ICS 07.060
P 65

团　　体　　标　　准

T/GSC 003—2023

构造混杂岩带铁路工程地质安全评价规范

Specification of engineering geosafety assessment for railway project in tectonic mélange belt

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、再版或使用本标准及其章节，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 2
4　基本规定 3
4.1 工作内容 3
4.2 工作要求 3
5 构造混杂岩带的识别与调查 4
5.1 一般规定 4
5.2 主要识别标志 5
5.3 基础地质调查内容 6
6 构造混杂岩带工程地质调查 6
6.1 一般规定 6
6.2 调查内容 6
6.3 调查方法 8
7 工程地质安全分区评价 9
7.1 一般规定 9
7.2 评价方法 10
7.3 地质风险单项评价 10
7.4 综合评价与精度要求 12
8 重要工点地质安全评价 12
8.1 一般规定 12
8.2 地质灾害评价 12
8.3 活动断层评价 13
8.4 隧道大变形评价 13
8.5 隧道高温热害评价 15
8.6 隧道涌水突泥评价 16

8.7 综合评价 17
9 成果编制与提交 17
9.1 数据整理 18
9.2 图件编制 18
9.3 报告编制 19
9.4 数据库建设 19
9.5 成果验收与提交 20
附录 A （资料性附录） 构造混杂岩带的物质组成和构造属性 21
附录 B （资料性附录） 构造混杂岩带地质图图式 22
附录 C （规范性附录） 构造混杂岩带岩体结构类型分类和岩体蚀变程度划分 23
附录 D （规范性附录） 构造混杂岩带不良地质作用活动性和危害性等级划分 25
附录 E （规范性附录） 岩体初始地应力分级 27
附录 F （规范性附录） 高地应力软岩地质特征 28
附录 G （规范性附录） 高地应力软岩变形潜势分级与围岩特征表 30
附录 H （规范性附录） 地质风险单项评价流程 31
附录 I （规范性附录） 地温预测校正方法 32
附录 J （规范性附录） 隧道涌水量计算和预测评价 33
附录 K （资料性附录） 工程地质安全评价成果 36
参考文献 38
条文说明 39

图 1 构造混杂岩带铁路工程地质安全评价工作流程图 4
图 A.1 构造混杂岩带的物质组成和构造属性示意图 21
图 B.1 金沙江构造混杂岩带地质图（主图） 22
图 B.2 金沙江构造混杂岩带图（辅图）——典型特征展示图 22

表 1 工程地质安全评价等级表 10
表 2 构造混杂岩带铁路工程地质灾害风险定性评价表 13
表 3 泥质软岩变形潜势分级 14
表 4 泥质软岩隧道大变形风险等级划分标准 14
表 5 构造软岩变形潜势分级 14
表 6 蚀变软岩变形潜势分级 14
表 7 隧道热害风险等级划分标准 16

表 8 隧道区段涌水量等级划分标准 16
表 9 隧道区段涌水突泥风险等级划分表 17
表 10 隧道整体涌水突泥风险等级划分标准 17
表 C.1 岩体结构类型分类 23
表 C.2 岩石的黏土化蚀变程度及其判别 24
表 D.1 构造混杂岩带铁路工程不良地质作用活动性等级划分表 25
表 D.2 构造混杂岩带不良地质作用危险性等级 26
表 E.1 岩体初始地应力分级表 27
表 F.1 软质岩坚硬程度的划分 28
表 F.2 薄层岩层厚度的划分 28
表 F.3-1 岩体完整程度划分 28
表 F.3-2 岩体节理发育程度划分 29
表 F.3-3 岩体结构面结合程度划分 29
表 F.3-4 岩体受地质构造影响程度划分 29
表 G.1 高地应力软岩变形潜势分级与围岩特征表 30
表 J.1 涌水量计算公式适用范围 34
表 J.2 隧道涌突涌水风险预测评价标准 35

前　言

本文件依据 T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

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

本文件起草人：张永双、李雪、王保弟、郭长宝、李向全、吴瑞安、周洪福、陈兴强、苗晓岐、冯涛、杨志华、刘俊飞、唐渊、王冬兵、王炀、马剑飞、刘峰、郑博文、钟宁、张春潮、张婉、李金秋、冉涛、梁宁、罗锋、任三绍。

考虑到本文件中的某些条款可能涉及专利，中国地质学会不负责对任何该类专利的鉴别。

本文件首次制定。

引　言

构造混杂岩带是板块俯冲碰撞过程中形成的复杂地质体，仅在我国青藏高原及周边地区就发育十余条，它们伴随后期演化又可转化为活动构造带、地震活跃带、高温地热活动带及地质灾害易发区，直接影响铁路工程建设的地质安全。近年来，随着我国铁路工程规划建设不断向复杂艰险山区延伸，与构造混杂岩带相关的铁路工程地质问题越来越突出，相应的工程地质安全评价与风险防控工作越来越受到重视。为贯彻落实“国家铁路局关于深化铁路建设工程安全生产风险防范化解工作的意见“（国铁工程监〔2022〕19 号）”，适应铁路工程的不同规划建设阶段要求，有必要开展构造混杂岩带铁路工程地质安全评价工作，力争将地质风险控制在可接受程度，并支撑重大工程地质风险防控的科学决策。

为规范和指导构造混杂岩带铁路工程建设地质安全评价工作，编制本文件。

本文件规定的工程地质安全评价不替代建设工程和规划各阶段的工程地质勘察或有关的评价工作。

构造混杂岩带铁路工程地质安全评价规范

1 范围

本文件规定了构造混杂岩带铁路工程地质安全评价的工作内容、基本要求、构造混杂岩带的识别与调查、构造混杂岩带工程地质调查、工程地质安全分区评价、重要工点地质安全评价、评价成果编制与提交等方面的技术要求。

本文件适用于铁路工程穿越构造混杂岩带的地质安全评价工作，也可供其他类似工程参考。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，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 50287 水力发电工程地质勘察规范

GB/T 11615 地热资源地质勘查规范

GB/T 32864 滑坡防治工程勘查规范

GB/T 40112 地质灾害危险性评估规范

GB/T 50123 土工试验方法标准

GB/T 50218 工程岩体分级标准

GB/T 958 区域地质图图例

DB/T 14 原地应力测量水压致裂法和套芯解除法技术规范

DZ/T 0097 工程地质调查规范（1：50 000）

DZ/T 0179 地质图用色标准及用色原则（1：50 000）

DZ/T 0273 地质资料汇交规范

DZ/T 0329 水文地质调查图件编制规范 第 1 部分：水文地质图（1：50 000）

NB/T 10512 水电工程边坡设计规范

SL/T 58 水文测量规范

SL 279 水工隧洞设计规范

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

TB 10049 铁路工程水文地质勘察规范

Q/CR 9006 铁路建设工程风险管理技术规范

Q/CR 9247 铁路隧道工程风险管理技术规范

Q/CR 9512 铁路挤压性围岩隧道技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

构造混杂岩 tectonic mélange

在板块俯冲碰撞过程中的构造刮削、拼贴作用形成的不同岩石组合体或其组成部分，通常由混杂岩块和混杂基质组成。

3.2

混杂岩块 block of mélange

构造混杂岩中变形较弱、结构相对完整、能有效恢复原岩属性的一种或多种岩石组分。

3.3

混杂基质 matrix of mélange

构造混杂岩中强烈变形的构造岩性组分或岩石组合。

3.4

构造混杂岩带 tectonic mélange belt

与构造混杂岩有成生联系的构造岩石组合体在空间上展布的地质条带。

3.5

黏土化蚀变岩 clayey altered rock

原岩石矿物在构造活动或热液作用下，使原岩的结构、成分发生改变，并形成含黏土矿物的蚀变岩。

3.6

地质风险 georisk

由于地质因素及其变化引起的、对工程建设工期、工程结构安全、人员设备安全等产生危害的可能性及其后果严重程度。

3.7

地质安全 geosafety

拟建或已建工程构筑物抵御不良地质作用的能力或状态。

3.8

地质安全要素 geosafety element

可能引起重大工程地质问题并造成一定危害或损失的地质因素。

3.9

地质安全评价 geosafety assessment

对工程规划建设中可能遇到的地质风险进行识别与评价，并结合防治难易程度给出地质安全性结果和风险防控建议的过程。

3.10

地质安全等级 geosafety level
综合考虑不同工程建设阶段的地质风险等级及防控难易程度而划分的等级序次。

3.11

不良地质作用 adverse geological process
对人类生命、财产及生态环境有不利影响的地质过程。

3.12

不良地质组合 unfavorable geological combination
能引起一种或多种工程地质问题的地质条件组合体。

3.13

隧道变形潜势 tunnel deformation potential
隧道围岩内部潜在应变能的强弱程度。

4 基本规定

4.1 工作内容

4.1.1 调查构造混杂岩带分布范围、物质组成和结构，区域地形地貌、地质构造、岩土体类型及其工程性质、水文地质特征和不良地质作用等工程地质条件，提供构造混杂岩带中各类工程地质岩组的主要物理力学参数。

4.1.2 调查构造混杂岩带引起的主要工程地质问题类型、分布和发展演化规律，评价其对铁路工程建设的影响程度。

4.1.3 按构造混杂岩带区段和重要工点，评价工作区的地质环境质量和内外动力作用影响下的构造混杂岩带铁路工程地质风险，给出地质安全性评价结果，提出风险防控对策建议。

4.1.4 本标准中活动断层评价不包括地震安全评价内容。

4.2 工作要求

4.2.1 工作尺度

a) 开展构造混杂岩带工程地质安全评价应先划定构造混杂岩带的范围或区间，分析其物质组成和构造属性，基本比例尺应不小于 1:50 000。
b) 工程地质安全分区评价，应厘定不良地质组合和重大地质风险，用于指导线路优化比选，基本比例尺应为 1:10 000～1:25 000，适用于可行性研究阶段。
c) 重要工点地质安全评价，应聚焦具体的地质风险类型，依据相关技术规范和专题研究成果进行专项评价，基本比例尺应不小于 1:2 000，适用于初步设计阶段。

4.2.2 工作流程

工程地质安全评价分为准备工作、野外调查与勘查、专题分析与评价、成果编制与提交等 4 个阶段，工作流程可按照图 1 执行。

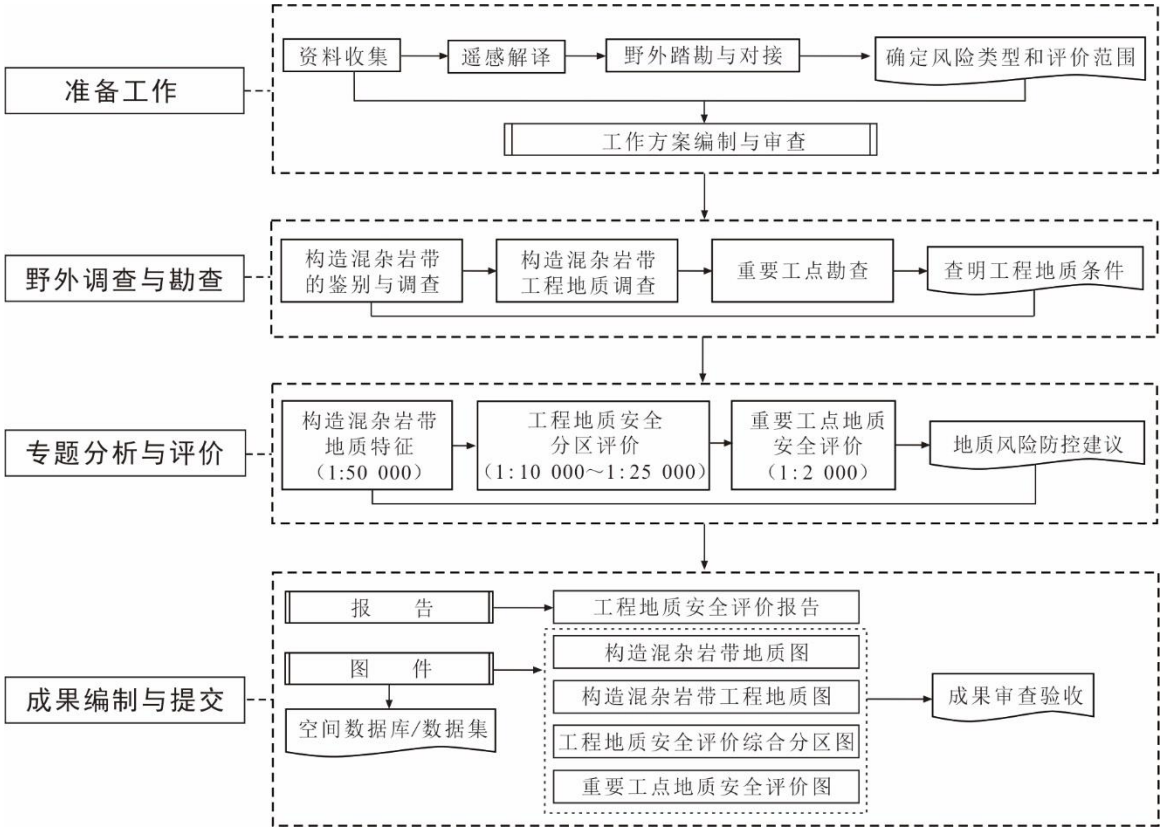

图1 构造混杂岩带铁路工程地质安全评价工作流程图

a) 准备工作阶段，结合铁路工程建设特点，根据不同阶段的要求，应确定工作区范围、工作尺度和构造混杂岩带调查评价内容。
b) 野外调查与勘查阶段，应根据搜集的资料和评价工作内容，开展构造混杂岩带相关的野外调查和勘查工作。
c) 专题分析与评价阶段，在室内对各类调查勘查成果进行分析研究，应明确各类地质风险评价指标，开展构造混杂岩带工程地质安全分区评价，针对具体的重要工点进行地质风险定量、半定量计算和评价。
d) 评价成果编制与提交阶段，应编制工程地质安全评价成果报告和附图，附图类型和比例尺应按照不同阶段的要求进行编制。

5 构造混杂岩带的识别与调查

5.1 一般规定

5.1.1 应在区域地质调查分析的基础上，确定构造混杂岩带在空间上的分布和范围。

5.1.2 经历相同增生、就位过程的构造混杂岩及有成生联系的地质体，应归并为同一构造混杂岩带，按照“时代+地名+混杂岩带”命名。

5.1.3 应准确识别构造混杂岩带的物质组成、构造属性、变形特征及期次，明晰工程建设区的孕灾地质背景。

5.1.4 应将可识别且可填绘的各类混杂岩块、混杂基质作为基本调查单元，在图面上分别采用岩性代号正体与斜体标注。

5.1.5 混杂岩块类型应按照三大岩类进一步划分，按“时代+主要岩性+形成环境”命名。

5.1.6 混杂基质类型应按照构造岩、变质岩的岩石或岩石组合细分，按“时代+主要岩性”命名。

5.2 主要识别标志

5.2.1 构造混杂岩带的界定

a) 应界定构造混杂岩带边界断层的位置和性质。
b) 具有以下特征的地质体可归入构造混杂岩带：
——由混杂岩块和混杂基质组成，具有“基质中包含岩块”的典型结构；
——内部多表现为无层序或总体无序、局部有序，不能按照地层叠置来建立内部层序的地质体；
——混杂基质普遍遭受脆-韧性剪切作用、劈理化明显，与混杂岩块间呈脆－韧性断层接触；
——混杂岩块出露规模不等，具有不同的岩性和构造属性，形成于不同的构造和沉积环境。
c) 构造混杂岩带由板块拼贴就位期有成生联系的不同地质体构成。

5.2.2 不同属性单元的鉴别

5.2.2.1 可根据以下岩石组合特征和附录A推断混杂岩块的构造属性：

a) 混杂岩块主要来自洋盆、活动大陆边缘、裂离地块和超高压-高压变质岩区等构造单元的一种或多种岩石组分。
b) 洋盆单元主要由洋壳残片、洋内弧岩块、洋岛海山岩块、浊积扇扇根砾岩楔岩块等构成。
——洋壳残片恢复的完整蛇绿岩层序包括地幔橄榄岩、堆晶岩、席状岩墙、枕状熔岩、放射虫硅质岩等岩石组合；
——洋内弧岩块主要有玄武岩、玻安岩、高镁安山岩等岩石组合；
——洋岛海山岩块主要由洋岛玄武岩、碳酸盐岩和塌积砾岩等岩块构成。
c) 活动大陆边缘单元主要由弧后盆地岩块、火山岛弧岩块、弧间盆地岩块、弧前碳酸盐海台岩块等构成。
——弧后盆地岩块主要岩石类型有碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩、弧后盆地蛇绿岩等；
——火山岛弧岩块主要岩石类型有玄武岩、安山岩、流纹岩、火山碎屑岩等；
——弧间盆地岩块主要岩石类型有碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩等；
——弧前碳酸盐海台岩块主要岩石类型有灰岩、碳酸盐、塌积砾岩等；
——浊积扇扇根砾岩楔岩块主要岩石类型有杂砾岩、粗粒杂砂岩等。
d) 裂离地块单元主要由裂离地块盖层岩块、裂离地块基底岩块等构成。
——裂离地块盖层岩块主要岩石类型有砂砾岩、灰岩、白云岩、大理岩等；
——裂离地块基底岩块主要岩石类型有各类片岩、片麻岩。
e) 超高压-高压变质岩区的岩块主要由蓝片岩、榴辉岩、榴闪岩等岩石组合等构成。

5.2.2.2 可根据以下岩石组合和附录A推断混杂基质的构造属性：

a) 混杂基质常遭受不同程度的变形变质，主要由远洋沉积岩和浊积岩等构成，次要为蛇绿岩

组分基质。

b) 远洋沉积岩主要由硅、灰、泥、碳、锰质建造及凝灰质岩石等组成，强烈变形后为硅泥质糜棱岩、钙质糜棱岩等。
c) 浊积岩主要有杂砂岩、砂板岩等岩石类型，强烈变形后为糜棱岩。
d) 蛇绿岩组分基质原岩是蛇绿岩组分，经强烈剪切变形而成，岩石组成通常是蛇纹岩、滑石菱镁片岩、绿片岩等。

5.3 基础地质调查内容

5.3.1 调查各类混杂岩块的规模及相互关系、产状、岩石或岩石组合类型、内部原生和变形构造、古生物化石特征，基本查明主要混杂岩块的形成时代和形成环境。

5.3.2 调查混杂基质岩石或岩石组合类型、古生物化石和变质变形特征，以及特殊类型基质的变质地质特征。

5.3.3 调查构造混杂岩带的构造变形样式，建立构造变形序列，分析主要构造期及时代。

5.3.4 调查分析构造混杂岩带各岩块、基质的时态、位态，划分混杂岩类型，研究其形成构造环境。

5.3.5 分析构造混杂岩带与其他相关构造岩石单元的时空配置关系，确定其成因联系及大地构造环境。

5.3.6 调查分析与工程有关的不良地质体性质及其空间分布特征，初步圈定软、硬岩分布区、岩溶分布区、强构造活动区、高地应力区等。

5.3.7 调查其他与构造混杂岩带相关的地质作用或地质现象。

5.3.8 对调查资料进行综合整理与分析，编制构造混杂岩带地质图，其图式可按附录 B 执行。

6 构造混杂岩带工程地质调查

6.1 一般规定

6.1.1 应在构造混杂岩带基础地质调查的基础上开展工程地质调查工作，同时搜集有关工程地质资料，包括遥感地质、不良地质作用、工程地质勘察、水文地质、活动断层等资料。

6.1.2 调查构造混杂岩带内岩土体类型及其工程特性，划分工程地质岩组，确定不良地质组合特征，提供各类工程地质岩组对工程影响评价的主要物理力学参数。调查时应考虑高海拔地区物理风化作用对有关参数的影响。

6.1.3 调查构造混杂岩带内特殊岩土体、活动断层、不良地质作用、地应力异常、构造岩溶、地温异常等可能引发地质风险的地质要素特征。

6.1.4 构造混杂岩带内已有重大工程建设的，应调查或走访隧道涌水突泥、高温热害和围岩大变形情况，以及边坡工程地质问题的特征和主要影响因素。

6.1.5 调查工作应重点关注制约工程建设的关键地段和工程地质问题，关于岩体强度、岩体结构类型及完整程度等常规的岩体工程地质调查工作按 GB/T 50218 执行，特殊岩土体调查按 TB 10038 执行，不良地质勘察按 TB 10027 执行。

6.2 调查内容

6.2.1 特殊岩土体调查

a) 调查构造混杂岩带中岩体蚀变类型和特征，确定黏土化蚀变岩的岩体质量等级。
b) 调查构造混杂岩带内强变形的软弱地层，包括千枚岩、板岩、片岩等的接触关系、空间分布及不良组合类型等。
c) 调查构造混杂岩带内断层影响带或构造软岩的水岩作用特征，划分断层泥、糜棱岩带、碎裂带等。
d) 调查构造混杂岩带的强卸荷风化土层的颗粒组成、矿物成分、包含物、结构构造及其物理力学性质等，物理力学性质测试按 GB/T 50123 执行。

6.2.2 活动断层调查

a) 搜集构造混杂岩带内全球导航卫星系统变形场，地震活动等观测资料，3 年及以上连续稳定的监测结果，可以作为判识活动断层现今活动性的参考依据。
b) 调查构造混杂岩带内断层空间展布特征，确定活动断层的位置、规模、活动性质、变形行为、分段特征、分支断层数量和变形带宽度等。
c) 根据断层露头或探槽、钻孔联合地质剖面中揭露的断层与第四纪地层的切错、覆盖关系，判别活动断层的时代。
d) 根据断层滑动速率、断层空间规模、断层错动地质-地貌体的最大位移和强震活动频率等，确定活动断层的活动强度。
e) 调查地震崩塌、滑坡、落石，地震液化等与断层活动有关的不良地质作用，分析其相互关系。

6.2.3 不良地质作用调查

a) 调查构造混杂岩带内不良地质作用及其产物的特征，包括崩塌、滑坡、泥石流、岩溶作用、冻融作用、冰川作用等，调查范围应做到坡到顶、沟到头。
b) 应按附录 C 调查崩塌所在斜坡的岩体结构类型，查明结构面发育程度及组合方式；调查断层对斜坡岩体结构、坡体内地下水分布等的影响。
c) 调查滑坡形态、规模，分析滑坡与构造混杂岩带内特殊岩性或岩体结构的关系，以及水岩作用特征。
d) 调查泥石流沟的地形地貌特征、物源特征、植被覆盖程度等，调查泥石流形成区、流通区、堆积区的展布特征，分析泥石流的物源分布、储量与构造混杂岩带的关系。
e) 根据构造混杂岩带所处的地理位置，补充其他不良地质作用的调查，包括：岩溶作用诱发的涌水突泥灾害，冻融作用下混杂岩体损伤特征、时效特征及累进成灾特征，冰川作用及冰-岩崩滑特征等。
f) 在各类不良地质作用调查的基础上，应按附录 D 确定其活动性和危害性等级。
g) 应考虑灾害链的可能性及影响因素。

6.2.4 地应力调查分析

a) 搜集构造混杂岩带的活动构造背景资料，分析区域构造应力场特征。
b) 调查构造混杂岩带地应力场特征，查明关键部位最大主应力方向和量值，分析最大主应力与地形地貌、地层岩性、大型断层等的关系。
c) 应重点分析高地应力对构造混杂岩带内高边坡和隧道围岩稳定性的影响。

6.2.5 隧道围岩大变形地质要素调查

a) 搜集和调查构造混杂岩带已有隧道围岩大变形案例，了解区内隧道围岩大变形的发育特征及相关因素。
b) 调查构造混杂岩带隧址区地质特征，确定隧道围岩大变形的软岩类型及分布规律，获取相关的岩石力学参数。
c) 调查隧址区水文地质条件，分析水岩相互作用对隧道围岩大变形的影响。
d) 应重点分析隧道埋深状态、穿越构造混杂岩类型，划分岩石强度、岩体结构和不良工程地质组合，结合隧址区地应力状态和水热地质条件，分析隧道围岩大变形的成因。初始地应力分级可按附录 E 执行，隧道围岩大变形的可能性及等级判别可按 Q/CR 9512 执行。

6.2.6 隧道高温热害地质要素调查

a) 搜集区域地温场背景资料，调查构造混杂岩带地表热显示及井孔温度，分析地温异常的形成条件。
b) 调查构造混杂岩带地热异常区的岩石结构与主要控热构造类型，确定控热构造的性质、规模及其组合关系，以及热储层的岩性组合、厚度、分布和埋藏特征。
c) 调查构造混杂岩带各热储层不同地段、不同深度的孔隙率、渗透性、热导率、比热容等热物性参数，分析地温场特征并确定地温异常区。
d) 调查构造混杂岩带代表性地热流体、常温地下水、地表水及大气降水地球化学组分和温度，分析地热流体的循环动力特征、补径排条件，估算代表性地热流体的热储温度。
e) 分析构造混杂岩带地热流体动态特征及其对铁路工程建设的影响。

6.2.7 隧道涌水突泥地质要素调查

a) 搜集区域气象、水文、水文地质资料，掌握区域气象、水文与地理条件。
b) 调查构造混杂岩带含水层与隔水层岩性和空间分布、含水层渗透特性，确定水文地质单元边界，划分地下水系统。
c) 应重点开展构造混杂岩带内的构造岩溶、宽大断裂带水文地质条件调查。
——调查构造岩溶发育区含水层裂隙、溶隙发育特征、岩溶管道充填情况，判断其与构造的关系；调查裂隙岩溶地下水水位埋深、水温、补给来源、补给方式、径流途径等，识别局部蓄水构造、富水区段和地下水主径流带。
——调查宽大断裂带的裂隙分布宽度、发育规模、产状，确定水文地质单元边界；调查裂隙地下水水位埋深、水温、补给来源、补给方式、径流途径等，识别局部蓄水构造和富水区段。
d) 依据集中排泄带井孔水位、构造岩溶泉与断裂带泉流量，划分水文地质单元的富水程度，水文地质单元的富水等级按照 DD2019-04 执行。
e) 对需要监测的地下水排泄点，宜开展不少于一个完整水文年的动态监测，分析地下水丰、枯水期水量变化及工程影响，监测方法按照 SL/T 58 执行。

6.3 调查方法

6.3.1 一般调查方法

a) 应充分搜集构造混杂岩带内已有的活动断层、区域地质、区域地震、区域地温场、区域水文地质等资料。
b) 应选取中、高分辨率光学卫星、航空遥感和 InSAR 数据作为遥感信息源，开展遥感解译工作。
c) 宜采用野外调查、航拍、走访询问等手段，对重点区段开展调查工作，查明主要地质风险

类型。

d) 宜沿构造、岩性变化较大的方向及工程线路的走向部署勘探点或勘探线，开展山地工程、钻探、物探等工作，查明混杂岩块与混杂基质的岩土体结构类型、蚀变程度等地质要素特征。勘查手段的使用、部署方式及精度按照 DZ/T 0097 执行。
e) 可采用原位地应力测试、数值模拟等手段，进行地应力场分析，圈出高地应力分布区段。
f) 综合分析调查结果，编制构造混杂岩带 1:10 000~1:25 000 工程地质图和工程地质剖面图，厘定不良地质组合，为相关地质风险评价提供依据。

6.3.2 重要工点调查勘察方法

a) 宜采用高精度遥感数据为遥感信息源，结合野外调查，对重要工点进行调绘，并制作高精度 DEM 图件。
b) 采用原位测试、室内测试等方法，查明不同蚀变程度、溶蚀程度和构造破碎程度及其组合条件下构造混杂岩的工程地质力学性质，每种岩性的力学强度指标不少于 6 组，并按照 GB 50021 的要求提出构造混杂岩强度指标。
c) 采用物探、钻探、山地工程等方法，查明软弱层和优势结构面、断层及影响带等地质要素，查明规划建设区域内构造岩溶的发育情况，为活动断层与工程断错、涌水突泥工程地质风险评价提供参数，具体要求按照 TB 10003 执行。
d) 可采用地应力测试与模型反演分析等方法，查明隧址区地应力场特征，编制隧道剖面地应力分布图，结合隧道围岩工程地质力学特性测试，高地应力软岩地质特征可按附录 F 执行，高地应力软岩变形潜势分级可按附录 G 执行。
e) 应按照 GB/T 11615 进行地热地质综合勘察，查明区域内水热活动特征与地温异常特征，确定热储、盖层、地热流体、控热构造、热储类型等地热地质要素。
f) 应采用水化学同位素数据测试、地下水动态监测、原位抽水/压水试验等方法，确定突水水源、补给通道等涌水突泥地质要素。
g) 调查重要工点内构造混杂岩不良地质组合与水文地质条件，编制重大崩塌、滑坡、泥石流等不良地质作用 1:2 000~1:5 000 平面图和剖面图，分析内外动力地质作用下工程岩体稳定性问题及其可能造成的灾害链类型，并依据 GB/T 40112 和 GB/T 32864 进行专项评价。
h) 可采用模型计算分析的方法，对重要工点存在的活动断层、不良地质作用、地应力、隧道大变形、隧道高温热害、隧道涌水突泥等地质风险进行数值模拟计算，并评价其风险程度。
i) 综合分析调查结果，编制重要工点 1:2 000~1:5 000 工程地质图，详细标注不良地质组合、主要岩土体力学强度参数、地应力空间分布特征、活动断层空间产状与影响宽度、地热异常带发育分布特征等，为重要工点地质风险定量评价提供依据。

7 工程地质安全分区评价

7.1 一般规定

7.1.1 应在构造混杂岩带工程地质岩组及不良地质组合划分的基础上，开展工程地质安全分区评价。

7.1.2 构造混杂岩带分区评价应体现平面与剖面相结合，为线路比选、优化提供依据。

7.1.3 对于可界定易损性或易损性具有明显区域差异的地质风险类型，宜开展定量风险评价。

7.1.4 对于不具备定量计算的地质风险类型，可采用定性-半定量方法进行评价。

7.1.5 应根据地质风险等级及其防治难度，确定工程地质安全等级，以反映工程建设适宜性。

7.1.6　地质风险管控应按 Q/CR 9006 和 Q/CR 9247 的要求执行。

7.1.7　风险评价结果应实地核查，对分区边界、风险等级、异常区等进行复核，核查比例应不低于30%。

7.2　评价方法

7.2.1　基于构造混杂岩带不良地质组合的分布特征，分析确定存在的地质风险类型。

7.2.2　先对构造混杂岩带可能存在的地质风险类型分别进行单项评价，然后进行综合评价。

7.2.3　针对单种地质风险，通过影响因素分析，遴选适宜的评价指标，依次开展易发性、危险性、易损性评价，在此基础上完成单种地质风险评价。评价流程应按照附录 H 执行。

7.2.4　当构造混杂岩带存在多种地质风险时，应在单项风险评价结果的基础上进行综合分析，获得工程地质风险综合分区评价结果，甄别各分区的主导风险类型。

7.2.5　结合拟建设工程的特点，确定各类地质风险的防治难易程度，采用不适宜、适宜性差、较适宜、适宜 4 个等级表达工程地质安全评价结果，具体按表 1 执行。

表1 工程地质安全评价等级表

等级	防治难度很大	防治难度大	防治难度中等	防治难度小
地质风险极高	不适宜	不适宜	适宜性差	较适宜
地质风险高	不适宜	适宜性差	较适宜	较适宜
地质风险中等	适宜性差	较适宜	适宜	适宜
地质风险低	适宜	适宜	适宜	适宜

7.3　地质风险单项评价

7.3.1　地质灾害风险

7.3.1.1 应通过调查和分析，确定构造混杂岩带常见地质灾害类型，包括滑坡、崩塌、泥石流和岩溶塌陷等。

7.3.1.2 根据各类型地质灾害的孕灾地质条件，分别确定不同的评价指标，开展地质灾害易发性评价。

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。

——地形地貌可用地形坡度、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。

——地质构造可用断层影响带宽度、距断层距离等表征。

——工程地质岩组可用岩石建造、岩体结构和强度等表征。

——斜坡结构可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。

——已发生滑坡可作为易发性评价的重要参考。

b)　崩塌包括落石、危岩体、冰-岩崩等，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。各指标的次级指标同滑坡。

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。

——地形地貌可用流域面积、沟床比降、相对高差表征。

——地质构造可用沟谷流域内断裂长度表征。

——工程地质岩组的次级指标同滑坡。

——已发生泥石流可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、覆盖层厚度、覆盖层结构、地下水丰富程度等。

——岩溶发育程度可用钻孔遇洞率、线岩溶率、土洞率表征。

——覆盖层结构可用单层结构、双层结构、多层结构表征。

——覆盖层厚度和地下水丰富程度可根据测量数据进行划分，无测量数据的，可进行定性划分。

——已发生岩溶塌陷区可作为易发性评价的重要参考。

7.3.1.3 构造混杂岩带地质灾害多为复合型灾害，且具有多期次性，易形成灾害链，在风险评价时应考虑灾害链的复合性和放大效应等因素影响。

7.3.2 活动断层风险

a) 根据活动断层调查结果，确定评价指标，应包括断层性质、断层规模、活动时代、最大位错量等。
b) 断层性质可分用正断、逆断和走滑表征。
c) 断层规模可用长度、宽度表征，断层两侧可进一步划分强影响区、较强影响区、中等影响区和弱影响区。
d) 活动时代可分为晚更新世和全新世。
e) 最大位错量可采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。
f) 活动断层周边已有历史地震震级应作为重要参考。

7.3.3 隧道围岩大变形风险

7.3.3.1 在构造混杂岩带调查的基础上，应确定构造混杂岩带可能出现围岩大变形的软质岩和断裂破碎带等的分布范围。

7.3.3.2 基于隧道围岩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) 围岩类型应考虑泥质软岩、蚀变软岩、构造软岩三种类型，次级指标应包括单轴抗压强度、物质组成、岩体结构等。
c) 隧道埋深，根据地形地貌和隧道层面确定埋藏深度。

7.3.4 隧道高温热害风险

7.3.4.1 全面收集重要区段范围内的地质、水文地质、地热地质资料，综合分析区域地热地质条件的基础，划分可能出现高温热害的类型，包括干热型、水热型和干热-水热混合型隧道高温热害。

7.3.4.2 根据不同的热害类型，应分别确定不同的评价指标。

a) 干热型隧道热害的指标应包括隧道埋深、大地热流、岩体热物性参数。其中，岩体热物性

参数用热导率、放射性生热率、孔隙度、含水率表征。

b) 水热型、干热-水热混合型隧道热害的指标应包括区域地热显示、构造、热储层、导热水通道、水化学特征等。
——构造可分为断层、节理、褶皱等。
——热储层可用岩性、破碎程度表征。

7.3.5 隧道涌水突泥风险

a) 根据水文地质调查结果，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。
b) 地形地貌可用坡度、坡向和地貌类型作为评价指标
c) 气象水文可分别用区域降水量、蒸发等气象条件，河流、湖泊、冰川等地表水文条件作为评价指标。
d) 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，应至少包含断层性质、断层规模、褶皱部位、构造裂隙率、裂隙充填情况等评价指标。
——针对构造岩溶含水介质，应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评价指标。
e) 含水层富水性应基于地下水排泄量或现场试验数据判断，富水性等级可按照 DZ/T 0329 表 A.1 执行。

7.4 综合评价与精度要求

7.4.1 在地质风险单项评价的基础上，根据“就高不就低”的原则，开展工程地质风险综合分区评价，并按表 1 的要求获得工程地质安全分区综合评价结果。工程地质安全评价等级为“不适宜”的，经治理后可变为“较适宜”。

7.4.2 各项评价精度应与工程地质调查精度一致，达到相应比例尺的要求。

7.4.3 评价栅格单元应不小于 20m×20m。

8 重要工点地质安全评价

8.1 一般规定

8.1.1 在构造混杂岩带地质风险分区评价的基础上，结合拟建工程特点筛选地质风险较高的重要工程场地，开展地质风险评价和地质安全评价工作。

8.1.2 重要工点地质安全评价应基于地质背景分析、场地条件调查与测绘、岩土性质测试等工程地质勘察资料，采用半定量与定量相结合的方法，对可能的地质风险分别进行评价。

8.1.3 当某一重要工点存在多种地质风险时，须进行综合评价与分析。

8.1.4 根据综合地质风险和防治难易程度，确定重要工点地质安全等级。

8.2 地质灾害评价

8.2.1 结合重要工点范围内的地质环境和拟建工程设计资料，采用现场调查、历史统计、经验公式和数值模拟等方法，明确地质灾害隐患类型，并定量或定性评价地质灾害隐患点的稳定性。

8.2.2 结合拟建工程设计，初步圈定滑坡、崩塌、泥石流、岩溶塌陷等灾害体潜在影响范围。

8.2.3 分析预测地质灾害对拟建工程的危害程度。

8.2.4 分别对天然、暴雨、多遇地震、罕遇地震以及工程荷载等工况下地质灾害隐患的稳定性和演化趋势进行评价。暴雨工况应包括 50 年一遇和 100 年一遇。

8.2.5 根据地质灾害活动性和地质灾害危险性，计算风险性，按表 2 确定地质灾害风险等级。其中，地质灾害危险性和活动性等级划分应按附录 D 执行。

8.2.6 高边坡作为一类隐患点，其工程稳定性调查评价以及工程处理措施可参考 NB/T 10512 和 GB50287 中附录 J。

表2 构造混杂岩带铁路工程地质灾害风险定性评价表

等级	活动性极高	活动性高	活动性中等	活动性低
危险性极高	极高	极高	高	中
危险性高	极高	高	中	中
危险性中等	高	高	中	低
危险性低	中	中	低	低

8.3 活动断层评价

8.3.1 应按照 GB 50021 规定的岩土工程勘察等级为甲级的工程对待。

8.3.2 影响距离按甲级工程和活动断层时代综合考虑。

a) 对于全新世活动断层，判定地质风险方法如下：
——当工点与断层破裂带边界距离≤100m 时，地质风险极高；
——当工点与断层破裂带边界距离 100m～200m 时，地质风险高；
——当工点与断层破裂带边界距离 200m～300m 时，地质风险中等；
——当工点与全新世断层破裂带距离>300m，地质风险低。
b) 对于晚更新世活动断层，宜降一级处理或专门研究。

8.4 隧道大变形评价

8.4.1 应根据调查和勘察资料，分析确定隧道围岩类型及其地质力学属性，并分别按照泥质软岩、构造软岩、蚀变软岩进行隧道大变形风险评价。

8.4.2 泥质软岩隧道大变形评价

a) 泥质软岩是指黏土矿物含量高、抗压强度低、崩解特性明显的泥质沉积岩及其变质产物。
b) 泥质软岩变形潜势应综合考虑岩体完整性和岩层厚度等因素，按照表 3 综合判定。
c) 泥质软岩隧道大变形风险等级综合考虑变形潜势和岩体强度应力比，按照表 4 确定。

8.4.3 构造软岩隧道大变形评价

a) 构造软岩主要包括构造作用形成的断层破碎带、节理密集带和褶皱核部及转折端的岩体。
b) 构造软岩变形潜势应综合考虑构造软岩类型、岩层厚度和岩石天然单轴抗压强度等因素，按照表 5 综合判定。
c) 构造软岩隧道大变形风险等级应综合考虑变形潜势和岩体强度应力比，按照表 4 确定。

表3 泥质软岩变形潜势分级

岩体完整程度	岩层厚度			
	中厚层及块状	较薄层	中薄层	极薄层
较完整-完整	低	低	低	低
较破碎	低	轻微	轻微	轻微
破碎	低	轻微	中等	强烈
极破碎	/	中等	强烈	强烈

注：根据岩层产状、地下水、岩石坚硬程度等因素进行修正。

表4 泥质软岩隧道大变形风险等级划分标准

风险等级	低	中等	高	极高
变形潜势	轻微-低	中等	强烈	极强烈
岩体强度应力比 R_{cm}/σ_{max}	$0.20<G_N\leqslant0.30$	$0.15<G_N\leqslant0.20$	$0.10<G_N\leqslant0.15$	$G_N\leqslant0.10$

注：G_N—岩体强度应力比，为岩体抗压强度 R_{cm} 和岩体最大初始地应力 σ_{max} 的比值。

表5 构造软岩变形潜势分级

构造软岩类型	岩层厚度	岩石天然单轴抗压强度 R_c/MPa			
		$R_c\leqslant5$	$5<R_c\leqslant15$	$15<R_c\leqslant30$	>30
断层破碎带	薄层	极强烈	极强烈	强烈	强烈
	中厚层	极强烈	强烈	强烈	强烈
节理密集带	薄层	极强烈	中等	轻微	轻微-低
	中厚层	中等	轻微	轻微-低	低
褶皱核部及转折端	薄层	强烈	中等	轻微	轻微~低
	中厚层	中等	轻微	轻微~低	低

8.4.4 蚀变软岩隧道大变形评价

a) 蚀变软岩主要为沿节理裂隙发生黏土化蚀变的岩体，蚀变程度的等级按照附录 C.2 进行划分。
b) 蚀变软岩变形潜势应综合考虑岩体完整程度、蚀变软岩夹层厚度及连续性、蚀变程度等因素，按照表 6 进行综合判定。
c) 蚀变软岩隧道大变形风险等级应综合考虑变形潜势和岩体强度应力比，按照表 4 确定。

表6 蚀变软岩变形潜势分级

岩体完整程度	蚀变软岩夹层厚度及连续性							
	薄膜填充	断续填充	连续填充			厚层填充		
			弱蚀变	中等蚀变	强蚀变	弱蚀变	中等蚀变	强蚀变
较完整-完整	低	低	低	轻微	轻微	低	轻微	中等
较破碎	低	低	轻微	中等	强烈	轻微	中等	强烈
破碎	轻微	中等	中等	强烈	强烈	中等	强烈	极强烈
极破碎	中等	强烈	强烈	强烈	极强烈	强烈	极强烈	极强烈

8.4.5 对于高地应力软岩隧道大变形评价，大变形风险等级应综合考虑变形潜势和岩体强度应力比，按照表 4 确定。

8.5 隧道高温热害评价

8.5.1 对开展工程地质安全分区评价中，隧道高温热害危险等级高及以上级别区域进行热害详细勘察，结合隧址区地热地质条件，采用传导型或对流型地温预测方法开展隧道地温预测，确定风险等级。

8.5.2 传导型地温预测方法

a) 适用条件为无断裂存在，以传导形式增温的隧道区域。

b) 采用式(1)计算大地热流值 Q。

$$Q=-\lambda\cdot G \tag{1}$$

式中：

G：钻孔测温段内的地温梯度（℃/km）；

λ：热导率（W/m·K）。

c) 确定恒温带温度 T_0 和深度 H_0。T_0 和 H_0 可通过深度为 50m～100m 的浅井地温监测获得。在无监测资料的地区，T_0 可以当地年平均气温代替，H_0 一般为 20m～30m。

d) 逐层或逐段岩温预测

按照岩性将隧道中由恒温带向下的岩层分为不同的层段，采用传导型增温公式(2)逐层计算，获得目标层段的地温。

$$\begin{aligned} T_i&=T_0+G_i（H_i-H_0） \\ T_{i+1}&=T_i+G_{i+1}（H_{i+1}-H_i） \\ T_{i+2}&=…… \end{aligned} \tag{2}$$

式中：

T_i、T_{i+1}、T_{i+2}：隧道某深度H_i、H_{i+1}、H_{i+2}（km）处的地温（℃）；

H_0：恒温带深度（km）；

Gi：H_0～H_i段岩层的地温梯度（℃/km）。

e) 开展地温预测校正，校正方法应按附录 I 执行。

8.5.3 对流型地温预测方法

a) 对于有温泉、断层分布、断层周边地热对流显著的地区，应采用对流型方法进行地温预测。

b) 计算热储温度 T 与热储深度 H。

——热储温度T可通过地球化学地热温标方法获得，具体方法按照GB/T 11615执行。

——结合公式(2)，逐层计算获得热储深度H。

c) 隧道地温预测

隧道内断层周边某点的温度可采用公式(3)进行预测。

$$T_z=T_0+（T-T_0）/（H-H_0）\cdot（H_z-H_0） \tag{3}$$

式中：

T_z：隧道内断层周边某点的温度（℃）；

T_0：该温泉的泉口温度或地热井的出水层位热水温度（℃）；

Hz：隧道内断层周边某点的埋深；H为热储深度(km)；

H_0：该温泉的泉口埋深（H_0=0）或地热井的出水层位埋深（H_0≠0，单位km）。

8.5.4 隧道高温热害风险评价

8.5.4.1 隧道热害风险等级应根据预测岩温参照TB 10027，按照表7确定。

表7 隧道热害风险等级划分标准

风险等级	低	中等	高	极高
原始岩温T/℃	28＜T≤37	37＜T≤50	50＜T≤60	T＞60

8.5.4.2 对于海拔3000m及以上的高原地区，风险等级提高一级。

8.6 隧道涌水突泥评价

8.6.1 依据水文地质调查资料，先进行隧道分段涌水突泥风险评价，再依据分段评价结果对隧道整体进行风险评价，评价采用“就高不就低”的原则。

8.6.2 隧道区段涌水突泥风险评价

8.6.2.1 应依据水文地质单元、重要地质构造和主要地表水体等进行区段划分，单一区段长度应不大于隧道总长度的1/10。

8.6.2.2 区段涌水突泥风险评价应在隧道水文地质条件评价和涌水量计算结果的基础上进行。

8.6.2.3 隧道水文地质条件评价宜采用层次分析法，评价标准按照附录J执行。

8.6.2.4 对可能突水区段，应分别计算隧道正常涌水量和最大涌水量。

a) 正常涌水量计算方法包括简易水均衡法、地下水动力学法、水文地质比拟法、同位素计算法等。各方法计算公式应参照 TB 10049 和附录 J。
b) 在水文地质参数资料满足的情况下，可采用地下水数值模拟方法开展隧道涌水量预测。
c) 隧道区段涌水量等级应根据隧道最大涌水量和单位长度正常涌水量，按照表 8 进行判定。

表8 隧道区段涌水量等级划分标准

隧道区段涌水量等级	小	中等	大	极大
最大涌水量（m^3/d）	＜10	10～1000	1000～10000	＞10000
单位长度正常涌水量[$m^3/(d\cdot m)$]	q_x＜0.1	0.1≤q_x＜1.0	1.0≤q_x＜5.0	q_x≥5.0

8.6.2.5 隧道区段涌水突泥风险等级应根据隧道水文地质条件评价得分和隧道区段涌水量等级，按照表9确定。

8.6.2.6 选取评判标准的最高等级，作为隧道区段涌水突泥风险等级。分段风险评价结果应明确说明极高、高风险段的位置（精确到米）、风险指标和该段涌水量的判别数据。

表9 隧道区段涌水突泥风险等级划分表

风险等级	低	中等	高	极高
评判标准	得分S			
	S＜1.6	1.6≤S＜3.2	3.2≤S＜4.8	S＞4.8
	隧道区段涌水量等级			
	小	中等	大	极大
灾害特征	隧道涌漏水甚微或无	隧道涌漏水较少，对围岩稳定性有一定影响	隧道涌漏水较大或泥砂涌出	隧道涌漏水甚大或突然涌水或泥砂大量涌出

8.6.3 隧道整体涌水突泥风险评价

8.6.3.1 计算隧道整体正常涌水量和隧道单位长度正常涌水量，计算方法同章节8.6.2.4。

8.6.3.2 依据隧道整体正常涌水量和隧道单位长度正常涌水量，结合隧道区段评价等级，按照表10确定隧道整体涌水突泥风险等级。

表10 隧道整体涌水突泥风险等级划分标准

隧道涌水量等级	低	中等	高	极高
隧道区段涌水突泥风险等级	所有等级为“低”	最高等级为“中等”	“极高”占总里程＜15%或最高等级为“高”	“极高”占总里程≥15%
隧道整体正常涌水量Q_s（m^3/d）	＜1000	1000～10000	10000～100000	＞100000
隧道单位长度正常涌水量q_x[$m^3/(d \cdot m)$]	q_x＜0.1	0.1≤q_x＜1.0	1.0≤q_x＜5.0	q_x≥5.0

8.6.4 通过对钻孔、泉点、地表水水面高程的测量，获取静水头数值。根据含水介质类型、隧道设计与水头作用位置，确定局部水头损失系数，并计算隧道各区段受到的外水压力。判别与计算过程应按照 SL 279 执行。

8.6.5 在宽大断裂带、构造岩溶区等易出现突水风险区，应结合隧道穿越的岩层类型、裂隙发育情况、充填物的物质成分、颗粒级配、厚度、胶结程度、富水性和崩解软化特性，判别突泥风险。

8.7 综合评价

8.7.1 重要工点地质风险综合评价等级划分为极高、高、中等、低 4 级。

8.7.2 当某重要工点同时存在多种地质风险时，综合评价应按“就高不就低”的原则判定风险等级。

8.7.3 工程地质安全综合等级根据地质风险等级和防治难度确定，应按表 1 划分为适宜、较适宜、适宜性差和不适宜四个等级。工程地质安全评价等级为“不适宜”的，经治理后可变为“较适宜”。

8.7.4 应根据地质风险类型和地质安全性综合评价结果，提出针对性的风险防控对策建议。

9 成果编制与提交

9.1 数据整理

9.1.1 数据整理应充分利用已有基础数据资料、地质调查数据资料和相关分析研究成果，按照构造

混杂岩带铁路工程地质安全评价的需求进行整理。

9.1.2 应根据铁路工程规划建设的需求，整理相应精度的数据资料。

9.1.3 数据资料应包括地理数据、遥感数据、地质数据、地球物理数据、岩土体物理力学性质、铁路工程线路方案等基本数据、调查研究和实验测试数据，资料应要素齐全，包含元数据、坐标系统、属性、参数、数据来源等基本要素。

9.1.4 数据资料应符合国家基本比例尺、国家坐标系统等基本要求，符合地理、地质、物探、遥感、测试、铁路等专业数据要求。

9.2 图件编制

9.2.1 一般规定

9.2.1.1 应编制基本要素图、构造混杂岩带地质图、构造混杂岩带工程地质图、工程地质安全评价综合分区图和重要工点工程地质安全评价图等，以及相应的图件说明书。

9.2.1.2 按照铁路工程规划建设的进度阶段，编制不同精度的图件。

9.2.1.3 铁路工程可研阶段，图件比例尺1:10 000~1:25 000；铁路工程设计阶段，图件比例尺1:2 000。

9.2.2 构造混杂岩带地质图

9.2.2.1 构造混杂岩带地质调查和资料整理完成后，应编制构造混杂岩带地质图，其中图式、图例按GB/T 958执行，用色标准、用色原则按DZ/T 0179执行。图面表达内容须客观真实，可用不同类型的线表达界线的可信度。

9.2.2.2 图件成图过程中，应在岩性填图的基础上优先勾绘出混杂岩块，合理表达混杂岩块的形态与边界属性，然后按新老顺序勾绘不同级别、期次脆-韧性断裂构造的截切关系，最后填充混杂基质岩性及构造面理花纹的。

9.2.2.3 应在图框外布置图例、岩石特征表、岩浆岩序列图、图切剖面、简要说明等。可附其他反映工作区地质特点和重要研究成果的图、表。

9.2.2.4 图切剖面或实测剖面应选在反映区域地质构造最为系统完整，地质现象最为丰富、最有代表性的部位，同时应兼顾工程线路位置。图切剖面深度应根据铁路轨道设计高程确定。

9.2.3 构造混杂岩带工程地质图

9.2.3.1 应采用主图与镶嵌图、说明表相结合的表示方法，采用标准数字线划地图为底图，简化地理背景、地名等要素。

9.2.3.2工程地质图应包括平面图、剖面图、图例、必要的镶图等。

9.2.3.3 工程地质平面图应综合反映构造混杂岩带工程地质特征、主要工程地质问题、不良地质作用、工程地质条件分区和主要岩土体物理力学参数等。

9.2.3.4 工程地质剖面图应反映构造混杂岩带主要地层岩性、工程地质岩组，主要工程地质问题和钻探、物探等野外调查、测绘成果。

9.2.3.5 工程地质柱状图应反映地层时代、层序、岩性、工程地质岩组、岩土体物理力学参数等。

9.2.4 工程地质安全评价综合分区图

9.2.4.1 应按照铁路工程规划建设区，结合工程规划建设需求编制，采用主图与镶嵌图、说明表相结合的表示方法，以基础地理、铁路工程要素为底图。

9.2.4.2 工程地质安全评价综合分区图应包括平面图、剖面图、评价分区说明表、镶图、图例和比例尺等。

9.2.4.3 平面图应综合反映影响工程地质安全性、技术可行性、环境协调性的主要工程地质安全问题和要素，采用综合分区表达或分要素表达，明确分区等级和依据。

9.2.4.4 剖面图应综合反映铁路沿线主要工程地质问题和工程地质安全分段等级。

9.2.5 重要工点工程地质安全评价图

9.2.5.1 应明确反映地质风险类型、影响范围和地质安全评价等级。

9.2.5.2 当重要工点设计的场地范围较大时，应专门编制附图。

9.2.5.3 当工点范围局限时，可采用报告插图形式。

9.2.5.4 图内可适当增加风险防控对策方面的内容。

9.2.6 其他

可根据情况，提交重要地质风险要素的专题图件。

9.3 报告编制

9.3.1 应在综合分析构造混杂岩带地质背景的基础上，分析构造混杂岩带工程地质特征和地质风险，开展工程地质安全分区评价和重要工点地质安全评价，编制成果报告。

9.3.2 可按照附录 K 提供的提纲，编写成果报告。

9.3.3 应对照工程地质安全评价图，编写图件说明书。

9.3.4 成果报告和说明书应资料完整、真实准确、数据无误、图表清晰、结论有据、建议合理、便于使用。

9.4 数据库建设

9.4.1 空间数据库以铁路规划建设区为空间范围，采用矢量和栅格数据存储方式。工程地质安全评价成果图件可根据实际需要，在不影响精度和质量的前提下，对图面要素进行适当补充、修订和取舍，以便突出重点。

9.4.2 空间数据库坐标系统应使用 2000 国家坐标系，不一致的坐标系统应进行投影变换。

9.4.3 应根据数据规模、类型及特征的差异，采用点、线、面表征，按照不同数据类别形成单要素图层，建立各要素属性表。

9.4.4 空间数据库应包括地理、遥感、地质、地球物理、岩土体物理力学性质、评价成果等基础图层数据及元数据。

9.4.5 数据量较少时，应形成数据集；数据丰富时，宜形成数据库。均应与报告、图件一并提交。

9.5 成果验收与提交

9.5.1 成果验收

a) 成果报告审查验收应依据项目合同、设计书以及相关技术标准和要求进行。审查验收内容包括：成果报告的完整性、合理性、真实性和实用性，各项工作成果是否符合方案及本文件的要求，图件内容和要素是否准确齐全，数据库是否齐全完整，成果是否达到了预期目标。
b) 成果报告评审结束后，组织评审单位签署评审意见书。对评审意见书提出的各项问题，项目承担单位应在规定时间内修改补充完善。

9.5.2 成果提交

成果提交应包括纸质、电子文档，内容包括成果报告、成果图件、数据库和典型照片集等。

附 录 A
（资料性附录）
构造混杂岩带的物质组成和构造属性

A.1 构造混杂岩带的物质组成和构造属性

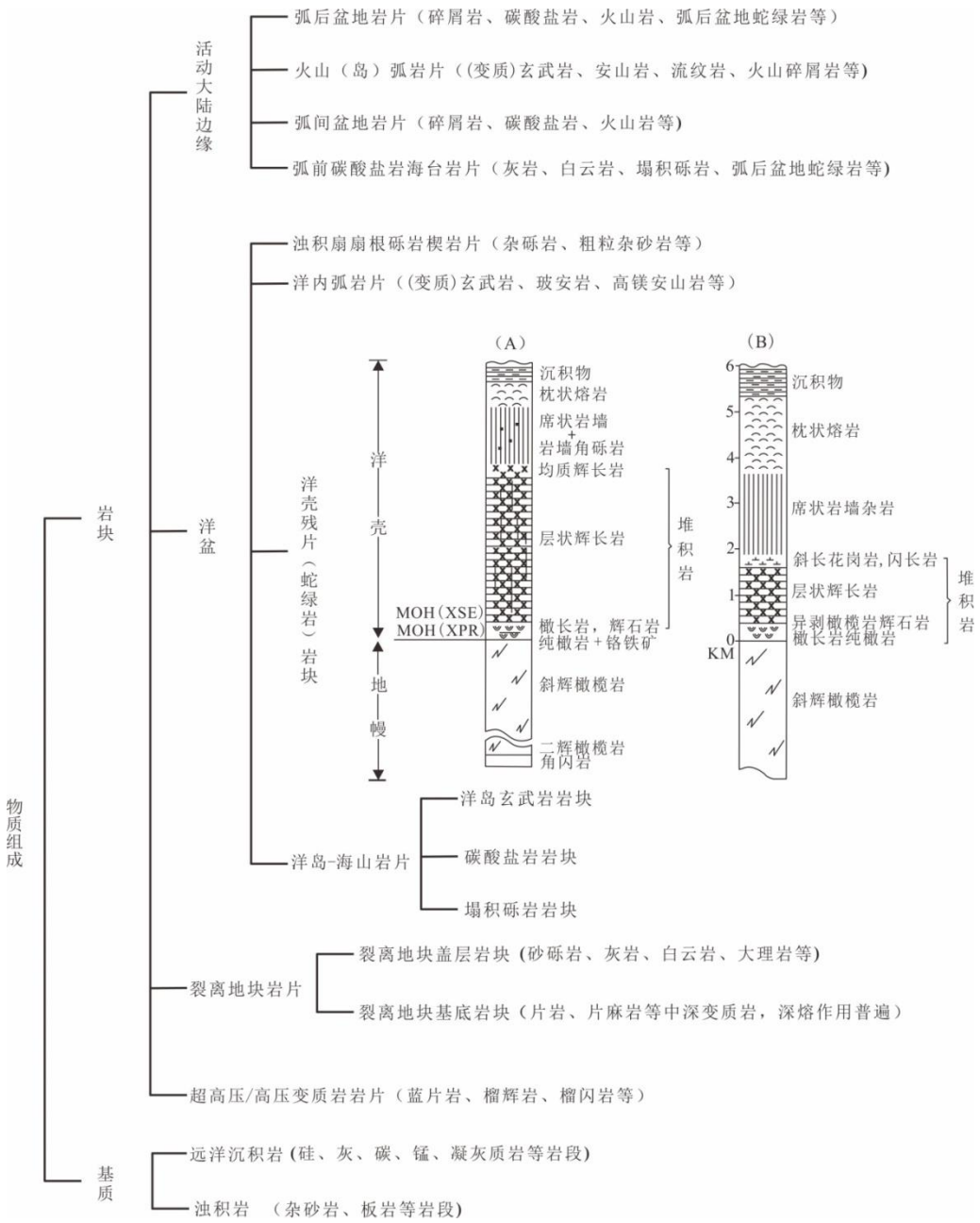

图 A.1 构造混杂岩带的物质组成和构造属性示意图

附　录　B
（资料性附录）
构造混杂岩带地质图图式

B.1　图名

XX 构造混杂岩带地质图

B.2　主图

主图居中，表达构造+岩性实体，反映客观地质实体的空间分布。

B.3　辅图及简要说明（位置可依据具体情况合理安排）

图切剖面、航磁图、遥感图、物性图等反映地质实体空间分布的图件。图切剖面置于主图正下方，其他附图置于主图右侧。构造混杂岩带综合图、构造演化图等反映地质演化规律的图件，置于主图的左侧。

B.4　图例与标注

图例置于主图右侧，应有详细文字说明。主图和辅图均应标注比例尺。

B.5　样式图例

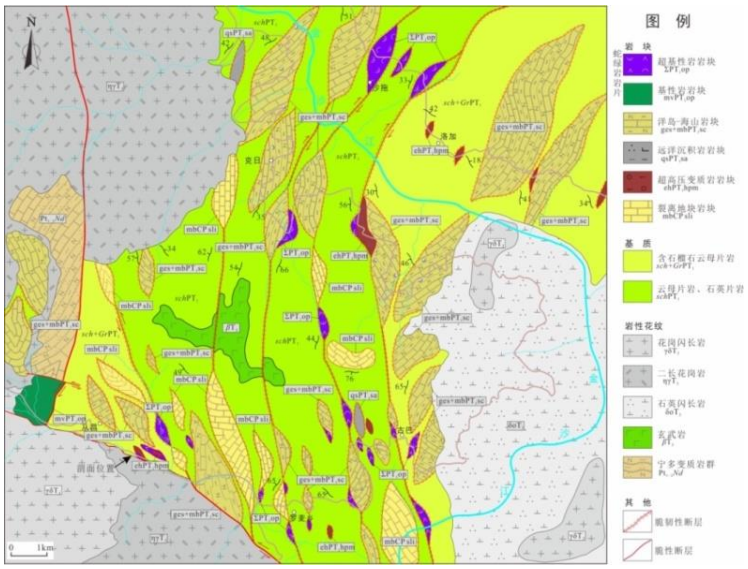

图 B.1　金沙江构造混杂岩带地质图（主图）

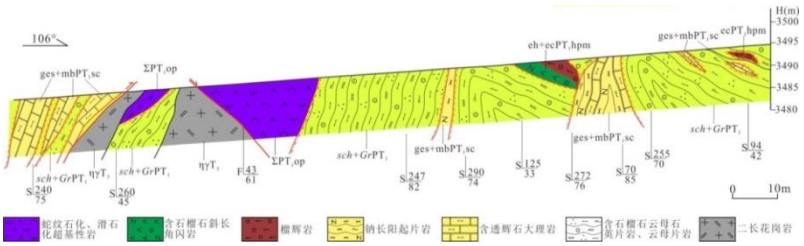

图 B.2　金沙江构造混杂岩带图（辅图）——典型特征展示图

附 录 C
（规范性附录）
构造混杂岩带岩体结构类型分类和岩体蚀变程度划分

C.1 构造混杂岩带构造混杂岩带岩体结构类型见表 C.1。

表 C.1 岩体结构类型分类

岩体结构类型		地质背景	结构体特征	结构面特征	岩体工程特征	可能发生的工程问题
薄层状结构		构造影响较重-严重，多韵律的薄层或薄层夹中厚层，岩层厚度一般小于等于10cm，在构造作用下，发生强烈褶曲和层间错动	碎石状、薄层状、板状、薄板状、片状	层理、片理、节理发育，原生软弱夹层、层间错动和小断裂时有出现，结构面间距一般为 0.2～0.4m 结构面多为泥膜、碎屑和泥质充填	接近均一的各向异性，其变形和强度特征受层面及岩层组合控制，可视为弹塑性体，稳定性差	不稳定结构体可产生滑塌，特别是岩层的弯曲破坏及软弱岩层的塑性变形
碎裂结构	镶嵌结构	构造影响严重，一般发育于脆硬岩层中，结构面组数较多，密度较大	以规模不大的结构面为主，但组数多，密度大，延续性差，闭合无填充或充填少量碎屑	形状不规则，菱角显著	完整性破坏大，整体强度低，受构造结构面控制，稳定性差	不稳定结构体可产生滑塌，易引起岩体失稳或变形
	层状碎裂结构	构造影响较重-严重，受构造裂隙切割的层状岩体	以层面、软弱夹层和层间错动面等为主，构造裂隙发育	以碎石（角砾）状、板状、短柱状为主	完整性破坏较大，整体强度低，稳定性差	易引起岩体大变形
	碎裂结构	构造影响严重，岩性复杂，构造破碎较强烈	延续差的结构面，密度大，相互交切	碎屑和大小不等的岩块，形状多种，不规则	完整性破坏大，整体强度很低，受构造结构面控制，多呈弹塑性介质，稳定性很差	易引起岩体失稳，地下水加剧岩体失稳
散体结构		构造影响很严重，构造破碎带	裂隙和节理很发育，无规则	岩屑、角砾、碎片、碎块、岩粉	完整性遭到很大破坏，稳定性极差，岩体属性接近松散体介质	易引起规模较大的岩体失稳，地下水加剧岩体失稳

C.2　岩石的黏土化蚀变程度及其判别见表 C.2。

表 C.2 岩石的黏土化蚀变程度及其判别

蚀变程度	宏观表现特征	蚀变系数
弱蚀变	基本保留原岩结构，呈致密块状，锤击声较清脆、回弹大、不易击碎，浸水后无明显崩解	ξ≦0.2
中等蚀变	部分原岩结构破坏，呈透镜状碎块，锤击声闷、轻微回弹、易击碎，浸水后强度降低且部分崩解	0.2＜ξ≦0.5
强蚀变	原岩结构破坏，整体呈松散土状夹原岩碎石，手捏即碎，锤击有松软感、凹痕、无回弹等特征，浸水后呈雾状快速崩解	0.5＜ξ≦1.0

注：蚀变系数ζ为岩块干燥饱和吸水率与<0.005mm 岩粉吸水率的比值。

附 录 D
（规范性附录）
构造混杂岩带不良地质作用活动性和危害性等级划分

D.1 构造混杂岩带不良地质作用活动性等级划分见表 D.1。

表 D.1 构造混杂岩带铁路工程不良地质作用活动性等级划分表

活动性等级	不良地质作用主要类型与特征			
	崩塌	滑坡	泥石流	岩溶
极高	临空，坡度陡，进一步变形发展趋势明显。有季节性泉水出露，岩土潮湿-饱水。坡面上有多条新发展的裂缝，贯通性强，其上建筑物、植被有新的变形迹象。结构面发育，存在软弱结构面或易滑组合块体。可见裂缝或明显位移迹象，有积水或存在积水地形。裂隙水和岩溶水发育，具多层含水层。	滑坡前缘临空，坡度较陡，有季节性泉水出露，岩土潮湿-饱水。坡面上有多条新发展的滑坡裂缝，贯通性强，其上建筑物、植被有新的变形迹象。后缘壁上可见擦痕或有明显位移迹象，后缘弧形裂缝和两侧羽状剪切裂缝发育。	泥石流流域内斜坡变形强烈，新增物源丰富，沟谷片蚀、侧蚀发育。属于泥石流灾害旺盛期，山坡从凸型坡转为凹形坡，沟槽堆积和堵塞现象严重，形成区扩大，流通区向上延伸，堆积区扇面新鲜，漫流现象严重。泥石流发生频率极高。	碳酸盐岩质地较纯,连续厚度大,出露面积广。地表多为的洼地、漏斗、落水洞，地下溶洞发育。多岩溶大泉和暗河，岩溶发育深度极大。
高	临空，坡度较陡，变形发展趋势较明显，有少量季节性泉水出露，岩土较潮湿，局部饱水。坡面上有少量新发展的裂缝，具有一定贯通性，其上建筑物、植被有少量新的变形迹象，裂隙较发育或存在易滑软弱结构面。可见裂缝或明显位移迹象，有积水或存在积水地形，裂隙水和岩溶水较发育，地下水排泄条件好。	前缘临空，有间断季节性地表径流流经，岩土较潮湿，坡面上发育有新生裂缝，具有一定贯通性，其上建筑物、植被有较明显的变形迹象。后缘一定数量裂缝发育，后缘壁上较为明显变形迹象。	泥石流流域内斜坡变形较强 烈，新增物源较丰富，多见新生沟谷，有少量滑坡、崩塌等。山坡以凸型为主，形成区分散，并逐步扩大，流通区较短，堆积区扇面新鲜，淤积较快。以淤为主，淤积速度增快，泥石流发生频率高。	碳酸盐岩质地较纯,连续厚度较大,出露面积较广。地表较多为的洼地、漏斗、落水洞，地下溶洞较发育。地下有较大规模的暗河，岩溶发育深度较大。
中	临空，有间断季节性地表径流流经，岩土体较湿，坡面上局部有小的裂缝，其上建筑物、植被无新的变形迹象，裂隙较发育或存在软弱结构面，有小裂缝，无明显变形迹象，存在积水地形，裂隙发育，地下水排泄条件好。	前缘临空，有少量间断季节性地表径流流经，岩土体较干燥，坡面上局部有小的裂缝，其上建筑物、植被少量变形迹象。后缘有断续的小裂缝发育，后缘壁上有不明显变形迹象。	泥石流流域内斜坡变形较，新增物源中等，以沟槽搬运及侧蚀供给为主。山坡以凹型为主，形成区减少，流通区向上延伸，堆积区扇面陈旧，生长植物，植被较好。有冲有淤，淤积速度减小，泥石流发生频率中等。	以次碳酸盐为主，多间夹型。地表有洼地、漏斗、落水洞发育，地下洞穴通道不多，岩溶大泉数量较少，地下暗河稀疏，深部岩溶不发育。
低	斜坡较缓，临空高差小，无地表径流流经和继续变形的迹象，岩土体干燥，坡面上无裂缝发展，其上建筑物、植被没有新的变形迹象，裂隙不发育，不存在软弱结构面。无位移迹象，无积水，也不存在积水地形，隔水性好，无富水地层。	前缘斜坡较缓，临空高差小，无地表径流流经和继续变形的迹象，岩土体干燥。坡面上无裂缝发展，其上建筑物、植被未有新的变形迹象。后缘壁上无擦痕和明显位移迹象。	泥石流流域内斜坡变形小，新增物源少。全沟下切，沟槽稳定，形成区基本消失，逐渐变为普通洪流，植被良好，山坡块体运动基本消失，堆积区冲刷下切为主。泥石流发生频率低。	以不纯碳酸盐岩为主，多间夹型或互夹型。地表岩溶形态稀疏发育,地下洞穴较少,岩溶大泉及暗河少见。

D.2　构造混杂岩带不良地质作用危害性等级划分见表 D.2。

表 D.2 构造混杂岩带不良地质作用危险性等级

危险等级	极高	高	中	低
危险后果	潜在经济损失 超过 5000 万元	潜在经济损失 1000~5000 万元	潜在经济损失 500~1000 万元	潜在经济损失 小于 500 万元
危险时间	造成铁路停运 超过 180 天	造成铁路停运 超过 60~180 天	造成铁路停运 超过 10~60 天	造成铁路停运 小于 10 天
注：危险后果和危险事件只需其一达到标准即可判定相应的级别。				

附 录 E
（规范性附录）
岩体初始地应力分级

E.1 隧道大变形风险调查和评价的初始地应力分级标准和主要现象见表 E.1。

表 E.1 岩体初始地应力分级表

初始地应力分级		评估基准		主要现象
		最大主应力量级 σ_{max}（MPa）	Rc/σ_{max}	
高地应力	极高地应力	$\sigma_{max} \geq 40$	＜2	开挖过程中洞壁岩体位移极为显著，持续时间很长，常规支护错台开裂、掉块、钢架扭曲有剪断，破损严重，直至破坏
	较高地应力	$20 \leq \sigma_{max}$ ＜40	2～4	开挖过程中洞壁岩体位移显著，持续时间长，常规支护错台开裂、掉块、钢架扭曲，支护体系失稳
	中高地应力	$10 \leq \sigma_{max} < 20$	4～7	开挖过程中洞壁岩体有一定的位移，持续时间较长，常规支护喷混凝土开裂、剥落
一般地应力		$\sigma_{max} < 10$	＞7	开挖过程中洞壁岩体位移很小，持续时间短，支护完好

注：表中 Rc 表示岩石饱和单轴抗压强度（MPa），σ_{max} 表示最大主应力（MPa）。

附 录 F
（规范性附录）
高地应力软岩地质特征

F.1 软质岩坚硬程度的划分见表 F.1。

表 F.1 软质岩坚硬程度的划分

坚硬程度		岩石饱和单轴抗压强度（MPa）	定性鉴定	代表性岩性
软质岩	较软岩	$30 \geq R_C > 15$	锤击声不清脆，无回弹，较易击碎；浸水后，指甲可刻出印痕	粉砂质板岩、钙质板岩、石英片岩、石英千枚岩、钙质千枚岩
	软岩	$15 \geq R_C > 5$	锤击声哑，无回弹，有轻微凹痕，易击碎；浸水后，手可掰开	泥质板岩、绢云母片岩、绿泥石片岩、绢云千枚岩、绢云母化蚀变岩
	极软岩	$R_C \leq 5$	锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，手可捏碎；浸水后，可捏成团	炭质板岩、蛇纹石片岩、绢云千枚岩、绿泥千枚岩、炭质千枚岩、绿泥石化蚀变岩

注：无条件取得岩石饱和单轴抗压强度 R_c 实测值时，也可采用实测的点荷载强度指数 $I_{S(50)}$ 的换算值，换算方法按 GB/T 50218 的规定。

F.2 薄层岩层厚度的划分见表 F.2。

表 F.2 薄层岩层厚度的划分

岩层厚度	薄层		
	较薄层	中薄层	极薄层
层厚（cm）	$10 \geq h > 3$	$3 \geq h > 1$	$h \leq 1$

F.3 岩体完整程度划分

岩体完整程度应采用定性划分和定量指标两种方法，按表 F.3-1 综合确定。岩体节理发育程度的划分可按 F.3-2 确定；岩体结构面结合程度的划分可按表 F.3-3 确定；岩体结构类型分类应符合表 F.1 的规定；岩体受地质构造影响程度的划分可按照 F.3-4 确定。

表 F.3-1 岩体完整程度划分

岩体完整程度	定性划分						岩体定量指标	
	节理发育程度			主要结构面结合程度	主要结构面类型	岩体结构类型	岩体完整性指数 K_v	岩体节理数（条/m³）
	定性描述	组数	平均间距（m）					
较破碎	较发育	2	1.0～0.4	结合差	节理、裂隙、劈理、层面、小断裂	薄层状结构	$0.35 \leq K_v < 0.55$	$10 \leq J_v < 20$
	发育	≥3	0.4～0.2	结合好		镶嵌结构		
				结合一般		薄层状碎裂结构		
破碎	发育	≥3	0.4～0.2	结合差	各种类型结构面	层状碎裂结构	$0.15 < K_v < 0.35$	$20 \leq J_v < 35$
	很发育		≤0.2	结合一般或结合差		碎裂结构		
极破碎	无序	—	—	结合很差	—	散体结构	$K_v \leq 0.15$	$J_v \geq 35$

注：1. 平均间距指主要结构面间距的平均值；

2. $K_v = (V_{pm}/V_{pr})^2$，V_{pm}：岩体弹性纵波速度（km/s），V_{pr}：岩石弹性纵波速度（km/s）。

表 F.3-2 岩体节理发育程度划分

节理发育程度	基本特征
节理较发育	节理 2～3 组，呈 X 形，较规则，以构造型为主，多数间距大于 0.4m，多为密闭节理，部分为微张节理，少有充填物。岩体被切割成大块状
节理发育	节理 3 组以上，不规则，呈 X 形或米字形，以风化型和构造型为主，多数间距小于 0.4m．大部分为张开节理，部分有充填物。岩体被切割成块状
节理很发育	节理 3 组以上，杂乱，以风化型和构造型为主，多数间距小于 0.2 m，以张开节理为主，有个别宽张节理，一般均有充填物。岩体被切割成碎裂状

表 F.3-3 岩体结构面结合程度划分

结合程度	结构面特征
结合好	张开度小于 1mm，为硅质、铁质、钙质胶结，结构面粗糙，无充填物； 张开度 1mm～3mm，为硅质、铁质胶结； 张开度大于 3mm，结构面粗糙，为硅质胶结
结合一般	张开度小于 1mm，结构面平直，钙泥质胶结或无充填物； 张开度 1mm～3mm，为钙质胶结； 张开度大于 3mm，结构面粗糙，为铁质或钙质胶结
结合差	张开度小于 1mm，结构面平直，泥质充填 张开度 1mm～3mm，结构面平直，为泥质胶结或钙泥质胶结； 张开度大于 3mm，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 F.3-4 岩体受地质构造影响程度划分

构造影响程度	基本特征
较重	地质构造变动较大，位于断裂或褶曲轴的邻近地段，可有小断裂，节理较发育
严重	地质构造变动剧烈，位于褶曲轴部或断裂影响带内，软质岩多见扭曲及拖拉现象，节理发育
很严重	位于断裂破碎带内，岩体呈块石、碎石、角砾状，有的甚至呈粉末、泥土状，节理很发育

附 录 G
（规范性附录）
高地应力软岩变形潜势分级与围岩特征表

G.1 高地应力软岩变形潜势分级与围岩特征见表 G.1。

表 G.1 高地应力软岩变形潜势分级与围岩特征表

<table>
<tr><td>变形潜势</td><td>轻微</td><td>中等</td><td>强烈</td><td>极强烈</td></tr>
<tr><td>地应力状态</td><td colspan="3">中高、较高地应力</td><td>极高地应力</td></tr>
<tr><td rowspan="2">围岩特征</td><td>IV级：较软岩、软岩或软岩夹硬岩，较薄层或中薄层状为主，层理、板理清晰，层间结合一般或结合差，石质较硬，受构造影响较重，节理较发育—发育，岩体较破碎，呈层状或层状碎裂结构，围岩稳定性差，有少量基岩裂隙水</td><td>IV级：软岩或软岩夹硬岩，中薄层状为主，层理、板理清晰，层间结合一般或结合差，受构造影响较重，节理较发育—发育，岩体较破碎，有揉皱现象，含泥化夹层及层间挤压破碎带，呈薄层状或层状碎裂结构，围岩稳定性差，有少量基岩裂隙水</td><td>V级：软岩、极软岩，极薄层为主，层间结合一般或结合差，受构造影响严重-很严重，节理发育-很发育，岩体破碎-极破碎，有揉皱现象，呈层状碎裂结构或碎裂结构，围岩稳定性很差，有少量渗水</td><td rowspan="2">VI级：极软岩，极薄层为主，受构造影响很严重，很发育，岩体极破碎，有揉皱现象，呈散体结构，围岩稳定性很差，有少量渗水
VI级：断裂泥砾带，受构造影响很严重，岩体极破碎，呈散体结构，围岩稳定性很差，有少量渗水</td></tr>
<tr><td>IV级：硬质岩，受构造影响严重或有一定的蚀变作用，岩体破碎，呈压性碎石（角砾）状镶嵌结构或碎裂结构，围岩稳定性差，有少量基岩裂隙水</td><td>V级：软岩、极软岩，中薄层状为主，层间结合差，受地质构造影响严重，节理发育—很发育，小褶皱（曲）发育，含泥化夹层或泥团，软硬不一，岩体破碎，呈层状碎裂结构或碎裂结构；较软岩、压碎岩、蚀变带，层间结合很差或软硬不一，受地质构造影响严重，节理很发育，岩体破碎—极破碎，呈碎裂结构；围岩稳定性差，有少量基岩裂隙水，且发育不均</td><td>VI级：断裂泥砾带，受构造影响很严重，岩体极破碎，呈散体结构，围岩稳定性很差，有少量渗水</td></tr>
</table>

注：围岩特征需符合 TB 10003 中相应围岩级别的规定；确定隧道变形潜势时，应适当考虑隧道轴线与岩体主结构面的夹角。

附 录 H
（规范性附录）
地质风险单项评价流程

H.1 易发性评价

a) 根据地质风险类型的影响因素，遴选适宜的评价指标并在 GIS 平台下建立相应的图层。
b) 对各评价指标图层进行叠加分析，得到区域各单元易发性评价量值 P(S)。各单元易发性评 价量值 P(S)需归一化处理，取值范围值范围[0，1]。

$$P(S)=\sum_{j=1}^{n} a_j N_j \quad (j=1,2,\cdots n) \tag{H.1}$$

式中：
P（S）—易发性指数；
a_j—权重；
N_j—单指标指数。

c) 叠加分析得到的易发性评价量值 P(S)可按自然断点法进行易发性评价，将评价结果图分为极高易发区、高易发区、中易发区、低易发区 4 级。
d) 评价结果可选取受试者工作特征曲线（Receiver Operating Characteristic Curve，ROC）的曲线下面积值（Area Under Curve, AUC）进行验证。

H.2 危险性评价

a) 危险性指数 H 与空间概率、时间概率和规模概率有关。由某风险类型发生的空间概率 P(S)、时间概率 P(T)和规模概率 P(M)乘积得到：

$$H=P(S)\times P(T)\times P(M) \tag{H.2}$$

b) 相乘得到的危险性指数 H 可按等自然断点法进行危险性评价，将评价结果图分为极高危险区、高危险区、中危险区、低危险区 4 级。

H.3 易损性评价

a) 易损性评价应体现评价区的铁路工程及附属构筑物财产易损性。
b) 易损性评价用易损度值 V 表达，其值位于 0~1 之间，0 代表无损失，1 代表完全损失。

H.4 风险评价

a) 各单元的风险值 R 可用危险性指数 H 与易损度值 V 进行乘积得到：

$$R=H\times V \tag{H.3}$$

b) 风险值 R 可按等间距分类法或自然断点法进行风险评价，将评价结果划分为极高风险、高风险、中等风险、低风险 4 个等级。
c) 结合野外地质调查验证和综合分析，获得单种风险的分区评价结果。

附 录 I
（规范性附录）
地温预测校正方法

I.1 热导率饱水校正

实验室测试所得的热导率一般为干热导率，即含水率为0时的岩体热导率。但对于有孔隙的岩石及岩土体，在地下水位以下的自然状态下均处于饱水状态，而干岩土样的热导率一般都比原位持有水分的岩样偏小，因此原则上应对含有孔隙的岩土体进行饱水校正，校正方法如公式（I.1）所示。

$$\lambda_{eff}=\lambda_{dry}+\frac{\lambda_f(\lambda_m-\lambda_{dry})^2}{(1-\varphi)\lambda_m\lambda_f-\lambda_f\lambda_{dry}+\varphi{\lambda_m}^2} \quad (I.1)$$

式中：

λ_{eff}：校正后热导率，W/(m·K)；

λ_{dry}：干样热导率（实测热导率），由实验室测定，W/(m·K)；

λ_m：基质热导率，W/(m·K)，由 λ_{dry} 计算获得 $\lambda_m=\lambda_{dry}\left(\frac{2+\varphi}{2(1-\varphi)}\right)$；

λ_f：岩石孔隙内流体热导率，W/(m·K)，当计算岩石饱水情况下的有效热导率数值时，λ_f 取值为 0.607W/(m·K)；

φ：岩石有效孔隙率，%。

I.2 温度地形校正

由于地形较大的起伏对地下温度场有一定影响，一般山体存在使其下等温面抬高，地温梯度值改变。因此，预测山体内部地温要进行地形校正，但当预测深度超过山高三倍以上时，地形影响微弱，可以不予校正。地形校正的方法较多，本规范采用以秦岭隧道实测数据的出的经验公式（I.2)计算：

$$Tg=-0.985237\beta+3.22878 \quad (I.2)$$

式中：

Tg：校正温度（℃）；

β：隧道某一点与最大埋深处点的水平距离Δs（km）与两点的垂直差值Δh（km）的比值，当β＞3时，该点岩温不需要进行地形校正。$\beta\leq3$时，应对岩温进行地形校正。

结合传导型地温预测公式（I.3），

$$T_i=T_0+G_i(H_i-H_0)-Tg_i$$
$$T_{i+1}=T_i+G_{i+1}(H_{i+1}-H_i)-Tg_i+1$$
$$T_{i+2}=\cdots\cdots \quad (I.3)$$

式中：

Tg_i：H_0-H_i段的地温地形校正值。

附 录 J
（规范性附录）
隧道涌水量计算和预测评价

J.1 隧道正常涌水量的预测计算方法

① 经验公式1：

$$Q_s=L\cdot K\cdot H（0.676-0.06K）\quad（J.1）$$

式中：

Q_s：隧道通过含水体地段的正常涌水量（m³/d）；

L：隧道通过的含水体长度（km）；

K：含水体渗透系数（m/d）；

H：静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离（m）。

② 落合敏郎公式

$$Q_s = K\cdot L\left[\frac{H^2-h^2}{R-r}+\frac{\pi(H-h)}{\ln(\frac{4R}{d})}\right]\quad（J.2）$$

$$R = 2S\sqrt{K\cdot h_c} = 10S\sqrt{K}\quad（J.3）$$

式中：

Q_s：隧道通过含水体地段的正常涌水量（m³/d）；

L：隧道通过的含水体长度（km）；

K：含水体渗透系数（m/d）；

H：未干扰情况下含水层中静水位至隧道底板的距离（m）；

S：地下水位降深（m）；

H：隧道内排水沟假设水深，根据经验值取1m；

h_c：含水体厚度（m）；

R：隧道涌水影响半径（m）；

R：隧道洞身断面的等价圆半径，经验值：单隧，3.5m；双隧，7m；

D：隧道洞身断面的等价圆直径，即d=2r。

J.2 隧道最大涌水量的计算方法

① 经验公式2

$$Q_0=L（0.0255+1.9224\cdot K\cdot H）\quad（J.4）$$

式中：

Q_0：隧道通过含水体地段的最大涌水量（m³/d）；

L：隧道通过的含水体长度（km）；

K：含水体渗透系数（m/d）；

H：静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离（m）。

② 大岛洋志经验公式

$$Q_0 = \frac{2\pi mK(H-r)L}{ln\frac{4(H-r)}{d}} \quad (J.5)$$

Q_0：隧道通过含水体地段的最大涌水量（m³/d）；
L：隧道通过的含水体长度（km）；
K：含水体渗透系数（m/d）；
H：静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离（m）；
D：洞身横断面等价圆直径（m）；
R：隧道洞身断面的等价圆半径，经验值：单隧，3.5m；双隧，7m；
m：转换系数，经验值为0.86。

③ 科斯加可夫公式

$$Q_0=1.5\cdot Q_s \quad (J.6)$$

式中：
Q_0：隧道通过含水体地段的最大涌水量（m³/d）；
Q_s：隧道通过含水体地段的正常涌水量（m³/d）。

④ 注浆后涌水量计算公式

$$Q_0 = \frac{2\pi\cdot K\cdot h}{ln\left(\frac{r+t}{r}\right)+\frac{K_i}{K}\cdot ln\left(\frac{2h}{r+t}\right)} \quad (J.7)$$

式中：
Q_0：隧道通过含水体地段的最大涌水量（m³/d）；
K：含水体渗透系数（m/d）；
H：静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离（m）；
R：隧道洞身断面的等价圆半径（m）；
t：注浆加固圈厚度（m）。

J.3 计算方法的适用性

表J.1给出了隧道涌水量计算公式的适用范围。如满足适用性要求，宜采用多种方法计算。

表 J.1 涌水量计算公式适用范围

正常涌水量		最大涌水量	
方法	适用范围	方法	适用范围
地下径流深度法	越岭隧道，通过多个地表水或地下水流域。深层外源地下水量可忽略。	古德曼经验公式法	潜水含水体，越岭或傍山隧道。
地下水径流模数法	越岭隧道，通过多个地表水或地下水流域。掌握隧道穿越区地表水/地下水总排泄量。深层外源地下水量可忽略。	佐藤邦明公式	潜水含水体。
大气降水入渗法	隧道穿越区植被条件不十分丰富。	大岛洋志公式	潜水含水体。
经验公式1	潜水含水体。	经验公式2	潜水含水体。
裘布依理论公式法	潜水含水体。	科斯加可夫公式	潜水含水体。
落合敏郎公式	基岩越岭隧道，含水体为无界潜水含水体。	注浆后涌水量计算公式	潜水含水体。

注：针对承压含水层突涌水问题，可使用水均衡法进行涌水量计算。

J. 4　隧道涌突涌水风险预测评价标准见表 J.2。

表 J.2 隧道涌突涌水风险预测评价标准

（据TB 10049表E3.3.—1修改）

判别条件	评分标准					
地表环境特征	沟谷汇水、岩溶形态发育	完整斜坡，坡度≤30°	山体陡峭，坡度＞30°	旱地、荒地		
	0.6~1.2	0.3~0.6	0.2~0.4	0		
岩石性质	硬岩（硬岩+软岩）		软岩			
	0.21		0			
松散物源	无	不丰富	较丰富，胶结程度好	丰富，胶结程度差		
	0	0.2	0.5	0.7		
地质构造	裂隙不发育 紧闭	裂隙发育 张开	断裂破碎带	岩溶裂隙 发育	岩溶断裂带	
	0	1.34	1.7	1.71	1.9	
气候条件	*W*≤800 mm		800<*W*≤1600 mm		*W*>1600 mm	
	0		1.15		1.3	
隧道与地下水位关系	地下水位以上	地下水位以下 0~50m	地下水位以下 50~100m	地下水位以下 100~500m	地下水位以下 500~1000m	地下水位以下 1000m 以上
	0	0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.9	0.9~1.2
外水压力	＜0.01 MPa	0.01~0.05 MPa	0.05~0.1 MPa	0.1~0.5 MPa	＞0.5 MPa	
	0	0~0.2	0.2~0.5	0.5~1.0	＞1.0	

附 录 K
（规范性附录）
工程地质安全评价成果

K.1 成果报告编制提纲

第一章 概述

简述工作任务来源、目标任务、工作周期、主要工作内容、工作方法、完成工作量、质量评述、取得的主要成果、铁路工程规划建设概况等相关内容。

第二章 区域地质背景

第一节 自然地理

第二节 区域地质

第三节 人类工程活动与主要工程地质问题

第三章 构造混杂岩带基本特征

第一节 基本物质组成

第二节 基本构造特征

第三节 孕灾条件分析

第四章 构造混杂岩带工程地质特征

第一节 工程地质岩组与特殊岩土体

第二节 活动断层

第三节 地质灾害

第四节 地应力分布

第五节 地热地质

第六节 水文地质

第五章 地质风险评价

根据铁路工程规划建设存在的各类地质安全问题，按照类型分节阐述其数量、发育特征、分布规律、形成原因、发展趋势及其危害程度。

第一节 活动断层工程断错和地震

第二节 地质灾害

第三节 隧道岩爆和大变形

第四节 隧道高温热害

第五节 隧道涌水突泥

第六章 工程地质安全评价

第一节 工程地质安全分区评价

第二节 重要工点工程地质安全评价

第三节 风险防控对策建议

第七章 结论与建议

第一节 主要结论

第二节 建议

注：根据下达工作任务目标，确定相应评价内容；根据地质风险类型确定第四章和第五章内容。

K.2 附图和附表

工程地质安全评价成果应附工程地质安全评价图。

工程地质安全评价成果应附工程地质安全评价分区说明表和重要工点评价结果一览表。

参考文献

[1] 国家安全生产监督管理总局. 中华人民共和国矿山安全法实施条例[J]. 中华人民共和国国务院公报, 1996(33): 1329-1341.

[2] 李荣社, 计文化, 辜平阳等. 造山带（蛇绿）构造混杂岩带填图方法[M]. 中国地质大学出版社, 2016.

[3] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册（第五版）[M]. 中国建筑工业出版社, 2018.

[4] 中国岩石力学与工程学会团体标准，山区公路斜坡地质灾害风险评价规范报批稿. 2022.

[5] 张广泽, 邓建辉, 王栋等. 隧道围岩构造软岩大变形发生机理及分级方法[J]. 工程科学与技术, 2021, 53(1): 1-12.

[6] 张永双, 吴瑞安, 郭长宝等. 2022. 高原山区铁路工程建设地质安全评价: 思路与方法. 地质学报, 96 (5): 1736 ~1751.

条文说明

3.1 关于“组成部分”，在板块俯冲碰撞过程中构造刮削、拼贴作用形成不同岩石组合体，当存在一种或两种岩石时，都认定为岩石组合体的组成部分，且可据此识别为构造混杂岩。

3.2 混杂岩块包括外来岩块和和原地岩块。外来岩块主要来自俯冲板块上的放射虫硅质岩、枕状熔岩和归属于洋壳和地幔物质的基性、超基性岩碎块，有时还有海沟内壁上的蓝片岩，以蛇绿岩套的各组分岩石为主。

3.3 混杂基质包括深水细碎屑沉积和岩块改造而成的颗粒物及构造岩。

3.11 进一步明确了不良地质作用的范畴，强调地质过程，而非自然地质过程。本规范不良地质作用包括包括崩塌、滑坡、泥石流、岩溶作用、冻融作用、冰川作用等。

4.5 本规范中“调查”是广义上的调查，包括了一般调查、遥感地质调查、工程地质测绘、地球物理勘探、工程地质钻探、山地工程、原位测试与室内测试等手段，同 TB 10012 中的“勘察”。

4.5.1 各类工程地质岩组的主要物理力学参数，包括了膨胀率等指标。

5.2.1 c) 为了突出构造混杂岩带的特殊性，本文件的构造混杂岩带不包括后期的大规模岩浆侵入体。

6.1.3 构造岩溶相比于“岩溶”，强调可溶岩分布、发育程度和补径排条件受构造控制比较显著。

6.2.2a) 关于监测时间，按有关铁路规范“监测时间不低于铁路工程寿命 5%”的要求，铁路工程寿命 100 年，监测时间为 5 年，但考虑到山区往往监测时间缺、短、白，所以规定 3 年及以上连续稳定的监测结果，可以作为判识活动断层现今活动性的参考依据。

7.2.5 各类地质风险的防治难易程度根据现有技术水平和防治工程量等综合确定。

7.3.1.2 构造混杂岩带常见地质灾害类型包括滑坡、崩塌、泥石流、岩溶塌陷等，不包括采空塌陷。其中，崩塌包括落石、危岩体、冰-岩崩等。

8.3.2 b) 铁路规划建设早期阶段，晚更新世活动断层需专门研究，不能明确为全新世活动断层的，本文件建议降级处理。

8.5.2 c) 关于恒温带温度 T_0 和深度 H_0 的选取，由于目前高原数据少，数值选取根据实际情况适当调整，必要时进行进一步校核。

8.6.2.4 数值模拟法应用于水文地质条件复杂，含水介质非均质各向异性、边界较明确的区域，但对勘探试验的要求高，适应于本规范中的初步设计阶段。其他涌水量预测方法还包括“黑箱”理论法、灰色关联度分析、灰色虚拟变量多元回归法、时间序列分析及频谱分析法等随机性数学模型方法，但适用于某些基本要素难以搞清，定解条件不易概化的情形，更多用于施工、运营阶段的涌水量预测，不适用于本规范中规定的阶段。

9.2.2.4 当工程线路与构造线大角度相交时，可采用工程线路作为剖面线；如小角度相交时，除了能系统反映地质构造的剖面外，还应有反映工程线路的剖面。

附录 H.1 主要考虑构造混杂岩带都是地质灾害易发区，所以将评价结果图分为极高易发区、高易发区、中易发区、低易发区 4 级。

ICS 07.060
P 65
关键词：构造混杂岩带、不良地质组合、地质安全、地质风险、工程建设适宜性