ICS 07.060
CCS P 65

团　　体　　标　　准

T/GSC 004—2023

复杂艰险山区线状工程地质区划技术规程

Technical specification for engineering geological zoning of linear project in complex and precipitous mountain region

2023-12-28 发布　　2023-12-29 实施

中国地质学会　　发 布

中国地质学会（GSC）是组织开展国内、国际标准化活动的全国性社会团体。制定中国地质学会团体标准，满足市场需要，增加标准的有效供给，促进科技创新，是中国地质学会的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国地质学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国地质学会团体标准按《中国地质学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国地质学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国地质学会团体标准予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国地质学会团体标准秘书处，以便修订时参考。

本文件版权为中国地质学会所有，除了用于国家法律或事先得到中国地质学会的许可外，不得以任何形式或任何手段复制、再版或使用本文件及其章节，包括电子版、影印件，或发布在互联网及内部网络等。

中国地质学会地址：北京市西城区百万庄大街 26 号

邮政编码：100037　电话：010-68999018　　传真：010-68995305

网址：www.geosociety.org.cn　电子信箱：zgdzxh@geosociety.org.cn

目　　次

前言 V
引言 VI
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 目标 3
4.2 任务 3
4.3 基本要求 3
5　区域性工程地质区划 4
5.1 一般规定 4
5.2 资料获取 5
5.3 区划方法 5
5.4 区划结果 8
6　关键区段工程地质区划 8
6.1 一般规定 8
6.2 资料获取 8
6.3 平面工程地质区划 9
6.4 剖面工程地质分段评价 13
7　区划成果编制 14
7.1 数据编制 14
7.2 图件整理 14
7.3 报告编制 15
附录A （资料性附录） 16
附录B （资料性附录） 19
附录C （资料性附录） 27
附录D （资料性附录） 38
附录E （规范性附录） 39

条文说明 40
参考文献 43

图 1 工程地质区划工作流程框图 4
图 2 工程地质区划指标体系框图 6

表 A.1 区域性尺度断层活动性划分表 16
表 A.2 区域性尺度地震活动性划分表 16
表 A.3 区域性尺度构造应力场划分表 17
表 A.4 区域性尺度地表变形划分表 17
表 A.5 区域性尺度布格重力异常梯度划分表 17
表 A.6 区域性尺度大地热流值划分表 17
表 A.7 区域性尺度工程地质岩组划分表 18
表 A.8 区域性尺度地形起伏度和构造地貌类型划分表 18
表 B.1 关键区段尺度断层活动性划分表 19
表 B.2 关键区段尺度活动断层影响区距离划分表 20
表 B.3 关键区段尺度地应力划分表 20
表 B.4a 关键区段尺度地震动峰值加速度划分表 21
表 B.4b 关键区段尺度地震动峰值加速度放大系数随坡度和起伏度划分表 21
表 B.4c 关键区段尺度地震动峰值加速度放大系数随坡高和坡降变化划分表 21
表 B.5 关键区段尺度地形起伏度和海拔划分表 21
表 B.6 关键区段尺度坡度划分表 22
表 B.7 关键区段尺度岩石坚硬程度划分表 22
表 B.8a 关键区段尺度岩体完整程度划分表 23
表 B.8b 关键区段尺度岩体结构面结合程度划分表 23
表 B.9 关键区段尺度岩体结构划分表 24
表 B.10 关键区段尺度降水划分表 24
表 B.11 关键区段尺度河网密度划分表 25
表 B.12 关键区段尺度水系影响区划分表 25
表 B.13 关键区段尺度含水岩组富水性划分表 25
表 B.14a 关键区段尺度线状人类工程活动影响区划分表 26
表 B.14b 关键区段尺度点状人类工程活动影响区划分表 26
表 C.1 关键区段尺度断层岩的工程地质分类表 27

表 C.2 关键区段尺度膨胀性岩（土）分布区岩性划分表 27
表 C.3 关键区段尺度铁路工程膨胀性岩（土）分布区膨胀岩的膨胀潜势划分表 28
表 C.4a 关键区段尺度铁路工程膨胀性岩（土）分布区膨胀土的膨胀潜势划分表 28
表 C.4b 关键区段尺度公路工程膨胀性岩（土）分布区膨胀土的膨胀潜势划分表 28
表 C.5 关键区段尺度膨胀性岩（土）分布区膨胀岩的膨胀性试验指标划分表 28
表 C.6 关键区段尺度膨胀性岩（土）分布区膨胀岩的现场试验指标划分表 28
表 C.7 关键区段尺度冻土分布区多年冻土类型、总含水率、融化后潮湿程度、融化下沉系数划分表 29
表 C.8 关键区段尺度多年冻土地基承载力划分表 30
表 C.9 关键区段尺度冻土分布区多年冻土季节融化土层冻前天然含水率、冻结期间地下水位冻结面的最小距离、平均冻胀率划分表 31
表 C.10 关键区段尺度多年冻土地温带划分表 32
表 C.11 关键区段尺度软土分布区软土地貌特征、成因类型、沉积特征划分表 32
表 C.12 关键区段尺度软土分布区软土物理力学性质划分表 33
表 C.13 关键区段尺度软土分布区软土灵敏度划分表 33
表 C.14 关键区段尺度软土分布区软土地基承载力划分表 33
表 C.15a 滑坡规模等级划分表 33
表 C.15b 崩塌规模等级划分表 34
表 C.15c 泥石流规模等级划分表 34
表 C.15d 岩溶塌陷规模等级划分表 34
表 C.15e 岩溶发育程度划分表 34
表 C.15f 岩溶地层岩性、成层特征划分表 35
表 C.15g 可溶岩出露类型划分表 35
表 C.15h 可岩溶覆盖层、覆盖层厚度、地表水与地下水连通情况划分表 35
表 C.16a 岩爆发育趋势划分表 35
表 C.16b 大变形发育趋势划分表 36
表 C.16c 高温热害发育趋势划分表 36
表 C.16d 高温异常发育趋势划分表 36
表 C.16e 涌水突泥发育趋势划分表 36
表 C.16f 瓦斯发育趋势划分表 37
表 C.16g 放射性发育趋势划分表 37
表 D.1 区域和关键区段尺度工程地质条件复杂程度分类表 38

前　言

本文件是依据 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》、T/CAS1.1－2017《团体标准的结构和编写指南》给出的规则起草。

本文件由中国地质学会提出并归口。

本文件起草单位：中国地质科学院地质力学研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国地质大学（北京）、中国国家铁路集团有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司、中国自然资源航空物探遥感中心、中国地质调查局成都地质调查中心等。

本文件起草人：张永双、祁生文、郑博文、梁宁、宋帅华、李永超、吴瑞安、李雪、郭长宝、郭松峰、杨国香、王保弟、安志国、雷达、臧明东、杨志华、陈兴强、周洪福、王冬兵、冯涛、崔颖辉、唐渊、罗锋、李金秋、任三绍、郭忻怡、邹宇

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这些专利的责任。

本文件为 2023 年首次发布。

引　言

工程地质区划是工程建设中地质安全风险防控的重要基础。复杂艰险山区一般具有复杂的地质条件、险峻的地形地貌及特殊的地质安全风险背景，导致重大工程地质问题和地质灾害频繁发生。近年来，随着我国重大工程建设不断向青藏高原等复杂艰险山区延伸，特别是大型线状工程跨越不同的地质构造单元，面临的疑难工程地质问题越来越突出。为了更好地认识线状工程沿线的工程地质条件及其对工程地质问题的控制作用，应根据线状工程建设的不同阶段开展相应尺度的工程地质区划，从而科学指导线状工程地质风险防控。

为规范和指导复杂艰险山区线状工程建设预可行性研究、可行性研究阶段的工程地质区划工作，编制本文件。

本文件规定的工程地质区划不替代工程建设各阶段的工程地质勘察工作。

复杂艰险山区线状工程地质区划技术规程

1 范围

本文件规定复杂艰险山区线状工程沿线不同尺度工程地质区划的基本规定、区域性工程地质区划、关键区段工程地质区划及区划成果编制等方面的技术要求。

本文件适用于跨越多个地质构造单元的复杂艰险山区铁路、公路等线状陆路交通工程建设过程中的工程地质区划工作，输气管道、引水工程等其他类似线状工程建设的工程地质区划等可参照使用。

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/T 14158 区域水文地质工程地质环境地质综合勘查规范（比例尺 1:50000）

GB 18306 中国地震动参数区划图

GB/T 40112 地质灾害危险性评估规范

GB/T 50218 工程岩体分级标准

DZ/T 0097 工程地质调查规范（1:50000）

JGJ 83 软土地区岩土工程勘察规程

JTG C20 公路工程地质勘察规范

TB 10003 铁路隧道设计规范

TB 10012 铁路工程地质勘察规范

TB 10027 铁路工程不良地质勘察规程

TB 10038 铁路工程特殊岩土勘察规程

DD 2015-02 活动断层与区域地壳稳定性调查评价规范（1:50000、1:250000）

DD 2019-04 水文地质调查图件编制规范 第 1 部分：水文地质图（1:50000）

DD 2019-08 地质灾害调查技术要求（1:50000）

T/CAGHP 001-2018 地质灾害分类分级标准（试行）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工程地质条件 engineering geological condition

与人类工程活动有关的地质要素的综合。

3.2

工程地质问题 engineering geological problem

人类工程活动与地质环境之间相互作用所引起的、能对建（构）筑物或地质环境造成危害的问题。

3.3

工程地质岩组 engineering geological rock group

具有一定地质成因联系，岩体结构、强度、建造类型等工程地质特征相似的岩层（体）组合。

3.4

不良地质作用 adverse geological process

由地球内力或外力产生的，对人类生命、财产、工程活动及生态地质环境有不利影响的自然地质过程。

3.5

廊道 corridor

沿线状工程展布的线路两侧一定范围内的狭长地带。

3.6

关键区段 key segment

工程地质条件复杂且容易出现较大范围不良工程地质问题的区段。

3.7

线路比选 route comparison selection

在廊道范围内，综合考虑工程地质条件，对拟选的多条线路进行比较并确定最佳线路的过程。

注：铁路系统常用线路比选，公路系统常用路线比选。

3.8

线路优化 route optimization

根据工程地质条件和建设环境，对拟定线路进行局部调整，以达到技术、经济等最优的过程。

注：铁路系统常用线路优化，公路系统常用路线优化。

3.9

工程地质区划 engineering geological zonation

根据工程建设不同阶段的需求，按工程地质条件相近、工程地质问题相似的原则对工作区进行分区分段的过程。

3.10

分区 zoning

在廊道范围内，对具有相近工程地质条件、相似工程地质问题的平面范围进行划分。

3.11

分段 segment
沿线状工程垂向剖面，依据不同工程地质条件和工程地质问题进行段落划分。

3.12

区划要素 zoning element
影响工程地质分区分段的重要因素，是遴选工程地质区划指标的依据。

3.13

区划指标 zonation index
区划要素中差异较大或者组合差异较大的指标。

3.14

一般指标 general index
表征关键区段工程地质背景的通用指标。

3.15

特征指标 characteristic index
表征关键区段特殊工程地质条件和重大工程地质问题的代表性指标。

3.16

区划单元 zoning unit
工程地质区划过程中的最小单元。

4 基本规定

4.1 目标

针对复杂艰险山区线状工程建设预可行性研究、可行性研究阶段的需求，开展不同尺度的工程地质区划，为工程建设不同阶段的工程地质安全问题预测和风险防控提供依据。

4.2 任务

4.2.1 宜搜集工作区相关地质、规划资料，开展调查、调绘和勘察工作。

4.2.2 应按“同一区段内相似、不同区段间相异”的原则，开展工程地质区划。

4.2.3 应分析不同区段的主要工程地质问题及其可能对工程的影响。

4.3 基本要求

4.3.1 阶段划分

a) 工程地质区划工作应与工程建设阶段相适应，本文件服务于预可行性研究阶段和可行性研究阶段。
b) 预可行性研究阶段主要服务于拟选工程线路比选，分析廊道工程地质条件，工程地质区划工作范围宜为廊道中线两侧宽度各不小于 15 km。
c) 可行性研究阶段主要服务于拟定工程线路优化，分析孕灾背景、特殊岩土和不良地质复杂作用，工程地质区划工作范围宜为工程线路两侧宽度各不小于 5 km。

4.3.2 区划尺度

a) 工程地质区划尺度宜分为区域性尺度和关键区段尺度。
b) 区域性尺度基本比例尺宜小于等于 1:5 万，适用于预可行性研究阶段。
c) 关键区段尺度基本比例尺宜大于等于 1:2.5 万，推荐比例尺 1:1 万，适用于可行性研究阶段。
d) 应在区域性工程地质区划的基础上，确定关键区段；关键区段工程地质区划应体现平面分区和沿线状工程的剖面分段。

4.3.3 区划流程

工程地质区划工作宜分为准备、资料获取、整理分析、成果编制等 4 个阶段（图 1）。

a) 准备阶段：根据工作需要和任务书要求，确定工作区范围、区划尺度，结合项目资料开展现场踏勘，编制区划工作方案。
b) 资料获取阶段：根据不同尺度区划的需要，搜集区划资料，开展工程地质调查、调绘和勘察，获取的区划资料属性与工程建设不同阶段要求一致。
c) 整理分析阶段：根据不同尺度区划的需要，对资料进行处理、分类、归纳、总结与分析，确定不同尺度的区划要素、区划指标及其权重，分区分段开展工程地质区划，评价工程地质条件现状及演变趋势、研判重大工程地质问题，形成不同尺度的区划结果数据和说明。
d) 成果编制阶段：根据不同尺度区划的需求，编制工程地质区划图件和报告，形成区划成果。

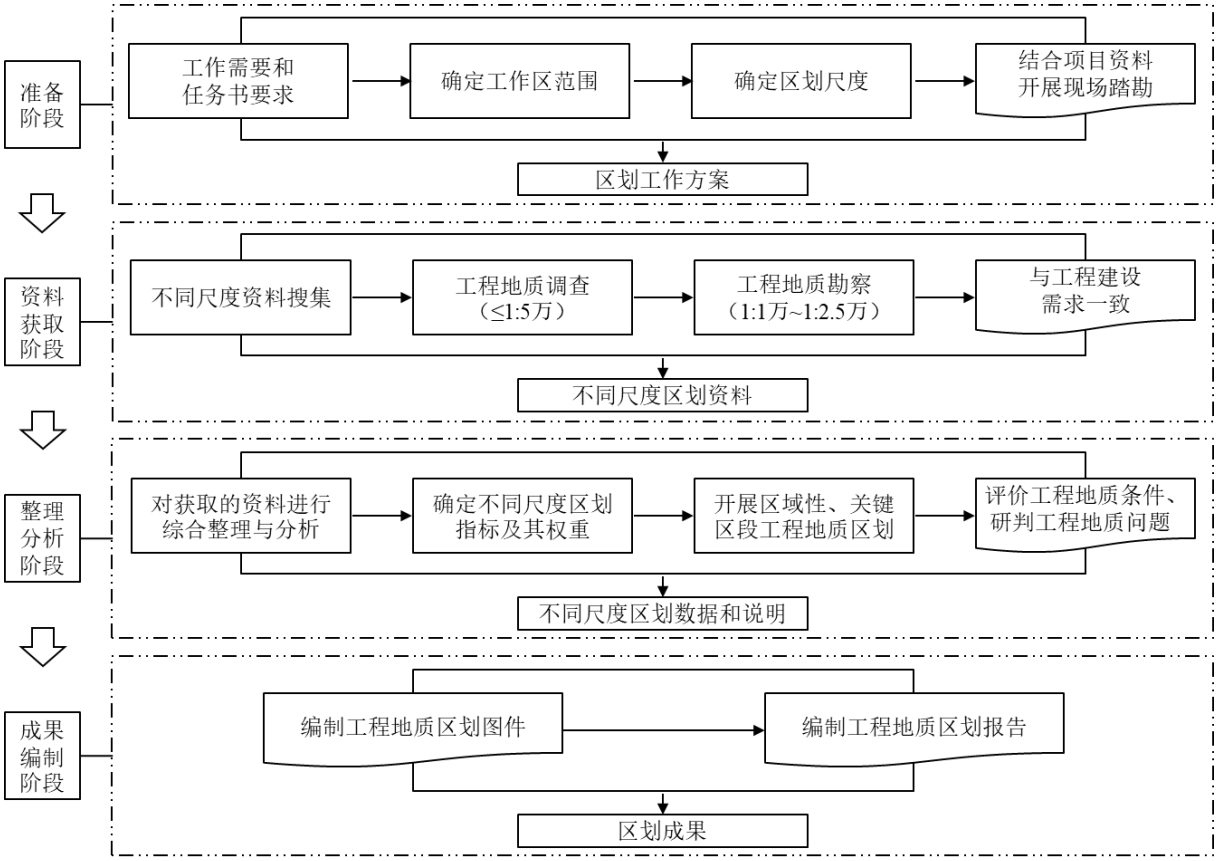

图 1 工程地质区划工作流程框图

5 区域性工程地质区划

5.1 一般规定

5.1.1 应根据工作区的工程地质特征，开展平面工程地质区划，进行平面工程地质条件分区。

5.1.2 应搜集区域性尺度调查资料，充分利用精度不小于 1:20 万比例尺的区域性地质资料。

5.1.3 根据工作需要，宜补充开展区域性地质调查、调绘与工程地质勘察工作。

5.1.4 获取的资料类别和精度需满足区划要求，比例尺宜选择 1:5 万～1:20 万。

5.1.5 区划单元栅格大小应满足区域性工程地质区划精度要求，不宜小于 50 m×50 m。

5.2 资料获取

5.2.1 资料搜集

应搜集的资料主要包括：工程建设、遥感地质与地球物理勘探、地质、工程地震、工程地质、水文地质、不良地质作用等方面的资料。

a) 工程建设资料应包括城镇发展、土地利用、地下空间开发、防灾减灾、拟建重大工程规划资料等，以及既有工程建设引起的工程地质问题及其防治措施、效果、经验资料等。
b) 遥感地质与地球物理勘探资料应包括不同类型、时相、分辨率的遥感数据及其解译成果，以及重力法、磁法、电法、地震法等物探方法所获得的地球物理资料及其解释成果等。
c) 地质资料应包括：地层、岩性、地质构造、新构造活动、控制性地质钻孔、沟谷特征资料等，以及地形图、地貌图、地质图、地质构造图、第四纪地质图、综合地层柱状图、地质调查和调绘观测点等。
d) 工程地震资料应包括活动断层、地震活动等资料，以及工作区受活动断层和地震活动影响的建（构）筑物变形资料和不良地质体变形、位移资料等。
e) 工程地质资料应包括工程地质调查成果和工程地质勘察资料，包括工程地质平面图、工程地质剖面图、工程地质钻孔资料、岩土体原位测试及室内试验数据资料等。
f) 水文地质资料应包括水文地质调查成果，如水文地质图、地下水等水位（水压）线与埋藏深度图，水文地质钻孔、供水井、泉水资料及其他集水构筑物资料等。
g) 不良地质作用资料应包括崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、地面塌陷、地裂缝等资料。

5.2.2 区域性调查与勘察

在搜集资料不足或不满足区划要求时，应补充开展以下遥感调查，区域性地质调查、调绘与工程地质勘察工作。

a) 开展的区域性调查、调绘与勘察工作宜包括构造应力场、地球物理场、地层岩性与工程地质岩组、地质灾害等。
b) 调查、调绘与勘察应在 1:5 万～1:20 万地质图、地形图的基础上进行。
c) 遥感调查应在 1:5 万～1:20 万地形图或数字地形模型上进行。
d) 调查、调绘技术方法可参照 GB/T 14158、DZ/T 0097 的相关技术要求执行。
e) 勘察技术方法可参照 TB 10012、JTG C20 的相关技术要求执行。

5.3 区划方法

5.3.1 区划要素

应在区域地质背景分析的基础上，对可能影响工程选线选址的构造稳定性、工程地质岩组、不良地质作用发育程度、地形地貌等主要地质因素进行逐项分析，遴选区划要素。

5.3.2 区划指标

应对区划要素进行综合分析，遴选区划指标，建立区划指标体系并确定指标分级（图 2）；对于表征各基本指标的次级指标，应分别通过分析后遴选其中一种或几种。

a) 构造稳定性要素，应根据区域性地质条件遴选评价指标，宜包括断层活动性、地震活动性、构造应力应变特征、地球物理场特征等基本指标。

——断层活动性宜用断层活动时代、规模、活动速率、影响区规模等次级指标表征。

——地震活动性宜用地震动峰值加速度、历史最大地震震级、潜在震源区等次级指标表征。

——构造应力应变特征宜用构造应力场、地表变形等次级指标表征。

——地球物理特征宜用布格重力异常梯度、大地热流值等次级指标表征。

b) 工程地质岩组要素，应主要以工程地质岩组特征作为基本指标，宜用岩土类型、坚硬程度、岩土体结构等次级指标表征。

c) 不良地质作用发育程度要素，应包括滑坡、崩塌、泥石流地质灾害易发性等基本指标。

——滑坡易发性指标宜采用地形地貌、地质构造、工程地质岩组、斜坡结构等指标进行易发性评价后获得，次级指标可参照 GB/T 40112 规定的内容。

——崩塌易发性指标宜采用地形地貌、地质构造、工程地质岩组、斜坡结构等指标进行易发性评价后获得，次级指标可参照 GB/T 40112 规定的内容。

——泥石流易发性指标宜采用地形地貌、地质构造、工程地质岩组等指标进行易发性评价后获得，次级指标可参照 GB/T 40112 规定的内容。

——当存在其他对选线选址有明显影响的不良地质作用时，应一并作为评价指标。

d) 地形地貌要素，应包括地形起伏度、构造地貌类型等基本指标。

——地形起伏度宜主要以单位平方千米的地形高差作为次级指标。

——构造地貌类型宜用平原、丘陵、山地、盆地等次级指标表征。

e) 其他要素，宜包括工作区特有的可能影响工程地质条件的要素，如水文地质、人类活动等。

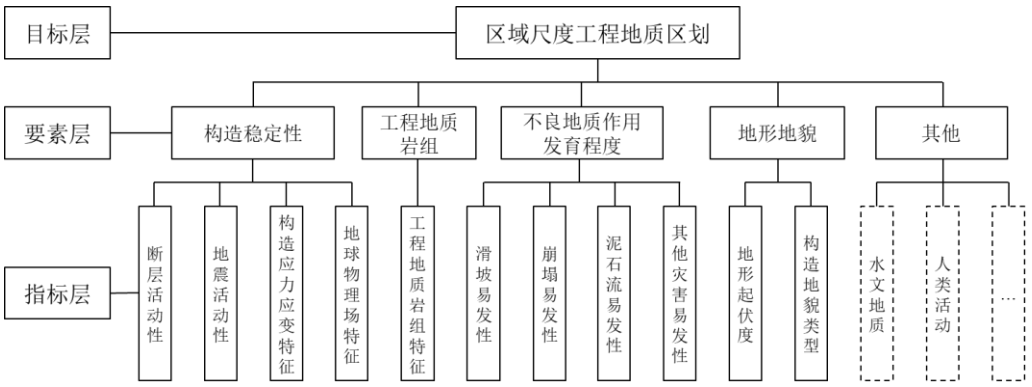

图 2 工程地质区划指标体系框图

5.3.3 指标数据准备

a) 指标准备宜参照 GB 18306、DZ/T 0097、DD 2015-02、DD 2019-08 的相关技术要求执行。

b) 指标分级宜参照 GB/T 50218、TB 10003、DD 2015-02、DD 2019-08 及相应附录的相关技术要求执行，可按附录 A 执行。

c) 指标分级在尚无相关标准技术要求或不满足相关标准技术要求的情况下，宜根据工作区工程地质特征，由专家经验或采用地理信息系统（GIS）空间分析后结合自然断点分级等方法确定。

5.3.4 单要素评价

在预可行性研究阶段，区域性工程地质区划要素单项评价内容应包括构造稳定性、工程地质岩

组、不良地质作用发育程度、地形地貌等。

a) 构造稳定性评价

——应对本文件 5.3.2 推荐的指标开展综合分析，可采用 GIS 软件平台对各单指标进行指数分配，并对各个指标图层进行加权叠加计算，获得构造稳定性指数（式 1）。

——应综合考虑构造稳定性指数计算结果和野外地质调查、调绘资料，确定用于进行构造稳定性评价的指数阈值，获得构造稳定性评价结果。

——构造稳定性评价结果可划分为稳定、次稳定、较不稳定、不稳定 4 个等级，具体按 DD 2015-02 执行。

$$A = \sum_{i=1}^{n} a_i M_i \quad (i=1, 2, \cdots, n) \qquad (1)$$

式中：

A—构造稳定性指数；

a_i—指标权重；

M_i—指标指数。

b) 工程地质岩组评价

——评价流程宜根据本文件 5.3.2 推荐的指标，参照本条款 a)规定的内容执行。

——工程地质岩组评价结果可划分为坚硬、较坚硬、软弱、极软弱 4 个等级。

c) 不良地质作用发育程度评价

——针对单灾种的易发性评价，通过影响因素分析，宜遴选地形地貌、地质构造、工程地质岩组、斜坡结构等指标进行易发性评价，评价流程可按 DD 2019-08 的相关技术要求执行。

——针对多灾种的易发性评价，宜在各个单灾种易发性评价结果的基础上进行分析，选取其中单一灾种的易发性评价结果的最高等级作为多灾种的易发性综合评价结果。

——不良地质作用易发性评价结果可划分为低、中等、高和极高 4 个等级。

d) 地形地貌评价

——评价流程宜根据本文件 5.3.2 推荐的指标，参照本条款 a)规定的内容执行。

——评价结果可划分为简单、较简单、较复杂、复杂 4 个等级。

e) 其他要素评价，宜遴选本文件 5.3.2 推荐的指标，参照本条款 a)规定的内容执行。

5.3.5 综合评价

应在区划要素单项评价基础上开展区域性工程地质区划综合评价。

a) 应根据各区划要素在线状工程选线选址的重要程度，通过综合分析确定区划要素权重；对于复杂艰险山区，宜依序按构造稳定性、工程地质岩组、不良地质作用发育程度、地形地貌、其他要素进行权重大小排序。

b) 可参照本文件 5.3.4 规定的流程，进行区划要素权重和区划要素单项评价结果指数分配，并对各个区划要素图层进行加权叠加计算，获得区域性工程地质区划指数 B（式 2）。

$$B = \sum_{j=1}^{n} b_j N_j \quad (j=1, 2, \ldots, n) \qquad (2)$$

式中：

B—区域性工程地质区划指数；

b_j—区划要素权重；

N_j—区划要素指数。

5.4 区划结果

5.4.1 计算结果

a) 可采用自然断点分级或专家经验等方法，确定用于区域性工程地质区划的指数阈值，获得区域性工程地质区划计算结果。
b) 区划计算结果可按 4 级划分等级。
c) 应对工程地质区划计算结果进行实地验证，可随机选取面积占比不少于 1/3 的范围进行验证。

5.4.2 分区结果

a) 应在综合分析计算结果和野外地质调查资料的基础上，进行工程地质条件分区，相应划分为工程地质条件好、中等、较差、差 4 个等级，并对划分的 4 个等级的工程地质条件的典型特征进行介绍说明。
b) 可采用 GIS 软件平台，对工程地质条件分区结果进行局部平滑和噪音处理，获得区域性工程地质区划图，相邻工程地质分区不宜跳级。

5.4.3 结果分析

应分别说明不同分区内的典型工程地质特征和主要工程地质问题，评价并预测重大工程地质问题发生的可能性、空间位置等，提出工程地质问题防范建议或工程线路比选建议。

6 关键区段工程地质区划

6.1 一般规定

6.1.1 应在区域性工程地质区划的基础上，将可能进一步影响线路比选和线路优化方案的复杂地带作为关键区段，进行大比例尺的工程地质区划。

6.1.2 关键区段的类型宜包括：活动断层发育带（考虑断层走向与线状工程走向的关系）、膨胀性岩土、冻土和软土等特殊岩土分布区、地质灾害易发区、高地应力和高地温等其他不良地质易发区等。

6.1.3 应兼顾地表工程和地下工程的布局，开展平面工程地质区划和剖面工程地质分段评价。

6.1.4 应充分搜集和利用关键区段地质调查资料、工程地质勘察资料和不良地质作用资料等，根据工作需要，宜补充开展工程地质勘察工作。

6.1.5 获取的资料类别和精度需满足区划要求，比例尺宜选择 1:1 万～1:2.5 万。

6.1.6 区划单元栅格大小应满足关键区段工程地质区划精度要求，不宜小于 10 m×10 m。

6.2 资料获取

6.2.1 资料搜集

应搜集的资料主要包括：工程建设、遥感地质与地球物理勘探、基础地质、工程地质与水文地质、工程地质勘察、气象水文、不良地质作用等方面的资料。

a) 工程建设资料应包括拟建工程的永久设施、大临设施规划方案及可行性研究阶段工程设计资料等，以及已建和在建工程的布局及施工地质资料、既往出现的重大工程地质问题及其防

治资料等。

b) 遥感地质与地球物理勘探资料应包括不同类型、时相、波段、分辨率的航片、卫片等遥感数据及其解译成果，地球物理资料及其解释成果等。

c) 基础地质资料应包括地质构造、地形地貌、地层岩性、地震活动等调查成果和图件，大宗矿产分布资料等。

d) 工程地质与水文地质资料应包括工程地质、水文地质调查成果，工程地质、水文地质平面图和剖面图，特殊岩土原位测试及室内试验数据资料等，地下水动态监测及分析、地下水资源量计算、水文地质试验、水文地质参数资料等。

e) 工程地质勘察资料应包括地应力、地温、有害气体，重要建筑和基础设施的岩土工程勘察资料，地质条件复杂、控制线路方案的高边坡、深埋隧道、长路基、特大桥的工程地质平面图和剖面图等。

f) 气象水文资料应包括反映降水等气象要素的多年平均值、极大值及极小值、长序列月降水量资料，河流水系水位和径流量的多年平均值、特征值、长序列资料等。

g) 不良地质作用资料应包括膨胀性岩土、冻土和软土等特殊岩土资料；自然因素或工程扰动诱发的岩堆、不稳定斜坡、崩滑流及灾害链、热融滑塌和冻胀丘、岩溶或采空塌陷、岩溶突水、冰湖溃决、冰川跃动、冰雪崩、冰川泥石流资料等。

6.2.2 关键区段工程地质勘察

在搜集资料不足或不满足区划要求时，宜补充开展以下工程地质勘察工作：

a) 勘察应对关键区段现有最大比例尺的地质图进行实地调研修正，达到 1:1 万～1:2.5 万精度；应重点对易发生重大工程地质问题的区段和孕灾背景进行勘察。

b) 遥感调查应选用影像层次丰富、图像清晰、色调均匀、反差适中的高分辨率遥感数据。

c) 物探应在重点复杂区段开展高精度、大密度综合勘探。

d) 勘察技术方法可参照 TB 10027、TB 10038 的相关技术要求执行。

6.3 平面工程地质区划

6.3.1 区划要素

a) 针对具有复杂工程地质条件的地带，应在区域性工程地质区划和关键区段工程地质条件分析的基础上，对可能进一步影响线路比选和线路优化方案的主要因素进行逐项分析，遴选区划要素。

b) 应选择对平面工程地质区划有较大影响的要素，并确定相应的指标进行表征。

6.3.2 区划指标

应考虑关键区段不同工程地质问题的特点，将区划指标划分为一般指标和特征指标。

6.3.2.1 一般指标

应对区划要素进行综合分析，遴选能够反映关键区段工程地质条件的一般指标。

a) 地质构造要素，应包括断层活动性、地应力、地震活动性等基本指标。

——断层活动性指标宜用活动断层规模、活动时代、影响区距离等次级指标表征。

——地应力指标宜用最大主应力量值、岩石强度应力比等次级指标表征。

——地震活动性宜用地震动峰值加速度作为次级指标表征，宜考虑地形放大效应，放大系数可考虑坡度、地形起伏度、坡高、平均坡降等的影响。

b) 地形地貌要素，应包括海拔、坡度、地形起伏度、斜坡结构等基本指标。

c) 地层岩性及岩土体特性要素，主要以工程地质岩组特征作为基本指标，宜用岩石坚硬程度、岩体完整程度、岩体结构面结合程度、岩体结构、岩体风化程度等次级指标表征。

d) 气象水文要素，应包括降水、河网密度、水系影响区等基本指标。

——降水宜用年降水量表征。

——河网密度宜用单位平方千米的河流长度表征。

——水系影响区宜用水系级别、影响区距离等次级指标表征。

e) 水文地质要素，应包括含水岩组富水性等基本指标，宜用含水岩组类型、空间分布和厚度、地下水位、动水压力、井孔涌水量或泉水流量等次级指标表征。

f) 工程扰动程度要素，应包括人类工程活动类型、工程布局和结构形式、影响区距离等基本指标。

6.3.2.2 特征指标

针对关键区段的特点，应在一般指标的基础上，遴选能够反映特殊工程地质条件和重大工程地质问题的特征指标，综合建立平面工程地质区划指标体系并确定指标分级。

（1）活动断层发育带

应包括活动断层性质、规模、活动时代、最大位错量、分布密度，断层岩的工程地质分类等指标。

a) 断层性质宜用正断、逆断和走滑表征。

b) 断层规模宜用长度、宽度表征，断层两侧可进一步划分极强影响区、强影响区、中等影响区、较弱影响区、弱影响区。

c) 活动时代宜分为早更新世、中更新世、晚更新世和全新世。

d) 最大位错量宜用垂直位移和水平位移表征，有历史位错或监测记录的，直接采用记录数据；没有记录数据的，可通过综合分析进行推测。

e) 断层分布密度，宜用单位平方千米的断层长度表征。

f) 断层岩的工程地质分类，宜用断层岩类型、胶结类型及连接力、颗粒组成表征。

（2）特殊岩土分布区

a) 膨胀性岩（土）指标应包括膨胀岩（土）类型、厚度、膨胀潜势等。

——膨胀岩膨胀潜势宜用干燥后饱和吸水率、崩解特征及重量变化表征。

——膨胀土膨胀潜势宜用自由膨胀率、蒙脱石含量、塑性指数、阳离子交换量、标准吸湿含水率表征。

——膨胀潜势的膨胀性试验指标宜用膨胀率、膨胀力、饱和吸水率、自由膨胀率等表征；现场试验指标宜用结构面密度、现场无侧限强度、宏观地貌特征表征。

b) 冻土指标应包括多年冻土类型、多年冻土融沉类别、多年冻土地基承载力、多年冻土季节性融化土层冻胀类别等。

——多年冻土融沉类别宜用多年冻土的类型、总含水率、融化后的潮湿程度、融化下沉系数表征。

——多年冻土地基承载力宜用土性、基础底面月平均最高土温、基本承载力/极限承载力表征。

——多年冻土的季节性融化土层和季节冻土的季节性冻结土层冻胀类别宜用多年冻土季节融化土层冻前天然含水率、冻结期间地下水位距冻结面的最小距离、平均冻胀率表征。

c) 软土指标应包括软土类型、厚度、物理力学性质、软土灵敏性、软土地基承载力等。

——软土物理力学性质宜用有机质含量、天然孔隙比、天然含水率、渗透系数、压缩系数、不

排水抗剪强度、静力触探比贯入阻力、标准贯入试验锤击数表征。

——软土灵敏性宜用软土灵敏度表征。

——软土地基承载力宜用天然含水率、基本承载力、极限承载力表征。

（3）地质灾害易发区

a) 滑坡易发性评价指标应包括地形地貌、地质构造、工程地质岩组、斜坡结构等。

——地形地貌宜用地形坡度、斜坡坡向、地形起伏度等表征，应通过相关性统计分析后选择其中一种或几种。

——地质构造宜用距断层距离表征。

——工程地质岩组宜用岩石建造类型、岩性、岩体结构、强度、风化程度和工程地质特征等表征。

——斜坡结构宜用斜坡坡向与岩层层面或节理裂隙等结构面的交切关系表征。

——已发生滑坡宜作为易发性评价的重要参考。

b) 崩塌包括落石、危岩体、冰崩等，其易发性评价指标应包括地形地貌、地质构造、工程地质岩组、斜坡结构等，各指标的表征与滑坡易发性评价类似。

c) 泥石流易发性评价指标应包括地形地貌、地质构造、工程地质岩组等。

——地形地貌宜用流域面积、沟床比降、相对高差以及堵塞状态表征。

——地质构造宜用沟谷流域内断裂长度、宽度及影响范围表征。

——工程地质岩组宜用岩石建造类型、岩性、岩体结构、强度、风化程度和工程地质特征等表征。

——已发生泥石流宜作为易发性评价的重要参考。

d) 岩溶塌陷易发性评价指标应包括岩溶发育程度、可溶岩层组类型、覆盖层结构、覆盖层厚度、地下水丰富程度、地表水与地下水连通情况等。

——岩溶发育程度宜用岩溶塌陷密度表征。

——可溶岩层组类型宜根据碳酸盐岩含量进行划分。

——覆盖层结构宜用单层结构、双层结构、多层结构表征。

——覆盖层厚度、地下水丰富程度、地表水与地下水连通情况宜根据测量数据进行划分，无测量数据的，宜进行定性划分。

——已发生岩溶塌陷区宜作为易发性评价的重要参考。

e) 在复杂艰险山区，地质灾害多为复合型且具有多期次性，并易形成灾害链，在评价时应适当考虑灾害链效应和灾害放大效应。

（4）隧道围岩岩爆、大变形易发区

基于隧道围岩岩爆、大变形影响因素分析，应包括构造应力场、围岩类型、隧道埋深等评价指标。

a) 构造应力场应包括应力量值和方向。

b) 岩爆围岩类型应考虑硬质岩，大变形围岩类型应考虑软质岩和断层破碎带等；可采用单轴抗压强度、物质组成、岩体结构等表征。

c) 隧道埋深应根据地形地貌和拟建隧道高程确定。

（5）隧道高温热害易发区

全面搜集关键区段的地质、水文地质、地热地质资料，在综合分析地热地质条件的基础上，划

分可能出现高温热害的类型，可分为干热型、水热型和干热-水热混合型隧道高温热害。应根据热害类型，分别确定评价指标。

a) 干热型隧道热害的指标，宜至少包括隧道埋深、大地热流、岩体热物性参数；其中，岩体热物性参数宜包括热导率、放射性生热率、孔隙度、含水率等。
b) 水热型、干热-水热混合型隧道热害的指标，宜至少包括地热显示、构造、热储层、导热水通道、水化学特征等。

（6）隧道涌水突泥易发区

根据水文地质调查结果，应确定地形地貌、气象水文、含水介质类型、含水层富水性等指标。

a) 地形地貌宜用坡度、坡向和地貌类型表征。
b) 气象水文宜分别用降水量、蒸发量等气象条件，以及河流、湖泊、冰川等地表水文条件表征。
c) 应根据含水介质类型，分别确定评价指标：

——针对构造裂隙含水介质，宜至少包含断层性质、断层规模、褶皱部位、构造裂隙率、裂隙充填情况等指标。

——针对构造岩溶含水介质，宜至少包含岩溶发育程度、连通性、岩溶地貌与构造空间关系等指标。

d) 含水层富水性宜基于地下水排泄量或现场试验数据判断，富水性等级可参照 DD 2019-04 表 A.1 执行。

6.3.3 指标数据准备

6.3.3.1 一般指标

a) 地质构造指标准备及分级可参照 TB 10003、DZ/T 0097、DD 2015-02、GB 18306 及相应附录的相关技术要求，可按附录 B 附表 B.1 至附表 B.4 执行。
b) 地层岩性及岩土体特性指标准备和分级可参照 GB/T 50218 及相应附录的相关技术要求，可按附录 B 附表 B.7 至附表 B.9 执行。
c) 水文地质指标准备及分级可参照 DD 2019-04 及相应附录的相关技术要求，可按附录 B 附表 B.13 执行。
d) 指标分级在尚无相关标准技术要求或不满足相关标准技术要求的情况下，可根据工作区工程地质特征，由专家经验或采用 GIS 空间分析后结合自然断点分级等方法确定，可按附录 B 其他附表执行。

6.3.3.2 特征指标

a) 膨胀性岩（土）分布区的特征指标准备及分级可参照 TB 10038、JTG C20 及相应附录的有关技术要求，可按附录 C 附表 C.2 至附表 C.6 执行。
b) 冻土分布区的特征指标准备及分级可参照 TB 10038、JTG C20 及相应附录的有关技术要求，可按附录 C 附表 C.7 至附表 C.10 执行。
c) 软土分布区的特征指标准备及分级可参照 TB 10038、JTG C20、JGJ 83 及相应附录的有关技术要求，可按附录 C 附表 C.11 至附表 C.14 执行。
d) 地质灾害易发区的特征指标准备及分级可参照 TB 10027、JTG C20、T/CAGHP 001-2018、DD 2019-08 及相应附录的有关技术要求，可按附录 C 附表 C.15 执行。
e) 隧道围岩岩爆、大变形易发区的特征指标准备及分级可参照 TB 10003 及相应附录的相关技术要求，可按附录 C 附表 C.16a 和附表 C.16b 执行。
f) 隧道高温热害易发区的特征指标准备及分级可参照 TB 10027 及相应附录的有关技术要求，可按附录 C 附表 C.16c 和附表 C.16d 执行。

g) 隧道涌水突泥易发区的特征指标准备及分级可参照 TB 10003 及相应附录的有关技术要求，可按附录 C 附表 C.16e 执行。
h) 指标分级在尚无相关标准技术要求或不满足相关标准技术要求的情况下，可根据工作区工程地质特征和专家经验，或采用 GIS 空间分析后结合自然断点分级等方法确定，可按附录 C 其他附表执行。

6.3.4 平面区划方法

a) 按可行性研究阶段的工程地质区划要求，应分别针对特殊工程地质条件或重要工程地质问题，对关键区段区划要素的一般指标和特征指标进行单项评价，可参照本文件 5.3.4 规定的流程执行。
b) 应对各类特殊工程地质条件或重要工程地质问题对于工程选线选址的影响程度进行综合分析，确定区划要素权重。
c) 对各个单要素评价结果图层进行加权叠加计算，可参照本文件 5.3.5 规定的流程，获得平面工程地质区划指数 C（式 3）。

$$C = \sum_{k=1}^{n} c_k O_k \quad (k=1, 2, \cdots, n) \qquad (3)$$

式中：
C—平面工程地质区划指数；
c_k—单要素评价结果所占权重；
O_k—单要素评价结果。

6.3.5 平面区划结果

6.3.5.1 计算结果

a) 可参照本文件 5.4.1 规定的流程，应根据平面工程地质区划指数结果，获得关键区段平面工程地质区划计算结果。
b) 应对平面工程地质区划计算结果进行实地验证，可随机选取面积占比不少于 1/2 的范围进行验证，对计算结果为差和较差的位置重点复核。

6.3.5.2 分区结果

a) 可参照本文件 5.4.2 规定的流程，应根据平面工程地质区划计算结果，进行关键区段平面工程地质条件分区，划分为工程地质条件好、中等、较差、差 4 个等级，并对划分的 4 个等级的工程地质条件的典型特征进行说明，获得平面工程地质条件分区评价图。
b) 应根据平面工程地质区划结果，考虑工程线路方案布局，对工程地质条件进行分区描述，阐明孕灾背景、特殊岩土、不良地质作用组合和主要工程地质问题，评价并预测重大工程地质问题发生的可能性、空间位置、活动强度、影响范围等。
c) 应按工程线路两侧宽度各不小于 1 km 范围，梳理各条工程线路可能出现的主要工程地质问题及其特征。

6.4 剖面工程地质分段评价

6.4.1 分段评价方法

a) 应在平面工程地质条件分区的基础上，针对拟进一步比选的工程线路方案，开展剖面工程地质分段评价。

——应按各条比选线路的设计里程，分别编制工程地质剖面图。

——应以工程地质剖面图作为工作底图开展剖面工程地质评价。

b) 应结合各条比选线路的剖面工程地质特征，对可能影响工程线路方案的剖面工程地质要素进行逐项核实，参照本文件 6.3.2 和 6.3.3 规定的要求分别遴选剖面工程地质评价指标，并进行指标数据准备。
c) 可参照本文件 6.3.4 规定的流程，应分别计算各条比选线路的剖面工程地质评价指数。
d) 可参照本文件 6.3.5 规定的流程，应根据剖面工程地质评价指数结果，分别获得各条比选线路的剖面工程地质条件评价结果，划分为工程地质条件好、中等、较差、差 4 个等级。
e) 应根据剖面工程地质条件评价结果，考虑各条比选线路的工程方案布局和设计高程，分别进行工程沿线的工程地质条件分段，获得剖面工程地质条件分段评价图。

6.4.2 分段评价结果

a) 应根据剖面工程地质分段评价结果对平面工程地质区划结果进行核定，融合平面区划结果和各条比选线路剖面分段评价结果作为工程地质区划结果，可参照本文件 6.3.5 规定的流程，梳理各条工程线路可能出现的主要工程地质问题及其特征。
b) 应对各条比选线路的工程地质区划结果进行对比，遴选工程地质条件较好的线路作为推荐线路。
c) 应给出推荐线路主要工程地质问题的防控对策建议。
d) 当工程地质条件复杂、推荐线路仍存在优化的必要时，可对推荐线路方案进行综合分析和局部优化。

7 区划成果编制

7.1 数据整理

7.1.1 应包括搜集和调查、调绘、勘察获取的数据。

7.1.2 应包括 1:5 万～1:20 万比例尺的区域性工程地质区划数据和 1:1 万～1:2.5 万比例尺的关键区段工程地质区划数据。

7.1.3 应按数据类型和特征，分别整理工程地质区划指标数据、工程地质区划结果数据、工程地质问题数据等。

7.1.4 数据精度、数据内容、数据组织应按照 DZ/T 0097 的技术要求。

7.1.5 数据精度应满足区划比例尺精度，数据类型齐全、内容准确，数据组织结构符合要求。

7.2 图件编制

7.2.1 区域性工程地质区划图

a) 应针对不同的工程类型及工程预可行性研究阶段要求，编制区域性工程地质区划图或线状工程廊道工程地质区划图，比例尺宜小于等于 1:5 万。
b) 宜采用主图、镶嵌图、图例和说明表相结合的方法进行编制。
c) 主图应为工程地质区划图，镶嵌图可包括构造稳定性、工程地质岩组、不良地质作用发育程度、地形地貌等。
d) 应反映区域地壳稳定性和重大工程地质问题发生的可能性、空间位置等，可采用表格形式简要阐述不同分区的典型工程地质特征、主要工程地质问题及防范对策建议、工程线路比选建

议。

e) 宜镶嵌反映资料搜集、调查、调绘、勘察手段和工作量的情况表。
f) 宜清晰反映出图斑长度大于 2 mm 的线状或面积大于 4 mm^2 的面状的不良地质体信息。
g) 图面应简洁，体现系统性、针对性、科学性和实用性。

7.2.2 关键区段工程地质平面区划图

a) 应针对工程可行性研究阶段要求，编制关键区段工程地质平面区划图，比例尺宜大于等于 1:2.5 万。
b) 镶嵌图可包括地质构造、地形地貌、地层岩性及岩土体特性、气象水文、水文地质、工程扰动作用、不良地质作用等。
c) 应反映工程地质稳定性和重大工程地质问题发生的可能性、空间位置、活动强度、影响范围等，图幅应覆盖拟进一步比选和优化的工程线路两侧宽度各不小于 1 km 范围。
d) 可采用表格形式阐述不同分区的孕灾背景、特殊岩土、不良地质复杂作用组合、主要工程地质问题及防控对策建议。
e) 其他制图要求同本文件 7.2.1 规定的内容。

7.2.3 推荐线路工程地质剖面分段评价图

a) 宜采用比例尺 1:1 万～1:2.5 万的工程地质剖面图作为工作底图。
b) 镶嵌图可包括地质构造、地层岩性及岩土体特性、水文地质、不良地质作用发育趋势等。
c) 可编制各条比选线路的工程地质条件分段评价图，作为中间图件或专题图件。
d) 可采用表格形式阐述主要工程地质问题的防控对策建议、工程线路局部优化建议。

7.2.4 重大工程地质问题专项分析图

重大工程地质问题的专项分析图编制比例尺不宜小于 1:1 万；作为关键区段工程地质区划图的中间图件或专题图件，应能反映重大工程地质问题专项调查和研究成果。

7.3 报告编制

7.3.1 应根据不同类型的工程建设阶段及相关部门的工程地质区划要求和任务书综合确定，编制工程地质区划报告。

7.3.2 应阐明工程地质区划要素和区划指标的遴选依据。

7.3.3 应阐述工程地质区划方法和区划结果、不良地质作用及其复杂组合情况、重大工程地质问题类型与成因。

7.3.4 应根据工程地质区划结果简要评述工程建设方案的适宜性，给出主要工程地质问题防控对策、提出工程线路方案的比选和优化建议。

7.3.5 报告的内容应完整、方法得当、结论有据、便于使用。报告提纲应按附录 E 执行。

附 录 A
（资料性附录）
区域性尺度区划指标及分级表

表 A.1 给出了区域性尺度断层活动性划分
表 A.2 给出了区域性尺度地震活动性划分
表 A.3 给出了区域性尺度构造应力场划分
表 A.4 给出了区域性尺度地表变形划分
表 A.5 给出了区域性尺度布格重力异常梯度划分
表 A.6 给出了区域性尺度大地热流值划分
表 A.7 给出了区域性尺度工程地质岩组划分
表 A.8 给出了区域性尺度地形起伏度和构造地貌类型划分

表 A.1 区域性尺度断层活动性划分表

分级	活动时代	规模	活动速率V（mm/a）	影响距离D（km）
弱	早中更新世	盖层断层	V<0.1	1≤D<2
中等	中更新世	基底断层	0.1≤V<1	2≤D<3
较强	晚更新世	地壳断层	1≤V<10	3≤D<5
强	全新世	岩石圈断层和地壳断层	V≥10	5≤D<7

注：分级从强开始，向较强、中等、弱推定，以最先满足的为准

表 A.2 区域性尺度地震活动性划分表

分级	地震动峰值加速度A（g）	区域内历史最大地震震级M	潜在震源区（震级上限）Mu
弱	A<0.05	M<5级地震	Mu<5.5
中等	0.05≤A<0.15	有5≤M<6级的地震活动或不多于1次M≥6级地震	5.5≤Mu<6.5
较强	0.15≤A<0.4	有6≤M<7级的地震活动或不多于1次M≥7级地震	6.5≤Mu<7.5
强	A≥0.4	有多次M≥7级的强地震活动或一次M≥8级地震	Mu≥7.5

注：分级从强开始，向较强、中等、弱推定，以最先满足的为准

表 A.3 区域性尺度构造应力场划分表

分级	岩石强度应力比和主应力方向变化	剪应力梯度τ（kPa/km2）
低	岩石饱和单轴抗压强度与最大主应力比值大于10，主应力方向变化0°～10°	τ<10
中等	岩石饱和单轴抗压强度与最大主应力比值7~10，主应力方向变化10°～30°	10≤τ<30
较高	岩石饱和单轴抗压强度与最大主应力比值4~7，主应力方向变化30°～60°	30≤τ<60
高	岩石饱和单轴抗压强度与最大主应力比值小于4，主应力方向变化60°～90°	τ≥60

注：分级从高开始，向较高、中等、低推定，以最先满足的为准

表 A.4 区域性尺度地表变形划分表

分级	地表变形 S（mm/a）
低	均匀上升或下降（S<0.1）
中等	不均匀升降，轻微差异运动（0.1≤S<0.4）
较高	显著断块差异（0.4≤S<1）
高	强烈断块差异运动（S≥1）

表 A.5 区域性尺度布格重力异常梯度划分表

分级	布格重力异常梯度 B（10^{-5}m/（s^2×km））
低	B<0.6
中等	0.6≤B<1.0
较高	1.0≤B<1.2
高	B≥1.2

表 A.6 区域性尺度大地热流值划分表

分级	大地热流值 T（mW/m²）
低	T≤60，基本无温泉
中等	60<T≤75，有零星温泉分区
较高	75<T≤85，有热泉、沸泉发育
高	T>85，热泉、沸泉密集发育

表 A.7 区域性尺度工程地质岩组划分表

岩组类型	岩土结构	岩土类型
坚硬岩组	整体状、块状 巨厚层状、厚层状	未风化～微风化的：花岗岩、正长岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、硅质板岩、石英岩、硅质胶结的砾岩、石英砂岩、硅质石灰岩等
较坚硬岩组	块状 中-厚层状 薄-中厚层状	中等（弱）风化的坚硬岩 未风化～微风化的：熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、石灰岩、钙质砂岩、粗晶大理岩等
软弱岩组	裂隙块状 薄-中厚层状 薄层状 镶嵌碎裂状 碎裂状	强风化的坚硬岩 中等（弱）风化～强风化的较坚硬岩 中等（弱）风化的较软岩 未风化～微风化的：凝灰岩、千枚岩、砂质泥岩、泥灰岩、泥质砂岩、粉砂岩、砂质页岩等 未风化的：泥岩、泥质页岩、绿泥石片岩、绢云母片岩等
极软弱岩组	碎裂状 散体状	全风化的各种岩石 强风化的软岩 各种半成岩 土体

注：代表性岩土类型为确定性指标，岩体结构为参考性指标

表 A.8 区域性尺度地形起伏度和构造地貌类型划分表

分级	地形起伏度 U（m/km^2）	构造地貌
简单	U<200	剥蚀准平原、山前平原、冲积平原、构造平原
较简单	200≤U<500	山间凹地，冲积平原，河口三角洲，湖泊平原，黄土派、梁、峁，溶蚀准平原
较复杂	500≤U<1000	丘陵，剥蚀残丘，洪积扇，坡积裙，阶地，沼泽堆积平原，冰川堆积刨蚀区，海岸阶地、平原，石穿残丘，峰林地形，风蚀盆地
复杂	U≥1000	构造或剥蚀山地、丘陵，河床，河漫滩，牛轭湖，河间地块，沼泽，沙漠砂丘，岩溶盆地

附 录 B
（资料性附录）
关键区段尺度区划一般指标及分级表

表B.1给出了关键区段尺度断层活动性划分
表B.2给出了关键区段尺度活动断层影响区距离划分
表B.3给出了关键区段尺度地应力划分
表B.4给出了关键区段尺度地震动峰值加速度划分
表B.5给出了关键区段尺度地形起伏度和海拔划分
表B.6给出了关键区段尺度坡度划分
表B.7给出了关键区段尺度岩石坚硬程度划分
表B.8给出了关键区段尺度岩体完整程度及岩体结构面结合程度划分
表B.9给出了关键区段尺度岩体结构划分
表B.10给出了关键区段尺度降水划分
表B.11给出了关键区段尺度河网密度划分
表B.12给出了关键区段尺度水系影响区距离划分
表B.13给出了关键区段尺度含水岩组富水性划分
表B.14给出了关键区段尺度线状及点状人类工程活动影响区距离划分

表 B.1 关键区段尺度断层活动性划分表

断层规模	断层长度 L（km）	历史地震及古地震震级 M	年平均活动速率 V（mm/a）	切割深度	
				地质分析	地球物理探测
盖层断层	L<40	M<5	V<0.1	沉积盖层及火成岩体一定深度或达基底顶面	盖层内或达基底顶面 1～8 km
基底断层	40≤L<100	5≤M<6	0.1≤V<1	基底“花岗岩”、“闪长岩层”或“变质岩层”	切穿基底顶进入地壳内 5～29 km
地壳断层	100≤L<150	6≤M<7	1≤V<10	“玄武岩层”内或达上地幔顶面（莫霍面）	下地壳或达上地幔顶面（莫霍面）30～46 km
岩石圈断层	L≥150	M≥7	V≥10	切穿莫霍面到达上地幔一定深度	上地幔之上一定深度或达软流圈 50～200 km 或更深

注：断层规模从岩石圈断层开始，向地壳断层、基底断层、盖层断层推定，以最先满足的为准

表 B.2 关键区段尺度活动断层影响区距离划分表

分级	岩石圈断层（距离断层：km）			地壳断层（距离断层：km）			基底断层（距离断层：km）			盖层断层（距离断层：km）		
	全新世	晚更新世	早-中更新世	全新世	晚更新世	早-中更新世	全新世	晚更新世	早-中更新世	全新世	晚更新世	早-中更新世
弱影响区	D>25	D>20	D>18	D>20	D>15	D>13	D>15	D>10	D>8	D>10	D>6	D>4
较弱影响区	10<D≤25	8<D≤20	6<D≤18	8<D≤20	6<D≤15	4<D≤13	6<D≤15	4<D≤10	3<D≤8	2<D≤10	1.5<D≤6	1<D≤4
中等影响区	8<D≤10	5<D≤8	4<D≤6	6<D≤8	3<D≤6	3<D≤4	3<D≤6	2<D≤4	1<D≤3	1<D≤2	0.5<D≤1.5	0<D≤1
强影响区	5<D≤8	2<D≤5	1<D≤4	2<D≤6	1.5<D≤3	0.5<D≤3	1<D≤3	0.5<D≤2	0<D≤1	0<D≤1	0<D≤0.5	0
极强影响区	D≤5	D≤2	D≤1	D≤2	D≤1.5	D≤0.5	D≤1	D≤0.5	0	0	0	0

表 B.3 关键区段尺度地应力划分表

分级	最大主应力 σ（MPa）	岩石强度应力比 r	主要现象
一般地应力	σ<10	r>7	硬质岩：开挖过程中不会出现岩爆，新生裂缝较少，成洞性一般较好；软质岩：岩芯元或少有饼化现象，开挖过程中洞壁岩体有一定的位移，成洞性一般较好
高地应力	10≤σ≤20	4≤r≤7	硬质岩：开挖过程中可能出现岩爆，洞壁岩体有剥离和掉块现象，新生裂缝较多，成洞性较差；软质岩：岩芯时有饼化现象，开挖过程中洞壁岩体位移显著，持续时间较长，成洞性差
极高地应力	σ>20	r<4	硬质岩：开挖过程中有岩爆发生，有岩块弹出，洞壁岩体发生剥离，新生裂缝多，成洞性差；软质岩：岩芯常有饼化现象，开挖过程中洞壁岩体有剥离，位移极为显著，甚至发生大位移，持续时间长，不易成洞

注：岩石强度：岩石单轴饱和抗压强度（MPa）；应力：垂直洞轴线方向的最大初始地应力值（MPa）；分级从极高地应力开始，向高地应力、一般地应力推定，以最先满足的为准

表 B.4a 关键区段尺度地震动峰值加速度划分表

分级	地震动峰值加速度 A（g）
地震活动性弱	A≤0.05
地震活动性中等~较强	0.1≤A<0.3
地震活动性较强	0.3≤A<0.4
地震活动性强	A≥0.4

表 B.4b 关键区段尺度地震动峰值加速度放大系数随坡度和起伏度划分表

坡顶地震动峰值加速度放大系数	坡度 α（°）	地形放大效应
1	α<15	当地形起伏度<0.2 地震波波长，地震动峰值加速度线性放大 当地形起伏度≥0.2 地震波波长，地震动峰值加速度先不变，后距离坡顶为 0.2 地震波长时线性放大
1.2	15≤α<30	
1.4	30≤α<45	
1.6	α≥45	

表 B.4c 关键区段尺度地震动峰值加速度放大系数随坡高和坡降变化划分表

坡高 h（m）	土质斜坡	h<5	5≤h<15	15≤h<25	h≥25
	岩质斜坡	h<20	20≤h<40	40≤h<60	h≥60
平均坡降	r<0.3	不放大	放大 0.1	放大 0.2	放大 0.3
	0.3≤r<0.6	放大 0.1	放大 0.2	放大 0.3	放大 0.4
	0.6≤r<1	放大 0.2	放大 0.3	放大 0.4	放大 0.5
	r≥1	放大 0.3	放大 0.4	放大 0.5	放大 0.6

表 B.5 关键区段尺度地形起伏度和海拔划分表

地形起伏度和海拔	低海拔 （H<1000 m）	中等海拔 （1000≤H<3500 m）	高海拔 （3500≤H≤5000 m）	极高海拔 （H>5000 m）
极小起伏（U<200 m/km^2）	极小起伏低山	极小起伏中山	极小起伏高山	极小起伏极高山
小起伏（200≤U<500 m/km^2）	小起伏低山	小起伏中山	小起伏高山	小起伏极高山
中等起伏（500≤U<1000 m/km^2）	中起伏低山	中起伏中山	中起伏高山	中起伏极高山
大起伏（1000≤U<2500 m/km^2）	——	大起伏中山	大起伏高山	大起伏极高山
极大起伏（U≥2500 m/km^2）	——	——	极大起伏高山	极大起伏极高山

表 B.6 关键区段尺度坡度划分表

分级	坡度 α（°）
极小坡度	α<5
小坡度	5≤α<15
中等坡度	15≤α<35
大坡度	35≤α<55
极大坡度	α≥55

表 B.7 关键区段尺度岩石坚硬程度划分表

坚硬程度		定性鉴定	定量鉴定	代表性岩性
硬质岩	坚硬岩组	锤击声清脆，有回弹，震手，难击碎；浸水后，大多无吸水反应	饱和单轴抗压强度 σ>60 MPa	未风化～微风化的：花岗岩、正长岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、硅质板岩、石英岩、硅质胶结的砾岩、石英砂岩、硅质石灰岩等
	较坚硬岩组	锤击声较清脆，有轻微回弹，稍震手，较难击碎；浸水后，有轻微吸水反应	饱和单轴抗压强度 60≥σ>30 MPa	1）中等（弱）风化的坚硬岩 2）未风化～微风化的：熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、石灰岩、钙质砂岩粗晶大理岩等
软质岩	较软岩组	锤击声不清脆，无回弹，较易击碎；浸水后，指甲可刻出印痕	饱和单轴抗压强度 30≥σ>15 MPa	1）强风化的坚硬岩 2）中等（弱）风化的较坚硬岩 3）未风化～微风化的：凝灰岩、千枚岩、砂质泥岩、泥灰岩、泥质砂岩、粉砂岩、砂质页岩等
	软岩组	锤击声哑，无回弹，有凹痕，易击碎；浸水后，手可掰开	饱和单轴抗压强度 15≥σ>5 MPa	1）强风化的坚硬岩 2）中等（弱）风化～强风化的较坚硬岩 3）中等（弱）风化的较软岩 4）未风化的泥岩、泥质页岩、绿泥石片岩、绢云母片岩等
	极软岩组	锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，手可捏碎；浸水后，可捏成团	饱和单轴抗压强度 σ≤5 MPa	1）全风化的各种岩石 2）强风化的软岩 3）各种半成岩

注：坚硬程度从极软岩组开始，向软岩组、较软岩组、较坚硬岩组、坚硬岩组推定，以最先满足的为准

表 B.8a 关键区段尺度岩体完整程度划分表

完整程度	定性鉴定					定量鉴定	
	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型	岩体体积节理数 J（条/m^3）	岩体完整性指数 K
	组数 g	平均间距 s（m）					
完整	1≤g<2	s>1.0	结合好或结合一般	节理、裂隙、层面	整体状或巨厚层状结构	J<3	K>0.75
较完整	1≤g<2	s>1.0	结合差	节理、裂隙、层面	块状或厚层状结构	3≤J<10	0.75≥K>0.55
	2≤g<3	1.0≥s>0.4	结合好或结合一般		块状结构		
较破碎	2≤g<3	1.0≥s>0.4	结合差	节理、裂隙、劈理、层面、小断层	裂隙块状或中厚层状结构	10≤J<20	0.55≥K>0.35
	g≥3	0.4≥s>0.2	结合好		镶嵌碎裂结构		
			结合一般		薄层状结构		
破碎	g≥3	0.4≥s>0.2	结合差	各种类型结构面	裂隙块状结构	20≤J<35	0.35≥K>0.15
		s≤0.2	结合一般或结合差		碎裂结构		
极破碎	无序		结合很差	——	散体状结构	J≥35	K≤0.15

注：定量鉴定指标为确定性指标，定性鉴定指标为参考性指标

表 B.8b 关键区段尺度岩体结构面结合程度划分表

结合程度	结构面特征
结合好	张开度小于 l mm，为硅质、铁质或钙质胶结，或结构面粗糙，无充填物； 张开度 l～3 mm，为硅质或铁质胶结； 张开度大于 3 mm，结构面粗糙，为硅质胶结
结合一般	张开度小于 l mm，结构面平直，钙泥质胶结或无充填物； 张开度 l～3 mm，为钙质胶结； 张开度大于 3 mm，结构面粗糙，为铁质或钙质胶结
结合差	张开度 l～3 mm，结构面平直，为泥质胶结或钙泥质胶结； 张开度大于 3 mm，多为泥质或岩屑充填
结合很差	泥质充填或泥夹岩屑充填，充填物厚度大于起伏差

表 B.9 关键区段尺度岩体结构划分表

类型	亚类	岩体结构特征
块状结构	整体结构	岩体完整，呈巨块状，结构面不发育，间距大于 100 cm
	块状结构	岩体较完整，呈块状，结构面轻度发育，间距一般为 100～50 cm
	次块状结构	岩体较完整，呈次块状，结构面中等发育，间距一般为 50～30 cm
层状结构	巨厚层状结构	岩体完整，呈巨厚状，层面不发育，间距大于 100 cm
	厚层状结构	岩体较完整，呈厚层状，层面轻度发育，间距一般为 100～50 cm
	中厚层状结构	岩体较完整，呈中厚层状，层面中等发育，间距一般为 50～30 cm
	互层结构	岩体较完整或完整性差，呈互层状，层面较发育或发育，间距一般为 30～10 cm
	薄层结构	岩体完整性差，呈薄层状，层面发育，间距一般小于 10 cm
镶嵌结构		岩体完整性差，岩块镶嵌紧密，结构面较发育到很发育，间距一般为 30～10 cm
碎裂结构	块裂结构	岩体完整性差，岩块间有岩屑和泥质物充填，嵌合中等紧密到较松弛，结构面较发育到很发育，间距一般为 30～10 cm
	碎裂结构	岩体破碎，结构面很发育，间距一般小于 10 cm
散体结构	碎块状结构	岩体破碎，岩块夹岩屑或泥质物
	碎屑状结构	岩体破碎，岩屑或泥质物夹岩块

表 B.10 关键区段尺度降水划分表

分级	年降水量 Q（mm）
弱降水区（干旱区）	Q<800
中等降水区（半干旱区）	800≤Q<1300
较强降水区（半湿润区）	1300≤Q<2000
强降水区（湿润区）	Q≥2000

表 B.11 关键区段尺度河网密度划分表

分级	河网密度 ρ（$km \cdot km^{-2}$）
低密度	ρ≤1.5
较低密度	1.5<ρ≤2
中等密度	2<ρ≤3
高密度	3<ρ≤4
极高密度	ρ>4

表 B.12 关键区段尺度水系影响区划分表

分级	距离水系 D（km）
弱影响区	D>3.2
较弱影响区	1.6<D≤3.2
中等影响区	0.8<D≤1.6
强影响区	D≤0.8

表 B.13 关键区段尺度含水岩组富水性划分表

含水岩组类型	富水性	井孔涌水量或泉水流量 P（m^3/d）
松散岩类孔隙含水岩组	贫水	P<100
	弱富水	100≤P<1000
	中等富水	1000≤P<5000
	强富水	5000≤P<10000
碳酸盐岩裂隙岩溶含水岩组	贫水	P<100
	弱富水	100≤P<1000
	中等富水	1000≤P<5000
	强富水	5000≤P<10000
	极强富水	P≥10000
碎屑岩孔隙裂隙含水岩组	极贫水	P<10
	贫水	10≤P<100
	弱富水	100≤P<300
岩浆岩变质岩裂隙含水岩组	极贫水	P<10
	贫水	10≤P<100
	弱富水	100≤P<1000

表 B.14a 关键区段尺度线状人类工程活动影响区划分表

分级	距离工程 D（km）
弱影响区	D>1.6
较弱影响区	1.2<D≤1.6
中等影响区	0.8<D≤1.2
强影响区	0.4<D≤0.8
极强影响区	D≤0.4

表 B.14b 关键区段尺度点状人类工程活动影响区划分表

分级	距离工程 D（km）
弱影响区	D>2.4
较弱影响区	1.6<D≤2.4
中等影响区	0.8<D≤1.6
强影响区	0.4<D≤0.8
极强影响区	D≤0.4

附 录 C

（资料性附录）

关键区段尺度区划特征指标及分级表

表C.1给出了关键区段尺度断层岩的工程地质分类

表C.2给出了关键区段尺度膨胀性岩（土）分布区岩性划分

表C.3给出了关键区段尺度膨胀性岩（土）分布区膨胀岩的膨胀潜势划分

表C.4给出了关键区段尺度膨胀性岩（土）分布区铁路工程及公路工程膨胀土的膨胀潜势划分

表C.5给出了关键区段尺度膨胀性岩（土）分布区膨胀岩的膨胀性试验指标划分

表C.6给出了关键区段尺度膨胀性岩（土）分布区膨胀岩的现场试验指标划分

表C.7给出了关键区段尺度冻土分布区多年冻土类型、总含水率、融化后的潮湿程度、融化下沉系数划分

表C.8给出了关键区段尺度多年冻土地基承载力划分

表C.9给出了关键区段尺度冻土分布区多年冻土季节融化土层冻前天然含水率、冻结期间地下水位冻结面的最小距离、平均冻胀率划分

表C.10给出了关键区段尺度多年冻土地温带划分

表C.11给出了关键区段尺度软土分布区软土地貌特征、成因类型、沉积特征划分

表C.12给出了关键区段尺度软土分布区软土物理力学性质划分

表C.13给出了关键区段尺度软土分布区软土灵敏度划分

表C.14给出了关键区段尺度软土分布区软土地基承载力划分

表C.15给出了关键区段尺度地质灾害规模等级划分

表C.16给出了关键区段尺度不良地质作用发育趋势划分

表 C.1 关键区段尺度断层岩的工程地质分类表

岩石类型	连接力	颗粒组成	
		粒级 G（mm）	含量（%）
断层破裂岩 断层碎块岩	裂隙间无连接力	G>200 20<G≤200	——
断层角砾 断层泥	松散的断层泥	0.5≤G<20 G<0.5	>50 >50
断层角砾岩 糜棱岩	固结的断层岩	G>0.5 G<0.5	>50 >50

表 C.2 关键区段尺度膨胀性岩（土）分布区岩性划分表

类型	特征
沉积型泥质膨胀岩	泥岩、页岩、泥质粉砂岩类膨胀岩
火成岩类膨胀岩	低温热液型中基性侵入岩体蒙脱石化后形成的膨胀岩
蒙脱石化凝灰岩类膨胀岩	凝灰岩蚀变后形成的膨胀岩
固结断层泥类膨胀岩	区域性活断层柔性剪切带形成的半成岩断层泥膨胀岩
含硬石膏或无水芒硝类膨胀岩	红色沉积岩系中夹有层状硬石膏或无水芒硝

表 C.3 关键区段尺度铁路工程膨胀性岩（土）分布区膨胀岩的膨胀潜势划分表

分级指标	非膨胀岩	弱膨胀岩	中等膨胀岩	强膨胀岩
干燥后饱和吸水率 $W_{饱和}$（%）	$W_{饱和}$<10	10≤$W_{饱和}$<30	30≤$W_{饱和}$<50	$W_{饱和}$≥50
崩解特征及重量变化	泡水 24 h 岩块完整、不崩解，重量增加小于 10%	泡水后，有少量岩屑下落，几小时后岩块开裂成 0.5～1 cm 碎块或大片，手可捏碎，重量可增加 10%	泡水后，1～2 h 崩解为碎片，部分下落，碎片尚不能捏成土饼，重量可增加 30%～50%	泡水后，即刻剧烈崩解成土状散落，水混浊，10 min 可崩解 50%，20～30 min 崩解完毕

表 C.4a 关键区段尺度铁路工程膨胀性岩（土）分布区膨胀土的膨胀潜势划分表

分级指标	弱膨胀土	中等膨胀土	强膨胀土
自由膨胀率 F_s（%）	40≤F_s<60	60≤F_s<90	F_s≥90
蒙脱石含量 M（%）	7≤M<17	17≤M<27	M≥27
阳离子交换量 CEC（$NH4^+$）（mmol/kg）	170≤CEC（$NH4^+$）<260	260≤CEC（$NH4^+$）<360	CEC（$NH4^+$）≥360

注：当土质符合表列任意2项以上指标时，即判定为该等级

表 C.4b 关键区段尺度公路工程膨胀性岩（土）分布区膨胀土的膨胀潜势划分表

分级指标	非膨胀土	弱膨胀土	中等膨胀土	强膨胀土
自由膨胀率 F_s（%）	F_s<40	40≤F_s<60	60≤F_s<90	F_s≥90
塑性指数 I_p	I_p<15	15≤I_p<28	28≤I_p<40	I_p≥40
标准吸湿含水率 W_I（%）	W_I<2.5	2.5≤W_I<4.8	4.8≤W_I<6.8	W_I≥6.8

注：标准吸湿含水率指在标准温度下（通常25℃）和标准相对湿度下（通常60%），膨胀土试样恒重后的含水率

表 C.5 关键区段尺度膨胀性岩（土）分布区膨胀岩的膨胀性试验指标划分表

类别	膨胀率 V_H（%）	膨胀力 P_p（kPa）	饱和吸水率 $W_{饱和}$（%）	自由膨胀率 F_s（%）
非膨胀岩	V_H<3	P_p<100	$W_{饱和}$<10	F_s<30
弱膨胀岩	3≤V_H<15	100≤P_p<300	10≤$W_{饱和}$<30	30≤F_s<50
中等膨胀岩	15≤V_H<30	300≤P_p<500	30≤$W_{饱和}$<50	50≤F_s<70
强膨胀岩	V_H≥30	P_p≥500	$W_{饱和}$≥50	F_s≥70

表 C.6 关键区段尺度膨胀性岩（土）分布区膨胀岩的现场试验指标划分表

类别	结构面频度（条/m）	无侧限强度（kPa）	宏观地貌特征
弱膨胀岩	<5	>150	低丘，起伏>20m，坡度>10°，有陡坎与冲沟
弱~中膨胀岩	5～15	50～150	
中~强膨胀岩	>15	<50	缓岗，起伏>20m，坡度>10°，无陡坎与冲沟

表 C.7 关键区段尺度冻土分布区多年冻土类型、总含水率、融化后潮湿程度、融化下沉系数划分表

多年冻土类型	土的名称	总含水率 ω_A（%）	融化后的潮湿程度	融化下沉系数 δ_0（%）	融沉等级	融沉类别
少冰冻土	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量不大于 15%）	$\omega_A<10$	潮湿	$\delta_0\leq1$	I	不融沉
	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量大于 15%）	$\omega_A<12$	稍湿			
	细砂、粉砂	$\omega_A<14$				
	粉土	$\omega_A<17$				
	黏性土	$\omega_A<\omega_p$	坚硬			
多冰冻土	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量不大于 15%）	$10\leq\omega_A<15$	饱和	$1<\delta_0\leq3$	II	弱融沉
	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量大于 15%）	$12\leq\omega_A<15$	潮湿			
	细砂、粉砂	$14\leq\omega_A<18$				
	粉土	$17\leq\omega_A<21$				
	黏性土	$\omega_p\leq\omega_A<\omega_p+4$	硬塑			
富冰冻土	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量不大于 15%）	$15\leq\omega_A<25$	饱和出水（出水量小于 10%）	$3<\delta_0\leq10$	III	融沉
	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量大于 15%）		饱和			
	细砂、粉砂	$18\leq\omega_A<28$				
	粉土	$21\leq\omega_A<32$				
	黏性土	$\omega_P+4\leq\omega_A<\omega_P+15$	软塑			

饱冰冻土	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量不大于 15%）	25≤ω_A<44	饱和出水（出水量小于 10%）	10<δ0≤25	IV	强融沉
	碎石类土，砾、粗、中砂（粉黏粒质量大于 15%）					
	细砂、粉砂	28≤ω_A<44	饱和			
	粉土	32≤ω_A<44				
	黏性土	ω_P+15≤ω_A<ω_P+35	软塑			
含土冰层	碎石类土、砂类土、粉土	ω_A≥44	饱和大量出水（出水量 10%～20%）	δ0>25	V	融陷
	黏性土	ω_A≥ω_P+35	流塑			
纯冰层	厚度大于 25 cm 或间隔 2 cm~3 cm 冰层累计超过 25 cm			δ_0>25	V	融陷

注：融化下沉系数为冻土试样融化下沉量与冻土试样高度的比；总含水率为含冰和未冻水的总质量与土骨架质量之比；ω_P为塑限；盐渍化冻土、冻结泥炭化土、腐殖土、高塑性黏土不在表列

表 C.8 关键区段尺度多年冻土地基承载力划分表

土名和基底月均最高土温（℃）	-0.5（基本/极限）	-1（基本/极限）	-1.5（基本/极限）	-2（基本/极限）	-2.5（基本/极限）	-3.5（基本/极限）
块石土、卵石土、碎石土、粗圆砾土、粗角砾土	800/1600	950/1900	1100/2200	1250/2500	1380/2760	1650/3300
细圆砾土、细角砾土、砾砂、粗砂、中砂	600/1200	750/1500	900/1800	1050/2100	1180/2360	1450/2900
细砂、粉砂	450/900	550/1100	650/1300	750/1500	830/1660	1000/2000
粉土	400/800	450/900	550/1000	650/1120	710/1420	850/1700
粉质黏土、黏土	350/700	400/800	450/900	500/1000	560/1120	700/1400
饱冰冻土	250/500	300/600	350/700	400/800	450/900	550/1100

注：对于块石土、卵石土、碎石土、粗圆砾土、粗角砾土、细圆砾土、细角砾土、砾砂、粗砂、中砂、细砂、粉砂、粉土、粉质黏土、黏土，地基承载力适合于少冰冻土、多冰冻土，当地基为富冰冻土时，数值应降低20%；含土冰层的承载力应实测确定

表 C.9 关键区段尺度冻土分布区多年冻土季节融化土层冻前天然含水率、冻结期间地下水位冻结面的最小距离、平均冻胀率划分表

土的名称	冻前天然含水率 ω（%）	冻结期间地下水位冻结面的最小距离 h_w（m）	平均冻胀率 η（%）	冻胀等级	冻胀类别
粉黏粒质量≤15%的粗颗粒土，粉黏粒质量≤10%的细砂	不考虑	不考虑	η≤1	I	不冻胀
粉黏粒质量>15%的碎石、砂类土，粉黏粒质量>10%的细砂	ω≤12	>1			
粉砂	ω≤14	>1			
粉土	ω≤19	>1.5			
黏性土	$\omega\leq\omega_p+2$	>2			
粉黏粒质量>15%的粗颗粒土，粉黏粒质量>10%的细砂	ω≤12	≤1	1<η≤3.5	II	弱冻胀
	12<ω≤18	>1			
粉砂	ω≤14	≤1			
	14<ω≤19	>1			
粉土	ω≤19	≤1.5			
	19<ω≤22	>1.5			
黏性土	$w\leq\omega_p+2$	≤2			
	$\omega_p+2<\omega\leq\omega_p+5$	>2			
粉黏粒质量>15%的粗颗粒土，粉黏粒质量>10%的细砂	12<ω≤18	≤1	3.5<η≤6	III	冻胀
	ω>18	>0.5			
粉砂	14<ω≤19	≤1			
	19<ω≤23	>1			
粉土	19<ω≤22	≤1.5			
	22<ω≤26	>1.5			
黏性土	$\omega_p+2<\omega\leq\omega_p+5$	≤2			
	$\omega_p+5<\omega\leq\omega_p+9$	>2			

粉黏粒质量>15%的粗颗粒土，粉黏粒质量>10%的细砂	ω>18	≤0.5	6<η≤12	IV	强冻胀
粉砂	19<ω≤23	≤1			
粉土	22<ω≤26	≤1.5			
	26<ω≤30	>1.5			
黏性土	ω_p+5<ω≤ω_p+9	≤2			
	ω_p+9<ω≤ω_p+15	>2			
粉砂	ω>23	不考虑	η>12	V	特强冻胀
粉土	26<ω≤30	≤1.5			
	ω>30	不考虑			
黏性土	ω_p+9<ω≤ω_p+15	≤2			
	ω>ω_p+15	不考虑			

注：η为地表冻胀量与冻层厚度减地表冻胀量之比；ω_p为塑限含水率；盐渍化冻土不在表列；ω_p>22时，冻胀性降低一级；碎石类土当充填物大于全部质量的40%时，其冻胀性按填充土的类别判定；粗颗粒土指中、粗、砾砂和碎石类土，粉黏粒指粒径小于0.075 mm的颗粒

表 C.10 关键区段尺度多年冻土地温带划分表

多年冻土地温分带	多年冻土的类型	多年冻土年平均地温值 T_{cp}（℃）
稳定带	少冰冻土	不考虑
	多冰冻土	<-1
	富冰冻土	<-1.5
	饱冰冻土	<-2
	含土冰层	<-2
基本稳定带	多冰冻土	0～-1
	富冰冻土	0～-1.5
	饱冰冻土	-1～-2
	含土冰层	-1～-2
不稳定带	饱冰冻土	0～-1
	含土冰层	0～-1
极不稳定带	——	≥-0.5

表 C.11 关键区段尺度软土分布区软土地貌特征、成因类型、沉积特征划分表

地貌特征	成因类型	沉积特征
山间谷地	谷地相	软土星片状、带状分布，靠山边浅，谷地中心深，厚度变化大。颗粒由山前到谷地中心逐渐变细。下伏硬层坡度较大

表 C.12 关键区段尺度软土分布区软土物理力学性质划分表

指标和分类		软黏性土（软粉土）	淤泥质土类	淤泥	泥炭质土类	泥炭
有机质含量（ω_u）	%	ω_u＜3	3≤ω_u<10		10≤ω_u≤60	ω_u>60
天然孔隙比（e）	-	e≥1	1≤e≤1.5	e>1.5	e>3	e>10
天然含水率（ω）	%	ω≥ω_L			ω≫ω_L	
渗透系数（k）	cm/s	k<10^{-6}			k<10^{-3}	k<10^{-2}
压缩系数 $a_{0.1-0.2}$	MPa^{-1}	$a_{0.1-0.2}$≥0.5			——	
不排水抗剪强度（CU）	kPa	CU<30			CU<10	
静力触探比贯入阻力（P_a）	kPa	P_a<700			——	
标准贯入试验锤击数（N）	击	N<4		N<2	——	

注：软土及其类型的划分，应以天然孔隙比、天然含水率及有机质含量为主，并结合其他指标综合判别；有机质含量测试采用灼失量法

表 C.13 关键区段尺度软土分布区软土灵敏度划分表

结构性分类	灵敏度 S_t
中灵敏性	2<S_t≤4
高灵敏性	4<S_t≤8
极灵敏性	8<S_t≤16
流性	S_t>16

注：采用无侧限抗压强度的试验方法测定灵敏度，试验土样采用薄壁取土器取样

表 C.14 关键区段尺度软土分布区软土地基承载力划分表

天然含水率（%）	基本承载力（kPa）	极限承载力（kPa）
36	100	179
40	90	161
45	80	143
50	70	125
55	60	107
65	50	90
75	40	72

表 C.15 地质灾害规模等级划分表

表 C.15a 滑坡规模等级划分表

规模等级	巨型	特大型	大型	中型	小型
体积 V（10^4 m^3）	V≥10000	10000>V≥1000	1000>V≥100	100>V≥10	V<10

表 C.15b 崩塌规模等级划分表

规模等级	特大型	大型	中型	小型
体积 V（10^4 m^3）	V≥100	100>V≥10	10>V≥1	V<1

表 C.15c 泥石流规模等级划分表

规模等级	特大型	大型	中型	小型
泥石流一次堆积总方量 V（10^4 m^3）	V≥50	50>V≥10	10>V≥1	V<1
泥石流洪峰流量 Q（m^3/s）	Q≥200	200>Q≥100	100>Q≥50	Q<50
固体物质储量 V_v（10^4 m^3/km^2）	V_v>100	100≥V_v>10	10≥V_v>5	V_v≤5
固体物质一次最大冲出量 V_c（10^4 m^3）	V_c>10	10≥V_c>5	5≥V_c>1	V_c≤1

注：任一个界限值只要达到上一等级的下限即定为上一等级类型

表 C.15d 岩溶塌陷规模等级划分表

规模等级	巨型	大型	中型	小型
塌陷坑直径 D（m）	D≥50	50>D≥30	30>D≥10	D<10
影响范围面积 S（km^2）	S≥20	20>S≥10	10>S≥1	S<1

表 C.15e 岩溶发育程度划分表

岩溶发育程度	定量鉴定				定性鉴定		
	地表岩溶发育密度（个/km^2）	线岩溶率（%）	钻孔见洞（隙）率（%）	单位涌水量（L/m•s）	岩溶形态	连通性	地下水
岩溶弱发育	<1	<5	<10	<0.1	沿裂隙、层面溶蚀扩大为岩溶化裂隙或小型洞穴	裂隙连通性差	少见集中径流常有裂隙水流
岩溶中等发育	1～5	5～20	10～30	0.1～1	沿断层、层面、不整合面等有显著溶蚀，中小型甲球状洞穴发育	地下洞穴系统未形成	有小型暗河或集中径流
岩溶强烈发育	>5	>20	>30	>1	以大型暗河、廊道、较大规模溶洞、竖井和落水洞为主	地下洞穴系统基本形成	有大型暗河

表 C.15f 岩溶地层岩性、成层特征划分表

岩溶发育程度	地层岩性	成层特征
岩溶弱发育	白云岩	间层 互层 夹层 均质层
岩溶中等发育	过渡类碳酸盐岩	
岩溶强烈发育	石灰岩	

注：过渡类碳酸盐岩：白云质石灰岩、灰质白云岩

表 C.15g 可溶岩出露类型划分表

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 10 m 的第四纪覆盖层，地表岩溶景观显露
浅覆盖型	可溶性岩层大部分被第四系土层覆盖，厚度一般不超过 30 m，少部分岩溶景观显露地表
深覆盖型	可溶性岩层基本被第四系土层覆盖，厚度一般超过 30 m，几乎没有岩溶景观显露地表
埋藏型	可溶性岩层被非可溶性岩层（如泥岩、砂岩、页岩等）覆盖，没有岩溶景观显露地表

表 C.15h 可岩溶覆盖层、覆盖层厚度、地表水与地下水连通情况划分表

可溶岩出露类型	裸露型	浅覆盖型	深覆盖型	埋藏型
覆盖层	土	土	土	非可溶岩
覆盖层厚度 h（m）	h<10	10≤h<30	h≥30	——
地表水与地下水连通情况	密切	较密切	一般不密切	不密切

表 C.16 不良地质作用发育趋势划分表

表 C.16a 岩爆发育趋势划分表

分级	岩石强度应力比 r	现象描述
轻微	4≤r<7	围岩表层有爆裂、剥离现象，内部有噼啪、撕裂声，人耳偶然可听到，无弹射现象；主要表现为洞顶的劈裂～松脱破坏和侧壁的劈裂~松脱、隆起等；岩爆零间隔发生影响深度小于 0.5 m；对施工影响小
中等	2≤r<4	围岩爆裂、剥离现象较严重，有少量弹射，破坏范围明显；有似雷管爆破的清脆爆裂声，人耳常可听到围岩内岩石撕裂声；有一定持续时间，影响深度 0.5 m～1 m；对施工有一定影响
强烈	1≤r<2	围岩大片爆姿脱落，出现强烈弹射，发生岩块的抛射及岩粉喷射现象；有似爆破的爆裂声，声响强烈；持续时间长，并向围岩深部发展，破坏范围和块度大，影响深度 1 m～3 m；对施工影响大
极强	r<1	围岩大片严重爆裂，大块岩片出现剧烈弹射，振动强烈，有似炮弹、闷雷声，声响剧烈；迅速向围岩深部发展，破坏范围和块度大影响深度大于 3 m；严面影响施工工程

注：适用于完整~较完整的中硬、坚硬岩体，且无地下水活动的地段；岩石强度：岩石饱和单轴抗压强度（MPa）；应力：最大地应力（MPa）

表 C.16b 大变形发育趋势划分表

分级	岩石强度应力比 r	现象描述
轻微	0.25≤r<0.5	开挖后围岩位移较大，持续时间较长；一般支护开裂或破损较严重，相对变形量 3%～5%，围岩自稳时间短，以塑流型、弯曲型、滑移型变形模式为主，兼有剪切型变形
中等	0.15≤r<0.25	开挖后围岩位移大，持续时间长；一般支护开裂或破损严重，相对变形量 5%～8%，洞底有隆起现象，围岩自稳时间很短，以塑流型、弯曲型变形模式为主
强烈	r<0.15	开挖后围岩位移很大，持续时间很长；一般支护开裂或破损很严重，相对变形最大于 8%，洞底有明显降起现象，流变待征很明显，围岩自稳时间很短，以塑流型为主

注：岩石强度：围岩强度（MPa）；应力：最大地应力（MPa）

表 C.16c 高温热害发育趋势划分表

分带	温度 t 界限（℃）	热害评估等级
常温带	t≤28	无
低高温带	28<t≤37	轻微
中高温带	37<t≤50	中等
高温带	50<t≤60	较严重
超高温带	t>60	严重

表 C.16d 高温异常发育趋势划分表

分区	地温梯度（℃/km）
低异常区	<20
正常区	20～30
高异常区	>30

表 C.16e 涌水突泥发育趋势划分表

分级	评分 R	地表环境特征	岩石性质	地质构造	防水措施	气候条件
轻微	R<2.48	旱地、荒地 评分：0； 沟谷汇水、岩溶形态发育、集水建筑物以上 评分：0.7	硬岩（硬岩+软岩） 评分：0.21 分； 软岩 评分：0 分	裂隙不发育、紧闭 评分：0； 裂隙发育、张开 评分：1.34； 断层破碎带 评分：1.7； 岩溶裂隙发育 评分：1.71； 岩溶断层带 评分：1.9	无 评分：0； 灌浆防水 评分：-0.3； 已衬砌 评分：-0.45	少雨雪区（年降水量≤800 mm） 评分：0； 多雨雪区（800 mm<年降水量≤1600 mm） 评分：1.15； 丰雨雪区（年降水量>1600 mm） 评分：1.3
中等	2.48≤R<3.3					
严重	3.3≤R<3.91					
极严重	R≥3.91					

注：适用于裂隙水、孔隙水和岩溶水

表 C.16f 瓦斯发育趋势划分表

分区	判定指标		备注
	小跨	中等、大、特大跨	
非瓦斯区	0		按绝对瓦斯涌出量进行判定
微瓦斯区	<0.3 m^3/min	<0.5 m^3/min	
低瓦斯区	0.3~1.0 m^3/min	0.5~1.5 m^3/min	
高瓦斯区	≥1.0 m^3/min	≥1.5 m^3/min	
瓦斯突出区	判定瓦斯突出应同时满足下列 4 个指标： （1）瓦斯压力 P≥0.74 MPa （2）瓦斯放散初速度△P≥10 （3）煤的坚固性系数 f≤0.5 （4）煤的破坏类型为 III 级及以上		按瓦斯压力、瓦斯放散初速度、煤的坚固系数及煤的破坏类型进行判定

表 C.16g 放射性发育趋势划分表

分区	年有效剂量当量（mSv）
非限制区	<5
监督区	5~15
控制区	>15

附 录 D
（资料性附录）
区域和关键区段尺度工程地质条件复杂程度分类表

表 D.1 给出了区域和关键区段尺度工程地质条件复杂程度。

表 D.1 区域和关键区段尺度工程地质条件复杂程度分类表

条件	类别		
	一级（复杂）	二级（中等）	三级（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层，地震动峰值加速度大于 0.20g	区域地质构造条件较复杂，建设场地附近有全新世活动断层，地震动峰值加速度 0.10g～0.20g	区域地质构造条件简单，建设场地附近无全新世活动断层，地震动峰值加速度小于 0.10g
地形地貌	地形复杂，相对高度大于 200 m，地面坡度以大于 25°为主，地貌类型多样	地形较简单，相对高度 50 m～200 m，地面坡度以 8°~25°为主，地貌类型较单	地形简单，相对高度小于 50 m，地面坡度小于 8°，地貌类型单一
地质构造	地质构造复杂，褶皱断层发育，岩体破碎	地质构造较复杂，有褶皱、断层分布，岩体较破碎	地质构造较简单，无褶皱、断层，裂隙发育
地层岩性	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
水文地质条件	各种类型地下水相互关系复杂，水文地质条件不良	地下水位波动较大，水文地质条件较差	地下水位基本稳定，水文地质条件良好
不良地质作用	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
工程扰动影响	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

附 录 E
（规范性附录）

工程地质区划报告提纲

第一章 概述
- 1.1 项目来源
- 1.2 目标任务
- 1.3 执行情况

第二章 工作区工程地质概况
- 2.1 地形地貌与气象水文
- 2.2 地质构造与地层岩性
- 2.3 水文地质与工程地质问题
- 2.4 人类工程活动

第三章 工程地质区划指标确定与方法
- 3.1 区划要素
- 3.2 区划指标体系
- 3.3 区划评价计算方法

第四章 工程地质区划结果与分析
- 4.1 区域性工程地质区划结果
- 4.2 关键区段工程地质区划结果
- 4.3 不良地质和工程地质问题分析

第五章 结论与建议
- 5.1 主要结论
- 5.2 线路比选和优化建议
- 5.3 防护措施建议

附件：包括附图和附表等

条文说明

为了便于理解本文件的有关条文，避免不同行业技术人员使用时引起歧义，特对有关条文内容进行简要说明。

4.3.1 对于工程地质区划工作范围，可根据不同的工程类型和工程建设不同阶段进行适当调整；在有潜在地质灾害链效应的区段，廊道/线路两侧宽度的确定宜考虑潜在地质灾害链效应。

5.1.5 对于基本比例尺为 1:5 万的情况，区划单元栅格大小宜选择 50 m×50 m；当比例尺更小时，区划单元栅格大小可按图面比例适当调整。

5.2.1 区域性尺度资料搜集宜分析各类工程建设对区域工程地质调查工作的需求。既有工程建设引起的工程地质问题资料宜包括但不限于各类工程地质问题的分布、规模、强度、成因及其与工程建设的关系。

5.2.2 在搜集资料不足或不满足区划要求的情况下，须补充开展区域性工程地质调查、调绘与工程地质勘察。

地质构造调查宜确定大地构造单元及所处大地构造环境，划分区域内次级构造单元，宜确定新近纪以来地层与地貌发育的基本特征、地球动力背景、新构造运动、现今地壳形变的基本特征；宜确定地质演变和现代地壳活动的深层背景、地表断层切割深度及深部构造特征、重力场，不同地质历史时期和现今构造应力作用方式、强度。

新构造调查宜包括地貌面和阶地分布及变形、水系分布及变迁、线状地貌特征、洪积扇分布状态，新沉积物变形变位、相变及厚度变化；宜包括新生代盆地槽地沉积环境及火山活动、泉水特别是温泉的分布，坳陷断陷槽地盆地规模、分布状态、下陷深度、沉积环境和特征，地壳变形量及趋势，现代地壳运动的性质、方式和特征，断层活动性。

地貌调查宜包括地貌及局部特征地貌的调查；宜包括地貌形态特征及其分布，划分地貌类型、地貌单元和不同级序地貌面，各级地貌面物质组成、成因类型；河谷区宜包括河谷形态、河流阶地，河谷类型和阶地类型、阶地物质形成年代、阶地级序。

地层岩性调查宜包括地层岩性及组合关系、基底分布特征和盖层沉积建造及相互接触关系、构造层和构造活动期次，宜包括岩浆岩分布形态和特征、火山活动、岩浆活动的强弱和期次及与构造的关系，宜包括变质岩的分布、类型、变质程度、变质岩带、变质类型和变质期及其与构造活动的关系，第四纪地层的分布、类型。

地震活动调查宜包括但不限于工作区中、强地震活动特征和活动水平。

水文地质调查宜包括地表水体的分布、动态监测、地表水与地下水的补排关系，主要井泉的分布位置、所属含水层类型、地下水动态监测及分析（水位、埋深、水温、水质、水量等）、地下水开发利用情况，含水层的类型、空间分布和厚度、富水性、地下水化学特征及侵蚀性等；宜包括含水层、相对隔水层和透水层的岩性、透水性、空间分布和厚度，浅部（如深度 3 m 以内）水文地质条件，地下水的动态与均衡（地下水系统与环境的关系，补给、迳流和排泄特征，地下水流速、流向等），地下热水、地下卤水分布等。

不良地质作用调查宜包括但不限于主要不良地质作用的工程地质特性、工程地质条件与不良地质作用的相关性，不良地质作用的类型、规模、形态、分布、影响因素、诱发因素、威胁范围及危害程度，不良地质作用岩（土）体结构特征及物理力学特性。

5.3.1 区域性尺度区划要素可根据工作区具体地质情况进行增加或删减。

5.3.2 根据工程类型和工作区的地质条件复杂程度，其他要素可进行适当增补。

5.3.4 区划要素单项评价流程：基于 GIS 软件平台，在确定研究区、研究对象和研究目标后，对各种资料进行数据处理并建立相应的空间数据库。根据研究目标，分析相关影响因素，建立目标层次结构，构造判断矩阵。在专家对影响因素进行综合评分的基础上，进行层次单排序、求解权向量

和一致性检验，从而获得各指标因素值，并运用 GIS 空间分析功能提取分析因子。数据处理计算采用 GIS 软件，对研究区进行栅格化，每一个栅格作为模型评价的一个运算单元，并将数据库中的数据按照规则进行栅格化处理。再采用图形叠加的方式，将参与评价的各个因素权值分配到不同的栅格上。将各个因素进行图形叠加，对属性值进行代数运算，再将叠加后的栅格数据化，生成新的图形，并形成最终评价结果。

5.4.2 本文件对工程地质条件等级推荐采用 4 级划分；对于工作程度高的地区也可采用好、较好、中等、较差、差等 5 级划分，对于工作程度低的地区也可采用好、中等、差等 3 级划分。

6.1.2 关键区段的特殊岩土、地质灾害易发区和不良地质作用易发区应根据工作区特征考虑包括但不限于《TB 10038 铁路工程特殊岩土勘察规程》所规定的本文件以外的特殊岩土和不良地质作用地带。

6.1.6 对于推荐比例尺为 1:1 万的情况，区划单元栅格大小宜选择 10 m×10 m；当比例尺更小时，区划单元栅格大小可按图面比例适当调整。

6.2.1 关键区段尺度资料搜集宜分析既有和在建的线状、点状工程与线路的关系及其对线路方案的影响。

6.2.2 在搜集资料不足或不满足区划要求的情况下，须补充开展关键区段工程地质勘察。

地质构造勘察宜包括但不限于关键区段的构造分布、形态、规模、性质及组合特点，构造变化、破碎带空间分布，活动断层对工作区岩（土）体的影响，地应力最大主应力方向、量值。

地形地貌勘察宜包括但不限于海拔、相对高度、地形起伏度和地貌类型、成因与形态，典型斜坡的形态、类型、结构、坡度、高度，沟谷、河谷、河漫滩、阶地、冲洪积扇等分布特征，微地貌的组合特征、相对年代及其演化历史。

工程地质勘察宜包括但不限于关键区段的沉积岩、岩浆岩和变质岩分布、形成年代、组合关系、试验测试参数等，构造岩岩性和充填物及其胶结程度以及它们随深度的变化情况，岩块坚硬程度、风化程度，岩体结构面产状、形态、规模、密度、相互关系，岩体结构的类型和完整性。

水文地质勘察宜包括但不限于关键区段含水层的分布、类型、富水性、透水性，隔水层的岩性、厚度和分布，地下水的活动情况及对工作区岩（土）体的影响等，地温异常带分布、量值。

不良地质作用和工程扰动作用勘察宜包括但不限于关键区段不良地质作用和工程扰动作用类型、分布、形态、规模、强度及其对工程地质条件的影响，既有工程活动诱发或加剧的工程地质问题和不良地质作用发生的状况，作用位置的岩（土）体空隙性、含水率、吸水性、软化性、抗冻性、透水性、热学性质、岩块变形及强度、结构面变形及强度、岩体变形及强度。

特殊岩土分布区勘察应包括关键区段代表性岩（土）体的分布、类型、岩性、成因、组合、分异等，岩（土）体的结构、性状、变形、强度、波速、动泊松比、动剪切模量、动弹性模量测试等，控制性结构面的主要物理力学参数等。

膨胀性岩（土）分布区勘察应包括斜坡的自然坡度与高度，冲沟、坡面冲刷、剥落的特征，人工边坡的稳定坡度及风化剥落特征，地层时代、成因、岩性、结构，有无软弱夹层，岩体的含水程度，不良地质现象的类型、形成原因、分布范围及规模大小，地表水的集聚和排泄条件，地下水的类型、埋藏深度和变化规律。

冻土分布区勘察应包括第四系地层的成因类型、地层结构、土质成分、斜坡的堆积厚度等特征，各类冻土的分布范围，季节冻土的最大冻结深度，多年冻土的最大融化深度，季节冻结融化层土的成分、含水率；多年冻土的边界，气温和地温的分布特征，平面和剖面上年平均地温的分布特征及冻土的上、下限深度，多年冻土的类别及冻土总含水率；包括地层的结构特征、物理力学性质，富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层和纯冰层的分布范围或层位，冻土的融沉性分级，井、泉的分布规律，地表水与地下水的水文地质特征、矿化度，多年冻土层上水、层间水、层下水的存在形态、相互关系；包括多年冻土地区厚层地下冰、冻土沼泽分布范围。

软土分布区勘察应包括地形、地貌及第四纪沉积层的特征，地貌单元和工程地质单元，各地貌单元的形成过程与地层、场地稳定性的关系，微地貌的变化，古牛扼湖、埋藏谷以及暗埋的塘、浜、沟、渠的分布范围及形态，软土的分布范围和分布规律；包括软土场地各土层的岩性、分层厚度、成因、类型、时代、硬壳、固结状态、地层结构、相变特征及其物理、力学、水理性质，厚层和相对均质的软土抗剪强度随深度的变化规律，砂类土夹层或透镜体的分布范围和厚度，谷地、河谷边缘、河沟交汇地段、山间盆地及斜坡边缘的软土层厚度变化及下伏硬层的顶面形态、横坡大小等；包括古软土层的分布范围、埋藏深度、下伏硬土层或古软土层的超固结比等工程特性，地下水的类型、埋藏深度、活动情况、补给与排泄条件。

岩溶区勘察应包括可溶岩的地层时代、岩性成分、地层厚度、结晶程度、单层厚度、产状、所含杂质及溶蚀、风化程度，可溶岩与非可溶岩的分布特征、接触关系，夹层的厚度、岩性、产状、分布层位及工程地质特征；包括断层的力学性质、产状，断层带的破碎程度、宽度、胶结程度、阻水或导水条件，断层带的岩溶发育程度，褶曲不同部位的特征，节理、裂隙性质，岩体破碎程度，褶曲不同部位的岩溶发育程度；包括岩溶平面分布特征，溶洞层分布与河流阶地、剥夷面、新构造运动的关系，岩溶正地形、负地形、近代岩溶溶蚀基准面；包括岩溶水补给、径流、排泄条件，地表分水岭两侧暗河、竖井、既有钻孔的地下水位与地下分水岭位置，覆盖型岩溶地段地下水的层数以及其间的水力联系，开采情况及影响半径范围，与线路密切的暗河系统。

6.3.1 关键区段尺度区划要素应根据工作区具体特征进行增加或删减。

6.3.2 考虑地形放大效应的地震动峰值加速度，计算时借助地理信息系统空间分析方法，地形起伏度以数字高程模型为基础在 GIS 软件中提取，搜索半径可为 50 m。

6.4.2 融合平面分区和剖面分段结果：借助地理信息系统空间分析方法，对平面分区和剖面分段结果沿工程线路每隔一定距离取点，比较相同点位的平面分区和剖面分段结果的工程地质条件等级，采用工程地质条件等级“相较更差”的结果作为该点位的工程地质区划结果，从而实现该点位的平面分区和剖面分段结果的融合，并依次类推到其他点位，进而实现所有点位的平面分区和剖面分段结果的融合；在此基础上，采用克里金插值、栅格图像平滑处理等方法生成工程地质区划图。本文件对工程地质条件等级推荐采用 4 级划分；对于工作程度高的地区也可采用好、较好、中等、较差、差等 5 级划分，对于工作程度低的地区也可采用好、中等、差等 3 级划分。

7.2 图件编制过程中的数据表达形式可参照 DZ/T 0097 的相关技术要求执行。

参考文献

[1] 杜国梁, 张永双, 高金川, 孙於春, 郭长宝. 基于 GIS 的白龙江流域甘肃段滑坡易发性评价[J]. 地质力学学报, 2016, 22(1): 1-11.

[2] 孟祥瑞, 裴向军, 刘清华, 张雄, 胡云华. GIS 支持下基于因子分析法的都汶路沿线地质灾害易发性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(3): 106-115.

[3] 祁生文, 伍法权, 严福章, 刘春玲. 岩质边坡动力反应分析[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

[4] 王衍飞. 昌都地区孜拉山交通廊道地温场分布及隧址区地热模拟研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2021.

[5] 易树健. 川藏铁路跨板块结合带区段基于 GIS 的工程地质分区研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2018.

[6] 张光政. 泸水县滑坡崩塌灾害特征分析与易发性区划研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2016.

[7] 张永双, 杜国梁, 姚鑫, 任三绍, 李金秋. 塔吉克斯坦 MS7.2 级地震滑坡危险性快速评估及其对我国西部边疆山区巨灾风险防控的启示[J]. 地质学报, 2023, 97(5): 1372-1382.

[8] 赵海军, 马凤山, 李志清, 郭捷, 张家祥. 基于 Newmark 模型的概率地震滑坡危险性模型参数优化与应用:以鲁甸地震区为例[J]. 地球科学, 2022, 47(12): 4401-4416.

[9] 赵瑞. 四川盆地南缘地形梯度带区域岩溶水系统研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2016.

[10] 周成虎,程维明,钱金凯,李炳元,张百平.中国陆地 1:100 万数字地貌分类体系研究[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6): 707-724.

ICS 07.060

CCS P 65

关键词：线状工程、不良地质作用、工程地质条件、工程地质区划、线路优化