

公路耐候钢桥梁设计与施工指南

Design and construction guidelines for highway weathering steel bridges

2024 - 04 - 15 发布

2024 - 05 - 15 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	2
5 材料	2
5.1 一般规定	2
5.2 钢材	3
5.3 耐候高强螺栓	3
5.4 焊接材料	3
6 设计	4
6.1 一般规定	4
6.2 锈蚀裕量设计	4
6.3 结构计算	4
6.4 构造设计	4
7 施工	7
7.1 一般规定	8
7.2 工厂制造	8
7.3 安装施工	8
8 质量验收	8
8.1 一般规定	8
8.2 外观检测	8
8.3 无损检测	9
8.4 耐候高强螺栓施拧质量检查	9
9 运营维护	9
9.1 一般规定	9
9.2 检查与监测	9
9.3 评估与养护	9
9.4 维护	10
附录 A (资料性) 大气腐蚀环境分类	11
附录 B (规范性) 耐候钢化学成分	12
附录 C (规范性) 耐候钢力学性能	13
附录 D (规范性) 10.9S 级和 8.8S 级耐候高强螺栓副的化学成分	14
附录 E (规范性) 典型钢板焊接材料供货技术条件	15

附录 F（资料性）	耐候钢桥的可视病害及成因.....	16
附录 G（资料性）	耐候钢外观锈蚀等级评估	17

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。

本文件由安徽省交通控股集团有限公司提出。

本文件由安徽省交通运输厅归口。

本文件起草单位：安徽省交通控股集团有限公司、安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司。

本文件主要起草人：于春江、杨大海、曹皓、汪志甜、毛洪强、周小伍、雷进、刁凯、王胜斌、吴建民、吴志刚、曹光伦、陈发根、梁长海、杨凯、李润清、孙敦华、窦维禹、邓陈记、王博、肖中伟、曹为民。

公路耐候钢桥梁设计与施工指南

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、施工、质量验收、运营维护的技术要求。本文件适用于公路耐候钢桥梁的设计与施工。

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 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
- GB/T 3323.1 焊缝无损检测射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5118 热强钢焊条
- GB/T 5293 埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求
- GB/T 8110 熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
- 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 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 10045 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝
- 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 埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求
- GB/T 14957 熔化焊用钢丝
- GB/T 17493 热强钢药芯焊丝
- GB/T 26951 焊缝无损检测 磁粉检测
- GB/T 26952 焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级
- JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范
- JTG/T 3651 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范
- JTG 5120 公路桥涵养护规范
- JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
- ISO 12944-2 涂料和清漆. 防护涂层系统对钢结构的腐蚀防护. 环境的分类

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

耐候钢 weathering steel

耐候钢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，又称耐大气腐蚀钢。

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的参数，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

主要受力构件采用耐候钢材的桥梁。

3.4

稳定锈层 stable rust layer

耐候钢的表面形成的由红褐色、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。

3.6

腐蚀速率 corrosion rate

单位时间内，单位面积上耐候钢平均损失的厚度，单位：mm/年。

4 总体要求

4.1 采用耐候钢桥梁时，应进行大气腐蚀环境评估，评估方法应符合 ISO 12944-2 和 JT/T 722 的规定，可参考附录 A 执行。

4.2 根据环境评估情况，选择适应的耐候钢材，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 GB/T 714 有关规定。

4.3 在以下情况，不宜采用无涂装耐候钢桥梁：

- a) 空气中氯化物水平超过 0.05 mdd 的区域；
- b) 重腐蚀性工业大气或三氧化硫含量超过 2.1 mdd 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 2.5 m 的区域；
- f) 钢埋在土壤中的区域。

4.4 当环境不适宜时，耐候钢桥梁应加以特殊处理或采用涂装耐候钢桥梁。

4.5 无涂装耐候钢在稳定锈层形成后，腐蚀速率应不大于 5 μ m/年。

5 材料

5.1 一般规定

5.1.1 当桥梁结构采用耐候钢时，其焊接材料、高强螺栓、节点拼接钢板以及施工临时连接件均应达到与母材相同的耐候性能。

5.1.2 耐候钢代号：NH，按屈服强度分为 345 MPa、370 MPa、420 MPa、460 MPa、500 MPa 五个强度等级，按钢材质量等级分为 D、E、F 三个级别。

5.2 钢材

5.2.1 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，还应按相关标准进行抽样检验，检验合格后方可使用。

5.2.2 耐候钢的材料、交货状态、力学性能、化学成分等技术标准应符合 GB/T 714 的规定。其化学成分应符合附录 B 的规定，其力学性能应符合附录 C 的规定。

5.3 耐候高强螺栓

5.3.1 10.9S 级和 8.8S 级耐候高强螺栓的化学成分应符合附录 D 的规定。

5.3.2 耐候高强螺栓副应符合国家标准 GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230、GB/T 1231 的规定，还应符合下列规定：

- a) 耐候钢桥用螺栓、螺母和垫圈的使用配合应符合表 1 的规定；
- b) 耐候高强螺栓的力学性能不应低于同等级的高强螺栓，应符合表 2 的规定。

表1 螺栓、螺母、垫圈的使用配合

类别	螺栓	螺母	垫圈
型式尺寸	按 GB/T 1228 规定	按 GB/T 1229 规定	按 GB/T 1230 规定
性能等级	10.9S	10H	35HRC~45HRC
	8.8S	8H	35HRC~45HRC

表2 耐候高强螺栓的力学性能要求

螺栓等级	抗拉强度 R _m /MPa	非比例延 伸强度 R _{p0.2} /MPa	断后伸长率 A/%	断后收缩率 Z/%	冲击吸收功 A _{KU2} /J	维氏硬度 HV30	洛氏硬度 HRC
国标 8.8S 级	830~1030	≥660	≥12	≥45	≥63	249~296	24~31
国标 10.9S 级	1040~1240	≥940	≥10	≥42	≥47	312~367	33~39

备注：当螺栓的材料直径≥16mm时，根据用户要求，进行常温冲击试验

5.3.3 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≥6.0。

5.3.4 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。

5.3.5 在气候温和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经磷皂化、发黑等表面处理的耐候高强螺栓。

5.4 焊接材料

5.4.1 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，各强度级别的匹配焊接材料应满足附录 E 的要求。

5.4.2 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。

5.4.3 焊接接头的屈服强度、延伸率不应低于主体钢材的标准值，低温冲击功应符合 JTG/T 3651 的规定。

5.4.4 手工焊接采用的焊条应符合现行 GB/T 5117 或 GB/T 5118 的规定。

5.4.5 自动焊和半自动焊采用的焊丝和焊剂应符合 GB/T 14957、GB/T 8110、GB/T 10045、GB/T 17493、GB/T 5293 或 GB/T 12470 的规定。

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 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。

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。

6.1.3 耐候钢桥梁在结构设计时，耐候钢构件截面板厚应考虑锈蚀裕量。

6.2 锈蚀裕量设计

6.2.1 应针对不同腐蚀环境对耐候钢截面设置锈蚀裕量，锈蚀裕量的取值应符合表 3 的规定。

表3 桥梁用耐候钢在不同腐蚀环境的锈蚀裕量

腐蚀环境分类	设计增加厚度 (mm)	
	外表面	箱梁内部
C1	1	0.5
C2	1	
C3	1	
C4	1.5	
C5	1.5	

6.3 结构计算

6.3.1 耐候钢桥梁结构进行内力、反力整体计算分析和施工设计时，截面板厚可不扣除锈蚀裕量。

6.3.2 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。

6.3.3 耐候钢桥梁截面尺寸设计、工程材料计算时应计入锈蚀裕量。

6.3.4 结构计算板件宽厚比应满足 JTG D64 的相关要求。对耐候钢结构构件，在计算板件宽厚比时应扣除锈蚀裕量。

6.3.5 受压加劲板设计应满足 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计算时，被加劲板及纵、横向加劲肋各板件厚度均应扣除锈蚀裕量。

6.3.6 有效截面设计计算应满足 JTG D64 的相关要求。对无涂装耐候钢结构构件，在进行有效截面设计计算时，截面各相关板件厚度应扣除锈蚀裕量。

6.3.7 耐候钢桥梁在疲劳设计时，可以不扣除锈蚀裕量，但宜加强疲劳细节设计。

6.4 构造设计

6.4.1 钢结构构造应符合以下规定：

- 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 型斜撑或工字型横撑, 防止水分进入交叉处缝隙;
 d) 工字梁下翼缘宜设置坡度为 i 的排水坡, i 值宜取 2%~5% 防止积水, 见图 1;

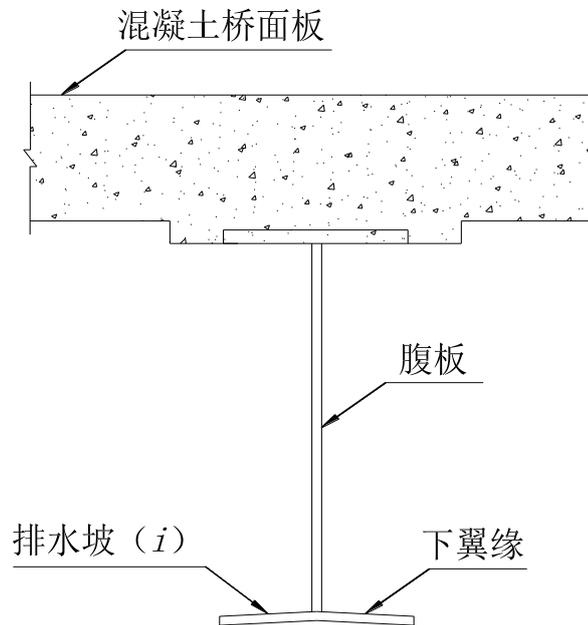


图1 工字梁下翼缘横坡

- e) 箱梁下翼缘伸出宽度 h 值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, 防止积水, 见图 2;

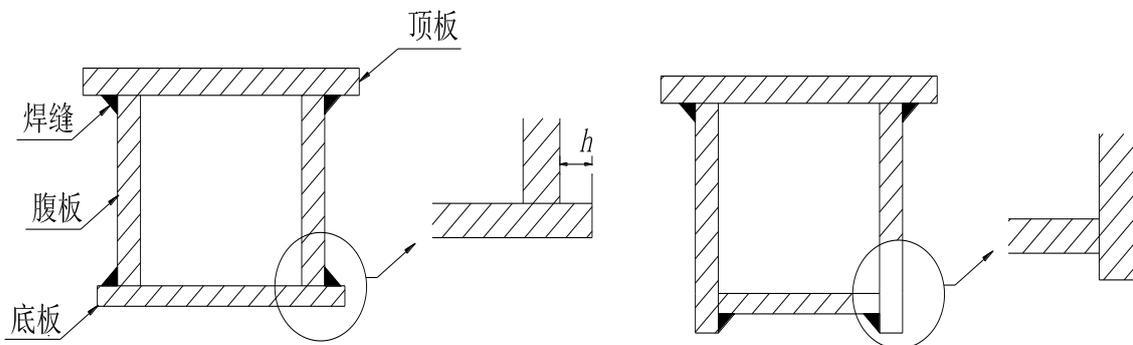


图2 箱梁下翼缘构造细节

- f) 箱梁内侧应采用通风措施或施以涂装;
 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 30 mm 切断, 见图 3;

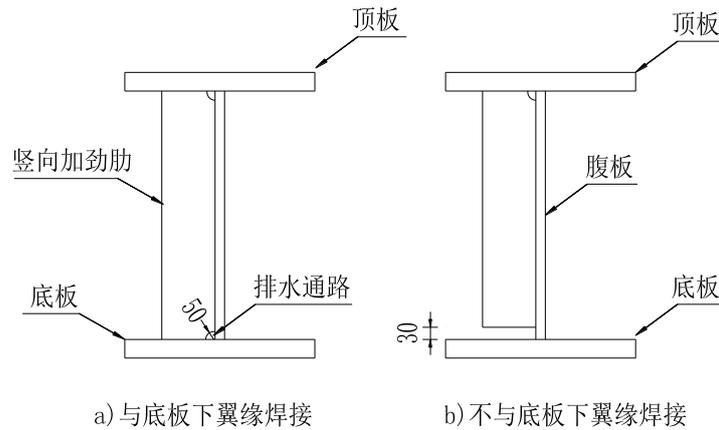


图3 竖向加劲肋排水构造细节

- h) 距离梁端 2 m 以上位置处的梁下翼缘设置挡水板，挡水板与腹板垂线水平夹角 θ 宜取 $30^\circ \sim 40^\circ$ ，伸出桥墩宽度 c 宜为 100 mm~150 mm，见图 4；或在支座上方设置挡水托盘，并妥善设置引水措施，避免锈水沿外表面流淌，见图 5；

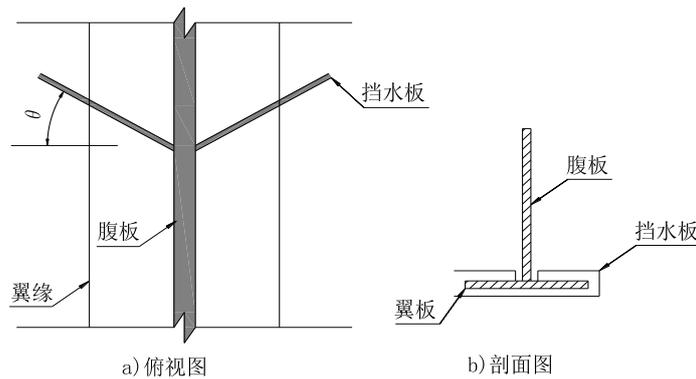


图4 挡水板构造细节

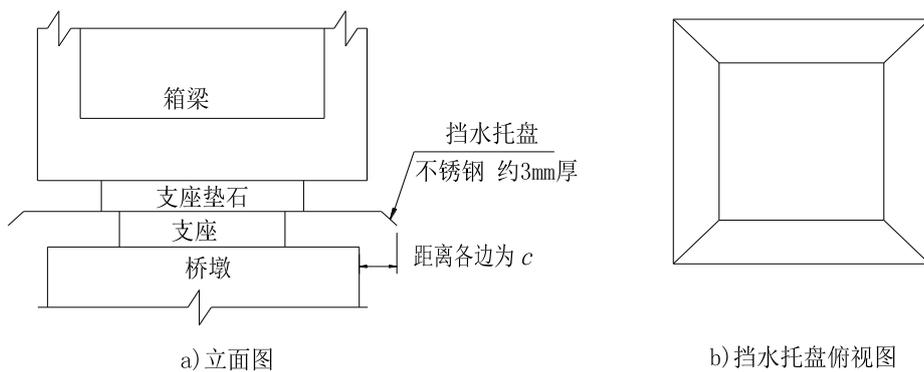


图5 挡水托盘构造细节

- 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 μm 。底漆宜采用无机富锌底漆或环氧富锌底漆。

6.4.2 梁端部构造应符合以下规定：

- a) 安装在梁端部的伸缩装置、支座及其连接部分应进行涂装；
- 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。
- 6.4.3 钢混组合结构混凝土桥面板应符合以下规定：
- 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。
- 6.4.4 耐候高强螺栓连接应符合以下规定：
- a) 耐候高强螺栓孔距和边距的容许间距应符合表4的规定；

表4 耐候高强螺栓的容许间距

尺寸名称	方向		构件应力种类	容许间距	
				最大	最小
栓、钉中心间距	沿对角线方向		拉力或压力	-	3.5 d
	靠边行列			7 d 和 16 t 的较小者	3 d
	中间行列	垂直内力方向	24 t		
		顺内力方向	拉力	24 t	
		压力	16 t		
中心到构件边缘距离	顺内力方向		拉力或压力	8 t 和 110 mm 的较小者	1.5 d
	垂直内力			-	1.3 d
	沿螺栓对角线			8 t 和 110 mm 的较小者	-
注1：d 为耐候螺栓的孔径，对槽孔为短向尺寸。					
注2：t 为外层较薄板件的厚度。					

- 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 JTG D64 的规定。
- 6.4.5 焊缝连接应符合以下规定：
- 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 JTG D64 的规定。
- 6.4.6 附属物应符合以下规定：
- a) 泄水管横向引流应保证坡度不低于 2%，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) 附挂于桥上的各类管道应采用必要的措施，防止由于管道内外温差产生的结露浸湿钢结构；
- d) 伸缩缝处宜设置排水通畅、不易锈蚀的排水系统。

7 施工

7.1 一般规定

- 7.1.1 耐候钢桥梁的制造与安装应符合 JTG/T 3651 的规定。
- 7.1.2 耐候钢构件在存储、运输、安装过程中应采取保护措施，避免污染和损坏。
- 7.1.3 耐候钢桥梁在进行施工之前，应进行焊接工艺评定试验，以确定相关施工工艺。

7.2 工厂制造

7.2.1 钢材表面处理应符合以下规定：

- a) 表面除锈等级应满足 GB/T 8923.1 规定的 Sa2~Sa2½级；
- b) 耐候钢外观应清除表面油、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；
- c) 梁端涂装前，应对构件的表面进行喷砂除锈，除锈等级和表面粗糙度应符合 JT/T 722 的规定；梁端底涂层的设计和施工应符合 JT/T 722 和 JTG/T 3651 的规定

7.2.2 锈层稳定化处理应符合以下规定：

- a) 周期喷水法：喷砂除锈后的钢构件进行洒水处理，须维持干湿交替状态，每天干湿循环宜为 1 次~3 次，且不少于 1 个月，使构件表面生成致密均匀的锈层；
- b) 稳定剂喷淋法：喷砂除锈后的钢构件喷淋锈层稳定剂，使构件表面生成致密均匀的锈层，稳定剂应无刺激性气味，不含强酸等腐蚀性物质，对钢材的腐蚀量不超过 5 μm。

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。

7.3 安装施工

- 7.3.1 钢构件运输、吊装过程中应避免磕碰和边缘损伤，途中避免沾染污物。
- 7.3.2 钢构件运输时盐分的附着量须在 100 mg/m² 以下，否则应在表面设置保护膜。
- 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 JTG/T 3651 的规定。
- 7.3.6 耐候高强螺栓的安装应符合 JTG/T 3651 和 JGJ 82 的规定。

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 JTG F80 的规定。
- 8.1.2 桥梁耐候钢构件制造完成后应按照 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 JTG/T 3651 的规定。

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 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 24 h 后无损检测结果作为验收依据；当钢材板厚不小于 40 mm 时，以焊接完成 48 h 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 GB/T 11345 的规定。
- 8.3.5 射线探伤应符合现行国家标准 GB/T 3323.1 的规定。
- 8.3.6 磁粉探伤应符合国家标准 GB/T 26951 的规定，合格标准应符合 GB/T 26952 的规定。

8.4 耐候高强螺栓施拧质量检查

- 8.4.1 耐候高强螺栓施拧施工质量检查应符合 JTG/T 3651 的规定。
- 8.4.2 对耐候高强度螺栓施拧施工质量的检查应按自检、专检、监理工程师检查的程序进行。专检应由专职质量检查人员进行。
- 8.4.3 对初拧扭矩的检查应为每个栓群和节点高强度螺栓数量的 100%；终拧扭矩应抽检总数的不少于 5%，且对主桁节点、板梁和箱梁主体以及纵横梁连接处应不少于 2 套，其余节点应不少于 1 套。
- 8.4.4 应按照 JTG/T 3651 的规定进行耐候高强螺栓连接摩擦面的抗滑移系数试验和复验，现场处理的构件摩擦面应单独进行摩擦面抗滑移系数试验。

9 运营维护

9.1 一般规定

耐候钢桥梁的运营维护应符合 JTG 5120 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 检查与监测

- 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，检测间隔应当不超过 1 年。
- 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。
- 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 F。
- 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。
- 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 4.5 要求。

9.3 评估与养护

- 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，评估锈层是否稳定，锈蚀外观评估等级可参考附录 G，各位锈蚀等级的处置方法应符合表 5 的规定。

表5 各类锈蚀等级的处置方法

锈蚀等级	锈层状态说明	处置方法
等级 5	外观：锈蚀量少，呈现相对明亮的颜色锈蚀 厚度：小于约 200 μm	不需要
等级 4	外观：锈蚀大小在 1 mm 以下，细小均匀锈蚀 厚度：小于约 400 μm	不需要
等级 3	外观：锈蚀大小在 1 mm~5 mm 左右，粗糙锈蚀 厚度：小于约 400 μm	不需要
等级 2	外观：锈蚀大小在 5 mm~25 mm 左右，鳞片状锈蚀 厚度：小于约 800 μm	根据锈层发展状况适时处理
等级 1	外观：锈蚀有层状剥离，锈蚀 厚度：超过约 800 μm	测量板厚，进行维修、涂装或更换

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，应查明原因，并及时采取处置措施。

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，应对桥梁进行评估和专项设计。

附 录 A
(资料性)
大气腐蚀环境分类

见表A.1。

表A.1 大气腐蚀环境分类

腐蚀环境分类	单位面积上质量和厚度损失（经第1年暴露后）				温和气候下典型环境实例	
	低碳钢		锌		外部	内部
	质量损失 (g/m ²)	厚度损失 (μm)	质量损失 (g/m ²)	厚度损失 (μm)		
C1 很低	≤10	≤1.3	≤0.7	≤0.1	-	加热的建筑物内部，空气洁净，如办公室、商店、学校和宾馆等
C2 低	10~200	1.3~25	0.7~5	0.1~0.7	低污染水平的大气，大部分是乡村地带	冷凝有可能发生的未加热的建筑（如库房、体育馆等）
C3 中等	200~400	25~50	5~15	0.7~2.1	城市和工业大气，中等的二氧化硫污染以及低盐度沿海区域	高温度和有些空气污染的生产厂房内，如食品加工厂、洗衣厂、酒厂、乳制品工厂等
C4 高	400~650	50~80	15~30	2.1~4.2	中等含盐度的工业区和沿海区域	化工厂、游泳池、沿海船舶和造船厂等
C5 很高	650~1500	80~200	30~60	4.2~8.4	高湿度和恶劣天气的工业区域和高盐度的沿海区域	凝和高污染持续发生和存在的建筑和区域

附录 B
(规范性)
耐候钢化学成分

见表B.2。

表B.1 耐候钢化学成分

牌号	质量等级	化学成分 ^{a,b,c} (质量分数)/%											
		C	Si	Mn ^d	Nb	V	Ti	Cr	Ni	Cu	Mo	N	Als ^e
Q345qNH	D E F	≤ 0.11	0.15 ~ 0.50	1.10 ~ 1.50	0.010 ~ 0.100	0.010 ~ 0.100	0.006 ~ 0.030	0.40	0.30	0.25	0.10	0.008	0.015 ~ 0.050
Q370qNH								~	~	~	0.15		
Q420qNH								0.70	0.40	0.50	0.20		
Q460qNH								0.45	0.30	0.25	0.25		
Q500qNH								~	~	~			
							0.70	0.45	0.55				

^a 铌、钒、钛、铝可单独或组合加入，组合加入时，应至少保证一种合金元素含量达到表中下限规定；Nb+V+Ti≤0.22%。

^b 为控制硫化物形态要进行Ca处理。

^c 对耐候钢耐腐蚀性的评定，参见GB/T 714中的附录C。

^d 当卷板状态交货时Mn含量下限可到0.50%。

^e 当采用全铝(Al_t)含量计算时，全铝含量应为0.020%~0.055%。

^f NH表示钢材具有耐候性能。

附 录 C
(规范性)
耐候钢力学性能

见表C.1。

表C.1 耐候钢力学性能

牌号	质量等级	拉伸试验 ^{a,b}					冲击试验 ^c	
		下屈服强度 R_{eL} /MPa			抗拉 强度 R_m /MPa	断后伸 长率 A /%	温度 °C	冲击吸 收能量 KV_2 /J
		厚度 ≤50 mm	50 mm<厚度 ≤ 100 mm	100 mm<厚度 ≤ 150 mm				
		不小于					不小于	
Q345qNH	D	345	335	305	490	20	-20	120
	E						-40	
Q370qNH	D	370	360	-	510	20	-20	120
	E						-40	
Q420qNH	D	420	410	-	540	19	-20	120
	E						-40	
	F						-60	47
Q460qNH	D	460	450	-	570	18	-20	120
	E						-40	
	F						-60	47
Q500qNH	D	500	480	-	630	18	-20	120
	E						-40	
	F						-60	47

^a 当屈服不明显时,可测量 $R_{p0.2}$ 代替下屈服强度。
^b 拉伸试验取横向试样。
^c 冲击试验取纵向试样。

附录 D

(规范性)

10. 9S 级和 8. 8S 级耐候高强螺栓副的化学成分

见表 D. 1。

表 D. 1 10. 9S 级和 8. 8S 级耐候高强螺栓副的化学成分

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti
螺栓、螺母、 垫圈	0.20 ~	≤	0.30~	≤	≤	0.60~	0.30~	0.30~	0.015~	≤
	0.30	0.25	0.75	0.012	0.005	0.90	0.50	0.50	0.040	0.030

附 录 E
(规范性)
典型钢板焊接材料供货技术条件

见表E. 1和表E. 2。

表E. 1 焊条熔敷金属成分及性能

牌号	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo
Q345qNH	≤0.12	≤0.65	≤1.6	≤0.012	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.10	/
Q420qNH	≤0.12	≤0.65	≤1.9	≤0.012	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.10	≤0.5
Q500qNH	≤0.12	≤0.65	≤2.0	≤0.012	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.10	≤0.5
牌号	Re _l (Mpa)		R _m (Mpa)		A (%)		AKV (J) -40℃		
Q345qNH	≥345		≥490		≥20		≥47		
Q420qNH	≥420		≥540		≥19		≥47		
Q500qNH	≥500		≥600		≥16		≥47		

表E. 2 气保焊丝熔敷金属成分及性能

牌号	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo
Q345qNH	≤0.12	≤0.65	≤1.6	≤0.01	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.10	/
Q420qNH	≤0.12	≤0.65	≤1.9	≤0.01	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.10	≤0.5
Q500qNH	≤0.12	≤0.65	≤1.9	≤0.01	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.10	≤0.5
牌号	Re _l (Mpa)		R _m (Mpa)		A (%)		AKV (J) -40℃		
Q345qNH	≥345		≥490		≥20		≥47		
Q420qNH	≥420		≥540		≥19		≥47		
Q500qNH	≥500		≥600		≥16		≥47		

表E. 3 埋弧焊丝熔敷金属成分及性能

牌号	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo
Q345qNH	≤0.12	≤0.65	≤1.6	≤0.012	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.10	/
Q420qNH	≤0.12	≤0.65	≤1.9	≤0.012	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.10	≤0.5
Q500qNH	≤0.12	≤0.65	≤2.0	≤0.012	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.10	≤0.5
牌号	Re _l (Mpa)		R _m (Mpa)		A (%)		AKV (J) -40℃		
Q345qNH	≥345		≥490		≥20		≥47		
Q420qNH	≥420		≥540		≥19		≥47		
Q500qNH	≥500		≥600		≥16		≥47		

附录 F
(资料性)
耐候钢桥的可视病害及成因

见表F.1。

表F.1 耐候钢桥的可视病害及成因

构件	病害性质	成因
桥台墩柱	底板、墩壁上的锈迹	伸缩缝滴水、排水管掉落。通风不充分
	灰尘、碎屑在桥墩盖梁上的沉积	风吹的灰尘、鸟巢及排泄物
	桥台裂纹	冻害
	主梁穿过混凝土桥墩处的裂缝腐蚀	混凝土收缩及裂缝形成。
支座	水分、灰尘、碎屑的堆积；薄片状锈迹	内部区域，通风不畅，伸缩缝漏水。
主梁	交通面剥落	交通喷雾
	锈屑从腹板掉落至下翼缘并发展成薄层锈迹	长时间潮湿；盐分侵蚀；排水从接缝漏出并沿翼缘流淌
	腹板下方 150 mm 剥落	水分由于毛细作用寄居在下翼缘顶面
	加劲肋、翼缘、腹板连接处碎屑堆积	风吹碎屑被凹角截留
横梁	细粒度氧化膜	交通喷雾经常含有除冰盐
	伸缩缝附近有薄片状腐蚀	伸缩缝处漏水
箱梁	箱梁内水分积聚	端部未完全密封。舱门未用垫层密封。没有用填缝剂填满缺口
桁架	桁架连接处水分碎屑堆积	桁架交叉处连接板截留
横撑	水平连接板、T型横撑处水分碎屑堆积	凹角截留
	交叉支撑、连接板之间裂缝侵蚀	存在裂缝；螺栓间距过大；焊缝不连续
隔板	可能出现与横撑相同问题	与横撑相同
螺栓焊缝	螺栓处裂缝腐蚀	螺栓间距大且与边缘距离远
	螺栓焊缝加速腐蚀。	耐候钢构件与不锈钢焊缝螺栓接触腐蚀
	焊缝处裂纹腐蚀。	构件没有四周焊，导致水分进入；焊缝不连续
混凝土下部结构和铺装	锈迹	上部构件滴水和流水。

附 录 G
(资料性)
耐候钢外观锈蚀等级评估

见表G. 1。

表G. 1 耐候钢外观锈蚀等级评估

锈蚀等级	参照图片	说明
等级 5		外观：锈蚀量少，呈现相对明亮的颜色 锈蚀厚度：小于约 200 μm
等级 4		外观：锈蚀大小在 1 mm 以下，细小均匀 锈蚀厚度：小于约 400 μm
等级 3		外观：锈蚀大小在 1 mm~5 mm 左右，粗糙 锈蚀厚度：小于约 400 μm
等级 2		外观：锈蚀大小在 5 mm~25 mm 左右，鳞片状 锈蚀厚度：小于约 800 μm
等级 1		外观：锈蚀有层状剥离 锈蚀厚度：超过约 800 μm