

DB 37

山 东 省 地 方 标 准

DB37/T 4718—2024

公路地质灾害防治工程勘察规范

Investigation specifications for highway geological disaster prevention and control projects

2024 - 06 - 28 发布

2024 - 07 - 28 实施

山东省市场监督管理局 发 布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

 4.1 勘察阶段 2

 4.2 工程地质调绘 2

 4.3 工程地质勘探 2

 4.4 原位测试 2

 4.5 岩土室内试验 3

 4.6 测试结果统计 3

 4.7 勘察报告基本要求 3

5 地面塌陷防治工程勘察 3

 5.1 一般规定 3

 5.2 地质调绘 3

 5.3 勘探与测试 4

 5.4 稳定性评价 5

 5.5 勘察报告 5

6 崩塌防治工程勘察 6

 6.1 一般规定 6

 6.2 地质调绘 6

 6.3 勘探与测试 7

 6.4 稳定性评价 8

 6.5 勘察报告 10

7 滑坡防治工程勘察 10

 7.1 一般规定 10

 7.2 地质调绘 11

 7.3 勘探与测试 11

 7.4 稳定性评价 12

 7.5 勘察报告 13

8 泥石流防治工程勘察 13

 8.1 一般规定 13

 8.2 地质调绘 14

 8.3 勘探与测试 14

 8.4 勘察报告 14

附录 A（规范性） 公路地质灾害防治工程勘察等级 16

附录 B（规范性） 岩土水平抗力试验 18

 B.1 试验目的 18

B.2 试样制备 18

B.3 试验设备及安装 18

B.4 试验步骤 18

B.5 试验数据计算与整理 19

附录 C（规范性） 岩土性质指标测试值计算方法..... 21

附录 D（资料性） 勘察报告提纲..... 22

附录 E（规范性） 地面塌陷、崩塌、滑坡、泥石流分类..... 23

附录 F（规范性） 常用物探方法（包含适用条件及有效深度） 25

附录 G（规范性） 不同类型采空区场地稳定性评价标准..... 26

附录 H（规范性） 滑坡稳定系数计算方法..... 27

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。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

公路地质灾害防治工程勘察规范

1 范围

本文件规定了公路地面塌陷、崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害防治工程勘察工作的技术要求。
本文件适用于各等级公路地质灾害防治工程勘察。

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
GB/T 50123 土工试验方法标准
GB/T 50266 工程岩体试验方法标准
JTG C20 公路工程地质勘察规范
JTG/T D31-03 采空区公路设计与施工技术细则
JTG/T 3222 公路工程物探规程
JTG 3430 公路土工试验规程
JTG 3431 公路工程岩石试验规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地质灾害 geologic hazard

自然因素或者人为活动引发的危害人民生命和财产安全的地面塌陷(3.2)、滑坡(3.3)、崩塌(3.5)、泥石流(3.4)等与地质作用有关的灾害。

3.2

地面塌陷 ground collapse

地表岩、土体在自然或人为因素作用下，向下陷落，并在地面形成塌陷坑（洞）的一种动力地质现象。

3.3

滑坡 landslide

地质体在重力作用下，沿地质软弱面向下向外滑动的一种地质现象。

注1：滑坡通常具有双重含义，一种重力地质作用的过程，或重力地质作用的结果。

注2：泛指已经发生的滑坡和可能以滑坡形式破坏的不稳定斜坡或变形体。

3.4

泥石流 mud-rock flow

由于降水（暴雨、冰川、积雪融化水）在沟谷或山坡上产生的一种挟带大量泥砂、石块和巨砾等固体物质的特殊洪流的一种自然地质现象。

3.5

崩塌 rockfall

较陡斜坡上的岩土体在重力作用下突然脱离母体崩落、滚动、堆积在坡脚（或沟谷）的一种地质现象。

4 基本规定

4.1 勘察阶段

- 4.1.1 可行性勘察应了解公路工程项目所处区域的工程地质条件及存在的工程地质问题，并提出相应的治理方案。
- 4.1.2 初步勘察应基本查明地质灾害的形成条件、基本特征和危害。提出防治工程方案，并针对所提方案进行工程地质条件初步勘察，精度应满足初步设计工作需要。
- 4.1.3 详细勘察宜考虑现有和规划中的保护对象的需要，依据初步勘察的结果，结合可能采取的治理方案部署勘察工作，分析发生灾害的可能性，并提出防治方案建议。
- 4.1.4 公路地质灾害防治工程勘察等级划定应按附录 A 执行。

4.2 工程地质调绘

- 4.2.1 勘察工作应遵循先调绘后勘探和先物探后钻探的原则。
- 4.2.2 工程地质调绘应与路线及沿线工程构筑物相结合，收集、分析勘察区既有的各种地质资料，结合必要的遥感解译及勘探手段进行。
- 4.2.3 工程地质调绘底图的比例尺不应小于工程地质图成图的比例尺。
- 4.2.4 工程地质调绘应沿路线及其两侧的带状范围进行，调绘宽度满足工程方案比选及工程地质分析评价的要求。
- 4.2.5 工程地质调绘点应布置在地貌单元的边界、地层接触线、断层、地下水出露点、考虑不良地质体的界线、具有代表性的节理和岩层露头。
- 4.2.6 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、照片以及相关调查图表等。

4.3 工程地质勘探

- 4.3.1 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现场地形地质条件、构筑物设置、勘探的目的和要求等综合确定。
- 4.3.2 应采用工程测量仪器布设工程地质勘探点，并应符合下列规定：
 - a) 勘探点位置定位误差：陆地不大于 0.1 m；
 - b) 勘探点地面孔口高程误差：陆地不大于 0.01 m；钻孔中地层分层误差应小于 0.1 m。受潮汐影响的勘探点，孔口高程测量进行实际孔深换算；
 - c) 勘探完成后，复测勘探点的平面位置及高程。勘探点的位置以坐标和里程桩号表示，并做好测量记录。

4.4 原位测试

- 4.4.1 原位测试应结合地区经验在综合分析的基础上提供岩土参数，提供现场原始记录、原位测试曲线图表和照片等。
- 4.4.2 水文地质参数、测定方法及适用条件应符合 GB 50021 中的相关规定。
- 4.4.3 岩土在现场试验应符合 GB 50021、GB/T 50266 中的相关的规定。

4.4.4 岩土水平抗力试验应按附录 B 执行。

4.5 岩土室内试验

4.5.1 室内试验应根据工程要求和岩土类型选择岩石试验、土工试验、岩土矿物分析、水质分析等试验项目和试验方法。

4.5.2 室内试验应符合现行 JTG 3430、JTG 3431 和 GB/T 50123 中的相关规定。

4.6 测试结果统计

4.6.1 岩土参数应按工程地质单元或层位进行统计。统计前应根据岩土的性状差异划分不同的统计单元，并根据采样方法、试验方法及其它影响因素对测试结果的可靠性和适用性作出评价。

4.6.2 岩土参数应分类汇总，参加统计的测试数据不应少于 6 个，参与统计的数据应分析离散原因，剔除异常数据。

4.6.3 岩土性状指标测试值统计结果应包括范围值、算术平均值、标准差、变异系数及标准值，计算方法按附录 C 执行。

4.7 勘察报告基本要求

勘察报告应包括勘察报告提纲（具体内容可参考附录 D）和地质灾害产生的原因说明（地质灾害的分类应按附录 E 的规定执行），根据勘察取得的各项地质资料，在综合分析的基础上进行编制，内容详实准确，结论应重点突出，有明确的工程针对性，所作的评价及防治方案建议依据充分、建议合理。

5 地面塌陷防治工程勘察

5.1 一般规定

5.1.1 地面塌陷勘察对象应包括对引发采空塌陷的采空区的勘察和引发岩溶塌陷的岩溶区的勘察。有关岩溶区塌陷勘察应符合 JTG C20 的规定。

5.1.2 公路选线宜避让不稳定采空区、生产采区及规划采区；无法避让时，穿越采空区路段宜选择场地稳定性较好的位置通过，压矿路段宜选择资源压覆量少，对矿产企业生产影响较小的位置通过。

5.1.3 采空区灾害防治在考虑稳定性和适宜性的基础上，应结合路基、桥涵、隧道工程可承受变形的限度进行方案选择。

5.1.4 地面塌陷的分类应按表 E.1 执行。

5.2 地质调绘

5.2.1 采空区域工程地质调绘应收集以下资料：

- a) 地质资料：包括区域地质调查报告、区域水文地质调查报告、项目压覆资源报告和地质灾害评估报告及相应的图纸资料。反映矿产赋存特征的矿体勘探报告及相关图纸资料。矿产企业生产中掌握的与采空区场地评价密切相关的技术资料及历史采矿资料；
- b) 采矿资料：具体包括采掘工程平面图、井上下对照图、采区平面布置图、矿产开采规划图以及相关的文字资料；
- c) 采动资料：采空区的覆岩破坏和地表移动变形调绘和观测资料，采动引起的地质灾害防治工程的勘察设计及施工技术资料；
- d) 建筑经验：收集拟建采空区场地已有工程的处置、设计、施工和修复等技术资料。

5.2.2 采空区调绘应包括以下内容：

- a) 地形地貌，地质构造，地层时代、成因、岩性、产状，矿层的分布范围、开采深度、厚度等；

- b) 地表水及其下渗情况，地下水的类型、补给来源、埋藏条件、动态变化及不同含水层间的水力联系、透水层和隔水层分布组合情况及其与采空区分布的关系，水质污染情况及其与地表水体的关系；
- c) 调查场地内及周边矿区的开采起始时间、开采方式、规模、开采矿层、产状、采深采厚比、回采率、顶板管理方式、矿柱留设情况和采区划分等；
- d) 调查采空区地表移动范围、破坏现状、发展轨迹，确定移动盆地中间区、内边缘区、外边缘区；对矿井口、巷道口及地表陷坑、台阶和裂缝的性状、走向、密度、深度等变形要素进行核定和编录，对地面塌陷的采空区和对地面塌陷的地表水系、地下水位变动等可能造成塌陷的原因进行调查。

5.2.3 采空区的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 1:2 000~1:5 000。特殊情况下，可采用 1:500 比例尺。

5.2.4 采空区的详细勘察调绘应对初勘调绘资料进行复核。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 1:500~1:2 000。

5.3 勘探与测试

5.3.1 初步勘察阶段应以采空区专项调查、测绘、地面变形观测及工程物探为主要勘察方法，辅以适当的钻探，有条件时应进行井下测量。详细勘察阶段应以钻探为主，辅以必要的物探及调绘工作，有条件时应进行井下测量。

5.3.2 采空区物探可采用电法、电磁法、地震法、测井法、重力法、放射性等方法。各物探方法的适用条件应按附录 F 的规定采用。

5.3.3 采空区物探宜综合考虑现场地形地质条件、采空区埋深及分布情况。当采用两种以上物探方法时，宜按表 1 选用；宜先选择一种物探方法进行大面积扫面，再用另外一种方法在异常区加密探测，有关物探应符合 JTG/T 3222 的规定。

表1 物探组合方法

地形情况	地形平坦，较平坦					地形起伏较大
采空区埋深 H m	H≤10	10<H≤30	30<H≤100	100<H<300	≥300	
第一种方法	地质雷达法	高密度电法	瞬变电磁法	地震反射波法	瞬变电磁法	瞬变电磁法
第二种方法	高密度电法	瞬变电磁法	地震反射波法	瞬变电磁法	电剖面法	地震反射波法
第三种方法	瞬态面波法	瞬态面波法	大地电磁测探			

5.3.4 采空区工程钻探应对收集、调查的资料、测绘及工程物探成果进行验证。

5.3.5 钻探布置原则：

- a) 应布置在地表变形较大及物探异常的区域；
- b) 钻孔应结合构筑物布置，桥梁钻孔宜尽量布置在墩台处；
- c) 钻孔深度应达到采空区或矿层底板以下不小于 3 m；
- d) 不同勘察阶段可结合现场情况参考表 2 合理布孔，以查明采空区赋存特征，满足技术需求为准。详勘阶段采空区桥梁钻孔宜逐墩布孔。物探解译异常区原则上不宜少于 1 孔；采空区隧道勘察不宜少于 2 个孔。

表2 钻孔布置参考值

工程类型	采空区长度 L		
	m		
	L≤500	500<L<2 000	L≥2 000
隧道	2~4	4~6	≥7
路基	1~3	3~5	≥6
注：初勘取低值，详勘取高值。			

5.3.6 钻探地质描述除符合一般工程地质要求外，应重点记录采空区钻探浆液漏失和掉钻情况及冒落带、裂隙带、弯曲带的位置和特征。

5.4 稳定性评价

5.4.1 公路采空区稳定性评价分为场地稳定性评价和公路工程地基稳定性评价两部分。场地稳定性评价以采空区地表剩余下沉量作为评价依据。公路工程地基稳定性评价以各类工程地基容许变形值作为评价依据。

5.4.2 公路采空区场地稳定性按开采条件判别法、地表移动变形预计法（概率积分法）、地表移动变形观测法、极限平衡分析法及数值模拟法进行评价。有关稳定性评价方法应符合 JTG/T D31-03 的规定。

5.4.3 采空区公路场地稳定性评价标准，应根据采空区地表剩余移动变形量、采空区停采时间及其对公路工程可能造成的危害程度，划分为稳定、基本稳定、欠稳定和 unstable 四个等级。不同类型采空区场地稳定性评价标准按附录 G 执行。

5.4.4 条带式、短壁式、充填式及其他类型采空区，宜按附录 G 相关标准进行场地稳定性评价。

5.4.5 采空区公路地基稳定性评价标准，应根据公路工程地基容许变形值按表 3 确定。

表3 采空区地基容许变形值

公路工程类型			地基容许变形指标		
			倾斜值 <i>i</i> mm/m	水平变形值ε mm/m	曲率值 <i>K</i> mm/m ²
路 基	高速公路、一级公路	高级路面	4.0	3.0	0.3
	二级及二级以下公路	高级及次高级路面	4.0~6.0	3.0~4.0	0.3~0.4
		简易路面	10.0	6.0	0.6
桥 梁	简支结构		3.0	2.0	0.2
	非简支结构		2.0	1.0	0.15
隧道			3.0	2.0	0.2
砖混结构建筑物			3.0	2.0	0.2

5.4.6 对于私采煤窑等小尺寸采空区，应根据采空区勘察结果，结合公路等级和工程类型，采用定性与定量评价相结合的方法，对公路下伏采空区的稳定性及其对公路工程的影响及危害程度进行分析与评价。

5.5 勘察报告

5.5.1 采空塌陷勘察报告应根据勘察阶段、任务要求、工程特点和地质条件进行编写，报告的文字说明除勘察大纲规定的外，还应包括以下内容：

采空区勘察成果,包括采空区范围、层数、埋深、采厚、开采时间、开采方法、回采率、顶板管理方法、顶底板岩性、覆岩破坏类型、地表移动变形范围及位移量、采空区剩余空隙体积、采空区充水情况、有害气体等采空区基本要素特征。

5.5.2 结论与建议。

- a) 应包括采空区场地对拟建公路或构筑物的稳定性与适宜性评价;采空区影响长度包括对路基、支挡结构、桥隧的影响长度;采空区剩余空洞体积;路线压覆资源的种类与范围等。
- b) 初勘阶段应提出路线方案比选与防治方案的初步建议,详勘阶段应提出采空区防治的方案建议。
- c) 勘察应与设计结合,设计方案对勘察目标有明确的要求,勘察结果对设计有充足的建议,处置方案需经专家论证方可通过。

5.5.3 采空塌陷勘察报告应有下列附图附件。

- a) 工程地质平面图,除应包括常规地质内容外,还应标出拟建建(构)筑物、矿界、井口、采空区(含巷道)位置、地表移动盆地范围及分区、地表裂缝分布、地表移动变形等值线图(实测及预测)、工程建设适宜性分区界线等。工程地质平面图比例尺应根据工程规模和勘察阶段确定,初勘阶段可采用1:2 000~1:5 000和详勘阶段可采用1:500~1:2 000。
- b) 工程地质纵、横断面图,除应包括常规地质内容外,还应标出拟建建(构)筑物位置及基底埋深、矿界、井口、采空区(含巷道)位置、垮落带、断裂带、弯曲带、地表移动盆地范围及裂缝分布等,初勘采用1:2 000~1:5 000和详勘阶段可采用1:500~1:2 000。
- c) 钻孔柱状图,除应包括常规地质内容外,还应标出采空区垮落带、断裂带、弯曲带及含水情况,并应描述钻进速度、掉钻、漏水等情况。
- d) 报告附件,包括工程物探成果报告、水文地质试验成果报告、原位测试成果报告、室内试验成果报告及其它专题报告。
- e) 报告附表,包括勘探点一览表、采空区调查表、收集资料一览表、采空区变形参数表、采空区对拟建工程影响程度综合评价表等。

6 崩塌防治工程勘察

6.1 一般规定

6.1.1 崩塌地质调查对象应包括危岩、陡崖和岩堆。

6.1.2 公路选线宜避开斜坡高陡,节理裂隙切割严重,危岩、崩塌发育地段和结构松散、稳定性差、补给源丰富、正处于发展阶段的大型岩堆。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,通过规模小、趋于稳定或停止发展的古岩堆时,应结合岩堆的地质结构,采取适当的工程措施后通过。

6.1.3 崩塌防治工程处置方案选择宜考虑现有和规划中的保护对象的需要。依据初勘的结果,结合能采取的治理方案部署勘察工作,分析评价危岩在现状和规划状态下的稳定性和发生灾害的可能性,并提出防治方案建议。

6.1.4 崩塌的分类应按表 E.2~表 E.3 执行。

6.2 地质调绘

6.2.1 应搜集已有地形图、遥感图像、地震、气象、水文、植被、人类工程活动资料及崩塌史料。了解前人工作程度,并访问调查和踏勘。

崩塌历史调查宜包括下列内容:

- a) 崩塌堆积物的空间分布特征,包括崩落物的边界及不同位置崩塌堆积物的厚度、大小;

- b) 崩塌堆积物的岩性、磨圆度、风化程度、溶蚀程度以及新老崩塌物的位置关系；
- c) 崩塌体运动过程中遗留在地表的撞击等运动痕迹；
- d) 崩塌堆积物周边环境特征；
- e) 危岩下方的情况。

6.2.2 崩塌地质调绘内容应符合下列规定。

- a) 调查崩塌所在区域的地形地貌、地质构造、地层岩性、水文地质条件、不良地质作用，了解与崩塌有关的地质环境。
- b) 在分析已有资料的基础上，调查崩塌所处陡崖岩性、结构面产状、力学属性、延展及贯穿情况、闭合程度、深度、宽度、间距、充填物、充水情况、结构面或软弱层及其与斜坡临空面的空间组合关系，陡崖卸荷带范围及特征，基座地层岩性、风化剥蚀情况、岩腔与洞穴状况、变形及人类工程活动情况等；同一区域，陡崖地质环境条件变化大时，应进行分段评价。
- c) 对应调查下列内容，并进行拍照，勾绘侧立面、正立面素描图：
 - 1) 危岩位置、形态、规模和分布高程；
 - 2) 危岩基座及周边的地质构造、地层岩性、岩(土)体结构类型及其对危岩稳定性的影响；
 - 3) 危岩及周边裂隙充水条件、高度及特征，泉水出露、湿地分布和落水洞情况等；
 - 4) 危岩变形发育史及崩塌影响范围。
- d) 裂隙应进行专门的调查，并编号，标注在图上。调查裂隙的性质、几何特征、充填物特性、充水条件及高度；对裂隙进行分带统计，划出范围。
- e) 崩塌地区调查土体组成和结构、垂直节理、古土壤层、落水洞的分布及稳定坡角，并进行裂隙分带统计，划出可能崩塌的范围。
- f) 对岩堆，调查下列内容：
 - 1) 崩塌源的位置、高程、规模、地层岩性、岩(土)体工程地质特征及崩塌产生的时间；
 - 2) 崩塌体运移斜坡的形态、地形坡度、粗糙度、岩性、起伏差，运动方式、崩塌块体的运动路线和运动距离；
 - 3) 崩塌堆积体的分布范围、高程、形态、规模、物质组成、分选情况、植被生长情况、崩塌堆积体块度(必要时需进行块度统计和分区)、结构、架空情况和密实度；
 - 4) 崩塌堆积床形态、坡度、岩性和物质组成、地层产状；
 - 5) 崩塌堆积体内地下水的分布和运移条件；
 - 6) 崩塌堆积体中大块孤石的大小、岩性，所处位置的坡度、下伏岩土体的类型，水文地质条件，变形情况。
- g) 调查崩塌影响范围内的人口及实物指标。

6.2.3 初步勘察应结合路线及构筑物的工程方案比选进行 1:2 000~1:5 000 工程地质调绘。

6.2.4 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 1:1 000~1:2 000。

6.3 勘探与测试

6.3.1 工程地质勘探测试应符合下列规定：

- a) 勘探采用槽探、钻探、物探等进行综合勘探；
- b) 控制危岩、陡崖的结构面，结合危岩、陡崖的稳定性分析，采用槽探、钻探等进行综合勘探；
- c) 岩堆勘探深度至稳定地层中不小于 3 m，大于最大块石直径的 1.5 倍；
- d) 钻探分层采取土样，取样后立即进行动力触探试验；
- e) 钻探过程中遇地下水时，量测地下水的初见水位和稳定水位；
- f) 崩塌、岩堆室内测试项目应按照表 4 选用；

表4 崩塌、岩堆测试项目表

测试项目		符号	单位	粉土、黏性土	砂土、碎石土	岩石
颗粒分析		—	%	+	+	—
天然含水率		ω	%	(+)	(+)	—
密度		ρ	g/m^3	(+)	(+)	—
塑限		ω_P	%	+		—
液限		ω_L	%	+		—
天然休止角		φ	°	—	(+)	—
剪切试验	黏聚力	c	kPa	(+)	—	—
	内摩擦角	φ	°	(+)	—	—
抗压强度		R	MPa	—	—	(+)
注：“+”——必做项目；“(+)”——选做项目；“—”——不做项目。						

g) 应进行现场落石试验，了解落石的滚落途径、跳越高度、影响范围。

6.3.2 崩塌勘探点的布设应满足下列要求：

- a) 危岩后缘、临空面及软弱基座等部位均有勘探点；
- b) 当危岩形态在竖向接近板状时，在危岩的临空面布置水平或倾斜钻孔勘探控制危岩的控制性结构面；水平或倾斜钻孔位置从危岩底面起算的高度不低于危岩高度的 1/2；
- c) 能满足对危岩、母岩、基座取样需要；
- d) 对密集的形态近似的危岩陡崖带，每个陡崖的勘探点应大于 1 个。

6.4 稳定性评价

6.4.1 崩塌稳定性评价应包括危岩稳定性评价和崩塌影响范围分析。

6.4.2 陡崖（带）稳定性可根据陡崖形态、结构面组合、岩体结构特征、变形特征等进行地质类比和赤平投影分析定性评价。危岩和崩塌堆积体稳定性应同时进行定性评价和定量评价。

6.4.3 在进行危岩稳定性计算之前，应根据危岩范围、规模、地质条件，危岩破坏模式及已有变形破坏迹象，采用地质类比法对危岩稳定性做出定性判断。

6.4.4 危岩稳定性评价应给出危岩在设计工况下的稳定系数和稳定状态。

6.4.5 危岩稳定状态应分为稳定、基本稳定、欠稳定和不稳定。按一般工况危岩稳定系数判断危岩稳定状态应符合表 5 的规定。

表5 危岩稳定状态划分

破坏模式	稳定状态			
	稳定	基本稳定	欠稳定	不稳定
滑移式	$F \geq F_t$	$1.15 \leq F < F_t$	$1.00 \leq F < 1.15$	$F < 1.00$
倾倒式	$F \geq F_t$	$1.25 \leq F < F_t$	$1.00 \leq F < 1.25$	$F < 1.00$
坠落式	$F \geq F_t$	$1.35 \leq F < F_t$	$1.00 \leq F < 1.35$	$F < 1.00$
注： F_t ——危岩稳定安全系数。				

6.4.6 危岩稳定安全系数应根据崩塌防治工程等级和破坏模式按表 6 确定。

表6 危岩稳定安全系数

破坏模式	防治工程等级					
	一级		二级		三级	
	一般工况	校核工况	一般工况	校核工况	一般工况	校核工况
滑移式	1.40	1.15	1.30	1.10	1.20	1.05
倾倒式	1.50	1.20	1.40	1.15	1.30	1.10
坠落式	1.60	1.25	1.50	1.20	1.40	1.15
注：一般工况指天然工况和暴雨（融雪）工况，校核工况指地震工况。						

6.4.7 危岩稳定性计算应符合下列规定：

- a) 危岩稳定性计算所采用的荷载应分为基本荷载（危岩自重、工程荷载）、裂隙水压力和地震力；
- b) 危岩稳定性计算所采用的工况，应分为天然工况（工况 1）、暴雨（融雪）工况（工况 2），地震烈度为 6 度及以上时，尚宜考虑地震工况（工况 3）。其中所采用的暴雨强度宜是重现期为 20 年的暴雨强度；
- c) 危岩稳定性计算中各工况考虑的荷载组合应符合下列规定：
 - 1) 工况 1，基本荷载：危岩自重+工程荷载；
 - 2) 工况 2，基本荷载+暴雨（融雪）引起的裂隙水压力；
 - 3) 工况 3，基本荷载+暴雨（融雪）引起的裂隙水压力+地震力。
- d) 考虑降雨（融雪）对危岩稳定性的影响时，除应计算暴雨（融雪）时裂隙水压力外，还应分析降雨（融雪）引起的土体物质的迁移及上覆土体的自重应力增加；
- e) 危岩稳定性计算剖面应沿危岩失稳的最不利方向并通过其危岩重心。当危岩稳定性计算剖面未通过危岩重心且危岩断面尺寸变化较大时，危岩稳定性计算应按空间问题进行计算；
- f) 地震荷载采用的综合水平地震系数取值见表 7；

表7 综合水平地震系数取值表

设计基本地震加速度（ α_h ）	$\leq 0.05\text{ g}$	0.10 g	0.15 g	0.2 g	0.3 g
综合水平地震系数（ α_w ）	0	0.025	0.0375	0.05	0.075

- g) 基本地震加速度为 0.2 g 及以上，且位于地震断裂带 15 km 范围内的危岩稳定性计算，同时计入水平向地震荷载和竖向地震荷载；
- h) 地震荷载按公式（1）和公式（2）进行计算：

$$Q_h = \alpha_w G \alpha \cdots \cdots \cdots (1)$$

$$Q_v = Q_h / 3 \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中：

- Q_h ——危岩的水平地震荷载，单位为千牛每米（kN/m）；
- Q_v ——危岩的竖向地震荷载，单位为千牛每米（kN/m）；
- α_w ——综合水平地震系数，即： $\alpha_w = \alpha_h \varepsilon / g$ ；
- α_h ——基本地震加速度，单位为克（g）；
- ε ——折减系数，取 0.25；
- G ——危岩的重量（含地面荷载），单位为千牛每米（kN/m）；
- α ——危岩地震放大效应系数，低位危岩取 1.0，中位危岩取 1.5，高位危岩取 2，特高位危岩取 3。

6.4.8 崩塌体运动方向及影响距离预测应符合下列规定：

- a) 崩塌评价应给出崩塌体运动途经区域和危岩运动可能到达的最大范围，划定危岩崩塌可能造成的灾害范围，进行险情的分析与预测；
- b) 崩塌地质灾害影响范围确定应采用崩塌历史调查法和崩塌运动学分析法计算确定，必要时可采用现场落石试验法确定；
- c) 崩塌体运动方向及影响距离预测应分析崩塌体可能到达并堆积的场地的地形、坡度、分布、高程、地层岩性与产状及该场地的最大堆积容积，并分析在不同堆积条件下，崩塌体越过堆积场地向下运移的可能性及最终堆积场地。分析时应考虑崩塌体解体对危害范围的影响。

6.5 勘察报告

6.5.1 崩塌勘察报告的内容应根据任务要求、地质环境、崩塌特点等具体情况确定，除勘察大纲规定的外，还应包括以下内容：

- a) 崩塌地质体特征，包括形态特征及边界条件、影响因素、形成机制、危岩类型；危岩稳定性的定性分析、稳定性计算、稳定性综合评价，其中计算部分包括试验数据的分析统计、计算原理与方法、计算参数的确定、计算工况的确定、稳定性系数计算结果；
- b) 危岩防治工程建议，包括变形破坏发展趋势与危险性分析、防治工程设计参数、防治工程方案建议。

6.5.2 崩塌勘察报告应有下列附图附件：

- a) 崩塌勘察工程地质平面图（比例尺为 1:500~1:2 000）；
- b) 崩塌勘察工程地质剖面图（比例尺为 1:200~1:500）；
- c) 危岩立面图（比例尺为 1:100~1:200）；
- d) 危岩区裂隙统计图（极点图或带倾角的裂隙倾向玫瑰图）；
- e) 钻孔地质柱状图（比例尺为 1:50~1:200）；
- f) 探坑（井、槽）展示图（比例尺为 1:50~1:200）；
- g) 物探报告；
- h) 各种计算成果；
- i) 有代表性的与崩塌有关的照片，包括全貌照片、危岩照片等；
- j) 崩塌物粒径组成实验成果表。

7 滑坡防治工程勘察

7.1 一般规定

7.1.1 滑坡调查范围应包括后缘壁至前缘剪出口及两侧缘壁之间的整个滑坡，并外延到滑坡可能影响的一定范围。

7.1.2 公路选线应避开路线规模大、性质复杂、稳定性差、处治困难的滑坡及滑坡群地段。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。

7.1.3 工程可行性论证阶段，采用互动反馈方式，合理确定滑坡体（包括滑面或滑带土）物理力学指标，判定滑坡稳定状态，提出防治工程建议方案。初步勘察阶段应初步查明滑坡的岩（土）体结构、空间几何特征和体积、考虑水文地质条件，滑动方向，分析滑坡成因；应合理确定滑坡面物理力学指标，判定稳定状态，提出防治工程方案建议。详细勘察阶段应采用信息反馈法，综合防治工程实施，及时编录分析地质资料，将重大地质结论变化及时通知业主，情况紧急时应及时通知施工和设计单位，采取必要的防范措施。

7.1.4 滑坡的分类应按表 E.4~表 E.5 执行。

7.2 地质调绘

7.2.1 滑坡调查应以资料收集、区域环境地质调查、地面调查为主；在勘察的前期准备阶段进行，作为滑坡防治工程勘察项目立项和布置勘探工作的依据。

7.2.2 滑坡地质调绘应符合下列规定。

- a) 滑坡工程地质调绘与路线及构筑物的设置相结合，查明下列内容：
 - 1) 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；
 - 2) 滑坡的成因和类型、规模、分布范围、发育规律及诱发因素；
 - 3) 滑坡周界、滑坡裂缝、滑坡擦痕、滑坡台阶、滑坡壁、滑坡洼地等滑坡要素的分布位置和发育情况；
 - 4) 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；
 - 5) 滑坡体的物质组成及其分级、分块和分层情况；
 - 6) 滑床的形态特征、物质组成、物理力学性质和地质结构；
 - 7) 沟系、洼地、陡坎等微地貌特征和植被情况；
 - 8) 地下水的类型、分布、埋藏条件、成因、水质、水量；
 - 9) 当地滑坡的建筑经验。
- b) 岩层露头，滑坡边界、滑坡裂缝、滑坡台阶、滑坡壁、地下水露头、地层接触线等部位布置调绘点。
- c) 滑坡剪出口、裂缝等露头不良时，应辅以挖探等进行调绘。

7.2.3 滑坡初步勘察阶段，滑坡工程地质调绘的比例尺为 1:2 000~1:5 000，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。

7.2.4 滑坡详细勘察阶段，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，应结合滑坡处工程设计进行 1:500~1:2 000 补充工程地质调绘。

7.3 勘探与测试

7.3.1 滑坡工程地质勘探应符合下列规定：

- a) 滑坡工程地质勘探应采用物探、挖探、钻探等进行综合勘探，一般以槽探为主，滑面较深时可采用钻探方法。勘探测试点的数量和位置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) 纵向勘探线的布置结合滑坡分区进行，不同滑坡单元均应有主勘探线控制，其方向与该单元的滑动方向一致，在其两侧可布置辅助勘探线；横向主勘探线应布置在滑坡中部至前缘剪出口之间；
- c) 纵向主勘探线勘探点间距应为 20 m~60 m，纵向辅助勘探线勘探点间距应为 40 m~120 m；横向勘探线重点布置在防治工程实施部位，勘探点间距应为 20 m~120 m；
- d) 滑坡勘探点的布置符合下列要求：
 - 1) 勘探点沿滑坡的主滑方向布置。当滑坡的规模大、性质复杂时，勘探点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，勘探点的深度满足支挡工程设计的要求。

7.3.2 滑坡工程地质测试应符合下列规定：

- a) 室内测试项目应按表 8 选用。砂土、碎石土应只进行颗粒分析。岩石结合支挡工程设计选择代表性岩样进行抗压强度试验和剪切试验；

表8 滑坡室内测试项目表

测试项目		滑坡体	滑坡面	支挡工程
颗粒分析		(+)	(+)	(+)
天然含水率 ω (%)		+	+	+
密度 ρ (g/m ³)		+	+	+
塑限 ω_p (%)		+	+	+
液限 ω_L (%)		+	+	+
压缩系数 a (MPa ⁻¹)		-	-	(+)
剪切试验	黏聚力 c (kPa)	(+)	+	+
	内摩擦角 φ (°)	(+)	+	-
注1：表列测试项目适用于粉土、黏性土，“+”——必做项目；“(+)”——选做项目。				
注2：剪切试验为直剪试验。				

- b) 滑动面（带）的抗剪强度试验结合滑动条件、岩土性质选择滑面重合剪、重塑土多次剪试验等。有条件时，应进行原位大面积剪切试验；
 - c) 钻探过程中遇地下水时，量测初见水位、稳定水位，确定含水层厚度。地下水发育时，进行抽水试验；
 - d) 应采集水样进行水质分析，评价环境水的腐蚀性。
- 7.3.3 初步勘察勘探测试除应符合 7.3.1 和 7.3.2 的规定外，尚应符合下列规定：
- a) 每条勘探断面上的勘探点钻孔或探坑（井）数量不少于 2 个；
 - b) 应与物探结合进行综合勘探；
 - c) 稳定性难以判明的滑坡，进行位移、变形观测。
- 7.3.4 详细勘察勘探测试除应符合 7.3.3 的规定外，尚应符合下列规定：
- a) 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；
 - b) 抗滑支挡工程、河岸防护工程应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；
 - c) 滑坡勘探断面上的地形、滑坡边界、滑坡裂缝、地下水出露点等实测。

7.4 稳定性评价

- 7.4.1 滑坡稳定性分析评价应在查明滑坡工程地质和水文地质条件基础上，根据滑坡的工程地质、水文地质、岩体结构特征以及已经出现的变形破坏迹象，确定滑坡边界范围和主滑方向，分析其形成机制、诱发因素及目前所处的发育阶段和发展变化趋势，对滑坡稳定性状态做出定性评价。
- 7.4.2 滑坡稳定性的初步判别宜采用工程地质类比法、赤平极射投影法、以及其它多因素评判分析方法等定性评价方法。
- 7.4.3 滑坡稳定性评价，应根据滑坡地质结构和破坏类型，采用定性分析与力学计算相结合的综合评价方法。
- 7.4.4 滑坡稳定性评价应根据滑动面类型和物质组成选用恰当的方法，并可参考数值模拟方法结果。
- 7.4.5 滑坡稳定性评价和推力计算公式采用如下方法。
- a) 土质滑坡，包括两种滑动面类型：
 - 1) 滑动面为圆弧形的土质滑坡，宜采用简化 Bishop 法进行稳定性评价和推力计算；计算公式按附录 H 执行；

- 2) 滑动面为折线形的土质滑坡，宜采用传递系数法进行稳定性评价和推力计算。计算公式按附录 H 执行。
 - b) 岩质滑坡，包括三种滑动面类型：
 - 1) 折线形滑动面：用传递系数法进行稳定性评价和推力计算；
 - 2) 单一平面滑动面：用二维块体极限平衡法进行稳定性评价和推力计算；
 - 3) 多组弱面组合滑动面：用二维极限平衡法进行稳定性评价和推力计算。
- 7.4.6 对一级、二级滑坡防治工程，设计水平地震动峰值加速度为 0.3 g 时，宜同时考虑竖向地震惯性力的作用。
- 7.4.7 滑坡稳定状态应根据滑坡稳定系数按表 9 确定。

表9 滑坡稳定状态划分

滑坡稳定系数 F_s	$F_s < 1.00$	$1.00 \leq F_s < 1.05$	$1.05 \leq F_s < F_{st}$	$F_s \geq F_{st}$
滑坡稳定状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定
注： F_{st} 为滑坡稳定安全系数，防治工程等级为一级时为1.25，二级时为1.15，三级时为1.05。				

7.5 勘察报告

- 7.5.1 滑坡勘察报告除包括 JTG C20 规定的内容外，还应包括：
- a) 滑坡基本特征，包括形态特征及边界条件、滑体特征、滑带特征、滑床特征、近期变形破坏特征、影响因素及形成机制、滑坡类型，反映现场病害的图片；
 - b) 滑坡稳定性评价，包括滑坡稳定性的定性分析、滑坡稳定性计算、稳定性评价；
 - c) 滑坡防治建议，包括防治方案比选、论证和防治工程设计参数。
- 7.5.2 滑坡勘察报告应有下列附图附件：
- a) 滑坡工程地质平面图（比例尺为 1:500~1:2 000）；
 - b) 滑坡工程地质断面图（比例尺为 1:200~1:500）；
 - c) 钻孔地质柱状图（比例尺为 1:50~1:200）；
 - d) 探槽、探井、平洞展示图（比例尺为 1:50~1:200）；
 - e) 物探曲线图表；
 - f) 滑坡动态观测资料（重点是变形观测及孔内变形观测资料）及照片。

8 泥石流防治工程勘察

8.1 一般规定

- 8.1.1 泥石流调查对象为泥石流沟（含潜在泥石流沟）和非泥石流沟。
- 8.1.2 公路选线宜避免处于发育旺盛期的特大型、大型泥石流、泥石流群和面积分布的山坡型泥石流地段。通过泥石流沟时，应避开沟谷纵坡由陡变缓和沟谷急弯部位，避免压缩沟谷断面，并应依据设计年限内泥石流的淤积高度留足净空，在有利位置以桥梁通过。无法避开时，不应在泥石流扇上挖沟设桥或做路堑，并应依据堆积作用的强烈程度确定路线设计高程。
- 8.1.3 工程可行性论证阶段在泥石流调查的基础上，对发育泥石流的自然地理、地质环境和泥石流的形成条件进行定量勘察，并查明泥石流的特征和危害，进一步论证泥石流工程治理方案的可行性，提出工程治理的建议方案和地域范围。设计勘察阶段结合泥石流可行性论证阶段优化的工程治理方案，围绕可能采用的工程措施、工程设计所需的泥石流参数和工程地质条件进行进一步勘察、论证和比选工程治理方案，提出工程措施建议。
- 8.1.4 泥石流的分类应按表 E.6~表 E.9 执行。

8.2 地质调绘

8.2.1 工程地质调绘应符合下列规定。

- a) 泥石流工程地质调绘收集地震、气象、水文资料，调查以下内容。大型、特大型泥石流及泥石流群应结合遥感工程地质解译进行调绘：
 - 1) 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；
 - 2) 泥石流的类型、分布、规模、成因、发生的时间及频率；
 - 3) 泥石流沟谷的横断面形态、沟槽宽度、纵坡和汇水面积；
 - 4) 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；
 - 5) 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；
 - 6) 泥石流堆积物的分布范围、物质成分、数量和粒径组成；
 - 7) 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；
 - 8) 对当地人员的询调和其它工程的影响。
- b) 工程地质调绘的范围包括泥石流的形成区、流通区、堆积区及其稳定地段。
- c) 岩石露头，跌水，泥石流冲刷、流动痕迹，滑坡、坍塌等不良地质体，泥石流沟谷及沟谷内堆积物，泥石流堆积扇等部位布置调绘点。

8.2.2 初步勘察工程地质调绘比例尺为 1:2 000~1:5 000。

8.2.3 详细勘察应对初步勘察工程地质调绘资料进行复核。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 1:500~1:2 000。

8.3 勘探与测试

8.3.1 工程地质勘探测试应符合下列规定：

- a) 应采用物探、挖探、钻探等进行综合勘探。勘探点的数量和位置应根据地形地质条件，泥石流堆积物的组成、厚度及构筑物的类型、规模等确定；
- b) 泥石流堆积物勘探深度至基底以下稳定地层中不小于 3 m，且不小于最大块石直径的 1.5 倍；
- c) 泥石流堆积物的土样在有代表性的位置采取；
- d) 钻探遇地下水时，量测地下水的初见水位和稳定水位。宜取样进行水质分析，判明环境水的腐蚀性。

8.3.2 初步勘察阶段勘探、应符合下列规定：

- a) 泥石流排导工程：勘探点应沿排导工程的延伸方向布置，探坑（井）或钻孔深度应至冲刷线以下不小于 5 m；
- b) 泥石流拦渣坝：应沿沟槽横断面方向布置勘探断面，基底及沟槽两侧边坡宜布置勘探点，探坑（井）或钻孔深度应至基底以下稳定地层中不小于 3 m。

8.3.3 详细勘察阶段应充分利用初勘资料，结合路线及构筑物的施工图设计布置勘探测试点，查明地质条件。

8.4 勘察报告

8.4.1 泥石流勘察报告的内容应根据任务要求、勘察阶段、地质环境、泥石流特征等具体情况确定，勘察报告的内容除勘察大纲规定的外，还应包括：

- a) 泥石流特征，包括泥石流汇水区特征、泥石流固态物质来源带特征（滑坡、危岩崩塌等）、泥石流沟床特征；泥流体特征（含形成区和流通区），泥石流发生的次数、形成历史和近期变形破坏特征；泥石流的诱发因素、形成机制；泥石流类型；

- b) 预测泥石流危害和发展趋势。根据泥石流沟物源储量、形成泥石流的降雨等激发条件，评价产生泥石流的风险（泥石流易发程度分析，活动强度判别，危险性分析），预测再次发生泥石流的危险区范围，以及可能的危害对象与危害方式；
- c) 既有防治工程评价及泥石流防治方案比选。对泥石流沟既有工程的防治效果和可利用程度进行详细评价。提出防治方案建议，对拟设防治工程部位提出地质岩土等设计所需参数建议。

8.4.2 泥石流勘察报告应有下列附图附件：

- a) 泥石流工程地质平面图（比例尺为 1:2 000~1:5 000）；
- b) 泥石流工程地质横断面图（比例尺为 1:200~1:400）；
- c) 泥石流沟床工程地质纵断面图（比例尺为 1:100~1:400）；
- d) 钻孔地质柱状图（比例尺为 1:50~1:200）；
- e) 探槽、探井、平洞展示图（比例尺为 1:50~1:200）；
- f) 遥感解释图片；
- g) 物探曲线图表；
- h) 泥石流试验资料及照片等。

附 录 A
(规范性)

公路地质灾害防治工程勘察等级

公路地质灾害防治工程勘察应划定公路地质灾害防治工程勘察等级。

A.1 公路地质灾害防治工程勘察等级应根据致灾地质体危害程度与地质环境条件复杂程度按表 A.1 进行划定。

表A.1 公路地质灾害勘察工程等级

地质环境条件复杂程度	致灾地质体危害程度		
	大	中等	小
复杂	一级	一级	二级
中等	一级	二级	三级
简单	二级	三级	三级

A.2 致灾地质体危害程度的划分应按表 A.2 进行划定。

表A.2 致灾地质体危害程度分级

危害程度	灾情		险情	
	死亡人数/人	直接经济损失/万元	受威胁人数/人	可能直接经济损失/万元
大	≥10	≥500	≥100	≥500
中等	3~6	100~500	10~100	100~500
小	≤3	≤100	≤10	≤100
注1：灾情：指已发生的地质灾害，采用“人员伤亡情况”“直接经济损失”指标评价。				
注2：险情：指可能发生的地质灾害，采用“受威胁人数”“可能直接经济损失”指标评价。				
注3：危害程度采用“灾情”或“险情”指标评价。				

A.3 地质环境条件复杂程度分类见表 A.3。

表A.3 地质环境条件复杂程度分类表

条件	类别		
	复杂	中等	简单
区域地质背景	区域地质构造条件复杂，建设场地有全新世活动断裂，地震基本烈度大于 VIII 度，地震动峰值加速度大于 0.20 g	区域地质构造条件较复杂，建设场地附近有全新世活动断裂，地震基本烈度 VII 度至 VIII 度，地震动峰值加速度 0.10 g~0.20 g	区域地质构造条件简单，建设场地附近无全新世活动断裂，地震基本烈度小于或等于 VI 度，地震动峰值加速度小于 0.10 g
地形地貌	地形复杂，相对高差大于 200 m，地面坡度以大于 25° 为主，地貌类型多样	地形较简单，相对高差 50m~200 m，地面坡度以 8° ~25° 为主，地貌类型较单一	地形简单，相对高差小于 50 m，地面坡度小于 8° ，地貌类型单一

表 A.3 地质环境条件复杂程度分类表（续）

条件	类别		
	复杂	中等	简单
地层岩性和岩土工程地质性质	岩性岩相复杂多样，岩土体结构复杂，工程地质性质差	岩性岩相变化较大，岩土体结构较复杂，工程地质性质较差	岩性岩相变化小，岩土体结构较简单，工程地质性质良好
地质构造	地质构造复杂，褶皱断裂发育，岩体破碎	地质构造较复杂，有褶皱、断裂分布，岩体较破碎	地质构造简单，无褶皱、断裂，裂隙发育
水文地质条件	具多层含水层，水位年际变化大于 20m，水文地质条件不良	有二至三层含水层，水位年际变化 5m~20m，水文地质条件较差	单层含水层，水位年际变化小于 5m，水文地质条件良好
地质灾害及不良地质现象	发育强烈，危害较大	发育中等，危害中等	发育弱或不发育，危害小
人类活动对地质环境的影响	人类活动强烈，对地质环境的影响、破坏严重	人类活动较强烈，对地质环境的影响、破坏较严重	人类活动一般，对地质环境的影响、破坏小
注：每类条件中，地质环境条件复杂程度按“就高不就低”的原则，有一条符合条件者即为该类复杂类型。			

附 录 B
(规范性)
岩土水平抗力试验

B.1 试验目的

岩土水平抗力试验用于确定岩土体水平抗力系数及水平承载力。

B.2 试样制备

B.2.1 试验宜选择有地质代表性的试段进行。

B.2.2 试点受力方向应与岩土体实际受力方向一致。

B.2.3 对于岩体承压面积不宜小于 0.07 m^2 ；对于土体承压板面积不宜小于 0.25 m^2 。

B.2.4 试点边缘至井（洞）壁的距离应大于承压板直径或边长的3倍，至临空面的距离应大于承压板直径或边长的4倍。

B.2.5 承压面应采用人工方法凿平，起伏差应小于承压板直径的5%。

B.2.6 试验前应对试点进行地质描述。

B.3 试验设备及安装

B.3.1 宜采用圆形刚性承压板，承压板厚度不宜小于500 mm（对于破碎岩土体，承压板厚度可适当降低，但不宜小于300 mm），当刚度不足时，可采用叠置垫板等方式提高承压板刚度。

B.3.2 水平推力加载装置宜采用油压千斤顶，加载能力应为预估最大试验荷载的1.2倍。

B.3.3 水平推力的反力可由井壁岩土体提供，如果预估反力不足应采取浇注混凝土后座进行处理。

B.3.4 荷载量测宜采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶率定曲线换算荷载，或采用应力环、应变式荷重传感器直接测定。传感器的测量误差不应大于1%，压力表精度应优于或等于0.4级。试验用千斤顶油泵、油管的容许压力应分别大于最大加载时压力的1.2倍。当采用多台千斤顶同时加载时，应采用并联方式，以确保千斤顶出力一致。

B.3.5 岩土体的水平位移量测宜采用电测位计或大量程百分表，并应符合下列规定：

- a) 测量误差不大于1%，分辨率为0.01 mm；
- b) 位移测试仪表对称安置于承压板上，板外岩土体上应布置测表；
- c) 基准梁具有一定的刚度，梁的一端固定在基准桩上，另一端简支或自由；
- d) 固定和支撑位移计（百分表）的夹具及基准梁确保不受气温、振动、试验变形及其他外界因素的影响。

B.3.6 加压及传力系统应符合下列规定：

- a) 清洗岩体试点表面，铺垫一层水泥浆，放置承压板并挤出多余水泥浆；
- b) 清除土体表面突起的颗粒，凹坑用细砂填平；
- c) 在承压板上依次安装千斤顶、钢垫板、传力柱，后座；
- d) 施加接触压力，使整个系统紧密接触；
- e) 承压板、千斤顶、传力柱等部件的中心在同一轴线上，轴线水平，垂直于承压板。

B.4 试验步骤

B.4.1 对于破碎岩类、软弱岩类、遇水软化、遇水膨胀等特殊岩类或土层，应进行预压，预压值为最大试验压力值的5%。

B.4.2 加压前测表初始读数应充分稳定，每隔10 min读数一次，直至所有测表连续三次读数不变。

B.4.3 荷载的级差应由大到小递减，先预估极限荷载 P_{max} ，荷载小于 $0.50 P_{max}$ ，级差为 $0.10 P_{max}$ ；荷载为 $0.50 P_{max} \sim 0.75 P_{max}$ 级差为 $0.05 P_{max}$ ；荷载大于 $0.75 P_{max}$ ，级差为 $0.025 P_{max}$ 。

B.4.4 加载应采用变形控制。每级压力加压后应立即读数，以后每隔10 min读数一次，当各测表相邻两次读数差与同级压力下第一次读数和前一级压力下最后一次读数差之比小于5%时，方可施加或退至下一级压力。

B.4.5 当压力与变形关系曲线不再呈直线或承压板周围岩土面出现裂缝时，应减小荷载级差。

B.4.6 试验采用逐级连续加载，直至试点破坏。

B.4.7 当出现下列情况之一时，可终止加载：

- 某级压力下，承压板上和板外测表的读数不断变化，且在一定时间间隔内这种变化有不断增大的趋势，可认为岩土体已破坏；
- 压力表读数显示荷载加不上或勉强加上但很快降下来，可认为岩土体已破坏；
- 承压板周围岩土表面出现明显隆起或裂缝持续发展，认为岩土体已破坏；
- 当设备出力不够，岩土体未能达到破坏，但压力已达到工程设计压力2倍。

B.4.8 加载结束后分3级~5级卸载，每级卸载后应立即测读变形，卸载完成后应每隔10 min测读一次，当连续3次读数不变时，应终止试验。

B.4.9 试验结束后，应描述裂缝发生及发展情况。

B.5 试验数据计算与整理

B.5.1 作用于试验点上的单位压力应按公式(B.1)计算：

$$p = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

p ——作用于试点上的单位压力，单位为兆帕（MPa）；

Q ——作用于试点上的法向荷载，单位为兆牛（MN）；

A ——试点承压板面积，单位为平方米（ m^2 ）。

B.5.2 岩土体变形值应采用承压板上有效测表的平均变形值，应绘制压力 p 与变形 ω 关系曲线，必要时应绘制 $\omega - \lg t$ 关系曲线及承压板外岩土体 $p - \omega$ 关系曲线。各特征点的压力值应根据承压板 $p - \omega$ 关系曲线，结合 $\omega - \lg t$ 关系曲线和板外岩土体 $p - \omega$ 关系曲线确定。

B.5.3 岩土体水平变形模量根据公式(B.2)计算：

$$E_0 = \frac{\pi}{4} (1 - \mu^2) \frac{(p - p_0)D}{\omega - \omega_0} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

E_0 ——变形模量，单位为兆帕（MPa）；

D ——承压板直径，单位为米（m）；

p —— $p \sim \omega$ 关系曲线直线段终点对应的压力，单位为兆帕（MPa）；

p_0 —— $p \sim \omega$ 关系曲线直线段起点对应的压力，单位为兆帕（MPa）；

ω —— $p \sim \omega$ 关系曲线直线段终点对应的岩土变形，单位为米（m）；
 ω_0 —— $p \sim \omega$ 关系曲线直线段起点对应的岩土变形，单位为米（m）；
 μ ——岩土体的泊松比。

B. 5. 4 岩土体试验的水平弹性抗力系数应根据式(B. 3) 计算：

$$K = \frac{(p-p_0)}{\omega-\omega_0} \dots\dots\dots (B. 3)$$

式中：
 K ——岩土体试验水平弹性抗力系数，单位为兆牛每立方米（MN/m³）。

附 录 C

(规范性)

岩土性质指标测试值计算方法

C.1 岩土性质指标算术平均值 (μ_0) 按公式 (C.1) 计算:

$$\mu_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

μ_i ——岩土性质指标测试值;

n ——参与统计的数据量。

C.2 岩土性质指标标准差 (σ) 按公式 (C.2) 计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \mu_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \mu_i)^2}{n} \right]} \dots\dots\dots (C.2)$$

C.3 岩土性质指标变异系数 (δ) 按公式 (C.3) 计算:

$$\delta = \sigma / \mu_0 \dots\dots\dots (C.3)$$

C.4 岩土参数的标准值 (f_k) 按公式 (C.4) 和公式 (C.5) 计算:

$$f_k = \psi \mu_0 \dots\dots\dots (C.4)$$

$$\psi = 1 \mp \left(\frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right) \delta \dots\dots\dots (C.5)$$

附 录 D
(资料性)
勘察报告提纲

公路地质勘察宜充分收集、分析工作区的地质、地震、采矿、气象、水文、设计等资料，结合必要的现场踏勘，明确勘察的重（难）点和技术质量要求，编写勘察报告提纲。

项目勘察报告提纲宜包括以下内容：

- a) 项目概况：包括任务依据、建设规模和标准、路线走向、工程结构设置、已做过的地质工作；
- b) 地质勘察执行的技术标准；
- c) 自然地理和工程地质概况：包括公路沿线的地形地貌、气象水文、地震、地层岩性、地质构造、水文地质条件、不良地质和特殊性岩土的分布与发育情况，以及可能影响工程结构设置的重大或关键性地质问题等；
- d) 勘察实施方案：包括勘察内容、勘察方法和精度、勘探点布置原则及主要工作量，以及针对重大或关键性地质问题采取的勘察对策、措施和专题研究等；
- e) 组织机构、人员组成、设备配置、计划进度、质量管理、安全和环保措施；
- f) 提交的成果资料；
- g) 其他需要说明的问题。

附录 E
(规范性)
地面塌陷、崩塌、滑坡、泥石流分类

E.1 地面塌陷分类见表 E.1。

表E.1 基于主导因素的地面塌陷分类

类型	分类描述
采空地​​面塌陷	地下采掘活动形成的采空区，其上方岩、土体失去支撑，引发的地面塌陷
岩溶地面塌陷	岩溶地区由于隐伏下部岩溶洞穴扩大而致顶板岩体塌陷或上覆岩土层的洞顶板在自然或人为因素作用下失去平衡产生下沉或塌陷而引发的地面塌陷

E.2 崩塌分类见表 E.2～表 E.3。

a) 根据规模，崩塌可按表 E.2 进行分类。

表E.2 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 (m ³)	$V \leq 500$	$500 < V \leq 5\,000$	$V > 5\,000$

b) 根据崩塌破坏模式，崩塌可按表 E.3 进行分类。

表E.3 崩塌按破坏模式分类

类型	倾倒式崩塌	滑移式崩塌	坠落式崩塌
破坏模式	倾倒	滑移	坠落

E.3 滑坡分类见表 E.4～表 E.5。

a) 根据滑坡体的体积，滑坡的规模可按表 E.4 进行分类。

表E.4 滑坡分类

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 (m ³)	$V \leq 4 \times 10^4$	$4 \times 10^4 < V \leq 3 \times 10^5$	$3 \times 10^5 < V \leq 1 \times 10^6$	$V > 1 \times 10^6$

b) 根据滑动方式，滑坡可按表 E.5 进行分类。

表E.5 滑坡按滑动方式分类

滑坡类型	滑动方式
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

E.4 泥石流分类见表 E.6～表 E.9。

a) 根据泥石流的固体物质组成，泥石流可按表 E.6 进行分类。

表E. 6 泥石流按固体物质组成分类

类型	流体中固体物质成分
泥流	固体物质以黏粒、粉粒为主，含有少量砾砂、碎石
泥石流	固体物质由黏粒、粉粒、砂粒、碎石、块石、漂石组成
水石流	固体物质以碎石、块石为主，含少量黏粒、粉粒

b) 根据泥石流发生的频率，泥石流可按表 E. 7 进行分类。

表E. 7 泥石流按发生频率分类

类型	特征
高频率泥石流	多位于地壳强烈上升区，岩层破碎，风化强烈，山体稳定性差。泥石流基本上每年发生，泥石流暴发雨强不大于 4mm/10 min。同体物质主要来源于沟谷内的滑坡、崩塌。沟床和扇形地上泥石流堆积物新鲜，几乎无植被发育。
低频率泥石流	分布于各类山地，山体稳定性较好，无大型活动性崩塌、滑坡。泥石流暴发周期一般在 10 年以上。固体物质主要来源于沟床内的松散堆积物。泥石流暴发雨强大于 4mm/10 min。规模一般较大。沟床和扇形地上巨石遍布，植被较好。

c) 根据泥石流的规模，泥石流可按表 E. 8 进行分类。

表E. 8 泥石流按规模分类

类型	固体物质储量 (V_p) m^3/km^2	固体物质一次性最大冲出量 (V_c) m^3
小型	$V_p \leq 5 \times 10^4$	$V_c \leq 1 \times 10^4$
中型	$5 \times 10^4 < V_p \leq 1 \times 10^5$	$1 \times 10^4 < V_c \leq 5 \times 10^4$
大型	$1 \times 10^5 < V_p \leq 1 \times 10^6$	$5 \times 10^4 < V_c \leq 1 \times 10^5$
特大型	$V_p > 1 \times 10^6$	$V_c > 1 \times 10^5$

d) 根据泥石流的流域形态特征，泥石流可按表 E. 9 进行分类。

表E. 9 泥石流按流域形态特征分类

类型	流域面积 (S) km^2	主沟长度 (L) km	形态特征	沟床纵坡	不良地质	沟口堆积物
沟谷型	$S > 1$	$L > 2$	沟谷形态明显，支沟发育	一般在 15° 以下，有跌坎	沟内常发育有崩塌、滑坡	呈扇形或带状，颗粒略有磨圆
山坡型	$S \leq 1$	$L \leq 2$	沟谷短、浅、陡，一般无支沟	与山坡坡度基本一致	常产生坡面侵蚀和崩塌	呈锥形，颗粒较粗大，棱角明显

附 录 F
(规范性)
常用物探方法 (包含适用条件及有效深度)

物探方法的选择见表F. 1。

表F. 1 常用物探方法

方法种类		成果形式	适用条件	有效深度 m	干扰及缺陷
电 法	高密度电法	平、剖面	任何地层及产状，具有良好的接地条件	≤100	高压电 线、地下 管线、游 散电流、 电磁干扰
	电测深法	剖面	地形平缓，具有稳定电性标志层，地电层次不多，电性层与地质层基本一致	≤1 000	
	充电法	平面	充电体相对围岩应是良导体，要有一定规模，且埋深不大	≤200	
电 磁 法	瞬变电磁法	平剖面	探测目标与周围介质呈相对高、低阻，地面或空间没有大的金属结构体、厂矿及较大村镇	500~1 000	高导、厚 覆盖受限
	可控源音频大地电磁法				
	地质雷达	剖面	探测目标与周围介质有一定电性差异，且埋深不大，或基岩裸露区	地面以下小于 30 孔内等效钻孔深	
地 震 法	地震勘探	平、剖面	折射波法要求被探测物波速大于上覆地层，无法探测速度逆转层；反射波法要求地层具有一定波阻抗差异；两者探测薄层能力差，地形较平坦，地层产状小于 30°	适用于深部采空区探测	黄土覆盖较厚、古河道砾石、浅水面埋深大等地区
	瞬态面波	平、剖面	覆盖层较薄，采空区埋深浅，地表平坦、无积水	≤40	
	地震映像	剖面	覆盖层较薄，采空区埋深浅	≤150	
测 井 法	弹性波 CT	剖面	井况良好，井径合理，激发与接收配合良好	等效钻孔深	游散电 流、电磁 干扰
	常规测井	剖面	电、声波、密度测井在无套管、有井液的孔段进行；放射性测井则无此要求		
	超声成像测井	剖面	无套管有井液的孔段进行		
	孔内摄像	剖面	只能在无套管的干孔和清水钻孔中进行		
重 力 法	微重力勘探	平面	地形平坦，无植被，透视条件好	≤100	地形，地物
放 射 性	放射性勘探	平、剖面	勘探对象要具有放射性		
注1：工程物探的质量控制，宜符合现行《公路工程物探规程》（JTG/T 3222）的规定。					
注2：有效深度可通过现场试验确定。					

附 录 G
(规范性)

不同类型采空区场地稳定性评价标准

G.1 长壁式垮落法采空区，在工可阶段，宜依据工作面的停采时间，按表 G.1 划分场地稳定性等级；在勘察设计阶段，应依据地表剩余移动变形值计算，按表 G.2 确定场地稳定性等级。

表G.1 按停采时间确定长壁式采空区场地稳定性等级评价标准

稳定等级	场地影响范围内工作面停采时间 t (年)		
	软弱覆岩	中硬覆岩	坚硬覆岩
稳定	$t \geq 2.0$	$t \geq 3.0$	$t \geq 4.0$
基本稳定	$1 \leq t < 2$	$2 \leq t < 3$	$3 \leq t < 4$
欠稳定	$0.5 < t < 1$	$1 < t < 2$	$2 < t < 3$
不稳定	$t \leq 0.5$	$t \leq 1.0$	$t \leq 2.0$

表G.2 按地表移动变形值确定长壁式采空区场地稳定性等级评价标准

稳定等级	地表移动变形量			
	下沉值 (W) mm	倾斜值 (i) mm/m	水平变形值 (ϵ) mm/m	曲率值 (K) mm/m ²
稳定	≤ 100	≤ 3.0	≤ 2.0	≤ 0.2
基本稳定	$100 < W \leq 200$	$3 < i \leq 6$	$2 < \epsilon \leq 4$	$0.2 < K \leq 0.4$
欠稳定	$200 < W < 400$	$6 < i < 10$	$4 < \epsilon < 6$	$0.4 < K < 0.6$
不稳定	≥ 400	≥ 10.0	≥ 6.0	≥ 0.6
注：地表移动变形值为建（构）筑物场地平整后的地表剩余移动变形值。				

G.2 不规则柱式采空区，应根据其采深采厚比按表 G.3 评价场地稳定性。

表G.3 不规则柱式采空区场地稳定性等级评价标准

稳定等级		稳定	基本稳定	欠稳定	不稳定
采深采厚比 H/M	坚硬覆岩	$H/M \geq 80$	$60 < H/M \leq 80$	$40 < H/M \leq 60$	≤ 40
	中硬覆岩	$H/M \geq 100$	$80 < H/M \leq 100$	$60 < H/M \leq 80$	≤ 60
	软弱覆岩	$H/M \geq 120$	$100 < H/M \leq 120$	$80 < H/M \leq 100$	≤ 80

G.3 单一巷道式采空区，可采用极限平衡分析方法，计算巷道顶板临界深度及稳定系数 (F_s)，按表 G.4 评价场地稳定性。

表G.4 单一巷道式采空区场地稳定性等级评价标准

稳定系数 (F_s)	$F_s \geq 2.0$	$1.5 \leq F_s < 2.0$	$1.0 \leq F_s < 1.5$	$F_s < 1.0$
稳定等级	稳定	基本稳定	欠稳定	不稳定

附录 H

(规范性)

滑坡稳定系数计算方法

H.1 采用 Bishop 法计算滑坡稳定系数时,按公式 (H.1)~公式 (H.3) 计算:

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n [(W_i - u_i b_i + \Delta Y_i) \tan \varphi_i' + C_i'] l_i \cos \theta_i}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i + \sum_{i=1}^n Q_i \frac{e_i}{R}} \quad (\text{H. 1})$$

$$M_{\theta k} = \cos \theta_i + \frac{\tan \varphi_i'}{F_s} \sin \theta_i \quad (\text{H. 2})$$

$$\Delta Y_i = Y_{i+1} - Y_i \quad (\text{H. 3})$$

式中:

F_s ——稳定系数;

n ——条块数;

W_i ——第*i*条块的自重,单位为千牛(kN);

θ_i ——第*i*条块的重力线与通过此条块底面中点半径之间的夹角,单位为度(°);

l_i ——第*i*条块的滑动面长度,单位为米(m);

b_i ——第*i*条块的宽度,单位为米(m);

C_i' ——第*i*条块滑面有效黏聚力,单位为千帕(kPa);

φ_i' ——第*i*条块滑面有效内摩擦角,单位为度(°);

u_i ——第*i*条块底面的单位孔隙水压力,单位为千牛每米(kN/m);

Y_i ——第*i*条块与第*i*-1条块之间的切向条间力,单位为千牛(kN);

$Y_{(i+1)}$ ——第*i*条块与第*i*+1条块之间的切向条间力,单位为千牛(kN);

ΔY_i ——第*i*条块水平作用力至圆心的垂直距离,单位为米(m);

Q_i ——第*i*条块水平作用力,单位为千牛(kN);

e_i ——第*i*条块水平作用力至圆心的垂直距离,单位为米(m)。

当 $\Delta Y_i=0$,即为简化Bishop法。

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n [(W_i - u_i b_i) \tan \varphi_i' + C_i'] l_i \cos \theta_i}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i + \sum_{i=1}^n Q_i \frac{e_i}{R}} \quad (\text{H. 4})$$

H.2 采用传递系数法计算滑坡稳定性时,显式解法稳定系数 F_s 按公式 (H.5)~公式 (H.8) 计算。

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^n (T_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + T_n} \quad (\text{H. 5})$$

$$T_i = W_i \sin \alpha_i + K_s W_i \cos \alpha_i - Q_i \sin(\theta_i - \alpha_i) \quad (\text{H. 6})$$

$$R_i = c_i l_i + [W_i \cos \alpha_i - K_s W_i \sin \alpha_i + Q_i \cos(\theta_i - \alpha_i) - U_i] \tan \varphi_i \quad (\text{H. 7})$$

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \tan \varphi \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \quad (\text{H. 8})$$

式中:

K_s ——地震影响系数;

Q_i ——第*i*条块坡外面力(源于外载或加固作用),单位为千牛(kN);

θ_i ——第*i*条块坡外面力与垂直方向夹角,单位为度(°);

T_i ——条间力沿条块界面垂直方向的分量,单位为千牛(kN);

U_i ——第*i*条块条底孔隙水压力,单位为千牛(kN);

c_i ——第*i*条块滑面有效黏聚力,单位为千牛(kN);

φ_i ——第*i*条块滑面有效内摩擦角,单位为度(°);

ψ_i ——传递系数。
