 观测系统不满足相应设备有关对观测系统的要求，本次预报数据质量不合格；
- d) 班报记录混乱，采集文件记录序号与炮孔号对应关系不清的，本次预报数据质量不合格。

7.2.11 数据处理宜满足下列要求：

- a) 宜采用仪器配套的处理软件进行分析，处理；
- b) 应根据现场测量数据建立二维或三维的几何模型；
- c) 应对信号进行频谱分析，确定优势频率范围，选择合适的带通滤波参数，滤除干扰；
- d) 应进行地震反射波初至拾取，获取直达波的波速，建立波速模型；
- e) 应进行反射层提取，进行反演计算。

7.2.12 地震反射波法资料解释应符合下列规定：

- a) 对反射地震剖面或三维图应从隧洞已揭露的洞段确定岩性；
- b) 将岩性相似的反射层进行汇总、分别着色和确定边界；
- c) 计算每层或边界的相对距离、里程；
- d) 应根据各反射层绝对波速和波速相对变化确定软弱夹层、断层破碎带、节理密集带的位置和规模；
- e) 应结合隧洞勘察、掌子面附近的地质资料进行解释和推断；
- f) 可结合岩体泊松比等力学参数和围岩软硬、含水情况、构造影响程度、节理裂隙发育情况等资料对围岩级别进行初步评估。

7.2.13 地震反射层析成像法资料解释应符合下列规定：

- a) 应从隧洞已揭露的洞段确定岩性；
- b) 应根据各反射层绝对波速和波速相对变化确定软弱夹层、评估岩体质量，并对围岩级别进行初步评估；
- c) 根据三维成像成果图，确定掌子面前方软弱夹层、断层破碎带、节理密集带的位置和规模；
- d) 应结合隧洞勘察、掌子面附近的地质资料进行解释和推断；
- e) 应根据波速、三维成像结果图进行综合分析，编写隧洞预报综合解释成果图表。

7.2.14 应编制预报成果简报，简报宜包括观测系统布置、采集参数、设备型号、现场地质条件、物探成果地质解译及相关图件。

7.2.15 成果图件除应包括观测系统布置图,成果资料解释图外,地震反射波法还宜包括岩体物理力学参数曲线图;地震层析成像法还宜包括三维成像立体图。

7.3 探地雷达法

7.3.1 探地雷达法适用于岩溶探测,亦可探测断层破碎带、软弱夹层等不均匀地质体或其他含水体探测。

7.3.2 探地雷达法预报应满足下列要求:

- a) 探测目的体与周边介质之间应存在明显介电常数差异,电磁波反射信号特征明显;
- b) 探测目的体与埋深相比应具有一定规模,埋深不宜过深,探测目的体在探测天线偶极子轴线方向上的厚度应大于所用电磁波在周边介质中有效波长的 $1/4$,在探测天线偶极子排列方向的长度应大于所用电磁波在周边介质中第一菲涅尔带直径的 $1/4$;当要区分两个相邻的水平探测目的体时,其最小水平距离应大于第一菲涅尔带直径;
- c) 不能探测极高电导屏蔽层下的目的体。

7.3.3 探地雷达仪器的性能和技术指标应满足下列规定:

- a) 应具有信号叠加、滤波、点测与连测、手动与自动位置标记等功能;
- b) 脉冲重复频率不应小于 100 kHz ;
- c) A/D 转换不应低于 16 位;
- d) 最小采样间隔不应大于 0.05 ns ;
- e) 动态范围不宜小于 120 dB ;
- f) 应具有自动和手动增益调节功能,增益点数不应少于 3 个;
- g) 具有 32 次以上信号叠加功能;
- h) 应具有垂向滤波功能。

7.3.4 雷达天线性能和技术指标应满足下列规定:

- a) 天线中心频率允许偏差不宜大于 5% ;
- b) 天线频带范围不应小于中心频率的 $1/4\sim 2$ 倍。

7.3.5 预报距离应符合下列要求:

- a) 预报距离与天线中心频率有关,预报距离应根据所用的天线频率进行有效距离预报试验确定;
- b) 天线中心频率不大于 100 MHz 时,岩体完整的低电导率和低磁导率的洞段宜每 30 m 预报 1 次;岩体破碎、构造发育、含水较高的高电导率和高磁导率的洞段宜每 20 m 预报 1 次。

7.3.6 现场工作应符合下列规定:

- a) 宜沿左壁、掌子面、右壁离底板 1 m 高度位置布置“U”形测线进行初探;
- b) 隧洞断面较大或初探掌子面前方存在异常时,应增加掌子面上的测线,测线采用“井”字型布置;
- c) 左壁、右壁及顶拱雷达测试不宜在隧洞进行工字钢或钢筋网片支护后进行;
- d) 支撑天线的器材应选用绝缘材料;
- e) 天线与主机的连接电缆应散开,测试过程中应保持连接电缆与天线的位置相对固定;
- f) 测区内不应有大范围的金属构件或无线电发射源等较强的电磁波干扰;现场测试时应清除或避开测线附近的金属物等电磁干扰物;当不能清除或避开时应在记录中注明,并标出位置。

7.3.7 现场数据采集应符合下列规定:

- a) 工作前应检查雷达仪器工作是否正常;
- b) 应根据探测深度、天线中心频率和现场地质条件选择合适的数据采集参数;
- c) 采样点数不应小于 512,叠加次数不宜小于 8 次。

7.3.8 雷达预报数据采集质量评价应符合下列要求:

- a) 测线编号、电子文件编号、测量桩号等班报等主要内容出现错误为数据质量不合格；
- b) 天线参数、采样率、增益、记录长度、滤波参数等主要参数设置错误为数据质量不合格；
- c) 信噪比低，干扰波严重影响预报成果解释的为数据质量不合格；
- d) 重复观测雷达图像异常位置、范围、特征不对应。

7.3.9 数据处理应符合下列要求：

- a) 根据需要删除无用道、归一化、增益调整、滤波、反褶积、偏移归位等处理方法去除干扰波；
- b) 雷达数据中出现全正、全负或正负半周不对称的情况时，应进行去除直流漂移处理；
- c) 应通过现场试验厘定电磁波速度，将时间剖面转换为深度剖面；
- d) 应采用合适的增益雷达图像形式绘制雷达成果图。

7.3.10 资料解释应符合下列要求：

- a) 应结合隧洞勘察资料及掌子面附近的地质情况进行解释和推断；
- b) 应根据现场记录及波形、能量强度、频率、多次反射波的特征识别干扰波；
- c) 应依据雷达成果图像上的反射波、能量强度、反射波初始相位、反射界面延续性等特征，结合现场地质来进行资料解释；
- d) 常见典型地质体及探地雷达波形图像特征可参照表 1。

表1 典型地质体及探地雷达波形图像特征关系表

地质体 名称	波形图像特征				
	能量分布	变化	同相轴	形态	振幅强度
完整岩体	均匀	按一定规律缓慢衰减，自动增益梯度小	连续	均一，无杂乱反射	低幅且均匀
断层破碎带	不均匀	高频成分衰减快，规律性差，自动增益梯度大	同相轴错断	波形杂乱	高幅且变化大
岩溶洞穴	不均匀	衰减较快，规律性差自动增益梯度大	不连续	呈双曲线	高幅低频
裂隙密集带	不均匀	衰减较快，规律性差	时断时续	杂乱	高幅
富水带	不均匀	快速衰减，自动增益梯度大	连续性较好	基本均一	高幅，高频向低频剧烈变化
岩性变化带	不均匀	规律性差	不连续	杂乱	一般为高幅

7.3.11 应编制预报成果简报，内容宜包括：现场地质条件、采集参数、雷达成果地质解译相关成果图。

7.3.12 成果图件宜包括测线布置图、雷达测试成果图、雷达测试成果解译图。

7.4 瞬变电磁法

7.4.1 瞬变电磁法适用于探测含水地质构造、地下水体等不良地质异常在隧洞轴线方向上的位置和规模。

7.4.2 瞬变电磁法预报应满足下列要求：

- a) 探测对象与相邻介质应存在较明显的电磁感应差异，并具有足以被探测的规模；
- b) 不能探测极高电导屏蔽层下的目的体。

7.4.3 瞬变电磁仪发射部分主要技术参数应符合下列要求：

- a) 应具有过压和过流保护功能；
- b) 最大发射电流不低于 10 A；
- c) 最小关断时间不应大于 0.5 μs；

- d) 发射线圈最大边长不应大于 2 m。
- 7.4.4 瞬变电磁仪接收部分主要技术参数应符合下列要求：
 - a) 测试道数不应少于 12 道；
 - b) 通道灵敏度不应大于 0.5 mV；
 - c) 具有数据叠加功能；
 - d) 带宽不应窄于 10 Hz~7.5 kHz；
 - e) 最大时窗不应小于 160 ms；
 - f) 增益范围宜为 0 dB~140 dB；
 - g) 本底噪声应小于 1 μ V；
 - h) 工频干扰抑制宜大于 60 dB。
- 7.4.5 采用线框接收时应采用重叠回线装置，采用磁探头接收时应采用中心回线装置。
- 7.4.6 预报距离应符合下列要求：
 - a) 岩体完整、岩质较硬、导电性和导磁性较低的洞段宜每 80 m 预报 1 次；
 - b) 岩体破碎、含水率高、导电性和导磁性较高的洞段宜每 60 m 预报 1 次。
- 7.4.7 现场工作应符合下列规定：
 - a) 测区内不应有大范围的金属构件或无线电发射源等较强的电磁波干扰，现场测试时应清除或避开测线附近的金属物等电磁干扰物，当不能清除或避开时应在记录中注明，并标出位置；
 - b) 隧洞洞径较小时，宜以掌子面为中心点布置一组水平和垂直的扇形扫描测线，隧洞洞径较大时，宜布置相距一定间距的多组水平和垂直的扇形扫描测线；
 - c) 工作前应对发射线圈、发射机的高压连接点绝缘情况进行检查。
- 7.4.8 瞬变电磁法数据采集工作应符合下列规定：
 - a) 仪器参数设置应与预报距离、线框参数等条件相适应；
 - b) 水平测线宜以线框的法线方向与隧道左壁垂直为起点（0°），顺时针方向每 15° 布置一个测点，当线框的法线方向与隧道开挖方向一致后（90°），每隔 1m 布置一个测点，依次进行扇形扫描，直至线框的法线方向与隧道右壁垂直（180°）。铅垂测线宜以线框的法线方向与隧道开挖方向呈 45° 为起点，每隔 15° 布置一个测点，直至线框的法线方向与隧道开挖方向呈 135°；
 - c) 使用磁探头时，其方向应与发射线框的法线方向一致；
 - d) 进行每种倾角状态测试前，应安装好线框的倾角姿态，直到该倾角姿态测试完成前不应中途变动；
 - e) 异常点应进行重复观测，重复观测曲线形态特征相近。
- 7.4.9 预报记录存在下列情况之一者应为不合格：
 - a) 测点、测线编号与电子文件编号、测量桩号等班报主要内容出现错误；
 - b) 仪器主要参数设置错误所测试的记录；
 - c) 信噪比低，干扰波严重影响预报成果解释；
 - d) 重复观测曲线形态特征不一致。
- 7.4.10 数据处理应符合下列要求：
 - a) 应先对每个测点测试的各测道数据曲线进行跳点平滑预处理；
 - b) 应分别生成各测线的不同装置倾角姿态下的剖面测深曲线图，反演出每条测线的视电阻率—时间剖面图；
 - c) 应根据试验或开挖验证所率定的时间与深度关系函数，将视电阻率—时间图转换成视电阻率—深度图。
- 7.4.11 资料解释应符合下列要求：

- a) 应根据试验或开挖验证所得到的异常幅值与背景值来划分异常范围;
- b) 单一或“十字”形测线布置时, 应进行各角度及多测线的相关解释, 确定异常的范围和走向;
- c) 多组测线测量时, 进行各角度三维相关解释, 确定异常的范围和走向;
- d) 应结合地质勘探、地质调查和其它预报成果解释异常的性质。

7.4.12 应编制预报成果简报, 简报宜包括线框布置、采集参数、设备型号、现场地质条件、物探成果地质解译及相关图件。

7.4.13 成果图件宜包括观测系统布置图、视电阻率剖面图、成果解释图。

7.5 聚焦电流法

7.5.1 聚焦电流法适用于探测地层中存在的地下水体位置及相对含水量大小, 如富水断层破碎带、充水溶洞、富水裂隙、地下暗河等。

7.5.2 聚焦电流法预报应满足下列要求:

- a) 探测对象与相邻介质应存在较明显的电阻率差异, 并具有足以被探测的规模;
- b) 不能探测极高电导屏蔽层下的目的体。

7.5.3 聚焦电流法仪器主要功能和技术指标应符合下列要求:

- a) 应具有测量一次场电位和电流、二次场电位和衰减时间的功能;
- b) 应具备测量信息实时存贮、监测和自动报警功能;
- c) 应有与发射机、电极转换控制器相配套的控制管理功能;
- d) 采样频率不应小于 1000 Hz;
- e) A/D 转换不应低于 16 位;
- f) 测量电流分辨率不应低于 0.01 mA;
- g) 测量电压分辨率不应低于 0.01 mV;
- h) 极化率测量允许偏差应为 $\pm 0.1\%$;
- i) 输入阻抗不应小于 200 M Ω ;
- j) 工频陷波增益应大于 120 dB;
- k) 工作温度范围应为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- l) 最大工作湿度不应低于 150%。

7.5.4 恒流发射控制器和电极转换控制器主要功能和技术指标应符合下列要求:

- a) 恒流发射控制器输出电路不应少于 4 道;
- b) 每路输出最小电流不应小于 200 mA;
- c) 各路发射电流均方相对误差不应大于 5%;
- d) 各路发射电流控制时间均方相对误差不应大于 5%;
- e) 电极转换控制器输入道不应少于 60 道。

7.5.5 预报距离应符合下列规定:

- a) 预报距离与掌子面尺寸存在一定关系, 一般是掌子面尺寸的 3 倍, 但不宜超过 30 m;
- b) 钻爆法施工预报时, 相邻两次预报洞段宜重叠 5 m;
- c) 搭载在 TBM 上的预报系统应进行实时预报。

7.5.6 测量装置应选择二极装置, 电极布置应符合下列要求:

- a) 预报距离小于 10 m 时, A 极应以单圈 4 电极恒流供电方式均匀布置在掌子面周, 测量点应在掌子面呈网状布置;
- b) 预报距离大于 10 m 时, A 极应以多圈多电极恒流供电方式均匀布置在掌子面, 测量点应在掌子面呈网状布置;

- c) TBM 掘进时, 应将多个恒流供电电极均匀搭载在 TBM 的护盾上, 各电极应进行电流屏蔽, 测量电极应采用伸缩阵列方式布置在刀盘上。

7.5.7 现场工作应符合下列规定:

- a) 电极布置前, 应清理隧洞掌子面、拱顶及边墙危石;
- b) 金属施工机械应远离 A 极和 M 极布置的洞段;
- c) 供电电极 A 的布置应根据预报要求合理选择电极数量、聚焦环数量和位置;
- d) 供电电极宜采用直径较大、具有一定长度的铜棒, 测量电极应使用不极化电极;
- e) 电极位置的允许偏差不宜大于 50 mm;
- f) 供电电极和测量电极宜采用钻孔安装, 钻孔布置和尺寸参照附录 L 进行;
- g) TBM 搭载电极应符合 TBM 和预报设备安装手册的规定;
- h) 无穷远供电电极 B 应布设在隧洞后方距离掌子面距离大于预报距离 4 倍的位置;
- i) 测量电极 N 应布设在隧洞后方距离掌子面距离不小于 100 m 的位置;
- j) 测量电极接地电阻不宜大于 10 K Ω , 电极极差不大于 2 mV;
- k) 掌子面应平整, 且下方不宜有大量积水。

7.5.8 数据采集应符合下列规定:

- a) 数据采集前应按 SL 326 电法勘探的要求进行检查漏电检查;
- b) 数据采集过程中, 应保持现场无人工电流或电磁干扰;
- c) 数据采集时, 供电和测量电极应采用吸水性良好的布套包裹, 并浸泡高浓度导电液;
- d) 应根据任务要求选择仪器的电阻率、激电或两者同时测量的工作方式;
- e) 应根据观测系统要求进行单个或多个供电电极距方式下的测量;
- f) 可针对异常点测试供电电流强度与半衰时关系的曲线;
- g) 搭载 TBM 测试时, 应记录每次刀盘上电极的位置;
- h) 测试过程中应按 SL 326 电法勘探的要求进行观测、重复观测、检查观测。

7.5.9 质量评价应符合下列要求:

- a) 采用的观测系统不符合本规程 7.5.6 要求为质量不合格;
- b) 测量电极极差、接地电阻不满足本规程 7.5.7 要求为质量不合格;
- c) 无漏电检查或漏电检查不符合本规程 7.5.8 的要求为质量不合格;
- d) 纸质记录与电子记录不对应为数据质量不合格;
- e) 重复观测、检查观测不满足本规程 7.5.8 的要求质量不合格。

7.5.10 数据处理应符合下列规定:

- a) 应使用预报系统设备相应的处理软件整理每个测点对应极距的视电阻、激化率、半衰时等参数;
- b) 应根据观测系统布置绘制相应的视电阻率、激化率、半衰时图像;
- c) 应根据背景值圈定异常范围。

7.5.11 资料解释应符合下列规定:

- a) 应结合地质调查资料、其它预报成果和现场地质情况进行解释;
- b) 高电阻率、低激化率、短半衰时异常应为电阻率高、含水率低的完整岩体或空洞;
- c) 低电阻率、高激化率、长半衰时异常应为电阻率低、含水率高的破碎岩体或充水构造和洞穴;
- d) 异常点半衰时随供电电流增大明显时, 可判断存在流动水; 异常点半衰时随供电电流增大不明显时, 可判断存在密封水;
- e) 应根据异常的分布情况绘制预报地质成果图。

7.5.12 应编制探测成果简报, 简报宜包括观测系统布置位置、采集参数、设备型号、现场地质条件、物探成果地质解译及相关图件。

7.5.13 成果图件宜包括观测系统布置图、视电阻率等值线图、成果解释图等。

7.6 红外探测法

7.6.1 在隧洞可能的含水区段，可使用红外线探测仪在隧洞内进行探测，作为分析地下水类型及赋存状态的一种辅助手段。

7.6.2 红外探测法适用于定性判断开挖断面前方及成洞洞段外侧一定范围内有无水体存在，但无法定量给出水量大小等参数。

7.6.3 红外探测法预报距离小于 20 m。

7.6.4 红外探测法预报宜连续进行，预报重叠区段不少于 5 m。

7.6.5 测点布置应根据掘进掌子面的大小将掘进掌子面划分为若干个区域，每个区域设定 1 个测点。沿已开挖隧洞边墙分别在拱顶、两侧边墙上各布置一条测线，从掌子面开始，向已开挖方向每间隔 1 至 5 m 设置一个测点，测点数不少于 12 个。

7.6.6 红外探测法地质预报应编制探测报告，内容宜包括：探测工作概况、地质解译结果、开挖工作面探测数据图、左右边墙、左右拱腰及拱顶等测线的探测曲线图等。红外探测野外工作数据以表格形式表示，其格式参见附录 M。

7.7 超前地质钻探

7.7.1 超前地质钻探适用于各种地质条件下隧洞的超前地质预报，应在富水断层破碎带、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采用。

7.7.2 超前钻探前，应先进行地质分析和物探预报，明确钻探目的和任务，设计超前钻探方案。

7.7.3 取芯地质钻、冲击钻、加深炮孔预报距离应符合下列规定：

- a) 取芯地质钻、冲击钻每次预报孔深宜为 30 m~80 m，相邻两次预报重叠洞段不宜小于 5 m；
- b) TBM 上搭配的潜孔锤式凿岩钻每次预报孔深宜为 20 m~30 m，相邻两次预报重叠洞段不宜小于 5 m；
- c) 加深炮孔宜较爆破孔深 3 m~6 m；
- d) 当遇涌水突泥、岩溶、断层破碎带时，钻孔应适当加深。

7.7.4 超前钻孔布置应符合下列规定：

- a) 一般性超前水平钻孔应根据掌子面前方的地质情况布置，钻进方向指向隧洞掘进方向，终孔位置应位于隧洞开挖轮廓线内；
- b) TBM 上搭配的潜孔锤式凿岩钻孔位宜根据钻机设计位置、钻孔夹角确定孔位和孔深度；
- c) 涌水突泥等灾害高概率洞段应针对物探异常布置钻孔验证，钻孔数量、位置、深度以满足探明前方地质情况为原则；
- d) 高瓦斯等有毒有害气体地层，应在距初探煤层位置不小于 10 m 的掌子面打 3 个超前钻孔，分别探测掌子面前方及左右部位煤层位置；
- e) 除加深炮孔外，超前钻孔孔径不宜小于 75 mm；
- f) 加深炮孔应根据其它预报成果资料和开挖断面大小确定孔数，每循环宜为 3~8 个孔。

7.7.5 现场工作应符合下列规定：

- a) 钻机机座应锚定，在钻进过程中不应使机座产生移动；
- b) 对可能存在涌水、突泥突气的超前钻孔应安装孔口管，孔口管安装应牢固，并安设高压闸阀；
- c) 为使钻进方向与设计一致，应配导向装置，提高钻孔的精确度；
- d) 对于水平长度较长的超前孔，应综合隧洞围岩岩性、隧洞坡度和转向、钻杆特性、钻具下沉量等参数，设计孔位、方位角和倾角；
- e) 钻进过程中应记录返水情况、钻进压力、钻进速度、冲洗液颜色或外排岩粉颜色变化情况；
- f) 钻孔内有承压水时，应进行流量和压力测试或估算；

- g) 瓦斯地层钻孔时，应在孔口进行有害气体监测；
- h) 钻孔遇到溶洞等空腔时，应进行全景数字成像或采用其他物探方法测定空腔规模；
- i) 应做好班报记录，及时进行岩芯地质编录；
- j) 参照本文件附录 N 绘制钻孔柱状图。

7.7.6 超前地质钻探数据整理应满足下列要求：

- a) 应对钻探班报、岩芯编录或钻孔地质记录、钻孔观测试验等原始资料进行整理、计算；
- b) 钻孔电视或全景成像孔应绘制孔壁展示图，对孔壁地层、结构、裂隙、岩溶等地质现象进行描述、统计；
- c) 同一掌子面的多个钻孔资料应进行对比分析，绘制综合预报成果图。

7.7.7 超前地质钻探预报应编制预报成果简报，内容包括工作概况、钻孔布置图、钻孔柱状图，异常剖面图，岩芯照片、掌子面地质素描图等。

8 不良地质体预报

8.1 软弱夹层及煤系地层预报

8.1.1 软弱夹层及煤系地层预报内容包括软弱夹层及煤系地层分布位置、厚度、产状并分析其含瓦斯情况。

8.1.2 煤层瓦斯气体的监测、预报应由具有资质的单位制定专项预报方案后实施。

8.1.3 软弱夹层及煤系地层预报以地质调查分析法、钻探法、地震波法、探地雷达法为主，其他方法为辅。

8.1.4 软弱夹层及煤系地层预报应以地质分析为基础，采用多种预报手段相结合，长、短距离预报相结合的预报方式进行综合预报。

8.1.5 软弱夹层及煤系地层预报工作应满足下列要求：

- a) 地质调查分析法应依据工程勘测及实地调查资料分析软弱夹层及煤系地层沿隧洞线的分布、煤层的开采及含瓦斯情况，并依据产状通过作图法确定软弱夹层及煤系地层与隧洞的交汇位置，在隧洞施工掌子面接近瓦斯地层洞段时，应参照附录 C 进行瓦斯气体突出临近前兆观察；
- b) 物探预报应根据方法的技术特点、适用的地质条件，选择合适的方法，布置针对性的测线或观测系统进行预报；
- c) 地震反射波法预报软弱夹层或煤系地层，其走向与隧洞轴线夹角不宜小于 30° ，对夹角小于 30° 的软弱夹层及煤系地层，宜采用探地雷达在隧洞边墙进行探测，通过边墙软弱夹层或煤层的走向，采用延伸作图法推测软弱夹层或煤系地层与隧洞交汇的位置；
- d) 超前地质钻探应依据岩芯、钻进速度变化、压力变化、冲洗液或岩粉颜色等情况判断是否发育软弱夹层及煤系地层；
- e) 高瓦斯煤系地层，应在距离煤系地层不少于 10 m 前进行超前地质钻探，监测瓦斯气体浓度，并制定专项揭煤方案批准后实施；

8.1.6 软弱夹层及煤系地层物探预报资料的解释应符合下列要求：

- a) 物探预报应依据不同预报方法参数的变化情况来识别预报洞段是否存在软弱夹层及煤层地层；
- b) 地震波法可根据地震波速度、相位、杨氏弹性模量变化来识别软弱夹层及煤系地层；
- c) 地震层析成像法应根据三维成果图中高低波速区域是否呈层状出现来判断是否存在软弱夹层及煤系地层；
- d) 探地雷达法应依据反射波能量大小、相位特征、衰减速度、振幅强弱判断预报洞段是否存在软弱夹层及煤系地层；

- e) 瞬变电磁法、聚焦电流法可依据低阻异常值与背景值的差异大小判断预报洞段是否存在软弱夹层及煤系地层。

8.2 断层破碎带预报

8.2.1 预报内容包括断层在隧洞内的分布位置、性质、走向、破碎带宽度及富水情况，分析其对隧洞施工的危害程度。

8.2.2 断层破碎带预报以地质调查分析法、钻探法、地震波法、瞬变电磁法为主，其他方法为辅。

8.2.3 以地质分析法为基础，以长、中距离预报为主，辅以短距离预报相结合的多种预报手段，并根据物探预报结果，采用地质钻探进行验证及详查。

8.2.4 预报工作应满足下列要求：

- a) 地表地质调查分析应调查隧洞沿线断层空间分布、性质及其与隧洞轴线的空间关系，分析断层破碎带的影响范围、物质组成、富水情况等，初步判断发生涌水突泥的可能性；
- b) 洞内地质调查分析应根据开挖洞段岩体完整情况及明显特征点来推测断层位置，根据邻近断层洞段岩体的破碎程度、物质组成、富水情况推测断层破碎带对施工危害程度；
- c) 物探预报应根据方法的技术特点、适用的地质条件，选择合适的方法，布置针对性的观测系统进行预报；
- d) 物探方法预报断层破碎带，除要求断层破碎带具有一定规模外，还要求断层破碎带的物质组成与围岩存在明显的物性参数差异；
- e) 地震反射波法预报断层，断层走向与隧洞轴线夹角不宜小于 30° ，对夹角小于 30° 的断层，宜采用探地雷达在隧洞边墙上进行探测，通过边墙上断层的走向，采用延伸作图法来推测断层与隧洞交汇的位置；
- f) 断层破碎带洞段，地震反射法预报应适当增加相邻两次预报的重叠长度，重叠长度不宜小于 20 m；
- g) 应根据物探预报成果初步判断断层破碎带分布、规模、富水程度。

8.2.5 预报资料解释原则应符合下列要求：

- a) 地震反射法应根据地震波反射图像特征、空间分布情况识别断层破碎带的产状；根据岩体纵波波速、密度及杨氏模量的变化初步判断断层破碎带宽度及破碎程度；根据横波速度、泊松比、纵横波波速比以及反射层相位变化特征定性判断破碎带富水情况；
- b) 地震波层析成像法应根据三维成果图波速变化特征判断是否发育断层及断层破碎带性状；
- c) 探地雷达应依据反射波特点，即同相轴连续性、反射面走向来识别断层，判断断层的走向；可依据反射能量大小、反射波相位特征、反射波衰减速度、反射波振幅强弱定性判断断层破碎带富水情况；
- d) 瞬变电磁法、聚焦电流法应将电阻率数据进行反演，根据反演成果图显示的异常图像特征识别断层破碎带，可依据低阻异常值与背景值的差异大小初步判断断层破碎带富水程度；
- e) 超前地质钻探可依据岩芯、钻进速度变化、压力变化、冲洗液或岩粉颜色等情况判断是否发育断层破碎带，破碎带规模、物质组成。

8.3 岩溶预报

8.3.1 预报内容包括岩溶与隧洞的空间位置关系、规模、充填及富水情况，分析其对隧洞施工的危害程度。

8.3.2 预报方法宜采用探地雷达法、瞬变电磁、聚焦电流法和超前地质钻探为主，其他方法为辅。

8.3.3 基于岩溶发育的复杂性、隐蔽性、不确定性，对岩溶的预报应以地质分析法为基础，采用地面调查分析与洞内预报、长距离预报和短距离预报相结合的预报方式进行综合预报，并对物探预报结果进行钻探验证及详查。

8.3.4 预报工作应满足下列要求：

- a) 地质调查分析法应调查可溶岩与非可溶岩地层的分布与接触关系，地表洼地、落水洞、溶洞等与地下水补给有关的地质现象发育分布情况及汇水面积，分析与岩溶相关的地下水补给、径流、排泄情况，初步判断发生涌水突泥的可能性；
- b) 物探预报应根据方法的技术特点、适用的地质条件，选择合适的方法，布置针对性的测线及观测系统进行预报；
- c) 应根据物探预报成果来初步判断岩溶空间分布位置、规模、富水情况、对施工的危害程度；
- d) 岩溶发育洞段，应适当增加相邻两次预报的重叠长度。

8.3.5 资料解释应符合下列要求：

- a) 物探方法应根据不同预报方法参数的变化情况来推断预报洞段岩溶位置、规模、充填及富水情况；
- b) 地震波反射法可依据反射波是否呈现不规则、多点强反射的特点来识别是否发育岩溶，同时还可根据反射波相位特征、横波反射幅度强弱、纵横波速比值和泊松比的变化情况分析岩溶的充填情况；
- c) 地震波层析成像法可根据三维成果图中低速异常带的速度值，边界形状等来判断是否发育岩溶；
- d) 探地雷达可依据反射波同相轴特征、能量大小、相位特征、衰减速度、振幅强弱来识别是否发育岩溶及岩溶的充填情况；
- e) 瞬变电磁、聚焦电流法可低阻或高阻异常图像特征，辅以其他物性参数来识别是否发育岩溶及岩溶的充填情况；
- f) 超前地质钻探应依据钻进速度的变化、压力的变化、冲洗液或岩粉颜色以及在钻探过程中遇到的其他情况来判断是否发育岩溶及岩溶的充填情况。

8.4 老硐及采空区预报

8.4.1 预报内容包括老硐及采空区在隧洞内的分布位置、规模、充填及富水情况，分析其对隧洞施工危害程度。

8.4.2 预报应以地质调查分析法、钻探法、探地雷达法、瞬变电磁法和聚焦电流法预报为主，其他方法为辅。

8.4.3 预报应以地质调查分析为基础，采用多种物探方法相结合进行综合预报，并对物探预报结果进行超前地质钻探进行验证及详查。

8.4.4 预报工作应满足下列要求：

- a) 应充分收集隧洞工程区域的地质勘查、矿产勘查、采矿权范围、开采设计、开采进度报告、闭矿报告等资料，结合实地调查绘制老硐采空区已知分布位置及预测分布范围图，确定老硐及采空区与隧洞的空间关系，必要时采用地表物探、钻探划分采空区的范围；
- b) 应采用地质分析法，利用地层层序、地层厚度、标志层和岩层产状等，通过作图分析推测老硐及采空区在隧洞的位置；
- c) 在隧洞施工掌子面接近老硐及采空区洞段附近时，应参照本文件附录 C 观测洞内不良地质体临近前兆特征，预防老硐采空区涌水突泥及有害气体突出等灾害性事故的发生；
- d) 应根据物探方法的技术特点、适用的地质条件，选择合适的方法，布置针对性的测线及观测系统进行预报；

- e) 煤系地层中的老硐采空区预报,应符合煤系地层的预报要求;
- f) 物探预报的老硐采空区,应布置超前地质钻孔进行验证及详查。

8.4.5 资料解释应符合下列要求:

- a) 物探预报应依据不同方法参数的变化情况来判断识别预报洞段是否存在采空区及采空区的充填情况;
- b) 瞬变电磁法、聚焦电流法预报老硐采空区可依据低阻异常值与背景值的差异大小来判断是否存在采空区及采空区的充填情况;
- c) 探地雷达法预报老硐采空区可依据反射能量的大小、反射波的相位特征、反射波的衰减速度、反射波振幅的强弱来识别是否存在采空区及采空区的充填情况。

8.5 涌水突泥预报

8.5.1 预报内容包括对断层破碎带、储水构造、储水空间、岩溶暗河系统等的分布、规模、富水程度进行预报,并分析对隧洞施工的危害程度。

8.5.2 预报方法应以地质调查分析法、钻探法、瞬变电磁法、聚焦电流法、探地雷达法为主,其他方法为辅。

8.5.3 预报应以地质分析为基础,采用多种物探方法预报与钻探验证、详查相结合的方式进行。

8.5.4 预报工作应满足下列要求:

- a) 地质调查分析法应调查可溶岩与非可溶岩地层的分布与接触关系,地表水、洼地、落水洞、溶洞等与地下水补给有关的地质现象发育分布情况及汇水面积,分析断层破碎带、储水构造、储水空间、岩溶暗河系统等的地下水的补给、径流、排泄情况及其与隧洞的空间关系;
- b) 物探预报应根据方法技术特点、适用的地质条件,选择合适的预报方法,采用及长短、距离预报相结合的方式;
- c) 断层破碎带涌水突泥预报可参照断层破碎带预报方法进行、岩溶涌水突泥预报可参照岩溶预报方法进行、老硐采空区涌水突泥预报可参照老硐采空区预报方法进行,同时还可采用红外探测法进行辅助探测;
- d) 应根据物探预报成果初步判断发生涌水突泥的可能性,对可能发生涌水突泥的物探异常洞段,应采用超前钻探验证及详查;
- e) 实施超前地质钻探预报涌水突泥应在孔口安装防突装置。

8.5.5 资料解释应符合下列要求:

- a) 地震反射波法可根据预报洞段横波波速、泊松比、纵横波波速比以及反射层的相位变化特征来定性判断预报洞段是否含水;
- b) 地震波层析层像法可根据高低波速异常区域是否交杂出现,以及异常是否呈片状或条状来判断涌水突泥情况;
- c) 探地雷达法可依据反射能量的大小、反射波的相位特征、反射波的衰减速度、反射波振幅的强弱初步判断预报洞段是否含水及富水程度;
- d) 瞬变电磁、聚焦电流法可依据低阻异常值与背景值的差异大小初步判断预报洞段是否含水及富水程度;
- e) 红外探测法可通过红外辐射场的变化定性判断隧洞周围是否含水。

9 预报成果

9.1 超前地质预报工作完成后应编写预报成果报告,报告应内容全面、目的明确、方法技术可靠、数据真实、图表齐全、结论正确。

- 9.2 地质预报成果图件的编制应符合 SL 567 的要求。
- 9.3 超前地质预报成果报告宜包括预报成果简报、月报、年报、竣工报告。
- 9.4 预报成果简报为单个掌子面所开展的预报方法的成果总结，宜包括下列内容：
- a) 以往预报情况、预报隧洞的地质概况、掌子面地质情况；
 - b) 预报实施时间、预报方法、工作量、工作布置；
 - c) 资料解释与成果分析；
 - d) 结论与建议；
 - e) 附图、附表。
- 9.5 月报、年报内容宜包括：
- a) 当月、当年隧洞施工及地质概况；
 - b) 预报方法与技术、预报工作量；
 - c) 预报质量控制；
 - d) 预报成果；
 - e) 预报成果与开挖揭露情况分析；
 - f) 预报建议；
 - g) 附图、附表。
- 9.6 超前地质预报竣工报告内容宜包括：
- a) 工程概况；
 - b) 工程地质及地球物理特征；
 - c) 预报方法技术及工作量；
 - d) 预报质量控制；
 - e) 数据处理、资料整理和分析解释；
 - f) 预报成果；
 - g) 预报成果验证或印证情况；
 - h) 附图、附表。

附 录 A
(规范性)

隧洞超前地质预报风险等级划分

- A.1.1 水工隧洞高程受控于输水水头高度，长距离输水隧洞很难避开煤系地层或岩溶地层。隧洞施工主要灾害为岩溶塌陷、涌水突泥；构造带塌方、涌水突泥；老硐采空区垮塌、涌水突泥及有害气体突出；煤层瓦斯气体突出等。为此，隧洞超前地质预报风险等级根据预报隧洞岩溶发育程度、涌水突泥程度、地质构造发育规模、有毒有害气体浓度、老硐采空区分布情况五个因素来划分，采取就高不就低的原则，即五个因素中有一个符合对应的等级为高风险则认为对应隧洞为高风险隧洞。
- A.1.2 参考《贵州省岩土工程技术规范》(DBJ52/T 046)，岩溶发育程度划分为强烈发育、中等发育、微发育三个等级的划分情况，结合水利水电隧洞工程特点，本规程将岩溶发育程度划分为岩溶强烈发育、中等发育、岩溶弱发育或不发育三个等级，分别对应隧洞超前地质预报高风险、中风险、低风险三个等级。
- A.1.3 涌水量计算参照《引调水线路工程地质勘察规范》(SL 629)的相关计算方法，根据不同地区对照选取，根据预测涌水量的大小分为三个等级，分别对应隧洞超前地质预报高风险、中风险、低风险三个等级。
- A.1.4 隧洞超前地质预报风险等级划分见表A.1：

表A.1 隧洞超前地质预报风险等级划分表

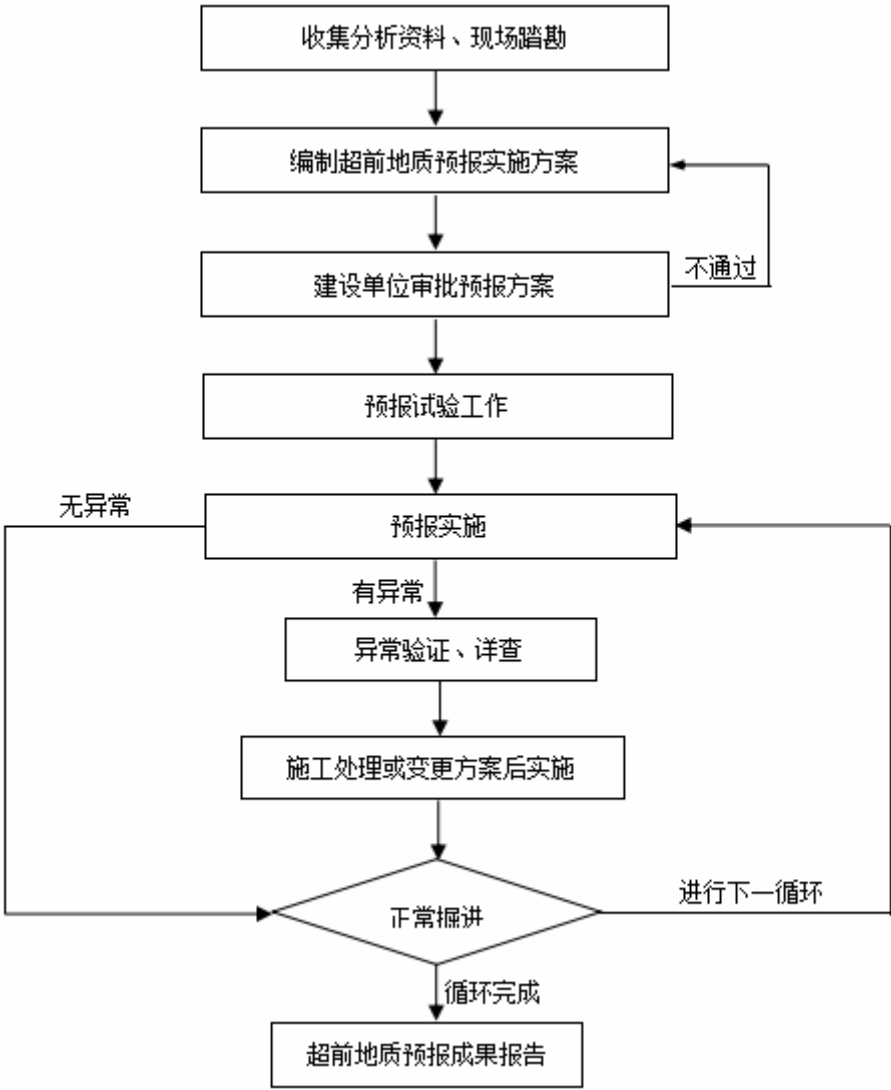
影响 因素	风险等级		
	高风险	中风险	低风险
岩溶发育程度	岩溶强烈发育：碳酸盐岩岩性较纯、连续厚度大、地表出露面积广，岩体以厚层至块状结构为主；地表有较多岩溶塌陷、漏斗、洼地、落水洞、泉眼，洼地、落水洞多呈串珠状分布；地下暗河系统发育，附近有岩溶大泉出露，地下水以岩溶管道水为主；钻孔岩溶率>10%，钻孔遇洞率>60%	岩溶中等发育：岩性以碳酸盐岩夹碎屑岩地层组成、较纯碳酸盐岩地层与不纯碳酸盐岩地层互层，岩体以薄层-中厚层为主；地表岩溶塌陷、漏斗、洼地、溶沟、溶槽较发育；地下洞穴通道不多，地下水以溶隙水或小规模岩溶管道水为主；3%≤钻孔岩溶率≤10%，30%≤钻孔遇洞率≤60%	岩溶弱发育或不发育：岩溶弱发育地层且分布不连续、非可溶岩洞段，地表岩溶不发育，地下岩溶发育多为溶孔及晶洞，无裂隙通道形成，地下水以基岩裂隙水为主；钻孔岩溶率为<3%，钻孔遇洞率<30%
涌水突泥程度	施工过程中可能发生特大、大型涌水突泥，涌水量 $Q \geq 7200 \text{ m}^3/\text{d}$ ；地下水位高于隧洞底板 $H \geq 100 \text{ m}$ ，外水压力高	施工中可能遇到中型涌水突泥，涌水量 $1200 \leq Q < 7200 \text{ m}^3/\text{d}$ ；地下水位高于隧洞底板 $50 \text{ m} \leq H < 100 \text{ m}$	施工中可能遇小型裂隙性涌水，涌水量 $Q < 1200 \text{ m}^3/\text{d}$ ，涌水突水的可能性极小；地下水位高于隧洞底板 $H < 50 \text{ m}$
地质构造发育规模	隧洞穿越区域性断裂带、大型构造破碎带、大型断裂交汇带、导水断层带、向斜储水构造、背斜富水构造，富水、导水性极强的洞段	除高风险、低风险之外洞段	
			隧洞穿越单斜地层，岩性单一，构造带仅有渗漏或滴水

表 A. 1 (续)

影响 因素	风险等级		
	高风险	中风险	低风险
有害气体	有害气体浓度不满足 SL 629 要求， 瓦斯涌出量 $\geq 0.5\text{mg}/(\text{min}\cdot\text{m}^3)$ ，瓦斯含量 $w\geq 0.5\text{m}^3/\text{t}$ ，瓦斯压力 $P\geq 0.15\text{MPa}$	有害气体浓度满足 SL 629 要求， 瓦斯涌出量 $< 0.5\text{mg}/(\text{min}\cdot\text{m}^3)$ ， 瓦斯含量 $w< 0.5\text{m}^3/\text{t}$ ，瓦斯压力 $P< 0.15\text{MPa}$	无
老硐采空区	隧洞穿越煤系地层或其他含矿地层， 且有过开采矿产活动	隧洞附近含矿地层分布，可能存在 矿产开采活动	无



附录 B
(资料性)
超前地质预报工作流程图



图B.1 超前地质预报工作流程图

附录 C

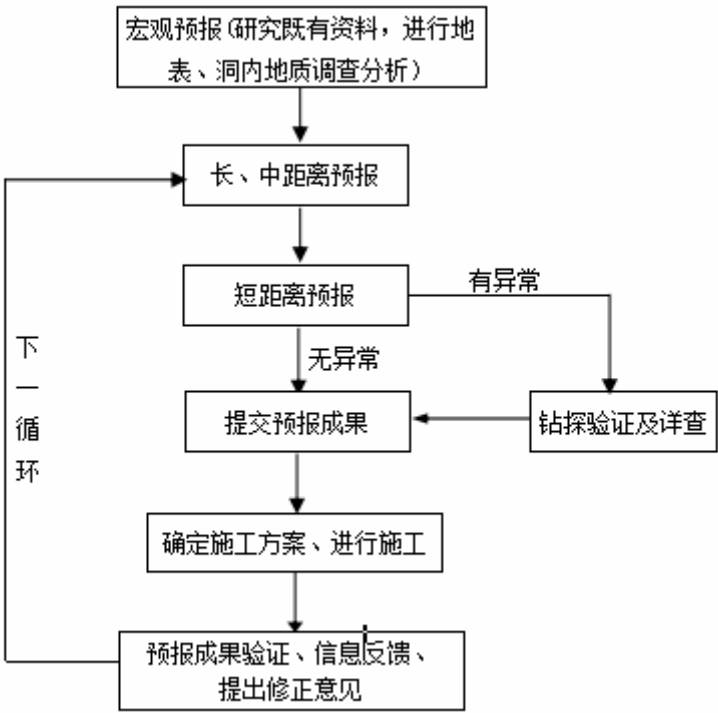
(资料性)

洞内不良地质体临近前兆特征表

表C.1 隧洞内不良地质体临近前兆特征表

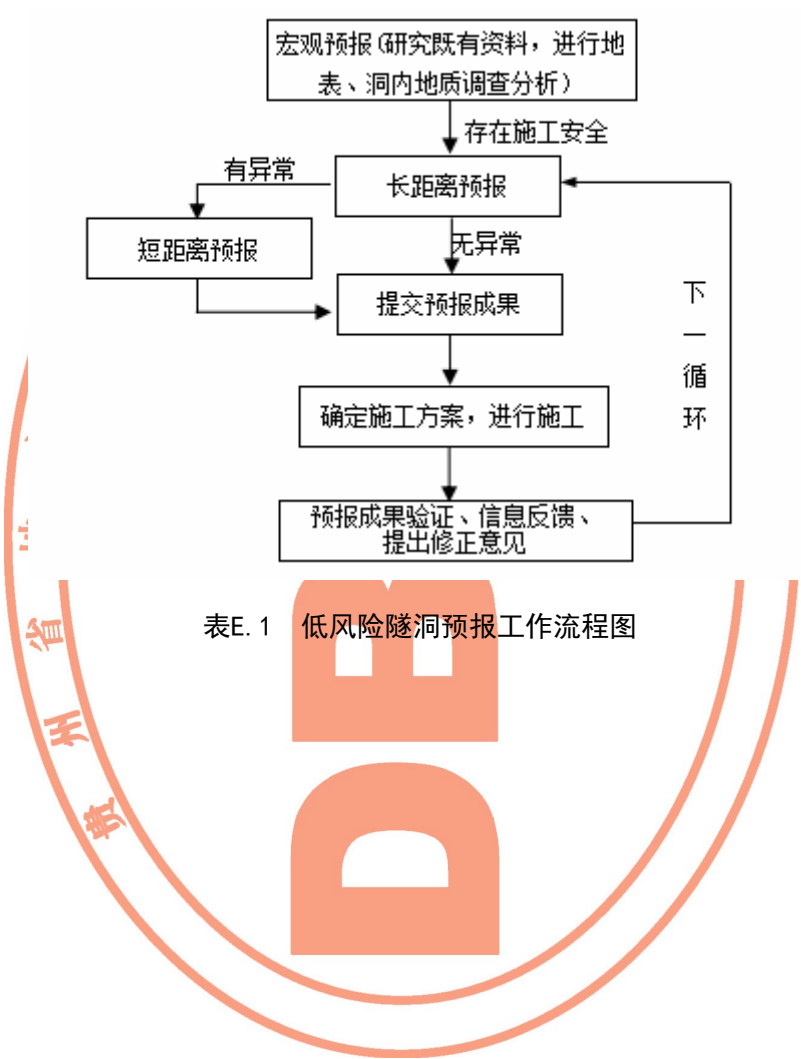
不良地质体名称	临近地质前兆现象
临近大型溶水体或暗河	<ol style="list-style-type: none"> 1. 临近前裂隙、溶隙间出现较多的铁染锈或粘土； 2. 岩层明显湿化、软化，或出现淋水现象； 3. 小溶洞出现的频率增加且多有水流、河沙或水流痕迹； 4. 钻孔中的涌水量剧增，且夹有泥沙或小砾石； 5. 有哗哗的流水声； 6. 钻孔中有凉风冒出。
断层破碎带	<ol style="list-style-type: none"> 1. 节理组数急剧增加； 2. 岩层牵引褶曲、牵引褶皱的出现； 3. 岩石强度的明显降低； 4. 压碎岩、碎裂岩、断层角砾岩等的出现； 5. 临近富水断层前断层下盘泥岩、页岩等隔水岩层明显湿化、软化，或出现淋水和其他涌突水现象。
老硐积水	<ol style="list-style-type: none"> 1. 岩层明显湿化、软化，或出现淋水现象； 2. 岩层裂隙有涌水现象； 3. 开挖工作面空气变冷或发生雾气； 4. 有嘶嘶的水声； 5. 临近煤层老窑积水的前兆是岩层中出现暗红色水锈或渗水中挂红。
大规模塌方	<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. 支撑拱架变形或发生声响； 3. 拱顶岩石掉块或裂缝逐渐扩大； 4. 干燥围岩突然涌水等。
煤层瓦斯突出	<ol style="list-style-type: none"> 1. 开挖工作岩层发生鼓裂； 2. 瓦斯含量突然增大或忽高忽低； 3. 工作面有移动感； 4. 工作面发出瓦斯强涌出的嘶嘶声，同时带有粉尘； 5. 工作面附近，时常听到沉雷声或闷雷声。

附录 D
(规范性)
高、中风险隧洞预报工作流程图



图D.1 高、中风险隧洞预报工作流程图

附 录 E
(规范性)
低风险隧洞预报工作流程图



表E. 1 低风险隧洞预报工作流程图

附 录 F
(资料性)
不良地质体预报方法适应性列表

表F.1 不良地质体预报方法适应性列表

预报方法	预报项目				
	岩溶	涌水突泥	煤系地层	断层破碎带	老硐采空区
地质调查分析	○	●	●	●	●
地震法	○	○	●	●	○
瞬变电磁法	●	●	○	●	●
探地雷达法	●	●	●	○	●
聚焦电流法	●	●	○	○	●
超前钻探法	●	●	●	●	●
红外探测法		○			
注：●主要方法，○辅助方法。					

附 录 G

(资料性)

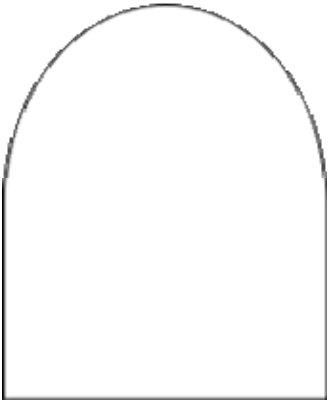
超前地质预报方法适用情况对比表

表G.1 超前地质预报方法适用情况对比表

预报方法	适用性	预报距离	对施工影响程度	受限施工方法 场地条件限制
地质调查分析	所有不良地质预报。	长、短距离	除开挖工作面地质编录外，几乎不占用隧洞施工时间。	TBM 施工
地震波预报法	主要对断层破碎带、煤层、岩溶前界面等界面位置预报。	长距离	炮孔和接收孔钻孔会干扰部分施工，爆炸激发和接收需暂停相应工作面施工约两小时。	构造走向与隧洞轴线的夹角应大于 30°、无振动干扰。
瞬变电磁预报法	主要对含水岩溶、断层破碎带预报。	中距离	现场测点布置和测试要求掌子面附近施工暂停约一小时。	TBM 施工、大型钢构、强电磁干扰
探地雷达预报法	主要对断层、岩溶、老硐采空区位置预报。	短距离	现场测点布置和测试要求掌子面附近施工暂停约一小时。	TBM 施工、大型钢构、磁干扰设备。
聚焦电流法预报	主要对含水老硐采空区预报。	短距离	现场供电电极和测量电极布置和测试要求掌子面附近施工暂停约一小时。	大型钢构、漏电
超前钻探预报法	主要用于验证及进一步查明其它方法预报成果。	同钻孔深度	占用隧洞开挖工作面施工时间长。	受隧洞开挖工作面限制。
红外探测法	用于涌水突泥预报	短距离	占用隧洞开挖工作面施工时间短。	干扰因素多，难以获得理想测试环境

附 录 H
(资料性)
隧洞施工掌子面地质素描记录表

表H.1 隧洞施工掌子面地质素描记录表

**隧洞掌子面地质素描			
项目名称		素描日期	年 月 日
隧洞名称		掌子面桩号	
设计围岩级别		施工围岩级别	
围岩稳定状态		岩体风化程度	
地下水发育情况		岩溶发育情况	
裂隙发育情况			
地层岩性			
地质描述及附图	<div>地质描述：</div> 		

绘制：

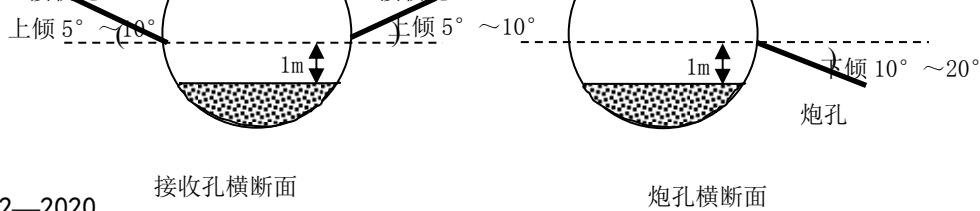
复核：

附 录 I
(资料性)
隧洞开挖洞壁地质展示图

隧洞名称： 隧洞方位： 比例： 作图期日：

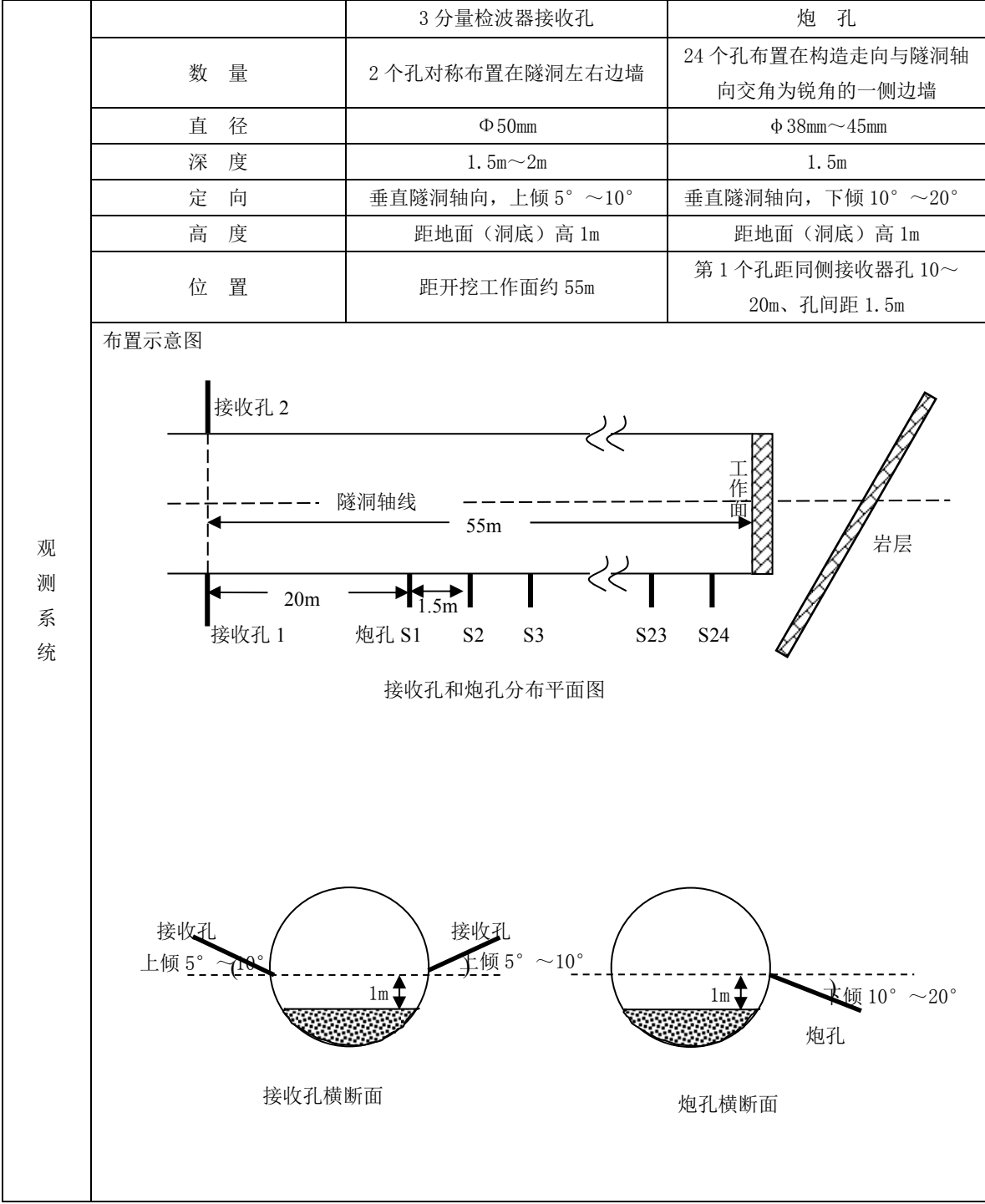
展示图	左边墙	
	拱部	
	右边墙	
里 程		
设计工程地质水文地质条件		
设计围岩分级		
施工围岩分级		
地层岩性特征		
施工揭示构造特征		
水文地质特征		
围岩稳定性及初期支护		
其它说明事项		

绘制： 复核：

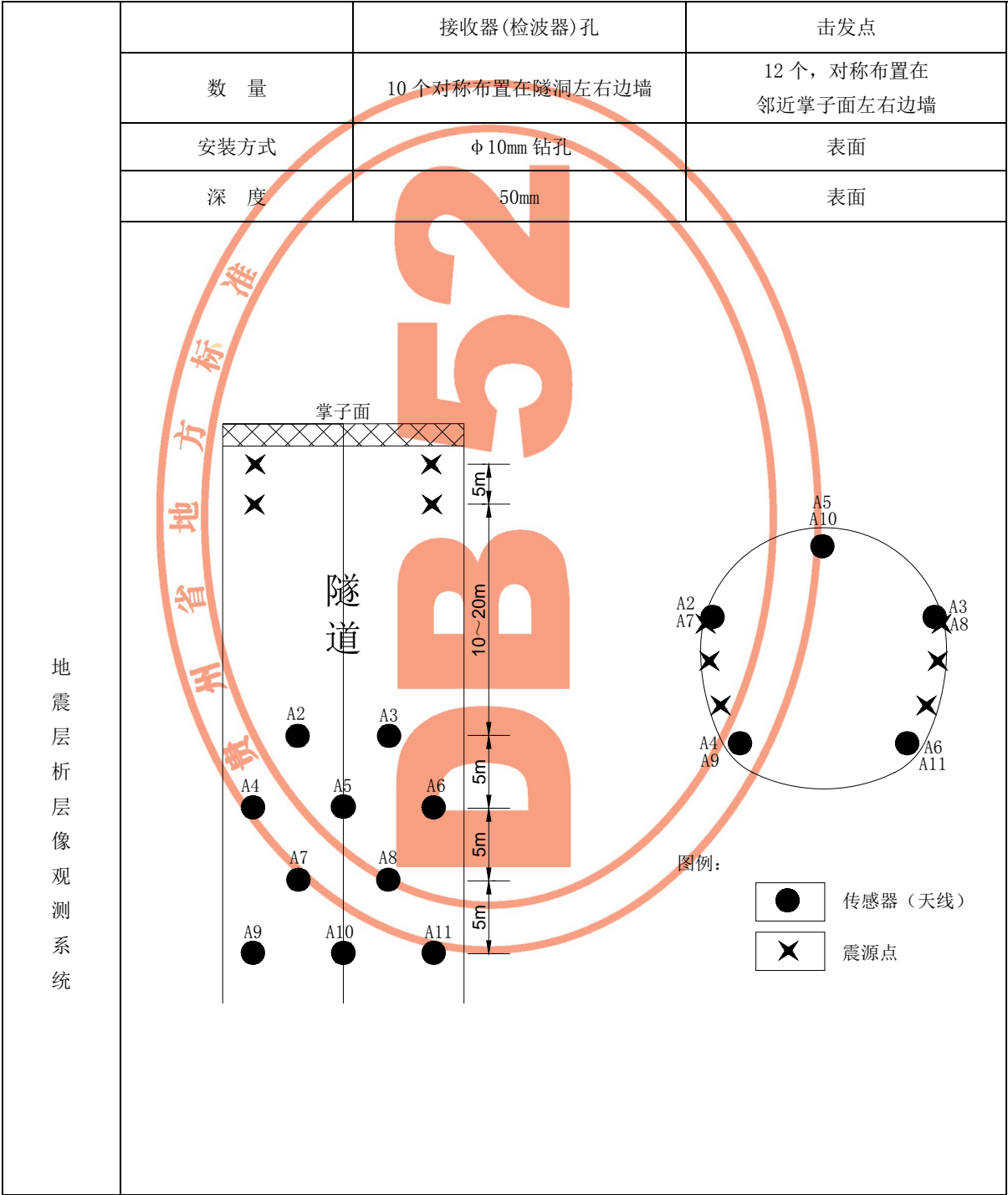


DB52/T 1512—2020

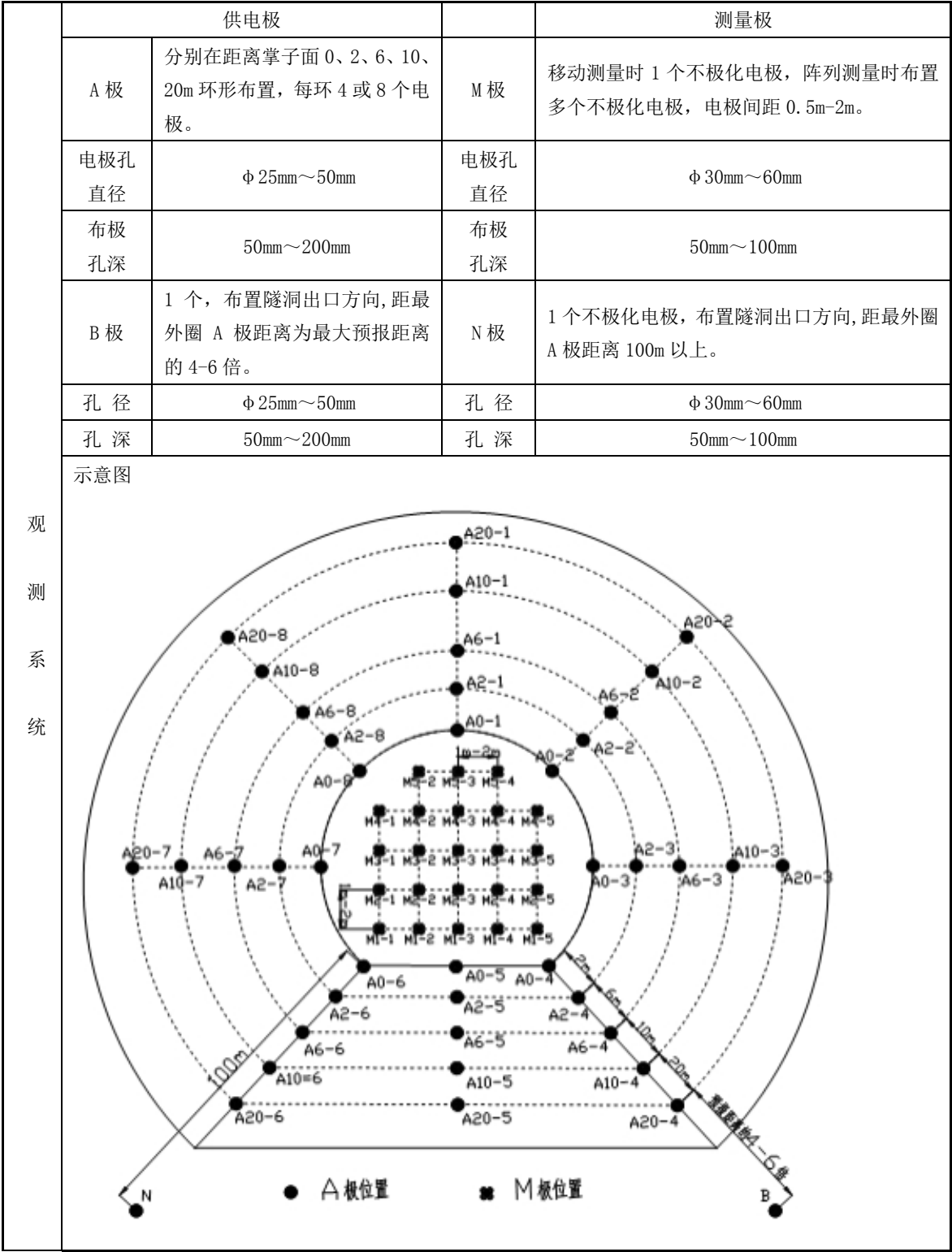
附 录 J
(资料性)
地震反射波法观测系统设计图 (TSP)



附 录 K
(资料性)
地震层析成像系统设计图 (TRT)



附 录 L
(资料性)
聚焦电流法观测系统设计图



附 录 M
(资料性)
红外探测野外记录表

表M.1 开挖掌子面红外探测数据记录表

隧洞名称: 掌子面里程: 表格编号:

场 强		列 数					横 向 max 差	备注
		1	2	3	4	5		
行数	1							
	2							
	3							
	4							
横向 max 差								

填表: _____ 审核: _____ 日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

表M.2 沿隧道走向探测数据记录表

隧洞名称: 掌子面里程: 表格编号:

断面序号	断面里程	左边墙	左拱腰	拱顶	右拱腰	右边墙	备注
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

填表: _____ 审核: _____ 日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

附 录 N
(资料性)
隧洞超前钻探钻孔柱状图

隧洞名称:

钻孔编号:

孔径:

开孔时间： 终孔时间：			孔口里程：			孔孔位置：		立角： 倾角：	
地 层 时 代	层 底 里 程	层 底 深 度 (m)	柱状图 (比例)	采 样 位 置	工程地质描述		出 水 位 置	出 水 量 (m³/h)	备 注

编制:

复核:

