

中国交通运输协会团体标准  
公路耐候钢桥梁技术规程  
编制说明

标准编制组

2022年11月

## 一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人

根据中国交通运输协会发布的“2021年度第一批团体标准项目立项的公告”（2021年4月9日发）要求，由安徽省交通规划设计研究总院有限公司联合多家单位作为起草单位，负责本规程的编制工作。

主要起草人：杨大海、汪志甜、周小伍、吴志刚、王金暖、王建国、付书林。

## 二、制订标准的必要性和意义

耐候钢凭借在大气腐蚀条件下形成的致密、连续、合金元素（Cu、Cr、P等）富集的内锈层的保护，拥有良好的耐大气腐蚀性能，可以避免或者减少涂装，降低桥梁全寿命造价，对环境影响小，适用于桥梁工业化快速生产，符合可持续发展战略要求。

国外已将耐候钢逐渐当作一种普通桥梁用钢来广泛使用。美、日等发达国家对耐候钢桥的设计和建造技术相对稳定，不仅拥有丰富的经验且从选材、设计、施工、安装及维修养护等方面制定了完整的规范、标准或规程。目前，约50%的美国桥梁和20%的日本桥梁使用耐候钢。

我国虽是桥梁工程大国，但耐候钢桥技术应用比发达国家滞后四五十年，其工程应用和研究屈指可数，重要原因在于使用耐候桥梁钢的相关国家或行业标准还未建立或健全，严重影响设计者对耐候桥梁钢选用的积极性，因此，呼吁国内学者和有关部门早日制定耐候钢桥设计、施工相关标准和规范，以促进耐候钢桥在我国的应用。

综上所述，为耐候钢桥在我国桥梁工程中的推广应用提供技术支持，迫切需要结合相关研究成果和应用案例，对设计技术进行系统、深入的调研分析，将方法、要求和条件转化为规范性条文，使设计有法可依，保证工程建设方案的合理性、工程质量的可靠性，并确保施工及运营安全。

本标准积极响应交通运输部下发的《关于实施绿色公路建设的指导意见》和《关于推进公路钢结构桥梁建设的指导意见》，能够填补国内耐候钢桥设计和建造标准的空白，提高整体社会效益、工作效率和经济效益，意义重大。

## 三、主要工作过程

本标准通过收集既有工程应用经验，以及相关研究成果、试验检测结果及使用单位反馈信息，确定标准编制方向。经中国交通运输协会立项和大纲审批通过，根据评审会

专家意见，形成征求意见稿，报中国交通运输协会评审。再根据评审会专家意见进行补充、修改，经中国交通运输协会同意，挂网征求意见。针对反馈意见，提出处理办法，进行补充、修改，形成送审稿。经中国交通运输协会同意，进行专家审查。根据专家审查会形成的专家意见进行修改，形成报批稿，上报审批。

#### 四、制订标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

本规程编制过程中进行了大量的耐候钢相关试验，包括耐候钢室内加速腐蚀试验、室外挂片试验、耐候高强螺栓拉伸试验等，并进行了深入的调查研究，总结我国以往耐候钢桥梁建设的经验，学习借鉴了国外耐候钢桥的设计经验，全面考虑了钢桥梁技术发展的客观需要，并广泛征求了有关各方面的意见，经审查、修订后定稿。

本规程编制过程中，查阅了下列规范、标准和技术规程：

GB/T 714	桥梁用结构钢
GB/T 1228	钢结构用高强度大六角头螺栓
GB/T 1229	钢结构用高强度大六角螺母
GB/T 1230	钢结构用高强度垫圈
GB/T 1231	钢结构用大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
GB/T 3323	金属熔化焊焊接接头射线照相
GB/T 4171	耐候结构钢
GB/T 5117	碳钢焊条
GB/T 5118	低合金钢焊条
GB/T 5293	埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂
GB/T 8110	气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
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
GB/T 10045	碳钢药芯焊丝
GB/T 11345	焊缝无损检测超声检测 技术、检测等级和评定。
GB/T 12470	埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂
GB/T 14957	熔化焊用钢丝
GB/T 17493	低合金钢药芯焊丝
GB/T 26952	焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级
GB/T 26951	焊缝无损检测 磁粉检测

JTG/T 3651	公路钢结构桥梁制造和安装施工规范
JTG/T 3310	公路工程混凝土结构耐久性设计规范
JTG D64	公路钢结构桥梁设计规范
JTG/T 3650	公路桥涵施工技术规范
JT/T 722	公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
JTG 5120	公路桥涵养护规范

本规程编制过程中查阅和参考的国外标准或材料包括：

- 1、日本规程《无涂装耐候钢桥梁的设计和施工要领》
- 2、美国规程 ASTM G101《低合金钢耐候性能评估标准规程》
- 3、英国规程《Weathering Steel for Highway Structures》

现行国家标准《桥梁用结构钢》(GB/T714-2015)参考 ASTM 标准，提出了耐候钢耐腐蚀性指数要求，并给出了计算方法，但该标准仅给出了耐候钢关于材料方面的部分规定，并未涉及到耐候钢桥梁设计与施工。现行行业标准《公路钢结构桥梁设计规范》给出公路钢结构桥梁设计相关规定，但未涉及到耐候钢桥梁相关设计内容。本规程重点解决耐候钢桥设计和施工问题，填补国内相关标准空白。

## 五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

### 1 范围

本文件规定了公路耐候钢桥梁的总体要求、材料、设计、制造与安装、检测与验收、运营维护的技术要求。

公路耐候钢桥梁的技术要求除应符合本文件外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

### 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 714	桥梁用结构钢
GB/T 1228	钢结构用高强度大六角头螺栓
GB/T 1229	钢结构用高强度大六角螺母
GB/T 1230	钢结构用高强度垫圈

GB/T 1231	钢结构用大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
GB/T 3323	金属熔化焊焊接接头射线照相
GB/T 4171	耐候结构钢
GB/T 5117	碳钢焊条
GB/T 5118	低合金钢焊条
GB/T 5293	埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂
GB/T 8110	气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
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
GB/T 10045	碳钢药芯焊丝
GB/T 11345	焊缝无损检测超声检测 技术、检测等级和评定。
GB/T 12470	埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂
GB/T 14957	熔化焊用钢丝
GB/T 17493	低合金钢药芯焊丝
GB/T 26952	焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级
GB/T 26951	焊缝无损检测 磁粉检测
JTG/T 3651	公路钢结构桥梁制造和安装施工规范
JTG/T 3310	公路工程混凝土结构耐久性设计规范
JTG D64	公路钢结构桥梁设计规范
JTG/T 3650	公路桥涵施工技术规范
JT/T 722	公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
JTG 5120	公路桥涵养护规范

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1 耐大气腐蚀钢 atmospheric corrosion resistant 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，又称耐候钢，代号：NH。

#### 3.2 耐大气腐蚀性指数 atmospheric corrosion resistance index

用于评价钢的耐大气腐蚀性能，根据钢材含有的各化学成分的比例及其抵抗腐蚀的程度进行计算。

### 3.3 耐候钢桥梁 weathering steel bridge

全部或主要受力构件采用耐候钢材的桥梁，分为无涂装耐候钢桥梁和涂装耐候钢桥梁。

### 3.4 无涂装耐候钢桥梁 bridge with atmospheric corrosion resistance for non-coating use

指利用耐候钢的耐大气腐蚀性能，直接裸露使用或经锈层稳定化后直接使用的耐候钢桥梁。

### 3.6 稳定锈层 stable rust layer

在良好的环境下，耐候钢材的表面形成的锈层由红褐色、褐色到暗褐色变化，腐蚀速度减缓，最终在钢材表面形成紧贴致密的保护锈层。

### 3.5 锈蚀裕量 design margin considering the effect of rust

无涂装耐候钢桥梁因形成稳定锈层板厚会损失，在结构设计时，应增加考虑锈蚀影响的板厚损失量，即考虑锈蚀影响的设计裕量。

### 3.7 锈层稳定化处理 rust layer stabilization treatment

通过周期水浸法、周期稳定剂喷淋法或其他方法使构件表面生成均匀的稳定锈层的过程。

## 4 总体要求

### 4.1 一般规定

4.1.1 桥梁用耐候钢在无涂装使用的情况下，其耐大气腐蚀性指数应不小于 6.0，耐大气腐蚀性指数计算方法参考《桥梁用结构钢》（GB/T 714-2015）有关规定。

**为保证桥梁用耐候钢的耐腐蚀性，其耐大气腐蚀性指数应满足《桥梁用结构钢》（GB/T 714-2015）有关规定。**

4.1.2 当桥梁结构采用无涂装耐候钢时，其焊接材料、高强螺栓以及节点拼接钢板均应达到与母材相同的耐候性能

**规定了焊接材料、高强螺栓以及节点拼接钢板耐候性能。**

4.1.3 耐候钢桥梁在进行施工之前，应根据现场条件进行必要的焊接工艺试验，以确定相关施工工艺。

### 4.2 适用环境

4.2.1 在以下情况，不宜采用无涂装耐候钢桥梁：

a) 距离海岸线 5 公里以内或空气中氯化物水平超过 0.05mdd 的区域；

- b) 重腐蚀性工业大气或三氧化硫含量超过 2.1mdd 区域
- c) 大量使用融雪剂（除冰盐）且有大量盐分聚集的区域；
- d) 频繁降雨、高湿度、持续大雾以及年平均湿度大于 60%区域；
- e) 在水上净空高度小于 2.5m 的区域；
- f) 钢埋在土壤中的区域。
- g) 通风性条件差或者“类隧道”跨线桥。

本条明确了无涂装耐候钢桥梁环境适用范围。耐候钢依靠自身表面形成的稳定锈层，显示出良好的耐大气腐蚀性能。国外大量的工程应用经验表明，耐候钢表面稳定锈层的形成受水、氯化物、二氧化硫等因素影响。因而，日本指南《无涂装耐候钢桥梁的设计和施工要领》以及美国 FHWA《钢桥设计手册》均对无涂装耐候钢桥梁环境使用范围加以限制。

4.2.2 无涂装耐候钢在不同的腐蚀环境下，腐蚀速率应小于等于  $5\mu\text{m}/\text{年}$ 。

耐候钢在形成了致密稳定的锈蚀层后腐蚀速率开始趋于稳定，美国、欧洲和日本进行了大量的腐蚀基础研究，均对耐候钢的腐蚀抵抗力进行了限定。根据 ASTM G101 标准，耐候钢结构寿命周期内的腐蚀减薄量  $C$  满足： $\log C = \log A + B \log t$ ，式中， $C$  为腐蚀减薄量， $A$ 、 $B$  为常熟， $t$  为时间，据此估算在不同的腐蚀环境下，腐蚀速率小于等于  $7.5\mu\text{m}/\text{年}$  时耐候钢可以满足其腐蚀要求。安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司承担科研项目《免涂装高性能耐候钢在钢板组合梁桥中的应用研究》中开展了耐候钢在工业大气环境的室内加速腐蚀试验，对腐蚀盐溶液周浸试验后的耐候钢进行腐蚀失重分析并得到腐蚀失重与时间的关系曲线，通过该曲线预测耐候钢 100 年腐蚀平均速率约为  $5\mu\text{m}/\text{年}$ ，该试验验证了 ASTM G101 标准对耐候钢腐蚀速率的规定。

4.2.3 当环境不适宜采用无涂装耐候钢桥梁，应加以特殊处理或采用涂装耐候钢桥梁。

## 5 材料

### 5.1 钢材

5.1.1 耐候钢的材料、交货状态、力学性能、化学成分等技术标准须符合《桥梁用结构钢》(GB/T 714) 的规定。其化学成分应符合表 5.1.1-1 的规定，其力学性能应符合表 5.1.1-2 的规定。

本条与《桥梁用结构钢》(GB/T 714-2015) 一致，对桥梁用耐候钢的交货技术条件、

力学性能和化学成分作出了相应规定。

5.1.2 耐候钢材应符合设计文件和相关标准的规定，进场材料除应有质量证明文件外，制造厂还应按相关标准进行抽样检验，检验合格后方可使用。

本条参考《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》（JTG/T 3651-2022）4.1节相关规定。

## 5.2 耐候高强螺栓

5.2.1 耐候高强螺栓应符合国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》（GB/T1228）、《钢结构用高强度大六角螺母》（GB/T1229）、《钢结构用高强度垫圈》（GB/T1230）、《钢结构用大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》（GB/T1231）的规定。

耐候钢桥用螺栓、螺母和垫圈的使用配合可参照表 5.2.1-1。

耐候高强螺栓的力学性能不应低于同等级的高强螺栓，可参照表 5.2.1-2。

耐候高强螺栓副型式尺寸、性能等级与同等级高强螺栓保持一致，其力学性能不低于同等级高强螺栓，本条参照国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》（GB/T1228）、《钢结构用高强度大六角螺母》（GB/T1229）、《钢结构用高强度垫圈》（GB/T1230）、《钢结构用大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》（GB/T1231），对耐候高强螺栓型式尺寸、性能等级以及力学性能进行了规定。

5.2.2 耐候高强螺栓、螺母和垫片均采用耐候热轧盘条，耐候高强螺栓的耐大气腐蚀指数与母材相同，要求  $I \geq 6.0$ 。

5.2.3 从耐候高强螺栓产品取样，以同等级普通高强螺栓作为对比试样，进行典型酸性腐蚀环境下的缺口拉伸试验，试验结果应符合“耐候高强螺栓的抗延迟断裂高于普通高强螺栓”的要求。

腐蚀不仅导致螺栓有效截面积减小，腐蚀反应所产生的氢原子还会渗入材料中导致局部氢浓度的升高，这些均会导致螺栓的早期断裂，极大地影响钢结构的安全服役。本条的规定是为了确保耐候钢桥螺栓良好的耐候性能以及抗延迟断裂性能。

5.2.4 在气候温和干燥的地区可选用无表面处理的耐候高强螺栓，气候复杂地区应选用表面处理（磷皂化、发黑）的耐候高强螺栓。

气候复杂地区不利于耐候高强螺栓稳定锈层的形成，通过磷皂化或发黑等表面处理方法，可在螺栓表面形成氧化膜以隔离空气，并在一定程度上防止螺栓锈蚀。

### 5.3 焊接连接

5.3.1 耐候钢焊接所用焊接材料应与主体钢材的性能和成分相匹配，焊接接头应满足无涂装使用的要求，焊接材料的耐大气腐蚀指数不低于母材，并具有产品质量证明书和检验报告。

**规定了耐候钢焊接材料性能和成分，并对耐候性提出要求。**

5.3.2 焊接接头的屈服强度、低温冲击功、延伸率不应低于主体钢材的标准值。

**从《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)中 6.2.2 条引用。**

5.3.3 手工焊接采用的焊条应符合现行《碳钢焊条》(GB/T 5117)或《低合金钢焊条》(GB/T 5118)的规定。

**从《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)中 3.1.12 条引用。**

5.3.4 自动焊和半自动焊采用的焊丝和焊剂应符合现行《熔化焊用钢丝》(GB/T 14957)、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》(GB/T 8110)、《碳钢药芯焊丝》(GB/T 10045)、《低合金钢药芯焊丝》(GB/T 17493)、《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》(GB/T 5293)或《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》(GB/T 12470)的规定。

**从《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)中 3.1.12 条引用。**

## 6 设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 耐候钢桥梁的结构分析应符合《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64)的规定，并应充分考虑环境腐蚀对构件和结构性能的影响。

**耐候钢的桥梁结构分析应满足《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)规定，并新增考虑环境腐蚀的影响。**

6.1.2 结构受力分析可按线弹性理论进行，即钢结构构件未进入塑性受力状态。当极限状态下结构的变形不能被忽略时，应考虑几何非线性对结构受力的影响。

**从《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)中 4.1.3 条引用。**

6.1.3 无涂装耐候钢桥梁在结构设计时，截面板厚应考虑锈蚀裕量；涂装耐候钢桥梁可根据涂装方案确定锈蚀裕量。

**本条对如何考虑设计裕量作出规定。**

### 6.2 锈蚀裕量设计

6.2.1 无涂装耐候钢桥梁设计，应针对不同腐蚀环境增加耐候钢截面板厚。锈蚀裕量的取值应符合表 6.2.1 的规定。

耐候钢桥梁在美国、欧洲和日本已经应用半个多世纪，进行了大量的腐蚀基础研究，积累了大量的设计经验，在设计过程中首先需要对桥梁所处环境进行分类。根据 ISO 9223—1992 对环境分级（C1—C5），欧洲各国在设计耐候钢桥梁时分别对不同环境等级中容许腐蚀厚度进行了规定，相关规定较日本和美国偏保守，具体如下表：

表 6.2.1 欧洲各国耐候钢桥梁容许腐蚀厚度 mm

国家	C1	C2	C3	C4	C5
英国	1	1	1	1.5	1.5
德国	-	0.8	1.2	1.5	-
瑞士	-	0.6	1.2	1.7	-

我国目前对耐候钢桥梁的研究和应用还处于起步阶段，耐候钢材在不同环境中的腐蚀速率尚未明确，缺乏大量的腐蚀基础研究数据。本条偏保守参考英国耐候钢桥梁容许腐蚀厚度考虑板厚设计裕量，考虑箱梁内部腐蚀环境相对较好，板厚设计裕量参考澳大利亚标准 AS 5100 取 0.5mm。

6.2.2 无涂装耐候钢桥梁结构整体计算分析（内力、反力计算）时，截面板厚可不扣除锈蚀裕量。

6.2.3 无涂装耐候钢桥梁结构应力计算、挠度计算和整体、局部稳定分析时，截面板厚应扣除锈蚀裕量。

根据 BS 5400 规范规定，无涂装耐候钢桥在做整体分析的时候箱可以不考虑腐蚀损失，在做应力计算、稳定分析的时候需要考虑腐蚀损失。

### 6.3 截面设计

6.3.1 板件宽厚比应满足《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）的相关要求。对无涂装耐候钢结构构件，在计算板件宽厚比时应扣除锈蚀裕量。

6.3.2 受压加劲板设计应满足《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）的相关要求。对无涂装耐候钢结构构件，在进行受压加劲板设计时，被加劲板及纵、横向加劲肋各板件厚度均应扣除锈蚀裕量。

6.3.3 有效截面计算应满足《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）的相关要求。对无涂装耐候钢结构构件，在进行有效截面计算时，截面各相关板件厚度应扣除锈蚀裕量。

6.3.4 耐候钢桥梁在疲劳设计时，可以不考虑腐蚀，但宜加强疲劳细节设计。

6.3 节为腐蚀设计裕量影响设计中板件厚度的取值，对应《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64—2015）中板厚相关条文，明确无涂装耐候钢板厚度如何对应取值。

## 6.4 构造细节设计

### 6.4.1 一般规定

- a) 应将焊缝表面磨平，以防积水。
- b) 主梁间距设置合理，不宜太密以便通风。
- c) 主梁间宜使用 K 型斜撑，防止水分进入交叉处缝隙。
- d) 工字梁下翼缘宜设置排水坡（图 6.4.1），防止积水。
- e) 箱梁下翼缘伸出宽度在满足焊接构造要求的前提下宜减小，或者腹板延伸超出下翼缘下表面（图 6.4.2），防止积水。
- f) 箱梁内侧宜施以涂装。
- g) 与下翼缘焊接的竖向加劲肋应设计排水通路，不与下翼缘焊接的竖向加劲肋应在翼缘以上至少 30mm 切断（图 6.4.3）。
- h) 设置挡水板或者挡水托盘，避免锈水沿外表面流淌，污染桥墩。
- i) 耐候钢与混凝土接触面应进行底漆处理，涂层厚度不应低于 100 $\mu$ m。底漆宜采用无机富锌底漆或环氧富锌底漆。

国外大量耐候钢桥的调查结果表明，当耐候钢桥排水等构造措施设计不当时，与普通钢桥一样也会锈蚀，因此，耐候钢桥梁应注重结构细节设计，需确保钢材表面通风好、不积尘、不积水。例如钢梁的下翼缘板的腐蚀最为严重，这是由于桥面板或上翼缘的水流向下流淌时飞溅到下翼缘，导致下翼缘长期潮湿，从而不利于稳定锈层的形成。为了避免这种情况的发生，日本《无涂装耐候钢桥梁的设计和施工要领》中建议钢梁在焊接腹板和下翼缘时应先做稍大的反变形以防积水从利于排水角度。本条规定了焊缝、主梁间距、梁间支撑、工字梁翼缘、挡水板等耐候钢桥构造细节。

### 6.4.2 梁端部构造

- a) 安装在梁端部的伸缩装置、支座及四周，应进行涂装。
- b) 钢梁端部涂装范围应大于梁高的 1.5 倍，涂料颜色应匹配耐候钢锈层稳定后的最终颜色。
- c) 支座周围宜通风良好、易于干燥。如在支座下设混凝土垫石，应在盖梁顶面设排水坡。
- d) 梁端背墙宜通风良好、易于干燥，并留有检修空间。
- e) 箱梁梁端下翼缘宜用沥青等适当填料在翼缘上表面设置排水坡。

梁端伸缩缝漏水会导致相邻钢构件上的节点构造细节发生缝隙腐蚀和电偶腐蚀，此外，由于缝隙的存在梁端下翼缘容易积存水和尘土，所以梁端应重点加强防水、防尘、通风设计，且在梁端部一定范围内进行适当的涂装防护。

#### 6.4.3 混凝土桥面板构造

- a) 混凝土桥面板边缘应设置滴水构造，防止水沿混凝土板下缘流到钢梁。
- b) 耐候钢与混凝土桥面板的交界面应采用密封剂密封。
- c) 混凝土桥面板防水层应采用高性能防水材料，当设有人行道时，防水层应铺满包括人行道的整个桥面，以防止除冰盐渗透到钢构件表面。

对于钢混组合梁桥，混凝土桥面板宜进行配套的防、排水构造设计。

#### 6.4.4 焊缝连接

- a) 设计中不得任意加大焊缝，宜避免焊缝立体交叉、重叠和过分集中。焊缝宜对称布置于杆件的轴线。
- b) 焊接设计时宜考虑减少在桥位的焊接作业量，焊接顺序的设计应避免仰焊作业，并宜减少周边构件对焊件的约束。
- c) 受力构件焊接不得采用圆孔和槽口塞焊，必要时应采用特殊的坡口并制定专门的焊接工艺。
- d) 焊缝的其他规定应符合《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64)的规定。

本条引自《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)中6.2条。

#### 6.4.5 高强螺栓连接

- a) 为防止由于毛细作用导致水分和溶解污染物进入螺栓连接缝隙，耐候高强螺栓中心和边缘距离应符合下列规定：
  - 1) 靠近边缘的螺栓间距不应超过最薄构件厚度的14倍，且不应超过175毫米。
  - 2) 螺栓中心到板的最近自由边的距离不应超过最薄构件厚度的8倍，且不应超过125毫米。如果螺栓间距不满足上述要求时，应使用合适的密封剂防止螺栓连接缝隙的腐蚀。
- b) 螺母或螺帽与钢板接头处以及耐候钢板之间可能产生毛细现象导致生锈鼓包处，宜用富锌涂料涂覆，周围采用硅酮密封胶密封。
- c) 耐候高强螺栓其他规定应符合《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64)的规定。

耐候高强螺栓连接只用于耐候钢结构的连接，不允许用于普通钢结构连接，以避免不同类型钢材间引起电化学腐蚀。为使板间更加地密贴，在《公路钢结构桥梁设计规范》

规定基础上，耐候高强螺栓中心和边缘距离相对于传统钢桥要求更为严格。

#### 6.4.6 附属物

- a) 泄水管横向引流应保证坡度，并避免在钢结构表面设置接头；泄水管竖向应伸出主梁下翼缘之外，注意防止水流飞溅。
- b) 栏杆、隔离带等部位，不宜使用耐候钢。
- c) 水管管道附挂于桥上时，应采用必要的措施，防止由于管道内外温差产生的结露浸湿钢结构。
- d) 伸缩缝处宜设置非金属排水系统，防止锈蚀影响梁端耐候钢锈层稳定。

参考日本、欧洲等国家常用做法，同时结合国内工程经验，对泄水管、栏杆、伸缩缝等附属构造物提出相应的构造要求。

## 7 制造与安装

### 7.1 一般规定

7.1.1 耐候钢桥梁的制造与安装应符合《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》（JTG/T 3651）的规定，并应充分考虑环境对形成稳定锈层的影响。

7.1.2 耐候钢桥梁在存储、运输、安装过程中应保护各部分免受污染和损坏，避免形成腐蚀陷阱。

### 7.2 工厂制造

#### 7.2.1 钢材表面处理

- a) 表面除锈等级应达到 GB/T 8923.1 规定的 Sa2~Sa2½级。
- b) 耐候钢表面应清除表面油、油脂、切削化合物、局部焊接飞溅物或其他焊接残留物、污垢、锈垢和异物。确保表面颜色均匀，无可见残留物。

**规定了耐候钢表面除锈和清理要求。**

#### 7.2.2 锈层稳定化处理

a) 周期水浸法:喷砂除锈后的钢构件进行洒水处理，须维持干湿交替状态，每天至少干湿循环 3 次，至少进行 3 个月，使构件表面生成致密均匀的锈层。

b) 周期稳定剂喷淋法:喷砂除锈后的钢构件喷淋锈层稳定剂，每天 1~3 次，至少进行 1 个月，使构件表面生成致密均匀的锈层。

7.2.3 螺栓连接摩擦面应根据螺栓安装方法和螺栓厂推荐工艺，保证栓接面抗滑移系数出厂时不小于 0.55, 架设时不小于 0.45, 其摩擦面可采用喷砂除锈后涂无机富锌防锈防滑涂料进行涂装处理。

本条引自《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》(JTG/T 3651-2022) 10.5 条对螺栓摩擦面处理规定, 藏木大桥摩擦面处理采用上述方法验证可靠。

### 7.3 施工安装

7.3.1 钢材吊运过程中应避免磕碰和边缘损伤, 运输时盐分的附着量须在 100mg/m<sup>2</sup> 以下, 途中不得沾染污物; 为避免擦触、碰撞, 宜在表面设置保护膜。

7.3.2 耐候钢材表面沾染的尘埃或油脂污物应及时去除。

7.3.3 耐候钢桥在铆接、栓接和焊接过程中应确保接头处匹配良好且紧密。

7.3.4 耐候钢桥梁焊接预热温度和道间温度应根据钢材的化学成分、接头的拘束状态、热输入大小及所采用的焊接方法等因素综合考虑确定或仅需焊接试验以确定实际工程结构施焊时的最低预热温度, 最大道间温度不宜超过 180℃。

7.3.5 耐候钢桥梁构件的焊接应符合《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》(JTG/T 3651) 的规定。

7.3.6 耐候高强螺栓的安装应符合《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》(JTG/T 3651) 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》(JGJ82) 的规定。

耐候钢桥在储存、运输、安装等过程中应注意对稳定锈层的保护。

## 8 质量验收

### 8.1 一般规定

8.1.1 耐候钢桥梁应进行质量检验与验收, 并应符合《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80) 的规定。

8.1.2 桥梁耐候钢构件制造完成后应按照《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》(JTG/T 3651) 的规定进行检验, 出厂前进行验收。

### 8.2 外观检测

8.2.1 耐候钢桥梁表面应均匀一致, 不应有尘土、油脂、不均匀锈斑等。

8.2.2 所有焊缝待焊缝金属冷却后进行外观检查, 并填写检查记录。所有焊缝应无裂纹、未熔合、焊瘤、夹渣、未填满弧坑及漏焊等焊接缺陷。外观检查不合格的焊接构件, 在未进行处理并满足要求之前, 不进入下一道工序。

8.2.3 耐候钢桥梁焊缝外观检测质量标准应符合《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》(JTG/T 3651) 的相关规定。

### 8.3 无损检测

8.3.1 焊缝无损检测的质量分级、检验方法、检验部位的等级应符合《公路钢结构

桥梁制造和安装施工规范》(JTG/T 3651)的规定。

8.3.2 无损检测应在外观检测合格后进行。耐候钢桥梁钢结构应以焊接完成 24h 后无损检测结果作为验收依据；当钢板厚不小于 40mm 时，以焊接完成 48h 后无损检测结果作为验收依据。

8.3.3 采用超声波、射线、磁粉等多种方法检验的焊缝，应达到各自的质量要求，该焊缝方可认为合格。

8.3.4 超声波检测设备及工艺要求应符合现行国家标准《焊缝无损检测超声检测技术、检测等级和评定》(GB/T 11345)的规定。

8.3.5 射线探伤应符合现行国家标准《金属熔化焊焊接接头射线照相》(GB/T 3323)的规定。

8.3.6 磁粉探伤应符合国家标准《焊缝无损检测磁粉检测》(GB/T 26951)的规定，合格标准应符合《焊缝无损检测焊缝磁粉检测验收等级》(GB/T 26952)的规定。

**耐候钢现场焊缝质量要求、检测方法及检测范围与普通钢相同，第 8 节内容引自《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》(JTG/T 3651)和《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50)。**

## 9 运营维护

### 9.1 一般规定

耐候钢桥梁的运营维护应符合《公路桥涵养护规范》(JTG5120)的规定，并应注重对特殊区域、锈层外观以及板厚的检查、评估。

### 9.2 检查

9.2.1 对耐候钢桥特殊区域，包括伸缩缝附近、螺栓连接部位、焊接部位、排水通道及混凝土与耐候钢界面密封处，应当间隔不超过 1 年检测一次。

**规定了耐候钢桥特殊区域检查周期。**

9.2.2 对耐候钢桥梁日常检查，应当依据锈层外观变化、板厚测定，评估锈层腐蚀状况。锈蚀评价应以外观目测检查为主。

**规定了耐候钢桥检查手段。**

9.2.3 对耐候钢桥目测检查时，应包含桥梁上部构件、下部构件及附属设施，常见病害及可能原因参考附录 A。

**给出了耐候钢常见病害及原因。**

9.2.4 若目测锈层较差，可采用放大镜等微观检测方法，并用超声波测量在安装阶段标记处的钢板厚度，宜每隔6年测量一次，通过测量钢板厚度的变化来反推锈层厚度，18年后构件的预计损失超过结构寿命的允许值，需要采取处理措施。

**规定了耐候钢桥板厚测量方法和频率。**

9.2.5 宜对耐候钢桥梁腐蚀关键点（如梁端区域、高强螺栓连接部位、焊接部位、混凝土与耐候钢界面密封处、结构受力较大区域等）进行腐蚀速率监测，每隔6年采用超声波测量法测量1次，以验证预留的钢板厚度是否满足要求。不同环境下的腐蚀速率应当满足4.2.2要求。

**耐候钢锈蚀速度较慢，欧洲建议宜每隔6年采用超声波对耐候钢板厚度进行测量。**

### 9.3 评估

9.3.1 耐候钢的锈蚀外观评价应重点观察锈层表面颜色、均匀性、致密度，评估是否稳定，锈蚀外观评估等级可参考附录B。

日本根据耐候钢锈层表面颜色、均匀性、致密度等情况，将耐候钢外观锈蚀等级分成五类，并相应给出处置建议。安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司对运营中的芜合高速24座免涂装耐候钢桥梁检查结果表明，锈蚀等级处于4~5级，耐候钢锈层基本稳定，结构整体处于良好状态。

9.3.2 各类锈蚀等级的处置方法见下表：

### 9.4 维护

9.4.1 当耐候钢构件表面锈层呈蓬松状时，表明该区域存在严重的局部性腐蚀问题，应及时确定原因和采取纠正措施。

9.4.2 耐候钢桥可能有水、潮湿以及容易造成积水的部位，如排水管和伸缩缝的漏水等，应当进行重点调查并提出处理措施。

9.4.3 耐候钢结构表面的污垢和碎屑应采用低压力水冲洗，确保构件表面清洁、干净。

9.4.4 当监测表明在设计寿命周期内，桥梁钢板厚度损耗将超过设计锈蚀裕量，应对钢梁采取适当的保护措施，如进行涂装等。

**9.4.1~9.4.4条规定了耐候钢桥日常养护方法。**

## 六、重大意见分歧的处理依据及结果

本标准制订过程中尚未发生过重大意见分歧。

## 七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况

本标准未采用国际标准和国外先进标准。

## 八、作为推荐性标准建议及其理由

耐候钢桥梁可以避免或者减少涂装，降低桥梁全寿命造价，对环境影响小，适用于桥梁工业化快速生产，符合可持续发展战略要求。本标准积极响应交通运输部下发的《关于实施绿色公路建设的指导意见》和《关于推进公路钢结构桥梁建设的指导意见》，能够填补国内耐候钢桥设计和建造标准的空白，提高整体社会效益、工作效率和经济效益，意义重大。

## 九、贯彻标准的措施建议

### 1、成立技术小组

标准应用实施方面，编制组将成立专门的技术小组，对标准的应用提供指导，确保标准的贯彻实施。

### 2、加强技术状况检测工作

编制组将加强对运用标准的项目技术状况检测调研与数据统计工作，确保标准的科学性与准确性。

### 3、开展项目示范

我们将开展标准应用项目示范，例如 G5011 莞合高速公路林头至陇西立交段改扩建工程中的 24 座耐候钢板组合梁桥，耐候钢桥在该项目中成功应用表明耐候钢桥建设过程中对环境的影响小，综合效益显著提高，为推动耐候桥梁在中国的广泛应用提供了良好的示范作用，此外，我们将根据项目情况，将耐候钢合理的应用至更多的钢结构桥梁当中，形成应用项目示范，促进公路耐候钢桥的设计。

### 4、加强宣贯和培训

针对标准宣贯工作，我们将采取组织学习和专家培训相结合的方式进行。我们将依托协会，采用专家授课和应用单位圆桌交流相结合的方式组织开展宣贯工作，组织国内应用单位的技术人员参加，计划开展 3~5 次。

## 十、其他应说明的事项

暂无。