

# Q/CR

中国铁路总公司企业标准

P

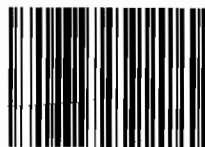
Q/CR 9217—2015

## 铁路隧道超前地质预报技术规程

Technical Specification for Geology Forecast of Railway Tunnel

2015-02-16 发布

2015-06-01 实施



151134401

定 价：18.00 元

中国铁路总公司 发布

中国铁路总公司企业标准  
铁路隧道超前地质预报技术规程  
Q/CR 9217—2015

\*

中国铁道出版社出版发行  
(100054,北京市西城区右安门西街8号)  
出版社网址: <http://www.tdpress.com>

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 850 mm×1 168 mm 1/32 印张: 3.25 字数: 81 千  
2015年5月第1版 2015年5月第1次印刷

书号: 15113·4401 定价: 18.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社发行部联系调换。

发行部电话: 路(021)73174, 市(010)51873174

中国铁路总公司关于印发  
《高速铁路路基工程施工技术规程》  
等16项建设标准的通知

铁总建设〔2015〕80号

现将《高速铁路路基工程施工技术规程》(Q/CR 9602—2015)、《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》(Q/CR 9210—2015)、《铁路路基工程施工机械配置技术规程》(Q/CR 9224—2015)、《铁路混凝土拌和站机械配置技术规程》(Q/CR 9223—2015)、《铁路桥梁工程施工机械配置技术规程》(Q/CR 9225—2015)、《铁路钢桥制造规范》(Q/CR 9211—2015)、《铁路桥梁钻孔桩施工技术规程》(Q/CR 9212—2015)、《高速铁路桥涵工程施工技术规程》(Q/CR 9603—2015)、《高速铁路隧道工程施工技术规程》(Q/CR 9604—2015)、《铁路隧道超前地质预报技术规程》(Q/CR 9217—2015)、《铁路隧道监控量测技术规程》(Q/CR 9218—2015)、《铁路隧道施工抢险救援指南》(Q/CR 9219—2015)、《铁路隧道工程施工机械配置技术规程》(Q/CR 9226—2015)、《铁路建设项目现场管理规范》(Q/CR 9202—2015)、《铁路建设项目工程试验室管理标准》(Q/CR 9204—2015)、《铁路工程试验表格》(Q/CR 9205—2015)等16项建设标准印发给你们,自2015年6月1日起施行。

原铁道部印发的《高速铁路路基工程施工技术指南》(铁建设〔2010〕241号)、《铁路路基填筑工程连续压实控制技术规程》(TB 10108—2011)、《铁路路基工程施工机械配置指导意见》(铁建设〔2012〕113号)、《铁路混凝土拌和站机械配置指导意见》(铁建设

[2012]113号)、《铁路桥梁施工机械配置指导意见》(铁建设[2010]125号)、《铁路钢桥制造规范》(TB 10212—2009)、《铁路桥梁钻孔桩施工技术规范》(TZ 322—2010)、《高速铁路桥涵工程施工技术规范》(铁建设[2010]241号)、《高速铁路隧道工程施工技术规范》(铁建设[2010]241号)、《铁路隧道超前地质预报技术指南》(铁建设[2008]105号)、《铁路隧道监控量测技术规程》(TB 10121—2007)、《铁路隧道施工抢险救援指导意见》(铁建设[2010]88号)、《铁路隧道施工机械配置的指导意见》(铁建设函[2008]777号)、《铁路建设项目现场管理规范》(TB 10441—2008)、《铁路建设项目工程试验室管理标准》(TB 10442—2009)、《铁路工程试验表格》(铁建设函[2009]27号)等16项标准同时停止执行。

16项建设标准由中国铁路总公司建设管理部负责解释,单行本由经规院、中国铁道出版社组织出版发行。

中国铁路总公司

2015年2月16日

## 前 言

本技术规程是根据构建中国铁路总公司铁路工程建设标准体系要求,在原铁道部《铁路隧道超前地质预报技术指南》(铁建设[2008]105号)的基础上修编而成。

本技术规程在编制过程中,与现行国家、行业标准和总公司相关标准进行了协调,调整了原指南中不符合总公司铁路建设项目特点和要求的有关内容,吸纳了总公司铁路隧道工程建设超前地质预报的实践经验,配套修改了标准动态管理工作中对相关标准已作的局部修订内容,为总公司铁路工程施工质量和安全提供技术支撑。

本技术规程共分9章,主要内容包括:总则,术语和符号,基本规定,超前地质预报设计,超前地质预报实施,地质调查法,超前钻探法,物探法,超前导坑预报法,另有9个附录。

本技术规程主要修订了超前地质预报方法和岩土可钻性分级,明确了超前地质预报应纳入工序和施工组织设计进行管理,高地应力及极高地应力地段应开展地应力探测预报工作等要求,完善了建设各方超前地质预报工作职责和内容。

在本技术规程执行过程中,希望各单位结合工程实际,认真总结经验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见和有关资料寄送中铁隧道集团有限公司(地址:河南省洛阳市状元红路3号,邮编:471009,E-mail:gcb@ctg.ha.cn),并抄送中国铁路经济规划研究院(北京市海淀区北蜂窝路乙29号,邮编:100038),以供今后修订时参考。

本技术规程由中国铁路总公司建设管理部负责解释。

本技术规程主编单位:中铁隧道集团有限公司。

本技术规程参编单位:中铁二院工程集团有限责任公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司、中铁隧道勘测设计院有限公司、中铁科学研究院有限公司。

本技术规程主要起草人:洪开荣、齐传生、王小平、陈文义、高存成、杨世武、李 坚、周柏林、何发亮、王洪勇、刘招伟、李彦军、杨军生、闫高翔、袁真秀。

本技术规程主要审查人:倪光斌、林传年、周诗广、钱征宇、张翠兵、赵 勇、唐国荣、黄鸿键、肖广智、张民庆、韩福忠、张松岩、林振球、李 响、方 利、肖道坦、高 杨、史玉新、王永国、苏新民、张金夫、陈德斌、霍玉华、苏庆国。

## 目 次

|                   |    |
|-------------------|----|
| 1 总 则 .....       | 1  |
| 2 术语和符号 .....     | 2  |
| 2.1 术 语 .....     | 2  |
| 2.2 符 号 .....     | 4  |
| 3 基本规定 .....      | 5  |
| 4 超前地质预报设计 .....  | 9  |
| 5 超前地质预报实施 .....  | 11 |
| 5.1 一般规定 .....    | 11 |
| 5.2 断层预报 .....    | 13 |
| 5.3 岩溶预报 .....    | 14 |
| 5.4 煤层瓦斯预报 .....  | 17 |
| 5.5 其 他 .....     | 20 |
| 6 地质调查法 .....     | 21 |
| 7 超前钻探法 .....     | 25 |
| 7.1 超前地质钻探 .....  | 25 |
| 7.2 加深炮孔探测 .....  | 28 |
| 8 物 探 法 .....     | 30 |
| 8.1 一般规定 .....    | 30 |
| 8.2 弹性波反射法 .....  | 32 |
| 8.3 电磁波反射法 .....  | 43 |
| 8.4 高分辨直流电法 ..... | 46 |
| 9 超前导坑预报法 .....   | 48 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 附录 A 一般安全防护规定 .....        | 49 |
| 附录 B 地质复杂程度分级 .....        | 51 |
| 附录 C 临近隧道内不良地质体的可能前兆 ..... | 53 |
| 附录 D 岩溶发育的基本条件和一般规律 .....  | 55 |
| 附录 E 铁路隧道围岩基本分级 .....      | 58 |
| 附录 F 隧道地质展视图 .....         | 64 |
| 附录 G 岩土可钻性分级 .....         | 65 |
| 附录 H 钻孔柱状图 .....           | 67 |
| 附录 J 地震波反射法观测系统设计 .....    | 68 |
| 本技术规程用词说明 .....            | 69 |
| 《铁路隧道超前地质预报技术规程》条文说明 ..... | 70 |

## 1 总 则

- 1.0.1** 为规范铁路隧道超前地质预报技术工作,提高超前地质预报水平,保障隧道工程质量和施工安全,制定本技术规程。
- 1.0.2** 本技术规程适用于新建铁路隧道超前地质预报工作。
- 1.0.3** 铁路隧道勘测设计阶段应根据隧道环境及特点进行超前地质预报方案设计,并将费用纳入工程概算。
- 1.0.4** 铁路隧道施工阶段应实施超前地质预报并纳入工序进行管理。隧道施工前,施工单位应根据预报对象的特点和超前地质预报方案设计,编制超前地质预报实施细则并纳入施工组织设计。
- 1.0.5** 铁路隧道超前地质预报应根据隧道环境及特点,选择适宜的方法并积极采用综合预报方法,提高预报的准确性。
- 1.0.6** 超前地质预报的安全工作应符合本技术规程附录 A 的规定。
- 1.0.7** 铁路隧道超前地质预报应积极采用新技术、新设备、新方法。
- 1.0.8** 铁路隧道超前地质预报工作除应符合本技术规程外,尚应符合现行国家、行业和中国铁路总公司有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 超前地质预报 geology forecast

在分析既有地质资料的基础上,采用地质调查、物探、地质超前钻探、超前导坑等手段,对隧道开挖工作面前方的工程地质与水文地质条件及不良地质体的工程性质、位置、产状、规模等进行探测、分析判释及预报,并提出技术措施建议。

#### 2.1.2 综合超前地质预报 comprehensive geology forecast

根据预报对象的地质特点,采取两种或两种以上有效的预报手段进行相互印证的超前地质预报方法。

#### 2.1.3 地质复杂程度分级 classification of geological factors by intricacy

综合考虑隧道工程地质与水文地质条件、可能发生的地质灾害对隧道施工及环境的影响程度,对隧道所处地质条件复杂程度进行的分级。包括复杂、较复杂、中等复杂和简单四级。

#### 2.1.4 超前钻探 advance exploration drilling

在隧道开挖工作面或其侧洞沿开挖前进方向施做超前地质钻孔,以探明开挖工作面前方地质条件。

#### 2.1.5 打钻瓦斯动力现象 gas burstin borehole drilling

钻孔过程中大量的瓦斯、煤浆、煤粉、水从钻孔中喷出(喷孔、喷水)或高压瓦斯将钻杆向外推(顶钻)、夹钻、抱钻、顶水等现象。

#### 2.1.6 物理勘探 geophysical prospecting(geophysical exploration)

利用物理学的原理、方法和专门的仪器,观测并综合分析天然

或人工地球物理场的分布特征,探测地质体或地质构造形态的勘探方法,简称“物探”。

#### 2.1.7 综合物探 comprehensive physical exploration

根据勘探对象所具有的不同物理性质,采取两种或两种以上有效的物探方法进行探测并对资料进行综合分析。

#### 2.1.8 物性 physical properties

探测对象所具有的物理性质。

#### 2.1.9 物探正演 geophysical direct problem

根据地质体的几何参数和物性参数计算它的地球物理场值。

#### 2.1.10 物探反演 geophysical inversion

利用测得的地球物理场数据,计算地质体的几何参数和物性参数。

#### 2.1.11 纵波 dilatational wave

质点振动方向与波的传播方向一致的体波,又称压缩波。

#### 2.1.12 横波 transverse wave

质点振动方向与波的传播方向垂直的体波,又称剪切波。

#### 2.1.13 正常场(背景值) normal field

物理场的相对平稳部分。

#### 2.1.14 异常 anomaly

偏离正常场并超过一定数值的物理场。

#### 2.1.15 偏移距 offset

激发点到最近检波点间的水平距离。

#### 2.1.16 道间距 group interval

相邻检波器之间的水平距离。

#### 2.1.17 初至 first arrival

波形记录道上第一个到达波的振动时刻。

#### 2.1.18 时距曲线 time distance curve

弹性波的走行时间与距离之间的关系曲线。

#### 2.1.19 多次覆盖(叠加) multiple coverage

对同一反射界面进行多次重复追踪,把共反射点道的信号进行叠加处理以提高反射记录质量的一种观测系统。

#### 2.1.20 同相轴 event

波形记录上同一信号源的各道相同相位的连线。

#### 2.1.21 介电常数 dielectric constant

在有外电场作用时,物质储存电荷能力的量度,是一个点上电位移和电场强度的比值。

#### 2.1.22 电阻率 resistivity

电场强度与电流密度的比值,是介质的电性参数,表示电流通过某种介质的难易程度。

#### 2.1.23 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、形态和观测条件有关。

#### 2.1.24 第一菲涅尔带 The first Fresnel zone

第一菲涅尔带是指反射界面上绕射子波之间相位差小于半个周期的区域,其范围大约是反射波可以分辨的横向地质体大小的范围。

### 2.2 符 号

$R_c$ ——岩石单轴饱和抗压强度

$c$ ——黏聚力

$\varphi$ ——内摩擦角

$I_x$ ——点荷载强度极限

$\nu$ ——泊松比

$\gamma$ ——天然容重

$E$ ——变形模量

$K_v$ ——岩体完整性指数

$v_p$ ——纵波速度

$v_s$ ——横波速度

## 3 基本规定

### 3.0.1 隧道超前地质预报应达到下列目的:

1 进一步查清隧道开挖工作面前方的工程地质与水文地质条件,指导工程施工顺利进行。

2 降低地质灾害发生的几率和危害程度。

3 为优化工程设计提供地质依据。

4 为编制竣工文件提供地质资料。

### 3.0.2 超前地质预报应包括下列主要内容:

1 地层岩性预测预报,特别是对软弱夹层、破碎地层、煤层及特殊岩土预测预报。

2 地质构造预测预报,特别是对断层、节理密集带、褶皱轴等影响岩体完整性的构造发育情况的预测预报。

3 不良地质预测预报,特别是对岩溶、人为坑洞、瓦斯等发育情况的预测预报。

4 地下水预测预报,特别是对岩溶管道水及富水断层、富水褶皱轴、富水地层中的裂隙水等发育情况的预测预报。

### 3.0.3 隧道超前地质预报可按图 3.0.3 所示的工作程序进行。

### 3.0.4 隧道工程参建各方超前地质预报工作应符合下列规定:

1 建设单位应负责隧道超前地质预报实施细则的审批,并对地质预报工作的实施情况进行监督和检查。

2 勘察设计单位应进行隧道地质复杂程度分级,进行超前地质预报方案设计,编制工程概预算;分析和研究施工超前地质预报成果,发现地质情况与设计不符的,要按程序及时进行变更设计。

3 施工图阶段经评估为高风险和极高风险的软弱围岩及不

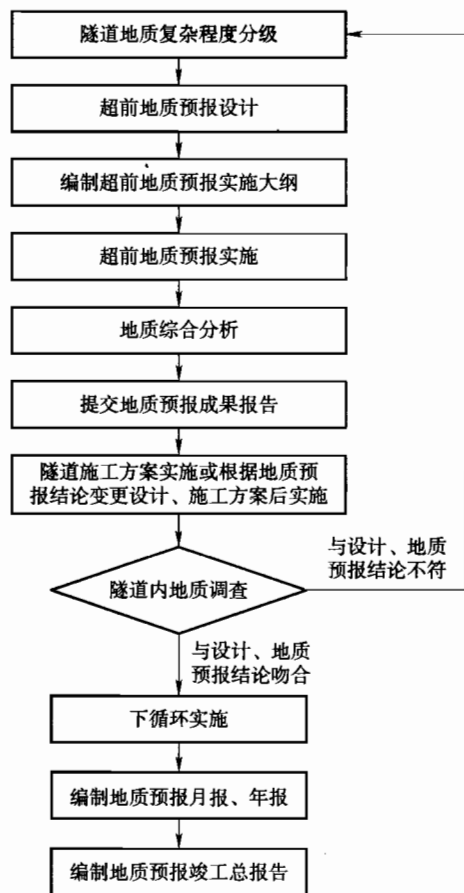


图 3.0.3 隧道超前地质预报工作程序框图

良地质隧道,超前地质预报的责任主体为设计单位,其超前地质预报工作由设计单位负责组织实施。其他隧道超前地质预报的责任主体单位为施工单位,超前地质预报工作由施工单位组织实施。

4 工程地质、水文地质复杂的长隧道和特长隧道,可能存在诱发重大地质灾害的隧道,地下水活跃、围岩软弱、含富水断层的

隧道,高瓦斯、高地应力的隧道,可能发生突水、突泥的隧道,可委托专业队伍,采用新技术、新设备、新方法,开展第三方超前地质预报工作。

5 超前地质预报实施单位在开工前应结合风险评估编制超前地质预报实施细则,按程序审查和批准后负责组织实施;预报实施单位应及时将超前地质预报成果报施工、监理、勘察设计、建设单位,并对超前地质预报成果及数据的真实性负责。

6 施工单位应积极组织或配合实施超前地质预报工作,并纳入实施性施工组织设计,利用超前地质预报成果及时指导施工,减少施工的盲目性和安全风险。

7 监理单位应对隧道超前地质预报实施过程进行监理,负责监督检查施工单位现场专业技术人员(地质、物探)数量及能力、设备类型及数量、超前地质预报的实施和数据采集以及相关协调工作等。

3.0.5 承担地质条件复杂隧道的超前地质预报实施单位应具有实施超前地质预报的工作能力,或委托有相应资质的专业化队伍实施,并纳入现场施工工序管理。超前地质预报实施单位应根据预报方案和合同规定配备专业人员和仪器设备。仪器设备的性能、精度及效率应能满足预报和工期的要求。

3.0.6 隧道超前地质预报应进行地质复杂程度分级,确定重点预报地段,并应遵循动态设计原则,根据预报实施工作中掌握的地质情况,及时调整隧道区段的地质复杂程度分级、预报方法和技术要求。

3.0.7 隧道超前地质预报可采用地质调查与勘探相结合、物探与钻探相结合、长距离与短距离相结合、地面与地下相结合、超前导坑与主洞探测相结合的方法,并对各种方法预报结果综合分析,相互验证,提高预报准确性。

3.0.8 隧道设有平行导坑或为线间距较小的两座隧道时,应利用平行超前导坑、先行施工的隧道开展隧道超前地质预报工作。



**3.0.9** 改建及增建二线铁路隧道应在充分利用既有隧道工程地质资料及施工地质资料的基础上,结合改建及增建二线隧道与既有隧道的空间关系,比照新建铁路隧道的要求做好超前地质预报工作。

**3.0.10** 超前地质预报的结果应及时处理并反馈有关各方。

**3.0.11** 超前地质预报应进行实际地质状况与设计的对比分析,总结经验教训,不断提高隧道工程地质勘察质量。

## 4 超前地质预报设计

**4.0.1** 铁路隧道工程在各设计阶段均应进行相应的超前地质预报设计,预报方法的选择应与施工方法相适应。

**4.0.2** 超前地质预报可采用地质调查法、超前钻探法、物探法和超前导坑预报法,各预报方法应包括下列内容:

1 地质调查法:包括隧道地表补充地质调查、洞内开挖工作面地质素描和洞身地质素描、地层分界线及构造线的地下和地表相关性分析、地质作图等。

2 超前钻探法:包括超前地质钻探、加深炮孔探测及孔内摄影。

3 物探法:包括弹性波反射法(地震波反射法、水平声波剖面法、负视速度法和极小偏移距高频反射连续剖面法等)、电磁波反射法(地质雷达探测)、高分辨直流电法等。

4 超前导坑预报法:包括平行超前导坑法、正洞超前导坑法等。

**4.0.3** 超前地质预报可采用长距离预报、中长距离预报和短距离预报,预报长度的划分和预报方法的选择应符合下列规定:

1 长距离预报:预报长度 100 m 以上。可采用地质调查法、地震波反射法及 100 m 以上的超前钻探等。

2 中长距离预报:预报长度 30 m~100 m。可采用地质调查法、弹性波反射法及 30 m~100 m 的超前钻探等。

3 短距离预报:预报长度 30 m 以内。可采用地质调查法、弹性波反射法、电磁波反射法(地质雷达探测)及小于 30 m 的超前钻探等。

**4.0.4** 隧道超前地质预报设计前,应根据隧道的工程地质与水文

地质条件、地质因素对隧道施工影响程度及诱发环境问题的程度等,对隧道分段进行地质复杂程度分级。隧道地质复杂程度可按本技术规程附录 B 分为复杂、较复杂、中等复杂和简单四级。

**4.0.5** 隧道地质复杂程度分级应根据开挖过程中的超前地质预报成果和实际地质条件进行动态调整。

**4.0.6** 隧道超前地质预报应根据不同的地质复杂程度分级,针对不同类型的地质问题,选择不同的方法和手段进行,并贯穿于施工全过程。

**4.0.7** 对含天然气、瓦斯、放射性物质等特殊地层隧道及深埋隧道内的地温、地应力等地质问题应按国家现行有关标准进行监测测试。

**4.0.8** 超前地质预报设计应编制超前地质预报设计文件,并应包括下列主要内容:

1 隧道工程地质及水文地质条件,着重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。

2 地质复杂程度分级。

3 超前地质预报的目的。

4 超前地质预报的设计原则、预报方案、(分段)预报内容、方法选择及不同方法的组合关系、技术要求(同一种预报方法或不同预报方法间的重叠长度、超前钻孔的角度及长度等),需要时应编制气象、重要泉点和洞内主要出水点(流量大于 1 L/s 的出水点)、暗河流量等观测计划和观测技术要求等。

5 超前地质预报实施工艺要求(必要时提出)。

6 超前地质预报工作安全措施。

7 超前地质预报工作量、占用工作面的时间。

8 超前地质预报概预算。

9 其他需要说明的问题。

## 5 超前地质预报实施

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 实施超前地质预报应全面了解隧址区地质情况,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,核实地质复杂程度分级、超前地质预报方案的内容。

**5.1.2** 铁路隧道应编制超前地质预报实施细则,并应包括下列内容:

1 编制依据。

2 工程概况。

3 地质概况,与地质预报相关的地形地貌、气象特征、地层岩性、地质构造、水文地质简述,着重说明不良地质与特殊岩土、可能存在的主要工程地质问题及地质风险。

4 地质复杂程度分级。

5 实施超前地质预报的目的。

6 超前地质预报方案、分段预报内容及具体预报方法、技术要求、预报工作量,必要时编制气象、重要泉点和洞内主要出水点(流量大于 1 L/s 的出水点)、暗河流量等观测计划和观测技术要求。

7 超前地质预报工艺流程及操作要点。

8 超前地质预报组织机构设置及投入的人力、设备资源。

9 质量要求。

10 安全措施。

11 成果资料编制的内容与要求。

12 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。

13 地质预报成果的验证及技术总结的要求。

14 其他需要说明的问题。

5.1.3 采用综合超前地质预报方法时,应将各预报手段所获得的资料进行综合分析判断,并编制地质综合分析成果报告,内容应包括工作概况、采用的各种预报手段及预报结果、相互印证情况、综合分析预报结论、施工措施建议及下步预报工作计划等。

5.1.4 施工过程中应将实际开挖的地质情况与预报结果进行对比分析,及时总结经验教训,指导和改进地质预报工作;超前地质预报方案应根据实际地质情况及时进行调整,并按有关程序经批准后执行。

5.1.5 超前地质预报工作应编制各预报方法的预测报告、地质综合分析报告、月报、年报、超前地质预报竣工总报告。

5.1.6 隧道超前地质预报竣工总报告应包括下列内容:

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 设计预报方案和根据实际地质情况调整后的预报实施方案。

4 统计各预报方法实际工作量,并与超前地质预报设计工作量进行对比,分析增减的原因。

5 预报与施工验证对比情况,包括预报准确率统计结果,对预报绩效进行评价。

6 设计与施工地质资料对比情况,对勘察资料进行评价。

7 施工过程中遇到的重大工程地质问题及其处理的经过、措施、效果、运营中应注意的事项。

8 超前地质预报工作的经验与教训,采用新技术、新设备、新方法的情况及推广应用的建议。

9 其他需要说明的问题。

10 附图和附件。

1) 各种预报方法的预报报告及图件,其内容按有关章节要求编制。

2) 隧道及平行导坑洞身竣工工程地质纵断面图,内容包括设计与施工地质条件对比、分段围岩级别的对比、不良地质与特殊岩土发育部位与规模的对比及地质纵断面图常规项目(如地层岩性、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、水质、水量等),地质纵断面图的横向比例为1:500~1:5000,竖向比例为1:200~1:5000。

## 5.2 断层预报

5.2.1 断层预报应探明断层的性质、产状、富水情况、在隧道中的分布位置、断层破碎带的规模、物质组成等,并分析其对隧道的危害程度。

5.2.2 断层预报应以地质调查法为基础,以弹性波反射法探测为主,必要时采用高分辨直流电法探测断层带地下水的发育情况及超前钻探法验证。

5.2.3 当隧道施工接近规模较大的断层时,应注意观测可能前兆(见本技术规程附录C),并可通过地表补充地质调查、洞内地质调查、地表与地下构造相关性分析、断层趋势分析等手段预报断层的分布位置。

5.2.4 断层破碎带与周围介质多存在明显的物性差异,可采用弹性波反射法探测破碎带的位置及分布范围。

5.2.5 断层为面状结构面,可采用超前钻探法较准确预报其位置、宽度、物质组成及地下水发育情况等。

5.2.6 断层预报可按下列步骤进行:

1 根据区域地质资料、工程地质平面图与纵断面图以及必要

的地表补充地质调查,进一步核实断层的性质、产状、位置与规模等。

2 采用弹性波反射法确定断层在隧道内的大致位置和宽度。

3 必要时采用高分辨直流电法探测断层带地下水的发育情况。

4 必要时采用超前钻探预报断层的确切位置和规模、破碎带的物质组成及地下水的发育情况等。

5 采用隧道内地质素描、地质作图及断层趋势分析等手段预报断层的分布位置。

6 地质综合判析,提交地质综合分析成果报告。

### 5.3 岩溶预报

5.3.1 岩溶是指可溶性岩石受水体以化学溶蚀为主、机械侵蚀和崩塌为辅的地质营力综合作用,以及由此所产生的地质现象的统称。岩溶发育的条件和规律可按本技术规程附录D进行判定。

5.3.2 岩溶预报应探明岩溶在隧道内的分布位置、规模、充填情况及岩溶水的发育情况,分析其对隧道的危害程度。

5.3.3 岩溶预报应以地质调查法为基础,以超前钻探法为主,结合多种物探手段进行综合超前地质预报,并应采用宏观预报指导微观预报、长距离预报指导下短距离预报的方法。

5.3.4 岩溶预报可按下列步骤进行:

1 研究隧址区岩溶发育规律。

充分收集、分析、利用已有区域地质和工程地质资料,辅以工程地质补充调绘,查明隧址区工程地质与水文地质条件,分析岩溶发育的规律,宏观掌握区域地质条件,指导超前地质预报工作。应着重查明和分析以下方面的内容:

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

与隧道线路中线的相互关系。

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

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

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

5) 岩溶发育的层数:根据岩性、新构造运动和水文地质条件,结合地表测绘,查明岩溶发育的层数及与隧道的关系。

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

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

8) 结合有利于岩溶发育的岩层层位和构造位置,在大小封闭的洼地内、当地河流岸边或其他部位,查明大型溶洞或暗河的入口、出口的位置及高程,并结合可能成为暗河通道的较大断层或较紧闭背斜褶皱的核部位置、产

状,推断暗河大致通道,确定能否与隧道相遇或与隧道的大概空间位置关系。

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

2 核查、领会设计中地质复杂程度分级和超前地质预报方案设计。

根据区域地质和工程地质资料,结合本条第1款中的调查和分析,核查、领会设计文件中地质复杂程度分级和超前地质预报方案。

3 隧道内地质素描。

根据隧道内地质素描结果,验证、调整地质复杂程度分级和超前地质预报方案。

4 物探探测。

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

5 地质超前钻探。

根据地质复杂程度分级、隧道内地质素描、物探异常带进行地质超前钻探预报和验证,对富水岩溶发育地段,地质超前钻探必须连续重叠式进行。超前钻探揭示岩溶后,应适当加密,必要时采用地质雷达及其他物探手段进行短距离的精细探测,配合钻探查清岩溶规模及发育特征。钻探具体要求详见本技术规程第7章的相关规定。

6 加深炮孔探测。

岩溶发育区必须进行加深炮孔探测,其具体要求应符合本技术规程第7.2.3条的规定。

7 地质综合判析,提交地质综合分析成果报告。

各种预报手段的组合不是一成不变的,根据地质条件和各种预报手段的优缺点灵活运用,以达到预报目的和解决实际问题为宗旨。

5.3.5 岩溶地区应开展岩溶重点发育地段隧道周边隐伏岩溶探测工作。

5.3.6 岩溶地区隧底应进行隐伏岩溶洞穴的探测,并应符合下列要求:

1 采用综合物探查明隧底隐伏岩溶洞穴的位置、规模。

2 根据物探资料布置验证钻孔。

3 根据钻探验证结果修订物探异常成果图,作出预测隐伏岩溶图。

4 隐伏岩溶图,比例为1:100~1:500,应标明隐伏岩溶的位置、规模、埋藏深度、类型和验证钻孔。

## 5.4 煤层瓦斯预报

5.4.1 煤层瓦斯预报应探明煤层分布位置、煤层厚度,测定瓦斯含量、瓦斯压力、涌出量、瓦斯放散初速度、煤的坚固性系数等,判定煤的破坏类型,分析判断煤的自燃及煤尘爆炸性、煤与瓦斯突出危险性,评价隧道瓦斯严重程度及对工程的影响,提出技术措施建议等。

5.4.2 煤层瓦斯预报应以地质调查法为基础,以超前钻探法为主,结合多种物探手段进行综合超前地质预报。

5.4.3 煤层瓦斯预报可按下列步骤进行:

1 根据区域地质资料、工程地质勘察报告、工程地质平面图与纵断面图、煤层地表钻探资料和必要的地表补充调查,通过地质作图进一步核实煤层的位置与厚度等。

2 采用物探法确定煤层在隧道内的大致位置和厚度。

3 采用洞内地质素描,利用地层层序、地层厚度、标志层和岩层产状等,通过作图分析确定煤层的里程位置。

4 接近煤层前,必须对煤层位置进行超前钻探,标定各煤层准确位置,掌握其赋存情况及瓦斯状况,并应符合下列规定:

- 1) 应在距煤层 15 m~20 m(垂距)处的开挖工作面钻 1 个超前钻孔,初探煤层位置。
- 2) 在距初探煤层 10 m(垂距)处的开挖工作面上钻 3 个超前钻孔,分别探测开挖工作面前方上部及左右部位煤层位置,并采取煤样和气样进行物理、化学分析和煤层瓦斯参数测定,在现场进行瓦斯及天然气含量、涌出量、压力等测试工作。
- 3) 按各孔见煤、出煤点计算煤层厚度、倾角、走向及与隧道的关系,并分析煤层顶、底板岩性。
- 4) 掌握并收集钻孔过程中的瓦斯动力现象。

5 揭煤前应进行瓦斯突出危险性预测,并应符合下列规定:

- 1) 在瓦斯突出工区施工时,应在距煤层垂距 5 m 处的开挖工作面打瓦斯测压孔,或在距煤层垂距不小于 3 m 处的开挖工作面进行突出危险性预测。
- 2) 瓦斯突出危险性预测应从瓦斯压力法、综合指标法、钻屑指标法、钻孔瓦斯涌出初速度法、“R”指标法等五种方法中选用两种方法,相互验证。石门揭煤可采用瓦斯压力法、综合指标法或钻屑指标法,对于煤巷掘进宜采用钻孔瓦斯涌出初速度法、钻屑指标法或“R”指标法。
- 3) 突出危险性预测方法中有任何一项指标超过临界指标,该开挖工作面即为有突出危险工作面。其预测时的临界指标应根据实测数据确定,当无实测数据时,可参照表 5.4.3 中所列突出危险性临界值。

表 5.4.3 突出危险性预测指标临界值

| 序号 | 预测类型           | 预测方法       | 预测指标                                               | 突出危险性临界值        |
|----|----------------|------------|----------------------------------------------------|-----------------|
| 1  | 石门揭煤突出危险性预测    | 瓦斯压力法      | $P(\text{MPa})$                                    | 0.74            |
|    |                | 综合指标法      | $D$                                                | 0.25            |
|    |                |            | $K$                                                | 20(无烟煤)、15(其他煤) |
|    |                | 钻屑指标法      | $\Delta h_2(\text{Pa})$                            | 160(湿煤)、200(干煤) |
|    |                |            | $K_1[\text{mL}/(\text{g} \cdot \text{min}^{1/2})]$ | 0.4(湿煤)、0.5(干煤) |
| 2  | 煤巷开挖工作面突出危险性预测 | 钻孔瓦斯涌出初速度法 | $Q$                                                | 4               |
|    |                | “R”指标法     | $R_m$                                              | 6               |
|    |                | 钻屑指标法      | $\Delta h_2(\text{Pa})$                            | 160(湿煤)、200(干煤) |
|    |                |            | $K_1[\text{mL}/(\text{g} \cdot \text{min}^{1/2})]$ | 0.4(湿煤)、0.5(干煤) |
|    |                |            | 最大钻屑量(kg/m)                                        | 6               |

4) 钻孔过程中出现顶钻、夹钻、喷孔等动力现象时,应视该开挖工作面为突出危险工作面。

6 综合分析,提交地质综合分析成果报告。

5.4.4 煤层瓦斯超前钻孔应符合下列规定:

- 1 每个钻孔均应穿透煤层并进入顶(底)板不小于 0.5 m。
- 2 正式探测孔应取完整的岩(煤)芯,进入煤层后宜用干钻取样。
- 3 各钻孔直径不宜小于 76 mm。
- 4 钻孔过程中应观察孔内排出的浆液、煤屑变化情况,并做好记录。

5.4.5 开挖工作面出现本技术规程附录 C 所示煤与瓦斯突出前兆时,应立即报警,停止工作,撤出人员,切断电源,并上报有关部门。

5.4.6 隧道在煤系地层、压煤地段及其他可能含瓦斯地层开挖施工时,应加强瓦斯检测,瓦斯浓度超过规定指标时,应立即采取措

施,确保安全,并上报有关部门,查明瓦斯来源,分析可能带来的危害程度,制定下一步地质预报工作的方案和措施,并做好瓦斯检测记录存档备查。

## 5.5 其 他

**5.5.1** 隧道涌水、突泥预报应探明可能发生涌水、突泥地段的位置、规模、物质组成、水量、水压等,分析评价其对隧道的危害程度。

**5.5.2** 涌水、突泥预报应以地质调查法为基础,以超前钻探法为主,结合多种物探手段进行综合超前地质预报。

**5.5.3** 在可能发生涌水、突泥的地段必须进行超前钻探,且超前钻探必须设有防突装置;隧道通过煤系地层、金属和非金属等矿区中的采空区时,应查明在采及废弃矿巷与隧道的空间关系,分析评价其对隧道的危害程度。

**5.5.4** 斜井工区、隧道反坡施工地段处于富水区时,超前钻探作业时做好钻孔突涌水处治的方案,确保人员与设备的安全,避免淹井事故的发生。

**5.5.5** 隧道高地应力及极高地应力地段应开展地应力探测预报工作。

**5.5.6** 隧道施工应减少或避免塌方的发生,塌方的可能前兆可按本技术规程附录 C 判断。

## 6 地质调查法

**6.0.1** 地质调查法是根据隧道已有勘察资料、地表补充地质调查资料和隧道内地质素描,通过地层层序对比、地层分界线及构造线地下和地表相关性分析、断层要素与隧道几何参数的相关性分析、临近隧道内不良地质体的可能前兆(见本技术规程附录 C)分析等,利用常规地质理论、地质作图和趋势分析等,推测开挖工作面前方可能揭示的地质情况的一种超前地质预报方法。

**6.0.2** 地质调查法适用于各种地质条件下隧道的超前地质预报。

**6.0.3** 地质调查法包括隧道地表补充地质调查和隧道内地质素描等。

**6.0.4** 隧道地表补充地质调查应包括下列主要内容:

1 对已有地质勘察成果的熟悉、核查和确认。

2 地层、岩性在隧道地表的出露及接触关系,特别是对标志层的熟悉和确认。

3 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。

4 地表岩溶发育位置、规模及分布规律。

5 煤层、石膏、膨胀岩、含石油天然气、含放射性物质等特殊地层在地表的出露位置、宽度及其产状变化情况。

6 人为坑洞位置、走向、高程等,分析其与隧道的空间关系。

7 根据隧道地表补充地质调查结果,结合设计文件、资料和图纸,核实和修正超前地质预报重点区段。

**6.0.5** 隧道内地质素描是将隧道所揭露的地层岩性、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、溶洞等准确记录下来并绘制成图表,是地质调查法工作的一部分,包括开



挖工作面地质素描和洞身地质素描。隧道内地质素描应包括下列主要内容:

### 1 工程地质。

- 1) 地层岩性:描述地层时代、岩性、层间结合程度、风化程度等。
- 2) 地质构造:描述褶皱、断层、节理裂隙特征、岩层产状等。断层的位置、产状、性质、破碎带的宽度、物质成分、含水情况以及与隧道的关系。节理裂隙的组数、产状、间距、充填物、延伸长度、张开度及节理面特征、力学性质,分析组合特征、判断岩体完整程度。
- 3) 岩溶:描述岩溶规模、形态、位置、所属地层和构造部位,充填物成分、状态,以及岩溶展布的空间关系。
- 4) 特殊地层:煤层、沥青层、含膏盐层、膨胀岩和含黄铁矿层等应单独描述。
- 5) 人为坑洞:影响范围内的各种坑道和洞穴的分布位置及其与隧道的空间关系。
- 6) 地应力:包括高地应力显示性标志及其发生部位,如岩爆、软弱夹层挤出、探孔饼状岩芯等现象。
- 7) 塌方:应记录塌方部位、方式与规模及其随时间的变化特征,并分析产生塌方的地质原因及其对继续掘进的影响。
- 8) 有害气体及放射性危害源存在情况。

### 2 水文地质。

- 1) 地下水的分布、出露形态及围岩的透水性、水量、水压、水温、颜色、泥砂含量测定,以及地下水活动对围岩稳定的影响,必要时进行长期观测。地下水的出露形态分为:渗水、滴水、滴水成线、股水(涌水)、暗河。
- 2) 水质分析,判定地下水对结构材料的腐蚀性。
- 3) 出水点和地层岩性、地质构造、岩溶、暗河等的关系

分析。

- 4) 必要时进行地表相关气象、水文观测,判断洞内涌水与地表径流、降雨的关系。
- 5) 必要时应建立涌突水点地质档案。

### 3 围岩稳定性特征及支护情况。

记录不同工程地质、水文地质条件下隧道围岩稳定性、支护方式以及初期支护后的变形情况。发生围岩失稳或变形较大的地段,详细分析、描述围岩失稳或变形发生的原因、过程、结果等。

### 4 进行隧道施工围岩分级(见本技术规程附录 E)。

### 5 影像。

隧道内重要的和具代表性的地质现象应进行摄影或录像。

**6.0.6 隧道开挖工作面地质素描和洞身地质素描应符合下列技术要求:**

1 开挖工作面地质素描,主要描述工作面立面围岩状况,应使用统一格式,并统一编号,其格式和内容可参照本技术规程附录 E 中“表 E.2.2 施工阶段围岩级别判定卡”。

2 洞身地质素描是对隧道拱顶、左右边墙进行的地质素描,应直观反映隧道周边地层岩性及不良地质体的发育规模、在空间上对隧道的影响程度等,并应通过隧道地质展视图形式表示,其格式和内容可参照本技术规程附录 F。

3 地质素描应随隧道开挖及时进行,对地层岩性变化点、构造发育部位、岩溶发育带附近等复杂、重点地段应每开挖循环进行一次素描,其他一般地段不应超过 10 m 进行一次素描。

**6.0.7 地质调查法应符合下列工作要求:**

1 隧道地表补充地质调查应在实施洞内超前地质预报前进行,并在洞内超前地质预报实施过程中根据需要随时补充,现场应做好记录,并于当天及时整理。

2 地质素描图应采用现场绘制草图、室内及时誊清的方式完成,记录必须在现场根据实际情况记录,不得回忆编制或室内制



作。地质素描原始记录、图、表应当天整理。

3 隧道地表补充地质调查和洞内地质素描资料应及时反映在隧道工程地质平面图和纵断面图上,并应分段完善、总结。

4 标本应按要求采集,并及时整理。

6.0.8 地质调查法隧道超前地质预报,应编制下列资料:

1 地质调查法预报报告。

2 开挖工作面地质素描图,比例尺根据需要确定。

3 隧道洞身地质展视图,比例为 1:100~1:500。

4 地层分界线及构造线隧道内和地表相关性分析预报图(必要时作),比例尺根据需要确定。

5 地质复杂地段纵、横断面图,比例为 1:100~1:500。

6 地质监测与测试资料。

7 有关影像资料。

## 7 超前钻探法

### 7.1 超前地质钻探

7.1.1 超前地质钻探是利用钻机在隧道开挖工作面进行钻探获取地质信息的一种超前地质预报方法。

7.1.2 超前地质钻探法适用于各种地质条件下的隧道超前地质预报,富水软弱断层破碎带、富水岩溶发育区、煤层瓦斯发育区、重大物探异常区等地质条件复杂地段必须采用。

7.1.3 超前地质钻探可采用冲击钻和回转取芯钻,并按下列要求二者合理搭配使用,提高预报准确率和钻探速度,减少占用开挖工作面的时间(岩土可钻性分级见本技术规程附录 G)。

1 一般地段采用冲击钻。冲击钻不能取芯,但可通过冲击器的响声、钻速及其变化、岩粉、卡钻情况、钻杆震动情况、冲洗液的颜色及流量变化等粗略探明岩性、岩石强度、岩体完整程度、溶洞、暗河及地下水发育情况等。

2 复杂地质地段采用回转取芯钻。回转取芯钻岩芯鉴定准确可靠,地层变化里程可准确确定,一般只在特殊地层、特殊目的地段、需要精确判定的情况下使用。比如煤层取芯及试验、溶洞及断层破碎带物质成分的鉴定、岩土强度试验取芯等。

7.1.4 超前地质钻探应符合下列技术要求:

1 孔数。

1) 断层、节理密集带或其他破碎富水地层每循环可只钻一孔。

2) 富水岩溶发育区每循环宜钻 3~5 个孔,揭示岩溶时,应适当增加,以满足安全施工和溶洞处理所需资料为

原则。

- 3) 煤层瓦斯预报超前钻探孔数应符合本技术规程第 5.4.3 条的规定。

## 2 孔深。

- 1) 不同地段不同目的的钻孔应采用不同的钻孔深度。
- 2) 钻探过程中应进行动态控制和管理,根据钻孔情况可适时调整钻孔深度,以达到预报目的为原则;煤层瓦斯超前钻孔深度应符合本技术规程第 5.4.4 条的规定。
- 3) 在需连续钻探时,一般每循环可钻 30 m~50 m,必要时也可钻 100 m 以上的深孔。
- 4) 连续预报时前后两循环钻孔应重叠 5 m~8 m。

## 3 孔径。

钻孔直径应满足钻探取芯、取样和孔内测试的要求,并应符合现行《铁路工程地质钻探规程》TB 10014 的规定;煤层瓦斯超前钻探孔径应符合本技术规程第 5.4.4 条的规定。

- 4 富水岩溶发育区超前钻探应终孔于隧道开挖轮廓线以外 5 m~8 m。

### 7.1.5 超前地质钻探应符合下列工作要求:

- 1 实施超前地质钻探的人员应经技术培训和考核,经考核合格后方可上岗。

- 2 钻探前地质技术人员应进行技术、质量交底。

- 3 超前钻探过程中应在现场做好钻探记录,包括钻孔位置、开孔时间、终孔时间、孔深、钻进压力、钻进速度随钻孔深度变化情况、冲洗液颜色和流量变化、涌砂、空洞、振动、卡钻位置、突进里程、冲击器声音的变化等。

- 4 超前钻探过程中应及时鉴定岩芯、岩粉,判定岩石名称,对于断层带、溶洞填充物、煤层、代表性岩土等应拍摄照片备查,并选择代表性岩芯整理保存,超前地质钻探过程中监理应进行旁站。

- 5 在富水地段进行超前钻探时必须采取防突措施;测钻孔内

水压时,需安装孔口管,接上高压球阀、连接件和压力表,压力表读数稳定一段时间后即可测得水压。

- 6 应加强钻进设备的维修与保养,使钻机处于良好状态;强化协调和管理,各方应积极配合,减少和缩短施钻时间。

### 7.1.6 钻孔质量控制可采取下列措施:

#### 1 采用系统的钻探程序。

- 1) 测量布孔:施钻前按孔位设计图设计的位置用经纬仪准确测量放线,将开孔孔位用红油漆标注在开挖工作面上。
- 2) 设备就位:孔位布好后,设备就位,接通各动力电源和供风、供水管路。安装电路要由专业电工操作,确保安全,供风管路要连接紧密,无漏气现象。
- 3) 对正孔位,固定钻机:将钻具前端对准开挖工作面上的孔位,调整钻机方位,将钻机固定牢固。
- 4) 开孔、安装孔口管:孔口管必须安设牢固。
- 5) 成孔验收:施钻满足设计要求,经现场技术人员确认签收后方可停钻终孔。

#### 2 控制钻进方向。

- 1) 钻机定位完毕后,对钻机进行机座加固,使钻机在钻进过程中位置不偏移,做到钻孔完毕钻机位置不变。在钻进过程中应定期检查机器的松动情况,及时调整固定。
- 2) 对钻具的导向装置尽可能加长,并且选用刚度较强的钻杆,从而提高钻具的刚度,减少钻具的下沉量,达到技术的要求。不得使用弯曲钻具。
- 3) 当岩层由软变硬时应采用慢速、轻压钻进一定深度后,改用硬岩层的钻进参数。钻进中应减少换径次数。
- 4) 本循环钻孔完毕后,根据测量结果总结出钻具的下沉量,下一循环钻探时通过调整孔深、仰俯角等措施控制下沉量在设计要求的范围内,达到技术要求的精度。

### 3 准确鉴定岩性及其分布位置。

7.1.7 超前钻探钻进中应防止地下水突出,并应采取下列措施,保障工作人员和机械设备的安全。

1 在富水区实施超前地质预报钻孔作业,必须先安设孔口管,并将孔口管固定牢固,装上控制闸阀,进行耐压试验,达到设计承受的水压后,方准继续钻进。特别危险的地区,应有躲避场所,并规定避灾路线。当地下水压力大于一定数值时,应在孔口管上焊接法兰盘,并用锚杆将法兰盘固定在岩壁上。

2 富水区隧道地质超前钻探时,发现岩壁松软、片帮或钻孔中的水压、水量突然增大,以及有顶钻等异状时,必须停止钻进,立即上报有关部门,并派人监测水情。如发现情况危急时,必须立即撤出所有受水威胁地区的人员,然后采取措施,进行处理。

3 孔口管锚固可采用环氧树脂、锚固剂,亦可采用快凝高强度微膨胀的浆液锚固,锚固长度宜为 1.5 m~2.0 m,孔口管外端应露出工作面 0.2 m~0.3 m,用以安装高压球阀。

7.1.8 超前钻探法应编制探测报告,内容包括工作概况、钻孔探测结果、钻孔柱状图(格式见本技术规程附录 H),必要时应附以钻孔布置图、代表性岩芯照片等。

## 7.2 加深炮孔探测

7.2.1 加深炮孔探测是利用风钻或凿岩台车等在隧道开挖工作面钻小孔径浅孔获取地质信息的一种方法。

7.2.2 加深炮孔探测适用于各种地质条件下隧道的地质超前探测,尤其适用于岩溶发育区。

7.2.3 加深炮孔探测应符合下列要求:

1 孔深应较爆破孔(或循环进尺)深 3 m 以上。

2 孔数、孔位应根据开挖断面大小和地质复杂程度确定。

3 在富水岩溶发育区每循环必须按设计认真实施,发现异常情况应及时反馈信息,严禁盲目装药放炮。

4 钻到溶洞和岩溶水时,应视情况采用地质超前钻探和其他探测手段,查明情况,确保施工安全,为变更设计提供依据。

5 加深炮孔探测严禁在爆破残眼中实施。

6 揭示异常情况的钻孔资料应作为技术资料保存。

## 8 物 探 法

### 8.1 一 般 规 定

#### 8.1.1 物探法超前地质预报应具备下列条件:

1 探测对象与其相邻介质应存在一定的物性差异,并具有可被探测的规模。

2 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。

8.1.2 地质条件复杂的隧道和存在多种干扰因素的隧道,应根据被探测对象的物性条件开展综合物探,并与其他探测方法相配合,对所测得的物探资料进行综合分析。

8.1.3 物探应按搜集资料、踏勘、编制计划、施测、初步解释、最终解释、成果核对、报告编制的程序进行。

8.1.4 物探仪器及其附属设备应满足性能稳定、结构合理、构件牢固可靠、防潮、抗震和绝缘性良好等要求。仪器应定期检查、标定和保养。

#### 8.1.5 物探原始资料应符合下列规定:

##### 1 原始资料应包括下列内容:

- 1) 与隧道有关的工程地质资料和钻探资料。
- 2) 物探施测的各种原始记录和检查记录。
- 3) 物探仪器校验、标定及一致性检查的记录。

2 原始记录应完整、真实、清晰,标示清楚,签署齐全,不得随意涂改或重抄。

#### 8.1.6 物探资料解释应符合下列规定:

##### 1 在分析各项物性参数的基础上,按从已知到未知、先易后

难、点面结合、反复认识、定性指导定量的原则进行,且宜采用两种以上的方法进行定量解释,并选用典型断面作正演计算。

2 结论应明确,符合隧址区的客观地质规律。各物探方法的解释应相互补充、相互印证。解释结果不一致时,应分析原因,并对推断的前提条件予以说明。

3 解释结果应说明探测对象的形态、产状、延伸等要素;对于已知资料不足,暂时不能得出具体结论的异常,应说明原因。

4 解释应充分利用各种探测方法的成果;有钻孔验证的隧道,应充分利用钻探资料对解释结果进行全面的修正。

#### 8.1.7 物探成果资料的编制应符合下列规定:

##### 1 物探成果资料应包括下列内容:

- 1) 物探测线布置图。
- 2) 各种定性分析图件。
- 3) 各种定量解释图件。
- 4) 平面、断面成果图表。
- 5) 质量检查数据和质量评定表。

##### 2 物探成果报告应包括下列内容:

- 1) 任务依据和要求。
- 2) 地质和物性特征。
- 3) 物探方法的选择原则及采取的技术措施。
- 4) 测线布置和数据采集。
- 5) 资料整理与解释。
- 6) 质量评价。
- 7) 结论和建议,包括建议验证钻孔等内容。

3 物性地质图件应结合地质资料综合分析后编制,图上应标出异常分布位置、推断地质界线及地质构造位置和产状等,标明与隧道里程的关系。

## 8.2 弹性波反射法

8.2.1 弹性波反射法是利用人工激发的地震波、声波在不均匀地质体中所产生的反射波特性来预报隧道开挖工作面前方地质情况的一种物探方法,它包括地震波反射法、水平声波剖面法、负视速度法和极小偏移距高频反射连续剖面法等方法。

8.2.2 弹性波反射法适用于划分地层界线、查找地质构造、探测不良地质体的厚度和范围,并应符合下列要求:

1 探测对象与相邻介质应存在较明显的波阻抗差异并具有可被探测的规模。

2 断层或岩性界面的倾角应大于  $35^\circ$ ,构造走向与隧道轴线的夹角应大于  $45^\circ$ 。

8.2.3 地震记录应符合下列规定:

1 干扰背景不应影响初至时间的读取和波形的对比。

2 反射波同相轴必须清晰。

3 不工作道应小于 20%,且不连续出现。

4 弹性波反射法质量检查记录与原观测记录的同相轴应有较好的重复性和波形相似性。

8.2.4 数据采集时应尽可能减少隧道内其他震源震动产生的地震波、声波的干扰,并应采取压制地震波、声波干扰的措施。

8.2.5 弹性波反射法连续预报时前后两次应重叠 10 m 以上,预报距离应符合下列要求:

1 地震波反射法预报距离:

1) 在软弱破碎地层或岩溶发育区,一般每次预报距离应为 100 m 左右,不宜超过 150 m。

2) 在岩体完整的硬质岩地层每次可预报 120 m~180 m,但不宜超过 200 m。

2 水平声波剖面法和极小偏移距高频反射连续剖面法预报距离:

1) 在软弱破碎地层或岩溶发育区,一般每次预报距离应为 20 m~50 m,不宜超过 70 m。

2) 在岩体完整的硬质岩地层每次可预报 50 m~70 m,但不宜超过 100 m。

3 负视速度法预报距离:

1) 在软弱破碎地层或岩溶发育区,一般每次预报距离应为 30 m~50 m,不宜超过 70 m。

2) 在岩体完整的硬质岩地层每次可预报 50 m~80 m,不宜超过 100 m。

4 隧道位于曲线上时,预报距离不宜太长。

8.2.6 弹性波反射法的数据处理与资料解释应符合下列规定:

1 采用计算机处理的记录目的层反射波特征应明显、信噪比高、同相轴清晰、能进行追踪和相位连续对比。

2 依据时间剖面图、瞬时振幅图结合地质资料进行分析,对比和追踪波组的相似性、波振幅的衰减程度、振动的同相性和连续性等特征,判释和确定反射波组对应的层位、被测地质体的接触关系、构造形态等。

3 根据上行波和下行波视速度的差异,确定反射界面在隧道轴向前方的距离、反射界面与洞轴方向的夹角。

8.2.7 弹性波反射法超前地质预报应编制探测报告,内容主要包括:

1 概况:隧道工程概况、地质概况、探测工作概况等。

2 方法原理及仪器设备:方法原理及采用的仪器型号等。

3 野外数据采集:观测系统、采集方法、数据质量等。

4 数据处理:采用的软件及处理流程、参数选择说明、处理成果及质量等。

5 资料分析与判释:采用地震波反射法时,应附上反射波分析成果显示图、物探成果地质解释剖面或平面图,必要时可附上分析处理波形图、频谱图、深度偏移剖面图及岩体物理力学参数表,

以及地质判释、推断的地球物理准则;采用水平声波剖面法、负视速度法时,应附上原始记录波形图、经过处理用于解释的波形曲线、物探成果地质解释剖面或平面图等;采用极小偏移距高频反射连续剖面法时,应附上原始记录波形图、经过处理用于解释的波形曲线、似  $t_0$  时间剖面图及图上定性解释标示、预报平面图等。

6 结论及建议:提出隧道开挖工作面前方的工程地质与水文地质条件,特别是影响施工方案调整、具有安全隐患的地质条件,以及施工过程中应采取的措施等结论和进一步开展地质预报工作的建议。

7 其他需要说明的问题。

#### 8.2.8 地震波反射法超前地质预报应符合下列要求:

##### 1 观测系统设计应包括下列内容:

- 1) 收集隧道相关地质勘察和设计资料。
- 2) 根据隧道施工情况及地质条件,确定接收器(检波器)和炮点在隧道左右边墙的位置(参见本技术规程附录 J)。
- 3) 接收器和炮点位置应在同一平面和高度上。
- 4) 隧道情况特殊或需要探测复杂地质隐患时,观测系统设计不受本技术规程附录 J 的限制,灵活应用,但应根据相关理论来设计观测系统。

##### 2 现场数据采集应符合下列规定:

- 1) 在隧道现场,根据设计的观测系统,确定所有接收点和炮点的位置,并作出相应的标识。
- 2) 钻孔。
  - ① 应按设计的要求(位置、深度、孔径、倾角等)钻孔。
  - ② 一般情况下,钻孔位置不应偏离设定的位置;特殊情况下,以设定的位置为圆心,可在半径 0.2 m 的范围内移位。
  - ③ 孔身应平直顺畅,能确保耦合剂、套管或炸药放置到位。

④ 在不稳定的岩层中钻炮孔时,可采用外径与孔径相匹配的薄壁塑料管或 PVC 管插入钻孔,防止坍孔。

##### 3) 安装套管。

- ① 根据仪器设备的耦合要求,用合适的材料(如环氧树脂、锚固剂或加特殊成分的不收缩水泥砂浆等)作为耦合剂,安装接收器套管。
- ② 测量(可用电子倾角测量仪)接收器孔的几何参数,并做好记录。

##### 4) 装填炸药。

- ① 装填炸药前,应测定炮孔的倾角和深度,并做好记录。
- ② 炸药量的大小应通过试验确定。
- ③ 用装药杆将炸药卷装入炮孔的最底部。
- ④ 在激发前,炮孔应用水或其他介质充填,封住炮口,确保激发能量绝大部分在地层中传播。

##### 5) 仪器安装与测试。

- ① 用清洁杆清洗套管内部。
- ② 将接收单元插入套管,并应确保接收器的方向正确。
- ③ 采集信号前应对接收器和记录单元的噪声进行测试。

##### 6) 数据采集。

- ① 设置采集参数:采集参数主要包括采样间隔、采样数、传感器分量(应用 X、Y、Z 三分量接收)以及接收器。
- ② 噪声检查:数据采集前,应对仪器本身及环境的噪声进行检测。仪器工作正常,噪声振幅峰值小于 -78 dB 时,方可引爆雷管炸药接收记录。
- ③ 数据记录:放炮时,准确填写隧道内记录,在放炮过程中应采用炮序号递增或递减的方式进行,确保炮点号正确。

##### 7) 质量控制应符合下列要求:

通过检查显示地震道的特征进行数据质量控制。

- ① 在每一炮数据记录后,应显示所记录的地震道,据此对记录的质量进行控制。
- ② 用直达波的传播时间来检查放炮点的位置是否正确,以及使用的雷管是否合适。
- ③ 根据信号能量,检查信号是否过强或过弱。若直达波信号过强或过弱,应将炸药量适当减少或增加。
- ④ 根据初至波信号特性,对信号波形进行质量控制。若初至后出现鸣振,表明接收器单元没有与围岩耦合好或可能是由于套管内污染严重造成。这样,应清洁套管和重新插入接收器单元,直至信号改善为止。
- ⑤ 根据每一炮记录特征,了解存在的噪声干扰,必要时应切断干扰源,同时也可检查封堵炮孔的效果。
- ⑥ 对记录质量不合格的炮,应重新装炸药补炮,接收和记录合格的地震道。

### 3 采集信号的评价应符合下列要求:

- 1) 单炮记录质量评价。单炮记录质量评价分为合格、不合格两种。凡有下列缺陷之一的记录,应为不合格记录:
  - ① X、Y、Z 三分量接收器接收时,存在某一分量不工作或工作不正常。
  - ② 初至波时间不准或无法分辨。
  - ③ 信噪比低,干扰波严重影响到预报范围的反射波。
  - ④ 记录序号(放炮序号)与炮孔号对应关系错误。
 除上述规定的不合格记录外的记录为合格记录。
- 2) 总体质量评价。总体质量评价依据所有的单炮记录,按偏移距大小重排显示(地震显示)进行。总体质量评价可分为合格、不合格两种。当符合下列要求时为总体合格:
  - ① 观测系统(炮点、接收点等设计)正确,采集方法正确。
  - ② 记录信噪比高,初至波清晰。

- ③ 单炮记录合格率大于 80%。

当有下列缺陷之一时,为总体不合格:

- ① 隧道内记录填写混乱,记录序号(放炮序号)与炮孔号对应关系不清。
- ② 采用非瞬发电雷管激发,或者初至波时间出现无规律波动(延迟)。
- ③ 连续 2 炮以上(含 2 炮)记录不合格或空炮,或者存在相邻的不合格记录和空炮。
- ④ 空炮率大于 15%。

### 4 资料分析与判释应符合下列要求:

- 1) 采用仪器配套的处理软件进行分析。
- 2) 总体质量不合格的资料不得用于成果分析。
- 3) 准确输入野外采集参数,包括隧道、接收器和炮点的几何参数等。
- 4) 剔除不合格的地震道,只有合格的才能参与处理。
- 5) 应根据预报长度选择合适的用于处理的时间长度;带通滤波参数合理,避免波形发生畸变;提取的反射波,应确保波至能量足够;速度分析时,建立与预报距离相适应的模型;反射层提取时,根据地质情况和分辨率选择提取的反射层数目。
- 6) 资料判释应结合隧道地质勘察资料、设计资料、施工地质资料、反射波分析成果显示图及岩体物理力学参数等进行。综合上述成果资料,推断隧道开挖工作面前方围岩的工程地质与水文地质条件,如软弱夹层、断层破碎带、节理密集带等地质体的性质、规模和位置等。结合岩体物理力学参数、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,可参照本技术规程附录 E 及有关规范对围岩级别进行初步评估。

### 8.2.9 水平声波剖面法超前地质预报应符合下列要求:

## 1 探测仪器。

- 1) 应采用通道数不低于 4 道的智能工程声波检测仪或不低于 12 道的地震仪,且具有良好的通道一致性。
- 2) 应选择适当主频的高灵敏度检波器,各道检波器相位允许误差为 $\pm 0.5$  ms,振幅允许误差为 $\pm 10\%$ ,检波器内阻应符合产品说明书规定的指标。
- 3) 电缆不应有破损、断道、串道、短路等故障,绝缘电阻应大于  $1\text{ M}\Omega$ 。
- 4) 仪器系统应通过国家认可的权威检定机构检定。

## 2 水平声波剖面法探测可采用两种布设发射与接收点的方式:

- 1) 在开挖工作面后方两侧边墙脚位置分别布设发射钻孔和接收钻孔的方式(简称“隧道两侧边墙脚布设钻孔方式”):在开挖工作面后方两侧边墙脚位置,等间距各布置一排 5~12 个钻孔,孔深  $1\text{ m}\sim 1.5\text{ m}$ ;一侧钻孔用作声波发射,采用电火花发射源或炸药进行声波发射,与孔壁耦合严密,使用炸药时药量应在  $50\text{ g}$  左右,最大不超过  $75\text{ g}$ ;另一侧钻孔中安设接收检波器,采用水作耦合剂,接收由声波发射源发射经隧道底围岩到达的直达波和经隧道开挖工作面前方界面(断层、岩性分界面等)反射回来的声波信号;利用直达波速度和反射波走时计算确定开挖工作面前方反射界面距开挖工作面的距离。
- 2) 在开挖工作面上布设发射与接收点的方式(简称“贴开挖工作面布置方式”):在开挖工作面布置 3~7 个测区,原则上交错布置,每测区布置 1~3 对测点,采取一发一收或一发三收的方式;在发射检波器与接收检波器的延长线、靠发射检波器的外侧,采用大锤敲击木桩(或直接敲击岩体)以激发声波信号;此种布置方式需单独进行开挖工作面岩体声波纵波速度测试;利用开挖工作面上

测得的岩体声波纵波速度和反射波走时计算确定开挖工作面前方反射界面距开挖工作面的距离。

3 数据采集时量程的设置以采集到的信号占显示屏的 80% 为宜,采样间隔根据测试开挖工作面岩性及岩体破碎情况进行调整。

## 4 资料分析与判释:

- 1) 采用仪器配套的处理软件进行分析。
- 2) 对单道记录进行滤波、压制干扰和指数增益调整。
- 3) 对于每一道不同炮的记录和每一炮不同道的记录进行对比分析,以规律性好、重复性好的记录道进行解释。
- 4) 对现场采集的原始波形进行时域、频域分析,并根据波谱时域、频域分析结果,结合开挖工作面岩体声波纵波速度、地质素描和区域地质资料,进行开挖工作面前方的地质判释和预报。
- 5) 必要时应进行正演计算。

## 8.2.10 负视速度法超前地质预报应符合下列要求:

### 1 探测仪器。

- 1) 地震仪:应具有高灵敏度、高信噪比、滤波、数字采集等功能。宜选用 12 道或 24 道及以上道数数字地震仪;最小采样间隔不应大于  $0.05\text{ ms}$ ;每道样点记录长度不应小于 1024 点;模/数转换的数据位不应低于 16 位;放大器内部噪音应小于  $1\text{ }\mu\text{V}$ ;动态范围应大于 96 dB。
- 2) 检波器:宜选用固有频率  $100\text{ Hz}$  检波器;应具有良好的防水性能。
- 3) 电缆:应采用与地震仪相匹配的防水地震电缆。

2 观测系统宜采用“一点激发、多点接收”的方式,数据分析宜采用时距曲线分析法。

3 震源可采用激发锤、炸药等方式产生。

4 现场测试。



- 1) 沿隧道轴向布置观测排列,观测排列可布设于边墙、墙脚、隧底面等部位,各检波点偏离观测排列中心轴线不得大于 0.3 m。
  - 2) 检波距一般为 2 m~5 m,当采用 24 道及以上道数地震仪时,可选用 1 m~2 m。
  - 3) 检波器宜安置于 1 m~2 m 深的浅孔中;不具备条件时,可根据现场情况将检波器安置于边墙、墙脚、隧底面的表面上;检波器与岩土体必须耦合良好,不得悬空;检波器安置应避开有干扰的位置(如滴水、流水、漏气等)。
  - 4) 排列长度  $L=(n-1)\Delta X$ ,其中  $n$  为记录道数, $\Delta X$  为检波距,排列长度  $L\geq 20$  m。
  - 5) 炮检距  $d>2(L+h)/(v/v_G-1)$ ,其中  $v$ 、 $v_G$  分别为有效波与干扰波速度, $h$  为开挖工作面至反射界面的距离(预估值), $L$  为观测排列的长度。
  - 6) 当用炸药激发时,在边墙、墙脚、隧底面打 1 m~2 m 深的浅孔;边墙、墙脚打孔时,应向下倾斜  $30^\circ\sim 45^\circ$ ,可注水作耦合剂。
  - 7) 参数设置与记录:排列编号、炮检距、激发、接收点位置(里程)、数据采集时间、记录长度、采样间隔、延迟时间、滤波、增益等。
  - 8) 宜进行多次激发,进行多次叠加以压制不规则干扰波,突出有效波。
- 5 改善原始采集数据质量的措施。
- 1) 宜适当扩大炮检距,将强烈的声波、面波移出记录区,提高有效波组间的分辨率。
  - 2) 宜采取孔内激发、孔内接收,减弱面波干扰,抑制声波与微震的影响。
  - 3) 改善检波器的耦合条件,消除自振。
  - 4) 改进激发、接收装置,可采用定向激发、短余震检波器、

三分量检波器、组合激发、接收等,提高信噪比。

- 5) 改善与开发多种数据处理手段,进一步提高信噪比。
  - 6) 避免施工震动干扰,保持记录背景宁静。
- 6 资料分析与判释。
- 1) 数据处理应根据试验确定最佳处理流程。
  - 2) 资料分析与判释可按下列流程进行:按常规方法处理记录仪所记录的一系列信息,波场分离,拾取直达波,确定反射波校正时、滤掉直达波,拉平反射波(静态时移和排齐),叠加拉平的反射波成一道,重复显示地震道,确定第一个反射波,恢复直达波与反射波,延长直达波与反射波延长线交汇于一点(反射界面位置),利用反射波速度及反射时间计算反射界面的距离,采用相同方法找出开挖工作面前方的一系列反射界面。
  - 3) 当处理效果不佳、反射信号极弱时,可采用叠加处理措施等。
- 8.2.11 极小偏移距高频反射连续剖面法超前地质预报应符合下列要求:
- 1 探测仪器。
    - 1) 采用极小偏移距高频反射连续剖面法仪或性能基本相同的其他仪器。
    - 2) 检波器:使用超宽频带检波器,在 10 Hz~4 000 Hz 范围内不压制任何频率,增益随频率变化不大于 10%。
  - 2 探测方式。
    - 1) 可在开挖工作面上向前方探测,亦可在隧道边墙向隧道两侧探测、在隧道拱部向上探测、在隧道底板向下探测。
    - 2) 采用十字剖面的布置方法可作反射体的空间定位。
    - 3) 一般采用锤击震源,不固着检波器,不打孔。
  - 3 现场数据采集。
    - 1) 在隧道开挖工作面上一般应布设两条测线(一条为水平

测线,一条为铅垂向测线),测线上每 25 cm~30 cm 设一测点,必要时可布设多条测线。

- 2) 记录测线在隧道中的准确位置及测线间的几何关系。
- 3) 通过激发杆,用锤击法在测点  $n$  上激振 ( $n=1, 2, 3, 4\cdots$ ),其两侧测点( $n-1$  和  $n+1$ )设检波器。检波器用黄油或凡士林与岩面耦合,用手按紧。一般情况下,每一测点应激振 2~3 次作垂直叠加。
- 4) 一个测点结束后,数据存入主机,激振器隔一个测点移至下一个激振点( $n+2$  点),进行下一测点的采集,采集软件可自动将各测点资料汇集形成剖面。
- 5) 在隧道边墙测岩体波速。

#### 4 质量控制。

- 1) 按仪器用户手册和操作使用说明书的规定作好施测前的准备和操作的各项注意事项。
- 2) 工作前检查各连接线的通段,确保仪器主机和各配件处于正常工作状态。
- 3) 第一个点采集时检查所设定的参数是否正确,其他各测点注意检波器是否正确地安设在岩面上。
- 4) 检查测线位置、里程及其他应记录的内容是否记录完整。

#### 5 室内数据处理。

- 1) 应用处理软件进行数据处理,内容包括:调出剖面、道间均衡、滤波、显示及其他高级处理等。
- 2) 通过计算机将一条测线上若干测点的时间曲线通过归一化处理汇成一张似  $t_0$  时间剖面图,根据图上的反射波同相轴作定性、定量解释。

#### 6 资料分析与判定。

- 1) 追踪同相轴,根据岩性、地质构造和正演理论作同相轴的定性解释;在整个剖面上可以追踪的近于直线的同相

轴反映的是岩层界面、断层面、岩脉或大的溶洞等;延续不太长的近于直线的同相轴反映的是大节理;呈双曲线形状的同相轴是有限大小地质体(如溶洞)的反映。

- 2) 根据频谱和节理、小断裂的密集程度,判定破碎带及岩体破碎情况。当某一段岩体高频成分明显增多,表明节理密集、岩体破碎;若某段岩体反射同相轴明显增多,表明节理及小断裂密集,岩体破碎,此时岩体波速也会明显降低。
- 3) 根据所测波速及从极小偏移距高频反射连续剖面法时间剖面上得到的各反射体的反射时间,计算反射体的空间位置:

平面形反射界面:从水平剖面上任选两点  $n$  和 ( $n+m$ ),读出其对某反射界面的反射时间  $t_n$  和  $t_{n+m}$ ,计算出  $L_n$  和  $L_{n+m}$ ,即可得到反射界面与测线的距离和走向夹角;从铅垂向剖面上任选两点  $a$  和 ( $a+p$ ),读出其对某反射界面的反射时间  $t_a$  和  $t_{a+p}$ ,计算出  $L_a$  和  $L_{a+p}$ ,即可得到反射界面与铅垂线的距离和夹角;由此可定出反射界面与开挖工作面的相对几何关系;得知开挖工作面的方位角,即可计算出反射界面的产状。

对于溶洞等有限大小物体:双曲线顶点对应的就是它的顶点,据其反射时间即可确定其距离,而其直径约为双曲线范围的  $1/5$  至  $1/4$ 。

- 4) 开挖工作面前方几米范围内岩体受开挖爆破破坏,不应采用距开挖工作面 5 m~10 m 的资料。

### 8.3 电磁波反射法

8.3.1 电磁波反射法超前地质预报主要采用地质雷达探测。

8.3.2 地质雷达探测是利用电磁波在隧道开挖工作面前方岩体中的传播及反射,根据传播速度和反射脉冲波走时进行超前地质

预报的一种物探方法。

**8.3.3** 地质雷达探测主要用于岩溶探测,亦可用于断层破碎带、软弱夹层等不均匀地质体的探测,除应符合本技术规程第 8.1.1 条的规定外,还应符合下列规定:

1 探测体与周边介质之间应存在明显介电常数差异,电磁波反射信号明显。

2 探测体具有足以被探测的规模,探测体的厚度大于探测天线有效波长的  $1/4$ ,探测体的宽度或相邻被探测体可以分辨的最小间距大于探测天线有效波第一菲涅尔带半径。

3 避开高电导屏蔽层或大范围的金属构件。

**8.3.4** 地质雷达探测仪器的技术指标应满足下列要求:

1 系统增益大于 150 dB。

2 信噪比大于 60 dB。

3 采样间隔小于 0.5 ns,A/D 模数转换大于 16 位。

4 计时误差小于 1 ns。

5 连续测量时,扫描速率大于 64 次/s。

6 具有可选的信号叠加、实时滤波、时窗、增益、点测与连续测量、手动与自动位置标记等功能。

7 实时监测与显示功能,具有多种可选方式和现场数据处理功能。

**8.3.5** 地质雷达探测的数据采集应符合下列要求:

1 通过试验选择雷达天线的工作频率、确定介电常数。当探测对象情况复杂时,宜选择两种及以上不同频率的天线。当多个频率的天线均能符合探测深度要求时,宜选择频率相对较高的天线,一般宜采用 100 MHz 屏蔽天线。

2 测网密度、天线间距和天线移动速度应适应探测对象的异常反映;掌子面上宜布置两条测线,必要时可布置成“井”字形或其他网格形式。

3 选择合适的时间窗口和采样间隔,并根据数据采集过程中

的干扰变化和图像效果及时调整工作参数。

4 宜采用连续测量的方式,不能连续测量的地段可采用点测。连续测量时天线应匀速移动,并与仪器的扫描率相匹配;点测时应在天线静止状态采样,测点距不大于 0.2 m。

5 隧址区内不应有较强的电磁波干扰;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。

6 支撑天线的器材应选用绝缘材料,天线操作人员应与工作天线保持相对固定的位置。

7 测线上天线经过的表面应相对平整,无障碍,且天线易于移动;测试过程中,应保持工作天线的平面与探测面基本平行,距离相对一致。

8 现场记录应注明观测到的不良地质体与地下水体的位置与规模等。

9 重点异常区应重复观测,重复性较差时宜进行多次观测并查明原因。

**8.3.6** 地质雷达探测质量检查的记录与原探测记录应具有良好的重复性,波形一致,异常没有明显的位移。

**8.3.7** 地质雷达在完整灰岩地段预报距离宜在 30 m 以内,在岩溶发育地段的有效探测长度则应根据雷达波形判定。连续预报时前后两次重叠长度应不小于 5 m。

**8.3.8** 地质雷达探测资料的处理应符合下列规定:

1 无相同倾角的有效层状反射波时,可采用  $f-k$  倾角滤波。

2 异常的连续性或独立性较差时,可采用空间滤波的有效道叠加或道间差方法加强。

3 可采用点平均法消除高频干扰,采用的点数宜为奇数,其最大值宜小于采样率与低通频率之比。

**8.3.9** 地质雷达探测资料的解释应符合下列规定:

1 参与解释的雷达剖面应清晰。

2 通过反射波形、能量强度、初始相位等特征确定异常体性质。

3 通过对异常同相轴的追踪或利用异常的宽度及反射时间,计算异常体的平面范围和深度。

4 结合地质条件、介质电性特征、被探测物体的性质和几何特征、已知干扰进行综合分析,必要时应制作雷达探测的正演和反演模型。

5 在提交的时间剖面中应标出地层的反射波位置或探测对象的反射波组。

**8.3.10** 地质雷达法预报应编制探测报告,内容包括探测工作概况、采集及解释参数、地质解译结果、测线布置图(表)、探测时间剖面图等,其中时间剖面图中应标出地层的反射波位置或探测对象的反射波组。

#### 8.4 高分辨直流电法

**8.4.1** 高分辨直流电法是以岩石的电性差异(即电阻率差异)为基础,在全空间条件下建立电场,电流通过布置在隧道内的供电电极在围岩中建立起全空间稳定电场,通过研究电场或电磁场的分布规律预报开挖工作面前方储水、导水构造分布和发育情况的一种直流电法探测技术。

**8.4.2** 高分辨直流电法适用于探测任何地层中存在的地下水体位置及相对含水量大小,如断层破碎带、溶洞、溶隙、暗河等地质体中的地下水。

**8.4.3** 现场采集数据时必须布设三个以上的发射电极,进行空间交汇,区分各种影响,并压制不需要的信号,突出隧道前方地质异常体的信号,该方法也称为“三极空间交汇探测法”。

**8.4.4** 现场数据采集应按照测试要求进行,保证数据采集的质量,并应符合下列要求:

1 开机检测仪器是否工作正常。

2 发射、接收电极间距测量准确,偏差应小于 5 cm。

3 无穷远电极应大于 4~5 倍的探测距离。

4 发射、接收电极接地良好。

5 电池电量充足。

6 数据重复测量误差应小于 5%,否则应检查电极和仪器电源是否正常、工频干扰是否过大等。

**8.4.5** 高分辨直流电法有效预报距离不宜超过 80 m,连续探测时前后两次应重叠 10 m 以上。

**8.4.6** 资料处理与分析应符合下列要求:

1 资料处理应使用仪器配套的处理软件系统。在数据处理过程中,应采用增强有效信号、压制干扰信号、提高信噪比等手段,使视电阻率等值线图能够清晰成像。

2 地质异常体(储、导水构造)判断标准应以现场多次采集分析验证的数据为依据,总结规律,找出隧址区异常标准值。根据经验总结归一化值视电阻率在 40~60 之间时多存在地质异常体(储、导水构造)。

**8.4.7** 高分辨直流电法预报应编制探测报告,内容包括探测工作概况、地质解译结果、视电阻率等值线图。

## 9 超前导坑预报法

9.0.1 超前导坑预报法是以超前导坑中揭示的地质情况,通过地质理论和作图法预报正洞地质条件的方法。超前导坑法可分为平行超前导坑法和正洞超前导坑法。线间距较小的两座隧道可互为平行导坑,以先行开挖的隧道预报后开挖的隧道地质条件。

9.0.2 根据超前导坑与隧道位置关系按一定比例作超前导坑预报隧道地质平面简图,由超前导坑地质情况推测未开挖地段隧道地质条件时,预报内容应包括下列内容:

- 1 地层岩性、地质构造的分布位置、范围等。
- 2 岩溶的发育分布位置、规模、形态、充填情况及其展布情况。
- 3 在采及废弃矿巷与隧道的空间关系。
- 4 有害气体及放射性危害源分布层位。
- 5 涌泥、突水及高地应力现象出现的隧道里程段。
- 6 其他可以预报的内容。

9.0.3 超前导坑法地质预报应编制下列预报资料:

- 1 地质调查法预测报告。
- 2 采用的各种物探预报方法检测报告。
- 3 超前钻探法检测报告。
- 4 导坑地质展视图,比例为 1:100~1:500。
- 5 导坑预测正洞预报报告,包括导坑预报正洞平面简图,比例为 1:100~1:500。
- 6 导坑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、水质、水量,分段围岩分级等,横向比例为 1:500~1:5000,竖向比例为 1:200~1:5000。

## 附录 A 一般安全防护规定

A.0.1 超前地质预报人员应认真学习、执行隧道施工安全规程,超前钻探人员应认真学习、执行钻探安全技术操作规程。新参加人员(含临时工)上岗前,必须经过安全生产教育,具有安全生产的基本知识,并应在班长或技术熟练人员的指导下工作。

A.0.2 隧道超前地质预报实施过程中应识别各种安全危险源,保障人员和机械设备的安全。

A.0.3 进入隧道工作必须穿戴合体的工作服(天然气、瓦斯隧道严禁穿着易于产生静电的服装)、防护靴、安全帽和防尘(防毒)口罩等防护用品。

A.0.4 严禁上班前和工作中饮酒。

A.0.5 地质预报工作必须在现场找顶作业结束(必要时初期支护)后进行,开始工作前应观察操作空间上方、周围有无安全隐患,特别是钻探开挖工作面附近是否还有危石存在,确保预报人员的安全。

A.0.6 高处作业时作业台架必须安设牢固,台架周围应设置防护栏,凡患有高血压、心脏病等不适应高处作业者不得上架作业。

A.0.7 当隧道岩体中含有煤层瓦斯、石油天然气等易燃易爆物时,必须严格执行现行《煤矿安全规程》、《铁路瓦斯隧道技术规范》TB 10120 等的有关规定。超前地质预报工作应采用防爆型的仪器、设备。当采用非防爆型时,在仪器设备及操作空间 20 m 范围内瓦斯浓度必须小于 1%。超前钻探必须采用水循环钻或湿式钻孔。严禁携带火源进洞。

A.0.8 弹性波反射法超前地质预报现场采集数据使用的炸药和雷管必须由持有爆破证的专人领用,爆破作业必须由专业爆破工

操作。非专业人员严禁从事爆破作业。

**A. 0.9** 钻机使用的高压风、高压水的各连接部件均应采用符合要求的高压配件,管路应连接,安设牢固,并应经常检查,防止管接头脱落、管路爆裂高压风、水伤人;高压电路接线应由专业电工操作。

**A. 0.10** 钻孔时,钻机前方应安设挡板,严禁在钻孔的轴向后方站人,以防钻具和高压冲出的岩屑、泥沙等伤人。

**A. 0.11** 为便于控制超前钻孔揭露大量地下水时的水流及采取措施,孔口应安设孔口管和闸阀,且孔口管必须安设牢固,防止水压将孔口管冲出伤人。

附录 B 地质复杂程度分级

| 地质复杂程度分级      | 影响因素                                     |                                                                                                                             |                             |                                                                                  | 较复杂                                                    | 中等复杂                                           | 简单                                             |
|---------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|               | 岩溶发育程度                                   | 涌水涌泥程度                                                                                                                      | 断层稳定程度                      | 地应力影响程度                                                                          |                                                        |                                                |                                                |
| 地质复杂程度(含物探异常) | 强烈发育,以大型暗河、廊道、较大规模溶洞、竖井和落水洞为主,地下洞穴系统基本形成 | 特大型涌突水(涌水量 $>10\,000\text{ m}^3/\text{h}$ )、大型涌突水(涌水量 $1\,000\text{ m}^3/\text{h}\sim 10\,000\text{ m}^3/\text{h}$ )、突泥、高水压 | 大型断层破碎带、自稳能力差,富水,可能引起大型失稳坍塌 | 极高应力( $R_c/\sigma_{\max}<4$ ),开挖过程中硬质岩时有岩爆发生,有岩块弹出;软质岩岩芯常有饼化现象,岩体有剥离,位移极为显著      | 中等发育,沿断层、层面、不整合面等有显著溶蚀,中小型串珠状洞穴发育,地下洞穴系统未形成,有小型暗河或集中径流 | 弱发育,沿裂隙、层面溶蚀扩大为岩溶化裂隙或小型洞穴,裂隙连通性差,少见集中径流,常有裂隙水流 | 微弱发育,以裂隙状岩溶或溶孔为主,裂隙不连通,裂隙透水性差                  |
|               |                                          |                                                                                                                             |                             | 高应力( $R_c/\sigma_{\max}=4\sim 7$ ),开挖过程中硬质岩可能出 现岩爆,岩体有剥离和掉块现象;软质岩岩芯时有饼化现象,岩体位移显著 |                                                        |                                                | 小型涌水(涌水量 $<100\text{ m}^3/\text{h}$ ),涌突水可能性极小 |
|               |                                          |                                                                                                                             |                             |                                                                                  | 中小型断层,弱富水,可能引起小型坍塌                                     |                                                | 中小型断层,无水,掉块                                    |
|               |                                          |                                                                                                                             |                             |                                                                                  |                                                        |                                                |                                                |

续表附录 B

| 影响因素          | 复杂程度分级            |                                                                                                    | 复 杂                                              | 较 复 杂                                         | 中等复杂 | 简 单        |
|---------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------|------------|
|               | 地质复杂程度<br>(含物探异常) | 瓦斯影响程度                                                                                             |                                                  |                                               |      |            |
| 地质因素对隧道施工影响程度 |                   | 瓦斯突出: 瓦斯压力 $P \geq 0.74$ MPa, 瓦斯放散初速度 $\Delta P \geq 10$ , 煤的坚固性系数 $f \leq 0.5$ , 煤的破坏类型为 III 类及以上 | 高瓦斯: 全工区的瓦斯涌出量 $\geq 0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ | 低瓦斯: 全工区的瓦斯涌出量 $< 0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ | 无    | 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                               | 无    |            |

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

## 附录 C 临近隧道内不良地质体的可能前兆

## C.0.1 临近大型溶洞水体或暗河的可能前兆主要有:

- 1 裂隙、溶隙间出现较多的铁染锈或黏土。
- 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。

## C.0.2 临近断层破碎带的可能前兆主要有:

- 1 节理组数急剧增加。
- 2 岩层牵引褶曲的出现。
- 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。

## C.0.3 临近人为坑洞积水的可能前兆主要有:

- 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。

## C.0.4 大规模塌方的可能前兆主要有:

- 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 初支开裂掉块、支撑拱架变形或发生声响。

3 拱顶岩石掉块或裂缝逐渐扩大。

4 干燥围岩突然涌水等。

**C.0.5 煤与瓦斯突出的可能前兆主要有:**

1 开挖工作面地层压力增大,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。

2 瓦斯浓度突然增大或忽高忽低,工作面温度降低,闷人,有异味等。

3 煤层结构变化明显,层理紊乱,由硬变软,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。

4 钻孔时有顶钻、夹钻、顶水、喷孔等动力现象。

5 工作面发出瓦斯强涌出的嘶嘶声,同时带有粉尘。

6 工作面有移动感。

## 附录 D 岩溶发育的基本条件和一般规律

### D.0.1 岩溶发育的基本条件:

1 具有可溶性岩层。

2 具有溶解能力(含  $\text{CO}_2$ )和足够流量的水。

3 地表水有下渗和地下水有流动的途径。

### D.0.2 岩溶从地表往下四个发育带的发育形态和岩溶水的特征各不相同,应注意区分隧道所处的发育带位置:

1 垂直渗流带(包气带),多以垂直岩溶形态为主,如竖井、漏斗、落水洞等。

2 季节变动带,垂直岩溶形态和水平岩溶形态皆有发育,丰水期多有水流,枯水期多潮湿而无水。

3 水平径流带(饱水带),以水平岩溶形态为主,如溶洞、暗河等,多常年流水。

4 深部缓流带,岩溶不甚发育,多以溶隙、溶孔为主。

隧道穿越季节变动带与水平径流带(饱水带)时发生突泥、突水的可能性较大,尤以后者为甚。

### D.0.3 岩溶与新构造运动的关系:

1 地壳强烈上升地区,侵蚀基准面相对下降,下切作用强烈,岩溶以垂直方向发育为主。

2 地壳下降地区,原来水平发育的岩溶处于侵蚀基准面以下,原来垂直发育的岩溶又增加了水平发育,使岩溶更加复杂。

3 地壳相对稳定的地区,岩溶以水平发育为主。

### D.0.4 岩溶与地形的关系:

1 地形陡峻、岩石裸露的斜坡上,地表径流大,以表面侵蚀为主,岩溶多呈溶沟、溶槽、石芽等地表形态。



2 地形平缓,地表水易下渗,岩溶地表形态和地下形态均较发育,多以漏斗、落水洞、竖井、塌陷洼地、溶洞等形态为主。

#### D.0.5 地表水体与岩层产状的关系对岩溶发育的影响:

1 层面反向水体或与水体斜交时,水易沿层面侵入,岩溶易于发育。

2 层面顺向水体时,岩溶不易发育。

D.0.6 岩溶与气候的关系:在大气降水丰富、气候潮湿地区,地下水能经常得到补给,水的来源充沛,岩溶易发育。

D.0.7 岩溶发育的带状性和成层性:岩溶发育受岩性、裂隙、断层和接触面等的控制,这些因素一般都具有方向性,决定了岩溶发育的带状性。岩溶的成层性决定于岩性、新构造运动和水文地质条件。如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。

D.0.8 隧道中溶洞、暗河等岩溶形态多与断层破碎带有密切的关系,准确预报了断层破碎带,依据地质学原理,大多可推断岩溶地质体的位置和规模。

#### D.0.9 易发育岩溶的地段主要有:

1 质纯层厚的可溶岩地段。

2 可溶岩与非可溶岩的接触带。

3 陡倾角可溶岩地段。

4 可溶岩地层中发育的断层破碎带、节理密集带等岩体破碎地段。

5 可溶岩地层中发育的大型背斜、向斜的核部等岩体较破碎部位。

6 地表岩溶发育地段的地下相应地段。

7 地面塌陷、地表水消失的地下相应地段。

8 地下水活动强烈的地段。

以上因素叠加时更利于岩溶发育。

#### D.0.10 岩溶水即储存或运移于可溶性岩层中的地下水,包括岩

溶裂隙水和岩溶管道水,通常所指的岩溶水为后者。岩溶水多具有突发性、阵发性、季节性,并注意下列特点:

1 储存空间主要为溶蚀成因的管道,连续而不规则。

2 常沿某些岩层或构造结构面发育,管网呈树枝状。

3 从上游到下游,管道流量多逐渐增长,但各段流速有快有慢。

4 暗河管道中的水力坡度常变化比较大。

5 因常与地表水流直接联系,故地下水动态明显随气候而变化。

6 水化学成分常较简单,矿化程度不高,易受污染。

7 补给、径流和排泄条件:地表水直接流入为主,排泄方式单一(通过暗河出口流出),径流强烈。

8 垂直渗流带中的隧道涌水,施工阶段雨季揭穿垂直岩溶形态岩溶水向隧道倾泻,旱季主要以拱顶或边墙渗水为主;水平径流带涌水多为揭穿含水岩溶管道或岩溶管道水突破隔水层涌水;季节变动带的涌水情况介于垂直渗流带与水平径流带之间;在深部缓流带,隧道涌水多属岩溶裂隙水或溶隙水,但因具较大静水压力,涌水在隧道衬砌周边均可分布。

#### 9 涌水量变化特征:

1) 隧道施工期,在开放型岩溶地区,涌水一般经历由大到小而后趋于稳定的水量变化过程;在封闭型岩溶地区,涌水量由大到小直至枯竭。

2) 在隧道运营期,常年型岩溶涌水随雨季旱季的变化经历增大、减小、稳定的循环反复过程;季节型岩溶涌水量由大到小,降雨结束一段时间后涌水枯竭。

10 含泥砂特性:岩溶突涌水中多含泥砂,泥砂随涌水速度的下降而沉积,严重者掩埋施工运输轨道、施工机具,甚至隧道、坑道等。岩溶地区隧道突涌泥砂在时间上和涌水一样,具有突发和阵发性等特点。

## 附录 E 铁路隧道围岩基本分级

### E.1 围岩基本分级

E.1.1 分级因素及其确定方法应符合下列规定：

1 围岩基本分级应由岩石坚硬程度和岩体完整程度两个因素确定。

2 岩石坚硬程度和岩体完整程度，应采用定性划分和定量指标两种方法综合确定。

E.1.2 岩石坚硬程度可按表 E.1.2 划分。

表 E.1.2 岩石坚硬程度的划分

| 岩石类别 |     | 单轴饱和抗压强度 $R_c$<br>(MPa) | 代表性岩石                                                         |
|------|-----|-------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 硬质岩  | 极硬岩 | $R_c > 60$              | 未风化或微风化的花岗岩、片麻岩、闪长岩、石英岩、硅质灰岩、钙质胶结的砂岩或砾岩等                      |
|      | 硬岩  | $30 < R_c \leq 60$      | 弱风化的极硬岩；未风化或微风化的熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、灰岩、钙质胶结的砂岩、结晶颗粒较粗的岩浆岩等       |
| 软质岩  | 较软岩 | $15 < R_c \leq 30$      | 强风化的极硬岩；弱风化的硬岩；未风化或微风化的云母片岩、千枚岩、砂质泥岩、钙泥质胶结的粉砂岩和砾岩、泥灰岩、泥岩、凝灰岩等 |
|      | 软岩  | $5 < R_c \leq 15$       | 强风化的极硬岩；弱风化至强风化的硬岩；弱风化的较软岩和未风化或微风化的泥质岩类；泥岩、煤、泥质胶结的砂岩和砾岩等      |
|      | 极软岩 | $R_c \leq 5$            | 全风化的各类岩石和成岩作用差的岩石                                             |

E.1.3 岩体完整程度可按表 E.1.3 划分。

表 E.1.3 岩体完整程度的划分

| 完整程度 | 结构面特征                                                 | 结构类型          | 岩体完整性指数 ( $K_v$ )      |
|------|-------------------------------------------------------|---------------|------------------------|
| 完整   | 结构面 1~2 组，以构造型节理或层面为主，密闭型                             | 巨块状整体结构       | $K_v > 0.75$           |
| 较完整  | 结构面 2~3 组，以构造型节理、层面为主，裂隙多呈密闭型，部分为微张型，少有充填物            | 块状结构          | $0.75 \geq K_v > 0.55$ |
| 较破碎  | 结构面一般为 3 组，以节理及风化裂隙为主，在断层附近受构造影响较大，裂隙以微张型和张开型为主，多有充填物 | 层状结构，块石、碎石状结构 | $0.55 \geq K_v > 0.35$ |
| 破碎   | 结构面大于 3 组，多以风化型裂隙为主，在断层附近受构造作用影响大，裂隙宽度以张开型为主，多有充填物    | 碎石角砾状结构       | $0.35 \geq K_v > 0.15$ |
| 极破碎  | 结构面杂乱无序，在断层附近受断层作用影响大，宽张裂隙全为泥质或泥夹岩屑充填，填充物厚度大          | 散体状结构         | $K_v \leq 0.15$        |

E.1.4 围岩基本分级可按表 E.1.4 确定。

表 E.1.4 围岩基本分级

| 级别  | 岩体特征                                                                    | 土体特征                                                                      | 围岩弹性纵波速度<br>(km/s) |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| I   | 极硬岩，岩体完整                                                                | —                                                                         | $> 4.5$            |
| II  | 极硬岩，岩体较完整；<br>硬岩，岩体完整                                                   | —                                                                         | $3.5 \sim 4.5$     |
| III | 极硬岩，岩体较破碎；<br>硬岩或软硬岩互层，岩体较完整；<br>较软岩，岩体完整                               | —                                                                         | $2.5 \sim 4.0$     |
| IV  | 极硬岩，岩体破碎；<br>硬岩，岩体较破碎或破碎；<br>较软岩或软硬岩互层，且以软岩为主，岩体较完整或较破碎；<br>软岩，岩体完整或较完整 | 具压密或成岩作用的黏性土、粉土及砂类土，一般钙质、铁质胶结的粗角砾土、粗圆砾土、碎石土、卵石土、大块石土，黄土 ( $Q_1$ 、 $Q_2$ ) | $1.5 \sim 3.0$     |

续表 E. 1. 4

| 级别 | 岩体特征                                                | 土体特征                                                                                                        | 围岩弹性纵波速度<br>(km/s)   |
|----|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| V  | 软岩,岩体破碎至极破碎;<br>全部极软岩及全部极破碎岩<br>(包括受构造影响严重的破<br>碎带) | 一般第四系坚硬、硬塑黏<br>性土,稍密及以上、稍湿、潮<br>湿的碎(卵)石土、粗圆砾土、<br>细圆砾土、粗角砾土、细角砾<br>土、粉土及黄土(Q <sub>3</sub> 、Q <sub>4</sub> ) | 1.0~2.0              |
| VI | 受构造影响很严重呈碎<br>石、角砾及粉末、泥土状的断<br>层带                   | 软塑状黏性土、饱和的粉<br>土、砂类土等                                                                                       | <1.0(饱和状态<br>的土<1.5) |

## E. 2 隧道围岩分级修正

### E. 2. 1 隧道围岩级别的修正应符合下列规定:

1 围岩级别应在围岩基本分级的基础上,结合隧道工程的特点,考虑地下水状态、初始地应力状态等必要的因素进行修正。

2 地下水状态的分级宜按表 E. 2. 1—1 确定。

表 E. 2. 1—1 地下水状态的分级

| 级别  | 状 态   | 渗水量[L/(min·10m)] |
|-----|-------|------------------|
| I   | 干燥或湿润 | <10              |
| II  | 偶有渗水  | 10~25            |
| III | 经常渗水  | 25~125           |

3 地下水对围岩级别的修正,宜按表 E. 2. 1—2 进行。

表 E. 2. 1—2 地下水影响的修正

| 围岩基本分级<br>地下水状态分级 | I  | II  | III | IV | V  | VI |
|-------------------|----|-----|-----|----|----|----|
| I                 | I  | II  | III | IV | V  | —  |
| II                | I  | II  | IV  | V  | VI | —  |
| III               | II | III | IV  | V  | VI | —  |

4 围岩初始地应力状态,当无实测资料时,可根据隧道工程埋深、地貌、地形、地质、构造运动史、主要构造线与开挖过程中出现的岩爆、岩芯饼化等特殊地质现象,按表 E. 2. 1—3 评估。

表 E. 2. 1—3 初始地应力场评估基准

| 初始地<br>应力状态 | 主 要 现 象                                                                                                 | 评估基准<br>(R <sub>c</sub> /σ <sub>max</sub> ) |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 极高应力        | (1)硬质岩:开挖过程中时有岩爆发生,有岩块弹出,洞壁岩体发生剥离,新生裂缝多,成洞性差;<br>(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 | <4                                          |
| 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,成洞性较差;<br>(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              | 4~7                                         |

注:R<sub>c</sub>为岩石单轴饱和抗压强度(MPa);σ<sub>max</sub>为最大地应力值(MPa)。

5 初始地应力对围岩级别的修正宜按表 E. 2. 1—4 进行。

表 E. 2. 1—4 初始地应力影响的修正

| 修正级别<br>初始地应力状态 | 围岩基本分级<br>I | II | III                 | IV                | V  |
|-----------------|-------------|----|---------------------|-------------------|----|
| 极高应力            | I           | II | III或IV <sup>①</sup> | V                 | VI |
| 高应力             | I           | II | III                 | IV或V <sup>②</sup> | VI |

注:①围岩岩体为较破碎的极硬岩、较完整的硬岩时定为Ⅲ级;围岩岩体为完整的较软岩、较完整的软硬互层时定为Ⅳ级。

②围岩岩体为破碎的极硬岩、较破碎及破碎的硬岩时定为Ⅳ级;围岩岩体为完整及较完整软岩、较完整及较破碎的较软岩时定为Ⅴ级。

6 隧道洞身埋藏较浅,应根据围岩受地表的影响情况进行围岩级别修正。当围岩为风化层时,应按风化层的围岩基本分级考虑;围岩仅受地表影响时,应较相应围岩降低1~2级。

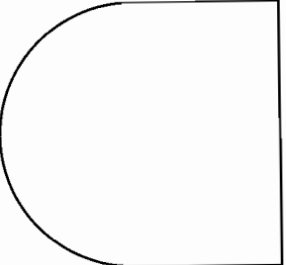
E. 2. 2 施工阶段隧道围岩级别的判定宜按表 E. 2. 2 的判定卡进行。

表 E. 2.2 施工阶段围岩级别判定卡

编号:

| 工程名称       | 位置                                |  | 施工里程                       |  | 评 定            |                       |
|------------|-----------------------------------|--|----------------------------|--|----------------|-----------------------|
|            | 距洞口距离(m)                          |  |                            |  |                |                       |
| 岩性指标       | 岩石类型(名称)                          |  | 黏聚力 $c =$ MPa; $\varphi =$ |  | 极硬岩            |                       |
|            | 单轴饱和抗压强度 $R_k =$ MPa              |  | 点荷载强度极限 $I_k =$ MPa        |  | 硬 岩            |                       |
|            | 变形模量 $E =$ GPa                    |  | 泊松比 $\nu =$                |  | 较软岩            |                       |
|            | 天然重度 $\gamma =$ kN/m <sup>3</sup> |  | 其 他                        |  | 软 岩            |                       |
| 岩体完整<br>状态 | 地质构造影响程度                          |  | 较 重                        |  | 严重             |                       |
|            | 轻 微                               |  | 0.2~0.6                    |  | 极严重            |                       |
|            | 间距(m)                             |  | 0.6~1.5                    |  | 0.06~0.2       |                       |
|            | 延伸性                               |  | 极 差                        |  | 好              |                       |
|            | 粗糙度                               |  | 明显台阶状                      |  | 平整光滑有擦痕        |                       |
|            | 张开性(mm)                           |  | 密闭<0.1                     |  | 部分张开           |                       |
|            | 0.1~0.5                           |  | 张 开                        |  | 无充填张开          |                       |
|            | 0.5~1.0                           |  | 黏土充填                       |  | 全风化            |                       |
|            | 风化程度                              |  | 未风化                        |  | 微风化            |                       |
|            | 强风化                               |  | 全风化                        |  |                |                       |
| 地下水<br>状态  | 简要说明                              |  |                            |  |                |                       |
|            | 渗水量<br>L/(min·10 m)               |  | <10<br>干燥或湿润               |  | 25~125<br>经常渗水 |                       |
|            |                                   |  |                            |  |                | 干燥或湿润<br>偶有渗水<br>经常渗水 |

续表 E. 2.2

|                             |                                                                                                      |    |      |    |   |    |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------|----|---|----|
| 初始地应力<br>力状态                | 埋深 $H =$ m                                                                                           |    |      |    |   |    |
|                             | 地质构造应力状态                                                                                             |    | 其 他  |    |   |    |
| 围岩级别                        | I                                                                                                    | II | III  | IV | V | VI |
| 开挖工作<br>面素描图<br>及地质简<br>要描述 |  <p>开挖工作面素描图</p> |    |      |    |   |    |
|                             |                                                                                                      |    |      |    |   |    |
| 记录者:                        | 复核者:                                                                                                 |    | 日 期: |    |   |    |

备注:岩性指标栏岩石力学强度指标必要时做。

附录 F 隧道地质展视图

×××隧道地质展视图

隧道方位:

比例:

作图日期:

|              |     |  |
|--------------|-----|--|
| 展视图          | 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       |     |  |
| 施工揭示地层岩性特征   |     |  |
| 施工揭示构造特征     |     |  |
| 施工揭示水文地质特征   |     |  |
| 施工围岩稳定性及初期支护 |     |  |

绘制:

复核:

附录 G 岩土可钻性分级

铁路隧道超前钻探岩土可钻性分级应符合表 G 的规定。

表 G 岩土可钻性分级

| 等级  | 硬 度    | 代表性岩土                                                                                                                |
|-----|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I   | 松软、松散  | 流塑的黏性土、软土、有机土(淤泥、泥炭、耕土),含硬杂质在10%以内的人工填土                                                                              |
| II  | 较松软、松散 | 软塑的黏性土、粉土,新黄土,含硬杂质在10%~25%的人工填土,粉砂、细砂、中砂                                                                             |
| III | 软      | 硬塑、坚硬的黏性土,含硬杂质在25%以上的人工填土,老黄土,残积土,粗砂、砾砂、砾石、轻微胶结的砂土,石膏、褐煤、软烟煤、软白垩                                                     |
| IV  | 稍软     | 页岩,砂质页岩,油页岩,炭质页岩,钙质页岩,砂页岩互层,较致密的泥灰岩,泥质砂岩,中等硬度煤层,岩盐,结晶石膏,高岭土,火山凝灰岩,冻结的含水砂层                                            |
| V   | 稍硬     | 崩积层,泥质板岩,绿泥石、云母、绢云母板岩,千枚岩,片岩,块状石灰岩,白云岩,细粒结晶灰岩,大理岩,蛇纹岩,纯橄橄榄岩,硬烟煤,冻结的砂层、冻土层,片麻岩,粒径20mm~40mm含量大于50%的粗圆(角)砾土,混凝土构件、砌块、路面 |
| VI  | 中等硬度   | 轻微硅化的灰岩,方解石、绿帘石砂卡岩,钙质胶结的砾岩,长石砂岩,石英砂岩,石英粗面岩,角闪石斑岩,透辉石岩,辉长岩,冻结的砾石层,粒径大于40mm含量大于50%的粗圆(角)砾土                             |
| VII |        | 微硅化的板岩、千枚岩、片岩,长石石英砂岩,长石二长岩,微片岩化的钠长石斑岩,粗面岩,角闪石斑岩,粉岩,微风化的粗粒花岗岩、正长岩、斑岩、辉长岩、及其他火成岩,硅质灰岩,燧石灰岩,粒径大于60mm含量大于50%的卵(碎)石土      |

续表 G

| 等级   | 硬 度 | 代表性岩土                                                                                                                                                                                 |
|------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VIII | 硬   | 硅化绢云母板岩、千枚岩、片岩、片麻岩、绿帘石英岩,含石英的碳酸盐岩石,含石英重晶石岩石,含磁铁矿和赤铁矿石英岩,钙质胶结的砾岩,玄武岩,辉绿岩,安山岩,辉石岩,石英安山斑岩,中粒结晶的钠长斑岩和角闪石斑岩,细粒硅质胶结的石英砂岩和长石砂岩,含大块燧石灰岩,微风化的花岗岩、花岗片麻岩、伟晶岩、闪长岩、辉长岩等,粒径大于 80 mm 含量大于 50% 卵(碎)石土 |
| IX   |     | 高硅化的板岩、千枚岩、砂岩、灰岩,粗粒的花岗岩、花岗闪长岩、花岗片麻岩、正长岩、辉长岩、粗面岩,微风化的石英粗面岩、伟晶花岗岩、灰岩、硅化的凝灰岩、角页岩化的凝灰岩、细粒石英岩、石英质磷灰岩,伟晶岩,粒径大于 100 mm 含量大于 50% 卵(碎)石土,半胶结的卵石土                                               |
| X    | 坚硬  | 细粒花岗岩、花岗闪长岩、花岗片麻岩,流纹岩,微晶花岗岩,石英粗面岩,石英钠长石,坚硬的石英伟晶岩,燧石层,粒径大于 130 mm 含量大于 50% 的卵(碎)石土,胶结的卵石土                                                                                              |
| XI   |     | 刚玉岩,石英岩,碧玉岩,块状石英,最坚硬的铁质角页岩,碧玉质硅化板岩,燧石岩,粒径大于 160 mm 含量大于 50% 的卵(碎)石土                                                                                                                   |
| XII  | 最坚硬 | 未风化及致密的石英岩、碧玉岩、角页岩、纯钠辉石刚玉岩,石英,燧石,粒径大于 200 mm 超过 50% 的漂(块)石土                                                                                                                           |

注:岩石的强风化、全风化层,可参照类似土层确定。

## 附录 H 钻孔柱状图

|                |      |         |         |         |       |            |      |                        |        |    |
|----------------|------|---------|---------|---------|-------|------------|------|------------------------|--------|----|
| 开孔时间：<br>终孔时间： |      |         |         | 孔口里程：   | 孔口位置： | 立角：<br>偏角： |      |                        |        |    |
| 地层时代           | 层底里程 | 层底深度(m) | 分层厚度(m) | 柱状图(比例) | 采样位置  | 工程地质简述     | 出水位置 | 出水量(m <sup>3</sup> /h) | 孔径(mm) | 备注 |
|                |      |         |         |         |       |            |      |                        |        |    |

完成单位名称:

编写:

复核:

日期:

## 附录 J 地震波反射法观测系统设计

| 项目 | 接收器(检波器)孔                          | 炮 孔                                            |
|----|------------------------------------|------------------------------------------------|
| 数量 | 2 个, 位于隧道左右边墙(各 1 个), 位置对称         | 24 个, 位于构造走向与隧道轴向交角为锐角的一侧边墙                    |
| 直径 | $\phi 45 \text{ mm}$               | $\phi 38 \text{ mm} \sim \phi 45 \text{ mm}$   |
| 深度 | 2.0 m                              | 1.5 m                                          |
| 定向 | 垂直隧道轴向, 上倾 $5^\circ \sim 10^\circ$ | 垂直隧道轴向, 下倾 $10^\circ \sim 20^\circ$ (便于用水充填炮孔) |
| 高度 | 距地面(隧底)高 1 m                       | 距地面(隧底)高 1 m                                   |
| 位置 | 距开挖工作面约 55 m                       | 第 1 个炮孔距同侧接收器孔 20 m, 炮孔间距 1.5 m                |

示意图

接收器孔和炮孔平面分布

横断面(接收器孔)

横断面(炮孔, 在左或右侧)

## 本技术规程用词说明

执行本技术规程条文时, 对于要求严格程度的用词说明如下, 以便在执行中区别对待。

(1) 表示很严格, 非这样做不可的用词:

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用词:

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这样做的用词:

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用词, 采用“可”。

## 《铁路隧道超前地质预报技术规程》

### 条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。为了减少篇幅,只列条文号,未抄录原条文。

**1.0.4** 隧道超前地质预报是保证隧道施工安全的重要环节和重要技术手段,故将它列为隧道施工的必要工序。当施工进度与超前地质预报发生矛盾时,施工要为超前地质预报让路,以避免盲目施工,确保超前地质预报工作的实施,并起到指导施工的作用。

**1.0.5** 鉴于超前地质预报技术发展水平,目前还未有一种能解决所有地质问题的预报手段,对地质条件复杂的隧道采用多种手段相互印证的综合预报方法,以提高预报准确率。

**1.0.7** 隧道超前地质预报是一门正在发展中的技术,故需要工作中积极采用新技术、新设备、新方法,不断总结成功的经验和分析失败的教训,提高预报准确率,提高超前地质预报技术水平。

**3.0.1** 通过超前地质预报工作,可以及时掌握和反馈隧道地质条件信息,调整和优化隧道设计参数、防护措施,为优化隧道施工组织、制定施工安全应急预案、控制工程变更设计提供依据。做好隧道超前地质预报工作,可以预防各类突发性地质灾害,降低地质灾害发生几率,有效规避工程建设风险,实现铁路工程安全、质量、工期、环境和投资控制目标,将直接或间接地创造巨大的经济效益和社会效益。

**3.0.4** 超前地质预报、信息化设计和信息化施工是一有机整体,涉及建设、勘察设计、施工、监理等单位,参建各方明确责任、协调一致、相互配合,确保做到信息传递顺畅、反馈及时、决策迅速、处理得当。

**3.0.7** 针对不同地段地质情况和预报目的,进行必要的技术经济比选,选择针对性、适用性强的方法和设备,采用一种或几种方法的合理组合,以求达到预报准确、费用低、占用时间短。

**3.0.10** 及时传递和利用超前地质预报成果,当地质情况与设计不符时,及时按变更设计程序进行变更设计,包括预报方案的变更,并不断完善隧道施工安全应急救援预案,切实做好隧道施工安全工作。

**3.0.11** 施工阶段隧道超前地质预报不能代替勘察阶段的地质勘察工作及施工阶段的补充地质勘察工作,不能因进行施工阶段隧道超前地质预报工作而忽视勘察阶段的地质勘察工作及施工阶段的补充地质勘察工作。

**4.0.4** 对隧道地质复杂程度进行分级,不同级别的地段采取不同的预报方法,益于抓住重点,增强针对性,集中优势资源,提高预报准确性;一般地段减少采用的预报手段,可节省有限的地质预报资源。

**4.0.6** 地质条件复杂隧道(区段)的超前地质预报以地质调查法为基础,以超前钻探法为主,结合多种物探手段进行综合超前地质预报。

地质条件较复杂隧道(区段)的超前地质预报以地质调查法为基础,以弹性波反射法为主,辅以高分辨直流电法、地质雷达等方法,必要时采用超前钻探验证。当发现局部地段工程地质条件复杂时,按地质条件复杂隧道(区段)的超前地质预报方案实施。

地质条件中等复杂隧道(区段)的超前地质预报以地质调查法为主,对重要的地质界面、断层或地面物探异常地段采用弹性波反射法进行探测,必要时采用高分辨直流电法和超前钻探等。



5.1.3 地质条件恶劣是产生灾害的客观原因,但塌方、突水突泥等还和施工方法、支护参数和施工管理水平有关。

一般情况下,如采取适于前方地质条件的技术措施可以不塌方、不产生突水突泥;如若不然,虽地质预报比较准确,也照样发生塌方、突水突泥等,这是人所共知的。例如超前预报前方是充填淤泥碎石的溶洞,如不采取超前预支护手段而仍是打开后再处理,无论支护怎么快,事故也是不可避免的。因而,需要建设、设计、施工、监理根据地质预报的结论及时制定切实可行的方法并付诸实施,才可避免或减少地质灾害的发生,显现超前地质预报工作的经济效益和社会效益。

5.1.5 超前地质预报竣工总报告按合同约定时间内提交给有关方。

#### 5.1.6

10 当设有平行导坑时作平行导坑洞身竣工工程地质纵断面图。

5.2.1 断层是隧道开挖过程中常见的对隧道围岩稳定性影响较大的构造形式之一,是地下水的富集场所和流动通道,灰岩地区岩溶常与其相伴而生,隧道内塌方、突泥突水多与其有关。

影响断层破碎带稳定性的地质因素主要有:断层上下盘岩性和岩石力学性质、断层的力学性质、断层复合与复合特征、断层破碎带厚度、断层破碎带物质组成和固结程度、断层破碎带的围岩结构、断层破碎带的产状及其与隧道的空间关系和地下水、地应力影响等八个方面。

#### (1)断层上下盘岩性和岩石力学性质

在影响断层破碎带塌方的其他地质因素相同的前提下,断层破碎带稳定性依次降低的顺序是:上下盘为相同岩性硬岩→上下盘为不同岩性硬岩→上下盘为相同岩性或不同岩性软岩→上下盘为不同岩性的软、硬岩组合。

软岩与硬岩呈断层接触的断层破碎带,大多位于软岩一侧,而

且,常常是硬岩为含水层,软岩为隔水层。这种断层上下盘岩石组合最不利于由断层破碎带组成的围岩的稳定,相当多的断层破碎带塌方属于这种类型。

#### (2)断层的力学性质

以张性正断层为主的断层破碎带,主要由断层角砾岩组成,其角砾特点是:胶结疏松,多为泥质胶结,易于风化,棱角明显,杂乱无章,大小悬殊。所以以张性正断层为主的断层破碎带最易造成塌方。

以压冲逆断层为主的断层破碎带,主要由断层泥、糜棱岩、构造透镜体、片理化揉皱化岩石组成,尽管岩石也很破碎,但因角砾之间结合较紧密,相对以正断层为主的断层破碎带来说,造成塌方的难度稍大。

以扭性平移断层为主的断层破碎带,主要由厚度不大的糜棱岩和分布较宽的劈理带岩石组成。所以与前两者相比,造成塌方的难度更大。

所以,从断层力学性质角度看断层破碎带稳定性依次降低的顺序是:扭性平移断层为主的断层破碎带→压冲逆断层为主的断层破碎带→张性正断层为主的断层破碎带。

扭性平移断层为主的断层破碎带对围岩的稳定性影响虽小,但也当引起足够的注意。

#### (3)断层复合与复合特征

断层复合有两种情况,其一是同一条断层复合,即断层多期活动;其二是两条或两条以上断层交汇复合。不论哪种断层复合,对断层破碎带的稳定性影响都极为明显,即复合式断层破碎带的稳定性远远小于一般断层破碎带的稳定性。

复合式断层破碎带塌方是一种最常见的断层破碎带塌方。

#### ①断层多期活动

自然界中的断层,绝大多数都具有多期活动特征,具有复杂的力学性质和多变的位移方式,而且,在多期活动中,必有一期为主

期活动,断层明显具有主期活动的性质和特征。

对于围岩稳定性的影响来说,其断层破碎带稳定性依次降低的顺序是:一期活动断层破碎带→以扭性平移断层为主的多期活动断层破碎带→以压冲逆断层为主的多期活动断层破碎带→以张性正断层为主的多期活动断层破碎带→以压冲逆断层为主或以张性正断层为主,而且最后一期活动表现为张性正断层的断层破碎带。

总之,从断层多期活动看,最易造成塌方的断层破碎带是以压冲逆断层为主或以张性正断层为主的多期活动断层,而且最后一期表现为正断层的断层破碎带。

#### ②两条或两条以上断层交汇

两条或两条以上断层交汇常常使断层破碎带的岩石更加破碎、松散,断层破碎带的厚度(宽度)也常常扩大2~3倍,稳定性更是随之降低很多。因此,不论什么力学性质的断层破碎带交汇处,都是围岩最不稳定的区段和最易塌方的区段。

#### (4)断层破碎带的宽度

断层破碎带的宽度是直接影响断层破碎带稳定性的地质因素。断层破碎带宽度越大,越容易造成塌方。而断层破碎带的宽度,又取决于断层的规模、断层的力学性质和断层的复合特征。断层的规模越大,断层破碎带越宽。相同规模断层的破碎带,张性正断层的破碎带最窄,扭性平移断层的破碎带较宽,压性逆断层破碎带最宽。

一般情况下,对于破碎带宽度来说,多期活动断层大于一期活动的断层;两条或两条以上断层交汇大于一期活动断层,更大于一期活动断层。

#### (5)断层破碎带的物质组成、固结程度

##### ①断层破碎带的物质组成

断层破碎带的物质组成,主要指的是断层角砾之间的胶结物及其含量。从胶结物来看,泥质、铁质胶结的断层破碎带最常见,

稳定性也最差;钙质和硅质胶结的断层破碎带较少见,稳定性也较好。从含量看,泥质和铁质胶结物含量越多,断层破碎带稳定性越差,越容易塌方,所以断层角砾岩的结构为泥夹石,比石夹泥或不含泥的结构更易造成塌方。

##### ②断层破碎带的固结程度

占大多数的泥质、铁质胶结的断层破碎带固结程度很差,少数的钙质、硅质胶结的断层破碎带固结程度较好。张性正断层断层破碎带固结程度差,扭性平移断层和压性逆断层破碎带固结程度稍好。多期活动断层比一期活动断层破碎带固结差,两条或两条以上断层交汇的断层破碎带固结程度最差甚至无固结。显然,固结程度越差,断层破碎带的稳定性也越差。

#### (6)断层破碎带的围岩结构

断层破碎带的岩体结构主要有三种:碎石状压碎结构、角砾碎石状(石夹泥或泥夹石)松散结构和泥、砂、角砾混杂状松软结构。

前者,多为扭性平移断层和规模较小的压性逆断层、张性正断层的断层破碎带岩体结构,稳定性较差。中间者,多为规模较大的、以压冲逆断层为主、张性正断层为主的多期活动断层或者两条及两条以上断层交汇形成的断层破碎带岩体结构,稳定性差。后者,则多为规模大的、以压冲逆断层为主、张性正断层为主的多期活动断层或者两条及两条以上规模很大的断层交汇形成的断层破碎带岩体结构,稳定性极差。

#### (7)断层破碎带的产状及其与隧道空间关系

主要包括断层破碎带的走向与隧道中心线的夹角和断层破碎带的倾向倾角与隧道的空间关系。

##### ①断层破碎带的走向与隧道中心线的夹角

在断层破碎带宽度相同的条件下,夹角越大越稳定,越小越不稳定。在断层破碎带几乎与隧道平行的情况下,即使断层破碎带宽度很窄,也会给隧道施工造成很大威胁。

##### ②断层破碎带在隧道中的位置、倾向倾角及其空间关系

在断层破碎带走向与隧道中心线夹角较小的条件下,破碎带位于拱顶不稳定,位于侧壁时较稳定。

#### (8)地下水、地应力的影响

地下水对断层破碎带的稳定性起着至关重要的影响,即有无地下水参与,断层破碎带的稳定性反映在围岩级别上可相差1~2个级别。

在高地应力地区,特别是水平构造应力明显地区,隧道的轴线与最大压应力轴垂直时,地应力对断层破碎带能否塌方的影响也很大,一般可使断层破碎带的围岩级别降低1~2级。

**5.2.2** 鉴于断层和各预报方法的特点,探测断层一般不必采用地质雷达手段;当设计有超前导坑时,利用超前导坑法预报断层效果明显。

#### **5.2.6**

**4** 根据断层的规模、富水程度及对工程的危害程度决定是否进行超前钻探,超前钻探有时只钻一孔即可确定断层的宽度和富水情况等。

**5** 根据接近断层时节理组数急剧增加的理论,采用地质素描法确定断层即将揭露的里程;利用开挖工作面素描根据地质作图法判断断层在隧道内的延伸长度,即在哪个里程断层将穿过。

**5.3.3** 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,故需进行综合超前地质预报。综合超前地质预报方法中需包含超前钻探,目前岩溶探测仍是超前地质预报的技术难题,须慎重对待。

**5.3.4** 隧道处于季节变动带与水平径流带时发生突涌水的可能性较大,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。

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

**5.4.1** 煤系地层是指在成因上有共生关系并含有煤层(或煤线)的沉积岩地层。瓦斯是从煤(岩)层内逸出的各种有害气体的总称,其主要成分为甲烷( $\text{CH}_4$ )。

#### **5.4.3**

**5** 瓦斯压力法、综合指标法、钻屑指标法、钻孔瓦斯涌出初速度法、“R”指标法的相关内容参照现行铁道行业标准《铁路瓦斯隧道技术规范》TB 10120 的相关规定。

表 5.4.3 突出危险性预测指标临界值参考现行铁道行业标准《铁路瓦斯隧道技术规范》TB 10120 的规定制订的。

**5.5.1** 隧道涌水、突泥多与含水丰富的断层、溶洞、暗河等密切相关,查清了断层、溶洞、暗河,就基本查清了涌水、突泥地段。隧道在煤系地层、金属和非金属等矿区中的采空区中通过也可能发生突涌水,应引起足够重视并采取相应措施。

**5.5.3** 涌水、突泥对隧道的危害较大,在可能发生涌水、突泥的地段要求必须进行超前钻探,且超前钻探必须设有防突装置。

**5.5.5** 地应力预报工作根据勘察阶段隧址区地质资料及隧道埋深、地应力测试初步结果,初步确定隧道高地应力及极高地应力地段,当隧道施工接近高地应力及极高地应力分布区段时,提前采取适宜的手段预测施工工作面前方的地应力分布状况。地应力预报一般通过地震波反射法获取施工工作面前方围岩弹性波波速,分析判定工作面前方围岩的强度及完整性,必要时可通过单孔超前钻探结合岩石室内试验,并通过施工工作面地质素描判定围岩的

级别、强度及变化趋势,结合岩爆发生三要素:地层岩性条件(坚硬、完整、脆性)、地应力条件(地应力大小、方向等)、施工触发因素,综合分析判定存在岩爆的可能性、岩爆规模等级、岩石变形趋势及对隧道的危害程度。

**6.0.1** 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。断层要素与隧道几何参数的相关性分析是根据断层与隧道宽度、断层产状与隧道走向的交角通过作图预报断层在隧道内的延伸长度。

**6.0.2** 地质调查法不占用开挖工作面施工时间、不干扰施工、设备简单、操作方便,提交资料及时,可随时掌握隧道开挖工作面的地层、岩性、地质构造、地下水等地质条件的变化,是隧道施工过程中的地质工作,是隧道工程全过程地质工作的重要一环,是隧道超前地质预报的基础工作,同时预报效果好。它不仅是一种地质预报手段,而且可以补充和完善隧道设计地质资料,也便于施工与设计资料进行对比,积累经验,同时也是竣工资料的一部分,更为隧道运营阶段隧道病害整治提供完整的隧道地质资料。这种方法对与隧道交角较大而又向前倾的结构面容易产生漏报。

地质调查法对技术人员的地质基础知识及经验要求较高,故需由专业地质人员来完成。

**6.0.4** 对存疑虑的相关重大地质问题和地段,补充必要的地面地质调查工作。超前地质预报工作一般只对地表进行补充地质调查,若需进行地表补充地质勘探工作,原则上由隧道原勘察设计单位实施,以满足设计变更和优化的需要。

**6.0.5** 地质条件复杂的岩溶隧道,在隧道通过地带岩溶水地表排泄点进行实时监测,监测内容主要包括泉点、暗河等的水量及其动态、水化学与同位素化学变化特征等;视需要可进行大气降水与气温监测。

#### **6.0.8**

5 比如隧道中揭示的需要特殊处理的岩溶洞穴、断层破碎带

等,为设计提供隧道纵、横断面图等。

**6** 包括隧道内地下水出露点位置及水量统计表;重大涌水地段、水量、水压及涌(渗)水—降雨时间关系图;其他资料。

**7.1.1** 超前地质钻探由于速度慢和费用高一直不能在隧道施工中被广泛采用。在大瑶山隧道采用日本产水平钻机应用金刚石钻头钻进也曾出现过钻进速度落后于导坑开挖速度的情况。将冲击钻应用到地质超前钻探中,大大提高了钻进速度,同时将钻孔成本费用降低了约70%。

**7.1.2** 地质超前钻探的主要特点有:

(1)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,必要时测试水压、取样、室内试验。与物探方法相比,它具有直观性、客观性,不存在物探手段经常发生的多解性、不确定性。

(2)对煤系地层可进行孔内煤与瓦斯参数测定。

(3)超前钻探虽直观,但具有“一孔之见”的不足,对断层等面状构造一般不会漏报,但对溶洞有漏报的可能。

**7.1.3** 为提高钻进速度,减少超前钻探占用开挖工作面的时间,采用冲击钻与回转取芯钻相结合的方式。一般地段采用冲击钻,特殊地段采用回转取芯钻,整体钻进速度可提高几倍,甚至十多倍。冲击钻速度快,为隧道大量采用钻孔探测提供了时间保障和可能性;回转取芯钻速度慢,占用施工时间太多,其钻进速度是隧道施工中进度和工期难以接受的,在目前隧道建设中全部大量采用基本不可能。

超前钻探的主要目的是探明开挖工作面前方有无不良地质和特殊岩土及其发育情况,有无断层破碎带及其发育规模,地下水发育情况,有无发生突泥、突水的可能,及其他特殊目的探测。根据探测目的,尽可能采用冲击钻,必要时采用回转取芯钻。比如,钻孔揭露地下水时,水会从钻孔中流出;遇到溶洞,钻进速度会明显发生变化,因而采用冲击钻基本能达到探水、探溶洞的目的,需取

芯鉴定时更换钻具进行取芯钻探等。现将超前钻孔揭示地质情况的判断经验作如下介绍:

(1)对回转取芯钻的岩芯进行鉴定是判定岩性最为准确可靠的方法。

(2)根据岩粉判定:在采用冲击钻时,孔中不断有岩粉被高压风吹出,通过鉴定岩粉的成分,可了解前方地层的岩性。

(3)根据钻进速度判定:相同钻压下钻机在相同岩层中的钻进速度是均一的,结合隧道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。

(4)根据卡钻情况、钻杆震动情况、塌孔等现象,可粗略判断前方岩体的完整程度。

(5)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,可粗略判定钻孔内岩层的变化;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。

(6)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。

**7.1.4 对超前地质钻孔来说,**钻进距离越长,对施工的指导意义越大,但随着钻进距离的加大,其钻进速度会逐步降低。随着钻孔深度增加,钻杆受到的摩阻力和钻头受到的冲击阻力增大,钻机的能量损失也越大,钻进速度也越慢;钻孔深度加大,取芯拔钻、下钻占用的时间也将增加。另外,随着钻孔深度的增加,钻具下垂加大,孔位易偏离设计值;钻孔深度较大处揭露地下水时处理难度也会加大等。通过对 78 个钻孔钻进速度的统计分析,在不同的深度,其平均钻进速度见说明表 7.1.4—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 1.8 h。综合分析孔内钻进和进场、撤离的时间,不同深度钻孔其综合效率统计结果见说明

表 7.1.4—2。从表中可以看出:综合效率最高的循环长度是 45 m (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 30 m 左右。

说明表 7.1.4—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<br>(m/h) | 冲击钻 | 4.6 | 5.1  | 4.9   | 4.7   | 3.8   | 2.6   | 2.2   | 2.1    |
|               | 取芯钻 | 0.8 | 0.75 | 0.7   | 0.6   | 0.5   | 0.45  | 0.4   | 0.3    |

说明表 7.1.4—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      |

上述是以国产水平地质钻机为例进行的统计分析;国外进口钻机钻进速度快,进退场时间短,但钻机价格昂贵,使用成本高,一般长大复杂重点隧道工程、投资大的工程采用。

### 7.1.5

6 隧道开挖工作面的时间特别宝贵,所以加强钻进设备的维修与保养,使钻机处于良好状态,减少或避免占用开挖工作面维修钻机设备等。

### 7.1.7

#### 3 孔口管锚固力计算

钻孔过程中,孔口管和锚固剂及锚固剂和孔壁接触面之间抗剪强度的大小,决定孔口管抵抗涌水压力和注浆压力的能力,经现场注浆试验表明,孔口锚固的破坏主要为锚固剂和钢管接触面之间的剪切滑动。参考有关文献资料,孔口管和锚固体接触面的抗

剪强度一般不超过锚固体抗压强度的 1/4。为便于定量分析,取孔口管和锚固体接触面的抗剪强度为锚固剂抗压强度的 1/4,并取平均剪应力  $\tau_0$  为抗剪强度  $[\tau]$  的一半,则孔口管的平均抗拔力为:

$$F_0 = \pi D l \tau_0 = \frac{1}{2} \pi D l [\tau] = \frac{1}{8} \pi D l [\sigma]$$

(说明 7.1.7—1)

式中  $D$ ——孔口管外径,mm;

$l$ ——孔口管长度,m;

$\sigma$ ——锚固剂抗压强度,MPa。

在注浆压力  $P$  作用下,从计算偏于安全考虑,假设孔口管全断面受到注浆压力的作用,孔口管受到的拉拔力  $F_1$  如下:

$$F_1 = \frac{1}{4} \pi D^2 P \quad (\text{说明 7.1.7—2})$$

孔口管的安全系数  $f$  如下:

$$f = \frac{F_0}{F_1} = \frac{2l[\tau]}{DP} \quad (\text{说明 7.1.7—3})$$

从计算中可知,当采用水泥浆锚固时,在 2 h 之内孔口管的抗拔力达不到要求;当采用 HSC 浆液和树脂锚固时均可满足要求。现场采用长 1.0 m,外径  $\phi 108$  mm 的孔口管进行拉拔试验,锚固剂采用不饱和聚酯树脂,采用锚杆拉力计进行拉拔,其抗拔力大于 160 kN,与理论计算的 166.17 kN 比较接近。现场分别采用水泥浆加外加剂和 HSC 浆液,将长度 1.0 m、外径  $\phi 108$  mm 的孔口管锚固在混凝土止浆墙上,2 h 后进行压水试验,当水压力达到 2.0 MPa 时,采用 32.5R 水泥浆加外加剂锚固的孔口管发生剪切破坏和渗漏水,孔口管向外推出,而采用 HSC 浆液锚固的孔口管,试验压力达到 10 MPa 时未发生破坏,也未出现渗漏水,达到 12 MPa 时未发生破坏,但出现了少量的渗漏水。说明理论计算结果和试验结果比较吻合。

### 7.2.2 加深炮孔探测具有以下特点:

(1)是地质超前钻探的一种重要补充,因其数量较多,在岩溶发育区大大增加揭示溶洞的几率,效果非常明显。

(2)与地质超前钻探相比,具有设备移动灵活、操作方便、费用低、占用隧道施工时间短的特点,可与爆破孔同时施作。

(3)孔浅,且不能取岩芯。

### 7.2.3

4 由于岩溶发育的复杂性、多变性、隐蔽性、突发性和目前超前地质预报技术难于完全查清的实际情况,加深炮孔探测在富水岩溶发育区做好做实,利于保障施工安全。

8.1.2 物探适用范围广,方法多,设备轻便,效率高,是超前地质预报的重要手段。但各种物探方法都需具备一定的应用条件,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物探的效果,因此需合理的使用。

探测对象具有多种物理性质,根据与相邻介质的不同物性差异选择两种或两种以上有效的物探方法,通过综合物探可利用探测对象的多种物性特征研究其空间形态,相互补充、相互印证可以减少物探的多解性,取得好的物探效果。因此对于地质条件复杂的隧道采用综合物探,并结合其他探测资料综合分析。

8.1.6 物探资料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,以避免物探资料的多解性,提高解释结果的准确程度。

正确的解释结果不应因解释方法不同而有区别,采用两种以上的方法进行定量解释,可以发现解释中存在的问题,提高定量解释的准确性。

不同的物探方法采用了不同的物性参数,而这些参数有的与地层对应,有的可能不完全对应,由此而导致解释结果不同,当它们具有一定的规律性时,都反映了探测对象的某种物理地质信息,在解释结果中应予以说明。



8.2.1 水平声波剖面法、负视速度法、极小偏移距高频反射连续剖面法分别由中铁西南科学研究院、铁道第一勘察设计院、铁道科学研究院铁道建筑研究所提出,列为1990年~1995年原铁道部重点科研项目“隧道开挖工作面前方不良地质预报”课题的一部分,1995年12月通过原铁道部科技成果鉴定。

#### 8.2.2

1 探测对象的体积和规模足够大,产生的异常能被现有的仪器所接收。

#### 8.2.3

4 因弹性波反射法的观测结果是波形,供分析用的是波的振幅和相位特征,因此本技术规程规定:两次记录具有较好的异常重复性和波形相似性。

8.2.5 随着预报距离的增大,地质异常体的位置和宽度误差也在增大,所以预报距离需在合理的范围以内。

4 隧道处于曲线上时,随预报距离加长产生的偏差增大。

8.2.7 必要时增加探测开挖工作面地质素描的相关内容。

一座隧道应用同一种方法进行多次预报时,一般除第一次报告内容需要全面外,其余各次预报报告中重复的内容酌情减少,比如隧道工程概况、方法原理等可省略。

#### 8.2.8

2 如果没有采集高质量地震波数据,即使再好的处理手段和富有技术经验的工程师,也无法准确地进行地质预报。高质量地震波数据的采集是准确预报的前提和基础。激发和接收地震波是探测工作中的一个环节,其条件的优劣对数据质量关系密切。

接收条件主要是检波器的埋置条件。在隧道中进行探测时,检波器通过套管接触不同围岩地质条件,因此,套管与围岩的耦合是否良好非常重要,套管与岩壁密贴是保证接收质量的基础,必须认真做好。实验证明,用水或黄油做耦合剂对地震波接收的质量影响较大,不宜采用。

激发条件是影响地震记录好坏的一个重要因素,它是得到好的有效波的基础条件,如果激发条件很差,再如何改善接收条件也是徒劳的。对地震波的激发条件,应满足一些基本要求,一是激发有效波的能量要强,达到对探测深度的要求;二是激发地震波的频谱要宽,使地震记录有较高的分辨能力。

雷管须采用瞬发电雷管(无延时)。闷孔(注水或其他介质封堵)可改善炸药与周围介质的几何耦合关系,有利于提高爆炸能量的利用率和作功能力以及增大波在岩层内部的穿透能力。

4 地震波反射法探测资料有以下地质判释经验可供参考:

(1)反射波振幅越高,反射系数和波阻抗的差别越大。

(2)若横波 $S$ 反射比纵波 $P$ 强,则表明岩层饱含地下水。比较任何反射振幅必须小心,因为反射振幅易受随机噪音和数据处理的影响。

(3) $v_P/v_S$ 有较大的增加或泊松比 $\nu$ 突然增大,常常因流体的存在而引起。

(4)若 $v_P$ 下降,则表明裂隙密度或孔隙度增加。

(5)关于 $v_P/v_S$ :

①固结的岩石 $v_P/v_S < 2.0$ ,泊松比 $\nu < 0.33$ 。

②当岩石的孔隙充满水时, $v_P/v_S$ 从1.4→2.0。

③当岩石的孔隙充满气时, $v_P/v_S$ 从1.3→1.7。

④水饱和的未固结地层 $v_P/v_S > 2.0$ 。

当岩体中含流体时, $v_P$ 与孔隙度和孔隙中流体的性质有关, $v_P$ 会明显降低。 $v_S$ 只与骨架速度有关而与孔隙中流体无关, $v_S$ 不发生明显变化。

(6)关于沉积岩的泊松比 $\nu$ :

①未固结的土层,往往具有非常高的泊松比 $\nu$ (0.4以上)。

②泊松比 $\nu$ 常随孔隙度的减小及沉积物固结而减少。

③高孔隙度的饱和砂岩往往具有较高的泊松比 $\nu$ (0.3~0.4)。

④气饱和和高孔隙度砂岩往往具有较低的泊松比 $\nu$ (如低到0.1)。

## 8.2.9

2 隧道两侧边墙脚布设钻孔方式与贴开挖工作面布置方式相比具有以下特点:

(1)现场布置不在开挖工作面上,占用施工时间短,对施工干扰小。

(2)反射波不易受直达波、面波干扰,记录曲线清晰,提高了信噪比;反射波时域同相轴、频域频差“同相轴”明显。

(3)记录的直达波、面波皆呈双曲线形态,反射波易于识别。

(4)避开了开挖工作面开挖松动带的影响,减少了高频衰减,有利于探测距离的加大和精度的提高。

8.2.10 地震波负视速度法超前地质预报是点反射法的改进方式之一,它把单一的接收点扩展成一个排列,形成一组可变炮检距的共炮点的组合点反射观测系统。

当隧道开挖工作面前方被探测对象与相邻介质存在较明显的波阻抗差异并具有足以被探测的规模,入射波遇到此被探测对象时就会产生反射波、衍射波。若在震源与反射、衍射点之间布置观测系统(纵排列),则入射波与反射、衍射波在测线上传播方向相反。入射波在测线上的视速度定义为正视速度,而反射、衍射波相对震源而言,便具有负视速度的特征。可利用负视速度同相轴作为识别与提取来自开挖工作面前方反射、衍射波的标志和依据。

根据反射、衍射波时距曲线作反演就可求出反射界面的位置或衍射点(衍射点的边界点)在测线上的投影位置。

从地震波运动学特征看,观测系统可采用“一点激发、多点接收”的方式,也可采用“一点接收、多点激发”的方式,但从动力学特征来看,上述两种方式不尽相同,应用中应加以注意。

隧道轴向应有足够布置观测系统的长度,观测排列段尽可能布设在围岩较均匀的地段。

当采用24道及以上道数地震仪时,检波距选用1 m~2 m有利于同相轴的追踪,可提高资料分析质量。

检波器与岩土体耦合良好,不得悬空,以防自由振荡,形成背景干扰。

8.2.11 极小偏移距高频反射连续剖面法 1990年~1995年列为原铁道部重点科研项目,1992年~1994年列为国家自然科学基金资助项目(编号49274215“极小偏移距高频反射连续剖面法的方法理论和实际应用的研究”),1995年通过原铁道部科技成果鉴定。

极小偏移距高频反射连续剖面法为浅层及极浅层高分辨率勘探提供了一种物探方法,同时,在场地狭小的场合、在基岩裸露的条件下、在探测岩溶等有限物体等方面表现了其优点。它实际上是浅层地震反射法、地质雷达、声波法、水声法等“融合”的产物。

地震反射法为了避免先于目的层反射波到达的直达波、面波、折射波等的干扰,需选择足够大的偏移距。而在浅层和极浅层探测时,偏移距略大,则可能形成宽角反射,并带来一系列难题;偏移距小则难以避开上述干扰;在场地狭小处也难以布置水平叠加排列系统。地质雷达、水声法等通常采用极小偏移距的发射——接收系统,避开先于反射波到达的各种干扰波。极小偏移距高频反射连续剖面法是仿照这些方法,采用极小偏移距的激发——接收系统,这样,必然是单点测量,或者在激震点两侧对称位置上各设一检波器,一次激发两道接收。震——检距的大小根据最小探测深度而定,以目的物的反射波不受先至的干扰波影响为准。

5 为便于进行定性定量解释,利用反射波同相轴的对比是反射类物探方法资料解释的基本方法。地质雷达和水声法的反射与接收传感器分别通过空气或水耦合与各测点的耦合一致,发射能量也一致,各测点的时间曲线汇成似 $t_0$ 时间剖面较容易;而在岩土体中做弹性波反射法,特别是在岩石面上安放检波器,各测点的检波器耦合不一致,激震能量不等,尤其是进行垂直叠加、激震次数



不同时,不同测点上接收到的同一反射界面的反射波能量相差较大。为将各测点资料汇成时间剖面,需做归一化和均衡处理。

6 资料分析与判定时建议将所处理的剖面打印成彩色似  $t_0$  时间剖面图,在图上解释。

8.3.3 地质雷达探测预报距离较短为 5 m~40 m,而占用施工时间较长,一般在很可能有溶洞的地段探测溶洞的发育部位、规模大小、走向等;而断层破碎带、软弱夹层等不均匀地质体的探测常采用探测距离较长的弹性波反射法来探测,比如地震波反射法、水平声波剖面法、负视速度法和极小偏移距高频反射连续剖面法等。

### 8.3.5

1 低频天线探测距离长精度低,高频天线探测精度高距离短。地质预报要探测开挖工作面前方一定距离的地质情况,一般希望探测距离越长越好,很小的不良地质体对隧道的影响也较小,因而多使用低频天线,特殊情况下也可使用高频天线;若高频天线能满足探测距离的要求,当然采用高频天线。

8.3.6 地质雷达的探测结果是由时间剖面构成的雷达图像,不能进行具体的误差数值计算,所以规定雷达探测的质量标准为:时间剖面有良好的重复性、波形一致和异常没有明显的位移。

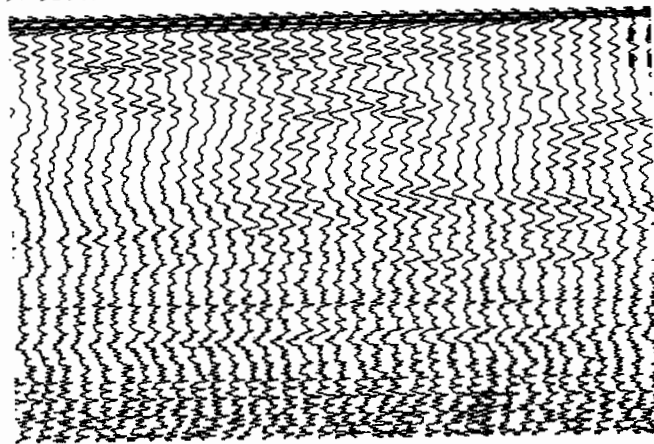
8.3.9 地质雷达探测资料解释时参考但不限于以下经验:

雷达电磁波在各类岩土介质中传播时,由于岩土体的完整性、含水性和电性特征的差异,导致雷达电磁波的波形、波幅、周期和包络线形态等有较大差别,形成不同的地层具有不同的雷达图像特征。

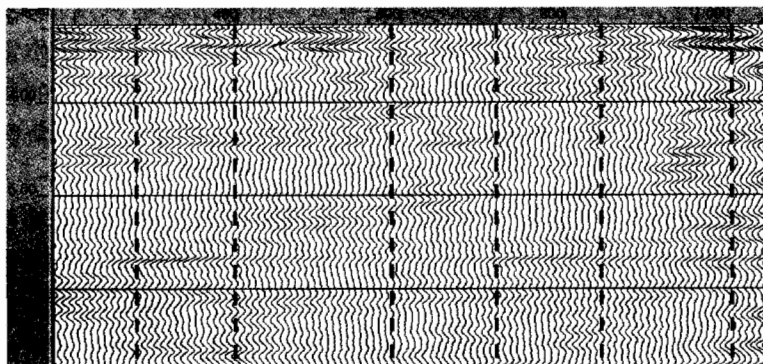
资料的解析依据波形特征判断目标性质,还采用追踪回波在横向和纵向上的延续和变化,对应展现出地质体在平面和剖面上的形态,尤其进行大面积探测时,小的孤立目标在平面上不易追踪,这时可采用横向衰减对比处理解释方法,寻找幅度突变点,即目标所在的位置。

通过大量工程探测实践,行之有效的解释方法有灰度法、变面积法(wiggle)、单点波形法、横向衰减对比法等。地下介质雷达电磁波传播速度的获取方法有已知钻孔探测法或已知目的层探测法、CDP(共中心点)法或直达波法、公式计算法或经验数据法。

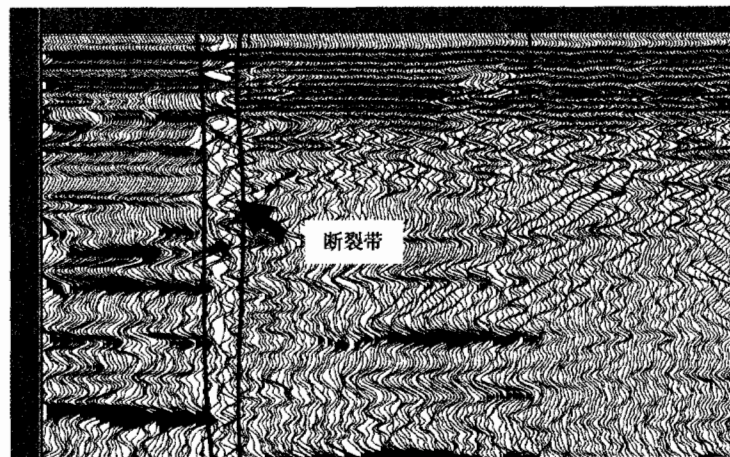
界面的性质、形状、尺寸和产状也直接影响到回波的幅值和形状。黏土层等土体均一性相对较好,在无明显分界面的条件下雷达反射波较弱,如说明图 8.3.9—1 所示;当出现分界面或洞穴及其他异常体时,会有明显的反射波组出现。砂岩、灰岩等完整新鲜岩石,均一性较好,雷达反射波强度很弱,常为低幅高频细密波,如说明图 8.3.9—2 所示;若受构造影响造成岩石破碎或出现岩溶及中等程度的风化现象,则岩石的均一性差,出现强反射波组。岩体中的断层破碎带,主要特征是地层错断使断裂带两侧的反射波组明显不连续,另外地层破碎使断裂带内部对电磁波的吸收加强,因此,断层破碎带常形成一条反射波组同向轴不连续,反射波强度减弱带,如说明图 8.3.9—3 所示。



说明图 8.3.9—1 相对均一的黏性土层



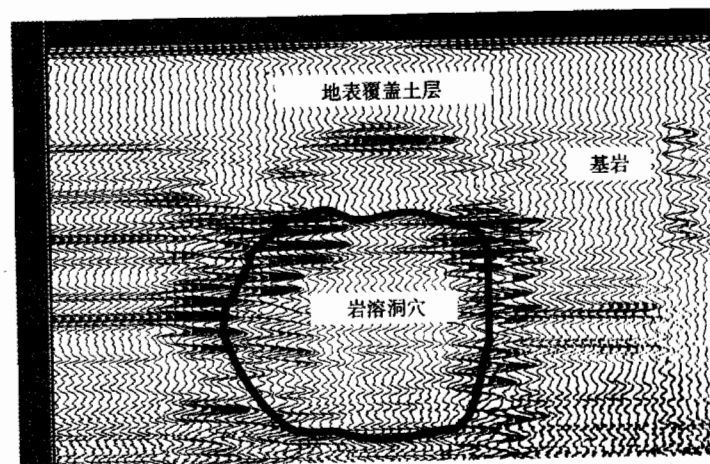
说明图 8.3.9—2 完整性较好的灰岩



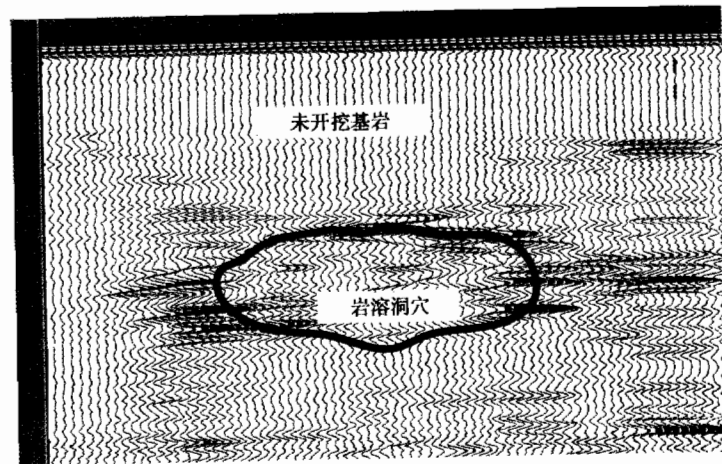
说明图 8.3.9—3 断层破碎带特征

如说明图 8.3.9—4~说明图 8.3.9—8 所示几种典型岩溶洞穴的雷达图像,特征明显。溶洞的典型特征是在边界形成强反射带,由于基岩和充填物性质的显著差异,充填型岩溶洞穴会形成中间和周围基岩反射程度的强烈差别,特别是有水充填的岩溶空洞。

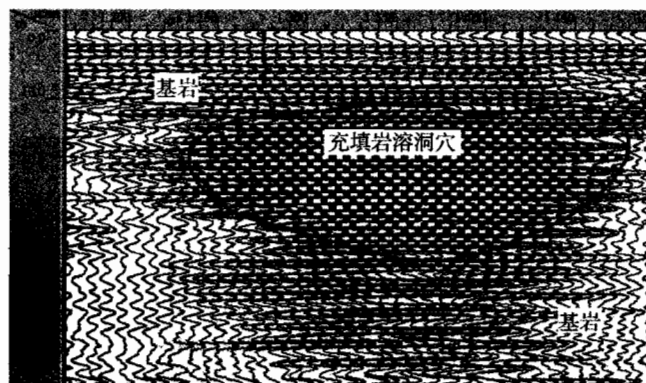
实际探测过程中,对岩溶空洞的判定首先要明确岩溶存在的可能性,然后再对出现的雷达物探异常区进行地质解释,综合判定岩溶空洞的分布状态。



说明图 8.3.9—4 中空干燥岩溶洞穴(一)



说明图 8.3.9—5 中空干燥岩溶洞穴(二)

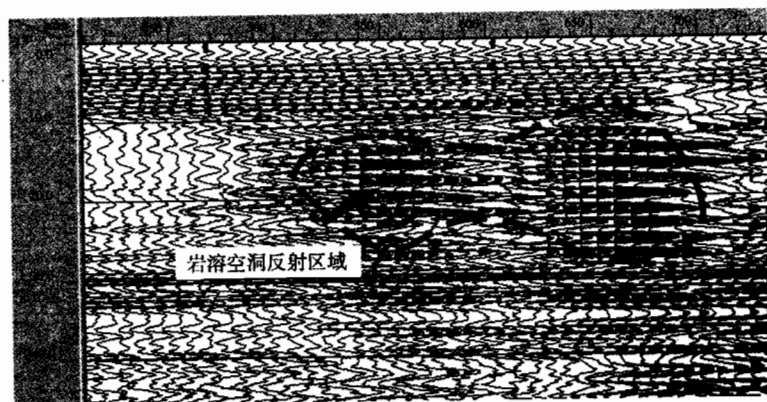


说明图 8.3.9—6 淤泥充填岩溶洞穴(一)



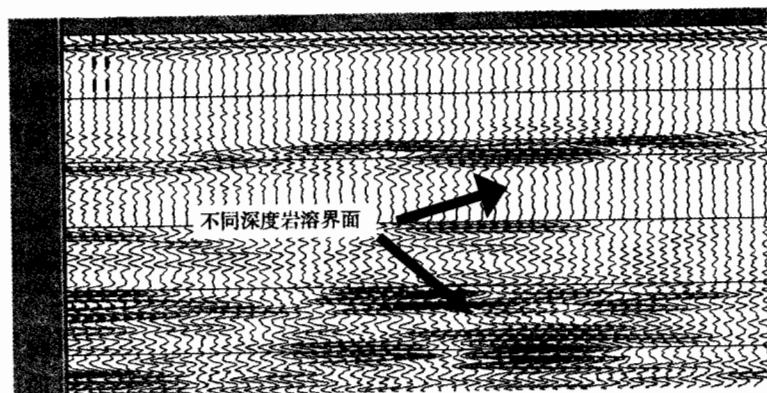
说明图 8.3.9—7 淤泥充填岩溶洞穴(二)

前后叠置的串状溶洞分析。岩溶洞穴的空间形态十分复杂，当在隧道中实施探测时，可能出现在探测方向不同深度处多个溶洞同时存在的状况，对于这种状况应用地质雷达探测是可行的，因为雷达接收的是各个界面的反射波，深度不同的界面其反射波到达接收天线的时间长短是不一样的，距工作面越远则反射波时程

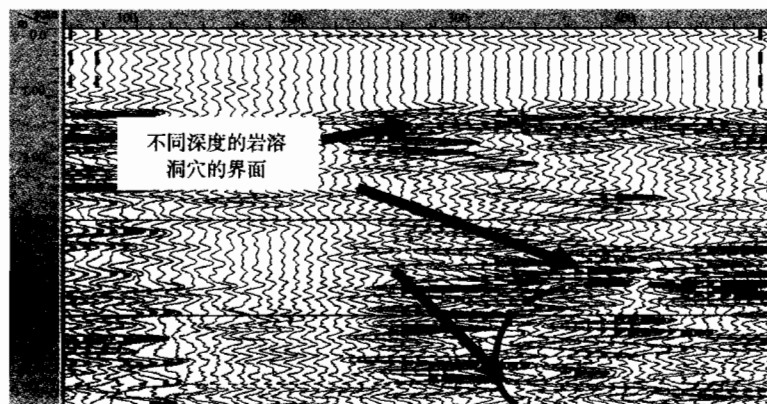


说明图 8.3.9—8 充水型岩溶洞穴

越大，正像不同深度的地层界面都能反映到时间剖面上一样，不同深度的岩溶洞穴边界也都能反映到时间剖面上，从而一个测线可以对不同深度溶洞的边界形态都能够反映出来，如说明图 8.3.9—9 和说明图 8.3.9—10 所示。



说明图 8.3.9—9 前后叠置的串状溶洞雷达探测剖面图(一)



说明图 8.3.9—10 前后叠置的串状溶洞雷达探测剖面图(二)

在单波形或 wiggle 方式下,相对于射入线处于一种理想产状平整断面(带)的波形一般比较尖细,含水裂隙带或断层破碎带的波形稍宽一些;空洞或者溶洞的波形钝而宽缓,边缘往往不规则,在灰度图方式下,例如相对于介质中的波长较大的空洞,由于空气中的波速较快,相对于周围介质的试行时间较短,其反射波的正负波上凸弯曲,近似于抛物线,顶端位于洞中心。无论上述哪种方式,物理性质相同的反射波会形成一套特征相似的波形组合。因此,可根据波形特点、组合特征及其差别,必要时辅助以不同的处理方法来解释反射目标。

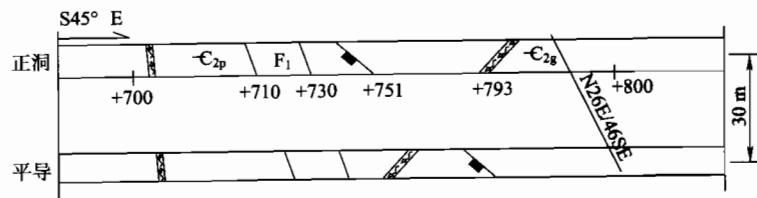
**8.4.1** 该方法目前我国煤炭系统应用较多;铁路系统近年已有应用,中铁隧道集团有限公司已在多座地质条件复杂的铁路隧道超前地质预报工作中使用。

**9.0.1** 平行超前导坑法是在隧道正洞左边或右边一定距离开挖一个平行的断面较小的导坑,以导坑中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。平行导坑的作用很多,如增开工作面、增加运渣通道以利于加快施工进度、施工和运营期间通风、排水、防灾救援、疏散等,地质预报只是其中用途之一,一般只

是当设计有平行导坑时才采用该预报方法,因其费用极为昂贵。

正洞超前导坑法是在隧道正洞中某个部位开挖一个断面较小的导坑以探明地质情况的方法。该方法较平行导坑法更直接、更准确。正洞导坑可作为隧道施工工法的一种,既开挖了隧道,又探明了地质。

**9.0.2** 说明图 9.0.2 为某隧道平行导坑预报正洞平面简图的一部分。



说明图 9.0.2 平行导坑预报正洞平面简图

**D.0.9** 岩石成分、成层条件和组织结构等直接影响岩溶的发育程度和速度。一般地说,硫酸盐岩层、卤素类岩层岩溶发育速度较快;碳酸盐类岩层则发育速度较慢。质纯层厚的岩层,岩溶发育强烈,且形态齐全、规模较大;含泥质或其他杂质的岩层,岩溶发育较弱。结晶颗粒粗大的岩石岩溶较为发育,结晶颗粒细小的岩石,岩溶发育较弱。

可溶岩与非可溶岩的接触带是岩溶水动力现象最活跃的场所之一,岩溶作用强烈,特别是岩层产状陡倾或直立的地带更是如此。

岩层倾角越陡岩溶越发育,因陡倾角易于岩溶水的流动。水平或缓倾斜的岩层,上覆或下伏非可溶岩层时,岩溶发育较弱。

水对岩体的侵蚀一般自节理裂隙开始,岩溶本身往往就是裂隙扩大的结果,因此裂隙的发育程度和延伸方向,通常决定岩溶的发育程度和发展方向。在长大贯通节理裂隙发育带和交叉处,岩溶易发育。

岩体的破碎为地下水的流动提供了通道,易于岩溶发育,因此,沿断裂带是岩溶发育地段。沿断裂带常分布有漏斗、竖井、落水洞以及溶洞、暗河等。一般情况下,正断层处岩溶较发育,逆断层处次之。

背斜轴部张性节理发育,地表水顺节理裂隙下渗并向两翼运动,岩溶以垂直形态为主。向斜轴部虽然裂隙闭合,但由背斜下渗的水沿层面多汇集于向斜,岩溶亦易发育。总之,褶皱轴部一般岩溶较发育。单斜地层,岩溶一般顺层面发育。在不对称褶皱中,陡的一翼较缓的一翼发育。经验表明,地表有串珠状的漏斗,其下必有溶洞或暗河,因其汇集的地表雨水必有径流和排泄的通道。

**附录 E**

“铁路隧道围岩基本分级”是参考现行铁道行业标准《铁路隧道设计规范》TB 10003 的规定制订的。

**附录 G**

本附录参考现行铁道行业标准《铁路工程地质钻探规程》TB 10014 的规定制订的。

本次修订岩土可钻性分级采用岩芯钻探岩土可钻性 12 级分级标准,并根据现行铁道行业标准《铁路工程岩土分类标准》TB 10077 对代表岩土进行修订。原指南采用的 8 级分类标准与现采用的 12 级标准对照参见说明表 G。

**说明表 G 岩土可钻性的级数对照**

| 岩土可钻性 8 级  | I | II | III | IV  | V   | VI  | VII   | VIII |
|------------|---|----|-----|-----|-----|-----|-------|------|
| 岩土可钻性 12 级 | 1 | 2  | 3   | 4~5 | 6~7 | 8~9 | 10~11 | 12   |