

高速公路工程地质勘察规范

Specification for expressway engineering geological investigation

2025 - 05 - 15 发布

2025 - 08 - 15 实施

目 次

前言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 3

 4.1 一般规定 3

 4.2 资料收集 4

 4.3 岩石的分类 4

 4.4 土的分类 7

 4.5 勘察大纲 9

5 勘察方法 10

 5.1 一般规定 10

 5.2 工程地质调绘 11

 5.3 物探 12

 5.4 钻探 12

 5.5 挖探及简易勘探 13

 5.6 原位测试 13

 5.7 室内试验 14

6 水文地质勘察 14

 6.1 一般规定 14

 6.2 水文地质条件 15

 6.3 水文地质调绘 16

 6.4 水文地质物探 16

 6.5 水文地质钻探 16

 6.6 水文地质试验 17

7 可行性研究勘察 17

 7.1 预可勘察 17

 7.2 工可勘察 17

8 初步勘察 19

 8.1 一般规定 19

 8.2 路线 19

 8.3 一般路基 20

 8.4 高路堤 20

 8.5 陡坡路堤 21

 8.6 深路堑 21

 8.7 支挡工程 22

- 8.8 桥梁..... 23
- 8.9 涵洞及通道..... 25
- 8.10 隧道..... 26
- 8.11 岸坡工程..... 33
- 8.12 路线交叉工程..... 33
- 8.13 收费站及服务区房屋建筑工程..... 33
- 8.14 筑路材料..... 33
- 8.15 弃土场（填平区）..... 34
- 9 详细勘察..... 35
 - 9.1 一般规定..... 35
 - 9.2 路线..... 35
 - 9.3 一般路基..... 35
 - 9.4 高路堤..... 35
 - 9.5 陡坡路堤..... 36
 - 9.6 深路堑..... 36
 - 9.7 支挡工程..... 38
 - 9.8 桥梁..... 38
 - 9.9 涵洞及通道..... 39
 - 9.10 隧道..... 39
 - 9.11 岸坡工程..... 41
 - 9.12 路线交叉工程..... 42
 - 9.13 收费站及服务区房屋建筑工程..... 42
 - 9.14 筑路材料..... 42
 - 9.15 弃土场（填平区）..... 42
- 10 施工与养护勘察..... 42
 - 10.1 一般规定..... 42
 - 10.2 路基工程..... 43
 - 10.3 边坡工程..... 44
 - 10.4 桥梁工程..... 44
 - 10.5 隧道工程..... 44
- 11 不良地质..... 45
 - 11.1 岩溶..... 45
 - 11.2 滑坡..... 48
 - 11.3 危岩与崩塌..... 51
 - 11.4 泥石流..... 52
- 12 特殊性岩土..... 53
 - 12.1 软土..... 53
 - 12.2 花岗岩类残积土..... 56
 - 12.3 填土..... 58
- 13 改扩建高速公路工程地质勘察..... 60
 - 13.1 一般规定..... 60
 - 13.2 路基..... 60
 - 13.3 桥梁..... 61

13.4 隧道 61

13.5 路线交叉 61

13.6 收费站及服务区房屋建筑工程 61

13.7 筑路材料 61

14 工程地质勘察成果报告 61

14.1 一般规定 61

14.2 报告内容 62

14.3 文件格式与编排 63

14.4 资料归档 63

15 工程地质信息模型 63

15.1 一般规定 63

15.2 模型创建 64

15.3 模型属性信息 65

15.4 模型检查及交付 66

附录 A（资料性） 工程地质调绘表格 67

附录 B（资料性） 钻探记录表 78

附录 C（资料性） 挤扩试验 80

附录 D（资料性） 勘察工作量布置图示例 83

附录 E（资料性） 隧道涌水量估算 86

 E.5 隧道涌水影响宽度（B）确定 89

 E.6 隧道总涌水量的分级 89

参考文献 90

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由广东省交通运输标准化技术委员会公路工程分技术委员会（GD/TC 133/SC 1）归口。

本文件起草单位：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司、广东省交通运输规划研究中心、广东省高速公路有限公司、中交第二公路勘察设计研究院有限公司、广东和立交通养护科技有限公司、广州市市政工程设计研究总院有限公司、北京交科公路勘察设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：张修杰、陈红、黄成造、张金平、程小勇、李军、王璜、黄湛军、吴银亮、王成中、杨军、姜迪、林敏、瓦西拉里、洪旋、魏朝柱、闫海涛、江茂盛、陈水龙、崔亮。

高速公路工程地质勘察规范

1 范围

本文件规定了高速公路的勘察原则、方法和相关技术要求。
本文件适用于广东省内新建、改扩建高速公路项目的工程地质勘察。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 50021 岩土工程勘察规范
- JTG 3223 公路工程地质原位测试规程
- JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范
- JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册 土建工程
- JTG 3430 公路土工试验规程
- JTG 3431 公路工程岩石试验规程
- JTG 3432 公路工程集料试验规程
- JTG B01 公路工程技术标准
- JTG B02 公路工程抗震设计规范
- JTG C20 公路工程地质勘察规范
- JTG C30 公路工程水文勘测设计规范
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG/T 2231 公路桥梁抗震设计规范
- JTG/T 2420 公路工程信息模型应用统一标准
- JTG/T 3221-04 公路跨海通道工程地质勘察规程
- JTG/T 3222 公路工程物探规程
- JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范
- JTG/T 3334 公路滑坡防治设计规范
- JTG/T 3371-01 公路沉管隧道设计规范
- JTG/T C21 公路工程地质遥感勘察规范
- JTG/T D31 公路软土地基路堤设计及施工技术规范
- JTG/T D31-03 采空区公路设计与施工技术细则
- JGJ/T 87 建筑工程地质勘探与取样技术规程

3 术语和定义

JTG C20—2011界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工程地质条件 engineering geological condition

与工程建设有关的各种地质条件的综合，包括地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、不良地质和天然建筑材料等条件。

[来源：JTG C20—2011，2.1，有修改]

3.2

水文地质条件 hydrogeological condition

地下水埋藏、分布、补给、径流、排泄以及水质和水量及其形成的地质条件的总称。

[来源：JTG C20—2011，2.1]

3.3

工程地质勘察 engineering geological investigation

为满足工程规划、设计、施工和使用的需要，采用各种勘察技术、方法，对建筑场地的工程地质条件进行综合调查、研究、分析、评价以及编制工程地质勘察报告的全过程。

[来源：JTG C20—2011，2.1，有修改]

3.4

工程地质调绘 engineering geological mapping

通过现场观察、量测和描述，对工程建设场地的工程地质条件进行调查研究，并将有关的地质要素以图例、符号表示在地形图上的勘察方法。

[来源：JTG C20—2011，2.1]

3.5

工程地质勘探 engineering geological exploration

为查明工程地质条件而进行的工程地质钻探、物探和钎探、洛阳铲、螺纹钻以及挖探等工作的总称。

[来源：JTG C20—2011，2.1，有修改]

3.6

一般性孔 general drilling

能够鉴别地基主要地层的勘探孔，也称“鉴别孔”。

3.7

技术性孔 technical drilling

能够鉴别地基主要地层并进行原位测试或取样，满足岩土参数分析评价的勘探孔。

3.8

有效深度 effective depth

除去软土、松散填土等欠固结土层及液化砂层后的钻孔深度。

3.9

原位测试 in-situ test

为研究岩土体的工程特性，在岩土体原来所处的位置，基本保持岩土体结构、含水率和应力状态，直接或间接测定岩土体工程特性的各种测试方法的总称。

[来源：JTG C20—2011，2.1，有修改]

3.10

工程地质图 engineering geological map

为反映工程场地的工程地质条件，评价、预测工程地质问题而编制的专门性图件。

[来源：JTG C20—2011，2.1]

3.11

不良地质 unfavorable geological condition

由各种地质作用或人类活动造成的岩溶、滑坡、危岩、崩塌、岩堆、泥石流、采空区、地震液化等对工程可能造成危害的地质现象的总称。

[来源: JTG C20—2011, 2.1, 有修改]

3.12

特殊性岩土 **special rock and soil**

具有特殊的物质成分、结构和工程特性的岩土的统称,包括软土、花岗岩类残积土、填土、红黏土、膨胀性岩土等。

[来源: JTG C20—2011, 2.1, 有修改]

3.13

地基承载力特征值 **characteristic value of subsoil bearing capacity**

由载荷试验测定的地基土压力-变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值。

3.14

正常涌水量 **normal water yield**

隧道的涌水达到相对稳定时的水量。

3.15

最大涌水量 **maximum water yield**

隧道在含水体掘进过程中出现的峰值涌水量。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 高速公路工程地质勘察可分为预可行性研究阶段工程地质勘察(简称预可勘察)、工程可行性研究阶段工程地质勘察(简称工可勘察)、初步设计阶段工程地质勘察(简称初步勘察或初勘)和施工图设计阶段工程地质勘察(简称详细勘察或详勘)、施工阶段工程地质勘察(简称施工勘察)和养护阶段工程地质勘察(简称养护勘察)六个阶段。

4.1.2 高速公路工程地质勘察范围、内容和工作量应与勘察阶段相适应,勘察成果应满足相应阶段工程文件编制、设计及施工要求。

4.1.3 勘察工作量应根据勘察阶段、工程地质条件复杂程度、构筑物类型等因素综合布置。

4.1.4 工程地质条件复杂程度分为复杂、较复杂和简单三种,其划分应符合下列规定:

a) 符合下列条件之一者,为工程地质条件复杂:

- 1) 地形起伏大,沟谷切深大,相对高差 $>200\text{ m}$,地面坡度以 $>25^\circ$ 为主,地貌类型多样,地形地貌复杂;
- 2) 岩土种类多,性质变化大,基岩面起伏大,变化剧烈;
- 3) 特殊性岩土和不良地质强烈发育;
- 4) 抗震危险地段;
- 5) 地下水对工程有显著影响,水文地质条件复杂。

b) 介于复杂和简单之间者,为较复杂;

c) 符合下列条件之一者,为工程地质条件简单:

- 1) 地形平缓,相对高差 $<50\text{ m}$,地面坡度 $<8^\circ$,地貌类型单一,地形地貌简单;
- 2) 岩土种类单一,性质变化不大,基岩面平缓;
- 3) 特殊性岩土和不良地质不发育;
- 4) 抗震有利地段;

5) 地下水对工程无影响,水文地质条件简单。

d) 符合上述两个及以上条件者,宜按不利条件确定工程地质条件复杂程度。

注:中风化岩面起伏大于 15° 时,为基岩面起伏大;中风化岩面起伏小于 5° 时,为基岩面平缓。

4.1.5 原始记录应记录及时、内容完整、数据真实、描述准确、签署齐全,并应具备可追溯性。

4.1.6 对于复杂地质且对工程方案有重大影响的地质问题或有特殊要求的工程,应开展专项勘察。

4.1.7 高速公路工程地质勘察鼓励积极稳妥地采用新技术、新方法、新设备、新工艺,坚持生态环境保护理念。

4.2 资料收集

4.2.1 应充分收集和研究勘察区区域地质、区域水文地质、气象、灾害性气候、地质灾害、地震、既有工程等资料。

4.2.2 资料收集应包括下列内容:

- a) 区域地质资料,宜包括1:50万构造体系图及说明书、1:20万地质图及说明书、1:5万地质图及说明书;
- b) 区域水文地质资料,宜包括1:20万综合水文地质图及说明书等;
- c) 气象资料,宜包括年降水量,年、月、日最大降水量,降水天数、湿度、蒸发量、气温、风向、风速等;
- d) 灾害性气候资料,宜包括寒潮、台风、暴雨、雾况等;
- e) 地质灾害资料,宜包括地质灾害报告等;
- f) 地震资料,宜包括地震动参数区划图、地震安全性评价报告等;
- g) 既有工程的勘察、设计、施工、监测、养护资料等。

4.2.3 应对收集的资料进行分析研判。

4.3 岩石的分类

4.3.1 岩石坚硬程度应按表1划分。

表1 岩石坚硬程度划分

坚硬程度	硬质岩		软质岩		
	坚硬岩	较坚硬岩	较软岩	软岩	极软岩
岩石饱和单轴抗压强度 R_c (MPa)	>60	$60\sim30$	$30\sim15$	$15\sim5$	≤ 5

注:泥岩或黏土岩的岩石抗压强度采用天然单轴抗压强度。

4.3.2 岩体完整程度应按表2划分。

表2 岩体完整程度划分

名称	结构面发育程度		主要结构面结合程度	主要结构面类型	相应结构类型
	组数	平均间距 (m)			
完整	1~2	>1.0	好或一般	节理、裂隙、层面	整体状或巨厚层状结构
较完整	1~2	>1.0	差	节理、裂隙、层面	块状或厚层状结构
	2~3	$1.0\sim0.4$	好或一般		块状结构
较破碎	2~3	$1.0\sim0.4$	差	节理、裂隙、劈理、层面、小断层	裂隙块状或中厚层状结构
	≥ 3	$0.4\sim0.2$	好		镶嵌碎裂结构
			一般		中、薄层状结构

表2 岩体完整程度划分（续）

名称	结构面发育程度		主要结构面结合程度	主要结构面类型	相应结构类型
	组数	平均间距（m）			
破碎	≥3	0.4~0.2	差	各种类型结构面	裂隙块状结构
		≤0.2	一般或差		碎裂状结构
极破碎	无序		很差		散体状结构
注：平均间距指主要结构面间距的平均值。主要结构面是指岩体内相对发育，即张开度较大、充填物较差、成组性较好的结构面。					

4.3.3 岩体完整程度的定量指标，应采用岩体完整性系数 K_v 。 K_v 应采用实测值，无条件取得实测值时，可用岩体体积节理数 J_v 按表3确定对应的 K_v 值。

表3 J_v 与 K_v 的对应关系

J_v （条/m ² ）	<3	3~10	10~20	20~35	≥35
K_v	>0.75	0.75~0.55	0.55~0.35	0.35~0.15	≤0.15

4.3.4 岩体完整性系数 K_v 与岩体完整程度的对应关系，可按表4确定。

表4 K_v 与岩体完整程度的对应关系

K_v	>0.75	0.75~0.55	0.55~0.35	0.35~0.15	≤0.15
岩体完整程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎

4.3.5 结构面结合程度宜按表5划分。

表5 结构面结合程度划分

结合程度	好	一般	差	很差
结构面特征	张开度小于1mm，无充填物； 张开度1mm~3mm，为硅质或铁质胶结； 张开度大于3mm，结构面粗糙，为硅质胶结	张开度1mm~3mm，为钙质或泥质胶结； 张开度大于3mm，结构面粗糙，为铁质或钙质胶结	张开度1mm~3mm，结构面平直，为泥质或泥质和钙质胶结； 张开度大于3mm，多为泥质或岩屑充填	泥质充填或泥夹岩屑充填，充填物厚度大于起伏差

4.3.6 岩石风化程度可按表6划分。当波速比 k_v 、风化系数 k_f ，及野外特征与表列不对应时，岩石风化程度宜综合判定。

表6 岩石风化程度划分

风化程度	野外特征	风化程度参数指标	
		波速比 k_v	风化系数 k_f
未风化	岩质新鲜，偶见风化痕迹	0.9~1.0	0.9~1.0
微风化	结构基本未变，仅节理面有渲染或略有变色，有少量风化裂隙	0.8~0.9	0.8~0.9

表6 岩石风化程度划分（续）

风化程度	野外特征	风化程度参数指标	
		波速比 k_v	风化系数 k_f
中风化	结构部分破坏，沿节理面有次生矿物，风化裂隙发育，岩体被切割成岩块，用镐难挖，岩芯钻方可钻进	0.6~0.8	0.4~0.8
碎块状强风化	结构大部分破坏，矿物成分已显著变化，风化裂隙很发育，岩体破碎，用镐可挖，干钻不易钻进，岩芯呈碎石土状	0.4~0.6	<0.4
土状强风化	结构大部分破坏，矿物成分已显著变化，风化裂隙非常发育，岩体破碎，用镐可挖，干钻不易钻进，岩芯呈土状		
全风化	结构基本破坏，但尚可辨认，有残余结构强度，可用镐挖，干钻可钻进	0.2~0.4	/
注1：波速比 k_v 为风化岩石与新鲜岩石弹性纵波速度之比。			
注2：风化系数 k_f 为风化岩石与新鲜岩石的饱和单轴抗压强度之比。			

4.3.7 花岗岩类的岩石风化程度根据标准贯入试验锤击数实测值 N ，可按表7划分。

表7 花岗岩类的岩石风化程度划分

风化程度	土状强风化	全风化	残积土
标准贯入试验锤击数实测值 N	$N \geq 70$	$70 > N \geq 40$	$N < 40$

4.3.8 岩体节理发育程度应按表8划分。

表8 岩体节理发育程度划分

节理间距 d (mm)	$d > 400$	$200 < d \leq 400$	$20 < d \leq 200$	$d \leq 20$
节理发育程度	不发育	发育	很发育	极发育
注：节理泛指各种分割岩体的结构面。				

4.3.9 岩层厚度分类应按表9确定。

表9 岩层厚度分类

单层厚度 h (m)	$h > 1.0$	$0.5 < h \leq 1.0$	$0.1 < h \leq 0.5$	$h \leq 0.1$
岩层厚度分类	巨厚层	厚层	中厚层	薄层

4.3.10 岩石的描述宜包括地质年代、地质名称、风化程度、颜色、结构、构造、主要矿物、胶结类型、胶结程度、矿物结晶大小、结晶程度等。

4.3.11 岩体的描述应包括下列内容：

- a) 岩石坚硬程度；
- b) 岩层厚度；
- c) 结构面的类型、产状、间距、组数、结合程度、含水状况等；
- d) 结构体形状、规模等。

4.4 土的分类

4.4.1 土可根据其地质成因分为人工填土（ml）、腐殖土-植物层-耕土（pd）、冲积土（al）、洪积土（pl）、残积土（el）、坡积土（dl）、风积土（eol）、湖积土（l）、海积土（m）、沼泽沉积土（h）、海陆交互沉积土（mc）、冰积土（gl）、冰水沉积土（fgl）、崩积土（col）、滑坡堆积土（del）、泥石流堆积土（set）、生物堆积土（o）、化学堆积土（ch）、成因不明类型土（pr）等。

4.4.2 土可根据其所具有的工程地质特性分为软土、花岗岩类残积土、填土、膨胀土、红黏土、有机土、盐渍土、污染土、混合土等。

4.4.3 土可根据颗粒成分分为碎石土、砂土、粉土和黏性土，其划分应符合以下规定：

- a) 粒径大于 2 mm 的颗粒质量超过总质量 50% 的土，应定名为碎石土，并按表 10 进一步分类；
- b) 粒径大于 2 mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%，且粒径大于 0.075 mm 的颗粒质量超过总质量 50% 的土，应定名为砂土，并按表 11 进一步分类；
- c) 塑性指数 $I_p \leq 10$ ，且粒径大于 0.075 mm 的颗粒质量不超过总质量 50% 的土，应定名为粉土；
- d) 塑性指数 $I_p > 10$ ，且粒径大于 0.075 mm 的颗粒质量不超过总质量 50% 的土，应定名为黏性土，并按表 12 进一步分类；
- e) 定名时，应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

表10 碎石土分类

土的名称	颗粒形状	颗粒级配
漂石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 200 mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
块石	棱角形为主	
卵石	圆形及亚圆形为主	粒径大于 20 mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
碎石	棱角形为主	
圆砾	圆形及亚圆形为主	粒径大于 2 mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
角砾	棱角形为主	

表11 砂土分类

土的名称	颗粒级配
砾砂	粒径大于 2 mm 的颗粒质量占总质量的 25%~50%
粗砂	粒径大于 0.5 mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
中砂	粒径大于 0.25 mm 的颗粒质量超过总质量的 50%
细砂	粒径大于 0.075 mm 的颗粒质量超过总质量的 85%
粉砂	粒径大于 0.075 mm 的颗粒质量超过总质量的 50%

表12 黏性土分类

土的名称	粉质黏土	黏土
塑性指数 I_p	$10 < I_p \leq 17$	$I_p > 17$
注：本表液限、塑限采用76 g锥试验测定。		

4.4.4 碎石土的密实度，宜根据圆锥动力触探锤击数按表 13 和表 14 确定。表中 $N_{63.5}$ 和 N_{120} 修正方法应符合《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）的要求。

表13 重型圆锥动力触探锤击碎石土的密实度划分

重型圆锥动力触探锤击数修正值 $N_{63.5}$	$N_{63.5} > 20$	$10 < N_{63.5} \leq 20$	$5 < N_{63.5} \leq 10$	$N_{63.5} \leq 5$
密实度	密实	中密	稍密	松散
注：本表适用于平均粒径小于或等于50 mm，且最大粒径不超过100 mm的碎石土				

表14 超重型圆锥动力触探锤击碎石土的密实度划分

超重型圆锥动力触探锤击数修正值 N_{120}	$N_{120} > 11$	$6 < N_{120} \leq 11$	$3 < N_{120} \leq 6$	$N_{120} \leq 3$
密实度	密实	中密	稍密	松散
注：本表适用于平均粒径大于50 mm，或最大粒径大于100 mm的碎石土。				

4.4.5 碎石土的密实度，可根据其野外特征按表 15 鉴别。

表15 碎石土密实度野外鉴别

密实度	骨架颗粒含量和排列	可挖性	可钻性
密实	骨架颗粒质量大于总质量的70%，呈交错排列，连续接触	锹镐挖掘困难，用撬棍方能松动，井壁较稳定	钻进极困难，冲击钻探时，钻杆、吊锤跳动剧烈，孔壁较稳定
中密	骨架颗粒质量为总质量的60%~70%，呈交错排列，大部分接触	锹镐可挖掘，井壁有掉块现象，从井壁取出大颗粒处，能保持颗粒凹面形状	钻进较困难，冲击钻探时，钻杆、吊锤跳动不剧烈，孔壁有坍塌现象
稍密	骨架颗粒质量为总质量的55%~60%，排列混乱，大部分不接触	锹镐可挖掘，井壁易坍塌，从井壁取出大颗粒后，立即塌落	钻进较容易，冲击钻探时，钻杆稍有跳动，孔壁易坍塌
松散	骨架颗粒质量小于总质量的55%，排列十分混乱，绝大部分不接触	锹镐可挖掘，井壁极易坍塌	钻进很容易，冲击钻探时，钻杆无跳动，孔壁极易坍塌

4.4.6 砂土的密实度应按表 16 划分。

表16 砂土密实度划分

密实度	密实	中密	稍密	松散
标准贯入试验锤击数实测值 N	$N > 30$	$15 < N \leq 30$	$10 < N \leq 15$	$N \leq 10$

4.4.7 粉土的密实度应按表 17 划分。

表17 粉土密实度划分

密实度	密实	中密	稍密
孔隙比 e	$e < 0.75$	$0.75 \leq e \leq 0.90$	$e > 0.90$

4.4.8 黏性土的压缩性应按表 18 划分。

表18 黏性土压缩性划分

压缩性	低压缩性	中压缩性	高压缩性
压缩系数 $a_{0.1-0.2}$ (MPa^{-1})	$a_{0.1-0.2} < 0.1$	$0.1 \leq a_{0.1-0.2} < 0.5$	$a_{0.1-0.2} \geq 0.5$
注：表中 $a_{0.1-0.2}$ 为0.1MPa~0.2MPa压力范围内的压缩系数。			

4.4.9 砂土的湿度应按表 19 划分。

表19 砂土的湿度划分

湿度	干	稍湿	潮湿	饱和	饱水
饱和度 S_r (%)	$S_r \leq 20$	$20 < S_r \leq 50$	$50 < S_r \leq 80$	$80 < S_r \leq 100$	$S_r > 100$

4.4.10 粉土的湿度应按表 20 划分。

表20 粉土的湿度划分

湿度	稍湿	湿	很湿
天然含水率 ω (%)	$\omega < 20$	$20 \leq \omega \leq 30$	$\omega > 30$

4.4.11 黏性土的状态应按表 21 划分。

表21 黏性土的状态划分

状态	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑
液性指数 I_L	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1.0$	$I_L > 1.0$
标准贯入试验锤击数实测值 N	$N > 20$	$15 < N \leq 20$	$5 < N \leq 15$	$3 < N \leq 5$	$N \leq 3$

4.4.12 黏性土根据堆积年代可按表 22 划分。

表22 黏性土划分

黏性土分类	老黏性土	一般黏性土	新近沉积黏性土
地质年代	第四纪晚更新世 (Q_3) 之后至全新世 (Q_1) 之前, 距今约 10 万年	第四纪全新世 (Q_4) 文化期以前	第四纪全新世 (Q_4) 文化期以来, 距今约 1 万年

4.4.13 土的描述应包括名称、地质年代和成因类型, 并应符合下列规定:

- a) 碎石土应描述颜色、颗粒级配、颗粒形状、碎石成分、风化程度、充填物的类型、充填程度和密实度等;
- b) 砂土应描述颜色、颗粒级配、颗粒形状、矿物成分、黏粒含量、湿度和密实度等;
- c) 粉土应描述颜色、湿度、密实度、含有物等;
- d) 黏性土应描述颜色、状态、含有物等;
- e) 特殊性土应描述上述相应土类规定的内容, 且应描述其特殊成分和特殊性质等。

4.5 勘察大纲

4.5.1 在开展高速公路工程地质勘察之前, 应编制工程地质勘察大纲。

4.5.2 工程地质勘察大纲应包括下列内容。

- a) 勘察项目背景:
 - 1) 工程概况: 包括任务依据、建设规模和标准、路线走向、构筑物设置、勘察阶段、已做过的地质工作、评审意见及执行情况等;
 - 2) 工作目的和任务: 包括勘察目的、任务及需要解决的主要技术问题等;
 - 3) 建设条件: 包括地形地貌、气象、水文、地层岩性、地质构造、地震、水文地质、不良地质、特殊性岩土等;

- 4) 勘察技术要求：包括勘察执行的技术标准、勘察方法、勘察工作量布置原则、勘探完成后的现场处理等。
- b) 勘察实施方案：
 - 1) 勘察内容、勘察方法及精度、勘探点布置原则及主要工作量；
 - 2) 针对重大或关键性地质问题采取的勘察对策、措施；
 - 3) 专题研究等。
- c) 勘察工作计划：
 - 1) 项目管理机构及主要人员；
 - 2) 拟投入的技术装备及进出场计划；
 - 3) 勘察进度计划。
- d) 勘察工作进度保证措施：
 - 1) 组织保证措施；
 - 2) 人员、设备后勤及保证措施；
 - 3) 特殊条件（如雨季等）下勘察措施。
- e) 勘察质量保证体系：
 - 1) 质量原则和目标；
 - 2) 质量保证体系；
 - 3) 质量保证措施。
- f) 安全文明施工保证措施：
 - 1) 安全风险分析；
 - 2) 安全保证体系；
 - 3) 安全管理及保证措施；
 - 4) 应急预案；
 - 5) 绿色勘察理念，环保、文明施工保证措施；
 - 6) 勘察安全、技术交底。
- g) 与项目业主、设计单位、审查咨询单位的配合及协调保证措施；
- h) 主要成果资料：
 - 1) 工程地质勘察文字报告要求；
 - 2) 工程地质勘察图表要求；
 - 3) 工程地质勘察附件要求。
- i) 大纲附件：
 - 1) 计划工作量布置图；
 - 2) 计划工作量布置表。
- j) 其他需要说明的问题。

4.5.3 当现场地质条件、施工条件、工程结构设置及勘察要求等发生变化时，勘察大纲应根据变化情况及时进行调整。当工作量、技术要求、勘察方法发生较大调整时，需要重新编制勘察大纲。

5 勘察方法

5.1 一般规定

5.1.1 高速公路工程地质勘察应结合勘察阶段、地质条件、构筑物类型及不同勘察方法的适用性等，综合确定勘察方法和工作量。

- 5.1.2 勘察方法应包括工程地质调绘、工程地质勘探、原位测试、室内试验等。
- 5.1.3 工程地质勘探应在工程地质调绘的基础上进行,采用的勘探方法及勘探工作量应根据勘察阶段、现场地形地质条件、工程结构设置、勘探的目的和要求等综合确定。
- 5.1.4 工程地质勘探点宜采用全站仪、卫星定位测量等布设,并应符合下列规定:
- a) 勘探点位置定位误差:陆地不应大于 0.1 m;水中不宜大于 0.5 m;当水深流急,固定钻船困难时,不应大于 1.0 m,并应在套管固定后核测孔位;
 - b) 勘探点地面孔口高程误差:陆地不应大于 0.01 m;水中不应大于 0.1 m;钻孔中地层分层误差宜不大于 0.1 m;水中钻孔孔口高程应以河床面为准;
 - c) 勘探完成后,应复测勘探点的平面位置及高程;勘探点的位置应以坐标和里程桩号表示,并做好测量记录。
- 5.1.5 应进行动态勘察,及时汇总分析勘察资料,评价各种勘察方法的有效性,并结合设计方案的变化,对勘察方法和工作量进行必要的调整。

5.2 工程地质调绘

- 5.2.1 工程地质调绘应与路线及沿线构筑物的设计相结合,为路线方案比选、工程场地选址以及勘探、测试工作量的拟定等提供依据。
- 5.2.2 工程地质调绘应充分收集和研究工作区的水文、气象、地震、地质和既有工程的勘察设计资料结合必要的遥感解译、无人机摄影、三维激光扫描等技术手段及勘探测试进行。对控制路线及工程方案或影响构筑物设置的地质界线,应采用追索法、穿越法进行工程地质调绘。
- 5.2.3 工程地质调绘应包括以下主要内容:
- a) 地形地貌的成因、类型、分布、规模、形态特征等;
 - b) 地层的成因、年代、层序、厚度、岩性和岩石风化程度等;
 - c) 地质构造的类型、产状、规模、分布范围等;
 - d) 地下水的类型、埋深、赋存、补给、排泄和径流条件,以及水系、井、泉的分布位置、高程和动态特征等;
 - e) 不良地质的类型、分布范围、规模、形成条件、发生与发展的规律等;
 - f) 特殊性岩土的类型、分布范围及工程地质性质等;
 - g) 既有工程的使用情况等。
- 5.2.4 工程地质遥感应充分利用多平台、多波段、多时相遥感数据,进行复合图像处理和综合解译。其工作应符合《公路工程地质遥感勘察规范》(JTG/T C21)的要求,解译范围和验证点密度且应满足表 23 的要求。

表23 工程地质遥感解译范围和验证点密度

遥感解译比例尺	解译范围	验证点密度
1: 100 000	路线走廊带两侧不应小于 10 km	每 10 km ² 野外验证点不应少于 1 个
1: 50 000	路线走廊带两侧不应小于 5 km	每 5 km ² 野外验证点不应少于 1 个
1: 10 000	路线走廊带两侧不应小于 2 km	每 1 km ² 野外验证点不应少于 1 个
1: 2 000	路线走廊带两侧不应小于 200 m	结合 1: 2 000 路线工程地质调绘进行

- 5.2.5 工程地质调绘应沿路线及其两侧的带状范围进行,调绘宽度应满足工程方案比选及工程地质分析评价的要求。
- 5.2.6 工程地质调绘点在图上的密度每 100 mm×100 mm 不应少于 4 个。
- 5.2.7 工程地质调绘点的布置应具有控制性、代表性和针对性,应布置在地貌单元的边界、地层接触

线、断层、地下水出露点、特殊性岩土及不良地质体的边界，具有代表性的节理和地层露头，以及大桥、特大桥、长隧道、特长隧道、高填深挖路段等部位，能够说明地质体的属性。

5.2.8 工程地质调绘应提交文字说明、工程地质平面图、综合地层柱状图、工程地质断面图、照片以及相关调绘图表等。工程地质调绘表格可参考附录 A。

5.3 物探

5.3.1 采用物探方法时，应具备下列条件：

- a) 被探测的地质体与周围介质之间具有明显的物性差异；
- b) 被探测的地质体具有一定的规模和埋藏深度，具备相应的施工和观测条件；
- c) 干扰背景不影响有效信号的观测和识别；
- d) 不利的地形、地物不致影响正常的推断、解释。

5.3.2 采用的物探方法和技术参数应结合现场地形、地球物理条件和勘探的目的，在方法试验的基础上确定。

5.3.3 物探成果的解释应与其他勘探资料相互对比，综合分析，并采用钻探加以验证。

5.3.4 物探应提交文字报告、物探解释图、照片及现场原始记录等。

5.4 钻探

5.4.1 钻机类型、钻探工艺和取样方法应根据现场地形地质条件和勘探的目的确定。

5.4.2 钻探工艺应符合下列规定：

- a) 在一般土层中，地下水位以上宜采用单管钻进或跟管钻进，地下水位以下可采用单管钻进或泥浆护壁钻进；
- b) 在基岩中，宜采用单管钻进、单动双管钻进或绳索取芯钻进；
- c) 在砂土、软土地层中，宜采用泥浆护壁钻进或跟管钻进；
- d) 在碎石土地层中，可选用单动双管钻进、泥浆护壁钻进或跟管钻进；
- e) 在破碎岩、断层、软弱夹层中，宜采用单动双管钻进或无泵反循环钻进；
- f) 在滑坡地层中，应采用无水钻进或无泵反循环、单动双管钻进；在滑动面（带）及其上下 5.0 m 的范围应采用无水钻进或单动双管钻进；
- g) 在岩溶地层中，宜采用泥浆护壁钻进或跟管钻进；
- h) 水文地质钻孔在基岩层中钻进时，宜采用清水钻进；在松散层中钻进时，可采用易于洗孔的泥浆护壁钻进；
- i) 因地形、地面建筑物无法安装钻探设备时，宜采用定向钻进技术；
- j) 钻探施工冲洗液使用泥浆时，应采用优质环保浆液。

5.4.3 岩芯采取率在完整的岩层中不宜小于 90%，在强风化岩层中不宜小于 65%，黏性土层中不宜小于 85%，砂土层中不宜小于 65%，破碎岩层、碎石土层不宜小于 50%，断层破碎带等重点研究孔段宜提高岩芯采取率，并不应遗漏对工程有重要影响的软弱夹层和滑动面等。

5.4.4 钻孔孔径应满足下列要求：

- a) 技术性孔开孔直径不应小于 110 mm，终孔直径土层不应小于 91 mm，基岩不应小于 75 mm；
- b) 隧道钻孔开孔直径不宜小于 130 mm，终孔孔径不宜小于 75 mm；
- c) 水文地质试验孔松散层中孔径不宜小于 150 mm，基岩中不应小于 110 mm，观测孔的孔径不宜小于 91 mm。

5.4.5 岩土试样采取应符合下列规定：

- a) 粉土、一般黏性土样品：宜采用回转取土器回转法采取；
- b) 软土样品：应采用薄壁取土器静压法采取；

- c) 砂土样品：宜采用取砂器采取或干钻四分法采取；
 - d) 岩石样品：可从采取的岩芯中选取代表性岩样；
 - e) 采取的岩石、土、水样应具有代表性，其数量应满足分层统计分析要求。
- 5.4.6 钻探编录应符合下列规定：
- a) 岩土芯应按采集的先后在现场按从上到下、从左到右顺序排列；每回次钻进采集的岩土芯应填写岩土芯卡片，标明工点名称、钻孔编号、岩土芯采集的深度，岩土芯采取率、钻进回次编号和必要的地质描述；
 - b) 应统一钻孔地质编录；工程勘探班报表应按钻进回次填写，描述地下水、钻进过程中的异常情况；
 - c) 工程勘探班报表和钻孔地质编录表记录应及时、详细、准确；
 - d) 工程地质勘探班报表和钻孔地质编录表可参见附录 B。
- 5.4.7 钻孔应及时回填封孔，隧道洞身钻孔采用水泥砂浆封孔。
- 5.4.8 应拍摄并留存机台场景照片、开孔照片、终孔照片、全孔彩色岩土芯照片。
- 5.4.9 高边坡、特大桥、特长隧道、地质情况复杂的工点以及不良地质路段，宜选择代表性钻孔采集的岩土芯装箱保存。
- 5.4.10 钻探提供的成果资料应包括现场原始记录、钻孔柱状图和照片等。

5.5 挖探及简易勘探

- 5.5.1 挖探及简易勘探孔的定位，可采用仪器法或半仪器法测量放点。
- 5.5.2 探槽、探坑的深度不宜超过地下水位深度。
- 5.5.3 探井和硐探的深度、长度和断面尺寸等应根据工程地质勘探的目的和要求确定。
- 5.5.4 洛阳铲、螺纹钻采取土芯应按深度从上到下、从左到右顺序排列标示。
- 5.5.5 挖探及简易勘探提供的成果资料应包括文字说明、断面图、展示图、照片等。

5.6 原位测试

- 5.6.1 原位测试方法可根据勘察目的、岩土条件及测试方法的适用性等按表 24 选用。

表24 原位测试常用方法适用范围一览表

测试方法	适用的岩土类别							取得岩土参数				
	岩石	碎石土	砂土	粉土	黏性土	软土	填土	剖面分层	物理状态	强度参数	承载力	液化判别
载荷板试验（PLT）	△	○	○	○	○	○	○	/	/	△	○	/
现场直剪试验（FDST）	○	○	◇	△	△	◇	◇	/	/	○	/	/
十字板剪切试验（VST）	/	/	/	△	△	○	/	/	/	○	△	/
标准贯入试验（SPT）	/	/	○	△	△	◇	◇	△	△	/	△	○
圆锥动力触探试验（DPT）	/	○	○	△	△	◇	△	△	◇	/	△	/
静力触探（CPT）	/	/	△	○	○	○	△	○	△	△	△	○
旁压试验	/	/	○	△	△	△	△	/	/	△	△	/
挤扩试验 ^[1]	/	/	○	△	○	○	△	/	/	△	○	/
扁铲侧胀试验	/	/	△	△	△	○	/	△	△	△	△	/
地应力测试	△	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
^[1] 挤扩试验可见资料性附录C。 ○—很适用；△—适用；◇—较适用；/—不适用。												

5.6.2 原位测试应符合《公路工程地质原位测试规程》（JTG 3223）的要求。

5.6.3 缺乏使用经验的地区，原位测试应与其他勘探方法相结合。

5.6.4 原位测试应提供现场原始记录、原位测试曲线图表等。

5.7 室内试验

5.7.1 室内试验应根据工程地质勘察的目的和要求选择土工试验、岩石试验、岩土矿物分析、水质分析等试验项目和试验方法。

5.7.2 粉土、黏性土应测定的分类指标和物理力学性质指标：

- a) 基本物理力学性质试验：含水率、天然密度、比重、孔隙比、饱和度、界限含水率、抗剪强度、压缩系数、压缩模量、渗透系数（需要时进行）、颗粒分析（需要时进行）等；
- b) 高液限土，应测试其自由膨胀率和标准吸湿含水率；
- c) 珠江三角洲等地区软土，应选取部分土样加做高压固结试验，提供 $e-\lg p$ 曲线，确定先期固结压力、次固结系数，并进行不排水抗剪试验、三轴剪切试验、有机质含量测试。

5.7.3 膨胀土试验项目应包括基本物理力学性质试验、收缩试验、膨胀力试验、自由膨胀率试验、标准吸湿含水率试验等。

5.7.4 花岗岩风化土及残积土作为填料时，宜先进行颗粒分析试验。初判为非砂土，应加做室内基本物理力学性质试验等。

5.7.5 砂土及碎石土试验项目应包括颗粒分析（筛分法）等。

5.7.6 岩石的试验项目应包括下列内容：

- a) 天然抗压强度试验；
- b) 硬质岩应加做饱和抗压强度试验，软质岩宜选部分做饱和抗压强度试验；
- c) 碎块状岩石样可做点荷载试验；
- d) 对肉眼不能辨认岩石名称的，应加做岩矿鉴定试验。

5.7.7 水样和土样的腐蚀性分析试验项目应符合《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）的要求。

5.7.8 天然筑路材料的砂、土和石料的料场试验项目应符合《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）的要求。

5.7.9 工程地质勘察样品应及时送实验室。

6 水文地质勘察

6.1 一般规定

6.1.1 水文地质勘察应结合工程地质勘察进行，并与勘察阶段相适应。

6.1.2 水文地质勘察应充分收集和研究既有水文地质资料，采用水文地质调绘、物探、钻探、试验等相结合的方法进行；勘察的内容和工作量应根据水文地质条件复杂程度、工程规模、勘察阶段和已有工作的深度综合确定。

6.1.3 下列情况宜进行专项水文地质勘察工作：

- a) 水文地质条件特别复杂的高路堤、陡坡路堤、深路堑、特大桥梁、长隧道、特长隧道等重点构筑物区；
- b) 水文地质条件可能对工程建设方案或造价有较大影响；
- c) 施工过程中水文地质条件明显变化并引起相应工程设计方案重大调整；
- d) 工程运行期间出现严重水文地质问题时。

6.1.4 水文地质勘察成果可作为工程地质勘察报告中的水文地质相关内容提供，水文地质图表宜

与工程地质图表合并。
6.1.5 专项水文地质勘察应单独提供水文地质勘察报告。

6.2 水文地质条件

6.2.1 水文地质单元类型可按表 25 划分，水文地质条件复杂程度可按表 26 划分。

表25 水文地质单元类型

类型		分布地区
孔隙水	山间河谷型	狭长山间河谷地区
	傍河型	具有长水头河流的傍河冲积平原区
	冲洪积扇型	山前冲积、洪积倾斜平原及山间盆地冲积、洪积扇地区
	冲积、湖积平原型	冲积、湖积平原至滨海平原之间的宽阔平原及盆地地区
	滨海平原型	滨海平原地区
	河口三角洲型	河流入海口及内陆湖口三角洲地区
岩溶水	裸露岩溶型	可溶岩大面积出露或局部出露地区
	浅覆盖岩溶型	可溶岩地层土层覆盖厚度≤30 m 的地区
	深覆盖岩溶型	可溶岩地层土层覆盖厚度>30 m 的地区
	埋藏岩溶型	覆盖层为非可溶岩，地表水和地下水连接不密切地区
裂隙水	红层孔隙裂隙型	主要指以红色为主的薄层泥岩、泥质胶结的砂岩、砾岩分布区
	碎屑岩孔隙裂隙型	主要指以钙质、铁质胶结的砂岩、页岩为主的地层分布区
	玄武岩裂隙孔洞型	主要指新生代玄武岩分布区
	块状岩石裂隙型	主要指岩浆岩、片麻岩、混合岩分布区及其风化带、接触带和断裂带

表26 水文地质条件复杂程度

类型	复杂程度	水文地质特征
孔隙水	简单	浅埋的单、双层含水层，厚度比较稳定，补给、径流、排泄条件清楚，水质较好
	中等	双层或多层含水层，岩性、厚度不很稳定，地下水形成条件较复杂，补给和边界条件不易查清，水质比较复杂
	复杂	埋藏较深的多层含水层，岩性和厚度变化较大；含水层不稳定，其规模、补给和边界难以判定，水质复杂
岩溶水	简单	地质构造简单，可溶岩裸露或半裸露，岩溶发育比较均匀，补给、径流、排泄条件简单
	中等	地质构造比较复杂，可溶岩埋藏较浅（一般小于 30 m），岩溶发育不均匀，补给边界条件较复杂
	复杂	地质构造复杂，可溶岩埋藏较深，岩溶发育极不均匀，补给、径流、排泄条件及边界难以判定
裂隙水	简单	地形地貌简单，岩层水平或倾角很缓，岩性稳定均一，含水层比较稳定，补给、径流、排泄条件好及水质较好，一般多为层间水（潜水或承压水）或强烈风化带潜水
	中等	地形地貌较复杂，岩相岩性不稳定，地质构造、补给条件及水质比较复杂，一般为深埋的断续分布的多层层间承压水或断裂带脉状水
	复杂	地形地貌复杂，岩相变化极大，地质构造复杂，含水层分布极不均匀，一般为构造裂隙水或断裂带脉状水

6.3 水文地质调绘

6.3.1 水文地质调绘应与水文地质单元、工程设置相结合，为线路方案比选、场地选址以及勘探、测试工作量的拟定等提供依据。

6.3.2 水文地质调绘应重点收集以下资料：

- a) 气象资料，包括年降水量、降水天数、地表水的蒸发量、年平均气温等；
- b) 水文资料，包括水文分布图、地表径流深度图、地下水径流模数等；
- c) 地质资料，包括地形测量图、区域工程地质图、区域水文地质图等；
- d) 设计资料，包括地形图、路线方案设计图等；
- e) 既有工程相关资料。

6.3.3 水文地质调绘应在分析研究既有水文地质资料的基础上进行，并应包括下列内容：

- a) 调查各地貌单元的界线，分析地形地貌和植被与地下水，划分工程区含水层平面分布范围和山脊分水岭圈闭区域；
- b) 调查地层岩性的成因、类型、分布、时代、层序、接触关系，划分含水岩组和水文地质单元类型；
- c) 调查地质构造的类型、分布、规模、产状等，查明地下水的赋存情况，确定富水段的位置；
- d) 调查地表河流、湖泊、水库等水位流量及渗漏情况，测定雨季及枯水季沟溪流量；
- e) 调查泉、井的地质构造成因、补给条件、流量、水位、水质、水温、气体及沉淀物性质，测定地下水流向流速。

6.4 水文地质物探

6.4.1 选用水文地质物探方法时，被探测体应具备下列基本条件：

- a) 地下含水构造与周围介质之间具有明显的物性差异；
- b) 地下含水构造具有一定的规模；
- c) 地下含水构造所引起的异常值，在干扰背景中有足够的显示，欲探测的含水构造能被识别，干扰信号能予消除；
- d) 地形条件满足野外作业和资料解译的需要，其影响能利用现有手段进行修正。

6.4.2 水文地质物探测线应根据被探测目标体合理布设，水文地质条件复杂时宜加密测线。

6.4.3 水文地质物探成果应结合地形地貌、地层岩性、地质构造、水系的分布、汇水条件等进行综合解译，宜对异常区提出进一步工作的建议方案。

6.5 水文地质钻探

6.5.1 水文地质钻探应在调绘和物探工作的基础上进行布置，并满足开展水文地质观测、试验及取样要求。

6.5.2 水文地质钻探宜结合工程地质钻探进行。

6.5.3 水文地质钻孔的布设应选择在典型物探低阻异常带，沟谷低洼处、地下水密集出露处，褶皱轴部、断裂构造破碎带、岩脉发育带、裂隙密集带及不同含水岩组接触带等具有代表性和典型性的水文地质地段。

6.5.4 钻探过程中，应开展下列工作：

- a) 对水位和钻进过程进行观测记录；
- b) 对岩芯进行水文地质编录，编录的内容应包括名称、颜色、结构、矿物成分、风化程度、岩芯的破碎情况、岩芯采取率，层理、岩层倾角，结构面的类型、结合程度和发育程度，断层擦痕、断层泥及其充填物，岩溶的发育程度、充填情况和充填物等；

c) 进行水文地质试验、综合测井和采取水样等工作。

6.6 水文地质试验

6.6.1 水文地质试验宜包括抽水试验、压水试验、注水试验、连通试验、提水试验等。试验方法应根据工程建设需要、水文地质条件、场地条件等因素综合确定。

6.6.2 对工程建设有重大影响的松散含水层，应进行抽水试验或注水试验，初步勘察不宜少于1组，详细勘察宜为1~3组。

6.6.3 隧道水文地质试验方法应根据隧道的水文地质条件、试验目的等因素综合确定，并符合下列规定：

- a) 当地下水埋藏较浅，隧道位于地下水位以下，分布强透水岩性段或导水构造通道时，宜开展抽水试验；
- b) 当地下水埋藏较深，抽水试验有困难或无地下水，且隧道不同深度岩性段具备栓塞隔离条件时，宜开展压水试验；
- c) 当地下水埋藏较深，抽水试验有困难或无地下水，且隧道不同深度岩性段不具备栓塞隔离条件时，宜开展注水试验；
- d) 当地下水埋藏浅、钻孔不深，含水岩性段透水性较差时，宜开展提水试验。

6.6.4 水文地质试验时，应采取代表性水样进行水质化验。抽水试验和提水试验时，在试验临近结束前采样；压水试验和注水试验时，在洗清钻孔后、试验开始前采样。

7 可行性研究勘察

7.1 预可勘察

7.1.1 预可勘察应了解公路建设项目所处区域的工程地质条件及存在的工程地质问题，为编制预可行性研究报告提供工程地质资料。

7.1.2 预可勘察应充分收集区域地质、地震、气象、水文、采矿、灾害防治与评估等资料，采用资料分析、遥感工程地质解译、现场踏勘调查等方法，对各路线走廊带或通道的工程地质条件进行研究，完成下列各项工作内容：

- a) 了解各路线走廊带或通道的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、地震动参数、不良地质和特殊性岩土的类型、分布范围、发育规律；
- b) 了解当地建筑材料的分布状况和采购运输条件；
- c) 评估各路线走廊带或通道的工程地质条件及主要工程地质问题；
- d) 编制预可行性研究阶段工程地质勘察报告。

7.1.3 遥感解译及踏勘调查应沿拟定的路线及其两侧的带状范围进行，工程地质调查的比例尺为1:50 000~1:100 000，调查宽度应满足路线走廊及通道方案比选的需要。

7.1.4 跨江、海、湖的独立公路工程项目应进行工程地质勘探，并符合下列要求：

- a) 应通过资料分析、遥感工程地质解译、现场踏勘调查等明确勘探的重点及可能存在的问题；
- b) 应沿拟定的通道布设纵向物探断面，数量不宜少于2条；当存在可能影响工程方案的区域性活动断裂等重大地质问题时，应根据实际情况增加物探断面的数量；
- c) 区域性断裂异常点、桥梁深水基础、水下隧道，应进行钻探。

7.2 工可勘察

7.2.1 工可勘察应初步查明公路沿线的工程地质条件和对公路建设规模有影响的工程地质问题，为编

制工程可行性研究报告提供工程地质资料。

7.2.2 工可勘察应以资料收集和工程地质调绘为主，辅以必要的勘探手段，对项目建设各工程方案的工程地质条件进行研究，完成下列各项工作内容：

- a) 了解各路线走廊或通道的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、地震动参数、不良地质和特殊性岩土的类型、分布及发育规律；
- b) 初步查明沿线水库、矿区的分布情况及其与路线的关系；
- c) 初步查明控制路线及工程方案的不良地质和特殊性岩土的类型、性质、分布范围及发育规律；
- d) 初步查明技术复杂大桥桥位的地层岩性、地质构造、河床及岸坡的稳定性、不良地质和特殊性岩土的类型、性质、分布范围及发育规律；
- e) 初步查明长隧道、特长隧道的地层岩性、地质构造、水文地质条件、围岩分级、进出口地带斜坡的稳定性、不良地质和特殊性岩土的类型、性质、分布范围及发育规律；
- f) 对控制路线方案的越岭地段、区域性断裂通过的峡谷、区域性储水构造，初步查明其地层岩性、地质构造、水文地质条件及潜在不良地质的类型、规模、发育条件；
- g) 初步查明筑路材料的分布、开采、运输条件以及工程用水的水质、水源情况；
- h) 评价各路线走廊或通道的工程地质条件，分析存在的工程地质问题；
- i) 编制工程可行性研究阶段工程地质勘察报告。

7.2.3 工程地质调绘应符合下列规定：

- a) 应对区域地质、水文地质以及当地采矿资料等进行复核，区域地层界线、断层线、不良地质和特殊性岩土发育地带、地下水排泄区等应进行实地踏勘，并做好复核记录；
- b) 工程地质调绘比例尺为 1:10 000~1:50 000，范围应包括各路线走廊或通道所处的带状区域。

7.2.4 遇下列情况，仅通过资料收集、工程地质调绘不能初步查明其工程地质条件时，应进行工程地质勘探、测试和必要的专项地质研究：

- a) 控制路线及工程方案的不良地质和特殊性岩土路段；
- b) 地质条件较复杂、复杂的特大桥、特长隧道、水下隧道等控制性工程；
- c) 控制路线方案的越岭路段、区域性断裂通过的峡谷、区域性储水构造。

7.2.5 跨江、跨海、跨湖的技术复杂大桥和隧道工程应进行工程地质勘探测试，并应符合下列规定：

- a) 应沿桥、隧轴线及其两侧布置物探测线，数量宜为 1~3 条，其间距宜为 200 m~500 m；有区域性断裂等不良地质发育时，应增加物探测线数量；
- b) 应沿拟定的桥轴线布置钻孔，其间距宜为 500 m~1 000 m，钻孔深度宜为 60 m~80 m；斜拉桥、悬索桥等技术复杂大桥的塔基、锚定基础应布置钻孔，每处钻孔数量不宜少于 2 个，钻孔深度宜为 80 m~120 m；遇软土、岩溶、区域性断裂等特殊岩土或不良地质时，应增加钻孔数量，并适当加深钻孔；
- c) 应沿拟定的隧道轴线布置钻孔，其间距应符合表 27 的规定，钻孔钻入河床、海床、湖床以下的深度不宜小于 60 m；
- d) 人工岛应布置钻孔，其数量不宜少于 2 个，钻孔深度不宜小于 40 m，遇软土时，应穿过软土层至下伏坚硬土层内不小于 3.0 m；
- e) 沉管预制场的坞区、预制厂应布置钻孔，其数量每处不宜少于 2 个，钻孔深度不宜小于 40 m。
- f) 钻探取样和测试应符合本文件 8 的要求。

表27 水下隧道钻孔间距（m）

工程类型	工程地质条件简单	工程地质条件较复杂	工程地质条件复杂
钻爆隧道	800~1000	600~800	400~600
盾构隧道	600~800	400~600	300~400
沉管隧道	400~600	300~500	200~300
明挖堰筑隧道	300~500	200~300	150~200

8 初步勘察

8.1 一般规定

- 8.1.1 初步勘察应基本查明公路沿线及各类构筑物建设场地的工程地质条件，为工程方案比选及初步设计文件编制提供工程地质资料。
- 8.1.2 初步勘察应与路线和各类构筑物的方案设计相结合，根据现场地形地质条件，采用工程地质调绘、物探、钻探、挖探、简易勘探、原位测试、室内试验等相结合的综合勘察方法，对路线及各类构筑物工程建设场地的工程地质条件进行勘察。
- 8.1.3 初步勘察应对工程项目建设可能诱发的地质灾害和环境工程地质问题进行分析、预测，评估其对公路工程和环境的影响。
- 8.1.4 初步勘察工作量布置的示例见附录 D 的表 D.1。勘探断面上的地形、地质调绘点、地下水出露点、勘探测试点等应实测。
- 8.1.5 勘探采集的岩心、岩样，应做好现场地质编录。岩层的地质描述应符合本文件 4.3.10、4.3.11 的要求；土层的地质描述应符合本文件 4.4.13 的要求，并确保勘探基础资料的真实、完整性。

8.2 路线

- 8.2.1 路线初勘应以工程地质调绘为主，勘探测试为辅，基本查明下列内容：
- a) 地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件；
 - b) 不良地质和特殊性岩土成因、类型、性质和分布范围；
 - c) 区域性断裂、活动性断层、区域性储水构造、水库及河流等地表水体、可供开采和利用的矿体的发育情况；
 - d) 斜坡或挖方路段的地质结构，有无控制边坡稳定的外倾结构面，工程项目实施有无诱发或加剧不良地质可能性；
 - e) 陡坡路堤、高填路段的地质结构，有无影响基底稳定的软弱地层；
 - f) 大桥及特大桥、长隧道及特长隧道等控制性工程通过地段的工程地质条件。
- 8.2.2 线路工程地质调绘应符合下列规定：
- a) 比例尺宜为 1:2 000~1:10 000，应结合路线方案研究、主要工程地质问题、地质条件的复杂程度选用；
 - b) 应沿路线及其两侧的带状范围进行，调绘宽度沿路线左右两侧的距离各不宜小于 200 m；当存在影响工程方案的区域性蓄水构造、区域性断裂以及不良地质或特殊性岩土时，应适当扩大调绘范围。
- 8.2.3 线路工程地质勘探、测试应符合下列规定：
- a) 隐伏于覆盖层下的地层接触线、断层、软土等对填图质量或工程设置有影响的地质界线、地质体，应辅以钻探、挖探、物探等予以探明；
 - b) 特殊性岩土应选取代表性试样测试其工程地质性质。

8.2.4 对路线方案有较大影响的不良地质现象，应重点布置勘察工作，查明其性质、范围及规模等，明确其对路线方案的影响程度。当路线走廊带存在无法避让的重大不良地质现象时，宜在初勘阶段开展专题研究工作。

8.2.5 路线方案进行同深度比选时，应进行同深度勘察。

8.3 一般路基

8.3.1 一般路基初勘应根据现场地形地质条件，结合路线填挖设计，划分工程地质区段，分段基本查明下列内容：

- a) 地形地貌的成因、类型、分布、形态特征和地表植被情况；
- b) 地层岩性、地质构造、岩石风化程度、边坡岩体类型和结构类型；
- c) 层理、节理、断裂、软弱夹层等结构面的产状、规模、倾向路基情况；
- d) 覆盖层厚度、土质类型、密实度、含水状态和物理力学性质；
- e) 不良地质和特殊性岩土分布范围、性质；
- f) 地下水和地表水发育情况及腐蚀性。

8.3.2 一般路基工程地质调绘可与路线工程地质调绘一并进行；工程地质条件较复杂或复杂，填挖变化较大的路段，宜进行 1:2000 工程地质调绘。调绘范围沿拟定的路线中心线左右两侧各不应小于 200 m。工程地质条件较复杂或复杂，线外发育有滑坡、崩塌等不良地质体时，应适当扩大调绘范围。

8.3.3 一般路基工程地质勘探、测试应符合下列规定：

- a) 应以钻探和挖探为主；
- b) 勘探点宜沿路基中线布设，每个地貌地质单元的勘探点数量不应少于 1 个，其平均间距宜为 100 m~300 m；
- c) 对路基软土分布路段、稻田区、鱼塘等地质复杂段，应加密勘探点；
- d) 浅层地质勘探可采用挖探、螺旋钻，当深部地质情况需进一步探明时，可采用静力触探、钻探、物探等进行综合勘探；
- e) 钻孔深度宜为 12m~15m，并进入稳定持力层 3 m~5 m；
- f) 勘探应分层取样；粉土、黏性土应取原状样，取样间距宜为 1 m~2 m；砂土、碎石土可取扰动样，取样间距宜为 1 m~2 m；取样后应做动力触探试验，判明土的状态、密实度；
- g) 地下水发育时，应量测地下水的初见水位和稳定水位；
- h) 室内测试项目应符合本文件 5.7 的要求；
- i) 特殊性岩土应选取代表性试样测试其工程地质性质。

8.4 高路堤

8.4.1 填土高度大于 12 m，或填土高度虽未达到 12 m 但基底有软弱地层发育，填筑的路堤有可能失稳、产生过量沉降及不均匀沉降时，应按高路堤进行勘察。

8.4.2 高路堤勘察应基本查明下列内容：

- a) 高填路段的地貌类型、地形起伏变化情况及横向坡度；
- b) 地基土层结构、厚度、状态、密实度及软弱地层发育情况；
- c) 基岩的埋深和起伏变化情况；
- d) 岩层产状、岩石风化程度和岩体节理发育程度；
- e) 地表水和地下水的类型、埋深、分布和水质；
- f) 地基岩土的物理力学性质和地基承载力，特别是地基土的天然状态、饱和状态下的抗剪强度；
- g) 基底的稳定性；临近河流的路堤应重点评价基底在河流冲刷及水位变化时的稳定性。

8.4.3 高路堤应沿拟定的线位及其两侧的带状范围进行 1:2000 工程地质调绘，调绘范围沿拟定的路

线中心线左右两侧各不应小于两倍路堤基底宽度，斜坡地带下边坡宜调查到坡脚位置。分布软土等特殊岩土或地表水体发育时，应适当扩大调绘范围。

8.4.4 高路堤工程地质勘探、测试应符合下列规定：

- a) 每段高路堤应布置勘探横断面，其数量不应少于 1 条，间距宜为 100 m~300 m，视地质条件复杂程度选用；当位于沟谷内时，勘探断面应沿沟谷方向布设；
- b) 每条横断面上勘探点的数量不宜少于 2 个，其中钻孔不应少于 1 个；
- c) 勘探深度应满足沉降及稳定性计算的要求，且应至持力层以下 3 m~5 m；
- d) 粉土、黏性土应取原状样，在 10 m 深度以上，取样间距宜为 1.0 m；10 m 深度以下，取样间距宜为 1.5 m，变层应取样；砂土、碎石土可取扰动样，取样间距宜为 2.0 m，变层应取样；层厚大于 5 m 的同一土层，可在上、中、下取样；取样后应做动力触探试验；
- e) 有地下水发育时，应量测地下水的初见水位和稳定水位，采集水样做水质分析；
- f) 室内测试项应符合本文件 5.7 的要求；土样宜进行天然和饱和抗剪强度试验、渗透试验。

8.5 陡坡路堤

8.5.1 地面斜坡陡于 1: 2.5，或坡率虽未陡于 1: 2.5 但路堤有可能沿斜坡产生横向滑移时，应按陡坡路堤进行勘察。

8.5.2 陡坡路堤勘察应基本查明下列内容：

- a) 陡坡路段的地形地貌、地面横向坡度及变化情况；
- b) 覆盖层的厚度、土质类型、地层结构、密实程度和胶结状况；
- c) 覆盖层下伏基岩面的横向坡度和起伏形态；
- d) 陡坡路段的地质构造、层理、节理、软弱夹层等结构面的产状；
- e) 岩石风化程度和边坡岩体的结构类型；
- f) 地下水的水位、地表水和地下水发育情况；
- g) 岩、土的物理力学性质及其抗剪强度参数，特别是地基土饱和状态下的抗剪强度；
- h) 陡坡路堤沿基底滑动面或潜在滑动面产生滑动的可能性，红层地区泥质粉砂岩、残坡积土、风化土等地层滑动的可能性；
- i) 临近河流的路堤应重点评价基底在河流冲刷及水位变化时的稳定性。

8.5.3 陡坡路堤应沿拟定的线位及其两侧的带状范围进行 1: 2000 工程地质调绘，调绘范围沿拟定的路线中心线左右两侧各不应小于两倍路堤基底宽度，下边坡宜调查至坡脚位置。有滑坡、崩塌等不良地质发育时，应适当扩大调绘范围。

8.5.4 陡坡路堤工程地质勘探、测试应符合下列规定：

- a) 每段陡坡路堤应布置勘探横断面，其数量不应少于 1 条，间距宜为 100 m~300 m，视地质条件复杂程度选用；当位于沟谷内时，勘探断面应沿沟谷方向布设；
- b) 每条横断面上勘探点的数量不宜少于 2 个，其中钻孔不应少于 1 个；
- c) 勘探深度应至持力层或稳定的基岩面以下 3 m；
- d) 勘探应采取岩土试样，取样、测试要求应符合本文件 8.4.4 的要求；
- e) 有地下水发育时，应量测地下水的初见水位和稳定水位，采取水样做水质分析；
- f) 室内测试项目应符合本文件 5.7 的要求；土样宜进行天然和饱和抗剪强度试验、渗透试验。

8.6 深路堑

8.6.1 土质边坡垂直挖方高度超过 20 m，岩质边坡垂直挖方高度超过 30 m，或挖方边坡需特殊设计时，应按深路堑进行勘察。

8.6.2 深路堑勘察应基本查明以下内容：

- a) 挖方路段的地貌类型、地形起伏变化情况及横向坡度、斜坡的自然稳定状况;
- b) 覆盖层厚度、土质类型、地层结构、含水状态、胶结程度和密实度;
- c) 覆盖层与基岩接触面的形态特征及起伏变化情况;
- d) 基岩的岩性及其组合、岩体的完整性及边坡岩体的结构类型、岩石风化程度;
- e) 层理、节理、断层、软弱夹层等结构面的产状、规模及其倾向路基的情况;
- f) 岩、土的物理力学性质,控制边坡稳定的结构面的抗剪强度及深路堑边坡的稳定性;
- g) 地下水的水位、出露位置、流量、动态特征及对边坡稳定的影响;
- h) 地表水的类型、分布、径流及对边坡稳定性的影响;
- i) 管线、电塔等的分布情况。

8.6.3 深路堑应进行 1:2000 工程地质调绘,调绘宽度应结合公路构筑物的影响范围确定,调绘宽度不宜小于边坡高度的三倍,且不应小于 200 m,并应符合下列规定:

- a) 对地质构造复杂、岩体破碎、风化严重、有外倾结构面或堆积层发育、上方汇水区域较大以及地下水发育的边坡,应扩大调绘范围;
- b) 有岩石露头时,岩质边坡路段应进行节理统计,调查边坡岩体类型和结构类型。

8.6.4 深路堑工程地质勘探、测试应符合下列规定:

- a) 每段深路堑应布置勘探横断面,其数量不应少于 1 条,间距宜为 50 m~100 m,视地质条件复杂程度选用;
- b) 每条横断面上勘探点的数量不宜少于 2 个,其中钻孔不应少于 1 个;
- c) 钻孔深度应至路线设计高程以下 5 m~7 m;在路线设计高程以上遇中至微风化基岩,应钻入中风化 5 m~7 m 或微风化 3 m~5 m;遇软弱结构面发育,应穿过软弱结构面进入稳定地层 5 m~7 m;地下水发育路段,应根据排水工程需要确定钻孔深度;
- d) 松散覆盖层或强风化破碎层较厚且开挖后可能对公路工程安全有影响的深路堑、高边坡,宜布置横向物探测线,测线长度应覆盖预计的边坡开挖边界,测线间距不大于 30 m,可采用地震波法、高密度电法、微动等方法;
- e) 基岩出露良好,地质条件清楚,可通过调绘查明深路堑工程地质条件;露头不良地段,可采用声波测井确定岩体的完整性;
- f) 有地下水发育时,应量测地下水的初见水位和稳定水位,取样做水质分析;
- g) 室内测试项目应符合本文件 5.7 的要求;土样宜进行天然和饱和抗剪强度试验、渗透试验;若土样具膨胀性或者为基岩风化土,宜选部分样品加做矿物成分分析。

8.7 支挡工程

8.7.1 支挡工程勘察应基本查明下列内容:

- a) 支挡工程位置的地形地貌特征、斜坡坡度和自然稳定状况;
- b) 支挡工程位置覆盖层的厚度、土质类型、状态和密实度;
- c) 基岩的埋深、岩性、岩石的风化程度、岩体的完整性和边坡岩体结构类型;
- d) 支挡工程地基的地层结构、岩土物理力学指标;
- e) 地表水和地下水的类型、分布及其对边坡稳定的影响;
- f) 其他不良地质和特殊性岩土的开发情况;
- g) 支挡工程地基的承载力和锚固条件。

8.7.2 支挡路段应进行 1:2000 工程地质调绘,调绘范围宜包括支挡工程和可能产生变形失稳的岩土体以外不应小于 50 m 的区域;基岩出露处应进行节理调查统计。

8.7.3 支挡工程地质勘探、测试应符合下列规定:

- a) 应根据支挡地段的地形地质条件、支挡工程的类型、规模等确定勘探测试点的数量和位置;

- b) 挡土墙承重部位应布置勘探点, 勘探点的数量不得少于 1 个, 作代表性勘探; 工程地质条件较复杂或复杂时, 应增加勘探点的数量, 并宜结合物探进行综合勘探; 勘探深度宜为 20 m, 且应达持力层以下的稳定地层中不应小于 6 m; 在此深度范围内遇基岩, 钻孔至基岩中的深度不宜小于 3 m;
- c) 桩基设置部位应布置勘探点, 工程地质条件简单时, 钻孔不得少于 1 个, 作代表性勘探; 工程地质条件较复杂或复杂时, 勘探点的数量和间距应满足工程方案研究的需要; 物探测线应沿桩基设置轴线布置, 钻孔至潜在滑动面以下的深度: 土层不应小于桩基设置部位滑体厚度的 1 倍, 岩层不应小于桩基设置部位滑体厚度的 1/3 倍;
- d) 锚杆(索)设置部位应布置勘探点, 工程地质条件简单时, 钻孔不应少于 1 个, 作代表性勘探; 工程地质条件较复杂或复杂时, 应选取代表性位置布置勘探横断面, 每条勘探断面上探坑、钻孔的数量不应少于 2 个, 钻孔钻入稳定岩层中的深度不应小于 6 m, 钻入稳定土层中的深度不应小于 10 m;
- e) 有地下水发育时, 应量测地下水的初见水位和稳定水位; 必要时, 应结合支挡工程排水设计, 做抽水试验, 取样做水质分析, 评价地下水的涌水量及地下水的腐蚀性;
- f) 挖探、钻探应分层采取岩土试样, 测试项目应符合本文件 5.7 的要求。

8.8 桥梁

8.8.1 桥梁初勘应根据现场地形地质条件, 结合拟定的桥型、桥跨、基础形式和桥梁的建设规模等确定勘察方案, 基本查明下列内容:

- a) 地貌的成因、类型、形态特征、河流及沟谷岸坡的稳定状况和地震动参数;
- b) 褶皱的类型、规模、形态特征、产状及其与桥位的关系;
- c) 断裂的类型、分布、规模、产状、活动性, 破碎带宽度、物质组成及胶结程度;
- d) 覆盖层的厚度、土质类型、分布范围、地层结构、状态、密实度;
- e) 基岩的埋深、起伏形态, 地层及其岩性组合, 岩石风化程度及节理发育程度;
- f) 地基岩土的物理力学性质及承载力;
- g) 特殊性岩土和不良地质的类型、分布及性质;
- h) 地下水的类型、分布、水质和环境水的腐蚀性;
- i) 水下地形的起伏形态、冲刷和淤积情况以及河床的稳定性;
- j) 基坑开挖对周围环境可能产生的不利影响。

8.8.2 根据地质条件选择桥位应符合下列原则:

- a) 桥位宜选择在河道顺直、岸坡稳定、地质构造简单、基底地质条件良好的地段;
- b) 桥位应避开区域性断裂及活动性断裂; 无法避开时, 宜垂直断裂构造线走向, 以最短的距离通过;
- c) 桥位宜避开岩溶、滑坡、危岩等不良地质及软土、膨胀性岩土等特殊岩土发育的地带。

8.8.3 桥梁工程地质调绘应符合下列规定:

- a) 跨江、海大桥及特大桥应进行 1: 10 000 区域工程地质调绘, 调绘的范围应包括桥轴线、引线及两侧各不应小于 1 000 m 的带状区域; 存在可能影响桥位或工程方案比选的隐伏活动性断裂及岩溶、泥石流等不良地质时, 应根据实际情况确定调绘范围, 并辅以必要的物探等方法探明;
- b) 工程地质条件较复杂或复杂的桥位应进行 1: 2 000 工程地质调绘, 调绘的宽度沿路线两侧各不宜小于 100 m, 斜坡地带应扩大调查范围; 当桥位附近存在岩溶、泥石流、滑坡、危岩、崩塌等可能危及桥梁安全的不良地质时, 应根据实际情况确定调绘范围;
- c) 工程地质条件简单的桥位, 可仅对路线工程地质调绘资料进行复核, 不进行 1: 2 000 工程地质调绘;

d) 基岩出露处应进行节理调查统计。

8.8.4 桥梁工程地质勘探、测试应符合下列规定：

- a) 桥梁初勘应以钻探、原位测试为主，遇有下列情况时，应结合物探、挖探等进行综合勘探：
- 1) 桥位有隐伏的断裂、活动断裂、岩溶、土洞、采空区、沼气层等不良地质发育；
 - 2) 基岩面或桩端持力层起伏变化较大，用钻探资料难以判明；
 - 3) 水下地形的起伏与变化情况需探明；
 - 4) 控制斜坡稳定的卸荷裂隙、软弱夹层等结构面用钻探难以探明。
- b) 勘探测试点的布置应符合下列规定：
- 1) 勘探测试点应结合桥跨组合、桥梁的墩台位置和地貌地质单元沿桥梁轴线或在其两侧交错布置，数量和深度应控制地层、断裂等重要的地质界线和桥位工程地质条件；
 - 2) 小桥不应少于 1 孔；中桥、大桥和特大桥钻孔数量可按表 28 确定，特大桥平均孔距不宜大于 200 m~300 m；跨径 >150 m 桥梁主墩每墩不应少于 2 孔；大跨桥梁基础、锚碇基础及深基坑，其钻孔数量应根据实际地质情况及基础工程方案确定；
 - 3) 基础施工有可能诱发滑坡等地质灾害的边坡，应结合桥梁墩台布置和边坡稳定性分析进行勘探；
 - 4) 当桥位基岩裸露、岩体完整、岩质新鲜、无不良地质发育时，可不布置钻孔，仅通过工程地质调绘基本查明工程地质条件；
 - 5) 地质条件复杂的桥位宜布置物探测线；物探纵向测线宜沿桥轴线布置，数量宜为 1~3 条；物探可在方法试验的基础上选用地震、浅地层剖面、高密度电法、地震反射波、管波等。

表28 桥位钻孔数量表

桥梁类型	工程地质条件简单	工程地质条件较复杂或复杂
中桥	2~3	3~4
大桥	3~5	5~7
特大桥	≥5	≥7

c) 勘探深度宜符合下列规定：

- 1) 跨径 ≤20 m，有效深度 40 m，在此深度内遇微风化基岩分布的钻孔，钻入连续的微风化基岩硬质岩 3 m、软质岩 5 m；在此深度内遇中风化基岩分布的钻孔，钻进连续的中风化基岩硬质岩（含微风化夹层）6 m、软质岩（含微风化夹层）10 m；
- 2) 跨径 20 m~30 m（含 30 m，下同），有效深度 45 m~50 m，在此深度内遇微风化基岩分布的钻孔，钻入连续的微风化基岩硬质岩 5 m、软质岩 8 m；在此深度内遇中风化基岩分布的钻孔，钻进连续的中风化基岩硬质岩（微风化夹层）7 m、软质岩（含微风化夹层）12 m；
- 3) 跨径 30 m~40 m，有效深度 50 m~55 m，在此深度内遇微风化基岩分布的钻孔，钻入连续的微风化基岩硬质岩 7 m、软质岩 10 m；在此深度内遇中风化基岩分布的钻孔，钻进连续的中风化基岩硬质岩（含微风化夹层）10 m、软质岩（含微风化夹层）15 m；
- 4) 跨径 40 m~50 m，有效深度 55 m~65 m，在此深度内遇微风化基岩分布的钻孔，钻入连续的微风化基岩硬质岩 7 m~10 m、软质岩 10 m~12 m；在此深度内遇中风化基岩分布的钻孔，钻进连续的中风化基岩硬质岩（含微风化夹层）10 m~12 m、软质岩（含微风化夹层）15 m~18 m；
- 5) 桥跨 >50 m、锚碇基础、深基坑勘探，钻孔深度宜按设计要求专门研究后确定；
- 6) 地层变化复杂，或有软土、填土、岩溶、可液化土等特殊岩土和不良地质发育的桥位，宜加大技术性钻孔深度；

- 7) 遇特殊情况，由地质技术人员与设计人员共同协商确定。
- d) 勘探应采取岩、土、水试样，并符合下列规定：
 - 1) 在粉土、黏性土地层中，每 1.0 m~1.5 m 应取原状样 1 个；土层厚度大于或等于 5.0 m 时，可每 2.0 m 取原状样 1 个；遇土层变化时，应取样；取样后应做动力触探试验；
 - 2) 在砂土和碎石土地层中，应分层采取扰动样，取样间距一般为 1.0 m~3.0 m；遇土层变化时，应取样；取样后应做动力触探试验；
 - 3) 在基岩地层中，应根据岩石风化程度，分层采取代表性岩样；
 - 4) 当需要进行冲刷计算时，应在河床一定深度内取样做颗粒分析试验；
 - 5) 遇有地下水时，应进行水位观测和记录，量测初见水位和稳定水位，并采取水样做水质分析。
- e) 应根据地基岩土类型、性质和桥梁的基础形式选择岩土试验项目和原位测试方法，并符合下列规定：
 - 1) 有成熟经验的地区，可采用静力触探与钻探结合进行综合勘探；
 - 2) 室内测试项目应符合本文件 5.7 的要求；
 - 3) 钻探取芯、取样困难的钻孔，可采用孔内电视、物探综合测井等与钻探结合进行综合勘探；
 - 4) 遇有害气体时，应取样测试；
 - 5) 斜拉桥、悬索桥等技术复杂大桥的塔基、锚定基础，应结合工程场地的水文地质条件进行必要的水文地质试验，测定含水层的渗透系数等水文地质参数，满足水文地质评价的要求。

8.9 涵洞及通道

- 8.9.1 涵洞及通道初勘应基本查明以下内容：
 - a) 地形地貌、地层岩性和地质构造特征；
 - b) 覆盖层的成因、土质类型、厚度、地层结构；
 - c) 基岩的岩性、埋深、风化程度及节理发育程度；
 - d) 地基岩土的物理力学性质及承载力；
 - e) 地表水及地下水的类型、分布及其动态变化情况和环境水的腐蚀性；
 - f) 特殊性岩土和不良地质的发育情况。
- 8.9.2 工程地质条件简单时，涵洞及通道工程地质调绘可与路线工程地质调绘一并进行；工程地质条件复杂或较复杂时，应进行 1：2 000 工程地质调绘。当有泥石流等不良地质发育时，应根据实际情况确定调绘范围。
- 8.9.3 涵洞及通道工程地质勘探、测试应符合下列规定：
 - a) 应根据现场地质条件、路基填筑高度等确定勘探测试点的数量和位置；地质条件相同的工点可做代表性勘探；
 - b) 勘探测试可采用挖探、钻探、静力触探等方法；
 - c) 覆盖层的勘探深度可按表 29 确定；有软弱下卧层发育时，勘探深度应穿过软弱下卧层至硬层内不小于 1.0 m；地基持力层为全风化层时，勘探深度应至全风化层内不小于 3 m；
 - d) 探坑（井）、钻孔应分层采取岩土试样，室内测试项目应符合本文件 5.7 的要求；
 - e) 地下水发育时，应量测地下水的初见水位和稳定水位，取水样做水质分析。

表29 涵洞及通道勘探深度表

岩土类别	碎石土	砂土	粉土、黏性土
勘探深度（m）	2~6	3~8	4~10

8.10 隧道

8.10.1 隧道初勘应根据现场地形地质条件，结合隧道的建设规模、标准、工法和方案比选等，确定勘察的范围、内容和重点，应基本查明工程场地的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质等一般工程地质条件，且应基本查明以下内容：

- a) 地震动参数、岩土的物理力学性质以及地基承载力等岩土设计参数；
- b) 地下水的类型、分布、埋深、水位变化幅度、涌水量，地表水及地下水的水质及腐蚀性；
- c) 沉管隧道应包括下列内容：
 - 1) 覆盖层的成因、地层结构、土质类型、分布范围、厚度及其变化情况；
 - 2) 覆盖层下伏基岩的地层年代、成因、岩性及其组合、基岩面的埋深及起伏变化情况、岩石坚硬程度、岩体的完整性、岩石风化程度及风化界面；
 - 3) 活动性断裂、断层及破碎带、节理密集带、侵入蚀变带的分布、规模、物质组成及对工程的影响；
 - 4) 岩溶、塌岸等不良地质的成因、类型、分布及对工程的影响；
 - 5) 软土、可液化土等特殊岩土及有害气体的分布和特性；
 - 6) 沉船，爆炸物，水下油、气及通讯管线，邻近建筑物或构造物的分布情况。
- d) 盾构隧道应包括下列内容：
 - 1) 活动性断裂、断层及破碎带、节理密集带、侵入蚀变带、岩相接触带等的分布、规模、物质组成及其工程性质和水文地质性质；
 - 2) 覆盖层的成因、类型、分布、含水状况、地层结构、土质类型及其工程和水文地质性质，特别是高灵敏度软土层、高塑性黏性土层、强透水松散砂层、含承压水砂层、含漂石(块石)或卵石(碎石)地层、饱和砂层和饱和漂卵石层、软硬不均地层的分布及其颗粒组成、状态或密实度、渗透性，漂石(块石)或卵石(碎石)的最大粒径及曲率系数、不均匀系数、石质强度和坚硬程度、黏粒含量、耐磨矿物成分及含量等；
 - 3) 覆盖层下伏基岩的地层年代、成因、基岩的岩性及其组合、基岩面的埋深及起伏变化情况、岩石的矿物组成、石英等硬质矿物的含量及耐磨性、岩石的坚硬程度、岩石质量指标(RQD)和岩体的完整性、岩石风化程度及风化界面的发育情况等；
 - 4) 岩土的热物理性质设计参数；
 - 5) 岩溶、土洞、人为坑洞、孤石、球状风化体、风化槽、活动断裂、构造破碎带、古河道、流砂、喷涌、地裂缝等不良地质的类型、分布及对工程的影响；
 - 6) 软土、可液化土、膨胀性地层、放射性岩体等特殊岩土的成因、分布和特性以及有害气体的类型、分布和对工程的影响；
 - 7) 对于分布有多层含水层或承压含水层的区段，应查明含水层的渗透性、承压水头高度等水文地质参数；
 - 8) 江、海、湖泊、水库、河流、沟溪等地表水体的分布、水质及腐蚀性；
 - 9) 地下障碍物、管线和建筑(构)物的分布情况。
- e) 钻爆隧道应包括下列内容：
 - 1) 褶皱的类型、规模、形态特征；
 - 2) 断裂的类型、规模、产状，破碎带宽度、物质组成、胶结程度、活动性；
 - 3) 隧道进出口地带的地质结构、自然稳定状况、隧道施工诱发滑坡等地质灾害的可能性；
 - 4) 洞门基底的地质条件、地基岩土的物理力学性质和承载力；
 - 5) 隧道浅埋段覆盖层的厚度、岩体的风化程度、含水状态及稳定性；

- 6) 水库、河流、煤层、采空区、膨胀性地层、有害矿（气）体及富含放射性物质的地层的发育情况；
 - 7) 不良地质和特殊性岩土的类型、分布、性质；
 - 8) 岩溶、断裂、地表水体发育地段产生涌水、突泥及塌方冒顶的可能性；
 - 9) 评价场地稳定性和适宜性；
 - 10) 分析隧道围岩的稳定性，划分围岩等级；
 - 11) 分析隧道施工可能遇到的工程地质问题及对周边环境的影响。
- f) 明挖堰筑隧道应包括下列内容：
- 1) 覆盖层的成因、地质年代、地层结构、土质类型、分布范围、厚度及其变化情况；
 - 2) 覆盖层下伏基岩的地质年代、成因、岩性及其组合、基岩面的埋深及起伏变化情况、岩石坚硬程度、岩体的完整性、岩石风化程度及风化界面；
 - 3) 岩土的水文地质性质；
 - 4) 岩溶、塌岸、暗浜等不良地质的成因、类型、分布及对工程的影响；
 - 5) 软土、可液化土等特殊岩土及有害气体的分布和特性；
 - 6) 地下管线、地下设施、邻近建筑物或构造物的分布情况，既有建筑物的基础类型和埋深等。
- 8.10.2 隧道工程方案进行同深度比选时，应进行同深度勘察。
- 8.10.3 根据地质条件选择隧道的位置，应符合下列规定：
- a) 隧道宜选择在地层稳定、构造简单、进出口条件有利的位置；
 - b) 隧道应避开区域性活动断裂，以及活动性断裂交汇部位；
 - c) 隧道应避免通过软土深厚，岩溶、可液化土发育，含有害气体的地层；
 - d) 盾构隧道选址应满足下列要求：
 - 1) 隧道位置宜选择在地层稳定、河（海）床顺直、水面较窄、河（海）床相对稳定的地段，避开工程地质和水文地质条件复杂，存在严重不良地质以及水域深槽和冲淤严重的不稳定河（海）地段；
 - 2) 隧道宜避免穿越长区段孤石或漂（卵）石地层、富水松散砂层、软弱淤泥及高塑性黏土层以及岩土交界面等地层严重不均匀地段；
 - 3) 隧道宜避免通过岩溶发育区、节理密集带、岩相接触带、侵入蚀变带、球状风化体、风化槽等地层性质复杂地带；
 - 4) 隧道宜避免通过地裂缝、地震液化、地震沉陷、膨胀性地层、放射性岩体、地下水富集易产生塌方、流沙、喷涌及地表沉陷的地层松软地带。
 - e) 钻爆隧道选址应满足下列要求：
 - 1) 隧道应选择在地下水不发育的位置，隧道轴线宜与岩层、区域构造线的走向垂直；
 - 2) 隧道应避开高应力区，无法避开时洞轴线宜平行最大主应力方向；
 - 3) 隧道应避免通过岩溶发育区、地下水富集区和地层松软地带；
 - 4) 隧道洞口应避开滑坡、崩塌、岩堆、危岩、泥石流等不良地质，以及排水困难的沟谷低洼地带；
 - 5) 傍山隧道，洞轴线宜向山体一侧内移，避开外侧构造复杂、岩体卸荷开裂、风化严重，以及堆积层和不良地质地段。
- 8.10.4 隧道工程地质及水文地质调绘应符合下列规定：
- a) 应充分收集和研工可阶段勘察资料，结合隧道方案论证比选，进行隧址区域工程地质及水文地质调绘，调绘比例尺为 1:10 000~1:50 000；

- b) 沉管隧道工程地质调绘应沿拟定的隧道轴线及其两侧各不小于 500 m 的带状区域进行,调绘比例尺为 1: 500~1: 2 000; 其他隧道应沿拟定的隧道轴线及其两侧各不小于 200 m 的带状区域进行调绘,调绘比例尺为 1: 2 000;
- c) 钻爆隧道应满足下列要求:
 - 1) 水文地质条件复杂的特长隧道及长隧道应结合隧道涌水量分析评价进行专项区域水文地质调绘,调绘比例尺为 1: 10 000~1: 50 000;
 - 2) 工程地质调绘及水文地质调绘采用的地层单位宜结合水文地质及工程地质评价的需要划分至岩性段;
 - 3) 基岩出露处应进行节理调查统计;节理调查统计点应靠近洞轴线,在隧道洞身及进出口地段选择代表性位置布设,同一围岩分段的节理调查统计点数量不宜少于 2 个。

8.10.5 隧道勘探应以钻探为主,结合物探、挖探、原位测试等方法进行综合勘探。

8.10.6 沉管隧道工程地质勘探应符合下列规定:

- a) 物探测线宜按网格状布置,纵向物探测线应沿隧道轴线及其两侧平行隧道轴线布置,其间距不宜大于 100 m; 横向物探测线,宜通过勘探钻孔,其间距宜为 200 m~500 m,视地质条件的复杂程度确定;沉管段、暗埋段、敞开段的衔接部位应布置横向物探测线,横向物探测线达隧道结构边缘外侧的长度不宜小于 200 m; 遇区域性断裂、岩溶、采砂坑等复杂地质条件时,应加大探测范围,加密物探测线;
- b) 钻孔宜沿基槽两侧交错布置,基坑宽度大于 30 m 时,宜沿隧道轴线及其两侧按梅花形布置,并符合下列规定:
 - 1) 工程地质条件简单时,钻孔间距宜为 150 m~200 m;
 - 2) 工程地质条件较复杂时,钻孔间距宜为 100 m~150 m;
 - 3) 工程地质条件复杂时,钻孔间距宜为 75 m~100 m;
 - 4) 遇岩溶、破碎带、软土、采砂坑、抛填区、岩土交界面变化大等复杂地质条件时,应适当加密钻孔。
- c) 沉管段、暗埋段、敞开段应布置横向勘探断面,其间距:沉管段不宜大于 200 m; 暗埋段、敞开段不宜大于 100 m; 地质条件变化复杂时,应增加勘探断面数量;横向勘探断面延伸至结构边缘外侧的长度:沉管段不宜小于 200 m,暗埋段、敞开段不宜小于 100 m,每条勘探断面上的钻孔宜沿隧道轴线及隧道结构边缘外侧布置,其数量宜为 3 个~5 个,并与静力触探、十字板结合进行综合勘探;
- d) 沉管隧道钻孔深度应符合下列规定:
 - 1) 在覆盖层中,一般性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 1.5 倍沉管隧道高度,技术性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 2.5 倍沉管隧道高度,且至河床、海床以下的深度不宜小于 40 m;
 - 2) 在全风化及强风化岩石中,一般性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 1.0 倍沉管隧道高度,技术性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 2.0 倍沉管隧道高度;
 - 3) 在微风化及中风化岩石中,一般性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 0.5 倍沉管隧道高度,技术性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 1.0 倍沉管隧道高度;
 - 4) 遇岩溶、土洞、软土、可液化土时,应穿透,并根据需要加深钻孔;
- e) 遇软土、粉土、黏性土、砂土地层,应与静力触探结合进行综合勘探,并应选取代表性钻孔,在距钻孔孔位不大于 5 m 的位置布置静力触探对比孔;
- f) 技术性钻孔占钻孔总数的比例不宜少于 50%。

8.10.7 盾构隧道工程地质勘探应符合下列规定:

- a) 物探测线宜按纵、横向布置，纵向物探测线应沿隧道轴线或在其两侧平行隧道轴线布置，其数量宜为 1~3 条，视地质条件的复杂程度确定；横向物探测线的间距宜为 100 m~200 m，其探测宽度自隧道结构边缘向外侧的距离各不宜小于 150 m；遇岩溶、土洞、断层破碎带、风化槽、球状风化体等不良地质，或软硬不均地层、岩土分界面变化频繁等地质复杂条件时，应适当增加物探测线，扩大探测范围；
 - b) 隧道钻孔在陆上宜布置在隧道结构边缘外侧 5 m~8 m 处，在水下宜布置在隧道结构边缘外侧 6 m~12 m 处；单洞时，宜在隧道轴线两侧交错布置，多洞并行时宜多排交错布置，并应符合下列规定：
 - 1) 工程地质条件简单时，钻孔间距宜为 150 m~200 m；
 - 2) 工程地质条件较复杂时，钻孔间距宜为 100 m~150 m；
 - 3) 工程地质条件复杂时，钻孔间距宜为 50 m~100 m；
 - 4) 垂直隧道轴线应布置横向勘探断面，每条横向勘探断面上的钻孔数量宜为 2~3 个，横向勘探断面的间距宜为 100 m~200 m，视地质条件复杂程度确定；
 - 5) 隧道洞口、联络通道、工法变换处等部位应布置勘探断面，其上的钻孔不宜少于 2 个；
 - 6) 遇岩溶、土洞、断层破碎带、风化槽、球状风化体等不良地质，或易产生塌方、流沙及地表沉陷的松软地层以及岩土交界面变化复杂等地层严重不均匀等复杂地质条件时，应适当增加钻孔数量，加密纵、横向勘探断面。
 - c) 盾构隧道勘探深度应符合下列规定：
 - 1) 在覆盖层中，一般性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 20 m，技术性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 30 m；
 - 2) 在全、强风化层中，一般性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 10 m，技术性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 15 m；
 - 3) 在微风化及中风化岩石中，一般性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 5 m，技术性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 10 m；
 - 4) 遇软土、岩溶等不良地质条件，应穿透，并适当加深钻孔；
 - 5) 技术性钻孔不应低于钻孔总数的 50%。
 - d) 工作井勘探应符合下列规定：
 - 1) 勘探范围应根据工作井开挖深度和场地地质条件，结合基坑工程方案确定；基坑开挖线以外应布置勘探点，其勘探范围不宜小于基坑开挖深度 1 倍；基坑支护采取锚固措施时，其勘探范围不宜小于基坑开挖深度 2 倍；
 - 2) 钻孔宜在基坑边缘的角点处布置；基坑边缘长度大于 30 m 时，工作井中心部位宜布置钻孔；发育有软弱土层、暗沟、岩溶等不良地质或岩土交界面变化复杂时，应增加勘探点数量；
 - 3) 工作井钻孔深度：在覆盖层中不应小于基坑深度的 2.5 倍，在此勘探深度范围内遇基岩，钻孔进入隧道结构底板以下的深度：在全、强风化岩中不宜小于 15 m；在中、微风化岩中不宜小于 10 m；发育有岩溶、软土、粉土夹层或因降水、隔渗设计需要时，勘探深度应适当加深。
 - e) 应根据地层及其变化情况，在相邻两钻孔之间以及距代表性钻孔孔位不大于 5 m 的位置布置静力触探孔，进行综合勘探。
- 8.10.8 钻爆隧道工程地质勘探应符合下列规定：**
- a) 覆盖层发育、地质构造复杂的隧址物探测线布置应符合下列规定：
 - 1) 物探测线宜沿隧道或斜井的中心线及其两侧布置，其数量不宜少于 1 条；

- 2) 隧道左、右幅相距较远时,物探测线宜分别沿隧道左、右幅的轴线布置,每幅物探测线不应少于1条;
 - 3) 遇区域性断裂、岩溶、采空区、地层分界线等需探明时,应根据现场地形地质条件确定物探测线的数量和位置;
 - 4) 地质条件变化复杂的隧道进出口,宜按网格状布置物探测线,其间距不宜大于20 m。
- b) 山岭区隧道钻孔布置应符合下列规定:
- 1) 隧道的进出口应布置钻孔,工程地质条件简单时,其数量不应少于1个;地质条件较复杂或复杂时,应适当增加钻孔数量,并与物探结合进行综合勘探;
 - 2) 隧道洞身段应布置钻孔,其数量可按表30确定;钻孔数量视地质条件复杂程度和露头情况等确定;分离式隧道左、右幅地质条件差别较大时,钻孔应分左、右幅布置;
 - 3) 竖井、斜井应布置钻孔,每个竖井的钻孔不应少于1个,斜井的钻孔不应少于2个。

表30 隧道洞身钻孔数量表

隧道类型	短隧道	中隧道	长隧道	特长隧道
钻孔数量(个)	1	1~3	3~5	>5

- c) 隧道洞身段和斜井部位的钻孔宜在洞壁外侧不小于5 m的下列位置布置:
- 1) 地层分界线、断层、物探异常、蓄水构造或地下水发育地段;
 - 2) 高应力区围岩可能产生岩爆或大变形的地段;
 - 3) 膨胀性岩土等特殊岩土分布地段;
 - 4) 岩溶、采空区、隧道通过的沟谷及隧道浅埋段、可能产生突泥、涌水部位;
 - 5) 煤系地层、含放射性物质的地层。
- d) 水下隧道钻孔宜在隧道洞壁外侧5 m~8 m的位置布置;单洞时,宜在隧道轴线两侧交错布置,多排并行时,宜多排交错布置,并应符合下列规定:
- 1) 工程地质条件简单时,钻孔间距宜为200 m~300 m;
 - 2) 工程地质条件较复杂时,钻孔间距宜为150 m~200 m;
 - 3) 工程地质条件复杂时,钻孔间距宜为100 m~150 m;
 - 4) 地层分界线、断层破碎带、物探异常、风化槽、煤系地层、可能产生突泥、涌水的部位等影响隧道围岩分级的地质界线或特殊地质体应布置钻孔。
- e) 钻爆隧道勘探深度应符合下列规定:
- 1) 山岭区隧道钻孔勘探深度应至隧道底板以下不小于8 m;遇采空区、岩溶、地下暗河等不良地质时,勘探钻孔进入稳定地层内的深度不宜小于8 m;
 - 2) 水下隧道钻孔钻入隧道底板以下的深度:在土层中不宜小于20 m,在全、强风化岩中不宜小于10 m,在中、微风化岩中不宜小于5 m;遇软土、岩溶、破碎带等不良地质条件,应适当加深钻孔。
- f) 隧址地质条件需采用定向钻孔探明时,水平钻孔和斜孔的位置、数量及深度等应根据勘探目的确定;
- g) 遇有地下水时,应进行水位观测和记录,量测初见水位、稳定水位和承压水头高度,判明含水层的位置、厚度和地下水的类型、流量等;
- h) 在钻探过程中,遇到有害气体、放射性矿床时,应作好详细记录,探明其位置、厚度,采集试样,并进行测试分析;
- i) 岩性单一,露头清楚,地质构造简单的短隧道,可通过调绘基本查明隧址工程地质条件。
- 8.10.9 明挖堰筑隧道工程地质勘探应符合下列规定:

- a) 露头不良时, 应沿隧道轴线及其两侧布置物探纵向测线, 其间距宜为 50 m~100 m, 数量不宜少于 3 条; 横向测线的间距不宜大于 200 m, 测线至隧道结构边缘外侧的长度不宜小于 150 m; 发育有区域性断裂、岩溶、暗浜及地质条件变化复杂时, 应加密物探测线, 适当扩大探测范围;
 - b) 隧道钻孔宜沿基坑两侧交错布置, 勘探点距隧道结构边缘外侧的距离宜为 5 m~8 m; 基坑宽度大于 30 m 时, 宜沿隧道轴线及其两侧按梅花形布置, 并符合下列规定:
 - 1) 工程地质条件简单时, 钻孔间距宜为 100 m~150 m;
 - 2) 工程地质条件较复杂时, 钻孔间距宜为 75 m~100 m;
 - 3) 工程地质条件复杂时, 钻孔间距宜为 50 m~75 m。
 - c) 隧道暗埋段、敞开段应分段布置横向勘探断面, 其间距宜为 50 m~100 m, 地质条件变化复杂时, 应加密勘探断面; 每条横向勘探断面上的钻孔数量宜为 3~5 个, 横向勘探断面至隧道结构边缘外侧的长度宜为 50 m~100 m, 视围护结构的类型、规模和地质条件的复杂程度确定;
 - d) 围堰钻孔宜沿围堰中心线布置, 其间距宜为 50 m~100 m;
 - e) 覆盖层为软土、黏性土、粉土、砂土时, 应与静力触探结合进行综合勘探, 并应选取代表性钻孔, 在距钻孔孔位不大于 5m 的位置布置静力触探对比孔;
 - f) 明挖堰筑隧道钻孔深度应符合下列规定:
 - 1) 在覆盖层中, 一般性钻孔勘探深度不宜小于基坑开挖深度的 2.0 倍, 技术性钻孔勘探深度不宜小于基坑开挖深度的 3.0 倍;
 - 2) 在全、强风化岩中, 一般性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不宜小于 15 m, 技术性钻孔进入隧道结构底板以下不小于 20 m;
 - 3) 在中、微风化岩中, 一般性钻孔进入隧道结构底板以下的深度不宜小于 5 m, 技术性钻孔进入隧道结构底板以下不小于 10 m;
 - 4) 有岩溶、土洞、软土、可液化土发育, 或有降水需要时, 勘探深度应适当加深;
 - 5) 技术性钻孔占钻孔总数的比例不应小于 1/3。
 - g) 围堰钻孔深度不宜小于基坑开挖深度的 2 倍, 孔底遇软土或砂土、碎石土等透水层时, 应穿透并进入下伏硬层或相对隔水层内 3.0 m~5.0 m; 在此深度范围内遇基岩, 钻孔进入全、强风化岩内的深度不宜小于 15 m, 进入中、微风化岩内的深度不宜小于 5 m。
- 8.10.10 隧道工程地质及水文地质测试应符合下列规定:**
- a) 地下水发育时, 应进行抽(注)水试验, 分层获取各含水层水文地质参数并评价其富水性和涌水量; 水文地质条件复杂时, 应进行地下水动态观测;
 - b) 分层取样, 岩、土试样的数量不宜少于 6 组, 室内测试项目可按表 31 选用;
 - c) 对于钻爆隧道应重点在隧底以下 1 倍至隧顶以上 2~4 倍隧高范围内采取土样、岩样, 并进行孔内波速测试, 采取岩石试样做岩块波速测试, 获取围岩岩体的完整性指标;
 - d) 深埋隧道及高应力区隧道应进行地应力测试; 隧道的地应力测试应结合地貌地质单元选择在代表性钻孔中进行, 地应力测试宜采用水压致裂法;
 - e) 对于盾构隧道应根据设计需要, 选取代表性岩土试样, 测试其导热系数、导温系数、比热容等热物理指标;
 - f) 当岩芯采集困难或采用钻探难以判明孔内的地质情况时, 宜在方法试验的基础上选择物探方法, 进行孔内综合物探测井;
 - g) 有害气体、放射性矿体等应进行测试、分析;
 - h) 采取地表水和地下水样, 做水质分析, 评价水的腐蚀性。

表31 隧道工程室内测试项目表

测试项目		隧道工法与地层							
		沉管隧道		盾构隧道		钻爆隧道		明挖堰筑隧道	
		土体	岩体	土体	岩体	土体	岩体	土体	岩体
颗粒分析		+	/	+	/	+	/	+	/
天然含水率 ω (%)		+	/	+	/	+	/	+	/
密度 ρ (g/cm ³)		+	(+)	+	(+)	+	(+)	+	(+)
塑限 ω_p (%)		+	/	+	/	+	/	+	/
液限 ω_L (%)		+	/	+	/	+	/	+	/
有机质含量 W_u (%)		(+)	/	(+)	/	/	/	(+)	/
渗透系数 K (cm/s)		/	/	+	/	+	/	+	/
固结试验	压缩系数 a_v (MPa ⁻¹)	+	/	+	/	+	/	+	/
	压缩模量 E_s (MPa)	+	/	+	/	+	/	+	/
	压缩指数 C_c	+	/	/	/	/	/	+	/
	回弹模量 C_s	+	/	/	/	/	/	+	/
	垂直固结系数 C_v (cm ² /s)	(+)	/	(+)	/	/	/	(+)	/
	次固结系数 C_α	(+)	/	(+)	/	/	/	(+)	/
	前期固结压力 p_c (kPa)	(+)	/	(+)	/	/	/	(+)	/
剪切试验	黏聚力 c (kPa)	+	+	+	+	+	+	+	+
	内摩擦角 (°)	+	+	+	+	+	+	+	+
岩石饱和单轴抗压强度 R_c (MPa)		/	+	/	+	/	+	/	+
抗拉强度 R_t (MPa)		/	/	/	/	/	(+)	/	/
弹性模量 E (MPa)		/	/	/	+	/	+	/	/
泊松比 μ		/	/	/	+	/	+	/	/
矿物成分分析		(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
岩块纵波波速 v_p (m/s)		/	/	/	+	/	+	/	/
注：“+”——必做；“(+)”——选做；“/”——不做。									

8.10.11 隧道围岩基本质量指标的确定应符合下列规定：

- a) 隧道围岩基本质量指标 BQ，应根据分级因素的定量指标 R_c 的兆帕数值和 K_v ，按式 (1) 计算。

$$BQ = 100 + 3R_c + 250K_v \dots\dots\dots (1)$$

- b) 使用公式 (1) 计算时，应符合下列规定：

- 1) 当 $R_c > 90K_v + 30$ 时，应取 $R_c = 90K_v + 30$ 和 K_v 代入计算 BQ 值；
- 2) 当 $K_v > 0.04R_c + 0.4$ 时，应取 $K_v = 0.04R_c + 0.4$ 和 R_c 代入计算 BQ 值；
- 3) R_c 应采用实测值。当无条件取得实测值时，可采用实测的岩石点荷载强度指数 $I_{s(50)}$ 的换算值，并按式 (2) 换算：

$$R_c = 22.82I_{s(50)}^{0.75} \dots\dots\dots (2)$$

8.10.12 遇下列情况之一，应对隧道围岩基本质量指标 BQ 进行修正：

- a) 有地下水；
- b) 围岩稳定性受软弱结构面影响，且由一组起控制作用；

c) 存在高初始应力现象。

隧道围岩基本质量指标修正值[BQ]可按式（3）计算。

$$[BQ] = BQ - 100(K_1 + K_2 + K_3) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

[BQ] ——围岩基本质量指标修正值；

BQ ——围岩基本质量指标；

K₁ ——地下水修正系数；

K₂ ——主要软弱结构面产状影响修正系数；

K₃ ——初始应力状态影响修正系数。

8.10.13 隧道围岩分级应符合《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）的要求。

8.10.14 隧道的地下水涌水量应根据隧址水文地质条件选择水文地质比拟法、水均衡法、地下水动力学方法等进行综合分析评价。隧道涌水量估算方法见附录 E。

8.11 岸坡工程

8.11.1 岸坡工程初勘应基本查明岸坡防护工程设置地段及其邻近区域的下列内容：

- a) 岸坡防护工程设置地段及其上下游的地形地貌、地层岩性、地质构造及斜坡稳定特征；
- b) 岸坡的稳定情况及不良地质的类型、发展变化规律；
- c) 岸坡的水力特征、洪（枯）水位高程、河流的冲淤变化规律；
- d) 防护工程及导流工程设置部位的地层结构、岩土类型、土的粒径组成；
- e) 地下水的类型、分布及其动态变化情况；
- f) 岩土的物理力学性质和承载力；
- g) 新建岸坡的稳定性；
- h) 既有岸坡防护工程的设计与使用情况。

8.11.2 岸坡防护地段应进行 1：2 000 工程地质调绘，调绘范围应包括防护路段两岸及上下游相邻区域。

8.11.3 岸坡工程地质勘探、测试应符合下列规定：

- a) 应根据岸坡防护路段的地质条件、水文状况、岸坡稳定情况及河岸防护工程的类型等确定勘探测试点的数量和位置；
- b) 冲刷防护工程、导流工程可采用挖探、钻探等进行综合勘探，勘探深度应至最大冲刷线或基础持力层以下的稳定地层中不小于 3 m；
- c) 河床或构筑物设置部位的探坑（井）和钻孔，应分层采取岩土试样，室内测试项目应符合本文件 5.7 的要求；土样应进行渗透试验；
- d) 应采取水样做水质分析，评价环境水的腐蚀性。

8.12 路线交叉工程

路线交叉工程的初勘应符合本文件8.3～8.11的要求。

8.13 收费站及服务区房屋建筑工程

收费站及服务区等沿线设施的初勘应符合《岩土工程勘察规范》（GB 50021）等要求。

8.14 筑路材料

8.14.1 沿线筑路材料初勘应充分利用既有资料，通过调查、勘探、试验，基本查明筑路材料的类别、

产地、质量、数量和开采运输条件。

8.14.2 材料蕴藏量可按 1:2 000 精度控制进行工程地质调绘,调查范围含盖整个料场,重点调查取料场地层岩性分布、地质构造特征、地下水埋深情况。材料有用层的厚度应通过对露头的调查、测量和勘探确定。

8.14.3 材料蕴藏量勘探断面宜垂直岩层走向和地貌单元界线布设,每条勘探断面不宜少于 3 个勘探点,勘探断面间距不宜大于 200 m,勘探点的深度应大于有用层厚度或计划开采深度。

8.14.4 材料蕴藏量可采用算术平均法、平行断面法、三角形法或多角形法等方法计算。

8.14.5 各类料场应选取代表性样品进行试验,评价材料的工程性质。材料成品率估算应在调查、勘探、试验的基础上进行。

8.14.6 材料取样地点应在料场内均匀分布,且能反映有用层沿勘探剖面的变化情况,每一料场不宜少于 3 处。

8.14.7 桥涵工程材料试验应包含下列项目:

- a) 石料和粗集料:抗压强度、坚固性、有害物质含量、筛分、针片状颗粒含量、含泥量、压碎值等试验;
- b) 细集料:颗粒分析、含泥量、有机质含量、云母含量、有害物质含量、压碎值等试验。

8.14.8 路基工程材料试验应包含下列项目:

- a) 粗粒土:颗粒分析、含水率、密度、击实等试验;
- b) 细粒土:颗粒分析、含水率、液限(100g 锥试验)、塑限、密度、击实、承载比、有机质含量、易溶盐含量等试验;
- c) 路堤填料应测试 93%、96% 压实度下天然和饱水状态的容重、抗剪强度、渗透指标;
- d) 花岗岩风化土及残积土宜先进行颗粒分析试验。初判为非砂土后,则加做细粒土试验项目。

8.14.9 路面工程材料试验应包含下列项目:

- a) 粗集料:颗粒分析、压碎值、针片状颗粒含量、含泥量、磨耗率(洛杉矶法)、吸水率、磨光值、坚固性、冲击值、软弱颗粒含量、有机物含量等试验;
- b) 细集料:颗粒分析、表观密度、含泥量、砂当量、有机质含量、坚固性、三氧化硫含量等试验。

8.14.10 工程用水的水质,可目测鉴定。必要时,应取水样做水质分析,判明其对混凝土及混凝土结构中钢筋的腐蚀性。

8.14.11 沿线筑路材料初勘应调查材料运输里程、运输方式和现有交通状况等。

8.15 弃土场(填平区)

8.15.1 弃土场(填平区)初勘应充分利用既有资料,通过调绘、勘探、试验等综合勘察方法,基本查明下列内容:

- a) 地形地貌、地层岩性、地质构造等;
- b) 地表水、地下水类型、分布、埋深等;
- c) 不良地质和特殊性岩土发育情况;
- d) 弃土场(填平区)的周边环境及交通条件。

8.15.2 工程地质调绘比例尺宜为 1:2 000~1:10 000,调绘范围应包括弃土场(填平区)及其影响范围,宜调查至第一分水岭。

8.15.3 可采用挖探、物探、钻探等进行综合勘探。勘探点(线)的工作量布置应根据弃土场(填平区)分布范围及支挡结构位置综合确定。

8.15.4 室内测试项目应符合本文件 5.7 的要求。设置填平区的路堤、半填半挖路堤、陡坡路堤的填料应进行颗粒分析,评估发生管涌、流土等渗透变形破坏的可能性。

8.15.5 应评价弃土场(填平区)选址的适宜性,提出工程地质意见和建议等。

9 详细勘察

9.1 一般规定

9.1.1 详细勘察应查明公路沿线及各类构筑物建设场地的工程地质条件，为施工图设计提供工程地质勘察报告。

9.1.2 详细勘察应充分利用初勘取得的调绘、物探、钻探等地质资料，采用以钻探、测试为主，调绘、物探、简易勘探等为辅的综合勘察方法，对路线及各类构筑物建设场地的工程地质条件进行勘察。

9.1.3 补充工程地质调绘的比例尺为 1:2 000。

9.1.4 详细勘察勘探点、面的布置，应在初勘可利用的勘探点、面基础上加密完成，共同满足详勘深度要求。

9.1.5 详细勘察工作量布置图示例可见附录 D 中表 D.2。

9.2 路线

9.2.1 路线详勘应查明公路沿线的工程地质条件，为确定路线和构筑物的位置提供地质资料。

9.2.2 路线详勘应查明本文件 8.2.1 中的有关内容。

9.2.3 应对初勘阶段工程地质调绘成果进行复核，复核点数不少于初勘调绘点的 10%，若发现初勘调绘与实际不符时，应重新进行工程地质调绘。当路线偏离初步设计线位超过 150 m 时，应进行补充工程地质调绘。

9.2.4 勘探、测试应符合本文件 8.2.3 的要求。

9.3 一般路基

9.3.1 一般路基详勘应在确定的路线上查明各填方、挖方路段的工程地质条件，其内容应符合本文件 8.3.1 的要求。

9.3.2 应对初勘阶段工程地质调绘成果进行复核。当路线偏离初步设计线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘。

9.3.3 勘探点沿路线中线两侧布置，每段填、挖路基横向勘探断面数量不少于 1 条，每条横断面勘探点数量不少于 2 个，其中钻孔不少于 1 个。根据工程地质条件复杂程度，增加勘探断面数量：

- a) 工程地质条件简单时，横断面间距不宜大于 250 m；
- b) 工程地质条件较复杂时，横断面间距不宜大于 120 m；
- c) 工程地质条件复杂时，横断面间距不宜大于 60 m。

9.3.4 勘探深度、取样、测试应符合本文件 8.3.3 的要求。

9.4 高路堤

9.4.1 高路堤详勘应在确定的路线上查明高路堤路段的工程地质条件，其内容应符合本文件 8.4.2 的要求。

9.4.2 应对初勘阶段工程地质调绘成果进行复核。当路线偏离初步设计线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘。

9.4.3 最大填高处应布置勘探横断面，每段高路堤的勘探横断面数量不应少于 1 条，每条横断面勘探点数量不应少于 2 个，其中钻孔不应少于 1 个。必要时，与静力触探等原位测试结合进行综合勘探。根据工程地质条件复杂程度，增加勘探断面数量：

- a) 工程地质条件简单时，横断面间距不宜大于 100 m；
- b) 工程地质条件较复杂时，横断面间距不宜大于 80 m；

c) 工程地质条件复杂时，横断面间距不宜大于 50 m。

9.4.4 高路堤段横向地质变化较大时，布孔应满足路堤稳定性和变形计算需要，在路堤外侧应布设钻孔。

9.4.5 勘探深度、取样、测试等应符合本文件 8.4.4 的要求。

9.5 陡坡路堤

9.5.1 陡坡路堤详勘应在确定的路线上查明陡坡路段的工程地质条件，其内容应符合本文件 8.5.2 的要求。

9.5.2 应对初勘阶段工程地质调绘成果进行复核。当路线偏离初步设计线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘。

9.5.3 最大填高处应布置勘探横断面，每段陡坡路堤的勘探横断面数量不宜少于 1 条。每段陡坡路堤内勘探工作量应符合下列规定：

- a) 工程地质条件简单时，横断面间距不宜大于 100 m，每条横断面钻孔不应少于 1 个；
- b) 工程地质条件较复杂时，横断面间距不宜大于 80 m，每条横断面钻孔不应少于 2 个；
- c) 工程地质条件复杂时，横断面间距不宜大于 50 m，每条横断面钻孔不应少于 2 个。

9.5.4 勘探、取样、测试应符合本文件 8.5.4 的要求。

9.6 深路堑

9.6.1 深路堑详勘应在确定的路线上查明深挖路段的工程地质条件，其内容应符合本文件 8.6.2 的要求。

9.6.2 应对初勘阶段工程地质调绘成果进行复核，复核点数不少于初勘调绘点的 10%，若发现初勘调绘与实际不符时，应重新进行工程地质调绘。当路线偏离初步设计线位较远或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘。

9.6.3 对路堑边坡，勘探范围及深度应充分分析、利用地面调查后推测的需要查明的地质界线、可能发生潜在变形的范围及深度。

9.6.4 勘探断面宜按单个坡面布设主控断面和辅助断面，断面宜以垂直线路走向或平行潜在主滑方向布置为主，并应有拟设工程位置的勘探断面，断面布设示例如图 1 和图 2。

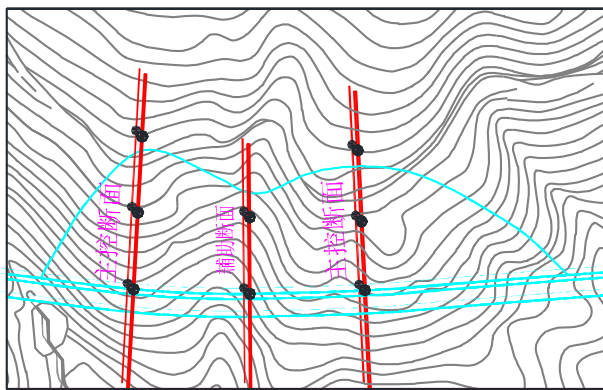


图1 垂直边坡走向勘探断面示意图

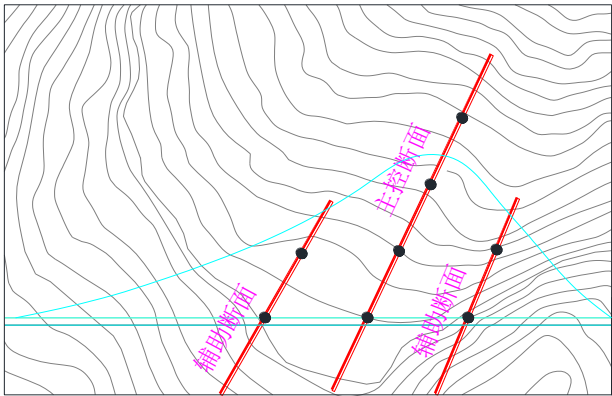


图2 平行潜在主滑方向勘探断面示意图

9.6.5 勘探断面间距宜根据工程地质条件复杂程度综合确定，断面的钻孔间距不宜大于 30 m，并宜在拟设坡脚及堑顶外布设钻孔。应符合下列规定：

- a) 工程地质条件简单时，勘探断面间距不宜大于 80 m，主控断面钻孔不宜少于 2 个，钻孔布置示例如图 3；

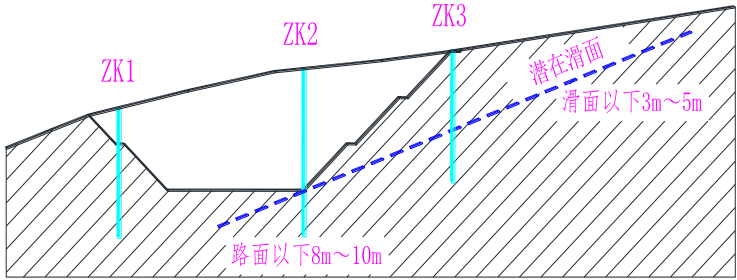


图3 工程地质条件简单时的钻孔布置示意图

- b) 工程地质条件较复杂时，勘探断面间距不宜大于 50 m，主控断面钻孔不宜少于 2 个，钻孔布置示例如图 4；

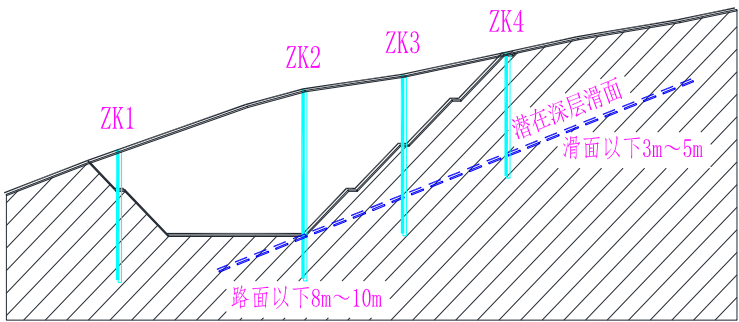


图4 工程地质条件较复杂时的钻孔布置示意图

- c) 工程地质条件复杂时，勘探断面间距不宜大于 30 m，主控断面钻孔不宜少于 3 个，钻孔布置示例如图 5。

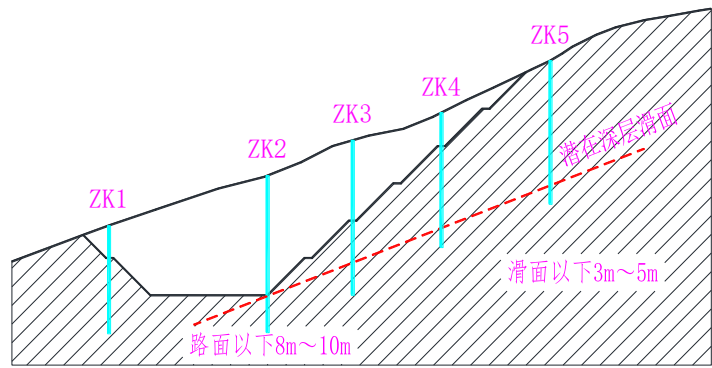


图5 工程地质条件复杂时的钻孔布置示意图

9.6.6 勘探、取样、测试应符合本文件 8.6.4 的要求。

9.7 支挡工程

9.7.1 支挡工程详勘应在确定的构筑物位置上查明支挡路段工程地质条件，其内容应符合本文件 8.7.1 的要求。

9.7.2 工程地质调绘应对初勘阶段工程地质调绘成果进行复核。当路线偏离初步设计线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘。

9.7.3 工程地质勘探应符合下列规定：

- a) 挡土墙应采用挖探、钻探进行勘探，勘探点应沿挡土墙设置轴线布置，其数量不得少于 1 个，间距不宜大于 50 m，地质条件变化大时，宜结合物探进行综合勘探；
- b) 桩基应采用钻探，钻孔应沿桩基设置轴线布置，其数量不得少于 1 个，间距不宜大于 25 m，并与物探结合进行综合勘探；
- c) 工程地质条件较复杂或复杂的支挡工程设置路段，应布置横向勘探断面，其间距不宜大于 50 m，每条横断面上挖探、钻孔不宜少于 2 个。

9.7.4 勘探、取样、测试应符合本文件 8.7.3 的要求。

9.8 桥梁

9.8.1 桥梁详勘应根据现场地形地质条件和桥型、桥跨、基础形式制定勘察方案，查明桥位工程地质条件，其内容应符合本文件 8.8.1 的要求。

9.8.2 应对初勘工程地质调绘成果进行复核。当桥位偏离初步设计桥位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘。

9.8.3 工程地质勘探应符合下列规定：

- a) 桥梁墩、台的勘探钻孔应根据地质条件按图 6 在基础的周边或中心布置；当有特殊性岩土、不良地质或基础设计施工需进一步探明地质情况时，可在轮廓线外围布孔，或与原位测试、物探结合进行综合勘探；

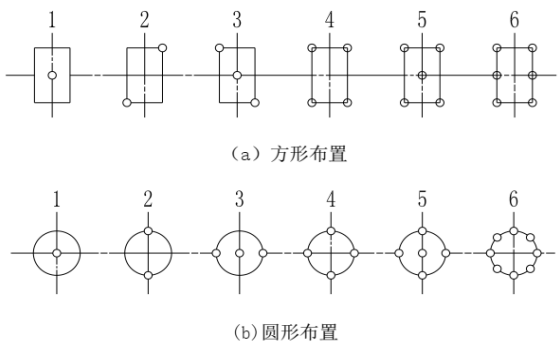


图6 勘探钻孔布置图

- b) 工程地质条件简单的桥位，每个墩台（整幅）宜布置 1 个钻孔；工程地质条件较复杂的桥位，每个墩台（整幅）的钻孔不应少于 1 个；遇有断裂带、软弱夹层等不良地质或工程地质条件复杂时，应结合现场情况及基础工程方案的设计要求确定每个墩台的钻孔数量；
- c) 沉井基础或采用钢围堰施工的基础，当基岩面起伏变化较大或遇涌砂、大漂石、树干、老桥基等情况时，应在基础周围加密钻孔，确定基岩顶面、沉井或钢围堰埋置深度；
- d) 特殊结构桥梁勘探钻孔宜根据设计要求研究后合理布置，如悬索桥及斜拉桥的桥塔、锚碇基础、高墩基础等；
- e) 桥梁墩台位于沟谷岸坡或陡坡地段，控制斜坡稳定的结构面需探明时，宜采用井下电视、洞探等与钻探结合进行综合勘探。

9.8.4 勘探深度、取样、测试应符合本文件 8.8.4 的要求。

9.9 涵洞及通道

9.9.1 涵洞及通道详勘应在确定的涵洞及通道位置上进行，查明涵洞及通道场地的工程地质条件，其内容应符合本文件 8.9.1 的要求。

9.9.2 应对初勘阶段工程地质调绘成果进行复核。当路线偏离初步设计线位或需进一步查明地质条件时，应进行补充工程地质调绘。

9.9.3 每座涵洞及通道应布置 1 个勘探断面，勘探点不宜少于 2 个，其中钻孔不应少于 1 个。

9.9.4 勘探、取样、测试应符合本文件 8.9.3 的要求。

9.10 隧道

9.10.1 隧道详勘应根据现场地形地质条件，并重点结合隧道类型、埋深、工法、规模制定勘察方案，查明隧址的水文地质及工程地质条件，其内容应符合本文件 8.10.1 的要求。

9.10.2 应对初勘阶段工程地质调绘成果进行复核。当隧道偏离初步设计位置或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘。

9.10.3 勘探测试点应在初步勘察的基础上，根据现场地形地质条件、水文地质、工程地质评价的要求进行加密。勘探工作量应结合隧道类型、地质条件的复杂程度综合确定。

9.10.4 沉管隧道勘探、测试应符合本文件 8.10.6、8.10.10 的要求，且应符合下列规定：

- a) 应沿隧道轴线，并在隧道轴线两侧的结构边缘外侧 5 m～10 m 处按梅花形布置钻孔，并符合下列规定：
 - 1) 工程地质条件简单时，钻孔间距宜为 50 m～75 m；
 - 2) 工程地质条件较复杂时，钻孔间距宜为 35 m～50 m；
 - 3) 工程地质条件复杂时，钻孔间距宜为 25 m～35 m；

- 4) 岩溶、风化槽、岩土分界面、采砂坑、抛填区、航道区等地质条件复杂地段,应根据实际地质情况加密钻孔。
 - b) 沉管段、暗埋段、敞开段应布置横向勘探断面,其间距:沉管段不宜大于 100 m,暗埋段、敞开段不宜大于 50 m;横向勘探断面延伸至隧道结构边缘外侧的长度:沉管段不应小于基槽边坡宽度的 1.5 倍,暗埋段、敞开段不宜小于基坑开挖深度的 2.5 倍;每条勘探断面结构边缘外侧的钻孔不宜少于 2 个;
 - c) 沉管隧道钻孔深度应符合下列规定:
 - 1) 在覆盖层中,钻孔进入隧道结构底板以下的深度不宜小于 2.5 倍隧道高度;
 - 2) 在全风化及强风化岩石中,钻孔进入隧道结构底板以下的深度不宜小于 1.5 倍沉管隧道高度;
 - 3) 在微风化及中风化岩石中,钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 1.0 倍沉管隧道高度,且不宜小于 8 m;
 - 4) 隧道结构底板以下发育有岩溶、软土、可液化土时,勘探深度应适当加深。
 - d) 软土、黏性土、粉土、砂土地层应与孔压静力触探结合进行综合勘探;根据地层条件及其变化情况,在相邻的两个钻孔之间,或选取代表性钻孔,在距孔位不大于 5 m 的位置布置孔压静力触探、十字板剪切试验、旁压试验等原位测试点,与原位测试结合进行综合勘探,探明基槽及基槽边坡的地层结构和性质。
- 9.10.5 盾构隧道勘探、测试应符合本文件 8.10.7、8.10.10 的要求,且应符合下列规定:
- a) 隧道钻孔应在确定的隧道轴线两侧交错布置,钻孔距隧道结构外侧的距离宜为 5 m~8 m,并应符合下列规定:
 - 1) 工程地质条件简单时,钻孔间距宜为 75 m~100 m;
 - 2) 工程地质条件较复杂时,钻孔间距宜为 50 m~75 m;
 - 3) 工程地质条件复杂时,钻孔间距宜为 25 m~50 m;
 - 4) 垂直隧道轴线应布置横向勘探断面,每条横向勘探断面上的钻孔数量宜为 2~3 个,横向勘探断面的间距宜为 50 m~100 m,地质条件复杂时,应适当加密横向勘探断面;
 - 5) 岩溶、断层破碎带、风化槽、球状风化体、岩土分界面等地质复杂路段及初勘存疑需进一步探明的区段,应根据实际地质加密钻孔及物探测线;
 - 6) 岩溶、孤石发育极复杂或对隧道有重大影响的不良地质和特殊地质体,应进行必要的专项勘察。
 - b) 盾构隧道勘探深度应符合下列规定:
 - 1) 在覆盖层中,钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 2 倍盾构隧道外径;
 - 2) 在全、强风化层中,钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 1 倍盾构隧道外径;
 - 3) 在微风化及中风化岩石中,钻孔进入隧道结构底板以下的深度不小于 3 m;
 - 4) 有软土、岩溶、土洞、风化槽等不良地质发育时,勘探深度应适当加深。
 - c) 工作井勘探应符合本文件 8.10 的要求,且应符合下列要求:
 - 1) 应布置纵向和横向勘探断面,其间距不宜大于 25 m,自基坑边缘向外侧的勘探范围宜为基坑深度的 1.0~2.0 倍;
 - 2) 应沿基坑边缘及其外侧布置钻孔,其间距宜为 15 m~25 m,存在岩溶、土洞、软土、暗沟等复杂地质条件时,应加密勘探点。
 - d) 风井、盾构检查井、联络通道应布置钻孔,每处钻孔不应少于 1 个;废水泵房应根据其设置情况布置钻孔;
 - e) 覆盖层为软土、黏性土、砂土时,应根据地层条件与静力触探、十字板剪切试验、旁压试验等结合进行综合勘探;

- f) 钻孔完成后,基岩应采用水泥砂浆进行封孔,覆盖层可采用黏土夯实封孔。
- 9.10.6 钻爆隧道勘探、测试应符合本文件 8.10.8、8.10.10 的要求,且应符合下列规定:
- a) 山岭区隧道洞口应布置勘探横断面,其数量宜为 1~3 条,视地质条件复杂程度确定;每条横断面不宜少于 2 个钻孔;
 - b) 山岭区隧道和水下隧道洞身段应在地层分界线、浅埋段、断层破碎带、煤系地层、储水构造、典型物探异常、可能产生突泥、涌水的部位等影响隧道围岩分级的地质界线或特殊地质体加密布置钻孔,钻孔宜在隧道洞壁外侧 5 m~8 m 的位置布置;山岭区隧道钻孔深度应至隧道底板以下稳定地层不小于 8 m;
 - c) 水下隧道钻孔:单洞时,应在隧道轴线两侧交错布置,多排并行时,应多排交错布置,并应符合下列规定:
 - 1) 工程地质条件简单时,钻孔间距宜为 100 m~150 m;
 - 2) 工程地质条件较复杂时,钻孔间距宜为 75 m~100 m;
 - 3) 工程地质条件复杂时,钻孔间距宜为 50 m~75 m;
 - 4) 岩溶极发育、活动性断裂带或对隧道影响较大的风化深槽等重大不良地质发育区域,宜进行专项地质勘察研究。
 - d) 水下隧道勘探深度应符合下列规定:
 - 1) 在覆盖层中,孔深进入隧道结构底板以下的深度宜为 10 m~20 m;
 - 2) 全、强风化岩中,钻孔进入隧道结构底板以下的深度宜为 5 m~10 m;
 - 3) 在中、微风化岩中,钻孔进入隧道结构底板以下的深度宜为 3 m~5 m;
 - 4) 遇岩溶、断层破碎带、风化槽等不良地质条件,钻孔进入隧道结构底板以下的深度应适当加深。
- 9.10.7 明挖堰筑隧道勘探、测试应符合本文件 8.10.9、8.10.10 的要求,且应符合下列规定:
- a) 钻孔应分段布置,敞开段钻孔宜沿隧道基坑两侧交错布置,暗埋段宜沿隧道轴线及其两侧按梅花形布置,并符合下列规定:
 - 1) 工程地质条件简单时,钻孔间距宜为 30 m~50 m;
 - 2) 工程地质条件较复杂时,钻孔间距宜为 25 m~30 m;
 - 3) 工程地质条件复杂时,钻孔间距宜为 20 m~25 m。
 - b) 隧道和围堰勘探应布置横向勘探断面,其间距宜为 25 m~50 m,地质条件变化复杂时,应加密勘探断面,每条勘探断面上的钻孔不宜少于 2~3 个;
 - c) 在覆盖层中,钻孔的勘探深度不宜小于基坑深度的 2.0 倍;在此深度范围内遇基岩,钻孔进入隧道结构底板以下全、强风化岩内的深度不应小于 10 m,进入中、微风化岩中的深度不应小于 5m;遇岩溶、软土等不良地质或有降水需要时,勘探深度应适当加深或穿过透水层(含水层);
 - d) 覆盖层为黏性土、粉土、砂土、软土时,应与静力触探等原位测试方法结合进行综合勘探,静力触探孔应在距钻孔位置不大于 5 m 处或两相邻的钻孔间布置。
- 9.10.8 隧道围岩分级应符合本文件 8.10.13 的要求。
- 9.10.9 隧道涌水量受多种因素制约,涌水量预测应先进行定性分析,后进行定量计算,宜采用两种或两种以上的方法进行分析预测。常用方法有地下水动力学法和水均衡法等。涌水量估算方法见附录 E。

9.11 岸坡工程

- 9.11.1 岸坡工程详勘应在确定的河岸防护工程位置上查明河岸防护地段的水文状况和工程地质条件,其内容应符合本文件 8.11.1 的要求。
- 9.11.2 应对初勘阶段工程地质调绘成果进行复核。当路线偏离初步设计线位或地质条件需进一步查

明时，应进行补充工程地质调绘。

9.11.3 勘探工作量，应结合堤岸类型、工程地质条件综合确定，勘探间距应符合表 32 规定。

表32 勘探点间距（m）

工程地质条件	堤岸类别		
	I 类堤岸	II 类堤岸	III类堤岸
复杂	<50	<100	<200
较复杂	50~100	100~200	200~400
简单	100~200	200~400	400~800
<p>注3：参考《市政工程勘察规范》（CJJ 56-2012）的要求，根据筑堤材料、结构型式划分为三类堤岸，其中 I 类为桩式堤岸，系指以桩作为堤岸或以桩基作为堤岸基础的堤岸；II 类为圬工结构或钢筋混凝土结构物的天然地基堤岸，这类堤岸以重力式或半重力式为主；III类为土堤，包括堤岸采用浆砌或干砌块石勾缝的护坡堤岸。</p> <p>注4：表中钻孔间距为沿堤岸走向间距。</p>			

9.11.4 垂直堤岸横断面钻孔的间距，以能满足滑动验算要求为原则，每条横断面勘探线应布置 2~3 个钻孔。

9.11.5 取样、测试应符合本文件 8.11.3 的要求。

9.12 路线交叉工程

路线交叉工程的详勘应符合本文件9.3~9.11的要求。

9.13 收费站及服务区房屋建筑工程

收费站及服务区等沿线设施的详勘应符合《岩土工程勘察规范》（GB 50021）等要求。

9.14 筑路材料

9.14.1 沿线筑路材料料场详勘应对初勘资料进行核实，必要时，应补充勘探。

9.14.2 新增料场应按本文件 8.14 的要求进行勘察。

9.15 弃土场（填平区）

9.15.1 沿线弃土场（填平区）详勘应对初勘资料进行核实。

9.15.2 弃土场（填平区）应布置纵向勘探断面，每条断面勘探点数量不宜少于 2 个，深度宜为 20 m~30 m，在此深度范围内遇基岩，钻入基岩内深度不应小于 1 m。当遇到软土、软弱夹层等应增加勘探点。

9.15.3 应沿拦渣工程轴线布置勘探断面，每条断面上勘探点数量宜为 2~3 个，深度宜为 10 m~15 m。

10 施工与养护勘察

10.1 一般规定

10.1.1 施工勘察应根据施工过程中出现的工程地质问题开展工作，为满足设计及施工方案调整和风险控制的要求。

10.1.2 施工阶段遇下列情况时，应根据设计、施工的要求进行施工勘察：

- a) 施工过程中地质情况出现较大变化，原设计、施工方案需进行修改；

- b) 场地存在岩溶等复杂地质、对工程施工造成不利影响且影响工程安全的不良地质或特殊性岩土；
 - c) 设计方案变更需要新的勘察资料；
 - d) 需要施工勘察的其他情况。
- 10.1.3 施工勘察应采用资料收集与分析、物探、钻探、原位测试、取样与试验、水文地质试验相结合的综合勘察方法，查明施工中遇到的地质问题，必要时开展专项研究，为设计变更、施工提供地质资料。
- 10.1.4 施工勘察应根据工程地质问题的复杂程度、已有勘察成果可利用情况、场地条件等因素确定勘察方法和工作量。
- 10.1.5 施工阶段应根据施工揭露的地质特征，检验、复核、修正前期地质勘察成果。
- 10.1.6 施工阶段应进行超前地质预报，对地基、边坡及隧道围岩进行工程地质评价，及时提出对工程地质问题的处理建议，并参与验收。
- 10.1.7 施工阶段施工单位宜开展下列地质工作：
- a) 收集、研究工程地质勘察资料，掌握场地工程地质条件及不良地质作用和特殊性岩土的分布情况，预测施工中可能遇到的工程地质问题；
 - b) 调查了解工程周边环境变化条件、周边工程施工情况，分析地质与周边环境条件的变化对工程可能造成的危害；
 - c) 通过观察开挖实际揭露出的岩土成分、密实度、湿度，地下水情况，地质构造情况，核实或修正勘察资料；
 - d) 绘制边坡和隧道地质素描图；对于复杂地质条件下的隧道应开展超前地质探测，开展超前地质预报。
- 10.1.8 养护阶段遇下列情况时，应根据设计的要求进行养护勘察：
- a) 运营过程中受外部环境影响，地质情况出现较大变化，对工程运营造成不利影响且影响工程安全的不良地质或特殊性岩土；
 - b) 当桥涵、隧道构造物需进行加固、路基边坡需进行局部改善、增设支挡防护工程或进行特殊路基处理时，设计方案需要新的勘察资料；
 - c) 需要养护勘察的其他情况。
- 10.1.9 养护勘察的工作内容应根据设计养护工程类别进行合理选取，勘察方法应符合本文件 9 的要求。

10.2 路基工程

- 10.2.1 施工阶段路基工程应跟踪开挖揭露的地质情况，评价基底岩土体特征及地基稳定性，提出工程处理措施建议。
- 10.2.2 施工阶段路基工程重点跟踪影响地基变形、抗滑稳定、渗透稳定的不利地质条件及其变化。
- 10.2.3 施工阶段遇到下列情况需进一步查明时，应提出专项勘察研究的建议：
- a) 施工过程中地质情况出现较大变化，原设计、施工方案需进行修改；
 - b) 局部地段存在地基变形、抗滑稳定、渗透变形问题，且其边界条件、岩土体参数发生较大变化；
 - c) 存在影响路基基底稳定的岩溶、土洞等隐蔽不良地质现象；
 - d) 可利用岩土体顶面的埋藏深度及形态发生较大变化；
 - e) 施工方案有较大变更，详细勘察资料不能满足要求。
- 10.2.4 养护阶段路基养护勘察重点调查既有路基主体、路基支挡结构、防护工程、排水系统的使用情况等内容，查明病害的性质、成因、规模及发展趋势，分析病害与路线所处的地貌特征、工程地质条件相关性，必要时补充地质勘察，为工程设计提供依据。

10.3 边坡工程

10.3.1 施工阶段边坡工程宜采用动态设计，应及时跟踪开挖揭露的地质情况，评价边坡稳定性，提出工程处理措施的建议。

10.3.2 施工阶段边坡工程应重点跟踪控制边坡稳定的结构面及软弱层带发育特征、性状及其组合情况。

10.3.3 施工阶段新发现大型不利块体或施工引发大规模边坡变形、严重环境地质问题需进一步查明时，应提出专项勘察研究的建议。

10.3.4 养护阶段边坡养护勘察重点是调查既有边坡边界特征、表部特征与变形活动特征，边坡类型、形态与规模、稳定程度，地下水及地表水特征，既有边坡支挡结构、防护工程、排水系统的使用情况等内容。边坡病害与水文地质相关时，应进一步核查原有水文地质调绘和排水设计资料，必要时补充相关水文勘察工作；对有滑动趋势的边坡，应符合《公路滑坡防治设计规范》（JTG/T 3334）的要求，采取可靠的不降低边坡稳定性的勘察手段，进一步查明边坡地质条件，分析病害原因，为工程设计提供依据。

10.4 桥梁工程

10.4.1 施工阶段桥梁工程应跟踪桥梁桩基施工揭露的地质情况，评价桩周及桩底岩土体质量及稳定性，提出工程处理措施建议。

10.4.2 施工阶段对详勘过程中未能施钻的钻孔开展补充钻探。

10.4.3 施工阶段桥梁工程重点跟踪中、微风化岩面的位置及以及软弱层带的深度范围。

10.4.4 施工阶段遇到下列情况需进一步查明时，应提出专项勘察研究的建议：

- a) 施工过程中地质情况出现较大变化，原设计、施工方案需进行修改；
- b) 场地存在岩溶、土洞等形态特别复杂、影响桥梁工程安全的不良地质体；
- c) 场地存在孤石、球状风化体、软土、煤系地层、断裂破碎带、岩面埋深剧烈起伏、风化软弱夹层等桥梁工程施工造成不利影响的特殊性岩土体；
- d) 施工方案有较大变更，详细勘察资料不能满足要求。

10.4.5 养护阶段桥梁养护勘察重点调查既有桥涵的使用状态、缺损状况和适应性等，核查原有结构有无因地质问题造成病害，必要时进一步查明原有结构的工程地质条件，核查地基基础的岩石物理力学性质及冲刷等不良地质情况，为工程设计提供必要的基础资料。

10.5 隧道工程

10.5.1 施工阶段隧道工程应跟踪开挖揭露的地质情况，复核围岩级别，评价围岩稳定性，提出工程处理措施地质建议。

10.5.2 施工阶段隧道工程应重点跟踪下列内容：

- a) 围岩级别变化及变形失稳、涌水、突泥等，与设计等协商围岩级别调整后的仰拱及衬砌防护等对应措施；
- b) 深埋长隧道岩爆、软岩大变形、高外水压力等，以及涌水、排水对环境的影响；
- c) 有害气体、放射性元素。

10.5.3 施工阶段深埋长隧道可能遇到影响施工安全、围岩稳定、涌水突泥等重大地质问题时，应根据实际情况，提出合适的超前地质预报的措施和范围。

10.5.4 施工阶段遇到下列情况需进一步查明时，应提出专项勘察研究的建议：

- a) 施工过程中地质情况出现较大变化，原设计、施工方案需进行修改；
- b) 隧址区存在涌水、突泥等影响工程安全的不良水文地质现象；

- c) 隧址区存在导水性质的地层接触带、岩溶发育带、断裂破碎带、风化软弱夹层等对隧道施工造成不利影响的特殊性岩土体；
 - d) 施工方案有较大变更，详勘资料不能满足要求。
- 10.5.5 养护阶段隧道养护勘察应对既有隧道的设计、施工及运营安全等情况进行详细的调查，应重点调查既有隧道的结构形式、使用状态、缺损状况、渗漏水情况、瓦斯及其他有害气体渗入情况、路面病害状况和适应性等，核查原有隧道工程有无因地质问题造成的病害，必要时开展相关的补充地质勘察，为工程设计提供基础资料。

11 不良地质

11.1 岩溶

- 11.1.1 当公路路线通过岩溶地区，存在对公路工程的安全有影响或潜在影响的岩溶地质灾害时，应进行岩溶工程地质勘察。
- 11.1.2 岩溶工程地质勘察应查明下列内容：
- a) 岩溶地貌的成因、类型、规模、形态特征、分布范围；
 - b) 岩溶发育与地层岩性、地质构造、水文地质条件及新构造运动的关系；
 - c) 覆盖层的成因、类型、分布、厚度、地层结构；
 - d) 基岩的岩性、地质年代、地层层序、分布范围、埋深和岩面起伏变化情况；
 - e) 褶皱、断裂、节理的类型、规模、性质、分布范围和产状；
 - f) 土洞、溶洞、岩溶洞隙、充填物情况、暗河的分布范围、规模及其稳定性；
 - g) 地下水的类型、分布、富水程度、埋藏条件、水位变化及运动规律；
 - h) 地下水与地表水的水力联系，地表水的消水位置和洪水痕迹的分布高程；
 - i) 土洞、岩溶水害、岩溶塌陷的成因、分布和发育规律；
 - j) 当地治理岩溶、土洞和地面塌陷的工程经验。
- 11.1.3 根据埋藏条件，岩溶可按表 33 进行分类。

表33 岩溶按埋藏条件分类

类型	主要特征
裸露型	可溶性岩层大部分出露地表，低洼地带分布有厚度一般不超过 10m 的第四纪覆盖层，地表岩溶景观显露，地表水与地下水连通密切
浅覆盖型	可溶性岩层大部分被第四系土层覆盖，覆盖率一般在 30%~70%，厚度一般不超过 30m，少部分岩溶景观显露地表，地表水与地下水连通较密切
深覆盖型	可溶性岩层基本被第四系土层覆盖，覆盖率一般在 70%以上，覆盖层厚度一般 30~100m，几乎没有岩溶景观显露地表，地表水与地下水连通不密切
埋藏型	可溶性岩层被非可溶性岩层（如泥质砂岩、页岩）覆盖，没有岩溶景观显露地表，埋深一般大于 100m，地表水与地下水连通不密切

- 11.1.4 岩溶的发育程度可按表 34 划分，并根据现场实际情况进行综合判定。

表34 岩溶发育程度划分

岩溶发育程度分级	场地岩溶现象	岩溶点密度 (个/km ²)	钻孔遇洞率 (%)	钻孔线岩溶率 (%)
极强发育	地表常见密集的岩溶洼地、漏斗、落水洞、塌陷、槽谷、石林等多种岩溶形态，溶蚀基岩面起伏剧烈；地下岩溶形态常见巨型溶洞、暗河及大型溶洞群分布；近期发生过岩溶地面塌陷	>30	>40	>10
强发育	地表常见密集的岩溶洼地、漏斗、落水洞、塌陷等多种岩溶形态，石芽(石林)、溶沟(槽)强烈发育(或覆盖)，溶蚀基岩面起伏大；地下岩溶形态常见较大型溶洞、暗河分布；有岩溶地面塌陷历史，但近期无岩溶地面塌陷发生	15~30	25~40	5~10
中等发育	地表常见岩溶洼地、漏斗、落水洞等多种岩溶形态，石芽(石林)、溶沟(槽)发育(或覆盖)，溶蚀基岩面起伏较大；地下岩溶形态以规模较小的溶洞为主，出露岩溶泉	3~15	5~25	2~5
弱发育	地表偶见漏斗、落水洞、石芽、溶沟等岩溶形态，溶蚀基岩面起伏较小；地下岩溶以溶隙为主，偶见小型溶洞，裂隙透水性差	<3	<5	<2
<p>注1：表中岩溶点密度是指每平方公里场地范围内分布的岩溶洼地、漏斗、落水洞、竖井、以及水平溶洞、暗河、岩溶泉露头等各种地表岩溶形态的个数。</p> <p>注2：表中钻孔遇洞率指遇到溶蚀洞穴、溶蚀裂隙的钻孔数量与钻孔的总数的百分比率。</p> <p>注3：表中钻孔线岩溶率是指场地内各钻孔所揭示的溶蚀洞穴、溶蚀裂隙的总高度与穿过可溶岩岩层的总进尺的百分比率。</p>				

11.1.5 岩溶区根据地质条件选线应符合下列规定：

- a) 路线应避开岩溶强烈发育地带，选择在岩溶发育微弱、洞穴层数少、顶板稳固、受岩溶水影响小或非岩溶化地带通过；
- b) 路线应避免沿断裂带、可溶岩与非可溶岩的接触带、有利于岩溶发育的褶皱轴部布线，避开断裂的交汇处、岩溶水富集区及岩溶水排泄区；
- c) 路线通过孤峰平原区，应选择覆盖层较厚、地下水埋藏较深的地段通过，避开多元土层结构、地表水位与地下水位变化幅度较大、地下水埋藏较浅及抽取地下水后可能形成下降漏斗的地段；
- d) 路线通过峰林谷地、峰丛洼地及溶丘洼地地区，路线设计高程应高于岩溶水的最高洪水位，避开断裂通过的垭口；
- e) 路线通过河谷区，路线宜在岩溶发育较弱的一岸布设，避开谷坡上的岩溶负地形和无水溶洞群，路线设计高程应高于岩溶发育强烈的水平径流带；
- f) 越岭线应避开岩溶负地形和岩溶水排泄区；
- g) 路线应避开土洞、地面塌陷发育的不良地质地段。

11.1.6 岩溶区工程地质调绘应符合下列规定：

- a) 应与路线及沿线构筑物的设置结合，查明本文件 11.1.2 的有关内容；
- b) 地层接触线、可溶岩与非可溶岩界线、断层、土洞、岩溶塌陷、落水洞、暗河、井及泉等地下水露头、岩溶水的消水位置和洪水痕迹、覆盖层发育的代表性路段等应布置调绘点；
- c) 覆盖层发育地带，与路线设置关系密切的隐伏岩溶、土洞等宜辅以物探、挖探等进行调绘。

11.1.7 岩溶区工程地质勘探应符合下列规定：

- a) 应在工程地质调绘的基础上进行,采用钻探、物探等进行综合勘探;勘探测试点的数量和位置应根据现场地形地质条件、岩溶发育程度、构筑物的类型及规模等综合确定;
 - b) 勘探深度应符合下列规定:
 - 1) 填方、挖方路基构筑物的浅基础:勘探深度应至基底以下完整地层内不小于 10 m;在该深度内遇岩溶洞穴时,应在洞穴底板稳定基岩内再钻进 3 m~5 m;
 - 2) 桩基础:勘探深度应至桩端以下完整基岩中 10 m~15 m;在该深度内遇岩溶洞穴时,应在洞穴底板稳定基岩内再钻进 10 m;
 - 3) 隧道:勘探深度应至洞底或仰拱底以下完整基岩中 5 m~8 m;在该深度内遇岩溶洞穴时,应在洞穴底板稳定基岩内再钻进 8 m。
 - c) 应分层采集岩土试样,记录钻具自然下落或自然减压,以及漏水、水色突变、冲洗液发生异常变化的位置及起止深度,并测定岩芯的岩溶率;对溶洞的充填类型及充填物组成、状态等应准确描述记录;
 - d) 覆盖性岩溶场地和岩溶中等及以上发育地段,宜在方法试验的基础上选择地质雷达、高密度电法、跨孔 CT、管波等物探方法与钻探结合进行综合勘探。
- 11.1.8 岩溶区工程地质测试应符合下列规定:
- a) 暗河发育路段,宜做连通试验,调查暗河发育情况;
 - b) 必要时,采取代表性岩土试样测试其矿物成分和化学成分等;
 - c) 地表水和地下水应进行常规试验项目,且应测试其游离 CO₂ 和侵蚀性 CO₂ 含量。
- 11.1.9 初步勘察应符合下列规定:
- a) 初步勘察应沿路线及其两侧各宽不小于 200 m 的带状范围进行路线工程地质调绘,路线工程地质调绘的比例尺为 1:2000;岩溶发育,水文地质条件复杂的特长、长隧道应进行专项区域水文地质调绘,水文地质调绘的比例尺为 1:10000~1:50000,调绘范围应根据水文地质评价的需要确定;
 - b) 初勘阶段路线经过区对路线方案影响重大的岩溶地质问题,采用常规方法难以查明时,应提出开展岩溶专题研究的建议;
 - c) 勘探测试应符合本文件 8 的要求,且应符合下列规定:
 - 1) 路基勘探:应在工程地质调绘的基础上对岩溶发育程度进行分段,岩溶中等发育至极强发育路段,宜结合物探进行综合勘探;岩溶弱发育路段,钻孔平均间距不宜大于 200 m;岩溶中等发育路段,钻孔平均间距不宜大于 150 m;岩溶强发育至极强发育路段,钻孔平均间距不宜大于 100 m;
 - 2) 桥梁勘探:岩溶中等发育至极强发育的桥位,应沿桥轴线及墩台位置布置物探断面,与钻探结合进行综合勘探;桥梁的主墩、主塔、高墩、桥台部位应布置钻孔;
 - 3) 涵洞及通道勘探:岩溶弱发育至中等发育的场地,可做代表性勘探;岩溶中等发育至极强发育的场地,宜结合物探进行综合勘探;
 - 4) 隧道勘探:应结合物探方法进行综合勘探,可溶岩与非可溶岩地层接触带、含水层、物探异常带、断层破碎带等岩溶发育部位宜布置钻孔验证。
 - d) 岩溶初勘应提供下列资料:
 - 1) 文字报告:应对路线及构筑物场地工程地质条件进行说明,对本文件 11.1.2 岩溶勘察要求查明的内容进行说明,划分岩溶发育程度,分析评价工程建设场地的适宜性,提出工程地质建议;
 - 2) 图表资料:应对岩溶的形态、分布范围等进行图示和说明,对公路工程有影响的大型岩溶洞穴、暗河应根据实测资料编制调查成果图,比例尺为 1:100~1:400,图示测图导线、

测图断面的位置、岩溶洞穴的平面和断面位置、形态及充填情况，并对地层、地质构造、地下水、节理裂隙的发育情况、顶板岩体的完整性和坍塌、稳定情况进行说明。

11.1.10 详细勘察应符合下列规定：

- a) 岩溶区工程地质调绘应对初勘工程地质调绘资料进行复核；当线位偏离初步设计线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘，补充工程地质调绘的比例尺为 1：2000；对影响构筑物稳定的暗河、溶洞、竖井等应实地调绘；
- b) 应充分利用初勘资料，在确定的线位和构筑物位置上，应符合本文件 9 及 11.1.9 的要求，且应符合下列规定：
 - 1) 路基勘探：应在工程地质调绘和初勘基础上开展综合物探，圈定异常范围，结合钻孔进行综合勘探，采用的物探方法和勘探工作量应根据岩溶发育复杂程度确定；
 - 2) 桥梁勘探：岩溶弱发育的桥位，单幅每个墩台的钻孔不应少于 1 个；岩溶中等发育的桥位，单幅每个墩台的钻孔不应少于 2 个，宜逐桩钻探；岩溶强发育至极强发育的桥位，应逐桩钻探，并宜结合跨孔 CT、管波等进行综合勘探；
 - 3) 涵洞及通道勘探：应沿涵洞及通道轴线布置勘探断面，采用物探、钻探进行综合勘探；岩溶弱至中等发育场地，每座涵洞（通道）钻孔数量不应少于 1 个；岩溶强至极强发育场地，每座涵洞（通道）钻孔数量勘探点不应少于 2 个；
 - 4) 隧道勘探：应结合隧址区岩溶发育程度，对初勘勘探点进行加密。
- c) 岩溶勘察应按本文件 14 及 11.1.9 的要求提供资料。

11.2 滑坡

11.2.1 在公路路线及其附近存在对公路工程及其附属设施的安全有影响的滑坡或滑坡的可能时，应进行滑坡工程地质勘察。

11.2.2 滑坡工程地质勘察应查明下列内容：

- a) 地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、地震动参数及当地气象资料；
- b) 滑坡的成因、类型、规模、分布范围、发育规律及诱发因素；
- c) 滑坡周界、滑坡裂缝、滑坡擦痕、滑坡台阶、滑坡壁、滑坡鼓丘、滑坡洼地等滑坡要素的分布位置和发育情况；
- d) 滑动面（带）的分布位置、层数、厚度、形态特征、物质组成、含水状态及其物理力学性质；
- e) 滑坡体的物质组成及其分级、分块和分层情况；
- f) 滑床的形态特征、物质组成、物理力学性质和地质结构；
- g) 沟系、洼地、陡坎等微地貌特征和植被情况；
- h) 滑坡附近建筑物、人工扰动和其他产生附加荷载的情况；
- i) 地表水分布、场地汇水面积、地表径流条件；
- j) 地下水的类型、分布、埋藏条件、成因、水质、水量；
- k) 岩土体的渗透性，地下水补给、径流和排泄情况、泉和湿地等的分布；
- l) 滑坡的稳定性现状和变形趋势判断；
- m) 当地滑坡的勘察、设计资料和治理经验。

11.2.3 根据滑坡体的体积，滑坡可按表 35 进行分类。

表35 滑坡按滑坡体的体积分类

滑坡类型	小型滑坡	中型滑坡	大型滑坡	巨型滑坡
滑坡体积 V_0 (m^3)	$V_0 \leq 4 \times 10^4$	$4 \times 10^4 < V_0 \leq 3 \times 10^5$	$3 \times 10^5 < V_0 \leq 1 \times 10^6$	$V_0 > 1 \times 10^6$

11.2.4 根据滑动方式，滑坡可按表 36 进行分类。

表36 滑坡按滑动方式分类

滑坡类型	活动方式
推移式滑坡	中上部滑体挤压推动前缘段产生滑动形成的滑坡
牵引式滑坡	前缘段发生滑动后牵引后部滑体形成的滑坡

11.2.5 根据滑动面的埋藏深度，滑坡可按表 37 进行分类。

表37 滑坡按滑动面埋深分类

滑坡类型	浅层滑坡	中层滑坡	深层滑坡
滑动面埋深 H_0 (m)	$H_0 \leq 6$	$6 < H_0 \leq 20$	$H_0 > 20$

11.2.6 根据滑坡体的物质组成，滑坡可分为堆积层滑坡、基岩滑坡、破碎岩体滑坡和膨胀土滑坡等类型。

11.2.7 滑坡发育地段根据地质条件选线应符合下列原则：

- a) 路线应避免规模大、性质复杂、稳定性差、处治困难的滑坡及滑坡群地段；
- b) 当滑坡的规模较小，整治方案技术可行、经济合理时，路线应选择在有利于滑坡稳定的安全部位通过；
- c) 路线通过滑坡地段时，不应开挖坡脚，且不应在滑坡体的上方以填方形式通过。

11.2.8 滑坡工程地质调绘应符合下列规定：

- a) 应与路线及构筑物的设置相结合，查明本文件 11.2.2 的有关内容；
- b) 岩层露头，滑坡边界、滑坡裂缝、滑坡台阶、滑坡壁、滑坡鼓丘，地下水露头，地层接触线等部位应布置调绘点；
- c) 滑坡剪出口、裂缝等露头不良时，宜辅以挖探等进行调绘。

11.2.9 滑坡工程地质勘探应符合下列规定：

- a) 宜采用物探、挖探、钻探等进行综合勘探；勘探测试点的数量和位置应在工程地质调绘的基础上，根据滑坡的类型、规模、复杂程度，结合路线及整治工程设计确定；
- b) 勘探点（断面）的布置应符合下列要求：
 - 1) 勘探点应沿滑坡的主滑方向布置，主滑勘探断面上勘探点不应少于 3 个，其中钻孔不少于 2 个，且勘探点平均间距不应大于 30 m；当滑坡的规模大、性质复杂时，勘探点（断面）应结合滑坡的级块划分、滑坡稳定性分析以及整治工程设计等进行布置；
 - 2) 滑坡的勘探深度应至滑坡体以下的稳定地层内不小于 3 m；设置支挡工程部位，勘探点的深度应满足支挡工程设计的要求；
 - 3) 滑坡工程地质钻探应根据滑坡体及滑动面（带）的物质组成选择无水钻进、无泵反循环或单动双管钻探等方法；
 - 4) 钻探应严格控制钻进回次，钻探的岩芯采取率应达到 90% 以上；钻探至预估的滑动面（带）以上 5 m 或发现滑动面（带）迹象时，必须进行干钻，回次进尺在土层中不应大于 0.3 m，在岩层中不应大于 0.2 m，并及时检查（鉴定）岩芯，确定滑动面位置；钻探过程中须进行全程记录，边钻进，边记录，边鉴定，并注意与掉钻、卡钻、缩孔、漏水等异常情况，研判可能存在的滑面位置；
 - 5) 应在滑坡体及滑床地层中，分层采取岩、土、水试样；滑动面（带）应采取原状样；
 - 6) 物探断面宜与钻探断面一致；采用的物探方法应在方法试验的基础上确定。

11.2.10 滑坡工程地质测试应符合下列规定：

- a) 室内测试项目应符合本文件 5.7 的要求；砂土、碎石土应做颗粒分析、密度试验，选做休止角试验；土样应进行天然和饱和抗剪强度试验；土样应进行渗透试验；岩石应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；
- b) 滑动面（带）的抗剪强度试验应结合滑动条件、岩土性质选择滑面重合剪、重塑土多次剪试验等。有条件时，宜进行原位大面积剪切试验；
- c) 钻探过程中遇地下水时，应量测初见水位、稳定水位，确定含水层厚度；地下水发育时，应做抽水试验；
- d) 宜采集水样做水质分析，评价环境水的腐蚀性。

11.2.11 应利用调绘、勘探、测试等方法取得的各项资料，对滑坡的稳定性进行定性和定量分析。定量分析可选择极限平衡条分法、有限元强度折减法等。

11.2.12 用于滑坡推力计算的抗剪强度指标应结合抗剪强度试验、力学指标反算、既有工程经验等综合分析确定。

11.2.13 初步勘察应符合下列规定：

- a) 滑坡工程地质调绘的比例尺应为 1:500~1:2000，调绘的范围应包括滑坡及对滑坡有影响的区域；滑坡边界、滑坡台阶等滑坡要素应实测；
- b) 勘探测试应符合本文件 8 及 11.2.9、11.2.10 的要求，且应符合下列规定：
 - 1) 应结合整治工程需要，沿主滑方向和垂直主滑方向布置勘探断面；
 - 2) 每条勘探断面上的勘探点数量不宜少于 2 个；当滑坡规模大、性质复杂时，应增加勘探点数量；
 - 3) 宜与物探结合进行综合勘探。
- c) 滑坡初勘应提供下列资料：
 - 1) 对规模小、地质条件简单，不需要处治的滑坡，可列表说明其工程地质条件；
 - 2) 对规模大、性质复杂的滑坡，应按工点编制工程地质勘察报告。
 - (1) 文字报告：应对本文件 11.2.2 滑坡勘察要求查明的内容进行说明，分析滑坡的稳定性，提出工程地质建议；
 - (2) 图表资料：应对滑坡分布的范围、分级与分块情况、滑坡要素、地下水等进行图示和说明；提供 1:500~1:2000 滑坡工程地质平面图；1:200~1:500 滑坡工程地质断面图；1:50~1:200 滑坡工程地质钻孔柱状图；1:50~1:200 滑坡探坑（井、槽）展示图；土工试验资料；物探曲线图表；水文地质测试资料；滑坡动态观测资料及照片等；
 - (3) 当滑坡勘探断面达到 2 个及以上时，应提供滑坡工程地质纵断面图，且应提供滑坡工程地质横断面图。

11.2.14 详细勘察应符合下列要求：

- a) 滑坡详细勘察应对初勘工程地质调绘资料进行复核地质条件需进一步查明时，应结合滑坡处治工程设计补充进行 1:500~1:2000 工程地质调绘；
- b) 勘探、测试应符合本文件 9 及 11.2.13 的要求，且应符合下列规定：
 - 1) 应充分利用初勘资料，在补充工程地质调绘的基础上，结合滑坡的分级、分块、分层和排水工程设计，确定勘探测试点的数量和位置；
 - 2) 应根据滑坡规模增加勘探断面和勘探点，勘探断面平均间距不应大于 50 m，每条断面勘探点不宜少于 4 个，其中钻孔不少于 2 个，勘探点间距不宜大于 50 m；当滑坡规模大、性质复杂时，勘探断面的平均间距不应大于 30 m，每条断面勘探点不宜少于 5 个，其中钻孔不应少于 3 个，勘探点间距不宜大于 30 m；

- 3) 抗滑支挡工程、河岸防护工程宜沿工程设置部位的轴线方向布置勘探断面，探明基底和锚固部位地质条件；
 - 4) 滑坡勘探断面上的地形、滑坡边界、滑坡裂缝、地下水出露点等应实测；
 - 5) 开展相应的物理力学性质试验，提供滑体天然容重、饱和容重、滑带土的峰值和残余抗剪强度、滑床地基承载力参数、地下水位以及孔隙水压力等，推荐设计参数取值。
- c) 滑坡详勘应按本文件 11.2.13 的要求提供资料。

11.2.15 当滑坡规模大、性质复杂、稳定性难以判明时，勘探过程中应结合勘探点设置进行地表及深部位移监测。

11.3 危岩与崩塌

11.3.1 路线通过斜坡地带，斜坡陡峭，构成斜坡的岩土体节理裂隙发育，呈张开状，存在崩塌的可能时，应进行危岩与崩塌工程地质勘察。

11.3.2 危岩与崩塌工程地质勘察应查明下列内容：

- a) 地形地貌的类型及形态特征，气象、水文及地震动参数资料；
- b) 地层岩性、软质岩与硬质岩的分布情况、岩石风化程度；
- c) 地质构造，节理、层理、断裂等结构面的产状、规模、结合程度，边坡岩体的结构类型和完整性；
- d) 地表水和地下水类型、分布、成因、水质、水量；
- e) 危岩的分布、规模及稳定性；
- f) 崩塌的类型、规模、分布范围及崩塌、落石情况。

11.3.3 根据崩塌的规模，崩塌可按表 38 进行分类。

表38 崩塌按规模分类

类型	小型崩塌	中型崩塌	大型崩塌
崩塌体积 V_1 (m ³)	$V_1 \leq 500$	$500 < V_1 \leq 5\,000$	$V_1 > 5\,000$

11.3.4 根据崩塌产生的机理，崩塌可按表 39 进行分类。

表39 崩塌按形成机理分类

类型	倾倒式崩塌	滑移式崩塌	膨胀式崩塌	拉裂式崩塌	错断式崩塌
形成机理	倾倒	滑移	膨胀	拉裂	错断

11.3.5 根据发生崩塌的地层，崩塌可分为岩石崩塌和黏性土崩塌等。

11.3.6 危岩与崩塌地段根据地质条件选线应符合下列规定：

- a) 路线应避开斜坡高陡，节理裂隙切割严重，危岩、崩塌发育地段；
- b) 当崩塌的规模小，危岩、落石的边界条件或个体清楚，防治方案技术、经济可行时，路线可选择在有利部位通过；

11.3.7 危岩与崩塌工程地质调绘应符合下列规定：

- a) 应收集地震、气象、水文资料，并与路线及构筑物的设置相结合，查明本文件 11.3.2 的有关内容；
- b) 地层界线、断层、节理、层理、张裂隙、地下水出露点等部位应布置调绘点；
- c) 宜辅以挖探等对被覆盖的张裂隙、层理等进行调绘；
- d) 宜采用无人机技术对人难以到达的位置进行调绘。

11.3.8 危岩与崩塌工程地质勘探测试应符合下列规定：

- a) 勘探宜采用挖探、钻探、物探等进行综合勘探；勘探测试点的数量和位置应根据地形地质条件及危岩与崩塌的发育特点确定；
- b) 控制危岩、崩塌的结构面，应结合危岩、崩塌的稳定性分析，采用挖探、钻探、硐探等进行综合勘探；
- c) 钻探应分层采取土样，取样后应做动力触探试验；
- d) 钻探过程中遇地下水时，应量测地下水的初见水位和稳定水位；
- e) 崩塌室内测试项目应符合本文件 5.7 的要求；
- f) 宜做现场落石试验，了解落石的滚落途径、跳越高度、影响范围。

11.3.9 初步勘察应符合下列规定：

- a) 初步勘察应结合路线及构筑物的工程方案比选进行 1:2 000 工程地质调绘，调绘范围应包括不良地质体及对工程有影响的区域；
- b) 勘探、测试应符合本文件 8 及 11.3.8 的要求，下列位置存在危岩或崩塌的可能时，对控制岩体稳定的层理、断层、泥化夹层、层间错动带等软弱结构面，应结合危岩、崩塌稳定性分析，采用挖探、钻探、硐探等探明，并对其产生崩塌的可能性做出评价：
 - 1) 隧道进出口地带的高陡边坡；
 - 2) 桥梁跨越的陡坡地带；
 - 3) 路基上方的高陡斜坡。
- c) 危岩与崩塌初勘应提供下列资料：
 - 1) 文字报告：应对本文件 11.3.2 危岩与崩塌勘察要求查明的内容进行说明，分析危岩的稳定性，提出工程地质建议；
 - 2) 图表资料：应对危岩与崩塌的分布范围、软质岩与硬质岩的分布情况、张拉裂隙的产状等进行图示和说明；提供 1:500~1:2 000 工程地质平面图；1:200~1:500 工程地质断面图；1:50~1:200 工程地质钻孔柱状图；1:50~1:200 探坑（井、槽）展示图；土工试验资料；物探曲线图表及照片等。

11.3.10 详细勘察应符合下列规定：

- a) 详细勘察应对初勘调绘资料进行复核；地质条件需进一步查明时，应进行补充调绘，调绘的比例尺为 1:500~1:2 000；
- b) 详细勘察应充分利用初勘资料，应符合本文件 9 及 11.3.9 的要求，且应符合下列规定：
 - 1) 应结合危岩、崩塌稳定性分析，增加必要的勘探测试点，查明危岩、崩塌地质条件；
 - 2) 在确定的线位上，布置勘探断面，每条断面上勘探点不少于 3 个，其中钻孔不少于 2 个；勘探断面平均间距不应大于 30 m；
 - 3) 在确定的线位区，存在对路线有重大影响的危岩体时，应提出开展专题研究建议。
- c) 危岩与崩塌详勘应按本文件 11.3.9 的要求提供资料。

11.4 泥石流

11.4.1 当公路路线通过沟谷，沟口或沟谷中存在大量无分选的堆积物，且在沟谷两侧或源头坡面有较厚的松散堆积层，并存在崩塌、滑坡等不良地质现象时，应进行泥石流工程地质勘察。

11.4.2 泥石流工程地质勘察应查明以下内容：

- a) 地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、地震、气象和水文条件；
- b) 泥石流的类型、分布、规模、成因、发生的时间、暴发频率、危害程度及范围；
- c) 泥石流沟谷的横断面形态、沟槽宽度、纵坡和汇水面积；
- d) 泥石流形成区、流通区不良地质的发育情况及固体的物质来源与储量；
- e) 泥石流的冲淤情况、流动痕迹，沟谷转弯及沟道狭窄处最高泥痕的位置；

- f) 泥石流堆积物的分布范围、物质成分、数量和粒径组成;
- g) 泥石流堆积扇的扇面坡度、漫流和沟槽发育情况以及植被情况;
- h) 泥石流防治经验与工程类型。

11.4.3 泥石流工程地质勘察应符合《公路工程地质勘察规范》(JTG C20)的要求,且应符合下列规定:

- a) 初勘阶段工作量布置应符合下列规定:
 - 1) 泥石流排导工程:勘探断面应沿排导工程的延伸方向布置,每条断面勘探点不宜少于2个,其中钻孔不应少于1个,探坑(井)或钻孔深度应至冲刷线以下不小于5m;
 - 2) 泥石流拦渣坝:应沿沟槽横断面方向布置勘探断面,每条断面勘探点不宜少于2个,其中钻孔不应少于1个,探坑(井)或钻孔深度应至基底以下稳定地层中不小于3m。
- b) 详勘阶段工作量布置应符合下列规定:
 - 1) 泥石流排导工程:当泥石流影响范围大时,应沿排导工程的延伸方向增加勘探断面,每条断面勘探点不宜少于2个,其中钻孔不应少于1个;
 - 2) 泥石流拦渣坝:应加密勘探断面,每条断面勘探点不宜少于3个,其中钻孔不应少于2个。

11.4.4 详勘阶段应充分利用初勘资料,当采用的泥石流治理工程形式发生变化时,应按新的治理工程形式重新布置勘探工作量。

12 特殊性岩土

12.1 软土

12.1.1 在静水或缓慢流水环境中沉积,具有以下工程地质特性的土,应判定为软土:

- a) 天然含水率 $\omega \geq \omega_L$;
- b) 天然孔隙比 $e \geq 1.0$;
- c) 压缩系数 $a_{0.1-0.2} > 0.5 \text{MPa}^{-1}$;
- d) 标准贯入试验锤击数 $N < 3$ 击;
- e) 静力触探比贯入阻力 $P_s \leq 750 \text{kPa}$;
- f) 十字板抗剪强度 $C_u < 35 \text{kPa}$ 。

12.1.2 具有12.1.1规定的多数特性,呈软塑~流塑状,具有天然含水率高、天然孔隙比大、压缩性高、强度低、透水性差、灵敏度高等特点的细粒土,宜按软土进行工程地质勘察。

12.1.3 软土工程地质勘察应查明下列内容:

- a) 地形地貌的成因、类型、分布和形态特征;
- b) 软土的成因、地质年代、分布范围、埋藏深度、地层结构、分层厚度;
- c) 软土下卧硬层的起伏形态和横向坡度、地表硬壳层的分布范围及厚度;
- d) 软土地层中的砂土夹层或透镜体的分布范围、厚度、渗透性、密实程度;
- e) 软土的物理、力学、水理性质和地基的承载力;
- f) 古牛轭湖、埋藏谷,暗埋的塘、浜、沟、渠等的发育与分布情况;
- g) 地下水的类型、埋深、水位变化情况、水质及腐蚀性;
- h) 设计基本地震动峰值加速度 $\geq 0.1g$ 的地区,软土产生震陷的可能性;
- i) 当地既有建筑物软土地基处治措施和经验等。

12.1.4 根据天然孔隙比和有机质含量,软土可按表40进行分类。

表40 软土按天然孔隙比和有机质含量分类

指标	土类			
	淤泥质土	淤泥	泥炭质土	泥炭
天然孔隙比 e	$1 \leq e \leq 1.5$	$e > 1.5$	$e > 3$	$e > 10$
有机质含量 (%)	3~10	3~10	10~60	>60

12.1.5 根据成因类型，软土可按表 41 进行分类。

表41 软土按成因类型分类

类型		特征
海洋沿岸 沉积	泻湖相沉积	颗粒细，孔隙比大，强度低，常夹有薄层泥炭
	溺谷相沉积	孔隙比大，结构疏松，含水率高，分布范围窄
	滨海相沉积	面积广，厚度大，夹有粉砂透镜体，孔隙比大
	三角洲相沉积	分选差，夹粉砂薄层，具交错层理，结构疏松
内陆湖盆 沉积	湖相沉积	粉土颗粒成分高，层理均匀清晰，表层多具贝壳
	丘陵谷地相沉积	沿沟谷呈带状分布，沟口和谷中心深，靠山边浅
河滩沉积	河漫滩相沉积	成层情况较不均一，以淤泥和软黏土为主，含中、细砂交错层，呈透镜体分布
	牛轭湖相沉积	

12.1.6 软土地区根据地质条件选线应符合下列原则：

- 路线应避免软土分布广、厚度大、处治困难的地带；无法避开时，应选择软土厚度较小、下卧硬层横坡较缓的地带以最短的距离通过；
- 在平原区选线，路线宜远离湖塘，避免近距离平行河流、水渠等布线；应避免古牛轭湖、古湖盆等有软土分布的地带，避免从其中部通过；
- 在丘陵和山间谷地选线，路线宜选择在地势较高、硬壳层较厚的地带，避开有软土分布的沟谷、洼地或下卧硬层横坡较陡的地带；
- 软土地区的路堤高度宜控制在设计临界高度以内；
- 桥位选择应避免软土厚度大、土层结构复杂、岸坡稳定存在隐患的部位。

12.1.7 软土地区工程地质调绘应符合下列规定：

- 应与路线及构筑物的设置结合，查明本文件 12.1.2 的内容；
- 山间沟谷、地貌单元的边界、河流阶地、山间盆地地段等应布置调绘点；
- 可能有软土发育的沟谷及低洼地带，应辅以钎探、洛阳铲、轻型动力触探等简易勘探方法进行工程地质调绘。

12.1.8 软土地区工程地质勘探应符合下列规定：

- 应采用简易勘探、挖探、钻探、静力触探等方法进行综合勘探；勘探测试点的数量和位置应根据地层条件、软土发育特点以及构筑物的类型、规模等确定；
- 浅基础勘探深度应穿过软土层至下卧稳定硬层内 3 m~5 m；
- 钻探、取样应符合下列规定：
 - 在软土地层中采样，应严格控制钻探回次进尺，不应扰动或改变试验样品的土体结构及含水状态；
 - 取样前应清除孔内残留岩芯，并保持孔壁稳定；
 - 软土取样应使用专用薄壁取土器，取样器长度不宜小于 50 cm，采用压入法或重锤少击法取样；

- 4) 取土时，取土器的入土深度，不应大于取土器的有效取样深度；
- 5) 软土层的取样间距，在 0m~10m 的深度范围内，每 1.0m~1.5m 应取样 1 件（组）；10m 以下，每 1.5m~2.0m 应取样 1 件（组），变层应取样。

12.1.9 软土地区工程地质测试，应根据地层条件、构筑物的类型等选择室内测试项目和原位测试方法，并符合下列规定：

- a) 室内测试项目可按表 42 选用；
- b) 软土力学试验的加荷级别、试验的边界条件等，应与工程场地的环境条件相适应，并结合施工运营期的实际情况确定；
- c) 宜采用静力触探、标准贯入试验、十字板剪切试验、扁铲侧胀试验等原位测试方法。

表42 软土室内测试表

测试项目			构筑物类型		
			路基	桥梁、涵洞及通道	备注
颗粒分析			(+)	(+)	
天然含水率 ω (%)			+	+	
密度 ρ (g/cm³)			+	+	
土粒相对密度			(+)	(+)	按土类选做
液限 ω_L (%)			+	+	
塑限 ω_P (%)			+	+	
有机质含量 (%)			(+)	+	按土层选做
酸碱度 pH			(+)	/	选代表样做
压缩系数 a (MPa ⁻¹)			+	(+)	
固结系数	垂直 C_v (cm²/s)		+	(+)	
	水平 C_h (cm²/s)		+	(+)	
前期固结压力 P_c (kPa)			+	(+)	按土层选做
渗透系数	垂直 k_v (cm/s)		+	(+)	
	水平 k_h (cm/s)		+	+	
直接快剪	黏聚力 C_q (kPa)		+	+	
	内摩擦角 φ_q (°)		+	+	
固结快剪	黏聚力 C_g (kPa)		+	+	
	内摩擦角 φ_g (°)		+	+	
三轴剪切试验	不固结 不排水	黏聚力 C_{uu} (kPa)	+	+	按路段和土层 选做
		内摩擦角 φ_{uu} (°)	+	+	
	固结不 排水	黏聚力 C_{cu} (kPa)	+	/	
		内摩擦角 φ_{cu} (°)	+	/	
	固结 排水	黏聚力 C'_{cu} (kPa)	+	/	
		内摩擦角 φ'_{cu} (°)	+	/	
无侧限抗压强度 q_u (kPa)			+	+	
注：“+”——必做；“(+)”——选做；“/”——不做。					

12.1.10 初步勘察应符合下列规定：

- a) 工程地质调绘应沿拟定的路线及其两侧各宽 200 m 的带状范围进行，工程地质调绘的比例尺为 1: 2 000；
- b) 勘探测试应符合本文件 8 及 12.1.7、12.1.8 的要求，且应符合下列规定：
 - 1) 平原区软土路堤勘探：勘探测试点应沿路线中线布置，钻孔平均间距不宜大于 300 m，每公里路线静力触探测试点数不宜少于 4 个；当软土厚度大、分布复杂时，应结合填土路基设计，并与静力触探、十字板剪切试验等原位测试结合进行综合勘探，分段布置横向勘探断面，横向勘探断面的平均间距不宜大于 200 m，每条横向勘探断面勘探点不宜少于 2 个，其中钻孔不应少于 1 个；
 - 2) 沟谷及山间洼地的软土路堤勘探：应分段布置勘探横断面，每条勘探横断面勘探点不宜少于 2 个，其中钻孔不应少于 1 个，钻孔深度不宜小于 20 m，在此深度内遇稳定坚硬土层深度可适当减少；
 - 3) 涵洞（通道）的勘探测试点应沿轴线布置，每座涵洞（通道）的钻孔（或静力触探）数量不宜少于 1 个；
 - 4) 桥梁墩台宜布置勘探点。
- c) 初步勘察应提供下列资料：
 - 1) 文字报告：应对路线及构筑物场地的工程地质条件进行阐述，对本文件 12.1.2 软土勘察要求查明的内容进行说明，分析、评价工程建设场地的适宜性，提出工程地质建议；
 - 2) 图表资料：应对软土的类型、分布、工程地质性质等进行图示和说明。

12.1.11 详细勘察应符合下列规定：

- a) 详细勘察应对初勘工程地质调绘资料进行复核；当线位偏离初测线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘，调绘的比例尺为 1: 2000；
- b) 详细勘察应充分利用初勘资料，在确定的路线及构筑物位置上进行，应符合本文件 9 及 12.1.9 的要求，且应符合下列规定：
 - 1) 平原区的软土路堤勘探：勘探测试点应沿路线中线布置；钻孔平均间距不宜大于 200 m；每公里路线静力触探测试点数不宜少于 5 个；当软土厚度大、分布复杂时，应结合填土路基设计，并与静力触探、十字板剪切试验等原位测试结合进行综合勘探，分段布置横向勘探断面，横向勘探断面的平均间距不应大于 100 m，每条横向勘探断面勘探点不宜少于 2 个，其中钻孔不应少于 1 个；
 - 2) 沟谷及山间洼地的软土路堤勘探：应布置勘探横断面，间距不宜大于 50 m，每条横断面勘探测试点不宜少于 3 个，其中钻孔不应少于 1 个；
 - 3) 涵洞（通道）的勘探：每座涵洞（通道）的钻孔（或静力触探）数量不应少于 1 个；
 - 4) 桥梁勘探：宜按墩台布置勘探钻孔，探明地基地质条件。
- c) 详勘阶段应充分利用初勘阶段所取得的资料，但当路线平面位置变化超过 50 m 时，初勘资料仅作为参考。详细勘察应按本文件 12.1.9 的要求提供资料。

12.2 花岗岩类残积土

12.2.1 花岗岩类的岩石风化后残留在原地的第四纪松散堆积物，应定名为花岗岩类残积土。在花岗岩类残积土中，对于液限（100 g 锥试验）大于 50% 的细粒土，应定名为高液限土。

12.2.2 花岗岩类残积土地区工程地质勘察应查明下列内容：

- a) 地形地貌、地层岩性、地质构造；
- b) 花岗岩类残积土的分布、厚度、物质组成、土质类型；
- c) 地层结构、软弱夹层、球状风化体（孤石）及高液限土的发育情况；

- d) 岩土的物理力学性质和地基的承载力;
- e) 下伏基岩的岩性、岩石的破碎程度、风化壳的厚度及其发育情况;
- f) 地下水的类型、埋深、水位变化幅度和水质;
- g) 不良地质的类型、规模、分布及其对路线的影响和避开的可能性。

12.2.3 根据颗粒组成,花岗岩类残积土可按表 43 进行分类。

表43 花岗岩类残积土分类

土名	砾质黏性土	砂质黏性土	黏性土
土中大于2 mm的颗粒含量 (%)	≥20	<20	不含

12.2.4 花岗岩类残积土地区根据地质条件选线应遵循下列原则:

- a) 路线宜避开花岗岩球状风化体发育的斜坡地带;
- b) 路线宜避开地层结构复杂、上方汇水区域较大的斜坡地带;无法避开时,应减少边坡开挖工程量,避免高边坡;
- c) 高液限路基宜避免高路堤及深路堑;如不能避免,宜与桥隧方案进行综合比选确定。

12.2.5 花岗岩类残积土地区工程地质调绘应符合下列规定:

- a) 应与路线及构筑物的设置相结合,查明本文件 12.2.2 的内容;
- b) 地貌单元的边界、地层接触线、基岩露头、花岗岩类残积土发育地带、地下水出露点、滑坡及坍塌等不良地质的发育部位,应布置工程地质调绘点。

12.2.6 花岗岩类残积土地区工程地质勘探应符合下列规定:

- a) 应采用挖探、钻探、物探、原位测试等进行综合勘探;勘探测试点的数量和位置,应根据现场地形地质条件及构筑物的类型、规模等确定;
- b) 勘探深度应符合下列规定:
 - 1) 路基和构筑物的浅基础,勘探深度应至基底以下不小于 5 m;
 - 2) 桥梁桩基础的勘探深度应至桩端以下不小于 5 m。
- c) 勘探、取样应符合下列规定:
 - 1) 采用钻探方法取样时,取样前应清除孔内残留岩芯,并保持孔壁稳定,采取I级土样;
 - 2) 取土器的入土深度,不应大于取土器的有效取样深度;
 - 3) 取样竖向间距不宜不大于 2 m,变层应取样,取样后应做标准贯入试验。

12.2.7 花岗岩类残积土地区工程地质测试,应根据地层条件、构筑物的类型等选择试验项目和原位测试方法,并应符合下列规定:

- a) 室内测试项目应符合本文件 5.7、8.4、8.5、8.6 的要求;
- b) 花岗岩类残积土细粒土(粒径小于 0.5 mm)部分的天然含水率 ω_f 、塑性指数 I_P 和液性指数 I_L ,应按式(4)~式(6)计算:

$$\omega_f = \frac{\omega - \omega_A \cdot 0.01P_{0.5}}{1 - 0.01P_{0.5}} \dots\dots\dots (4)$$

$$I_P = \omega_L - \omega_P \dots\dots\dots (5)$$

$$I_L = \frac{\omega_f - \omega_P}{I_P} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- ω_f ——花岗岩类残积土中细粒土(粒径小于0.5 mm)部分的天然含水率(%);
- ω ——花岗岩类残积土(包括粗、细粒土)的天然含水率(%);
- ω_A ——土中粒径大于0.5 mm颗粒吸着水含水率(%),可取5%;

$P_{0.5}$ ——土中粒径大于0.5 mm颗粒的质量占总质量的百分比（%）；

ω_L ——土中粒径小于0.5 mm颗粒的液限；

ω_P ——土中粒径小于0.5 mm颗粒的塑限。

c) 花岗岩类残积土的承载力宜采用载荷试验确定。

12.2.8 初步勘察应符合下列规定：

a) 工程地质调绘应沿拟定的路线及其两侧各宽 200 m 的带状范围进行，工程地质调绘的比例尺为 1：2 000～1：10 000；

b) 勘探测试应符合本文件 8 及 12.2.6、12.2.7 的要求；

c) 初步勘察应提供下列资料：

1) 文字报告：应对路线及构筑物场地的工程地质条件进行说明，对本文件 12.2.2 要求查明的内容进行说明，分析评价工程建设场地的适宜性，提出工程地质建议；

2) 图表资料：应对花岗岩类残积土的类型、工程地质性质等进行图示和说明。

12.2.9 详细勘察应符合下列规定：

a) 详细勘察工程地质调绘应对初勘工程地质调绘资料进行复核；当线位偏离初测线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘，调绘的比例尺为 1：2 000；

b) 详细勘察应充分利用初勘资料，在确定的路线和构筑物位置上进行，并应符合本文件 9 及 12.2.8 的要求；

c) 桥梁基础勘探时，应符合下列规定：

1) 每个墩台均应布置勘探钻孔；

2) 花岗岩类残积土厚度变化大、分布复杂时，则每个墩台的勘探钻孔不应少于 2 个；

3) 在花岗岩孤石强烈发育、风化裂隙极发育、基岩面起伏剧烈的地段，宜逐桩钻探。

d) 详勘阶段应充分利用初勘阶段所取得的资料，但当桥梁墩台平面位置发生变化时，初勘资料仅作参考。花岗岩类残积土详勘应按本文件 12.2.8 的要求提供资料。

12.3 填土

12.3.1 人类活动堆填、弃置的建筑垃圾、生活垃圾、工业废料、冲（吹）填土、填筑土，应定名为填土。

12.3.2 填土工程地质勘察应查明下列内容：

a) 地形地貌的类型、形态特征和沟谷发育情况；

b) 填土的类型、分布范围、厚度、土质及地层结构；

c) 物质组成、颗粒级配、密实程度、均匀性、湿陷性和压缩性；

d) 物理力学性质和地基承载力；

e) 地下水的类型、埋深、水位及其变化幅度、地表水和地下水的腐蚀性；

f) 不良地质的类型、规模、分布及其对路线的影响和避开的可能性。

12.3.3 填土应按表 44 进行分类。

表44 填土分类

类型	特征
素填土	由碎石土、砂土、粉土和黏性土等一种或几种材料组成，不含杂质或含杂质很少
杂填土	含有大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等杂物。土质不均
冲填土	由水力冲填泥沙形成。土层分布不均，多呈透镜状、薄片状
填筑土	经分层碾压或夯实填筑的土。一般成分单一，土质较均匀

12.3.4 填土地段根据地质条件选线应符合下列规定：

- a) 路线应避免填土分布广、厚度大、土质松软、处治困难的地带；无法避开时，应选择在填土分布窄且厚度较小的位置通过；
- b) 路线应避免可能产生滑坡、泥石流等不良地质的填土地带。

12.3.5 填土地段工程地质调绘应符合下列规定：

- a) 应与路线及构筑物的设置结合，查明本文件 12.3.2 的内容；
- b) 填土露头、地层接触线、地下水出露点等应布置调绘点。

12.3.6 填土地段工程地质勘探应符合下列规定：

- a) 工程地质勘探应根据地形地质条件，填土的类型、分布范围、地层结构及构筑物的设置情况确定勘探测试点的数量和位置；
- b) 各类构筑物的勘探钻孔应穿过填土至基底以下稳定地层，并满足地基基础设计的需要；
- c) 在探坑或钻孔中，应分层采取岩土试样。

12.3.7 应根据地层条件、填土性质和构筑物类型选择原位测试和室内测试方法，并符合下列规定：

- a) 室内测试项目应符合本文件 5.7 的要求；
- b) 遇有地下水时，应量测地下水的初见水位和稳定水位，取水样做水质分析；
- c) 填土地基承载力宜采用载荷试验确定。

12.3.8 初步勘察应符合下列规定：

- a) 工程地质调绘应沿拟定的路线及其两侧的带状范围进行，宽度应结合填土发育情况确定，工程地质调绘的比例尺为 1:2000；
- b) 工程地质勘探应符合本文件 8 及 12.3.6、12.3.7 的要求，且应符合下列规定：
 - 1) 路基勘探：勘探点应沿路线中线布置，间距不宜大于 50 m；当填土厚度大、分布复杂时，应布置横向勘探断面，每条勘探横断面上的勘探点数量不宜少于 2 个，其中钻孔不应少于 1 个；
 - 2) 涵洞、通道勘探：勘探点的数量不应少于 1 个；
 - 3) 桥梁勘探：应按工程地质条件复杂场地布置勘探点，每个墩台钻孔不应少于 1 个；
 - 4) 填土分布复杂路段，应根据地层条件，采用物探、静力触探等进行综合勘探。
- c) 填土初勘应提供下列资料：
 - 1) 文字报告：应对路线及构筑物场地的工程地质条件进行说明，对本文件 12.3.2 要求查明的内容进行说明，分析工程建设场地的适宜性，提出工程地质建议；
 - 2) 图表资料：应对填土的类型、均匀性、压缩性等进行图示和说明。

12.3.9 详细勘察应符合下列规定：

- a) 详细勘察应对初勘工程地质调绘资料进行复核；当线位偏离初测线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘，调绘的比例尺为 1:2000；
- b) 详细勘察应充分利用初勘资料，在确定的线位和构筑物位置上进行，工程地质勘探测试应符合下列规定：
 - 1) 路基勘探：应布置横向勘探断面，勘探断面间距不宜大于 50 m，每条断面勘探点不宜少于 2 个，其中钻孔不应少于 1 个；
 - 2) 涵洞、通道勘探：每座涵洞、通道布置 1 个勘探断面，每条断面勘探点的数量不宜少于 2 个，其中钻孔不应少于 1 个；
 - 3) 桥梁勘探：应按工程地质条件复杂场地加密勘探点。
- c) 详细勘察应按本文件 12.3.8 的要求提供资料。

13 改扩建高速公路工程地质勘察

13.1 一般规定

13.1.1 改扩建高速公路工程地质勘察应在既有公路工程地质勘察资料的基础上，查明公路沿线及各类构筑物建设场地的工程地质条件。

13.1.2 改扩建高速公路工程地质勘察应充分收集和研究既有公路的勘察、设计、施工和运营期的各项资料，结合路线及沿线各类构筑物的设计，采用工程地质调绘、物探、钻探、原位测试、室内试验等方法进行综合勘察。

13.1.3 既有公路收集的资料宜包括下列内容：

- a) 既有公路工程地质勘察报告和专题研究报告；
- b) 施工图设计文件；
- c) 施工阶段设计变更及地质病害的勘察、设计资料；
- d) 运维养护阶段地质病害的勘察、设计资料；
- e) 岩土工程监测资料。

13.1.4 对既有公路的勘探测试资料，利用前应进行对比、分析和验证，并符合下列规定：

- a) 对于既有公路地质钻孔，应结合新建项目临近钻孔进行验证，满足新建项目勘察技术要求的钻孔资料可加以利用；
- b) 对于存在以下问题的旧地质钻孔可参考使用：
 - 1) 没有钻孔坐标或准确的坐标；
 - 2) 岩土定名、物理力学指标等与新建项目勘探测试资料存在较大差异；
 - 3) 钻孔深度偏浅，无法满足新建项目构造物的设计要求；
 - 4) 偏离新建项目构造物的距离超过 30m 或不在同一地质单元。

13.1.5 改扩建高速公路工程地质勘察报告应充分利用勘察取得的各项基础资料，在综合分析的基础上结合沿线各类构筑物的工程设计进行编制，并满足改扩建工程设计要求。

13.1.6 改扩建公路各类构筑物勘察应符合本文件中新建项目各类构筑物勘察的要求。

13.1.7 不良地质和特殊性岩土的勘察应符合本文件中新建项目不良地质和特殊性岩土勘察的要求。

13.1.8 改线段偏离已建工程，应按新建项目进行工程地质勘察。

13.2 路基

13.2.1 改扩建公路路基勘察应查明以下内容：

- a) 已建工程路基的填土类别、断面特征、稳定状况、岩石和土层的分界线、类别及其工程分级；
- b) 加宽路基时，应查明加宽一侧的工程地质条件，包括地貌特征、山坡和河岸的稳定状况、水流影响、岩土性质、地下水情况等；
- c) 加高路基时，应调查借土来源及其数量和工程性质；
- d) 路基坡脚需防护时，应调查防护工程的地质情况；
- e) 深挖路基后可能出现的不良地质现象，应予以判明，并提出处理措施；
- f) 路基有受水流冲刷的可能时，应调查汇水面积、径流情况，并提出截流、导流等排水措施以及边坡防护方案；
- g) 在需开挖视距台处，应调查其土质类别及边坡稳定情况等；
- h) 应查明刷坡清方、增设坡面防护、放缓边坡、绿化加固等地段的工程地质条件；
- i) 宜查明既有高路堤、陡坡路堤填土的饱和抗剪强度和渗透性。

13.2.2 改扩建公路各类路基病害地段的工程地质勘察应进行下列调查：

- a) 沿路线基病害的类型与规模，以及病害的发生原因及发展情况和处治方法与处治效果；
- b) 病害地段路线所处的地貌特征、工程地质条件与病害的关系；
- c) 原有防护工程的位置、结构类型、各部尺寸及防治效果，确定是否利用、加固或进行改建设计；
- d) 地下水的水位、地面水的滞留时间，查明导致翻浆的水源；
- e) 当地相关工程治理病害的经验。

13.2.3 改扩建公路的勘察工作量根据加宽方式进行布设，应符合本文件 8、9 的要求，且应符合下列规定：

- a) 单侧加宽应沿路基中线单侧布置；当地质条件复杂时，宜布置勘探横断面，增加勘探点；
- b) 两侧拼宽时应按左、右幅分别考虑，勘探点采用之字形交叉布置，工作量布置图示例可见附录 D 中表 D.3。

13.2.4 改扩建公路软土路基的勘察，应在改扩建公路构筑物位置上，对既有公路及拓宽范围，分别采用以钻探、原位测试为主，物探、简易勘探为辅的综合勘察方法，查明既有公路建设前后软土性质的差异情况，以及既有路基与扩建范围下软土在固结状态、物理力学性质等方面的差异情况。

13.3 桥梁

改扩建公路桥梁勘察应查明以下内容：

- a) 既有桥梁的工程地质条件；
- b) 既有桥梁有无因地质问题造成变形破坏的现象，并分析研究其原因，提出工程地质建议；
- c) 改建既有桥梁地基基础的工程地质条件，地基基底的岩土物理力学性质以及冲刷等不良地质情况。

13.4 隧道

13.4.1 改扩建公路隧道勘察应查明以下内容：

- a) 原有隧道工程的水文地质和工程地质条件；
- b) 原有隧道工程的运营情况及有无因地质问题造成变形破坏的现象，并分析研究其原因，提出工程地质建议。

13.4.2 改扩建公路隧道勘察，应充分利用既有隧道的勘察成果以及开挖施工揭示的地质资料，根据各勘察阶段要求开展勘察工作，并提供勘察成果资料。

13.5 路线交叉

应符合本文件新建路线交叉工程地质勘察的要求。

13.6 收费站及服务区房屋建筑工程

应符合本文件新建收费站及服务区房屋建筑工程地质勘察的要求。

13.7 筑路材料

13.7.1 改扩建公路筑路材料勘察应查明以下内容：

- a) 对沿线既有材料料场进行复核与补充；
- b) 当沿线筑路材料缺乏时，应进行远运材料产地的调查。

14 工程地质勘察成果报告

14.1 一般规定

14.1.1 工程地质勘察报告的编制应充分利用勘察工作取得的各项地质资料，在综合分析的基础上进行，所依据的原始资料在使用前均应进行整理、检查、分析，确认无误。

14.1.2 工程地质勘察报告应资料完整，内容详实准确、重点突出，有明确的工程针对性，建议合理，结论依据充分。

14.1.3 工程地质勘察报告提供的岩土参数应按工程地质单元或层位进行分析统计，并综合考虑各方面因素后合理取值。

14.1.4 工程地质勘察报告包括总说明和工点报告，总说明和工点报告均应由文字报告、图表及相关附件组成。

14.1.5 对于路基、桥梁、涵洞、隧道、路线交叉、沿线设施、料场等独立勘察对象，应编制工点报告。但对工程地质条件简单，可列表说明工程地质条件的一般路基、涵洞、通道等小型工点，可列表编制工程地质勘察报告。

14.1.6 工程地质勘察报告应签署完备并加盖勘察项目承担单位出版图章，经评审通过后提交相关单位使用并归档。

14.2 报告内容

14.2.1 总说明文字报告应包括下列内容：

- a) 前言：工程概况、任务依据、目的与任务、执行的技术标准、勘察方法及勘察工作过程、勘察工作量完成情况，以及因征地、拆迁等特殊原因尚未完成的工作量，对专家、咨询（监理）提出的意见执行情况等；
- b) 自然地理概况：项目所处的地理位置、气象、水文和交通条件等；
- c) 工程地质条件：地形地貌、地层岩性、地质构造、新构造运动、地震与设计基本地震加速度、水文地质条件、工程地质层组特征及岩土体物理力学性质、工程地质分区及路段划分、不良地质和特殊性岩土的发育情况、水和土的腐蚀性、天然建筑材料等，重点说明控制路线方案的特殊边坡、大桥、特大桥、长隧道、特长隧道、大型互通等的工程地质条件；
- d) 工程地质评价：包括公路沿线工程地质条件评价、各类构筑物建设场地稳定性和适宜性评价、不良地质和特殊性岩土对公路的影响评价、环境水和土的腐蚀性评价、天然建筑材料评价、岩土物理力学性质参数评价、线路工程地质条件比选及方案推荐意见等；
- e) 结论与建议：对勘察结论进行总结和归纳，提出防治措施及后续工作建议等。

14.2.2 总说明图表资料应包括下列内容：

- a) 图例；
- b) 区域地质图、区域水文图；
- c) 路线工程地质平面图（1: 2 000~1: 10 000）；
- d) 路线工程地质纵断面图（水平 1: 2 000~1: 10 000，垂直宜为 1: 500）；
- e) 工程地质层组岩土物理力学指标统计表；
- f) 不良地质地段、特殊性岩土一览表；
- g) 岩土样试验成果汇总表、水质分析报告；
- h) 照片等影像资料。

14.2.3 工程地质调绘成果报告，其内容可参考总说明文字和图表进行编制。

14.2.4 工点报告文字说明应包括下列内容：

- a) 前言：工程概况、勘察的目的与任务、勘察方法及布置的工作量、勘察工作过程及任务完成情况、因征地、拆迁等特殊原因尚未完成的工作量及后续工作建议等；
- b) 自然地理概况：项目所处的地理位置、气象、水文和交通条件等；

- c) 工程地质条件：应对工程建设场地的地形地貌、地层岩性、地质构造、新构造运动、地震与设计基本地震加速度、水文地质条件、工程地质层组特征及岩土体的类型和性质及其物理力学参数、不良地质和特殊性岩土发育情况、天然建筑材料等一般工程地质条件作简要阐述，且应结合本文件对各类构筑物的勘察要求，重点说明与构筑物工程设计密切相关的工程地质条件，其内容作为工程地质评价所依据的基础资料，应做到“条件阐述充分”；
 - d) 工程地质评价：应包括工程建设场地的水文地质及工程地质条件评价、稳定性和适宜性评价、不良地质与特殊性岩土及其对工程的危害和影响程度评价、环境水或土的腐蚀性评价、岩土物理力学性质及其设计参数评价等内容；工程地质评价应结合选址及结构工程设计，依据报告阐述的工程地质条件和现行技术标准、专项科研成果等进行，工程地质评价所作的结论应做到“结论有据”；
 - e) 工程地质结论与建议：应包括工程方案地质比选的结论与建议、特殊性岩土及不良地质的处治意见与建议、岩土物理力学参数设计建议值等；结合结构工程设计，基于工程地质评价所作的结论，提出工程地质意见和建议，应做到“建议合理”。
- 14.2.5 工点报告图表资料应包括下列内容：
- a) 工程地质平面图（1: 200~1: 2 000）；
 - b) 工程地质纵断面图（水平 1: 200~1: 2 000，垂直宜为 1: 100~1: 400）；
 - c) 钻孔柱状图（1: 50~1: 200）；
 - d) 岩土样试验成果汇总表；
 - e) 物探解译成果资料；
 - f) 照片等影像资料。
- 14.2.6 各阶段工点报告的文字说明和图表资料应满足上述要求，并参考《公路工程地质勘察报告编制规程》（T/CECSG: H24）进行编制，且应符合《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）的要求。
- 14.2.7 物探成果报告可附录在工点报告后面，图件应包括物探测线平面布置图、解译剖面图等。
- 14.2.8 工点报告应按构筑物的类型进行归类，综合考虑其建设规模和里程桩号等按序编排、分册装订。

14.3 文件格式与编排

参考《公路工程地质勘察报告编制规程》（T/CECSG: H24）进行编制。

14.4 资料归档

- 14.4.1 原始资料应包括下列内容：
- a) 收集的成果资料；
 - b) 工程地质调绘的原始资料；
 - c) 钻探、试验、测试的原始资料；
 - d) 工程物探原始资料；
 - e) 勘察报告编制过程中的分析计算资料等；
 - f) 质量、环保、安全、职业健康等管理记录。
- 14.4.2 应将全部原始资料、正式勘察报告、电子文档资料归档。

15 工程地质信息模型

15.1 一般规定

- 15.1.1 工程地质信息模型分为地表信息模型和地质信息模型，应准确反映公路工程建设场地地形地

貌特征，表达路线场地地质条件、不良地质和特殊性岩土等各种地质条件信息。

15.1.2 工程地质信息模型是一种工程地质勘察工作的技术方法和成果表现形式，不能替代工程勘察报告。

15.1.3 创建工程地质信息模型采用的原始数据应符合《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）的要求，模型的范围和精细度应满足相应工程阶段应用的需要。

15.1.4 地质信息模型应以工程地质勘察各阶段成果数据为基础，基于模型构成的层次结构建立，宜分为勘探点、地层、地质构造、不良地质、特殊性岩土五类信息。

15.1.5 工程地质信息模型应由几何信息和属性信息两个信息维度进行描述，并应符合下列规定：

- a) 属性信息宜在几何信息建模时同步创建；
- b) 属性信息应分类设置为项目信息、定位信息和技术信息三类；
- c) 当模型几何信息与属性信息不一致时，应以属性信息为准。

注：几何信息为信息模型中能够以几何方式进行可视化表达的信息；属性信息为信息模型中除几何信息以外的其它信息，用以描述模型各类信息的性质与关系。

15.1.6 工程地质信息模型精细度等级应按照项目工程阶段划分，并应符合表 45 规定。

表45 模型精细度等级划分

精细度等级	工程地质信息模型
一级	工可勘察
二级	初步勘察
三级	详细勘察
四级	施工勘察

15.1.7 工程地质信息模型元素编码和层级数目划分宜符合《公路工程信息模型应用统一标准》（JTG/T 2420）的要求，满足信息模型管理和数据检索的要求，并应符合下列规定：

- a) 模型编码应由表代码、一级类代码、二级类代码、三级类代码和四级类代码五个层级构成；
- b) 模型编码采用 10 位全数字编码方式，表代码与一级代码之间用半角字符“-”连接，其他各层级代码之间用半角字符“.”隔开；
- c) 地形地质类信息的表代码为“51”，地形地质类信息一级类代码中地表信息模型的代码为“01”，地质信息模型的代码为“02”；
- d) 地形地质类信息二级类宜表达勘探点、地层、地质构造、不良地质、特殊性岩土 5 类信息；
- e) 具体工程项目的工程地质信息模型分类和编码宜在项目实施前进行统一规定，并与后续设计施工阶段相协调。

15.2 模型创建

15.2.1 模型建模范围应根据模型应用需要确定，并应符合下列规定：

- a) 地表信息模型的建模范围应包含工程地质调绘范围，不宜小于公路用地界向外扩充 200m 的区域范围；
- b) 地质信息模型平面范围应包含工程地质勘察范围，不应小于勘探点包络的区域或道路路基范围，且不宜超出公路用地界向外扩充 20m 包络的区域范围；
- c) 地质信息模型建模深度范围宜根据场地各勘探点深度分区域确定，同一工点对应的建模深度宜一致；
- d) 模型宜分工点进行单独建模，各工点模型在交接处应协调一致。

15.2.2 模型创建时选用的空间基准体系、单位制和数据量纲应与总体设计一致，并应符合下列规定：

- a) 模型平面坐标系统应采用 2000 国家大地坐标系；

- b) 模型高程基准应采用 1985 年国家高程基准，且高程成果应采用本地区测绘行政主管部门公布启用的高程年代成果。
- 15.2.3 地表信息模型应准确反映场地地形、地貌、地物特征，可基于现势地形图、倾斜摄影测量、激光扫描、GPS 接收机或全站仪等采集的数据创建。
- 15.2.4 地质信息模型的创建应符合下列规定：
 - a) 勘探点模型的几何信息应根据勘探点类型、空间位置、分层等信息采用参数化的方法进行创建，各勘探点宜使用编号区分，勘探点分层信息宜使用圆柱体等三维空间点或实体以颜色或纹理等形式表达；
 - b) 地层模型的几何信息应根据勘探点的空间位置、分层信息采用空间插值、实体分割等确定性建模方法进行创建，地层几何分层信息宜使用三维实体以颜色或纹理等形式表达；
 - c) 地质构造模型的几何信息应根据地质构造的空间位置、构造信息采用空间插值、布尔运算等确定性建模方法进行创建，不同地质构造几何信息宜使用三维空间点、线、面、体以颜色或纹理等形式表达；
 - d) 不良地质的几何信息宜根据评价的需要，采用与相关地表模型、地层或地质构造模型进行关联的方法建立，评价对象的几何信息宜使用区别于原地表、地层或地质构造模型的颜色、纹理、透明度等形式表达；
 - e) 特殊性岩土评价对象的几何信息宜根据评价的需要，采用与相关地层进行关联的方法建立，评价对象的几何信息宜使用区别于原地层的信息、纹理、透明度等形式表达；
 - f) 工地地质勘察信息模型的外观图例等应在模型创建前进行统一规定。

15.3 模型属性信息

- 15.3.1 模型构成元素的属性信息宜通过数据添加或文件关联的方法创建，可采用表格、图片、曲线、文件等形式表达，并应满足相应工程阶段应用需要。
- 15.3.2 地表信息模型属性信息应包含并反映场地地形、地貌、地物的特征、空间位置等信息。
- 15.3.3 勘探点模型的属性信息应符合下列规定：
 - a) 定位信息应包括勘探点所处空间位置和岩土体分层深度；
 - b) 技术信息应包括类型、基本特征、分层描述、关联的室内试验和现场原位测试成果信息；
 - c) 定位信息和技术信息内容应在模型创建前进行统一规定。
- 15.3.4 地层模型的属性信息应符合下列规定：
 - a) 定位信息应包括表达其平面轮廓、竖向层顶和层底分布范围的坐标集和其他表达地层空间形态的信息；
 - b) 技术信息应包括基本特征、各层岩土体物理力学统计指标和参数等信息；
 - c) 定位信息和技术信息内容应在模型创建前进行统一规定。
- 15.3.5 地质构造模型的属性信息应符合下列规定：
 - a) 定位信息应包括表达其空间分布范围和特征的坐标集和其他表达其空间形态的信息；
 - b) 技术信息应包括构造类型、发育特征和评价内容等信息；
 - c) 定位信息和技术信息内容应在模型创建前进行统一规定。
- 15.3.6 不良地质的评价属性信息应符合下列规定：
 - a) 应获取评价对象和评价影响区域范围的定位信息，其几何信息精度应满足评价需要；
 - b) 技术信息应包括其发育特征、工程地质特征与评价内容、相关参数等；
 - c) 定位方式和技术信息内容应在模型创建前进行统一规定。
- 15.3.7 特殊性岩土的评价属性信息应符合下列规定：
 - a) 应获取评价对象和评价影响区域范围的定位信息，其几何信息精度应满足评价需要；

- b) 技术信息应包括其场地工程地质条件、发育特征、工程地质特征与评价内容、相关参数等；
- c) 特殊性岩土评价的定位方式和技术信息内容应在模型创建前进行统一规定。

15.4 模型检查及交付

- 15.4.1 模型检查应贯穿建模全过程，并根据需求文件和建模技术要求对模型几何信息和属性信息的合规性、合理性、准确性、完整性进行检查。
- 15.4.2 模型交付应根据合同或协议中约定的具体要求提供，交付时应提交模型交付说明书。
- 15.4.3 地表信息模型交付物应包括模型文件、模型交付说明书，宜包括基于地表信息模型形成的轻量化模型、工程视图及其他成果文件。
- 15.4.4 地质信息模型交付物应包括模型文件、模型交付说明书、工程地质勘察报告成果文件。
- 15.4.5 模型交付物应采用约定的数据格式，满足公路工程全生命期对工程地质信息利用、传递和共享的需要。
- 15.4.6 模型交付物命名应具有辨识度、通用性、规范性和合理性，满足公路工程建设全生命期数据存档和检索要求。
- 15.4.7 模型交付介质宜包含光盘、云平台等，应根据数据的重要程度，采取技术方法保证数据安全。
- 15.4.8 模型交付尚应参考《广东省公路工程勘察设计数字化交付指南（试行）》（GDJT 001-01-2022）的要求。

附 录 A
(资料性)
工程地质调绘表格

表A. 1～表A. 11给出了工程地质调绘表格的参考格式。

表A. 1 地质点记录表

工点：天气：年 月 日

点号	野外		高程	绝对高程 (m)	
	室内			相对高程 (m)	
位置	路线里程		地层年代		
	坐标	X: Y:	产状要素		
地形地貌、地层岩性、地质构造描述 (平面、剖面或柱状示意图、素描图)					
节理 (裂隙) 描述统计					
不良地质和特殊性岩土描述					
水文地质特征 (含水性、地下水补迳排条件、动态等) 描述					
沿途观测描述					
资料来源	样品记录及编号	照片记录及编号		录像记录及编号	

调查：记录：审核：

表A.2 构造点记录表

工点：天气：年 月 日

点 号	野外		位置	路线里程			褶皱构造	地层及产状、地层变形特点、变形程度及规模、褶曲要素	
	室内			坐标	X:	Y:			
高 程	绝对高程（m）		地质年代				对地形地貌、工程地质条件、水文地质条件的影响		
	相对高程（m）		层位要素						
断裂特征描述	主断面的产状、性质、断距（垂距、视距）						示意图（平面、剖面或素描）		
	断层两侧地层年代与岩性、岩层产状及变形情况								
	断层带内构造岩破碎程度、结构特征、宽度、擦痕阶步性质等）								
裂隙发育情况	组别	产状	密度	张开度	充填情况	裂面特征			
							标本或样品采集记录及编号	照片记录及编号	
							沿途观测描述		

调查：记录：审核：

表A.3 地貌点记录表

工点：天气：年 月 日

点 号	野外		位置	路线里程			地貌与新构造运动关系（剥夷面、阶地等与地壳运动对应关系）	
	室内			坐标	X:	Y:		
高 程	绝对高程（m）		地质年代					
	相对高程（m）		层位要素					
地貌形态特征、空间尺寸测量描述							切割程度、工程场地适宜性评述	
地貌成因类型、地层岩性、结构构造观察描述							示意（平面、剖面或柱状、素描）图	
							标本或样品采集记录及编号	照片记录及编号
现代地貌作用描述								
							沿途观测描述	

调查：

记录：

审核：

表A.4 节理调查统计表

工点：

天气：

年 月 日

[illegible]

调查:

记录:

审核:

表A.8 崩塌体调查表

工点：天气：年 月 日

路线里程							稳定性 分析	崩塌源山体开裂、位移、错落	
野外编号		室内编号		坐标	X:	Y:		现状及失稳诱发因素、发展趋势	
崩塌类型			运动方式		崩塌方向				
崩塌体特征	前缘 高程		坡体 形态		纵长			崩积体目前稳定性及今后发展趋势	
					横宽				
	后缘高程		坡度		厚度		危害性	已致灾害（对象，范围及损失	
	物质成分		下伏层位 岩性、产状		体积			对工程的潜在威胁及危害	
崩塌源特征	地形地貌（所处地貌单元、陡坡地形形态特征、崩塌面高度与宽度、临空面结构类型）						防治	已有防治经验及效果	
	母岩性质（地层年代、产状、岩性、结构构造、岩层组合关系、力学性质						措施	平、剖面图（比例、方向）	
	地质构造（构造部位，断裂、裂隙发育特征及切割关系，岩体结构类型）								
	水文地质特征（含隔水层、地下水类型及其补径排条奖以及对岩土体稳定性的影响）								
	人工活动（类型、方式、范围及强度、对崩塌的影响）								
	植被（种类、覆盖率）								
崩塌成因分析	地质结构面及结构体条件						资料来源		
	动力条件（重力、气候、地震、地表及地下水、生物、人工等）								
	变形及破坏型式、过程（历史）分析判断						样品及照片		

调查：记录：审核：

表A.9 泥石流调查表

工点：

天气：

年 月 日

路线里程							灾害 评估	已造成的灾害损失（危害对象、范围及后果）	
野外编号		室内编号		坐标	X:	Y:		潜在灾害及威胁对象	
泥石流类型			发育阶段		流动速度	m/s			
泥石流形成 条件及动力	地形地貌						防治措施建议（已有工程防治经验及效果，今后工程防治的可行性及措施建议）		
	地层岩性								
	地质构造								
	水文地质						平、剖面示意图（比例，平、剖面方位）		
	降雨及汇水条件								
	人为动力因素								
泥石流基本 特征	形成区（地形、汇水边界及面积、物质来源及丰富程度、坡度、植被情况等）								
	流通区（沟谷形态、长度、纵坡降、边坡地层岩性等								
	堆积区（堆积体的平、剖面形状，前、后缘标高，纵、横长度，厚度，体积，物质构成及结构特征，分选性及磨圆度，透水性、充填情况等）								
	活动历史						资料来源		
	今后发展趋势分析、评价						样品及照片登记		

调查：

记录：

审核：

表A.10 岩溶地面塌陷野外调查表

工点：天气：年 月 日

野外编号					室内编号				
路线里程				坐标	X: Y:				
名称		高程 (m)		图幅名称及比例尺					
陷坑发育特征	塌陷类型	诱发动力因素	单体形状	长轴方向	深度 (m)	坑口规模 (m ²)	充水情况		江水位高程 (m)
							埋深 (m)	高程 (m)	
	群体分布情况								
	数量 (个)		影响面积 (km ²)		陷坑面积 (m ²)		群数		排列方向
塌陷区地形地貌特征									
地质构造及水文地质条件									
第四系覆盖层厚度、岩性结构、空间变化规律									
岩溶分布规律与发育特征									
平面图					素描图				
主要危害及经济损失									
防治情况									
其它									
试样编号					照片编号及说明				

调查：记录：审核：

表A. 11 软弱土层分布逐沟调查记录表

工点：

天气：

年 月 日

野外编号													
室内编号						里程范围							
填方高度						地下水位							
调查点 编号	位置	照片编号	地形地貌	植被情况（水田、沼泽、鱼塘、旱地等）	软弱土 名称	软土性质			上覆层		下卧层	备注	
						颜色	厚度	状态	土性	厚度	土性		
工程处治建议													

调查：

记录：

审核：

附 录 B
(资料性)
钻探记录表

表B. 1、表B. 2给出了工程勘探班报表和钻孔地质编录表的格式。

表 B. 1 工程勘探班报表

钻孔编号		孔口标高 (m)				终孔深度 (m)				<input type="checkbox"/> 技术性孔		初见水位 (m)				开孔时间： 年 月 日 时 终孔时间： 年 月 日 时					
里程桩号		左 m 右 m						护壁 方式	套管深度 (m)		<input type="checkbox"/> 一般性孔		稳定水位 (m)								
钻孔分类		<input type="checkbox"/> 海 <input type="checkbox"/> 江河 <input type="checkbox"/> 鱼塘 <input type="checkbox"/> 水田 <input type="checkbox"/> 路基 <input type="checkbox"/> 桥 <input type="checkbox"/> 隧道 <input type="checkbox"/> 边坡							泥浆护壁 <input type="checkbox"/>		机 高 (m)				架 空 (m)						
序 号	工作内容	钻头 规格 名称	钻进深度 (m)						岩土特征及钻进过程描述						取样、测试深度 (m)			样品 编号	贯入 击数	备 注	
			岩芯管 (m)	钻具总 长 (m)	上 余 (m)	回次深 度 (m)	采取率%	换层深 度 (m)	岩土名称	颜色	状态	钻 进 过 程 变 化 情 况	其它	自	至	长度					

表 B.2 钻孔地质编录表

线 别

工程名称

钻孔编号:

里 程:

左 m 右 m

孔口标高:

水位埋深: 初见 稳定

成因 代号	地层编号	层底 深度	内 容												钻孔 分类
															□ 海 □ 江 河
															□ 鱼 塘 □ 水 田
															□ 路 基 □ 陆 地
															□ 桥
															□ 隧 道
															□ 边 坡
取样编号	取样深度 (m- m)	取样编号	取样深度 (m- m)	取样编号	取样深度 (m- m)	取样编号	取样深度 (m- m)	取样编号	取样深度 (m- m)	序号	测试深度与击数	序号	测试深度与击数	序号	测试深度与击数

编录:

审核:

年 月 日

第 页 共 页

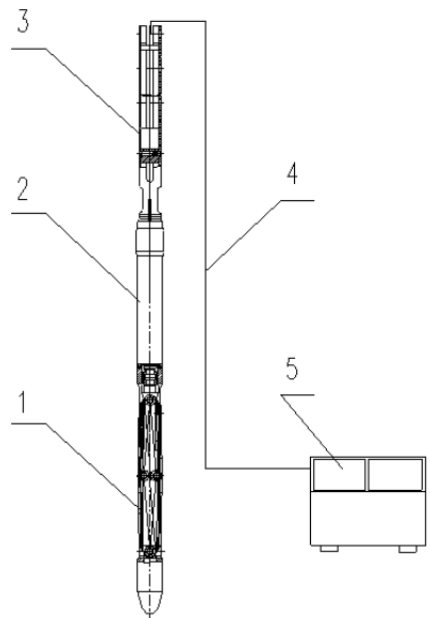
附录 C
(资料性)
挤扩试验

C.1 挤扩试验适用于淤泥质土、黏性土、砂土、稍密的卵砾石土、残积土、全风化、土状强风化等土层。

C.2 挤扩试验成果可用于评价下列内容：

- a) 测定地基土的挤扩压力值，评价地基土的工程特性（压缩性质、不排水抗剪强度、地基承载力特征值等）；
- b) 换算标准贯入、静力触探、十字板剪切、旁压试验等试验指标。

C.3 挤扩试验设备包括挤扩支盘机、动力油缸、钻机连接杆、油管及液压泵站，其装置构成示意如图 C.1。



1-挤扩支盘机；2 -动力油缸；3-钻机连接杆；4-油管；5-液压泵站

图 C.1 挤扩试验设备构成示意图

C.4 挤扩支盘机因大小尺寸不同，分为多种类型，钻孔内挤扩试验用的挤扩支盘机包括两种尺寸，如表 C.1 所示。

表 C.1 钻孔内挤扩试验用挤扩支盘机尺寸表

组件	项目	型号规格		备注
		YZJ-450 (130-450)	YZJ-300 (90-300)	(直径-挤扩臂张开后直径)(mm)
挤扩支盘机	外形尺寸 (mm×mm)	Φ130-2005	Φ90-1800	(直径-长度)
	油缸尺寸 (mm)	Φ100-Φ70-201	Φ63-Φ45-118	(内径-杆径-行程)
	弓臂宽度 (mm)	90	60	
	弓臂直径 (mm)	450	300	
	弓臂长度 (mm)	268/268	170/170	(上弓臂/下弓臂)
	油管规格 (mm)	DN10	DN10	容许压力 62MPa

C.5 钻孔内挤扩试验工作应符合下列规定：

- a) 应利用钻杆、连接接手等将挤扩支盘机下放孔内,使得上下弓臂中点处于既定深度处，从最深（下）的一个测试点开始挤扩，做完该测点后上提挤扩机做下一个测点；
- b) 每个测试点宜在正交垂直方向测 2 组数据，并同时记录挤扩压力值和设备上抬值；
- c) 挤扩压力值通过液压泵站的压力表读取，应取挤扩弓臂张开挤扩过程中的液压表上的局部高峰值为其代表值，读取精确到 0.1 MPa；
- d) 设备上抬值可通过在地表钻杆顶部，通过固定卡尺直接量取，精确到 1 mm；
- e) 每个测试点都应校核连接杆长度，确保测试深度满足要求；
- f) 连接挤扩机头与液压泵站的油管，随着挤扩机头下放到测试点深度，应采取有效措施将油管与钻杆捆绑，应每节钻杆至少一个捆绑点，宜采用铁线捆绑；
- g) 提升挤扩机头时，应同步上拔油管，避免对油管造成损坏。

C.6 挤扩试验成果用于挤扩支盘桩设计时，需按式（C.1）计算尺寸效应系数ξ：

$$\xi = \frac{k_2}{k_1} = \frac{(L_{2上}+L_{2下})d_2}{(L_{1上}+L_{1下})d_1} \cdot \frac{s_1}{s_2} = \frac{(L_{2上}+L_{2下})d_2}{(L_{1上}+L_{1下})d_1} \cdot \frac{d_{1油}^2}{d_{2油}^2} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- ξ——尺寸效应系数；
- k₁——为挤扩试验的挤扩压力值（MPa）；
- k₂——为支盘桩设计施工的挤扩压力值（MPa）；
- L_{1上}——为挤扩试验的挤扩机上弓臂长度（m）；
- L_{1下}——为挤扩试验的挤扩机下弓臂长度（m）；
- L_{2上}——为支盘桩施工的挤扩机上弓臂长度（m）；
- L_{2下}——为支盘桩施工的挤扩机下弓臂长度（m）；
- d₁——为挤扩试验的挤扩机弓臂宽度（m）；
- d₂——为支盘桩施工的挤扩机弓臂宽度（m）；
- s₁——为挤扩试验的挤扩机油缸截面积（m²）；
- s₂——为支盘桩施工的挤扩机油缸截面积（m²）；
- d_{1油}——为挤扩试验的挤扩机油缸内径（m）；
- d_{2油}——为支盘桩施工的挤扩机油缸内径（m）。

C.7 根据挤扩试验的挤扩压力值（k₁）来计算支盘桩设计施工的挤扩压力值（k₂）时，可按式（C.2）进行计算：

$$k_2 = \xi \cdot k_1 \dots\dots\dots (C.2)$$

C.8 可根据挤扩试验的挤扩压力值，按式（C.3~C.6）计算地基承载力特征值 f_{a0} （kPa）：

黏性土， $f_{a0} = 5.5k_1 + 96.5$ (C.3)

砂土， $f_{a0} = 19.951k_1 - 18.528$ (C.4)

花岗岩残积土， $f_{a0} = 13.491k_1 + 109.26$ (C.5)

花岗岩风化土， $f_{a0} = 4.007k_1 + 250.772$ (C.6)

C.9 钻孔内挤扩试验流程图如图 C.2 所示。

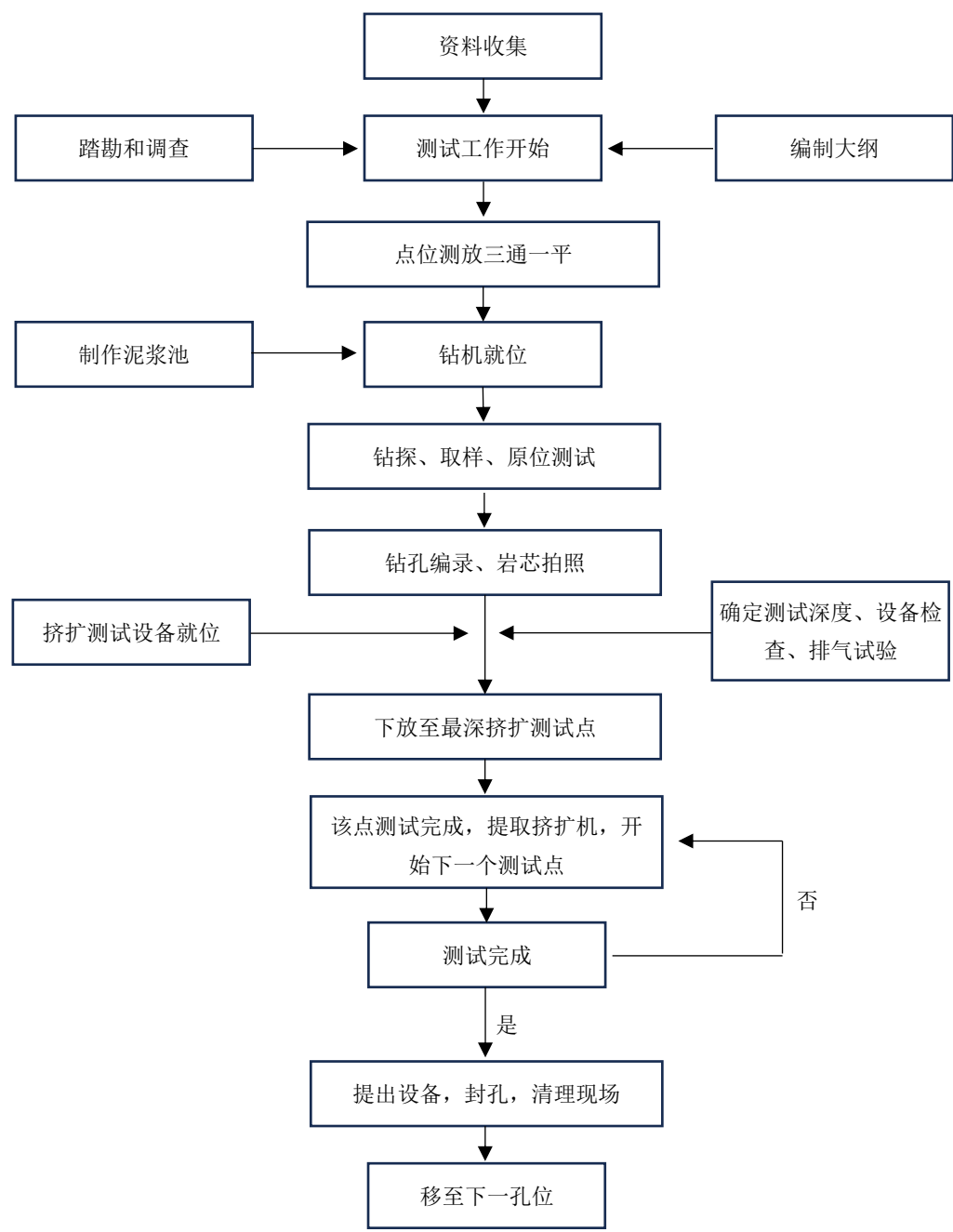


图 C.2 挤扩试验流程图

附 录 D
(资料性)
勘察工作量布置图示例

表D. 1为初勘勘探工作量布置图示例，表D. 2为详勘勘探工作量布置图示例，表D. 3为改扩建勘探工作量布置图示例。

表 D. 1 初勘工作量布置图示例

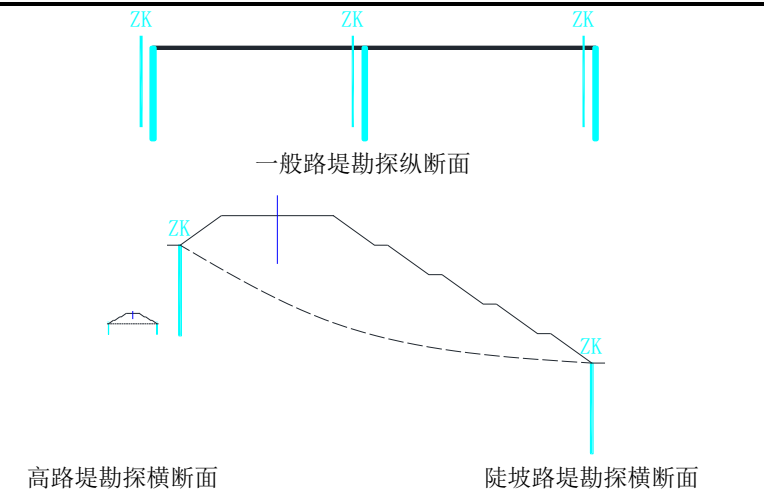
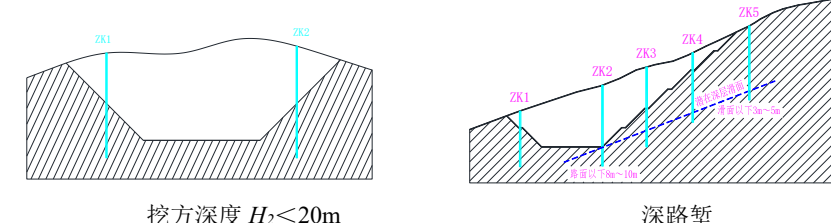
序号	设计内容	初勘钻探	初勘物探
1	填方路堤		当深部地质情况需进一步探明时，可采用静力触探、钻探、物探等进行综合勘探
2	挖方路堑		可采用钻探、物探等进行综合勘探

表 D.1 初勘工作量布置图示例（续）

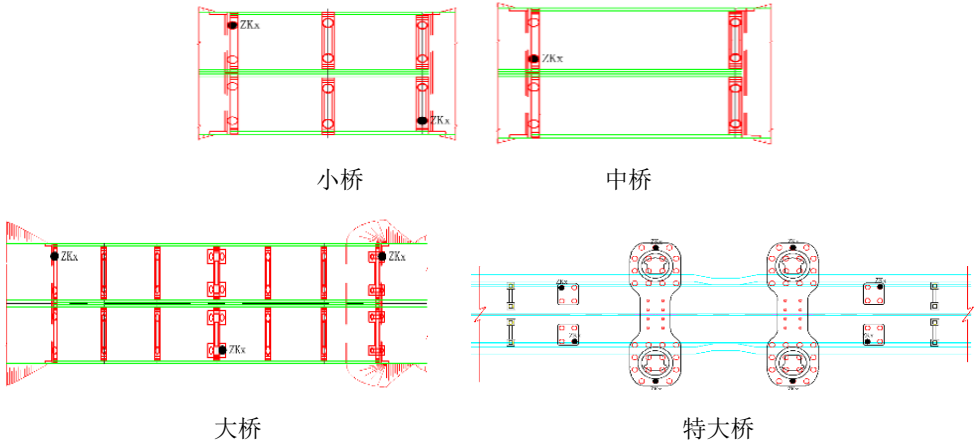
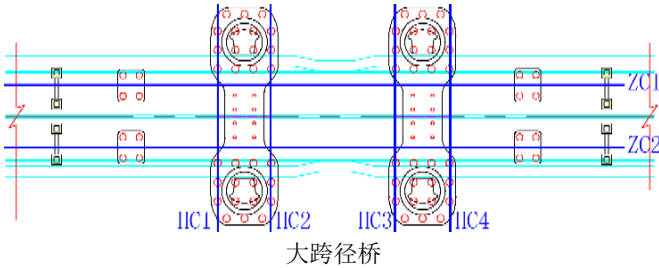
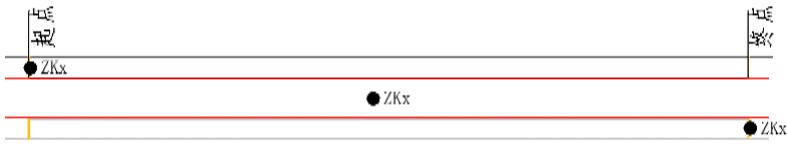
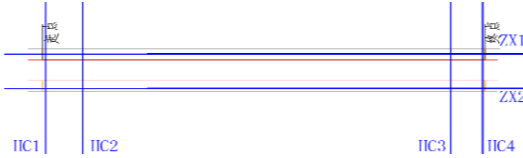
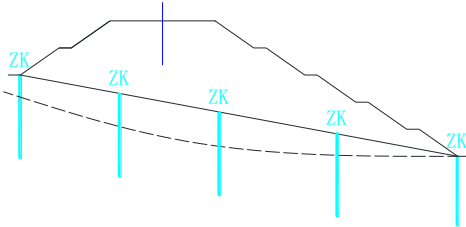
序号	设计内容	初勘钻探	初勘物探
3	桥梁	<div></div>	<div></div>
4	隧道	<div></div>	<div></div>
5	滑坡	<div></div>	<div>可采用钻探、物探等进行综合勘探</div>

表 D.2 详勘工作量布置图示例

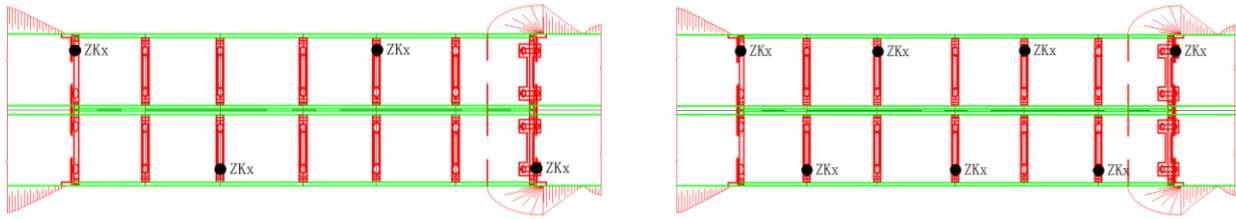
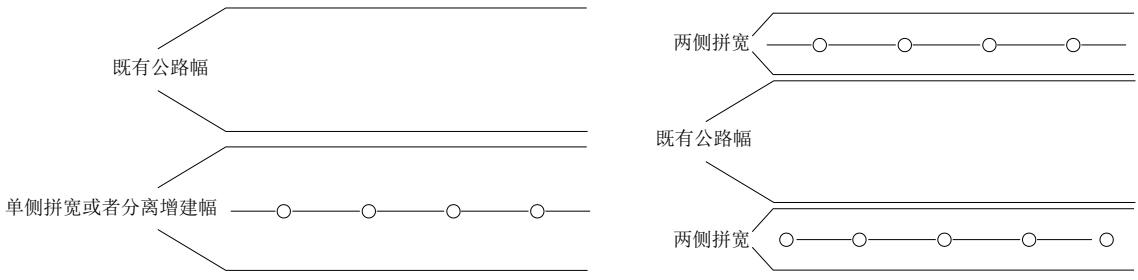
序号	设计内容	详勘钻探	详勘物探
1	桥梁	<div></div> <div>嵌岩桩</div> <div>摩擦桩</div>	可采用钻探、物探等进行综合勘探

表 D.3 改扩建勘探工作量布置图示例

设计内容	钻探	物探
路基	<div></div> <div>单侧拼宽</div> <div>两侧拼宽（之字形布孔）</div>	可采用静力触探、钻探、物探等进行综合勘探

附录 E
(资料性)
隧道涌水量估算

E.1 隧道涌水量预测方法

隧道涌水量预测方法主要有水均衡法、地下水动力学法及其他方法等，各方法适用条件见表E.1所示。

表 E.1 涌水量预测方法的适用条件

隧道涌水量预测方法		隧道类型	适用条件
水均衡法	降水入渗法	浅埋	有较丰富的水文观测资料，预测正常涌水量
	地下径流模数法		
	地下径流深度法		
地下水动力学法 (解析解法)	古德曼经验式	深埋	预测最大涌水量
	佐藤邦明非稳定流式		
	裘布依公式	浅埋、深埋	预测正常涌水量
	佐藤邦明公式		
其他	断裂张开宽度估算法	深埋	有较丰富的水文地质资料，预测最大涌水量
	评分法	浅埋、深埋	有部分工程地质、水文地质、气象等资料，预测正常涌水量
	水文地质比拟法		隧道附近有水文地质条件相当的既有隧道或坑道以及岩溶区时，预测正常涌水量或最大涌水量
	同位素氚(T)法		隧道通过潜水含水层且有给水度或裂隙率资料时，预测隧道正常涌水量

E.2 水均衡法

采用水均衡法时，可采用降水入渗法、地下径流模数法、地下径流深度法预测正常涌水量：

a) 降水入渗法

$$Q_s = 2.74\alpha \cdot W \cdot A \cdots \cdots \cdots (E.1)$$

式中：

Q_s ——隧道正常涌水量 (m³/d)；
 α ——降水入渗系数；
 W ——年降水量 (mm)；
 A ——隧道通过含水体地段的集水面积 (km²)。

b) 地下径流模数法

$$Q_s = M \cdot A \cdots \cdots \cdots (E.2)$$

$$M = \frac{Q'}{A'} \cdots \cdots \cdots (E.3)$$

式中：

M ——地下径流模数[m³/ (d·km²)]；
 Q' ——地下水补给的河流的流量或下降泉流量 (m³/d)，采用枯水期流量计算；

A' ——与 Q' 的地表水或下降泉流量相当的集水面积 (km^2)。

c) 地下径流深度法

$$Q_s = 2.74h_z \cdot A \dots\dots\dots (\text{E. 4})$$

$$h = W - H_z - E - S_z \dots\dots\dots (\text{E. 5})$$

$$A = L \cdot B \dots\dots\dots (\text{E. 6})$$

式中:

h_z ——一年地下径流深度 (mm) ;

H_z ——一年地表径流深度 (mm) ;

E ——某流域年蒸发蒸散量 (mm) ;

S_z ——一年地表滞水深度 (mm) ;

L ——隧道通过含水体的长度 (km) ;

B ——隧道通过含水地段涌水时对两侧的影响宽度 (km)。

E.3 地下水动力学法

E.3.1 可采用古德曼经验式、佐藤邦明非稳定流式预测最大涌水量。

a) 古德曼经验式

$$Q_0 = L \cdot \frac{2\pi \cdot K \cdot h_0}{\ln(4h_0/d)} \dots\dots\dots (\text{E. 7})$$

式中:

Q_0 ——隧道最大涌水量 (m^3/d) ;

L ——隧道通过含水体的长度 (m) ;

K ——含水层渗透系数 (m/d) ;

h_0 ——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)。

注: 有学者(张修杰, 2020)认为深埋特长隧道在淋水状出水时, 多数为张性节理裂隙带富水形成, 可采用降水入渗法、裘布依公式进行预测正常涌水量; 遇到高压股状出水时, 是为较大规模断裂构造带导水所致, 可采用古德曼经验式进行预测最大涌水量。古德曼经验式预测涌水量时, 重点突出了较大规模断裂构造带导水通道形成后出现的最大涌水量, 是一种上限值, 其涌水预测往往高于裘布依公式和降水入渗法一个数量级, 这也在大丰华高速公路鸿图特长隧道中得到佐证, 在遇到大规模导水通道高压涌水时, 古德曼经验式预测的最大水量与实际出水量较为吻合。

b) 佐藤邦明非稳定流式

$$q_0 = \frac{2\pi \cdot m \cdot K \cdot h_0}{\ln\left[\tan\frac{\pi(2h_0-r_0)}{4H} \cdot \cot\frac{\pi r_0}{4H}\right]} \dots\dots\dots (\text{E. 8})$$

式中:

q_0 ——隧道单位长度最大涌水量 [$\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$] ;

m ——换算系数, 一般取0.86;

r_0 ——洞身横断面等价圆半径 (m) ;

H ——含水层厚度 (m)。

E.3.2 可采用裘布依公式、佐藤邦明公式预测隧道正常涌水量:

a) 裘布依公式

$$Q_s = L \cdot K \cdot \frac{H^2 - h_w^2}{R - r'} \dots\dots\dots (\text{E. 9})$$

式中:

Q_s ——隧道正常涌水量 (m^3/d);

h_w ——洞外水柱高度 (m), 一般在含水层厚度 H 大于 100m 时需考虑“水跃”值;

R ——影响半径 (m);

r' ——隧道洞身横断面宽度的 $1/2$ (m)。

b) 佐藤邦明公式

$$q_s = q_0 - 0.584\bar{\varepsilon} \cdot K \cdot r_0 \dots\dots\dots (\text{E. 10})$$

式中:

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

$\bar{\varepsilon}$ ——试验系数, 一般取 12.8 ;

r_0 ——洞身横断面的等价圆半径 (m)。

E. 4 其他方法

E. 4. 1 新建隧道附近有水文地质条件相当的既有隧道或坑道以及岩溶区时, 可采用水文地质比拟法预测隧道涌水量:

$$Q_1 = Q_1' \frac{B_1' \cdot L \cdot s}{B_1' \cdot L' \cdot s'} \dots\dots\dots (\text{E. 11})$$

式中:

Q_1 、 Q_1' ——新建、既有隧道通过含水地段段的涌水量 (m^3/d);

B_1 、 B_1' ——新建、既有隧道洞身横断面的周长 (m);

s 、 s' ——新建、既有隧道的水位降深 (m);

L 、 L' ——新建、既有隧道通过含水体的长度 (m)。

E. 4. 2 隧道通过潜水含水层且有给水度或裂隙率资料时, 可采用同位素氡 (T) 法预测隧道正常涌水量:

$$Q_s = \frac{L_t \cdot A \cdot \mu_0}{365 \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (\text{E. 12})$$

$$\Delta t = 40.727 \lg \frac{N_0}{N_t} \dots\dots\dots (\text{E. 13})$$

式中:

L_t —— N_0 与 N_t 两样品间的距离 (m);

μ_0 ——潜水含水层给水度;

Δt —— N_0 与 N_t 两样运动的时间差 (a);

N_0 ——样品中氡含量起始值 (TR);

N_t ——与 N_0 比较的样品中氡含量 (TR)。

E. 4. 3 裂隙张开宽度法估算最大涌水量:

$$K_f = \frac{g \cdot b^2}{12\nu} \dots\dots\dots (\text{E. 14})$$

$$Q_0 = K_f \cdot I \cdot L \cdot b \dots\dots\dots (\text{E. 15})$$

式中:

K_f ——裂隙当量渗透系数 (m/s);

b ——导水裂隙宽度 (cm);

g ——重力加速度 (可取 9.8 m/s^2);

ν ——水的运动粘滞系数 (可取 $0.010 \text{ } 105 \text{ cm}^2/\text{s}$);

I ——地下水水力坡度；
 L ——隧道通过含水体的长度（m）。

E.5 隧道涌水影响宽度（B）确定

E.5.1 新建隧道同某既有隧道的水文地质条件相似、水文地质参数相近时，可用水文地质比拟法参照既有隧道的涌水影响宽度取值。

E.5.2 隧道通过地段的含水体与隔水体容易区分时，可采用地质调查法预测隧道涌水影响宽度值。

注：目前国内外尚无计算隧洞涌水影响宽度的成熟方法，一般多采用库萨金等影响半径理论公式进行估算。当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，其他情况时可采用其他方法确定。当隧洞通过汇水盆地时，可用该盆地面积作为该段隧道的集水面积，可取其面积等效宽度作为隧道涌水影响宽度。按《铁路工程水文地质勘察规范》（TB 10049-2014）中经验公式 $B=215.5+510.5K$ ，可概略预测隧道一侧涌水影响宽度。

E.6 隧道总涌水量的分级

隧道总涌水量分级可按表E.2划分。

表 E.2 隧道总涌水量分级

类别	涌水量（m ³ /d）	主要含水介质类型
特大涌水	>100 000	裂隙水、岩溶水
大涌水	10 000~100 000	裂隙水、岩溶水
中涌水	1 000~10 000	裂隙水、岩溶水
小涌水	100~1 000	孔隙水、裂隙水、岩溶水
渗滴涌水	<100	孔隙水、裂隙水

参 考 文 献

- [1] T/CECS G: H24—2018 公路工程地质勘察报告编制规程
 - [2] CJJ 56—2012 市政工程勘察规范
 - [3] 张修杰、程小勇. 岩浆岩地区深埋特长隧道涌水量预测及差异分析[J]. 中外公路, 2020 (40): 188-194.
 - [4] GDJT 001-01—2022 广东省公路工程勘察设计数字化交付指南 (试行)
-

广东省地方标准

高速公路工程地质勘察规范

DB44/T 2661—2025

*

广东省标准化研究院组织印刷
广州市海珠区南田路 563 号 1304 室
邮政编码：510220
电话：020-84250337