

DB45

广 西 壮 族 自 治 区 地 方 标 准

DB45/T 2525—2022

公路隧道超前地质预报技术规程

Code of practice for geological prediction of road tunnel

2022 - 06 - 24 发布

2022 - 07 - 30 实施

广西壮族自治区市场监督管理局 发 布

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般规定 3

 4.1 预报目的和内容 3

 4.2 预报工作遵循的规则 4

 4.3 预报的工作程序和工作内容 4

 4.4 预报工作中的各方职责 6

5 超前地质预报设计 6

 5.1 预报方法分类 6

 5.2 隧道地质灾害和地质复杂程度分级 7

 5.3 预报设计文件内容 7

6 超前地质预报实施 8

 6.1 预报实施大纲编制 8

 6.2 预报成果报告编制与报送 8

7 地质调查法 9

 7.1 基本规定 9

 7.2 隧道勘察设计资料的收集与分析 10

 7.3 隧道地表补充地质调查 10

 7.4 隧道内地质调查 10

8 物探法 11

 8.1 基本规定 11

 8.2 地质雷达法 12

 8.3 瞬变电磁法 13

 8.4 高分辨率直流电法 15

 8.5 地震波反射法 16

 8.6 红外探测法 17

9 超前钻探法 18

 9.1 超前地质钻探 18

 9.2 加深炮孔探测 20

10 超前导坑法 20

 10.1 基本规定 20

 10.2 工作要求 21

11 复杂地质条件的超前地质预报 21

11.1 岩溶预报.....	21
11.2 断层预报.....	23
11.3 涌水突泥预报.....	23
11.4 煤层瓦斯预报.....	24
11.5 有害气体灾害预报.....	25
11.6 其它.....	25
附录 A（资料性） 隧道地质灾害分级	26
附录 B（资料性） 各种隧道超前地质预报方法工作应用情况对比.....	27
附录 C（资料性） 预报实施安全防护规定	28
附录 D（资料性） 隧道内不良地质体可能前兆.....	29
附录 E（资料性） 公路隧道围岩分级	31
附录 F（资料性） 隧道开挖工作面地质编录及地质展视图.....	33
附录 G（资料性） 地震波法实施方法	35
附录 H（资料性） 钻孔柱状图	38
附录 I（资料性） 岩溶发育条件和发育规律.....	39
参考文献.....	41

前 言

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

本文件由广西壮族自治区交通运输厅提出并宣贯。

本文件由广西交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：广西交投集团有限公司。

本文件主要起草人：邓家喜、熊春发、姜洪亮、卢超波、杨庭伟、张红波、王淑英、潘隆武、申少华、吴真玮、王秋敏、任少博、邓忠富、邓长庆、卢卫东、杜掀、郑涛、秦涛、肖坤杰、陀楚明、郑华斌、林超、宋智成、祝俊、宁晓斌。

公路隧道超前地质预报技术规程

1 范围

本文件规定了公路隧道超前地质预报的术语和定义、一般规定、超前地质预报设计、超前地质预报实施、地质调查法、物探法、超前钻探法、超前导坑法和复杂地质条件的超前地质预报。

本文件适用于广西壮族自治区行政区域内公路隧道超前地质预报工作，其它地下工程的超前地质预报可参照使用。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

隧道超前地质预报 geological predication in tunnel

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、规模等进行探测及分析判释，并提出技术措施建议。

3.2

综合超前地质预报 comprehensive geological prediction

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比较印证的超前地质预报方法。

3.3

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，对应着隧道地质灾害分级的：严重、较严重、一般、轻微。

3.4

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、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前兆分析等，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报方法。包括隧道地表补充地质调查和隧道内地质素描等。

3.5

隧道内地质素描 geological sketch of the inside of tunnel

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。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。

3.6

地球物理探测（物探） 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”。

3.7

地质雷达法 geological radar detection method

利用高频脉冲电磁波在隧道开挖工作面前方岩体中的传播及反射，根据地质雷达图像进行超前地质预报的一种物探方法。

3.8

地震波反射法 seismic wave reflection 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、散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。

3.9

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。

3.10

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

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，通过研究直流电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。

3.11

瞬变电磁法 transient electromagnetic method

根据阶跃波形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（瞬变磁场），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。

3.12

超前钻探法 geological prediction in tunnel by drilling ahead

在隧道开挖工作面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。

3.13

超前导坑法 geological prediction in tunnel by advance heading

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一种超前地质预报方法。可分为平行超前导坑法和正洞超前导坑法。

3.14

平行超前导坑法 geological prediction in tunnel by parallel advance heading

以与正洞平行的另一条先行开挖的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一种超前地质预报方法。

3.15

正洞超前导坑法 geological prediction in tunnel by front advance heading

以正洞中先行开挖的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前方地质条件的一种超前地质预报方法。

3.16

物性 physical properties

探测对象所具有的物理性质。

3.17

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。

3.18

正常场 normal field

物理场的相对平稳部分。

3.19

异常场 anomaly field

偏离正常场并超过一定数值的物理场。

3.20

偏移距 offset

激发点到最近检波点间的水平距离。

3.21

同相轴 event

波形记录上同一信号源的各道相同相位的连线。

3.22

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。

4 一般规定

4.1 预报目的和内容

4.1.1 隧道超前地质预报应达到下列目的:

- 进一步查明隧道开挖工作面前方的工程地质与水文地质条件,指导工程施工的顺利进行;
- 为优化设计和设计变更提供地质依据;
- 为编制竣工文件提供地质资料。

4.1.2 超前地质预报应包括下列内容:

- 地层岩性预测预报,特别是对软弱夹层、破碎地层、煤层及特殊岩土的预测预报;

- 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；
- 不良地质预测预报，特别是对岩溶、人为坑洞、突水突泥、瓦斯等发育情况的预测预报；
- 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。

4.2 预报工作遵循的规则

- 4.2.1 隧道超前地质预报应进行地质复杂程度分级（或地质灾害分级，见附录 A），确定重点预报地段，并遵循实时预报原则，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等。
- 4.2.2 隧道超前地质预报应体现以地质调查为基础，配合采用地球物理探测、超前地质钻探、超前导坑探测等勘探手段的综合预报思路。
- 4.2.3 隧道超前地质预报宜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。在综合应用各种隧道超前地质预报方法时应考虑其各自的工作应用条件（见附录 B）。
- 4.2.4 采用的预报方法应根据不同的地质灾害和地质复杂程度分级选取。在软弱断层破碎带、富水岩溶发育区、重大物探异常区等地质条件复杂地段，除采用地质调查法、物探法进行预报外，还应增加超前地质钻探法进行综合预报。
- 4.2.5 隧道设有平行超前导坑、正洞超前导坑、或为线间距较小的两座隧道时，应充分利用平行超前导坑、正洞超前导坑、先行施工的隧道开展隧道超前地质预报工作。
- 4.2.6 改建及扩建的公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，结合改建及扩建隧道与既有隧道的空间关系，参照新建公路隧道的要求做好超前地质预报工作。
- 4.2.7 隧道超前地质预报工作中应积极采用新技术、新设备、新方法。

4.3 预报的工作程序和工作内容

- 4.3.1 隧道超前地质预报可按图 1 所示的工作程序进行。

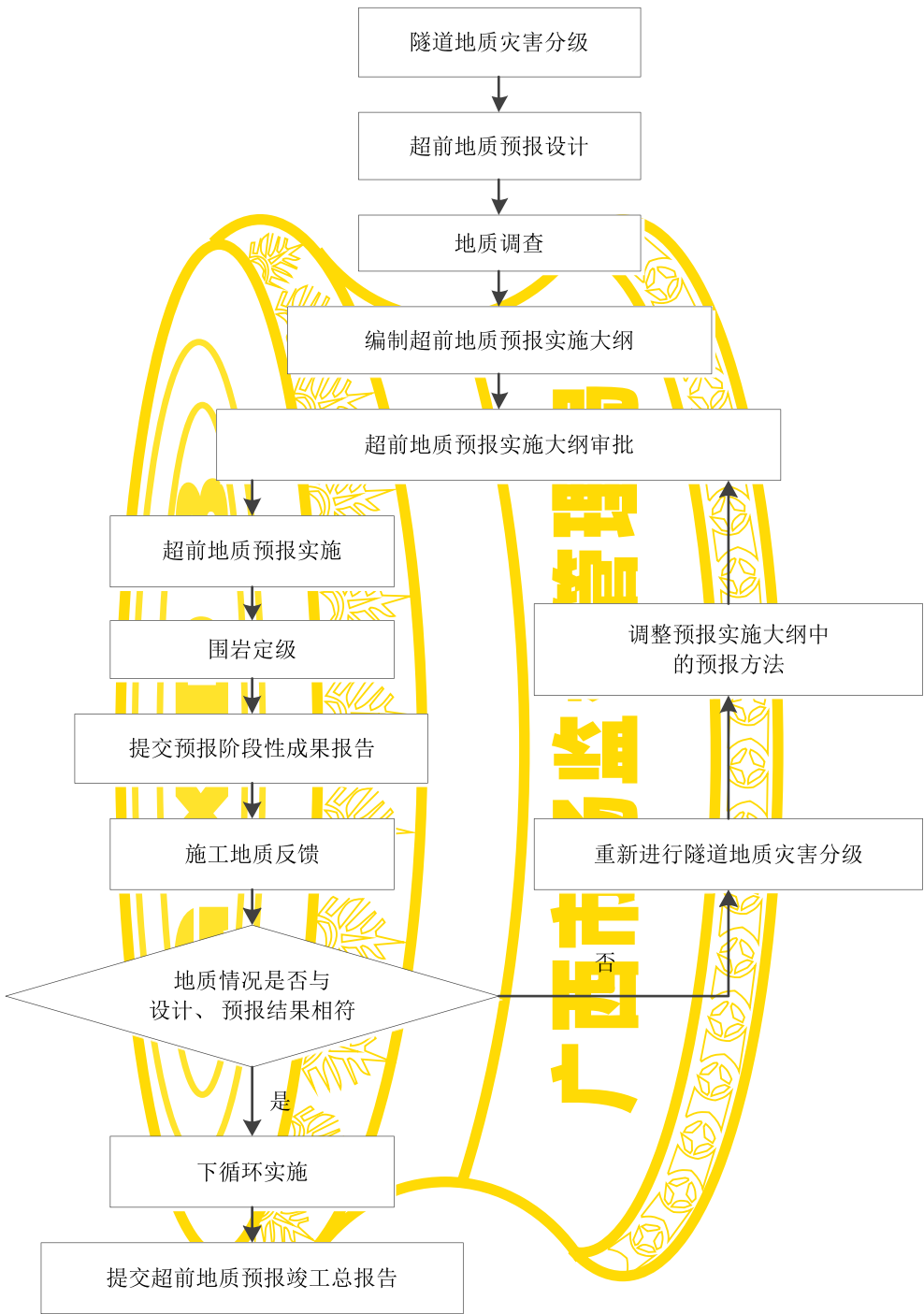


图1 隧道超前地质预报工作程序框图

- 4.3.2 预报设计阶段的工作应包括：
- 提出隧道地质复杂程度分级；
 - 编制超前地质预报方案设计。

4.3.3 预报实施阶段的工作应包括：

- 编制预报实施大纲并组织评审：应在隧道施工前根据隧道地质环境及特殊性完成超前地质预报实施方案的编制；
- 按实施大纲要求开展预报工作：预报实施工作应符合施工安全规定（见附录 C）；
- 提交预报成果报告：在预报外业结束后预报实施单位应及时将预报成果报告报送建设、设计、施工、监理各方；
- 当预报地质情况与前期设计文件相符时，按设计进行施工；当预报地质情况与前期设计文件不符时，由施工方提出变更设计申请、由参建各单位讨论决定是否根据预报结论变更设计后进行施工。

4.4 预报工作中的各方职责

4.4.1 隧道超前地质预报实施单位应具备的条件和工作职责包括：

- 预报实施单位应具备交通行业桥梁与隧道工程专项检测资质，应有固定的工作场所、健全的质量管理体系和相应的技术能力；
- 预报工作现场应配备有足够数量、且持有相应上岗资格证书的专业技术人员，可根据现场情况配备一定数量的辅助人员；
- 预报工作配备的仪器设备应在检验或校准周期内，仪器设备的性能指标、数量和工作效率应能满足预报和工期的要求；
- 收集隧道相关勘察资料，根据勘察单位提供的隧道地质复杂程度分级结果、超前地质预报方案设计的要求，编制超前地质预报实施大纲；
- 按照批准的超前地质预报实施大纲开展预报工作，按要求及时提交成果报告，并对成果及数据的真实性负责；
- 当遇到预报地质情况与勘察资料不符，或遇到重大物探异常和施工地质灾害高风险隐患，或需要调整预报方案时，应按工作程序要求及时报告有关单位。

4.4.2 隧道工程参建单位在超前地质预报工作中职责划分应符合下列规定：

- 建设单位应负责隧道超前地质预报实施大纲的审批，并对地质预报工作的实施情况进行监督和检查；
- 勘察单位根据隧道地质勘察成果资料提出隧道地质复杂程度分级，参加超前地质预报实施大纲的审批；
- 设计单位在勘察单位提出隧道地质复杂程度分级的基础上，进行超前地质预报方案设计、参加实施大纲的审批；施工中分析和研究超前地质预报成果，发现地质情况与设计不符的，按程序及时进行变更设计；
- 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，应积极利用超前地质预报成果，当地质情况与设计不符时，应及时按变更设计程序提请进行变更设计，并不断完善隧道施工安全应急救援预案，做好隧道施工安全工作；
- 监理单位应对地质预报工作实施监理，并做好相关协调工作。

5 超前地质预报设计

5.1 预报方法分类

5.1.1 公路隧道工程在各设计阶段均应进行超前地质预报设计，预报方法的选择应与施工方法、地质

复杂程度相适应。

5.1.2 超前地质预报按方法原理分类，主要有地质调查法、超前钻探法、物探法和超前导坑法等方法，各方法包括下列内容：

- 地质调查法：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地下和地表相关性分析、地质作图等；
- 超前钻探法：超前地质钻探、加深炮孔探测；
- 物探法：地震波反射法、地质雷达法、红外探测、高分辨直流电法、瞬变电磁法等；
- 超前导坑法：平行超前导坑法、正洞超前导坑法等。

5.1.3 超前地质预报按预报距离分类，包括长距离预报、中长距离预报和短距离预报等方法，预报长度的划分应符合下列规定：

- 长距离预报的预报长度 100 m 以上；
- 中长距离预报的预报长度 30 m～100 m；
- 短距离预报的预报长度 30 m 以内。

5.2 隧道地质灾害和地质复杂程度分级

5.2.1 隧道超前地质预报设计前，应按附录 A 的要求分段将隧道地质灾害分为严重、较严重、一般、轻微四级，对应地质复杂程度分为复杂、较复杂、中等复杂、简单四级。

5.2.2 隧道地质灾害分级是动态变化的过程，可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调整。

5.2.3 隧道超前地质预报应根据不同的地质灾害和地质复杂程度分级按表 1 选取，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。

表1 不同隧道地质灾害和地质复杂程度分级采用的预报方法

隧道地质灾害分级	严重	较严重	一般	轻微
隧道地质复杂程度分级	复杂	较复杂	中等复杂	简单
采用的预报方法	地质分析法、地震波反射法、地质雷达法、超前水平钻探法、瞬变电磁法（电法、红外探测法）等进行综合预报	以地质分析法、地质雷达法、地震波反射法为主，辅以瞬变电磁法（电法、红外探测法），必要时进行超前水平钻探	以地质分析法、地质雷达法为主，对重要地质层面、断层或物探异常地段宜采用地震波反射法进行探测，必要时采用瞬变电磁法（电法、红外探测法）或超前水平钻探	地质分析法

5.2.4 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监测测试。

5.3 预报设计文件内容

超前地质预报设计应编制超前地质预报设计文件，应包括下列内容：

- 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；
- 地质复杂程度分级；
- 超前地质预报的目的；
- 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 $>1\text{ L/s}$ 的出水点）、暗河流量等观测计划和观测技术要求等；
- 超前地质预报实施工艺要求（必要时提出）；
- 超前地质预报工作安全措施；
- 超前地质预报工作量、占用工作面的时间；
- 超前地质预报概预算；
- 其他需要说明的问题。

6 超前地质预报实施

6.1 预报实施大纲编制

- 6.1.1 实施超前地质预报前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、超前地质预报设计的内容。
- 6.1.2 超前地质预报工作应编制超前地质预报实施大纲，其内容应包括：
 - 编制依据；
 - 工程概况；
 - 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、水文地质情况简述，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；
 - 地质复杂程度分级；
 - 实施超前地质预报的目的；
 - 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，需要时应编制气象、重要泉点和洞内主要出水点（流量 $>1\text{ L/s}$ 的出水点）、暗河流量等观测计划和观测技术要求；
 - 超前地质预报工艺流程及操作要点；
 - 超前地质预报组织机构设置及投入的人力、设备资源；
 - 质量要求；
 - 安全措施；
 - 成果资料编制的内容与要求；
 - 工作制度，包括与设计、施工、监理、建设等单位的联系制度，地质预报成果报告提交的时限，信息传递方式等；
 - 地质预报成果的验证及技术总结的要求；
 - 其他需要说明的问题。

6.2 预报成果报告编制与报送

- 6.2.1 超前地质预报工作应编制地质预报阶段性成果报告，隧道贯通后可编写地质预报竣工总报告。

6.2.2 隧道超前地质预报阶段性成果报告内容应包括下列内容：

- 工程概况，包括项目概况、本次超前地质预报任务、预报实施时间、以往实施情况等；
- 地质调查，包括隧道工作面与洞身地质编录、测绘，隧道地表补充地质调查情况等；
- 预报方法与技术，包括预报方法原理简述、测线、工作布置、仪器设备、装置布置、工作参数、数据质量等；
- 资料解释与成果分析，包括地质调查资料的分析评价、物探资料处理与解释，结合地质调查、物探、超前钻探等资料进行综合分析及地质解释；
- 结论与建议，包括预报距离、范围，地质结论，不良地质情况，围岩稳定性和地质灾害分析预警，围岩分级与不良地质处治建议等；
- 插图可包括预报方法原理图、测线或装置布置图、典型数据曲线或映像图、各种仪器设备探测数据处理成果图等；插表可包括工作量表、物性参数表、仪器技术因素、成果解释列表、探测精度表等。

6.2.3 隧道超前地质预报竣工总报告应包括下列内容：

- 工程概况；
- 地质概况：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；
- 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；
- 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；
- 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；
- 设计与施工地质资料对比情况，对勘察资料进行评价；
- 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；
- 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；
- 其他需要说明的问题；
- 附图和附件：
 - 各种预报方法的预报报告及图件；
 - 隧道及平行导洞洞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）。

6.2.4 预报单位在预报成果报告编制完成后应及时提请建设、设计、施工、监理各方签字确认接收，并建立预报成果报告文件收发记录表，对报告文件的接收情况进行记录，统一管理。

6.2.5 施工过程中应对实际开挖的地质情况与预报结果进行对比分析，如果与实际相差较大，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。

7 地质调查法

7.1 基本规定

7.1.1 地质调查法适用于各种地质条件下隧道的超前地质预报。

7.1.2 地质调查法应符合下列工作要求：

- 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；

- 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，应在现场根据实际情况记录，不应回忆编制或室内制作。地质素描原始记录、图、表应当天整理；
- 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；
- 标本应按要求采集，并及时整理。

7.1.3 地质调查法隧道超前地质预报，应编制下列资料：

- 地质调查法预报报告；
- 开挖工作面地质素描图，比例尺根据需要确定；
- 隧道洞身地质展视图，比例为 1:100~1:500；
- 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；
- 地质复杂地段纵、横断面图，比例为 1:100~1:500；
- 地质监测与测试资料；
- 有关影像资料。

7.2 隧道勘察设计资料的收集与分析

7.2.1 在进行隧道地质调查工作前，应对隧道勘察设计资料进行收集、整理、分析，在全面了解隧址区域地质情况下进行地质调查。

7.2.2 隧道勘察设计资料的收集与分析应包括下列内容：

- 收集前期隧道勘察设计资料，熟悉设计文件、资料、图纸；
- 明确隧道穿越的地层层序，围岩岩性、结构面密度、产状、充填物，结构面与隧道的空间组合关系，不同地层及岩性在隧道轴线上的分布范围，不同岩层的工程地质、水文地质特性，特殊地层（煤层、可溶岩地层、膏岩层等）的分布；
- 掌握特殊地质构造（如断层）在隧道轴线上的分布位置，断层及破碎带宽度、性质、产状，明确地层、不良构造与隧道的相互关系及因隧道施工揭穿可能发生的地质灾害（见附录 D），初步提出超前地质预报重点区段。

7.3 隧道地表补充地质调查

隧道地表补充地质调查应包括下列内容：

- 对已有地质勘察成果的核查和确认；
- 地层、岩性在隧道地表的出露及接触关系，特别是对标志层的确认；
- 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；
- 地表岩溶发育位置、规模及分布规律；
- 煤层、石膏、膨胀岩土、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；
- 人为坑洞位置、走向、高程等，分析其与隧道的空间关系；
- 对水文地质的调查；
- 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。

7.4 隧道内地质调查

7.4.1 隧道内地质调查应包括下列内容：

——对隧道测量资料的调查；

——工程地质：

- 地层岩性：地层时代、岩性、层间结合程度、风化程度等；
- 地质构造：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；
- 岩溶：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；
- 特殊地层：煤层、含膏盐层、膨胀岩土和含黄铁矿层等应单独描述；
- 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；
- 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；
- 塌方：塌方位置、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；
- 有害气体及放射性危害源存在情况。

——水文地质：

- 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；
- 水质分析，判定地下水对结构材料的腐蚀性；
- 出水点和地层岩性、地质构造、岩溶、暗河等的关系分析；
- 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；
- 必要时应建立涌突水点地质档案。

——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。

——进行隧道施工围岩分级（见附录 E）。

——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。

7.4.2 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：

- 开挖工作面地质素描，主要描述工作面立面围岩状况（见附录 F）；
- 洞身地质素描是对隧道拱顶、左右边墙进行的地质素描，直观反映隧道周边地层岩性及不良地质体的发育规模、在空间上对隧道的的影响程度等，通过隧道地质展视图形式表示（见附录 F）；
- 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。

8 物探法

8.1 基本规定

8.1.1 适用范围：物探法超前地质预报应具备下列条件：

- 探测对象与其相邻介质应存在一定的物性差异，并具有足以被探测的规模；
- 存在电、磁、振动等外界干扰时，探测对象的信息能够从干扰背景中区分出来。

8.1.2 仪器设备：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；应定期检查、标定和保养。

8.1.3 工作程序：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 物探原始资料应符合下列规定：

- 原始资料应包括下列内容：

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

- 原始记录应完整、真实、清晰，标识清楚，签署齐全，不应随意涂改或重抄。

8.1.5 数据处理与资料解释：物探资料解释应符合下列规定：

- 在分析各项物性参数的基础上，按定性指导定量的原则进行；
- 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；
- 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；
- 解释应充分利用各种探测方法的成果；若有钻孔资料，应利用钻探资料对解释结果进行全面的修正。

8.1.6 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。

8.1.7 报告编制：物探成果资料的编制应符合下列规定：

- 物探成果资料应包括下列内容：

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

- 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 地质雷达法

8.2.1 适用范围：地质雷达法主要适用于岩溶探测，亦可用于断层破碎带、软弱夹层等不均匀地质体的探测，应用条件应符合下列要求：

- 探测目的体与周边介质之间应存在明显介电常数差异，电磁波反射信号明显；
- 探测目的体具有足以被探测的规模；
- 不能探测极高电导屏蔽层下的目标体。

8.2.2 地质雷达法在完整至较完整硬质岩地段的预报距离一般宜在 30m 以内，如有经试验证明的预报距离，则可采用由试验确定的预报距离；在岩溶发育、破碎和软弱岩体地段的预报距离，则应以满足解释判定的要求确定；连续预报时，前后两次重叠长度应在 5 m 以上。

8.2.3 仪器设备：地质雷达法仪器的技术指标应满足下列要求：

- 系统增益不应低于 150 dB；
- 信噪比应 >60 dB；
- 采样间隔应 <0.5 ns、模数转换器不应低于 16 位；
- 具有可选的信号叠加、实时滤波、点测与连续测量、手动与自动位置标记等功能。

8.2.4 数据采集：地质雷达法的数据采集应符合下列要求：

- 地质雷达仪器工作的中心频率宜尽量选择在低频段，应采用不高于 100 MHz 的地面耦合屏蔽天线进行数据采集，探测介质的电磁波速、介电常数可通过现场试验或工程经验确定；
- 测网密度、天线间距和天线移动速度应反映出探测对象的异常；掌子面上宜布置两条测线，必要时可布置成井字形或其它网格形式；
- 选择合适的时间窗口和采样间隔，并根据数据采集中的干扰变化和效果及时调整工作参数；
- 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 ≤ 0.2 m；
- 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；
- 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；
- 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；
- 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；
- 重点异常区应重复观测，重复性较差时应查明原因。

8.2.5 地质雷达法的质量检查（重复观测）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。

8.2.6 数据处理与资料解释：地质雷达法的资料整理与解释应符合下列规定：

- 参与解释的雷达剖面应清晰；
- 解释前宜做编辑、滤波、增益等处理。情况较复杂时，还应进行道分析、FK 滤波、正常时差校正、褶积、速度分析、消除背景干扰等处理；
- 结合地质情况、电性特征、探测体的性质和几何特征综合分析。必要时应考虑影响介电常数的各种因素，制作雷达探测的正演和反演模型。

8.2.7 报告编制：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、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。

8.3 瞬变电磁法

8.3.1 适用范围：瞬变电磁法对岩溶水、溶洞的探测较为准确。

8.3.2 瞬变电磁法预报距离应符合下列要求：

- 岩体完整的低导电率和低导磁率的洞段宜每 80 m 预报一次；
- 岩体破碎、含水率高、高导电率和高导磁率的洞段宜每 60 m 预报一次；
- 弯曲段应适当减小预报距离；
- 相邻两次预报宜布置 20 m 的重叠洞段。

8.3.3 仪器设备：

- 瞬变电磁仪发射部分主要技术参数应符合下列要求：

- 应具有过压和过流保护功能；
- 最大发射电流不低于3 A，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2 m。

——瞬变电磁仪接收部分主要技术参数应符合下列要求：

- 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～7.5 kHz；
- 最大时窗不应小于160 ms；
- 增益范围宜为0 dB～140 dB；
- 本底噪声应小于1 μ V。

8.3.4 瞬变电磁法洞内探测测线布置宜符合下列要求（洞外探测测线布置可参考下列要求）：

- 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°；
- 掌子面水平测点间距宜为0.5 m，扇形扫描角度间隔宜为15°。

8.3.5 数据采集：瞬变电磁法洞内探测现场工作应符合下列工作要求（洞外探测现场工作可参考下列要求）：

- 掌子面桩号应与施工一致；
- 测线中点、端点应进行测量放点并标识；
- 测试过程中的测量应使用非金属测量尺或测量绳；
- 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；
- 工作前应检查仪器，特别是发射线圈、发射机的高压连接点应绝缘；
- 仪器参数设置应与预报距离、线框参数等条件相适应；
- 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°夹角的测试；
- 使用磁探头时，其方向应与发射线框的法线方向一致；
- 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。

8.3.6 数据处理与资料解释：

- 探测成果数据处理应符合下列要求：
 - 先对每个测点测试的各测道数据曲线进行跳点平滑预处理；
 - 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；

- 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。

——探测成果资料解释应符合下列要求：

- 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；
- 单一或“十字”形测线布置时，进行各角度及多测线的相关解释，确定异常的范围和走向；
- 多组测线测量时，进行各角度三维相关解释，确定异常的范围和走向；
- 结合地质勘探、地质调查和其它预报成果解释异常的性质。

8.3.7 报告编制：瞬变电磁法探测报告的内容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等。

8.4 高分辨率直流电法

8.4.1 适用范围：高分辨率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。

8.4.2 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。

8.4.3 仪器设备：仪器主要功能和技术指标应符合下列要求：

- 应具有测量一次场电位和电流、二次场电位和衰减时间的功能；
- 应有与发射机、电极转换控制器相配套的控制管理功能；
- 采样频率不应小于 1000 Hz；
- 模数转换精度不应低于 16 bit；
- 测量电流误差不应大于 1%，分辨率不应低于 0.01 mA；
- 测量电压误差不应大于 1%，分辨率不应低于 0.01 mV；
- 极化补偿范围不应小于 ± 1 V；
- 输入阻抗不应小于 10 M Ω ；
- 工频干扰抑制应大于 80 dB；
- 工作温度范围应为 -20℃~40℃；
- 最大工作环境湿度不应低于 150%。

8.4.4 高分辨直流电法现场采集数据应采用三极空间交汇探测法，即布设三个以上的发射电极，进行空间交汇，区分各种影响，压制不需要的信号，突出隧道前方地质异常体的信号。

8.4.5 数据采集：现场数据采集应严格按照测试要求进行，保证数据采集的质量。洞内探测工作应符合下列要求（洞外探测工作可参考下列要求）：

- 电极布置前，应清理隧道掌子面、拱顶及边墙危石；
- 掌子面应平整，且下方不宜有大量积水；
- 金属施工机械应远离电极布置洞段；
- 供电和测量导线绝缘电阻不应小于 100 M Ω ；
- 开机检测仪器是否工作正常；电池电量充足；
- 发射、接收电极间距测量准确，误差应 < 5 cm；
- 无穷远电极应 > 5 倍的探测距离；
- 发射、接收电极接地良好；
- 数据采集过程中，应保持现场无人工电流或电磁干扰；
- 数据重复测量误差应 $< 5\%$ ，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。

8.4.6 数据处理与资料解释：资料处理与分析应符合下列要求：

- 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；
- 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，找出异常体标准值。

8.4.7 报告编制：高分辨直流电法探测报告的内容包括探测工作概况、地质解译结果、视电阻率等值线图。

8.5 地震波反射法

8.5.1 适用范围：地震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。应用地震波反射法时应符合下列要求：

- 探测对象与相邻介质应存在较明显的波阻抗差异并具有足以被探测的规模；
- 断层或岩性界面的倾角应 $>35^{\circ}$ ，构造走向与隧道轴线的夹角应 $>45^{\circ}$ 。

8.5.2 地震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：

- 在软弱破碎地层或岩溶发育区，预报距离宜为 100 m，不宜超过 150 m；
- 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；
- 隧道位于曲线上时，预报距离不宜太长。

8.5.3 仪器设备：地震波反射法探测仪器的技术指标应满足下列要求：

- 仪器动态范围应 ≥ 120 dB；仪器的 A/D 模数转换应不小于 18 位；仪器噪音折合到输入端应 ≤ 3 μ V；
- 仪器输入应不少于 6 个通道的信号采集，对于采用多波的仪器应满足不少于两个接收点的三分量地震波采集道；
- 仪器的记录长度应满足预报距离的要求；
- 仪器的采样间隔设置应在 30 ms~250 ms 间具有多档选择，以适应不同隧道围岩探测的要求，一般硬岩宜采用小的采样间隔，软岩采用稍大的采样间隔；
- 仪器的接收装置应具有高灵敏度的响应特性，对于三分量接收装置具有良好的指向性；
- 仪器与配套设备应具有防震、防尘、防潮功能，适应山区运输和隧道环境下使用；
- 仪器的存储介质在隧道内外温差较大的条件下应具有防结雾功能，防止数据的丢失；
- 仪器采集时不宜选择使用滤波档，因特殊需要使用滤波档时，不应造成有效波记录的奇变，并应有对比记录。

8.5.4 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。地震波反射法的实施方法见附录 G。

8.5.5 数据采集：地震记录应符合下列规定：

- 干扰背景不应影响初至时间的读取和波形的对比；
- 反射波同相轴应清晰；
- 不工作道应 $<20\%$ ，且不连续出现；
- 地震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。

8.5.6 数据处理与资料解释：地震波反射法的数据处理与资料解释应符合下列规定：

- 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；

- 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；
- 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。

8.5.7 报告编制：地震波反射法超前地质预报成果资料内容主要包括：

- 概况：隧道工程概况、地质概况、探测工作概况等；
- 方法原理及仪器设备：方法原理及采用的仪器型号等；
- 野外数据采集：观测系统、采集方法、数据质量等；
- 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；
- 资料分析与判释：应附上波形分析成果显示图、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、深度偏移斜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；
- 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；
- 其他需要说明的问题。

8.6 红外探测法

8.6.1 适用范围：红外探测适用于定性判断探测点前方有无水体存在。

8.6.2 红外探测有效预报距离应在 30 m 以内，连续预报时前后两次重叠长度应大于 5 m。

8.6.3 仪器设备：仪器的维护与保养应符合下列要求：

- 仪器应由专人保管；
- 仪器受潮后，应放在通风处晾干，不应用碘钨灯或其他热源去烘烤；
- 应保护好仪器不应进水，探头一旦进水，应把水倒出并在通风处晾干；
- 不应用仪器去探测点燃的香烟头、通电的电炉丝、电焊的电火花等热源；
- 仪器出现故障后应送至厂家维修，不应自行拆卸。仪器的辐射率出厂时已调整好，使用者不应随意调整。

8.6.4 数据采集：红外探测应符合下列技术要求和工作要求：

- 探测时间：应选在爆破及出碴完成后进行；
- 测线布置：
 - 全空间全方位探测地下水体时，需在拱顶、拱腰、边墙、隧底位置沿隧道轴向布置测线，测点间距一般为 5 m，发现异常时，应加密点距；测线布置自开挖工作面往洞口方向布设，长度通常为 60 m，不应少于 50 m；
 - 开挖工作面测线布置，一般为 3~4 条，每条测线布 3~5 个测点。
- 应做好数据记录，并绘制红外探测曲线图；
- 下列情况下所采集的探测数据为不合格：
 - 仪器已显示电池电压不足，未更换电池而继续采集的数据；
 - 开挖工作面炮眼、超前探孔等钻进过程中所采集的数据；
 - 喷锚作业后水泥水化热影响明显的部位所采集的数据；
 - 爆破作业后测线范围内温差明显时所采集的数据；

- 测线范围内存在高能热源场（如电动空压机等）时所采集的数据。

8.6.5 数据处理与资料解释：探测数据和曲线的分析与判定应符合下列要求：

- 探测数据和曲线的分析与判定应以地质学为基础，并结合现场的工程地质和水文地质条件；
- 通过探测与施工开挖验证，依据出正常场的特点分辨出异常场；
- 分析由探测数据绘制的探测曲线前，应检查探测数据的可靠性；
- 分析解释时应先确定正常场，再确定异常场，由异常场判定地下水体的存在；
- 在分析单条曲线的同时，还应对所有探测曲线进行对比，比如两边墙探测曲线的对比、顶底探测曲线的对比，依此确定隐蔽水体或含水构造相对隧道的所在空间位置；
- 沿隧道轴向的红外探测曲线和开挖工作面红外探测数据最大差值应结合起来分析，在实践中不断总结经验，作出符合实际的判断。

8.6.6 报告编制：红外探测的报告内容包括探测工作概况、地质解译结果、开挖工作面探测数据图、左右边墙及拱顶等测线的探测曲线图等。

9 超前钻探法

9.1 超前地质钻探

9.1.1 适用范围：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，在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应采用。

9.1.2 仪器设备：超前地质钻探主要采用冲击钻和回转取芯钻，二者应合理搭配使用，提高预报准确率和钻探速度，减少占用开挖工作面的时间。

9.1.3 钻头选择：超前地质钻探的钻头选择方法如下：

- 一般地段（对应附录 A 隧道地质复杂程度分级中的中等复杂、简单）：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；
- 复杂地质地段（对应附录 A 隧道地质复杂程度分级中的复杂、较复杂）：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。

9.1.4 布孔要求：超前地质钻探应符合下列技术要求：

- 孔数：
 - 断层、节理密集带或其他破碎富水地层每循环可只钻一孔；
 - 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。
- 孔深：
 - 不同地段不同目的的钻孔应采用不同的钻孔深度；
 - 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；
 - 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；
 - 连续预报时前后两循环钻孔应重叠5 m~8 m。
- 孔径：钻孔直径应满足钻探取芯、取样和孔内测试的要求；

——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。

9.1.5 工作要求：超前地质钻探应符合下列工作要求：

- 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；
- 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，重要工程钻探过程监理应进行旁站；
- 在富水地段进行超前钻探时应采取防突措施；测钻孔内水压时，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；
- 在煤层瓦斯地段进行超前钻探时应符合 11.4 的工作要求规定；
- 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。

9.1.6 质量控制：钻孔质量控制可采取下列措施：

- 采用系统的钻探程序：
 - 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；
 - 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；
 - 对正孔位，固定钻机：将钻机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；
 - 开孔、安装孔口管：孔口管应安设牢固；
 - 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。
- 控制钻进方向：
 - 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；
 - 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。不应使用弯曲钻具；
 - 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；
 - 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。
- 准确鉴定岩性及其分布位置。

9.1.7 防突措施：超前钻探钻进中应防止地下水突出，可采取安设孔口管和控制闸阀等措施，确保工作人员和机械设备的安全，同时应使地下水处于可控状态。具体措施包括：

- 在富水区实施超前地质预报钻孔作业，应先安设孔口管，并将孔口管固定牢固，装上控制闸门，进行耐压试验，达到设计承受的水压后，方可继续钻进。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；

- 富水区隧道超前地质钻探时，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，应停止钻进，立即上报有关部门，并派人监测水情。当发现情况危急时，应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；
- 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。

9.1.8 成果资料解释：可参考下列项目进行钻探岩性的判断和解释：

- 根据岩粉判断：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，可判断前方地层的岩性；
- 根据钻进速度判断：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；
- 根据卡钻情况、钻杆震动情况、塌孔等现象判断：可粗略判断前方岩体的完整程度；
- 根据冲洗液粗略判断：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；
- 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。

9.1.9 报告编制：超前钻探法探测报告的内容包括工作概况、钻孔探测结果、钻孔柱状图（格式见附录H），必要时应附以钻孔布置图、代表性岩芯照片等。

9.2 加深炮孔探测

9.2.1 适用范围：加深炮孔探测适用于各种地质条件下隧道的超前地质预报，尤其适用于岩溶发育区。

9.2.2 工作要求：加深炮孔探测应符合下列要求：

- 孔深应较爆破孔（或循环进尺）深3 m以上；
- 孔数、孔位应根据开挖断面大小和地质复杂程度确定；
- 在富水岩溶发育区每循环应按设计认真实施，发现异常情况应及时反馈信息，严禁盲目装药放炮；
- 钻到岩洞和岩溶水时，应视情况采用超前地质钻探和其它探测手段，查明情况，确保施工安全，为变更设计提供依据；
- 加深炮孔探测严禁在爆破残眼中实施；
- 揭示异常情况的钻孔资料应作为技术资料保存。

10 超前导坑法

10.1 基本规定

10.1.1 适用范围：超前导坑预报法宜作为各类地质条件下的辅助预报方法。

10.1.2 超前导坑预报可采用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，可利用先行开挖的隧道预报后开挖隧道的地质条件。

10.1.3 预报内容：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，预报内容主要包括：

- 地层岩性、地质构造的分布位置、范围等；
- 岩溶的发育分布位置、规模、形态、充填情况及其展布情况；

- 涌泥、突水及高地应力现象出现的隧道里程段；
- 在采及废弃矿巷与隧道的空间关系；
- 有害气体及放射性危害源分布层位；
- 其他可以预报的内容。

10.2 工作要求

10.2.1 工作要求：超前导坑预报应根据隧道导坑的设计和施工特点合理选择地质调查、物探和钻探预报方法，现场预报工作应符合下列要求：

- 正洞导洞预报工作应和隧道超前地质预报工作一样进行；
- 开展地表地质调查分析工作，确定预报目的、内容和方法；进行地层岩性、地质构造调查；
- 对超前导坑顶拱和两侧壁进行地质素描；
- 对揭露岩溶的分布位置、规模、形态、充填情况及展布情况进行调查；
- 采用物探或超前钻孔预报方法对平行导洞掌子面前方一定距离的地质情况进行预报；
- 测量废弃矿巷与隧道的空间关系；
- 对有害气体及放射性危害源分布层位进行测试；
- 特殊情况下可对较大出水点、沉降洞段、含有害气体地层段进行观测试验。

10.2.2 资料分析：超前导坑资料分析应符合下列要求：

- 应对补充地质调查资料进行分析，得出导洞通过洞段的主要地层岩性、构造、水文地质的分布规律，对导洞前方一定范围可能存在的涌泥、突水现象进行宏观预报；
- 应通过分析洞内地质素描、物探、钻探预报成果，对导洞掌子面前方进行预报；
- 应根据导洞与正洞的空间或平面关系，根据既有隧道、导洞及超前预报资料，对施工隧道进行地质预报。

10.2.3 报告编制：超前导坑法预报报告的内容应包括：

- 地质调查法、各种物探方法、超前钻探法的预报结果；
- 导洞地质展视图，比例为 1:100~1:500；
- 导洞预测正洞预报结果，包括导洞预报正洞平面简图，比例为 1:100~1:500；
- 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，横向比例为 1:500~1:5 000，竖向比例为 1:200~1:5 000。

11 复杂地质条件的超前地质预报

11.1 岩溶预报

11.1.1 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。岩溶发育的条件和规律见附录 I。

11.1.2 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、长距离预报指导中短距离预报的方法。

11.1.3 岩溶预报可按下列步骤进行：

- 研究隧址区岩溶发育状况：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，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：

- 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；
 - 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；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；
 - 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；
 - 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；
 - 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；
 - 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；
 - 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；
 - 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；
 - 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。
- 核查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，结合调查和分析的结果，核查设计文件中地质复杂程度分级和超前地质预报方案；
- 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；
- 物探探测：根据地质条件，可采用地震波反射法进行长、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、红外探测进行中长、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；
- 超前地质钻探：根据地质复杂程度分级、隧道内地质素描、物探异常带进行超前地质钻探预报和验证，对富水岩溶发育地段，超前地质钻探应连续重叠式进行。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；
- 加深炮孔探测：岩溶发育区可进行加深炮孔探测；
- 根据地质条件和各种预报手段的优缺点灵活运用各种预报手段的组合，进行地质综合判析，提交地质综合分析成果报告。

11.2 断层预报

11.2.1 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、规模、物质组成等，并分析其对隧道的危害程度。

11.2.2 断层预报应以地质调查法为基础，以地震波反射法探测为主，必要时采用红外探测、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。

11.2.3 当隧道施工接近规模较大的断层时，多具有前兆（见附录D），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。

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

11.2.5 当断层为面状结构面时，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。

11.2.6 断层预报可按下列步骤进行：

- 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；
- 采用地震波反射法确定断层在隧道内的大致位置和宽度；
- 必要时采用红外探测、高分辨直流电法探测断层带地下水的发育情况；
- 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；
- 采用隧道内地质素描、断层趋势分析等手段预报断层的分布位置；
- 地质综合判析，提交地质综合分析成果报告。

11.3 涌水突泥预报

11.3.1 隧道涌水、突泥易发生于充水溶洞（洞穴、溶管、地下暗河等）、富水节理密集发育破碎岩体地段（构造破碎带）、导水断层破碎带、充水废弃矿巷、富水地层。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，其中涉及岩溶和断层的探测要求参见11.1和11.2，隧道涌水突泥危害程度评价宜根据隧道围岩块域、断面、段落的勘察情况分层次综合判定。

11.3.2 隧道涌突水预报宜采用的技术方法：地质调查法、瞬变电磁法、地质雷达法、地震波反射法、红外探测法、超前地质钻探法。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。

11.3.3 涌水、突泥预报可按下列步骤进行：

- 地表地质调查分析和洞地质素描法按断层破碎带、岩溶的调查分析和预测方法进行涌水突泥分析，并进行临近前兆预报；
- 宜选择地震波法或瞬变电磁法进行长距离循环预报，两次预报的重叠段宜不小于有效预报长度的1/3；中长距离预报应探明涌水突泥位置、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。
- 探地雷达或电法应与中长距离预报同时启动，两次预报的重叠洞段宜不小于有效预报长度的1/3；探地雷达应探明规模小的含水裂隙、管道，还应追踪中长距离预报发现的异常体；探地雷达或电法预报应在接近含水构造或异常5m~10m位置探测含水构造或异常边缘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。
- 超前钻探应在探地雷达或电法预报建议的桩号位置进行超前钻，超前孔应探明含水水体规模、充填物及富水情况。

11.3.4 在可能发生涌水、突泥的地段应进行超前钻探，且超前钻探应设有防突装置。

11.3.5 斜井工区、隧道反坡施工地段处于富水区时，超前钻探作业时应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。

11.4 煤层瓦斯预报

11.4.1 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，分析判断煤的自然及煤尘爆炸性、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。

11.4.2 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。

11.4.3 煤层瓦斯预报可按下列步骤进行：

- 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、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；
- 采用物探法确定煤层在隧道内的大致位置和厚度；
- 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；
- 接近煤层前，应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：
 - 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；
 - 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；
 - 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；
 - 掌握并收集钻孔过程中的瓦斯动力现象。
- 揭煤前应进行瓦斯突出危险性预测，并应符合下列规定：
 - 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 ≥ 3 m处的开挖工作面进行突出危险性预测；
 - 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；
 - 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；
 - 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。
- 综合分析，提交地质综合分析成果报告。

11.4.4 煤层瓦斯超前钻孔应符合下列规定：

- 每个钻孔均应穿透煤层并进入顶（底）板 ≥ 0.5 m；
- 正式探测孔应取完整的岩（煤）芯，进入煤层后宜用干钻取样；
- 各钻孔直径宜 ≥ 76 mm；
- 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。

11.4.5 煤层瓦斯预报的工作安全要求包括：

- 开挖工作面出现附录 D 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。
- 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。

11.5 有害气体灾害预报

11.5.1 对隧道洞内瓦斯、硫化氢等有害气体的预报，可选用产气地层位置、废弃煤矿巷分布位置预测预报和浓度监测来进行，地层位置及废弃煤矿巷分布位置预报可采用任何一种隧道超前地质预报方法进行。

11.5.2 有害气体浓度监测应在煤层等产生有害气体的地层分布位置以及产生有害气体地层两侧一定距离范围内进行。

11.6 其它

11.6.1 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。

11.6.2 隧道施工应减少或避免塌方的发生，塌方可能前兆见附录 D。

附 录 A
(资料性)
隧道地质灾害分级

隧道地质灾害分级见表A. 1。

图A. 1 隧道地质灾害分级

隧道地质灾害分级		A	B	C	D
		严重	较严重	一般	轻微
地质复杂程度		复杂	较复杂	中等复杂	简单
地质复杂程度 (含物探异常)	岩溶发育程度	极强、厚层块状质纯灰岩，大型溶洞、暗河发育，岩溶密度每平方公里>15个，最大泉流量>50L/s，钻孔岩溶率>10%	强烈、中厚层灰岩夹白云岩，地表溶洞落水洞密集，地下以管道水为主，岩溶密度每平方公里5~15个，最大泉流量10 L/s~50 L/s，钻孔岩溶率5%~10%	中等，中薄层灰岩，地表出现溶洞，岩溶密度每平方公里1~5个，最大泉流量5 L/s~10 L/s，钻孔岩溶率2%~5%	微弱，不纯灰岩与碎屑岩互层，地表地下以溶隙为主，最大泉流量<5 L/s，钻孔岩溶率<2%
	涌水涌泥程度	特大型涌突水（涌水量>100 000 m ³ /d）、大型涌突水（涌水量>10 000 m ³ /d ~ 100 000 m ³ /d）、突泥，高水压	中小型突水（涌水量1 000 m ³ /d ~ 10 000 m ³ /d）、突泥	小型涌水（涌水量100 m ³ /d ~ 1 000 m ³ /d）、涌泥	涌水量<100 m ³ /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，严重岩爆（拉森斯判据<0.083，即岩石点荷载强度与围岩最大切向应力的比值），大变形	高应力，中等岩爆（拉森斯判据0.083~0.15），中~弱变形	弱岩爆（拉森斯判据0.15~0.20），轻微变形	无岩爆（拉森斯判据>0.20），无变形
	瓦斯影响程度	瓦斯突出：瓦斯压力P≥0.74 MPa，瓦斯放散初速度ΔP≥10，煤的坚固性系数f≤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≥0.5 m ³ /min	低瓦斯：全工区的瓦斯涌出量<0.5 m ³ /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

附 录 B
(资料性)

各种隧道超前地质预报方法工作应用情况对比

各种隧道超前地质预报方法工作应用情况对比见表B. 1。

表B. 1 各种隧道超前地质预报方法工作应用情况对比

预报方法		适用性	预报距离	费用	对隧道施工的影响	受场地条件的限制
地质调查		所有不良地质预报	短 (≤6 m)	低	开挖工作面地质素描需暂停相应工作面施工	无
物探	地震波反射法	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	长 (100 m~150 m)	较高	激振炮孔和接收钻孔会干扰部分施工；爆破激发和接收需暂停相应工作面施工约2 h	现场钻凿地震波接收孔至隧道开挖工作面间需清场并停止洞内爆破施工作业
	地质雷达法	主要适用于岩溶探测，亦可用于断层破碎带、软弱夹层等不均匀地质体的探测	短 (≤30 m)	适中	现场测点布置和测试需要暂停掌子面附近施工约30 min	测线附近不应有管线、大型钢构、强电磁干扰设备等物体
	瞬变电磁法	对岩溶水、溶洞的探测较为准确	中 (60 m~80 m)	适中	现场测点布置和测试需要暂停掌子面附近施工约60 min	探测时应采取措施避免金属支护结构等低阻体、发射线圈和接收线圈的互感效应对探测结果的影响
	高分辨率直流电法	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	中 (≤80 m)	适中	现场电极布置和测试需要暂停掌子面附近施工约60 min	测线附近不应有管线、大型钢构、强电磁干扰设备等物体
	红外探测法	适用于定性判断探测点前方有无水体存在	短 (≤30 m)	适中	需停止热量干扰源的辐射作用，如关掉工作设备、照明设备等；现场测试时间约30 min	受隧道洞内空气温度影响明显，现场确保没有其它热量辐射源
超前地质钻探		所有不良地质预报	视钻探深度而定	高	占用隧道开挖工作面施工时间长	隧道开挖工作面较小，钻探范围有限
超前导坑		所有不良地质预报	视导洞长度而定	最高	超前导坑有临时支护的，扩挖时需去掉临时支护；超前平行导洞、先行施工隧道，对隧道和后施工隧道无影响	无

附 录 C

(资料性)

预报实施安全防护规定

C.1 预报准备工作期间的安全防护规定

- C.1.1 超前地质预报工作人员应认真学习、执行隧道施工安全规程，超前钻探人员还应认真学习、执行钻探安全技术操作规程。新参加人员（含临时工）上岗前，应经过安全生产教育，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。
- C.1.2 隧道超前地质预报实施过程中应积极识别各种安全隐患，保障人员和机械设备的安全。
- C.1.3 进入隧道工作应穿戴合体的工作服（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。
- C.1.4 严禁上班前和工作中饮酒。
- C.1.5 地质预报工作应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。
- C.1.6 高处作业时作业台架应安设牢固，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应上架作业。
- C.1.7 当隧道岩体中含有煤层瓦斯、石油天然气等易燃易爆物时，应严格执行国家现行有关规定。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范围内瓦斯浓度应 $\leq 1\%$ 。超前钻探应采用水循环钻或湿式钻孔，严禁携带火源进洞。

C.2 预报实施过程中的安全防护规定

- C.2.1 地震波反射法超前地质预报现场采集数据使用的炸药和雷管应由持有爆破证的专人领用，爆破作业应由专业爆破工操作。非专业人员严禁从事爆破作业。
- C.2.2 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。
- C.2.3 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。
- C.2.4 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，且孔口管应安设牢固，防止水压将孔口管冲出伤人。

附录 D

(资料性)

隧道内不良地质体可能前兆

D.1 溶洞水体、断层破碎带、塌方可能前兆

D.1.1 临近溶洞水体或暗河的可能前兆主要有：

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

D.1.2 临近断层破碎带的可能前兆主要有：

- 节理组数急剧增加；
- 岩层牵引褶曲的出现；
- 岩石强度的明显降低；
- 压碎岩、碎裂岩、断层角砾岩等的出现；
- 临近富水断层前断层下盘泥岩、页岩等隔水岩层明显湿化、软化，或出现淋水和其他涌突水现象。

D.1.3 塌方的可能前兆主要有：

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

D.2 人为坑洞积水、煤与瓦斯突出的可能前兆

D.2.1 临近人为坑洞积水的可能前兆主要有：

- 岩层明显湿化、软化，或出现淋水；
- 岩层裂隙有涌水；
- 开挖工作面空气变冷或发生雾气；
- 有嘶嘶的水声；
- 临近煤层老窑积水的前兆是岩层中出现暗红色水锈或渗水中挂红。

D.2.2 煤与瓦斯突出的可能前兆主要有：

- 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、掉砧、支护严重变形；
- 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；
- 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；
- 钻孔时有顶钻、夹钻、顶水、喷孔；
- 工作面发出瓦斯强涌出的嘶嘶声，同时带有粉尘；

——工作面有移动感。

附录 E
(资料性)
公路隧道围岩分级

E.1 分级方法

- E.1.1 隧道围岩分级的综合评判方法应采用两步分级，并按以下顺序进行：
- 根据岩石坚硬程度和岩体完整程度两个基本因素的定性特征和定量的岩体基本质量指标 BQ，综合进行初步分级；
 - 对围岩进行详细定级时，应在岩体基本质量分级基础上考虑修正因素的影响，修正岩体基本质量指标值；
 - 按修正后的岩体基本质量指标[BQ]，结合岩体的定性特征综合评判，确定围岩的详细分级。

E.2 分级指标确定方法

E.2.1 围岩分级中岩石坚硬程度、岩体完整程度两个基本因素的定性指标及其对应关系应符合下列规定：

- 岩石坚硬程度可按表 E.1 定性划分；
- 岩石坚硬程度定量指标即 Rc 按式 E.1 计算：

$$R_c = 22.82 I_{S(50)}^{0.75} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：
Rc——岩石单轴饱和抗压强度；
I_{S(50)} ——实测的岩石点荷载强度指数。

E.2.2 岩石坚硬程度的定性划分见表E.1。

表E.1 岩石坚硬程度的定性划分

名称		定性鉴定	代表性岩石
硬质岩	坚硬岩	锤击声音清脆，有弹性、震手、难击碎，浸水后大多无吸水反应	未风化的花岗岩、正长岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英片岩、硅质板岩、石英岩、硅质胶结的砾岩、石英砂岩、硅质石灰岩等
	较坚硬岩	锤击声音清脆，有轻微回弹、稍震手、较难击碎，浸水后有轻微吸水反应	弱风化的坚硬岩；未风化～轻微风化的熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、石灰岩、钙质胶结的砂页岩等
软质岩	较软岩	锤击声音不清脆，无回弹、较易击碎，浸水后指甲可刻出印痕	强风化的坚硬岩；弱风化的较坚硬岩；未风化～微风化的凝灰岩、千枚岩、砂质砾岩、泥质砂岩、粉砂岩、页岩等
	软岩	锤击声哑，无回弹、易击碎，浸水后可掰开	强风化的坚硬岩；弱风化的较坚硬岩；弱风化的较软岩；未风化的泥岩等
	极软岩	锤击声哑，无回弹、有较深凹痕，浸水后可捏成团	全风化的各种岩石；各种半成岩

E.2.3 Rc与岩石坚硬程度的定性划分的关系见表E.2。

表E. 2 Rc 与岩石坚硬程度的定性划分的关系

Rc (MPa)	>60	60~30	30~15	15~5	<5
坚硬程度	坚硬岩	较坚硬岩	较软岩	软岩	极软岩

E. 2. 4 可根据调查勘探、试验等资料，岩石隧道的围岩定性特征，围岩的基本质量指标BQ，或者修正的围岩质量指标[BQ]值，土体隧道中的土体类型、密实状态，按表E. 3确定围岩级别。

表E. 3 公路隧道围岩分级

围岩级别	岩体特征	围岩基本质量指标BQ或修正的围岩基本质量指标[BQ]
I	坚硬岩，岩体完整，巨整体状或巨厚层状结构	>550
II	坚硬岩，岩体较完整，块状或厚层状结构；较坚硬岩，岩体完整，块状整体结构	550~451
III	坚硬岩，岩体较破碎，巨块（石）或碎（石）状镶嵌结构；较坚硬岩或较软岩，岩体较完整，块状体或中厚层结构	450~351
IV	坚硬岩，岩体较破碎~碎裂，镶嵌碎裂结构；较软岩或软硬岩互层，且以软岩为主，岩体较完整~较破碎，中薄层状结构	350~251
	土体：压密或成岩作用的黏性土或砂性土；黄土；一般钙质、铁质胶结的碎石土、卵石土、大块石土	—
V	较软岩，岩体破碎；软岩，岩体较破碎~破碎；极破碎各类岩体，碎、裂状，松散结构	≤250
	第四系的半干硬至硬塑的黏性土及稍湿的碎石土、卵石土、圆砾、角砾土及黄土（Q3、Q4）；非黏性土呈松散结构，黏性土及黄土呈松软结构	—
VI	软塑状黏性土及潮湿、饱和粉细砂层、软土等	—
注：本表不适用于特殊条件的围岩分级，如膨胀性围岩、多年冻土等。		

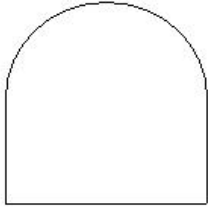
附 录 F
(资料性)

隧道开挖工作面地质编录及地质展视图

F.1 隧道开挖工作面地质编录见表 F.1。

表F.1 开挖工作面地质编录记录表

隧道名称： 编录里程： 表格编号：

编号	编录项目	状态描述						
	开挖面尺寸	开挖宽度 (m)		开挖高度 (m)		开挖面积 (m ²)	开挖方式	其它
	开挖面状态	稳定		正面掉块		正面挤压	正面不能 自稳	其它
	毛开挖面状态	自稳		随时松弛、掉块		自稳困难要及时支护	要超前支护	其它
	地层岩性							
	风化程度	微风化		弱风化		强风化	全风化	其它
	节理(裂隙) 密度(条/米)	1~2		2~3		3~5	>5	其它
	节理(裂隙) 张开度(mm)	<1		1~3		3~5	>5	其它
	节理(裂隙) 状态	紧闭		微张		张开	宽张	充填物： 无充填 泥质岩屑 钙(硅)质
	结构体形态	随机、方形		柱状		层状、片理	土砂状、细片状	其它
	涌水状态	无水		渗水		整体湿润	涌出或喷出	特别大
	洞内(已支护段)外观 察情况							
	开挖工作面地质素描图 及地质简要描述	开挖工作面地质素描图  地质简要描述						

填表： 审核： 日期： 年 月 日

F.2 隧道地质展视图见表 F.2。

表F.2 隧道地质展视图

隧道方位：比例尺：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
(资料性)
地震波法实施方法

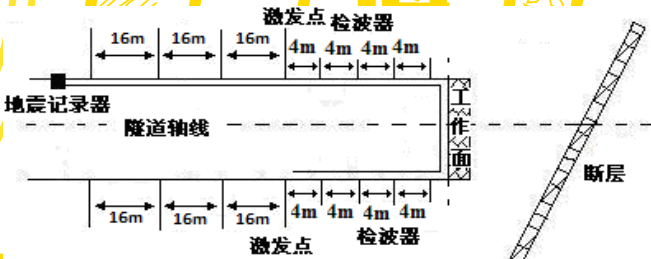
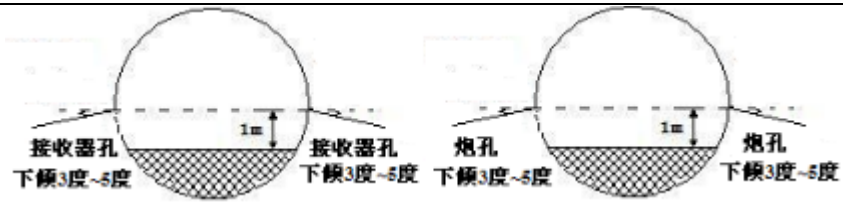
G.1 地震波法观测系统设计

G.1.1 地震波法观测系统设计应符合以下要求：

- 满足掌子面前方围岩波速分析和预报误差 $<10\%$ 的要求，观测系统垂直隧道轴向的横向最大偏移距应大于预报长度的 $1/10$ ；
- 满足三维波场分离和有效滤除侧向回波要求，隧道内地震观测系统的纵向排列长度应 >2 个波长，即 $>40\text{ m}$ ，检波器间距应 $<1/4$ 波长，即 $<5\text{ m}$ ；
- 减少隧道表面面波的干扰，检波器和震源应埋入围岩中，深度约 2 m ；
- 观测方式布置成二维阵列方式，检波器和炮点布置在一个平面内，纵向长 $40\text{ m}\sim 60\text{ m}$ ，横向宽 $15\text{ m}\sim 20\text{ m}$ ，分布成阵列，具有不同的横向偏移距；具体布置见表 G.1。

G.1.2 地震波法观测系统设计见表 G.1。

表 G.1 地震波法观测系统设计

项目	接收器（检波器）孔	炮孔（激发点）
数量	8个，位于隧道左右边墙（各4个），位置对称	8个，位于隧道左右边墙（各4个），位置对称
间距	4 m	16 m
直径	$\Phi 60\text{ mm}$	$\Phi 60\text{ mm}$
深度	2 m	2 m
定向	垂直隧道轴向，下倾 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$	垂直隧道轴向，下倾 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$
高度	距地面（隧底）高1 m	距地面（隧底）高1 m
位置	第一个检波器距开挖工作面约1 m (距离越近越好)	第一个炮孔距同侧接收器孔4 m
观测系统示意图		
		

G.2 地震波法数据采集和处理

地震波法现场数据采集应符合以下要求：

——检波器安装：

- 在隧道侧壁围岩内按设计选定检波器安装位置和炮点位置，距地面高度1 m，间距4 m，统一做好定位；
- 使用直径6 cm的钻杆，以下倾 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 的角度钻进深度2 m；
- 准备好炮泥，做成直径5 cm，长20 cm~30 cm的柱体，用送料杆，送入钻孔底部，并砸实；
- 用检波器专用安装杆将检波器送入钻孔底部炮泥中，轻微用力压入泥中10 cm，将安装杆方向指示一侧对准掌子面一侧，保证检波器正向朝前；
- 退出安装杆，并将钻孔口用6 cm直径的炮泥柱封好，隔绝声波干扰，完成安装。

——炮点安装：

- 在隧道侧壁围岩内按设计选定炮点位置，距地面高度1 m，间距16 m，统一做好定位；
- 使用直径6 cm的钻杆，以下倾 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 的角度钻进深度2 m；
- 准备好一管炸药，约500 g，将电雷管埋入炸药中，将引爆线接长度加长到3 m将单根导线绑在炸药柱上做触发线，两端长度超过3 m，保证爆炸线和触发线都能露出钻孔外1 m；
- 用送料杆将准备好的炸药缓慢推到钻孔底部，轻微用力压实，切勿用力过猛损坏炸药外包装；
- 准备好炮泥，做成直径6 cm、长30 cm~40 cm的柱体，用送料杆送入炸药顶部，轻微用力压实，并确保砸实。

——现场测量与记录：

- 逐孔测量孔口坐标，里程和相对高程，坐标测量在钻孔成型和检波器、炸药安装之前进行。要求测量精度达到10 cm；
- 测量钻孔深度，由此换算出孔底坐标；
- 对测量坐标数据做好记录，进行桩号统一编排，将桩号与坐标对应制表，并用图示标明炮点与检波器编号与位置。

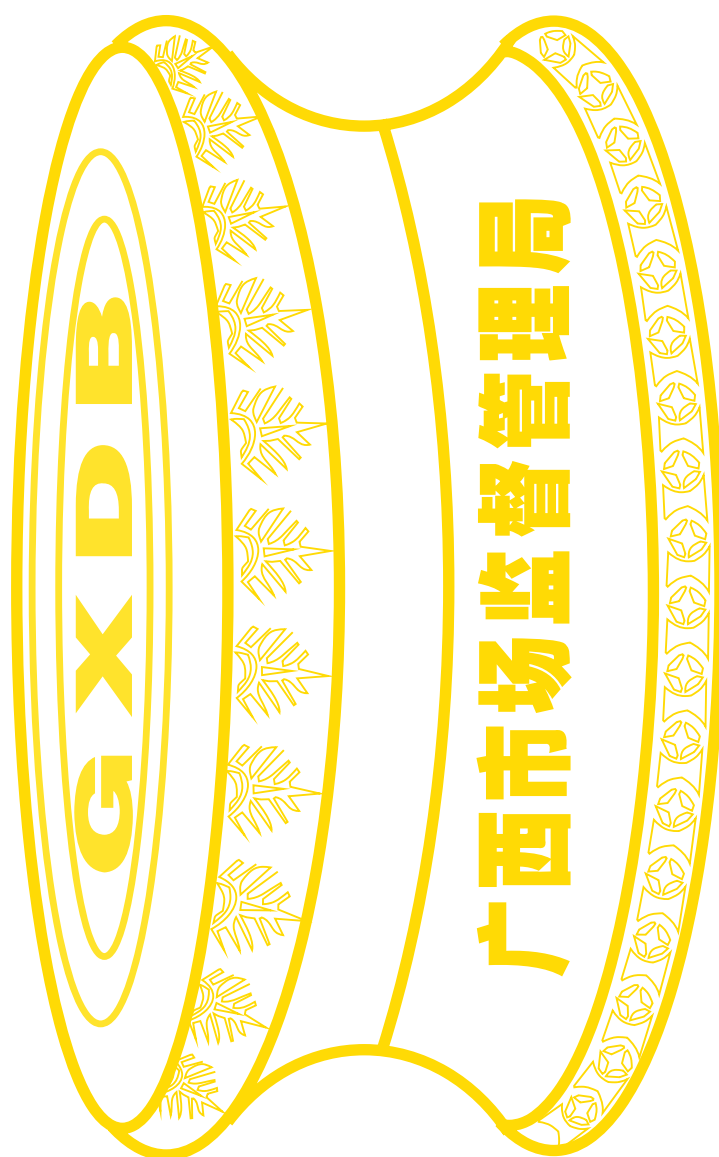
——爆炸线与触发线的连接：

- 选定质量良好的触发连线150 m、爆炸线150 m，要求线体防磨、防水、抗拉，并用电表检测导电良好；尽量选用直通线，不要接头；
- 双芯触发线一端与炸药外绑的导线相连，另一端与地震仪触发接头相连；
- 双芯爆炸线一端与电雷管引线相连，另一端与爆炸线相连。

——数据资料处理：

- 地震资料预处理：从原始地震记录中提取出地震记录，进行滤波、切除噪声、剔除坏道等预备处理；
- 观测几何坐标系编辑：输入桩号与坐标、排列中炮点桩号、检波器桩号等数据，将炮点与检波点的几何坐标赋予每条地震射线，为波场分离、速度扫描和偏移成像做好准备；
- 波场分离：通过方向滤波技术将上下、左右方向回波及面波滤除，仅保留前方回波，再进行纵横波分离，将隧道轴向分量取为纵波，两横向分量矢量合成取为横波；
- 围岩波速扫描：用于确定掌子面前方地质体的波速分布。通过选定速度范围和速度扫描增量，由计算机自动扫描完成预报区的速度分析。先进行整体区域的速度扫描，再分区进行速度调整，在取得总体最优的条件下确定速度分布；

- 偏移成像：在完成波场分离和速度扫描处理的基础上，利用前方回波数据和速度结果资料进行偏移成像，得到反映地质构造特征的地震偏移图像；
- 地质解释：利用波速图像和地质构造偏移图像，结合地质调查资料进行综合分析，进行超前地质预报，预报岩性界面的准确位置、两侧围岩的工程类比的变化、断裂的位置。



附录 H
(资料性)
钻孔柱状图

钻孔柱状图见表H. 1。

表H. 1 钻孔柱状图

开孔时间： 终孔时间：				孔口里程：		孔口位置：		立角： 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 ³ /h)	孔径 (mm)	备注

完成单位名称： 编写： 复核： 日期：

附 录 I
(资料性)
岩溶发育条件和发育规律

1.1 岩溶发育条件

1.1.1 岩溶发育的条件:

- 具有可溶性岩层;
- 具有溶解能力(含 CO_2)和足够流量的水;
- 地表水有下渗和地下水有流动的途径。

1.1.2 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:

- 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;
- 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;
- 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;
- 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。

1.1.3 岩溶与新构造运动的关系:

- 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;
- 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;
- 地壳相对稳定的地区,岩溶以水平发育为主。

1.1.4 岩溶与地形的关系:

- 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;
- 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。

1.1.5 地表水体与岩层产状的关系对岩溶发育的影响:

- 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;
- 层面顺向水体时,岩溶不易发育。

1.1.6 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。

1.2 岩溶发育规律

1.2.1 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。

1.2.2 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。

1.2.3 易发育岩溶的地段主要包括：

- 质纯层厚的可溶岩地段；
- 可溶岩与非可溶岩的接触带；
- 陡倾角可溶岩地段；
- 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；
- 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；
- 地表岩溶发育地段的地下相应地段；
- 地面塌陷、地表水消失的地下相应地段；
- 地下水活动强烈的地段。

注：以上因素叠加时更利于岩溶发育。

1.2.4 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，并应注意下列特点：

- 储存空间主要为溶蚀成因的管道，连续而不规则；
- 常沿某些岩层或构造结构面发育，管网呈树枝状；
- 从上游到下游，管道流量多逐段增长，但各段流速有快有慢；
- 暗河管道中的水力坡度常变化比较大；
- 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；
- 水化学成分较简单，矿化程度不高，易受污染；
- 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；
- 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；
- 涌水量变化特征：
 - 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；
 - 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、稳定的循环往复过程；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。
- 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，具有突发和阵发特性等特点。

参 考 文 献

- [1] JTG 3370.1—2018 公路隧道设计规范（第一册 土建工程）
- [2] JTG C20—2011 公路工程地质勘察规范
- [3] JTG/T 3222—2020 公路工程物探规程
- [4] JTG/T 3660—2020 公路隧道施工技术规范
- [5] Q/CR 9217—2015 铁路隧道超前地质预报技术规程
- [6] T/CECS 616—2019 隧道施工超前地质预报技术规程
- [7] DBJ/T45-002—2011 广西壮族自治区岩土工程勘察规范
- [8] 交通运输部公路局. 高速公路施工标准化技术指南（第5分册）：隧道工程[M]. 北京：人民交通出版社, 2012
- [9] 刘志刚, 赵勇. 隧道隧洞施工地质技术[M]. 北京：中国铁道出版社, 2001
- [10] 李术才, 刘斌, 孙怀凤, 等. 隧道施工超前地质预报研究现状与发展趋势[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(6): 1090-1113
- [11] 黄世武. 隧道突涌灾害形态分析法[M]. 北京：科学出版社, 2018

中华人民共和国广西地方标准
公路隧道超前地质预报技术规程

DB 45/T 2525—2022

广西壮族自治区市场监督管理局统一印刷

版权专有 侵权必究