

DB 53

云 南 省 地 方 标 准

DB53/T 1032—2021

公路隧道超前地质预报技术规程

2021 - 05 - 25 发布

2021 - 08 - 25 实施

云南省市场监督管理局 发布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本要求 3

 4.1 一般规定 3

 4.2 预报方法和分类 3

 4.3 预报方法选择 4

 4.4 预报流程 4

 4.5 预报实施细则编制 5

5 预报方法 5

 5.1 地质调查法 5

 5.2 超前钻探法 6

 5.3 地震反射波法 7

 5.4 地震层析成像法 8

 5.5 地质雷达法 9

 5.6 大功率电测深法 11

 5.7 瞬变电磁法 12

 5.8 超前导洞法 13

6 预报成果 14

 6.1 中间成果报告 14

 6.2 最终成果报告 14

附录A(资料性附录) 预报方法应用范围和适用条件 15

附录B(资料性附录) 地质复杂程度分级 16

附录C(资料性附录) 地质调查法用表 17

附录D(资料性附录) 隧道内临近不良地质体前兆特征 22

附录E(资料性附录) 超前钻探现场记录表 23

附录F(资料性附录) 地震波法观测系统布置 24

附录G(资料性附录) 常见介质的物性参数 25

附录H(资料性附录) 地震波法典型图像 28

附录I(资料性附录) 地质雷达法观测系统布置 29

附录J（资料性附录）地质雷达法理论波形与典型图像 30

附录K（资料性附录）大功率电测深法典型图像 32

附录L（资料性附录）瞬变电磁法观测系统布置及典型图像 33

附录M（资料性附录）中间成果报告格式 34

附录N（资料性附录）不良地质预警 35

参考文献 36

引 言

根据交通运输部办公厅《关于印发〈品质工程攻关行动试点方案(2018-2020年)〉的通知》(交办安监[2018]18号),以及重庆市交通委员会代交通运输部制定的《隧道施工质量安全管控能力提升攻关行动实施方案》(渝交委路[2018]94号)的分工安排,由云南省交通运输厅工程质量监督局联合相关单位重点攻关隧道超前地质预报技术与方法。

编写组在总结行业现有技术和科研成果的基础上,通过联合攻关编制了《公路隧道超前地质预报技术规程》,本规程旨在提升隧道施工质量安全管控能力,规范隧道超前地质预报方法。

公路隧道超前地质预报技术规程

1 范围

本文件确立了公路隧道超前地质预报的基本规定、预报方法和预报成果。

本文件适用于新建和改扩建公路隧道超前地质预报工作。

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（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 6722 爆破安全规程

JT/T 828 公路水运试验检测数据报告编制导则

JTG/T 3374 公路瓦斯隧道设计与施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超前地质预报advance geological forecast

结合地质调查，采用物探、钻探等手段，对隧道掌子面前方及周边的工程地质和水文地质条件及不良地质体进行探测、分析判识及预报。

3.2

地质调查法geological survey method

根据隧道已有勘察资料，结合地表地质调查与隧道内地质素描，推测掌子面前方地质情况的一种超前地质预报方法。

3.3

隧道内地质素描geological sketch of the tunnel

将隧道掌子面及洞身所揭露的地层岩性、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、溶洞等进行准确记录，并绘制成图表。

3.4

超前钻探法advance drilling method

利用钻机在隧道掌子面进行钻孔，结合孔内探测获取掌子面前方地质信息的一种超前地质预报方法。

3.5

地震反射波法 seismic reflection method

利用地震波反射原理，通过布置观测系统采集反射信号、反演成像，探测隧道掌子面前方地层岩性界面、地质构造、不良地质体等地质信息的一种超前地质预报方法。

3.6

地震层析成像法 seismic tomography method

利用地震波反射和散射原理，通过空间布置观测系统采集信号、层析成像，探测隧道掌子面前方及周边一定范围内地层岩性界面、地质构造、不良地质体等地质信息的一种三维超前地质预报方法。

3.7

地质雷达法 ground penetrating radar method

利用电磁波反射原理，通过电磁波传播速度、反射波走时及波形特征，探测隧道掌子面前方一定范围内富水区、岩溶、断层破碎带、软弱夹层等地质信息的一种超前地质预报方法。

3.8

三维地质雷达法 Three-dimensional ground penetrating radar method

利用地质雷达屏蔽天线具有聚焦方向的特点，通过控制天线方向空间采集信号、三维建模反演，探测隧道掌子面前方及周边一定范围内水文地质情况的一种三维超前地质预报方法。

3.9

同相轴 phase axis

波形记录上同一信号源的各道相同相位的连线。

3.10

相对介电常数 relative permittivity

介质相对于真空的介电常数。

3.11

大功率电测深法 high-power electrical resistivity tomography method

在地表沿隧道轴线布置测点，通过大功率供电、逐次扩大供电极距，得到观测点垂直方向由浅到深的地层电性变化，并依据地下电阻率差异来探测地质信息的直流电法勘探方法。

3.12

瞬变电磁法 transient electromagnetic method

利用人工脉冲电流激发涡流，通过观测随时间变化的二次电磁场、反演成像，探测隧道掌子面前方一定范围内富水区、断层破碎带等地质信息的一种超前地质预报方法。

3.13

超前导洞法 advance heading method

以超前导洞中揭示的地质情况，通过地质理论和作图法预报正洞地质条件的方法，分为平行超前导洞法和主洞超前导洞法。

3.14

视电阻率apparent resistivity

在地下介质电阻率不均匀的情况下，用均匀介质的电阻率理论表达式计算得到的电阻率值。其数值与介质电阻率、形态和观测条件等有关。

4 基本要求

4.1 一般规定

4.1.1 超前地质预报应作为施工工序纳入施工组织管理，由具备资质的单位实施，配备的仪器设备性能、精度及效率应能满足预报和工期的要求。

4.1.2 超前地质预报应达到下列主要目的：

- a) 查明掌子面前方及周边一定范围内围岩的地质条件；
- b) 为降低地质灾害发生风险提供预警；
- c) 为动态设计和信息化施工提供依据。

4.1.3 超前地质预报应包括下列内容：

- a) 地层岩性预报。对软弱夹层、破碎地层、煤层及特殊性岩土岩性的预报；
- b) 地质构造预报。对断层、节理裂隙密集带、褶皱等影响岩体完整性的构造发育情况的预报；
- c) 不良地质预报。对岩溶发育情况、人为坑洞规模、瓦斯赋存可能性等的预报；
- d) 地下水预报。对岩溶管道水以及富水断层、富水褶皱轴、富水地层中的裂隙水等发育情况的预报；
- e) 建议围岩级别。

4.1.4 超前地质预报工作应遵循四结合原则：

- a) 洞外调查与洞内探测分析相结合；
- b) 地质调查与物探相结合；
- c) 长距离预报与中短距离预报相结合；
- d) 不同物探方法相结合。

4.1.5 长距离、中距离预报搭接(重叠)长度应不小于10m；短距离预报搭接(重叠)长度应不小于5m。

4.1.6 项目各参建方应相互配合，及时传递和反馈信息，预报结果应与实际揭示的地质情况对比印证，提高预报准确率和精度。

4.1.7 超前地质预报每期成果报告应在外业工作完成后24h内提交，最终成果报告宜在隧道贯通后1个月内提交。

4.1.8 超前地质预报的承担单位应向委托单位出具超前地质预报书面报告，报告提交后应进行归档备查。

4.1.9 超前地质预报应积极推广新技术、新设备、新方法。

4.2 预报方法和分类

4.2.1 超前地质预报方法包括地质调查法、超前钻探法、物探法和超前导洞法，见表1。

表1 隧道超前地质预报方法

预报方法	常用手段
地质调查法	隧道地表地质调查、隧道内地质素描
超前钻探法	超前地质钻探、加深炮孔探测、孔内摄影
物探法	地震波法(地震反射波法、地震层析成像法等)、电磁法(地质雷达法、瞬变电磁法、大地电磁测深法等)、电法(大功率电测深法、激发极化法等)、钻孔物探(跨孔CT、波速测试、钻孔雷达、钻孔电法等)
超前导洞法	平行超前导洞、主洞超前导洞

4.2.2 超前地质预报按预报距离可划分为三类，见表2。

表2 隧道超前地质预报按预报距离分类

按预报长度分类	预报长度L(m)
短距离预报	$L < 30$
中距离预报	$30 \leq L < 100$
长距离预报	$L \geq 100$

4.3 预报方法选择

4.3.1 应根据预报方法应用范围和适用条件(参见附录A)、隧道地质复杂程度分级(参见附录B)，按表3的规定选择预报方法。

表3 隧道超前地质预报方法选择

隧道地质条件	应采用的预报方法
简单或一般，且为I~III级围岩段	地质调查法+地震波法(或地质雷达法、瞬变电磁法、激发极化法等)
较复杂；IV~V级围岩段	地质调查法+地震波法+地质雷达法(或瞬变电磁法、激发极化法等)
复杂；重大物探异常区	地质调查法+地震波法+地质雷达法(或瞬变电磁法、激发极化法等)+超前钻探法

4.3.2 对埋深大于300 m的地质复杂隧道，条件许可时，宜选用大功率电测深法、大地电磁测深法等物探方法进行地面探测预报，宏观预报预测不良地质段。

4.3.3 地质复杂段隧道，宜选用三维超前地质预报方法。

4.3.4 采用超前钻探时，可结合钻孔物探进行综合探测预报。

4.4 预报流程

超前地质预报工作流程见图1。

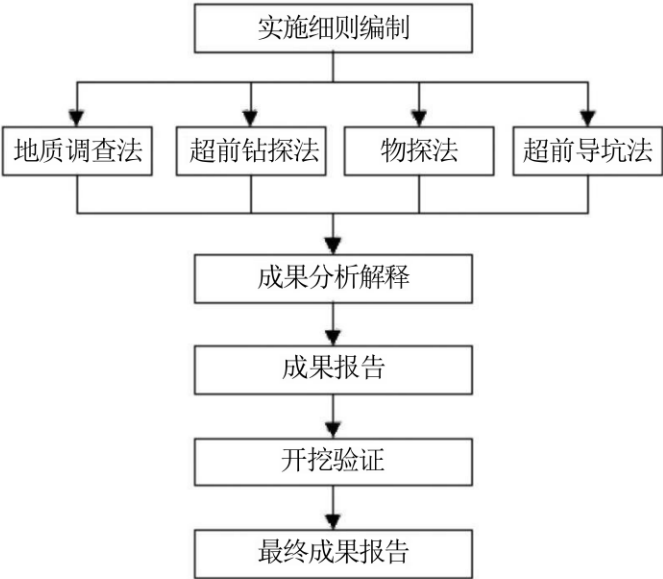


图1 超前地质预报工作流程

4.5 预报实施细则编制

超前地质预报实施细则应包括以下内容：

- a) 概况，包括隧道工程概况、可能存在的风险、超前地质预报计划等；
- b) 编制依据；
- c) 拟采用的预报方法与技术；
- d) 超前地质预报工作量；
- e) 质量控制措施；
- f) 预期成果；
- g) 项目组织机构和设备，人员组成与分工、仪器设备；
- h) 超前地质预报工作进度、工期安排；
- i) 成果提交、反馈方式与流程、预警机制；
- j) 现场安全、职业健康和环境保护措施；
- k) 现场配合、协调工作要求；
- l) 其他。

5 预报方法

5.1 地质调查法

5.1.1 地表地质调查在分析已有隧道勘察资料的基础上进行，应包括以下主要内容：

- a) 地层、岩性在隧道地表的出露情况。
- b) 断层、褶皱、节理密集带等地质构造在隧道地表的出露位置、规模、性质及其产状变化情况。
- c) 地表岩溶发育位置、规模及分布规律。
- d) 煤层、石膏、膨胀岩等特殊地层在地表出露的位置、宽度及其产状变化情况，地下水在地表出露的位置。
- e) 河流、水库（塘）的分布。
- f) 人为坑洞与隧道空间位置关系。

5.1.2 地表地质调查记录参见附录C 中的表C.1, 并应符合以下要求:

- a) 地质调查沿隧道轴线进行, 根据地层、岩性、构造出露情况确定调查路线, 绘制沿隧道的带状图。
- b) 地质调查或观测点布置应能控制特殊地质界线、标志层。
- c) 重点调查蓄水构造、断层破碎带、岩脉侵入体、裂隙发育带、岩性接触带。
- d) 可溶岩地区重点调查暗河、大型洞穴、蓄水构造、地表岩溶漏斗和洼地、泉水等, 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。

5.1.3 地表地质调查的资料整理可采用地层对比、地质作图、地质类比、趋势分析等方法, 并绘制到隧道工程地质平面图和纵剖面图上。

5.1.4 隧道内地质素描包括掌子面地质素描、洞身地质素描, 应包括以下主要内容:

- a) 地层岩性、岩层产状、断层、节理;
- b) 高地应力现象;
- c) 特殊地层;
- d) 有害气体、放射性及高地温现象;
- e) 岩溶及采空区;
- f) 地下水揭露情况。

5.1.5 隧道内地质素描现场工作应符合下列规定:

- a) 每次物探、钻探超前地质预报前应进行地质素描;
- b) 隧道内地质调查表参见附录C 中的表C.2, 各地质参数参见附录C中的表C.3~C.9;
- c) 地质素描图应在现场绘制, 地质素描原始记录、图、表等应当天整理完成。

5.1.6 应根据掌子面揭露的围岩情况, 按照附录C 中的表C.10 判定揭露的围岩级别, 参见附录D 预测不良地质现象。

5.1.7 主要成果应包括隧道地表地质调查表、隧道内地质调查表等。

5.2 超前钻探法

5.2.1 在富水构造破碎带、富水岩溶发育地段、煤系或油气地层、瓦斯发育区、采空区以及重大物探异常地段和地下隧道应采用超前钻探法。

5.2.2 超前钻探法应结合地质调查和物探成果综合预报, 并应符合下列规定:

- a) 宜采用中距离钻探, 必要时可采用长距离钻探, 连续钻探时前后两次重叠应不少于3 m;
- b) 利用加深炮孔进行短距离钻探时, 掌子面应有不少于5个加深探测炮孔。加深探测炮孔深度宜比装药炮孔深3 m 以上, 直径宜与装药炮孔相同; 禁止在爆破残留孔中打设加深探测炮孔;
- c) 复杂地段宜采用回转取芯钻。

5.2.3 超前钻探孔数、孔位应根据隧道断面大小和地质复杂程度确定, 并应符合下列规定:

- a) 断层、节理裂隙密集区或其他破碎富水地层应布设1~3个孔;
- b) 富水岩溶发育区的超前钻探循环宜布设3~5个孔, 揭示溶洞边界时宜增加孔数, 宜在掌子面上、中、下、左、右布置斜孔, 终孔于隧道开挖轮廓线以外5 m~8m;
- c) 采用取芯钻探的钻孔直径应满足取芯和孔内测试要求。

5.2.4 超前钻探工作应符合下列规定:

- a) 钻探过程中做好现场记录, 现场记录表参见附录E;
- b) 钻探过程中应及时根据岩芯、岩粉, 判定岩性, 对于断层、溶洞填充物、煤层、代表性岩土等应拍照, 并在施工期内保存代表性岩芯;
- c) 在富水地段进行超前钻探时应采取防突措施; 测钻孔内水压时, 应安装孔口管, 连接高压球阀、连接件和压力表, 压力表读数稳定一段时间后测量水压;

d) 钻孔角度与深度可根据现场情况进行适当调整。

5.2.5 在煤(岩)与瓦斯突出地段, 应执行JTG/T 3374的规定。

5.2.6 主要成果可包括钻孔布置图、钻孔探测结果、测试试验分析报告、钻孔柱状图、孔内影像、代表性岩芯照片、钻孔内涌水情况等。

5.3 地震反射波法

5.3.1 地震反射波法预报范围应符合下列规定:

- a) 岩体完整、岩质较硬地段预报距离宜取150 m~180m, 不应超过200 m;
- b) 岩体破碎、岩质较软地段预报距离宜取80 m~100 m, 不应超过150 m;
- c) 曲线地段适当减小预报距离;
- d) 隧道周边预报范围不小于1倍洞径。

5.3.2 地震反射波法仪器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, 性能指标应符合下列规定:

- a) 接收道数二维反射不少于6道, 三维反射不少于12道;
- b) 最小采样间隔不大于0.05 ms;
- c) 记录长度可选, 每道采样点数不少于1024点;
- d) 模数转换精度不小于24 bit;
- e) 放大器动态范围不小于96 dB;
- f) 频率响应范围2 Hz~5 kHz;
- g) 加速度或速度传感器频率范围不窄于20 Hz~2 kHz;
- h) 加速度传感器灵敏度不小于0.5 V/g, 速度传感器灵敏度不小于0.5 V/cms⁻¹。

5.3.3 地震反射波法观测系统布置参见附录F, 并应符合下列规定:

- a) 观测系统布置在掌子面后方100 m范围内;
- b) 观测系统采用单壁多点激发、双壁多点三分量纵横波接收;
- c) 二维观测时, 两侧边墙各布置不少于1个三分量检波器, 有效激发点不少于18个, 且激发点在同一平面;
- d) 三维观测时, 在两侧边墙同一断面上各布置不少于2个三分量检波器, 有效激发点不少于24个, 且激发点在同一平面。

5.3.4 地震反射波法现场工作应符合下列规定:

- a) 根据观测要求进行接收孔位、炮孔位现场测量布点并编号标识;
- b) 孔内接收或孔内激发时, 钻孔孔口位置允许偏差为±0.2m, 在岩体破碎地段, 炮孔施工完成后宜插入PVC管进行保护;
- c) 采用表面锤击时, 击点位置允许偏差为±0.2 m;
- d) 孔身平直顺畅, 耦合剂、套管或炸药放置到位;
- e) 套管安装前使用清洁杆清洗套管内部;
- f) 表面传感器根据现场情况采用打孔安装或石膏粘贴安装;
- g) 三分量检波器探头的X、Y、Z方向与设计方向一致。

5.3.5 地震反射波法现场数据采集应符合下列规定:

- a) 数据采集前, 进行仪器检查和环境噪声测试, 获取环境噪声参数;
- b) 爆破激发符合GB 6722的规定;
- c) 先将炸药安置在炮孔底部, 并用水或其他介质封堵炮孔;
- d) 根据现场噪声强度、频率分布、探测范围等条件设置仪器采集参数;
- e) 采集系统采用爆炸激发时, 触发延迟时间不大于50 μs;

- f) 采集系统采用线路锤击开关计时,各激发点计时精度一致;
- g) 信号质量检查不合格时,查明原因并重新激发。

5.3.6 地震反射波法数据处理应符合下列规定:

- a) 根据现场测量数据建立二维或三维几何模型;
- b) 根据现场测量数据计算每个炮点的偏移距,利用现场测量的接收探头套管或检波器姿态参数,将三分量地震数据转换到建立的坐标系中;
- c) 三分量数据模块的时间窗口长度不小于预报距离的2倍双程时间;
- d) 对初至信号前的信号归零处理;
- e) 对信号进行频谱分析,确定优势频率范围,滤除声波、面波成分;也可根据隧道岩性物理特点选择滤波方法;
- f) 根据初至波相位特征拾取每道初至纵波时间,对排列初至时间曲线上的奇异点调整和屏蔽,使排列初至时间成一条直线;
- g) 根据炮点位置校正初至时间曲线的斜率或截距偏移,使截距时间为0;
- h) 对处理后的地震信号进行能量均衡和方向滤波,提取掌子面前方的反射波,并进行纵横波分离;
- i) 采用直达波、模型试算、偏移等方法进行速度分析;
- j) 分析斜率和速度模型的合理性,选取合适的拾取速度;
- k) 计算从炮点到潜在反射点及接收位置的最终纵波和横波时间,进行深度偏移处理;
- l) 拾取覆盖次数不小于全部炮点20%的反射点构建反射层;
- m) 利用各反射层的纵波和横波速度参数计算各反射层的泊松比等动力学参数,评估岩层的岩体质量。常见介质的纵、横波速参见附录G中的表G.1。

5.3.7 根据各反射层波速和波速相对变化确定软弱岩层、断层破碎带、节理密集带的位置和规模,并结合掌子面地质情况进行解释和推断(示例参见附录H)。

5.3.8 主要成果应包括观测系统布置图、波速曲线图、偏移成像图、预报结果等。

5.4 地震层析成像法

5.4.1 地震层析成像法预报范围应符合5.3.1条的规定。

5.4.2 地震层析成像法仪器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,性能指标应符合下列规定:

- a) 接收道数不少于9道;
- b) 最小采样间隔不大于0.05 ms;
- c) 记录长度可选,每道采样点数不少于2048点;
- d) 模数转换精度不小于24 bit;
- e) 放大器动态范围不小于96 dB;
- f) 频率响应范围2 Hz~5 kHz;
- g) 加速度型传感器频率范围不窄于20 Hz~2 kHz,灵敏度不小于0.5 V/g。

5.4.3 地震层析成像法观测系统布置参见附录F,并应符合下列规定:

- a) 观测系统布置在掌子面后方50 m范围内;
- b) 采用单分量检波器时,空间布置不少于10个检波器,检波器最大高差不小于2.5 m;两侧边墙布置不少于12个有效激发点;
- c) 采用三分量检波器时,空间布置不少于3个检波器,宜布置在同一断面的拱顶、左右边墙;两侧边墙布置不少于18个有效激发点。

5.4.4 地震层析成像法现场工作应符合下列规定:

- a) 根据观测要求进行接收点和激发点位置测量布点并编号标识;

- b) 采用表面锤击时，击点位置允许偏差为 ± 0.2 m;
- c) 传感器根据现场情况采用打孔安装或石膏粘贴安装，孔口位置允许偏差为 ± 0.2 m;
- d) 单分量检波器极性指向隧道开挖方向;
- e) 三分量检波器极性分别为隧道开挖方向、水平方向和垂直方向。

5.4.5 地震层析成像法现场数据采集应符合下列规定:

- a) 数据采集前，进行仪器检查和环境噪声测试，了解噪声施工影响;
- b) 锤击能量大小通过试验确定;
- c) 根据现场噪声强度、频率分布、探测范围等条件设置仪器采集参数;
- d) 采集系统触发延迟时间不大于 $50\ \mu\text{s}$;
- e) 信号质量检查不合格时，查明原因并重新激发。

5.4.6 地震层析成像法数据宜按图2所示流程处理。

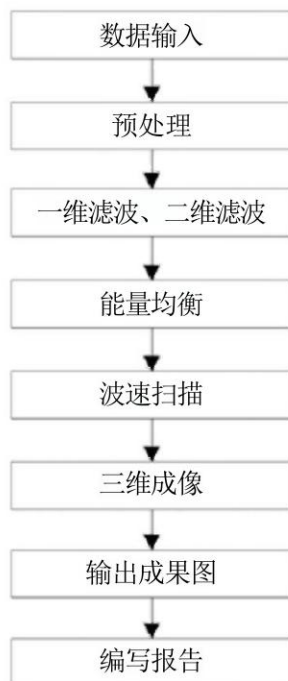


图2 地震层析成像法数据处理流程

5.4.7 地震层析成像法成果图应按以下原则进行判释(示例参见附录H):

- a) 反射能量弱，几乎不存在反射面，说明该段围岩结构完整，无不良地质体;
- b) 出现正反射(红色)，说明岩石由软变硬;出现负反射(蓝色)，说明岩石由硬变软;正、负反射集中杂乱出现(红蓝相间)，说明该段岩体破碎;
- c) 纵波波速高，说明围岩为硬岩或岩体完整;纵波波速低，说明围岩为软岩或岩体破碎。

5.4.8 主要成果应包括观测系统布置图、波速曲线图、三维成像图等。

5.5 地质雷达法

5.5.1 地质雷达法预报范围应符合下列规定:

- a) 岩体完整、干燥的地段预报距离不大于30 m。
- b) 岩体破碎、含水较高的地段预报距离不大于25 m。
- c) 对地质复杂段预报宜采用三维地质雷达法，预报距离取30 m~50 m，不应超过70 m。

5.5.2 地质雷达主机性能和技术指标应符合下列规定:

- a) 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) 模数转换精度不小于16 bit;
- c) 最小采样间隔不大于0.2 ns;
- d) 具有自动和手动增益调节功能,增益点数不少于3个;
- e) 信号最大叠加次数不少于32次;
- f) 优先选用具有实时采样功能、无线传输功能的雷达。

5.5.3 地质雷达应采用屏蔽天线,其性能和技术指标应符合下列规定:

- a) 中心频率为50 MHz~100 MHz。
- b) 中心频率允许偏差为 $\pm 5\%$ 。
- c) 天线频带范围不小于中心频率的0.25倍~2倍。

5.5.4 地质雷达法观测系统布置参见附录I。

5.5.5 地质雷达法现场工作应符合下列规定:

- a) 在测线起始点、掌子面中点和测线结束点打标记;
- b) 根据掌子面平整程度选择连测或点测,天线不便匀速移动或信号较弱时,采用点测;
- c) 数据采集过程中,保持天线与掌子面基本平行,距离应相对一致;
- d) 异常位置进行重复观测;
- e) 在边墙采用宽角法或在支洞位置采用穿透法进行岩体相对介电常数测试,或参见附录G中的表G.2选取常见介质的相对介电常数;
- f) 记录测线附近干扰物、地质特点等信息。

5.5.6 地质雷达法现场数据采集应符合下列规定:

- a) 采样点数可设置为1024点,不少于512点;时窗可设置为550ns;采样频率不小于天线中心频率的6倍;
- b) 连续测量时,扫描速率与移动速度相适应;
- c) 高通频率不大于天线中心频率的1/4,低通频率不小于天线中心频率的2倍。对于100 MHz天线,宜设置高通频率25 MHz,低通频率200 MHz;
- d) 目标体反射信号较弱时,适当增加叠加次数。

5.5.7 数据处理应符合下列规定:

- a) 根据需要选取删除坏道、距离归一化、增益调整、频率滤波、二维滤波、反褶积、偏移、点平均等处理方法;
- b) 数据中出现全正、全负或正负半周不对称的情况时,进行去直流漂移处理;
- c) 采用合适的增益绘制雷达成果图;
- d) 地质雷达数据宜按图3所示流程处理。

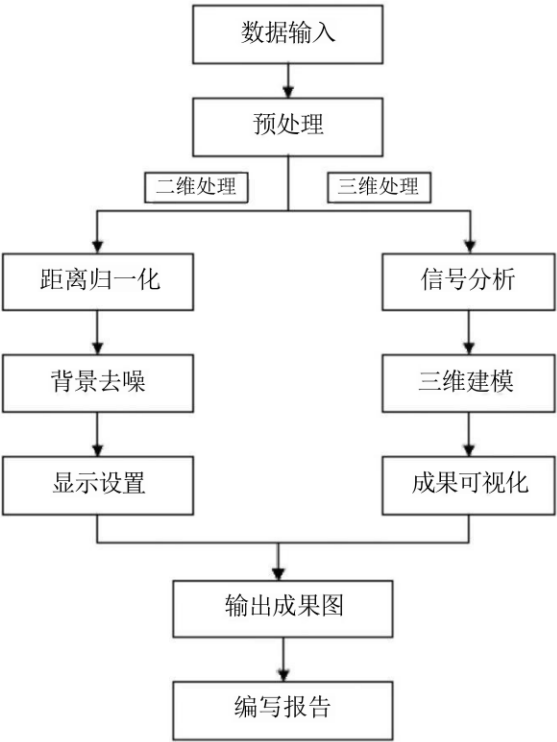


图3 地质雷达法数据处理流程

5.5.8 地质雷达法成果图应按以下原则进行判释(示例参见附录J):

- a) 根据现场记录及多次反射波的特征识别干扰波;
- b) 根据波形双曲线特征、能量和频率变化特征识别空洞;
- c) 根据同相轴连续性和形态特征识别层状界面和破碎带;
- d) 根据反射波相位、能量变化特征识别富水区;
- e) 三维预报成果直接根据不同物性三维分布形态进行判释。

5.5.9 主要成果应包括测线布置图、地质雷达预报成果图。

5.6 大功率电测深法

5.6.1 大功率电测深法仪器性能指标应符合下列规定:

- a) 最大输出电压不小于800 V, 最大输出电流不小于3 A;
- b) 输入阻抗不小于20 MQ, 测量电压分辨率不低于0.01 mV, 测量电流分辨率不低于0.1 mA;
- c) 最大供电电极距不小于2 km;
- d) 宜选用分布式电缆、智能化电极;
- e) 电极可选用铜、钢或铁质电极。

5.6.2 大功率电测深法现场工作应符合下列规定:

- a) 在地表沿隧道轴线布置测线, 放线距离偏差不大于2 m;
- b) 需布置多个排列时, 排列间有足够的重复段, 使排列交叉处的深部信息完整; 单排列测线长度满足探测深度的要求, 探测深度按供电电极距的三分之一计算;
- c) 电极距不大于10 m; 电极接地良好、稳固; 电极接地电阻过大时, 可采取浇(盐)水、电极加深等措施;
- d) 导线通过地表水体时应架空, 通过道路时应埋设或穿管通过。

5.6.3 大功率电测深法现场数据采集应符合下列规定：

- a) 采集前进行仪器、导线漏电、开关盒、接地电阻等检查；
- b) 正确设置电极数、电极距、装置类型、采集层数、采集时间等参数；
- c) 数据采集过程中，应减少或避免现场电流或电磁干扰；
- d) 对异常观测点进行重复观测，重复观测相对误差不大于5%。

5.6.4 大功率电测深法数据宜按图4所示流程处理。**图4 大功率电测深法数据处理流程****5.6.5** 大功率电测深法测得的视电阻率等值线图应采用彩虹色填充，低电阻率采用蓝色，高电阻率采用红色。成果图应按以下原则进行判释(示例参见附录K)：

- a) 根据测得的视电阻率推断介质的地层岩性，常见介质的电阻率值参见附录G中的表G.3；
- b) 红色、橙色和黄色区域为相对高电阻率区，说明岩体相对致密，完整性好，含水量小；
- c) 蓝色为相对低电阻率区，说明岩体含水、松散破碎或风化程度高；
- d) 视电阻率分布不均匀，说明岩体物性差异大，推测为岩体构造发育，松散破碎；
- e) 视电阻率横向分布均匀，说明岩体物性均一；
- f) 两侧为高电阻率区，中间为几米到几十米宽的低电阻率带，说明断层含水带；
- g) 岩溶充泥充水表现为低电阻率，在高电阻率范围内形成局部的低电阻率(蓝色)区域；空溶洞表现为高电阻率，并在相对低电阻率范围内形成局部的高电阻率(红色)区域；半充填岩溶表现为上部高电阻率，下部低电阻率。

5.6.6 主要成果应包括视电阻率断面图、地质解释图。**5.7 瞬变电磁法****5.7.1** 瞬变电磁法预报范围应符合下列规定：

- a) 岩体完整、干燥的地段预报距离80 m~100 m；
- b) 岩体破碎、含水率高的地段预报距离50 m~80 m；

c) 曲线地段适当减小预报距离。

5.7.2 瞬变电磁仪发射部分主要技术指标应符合下列规定：

- a) 发射电流不小于3 A, 发射信号为双极性方波；
- b) 发射基频频率在2.5 Hz~400 Hz 范围内分档；
- c) 最小关断时间不大于0.5 μ s。

5.7.3 瞬变电磁仪接收部分主要技术指标应符合下列规定：

- a) 最大叠加次数不少于1000次；
- b) 最小采样间隔不大于10 μ s；
- c) 最大时窗不小于160 ms；
- d) 增益范围0 dB~140 dB；
- e) 背景噪声不大于1 μ V；
- f) 工频干扰抑制不小于60 dB。

5.7.4 瞬变电磁法观测系统布置参见附录L 中的表L. 1。

5.7.5 现场工作应符合下列规定：

- a) 测试过程中不应有金属、磁性物质接近线框；
- b) 工作前检查并确保发射线圈、发射机高压连接点绝缘；
- c) 仪器参数设置与预报距离、线框参数等条件相适应；
- d) 地质条件复杂时，调整线圈仰角，增加其他角度扫描断面；
- e) 使用磁探头时，探头方向与发射线框的法线方向一致；
- f) 每个测点进行3次重复测试，3次测试的曲线形态应相近。

5.7.6 数据处理应按下列步骤进行：

- a) 对每个测点的各测道数据曲线进行跳点平滑预处理；
- b) 生成各扫描断面的曲线图，反演每扫描断面的视电阻率-时间剖面图；
- c) 根据试验或开挖验证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。

5.7.7 成果图应按以下原则进行判释(示例参见附录L 中的表L. 2)：

- a) 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) 进行各扫描断面的相关解释，确定异常的范围和走向；
- c) 结合地质勘探、地质分析和其他预报成果解释异常的性质。

5.7.8 主要成果应包括测线布置图、剖面成果图。

5.8 超前导洞法

5.8.1 线间距较小的两座隧道可互为平行导洞，以先行开挖的隧道预报后开挖的隧道地质条件。

5.8.2 超前导洞法地质预报资料可包括以下内容：

- a) 地质调查法预测报告、采用的各种物探预报方法预测报告、超前钻探法预测报告；
- b) 导洞竣工工程地质纵断面图，包括地层岩性、褶曲、断裂的分布与产状，破碎带及坍塌和变形地段的位置、性质及规模，地下水出露的位置、水量，分段围岩分级等。

6 预报成果

6.1 中间成果报告

6.1.1 中间成果报告应按期次编号，每个掘进方向均独立编制期次。

6.1.2 中间成果报告形式应简单，格式宜统一，报告格式参见附录M。

6.1.3 中间成果报告应包括以下内容：

- a) 基本信息，包括工程名称、隧道名称、预报日期、预报里程、预报方法、依据规范、主要仪器设备及编号；
- b) 地质调查信息，包括掌子面照片、地质素描图、地质描述；
- c) 预报结论，包括围岩级别推测和不良地质预警，不良地质预警参见附录N；
- d) 附件部分，包括地质调查表、物探成果图及解释等。

6.2 最终成果报告

6.2.1 隧道贯通后应编写隧道超前地质预报最终成果报告。

6.2.2 最终成果报告应执行JT/T 828的规定，包括下列内容：

- a) 概况，包括工程概况、地质概况、预报工作概况；
- b) 预报依据；
- c) 方法原理及仪器设备；
- d) 数据采集，包括观测系统、采集方法、测线、测点布置情况；
- e) 中间成果报告主要内容及施工开挖验证情况；
- f) 施工过程中遇到的重大工程地质问题；
- g) 其他需要说明的问题；
- h) 附件。

附 录 A
(资料性附录)
预报方法应用范围和适用条件

预报方法应用范围和适用条件参见表A.1～A.2。

表A.1 预报方法应用范围

预报方法	不良地质及地质灾害					
	涌水突泥	断层破碎带	岩溶及采空区	软弱地层	高地应力	瓦斯地层
地质调查法	●	●	●	●	●	●
超前钻探法	●	●	●	●	○	●
地震反射波法	○	●	●			○
地震层析成像法	○	●		●		○
地质雷达法	●	●	●	○		○
大功率电测深法	●	●	●	○		○
瞬变电磁法	●		○	○		○
钻孔物探	●		●	●		○
超前导洞法	○	○	○	◎	○	○
注：●主要方法，○辅助方法，-不适用。						

表A.2 预报方法适用条件

预报方法	预报距离	施工影响	适用施工方法
地质调查法	均适用	不影响施工	钻爆法、TBM法
超前钻探法	视钻孔深度而定	占用隧道掌子面时间长	钻爆法、TBM法
地震反射波法	长距离、中距离	爆炸激发和接收需暂停掌子面施工约1 h	钻爆法、TBM法
地震层析成像法	长距离、中距离	爆炸激发和接收需暂停掌子面施工约1 h	钻爆法、TBM法
地质雷达法	中距离、短距离	现场测点布置和测试要求掌子面附近施工暂停约0.5 h, 三维探测需约1h	钻爆法
大功率电测深法	地表宏观预报	地表工作，不影响施工	钻爆法、TBM法
瞬变电磁法	中距离	现场测点布置和测试要求掌子面附近施工暂停约1 h	钻爆法
钻孔物探	视钻孔深度而定	孔中数据采集时间约1 h	钻爆法、TBM法
超前导洞法	视导洞长度而定	不影响施工	钻爆法、TBM法

附 录 B
(资料性附录)
地质复杂程度分级

地质复杂程度分级参见表B.1。

表 B.1 地质复杂程度分级

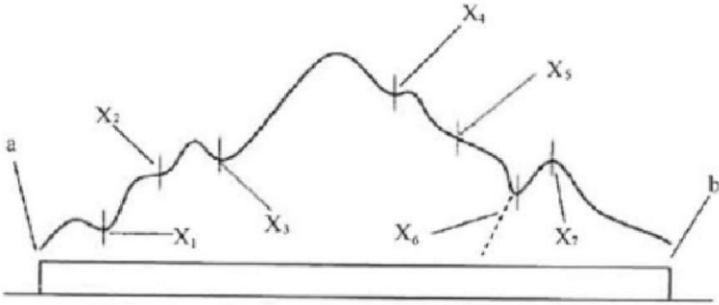
影响因素		复杂程度分级			
		复杂	较复杂	一般	简单
地质复杂程度 (含物探异常)	岩溶发育程度	极强, 厚层块状质纯灰岩, 大型溶洞、暗河发育, 岩溶密度每平方公里大于15个, 最大泉流量 $>50 \text{ L/s}$, 钻孔岩溶率 $>10\%$	强烈, 中厚层灰岩夹白云岩, 地表溶洞落水洞密集、地下以管道水为主, 岩溶密度每平方公里 $5\sim 15$ 个, 最大泉流量 $10 \text{ L/s} \sim 50 \text{ L/s}$, 钻孔岩溶率 $5\% \sim 10\%$	中等, 中薄层灰岩, 地表出现溶洞, 岩溶密度每平方公里 $1\sim 5$ 个, 最大泉流量 $5 \text{ L/s} \sim 10 \text{ L/s}$, 钻孔岩溶率 $2\% \sim 5\%$	微弱, 不纯灰岩与碎屑岩互层, 地表地下以溶隙为主, 最大泉流量 $<5 \text{ L/s}$, 钻孔岩溶率 $<2\%$
	涌水涌泥程度	特大突水(涌水量 $>1 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$)、大型突水(涌水量 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d} \sim 1 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$)、突泥, 高水压	中小型突水(涌水量 $1 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d} \sim 1 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{d}$)、突泥	小型涌水(涌水量 $1 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{d} \sim 1 \times 10^1 \text{ m}^3/\text{d}$)、涌泥	涌水量 $<1 \times 10^1 \text{ m}^3/\text{d}$, 涌突水可能性极小
	断层稳定程度	大型断层破碎带、自稳能力差、富水, 可能引起大型失稳坍塌	中型断层带, 软弱, 中~弱富水, 可能引起中型坍塌	中小型断层, 弱富水, 可能引起小型坍塌	中小型断层, 无水, 无掉块
	地应力影响程度	高地应力(最大主应力和岩石单轴抗压强度的比值 >0.4)	中等地应力(最大主应力和岩石单轴抗压强度的比值 $0.15 \sim 0.4$)	低地应力(最大主应力和岩石单轴抗压强度的比值 <0.15)	
	瓦斯影响程度	瓦斯突出: 瓦斯压力 $P \geq 0.74 \text{ MPa}$, 瓦斯放散初速度 ≥ 10 , 煤的坚固性系数 $f \leq 0.5$, 煤的破坏类型为III类及以上	高瓦斯: 全工区的瓦斯涌出量 $\geq 0.5 \text{ m}^3/\text{min}$	低瓦斯: 全工区瓦斯涌出量 $<0.5 \text{ m}^3/\text{min}$	
地质因素对隧道施工影响程度		危及施工安全, 可能造成重大安全事故	存在安全隐患	可能存在安全问题	局部可能存在安全问题
诱发环境问题的程度		可能造成重大环境灾害	施工、防治不当, 可能诱发一般环境问题	特殊情况下可能出现一般环境问题	—

附 录 C
(资料性附录)
地质调查法用表

地质调查法用表参见表C. 1～C. 10。

表C.1 隧道地表地质调查表

检测单位：记录编号：

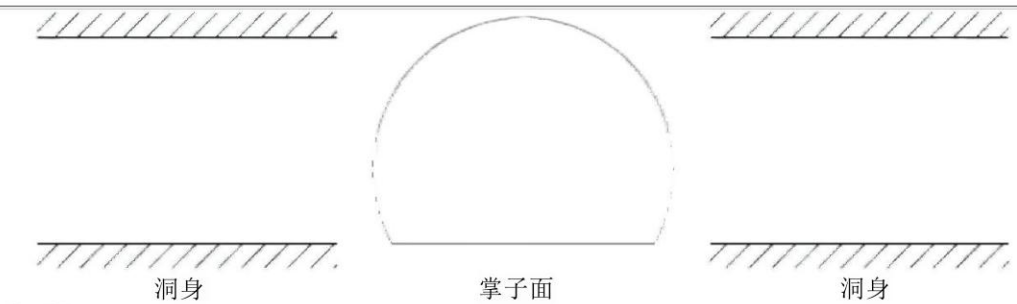
工程名称		调查点编号	
隧道名称		调查点里程	
主要仪器设备		照片编号	
调查方向 →  隧道地质调查观察点分布示意图 X₁-水沟；X₂-地层界线；X₃-向斜核部；X₄-农地；X₅-地层界线； X₆-断层；X₇-背斜核部；a-隧道进口；b-隧道出口			
地形、地貌			
水文地质			
地层、岩性			
地质构造 (断层、节理)			
植被及人类 活动情况			
其他			

记录人：日期： 年 月 日

表C.2 隧道内地质调查表

检测单位名称:

记录编号:

工程名称					掌子面 里程										
隧道名称					照片编号										
主要仪器 设备															
地质素描 图及地质 简要描述															
岩性指标	岩石类型														
	坚硬程度	坚硬岩	较坚硬岩	较软岩	软岩	极软岩	R								
	风化程度	未风化	微风化	中等(弱)风 化	强风化	全风化	—								
岩体 完整状态	结构面 发育程度	1~2组 平均间距 >1.0m		2~3组 平均间距 0.4m~1.0m		>3组 平均间距 0.2m~0.4m		>3组 平均间距 ≤0.2m		无序	完整 较完整 较破碎 破碎 极破碎				
	主要结构面 结合程度	好		一般		差		很差		—					
	主要结构面 类型	节理		裂隙		层面		小断层		各种类型					
	结构类型	整体 状	巨厚 层	厚 层	中厚 层	块 状	裂隙 块状	镶嵌 碎裂	薄层	碎裂 状		散体 状			
	节理条数	J:		S::		S:		S:		Sk:					
	节理发育程 度	不发育		发育		很发育		极发育							
	主要软弱结 构面产状	产状:				隧道 走向:		结构面走向与 洞轴线夹角:							
地下水 状态	干燥	潮湿或点滴状出水 $p \leq 0.1$ 或 $Q \leq 25$				淋雨状或涌流状出水 $0.1 < p \leq 0.5$ 或 $25 < Q \leq 125$				淋雨状或涌流状出水 $p > 0.5$ 或 $Q > 125$					
初始应力 状态	无高应力	高应力				极高应力				—					
围岩级别	原设计级别	I	II	III	IV	V	VI	现场判断级别		I	II	III	IV	V	VI

记录人:

日期: 年 月 日

表C.3 岩石坚硬程度的划分

名称		定性鉴定	代表性岩石	R (MPa)
硬质岩	坚硬岩	锤击声清脆，有回弹，震手，难击碎；浸水后，大多无吸水反应	未风化—微风化的花岗岩、正长岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英片岩、硅质板岩、石英岩、硅质胶结的砾岩、石英砂岩、硅质石灰岩等	>60
	较坚硬岩	锤击声较清脆，有轻微回弹。稍震手，较难击碎；浸水后，有轻微吸水反应	1. 中等风化的坚硬岩； 2. 未风化—微风化的熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、石灰岩、钙质胶结的砂页岩等	60~30
软质岩	较软岩	锤击声不清脆，无回弹，较易击碎；浸水后，指甲可刻出印痕	1. 强风化的坚硬岩； 2. 中等风化的较坚硬岩； 3. 未风化—微风化的凝灰岩、千枚岩、砂质泥岩、泥灰岩、泥质砂岩、粉砂岩、页岩等	30~15
	软岩	锤击声哑，无回弹，有凹痕，易击碎浸水后，手可掰开	1. 强风化的坚硬岩； 2. 中等(弱)风化—强风化的较坚硬岩； 3. 中等(弱)风化的较软岩； 4. 未风化的泥岩、泥质页岩、绿泥石片岩、绢云母片岩等	15~5
	极软岩	锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，手可捏碎；浸水后，可捏成团	1. 全风化的各种岩石； 2. 强风化的软岩； 3. 各种半成岩	<5

表C.4 岩石风化程度的划分

名称	野外特征	风化程度参数指标	
		波速比k _v	风化系数比k _f
未风化	岩石结构构造未变，岩质新鲜	0.9~1.0	0.9~1.0
微风化	岩石结构构造、矿物成分和色泽基本未变，部分裂隙面有铁锰质渲染或略有变色	0.8~0.9	0.8~0.9
中等(弱)风化	岩石结构构造部分破坏，矿物成分和色泽较明显变化，裂隙面风化较剧烈	0.6~0.8	0.4~0.8
强风化	岩石结构构造大部分破坏，矿物成分和色泽明显变化，长石、云母和铁镁矿物已风化蚀变	0.4~0.6	<0.4
全风化	岩石结构构造完全破坏，已崩解和分解成松散土状或砂状，矿物全部变色，光泽消失，除石英颗粒外的矿物大部分风化蚀变为次生矿物	0.2~0.4	—
注1:波速比k _v 为风化岩石弹性纵波速度与新鲜岩石弹性纵波速度之比。 注2:风化系数k _f 为风化岩石与新鲜岩石单轴饱和抗压强度之比。			

表C.5 岩体节理发育程度的划分

节理间距d (mm)	d>400	200<d≤400	20<d≤200	D≤20
节理发育程度	不发育	发育	很发育	极发育

表C.6 岩体完整程度定性划分

名称	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型
	组数	平均间距 (m)			
完整	1~2	>1.0	好或一般	节理、裂隙、层面	整体状或巨厚层结构
较完整	1~2	>1.0	差	节理、裂隙、层面	块状或厚层状结构
	2~3	1.0~0.4	好或一般		块状结构
较破碎	2~3	1.0~0.4	差	节理、裂隙、层面、小断层	裂隙块状或中厚层结构
	≥3	0.4~0.2	好		镶嵌碎裂结构
			一般		中、薄层状结构
破碎	≥3	0.4~0.2	差	各种类型结构面	裂隙块状结构
		≤0.2	一般或差		碎裂状结构
极破碎	无序	—	很差	—	散体状结构

注：平均间距指主要结构面(1~2组)间距的平均值。

表C.7 结构面结合程度划分

结合程度	结构面特征
好	张开度小于1 mm, 为硅质、铁质或钙质胶结, 或结构面粗糙, 无填充物; 张开度1 mm~3 mm, 为硅质或铁质胶结; 张开度大于3 mm, 结构面粗糙, 为硅质胶结
一般	张开度小于1 mm, 结构面平直, 钙泥质胶结或无填充物; 张开度1 mm~3mm, 为钙质胶结; 张开度大于3 mm, 结构面粗糙, 为铁质或钙质胶结
差	张开度1 mm~3 mm, 结构面平直, 为泥质胶结或钙泥质胶结; 张开度大于3mm, 多为泥质或岩屑胶结
很差	泥质充填或泥夹岩屑充填, 充填物厚度大于起伏差

表C.8 岩层厚度分类

单层厚度h(m)	h>1.0	0.5<h≤1.0	0.1<h≤0.5	h≤0.1
岩层厚度分类	巨厚层	厚层	中厚层	薄层

表C9 高初始应力地区围岩在开挖过程中出现的主要现象

应力情况	主要现象
极高应力	1. 硬质岩：开挖过程中有岩爆发生，有岩块弹出，洞壁岩体发生剥离，新生裂缝多，成洞性差； 2. 软质岩：岩芯常有饼化现象，开挖过程中洞壁岩体有剥离，位移极为显著，甚至发生大位移，持续时间长，不易成洞。
高应力	1. 硬质岩：开挖过程中可能出现岩爆，洞壁岩体有剥离和掉块现象，新生裂缝较多，成洞性差； 2. 软质岩：岩芯时有饼化现象，开挖过程中洞壁岩体位移显著，持续时间较长，成洞性差。

表C.10 公路隧道围岩级别划分

围岩级别	围岩岩体或土体主要定性特征	岩体基本质量指标BQ 或岩体修正质量指标[BQ]
I	坚硬岩，岩体完整	>550
II	坚硬岩，岩体较完整； 较坚硬岩，岩体完整	550~451
III	坚硬岩，岩体较破碎； 较坚硬岩，岩体较完整； 较软层，岩体完整，整体状或巨厚层状结构	450~351
IV	坚硬岩，岩体破碎； 较坚硬岩，岩体较破碎~破碎； 较软岩，岩体较完整~较破碎； 软岩，岩体完整~较完整	350~251
	土体：1. 压密或成岩作用的黏性土及砂性土； 2. 黄土(Q ₂ 、Q ₃)； 3. 一般钙质、铁质胶结的碎石土、卵石土、大块石土	—
V	较软岩，岩体破碎； 软岩，岩体较破碎~破碎； 全部极软岩和全部极破碎岩	≤250
	一般第四系的半干硬至硬塑的黏性土及稍湿至潮湿的碎石土，卵石土、圆砾、角砾土及黄土(Q ₂ 、Q ₃)。非黏性土呈松散结构，黏性土及黄土呈松软结构	
VI	软塑状黏性土及潮湿、饱和粉细砂层、软土等。	—

附 录 D
(资料性附录)

隧道内临近不良地质体前兆特征

D.1.1 临近大型溶洞水体或暗河的前兆主要包括：

- a) 裂隙、溶隙间出现较多的铁染锈或黏土；
- b) 岩层明显湿化、软化，或出现淋水现象；
- c) 小溶洞出现的频率增加，且多有水流、河沙或水流痕迹；
- d) 钻孔中的涌水量剧增，夹有泥沙或小砾石；
- e) 有哗哗的流水声；
- f) 钻孔中有凉风冒出。

D.1.2 临近断层破碎带的前兆主要包括：

- a) 节理组数急剧增加，可达十余组；
- b) 岩层有褶曲或褶皱现象出现，有时会出现由弧形节理组成的小型旋扭构造或反倾节理；
- c) 岩石强度明显降低；
- d) 出现压碎岩、碎裂岩、断层角砾岩等的出现，多数情况下会出现夹泥或铁染锈现象；
- e) 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。

D.1.3 临近人为坑洞积水的前兆主要包括：

- a) 岩层明显湿化、软化，或出现淋水现象；
- b) 岩层裂隙有涌水出现；
- c) 掌子面空气变冷或发生雾气；
- d) 有嘶嘶的水声；
- e) 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。

D.1.4 大规模塌方的前兆主要包括：

- a) 拱顶岩石开裂，裂缝旁有岩粉喷出或隧道内无故尘土飞扬；
- b) 初支开裂掉块、支撑拱架变形或发生声响；
- c) 拱顶岩石掉块或裂缝逐渐扩大；
- d) 干燥围岩突然涌水等。

D.1.5 煤与瓦斯突出的前兆主要包括：

- a) 掌子面地层压力增大，鼓壁，深部岩层或煤层的破裂声明显、响煤炮、掉渣、支护严重变形；
- b) 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；
- c) 煤层结构变化明显，层理紊乱，由硬变软，厚度与倾角发生变化，煤由湿变干，光泽暗淡，煤层顶、底板出现断裂、波状起伏等；
- d) 钻孔时有顶钻、夹钻、顶水、喷孔等动力现象；
- e) 掌子面发出瓦斯强涌出的嘶嘶声，同时带有粉尘；
- f) 掌子面有移动感。

附 录 E
(资料性附录)
超前钻探现场记录表

超前钻探现场记录用表参见表E.1。

表E.1 超前钻探现场记录表

单位名称：记录编号：

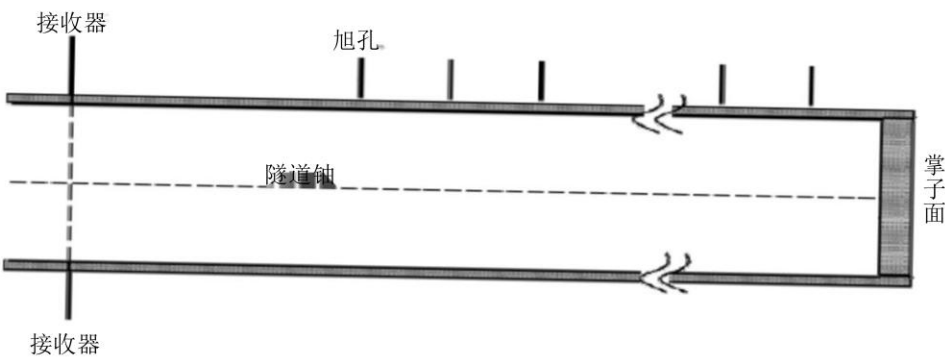
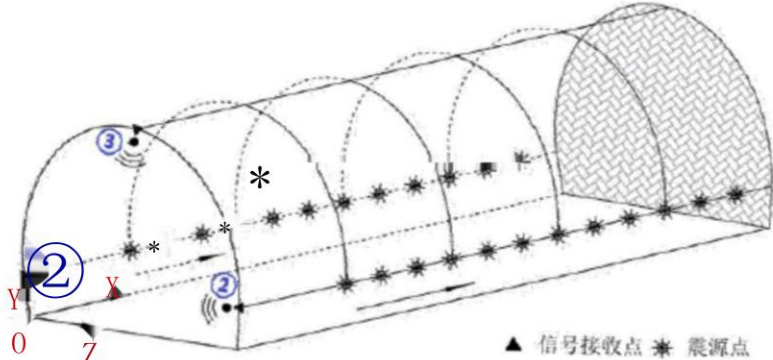
工程名称				掌子面里程	
隧道名称				照片编号	
主要仪器设备					
钻孔编号	钻孔位置	开(终)孔时间	孔深 (m)	钻进特征及地质情况描述 (钻进压力、速度，冲洗液颜色和流量变化情况，涌砂、 空洞、卡钻位置，突进里程，声音变化等)	

记录人：日期： 年 月 日

附 录 F
(资料性附录)
地震波法观测系统布置

地震波法观测系统布置参见表F.1。

表F.1地震波法观测系统布置

方法	观测系统布置
地震反射波法	
	检波器与激发点位于同一平面，激发点沿边墙布置。
地震层析成像法	
	采用三维空间观测，接收点空间布置，激发点沿左右边墙布置。

附 录 G
(资料性附录)
常见介质的物性参数

常见介质的物性参数参见表G.1～G.3。

表 G.1 常见介质的纵、横波速

分类	介质名称	纵波波速Vp (m/s)	横波波速Vs (m/s)	分类	介质名称	纵波波速Vp (m/s)	横波波速Vs (m/s)
岩浆岩	花岗岩	4500~6500	2300~3800	沉积岩	干砂砾石	100~600	50~300
	闪长岩	5700~6400	2800~3800		湿砂砾石	200~2000	100~1100
	玄武岩	4500~8000	3000~4500		灰岩	2000~6250	1100~3500
	安山岩	4100~5600	2500~3300		砾岩	1600~4200	900~2200
	辉长岩	5300~6500	3200~4000		砂岩	1500~4300	900~2400
	辉绿岩	5200~5800	3400~3500		页岩	1300~1000	700~2300
	橄榄岩	6500~8000	4000~4800		白云岩	2000~6250	1100~3500
	凝灰岩	2600~4300	1600~2600		泥质灰岩	2000~4400	1200~2400
变质岩	片麻岩	6000~6700	3500~4000		泥质片岩	2700~4800	1400~2700
	大理岩	5800~7300	3500~4700		硬石膏	4500~6500	1800~2500
	石英岩	3000~6600	2800~3200		黏土	1200~1800	600~1000
	片岩	5800~6100	3500~3800		煤	1600~1900	700~800
	板岩	3600~4500	2100~2800		泥	500~1900	200~800
	千枚岩	2800~5200	1800~3200			—	—
其他	冰	3100~4200	—		—		
	水	1430~1500	—		—	—	—
	空气	310~360	—		—		—
	混凝土	2000~4500	1100~2700		—	—	

表G2 常见介质的相对介电常数

分类	介质名称	相对介电常数	分类	介质名称	相对介电常数
岩浆岩	花岗岩	7~12	矿物	辉石	6.9~10.3
	正长岩	13~14		长石	4.5~6.2
	闪长岩	8~9		白云母	6.2~8.0
	橄榄岩	10~11		黑云母	6.2~9.3
	玄武岩	12		石英	4.2~5.0
	辉岩	6		方解石	7.8~9.5
	凝灰岩	3~5		硬石膏	5.5~6.3
变质岩	片麻岩	8~15		石膏	5.0~11.6
	大理岩	3		刚玉	11.0~13.2
	石英岩	4~5		赤铁矿	25
	蛇纹岩	6~10		锡石	23
	页岩	5~15		铝矾	50~74
	滑石页岩	7~31		石油	2.0~2.7
沉积岩	白云岩	7~12	其他	真空	1
	石灰岩	9~15		空气等气体	1~1.2
	砂岩	5~11		水(20℃)	78.5~81.5
	长石砂岩	5~6		冰	2.8~4.3
	砂质泥岩	5~6		混凝土	4~20
松散层	干砂	2~5		沥青	3~5
	湿砂(15%水)	8~9		-	-
	土壤	2~32		-	-
	黏土	2~40		-	-
	淤泥	5~30		-	-
	木头	2~8		-	-

表G3 常见介质的电阻率值

分类	介质名称	电阻率 ρ ($\Omega \cdot m$)	分类	介质名称	电阻率 ρ ($\Omega \cdot m$)
矿物	石英	$10^{1.2} \sim 10^1$	沉积岩	砾岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^4$
	长石	$4 \times 10^{1.1}$		贝壳灰岩	$2 \times 10^1 \sim 2 \times 10^2$
	白云母	$4 \times 10^{1.1}$		泥灰岩	$5 \times 10^0 \sim 5 \times 10$
	方解石	$5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^{1.2}$		灰岩	$6 \times 10^2 \sim 6 \times 10^2$
	磁铁矿	$1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^3$		白云岩	$5 \times 10^1 \sim 6 \times 10^3$
	黄铜矿	$1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^0$		破碎含水白云岩	$1.7 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3$
	石油	$1 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{1.0}$		硬石膏	$1 \times 10 \sim 1 \times 10^6$
岩浆岩	花岗岩	$6 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$	第四系 松散层	黄土	$0 \sim 2 \times 10^2$
	正长岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$		黏土	$1 \sim 2 \times 10^2$
	闪长岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$		含水黏土	$2 \times 10^1 \sim 1 \times 10^1$
	辉长岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$		亚黏土	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^2$
	辉绿岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$		含砾亚黏土	$8 \times 10^1 \sim 2.4 \times 10^2$
	玄武岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^5$		含砾黏土	$2.2 \times 10^2 \sim 7 \times 10^3$
变质岩	片麻岩	$6 \times 10^2 \sim 1 \times 10^4$		卵石	$3 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3$
	大理岩	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$		含水卵石	$5 \times 10^1 \sim 8 \times 10^2$
	石英岩	$2 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$		含水砂卵石层	$5 \times 10^1 \sim 5 \times 10^2$
	片岩	$2 \times 10^2 \sim 5 \times 10$	自然水	岩溶水	$1.5 \times 10^1 \sim 3 \times 10^1$
	板岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10$		深成盐渍水	$1 \sim 1 \times 10^{-1}$
沉积岩	疏松砂岩	$2 \times 10^0 \sim 5 \times 10^1$		潜水	$< 1 \times 10$
	致密砂岩	$2 \times 10^1 \sim 1 \times 10^3$		河水	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^0$
	含油气砂岩	$2 \times 10^0 \sim 1 \times 10^3$		海水	$1 \times 10^{-1} \sim 1$
	页岩	$1 \times 10^0 \sim 1 \times 10^2$		雨水	$> 1 \times 10^3$
	泥岩	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^0$		冰	$1 \times 10^0 \sim 1 \times 10^0$

附录 H
(资料性附录)
地震波法典型图像

地震波法典型图像参见表H.1。

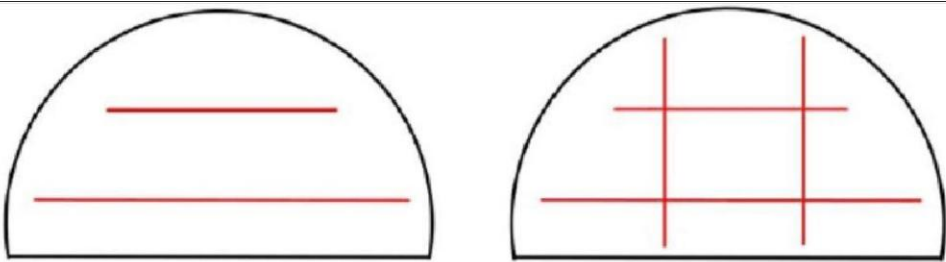
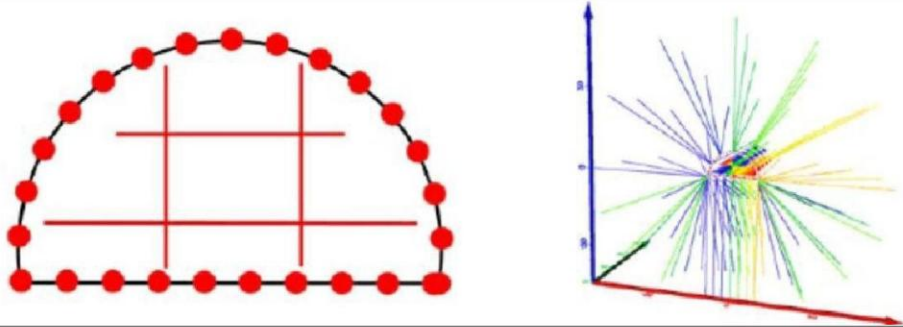
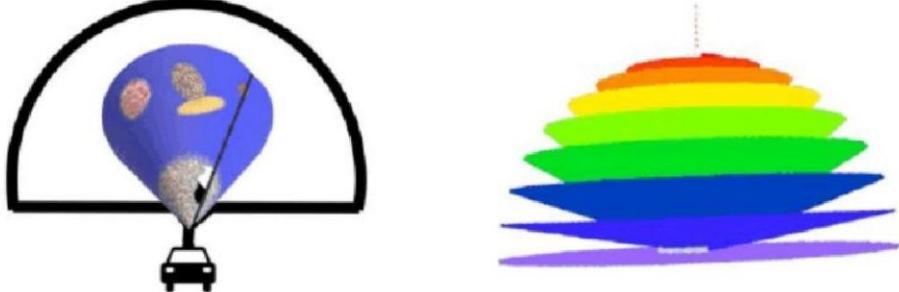
表H.1 地震波法典型图像

方法	不良地质	典型图像
地震反射波法	破碎带	
地震层析成像法	破碎带	
	软弱夹层	
	坍塌和堆积体	

附 录 I
(资料性附录)
地质雷达法观测系统布置

地质雷达法观测系统布置参见表I.1。

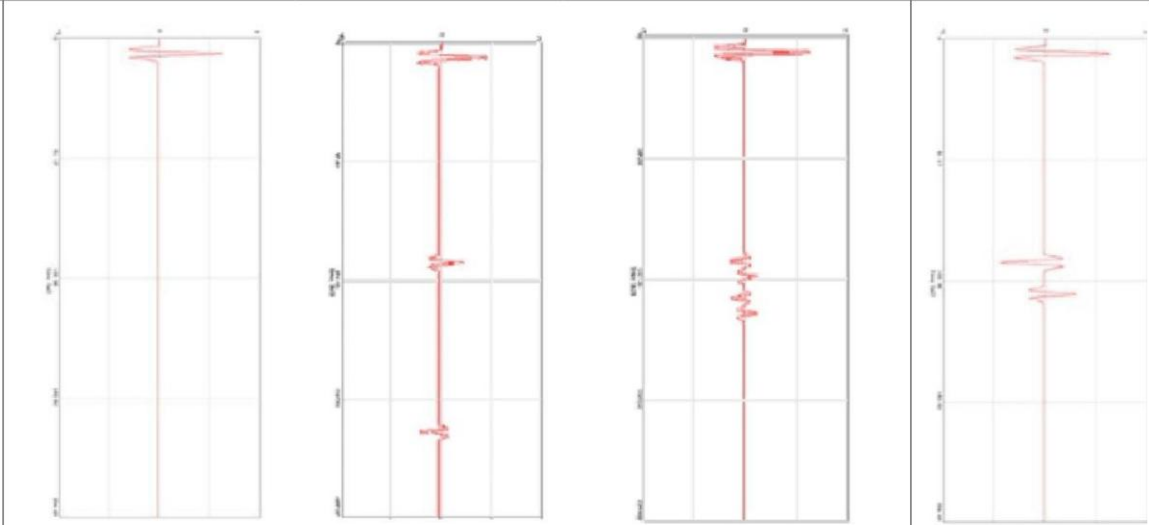
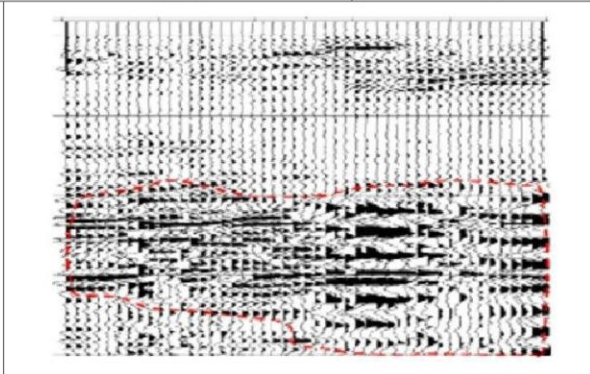
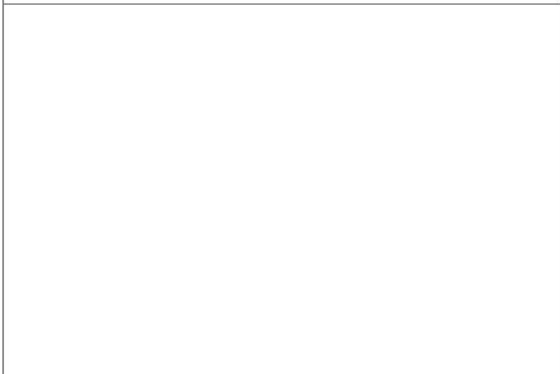
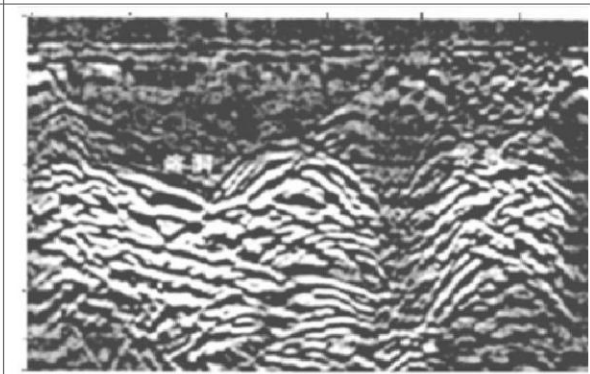
表1.1 地质雷达法观测系统布置

方法	观测系统布置
二维 观测系统	 在掌子面“二”字形或“井”字形布置测线，预报掌子面正前方地质状况。
三维 观测系统 (手动)	 在掌子面“井”字形布置测线；在掌子面周边布置测点，每点处通过调整天线角度测得多条扫描线，形成覆盖隧道前方及周边的三维测线，实现三维超前地质预报。
三维 观测系统 (自动)	 装置位于掌子面后方，通过自动调整天线仰角和旋转天线，形成覆盖隧道前方及周边的多个锥形曲面，实现三维超前地质预报。

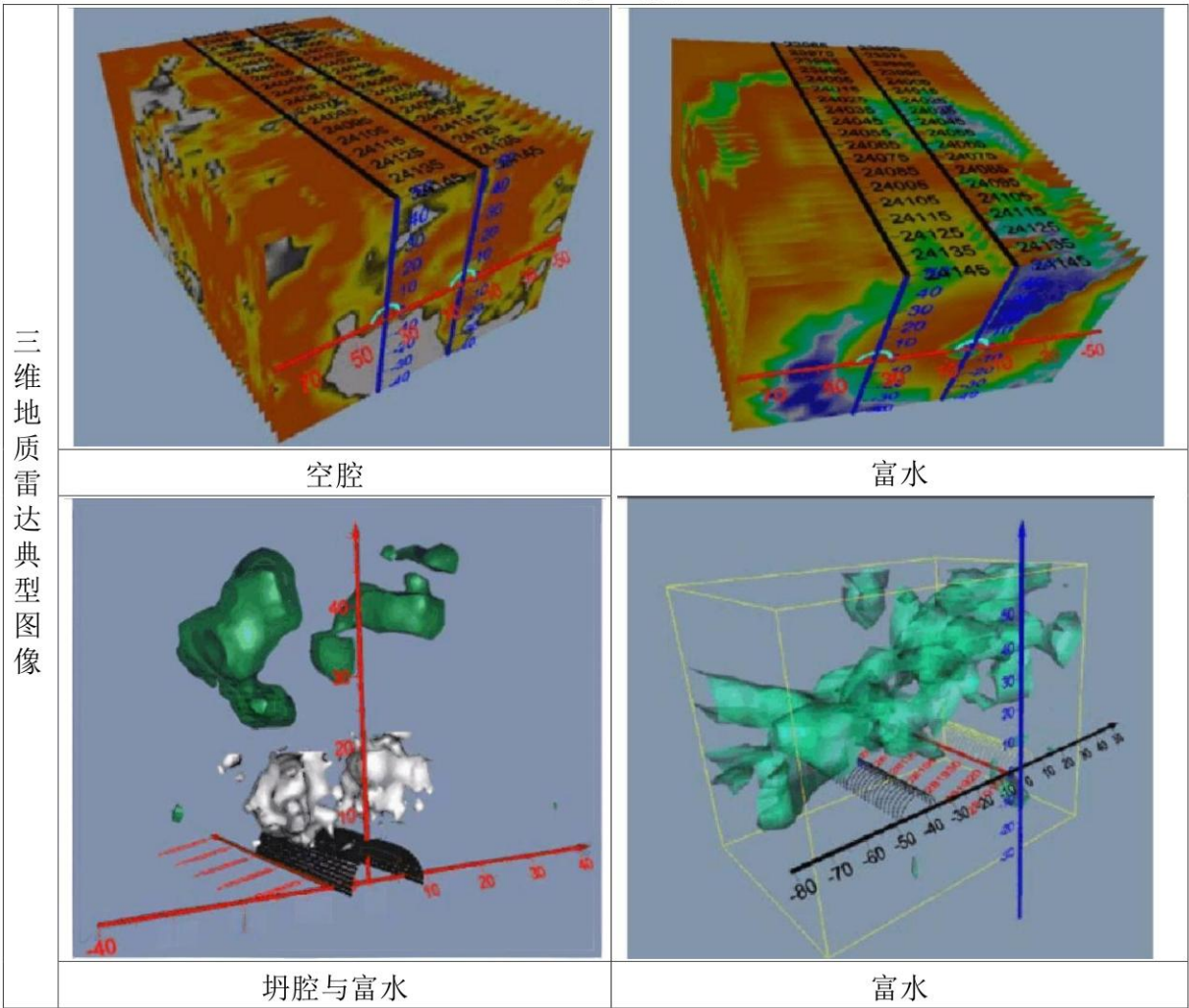
附 录 J
(资料性附录)
地质雷达法理论波形与典型图像

地质雷达法理论波形与典型图像参见表J.1。

表 J.1 地质雷达法理论波形与典型图像

地质雷达理论波形				
	无异常	富水	破碎	空洞
地质雷达典型图像				
	围岩完整		富水	
				
破碎带		溶洞		

表J. 1(续)



附 录 K
(资料性附录)
大功率电测深法典型图像

大功率电测深法典型图像参见表K.1。

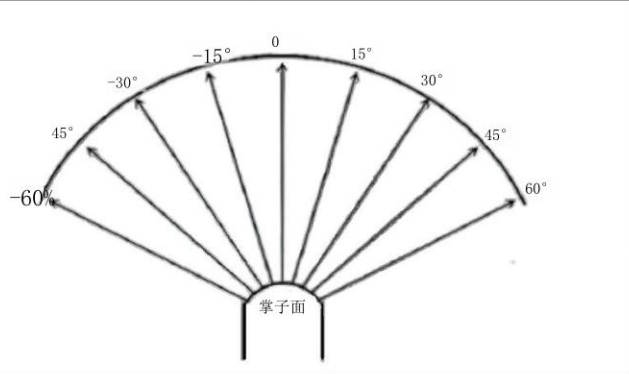
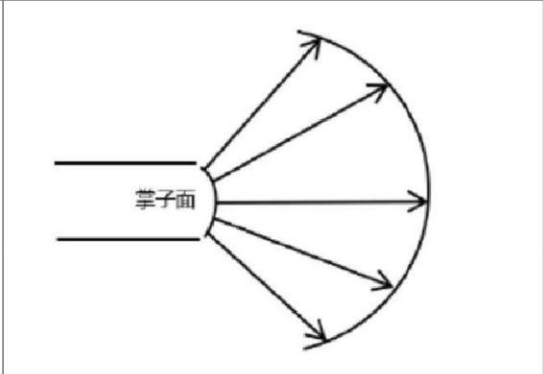
表K.1 大功率电测深法典型图像

不良地质	典型图像
断层	
岩溶	
地下暗河或岩溶水	
破碎带	

附 录 L
(资料性附录)
瞬变电磁法观测系统布置及典型图像

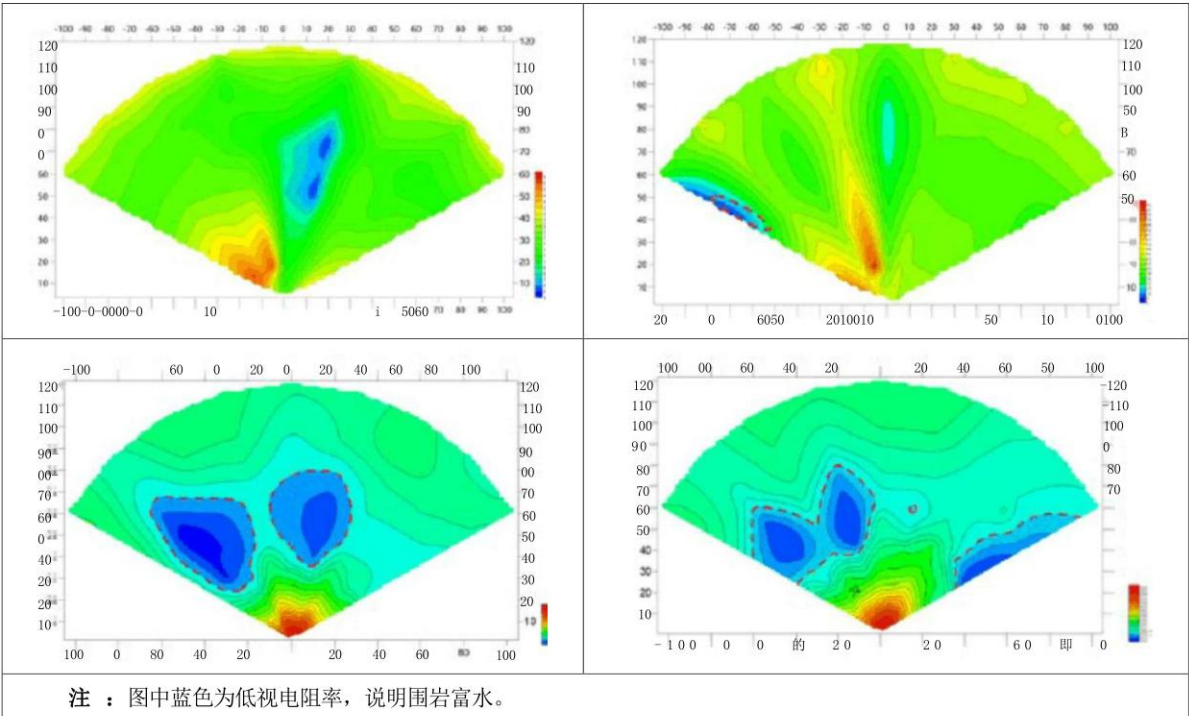
瞬变电磁法观测系统布置及典型图像参见表L.1~L.2。

表L.1 瞬变电磁法观测系统布置

	
观测系统俯视图	观测系统侧视图

等角度布置多条测线，形成一个扇形扫描断面；调整线圈仰角，布置其他扫描断面，形成覆盖掌子面前方和周边的观测系统。

表L.2 瞬变电磁法典型图像



附录 M
(资料性附录)
中间成果报告格式

中间成果报告格式参见图M.1。

预警级别：

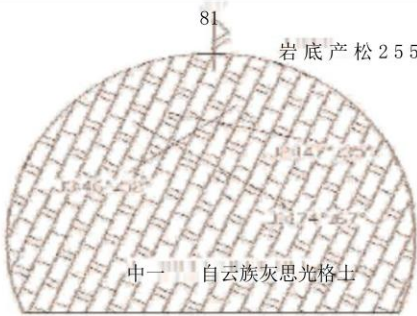
1级

隧道超前地质预报报告

检测单位名称(专用章): ×××××公司 报告编号: ×××××(善)

工程名称	×××商 公路	预报方法	地质雷达
隧道名称	××隧道	洞口	左幅进口
预报里程	K281+915~K281+970	依据规范	
主要仪器设备及编号	SIR 30 地底雷坊G能1311、 天线321013--12		





腿追率子面为中风化~强风化白云断友岩，较坚爬。节迎楼陞较发育，岩体破碎，裂隙亮配，左制夹层泥质[较多，中部和右岗君体呈券层机：举子面干燥，易摔块，科岩宝整性和蕊定性较美。

不良地质聚警图



我管段汇雅赛				
里程范腾	长度(m)	不良池斯类型	民潜缴别	说明
XZ81-95W~2281+9	5	陈败迷据	1	
K238115%5-6881152	6	辨水突泥	I	
	/	/	!	

预报结论：
1、设计出岩饭别V级，建议威岩级别V缓，灭变化。
2. 本期预蓄级别对I绿：否在商处港在个良地质。

附加声呀：

轮测： 审核 抵准： 日期： 年 月 日

图M.1 中间成果报告格式

附 录 N
(资料性附录)
不良地质预警

- N.1.1 不良地质预警内容宜包括涌水突泥、断层破碎带、岩溶和软弱地层，有条件时，也可对高地应力和瓦斯地层进行预警。
- N.1.2 宜按照预报实施细则确定的预警机制及时报送预警信息，并以中间成果报告的形式提交预警信息。
- N.1.3 不良地质预警分级宜按表N.1执行。

表N.1 隧道不良地质预警分级

等级	颜色	颜色图标	可能性描述	对应风险	应对措施
Ⅲ	—	—	可能性小	较小	不预警，正常施工
Ⅱ	黄色		有一定可能性	一般	加强观察，必要时采取相应工程措施
Ⅰ	红色		可能性大	重大	暂停施工，采取相应工程措施

参 考 文 献

- [1]GB/T 50218-2014 工程岩体分级标准
 - [2]JTG/T 3660-2020 公路隧道施工技术规范
 - [3]JTG C20-2011 公路工程地质勘察规范
 - [4]JTG/T C22-2009 公路工程物探规程
 - [5]JT/T 1181-2018 公路水运工程试验检测等级管理要求
 - [6]JT/T 828-2019 公路水运试验检测数据报告编制导则
 - [7]《公路水运试验检测数据报告编制导则》(JT/T 828-2019) 释义手册
 - [8]Q/CR 9217-2015 铁路隧道超前地质预报技术规程
 - [9]T/CECS 616-2019 隧道施工超前地质预报技术规程
-