



团 体 标 准

T/SDHTS XXXXX-XXXX
代替 T/SDHTS XXXXX-XXXX

公路耐候钢桥梁技术规程

Code of practice for highway weathering resistant steel bridges

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

山东公路学会 发 布

目 次

前 言	II
1 总则	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	2
4 基本规定	3
5 材料	3
6 适用条件	4
7 设计及构造	5
8 制造、安装及验收	8
9 检查、养护及监测	10
附录 A 耐蚀评价	12
附录 B 锈层稳定化处理方法	13
附录 C 锈层稳定性判定	14

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通规划设计院集团有限公司提出。

本文件由山东公路学会归口。

本文件起草单位：山东省交通规划设计院集团有限公司、山东省路桥集团有限公司、北京交通大学、同济大学。

本文件主要起草人：徐召、王宏博、徐常泽、白光耀、苏庆田、臧洪敏、林占胜、苏翰、赵洪蛟、王洺鑫、管锡琨、马雪媛、管如意、张顺、徐晨、姜旭、黄振坤。

公路耐候钢桥梁技术规程

1 总则

本文件规定了耐候钢桥梁的材料选用、适用条件、设计、施工、质量检验等内容。

本文件适用于免涂装使用、锈层稳定化处理后使用和涂装使用公路耐候钢桥梁的设计、施工及维护。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4171 耐候结构钢》

GB/T 714 桥梁用结构钢

GB/T 4851 胶粘带持粘性的试验方法

GB/T 8923.1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂装后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级

GB/T 19292.1 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 分类

GB/T 19292.2 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 腐蚀等级的指导值

GB/T 19292.3 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 污染物的测量

GB/T 19292.4 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 用于评估腐蚀性的标准试样的腐蚀速率的测定

GB/T 19746 金属和合金的腐蚀 盐溶液周浸试验

JTG D60 公路桥涵设计通用规范

JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范

JTG/T D64-01 公路钢混组合桥梁设计与施工规范

JT/T 722 公路桥涵钢结构防腐涂装技术条件

JTG/T 2231-01 公路桥梁抗震设计规范

JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

JTG/T 3651 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范

3 术语与定义

以下术语和定义适用于本文件。

3.1

耐候钢 weathering steel

在钢中加入一定数量的合金元素，如 P、Cr、Ni、Cu、Mo 等，使其在金属基体表面上形成保护层，以提高耐大气腐蚀性能的钢。

3.2

耐候钢桥梁 weathering steel bridge

主要受力部分由耐候钢组成的桥梁。

3.3

耐大气腐蚀性 atmospheric corrosion resistance

钢材在大气中的耐腐蚀性能。

3.4

保护性锈层 protective rust patina

耐候钢表面形成的致密和附着性很强的保护膜。

3.5

锈层稳定化处理 stabilization treatment of rust patina

通过在耐候钢表面洒水、喷涂锈层处理液等，加快耐候钢表面保护性锈层形成的方法。

3.6

腐蚀裕量 corrosion allowance

免涂装耐候钢结构在每个暴露表面预留的供腐蚀减薄的多余厚度。

3.7

隧道效应 Tunnel Effect

城市和郊区跨线桥下的垂直挡土墙或窄路肩、较小的桥下净空以及紧靠路肩的高桥台等因素导致桥下撒盐融冰道路盐雾难以被气流消散，从而使跨线桥上氯化物沉积增多的现象。

4 基本规定

- 4.1 免涂装耐候钢可应用于梁桥、桁架桥、拱桥、斜拉桥、悬索桥等各种型式的桥梁主体结构，结构分析时应考虑正常使用可能引起的腐蚀损耗。
- 4.2 耐候钢桥梁中的钢筋混凝土构件混凝土强度等级不应低于 C30，预应力混凝土构件混凝土强度等级不应低于 C40。
- 4.3 耐候钢桥梁中的混凝土、普通钢筋及预应力钢筋相关设计指标应符合 JTG 3362 的相关规定。
- 4.4 耐候钢桥梁中的普通钢材设计指标应符合 JTG D64 的相关规定。
- 4.5 耐候钢桥梁的设计原则和作用及作用组合应符合 JTG/T D64-01 的相关规定。
- 4.6 耐候钢桥梁的安全等级和设计使用年限应符合 JTG D60 的相关规定。
- 4.7 耐候钢桥梁的抗震设计原则应符合 JTG/T 2231-01 的相关规定。
- 4.8 抗疲劳设计除应符合本文件的规定外，尚应符合 JTG D64 和 JTG/T D64-01 的有关规定。
- 4.9 免涂装耐候钢梁的端部及箱梁内表面宜进行防腐涂装；密闭结构的内部钢构件可免涂装使用。
- 4.10 免涂装使用的耐候钢在设计时应在每个暴露表面上预留腐蚀裕量，涂装使用的耐候钢不应预留腐蚀裕量。
- 4.11 耐候钢桥梁开始制造前，应进行焊接工艺评定试验。焊接工艺评定试验应符合 JTG/T 3651 的有关规定。
- 4.12 耐候钢桥梁制造、安装、施工和验收除应符合本文件的规定外，尚应符合 JTG/T 3650、JTG/T 3651 的有关规定。

5 材料

- 5.1 耐候钢材耐大气腐蚀性指数应符合 GB/T 4171 的有关规定，其质量应符合现行 GB/T 714 的有关规定。耐候钢材设计指标应符合 JTG D64 的有关规定。耐候钢材料应根据结构的重要性、荷载特征、结构形式、应力状态、钢材厚度、成型方法、工作环境、表面要求和耐蚀评价等因素合理选取耐候钢牌号

及性能指标，并在设计文件中明确，耐蚀评价见附录 A。

5.2 免涂装使用的耐候钢桥梁应使用耐候高强度螺栓。高强度螺栓的力学性能指标应按 JTG D64 的有关规定。

5.3 耐候钢桥梁中的圆柱头焊钉连接件的设计指标应符合 JTG D64 的有关规定。

6 适用条件

6.1 按照现行 GB/T 19292.1、GB/T 19292.2、GB/T 19292.3、GB/T 19292.4 的有关规定评估桥址处环境的大气腐蚀性等级，以评估耐候钢的适用性。

6.2 根据 GB/T 19292.1 方法评定桥址区域大气腐蚀性等级，大气腐蚀性等级为 C1-C4 级时桥梁上耐候钢结构宜免涂装使用，C5 及 CX 级不宜免涂装使用，如需使用应开展专项研究。

6.3 腐蚀裕量的取值取决于结构所处环境类别。环境类别分为“内部”、“温和腐蚀”环境类别与 GB/T 19292.1 中的大气腐蚀性等级相对应的腐蚀裕量取值应符合表 1 的规定。

表 1 腐蚀裕量取值

环境类别	大气腐蚀性等级	腐蚀裕量 (mm)
内部	—	0.5
温和腐蚀	C1、C2、C3、C4	1.0

6.3 免涂装耐候钢不应应用于以下情况：

- a) 含有高浓度盐分的海洋环境中。按照 GB/T 19292.1 空气中的氯化物含量超过 S2 的环境中。
- b) 含有高浓度大气二氧化硫污染物的工业环境中。按照 GB/T 19292.1 空气中的污染等级超过 P3（即 SO_2 沉积率大于 $200 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ）的环境中。
- c) 使用除冰盐导致可能大量氯化物沉积的结构或结构部件，以及桥下产生“隧道效应”的桥梁。
- d) 结构或结构部件将持续湿润或潮湿的环境中，例如结构或结构部件淹没在水中、埋在土壤中、被植被覆盖或位于净空小于 2.5 m 的水面上。

6.4 局部涂装应符合现行 JT/T 722 的有关规定，涂装的颜色应与免涂装使用的耐候钢预期的最终颜色相协调。

7 设计及构造

7.1 免涂装使用的耐候钢桥梁疲劳细节的疲劳强度应降低一个等级使用。

7.2 免涂装耐候钢焊接接头的耐候性能不应低于母材。

7.3 普通钢材与耐候钢材焊接时应使用耐候焊材。

7.4 栓接抗滑移系数设计宜取值 0.3。应制备足够的抗滑移系数试件随同批次杆件发运和存储，进行必要的抗滑移系数试验，保证出厂时的摩擦面抗滑移系数不小于 0.55，安装时抗滑移系数不小于 0.45。

7.5 构造细节

以下构造细节适用于公路耐候钢桥梁设计。

7.5.1 一般构造

a) 闭口箱梁的顶板应伸出腹板外缘 20 mm，腹板应伸出底板下缘 20 mm，以保证水路通畅，具体结构形式见图1。

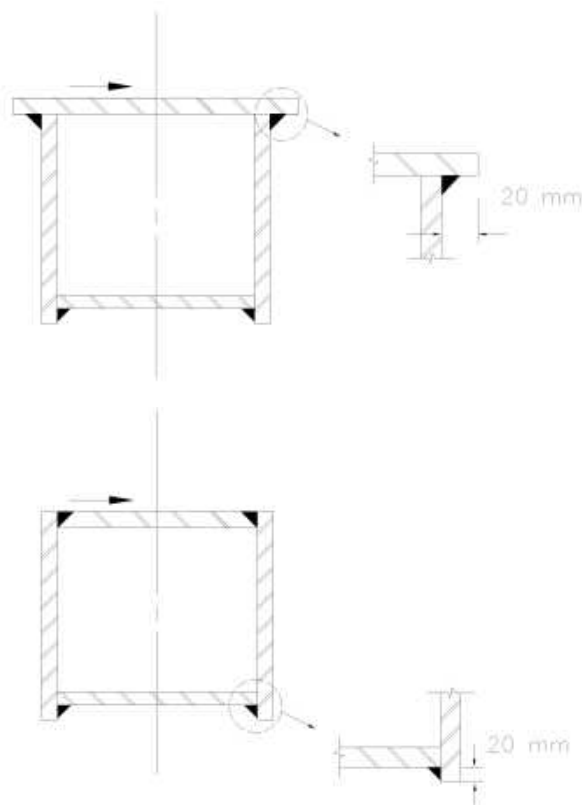


图 1 闭口箱梁排水构造细节

b) 开口箱梁的腹板须伸出底板下缘 20 mm，以保证水路通畅，具体结构形式见图2。。

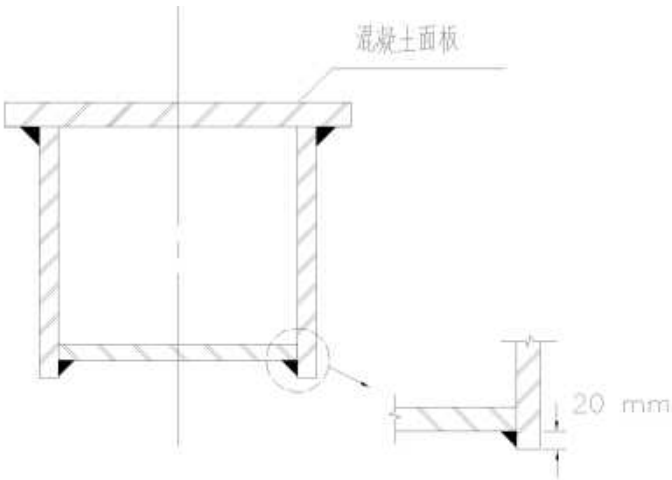


图 2 开口箱梁排水构造细节

c) 在主梁杆件之间，应留有10~20 mm的间隙，以便使水容易漏下，具体结构形式见图3。。

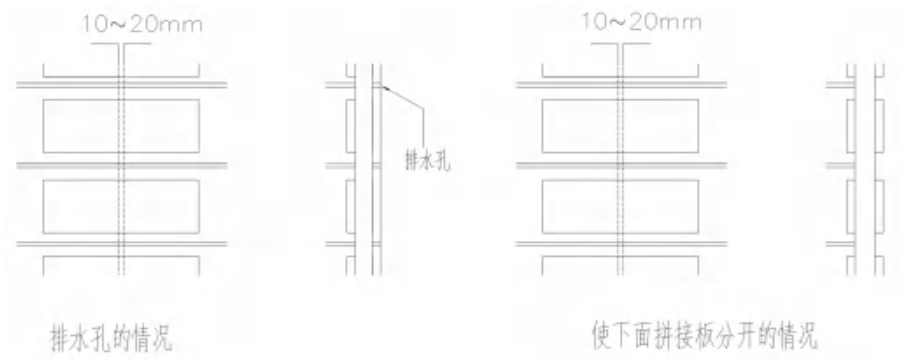


图 3 箱梁下翼缘拼接板构造细节

d) 宜避免使用有填板的连接，如需使用填板则填板材料应使用耐候钢材。

e) 腹板的竖向加劲肋与顶底板连接处提供半径为 50 mm 的排水孔；如果加劲肋不与底板连接，加劲肋与底板上缘之间应留有 30 mm 间隙，具体结构形式见图 4。

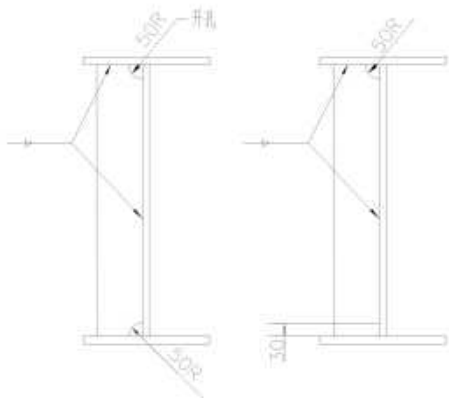


图 4 腹板加劲肋与顶底板连接排水孔构造细节（单位：mm）

- f) 钢桁架桥和钢拱桥的杆件节点部位应采用排水、通气较好的构造，易积水的部位应在最低点设置排水孔。
- g) 宜使用连续结构来减少伸缩缝，伸缩缝处梁端部1.5倍梁高范围内可采用涂装，涂装的颜色应与免涂装使用的耐候钢预期的最终颜色相协调。
- h) 箱梁梁端内部易形成低洼的部位，可采用混凝土设置反向纵坡排水、设置遮挡防水或开U型槽口等措施防止积水。
- i) 钢箱梁内部应该保证密封；如果不能保证密封，应在钢箱梁内部最低点设置排水管以便水及时排出。排水管开口应足够大以避免堵塞，排水管内应使用格栅以防止鸟类和啮齿动物进入箱梁内部。
- j) 钢梁和混凝土交界处应使用适当的密封胶密封以防止水分进入。
- k) 靠近梁端的梁底面宜设挡水条，设置挡水条时应选择疲劳应力较小的区域。
- l) 埋在土壤中的耐候钢应使用涂装。
- m) 包裹在混凝土中的耐候钢结构如果混凝土保护层厚度符合现行JTG 3362-2018的规定可免涂装使用，否则应涂装使用。耐候钢桥梁所处环境类别及所对应的混凝土保护层最小厚度应符合表1的规定。

表 1 耐候钢桥梁混凝土所处环境类别划分及混凝土保护层最小厚度

环境类别	条件	混凝土保护层最小厚度 mm
I类-一般环境	混凝土仅受碳化影响的环境	25
II类-冻融环境	混凝土受反复冻融影响的环境	35
III类-近海洋或海洋氯化物环境	混凝土受海洋环境下氯盐影响的环境	45
IV类-除冰盐等其他氯化物环境	混凝土受除冰盐等氯盐影响的环境	35
V类-盐结晶环境	混凝土受混凝土孔隙中硫酸盐结晶膨胀影响的环境	40

VI类-化学腐蚀环境	混凝土受酸碱性强度的化学物质侵蚀的环境	40
VII类-腐蚀环境	混凝土受风、水流或水中夹杂物的摩擦、切削、冲击等作用的环境	45

n) 混凝土桥面板的边缘应设有排水装置以防止水流向钢梁。

7.5.2 附属构造

- a) 桥面排水系统的排水管口应伸到钢梁下翼缘以下，宜使用非金属排水管道。
- b) 需设置集中排水系统时，桥面宜采用开放式设计。
- c) 桥面板应采用高性能防水保护层或涂料覆盖。有人行道的桥梁，防水层应满铺包括人行道的整个桥面。
- d) 合理选择梁底挡水板与混凝土墩柱等的距离，宜在梁底或墩顶设置滴淋平台、滴淋板等构造措施。
- e) 在墩柱上方应设置导水盘以防止锈液流到墩柱上，具体结构形式见图5。

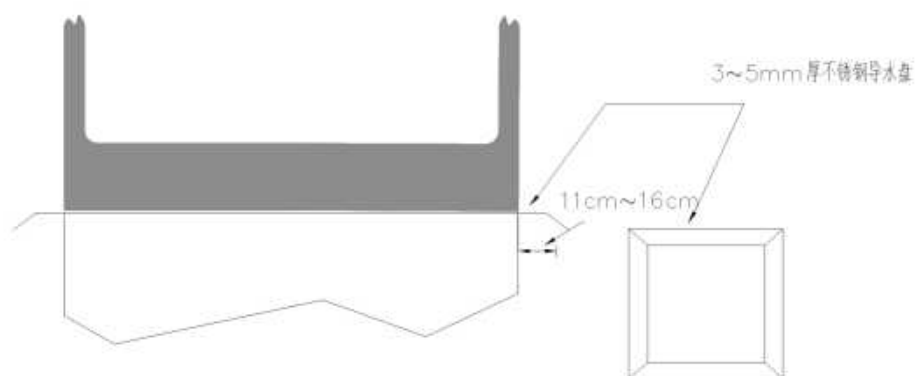


图 5 导水盘构造细节

- f) 如使用普通碳钢支座，支座宜涂漆使用。
- g) 扶手和护栏不应使用耐候钢，且应与耐候钢隔离。
- h) 耐候钢桥梁下方环境应注意保证排水顺畅，防止桥下积水形成雾汽。

8 制造、安装及验收

8.1 加工制造

8.1.1 加工时，应分析耐候钢加工和焊接引起变形的影响因素，采用相应的措施控制变形；对耐候钢

原材料变形、加工和焊接引起的变形需要矫正时、应采用机械矫正，不宜采用热矫正。矫正质量和允许偏差应符合JTG/T 3650的有关规定。

8.1.2 耐候钢表面处理

- a) 制造和安装过程中应避免使用油漆和蜡笔在钢材上进行标注，应使用水基涂料进行标注。
- b) 当采用热矫时，耐候钢加热温度应控制不超过600-800 °C；温度降至室温前，不得锤击钢材和用水急冷。
- c) 制造完成后，所有免涂装使用耐候钢材表面应按照GB/T 8923.1的有关规定喷砂清理至Sa2.5级。
- d) 制造完成后，免涂装使用的耐候钢构件表面宜在工厂内进行洒水或喷涂预处理液进行锈层稳定化处理，加速保护性锈层的形成。

8.1.3 耐候钢与普通碳钢焊接后，应对焊缝处进行打磨并对暴露在大气中的焊缝两侧10 cm范围内采用涂装。

8.2 锈层稳定化处理

8.2.1 钢材表面处理要求

- a) 清除表面油污、灰尘等杂质。
- b) 钢材表面清理应达到GB/T 8923.1 规定的Sa2.5级。
- c) 栓接摩擦面部位要求在钢表面粗糙度Rz应在50 μm~100 μm之间，其它部位钢表面粗糙度Rz应在25 μm~50 μm之间。
- e) 钢表面清理用磨料应使用符合YB/T 5149和YB/T 5150标准规定的钢丸、钢砂，或使用无盐分和无沾污的铜矿渣、石英砂等。

8.2.2 表面处理检测

- a) 表面除锈等级检测采用目视评定方法进行，按照GB/T 8923.1的规定和标准图谱进行对照检查。应注意磨料不同造成的外观上差异。
- b) 表面粗糙度采用粗糙度对比样块或粗糙度测量仪进行检测。

8.2.3 锈层稳定化处理

应采用周期水浸法、稳定剂等锈层稳定化处理方法，具体处理流程见附录B。有特殊要求应按照设计要求采取其他处理方法。

8.3 储存、运输和安装

8.3.1 耐候钢不应在含盐分的潮湿空气中储存。存放区的垫轨不应有碳钢磨损表面，应使用橡胶、塑料板条或护套进行保护。

8.3.2 在储存、运输及安装过程中耐候钢表面不应与腐蚀性化学物质、混凝土、砂浆、沥青和油脂接触。

8.3.3 耐候钢在运输和安装过程中应注意不破坏形成的保护性锈层。

8.3.4 表面稳定化处理后的杆件应避免污染、磕碰。

8.3.5 耐候钢杆件不宜采用海上运输，否则应采取遮盖措施，并在到达目的地后检查，如有盐分附着应及时清洗。

8.3.6 耐候钢闭口截面构件在运输、吊装之前，应将管口包封，防止雨水和异物落入管内。暴露于室外的闭口截面构件应在吊装完毕后封闭杆件端部。

8.3.7 工地焊接完成后，清除杆件表面油污、标记、飞溅和其他污染物，然后对焊接位置及周边区域采取加速锈层稳定技术进行处理。免涂装耐候钢与普通结构钢焊接后，焊缝两侧 10 cm 范围内耐候钢应进行涂装处理。

8.3.8 钢-混凝土组合桥梁在浇筑混凝土时不得污染非结合区耐候钢表面，浇筑后注意养护。

8.3.9 完成安装后，施工期间耐候钢表面的标记和污染应喷砂清洁至Sa2。

9 检查、养护及监测

9.1 检查、监测

9.1.1 应每两年对耐候钢结构进行目视检查。耐候钢桥梁的检查应由具有相关经验的工程师进行，检查内容主要包括锈层稳定评价以及积水积灰、除冰盐附着、梁端漏水等情况，如判定影响耐久性，应跟踪观测并及时处理。

9.1.2 耐候钢桥梁应对板厚腐蚀进行必要的监测。

- a) 耐候钢桥建成的第6年进行板厚腐蚀监测，测量结构中关键点的板厚，这些点的初始厚度由竣工图和桥梁维修记录手册确定。
- b) 耐候钢桥服役到第10年时，对锈层进行全面检查，未能形成稳定锈层的部位应分析原因并采取改善措施，对腐蚀较严重构件的损伤程度进行评估，必要时局部涂装。
- c) 钢桥服役到第20年时，再次进行全面的板厚腐蚀监测，如果构件的预计腐蚀量超过结构全寿命期的允许值，应采取补救措施。

9.1.3 耐候钢保护性锈层形成以后仍须持续监测耐候钢腐蚀速率，检测方法见附录C。如预计在结构设计使用年限内总减薄量超过预留腐蚀裕量，则应考虑采取补救措施。

9.1.4 锈层稳定性判定方法：

- a) 当锈层状态处于优和良时，说明形成的锈层具有一定的保护能力，可判定为合格。
- b) 当锈层状态处于中时，继续跟踪观测，连续三年无改善时，应查找原因并做出处理。
- c) 当锈层状态处于差、劣时，为不合格，应及时查找原因，根据情况，决定是否重新进行锈层稳定化处理或涂装。

锈层分级相关示例见附录C。

9.2 养护

9.2.1 耐候钢桥梁应定期检查养护并进行必要的维修，预防病害发生发展，保持桥梁结构状态良好。

9.2.2 耐候钢桥梁的日常养护以检查和清理为主，一般状态良好的耐候钢桥仅需少量维护。

9.2.3 耐候钢桥梁锈层维护和常规维护方法见表2。

表 2 耐候钢桥梁锈层维护与常规维护方法

项目	维护方法	
锈层维护	5级锈层	部分涂装修补。
	4级锈层	因防冻剂使用而导致的部分锈蚀，通过清水冲洗表面降低可溶性盐分，且定期清洗，改善锈层状况。
	1~3级锈层	若环境不发生大的变化，以后锈层外观评价省略。
常规养护	表面灰尘垃圾	低压水冲洗，但要注意不要破坏保护锈层。
	冰雪融化	每年进行清洗。
	排水系统	经常检查、清理、维修或者更换。
	连接部位	经常检查，维修或者更换。
	螺栓裂缝	用合适的密封剂密封连接部边缘。

9.2.4 可行的情况下应用低压水洗定期清洁积有鸟粪和污垢的表面。清洗过程中不要破坏保护性锈层。如果观察到鸟粪持续累积，则应采取措施阻止鸟类栖息在结构上。

9.2.5 如发现除冰盐中氯化物会对耐候钢结构稳定性锈层产生不利影响并导致过度腐蚀，每年除冰期结束时须用低压水对耐候钢表面进行清洗。

9.2.6 如果耐候钢结构腐蚀严重，则须对腐蚀严重的局部或整个结构进行修复。修复过程须先对钢结构进行喷砂去除锈层，然后使用与普通钢桥相同的涂装系统进行涂装。

9.2.7 应使用湿喷砂清理点蚀坑中可溶性盐。

附录A
(规范性)
耐蚀评价

以年腐蚀速率评价耐候钢的耐蚀，腐蚀速率越小，钢的耐大气腐蚀性能越好。

年腐蚀速率评价可采用实桥大气环境挂片曝晒试验法和盐溶液周浸试验法。其中盐溶液周浸湿试验法可用于评估耐候钢材耐蚀性能，实桥大气环境挂片曝晒试验法则用于检验耐候钢材对桥址环境的适应性。

技术复杂的重要桥梁应进行实桥大气环境挂片曝晒试验。

盐溶液周浸试验应符合下列规定：

盐溶液周浸试验的试验条件、试样方法应符合GB/T 19746-2018的有关规定，试验时间为7天（168小时），试验要求如下：

- a) 周浸试验溶液的成分与浓度为：5% NaCl，0.05% CaCl₂，0.05% Na₂SO₄，pH=4（pH用HCl溶液调节）。
- b) 测试试样腐蚀的平均深度，进而得到试样的年腐蚀速率（mm/年）；
- c) 计算所得的试样年腐蚀速率相当于实际服役初始阶段1年的腐蚀速率，其值不应大于0.08 mm/年。

实桥大气环境挂片曝晒试验应符合下列规定：

- a) 户外大气曝晒试验的方法及腐蚀速率测定方法，按照GB/T 19292.4的要求进行。
- b) 挂片曝晒试验结果应包括曝晒1、2、4年三组腐蚀速率数据，分别表示为a₁、a₂、a₄（mm/年）。
- c) 按公式（A.1）所示的幂函数方程计算其在桥梁设计寿命期内的单边腐蚀减薄量：

$$D=at^n \quad (A.1)$$

式中：

D——耐候钢在桥梁设计寿命期内的单边腐蚀减薄量，mm；

a——曝晒1年时间的腐蚀减薄量，数值对应于1年时间的腐蚀速率，即a₁（mm/年）；

t——大气中暴露时间，该时间一般按照桥梁设计寿命计算，年；

n——幂指数，按照 $n=1 + \lg(a_4/a_2)/\lg 2$ 进行计算。

附录B

(资料性)

锈层稳定化处理方法

周期水浸法处理方法如下：

- a) 相对空气湿度较低地区 ($RH < 70\%$) 时每天上午九点、十一点，下午两点、四点进行为期4周期的水处理操作，喷洒水处理过程中，需要将被处理钢材表面维持干湿交替状态，润湿的表面干燥后需再进行洒水，每天干湿循环三次使杆件表面逐渐生成致密均匀的锈层，水处理周期为4~6周。
- b) 相对空气湿度较高地区 ($RH > 70\%$) 时，每天上午九点、下午一、四点进行为期3周期的水处理操作，喷洒水处理过程中，需要将被处理试样表面注意维持干湿交替状态，润湿的表面干燥后需再进行洒水，每天干湿循环三次使杆件表面生成致密均匀的锈层，水处理周期为4~6周。
- c) 水处理过程应注意控制水量和杆件放置姿态，避免局部积水和喷洒不匀；水处理周期时长可根据处理地点自行调节，但不同处理地点的水处理周期次数需严格遵守。

稳定剂处理法应按照所选用稳定剂的使用说明操作，直至生成稳定的锈层；稳定剂应对环境无害。

附录C

(资料性)

锈层稳定性判定

采用符合GB/T 4851-2014规定的宽胶带作为测试工具，对待测样进行粘结测试，并根据表C.1判断锈层状态。

表 C.1 锈层分级

试样编号	状态描述	锈层状态
1	颜色均匀统一，一般为浅红棕色。部分锈蚀颗粒聚集。 胶带测试较容易的将细小锈蚀颗粒粘结下来。	优
2	颜色变深逐渐为棕色。表面疏松，并出现斑驳形貌。 表面锈蚀较严重，但内层锈层仍然致密能够起到耐蚀作用，胶带测试出现较大锈蚀颗粒。	良
3	颜色逐渐变为黑色。存在一些锈蚀和斑驳的形貌。 多数部分疏松容易被胶带粘除，并出现较多的大锈蚀颗粒。	中
4	颜色变为深棕色和黑色，表面不均匀。 胶带能够粘结大部分的锈蚀颗粒，但是锈层仍有少部分的结合能力。	差
5	表面黑色，到处为斑驳现象。 胶带能够粘结下颗粒更大的锈蚀，表面锈层基本丧失保护能力。	劣

公路耐候钢桥梁技术规程

编制说明

一、项目概况

（一）任务来源

根据山东公路学会《关于发布第一批山东公路学会标准立项计划的通知》（鲁公学会〔2023〕6号），《公路耐候钢桥梁技术规程》为团体标准制定项目。

（二）编制背景

与普通碳钢+涂装相比，免涂装耐候钢桥和免涂装耐候钢混凝土组合桥梁的技术优势明显，随着我国高性能耐候桥梁钢的成功研发以及对使用耐候钢的设计、建造技术的认识不断深入，使用免涂装耐候钢桥和免涂装耐候钢混凝土组合桥梁已经成为可能。耐候钢的免涂装应用，国外已形成了非常成熟的技术和大规模应用，并颁布有关设计选材、焊接制造、施工安装和管理维护的系列指南或规范。虽然最新颁布的国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714-2015给出了桥梁用耐候钢材的基本性能，但有关耐候钢桥和耐候钢混凝土组合桥梁的结构构造细节、耐候设计、耐候钢的焊接、栓接、耐候锈层稳定化处理与耐久性养护维修等尚没有相关的标准或规范；中国工程建设标准化协会颁布的《公路耐候钢混凝土组合桥梁技术规程》T/CECS G：D60-31—2020给出了耐候钢混凝土组合桥梁设计、构造、制造和养护等方面的规定，但有关耐候钢桥和耐候钢栓接的相关内容仍有所欠缺。上述背景共同推动了耐候钢桥梁技术规程的制定。

（三）任务分工

山东省交通规划设计院集团有限公司：组织标准起草工作，总体策划、协调、推进规范编制，主要负责材料、构造、一般规定、质量章节编制。

山东省路桥集团有限公司：组织讨论确定标准框架，主要编制制造、安装等章节内容。

同济大学：协助组织讨论确定标准框架，主要编制构造细节等章节内容。

北京交通大学：协助组织讨论确定标准框架，主要编制耐候钢适用条件等章节内容。

（四）起草过程

1. 立项阶段

标准立项计划下达后，编制组在接到工作任务后第一时间召开了项目工作会议，在会议上成立了标准编制组，起草了工作大纲和编制大纲。随后，编制组召开了首次工作协调会与编制大纲审查会，明确了各项任务和对大纲进行审议并修改后，编制组向协会进行了报备。

2. 初稿审查

标准编制组开展广泛深入的调研和测试验证工作，形成了初稿及条文说明，2024年8月29日，山东公路学会在济南组织召开了初稿初稿讨论会收集、整理了有关单位及专家的意见和建议，形成意见汇总处理表和会议纪要上报协会。针对以下几个方面，专家们共提出了修改建议：首先，增加“基本规定”章节；其次，调整第八章框架结构，修改验收部分内容；最后，规程中涉及的计算公式与设计方法是否准确无误、合乎逻辑。会后编制组根据相关专家意见对标准进行修改完善，形成《公路耐候钢桥梁技术规程》（征求意见稿）。

二、标准编制的目的及意义

耐候钢桥梁技术规程的编制是现阶段推进山东省桥梁建设的重要措施；编制过程中，集成了最新的科研成果和技术创新，可推动桥梁建设技术的发展，为行业内的技术交流与合作提供平台，有助于推动整个行业的共同进步。

三、编制依据

本标准的编制是基于国家、山东省关于耐候钢混凝土组合桥梁的研究基础上，查阅分析国内外的相关学术论文、技术报告和专利文献等学术性文本，遵循科学性、先进性、实

用性和可操作性的原则共同形成的。同时，在编制过程中广泛征求相关单位、专家和学者的意见及建议，确保了技术规程的广泛适用性和合理性。

本标准的起草工作组按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》中的规则编写，具有系统性和规范性。在标准的主要内容方面，根据了多年的研究成果并结合现行技术标准，对涂装及免涂装公路耐候钢桥及耐候钢混凝土组合桥梁的材料选用、适用条件、设计及构造、制造和安装、检查、监测及养护等内容进行了明确规定，为耐候钢桥梁的设计和施工提供技术参考、标准依据。

四、主要技术内容

（一）标准主要内容

本规程在调研目前国内外有关耐候钢桥和耐候钢混凝土组合桥梁相关设计制造施工及日常运营养护等的基础上，通过必要的试验研究完成本规程的编制工作。

在耐候钢桥梁防腐设计时，需要考虑桥梁处的实际环境，根据耐候钢腐蚀特点，选用合适的防腐体系。首先，通过编写组开展的大气暴露试验及人工加速腐蚀试验，建立大气暴露试验与人工加速腐蚀试验的定量关联，深入研究不同腐蚀环境下各型号耐候钢的腐蚀行为及腐蚀机理，对比分析不同区域不同型号耐候钢腐蚀锈层形成、稳定、失效全过程分析及变化规律。其次，结合现场检测数据，运用灰色理论、线性回归等方法建立耐候钢腐蚀程度预测模型，为具体的钢种选择提供指导性建议。随后，根据耐候钢桥和耐候钢混凝土组合桥梁服役环境的腐蚀性，结合实际服役环境，选择涂漆、稳定化处理或直接裸露使用；在此基础上选择合适的耐候钢、耐候焊接材料、耐候高强度螺栓产品等。此外，结合桥址处腐蚀大气环境指标，依据所建立的腐蚀程度预测模型预测免涂装耐候钢生命周期耐候钢锈蚀厚度，给出腐蚀裕量等相关规定。



图 1 耐候钢人工加速腐蚀试验



图 2 耐候钢大气暴露试验

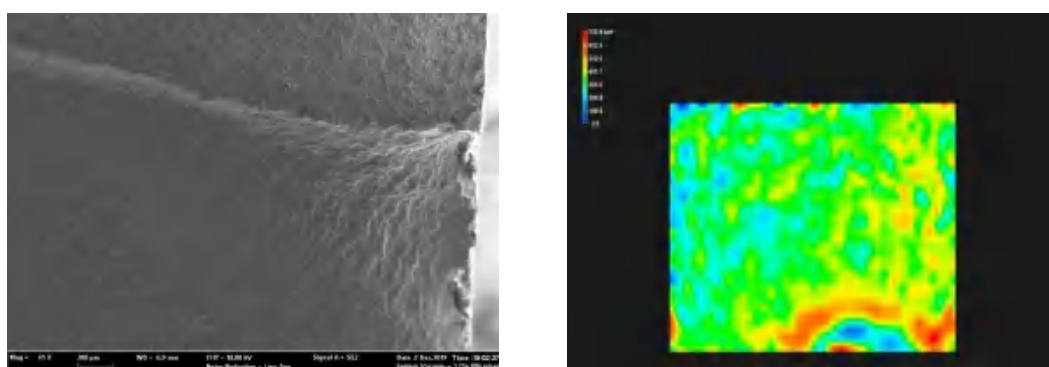


图 3 耐候钢断口及腐蚀形貌分析

针对免涂装耐候钢桥梁的设计和构造，研究耐候钢延性性能、抗冲击性能等主要性能

指标，高强螺栓等连接构件等性能要求。从长期性能的角度，研究山东地区耐候钢桥梁设计中的构造优化措施，如箱室内结露、梁端防水、连接节点构造等，提出公路耐候钢桥梁设计中需要考虑的关键问题，为耐候钢桥梁设计提供依据。

根据耐候钢桥梁的标准化施工工艺流程和性能指标要求，提出耐候钢桥梁现场施工和质量控制要领。耐候性中的 Cu、P 是主要元素，也助长焊接裂纹，通过对焊接施工工艺和施工流程的标准化，提出耐候钢焊接质量技术要求。同时，针对耐候钢桥梁施工，研究现场检测方法、施工质量控制要求以及验收标准，保证免涂装使用下的性能要求及稳定性等。

（二）适用范围

适用范围为涂装及免涂装公路耐候钢桥及耐候钢混凝土组合桥梁。

五、与现行相关法律、行政法规和其他标准的关系

本标准编写规则符合《山东公路学会团体标准管理办法》的要求；非工程建设标准编写规则应符合《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1）的要求。

国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714-2015 对桥梁用耐候钢材的化学成分及基本力学性能做出了规定，本规程将参考和部分引用该标准对材料的规定，并结合山东地区的气候及腐蚀性特征，对桥梁用耐候钢的种类及化学和力学指标进行细化。

中国工程建设标准化协会颁布的《公路耐候钢混凝土组合桥梁技术规程》T/CECS G：D60-31—2020 给出了耐候钢混凝土组合桥梁设计、构造、制造和养护等方面的规定，但缺乏耐候钢桥和耐候钢栓接的相关内容，此外构造细节较少，本规程将结合山东地区的气候及腐蚀性特性，提出适用于山东地区的免涂装高强度螺栓设计及施工的相关规定及构造细节。

六、与国家标准、行业标准、地方标准同类标准技术内容的对比情况

本标准符合现行上位标准《桥梁用结构钢》GB/T 714-2015 等的相关要求。

与上述国内上位标准和规范相比，本规程将结合山东地区的特性，对适用于山东地区的耐候钢种类、免涂装高强度螺栓设计及施工的相关规定和结构构造细节做出规定。

七、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据

本标准无重大分歧意见。

八、涉及专利情况

无。

九、预期实施效益分析

从技术效益上看，技术规程为对涂装及免涂装公路耐候钢桥及耐候钢混凝土组合桥梁的设计、施工、养护等提供了统一的标准和规范，有助于实现施工过程的标准化和规范化，提高工程质量和安全性；从经济效益上看，技术规程中对材料的选择和使用提出了明确要求，有助于减少材料浪费，提高材料利用率；从社会效益上看，技术规程的实施有助于确保耐候钢桥及耐候钢混凝土组合桥梁的稳定性和安全性，减少因桥梁结构问题引发的交通事故和安全隐患，提升公共安全水平。从环境效益上看，该技术规程的推广和应用有助于推动桥梁建设向更加环保、可持续的方向发展，符合当前全球可持续发展的趋势和要求。综上所述，耐候钢桥梁技术规程的实施在技术、经济、社会和环境等方面都可以带来显著的效益，不仅推动了桥梁建设技术的发展和标准化进程，还提高了工程质量和安全性，降低了施工成本，促进了交通事业的发展和社会进步。