

DB51

四川省地方标准

DB51/T 3088—2023

营运山区公路地质灾害及边坡工程
风险评价规程

Specification for risk assessment of geological hazards and slope
engineering in operating mountainous highway

2023-06-19 发布

2023-08-01 实施

四川省市场监督管理局 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 总则 2

5 基本规定 2

6 崩塌危岩风险评价 5

 6.1 危险性评价 5

 6.2 防护工程技术状况评价 6

 6.3 危害性评价 7

 6.4 风险分级 7

7 泥石流风险评价 8

 7.1 危险性评价 8

 7.2 防护工程技术状况评价 10

 7.3 危害性评价 10

 7.4 风险分级 11

8 路基水毁风险评价 12

 8.1 危险性评价 12

 8.2 防护工程技术状况评价 13

 8.3 危害性评价 14

 8.4 风险分级 14

9 边坡失稳风险评价 15

 9.1 危险性评价 15

 9.2 防护工程技术状况评价 18

 9.3 危害性评价 18

 9.4 风险分级 19

10 评价结果与决策技术支持 20

 10.1 一般规定 20

 10.2 处置对策 20

 10.3 监测预警 22

10.4 应急措施	24
附录 A（资料性）崩塌危岩风险评分表.....	25
附录 B（资料性）泥石流风险评分表.....	28
附录 C（资料性）路基水毁风险评分表.....	31
附录 D（资料性）边坡失稳风险评分表.....	34

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。

本文件由四川省交通运输厅提出、归口并解释。

本文件起草单位：四川省公路规划勘察设计研究院有限公司、西南交通大学、成都理工大学、四川师范大学、西华大学。

本文件主要起草人：向波、王东、张建经、王东坡、刘阳、李伟、魏安辉、陈仲路、梁苗、赵海松、刘道川、任俊谦、马洪生、周立荣、孙璐、张婧、李勇、邬凯、何云勇、刘蕾蕾、蒋瑜阳、李朝阳、顾涛、闫帅星、付成华、丁雨淋、陈福江、林世伟、石汉。

本文件为首次发布。

营运山区公路地质灾害及边坡工程风险评价规程

1 范围

本文件规定了营运山区公路地质灾害及边坡工程风险评价的总则、术语和符号、评价方法、评价结果与决策技术支持等。

本文件适用于四川省各等级营运山区公路崩塌危岩、滑坡、泥石流、路基水毁等地质灾害及边坡工程的风险评价，评价基于非地震工况，震后可参照使用。

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 40112-2021 地质灾害危险性评估规范

GB/T 50218-2014 工程岩体分级标准

JTG D30-2015 公路路基设计规范

JTG H10-2009 公路养护技术规范

YS/T 5229-2019 岩土工程监测规范

3 术语和定义

GB/T 20000.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

营运山区公路 highway in operating mountainous areas

位于山岭地区、路线迂回曲折、纵坡坡度较大、特殊构筑物较多的运营公路。

3.2

地质灾害 geological hazard

自然或者人为因素作用诱发产生的，危及人身、财产、工程或环境安全的地质现象，包括崩塌危岩、泥石流、路基水毁及边坡失稳等。

3.3

崩塌危岩 rockfall or rock avalanche

较陡斜坡上的潜在危岩体在重力作用下突然脱离母体崩落、滚动、破碎、堆积在坡脚（或沟谷）的地质现象。

3.4

泥石流 debris flow

山区或者其他沟谷深壑，地形险峻的地区，由于暴雨、暴雪或其他自然灾害引发的携带有大量泥沙、石块的特殊洪流。

3.5

路基水毁 subgrade water damage

由于暴雨、洪水造成公路路基损毁的现象。

3.6

边坡失稳 slope instability

边坡岩土体受自然或人为因素影响，在重力作用下，沿着一定的软弱面或者软弱带，整体地或者分散地顺坡向下滑动的自然现象。

3.7

评价指标 assessment index

分为一级评价指标与二级评价指标。一级评价指标为表征四种灾害各自典型特征的总体指标，如表

征崩塌危岩危险性的地质特征、几何特征与水文气象指标；二级评价指标为表征各项一级评价指标的子项指标，如表征崩塌危岩危险性一级评价指标地质特征的岩体完整程度、岩体软硬程度及岩体风化差异性等指标。

3.8

指标权重 index weight

各项一级评价指标或二级评价指标在各自指标类中的权重因子。

3.9

危险性 dangerousness

指接触某种灾害发生的可能性和规模。

3.10

危害性 hazardness

指某种灾害发生的后果或灾害发生后对公路造成的损害或严重程度。

3.11

风险评价 risk assessment

通过调查、研究、分析等手段，对评价对象灾害发生的危险性、危害性等进行评价的活动。

3.12

风险等级 risk grade

按风险指数对公路工程的风险分级，初步评价阶段分为高风险、中风险和低风险三级，详细评价阶段分为极高风险、高风险、较高风险、中风险、低风险五级。

3.13

风险处置对策 risk countermeasure

依据不同致灾类型的公路工程风险评级，进行相应等级的监控预警、防护加固和应急抢险预案响应。

4 总则

4.1 为了规范营运山区公路崩塌危岩、泥石流、路基水毁、边坡失稳等地质灾害及边坡工程的风险评价，科学防范地质灾害及边坡工程风险，保障公路工程运营安全，制定本文件。

4.2 本文件将山区公路地质灾害及边坡工程风险评价类型划分为崩塌危岩、泥石流、路基水毁、边坡失稳四种典型灾害。

4.3 风险评价按两步法开展，第一步对选中对象进行初步风险评价，初步划分为高风险、中风险、低风险；第二步对中、高风险的对象开展详细风险评价，详细评价的结果分为极高风险、高风险、较高风险、中风险和低风险。也可以对选中对象直接进行详细风险评价。

4.4 风险评价等级达到较高风险～极高风险的工点或路段，应及时开展监控预警、防护加固、交通管制等安全风险处置措施；可能出现危及公路营运安全的极端情况下，还应做好应急抢险预案。

4.5 营运山区公路地质灾害和边坡工程的风险评价及应急处置，应与日常巡查、经常性检查、定期检查、专项检测和特殊检查等公路养护工作紧密衔接。

4.6 营运山区公路地质灾害和边坡工程的风险评价，除应符合本文件的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

5 基本规定

5.1 营运山区公路地质灾害及边坡工程风险评价应以可能影响公路安全的单体崩塌危岩或崩塌危岩群、泥石流单沟或沟群、公路临河路基、不稳定边坡为评价对象，根据地质条件、地形地貌、几何特征、气象水文、防护措施、造成后果等，评价公路沿线崩塌危岩、泥石流、路基水毁及边坡失稳风险，确定风险等级，为制定风险处置对策提供依据。

5.2 营运山区公路地质灾害及边坡工程风险评价工作应按以下程序进行：确定风险评价对象与评价范围→资料收集、现场调查→风险初步评价→风险详细评价→确定风险等级。

5.3 风险评价范围宜包括：

a) 崩塌危岩风险评价范围宜包括影响公路安全的崩塌危岩发育路段。

- b) 泥石流风险评价范围宜包括公路跨越泥石流区至分水岭全部区域及可能受泥石流影响的路段。
- c) 路基水毁风险评价范围宜包括公路沿线因河、溪流冲刷而遭受破坏的路段。
- d) 边坡失稳风险评价范围宜包括公路沿线可能因边坡或滑坡变形失稳影响公路安全运营的路段。

5.4 资料收集内容宜包括：

- a) 灾害形成条件与诱发因素，包括崩塌危岩灾害地质条件、几何特征、气象水文等资料，泥石流灾害物源条件、地形地貌、气象水文等资料，路基水毁灾害抗冲刷能力、水文条件、河床几何形态等资料，边坡失稳路段的地质特征、气象水文、几何特征等资料。
- b) 公路沿线崩塌危岩、泥石流、路基水毁、边坡失稳等灾害的基础资料，包括勘察报告、设计文件、竣工验收报告、养护资料以及历史发灾情况等。

5.5 现场调查内容宜包括：

- a) 宜结合空天地等先进勘察技术手段，调查崩塌危岩区的地形地貌及崩塌类型、规模、范围、几何特征；泥石流沟流域面积、纵坡比、岩土体性质、河道堵塞程度及植被发育特征；路基水毁易发区的河谷地形地貌；边坡滑移的影响范围、规模；灾害历史以及各类灾害体与公路的空间位置关系等。
- b) 崩塌危岩区地质构造、岩体结构类型、结构面产状及充填情况、岩体风化程度、地下水与地表水活动特征以及防护工程类型与破损程度等。
- c) 泥石流形成区的地形、沟谷发育程度、冲沟切割深度、斜坡稳定性及水土流失情况；流通区的长度、坡度、形态、冲淤和堵塞情况；堆积区物质组成、厚度、粒径及分布规律；防护工程类型及完好程度等。
- d) 路基水毁易发区岸坡岩性特征、河床基质、汛期水文条件、坡岸冲刷特征以及防护工程类型与破损程度等。
- e) 不稳定边坡区域的地质构造、地层岩性、边坡结构类型、水文地质条件、边坡变形特征以及防护工程类型与破损程度等。

5.6 崩塌危岩、泥石流、路基水毁、边坡失稳风险等级根据危险性、防护工程技术状况及危害性三个方面综合判定，风险评价体系如图1所示。

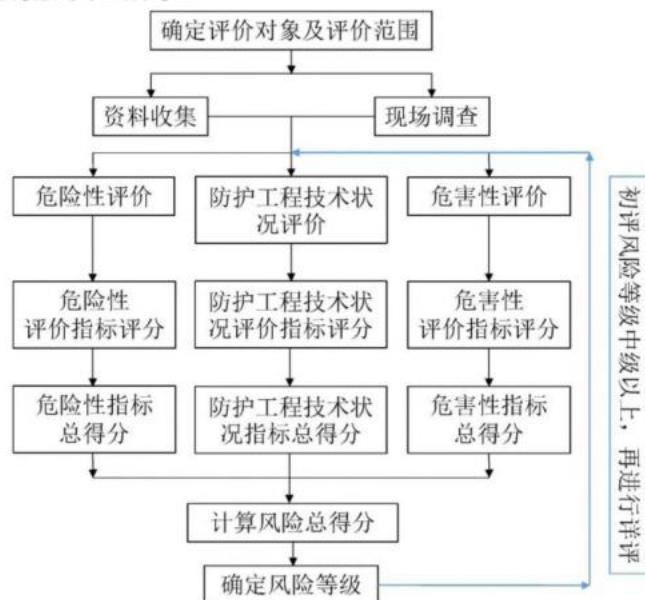


图1 风险评价体系图

5.7 初步风险评价阶段灾害风险根据危险性、防护工程技术状况及危害性的各项一级指标进行评价，详细风险评价阶段灾害风险根据危险性、防护工程技术状况及危害性的各项一级指标与二级指标进行组合评价。

5.8 初步风险评价阶段灾害风险总得分按式（5-1）确定。

$$R = H \times P \times V = \left(\sum_{i=1}^k r_{Hi} x_{Hi} \right) \times \left(\sum_{i=1}^m r_{Pi} x_{Pi} \right) \times \left(\sum_{i=1}^y r_{Vi} x_{Vi} \right) \tag{5-1}$$

式中：
R——灾害风险总得分；
H——危险性指标总得分；
P——防护工程技术状况指标总得分；
V——危害性指标总得分；
 r_{Hi}, r_{Pi}, r_{Vi} ——危险性指标、防护工程技术状况指标、危害性指标的一级指标的权重；
 x_{Hi}, x_{Pi}, x_{Vi} ——危险性指标、防护工程技术状况指标、危害性指标的一级指标得分；
 k, m, y ——危险性指标、防护工程技术状况指标、危害性指标的一级指标的项数。

5.9 详细风险评价阶段灾害风险总得分按式（5-2）确定。

$$R = H \times P \times V = \left[\sum_{i=1}^k r_{Hi} \left(\sum_{j=1}^l r_{Hij} x_{Hij} \right) \right] \times \left[\sum_{i=1}^m r_{Pi} \left(\sum_{j=1}^n r_{Pij} x_{Pij} \right) \right] \times \left[\sum_{i=1}^y r_{Vi} \left(\sum_{j=1}^z r_{Vij} x_{Vij} \right) \right] \tag{5-2}$$

式中：
 $r_{Hij}, r_{Pij}, r_{Vij}$ ——危险性指标、防护工程技术状况指标、危害性指标的二级指标的权重；
 $x_{Hij}, x_{Pij}, x_{Vij}$ ——危险性指标、防护工程技术状况指标、危害性指标的二级指标得分；
 l, n, z ——危险性指标、防护工程技术状况指标、危害性指标的二级指标的项数。

5.10 各项评价指标权重宜采用指标体系法与专家评分法相结合的组合赋权法，按式（5-3）确定。

$$r = \varphi \times \alpha + (1 - \varphi) \times \beta \tag{5-3}$$

式中：
r——各项评价指标的组合权重系数；
 φ ——组合系数（除有特别依据外，一般取 0.5）；
 α ——基于指标体系法确定的各项评价指标权重系数；
 β ——基于专家评分法确定的各项评价指标权重系数。

5.11 指标体系法，根据现场调查结果对灾害各项评价指标的重要性程度进行排序，按式（5-4）确定各项指标的权重系数。

$$\alpha = \frac{2a - 2b + 1}{a^2} \tag{5-4}$$

式中：
a——评价指标项数；
b——指标重要性序号， $b \leq a$ 。

表1 评价指标权重系数速查表

指标数 a	指标重要性排序 b										总权重
	第一	第二	第三	第四	第五	第六	第七	第八	第九	第十	
1	1										1
2	0.75	0.25									1
3	0.56	0.33	0.11								1
4	0.44	0.31	0.19	0.06							1
5	0.36	0.28	0.2	0.11	0.05						1
6	0.31	0.25	0.19	0.14	0.08	0.03					1
7	0.27	0.22	0.18	0.14	0.1	0.06	0.03				1
8	0.23	0.2	0.17	0.14	0.11	0.08	0.05	0.02			1
9	0.21	0.19	0.16	0.14	0.11	0.09	0.06	0.03	0.01		1
10	0.19	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07	0.05	0.03	0.01	1

- 5.12 专家评分法，根据多位行业专家对灾害各项评价指标的重要性排序及其权重赋值结果，分别对单一评价指标权重进行统计分析，最终确定其权重系数 β 。
- 5.13 当不具备采用组合赋权法的条件时，可通过指标体系法或专家评分法确定灾害各项评价指标的权重系数。
- 5.14 营运山区公路地质灾害及边坡工程风险评价周期应根据公路竣工年限、气象、周围环境变化，按下列原则确定：
- a) 持续降雨（特大暴雨）等极端天气或破坏性地震后应及时进行风险评价；
 - b) 风险评价周期宜与公路大中修周期相适应。
- 5.15 公路崩塌危岩、泥石流、路基水毁、边坡失稳四种典型灾害的风险评价应由具有相应技术能力的单位和有经验的专业技术人员承担。

6 崩塌危岩风险评价

6.1 危险性评价

- 6.1.1 崩塌危岩危险性一级评价指标包括：历史灾害及地质条件（ x_1 ）、几何特征（ x_2 ）与气象水文（ x_3 ）。
- 6.1.2 历史灾害及地质条件（ x_1 ）包括历史灾害（ x_{11} ）、岩体完整程度（ x_{12} ）、岩体软硬程度（ x_{13} ）及岩体风化差异性（ x_{14} ）四个二级评价指标，初步评价阶段地质条件按表 2 确定评分值，详细评价阶段地质条件按表 3 确定评分值。

表2 初步评价阶段历史灾害及地质条件评分表

一级评价指标	分级	分值
(x_1) 历史灾害及地质条件	历史灾害5年发生3次及以上；岩体破碎；硬岩夹软岩	10
	历史灾害5年发生1~3次；岩体较破碎；软硬岩互层	7
	历史灾害近5年从未发生；岩体完整；软岩	4

表3 详细评价阶段历史灾害及地质条件评分表

二级评价指标	分级		分值
(x ₁₁) 历史灾害	3次/5年		10
	1~3次/5年		7
	从未发生/5年		5
(x ₁₂) 岩体完整程度	结构面组数	>3	10
		2~3	6
		<1	2
	结构面平均间距	<0.2 m	10
		0.2~0.4 m	8
		0.4~1 m	6
		>1 m	5
	主要结构面结合程度	差	10
		一般	7
		好	5
(x ₁₃) 岩体软硬程度	硬岩夹软岩		10
	软硬岩互层		8
	硬岩		6
	软岩		4
(x ₁₄) 岩体风化程度	全风化		10
	强风化		7
(x ₁₄) 岩体风化程度	中风化		5
	微风化		2

- 6.1.3 几何特征（ x_2 ）包括坡度（ x_{21} ）、坡高（ x_{22} ）及坡形（ x_{23} ）三个二级评价指标，初步评价阶段几何特征按表 4 确定评分值，详细评价阶段几何特征按表 5 确定评分值。

表4 初步评价阶段几何特征评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₂) 几何特征	坡度大于45°；呈凹形；坡高大于60 m	10
	坡度在30~45°之间；呈凸形；坡高在15~60 m之间	7
	坡度不大于30°；呈直线形；坡高不大于15 m	4

表5 详细评价阶段几何特征评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₂₁) 坡度 (°)	>75	10
	60~75	8
	45~60	6
	30~45	4
	<30	2
(x ₂₂) 坡形	凹形	10
	凸形	8
	直线形	4
(x ₂₃) 坡高 (m)	>60	10
	30~60	8
	15~30	6
	8~15	4
	<8	2

6.1.4 气象水文 (x₃) 包括年均降雨量 (x₃₁)、坡面水 (x₃₂) 两个二级评价指标，初步评价阶段气象水文按表 6 确定评分值，详细评价阶段气象水文按表 7 确定评分值。

表6 初步评价阶段气象水文评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₃) 气象水文	年均降雨量大于1200 mm； 常年有坡面水	10
	年均降雨量在500~1200 mm之间；断断续续有坡面水	7
	年均降雨量小于500 mm； 几乎没有坡面水	4

表7 详细评价阶段气象水文评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₃₁) 年均降雨量 (mm)	>1200	10
	1000~1200	8
	800~1000	6
	500~800	5
	<500	4
(x ₃₂) 坡面水	常年有坡面水	10
	断断续续有坡面水	7
	几乎没有坡面水	2

6.2 防护工程技术状况评价

6.2.1 崩塌危岩防护工程技术状况评价一级指标由防护措施 (x₄) 表征。

6.2.2 防护措施 (x₄) 包括防护强度 (x₄₁) 与排水措施 (x₄₂) 两个二级评价指标，初步评价阶段防护措施按表 8 确定评分值，详细评价阶段防护措施按表 9 确定评分值。

表8 初步评价阶段防护措施评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₄) 防护措施	无防护设施；无排水设施	10
	无防护设施；有排水设施	8
	有防护设施；无排水设施	6
	有防护措施；有排水措施	4

表9 详细评价阶段防护措施评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₄₁) 防护强度	无防护措施或防护措施基本失效	10
	防护明显偏弱或防护工程措施遭到较大破坏或功能受到较大影响	7
	防护稍弱或防护工程措施遭到局部破坏或功能受到局部影响	4
	防护强度适宜，且防护工程措施基本完好	2
(x ₄₂) 排水措施	无排水设施	10
	有排水设施，但大小或数量不足	5
	合适数量或大小的排水设施	3

6.3 危害性评价

6.3.1 崩塌危岩危害性评价一级指标由造成后果 (x₅) 表征。

6.3.2 造成后果 (x₅) 包括断道时间 (x₅₁) 与公路等级 (x₅₂) 两个二级评价指标，初步评价阶段造成后果按表 10 确定评分值，详细评价阶段造成后果按表 11 确定评分值。

表10 初步评价阶段造成后果评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₅) 造成后果	高速公路、一级公路；可能断道24 h以上	10
	二级公路；可能断道12 h以上	8
	三级公路；可能断道1 h以上	6
	四级公路及其他；无断道发生	4

表11 详细评价阶段造成后果评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₅₁) 断道时间	可能断道24 h以上	10
	可能断道12 h以上	9
	可能断道1 h以上	5
	无断道发生	2
(x ₅₂) 公路等级	高速公路、一级公路	10
	二级公路	8
	三级公路	6
	四级公路及其他	4

6.4 风险分级

6.4.1 崩塌危岩灾害各项评价指标权重系数可按表 12 选用。

表12 崩塌危岩评价指标权重系数选用表

评价指标类	一级评价指标及权重		二级评价指标及权重	
	指标 x_i	权重 r_i	指标 x_{ij}	权重 r_{ij}
危险性	历史灾害及地质条件	0.50	历史灾害	0.45
			岩体完整程度	0.30
			岩体软硬程度	0.17
			岩体风化程度	0.08
	几何特征	0.34	坡度	0.47
			坡形	0.34
			坡高	0.19
	气象水文	0.16	年均降雨量	0.66
防护工程技术状况	防护措施	1.00	防护强度	0.70
			排水设施	0.30
危害性	造成后果	1.00	断道时间	0.54
			公路等级	0.46

6.4.2 初步评价阶段，崩塌危岩灾害风险分级及对应的评价标准应按表 13 划分。

表13 崩塌危岩风险分级表（初评）

风险等级	分级标准 R	接受程度
高风险	$R \geq 900$	不可接受
中风险	$400 \leq R < 900$	需经详细评价后确认
低风险	$R < 400$	可接受

6.4.3 详细评价阶段，崩塌危岩灾害风险分级及对应的评价标准应按表 14 划分。

表14 崩塌危岩风险分级表（详评）

风险等级	分级标准 R	接受程度
极高风险	$R \geq 900$	完全不可接受
高风险	$700 \leq R < 900$	不可接受
较高风险	$600 \leq R < 700$	基本不可接受
中风险	$400 \leq R < 600$	基本可接受
低风险	$R < 400$	可接受

6.4.4 崩塌危岩灾害风险评价宜按本文件附录 A1（初步评价）与附录 A2（详细评价）进行。

7 泥石流风险评价

7.1 危险性评价

7.1.1 泥石流危险性一级指标评价包括：历史灾害及物源条件（ x_1 ）、地形地貌（ x_2 ）与气象水文（ x_3 ）。

7.1.2 历史灾害及物源条件（ x_1 ）包括历史灾害（ x_{11} ）、物源类型（ x_{12} ）、一次冲出最大量（ x_{13} ）及沿沟松散物储量（ x_{14} ）四个二级评价指标，初步评价阶段物源条件按表 15 确定评分值，详细评价阶段物源条件按表 16 确定评分值。

表15 初步评价阶段历史灾害及物源条件评分表

一级评价指标	分级	分值
(x_1) 历史灾害及物源条件	历史灾害1年多次至5年1次；物源丰富；粘土到漂石，含各级粒径松散物源	10
	历史灾害5年1次至50年1次；物源丰富程度中等；以碎石、砂砾为主	7
	历史灾害50年少于1次；物源贫瘠；以粘土、粉土为主	4

表16 详细评价阶段历史灾害及物源条件评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₁₁) 历史灾害	一年多次至5年1次	10
	1次/5年~50年	7
	>1次/50年	5
(x ₁₂) 物源类型	粘土到漂石, 含各级粒径松散物源	10
	以碎石、砂砾为主	7
	以粘土、粉土为主	4
(x ₁₃) 一次最大冲出量 (10 ⁴ m ³)	>100	10
	10~100	7
	1~10	5
	<1	2
(x ₁₄) 沿沟松散物储量 (10 ⁴ m ³ /km ²)	>10	10
	5~10	7
	1~5	5
	<1	2

7.1.3 地形地貌 (x₂) 包括沟岸山坡坡度 (x₂₁)、主沟长度 (x₂₂)、流域面积 (x₂₃) 与沟谷横断面形状 (x₂₄) 四个二级评价指标, 初步评价阶段地形地貌按表 17 确定评分值, 详细评价阶段地形地貌按表 18

表17 初步评价阶段地形地貌评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₂) 地形地貌	沟岸山坡坡度大于32°; 主沟长度大于10 km; 流域面积大于100 km ²	10
	沟岸山坡坡度在25°~32°之间; 主沟长度5~10 km; 流域面积10~100 km ²	7
	沟岸山坡坡度在15°~25°之间; 主沟长度大于1~5 km; 流域面积5~10 km ²	5
	沟岸山坡坡度小于15°; 主沟长度大于小于1 km; 流域面积小于5 km ²	2

表18 详细评价阶段地形地貌评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₂₁) 沟岸山坡坡度 (°)	>32	10
	25~32	7
	15~25	5
	<15	2
(x ₂₂) 主沟长度 (km)	>10	10
	5~10	7
	1~5	5
	<1	2
(x ₂₃) 流域面积 (km ²)	>100	10
	10~100	8
	5~10	6
	<5	2
(x ₂₄) 沟谷横断面形状	V型、U型、谷中谷型	10
	宽U型	7
	复式断面	5
	平坦型	2

7.1.4 气象水文 (x₃) 包括年均降雨量 (x₃₁)、汇水条件 (x₃₂) 与年均最大单日降雨量 (x₃₃) 三个二级评价指标, 初步评价阶段气象水文按表 19 确定评分值, 详细评价阶段气象水文按表 20 确定评分值。

表19 初步评价阶段气象水文评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₃) 气象水文	年均降雨量大于1200 mm; 汇水条件较好	10
	年均降雨量在500~1200 mm之间; 汇水条件中等	7
	年均降雨量小于500 mm; 汇水条件较差	4

表20 详细评价阶段气象水文评分表

二级评价指标	分级		分值
(x ₃₁) 年均降雨量 (mm)	>1200		10
	1000~1200		8
	800~1000		6
	500~800		5
	<500		4
(x ₃₂) 汇水条件	较好		10
	中等		5
	较差		2
(x ₃₃) 年均最大单日降雨量 (mm)	震前	震后	/
	>250	>200	10
	150~250	120~200	8
	50~150	40~120	6
	<50	<40	4

7.2 防护工程技术状况评价

7.2.1 泥石流防护工程技术状况一级评价指标由防护措施 (x₄) 表征。

7.2.2 防护措施 (x₄) 包括防护强度 (x₄₁) 一个二级评价指标, 初步评价阶段与详细评价阶段防护工程技术状态均按表 21 确定评分值。

表21 防护工程技术状态评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₄₁) 防护强度	拦挡措施损毁失效; 泥石流严重威胁构(建) 筑物但未设置拦挡	10
	拦挡措施遭到较大破坏或功能受到较大影响	7
	拦挡及排导工程遭到局部破坏或功能受到局部影响	4
	拦挡及排导工程基本完好或无需设置防护工程	2

7.3 危害性评价

7.3.1 泥石流危害性一级评价指标由造成后果 (x₅) 表征。

7.3.2 造成后果 (x₅) 包括泥石流与公路关系 (x₅₁)、断道时间 (x₅₂) 与公路等级 (x₅₃) 三个二级评价指标, 初步评价阶段造成后果按表 22 确定评分值, 详细评价阶段造成后果按表 23 确定评分值。

表22 初步评价阶段造成后果评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₅) 造成后果	公路位于泥石流能直接到达的地区; 高速公路、一级公路; 可能断道24 h以上	10
	公路位于泥石流溃坝后可能到达的地区; 二级公路; 可能断道12 h以上	8
	公路位于可能间接受到泥石流危害的牵连发生某些级别灾害的地区; 三级公路; 可能断道1 h以上	5
	公路位于泥石流影响区之外的地区; 四级公路及其他; 无断道发生	3

表23 详细评价阶段造成后果评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₅₁) 泥石流与公路空间关系	公路位于泥石流能直接到达的地区	10
	公路位于泥石流溃坝后可能到达的地区	7
	公路位于可能间接受到泥石流危害的牵连发生某些级别灾害的地区	4
	公路位于泥石流影响区之外的地区	2
(x ₅₂) 断道时间	可能断道24h以上	10
	可能断道12h以上	9
	可能断道1h以上	5
	无断道发生	2
(x ₅₃) 公路等级	高速公路、一级公路	10
	二级公路	8
	三级公路	6
	四级公路及其他	4

7.4 风险分级

7.4.1 泥石流灾害各项评价指标权重系数可按表24选用。

表24 泥石流风险评价指标权重系数选用表

评价指标类	一级评价指标及权重		二级评价指标及权重	
	指标x _i	权重r _i	指标x _{ij}	权重r _{ij}
危险性	历史灾害及物源条件	0.46	历史灾害	0.37
			物源类型	0.20
			一次冲出最大量	0.28
			沿沟松散物储量	0.15
	地形地貌	0.31	纵坡坡度	0.40
			主沟长度	0.30
			流域面积	0.20
			沟谷横断面形状	0.10
	气象水文	0.23	年均降雨量	0.42
			汇水条件	0.23
			年均最大单日降雨量	0.35
防护工程技术状况	防护措施	1.00	防护强度	1.00
危害性	造成后果	1.00	泥石流与公路关系	0.46
			断道时间	0.28
			公路等级	0.26

7.4.2 初步评价阶段，泥石流灾害风险分级及对应的评价标准应按表 25 划分。

表25 泥石流风险分级表（初评）

风险等级	分级标准R	接受程度
高风险	$R \geq 400$	不可接受
中风险	$150 \leq R < 400$	需经详细评价后确认
低风险	$R < 150$	可接受

7.4.3 详细评价阶段，泥石流灾害风险分级及对应的评价标准应按表 26 划分。

表26 泥石流风险分级表（详评）

风险等级	分级标准 R	接受程度
极高风险	$R \geq 400$	完全不可接受
高风险	$350 \leq R < 400$	不可接受
较高风险	$300 \leq R < 350$	基本不可接受
中风险	$150 \leq R < 300$	基本可接受
低风险	$R < 150$	可接受

7.4.4 泥石流灾害风险评价宜按本文件附录 B1（初步评价）与附录 B2（详细评价）进行。

8 路基水毁风险评价

8.1 危险性评价

8.1.1 路基水毁危险性一级评价指标包括抗冲刷能力（ x_1 ）、水文条件（ x_2 ）与河床几何形态（ x_3 ）。

8.1.2 抗冲刷能力（ x_1 ）包括变形特征（ x_{11} ）、天然岸坡（ x_{12} ）和河床基质（ x_{13} ）三个二级评价指标，初步评价阶段抗冲刷能力按表 27 确定评分值，详细评价阶段抗冲刷能力按表 28 确定评分值。

表27 初步评价阶段抗冲刷能力评分表

一级评价指标	分级	分值
（ x_1 ）抗冲刷能力	路基局部垮塌，路面裂缝贯通、错台，挡墙垮塌或严重开裂变形；天然岸坡为细砂、粉土、粘土；河床基质以砾石、砂土为主	10
	路面局部出现裂缝，挡墙出现较严重变形，基础遭冲刷脱空；天然岸坡为砾石土、漂卵块石；河床基质以卵石为主	7
	路面及挡墙无明显裂缝；天然岸坡为基岩；河床基质以漂石为主	4

表28 详细评价阶段抗冲刷能力评分表

二级评价指标	分级	分值
（ x_{11} ）变形特征	路基局部垮塌，路面裂缝贯通、错台，挡墙垮塌或严重开裂变形	10
	路面局部出现裂缝，挡墙出现较严重变形，基础遭冲刷脱空	7
	路面无裂缝，但有其他变形迹象，挡墙基础遭受冲刷外露	5
	路面完好无变形迹象，挡墙基本完好	2
（ x_{12} ）天然岸坡	细砂、粉土、粘土等	10
	砾石土	7
	漂卵块石	5
	基岩	3
（ x_{13} ）河床基质	砂土为主	10
	砾石为主	7
	卵石为主	3
	漂石为主	1

8.1.3 水文条件（ x_2 ）评价指标应考虑汛期水位（ x_{21} ）与汛期流速（ x_{22} ）两个指标，初步评价阶段水文条件按表 29 确定评分值，详细评价阶段水文条件按表 30 确定评分值。

表29 初步评价阶段水文条件评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₂) 水文条件	汛期水位高于路基顶面	10
	汛期水位在坡脚至路基顶面上1/3段	7
	汛期水位在坡脚至路基顶面下2/3段	3
	汛期水位低于路基坡脚	1

表30 水文条件二级指标详细评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₂₁) 汛期水位	高于路基顶面	10
	坡脚至路基顶面上1/3段	7
	坡脚至路基顶面下2/3段	3
	低于路基坡脚	1
(x ₂₂) 汛期流速 (m/s)	$v \geq 10$	10
	$7 \leq v < 10$	8
	$4 \leq v < 7$	6
	$2 \leq v < 4$	4
	$v < 2$	2

8.1.4 河床几何形态 (x₃) 评价指标应考虑凹凸岸 (x₃₁)、河床横断面形式 (x₃₂)、河床比降 (x₃₃) 与河流平面形态 (x₃₄) 四个二级评价指标，初步评价阶段河床几何形态按表 31 确定评分值，详细评价阶段河床几何条件按表 32 确定评分值。

表31 初步评价阶段河床几何形态评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₃) 河床几何形态	凹岸；V型断面	10
	凸岸；U型断面	6
	顺直；U型断面	4

表32 详细评价阶段河床几何形态评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₃₁) 凹、凸岸	凹岸	10
	凸岸	5
	顺直	3
(x ₃₂) 河床横断面形式	V型断面	10
	U型断面	5
(x ₃₃) 河床比降	极陡 ($I \geq 4\%$)	10
	陡 ($1.5\% \leq I < 4\%$)	8
	较陡 ($1\% \leq I < 1.5\%$)	6
	较缓 ($0.5\% \leq I < 1\%$)	4
	平缓 ($0.01\% \leq I < 0.5\%$)	2
(x ₃₄) 河流平面形态	弯曲河段, $\theta \geq 90^\circ$	10
	弯曲河段, $\theta = 45^\circ \sim 90^\circ$	7
	弯曲河段, $\theta \leq 45^\circ$	4
	顺直河段	2

8.2 防护工程技术状况评价

8.2.1 路基水毁防护工程技术状况一级评价指标由防护措施 (x₄) 表征。

8.2.2 防护措施 (x₄) 由二级评价指标防护强度 (x₄₁) 表征，初步评价阶段防护工程技术状态按表 33 确定评分值，详细评价阶段防护工程技术状态按表 34 确定评分值。

表33 初步评价阶段防护工程技术状态评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₄) 防护措施	无防护	10
	有防护	5

表34 详细评价阶段防护工程技术状态评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₄₁) 防护强度	无防护措施	10
	铅丝石笼挡墙、四面体预制块等	7
	基础未置于基岩的混凝土挡墙；片石混凝土挡墙、浆砌片石挡墙等	4
	桩基托梁挡墙、现浇桩板墙；基础置于基岩上的钢筋混凝土挡墙、素混凝土挡墙等	2

8.3 危害性评价

8.3.1 路基水毁危害性一级评价指标由造成后果 (x₅) 表征。

8.3.2 造成后果 (x₅) 包括断道时间 (x₅₁) 与公路等级 (x₅₂) 两个二级评价指标，初步评价阶段造成后果按表 35 确定评分值，详细评价阶段造成后果按表 36 确定评分值。

表35 初步评价阶段造成后果评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₅) 造成后果	高速公路、一级公路；可能断道24 h以上	10
	二级公路；可能断道12 h以上	8
	三级公路；可能断道1 h以上	6
	四级公路；无断道发生	4

表36 详细评价阶段造成后果评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₅₁) 断道时间	可能断道24 h以上	10
	可能断道12 h以上	9
	可能断道1 h以上	5
	无断道发生	2
(x ₅₂) 公路等级	高速公路、一级公路	10
	二级公路	8
	三级公路	6
	四级公路及其他	4

8.4 风险分级

8.4.1 路基水毁灾害各项评价指标权重系数可按表 37 选用。

表37 路基水毁评价指标权重系数选用表

评价指标类	一级评价指标及权重		二级详细评价指标及权重	
	指标x _i	权重r _i	指标x _{ij}	权重r _{ij}
危险性	抗冲刷能力	0.47	变形特征	0.48
			天然岸坡	0.32
			河床基质	0.20
	水文条件	0.32	汛期水位	0.46
			汛期流速	0.54
	河床几何形态	0.21	凹、凸岸	0.40
			河床横断面形式	0.12

表37 路基水毁评价指标权重系数选用表（续）

评价指标类	一级评价指标及权重		二级详细评价指标及权重	
	指标 x_i	权重 r_i	指标 x_{ij}	权重 r_{ij}
			河流平面形态	0.20
			河床比降	0.28
防护工程技术状况	防护措施	1.00	防护强度	1.00
危害性	断道时间	1.00	断道时间	0.54
			公路等级	0.46

8.4.2 初步评价阶段，路基水毁灾害风险分级及对应的评价标准应按表 38 划分。

表38 路基水毁风险分级表（初评）

风险等级	分级标准 R	接受程度
高风险	$R \geq 700$	不可接受
中风险	$200 \leq R < 700$	需经详细评价后确认
低风险	$R < 200$	可接受

8.4.3 详细评价阶段，路基水毁灾害风险分级及对应的评价标准应按表 39 划分。

表39 路基水毁风险分级表（详评）

风险等级	分级标准 R	接受程度
极高风险	$R \geq 700$	完全不可接受
高风险	$600 \leq R < 700$	不可接受
较高风险	$350 \leq R < 600$	基本不可接受
中风险	$200 \leq R < 350$	基本可接受

8.4.4 路基水毁灾害风险评价宜按本文件附录 C1（初步评价）与附录 C2（详细评价）进行。

9 边坡失稳风险评价

9.1 危险性评价

9.1.1 边坡失稳危险性一级评价指标包括：变形特征及地质条件（ x_1 ）、气象水文（ x_2 ）与几何特征（ x_3 ）。

9.1.2 变形特征及地质条件（ x_1 ）：若为岩质边坡，考虑包括变形特征（ x_{11} ）、岩体完整程度（ x_{12} ）、结构面倾向与坡面倾向间的夹角（ x_{13} ）、结构面倾角与坡面倾角之差（ x_{14} ）及岩石坚硬程度（ x_{15} ）五个二级评价指标；若为土质边坡，考虑包括变形特征（ x_{11} ）、土体类型（粘土/非粘土）（ x_{12} ）、土体密实度（非粘土）（ x_{13} ）、土体含水状态（非粘土）（ x_{14} ）、稠度（粘土）（ x_{15} ）五个二级评价指标，初步评价阶段变形特征及地质条件按表 40 确定评分值，详细评价阶段按表 41 确定评分值。

表40 初步评价阶段变形特征及地质条件评分表

一级评价指标	分级	分值
(x_1) 变形特征及地质条件	坡体变形特征明显；岩质边坡为含软弱结构面的顺层边坡，且存在临空面；土质边坡为含软弱夹层的粘性土坡体，边界条件不利于边坡稳定	10
	坡体出现部分变形；岩质边坡为破碎、全风化坡体；土质边坡以粉土、砂土为主	7
	坡体轻微或少量变形；岩质边坡岩体较完整、风化程度低；土质边坡以碎石土为主	4
	坡体无变形迹象；岩质边坡完整，无缓倾、贯通结构面；土质边坡以块石土为主	1

表41 详细评价阶段变形特征及地质条件评分表

边坡类型	二级评价指标	分级	分值	
(1)岩质 边坡	(x ₁₁) 变形特征	坡体变形特征明显，滑面基本贯通	10	
		坡体有部分变形，滑面未贯通	7	
		轻微或少量变形，存在潜在滑面	4	
		坡体无变形迹象，无潜在滑面	1	
	(x ₁₂) 岩体完整程度	结构面组数	>3	10
			2~3	6
			<1	2
		结构面平均间距	<0.2 m	10
			0.2~0.4 m	8
			0.4~1 m	6
			>1 m	5
		主要结构面结合程度	差	10
			一般	7
			好	5
	(x ₁₃) 结构面倾向与坡面倾向间的夹角	<5	10	
		10~5	7	
		20~10	5	
		30~20	2	
		>30	0	
	(x ₁₄) 结构面倾角与坡面倾角之差	< -10	10	
		0~-10	7	
		0	5	
		10~0	2	
		>10	0	
	(x ₁₅) 岩石坚硬程度	极软岩	10	
		软岩	8	
		较软岩	6	
		较坚硬岩	4	
		坚硬岩	2	
(2)土质 边坡	(x ₁₁) 变形特征	边坡后缘或前缘出现明显裂缝，存在贯通滑面	10	
		边坡后缘或前缘出现少量裂缝，未见贯通滑面	7	
		坡体未见变形，无贯通滑面	5	
	(x ₁₂) 土体类型（粘土/非粘土）	粘性土	10	
		粉土	7	
		砂土	4	
		碎石土	2	
	(x ₁₃) 土体密实度（非粘土）	松散	10	
		稍密	7	
		中密	5	
		密实	2	
	(x ₁₄) 土体含水状态（非粘土）	很湿	10	
		湿	5	
		稍湿	2	
	(x ₁₅) 稠度（粘土）	软塑	10	
可塑		7		
硬塑		5		
坚硬		2		

9.1.3 气象水文 (x₂) 包括年均降雨量 (x₂₁)、地表水 (x₂₂) 和地下水 (x₂₃) 三个二级评价指标，初步评价阶段气象水文按表42确定评分值，详细评价阶段气象水文按表43确定评分值。

表42 初步评价阶段气象水文评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₂) 气象水文	年均降雨量在1200 mm以上；地表水坡面冲刷强烈； 地下水面状渗流	10
	年均降雨量在500 ~ 1200 mm之间；地表水坡面轻微 冲刷；地下水线状或点状渗流	7
	年均降雨量在500 mm以下；地表水坡面无冲刷；无 地下水出露	4

表43 详细评价阶段气象水文评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₂₁) 年均降雨量 (mm)	>1200	10
	1000~1200	8
	800~1000	6
	500~800	5
	<500	4
(x ₂₂) 地表水	坡面冲刷强烈	10
	坡面轻微冲刷	6
	坡面无冲刷	0
(x ₂₃) 地下水	面状渗流	10
	线状渗流	7
	点状渗流	5
	无地下水出露	0

9.1.4 几何特征 (x₃) 包括坡度 (x₃₁) 和坡高 (x₃₂) 两个二级评价指标，初步评价阶段几何特征按表44确定评分值，详细评价阶段几何特征按表45确定评分值。

表44 初步评价阶段几何特征评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₃) 几何特征	岩质边坡坡度大于 67°，坡高大于 60 m；或土质边坡坡度大于 48°，坡 高大于 40 m	10
	岩质边坡坡度在 58°~67°之间，坡高在 30 ~60 m 之间；或土质边坡坡 度在 42°~48°之间，坡高在 20 ~40 m 之间	8
	岩质边坡坡度在 49°~58°之间，坡高在 15 ~30 m 之间；或土质边坡坡度 在 37°~42°之间，坡高在 10 ~20 m 之间	6
	岩质边坡坡度在 42°~49°之间，坡高在 8 ~15 m 之间；或土质边坡坡度 在 32°~37°之间，坡高在 6 ~10 m 之间	4
	岩质边坡坡度不大于 42°，坡高不大于 8 m；或土质边坡坡度不大于 32°， 坡高不大于 6 m	2

表45 详细评价阶段几何特征评分表

二级评价指标	分级		分值
(x ₃₁) 坡度 (°)	(1) 土质边坡	>48	10
		42~48	7
		37~42	5
		32~37	3
		<32	1
	(2) 岩质边坡	>67	10
		58~67	9
		49~58	7
		42~49	5
		<42	2

表45 详细评价阶段几何特征评分表（续）

二级评价指标	分级		分值
(x ₃₂) 坡高 (m)	(1) 土质边坡	>40	10
		20~40	7
		10~20	5
		6~10	3
		<6	1
	(2) 岩质边坡	>60	10
		30~60	9
		15~30	7
		8~15	5
		<8	2

9.2 防护工程技术状况评价

9.2.1 边坡失稳防护工程技术状况评价一级指标由防护措施 (x₄) 表征。

9.2.2 防护措施 (x₄) 包括防护强度 (x₄₁) 与排水措施 (x₄₂) 两个二级评价指标，初步评价阶段防护措施按表 46 确定评分值，详细评价阶段防护措施按表 47 确定评分值。

表46 初步评价阶段防护措施评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₄) 防护措施	无防护设施；无排水设施	10
	无防护设施；有排水设施	8
	有防护设施；无排水设施	6
	有防护措施；有排水措施	4

表47 详细评价阶段防护措施评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₄₁) 防护强度	无（无防护、植物护坡、挂网植草）	10
	弱（护面墙、挂网喷浆、网格护坡、护脚墙）	7
	中（重力式挡墙、锚杆）	4
	强（抗滑桩、预应力锚索）	2
(x ₄₂) 排水措施	无排水设施	10
	有排水设施，但大小或数量不足	5
	合适数量或大小的排水设施	3

9.3 危害性评价

9.3.1 边坡失稳危害性评价一级指标由造成后果 (x₅) 表征。

9.3.2 造成后果 (x₅) 包括断道时间 (x₅₁) 与公路等级 (x₅₂) 两个二级评价指标，初步评价阶段造成后果按表 48 确定评分值，详细评价阶段造成后果按表 49 确定评分值。

表48 初步评价阶段造成后果评分表

一级评价指标	分级	分值
(x ₅) 造成后果	高速公路、一级公路；可能断道24 h以上	10
	二级公路；可能断道12 h以上	8
	三级公路；可能断道1 h以上	6
	四级公路及其他；无断道发生	4

表49 详细评价阶段造成后果评分表

二级评价指标	分级	分值
(x ₅₁) 断道时间	可能断道24 h以上	10
	可能断道12 h以上	9
	可能断道1 h以上	5
	无断道发生	2
(x ₅₂) 公路等级	高速公路、一级公路	10
	二级公路	8
	三级公路	6
	四级公路及其他	4

9.4 风险分级

9.4.1 边坡失稳各项评价指标权重系数可按表 50 选用。

表50 边坡失稳风险评价指标权重系数选用表

评价指标类	一级评价指标及权重		二级详细评价指标及权重	
	指标x _i	权重r _i	指标x _{ij}	权重r _{ij}
危险性	变形特征及地质条件	0.51	(1) 岩质边坡	
			变形特征	0.38
			岩体完整程度	0.22
			结构面倾向与坡面倾向间的夹角	0.20
			结构面倾角与坡面倾角之差	0.13
			岩石坚硬程度	0.07
			(2) 土质边坡	
			变形特征	0.42
			土体类型（非粘土/粘土）	0.26/0.28
			土体密实度（非粘土）	0.18
			土体含水状态（非粘土）	0.14
			稠度（粘土）	0.30
	气象水文	0.19	年均降雨量	0.45
			地表水	0.33
			地下水	0.22
防护工程技术状况	防护措施	1.00	坡度	0.65
			坡高	0.35
危害性	造成后果	1.00	防护强度	0.66
			排水设施	0.34
			断道时间	0.54
			公路等级	0.46

9.4.2 初步评价阶段，边坡失稳风险分级及对应的评价标准应按表 51 划分。

表51 公路边坡风险分级表（初评）

风险等级	分级标准R	接受程度
高风险	$R \geq 700$	不可接受
中风险	$200 \leq R < 700$	需经详细评价后确认
低风险	$R < 200$	可接受

9.4.3 详细评价阶段，边坡失稳风险分级及对应的评价标准应按表 52 划分。

表52 公路边坡风险分级表（详评）

风险等级	分级标准R	接受程度
极高风险	$R \geq 700$	完全不可接受
高风险	$500 \leq R < 700$	不可接受
较高风险	$350 \leq R < 500$	基本不可接受
中风险	$200 \leq R < 350$	基本可接受
低风险	$R < 200$	可接受

9.4.4 边坡失稳风险评价宜按本文件附录 D1（初步评价）与附录 D2（详细评价）进行。

10 评价结果与决策技术支持

10.1 一般规定

营运山区公路地质灾害及边坡工程的风险处置原则是结合工程风险评级开展相应等级的监控预警，采取必要防护加固，对于极端情况还应做好应急抢险预案。

10.2 处置对策

10.2.1 崩塌危岩风险处置措施按表 53 相关规定执行。

表53 崩塌危岩风险处置措施

风险等级	处置措施概述	监测等级	防护加固	应急抢险预案
低风险	日常巡检中，只采取目测、影像记录的手段进行持续关注，若低风险边坡的危岩危险性有持续增大趋势，则应及时进行记录和汇报。	巡检	无	无
中风险	日常巡检中，密切关注中风险边坡危岩的危险性变化情况，做好每日观察记录，包括危岩、致灾因子变化情况的纸质、影像记录。	二级	无	无
较高风险	制定专项巡检计划，密切关注致险因子的变化情况，若已有边坡防护措施，则需对边坡防护措施进行定期维护；若无防护措施，则进一步讨论是否需要进行一定手段的防护。	二级	增加必要防护	视情况
高风险	组织专业人员对高风险边坡危岩进行实地勘察，制定专项监测方案，对危岩裂隙、边坡位移、地下水变化进行密切关注；建立高风险边坡危岩落石预警方案，并制定应急处置措施。	一级	加强防护	建议
极高风险	组织专业人员对高风险边坡危岩进行实地勘察，制定专项监测方案，对危岩裂隙、边坡位移、地下水变化进行密切关注；进行必要的边坡防护加固；建立高风险边坡危岩落石预警方案，并制定应急处置措施。对崩塌危岩影响范围内的公路进行管控。	一级/应急	加强防护	需要

10.2.2 泥石流风险处置措施按表 54 相关规定执行。

表54 泥石流风险分级处置措施

风险等级	处置措施概述	监测等级	防护加固	应急抢险预案
低风险	日常巡检，只采取目测、影像记录的手段进行持续关注，若低风险泥石流沟的危险性有持续增大趋势，则应及时进行记录和汇报。	巡检	无	无
中风险	日常巡检，密切关注中风险泥石流沟的危险性变化情况，做好每日观察记录，包括泥石流沟物源、致灾因子变化情况的纸质、影像记录。	二级	无	无

表54 泥石流风险分级处置措施（续）

风险等级	处置措施概述	监测等级	防护加固	应急抢险预案
较高风险	对较高风险的泥石流沟，制定专项巡检计划，密切关注致灾因子、物源条件变化情况，若已有泥石流沟防护措施，则需对泥石流沟的防护措施进行定期维护；若无防护措施，则进一步讨论是否需要进行一定手段的防护。	二级	增加必要防护	视情况
高风险	组织专业人员对高风险泥石流沟进行实地勘察，制定专项监测方案，对物源条件、地下水变化进行密切关注；建立高风险泥石流沟预警方案，并制定应急处置措施。	一级	加强防护	建议
极高风险	组织专业人员对高风险泥石流沟进行实地勘察，制定专项监测方案，对物源条件、地下水变化进行密切关注；进行必要的泥石流沟防护处治；建立高风险泥石流沟预警方案，并制定应急处置措施。对泥石流可能影响的公路进行管控。	一级/应急	加强防护	需要

10.2.3 路基水毁风险处置措施按表 55 相关规定执行。

表55 路基水毁风险分级处置措施

风险等级	处置措施概述	监测等级	防护加固	应急抢险预案
低风险	日常巡检，只采取目测、影像记录的手段进行持续关注，若低风险路基的危险性有持续增大趋势，则应及时进行记录和汇报。	巡检	无	无
中风险	日常巡检，密切关注中风险路基段的危险性变化情况，做好每日观察记录，包括河流水位、流速变化情况、致灾因子变化情况的纸质、影像记录。	二级	无	无
较高风险	对较高风险的路基段，制定专项巡检计划，密切关注致灾因子、河流水位、流速变化情况，若已有路基防护措施，则需对路基的防护措施进行定期维护；若无防护措施，则进一步讨论是否需要进行一定手段的防护。	二级	增加必要防护	视情况
高风险	组织专业人员对高风险路基段进行实地勘察，制定专项监测方案，对河流水位、流速变化进行密切关注；建立高风险路基水毁预警方案，并制定应急处置措施。	一级	加强防护	建议
极高风险	组织专业人员对高风险路基进行实地勘察，制定专项监测方案，对河流水位、流速变化进行密切关注；进行必要的路基防护设计；建立高风险路基段预警方案，并制定应急处置措施。对水毁可能影响的公路进行管控。	一级/应急	加强防护	需要

10.2.4 边坡失稳风险处置措施按表 56 相关规定执行。

表56 边坡失稳风险分级处置措施

风险等级	处置措施概述	监测等级	防护加固	应急抢险预案
低风险	日常巡检，只采取目测、影像记录的手段进行持续关注，若低风险边坡变形失稳危险性有持续增大趋势，则应及时进行记录和汇报。	巡检	无	无
中风险	日常巡检，密切关注中风险边坡的危险性变化情况，做好每日观察记录，包括边坡变形变化情况、致灾因子变化情况的纸质、影像记录。	二级	无	无
较高风险	对较高风险边坡，制定专项巡检计划，密切关注致灾因子变化情况，若已有边坡防护措施，则需对边坡防护措施进行定期维护；若无防护措施，则进一步讨论是否需要进行一定手段的防护。	二级	增加必要防护	视情况

表56 边坡失稳风险分级处置措施（续）

风险等级	处置措施概述	监测等级	防护加固	应急抢险预案
高风险	组织专业人员对高风险边坡进行实地勘察，制定专项监测方案，对边坡位移、地下水变化进行密切关注；建立高风险边坡预警方案，并制定应急处置措施。	一级	加强防护	建议
极高风险	组织专业人员对极高风险边坡进行实地勘察，制定专项监测方案，对边坡位移、地下水变化进行密切关注；进行必要的边坡防护处治；建立高风险边坡预警方案，并制定应急处置措施；对边（滑）坡可能失稳威胁的公路进行管控。	一级/应急	加强防护	需要

10.3 监测预警

10.3.1 风险对象的监测等级应根据风险评级结果确定：

- a) 对于危险性小的地质灾害和边坡工程等，可不进行专业监测，以人工巡查为主；
 - b) 评价结果达到中等以上的风险对象，应制定监测方案，进行专业监测（即一、二级监测）；
 - c) 对于危险性大、已经超过变形阈值或处于加速变形、出现险情的风险对象，应确定为应急监测。
- 应急监测应针对反映地质灾害和边坡工程最敏感、直接的指标进行监测，并满足安装快速、采样及时、便于分析的要求。

10.3.2 应根据不同监测对象，按监测等级选择相应的监测内容，并采用相应的监测方法进行监测。

10.3.3 监测内容应以变形监测为主，应力和影响因素为辅。监测内容应按表 57 确定。

表57 不同灾害的主要监测内容

监测对象	监测等级	地表变形	深部位移	裂缝开合	雨量	地下水	微震监测	温湿度气压	结构物应力	视频
边坡失稳	应急	+	(+)	+	+				(+)	+
	一级	+	+	+	+	+	(+)	+	+	+
	二级	+	+	+	+	(+)		(+)	(+)	+
崩塌危岩	应急	+		+	+	(+)	(+)			+
	一级	+	(+)	+	+	(+)	+	(+)	+	+
	二级	(+)		+	+		(+)		(+)	+
泥石流	应急	+			+	(+)	(+)			+
	一级	+			+	(+)	+			+
	二级	(+)			+		(+)			+
路基水毁	应急	+		+	+	(+)				+
	一级	+		+	+	(+)				+
	二级	(+)		+	+					+
“+”-应测，“(+)”-选测										

10.3.4 各项监测内容的监测方法按表 58 确定。鼓励采用先进的监测方法，但需要对其可靠性和精度进行验证。

表 58 监测内容及方法

监测内容	监测部位	监测指标	监测方法
地表绝对变形	近地表或构造物表面	水平位移量	水平位移可采用大地测量法和 GNSS 法（GPS、北斗等）进行监测。
		垂向位移量	垂向位移可采用水准测量、静力水准测量或 GPS 法进行垂向位移测量。
		倾斜量	采用倾斜仪、倾斜盘进行倾斜测量。

表 58 监测内容及方法（续）

监测内容	监测部位	监测指标	监测方法
深部位移	钻孔内	深部水平位移量	深部位移监测可采用钻孔倾斜仪或钻孔位移计进行监测。
地表相对位移	地表裂缝	裂缝的开合、错动量	裂缝监测可采用简易观测或裂缝计进行监测。
结构物	锚杆（索）、桩	应力、应变	应力可通过锚索计、钢筋计、轴力计进行监测，应变可通过应变计进行监测。
影响因素	地表	降雨量	雨量监测可采用雨量计进行监测。
		温度、湿度、气压	采用温度计、湿度计、气压计进行监测，温度监测可同时进行地表和钻孔内监测。
	地下	地声	采用声发射监测仪进行监测。
		孔隙水压力	采用孔隙水压力计、渗压计进行监测。
视频	地表	实时视频	利用已有的高清摄像头或新建高清摄像装置，做到视频直观定性监测和仪器定量监测相结合。

10.3.5 不同监测等级、监测内容的仪器最低精度应满足表 59 的规定。

表59 监测仪器精度要求

监测内容	监测方法	监测仪器		精度指标	监测等级	
					应急、一级	二级
地表位移	大地测量	全站仪、水准仪		位移 (mm+ppm)	1+1.5	2+2
	GNSS	GPS、北斗	水平		3+1	5+1
			垂向		6+1	10+1
	倾斜仪	倾斜计、倾斜盘		角度(°)	0.2	0.5
裂缝开合	简易观测	钢尺		位移(mm)	0.5	0.5
	仪器法	裂缝计			0.2	0.3
深部位移	测斜法	测斜仪		位移(mm/m)	0.2	0.5
结构物	应力计法	锚索计、钢筋计、轴力计		应力(%FS)	0.5	2
	应变计法	应变计		应变(%)	0.2	5
地声	测声法	PVDF 压电薄膜传感器		灵敏度	$-180\text{dB}\cdot\text{V}\times 10^{4/\text{Pa}}$	
				频响范围	1Hz-20kHz	
影响因素	降雨量	雨量计		高度(mm)	0.2	0.5
	水压力	孔隙水压力计		压力(%FS)	0.25	1
	地声	声发射传感器	硬岩	10dB 频率带宽 (kHz)	200-1000	
			软岩		0-200	

10.3.6 不同监测等级和监测内容的读数精度应满足表 60 的规定。

表60 监测数据取值精确度要求

监测等级	监测内容			
	角度(°)	水平位移(mm)	垂向位移(mm)	应力(kPa)
应急、一级	0.01	0.1	0.1	0.01
二级	0.10	1.0	1.0	0.1

10.3.7 监测频率应根据监测等级、灾害发育程度、监测方法等因素需要确定，且满足及时掌握对致灾体变形发展变化趋势的要求。手动监测、自动监测的频率要求宜按表 61 确定。

表61 监测频率要求

监测等级	手动监测		自动监测	
	灾害发育程度			
	中等	强	中等	强
应急	/	2h—12h	/	<10min
一级	1d—3d	12h—24h	1h—3h	10—60min
二级	3d—7d	/	3h—6h	/

10.4 应急措施

地质灾害风险等级高、或进一步发展到一定程度时，应制定应急抢险预案，可参考《公路应急抢通保通技术手册》。

附录 A
(资料性)
崩塌危岩风险评分表

崩塌危岩风险初步评价评分表见表 A. 1。

表 A. 1 崩塌危岩风险初步评价评分表

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	分级	分值	得分
危险性	(x_1) 历史灾害及地质条件	0.50	历史灾害5年发生3次及以上；岩体破碎；硬岩夹软岩	10	
			历史灾害5年发生1~3次；岩体较破碎；软硬岩互层	7	
			历史灾害近5年从未发生；岩体完整；软岩	4	
		$H_1 = 0.50 \times x_1$			
	(x_2) 几何特征	0.34	坡度大于75°；呈凹形；坡高大于60 m	10	
			坡度在30~75°之间；呈凸形；坡高在15~60 m之间	7	
			坡度不大于30°；呈直线形；坡高不大于15 m	4	
		$H_2 = 0.34 \times x_2$			
	(x_3) 气象水文	0.16	年均降雨量大于1200 mm；常年有坡面水	10	
			年均降雨量在500~1200 mm之间；断断续续有坡面水	7	
年均降雨量小于500 mm；几乎没有坡面水			4		
$H_3 = 0.16 \times x_3$					
危险性指标总得分 $H = H_1 + H_2 + H_3$					
防护工程技术状况	(x_4) 防护措施	1.00	无防护设施；无排水设施	10	
			无防护设施；有排水设施	8	
			有防护设施；无排水设施	6	
			有防护设施；有排水设施	4	
	防护工程技术状况指标总得分 $P = 1.00 \times x_4$				
危害性	(x_5) 造成后果	1.00	高速公路、一级公路；可能断道24 h以上	10	
			二级公路；可能断道12 h以上	8	
			三级公路；可能断道1 h以上	6	
			四级公路及其他；无断道发生	4	
	危害性指标总得分 $V = 1.00 \times x_5$				
崩塌危岩风险总得分		$R = H \times P \times V$			
崩塌危岩风险等级		$R \geq 900$		高风险	
		$400 \leq R < 900$		中风险	
		$R < 400$		低风险	

注：对于历史灾害及地质条件、几何特征两个一级评价指标，若有两项及以上满足分级标准则按照表中的建议分值取值，若不满足则统一取值 5 分。对于气象水文与造成后果两个一级评价指标，两项分级标准均满足则按照表中的建议分值取值，若不满足则加权取均值。

崩塌危岩风险详细评价评分表见表 A. 2。

表 A.2 崩塌危岩风险详细评价评分表

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	二级评价指标 x_{ij}	权重 r_{ij}	分级		分值	得分	
危险性	(x_1) 历史灾害及地质条件	0.50	(x_{11}) 历史灾害	0.45	3次/5年		10		
					1~3次/5年		7		
					从未发生/5年		5		
			(x_{12}) 岩体完整程度	0.30	结构面组数	>3	10		
						2~3	6		
						≤1	2		
					结构面平均间距	≤0.2 m	10		
						0.2~0.4 m	8		
						0.4~1 m	6		
						>1 m	5		
					主要结构面结合程度	差	10		
						一般	7		
						好	5		
			(x_{13}) 岩体软硬程度	0.17	硬岩夹软岩		10		
					软硬岩互层		8		
					硬岩		6		
					软岩		4		
			(x_{14}) 岩体风化程度	0.08	全风化		10		
					强风化		7		
					中风化		5		
					微风化		2		
			$H_1=0.50\times(0.45\times x_{11}+0.30\times x_{12}+0.17\times x_{13}+0.08\times x_{14})$						
	(x_2) 几何特征	0.34	(x_{21}) 坡度(°)	0.47	>75		10		
					60~75		8		
					45~60		6		
					30~45		4		
					≤30		2		
			(x_{22}) 坡形	0.34	凹形		10		
					凸形		8		
					直线形		4		
			(x_{23}) 坡高(m)	0.19	>60		10		
					30~60		8		
					15~30		6		
					8~15		4		
					≤8		2		
			$H_2=0.34\times(0.47\times x_{21}+0.34\times x_{22}+0.19\times x_{23})$						
(x_3) 气象水文	0.16	(x_{31}) 年均降雨量(mm)	0.66	>1200		10			
				1000~1200		8			
				800~1000		6			
				500~800		5			
				<500		4			

表 A.2 崩塌危岩风险详细评价评分表（续）

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	二级评价指标 x_{ij}	权重 r_{ij}	分级	分值	得分
危险性	(x_3) 气象水文	0.16	(x_{32}) 坡面水	0.34	常年有坡面水	10	
					断断续续有坡面水	7	
					几乎没有坡面水	2	
		$H_3 = 0.16 \times (0.66 \times x_{31} + 0.34 \times x_{32})$					
危险性指标总得分 $H = H_1 + H_2 + H_3$							
防护工程技术状况	(x_4) 防护措施	1.00	(x_{41}) 防护强度	0.70	无防护措施或防护措施基本失效	10	
					防护明显偏弱或防护工程措施遭到较大破坏或功能受到较大影响	7	
					防护稍弱或防护工程措施遭到局部破坏或功能受到局部影响	4	
					防护强度适宜，且防护工程措施基本完好	2	
		(x_{42}) 排水措施	0.30	无排水设施	10		
				有排水设施，但大小或数量不足	5		
				合适数量或大小的排水设施	3		
		防护工程技术状况指标总得分 $P = 0.70 \times x_{41} + 0.30 \times x_{42}$					
危害性	(x_5) 造成后果	1.00	(x_{51}) 断道时间	0.54	可能断道24 h以上	10	
					可能断道12 h以上	9	
					可能断道1 h以上	5	
					无断道发生	2	
		(x_{52}) 公路等级	0.46	高速公路、一级公路	10		
				二级公路	8		
				三级公路	6		
				四级公路及其他	4		
		危害性指标总得分 $V = 0.54 \times x_{51} + 0.46 \times x_{52}$					
崩塌危岩风险总得分		$R = H \times P \times V$					
崩塌危岩风险等级		$R \geq 900$		极高风险			
		$700 \leq R < 900$		高风险			
		$600 \leq R < 700$		较高风险			
		$400 \leq R < 600$		中风险			
		$R < 400$		低风险			

注：岩体完整程度 X12 得分取结构面组数、结构面平均间距与主要结构面结合程度三项分值的平均值。

附录 B
(资料性)
泥石流风险评分表

泥石流风险初步评价评分表见表 B.1。

表 B.1 泥石流风险初步评价评分表

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	分级	分值	得分
危险性	(x_1) 历史灾害及物源条件	0.46	历史灾害1年多次至5年1次；物源丰富；粘土到漂石，含各级粒径松散物源	10	
			历史灾害5年1次至50年1次；物源丰富程度中等；以碎石、砂砾为主	7	
			历史灾害1年50年少于1次；物源贫瘠；以粘土、粉土为主	4	
		$H_1 = 0.46 \times x_1$			
	(x_2) 地形地貌	0.31	沟岸山坡坡度大于32°；主沟长度大于10 km；流域面积大于100 km ²	10	
			沟岸山坡坡度在25°~32°之间；主沟长度5~10 km；流域面积10~100 km ²	7	
			沟岸山坡坡度在15°~25°之间；主沟长度大于1~5 km；流域面积5~10 km ²	5	
			沟岸山坡坡度小于15°；主沟长度大于小于1 km；流域面积小于5 km ²	2	
		$H_2 = 0.31 \times x_2$			
	(x_3) 气象水文	0.23	年均降雨量大于1200 mm；汇水条件较好	10	
			年均降雨量在500~1200 mm之间；汇水条件中等	7	
			年均降雨量小于500 mm；汇水条件较差	4	
		$H_3 = 0.23 \times x_3$			
	危险性指标总得分 $H = H_1 + H_2 + H_3$				
防护工程技术状况	(x_4) 防护措施	1.00	拦挡措施损毁失效；泥石流严重威胁构（建）筑物但未设置拦挡	10	
			拦挡措施遭到较大破坏或功能受到较大影响	7	
			拦挡及排导工程遭到局部破坏或功能受到局部影响	4	
			拦挡及排导工程基本完好或无需设置防护工程	2	
	防护工程技术状况指标总得分 $P = 1.00 \times x_4$				
危害性	(x_5) 造成后果	1.00	公路位于泥石流能直接到达的地区；高速公路、一级公路；可能断道24 h以上	10	
			公路位于泥石流溃坝后可能到达的地区；二级公路；可能断道12 h以上	8	
			公路位于可能间接受到泥石流危害的牵连发生某些级别灾害的地区；三级公路；可能断道1 h以上	5	
			公路位于泥石流影响区之外的地区；四级公路及其他；无断道发生	3	
	危害性指标总得分 $V = 1.00 \times x_5$				
泥石流风险总得分		$R = H \times P \times V$			
泥石流风险等级		$R \geq 400$		高风险	
		$150 \leq R < 400$		中风险	
		$R < 150$		低风险	

注：对于历史灾害及物源条件、造成后果两个一级评价指标，若有两项满足分级指标则按照表中的建议分值取值，若不满足则统一取值 5 分。对于气象水文一级评价指标，两项分级标准均满足则按照表中的建议分值取值，若不满足则加权取均值。

泥石流风险详细评价评分表见表 B. 2。

表 B. 2 泥石流风险详细评价评分表

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	二级评价指标 x_{ij}	权重 r_{ij}	分级	分值	得分
危险性	(x_1) 历史灾害及物源条件	0.46	(x_{11}) 历史灾害	0.37	一年多次至5年1次	10	
					1次/5年~50年	7	
					<1次/50年	5	
			(x_{12}) 物源类型	0.20	粘土到漂石, 含各级粒径松散物源	10	
					碎石、砂砾为主	7	
					粘土、粉土为主	4	
			(x_{13}) 一次最大冲出量 (10 ⁴ m ³)	0.28	>100	10	
					10-100	7	
					1-10	5	
					<1	2	
			(x_{14}) 沿沟松散物储量 (10 ⁴ m ³ / km ²)	0.15	>10	10	
					5-10	7	
					1-5	5	
					<1	2	
			$H_1 = 0.46 \times (0.37 \times x_{11} + 0.20 \times x_{12} + 0.28 \times x_{13} + 0.15 \times x_{14})$				
	(x_2) 地形地貌	0.31	(x_{21}) 山坡坡度 (°)	0.40	>32	10	
					25-32	7	
					15-25	5	
					<15	2	
			(x_{22}) 主沟长度 (km)	0.30	>10	10	
					5-10	7	
					1-5	5	
					<1	2	
			(x_{23}) 流域面积 (km ²)	0.20	>100	10	
					10~100	8	
					5~10	6	
					<5	2	
			(x_{24}) 沟谷横断面形状	0.10	V型、U型、谷中谷型	10	
					宽U型	7	
					复式断面	5	
					平坦型	2	
			$H_2 = 0.31 \times (0.40 \times x_{21} + 0.30 \times x_{22} + 0.20 \times x_{23} + 0.10 \times x_{24})$				
	(x_3) 气象水文	0.23	(x_{31}) 年均降雨量 (mm)	0.42	>1200	10	
					1000~1200	8	
					800~1000	6	
					500~800	5	
					<500	4	
			(x_{32}) 汇水条件	0.23	较好	10	
					中等	5	
					较差	2	

表 B.2 泥石流风险详细评价评分表（续）

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	二级评价指标 x_{ij}	权重 r_{ij}	分级		分值	得分
危险性	(x_3) 气象水文	0.23	(x_{33}) 年均最大单日降雨量 (mm)	0.35	震前	震后	/	
					>250	>200	10	
					150-250	120-200	8	
					50-150	40-120	6	
					<50	<40	4	
	$H_3 = 0.23 \times (0.42 \times x_{31} + 0.23 \times x_{32} + 0.35 \times x_{33})$							
危险性指标总得分 $H = H_1 + H_2 + H_3$								
防护工程技术状况	(x_4) 防护措施	1.00	(x_{41}) 防护强度	1.00	拦挡措施损毁失效；泥石流严重威胁构（建）筑物但未设置拦挡		10	
					拦挡措施遭到较大破坏或功能受到较大影响		7	
					拦挡及排导工程遭到局部破坏或功能受到局部影响		4	
					拦挡及排导工程基本完好或无需设置防护工程		2	
	防护工程技术状况指标总得分 $P = x_{41}$							
危害性	(x_5) 造成后果	1.00	(x_{51}) 泥石流与公路空间关系	0.46	公路位于泥石流能直接到达的地区		10	
					公路位于泥石流溃坝后可能到达的地区		7	
					公路位于可能间接受到泥石流危害的牵连发生某些级别灾害的地区		4	
					公路位于泥石流影响区之外的地区		2	
			(x_{52}) 断道时间	0.28	可能断道24 h以上		10	
					可能断道12 h以上		9	
					可能断道1 h以上		5	
					无断道发生		2	
		(x_{53}) 公路等级	0.26	高速公路、一级公路		10		
				二级公路		8		
				三级公路		6		
				四级公路及其他		4		
	危害性指标总得分 $V = 0.46 \times x_{51} + 0.28 \times x_{52} + 0.26 \times x_{53}$							
泥石流风险总得分		$R = H \times P \times V$						
泥石流风险等级		$R \geq 400$		极高风险				
		$350 \leq R < 400$		高风险				
		$300 \leq R < 350$		较高风险				
		$150 \leq R < 300$		中风险				
		$R < 150$		低分险				

附录 C
(资料性)
路基水毁风险评分表

路基水毁风险初步评价评分表见表 C. 1。

表 C. 1 路基水毁风险初步评价评分表

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	分级	分值	得分	
危险性	(x_1) 抗冲刷能力	0.47	路基局部垮塌，路面裂缝贯通、错台，挡墙垮塌或严重开裂变形；天然岸坡为细砂、粉土、粘土；河床基质以砾石、砂土为主	10		
			路面局部出现裂缝，挡墙出现较严重变形，基础遭冲刷脱空；天然岸坡为砾石土、漂卵块石；河床基质以卵石为主	7		
			路面及挡墙无明显裂缝；天然岸坡为基岩；河床基质以漂石为主	4		
		$H_1 = 0.47 \times x_1$				
	(x_2) 水文条件	0.32	汛期水位高于路基顶面	10		
			汛期水位在坡脚至路基顶面上 1/3 段	7		
			汛期水位在坡脚至路基顶面下 2/3 段	3		
			汛期水位低于路基坡脚	1		
		$H_2 = 0.32 \times x_2$				
	(x_3) 河床几何形态	0.21	凹岸；V 型断面	10		
			凸岸；U 型断面	6		
			顺直；U 型断面	3		
		$H_3 = 0.21 \times x_3$				
	危险性指标总得分 $H = H_1 + H_2 + H_3$					
防护工程技术状况	(x_4) 防护措施	1.00	无防护	10		
			有防护	5		
	防护工程技术状况指标总得分 $P = 1.00 \times x_4$					
危害性	(x_5) 造成后果	1.00	高速公路、一级公路；可能断道 24 h 以上	10		
			二级公路；可能断道 12 h 以上	8		
			三级公路；可能断道 1 h 以上	6		
			四级公路及其他；无断道发生	4		
	危害性指标总得分 $V = 1.00 \times x_5$					
路基水毁风险总得分		$R = H \times P \times V$				
路基水毁风险等级		$R \geq 700$		高风险		
		$200 \leq R < 700$		中风险		
		$R < 200$		低风险		

注：对于抗冲刷能力一级评价指标，若其三项分级标准有两项以上满足则按照表中的建议分值取值，若不满足则统一取值 5 分。对于河床几何形态与造成后果三个一级评价指标，两项分级标准均满足则按照表中的建议分值取值，若不满足则加权取均值。

路基水毁风险详细评价评分表见表 C. 2。

表 C.2 路基水毁风险详细评价评分表

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	二级评价指标 x_{ij}	权重 r_{ij}	分级	分值	得分	
危险性	(x_1) 抗冲刷能力	0.47	(x_{11}) 变形特征	0.48	路基局部垮塌,路面裂缝贯通、错台,挡墙垮塌或严重开裂变形	10		
					路面局部出现裂缝,挡墙出现较严重变形,基础遭冲刷脱空	7		
					路面无裂缝,但有其他变形迹象,挡墙基础遭受冲刷外露	5		
					路面完好无变形迹象,挡墙基本完好	2		
			(x_{12}) 天然岸坡	0.32	细砂、粉土、粘土等	10		
					砾石土	7		
					漂卵块石	5		
					基岩	3		
		(x_{13}) 河床基质	0.20	砂土为主	10			
				砾石为主	7			
				卵石为主	3			
				漂石为主	1			
		$H_1=0.47 \times (0.48 \times x_{11} + 0.32 \times x_{12} + 0.20 \times x_{13})$						
		(x_2) 水文条件	0.32	(x_{21}) 汛期水位	0.46	高于路基顶面	10	
						坡脚至路基顶面上 1/3 段	7	
						坡脚至路基顶面下 2/3 段	3	
						低于路基坡脚	1	
	(x_{22}) 汛期流速(m/s)			0.54	$v \geq 10$	10		
					$7 \leq v < 10$	8		
					$4 \leq v < 7$	6		
					$2 \leq v < 4$	4		
	<td>$v < 2$</td> <td>2</td>		$v < 2$	2				
	$H_2=0.32 \times (0.46 \times x_{21} + 0.54 \times x_{22})$							
	(x_3) 河床几何形态		0.21	(x_{31}) 凹、凸岸	0.40	凹岸	10	
						凸岸	5	
		顺直				3		
		(x_{32}) 河床横断面形式		0.12	V 型断面	10		
					U 型断面	5		
		(x_{33}) 河床比降		0.28	极陡 ($I \geq 4\%$)	10		
					陡 ($1.5\% \leq I < 4\%$)	8		
					较陡 ($1\% \leq I < 1.5\%$)	6		
					较缓 ($0.5\% \leq I < 1\%$)	4		
					平缓 ($0.01\% \leq I < 0.5\%$)	2		
		(x_{34}) 河流平面形态		0.20	弯曲河段, $\theta \geq 90^\circ$	10		
					弯曲河段, $\theta=45^\circ \sim 90^\circ$	7		
					弯曲河段, $\theta \leq 45^\circ$	4		
					顺直河段	2		
		$H_3=0.21 \times (0.40 \times x_{31} + 0.12 \times x_{32} + 0.28 \times x_{33} + 0.20 \times x_{34})$						
		危险性指标总得分 $H = H_1 + H_2 + H_3$						

表 C.2 路基水毁风险详细评价评分表（续）

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	二级评价指标 x_{ij}	权重 r_{ij}	分级	分值	得分	
防护工程技术状况	(x_4) 防护措施	1.00	(x_{41}) 防护强度	1.00	无防护措施	10		
					铅丝石笼挡墙、四面体预制块等	7		
					基础未置于基岩的混凝土挡墙；片石混凝土挡墙、浆砌片石挡墙等	4		
					桩基托梁挡墙、现浇桩板墙；基础置于基岩上的钢筋混凝土挡墙、素混凝土挡墙等	2		
	防护工程技术状况指标总得分 $P = x_{41}$							
危害性	(x_5) 后果	1.00	(x_{51}) 危害性	0.54	可能断道 24 h 以上	10		
					可能断道 12 h 以上	9		
					可能断道 1 h 以上	5		
					无断道发生	2		
		(x_{52}) 公路等级	0.46	高速公路、一级公路	10			
				二级公路	8			
				三级公路	6			
				四级公路及其他	4			
		危害性指标总得分 $V = 0.54 \times x_{51} + 0.46 \times x_{52}$						
		路基水毁风险总得分		$R = H \times P \times V$				
路基水毁风险等级		$R \geq 700$			极高风险			
		$600 \leq R < 700$			高风险			
		$350 \leq R < 600$			较高风险			
		$200 \leq R < 350$			中风险			
		$R < 200$			低风险			

附录 D
(资料性)
边坡失稳风险评分表

边坡失稳风险初步评价评分表见表 D.1。

表 D.1 边坡失稳风险初步评价评分表

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	分级	分值	得分
危险性	(x_1) 变形特征及地质条件	0.50	坡体变形特征明显；岩质边坡为含软弱结构面的顺层边坡，且存在临空面；土质边坡为含软弱夹层的粘性土坡体，边界条件不利于边坡稳定	10	
			坡体出现部分变形；岩质边坡为破碎、全风化坡体；土质边坡以粉土、砂土为主	7	
			坡体轻微或少量变形；岩质边坡岩体较完整、风化程度低；土质边坡以碎石土为主	4	
			坡体无变形迹象；岩质边坡完整，无缓倾、贯通结构面；土质边坡以块石土为主	1	
		$H_1 = 0.50 \times x_1$			
	(x_2) 气象水文	0.20	年均降雨量在 1200 mm 以上；地表水坡面冲刷强烈；地下水面状渗流	10	
			年均降雨量在 500~1200 mm 之间；地表水坡面轻微冲刷；地下水线状或点状渗流	7	
			年均降雨量在 500 mm 以下；地表水坡面无冲刷；无地下水出露	4	
		$H_2 = 0.20 \times x_2$			
	(x_3) 几何特征	0.30	岩质边坡坡度大于 67°，坡高大于 60 m；或土质边坡坡度大于 48°，坡高大于 40 m	10	
			岩质边坡坡度在 58°~67°之间，坡高在 30~60 m 之间；或土质边坡坡度在 42°~48°之间，坡高在 20~40 m 之间	8	
			岩质边坡坡度在 49°~58°之间，坡高在 15~30 m 之间；或土质边坡坡度在 37°~42°之间，坡高在 10~20 m 之间	6	
			岩质边坡坡度在 42°~49°之间，坡高在 8~15 m 之间；或土质边坡坡度在 32°~37°之间，坡高在 6~10 m 之间	4	
			岩质边坡坡度不大于 42°，坡高不大于 8 m；或土质边坡坡度不大于 32°，坡高不大于 6 m	2	
		$H_3 = 0.30 \times x_3$			
	危险性指标总得分 $H = H_1 + H_2 + H_3$				
防护工程技术状况	(x_4) 防护措施	1.00	无防护设施；无排水设施	10	
			无防护设施；有排水设施	8	
			有防护设施；无排水设施	6	
			有防护设施；有排水设施	4	
	防护工程技术状况指标总得分 $P = 1.00 \times x_4$				
危害性	(x_5) 造成后果	1.00	高速公路、一级公路；可能断道 24 h 以上	10	
			二级公路；可能断道 12 h 以上	8	
			三级公路；可能断道 1 h 以上	6	
			四级公路及其他；无断道发生	4	
	危害性指标总得分 $V = 1.00 \times x_5$				
边坡失稳风险总得分			$R = H \times P \times V$		

表 D.1 边坡失稳风险初步评价评分表（续）

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	分级		分值	得分
边坡失稳风险等级			$R \geq 700$	高风险		
			$200 \leq R < 700$	中风险		
			$R < 200$	低风险		

注：对于气象水文一级评价指标，若其三项分级标准至少有两项满足则按照表中的建议分值取值，若不满足则统一取值 5 分。对于变形特征及地质条件，若变形特征、岩土体性质某一项满足要求则按“就高、不利原则”取对应分值；几何特征和造成后果三个一级评价指标，满足分级指标中的两项即按照表中的对应分值取值，若不满足则加权取均值。

边坡失稳风险详细评价评分表见表 D.2。

表 D.2 边坡失稳风险详细评价评分表

评价指标类	一级评价指标 x_j	权重 r_j	二级评价指标 x_{jj}	权重 r_{jj}	分级		分值	得分
危险性	(x ₁) 变形特征及地质条件	0.50	(1) 岩质边坡					
			(x ₁₁) 变形特征	0.38	坡体变形特征明显，滑面基本贯通		10	
					坡体有部分变形，滑面未贯通		7	
					轻微或少量变形，存在潜在滑面		4	
					坡体无变形迹象，无潜在滑面		1	
			(x ₁₂) 岩体完整程度	0.22	结构面组数	>3	10	
						2~3	6	
						≤1	2	
				结构面平均间距	≤0.2 m	10		
					0.2~0.4 m	8		
					0.4~1 m	6		
					>1 m	5		
				主要结构面结合程度		差	10	
						一般	7	
						好	5	
			(x ₁₃) 结构面倾向与坡面倾向间的夹角	0.20	≤5		10	
					10~5		7	
					20~10		5	
					30~20		2	
					>30		0	
			(x ₁₄) 结构面倾角与坡面倾角之差	0.13	≤-10		10	
					0~-10		7	
					0		5	
					10~0		2	
					>10		0	
			(x ₁₅) 岩石坚硬程度	0.07	极软岩		10	
					软岩		8	
					较软岩		6	
					较坚硬岩		4	
					坚硬岩		2	
	岩质边坡 $H_1=0.50 \times (0.38 \times x_{11} + 0.22 \times x_{12} + 0.20 \times x_{13} + 0.13 \times x_{14} + 0.07 \times x_{15})$							
	(x ₁) 变形特征及地质条件	0.50	(2) 土质边坡					
			(x ₁₁) 变形特征	0.42	边坡后缘或前缘出现明显裂缝，存在贯通滑面		10	
					边坡后缘或前缘出现少量裂缝，未见贯通滑面		7	
					坡体未见变形，无贯通滑面		5	
			(x ₁₂) 土体类型（非粘土/粘土）	0.26/ 0.28	粘性土		10	
					粉土		7	
					砂土		4	
					碎石土		2	

表 D.2 边坡失稳风险详细评价评分表（续）

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	二级评价指标 x_{ij}	权重 r_{ij}	分级		分值	得分	
危险性	(x_1) 变形特征及地质条件	0.50	(x_{13}) 土体密实度（非粘土）	0.18	碎石土、砂土、粉土	松散	10		
						稍密	7		
						中密	5		
						密实	2		
			(x_{14}) 土体含水状态（非粘土）	0.14	碎石土、砂土、粉土	很湿	10		
						湿	5		
						稍湿	2		
			(x_{15}) 稠度（粘土）	0.30	粘性土	软塑	10		
						可塑	7		
						硬塑	5		
						坚硬	2		
	粘土边坡 $H_1=0.50\times(0.42\times x_{11}+0.28\times x_{12}+0.30\times x_{15})$ 非粘土边坡 $H_1=0.50\times(0.42\times x_{11}+0.26\times x_{12}+0.18\times x_{13}+0.14\times x_{14})$								
	(x_2) 气象水文	0.20	(x_{21}) 年均降雨量(mm)	0.45	>1200		10		
					1000~1200		8		
					800~1000		6		
					500~800		5		
					<500		4		
			(x_{22}) 地表水	0.33	坡面冲刷强烈		10		
					坡面轻微冲刷		6		
					坡面无冲刷		0		
			(x_{23}) 地下水	0.22	面状渗流		10		
					线状渗流		7		
					点状渗流		5		
					无地下水出露		0		
			$H_2=0.20\times(0.45\times x_{21}+0.33\times x_{22}+0.22\times x_{23})$						
		(x_3) 几何特征	0.30	(x_{31}) 坡度(°)	0.65	(1) 土质边坡	>48	10	
							42~48	7	
	37~42						5		
	32~37						3		
	≤32						1		
	(2) 岩质边坡					>67	10		
						58~67	9		
						49~58	7		
						42~49	5		
						≤42	2		
	(x_{32}) 坡高(m)			0.35	(1) 土质边坡	>40	10		
						20~40	7		
						10~20	5		
						6~10	3		
		≤6	1						

表 D.2 边坡失稳风险详细评价评分表（续）

评价指标类	一级评价指标 x_i	权重 r_i	二级评价指标 x_{ij}	权重 r_{ij}	分级		分值	得分	
危险性	(x_3) 几何特征	0.30	(x_{32}) 坡高(m)	0.35	(2) 岩质边坡	>60	10		
						30~60	9		
						15~30	7		
						8~15	5		
						≤8	2		
	$H_3=0.30\times(0.65\times x_{31}+0.35\times x_{32})$								
危险性指标总得分 $H=H_1+H_2+H_3$									
防护工程技术状况	(x_4) 防护措施	1.00	(x_{41}) 防护强度	0.66	无(无防护、植物护坡、挂网植草)		10		
					弱(护面墙、挂网喷浆、网格护坡、护脚墙)		7		
					中(重力式挡墙、锚杆)		4		
					强(抗滑桩、预应力锚索)		2		
		(x_{42}) 排水设施	0.34	无排水设施		10			
				有排水设施,但大小或数量不足		5			
				合适数量或大小的排水设施		3			
				防护工程技术状况指标总得分 $P_3=0.66\times x_{41}+0.34\times x_{42}$					
危害性	(x_5) 造成后果	1.00	(x_{51}) 断道时间	0.54	可能断道24 h以上		10		
					可能断道12 h以上		9		
					可能断道1 h以上		5		
					无断道发生		2		
		(x_{52}) 公路等级	0.46	高速公路、一级公路		10			
				二级公路		8			
				三级公路		6			
				四级公路及其他		4			
		危害性指标总得分 $V=0.54\times x_{51}+0.46\times x_{52}$							
		边坡失稳风险总得分		$R=H\times P\times V$					
边坡失稳风险等级		$R\geq 700$		极高风险					
		$500\leq R<700$		高风险					
		$350\leq R<500$		较高风险					
		$200\leq R<350$		中风险					
		$R<200$		低风险					