



T/CECS G XXXX: 20XX

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路越岭隧道水文地质勘察规程

Specification for hydrogeological investigation of highway
crossing-mountain tunnel
(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

公路越岭隧道水文地质勘察规程

Specification for hydrogeological investigation of highway
crossing-mountain tunnel

T/CECS G: xxx—202X

主编单位：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2019 年第一批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2019]12 号）的要求，由广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司承担《公路越岭隧道水文地质勘察规程》（以下简称“本规程”）的制订工作。

本规程是在广泛调研国内公路越岭隧道水文地质勘察技术领域所取得的研究成果、水文地质勘察经验的基础上，通过理论研究、分析、工程实践，编制而成。

本规程共分为 9 章、5 个附录，主要内容包括：1 总则、2 术语和符号、3 基本规定、4 水文地质勘察的基本方法、5 水文地质参数计算、6 水文地质评价、7 水文地质勘察资料、8 各阶段勘察、9 不良水文地质路段水文地质勘察，附录 A 观测点、调绘点（地质、地貌、水文地质点）的记录要求、附录 B 水文地质勘察中物探方法的应用、附录 C 钻孔注水试验形状系数 A 的取值规定、附录 D 地表水环境标准、附录 E 预测隧道涌水量的方法。

本规程基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司负责具体技术内容的解释。

在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司（联系人：张修杰；地址：广东省广州市天河区兴华路 22 号；联系电话：13503048901；电子邮箱：435762660@qq.com），以便修订时研用。

主编单位：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

参编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

中交第一公路勘察设计研究院有限公司

广东省工程勘察院

贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司

湖北省交通规划设计院股份有限公司

四川省公路规划勘察设计院有限公司

主 编：张修杰

主要参编人员：张金平、李水清、程小勇、李红中、林少忠、苏绍锋、关宏伟、陈银生、闫海涛、刘运平、邢军、魏国灵、王松、张位华、高杨、王云安、於开炳、余建华、金鋆

主 审：林 琛

参与审查人员：李春风、余波、陈林、肖西卫、徐春明、袁永新、黄俊、邢玉东

征求意见稿

目 录

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 水文地质勘察的基本方法.....	8
4.1 一般规定	8
4.2 水文地质调绘	8
4.3 水文地质遥感技术	10
4.4 水文地质物探	11
4.5 水文地质钻探	12
4.6 水文地质试验	16
4.7 地下水观测	25
4.8 环境水文地质调查	29
5 水文地质参数计算.....	31
5.1 一般规定	31
5.2 渗透系数	31
5.3 给水度和释水系数	37
5.4 影响半径和引用补给半径	38
5.5 降水入渗系数	39
6 水文地质评价.....	41
6.1 一般规定	41
6.2 涌水量评价	41
6.3 涌水量预测估算	41
6.4 地下水对隧道工程影响评价	42
6.5 水质评价	43
7 水文地质勘察资料.....	44
7.1 一般规定	44
7.2 水文地质勘察报告	44
7.3 水文地质图表	45
8 各阶段勘察	48

8.1 一般规定	48
8.2 可行性研究阶段水文地质勘察.....	48
8.3 初步勘察	49
8.4 详细勘察	50
9 不良水文地质路段水文地质勘察.....	52
9.1 岩溶区公路越岭隧道水文地质勘察.....	52
9.2 穿越断层破碎带（富水带）区水文地质勘察.....	54
9.3 下穿河流、水库等地表水体区公路越岭隧道水文地质勘察.....	57
9.4 冰积区公路越岭隧道水文地质勘察.....	60
9.5 黄土区公路越岭隧道水文地质勘察.....	63
附录 A 观测点、调绘点（地质、地貌、水文地质点）的记录要求	66
附录 B 水文地质勘察中物探方法的应用	69
附录 C 钻孔注水试验形状系数 A 的取值规定.....	72
附录 D 地表水环境标准.....	73
附录 E 预测隧道涌水量的方法.....	74
E.1 简易水均衡法.....	74
E.2 地下水动力学法	75
E.3 其他方法.....	76
E.4 隧道涌水影响宽度（B）确定	78
本规范用词说明	79
条文说明	79

1 总则

1.0.1 为贯彻执行国家有关技术经济政策，规范公路越岭隧道水文地质勘察，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于各级新建和改扩建公路越岭隧道的水文地质勘察。

1.0.3 越岭隧道的水文地质勘察必须根据公路基本建设程序各阶段要求的深度开展工作，结合现场地形地质条件、工程结构设置以及不同勘察手段的特性等，统筹考虑、综合确定勘察方法及勘察工作量。

1.0.4 越岭隧道的水文地质勘察应按工程地质调绘、勘探测试、地质资料综合分析 & 报告编制的程序开展工作，正确反映工程建设场地的水文地质条件，为公路工程建设提供资料完整、评价正确的水文地质勘察报告。

1.0.5 越岭隧道的水文地质勘察应贯彻国家有关技术经济政策，积极稳妥地采用新技术、新材料、新设备、新工艺。

1.0.6 公路越岭隧道水文地质勘察除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

本章对规范中用到的名词、符号进行汇总说明，方便理解、使用和查阅。

2.1 术语

对规范中所涉及的专业术语进行汇总说明，同时还分别给出相应的推荐性英文术语，方便理解。拟对以下术语进行解释说明：

2.1.1 越岭隧道 crossing mountain tunnel

指贯穿山岭或丘陵的隧道，是相对于城市隧道和水下隧道，表示修建场所不同的名称。

2.1.2 水文地质勘察 hydrogeological investigation

查明与建设工程有关地区或场地的水文地质条件，并进行水文地质条件评价的全过程。主要包括水文地质调绘、物探、勘探、试验、地下水动态观测、参数计算、资料分析和整理等室内外水文地质工作。

2.1.3 水文地质条件 hydrogeological condition

地下水埋藏、分布、补给、排泄、径流以及水质和水量及其形成的地质条件总称。

2.1.4 专项水文地质勘察 applied hydrogeological investigation

地面有环境水及不良水文地质条件时，为某项具体工程建设项目的的设计提供所需的水文地质资料的勘察。

2.1.5 水文地质调绘 hydrogeological mapping

采用资料搜集、遥感解译、调查访问等手段，对工程场地地形地貌、地层岩性、地质构造地下水露头及与地下水有关的各种地质现象所进行的调查、测绘、观测和填图工作。

2.1.6 水文地质勘探孔 hydrogeological exploration borehole

为查明水文地质条件，按水文地质钻探要求施工的钻孔。

2.1.7 水文地质试验 hydrogeological test

为定量评价水文地质条件和取得含水层参数而进行的各种测量和试验工作。

2.1.8 稳定流抽水试验 steady flow pumping test

在抽水过程中流量和水位同时相对稳定，并有一定延续时间的试验。

2.1.9 非稳定流抽水试验 unsteady flow pumping test

在抽水钻孔中仅保持抽水量稳定，或保持水位稳定，观测含水层中地下水位和抽水量变化的抽水试验。

2.1.10 水文地质参数 hydrogeological parameters

表征地层水文地质特征的数量指标，包括渗透系数、导水系数、释水系数、给水度、越流系数等。

2.1.11 给水度 specific yield

饱和岩土在重力等作用下释出的水的体积与岩土体积之比。

2.1.12 水力梯度 hydraulic gradient

地下水沿渗流方向单位路程的水头降低值。

2.1.13 释水系数 storage coefficient

水头（水位）下降（或上升）一个单位时，从单位面积含水层全部厚度的柱体中，所释放出（或贮存）的水量。

2.1.14 引用补给半径 recharge radius

按照裘布依公式假设条件而计算的补给半径，是表示进行抽水试验时钻孔补给条件的参数。

2.1.15 综合水文地质图 synthetic hydrogeological map

根据水文地质勘察资料编制的能反映工作区水文地质条件，地下水类型和主要含水层特征，地下水的水质、水量特征，地下水运动特征，代表性水点等内容的水文地质图件。

2.1.16 涌水 water bursting

工程施工中，在一定水压力作用下，沿透水岩体（带）以及无（少）泥沙充填的洞穴，突然发生大量出水的现象。

2.1.17 突泥 mud bursting

工程施工中，在一定水压力作用下，沿松散（软）岩带或充填性穴洞，突然大量涌出水、泥、沙等现象。

2.1.18 最大涌水量 maximum water yield

隧道在含水体中出现的日最大出水量。

2.1.19 正常涌水量 normal water yield

隧道的涌水达到相对稳定时的水量。

2.1.20 同位素示踪测井 radioactive tracer logging

利用人工放射性同位素 ^{131}I 、 ^{82}Br 等标记天然流场或人工流场中钻孔内的地下水流，采用示踪或稀释原理测定含水层某些水文地质参数的方法。

2.2 符号

B——隧道通过含水体地段涌水时对两侧的影响宽度；

E——某流域的年蒸发蒸散量；

H——自然情况下潜水含水层的厚度；

h——潜水含水层在自然情况下和抽水试验时的厚度的平均值；

I——地下水水力梯度；

K——含水层或含水体的渗透系数；

M——承压含水层的厚度；

P——压水试验试段压力；

Q_0 ——隧道最大涌水量；

Q_s ——隧道正常涌水量；

q_0 ——隧道单位长度最大涌水量；

q_s ——隧道单位长度正常涌水量；

R——影响半径；

R_y ——引用补给半径；

S——承压水释水系数；

W——年降水量；

μ ——潜水含水层给水度。

3 基本规定

3.0.1 越岭隧道水文地质勘察宜结合工程地质勘察进行。水文地质条件复杂时应进行专门水文地质勘察。当施工过程中水文地质条件明显变化并引起相应工程设计方案重大调整及工程运行期间出现严重水文地质问题时，也可根据需要，进行专门水文地质勘察；专门水文地质勘察工作的勘察阶段，应与公路工程地质勘察规范的规定一致。

3.0.2 工作开始前，应明确勘察任务和要求，收集资料并分析，进行现场踏勘，编写勘察纲要；工作结束后，应编写水文地质勘察报告或成果说明。

条文说明：收集资料，包括水文、气象资料，地形、地质、水文地质、地下水动态资料以及工程建设和生态环境资料等。

3.0.3 新建越岭隧道水文地质勘察应按预可、工可、初勘、详勘开展工作，并与预可行性研究、可行性研究、初步设计、施工图四个设计阶段相适应。施工、运营阶段应根据需要开展水文地质勘察工作。

3.0.5 水文地质勘察的内容和工作量，应根据工程规模、水文地质条件的复杂程度、勘察阶段和已有工作的深度，综合考虑确定。

3.0.6 改建越岭隧道水文地质勘察应充分利用既有隧道的水文地质资料，借鉴既有工程的成功经验和教训，参照越岭隧道水文地质勘察的要求进行。勘察中在考虑改建和增建地段工程场地水文地质条件的同时，还应考虑其对既有构筑物的影响。

3.0.7 当隧道改建地段存在地下水病害时，应详细了解既有隧道工程的水文地质条件，施工及运营中曾发生过的与地下水有关的病害范围、严重程度及涌水量，采用的整治措施及效果，目前仍然存在的渗漏水地段的分布、状态、地下水类型、水量变化情况。并采用类比法，预测增建二线并行地段的隧道涌水量，提出增建二线并行地段隧道设计、施工中应注意的问题。

3.0.8 水文地质勘察勘察大纲应包括下列主要内容：

1 工程概况、勘察目的、任务要求、依据的标准、勘察阶段、水文地质研究程度。

2 地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质概况、不良地质地质、水文地

质条件复杂程度及工作环境。

- 3 勘察工作布置、方法、计划工作量及技术要求。
- 4 隧道重大水文地质问题及针对问题采用的水文地质勘察措施
- 5 勘察工作组织与实施计划。
- 6 质量保证、环境保护、作业安全措施。
- 7 预期提交成果。
- 8 附件（勘察工程布置示意图等）。

3.0.9 含水层类型宜按表 3.0.9 划分。

表 3.0.9 含水层类型划分

划分依据	含水层类型		
埋藏条件	潜水含水层		承压含水层
储存孔隙类型	孔隙含水层	裂隙含水层	岩溶含水层

3.0.10 含水层（带）富水程度宜按表 3.0.10 分区。

表 3.0.10 含水层（带）富水程度分区

分区指标	分区			
	弱富水区	中等富水区	强富水区	极强富水区
钻孔单位出水量 $q[m^3/(h \cdot m)]$	$q < 1$	$1 \leq q < 5$	$5 \leq q < 10$	$q \geq 10$
泉水流量 $Q(L/s)$	$Q < 1$	$1 \leq Q < 10$	$10 \leq Q < 50$	$Q \geq 50$

注：q 为降深 $S=1m$ 、过滤管半径 $r=100mm$ 时的单位时间出水量。

3.0.11 公路隧道水文地质条件复杂程度，根据场地水文地质复杂程度，结合公路隧道与水文地质单元的位置关系可划分为简单、中等、复杂三类。划分原则应符合表 3.0.11 的规定。

表 3.0.11 公路隧道水文地质复杂程度分类

类别	水文地质特征
简单	公路隧道穿越孤立的山丘，地貌形态类型单一，岩层平缓，构造简单，岩相岩性稳定均一，地下水不发育； 公路隧道穿越重丘区、中低山，含水层类型单一，地下水的补给、径流、排泄条件简单；水质类型较单一； 公路隧道下穿河谷平原、山间洼地等，穿越路段隧道埋深大，且位于基岩段，无构造断裂存在。
中等	公路隧道穿越丘陵、中低山区，地貌形态类型多样；基岩褶皱、断裂较发育，构造较复杂，岩相岩性不稳定；含水层类型较复杂，地下水的补给、径流、排泄条件较复杂；水质类型较复杂。 公路隧道下穿河谷平原、山间洼地等，穿越路段隧道埋深较大，且位于基岩段或位于覆盖层较厚的风化岩、弱透水土层中，构造断裂不发育。
复杂	公路隧道穿越丘陵、中低山区，地貌形态类型多样，且成因复杂，基岩褶皱、断裂发育，构造复杂，岩相岩性大量分布，岩相岩性变化大；含水层类型复杂，地下水的补给、径流、排泄条件复杂；水质类型复杂。

类别	水文地质特征
	公路隧道下穿河谷平原、山间洼地等，穿越路段隧道埋深较浅，且第四纪沉积物分布极不均匀，存在强透水砂土层，构造断裂发育。 公路隧道穿越岩溶区、冰积区、黄土区。 公路隧道穿越山体地表分布河流或者水库等地表水体，且可能存在断裂构造等导水、富水通道。 公路隧道穿越区域性断裂带、破碎带（富水带）。

3.0.12 根据隧道不同水文地质复杂程度，有针对性提出勘察规定及勘察方法要求。

1 水文地质条件复杂程度简单、中等，结合工程地质勘察进行，在水文地质重点地段进行少量水文地质试验。

2 水文地质条件复杂程度复杂，可视项目勘察阶段采用调绘、物探及钻探，辅以必要的水文试验，物探宜采用 2 种以上的方法与钻探相互验证、解释予以查明。

4 水文地质勘察的基本方法

4.1 一般规定

4.1.1 越岭隧道水文地质勘察可采用调绘、遥感、物探、钻探、试验、动态观测等手段进行，除应按行业要求分阶段实施外，还应根据水文地质问题，满足相应阶段的设计要求，选择合适的手段。

4.1.2 水文地质勘察宜结合工程地质勘察进行。

4.1.3 水文地质专项报告应真实、准确、完整，并应及时整理、分析，报告及附图应满足相应勘察阶段的要求。

4.2 水文地质调绘

4.2.1 水文地质调绘应与路线及沿线工程结构的设计相结合，为路线方案比选、工程场地选址以及勘探、测试工作量的拟定等提供依据。

4.2.2 水文地质调绘应充分收集和研究勘察区既有的各种地质资料，结合必要的遥感解译及勘探测试手段进行。对控制路线及工程方案或影响工程结构设置的地质界线，应采用追索法、穿越法进行水文地质调绘。

4.2.3 水文地质调绘的内容应根据任务要求、隧道工程建设特点和水文地质条件确定，宜包括地形地貌及第四纪地质调查、地层调查、地质构造调查、隧道周边地表水和地下水露头调查、村庄用水、水质调查、指示植物调查以及与地下水有关的环境地质问题调查等基本内容等。

4.2.4 水文地质调绘的范围应根据隧道工程特点和水文地质条件确定，宜涵盖与隧道工程有关的水文地质单元，一般应外延至拟建洞线两侧各 300~1000m。

4.2.5 水文地质调绘的比例尺，预工可勘察宜为 1:10000~1:50000；初步勘察宜为 1:2000~1:50000；详细勘察宜为 1:2000 或更大。

4.2.6 水文地质调绘的观测路线宜总体沿着隧道轴线，按下列要求布置：

- 1 沿垂直岩层（或岩浆岩体）、主要构造线走向；
- 2 沿地貌变化显著方向，垂直和平行河谷的方向；
- 3 沿河谷、沟谷和地下水露头多的地带；
- 4 含水层埋藏条件复杂时可沿含水层（带）走向。

4.2.7 水文地质调绘的观测点，宜主要布置在下列地点：

- 1 地层界线、断层线、褶皱轴线、典型露头等；
- 2 地貌分界线和自然地质现象发育处；
- 3 井、泉、钻孔、地表塌陷、岩溶水点和地表水体等。

4.2.8 水文地质调绘每平方公里的观测点数和路线长度，可按表 4.2.1 确定。

表 4.2.1 水文地质调绘的观测点数和观测路线长度

调绘比例尺	地质观测点数 (个/km ²)		水文地质观测点数 (个/km ²)
	松散层地区	基岩地区	
1: 50000	0.10~0.30	0.25~0.75	0.10~0.25
1: 10000	0.60~1.80	1.50~3.00	1.00~2.50
1: 2000	1.80~3.60	3.00~8.00	2.50~7.50

4.2.9 水文地质图上的地质界线与实际地质界线的误差在图上的距离不应大于 3mm。对控制路线位置、工程设计方案、工程结构设置的不良地质和特殊性岩土地段，地质点和地质界线应采用仪器测绘。

4.2.10 图上宽度大于 2mm 的地质现象应予以调绘。对公路工程有影响的滑坡、崩塌、断层、软弱夹层等地质现象，在图上的宽度不足 2mm 时，宜采用扩大比例尺表示，并标注其实际数据。

4.2.11 水文地质调绘应提交文字说明、水文地质平面图、水文地质断面图、照片以及相关调查图表等。

4.3 水文地质遥感技术

4.3.1 遥感技术主要是对卫星像片和航空像片进行水文地质解释,以解决某些地质、水文地质、环境地质问题。同时,应充分利用与地表水体有关岩性或构造的航空红外扫描图像。

4.3.2 公路隧道水文地质勘察应充分利用遥感图像解译成果,宏观掌握水文地质条件及其复杂程度,概略划分水文地质单元。

4.3.3 遥感图像的水文地质解译程序包括:准备工作(选择图像片种,建立解译标志,确定调查重点)、初步解译、外业验证调查与复核解译、最终解译与资料整理。

4.3.4 遥感图像水文地质解译内容宜包括:

- 1 地质构造基本轮廓和新构造运动形迹;
- 2 地貌单元,判定其形态及其与地下水分布的关系;
- 3 水系分布形态分类及发育特征,圈定古河道及相对富水地段;
- 4 大型泉水点、泉群、地下水溢出带的位置和范围,地下水富水地段,地貌、岩性、构造与地下水的关系,分析地下水补给、径流、排泄条件;
- 5 地层和岩性分界线、断层与隧道的关系、断层破碎带宽度。

4.3.5 遥感图像水文地质解译应提供解译报告和成果,图件比例应满足相应水文地质图件的编制规定。

4.3.6 遥感影像水文地质填图应进行野外验证。

4.3.7 遥感成果应编制成水文地质图。遥感地质图与其他地形、地质、水文地质、物探资料相互整合,提取各种地质及水文地质要素,叠加套绘成水文地质图。

4.4 水文地质物探

4.4.1 采用水文地质物探（简称物探）方法，应根据勘察阶段、勘察区的水文地质条件、被探物体的物理特征和不同的工作内容等因素确定，水文地质条件复杂程度中等以上地区宜采用多种物探方法进行综合探测。

4.4.2 采用物探方法时，被探测体应具备下列基本条件：

- 1 探测对象与周围介质应存在明显的物性差异；
- 2 探测对象的厚度、宽度或直径，相对于埋藏深度应具有一定的规模；
- 3 探测对象的物性差异能在干扰背景中清晰可辨；
- 4 地形影响不应妨碍野外作业和资料解释，或其影响能利用现有手段进行地形改正。

4.4.3 水文地质物探应包括下列内容：

- 1 覆盖层的厚度、隐伏的古河床和掩埋的冲洪积扇的位置；
- 2 断层破碎带、充水裂隙带、岩脉等的产状和位置，主要含水层埋藏深度和厚度；
- 3 隐伏的地貌和岩性分界线；
- 4 地下水的水位、流向和渗透速度；
- 5 划分不同程度的富水区及贫水区。

4.4.4 物探方法按下列原则选用：

- 1 物探方法的选用应满足相应的地球物理条件，并宜通过方法试验确定物探技术参数；
- 2 根据水文地质勘察工作中不同的探测项目和内容，可按照附录 A 进行物探方法的选择；
- 3 当采用单一的物探方法不能达到勘探目的时，可采用综合工程物探开展工作。

4.4.5 长大深埋隧道水文地质条件较复杂时，采用可控源音频大地电磁法（CSAMT）或音频大地电磁法（AMT）进行富水段落及富水程度的划分。

4.4.6 隧道所在山体地表露头较少，或者不明显，或者钻孔揭示岩芯破碎，孔内情况难以判断时，可采用孔内电视予以查明岩层产状、裂隙、断层等发育情况。

4.4.7 物探解译的低阻异常区应结合地貌特点、地表水文网的分布、汇水条件、

地层岩性、地质构造等进行综合分析，判定地下水对隧道的危害程度，必要时提出进行钻探验证的要求。

4.4.8 水文地质物探应提供物探成果报告、物探平面布置图、物探综合解释剖面图、物探分析图等工作成果图，长大隧道工程还应编制隧道物性纵断面图，标明物探异常区段。

4.5 水文地质钻探

4.5.1 水文地质勘探钻孔，宜在水文地质调绘、物探和详细研究已有资料的基础上，根据勘察阶段的任务要求布置。

4.5.2 勘探孔的布置，应能查明勘探区的地质和水文地质条件，取得有关水文地质参数和地下水评价所需的资料。

4.5.3 基岩地区勘探孔的布置，宜沿隧道中心线，并在洞壁外侧不小于 5m 的位置，不同地区类型宜按表 4.5.3 确定。

表 4.5.3 基岩地区勘探孔的布置

类型	勘探孔的布置
碎屑岩地区	布置在下列富水地段：（1）厚层砂岩、砾岩分布区沟谷、断裂破碎带（张性断裂破碎带、压性断裂主动盘一侧破碎带）；（2）褶皱轴部；（3）岩层倾角由陡变缓的偏缓地段；（4）背斜轴部及倾没端等构造变动显著的地段；（5）产状近于水平的岩层的裂隙密集带和共轭裂隙的密集部位；（6）碎屑岩与火成岩岩脉或侵入体的接触带附近；（7）地下水的集中排泄带；（8）物探异常段落；（9）岩溶溶洞发育地区。
岩浆岩和变质岩地区	布置在断裂破碎带、物探异常段落、岩脉发育带、不同岩体接触带、微风化裂隙发育带以及原生柱状节理和原生空洞发育层。
干旱基岩丘陵山区	布置在洪流沟经过的断裂带、裂隙岩层及物探异常段落处，或与断裂带有关的盐沼、草地处。

4.5.4 勘探点剖面线和勘探点的间距应根据水文地质条件的复杂程度确定。

4.5.5 对断层破碎带、裂隙密集带、岩溶通道等地段，可布置平硐或采用其他有效勘探手段进行探查。

4.5.6 勘探孔结构（孔径）的设计，应根据勘察区的地层特性、含水层富水性、测试要求及钻探工艺等因素综合考虑，并宜尽量简化。

4.5.7 勘探孔的孔径设计，应包括下列内容：

- 1 开孔直径；
- 2 孔身各段直径及变径的位置；
- 3 终孔直径。

4.5.8 勘探孔直径，应满足地层岩性鉴别、取样、简易水文地质观测的技术要求。勘探孔抽水试验段的直径应根据含水层的富水性、可能的出水量大小、抽水试验的技术要求、选用过滤器的类型和外径以及填砾层厚度或提水设备的要求确定。

4.5.9 抽水孔过滤器的类型，根据不同含水层的性质，可按表 4.5.9 采用。抽水试验的观测孔，宜采用包网过滤器。

表 4.5.9 抽水孔过滤器的类型选择

含水层	抽水孔过滤器类型
具有裂缝、溶洞（其中有大量填充物）的基岩	骨架过滤器、缠丝过滤器或填砾过滤器
卵（碎）石、圆（角）砾	缠丝过滤器或填砾过滤器
粗砂、中砂	缠丝过滤器或填砾过滤器
细砂	缠丝过滤器或填砾过滤器
注：基岩含水层，当裂缝、溶洞（其中很少有填充物）稳定时，可不设置过滤器。	

4.5.10 抽水孔过滤器的类型根据不同地区条件按以下设置并选用：

1 松散层地区。

- 1) 抽水孔及探采井，宜设置填砾过滤器；
- 2) 抽水试验观测孔宜设置包网过滤器；
- 3) 细颗粒含水层中的探采井，可设置贴砾过滤器或瓦式过滤器。

2 基岩地区。

- 1) 裂隙溶洞发育的抽水孔，可设置骨架过滤器或缠丝过滤器；
- 2) 探采井在泵体以上应设置骨架过滤器，或根据岩层破碎情况，在安泵段下过滤器或护壁管；

3 抽水试验观测孔、岩溶裂隙不发育的抽水孔的基岩段可不设置过滤器。

4.5.11 抽水孔过滤器骨架管的内径，在松散层中，宜大于 200mm；在基岩中，宜大于 100mm。抽水试验观测孔过滤器骨架管的外径，不宜小于 75mm。

4.5.12 抽水孔过滤器的长度，宜符合下列规定：

- 1 含水层厚度小于30m时，可与含水层厚度一致。
- 2 含水层厚度大于30m时，可采用20~30m；当松散含水层的渗透性差或为基岩时，其长度可适当增加。

3 抽水试验观测孔过滤器的长度可采用2~3m。

4.5.13 抽水孔过滤器骨架管孔隙率，应根据制作的材料确定。钢质骨架管，

大于 25%；铸铁或塑料骨架管，大于 20%。抽水试验观测孔过滤器骨架管孔隙率大于 15%。

4.5.14 基岩的勘探钻孔，一般采用清水取芯钻进，对其覆盖层可采用泥浆钻进。

4.5.15 松散层的勘探钻孔，宜采用套管护壁或水压钻进，当采用泥浆钻进时，泥浆的质量和换浆方法应符合国家现行规范的有关规定。

4.5.16 对于需要量测地下水位和进行水文地质参数测试的钻孔，宜采用套管护壁，以清水作为循环液，保证钻进过程中能分层量测地下水位和分层测定水文地质参数。当采用泥浆钻进时，应采取有效措施，保证分层量测水位和分层测定水文地质参数的可靠性。

4.5.17 当需查明各含水层（带）的水位、水质、水温、透水性或隔离水质不好的含水层以及分层进行水文地质试验时，应做好止水工作，并检查止水效果。

4.5.18 水文地质勘探孔的成孔质量，应符合下列要求：

- 1 孔身各段直径达到设计要求；
- 2 孔身在100米深度内其孔斜度不大于1.5°，深度大于100m时随孔深递增计算；
- 3 孔深误差不大于0.2%；
- 4 洗孔结束前的出水含砂量不大于1 / 20000（体积比）。

4.5.19 勘探孔深度，宜钻穿或钻达对隧道建设有意义的含水层（组）或含水构造带（岩溶发育带、断裂破碎带及裂隙发育带等）。一般情况，钻孔深度应至路线设计高程以下不小于 5m。遇采空区、岩溶、地下暗河等不良地质时，勘探深度应至稳定底板以下不小于 8m。

4.5.20 钻探过程中采取土样、岩样，应符合下列规定：

- 1 土样能代表原有地层的岩性、结构及颗粒组成；
- 2 采取鉴别地层的岩、土样，非含水层宜每 3~5m 取一个，含水层宜每 2~3m 取一个，变层时，应加取一个；
- 3 颗粒分析用的土样，在厚度大于4m的含水层中，宜每4~6m取一个；含水层厚度小于4m时应取一个；
- 4 洞身段钻孔，在设计高程以上3~5倍的洞径范围内应采取岩、土试样，同

一地层中，岩、土试样的数量不宜少于6组；进出口段钻孔，应分层采取岩、土试样；

5 试验用土样的取样质量，砂、圆砾（角砾）、卵石（碎石）宜分别大于1kg、3kg、5kg；

6 基岩岩芯的采取率，完整岩层不宜小于90%，构造破碎带、风化带、岩溶带不宜小于50%；

7 有测井和井下成像配合工作时，鉴别地层的土样、岩样的数量可适当减少。

4.5.21 松散层土的分类，应按本规范附录 D 的规定执行。

4.5.22 土样和岩样（岩芯）的描述，应符合表 4.5.22 的规定。

表 4.5.22 土样和岩样（岩芯）的描述内容

类别	描述内容
碎石土类	名称、岩性成分、磨圆度、分选性、粒度、胶结情况和填充物（砂、粘性土的含量）
砂石类	名称、颜色、矿物成分、分选性、粒度、胶结情况和填充物和包含物（粘性土、动植物残骸、卵砾石等含量）
粘性土类	名称、颜色、湿度、有机物含量、可塑性和包含物
岩石类	名称、颜色、矿物成分、结构、构造、胶结物、化石、岩脉、包裹物、风化程度、裂缝性质、裂缝和岩溶发育程度及其填充情况

4.5.23 钻探过程中，应对水位、水温、冲洗液消耗量、漏水位置、自流水的水头和自流量、孔壁坍塌、涌砂和气体逸出的情况、岩层变层深度、含水构造和溶洞的起止深度等进行水文地质观测工作，并做好记录。

4.5.24 抽水孔必须及时洗孔，应洗至水清砂净，并宜符合两次相同最大水位下降的出水量相差小于 5%。抽水试验观测孔，也应进行洗孔，洗至水位变化反映灵敏。

4.5.25 钻探结束后，可根据情况进行回填或封孔，并应对所揭露的地层进行准确分层。并根据含水层的水头、水质情况分别进行回填或隔离封孔。

条文说明：钻孔在浅埋隧道的路肩设计标高 15~20m 孔段，用水泥砂浆回填，其余用粘土或原土回填。深埋隧道在地表 20m 以下孔段，用水泥砂浆回填，其余用粘土或原土回填。水下隧道河床段的钻孔应全部用水玻璃砂浆回填。

4.5.26 勘探钻孔应测量坐标和孔口高程，高程测量应达到四级水准的精度。

4.6 水文地质试验

4.6.1 水文地质试验包括抽水试验、注水试验、压水试验、渗水试验、提水试验、连通试验、放射性同位素测试、地下水位量测、孔隙水压力量测、地下水化学分析等。具体试验项目应根据工程建设需要和勘察区的水文地质条件、试验目的等因素综合确定，并符合下列规定：

1 在对工程建设有影响的松散层含水层中应进行抽水试验或注水试验，根据水文地质条件的复杂程度和水文地质单元、地下水可能发育情况对隧道的影响程度确定，可选用单孔抽水、多孔抽水、综合抽水试验。含水层的抽水试验，在预工可阶段不宜少于1组；在初步设计阶段单孔抽水试验不宜少于3组，多孔抽水试验不宜少于1组。

条文说明：水文地质单元复杂或地下水可能发育情况对隧道的影响程度大时，可适当增加水文地质试验数量。

2 对重大工程必要时应确定岩体的各向异性渗透性。

3 水文地质试验时，应采取代表性水样进行水质化验。抽水试验和提水试验时，在试验临近结束前采样；压水试验和注水试验时，在洗清钻孔后、试验开始前采样。其质量和数量应根据试验目的和试验要求确定。

4.6.2 量测地下水位应符合下列规定：

1 地下水位可在钻孔、探井或测压管内直接量测。稳定水位应在揭露含水层后经一定时间、待水位稳定后量测，间隔时间按地层的渗透性确定，对砂土和碎石土不得少于0.5h，对粉土和粘性土不得少于8h。

2 对工程有影响的多层地下水，应分层量测地下水位，并采取止水措施，将被测含水层与其他含水层隔开。

3 水位量测精度为 $\pm 2\text{cm}$ ，读数至厘米。

4.6.3 在松散含水层中，可用放射性同位素稀释法或示踪法测定地下水的流向、实际流速和渗透速度等，了解地下水的运动状态。测定地下水的流向也可采用几何法，量测点不应少于呈三角形分布的3个测孔（井）。

4.6.4 土中孔隙水压力的测定应符合下列规定：

1 测定方法应根据勘察目的和地层条件选定，当要求测定瞬时孔隙水压力和动态变化时，应选用反应灵敏的仪器和方法。

2 测试点位置应根据地质条件和分析需要选定。

3 测压计的安装和埋设应符合有关安装技术规定。

4 测试数据应及时分析整理，出现异常时应分析原因，采取相应措施。

4.6.5 水文地质参数测定可采用下列方法：

1 渗透系数、导水系数可采用抽水试验、注水试验、渗水试验或室内渗透试验测定。

2 给水度、释水系数可采用抽水试验、地下水位长期观测、室内试验等测定。

3 越流系数、越流因数可采用多孔抽水试验测定。

4 毛细水上升高度可采用试坑观测、室内试验等测定。

5 透水率可采用压水试验测定，必要时应进行高压压水试验。

4.6.6 对拟建隧道范围内的地下水应进行化学分析，查明其对拟建隧道建筑材料的腐蚀性。当调查地下水污染时，应取样做相应的化学分析和生物分析，并查明污染源及其发展趋势。

4.6.7 抽水试验应查明下列内容：

1 钻孔出水量和降深关系。

2 影响半径和地下水流向。

3 含水层渗透系数及其他水文地质参数。

4 补给条件较差地区的补给量。

5 地下水水质和变化趋向。

6 各含水层之间的水力联系以及地表水与地下水的补给关系。

4.6.8 含水层较均一且厚度不大，宜采用完整孔抽水试验；含水层厚度过大，采用完整孔抽水试验有困难时，宜采用非完整孔抽水。

4.6.9 对富水性强的厚度含水层，需要划分几个试验段进行抽水时，试验段的长度可采用 20~30m。对单层厚度大于 10m 的多层含水层，当含水层类型不同、水文地质参数差异较大或者水质差异较大时，应进行分层（段）抽水试验。

4.6.10 采用数值法评价地下水资源时，宜进行一次大流量、大降深的群孔抽水试验，并应以非稳定流抽水试验为主。

4.6.11 抽水试验时，应防止抽出的水在抽水影响范围内回渗到含水层中。同时应避免抽出的水可能产生的环境影响。

4.6.12 抽水孔的布置，应根据勘察阶段，水文地质条件等因素确定，并宜符合下列要求：

- 1 初步勘察，在可能富水的地段均宜布置抽水孔；
- 2 详细勘察，在含水层（带）富水性较好地段均宜布置抽水孔。

4.6.13 抽水孔布设数量除了结合勘察阶段，尚应根据水文地质单位、地下水发育情况综合考虑，占全部工程地质与水文地质试验孔（不包括观测孔）总数的百分比（%），宜不少于表 4.6.13 的规定。

表 4.6.13 抽水孔占勘探孔总数的百分比

地区	初步勘察	详细勘察
基岩地区	50	60
岩性变化较大的松散层地区	40	50
岩性变化不大的松散层地区	30	40

注：抽水试验的工作量中，宜包括带观测孔的抽水试验。

条文说明：在地下水可能发育的区域钻孔，全部为工程地质与水文地质试验结合钻孔。

4.6.14 抽水试验观测孔的布置，应根据试验目的和计算公式的要求确定，并宜符合下列要求：

1 当需水量较大，估计单孔出水量不能满足要求，可在抽水孔周围布置观测孔。当需水量较小，估计单孔出水量能满足要求，可不布置观测孔；当潜水含水层和承压含水层的埋藏深度较深时，根据情况也可不布置观测孔。

2 以抽水孔为原点，宜布置1~2条观测线，每条观测线上的观测孔宜为3个。如只布置一条观测线时，宜垂直地下水流向布置；布置两条观测线时，其中一条宜平行地下水流向布置。

3 距抽水孔近的第一个观测孔，应避开三维流的影响，其距离不宜小于含水层的厚度；最远的观测孔距第一个观测孔的距离不宜太远，并应保证各观测孔内有一定水位下降值。

4 各观测孔的过滤器长度宜相等，并安置在同一含水层的同一深度上，并应避免弱透水层。

5 抽水试验前和抽水试验时，必须同步测量抽水孔和观测孔、点（包括附近的水井、泉和其他水点）的自然水位和动水位。如自然水位的日动态变化很大时，抽水试验前应在抽水试验影响范围外设置1~2个观测孔，用于掌握其变化规律。

采用小口径测水管测量动水位时，测水管底端应安装侧压头。

4.6.15 稳定流抽水试验应符合下列规定：

1 抽水试验时，水位的降深次数应根据试验目的确定，宜进行3次。水位降深的最大值，潜水含水层宜接近含水层厚度（完整孔）或过滤器长度（非完整孔）的1/2深度处，承压含水层最大降深值不宜低于含水层顶板，其余两次水位降深值，宜分别为最大降深值的1/3和2/3。各次下降的水泵吸水管口的安装深度应相同。

2 当抽水孔出水量很小或试验时的出水量已达到抽水孔极限出水能力时，水位下降次数可适当减少，但不得少于2次。

3 在抽水稳定延续时间内，抽水孔出水量和动水位与时间关系曲线只在一定的范围内波动，且没有持续上升或下降的趋势。在判定动水位有无上升或下降趋势时，应考虑自然水位的影响。

4 一般情况下动水位波动不应超过平均水位降深值的1%，出水量波动值不应超过平均出水量的3%。

5 当有观测孔时，应以最远观测孔的动水位判定。

6 当水位降深小于10m，用空气压缩机抽水时，抽水孔动水位波动值不得超过10-20cm；用离心泵、深井泵等抽水时，动水位波动值不得超过5cm。

4.6.16 抽水试验的稳定延续时间，应符合下列要求：

1 卵石、圆砾、砾砂和粗砂含水层为8h。

2 中砂、细砂和粉砂含水层为16h。

3 基岩含水层（带）为24h。

4 根据含水层的类型、已有抽水试验资料、补给条件、水质情况和试验目的等因素，稳定延续时间可适当调整。

5 抽水试验时，动水位和出水量观测的时间，宜在抽水开始后的第5、10、15、20、25、30min各测一次，以后每隔30min或60min测一次。水温、气温观测的时间，宜每隔2~4h同步测量一次。

4.6.17 非稳定流抽水试验应符合下列规定：

1 抽水孔的出水量应保持常量，其变化幅度不大于3%。

2 抽水试验的延续时间，应按水位下降与时间 $[s \text{ (或 } \Delta h^2) \sim 1gt]$ 关系曲

线确定，并应符合下列要求：

1) $s(\Delta h^2) \sim 1gt$ 关系曲线有拐点时，延续时间宜至拐点后的线段趋于水平为止。拐点是指曲线上斜率的导数等于零的点。

2) $s(\Delta h^2) \sim 1gt$ 关系曲线没有拐点时，延续时间宜根据试验目的确定。

3) 在承压含水层中抽水时，采用 $s \sim 1gt$ 关系曲线；在潜水含水层中抽水时，采用 $\Delta h^2 \sim 1gt$ 关系曲线。

4) 当有观测孔时，应采用最远观测孔的 s （或 Δh^2 ） $\sim 1gt$ 关系曲线。

3 抽水试验时，动水位和出水量观测的时间，宜在抽水开始后第1、2、3、4、6、8、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100、120min后各观测一次，以后可每隔30min观测一次。

4 抽水结束后或因故中断抽水时，应观测恢复水位，观测水位频率应与抽水时一致，水位应恢复到接近抽水前的静止水位。

5 群孔抽水试验，应符合下列要求：

1) 当一个抽水孔抽水时，对另一个最近的抽水孔产生的水位下降值，不宜小于20cm。

2) 抽水孔的水位下降次数应根据试验目的而定。

3) 各孔过滤器的规格和安装深度以及各抽水孔的抽水起止时间都应相同。

4) 当抽水孔附近有地表水或地下水露头时，应同步观测其水位、水质和水温。

4.6.18 压水试验宜采用有选择的分段压水方法。当钻孔钻进中发现冲洗介质突然消失或消耗量急剧增大时，宜停钻进行压水试验。

1 试验段长度宜采用 5m。透水性较强的岩层和特殊孔段，宜根据具体情况确定，但不得超过 10m。

2 同一试验段不宜跨越透水性相差悬殊的几种岩层。

3 相邻试验段之间应相互衔接，少量重叠。栓塞止水无效时，应将栓塞向上移动，但不宜超过上一试验段栓塞的位置。

4 在同一工程中，试验段长度宜保持一致。

4.6.19 压力试验宜采用三级压力、五个阶段[即 $P_1-P_2-P_3-P_4 (=P_2) -P_5 (=P_1)$ ， $P_1 < P_2 < P_3$]进行。 P_1 、 P_2 、 P_3 三级压力宜分别为 0.3MPa、0.6MPa 和 1MPa。

-
- 1 试验段埋藏较浅时，宜适当降低试验段压力。
 - 2 下栓塞前应首先观测 1 次孔内水位，试段隔离后，再观测工作管内水位；
 - 3 工作管内水位观测应每隔 5min 进行 1 次。当水位下降速度连续 2 次均小于 5cm/min 时，观测工作即可结束，用最后的观测结果确定压力计算零线；
 - 4 压水试验前，应进行不少于 20min 的试验性压水，其压力应为压水试验时的压力值；
 - 5 压水试验中试验压力应保持稳定；
 - 6 压水试验中，每 1-2min 应观测一次压入流量，流量无持续增大趋势、且 5 次流量读数中最大值与最小值之差小于最终值的 10%，或最大值与最小值之差小于 1L/min 时，本阶段试验即可结束，取最终值作为计算值；
 - 7 压水试验过程中，压入的水应采用水质较好的清水；
 - 8 压水试验过程中，应在流量观测的同时测定管外水位的变化，发现有异常时，及时检查分析原因，并立即采取措施；
 - 9 压水试验过程中，应对周边可能受到影响的坑、孔、井、泉以及沿裂隙渗出地表的水等情况进行观测。

4.6.20 压水试段的透水率计算宜采用第三阶段的压力值 (P_3) 和流量值 (Q_3)，应按下式计算：

$$q = \frac{Q_3}{L \cdot P_3} \quad (4.6.20)$$

式中 q —试段的透水率 (Lu)；

Q_3 —第三阶段的计算流量 (L/min)；

P_3 —第三阶段的试段压力 (MPa)；

L —试段长度 (m)。

4.6.21 注水试验宜采用钻孔常水头注水试验和钻孔降水头注水试验。

1 注水孔内应设置水位观测管或将注水口设置在注水孔内水面以下，防止因水面波动而无法进行准确的水位观测。

2 注水试验前，应进行试验注水，确定最大注水量和相应的水位上升值，以便合理分配各次水位上升值。如试验注水时出现问题，应及时分析处理，并在排除故障后再进行注水试验。

3 注水量较大时,流量观测宜采用孔板流量计、水表或超声波流量计等仪器。当注水量不大时,可采用体积法。

4 钻孔常水头注水试验的方法与步骤,应符合下列规定:

1) 注水前应测定孔内的静止水位。

2) 用流量箱连续向孔内注入清水,使管内水位升高到设计的高度后,应控制注水量,使水头、水量保持稳定。

3) 注水开始后,第 1、2、3、4、5、10、15、20、25、30min 同时观测水位、水量,以后每隔 30min 观测一次,至稳定后再延续 2~4h 即可结束。

4) 注水试验结束后应立即观测钻孔中的水位下降,其时间间隔与注水试验相同,直至水位下降到静止水位为止;当水位下降缓慢到距静止水位 5~10cm 时,可停止观测。

5) 注水试验应进行三次水位升高,每次水位升高宜采用 2、4、6m 或更大,间距不宜小于 1m。

6) 注水量允许偏差为 $(Q_{\max}-Q_{\min})/Q_{\text{cp}} < 10\%$,水头允许波动幅度为 $\pm 1\text{cm}$ 。

5 钻孔降水头注水试验的方法与步骤,应符合下列规定:

1) 注水前应测定孔内的静止水位;

2) 向孔内注入清水,使管内水位高出地下水位定高度或至孔口作为初始水头值,停止供水,开始记录孔内水位随时间变化的情况;

3) 孔内水位观测,开始时间为 1min,连续观测 5 次;然后间隔为 10min,观测 3 次;后期观测时间间隔应根据水位下降速度确定,可按 30min 间隔进行;

4) 应在现场采用半对数坐标绘制水头比与时间 $[\ln(H_t/H_0) - t]$ 关系曲线。当水头比与时间关系曲线不成直线时,应进行检查并重新试验;

5) 试验水头下降到初始试验水头的 0.3 倍或连续观测点达到 10 个以上时,即可结束试验。

4.6.22 提水试验可采用定水位降深法(定动水位法)或定流量法。

1 提水试验前,应根据含水层位置、钻孔孔壁稳定情况,下适当的过滤管,及时彻底洗孔,并排出孔底的沉淀物。

2 单位时间内,提水次数应均匀,提出的水量大致相等,并达到水位、水量相对稳定。

3 水位和水量每隔 30min 测定一次，并计算出水量，出水量波动范围在 $\pm 10\%$ ，水位波动范围在 10~20cm 时，即为稳定。

4 提水试验的延续时间，在水位、水量相对稳定后再提水 4h 即可结束。

4.6.23 当遇需研究地下暗河或水库水、河流等地表水与隧道是否有水力联系时，宜进行连通试验。

1 连通试验段（点）的选择原则，应符合下列规定：

1) 需在测绘的基础上，有一定的地质依据说明有连通性的地段。

2) 目的性要明确，针对性要强，并需考虑与试验方法相适应。

3) 尽量做到试验与观测方便，要经济合理，尽量做到就地取材。

2 连通试验常采用的方法有水位传递法、指示剂法、气体传递法等。

4.6.7 当遇需研究地下暗河或水库水、河流等地表水与隧道水力联系时，需进行地下水流向流速测定。

1 地下水流向测定方法：

1) 根据等水位线图确定，垂直于等水位线、水位由高到低的方向即地下水流向。

2) 三角形井孔法。即大体按等边三角形（或近似的等边三角形）的顶点布置钻孔，以其水位高程编绘等水位线图，垂直等水位线并向水位降低的方向为地下水流向。

3) 应用示踪剂测定地下水流向。方法有多井法和单井法。

条文说明

多井法：在某一时刻，示踪剂含量最大的观测井相对于投放井的方向即为水流方向。

单井法：可在用同位素单井法测定流速的井孔内完成，即用放射性示踪剂溶液标记井孔水柱，让井中的水流入含水层，然后用一个定向探测器测定钻孔各方向含水层中示踪剂的分布，在一个井中确定地下水流向。

2 地下水流速测定，应符合下列要求：

1) 利用水力坡度求地下水流速，即在等水位线图的地下水流向上，求出相邻两等水位间的水力坡度，然后利用下面公式即可求出地下水流速，亦称达西定律。

$$V = K \cdot i \quad (4.6.7)$$

式中 V —地下水的渗透速度 (m/d);

K —渗透系数 (m/d);

i —水力梯度。

2) 利用指示剂或示踪剂, 测定地下水的流速。即利用指示剂或示踪剂来现场测定流速, 要求被测量的钻孔能代表所要查明的含水层, 钻孔附件的地下水流为稳定流, 呈层流运动。

征求意见稿

4.7 地下水观测

4.7.1 对隧道外地下水出露位置、出露形式、涌水量、压力水头、水的颜色、气味、携出物、溶蚀和沉淀情况、施工期河水位；隧道内的地下水位，地下水沿断层、节理密集带和软弱夹层的活动情况以及土质隧道的管涌、流土等渗透变形情况应进行重点观测。

4.7.2 施工期间应对开挖过程中的地下水渗出情况、隧道的涌水量，周围地下水位变化等进行观测。

4.7.3 水文地质观测的项目应根据任务要求确定，各项目的观测内容应符合下列规定：

1 水位：定期或不定期观测记录各测点的水位，查明地下水升降变化规律，分析地下水位变化的影响因素及其相互关系。

2 水量：定期或不定期观测地下水出水量和与工程相关的渗漏量及回灌量。

3 水压：在进行隧洞或洞室工程时，应对岩土的空隙（裂隙）水压力进行观测，并应根据工程特点、周边环境和地质条件等预先设定观测预警值。

4 水质：工程施工过程中，应观测地下水的物理性质变化，记录地下水由清变浑及由浑变清的情况；观测地下水的化学成分变化；查明地下水对建筑材料金属材料等的腐蚀性，地下水已被污染时，应查明污染源、污染途径和污染程度；

5 水温：在地表水与地下水水力联系密切的地区、人工进行回灌的地区、有热污染源和热异常的地区、应加强对地下水水温的观测。查明地下水湿度的变化，分析地下水温度变化的影响因素。在观测水温的同时，还应记录当时环境下的气温值。

4.7.4 地下水的动态观测，应满足下列要求：

1 观测井、孔的出水量、水位、水温、气温和泉的流量，宜每隔 5~10d 观测一次，当出现剧烈变化时，应增加观测次数，必要时进行实时动态观测。对安装有自动观测仪的点，宜每天观测 2-4 次。各观测点每天的观测时间应保持固定。计算降水入渗系数所需的水位的观测时间，应根据计算的具体要求确定。

2 地下水动态观测，应在勘察期间尽早进行。观测的持续时间，初步勘察不宜少于一个枯水季节；详细勘察不宜少于一个水文年。应根据工程特点和研究内容，设置观测点进行长期观测。

3 当孔隙水压力变化可能影响工程安全时，应在孔隙水压力降至安全值之后，方可停止观测。

4 当地下水的浮托力对工程有影响时，地下水压力观测应进行至上覆压力大于地下水浮托力后方可停止。

5 用化学分析法观测水质时，采样时间每年不宜少于 4 次，原则上每季度一次。

4.7.5 水文地质动态观测应根据观测目的、建设场地条件、工程要求和水文地质条件确定。观测点、线的布置，应能控制勘察区范围内的地下水动态。应符合以下要求：

1 查明各含水层之间的水力联系时，可分层布置观测孔。

2 需要获得边界地下水动态资料时，观测孔宜在边界有代表性的地段布置。

3 查明污染源对水源地地下水的影响时，观测孔宜在连接污染源和水源地的方向上布置。

4 查明咸与淡水分界面的动态特征（包括海水入侵）时，观测线宜垂直分界面布置。

5 需要获得用于计算地下水径流量的水位动态资料时，观测线宜垂直和平行计算断面布置。

6 需要获得用于计算地区降水入渗系数的水位动态资料时，观测孔宜在有代表性的不同地段布置。

7 查明地下水与地表水体之间的水力联系时，观测线宜垂直地表水体的岸边线布置。

8 为满足数值法计算要求，观测孔的布置应保证对计算区各分区参数的控制。

4.7.6 地下水动态观测点，宜选择在与工程有影响的暗河出口、岩溶大泉、伏流入口等水点处，并应充分利用已有的勘探孔、水井和泉等地下水露头及已有观测网站，必要时可设置专门观测点。

4.7.7 地下水动态观测孔的过滤器，应下至所需观测的含水层最低水位以下 2~5m，其管口应高出地面 0.5~1m。孔口应设置保护装置，在孔口地面应采取防渗措施。分层观测的观测孔应分层止水。观测孔如有淤塞、反应不灵敏和孔口

有变动时，应及时处理。

4.7.8 水质分析用的水样，对于浅层地下水和水质变化较大的含水层宜每季度采取一次（或分丰、平、枯水期各采取一次）；对于深层地下水和水质变化不大的含水层宜在开采高峰期采取一次。为查明咸淡水分界面时，水质简分析（或氯离子、电导率等专项指标）宜每月取一次。

4.7.9 为查明地下水与地表水之间的水力联系，在观测地下水位和地表水位动态变化的同时，宜观测水质变化，系统掌握有关的气象和水文资料。

4.7.10 地下水动态观测的精度要求：水位观测宜读到 0.5cm，水温、气温宜读到 0.2℃。观测工具和仪器应定期（时间间隔不应超过半年）检查、维修与校正。

4.7.11 观测信息应采取下列措施进行有效管理：

1 每次实测的水位、水量、水压、水质、水温等资料，应及时分析整理，并按规定格式汇总。

2 观测信息管理宜采用数据库管理系统。

3 根据地下水动态观测工作的目标和要求，应定期提交临测报告。

4 点绘单项和综合观测资料历时曲线及地下水动态与主要影响因素的关系曲线，将反映各种观测成果的表格和图件，汇编成册或数据库文件作为成果报告。

5 正式提交的成果资料连同原始数据记录应一并妥善归档。

4.7.12 地下水动态观测报告和地下水动态观测年度报告的内容宜包括：

1 分别绘制地下水水位、水量等要素及影响因素的历时曲线。

2 根据需要绘制地下水动态与气象、水文等关系曲线图。

3 根据需要绘制主要水质指标等值线图（或水质分区图）、地下水水温等值线图。

4 当有足够的观测资料时，应绘制不同水文年丰、平、枯水期的地下水水位等值线图。

5 对于井、泉的水量观测，应编制涌水量调查统计表、年报表。

6 对于水质的检测和评价，按有关地下水质量标准中规定的分类指标与评价方法进行。

7 应在多年泉水观测资料的基础上，建立泉水量衰减方程，求出其消耗系数，

计算泉涌水量的保证程度。

8 有条件时，应建立地下水均衡计算模型，进行地下水均衡的定量分析与计算，对地下水储量作出进一步的评价，其中储量之差必须根据地下水动态观测资料计算。

9 应全面论述观测工作概况和观测精度，地下水动态变化规律及变化趋势。

征求意见稿

4.8 环境水文地质调查

4.8.1 环境水文地质工作应查明天然环境水文地质条件，分析供水水源和各类工程设置、施工所造成的环境水文地质条件的变化；对工程场地进行地下水环境评价和预测，提出对环境水文地质问题的预防措施。

4.8.2 环境水文地质评价应在水文地质勘察的基础上进行。应充分搜集和利用既有资料，当基础资料不能满足要求时应补充必要的水文地质调绘、勘探试验和观测工作。

4.8.3 公路工程的施工用水、隧道的排放水水质应符合本规范附录 D《地表水环境质量标准》的规定。

4.8.4 公路工程环境水文地质评价应包括主要环境水文地质问题、工程施工、运营对周围环境的影响。

4.8.5 当隧道工程阻塞地下水通道时，宜评价由此引发的上游壅水和下游疏干产生的水位变化、地下水补给、径流、排泄条件的改变，以及对水源、已有工程和生态环境的影响。

4.8.6 当勘探或施工使不同含水层贯通时，宜评价贯通引发的环境问题，并提出相应的措施。

4.8.7 工程地区环境水文地质调查应包括下列内容：

- 1 地下水水质调查。
- 2 地下水水位、水量调查。
- 3 其他环境水文地质问题。

4.8.8 隧道工程的环境水文地质评价应包括下列内容：

- 1 预测隧道施工涌水，引起周边井、泉地表水体等水量衰减或被疏干的可能性。
- 2 预测隧道施工排水对周边地表水、地下水污染或二次污染的可能性。
- 3 裸露型或覆盖型岩溶地区，预测施工中隧道涌水引起周边地面变形、塌陷的可能性。
- 4 预测施工或运营中隧道排水对周边环境的影响程度。
- 5 对隧道排出的地下水作为公路供水的可能性进行评价。

4.8.9 当隧道工程在施工期间大量降排水时，应评价降排水引发的下列问题：

-
- 1 降排水对水资源的消耗。
 - 2 降排水形成区域性降落漏斗范围和引发地下水补给、径流、排泄条件的变化。
 - 3 降排水引发地面沉降和工程建筑的附加沉降。
 - 4 降排水引发的生态问题。
- 4.8.10** 当工程项目投入运营后有可能成为污染源时,应根据任务要求评价和预测其对场地及附近地下水可能产生的污染影响。

征求意见稿

5 水文地质参数计算

5.1 一般规定

5.1.1 水文地质参数的计算，必须在分析勘察区水文地质条件的基础上，合理地选用公式（选用的公式应注明出处）。

5.1.2 利用抽水试验资料计算含水层参数时，宜采用观测孔水位资料。

5.1.3 利用非稳定流抽水试验资料计算水文地质参数时，应根据勘察区含水层类型、抽水试验类别、曲线类型，选择相应求参方法。

5.1.4 具有较长系列的地下水动态资料时，可利用动态资料反求水文地质参数。

5.1.5 本章所列潜水孔的计算公式，当采用观测孔资料进行计算时，其使用范围应限制在抽水孔水位下降漏斗坡度小于 1/4 处。

5.1.6 各勘察阶段主要水文地质参数获取方法可按表 5.1.6 选用。

表 5.1.6 各勘察阶段主要水文地质参数获取方法

勘察阶段	渗透系数 K (m/d)	潜水含水层给水度 μ	导水系数 T (m ² /d)	承压含水层释水系数 S	降水入渗系数 α
预可及工可	采用经验类比或单孔抽水试验				
初勘	单孔非稳定流抽水试验、多孔抽水试验、水位恢复试验	实验室测试、指示剂法、多孔非稳定流抽水试验	单孔非稳定流抽水试验、多孔抽水试验、水位恢复试验	实验室测试、多孔非稳定流抽水试验	采用均衡试验场测定值、经验公式计算
详勘及施工	多孔抽水试验、群孔抽水试验、水位恢复试验、同位素示踪测井法、数值法	多孔非稳定流抽水试验、群孔非稳定流抽水、水量均衡法	多孔抽水试验、群孔抽水试验、水位恢复试验、同位素示踪测井法、数值法	多孔非稳定流抽水试验、群孔非稳定流抽水试验、数值法	采用均衡试验场测定值、水量均衡法

5.2 渗透系数

5.2.1 单孔稳定流抽水试验，当利用抽水孔的水位下降资料计算渗透系数时，可采用下列公式：

1 当 $Q \sim s$ 或 Δh^2 关系曲线呈直线时，

1) 承压水完整孔：

$$K = \frac{Q}{2\pi s M} \ln \frac{R}{r} \quad (5.2.1-1)$$

2) 承压水非完整孔:

当 $M > 150r$, $L/M > 0.1$ 时:

$$K = \frac{Q}{2\pi s M} \left(\ln \frac{R}{r} + \frac{M-L}{L} \ln \frac{1.12M}{\pi r} \right) \quad (5.2.1-2)$$

或当过滤器位于含水层的顶部或底部时:

$$K = \frac{Q}{2\pi s M} \left[\ln \frac{R}{r} + \frac{M-L}{L} \ln \left(1 + 0.2 \frac{M}{r} \right) \right] \quad (5.2.1-3)$$

3) 潜水完整孔:

$$K = \frac{Q}{\pi (H^2 - h^2)} \ln \frac{R}{r} \quad (5.2.1-4)$$

4) 潜水非完整孔:

当 $\bar{h} > 150r$, $L/\bar{h} \gg 0.1$ 时:

$$K = \frac{Q}{\pi (H^2 - h^2)} \left(\ln \frac{R}{r} + \frac{\bar{h}-L}{L} \ln \frac{1.12\bar{h}}{\pi r} \right) \quad (5.2.1-5)$$

或当过滤器位于含水层的顶部或底部时:

$$K = \frac{Q}{\pi (H^2 - h^2)} \left[\left(\ln \frac{R}{r} + \frac{\bar{h}-L}{L} \cdot \ln \left(1 + 0.2 \frac{\bar{h}}{r} \right) \right) \right] \quad (5.2.1-6)$$

式中 K —渗透系数 (m/d);

Q —出水量 (m^3/d);

s —水位下降值 (m);

M —承压水含水量的厚度 (m);

H —自然情况下潜水含水层的厚度 (m);

$\bar{h}$ —潜水含水层在自然情况下和抽水实验时的厚度的平均值 (m);

h —潜水含水层在抽水试验时的厚度 (m);

L —过滤器的长度 (m);

r —抽水孔过滤器的半径 (m);

R —影响半径 (m)。

2 当 $Q \sim s$ (或 Δh^2) 关系曲线呈曲线时, 可采用插值法得出 $Q \sim s$ 代数多项式, 即:

$$s = a_1 Q + a_2 Q^2 + a_3 Q^3 + \dots + a_n Q^n \quad (5.2.1-7)$$

式中 $a_1, a_2, \dots, a_n$ —待定系数。

注： a_1 宜按均差表求得后，可相应地将公式（5.2.1-1）、（5.2.1-2）、（5.2.1-3）中的 Q/s 和公式（5.2.1-4）、（5.2.1-5）、（5.2.1-6）中的 $\frac{Q}{H^2-h^2}$ 以 $1/a_1$ 代换，分别进行计算。

3 当 s/Q （或 Δh^2 ） $\sim Q$ 关系曲线呈直线时，可采用作图截距法求出 a_1 后，按本条第二款代换，并计算。

5.2.2 单孔稳定流抽水试验，当利用观测孔中的水位下降资料计算渗透系数时，若观测孔中的值 s （或 Δh^2 ）在 s （或 Δh^2 ） $\sim \lg r$ 关系曲线上能连成直线，可采用下列公式：

1 承压水完整孔：

$$K = \frac{Q}{2\pi M(s_1 - s_2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (5.2.2-1)$$

2 潜水完整孔：

$$K = \frac{Q}{\pi(\Delta h_1^2 - \Delta h_2^2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (5.2.2-2)$$

式中 s_1 、 s_2 —在 $s \sim \lg r$ 关系曲线的直线段上任意两点的纵坐标值（m）；

Δh_1^2 、 Δh_2^2 —在 $\Delta h^2 \sim \lg r$ 关系曲线的直线段上任意两点的纵坐标值（m²）；

r_1 、 r_2 —在 s （或 Δh^2 ） $\sim \lg r$ 关系曲线上纵坐标为 s_1 、 s_2 （或 Δh_1^2 、 Δh_2^2 ）的两点至抽水孔的距离（m）。

5.2.3 单孔非稳定流抽水试验，在没有补给的条件下，利用抽水孔或观测孔的水位下降资料计算渗透系统时，可采用下列公式：

1 配线法：

1) 承压水完整孔：

$$\begin{cases} K = \frac{0.08Q}{Ms} W(u) \\ u = \frac{S}{4KM} \cdot \frac{r^2}{t} \end{cases} \quad (5.2.3-1)$$

2) 潜水完整孔：

$$\begin{cases} K = \frac{0.159Q}{\Delta h^2} W(u) \\ u = \frac{\mu}{4KH} \cdot \frac{r^2}{t} \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} K = \frac{0.08Q}{hs} W(u) \\ u = \frac{\mu}{4Kh} \cdot \frac{r^2}{t} \end{cases} \quad (5.2.3-2)$$

式中 $W(u)$ —井函数；

S —承压水含水层的释水系数；

μ —潜水含水层的给水度。

2 直线法：

当 $\frac{r^2 S}{4KMt}$ (或 $\frac{r^2 \mu}{4Kht}$) < 0.01 时，可采用公式 (5.2.2-1)、(5.2.2-2) 或下列公式：

1) 承压水完整孔：

$$K = \frac{Q}{4\pi M(s_2 - s_1)} \cdot \ln \frac{t_2}{t_1} \quad (5.2.3-3)$$

2) 潜水完整孔：

$$K = \frac{Q}{2\pi(\Delta h_2^2 - \Delta h_1^2)} \cdot \ln \frac{t_2}{t_1} \quad (5.2.3-4)$$

式中 s_1 、 s_2 —观测孔或抽水孔在 $s \sim \lg t$ 关系曲线的直线段上任意两点的纵坐标值 (m)

Δh_1^2 、 Δh_2^2 —观测孔或抽水孔在 $\Delta h^2 \sim \lg t$ 关系曲线的直线段上任意两点的纵坐标值 (m^2)；

t_1 、 t_2 —在 s (或 Δh^2) $\sim \lg t$ 关系曲线上纵坐标为 s_1 、 s_2 (或 Δh_1^2 、 Δh_2^2) 的两点相应的时间表 (min)。

5.2.4 单孔非稳定流抽水试验，在有越流补给 (不考虑弱透水层水的释放) 的条件下，利用 $s \sim \lg t$ 关系曲线上拐点的斜率计算渗透系数时，可采用下式：

$$K = \frac{2.3Q}{4\pi \cdot M \cdot m_i \cdot e^{r/B}} \quad (5.2.4)$$

式中 r —观测孔至抽水孔的距离 (m)；

B —越流参数；

m_i — $s \sim \lg t$ 关系曲线上的拐点处的斜率。

注：1 拐点处的斜率，应根据抽水孔或观测孔中的稳定最大下降值的 1/2 确定曲线的拐点位置及拐点处的水位下降值，再通过拐点作切线计算得出。

2 越流参数，应根据 $e^{r/B} K_0^{r/B} = 2.3 \frac{S_i}{m_i}$ ，从函数表中查处相应的 r/B ，然后确定越流参数 B 。

5.2.5 稳定流抽水试验或非稳定流抽水试验，当利用水位恢复资料计算渗透

系数时，可采用下列公式：

1 停止抽水前，若动水位已稳定，可采用公式（5.2.4）计算，式中的 m_i 值应采用恢复水位的 $s \sim \lg(1 + \frac{t_k}{t_T})$ 曲线上拐点的斜率。

2 停止抽水前，若动水位没有稳定，仍呈直线下降时，可采用下列公式：

1) 承压水完整孔：

$$K = \frac{Q}{4\pi Ms} \ln \left(1 + \frac{t_k}{t_T} \right) \quad (5.2.5-1)$$

2) 潜水完整孔：

$$K = \frac{Q}{2\pi (H^2 - h^2)} \ln \left(1 + \frac{t_k}{t_T} \right) \quad (5.2.5-2)$$

式中 t_k —抽水开始到停止的时间（min）；

t_T —抽水停止时算起的恢复时间（min）；

s —水位恢复时的剩余下降值（m）；

h —水位恢复时的潜水含水层厚度（m）。

注：1 当利用观测孔资料时，应符合 $\frac{r^2 S}{4K M t_k}$ （或 $\frac{r^2 \mu}{4K h t_k}$ ） < 0.01 的要求。

2 如恢复水位曲线直线段的延长线不通过原点时，应分析其原理，必要时应进行修正。

5.2.6 利用同位素示踪测井资料计算渗透系数时，可采用下列公式：

$$K = \frac{V_f}{I} \quad (5.2.6-1)$$

$$V_f = \frac{\pi (r^2 - r_0^2)}{2a r t} \ln \frac{N_0 - N_b}{N_t - N_b} \quad (5.2.6-2)$$

式中 V_f —测点的渗透速度（m/d）；

I —测试孔附近的地下水水力坡度；

r —测试孔滤水管内半径（m）；

r_0 —探头半径（m）；

t —示踪剂浓度从 N_0 变化到 N_t 所需要的时间（d）；

N_0 —同位素在孔中的初始计数率；

N_t —同位素 t 时的计数率；

N_b —放射性本底计数率；

a —流场畸变校正系数。

5.2.7 在第四系松散层中采用单孔稳定流抽水试验,利用抽水孔水位下降资料计算渗透系数时,应按下列经验公式:

1 潜水完整孔

$$K = \frac{1.3q}{H} \quad (5.2.7-1)$$

2 承压水完整孔

$$K = \frac{1.3q}{M} \quad (5.2.7-2)$$

3 单位出水量 q

$$s=aq+bq^2 \quad (5.2.7-3)$$

式中 q —当水位下降值 $s=1\text{m}$ 时的出水量 $[\text{m}^3/(\text{d m})]$ 。

5.2.8 利用压水试验资料计算渗透系数时,可根据不同条件采用相应公式。

1 试段位于地下水位以下,透水性较小 ($q<10\text{Lu}$)、P-Q 曲线为层流型时,可按下式计算岩体渗透系数:

$$K = \frac{Q}{2\pi Hl} \ln \frac{l}{r_0} \quad (5.2.8)$$

式中 Q —压入流量 (m^3/d);

H —试验水头 (m);

l —试段长度 (m);

r_0 —钻孔半径 (m)。

2 试段位于地下水位以下,透水性较小 ($q<10\text{Lu}$)、P-Q 曲线为紊流型时,可用第一阶段的压力 P_1 (换算成水头值,以 m 计) 和流量 Q_1 代入式 (5.2.8) 近似地计算渗透系数。

5.2.9 利用钻孔注水试验资料计算渗透系数时,可根据下列不同条件采用相应公式。

1 钻孔常水头注水试验

1) 试验段位于地下水位以下时,按下式计算试验岩土层的渗透系数:

$$K = \frac{16.67Q}{AH} \quad (5.2.9-1)$$

式中 K —试验岩土层渗透系数 (cm/s);

Q —注入流量 (L/min);

H —试验水头 (cm), 等于试验水位与地下水位之差;

A—形状系数 (cm)，由钻孔和水流边界条件确定，按附录 B 选用。

2) 试验段位于地下水位以上，且 $50 < H/r < 200$ ， $H \leq l$ 时，可按式计算试验岩土层的渗透系数：

$$K = \frac{7.05Q}{lH} \log \frac{2l}{r} \quad (5.2.9-2)$$

式中 r —钻孔内半径 (cm)；

l —试段长度 (cm)。

其他符号意义同式 (5.2.9-1)。

2 钻孔降水头注水试验

$$K = \frac{0.0523r^2}{A} \frac{\ln \frac{H_1}{H_2}}{t_2 - t_1} \quad (5.2.9-3)$$

式中 t_1 、 t_2 —注水试验某一时刻的试验时间 (min)；

H_1 、 H_2 —在试验时间 t_1 、 t_2 时的试验水头 (cm)；

r —套管内半径 (cm)。

其他符号意义同式 (5.2.9-1)。

5.2.10 利用钻孔提水试验资料计算渗透系数时，可按下列公式计算。

1 动水位和出水量未达到稳定要求，而接近稳定时，可按泰斯公式计算渗透系数：

$$K = \frac{Q}{4\pi H(s_2 - s_1)} \cdot \ln \frac{t_2}{t_1} \quad (5.2.10-1)$$

式中 Q —钻孔出水量 (m^3/d)；

t_1 、 t_2 —提水延续时间 (min)；

s_1 、 s_2 —在 t_1 、 t_2 时的水位下降值 (m)。

2 钻孔停止提水后，降落曲线逐渐恢复，则上式为：

$$K = \frac{0.183Q}{sH} \cdot \ln \frac{t}{t'} \quad (5.2.10-2)$$

式中 s —水位下降值 (m)；

t —表示开始提水至某一时间为止的延续时间 (min)；

t' —表示停止提水后所隔时间 (min)。

5.3 给水度和释水系数

5.3.1 潜水含水层的给水度和承压水含水层的释水系数，也可采用单孔稳定流抽水试验的方法确定。

5.3.2 采用稳定流抽水试验方法时，可按下列公式确定：

1 潜水完整孔

$$\mu = \frac{Qt}{\pi \frac{y+h}{2} (x^2-r^2)} \quad (5.3.2-1)$$

式中 Q—抽水稳定出水量 (m³/d)；

t—指示剂（荧光红、NaCl、NH₄Cl 等）从观测孔投入到抽水孔出现经过的时间 (d)；

x—抽水孔到观测孔距离 (m)；

r—抽水孔半径 (m)；

y—观测孔在抽水水位稳定时自含水层底板计起的厚度 (m)。

2 承压水完整孔

$$S = \frac{Qt}{\pi M (x^2-r^2)} \quad (5.3.2-2)$$

式中符号意义同式 (5.2.2-1)。

5.4 影响半径和引用补给半径

5.4.1 影响半径 R 的确定，宜按下列方法：

1 利用稳定流抽水试验有两个观测孔的水位下降资料计算影响半径时，可采用下列公式：

1) 承压水完整孔：

$$\log R = \frac{s_1 \log r_2 - s_2 \log r_1}{s_1 - s_2} \quad (5.4.1-1)$$

2) 潜水完整孔：

$$\log R = \frac{\Delta h_1^2 \log r_2 - \Delta h_2^2 \log r_1}{(\Delta h_1^2 - \Delta h_2^2)} \quad (5.4.1-2)$$

2 缺少观测孔的水位下降资料时，影响半径可采用经验数据，也可选用有关资料计算。

5.4.2 引用补给半径 R_y 的确定应符合下列规定：

1 在第四系松散层中采用单孔稳定流抽水试验，利用式 (5.2.7-1) 或式 (5.2.7-2) 计算渗透系数时，宜代入式 (5.2.1-1) 或式 (5.2.1-4) 计算引用补给半径。

2 在特定水文地质条件地区布置勘探试验孔时，并利用裘布依公式 $s = \frac{Q}{2\pi KM} \ln \frac{R_y}{r}$ 计算时，可按下列不同边界条件的相应公式计算引用补给半径 R_y

值。

1) 在常水头补给的半无限含水层中:

$$R_y = 2b \quad (5.4.2-1)$$

式中 b —抽水井至补给边界的距离 (m)。

2) 在有垂直渗漏或顶托补给及补给层水位不变的无限含水层中:

$$R_y = \frac{1.12}{\sqrt{\frac{K_0}{KMm_0}}} \quad (5.4.2-2)$$

式中 K_0 —抽水层顶面或底面的相对隔水层的渗透系数 (m/d) ;

m_0 —抽水层顶面或底面的相对隔水层的厚度 (m) ;

M —承压含水层厚度 (m), 当为潜水时 M 用 $\bar{h} = (H+h)/2$ 代替。

3) 在天然径流补给的无限潜水含水层中:

$$R_y = 2.25 \frac{\bar{h}}{l} \quad (5.4.2-3)$$

式中 $\bar{h}$ —抽水稳定后含水层的平均厚度 (m), $\bar{h} = (H+h)/2$ 。

4) 在两侧是常水头补给边界的条带状含水层中:

$$R_y = 0.63L \sin \frac{\pi l}{L} \quad (5.4.2-4)$$

式中 l —抽水孔至近侧边界的距离 (m) ;

L —条带状含水层的宽度 (m)。

5) 在一侧是隔水层边界另一侧是常水头边界的条带状含水层中:

$$R_y = 1.27L \cot \frac{\pi l}{2L} \quad (5.4.2-5)$$

式中符号意义同式 (5.4.2-4)。

5.5 降水入渗系数

5.5.1 勘察区或附近设有地下水均衡场时, 降水入渗系数可直接采用均衡场的降水入渗系数的观测计算值或采用比拟法确定。

5.5.2 在平原地区, 利用降水过程前后的地下水水位观测资料计算潜水含水层的一次降水入渗系数时, 可采用下式近似计算:

$$\alpha = \frac{\mu (h_{max} - h \pm \Delta h \cdot t)}{X} \quad (5.5.2)$$

式中 α —一次降水入渗系数;

$h_{\max}$ —降水后观测孔中的最大水柱高度（m）；

h —降水前观测孔中的水柱高度（m）；

Δh —临近降水前，地下水水位的天然平均降（升）速（m/d）；

t —从 h 变到 $h_{\max}$ 的时间（d）；

X — t 日内降水总量（m）。

5.5.3 在平原、丘陵和山岭地区，当缺少试验资料时，可按表 5.5.3 近似确定含水层（体）的降水入渗系数。

表 5.5.3 降水入渗系数 α 经验数据

地层名称	α	地层名称	α
粉质粘土	0.01~0.02	较完整岩石	0.01~0.15
粉土	0.02~0.05	较破碎岩石	0.15~0.18
粉砂	0.05~0.08	破碎岩石	0.18~0.20
细砂	0.08~0.12	极破碎岩石	0.20~0.25
中砂	0.12~0.18	岩溶微弱发育	0.01~0.10
粗砂	0.18~0.24	岩溶弱发育	0.10~0.15
圆砾土（夹砂）	0.24~0.30	岩溶中等发育	0.15~0.20
卵石土（夹砂）	0.30~0.35	岩溶强烈发育	0.20~0.50
完整岩石	0.01~0.10		

6 水文地质评价

6.1 一般规定

水文地质评价一般包括涌水量评价、地下水对隧道工程的影响评价、水质评价、环境水文地质评价。

6.2 涌水量评价

6.2.1 隧道工程宜根据水文地质条件和勘探孔水文地质试验资料，评价其可能产生的涌水量及应采取的工程措施。

6.2.2 对隧道涌水和突泥的评价应符合下列规定：

1 当隧道位于地下水位以下，隧道可能穿越断层带、节理密集带、构造破碎带、岩溶发育区时，可判定可能存在涌水问题。

2 应根据工程区的地形地貌条件、地质构造、地下水与地表水的水力联系、地下水的补排关系、岩土体的渗透性及其分布组合特征，进行涌水量估算。

3 当隧道穿越含泥断层带、含泥裂隙密集带以及含泥的岩溶洞穴、暗河形成的含水岩体时，可判定可能存在突泥问题。

4 预测涌水和突泥的可能性，估算最大涌水量，对围岩稳定性进行评估。

6.3 涌水量预测估算

6.3.1 工可和初步勘察可采用地下径流深度法、地下径流模数法、降水入渗法、水文地质比拟法和评分法等进行预测，当有勘探、试验资料时，宜采用地下水动力学法进行预测。

6.3.2 详细勘察应根据勘探和水文地质试验资料，采用多种方法预测，综合分析确定。

6.3.3 在涌水量分段计算时，应结合地层岩性、地质构造、物探异常、水文试验等综合成果对隧道开展分段计算。

条文说明：物探低阻异常区，一般为富水段落，围岩节理裂隙发育，导水性好，往往为整条隧道的主要涌水段落。

6.3.4 隧道施工中的最大涌水量和运营中的正常涌水量，宜根据不同岩性、构造、裂隙和节理的密集程度、富水程度等特征分段进行预测，预测方法宜按附录 E 的方法进行，并采用多种方法进行校核后综合分析确定。

6.3.5 隧道围岩的富水程度，可按表 6.3.5 进行分区。

表 6.3.5 围岩富水程度分区

分区名称 项目	贫水区（段）	弱富水区（段）	中等富水区（段）	强富水区（段）
洞身单位长度可能正常涌水量 q_s [m ³ / (d·m)]	$q_s < 0.1$	$0.1 \leq q_s < 1$	$1 \leq q_s < 5$	$q_s \geq 5$
地下径流模数 M [m ³ / (d·km ²)]	$M < 100$	$100 \leq M < 1000$	$m \geq 1000$	--

注：可选择具有代表性的一个指标进行分区。地下径流模数法强富水区的确定，尚需采用其他方法或指标。

6.4 地下水对隧道工程影响评价

6.4.1 地下水的力学作用的评价应包括下列内容：

1 对地下水位变化幅度较大的地区，应评价地下水位升降对隧道地基承载力和地基变形的影响。

2 隧道工程位于水位以下时，应提出控制地下水的措施，评价降水、隔水措施对邻近工程和周边环境的影响。

3 对有水头压差的粉细砂、粉土，应评价产生潜蚀、流土、管涌的可能性。

6.4.2 地下水的物理化学作用的评价应包括下列内容：

1 对地下水位以下的工程结构，应评价地下水对建筑材料的腐蚀性。

2 对软质岩、强风化岩、残积土、湿陷性土、膨胀岩土和盐渍岩土，应评价地下水的变化所产生的软化、崩解、湿陷、胀缩和潜蚀等有害作用。

6.4.3 地下水的腐蚀性评价应按附录 F 的要求进行。

6.4.4 流土的临界水力梯度 I_{cr} 应按下列公式计算：

$$I_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \quad (6.4.4-1)$$

$$I_{cr} = (G_s - 1)(1 - n) \quad (6.4.4-2)$$

式中 γ' —土的浮重度 (kN/m³)；

G_s —土的颗粒比重；

n —土的孔隙率。

6.4.5 管涌的临界水力梯度宜通过试验确定，无试验资料时可按下式估算：

$$I_{cr} = 2.2(G_s - 1)(1 - n) \frac{d_5}{d_{20}} \quad (6.4.5-1)$$

式中 d_5 、 d_{20} —分别为占土重 5%、20%所对应的土的粒径 (mm)。

6.4.6 当工程建设场地或附近有污染源时，应根据任务要求评价污染源对场地及附近地下水污染的影响。

6.5 水质评价

6.5.1 地下水水质评价，应在查明地下水的物理性质、化学成分和变化规律的基础上，根据评价区水文地质条件进行。

6.5.2 地下水水质评价，应对评价区的地下水及与其有水力联系的其他含水层、地表水体进行综合评价。

6.5.3 水质评价应包括下列内容：

- 1 确定隧道通过地段的地下水水质和水化学类型。
- 2 对地下水水质复杂地区，应分区或分段确定其水质和水化学类型。
- 3 预测因施工引起水质变化的可能性。
- 4 提出地下水对混凝土（结构）的腐蚀性及其腐蚀后防结晶提评价意见。

6.5.4 水质分析应包括下列主要内容：

- 1 按不同水文地质单元和不同类型含水层进行分组汇总。对分析中确认的不合理值应予以舍弃，舍弃时应说明其原因。
- 2 按离子含量及其主次关系和矿化度进行水化学分类。
- 3 根据水的不同用途对水质进行评价。

6.5.5 水质评价指标取值宜符合下列规定：

- 1 当某一含水层的水化学成份比较稳定时，评价可采用各水点离子的平均值进行。
- 2 当含水层地下水的水化学类型变化大时，则应对不同季节，不同地段的水质进行全面的分析，不宜简单的用平均值法计算。

7 水文地质勘察资料

7.1 一般规定

7.1.1 对各类水文地质资料进行系统整理和综合分析，编制并提供与其工作深度相适应的水文地质勘察成果。

7.1.2 在简单及中等复杂的水文地质区，水文地质勘察成果一般可作为工程地质勘察报告的一部分内容提供。在水文地质条件复杂的长、特长隧道，宜提供专项区域地质水文地质资料。

7.1.3 成果图表应在综合分析原始资料的基础上按水文地质条件和目的分类、分区编制。图表内容应客观反映水文地质条件和勘察成果。文字说明应与图表内容协调一致。

条文说明：由于隧道钻孔少，难以提供丰富水文地质资料，要求过高难以达到，建议一般情况下水文地质图表与工程地质图表合并，包括水文地质内容主要为平面图上泉井、剖面上水位线、水文地质试验、水质分析图表等。在水文地质特别复杂区，提供专项水文地质综合图。

7.2 水文地质勘察报告

7.2.1 水文地质勘察报告正文，应包含以下内容：

1 勘察概况：包括勘察依据、勘察范围、勘察过程、勘察方法、勘探工作量等。

2 自然地理概况：包括地形地貌、气象特征、地震动参数区划等。

3 区域地质概况：包括地层岩性、地质构造等。

4 区域水文地质条件：包括含水岩组分类、地下水类型及分布特征、富水性划分等。

5 水文地质勘探和试验方法的选用：物探、钻探、试验方法及成果，临时观测点的分布、观测情况和观测成果等。

8 水文地质计算：水文地质参数计算，涌水量预测方法的选择及涌水量预测成果等。

7 环境水文地质条件评价及工程措施建议（包括工程区水质对混凝土腐蚀性评价）。

8 附件，宜包括水文地质平面图、水文地质纵断面图、竖井及斜井柱状图水文地质柱状图、水文地质试验综合成果图、水文地质专题研究报告、勘察试验成果资料等。

7.2.2 公路越岭隧道水文地质勘察报告中尚应重点突出下列内容：

1 洞室地段地层岩性，地质构造，主要断层、破碎带、裂隙密集带的分布、规模、性状、组合关系，岩（土）层透水性，含水层、汇水构造、强透水带的分布及其富水性，地下水位、水温、水压及其动态变化特征，地下水补给、径流、排泄条件，地下水与地表水的水力联系，地下水的化学特性及其对混凝土的腐蚀性等。

2 涌水问题评价应包括涌水性质、途径、范围，涌水量计算方法及计算公式的选择，计算参数的确定，涌水量计算结果及其分析说明，涌水对地下洞室安全及周边环境地质条件的影响，防渗、排水措施建议等。

3 突泥问题评价应包括突泥的性质、突泥量估算、突泥对隧道工程的影响，工程处理建议等。

4 结论及建议应包括隧道工程区的基本水文地质特征，存在的主要水文地质问题及其评价意见，下一步工作建议等。

7.3 水文地质图表

7.3.1 水文地质勘察成果中主要图表宜按表 7.3.1 选择。其中，在不遗漏重要水文地质信息的基础上，比例尺可与工程地质图相同。

表 7.3.1 水文地质图表

序号	图件名称	设计阶段			
		预可行性研究	工程可行性研究	初步设计	施工图设计
1	综合水文地质图		+	+	
2	专门性水文地质图			+	+
3	洞身渗透剖面图		+	√	
4	典型地段（或专门性问题）水文地质剖面图		+	+	+
5	渗透性分区图		+	+	+
6	水文地质试验成果汇总表		√	√	√
7	地下水动态观测成果汇总表		+	+	+
8	水质分析成果汇总表		+	√	
9	水文地质物探成果报告	+	√	√	√
10	水质分析报告	+	+	+	+

注：“√”表示应提交的附件。“+”表示视需要而定的附件。

7.3.2 综合水文地质图应包括下列主要内容：

- 1 地层岩组界线、产状要素、褶皱轴和主要断层及破碎带展布情况等。
- 2 勘探钻孔、井、泉等的位置、高程、类型、水位和涌水量等。
- 3 地下水类型，地下水位分布及流向，隔水及透（含）水层组的岩性及分布。
- 4 地表水系和与地下水有关的沼泽、洼地、古河道、埋藏谷、冲洪积扇等的分布。
- 5 河流或溪沟的漏水地段、盲谷的消水点和出水点。
- 6 地下水的矿化度与化学类型。
- 7 渗漏或可能渗透变形地段的分布，渗漏方向。
- 8 水文地质分区及渗透性（富水性）分区。
- 9 工程设计方案的轴线或轮廓线、防渗帷幕线、地质剖面线等。

7.3.3 渗透剖面图应包括下列内容：

- 1 岩性、构造、风化带界线。
- 2 各勘探点和观测点在剖面上的位置，并应在钻孔两旁标明渗透指标（渗透系数等）和岩芯采取率。
- 3 潜水的水位、承压含水层的顶底板及其稳定水位、河水位和设计正常高水位等，各种实测水位均应注明观测日期。
- 4 透水层和相对隔水层的埋藏深度与分布范围。
- 5 岩土渗透性分级界线，渗漏及渗透变形分析、计算的有关说明。
- 6 建筑物轮廓线、建基面高程线。
- 7 对具有特殊地质意义的软弱夹层、断层破碎带、泥质及可溶盐类填充的节理密集带、可能产生渗透变形的地段等，在图上应用特殊符号或扩大比例尺标出。
- 8 若岩土层透水性变化较大且有明显的各向异性时，可采用类比或推测的方法来进行分带。当岩层的透水性比较均一时，可采用类比法，利用一些已知的试验成果，推测试验尚不能满足精度要求的个别地区的渗透性。实测与推测的资料应严格地加以区分标明在图上，不应相互混淆。
- 9 当水文地质条件简单时，渗透剖面图可与工程地质剖面图合并。

7.3.4 水文地质剖面图的编制应符合下列要求：

1 水文地质剖面图的布置宜垂直岩层走向或构造线方向,切过含水层最多的地段,或平行于地下水流向布置,应尽量利用已有的勘探点和地下水露头。

2 水文地质剖面图应参照工程地质剖面图的一般内容进行编制。同时还应根据研究的不同对象和目的,有选择的表示出需要的水文地质要素,如含水层的水位(水压)、渗透系数、富水性、矿化度等,并结合平面图标明水文地质分区的界线。

征求意见稿

8 各阶段勘察

8.1 一般规定

8.1.1 公路越岭隧道水文地质勘察宜划分为预可勘察、工可勘察、初步勘察及详细勘察。当水文地质复杂，地下水对隧道比选及开挖影响大时，应同步开展水文地质工作。

8.1.2 水文地质勘察深度应满足设计要求，并与设计阶段相适用。

8.2 可行性研究阶段水文地质勘察

8.2.1 预可勘察的任务是利用既有资料，了解隧道的主要水文地质条件及影响隧道的主要水文地质问题，为编制预可行性研究报告提供水文地质资料。

8.2.2 预可勘察工作应包括以下内容：

- 1 搜集、分析隧道区域水文地质资料，初步评价隧道水文地质条件。
- 2 水文地质条件复杂时，可进行遥感图像解译和现场踏勘，提出水文地质条件评价意见和下阶段工作内容和要求。
- 3 编制预可行性研究阶段水文地质勘察报告。

8.2.3 工可勘察应初步查明隧道的水文地质条件，为编制工程可行性研究报告提供水文地质资料。

8.2.4 工可勘察应包括以下内容：

- 1 初步确定隧道范围内水文地质分区及其富水程度。
 - 2 初步评价隧道范围内水文地质条件对线路方案的影响程度。
- 8.2.5 工可勘察应以遥感图像水文地质解译、大面积水文地质调绘为主，辅以必要的物探、验证性钻探、试验相结合的综合勘探方法。

8.2.6 工可勘察的资料编制应包括以下内容：

- 1 水文地质勘察文字说明，内容包括：勘察概况，遥感水文地质解译情况，区域水文地质特征，主要水文地质问题及工程措施意见及初勘中应注意的事项；
 - 2 水文地质图件，内容包括：水文地质图（以工程地质图件作底图），比例尺 1:10000~1:50000；遥感图像水文地质解译成果图（与工程地质合并编制）；
- 条文说明：在水文地质条件复杂时，可独立出水文地质图件。一般情况下，可与工程地质图合并。

3 勘探试验成果资料。

8.3 初步勘察

8.3.1 初步勘察应基本查明隧道的水文地质条件，为工程方案比选和初步设计提供水文地质资料。

8.3.2 初步勘察水文地质工作应包括下列内容：

1 应根据隧道地形地质条件，结合隧道的建设方案进行水文地质调绘及必要的水文地质勘探试验工作，查明和评价隧道的水文地质条件。

2 初步查明隧道围岩及上覆岩层的富水程度。

3 初步判定隧址区水文地质条件对隧道施工的影响程度。

4 初步评价隧道施工对周边区域地表水、地下水的水文地质条件以及生态环境的影响程度。

5 对不良水文地质路段宜开展专项水文地质勘察，可建立临时性气象、水文观测点。

条文说明：线路稳定路段可开展专项水文地质勘察。

8.3.3 初步勘察应以水文地质调绘、物探为主，辅以必要的钻探、试验相结合的综合勘探方法。

8.3.4 初步勘察水文地质勘察资料编制应包括下列内容：

1 水文地质勘察文字说明，内容包括：

1) 勘察概况：隧道建设方案、勘察采用的方法及完成的工作量；

2) 水文地质条件：区域水文地质条件、含水岩组的类型及分布情况，地下水类型，富水性分区情况，补给、径流、排泄，水质等；

3) 水文地质计算：水文地质参数计算，涌水量预测方法的选择及涌水量预测成果等；

4) 水文地质条件分段说明与评价，并提出工程措施建议。

2 水文地质图件，内容包括：

1) 区域水文地质图，比例尺 1: 10000~1: 50000)；

2) 隧道水文地质图（以工程地质图件作底图），比例尺 1: 2000~1: 10000；

3) 必要时，编制钻孔水文地质柱状图、综合测井图。

3 勘探试验成果资料，主要包括水文地质试验、水质化验、物探测试、土工

试验等基础资料。

条文说明：可与工程地质勘察报告合并编写。水文地质条件评价主要分析隧道通过储水构造、断裂带、岩溶等不良地质地段时产生突水、突泥、塌方的可能性；评估隧道工程建设对当地环境可能造成的不良影响及隧道工程建设场地的适宜性。

8.4 详细勘察

8.4.1 详细勘察应详细查明隧道水文地质条件，为施工图设计提供水文地质资料。

8.4.2 详细勘察水文地质工作应包括下列内容，并符合下列规定：

1 应根据初勘查明的水文地质条件，结合隧道的建设方案进行加密水文地质调绘、勘探和试验工作，详细查明和评价隧道的水文地质条件。

2 详细查明隧道围岩及上覆岩层的富水程度。

3 对隧道的可能涌水段，应加强勘探、测试工作，提供水文地质参数，作出涌水量预测。

4 进一步评价隧道与周边环境水文地质条件的相互影响，预测其发展趋势，并提出防治措施。

5 对不良水文地质路段应开展专项水文地质勘察，对初步勘察已经建立的临时气象、水文观测站（点），继续进行观测。

条文说明：对初勘尚未开展专项水文地质勘察的不良水文地质路段在详勘时应开展该项工作。

8.4.3 详细勘察的水文地质工作方法，应符合下列规定：

应核实、加密、补充水文地质调绘，在充分利用初勘成果的基础上，采用物探、钻探、试验相结合的综合勘探方法。

条文说明：对于初勘水文地质调绘应进行必要的核实工作，不足或遗漏的路段应进行加密水文地质调绘；对线路调整路段应进行补充水文地质调绘。

8.4.4 详细勘察水文地质资料编制应符合第 7 章的规定外，尚应符合下列规定：

1 开展专项水文地质勘察的不良水文地质路段应编制专项水文地质勘察报告。

2 隧道水文地质图（以工程地质图件作底图）比例尺为 1：2000，重点路段可编制 1：500～1：2000。

征求意见稿

9 不良水文地质路段水文地质勘察

9.1 岩溶区公路越岭隧道水文地质勘察

9.1.1 路线通过可溶岩地区时，应进行岩溶区水文地质勘察。水文地质条件应在初勘阶段查明。

9.1.2 岩溶区越岭隧道水文地质初勘除应满足第8章要求外，尚应符合下列规定：

- 1 初步查明可溶岩的岩性、分布及岩溶发育程度、发育规律、规模、连通性。
- 2 初步分析岩溶地下水的赋存、补给、径流、排泄条件。
- 3 初步划分岩溶地下水系统。
- 4 覆盖型、埋藏型岩溶区应初步查明上覆地层的岩性、厚度、物质组成、结构特征等。

9.1.3 岩溶区越岭隧道水文地质详勘除应满足第8章要求外，尚应符合下列规定：

- 1 查明岩溶发育程度、发育规律、规模、连通性。
- 2 查明岩溶水文地质结构和岩溶地下水分布特征，划分岩溶地下水类型。
- 3 覆盖型、埋藏型岩溶区应分析上覆地层对岩溶地下水开采利用的影响。

9.1.4 岩溶区越岭隧道选线应符合下列规定：

- 1 路线应避开岩溶强烈发育地带，选择在岩溶发育微弱、受岩溶水影响小或非岩溶化地带通过。
- 2 路线应避免沿断裂带、可溶岩与非可溶岩的接触带、有利于岩溶发育的褶皱轴部布线，避开断裂的交汇处、岩溶水富集区及岩溶水排泄区。
- 3 路线应避开岩溶负地形和岩溶水排泄区。
- 4 路线应避开土洞、地面塌陷发育的不良地质地段。

9.1.5 岩溶区越岭隧道水文地质调绘应包括下列内容：

- 1 同碎屑岩地区的主要调查内容。
- 2 岩溶的类型及其特征。
- 3 微地貌（岩溶漏斗、竖井和洼地等）和岩溶泉与地下水分布的关系。
- 4 构造、岩性、地下水径流和地表水文网等因素与岩溶发育的关系。

5 暗河（地下湖）的位置、规模、水位和流量，及其补给条件和开发条件。

6 大型洞穴的形状、规模和充填物。

9.1.6 岩溶区越岭隧道水文地质物探应符合下列规定：

1 应在水文地质调绘的基础上进行。

2 宜采用AMT等综合物探手段，探测岩溶洞穴在隧道的分布位置、规模、充填情况及岩溶水发育情况。

3 当确定为岩溶水富集段时，应布置钻孔进行验证。

9.1.7 岩溶区越岭隧道水文地质勘探应符合下列规定：

1 勘探孔深度，宜钻穿或钻达对隧道建设有意义的溶发育带。一般情况，钻孔深度应至路线设计高程以下不小于5m。遇岩溶时，勘探深度应至稳定底板以下不小于8m。

2 基岩岩芯的采取率，完整岩层宜大于70%，构造破碎带、风化带、岩溶带宜大于30%。

9.1.8 岩溶区越岭隧道水文地质试验应符合下列规定：

1 裂隙溶洞发育的抽水孔、长观孔，可设置骨架过滤器或缠丝过滤器。

2 探采井在泵体以上应设置骨架过滤器，或根据岩层破碎情况，在安泵段下过滤器或护壁管。

3 抽水试验观测孔、岩溶裂隙不发育的抽水孔的基岩段可不设置过滤器。

4 绘制试验得出的地下水连通平面图或岩溶地下水水系分布图。

9.1.9 岩溶区越岭隧道水文地质评价应符合下列规定：

1 岩溶地区综合水文地质图尚应侧重反映下列内容：

1) 与岩溶发育有关的地形地貌要素，主要包括河谷裂点、阶地、古河道、地形分水岭、沟谷洼地、落水洞、天然竖井、漏斗等；

2) 强岩溶化岩层或相对隔水层分布；

3) 溶洞与暗河的进出口高程、规模、延伸方向、充填与联通情况；

4) 地下水等水位线、流速和流向，地下水分水岭的高程及其与地表水的补排关系；

5) 岩溶渗漏程度分区（或段）。

2 可溶岩地段尚应包括岩溶发育规律，主要溶洞和喀斯特通道的发育层位、

规模、连通及充填情况、富水性等。

9.2 穿越断层破碎带（富水带）区水文地质勘察

9.2.1 路线隧道穿越断层破碎带（富水带）区时，应进行水文地质勘察。水文地质条件应在初勘阶段查明。

9.2.2 穿越断层破碎带（富水带）区越岭隧道水文地质初勘除应满足第6章要求外，尚应符合下列规定：

- 1 初步查明地表水与断层带水的变化特征，分析两者的补排关系和形式。
- 2 初步查明断层与隧道的分布空间关系，断层带水的赋存、补给、径流、排泄条件。
- 3 初步查明断层构造带的地质构造和结构构造面的性质、分布、规模、组合特征。
- 4 初步查明储水构造及阻水构造的埋藏、规模、分布特征，分析储水构造的赋存、补给、径流、排泄条件。
- 5 初步查明断层带处主要含水层的类型、类型及边界条件、水力联系及富集规律。
- 6 初步确定主要断层带水的主要水文地质参数，进行水量预测。
- 7 初步评价隧道施工排水对环境可能造成的不良影响。

9.2.3 穿越断层破碎带（富水带）区越岭隧道水文地质详勘应符合下列规定：

- 1 查明地表水与断层带水的变化特征，分析两者的转化关系和形式。
- 2 查明断层与隧道的分布空间关系，断层带含水层及隔水层的特征及富水性。
- 3 查明褶皱、断裂、裂隙密集带等各类储水构造性质、规模、分析特征及其导水性、富水性。
- 5 查明断层带处主要含水层的类型及边界条件，地下水的动态特征及变化规律。
- 6 确定断层带水的主要水文地质参数，进行水量预测。
- 7 隧道穿越富水断层时，针对涌水段落提出施工防治措施建议。

9.2.4 穿越断层破碎带（富水带）区越岭隧道选线应符合下列规定：

- 1 隧道应选择在构造简单、地下水不发育位置，隧道轴线宜与区域构造线的

走向垂直。

- 2 隧道应避免沿褶皱轴部，平行于区域性大断裂，以及在断裂交汇部位通过轴线宜与岩层、区域构造线的走向垂直。

9.2.5 穿越断层破碎带（富水带）区越岭隧道水文地质调绘除应满足第4章要求外，尚应符合下列规定：

- 1 查明断层位置、类型、规模、产状及在平面和剖面的形态特征。
- 2 查明断层与隧道工程的平面空间关系。
- 3 断层构造破碎带的物质组成、特征（角砾的粒度、排列情况、胶结类型和程度、溶蚀现象及风化特征）及破碎带的影响宽度。
- 4 断层构造的赋水性、透水性和导水性，分析断层构造突水对隧道施工的影响程度。

9.2.6 穿越断层破碎带（富水带）区越岭隧道水文地质物探应符合下列规定：

- 1 水文地质物探应在水文地质调绘的基础上进行，以确定断层破碎带及富水带分布的异常区，为合理布置物探测线提供依据。
- 2 一般宜用两种以上的方法对断层破碎带进行探测，同时应密切结合工程地质勘察成果资料进行二次以上解译。
- 3 在经过断层带钻孔中应用综合测井、孔内电视及跨孔物探等方法进行物探工作。
- 4 物探测线宜沿隧道走向布置，在断层破碎带处补充垂直断层走向的物探测线，密度不宜少于2条，探测深度应在隧道底板以下10-15m。
- 5 重点查明基岩风化带的厚度，断层破碎带、裂隙带、不同岩性的接触带位置、埋藏深度、宽度、充填程度和含（透）水性。
- 6 断层带富水的埋藏深度、地下水的流向、含水层的埋藏深度和厚度。
- 7 物探测井应查明断层带处地下水的稳定水位、含水层的位置及划分钻孔地质物性剖面。

9.2.7 穿越断层破碎带（富水带）区越岭隧道水文地质勘探应符合下列规定：

- 1 对已经收集、调绘资料及物探成果关于断层资料进行验证。
- 2 查明断层带地下水与隧道的关系，含水层类型、富水性和分布空间特征。
- 3 查明断层带地下水的埋藏、补给、径流、排泄条件及与地表水的水力联系。

4 水文地质钻孔应至隧道洞底设计标高以下不小于5m，并应穿过断层破碎带。

5 采取断层原状岩芯试验，通过室内试验获取物理力学参数。

9.2.8 穿越断层破碎带（富水带）区越岭隧道水文地质试验应符合下列规定：

1 对断层带处进行水文地质抽水试验，查明断层的渗透性和富水性，测定有关的水文地质参数。

2 断层与隧道上覆各含水层水力联系较强时，应进行分段抽水。

3 当断层水作用在隧道上存在外水压力问题，应综合考虑地下水的静力学特性和动力学特性来估算外水压力。

9.2.9 穿越断层破碎带（富水带）区越岭隧道水文地质评价应符合下列规定

1 隧址区断层带含水层的富水性、各富水断层之间的水力联系以及其与隧道的空间分布关系。

2 分段评价断层穿越隧道处的水文地质和工程地质条件，分析涌水突泥问题，预测涌水水压及水量。

3 明确断层构造的特征及其阻、导水性，评价断层涌水对隧道施工的影响程度，并提出施工建议。

4 明确断层带水对隧道混凝土及其钢筋的腐蚀性。

5 评价导水断层在施工排水过程中对周边地表水、地下水水文地质条件和环境的影响程度。

6 提出断层带位置施工排水、地下水的利用及环境保护提出建议。

9.3 下穿河流、水库等地表水体区公路越岭隧道水文地质勘察

9.3.1 公路越岭隧道下穿河流、水库等地表水体区时，应进行水文地质勘察。水文地质条件应在初勘阶段查明。

9.3.2 下穿河流、水库等地表水体区越岭隧道水文地质初勘除应满足第8章要求外，尚应符合下列规定：

1 初步查明可能渗漏地段，主要为断层破碎带及古河道。

2 初步查明隧道上方河流及水库区褶皱、断裂等各类地质构造和构造结构面的性质、分布、规模及储水构造、阻水构造的埋藏、规模、分布特征，初步分析河流、水库水与隧道含水层之间的水力联系，初步分析地下水的赋存、补给、径流、排泄条件。

3 初步判断河流及水库发生渗漏可能性。当有下列条件之一时，可判定为发生渗漏：

1) 河水补给地下水，河流上下游流量有明显的漏失现象；

2) 库水位高于邻谷河水位，河间地块无相对隔水层，或相对隔水层已被断层破坏，且无地下分水岭；

3) 库水位高于邻谷河水位，河间地块虽有地下分水岭，但其高程低于库水位，且正常蓄水位一下发育有通向库外的透水层；

4) 库水位高于邻谷河水位，断层构造切割直接沟通蓄水工程内外，产生水力联系。

4 初步查明强透水的大断层破碎带岩性特征及渗透性参数。

9.3.3 下穿河流、水库等地表水体区越岭隧道水文地质详勘除应满足第7章要求外，尚应符合下列规定：

1 查明渗漏地段。

2 查明褶皱、断裂、裂隙密集带等各类储水构造的性质、规模、分布特征及其导水性、富水性。

3 判断河流及水库发生渗漏可能性。

9.3.4 下穿河流、水库等地表水体区越岭隧道选线应符合下列规定：

1 隧道应选择在地层稳定、构造简单、地下水不发育、进出口条件有利的位置，隧道轴线宜与岩层、区域构造线的走向垂直。

2 隧道应避免沿褶皱轴部,平行于区域性大断裂,以及在断裂交汇部位通过。

3 隧道应避免通过与地表水联系强的地下水富集区和地层松软地带。

4 隧道应尽量避免与地表河流、水库水力联系强的渗漏地段,若不能,则应采取合适的带水作业建议。

9.3.5 下穿河流、水库等地表水体区越岭隧道水文地质调绘除应满足第4章要求外,尚应符合下列规定:

1 隧道至地表水体地段的地层岩性、产状、节理裂隙发育程度、地下水径流排泄特征、富水程度,并预测隧道施工时地表水涌入隧道的可能性。

2 不同岩性的接触带、断层带等富水带的位置及分布范围。

3 地表河流及水库下伏基岩的岩性特征及导水关系,古河道的变迁、古河床的分布及其沉积物的成因、结构特征。

4 若发现存在地下暗河,应查明地下暗河系统的类型、组成要素、平面走向、剖面特征,进出口流量及动态变化特征,暗河系统的汇水面积,分析暗河与隧道的位置关系及影响,必要时进行示踪试验。

5 隧道至地表水体地段存在第四系松散地层且下部有承压水时,应查明承压水埋藏深度及其水头高度、隔水顶板的岩性和厚度,预测基底溃底、涌砂的可能性,并提出工程措施意见。

6 采用野外调绘与遥感图像解译相配合的方法,认真追索断层破碎带及地下水发育带的特征,并评价其对隧道的影响。

9.3.6 下穿河流、水库等地表水体区越岭隧道水文地质物探除应满足第4章要求外,尚应符合下列规定:

1 隧道长大深埋时,采用可控源音频大地电磁法(CSAMT)或音频大地电磁法(AMT)进行渗漏地段、富水段落及富水程度的划分。

2 物探解译的低阻异常区应结合地质条件及河流、水库与隧道的构造水力联系特征进行综合分布,特别是断层破碎带附近应采用多种物探方法综合解译,判断地下水对隧道的危害程度,必要时提出进行钻探验证的要求。

9.3.7 下穿河流、水库等地表水体区越岭隧道水文地质勘探除应满足第4章要求外,应符合下列规定:

1 避免直接在河流、水库等地表水体中布设钻孔,防止地表水通过钻孔渗入

隧道。

2 钻孔重点布设在断层破碎带、构造复合部位、褶皱部位、不整合接触带和不同岩性接触带，查明其与隧道的导水性关系。

9.3.8 下穿河流、水库等地表水体区越岭隧道水文地质试验应符合下列规定：

1 松散层含水层中应进行抽水试验或注水试验，可选用单孔抽水、多孔抽水、分层抽水或综合抽水试验。

2 在基岩中应进行压水试验或注水试验。

3 水文地质试验孔的位置和数量，应根据隧道规模确定。每个水文地质单元应不少于1孔。

4 遇到暗河及断层破碎带时，应加深至其下5m。

9.3.9 下穿河流、水库等地表水体区越岭隧道水文地质评价除应满足第9章要求外，尚应符合下列规定：

1 评价河流、水库等地表水体与拟建隧道的水力联系、导水性及连通通道，对渗漏问题进行评价。

2 结合勘探、试验资料，采用地下水动力学法为主的综合方法进行预测涌水量。

3 预测掘进时突水（泥）的可能性，分析可能产生严重渗漏地段的位置及水量。

4 提出涌水段处理建议，提出外水压力折减系数。

9.4 冰积区公路越岭隧道水文地质勘察

9.4.1 路线隧道通过冰积区时，应进行冰积区水文地质勘察。

9.4.2 冰积区越岭隧道水文地质初勘除应满足第8章要求外，尚应符合下列规定：

1 建立长期地温观测点，并应进行地温观测，观测孔深度不应小于地温年变化深度。

2 初步查明多年冻土的分布地下水类型：冻结层上水、冻结层间水、冻结层下水和融区水的储存形式，埋藏条件，水位变化幅度，地下水补给、径流、排泄条件，地层的渗透性及相互关系，冻结前和冻结期间的变化情况、水质水量及其变化情况。

2 初步查明隧道地下水（冰）发育情况、冻土融化圈对围岩强度的影响，冰层融化、水分转移可能引起的工程地质问题 and 环境水文地质问题。

3 隧道进、出口处冻土现象的类型、分布、规模及危害程度。

9.4.3 冰积区越岭隧道水文地质详勘除应满足第8章要求外，尚应符合下列规定：

1 查明多年冻土的地下水分布类型，地下水补给、径流、排泄条件及动态特征。

2 查明隧道地下水（冰）发育情况、冻土融化圈对围岩强度的影响，冰层融化、水分转移可能引起的工程地质问题 and 环境水文地质问题。

3 进一步查明隧道进、出口处冻土现象的类型、分布、规模及危害程度。

9.4.4 冰积区越岭隧道选线应符合下列规定：

1 宜避免穿过地下水发育、有厚层地下冰分布的地层。

2 洞口不宜设置在热融滑塌、冰锥、冻胀丘、含土冰层的发育地段。

9.4.5 冰积区越岭隧道水文地质调绘应符合下列规定：

1 冰积区的各种不良冻土现象有明显的季节性，水文地质调绘的时间安排要与之相适宜，并统筹安排好相关勘探测试工作。

2 调查井、泉及地表水的分布情况，查明和分析地下水与地表水的关系。

3 查明与地下水和厚层地下冰有关的不良冻土现象（冰锥、冻胀丘、沼泽湿地、热融滑塌等）的成因、类型、分布范围、发展趋势及危害程度，提出隧道线

位的建议。

9.4.6 冰积区越岭隧道水文地质物探除应满足第4章要求外，尚应符合下列规定：

1 物探工作前应充分收集该场地相关的冰积土地质资料及岩土物理力学参数，当资料缺乏时，应实测该地区冰积土地球物理勘探岩土物理力学参数，并应分析冰积土与周围岩土体之间物性差异。

2 冰积区物探应根据冻土类型和场地地球物理条件，选择合适的物探方法，宜选用AMT等方法。当采用单一的物探方法无法达到勘探目的时，应采用综合物探方法。

3 物探测线、测点的布设，应根据水文地质勘探的任务目的、精度要求，结合场地工程地质条件及物探方法的特点综合确定，在水文地质条件复杂洞段应予以加密。

4 查明冰积土的上限和下限的埋藏深度。

5 对所取得物探成果应结合场地条件、冰积土特征及场地干扰等因素综合解译，必要时应采用挖探、钻探等手段验证。

9.4.7 冰积区越岭隧道水文地质勘探除应满足第4章要求外，尚应符合下列规定：

1 冰积区宜根据冰积土环境条件采用钻探、坑探、槽探、物探想结合的综合勘探方法，勘探点的布置应在冰积土工程地质调绘、遥感解译和物探等工作的基础上确定。隧道的进出口应布置勘探钻孔。

2 应结合冰积土的特点、隧道类型、勘探目的和勘探对自然环境的影响等选择在适宜的时间内进行。

3 钻探应采用干钻或单动双管岩芯管低温冲洗液钻进。对有地下水发育的隧道，勘探深度应至泄水洞基础底面以下4~5m。

4 当遇到地表水、多层地下水时，应分层测定地下水水位、开展孔内水文地质试验、采取水样。

9.4.8 冰积区越岭隧道水文地质试验除应满足第4章要求外，尚应符合下列规定：

当地下水有可能浸没和浸湿隧道衬砌时，应取水样进行腐蚀性分析。

9.4.9 冰积区越岭隧道水文地质评价除应满足第8章要求外，尚应符合下列规定：

1 冰积区越岭隧道水文地质条件评价应包括下列内容：

1) 地下水类型、规模、动态变化及其发育规律；
2) 冰积土温度状况的评价，包括可能有积雪、植被、水体、沼泽化、大气降水渗透作用、土壤含水率、地形等因素所引起的变化；

3) 地下水季节冻结与季节融化深度；

4) 水文地质条件因外界环境因素变化的预测及评价。

2 对水文地质环境变化的影响，其评价应包括下列内容：

1) 自然条件改变对水文地质环境所造成的影响；

2) 人类工程活动对冰积区水文地质环境所造成的影响；

3) 水文地质条件变化状况；

4) 水文地质环境因外界因素变化的预测及评价。

9.5 黄土区公路越岭隧道水文地质勘察

9.5.1 路线隧道通过黄土区时，应进行黄土区水文地质勘察。

9.5.2 黄土区越岭隧道水文地质初勘除应满足第8章要求外，尚应符合下列规定：

- 1 初步查明地表水分布、汇集和排泄情况，洪水淹没范围及水流冲刷作用影响。
- 2 地下水的类型与埋深、季节性变化幅度，分析地下水与地表自然水体的联系特点，预估地下水位季节性变化幅度和升降可能性。
- 3 查明场地内因地下水引起的不良地质作用的类型、成因、分布范围和危害程度。
- 4 查明既有水文地质病害及防治工程经验。

9.5.3 黄土区越岭隧道水文地质详勘除应满足第8章要求外，尚应符合下列规定：

- 1 详细查明地表水分布、汇集和排泄情况，洪水淹没范围及水流冲刷作用影响。
- 2 详细查明地下水的类型与埋深、季节性变化幅度，结合隧道和周边环境条件，分析隧道围岩浸水湿陷的可能性和程度。
- 3 详细查明场地内因地下水引起的不良地质作用的类型、成因、分布范围和危害程度，提出防治措施建议。

9.5.4 黄土区越岭隧道选线应符合下列规定：

- 1 黄土地区隧道应尽可能选在地层稳定、构造简单、地下水不发育、进出口条件有利的位置通过。
- 2 洞口尽可能避开黄土滑坡、崩塌、陷穴发育地段。
- 3 洞身不宜穿越黄土滑坡、错落、陷穴、潜蚀洞穴等因地下水引起的不良地质地段，以及黄土与其他含水层的分界处通过。

9.5.5 黄土区越岭隧道水文地质调绘除应满足第4章要求外，尚应符合下列规定：

- 1 在地貌单元的边界、地下水出露点、湿陷洼地、陷穴、落水洞、堰塞湖、黄土滑坡、错落、地裂缝的水流冲刷部位应布置水文地质调绘点。

2 必要时,选择代表性地貌地质单元布置挖探点,采集土样,测试其湿陷性。

3 调查地下水的深度、季节性变化幅度、升降趋势及其与地表水体、灌溉情况和开采地下水强度的关系,查明上层滞水、潜水、承压水等地下水类型和来源,评估地下水上升的可能性和程度。

4 地下水的径流、排泄条件,特别是与下伏地层接触带的赋水情况。黄土层中所夹粉土、姜结石和砂卵石含水层的分布范围、埋藏条件和富水性。黄土柱状节理、孔隙、溶蚀孔洞的发育特征和含水性。黄土塬洼地的分布、成因和含水性。黄土底部岩层的含水性或隔水性。

5 地下水对山坡稳定的影响。

6 山体分布的水库、池塘、渠道的浸没、湿陷情况,渗漏情况,及其对地下水位的影响。

9.5.6 黄土区越岭隧道水文地质物探除应满足第4章要求外, 尚应符合下列规定:

1 黄土区水文地质物探应根据黄土类型和场地地球物理条件,选择合适的物探方法,宜选用AMT等方法。当采用单一的物探方法无法达到勘探目的时,应采用综合物探方法。

2 对于上部黄土覆盖,下部为红层软岩、卵砾石的二元或多元结构隧道,深埋段分界线位于洞身附近时宜采用钻孔勘探,并通过物探进一步查明黄土和下伏地层的水文地质条件;浅埋段宜通过挖探和物探确定岩土分界线。

9.5.7 黄土区越岭隧道水文地质勘探除应满足第4章要求外, 尚应符合下列规定:

1 应采用物探、挖探、钻探等进行综合勘探。勘探测试点的数量和位置应根据地形地质条件、黄土的湿陷性、隧道规模等确定。

2 查明黄土层中钙质结核含水层的厚度、钙质结核的含量、地下水位埋深。

3 勘探孔宜沿隧道中心线,并在洞壁外不小于5m~8m的位置沿隧道两侧交错布置,钻孔深度应至隧道底板设计高程以下不小于5m,且应穿透含水分界层。

4 水文地质条件复杂时,宜增加勘探点并结合物探进行综合勘探。

9.5.8 黄土区越岭隧道水文地质试验除应满足第4章要求外, 尚应符合下列规定:

1 对地下水位变化幅度较大或变化趋势不利的地段,应从初步勘察阶段开始进行地下水位动态的长期观测。

2 当水文地质条件复杂时,进行水文地质试验,计算出渗透系数等参数。

3 取水样进行水质、侵蚀性分析。

9.5.9黄土区越岭隧道水文地质评价应符合下列规定:

1 分析隧道产生突水、突泥、塌方的可能性。

2 对隧道的地下水涌水量进行分析计算。

3 评价黄土陷穴、落水洞、滑坡、错落等不良地质的发展趋势及对隧道的影响。

4 评价新老黄土界面、土石界面的地下水赋存状态及含水层或饱和黄土软弱带对隧道的影响,预测施工中可能发生的地质灾害和提出对应的工程措施建议。

5 分析评估冲沟沟床的稳定性、区域地表汇水对冲沟的侵蚀程度及冲沟下切发展趋势对隧道的影响。

6 评估隧道工程建设对当地环境可能造成的不良影响及隧道工程建设场地的适宜性。

附录 A 观测点、调绘点（地质、地貌、水文地质点）的记录要求

A. 0.1 观测点、调绘点布设和野外定位应符合下列要求：

1 观测点、调绘点应布置在地质界线和其他有意义的地质现象上；地质线路宜穿越或追索地质界线布置。

2 观测点、调绘点间距，应控制在相应比例尺图上距离 2cm~3cm。在地质条件复杂、对工程影响较大地段，可适当加密。

3 在露头条件差或涉及重要地质现象地段，应按地质测绘精度要求布置人工勘探点。

4 大比例尺工程地质测绘的观测点、调绘点，应采用仪器定位。中、小比例尺工程地质测绘的观测点，可用目测、罗盘交会或手持 GPS 定位，对控制主要地质界线及重要地质现象的观测点、调绘点，应采用仪器定位。

A. 0.2 观测点、调绘点观察描述及野外记录应符合下列要求：

1 描述内容应包括：位置、地貌部位、地层岩性、地质构造、水文地质、物理地质现象等。

2 地质线路观察描述内容应包括：起止点、转折点位置、线路方向，地层岩性及出露厚度和层序关系，地质构造、水文地质和物理地质现象等。线路观察描述应反映地质点间的连续性、关联性，并附线路示意图。

3 野外记录应在现场进行，内容要真实全面、重点突出。凡图上表示的地质现象，应有记录可查。

4 重要地质点或地质现象应进行素描或摄影、录像。

5 地质点应统一编号、现场标识。记录宜使用专用卡片、表格，并用铅笔书写，文字应清晰。野外记录使用的卡片、表格，可按下表执行。

地质点观察记录表

地质点编号		高程 (m)		坐标		X:				
位置						Y:				
层位			观察重点							
产状	编号	走向 (°)	倾向	倾角 (°)	产状	编号	走向 (°)	倾向	倾角 (°)	
岩层					节理裂隙					
断层										
断层上盘岩层										
断层下盘岩层										
地质描述										
素描与示意图										
标本编号				采集地点						
采集层位				试验目的						

工程名称:

勘察阶段:

时间: 年 月 日

记录:

测量:

校核:

共 页 第 页

水文地质点观察记录表

工程名称：

调查时间： 年 月 日

点号	泉		井		溪沟		其他	
类型				气温	° C	水温	° C	
泉、井口 或沟底的 高程	绝对	米			地理位置			
	相对	米			坐标	X:	Y:	
水的用途				水量及变化（季节性的或流途中的）	水量实测值	立方米/秒		
					测量方法			
					水量变化			
所在点水文地质特征	地层岩性与构造							
	地形、地貌、补给排泄等							
	与物理地质现象相关的分析							

附录 B 水文地质勘察中物探方法的应用

B.0.1 根据水文地质勘察工作中各不同探测项目，宜按表 B.0.1 选择物探方法。

B.0.2 水文地质勘察工作中不同的探测内容和物性特征，宜采用表 B.0.2 选择物探方法和技术。

表 B.0.1 在水文地质勘察中应用物探方法探测项目一览表

应用方法		覆盖层厚度	断层破碎带	岩溶	寻找地下水	含水层	地层密度	地层孔隙度	地下水流速流向	渗透率	渗漏地段
电法勘探	电测探法	○	△	○	○	○		△			
	电剖面法	△	○		△						△
	自然电场法		△						△		○
	充电法								○		
	激发极化法		△		○	○					△
	可控源音频、大地电磁测深法	○	○	○	△	△					△
	瞬变电磁法	○	○	○	△	△					△
地震勘探	浅层折射法	○	○		△	△					
	浅层反射法	○	○		△	△					
	瑞雷波法	○		△							
放射性勘探			△				△				
钻孔测井	电测井		△		○	○		△	△	○	○
	声波测井		△					○			
	放射性测井	△					○	○			
	电磁波测井		△	○							
	钻孔电视		○								
	同位素示踪法			△	△				○	△	○

○主要方法 △配合方法

表 B. 0. 2 根据不同探测内容和物性特征采用的物探方法一览表

序号	任务要求与探测内容	应用条件、物性特点	采用方法与探测技术
I	第四系地层中划分含水层和隔水层，测定其埋深和厚度。基岩裂隙水调查并测定地下水位。	含水层的地质—物性特点 可分两类：一是第四系地层中的含水层，主要是孔隙率大、透水性强的沙卵（砾）石层、砂层，它们与透水性弱的粘土层相比，一般具有电阻率低、电化学活动性强的特点。二是基岩中有裂隙密集带、岩溶发育带、断层破碎带等含水层（带）与其围岩相比，通常具有电阻率低，电化学活动性强，弹性波速度低的特点	探测方法主要有电法勘探（包括高密度电法），地震勘探。通常以点距较大的电测深进行作全面探测，以点距较小的地震剖面和高密度电法作重点配合（当含水层与上覆层具有明显的波阻抗差别时，可采用浅层反射波法）。 对于第四系地层松散层中或基岩裂隙中是否具有地下水赋存条件，主要应用激发极化法探测，因为激发极化法的激电参数激发比（IS）极化率（ μS ）衰减度（DS）与富集的地下水有着密切关系。 当 IS=0. 3%~3%， μS =1%~5%， DS=30%~50%时，可视为含水岩（土）体
II	岩溶洞穴间分布位置	岩溶洞穴与围岩之间，一般存在明显的电阻率、波速、波阻抗、密度、磁化率等物性差异，可应用相应的物探方法，进行综合物探探测	地下水渗透速度的测定，可在钻孔中用井液电阻率法中的扩散法测定。 当钻孔穿过了具有不同水压力的几个含水层时，可利用井中流量计或扩散法测定含水层之间的补给关系。 涌水量和渗透系数的测定，应在钻孔进行抽水或压水试验（或进行注入法、提捞法）时，利用井中流量计或井液电阻率法测定孔内不同深度点的轴向流量，从而计算出各含水层的涌水量和渗透速度。 在被覆盖的岩溶地区，当地形平缓、基岩埋藏较浅时，可应用地面物探方法探测表层岩溶溶蚀带，采用方法：电法（电测深、电剖面和高密度电法可控源音频大地电磁测深法、瞬变电磁法、甚低频法）；地震法（浅层折射波法和浅层反射波法）及地质雷达法等综合物探方法 探测岩溶洞穴是充水还是填充疏松沉积物时，可采用激发极化法与其他物探方法相互配合，当 IS>30%，DS>80%， μS >5%时，一般为沉积物反映，低于上述数值时，往往是充水的反映。 探测孔间或洞间岩溶洞穴，应用孔间的透视法进行，孔间或洞间的距离应小于 80m，对于电磁波、声波、地震波等透视法均可采用交会法或层析成像法（由计算机进行数据处理）
III	查明渗漏带、含水层位置及层间补给关系	同 I	地面进行自然电位测量，等自然电位平面图上的负异常多为渗漏带的反应

序号	任务要求与探测内容	应用条件、物性特点	采用方法与探测技术
IV	主要测定水文地质参数和地下水运动情况	应用条件：电测井只能在无套管有井液的孔段进行；声速测井只能在无套管有井液的孔段进行；放射性测井无论钻孔有无套管及井液均可进行；钻孔电视只能在无套管的干孔和清水钻孔中进行；井中流体测量只适用于无套管（可以有滤管）的钻孔	测定水文地质参数的物探方法有：充电法、自然电场，井液电阻率测井，同位素示踪法和同位素流速仪法。在钻孔或水井内，采用充电法进行地下水流向、流速的测定。 采用自然电场法，可在测区内地形比较平缓的地方布置若干测点，以测点为中心作自然电场的环形观测，即测量不同方位的过滤电场。 在钻孔或水井内，可用同位素流速仪测定流速。有多个钻孔时可用同位素示踪法测定流向、流速

附录 C 钻孔注水试验形状系数 A 的取值规定

C. 0. 1 钻孔注水试验的试验条件、形状系数 A 的取值, 应符合表 C. 0. 1 的规定。

表 C. 0. 1 钻孔注水试验形状系数 (A) 值

试验条件	简 图	形状系数 A	备 注
试验段位于地下水位以下, 钻孔套管下至孔底, 孔底进水		$5.5r$	
试验段位于地下水位以下, 钻孔套管下至孔底, 孔底进水, 试验土层顶板为不透水层		$4r$	
试验段位于地下水位以下, 孔内不下套管或部分下套管, 试验段裸孔或下花管, 孔壁和孔底进水		$\frac{2\pi l}{\ln \frac{ml}{r}}$	$\frac{1}{r} > 8$ $m = \sqrt{K_h/K_v}$ 式中: K_h 、 K_v 分别为试验土层的水平、垂直渗透系数
试验条件	简 图	形状系数 A	备 注
试验段位于地下水位以下, 孔内不下套管或部分下套管, 试验段裸孔或下花管, 孔壁和孔底进水, 试验土层顶板为不透水层		$\frac{2\pi l}{\ln \frac{2ml}{r}}$	$\frac{1}{r} > 8$ $m = \sqrt{K_h/K_v}$ 式中: K_h 、 K_v 分别为试验土层的水平、垂直渗透系数

附录 D 地表水环境标准

D.0.1 地表水环境质量标准按环境功能分类和保护目标,应规定控制项目及限值,并符合表 D.0.1 的规定。

表 D.0.1 地表水环境质量基本项目标准限值 (mg/l)

序号	分类 标准值 项目	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
1	水温 (°C)	人为造成的环境水温变化应限制在: 周平均最大温升≤1; 周平均最大温降≤2				
2	pH 值 (无量纲)	6~9				
3	溶解氧 ≥	饱和率 90% (或 7.5)	6	5	3	2
4	高锰酸盐指数 ≤	2	4	6	10	15
5	化学需氧量 (COD) ≤	15	15	20	30	40
6	五日生化需氧量 (BOD ₅) ≤	3	3	4	6	10
7	氨氮 (NH ₃ -N) ≤	0.15	0.5	1	1.5	2
8	总磷 (以 P 计) ≤	0.02 (湖、库 0.01)	0.1 (湖、库 0.025)	0.2 (湖、库 0.05)	0.3 (湖、库 0.1)	0.4 (湖、库 0.2)
9	总氮 (湖、库以 N 计) ≤	0.2	0.5	1	1.5	2
10	铜 ≤	0.01	1	1	1	1
11	锌 ≤	0.05	1	1	2	2
12	氟 (以 F 计) ≤	1	1	1	1.5	1.5
13	硒 ≤	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
14	砷 ≤	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
15	汞 ≤	0.00005	0.00005	0.0001	0.001	0.001
16	镉 ≤	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
17	铬 ≤	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
18	铅 ≤	0.01	0.01	0.05	0.05	0.1
19	氰化物 ≤	0.005	0.05	0.2	0.2	0.2
20	挥发酚 ≤	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
21	石油类 ≤	0.05	0.05	0.05	0.5	1
22	阴离子表面活性剂 ≤	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
23	硫化物 ≤	0.05	0.1	0.2	0.5	1
24	粪大肠菌群 ≤	200	2000	10000	20000	40000

注: I 类 主要适用于源头水、国家自然保护区;

II 类 主要适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等;

III 类 主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区;

IV 类 主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区;

V 类 主要适用于农业用水区及一般景观娱乐用水区。

附录 E 预测隧道涌水量的方法

E.1 简易水均衡法

E.1.1 越岭隧道通过一个或多个地表水流域时,可采用下列方法预测隧道正常涌水量:

1 地下径流深度法

$$Q_s = 2.74h \cdot A \quad (\text{E.1.1-1})$$

$$h = W - H - E - SS$$

$$A = L \cdot B$$

式中 W —年降水量 (mm);

2.74—换算系数;

h —年地下径流深度 (mm);

A —隧道通过含水地段集水面积 (km^2);

H —年地表径流深度 (mm);

E —某流域年蒸发蒸散量 (mm);

SS —年地表滞水深度 (mm);

L —隧道通过含水地段的长度 (km);

B —隧道涌水地段 L 长度内对两侧的影响宽度 (km)。

2 地下径流模数法

$$Q_s = M \cdot A \quad (\text{E.1.1-2})$$

$$M = \frac{Q'}{F}$$

式中 M —地下径流模数 [$\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{km}^2)$];

Q' —地下水补给的河流的流量或下降泉流量 (m^3/d), 采用枯水期流量计算;

F —与 Q' 的地表水或下降泉流量相当的地表流域面积 (km^2)。

其他符号意义同式 (E.1.1-1)。

E.1.2 隧道通过潜水含水层且埋藏深度较浅时,可采用降水入渗法预测隧道正常涌水量:

$$Q_s = 2.74\alpha \cdot W \cdot A \quad (\text{E.1.2})$$

式中 α —降水入渗系数，根据经验数据或试验数据确定。

其他符号意义同式 (E.1.1-1)。

E. 2 地下水动力学法

E. 2.1 隧道通过潜水含水层时，可用下列公式预测隧道最大涌水量：

1 古德曼经验式

$$Q_0 = L \frac{2\pi \cdot k \cdot H}{\ln \frac{4H}{d}} \quad (\text{E.2.1-1})$$

式中 H —静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离 (m)；

d —洞身横断面等价圆直径 (m)；

L —隧道通过含水体的长度 (m)。

2 佐藤邦明非稳定流式

$$Q_0 = \frac{2\pi \cdot m \cdot k \cdot h_2}{\ln \left[\tan \frac{\pi(2h_2 - r_0)}{4h_c} \cot \frac{\pi \cdot r_0}{4h_c} \right]} \quad (\text{E.2.1-2})$$

式中 Q_0 —隧道单位长度最大涌水量 [$\text{m}^3/\text{d m}$]；

m —换算系数，一般取 0.86；

h_2 —静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离 (m)；

r_0 —洞身横断面等价圆半径 (m)；

h_c —含水层厚度 (m)。

E. 2.2 隧道通过潜水含水层时，可用下列公式预测隧道正常涌水量：

1 裘布依理论式

$$Q_s = L \cdot K \frac{H^2 - h^2}{R - r} \quad (\text{E.2.2-1})$$

式中 H —洞底以上潜水含水层厚度 (m)；

h —洞外水柱高度 (m)，一般考虑“水跃”值；

L —隧道通过含水体的长度 (m)；

r —隧道洞身横断面宽度半径 (m)。

2 佐藤邦明公式

$$q_s = q_0 - 0.584 \bar{\varepsilon} K r_0 \quad (\text{E.2.2-2})$$

式中 q_s —隧道单位长度正常涌水量 [$\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$];

$\bar{\varepsilon}$ —试验系数, 一般取 12.8;

r_0 —洞身横断面的等价圆半径 (m)。

E.3 其他方法

E.3.1 新建隧道附近有水文地质条件相当的既有隧道或坑道以及岩溶区时, 可采用水文地质比拟法预测隧道涌水量:

$$Q = Q' \frac{F \cdot s}{F' \cdot s'} \quad (\text{E.3.1})$$

$$F = B \cdot L$$

$$F' = B' \cdot L'$$

式中 Q 、 Q' —新建、既有隧道通过含水地段段的正常涌水量或最大涌水量 (m^3/d);

F 、 F' —新建、既有隧道通过含水地段段的涌水面积;

s 、 s' —新建、既有隧道通过含水地段中自静止水位计起的水位降深 (m);

B 、 B' —新建、既有隧道洞身横断面的周长 (m);

L 、 L' —新建、既有隧道通过含水地段段的长度 (m);

E.3.2 隧道通过潜水含水层且有给水度或裂隙率资料时, 可采用同位素氡 (T) 法预测隧道正常涌水量:

$$Q_s = \frac{L \cdot A \cdot \mu}{365t} \quad (\text{E.3.2})$$

$$t = 40.727 \log \frac{N_0}{N_t}$$

式中 L — N_0 与 N_t 两样品间的距离 (m);

μ —含水层给水度 (基岩可用裂隙率代替);

365—年平均天数 (d);

t — N_0 与 N_t 两样运动的时间差 (a);

N_0 —样品中氡含量起始值 (TR);

N_t —与 N_0 比较的样品中氡含量 (TR)。

其他符号意义同 (F.1.1-1)。

E.3.3 在预可和工可勘察，可采用评分法概率预测隧道涌水灾害的严重程度和隧道最大涌水量。

1 隧道涌水灾害严重程度的等级判别，可按表 E.3.3-1 确定。

表 E. 3. 3-1 隧道涌水灾害严重等级判别

判别条件	评分标准				
地表环境特征	沟谷汇水、岩溶形态发育、集水构筑物以上给 0.7 分				旱地、荒地 0 分
岩石性质	硬岩（硬岩+软岩）0.21 分				软岩 0 分
地质构造	裂隙不发育紧闭 0	裂隙发育张开 1.34	断层破碎带 1.7	岩溶裂隙发育 1.71	岩溶断层带 1.90
防水措施	无 0		灌浆防水-0.3		已衬砌-0.45
气候条件	少雨区（年降水量 $W \leq 800\text{mm}$ ） 0		多雨区（ $800\text{mm} < W \leq 1600\text{mm}$ ） 1.15		丰雨区（ $W > 1600\text{mm}$ ） 1.30
最大埋深	$3.8H \times 10^{-4}$ （H 为最大埋深，m）				
隧道长度	$0.05L$ （L 为隧道长度，km）				
判别	D 级	C 级	B 级	A 级	
	<2.48	2.48~3.30	3.3~3.91	>3.91	

2 隧道最大涌水量概略预测，可按表 E.3.3-2 评分，累计相加确定。

表 E. 3. 3-2 隧道最大涌水量概略预测（单位： m^3/d ）

基本量	地表环境特征			隧道类型		岩石性质			
	沟谷汇水或纵向汇水长度 大于 1km		旱地	越岭	沿河	灰岩	硬岩	软硬互层	软岩
2900	188		0	0	820	4095	2730	0	-1724
地质构造特征						气候特征			
裂隙不发育	裂隙发育	断层带	岩溶裂隙发育	岩溶断层	溶洞暗河	多雨区（800mm ＜W≤1600mm）		丰雨区（W＞1600mm）	
-1180	500	3140	3060	4480	28338	0		3860	
防水措施			隧道最大埋深						
无防护	灌浆后开挖，已衬砌			100m 以内	100-400m	400-700m		>700m	
0	-3940			5	23	45		578	
隧道长度（km）									
1.0	2.0	3.0		4.0	5.0	6.0		7.0	
0	780	1108		1607	2000	2800		4280	
隧道长度（km）									
8.0	9.0	10.0		11.0	12.0	13.0		14.0	
5760	7250	8732		11214	12690	14180		16110	

E.4 隧道涌水影响宽度（B）确定

E.4.1 新建隧道同某既有隧道的地质、水文地质条件相似、水文地质参数相近时，可用水文地质比拟法参照既有隧道的涌水影响宽度取值。

E.4.2 隧道通过地段的含水水体与隔水体容易区分时，可采用地质调查法预测隧道涌水影响宽度（B）值，并符合下列规定：

1 隔水体与隧道中心线的距离小于可能影响宽度时，该侧的影响宽度以隔水体为界。当隔水体与隧道中心线的距离大于可能影响宽度时，应采用其他方法确定。

2 隧道通过汇水盆地（洼地、富水构造等）时，该汇水盆地可用来作为该段隧道的集水面积，其平均宽度可作为隧道涌水影响宽度。

征求意见稿

本规范用词说明

为准确掌握规范条文，对执行条文严格程度的用词进行说明。

条文说明

对本规程中的关键条款进行必要的解释与补充说明。

征求意见稿