

中华人民共和国水利行业标准

SL 629—2014

引调水线路工程地质勘察规范

Code for engineering geological investigation
of water diversion route

2014-04-15 发布

2014-07-15 实施



中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布水利行业标准的公告

(引调水线路工程地质勘察规范)

2014 年第 20 号

中华人民共和国水利部批准《引调水线路工程地质勘察规范》(SL 629—2014)为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	引调水线路工程地质勘察规范	SL 629—2014		2014. 4. 15	2014. 7. 15

水利部

2014 年 4 月 15 日

前 言

根据水利行业标准制修订计划，按照《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)的要求，编制本标准。

本标准共 9 章和 8 个附录，主要技术内容有：

- 规定了规范编制目的和适用范围；
- 对引调水线路工程地质勘察的基本任务、阶段划分、工作程序以及应遵循的基本技术原则做了规定；
- 对引调水线路工程规划、项目建议书、可行性研究、初步设计、招标设计和施工详图设计等阶段工程地质勘察内容、要求和方法等做了规定；
- 对工程地质勘察报告附件、隧洞围岩主要力学参数取值、隧洞 TBM 施工适宜性判定、黄土隧洞工程地质评价、隧洞涌水量预测、隧洞有害气体和放射性评价、渠道工程地质分段评价、隧洞施工超前地质预报方法等做了规定。

本标准全文推荐。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位：中水北方勘测设计研究有限责任公司

本标准参编单位：长江水利委员会长江勘测规划设计研究院

吉林省水利水电勘测设计研究院

河北省水利水电勘测设计研究院

陕西省水利电力勘测设计研究院

辽宁省水利水电勘测设计研究院

云南省水利水电勘测设计研究院

新疆水利水电勘测设计研究院

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：高玉生 张怀军 杜长青 蔡耀军
程向民 王新华 路新景 宋子玺
宋宝玉 汪海涛 王希友 袁宏利
陶忠平 陈宝玉 赵楠 刘洪启
魏树满 黄向春 金泰植 姚斌
王晓卫 卢长伟 陈书文 程汝恩
屈志勇 滕杰 许仙娥 王晓红

本标准审查会议技术负责人：司富安

本标准体例格式审查人：曹阳

目次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
4	规划阶段工程地质勘察	7
4.1	一般规定	7
4.2	区域地质和地震	7
4.3	引调水线路方案	8
5	项目建议书阶段工程地质勘察	10
5.1	一般规定	10
5.2	区域构造稳定性	10
5.3	隧洞	11
5.4	渠道	14
5.5	渡槽、管桥	17
5.6	倒虹吸	19
5.7	埋管（涵）	21
6	可行性研究阶段工程地质勘察	23
6.1	一般规定	23
6.2	区域构造稳定性	23
6.3	隧洞	24
6.4	渠道	31
6.5	渡槽、管桥	34
6.6	倒虹吸	36
6.7	埋管（涵）	37
7	初步设计阶段工程地质勘察	39
7.1	一般规定	39
7.2	隧洞	39

7.3	渠道	44
7.4	渡槽、管桥	47
7.5	倒虹吸	49
7.6	埋管（涵）	51
8	招标投标阶段工程地质勘察	53
8.1	一般规定	53
8.2	工程地质复核与勘察	53
9	施工详图设计阶段工程地质勘察	55
9.1	一般规定	55
9.2	施工期工程地质勘察	55
附录 A	工程地质勘察报告附件	56
附录 B	隧洞围岩主要力学参数取值	58
附录 C	隧洞 TBM 施工适宜性判定	60
附录 D	黄土隧洞工程地质评价	62
附录 E	隧洞涌水量预测	64
附录 F	隧洞有害气体和放射性评价	69
附录 G	渠道工程地质分段评价	73
附录 H	隧洞施工超前地质预报方法	75
	标准用词说明	77
	条文说明	79

1 总 则

1.0.1 为适应引调水线路工程地质勘察的需要，统一引调水线路工程地质勘察技术标准，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于大型引调水线路工程地质勘察。

1.0.3 引调水线路工程地质勘察阶段与引调水工程设计阶段相对应，划分为引调水线路工程规划、项目建议书、可行性研究、初步设计、招标设计和施工详图设计等阶段。

1.0.4 本标准的引用标准主要有下列标准：

《核辐射环境质量评价一般规定》（GB 11215）

《中国地震动参数区划图》（GB 18306）

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871）

《水利水电工程地质勘察规范》（GB 50487）

《水利水电工程水文地质勘察规范》（SL 373）

1.0.5 引调水线路工程地质勘察除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 引调水线路 water diversion route

引调水工程中从取水点到受水点间由各类引调水建筑物和河道、湖塘等组成的引调水系统所经过的路线。

2.0.2 渠道渗漏 canal seepage

渠水经透水岩（土）体渗漏到渠道深部和外侧的现象。

2.0.3 围岩变形 surrounding rock deformation

地下洞室周围岩体发生的形状与体积的变化及洞壁的变位，在力学分析中常用围岩的位移表示。

2.0.4 突水（泥） water and debris inflow

在地下洞室施工过程中，突然发生大量涌水或泥砂等的现象。

2.0.5 岩爆 rock burst

地下洞室围岩中应变能集中释放，造成洞壁岩块（片）爆裂、弹射的现象。

2.0.6 深埋隧洞 deep tunnel

埋深大于 600m 的隧洞。

2.0.7 浅埋隧洞 shallow tunnel

埋深小于 3 倍洞径的隧洞。

2.0.8 深挖方渠道 deeply cut canal

开挖深度大于 15m 的渠道。

2.0.9 高填方渠道 highly filled canal

填筑高度大于 8m 的渠道。

2.0.10 架空层 bridging layer

因细颗粒流失而呈架空结构的砂砾石层或碎（块）石层。

2.0.11 采空区 mined-out area

地下矿层被开采后形成的空间及其影响范围，分为老采空

区、现采空区和未来采空区。

2.0.12 隧洞施工超前地质预报 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、超前钻探、超前导洞等手段，对隧洞开挖工作面前方的工程地质条件及不良地质体的性质、分布、规模等进行探测、分析判释及预报，并提出技术措施建议。

3 基本规定

3.0.1 引调水线路工程地质勘察的基本任务应为调查、查明引调水线路的工程地质条件和工程地质问题，为方案选择、线路比选、工程设计和施工提供工程地质资料。

3.0.2 引调水线路工程地质勘察范围应包括引调水线路和建筑物场址区及周边与其相关的地带，并满足方案选择、线路比选和工程设计的需要。

3.0.3 引调水线路工程地质勘察宜按工作准备、现场勘察、资料整理、成果验收的程序进行。

3.0.4 引调水线路工程地质勘察工作准备应包括下列内容：

1 收集区域地质、区域构造、地震及线路区地形地貌、地质、水文地质资料和气象、水文资料。

2 进行现场踏勘，了解地形地貌、地质、水文地质、环境地质概况及工作条件。

3 编制勘察大纲。

3.0.5 引调水线路工程地质勘察大纲应包括下列主要内容：

1 任务来源、工程概况、勘察阶段、勘察目的和任务。

2 引调水线路区地理位置、地质概况及环境条件。

3 已有地质资料、前阶段勘察的主要结论及审查、评估主要意见。

4 勘察工作依据的技术标准。

5 勘察工作布置、勘察方法、技术要求及计划工作量。

6 勘察工作组织及实施计划。

7 质量、环境与职业健康安全保证措施。

8 提交成果与完成时间。

9 勘察工作布置示意图。

3.0.6 引调水线路工程地质勘察应根据勘察阶段的任务和内

及工程地质条件复杂程度，综合运用各种勘察方法，积极采用新技术，合理布置勘察工作，并应符合下列规定：

1 工程地质测绘宜先期进行，在工程地质测绘的基础上布置其他勘察工作。

2 物探方法应根据探测目的，结合地形地质条件和岩（土）体地球物理特性选择。

3 孔、洞、井、坑槽等勘探方法应根据勘探目的，结合地形地质条件选择。建筑物部位的钻孔竣工后应按有关规定进行处理。

4 水文地质试验方法应根据试验目的，结合水文地质条件选择。

5 岩（土）体物理力学试验项目、方法应根据试验目的，结合岩（土）体工程地质特性选择。

6 原位监测或长期观测点（网）应根据位移变形或动态变化的监（观）测需要布置。

3.0.7 渠道、隧洞工程地质条件复杂程度可按表 3.0.7-1、表 3.0.7-2 划分。

表 3.0.7-1 渠道工程地质条件复杂程度划分

复杂程度	划 分 因 素
简单	1 地形平缓地区； 2 不良地质现象不发育； 3 地层岩性较单一，特殊岩土或粉细砂层、架空层较少分布； 4 断裂构造不发育，地层产状利于边坡稳定； 5 地下水位低，岩（土）体透水性弱，不存在严重渗漏或浸没问题
复杂	1 地形变化起伏大地区； 2 不良地质现象发育； 3 地层岩性复杂多变，特殊岩土或粉细砂层、架空层大面积分布； 4 断裂构造发育，地层产状变化剧烈，边坡不稳定； 5 地下水位高，有承压水分布。岩（土）体透水性中一强，可能存在严重的渗漏或浸没问题
注：划分可按“一项符合，就高划类”的原则执行。	

表 3.0.7-2 隧洞工程地质条件复杂程度划分

复杂程度	划 分 因 素
简单	1 地形完整，物理地质现象不发育，环境地质条件较好； 2 地层岩性较单一，无工程地质性质不良岩体分布； 3 地质构造较简单、断裂构造不发育，地应力较低； 4 无有害气体、地温异常、围岩变形及岩爆问题； 5 水文地质条件简单，无富水层（带）分布； 6 进出口地质条件较好，边坡稳定
复杂	1 深埋长隧洞、穿越地表水体隧洞、城镇地下隧洞； 2 地形不完整、物理地质现象发育、环境地质条件差； 3 地层岩性复杂，工程地质性质不良岩体大面积分布或洞段主要为新近系、第四系地层； 4 地质构造复杂，有大断裂或活动性断裂通过，高地应力； 5 存在有害气体，或地温异常，或中等以上岩爆； 6 水文地质条件复杂，岩溶发育，有强透水带或承压水分布。可能存在突水（泥）问题； 7 进出口地质条件差，边坡不稳定
注 1：本表不适用黄土隧洞。 注 2：划分可按“一项符合，就高划类”的原则执行。	

3.0.8 利用河道、湖塘引水时，应查明其工程地质条件，评价岸坡稳定、渗漏、浸没等工程地质问题。河道、湖塘需整治时，应提出整治建议及有关工程地质参数。

3.0.9 勘察资料应真实、可靠、完整，并应及时整理、汇总、分析。

3.0.10 工程地质勘察报告应满足相应勘察阶段任务和精度的要求，结构合理、内容完整、论述清晰、论据充分、结论正确，报告附件应符合附录 A 的规定。

4 规划阶段工程地质勘察

4.1 一般规定

4.1.1 规划阶段工程地质勘察应对引调水线路规划方案进行地质论证，为规划设计提供工程地质资料。

4.1.2 规划阶段工程地质勘察应包括下列主要工作内容：

- 1 了解线路规划方案的区域地质和地震概况。
- 2 了解线路规划方案的地质概况。
- 3 初步查明影响线路规划的主要工程地质、水文地质、环境地质问题。
- 4 对规划方案所需的天然建筑材料进行普查。

4.2 区域地质和地震

4.2.1 区域地质和地震勘察应包括下列工作内容：

- 1 了解区域地形地貌形态、成因类型及剥夷面、地表水系的分布，划分地貌单元。
- 2 了解区域内大型滑坡、泥石流、移动沙丘等不良地质现象的分布，分析对工程规划的影响。
- 3 了解区域内地层的出露条件、地质年代、成因类型、接触关系、分布范围及岩性、岩相特征，划分地层单位。
- 4 了解区域构造单元或构造体系的格架特征及区域性断裂的性质、产状、规模、展布特征和构造发展史，分析区域构造特征，确定线路规划方案所处大地构造单元及大地构造环境。
- 5 了解区域地下水的赋存条件以及补给、径流、排泄条件和主要含水层、隔水层的分布，划分地下水类型和水文地质单元，分析区域水文地质特征。
- 6 了解区域内历史和现今地震情况及地震动参数区划，初步分析区域地震活动特征。

7 分析、评价区域地质条件和地震活动性对线路规划方案的影响。

4.2.2 区域地质和地震勘察应符合下列规定：

1 收集、分析规划方案两侧各不小于 150km 范围内的地质、水文地质、环境地质、地震资料及遥感图像资料。编绘区域综合地质图，比例尺可选用 1：500000～1：200000。

2 地震勘察应收集最新正式公布的地震资料。编绘区域构造与地震震中分布图，比例尺可选用 1：500000～1：200000。

3 沿线地震动参数区划应按 GB 18306 的有关规定提出。

4.3 引调水线路方案

4.3.1 线路方案工程地质比选应综合考虑区域地质、工程地质、水文地质、环境地质条件和可能存在的工程地质问题及其对工程设计、施工建设和运行管理的影响，并宜遵循下列原则：

1 地形相对完整，环境地质条件简单，地震活动性较弱，宜绕避规模较大的滑坡、泥石流、移动沙丘、溶洞、采空区及重要矿产分布区等。

2 地层分布稳定，岩性较单一，地质构造较简单，宜绕避软弱、膨胀、易溶等不良岩土层及活动性断层、规模较大的断裂破碎带、褶皱轴部等结构破碎的部位。

3 水文地质条件较简单，宜绕避地下水丰富的含水层（带）及规模较大的汇水构造、充水溶洞等。

4.3.2 线路方案勘察应包括下列工作内容：

1 了解地形地貌类型及河流、湖塘等地表水体的分布和流量、水位等水文特性，碳酸盐岩区应调查岩溶埋藏条件及岩溶地貌和岩溶发育特征。

2 调查滑坡、泥石流、移动沙丘和采空区等不良地质现象的分布、成因、规模。

3 了解地层岩性的分布情况和变化规律。第四系地层尚应调查沉（堆）积物的成因类型。

4 了解断裂、褶皱等地质构造的分布、性质、规模。

5 了解主要含水层、隔水层的分布及地下水补给、径流、排泄条件，初步划分地下水类型和水文地质单元。

6 分析、评价地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、环境地质条件及其可能存在的主要工程地质问题对输水线路规划方案的影响。

4.3.3 线路方案勘察方法应符合下列规定：

1 收集、分析有关地质、水文地质、环境地质等资料，编绘综合地质图。

2 工程地质测绘应符合下列要求：

1) 测绘范围应包括线路规划方案及周边与其相关的地带，平原区线路两侧宽度各不宜小于 1km，山区不宜小于 3km。

2) 测绘比例尺宜选用 1：50000～1：10000。

3) 宜采用地质遥感测绘法，地质现象复杂地段应进行实地测绘。

3 主要含水层（带）、岩溶发育区、采空区等对方案布置和线路规划论证有重要意义的地段，应进行物探。

4 不同地貌单元及隧洞进出口、浅埋段、过沟段等宜布置少量控制性勘探点，勘探点位置、勘探深度，视勘探目的和工程地质条件确定。

5 宜利用勘探点进行压水、注水试验、原位测试及物探测井。

6 应利用勘探点、民井、地下水露头调查地下水的分布，并取样进行水质简分析。

7 主要岩土层宜取样进行岩矿鉴定和少量室内试验。

5 项目建议书阶段工程地质勘察

5.1 一般规定

5.1.1 项目建议书阶段工程地质勘察应在规划阶段勘察的基础上进行，提出线路比选地质意见，对推荐线路及主要建筑物地段进行工程地质初步评价，为项目建议书设计提供工程地质资料。

5.1.2 项目建议书阶段工程地质勘察应包括下列主要工作内容：

1 分析引调水线路的区域构造背景，初步评价区域构造稳定性，提出地震动参数。

2 初步查明各比选线路及主要建筑物地段的工程地质、水文地质及环境地质条件。

3 基本查明影响线路比选的主要工程地质问题。

4 对天然建筑材料进行初查。

5.2 区域构造稳定性

5.2.1 区域构造稳定性勘察应包括下列工作内容：

1 分析引调水线路区域构造背景。

2 分析区域性活断层的活动性质和空间分布规律。

3 分析区域地震的分布及其活动性。

4 初步评价工程区区域构造稳定性，提出地震动参数。

5.2.2 区域构造稳定性勘察应符合下列规定：

1 应调查、分析引调水线路两侧各 50~100km 范围内的地形地貌、地质建造、岩浆活动、区域性断裂分布等区域大地构造特征和地震活动性等资料，进行Ⅱ级、Ⅲ级大地构造单元和地震区（带）划分，复核区域构造与地震震中分布图。

2 宜采用比例尺 1:200000~1:100000 的地形、地质遥感图像资料，进行区域地形地貌的形态、分布特征和构造格架的规模、性状、展布特征、变形特征以及地层出露条件、接触关系和

切错情况等解译，分析区域性断层的性质和分布规律。

3 收集区域地应力资料，分析区域构造应力场的分布和状态。

4 收集、统计区域地震资料、编辑地震目录，结合地震区、带的划分，分析中、强地震的活动特点。

5 沿线地震动参数应按 GB 18306 的规定提出。

6 区域构造稳定性初步评价应以区域构造背景为基础，结合区域构造格架及其变形特征、区域断裂的活动性及其空间分布规律和区域地震的分布及其活动性等进行。

5.3 隧 洞

5.3.1 洞线工程地质比选应根据洞线的工程地质、水文地质、环境地质条件及项目建议书设计的要求进行，并应遵循下列原则：

1 洞线宜选择地形相对完整，地震活动性较弱，地层稳定单一，地质构造简单，岩体结构较完整，水文地质条件简单的地段。

2 洞线宜与岩层层面及主要构造线垂直或大角度相交，与最大水平地应力方向平行或小角度相交。

3 隧洞进出口洞段方向宜垂直地形等高线，岩层产状与构造组合应对边坡稳定有利。

4 长隧洞应考虑施工支洞的成洞条件。

5 洞线选择宜绕避下列地段或部位：

——软弱、膨胀、易溶岩土层和岩溶发育区、采空区及重要矿产分布区等地段。

——活动断裂以及规模较大的断裂、断裂交汇带、褶皱轴部等构造部位。

——强富水带和可能产生大量涌水的汇水构造。

——高地应力区及富含有害气体、放射性物质的地段。

——黄土隧洞宜绕避有地下水活动、陷穴密集、冲沟发育和

中等以上湿陷性黄土分布地段。

6 隧洞进出口宜避开滑坡、泥石流、崩塌等不良地质现象和潜在不稳定岩体分布地段。

5.3.2 隧洞勘察应包括下列工作内容：

- 1 调查、了解隧洞沿线气象、水文情况。
- 2 调查、了解隧洞场区地应力的分布情况。
- 3 初步查明隧洞沿线地形地貌的类型、分布特征和滑坡、泥石流等不良地质现象的分布、成因、规模。可溶岩区应初步查明岩溶发育情况。
- 4 初步查明隧洞沿线的地层岩性、成因类型、产状、分布情况。
- 5 初步查明隧洞沿线断裂、褶皱等地质构造的性质、产状、分布、规模。
- 6 初步查明隧洞沿线地下水的类型、分布特征、化学性质和含水层、隔水层的分布及岩（土）体的透水性。
- 7 初步查明环境水的腐蚀性。
- 8 初步查明隧洞沿线岩体风化、卸荷的深度和强度，初步进行风化带、卸荷带划分。
- 9 初步查明主要岩（土）体的物理力学性质，初步确定主要物理力学参数建议值。
- 10 基本查明隧洞进出口边坡的稳定条件。
- 11 调查、了解隧洞沿线有害气体和放射性物质的存在情况。
- 12 分析各比选洞线的工程地质、水文地质条件和可能存在的主要工程地质问题，提出比选意见。
- 13 对推荐洞线进行工程地质初步评价。

5.3.3 隧洞勘察方法应符合下列规定：

- 1 收集隧洞沿线气象、水文资料。
- 2 收集隧洞及邻近场区的地应力实测资料，或利用理论分析和经验判断对隧洞场区地应力分布情况进行评估。

3 收集隧洞沿线可能存在有害气体和放射性物质的有关资料。

4 工程地质测绘应符合下列规定：

- 1) 测绘范围应包括隧洞及周边相关地带，洞线两侧宽度各不宜小于 3km。
- 2) 测绘比例尺宜选用 1 : 25000 ~ 1 : 10000，隧洞进出口、施工支洞进口、浅埋段及岩溶发育等工程地质条件复杂的洞段可选用 1 : 5000。
- 3) 宜采用地质遥感测绘与实地测绘相结合的方法。

5 物探应符合下列规定：

- 1) 隧洞进出口、施工支洞进口、浅埋段、深埋段及地质构造复杂、岩溶发育、覆盖层大面积分布地段等宜布置物探剖面。
- 2) 应利用勘探洞、钻孔进行物探测试。
- 3) 物探方法应根据探测目的和洞线岩（土）体的结构特征、物理特性选择。

6 勘探应符合下列规定：

- 1) 勘探布置应在工程地质测绘和物探的基础上进行。
- 2) 隧洞轴线应布置勘探剖面，并布置控制性钻孔。隧洞进出口、浅埋段、过沟段及工程地质条件复杂地段宜布置钻孔。
- 3) 勘探深度应进入设计洞底以下不小于 20m，必要时可加深。
- 4) 进出口段可布置探洞，勘探深度宜进入微风化岩体或弱卸荷带 5m。
- 5) 勘探过程中应收集有关水文地质资料。

7 水文地质试验及观测应符合下列规定：

- 1) 钻孔应进行压（注）水试验，承压水分布地段应进行承压水头和涌水量观测。
- 2) 探洞应进行出水状态和出水量观测。

3) 应利用勘探点或天然露头采取地下水水样进行水质简分析及腐蚀性评价。每类地下水试验不少于 2 组。腐蚀性评价应符合 GB 50487 的有关规定。

4) 宜利用钻孔进行地下水动态观测。

8 岩（土）体试验及测试应符合下列规定：

1) 主要地层应进行岩矿鉴定。

2) 岩土物理力学性质应以室内试验为主，各工程地质单元（段）主要岩土层的试验累计有效组数不应少于 6 组。

9 岩体风化带、卸荷带初步划分及岩（土）体渗透性分级应符合 GB 50487 的有关规定。

10 岩（土）体主要物理力学参数建议取值应符合 GB 50487 的有关规定，并宜符合附录 B 的规定。

11 洞线比选应综合分析各比选洞线的工程地质、水文地质、环境地质条件和地应力分布情况及可能存在的主要工程地质问题，结合隧洞的布置形式及运行特性，提出比选意见。

12 推荐洞线的工程地质评价应包括下列内容：

1) 分析、评价场区稳定性与适宜性。

2) 初步评价洞线的工程地质、水文地质、环境地质条件及存在的工程地质问题。

3) 分析、预测隧洞工程建设对周围环境的影响。

4) 初步确定主要物理力学参数建议值。

5.4 渠 道

5.4.1 渠线比选应根据渠线的工程地质、水文地质、环境地质条件及项目建议书设计的要求进行，并应遵循下列原则：

1 渠线宜选择地形完整、地层岩性较单一、地质构造不发育、水文地质条件较简单的地段。

2 渠线宜绕避下列地段或部位：

——地形不完整、沟谷密集地段。

- 区域性断裂、活动断层及构造交汇带。
- 特殊岩土大面积分布地段。
- 高地下水位、高承压水及强富水分布地段。
- 高陡边坡及崩塌、滑坡、泥石流等不良地质现象和潜在不稳定岩（土）体分布地段。
- 采空区、重要矿产分布区。

5.4.2 渠道勘察应包括下列工作内容：

- 1 调查、了解渠道沿线大气降水、气温变化等气象、水文情况。
- 2 初步查明渠道沿线地形地貌的类型、分布特征。
- 3 初步查明渠道沿线滑坡、泥石流、移动沙丘等不良地质现象的分布、成因、规模。
- 4 初步查明渠道沿线古河道、采空区和矿产资源的埋藏分布情况。
- 5 初步查明渠道沿线的地层岩性、成因类型、产状、分布情况。对第四系地层，尚应初步查明沉（堆）物的厚度、物质组成及特殊性土的分布和季节性冻土的冻胀性、最大冻结深度；对碳酸盐岩区，尚应初步查明岩溶发育情况。
- 6 初步查明渠道沿线断裂、褶皱等地质构造的性质、产状、分布、规模。
- 7 初步查明渠道沿线地下水的类型、分布、化学性质和含水层、隔水层的性质、分布及岩（土）体的透水性。
- 8 初步查明环境水的腐蚀性。
- 9 初步查明渠道沿线岩体风化、卸荷的深度和强度，初步进行风化带、卸荷带划分。
- 10 初步查明主要岩（土）体的物理力学性质，初步确定主要物理力学参数建议值。
- 11 初步分析工程地质、水文地质条件对渠线布置和渠道基础稳定、边坡稳定、渠道渗漏的影响以及渠道可能产生的土壤盐碱化、沼泽化等环境地质问题。

12 分析各比选渠线的工程地质、水文地质条件和可能存在的主要工程地质问题，提出比选意见。

13 对推荐渠线进行工程地质初步评价。

5.4.3 渠道勘察方法应符合下列规定：

1 工程地质测绘应符合下列规定：

- 1) 测绘范围应包括渠道及周边相关地带，渠道两侧各不宜小于 1km。
- 2) 测绘比例尺可选用 1 : 10000~1 : 5000。
- 3) 宜采用地质遥感测绘与实地测绘相结合的方法。

2 物探应符合下列规定：

- 1) 渠道轴线宜布置物探剖面，工程地质条件复杂地段宜垂直渠道轴线布置辅助物探剖面。
- 2) 勘探钻孔应进行物探测试。
- 3) 物探方法应根据探测目的和渠线岩（土）体的结构特征、物理特性选择。

3 勘探应符合下列规定：

- 1) 勘探布置应在工程地质测绘和物探的基础上进行。
- 2) 渠道轴线应布置勘探纵剖面，勘探点间距宜 1~2km，傍山渠道可适当加密。
- 3) 应垂直纵剖面布置勘探横剖面，剖面间距宜 2~4km，剖面长度应大于渠顶开口宽度的 2~3 倍，每个横剖面上不少于 3 个勘探点。
- 4) 勘探深度宜进入设计渠底板或填方段地面以下 10~20m，深挖方、高填方及特殊性土和不良岩土分布地段宜适当加深。
- 5) 高边坡地段可布置探洞。
- 6) 勘探过程中应收集水文地质资料。

4 水文地质试验及观测应符合下列规定：

- 1) 钻孔应进行压（注）水或抽水试验，承压水分布地段应进行承压水头和涌水量观测。

- 2) 应利用勘探点或天然露头采取地下水样进行水质简分析，每类地下水试验不少于 2 组。
- 3) 宜利用钻孔进行地下水动态观测。
- 5 岩土试验和测试应符合下列规定：
 - 1) 岩土物理力学性质以室内试验为主，各工程地质单元（段）各主要岩土层试验累计有效组数不宜少于 6 组。
 - 2) 必要时可进行原位测试，原位测试方法根据岩土类别和勘察需要选择。
- 6 渠道渗漏、渗透稳定及土壤盐碱化分析宜按 SL 373 的有关规定执行。
- 7 渠线比选应综合分析各比选渠线的工程地质、水文地质、环境地质条件及可能存在的主要工程地质问题，结合渠道的布置形式及运行特性，提出比选意见。
- 8 推荐渠线的工程地质评价应包括下列内容：
 - 1) 分析、评价场地稳定性与适宜性。
 - 2) 初步评价渠线的工程地质、水文地质、环境地质条件及存在的工程地质问题。
 - 3) 分析、预测渠道工程建设对周围环境的影响。
 - 4) 初步确定主要物理力学参数建议值。

5.5 渡槽、管桥

5.5.1 渡槽、管桥勘察应包括下列工作内容：

- 1 初步查明跨越地段沟谷的地形地貌特征和滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象的成因、规模、分布情况。
- 2 初步查明跨越地段的地层岩性、产状、分布。对第四系地层，尚应初步查明沉（堆）积物的成因、厚度、物质组成及架空层等不良结构体的分布。
- 3 初步查明跨越地段断层、裂隙密集带等地质构造的性质、产状、规模、分布。
- 4 初步查明跨越地段岩体风化、卸荷的深度和强度，初步

进行风化带、卸荷带划分。

5 初步查明环境水的类型、分布及化学性质，初步评价环境水的腐蚀性。

6 初步查明主要岩（土）体及河流冲洪积物的物理力学性质，初步确定岩（土）体主要物理力学参数建议值。

7 分析岸（边）坡的稳定条件。

8 分析各比选渡槽、管桥场址的工程地质条件及可能存在的主要工程地质问题，提出比选意见。

9 对推荐场址进行工程地质初步评价。

5.5.2 渡槽、管桥勘察方法应符合下列规定：

1 工程地质测绘应符合下列规定：

1) 测绘范围宜包括渡槽、管桥跨越地段及与其相关的周边地带。

2) 测绘比例尺可选用 1 : 5000 ~ 1 : 2000，岸（边）坡及工程地质条件复杂地段可适当扩大。

2 物探应符合下列规定：

1) 渡槽、管桥轴线应布置物探剖面。

2) 物探方法应根据探测目的和跨越地段岩（土）体的结构特征、物理特性选择。

3 勘探应符合下列规定：

1) 勘探布置应在测绘和物探的基础上进行。

2) 渡槽、管桥轴线应布置勘探剖面，勘探点间距宜 100 ~ 200m，勘探剖面不应少于 3 个勘探点，勘探深度进入持力层不应少于 10m。

3) 岸（边）坡应结合地形地质条件布置勘探点，勘探深度宜进入沟谷底面以下 5 ~ 10m，并满足边坡稳定评价的要求。

4) 勘探过程中应收集有关水文地质资料。

5) 采用非桩（墩）基跨越方式时，应根据具体要求布置勘探工作。

4 水文地质试验及观测应符合下列规定：

- 1) 钻孔可进行压（注）水或抽水试验，承压水分布地段应进行承压水头和涌水量观测。
- 2) 应利用勘探点、民井或天然露头取地下和地表水样进行水质分析及腐蚀性评价，每类地下水试验不少于 2 组。

5 岩土试验和原位测试应符合下列规定：

- 1) 岩土物理力学性质以室内试验为主，地基主要岩土层试验累计有效组数不应少于 6 组。土层应分层取原状土样进行物理力学性质试验。
- 2) 主要持力层为第四纪沉积物时，宜根据土层类别选择合适的方法进行原位测试，每一主要土层试验累计有效组数不宜少于 6 组（段、点）。

6 场址比选应综合分析各比选场址的工程地质、水文地质、环境地质条件及可能存在的主要工程地质问题，结合渡槽、管桥的布置形式及运行特性，提出比选意见。

7 推荐场址的工程地质初步评价应包括下列内容：

- 1) 分析、评价场地稳定性与适宜性。
- 2) 初步评价场址的工程地质、水文地质、环境地质条件及存在的主要工程地质问题。
- 3) 初步确定主要物理力学参数建议值。

5.6 倒虹吸

5.6.1 倒虹吸勘察应包括下列工作内容：

- 1 调查、了解穿越地段河（沟）谷的水文情况和最大冻结深度等。
- 2 初步查明穿越地段的地形地貌特征。
- 3 初步查明穿越地段沉（堆）积物的成因类型、岩性、厚度、物质组成及基岩的岩性、埋深、分布。
- 4 初步查明穿越地段地下水的类型、分布及化学性质，初

步评价环境水的腐蚀性。

5 初步查明主要岩（土）体的物理力学性质，初步确定主要物理力学参数建议值。

6 提出倒虹吸穿越方式、埋置深度的初步建议。

7 分析各比选倒虹吸场址的工程地质、水文地质条件和可能存在的主要工程地质问题，提出比选意见。

8 对推荐场址进行工程地质初步评价。

5.6.2 倒虹吸勘察方法应符合下列规定：

1 收集场址区的气象、水文资料。

2 工程地质测绘应符合下列规定：

1) 测绘范围宜包括倒虹吸场址及与其相关的周边地带。

2) 测绘比例尺可选用 1：5000～1：2000，岸（边）坡及工程地质条件复杂地段可适当扩大。

3 物探应符合下列规定：

1) 沿倒虹吸轴线应布置主要物探剖面，斜坡段及工程地质条件复杂地段宜垂直主要剖面布置辅助剖面。

2) 物探方法应根据探测目的和穿越地段岩（土）体的结构特征、物理特性选择。

4 勘探应符合下列规定：

1) 勘探布置应在测绘和物探的基础上进行。

2) 沿倒虹吸轴线应布置勘探剖面，斜坡段、河流、沟谷段、工程地质条件复杂地段应布置勘探点。

3) 勘探深度进入持力层不应少于 10m。

4) 勘探过程中应收集有关水文地质资料。

5 应利用勘探点或天然露头取地下水样进行水质简分析和腐蚀性评价，每类地下水试验不少于 2 组。

6 岩土试验和测试应符合下列规定：

1) 岩土物理力学性质以室内试验为主，各工程地质单元（段）主要岩土层试验累计有效组数不应少于 6 组。

2) 必要时可进行原位测试，原位测试方法根据土体类别

和勘察需要选择。

7 场址比选应综合分析各比选场址的工程地质、水文地质、环境地质条件及可能存在的主要工程地质问题，结合倒虹吸的布置形式及运行特性，提出比选意见。

8 推荐场址的工程地质初步评价应包括下列内容：

- 1) 分析评价场地的稳定性与适宜性。
- 2) 初步评价场址的工程地质、水文地质、环境地质条件及存在的工程地质问题。
- 3) 初步确定主要物理力学参数建议值。

5.7 埋 管（涵）

5.7.1 长距离埋管（涵）线路比选除应符合 5.4.1 条的有关规定外，尚宜绕避河道弯曲、经常改道及河床淤积、冲刷变幅较大的河段。

5.7.2 长距离埋管（涵）勘察除应符合 5.4.2 条的有关规定外，尚应包括下列工作内容：

- 1 初步查明管（涵）沿线基岩的岩性、埋深、分布。
- 2 初步提出管（涵）穿越方式、埋置深度的地质建议。
- 3 分析各比选线路的工程地质、水文地质条件和可能存在的主要工程地质问题，提出比选意见。
- 4 对推荐管（涵）线进行工程地质初步评价。

5.7.3 长距离埋管（涵）勘察方法除应符合 5.4.3 条的有关规定外，尚应符合下列规定：

- 1 勘探深度宜进入持力层以下不应小于 10m，遇有泥炭层、软土等工程性质不良土层时应适当加深。
- 2 线路比选应综合分析各比选线址的工程地质、水文地质、环境地质条件及可能存在的主要工程地质问题，结合埋管（涵）的布置形式及运行特性，提出比选意见。
- 3 推荐线路的工程地质初步评价应包括下列内容：

- 1) 分析评价场地的稳定性与适宜性。

2) 初步评价线路的工程地质、水文地质、环境地质条件及存在的工程地质问题。

3) 初步确定主要物理力学参数建议值。

5.7.4 短距离埋管（涵）勘察内容和方法应符合 5.6 节的有关规定。

6 可行性研究阶段工程地质勘察

6.1 一般规定

6.1.1 可行性研究阶段工程地质勘察应在项目建议书阶段勘察的基础上进行，提出线路比选地质意见，对选定线路及主要建筑物进行工程地质评价，为可行性研究设计提供工程地质资料。

6.1.2 可行性研究阶段工程地质勘察应包括下列主要工作内容：

1 研究线路区域地质构造背景及断层活动性、地震活动性，评价区域构造稳定性、确定地震动参数。

2 基本查明各比选线路及主要建筑物地段的工程地质条件，评价主要工程地质问题。

3 查明选定线路及主要建筑物工程地质条件，评价主要工程地质问题。

4 进行天然建筑材料详查。

6.2 区域构造稳定性

6.2.1 区域构造稳定性勘察应包括下列工作内容：

1 研究引调水线路区域地质构造背景。

2 研究引调水线路区域性断裂、褶皱构造的规模、性质、展布特征及断层的活动性和分布规律。

3 查明引调水线路活断层的活动性质、位移量及分布特征。

4 研究引调水线路地震活动特征。

5 评价引调水线路区域构造稳定性，确定地震动参数。

6.2.2 区域构造稳定性勘察应符合下列规定：

1 地质、地质构造背景研究应调查、研究引水线路两侧各10~50km范围内的地形地貌形态及其分布特征和各级地貌面的物质组成，地层岩性特征及其出露分布条件和组合接触关系，区域性断裂、第四纪断裂的分布特征及其活动性，历史和近期地震

活动性及其分布特征等。编制断裂构造图，比例尺可选用 1 : 200000~1 : 100000。

2 构造稳定性研究应在构造背景研究的基础上，主要研究影响工程安全的断层和地震活动特征以及构造应力场特征。应进行专门性构造地质测绘，测绘范围宜包括引调水线路两侧各 8km，测绘比例尺宜采用 1 : 100000~1 : 50000。

3 断层活动性研究应根据地貌、地质构造、地层切错情况、地震、测年资料、地壳形变以及地球物理和地球化学特征等，进行综合分析、判定，活断层的判定应符合 GB 50487 的有关规定。

4 收集区域地应力资料，结合区域地应力实测成果，分析现今构造应力场的分布及应力的方向、量级等。

5 引调水建筑物场地地震动参数的确定应符合下列规定：

- 1) 对 50 年超越概率 10% 的地震动峰值加速度不小于 0.10g 地区的重要建筑物，宜进行场地地震安全性评价。
- 2) 其他建筑物场地地震动参数可按 GB 18306 的规定确定。

6 构造稳定性应根据场区断层的活动性、地震活动性、地震动峰值加速度及区域重磁异常等因素，结合场区的地质条件综合评价。

7 引调水线路跨越不同构造单元，应分区确定地震动参数，进行构造稳定性评价。

6.3 隧 洞

6.3.1 隧洞勘察应包括下列工作内容：

- 1 基本查明隧洞地段地表水系的分布、水位、流量和大气降水、地面蒸发及地表径流、地下径流等气象、水文情况。
- 2 基本查明隧洞地段山地及次级地貌的类型、分布特征。
- 3 基本查明滑坡、泥石流、崩塌等不良地质现象、潜在不

稳定体的分布规模、类型性质、物质组成、结构特征和天然稳定状态。对傍山浅埋洞段、过沟段，应基本查明山体边坡的稳定性和山前冲洪积扇的形态特征、物质组成。

4 基本查明隧洞地段地层结构、岩性类别、产状、分布特征。对基岩地层，应基本查明软弱、膨胀、易溶和岩溶化岩层的分布及其工程地质性质；对松散地层，应基本查明成因类型、分布厚度、物质组成及其工程地质性质。

5 基本查明隧洞地段断层、破碎带、节理裂隙密集带和主要结构面的产状、性质、分布特征。

6 基本查明隧洞地段地下水的类型、分布、补排条件和含水层、汇水构造、强透水带的分布、规模、富水程度等。

7 基本查明隧洞地段地下水的化学性质，进行地下水腐蚀性评价。

8 基本查明隧洞地段岩（土）体的透水性，进行岩（土）体渗透性分级。

9 基本查明隧洞地段岩体风化、卸荷的深度、强度，进行岩体风化带、卸荷带划分。

10 浅埋洞段应基本查明上覆岩土层的厚度、成因类型、物质组成及含水性和透水性。

11 可溶岩区应基本查明下列内容：

- 岩溶地貌形态特征及埋藏条件。
- 可溶岩的类别、化学成分、分布规律及层组类型。
- 岩溶现象、发育程度及岩溶洞穴的规模、连通性、充填情况。
- 岩溶地下水的类型、分布条件及水动力条件、水文地质结构特征。

12 黄土区应基本查明下列内容：

- 黄土潜蚀地貌的类型、规模及分布特征。
- 黄土的形成时代及湿陷性。
- 黄土裂隙的成因及发育特征。

——地下水的类型、分布情况。

13 基本查明隧洞围岩各类岩（土）体的物理力学性质，基本确定岩（土）体物理力学参数及有关工程地质参数。

14 基本查明隧洞地段地应力的状态和条件。

15 基本查明隧洞地段有害气体和放射性物质的赋存条件，评价其存在的可能性。

16 进行围岩工程地质初步分类，初步评价 TBM 施工工程地质条件及适宜性。

17 分析隧洞地段地质构造和水文地质条件，估算隧洞外水压力。

18 分析隧洞地段工程地质条件，评价隧洞进出口边坡和围岩稳定性，预测其可能变形破坏的形式，提出改善处理措施初步建议。

19 分析隧洞地段水文地质条件及围岩充水条件，评价隧洞施工发生涌水、突水（泥）的可能性，概略预测涌、突水量，评价隧洞施工涌、突水对周边环境和生态的影响，提出预防和处理措施初步建议。

20 可溶岩区隧洞尚应进行岩溶工程地质评价，黄土区尚应进行黄土隧洞工程地质评价。

6.3.2 隧洞勘察方法应符合下列规定：

1 分析隧洞地段气象水文资料。

2 工程地质测绘应符合下列规定：

1) 测绘范围应包括隧洞地段及与其相关的地带，隧洞两侧各不宜小于 1km，工程地质、水文地质条件复杂地段可适当扩大。

2) 测绘比例尺宜选用 1：10000～1：5000。隧洞进出口、施工支洞进口及浅埋段、岩溶发育段等工程地质条件复杂洞段，比例尺可选用 1：5000～1：2000。

3) 可溶岩区宜对岩溶洞穴进行追踪测绘。

4) 宜采用实地测绘与地质遥感测绘相结合的方法。

3 物探应符合下列规定：

- 1) 隧洞进出口、施工支洞进口及构造复杂、岩溶发育、覆盖层大面积分布洞段应布置物探剖面。必要时，宜垂直主要剖面布置辅助剖面，剖面间距应根据探测目的和地形、地质条件确定。
- 2) 应主要探测隧洞地段溶洞、断裂构造、地下水等的分布、规模。
- 3) 可能富水地段宜布置测网，进行面积性探测，测网密度宜与测绘比例尺相适应。
- 4) 应利用探洞、钻孔进行物探测试。

4 勘探应符合下列规定：

- 1) 勘探布置应在测绘和物探的基础上进行。
- 2) 隧洞轴线应布置勘探剖面，隧洞进出口、施工支洞进口、浅埋段及工程地质条件复杂地段应布置钻孔。勘探深度进入设计隧洞底板以下不宜小于 20m，且至少应大于 1.5 倍洞径，需要时可适当加深。
- 3) 隧洞进出口宜布置探洞，勘探深度宜进入微风化岩体或弱卸荷带 5m。
- 4) 勘探过程中应收集水文地质资料。

5 水文地质试验及观测应符合下列规定：

- 1) 应进行钻孔压水试验，试验宜从洞顶以上 5 倍洞径处起始。
- 2) 承压水分布洞段应进行承压水头和涌水量观测。
- 3) 岩溶发育洞段宜进行连通试验。
- 4) 应利用勘探钻孔进行地下水动态观测，观测时间不应少于 1 个水文年。可溶岩区宜专门设置观测点（线、网）进行观测。
- 5) 取地下水样进行水质及腐蚀性分析，试验组数不应少于 4 组。

6 岩土试验及测试应符合下列规定：

- 1) 隧洞围岩每一类岩土室内物理力学性质试验累计有效组数不应少于 6 组。
 - 2) 主要岩体宜进行原位变形试验。
 - 3) 在深埋洞段、高地应力区、地壳活动强烈区等地段应进行地应力测试。
- 7 隧洞围岩工程地质初步分类应符合 GB 50487 的有关规定，TBM 施工的工程地质条件适宜性评价宜符合附录 C 的规定。
- 8 黄土隧洞工程地质评价宜符合附录 D 的规定。
- 9 岩溶发育程度分级及岩溶水文地质结构分类和岩溶水动力剖面分带宜分别符合表 6.3.2-1、表 6.3.2-2、表 6.3.2-3 的规定。

表 6.3.2-1 岩溶发育程度分级

程度 分级	特 征	参 考 指 标			
		地表岩溶 发育密度 (个/km)	钻孔岩 溶率 (%)	钻孔 遇洞率 (%)	面溶 蚀率 (%)
强	碳酸盐岩岩性较纯、连续厚度较大、出露面积较广，地表有较多的洼地、漏斗、落水洞、地下溶洞发育，有岩溶大泉或大规模的暗河，以管道水为主，岩溶发育深度较大	>5	>10	>60	>15
中	中薄层碳酸盐岩与不纯碳酸盐岩呈互层、夹层，地表有洼地、漏斗，落水洞发育，地下洞穴通道不多，岩溶大泉及暗河较少，深部岩溶不发育	1~5	3~10	30~60	5~15
弱	不纯碳酸盐岩与碎屑岩互层或夹层，地表岩溶形态不发育，岩溶大泉及暗河少见，以裂隙水为主	<1	<3	<30	<5

表 6.3.2-2 岩溶水文地质结构分类

类型	基 本 特 征
均一含水层	岩溶一般较强烈，深度大，易发育深岩溶；饱水带多形成统一含水层，并可能有岩溶管道
双层含水层	上部岩溶发育较强，隔水层以下，岩溶受到限制；形成双层含水层，下部可能形成承压水
多层含水层	受多层隔水层限制，深部岩溶明显减弱；可形成多层岩溶含水层，有承压水或半承压水
混合含水层	常沿断层带附近发育深岩溶；各岩溶含水层之间，地下水联系较复杂

表 6.3.2-3 岩溶水动力剖面分带

分 带	基 本 特 征
垂直渗流带	位于地面以下、丰水期潜水面以上，岩溶水以垂直运动为主，岩溶多呈垂直形态发育，一般无水或很少，厚度数十米至数百米
水平径流带	位于垂直渗流带以下，下限以枯水期潜水面或排泄谷底或暗河河床为界，包括岩溶水位季节变化范围，上层岩溶水作垂直或水平运动、下层岩溶水以水平运动为主，岩溶多呈水平形态发育，厚度几米至几十米
深部缓流带	位于水平径流带以下，下限发育很深，岩溶水运动滞缓、局部具承压性，岩溶多呈水平形态、深部发育较弱

10 隧洞外水压力可根据上覆岩体的透水性及地下水的分布状态，采用地下水位折减的方法进行估算，折减系数取值应符合 GB 50487 的有关规定。

11 隧洞涌水量预测宜符合附录 E 的规定。

12 应进行有害气体和放射性元素的测试，有害气体和放射性物质存在的可能性及其赋存条件初步分析宜符合附录 F 的规定。

13 隧洞场区地应力状态和条件应根据地应力分布和受控情况及测试成果进行分析，基本确定最大主应力方向和量级。岩体地应力分级宜符合表 6.3.2-4 的规定。

表 6.3.2-4 岩体地应力分级

应力分级	极高地应力	高地应力	中等地应力	低地应力
最大主应力量级 σ_m (MPa)	$\sigma_m \geq 40$	$20 \leq \sigma_m < 40$	$10 \leq \sigma_m < 20$	$\sigma_m < 10$
岩石强度应力比 R_b/σ_m	< 2	$2 \sim 4$	$4 \sim 7$	> 7
注： R_b 为岩石饱和单轴抗压强度，MPa； σ_m 为最大主应力，MPa。				

14 围岩稳定性评价应根据围岩的岩性和结构特征、地应力条件及地下水活动性，结合围岩地质分类进行。

15 隧洞进出口边坡稳定性评价应根据隧洞区的水文气象条件和边坡的结构特征、岩（土）体性质及其可能的破坏类型进行分析、计算，并应符合 GB 50487 的有关规定。

6.3.3 深埋长隧洞勘察除应符合 6.3.1 条的有关规定外，尚应包括下列工作内容：

- 1 初步查明可能产生高外水压力、突水（泥）的地质条件，初步预测涌水量。
- 2 初步查明可能产生围岩较大变形的岩组及大断裂破碎带的分布及特征，初步评价围岩变形特性及稳定性。
- 3 初步查明地应力特征及围岩产生岩爆的可能性。
- 4 初步查明地温分布特征。
- 5 初步评价成洞条件及存在的主要工程地质问题。

6.3.4 深埋长隧洞勘察方法除应符合 6.3.2 条的有关规定，尚应符合下列规定：

- 1 收集本区已有航片、卫片、各种比例尺的地质图及相关资料，进行分析、解译。
- 2 工程地质测绘范围应包括隧洞及与其相关的地段，宜隧洞段两侧各 2～5km，工程地质、水文地质条件复杂可适当扩大。测绘比例尺可选用 1：25000～1：10000。
- 3 选择合适的物探方法，探测深部地质构造特征、岩溶发

育特征、地下水分布特征等。

4 宜选择合适位置布置深孔或探洞，进行高压压水试验和钻孔电视观察及地应力、地温、岩体波速等测试。

5 进行岩石物理力学性质试验，试验组数视需要确定。

6 围岩岩爆判别评价应符合 GB 50487 的有关规定。

6.4 渠 道

6.4.1 渠道勘察应包括下列工作内容：

1 基本查明渠道沿线平原、山地及次级地貌的类型、分布特征。

2 基本查明滑坡、泥石流、移动沙丘等不良地质现象的分布规模、类型性质、物质组成、结构特征及稳定状态。对傍山渠道，尚应基本查明山体边坡的稳定性及山前冲洪积扇的物质组成、分布形态。

3 基本查明渠道沿线古河道、古冲沟的分布、埋藏条件、物质组成等。

4 基本查明渠道沿线地层岩性、产状、分布特征、岩（土）体的结构特征。对基岩地层，尚应查明软弱、膨胀、易溶和岩溶化岩层等的分布及其工程地质性质；对第四纪沉（堆）积物，尚应查明沉（堆）积物的成因类型、厚度、物质组成、结构特征及架空层、湿陷性土、膨胀土、分散性土等不良结构体和特殊性土的分布及其工程地质性质。

5 基本查明渠道沿线断层、破碎带、裂隙密集带等断裂构造的分布及其透水性。

6 基本查明渠道沿线地下水的类型、性质、分布、补排关系和含水层、隔水层的分布。

7 基本查明渠道沿线岩（土）体的透水性，进行渗透性分级。

8 查明深挖方和高填方渠段岩土的结构特征及工程地质性质，评价其稳定性。

9 岩溶区、黄土区应基本查明 6.3.1 条规定的有关内容。

10 基本查明环境水和土的腐蚀性。

11 基本查明各类岩（土）体的物理力学性质，基本确定岩（土）体物理力学参数及有关工程地质参数。

12 进行渠道工程地质分段，评价渠道工程地质、水文地质、环境地质条件，评价渠道边坡稳定、渠基稳定、渠道渗漏和渗透稳定以及浸没、土壤盐渍化等工程地质、环境地质问题。

6.4.2 渠道勘察方法应符合下列规定：

1 工程地质测绘应符合下列规定：

1) 测绘范围应包括渠道及与其相关的地带，渠道两侧各不宜小于 500m，工程地质、水文地质条件复杂地段可适当扩大。

2) 测绘比例尺可选用 1：5000～1：2000。

2 物探应符合下列规定：

1) 应主要探测不良结构体、古河道、古冲沟、溶洞及基岩面、断裂构造等的分布、规模。

2) 勘探钻孔应进行综合测井。

3 勘探应符合下列规定：

1) 勘探工作布置应在测绘和物探的基础上进行。

2) 应沿渠道中心线布置勘探纵剖面，勘探点间距宜 500～1000m。勘探深度应进入设计渠道底板或填方渠道地面以下 10～15m，深挖方、高填方及特殊土和不良岩土等地段宜适当加深。

3) 每一工程地质单元及工程地质分段应垂直纵剖面布置勘探横剖面，剖面间距宜为纵剖面勘探点间距的 2～3 倍，每条横剖面上勘探点不应少于 3 个，勘探深度视需要确定。

4) 高边坡部位宜布置探洞，勘探深度视需要确定。

5) 勘探过程中应收集水文地质资料。

4 水文地质试验及观测应符合下列规定：

- 1) 钻孔应进行压水、注水试验。
- 2) 高地下水位或强富水渠段应进行抽水试验，强含水层段抽水试验不应少于 3 段。
- 3) 可能存在浸没、盐渍化的周边地带应进行注水试验。
- 4) 承压水分布渠段应进行承压水头和涌水量观测。
- 5) 宜布置地下水动态观测，观测时间不应少于 1 个水文年。
- 6) 取地下水样进行水质分析和腐蚀性评价，试验组数不应少于 4 组。

5 岩土试验及测试应符合下列规定：

- 1) 每一工程地质单元及工程地质分段各主要岩土层应取原状样进行室内物理力学试验，累计有效组数不应少于 6 组。
- 2) 特殊性土可根据其工程地质特性，进行专门试验。
- 3) 冻土应取原状样进行室内物理、化学、力学、热学性质试验，累计有效组数不应少于 6 组。
- 4) 视需要选择适宜的方法进行原位测试。

6 土对钢结构的腐蚀性评价应符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 土对钢结构腐蚀性评价

腐蚀等级	pH 值	氧化还原电位 (mV)	视电阻率 ($\Omega \cdot m$)	极化电流密度 (mA/cm ²)	质量损失 (g)
微腐蚀	>5.5	>400	>100	<0.02	<1
弱腐蚀	5.5~4.5	400~200	100~50	0.02~0.05	1~2
中等腐蚀	4.5~3.5	200~100	50~20	0.05~0.20	2~3
强腐蚀	<3.5	<100	<20	>0.20	>3
注：评价时取各项指标中腐蚀等级最高者。					

7 渠道边坡稳定分析、渗透稳定分析、岩（土）体渗透性分级、浸没评价、地基液化判别及岩土物理力学参数取值应符合 GB 50487 的有关规定。

8 渠道工程地质分段评价宜符合附录 G 的规定。

6.5 渡槽、管桥

6.5.1 渡槽、管桥勘察应包括下列工作内容：

- 1 基本查明跨越地段河流、沟谷的形态特征。
- 2 基本查明跨越地段滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象的成因、规模、分布情况。
- 3 基本查明跨越地段的地层岩性、产状、分布。对第四系地层，尚应基本查明沉（堆）积物的分布厚度、物质组成、结构特征及架空层等不良结构体的分布。对碳酸盐岩区，尚应基本查明溶隙、溶洞等的分布、规模及充填情况。
- 4 基本查明跨越地段断层、裂隙密集带等地质构造的性质、产状、规模、分布。
- 5 基本查明跨越地段岩体风化、卸荷的深度和强度，进行风化带、卸荷带划分。
- 6 基本查明跨越地段地下水的分布、类型及岩（土）体的透水性。
- 7 基本查明环境水、土的腐蚀性。
- 8 基本查明桩（墩）基持力层的地层岩性、埋藏深度、厚度及其工程地质性质。
- 9 基本查明桩（墩）基持力层岩（土）体的物理力学性质，基本确定物理力学参数及有关工程地质参数。
- 10 桩（墩）基为第四系地层，应对可能液化土层进行液化判别。
- 11 评价岸（边）坡及桩（墩）基稳定性。

6.5.2 渡槽、管桥勘察方法应符合下列规定：

- 1 工程地质测绘应符合下列规定：
 - 1) 测绘范围应包括渡槽、管桥及周边地带。
 - 2) 测绘比例尺可选用 1：2000～1：1000。
- 2 物探应符合下列规定：
 - 1) 工程地质条件复杂地段应加密布置物探剖面。

- 2) 应主要探测河谷第四纪沉（堆）积物和不良结构体、溶洞的分布及岸（边）坡的地层岩性、断裂构造等。

3 勘探应符合下列规定：

- 1) 渡槽、管桥轴线应布置勘探纵剖面，勘探点间距 50~100m，且不应少于 3 个勘探点，勘探深度应进入桩（墩）基以下 10m，岩溶发育区应适当加深。
- 2) 每个跨度宜垂直纵剖面布置勘探横剖面，勘探点位置、深度根据勘探目的，结合地形地质条件确定，每条横剖面不应少于 3 个勘探点。
- 3) 岸（边）坡应布置勘探点，勘探深度宜达到沟谷深度以下 5m 或超过控制稳定的结构面。
- 4) 采用非桩（墩）基跨越方式时，应根据跨越方式及其工程地质要求布置勘探工作。

4 水文地质试验应符合下列规定：

- 1) 可能存在基坑涌水的桩（墩）位应进行抽（注）水试验。
- 2) 承压水分布部位应进行承压水头和涌水量观测。
- 3) 取地表水和地下水样进行水质分析及腐蚀性评价，试验组数不应少于 4 组。

5 岩土试验及测试应符合下列规定：

- 1) 桩（墩）基主要岩土层均应取原状样进行室内物理力学性质试验，累计有效试验组数不应少于 6 组。
- 2) 桩（墩）基土层应选择适宜的方法进行原位测试。
- 3) 特殊岩土应取样根据其工程地质特性进行专门试验。

6 岸（边）坡稳定性评价应根据工程地质条件及其可能的变形破坏类型进行分析、评价。

7 桩（墩）基稳定性应根据桩（墩）基岩（土）体的工程地质性质、可能产生变形破坏的边界条件及跨越河谷的水文特性，结合渡槽、管桥的运行方式等综合分析、评价。

6.6 倒虹吸

6.6.1 倒虹吸勘察应包括下列工作内容：

- 1 基本查明穿越地段气温变化和最大冻结深度。
- 2 基本查明穿越地段河流、河谷的形态特征及水位、流量和冲刷、淤积情况。
- 3 基本查明穿越地段沉（堆）积物的分布厚度、物质组成、结构特征及架空层等不良结构体的分布。
- 4 基本查明穿越地段地下水的分布、类型。
- 5 基本查明穿越地段岩（土）体的物理力学性质，基本确定岩（土）体物理力学参数及有关工程地质参数。
- 6 基本查明岸（边）坡的地层岩性、地质构造、岩体风化卸荷等工程地质条件，评价其稳定性。
- 7 提出穿越方式及最小埋置深度的初步建议。
- 8 对可能液化土层应进行液化判别。
- 9 评价环境水和土的腐蚀性。
- 10 对穿越地段的适宜性和稳定性进行工程地质评价。

6.6.2 倒虹吸勘察方法应符合下列规定：

- 1 工程地质测绘应符合下列规定：
 - 1) 测绘范围应包括管（涵）址及周边地带。
 - 2) 测绘比例尺可选用 1：2000～1：1000。
- 2 物探应符合下列规定：
 - 1) 倒虹吸轴线应布置物探剖面。
 - 2) 应主要探测第四纪沉（堆）积物的厚度、物质组成、地下水分布等。
- 3 勘探应符合下列规定：
 - 1) 倒虹吸轴线应布置勘探剖面，勘探点间距宜为 200～300m，勘探点不应少于 3 个。勘探深度应进入设计管底以下 5～10m，遇有软土、泥炭等工程性质不良土层应适当加深。

- 2) 穿越河流宜在倒虹吸轴线上游 15~20m 处布置勘探剖面, 勘探点间距宜为 100~200m, 勘探点不应少于 3 个。勘探深度宜进入设计管底高程以下 10~15m 或河床以下 20~30m。
- 4 承压水地段应进行承压水头和涌水量观测。
- 5 取地下水样进行水质分析及腐蚀性评价, 试验组数不应少于 4 组。
- 6 岩土试验及测试应符合下列规定:
 - 1) 每一地质单元及工程地质分段主要岩土层均应取原状样进行室内物理力学性质试验, 累计有效试验组数不应少于 6 组。
 - 2) 试验项目应根据穿越方式和岩土性质确定。
 - 3) 特殊土应取样根据其工程地质特性进行专门试验。
 - 4) 各土层应结合钻孔选择适宜的方法进行原位测试。
- 7 土对钢结构腐蚀性评价应符合表 6.4.2 的规定。
- 8 穿越地段的适宜性和稳定性应根据岩(土)体地质性质, 可能产生变形破坏的边界条件及河谷的水文特性, 结合穿越方式及倒虹吸的运行方式等综合分析、评价。

6.7 埋 管 (涵)

6.7.1 长距离埋管(涵)勘察内容除应符合 6.4.1 条的规定外, 尚应包括下列工作内容:

- 1 基本查明穿越地段基岩的岩性、埋深、分布。
- 2 提出穿越方式和最小埋置深度的地质建议。
- 3 评价穿越地段的适宜性和稳定性。

6.7.2 长距离埋管(涵)勘察方法除应符合 6.4.2 条的规定外, 尚应包括下列内容:

- 1 物探应符合下列规定:
 - 1) 埋管(涵)轴线应布置物探剖面, 物探方法应根据探测目的和穿越地段岩(土)体的物理特性选择。

2) 应主要探测第四纪沉（堆）积物的厚度、物质组成、地下水分布等。

2 勘探应符合下列规定：

1) 埋管（涵）轴线应布置勘探纵剖面，勘探点间距宜为 500m。开挖穿越方式段勘探深度应进入设计管（涵）底以下 5~10m，非开挖穿越方式段勘探深度应进入设计管（涵）底以下 10~15m。遇有泥炭、软土等工程性质不良土层应适当加深。

2) 工程地质条件复杂及非开挖穿越方式段宜垂直纵剖面布置勘探横剖面，横剖面间距宜为纵剖面勘探点间距的 2~4 倍。每条横剖面勘探点不应少于 3 个，勘探深度宜与纵剖面勘探深度一致。

3) 穿越河流时宜在埋管（涵）轴线上游 15~20m 处布置勘探剖面，勘探点间距宜为 100~200m，但不应少于 3 个勘探点。勘探深度宜进入设计管底以下 10~15m 或河床以下 20~30m。

3 岩土试验项目应根据穿越方式和岩土性质确定。

4 穿越地段的适宜性和稳定性应根据岩（土）体地质性质，可能产生变形破坏的边界条件及河谷的水文特性，结合穿越方式及埋管（涵）的运行方式等综合分析、评价。

6.7.3 短距离埋管（涵）勘察内容和方法应符合 6.6 节的有关规定。

7 初步设计阶段工程地质勘察

7.1 一般规定

7.1.1 初步设计阶段工程地质勘察应在可行性研究阶段勘察基础上进行，评价工程地质问题，提出局部线路比选的工程地质意见，为初步设计提供工程地质资料。

7.1.2 初步设计阶段工程地质勘察应主要包括下列工作内容：

- 1 必要时对区域构造稳定性进行复核。
- 2 查明建筑物场址的工程地质条件，评价工程地质问题，提出工程处理建议。
- 3 查明局部线路比选的工程地质条件，评价工程地质问题。
- 4 查明临时建筑物的工程地质条件。
- 5 必要时对天然建筑材料进行复核。

7.2 隧 洞

7.2.1 隧洞勘察应包括下列工作内容：

- 1 查明隧洞进出口、浅埋段、过沟段不良地质现象和潜在不稳定体的分布规模、性质类型、物质组成、结构特征及边界条件，分析可能变形破坏的趋势。对滑坡应查明滑坡要素及滑带的物理力学性质；对泥石流应查明其形成条件、发育阶段及形成区、流通区、堆积区的范围和地质特征。
- 2 查明隧洞地段的地层岩性。主要查明软弱、膨胀、易溶和岩溶化等不良岩体的分布、结构特征及工程地质性质。进出口、浅埋段、过沟段应查明覆盖层的分布、成因类型、物质组成。
- 3 查明隧洞地段的地质构造。主要查明软弱结构面、缓倾结构面等不良结构面的规模、自然特征、组合关系及其工程地质性质。

4 查明进出口段岩体风化、卸荷的深度和强度及其工程地质性质，进行风化带、卸荷带划分。

5 查明隧洞地段地下水的类型、分布特征及补径排条件，划分水文地质单元。主要查明含水层（带）、含水构造的分布特征、性质、含水性及其水力联系。

6 查明与地表溪沟相连的断层、破碎带、裂隙密集带等的规模及连通性、透水性。

7 查明隧洞围岩的透水性，进行渗透性分级。

8 可溶岩区应查明下列内容：

1) 碳酸盐岩的层组类型、分布特征。

2) 溶洞、溶隙等岩溶现象的分布、规模、发育程度、连通性、充填情况及溶洞堆积物的物质组成和状态。

3) 岩溶水文地质结构类型、地下水动力条件、动态规律和分带特征，划分地下水系统。

9 黄土区应查明冲沟、陷穴等黄土地貌的形态、规模、发育特征和湿陷性黄土的分布及工程地质特性。

10 查明隧洞围岩及主要结构面的物理力学性质，确定物理力学参数及有关工程地质参数。

11 高地应力场区应进一步查明地应力的状态、量级和方向，评价对隧洞围岩稳定的影响。

12 可能存在有害气体和放射性物质的洞段应查明其生成、聚集条件、分布规律及种类、强度，评价其对隧洞施工的影响。

13 进行围岩详细分类，评价 TBM 施工的工程地质条件适宜性。

14 分析隧洞工程地质、水文地质条件，论证、评价隧洞进出口边坡稳定性、洞身围岩稳定性、外水压力等工程地质问题，提出改善处理工程措施。

15 分析隧洞围岩的充水条件和富水程度，预测隧洞施工发生涌水、突水（泥）部位和最大涌水量，评价对隧洞施工和周边

环境的影响，提出预防、处理措施。

16 岩溶区隧洞尚应分析、评价产生岩溶渗漏及岩溶洞穴对围岩稳定的影响。

17 提出隧洞施工超前地质预报设计。

18 提出隧洞线路局部优化的建议并进行工程地质论证。

7.2.2 隧洞勘察方法应符合下列规定：

1 工程地质测绘应符合下列规定：

- 1) 测绘范围应包括隧洞地段及与其相关的地带，宜隧洞两侧各 500~1000m，比例尺可选用 1:5000~1:2000。
- 2) 隧洞进出口、施工支洞进口、浅埋段及岩溶发育等工程地质条件复杂的洞段，应进行专门工程地质测绘，比例尺可选用 1:1000~1:500。

2 物探应符合下列规定：

- 1) 隧洞进出口、浅埋段、过沟段及工程地质条件复杂洞段应选择适宜的方法进行综合物探，探明隧洞地段覆盖层厚度、岩体风化程度、溶洞发育程度和充填情况、富水洞段含水层、汇水构造的分布等。
- 2) 规模较大的岩溶水系统应进行专门探测。
- 3) 应利用探洞、钻孔进行物探测试。

3 勘探应符合下列规定：

- 1) 隧洞进出口浅埋段、过沟段及工程地质条件复杂的洞段应进行勘探。勘探剖面视需要确定，勘探深度进入设计洞底以下不应小于 10m，至少应大于 1.0 倍洞径。
- 2) 隧洞进出口段应布置探洞，过沟段可布置探井。
- 3) 对隧洞进出口及浅埋、过沟段稳定有影响的不良地质现象应进行专门勘探。
- 4) 富水洞段、规模较大的岩溶水分布洞段及水文地质条件复杂洞段应进行专门水文地质勘探。

4 专门水文地质勘探应符合下列规定：

- 1) 勘探点主要布置在不同岩性接触带、岩溶发育带、储

(汇) 水构造带等可能富水地段。

2) 每一水文地质单元不应少于 1 个勘探点。

3) 勘探深度宜揭穿主要含水层或储 (汇) 水构造带, 可溶岩区宜进入地下水水平径流带。

5 水文地质试验和观测应符合下列规定:

1) 应进行钻孔压水试验, 试验宜从洞顶以上 5 倍洞径处起始。

2) 承压水分布洞段宜补充进行承压水头和涌水量观测。

3) 强富水洞段应进行钻孔抽水试验, 试验组数不宜少于 3 组, 必要时可进行多孔抽水试验。

4) 可溶岩区溶洞宜补充进行连通试验。

5) 与地表溪沟相连的断层、破碎带、裂隙密集带等应进行连通试验。

6) 可采用 T、D¹⁸、O 等环境同位素方法, 判定地下水的来源, 分析含水层之间以及含水层与大气降水的联系程度等。

7) 根据地下水动态和观测目的, 补充、完善隧洞地段的地下水观测系统和观测内容。

6 岩土试验及测试应符合下列规定:

1) 补充进行岩土室内物理力学性质试验。

2) 对隧洞进出口及浅埋段、过沟段稳定有影响的滑坡、泥石流应取样进行物理力学性质试验。

3) 应进行围岩变形、弹性抗力等试验。

4) 论证 TBM 施工条件应进行岩石的单轴抗压强度、抗拉强度、弹性模量及岩石耐磨性或可钻性、岩石成分和石英含量试验。

7 隧洞围岩充水条件可按表 7.2.2-1 划分, 隧洞围岩富水程度可按表 7.2.2-2 分区。

8 隧洞 TBM 施工工程地质条件适宜性评价宜符合附录 C 的规定。

表 7.2.2-1 隧洞围岩充水条件划分

按水源划分	大气降水、地表水、地下水（孔隙水、裂隙水、岩溶水）	
按渗水通道划分	渗入性通道	孔隙、构造裂隙
	涌入性通道	构造断裂、岩溶

表 7.2.2-2 隧洞围岩富水程度分区

分 区	贫水区(段)	弱富水区(段)	中等富水区(段)	强富水区(段)
钻孔单位出水量 $q[\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})]$	$q < 1$	$1 \leq q < 5$	$5 \leq q < 10$	$q \geq 10$
泉水流量 $Q(\text{L/s})$	$Q < 1$	$1 \leq Q < 10$	$10 \leq Q < 50$	$Q \geq 50$

- 9 黄土隧洞工程地质评价宜符合附录 D 的规定。
- 10 高地应力对围岩稳定的影响应根据围岩的性质、强度应力比及结构面的分布组合特征等，评价、预测可能引起的变形和破坏形式。
- 11 隧洞涌水量预测宜符合附录 E 的规定。
- 12 有害气体和放射性物质评价宜符合附录 F 的规定，对隧洞施工的影响评价应委托专业部门进行。必要时，应提出施工监测建议。
- 13 隧洞岩溶渗漏应根据隧洞所处的岩溶水动力带和隧洞运行水位与岩溶地下水位的关系进行分析、评价。
- 14 岩溶洞穴对围岩稳定的影响应根据岩溶洞穴的发育特征、出露位置与隧洞的关系及岩溶洞穴的稳定性进行分析、评价。
- 15 不良地质现象应根据其规模、性质、物质组成、地下水活动性等地质条件、边界条件及诱发因素进行稳定性评价。滑坡应进行稳定验算，泥石流应确定其发育阶段、易发程度、爆发频率等。
- 16 隧洞施工超前地质预报设计应根据隧洞的工程地质、水文地质条件和预报的目的、内容编制，预报方法的选择应与施工方法相适应，并宜符合附录 H 的规定。

7.2.3 深埋长隧洞勘察除应符合 7.2.1 条的有关规定外，尚应包括下列工作内容：

1 基本查明可能产生高外水压力、突涌水（泥）的水文地质、工程地质条件，提出外水压力值，评价预测突发涌水的可能性及涌水量。

2 基本查明可能产生围岩较大变形的岩组及大断裂破碎带的分布及特征，评价围岩的稳定性及塑性变形特征。

3 基本查明地应力特征，判别产生岩爆的可能性。

4 基本查明地温及有害气体和放射性物质的分布特征和强度。

5 对存在的主要水文地质、工程地质问题评价。

7.2.4 深埋长隧洞进出口及浅埋段的勘察方法应符合 7.2.2 条的有关规定，深埋段勘察方法应符合下列规定：

1 复核可行性研究阶段工程地质测绘成果。

2 宜采用综合物探方法对可行性研究阶段探测的断裂带、储水构造、岩溶等进行验证。

3 进行岩石物理力学性质试验。

4 宜选择合适位置布置深孔或平洞，测定地应力、地温、地下水位、岩体渗透性、波速、有害气体和放射性元素等。

5 隧洞围岩塑性变形评价应根据围岩的地质特性、结构特征及初始应力状态、地下水活动状态等因素综合分析。

7.3 渠 道

7.3.1 渠道勘察应包括下列工作内容：

1 查明渠道地段不良地质现象的结构特征及分布规模、性质类型，分析可能变形破坏的趋势，评价对渠道的影响。对滑坡应查明分布规模、类型、滑坡要素及滑带的物理力学性质；对泥石流应查明其形成条件、规模、类型、发育阶段及形成区、流通区、堆积区的范围和地质特征；移动沙丘应查明其类别、形状、植被覆盖特征及活动性。

2 查明渠道地段古河道、古冲沟等的分布、埋藏条件、物质组成以及地下水分布和土体透水性，评价其对渠道渗漏、渗透稳定的影响。

3 查明渠道地段的地层岩性。主要查明湿陷性土、膨胀土、分散性土等特殊土及软弱、膨胀、易溶和岩溶化等不良岩层的分布及其工程地质性质。

4 查明傍山渠道山体边坡、山前冲洪积扇的地层岩性、物质组成及工程地质性质，分析其稳定性。

5 查明渠道地段的地质构造。主要查明断层、破碎带、裂隙密集带等断裂构造的分布、性质、充填情况及其透水性。

6 查明渠道地段地下水分布、类型、水质及含水层（带）、透水层（带）和隔水层的分布、性质等。承压水应查明其埋藏条件和承压水头的分布特征。

7 可溶岩区应查明碳酸盐岩的层组类型、分布特征和溶洞、溶隙等岩溶现象的分布、规模，发育程度，连通性、充填情况等。

8 黄土区应查明陷穴、潜蚀洞穴、冲沟等黄土不良地质现象的成因、规模、发育特征。

9 冻土区应查明冻土的分布、类型和冻胀、融沉特性及可能出现滑坡、融陷的地段等。

10 查明深挖方、高填方渠段岩（土）体的岩性、结构类型及工程地质性质，评价挖、填方体的稳定性。

11 进行渠道工程地质分段评价。

12 查明渠道和边坡岩（土）体的物理力学性质，确定物理力学参数及有关工程地质参数。

13 必要时应对渠基可能液化土层进行液化复核。

14 分析渠道工程地质、水文地质条件，论证、评价渠道边坡稳定性和渗漏、渗透稳定性及其对周边环境的影响。

15 提出渠道线路局部优化的建议，并进行工程地质论证。

7.3.2 渠道勘察方法应符合下列规定：

1 工程地质测绘应符合下列规定：

- 1) 测绘范围应包括渠道及与其相关地带，宜渠道两侧各 500m。
- 2) 傍山渠段、深挖方和高填方渠段及工程地质条件复杂地段应进行专门工程地质测绘，比例尺可选用 1：1000～1：500。
- 3) 规模较大的承压水分布及水文地质条件复杂的地段，应进行专门水文地质测绘，比例尺可选用 1：1000～1：500。
- 4) 对渠道稳定有影响的不良地质现象应进行专门工程地质测绘，比例尺可选用 1：500～1：200。

2 物探应符合下列规定：

- 1) 应主要探测渠道地段古河道、溶洞及地下水、含水层、透水层、隔水层和承压含水层的分布。
- 2) 利用探洞、钻孔进行物探综合测试。

3 勘探应符合下列规定：

- 1) 渠道轴线应布置勘探纵剖面，勘探点间距宜为 200～500m，傍山渠段、深挖方和高填方渠段及特殊土和不良岩土分布渠段宜适当加密。勘探深度应进入设计渠底或填方渠道地面以下 5～10m，深挖方、高填方及特殊土和不良岩土等地段宜适当加深。
- 2) 勘探横剖面视需要布置，每个横剖面上不应少于 3 个勘探点，勘探深度宜与纵剖面一致。
- 3) 大面积特殊土分布地段应进行专门勘探。
- 4) 必要时，对渠道稳定有影响的不良地质现象应进行专门勘探。
- 5) 可能引起的重大环境地质问题应进行专门勘探。

4 水文地质试验应符合下列规定：

- 1) 松散地层应进行钻孔抽（注）水试验，基岩地层应进行钻孔压水试验。

- 2) 承压水分布渠段宜补充进行承压水头及涌水量观测。
- 3) 可能产生渗漏、浸没的渠段应进行现场渗透试验。
- 4) 可溶岩区应进行连通试验。
- 5 岩土试验及测试应符合下列规定:
 - 1) 各工程地质单元的每一主要岩土层应取原状样进行室内物理力学性质试验, 累计有效组数不应少于 12 组。
 - 2) 特殊性土应进行专门试验。
 - 3) 对渠道稳定有影响的滑坡、泥石流应取样进行物理力学性质试验。
 - 4) 可能引起的重大环境地质问题应进行专门试验。
 - 5) 视需要选择适宜的方法进行原位测试。

7.4 渡槽、管桥

7.4.1 渡槽、管桥勘察应包括下列工作内容:

- 1 查明跨越地段滑坡、崩塌、泥石流等不良地质现象的成因、规模、分布情况。
- 2 查明岸坡及桩(墩)基部位的地层岩性。主要查明架空层等不良结构体和软弱、膨胀等不良岩(土)体的分布特征及工程地质性质。可溶岩区应主要查明溶隙、溶洞等的分布特征。
- 3 查明岸坡及桩(墩)基部位的地质构造。主要查明断裂结构面、软弱结构面等的分布特征及其工程地质性质。
- 4 查明岸坡及桩(墩)基部位岩体风化、卸荷的深度、强度, 进行风化带、卸荷带划分。
- 5 查明地下水及含水层的分布特征, 承压水应查明其埋藏条件及承压水头。
- 6 查明桩(墩)基持力层的地层岩性、埋藏深度、分布特征及其物理力学性质和工程地质特性。
- 7 确定岸坡及桩(墩)基持力层岩(土)体的主要物理力学参数及有关工程地质参数。
- 8 对可能液化土层进行液化复核。

9 评价环境水、土的腐蚀性。

10 评价岸坡及桩（墩）基的稳定性。

11 评价基坑开挖边坡稳定及涌水等工程地质问题，提出工程处理及桩（墩）型建议。

12 查明桩（墩）基施工围堰的工程地质条件，评价堰基及开挖边坡稳定性。

13 提出线路局部优化建议，并进行工程地质论证。

7.4.2 渡槽、管桥勘察方法应符合下列规定：

1 岸坡及桩（墩）基部位应进行专门工程地质测绘，比例尺可选用 1：1000～1：500。

2 勘探应符合下列规定：

1) 岸坡部位应进行勘探，勘探深度宜达到沟谷深度以下 3m 或超过控制稳定的结构面。

2) 桩（墩）基部位应进行勘探，每桩（墩）基应不少于 1 个勘探点，大型桩（墩）基或工程地质条件复杂可在桩（墩）基周边补充布置勘探点。勘探深度宜进入桩端或墩基以下 5m，可溶岩区应适当加深，必要时可布置勘探竖井。

3) 采用非桩（墩）基跨越方式时，应根据跨越方式及工程设计要求布置勘探工作。

4) 施工围堰堰基应布探勘探点，勘探深度宜为堰高的 1/3，但应不少于 5m。

3 水文地质试验应符合下列规定：

1) 可能存在基坑涌水的桩（墩）位应进行抽（注）水试验。

2) 承压水分布部位应进行承压水头和涌水量观测。

3) 采取地表水、地下水样进行水质分析及腐蚀性评价，分析组数不应少于 4 组。

4 岩土试验及测试应符合下列规定：

1) 桩（墩）基每一主要岩土层均应取原状样进行室内物

理力学性质试验，累计有效试验组数不应少于 6 组。

2) 松散地层桩（墩）基部位应进行原位测试。必要时可进行原位载荷试验。

5 桩（墩）基稳定性应根据桩（墩）基岩土体的工程地质性质、可能产生变形破坏的边界条件及跨越河谷的水文条件，结合渡槽、管桥的运行特性等综合分析、评价。

7.5 倒虹吸

7.5.1 倒虹吸勘察应包括下列内容：

1 查明穿越地段的地层岩性，主要查明湿陷性土、膨胀土、软土等特殊土及架空层等不良结构体的分布特征及工程地质性质。

2 查明穿越地段地下水及含水层的分布特征，承压水应查明其埋藏条件及承压水头。

3 查明持力层及镇墩部位的地层岩性、埋藏深度、分布特征及其物理力学性质和工程地质特性。

4 确定持力层及镇墩岩（土）体主要物理力学参数及有关工程地质参数。

5 对可能液化土层进行液化复核。

6 评价环境水和土的腐蚀性。

7 进行工程地质分段评价。

8 提出穿越方式及最小穿越深度的地质建议，评价其工程地质条件和工程地质问题。

9 查明岸（边）坡的工程地质条件，评价其稳定性，确定物理力学参数及有关工程地质参数。

10 查明施工围堰和施工机械场地的工程地质条件，评价存在的主要工程地质问题。

11 提出线路优化建议，并进行工程地质论证。

7.5.2 倒虹吸勘察方法应符合下列规定：

1 工程地质条件复杂部位宜进行专门工程地质测绘，比例

尺可选用 1 : 500~1 : 200。

2 工程地质勘探应符合下列规定：

- 1) 采用开挖穿越方式应在倒虹吸轴线布置勘探剖面，勘探点间距宜为 100~200m，勘探剖面上不应少于 3 个勘探点。
- 2) 采用非开挖穿越方式应在倒虹吸轴线两侧各 15m 处布置勘探剖面，勘探点间距宜 50~100m，两侧勘探剖面的勘探点呈交错布置，每条勘探剖面不应少于 3 个勘探点。
- 3) 勘探深度宜进入设计埋深以下 5~10m，遇有特殊岩土层应适当加深。穿越河流勘探深度宜达到最大冲刷深度以下 15m，无冲刷深度资料时，应视河床地质条件确定。
- 4) 岸（边）坡部位应布置勘探点，勘探深度宜达到沟谷深度以下 3m。
- 5) 施工围堰堰基应布置勘探点，勘察深度宜为堰高的 1/3，但不应小于 5m。
- 6) 施工机械场地应布置勘探点，勘探深度视需要确定。

3 水文地质试验应符合下列规定：

- 1) 钻孔应进行抽水试验，承压水分布地段应进行承压水头、涌水量观测。
- 2) 采取地表水和地下水样进行水质分析和腐蚀性评价。

4 岩土试验及测试应符合下列规定：

- 1) 持力层岩（土）体应取原状样进行室内物理力学性质试验。
- 2) 特殊土应进行专门试验。
- 3) 穿越地段河谷冲积物应取样进行颗分试验。
- 4) 持力层应选择适宜的方法进行原位测试。
- 5) 采取土样进行腐蚀性分析、评价。土对钢结构的腐蚀性评价应符合表 6.4.2 的有关规定。

5 持力层稳定性应根据岩（土）体的物理力学性质及可能产生变形破坏的边界条件，结合倒虹吸的运行特性等综合分析、评价。

6 穿越方式及最小穿越深度应根据穿越地段的工程地质条件及最大冻结深度和穿越河流的水文特性和冲刷变幅等情况提出。

7.6 埋 管（涵）

7.6.1 长距离埋管（涵）勘察内容除应符合 7.3.1 条的规定外，尚应包括下列工作内容：

1 查明持力层及镇墩部位的地层岩性、埋藏深度、分布特征及其物理力学性质和工程地质特性。

2 确定持力层及镇墩岩（土）体主要物理力学参数及有关工程地质参数。

3 提出穿越方式及最小穿越深度的地质建议，评价其工程地质条件和工程地质问题。

4 查明施工围堰和施工机械场地的工程地质条件，评价存在的主要工程地质问题。

7.6.2 长距离埋管（涵）勘察方法除应符合 7.3.2 条的规定外，尚应包括下列内容：

1 工程地质条件复杂部位应进行专门工程地质测绘，比例尺可选用 1：500～1：200。

2 工程地质勘探应符合下列规定：

1) 采用开挖穿越方式应在埋管（涵）轴线布置勘探剖面，勘探点间距宜 100～500m。

2) 采用非开挖穿越方式应在埋管（涵）轴线两侧各 15m 处布置勘探剖面，勘探点间距宜 100～200m，两条勘探剖面的勘探点呈交错布置。

3) 勘探深度宜进入设计埋深以下 5～10m，遇有特殊岩土层应适当加深。穿越河流勘探深度宜达到最大冲刷

深度以下 15m，无冲刷深度资料时，应视河床地质条件确定。

- 4) 施工围堰堰基应布置勘探点，勘察深度宜为堰高的 1/3，但应不少于 5m。
- 5) 施工机械场地应布置勘探点，勘探深度视需要确定。

3 岩土试验及测试应符合下列规定：

- 1) 持力层岩（土）体应取原状样进行室内物理力学性质试验。
- 2) 穿越地段河谷冲积物应取样进行颗分试验。
- 3) 持力层宜进行原位测试。
- 4) 采取土样进行腐蚀性分析、评价。

4 持力层稳定性应根据岩（土）体的物理力学性质及可能产生变形破坏的边界条件，结合埋管（涵）的运行特性等综合分析、评价。

5 穿越方式及最小穿越深度应根据穿越地段的工程地质条件及最大冻结深度和穿越河流的水文特性和冲刷变幅等情况提出。

7.6.3 短距离埋管（涵）勘察内容和方法应符合 7.5 节的有关规定。

8 招标设计阶段工程地质勘察

8.1 一般规定

8.1.1 招标设计阶段工程地质勘察应在审查批准的初步设计报告基础上，复核初步设计阶段的地质资料与结论，补充论证主要工程地质问题，为完善、优化设计及编制工程招标文件提供工程地质资料。

8.1.2 招标设计阶段工程地质勘察应包括下列工作内容：

- 1 复核初步设计阶段的主要勘察成果。
- 2 补充论述初步设计阶段工程地质勘察报告审查中提出的工程地质问题。
- 3 提供与优化设计和招标文件编制有关的工程地质资料。

8.2 工程地质复核与勘察

8.2.1 工程地质复核应包括下列主要工作内容：

- 1 隧洞、渠道等引调水建筑物主要工程地质条件和工程地质问题及结论。
- 2 天然建筑材料的储量、质量、开采运输条件及料场开采对环境的影响。

8.2.2 工程地质复核方法应符合下列规定：

- 1 分析研究初步设计阶段工程地质勘察成果和审查意见。
- 2 分析研究观（监）测成果。
- 3 实地勘验重大工程地质问题。

8.2.3 工程地质勘察应包括下列主要工作内容：

- 1 引调水建筑物尚需补充论证的工程地质问题。
- 2 施工组织设计需要查明、论证的工程地质问题。
- 3 天然建筑材料需要复查或补充勘察的问题。

8.2.4 工程地质勘察方法应符合下列规定：

- 1 充分分析、利用已有勘察、试验、观（监）测资料。
- 2 补充必要的地质测绘、勘探与试验工作，勘察方法和勘察工作量应根据工程地质问题的复杂程度确定。

9 施工详图设计阶段工程地质勘察

9.1 一般规定

9.1.1 施工详图设计阶段工程地质勘察应在招标设计阶段基础上，检验、核定前期勘察的工程地质资料与结论，补充论证专门性工程地质问题，进行施工地质工作，为施工详图设计、优化设计、工程建设实施、竣工验收等提供工程地质资料。

9.1.2 施工详图设计阶段工程地质勘察应包括下列工作内容：

- 1 招标设计阶段遗留的工程地质问题。
- 2 施工中出现的工程地质问题。
- 3 优化设计需要进行的工程地质勘察。
- 4 施工地质工作。
- 5 提出施工期和运行期工程地质监测内容、方案布置和技术要求的建议。

9.2 施工期工程地质勘察

9.2.1 施工期工程地质勘察宜包括下列工作内容：

- 1 对招标设计阶段遗留的、施工中出现的和优化设计需要的工程地质问题进行勘察，查明其工程地质条件，复核岩（土）体物理力学参数，评价其影响，提出处理建议。
- 2 料场情况发生变化或需新辟料场时，应查明或复查天然建筑材料的质量、储量及开采条件。

9.2.2 施工期工程地质的勘察应符合下列规定：

- 1 利用施工开挖条件，收集地质资料。
- 2 充分分析、利用各种观（监）测资料。
- 3 勘察方法、勘察工作布置应根据工程地质问题的性质、复杂程度和已经完成的勘察工作及场地条件等因素确定。

附录 A 工程地质勘察报告附件

表 A 工程地质勘察报告附件表

序号	附件名称	规划阶段	项目建议书阶段	可行性研究阶段	初步设计阶段	招标投标设计阶段	施工详图设计阶段
1	区域综合地质图（附综合地层柱状图和典型地质剖面）	√	√	√	—	—	—
2	区域构造与地震震中分布图	+	√	√	—	—	—
3	引调水线路综合地质图（附综合地层柱状图和典型地质剖面）	√	√	√	√	—	—
4	引调水线路水文地质图	—	+	+	+	—	—
5	隧洞工程地质图	—	√	√	√	√	—
6	渠道工程地质图	—	√	√	√	√	—
7	埋管（涵）、渡槽（管桥）、倒虹吸工程地质图	—	+	√	√	√	—
8	引调水线路工程地质剖面图	√	√	√	—	—	—
9	隧洞工程地质剖面图	—	√	√	√	√	—
10	渠道工程地质剖面图	—	√	√	√	√	—
11	埋管（涵）、渡槽（管桥）、倒虹吸工程地质剖面图	—	+	+	√	√	—
12	专门性工程地质剖面图	—	—	+	+	+	+
13	施工支洞工程地质图	—	—	+	√	√	—

表 A (续)

序号	附件名称	规划阶段	项目建议书阶段	可行性研究阶段	初步设计阶段	招标投标阶段	施工图设计阶段
14	施工支洞工程地质剖面图	—	—	+	√	√	—
15	天然建筑材料产地分布图	+	√	√	√	√	+
16	天然建筑材料料场综合图表	—	+	√	√	√	+
17	天然建筑材料料场剖面图	—	—	√	√	√	+
18	地下水动态、岩（土）体变形观（监）测成果	—	—	+	+	—	+
19	物探报告	—	+	+	+	—	+
20	岩土试验报告	—	+	+	+	—	+
21	水质分析报告	—	+	+	+	—	+
22	地应力测试报告	—	+	+	+	—	+
23	有害气体、放射性物质分析评价报告	—	+	+	+	—	+
24	专门性水文地质研究报告	—	+	+	+	—	+
25	专门性工程地质问题研究报告	—	+	+	+	—	+
26	隧洞施工超前地质预报工作报告	—	—	—	—	—	+
注：“√”表示应提交的附图附件；“+”表示视需要而定的附图附件；“—”表示不需要提交的附图附件。							

附录 B 隧洞围岩主要力学参数取值

B.1 一般规定

B.1.1 隧洞围岩主要力学参数取值应充分分析围岩的物理力学性质、岩体强度、岩质类型、结构特征、完整程度等工程地质特性。

B.1.2 应根据围岩的工程地质特性进行相应的力学试验和原位测试，并以围岩类别为单元，按有关规程的要求进行成果整理。

B.1.3 宜以整理后的试验值作为标准值，结合围岩的工程地质特性进行调整提出地质建议值。

B.1.4 应充分借鉴相似工程的经验取值。

B.2 取值原则

B.2.1 围岩的强度参数（单轴抗压强度、抗拉强度等）可采用试验成果的算术平均值作为标准值。

B.2.2 围岩的变形参数（变形模量、弹性模量、弹性抗力系数等）可采用试验成果的算术平均值作为标准值。

B.2.3 围岩结构面的抗剪（断）强度参数标准值宜按下列规定取值：

1 硬性结构面抗剪断强度参数按峰值强度平均值取值，抗剪强度参数按残余强度平均值取值作为标准值。

2 软弱结构面抗剪（断）强度参数按峰值强度小值平均值取值，抗（剪）强度参数按屈服强度平均值取值作为标准值。

B.3 取值方法

B.3.1 围岩单位弹性抗力系数可按下列规定取值：

1 围岩单位弹性抗力系数可按式（B.3.1）估算。

$$K_0 = \frac{E_0}{(1 + \mu) \times 100} \quad (\text{B.3.1})$$

式中 K_0 ——岩体的单位弹性抗力系数，MPa/cm；
 E_0 ——围岩的变形模量，MPa；
 μ ——围岩泊松比。

2 必要时，可采用承压板法、径向液压枕法或水压致裂法直接测试围岩弹性抗力系数。

B.3.2 规划阶段、项目建议书阶段试验资料不足时，可结合围岩的地质特性根据表 B.3.2 提出地质建议值。

表 B.3.2 各类围岩主要力学参数地质建议值

围岩类别	内摩擦角 $\phi(^{\circ})$	凝聚力 $c'(\text{MPa})$	变形模量 $E_0(\text{GPa})$	泊松比 μ	坚固系数 f	单位弹性 抗力系数 K_0 (MPa/cm)
I	52~56	1.8~2.2	>20	0.17~0.22	>7	>70
II	48~52	1.3~1.8	10~20	0.22~0.25	5~7	50~70
III	35~48	0.6~1.3	5~10	0.25~0.30	3~5	30~50
IV	27~35	0.3~0.6	1~5	0.30~0.35	1~3	5~30
V	19~27	<0.2	<1	>0.35	<1	<5
注：本表适用于基岩隧洞，不适用于黄土及其他覆盖层隧洞。						

附录 C 隧洞 TBM 施工适宜性判定

C.0.1 TBM 施工的适宜性应以工程地质勘察成果及围岩基本质量分类为基础，考虑岩体完整性、岩石强度、围岩应力环境和不良地质条件等因素，结合 TBM 系统集成及施工应用特点综合判定。

C.0.2 具备下列地质条件可判定为不适宜采用 TBM 施工：
——以 V 类围岩为主的隧洞。
——地应力高、岩爆强烈或塑性变形大的围岩。

C.0.3 TBM 施工的适宜性分为适宜（A）、基本适宜（B）、适宜性差（C）等级别，并宜符合表 C.0.3 的规定。

表 C.0.3 隧洞 TBM 施工适宜性分级

围岩类别	与 TBM 掘进效率相关的岩体性状指标			TBM 施工适宜性分级	
	岩体完整性 K_v	岩石饱和单轴抗压强度 R_b (MPa)	围岩强度应力比 S	适宜性评价	分级
I	>0.75	$100 < R_b \leq 150$	>4	岩体完整，围岩稳定，岩体强度对掘进效率有一定影响，地质条件适宜性一般	B
		$150 < R_b$	<4	岩体完整，围岩稳定，岩体强度对掘进效率有明显影响，地质条件适宜性较差	C
II	$0.75 \geq K_v > 0.55$	$100 < R_b \leq 150$	>4	岩体较完整，围岩基本稳定，岩体强度对掘进效率影响较小，地质条件适宜性好	A
				岩体较完整，围岩基本稳定，岩体强度对掘进效率有一定影响，地质条件适宜性一般	B

表 C.0.3 (续)

围岩类别	与 TBM 掘进效率相关的 岩体性状指标			TBM 施工适宜性分级	
	岩体完整性 K_v	岩石饱和单轴 抗压强度 R_b (MPa)	围岩强度 应力比 S	适宜性评价	分级
Ⅱ	$0.75 \geq K_v$ > 0.55	$150 < R_b$	< 4	岩体较完整，围岩基本稳定，岩体强度对掘进效率有明显影响，地质条件适宜性较差	C
Ⅲ	$0.55 \geq K_v$ > 0.35	$60 < R_b \leq 100$	> 4	岩体完整性差，围岩局部稳定性差，不利岩体地质条件组合对掘进效率影响较小，地质条件适宜性好	A
			$4 \sim 2$	岩体完整性差，围岩局部稳定性差，不利岩体地质条件组合对掘进效率有一定影响，地质条件适宜性一般	B
	≤ 0.35	$100 < R_b$	< 2	岩体完整性差～较破碎，围岩局部稳定性差，不利岩体地质条件组合对掘进效率有明显影响，地质条件适宜性差	C
Ⅳ	$0.35 \geq K_v$ > 0.15	$30 < R_b \leq 60$	> 2	岩体较破碎，围岩不稳定，不利岩体地质条件组合对掘进效率有一定影响，地质条件适宜性一般或不适宜于开敞式 TBM 施工	B
		$15 < R_b \leq 60$	< 2	岩体较破碎，围岩不稳定，变形破坏对掘进效率有明显影响，不利岩体地质条件地段需进行工程处理，地质条件适宜性差且不适宜于开敞式 TBM 施工	C

附录 D 黄土隧洞工程地质评价

D.0.1 黄土隧洞工程地质评价应在全面分析隧洞工程地质勘察资料的基础上进行，主要包括黄土的湿陷性、隧洞围岩的变形破坏分析、围岩工程地质分类、山岩压力计算及主要物理力学参数建议等。

D.0.2 黄土隧洞围岩的变形破坏应根据土体的岩性、结构构造、含水特征以及围岩应力和土体强度等条件综合分析。变形破坏的部位主要为顶拱、侧墙和拱脚，变形破坏的形式主要有掉块、塌方、剥落、滑塌及泥石流等。

D.0.3 黄土隧洞围岩工程地质分类应根据黄土围岩的工程地质特征及自稳情况等划分，并宜符合表 D.0.3 的规定。

表 D.0.3 黄土隧洞围岩分类

围岩类别	工程地质特征				围岩自稳性	建议措施
	地貌	地层	构造	湿陷性		
IV ₁	一般出露在沟底红土或基岩之上	老黄土下部 (Q ₂ 1 ¹ - Q ₁)	十多层古土壤，多钙核层，多节理裂隙	无	跨度大于 5m 时，暂时稳定，可发生小塌方；跨度不大于 5m 时，基本稳定	分部开挖，及时衬砌
IV ₂	一般出露在沟壁，沟壁较陡	老黄土上部 (Q ₂ 1)	夹有数层古土壤及钙核层，层位稳定，节理较多	轻微 ~ 无	跨度不小于 5m 时，可暂时稳定 ~ 不稳定，可发生中 ~ 大塌方；跨度小于 5m 时，基本稳定	

表 D. 0. 3 (续)

围岩类别	工程地质特征				围岩自稳性	建议措施
	地貌	地层	构造	湿陷性		
V ₁	一般出露地表, 常见土洞, 沟壁较缓	新黄土 (Q ₃)	无层理, 节理少	中等~强烈	跨度大于 6m 时, 无自稳性; 跨度 4~6m, 可暂时稳定, 可发生中~大塌方; 跨度小于 4m, 可基本稳定	自重湿陷性黄土不宜开挖水工隧洞, 非自重湿陷性黄土隧洞应及时衬砌, 并采取严密的防渗措施
V ₂	饱和黄土				无自稳性	

D. 0. 4 黄土隧洞各类围岩物理力学参数经验值可按表 D. 0. 4 选取。

表 D. 0. 4 黄土隧洞各类围岩物理力学参数经验值

围岩类别	含水量 <i>w</i> (%)	干密度 <i>ρ</i> (g/cm ³)	原状快剪		饱和快剪		变形模量 <i>E</i> ₀ (MPa)	侧压力系数 <i>λ</i>	坚固系数 <i>f</i>
			凝聚力 <i>c'</i> (kPa)	内摩擦角 <i>φ</i> (°)	凝聚力 <i>c'</i> (kPa)	内摩擦角 <i>φ</i> (°)			
IV ₁	17~24	1.50~1.66	60~90	25~30	35~50	17~25	60~130	0.21~0.31	1.3~1.0
IV ₂	11~22	1.43~1.53	45~65	18~25	22~40	15~20	30~60	0.30~0.36	1.0~0.8
V ₁	10~20	1.16~1.36	20~45	16~24	13~19	14~19	5~20		0.8~0.6
V ₂									0.6~0.3

附录 E 隧洞涌水量预测

E.1 一般规定

E.1.1 遇有下列情况之一应判定隧洞存在涌水可能性并预测涌水量:

- 1 隧洞穿越富水岩层。
- 2 隧洞穿越富水的断层带、裂隙密集带或其他构造破碎带。
- 3 隧洞穿越可溶岩层与非可溶岩层接触带。
- 4 隧洞穿越充水溶洞、地下暗河等岩溶洞穴管道。
- 5 隧洞位于岩溶地下水水平径流带或深部缓流带。

E.1.2 隧洞涌水量预测应具备下列资料:

- 1 隧洞区降水量、蒸发蒸散量及地表水体的类型、规模等有关气象、水文资料。
- 2 隧洞区地形地貌形态、地层岩性和地质构造及其透水性、富水性。
- 3 隧洞区地下水及含水层、隔水层、汇水构造、阻水构造的分布、类型、性质。
- 4 隧洞区岩溶发育程度、规模、连通性及岩溶水赋存、补给条件。
- 5 隧洞区水文地质单元划分及地下水补给、径流、排泄条件。
- 6 隧洞围岩的充水条件和类型。

E.1.3 隧洞涌水量预测应符合下列规定:

- 1 应根据工程地质、水文地质条件分段进行正常涌水量、最大涌水量预测。
- 2 预测方法应根据勘察资料、气象水文资料和水文地质条件确定,并宜采用不同预测方法相互验证。

E.2 正常涌水量预测

E.2.1 应根据抽水试验资料,采用 $Q-S$ 曲线方程外推法预测

隧洞正常涌水量。

E. 2. 2 应以地质、水文地质条件相似的既有隧洞（或已施工洞段）涌水资料，采用水文地质比拟法按式（E. 2. 2 - 1）～式（E. 2. 2 - 3）预测新建隧洞（或后期施工洞段）正常涌水量：

$$Q_s = Q'_s \frac{FS}{F'S'} \quad (\text{E. 2. 2 - 1})$$

$$F = BL \quad (\text{E. 2. 2 - 2})$$

$$F' = B'L' \quad (\text{E. 2. 2 - 3})$$

式中 Q_s 、 Q'_s ——新建、既有隧洞通过含水体地段的正常涌水量， m^3/d ；

F 、 F' ——新建、既有隧洞通过含水体地段的涌水面积， m^2 ；

S 、 S' ——新建、既有隧洞通过含水体中自静止水位起的水位降深， m ；

B 、 B' ——新建、既有隧洞洞身横断面的周长， m ；

L 、 L' ——新建、既有隧洞通过含水体地段的长度， m 。

E. 2. 3 当隧洞通过地表水体时，可采用下列方法预测隧洞正常涌水量：

1 采用地下径流深度法，可按式（E. 2. 3 - 1）～式（E. 2. 3 - 3）计算：

$$Q_s = 2.74hA \quad (\text{E. 2. 3 - 1})$$

$$h = W - H - E - SS \quad (\text{E. 2. 3 - 2})$$

$$A = LB \quad (\text{E. 2. 3 - 3})$$

式中 Q_s ——隧洞通过含水体地段的正常涌水量， m^3/d ；

h ——年地下径流深度， mm ；

A ——隧洞通过含水体地段的集水面积， km^2 ；

W ——年降水量， mm ；

H ——年地表径流深度， mm ；

E ——年蒸发蒸散量， mm ；

SS ——年地表滞水深度， mm ；

L ——隧洞通过含水体地段的长度, km;

B ——隧洞涌水地段 L 长度内对两侧的影响宽度, km。

2 采用地下径流模数法, 可按式 (E. 2. 3 - 4)、式 (E. 2. 3 - 5) 计算:

$$Q_s = MA \quad (\text{E. 2. 3 - 4})$$

$$M = Q' / F \quad (\text{E. 2. 3 - 5})$$

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 (采用枯水期流量计算), m^3/d ;

F ——与 Q' 的地表水或下降泉流量相当的地表流域面积, km^2 ;

其他符号意义同前。

E. 2. 4 当隧洞埋藏较浅, 通过潜水含水体时, 可采用降水入渗法按式 (E. 2. 4) 预测隧洞正常涌水量:

$$Q_s = 2.74\alpha WA \quad (\text{E. 2. 4})$$

式中 α ——降水入渗系数;

其他符号意义同前。

E. 2. 5 当隧洞通过岩溶区, 可采用水均衡法按式 (E. 2. 5) 概略预测隧洞涌水量:

$$Q_s = \frac{1000\alpha WA}{365} \quad (\text{E. 2. 5})$$

式中 Q_s ——隧洞通过岩溶含水体地段的正常涌水量, m^3/d ;

A ——隧洞通过岩溶含水体地段的地表集水面积, km^2 ;

α ——入渗系数, 按岩溶发育程度确定, 宜采用 0.3 ~ 0.5;

W ——涌水量计算时段的多年平均降水量, mm。

E. 2. 6 当隧洞通过潜水含水体时, 可采用裘布依理论公式, 可按式 (E. 2. 6) 预测隧洞正常涌水量:

$$Q_s = LK \frac{H^2 - h^2}{R_y - r_0} \quad (\text{E. 2. 6})$$

式中 Q_s ——隧洞正常涌水量, m^3/d ;
 K ——含水体的渗透系数, m/d ;
 H ——洞底以上潜水含水层厚度, m ;
 h ——洞内排水沟假设水深 (宜考虑水跃值), m ;
 R_y ——隧洞涌水地段的引用补给半径, m ;
 L ——隧洞通过含水体的长度, m ;
 r_0 ——洞身横断面等价圆半径, m 。

E. 2. 7 当隧洞通过的含水层各个方向上的透水性或补给条件差别很大时, 宜将隧洞区分成若干扇形区段, 然后根据辐射流公式, 分段计算隧洞正常涌水量:

1 含水层为潜水时, 可按式 (E. 2. 7 - 1) 分段计算正常涌水量:

$$Q_s = \frac{K(b_1 - b_2)}{\ln b_1 - \ln b_2} \times \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (\text{E. 2. 7 - 1})$$

式中 Q_s ——隧洞通过含水体的分段正常涌水量, m^3/d ;
 K ——扇形区段内含水层的渗透系数, m/d ;
 b_1 ——上游计算断面宽度, m ;
 b_2 ——下游计算断面宽度, m ;
 h_1 ——上游计算断面潜水层厚度, m ;
 h_2 ——下游计算断面潜水层厚度, m ;
 L ——上、下游断面之间的平均距离, m 。

2 含水层为承压水时, 可按式 (E. 2. 7 - 2) 分段计算正常涌水量:

$$Q_s = \frac{KM(b_1 - b_2)(H_1 - H_2)}{(\ln b_1 - \ln b_2)L} \quad (\text{E. 2. 7 - 2})$$

式中 Q_s ——隧洞通过含水体的分段正常涌水量, m^3/d ;
 M ——扇形区段内承压水含水层的平均厚度, m ;
 H_1 ——上游计算断面承压水位, m ;
 H_2 ——下游计算断面承压水位, m ;
 其他符号意义同前。

E. 3 最大涌水量预测

E. 3. 1 以地质、水文地质条件相似的既有隧洞（或已施工洞段）的最大涌水量资料，采用水文地质比拟法，可按 E. 2. 2 条的规定预测新建隧洞（或后期施工洞段）的最大涌水量。

E. 3. 2 隧洞通过岩溶区，采用最大涌水量计算时段的多年平均最大降水量（ W ），可按 E. 2. 5 条的规定预测隧洞最大涌水量。

E. 3. 3 当隧洞通过潜水含水水体时，可采用下列方法预测隧洞最大涌水量：

1 采用古德曼经验式，可按式（E. 3. 3 - 1）计算：

$$Q_0 = L \frac{2\pi KH}{\ln \frac{4H}{d}} \quad (\text{E. 3. 3 - 1})$$

式中 Q_0 ——隧洞通过含水水体地段的最大涌水量， m^3/d ；

K ——含水水体渗透系数， m/d ；

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 ——隧洞通过含水水体的长度， m 。

2 采用佐藤邦明非稳定流公式，可按式（E. 3. 3 - 2）计算：

$$q_0 = \frac{2\pi m K h_2}{\ln \left[\tan \frac{\pi(2h_2 - r_0)}{4h_c} \cot \frac{\pi r_0}{4h_c} \right]} \quad (\text{E. 3. 3 - 2})$$

式中 q_0 ——隧洞通过含水水体地段的单位长度最大涌水量， $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ ；

m ——换算系数，宜取 0. 86；

K ——含水水体渗透系数， m/s ；

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 ——含水水体厚度， m 。

附录 F 隧洞有害气体和放射性评价

F.1 一般规定

F.1.1 隧洞有害气体和放射性评价应在全面分析隧洞区地层岩性、地质构造条件和生态环境、地方病史病例等资料的基础上进行，宜分为初步分析和详细评价，详细评价应在初步分析的基础上进行。

F.1.2 隧洞有害气体应主要查明 CO、CO₂、NO₂、SO₂、NH₃、H₂S、CH₄ 等的分布、浓度和含量，评价其对隧洞施工和运行的影响。

F.1.3 隧洞放射性应主要查明放射性元素的分布及 γ 辐射量、射气量和天然铀 U、镭 (²²⁶Ra)、氡 (²²²Rn)、总 α 、总 β 等的浓度和含量，评价其对隧洞施工和运行的影响。

F.1.4 隧洞有害气体和放射性评价应编制评价报告。

F.2 初步分析

F.2.1 初步分析应采用资料收集、地质调查等方法了解有害气体和放射性的区测环境资料，调查其生成、储积的地质条件。

F.2.2 具有下列条件的洞段或部位，可初步判定其可能存在有害气体：

- 煤系地层及炭质页岩、含沥青质岩类等可生成、储积有害气体的地层广泛分布。
- 背斜、穹窿、封闭断层等利于有害气体储积的圈闭构造分布。
- 曾发现、发生过有害气体的地区。

F.2.3 具有下列条件的洞段或部位，可初步判定其可能存在放射性：

- 酸性岩浆岩体、花岗片麻岩体及伟晶岩脉侵入岩体等，

- 可成生放射性元素的岩体广泛分布。
- 核素矿体分布。
- 附近居民有放射性地方病史病例。

F.3 有害气体详细评价

F.3.1 详细评价应在可能存在有害气体的洞段或部位进行。

F.3.2 有害气体的勘察应符合下列要求：

- 1 查明成生地层的岩相、岩性、分布特征及其物理化学性质。
- 2 查明储气构造的性质、规模、分布特征。
- 3 主要成生地层和储气构造部位应布置钻孔勘探，并取岩、水样进行试验、检测。
- 4 利用钻孔进行有害气体测试，主要包括含量、化学成分、压力、涌出量等。

F.3.3 应详细评价、预测有害气体对隧洞施工安全、人体健康和输送水质的影响，并应符合下列规定：

- 1 隧洞施工地下洞室有害气体最大允许浓度应符合表 F.3.3 的规定。

表 F.3.3 地下洞室有害气体最大允许浓度

名 称	符 号	最大允许浓度	
		体积比（%）	重量比（mg/m³）
一氧化碳	CO	0.00240	30
二氧化碳	CO ₂	0.50	
氮氧化物	换算成 NO ₂	0.00025	5
二氧化硫	SO ₂	0.00050	15
氨	NH ₃	0.00400	30
硫化氢	H ₂ S	0.00066	10
甲烷	CH ₄	1	

- 2 对输水水质的影响评价应符合国家现行有关标准的规定。

3 隧洞通过含瓦斯地层应按国家有关安全生产的规定进行类型划分、工区分类和突出危险评价。

F.3.4 评价报告应符合下列规定：

1 报告正文应包括隧洞工程地质条件，有害气体生成、储存地质条件，有害气体的测试方法、测试结果及其类型、分布、含量，危害性评价和防护建议等。

2 遇有煤矿层尚应包括穿煤情况及煤层的地质特征，主要瓦斯参数、涌气量预测及危险性评价和防护建议。

3 附图应在工程地质图的基础上，标绘有害气体的类型、分布范围等。

F.4 放射性详细评价

F.4.1 详细评价应在可能存在放射性元素的洞段或部位进行。

F.4.2 放射性元素的勘察应符合下列要求：

1 查明成生岩体的岩性、成因类型、规模、分布特征及其矿物成分和物理化学性质。

2 查明聚积构造和侵入体蚀变带的性质、产状、规模等。

3 查明环境 γ 辐射强度，地表、地下水体中的铀、镭等放射性元素浓度，空气氡及氡子体浓度，总 α 浓度、总 β 浓度等。

4 应利用钻孔或探洞进行放射性编录和 γ 测井，取岩、水样进行放射性分析、化学分析。

5 γ 总量测量应以物探为主，必要时可进行 $\gamma+\beta$ 测量和射气测量。

F.4.3 应详细评价、预测放射性对人体健康和输送水质的影响，进行放射性分级和工作分区，并应符合下列规定：

1 对个人剂量的限制和公众照射限制的原则等应符合 GB 18871 的有关规定。

2 核辐射环境质量评价应符合 GB 11215 的有关规定。

3 对输送水质的影响评价应符合国家现行有关标准的规定。

4 放射工作分区可根据年有效剂量 H_e ，按表 F.4.3 划分

为三区。

表 F.4.3 放射工作分区

分区	非限制区	监督区	控制区
划分标准	$He<5mSv$	$5mSv\leq He\leq 15mSv$	$He>15mSv$

F.4.4 评价报告应符合下列规定：

1 报告正文应包括隧洞工程地质条件，放射性元素成生、储存地质条件，放射性测试方法、测试结果及其类型、分布、强度、含量，危害性评价和防护建议等。

2 附图应在工程地质图的基础上，标绘放射性元素的类型、分布范围及 γ 场分级和工作分区。

附录 G 渠道工程地质分段评价

G.1 渠道分段

G.1.1 渠道工程地质初步分段应以地形地貌单元为基础，按地层岩性、地质构造、地下水等工程地质条件进行划分。

G.1.2 渠道工程地质分段应在初步分段的基础上，按挖方、填方和挖填结合等不同施工形式进行划分。

G.2 分段评价

G.2.1 初步分段评价应包括下列主要内容：

1 地形地貌类型、分布特征和滑坡、泥石流、移动沙丘等不良地质现象的类型、性质、分布规模及其对渠道稳定的影响。

2 地层岩性、产状、分布特征。第四纪沉（堆）积物的成因类型、物质组成、结构特征及软弱、膨胀、易溶、湿陷、液化、架空层等特殊岩土和不良结构体的分布及其工程地质性质。

3 断层、破碎带、裂隙密集带等的性质、产状、规模、分布特征。

4 地下水的埋藏条件、类型、水位及其变化规律。

5 岩（土）体的透水性。

6 岩（土）体的物理力学性质及物理力学参数。

7 可能产生的渠道渗漏、渗透稳定、浸没、盐渍化等工程地质、环境地质问题。

G.2.2 分段评价应在初步分段评价的基础上根据渠道的施工形式进行，深挖方和高填方渠段应进行专门评价。岩（土）体结构类型宜符合表 G.2.2 的规定。分段评价主要包括下列主要内容：

1 挖方渠道边坡岩（土）体结构类型及其工程地质条件、开挖边坡稳定性等工程地质问题。

2 填方渠道工程地质条件及填筑料的物理力学性质、填筑

质量要求、填筑边坡的稳定性等工程地质问题。

3 挖填结合渠道按 1 款、2 款的有关规定进行评价。

4 挖方与填方渠道过渡段的工程地质地质条件和工程地质问题。

5 可能存在的渠道渗漏、渗透稳定、震陷、边坡稳定、沉降变形、震动液化、承载力和抗冲刷等工程地质问题，提出有关工程地质参数建议值。

表 G.2.2 岩（土）体结构类型

类 型	地质结构特征
单一结构	由 1 类岩（土）体组成
双层结构	由 2 类岩（土）体组成
多层结构	由 2 类以上岩（土）体组成

附录 H 隧洞施工超前地质预报方法

H. 0. 1 隧洞施工超前地质预报应包括下列主要内容：

- 地层岩性预报，主要是软弱岩层、破碎岩层和特殊岩（土）体的分布、厚度、岩性特征、结构特征的预报。
- 地质构造预报，主要是断层、裂隙密集带、破碎带等的分布、规模、破碎程度、结构特征的预报。
- 地下水预报，主要是含水层、储水构造、岩溶管道的分布、规模、富水程度的预报。
- 不良地质现象预报，主要是岩溶洞穴、采空区等的位置、规模、充填情况的预报。

H. 0. 2 隧洞施工超前地质预报应以前期勘察成果和已开挖洞段地质资料为基础，根据预报的主要内容，结合隧洞的工程地质、水文地质条件和施工方法合理选择预报方法，并宜采用两种或两种以上方法进行相互验证的综合超前地质预报。隧洞施工超前地质预报方法可按表 H. 0. 2 选择。

表 H. 0. 2 隧洞施工超前地质预报方法

分类	方 法		适 用 性	
直接预报 方法	超前钻探法		适用于各种地质现象的预报	
	超前导洞法			
间接预报 方法 (物探法)	弹性波 反射法	地震 反射波法	主要适用 于探测地层 岩 性 界 线、 地质构造和 不良地质体 的分布	软弱破碎地层或岩溶发育区 每次探测距离宜 100m，岩体完 整硬质岩地层每次探测距离 宜 120m
		水平声波 剖面法		软弱破碎地层或岩溶发育区 每次探测距离宜 20m，岩体完 整硬质岩地层每次探测距离 宜 50m

表 H.0.2 (续)

分类	方 法		适 用 性	
间接预报 方法 (物探法)	弹性波 反射法	负视 速度法	主要适用 于探测地层 岩 性 界 线、 地质构造和 不良地质体 的分布	软弱破碎地层或岩溶发育区 每次探测距离宜 30m，岩体完 整硬质岩地层每次探测距离 宜 50m
		陆地 声纳法		软弱破碎地层或岩溶发育区 每次探测距离宜 20m，岩体完 整硬质岩地层每次探测距离 宜 50m
	探地雷达法		主要适用于岩溶及破碎带、软弱夹层等不均 匀地质体探测。完整灰岩地段探测距离不宜大 于 30m，岩溶发育地段的每次探测距离应根据 雷达波形确定	
	红外探测法		主要适用于探测水体的存在及方位，每次探 测距离不宜大于 30m	
	高分辨直流电法		主要适用于探测地下水体分布的位置及相对 含水量的大小，每次探测距离不宜大于 80m	

H.0.3 隧洞施工超前地质预报根据需要宜采用长距离预报、中距离预报、短距离预报，并应以长距离预报指导中距离预报，以中距离预报指导短距离预报。

H.0.4 应根据超前地质预报信息，结合地质调查，综合分析、评价可能产生的围岩变形、塌方、涌水等不良地质现象。

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

引调水线路工程地质勘察规范

SL 629—2014

条文说明

目次

1	总则	81
3	基本规定	82
4	规划阶段工程地质勘察	84
5	项目建议书阶段工程地质勘察	87
6	可行性研究阶段工程地质勘察	94
7	初步设计阶段工程地质勘察	103
8	招标设计阶段工程地质勘察	111
附录 B	隧洞围岩主要力学参数取值	112
附录 C	隧洞 TBM 施工适宜性判定	113
附录 D	黄土隧洞工程地质评价	115
附录 E	隧洞涌水量预测	117
附录 F	隧洞有害气体和放射性评价	123
附录 G	渠道工程地质分段评价	127
附录 H	隧洞施工超前地质预报方法	129

1 总 则

1.0.1~1.0.3 引调水工程是缓解水资源供需矛盾，实现水资源合理开发、合理配置、综合利用的重要水利工程。

引调水线路工程地质勘察是进行引调水工程设计、施工和运行管理的重要基础工作。统一引调水线路工程勘察的技术要求、技术行为，对做好引调水线路工程地质勘察十分重要。条文对规范的编制目的、适用范围、勘察阶段划分等做了原则规定。

根据《调水工程设计导则》（SL 430—2008）的规定，引调水线路工程的等别可按表 1 划分。

表 1 引调水线路工程等别划分

工程等级	工程规模	分 等 指 标			
		供水对象 重要性	引水流量 (m ³ /s)	年引水量 (亿 m ³)	灌溉面积 (万亩)
I	大（1）型	特别重要	≥50	≥10	≥150
II	大（2）型	重要	10~50	3~10	0~150
III	中型	中等	2~10	1~3	5~50
IV	小型	一般	<2	<1	<5
注 1：以城市供水为主的调水工程，应按供水对象重要性、引水流量和年引水量 3 个指标拟定工程等别，确定等别时至少应有两项指标符合要求。					
注 2：以农业灌溉为主的调水工程，应按灌溉面积指标确定工程等别。					

3 基本规定

3.0.2 引调水线路工程，常常穿越不同地区、不同地貌单元，工程地质条件复杂多变。工程建设和运行会对周围环境产生不同程度的影响。因此，勘察范围需满足方案选择、线路比选和工程设计需要。

3.0.4 引调水线路工程地质勘察前期工作准备十分重要。通过收集资料和现场踏勘，可以全面了解线路区的水文气象、地形地貌、地质概况以及工作环境条件，以便编制勘察大纲，合理组织勘察工作的实施。

工作准备要充分了解工程设计意图，以便有针对性的进行。

3.0.5 勘察大纲是勘察工作实施的纲要性技术文件，对勘察工作的开展具有重要的指导作用。勘察大纲根据勘察任务书的技术要求，结合资料收集和现场踏勘的情况进行编制。条文规定了勘察大纲编制的主要内容，执行时可根据具体情况，合理调整。

3.0.6 引调水线路工程地质勘察是通过工程地质测绘、物探、勘探、试验、观测和资料整理等多种方法实现的。每种勘察方法，都有其应用的针对性和技术特点，但也有一定的局限性。在勘察工作中根据勘察目的和地质条件综合运用各种勘察方法，合理布置勘察工作。

工程地质测绘是各项勘察工作的基础。通过工程地质测绘可以较全面地了解引调水路线区的基本地质条件，合理指导勘察工作的开展。在引调水工程地质勘察工作中工程地质测绘要先期进行，在工程地质测绘的基础上布置其他勘察工作。

3.0.7 表 3.0.7-1、表 3.0.7-2 根据地形地貌、不良地质作用、地层岩性、地质构造、水文地质条件等对工程地质条件复杂程度进行了划分，以便于勘察工作根据工程地质条件的复杂程度，合理安排。

3.0.8 河道、湖塘是引调水线路工程可有效利用的条件，南水北调东线工程就合理利用京杭大运河、南四湖、东平湖等河道、湖塘进行引调水，取得了较好的经济技术效益。本条对当利用河道、湖塘引调水时应进行工程地质勘察做了原则规定，具体勘察内容和方法可根据河道、湖塘的地质条件结合引调水的功能需要确定。

4 规划阶段工程地质勘察

4.1 一般规定

本节规定了规划阶段工程地质勘察的基本任务，即对规划方案的区域地质及基本工程地质条件进行宏观的工程地质论证。同时，对工程地质勘察的基本内容做了规定。

规划阶段工程地质勘察的精度为“了解、调查”，但对线路规划有影响的主要工程地质、水文地质、环境地质问题应达到“初步查明”的精度。

4.2 区域地质和地震

4.2.1 区域地质条件和地震活动性是影响引调水工程规划方案的重要因素。本条从地形地貌、不良地质现象、地层岩性、地质构造与地震、水文地质等方面规定了区域地质和地震勘察的主要内容。

我国幅员辽阔，各地的区域地质和地震地质条件差异较大。执行时可根据规划方案工程区的具体条件及应研究的主要问题，有所侧重。

4.2.2 我国各级国土、地震部门已经编制、出版的区域地质和地震资料，为引调水工程区域地质和地震勘察提供了直接便利的条件。因此，本阶段区域地质和地震勘察方法主要是收集、分析、利用已有的区域地质和地震资料。主要包括各种比例尺的区域地质图、区域构造纲要图、区域水文地质图、环境地质图、灾害地质图和区域地质志以及历史和近现代地震目录、地震区划资料、相关地区仪器测地震和地震研究资料。邻近工程场地地震安全评估结论等。同时，还要收集有关的卫片、航片资料。

4.3 引调水线路方案

4.3.1 引调水线路方案选择是本阶段进行方案地质论证的主要

问题。为便于地质论证，条文规定了方案选择宜遵循的一般原则。

工程地质条件的优劣是相对的，无缺陷的地质条件并不存在，关键是能适应工程建设的需要，不能存在重大的、无法修复的地质缺陷。

滑坡、泥石流等不良地质现象和构造破碎带、汇水构造、充水溶洞等，对引调水工程极为不利，可能给建筑物造成重大破坏，而且难以彻底防治。条文中要求绕避的不良地质现象和地质部位，尽量绕避。

4.3.2 本条规定了线路方案勘察应包括的基本内容。

岩溶埋藏条件是可溶岩地层出露、分布以及地貌特征的直接表现，不同的埋藏条件反映了可溶岩地层岩性、岩溶发育和岩溶地下水活动的差异。岩溶按埋藏条件进行分类，见表 2。

表 2 岩溶按埋藏条件分类

类 型	裸露型	浅覆盖型	深覆盖型	埋藏型
地表可溶岩出露情况	大部分	少量	几乎没有	无
覆盖层	土	土	土	非可溶岩
覆盖土厚度 h (m)	<10	<30	≥ 30	—
地表水与地下水连通情况	密切	较密切	一般不密切	不密切

4.3.3 本阶段工程地质勘察以满足规划方案工程地质论证的需要为原则，主要是对引水线路基本地质条件进行调查和了解。所以勘察方法以工程地质测绘、物探等轻型勘察手段为主。

工程地质测绘是本阶段的主要勘察方法。测绘工作中要充分利用卫片、航片及已有地质资料，但对主要地质现象如区域性断裂构造、地层接触关系等应实地校核。物探具有轻便、快捷、成本低的优点，对方案布置和线路规划论证有重要意义的地段要采用多种方法进行综合物探，探查覆盖层厚度、地层界线、构造破碎带分布、地下水位等。

不同地貌单元交接处以及隧洞进出口、浅埋段、过沟段常常是工程地质条件薄弱、复杂地段，渠道中心地段的工程地质条件决定渠线的布置。因此，宜布置少量控制性勘探点。

5 项目建议书阶段工程地质勘察

5.1 一般规定

本节规定了项目建议书阶段工程地质勘察的基本任务，即初步评价引调水线路的区域构造稳定性和各比选线路的工程地质条件，进行线路比选，提出比选意见，并对推荐线路及主要建筑物地段进行初步工程地质论证。同时，对工程地质勘察的基本内容做了规定。

项目建议书阶段工程地质勘察精度为“初步查明”，但对于影响线路比选的主要工程地质问题要达到“基本查明”的精度。

5.2 区域构造稳定性

区域构造稳定性是关系引调水工程能否成立的根本地质问题，条文规定了区域构造稳定性勘察的基本内容和勘察方法。

区域构造背景是区域构造稳定性评价的基础。通过区域构造背景的勘察、分析，可以认识区域地质条件及构造格架特征，初步分析、评价区域构造稳定性。区域构造背景勘察分析的内容，主要包括区域地形地貌、地质建造、区域构造、新构造活动、区域构造应力场和地震活动性等，勘察方法以收集、分析资料和实地查勘察为主。依据《水利水电工程地质勘察规范》（GB 50487—2008）的规定，区域构造稳定性的调查、分析范围确定为引调水线路两侧各 50~100km。

区域地貌及其形态特征是现代地质构造环境的表征，是新构造活动的重要标志，通过区域地貌，特别是河谷地貌调查，可以分析、确定新构造活动的性质和基本型式。区域地貌应主要调查地貌形态及分布特征，划分地貌单元，分析其与新构造的关系。

地质建造应选择典型剖面实地调查地层岩性及组合关系，分

析、研究基底分布和盖层沉积建造特征及其相关接触关系，确定构造层和构造运动期次。

区域性断裂的空间分布规律应根据地貌、地质构造、地层切错情况、地震、地形变以及地球物理、化学特征等进行综合分析研究。

区域地震活动性的分析研究主要包括：地震的时空分布、迁移规律、震级与频度的关系、中强震活动周期及地震应变能的积累和释放等。通过收集正式出版的地震目录和地震部门公布的地震报告，编辑工程研究区的地震目录和编辑 $M \geq 4 \frac{3}{4}$ 级地震震中分布图等，分析地震活动时空特点、地震活动强弱随时间的起伏特点，评价未来一定时段内地震活动水平。

地震动参数是引调水工程抗震设计的重要依据，本阶段按《中国地震动参数区划分图》（GB 18306—2001）的区划提出工程场地的地震动参数。引调水线路穿越不同区划，分段提出地震动参数。

5.3 隧 洞

5.3.1 隧洞常常穿越不同地质分区，合理选择洞线，避免和减少不利地质因素对隧洞工程的影响，对隧洞工程的稳定、安全具有重要意义。条文对洞线比选应遵循的一般原则做了规定。

1 本款对洞线比选的一般要求做了规定，包括地震活动性、地层岩性、地质构造、岩体结构和水文地质条件等。当然这些条件是相对的，并非不满足这些条件就不能修建隧洞工程，只要不存在重大的、无法修复的工程地质问题或地质缺陷。

2 洞线方向比选的原则，主要考虑隧洞边墙与顶拱的稳定条件。当洞线方向与岩层层面及主要构造断裂结构面走向夹角小于 60° 时，在边墙和洞顶会有较多的不利结构面存在，稳定条件差；当洞线方向与最大水平地应力方向夹角大于 30° 时，洞周围会有较大的压应力分布，对隧洞稳定不利。所以，洞线与岩层层

面及主要构造线宜垂直或大角度相交，与最大水平地应力方向宜平行或小角度相交。

5 本款规定的洞线宜绕避的地段或部位，由于其工程地质、水文地质、环境地质条件较差，存在许多复杂的工程地质问题，对隧洞的稳定、安全影响较大，可绕避的尽量绕避。

6 滑坡等不良地质现象和不稳定岩体直接影响洞口的稳定。因此应予以绕避。隧洞进出口的选择，主要考虑进洞、成洞条件以及洞口周围环境地质条件。

5.3.2 本条规定了隧洞勘察的内容。

1 气象和水文条件是隧洞地下水分布和动态的主要影响因素。为分析、比较隧洞的水文地质条件及可能产生的工程地质问题，需调查、了解隧洞沿线的气象和水文情况。

调查、收集的有关资料不少于3个水文年。

2 岩体初始地应力包括自重应力、构造应力及变异应力，其分布情况直接影响隧洞围岩的稳定性。隧洞场区地应力情况可通过对区域构造形迹的调查和对近期构造运动的分析，初步确定初始地应力的最大主应力方向，并可根据隧洞埋深和岩石密度估算垂直向主应力和最大水平向主应力。

6 隧洞沿线地下水的基本类型可按含水层的性质大致划分为孔隙水、裂隙水和岩溶水三类，按地下水的埋藏条件划分为包气带水、潜水和承压水三类。

10 隧洞进出口边坡稳定条件是线路比选的主要因素，是本阶段隧洞勘察的主要内容。在初步查明隧洞沿线地质条件的基础上，应基本查明影响隧洞进出口边坡稳定的地质条件，包括自然边坡形态、地层岩性结构、断裂构造组合、岩体风化卸荷及岩体物理力学性质等。

12 进行洞线比选，提出比选意见是本阶段隧洞勘察的主要内容。洞线比选应充分分析各比选洞线的工程地质条件，进行经济技术比较，从而提出比选意见。

5.3.3 本条规定了隧洞的勘察方法。

2 对收集的邻近场区地应力实测资料应结合隧洞场区地形切割、断裂构造、岩石强度、岩体结构等条件进行充分分析。

在天然状态下，一般情况岩体初始应力的垂直向应力 $\sigma_v = \gamma H$ ，水平应力 $\sigma_H = \lambda \sigma_v$ 或 $\sigma_H = \sigma_v \mu / (1 - \mu)$ （式中， λ 为天然应力比值系数，或称岩体的侧压力系数）。按照这一理论，结合隧洞具体地质条件，可以初步估算初始应力状态。

4 本阶段主要勘察任务为线路比选，工程地质测绘范围宜适当扩大。测绘方法宜主要采用遥感地质测绘，隧洞进出口及工程地质条件复杂地段可进行实地测绘。

5 物探具有轻便、快捷的优点，本阶段勘察要充分发挥物探的作用，初步查明进出口、浅埋段及地质构造复杂、岩溶发育、覆盖层分布地段的工程地质条件。

6 隧洞进出口、浅埋段、过沟段常常是工程地质条件较差或工程地质条件复杂的地段，也是隧洞的关键工程部位，是本阶段勘探的主要地段，本款对勘探工作布置、勘探深度等做了规定。

7 本款对水文地质试验及观测做了规定。

按《水利水电工程地质勘察规范》（GB 50487—2008）的规定，探洞出水状态可分为渗水到滴水、线状流水、涌水，观察出水状态可大致了解地下水的分布及出水量。

地下水动态是地下水埋藏条件和形成条件的综合反映，根据地下水动态特征可以分析、认识隧洞区的水文地质条件。因此，有条件时，宜利用钻孔进行地下水动态观测。地下水动态观测宜主要布置在推荐洞线上，且宜及早布置、及早观测，以便积累资料。

8 本款对岩（土）体试验及测试做了规定。

本阶段主要了解隧洞地段岩（土）体的基本物理力学性质，所以以室内试验为主。

试验的有效组数是指剔除不合理的试验数据后，可纳入统计分析计算的试验组数。

5.4 渠 道

5.4.1 引水渠道是一种延伸较长的线状工程，第2款所列地质条件不利的地段或部位，不仅对渠道的稳定、安全不利，也会给工程施工带来极大的困难。因此，渠道选线时能绕避时需绕避，难以绕避时则要积极应对，精心勘察、客观评价，提出改善处理措施。

南水北调中线陶岔至沙河段为大面积膨胀土分布，无法绕避。经精心勘察设计，采取了有效的整治改善措施，收到了良好效果，保证了工程建设的顺利进行。

5.4.2 本条规定了渠道的勘察内容。

2~4 滑坡、泥石流等不良地质现象及古河道、采空区对渠道的稳定影响较大。山区渠道注意对滑坡、泥石流等不良地质现象的勘察，平原渠道注意对古河道、采空区勘察。

5 在初步查明渠道沿线地层岩性、成因类型、分布情况时，要注意傍山渠道沿线洪积扇和残坡积土、洪积土的分布及其颗粒组成。

11 渠道可能产生的环境地质问题主要有两方面：一是渠道渗漏使周边地下水位雍高，造成土壤盐渍化、沼泽化；二是渠道的修建切断、阻隔了区域地下水的径流，使地下水上游侧水位抬高，造成土壤盐渍化、沼泽化。在初步分析渠道环境地质问题时，要予注意。

5.4.3 本条规定了渠道的勘察方法。

1 渠道工程地质测绘的范围尽量适当扩大，便于线路比选。工程地质测绘中要充分发挥地质遥感测绘的优势，与实地测绘更好地结合。傍山渠道工程地质条件较为复杂，是工程地质测绘的主要地段。

2 物探探测地层岩性、地层结构和地下水分布等，效果明显。渠道勘探中要充分发挥物探的优势。

3 本款对渠道勘探工作布置做了规定。傍山渠道由于其地

层岩性、颗粒组成变化较大，工程地质条件复杂。因此，勘探点可适当加密。

5.5 渡槽、管桥

5.5.1 本条规定了渡槽、管桥的勘察内容。

1 不仅要初步查明渡槽、管桥场地附近滑坡和泥石流等不良地质现象的成因、规模、分布情况，还要沿沟谷进行追溯调查，初步查明沟谷纵深段滑坡、泥石流存在和可能生成的条件。

5.5.2 本条规定了渡槽、管桥的勘察方法。

3、4 跨越较大河流时进行水上钻探，耗资费力。本阶段可以物探为主初步查明河床覆盖层的厚度、结构及基岩埋深。

非桩（墩）基跨越方式包括斜拉、悬索等，根据具体要求布置勘探工作。

5.6 倒虹吸

5.6.1 条文规定了倒虹吸的勘察内容。

1 倒虹吸是穿越河流、沟谷，埋设于河床、沟底松散沉（堆）积物中的建筑物。为防止输水冻结、管路损坏，倒虹吸需埋置于最大冻结深度 1m 以下。因此，要调查、了解管线气温变化和最大冻结深度。高寒地区更为重要。

3 如前所述，倒虹吸是设置于第四系松散地层中的建筑物，第四系地层的工程地质条件对倒虹吸穿越方式和施工影响极大。因此，要初步查明其成因类型、岩性、厚度、物质组成及物理力学性质。

5.6.2 本条规定了初步查明倒虹吸基本地质条件的勘察方法。勘察工作中，尽量采用物探和坑、槽探等简便的勘探手段。

5.7 埋管（涵）

5.7.1 长距离的埋管（涵）往往长达数公里甚至数十数百公里（如南水北调中线天津干渠和北京段），穿越不同的地质单元，线

路比选十分必要。由于其对工程地质条件的要求与渠道大致相同，因此可按 5.4.1 条渠道线路比选的规定执行。如穿越河道时，则按本条的规定进行比选。

5.7.2 本条规定了长距离埋管（涵）的勘察内容除应符合 5.4.2 条渠道勘察内容外，还应包括的内容。

1、2 是初步查明埋管（涵）的穿越方式（开挖或非开挖埋设）及埋置深度所必须的。

5.7.3 本条规定了长距离埋管（涵）的勘察方法除应符合 5.4.3 条渠道勘察有关内容外，还应包括的内容。

1 勘探深度是为了初步查明埋管（涵）的持力层而规定的。

2、3 有别于渠道的要求作出的规定。

5.7.4 短距离埋管（涵）的勘察内容和方法与倒虹吸相同，因此需符合 5.6.2 条的有关规定。

当有特殊要求时，可根据实际情况具体确定。

6 可行性研究阶段工程地质勘察

6.1 一般规定

可行性研究阶段是引调水工程勘察的重要阶段。本阶段需提出线路比选的地质意见，对选定线路及主要建筑物地段的工程地质条件进行论证、评价。

条文规定了可行性研究阶段工程地质勘察的基本任务和主要内容。本阶段工程地质勘察精度为“基本查明”，但对选定线路及主要建筑物的主要工程地质问题要达到“查明”的精度。

6.2 区域构造稳定性

本节在项目建议书勘察的基础上对引调水线路区域构造稳定性勘察做了进一步规定。做如下说明：

(1) 根据工程近场区勘察研究的需要，范围确定为引调水线路两侧各 10~50km。

(2) 地质、地质构造背景研究主要包括，地形地貌、地层岩性、断裂构造、地震等。通过区域地形地貌研究，以分析确定新构造活动的性质及基本型式；通过地层岩性及组合关系、接触关系的研究，以确定构造层和构造运动期次；通过区域断裂构造的研究，以分析工程所处的大地构造环境以及构造应力的状态；通过地震资料的研究，可以分析工程近场区中、强地震的活动特点等。

(3) 引调水建筑物场地地震动参数的确定原则，系根据《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50487—2008) 的规定确定的。

(4) 构造稳定性评价可参考表 3、表 4。

表 3 系根据《中国水利百科全书·水利工程勘测分册》(中国水利水电出版社，2004 年) 的有关资料编制，表 4 系根据《水力发电工程地质手册》(中国水利水电出版社，2011 年) 的有关资料编制。

表 3 构造稳定性评价

参 量	稳定性好	稳定性较差	稳定性差
地震动峰值加速度	$\leq 0.05g$	$0.10g \sim 0.30g$	$\geq 0.40g$
地震烈度 I	$\leq VI$	$VII \sim VIII$	$\geq IX$
活断层	8km 范围内 无活断层	8km 范围内有长度小于 10km 的活断层和 $M < 5$ 级地震的发震构造	8km 范围内有长度不小于 10km 的活断层, 并有 $M \geq 5$ 级地震的发震构造
地震及震级 M	$M < 5$ 级的地震活动	有 $5 \leq M < 7$ 级地震活动或不多于 1 次 $M \geq 7$ 级的地震活动	有多次 $M \geq 7$ 级的强地震活动
区域性重磁异常	无	不明显	明显

表 4 区域构造稳定性分级表

参 量	稳定性好	稳定性较好	稳定性较差	稳定性差
地震峰值加速度 a	$a < 0.09g$	$0.09g \leq a < 0.19g$	$0.19g \leq a < 0.38g$	$\geq 0.38g$
地震基本烈度	$\leq VI$	VII	$VIII$	$\geq IX$
活断层	近场区 25km 无活断层	8km 内 无活断层	8km 内有长度小于 10km 的活断层, $M < 5$ 级发震构造	8km 内有长度不小于 10km 的活断层, $M \geq 5$ 级的发震构造
地震与震级	$M < 4 \frac{3}{4}$	有 $4 \frac{3}{4} \leq M < 6$ 的地震活动	有 $6 \leq M < 6 \frac{3}{4}$ 地震活动或不多于一次 $M \geq 7$ 地震活动	有多次 $M \geq 6 \frac{3}{4}$ 强地震活动
区域性重磁异常	无	不明显	较明显	明显

6.3 隧 洞

6.3.1 本条规定了隧洞的勘察内容。

1 隧洞地段有关气象、水文的资料，是分析、计算隧洞涌水量所需的资料。

2 山地及次级地貌包括高山、中山、低山、丘陵等，按《水利水电工程地质测绘规程》（SL 299—2004）的有关规定进行类型划分。

4 岩浆岩的侵入蚀变带可能会因蚀变矿物不同而弱化岩石的强度，喷发间断面多为软弱的凝灰物质或古风化壳，影响隧洞围岩的结构，产生复杂的工程地质问题。在基本查明软弱、膨胀，易溶和岩溶化岩层分布和工程地质性质的同时，注意对岩浆活动产生的软弱岩带的勘察，火成岩地区更要注意。

5 断层、破碎带、节理裂隙密集带和软弱结构面按其产状、规模、性质进行分组统计。

活断层的研究主要包括活断层的判定、断层活动性的综合分析评价及监测。

11 可溶岩层组类型是以碳酸盐岩层与非碳酸盐岩层在地层中的不同组合关系而划分的，不同的层组所表现的岩溶作用不同，对于分析岩溶发育特征具有一定的指导意义。可溶岩（碳酸盐岩）层组类型可按表 5 划分。

表 5 可溶岩（碳酸盐岩）层组类型

分 类		纯碳酸盐岩类				不纯碳酸盐岩类	
亚 类		均匀石灰岩层组	均匀白云岩层组	均匀白云岩石灰岩层组	碳酸盐岩夹碎屑岩层组	均匀状碳酸盐岩层组	碎屑岩碳酸盐岩互层岩组
厚度百分比 (%)	碳酸盐岩	>90	>90	>90	70~90	30~70	30~70
	碎屑岩	<10	<10	<10	30~10	70~30	70~30

12 黄土孔隙、裂隙和垂直节理较发育，是一种非均质各向异性的孔隙—裂隙含水层。黄土地下水类型可划分为黄土孔隙和黄土裂隙水两类。

14 地应力包括自重应力、构造应力和变异应力三部分，水利水电工程由于其埋深不大，地应力主要为自重应力和构造应力。地应力状态是指地应力的受控状态，包括以下三种：

(1) 主要受自重应力控制（在地应力系数 $\lambda=1$ 的深度内）：

$$\sigma_V > \sigma_{Hmax} > \sigma_{Hmin};$$

(2) 主要为构造应力控制（在构造活动区）： $\sigma_V < \sigma_{Hmin} < \sigma_{Hmax}$ ；

(3) 静水压力分布状态： $\sigma_V = \sigma_H$ 。

大多情况下是水平地应力大于垂直地应力，地应力状态为主要受构造应力控制。

15 隧洞地段有害气体主要为一氧化碳、氮氧化物、二氧化碳、氨、硫化氢等；放射性物质主要为铀、镭、总 α 、总 β 、氡及其子体等，可存在于岩石、土壤、水、大气和动植物体内。本款要求基本查明的赋存条件是指岩（土）体及构造部位可能赋存有害气体和放射性物质的条件。

6.3.2 本条规定了隧洞的勘察方法。

3 对物探的布置做了原则规定。其中，对可能富水地段进行面积性探测测网的测线应根据地形条件布置，测网密度宜与测绘比例尺相适应，以便于与测绘资料进行综合分析。

4 对勘探剖面布置、勘探点间距及勘探深度做了原则规定，实际工作中要结合地形条件适当调整，以基本查明隧洞的地质条件为原则。

探洞是一种直观、有效的勘探手段。通过探洞可直接观察地质现象、进行力学性质的测试。因此，在隧洞进出口宜布置探洞，以查明其工程地质条件。

6 规定了岩土试验及测试的原则要求。

岩石物理力学性质试验除常规项目外尚应进行矿物成分和石

英含量鉴定等试验，以初步分析隧洞采用 TBM 施工的适宜性。

地应力测试根据测试条件可采用应力解除法、应力恢复法及水压致裂法等。选用时，注意不同方法的适用条件、边界条件。

通过对有害气体和放射性元素成生条件的分析，有必要进行测试时，按附录 F 的规定，委托专业部门进行。

9 岩溶发育程度是岩溶埋藏条件、层组类型、地质构造、地下水活动性综合作用的结果，是分析岩溶工程地质条件的基础；岩溶水文地质结构特征是研究、分析岩溶地下水补径排循环条件、岩溶水系统及有关岩溶水文地质问题的基础。在评价岩溶工程地质条件时，必须重视岩溶发育程度和岩溶水文地质结构特征的研究。岩溶水的动力剖面具有较明显的垂直分带性，各带岩溶水和岩溶洞穴发育特征不同。划分岩溶水动力剖面分带对隧洞选线和涌水预测等具有重要的理论意义和实用价值。

本款根据工程实践和有关资料，对岩溶发育程度、岩溶水文地质结构的分类和岩溶水动力剖面分带做了规定。

岩溶水动力剖面分带，目前应用的还有一种四分法，即垂直渗流带、季节变动带、水平流动带及深部滞流带，基本是引用苏联学者（Д. С. 索科洛夫等）关于岩溶水循环的剖面分带概念。我国有的部门还提出了三大带六亚带以及其他分带方法。

13 据国内外对岩体初始地应力实测资料统计，大多情况下水平应力普遍大于垂直应力，表明地下洞室围岩初始应力以构造应力为主。在进行岩体初始地应力条件分析时，要考虑断裂构造、地形形态、岩体的强度、结构对地应力的分布、量级和方向的影响。

表 6.3.2-4 系根据工程经验，参考有关规定编制的。

6.3.4 深埋隧洞由于埋深大、地形条件复杂，工程地质勘探难度极大。因此，只能采取工程地质测绘和适宜性的物探、勘探方法。

广泛收集已有地质资料，充分利用卫片、航片进行地质解译，对已建工程进行调研和类比分析，是深埋隧洞勘察行之有效

的方法。

对深部地质构造特征、岩溶发育特征、地下水分布特征宜采用音频大地电磁测深和大地电磁频谱探测等多种物探方法进行综合探测。

深埋隧洞实施钻探十分困难，但选择合适的位置布置深孔钻探还是必要的，同时尽可能在孔内进行地应力、地温、岩体波速、地下水位、岩体渗透性等测试，以取得更多的资料。

高地温及其造成的热害，是深埋隧洞常见的工程地质问题。深埋隧洞地温预测可根据工程区已有的地热地温资料和地温增温梯度值及地面多年平均气温，估算深埋洞段的地温。但要注意地表地形的起伏形态、深部地下水循环条件对地温的影响。

此外，当隧洞区有温泉、热泉分布出露时，也可根据温泉、热泉的温度及其循环条件与隧洞的关系，进行地温预测。

6.4 渠 道

6.4.1 本条规定了渠道勘察的内容。

根据渠道的工程特点以及可能存在的工程地质问题，第四系地层的工程地质条件和渠道边坡稳定、渗透稳定及其可能产生的环境地质问题等依然是本阶段勘察的主要内容。

2 滑坡、泥石流等不良地质现象的分布规模、成因类型及天然稳定状态与所处的地形地貌、地层岩性等地质条件，密切相关。因此，要在全面分析影响因素、边界条件的基础上进行勘察。

4 渠道的地层结构是渠道边坡稳定的主要影响因素，其结构类型按岩性组合可划分为岩基或土基单一结构、土、岩双层结构和多层结构三大基本类型。岩基结构按岩体的结构构造又可分为块状、层状、碎裂结构类别，土基结构又可分为均一、双层、多层结构类别。

特殊性土的勘察内容符合《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50487—2008)附录 R 的规定。

8 深挖方、高填方一般指挖土深度大于 15m、填筑高度大于 8m 的渠段，其边坡稳定性较差。因此，应特别注意查明深挖方和高填方渠段土体的结构特征和工程地质性质。

6.4.2 本条规定了渠道勘察的主要方法。

2 物探方法对探测第四系地层的厚度及不良结构体、地下水分布等有较好效果，尽量采用。

3 对勘探工作的布置做了原则规定，实施时可根据地形、地质条件进行适当调整。地质条件复杂部位，要有控制性勘探点。

井探、坑探具有简便、直观的特点，在平原区、丘陵区渠道勘探中尽量充分运用。

7 渠道边坡稳定分析与其他边坡稳定分析大致相同。但要注意渠道是输水建筑物，其下部为水所饱和，因此视为水下边坡进行评价。

6.5 渡槽、管桥

6.5.1 本条规定了渡槽、管桥的勘察内容。

3 松散地层中的粉细砂、架空体和可溶岩地层中的溶隙、溶洞的分布，构成了可压缩变形的空间，可能导致桩（墩）基沉陷变形破坏。因此，要基本查明其分布、规模及充填情况。

6.5.2 本条规定了渡槽、管桥勘察的主要方法。

3 轴线勘探剖面的布置是为了基本查明跨越地段总体地质条件，按跨度布置勘探横剖面是为了基本查明单跨基础的地质条件，两者可结合布置。

非桩（墩）基跨越方式主要包括斜拉、悬索等，根据设计要求基本查明岸（边）坡的工程地质条件。

5 桩（墩）基土层的原位测试主要为土、砂层进行标准贯入试验，砂砾石、碎石土层进行动力触探试验。有条件时，也可进行旁压试验、扁铲侧胀等试验。

6.6 倒虹吸

6.6.1 本条规定了倒虹吸的勘察内容。

2 河流的冲刷和淤积作用，使河水的流态和堆积物变化较大，对埋管运行安全及基础稳定不利。因此，穿越河流时要基本查明河流的流量和冲刷、淤积的变化情况。

4 地下水产生的上浮力直接影响倒虹吸的稳定，特别是承压水影响更大。因此，要基本查明穿越地段地下水的分布、类型、性质。

7 穿越方式主要包括开挖穿越和非开挖穿越两种。非开挖穿越方式包括定向钻、顶管、盾构等。埋置深度主要考虑地层的物质组成、地下水分布、最大冻结深度等因素，沙漠地区尚应考虑流动砂层的分布、厚度等。通过勘察应根据地质条件，提出穿越方式和最小埋置深度的建议。

6.6.2 本条规定了倒虹吸勘察的主要方法。

2 倒虹吸主要位于第四系地层中，勘察时要充分利用物探方法，以取得较好的经济技术效益。

3 勘探工作根据穿越方式而布置。所以，本款按开挖穿越和非开挖穿越两种方式对勘探布置做了规定。如穿越方式尚未确定，需进一步论证时，一般按非穿越方式布置勘探工作。

河流覆盖层的物质组成、结构特征、分布厚度变化较大，特别是山区河流变化更大。穿越河流时，在穿越轴线上游布置勘探剖面是为了便于穿越轴线的选择。

6 试验项目应根据倒虹吸穿越方式和岩土性质确定。据《油气田及管道岩土工程勘察规范》(GB 50568—2010)：

开挖方式（沟埋敷设）穿越，黏性土、粉土应进行液限、塑限、颗粒分析、渗透系数试验项目；碎石土、砂土应进行颗粒分析、自然休止角、渗透试验；岩石应进行单轴饱和抗压强度试验。

顶管和盾构方式穿越除应进行上述的试验项目外，宜对各岩

土层进行物理、力学试验。

定向钻方式穿越，黏性土、粉土应进行密度、土粒比重、天然含水量及液限、颗粒分析试验；碎石土、砂土应进行颗粒分析；岩石应进行单轴饱和抗压强度试验。

6.7 埋 管 （涵）

6.7.2 长距离埋管（涵）的勘察方法除符合 6.4.2 条的规定外，本条根据埋管（涵）工程勘察的需要做了补充规定。有关技术要求可参照 6.6.2 条文说明。

7 初步设计阶段工程地质勘察

7.1 一般规定

初步设计阶段是引调水线路工程地质勘察深入进行的阶段。本阶段应查明建筑物的主要工程地质条件，评价存在的主要工程地质问题。

条文规定了初步设计阶段工程地质勘察的基本任务和主要内容。本阶段工程地质勘察要达到“查明”的精度。

7.2 隧 洞

7.2.1 本条针对隧洞可能存在的工程地质条件和问题，规定了需查明的内容。

1 滑坡分类方法很多，本标准推荐以按滑动面与岩土层面的关系划分为均质滑坡、顺层滑坡、切层滑坡和按滑坡的滑动力学特征划分为推动式滑坡、平移式滑坡、牵引式滑坡的分类方法为主，结合其他因素（如滑坡的岩土类型、结构规模、年龄等）综合进行分类。滑坡的要素一般包括：滑坡体、滑动带、滑动面、滑坡床、滑坡壁、滑坡台阶、滑坡舌、滑坡周界、封闭洼地、主滑线和滑坡裂隙等。

泥石流按其形成的水动力条件可分为暴雨型和冰川型，本规范所指为暴雨型泥石流。泥石流的形成应具备，便于集水、集物的地形条件、丰富的松散物质条件和短时间有大量的水源条件。泥石流的规模、分类及发育阶段分期可按表 6～表 8 的规定进行。此外，还可根据泥石流的爆发周期、雨强、规模和流域特征进行高频率和低频率分类。

3 结构面的自然特征即国际岩石力学学会实验室和现场标准化委员会 1977 年提出的《岩体不连续面定量描述的建议方法》（CFT 第 4 号文件）中规定的 10 个方面。包括方位、间距、延

续性、粗糙度、侧壁强度、张开度、充填物、渗流、节理组数、块体大小。由于结构面的分布具有普遍性和随机性。因此统计窗口的选择和布置应具有充分的代表性。

表 6 泥石流按规模分类

类 别	固体物质储量 $V_v(\text{m}^3/\text{km}^2)$	固体物质一次最大冲出量 $V_c(\text{m}^3)$
小 型	$V_v \leq 5 \times 10^4$	$V_c < 1 \times 10^4$
中 型	$5 \times 10^4 < V_v \leq 10 \times 10^4$	$1 \times 10^4 < V_c \leq 5 \times 10^4$
大 型	$10 \times 10^4 < V_v \leq 100 \times 10^4$	$5 \times 10^4 < V_c \leq 10 \times 10^4$
特大型	$V_v > 100 \times 10^4$	$V_c > 10 \times 10^4$

表 7 泥石流按固体物质成分分类

名 称	分 类 标 准
泥流	固体物质为黏粒、粉粒、少量砂砾、碎石
泥石流	固体物质为黏粒、粉粒、砂砾、砾石、碎石、块石、漂石
水石流	固体物质为块石、碎石、砾石、少量砂粒、粉粒

表 8 泥石流发育阶段分期

阶 段	发育初期	旺盛期	间歇期
形态特征	沟床纵坡陡。上游沟床浅，下游呈 V 形。沟口泥石流扇面新鲜，无固定沟槽	沟床纵坡陡。沟谷呈 V 形。多急弯。常发生泥石流堵沟。泥石流扇面新鲜且发育，有漫流现象	沟床纵坡较缓。沟谷呈 U 形。支沟较多，主沟内常有零星阶地。泥石流扇陈旧，部分已辟为耕地或建有村舍
地质作用	沟谷内溯源侵蚀和坡面侵蚀较严重。崩塌、滑坡正处于发展阶段	沟谷山坡稳定性极差，滑坡、崩塌、岩堆很发育，松散固体物质丰富，补给量大，坡面和沟床侵蚀严重	沟谷内滑坡、崩塌体已趋于稳定，局部小坍方。松散固体物质补给量小。沟床有下蚀和侧蚀现象

6 与地表溪沟相连的断层、破碎带、裂隙密集带常常是地表水向隧洞渗透的主要通道，使地表水直接渗入围岩，造成隧洞涌水。

8 岩溶水文地质结构以岩溶层组类型可划分为均一含水质、双层含水层、多层含水层、混合含水层等类型，以构造类型可划分为单斜型、背斜型、向斜型、断裂型四种类型；岩溶水动力条件主要取决于岩溶水文地质结构和地表水与地下水的相互作用、补排关系及水动力类型（补给型、补排型、补排交潜型、排泄型、悬托型）；岩溶水动力垂直分带可划为垂直渗流带、水平径流带和深部缓流带。

9 冲沟是黄土侵蚀地貌，具有黄土区冲沟特有的形态，如沟壁经常崩塌形成阶地状悬沟；陷穴是黄土潜蚀地貌，因地表水局部集中、沿黄土裂隙下渗、进行潜蚀的结果，若陷穴成串分布可形成黄土陷沟。冲沟和陷穴对黄土隧洞的布置和工程稳定十分不利。

11 高地应力场区对隧洞围岩稳定不利，可能产生复杂的工程地质问题，有必要进一步查明。

7.2.2 本条规定了隧洞的勘察方法。

2 工程实践证明，物探方法探测覆盖层厚度、岩体风化、溶洞及含水层、汇水构造等效果较好，要积极采用。

3 隧洞进出口段的探洞一般结合隧洞施工布置。同时，施工支洞进口段也一般布置探洞。

4 专门水文地质勘探是为论证隧洞施工发生涌（突）水的可能性规定的。岩溶地下水水平径流带，水量丰富，是岩溶区论证隧洞施工发生涌（突）水可能性的重要地段，因此，勘探深度宜进入水平径流带。

5 应用同位素研究隧洞地下水的特征，主要包括下列内容：

(1) 放射性同位素可判断地下水的形成条件。

(2) 稳定同位素可判断含水层之间及含水层与大气降水的联系程度，确定地下水补给高度和大气降水入渗速率。

6 岩石耐磨性试验用塞卡耐磨性试验仪进行，其定量指标采用与岩石的单轴抗压强度相关性较好的专用钢针（CAI）针头的磨损值 A_b （1/10mm）的大小表征，分为极低耐磨性（ $A_b <$

3)、低耐磨性 ($A_b=3\sim4$)、中耐磨性 ($A_b=4\sim5$)、强耐磨性 ($A_b=5\sim6$)、特强耐磨性 ($A_b>6$) 五级。

7 隧洞围岩的充水条件是在自然状态下使隧洞围岩充满一定量地下水的水源与通道以及影响其性质和强度的因素的统称。主要包括水源的类型和大小, 渗透通道的位置、性质和发育程度以及隧洞的地理、地质等边界条件。

表 7.2.2-2 为参照《地下水资源勘察规范》(SL 454—2010) 的规定编制。

10 高地应力可能引起隧洞围岩变形破坏的形式, 因变形机制不同而不同, 主要有岩爆、垮塌、坍塌、张裂、松弛、位移、鼓胀等, 可参照《工程岩体分级标准》(GB 50281) 的规定。

13 根据隧洞所处的岩溶地下水动力带和隧洞运行水位与岩溶地下水位的 关系, 当隧洞处于岩溶地下水垂直渗流带或隧洞正常运行水位高于沿线地下水位时, 可能产生岩溶渗漏。

14 岩溶洞穴对隧洞稳定的影响, 主要有: ①开挖中遇到大的岩溶洞穴, 但无充填物和地下水, 对隧洞的影响相对较小, 其影响程度, 取决于洞穴的规模、周围岩体的稳定性及其所处的位置; ②开挖中遇到有充填物的岩溶洞穴, 且有地下水涌出时, 对隧洞施工和围岩稳定影响都很大, 其影响程度, 取决于充填物性质和涌水量大小, 若地下水涌水量很大, 易造成泥石流, 甚至引起地面塌陷; ③开挖中遇到暗河或岩溶管道水, 不仅会影响隧洞的稳定, 而且由于大量涌水, 对施工造成威胁; ④隧洞周围存在隐伏溶洞, 对施工可能不产生影响, 但对围岩稳定和运行期的稳定会有不同程度的影响。

岩溶洞穴的稳定性应根据岩溶洞穴的发育形态、岩性组成、结构构造、填充情况等地质条件进行分析、评价。近似拱形的岩溶洞穴的稳定性可采用成拱法和破裂拱法进行分析、评价。近似矩形的岩溶洞穴的稳定性可采用厚跨比法进行分析、评价。

16 隧洞施工超前地质预报设计主要包括下列内容:

(1) 隧洞工程地质、水文地质条件, 可能存在的不良地质现

象及地质灾害。

- (2) 超前地质预报的目的、内容、计划工作量。
- (3) 超前地质预报的技术方案、技术方法、技术要求。
- (4) 超前地质预报工作的安全措施。
- (5) 成果要求。

7.2.3、7.2.4 限于条件本阶段深埋隧洞的勘察主要是复核可行性研究阶段的成果，条件允许可对主要工程地质问题做进一步勘察。

7.3 渠 道

7.3.1 本条针对渠道可能存在的工程地质条件和问题规定了应查明的内容。

1 泥石流的形成条件和规模分类可参照 7.2.1 的条文说明。沙丘活动程度可按表 9 划分。

表 9 沙丘活动程度分类

活动程度	特 征
流 动	植被稀疏。覆盖度小于 15%，甚至丘表完全裸露。风沙流活动显著，形态变化主要依风力转移，剖面无分化特征
半固定	植被稀疏。覆盖度为 15%~40%，流沙呈斑点状分布。有风沙流活动，剖面分化不明显
固 定	植被稀疏。覆盖度大于 40%，表面风沙流活动不显著，剖面分化明显

2 古河道、古冲沟、古湖塘等系因河流改道或水系变迁而废弃的河道沟谷、湖塘，多埋藏于现代冲积层之下。其沉积物常具有砂、砂砾石、黏土等多层结构，空间分布常呈不规则透镜状，因而易发生不均匀沉陷及渗漏和渗透变形问题。

4 山前洪积扇的地层结构、物质组成、地下水分布等工程地质条件极其复杂，对傍山渠道的渗漏和边坡稳定影响极大。因此，要查明其工程地质条件，分析其稳定性。

6 承压水产生的扬压力对渠道稳定不利，承压水分布的渠

段要查明其埋藏条件和承压水头。

9 冻土区勘察可参照《冻土工程地质勘察规范》(GB 50324)的规定。

10 渠道岩(土)体的结构类型及其抗滑稳定和渗透稳定性对渠道边坡的稳定影响较大。为此,深挖方、高填方渠道要查明岩(土)体的结构类型及其工程地质性质。

7.3.2 本条规定了渠道勘察的主要方法。

1 条文规定了不同地质条件下测绘比例尺可选择的区间值,实际测绘中一般根据地形地貌条件选择。平原、丘陵区可采用较小比例尺,山区一般采用较大的比例尺。

3 有关特殊性土和不良地质现象的勘探,说明如下:

(1) 膨胀土、湿陷性黄土、软土等特殊土的勘探布置可参照《岩土工程勘察规范》(GB 50021)、GB 50324 及《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB 50025)等有关技术标准执行。

(2) 滑坡沿主滑方向布置主要勘探剖面,必要时可垂直主勘探剖面布置辅助勘探剖面。勘探深度进入滑坡体以下稳定地层至少 3m,设置支挡工程部位,勘探深度满足支挡工程设计要求。

(3) 泥石流勘探剖面根据泥石流规模、形态布置,勘探深度进入基底以下稳定地层至少 3m,且大于最大块石直径的 1.5 倍。泥石流排导工程勘探剖面,沿排导工程的延伸方向布置,勘探深度进入冲刷线以下至少 5m;拦渣坝勘探剖面沿坝线方向布置,勘探深度进入基底以下稳定地层至少 3m。

(4) 对可能引起的浸没、土壤盐碱化等环境地质问题一般在渠道两侧不小于 500m 范围内进行专门勘察,勘探布置视需要确定。

5 土质滑坡粉土、黏性土室内测试项目可按表 10 选用,砂土、碎石土可只做颗粒分析。岩石需结合支挡工程设计选择代表性岩样做抗压强度试验和剪切试验。

滑动面(带)的抗剪强度试验结合滑动条件、岩土性质选择滑面重合剪、重塑土多次剪试验等。有条件时,建议进行原位大

面积剪切试验。

泥石流流体密度、固体颗粒密度、颗分试验一般在现场进行。

表 10 滑坡室内测试项目表

测 试 项 目		滑坡体	滑动面	支挡工程
颗粒分析		+	+	+
天然含水率 w (%)		√	√	√
密度 ρ (g/cm ³)		√	√	√
塑限 w_p (%)		√	√	√
液限 w_L (%)		√	√	√
压缩系数 a (MPa ⁻¹)				+
剪切试验	凝聚力 c (kPa)	+	√	√
	内摩擦角 ϕ (°)	+	√	√
注：“√”必做项目；“+”选做项目。				

7.4 渡槽、管桥

渡槽、管桥是一种跨越工程，跨越地段桩（墩）基的工程地质条件及其稳定性是本阶段勘察的重点。本节规定了渡槽勘察的内容和方法。

渡槽、管桥常见的工程地质问题主要为岸坡的滑动或坍塌、桩（墩）基的不均匀沉降和滑移。因此，要查明其工程地质条件，进行稳定性评价。岸坡的稳定性评价可按《水利水电工程地质勘察规范》（GB 50487—2008）附录 K 的规定进行。桩（墩）基的变形稳定性评价，既要考虑在渡槽上部荷载作用下，桩（墩）基岩（土）体的垂向压缩变形，也要考虑地基可能的侧向滑移变形。因此，要充分分析岸坡及桩（墩）基的工程地质条件，合理确定工程地质参数〔岩（土）体的承载力和抗滑稳定系数〕。

岩溶地区在桩（墩）基持力范围内有溶隙、溶洞分布时，要分析溶隙导致的压缩变形问题及溶洞稳定性对桩（墩）基稳定的

影响。

勘察工作布置参考了公路、铁路部门的有关技术标准做了规定。

7.5 倒虹吸

倒虹吸是一种穿越工程，穿越的地段多为河谷第四系地层，其工程地质条件及穿越方式的适宜性评价是本阶段勘察的重点。本节规定了倒虹吸勘察的内容和方法。

8 招标投标阶段工程地质勘察

8.1 一般规定

招标投标阶段是为招标文件的编制而实施的勘察阶段。本阶段需复核初步设计阶段的地质资料与结论，补充论证招标文件编制需要论证的工程地质问题。

本节规定了招标投标阶段工程地质勘察的基本任务和主要内容。

8.2 工程地质复核与勘察

8.2.1、8.2.2 规定了工程地质复核的内容和方法。

工程地质复核需分析、核验初步设计阶段引调水线路主要建筑物及天然建筑材料的勘察结论。

复核方法以内业工作为主，重大工程地质问题需到现场进行勘验。

8.2.3、8.2.4 规定了工程地质勘察的内容和方法。

工程地质勘察主要根据工程地质复核的意见，以及招标投标的需要对有关工程地质问题进行补充勘察。

附录 B 隧洞围岩主要力学参数取值

B.1 一般规定

B.1.2 试验和原位测试是了解围岩力学性质和合理进行参数取值的基础。主要包括岩石单轴压缩变形试验、岩体直剪试验、岩体结构面直剪试验、承压板试验、钻孔变形试验等等。

规划阶段和项目建议书阶段以室内试验为主，可行性研究阶段和初步设计阶段采取室试验与现场原位测试相结合的方法。

试验资料按有关试验规程的要求进行整理后，还要进行统计分析，舍去不合理的异常值，并计算大值平均值、平均值、小值平均值、标准差、变异系数。抗剪强度参数一般采用最小二乘法、点群中心法、优定斜率法等进行选取。

B.1.3 本条规定了地质建议值的选取原则。地质建议值与标准值之间不是简单地通过一个系数折减的问题，地质建议值的选取要综合考虑试验成果、试验条件、试样（试点）的代表性、试验的工程地质条件及工程运行条件等多方面因素。其中，工程经验起着重要的作用。

B.2 取值原则

B.2.1~B.2.3 条文规定的标准值的取值原则，与《水利水电工程地质勘察规范》（GB 50487—2008）附录 E 的规定是一致的。

B.3 取值方法

B.3.2 表 B.3.2 是根据有关标准的规定编制的。

附录 C 隧洞 TBM 施工适宜性判定

C.0.1 隧洞 TBM（岩石全断面掘进机）施工的适宜性主要考虑两方面地质因素：一是岩体所处的地质环境是否适宜于采用 TBM 进行施工；二是岩体性状对 TBM 掘进效率的影响。

岩体所处的地质环境主要是指地应力环境、地下水环境以及其他导致不良地质现象发生的内外营力地质作用环境等，是影响 TBM 施工效率的主要因素。岩体性状指标主要包括岩体的完整性、岩石的强度、硬度、耐磨性等，是影响 TBM 掘进效率的主要因素。岩体性状对 TBM 施工适宜性的影响，主要反映在掘进功效方面；而岩体所处的地质环境条件对 TBM 施工适宜性的影响，则反映在施工进度、效益甚至可行性等方面。一般情况下，隧洞围岩质量及其稳定性等条件越好，越有利于 TBM 施工，亦即围岩工程地质类别与 TBM 施工适宜性之间是密切相关的。因此，TBM 施工的适宜性，以围岩基本质量分类为基础，以岩体完整性、岩石强度、围岩应力环境和不良地质条件等为影响因素，结合 TBM 系统集成及施工应用特点综合判定。

C.0.2 本条根据 TBM 施工对地质条件的要求，结合工程实践经验规定了不适宜采用 TBM 施工的复杂地质条件。

前期勘察阶段，若地质条件较复杂，TBM 施工可能通过部分地质条件较差的洞段时，应结合掘进机选型等因素进行论证，并提出超前预测预报和应急处理预案。施工过程中，若 TBM 需通过局部复杂地质条件地段时，需进行超前探测和可行的工程处理。

C.0.3 隧洞 TBM 施工适宜性分级，目前没有较为成熟和统一的方法，大多采用在围岩稳定性分级的基础上，按影响 TBM 工作条件的主要地质因素如岩石的饱和单轴抗压强度、岩体的完整程度（裂隙化程度）、岩石的耐磨性和岩石的硬度等指标进行

分级。

《铁路隧道全断面岩石掘进机法技术指南》(铁建设〔2007〕106号)根据岩石单轴饱和抗压强度、岩体的完整程度(裂隙化程度)、岩石的耐磨性和岩石凿碎比功等指标,将隧道掘进机工作条件分成A(工作条件好)、B(工作条件一般)、C(工作条件差)三级。

引黄入晋工程对TBM地质条件的适用性进行了总结,分为以下3种情况:

(1)适用性好。可以说完整~比较完整的基岩隧洞、甚至比较破碎但具有较高承载力的基岩隧洞均适合TBM掘进,其工作效率大大高于钻爆法,引黄入晋隧洞曾创造月进尺逾千米的世界记录。

(2)适用性较差。TBM穿过具有严重不良地质问题的洞段往往需要进行超前探测和处理,否则会发生掘进事故和质量事故,造成隧洞进行缺陷处理。

(3)基本不适用。一般指使用TBM时会发生严重的机械和工程质量事故的地段。例如引黄入晋工程的 Q_3 湿陷性黄土地层, Q_2 、 N_2 高含水率的土层以及岩溶十分发育的灰岩洞段均发生较严重的塌方、卡钻、隧洞变形等,造成大量的工程缺陷处理。

本条以《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50487—2008)附录N规定的围岩工程地质分类为基础,考虑岩体完整性(K_v)、岩石饱和单轴抗压强度(R_c)和围岩强度应力比(S)等因素,结合水利水电工程隧洞TBM施工经验,参考有关技术标准,对隧洞TBM施工的适宜性分级做了规定。

附录 D 黄土隧洞工程地质评价

D.0.1 黄土隧洞工程地质评价需全面分析已有工程地质勘察资料，结合隧洞工程设计、运行的特性按阶段进行。评价的方法有工程地质类比、工程地质分析和围岩压力计算法。

D.0.2 根据工程实践，本条列出了黄土隧洞发生变形破坏的主要部位和形式，其主要特征表现为：

(1) 拱顶部位一般先出现裂隙（纵向、环向和水平裂隙），进而发生掉块和塌方。

(2) 侧墙部位一般表现为剥落和滑塌两种形式。

(3) 拱脚部位一般先发生掉块和滑塌，进而波及侧墙和顶拱。

所谓流泥多发生在饱和黄土隧洞中，由于渗流在墙脚产生较大的渗透压力而导致的类似“流土”的变形破坏现象。

D.0.3 影响黄土洞室稳定性的因素较多，除土层性质、土层结构构造、地下水等地质因素外，还与洞室规模、断面形状、衬砌类型和施工方法等有关。本标准推荐的分类是在国家建委建筑科学研究院编制的《黄土地下建筑技术条例》黄土围岩分类的基础上，参考《公路隧道设计细则》（JTG/T D70—2010）的有关规定，结合水利工程经验提出的。

D.0.4 影响黄土物理力学指标因素较多，有颗粒组成、土层结构、含水量等。表 D.0.4 的参数是在国家建委建筑科学研究院编制的《黄土地下建筑技术条例》黄土围岩分类表的基础上，根据陕西典型黄土工程试验成果和经验提出的。

黄土的坚固性系数 f 是根据陕西公路设计院等单位对陕北 40 个黄土老窑洞进行调查研究的成果（见表 11），结合已有工程经验提出的建议值，使用时可根据地区差别、土体结构面发育特征及强度、地下水位高程等因素进行修正，修正系数为 0.5~1.0。

表 11 黄土窑洞调查成果

地层类别	塌落拱高度 $h(\text{m})$			坚固性系数 f			
	跨径 4m	跨径 4.5m	跨径 5m	调查值	平均值	计算值	建议值
$Q_3、Q_4$	2.50	2.80	3.10	0.64~1.0	0.85	0.63~0.93	0.8
Q_2^2	2.10	2.40	2.60	0.74~1.12	1.00	0.64~1.01	0.95
$Q_2^1\sim Q_1$	1.20	2.00	2.20	1.0~1.40	1.15	0.86~1.25	1.15
注：表中的 f 计算值，是根据土层的 $c、\phi$ 值，当正应力为 100kPa、200kPa、300kPa、400kPa 时，所得 f 的平均值，与查表采用的 f 值较接近。							

附录 E 隧洞涌水量预测

E.1 一般规定

E.1.1 隧洞涌水量预测，要先对隧洞存在涌水的可能性进行判定。本条根据产生隧洞涌水的主要水文地质条件，规定了涌水可能性的判定原则。

岩层富水程度可按表 7.2.2-2 的规定划分。

可溶岩与非可溶岩接触带，由于非可溶岩的阻隔而有利于地下水的富集，岩溶水的化学、物理作用强烈，岩溶发育，岩溶水丰富，且常常发育与接触带走向一致的纵向暗河。隧洞穿越此接触带时，常会发生涌水甚至突水。

岩溶水动力垂直分带可划分为垂直渗水带、水平径流带和深部缓流带。

垂直渗流带位于地面以下，丰水期潜水面以上，岩溶多呈垂直形态发育，岩溶水以垂直运动为主，一般无水或很少。水平径流带上限为丰水期的潜水面，下限为枯水期的潜水面，岩溶多呈水平形态发育，岩溶水丰富，上部岩溶水以垂直运动为主，下部岩溶水以水平运动为主。深部缓流带位于水平径流带以下，岩溶水运动缓慢。因此，当隧洞位于岩溶地下水水平径流带或深部缓流带，易发生涌水或突水。

E.1.2 影响隧洞涌水量的因素主要包括：隧洞区的气象水文条件、地形地貌、地层岩性、地质构造条件以及水文地质条件等。进行隧洞涌水量预测要全面收集、认真分析有关资料，特别是水文地质资料，以便划定边界条件，合理选择预测方法。

围岩充水条件是围岩充水水源和通道以及影响涌水强度等因素的统称，是产生隧洞涌水的必备条件。围岩充水条件可按表 7.2.2-1 的规定划分。充水类型按围岩充水岩层的空隙性质可分为岩溶充水、裂隙充水、孔隙充水等。其中岩溶充水又可分为

溶隙充水、溶洞充水和暗河管道充水。正确认识围岩的充水条件和类型，可进一步了解隧洞围岩地下水的分布和活动特征。

E. 1.3 随着地下工程设计和施工的需要，我国从 20 世纪 80 年代起，铁路、水利水电、冶金等部门开始了对隧洞（道）涌水量预测的系统研究，从定性分析逐步发展为定量评价与计算，取得了长足的进步。目前隧洞（道）涌水量的预测方法主要有确定性数学模型和随机性数学模型两大类。确定性数学模型方法包括水文地质类比法、水均衡法、水力学法、地下水动力学法、数值法等，随机性数学模型方法主要有“黑箱”理论、灰色系统理论、时间序列分析、频谱分析等。

附录根据引调水隧洞涌水量预测的实际需要，列出了有关确定性模型的预测方法。每种预测方法都有其特定的应用条件和适用范围，都有一定的局限性，因此，一般采用不同的方法相互验证，以使预测结果更加合理。

E. 2 正常涌水量预测

E. 2.1 $Q-S$ 外推法是根据抽水试验的资料建立的 $Q-S$ 曲线方程，外推隧洞施工可能的降深水位时的涌水量。此法无需求取各种水文地质参数，计算简便，适用于水文地质条件复杂难于取得有关参数，埋深不大的隧洞涌水量预测。但精度较差。

采用 $Q-S$ 外推法应注意下列几点：

(1) 抽水试验一般在涌水量预测地段或水文地质条件相似的地段进行，且进行 3 次以上水位降深。

(2) 尽可能采用大口径、长时间的抽水试验。

(3) 预测时要充分考虑抽水试验的孔径与隧洞开挖洞径的区别及其对涌水量的影响，需考虑地下水动力条件进行井径换算。

(4) 抽水试验中，随着水位降深加大，含水层水力特性、地下水的流态以及 $Q-S$ 曲线类型都会发生变化。因此，一般认为允许外推范围宜不大于抽水试验最大降深的 2~3 倍。

E. 2.2 式 (E. 2.2) 为涌水量比拟法，是水文地质比拟法的一

种。此种方法是以相似比拟理论建立起来的，采用时注意新建隧洞水文地质条件的与既有隧洞水文地质条件的相似性，包括气候、降水量、地形地貌、植被、地质、含水体的岩性及渗透性、地下水动力性质及补给、径流、排泄条件等。

水文地质比拟法包括涌水量比拟法、富水系数比拟法及函数关系比拟法等，使用简便，但精度较差，往往偏大。

E. 2. 3

1 地下径流深度法的基本原理属于水均衡法。式中的参数值较难确定，故预测的正常涌水量只能是宏观控制的近似量，适用于项目建议书、可行性研究阶段隧洞正常涌水量的宏观预测。

式(E. 2. 3-1)中年蒸发蒸散量 E 值，为降水后该流域地面、植被、水面等的蒸发蒸散量，不可采用表示大气干燥程度的蒸发度。 E 值的计算有法国妥克(Turk. L)根据250条河川流域建立的经验式、英国平曼(Penman)的经验式、日本的经验式及苏联库金(П. с. кызуН)的经验图表等可选择使用。

式(E. 2. 3-1)中 B 为隧洞涌水影响宽度，目前尚无成熟的计算方法，多采用库萨金等影响半径或引用影响半径的理论公式计算。此类理论公式适用于均质的各向同性的含水介质且为垂直集水构筑物，并不适用于各向异性含水介质且为水平集水构筑物的隧洞。本标准推荐采用比拟法和地质调查法确定，比拟法即采用与新建隧洞水文地质条件相似的既有隧洞的涌水影响宽度取值；地质调查法即通过实地调查确定影响宽度的方法。当隧洞通过地段的含水体与隔水体容易区分时，可采用地质调查法确定：①隔水体与隧洞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。当隔水体与隧洞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隧洞通过汇水盆地（洼地、富水构造等）时，该汇水盆地可用来作为该段隧洞的集水面积，可取其平均宽度作为隧洞涌水影响宽度。

《铁路水文地质勘察规程》(TB 10049—2004)编写组根据工程实践总结了一个经验式，可概略预测隧道一侧涌水影响宽度

$R(m)$ 值, $R=215.5+510.5k$, 式中 k 为含水体渗透系数 (m/d)。此式经实际验证, 效果较好。

2 地下径流模数法也属于简易水均衡法。采用假设地下径流模数等于地表径流模数的相似原理, 根据大气降水入渗补给的下陷泉流量或由地下水补给的河流流量, 求出隧洞通过地段的地表径流模数, 作为隧洞流域的地下径流模数, 再确定隧洞的集水面积, 以此概略地预测隧洞的正常涌水量。根据经验, 为排除降雨干扰, 采用枯季节流量较为接近实际。

此法在国内外铁路、公路隧洞涌水量预测中应用较广。

E. 2. 4 降水入渗法也属于简易水均衡法。大气降水渗入地下的水量, 受降水量、降水强度、降水次数、地形地貌、植被、地质和水文地质条件的影响, 所以预测的只能是宏观控制的概略值。

降水入渗系数 α 可按相应公式计算求得, 也可参考表 12 给出的经验值选取。

表 12 降水入渗系数 α 的经验值

名 称	α	名 称	α
黏土	0.01~0.02	半坚硬岩石 (裂隙较少)	0.10~0.15
粉质黏土、粉土	0.02~0.05	裂隙岩石 (裂隙率中等)	0.15~0.18
粉砂	0.05~0.08	裂隙岩石 (裂隙率较大)	0.18~0.20
细砂	0.08~0.12	裂隙岩石 (裂隙率大)	0.20~0.25
中砂	0.12~0.18	岩溶化极弱的灰岩	0.01~0.10
粗砂	0.18~0.24	岩溶化较弱的灰岩	0.10~0.15
砂砾石	0.24~0.30	岩溶化中等的灰岩	0.15~0.20
砂卵石	0.30~0.35	岩溶化较强的灰岩	0.20~0.30
坚硬岩石 (裂隙极少)	0.01~0.10	岩溶化极强的灰岩	0.30~0.50
注: 根据其他资料, 此表数值可能偏小。			

E. 2. 5 此方法各种参数易于取得, 但粗略简单常出现偏大的结果, 适宜在项目建议书和可行性研究阶段使用。

式 (E. 2. 5) 中隧洞通过岩溶含水地段的地表集水面积 A

可按地形分水岭在地形图上圈定。

E. 2.6 裘布依理论公式主要适用于浅埋隧洞，当隧洞埋深较大时，要准确地确定含水层厚度和涌水时水位降深值。

E. 2.7 本条推荐的辐射流公式实际上是按分区法对边界条件概化的解析计算。隧洞所在区含水体的含水性在各个方向上的透水性或补给条件有时差别很大时，隧洞区周围往往形成不规则形状的降落漏斗，表现为严重的不对称性。此种情况下，可将隧洞分成若干扇形区段，每个扇形区段内的地下水都是辐射状的，可根据卡明斯基辐射流公式进行隧洞涌水量估算。采用辐射流公式计算涌水量，扇形区段要根据隧洞地下水流场的边界条件等特点划分，每个扇形区段的下游断面一般以直接靠近降水漏斗的等水位线的一部分为准，上游断面则以远离补给边界的等水位线一部分为准。

E. 3 最大涌水量预测

E. 3.3 规定的古德曼和佐藤邦明的计算公式，是提出者根据地下水动力学的原理求得的解析法预测隧洞最大涌水量计算公式。实际应用中，由于水文地质条件的复杂性（如含水层介质的非均质性、边界条件的非规则性等）常常使计算得到的涌水量与实际涌水量存在一定的误差。因此，需用水量均衡法论证其保证程度。

关于隧洞突发涌水的预测，根据我国煤矿部门关于矿井突水防治和预测的有关理论和计算方法，隧洞突发涌水可根据隧洞通过的含水层（多为岩溶水、承压水）的分布特征和隧洞围岩隔水层的性质、分布及其力学性质，分析围岩隔水层的重力、抗张强度与其承受的水压力（静水压力、动水压力）的平衡、对抗关系，采用围岩突水极限理论计算围岩隔水层的理论安全水压力值或围岩隔水层理论抗水压力最小安全厚度，与实际水压力值或隔水层实际厚度对比进行突水可能性预测。

根据围岩突水极限理论计算的围岩隔水层实际水压力值小于

理论安全水压力值或计算的围岩隔水层实际厚度大于理论抗水压力最小安全厚度，一般情况下不会发生突水；反之，则可能发生突水。

根据《煤矿防治水规定》（国家安全生产监督管理总局第 28 号）的规定煤矿巷道安全隔水层厚度计算公式如下：

$$t = \frac{L(\sqrt{\gamma^2 L^2 + 8K_p P} \pm \gamma L)}{4K_p}$$

式中 t ——顶板或底板的安全隔水层厚度，m。计算顶板安全隔水层厚度时式中取 $+\gamma L$ ，计算底板安全隔水层厚度时取 $-\gamma L$ ；

L ——巷道顶板或底板宽度，m；

γ ——顶板或底板隔水层平均重度，MN/m³；

K_p ——顶板或底板隔水层的平均抗拉强度，MPa；

P ——顶板或底板隔水层的水头压力，MPa。

附录 F 隧洞有害气体和放射性评价

F.1 一般规定

F.1.1 岩层岩性、地质构造是有害气体和放射性元素生成、赋存、聚集的主要地质条件，生态环境的恶化及地方病例病史特别是各类癌症、白血病的频发，常常是有害气体和放射性元素集中存在的表现。全面调查、分析隧洞区的地层岩性、地质构造等地质条件和生态环境、地方病史病例，对有害气体和放射性元素的评价，具有指导意义。

F.1.2 天然有害气体的种类很多，本标准主要指 CH_4 及 CO 、 CO_2 、 SO_2 、 H_2S 等。 CH_4 是一种无色、无味的可燃气体，浓度为 5%~16% 时，遇高温火源会发生爆炸。 CO 是一种无色、无味的剧毒气体，浓度达 0.048%，20~30min 内可致人死亡。 CO_2 是一种无色、略带酸臭味，易溶于水的微毒惰性气体，浓度 5% 使人呼吸困难，20% 以上使人窒息死亡。 SO_2 是一种无色、有刺鼻臭味和酸味，易溶于水的剧毒气体，浓度达 0.05% 可引起急性气管炎，肺水肿，并在短时间内死亡。 H_2S 是一种无色、微甜、有臭鸡蛋味的剧毒气体，浓度 0.05%，30min 内使人昏迷。隧洞中有超标的有害气体分布，对施工人员的身体健康和人身安全危害极大。

F.1.3 环境中放射性来源于天然辐射源和人工辐射源，天然辐射主要包括宇宙射线和地球上的天然放射性元素。天然放射性元素是指存在于岩石、土、水、大气和动植物体，即人类生活环境介质中的天然放射性元素。本规范所指的 U 、 ^{226}Ra 、 ^{222}Rn 及 α 、 γ 、 β 等即为天然放射性元素及其释放的射线。天然放射性元素及射线对人体器官危害极大，常导致各类癌症及白血病等放射性病。

F.2 初步分析

F.2.2 煤气地层及炭质页岩、含沥青质岩类是生物遗体堆积，

在一定的物理、生物化学作用下生成的可燃性有机岩，主要由碳、氢、氧、氮等有机化合物组成，在其成岩过程中可生成以 CH_4 为主的多种有害气体。此外灰岩、白云岩等碳酸盐岩类也含有 CO_2 、 SO_2 等有害气体。

有害气体主要储存于其成生的地层中，同时经过运移也可在与之共生的具有孔隙结构的岩层或结构破碎的圈闭构造中储存、聚集。如砂岩类及背斜、穹窿、封闭断层等。

根据特定的岩层及构造条件可初步判定有害气体的存在。

F.2.3 由于成岩作用和矿物成分不同，岩浆中放射性元素含量比沉积岩、变质岩高。酸性岩浆岩（如流纹岩、英安岩等）、花岗片麻岩及伟晶岩（如花岗伟晶岩、正长伟晶等）中常有放射性矿物，如铀、钍、铯、钽存在。沉积岩中，泥质页岩铀的含量较高，碳酸盐岩类放射性元素含量较低。变质岩中放射性元素含量则与母岩的含量及变质过程有关。

据此，可初步判定放射性的存在。

F.3 有害气体详细评价

F.3.2 利用钻孔进行有害气体（主要为瓦斯）勘探方法主要有直接法和间接法。直接法是在钻孔中利用密闭式或集气式岩芯采取器，采取岩样（煤样）进行试验测定；间接法有钻孔岩芯（煤芯）解吸和高压吸附等间接测定的方法。钻孔布置应结合含煤地层分布及储气构造确定，岩芯采取率一般不低于80%。

煤系地层中瓦斯的含量和压力是分析、评价瓦斯突出的重要因素，当瓦斯含量大于 $10\text{m}^3/\text{t}$ ，压力大于 0.74MPa ，可能会发生瓦斯突出，造成瓦斯窒息事故，甚至引起瓦斯爆炸。因此，在进行有害气体勘探中要注意对瓦斯含量和压力的测试。

F.3.3 表F.3.3是参照《水工建筑物地下开挖工程施工规范》（SL 378—2007）及有关标准的规定编制的。

瓦斯隧洞的类型划分、工区分类和突出危险性评价可参照国家安全生产监督管理总局发布的《煤与瓦斯突出矿井鉴定规范》

(AQ 1024—2006)、《矿井瓦斯等级鉴定规范》(AQ 1025—2006)和铁道部发布的《铁路瓦斯隧道技术规范》(TB 10120—2002)的有关规定。

F.4 放射性详细评价

F.4.2 放射性详细评价方法中,地质调查和勘探主要用于查明1款、2款规定的内容,物探和测试主要用于放射性现象及其强度的探查、测试。

3 环境 γ 辐射检测主要在地面进行,可用 γ 能谱仪直接测定 γ 辐射场空气的照射量率,再计算出吸收剂量,有条件也可用 γ 剂量仪直接测定。

氡气是一种无色无味的天然放射性气体,当洞内氡浓度超过限制值时,会对人体产生危害。氡气在大气中的比重极少,难以用重量浓度来表示。因此氡浓度一般指氡的活度浓度,单位为Bq/m³。氡浓度的测量方法主要有 α 径迹蚀刻法、活性碳盒法、闪烁室法、电离室法和气球法等。氡子体是氡的短寿命放射性衰变产物,其测定方法主要有 α 径迹蚀刻法、马尔柯夫法、库斯尼茨法等。

4 放射性照射勘探钻孔编录,即用辐射仪对岩心直接进行放射性照射率测定,并对测定结果进行统计、编录。

5 放射性现象与强度只能用物探方法确定,根据所测定的射线种类不同,可将放射性异常分为 γ 异常、 $\gamma+\beta$ 异常、射气异常等。

F.4.3

1 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)由国家质量监督检验检疫总局发布,该标准规定了对电离辐射防护和辐射源安全的基本要求,适用于实践和干预中人员所受电离辐射照射的防护和实践中源的安全。

2 《核辐射环境质量评价一般规定》(GB 11215)由国家质量监督检验检疫总局和环境保护部发布,该标准规定了核辐射

环境质量评价的一般原则和应遵循的技术规定。

4 放射工作分区的划分是以工作人员在该场所内连续工作1年，其个人可能受到由辐射照射的年有效剂量当量值（He）的大小为基本技术依据。放射工作分区的目的是为工程运行分区设计、分区施工保护和运行管理提供依据。

控制区，即要求或可能要求采取专门的防护手段和安全措施，以便在正常工作条件下控制正常照射或防止污染扩展，防止潜在照射或限制其程度。监督区，通常不需要采取专门防护手段和措施但要求不断检查其职业照射条件的任何区域。

附录 G 渠道工程地质分段评价

渠道是引调水线路工程中的主要建筑物，常常穿越不同的地貌单元、地层岩性，工程地质条件变化较大。渠道勘察中依据勘察资料、结合渠道的施工方式进行渠道分段评价，可以反映不同渠段的工程地质条件和工程地质问题。

G.1 渠道分段

G.1.1、G.1.2 规定了渠道工程地质初步分段和工程地质分段的原则，勘察中可视具体情况进行分段。

如南水北调中线总干渠，首先根据地貌单元及主要工程地质条件将其划分为陶岔—邾县膨胀土岗状平原及河湖冲积粘性土平原区、邾县—黄河南黄土状土岗平原区等 15 个工程区，然后又按渠道施工方式分为全挖方和挖填段、填方段两大类。而南水北调东线渠道由于其地形地貌类型单一，则按桩号以工程地质条件进行分段。

G.2 分段评价

G.2.1 渠道工程地质初步分段评价主要是对渠道的基本工程地质条件及其可能产生的工程地质问题进行评价。评价时尤其注意对不良工程地质问题的评价。

如当渠道穿越滑坡、泥石流等不良地质现象分布地段时，要评价渠道施工、运行诱发地质灾害的可能及其对渠道安全的影响；当渠道沿线有湿陷性土、膨胀土等特殊土大面积分布时，要评价其对渠道稳定的影响；当渠道穿越断裂构造时，要评价断裂的活动性及其对渠道稳定的影响等。

G.2.2 渠道工程地质分段评价主要是根据渠道的施工方式评价其工程地质条件和可能产生的工程地质问题。

1 岩（土）体的结构类型是影响渠道边坡稳定的主要因素，特别是双层、多层结构的岩（土）体，可能存在不利的层间结构面，工程地质条件和问题较为复杂。挖方渠道的边坡往往有双层、多层结构的岩（土）体组成，因此要根据渠道岩（土）体的结构特征进行工程地质评价。深挖方渠段由于开挖深度较大（大于 8m），工程地质问题更为复杂。因此，要进行专门评价。

2 填方渠道地基中如有可液化土层、架空层等不良岩土层（体）分布，会导致渠基震陷、沉降变形等问题，影响渠道的稳定。评价填方渠道工程地质问题时，要予以注意。高填方渠段由于填筑高度大（大于 15m），地基上部荷载较大，对地基要求较高，产生不良工程地质问题的可能性更大。因此，要进行专门评价。

4 工程实践表明，挖方渠道与填方渠道过渡段由于工程地质条件的变化和差异，往往存在不同程度、不同类型的地质缺陷，导致塌陷、渗漏等问题影响渠道的稳定和正常运行。因此，要评价过渡段的工程地质条件和工程地质问题。

附录 H 隧洞施工超前地质预报方法

H. 0.2 地质调查是隧洞施工超前地质预报的基础，实际上也是一种预报方法。通过地质调查，可随时掌握隧洞开挖工作面的地层、岩性、地质构造、地下水等地质条件的变化，及时分析可能出现的施工地质问题，以便确定预报内容，合理选择预报方法。

地质调查应采用大比例尺测绘、素描、摄影、录相等方法，对各种地质现象进行调查、分析。同时，注意对临近大型溶洞水体或暗河、断层破碎带、大规模塌方、含瓦斯煤层等不良地质体的标志性前兆的观察。如临近大型溶洞水体或暗河时，裂隙、溶隙间会出现较多的铁染锈或黏土，岩层明显湿化、软化或出现淋水；临近断层破碎带时，节理、裂隙明显增多，出现压碎岩、碎裂岩、断层角砾岩等。必要时，可取岩、土、水样进行试验分析。

TBM 施工隧洞的洞内地质调查，可通过对掘进出渣、掘进效率、机械运行状况、豆砾石回填量、管片的变形、错动、破损情况等的观察、描述，进行隧洞地质条件和施工地质问题的分析、预报。

对表 H. 0.2 列出的几种预报方法，做如下说明：

(1) 超前钻探法又可分为超前地质钻探和加深炮孔钻探。

超前地质钻探是利用钻机在隧洞开挖工作面进行钻探获取地质信息的一种超前地质预报方法。超前地质钻探，一般地段宜采用冲击钻，复杂地段或特殊地层宜采用回转取芯钻。钻孔数量、位置、孔深、方向等可根据探测目的和地质条件确定：

a. 断层、节理密集带或其他破碎富水地层每循环可钻 1 个孔，富水岩溶发育区每循环一般钻 3~5 个孔，揭示岩溶时，适当增加。

b. 煤层瓦斯预报超前钻孔，在距煤层 15~20m 处的开挖面

钻 1 个超前钻孔，在距煤层 10m 处的开挖面钻 3 个超前钻孔，并取煤样、气样进行物理、化学分析和瓦斯参数测定。需要时，在现场进行瓦斯及天然气含量、涌出量、压力测试。孔深要穿透煤层，进入顶（底）板不少于 0.5m。

c. 连续钻探时，每循环可钻 30~50m，必要时可钻 100m 以上深孔。

d. 连续预报时前后两循环钻孔要重叠 5~8m。

e. 孔径满足取芯、取样和孔内测试的要求。煤层瓦斯超前钻孔孔径一般不少于 76mm。

超前地质钻探可以比较直观地探明钻孔经过部位的地层岩性、岩体完整程度、岩溶和地下水分布情况等。需要时，还可以进行钻孔测试、取样试验。但由于其速度慢、费用高，难以广泛采用。

加深炮孔探测是利用风钻或凿岩台车在隧洞开挖工作面钻小孔径浅孔获得地质信息的一种方法，具有设备移动灵活、操作方便、费用低、占用隧洞施工时间相对较短的特点，且钻爆法施工时也可与爆破孔同时施作。此外，由于其可打数量较多的钻孔，大大增加了揭示地质情况的几率，效果明显。加深钻孔钻探孔深要较爆破孔（或循环进尺）深 3m 以上。需注意的是，加深炮孔钻探严禁在爆破残眼中施钻。

（2）超前导洞预报法可分为平行超前导洞和正洞超前导洞两种方法。平行超前导洞是在正洞（隧洞）的一侧一定距离超前开挖与正洞平行，断面较小的导洞，以此探查正洞地质情况的方法。正洞超前导洞是在隧洞（正洞）中某个部位超前开挖断面较小的导洞，以超前探查正洞的地质情况。

超前导洞法具有更直观、更准确的优点。但平行超前导洞费时、费力，较少采用；而正洞超前导洞作为隧洞施工的一部分，既开挖了隧洞又探明了地质情况，应用较多。

（3）物探法具有设备轻便，适用范围广、效率高等特点，是隧洞施工超前地质预报广泛采用的方法，其基本原理是通过对岩

(土)体(介质)物性参数的测试以及对物性异常现象的分析,探测岩(土)体的地层岩性、地质构造、地下水及不良地质现象的空间分布和地质特征。因此,被探测的岩(土)体要具有物探所要求的基本条件,包括:①探测对象与其相邻介质必须存在一定的物性差异,并具有足以被探测的规模;②存在电、磁、振动等外界干扰时,探测对象的异常能够从干扰背景中区分出来。

表 H.0.2 列的弹性波反射法是利用人工激发的地震波、声波在不均匀地质体中所产生的反射波特性来预报隧洞开挖工作面前方地质情况的一种物探方法,包括地震波反射法、水平声波剖面法、负视速度法和极小偏移距高频反射连续剖面法(简称“陆地声纳法”)等方法。在实际工作中,地震波反射法的应用较为普遍和成熟。

探地雷达探测是根据电磁波在隧洞开挖工作面前方岩体中的传播速度和反射脉冲波走时进行超前地质预报的一种物探方法。

红外探测是根据红外辐射原理,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。

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

随着物探技术的发展,可用于隧洞施工超前地质预报的物探技术越来越多,设备越来越先进。但是每种物探方法、每种物探设备都有一定的适用条件和技术局限性。为了提高预报质量,一般根据实际情况采用两种或两种以上的方法进行综合探测。通过综合物探对探测对象的多种物性特征进行研究,相互补充、相互印证,取得较好的探测效果。

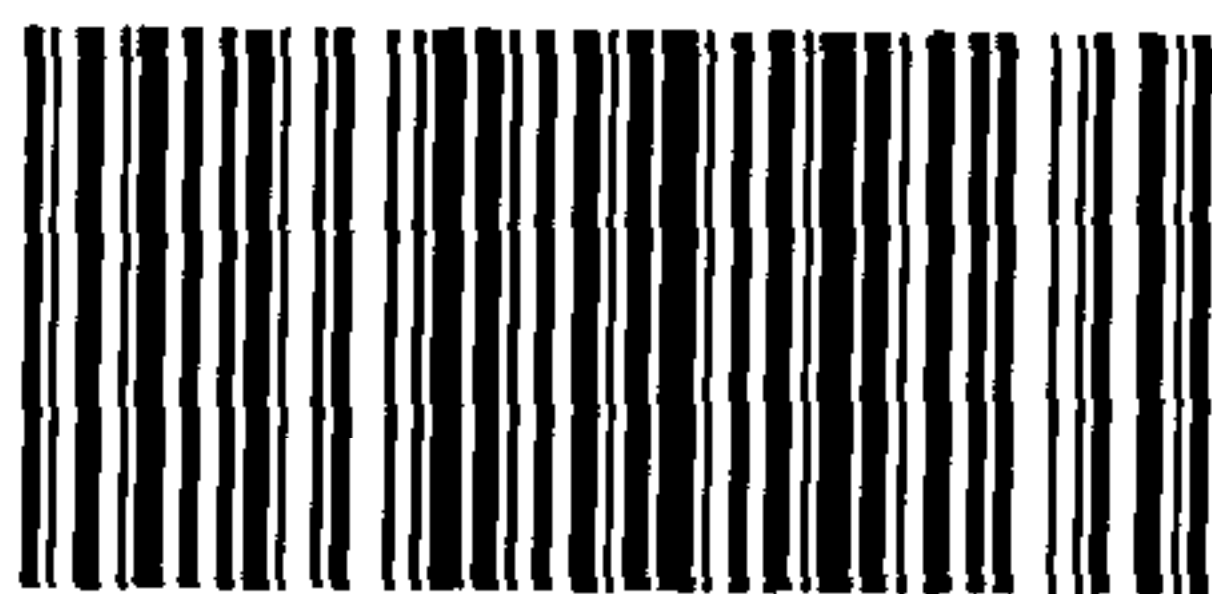
H.0.3 根据隧洞施工掘进速度以及施工超前地质预报特别是灾害性地质预报的需要,超前地质预报一般采用长、中、短距离

预报。

隧洞施工一般采用钻爆法与 TBM 掘进相结合的方法，一个循环进尺 2~3m。实践表明，预报 3~4 个循环进尺前方的地质情况，既可满足安全施工的需要，也可保证预报精度，因此，可以小于 15m 作为短距离预报的深度。考虑探测技术的精度能力以及对可能出现的地质问题特别灾害性地质问题的施工防护处理的需要，可以 15~50m 作为中距离预报。考虑超前地质预报的控制能力以及对中、短距离预报的指导作用，可以大于 50m 作为长距离预报。

就精度而言，长距离预报属定性预报，中距离预报属半定性、半定量预报，短距离预报则属定量预报。对地质灾害的预防和治理而言，中、长距离预报属防灾预报，而短距离预报属临灾或临灾处理预报。

关于超前地质预报的距离，目前尚无统一的规定。有的技术标准中规定，大于 100m 为长距离预报，30~100m 为中、长距离预报，30m 以内为短距离预报。实际工作中可根据隧洞施工的工程地质条件及预报需要，合理调整。但要坚持以长距离预报指导中距离预报，以中距离预报指导短距离预报的原则，以保证预报质量、确保施工安全。



155170. 141

中华人民共和国水利行业标准
引调水线路工程地质勘察规范
SL 629—2014

*

中国水利水电出版社出版发行
(北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038)
网址: www.waterpub.com.cn
E-mail: sales@waterpub.com.cn
电话: (010) 68367658 (发行部)
北京科水图书销售中心 (零售)
电话: (010) 88383994、63202643、68545874
全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售
北京瑞斯通印务发展有限公司印刷

*

140mm×203mm 32 开本 4.375 印张 118 千字
2014 年 5 月第 1 版 2014 年 5 月第 1 次印刷

*

书号 155170·141

凡购买我社规程, 如有缺页、倒页、脱页的,
本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究