



T/CECS G XXX-XX-202X

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路桥梁灾毁风险评估标准

Standard for Disaster Damage Risk Assessment of Highway
Bridges

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction
Standardization

中国工程建设标准化协会标准

公路桥梁灾毁风险评估标准

Standard for Disaster Damage Risk Assessment of Highway Bridges

T/CECS G: XXX-XX-202X

主编单位：交通运输部公路科学研究院

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：202X 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于开展 2025 年第二批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（中建标公路[2025]310 号）的要求，由交通运输部公路科学研究院承担《公路桥梁灾毁风险评估标准》（以下简称“本标准”）的制订工作。

编制组在广泛调查研究的基础上，认真总结公路桥梁灾毁风险评估工作经验和相关科研成果，参考有关国内外现行标准，完成了本标准的编写工作。

本标准分为 8 章及 1 个附录，主要内容包括：1 总则、2 术语、3 基本规定、4 评估流程、5 调查分析、6 评估方法、7 致灾因子危险性评估、8 承灾体脆弱性评估、附录 A 桥梁灾毁风险评估报告格式。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本标准提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本标准相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由交通运输部公路科学研究院负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本标准日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或张学峰（地址：北京市海淀区西土城路 8 号 605 室；邮编：100088；电话：010-62079572；传真：010-62079572；电子邮箱：17778068797@163.com），以便修订时研用。

主 编 单 位：交通运输部公路科学研究院

参 编 单 位：

主 编：张学峰

主要参编人员：

主 审：杜进生

参与审查人员：

目 次

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	3
3.1 一般规定	3
3.2 评估原则	3
3.3 评估要求	3
4 评估流程	5
5 调查分析	6
5.1 资料收集与分析	6
5.2 现场调查	6
6 评估方法	8
6.1 单灾种风险评估	8
6.2 多灾种综合风险评估	9
6.3 风险四级划分标准	9
7 致灾因子危险性评估	11
7.1 一般规定	11
7.2 崩塌灾害危险性 (H_1)	11
7.3 滑坡灾害危险性 (H_2)	12
7.4 泥石流灾害危险性 (H_3)	14
7.5 洪水灾害危险性 (H_4)	15
7.6 地震灾害危险性 (H_5)	17
7.7 台风灾害危险性 (H_6)	18
7.8 船舶撞击危险性 (H_7)	19
7.9 车辆撞击危险性 (H_8)	20
7.10 车辆超载危险性 (H_9)	21
7.11 火灾危险性 (H_{10})	21
8 承灾体脆弱性评估	23
8.1 一般规定	23

8.2 崩塌灾害承灾体脆弱性 (V_1)	23
8.3 滑坡灾害承灾体脆弱性 (V_2)	24
8.4 泥石流灾害承灾体脆弱性 (V_3)	25
8.5 洪水灾害承灾体脆弱性 (V_4)	26
8.6 地震灾害承灾体脆弱性 (V_5)	26
8.7 台风灾害承灾体脆弱性 (V_6)	28
8.8 船舶撞击灾害承灾体脆弱性 (V_7)	28
8.9 车辆撞击灾害承灾体脆弱性 (V_8)	29
8.10 车辆超载灾害承灾体脆弱性 (V_9)	30
8.11 火灾承灾体脆弱性 (V_{10})	30
附录 A 桥梁灾毁风险评估报告格式	32
A.1 前言	32
A.2 正文	32
A.3 附件	32
本标准用词用语说明	33

1 总则

1.0.1 为规范公路桥梁灾毁风险评估工作流程与技术要求，科学评判桥梁遭受各类灾害时的灾毁风险等级，建立系统化的风险评估与管控体系，提升桥梁抗灾减灾能力，保障公路交通通行安全与畅通，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于公路桥梁遭受崩塌、滑坡、泥石流、洪水、地震、台风、船舶撞击、车辆撞击、车辆超载、火灾灾害的灾毁风险评估。

1.0.3 公路桥梁灾毁风险评估除应符合本标准外，尚应符合国家和行业的现行相关标准以及法律法规要求。

征求意见稿

2 术语

2.0.1 灾毁风险 Disaster Damage Risk

公路桥梁因致灾因子作用而导致结构损伤或功能中断的综合量化表征值,以 R 表示。

2.0.2 致灾因子危险性 Hazard of Disaster-Causing Factors

致灾因子发生并对桥梁造成危害的概率和强度综合表征,以 H 表示。

2.0.3 承灾体脆弱性 Vulnerability of Disaster-Bearing Bodies

桥梁在特定灾害作用下因自身结构、基础、防护能力和技术状况而表现出的受损倾向,以 V 表示。

2.0.4 关键指标 Key Indicators

对致灾因子危险性或承灾体脆弱性起决定性的评价指标,在本标准中以“ $\triangle$ ”标识。

2.0.5 桥梁灾毁综合风险 Comprehensive Risk of Bridge Disasters

由多种致灾因子造成的桥梁灾毁风险总和。

2.0.6 桥梁灾毁综合风险等级 Comprehensive Risk Level of Bridge Disasters

由多种致灾因子导致的桥梁设施未来受到不利事件的可能性及其灾毁风险的度量分级。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 桥梁灾毁风险评估应综合考虑灾害类型、灾害强度、桥梁结构类型、地理环境及既有防护措施等因素，按照本标准规定的分级标准进行评估。

3.1.2 桥梁灾害风险评估等级从高至低分为四级：高风险（Ⅰ级）、较高风险（Ⅱ级）、中风险（Ⅲ级）、低风险（Ⅳ级）。

3.1.3 评估工作应与风险辨识、隐患排查、技术状况评定深度衔接，实现“一桥一档”动态管理。

3.2 评估原则

3.2.1 对数据来源、数据精度及数据质量进行明确表述，确保评估所用数据真实可信，评估结果客观反映实际情况。

3.2.2 充分考虑评估所需数据的可获取性，在保证评估涵盖主要必选灾种的前提下，依据评估区域的自然地理特征与数据实际情况，合理确定纳入评估的可选灾种类型及具体指标，以及对多灾种复合作用的评估方法。

3.2.3 依据评估区域内公路路网变化、设施属性变更、致灾因子变化，适时动态更新风险评估结果。

3.3 评估要求

3.3.1 常规评估：每年 1 次，每年汛前完成。

3.3.2 专项评估：发生 VI 度及以上地震、50 年一遇及以上洪水、大规模滑坡/泥石流、重大船舶撞击、墩台显著沉降后应立即开展专项评估。

3.3.3 下列类型桥梁应优先列入灾毁风险评估计划：

- 1 位于地震基本烈度Ⅷ度及以上区域的大桥、特大桥；
- 2 跨越泥石流沟谷或位于山区峡谷的桥梁；
- 3 位于地质灾害隐患点安全保护范围内的桥梁；
- 4 基础采用扩大基础的过水桥梁以及冲刷程度严重的桥梁；

- 5 位于岩溶区、采空区或软土地基上，墩台出现沉降或开裂迹象的桥梁；
- 6 位于国家或省级高等级通航河道上且无有效防撞设施的桥梁；
- 7 技术状况评定为三类及以上的在役桥梁；
- 8 超设计服役年限且尚未完成大修改造的桥梁；
- 9 已记录有灾害事件（冲刷、落梁、撞墩等）的桥梁。

3.3.4 评估人员应具备公路桥梁工程专业背景且经过灾毁风险评估专项培训。

4 评估流程

4.0.1 公路桥梁灾毁风险评估应按前期准备、调查分析、分项评估、综合评估、成果输出五个阶段开展，评估工作流程见图 4.1。

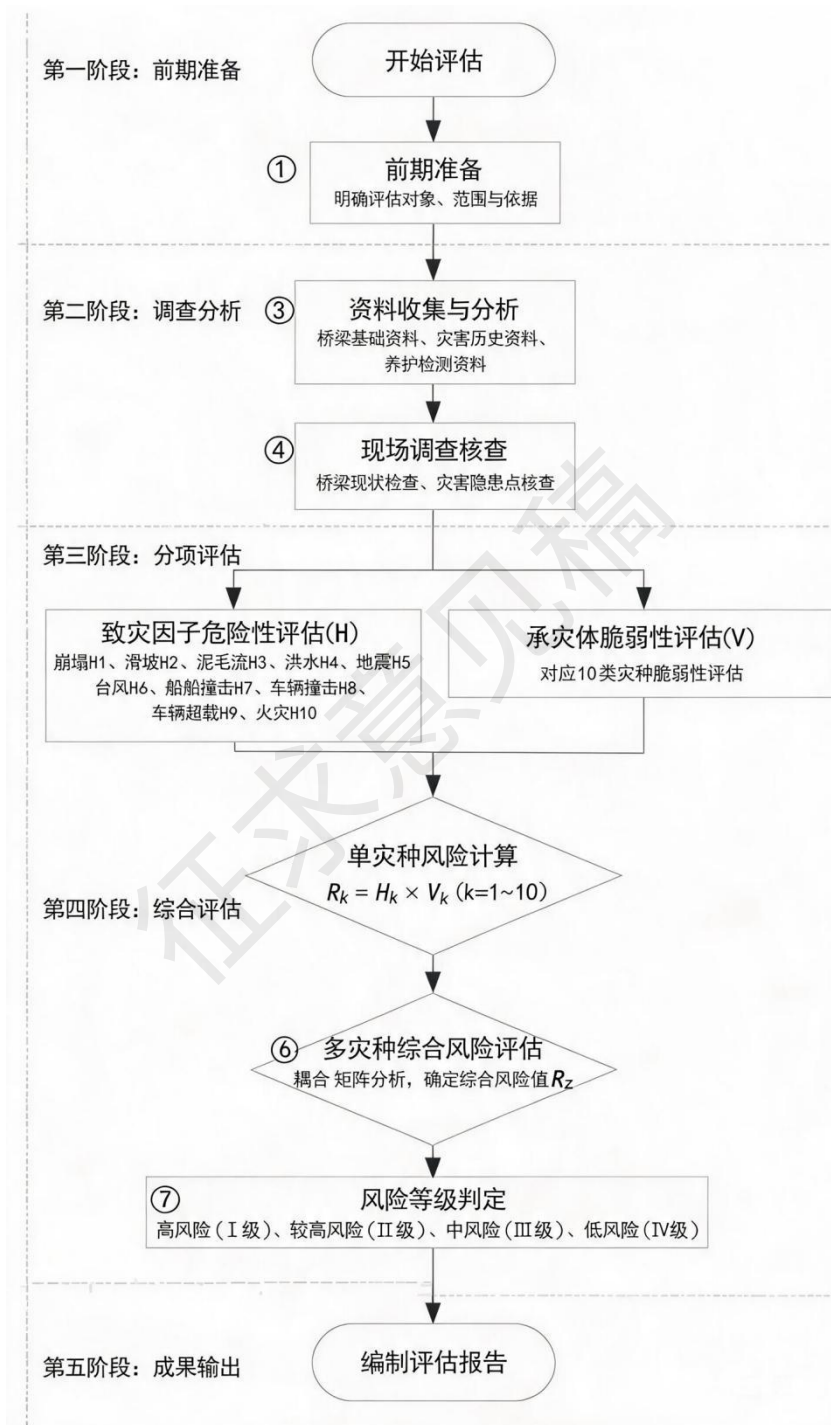


图 4.1 公路桥梁灾毁风险评估流程图

5 调查分析

5.0.1 评估开展前应进行全过程调查分析，通过资料收集与现场调查相结合，获取真实、客观数据，并与风险辨识、隐患排查及技术状况评定深度衔接。

5.1 资料收集与分析

5.1.1 资料收集与分析应在评估实施前完成，是开展致灾因子危险性评估与承灾体脆弱性评估的基础。

5.1.2 资料收集与分析应遵循全面性、真实性与时效性原则，优先采用近期核查资料，确保数据能够支撑相应灾种的评估要求，并与桥梁技术状况评定、安全隐患排查及“一桥一档”动态管理相衔接。

5.1.3 应全面收集并分析包括但不限于以下资料：

1 桥梁基础资料：基础信息、建设基本情况、运营情况；设计施工图、竣工图、水文地质资料、专题研究报告、交（竣）工验收资料；

2 桥梁检查资料：桥梁基本状况卡片；初始检查或通车后首次定检报告；近三年日常巡查、经常检查记录；近五年定期检查、特殊检查报告；近五年技术状况等级汇总表；

3 养护维修资料：近五年大中修相关设计、施工、交竣工验收资料；

4 风险防控资料：安全风险辨识、隐患排查记录及治理清单、监测评估报告、安全风险评估与防控报告；

5 特殊情况资料：地质灾害、气象灾害、超限运输等特殊事件情况、损害程度、处治方案；

6 其他资料：近五年交通量及车辆组成、桥址气象环境、公路灾害风险隐患大排查大整治、高速公路设计回溯、公路承灾体普查等资料。

5.1.4 资料分析应结合桥位环境、结构弱点、灾害诱因和历史风险事件，初步识别主要灾种、风险源、隐患部位和可能影响程度，为现场调查和风险评估提供依据。

5.2 现场调查

5.2.1 现场调查应基于资料分析结果开展，针对初步判定的关键致灾要素与结构病害进行核实、补充与修正，是衔接资料分析与风险评估的必要环节。现场调查

应与致灾因子危险性评估、承灾体脆弱性评估的要求相衔接，明确调查项目、方法与记录要求。

5.2.2 现场调查应包括下列内容：

1 现场踏勘：对桥梁整体及关键部位开展踏勘，核查地形地质、水文、通航及邻近建构筑物等致灾环境。

2 测量与检测：对结构病害、缺损、变形及防护设施开展测量与必要的专项检测，核实技术状况。

3 影像记录：对调查对象进行影像记录，建立图文对应的调查档案。

4 致灾体核查：对崩塌、滑坡、泥石流、洪水、地震、台风、船舶撞击、车辆撞击、车辆超载、火灾等适用灾种的致灾体特征进行专项核查。

5.2.3 对资料缺失或存疑的项目，应进行专项补充调查或检测，必要时开展针对性试验。补充调查结果应纳入“一桥一档”，并对资料分析阶段的初步判定进行修正，作为后续风险评估的确定依据。

6 评估方法

6.1 单灾种风险评估

6.1.1 公路桥梁灾害风险评估采用双维评估模型。各类灾害的风险等级分值按下式计算：

$$R_k = H_k \times V_k \quad (6-1)$$

式中： R_k —第 K 类灾害的风险等级分值（1~16 分）；

H_k —第 K 类灾害的致灾因子危险性等级分值（1~4 分）；

V_k —第 K 类灾害的承灾体脆弱性等级分值（1~4 分）。

6.1.2 依据各类灾害危险性等级和相应桥梁脆弱性等级确定各单灾种下的桥梁第 K 类灾害的风险等级分值，见表 6.1。

表 6.1 桥梁灾害风险分级矩阵

第 K 类灾害的风险等级分值 R_k			第 K 类灾害桥梁脆弱性等级分值 V_k			
			低	中低	中高	高
			1	2	3	4
第 K 类灾害危险性等级分值 H_k	低	1	1	2	3	4
	中低	2	2	4	6	8
	中高	3	3	6	9	12
	高	4	4	8	12	16

6.1.3 第 K 类灾害的致灾因子危险性 H_k 按下式计算：

$$H_k = \sum_{i=1}^n H_{k-i} \times \omega_{k-i} \quad (6-2)$$

式中： H_k —第 K 类灾害的致灾因子危险性等级分值（1~4 分）；

n —第 K 类灾害致灾因子危险性指标数量；

H_{k-i} —第 K 类灾害第 i 子指标评分（1/2/3/4 分）；

ω_{k-i} —第 K 类灾害第 i 子指标权重（ $\sum \omega = 1.0$ ）；

6.1.4 第 K 类灾害的承灾体脆弱性 V_k 按下式计算：

$$V_k = \sum_{i=1}^m V_{k-i} \times \omega_{k-i} \quad (6-3)$$

式中： V_k —第 K 类灾害承灾体脆弱性等级分值（1~4 分）；

m —第 K 类灾害承灾体脆弱性指标数量；

V_{k-i} —第 K 类灾害承灾体脆弱性第 i 子指标评分（1/2/3/4 分）；

ω_{k-i} —第 K 类灾害承灾体脆弱性第 i 子指标权重（ $\sum \omega = 1.0$ ）。

6.2 多灾种综合风险评估

6.2.1 按式 6-1 得出各灾害风险值，构建灾害风险矩阵 R（式 6-4）。

$$R = [R_1 \ R_2 \ R_3 \ R_4 \ R_5 \ R_6 \ R_7 \ R_8 \ R_9 \ R_{10}] \quad (6-4)$$

6.2.2 致灾风险耦合叠加：根据风险源相互触发关系和共同发生的概率，构建耦合系数 θ （式 6-5），耦合系数 θ_{ij} 体现 j 对 i 破坏的叠加效应。

$$\theta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6-5)$$

6.2.3 根据式 6-6 计算致灾风险源风险耦合矩阵 R' 。

$$R' = \theta \times R^T \quad (6-6)$$

6.2.4 桥梁灾毁综合风险值：

$$R_z = \max\{R'_1, R'_2, R'_3, R'_4, R'_5, R'_6, R'_7, R'_8, R'_9, R'_{10}\} \quad (6-7)$$

6.3 风险四级划分标准

桥梁综合灾毁风险等级依据 R_z 划分为四个等级，见表 6.2。

表 6.2 桥梁灾害风险等级划分

风险等级	综合评分 R_z	等级描述	管控响应
高风险	≥ 13	致灾因子极强且桥梁极度脆弱，灾毁概率高	立即启动应急预案，限制或封闭交通，制定处置方案
较高风险	9~12	致灾因子较强或桥梁脆弱性明显，存在较大灾毁风险	重点管控，实施相应灾害动态监测
中风险	5~8	存在一定灾毁风险，需持续关注	加强日常巡查与监测，3年内完成针对性处治
低风险	1~4	致灾因子弱且桥梁抗灾性能较好，灾毁风险较低	常规养护，5年一次灾毁风险复评

7 致灾因子危险性评估

7.1 一般规定

7.1.1 致灾因子危险性评估针对崩塌、滑坡、泥石流、洪水、地震、台风、船舶撞击、车辆撞击、车辆超载、火灾十类灾害分别进行，每类灾害的危险性指标由该灾害类型的关键致灾要素构成。

7.1.2 致灾因子危险性评估分为静态评估和动态评估。静态评估通过资料调查与现场核查相结合的方式进行，动态评估在静态评估的基础上结合多源实时监测数据开展。

7.1.3 每类灾害致灾因子危险性由 n 项指标构成，第 K 类灾害危险性评分 H_k 按式 6-2 计算。

7.1.4 每个致灾因子危险性指标赋值：1 分=低危险性，2 分=中危险性，3 分=较高危险性，4 分=高危险性。

7.2 崩塌灾害危险性 (H_1)

7.2.1 崩塌灾害危险性评估要点：

- 1 桥梁周边无危岩体隐患， $H_1=0$ 分。
- 2 关键指标为 4 分，则 $H_1=4$ 。
- 3 崩塌灾害危险性评估应重点评估危岩体规模与稳定性、裂缝发育程度、防护设施状态及崩塌体与桥梁的空间关系。

7.2.2 崩塌灾害危险性评估指标及评分标准见表 7.1。

表 7.1 崩塌灾害危险性评估

指标编号	指标名称	权重 (ω_{1-i})	指标属性	数据来源	1 分 (低)	2 分 (中)	3 分 (较高)	4 分 (高)
H_{1-1}	危岩体规模(m^3)	0.15	静态	现场调查	危岩体体积 <100	危岩体体积 100~500	危岩体体积 500~1000	危岩体体积 >1000
H_{1-2}	稳定性状态 Δ	0.35	静态	现场调查	岩体完整，裂隙闭合，无临空悬空，无变形掉块痕迹	少量裂隙，未贯通，无明显张开，局部少	存在张开裂隙，部分贯通，有临空面，偶有	裂隙贯通张开，岩体悬空、分离，可见错动变形，坡脚有

指标编号	指标名称		权重 (ω_{1-i})	指标属性	数据来源	1分（低）	2分（中）	3分（较高）	4分（高）
							量风化剥落	小掉块, 降雨、震动条件下有失稳可能	新鲜崩塌物, 极易发生崩塌
H_{1-2a}	稳定性状态	地表形变与位移速率 Δ	0.14	动态	GNSS/InSAR/激光雷达	形变速率 $<5\text{mm/d}$, 无显著形变	形变速率 $5\sim 15\text{mm/d}$, 缓慢位移	形变速率 $15\sim 30\text{mm/d}$ 明显位移	形变速率 $>30\text{mm/d}$, 快速位移/加速趋势
H_{1-2b}		坡面裂缝与变形迹象 Δ	0.11	动态	现场调查/无人机航拍/遥感影像/激光雷达	无裂缝或裂缝闭合, 结构完整, 无风化剥落	少量细微裂缝, 未贯通, 局部轻微风化	裂缝发育, 部分贯通, 有张开迹象, 偶有小掉块	裂缝贯通张开, 岩体破碎, 可见错动变形, 坡脚有新鲜崩塌物
H_{1-2c}		降雨量	0.10	动态	气象数据/降雨预报	无降雨或小雨 ($<10\text{mm/d}$) 无极端天气	中雨 ($10\sim 25\text{mm/d}$) 或持续小雨, 有一定触发风险	大雨 ($25\sim 50\text{mm/d}$) 或持续中雨, 触发风险较高	暴雨 ($>50\text{mm/d}$) 或持续大雨, 极端天气, 触发风险极高
H_{1-3}	危岩体高度(m)		0.20	静态	现场调查	<10	[10,20)	[20,40)	≥ 40
H_{1-4}	坡度($^{\circ}$)		0.15	静态	现场调查	<30	[30,50)	[50,70)	≥ 70
H_{1-5}	与桥梁距离		0.15	静态	设计图纸/现场测量	崩塌点距桥梁远, 运动轨迹不与桥梁交叉	崩塌点距桥梁较远, 崩塌发生时影响较小	崩塌点临近桥梁, 崩塌发生时可能冲击桥梁	崩塌点紧邻桥梁, 崩塌必然冲击桥梁
注: 1.静态危险性评分: $H_1=0.15\times H_{1-1}+0.35\times H_{1-2}+0.20\times H_{1-3}+0.15\times H_{1-4}+0.15\times H_{1-5}$; 2.动态危险性评分: $H_1=0.15\times H_{1-1}+0.14\times H_{1-2a}+0.11\times H_{1-2b}+0.10\times H_{1-2c}+0.20\times H_{1-3}+0.15\times H_{1-4}+0.15\times H_{1-5}$; 3.动态指标为多源数据, 若动态指标项无监测数据则把其权重分配给其它动态指标。									

7.3 滑坡灾害危险性 (H_2)

7.3.1 滑坡灾害危险性评估要点:

- 1 桥梁周边无坡体隐患, $H_2=0$ 分。
- 2 关键指标为 4 分, 则 $H_2=4$ 。

3 滑坡灾害危险性评估应重点评估滑坡规模与稳定性、路基路面变形、地下水作用及滑坡与桥梁的位置关系。

7.3.2 滑坡灾害危险性评估指标及评分标准见表 7.2。

表 7.2 滑坡灾害危险性评估

指标编号	指标名称		权重 (ω_{2-i})	指标属性	数据来源	1分 (低)	2分(中)	3分(较高)	4分(高)
H_{2-1}	坡体体积 (10^4m^3)		0.15	静态	现场调查	<10	[10,100)	[100,1000)	≥ 1000
H_{2-2}	坡体稳定性状态 Δ		0.35	静态	现场调查	存在滑坡地貌,但裂缝全部闭合、被植被充填;无鼓包,无泉水溢出,无明显裂缝	整体无明显变形,有少量裂缝	裂缝较多,宽度>5mm,有局部活动迹象;前缘少量渗水;无明显持续错动	坡面有贯通裂缝、错台;挡墙开裂变形;雨后变形加剧,存在滑动风险
H_{2-2a}	稳定性状态	地表形变与位移速率 Δ	0.14	动态	InSAR激光雷达	形变速率 < 5 mm/d,无显著形变	形变速率 5~30mm/d,缓慢位移	形变速率 30~50,mm/d 明显位移	形变速率 >50 mm/d,快速位移/加速趋势
H_{2-2b}		坡面裂缝与变形迹象 Δ	0.11	动态	无人机航拍遥感影像 激光雷达	无裂缝或裂缝闭合 植被充填,无鼓包	少量细微裂缝,宽度 $\leq 5\text{mm}$,无明显错动	裂缝较多,宽度 > 5mm,有局部活动迹象,前缘少量渗水	贯通裂缝、错台明显,挡墙开裂变形,雨后变形加剧
H_{2-2c}		降雨与地下水动态	0.10	动态	气象数据 水文监测	无降雨或小雨 (<10 mm/d) 地下水埋深大,坡体干燥	中雨 (10~25 mm/d) 或持续小雨,地下水略有抬升	大雨 (25~50 mm/d) 或持续中雨,地下水明显上升,坡体潮湿	暴雨 (>50 mm/d) 或持续大雨 地下水饱和,坡体饱水,泉水出露或冲刷严重
H_{2-3}	路基路面变形		0.20	静态	现场调查	路基路面无变形	路基路面有轻微鼓胀、沉陷	路基路面有明显鼓胀、隆起现象	路基路面有严重鼓胀、隆起、沉陷,构造物破损严重
H_{2-4}	地表水与地下水		0.15	静态	现场调查	岩土体干燥,	岩土体较干燥,地	岩土体较潮湿,有间断	岩土体饱水,地表径流冲刷

指标编号	指标名称	权重 (ω_{2-i})	指标属性	数据来源	1分(低)	2分(中)	3分(较高)	4分(高)
					无地表径流	表径流较少	性地表径流	严重, 有季节性泉水出露
H_{2-5}	与桥梁位置关系	0.15	静态	现场调查	滑坡点距桥梁远, 滑坡轨迹不与桥梁交叉	滑坡点距桥梁较远, 滑坡轨迹与部分墩台交叉	滑坡点临近桥梁, 滑坡发生时可能冲击桥梁	桥基位于滑坡体内部, 滑坡发生后严重冲击桥梁结构
注: 1.静态危险性评分: $H_2=0.15\times H_{2-1}+0.35\times H_{2-2}+0.20\times H_{2-3}+0.15\times H_{2-4}+0.15\times H_{2-5}$; 2.动态危险性评分: $H_2=0.15\times H_{2-1}+0.14\times H_{2-2a}+0.11\times H_{2-2b}+0.10\times H_{2-2c}+0.20\times H_{2-3}+0.15\times H_{2-4}+0.15\times H_{2-5}$; 3.动态指标为多源数据, 若动态指标项无数据则把其权重分配给其它动态指标。								

7.4 泥石流灾害危险性 (H_3)

7.4.1 泥石流灾害危险性评估要点:

- 1 桥梁周边无泥石流隐患, $H_3=0$ 分。
- 2 关键指标为 4 分, 则 $H_3=4$ 。
- 3 泥石流灾害危险性评估应重点评估泥石流堆积物规模、沟道纵坡、区域降雨强度、桥梁与冲淤范围的空间关系及历史活动频率。

7.4.2 泥石流灾害危险性评估指标及评分标准见表 7.3。

表 7.3 泥石流灾害危险性评估

指标编号	指标名称		权重 (ω_{3-i})	指标属性	数据来源	1分(低)	2分(中)	3分(较高)	4分(高)
H_{3-1}	泥石流堆积物规模		0.40	静态	现场调查	桥址侧基本无泥石流堆积物	桥址侧有少量泥石流堆积物	桥址附近存在一定量的泥石流堆积物	桥梁位于泥石流冲淤范围内, 堆积物量大
H_{3-1a}	泥石流堆积物规模	沟道形变与物源动态 Δ	0.25	动态	InSAR 无人机 激光雷达 遥感	沟道稳定, 无新增堆积物, 地形无显著变化	沟道有少量新增堆积物, 局部轻微侵蚀或淤积	沟道明显淤积或冲刷, 堆积物增加较多, 沟道形态变化明显	沟道严重淤积或冲刷, 堆积物大量增加, 沟道形态剧变, 存在启动迹象
H_{3-1b}		降雨与径流触发条件	0.15	动态	气象数据 水文监测	24h 降雨量 < 25mm, 无暴雨预警	24h 降雨量 25~50mm, 或持续	24h 降雨量 50~100mm, 或暴雨, 径流明显	24h 降雨量 > 100mm, 或大暴雨, 极端径流, 极易触发泥石流

指标编号	指标名称	权重 (ω_{3-i})	指标属性	数据来源	1分(低)	2分(中)	3分(较高)	4分(高)
	Δ					中雨, 径流较小	增大	
H_{3-2}	桥梁位于冲淤范围	0.20	静态	现场调查	桥梁位于泥石流冲淤影响范围外	桥梁位于泥石流影响边缘区	桥梁位于泥石流冲淤范围内两侧, 距沟口较远	桥梁位于泥石流冲淤范围内沟中和沟口
H_{3-3}	历史活动频率	0.20	静态	资料调查	历史上无泥石流活动记录	历史上有1次泥石流活动记录	历史上有2~3次泥石流活动记录	历史上多次泥石流活动记录
H_{3-4}	历史泥石流规模 Δ	0.20	静态	资料调查	历史上无泥石流活动记录	小型泥石流(流域面积 $<1\text{km}^2$, 固体物质总量 $<1\text{万 m}^3$)	中型泥石流($1\text{km}^2 \leq \text{流域面积} < 5\text{km}^2$, $1\text{万 m}^3 \leq \text{固体物质总量} < 10\text{万 m}^3$)	大型泥石流(流域面积 $\geq 5\text{km}^2$, 固体物质总量 $\geq 10\text{万 m}^3$)
注: 1.静态危险性评分: $H_3=0.40 \times H_{3-1}+0.20 \times H_{3-2}+0.20 \times H_{3-3}+0.20 \times H_{3-4}$; 2.动态危险性评分: $H_3=0.25 \times H_{3-1a}+0.15 \times H_{3-1b}+0.20 \times H_{3-2}+0.20 \times H_{3-3}+0.20 \times H_{3-4}$; 3.动态指标为多源数据, 若动态指标项无数据则把其权重分配给其它动态指标。								

7.5 洪水灾害危险性 (H_4)

7.5.1 洪水灾害危险性评估要点:

- 1 桥梁不涉水且无洪水历史, $H_4=0$ 分。
- 2 关键指标为 4 分, 则 $H_4=4$ 。
- 3 洪水灾害危险性评估应重点评估洪水频率与水位、河床冲刷状况、行洪阻水程度、漂浮物及块石、河道变迁与采砂等要素。

7.5.2 洪水灾害危险性评估指标及评分标准见表 7.4。

表 7.4 洪水灾害危险性评估

指标编号	指标名称	权重 (ω_{4-i})	指标属性	数据来源	1分(低)	2分(中)	3分(较高)	4分(高)
H_{4-1}	历史水位 Δ	0.40	静态	资料调查+现场调查	历史水痕/水位远低于安全基准水位	历史水痕/水位接近安全基准水位	历史水痕/水位超过警戒水位	历史水痕/水位超过安全基准水位, 或上下游存在病险水库或堰塞

指标编号	指标名称	权重 (w_{4-i})	指标属性	数据来源	1分(低)	2分(中)	3分(较高)	4分(高)
								湖等洪水风险源
H_{4-1a}	实时水位 Δ	0.25	动态	气象水文	实时水位远低于安全基准, 上游无病险水库或堰塞湖形变	实时水位接近安全基准, 上游风险源无明显变化	实时水位超警戒水位, 上游存在潜在风险源(形变轻微)	实时水位超安全基准, 或上游病险水库/堰塞湖形变显著, 有溃坝风险
H_{4-1b}	气象数据/降雨预报 Δ	0.15	动态	气象数据/降雨预报	无降雨或小雨(<10 mm/d) 无极端天气	中雨(10~25 mm/d) 或持续小雨, 有一定触发风险	大雨(25~50 mm/d) 或持续中雨, 触发风险较高	暴雨(>50 mm/d) 或持续大雨 极端天气, 触发风险极高
H_{4-2}	桥梁轴线与水流方向夹角 (θ)	0.15	静态	资料调查+现场调查	<5	[5,10)	[10,30)	≥ 30
H_{4-3}	河道变迁	0.10	静态	资料调查	中泓线位于主泄流孔, 偏离跨中, 偏差超过该孔计算跨径的5%以内	中泓线位于主泄流孔, 偏离跨中, 偏差超过该孔计算跨径的5%~40%	中泓线位于主泄流孔, 偏离跨中, 偏差超过该孔计算跨径的40%	主河槽/河道存在显著变迁, 主泄流孔跨发生改变
H_{4-4}	河道侵占	0.15	静态	现场调查	桥台及桥头引道侵占河道5%以内	桥台及桥头引道侵占河道5%~10%	桥台及桥头引道侵占河道10%~20%	桥台及桥头引道侵占河道20%以上
H_{4-5}	采砂	0.20	静态	资料调查+现场调查	桥梁上下游无采砂	桥梁上下游存在采砂情况, 砂坑位置在4倍桥跨范围外, 采砂深度不超过设计深泓线最低点	桥梁上下游存在采砂情况, 砂坑位置在2-4倍桥跨范围内, 采砂深度不超过设计深泓线最低点; 或砂坑位置在4倍桥跨范围外, 采砂深度超过设计深泓线	桥梁上下游存在采砂情况, 砂坑位置在2倍桥跨范围内, 采砂深度超过设计深泓线
注: 1.静态危险性评分: $H_4=0.40\times H_{4-1}+0.15\times H_{4-2}+0.10\times H_{4-3}+0.15\times H_{4-4}+0.20\times H_{4-5}$; 2.动态危险性评分: $H_4=0.25\times H_{4-1a}+0.15\times H_{4-1b}+0.15\times H_{4-2}+0.10\times H_{4-3}+0.15\times H_{4-4}+0.20\times H_{4-5}$; 3.动态指标为多源数据, 若动态指标项无数据则将其权重分配给其它动态指标。								

7.6 地震灾害危险性 (H_5)

7.6.1 地震灾害危险性评估要点:

1 关键指标为 4 分, 则 $H_5=4$ 。

2 地震灾害危险性评估对象为抗震设防烈度 VII 度及以上区域桥梁, 地震灾害危险性评估应重点评估抗震设防烈度、活动断层影响、场地地震动参数符合性、场地地质条件及地震设计水准。

7.6.2 地震灾害危险性评估指标及评分标准见表 7.5。

表 7.5 地震灾害危险性评估

指标编号	指标名称	权重 (ω_{5-i})	指标属性	数据来源	1 分 (低)	2 分 (中)	3 分 (较高)	4 分 (高)
H_{5-1}	峰值加速度 PGA(g) Δ	0.25	静态	资料调查	<0.2g	[0.2, 0.3)	[0.3, 0.4)	≥ 0.4
H_{5-2}	活动断层 Δ	0.20	静态	资料调查	距全新世断层外缘 >1000m, 无活动断层影响	距晚更新世断层外缘 <500m, 设计已考虑	距晚更新世断层外缘 <500m, 设计未考虑	跨越活动断层, 或距全新世断层外缘 <500m, 设计未考虑
H_{5-3}	场地类别	0.15	静态	资料调查	I 类	II 类	III 类	IV 类
H_{5-4}	液化风险	0.15	静态	资料调查	桥位无液化土层	桥位存在液化土层, 液化等级为轻微	桥位存在液化土层, 液化等级为中等	桥位存在液化土层, 液化等级为严重
H_{5-5}	历史地震 Δ	0.25	静态	资料调查	桥梁所在区域近 50 年内无地震记录	桥梁所在区域近 50 年内发生过小于 5 级地震	桥梁所在区域近 50 年内发生过 5~7 级地震	桥梁所在区域近 50 年内发生过 ≥ 7 级地震
H_{5-5a}	实时地震信息 Δ	0.25	动态	中国地震台网中心	桥梁所在区域无实时地震信息通报	桥梁所在区域有小于 3 级地震信息通报	桥梁所在区域有 3~5 级地震信息通报	桥梁所在区域有 ≥ 5 级地震信息通报
注: 1.静态危险性评分: $H_5=0.25 \times H_{5-1} + 0.20 \times H_{5-2} + 0.15 \times H_{5-3} + 0.15 \times H_{5-4} + 0.25 \times H_{5-5}$; 2.动态危险性评分: $H_5=0.25 \times H_{5-1} + 0.20 \times H_{5-2} + 0.15 \times H_{5-3} + 0.15 \times H_{5-4} + 0.25 \times H_{5-5a}$ 。								

7.7 台风灾害危险性 (H_6)

7.7.1 台风灾害危险性评估要点:

- 1 内陆桥梁且无台风历史, $H_6=0$ 分。
- 2 关键指标为 4 分, 则 $H_6=4$ 。
- 3 台风灾害危险性评估对象为台风影响区范围内的桥梁, 台风灾害危险性评估应重点评估区域台风重现期风速、极端强风频次、桥位地形风效应、抗风设计适配性、历史台风灾害记录。

7.7.2 台风灾害危险性评估指标及评分标准见表 7.6。

表 7.6 台风灾害危险性评估

指标编号	指标名称	权重 (ω_{6-i})	指标属性	数据来源	1 分(低)	2 分(中)	3 分(较高)	4 分(高)
H_{6-1}	设计基本风速 (m/s)	0.30	静态	资料调查	<25.0	[25.0, 30.0)	[30.0, 35.0)	≥ 35.0
H_{6-2}	历史台风灾害 Δ	0.30	静态	资料调查	桥址区域近 50 年无强台风登陆影响记录	桥址区域近 50 年遭受强热带风暴影响, 桥梁无损伤	桥址区域近 50 年遭遇台风登陆, 桥梁出现附属构件损伤	桥址区域近 50 年遭遇强台风及以上登陆, 桥梁主体发生过损伤
H_{6-2a}	最新台风预警 Δ	0.30	动态	气象站	近期无台风预警	近期有台风黄色预警	近期有台风橙色预警	近期有台风红色预警
H_{6-3}	桥位地理位置和环境条件	0.25	静态	资料调查	内陆桥位	近岸桥位	沿海桥位	滨海/跨海桥位
H_{6-4}	桥位地形风放大效应	0.15	静态	资料调查	平原开阔场地, 无局地风放大效应	缓坡、河谷, 存在微弱局地风放大, 抗风设计已复核	峡谷、垭口、临海岬角, 中等风放大效应, 抗风设计未充分复核	强迎风海岸/高山垭口, 显著风放大效应, 抗风设计未考虑
注: 1.静态危险性评分: $H_6=0.30 \times H_{6-1} + 0.30 \times H_{6-2} + 0.25 \times H_{6-3} + 0.15 \times H_{6-4}$; 2.动态危险性评分 $H_6=0.30 \times H_{6-1} + 0.30 \times H_{6-2a} + 0.25 \times H_{6-3} + 0.15 \times H_{6-4}$ 。								

7.8 船舶撞击危险性 (H_7)

7.8.1 船舶撞击危险性评估要点:

- 1 桥下不通航, $H_7=0$ 分。
- 2 关键指标为 4 分, 则 $H_7=4$ 。
- 3 船舶撞击危险性评估应重点评估通航变化程度、桥墩冲刷状况、历史撞击事件、水流与航道条件及预警与标识设施状态。

7.8.2 船舶撞击危险性评估指标及评分标准见表 7.7。

表 7.7 船舶撞击灾害危险性评估指标

指标编号	指标名称	权重 (w_{7-i})	指标属性	数据来源	1 分 (低)	2 分 (中)	3 分 (较高)	4 分 (高)
H_{7-1}	历史撞击事件 Δ	0.30	静态	资料调查+现场调查	无船舶撞击事件记录	发生过船舶刮擦事件, 造成桥梁局部轻微受损	已发生过多起船舶撞击事件, 造成桥梁局部受损	已发生过船舶撞击致桥梁垮塌事故
H_{7-1a}	船舶撞击智能监测 Δ	0.30	动态	桥梁防船舶智能预警系统	船舶航迹安全, 未进入任何预警区域或行为正常	船舶进入监控区或提醒区, 系统开始关注, 状态为“提醒”	船舶进入警示区, 且航向或航速出现异常, 风险中等	船舶进入告警区, 经系统判定存在极高碰撞风险
H_{7-2}	航迹线变化情况	0.20	静态	现场调查	实际航迹线与评估航迹线基本无变化, 船舶吨级无变化	航迹线变化较小, 船舶吨级变化较小	航迹线较大变化, 船舶吨级较大变化	航迹线显著变化, 船舶吨级显著变化, 远超设防标准
H_{7-3}	船型变化情况 Δ	0.20	静态	资料调查+现场调查	通行实际船舶吨级、船舶轮廓尺寸等与通航评估论证基本无变化, 甚至变小	通行实际船舶吨级、船舶轮廓尺寸等与通航评估论证变化较小	通行实际船舶吨级、船舶轮廓尺寸等与通航评估论证发生较大变化	通行实际船舶吨级、船舶轮廓尺寸等与通航评估论证发生显著变化, 远超设计设防标准
H_{7-4}	通行量变化情况	0.15	静态	资料调查	通行实际船舶艘次与通航评估论证基本无变化, 甚至变小	通行实际船舶艘次与通航评估论证变化较小	通行实际船舶艘次与通航评估论证发生较大变化	通行实际船舶艘次与通航评估论证发生显著变化, 远超设计设防标准
H_{7-5}	船舶吨位 (t)	0.15	静态	资料调查	<100	[100, 3000)	[3000, 10000)	>10000

指标 编号	指标 名称	权重 (w_{7-i})	指标 属性	数据 来源	1 分 (低)	2 分 (中)	3 分 (较高)	4 分 (高)
注: 1.静态危险性评分: $H_7=0.30\times H_{7-1}+0.20\times H_{7-2}+0.20\times H_{7-3}+0.15\times H_{7-4}+0.15\times H_{7-5}$; 2.动态危险性评分: $H_7=0.30\times H_{7-1a}+0.20\times H_{7-2}+0.20\times H_{7-3}+0.15\times H_{7-4}+0.15\times H_{7-5}$ 。								

7.9 车辆撞击危险性 (H_8)

7.9.1 车辆撞击危险性评估要点:

- 1 桥梁无下跨道路, $H_8=0$ 分。
- 2 关键指标为 4 分, 则 $H_8=4$ 。
- 3 车辆撞击危险性评估应重点评估历史撞击事件、下跨道路等级等。

7.9.2 车辆撞击危险性评估指标及评分标准见表 7.8。

表 7.8 车辆撞击灾害危险性评估指标

指标 编号	指标名 称	权重 (w_{8-i})	指标属性	数据来源	1 分 (低)	2 分 (中)	3 分 (较 高)	4 分 (高)
H_{8-1}	历史撞 击事件 △	0.60	静态	资料调查 +现场调 查	无车辆撞 击桥梁结 构事件记 录	发生过 车辆刮擦 / 碰 撞桥梁 事件, 造 成桥梁 局部轻 微受损	已发生 过多起 车辆撞 击桥梁 事件, 造 成桥梁 局部受 损	已发生 过车辆 撞击致 桥梁垮 塌或重 大结构 损伤事 故
H_{8-1a}	撞击监 测 △	0.60	动态	视觉图像 监控/结 构监测	无车辆撞 击桥梁结 构事件	发生车 辆刮擦 / 碰撞 桥梁事 件, 造 成桥梁 局部轻 微受损	发生车 辆撞击 桥梁事 件, 造 成桥梁 局部受 损	发生过 车辆撞 击致桥 梁垮塌 或重大 结构损 伤
H_{8-2}	下跨道 路类型	0.40	静态	资料调查	乡道	县道	省道	国道
注: 1.静态危险性评分: $H_8=0.60\times H_{8-1}+0.40\times H_{8-2}$; 2.动态危险性评分: $H_8=0.60\times H_{8-1a}+0.40\times H_{8-2}$ 。								

7.10 车辆超载危险性 (H_9)

7.10.1 车辆超载危险性评估要点:

- 1 关键指标为 4 分, 则 $H_9=4$ 。
- 2 车辆超载危险性评估应重点调查路段历史超载事件和超载车辆比例情况。

7.10.2 车辆超载危险性评估指标及评分标准见表 7.9。

表 7.9 车辆超载灾害危险性评估指标

指标编号	指标名称	权重 (ω_{9-i})	指标属性	数据来源	1 分 (低)	2 分 (中)	3 分 (较高)	4 分 (高)
H_{9-1}	历史超载事件	0.30	静态	资料调查	无车辆超载通行及执法查处记录	偶有车辆超载事件, 超载幅度较小, 未造成桥梁损伤	已发生多起车辆超载通行事件, 部分超载幅度较大	已发生因车辆超载导致桥梁结构性损伤或垮塌事故
H_{9-2}	车辆总重超载比 (%) Δ	0.70	静态	资料调查	≤ 0	(0, 15)	[15, 30)	≥ 30
H_{9-2a}	实时车辆总重超载比 (%) Δ	0.70	动态	动态称重系统	≤ 0	(0, 15)	[15, 30)	≥ 30
注: 1.静态危险性评分: $H_9=0.30\times H_{9-1}+0.70\times H_{9-2}$; 2.动态危险性评分: $H_9=0.30\times H_{9-1}+0.70\times H_{9-2a}$ 。								

7.11 火灾危险性 (H_{10})

7.11.1 火灾危险性评估要点:

- 1 关键指标为 4 分, 则 $H_{10}=4$ 。
- 2 桥梁火灾危险性评估应重点调查历史火灾事件、周边火源与可燃物分布情况、电气设备老化程度等。

7.11.2 火灾危险性评估指标及评分标准见表 7.10。

表 7.10 火灾危险性评估指标

指标编号	指标名称	权重 (ω_{10-i})	指标属性	数据来源	1分 (低)	2分 (中)	3分(较高)	4分(高)
H_{10-1}	历史火灾事件	0.30	静态	资料调查+现场调查	无桥梁火灾事件发生记录	发生过桥面小型火灾(如车辆自燃),未造成结构损伤或仅轻微受损	已发生多起桥梁火灾事件,造成桥梁局部结构受损	已发生因火灾导致桥梁结构严重损伤或垮塌事故
H_{10-1a}	火情监测 Δ	0.30	动态	视觉图像监控	桥梁及周边100m范围内未发现火源	桥梁周边100m范围内发现火源	桥梁周边50m范围内发现火源	桥面车辆起火或桥跨结构发生火情
H_{10-2}	易燃源距离 Δ	0.40	静态	现场调查	桥梁周边无易燃源(如加油站、危险品仓库、木材堆场等)	桥梁周边100m以外存在易燃源	桥梁周边50~100m范围内存在易燃源	桥梁周边50m范围内存在易燃源
H_{10-3}	电气设备老化程度	0.30	静态	现场调查	无电气设备	电气设备(照明、监控、供电线路等)使用年限<10年,状态良好,无明显老化隐患	电气设备使用年限10~15年,存在一定老化现象	桥梁电气设备使用年限 ≥ 15 年,或经检测存在严重老化、短路隐患
注: 1.静态危险性评分: $H_{10}=0.30\times H_{10-1}+0.40\times H_{10-2}+0.30\times H_{10-3}$; 2.动态危险性评分: $H_{10}=0.30\times H_{10-1a}+0.40\times H_{10-2}+0.30\times H_{10-3}$ 。								

8 承灾体脆弱性评估

8.1 一般规定

8.1.1 各灾害承灾体脆弱性评估根据各类灾害致灾机理差异性分别构建相应评估指标。

8.1.2 各灾害承灾体脆弱性评估指标按 1、2、3、4 分赋值：1 分=低脆弱性（结构抵抗能力强），2 分=中脆弱性（结构抵抗能力一般），3 分=较高脆弱性（结构抵抗能力较弱），4 分=高脆弱性（结构抵抗能力弱）。

8.1.3 承灾体脆弱性评估应通过资料调查与现场核查相结合的方式进行。

8.1.4 每类灾害承灾体脆弱性由 m 项指标构成，第 K 类灾害的脆弱性评分 V_k 按式 6-3 计算。

8.1.5 桥梁技术状况子指标依据《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）分五类，可参照近 3 年定期检查报告评定结果。

8.2 崩塌灾害承灾体脆弱性（ V_1 ）

8.2.1 崩塌灾害承灾体脆弱性评估要点：

1 关键指标为 4 分，则 $V_1=4$ 。

2 重点评估结构类型冗余性、桥墩防撞击能力、防护设施、桥梁与崩塌体空间关系及桥梁技术状况。

8.2.2 崩塌灾害承灾体脆弱性评估指标及评分标准见表 8.1。

表 8.1 崩塌灾害承灾体脆弱性评估

指标编号	指标名称	权重 (ω_{1-i})	1 分（低）	2 分（中）	3 分（较高）	4 分（高）
V_{1-1}	结构类型冗余性 Δ	0.30	拱桥、斜拉桥、悬索桥	连续梁桥（刚构桥）	简支梁桥	结构冗余性不足桥梁
V_{1-2}	桥墩防撞击能力 Δ	0.40	重力式桥墩，冲击韧性高	薄壁墩	柱式墩，直径 $\geq 1.2\text{m}$	柱式墩，直径小于 1.2m
V_{1-3}	防护设施（防护能力）	0.20	已设置完善的落石	已设置落石防护设	已设置基本的落石防护	未设置专门落石防护设

指标编号	指标名称	权重 (ω_{1-i})	1分(低)	2分(中)	3分(较高)	4分(高)
			防护设施(如主动防护网、被动防护网、拦石墙等)且运行良好	施(如主动防护网、被动防护网、拦石墙等),防护设施局部有损坏	设施但部分损坏或防护范围不足	施或防护设施完全失效
V_{1-4}	桥梁结构技术状况 (JTG/T H21) Δ	0.10	一类	二类	三类	四类或五类
脆弱性评分 $V_1 = 0.30 \times V_{1-1} + 0.40 \times V_{1-2} + 0.20 \times V_{1-3} + 0.10 \times V_{1-4}$						

8.3 滑坡灾害承灾体脆弱性 (V_2)

8.3.1 滑坡灾害承灾体脆弱性评估要点:

- 1 关键指标为 4 分, 则 $V_2=4$ 。
- 2 重点评估结构体系冗余性、基础埋深与持力层、滑坡防护措施完好性、桥梁与滑坡体相对位置及桥梁技术状况。

8.3.2 滑坡灾害承灾体脆弱性评估指标及评分标准见表 8.2。

表 8.2 滑坡灾害承灾体脆弱性评估

指标编号	指标名称	权重 (ω_{2-i})	1分(低)	2分(中)	3分(较高)	4分(高)
V_{2-1}	结构体系冗余性 Δ	0.20	拱桥、斜拉桥、悬索桥	连续梁桥(刚构桥)	简支梁桥	结构冗余性不足桥梁
V_{2-2}	桥墩防撞能力 Δ	0.30	重力式桥墩, 冲击韧性高	薄壁墩	柱式墩, 直径 $\geq 1.2\text{m}$	柱式墩, 直径小于 1.2m
V_{2-3}	基础埋深与持力层	0.20	嵌岩桩埋深 $> 20\text{m}$	深基础(桩基/沉井, 埋深 $> 20\text{m}$), 持力层较好	桩基/沉井, 埋深 $< 20\text{m}$	扩大基础
V_{2-4}	滑坡防护设施(防护能力)	0.20	设置抗滑桩、锚索框架、挡墙等防护设施, 且设施完好, 功能正常	设置抗滑桩、锚索框架、挡墙等防护设施, 局部出现损坏, 主体防护功能满足要求	设置抗滑桩、锚索框架、挡墙等防护设施, 防护设施中等损坏, 功能明显下降	未设置防护设施, 或防护设施严重损坏或缺失, 防护功能丧失
V_{2-5}	桥梁下部结	0.10	一类	二类	三类	四类或五

指标编号	指标名称	权重 (ω_{2-i})	1分(低)	2分(中)	3分(较高)	4分(高)
	构技术状况 (JTG/T H21) Δ					类
脆弱性评分 $V_2=0.20 \times V_{2-1}+0.30 \times V_{2-2}+0.20 \times V_{2-3}+0.20 \times V_{2-4}+0.10 \times V_{2-5}$						

8.4 泥石流灾害承灾体脆弱性 (V_3)

8.4.1 泥石流灾害承灾体脆弱性评估要点:

1 关键指标为4分, 则 $V_3=4$ 。

2 重点评估结构体系冗余性、桥墩防撞击能力、基础埋深与持力层、防泥石流冲击能力及桥梁技术状况。

8.4.2 泥石流灾害承灾体脆弱性评估指标及评分标准见表 8.3。

表 8.3 泥石流灾害承灾体脆弱性评估

指标编号	指标名称	权重 (ω_{3-i})	1分(低)	2分(中)	3分(较高)	4分(高)
V_{3-1}	结构体系冗余性 Δ	0.20	拱桥、斜拉桥、悬索桥	连续梁桥(刚构桥)	简支梁桥	结构冗余性不足桥梁
V_{3-2}	桥墩防撞击能力 Δ	0.30	重力式桥墩, 冲击韧性高	薄壁墩	柱式墩, 直径 $\geq 1.2\text{m}$	柱式墩, 直径小于1.2m
V_{3-3}	基础埋深与持力层	0.20	嵌岩桩埋深 $>20\text{m}$	深基础(桩基/沉井, 埋深 $>20\text{m}$), 持力层较好	桩基/沉井, 埋深 $<20\text{m}$	扩大基础
V_{3-4}	防泥石流冲击能力	0.20	设置防护设施(拦砂坝、导流堤、排导槽、护墩、护坦等)且功能完好, 防护能力充足	设置防护设施(拦砂坝、导流堤、排导槽、护墩、护坦等)且功能基本完好, 防护能力基本充足	防护设施受损严重, 防护能力不足	防护设施失效或无防护设施
V_{3-5}	桥梁下部结构技术状况 (JTG/T H21) Δ	0.10	一类	二类	三类	四类或五类
脆弱性评分 $V_3=0.20 \times V_{3-1}+0.30 \times V_{3-2}+0.20 \times V_{3-3}+0.20 \times V_{3-4}+0.10 \times V_{3-5}$						

8.5 洪水灾害承灾体脆弱性 (V_4)

8.5.1 洪水灾害承灾体脆弱性评估要点:

1 关键指标为 4 分, 则 $V_4=4$ 。

2 重点评估结构类型冗余性、设计洪水频率、基础结构形式、基础冲刷、调治构造物及桥梁技术状况。

8.5.2 洪水灾害承灾体脆弱性评估指标及评分标准见表 8.4。

表 8.4 洪水灾害承灾体脆弱性评估

指标编号	指标名称	权重 (ω_{4-i})	1 分 (低)	2 分 (中)	3 分 (较高)	4 分 (高)
V_{4-1}	结构类型冗余性	0.10	拱桥、斜拉桥、悬索桥	连续梁桥 (刚构桥)	简支梁桥	结构冗余性不足桥梁
V_{4-2}	设计洪水频率 $\triangle$	0.20	1/300	1/100	1/50	1/25
V_{4-3}	基础结构形式 $\triangle$	0.20	嵌岩桩基础	深基础 (桩基/沉井, 埋深 $\geq 20\text{m}$)	浅桩基础/沉井, 埋深 $<20\text{m}$	扩大基础
V_{4-4}	基础冲刷情况 $\triangle$	0.20	基本无冲刷	基础冲刷深度小于设计冲刷深度, 基础埋置安全储备充足	基础冲刷深度接近设计冲刷深度, 安全储备下降	基础冲刷深度大于设计冲刷深度, 存在基础失稳、墩台倾覆风险
V_{4-5}	调治构造物 (防护能力)	0.10	设施完好, 功能正常	局部损坏, 功能基本正常	明显损坏, 导流能力下降	严重损坏或缺失
V_{4-6}	桥梁下部结构技术状况 (JTG/T H21) $\triangle$	0.20	一类	二类	三类	四类或五类
脆弱性评分 $V_4=0.10\times V_{4-1}+0.20\times V_{4-2}+0.20\times V_{4-3}+0.20\times V_{4-4}+0.10\times V_{4-5}+0.20\times V_{4-6}$						

8.6 地震灾害承灾体脆弱性 (V_5)

8.6.1 地震灾害承灾体脆弱性评估要点:

1 关键指标为 4 分, 则 $V_5=4$ 。

2 重点评估抗震设计水准、基础抗震构造、支座/防落梁装置、结构不规则

性及桥梁技术状况。

8.6.2 地震灾害承灾体脆弱性评估指标及评分标准见表 8.5。

表 8.5 地震灾害承灾体脆弱性评估

指标 编号	指标名称	权重 (ω_{5-i})	1 分 (低)	2 分 (中)	3 分 (较高)	4 分 (高)
V_{5-1}	场地地震 动参数符 合性 $\triangle$	0.30	设计基本地震加速度值不大于现行《中国地震动参数区划图》(GB 18306)规定值;且设计基本地震动加速度反应谱特征周期与现行《中国地震动参数区划图》(GB 18306)规定值相同	设计基本地震加速度值不大于现行《中国地震动参数区划图》(GB 18306)规定值;且设计基本地震动加速度反应谱特征周期与现行《中国地震动参数区划图》(GB 18306)规定值不同	设计基本地震加速度值小于现行《中国地震动参数区划图》(GB 18306)规定值;且设计基本地震动加速度反应谱特征周期与现行《中国地震动参数区划图》(GB 18306)规定值相同	设计基本地震加速度值小于现行《中国地震动参数区划图》(GB 18306)规定值;且设计基本地震动加速度反应谱特征周期与现行《中国地震动参数区划图》(GB 18306)规定值不同
V_{5-2}	抗震设计 $\triangle$	0.20	按现行规范完成抗震设计,并进行抗震评价	按旧规范完成抗震设计,并进行抗震评价	按旧规范完成抗震设计,未进行抗震评价	建设时无抗震规范(1976 年前)
V_{5-3}	墩高 (m)	0.20	<10	[10,30)	[30,40)	>40
V_{5-4}	支座/防落 梁装置(防 护能力)	0.20	设置减隔震支座,且梁端设置有效的限位装置或防落梁装置	设置非减隔震支座,且梁端设置有效的限位装置或防落梁装置	设置非减隔震支座,且梁端未设置有效的限位装置或防落梁装置	梁端支撑长度<现行《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01)规定值,且梁端未设置有效的限位装置或防落梁装置
V_{5-5}	桥梁结构 技术状况 (JTG/T H21) $\triangle$	0.10	一类	二类	三类	四类或五类
脆弱性评分 $V_5=0.30 \times V_{5-1}+0.20 \times V_{5-2}+0.20 \times V_{5-3}+0.20 \times V_{5-4}+0.10 \times V_{5-5}$						

8.7 台风灾害承灾体脆弱性 (V_6)

8.7.1 台风灾害承灾体脆弱性评估要点:

- 1 关键指标为 4 分，则 $V_6=4$ 。
- 2 重点评估桥梁结构体系、抗风设计水准、桥面高度、桥梁跨度及桥梁技术状况。

8.7.2 台风灾害承灾体脆弱性评估指标及评分标准见表 8.6。

表 8.6 台风灾害承灾体脆弱性评估

指标编号	指标名称	权重 (w_{6-i})	1 分 (低)	2 分 (中)	3 分 (较高)	4 分 (高)
V_{6-1}	桥梁结构体系	0.20	梁桥	拱桥	斜拉桥	悬索桥
V_{6-2}	抗风设计水准 Δ	0.30	按现行规范完成抗风设计，并开展风洞试验验证	按现行规范完成抗风设计，设计风速取用合理，但未开展风洞试验验证	按旧规范完成设计，未开展专项抗风验算与风洞试验	未考虑抗风设计
V_{6-3}	桥面高度 (m) Δ	0.20	<10	[10,30)	[30,50)	≥ 50
V_{6-4}	桥梁跨度 (m)	0.10	<20	[20,40)	[40,150)	≥ 150
V_{6-5}	桥梁结构技术状况 (JTG/T H21) Δ	0.20	一类	二类	三类	四类或五类
脆弱性评分 $V_6=0.20 \times V_{6-1} + 0.12 \times V_{6-2} + 0.20 \times V_{6-3} + 0.30 \times V_{6-4} + 0.15 \times V_{6-5}$						

8.8 船舶撞击灾害承灾体脆弱性 (V_7)

8.8.1 船舶撞击灾害承灾体脆弱性评估要点:

- 1 关键指标为 4 分，则 $V_7=4$ 。
- 2 重点评估桥型与结构冗余性、墩身受撞暴露性与抗撞能力、防撞设施完好性、桥墩基础及墩身病害状况，以及桥梁技术状况。

8.8.2 船舶撞击灾害承灾体脆弱性评估指标及评分标准见表 8.7。

表 8.7 船舶撞击灾害承灾体脆弱性评估

指标编号	指标名称	权重 (ω_{7-i})	1 分 (低)	2 分 (中)	3 分 (较高)	4 分 (高)
V_{7-1}	桥型与结构冗余性 $\triangle$	0.25	拱桥、斜拉桥、悬索桥	连续梁桥 (刚构桥)	简支梁桥	结构冗余性不足桥梁
V_{7-2}	墩身横向抗撞能力	0.20	重力式桥墩, 冲击韧性高	薄壁墩	柱式墩, 直径 $\geq 1.2\text{m}$	柱式墩, 直径小于 1.2m
V_{7-3}	防撞设施完好性 (防护能力) $\triangle$	0.30	桥墩设置满足规范要求的防撞设施 (如防撞墩、防撞钢套箱等) 且功能完好	满足规范要求的防撞设施 (如防撞墩、防撞钢套箱等) 但设施局部受损	桥墩设置了简易防撞设施但防护能力有限或部分损坏	无防撞设施或完全失效
V_{7-4}	桥梁下部结构技术状况 (JTG/T H21) $\triangle$	0.25	一类	二类	三类	四类或五类
脆弱性评分 $V_7 = 0.20 \times V_{7-1} + 0.25 \times V_{7-2} + 0.30 \times V_{7-3} + 0.25 \times V_{7-4}$						

8.9 车辆撞击灾害承灾体脆弱性 (V_8)

8.9.1 车辆撞击灾害承灾体脆弱性评估要点:

- 1 关键指标为 4 分, 则 $V_8=4$ 。
- 2 重点评估跨线桥跨类型、跨线墩身受撞暴露性、跨线桥墩类型及桥梁技术状况。

8.9.2 车辆撞击灾害承灾体脆弱性评估指标及评分标准见表 8.8。

表 8.8 车辆撞击灾害承灾体脆弱性评估

指标编号	指标名称	权重 (ω_{8-i})	1 分 (低)	2 分 (中)	3 分 (较高)	4 分 (高)
V_{8-1}	跨线桥跨结构类型	0.25	斜拉桥、悬索桥	拱桥	连续梁桥 (刚构桥)	简支梁桥
V_{8-2}	跨线墩身受撞暴露性 $\triangle$	0.25	桥墩位于路侧净区外或设独立防撞岛, 车辆难以直接撞击; 墩身截面	桥墩位于路侧但设有防撞护栏, 受撞概率较低	桥墩位于行车轨迹边缘, 无防撞隔离, 受撞概率较高	桥墩直接位于行车道内 (跨线桥中墩等), 无防护, 受撞概率高

指标编号	指标名称	权重 (w_{8-i})	1分(低)	2分(中)	3分(较高)	4分(高)
			大、配筋强			
V_{8-3}	跨线桥墩类型	0.20	重力式桥墩	薄壁桥墩	柱式桥墩, 直径 $\geq 1.2\text{m}$	柱式桥墩, 直径 $< 1.2\text{m}$
V_{8-4}	防撞设施完好性(防护能力) $\triangle$	0.20	桥墩设置满足规范要求的防撞设施(如防撞护栏、防撞岛、限高门架等)且功能完好	满足规范要求的防撞设施(如防撞护栏、防撞岛等)但设施局部受损	设置了简易防撞设施但防护能力有限或部分损坏	无防撞设施或完全失效
V_{8-5}	桥梁结构技术状况 (JTG/T H21) $\triangle$	0.10	一类	二类	三类	四类或五类
脆弱性评分 $V_8=0.25\times V_{8-1}+0.25\times V_{8-2}+0.20\times V_{8-3}+0.20\times V_{8-4}+0.10\times V_{8-5}$						

8.10 车辆超载灾害承灾体脆弱性 (V_9)

8.10.1 车辆超载灾害承灾体脆弱性评估要点:

- 1 关键指标为4分,则 $V_9=4$ 。
- 2 重点评估桥型与结构冗余性、桥梁技术状况等。

8.10.2 车辆超载灾害承灾体脆弱性评估指标及评分标准见表 8.9。

表 8.9 车辆超载灾害承灾体脆弱性评估

指标编号	指标名称	权重 (w_{9-i})	1分(低)	2分(中)	3分(较高)	4分(高)
V_{9-1}	桥型与结构冗余性 $\triangle$	0.40	拱桥、斜拉桥、悬索桥	连续梁桥(刚构桥)	简支梁桥	结构冗余性不足桥梁
V_{9-2}	桥梁结构技术状况 (JTG/T H21) $\triangle$	0.60	一类	二类	三类	四类或五类
脆弱性评分 $V_9=0.40\times V_{9-1}+0.60\times V_{9-2}$						

8.11 火灾承灾体脆弱性 (V_{10})

8.11.1 火灾承灾体脆弱性评估要点:

1 关键指标为 4 分，则 $V_{10}=4$ 。

2 重点评估桥型与结构抗火冗余性、承重构件材质及防护措施以及桥梁技术状况等。

8.11.2 火灾承灾体脆弱性评估指标及评分标准见表 8.10。

表 8.10 火灾承灾体脆弱性评估

指标编号	指标名称	权重 (ω_{10-i})	1 分 (低)	2 分 (中)	3 分 (较高)	4 分 (高)
V_{10-1}	桥型与结构冗余性 Δ	0.20	拱桥、斜拉桥、悬索桥	连续梁桥 (刚构桥)	简支梁桥	结构冗余性不足桥梁
V_{10-2}	承重构件材质及防护措施 Δ	0.60	全部为钢筋混凝土材质	钢-混组合构件	钢结构构件 (如钢箱梁、钢桁架)，采取了完善的防火保护措施 (如防火涂料、防火板)	钢结构构件，未采取有效防火保护措施
V_{10-3}	桥梁结构技术状况 (JTG/T H21) Δ	0.20	一类	二类	三类	四类或五类
脆弱性评分 $V_{10}=0.20 \times V_{10-1} + 0.60 \times V_{10-2} + 0.20 \times V_{10-3}$						

附录 A 桥梁灾毁风险评估报告格式

A.0.1 桥梁灾毁风险评估报告需以文字报告形式对评估过程与结果进行综合阐述，报告内容应完整涵盖评估区域概况、评估方法、结果分析及结论建议等。评估报告宜包含以下内容：

A.1 前言

前言包括工作背景、目的意义、工作内容等。

A.2 正文

第 1 章 区域桥梁概况，内容包括行政区、自然环境状况、经济社会概况、历史灾害概况等；

第 2 章 桥梁基础数据分析，内容包括基础地理数据、桥梁调查数据情况描述；

第 3 章 各类灾害评估明细。针对每类适用灾害，列出 H 各项评分及 H 值、V 各项评分及 V 值、 $R=H \times V$ 值、风险等级；

第 4 章 桥梁灾毁风险等级评估，内容包括评估方法、评估结果及其图件；

第 5 章 结论，内容包括桥梁综合风险评估核心结果；

第 6 章 对策与建议，内容包括风险防范对策与建议。

A.3 附件

包括与桥梁灾害综合风险评估相关的技术资料等。

本标准用词用语说明

1 本标准执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本标准的规定外，尚应符合国家、行业和中国工程建设标准化协会标准现行有关标准的规定”；

2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《×××××》（×××）的有关规定”；

3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本标准第×章的有关规定”、“应符合本标准第×.×节的有关规定”、“应符合本标准第×.×.×条的有关规定”或“应按第×.×.×条的有关规定执行”。