

# JTG

中华人民共和国行业推荐性标准

JTGXXX---20XX

## 公路工程结构安全性评价规范

Safety Evaluation Specification for Highway Engineering Structures

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业推荐性标准

# 公路工程结构安全性评价规范

Safety Evaluation Specification for Highway Engineering Structures

(征求意见稿)

主编单位：同济大学

批准部门：

实施日期：20XX年X月X日

XXX 出版社

# 前 言

根据交通运输部交公路发[2018]254号《关于做好2019年度公路工程行业标准制修订项目准备工作的通知》的要求，由同济大学承担对《公路结构安全性评价规范》(JTG XXX-XX-20XX)的制定工作。

为有效保证运营中公路工程结构的安全性，统一有关技术标准，编制组通过广泛调查研究，在总结、分析和吸收国内外相关公路工程安全性评价的相关的技术标准和研究成果的基础上，对桥涵、隧道和道路结构的安全性做出了相关规定，给出了公路工程结构安全性评价方法和过程，形成了公路工程结构安全性评价规范。本规范也用于建设中的公路工程结构安全性评价。

本规范共分为6章，分别是：1总则、2术语与符号、3基本要求、4桥涵工程结构、5隧道工程结构、6道路工程结构。

本规范有 负责起草第1章， 负责起草第2章， 负责起草第3章， 负责起草第4章， 负责起草第5章， 负责起草第6章。

请各单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范日常管理组，联系人： （地址：上海市四平路1239号同济大学桥梁馆，邮编：200092；电话：021-65981871，传真 ；E-mail:a.chen@tongji.edu.cn），以便下次修订时参考。

主 编 单 位：

参 编 单 位：

主 编：陈艾荣

主要参编人员：袁勇 凌建明

主 审：

参与审查人员：

参 与 人 员：

# 目 次

1. 总则.....	1
2. 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	4
3. 基本要求.....	5
3.1 一般规定.....	5
3.2 安全事态.....	5
3.3 安全性评价作用.....	6
3.4 安全性状态评价.....	9
3.5 安全性评价流程.....	11
4. 桥涵工程结构安全性评价作用.....	13
4.1 极端车辆及人群荷载.....	13
4.2 地震作用.....	13
4.3 风作用.....	13
4.4 波浪作用.....	14
4.5 风暴潮作用.....	14
4.6 洪水作用.....	14
4.7 滚石作用.....	15
4.8 滑坡作用.....	17
4.9 泥石流作用.....	17
4.10 车辆撞击作用.....	18
4.11 船舶撞击作用.....	18
4.12 重物坠落作用.....	19
4.13 火灾作用.....	19
4.14 爆炸或蓄意袭击作用.....	20
4.15 危险货物运输车辆事故作用.....	20
4.16 人为失误操作.....	21
4.17 冲刷作用.....	22
4.18 材料性能退化作用.....	23
4.19 疲劳作用.....	25
4.20 腐蚀作用.....	26
4.21 构件突然失效.....	28
4.22 填土及挖方.....	28
4.23 采砂.....	29
4.24 耦合作用与链式作用.....	29
5. 隧道工程结构安全性评价作用.....	31
5.1 极端地温作用.....	31
5.2 地震作用.....	31
5.3 滚石作用.....	31
5.4 山岭隧道衬砌水压力作用.....	33
5.5 地层挤压变形作用.....	33
5.6 极端车辆荷载.....	34

5.7	滑坡作用.....	34
5.8	泥石流作用.....	34
5.9	车辆撞击作用.....	34
5.10	火灾作用.....	35
5.11	爆炸或蓄意袭击作用.....	35
5.12	危险货物运输车辆事故作用.....	36
5.13	人为失误操作作用.....	36
5.14	人为活动作用.....	37
5.15	材料性能退化作用.....	37
5.16	腐蚀作用.....	39
5.17	耦合作用与链式作用.....	41
6.	道路工程结构安全性评价作用.....	43
6.1	极端车辆荷载及超限车辆荷载.....	43
6.2	地震作用.....	43
6.3	洪水作用.....	44
6.4	滑坡作用.....	44
6.5	泥石流作用.....	45
6.6	滚石作用.....	45
6.7	极端温度作用.....	46
6.8	车辆撞击作用.....	46
6.9	重物坠落作用.....	47
6.10	火灾作用.....	48
6.11	危险品车辆事故作用.....	48
6.12	冲刷作用.....	49
6.13	材料性能退化作用.....	49
6.14	疲劳作用.....	51
6.15	工程施工作用.....	51
6.16	爆炸或蓄意破坏作用.....	52
7.	桥涵工程结构安全性状态评价.....	53
7.1	一般规定.....	53
7.2	极端车辆荷载作用.....	53
7.3	极端人群荷载作用.....	54
7.4	地震作用.....	54
7.5	风作用.....	55
7.6	波浪作用.....	55
7.7	风暴潮作用.....	57
7.8	洪水作用.....	58
7.9	滚石作用.....	59
7.10	滑坡作用.....	59
7.11	泥石流作用.....	61
7.12	车辆撞击作用.....	61
7.13	船舶撞击作用.....	62
7.14	重物坠落作用.....	63
7.15	火灾作用.....	63

7.16	爆炸或蓄意袭击作用.....	65
7.17	冲刷作用.....	66
7.18	材料性能退化作用.....	67
7.19	疲劳作用.....	67
7.20	腐蚀作用.....	68
7.21	填土及挖方.....	69
7.22	采砂.....	70
7.23	灾后性能保持与提升.....	70
8.	隧道工程结构安全性评价.....	71
8.1	一般规定.....	71
8.2	极端地温作用下安全性状态评价.....	71
8.3	地震作用下的安全性状态评价.....	71
8.4	滚石作用下安全性状态评价.....	72
8.5	山岭隧道衬砌水压力作用.....	73
8.6	地层挤压变形作用下安全性状态评价.....	73
8.7	滑坡作用.....	74
8.8	泥石流作用下安全性状态评价.....	74
8.9	车辆撞击作用下安全性状态评价.....	75
8.10	火灾作用下安全性状态评价.....	76
8.11	爆炸或蓄意袭击作用下安全性状态评价.....	77
8.12	危险货物运输车辆事故作用下安全性状态评价.....	78
8.13	人为失误操作作用下安全性状态评价.....	79
8.14	人为活动作用下安全性状态评价.....	79
8.15	材料性能退化作用下安全性状态评价.....	79
8.16	腐蚀作用下安全性状态评价.....	80
8.17	填土及挖方作用下安全性状态评价.....	80
9.	道路工程结构安全性评价.....	82
9.1	一般规定.....	82
9.2	极端车辆荷载.....	82
9.3	超限车辆荷载.....	84
9.4	地震作用.....	86
9.5	滑坡作用.....	87
9.6	泥石流作用.....	89
9.7	滚石作用.....	90
9.8	洪水作用.....	92
9.9	极端温度作用.....	93
9.10	车辆撞击作用.....	95
9.11	重物坠落作用.....	96
9.12	火灾作用.....	96
9.13	危险品车辆事故作用.....	97
9.14	冲刷作用.....	98
9.15	材料性能退化作用.....	99
9.16	疲劳作用.....	99
9.17	工程施工作用.....	100

9.18	爆炸作用.....	102
9.19	蓄意破坏作用.....	102
9.20	灾后性能保持与提升.....	103
10.	附录 A 耐久性区划.....	104

征求意见稿

---

## 1. 总则

1.1.1 为保障运营和建设中的公路工程结构和生命财产安全，规范公路工程结构安全性评价，制定本规范。

1.1.2 本规范适用于二级及以上的已建、改扩建及经历安全事态的桥涵、隧道、道路等公路工程结构，新建和在建公路工程结构的安全性评价可参考使用。

1.1.3 公路工程结构安全性评价应确定安全事态下结构和构件的下列安全性状态：

- (1) 保持整体和局部稳定性的能力，发生损伤的程度及其可修复性；
- (2) 保障公路工程服务对象的生命财产安全的能力；
- (3) 危及邻近结构和设施的正常使用与生命安全的程度；
- (4) 危及公路工程结构所处环境生态安全的程度。

1.1.4 公路工程结构不满足安全性目标时，应采取措施提升结构安全性能。

1.1.5 公路工程结构应采取措施避免或减小因发生不可控制的安全事态引起的生命、财产和环境生态的重大损失。

1.1.6 公路工程结构安全性评价，除应符合本规范的要求外，尚应符合现行国家、行业其他有关标准规范的规定。

---

## 2.术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 公路工程结构 Highway structures

公路工程结构是指桥梁、涵洞、隧道、路基、路面、安全防护等结构。

#### 2.1.2 安全性 Safety

公路工程结构的安全性是指公路工程结构在受到自然灾害、人因灾害和环境作用等事态作用下保持结构及其使用者、以及所处环境的生态和人员安全的能力。

#### 2.1.3 安全性评价 Safety Evaluation

开展公路工程结构在安全事态下的结构安全性评价的过程，包含确定安全事态风险水平、安全性评价作用、结构损伤及破坏模式、所产生的各种损失以及安全性状态等级。

#### 2.1.4 安全事态 Safety event

公路工程结构在安全评价过程中的自然灾害、人因灾害、环境作用、结构行为及可能的损失。

#### 2.1.5 安全性状态 Safety state

公路工程结构在安全事态下的承载安全、使用安全、耐久安全、疲劳安全等状态。

#### 2.1.6 承载安全状态 Load bearing safety state

公路工程结构在安全事态下保持整体和局部稳定性的能力。

#### 2.1.7 使用安全状态 Operation safety state

公路工程结构在安全事态下对交通运营、人员生活与作业和所处环境生态的影响程度。

#### 2.1.8 耐久安全状态 Deteriation induced safety state

---

公路工程结构由于材料的性能退化和劣化所导致的承载安全状态或使用安全状态。

#### 2.1.9 疲劳安全状态 Fatigue induced safety state

公路工程结构由于构件疲劳损伤所导致的承载安全状态或使用安全状态。

#### 2.1.10 可修复性 Reparability

在安全事态下公路工程结构或构件发生损伤后在可行技术和可承受经济条件下其功能可被恢复的程度和可能性。

#### 2.1.11 安全性评价作用 Safety evaluation action

公路工程结构安全性评价过程中所采用的作用。

#### 2.1.12 灾害作用 Disaster-induced action

公路工程结构风险事态中由自然灾害引发的安全性评价作用。

#### 2.1.13 事故作用 Accident induced action

公路工程结构风险事态中由人因事故引发的安全性评价作用。

#### 2.1.14 环境作用 Environmental action

公路工程结构安全事态中由环境中的化学或物理作用所引发的安全性评价作用。

#### 2.1.15 冲击荷载 Impact load

由于灾害或事故荷载导致的很短时间内作用在公路工程结构上的荷载。

#### 2.1.16 火灾作用 Fire action

车辆燃烧、危险品泄露燃烧、堆放物及结构附属设施燃烧、及其他火源燃烧等对公路工程结构所产生的作用。

#### 2.1.17 爆炸荷载 blast load

---

车载易燃易爆物品爆炸、车辆爆燃、以及其他类型爆炸等引起的对公路工程结构所产生的作用。

#### 2.1.18 突变作用 Effect sudden change induced action

在安全事态中由于效应突变产生的作用。

#### 2.1.19 链式灾害作用 Chain-type disaster action

存在时间顺序或因果关系的多种灾害（事故）作用。

#### 2.1.20 耦合灾害作用 Coupled disaster action

同时作用在结构或构件上的多种灾害作用。

## 2.2 符号

此处补充规范中常用符号。

征求意见稿

### 3.基本要求

#### 3.1 一般规定

3.1.1 公路工程结构安全性评价应确定安全事态水平、安全性评价作用、结构损伤及破坏模式、所产生的各种损失以及安全性状态等级。

3.1.2 公路工程结构安全性应按承载安全、使用安全、耐久安全、疲劳安全等状态进行评价。

3.1.3 公路工程结构经历安全事态后应进行安全性评价。

#### 3.2 安全事态

3.2.1 公路工程结构安全事态分析应包含下列内容：

- (1) 作用或荷载发生的概率；
- (2) 损伤程度和损失大小。

3.2.2 作用或荷载发生的概率等级宜根据年发生概率按表 3.2.2 确定。

表 3.2.2 作用或荷载发生概率等级划分及其描述

等级	1	2	3	4	5
文字描述	非常不可能	不可能	偶尔	可能	非常可能
年发生概率范围	<0.0003	0.0003~0.003	0.003~0.03	0.03~0.3	>0.3

条文说明：综合考虑我国公路桥梁与隧道风险评估指南的建议取值。

3.2.3 损伤和损失等级应根据功能受影响程度、结构损伤程度、人员伤亡和经济损失大小按表 3.2.3 确定。

表 3.2.3 损伤和损失等级划分及其描述

等级	文字描述	损伤程度和损失大小
1	轻微	1) 功能不受影响； 2) 结构无损伤或轻微损伤； 3) 无人员伤亡； 4) 经济损失小。
2	中等	1) 功能受到一定影响，经过快速修复即可使用；

		2) 结构或构件中等损伤，可快速修复； 3) 无人员伤亡； 4) 经济损失可控。
3	严重	1) 功能受到严重的影响，可经过修复继续使用； 2) 结构或构件严重损伤，可修复； 3) 少量人员伤亡； 4) 经济损失较大。
4	非常严重	1) 功能丧失，难以恢复； 2) 构件破坏或结构部分倒塌，修复难度及代价大； 3) 一定程度的人员伤亡； 4) 经济损失很大。
5	灾难	1) 功能丧失，不可恢复； 2) 结构完全倒塌； 3) 重大的人员伤亡； 4) 经济损失重大。

3.2.4 公路工程结构的安全事态水平应根据表 3.2.4 确定。

表 3.2.4 公路工程结构的安全事态水平

损伤和损失等级 概率等级	1	2	3	4	5
1	I	I	II	II	III
2	I	II	II	III	IV
3	II	II	III	IV	V
4	II	III	IV	V	V
5	III	IV	V	V	V

3.2.5 公路工程结构应根据安全事态水平按下列原则进行安全性评价：

- (1) I 级安全事态可不进行安全性评价；
- (2) II 级安全事态宜进行安全性评价；
- (3) III 级及以上安全事态应进行安全性评价。

### 3.3 安全性评价作用

3.3.1 公路工程结构安全性评价作用可分为极端车辆及人群荷载、灾害作用、事故作用、渐变作用、突变作用、人为活动作用等六类。

3.3.2 桥涵、隧道、道路结构应根据其结构及安全事态特征确定其安全性评价作用。

3.3.3 公路桥涵结构安全性评价作用按表 3.3.3 分类。

表 3.3.3 公路桥涵结构安全性评价作用分类

序号	作用类别	作用名称
1	极端车辆及 人群荷载	极端车辆荷载
2		超限车辆荷载
3		极端人群荷载
4	灾害作用	地震作用
5		风作用
6		波浪作用
7		风暴潮作用
8		洪水作用
9		滚石作用
10		滑坡作用
11		泥石流作用
12		极端温度作用
13		其他
14		事故作用
15	船舶撞击作用	
16	重物坠落作用	
17	火灾作用	
18	爆炸或蓄意袭击作用	
19	危险品车辆事故作用	
20	人为失误操作	
21	其他	
22	渐变作用	冲刷作用
23		材料性能退化作用
24		疲劳作用
25		腐蚀作用（环境化学作用）
26	突变作用	构件突然失效
27	人为活动作用	填土及挖方
28		采砂
29		其他

3.3.4 公路隧道结构安全性评价作用可按表 3.3.4 分类。

表 3.3.4 公路隧道结构安全性评价作用分类

序号	作用类别	作用名称
1	永久作用	围岩压力
2		土压力
3		结构附加恒载
4		水压力
5	极端荷载作用	极端车辆荷载
6		极端车辆荷载所产生的冲击力

7		极端车辆荷载所产生的土压力
8		流水压力
9	灾害作用	地震作用
10		极端温度作用
11		冻胀作用
12		滚石作用
13		其他
14		事故作用
15	火灾作用	
16	爆炸或蓄意袭击作用	
17	危险品车辆事故作用	
18	人为失误操作	
19	其他	
20	渐变作用	材料性能退化作用
21		疲劳作用
22		腐蚀作用
23	人为活动作用	填土及挖方
24		其他

3.3.5 道路工程结构安全性评价作用的分类可按表 3.3.5 确定。

表 3.3.5 公路工程安全性评价作用分类

序 号	作用类别	作用或荷载
1	极端车辆荷载	极端车辆荷载
2		超限车辆荷载
3	灾害作用	地震作用
4		洪水作用
5		滑坡作用
6		泥石流作用
7		滚石作用
8		极端温度作用
9		其他灾害作用
10	事故作用	车辆撞击作用
11		重物坠落作用
12		火灾作用
13		危险品车辆事故作用
14		其他事故作用
15	渐变作用	冲刷作用
16		材料性能退化作用
17		疲劳作用
18	人为活动作用	工程施工作用
19		爆破作用
20		爆炸或蓄意破坏作用

### 3.4 安全性状态评价

#### 3.4.1 公路工程结构承载安全状态评价应包含下列内容：

- (1) 结构和构件的极限承载能力；
- (2) 结构和构件的整体或局部稳定性及发生倾覆的可能性。

#### 3.4.2 公路工程结构的承载安全状态可按下列要求进行：

- (1) 结构或构件的承载安全状态按下式确定：

$$S_b = \frac{R_d}{\gamma_0 S_d} \quad (3.4.2-1)$$

式中：  $S_b$  —— 承载安全状态；

$\gamma_0$  —— 安全事态水平系数，按表 3.4.2 确定；

$S_d$  —— 安全事态作用组合效应；

$R_d$  —— 结构或构件的实际承载能力。

- (2) 结构或构件的整体或局部发生倾覆或失去稳定性的承载安全状态按下式确定：

$$S_b = \frac{\gamma_d}{\gamma_0 \gamma_s} \quad (3.4.2-2)$$

$$\gamma_s = \frac{S_{d, stb}}{S_{dst}} \quad (3.4.2-3)$$

式中：  $\gamma_d$  —— 结构或构件倾覆或失稳的目标安全系数；

$\gamma_s$  —— 安全事态或组合作用下的结构或构件倾覆或失稳安全系数；

$S_{dst}$  —— 安全事态或组合作用下的倾覆效应值；

$S_{d, stb}$  —— 结构或构件的平衡抗力。

表 3.4.2 公路工程结构安全事态等级系数  $\gamma_0$

安全事态水平	I	II	III	IV	V
安全事态等级系数 $\gamma_0$	0.90	0.95	1.0	1.05	1.10

3.4.3 公路工程结构在安全事态下使用安全状态评价应包含下列内容：

- (1) 对行车或行人舒适性和安全性的影响程度；
- (2) 对交通的影响程度；
- (3) 对邻近结构使用的影响程度；
- (4) 对所处环境生态的影响程度；
- (5) 邻近环境或人为活动对公路工程结构使用的影响程度。

3.4.4 公路工程结构的使用安全状态可按下式确定：

$$S_s = \frac{R_d}{S_d} \quad (3.4.4-1)$$

式中：  $S_s$  —— 使用安全状态；

$S_d$  —— 安全事态下作用组合效应；

$R_d$  —— 结构或构件的性能指标限值，如变形、振动加速度、裂缝宽度及可接受的损失大小等。

3.4.5 公路工程结构耐久安全状态评价应包含下列内容：

- (1) 累积损伤、材料退化和劣化对承载安全状态的影响程度；
- (2) 累积损伤、材料退化和劣化对使用安全状态的影响程度；
- (3) 累积损伤、材料退化和劣化对使用寿命的影响程度；
- (4) 累积损伤、材料退化和劣化对可修复性的影响程度。

3.4.6 公路工程结构疲劳安全状态评价应包含下列内容：

- (1) 疲劳损伤对结构承载安全状态的影响程度；
- (2) 疲劳损伤对结构使用安全状态的影响程度；
- (3) 疲劳损伤对结构或构件使用寿命的影响程度；
- (4) 疲劳损伤对构件可修复性的影响程度。

3.4.7 公路工程结构的安全性状态应根据承载安全状态、使用安全状态、耐久安

全状态、疲劳安全状态的评价结果按表 3.4.7 分为五级。

表 3.4.7 安全性状态等级划分

状态等级	一级	二级	三级	四级	五级
状态描述	良好	较好	一般	较差	极差

### 3.5 安全性评价流程

3.5.1 公路工程结构安全性评价可按图 3.4.1 流程进行。

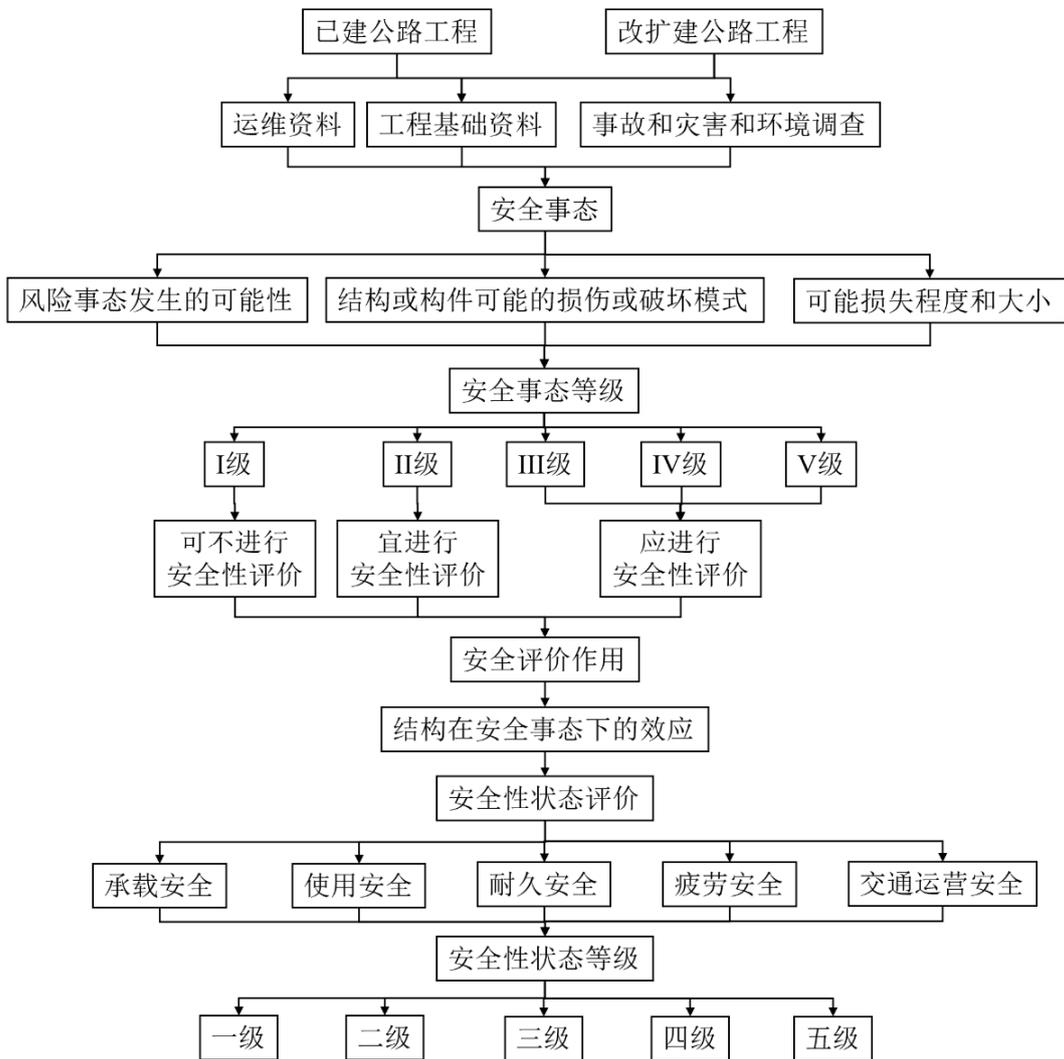


图 3.5.1 已建、改扩建的公路工程安全性评价流程

3.5.2 对经历安全事态后的公路工程结构安全性评价可按图 3.5.2 流程进行。

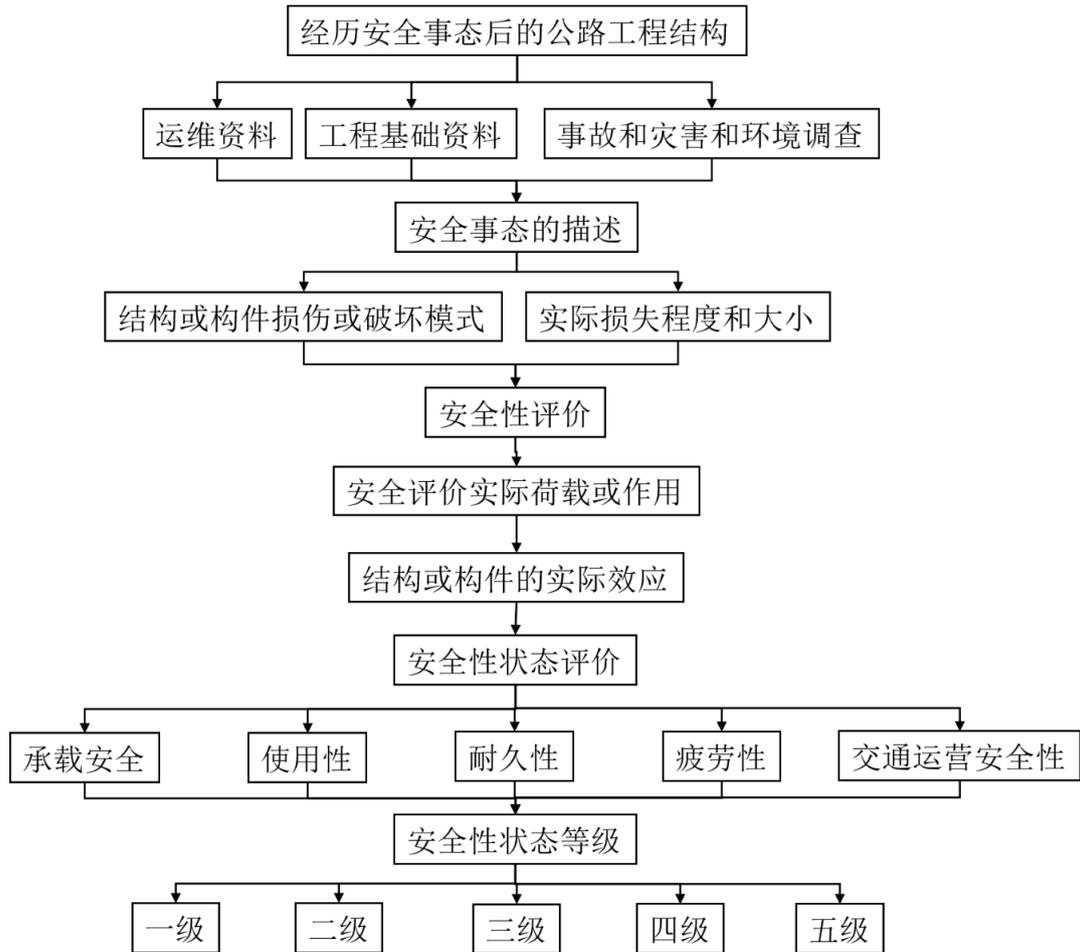


图 3.5.2 经历安全事态后的公路工程结构安全性评价流程

## 4.桥涵工程结构安全性评价作用

### 4.1 极端车辆及人群荷载

4.1.1 极端车辆荷载宜根据监测到或预测的超出规定的车辆荷载及其分布确定。

4.1.2 大件运输的极端车辆荷载水平应按实际车辆荷载及其分布确定。

4.1.3 极端人群荷载作用水平可按表 4.1.3 确定。

表 4.1.3 极端人群荷载作用水平及其分级

作用水平	静力作用	动力作用	
	荷载(kN/m <sup>2</sup> )	近似平均人数/m <sup>2</sup>	密度描述
1	2.5	0.5	可自由行走, 无法自由超越行走
2	3.0	1.0	自由行走不畅, 无法超越行走
3	3.5	1.5	一般拥堵
4	4.0	2.0	十分拥堵
5	5.0	2.5	异常拥堵

### 4.2 地震作用

4.2.1 桥涵工程结构在地震作用下的安全性评价荷载可根据重现期按表 4.2.1 分级。

表 4.2.1 地震作用及其水平分级

等级	1	2	3	4	5
重现期(年)	75	475	1000	2000	5000~10000
描述	多遇地震	偶遇地震 设防地震	比较罕遇	罕遇地震	极其罕遇

### 4.3 风作用

4.3.1 桥涵工程结构在风作用下的安全性评价作用可根据重现期按表 4.3.1 确定其作用水平。

表 4.3.1 风作用及其水平分级

等级	1	2	3	4	5
重现期(年)	10	30	100	150	200
描述	多遇	偶遇	比较罕遇	罕遇	极其罕遇

#### 4.4 波浪作用

4.4.1 桥涵工程结构在波浪作用下的安全性评做作用可根据重现期按表 4.4.1 确定其作用水平。

表 4.4.1 波浪作用及其分级

等级	1	2	3	4	5
重现期(年)	10	50	100	150	200
描述	多遇	偶遇	比较罕遇	罕遇	极其罕遇

#### 4.5 风暴潮作用

4.5.1 桥涵工程结构在风暴潮作用下的风暴增水应通过当地的水位观测资料经统计分析根据重现期按表 4.5.1 确定其作用水平。。

表 4.5.1 波浪作用及其分级

等级	1	2	3	4	5
重现期(年)	10	50	100	150	200
描述	多遇	偶遇	比较罕遇	罕遇	极其罕遇

#### 4.6 洪水作用

4.6.1 桥涵工程结构在洪水作用下的安全性评价荷载应通过当地的水位观测资料经统计分析根据重现期按表 4.6.1 分级。

表 4.6.1 洪水作用及其分级

等级	1	2	3	4	5
重现期(年)	100	200	300	400	500
描述	多遇	偶遇	比较罕遇	罕遇	极其罕遇

## 4.7 滚石作用

4.7.1 桥涵工程结构在滚石作用(FRD)下的安全性评价荷载可根据地质调查, 根据单体滚石质量和速度以及撞击动能可按表 4.7.1-1 确定其作用水平, 也可根据。

表 4.7.1-1 单个滚石作用水平及其分级

工况	滚石质量	滚石速度	撞击动能范围
1	500kg	20m/s	100kJ
2	2000kg	20m/s	400kJ
3	10000kg	20m/s	2000kJ
4	50000kg	16m/s	6400kJ
5	200000kg	10m/s	10000kJ

表 4.7.1-2 按规模划分滚石作用水平及其分级

水平	规模	特征及描述
1	特小	单次失稳规模 $\leq 10\text{m}^3$ , 个别岩石块体失稳, 失稳块石滚动、弹跳至公路, 威胁行车安全, 损坏路面。
2	小	单次失稳规模 $> 10, \leq 100\text{m}^3$ , 个别岩石块体失稳, 失稳块石滚动、弹跳至公路, 威胁行车安全, 损坏路面。
3	中等	单次失稳规模 $> 100, \leq 1000\text{m}^3$ , 部分岩石块体失稳, 失稳岩土体顺坡堆积于坡脚或路面, 威胁行车安全, 损坏挡防结构、桥梁等构造物。
4	大	单次失稳规模 $> 1000, \leq 10000\text{m}^3$ , 部分岩石块体失稳, 失稳岩土体顺坡堆积于坡脚或路面, 部分掩埋公路、损坏挡防结构、桥梁等构造物。
5	特大	单次失稳规模 $> 10000\text{m}^3$ , 大规模岩石块体失稳, 顺坡堆积、损坏桥梁等构造物, 致使桥梁垮塌, 公路无法通行。

条文说明: 彻底关断桥事故调查表明, 击断桥墩的巨石重达 200 吨; 2011 年西汉高速 3 根桥梁被山体松动滚石飞落冲击, 滚石尺寸也高达 200 多吨。本条文根据几起桥梁垮塌的滚石作用案例, 确定了桥梁的在单体滚石作用下的评价荷载水平。

4.7.2 在役桥梁工程结构的滚石冲击力宜结合地形地貌条件、采取试验或数值模拟的方法获取, 也可按下式计算确定:

$$P = 2.108(mg)^{\frac{2}{3}}\lambda^{\frac{2}{5}}H^{\frac{3}{5}} \quad (4.7.2-1)$$

$$\lambda = \frac{\mu E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} \quad (4.7.2-2)$$

式中： $P$ —滚石冲击力（kN）；

$m$ —滚石质量（t）；

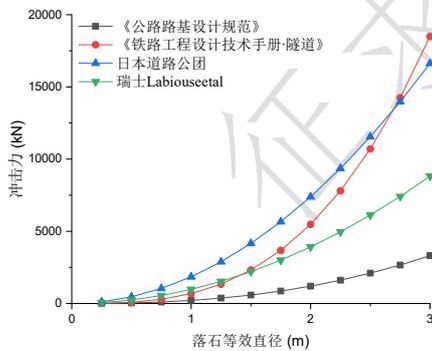
$g$ —重力加速度；

$\lambda$ —地表土层的拉梅常数；

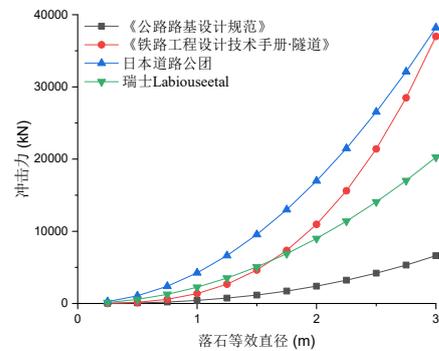
$E, \mu$ —地表土层的弹性模量和泊松比；

$H$ —滚石下落高度（m）。

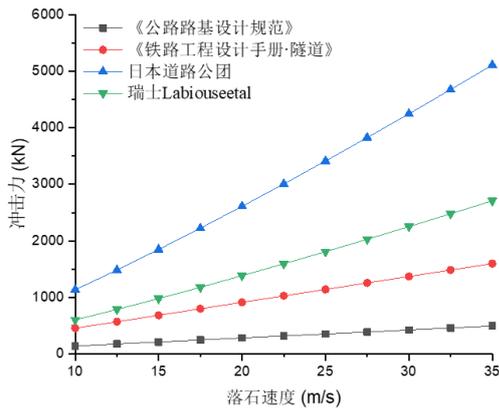
条文说明：我国《公路路基设计规范》（JTJ13-95）、《铁路工程设计手册·隧道》、日本道路公团以及瑞士 Labiouseetal 等学者均给出了滚石冲击力的近似计算方法。本规范对上述四种常用的算法进行了滚石速度及滚石等效直径的参数分析，结果如图所示。综合考虑，日本道路公团提出的算法更加保守，在无实测的可靠数据时推荐采用此算法。



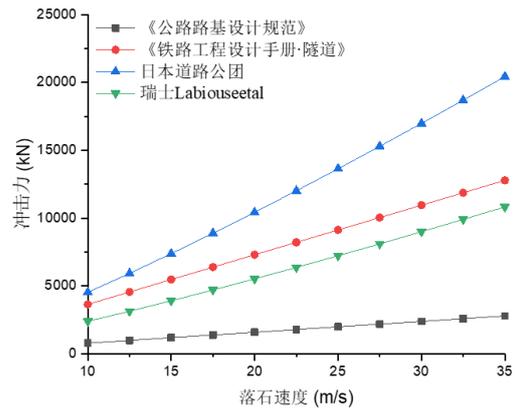
(a) 滚石速度为 15 m/s 时滚石等效直径与冲击力的关系



(b) 滚石速度为 30 m/s 时滚石等效直径与冲击力的关系



(c) 滚石等效直径为 1m 时滚石速度与冲击力的关系



(d) 滚石等效直径为 2m 时滚石速度与冲击力的关系

图 4.7.2 不同速度和等效直径下的滚石冲击力

## 4.8 滑坡作用

4.8.1 桥涵工程结构在滑坡作用下的安全性评价荷载可根据滑坡体积按照表 4.8.1 确定其作用水平。

表 4.8.1 滑坡作用水平及其分级

水平	规模	滑坡体积 / $\times 10^4\text{m}^3$
1	特小	<1
2	小	1 ~ <4
3	中等	4 ~ <30
4	大	30 ~ <100
5	特大	$\geq 100$

4.8.2 作用在桥涵工程下部结构的滑坡推力宜采用传递系数法进行计算。

## 4.9 泥石流作用

4.9.1 桥涵工程结构在泥石流作用下的安全性评价作用可按泥石流一次冲出固体物质量或峰值流量按表 4.9.1 确定其作用水平。

表 4.9.1 泥石流作用水平及其分级

水平	规模	一次冲出固体物质量 / $\times 10^4\text{m}^3$	峰值流量 $\text{m}^3/\text{s}$
1	特小	<1	<10
2	小	1 ~ <2	10 ~ <20

3	中等	2 ~ < 20	20 ~ < 100
4	大	20 ~ < 50	100 ~ < 200
5	特大	≥ 50	≥ 200

#### 4.10 车辆撞击作用

4.10.1 未设置防护措施的跨线桥梁或因交通规划导致车撞风险增加的桥梁在车辆撞击作用下的安全性评价作用可按表 4.10.1 确定其作用水平。

表 4.10.1 车辆撞击作用水平及其分级

水平	车辆类型	重量 (t)	速度(km/h)	碰撞角度(°)
1	小型客车	1.5	120	0~20
2	中型客车/货车	10	100	0~20
3	大型客车	25	80	0~20
4	大型货车	40	65	0~20
5	特大型货车	49	65	0~20

4.10.2 车辆撞击作用安全性评价冲击荷载宜通过试验或数值模拟方法根据表 4.10.1 的参数模拟确定。

#### 4.11 船舶撞击作用

4.11.1 受船舶撞击影响的桥梁设防代表性船型和作用可根据分位值法按表 4.11.1 确定其作用水平。

表 4.11.1 车辆撞击作用水平及其分级

水平	设防代表性船型概率分布
1	25%
2	10%
3	5%
4	2%
5	1%

条文说明：概率-风险分析方法常用于确定设防代表船型。该方法可以考虑船舶、通航量、船舶事故等统计信息，理论基础比较系统和完善，一般情况下推荐采用此方法，特别是重要桥梁和宽阔水域的桥梁。

4.11.2 桥梁主体结构船撞效应宜采用质点碰撞方法、或强迫振动方法计算。当需要精确模拟船舶与桥梁相互作用过程获得桥梁结构总体受力、局部受力及结构位移、内力的动态响应时，可采用数值模拟计算方法。

#### 4.12 重物坠落作用

4.12.1 公路桥梁桥面系在重物坠落作用下的安全性评价作用可按表 4.12.1 确定其作用水平。

表 4.12.1 重物坠落作用水平及其分级

水平	重物质量 (Kg)	离桥面高度(m)
1	1000	2.0
2	2000	2.0
3	5000	1.5
4	10000	1.2
5	20000	1.0

条文说明：本条文所规定的重物坠落有别于滚石的其他场景的安全事件，而是特指交通车辆运载货物的坠落。有大量车辆运载货物坠落事故导致了桥面系出现严重破坏。考虑到运输货物的重量的大小以及运输车辆平台高度，本条文的按照重量和高度划分作用水平。

4.12.2 桥梁在重物坠落作用下的效应宜根据潜在坠落物尺寸规模、坠落高度、桥梁构件形式等模拟坠落物与桥梁相互作用的方法综合确定。

#### 4.13 火灾作用

4.13.1 公路桥梁车致火灾作用安全性评价作用可按表 4.13.1 确定其作用水平。

表 4.13.1 车致火灾作用水平及其分级

水平	车型	平面尺寸	热释放速率	时间 (小时)
----	----	------	-------	------------

1	小汽车火灾	1.5 m × 4.0 m	0.8 MW/m <sup>2</sup>	30 min
2	客车及中型货车火灾	2.0 m × 6.0 m	2.5 MW/m <sup>2</sup>	40 min
3	普通油罐车火灾	4.0 m × 6.0 m	3.0 MW/m <sup>2</sup>	60 min
4	重载货车火灾	4.0 m × 6.0 m	5.0 MW/m <sup>2</sup>	90 min
	大型油罐车火灾	6.0 m × 12.0 m	3.0 MW/m <sup>2</sup>	100 min

4.13.2 公路桥梁车致火灾作用宜通过火灾数值仿真模拟获取桥梁构件的温度场分布及其对桥梁结构和构件的作用效应。

#### 4.14 爆炸或蓄意袭击作用

4.14.1 公路桥梁爆炸或蓄意袭击作用安全性评价作用可根据等效 TNT 当量与爆炸高度按表 4.14.1 确定其作用水平。

表 4.14.1 公路桥梁爆炸或蓄意袭击作用水平及其分级

水平	车辆类型	携带炸药能力 (TNT 当量/kg)	爆炸高度/m
1	轿车	100-300	0.1-0.3
2	小型客车	300-500	0.3-0.5
3	小型货车	500-1000	0.5-1.0
4	卡车	1000-4000	1.0-1.5
5	罐车、槽车	4000-30000	1.5-4.0

4.14.2 爆炸或蓄意袭击作用对桥涵结构产生的冲击作用宜采用试验或数值模拟的方法获取。

#### 4.15 危险货物运输车辆事故作用

4.15.1 危险货物运输车辆事故安全性评价作用应根据《危险货物道路运输规则 第 2 部分：分类》JT/T 617.2-2018 进行分类和分级。

4.15.2 危险货物运输车辆事故安全性作用应根据事故可能的影响范围确定其作用水平。

表 4.15.2 公路桥梁爆炸或蓄意袭击作用水平及其分级

水平	事故可能影响范围	事故可能影响半径(m)
1	整幅路宽	[0, 5]
2	全幅路宽	(5, 20]
3	小范围邻近区域	(20, 100]
4	小范围附近区域	(100, 500]
5	大范围附近区域	(500, ∞)

#### 4.16 人为失误操作

4.16.1 当包括但不限于以下情形时，应考虑人为失误操作对桥涵工程结构产生的安全性影响：

- (1) 采用了新型材料；
- (2) 采用了新型施工工艺；
- (3) 采用了新型结构形式；
- (4) 设计和施工团队经验不足；
- (5) 研发水平不足；
- (6) 存在经济、政治、社会等潜在风险；

条文说明：人为失误对桥涵工程结构产生的安全性具有很高的不确定性，并且很难量化体现。既有的事故调查统计发现，人为失误可以分为许多种类，下表即为对人为失误导致事故的原因及比例统计。

表 4.16.1 人为失误分类及占比统计

原因	比例
荷载或结构性能的预测错误	43
图纸和计算错误	7
文档或指导文件起草错误	4
不遵守文档或指导文件的规定	9
不正确执行施工步骤	13

错误的使用方式、或严重劣化	7
荷载、材料、施工人员质量的变异性	10
其他原因	7

4.16.2 当存在人为失误操作对桥涵工程结构产生的安全性影响时,应采取措施予以避免和消除。

#### 4.17 冲刷作用

4.17.1 桥梁的冲刷安全性评价作用可根据表 4.17.1 确定其作用水平。

表 4.17.1 冲刷作用时的安全性评价作用水平及其分级

水平	冲刷深度 $h_s$	基础冲空面积占比 $\eta_{sa}$
1	$h_s < 0.2 h_{sd}$	$\eta_{sa} < 2\%$
2	$0.2 h_{sd} \leq h_s < 0.6 h_{sd}$	$2\% \leq \eta_{sa} < 6\%$
3	$0.6 h_{sd} \leq h_s < 1.0 h_{sd}$	$6\% \leq \eta_{sa} < 10\%$
4	$1.0 h_{sd} \leq h_s < 1.2 h_{sd}$	$10\% \leq \eta_{sa} < 20\%$
5	$h_s \geq 1.2 h_{sd}$	$\eta_{sa} \geq 20\%$

注:  $h_{sd}$  表示设计冲刷深度。

4.17.2 桥梁的冲刷作用应与其他安全评价作用耦合考虑。

条文说明:桥梁在冲刷作用下自由桩长、基础掏空面积都会逐渐增大。如考虑其他荷载,如地震、洪水、船舶撞击等同时作用下,结构安全性能将会受到显著影响。此时,冲刷作用的耦合效应需要在安全评价时予以考虑。

## 4.18 材料性能退化作用

### 4.18.1 材料性能退化作用应考虑混凝土碳化作用、氯离子侵蚀、冻融循环作用等。

条文说明：混凝土碳化作用是指大气中的 $CO_2$ 侵入混凝土内部并与 $Ca(OH)_2$ 发生化学作用，生成中性的 $CaCO_3$ ，破坏了保护钢筋免受腐蚀的碱性钝化膜，使钢筋更易发生腐蚀。氯离子侵蚀是指混凝土自身或环境中的氯离子穿过混凝土保护层到达钢筋表面，且达到临界氯离子浓度时，钢筋的碱性钝化膜遭到破坏，氯离子同时会与钢筋发生化学反应，引起钢筋锈蚀。冻融循环作用是指寒冷地区的混凝土在冻融循环下，易出现冻胀破坏，同时由于混凝土内部结构改变还会引发其他耐久性问题。

### 4.18.2 混凝土的碳化作用可按表 4.18.2 确定其作用水平。

表 4.18.2 碳化环境作用水平等级

水平	相对湿度(RH)
1	$40 < RH \leq 60\%$
2	$20 < RH \leq 40\%$ 或 $60\% < RH \leq 80\%$
3	$0 < RH \leq 20\%$ 或 $80\% < RH < 100\%$

#### 条文说明

国内外学者开展的大量试验研究表明，影响混凝土碳化的环境因素包括， $CO_2$ 浓度、温度和相对湿度，其中，相对湿度的影响最为显著。对于暴露于大气环境中的混凝土桥梁结构而言， $CO_2$ 浓度的差异较小，而温度的影响是以相对湿度为前提的。因此，将相对湿度作为碳化环境等级划分的依据。

### 4.18.3 氯盐侵蚀作用等级可根据环境中的氯离子浓度按表 4.18.3 取用。

表 4.18.3 氯盐侵蚀环境作用等级

等级	氯离子浓度[Cl <sup>-</sup> ]	环境影响系数 $\gamma_1$
1	$0\% < 1.0\%$	1.0
2	1.0%~1.5%	1.2
3	1.5%~2.0%	1.6
4	2.0%~3.0%	2.0
5	>3.0%	

注：氯离子浓度为相对胶凝材料质量的百分比。

#### 条文说明

氯离子侵入混凝土的方式主要有扩散、渗透和吸附，其中以扩散为主，扩散是液体或气体在浓度梯度驱动下的定向移动，其也是国内外学者建立氯离子侵入模型的理论依据。因此，外界环境与混凝土结构内部环境之间的氯离子浓度差成为氯离子侵入混凝土的动力源，本指南采用氯离子浓度作为等级划分的标准反映了环境作用的差异和氯离子侵入的动力特征。

4.18.4 冬季处于频繁温度变化的地区桥涵工程结构的冻融循环作用可根据最冷月平均气温按表 4.18.4 确定冻融循环作用水平：

表 4.18.4 冻融循环作用等级

等级	最冷月平均气温
1	无冻地区( $>2.5^{\circ}\text{C}$ )
2	微冻地区 ( $-3^{\circ}\text{C}\leq t\leq 2.5^{\circ}\text{C}$ )
3	寒冷地区 ( $-8^{\circ}\text{C}< t < -3^{\circ}\text{C}$ )
4	严寒地区 ( $t\leq -8^{\circ}\text{C}$ )

#### 条文说明

已有的大量文献研究均表明，冻融破坏是混凝土在负温和正温的交替循环作用下，混凝土从表层开始发生剥落、结构疏松、强度降低，直到破坏的一种现象。因此，依照最冷月平均气温划分冻融环境等级能够反映环境作用的严酷程度，且便于设计和工程人员使用。

4.18.5 处于硫酸盐腐蚀环境中的桥涵工程结构的硫酸盐腐蚀环境作用等级可根据表 4.18.5 确定。

表 4.18.5 硫酸盐腐蚀环境等级划分

等级	硫酸盐含量	
	土壤中的水溶性 $\text{SO}_4$ , %	水中的 $\text{SO}_4$ , ppm
1	$<0.10$	$<150$
2	$0.10\sim 0.20$	$150\sim 1500$
3	$0.20\sim 2.00$	$1500\sim 10000$
4	$>2.00$	$>10000$

条文说明：实际环境中除硫酸盐外，还含有酸根、镁盐等有害离子，因此，耐久性能设计时应考虑多种侵蚀性离子的耦合作用；对有特殊要求的混凝土结构，环境作用影响系数宜在本条目基础上经专门研究后确定。

4.18.6 处于风沙、流冰、泥沙等环境作用的桥涵工程结构其磨蚀作用等级可根据表 4.18.6 确定。

表 4.18.6 磨蚀环境等级划分

类别名称	环境条件特征	
1	风蚀（有砂情况）	风力等级 $\geq 7$ 级，且年累计刮风时间大于 90 天
		风力等级 $\geq 9$ 级，且年累计刮风时间大于 90 天
2	流冰冲刷	被强烈流冰撞击、磨损、冲刷（冰层水位下 0.5m~冰层水位上 1.0m）
3	风蚀（有砂情况）	风力等级 $\geq 11$ 级，且年累计刮风时间大于 90 天
	泥砂冲刷	被大量夹杂泥砂或物体磨损、冲刷

条文说明

混凝土结构的磨蚀是环境因素造成的物理破坏现象，本条目参考了《水工混凝土试验规程》(DL/T 5150-2001) 和本项目研究成果《耐久混凝土的材料组成与配合比设计手册》。

4.19 疲劳作用

4.19.1 车辆作用下疲劳安全性评价荷载可根据路网内可能发生的实际车辆荷载及其分布、或根据桥梁监测到已发生的车辆荷载及其分布经统计确定其作用水平，也可按表 4.19.1 确定。

表 4.19.1 极端车辆荷载作用及其分级

等级	疲劳荷载计算模型 I	疲劳荷载计算模型 II	疲劳荷载计算模型 III
1	0.6(0.7P <sub>k</sub> , 0.3q <sub>k</sub> )	0.6P <sub>kII</sub>	0.6P <sub>kIII</sub>
2	0.8(0.7P <sub>k</sub> , 0.3q <sub>k</sub> )	0.8P <sub>kII</sub>	0.8P <sub>kIII</sub>
3	1.0(0.7P <sub>k</sub> , 0.3q <sub>k</sub> )	1.0P <sub>kII</sub>	1.0P <sub>kIII</sub>
4	1.2(0.7P <sub>k</sub> , 0.3q <sub>k</sub> )	1.2P <sub>kII</sub>	1.2P <sub>kIII</sub>
5	1.4(0.7P <sub>k</sub> , 0.3q <sub>k</sub> )	1.4P <sub>kII</sub>	1.4P <sub>kIII</sub>

注：P<sub>k</sub>、q<sub>k</sub>为《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 中的疲劳荷载计算模型 I 的车辆荷载；P<sub>kII</sub>和 P<sub>kIII</sub>分别为《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64 中的疲劳荷载计算模型 I 和计算模型 II 所对应的车辆荷载。

4.19.2 风作用下疲劳安全性评价荷载宜根据桥位气象观测经统计分析按构件疲劳累积效应等效原则确定疲劳设计风参数，也可根据重现期按 4.19.1 表确定。

表 4.19.1 极端车辆荷载作用及其分级

等级	重现期	10m 高度处风速
1	1 年	0.63U <sub>10</sub>
2	/	0.71U <sub>10</sub>
3	5 年	0.78U <sub>10</sub>
4	/	0.81U <sub>10</sub>
5	10 年	0.84U <sub>10</sub>

注：U<sub>10</sub>为《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T 3360-01 的基本风速。

## 4.20 腐蚀作用

4.20.1 在役桥梁结构所处环境具有可靠的材料暴露试验数据作支撑时，大气腐蚀性环境分类宜按下表执行：

表 4.20.1 大气腐蚀性等级（按腐蚀速率确定）

水平	大气腐蚀性	定性描述	按材料暴露 10 年的平均腐蚀速率/ $\mu\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$				
			碳钢	低合金钢	锌	铜	铝
1	C0	非常低	<1	<0.1	<0.05	<0.005	<0.002
2	C1	很低	1~10	0.1~0.5	0.05~0.1	0.005~0.01	0.002~0.01
	C2	低	10~50	0.5~5	0.1~0.5	0.01~0.1	0.01~0.025
3	C3	中	50~150	5~12	0.5~2	0.1~1.5	0.025~0.2
4	C4	高	150~250	12~30	2~4	1.5~3	0.2~1
	C5	很高	250~350	30~100	4~10	3~5	1~3
5	C6	非常高	>350	>100	>10	>5	>3

条文说明：金属在潮湿大气环境条件下发生的腐蚀称为大气腐蚀，大气腐蚀是桥梁工程结构最常见且破坏性最大的一种腐蚀形式。我国曹楚南院士在 ISO

9223 和 ISO 9224 的基础上，结合国内腐蚀试验站的观测结果，将大气腐蚀性环境分为 7 个等级。本条文在此基础上分为 5 个作用水平。

4.20.2 在役桥梁结构所处环境缺乏可靠的材料暴露试验数据时，钢结构（普通碳钢和低合金钢）的大气腐蚀性环境分类可按表 4.20.2-1 确定，其中环境中 SO<sub>2</sub> 和 Cl<sup>-</sup> 的浓度及潮湿时间可分别参照表 4.20.2-2、表 4.20.2-3、表 4.20.2-4 确定。

表 4.20.2-1 大气腐蚀性等级（按环境条件确定）

项目	τ1			τ2			τ3			τ4			τ5		
	S0-S1	S2	S3	S0-S1	S2	S3	S0-S1	S2	S3	S0-S1	S2	S3	S0-S1	S2	S3
P0-P1	C0-C1	C1	C1-C2	C1	C2	C3	C2-C3	C3-C4	C4	C3	C4	C5	C3-C4	C5	C5
P2	C1	C1	C1-C2	C1-C2	C2-C3	C3-C4	C3-C4	C3-C4	C4-C5	C4	C4	C5	C3-C4	C5	C5-C6
P3	C1-C2	C1-C2	C2	C2	C3	C3-C4	C4	C4	C4-C5	C5	C5	C5	C5	C5-C6	C6

表 4.20.2-2 以 SO<sub>2</sub> 表示大气环境分类

SO <sub>2</sub> 沉积速度 $P_d/mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$	SO <sub>2</sub> 浓度 $P_c/\mu g \cdot m^{-3}$	类型
$P_d \leq 10$	$P_c \leq 12$	P0
$10 < P_d \leq 35$	$12 < P_c \leq 40$	P1
$35 < P_d \leq 80$	$40 < P_c \leq 90$	P2
$80 < P_d \leq 200$	$90 < P_c \leq 250$	P3

表 4.20.2-3 以 Cl<sup>-</sup> 表示大气环境分类

Cl <sup>-</sup> 沉积速度 $S/mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$	类型	Cl <sup>-</sup> 沉积速度 $S/mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$	类型
$S \leq 3$	S0	$60 < S \leq 300$	S2
$3 < S \leq 60$	S1	$300 < S \leq 1500$	S3

表 4.20.2-4 润湿时间的分类

类型	润湿时间占比 $\tau/\%$
τ1	$\tau \leq 0.1$
τ2	$0.1 < \tau \leq 3$
τ3	$3 < \tau \leq 30$
τ4	$30 < \tau \leq 60$
τ5	$60 < \tau$

注：润湿时间占比是指试件表面处于潮湿状态下的时间与暴露总时间的占比，一般暴露总时间应以年为单位。

4.20.3 混凝土内钢筋腐蚀的评价标准可按照现行《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）的规定执行，当腐蚀等级达到 3 级及以上时，宜对桥梁工

程结构的安全性进行评价，并提出合理的性能提升策略。

#### 4.21 构件突然失效

4.21.1 缆索承重桥梁应考虑部分构件突然失效所引起的突变作用，其作用可按表

4.21.1 确定其水平和分级。

表 4.21.1 构件突然失效作用等级划分

等级	拉索和吊杆失效	支座等构件
1	1 根拉索部分失效	支座部分失效
2	1 根拉索或吊杆失效	多支座支撑结构的 1 个支座失效
3	2 根拉索或吊杆失效	多支座支撑结构的 2 个支座失效
4	3 根拉索或吊杆失效	多支座支撑结构的 3 个支座失效
5	4 根及以上的拉索或吊杆失效	单个桥墩的支座全部失效

#### 4.22 填土及挖方

4.22.1 在役桥梁结构邻近区域存在填土及挖方活动时，填土及挖方对桥涵结构安全性作用等级可根据填土和挖方的厚度按表 4.22.1 确定。

表 4.22.1 填土及挖方对桥涵结构作用等级划分

等级	填土厚度(m)	挖方(m)
1	<1m	< min(1m,0.05h <sub>s</sub> )
2	1m~3m	min(1m,0.05h <sub>s</sub> )~min(2m,0.1h <sub>s</sub> )
3	3m~5m	min(2m,0.1h <sub>s</sub> )~min(4m,0.2h <sub>s</sub> )
4	5m~10m	min(4m,0.2h <sub>s</sub> )~min(10m,0.5h <sub>s</sub> )
5	>10m	> min(10m,0.5h <sub>s</sub> )

注：h<sub>s</sub>表示桩基入土深度。

条文说明：在桥梁邻近区域存在填土及挖方行为对桥梁的安全性能影响很大。一方面，填土及挖方作用可能引起桩周土发生水平向位移，引起桩的挠曲、水平变形过大，桩身承受的弯矩较设计的弯矩而言过大，从而造成上部结构产生偏移甚至不能正常使用。另一方面，填土及挖方引起桥墩周围土体的固结沉降变形，土

体产生相对于桩的向下位移，墩身产生向下的负摩擦力，增加了桥墩的轴向荷载并产生附加沉降，造成不均匀沉降，对全桥安全性能产生较大影响。

#### 4.23 采砂

4.23.1 公路桥梁跨越河道上下游的应禁止采砂行为。

4.23.2 当在役桥涵工程结构上下游存在采砂行为时，其安全性作用水平可根据采砂作业距离桥位的距离按表 4.22.1 确定安全作用水平。

表 4.22.1 采砂对桥涵结构作用等级划分

等级	作业点与桥位距离(m)
1	>3000m
2	3000~2000m
3	2000~1000m
4	500~1000m
5	0~500m

#### 4.24 耦合作用与链式作用

4.24.1 公路桥涵结构安全性评价应根据桥梁所处环境，明确多种作用之间的耦合作用效应或链式作用效应。

4.24.2 公路桥涵结构安全性评价耦合作用效应可参考表 4.24.2 所示。

表 4.24.2 安全性评价耦合作用组合表

主要作用	耦合作用
可变车辆及人群荷载	渐变作用、人为活动作用
地震作用	渐变作用、人为活动作用
风作用	波浪作用、风暴潮作用、渐变作用、人为活动作用
洪水作用	渐变作用、人为活动作用
滚石作用	渐变作用、人为活动作用
滑坡作用	渐变作用、人为活动作用
泥石流作用	渐变作用、人为活动作用
车辆撞击作用	渐变作用、人为活动作用
船舶撞击作用	渐变作用、人为活动作用
洪水作用	冲刷作用、渐变作用

---

4.24.3 公路桥涵结构安全性评价链式作用效应可参考表 4.24.3 所示。

表 4.24.3 安全性评价链式作用组合表

主要作用	链式作用
地震作用	波浪作用、洪水作用
地震作用	滑坡作用
爆炸作用	火灾作用

征求意见稿

## 5.隧道工程结构安全性评价作用

### 5.1 极端地温作用

5.1.1隧道结构的极端地温及分布应经过工程和水文地质调查确定。

5.1.2隧道结构的极端地温作用及其水平等级可按表 5.1.2 分级。

表 5.1.2 极端地温作用及其水平分级

作用水平	极端高温(°C)	极端低温(°C)
1	28-31	0
2	31-37	-5
3	38-44	-10
4	45-50	-15
5	>50	<-20

### 5.2 地震作用

5.2.1隧道工程结构在地震作用下的安全性评价作用可根据重现期按表 5.2.1 分级。

表 5.2.1 地震作用及其分级

等级	1	2	3	4	5
重现期(年)	75	475	1000	2000	5000-10000
描述	多遇地震	偶遇地震	比较罕遇	罕遇地震	极其罕遇

### 5.3 滚石作用

5.3.1隧道工程结构在滚石作用下的安全性评价可根据地质调查,根据单体滚石质量和速度以及撞击动能可按表 5.3.1-1 确定其作用水平,也可根据按规模划分滚石作用 5.3.1-2 水平及其分级。

表 4.6.1-1 单个滚石作用水平及其分级

工况	滚石质量	滚石速度	撞击动能范围
1	500kg	20m/s	100kJ
2	2000kg	20m/s	400kJ
3	10000kg	20m/s	2000kJ
4	50000kg	16m/s	6400kJ
5	200000kg	10m/s	10000kJ

表 4.6.1-2 按规模划分滚石作用水平及其分级

水平	规模	特征及描述
1	特小	单次失稳规模 $\leq 10\text{m}^3$ ，个别岩石块体失稳，失稳块石滚动、弹跳至公路，威胁行车安全，损坏路面。
2	小	单次失稳规模 $>10, \leq 100\text{m}^3$ ，个别岩石块体失稳，失稳块石滚动、弹跳至公路，威胁行车安全，损坏路面。
3	中等	单次失稳规模 $>100, \leq 1000\text{m}^3$ ，部分岩石块体失稳，失稳岩土体顺坡堆积于坡脚或路面，威胁行车安全，损坏挡防结构、隧道等构造物。
4	大	单次失稳规模 $>1000, \leq 10000\text{m}^3$ ，部分岩石块体失稳，失稳岩土体顺坡堆积于坡脚或路面，部分掩埋公路、损坏挡防结构、隧道等构造物。
5	特大	单次失稳规模 $>10000\text{m}^3$ ，大规模岩石块体失稳，顺坡堆积、损坏隧道等构造物，致使隧道垮塌，公路无法通行。

5.3.2在役隧道工程结构的滚石冲击力宜结合地形地貌条件、采取试验或数值模拟的方法获取，也可按下式计算确定：

$$P = 2.108(mg)^{\frac{2}{3}}\lambda^{\frac{2}{5}}H^{\frac{3}{5}} \quad (1-1)$$

$$\lambda = \frac{\mu E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} \quad (1-2)$$

式中： $P$ — 滚石冲击力（kN）；

$m$ — 滚石质量（t）；

$g$ —重力加速度；

$\lambda$ —地表土层的拉梅常数；

$E, \mu$ —地表土层的弹性模量和泊松比；

$H$ —滚石下落高度（m）。

## 5.4 山岭隧道衬砌水压力作用

5.4.1 深埋山岭隧道处于围岩裂隙发育、断层破碎带、或岩溶发育区，应开展地下水的压力对衬砌结构安全性评价作用。

5.4.2 隧道工程结构在水压力作用下的安全性评价作用可根据监测的水压力的大小来确定。

## 5.5 地层挤压变形作用

5.5.1 潜在发生挤压大变形地层中的山岭隧道应进行衬砌结构安全性评价。

条文说明：易出现挤压大变形的地层如千枚岩、泥岩、石膏含量高的灰岩，围岩变形会挤压隧道衬砌致使结构破坏。

5.5.2 隧道衬砌结构挤压大变作用评价作用应通过挤压形态来确定，并按照表 5.5.2 确定其作用水平分级。

表 5.5.2 隧道衬砌结构挤压形态评价作用

等级	挤压形态
1	非挤压
2	轻度挤压
3	中度挤压
4	严重挤压
5	极度挤压

5.5.3 挤压大变形作用的应通过调查隧道所处地层岩石性质与地质条件确定。

## 5.6 极端车辆荷载

5.6.1 隧道内部车道结构的安全评价应考虑极端车辆荷载作用。

5.6.2 极端车辆荷载的取值同本规范桥梁工程结构安全评价的第 4.1.1 条。

## 5.7 滑坡作用

5.7.1 隧道无法避让滑坡体时，隧道工程结构在滑坡作用下的安全性评价荷载可按桥梁工程结构安全评价的第 4.8.1 条确定。

## 5.8 泥石流作用。

5.8.1 隧道工程结构在泥石流作用下的安全性评价荷载可按桥梁工程结构安全评价的第 4.9.1 条确定。

## 5.9 车辆撞击作用

5.9.1 未设置防护措施的隧道或因交通规划导致被车撞风险增加的在役隧道在车辆撞击作用下的安全性评价荷载按表 5.9.1 规定确定：

表 5.9.1 车辆撞击作用水平及其分级

水平	车辆类型	重量 (t)	速度(km/h)	碰撞角度(°)
1	小型客车	1.5	120	0~20
2	中型客车/货车	10	100	0~20
3	大型客车	25	80	0~20
4	大型货车	40	65	0~20
5	特大型货车	49	65	0~20

5.9.2 车辆撞击作用安全性评价冲击荷载宜通过试验或数值模拟方法根据表 4.10.1 的参数模拟确定。

## 5.10 火灾作用

5.10.1 公路隧道车致火灾作用安全性评价作用可按表 4.13.1 确定其作用水平。

表 4.13.1 车致火灾作用水平及其分级

水平	车型	平面尺寸	热释放速率	时间 (小时)
1	小汽车火灾	1.5 m × 4.0 m	0.8 MW/m <sup>2</sup>	30 min
2	客车及中型货车火灾	2.0 m × 6.0 m	2.5 MW/m <sup>2</sup>	40 min
3	普通油罐车火灾	4.0 m × 6.0 m	3.0 MW/m <sup>2</sup>	60 min
4	重载货车火灾	4.0 m × 6.0 m	5.0 MW/m <sup>2</sup>	90 min
	大型油罐车火灾	6.0 m × 12.0 m	3.0 MW/m <sup>2</sup>	100 min

5.10.2 公路隧道车致火灾作用宜通过火灾数值仿真模拟获取隧道构件的温度场分布及其对隧道结构和构件的作用效应。

## 5.11 爆炸或蓄意袭击作用

5.11.1 公路隧道爆炸或蓄意袭击作用安全性评价作用可根据等效 TNT 当量与爆炸高度按表 5.11.1 确定其作用水平。

表 5.11.1 公路隧道爆炸或蓄意袭击作用水平及其分级

水平	车辆类型	携带炸药能力 (TNT 当量/kg)	爆炸高度/m
1	轿车	100-300	0.1-0.3
2	小型客车	300-500	0.3-0.5
3	小型货车	500-1000	0.5-1.0
4	卡车	1000-4000	1.0-1.5
5	罐车、槽车	4000-30000	1.5-4.0

5.11.2 爆炸或蓄意袭击作用对隧道结构产生的冲击作用宜采用试验或数值模拟的方法获取。

## 5.12 危险货物运输车辆事故作用

5.12.1 危险货物运输车辆事故安全性评价作用应根据《危险货物道路运输规则 第2部分：分类》JT/T 617.2-2018 进行分类和分级。

5.12.2 危险货物运输车辆事故安全性评价应根据事故可能的影响范围按表 5.12.2 确定其评价等级。

表 5.12.2 公路隧道爆炸或蓄意袭击作用水平及其分级

水平	事故可能影响范围	事故可能影响隧道长度(m)
1	半幅路宽	[0, 5]
2	全幅路宽	(5, 20]
3	小范围邻近区域	(20, 100]
4	小范围附近区域	(100, 500]
5	大范围附近区域	(500, ∞)

## 5.13 人为失误操作作用

5.13.1 当包括但不限于以下情形时，应考虑人为失误操作作用对隧道工程结构产生的安全性影响：

- (1) 采用了新型材料；
- (2) 采用了新型施工工艺；
- (3) 采用了新型结构形式；
- (4) 设计和施工团队经验不足；
- (5) 研发水平不足；
- (6) 存在经济、政治、社会等潜在风险；

5.13.2 当存在人为失误操作对隧道工程结构产生的安全性影响时，应采取措

予以避免和消除。

## 5.14 人为活动作用

5.14.1 隧道周边有建设、采掘、打井等生产与生活活动时，应根据人为活动作业范围与隧道结构的空間关系按表 5.14.1 确定其荷载分级。

表 5.14.1 人为活动作业范围与隧道结构的空間关系表

荷载等级	人为活动距离隧道结构平面距离范围 (m)	人为活动距离隧道结构空间距离范围 (m)
1	100	100
2	50	50
3	25	25
4	15	15
5	5	5

条文说明：尽管隧道设置了界限范围，从实践上看，发生的人为活动损害均发生在保护区內。因此，只要周边拟进行这类活动，均应进行安全性评价，及时采取预防措施。

5.14.2 隧道工程结构的人为活动安全评价的作用组合方式，与具体活动的性质有关，应根据专项研究确定。

## 5.15 材料性能退化作用

5.15.1 材料性能退化作用应考虑混凝土碳化作用、氯离子侵蚀、冻融循环作用等。

条文说明：混凝土碳化作用是指大气中的 $CO_2$ 侵入混凝土内部并与  $Ca(OH)_2$  发生化学作用，生成中性的  $CaCO_3$ ，破坏了保护钢筋免受腐蚀的碱性钝化膜，

使钢筋更易发生腐蚀。氯离子侵蚀是指混凝土自身或环境中的氯离子穿过混凝土保护层到达钢筋表面，且达到临界氯离子浓度时，钢筋的碱性钝化膜遭到破坏，氯离子同时会与钢筋发生化学反应，引起钢筋锈蚀。冻融循环作用是指寒冷地区的混凝土在冻融循环下，易出现冻胀破坏，同时由于混凝土内部结构改变还会引发其他耐久性问题。

5.15.2 混凝土的碳化作用可按表 5.15.2 确定其作用水平。

表 5.15.2 碳化环境作用水平等级

水平	相对湿度(RH)
1	$40 < RH \leq 60\%$
2	$20 < RH \leq 40\%$ 或 $60\% < RH \leq 80\%$
3	$0 < RH \leq 20\%$ 或 $80\% < RH < 100\%$

条文说明：国内外学者开展的大量试验研究表明，影响混凝土碳化的环境因素包括，CO<sub>2</sub> 浓度、温度和相对湿度，其中，相对湿度的影响最为显著。对于暴露于大气环境中的混凝土隧道结构而言，CO<sub>2</sub> 浓度的差异较小，而温度的影响是以相对湿度为前提的。因此，将相对湿度作为碳化环境等级划分的依据。

5.15.3 氯盐侵蚀作用等级可根据环境中的氯离子浓度按表 5.15.3 取用。

表 5.15.3 氯盐侵蚀环境作用等级

等级	氯离子浓度[Cl <sup>-</sup> ]	环境影响系数 $\gamma_1$
1	$0\% < 1.0\%$	1.0
2	1.0%~1.5%	1.2
3	1.5%~2.0%	1.6
4	2.0%~3.0%	2.0
5	>3.0%	

注：氯离子浓度为相对胶凝材料质量的百分比。

条文说明：氯离子侵入混凝土的方式主要有扩散、渗透和吸附，其中以扩散为主，扩散是液体或气体在浓度梯度驱动下的定向移动，其也是国内外学者建立氯离子侵入模型的理论依据。因此，外界环境与混凝土结构内部环境之间的氯离子浓度差成为氯离子侵入混凝土的动力源，本指南采用氯离子浓度作为等级划分的标准反映了环境作用的差异和氯离子侵入的动力特征。

5.15.4 冬季处于频繁温度变化的地区隧道工程结构的冻融循环作用可根据最冷月平均气温按确定冻融循环作用水平：

表 5.15.4 冻融循环作用等级

等级	最冷月平均气温
1	无冻地区(>2.5℃)
2	微冻地区 (-3℃≤t≤2.5℃)
3	寒冷地区 (-8℃<t<-3℃)
4	严寒地区 (t≤-8℃)

条文说明：已有的大量文献研究均表明，冻融破坏是混凝土在负温和正温的交替循环作用下，混凝土从表层开始发生剥落、结构疏松、强度降低，直到破坏的一种现象。因此，依照最冷月平均气温划分冻融环境等级能够反映环境作用的严酷程度，且便于设计和工程人员使用。

5.15.5 处于硫酸盐腐蚀环境中的隧道工程结构的硫酸盐腐蚀环境作用等级可根据表 5.15.5 确定。

表 5.15.5 硫酸盐腐蚀环境等级划分

等级	硫酸盐含量	
	土壤中的水溶性 SO <sub>4</sub> , %	水中的 SO <sub>4</sub> , ppm
1	<0.10	<150
2	0.10~0.20	150~1500
3	0.20~2.00	1500~10000
4	>2.00	>10000

条文说明：实际环境中除硫酸盐外，还含有酸根、镁盐等有害离子，因此，耐久性能设计时应考虑多种侵蚀性离子的耦合作用；对有特殊要求的混凝土结构，环境作用影响系数宜在本条目基础上经专门研究后确定。

## 5.16 腐蚀作用

5.16.1 在役隧道结构所处环境具有可靠的材料暴露试验数据作支撑时，大气腐蚀性环境分类宜按下表执行：

表 5.16.1 大气腐蚀性等级（按腐蚀速率确定）

水平	大气腐蚀性	定性描述	按材料暴露 10 年的平均腐蚀速率/ $\mu\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$				
			碳钢	低合金钢	锌	铜	铝

1	C0	非常低	<1	<0.1	<0.05	<0.005	<0.002
2	C1	很低	1~10	0.1~0.5	0.05~0.1	0.005~0.01	0.002~0.01
	C2	低	10~50	0.5~5	0.1~0.5	0.01~0.1	0.01~0.025
3	C3	中	50~150	5~12	0.5~2	0.1~1.5	0.025~0.2
4	C4	高	150~250	12~30	2~4	1.5~3	0.2~1
	C5	很高	250~350	30~100	4~10	3~5	1~3
5	C6	非常高	>350	>100	>10	>5	>3

条文说明：金属在潮湿大气环境条件下发生的腐蚀称为大气腐蚀，大气腐蚀是隧道工程结构最常见且破坏性最大的一种腐蚀形式。我国曹楚南院士在 ISO 9223 和 ISO 9224 的基础上，结合国内腐蚀试验站的观测结果，将大气腐蚀性环境分为 7 个等级，本条文在此基础上分为 5 个作用水平。

5.16.2 在役隧道结构所处环境缺乏可靠的材料暴露试验数据时，钢结构（普通碳钢和低合金钢）的大气腐蚀性环境分类可按表 5.16.2-1 确定，其中环境中 SO<sub>2</sub> 和 Cl<sup>-</sup> 的浓度及潮湿时间可分别参照表 5.16.2-2、表 5.16.2-3、表 5.16.2-4 确定。

表 5.16.2-1 大气腐蚀性等级（按环境条件确定）

项目	τ1			τ2			τ3			τ4			τ5		
	S0-S1	S2	S3	S0-S1	S2	S3	S0-S1	S2	S3	S0-S1	S2	S3	S0-S1	S2	S3
P0-P1	C0-C1	C1	C1-C2	C1	C2	C3	C2-C3	C3-C4	C4	C3	C4	C5	C3-C4	C5	C5
P2	C1	C1	C1-C2	C1-C2	C2-C3	C3-C4	C3-C4	C3-C4	C4-C5	C4	C4	C5	C3-C4	C5	C5-C6
P3	C1-C2	C1-C2	C2	C2	C3	C3-C4	C4	C4	C4-C5	C5	C5	C5	C5	C5-C6	C6

表 5.16.2-2 以 SO<sub>2</sub> 表示大气环境分类

SO <sub>2</sub> 沉积速度 $P_d/\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$	SO <sub>2</sub> 浓度 $P_c/\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	类型
$P_d \leq 10$	$P_c \leq 12$	P0
$10 < P_d \leq 35$	$12 < P_c \leq 40$	P1
$35 < P_d \leq 80$	$40 < P_c \leq 90$	P2
$80 < P_d \leq 200$	$90 < P_c \leq 250$	P3

表 5.16.2-3 以 Cl 表示大气环境分类

Cl-沉积速度 $S/\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$	类型	Cl-沉积速度 $S/\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$	类型
$S \leq 3$	S0	$60 < S \leq 300$	S2
$3 < S \leq 60$	S1	$300 < S \leq 1500$	S3

表 5.16.2-4 润湿时间的分类

类型	润湿时间占比 $\tau/\%$
$\tau_1$	$\tau \leq 0.1$
$\tau_2$	$0.1 < \tau \leq 3$
$\tau_3$	$3 < \tau \leq 30$
$\tau_4$	$30 < \tau \leq 60$
$\tau_5$	$60 < \tau$

注：润湿时间占比是指试件表面处于潮湿状态下的时间与暴露总时间的占比，一般暴露总时间应以年为单位。

5.16.3 混凝土内钢筋腐蚀的评价标准可按照现行《公路桥涵技术状况评定标准》（JTG/T H21）的规定执行，当腐蚀等级达到 3 级及以上时，宜对隧道工程结构的安全性进行评价，并提出合理的性能提升策略。

## 5.17 耦合作用与链式作用

5.17.1 公路隧道结构安全性评价应根据隧道所处环境，明确多种作用之间的耦合作用效应或链式作用效应。

5.17.2 公路隧道结构安全性评价耦合作用效应可参考表 5.17.2 所示。

表 5.17.2 安全性评价耦合作用组合表

主要作用	耦合作用
可变车辆荷载	渐变作用、人为活动作用
地震作用	渐变作用、人为活动作用
洪水作用	渐变作用、人为活动作用
滚石作用	渐变作用、人为活动作用
滑坡作用	渐变作用、人为活动作用
泥石流作用	渐变作用、人为活动作用
车辆撞击作用	渐变作用、人为活动作用

5.17.3 公路隧道结构安全性评价链式作用效应可参考表 5.17.3 所示。

表 5.17.3 安全性评价链式作用组合表

主要作用	链式作用
地震作用	滑坡作用
爆炸作用	火灾作用

## 6.道路工程结构安全性评价作用

### 6.1 极端车辆荷载及超限车辆荷载

6.1.1 极端车辆荷载宜根据监测到或预测的超出规定的车辆荷载及其分布参照表 6.1.1 确定。

表 6.1.1 极端车辆荷载作用及其分级

等级	车辆荷载水平
1	1.04 倍的设计车辆荷载
2	1.28 倍的设计车辆荷载
3	1.64 倍的设计车辆荷载
4	2.10 倍的设计车辆荷载
5	2.10 倍以上的设计车辆荷载

6.1.2 大件运输的极端车辆荷载水平可按实际车辆荷载及其分布参照表 6.1.2 确定。

表 6.1.2 超限车辆荷载作用及其分级

等级	车辆荷载水平
1	荷载总重量低于 270kN(27t)
2	三轴汽车列车: 荷载总重量超过 270kN(27t)
3	四轴汽车列车: 荷载总重量超过 360kN(36t)
4	五轴汽车列车: 荷载总重量超过 470kN(47t)
5	六轴汽车列车: 荷载总重量超过 490kN(49t)

### 6.2 地震作用

6.2.1 道路工程结构在地震作用下的安全性评价作用,可根据地震动峰值加速度按表 6.2.1 进行分级。

表 6.2.1 地震作用及其分级

等级	1	2	3	4	5
地震动峰值加速度	$\leq 0.05g$	0.05-0.10g	0.10-0.20g	0.20-0.40g	$\geq 0.4g$

条文说明: 本条文中地震动峰值加速度是表征地震作用强弱程度的指标, 对应于规范化地震动加速度反应谱最大值的水平加速度。根据中国地震动参数区划

图 (GB18306-2015), 我国地震动峰值加速度最大取值不超过 0.4g。结合《公路工程抗震规范》(JTG B02-2013) 中地震基本烈度和设计基本地震动峰值加速度对应表, 确定了本规范中地震作用分级方法。

### 6.3 洪水作用

6.3.1 道路工程结构在洪水作用下的安全性评价作用, 应通过当地水位观测资料经统计分析后根据重现期按表 6.3.1 分级。

表 6.3.1 洪水作用及其分级

等级	1	2	3	4	5
重现期(年)	5-15	15-25	25-50	50-100	≥100

条文说明: 在《公路路基设计规范》(JTG D30-2015) 中, 对路基设计洪水频率的考虑划分了 4 个等级: 重现期大于 100 年, 100-50 年, 50-25 年, 25 年以下, 而考虑到洪水对路基路面等道路工程结构的影响较大, 因此, 在本规范制定过程中, 对洪水作用的影响进行了细化。

根据《公路工程技术标准》(JTG B01-2014) 与《防洪标准》, 当公路路基遭遇的洪水荷载超过设计频率时, 应进行路基在洪水作用下的承载能力安全极限进行专门研究, 尤其是沿河路基及涵洞等过水设施防洪能力不足的情况, 防止路基被洪水直接冲毁。

### 6.4 滑坡作用

6.4.1 道路工程结构在滑坡作用下的安全性评价作用可按下表 6.4.1 规定确定。

表 6.4.1 滑坡作用分类

滑坡等级	1	2	3	4
滑坡体积 V (m <sup>3</sup> )	≤4×10 <sup>4</sup>	4×10 <sup>4</sup> ~30×10 <sup>4</sup>	30×10 <sup>4</sup> ~30×10 <sup>4</sup>	100×10 <sup>4</sup> <

条文说明: 本条文参考《公路滑坡防治设计规范》(JTG T3334-2018) 中对滑坡按照滑坡体积的分类方法确定。

## 6.5 泥石流作用

6.5.1 道路工程结构在泥石流作用下的安全性评价作用可按下表 6.5.1 规定确定。

表 6.5.1 泥石流作用分类

泥石流等级	1	2	3	4
泥石流一次堆积总量 V (m <sup>3</sup> )	≤1×10 <sup>4</sup>	1×10 <sup>4</sup> ~10×10 <sup>4</sup>	10×10 <sup>4</sup> ~100×10 <sup>4</sup>	100×10 <sup>4</sup> <
泥石流洪峰量 C (m <sup>3</sup> /s)	<50	50~100	100~200	200≤

条文说明：本条文参考《泥石流灾害防治工程勘查与设计规范》(DZT-0220-2006) 中对泥石流爆发规模的分类方法。

## 6.6 滚石作用

6.6.1 道路工程结构在滚石作用下的安全性评价作用可依据地质调查，根据规模按表 6.6.1-1 确定其作用水平；而对于道路工程结构中的支护结构或路基边坡结构，也可依据地质调查，根据单体滚石质量和速度以及撞击动能按表 6.6.1-2 确定其作用水平。

表 6.6.1-1 按规模划分滚石作用水平及其分级

水平	规模	特征及描述
1	极小	单次失稳规模≤10m <sup>3</sup> ，个别岩石块体失稳，失稳块石滚动、弹跳至公路
2	小	单次失稳规模为 10m <sup>3</sup> ~100m <sup>3</sup> ，局部岩石块体失稳，失稳块石滚动、弹跳至公路
3	中等	单次失稳规模为 100 m <sup>3</sup> ~1000m <sup>3</sup> ，局部岩石块体失稳，失稳岩土体顺坡堆积于坡脚或路面
4	大	单次失稳规模为 1000~10000m <sup>3</sup> ，大范围岩石块体失稳，失稳岩土体顺坡堆积于坡脚或路面，部分掩埋公路
5	极大	单次失稳规模>10000m <sup>3</sup> ，大范围岩石块体失稳，顺坡堆积、损坏道路支挡结构物，掩埋公路，并造成交通完全瘫痪

表 6.6.1-2 单个滚石作用水平及其分级

工况	滚石质量	滚石速度	撞击动能范围
1	500kg	20m/s	100kJ
2	2000kg	20m/s	400kJ
3	10000kg	20m/s	2000kJ
4	50000kg	16m/s	6400kJ
5	200000kg	10m/s	10000kJ

条文说明：对于路面结构，落石作用通常会引引起路面变形、路面结构层损伤和公路交通阻塞，因此，在针对路面结构分析落石作用水平时，主要考虑其对路面通行能力的影响，这种情况下，所需要考虑的影响因素为落石作用的规模。

在分析落石作用规模时，也可参考陕西省地方标准《公路滚石灾害防治设计规范》(DB61T 1027-2016) 中滚石灾害识别指数的计算方法，并确定滚石作用规模和作用等级。

而对于路基边坡结构和支挡防护结构，落石作用可造成结构的损伤、变形和位移，降低结构强度和稳定性，因此，在针对路基结构和支挡防护结构考虑落石作用水平时，需要考虑单个落石冲击下，结构强度和稳定性的变化，此时，落石作用的主要影响因素包括作用规模和单个滚石作用水平。

## 6.7 极端温度作用

6.7.1 道路工程结构在极端温度作用下的安全性评价作用可按下表 6.7.1 规定确定。

表 6.7.1 极端温度作用分类

极端温度作用分级	1	2	3	4	5
极端温度重现期（年）	≤5	5~10	10~20	20~50	>50

## 6.8 车辆撞击作用

6.8.1 受车辆撞击风险较大的道路结构在车辆撞击作用下的安全性评价作用按表 6.8.1 规定确定：

表 6.8.1 车辆撞击作用水平及其分级

水平	重量 (t)	速度(km/h)	碰撞角度 (°)	加速度 (g)	碰撞能量 (kJ)
1	1.5	100	20	≤20	70
	10	40			
2	1.5	100	20	≤20	160
	10	60			
3	1.5	100	20	≤20	280
	10	80			
4	1.5	100	20	≤20	400
	14	80			
5	1.5	100	20	≤20	520
	18	80			

6.8.2 车辆撞击作用的分级宜结合试验或数值模拟方法依据表 6.8.1 的参数进行模拟确定。

条文说明:汽车撞击力宜采用试验或数值模拟的方法获取,也可按照现行《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81)的相关规定确定。

车辆撞击作用安全性评价结果不满足现行规范要求时,应采取合理的性能提升策略,宜根据道路防护目标配置相应的防护设施。

护栏等防护设施,其安全性能应满足现行《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01)和《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81)中的相关规定。

## 6.9 重物坠落作用

6.9.1 高频通行大型载货货车的道路结构在重物坠落作用安全性评价荷载可按表 6.9.1 确定。

表 6.9.1 重物坠落作用水平及其分级

水平	重物质量 (Kg)	离路面高度(m)
1	1000	2.0
2	2000	2.0
3	5000	1.5
4	10000	1.2
5	20000	1.0

条文说明：本条文所规定的重物坠落有别于滚石的其他场景的安全事件，而是特指交通车辆运载货物的坠落。有大量车辆运载货物坠落事故导致了路面出现严重破坏。考虑到运输货物的重量的大小以及运输车辆平台高度，本条文的按照重量和高度划分作用水平。

6.9.2 道路的重物坠落作用效应宜根据潜在坠落物尺寸规模、坠落高度、路面结构形式等模拟坠落物与路面相互作用的方法综合确定。

## 6.10 火灾作用

6.10.1 道路火灾作用安全性评价作用可按表 6.10.1 确定。

表 6.10.1 火灾作用水平及其分级

水平	车型	平面尺寸	热释放速率	时间 (小时)
1	小汽车火灾	1.5 m × 4.0 m	0.8 MW/m <sup>2</sup>	30 min
2	客车及中型货车火灾	2.0 m × 6.0 m	2.5 MW/m <sup>2</sup>	40 min
3	普通油罐车火灾	4.0 m × 6.0 m	3.0 MW/m <sup>2</sup>	60 min
4	重载货车火灾	4.0 m × 6.0 m	5.0 MW/m <sup>2</sup>	90 min
	大型油罐车火灾	6.0 m × 12.0 m	3.0 MW/m <sup>2</sup>	100 min

6.10.2 道路车致火灾作用宜通过火灾数值仿真模拟获取路面结构的温度场分布及其对路面结构和构件的作用效应。

## 6.11 危险品车辆事故作用

6.11.1 危险货物运输车辆事故安全性评价作用应根据《危险货物道路运输规则 第 2 部分：分类》JT/T 617.2-2018 进行分类和分级。

6.11.2 危险货物运输车辆事故安全性评价作用应根据事故可能的影响范围按表 6.11.2 确定其评价等级。

表 6.11.2 道路危险货物作用水平及其分级

水平	事故可能影响范围	事故可能影响半径(m)
1	小于半幅路宽	≤10
2	大于全幅路宽	10~50
3	小范围邻近区域	50~500
4	较大范围附近区域	500~1000
5	大范围附近区域	≥1000

## 6.12 冲刷作用

6.12.1 道路工程结构在冲刷作用下的安全性评价作用可根据年降水量和设计波高的波列累积频率、河流流速和水位升降情况按表 6.12.1 分级。

表 6.12.1 降水作用及其分级

水平	年降水量 (ml/年)	设计波高的波列累积频率 (%)
1	<200	1
2	200~400	4
3	400~600	7
4	600~800	10
5	>800	13

条文说明：沿河地段、水库地段的道路工程结构在进行安全性评价时，应调查收集河流、水库的水位、流速等设计资料，查明两岸的地形地貌特点，组成的地层岩性、产状、地质构造、地下水位变化情况，综合分析评价河流流速、水位升降对边坡稳定的影响。

## 6.13 材料性能退化作用

6.13.1 材料性能退化作用应考虑环境对道路材料的碳化、盐蚀作用，环境温度、湿度的周期性循环作用，风沙、泥砂等磨蚀作用等。

6.13.2 混凝土的碳化作用可按表 6.13.2 确定其作用水平。

表 6.13.2 碳化环境作用水平等级

等级	相对湿度(RH)
1	$40 < RH \leq 60\%$
2	$20 < RH \leq 40\%$ 或 $60\% < RH \leq 80\%$
3	$0 < RH \leq 20\%$ 或 $80\% < RH < 100\%$

条文说明：碳化作用一般发生在混凝土表面，使混凝土产生收缩裂缝。在水存在的情况下，大气中的 CO<sub>2</sub> 与水泥水化产物作用生成 CaCO<sub>3</sub>、硅胶、铝胶和游离水，其中游离水的蒸发引起混凝土表面收缩。由于相对湿度对碳化作用的影响最为显著，故将相对湿度作为碳化环境等级划分的依据。

6.13.3 混凝土的盐蚀作用可根据环境中氯离子和硫酸根离子按表 6.13.3 确定盐蚀水平。

表 6.13.3 侵蚀环境作用等级

等级	Cl <sup>-</sup> 浓度		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 浓度	
	水中 Cl <sup>-</sup> 浓度 (mg/l)	土体中 Cl <sup>-</sup> 浓度 (mg/kg)	水中 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 浓度	土体中 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 浓度
1	<100	<150	<200	<300
2	100~500	150~750	200~2000	300~3000
3	500~5000	750~7500	2000~4000	3000~6000
4	>5000	>7500	4000~10000	6000~15000

注：参考《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310-2019)

6.13.4 冻融循环作用可根据最冷月平均气温按表 6.13.4 确定冻融循环作用水平。

表 6.13.4 冻融循环作用等级

等级	最冷月平均气温
1	无冻地区(>2.5℃)
2	微冻地区 (-3℃ ≤ t ≤ 2.5℃)
3	寒冷地区 (-8℃ < t < -3℃)
4	严寒地区 (t ≤ -8℃)

6.13.5 风沙、泥砂等磨蚀作用应收集当地气象、地形地貌、工程和水文地质、生态环境等资料，综合地进行危害程度评判，也可按表 6.13.5 进行确定。

表 6.13.5 磨蚀环境等级划分

类别名称	环境条件特征	
1	风蚀	风力等级 ≥ 7 级，且年累计刮风时间大于 90 天
2	风蚀	风力等级 ≥ 9 级，且年累计刮风时间大于 90 天

	泥砂磨蚀	汛期含砂量 200~600kg/m <sup>3</sup> 的河道
3	流冰磨蚀	有强烈流冰撞击的河道
	泥砂磨蚀	汛期含砂量 600~1000kg/m <sup>3</sup> 的河道
4	风蚀	风力等级≥11 级，且年累计刮风时间大于 90 天
	泥砂磨蚀	汛期含砂量>1000kg/m <sup>3</sup> 的河道及漂块石等撞击的河道

条文说明：对于路基土，在风沙的直接冲击下路基上的沙粒或土颗粒被风吹走，会出现路基削低、掏空和坍塌等现象。风力对路基的风蚀，可分为吹蚀、磨蚀与掏蚀三种作用。吹蚀是风力直接带走填料颗粒；磨蚀是气流中挟带的沙粒冲击填料颗粒，甚至钻入孔穴内旋磨，以致使土体局部被掏空，加速风蚀程度；掏蚀是气流因遇障碍物或地面形状突变和不平整而产生涡流，卷走细小颗粒，使较大颗粒失稳而滚落。对于混凝土支挡结构，在遭受风或水中夹杂物的摩擦、切削、冲击等作用时会受到磨蚀。

#### 6.14 疲劳作用

6.14.1 车辆作用下疲劳安全性评价荷载可根据路网内可能发生的实际交通荷载及其分布确定其作用水平，也可按表 6.14.1 确定。

表 6.14.1 交通荷载作用及其分级

等级	1	2	3	4	5
设计使用年限内设计车道累计大型客车和货车交通量（×10 <sup>6</sup> ，辆）	<4.0	4.0~8.0	8.0~19.0	19.0~50.0	≥50.0

注：大型客车和货车为《公路沥青路面设计规范 JTG D50-2017》附录 A 中 A.1.2 所列的 2 类~11 类车。

#### 6.15 工程施工作用

6.15.1 工程施工作用安全性评价作用应根据工程的影响范围和开挖深度按表 6.15.1 确定其评价等级。

表 6.15.1 道路工程施工作用水平及其分级

水平	工程施工的影响范围	工程施工的开挖深度(m)
1	单条车道	1
2	数条车道	2

3	半幅路宽	3
4	全幅路宽	4
5	全幅路宽及附近区域	>5

6.15.2 工程施工作用应根据《公路工程施工安全技术规范》JTGF90-2015 进行分类和安全性评估。

### 6.16 爆炸或蓄意破坏作用

6.16.1 爆炸作用水平可根据车辆类型与爆炸产生的能量、爆炸影响半径按表 6.16.1 确定。

表 6.16.1 爆炸作用水平及其分级

水平	车辆类型	油箱容量 (L)	爆炸能量/MJ	影响半径/m
1	小型客车	40	1000	5
2	大型客车	60	1500	10
3	货车	100	2500	20
4	挂车	200	5000	50
5	油罐车	40000	1000000	5000

6.16.2 爆破作用对道路及结构物产生的冲击作用宜采用试验或数值模拟的方法获取。

6.16.3 蓄意破坏作用对道路及结构物和道路设施产生安全性作用水平宜根据实际情况或历史记录划分。

## 7.桥涵工程结构安全性状态评价

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 已建、改扩建以及经历安全事态后的桥涵工程结构应评价其承载安全、使用安全、耐久安全与疲劳安全等状态。
- 7.1.2 经过性能改造或提升的已建、改扩建以及经历安全事态后的桥涵工程结构，应进行安全性状态的再评价。
- 7.1.3 桥涵工程结构安全性状态评价可通过理论分析、数值仿真、模型试验等手段进行，必要时可通过实桥验证性试验进行安全性状态评价。

### 7.2 极端车辆荷载作用

- 7.2.1 极端车辆荷载作用下桥涵工程结构承载安全状态应根据车辆的总重、轴重、轴距、行驶位置等参数进行安全性状态评价。
- 7.2.2 极端车辆荷载与正常车辆同时运行时，同向车道可仅考虑极端车辆，其他车道及不同车道应同时考虑设计车道荷载；当封闭交通且考虑极端车辆荷载通行时，可仅考虑极端车辆荷载作用。
- 7.2.3 极端车辆荷载作用下桥涵工程结构安全性状态等级可按表 7.2.3 确定。

表 7.2.3 极端车辆荷载（EVL）安全性状态等级

安全状态等级	承载能力安全评价指标 $\alpha$	正常使用安全评价指标 $\beta$
一级	$\alpha \leq 0.6\alpha_u$	$\beta \leq 0.6\beta_u$
二级	$0.6\alpha_u < \alpha \leq 0.8\alpha_u$	$0.6\beta_u < \beta \leq 0.8\beta_u$
三级	$0.8\alpha_u < \alpha \leq 1.0\alpha_u$	$0.8\beta_u < \beta \leq 1.0\beta_u$
四级	$1.0\alpha_u < \alpha \leq 1.2\alpha_u$	$1.0\beta_u < \beta \leq 1.2\beta_u$
五级	$\alpha > 1.2\alpha_u$	$\beta > 1.2\beta_u$

注： $\alpha$  和  $\alpha_u$  分别代表承载能力安全评价指及其设计标准值；或  $\beta$  和  $\beta_u$  分别代表正常使用安全评价指及其设计标准值。

### 7.3 极端人群荷载作用

7.3.1 极端人群荷载作用下桥涵工程结构承载安全状态应根据人群荷载及其分布进行安全性状态评价。

7.3.2 极端人群荷载作用下桥涵工程结构安全性状态等级可按表 7.2.3 确定。

7.3.3 极端人群荷载作用下桥梁使用安全状态可根据人群荷载及其分布通过振动分析确定其振动加速度，并按表 7.3.3 确定其安全性状态等级。

表 7.3.3 行人舒适度使用安全状态等级

舒适度等级	舒适度描述	竖向峰值加速度限值 ( $\text{m/s}^2$ )	侧向峰值加速度限值 ( $\text{m/s}^2$ )
一级	没有不舒适	$a_v \leq 0.25$	$a_l \leq 0.1$
二级	稍有不舒适	$0.25 < a_v \leq 0.8$	$0.1 < a_l \leq 0.4$
三级	不舒适	$0.8 < a_v \leq 1.4$	$0.4 < a_l \leq 0.7$
四级	非常不舒适	$1.4 < a_v \leq 2.0$	$0.7 < a_l \leq 1.0$
五级	极不舒适	$a_v > 2.0$	$a_l > 1.0$

### 7.4 地震作用

7.4.1 地震作用对桥涵工程结构安全性状态可按表 7.4.1 确定。

表 7.4.1 地震作用下桥梁安全性状态等级

状态等级	损伤状态描述	总体描述	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	无损伤	各构件承载能力完全满足需求，没有损伤，交通无明显影响	无需修复，功能性完整	无需修复，功能完整
二级	轻微损伤	部分构件受轻微损伤，结构整体性能无明显影响，交通受短暂影响	采用应急措施可很快恢复通行能力	只需轻微或简单修复，即可再次具有完全通行能力
三级	中等损伤	部分构件受到损伤，结构整体性能受到较小影响，但修复后可完全恢复，部分交通受影响	采用应急措施可以部分恢复甚至完全恢复通行能力	进行修复时需中断部分交通，修复完成后可恢复完整功能性

四级	严重损伤	结构性能受到严重影响，但体系维持整体完整，不倒塌	采用应急措施无法恢复通行	修复困难，必须在中断交通的情况下大面积修复和构件替换，经修复结构功能也难以恢复到最初状态
五级	完全损伤或倒塌	桥梁倒塌或者完全丧失通行能力，无法继续使用	无法修复功能，完全丧失无法通行	无法修复，若要恢复通行，必须重建

7.4.2 采用阻尼器、减隔震等抗震耗能装置的桥梁，宜定期对耗能装置的工作性能进行评价和维护，以保障结构或构件在地震作用下的安全性能。

7.4.3 经历地震作用后应根据现行《公路桥梁技术状况评定标准》(JTGT H21)进行桥梁结构状态评定，结合桥梁技术状况等级评价桥梁安全性。

## 7.5 风作用

7.5.1 桥梁工程结构或构件风作用下的安全性评价指标应按现行《公路桥梁抗风设计规范》的要求确定。

7.5.2 风作用下的桥涵工程结构安全性状态可表 7.2.3 确定。

7.5.3 当出现超过设计风作用水平的安全事态后，应根据现行《公路桥梁技术状况评定标准》(JTGT H21)进行桥梁结构状态评定，结合桥梁技术状况等级评价桥梁安全性。

## 7.6 波浪作用

7.6.1 桥梁工程结构受到的波浪作用应分别考虑对下部结构的直接冲击作用、对下部结构的冲刷作用以及对上部结构的浮托力及侧向力作用三个方面。

条文说明：波浪作用对近海及跨海桥梁工程结构的安全产生不同方面的不利影响：第一，波浪在近海岸及桥梁下部结构处传播破碎，能在短时间内产生巨大的冲击力；第二，波浪在传播过程中会引起剧烈的泥沙运输，进而产生严重的桥

墩冲刷；第三，当波浪的波峰高程超出桥梁上部结构高程时，上部结构会受到波浪的浮托力及侧向力作用。

7.6.2 波浪作用下桥涵工程结构安全性评价应与桥梁下部结构冲刷作用作用耦合考虑。

7.6.3 波浪作用下已建近海及跨海桥梁工程结构安全性状态等级可按表 7.6.3 执行。

表 7.6.3 波浪作用下桥梁安全性状态等级

状态等级	总体描述	可修复性
一级	桥梁各构件及结构整体承载能力完全满足要求，没有出现损伤；交通无明显影响	无需修复
二级	主梁出现轻微损伤变形，梁体位移 $\leq L/1000$ ，下部结构出现裂缝及轻微损伤，裂缝宽度 $\leq 0.05mm$ ，结构整体承载能力基本满足要求；区域交通受短暂影响	需及时对主梁及下部结构进行相应的修复，修复时可不用中断桥梁的使用
三级	主梁产生较大倾斜或移位，梁体位移 $\leq L/600$ ，出现结构裂缝，下部结构产生较大倾斜或偏移，裂缝宽度 $\leq 0.20mm$ ，结构性能受到较大影响，但体系维持整体完整；区域交通受到较大影响，并对社会经济造成较大损失	进行修复时需中断交通，修复完成后可恢复完整功能性
四级	主梁出现较大破坏，如梁体位移 $> L/600$ 、梁体脱落、梁体断裂，下部结构出现较大破坏，如裂缝宽度 $> 0.20mm$ 严重倾斜、甚至倒塌，承载能力不满足要求；区域交通陷入瘫痪，并对社会经济造成严重损失	需中断桥梁使用进行大规模修复甚至不可修复
五级	桥梁倒塌或者完全丧失通行能力，无法继续使用	无法修复，若要恢复通行，必须重建

7.6.4 当经历超过设计波浪作用条件的风险事态后，应根据现行《公路桥梁技术状况评定标准》(JTGTH21)进行桥梁结构状态评定，结合桥梁技术状况等级评价桥梁安全性。

## 7.7 风暴潮作用

7.7.1 风暴潮作用下的桥梁工程上部结构安全性评价可按风暴潮增水与桥下净空的关系进行分类评价。

表 7.7.1 风暴潮作用分类

风暴潮增水(cm)	桥下净空	桥下净空	桥下净空	桥下净空
	0~5m	5~10m	10~30m	>30m
0~100	I	I	I	I
101~200	II	I	I	I
201~300	III	II	I	I
301~450	IV	III	II	I
450 以上	V	IV	III	II

注：特大潮灾、严重潮灾、较大潮灾和轻度潮灾

7.7.2 风暴潮作用下桥梁工程上部结构根据风暴潮作用水平等级按考虑下列因素：

- (1) I 级：可不考虑波浪对上部结构的影响；
- (2) II 级：宜考虑波浪拍打状态；
- (3) III 级：宜考虑半淹没状态，应考虑波浪拍打状态；
- (4) IV 级：宜考虑上部结构被淹没状态，应考虑半淹没状态、波浪拍打状态；
- (5) V 级：应考虑上部结构被淹没状态、半淹没状态、波浪拍打状态。

7.7.3 风暴潮作用下桥梁工程上部结构的安全性评价，宜结合数值模拟、物理实验等方法获取作用在上部结构的作用力，并进行上部结构安全性评价。

7.7.4 风暴潮作用下桥涵结构安全性评价应与冲刷作用耦合考虑。

7.7.5 风暴潮作用下已建近海及跨海桥梁工程结构安全性状态等级可按表 7.6.3 执行。

7.7.6 当发生超出设计最高潮位的风暴潮风险事态后，应根据现行《公路桥梁技术状况评定标准》(JTGH21)进行桥梁结构状态评定，结合桥梁技术状况等级评价桥梁安全性。

## 7.8 洪水作用

7.8.1 洪水作用下桥涵结构安全性评价应与冲刷作用耦合考虑。

7.8.2 洪水作用对桥涵结构安全性状态等级可按表 7.8.2 执行。

表 7.8.2 洪水作用下桥涵结构安全性状态等级

状态等级	影响程度	总体描述	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	无影响	桥孔位置合适，河床稳定；基础埋深安全值满足要求；浅基础防护措施完好，防护周边的冲刷深度小于设计冲刷深度；墩台无明显冲蚀、剥落。桥涵结构各构件承载能力完全满足需求，没有损伤；交通无明显影响	无需修复，功能性完整	无需修复，功能完整
二级	轻微影响	桥孔位置略有偏置，调治构造物有局部缺损，河床基本完好；基础埋深基本满足要求；浅基础防护基本完好；墩台有冲蚀、剥落，面积小于 10%；部分构件受轻微损伤，结构整体性能无明显影响；区域交通受短暂影响	采用应急措施可很快恢复通行能力	只需轻微或简单修复，即可再次具有完全通行能力
三级	中等影响	桥孔位置有偏置，调治构造物不齐全或有较大损坏；基础埋深安全值较低，在规定的 30~60%以内；浅基础防护有破坏；墩台冲蚀、剥落，面积大于 10%，有露筋及钢筋锈蚀；部分构件受到不可逆转的损伤，但结构整体性能受影响较小，且修复后功能可完全恢复；区域交通受持续影响，并对社会经济造成一定损失	采用应急措施可以部分恢复甚至完全恢复通行能力	进行修复时需中断部分交通，修复完成后可恢复完整功能性
四级	较大影响	桥孔位置偏置；调治构造物严重损坏；基础埋深不够，基础埋深安全值在规定的 30% 以下；浅基础防护被冲空面积在 20%以上；墩台冲蚀、剥落面积大于 20%，桩顶外露或有缩颈，墩台砌体松动、脱落或变形、露筋及钢筋锈蚀严重；结构性能受到严重影响，但体系维持整体完整，不倒塌；区域交通受到严重影响，并对社会经济造成较大损失	采用应急措施无法恢复通行	修复困难，必须在中断交通的情况下大面积修复和构件替换，经修复结构功能也难以恢复到最初状态
五级	严重影响	桥涵倒塌或者完全丧失通行能力，无法继续使用；区域交通陷入瘫痪，并对社会经济造成严重损失	无法修复功能完全丧失无法通行	无法修复，若要恢复通行，必须重建

7.8.3 当发生超过设计条件的洪水作用的风险事态后,应根据现行《公路桥梁技术状况评定标准》(JTGT H21)进行桥梁结构状态评定,结合桥梁技术状况等级评价桥梁安全性。

## 7.9 滚石作用

7.9.1 滚石作用下桥梁工程结构安全状态等级可按表 7.9.1 执行。

表 7.9.1 滚石作用下桥梁工程结构安全性的评价指标

状态等级	影响程度	总体描述
一级	无明显影响	桥墩混凝土剥落面积不超过 1%, 核心混凝土未受损; 桥面无明显局部损伤, 交通正常
二级	轻微影响	桥墩混凝土剥落面积不超过 10%, 核心混凝土未受损; 桥面局部受损面积不超过 5m <sup>2</sup> , 交通正常
三级	中等影响	桥墩混凝土剥落面积不超过 30%, 核心混凝土截面损失不超过 20%; 桥面局部受损面积不超过 10m <sup>2</sup> , 但仍能保障通行
四级	较大影响	桥墩核心混凝土截面损失不超过 40%; 桥面局部受损面积不超过 20m <sup>2</sup> , 上部结构未发生垮塌, 交通中断
五级	严重影响	桥墩断裂倒塌, 上部结构掉落; 桥面被击穿, 完全丧失通行能力, 无法继续使用

7.9.2 当滚石作用下的安全性控制目标不满足相应设计要求时,可采取主动或者被动的防护措施进行性能提升。

条文说明: 主动的防护措施包括拦截网、拦截桩等; 被动的防护措施包括提高结构局部刚度、采用多肢桥墩提高结构冗余性、增加撞击耗能措施等。

7.9.3 当发生滚石作用的风险事态后,应根据现行《公路桥梁技术状况评定标准》(JTGT H21)进行桥梁结构状态评定,结合桥梁技术状况等级评价桥梁安全性。

## 7.10 滑坡作用

7.10.1 滑坡作用下桥梁工程结构安全状态等级可按表 7.10.1 执行。

表 7.10.1 滑坡作用下桥梁工程结构安全状态等级

状态等级	影响程度	承载能力安全	正常使用安全
一级	无明显影响	桥墩混凝土剥落面积不超过 1%，不影响交通	桥墩偏位不超过 0.1°，支座允许行程 5%，无明显裂缝
二级	轻微影响	桥墩混凝土剥落面积不超过 5%，交通受到轻微影响，无需中断交通即可以修复	桥墩偏位不超过 0.5°，支座允许行程 20%，小于允许裂缝宽度 0.5 倍
三级	中等影响	桥墩混凝土剥落面积不超过 20%，限制交通即可进行修复	桥墩偏位不超过 1°，支座允许行程 40%，小于允许裂缝宽度
四级	较大影响	桥墩混凝土剥落面积不超过 20%，交通中断可进行修复	桥墩偏位不超过 5°，支座允许行程，小于允许裂缝宽度 2 倍
五级	严重影响	桥墩断裂倒塌，上部结构掉落，完全丧失通行能力，无法继续使用	桥墩倾斜超过 5°，超出支座允许行程，超出允许裂缝宽度的 2 倍。

7.10.2 滑坡作用下的桥梁工程结构安全性能评价应根据滑坡体岩土体特性、桩基和桥墩材料与几何尺寸等因素分析确定。

条文说明：滑坡推力作用下桥梁桩基受力示意图。

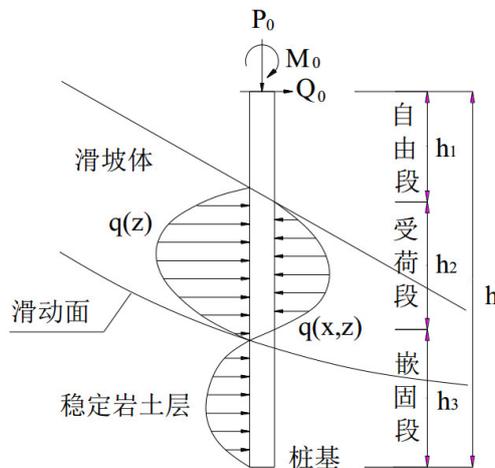


图 8.10.2 滑坡推力作用下桥梁桩基受力示意图

7.10.3 滑坡作用的安全性评价结果不满足安全性控制目标要求时，应采取合理的性能提升策略。

条文说明：主要的防护措施包括建立抗滑桩、抗滑挡墙等支挡结构以及采取减重、反压、截排水等方法。

## 7.11 泥石流作用

7.11.1 泥石流作用下桥梁工程结构安全状态等级可按表 7.10.1 执行。

7.11.2 泥石流作用下桥涵结构的作用力应根据泥石流的物理属性确定其流体冲击压力和巨石冲击力。

条文说明：《泥石流防治工程设计规范》给出了流体冲击压力和巨石冲击力建议计算方法。可根据此规范进行泥石流作用下桥涵结构作用力的分析。

7.11.3 泥石流作用的安全性评价结果不满足现行规范要求时，应采取合理的性能提升策略。

条文说明：性能提升策略主要包括主动防护措施和被动防护措施。主动的防护措施包括拦砂坝、排导槽等，可在桥梁上游地形较好的地区，采用可靠的拦挡措施，达到减沙、减势、控制水沙下泄量、控制流量的效果。被动的防护措施包括提高桥墩刚度；采用流线型桥墩，如圆端型、椭圆形、端尖角型等以减少泥石流的冲刷冲击作用；桥梁墩台应利于排泄，防止泥石流撞击墩台和冲刷基础；桥墩迎水面应采用耐磨抗冲击力强的材料等。

## 7.12 车辆撞击作用

7.12.1 车辆撞击作用对桥梁工程结构安全状态等级可按下表执行：

表 7.12.1 车辆撞击作用对桥梁工程结构安全状态等级

状态等级	结构安全性	交通功能	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	无损伤，曲率延性介于 0~1，位移角小于 1/180 或剪力破坏参数小于 0.1；无裂缝或表面细微裂缝	交通无明显影响	无需修复，功能性完好	无需修复，功能性完好
二级	轻微损伤，曲率延性介于 1~2，位移角介于 1/180~1/50 或剪力破坏参数介于 0.1~0.3；第一根钢筋理论屈服，表面产生细小裂缝	区域交通受短暂影响	无需修复，功能性完好	需简单修复，功能性完好

三级	中等损伤，曲率延性介于 2~4，位移角介于 1/50~1/25 或剪力破坏参数介于 0.3~0.6；局部塑性铰开始形成，出现非线性变形，保护层混凝土开始脱落，可见裂缝扩展	区域交通受持续影响，并对社会经济造成一定损失	采用应急修复措施可恢复即时功能性	容易进行修复，修复后可基本恢复完整功能性
四级	严重损伤，曲率延性介于 4~7，位移角介于 1/25~1/16 或剪力破坏参数介于 0.6~0.85；塑性铰完全形成，形成较大跨度裂缝，塑性铰区混凝土剥落	区域交通受到严重影响，并对社会经济造成较大损失	采用应急修复措施无法恢复即时功能性，短期内很大程度丧失功能性	修复困难，且经修复构件功能性也难以恢复到初始状态
五级	完全损伤，曲率延性大于 7，位移角大于 1/16 或剪力破坏参数大于 0.85；强度退化，主筋屈服，箍筋断裂，核心混凝土压碎	区域交通陷入瘫痪，并对社会经济造成严重损失	无法修复，功能性完全丧失	无法修复，必须更换构件

注：剪力破坏参数定义为截面剪力与抗剪能力的比值。

7.12.2 车辆撞击作用下桥梁工程结构安全性评价可采用数值仿真、物理试验的方法进行。

### 7.13 船舶撞击作用

7.13.1 船舶撞击作用下桥涵结构安全性状态等级可按表 7.13.1 执行。

表 7.13.1 船舶撞击下桥梁工程结构安全性状态等级

状态等级	结构安全性	交通功能	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	损伤程度小于 0.1	交通无影响	无需修	无需修
二级	损伤程度大于 0.1 小于 0.2，主要发生弹性变形	交通无明显影响	无需修复，功能性完好	需简单修复，功能性完好
三级	损伤程度大于 0.2 小于 0.4，发生大变形，但强度和功能性无实质性减弱，出现较大的塑性变形	区域交通受持续影响，并对社会经济造成一定损失	采用应急修复措施可恢复即时功能性	容易进行修复，修复后可基本恢复完整功能性
四级	损伤程度大于 0.4 小于 0.7，构件局部或整体塑性变形超出功能性限值，构件仍保持完整性	区域交通受到严重影响，并对社会经济造成较大损失	采用应急修复措施无法恢复即时功能性，短期内很大程度丧失功能性	修复困难，且经修复构件功能性也难以恢复到初始状态

五级	完全损伤，损伤程度大于0.7，位移和塑性变形发散，构件发生失稳、压溃、断裂，失去完整性	区域交通陷入瘫痪，并对社会经济造成严重损失	无法修复，功能性完全丧失	无法修复，必须更换构件
----	---	-----------------------	--------------	-------------

注：损伤程度 $D$ 定义为 $D = 1 - N_{dam}/N$ ，式中 $N_{dam}$ 为作用后构件承载力； $N$ 为作用前的构件承载力。

7.13.2 经历船舶撞击作用事态后的桥涵结构应根据现行《公路桥梁技术状况评定标准》(JTGH21)进行桥梁结构状态评定，结合桥梁技术状况等级评价桥梁安全性。

7.13.3 当船舶撞击作用引起的结构或构件性能可以通过采取主动或者被动的防护措施进行性能提升。

条文说明：主动的防护措施包括设置船舶航行警戒区、船舶安装 AIS 系统、设置船舶交通管理系统 VTS 等；被动的防护措施包括一体式防撞系统、附着式防撞系统、独立式防撞系统等。

#### 7.14 重物坠落作用

7.14.1 重物坠落作用桥涵结构安全性状态等级可参考表 7.13.1 执行。

7.14.2 重物坠落作用可通过碰撞动力分析方法获取桥梁构造物受重物坠落撞击的损伤等级及对桥梁性能的影响，并开展安全性能评价。

7.14.3 重物坠落作用安全性评价宜结合桥梁工程的重要性等级及坠落作用力大小等因素确定结构或构件性能目标，必要时应采取防护措施进行性能提升。

条文说明：主要的防护措施包括拦截网、拦截桩和定期维护保养起重设备等。

#### 7.15 火灾作用

7.15.1 火灾作用对桥梁结构的作用，可通过模拟火灾场景、温度场分布、构件受温度影响后力学性能演变、桥梁结构性能评价等步骤进行。

7.15.2 火灾作用下桥涵结构安全性状态等级可按表 7.15.2 执行。

表 7.15.2 火灾作用下桥梁工程结构安全状态等级

状态等级	结构安全性	交通功能	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	关键构件不发生损伤；主要构件的截面损失及承载能力折减不超过 20%	交通无明显影响	仅需对主要构件进行简单修复，功能性完整	无需修复，功能完整
二级	关键构件的截面损失及承载能力折减不超过 10%；主要构件的截面损失及承载能力折减不超过 60%	区域交通受短暂影响	采用应急措施可很快恢复通行能力	只需轻微或简单修复，即可再次具有完全通行能力
三级	关键构件的截面损失及承载能力折减不超过 20%；主要构件允许出现断裂，但不得发生连环破坏	区域交通受持续影响，并对社会经济造成一定损失	采用应急措施可以部分恢复甚至完全恢复通行能力	进行修复时需中断部分交通，修复完成后可恢复完整功能性
四级	关键构件的截面损失及承载能力折减不超过 40%；主要构件允许出现连环破坏，但不会引起结构整体垮塌	区域交通受到严重影响，并对社会经济造成较大损失	采用应急措施无法恢复通行	修复困难，必须在中断交通的情况下大面积修复和构件替换，经修复结构功能也难以恢复到最初状态
五级	桥梁工程结构倒塌或者完全丧失通行能力，无法继续使用	区域交通陷入瘫痪，并对社会经济造成严重损失	无法修复功能完全丧失无法通行	无法修复，若要恢复通行，必须重建

条文说明：桥梁火灾的潜在危险源种类繁多，不同危险源可能引发的火灾规模及潜在破坏程度也存在巨大差异。因此，采用单一指标进行安全性评价是不够合理的。采用基于性能的设计理念，表 7.15.1 从结构损伤程度、对交通及社会经济的潜在影响、短期可修复性、长期可修复性等多个层面建立了桥梁结构火灾安全性评价的等级划分标准。

7.15.3 火灾作用下桥涵工程结构的安全性等级可通过采取防火措施或管理措施予以提升。

条文说明：风险管控及结构抗火性能提升措施主要包括：外覆防火涂料、限制大型易燃易爆车辆通行、建立预警及应急机制控制火灾持续时间等。

## 7.16 爆炸或蓄意袭击作用

7.16.1 爆炸或蓄意袭击作用下桥涵结构的安全性状态等级可按表 7.16.1 执行。

表 7.16.1 爆炸或蓄意袭击作用对桥梁工程结构安全性状态等级

状态等级	结构安全性	交通功能	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	损伤程度小于 0.1	交通无影响	无需修	无需修
二级	损伤程度大于 0.1 小于 0.2，主要发生弹性变形	交通无明显影响	无需修复，功能性完好	需简单修复，功能性完好
三级	损伤程度大于 0.2 小于 0.4，发生大变形，但强度和功能性无实质性减弱，出现较大的塑性变形	区域交通受持续影响，并对社会经济造成一定损失	采用应急修复措施可恢复即时功能性	容易进行修复，修复后可基本恢复完整功能性
四级	损伤程度大于 0.4 小于 0.7，构件局部或整体塑性变形超出功能性限值，构件仍保持完整性	区域交通受到严重影响，并对社会经济造成较大损失	采用应急修复措施无法恢复即时功能性，短期内很大程度丧失功能性	修复困难，且经修复构件功能性也难以恢复到初始状态
五级	完全损伤，损伤程度大于 0.7，位移和塑性变形发散，构件发生失稳、压溃、断裂，失去完整性	区域交通陷入瘫痪，并对社会经济造成严重损失	无法修复，功能性完全丧失	无法修复，必须更换构件

注：损伤程度 $D$ 定义为 $D = 1 - N_{dam}/N$ ，式中 $N_{dam}$ 为作用后构件承载力； $N$ 为作用前的构件承载力。

7.16.2 爆炸或蓄意袭击作用下桥涵工程结构或构件的安全性等级，可通过风险管控及结构抗爆措施予以提升。

条文说明：风险管控及结构抗爆性能提升措施主要包括：增大截面和增加配筋、复合截面加固、防爆墙和防爆路障预防汽车炸弹等恐怖袭击、限制大型易燃易爆车辆通行。

## 7.17 冲刷作用

7.17.1 冲刷作用对桥梁结构安全性的评价指标可按下表执行：

表 4.15.5 冲刷作用对桥梁结构安全性的评价指标

状态等级	影响程度	总体描述	定量描述
一级	无影响	完好	—
二级	轻微影响	基础基本无冲刷	—
三级	中等影响	基础出现轻微冲刷	基础冲空面积 $\leq$ 10%
四级	较大影响	基础出现较严重冲刷	基础冲空面积 $>$ 10%且 $\leq$ 20%
五级	严重影响	基础出现严重冲刷现象，基础不稳定，出现严重滑动、下沉、位移、倾斜等现象	基础冲空面积 $>$ 20%

7.17.2 当冲刷作用的影响程度超过三级状态等级时，应进行现场监测并采取合理的冲刷防护措施以控制冲刷作用的进一步发展。

条文说明：桥梁冲刷防护措施按机理分为主动防护和被动防护。主动防护旨在改变来流的水力特性，被动防护目的是增强桥墩周围河床的抗冲刷能力。较为典型的主动防护方法有墩前牺牲桩、桥墩开缝、护圈、护壳、环翼式桥墩等，被动防护方法有抛石、混凝土石笼、混凝土铰链、混凝土硬壳单元体、扩大墩基础、四面体透水框架群等。针对桥梁所处的不同环境，寻找并使用合适的冲刷防护措施能够减少冲刷坑的深度，保证桥梁基础结构的安全性和稳定性。

7.17.3 在役跨河、跨海桥梁结构的冲刷作用计算及安全性评价标准应按照现行《公路工程水文勘测设计规范》（JTG C30）的规定执行。

7.17.4 在役跨河、跨海桥梁结构的冲刷作用较为复杂时，宜进行相应的数值模拟及水工模型试验，结合现行规范规定进行安全性评价。

## 7.18 材料性能退化作用

7.18.1 新建桥梁的材料性能退化作用，应结合桥梁实际运营环境，通过耐久性试验或数值模拟手段评价材料性能退化作用对桥涵工程结构或构件承载能力安全状态与使用安全状态的影响效应。

7.18.2 已建、改扩建或经历安全事态后的桥涵工程结构或构件的材料性能退化作用应通过现场检测方法评价其对桥涵工程结构或构件承载能力安全状态与使用安全状态的影响效应。

## 7.19 疲劳作用

7.19.1 疲劳作用下桥梁钢结构焊接构造安全性状态可按表 7.19.1 执行。

表 7.19.1 疲劳作用对桥梁钢结构焊接构造安全性影响程度的评价指标

状态等级	影响程度	总体描述	定量描述
一级	无影响	焊缝完好	无疲劳开裂
二级	轻微影响	少量焊缝疲劳开裂	焊缝疲劳开裂数量 $\leq 0.1\%$
三级	中等影响	部分焊缝疲劳开裂	焊缝疲劳开裂数量 $\leq 1\%$
四级	中等影响	大量焊缝疲劳开裂	焊缝疲劳开裂数量 $\leq 10\%$
五级	严重影响	焊缝疲劳开裂严重	焊缝疲劳开裂数量 $> 10\%$

7.19.2 疲劳作用下的桥梁钢结构焊接构造超过 7.19.1 中“三级”的各项要求时，宜采取一定的技术手段进行疲劳裂纹的长期监测。

7.19.3 疲劳作用下的桥梁钢结构焊接超过表 7.19.1 中“四级”的各项要求时，宜立刻采取加固措施，控制疲劳裂纹的进一步发展。

7.19.4 疲劳作用下桥梁结构铆钉及螺栓安全性状态可按表 7.19.4 执行。

表 7.19.4 疲劳作用下桥梁结构铆钉及螺栓安全及影响程度的评价指标

状态等级	影响程度	总体描述	定量描述
一级	无影响	各节点的铆钉、螺栓无疲劳损坏	无铆钉和螺栓疲劳损坏

二级	轻微影响	少数节点有个别铆钉、螺栓疲劳损坏	节点的铆钉和螺栓疲劳损坏数量 $<0.1\%$
三级	中等影响	部分联接铆钉、螺栓疲劳损坏	节点的铆钉和螺栓疲劳损坏数量 $\geq 0.1\%$ 且 $<1\%$
四级	较大影响	较多联接铆钉、螺栓疲劳损坏	节点的铆钉和螺栓疲劳损坏数量 $\geq 1\%$ 且 $<10\%$
五级	严重影响	大量联接铆钉、螺栓疲劳损坏	节点的铆钉和螺栓疲劳损坏数量 $>10\%$

7.19.5 疲劳作用下桥梁结构铆钉及螺栓安全性应满足以下要求：

- (1) 疲劳作用对桥梁结构铆钉及螺栓的影响程度超过表 7.19.4 “二级”的各项要求时，宜加强日常巡检，避免疲劳损坏的进一步发展；
- (2) 疲劳作用对桥梁结构铆钉及螺栓的影响程度超过表 7.19.4 等级“三级”的要求时，宜进行专项检测，并制定合理的疲劳修复策略。
- (3) 疲劳作用对桥梁结构铆钉及螺栓的影响程度超过表 7.19.4 等级“四级”的各项要求时，应立即中断交通，并组织专家进行修复方案论证，并及时组织抢修工作。

## 7.20 腐蚀作用

7.20.1 腐蚀作用下桥梁钢结构安全性状态可按表 7.20.1 执行。

表 7.20.1 疲劳作用下桥梁结构铆钉及螺栓安全及影响程度的评价指标

状态等级	影响程度	定性描述	定量描述
一级	无影响	完好	
二级	轻微影响	主缆局部出现轻微脱皮、锈蚀、伤痕或有麻点，或镀锌钢丝出现少量锌腐蚀亮斑，失去光泽；钢丝有极少量的锈蚀；钢构件表面发生轻微锈蚀，部分涂层出现剥落	钢丝或钢结构表面锈蚀累计面积 $\leq$ 构件面积的 3%
三级	中等影响	主缆出现少量脱皮、伤痕或轻度至中度腐蚀，缠丝层有较多麻坑，或镀锌钢丝出现较多锌腐蚀，并有白色腐蚀产物，尚未出现铁腐蚀；钢丝少量锈蚀，存在少量点蚀现象；钢构件表面发生锈蚀，较大面积涂层剥落	钢丝锈蚀面积 $>$ 构件面积的 3%且 $\leq$ 构件面积的 10%；钢构件锈蚀累计面积 $>$ 构件面积的 3%且 $\leq$ 构件面积的 5%

四级	较大影响	主缆出现较多脱皮、伤痕或密布的中等大小腐坑，缠丝层有大量的麻坑，或镀锌钢丝锌层减少，出现铁腐蚀斑点和腐坑；钢丝锈蚀明显，存在较多点蚀或坑蚀现象；钢构件表面有较多点蚀现象，涂层因锈蚀而部分剥落或可以刮除，重要部位有锈蚀成洞现象	锈蚀面积>构件面积的 10% 且 ≤ 构件面积的 20%，有 2 个以内的锈蚀空洞；钢构件锈蚀累计面积>构件面积的 5% 且 ≤ 构件面积的 15%；或锈蚀孔洞 ≤ 3 个，钢工字梁洞孔直径 ≤ 30mm，钢板梁 ≤ 50mm，且边缘完好；钢桁梁洞孔直径 ≤ 30mm，或 ≤ 杆件宽度的 15%
五级	严重影响	主缆缠丝防锈层已经严重腐蚀、断丝，或出现严重脱皮、伤痕、断丝、或镀锌钢丝严重腐蚀、断丝；钢构件表面有大量点蚀现象，涂层因锈蚀而全面剥离，重要部位被锈蚀成洞	钢丝锈蚀面积>构件面积的 20%，有 5 个以内的锈蚀空洞；钢构件锈蚀累计面积>构件面积的 15%，或锈蚀孔洞>3 个，钢工字梁洞孔直径>30mm，钢板梁>50mm，且边缘完好；钢桁梁洞孔直径>30mm，或>杆件宽度的 15%

7.20.2 腐蚀作用下桥梁钢结构安全性状态评价应与其他可能的作用组合考虑。

## 7.21 填土及挖方

7.21.1 填土及挖方下桥涵工程结构安全性状态可根据墩身位移按表 7.21.1 确定安全性状态。

表 7.21.1 填土及填方作用下桥墩安全性评价状态

状态等级	影响程度	定性描述
一级	无影响	完好
二级	轻微影响	--
三级	中等影响	桥墩出现轻微下沉、倾斜滑动等，发展缓慢或趋向稳定
四级	较大影响	桥墩出现滑动、下沉、倾斜，变形小于或等于规范值
五级	严重影响	桥墩不稳定，出现严重滑动、下沉、位移、倾斜现象，造成结构和桥面变形过大，变形大于规范值或不能正常行车。

---

## 7.22 采砂

7.22.1 采砂影响下桥涵工程结构安全性状态可根据墩身位移按表 7.21.1 确定安全性状态。

7.22.2 当桥梁上下游一定范围内存在采砂行为时,应定期对桥梁下部基础的安全性进行监测和评价。

7.22.3 应采取合理的措施防治因大面积采砂引发的下部结构冲刷作用的发展及危害。

7.22.4 在役桥梁临近河道存在大面积采砂行为时,宜考虑采砂行为对桥梁下部结构冲刷作用产生的影响。

条文说明:河床中泥沙的运动会引起河床的演变,水流是泥沙运动的载体,一个稳定的河道是本河段内水流挟砂量与上游来砂量基本平衡。如果出现严重的人工采砂活动,将会打破这种平衡,导致河床的自然坡度及水流状态发生改变,引起局部流速较大,加剧河水对桥梁基础的冲刷。

7.22.5 采砂对桥梁结构安全性的影响,应与其他风险事态组合考虑。

## 7.23 灾后性能保持与提升

7.23.1 在役桥梁运营期间发生各类极端作用后,应开展灾后性能评估并制定系统的性能保持与提升措施。

7.23.2 灾后安全性能评估完成前,不宜对外开放交通运输功能。

7.23.3 灾后性能评估可参考本章各类极端作用下的桥梁结构安全性评价指标,结合现行《公路桥梁技术状况评定标准》(JTGT H21)的相关规定执行。

7.23.4 对桥梁结构性能产生严重影响的特大灾害作用,灾后性能保持与提升宜通过成立专家组的形式开展。

## 8. 隧道工程结构安全性评价

### 8.1 一般规定

8.1.1 已建、改扩建以及经历安全事态后的隧道工程结构应评价其承载安全状态、使用安全、耐久安全与疲劳安全等状态。

8.1.2 经过性能改造或提升的已建、改扩建以及经历安全事态后的隧道工程结构，应进行安全性状态的再评价。

8.1.3 隧道工程结构安全性状态评价可通过理论分析、数值仿真、模型试验等手段进行，必要时可通过实际隧道验证性试验进行安全性状态评价。

### 8.2 极端地温作用下安全性状态评价

8.2.1 极端地温作用下对隧道工程结构安全性状态等级可按表 7.4.1 确定。

表 7.4.1 极端地温作用安全性状态等级

状态等级	损伤状态描述	总体描述
一级	衬砌无损伤	衬砌承载能力完全满足需求，完全没有损坏。
二级	衬砌轻微损伤	部分衬砌轻微裂缝，衬砌结构整体性能无明显影响
三级	衬砌中等损伤	部分衬砌裂缝较大，结构整体性能受到较小影响，但修复后可完全恢复。
四级	衬砌严重损伤	衬砌结构部分裂缝较大，衬砌结构整体性能受到严重影响，但修复后可完全恢复，衬砌结构不倒塌。
五级	衬砌完全损伤	隧道倒塌或者完全丧失通行能力，无法继续使用

### 8.3 地震作用下的安全性状态评价

8.3.1 地震作用对隧道工程结构安全性状态可按表 7.4.1 确定。

表 7.4.1 地震作用下隧道安全性状态等级

状态等级	损伤状态描述	总体描述	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
------	--------	------	------------	------------

一级	无损伤	衬砌承载能力完全满足需求，没有损伤，交通无明显影响	无需修复，功能性完整	无需修复，功能完整
二级	轻微损伤	部分衬砌受轻微损伤，结构整体性能无明显影响，交通受短暂影响	采用应急措施可很快恢复通行能力	只需轻微或简单修复，即可再次具有完全通行能力
三级	中等损伤	部分衬砌受到损伤，结构整体性能受到较小影响，但修复后可完全恢复，部分交通受影响	采用应急措施可以部分恢复甚至完全恢复通行能力	进行修复时需中断部分交通，修复完成后可恢复完整功能性
四级	严重损伤	衬砌结构性能受到严重影响，但体系维持整体完整，不倒塌	采用应急措施无法恢复通行	修复困难，必须在中断交通的情况下大面积修复和衬砌替换，经修复结构功能也难以恢复到最初状态
五级	完全损伤或倒塌	隧道衬砌倒塌或者完全丧失通行能力，无法继续使用	无法修复功能，完全丧失无法通行	无法修复，若要恢复通行，必须重建

8.3.2 隧道经历地震作用后应根据现行《公路隧道养护技术规范》(JTGH12-2015)进行隧道结构状态评定，结合隧道技术状况等级评价隧道安全性。

#### 8.4 滚石作用下安全性状态评价

8.4.1 滚石作用下隧道工程结构安全状态等级可按表 7.9.1 执行。

表 7.9.1 滚石作用下隧道工程结构安全性的评价指标

状态等级	堵塞洞口的大小	洞口衬砌结构的损伤
一级	未堵塞 0	未损伤 0
二级	轻微影响 (0, 5%]	轻微损伤 (0, 5%]
三级	中等影响 (5%, 20%]	中等损伤 (5%, 20%]
四级	较大影响 (20%, 50%]	较大损伤 (20%, 50%]
五级	严重影响 (50%, 100%]	彻底损坏 (50%, 100%]

8.4.2当滚石作用下的安全性控制目标不满足相应设计要求时,可采取主动或者被动的防护措施进行性能提升。

条文说明:主动的防护措施包括拦截网、拦截桩等;被动的防护措施包括提高结构局部刚度、采用措施提高结构冗余性、增加撞击耗能措施等。

8.4.3当发生滚石作用的风险事态后,应根据现行《公路隧道养护技术规范》(JTGT H12-2015)进行隧道结构状态评定,结合隧道技术状况等级评价隧道安全性。

## 8.5 山岭隧道衬砌水压力作用

8.5.1 山岭隧道衬砌水压力作用下隧道工程结构安全状态等级可按表 8.5.1 确定。

表 8.5.1 山岭隧道衬砌水压力作用下隧道工程结构安全状态

状态等级	影响程度	状态总体描述
一级	无明显影响	对结构面的强度没有影响
二级	微弱影响	风化衬砌结构面充填物质,降低衬砌结构面的抗剪强度,对软弱岩土有软化作用,
三级	显著影响	泥化软弱结构面充填物质,降低衬砌结构面的抗剪强度,对中硬岩土有软化作用,
四级	强烈影响	冲刷衬砌结构面中充填物质。加速岩体风化,对断层等软弱带软化泥化,并使其膨胀崩解,以及产生机械管涌。有渗透压力,能鼓开较薄的软弱层
五级	剧烈影响	冲刷携带结构面充填物质,分离岩体,有渗透压力,能鼓开一定厚度的断层等软弱带,能导致围岩塌方

## 8.6 地层挤压变形作用下安全性状态评价

8.6.1地层挤压变形作用下隧道工程结构安全状态等级可按表 8.6.1 执行。

表 8.6.1 地层挤压变形作用下隧道工程结构安全状态

等级	挤压形态	状态评价
1	非挤压	岩体表现为弹性,隧道呈稳定状态

2	轻度挤压	隧道围岩稳定，洞室变形位移可趋于收敛
3	中度挤压	围岩收敛位移值趋大，但最终仍可达到稳定收敛
4	严重挤压	收敛位移值趋于超大，围岩变形不易控制收敛
5	极度挤压	岩体呈流动状态，围岩变形过大，洞室坍塌收敛

## 8.7 滑坡作用

8.7.1 滑坡作用下隧道工程结构安全状态等级可按表 7.10.1 执行。

表 7.10.1 滑坡作用下隧道工程结构安全状态

状态等级	使用安全状态	承载安全状态
一级	洞口堵塞率 (0~5%]	未损伤 (0~5%]
二级	洞口堵塞率 (5%~20%]	轻微损伤 (5%~20%]
三级	洞口堵塞率 (20%~50%]	中等损伤 (20%~50%]
四级	洞口堵塞率 (50%~80%]	较大损伤 (50%~80%]
五级	洞口堵塞率 (80%~100%]	彻底损坏 (80%~100%]

8.7.2 滑坡作用的安全性评价结果不满足安全性控制目标要求时，应采取合理的性能提升策略。

条文说明：主要的防护措施包括建立抗滑桩、抗滑挡墙等支挡结构以及采取减重、反压、截排水等方法。

## 8.8 泥石流作用下安全性状态评价

8.8.1 泥石流作用下隧道工程结构安全状态等级可按表 7.10.1 执行。

表 8.8.1 泥石流作用下隧道工程结构安全状态

状态等级	泥石流堵塞洞口的大小	泥石流导致洞口衬砌结构的损伤	泥石流对隧道的影响程度

一级	洞口堵塞率 (0~5%)	未损伤 (0~5%)	无影响
二级	洞口堵塞率 (5%~20%)	轻微损伤 (5%~20%)	影响 (0, 5 m]
三级	洞口堵塞率 (20%~50%)	中等损伤 (20%~50%)	影响 (5m-10 m]
四级	洞口堵塞率 (50%~80%)	较大损伤 (50%~80%)	影响 (10m, 20 m]
五级	洞口堵塞率 (80%~100%)	彻底损坏 (80%~100%)	影响 > 50 m

8.8.2 泥石流作用下隧道结构的作用力应根据泥石流的物理属性确定其流体冲击力和巨石冲击力。

8.8.3 泥石流作用的安全性评价结果不满足现行规范要求时,应采取合理的性能提升策略。

## 8.9 车辆撞击作用下安全性状态评价

8.9.1 车辆撞击作用对隧道工程结构安全状态等级可按表 7.12.1 执行:

表 7.12.1 车辆撞击作用对隧道工程结构安全状态

状态等级	结构安全性	交通功能	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	衬砌结构无损伤、无裂缝或表面细微裂缝	交通无明显影响	无需修复, 功能性完好	无需修复, 功能性完好
二级	衬砌结构轻微损伤	区域交通受短暂影响	无需修复, 功能性完好	需简单修复, 功能性完好
三级	衬砌结构中等损伤	区域交通受持续影响, 并对社会经济造成一定损失	采用应急修复措施可恢复即时功能性	容易进行修复, 修复后可基本恢复完整功能性
四级	衬砌结构严重损伤	区域交通受到严重影响, 并对社	采用应急修复措施无法恢复	修复困难, 且经修复构件功

		会经济造成较大损失	即时功能性，短期内较大程度丧失功能性	能性也难以恢复到初始状态
五级	衬砌结构完全损坏	区域交通陷入瘫痪，并对社会经济造成严重损失	无法修复，功能性完全丧失	无法修复，必须更换衬砌结构

8.9.2 车辆撞击作用下隧道工程结构安全性评价可采用数值仿真、物理试验的方法进行。

## 8.10 火灾作用下安全性状态评价

8.10.1 火灾作用对隧道结构的作用，可通过模拟火灾场景、温度场分布、构件受温度影响后力学性能演变、隧道结构性能评价等步骤进行。

8.10.2 火灾作用下隧道结构安全性状态等级可按表 8.10.2 执行。

表 8.10.2 火灾作用下隧道工程结构安全状态

状态等级	结构安全性	交通功能	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	衬砌没受到火的作用	交通无明显影响	仅需对主要构件进行简单修复，功能性完整	无需修复，功能完整
二级	衬砌轻微或未直接遭受烧灼作用，没有降低构建承载能力的缺陷和损伤，但影响了外观质量	区域交通受短暂影响	采用应急措施可很快恢复通行能力	只需轻微或简单修复，即可再次具有完全通行能力
三级	轻度烧灼，但没有明显降低构建承载能力的缺陷和损伤，但已经引起耐久性的降低	区域交通受持续影响，并对社会经济造成一定损失	采用应急措施可以部分恢复甚至完全恢复通行能力	进行修复时需中断部分交通，修复完成后可恢复完整功能性
四级	中度烧灼但尚未破坏，已产生严重影响构建承载能力的缺陷和损伤	区域交通受到严重影响，并	采用应急措施无法恢复通行	修复困难，必须在中断交通的情况下大面积

		对社会经济造成较大损失		修复和构件替换, 经修复结构功能也难以恢复到最初状态
五级	衬砌结构破坏或烧塌	区域交通陷入瘫痪, 并对社会经济造成严重损失	无法修复功能完全丧失无法通行	无法修复, 若要恢复通行, 必须重建

条文说明: 隧道火灾的潜在危险源种类繁多, 不同危险源可能引发的火灾规模及潜在破坏程度也存在巨大差异。因此, 采用单一指标进行安全性评价是不够合理的。采用基于性能的设计理念, 表 8.10.2 从结构损伤程度、对交通及社会经济的潜在影响、短期可修复性、长期可修复性等多个层面建立了隧道结构火灾安全性评价的等级划分标准。

8.10.3 火灾作用下隧道工程结构的安全性等级可通过采取防火措施或管理措施予以提升。

条文说明: 风险管控及结构抗火性能提升措施主要包括: 外覆防火涂料、限制大型易燃易爆车辆通行、建立预警及应急机制控制火灾持续时间等。

## 8.11 爆炸或蓄意袭击作用下安全性状态评价

8.11.1 爆炸或蓄意袭击作用下隧道结构的安全性状态等级可按表 7.16.1 执行。

表 7.16.1 爆炸或蓄意袭击作用对隧道工程结构安全性状态

状态等级	结构安全性	交通功能	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	损伤程度小于 0.1	交通无影响	无需修	无需修
二级	损伤程度大于 0.1 小于 0.2, 主要发生弹性变形	交通无明显影响	无需修复, 功能性完好	需简单修复, 功能性完好
三级	损伤程度大于 0.2 小于 0.4, 发生大变形, 但强	区域交通受持续影响, 并对	采用应急修复措施可恢复即时功能性	容易进行修复, 修复后可

	度和功能性无实质性减弱，出现较大的塑性变形	社会经济造成一定损失		基本恢复完整功能性
四级	损伤程度大于 0.4 小于 0.7，构件局部或整体塑性变形超出功能性限值，构件仍保持完整性	区域交通受到严重影响，并对社会经济造成较大损失	采用应急修复措施无法恢复即时功能性，短期内很大程度丧失功能性	修复困难，且经修复构件功能性也难以恢复到初始状态
五级	完全损伤，损伤程度大于 0.7，位移和塑性变形发散，构件发生失稳、压溃、断裂，失去完整性	区域交通陷入瘫痪，并对社会经济造成严重损失	无法修复，功能性完全丧失	无法修复，必须更换构件

注：损伤程度 $D$ 定义为 $D = 1 - N_{dam}/N$ ，式中 $N_{dam}$ 为作用后构件承载力； $N$ 为作用前的构件承载力。

8.11.2 爆炸或蓄意袭击作用下隧道工程结构或构件的安全性等级，可通过风险管控及结构抗爆措施予以提升。

条文说明：风险管控及结构抗爆性能提升措施主要包括：增大截面和增加配筋、复合截面加固、防爆墙和防爆路障预防汽车炸弹等恐怖袭击、限制大型易燃易爆车辆通行。

8.12 危险货物运输车辆事故作用下安全性状态评价

8.12.1 危险货物运输车辆事故作用下隧道结构的安全性状态等级可按表 7.16.1 执行。

表 7.16.1 危险货物运输车辆事故作用下隧道结构的安全状态

状态等级	影响程度	总体描述
一级	无影响	完好
二级	轻微影响	衬砌基本无损伤
三级	中等影响	衬砌出现轻微损伤，衬砌损伤面积 $\leq 10\%$
四级	较大影响	衬砌出现较严重损伤，衬砌损伤面积 $> 10\%$ 且 $\leq 20\%$
五级	严重影响	衬砌出现严重损伤现象，不稳定，出现严重滑动、下沉、位移、倾斜等现象，衬砌损伤面积 $> 20\%$

### 8.13 人为失误操作作用下安全性状态评价

8.13.1 人为失误操作作用下隧道结构的安全性状态等级可按表 8.13.1 执行。

表 8.13.1 人为失误操作作用下隧道结构的安全性状态

状态等级	影响程度	总体描述
一级	无影响	完好
二级	轻微影响	衬砌基本无损伤
三级	中等影响	衬砌出现轻微损伤，衬砌损伤面积 $\leq 10\%$
四级	较大影响	衬砌出现较严重损伤，衬砌损伤面积 $> 10\%$ 且 $\leq 20\%$
五级	严重影响	衬砌出现严重损伤现象，不稳定，出现严重滑动、下沉、位移、倾斜等现象，衬砌损伤面积 $> 20\%$

### 8.14 人为活动作用下安全性状态评价

8.14.1 人为活动作用下隧道结构的安全性状态等级可按表 8.14.1 执行

表 8.14.1 人为活动作用下隧道结构的安全性状态

状态等级	影响程度	总体描述
一级	无影响	完好
二级	轻微影响	衬砌基本无损伤
三级	中等影响	衬砌出现轻微损伤，衬砌损伤面积 $\leq 10\%$
四级	较大影响	衬砌出现较严重损伤，衬砌损伤面积 $> 10\%$ 且 $\leq 20\%$
五级	严重影响	衬砌出现严重损伤现象，不稳定，出现严重滑动、下沉、位移、倾斜等现象，衬砌损伤面积 $> 20\%$

### 8.15 材料性能退化作用下安全性状态评价

8.15.1 新建隧道的材料性能退化作用，应结合隧道实际运营环境，通过耐久性

试验或数值模拟手段评价材料性能退化作用对隧道工程结构或构件承载能力安全状态与使用安全状态的影响效应。

8.15.2 已建、改扩建或经历安全事态后的隧道工程结构或构件的材料性能退化作用应通过现场检测方法评价其对隧道工程结构或构件承载能力安全状态与使用安全状态的影响效应。

## 8.16 腐蚀作用下安全性状态评价

8.16.1 腐蚀作用下隧道钢结构安全性状态可按表 8.16.1 执行。

表 8.16.1 腐蚀作用下隧道结构螺栓安全及影响程度的评价指标

状态等级	影响程度	定性描述	定量描述
一级	无影响	完好	
二级	轻微影响	螺栓出现少量锌腐蚀亮斑，失去光泽；有极少量的锈蚀；钢管片表面发生轻微锈蚀，部分涂层出现剥落	钢螺栓或钢管片表面锈蚀累计面积 $\leq$ 构件面积的 3%
三级	中等影响	螺栓有较多麻坑，或螺栓出现较多腐蚀，并有白色腐蚀产物，尚未出现腐蚀；钢管片表面发生锈蚀，较大面积涂层剥落	钢螺栓或钢管片锈蚀累计面积 $>$ 构件面积的 3%且 $\leq$ 构件面积的 5%
四级	较大影响	钢螺栓或钢管片表面有较多点蚀现象，涂层因锈蚀而部分剥落或可以刮除，重要部位有锈蚀成洞现象	钢螺栓和钢管片锈蚀累计面积 $>$ 构件面积的 5%且 $\leq$ 构件面积的 15%；或锈蚀孔洞 $\leq$ 3 个
五级	严重影响	钢螺栓或钢管片防锈层已经严重腐蚀，或出现严重脱皮、伤痕、涂层因锈蚀而全面剥离，重要部位被锈蚀成洞	钢螺栓或钢管片锈蚀累计面积 $>$ 构件面积的 15%，或锈蚀孔洞 $>$ 3 个，

## 8.17 填土及挖方作用下安全性状态评价

8.17.1 填土及挖方下隧道工程结构安全性状态可根据变形按表 8.17.1 确定安全性状态。

表 8.17.1 填土及填方作用下隧道安全性评价状态

状态等级	影响程度	定性描述
一级	无影响	衬砌结构完好
二级	轻微影响	衬砌结构有轻微变形
三级	中等影响	衬砌结构出现轻微下沉、倾斜滑动等，发展缓慢或趋向稳定
四级	较大影响	衬砌结构出现滑动、下沉、倾斜，变形小于或等于规范值
五级	严重影响	衬砌结构不稳定，出现严重滑动、下沉、位移、倾斜现象，造成结构和桥面变形过大，变形大于规范值或不能正常行车。

征求意见稿

---

## 9.道路工程结构安全性评价

### 9.1 一般规定

- 9.1.1 已建、改扩建以及经历安全事态后的道路工程结构应评价其承载安全、使用安全、耐久安全与疲劳安全等状态。
- 9.1.2 经过性能改造或提升的已建、改扩建以及经历安全事态后的道路工程结构，应进行安全性状态的再评价。
- 9.1.3 道路工程结构安全性状态评价可通过理论分析、数值仿真、模型试验等手段进行，必要时可通过实际道路验证性试验进行安全性状态评价。

### 9.2 极端车辆荷载

- 9.2.1 在役道路工程结构在受极端车辆荷载作用时其安全性评价应确定极端车辆荷载对道路结构安全的影响程度、安全性评价控制目标及管控措施。

条文说明：极端车辆荷载是指超出道路设计车辆荷载的实际作用车辆荷载。导致道路受极端车辆荷载作用的原因通常有超出设计荷载的重车车队上路；因交通事故、天气状况、道路施工等引发的非周期性交通拥堵等。此时货车比例较高或大量车辆拥塞，往往对道路安全产生威胁。

- 9.2.2 受极端车辆荷载作用时在役道路工程结构安全性评价宜与材料性能退化、冲刷作用等渐变性作用进行组合。

条文说明：材料性能退化、冲刷作用等渐变性作用会使道路工程结构的承载性能退化，令其在车辆荷载作用下的安全性产生不利影响。因此，对在役道路工程结构进行安全性评价时，宜将极端车辆荷载与此类渐变性作用进行组合。

- 9.2.3 极端车辆荷载的取值宜根据当地同等级道路近年来的实际行驶车流记录情况经综合分析确定。当缺乏相关实测数据时，可参考表 9.2.3 中汽车荷载取值并根据道路实际通行情况适当调整。

条文说明：极端车辆荷载取值随道路等级、当地交通状况变异性较大，如有相应通行记录宜优先采用，否则可参考表 9.2.3 取值。

在《公路工程技术标准》(JTGB01)中，汽车荷载分为公路-I级和公路-II级两个等级，对各级公路验算时取值的规定如下：

汽车荷载由车道荷载和车辆荷载组成。桥梁结构的整体计算采用车道荷载；桥梁结构的局部加载、涵洞、桥台和挡土墙土压力的计算采用车辆荷载；二者作用不得叠加。

表 9.2.3 各级公路的汽车荷载等级

公路等级	高速公路	一级公路	二级公路	三级公路	四级公路
汽车荷载等级	公路-I级	公路-I级	公路-I级	公路-II级	公路-II级

关于公路-I级和公路-II级汽车荷载中车道荷载与车辆荷载的具体取值与计算图式可参考《公路工程技术标准》(JTGB01)。

9.2.4 在役道路工程结构在受极端车辆荷载作用时应对其按承载能力极限状态及正常使用极限状态进行验算及安全性评价，工程结构安全性状态等级可按表 9.2.4 确定。

表 9.2.4 极端车辆荷载安全性状态等级

安全状态等级	承载能力安全评价指标 $\alpha$	正常使用安全评价指标 $\beta$
一级	$\alpha \leq 0.6\alpha_u$	$\beta \leq 0.6\beta_u$
二级	$0.6\alpha_u < \alpha \leq 0.8\alpha_u$	$0.6\beta_u < \beta \leq 0.8\beta_u$
三级	$0.8\alpha_u < \alpha \leq 1.0\alpha_u$	$0.8\beta_u < \beta \leq 1.0\beta_u$
四级	$1.0\alpha_u < \alpha \leq 1.2\alpha_u$	$1.0\beta_u < \beta \leq 1.2\beta_u$
五级	$\alpha > 1.2\alpha_u$	$\beta > 1.2\beta_u$

注： $\alpha$  和 $\alpha_u$ 分别代表承载能力安全评价指及其设计标准值；或 $\beta$  和 $\beta_u$ 分别代表正常使用安全评价指及其设计标准值。

条文说明：

在道路工程中，极端车辆荷载对于道路结构的验算通常发生于挡土墙、涵洞等结构的安全性验算。

极端车辆荷载若根据实测数据或可靠依据取值，其持久状况承载能力极限状态验算时汽车荷载效应的分项系数可较规范相关取值适当减小。

9.2.5 在役道路工程结构在极端车辆荷载作用下的安全性评价结果不满足现行

---

规范要求时，应采取合理的性能提升策略。

9.2.6 在役道路工程结构在极端车辆荷载作用下的性能提升策略可参考现行《公路养护工程质量检验评定标准》(DG TJ 08-2144)的相关规定执行。

9.2.7 在役公路道路工程在通过极端车辆时，应采取合理的交通措施以减轻道路结构的安全性风险。

### 9.3 超限车辆荷载

9.3.1 在役道路工程结构在受超限车辆荷载作用时其安全性评价应确定超限车辆荷载对桥涵结构安全的影响程度、安全性评价控制目标及管控措施。

条文说明：超限车辆是指公路工程结构路面行驶的轴重、总重、宽度、高度等超出规定的交通工具。其中对公路结构安全性影响较大的多为带挂车的大件运输车辆。

9.3.2 受超限车辆荷载作用时在役桥涵工程结构安全性评价宜与材料性能退化、冲刷作用等渐变性作用进行组合。

条文说明：材料性能退化、冲刷作用等渐变性作用会使公路工程结构的抗力退化，对其在车辆荷载作用下的安全性产生不利影响。因此，对在役公路工程结构进行安全性评价时，宜将超限车辆荷载与此类渐变性作用进行组合。

9.3.3 超限车辆荷载的取值与布载方式宜根据当地交通状况相近的同等级公路道路超限车辆实测数据经综合分析确定。缺乏相关实测数据时，可参考表 6.1.2 中汽车荷载取值并根据实际道路等级、过往通行车辆情况适当调整。

条文说明：超限车辆的判定应参照《道路车辆外廓尺寸、轴荷及质量限值》GB1589-2016。超限汽车荷载的取值随其运载货物变异性较大，如有相应实测记录宜优先采用。

9.3.4 在役道路工程结构在受超限车辆荷载作用时应对其按承载能力极限状态及正常使用极限状态进行验算及安全性评价。工程结构安全性状态等级可按表 9.2.4 确定。

条文说明：对受超限车辆荷载作用的在役道路工程结构进行安全性评价时，应结合在役期间结构材料性能退化、冲刷作用等不利因素，按照试验测得的在役道路工程结构的材料实际性能对结构进行承载力及正常使用指标的验算，各验算指标的控制值以当前在役道路工程结构对应的现行设计规范规定为准。

在役公路道路工程结构超限车辆荷载的结构验算原则可参考《城市道路设计规范》(CJJ 37) 的相应规定。

9.3.5 在役道路路面结构在受超限车辆荷载作用时应根据疲劳损伤准则对路面结构进行疲劳安全性评价。路面结构疲劳安全性状态等级可按表 9.3.5 确定。

表 9.3.5 超限车辆荷载安全性状态等级

状态等级	超限车辆交通繁重程度	疲劳安全性
一级	无超限车辆	疲劳安全性高，路面无疲劳病害
二级	超限车辆少、超限重量低	疲劳安全性较高，路面基本无疲劳病害
三级	超限车辆适中、超限重量水平中等	疲劳安全性能一般，路面初步产生较小的疲劳开裂和车辙等病害，道路使用寿命受到一定影响
四级	超限车辆较多、超限重量水平高	疲劳安全性能低，路面车辙、疲劳开裂等病害发育，道路使用寿命降低，需对道路的累计轴载作用次数进行验算评估
五级	超限车辆繁重、超限重量水平极高	路面疲劳损伤极大，可能产生较为严重的车辙、大规模疲劳开裂、大规模沉陷等病害，基层和路基产生不同程度的损害，道路使用寿命远小于设计寿命

条文说明：对受超限车辆荷载作用的在役道路工程结构进行疲劳安全性评价时，应结合不同道路设计时的标准轴载作用次数和实际观测到的轴载谱进行验算。

在役公路道路工程结构超限车辆荷载的疲劳安全性验算可参考《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2017)和《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40-2017)的相应规定。

9.3.6 在役道路工程结构在超限车辆荷载作用下的安全性评价结果不满足现行规范要求时，应采取合理的性能提升策略。

9.3.7 在役道路工程结构在超限车辆荷载作用下的性能提升策略可参考现行《公路养护工程质量检验评定标准》(DG TJ 08-2144) 的相关规定执行。

9.3.8 在役公路道路工程在通过超限车辆时,应采取合理的交通措施以减轻道路结构的安全性风险。

## 9.4 地震作用

9.4.1 地震作用对道路工程结构安全性状态可按表 9.4.1 确定

表 9.4.1 地震作用下道路工程结构安全性状态等级

状态等级	损伤状态描述	总体描述	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	无损伤	道路工程结构物承载能力完全满足需求,没有损伤,交通无明显影响	无需修复,功能性完整	无需修复,功能完整
二级	轻微损伤	支挡结构受轻微损伤或路基路面结构受轻微扰动,但结构整体性能无明显变化,交通受轻微影响	对支挡结构可以采用应急措施修复,并很快恢复通行能力,对路基路面结构无需处理,即可恢复通行能力	对支挡结构只需轻微或简单修复,即可再次具有完全通行能力;对路基路面结构无需处理或轻微修复,可实现功能完整
三级	中等损伤	支挡结构或路基路面结构受到损伤,但结构整体性受到影响较小,修复后功能可完全恢复,交通需短暂封闭以用于损伤检测和修复	采用应急措施可恢复部分通行能力甚至可完全恢复通行能力	进行修复时需中断部分交通,修复完成后可恢复完整功能性
四级	严重损伤	支挡结构或路基路面结构受到严重影响,结构仅能维持整体完整性,不倒塌	采用应急措施无法恢复通行	修复困难,必须在中断交通的情况下大面积修复或局部路基路面结构翻修重建,经过修复后的支挡结构或路基路面结构功能也难以恢复到最初状态
五级	完全损伤或失效	支挡结构完全垮塌,道路封锁,丧失通行能力;路基路面完全破坏,道路使用寿命结束,完全丧失通行能力	无法通过修复恢复功能,完全丧失通行能力	无法修复,若要恢复通行,必须重建

9.4.2 在役道路工程结构的地震安全性评价宜与冲刷作用、材料性能退化等渐变性作用进行组合。

条文说明：冲刷、材料性能退化等渐变性作用会使得道路工程结构的抗力产生退化，从而对其地震安全性产生不利影响。因此，对在役道路工程结构的地震安全性进行评价时，宜考虑将地震作用与此类渐变性作用进行组合。地震作用应与结构重力、土重力组合，对于水库地区浸水路基以及滨河地区高速公路和一级公路浸水路基，还应计入常水位的水压力和浮力。

9.4.3 经历地震作用后应根据《公路技术状况评定标准》（JTG 5210-2018）进行路面状态评定，结合道路技术状况等级评价道路路面安全性。

9.4.4 经历地震作用后应根据《公路工程抗震规范》（JTG B02-2013）进行路基稳定性验算，结合稳定性验算结果评价道路路基结构安全性。

9.4.5 经历地震作用后应根据《公路工程抗震规范》（JTG B02-2013）进行挡土墙等支挡结构强度和稳定性验算，结合验算结果评价支挡结构安全性。

## 9.5 滑坡作用

9.5.1 滑坡作用下道路工程结构安全状态等级可按表 9.5.1 执行。

表 9.5.1 滑坡作用下道路工程结构安全状态等级

状态等级	损伤状态描述	总体描述	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	无影响	滑坡对道路工程结构无损伤，不影响道路通行能力	无需修复，功能性完好	无需修复，功能性完好
二级	轻微影响	滑坡对道路工程结构稳定性产生轻微扰动，无需中断交通即可修复	采用应急修复，即可恢复道路功能完整性	采用轻微或简单修复，可完全恢复道路功能完整性

三级	中等影响	支挡结构出现小范围位移和扰动，路面出现小范围破损或被滑坡土体覆盖，路基出现位移和小范围坍塌，稳定性受到一定影响，道路交通需要暂时关闭	采用应急措施可恢复部分通行能力甚至完全恢复通行能力	采用一定措施可完全恢复道路功能完整性
四级	较大影响	支挡结构出现裂缝或剥落等明显破损现象，强度和稳定性均受到较大扰动，路基结构出现大范围位移或坍塌，结构承载力和稳定性大幅下降，路面出现大范围损坏，道路交通需要长时间关闭以开展维护措施	采用应急措施无法恢复通行	修复困难，必须在中断交通的情况下对支挡结构进行修复和构件替换，对路基路面结构需要进行局部翻修，经修复结构功能也难以恢复到最初状态
五级	严重影响	道路工程结构稳定性受到严重破坏或道路工程结构已坍塌，区域交通陷入瘫痪	无法通过修复恢复道路工程结构功能	无法修复，若要恢复道路工程结构功能，需要重建

9.5.2 在役道路工程结构在滑坡作用下的安全性评价宜与冲刷作用、材料性能退化等渐变性作用进行组合。

条文说明：冲刷、材料性能退化等渐变性作用会使得道路结构抗力产生退化，在滑坡作用下从而对其结构安全性产生耦合不利影响。因此，对在役道路工程结构的滑坡安全性进行评价时，宜考虑将滑坡作用与此类渐变性作用进行组合。

9.5.3 经历三级及以上滑坡作用后应根据《公路技术状况评定标准》(JTG5210)进行路面状态评定，结构道路技术状况等级评价道路路面安全性。

9.5.4 经历滑坡作用后应根据《公路路基设计规范》(JTG D30)进行路基稳定性验算，结合稳定性验算结果评价道路路基结构安全性。

9.5.5 经历滑坡作用后应根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330)进行支挡结构的强度和稳定性验算，结合验算结果评价支挡结构安全性。

9.5.6 滑坡作用的安全性评价结果不满足现行规范要求时，应采取合理的提升策略。

---

条文说明：滑坡对道路工程危害严重，需彻底治理。对性质明确的滑坡，要一次根治，不留后患；对规模大、性质复杂的滑坡，在保证桥梁结构安全的前提下，全面规划，分期治理，先修建有利于稳定滑坡的应急工程，并建立必要的监测系统，掌握滑坡的变化规律后，再进行永久治理工程，最终达到根治的目的。滑坡支挡工程结构设计应以桥梁桩基不受滑坡变形产生的水平力作用为原则。

9.5.7 对潜在影响道路结构安全的滑坡应进行监测，确定滑坡范围、滑动面位置、变形速率及稳定状态，保障道路运营安全。

## 9.6 泥石流作用

9.6.1 泥石流作用下道路工程结构安全状态等级可按表 9.5.1 执行。

9.6.2 在役道路工程结构在泥石流作用下的安全性评价宜与冲刷作用、材料性能退化等渐变作用进行组合。

条文说明：冲刷、材料性能退化等渐变作用会使得道路结构抗力产生退化，在泥石流作用下从而对其结构安全性产生耦合不利影响。因此，对在役道路工程结构的泥石流作用安全性进行评价时，宜考虑将泥石流作用与此类渐变作用进行组合。

9.6.3 泥石流作用的取值宜根据场地泥石流规模、流动距离、流动冲击力等确定，具体数据应当根据实地考察进行确定。泥石流重度、泥石流流量、泥石流流速及泥石流对道路工程的冲击力等设计参数可参照《泥石流防治工程设计规范》中第 7 章的相关内容确定。

条文说明：对道路结构的安全有影响的泥石流或潜在泥石流，应进行泥石流专项工程地质勘察。道路所在区域滑坡勘察应按设计阶段循序渐进，采用综合勘察方法，查明泥石流位置、范围、性质、成因、规模及危害程度，获取设计所需要的岩土物理力学参数，评价泥石流稳定状况，预测泥石流发展趋势。

9.6.4 在役道路工程结构在受三级及以上泥石流作用后应根据《公路技术状况评定标准》(JTG5210) 进行路面状态评定，结构道路技术状况等级评价道路

路面安全性。

9.6.5 经历泥石流作用后应根据《公路路基设计规范》(JTG D30)进行路基稳定性验算,结合稳定性验算结果评价道路路基结构安全性。

9.6.6 经历泥石流作用后应根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330)进行支挡结构的强度和稳定性验算,结合验算结果评价支挡结构安全性。

条文说明:泥石流沟壑内的道路工程结构应考虑泥石流的冲刷、淘蚀、搬运、淤积作用,基础设计应考虑泥石流破坏基础土壤后承载力和稳定性要求。

9.6.7 泥石流作用的安全性评价结果不满足现行规范要求时,应采取合理的性能提升策略。

9.6.8 在泥石流流通区段,可在道路上游地形较好的地区,采用可靠的拦挡措施,达到减沙、减势、控制水沙下泄量、控制流量的效果。拦挡工程有拦砂坝、停淤场等。

9.6.9 在泥石流活动频繁的地区,宜建立泥石流动态监测网,实时掌握泥石流的发展趋势和规律,为道路施工和运营安全提供预警。

## 9.7 滚石作用

9.7.1 滚石作用下道路工程结构安全状态等级可按表 9.7.1 执行。

表 9.7.1 滚石下道路工程结构安全状态等级

状态等级	损伤状态描述	总体描述	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	无影响	对道路工程结构无损伤,对公路通行能力有轻微影响	无需修复,清理路面落石即可恢复完整功能性	无需修复,功能性完好
二级	轻微影响	对道路工程结构稳定性产生轻微扰动,对路面交通运行安全产生威胁,需要短暂暂停路面交通运行	采用应急修复,清理路面落石,待落石风险解除,即可恢复道路功能完整性	采用轻微或简单修复,可完全恢复道路功能完整性

三级	中等影响	支挡结构出现小范围位移和扰动,路面出现小范围破损或被堆积落石覆盖,路基出现位移和小范围坍塌,路基路面结构稳定性受到一定影响,道路交通需要在一定时间内关闭	采用应急措施,清理路面落石,并对受损路面进行修复,可恢复部分通行能力甚至完全恢复通行能力	采用一定措施加固路基结构或支挡结构,修复路面破损结构,可完全恢复道路功能完整性
四级	较大影响	支挡结构出现裂缝等明显破损现象,强度和稳定性均受到较大扰动,路基结构出现大范围位移或坍塌,结构承载力和稳定性大幅下降,路面出现大范围损坏或大范围落石堆积掩埋,道路交通需要长时间关闭以开展维护措施	采用应急措施无法恢复通行	修复困难,必须在中断交通的情况下对支挡结构进行修复和构件替换,对路基路面结构需要进行局部翻修,经修复结构功能也难以恢复到最初状态
五级	严重影响	道路工程结构稳定性受到严重破坏或道路工程结构已坍塌,区域交通陷入瘫痪	无法通过修复恢复道路工程结构功能	无法修复,若要恢复道路工程结构功能,需要重建

9.7.2 在役道路工程结构在滚石作用下的安全性评价宜与冲刷作用、材料性能退化等渐变性作用进行组合。

条文说明:冲刷、材料性能退化等渐变性作用会使得道路结构抗力产生退化,在滚石作用下从而对其结构安全性产生耦合不利影响。因此,对在役道路工程结构的滚石安全性进行评价时,宜考虑将滚石作用与此类渐变性作用进行组合。

9.7.3 在役道路工程结构在受三级及以上滚石作用后应根据《公路技术状况评定标准》(JTG5210)进行路面状态评定,结构道路技术状况等级评价道路路面安全性。

9.7.4 经历泥滚石作用后应根据《公路路基设计规范》(JTGD30)进行路基稳定性验算,结合稳定性验算结果评价道路路基结构安全性。

9.7.5 经历滚石作用后应根据《建筑边坡工程技术规范》(GB50330)进行支挡结构的强度和稳定性验算,结合验算结果评价支挡结构安全性。

9.7.6 道路结构或构件在滚石作用下的响应宜通过试验或数值模拟的方法确定。

9.7.7 滚石作用的安全性评价结果不满足现行规范要求时,应采取合理的提升策略。

## 9.8 洪水作用

9.8.1 在役道路工程结构的洪水作用安全性评价宜与水流作用、冲刷作用等作用进行组合。

条文说明:在洪水期间,水位抬高,流速加快,对道路结构的水流力及对上部结构的浮托力均增加;此外,洪水期间道路路基结构的冲刷作用尤其强烈,且难以被监测,更易导致道路结构破坏。

9.8.2 洪水作用对道路工程结构状态等级可按表 9.8.21 执行。

表 9.8.1 洪水作用下道路工程结构安全性状态等级

状态等级	损伤状态描述	总体描述	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	无影响	洪水仅对支挡结构有冲刷作用,支挡结构整体性完好,功能未受损。路基路面结构不受影响	无需修复	无需修复
二级	轻微影响	洪水作用对支挡结构有轻微损坏作用,对路基路面结构稳定性产生轻微扰动	采用紧急措施可快速恢复通行能力	仅需要简单或轻微修复,即可完全恢复通行能力
三级	中等影响	洪水对路基结构性能造成一定损伤,对路面交通运行安全性造成影响,对支挡结构强度及稳定性造成一定影响,区域交通持续受阻	在洪水退去后,通过应急措施可恢复交通	进行修复时需中断部分交通,修复完成后可基本恢复完整功能性
四级	较大影响	洪水对路基结构稳定性造成较大影响,对路面交通安全性造成影响,路基路面出现局部	采用紧急措施无法恢复交通	修复困难,必要时需要对支挡结构进行大面积修复和构件替换,路面结构需进行表面维护,局部路基

		坍塌或裂缝等结构明显受损特征，对支挡结构强度及稳定性造成较大损伤，支挡结构出现明显损伤，区域交通受到严重影响		路面结构需要翻修，经修复后，结构功能也难以恢复到最初的状态
五级	严重影响	支挡结构坍塌或受损后丧失功能，路基路面结构出现坍塌，区域交通瘫痪	无法修复	无法修复，若恢复交通，必须重建

9.8.3 经历洪水作用后应根据《公路技术状况评定标准》(JTG5210)进行路面状态评定，结合道路技术状况等级评价道路路面安全性。

9.8.4 经历洪水作用后应根据《公路路基设计规范》(JTG D30)进行路基稳定性验算，结合稳定性验算结果评价道路路基结构安全性。

9.8.5 经历洪水作用后应根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330)进行支挡结构的强度和稳定性验算，结合验算结果评价支挡结构安全性。

9.8.6 洪水作用的安全性评价结果不满足现行规范要求时，应采取合理的防治措施。

9.8.7 道路工程结构在洪水作用下的性能提升策略可参考现行根据《公路工程技术标准》(JTG B01)与《防洪标准》的相关规定执行。

## 9.9 极端温度作用

9.9.1 极端温度作用下道路工程结构安全状态等级可按表 9.9.1 执行。

条文说明：极端温度，一段时间内某一地区达到的最低和最高温度。前者是极端最低温度，后者是极端最高温度。有时也指同一时期温度空间分布（一般指水平分布）中的最高和最低值。极端温度作用对水泥混凝土、沥青混合料等材料的强度、变形等性能有影响。与常温条件相比，极端温度作用导致材料性能的变化对路面工程结构的使用安全性有重要影响。极端低温容易造成路面结冰现象，并降低路面交通运行安全性能。

表 9.9.1 极端温度作用下道路工程结构安全状态等级

状态等级	损伤状态描述	总体描述	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	无影响	极端温度对路面结构稳定性不产生影响，路面交通运行安全性不受影响	无需修复，功能性完好	无需修复，功能性完好
二级	轻微影响	极端温度作用下，路面稳定性受到轻微扰动，路面出现轻微车辙或轻微裂缝，路面结冰情况不明显，交通运行受轻微影响	采用应急措施，可修复路面受损结构并提升路面抗滑性能，恢复道路工程结构功能完整性	采用轻微或简单修复，可完全恢复道路功能完整性
三级	中等影响	路面稳定性受到一定影响，路面车辙发展明显，或路面出现明显冻缩裂缝，路面有结冰情况，交通运行受到一定影响	采用应急措施，可修复路面结构，降低路面结冰造成的影响，并在一定程度恢复道路结构功能完整性	采用一定措施修复路面车辙，或填补路面裂缝，除去路面结冰，可完全恢复道路功能完整性
四级	较大影响	路面结构出现较大幅度变形，路面车辙深度发展较深，或路面出现大范围冻缩裂缝，路面结冰情况明显，道路丧失交通通行能力	采用应急措施无法恢复通行	修复困难，必须在中断交通的情况下对路面结构进行养护修复或局部翻修，经修复结构功能也难以恢复到最初状态
五级	严重影响	路面结构稳定性受到严重破坏或路面出现大范围破损开裂，路面使用寿命结束，区域交通陷入瘫痪	无法通过修复恢复道路工程结构功能	无法修复，若要恢复道路工程结构功能，需要重修

9.9.2 在役道路工程结构的极端温度安全性评价宜与材料性能退化等渐变性作用进行组合。

9.9.3 经历极端温度作用后应根据《公路技术状况评定标准》(JTG5210) 进行路面状态评定，结合道路技术状况等级评价道路路面安全性。

9.9.4 极端温度作用下道路工程材料的性能变化宜通过试验或数值模拟的方法确定。

9.9.5 极端温度作用下道路工程结构安全性评价结果不满足现行规范要求时，应

采取合理的性能提升策略。

## 9.10 车辆撞击作用

9.10.1 受车辆撞击风险较大的道路结构应进行车辆撞击作用安全性评价，状态等级可按下表 9.10.1 执行：

表 9.10.1 车辆撞击作用对道路工程结构安全状态等级

状态等级	结构安全性	交通功能	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	无损伤，位移角小于 1/180；支挡防护结构（保护层）无裂缝或表面细微裂缝	交通无明显影响	无需修复，功能性完好	无需修复，功能性完好
二级	轻微损伤，位移角介于 1/180~1/50；支挡防护结构（保护层）表面产生细小裂缝	区域交通受短暂影响	无需修复，功能性完好	需简单修复，功能性完好
三级	中等损伤，位移角介于 1/50~1/25；出现非线性变形，支挡防护结构（保护层）混凝土开始脱落，可见裂缝扩展	区域交通受持续影响，并对社会经济造成一定损失	采用应急修复措施可恢复即时功能性	容易进行修复，修复后可基本恢复完整功能性
四级	严重损伤，位移角介于 1/25~1/16；支挡防护结构（保护层）塑性区出现，表层剥落	区域交通受到严重影响，并对社会经济造成较大损失	采用应急修复措施无法恢复即时功能性，短期内很大程度丧失功能性	修复困难，且经修复构件功能性也难以恢复到初始状态
五级	完全损伤，位移角大于 1/16；支挡防护结构（保护层）强度退化，主筋屈服，箍筋断裂，核心混凝土压碎	区域交通陷入瘫痪，并对社会经济造成严重损失	无法修复，功能性完全丧失	无法修复，必须更换构件

9.10.2 车辆撞击作用安全性评价应确定车辆撞击对道路结构安全及社会经济的影响程度、车辆撞击风险控制目标及管控措施。

9.10.3 车辆撞击作用安全性评价应根据近年来的实际行驶车流记录情况，选取合适的事故车辆类型进行分析。

9.10.4 汽车撞击力宜采用试验或数值模拟的方法获取，也可按照现行《公路交通安全设施设计规范》（JTG D81）的相关规定确定。

9.10.5 车辆撞击作用安全性评价结果不满足现行规范要求时,应采取合理的性能提升策略,宜根据道路防护目标配置相应的防护设施。

9.10.6 护栏等防护设施,其安全性能应满足现行《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01)和《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81)中的相关规定。

## 9.11 重物坠落作用

9.11.1 高频通行大型载货货车的道路结构应进行重物坠落作用安全性评价,状态等级可参考 9.10.1 执行。

9.11.2 重物坠落作用安全性评价应确定重物坠落对道路结构安全及社会经济的影响程度、重物坠落风险控制目标及管控措施。

9.11.3 重物坠落撞击力宜根据近年来的实际行驶车流记录情况,选取合适的货车车辆类型与货物质量进行分析。

9.11.4 重物坠落对道路结构的冲击作用宜采用试验或数值模拟的方法获取。

9.11.5 重物坠落作用安全性评价结果不满足现行规范要求时,应采取合理的性能提升策略。

## 9.12 火灾作用

9.12.1 火灾作用安全性评价应确定火灾作用对道路结构安全及社会经济的影响程度、火灾作用风险控制目标及管控措施,状态等级可按表 9.12.1 执行。

表 9.12.1 火灾作用下道路工程结构安全状态等级

状态等级	结构安全性	交通功能	短期可修复性及功能性	长期可修复性及功能性
一级	关键构件不发生损伤;主要构件的截面损失及承载能力折减不超过 20%	交通无明显影响	仅需对主要构件进行简单修复,功能性完整	无需修复,功能完整

二级	关键构件的截面损失及承载能力折减不超过10%；主要构件的截面损失及承载能力折减不超过60%	区域交通受短暂影响	采用应急措施可很快恢复通行能力	只需轻微或简单修复，即可再次具有完全通行能力
三级	关键构件的截面损失及承载能力折减不超过20%；主要构件允许出现断裂，但不得发生连环破坏	区域交通受持续影响，并对社会经济造成一定损失	采用应急措施可以部分恢复甚至完全恢复通行能力	进行修复时需中断部分交通，修复完成后可恢复完整功能性
四级	关键构件的截面损失及承载能力折减不超过40%；主要构件出现连环破坏	区域交通受到严重影响，并对社会经济造成较大损失	采用应急措施无法恢复通行	修复困难，必须在中断交通的情况下大面积修复和构件替换，经修复结构功能也难以恢复到最初状态
五级	道路工程结构破坏或者完全丧失通行能力，无法继续使用	区域交通陷入瘫痪，并对社会经济造成严重损失	无法修复功能完全丧失无法通行	无法修复，若要恢复通行，必须重建

9.12.2 火灾作用对道路结构产生的冲击作用宜采用试验或数值模拟的方法获取。

条文说明：道路火灾的潜在危险源种类繁多，不同危险源可能引发的火灾规模及潜在破坏程度也存在巨大差异。因此，采用单一指标进行安全性评价是不够合理的。采用基于性能的设计理念，表 9.12.1 从结构损伤程度、对交通及社会经济的潜在影响、短期可修复性、长期可修复性等多个层面建立了桥梁结构火灾安全性评价的等级划分标准。

9.12.3 考虑汽车自燃及爆炸等作用形式时，应着重考虑其对所在道路交通安全状态的影响，包含不同车辆类别可能造成的火灾范围或爆炸当量等。

9.12.4 火灾作用安全性评价结果不满足现行规范要求时，应采取合理的性能提升策略。

## 9.13 危险品车辆事故作用

9.13.1 危险品车辆事故作用安全性评价应确定危险品车辆事故作用对道路结构安全及社会经济的影响程度、危险品车辆事故作用风险控制目标及管控措

施，其安全性状态评价可参照表 9.12.1 执行。

9.13.2 危险品车辆事故作用的安全性评价宜综合考虑危险品车辆事故可能引起的车辆撞击作用、火灾作用、爆炸作用和蓄意破坏作用等单一作用或组合作用。

9.13.3 危险品车辆事故作用安全性评价结果不满足现行规范要求时，应采取合理的性能提升策略。

#### 9.14 冲刷作用

9.14.1 冲刷作用对道路工程结构安全性的评价指标可按表 9.14.1 进行。

表 9.14.1 冲刷作用道路结构安全性的评价指标

等级	影响程度	总体描述
一级	无影响	完好
二级	轻微影响	边坡坡面出现轻微冲刷
三级	中等影响	边坡坡面出现冲沟，坡面防护出现坑洞、缺陷等
四级	较大影响	路基、边坡出现较严重冲刷，支挡物出现脱落、裂缝，边坡出现局部滑塌等的现象
五级	严重影响	路基出现大面积掏空，道路结构出现严重滑动、下沉、位移、倾斜等现象

条文说明：冲刷是流水侵蚀作用的结果，是降水或河流对路基、边坡、支挡等结构冲蚀淘刷的过程。在冲刷持续发展过程中会造成结构损伤甚至于破坏，道路结构整体稳定性受到影响。

9.14.2 在役道路工程结构在受冲刷作用时其安全性评价，应包含道路结构安全的影响程度、安全性评价控制目标及防治措施。

9.14.3 在役道路工程结构的冲刷作用安全性评价宜与水流作用、洪水作用等作用进行组合。

9.14.4 在役跨河、沿河道路结构的冲刷作用较为复杂时，宜进行相应的数值模拟及试验，结合现行规范规定进行安全性评价。

## 9.15 材料性能退化作用

9.15.1 新建道路的材料性能退化作用，应结合道路实际运营环境，通过耐久性试验或数值模拟手段评价材料性能退化作用对道路工程结构的使用性能、结构性能的影响效应。

9.15.2 已建、改扩建或经历安全事态后的道路工程结构或构件的材料性能退化作用应通过现场检测方法评价其对道路工程结构的承载能力的影响效应。

## 9.16 疲劳作用

9.16.1 疲劳作用下路面结构的安全性状态可按表 9.16.1 执行。

表 9.16.1 疲劳作用路面结构安全性的评价指标

等级	影响程度	沥青路面	
		总体描述	定量描述
一级	无影响	完好	PQI=100
二级	轻微影响	路面轻度损坏：路面出现轻微裂缝，表面细集料出现轻度松散；路面行驶质量良好，车辆行驶时人体稍有不舒适；路面抗滑性能良好	80<路面技术状况 PQI<99
三级	中等影响	路面中度损坏：路面出现中度裂缝、轻度波浪拥包、轻度车辙；路面行驶质量一般，车辆行驶时人体不舒适；路面抗滑性能一般	70<路面技术状况 PQI<80
四级	较大影响	路面重度损坏：路面出现重度裂缝、重度波浪拥包、重度车辙、局部沉陷；路面行驶质量较差，车辆行驶时人体非常不舒适；路面抗滑性能较差	60<路面技术状况 PQI<70
五级	严重影响	路面严重损坏：路面出现严重块状裂缝、严重车辙、严重沉陷；路面行驶质量较差，车辆行驶时人体极不舒适；路面抗滑性能极差	路面技术状况 PQI<60
等级	影响程度	水泥路面	
		总体描述	定量描述
一级	无影响	完好	PQI=100
二级	轻微影响	路面轻度损坏：路面出现未贯通的轻微裂缝，接缝料老化，但未被砂、石、土等堵塞；路面行驶质量良好，车辆行驶时人体稍有不舒适；路面抗滑性能良好	80<路面技术状况 PQI<99
三级	中等影响	路面中度损坏：路面出现中度的轻微裂缝，接缝料被杂物堵塞，板角轻度断裂；路面行驶质量一般，车辆行驶时人体不舒适；路面抗滑性能一般	70<路面技术状况 PQI<80

四级	较大影响	路面重度损坏：路面出现中度裂缝，接缝料被杂物堵塞，板角轻度断裂，板间出现轻度错台；路面行驶质量较差，车辆行驶时人体非常不舒适；路面抗滑性能较差	60<路面技术状况 PQI<70
五级	严重影响	路面严重损坏：路面出现重度裂缝，路面板严重破碎，板间出现重度错台；路面行驶质量极差，车辆行驶时人体极不舒适；路面抗滑性能极差	路面技术状况 PQI<60

注：路面技术状况指数 PQI 应按公式 9.16.1 进行计算。

$$PQI = w_{PCI}PCI + w_{RQI}RQI + w_{RDI}RDI + w_{PBI}PBI + w_{PWI}PWI + w_{SRI}SRI + w_{PSSI}PSSI \quad (9.16.1)$$

式中，PCI 为路面损坏状况指数；RQI 为路面行驶质量指数；RDI 为路面车辙深度指数；PBI 为路面跳车指数；PWI 为路面磨耗指数；SRI 为路面抗滑性能指数；PSSI 为路面结构强度指数； $w_{PCI}$ 、 $w_{RQI}$ 、 $w_{RDI}$ 、 $w_{PBI}$ 、 $w_{PWI}$ 、 $w_{SRI}$ 、 $w_{PSSI}$  为各项指标的权重。各项指标及其权重的取值和计算方法应按《公路技术状况评定标准》(JTG 5210) 的规定。

9.16.2 受重复车辆荷载作用的水泥混凝土路面与沥青路面应按其设计交通量开展疲劳验算，并根据路面结构组合不同选择相应的验算指标。

9.16.3 水泥混凝土路面应按《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)，根据其结构组合确定相应验算层位。

9.16.4 沥青路面应按《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)，根据其结构组合确定相应验算层位。

## 9.17 工程施工作用

9.17.1 工程施工作用下道路工程结构安全性状态可根据路基路面的状态按表 9.17.1 确定安全性状态。

表 9.17.1 工程施工作用对道路工程结构安全性状态等级

状态等级	承载能力安全性	使用能力安全性
一级	承载力无影响	可正常使用
二级	承载力影响小，路基和路面强度基本不变	可正常使用，未出现明显病害，安全性能几乎不受影响

三级	承载能力受到影响，路基和路面强度下降	使用能力受到影响，路面出现裂缝等小规模病害，行车会出现不适感
四级	承载能力受到严重影响，路基和路面强度大大降低	使用能力大幅下降，出现坍塌、滑移、路基沉陷、扭曲等严重病害，行车会产生危险
五级	丧失承载能力、路基和路面结构破坏或失稳	路基断面大部分沉陷、垮塌，车辆无法通行

9.17.2 工程施工作用对道路的安全性能影响很大。新的工程施工活动会对既有道路工程结构造成破坏，进而影响路基路面的变形和稳定。

条文说明：工程施工作用有道路改扩建、上跨桥梁等、水利灌渠、地下开采、下穿隧道、下穿管涵等。工程施工活动应符合《高速公路改扩建设计规范》(DG/TJ 08-2174)、《公路工程施工安全技术规范》(JTGF90)、地方涉路工程技术规范等有关规定。

9.17.3 人类的涉路工程活动，如下穿道路的施工建设等，造成路基自身稳定性的衰减，引起较轻变形等局部问题。

条文说明：《涉路工程安全评价规范 DB34-T2395》规定了相关涉路工程的安全评价指标及具体要求，在因受空间限制等原因而难以达到规范规定时，应对涉路工程具体干扰程度下的路基正常使用安全极限（整体稳定性）进行重点分析与评价，使其基本稳定且不影响正常行车。

9.17.4 对于危险性较大可能对道路结构产生严重破坏的工程，需编制专项施工方案或进行专家论证审查。

条文说明：《公路工程施工安全技术规范》(JTGF90)规定了危险性较大的工程分类和施工工况。

9.17.5 道路施工安全保护区范围内禁止地下开采，挖填土活动。

9.17.6 工程施工作用的安全性评价结果不满足现行规范要求时，应采取合理的性能提升策略。

## 9.18 爆炸作用

9.18.1 爆炸作用下道路结构的安全性状态等级可按表 9.18.1 执行。

表 9.18.1 爆炸作用下道路工程结构安全性状态等级

状态等级	承载能力安全性	交通功能和道路可修复性
一级	损伤程度较小，损伤主要发生于路面面层，道路结构整体正常，道路承载能力满足要求	交通基本无影响，路面面层经简单修复即可开放通行
二级	损伤程度小，路面可能产生局部破裂、沉陷，路面基层可能产生破坏，道路整体结构略微损伤，道路承载能力降低尚且满足要求	交通影响较大，需根据实际情况对路面进行改造或加铺方可开放通行
三级	损伤程度中等，路面结构整体受到损伤，路基和支挡结构尚能保持完整性，道路承载能力需进行验算	区域交通受影响，路面结构和路基需要通过验算后进行修复工程
四级	损伤程度较大，路面整体结构破坏，路基和支挡结构出现损伤但尚未失稳，道路失去承载能力	区域交通受到严重影响，并对社会经济造成较大损失，区域道路需要重建
五级	完全损伤，路面结构完全破坏、路基和支挡结构破坏失稳，道路完全失去承载能力	区域交通陷入瘫痪，并对社会经济造成严重损失，区域道路需要重建

9.18.2 爆破作用安全性评价应确定爆破作用对道路结构安全及社会经济的影响程度、爆破作用风险控制目标及管控措施。

9.18.3 爆破作用对道路结构产生的冲击作用宜采用试验或数值模拟的方法获取。

9.18.4 爆破作用安全性评价结果不满足现行规范要求时，应采取合理的性能提升策略。

## 9.19 蓄意破坏作用

9.19.1 蓄意破坏作用发生时，道路结构的安全性状态等级可按表 9.19.1 执行。

表 9.19.1 蓄意破坏作用对道路工程运营安全性状态等级

状态等级	交通运营安全性	交通功能和道路设施可修复性
一级	不影响交通运营安全	交通功能完整，道路设施未发生损坏
二级	略微影响交通运营安全	交通功能较完整，道路设施经简单修复即可完全恢复功能
三级	影响交通运营安全	需短暂关闭交通，道路设施需根据情况进行抢修

四级	严重影响交通运营安全	需长时间关闭交通，道路及设施需要进行大规模维修工程
五级	丧失交通运营能力	道路及设施完全毁坏，需要重建

9.19.2 蓄意破坏作用安全性评价应确定蓄意破坏作用对道路结构安全及社会经济的影响程度、蓄意破坏作用风险控制目标及管控措施。

9.19.3 道路结构应避免人为窃取、损毁导致重要附属设施失效等人为活动引起的交通安全，必要时可在重要路段加强监控和巡查。

9.19.4 蓄意破坏作用安全性评价结果不满足现行规范要求时，应采取合理的性能提升策略。

## 9.20 灾后性能保持与提升

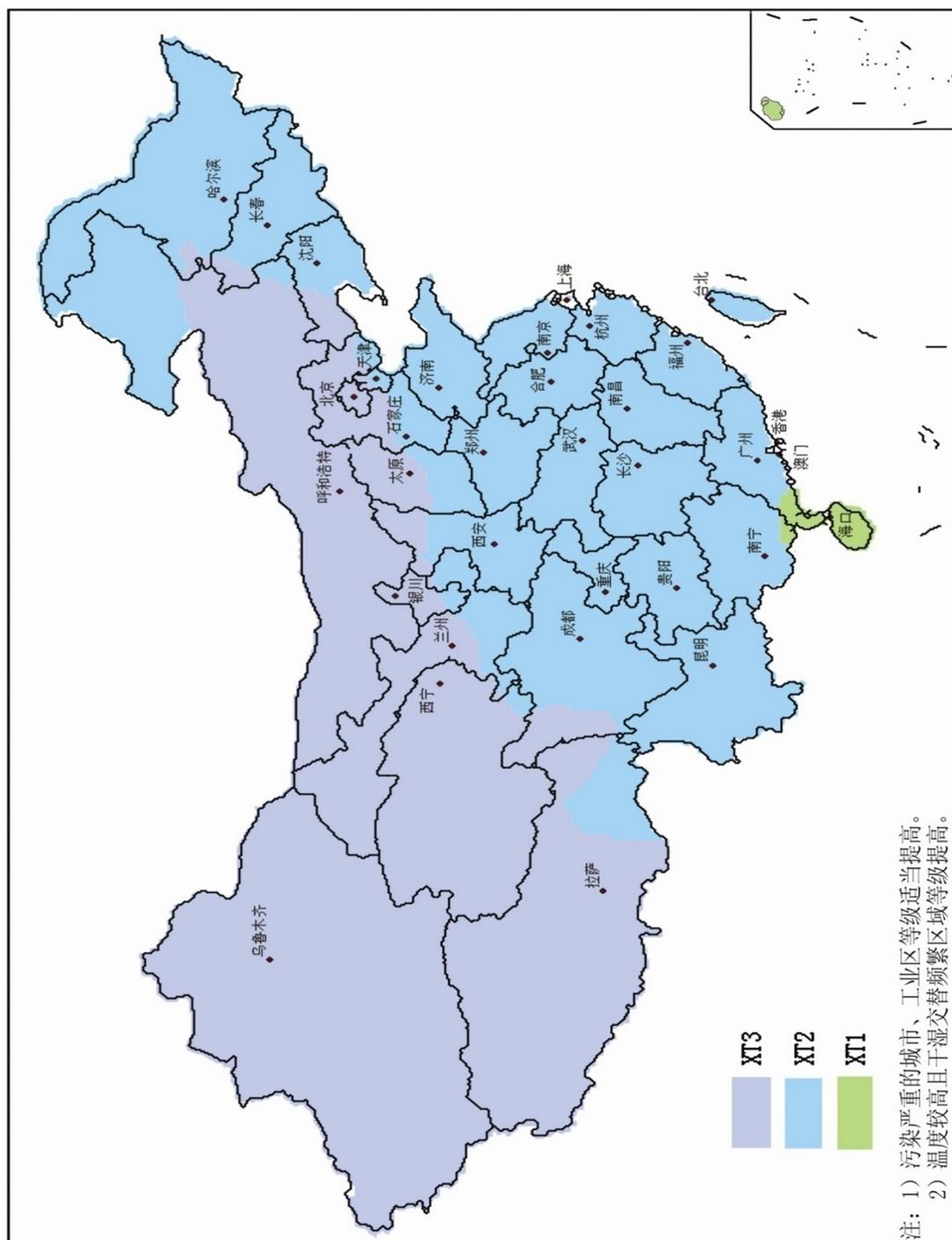
9.20.1 在役道路运营期间发生各类极端作用后，应开展灾后性能评估并制定系统的性能保持与提升措施。

9.20.2 灾后性能评估完成前，不宜对外开放交通运输功能。

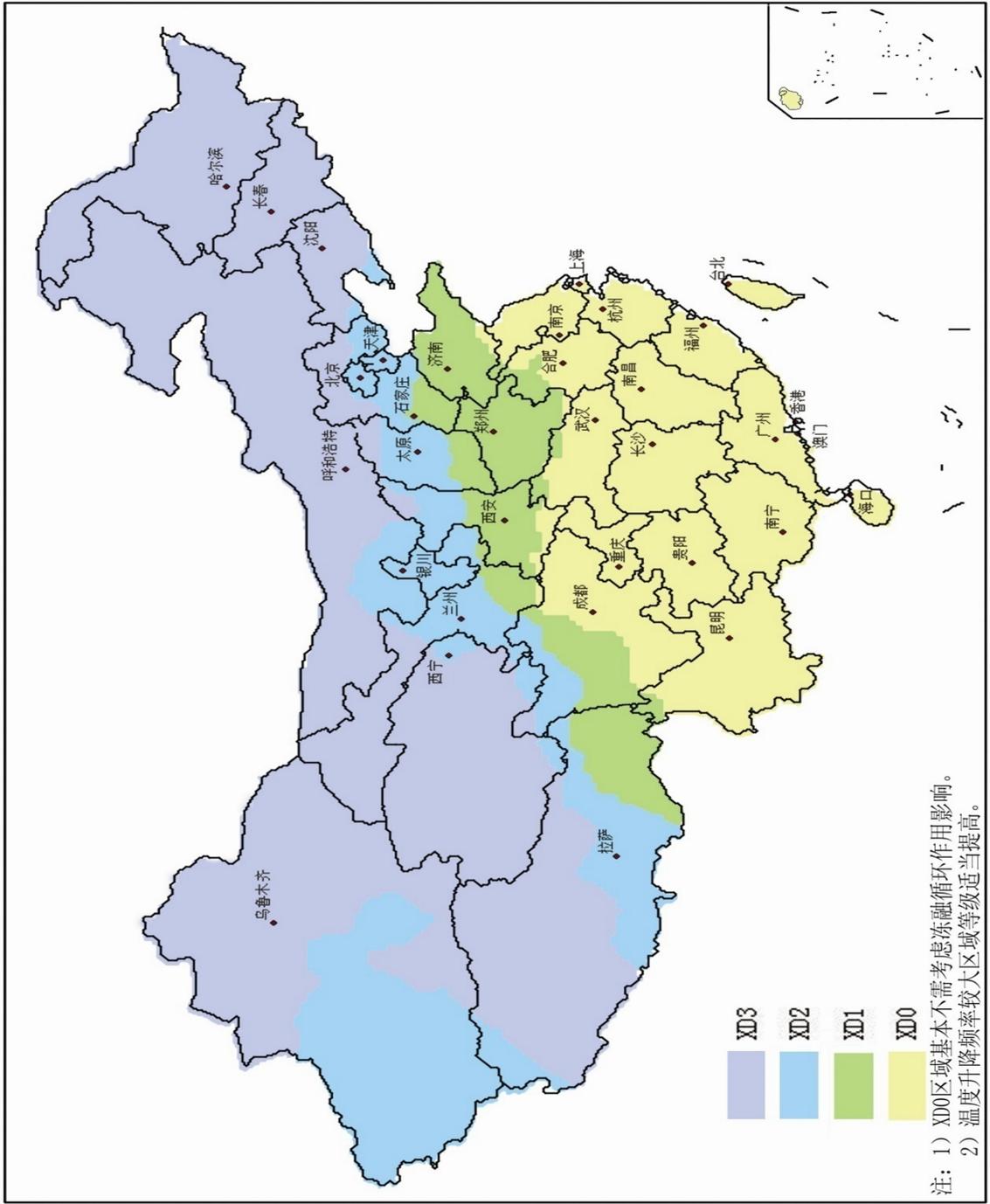
9.20.3 灾后性能评估可参考本章各类极端作用下的道路结构安全性评价指标，结合现行《公路技术状况评定标准》（JTG 5210）的相关规定执行。

9.20.4 对道路结构性能产生严重影响的特大灾害作用，灾后性能的保持与提升宜通过成立专家组的形式进行评定。

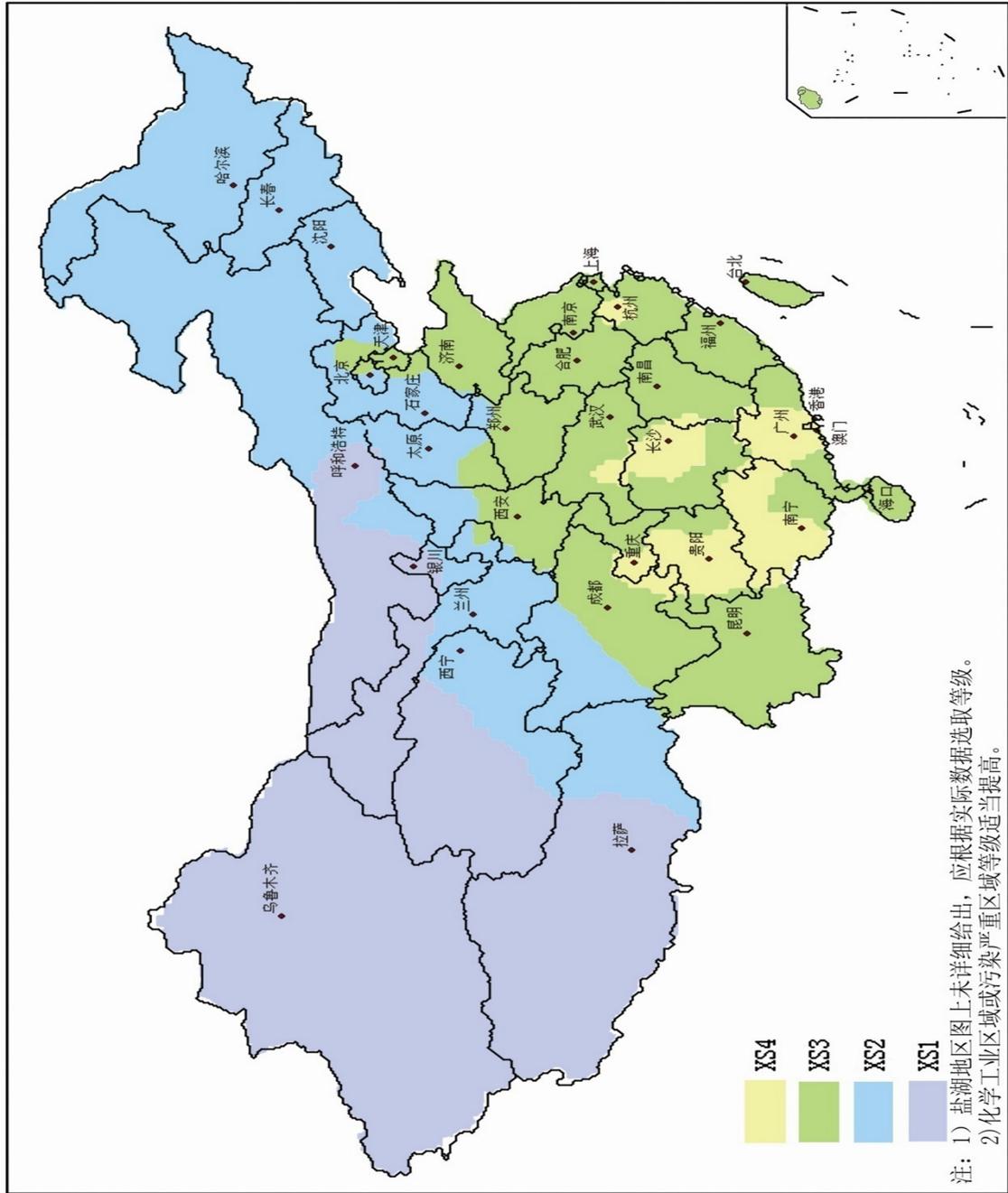
## 10. 附录 A 耐久性区划



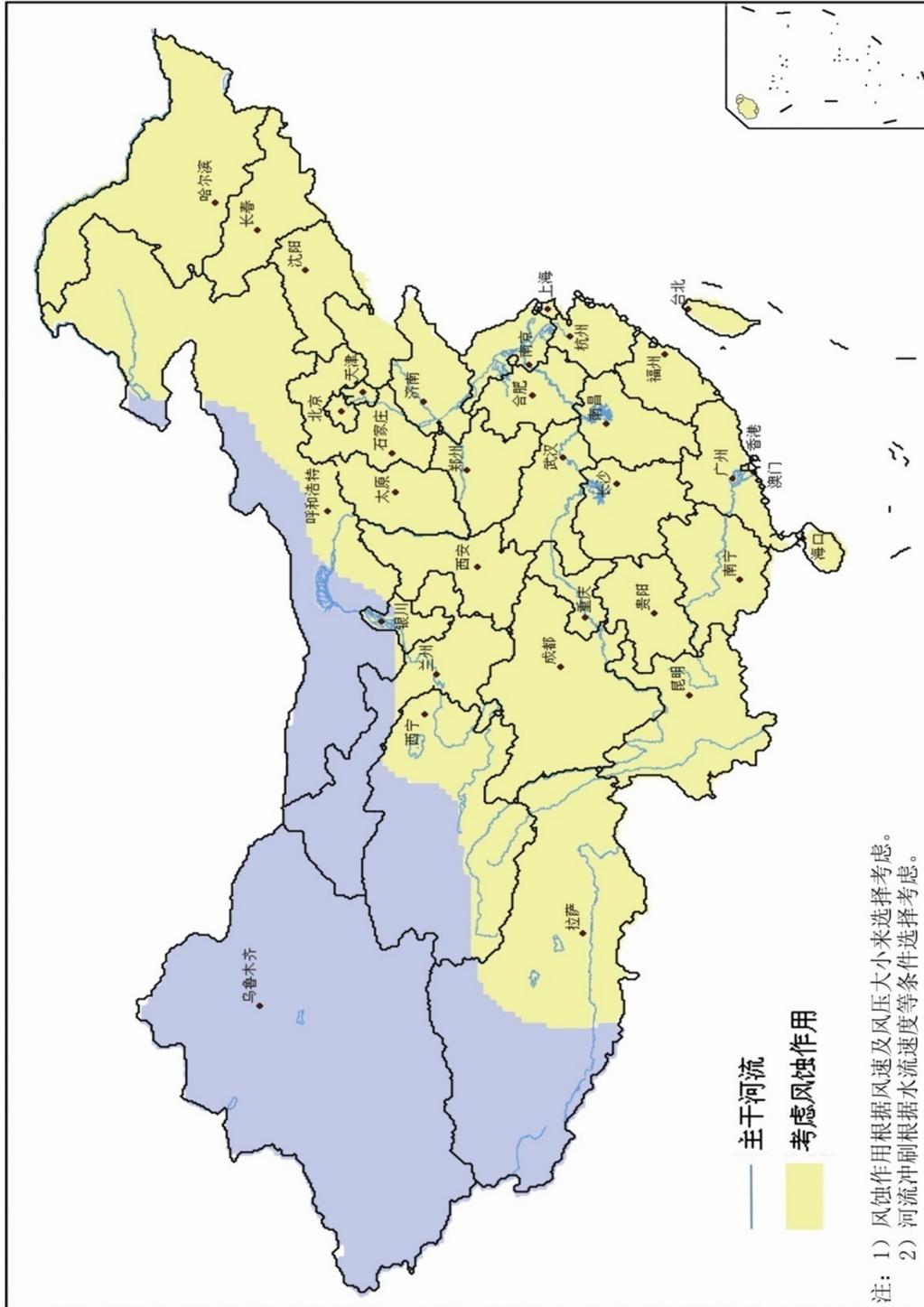
混凝土桥梁碳化环境等级划分图



混凝土桥梁冻融循环环境等级划分图



混凝土桥梁硫酸盐腐蚀环境等级划分图



混凝土桥梁磨蚀环境等级划分图