

ICS 93.020

P 13



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	7
2	术语	8
3	基本规定	10
4	规划阶段工程地质勘察	13
4.1	一般规定	13
4.2	区域地质和地震	13
4.3	引调水线路方案	14
5	项目建议书阶段工程地质勘察	16
5.1	一般规定	16
5.2	区域构造稳定性	16
5.3	隧洞	17
5.4	渠道	20
5.5	渡槽、管桥	23
5.6	倒虹吸	25
5.7	埋管（涵）	27
6	可行性研究阶段工程地质勘察	29
6.1	一般规定	29
6.2	区域构造稳定性	29
6.3	隧洞	30
6.4	渠道	37
6.5	渡槽、管桥	40
6.6	倒虹吸	42
6.7	埋管（涵）	43
7	初步设计阶段工程地质勘察	45
7.1	一般规定	45
7.2	隧洞	45

7.3	渠道	50
7.4	渡槽、管桥	53
7.5	倒虹吸	55
7.6	埋管(涵)	57
8	招标设计阶段工程地质勘察	59
8.1	一般规定	59
8.2	工程地质复核与勘察	59
9	施工详图设计阶段工程地质勘察	61
9.1	一般规定	61
9.2	施工期工程地质勘察	61
附录 A	工程地质勘察报告附件	62
附录 B	隧洞围岩主要力学参数取值	64
附录 C	隧洞 TBM 施工适宜性判定	66
附录 D	黄土隧洞工程地质评价	68
附录 E	隧洞涌水量预测	70
附录 F	隧洞有害气体和放射性评价	75
附录 G	渠道工程地质分段评价	79
附录 H	隧洞施工超前地质预报方法	81
	标准用词说明	83

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—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) 渠道轴线宜布置勘探纵剖面，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 隧洞涌水量预测应符合附录 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应符合附录 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。岩体地应力分级应符合表 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	2~4	4~7	> 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 渠道分段工程地质评价宜符合附录 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 查明隧洞地段的地质岩性。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成生、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、工程地质问题进行评价。

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) 施工围堰堰基应布设勘探点，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。需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 倒虹吸勘察应包括以下内容：

- 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、监（观）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、利用各种监（观）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	招标设计阶段	施工图设计阶段
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	招标投标设计阶段	施工详图设计阶段
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做为标准值，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 ϕ (°)	凝聚力 c' (MPa)	变形模量 E_0 (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,并应符合表 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	$1000 < R_b$	< 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 —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 ω (%)	干密度 ρ (g/cm ³)	原状快剪		饱和快剪		变形模量 E_0 (MPa)	侧压力系数 λ	坚固系数 f
			凝聚力 c' (kPa)	内摩擦角 ϕ (°)	凝聚力 c' (kPa)	内摩擦角 ϕ (°)			
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：

$$Q_s = Q'_s \frac{FS}{F'S'} \quad (\text{E.2.2-1})$$

$$F = BL \quad (\text{E.2.2-2})$$

$$F' = B'F' \quad (\text{E.2.2-3})$$

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：

$$Q_s = 2.74 hA \quad (\text{E.2.3-1})$$

$$h = W - H - E - SS \quad (\text{E.2.3-2})$$

$$A = LB \quad (\text{E.2.3-3})$$

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:

$$Q_s = 2.74 \alpha W A \quad (\text{E.2.4})$$

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:

$$Q_s = \frac{1000 \alpha W A}{365} \quad (\text{E.2.5})$$

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 、 CO_2 、 NO_2 、 SO_2 、 NH_3 、 H_2S 、 CH_4 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 (^{226}Ra)、钍 (^{232}Th)、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，调查其成生、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、含沥青质岩类等可成生、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/m ³)
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）体结构类型应符合表 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下距离预报, 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	