



T/CECS××: 20××

中国工程建设标准化协会标准

高速铁路基础设施预防养护技术规程

Technical specification for preventive maintenance of high-speed railway
infrastructure

××出版

中国工程建设标准化协会标准
高速铁路基础设施预防养护技术规程
Technical specification for preventive maintenance of high-speed railway
infrastructure

T/CECS 1XXX—202X

主编单位：中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所
批准单位：中国工程建设标准化协会
施行日期：202X 年 X 月 X 日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发≤2023 年第二批协会标准制订、修订计划≥的通知》（建标协字〔2023〕40 号）有关要求，编制组经深入调查研究，开展验证性试验，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 7 章，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、轨道、路基、桥涵、隧道。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所负责具体技术内容的解释。实施过程中如有意见或建议，请将意见和资料反馈至中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所（地址：北京市海淀区大柳树路 2 号；邮政编码：100081）。

主编单位：中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所

参编单位：北京铁科建筑科技有限公司、北京铁科特种工程技术有限公司、中国铁路经济规划研究院有限公司、深圳大学、中南大学、山东大学、石家庄铁道大学、北京交通大学、中国铁路设计集团有限公司、中国铁路武汉局集团有限公司、中国铁路乌鲁木齐局集团有限公司。

主要起草人：

主要审查人：

目 次

目 次	1
1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	2
3 基本规定	4
4 轨道	5
4.1 典型缺陷分级	5
4.2 预防养护对策	6
5 路基	8
5.1 典型缺陷分级	8
5.2 预防养护对策	9
6 桥涵	11
6.1 典型缺陷分级	11
6.2 预防养护对策	12
7 隧道	14
7.1 典型缺陷分级	14
7.2 预防养护对策	15
用词说明	16
引用标准名录	17
附：条文说明	18

Contents

1 General provisions	1
2 Terms and symbols.....	2
2.1 Terms	2
2.2 symbols	2
3 Basic requirement	4
4 Track.....	5
4.1 Typical defect grading.....	5
4.2 Preventive maintenance measures	6
5 Earth structure	8
5.1 Typical defect grading.....	8
5.2 Preventive maintenance measures	9
6 Bridge.....	11
6.1 Typical defect grading.....	11
6.2 Preventive maintenance measures	12
7 Tunnel.....	14
7.1 Typical defect grading.....	14
7.2 Preventive maintenance measures	15
Explanation of wording in this specification	16
List of quoted standards.....	17
Addition: Explanation of provisions	18

1 总则

1.0.1 为规范高速铁路路基预防养护工作，提高基础设施耐久性，保障列车安全、平稳、不间断运行，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于高速铁路无砟轨道、路基、桥涵、隧道典型病害的预防养护。

1.0.3 高速铁路基础设施预防养护应贯彻“预防为主、防治结合”原则，优先采用经济高效、绿色环保的养护技术。

1.0.4 高速铁路基础设施预防养护应积极采用新技术、新工艺、新材料、新设备，采用重大技术创新应经试验验证。

1.0.5 高速铁路基础设施预防养护除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 预防养护 preventive maintenance

在高速铁路基础设施整体性能良好，出现轻微病害时，为延缓性能过快衰减采取的主动性养护措施。

2.1.2 轨道层间离缝 track interlayer gap

轨道层间离缝是无砟道床结构层间因粘结失效所产生的缝隙。

2.1.3 宽窄接缝缺损 wide and narrow joints defect

CRTS II型板式无砟轨道中，位于相邻两块轨道板之间、用于实现结构纵向连续的T形后浇带混凝土局部缺失，掉块。

2.1.4 道床粉化 ballastless track pulverization

无砟道床混凝土起砂、露石、剥落等。

2.1.5 路基翻浆冒泥 mud pumping

在排水不良地段，列车反复振动作用下，使基床发生软化或触变、液化，形成泥浆的病害。

2.1.6 路基不均匀沉降 uneven settlement of earth structure

由于填料不均、地基处理方式不同或复合地基结构的差异，在列车振动荷载及水的共同作用下，引起的路基局部不均匀下沉。

2.1.7 路基冻胀 frost heave deformation of earth structure

路基在土质、水、温度的不利组合下，出现不均匀冻胀，导致轨道几何尺寸变化。

2.1.8 路基容许变坡率 permissible slope rate of earth structure

评价路基不均匀沉降的纵向坡度变化阈值（%）。

2.1.9 路基冻胀量时间比 frost heave time ratio of earth structure

冻胀量与时间平方根的比值（ $\text{mm}/\text{h}^{0.5}$ ），用于量化冻胀严重程度。

2.2 符号

S	—— 路基翻浆冒泥指数；
θ	—— 路基不均匀沉降纵向折角；
R	—— 路基冻胀指数，冻胀量与时间平方根的比值；
R^r	—— 桥梁拉索实际抗力允许值；
S_G^d	—— 恒载的设计荷载效应；
S_Q^d	—— 列车活载的设计荷载效应；
S_G^r	—— 恒载的实际荷载效应；
S_Q^r	—— 列车活载的实际荷载效应；

l —— 衬砌裂缝长度;
 ω —— 衬砌裂缝宽度;
 kl —— 衬砌背后脱空区段连续测线长度;
 H —— 衬砌空洞径向高度

3 基本规定

3.0.1 高速铁路基础设施预防性养护应在结构没有发生明显损坏或仅有轻微病害、病害迹象，结构状况尚满足功能要求的情况下对结构进行有计划的主动性养护。

3.0.2 高速铁路基础设施预防性养护应以结构安全为中心，减少服役性能衰减，防止或延缓结构病害的发生和发展，延长使用寿命，降低全寿命周期内养护成本，实现“安全、耐久、经济、绿色”的预防性养护目标。

3.0.3 高速铁路基础设施预防性养护应以结构技术状况和病害程度为基准，制定适宜预防性养护的时机和对策，实现基础设施预防性养护的科学化、规范化和制度化。

3.0.4 高速铁路基础设施预防性养护应按下列流程开展：

- 1 预防性养护检测；
- 2 结构状态评定；
- 3 确定预防性养护对策；
- 4 预防性养护实施。

4 轨道

4.1 典型缺陷分级

4.1.1 轨道结构典型缺陷包括轨道层间离缝、宽窄接缝缺损和道床粉化。

4.1.2 轨道层间离缝缺陷等级应根据离缝宽度、深度、长度、面积按表 4.1.2 分为 A（严重）、B（中等）、C（轻微）三级。

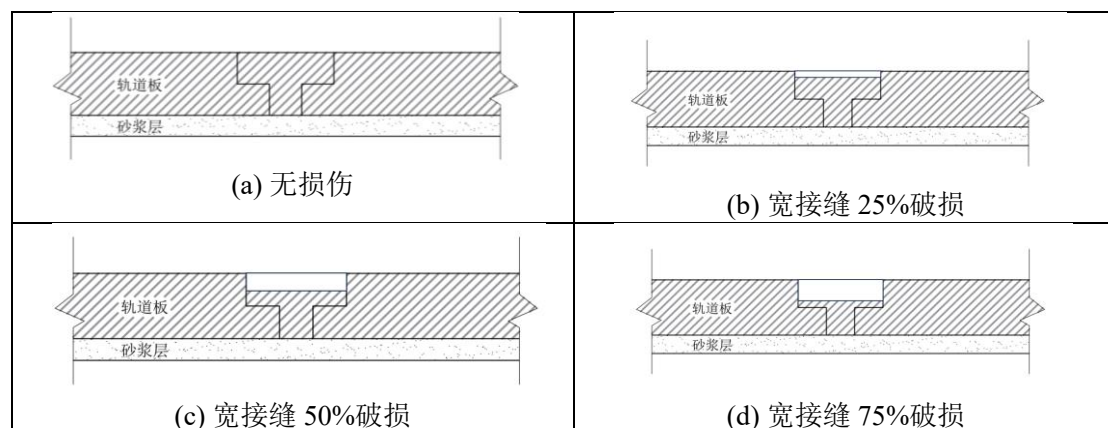
表 4.1.2 轨道层间离缝预防性养护等级评定表

缺陷等级	CRTS I型板			CRTS II型板		CRTS III型板			CRTS 双块式
	水泥乳化沥青砂浆充填层			水泥乳化沥青砂浆充填层		自密实混凝土层			轨枕与道床界面
	宽度 mm	深度 mm	长度 mm	宽度 mm	面积比 %	宽度 mm	深度 mm	长度 mm	宽度 mm
A	2.0	100	800	2.0	50	1.5	100	300	0.5
B	1.5	50	200	1.5	30	1.0	50	100	0.3
C	1.0	30	100	1.0	20	0.5	30	50	0.2

4.1.3 宽窄接缝缺损缺陷等级应根据缺损程度按表 4.1.3 分为 A（严重）、B（中等）、C（轻微）三级，缺损程度应符合图 4.1.3 的规定。

表 4.1.3 宽窄接缝缺损等级评定表

缺陷等级	宽接缝	窄接缝
	破损程度(体积比%)	
A（严重）	75	75
B（中等）	50	50
C（轻微）	25	25



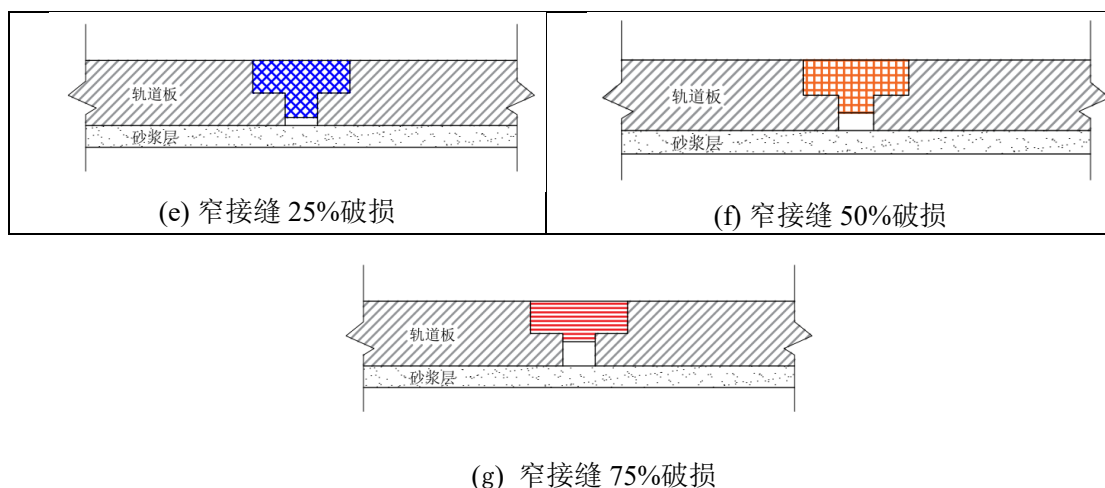


图 4.1.3 宽窄接缝缺损示意图

4.1.4 道床粉化缺陷等级应按照粉化深度、外观状态按表 4.1.4 分为 A（严重）、B（轻微）两级。

表 4.1.4 道床粉化预防性养护等级评定表

缺陷等级	道床粉化等级评定
A	a) 混凝土粉化深度超过 20mm 或达钢筋表面； b) 混凝土抗压强度低于设计值
B	表面开始粉化，混凝土骨料外露

4.2 预防养护对策

4.2.1 不同缺陷等级的层间离缝预防养护对策可按表 4.2.1 选择。

表 4.2.1 层间离缝预防性养护对策

养护对策	层间离缝缺陷等级		
	A	B	C
表面封闭	√	√	△
低压注浆	√	△	×
柔性填充	√	√	△

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

4.2.2 不同缺陷等级的宽窄接缝缺损预防养护对策可按表 4.2.2 选择。

表 4.2.2 宽窄接缝缺损预防性养护对策

养护对策	宽窄接缝缺陷等级		
	A	B	C
低压注浆	√	△	△
树脂填充	√	√	△
反射涂料	√	√	△

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

4.2.3 不同缺陷等级的道床粉化预防养护对策可按表 4.2.3 选择。

表 4.2.3 道床粉化预防性养护对策

养护对策	道床粉化缺陷等级	
	A	B
表面渗透防护	√	√
混凝土更换	√	△

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

5 路基

5.1 典型缺陷分级

5.1.1 路基典型缺陷包括翻浆冒泥、不均匀沉降、路基冻胀。

5.1.2 路基翻浆冒泥缺陷等级可根据基床类型、翻浆冒泥深度、长度、周期等按表 5.1.2 划分为三级。

表 5.1.2 有砟轨道翻浆冒泥缺陷等级划分

缺陷等级	翻浆冒泥指数 S
A（严重）	>0.5
B（中等）	$0.1\sim0.5$
C（轻微）	<0.1

注：1 $S=a/50+b/10$ ；

2 a 为翻浆冒泥病害总长度，单位为米；b 为翻浆冒泥病害数量，单位为处。

5.1.3 设计时速超过 250 km/h 的无砟轨道路基翻浆冒泥缺陷等级可按表 5.1.3 确定。

表 5.1.3 无砟轨道翻浆冒泥缺陷等级划分

缺陷等级	点位数
A（严重）	>1

5.1.4 有砟轨道路基不均匀沉降缺陷等级评定可根据路基沉降观测点的沉降速率和相邻观测点间所产生的差异性沉降，按表 5.1.4 划分。

表 5.1.4 有砟轨道不均匀沉降缺陷等级划分

缺陷等级	年沉降量（mm）	差异沉降（mm）
A（严重）	>40	>12
B（中等）	$20\sim40$	$4\sim12$
C（轻微）	<20	$0\sim4$

注：1 差异沉降指的是 10m 弦测得的最大高差值；

2 对于设计时速 200km/h 及以下客运铁路线，表中的限值无需乘以折减系数；

3 对于设计时速大于 200km/h 小于 250km/h 的客运铁路线，表中的限值应乘以折减系数 0.7；

4 对于设计时速大于 250km/h 小于 350km/h 的客运铁路线，表中限值应乘以折减系数 0.5。

5.1.5 无砟轨道路基不均匀沉降缺陷等级分为一般地段和过渡段，可根据纵向折角和差异沉降按表 5.1.5 划分为三级。

表 5.1.5 无砟轨道路基不均匀沉降等级划分

缺陷等级	一般路段		过渡段	
	纵向折角 (‰)	差异沉降 (mm)	纵向折角 (‰)	差异沉降 (mm)
A (严重)	>2	>15	>1	>5
B (中等)	0.5~	8~15	0.5~1	1~5
C (轻微)	<0.5	<8	<0.5	<1

注：1 差异沉降指的是 10m 弦测得的最大高差；

2 纵向折角 $\theta = \Delta h/L$ ，h 为观测点间的沉降值，L 为相邻观测点间直线距离。

5.1.6 路基冻胀缺陷等级可根据冻胀发展速率按表 5.1.6 划分为三级。

表 5.1.6 冻胀缺陷等级划分

缺陷等级	冻胀指数 $R^{[2]}$ (mm/h ^{0.5})
A (严重)	>1.18
B (中等)	0.21~1.18
C (轻微)	<0.21

注：1 路基冻胀指数 R 等于冻胀量与时间平方根的比值；

2 对于无砟轨道，上表的分级阈值无需乘以折减系数；

3 对于有砟轨道，上表分级指标限值取系数 2.0 进行放大。

5.2 预防养护对策

5.2.1 不同等级翻浆冒泥病害的预防养护对策可按表 5.2.1 选择。

表 5.2.1 翻浆冒泥养护对策

养护对策	翻浆冒泥等级		
	A	B	C
加强排水	△	√	√
局部换填	√	△	△
加强监测	△	△	√
定期巡检	△	△	√

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

5.2.2 不同等级不均匀沉降病害的预防养护对策可按表 5.2.2 选择。

表 5.2.2 不均匀沉降养护对策

养护对策	不均匀沉降等级		
	A	B	C
加强排水	△	√	√
局部换填	√	△	△
注浆	√	△	△
加强监测	△	△	√
定期巡检	△	△	√

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

5.2.3 不同等级冻胀病害的预防养护对策可按表 5.2.3 选择。

表 5.2.3 冻胀养护对策

养护对策	冻胀等级		
	A	B	C
加强排水	△	√	√
局部换填	√	△	△
注浆	√	△	△
垫板预垫/预拆	△	△	√
加强监测	△	△	√
路基保温	△	√	√
撒盐	√	√	√
定期巡检	△	△	√

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

6 桥涵

6.1 典型缺陷分级

6.1.1 桥梁典型缺陷包括桥梁墩台变位、桥梁拉索损伤、钢结构防护涂层劣化。

6.1.2 桥梁墩台不均匀沉降等级可根据上部轨道结构类型及沉降量按表 6.1.2 划分为 A、B、C 三级。

表 6.1.2 简支梁桥的墩台沉降等级划分

缺陷等级	桥上轨道类型	沉降量 (mm)
A 级 (严重)	有砟轨道	>15
	无砟轨道	>5
B 级 (中等)	有砟轨道	$10\sim15$
	无砟轨道	$3\sim5$
C 级 (轻微)	有砟轨道	<10
	无砟轨道	<3

6.1.3 桥梁拉索损伤缺陷等级可按表 6.1.3 划分为 A、B、C 三级。

表 6.1.3 桥梁拉索损伤等级划分

缺陷等级	损伤程度
A 级 (严重)	$S_G^r + S_Q^r > R^r$
B 级 (中等)	$R^r > S_G^r + S_Q^r > S_G^d + S_Q^d$
C 级 (轻微)	$S_G^d + S_Q^d > R^r > S_G^r + S_Q^r$

注：1 R^r 为拉索实际抗力允许值；

2 S_G^d 和 S_Q^d 分别为恒载和列车活载的设计荷载效应；

3 S_G^r 和 S_Q^r 分别为恒载和列车活载的实际荷载效应。

6.1.4 桥梁钢结构防护涂层根据涂层厚度、附着力和涂层劣化情况可按表 6.1.4 划分为 A、B、C 三级。

表 6.1.4 钢结构防护涂层劣化等级划分

缺陷等级	劣化程度
A 级（严重）	符合下列条件之一时： （1）出现等级 ≥ 4 的大范围严重粉化且底涂层失效； （2）起泡、开裂、脱落累计面积 $>$ 构件面积的 30%； （3）锈蚀面积 $>$ 构件面积的 15%； （4）涂层干膜厚度或附着力 $<$ 设计值的 50%。
B 级（中等）	符合下列条件之一时： （1）出现等级 ≥ 4 的严重粉化； （2）起泡、开裂、脱落累计面积 $\leq$ 构件面积的 30%且 $>$ 构件面积的 3%； （3）锈蚀面积 $\leq$ 构件面积的 15%且 $>$ 构件面积的 1%； （4）涂层干膜厚度或附着力 $\geq$ 设计值的 50%且 $<$ 设计值的 75%。
C 级（轻微）	符合下列条件之一时： （1）出现轻微粉化 2~3 级或变色失光现象 ≥ 3 级； （2）出现起泡、开裂、脱落现象，且累计面积 $\leq$ 构件面积的 3%； （3）出现锈蚀现象，且锈蚀面积 $\leq$ 构件面积的 1%； （4）涂层干膜厚度或附着力 $\geq$ 设计值的 75%且 $<$ 设计值的 90%。

6.2 预防养护对策

6.2.1 不同等级桥墩沉降病害的预防养护对策可按表 6.2.1 选择。

表 6.2.1 桥墩沉降养护对策

养护对策	桥墩沉降等级		
	A	B	C
更换加固	√	△	×
顶升纠偏	√	√	△
加强监测	√	√	△

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

6.2.2 不同等级桥梁拉索损伤病害的预防养护对策可按表 6.2.2 选择。

表 6.2.2 桥梁拉索损伤养护对策

养护对策	桥梁拉索损伤等级		
	A	B	C
耐久性养护	√	√	△
更换加固	√	△	×
加强监测	√	√	△

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

6.2.3 不同等级钢结构涂层劣化病害的预防养护对策可按表 6.2.3 选择。

表 6.2.3 钢结构涂层劣化养护对策

养护对策	钢结构涂层劣化等级		
	A	B	C
重新涂装	√	×	×
维修涂装	△	△	×
修补涂装	×	√	△
局部临时防护	×	△	√
加强监测	√	√	△

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

7 隧道

7.1 典型缺陷分级

7.1.1 隧道典型缺陷包括衬砌开裂、衬砌渗漏水、衬砌脱空。

7.1.2 隧道衬砌开裂缺陷等级根据裂缝长度、宽度等可按表 7.1.1 划分为 A、B、C 三级。

表 7.1.1 衬砌开裂缺陷等级划分

缺陷等级	劣化程度
A (严重)	符合下列条件之一时： (1) 裂纹呈现网状； (2) $5m > l \geq 3m$ ，且 $5mm \geq \omega \geq 3mm$ ； (3) 裂缝有发展趋势。
B (中等)	符合下列条件之一时： (1) $l < 3m$ 且 $\omega < 3mm$ ； (2) 裂缝无发展趋势。
C (轻微)	一般龟裂。

注：l 为裂缝长度， ω 为裂缝宽度。

7.1.3 隧道衬砌渗漏水缺陷等级根据漏水程度可按表 7.1.3 划分为 A、B、C 三级。

表 7.1.3 衬砌渗漏水缺陷等级划分

缺陷等级	劣化程度
A (严重)	符合下列条件之一时： (1) 拱部滴水、漏泥成线； (2) 隧底排水不畅导致隧底翻浆冒泥； (3) 严寒地区拱部滴水、漏水成线。
B (较重)	符合下列条件之一时： (1) 滴水、漏水、渗水至道床聚集； (2) 渗漏水导致隧道结构状态恶化。
C (轻微)	局部渗漏水或溢水，对列车运行安全无威胁。

7.1.4 隧道衬砌脱空缺陷等级根据脱空范围可按表 7.1.4 划分为 A、B、C 三级。

表 7.1.4 衬砌脱空缺陷等级划分

缺陷等级	劣化程度
A (严重)	符合下列条件之一时： (1) $5m \geq kl > 3m$ ； (2) $0.5m \geq H > 0.1m$ 。
B (较重)	符合下列条件之一时： (1) $3m \geq kl > 1m$ ； (2) $0.1m \geq H > 0.05m$ 。
C (轻微)	符合下列条件之一时： (1) $1m \geq kl > 0m$ ； (2) $0.05m \geq H > 0m$ 。

注：kl 为衬砌背后脱空区段连续测线长度，H 为衬砌空洞径向高度。

7.2 预防养护对策

7.2.1 不同等级隧道衬砌开裂病害的预防养护对策可按表 7.2.1 选择。

表 7.2.1 隧道衬砌开裂养护对策

隧道缺陷类型	衬砌开裂		
缺陷等级	A	B	C
裂缝注浆修补	△	√	√
粘贴钢板+骑缝锚杆	△	√	√
钢拱架支撑	√	△	×
加强监测	√	√	√

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

7.2.2 不同等级隧道衬砌渗漏水病害的预防养护对策可按表 7.2.2 选择。

表 7.2.2 隧道衬砌渗漏水养护对策

隧道缺陷类型	衬砌渗漏水		
缺陷等级	A	B	C
封缝注浆	△	√	√
凿槽引排	△	△	√
围岩注浆	√	△	×
加强监测	√	√	√

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

7.2.3 不同等级隧道衬砌脱空病害的预防养护对策可按表 7.2.3 选择。

表 7.2.3 隧道衬砌脱空养护对策

隧道缺陷类型	衬砌脱空		
缺陷等级	A	B	C
注浆填充	△	√	√
衬砌局部置换	△	√	△
整体套衬	√	×	×
加强监测	√	√	√

注：√—适用，△—可用，×—不适用。

用词说明

为便于在执行本规程条款时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的：

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：

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：

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”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

《高速铁路线路维修规则》TG/GW 115-2023

《铁路混凝土结构耐久性修补及防护》TB/T 3228-2010

《高速铁路路基修理规则》TG/GW 120-2015

《高速铁路桥隧建筑物修理规则（试行）》铁运〔2011〕131号

《铁路桥隧建筑物劣化评定 第2部分：隧道》Q/CR 405.2-2019

《铁路桥梁钢结构及构建保护涂装与涂料 第1部分：钢梁》Q/CR 749.1-2020

《高速铁路无砟道床伤损修补》Q/CR 802-2020 及其第1号修改单（Q/CR 802—2020XG1—2025）

《高速铁路无砟道床伤损评定》Q/CR 803-2020 及其第1号修改单（Q/CR 803—2020XG1—2025）

《桥梁钢结构防腐蚀设计及保护技术标准》T/CSCS 0014-2021

《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722-2023

《高速公路桥涵预防性养护技术规范》DB13T5056-2019

《色漆和清漆 涂层老化的评级方法》GB/T 1766-2008

中国工程建设标准化协会标准

高速铁路基础设施预防养护技术规程

T/CECS1XXX—202X

条文说明

制定说明

本规程制定过程中，编制组总结了我国高速铁路基础设施修复技术相关实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过研究无砟轨道、路基、桥梁、隧道典型缺陷的劣化规律和修复技术，确定了高速铁路基础设施典型缺陷的病害分级和养护对策。本规程的编制遵循了可操作性强、与现行相关标准相协调、安全可靠、技术先进的总体原则。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《高速铁路基础设施预防养护技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与规程正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

条文说明 18

制定说明 19

目 次 20

4 轨道 21

 4.1 典型缺陷分级 21

5 路基 23

 5.1 典型缺陷分级 23

6 桥涵 25

 6.1 典型缺陷分级 25

7 隧道 27

 7.1 典型缺陷分级 27

4 轨道

4.1 典型缺陷分级

4.1.2 无砟轨道层间离缝分级依据

高速铁路无砟轨道线路维修规则规定了无砟道床离缝的伤损两级分级，如下表所示。课题组在此基础上进一步考虑病害预防性养护，提出了伤损三级分级，并经过不同离缝损伤程度工况的仿真计算，获得了轨道结构的温度、位移与应力响应。综合分析温度、位移与应力结果表明，A级损伤下的轨道结构响应最为显著，严重影响了行车安全；B级损伤次之，C级损伤最小。据此提出了相应的损伤分级建议值。

说明表 4.1.1 轨道层间离缝预防性养护等级评定表

缺陷等级	CRTS I型 板式无砟道床			CRTS II型 板式无砟道床		CRTS III型 板式无砟道床			CRTS 双 块式无砟 道床
	水泥乳化沥青 砂浆充填层			水泥乳化沥青 砂浆充填层		自密实混凝土层			轨枕与道 床界面
	宽度 (mm)	深度 (mm)	长度 (mm)	宽度 (mm)	面积比 (%)	宽度 (mm)	深度 (mm)	长度 (mm)	宽度 (mm)
II	2.0	100	800	2.0	50	1.5	100	300	0.5
I	1.5	50	200	1.5	30	1.0	50	100	0.3

4.1.3 无砟轨道宽窄接缝缺损分级依据

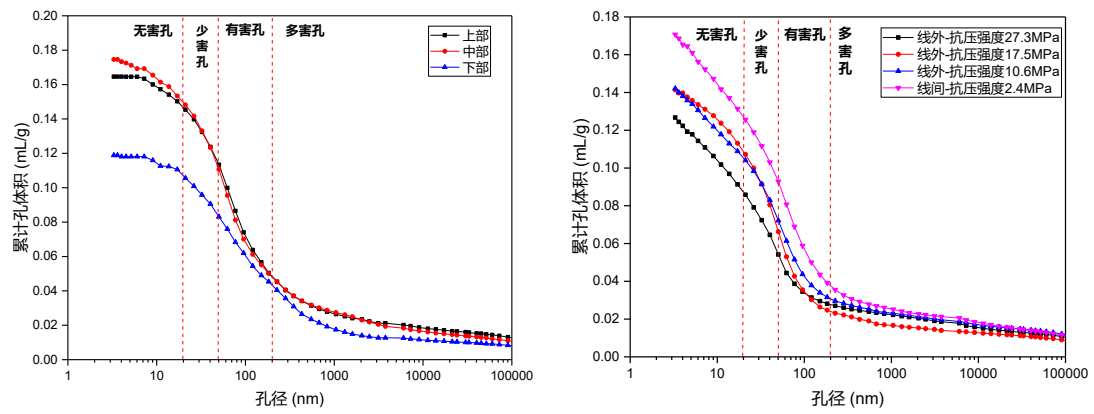
课题组通过不同损伤程度的宽窄接缝损伤工况仿真计算，获得了轨道结构在宽窄接缝损伤状态下的温度、位移与应力响应。结果表明，A级损伤下轨道结构的热力响应最大，严重威胁行车安全；B级损伤次之，C级损伤最小。据此，制定了相应的宽窄接缝损伤分级建议值。

4.1.4 无砟道床粉化分级依据

通过调研京沪、沪杭、哈大、哈齐、沈丹、盘营等高速铁路，选择不同轨道结构、不同粉化深度、不同粉化位置进行了道床混凝土钻芯取样。结果发现：混凝土粉化是由表及里发展的，粉化会造成混凝土强度严重损失；造成混凝土粉化的主要原因是混凝土抗冻性不足。而导致道床混凝土抗冻性不足的主要原因是混凝土吸水率过大以及含气量过低，基于此，采用混凝土粉化深度参数作为评价无砟道床粉化分级依据。



说明图 4.1.1 服役高速铁路道床混凝土粉化取芯



说明图 4.1.2 粉化深度、抗压强度的混凝土压汞分析

5 路基

5.1 典型缺陷分级

5.1.2 路基翻浆冒泥分级依据

路基翻浆冒泥会引发道床污染、排水失效，影响轨道平顺性，严重时可能危及行车安全。根据《铁路路基大维修规则》(铁运〔2008〕96号)，路基基床发生翻浆冒泥、下沉外挤等病害时，应及时采取引排地表水和地下水的工程措施，疏干基床土体。参考《普速铁路线路修理规则》(TG/GW102-2019)、《高速铁路路基修理规则》(TG/GW 120-2015)和中有关道床设备状态评分的要求，当线路中翻浆冒泥点位数超过 5 孔以及翻浆冒泥道床总长度超过 20m，线路状态将达到需要立刻进行整治的状态，因此综合考虑翻浆冒泥点位数和翻浆冒泥道床总长度，提出翻浆冒泥指标 S，并根据 S 指标将路基翻浆冒泥病害划分为 A、B、C 三个等级，用于评定线路道床条件等级。

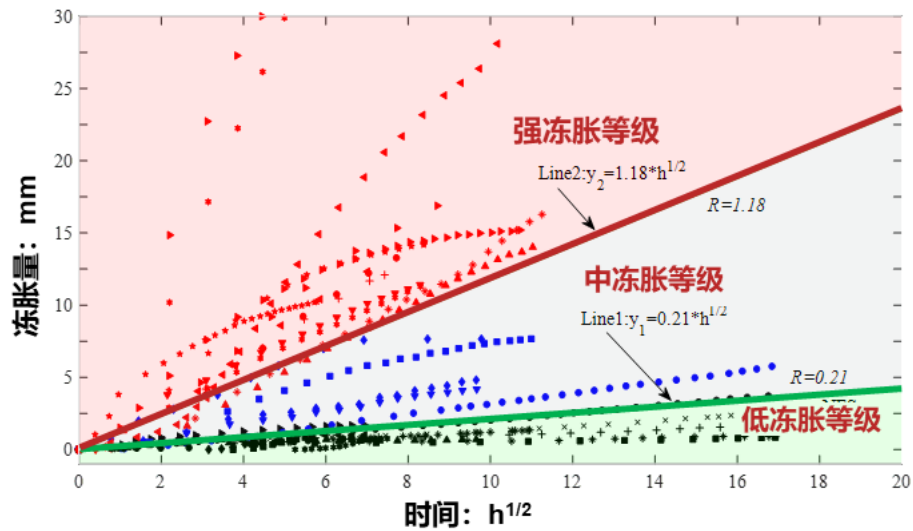
5.1.4 路基不均匀沉降分级依据

路基不均匀沉降会导致轨道高低不平，列车高速通过时造成车体振动加剧，影响乘客舒适性，甚至面临脱轨风险。《高速铁路路基修理规则》(TG/GW 120-2015)第二十四条规定：无砟轨道路基沉降应符合线路平顺性、结构稳定性和扣件调整能力的要求。工后沉降不宜超过 15mm；沉降比较均匀并且调整轨面高程后的竖曲线半径大于等于 0.4 倍设计速度的平方值时，允许的工后沉降为 30mm。路基与桥梁、隧道或横向结构物交界处的工后沉降差不应大于 5mm，不均匀沉降造成的折角不应大于 1/1000。根据《客运专线铁路变形观测评估技术手册》，对不同设计时速下一般地段、过渡段的有砟轨道路基的工后沉降，以及沉降速率提出了不同数值的限制。本规程参考了上述规定的沉降限值和折角限值，综合考虑路基沉降观测点的沉降速率和相邻观测点间所产生的差异性沉降将路基不均匀沉降病害划分为 A、B、C 三个等级，用于评定线路变形状态。由于高速铁路无砟轨道对于线路平顺性有着极高的要求，对于翻浆冒泥病害带来的可能的线路变形威胁，无砟轨道的翻浆冒泥病害需要立即进行整治处理。

5.1.6 路基冻胀分级依据

既有维修规则中对于冻害的限值往往通过最终的冻害变形幅值来进行评估，本规程以论文《基于冻胀量与时间平方根之比确定冻胀分级的探讨》提出的 R 指标为路基冻胀分级依据。R 指标通过冻胀理论模型得出，其值等于冻胀量与时间平方根的比值，量纲为 $\text{mm}/\text{h}^{0.5}$ 。该指标综合考虑了土性参数及环境因素，相比国内外其他分级方法优势明显。根据大量冻结试验结果，通过数理统计分析的方法得到 R 指标的关键阈值，对于无砟轨道，将路基冻胀划分为 A、B、C 三个等级，A 等级对应 $R > 1.18$ ，B 等级对应 $0.21 < R < 1.18$ ，C 等级对应 $R < 0.21$ 。

由于有砟轨道冻害变形限值的现行规范要求是无砟轨道的两倍，因此对于低速有砟轨道线路冻胀变形 R 指标限值可以取系数 2.0 进行放大。哈尔滨-大连客运专线（简称哈大线）K977、K004 路基断面冻胀变形监测数据表明， R 指标在不同时间段内对实测值的拟合效果良好，基本满足路基冻胀变形预测控制精度要求，因此可通过 R 指标冻胀分级结果来进行提前预防性维修。



说明图 5.1.1 冻胀分级指标的阈值

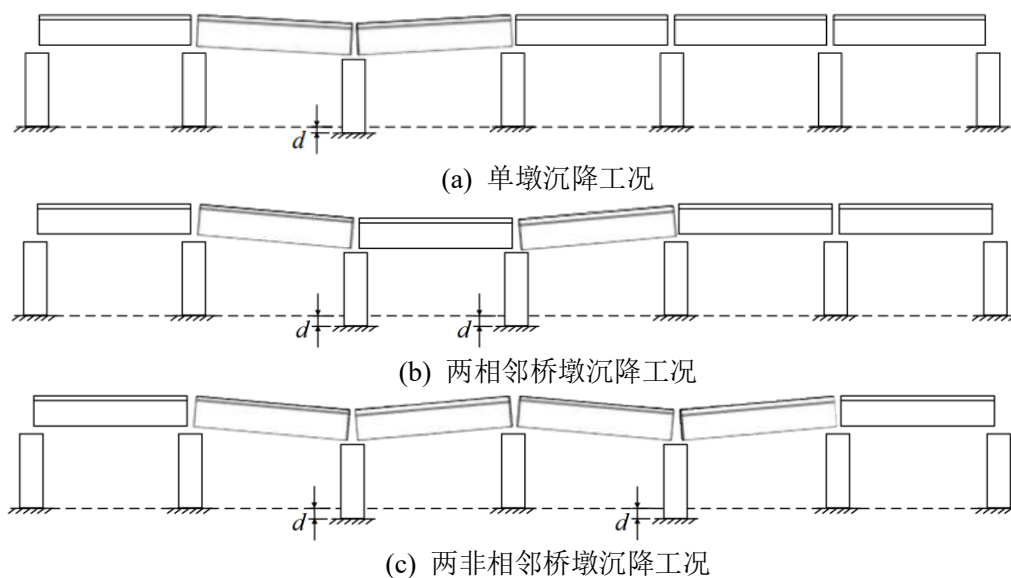
6 桥涵

6.1 典型缺陷分级

6.1.2 桥梁墩台沉降分级依据

桥墩沉降会劣化轨面线型，并对高速运行列车的行车性能造成影响。对于均匀沉降，其引起的桥上轨面不平顺为长波不平顺，对桥上行车性能影响并不显著，因此仍沿用原有《高速铁路设计规范》（TB10621-2014）中的限值规定。

桥梁墩台基础不均匀沉降将在墩台位置产生变坡点，即出现明显的折角，直接影响行车的安全和舒适。课题组采用车-轨-桥耦合动力模型，分析高速铁路标准 32 m 简支梁桥在不同沉降类型（单墩沉降、相邻两墩沉降和两非相邻墩沉降）和不同沉降量对高速列车行车安全和舒适的影响。



说明图 6.1.1 墩台不均匀沉降工况

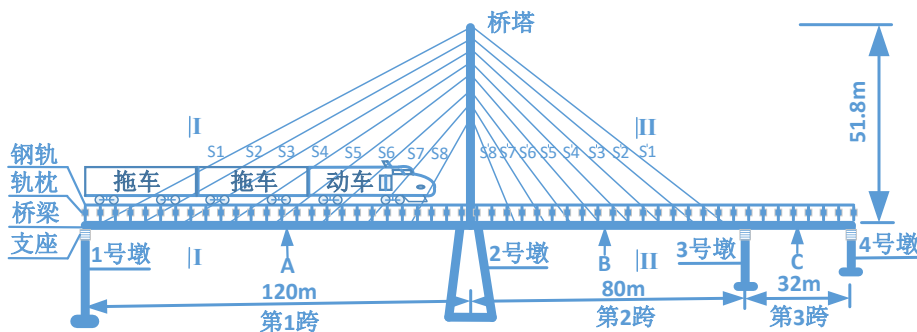
研究分析结果表明：不同沉降限值对于梁体动力效应影响较小，而主要影响车辆动力效应；列车轮重减载率随不均匀沉降值的增大而增大；车体竖向加速度、列车车体平稳性指标除与车体自身动力性能具有一定的关系外，也随不均匀沉降量增加呈增大的趋势。

由于墩台基础不均匀沉降限值对行车安全和乘坐舒适具有直接的影响，随着不均匀沉降量值的增加列车安全指标和舒适性指标明显增大。桥梁基础不均匀沉降的影响虽然可以通过扣件或支座高度调整予以消除或减弱，但由于我国高速铁路桥梁比例大的特点，大范围的对于桥梁支座或桥上线路进行调整难度较大，也不符合高速铁路建设中免维修、少维修的要求。京津城际铁路建设中墩台基础大量实测沉降数据表明，按铁路规范进行基础沉降计算可以基本满足控制精度要求，墩台工后均匀沉降值小于 20mm、相邻墩工后沉降量差值小于 5mm，因此本规程中墩台基础沉降限值沿用《高速铁路设计规范》（TB10621-

2014) 的相关规定, 鉴于轨面线形在长期运营过程中可能发生劣化, 若与桥墩沉降叠加, 将进一步加剧对行车平稳性和乘坐舒适性的不利影响, 因此本规程进一步将沉降影响程度划分为 A、B、C 三个等级, 以保障列车安全运行和乘客舒适性体验。

6.1.3 桥梁拉索损伤分级依据

桥梁拉索损伤对桥上行车性能的影响并不显著。以某斜拉桥为例, 利用车-轨-桥耦合系统动力分析模型开展拉索损伤条件下的行车动力分析, 其中拉索损伤采用刚度折减进行考虑, 设置 S5 拉索的刚度折减系数为 0.5~1。计算分析了列车以设计车速 350km/h 通过时的车-线-桥耦合动力响应, 主要指标有横向、竖向的车辆振动加速度时程、轮轨力、脱轨系数、轮重减载率和 Sperling 等行车安全性和舒适性评价指标。结果发现拉索刚度折减对桥上行车性能影响较小。进一步地, 考虑了不同拉索断索条件下对桥上行车动力响应的影响, 同样发现不同断索工况对桥上行车性能影响较小。因此, 考虑到拉索损伤对桥上行车性能影响不显著, 仍沿用原有规范中有关桥梁拉索损伤等级划分的规定。



说明图 6.1.2 斜拉桥立面图

6.1.4 桥梁钢结构防护涂层劣化分级依据

防护涂层是保障钢结构长期持久服役过程的重要措施, 其可以基于物理隔离、电化学防腐等机理对于钢结构进行腐蚀防护。涂层的服役状态主要依据涂层的厚度、附着力及涂层状态进行判断。其中涂层的厚度主要依靠钢结构涂层测厚仪进行测试, 附着力主要依靠涂层附着力测定仪进行测试, 并与设计文件的指标要求进行对比。涂层的服役劣化状态主要参照《色漆和清漆 涂层老化的评级方法》GB/T 1766-2008 进行测试和评估。钢结构涂层劣化的缺陷等级分类主要参照《铁路桥梁钢结构及构建保护涂装与涂料 第 1 部分: 钢梁》Q/CR 749.1-2020、《桥梁钢结构防腐蚀设计及保护技术标准》T/CSCS 0014-2021、《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722-2023 中的修补涂装、维护性涂装和重新涂装部分编制。

7 隧道

7.1 典型缺陷分级

7.1.2 隧道衬砌开裂分级依据

依托国家重点研发计划课题《高铁基础设施病害快速整治技术与智能装备》课题（2022YFB2603305），课题组建立衬砌表面裂缝扩展模拟仿真模型，采用扩展有限元计算方法，分析了不同裂缝长度工况下衬砌边墙开裂扩展情况，发现裂缝宽度为 3 mm，裂缝长度 $\geq 3\text{m}$ 时，衬砌破坏风险显著增加，裂缝长度 $< 3\text{m}$ 时裂缝无继续扩展趋势，且裂缝的存在对隧道结构稳定性影响较小。在高速列车循环荷载作用下，隧道衬砌裂缝的等级评定应高于普通铁路隧道，结合《铁路桥隧建筑物劣化评定 第 2 部分：隧道》（Q/CR 405.2-2019）隧道衬砌劣化评定，以裂缝长 3m、宽 3mm 为界定值，拟定高速铁路隧道衬砌开裂分级。

7.1.3 隧道衬砌渗漏水分级依据

根据《高速铁路桥隧建筑物修理规则（试行）》（铁运〔2011〕131号），电力牵引区段隧道拱部漏水，影响接触网正常使用，整体道床损坏，道床翻浆影响轨道稳定，严寒地区漏水易造成结冰侵限，应及时处理，上述类型渗漏水影响隧道内设备正常使用，因此将拱部滴水（漏泥）成线、隧底翻浆冒泥和严寒地区隧道拱部衬砌渗漏水列为 A 级缺陷。对于滴水、漏水、渗水至道床，以及由渗漏水导致衬砌裂损加剧的劣化情况，列为 B 级缺陷。

7.1.4 隧道衬砌脱空分级依据

衬砌背后空洞的几何尺寸包括纵向长度、径向高度和环向宽度。地质雷达法以布置测线形式检测衬砌背后空洞，空洞纵向长度和径向高度较易获取，环向宽度计算较为困难，因此选择脱空区段连续测线长度和空洞径向高度作为衬砌脱空分级指标。课题组基于《铁路桥隧建筑物劣化评定 第 2 部分：隧道》（Q/CR 405.2-2019）的衬砌脱空病害劣化评定框架，针对脱空病害开展多工况数值模拟分析。通过建立空洞几何尺寸（纵向长度与径向高度）与衬砌安全系数的映射模型，发现纵向长度主导安全系数衰减，当纵向长度 $> 3\text{m}$ 时，安全系数降幅超 35%，衬砌承载力显著劣化，纵向长度 $\leq 1\text{m}$ 时安全系数降幅低于 15%，风险可控；径向高度 $> 0.1\text{m}$ 时安全系数降幅超过 40%，变形速率加剧，径向高度 $\leq 0.05\text{m}$ 时背后空洞对衬砌安全系数的影响甚微；综合仿真计算结果与既有标准规范，对《铁路桥隧建筑物劣化评定 第 2 部分：隧道》（Q/CR 405.2-2019）中衬砌脱空的劣化分级标准进行优化，拟定以空洞测线纵向长度和径向高度为指标的分级标准，将脱空病害划分为 A、B、C 三个等级。