

JTG

中华人民共和国行业标准

JTG/***—***—****

公路隧道超前地质预报技术规程

Technical Code of Geological Prediction for Highway

Tunneling Project

(征求意见稿)

20**-**-** 发布

20**-**-** 实施

中华人民共和国交通运输部发布

前 言

根据中华人民共和国交通运输部交公路函〔2020〕471号文《交通运输部关于下达2020年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》的要求，由中国地质大学（北京）和中国建筑一局（集团）有限公司作为主编单位，负责《公路隧道超前地质预报技术规程》（以下简称“本规程”）的制订工作。

随着我国交通工程建设的飞速发展，公路隧道建设突飞猛进，为确保隧道施工安全，隧道超前地质预报得到越来越多的重视。作为公路工程行业隧道超前地质预报的技术性规范，本规程将对公路隧道超前地质预报的设计与实施，并进而保障公路隧道的安全建设与运营起到重要作用。

本规程在制订过程中，贯彻了“科学性、实事求是、适宜有效、符合性与协调性、可操作性”的原则，在全面收集整理汇总全国各公路隧道超前地质预报技术应用需求的基础上，结合主编单位多年公路工程隧道超前地质预报技术应用经验开展工作，系统总结了在公路建设领域隧道超前地质预报技术和科研成果，吸收了铁路、公路、水电水利、矿山、市政和建筑等行业领域的应用经验，并充分考虑不同的地域性特征展开了广泛的调研。

本规程的主要内容为：

1. 第1章至第3章分别为总则、术语、基本规定；
2. 第4章至第5章分别为超前地质预报设计及超前地质预报实施；
3. 第6章至第9章分别为地质调查法、物探法、超前钻探法及超前导洞预报法。

请各有关单位在执行本《规范》过程中，将发现的问题和修改意见，函告本规范日常管理组，联系人：徐能雄（地址：北京市海淀区学院路29号中国地质大学（北京），邮政编码：100083，电话：010-82322627，电子邮箱：xunengxiong@cugb.edu.cn），以便下次修订时参考。

主 编 单 位： 中国地质大学（北京）
中国建筑一局（集团）有限公司

参 编 单 位： 湖北省路桥集团有限公司
交通运输部公路科学研究院
中交第二公路勘察设计研究院有限公司

山西省交通规划勘察设计院有限公司

河北工业大学

主 编： 徐能雄

主要参编人员：

目 录

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	5
4 超前地质预报设计	8
5 超前地质预报实施	10
5.1 实施前准备工作	10
5.2 断层破碎带预报	11
5.3 岩溶预报	12
5.4 地下水预报	14
5.5 煤层瓦斯预报	15
5.6 高地应力预报	18
5.7 采空区预报	19
5.8 预报成果报告	20
6 地质调查法	22
6.1 一般规定	22
6.2 隧道地表补充地质调查包含的主要内容及要求	22
6.3 隧道内地质素描包含的主要内容及要求	23
6.4 地质调查法资料编制	25
7 物探法	27
7.1 一般规定	27
7.2 弹性波法	29
7.3 电磁波法	36
7.4 高分辨直流电法	41
7.5 红外探测法	41
8 超前钻探法	43
8.1 超前地质钻探	43
8.2 加深炮孔探测	45
8.3 孔内摄影	45
9 超前导洞预报法	46
附录 A 隧道地质复杂程度分级	48
附录 B 隧道超前地质预报方法选用	49
附录 C 隧道内临近不良地质体地质前兆表	50
附录 D 公路隧道掌子面及洞身地质素描表	51
附录 E 隧道地质信息综合记录表	52
附录 F 地震波反射观测系统布置图表	53

1 总则

1.0.1 为适应公路工程建设需要，规范公路隧道超前地质预报工作，提高公路隧道超前地质预报水平，制定本规程。

1.0.2 本规范适用于公路行业的隧道施工超前地质预报工作，也可用于市政、水利水电、矿山等行业的隧道掘进施工超前地质预报工作。

1.0.3 隧道施工超前地质预报工作除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关强制性标准的规定。

2 术语

2.0.1 工程地质调绘 engineering geological mapping

采用收集材料、遥感解译、地质调查访问等手段，对地貌形态、地质岩性及其工程特征、地质构造、水文地质情况、不良地质现象、特殊岩土等工程地质因素进行调查、测绘，以分析地质现象，确定勘察方法，认识、评价场地工程地质条件的基本工作方法。

2.0.2 不良地质 unfavorable geological condition

由于地球内力或外力作用和人类活动而造成的滑坡、危岩、落石、崩塌、岩堆、泥石流、风沙、岩溶、人为坑洞（采空区）、水库坍岸、地面沉降、地质液化等地质现象的统称。

2.0.3 特殊地质 special rock and soil

对本身具有特殊的物理、力学、化学性质，并影响工程地质条件的黄土、膨胀土、红黏土、软土、盐渍土、盐岩及盐渍岩、冻土、填土等岩土的统称。

2.0.4 综合物探 comprehensive geophysical exploration

根据勘探对象的不同物理性质，采用两种或者两种以上有效的物探方法进行勘探并对资料进行综合分析解释的方法技术。

2.0.5 地质超前钻探 geological prediction in tunnel by drilling

在隧道开挖工作面或其侧洞沿开挖前进方向实施超前地质钻探，以探明开挖工作面前方地质条件的方法。

2.0.6 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、超前地质钻探、超前导洞等手段，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。

2.0.7 地质复杂程度分级 classification 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。

2.0.8 地质调查法 geological survey method

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、垫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先兆分析等，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地质情况的一种超前地质预测方法。包括隧道地表补充地质调查和隧道内地质素描。

2.0.9 隧道内地质素描 geological sketch of the inside of tunned

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的一种超前地质预报方法。

2.0.10 地球物理勘探 geophysical prospecting

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”。

2.0.11 地质雷达探测 detection by geological radar

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。

2.0.12 弹性波法 elastic wave method

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测隧道开挖工作面前方地质、水文情况的一种物探方法。

2.0.13 红外探测法 infrared detection method

根据红外辐射原理，即一切物质都在向外辐射红外电磁波的原理，通过接收和分析红外辐射信号进行超前地质预报的一种物探方法。

2.0.14 高分辨率直流电法 high resolution direct current method

以岩石的电性差异为基础，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流，通过研究电场或电磁场的分布规律预告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。

2.0.15 瞬变电磁法 transient electromagnetic method

根据阶跃波电磁脉冲激化的原理，利用不接地回线向地下发射一次场，在一次场断电后，地下介质就会产生感应二次场，二次场包含着与地下介质有关的地质信息，通过接收回线观测二次场并对所观测的数据进行分析和处理，解释地下介质及相关物理参数的一种物探方法。

2.0.16 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。

2.0.17 地震波法 seismic meothd

利用地震波反射和散射原理探测掌子面前方一定范围内地质情况的一种预报方法。

2.0.18 超前导洞法 geological prediction in tunnel by advance heading

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一种超前地质预报方法。可分为平行超前导洞法和正洞超前导洞法。

2.0.19 超前钻探预报法 geological prediction in tunnel by drillingahead the cutting face

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的方法。

3 基本规定

3.1.1 隧道超前地质预报应达到下列目的：

- 1 在施工前期地质勘察成果的基础上，进一步查明隧道开挖掌子面前方一定范围内围岩的工程地质和水文地质条件，进而预测前方不良地质以及隐伏的重大地质问题。
- 2 为优化工程设计和施工提供依据。
- 3 降低地质灾害发生的几率和危害程度。
- 4 为编制交竣工文件提供地质资料。

3.1.2 具有下列条件之一的隧道均应全程实施超前地质预报工作：

- 1 深埋长大隧道；
- 2 水下隧道；
- 3 查明或推测存在大断层、岩溶、大量涌水涌泥、岩爆、废弃矿巷、瓦斯突出等严重工程地质灾害的隧道；
- 4 隧址区全程或者大部分通过可溶岩的隧道；
- 5 隧址区全程或大部分通过居民聚集区、工厂、公园等的隧道；
- 6 可能因开挖造成环境生态破坏的隧道；
- 7 因地形、地貌等客观条件限制，前期勘察精度不足的隧道。

3.1.3 隧道超前地质预报应包括下列主要内容：

- 1 地层预报，包括岩体完整性、地层岩性、岩性接触面、软弱地层、软弱夹层、破碎地层、煤层及特殊性岩土等的岩性预报；
- 2 地质构造预报，包括断层、节理裂隙密集带、褶皱、破碎带等的发育情况、危害性预报；
- 3 不良地质体预报，包括溶洞、暗河、人为坑洞、采空区等的发育情况、规模、形态、位置、危害性预报；
- 4 地下水预报，包括岩溶管道水、富水断层、富水褶皱、富水地层等的；

5 为设计变更或优化而进行的其它探测工作。

3.1.4 隧道超前地质预报可由建设单位委托具有资质的单位实施，实施单位应符合下列要求：

- 1 隧道超前地质预报实施单位应根据预报方案配备地质和物探专业等技术人员和仪器设备。
- 2 用于超前地质预报的仪器设备性能、精度及效率应能满足预报和工期的要求。
- 3 隧道超前地质预报结论应有书面报告，并及时报送相关单位，所有预报资料应存档备查。

条文说明

3.1.4 超前地质预报的效果与设备、技术人员密切相关，专业性非常强，由具有丰富经验、人员设备齐全的专业机构实施，才能起到应有的作用。

3.1.5 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，采空区隧道，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。

3.1.6 隧道超前地质预报应纳入隧道勘察设计和施工建设信息化工作中，建设、勘察设计、施工、监理等参建单位在隧道超前地质预报工作中应分工明确、责任落实、相互配合，做到信息传递顺畅、反馈及时、决策迅速、处理得当，参建各方责任应符合下列要求：

- 1 建设单位应负责预报实施方案的审批，并对超前预报过程进行监督和检查。
- 2 勘察设计单位应在勘察设计报告中明确隧道的地质复杂程度分级，并进行超前地质预报方案设计，编制工程概预算。
- 3 预报实施单位在隧道开挖施工前应根据区域地质资料和设计文件的地勘资料，编制超前地质预报实施方案，报批后实施，预报结果应及时处理并反馈有关各方，对超前地质预报成果和数据真实性、报送及时性负责。
- 4 监理单位应对超前地质预报工作实施监理。
- 5 施工单位应积极配合预报单位做好预报工作，并将预报工作纳入现场施工组织管

理。

6 各参建单位应积极利用超前地质预报成果，当地质情况与设计不符时，应及时按照设计变更程序提请变更设计。应根据预报的不良地质情况，及时调整、完善相关安全应急预案，做好安全工作。

3.1.7 隧道超前地质预报可按图 3.1.7 所示的工作程序进行。

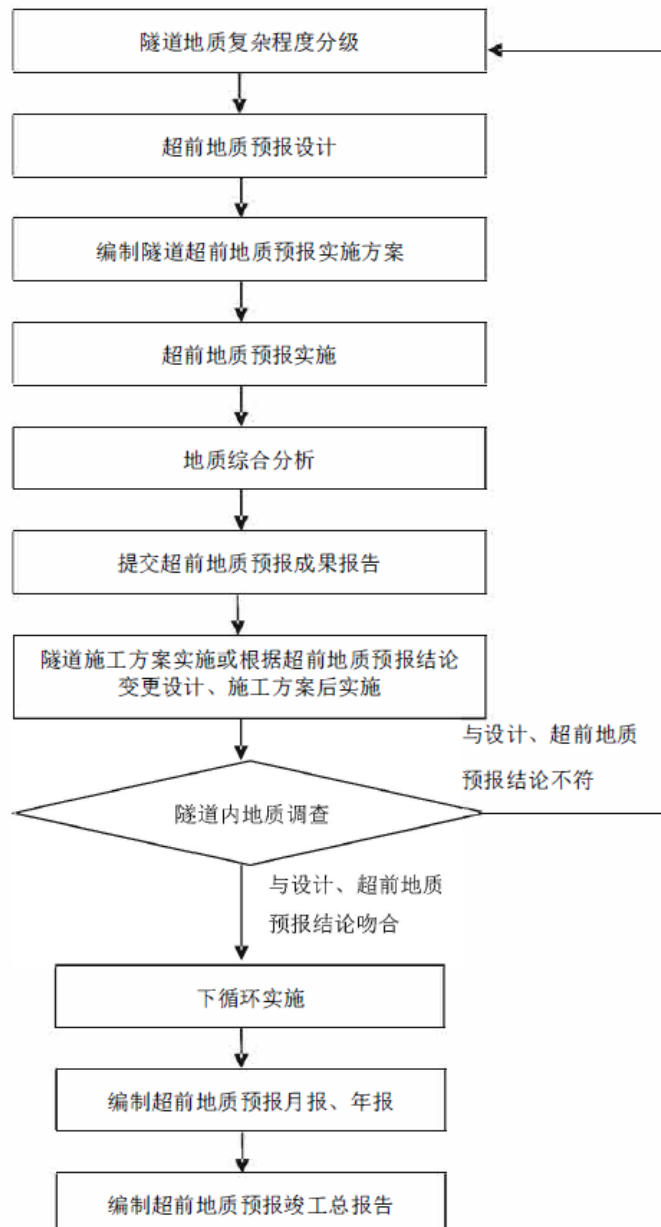


图 3.1.7 隧道超前地质预报工作程序

4 超前地质预报设计

4.0.1 公路隧道在各设计阶段,应根据水文地质与工程地质条件、地质因素对隧道施工影响程度及诱发环境问题的程度等,分段对隧道地质复杂程度进行分级(复杂、较复杂、中等复杂和简单四级,详见附录 A)。该分级应根据隧道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。

4.0.2 应根据隧道地质复杂程度分级,有针对性地选择不同的超前地质预报方法。

4.0.3 公路隧道实施地质预报应根据公路隧道的地质环境与特点,选择适宜的地质预报方法,运用物探与钻探相结合、长距离与短距离相结合、地面与地下相结合、超前导洞与主洞探测相结合等综合方法,对预报结果综合分析,相互验证,提高预报准确性。

条文说明:

公路隧道不良地质体多,尽管物探等技术设备和手段发展迅速,运用频率高,但仍应在地质调查法的基础上进行,物探长距离探测预报的主要内容是针对于界面位置预报,对于岩溶、涌水突泥等重大地质灾害预报时,为了避免误判而影响施工进度,甚至导致事故的发生,应安排地质雷达、红外探水、超前钻孔多种探测手段综合的方式互相验证,提高预报准确性。

4.0.4 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检测测试。

4.0.5 公路隧道的超前地质预报应在不影响隧道围岩及支护结构稳定、保证施工安全及预报人员安全的情况下实施预报工作。

4.0.6 超前地质预报可采用地质调查法、超前钻探法、物探法和超前导洞预报法,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、隧道内地质素描等。
- 2 物探法:包括弹性波法(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)、电磁波法(地质雷达法和瞬变电磁法)、高分辨直流电法等。
- 3 超前钻探法:包括超前地质钻探、加深炮孔探测及孔内摄影。
- 4 超前导洞预报法:包括平行超前导洞法、正洞超前导坑法等。

4.0.7 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 100m 以上。可采用地质调查法、地震波反射法及 100m 以上的超前钻探等。

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

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

4.0.8 预报方法时应考虑隧道不同的地质复杂程度级别和施工特点，并符合下列规定：

1 地质条件复杂隧道或隧道区段钻爆掘进应选用地质调查分析法、地震波法、瞬变电磁法、探地雷达法、超前钻孔法，TBM 掘进宜选用地质调查分析法、地震波法、电法，并进行长短预报结合循环预报方式；

2 地质条件中等复杂的隧道或隧道区段钻爆掘进应选用地质调查分析法、地震波法、探地雷达，TBM 掘进宜选用地质调查分析法、电法；

3 地质条件简单的隧道或隧道区段钻爆掘进应选用地质调查分析法、探地雷达，TBM 掘进宜选用地质调查分析法、电法。

4.0.9 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。

4.0.10 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 超前地质预报工作安全措施。

5 超前地质预报工作量、占用工作面的时间。

6 超前地质预报概预算。

7 其它需要说明的问题。

5 超前地质预报实施

5.1 实施前准备工作

5.1.1 公路隧道超前地质预报实施前，预报实施单位应开展现场踏勘工作，并结合工程勘察设计和超前地质预报设计文件，编制隧道超前地质预报实施方案，并按有关程序经批准后执行。

5.1.2 公路隧道的超前地质预报应在不影响隧道围岩及支护结构稳定、施工安全的情况下实施。

5.1.3 公路隧道超前地质预报实施方案的主要内容应包括：

- 1 编制依据
- 2 工程及地质概况，根据工程勘察资料分析隧道工程地质及水文地质环境条件，重点说明隧道施工存在的主要工程地质问题及地质灾害风险；
- 3 地质复杂程度分级；
- 4 超前地质预报的目的、方法和技术；
- 5 分段预报方案的具体实施内容，预报方法选择及不同方法的结合关系，各种预报方法的具体技术要求，物探、钻探仪器设备的选择等；
- 6 预报实施的工艺流程、操作要点等技术要求；
- 7 预报组织机构设置及投入的人力、设备资源；
- 8 施工单位的配合要求；
- 9 预报工作安全措施；
- 10 成果资料编制的内容及要求；
- 11 地质预报工作制度，包括与施工、监理、勘察设计、建设单位的联系制度，成果报告的提交时限，信息传递方式等；
- 12 地质预报成果的验证及技术总结的要求；
- 13 其他需要说明的问题。

5.2 断层破碎带预报

5.2.1 断层破碎带预报内容应包括断层的性质、产状、物质组成、富水情况、与隧道的位置关系，以及破碎带的规模，并分析其对隧道的危害程度。

条文说明：

5.2.1 断层是隧道开挖过程中常见的，也是对隧道围岩稳定性影响较大的构造形式之一，在断层中发生的洞内工程地质问题也极为复杂和严重，是地下水的富集场所和流动通道，灰岩地区岩溶常与相伴而生，经过此不良地质段时，隧道内塌方、突泥突水与其关系密切。

5.2.2 断层破碎带的预报方法

- 1 应以地质调查法为基础，以弹性波反射法为主进行探测预报；
- 2 富水断层破碎带应采用电磁法、电法、超前地质钻探法和加深炮孔法等手段进行验证。

5.2.3 断层破碎带预报实施步骤及要求：

- 1 可根据区域地质资料、工程地质平面图与纵断面图，进行地表补充调查，进一步核实断层破碎带性质、产状、位置与规模等。
- 2 当接近断层破碎带时，应采用弹性波反射法或地震波反射法确定其大致位置和宽度。
- 3 当确定断层破碎带为富水断层破碎带时，应选用瞬变电磁法、高分辨率直流电法、地质雷达法、红外探测法等探测其地下水的发育情况。必要时采用超前钻探法探明其宽度，查明带内的物质组成及地下水发育情况。
- 4 采用隧道内地质素描、地质作图及断层破碎带趋势分析等手段预报断层破碎带及其影响带的分布位置。
- 5 地质综合判析，提交地质综合分析成果报告。

条文说明：

5.2.3 中长距离弹性波、地震波、瞬变电磁法预报一般是目标位置预报，短距离地质雷达、红外探水预报主要预报可能存在的灾害，如涌水、突泥等。当隧道主要预报方法为物探法时，需用超前钻孔验证物探异常，避免施工中造成涌水突泥事故。

5.2.4 对于大断面、连拱、小净距以及上下立交隧道等，断层破碎带的预报步骤和要求除

满足 5.2.3 条规定外，应在施工先行洞实施断层破碎带探测时，采用地质雷达法或红外探水法探测后行洞周边的断层破碎带发育情况。

条文说明：

5.2.4 公路隧道项目常有大断面、连拱、小净距以及立交隧道等，先行洞与后行洞距离较近，在遇到断层破碎带时，需在先行洞已开挖支护部位的边墙、拱顶或仰拱部位探测向周边探测断层破碎带的发育情况，如为富水段层，存在岩溶、突水突泥的可能时，先行洞掌子面前方探测的同时，也需对其周边进行探测。

5.2.5 当隧道施工接近规模较大的断层破碎带时，应观察可能的前兆：

- 1 节理组数急剧增加；
- 2 岩石强度的明显降低；
- 3 岩层牵引褶曲、牵引褶皱的出现；
- 4 压碎岩、碎裂岩、断层角砾岩等的出现；
- 5 临近富水断层破碎带前断层下盘泥岩、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。

5.3 岩溶预报

5.3.1 岩溶预报内容应包括位置、规模、充填情况、岩溶水发育情况等，并分析其对隧道的危害程度。

5.3.2 岩溶的预报方法：

- 1 应以地质调查法为基础，物探法为主进行综合超前地质预报；
- 2 应采用超前地质钻探法对已探得的岩溶进行验证和揭示。

条文说明

由于岩溶发育的复杂性、隐蔽性、不确定性，单一的地质预报手段很难满足施工要求，因此需进行综合超前地质预报，各种预报手段的组合不是一成不变的，应根据地质条件和各种预报手段的适用条件、优缺点灵活应用，且应包含超前钻孔和加深炮孔探测。高风险岩溶地段影响范围较大，且常与断层破碎带相关，施工风险极大，因此，在施工中应较早进行超前地质钻探，以确保施工安全。

5.3.3 岩溶预报实施步骤及要求

1 应根据区域水文地质、工程地质资料与勘察设计资料，对隧址区岩溶发育段落及其周边区域进行补充地质调查，分析岩溶发育的规律，重点查明和分析地质构造、岩溶垂直分部带与隧道路线的相互关系，隧道受岩溶地下水影响程度，可能出现大型溶洞、暗河的位置。

2 应根据超前地质预报设计方案、地质复杂程度分级情况和地质条件，采用弹性波反射法进行长、中长距离探测，以探明规模较大、可足以被探测的岩溶形态。

3 采用瞬变电磁法、高分辨直流电法进行中长、短距离探测，定性探测岩溶水的位置及发育情况；采用地质雷达法进行短距离探测，以查明岩溶位置、规模和形态。

4 对已探得的岩溶段落，应采用超前地质钻探法进行探测和验证。具体要求如下：

1) 根据物探结果确定超前钻孔的数量、位置及长度，超前地质钻探必须连续重叠式进行。

2) 超前钻探揭示岩溶后，应适当加密，查清岩溶规模及发育特征，条件允许时可在超前钻孔中进行钻孔雷达测试和钻孔电视观察，探测钻孔四周的溶洞。

3) 岩溶发育区必须进行加深炮孔探测，超前地质钻孔和加深炮孔探测具体要求详见本技术规程第 8 章的相关规定。

5 地质综合判析，提交综合分析成果报告。

条文说明

由于公路隧道断面较大，在短距离地质雷达法探测过程中，应在掌子面布置多条测线，对掌子面前方进行溶洞探测，同时宜在掌子面附近、已完成支护段落的顶底板、左右侧壁进行隐伏溶洞探测，距离溶洞、暗河 5-10m 位置时，应对其边缘距离、内部充填以及含水情况进行进一步探测。

5.3.4 岩溶重点发育地区应采取多种手段探测隧道周边、隧底隐伏岩溶，并符合以下要求：

1 采用综合物探查明隧道周边、隧道隐伏岩溶洞穴的位置及规模。

2 根据物探资料布置钻孔。

3 根据隧道钻探验证结果修正物探异常成果图，作出预测隐伏岩溶图。

4 隐伏岩溶图，比例宜为 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。

条文说明

隧道周边出现岩溶或者暗河，可能影响隧道围岩及隧道衬砌结构的长期稳定，对隧道施工和结构安全形成影响，因此在使用期间，需探测隧道周边及隧底有无岩溶存在，尤其是隧道拱部、底部、拱腰及边墙周边围岩是否有空洞，隧道底部是否密实等，分析其危害程度，采取必要的技术处治措施。

5.3.5 施工中应注意观测是否存在下列大型溶洞水体或暗河的可能前兆：

- 1 临近前裂隙、溶隙间出现较多的铁染锈或粘土；
- 2 岩层明显湿化、软化，或出现淋水现象；
- 3 小溶洞出现的频率增加且多有水流、河沙或水流痕迹；
- 4 钻孔中的涌水量剧增，且夹有泥沙或小砾石；
- 5 有哗哗的流水声；
- 6 钻孔中有凉风冒出。

5.4 地下水预报

5.4.1 地下水预报的基本内容应包括地下水及含水构造的位置、规模、物质组成、水量、水压，分析其对隧道的危害程度。

条文说明

隧道地下水主要地质灾害风险在于涌水突泥，涌水突泥多与含水丰富的断层、溶洞、暗河关系密切，确定断层、溶洞、暗河，基本可以推断出涌水、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也有可能发生突涌水，应引起足够重视并采取相关措施。

5.4.2 涌水突泥预报采取的预报方法

- 1 应根据预报方法特点、隧道地质特点、施工方法选择预报方法，应以地质调查法为基础，以地质雷达、电法及超前钻探法为主，结合其他物探手段进行综合地质预报。
- 2 在可能发生涌水、突泥的地段必须进行超前钻探。
- 3 进行与粘土、粘土夹石充填溶洞和饱水泥夹石断层破碎带、全风化（蚀变）火成岩脉密切相关的涌水突泥预报时，应与断层破碎带、岩溶预报方法综合一起预报。

5.4.3 地下水预报实施步骤及要求

- 1 应根据区域水文地质、工程地质资料，勘察设计资料成果，对隧址区地下水发育段落及其周边区域进行补充地质调查，进一步分析在隧道开挖过程中地下水可能的补给来

源、径流路径、排泄位置等。

2 可采用中长距离物探手段探明涌水突泥位置、规模，并根据反射界面分布、反射波相位、波速、泊松比、视电阻率等参数预报含水水体发育范围、规模、充填情况和富水程度。

3 当接近含水构造或异常段落时，可采用地质雷达法或电法追踪中长距离预报发现的异常体，并探明含水构造或异常体的位置、距施工掌子面的距离、富水情况，为超前钻孔提供孔位、孔深资料。

3 根据地质雷达或电法探测结果，在建议的桩号位置进行超前钻探，探明可能发生涌水、突泥地段含水构造的位置、规模、物质组成及富水情况。超前钻探必须设有防突装置。

4 综合所有预报、勘察和施工资料绘制涌水突泥地质体发育范围内的地质平面和剖面图，为施工处理提供相关地质资料。

5.4.4 超前钻探作业前应做好钻孔突涌水处治专项方案及应急救援预案，尤其是斜井工区、隧道反坡施工地段，确保人员与设备的安全，避免淹井事故的发生。

5.5 煤层瓦斯预报

5.5.1 煤层瓦斯预报的内容应包括确定煤层分布位置、煤层厚度，测定瓦斯含量、瓦斯压力、涌出量、有毒有害气体赋存情况、瓦斯放散初速度、煤的坚固系数等，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。

5.5.2 煤层瓦斯预报采取的预报方法

1 应以地质调查法为基础，以超前钻探法为主，结合多种物探法进行综合超前地质预报。

2 高瓦斯和煤（岩）与瓦斯突出隧道，应采用物探法初步预判煤层在隧道内的位置；结合弹性波反射法、地质调查法、地表与地下相关性分析、地层趋势分析及地质作图等手段预测煤层在隧道内的里程，确定实施超前地质钻探法的范围。

5.5.3 煤层瓦斯预报实施步骤及要求：

1 根据区域已有地质勘察资料进行必要的补充地质调查。

2 采用物探法确定煤层在隧道内的大致位置和厚度。

3 进行洞内地质素描，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等；微瓦斯、低瓦斯隧道内掌子面地质素描断面间距不宜大于 5m，高瓦斯、煤（岩）层与瓦斯突出地层段每个开挖循环均应作地质素描。

4 结合物探法、地质调查法、地质素描作图等手段确定实施地质钻探法的范围，以标定各煤层的准确位置，掌握其赋存情况及瓦斯状况，并应符合下列要求：

1) 应在距煤层 15m~20m（垂距）处的开挖工作面钻 1 个超前钻孔，初探煤层位置。

2) 在距煤层 10m（垂距）处的开挖工作面钻 3 个超前钻孔，分别探测开挖工作面前方上部及左右部煤层位置，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 5m 处的开挖工作面打瓦斯测压孔，或在距煤层垂距不小于 3m 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测定，当无实测数据时，可参照 5.5.3 中所列突出危险性临界值。

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。

表 5.5.3 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	瓦斯压力法	P (MPa)	0.74

	煤突出危险性预测	综合指标法	D	0.25
			K	20（无烟煤）、15（其他煤）
		钻屑指标法	Δh_2 (Pa)	160（湿煤）、200（干煤）
			K_1 [ml/ (g·min ^{1/2})]	0.4（湿煤）、0.5（干煤）
2	煤巷开挖工作面突出危险性	钻孔瓦斯涌出速度法	Q	4
		“R” 指标法	R _m	6
		钻屑指标法	Δh_2 (Pa)	160（湿煤）、200（干煤）
			K_1 [ml/ (g·min ^{1/2})]	0.4（湿煤）、0.5（干煤）
			最大钻屑量 (kg/m)	6

6 综合分析，提交地质综合分析成果报告。

5.5.4 煤层瓦斯地段的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 0.5m。
- 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 76mm。
- 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。

5.5.5 预报或施工过程中应注意观察是否存在以下煤层瓦斯突出的可能前兆：

- 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音明显、掉渣、支护严重变形等；
- 2 瓦斯含量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、喷孔等现象。
- 5 工作面有移动感；
- 6 工作面发出瓦斯强涌出的嘶嘶声，同时带有粉尘；
- 7 工作面附近，时常听到沉雷声或闷雷声。

5.5.6 煤层瓦斯的层段超前预报应全程进行瓦斯检测，检测工作面及回风流中瓦斯浓度，其中超前地质钻孔宜进行单工序作业。

5.5.7 瓦斯浓度检测和隧道瓦斯浓度监测应符合国家现行标准《煤矿安全规程》和行业现

行标准《公路瓦斯隧道设计与施工技术规范》JTG/T 3374 的规定。

5.6 高地应力预报

5.6.1 高地应力预报内容应包括高地应力位置及范围、岩爆的可能性、岩爆规模等级、岩石变形趋势，评价岩爆对隧道的危害程度、并提出合理化建议。

条文说明

岩爆是岩体具有高地应力的一种重要地质标志，当岩石积聚的应变能大于岩石破坏所需消耗的能量时，多余的能量导致岩石碎片从岩体中爆裂松脱、剥落、弹射甚至抛掷性破坏现象。岩爆具有滞后性、延续性、衰减性、突发性、猛烈性、危害性等特点。

5.6.2 地应力预报采取的预报方法：

- 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、隧道埋深、地应力测试初步结果，初步确定隧道高地应力和极高地应力地段的位置。
- 2 当隧道施工接近高地应力和极高地应力地段时，提前采取适宜手段预测施工工作面前方的地应力分布状况。地应力预报可采用地震波反射法获取施工工作面前方围岩的弹性波波速，分析判定前方围岩的强度及完整性。必要时可通过超前钻探，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，结合岩爆的发生三要素：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、岩石变形趋势及对岩爆对隧道的危害程度。
- 3 综合分析，提交地质综合分析报告。

条文说明

高地应力地段宜按照《水电工程岩爆风险评估技术规范》（NB / t 10143-2019）的规定进行风险评价及监控预警，岩爆预警宜采取基于微震监测信息的岩爆预警法。

5.6.3 高地应力区域应采取风险防控措施：

- 1 作业人员应配备安全防护用品，主要施工设备应配置相应的安全防护措施。
- 2 出现较大岩石破裂声响或短时间内连续多次岩石破裂声响时，人员应及时撤离，设备宜及时撤离。
- 3 岩爆防护措施应动态调整。

5.7 采空区预报

5.7.1 采空区预报内容应包括采空区的类型、规模、与隧道的空间关系、地下水、有毒有害气体赋存情况等。

条文说明

5.7.2 采空区的预报方法

- 1 采空区预报以工程地质调查为基础，以物探法为主进行探测预报。
- 2 临近采空区位置，应以超前钻探法结合多种物探手段进行综合超前地质预报。
- 3 采空区内地下水预报、有毒有害气体预报，应采用物探法为主、结合超前钻探法进行预报。

条文说明

采空区对隧道围岩稳定、采空区稳定有不利影响，会使隧道产生偏压、不均匀受力、不均匀沉降，进而导致隧道施工发生坍塌。其次，采空区可能有大量有毒有害气体或者积水，对施工造成较大的困难、对隧道施工人员的健康和生命安全造成威胁。

采空区隧道施工前，应根据设计文件提供的信息，调研并核实隧址区范围内采空区的分部、规模、开采年代和方式，所处状态是废弃还是开采，回填封闭情况，与隧道空间位置关系，及地下水、有毒有害气体的赋存和含量等情况。

隧道下伏老采空区时，应建立采空区和隧道的联合监测网进行观测，以便跟踪和预测采空区及隧道的地表变形特征、变化规律和发展趋势，为采空区和隧道的结构稳定性评价提供依据。

5.7.3 采空区预报实施步骤及要求

- 1 应根据区域地质资料、工程地质勘察报告，收集采空区设计、施工、处治、竣工文件资料，分析采空区类型、规模、与隧道的空间位置关系和采空区对隧道影响程度。
- 2 针对资料缺少的小型矿区、老矿区，尤其是开采不规范的采空区，根据其地形条件、地质条件、采空区埋深及分布情况，应选择地震波反射法对初步认定的采空区和疑似采空区段进行中、长距离探测，以确定采空区的位置和规模。
- 3 采空区预报与溶洞、煤矿相关时，应与岩溶、地下水、煤层瓦斯预报方法一起综合预报。
- 4 对于预报结果中，如有下列情况，应进行专题研究：

-
- 1) 隧道上方或下方出现多层采空区；
 - 2) 隧道穿越的矿层及采空区内含有大量有毒有害气体；
 - 3) 采空区内存在大量地下水。

5.7.4 当采空区处于富水区时，在实施超前钻探作业时须做好涌水处置应急预案，确保人员与设备的安全。

5.8 预报成果报告

5.8.1 预报工作完成后应编写预报成果报告并归档，报告宜包括单次预报成果报告、月报、年报、竣工总报告，报告应内容全面、目的明确、方法技术可靠、数据真实、图表齐全、结论正确，报告应经预报实施单位校核和审查合格后方可提交。

5.8.2 单次预报成果报告内容宜包括下列内容：

- 1 预报项目施工、地质概况；
- 2 预报方法及现场布置；
- 3 预报成果；
- 4 结论与建议；
- 5 附图、附表。

5.8.3 预报月报、年报内容宜包括：

- 1 当月、当年项目施工及地质概况；
- 2 预报方法及工程量；
- 3 预报质量控制；
- 4 预报成果；
- 5 预报建议；
- 6 附图、附表。

5.8.4 预报竣工报告内容宜包括：

- 1 工程概况；
- 2 项目施工设计、地质条件；
- 3 预报方法技术及工程量；
- 4 预报质量控制；
- 5 数据处理、资料整理和分析解释；

- 6 预报成果；
- 7 预报成果验证或印证情况；
- 8 预报建议；
- 9 附图、附表。

征求意见稿

6 地质调查法

6.1 一般规定

6.1.1 地质调查法是根据公路隧道已有勘察资料、地表补充地质调查资料和隧道内地质素描，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。

6.1.2 地质调查法适用于各种地质条件下公路隧道的超前地质预报。

条文说明

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,且预报效果好。地质调查法不仅是一种地质预报手段,也是竣工资料的一部分,同时也可以为隧道运营阶段隧道病害整治提供完整的隧道地质资料。

6.1.3 地质调查法包括隧道地表补充地质调查、隧道内地质素描等。

6.2 隧道地表补充地质调查包含的主要内容及要求

6.2.1 隧道地表补充地质调查应在对已有地质勘察成果的熟悉、核查和确认的基础上,补充下列主要内容:

- 1 地形、地貌特征及其与岩性、构造等地质因素的关系。
- 2 地层层序、时代、厚度、岩性及风化程度、岩层在隧道地表的出露及接触关系,熟悉和确认标志层。
- 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 煤层、石膏、膨胀岩、含石油天然气或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。
- 5 特殊岩土的类型、性质、分布范围及危害程度等。

- 6 岩土成分及其密实程度、物理力学性质、水理及化学性质等。
- 7 地表岩溶发育位置、规模及分布规律。
- 8 地下水补给排泄条件、地下水类型、水位及水深、含水地层岩性、富水（储水）构造、裂隙、水系、井泉等。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。
- 9 人为坑洞位置、走向、高程等，分析其与隧道的空间关系。
- 10 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。

条文说明

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。

6.2.2 隧道地表补充地质调查应符合下列技术要求:

- 1 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 标本应按要求采集。

6.3 隧道内地质素描包含的主要内容及要求

6.3.1 隧道内地质素描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: 描述地层年代、岩层产状、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、采空区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, 应详细分析、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(参考现行《公路隧道设计细则》(JTG/T D70)第六章规定)。

5 隧道内重要和具代表性的地质现象应进行摄影或录像。

条文说明

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。

6.3.2 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、统一编号,

其格式和内容可参照本技术规程附录 D。

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及其对隧道的影响程度等，并应通过隧道地质展视图的形式表示，其格式和内容可参照本技术规程附录 E。

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。

4 标本应按要求采集。

6.4 地质调查法资料编制

6.4.1 地质调查法隧道超前地质预报，应编制下列资料：

- 1 地质调查法预报的文字说明，推测开挖工作面前方可能揭示的地质情况。
- 2 开挖工作面地质素描图（比例尺根据需要确定）及隧道洞身地质展视图（比例尺为 1:100~1:500）。
- 3 地质复杂地段的纵、横断面图，比例尺为 1:100~1:500。
- 4 必要时作地层分界线及构造线在隧道内和地表相关性分析预报图，比例尺根据需要确定。
- 5 地质监测与测试资料，以及有关影像资料。

条文说明

4 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。

5 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)水一降雨时间关系图等。

6.4.2 地质调查法资料编制应符合下列工作要求：

1 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。

2 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。

征求意见稿

7 物探法

7.1 一般规定

7.1.1 物探法包括弹性波法、电磁波法、高分辨直流电法、红外探测法等，应根据场地地质概况和每种方法的适用条件进行合理选用。

7.1.2 下列情况适宜采用物探方法：

- 1 隐伏地质界面（线）、岩溶洞穴、采空区、含水层等；
- 2 钻孔之间及其外延段不良地质情况；
- 3 测定岩土层的波速、振动强度及卓越周期等。

7.1.3 物探法应具备下列条件：

- 1 探测对象与其相邻介质之间应具备一定的物性差异，且具有可被探测的规模，满足探测方法最小分辨率要求。
- 2 应具备观测系统所需要的场地空间。
- 3 当存在外界干扰时，探测对象所产生的异常能够从干扰背景中被区分出来。

7.1.4 物探法应符合如下工作要求：

- 1 物探工作程序应按搜集资料、踏勘、编制计划、施测、初步解释、最终解释、成果核对、报告编制等步骤进行。
- 2 场地应满足探测信号激发和采集的背景要求。在测线端点、曲线突变点、观测条件或仪器参数改变的情况下应进行重复观测。
- 3 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采用综合物探方法，多种物探结果相互验证、综合分析。必要时与其它探测方法相配合，对物探预报结果进行验证分析。
- 4 物探仪器及其配套设备应满足性能稳定、结构合理、构件牢固可靠、防潮、抗震和绝缘性好等要求。物探仪器应定期检查、标定和保养。

7.1.5 物探原始记录应完整、真实、清晰，标示清楚，签署齐全，不得随意涂改或重抄，原始资料应包括以下内容：

1 与隧道有关的工程地质资料和钻探资料；

2 物探实施的各种原始记录和检查记录，包括仪器班报（工程名称，测区、测线、测点和钻孔编号，工作单位和操作人员姓名，仪器名称和型号、仪器工作技术参数、观测系统主要参数）、爆炸班报、观测数据或记录、计算机记录等；

3 物探仪器校验、标定及一致性检查记录。

7.1.6 物探资料解释应遵循以下原则：

1 在进行数据处理及资料解释过程中，如发现原始资料有问题或对论述解释结论不够充分时，应补充采集数据。

2 在分析各项物性参数的基础上，物探资料解释应遵循从已知到未知、先易后难、点面结合、反复认识、定性指导定量的原则，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。

3 结论应明确，符合隧址区的客观地质规律。各种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。

4 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。

5 解释应综合分析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。

条文说明

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地质信息,在解释结果中应予以说明。

7.1.7 物探成果资料应包括下列内容：

1 工作布置图，包括物探测线布置图、物探数据采集点布置图等。

2 平面、断面等成果图表，包括物探数据处理后的曲线图、剖面图、深度偏移图、三维成像图等。

3 各种定性分析图件。

4 各种定量解释图件，应以物探成果为主要资料推断绘制的施工地质预报平面图、剖面图等。

5 质量检查数据和质量评定表。

7.1.8 物探成果报告应包括下列内容：

1 预报任务依据和要求。

2 公路隧道的工程概况、地质和地球物理特征。

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 成果、图件资料整理与解释。

6 质量评价。

7 结论和建议。

7.1.9 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。

7.2 弹性波法

7.2.1 弹性波法包括地震波反射法、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。

7.2.2 弹性波法适用于划分软硬岩层界线，查找地质构造，探测断层破碎带、褶皱、节理密集带、软弱夹层（煤层）、裂隙与岩溶及其他不良地质体等，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，被追踪地层规模应大于有效波波长的 $1/4$ 。

2 周围无强震源干扰信号。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。

3 使用弹性波法探测断层时，断层应有明显的断距和宽度。断层或岩性界面的倾角应大于 35° ，且走向与隧道轴线的夹角应大于 45° 。

7.2.3 探测数据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。

7.2.4 弹性波法预报距离应符合一下要求：

- 1 连续预报时，前后两次预报区段重叠长度不宜小于 10m。
- 2 在软弱破碎地层或岩溶发育区，地震波反射法一般每次预报距离应为 100 m 左右，不宜超过 150 m；水平声波剖面法和极小偏移距高频反射连续剖面法一般每次预报距离应为 20 m ~ 50 m，不宜超过 70 m；负视速度法一般每次预报距离应为 30 m ~ 50 m，不宜超过 70 m。
- 3 在岩体完整的硬质岩地层，地震波反射法一般每次报距离应为 120 m~180 m，不宜超过 200 m；水平声波剖面法和极小偏移距高频反射连续剖面法一般每次预报距离应为 50 m ~ 70 m，不宜超过 100 m；负视速度法一般每次预报距离应为 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。

7.2.5 应结合地质资料对弹性波法的数据进行分析处理与资料解释。

7.2.6 弹性波法超前地质预报探测报告应包括以下内容：

- 1 隧道工程概况、工程地质概况、探测工作概况等。
- 2 所采用的方法原理、仪器型号等。
- 3 测线布置、观测系统、采集方法、数据质量评价等。
- 4 数据处理采用的软件、流程、参数选择说明、处理成果及质量评价等。
- 5 记录的波形曲线等数据资料、地质解释平面图或剖面图等分析判识成果。
- 6 评价隧道开挖工作面前方的工程地质与水文地质条件，特别是对隧道施工方案影响大、具有安全隐患的地质体的性质、规模、发育部位的评价，以及施工过程中应采取的施工措施、应急预案的建议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。

7.2.7 地震波反射法超前地质预报应符合下列规定：

- 1 地震波反射法超前地质预报的仪器、布置及现场安装应符合下列规定：

1) 仪器应符合下列要求:

——记录长度可选, 应能够满足预报距离要求, 每道最少样点数不应少于 1024 点。接收道数二维反射不应少于 6 道, 三维反射不应少于 12 道。最小采样间隔不应大于 0.05 ms。

——模数转换精度不应低于 24 bit, 放大器动态范围不应小于 96dB, 频率响应范围宜为 2 Hz~5000 Hz。

——加速度或速度传感器频率范围不窄于 20Hz~2000 Hz。加速度传感器灵敏度不应低于 0.5V/g, 速度传感器灵敏度不应低于 0.5V/cm/s。

2) 观测系统布置应符合下列要求:

——原则上地震波反射法测试的激发孔和接收孔不宜布设在松散、破碎的 V 级围岩中。隧道应进洞 65 m 以上, 二衬和开挖掌子面之间的距离不少于 65 m。已开挖段隧道侧壁围岩钻孔成孔率达到 90%以上。台阶法开挖隧道, 上下台阶开挖的间距大于 65 m 或小于 10 m。

——观测系统宜采用单壁多点激发、双壁多点三分量纵横波接收观测方式。根据地质条件及隧道施工情况, 确定接收孔和激发点在隧道左右边墙的位置。激发点应布置在与主结构面或设计的不良地质界面呈锐角相交的一侧边墙上, 激发孔或接收孔应按附录 F 的规定布置。

——二维观测时, 两侧壁宜各布置不少于一个三分量接收器, 激发点不应少于 18 个, 且接收孔和激发孔应在同一平面内。

——三维观测时, 宜在两侧壁同一断面上各布置两个三分量接收器, 激发点数不应少于 24 个, 且激发点应在同一平面内。

3) 现场安装应符合下列要求:

——孔口位置允许偏差应为 $\pm 0.1\text{m}$, 激发孔下斜 $10^\circ \sim 20^\circ$, 接收孔上斜 $5^\circ \sim 10^\circ$, 在岩体较破碎洞段, 炮孔施工完成后宜插入 PVC 管进行保护。采用表面锤击时, 锤击点位置允许偏差应为 $\pm 0.1\text{m}$ 。

——安装孔内传感器的套管宜使用合适的材料(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, 在安装前应使用清洁杆清洗套管内部, 套管安装过程中不应使管壁产生变形, 套管的倾斜允许偏差应为 $\pm 5^\circ$ 。表面传感器可根据现场情况采用打孔安装或石膏粘贴安装。

——三维观测时宜以接收点隧道横断面底板为坐标原点建立三维坐标系，测量观测系统布置范围内的炮点、接收点和不规则洞壁段的坐标。

2 现场数据采集应符合下列规定：

——数据采集前，应对仪器本身及环境的噪声进行检测，压制或消除噪声施工影响。

——仪器采集参数应根据现场噪声强度、频率分布、探测范围等条件设置。

——采集系统采用爆炸激发时，触发延迟时间不应大于 $50\mu\text{s}$ ；采集系统采用线路锤击开关计时时，应保证各激发点计时精度一致。

——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。应现场检查激发点记录质量是否合格，记录不合格时，应查明原因，重新激发。

——通过检查显示地震道的特征进行数据质量控制。在每一炮数据记录后，应显示所记录的地震道，及时查看地震数据是否合格据此对记录的质量进行控制。

3 采集信号的质量评价应符合下列要求：

1) 单炮记录凡有下列缺陷之一的，应为不合格记录：

——信噪比低，有效信号无法分辨，干扰波严重影响到预报范围的反射波。

——记录序号(放炮序号)与炮孔号对应关系错误。

—— 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。

——初至波时间不准或无法分辨。

——记录延时大于 $50\mu\text{s}$ 记录。

2) 总体质量当有下列缺陷之一时，为不合格：

——记录混乱，序号对应关系不清。

——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)。

——连续 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。

——空炮率大于 15%。

4 数据处理应符合下列要求：

1) 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。总体质量不合格的资料不得用于成果分析。剔除不合格的地震道，只有合格的才能参与处理。

2) 宜将初至信号前的信号进行归零处理。应对信号进行频谱分析，确定优势频率范

围，滤除声波；也可根据隧道岩性物理特点，选择带通滤波。

3) 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。

5 资料判释应符合下列要求：

1) 对反射地震剖面或三维图，应从隧道已揭露的洞段确定岩性。将岩性相似的反射层进行汇总、分别着色和确定边界；

2) 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，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；

3) 可结合岩体泊松比等力学参数和围岩软硬、含水情况、构造影响程度、节理裂隙发育情况等资料对围岩级别进行初步评估。

7.2.8 水平声波剖面法超前地质预报应符合下列规定：

1 水平声波剖面法超前地质预报仪器、布置及现场安装应符合下列要求：

1) 仪器应符合下列要求：

——仪器应具有良好的通道一致性。

——各道检波器相位允许误差为 $\pm 0.5\text{ ms}$ ，振幅允许误差为 $\pm 10\%$ 。

——电缆绝缘电阻应大于 $1\text{ M}\Omega$ 。

2) 观测系统布置可采用下列两种方式：

——隧道两侧边墙脚布置方式。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 $1\text{ m}\sim 1.5\text{ m}$ ；一侧钻孔采用电火花发射源或炸药进行声波发射；另一侧钻孔中安设接收检波器。

——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。

2 现场数据采集应符合下列规定：

1) 数据采集时量程宜按照采集到的信号占显示屏的80%来进行设置。

2) 采样间隔应根据测试开挖工作面岩性及岩体破碎情况进行调整。

3 数据处理应符合下列要求：

1) 宜采用仪器配套的处理软件进行分析。

2) 应对单道记录进行滤波、压制干扰和指数增益调整。

4 资料判释应符合下列要求:

1) 应基于对比分析,以规律性好、重复性好的记录道进行解释。

2) 对原始波形进行时域、频域分析后,应结合工作面岩体声波速度、地质素描和区域地质资料,对工作面前方的地质体进行判释和预报。

3) 必要时应进行正演计算。

7.2.9 负视速度法超前地质预报应符合下列规定:

1 负视速度法超前地质预报仪器、布置及现场安装应符合下列要求:

1) 仪器应符合下列要求:

——宜选用 12 道或 24 道及以上道数数字地震仪,最小采样间隔 $\leq 0.05\text{ ms}$,每道样点记录长度 ≥ 1024 点,模/数转换的数据位 ≥ 16 位,放大器内部噪音 $< 1\text{ }\mu\text{V}$;动态范围 $> 96\text{ dB}$ 。应采用防水地震电缆

——检波器应具有良好的防水性能,其固有频率宜为 100 Hz 。

2) 观测系统的布置及安装应符合下列要求:

——宜采用“一点激发、多点接收”的方式。观测排列可布设于边墙、墙脚、隧底面等部位,宜沿隧道轴向布置。各检波点偏离观测排列中心轴线不得大于 0.3 m 。

——检波器宜安置于 $1\text{ m}\sim 2\text{ m}$ 深的浅孔中,或可安置于边墙、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,且应避开滴水、流水、漏气等有干扰的位置。检波距一般为 $2\text{ m}\sim 5\text{ m}$,当地震仪道数 ≥ 24 时,可选用 $1\text{ m}\sim 2\text{ m}$ 。

——炮检距 $d > 2(L+h)/(\nu/\nu_G - 1)$ 。其中 L 为观测排列的长度, h 为开挖工作面至反射界面的预估距离, ν 、 ν_G 分别为有效波与干扰波的速度。

2 现场数据采集应符合下列要求:

1) 采集前,应对下列参数进行设置与记录: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。

2) 采集时宜多次激发,多次叠加以压制不规则干扰波,突出有效波。

3) 为提高数据采集质量,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;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 数据处理与资料判释应符合下列要求:

- 1) 应根据试验, 优化数据处理流程。
- 2) 当数据处理及判释效果不佳、反射信号极弱时, 可采用叠加处理措施等。

7.2.10 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规定:

1 极小偏移距高频反射连续剖面法仪器、布置及现场安装应符合下列要求:

1) 仪器应符合下列要求:

- 应采用极小偏移距高频反射连续剖面法仪, 或其它性能基本相同的仪器。
- 检波器在 10 Hz ~ 4 000 Hz 范围内不压制任何频率, 增益变化 $\leq 10\%$ 。

2) 观测系统布置及现场安装应符合下列要求:

- 可在工作面向前方探测, 或在隧道边墙、拱部、底板分别向其外侧探测。
- 在工作面上一般应布设水平及铅垂向两条测线, 每 25 cm ~ 30 cm 设一测点。必要时可布设多条测线。
- 可按照十字剖面布置, 作反射体的空间定位。

2 现场数据采集应符合下列要求:

- 1) 记录测线在隧道中的准确位置及测线间的几何关系。
- 2) 采集前应检查各连接线, 确保系统处于正常工作状态。
- 3) 采集第一个点时检查参数设置是否正确, 并检查其它各测点检波器是否正确安装。

3 数据处理应符合下列要求:

- 1) 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) 将一条测线上若干测点的时间曲线进行归一化处理, 绘制成一张似 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。

4 资料判释应符合下列要求:

- 1) 应追踪同相轴, 根据岩性、地质构造和正演理论作同相轴的定性解释。
- 2) 应根据频谱特征, 及其对应的节理、小断裂的密集程度, 判定破碎带及岩体破碎情况。
- 3) 可根据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, 并结合所测波速, 计算反射体的空间位置。
- 4) 不应采用距开挖工作面 5 m~10 m 范围内的资料。

条文说明

资料分析与判释时，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。

7.3 电磁波法

7.3.1 电磁波法超前地质预报主要包括地质雷达法和瞬变电磁法。

7.3.2 地质雷达法超前地质预报应符合下列规定：

1 地质雷达法预报距离应符合下列要求：

地质雷达在岩体完整的低电导率和低磁导率的洞段预报距离宜在 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。

2 地质雷达法超前地质预报仪器、布置及现场安装应符合下列要求：

1) 仪器应符合下列要求：

——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。具有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。

——系统增益 > 150 dB，信噪比 > 60 dB，采样间隔 < 0.5 ns，A/D 模数转换 > 16 位。

——计时误差小于 1 ns。连续测量时，扫描速率大于 64 次/s。

——宜选择中心频率为 50MHz~100MHz（允许偏差应为 $\pm 5\%$ ）的天线，天线频带范围不应小于中心频率的 $1/4 \sim 2$ 倍。

2) 观测系统布置应符合下列要求：

——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。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。

——测线上，岩体表面应相对平缓，无障碍。避开高电导屏蔽层，测区附近应无较大的金属构件、焊接施工或无线电发射等较强的电磁波干扰。

——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；掌子面上宜采用两横两竖或一横三竖的布线方式，如图 7.1 所示。可根据现场情况适当调整测线布置，宜遵守如下调整原则：应尽可能靠近掌子面轴心位置；测线距离尽可能达到最长。当隧道洞径较大、边墙较高时，可增加沿左壁、掌子面、右壁上、下两条“U”形测

线；当隧道偏平率较大时，可沿洞底中线、掌子面、顶拱布置“U”形测线；两侧壁、洞底、顶拱测线应延长至上次雷达预报掌子面位置后 5m；有异常时，可针对异常位置加密测线；左壁、右壁及顶拱雷达测试不宜在隧道进行工字钢或钢筋网片支护后进行。

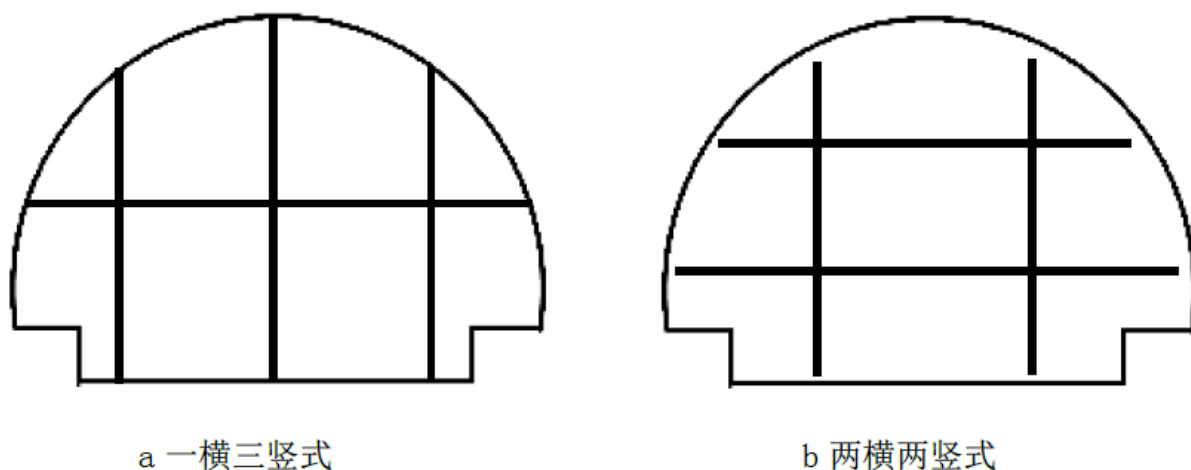


图 7.1 雷达布线方式

3) 现场安装应符合下列要求：

——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。

——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。

条文说明

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。

3 现场数据采集应符合下列要求：

1) 应选择合适的时间窗口和采样间隔，采样点数应大于 512 个，采样频率应大于所用天线中心频率的 6 倍。在采集过程中应根据干扰变化和图像效果及时调整工作参数。

2) 宜采用连续测量的方式，天线应匀速移动，并与仪器的扫描率相匹配；不能连续

测量的地段可采用点测，应在天线静止状态采样，测点距不大于 0.2 m。

3) 应清除或避开测线附近的金属物等电磁干扰物；无法满足时应在记录中注明，并标出位置。测线上天线经过的表面应相对平整无障碍，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。

4) 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。应在现场记录中注明观测到的不良地质体与地下水体的位置与规模等。

4 采集信号的质量评价应符合下列要求：

1) 质量检查的记录应与原始探测记录具有良好的重复性，波形一致。

2) 数据当有下列缺陷之一时，为总体质量不合格：

——电磁波信号无法分辨。

——信噪比低，干扰波严重影响到预报范围。

——地质雷达采集数据图像坐标与测线坐标对应误差大于 20cm。

5 数据处理应符合下列要求：

1) 无相同倾角的有效层状反射波时，可采用 $f-k$ 倾角滤波，但使用前应进行水平比例归一化和地形校正。

2) 数据中出现全正、全负或正负半周不对称的情况时，应进行去除直流漂移处理；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) 可采用平滑数据的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。

4) 当存在多次反射波时，宜采用反褶积进行处理；当遇到倾斜层反射波界面时，宜采用偏移处理进行归位；当反射信号弱、信噪比低时，不宜采用反褶积和偏移处理。

5) 当干扰波出现在某一频段时，宜采用过频率滤波处理。

6) 应通过宽角法或穿透法测试成果计算预报地层的电磁波速度，将雷达时间剖面转换为深度剖面。

6 资料判释应符合下列要求：

1) 雷达剖面应清晰。应通过班报现场复核，筛选干扰异常。平行剖面的雷达探测数据，应通过比较相邻测线的雷达剖面图，找出不同雷达图上相似图像特征的反射信息，进行比对分析。

2) 应依据反射波形、能量强度、初始相位等特征，并结合现场地质情况确定异常体

性质。单个异常体可根据波形双曲线特征、能量和频率特征进行识别，与背景场进行区分。

3) 应结合水文地质与工程地质条件、施工因素、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。

4) 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。

7.3.3 瞬变电磁法超前地质预报应符合下列规定：

1 瞬变电磁法预报距离应符合下列要求：

- 1) 岩体完整的低导电率和低导磁率的洞段，预报距离宜在 80m 以内。
- 2) 岩体破碎、含水率高、高导电率和高导磁率的洞段，预报距离宜在 60m 以内。
- 3) 弯曲段应适当减小预报距离。

2 瞬变电磁法超前地质预报仪器、布置及现场安装应符合下列要求：

1) 仪器应符合下列要求：

——瞬变电磁仪发射部分应具有过压和过流保护功能；最大发射电流不低于 3A，发射信号宜为双极性方波，时间宜随取样道数选择值而变化；发射基频频率宜能在 2.5 Hz～225 Hz 范围内分档；最小关断时间不应大于 0.5 μ s；发射线圈最大边长不应大于 2m。

——瞬变电磁仪接收部分通道灵敏度不应大于 0.5 mV；最小叠加次数不应小于 1000 次；最大采样率不应小于 10 μ s；带宽不应窄于 10 Hz～7.5kHz；最大时窗不应小于 160ms；增益范围宜为 0dB～140 dB；本底噪声应小于 1 μ V；工频干扰抑制宜大于 60 dB。

——采用线框接收时应采用重叠回线装置，采用磁探头接收时应采用中心回线装置。重叠回线、中心回线装置适用于浅层探测。大定源回线装置适用于较深层的探测。偶极装置适用于探测陡倾断层等。中心回线、大定源回线、偶极装置的接收线框边长、发射和接收线框的间距宜根据试验选定。

2) 观测系统布置应符合下列要求：

——相邻两次预报宜布置 20m 的重叠洞段。

——当隧道洞径较小时，宜以掌子面为中心点布置一组水平和铅垂的扇形扫描测线；当隧道洞径较大时，宜布置相距一定间距的多组水平和铅垂的扇形扫描测线。

——水平测线宜以线框的法线方向与隧道左壁垂直为起点（ 0° ），顺时针方向每 15° 布置一个测点，当线框的法线方向与隧道开挖方向一致后（ 90° ），每隔 0.5m 布置一个测点，依次进行扇形扫描，直至线框的法线方向与隧道右壁垂直（ 180° ）。

——铅垂测线宜以线框的法线方向与隧道开挖方向呈 45° 为起点，每隔 15° 布置一个测点，直至线框的法线方向与隧道开挖方向呈 135° 。

3) 现场安装应符合下列要求：

——测线中点、端点应进行测量放点并标识。

——发射线圈、发射机的高压连接点应绝缘；

——使用磁探头时，其方向应与发射线框的法线方向一致。

3 现场数据采集应符合下列要求：

——仪器参数设置应与预报距离、线框参数等条件相适应；

——测试前应移开近掌子面附近洞段的金属物体，测试过程中不应有金属、磁性物质接近线框，测量应使用非金属测量尺或测量绳。

——当地质条件复杂时，宜增加线框法线方向与隧道开挖方向呈上下或左右 30° 、 60° 夹角的测线；

——每个测点、各种倾角状态下应进行3次重复测试，曲线形态应与地层物性构造相一致，3次测试的曲线形态应相近。

4 采集信号存在下列情况之一者应为不合格：

1) 班报记录主要内容出现错误。

2) 仪器主要参数设置错误情况下所测试的记录，或者重复观测曲线形态不一致。

3) 信噪比低，干扰严重。

5 数据处理应符合下列要求：

1) 应先对各测道数据曲线进行跳点平滑预处理，分别生成各测线的不同装置倾角姿态下的剖面测深曲线图，反演出每条测线的视电阻率-时间剖面图。

2) 应根据试验或开挖验证所率定的时间与深度关系函数，将视电阻率-时间图转换成视电阻率-深度图。

6 资料判释应符合下列要求：

1) 应根据试验或开挖验证所得到的异常幅值与背景值来划分异常范围。

2) 应进行各角度及多测线的相关解释，确定异常的范围和走向；应结合地质调查和

其它预报成果解释异常的性质。

3) 现场工作结束后应编制成果简报，成果图件宜包括测线点布置图、测试二维成果图、三维剖面成果图、隧道预报地质成果图。

7.4 高分辨直流电法

7.4.1 高分辨直流电法预报距离应符合下列要求：

- 1 有效预报距离不宜超过 80 m。
- 2 连续探测时前后两次应重叠 10 m 以上。

7.4.2 高分辨直流电法超前地质预报仪器、布置及现场安装应符合下列要求：

- 1 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。
- 2 发射、接收电极接地良好。

7.4.3 现场数据采集应符合下列要求：

- 1 采集前应开机检测，确保电池电量充足，仪器工作正常。
- 2 发射、接收电极间距应测量准确，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 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。

7.4.4 数据处理与资料判释应符合下列要求：

- 1 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 应以现场多次采集分析验证的数据为依据，判断储、导水构造等地质异常体。
- 3 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。

7.5 红外探测法

7.5.1 红外探测法预报距离应符合下列要求：

- 1 红外探测法适用于判断岩体的含水性及其位置，预报距离约为 5m~30m。
- 2 宜连续进行，连续探测时前后两次应重叠 3~5m。

7.5.2 红外探测法超前地质预报仪器、布置及现场安装应符合下列要求：

1 红外探测前，应该首先对隧道内外的地质情况进行深入调查研究，调查清楚隧道所在地的地质构造体系及构造演化，指导隧道中最常见不良地质体的产状以及对隧道影响最大的不良地质体的产状。。

2 利用掌子面布设探点时，应根据现场实际情况，以掌子面轮廓为边界，在掌子面上每隔 0.5m 探测一个数据。当相邻两个数据之差超过正常辐射场的安全值范围时，应在两点之间再加测一个数据。在探测数据最小的位置应加密布点。

3 在已开挖的边墙、洞顶和底部布设探点时，宜在靠近掌子面 15m 的范围内，根据现场实际探测数值情况确定间距。在前面 5m 可按 0.5m 间距布点，后 10m 按 1m 间距布点，以后按 5m 间距布点。在遇到大断面隧道采用 CRD 法、双侧壁导坑法开挖时，应把每一步当作一个小断面隧道进行探测，不可仍作为一个隧道进行探测，且该情况下不要对中隔壁进行探测。

7.5.3 现场数据采集应符合下列要求：

1 应注意区分排除干扰场；

2 应注意探测数据的可靠性。探测过程中发现读数明显变化时，应在探点周围多探几个点，以确认读数的可靠性。遇到读数突变点，应要求操作员重测。

8 超前钻探法

8.1 超前地质钻探

8.1.1 超前地质钻探适用于各种地质条件下隧道的超前地质预报。富水软弱断层或构造破碎带、煤系或油气地层、富水岩溶发育区、瓦斯发育区、采空区、重大物探异常区等复杂地质地段和地下隧道应采用超前地质钻探。

条文说明：

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；超前地质钻探前，应先进行现场踏勘，并根据地质调查和物探报告，编制超前地质钻探工作方案。

8.1.2 超前地质钻孔设备可采用冲击钻、回转取芯钻、风钻或凿岩钻。

条文说明：

洞内一般地质地段可采用冲击钻；洞内复杂地质地段宜采用回转取芯钻。回转取芯钻可适用于隧道围岩相对完整，断层、破碎带、暗河、高地应力相对集中的洞内复杂地质地段；风钻或凿岩钻可适用于隧道围岩结构松散，溶洞、暗河、瓦斯地层和地下水发育相对集中的洞内复杂地质地段。冲击钻、回转取芯钻、凿岩钻应合理搭配使用，提高预报准确率和钻探速度，减少占用开挖工作面的时间。

8.1.3 超前地质钻探的孔数、孔位、孔深、孔径、角度应符合下列规定：

1 孔数、孔位：

1)孔数、孔位应根据隧道开挖断面大小和地质复杂程度确定。

2)断层、节理密集带或其他破碎富水地层每循环宜布设 1~3 个孔。

3)富水岩溶发育区每循环宜布设 3~5 个孔，揭示岩溶边界时，在满足施工安全要求的情况下应适当增加孔数。

4)富水岩溶发育区短距离超前地质钻探应终孔于隧道开挖轮廓线以外 2~3m；富水岩溶发育区中距离超前地质钻探应终孔于隧道开挖轮廓线以外 5m；富水岩溶发育区长距离超前地质钻探应终孔于隧道开挖轮廓线以外 5~8 m。

2 孔深:

1) 钻探过程中应进行动态控制, 根据钻孔情况可适时调整钻孔深度。

2) 利用加深炮孔探测进行短距离超前地质钻探, 孔深应符合本规程第 9.2.2 条第 1 款规定; 中距离超前地质钻探, 在需连续钻探时, 每循环可钻 6~30m; 长距离超前地质钻探, 在需连续钻探时, 每循环可钻 30~50m, 必要时也可钻 100m 以上的深孔。

3) 短距离超前地质钻探, 连续预报时前后两个循环钻孔宜重叠 2~3m; 中距离超前地质钻探, 连续预报时前后两循环钻孔宜重叠 3~5m; 长距离超前地质钻探, 连续预报时前后两循环钻孔宜重叠 5~10m。

3 孔径:

1) 采用取芯钻探的孔径应满足取芯、取样和孔内测试的要求。

2) 利用加深炮孔探测进行短距离超前地质钻探, 孔径应符合本规程第 9.2.2 条第 2 款规定; 中距离超前地质钻探, 钻孔直径与钻机设备钻杆直径相同; 长距离超前地质钻探, 钻孔直径除应符合《公路隧道施工技术规范》(JTG/T3660) 的有关规定外, 尚应符合《公路工程地质勘察规范》(JTGC20) 的有关规定。

4 角度:

1) 钻探过程中应进行动态控制, 根据钻孔情况可适时调整钻孔角度。

2) 中距离超前地质钻探, 隧道开挖轮廓线外的钻孔宜按 $15^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 外擦角进行; 长距离超前地质钻探, 隧道开挖轮廓线外的钻孔宜按 $15^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 外擦角进行。

8.1.4 超前地质钻探工作应符合下列规定:

1 超前地质钻探应在确保隧道工作面支护完成后进行。

2 遇到煤层瓦斯区、岩溶和采空区时, 超前地质钻探钻孔应符合本规程第 5.5.3 和 5.5.4 条款的规定。

3 遇到破碎带、溶洞和岩溶水时, 应视情况采用中、长距离超前地质钻探和其他探测手段, 查明地质情况, 确保施工安全。

4 揭示隧道地质地段异常情况的钻孔资料应作为技术资料做好保存。

5 超前地质钻探工作完成后应及时进行资料整理, 绘制相应的图表, 编制地质钻探成果报告, 报告内容应符合《公路隧道施工技术规范》(JTG/T3660) 的要求。

8.2 加深炮孔探测

8.2.1 加深炮孔探测适用于岩溶发育区、瓦斯地层等各种地质条件下隧道的短距离超前地质探测。

8.2.2 加深炮孔探测应符合下列规定：

- 1 孔数、孔位应根据隧道开挖断面大小和地质复杂程度进行确定。
- 2 钻孔深度宜较装药炮孔深 3 m 以上。
- 3 钻孔直径宜与装药炮孔相同。
- 4 严禁在爆破残留孔中实施加深探测炮孔打设。
- 5 遇涌水、涌泥、涌沙等异常情况时，严禁盲目装药放炮。

条文说明

加深炮孔探测是利用风钻或凿岩台车等开挖钻孔设备在隧道开挖工作面钻取小孔径浅孔获得地质信息的一种方法。加深炮孔探测是超前钻探法的一种重要方法，是超前地质钻探的辅助手段。

8.3 孔内摄影

8.3.1 超前地质钻探可采用孔内摄影辅助探测。

8.3.2 孔内摄影探测应选用性能优良、质量可靠、高分辨率、防水能力强的孔内摄影设备。

8.3.3 孔内摄影探测获取的精准信息应及时进行记录、保存和分析，为编制超前地质钻探成果报告提供原始依据。

条文说明

孔内摄影是利用摄像设备对孔内地质现象进行摄影获取地质信息的一种方法。孔内摄影是超前钻探法的一种重要方法，也是超前地质钻探的辅助手段。

9 超前导洞预报法

9.0.1 超前导洞预报法适用于各种地质条件的超前地质预报。

条文说明

超前导洞预报法属于直接揭示法，分为平行超前导洞法和正洞超前导洞法。平行超前导洞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洞，以导洞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。正洞超前导洞法是在隧道正洞中某个部位开挖一个断面较小的导洞以探明地质情况的方法。线间距较小的两座隧道可互为平行导洞，利用超前施工的隧道所揭示的地质情况来推测后施工的隧道可能遇到的地质问题。

9.0.2 利用超前导洞进行隧道地质预报，宜根据导洞的设计、施工工艺特点以及地质复杂程度，采取地质调查、物探和超前钻探等地质预报方法。预报工作，应符合下列规定：

- 1 正洞超前导洞地质预报应与隧道超前地质预报工作一并进行。
- 2 平行超前导洞地质预报应开展导洞地质调查分析工作，确定超前导洞预报的目的、任务、内容和方法。
- 3 应对超前导洞的地层岩性、地质构造的分布位置、范围和岩溶的发育分布位置、规模、形态、充填情况及其展布情况进行调查。
- 4 应对既有废弃坑道与隧道的空间关系进行测量。
- 5 应测试超前导洞有害气体以及放射性危害源地层段的分布层位和进行岩石强度试验。
- 6 应采用物探、超前钻探等预报方法，对平行导洞掌子面前方一段距离的地质情况进行施工地质预报，防止导洞开挖过程中引发涌泥、突水、瓦斯爆炸等地质灾害。
- 7 特殊情况下可对较大出水点、沉降洞段以及涌泥、突水及高地应力现象出现的隧道地段进行观测试验。

9.0.3 超前导洞预报工作完成后，应编制超前地质预报资料，主要包括下列内容：

- 1 地质调查法预报报告；
- 2 采用的各种物探预报方法探测报告；
- 3 超前钻探法探测报告；
- 4 导洞地质展视图，比例宜为 1:100~1:500；

5 导洞预测正洞施工地质预报报告，包括导洞预报正洞平面简图，比例宜为 1: 100～1: 500；

6 导洞工程地质纵断面图，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，横向比例宜为 1: 500～1: 5000，纵向比例宜为 1: 200～1: 5000。

征求意见稿

附录 A 隧道地质复杂程度分级

隧道地质条件复杂程度分级表

复杂程度 分析因素		复 杂	较 复 杂	中 等 复 杂	简 单
地质条件复杂程度	岩溶发育程度	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	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
	涌水涌泥程度	特大型涌突水（涌水量 $>100000\text{m}^3/\text{d}$ ）、大型涌突水（涌水量 $10000\sim100000\text{m}^3/\text{d}$ ）、突泥，高压	大型涌突水（涌水量 $1000\sim10000\text{m}^3/\text{d}$ ）、突泥	中型涌水（涌水量 $100\sim1000\text{m}^3/\text{d}$ ）、涌泥	小型涌水（涌水量 $<100\text{m}^3/\text{d}$ ），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，掉块
	地应力影响程度	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	高应力（ $R_c/\sigma_{\max}=4\sim7$ ），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	——	——
	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 $\Delta P\geq 10$ ，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
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	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 B 隧道超前地质预报方法选用

预报目标场地预报方法应用表

预报项目 预报方法	断层预报	岩溶预报	涌水突泥预报	软弱地层预报	瓦斯地层预报
地质调查预报法	●	○	○	●	●
地震波预报法	●	●	○	●	●
地质雷达预报法	●	●	●	○	○
电法预报法	○	○	●	○	○
超前钻探预报法	○	○	●	●	●
超前导坑预报法	○	○	○	○	○

注：●主要方法，○辅助方法

预报方法适用表

预报方法	地质条件复杂程度适用性	预报距离	施工影响程度	受限施工方法
地质调查预报法	简单、中等复杂、较复杂、复杂	短距离	开挖工作面地质素描需暂停相应工作面施工。	TBM 施工
地震波预报法	简单、中等复杂、较复杂、复杂	长距离	炮孔和接收孔钻孔会干扰部分施工，爆炸激发和接收需暂停相应工作面施工约一小时。	无
地质雷达预报法	中等复杂、较复杂、复杂	短距离	现场测点布置和测试要求掌子面附近施工暂停约一小时。	TBM 施工
超前钻探预报法	中等复杂、较复杂、复杂，主要用于验证其它预报成果	短距离	占用隧道开挖工作面施工时间长。	无
超前导坑预报法	中等复杂、较复杂、复杂，主要用于验证其它预报成果	视导洞长度而定	超前导坑有临时支护的，扩挖时需去掉临时支护；超前平行导坑、先行施工隧道，对隧道和后施工隧道无影响	TBM 施工

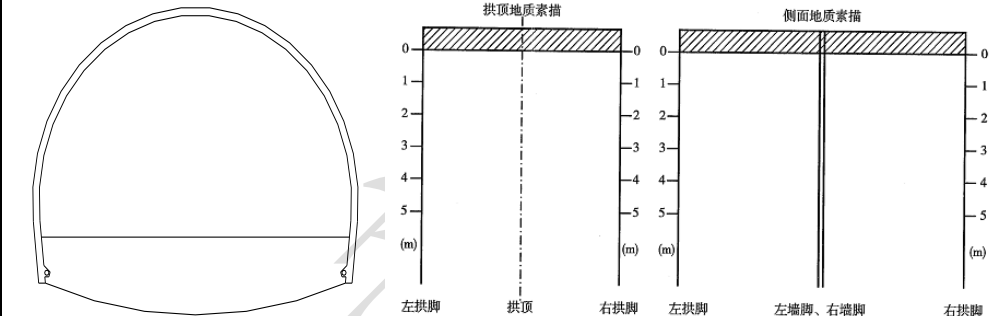
附录 C 隧道内临近不良地质体地质前兆表

临近不良地质体地质前兆表

不良地质体名称	临近地质前兆现象
临近大型溶洞水体或暗河	1 临近前裂隙、溶隙间出现较多的铁染锈或粘土； 2 岩层明显湿化、软化，或出现淋水现象； 3 小溶洞出现的频率增加且多有水流、河沙或水流痕迹； 4 钻孔中的涌水量剧增，且夹有泥沙或小砾石； 5 有哗哗的流水声； 6 钻孔中有凉风冒出。
断层破碎带	1 节理组数急剧增加； 2 岩层牵引褶曲、牵引褶皱的出现； 3 岩石强度的明显降低； 4 压碎岩、碎裂岩、断层角砾岩等的出现； 5 临近富水断层前断层下盘泥岩、页岩等隔水岩层明显湿化、软化，或出现淋水和其他涌突水现象。
人为坑洞积水	1 岩层明显湿化、软化，或出现淋水现象； 2 岩层裂隙有涌水现象； 3 开挖工作面空气变冷或发生雾气； 4 有嘶嘶的水声； 5 临近煤层老窑积水的前兆是岩层中出现暗红色水锈或渗水中挂红。
大规模塌方	1 拱顶岩石开裂，裂缝旁有岩粉喷出或洞内无故尘土飞扬； 2 支撑拱架变形或发生声响； 3 拱顶岩石掉块或裂缝逐渐扩大； 4 干燥围岩突然涌水等。
煤与瓦斯突出	1 开挖工作面岩层发生鼓裂； 2 瓦斯含量突然增大或忽高忽低； 3 工作面有移动感； 4 工作面发出瓦斯强涌出的嘶嘶声，同时带有粉尘； 5 工作面附近，时常听到沉雷声或闷雷声。

附录 D 公路隧道掌子面及洞身地质素描表

隧道施工掌子面及洞身地质素描表

预报单位			记录编号		
项目名称			隧道名称		
施工单位			观察依据		
洞 线	☐ 左线	☐ 右线	主要仪器设备		
开挖位置			开挖方法		
桩号 (m)			埋深 (m)		
地质描述					
节理描述	第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组	
	产状: ° ∠ °	产状: ° ∠ °	产状: ° ∠ °	产状: ° ∠ °	
	间距:	间距:	间距:	间距:	
	长度:	长度:	长度:	长度:	
	充填物:	充填物:	充填物:	充填物:	
地下水描述	地下水及位置	地下水性质	潮湿	滴水	线状
围岩级别	设 计	☐ VI级	☐ V级	☐ IV级	☐ III级
	施 工	☐ VI级	☐ V级	☐ IV级	☐ III级
开挖稳定状态 及不良地质 描述					
备注					

检测:

记录:

日期: 年 月 日

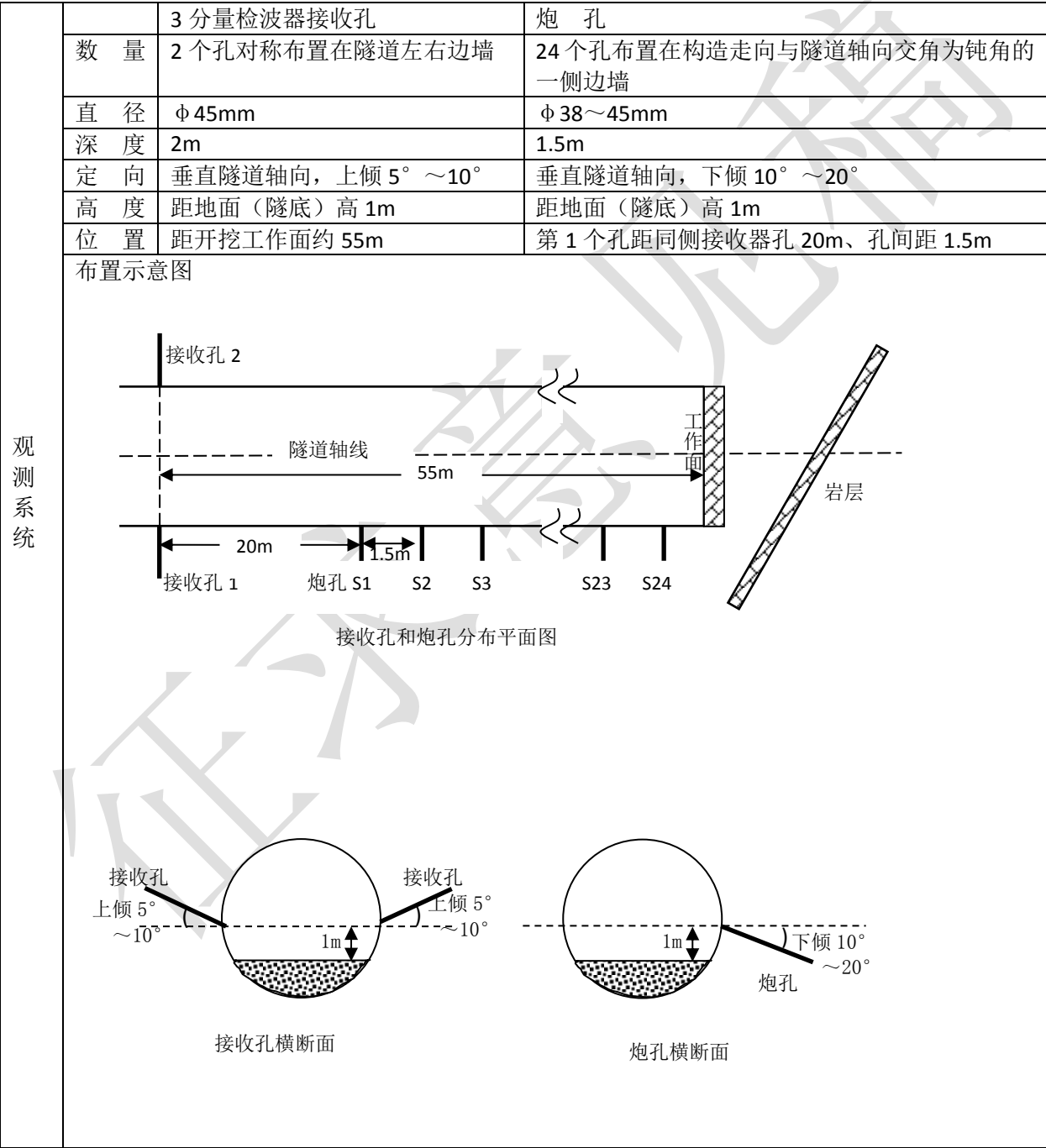
附录 E 隧道地质信息综合记录表

隧道地质信息综合记录表

地质信息 分析 因素		基本情况	复杂程度	适用预报方法	综合考虑 预报方法
地质 条件 复杂 程度	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				
	瓦斯 影响 程度				
地质因素对隧 道施工影响程 度					
诱发环境问题的 程度					

附录 F 地震波反射观测系统布置图表

地震波反射观测系统布置图表



本规范用词说明

对执行本规范条文严格程度的用词采取以下写法：

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词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示容许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”或“可”；反面词采用“不宜”。

4 表示有选择，在一定条件下可以做的用词：

正面词采用“可”或“容许”；反面词采用“不可”或“不容许”。