T/CECS G：XXX-XX-XXX

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

耐候钢结构桥梁应用技术规程
（征求意见稿）

Technical Specifications for Weathering Steel Bridges

征求意见稿

中国工程建设标准化协会　发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

征求意见稿

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

耐候钢结构桥梁应用技术规程
（征求意见稿）

Technical Specifications for Weathering Steel Bridges

T/CECS G：XXX-XX-XX

征求意见稿

主编单位： 中交第一公路勘察设计研究院有限公司

发布机构： 中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会

实施日期： 20XX 年 X 月 X 日

人民交通出版社股份有限公司

北 京

征求意见稿

前言

根据中国工程建设标准化协会公路分会“关于开展2019年第二批中国工程建设标准化协会标准制修订项目编制工作的通知（中建标公路【2019】169号）”的要求，由中交第一公路勘察设计研究院有限公司承担《耐候钢结构桥梁应用技术规程》的编写工作。

近年来，我国建造了大量的耐候钢结构桥梁，但是由于我国耐候钢结构桥梁建造起步较晚，建造经验少，耐候钢结构桥梁环境适应性评价、构造细节设计、施工方法及维养等方面均照搬美国或日本的相关要求，不能完全适应我国的自然环境及建设环境。不同项目的参建各方对耐候钢的认识差异性较大，从而导致在耐候钢结构桥梁建造方面存在较大的认识分歧和一定的误区。基于大量调研的基础上，总结参编单位已有研究成果、应用实践中有关耐候钢结构桥梁适应性、设计构造细节、制造要求和养护方法，进一步吸收国内外耐候钢结构桥梁优秀应用成果，得到一套完整的耐候钢结构桥梁应用技术规程，形成具有我国特色的耐候钢结构桥梁全寿命周期应用技术解决方案，用以指导今后的耐候钢结构桥梁选材、设计、制造、安装和维护，特制定本规程。本规程编制过程中，编写组进行了广泛的调查研究，全面总结了国内外相关经验和研究成果，同时征求了设计、施工、建设、管理等有关单位和个人的意见，经过反复讨论，完成本规程的编制。

本规程共分十章，主要章节包括：总则、术语、适用环境分类及评价、材料、设计、制造、安装、表面处理、质量检验、维护。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规程日常管理组，联系人：翟晓亮（地址：西安市高新技术开发区科技四路205号，邮编：710075；电话：(029)88322888-8410；电子邮箱：258453374@qq.com），以便修订时研用。

主编单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

参编单位：长安大学

鞍钢股份有限公司

中铁宝桥集团有限公司

中建三局集团有限公司

主　　编：

主要参编人员：

主　　审：

参与审查人员：

征求意见稿

目录

1 总则 1
2 术语 2
3 适用环境分类及评价 4
3.1 使用环境分区 4
3.2 适应环境 5
3.3 免涂装耐候钢环境适用性评价 6
3.4 环境适应性评价方法 7
4 材料 9
4.1 一般规定 9
4.2 耐候钢材 9
4.3 耐候高强度螺栓连接副 10
4.4 焊接材料 10
4.5 其他材料 11
5 设计 12
5.1 一般规定 12
5.2 钢板梁 13
5.3 钢箱梁 18
5.4 钢桁结构 20
5.5 计算 21
5.6 防排水系统 22
5.7 螺栓连接 24
5.8 焊接连接 25
5.9 交接面 25
5.10 免涂装耐候钢桥的经济评价模型 26
6 制造 28
6.1 一般规定 28
6.2 零件加工与组装 28

征求意见稿

6.3 焊接与矫正 29
6.4 成品表面保护 31
7 安装 32
7.1 一般规定 32
7.2 构件存放、运输与吊装 32
7.3 焊接连接 33
7.4 高强度螺栓连接 33
7.5 施工期间的保护 34
7.6 安装后表面清理与检查 35
7.7 安装质量检查 35
8 表面处理 37
8.1 一般规定 37
8.2 表面预处理剂 38
8.3 表面稳定化处理 38
9 质量检验 41
9.1 一般规定 41
9.2 材料 41
9.3 构件制作 42
9.4 焊接 43
9.5 高强度螺栓连接 43
9.6 表面处理及锈层 44
9.7 局部涂装与密封 45
9.8 现场安装 45
9.9 竣工 46
9.10 质量验收资料 46
10 维护 48
10.1 一般规定 48
10.2 检查与状态评价 49

征求意见稿

10.3 清理与清洗 50
10.4 伸缩装置与排水系统维护 51
10.5 锈层维护与异常腐蚀处治 51
10.6 局部防护与修复 52
10.7 特殊环境维护 53
10.8 维护记录 54
本规程用词说明 55

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为规范耐候钢结构桥梁的应用，做到安全耐久、技术先进、经济合理、节能环保、便于施工和维护，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于各等级公路耐候钢结构桥梁的环境适用性评价、材料选用、设计、制造、安装、表面处理、质量检验和维护。

1.0.3 耐候钢结构桥梁的应用应根据桥位环境条件、结构特点和使用要求进行环境适用性评价，并应合理确定耐候钢使用方式和相应的设计、制造、安装、表面处理及维护措施。

1.0.4 耐候钢结构桥梁的设计、制造、安装、表面处理和维护应贯彻全寿命设计理念，并应采取有利于排水、通风和形成稳定保护性锈层的技术措施。

1.0.5 耐候钢结构桥梁的应用除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语

2.1 耐候钢 weathering steel

通过加入 Cr、Ni、Cu、Mo 等合金元素，使钢材表面形成致密锈层，以提高耐大气腐蚀性能的钢。又称耐大气腐蚀钢。

2.2 耐大气腐蚀性指数（I 值） atmospheric corrosion resistance index

根据钢材化学成分计算，用于评价低合金钢耐大气腐蚀性能的指数。

条文说明

$I=26.01(\%Cu)+3.88(\%Ni)+1.20(\%Cr)+1.49(\%Si)+17.28(\%P)-7.29(\%Cu)(\%Ni)-9.10(\%Ni)(\%P)-33.39(\%Cu)^2$

I 值）值的大小对于评估耐城乡大气环境腐蚀钢和一般工业大气环境腐蚀钢较为适用，但不适于耐海洋大气环境耐候钢。

2.3 保护性锈层 protective rust patina

耐候钢在适宜大气环境中形成的致密、附着性良好，能够显著减缓钢材进一步腐蚀的锈层。

2.4 锈层稳定化处理 stabilization treatment of rust patina

采用表面处理、湿干循环等措施，促进耐候钢表面形成均匀、稳定保护性锈层的处理过程。

2.5 耐候钢腐蚀余量 Weathering steel corrosion allowance

为补偿耐候钢在设计使用期内预期腐蚀造成的厚度损失，在结构计算所需厚度基础上增加的厚度。

征求意见稿

2.6 耐候钢名义厚度　Nominal thickness of weathering steel

未考虑耐候钢腐蚀余量的钢板厚度。

2.7 免涂装使用 uncoated application

耐候钢构件外露表面不设置长期防腐涂层，依靠钢材自身形成保护性锈层抵抗大气腐蚀的使用方式。

2.8 局部涂装 local coating

对免涂装耐候钢结构中局部腐蚀环境不利的部位设置防腐涂层的防护方式。

2.9 耐候焊接材料 weathering welding material

具有耐大气腐蚀性能，并与耐候钢母材力学性能和焊接性能相匹配的焊接材料。

2.10 耐候高强度螺栓连接副 weathering high-strength bolting assembly

由具有耐大气腐蚀性能并相互匹配的高强度螺栓、螺母和垫圈组成的连接副。

2.11 隧道效应　Tunnel Effect

桥下空间因净空较小、两侧遮挡或通风不良，使交通产生的盐雾、污染物和湿气不易扩散，并在钢结构表面聚集的局部环境效应。

2.12 离子沉降量　ionic iondeposition rate

空气中的离子在一定时间和一定面积的沉降质量。累积法测试值单位为毫克每平方分米每天[mg/（dm^2 • d）]（简称 mdd）。

征求意见稿

3 适用环境分类及评价

3.1 使用环境分区

3.1.1 按照大气环境主要腐蚀因子及污染特征，耐候钢结构桥梁桥位宏观环境可分为城乡大气环境、一般工业大气环境和海洋大气环境。

3.1.2 城乡大气环境包括乡村大气环境和城市大气环境，并应符合下列特征：

1 乡村大气环境为远离城市的内陆乡村地区以及无明显工业性介质或盐雾污染的小城镇大气环境；

2 城市大气环境为无明显工业污染源的人口稠密区、城市及城市边缘地区的大气环境；

3 城乡大气环境年平均 Cl^- 沉积率宜不大于 0.03 mdd，年平均 SO_2 沉积率宜不大于 0.24 mdd。

3.1.3 一般工业大气环境为受局部或区域性工业污染源影响的大气环境，其主要腐蚀性污染物可包括 SO_2 、H_2S、NH_3 及煤灰等。一般工业大气环境年平均 Cl^- 沉积率≤0.03 mdd；年均 SO_2 沉积率＞0.24 mdd～0.80 mdd。

3.1.4 海洋大气环境为近海、海滨等主要受大气氯化物影响且钢结构不直接接触海水的环境，可包括海岸大气区、海洋大气区以及同时受海洋盐雾和工业污染影响的环境。海洋大气环境年平均 Cl^- 沉积率宜大于 0.03 mdd 且不大于 0.60 mdd；同时存在工业污染时，尚应考虑含硫污染物的不利影响。

条文说明

海洋空气氯盐属于宏观环境因素，而融雪剂产生的氯盐属于微观环境因素。土壤类型为盐渍土的区域或暴露于除冰盐的区域一般不属于海洋大气环境。

3.1.5 当桥位实际环境同时具有两类及以上环境特征时，应按对耐候钢腐蚀最不利的环境因素进行适用性评价，不应仅依据桥位所属城乡、工业或海洋环境类别作出使用判断。

条文说明

征求意见稿

同一种传统城乡、工业、海洋等定性分类内部的湿度、氯盐等腐蚀因素差异较大，因此环境适用性应重点考虑真正影响耐候钢性能的含硫污染物、氯盐和湿度，而不宜仅依靠宏观环境名称。

3.2 适应环境

3.2.1 耐候钢结构桥梁设计前宜进行桥位环境适应性评价。采用免涂装耐候钢时，应进行环境适应性评价；评价结果表明桥位环境不利于保护性锈层形成且无可靠防护措施时，不宜采用免涂装耐候钢。

3.2.2 耐候钢结构桥梁的环境适用性应根据桥位宏观环境和结构所处微观环境综合确定。宏观环境评价宜考虑 Cl^-、SO_4^{2-} 、湿度、温度及湿润时间等因素；微观环境评价宜考虑桥下跨越对象、水面净空、通风条件、植被遮蔽、排水条件、融雪剂使用以及局部积水、凝露和污染物聚集等因素。

3.2.3 宏观环境评价宜收集或检测下列环境因素：

1 大气氯盐沉积水平；

2 大气含硫污染物水平；

3 环境温度和相对湿度；

4 湿润时间；

5 降雨、雾及其他影响钢材干湿循环的气象条件；

6 距海岸线距离及其他能够反映盐雾影响程度的资料。

3.2.4 微观环境评价宜调查下列因素：

1 桥梁跨越海水、河流、湖泊、湿地等水体的情况及钢梁最低部位距水面的净空；

2 桥下道路融雪剂、除冰盐的使用和盐雾飞溅情况；

3 桥下及桥侧植被、挡墙、声屏障或其他遮挡物对日照和通风的影响；

4 桥下净空以及可能产生类隧道效应的构造条件；

5 伸缩缝、泄水管及桥面排水可能造成的钢构件反复淋水情况；

6 钢构件可能发生积水、凝露、泥沙或污染物聚集以及长期潮湿的局部环境。

征求意见稿

3.2.5 桥位环境腐蚀因子的检测项目、测点布置、取样和试验方法，应符合现行《金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性》（GB/T 19292）系列标准规定。

3.2.6 有可靠试验数据时，宜根据备选耐候钢在代表性环境中的腐蚀损耗数据预测设计使用期内的腐蚀减薄量，并评价其是否满足结构设计和耐久性要求。

3.3 免涂装耐候钢环境适用性评价

3.3.1 免涂装耐候钢环境适用性评价应综合考虑大气盐分、含硫污染物、湿度和湿润时间以及桥址局部通风、日照、排水、水面净空和污染物聚集条件，不宜依据单一环境参数直接确定其适用性。

3.3.2 原则上，空气中飘散盐分含量不大于 0.05 mdd 时，可采用免涂装耐候钢。距海岸线 5 km 以内的桥位，应对空气飘散盐分及局部湿度等条件进行评价。

3.3.3 年平均相对湿度大于 80%的环境，采用免涂装耐候钢时应进行专项环境适用性评价；当高湿环境同时存在低水面净空、植被遮蔽、通风不良或其他使钢材难以干燥的条件时，不宜采用免涂装耐候钢。

条文说明

高湿宏观环境本身并非在所有情况下都必然导致免涂装耐候钢失效，主要问题出现在高湿环境同时叠加低水面净空、植被等进一步延长局部湿润时间的微观环境。

3.3.4 当以湿润时间作为评价指标时，年湿润时间超过 5500 h 或约占全年 60%时，应对免涂装耐候钢的环境适用性作进一步评价，并应重点调查桥位微观环境是否进一步延长钢材表面湿润时间。

美国指南引用 FHWA 和 ISO 9223 资料指出，年湿润时间超过 60%应慎重使用裸露耐候钢；ISO 的 T5 等级对应湿润时间超过 5500 h/a。

3.3.5 跨越水体的免涂装耐候钢桥，应评价水面类型、水面净空、洪水频率、局部湿度和通风条件。当钢梁最低部位距静水面不大于 3.0 m 或距流水面不大于 2.5 m 时，应进行专项环境适用性评价。

征求意见稿

3.3.6 跨越大量使用融雪剂或除冰盐道路的桥梁，应评价盐分使用量、交通量、桥下净空、通风状况和盐雾向钢结构传输的可能性。当存在大量盐分反复沉积且不能通过排水、清洗和构造措施有效控制时，不宜采用免涂装耐候钢。

3.3.7 对桥下净空较小、桥侧存在连续挡墙、声屏障、密集植被或其他明显阻碍空气流通的构造，应评价类隧道效应对耐候钢表面湿润时间和盐分聚集的影响。

3.3.8 长期浸水、埋入土壤、被密集植被覆盖以及其他使耐候钢表面不能形成正常湿干循环的结构或部位，不应直接采用免涂装耐候钢；确需采用耐候钢时，应采取局部涂装、隔离或其他可靠防腐措施

3.3.9 重腐蚀性工业大气以及高浓度腐蚀性化学品或工业烟雾环境采用免涂装耐候钢时，应根据实际含硫污染物沉积水平及腐蚀试验结果进行专项评价；年均 SO_2 沉积率＞2.0 mdd 时不宜采用免涂装耐候钢。

3.4 环境适应性评价方法

3.4.1 耐候钢结构桥梁环境适应性评价宜按下列步骤进行：

1 收集桥位区域气象资料、大气污染资料、海盐及融雪剂使用资料；

2 根据氯盐、含硫污染物、湿度、温度及湿润时间等确定桥位宏观腐蚀环境；

3 调查跨越对象、水面净空、道路融雪剂、植被、通风、日照、排水、积水和污染物聚集等微观环境因素；

4 对存在明显不利环境因素或评价结果不能确定的桥位进行专项环境检测或耐候钢腐蚀暴露试验；

5 根据环境腐蚀因子、耐候钢腐蚀减薄预测以及设计使用期耐久性要求综合确定耐候钢使用方式；

6 根据评价结果确定采用免涂装使用、采取局部防护后使用或不采用免涂装使用。

3.4.2 当具有代表性耐候钢腐蚀试验数据时，可根据腐蚀失重或腐蚀减薄数据进行腐蚀发展规律拟合，并预测设计使用期内钢材腐蚀减薄量；预测方法及其参数应有相应试验或可靠工程数据作为依据。

征求意见稿

3.4.3 当环境适用性评价结果处于临界状态，或宏观环境适宜而局部微观环境存在明显不利因素时，不宜仅依据环境类别直接判定免涂装使用，应根据不利因素采取腐蚀厚度补偿、局部涂装、改善防排水、定期清洗或专项维护等措施后综合评价。

3.4.4 环境适应性评价结果宜作为耐候钢桥设计、防排水及局部防护、腐蚀厚度补偿和运营维护方案确定的依据。

征求意见稿

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 耐候钢结构桥梁所采用的钢材、高强度螺栓连接副、焊接材料及其他材料的品种、牌号和性能应符合设计文件及国家现行有关标准的规定，并应具有产品质量证明文件。

4.1.2 裸露使用部位所采用的钢材、高强度螺栓连接副和焊接材料应具有与主体结构使用环境相适应的耐大气腐蚀性能；不同材料直接接触或连接时，应考虑材料相容性，避免产生不利的电偶腐蚀。

4.2 耐候钢材

4.2.1 耐候钢结构桥梁用钢板和钢带应符合现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714 的规定。钢材牌号、质量等级和交货状态应根据结构受力状态、设计温度、板厚、连接方式、环境条件和使用要求确定。

4.2.2 耐候钢牌号表示方法应符合现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714 的规定。当设计要求钢板具有厚度方向性能时，应在牌号中标注相应的厚度方向性能级别。

4.2.3 耐候钢的化学成分、耐大气腐蚀性能、焊接裂纹敏感性指数、力学性能、冲击性能和工艺性能应符合现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714 的规定。

4.2.4 耐候钢的耐大气腐蚀性指数应符合现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714 的规定。

4.2.5 耐候钢焊接性应按现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714 规定的焊接裂纹敏感性指数进行评价。

4.2.6 当设计要求耐候钢板具有厚度方向性能时，其厚度方向断面收缩率应符合现行国家标准《桥梁用结构钢》（GB/T 714）和《厚度方向性能钢板》（GB/T 5313）的规定。

征求意见稿

4.2.7 耐候钢的表面质量、无损检测、尺寸、外形、重量及允许偏差、试验方法、检验规则、包装、标志和质量证明书应符合现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714 的规定。

4.2.8 耐候钢采用免涂装方式使用时，其桥位环境适用性应符合本规程第 3 章的规定；钢材选用尚可结合现行国家标准《桥梁用结构钢》GB/T 714 附录 A 的桥址参考使用环境确定。

4.2.9 当桥址环境需要采用耐海洋大气腐蚀性能高于 GB/T 714 规定的普通耐候桥梁钢时，钢材性能和订货技术要求应符合设计文件及现行有关产品标准的规定。

条文说明

GB/T 714—2025 明确指出，具有耐海洋大气腐蚀特性的桥梁钢属于其他类型桥梁钢，实际工程可参考 T/CISA 073《桥梁用耐海洋大气环境腐蚀钢板》进行订货。

4.3 耐候高强度螺栓连接副

4.3.1 耐候钢结构桥梁高强度螺栓连接副的型式、尺寸、机械性能、扭矩系数、试验方法和检验规则，除耐候性能外，应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230 和《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 1231 的规定。

4.3.2 裸露使用部位的高强度螺栓、螺母和垫圈应具有耐大气腐蚀性能，并应与主体耐候钢具有良好的材料相容性。

4.3.3 免涂装使用的耐候高强度螺栓连接副，其材料耐大气腐蚀性指数 I 宜不小于 6.5。

4.3.4 耐候高强度螺栓连接副应有产品质量证明文件，免涂装使用时质量证明文件宜包括材料耐大气腐蚀性能的检验结果。

4.4 焊接材料

征求意见稿

4.4.1 耐候钢结构桥梁焊接材料应根据母材牌号、力学性能、耐候性能、接头形式和焊接方法选用，并应符合设计文件和国家现行有关焊接材料标准的规定。

4.4.2 焊条、气体保护焊用焊丝、药芯焊丝及相应焊接材料的产品性能应符合现行国家有关焊接材料标准的规定。

4.4.3 裸露使用部位焊接材料的熔敷金属应具有与母材相适应的耐大气腐蚀性能。免涂装耐候钢焊接材料的耐大气腐蚀性指数 I 宜不小于 6.5；涂装或局部涂装部位采用耐候焊接材料时，耐大气腐蚀性指数 I 宜不小于 6.0。

4.4.4 裸露使用部位耐候钢焊接材料的熔敷金属应与母材具有良好的电化学相容性。熔敷金属在裸态和带锈状态下的自腐蚀电位与母材自腐蚀电位之差 ΔE 应符合式 4-1 规定：

$$-10\text{mV} \leqslant \Delta E \leqslant 50\text{mV} \qquad \text{式 4-1}$$

式中：ΔE——熔敷金属自腐蚀电位与母材自腐蚀电位之差。

4.4.5 焊接材料确定后，应通过焊接工艺评定验证其与母材及实际焊接工艺的适用性，焊接工艺评定合格后方可用于工程。

4.4.6 气体保护焊所用二氧化碳、氩气和富氩混合气应符合国家现行有关标准的规定。

4.4.7 焊接材料应具有产品质量证明文件，其包装、标志、运输、储存和质量管理应符合国家现行有关标准的规定。

4.5 其他材料

4.5.1 圆柱头焊钉、涂装材料及密封材料的性能和质量应符合设计文件和现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》（JTG/T 3651）的规定。

4.5.2 裸露耐候钢局部防护所采用的涂装材料和密封材料应与耐候钢基材及相邻材料相容，并应满足相应部位的耐久性要求。

征求意见稿

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 耐候钢结构桥梁设计应符合《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）的规定，并应满足本规程要求。

5.1.2 耐候钢结构桥梁可按照全涂装设计，设计方法同非耐候钢结构桥梁。耐候钢结构桥梁宜按照免涂装设计，也可按照半涂装设计。

条文说明

研究表明，在相同条件下涂漆后耐候钢的腐蚀敏感程度小于一般的非耐候结构钢，因此耐候钢结构桥梁全涂装使用对提升桥梁的耐腐蚀性能具有技术经济性。免涂装是指耐候钢结构桥梁无涂装使用耐候钢，半涂装是指耐候钢结构桥梁的封闭箱室内表面不涂装、外表面涂装。半涂装耐候钢结构桥梁多用于城市周边或建设单位不接受耐候钢稳定锈层颜色的情形。

5.1.3 耐候钢结构桥梁按照免涂装设计或半涂装设计流程如图 5.1.3 所示。

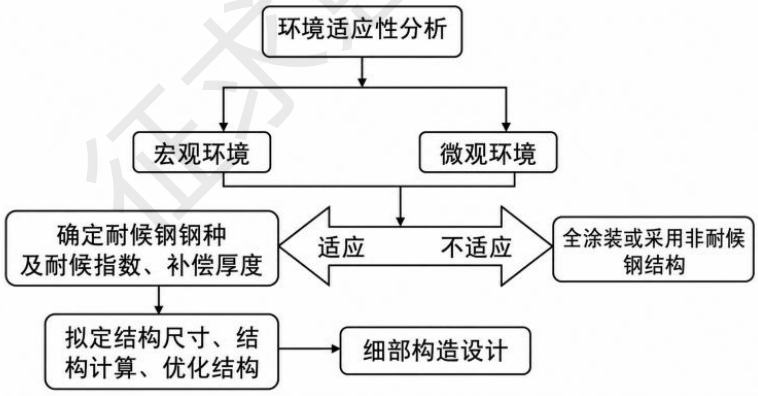


图 5.1.3 设计流程图

5.1.4 耐候钢结构桥梁按照免涂装设计或半涂装设计时，应结合环境适应性评价结果确定耐候钢种类，所选用耐候钢的耐大气腐蚀性指数应不小于 6.0。

5.1.5 耐候钢结构桥梁设计时应该结合桥位环境，综合考虑平纵指标、桥跨布置、上下部结构形式等因素。

5.1.6 免涂装耐候钢结构桥梁的钢梁焊接、连接节点、伸缩缝、排水管道布

置等细节设计应利于通风和排水，减少或避免出现杂物聚积使构件处于长期潮湿状态的构造。

5.1.7 免涂装耐候钢结构桥梁的主梁截面变化处宜改变板件厚度而不改变宽度，焊缝处余高应磨平。

5.1.8 在下列情况下宜对耐候钢结构进行局部防腐涂装：

1 位于桥面伸缩缝附近的梁端约 1.5 倍钢梁高度区域；

2 埋入混凝土内钢结构及靠近嵌入混凝土接缝 100mm 区域；

3 封闭构件的内表面；

4 由于景观需要的外表面。

条文说明

钢混界面处易形成冷凝水，从而延长湿润持续时间并加剧腐蚀速率，故此建议进行涂装。对于钢箱梁或其他封闭截面，箱内存在长期潮湿的可能性，防腐涂装再加上合适的排水细节有助于防止超预期的腐蚀。

5.2 钢板梁

5.2.1 桥梁上部结构横断面的布置宜满足下列要求：

1 应避免采用影响自然通风条件的较小钢板梁间距，推荐梁间距不小于钢板梁的高度，如图 5.2.1a 所示。

2 宜采用合适的翼缘悬臂宽度遮挡边主梁免受雨水侵蚀，如图 5.2.1b 所示。

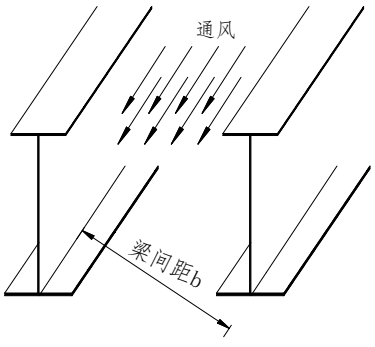


图 5.2.1a 钢板梁间距示意

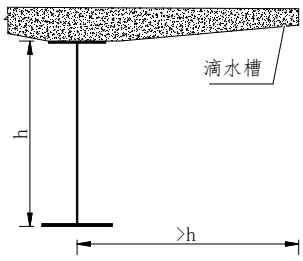


图 5.2.1b 悬臂宽度示意

5.2.2 横向加劲肋布设应满足下列要求：

1 边梁腹板外侧的横向加劲肋与下翼缘焊接时应设置圆弧型、倒 J 型、三角形过焊孔，过焊孔的最小尺寸如图 5.2.2a 所示；

2 边梁腹板外侧横向加劲肋与受拉下翼缘间不连接时，应设置不小于 30mm 间隙，如图 5.2.2b 所示；

3 为了避免横向加劲肋与下翼缘连接拐角处有灰尘的堆积，可采用焊接倾斜板封闭角隅，如图 5.2.2c 所示。

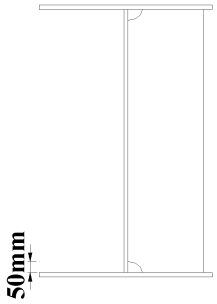


图5.2.2a 竖向加劲肋与底板焊接过焊孔构造示意

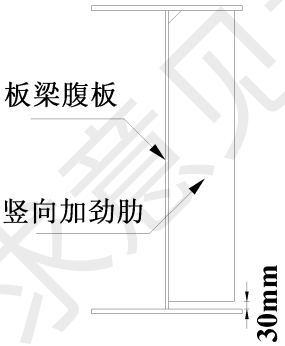


图5.2.2b 横向加劲肋与受拉下翼缘构造示意

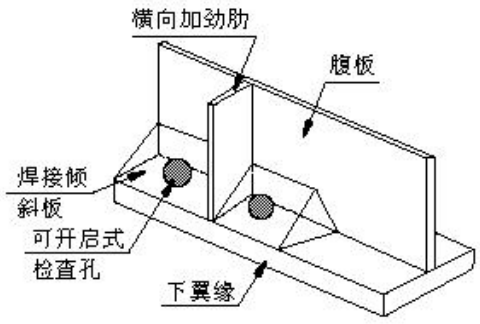


图5.2.2c 焊接倾斜板封闭角落的构造示意

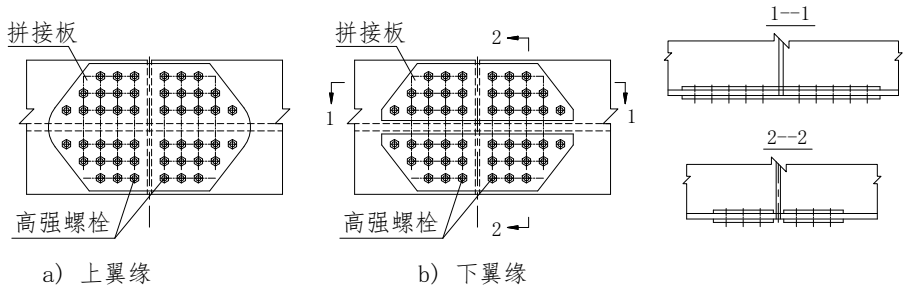
5.2.3 梁段之间采用螺栓拼接时，翼缘拼接板宜采用下列构造：

1 翼缘拼接板的两端宜设置切角，便于雨水的排放。上翼缘与混凝土桥面板

连接时不设切角，如图 5.2.3a 所示。

2 下翼缘底面拼接板宜沿腹板从中间分成两块，如图 5.2.3b 所示。

3 尽量避免使用填板，无法避免时，填板应采用相同牌号的耐候钢。



a）上翼缘　　b）下翼缘

图5.2.3 拼接板切角及分块示意

条文说明

翼缘拼接板的两端设置切角，下翼缘下部拼接板板沿腹板从中间分成两块，便于雨水流失，避免垃圾集聚。

5.2.4 上下翼缘截面变化处采用焊接连接时，宜采用厚度过渡且应顶面齐平，不宜采用宽度过渡。

条文说明

对于加大截面处焊接连接，应采用厚度过渡而不是宽度过渡。根据国外经验，宽度过渡时水流不均匀会引起不均匀的外观和腐蚀。

5.2.5 组成平联、横撑和桁架式横隔板各构件的布置型式应有利于去除水、杂物等，宜采用下列构造：

1 用于 K 形、X 形横撑的角钢应背向布置，如图 5.2.5a 所示。

2 用于平联的 T 形钢或角钢应倒置，并连接到节点板的下面，如图 5.2.5b。

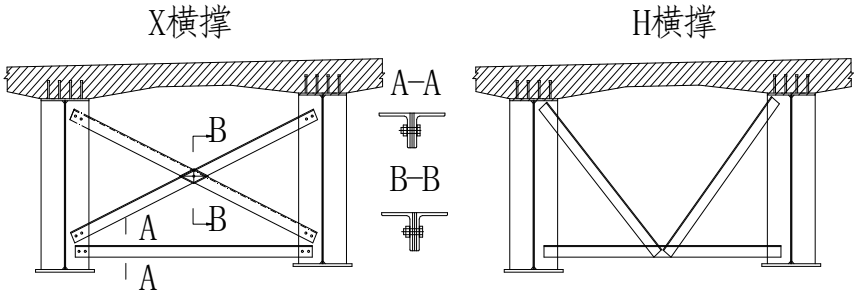


图5.2.5a 工字组合梁横撑

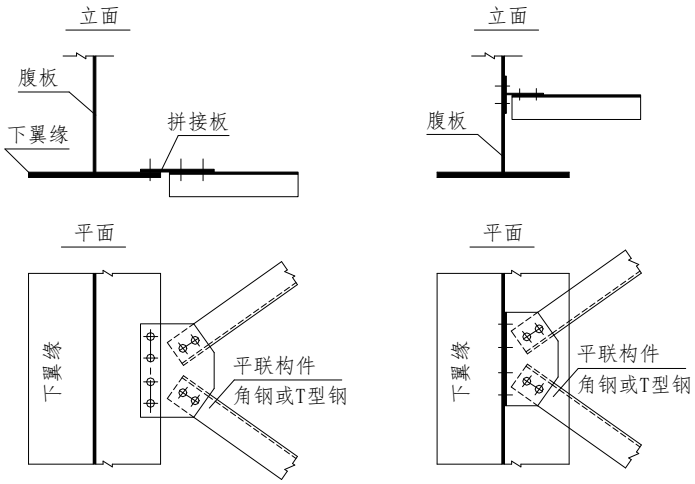
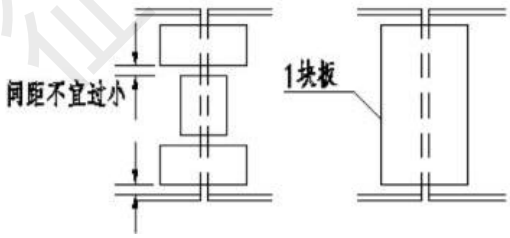


图5.2.5b 下平联构造示意

条文说明

用于K形、X形横撑的角钢应背向布置，但K形横撑要优于X形横撑，因为缝隙较少。用于平联的T形钢或角钢应倒置，并连接到节点板的下面。耐候钢构件的腐蚀易发生在水平表面、角隅及缝隙中。在钢板梁桥上易腐蚀发生的部位包括下翼缘的上表面、拼接板、纵向加劲肋、纵横向板件连接处、螺栓连接等。因此，设计中应提出良好的构造细节，这些细节涉及：（1）消除缝隙，尽量避免有水汽、垃圾集聚的构造细节；（2）顺畅的排水细节。

5.2.6 腹板上的连接板宜只设一块，连接板数量较多时板间距离不应小于10mm，如图 5.2.6 所示。



5.2.6 腹板纵向连接

5.2.7 免涂装耐候钢梁的悬臂长度小于钢梁高度时，雨水可直接接触的加劲肋及翼缘板可采用下列构造：

1 水平纵向加劲肋可采用倾斜面或开口向下的加劲肋构造形式，如图 5.2.7a 所示。

征求意见稿

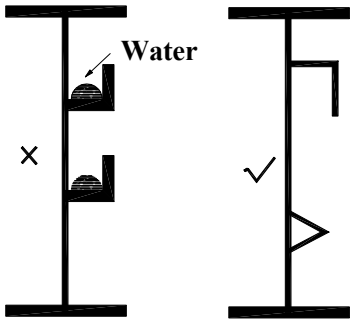


图5.2.7a 纵向加劲肋构造示意

2 下翼缘设置适当的横向坡度，如图 5.2.7b 所示。

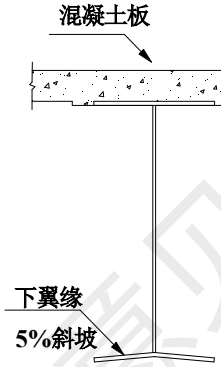


图5.2.7b 下翼缘造示意

条文说明

一般情况下耐候钢梁下翼缘顶板有纵坡，纵坡数值同桥梁纵坡，能实现下翼缘自然排水。对于钢梁下翼缘板顶面无纵坡或者纵坡小于 3‰的情况，应给下翼缘设置向外侧横坡。耐候钢梁腹板与下翼缘焊接时下翼缘会产生向上的热变形，为了防止焊接后下翼缘板横向中心位置低，需要预先设置较大反变形。

5.2.8 免涂装耐候钢板梁桥靠近梁端区域的钢主梁下翼缘下表面应设置 V 形挡水板，如图 5.2.8a 所示。存在纵向坡度的桥梁应在下翼缘板靠近墩台附近处设置滴水板或阻水板，如图 5.2.8b。

征求意见稿

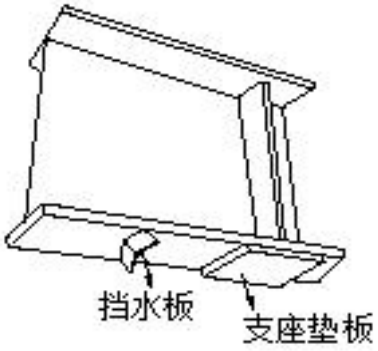


图5.2.8a 挡水板构造示意

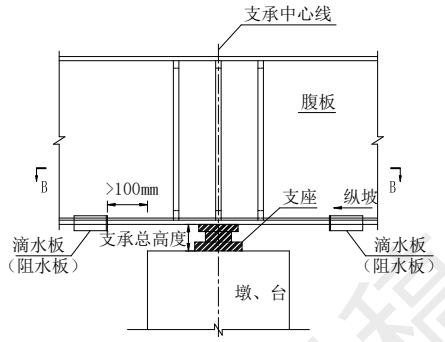


图 5.2.8b 下翼缘滴水板图示

5.3 钢箱梁

5.3.1 箱梁底板与腹板焊接处，腹板宜伸出底板下缘 20mm，不宜采用底板外伸的形式，如图 5.3.1 所示。

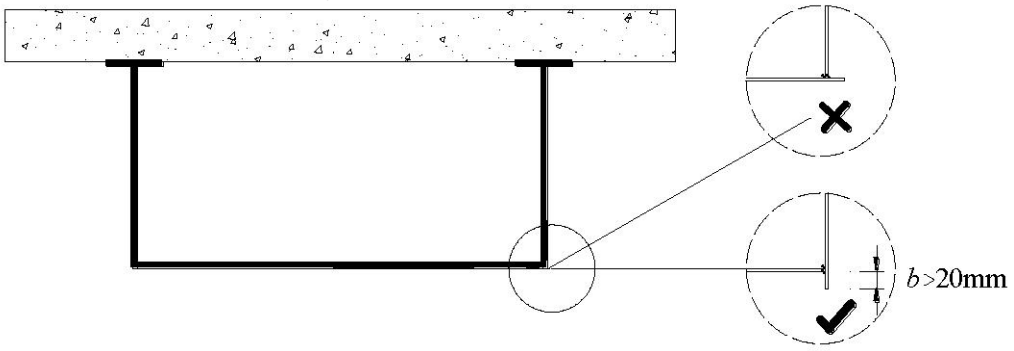


图 5.3.1 钢箱梁底板与腹板连接构造示意图

条文说明

征求意见稿

底板与腹板焊接的两种替代连接细节。腹板下伸的构造细节具有较佳的排水性能，但底板外伸构造可避免在制造车间遇到复杂的装配难题。从防腐蚀的角度来看，腹板下伸构造更为理想，因为其表面没有外部水平面或缝隙供湿气积聚；然而，在制造过程中可能需要额外的操作（例如旋转）来完成焊接。箱形梁的设计应充分考虑排水性能及制造便利性，选择更适合项目的构造型式。

5.3.2 应重视箱形构件内部的防腐，减少箱内因长期潮湿引起不良腐蚀的风险，宜采取下列措施：

1 对所有内表面涂刷一层浅色底漆（例如有机或无机锌基底漆、环氧树脂腻子），以提供保护并便于检查。

2 设置通风孔以促进空气流通并使内部表面干燥。

3 当有输水管道穿过梁体，或采用混凝土桥面板的槽形钢箱，必须在箱内的低处设置排水孔。对输水管进行绝缘处理，以防止管道外表面产生冷凝水。

4 宜使用格栅或网格封堵排水孔、通风孔等开口，防止鸟类和啮齿动物进入钢构件的内部腔室。

5 应避免在耐候钢箱构件箱室内布设排水管。

条文说明

尽管箱形梁或构件被认为不会渗水，但实际上情况往往并非如此——建筑冷缝处的渗漏以及混凝土桥面的裂缝都会导致渗水现象，同时也存在冷凝现象而导致积水。若水分渗入箱形梁、箱形截面柱或箱形桁架构件等封闭结构中，缺乏适当的排水或空气流通时，受潮时间可能极为漫长。封闭式区域典型的空气流通不足仍可能导致长时间潮湿状态。因此，必须采取措施防止水分侵入、确保具备适当的排水系统，或在封闭箱内部采用防腐蚀保护系统。

为确保耐候钢达到预期性能，必须实施防止水分渗入封闭区域的措施，然而，有效密封各部位以防止水分侵入极为困难。因此，推荐设置排水孔及其他有助于排水的结构细节，排水孔的尺寸、间距及位置应经过仔细考量，以平衡排水需求与防渗要求。

征求意见稿

5.4 钢桁结构

5.4.1 对于桁架结构，当水平构件（弦杆）具有足够的纵坡以确保排水顺畅并防止积水时，且径流量不会对节点或其他构件产生不利影响，工字型开口截面宜沿弱轴水平布置，以便任何水流都能在翼缘之间排出，如图5.4-1所示。

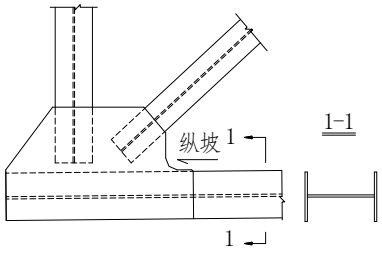


图 5.4-1　桁架结构

5.4.2 耐候钢桁梁横向连接系、纵横联宜采用K型撑，不宜采用X型撑，以减少相交构件间隙数量。构件的布置应有利于水汽和垃圾排放。

5.4.3 工字形或者槽形杆件水平放置时，应设置排水孔。

5.4.4 宜使用格栅等措施防止鸟类和啮齿动物进入桁架箱型钢构件内部腔室。

5.4.5 节点设计宜采取下列措施：

1 钢桁架结构的节点部位应采用排水、通气较好的构造。对于容易积水的部位，应在最低点设置排水孔；

2 采用高强螺栓连接时，耐候钢桁梁的节点板宜使用装配性好的柔性盖板，以避免缝隙腐蚀问题，暴露于空气的水平钢板梁上下翼缘、箱梁顶板顶面的拼接板宜设置切角。

5.4.6 采用高强螺栓连接时，耐候钢桁梁的节点板宜使用装配性好的柔性盖板，以避免缝隙腐蚀问题。

5.4.7 桁架结构中各构件应参照本规程5.2节、5.3节中钢板梁和钢箱梁断面相关要求进行设计。

条文说明

桁架及其他包含斜向构件（如拱肋）的结构型式在采用耐候钢时具有显著优势：这些构件大多直接暴露在外，基本不受桥面板的遮蔽，具有增加阳光照射、

改善空气流通以及接触雨水的优势，雨水可对钢材表面的污染物产生冲洗作用。暴露于雨水中的结构的关注点在于：必须仔细规划排水路径，并消除积水风险。通常发生在倾斜构件与相邻构件连接位置。

5.5 计算

5.5.1 免涂装耐候钢结构桥梁计算应符合《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）的规定，并应满足本规程要求。

5.5.2 免涂装耐候钢结构桥梁设计时应根据桥梁结构所处的环境类别，结合构件的具体位置，采用相应的腐蚀厚度补偿值 C。在没有试验数据或确定资料的情况下，推荐采用如表 5.5-1 所示的腐蚀厚度补偿值 C。具体设计时，应根据需要调整板宽，使最终板厚度与通常使用且易于获取的标准厚度相匹配。

表5.5-1　腐蚀厚度补偿值C

大气腐蚀性等级	单个暴露面厚度补偿（mm）	备注
C1、C2、C3	1.0	
C4	1.5	
（1）对于密封空心截面的内表面不需要补偿值；当为非密封空心截面时，如具有混凝土桥面板的槽形钢箱，箱梁内部单面厚度补偿值：C=0.5,进行防腐涂装时：C=0； （2）具有混凝土桥面板的箱梁的内部应分类为C2，除非进行了防止水设计； （3）腐蚀性等级C5、CX时，不宜采用耐候钢。		

条文说明

C1-C4 环境类别是根据 ISO 9223 标准确定。在有具体实验资料时，耐候钢桥计算时宜考虑耐候钢桥在设计使用期（Td）内的腐蚀损失，可采用设置腐蚀余量的方法抵消腐蚀损失对结构带来的影响。腐蚀余量 Δt 宜按公式 5.6-1 的计算结果设置。

$$\Delta t = t_d + t_1 - t_n - t_V \qquad \text{公式5.5}$$

式中：

Δt—最小腐蚀余量；

td—构件满足极限状态要求的最小厚度；

t1—截面厚度损失设计值；

tn—构件名义厚度；

tv—关于热轧钢板的类别和厚度的系数，取值参考《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》（GB/T 709-2019）。

不同国家对腐蚀引起的板厚损失的补偿量也有所不同。表 5.5-1 列出了不同国家按设计服务周期内对每个暴露面的板厚补偿值。

表 5.5 不同国家对厚度补偿值得规定

国家	不同环境下补偿值（mm）			备注
	C1-C2	C3	C4	
德国	0.8	1.2	1.5	
英国	1.0	1.0	1.5	
瑞典	0.6	1.2	1.7	
澳大利亚	1.0	1.5		非封闭箱内 0.5mm
美国	1/16”（约 1.6mm，两面）			

5.5.3 计算耐候钢桥恒载内力时板件厚度按照名义厚度取值，开展结构活载效应及局部应力分析时耐候钢桥板件厚度宜扣除厚度补偿值。

5.5.4 免涂装耐候钢结构桥梁构件表面蚀坑处存在应力集中，抗疲劳验算时应计入腐蚀对耐候钢桥抗疲劳强度的折减影响，宜考虑在《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）等相关现行相关国家、行业标准规定的非耐候钢疲劳细节强度基础上降低一个等级。

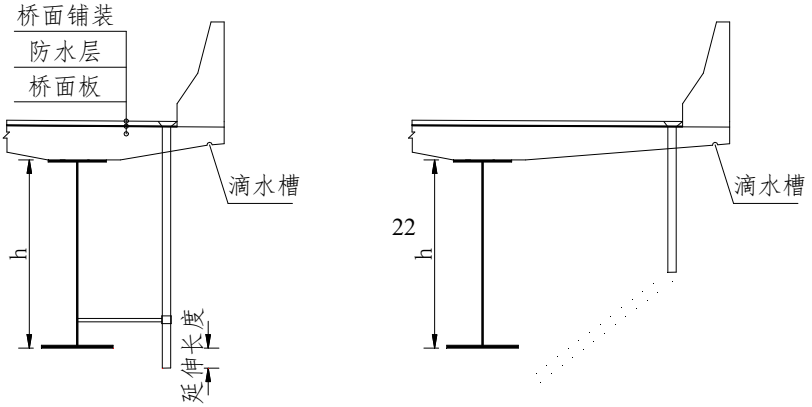
5.6 防排水系统

5.6.1 桥面排水系统应满足下列要求：

1 直排式泄水管下端应延伸到钢梁底面以下适当长度，防止桥面雨水渗漏或飞溅到桥面板下的耐候钢结构上，如图5.5.1所示；翼缘悬臂较大时，泄水管长度应雨水不能渗漏或飞溅到耐候钢结构。

2 桥面集中排水系统应避免堵塞和渗漏。

3 悬臂翼缘下应设置滴水槽。



征求意见稿

图5.5.1　桥面排水示意

5.6.2 桥面板与铺装之间应敷设高性能防水保护层或涂料，防水层应满铺包括人行道在内的整个桥面，以防止雨水渗透。

5.6.3 为防止耐候钢梁上径流污染下部结构，宜采用下列构造措施：

1 对于钢板梁，在跨内纵坡较低的一端的下翼缘板设置滴水板，滴水板距离墩台边缘50cm~80cm，与横桥向夹角30°~45°，滴水板的布置如图5.5.3a所示。滴水板不应焊接在受拉或拉压变化区段，否则，按第2条设置滴水盘。

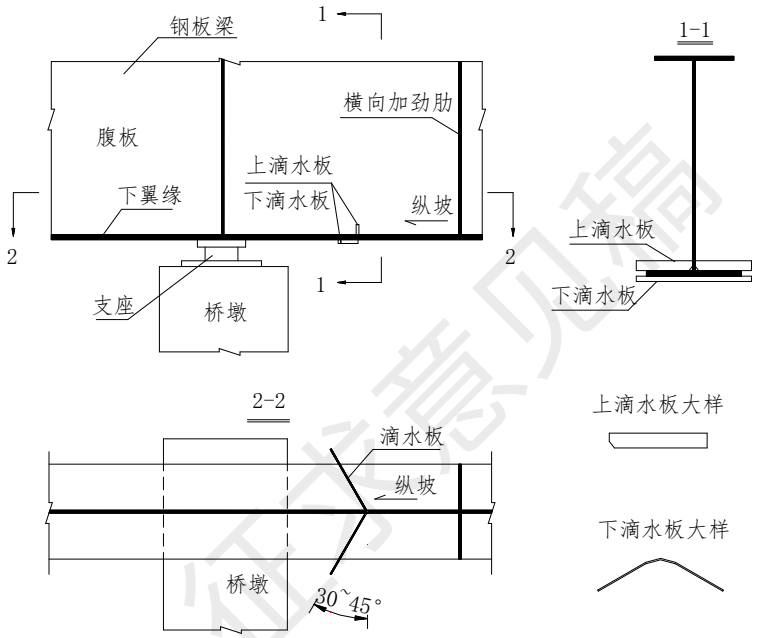


图5.5.3a 滴水板示意图

2 当需在下翼缘受拉或拉压变化区段设置防护措施时，在桥墩的支座上方设置滴水盘（图5.5.3b）。滴水盘的构造应满应比桥墩外边缘宽出100～150mm。

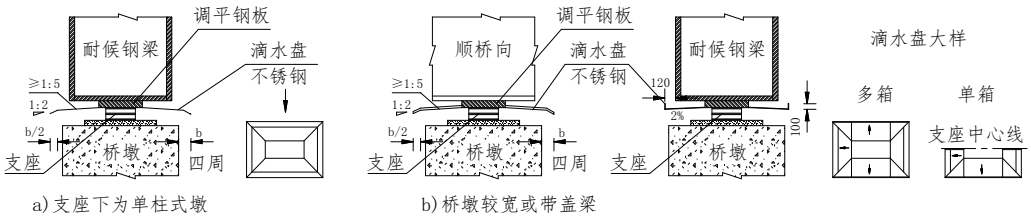


图5.5.3b 滴水盘示意

3　在桥台台帽顶面应设置坡面和排水系统，将水引入台后可透水填土层。

可将桥台台帽顶面设计成向背墙倾斜的斜面，并将水排入墙后的盲沟中，如图5.5.3c所示。

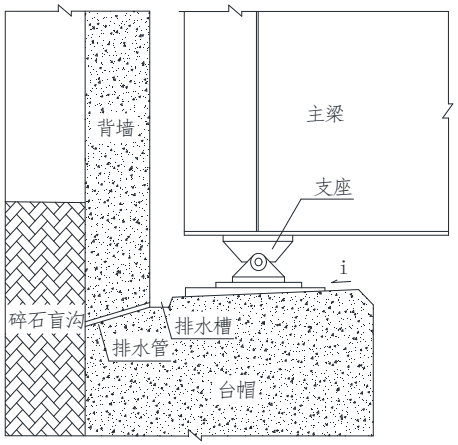


图5.5.3c 台帽顶面排水系统

5.6.4 免涂装耐候钢桥的桥面板宜采用连续结构，泄水孔出水位置应距离钢梁表面净距不小于50cm。

5.7 螺栓连接

5.7.1 免涂装耐候钢桥梁构件间采用螺栓连接时应使用与耐候钢相匹配的耐候高强度螺栓。

5.7.2 尽量避免使用填板，无法避免时填板应使用相同类型耐候钢。

5.7.3 采用密封剂对螺栓与螺栓孔间、拼接板缝隙处进行局部密封。

条文说明

耐候螺栓连接需考虑三个主要因素：(1)材料相容性；(2)实现防水连接；(3)摩擦系数。使用与耐候钢相容的材料制成的紧固件以避免电偶腐蚀。钢板界面之间若不具备防水性能，便容易形成缝隙腐蚀区域，最终可能导致接头松动及紧固件拉伸失效。为实现防水连接并防止缝隙腐蚀，应用适当的涂层保护接头，或者在接头边缘周围涂上合适的密封胶，避免湿气入侵。在螺栓紧固时确保表面无任何异物，确保摩擦系数满足设计要求。

征求意见稿

5.8 焊接连接

5.8.1 焊接材料除与母材强度匹配外，其耐候性能（耐候指数）也应相同。

5.8.2 所有角焊缝和部分熔透对接焊缝的焊缝尺寸应考虑腐蚀厚度补偿，焊缝尺寸补偿值按 5.5.2 条计入。熔透对接焊缝不需要腐蚀厚度补偿。

条文说明

完全熔透的焊缝具有与母材相同的尺寸，因此不需要腐蚀厚度补偿。

5.8.3 当构件水平布置时，设计应要求对裸露对接焊缝的顶面打磨平整。

条文说明

当构件水平布置时，顶板对接焊缝的顶面宜打磨，避免积水，如图5.8.3所示。

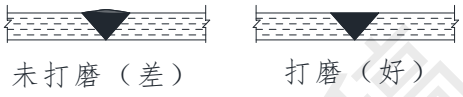


图 5.8.3　焊缝顶面打磨

5.9 交接面

5.9.1 钢和混凝土之间的界面应使用至少 100 微米的非导电屏障涂层。

5.9.2　嵌入混凝土中的构件不需要涂装，但距界面 100 毫米和在界面外至少 50 毫米范围内的应进行涂装。

5.9.3 耐候钢与其他金属材料之间存在发生电化学腐蚀风险时，应采取下列措施：

1 与耐候钢结构连接时采用相容材料，即也采用耐候性能相同的耐候钢；

2 采取排水或隔离措施减少或消除接触面间水汽，使之处于干燥状态；

3 在耐候钢与其他金属接触面间布置绝缘材料或进行防腐涂装。

条文说明

一般来说，耐候钢与其他金属材料的连接可能有电偶腐蚀风险，但只有在有电解质（如水）情况下才会发生这种情况。因此在两者接触面之间没有电解质时不会发生电偶腐蚀。在桥梁结构中，水（潮湿）是主要的电解质，采取隔离或绝缘措施可有效减小或阻止电化学腐蚀。这些措施包括：（1）在两种金属之间使

用电绝缘材料进行绝缘，或对其中一个（阴极）或两个（阴极和阳极）接触表面进行涂层处理。绝缘是指在两种（或多种）金属之间使用非金属材料，以阻断电子通路。涂层具有类似的电子隔离功能，即对其中一个（阴极）或两个（阴极和阳极）接触表面进行涂层处理。采用这两种方案中的任何一种时，均需仔细评估其在特定环境及结构整个使用寿命期间对绝缘层或涂层的耐久性，并确保满足该连接类型的所有其他要求（例如滑移系数）；（2）保持接触面或接缝处干燥相当于使消除电子传递途径，也是有效的隔离措施；（3）较小的阴极/阳极接触面的面积比，可减小阳极材料的腐蚀。

5.9.4 必须避免钢与经处理的木材之间的接触，除非在这些部件之间设置了隔离剂或防潮层。

5.10 免涂装耐候钢桥的经济评价模型

5.10.1 免涂装耐候钢桥全寿命周期经济评价模型的建立分析应执行以下 4 个步骤：

1 确定分析目标：确定研究桥梁的基本特征、分析范围及内容；

2 建立分析假定：设定特定的需求条件（如，完全市场经济、初始投资发生时间、环境成本折现率计算方法）；

3 成本构成及对应模型：确定成本组成分类并建立各成本相关模型；

4 建立总成本分析模型：考虑资金时间价值等建立全寿命周期成本模型。

5.10.2 桥梁全寿命周期成本分为决策设计阶段成本、施工阶段成本、运营及回收阶段成本，具体包括建设成本、管理成本、养护成本、专项成本、维修成本、保险成本、交通阻塞成本、绕行成本、事故成本、环境成本以及拆除成本等，如图 5.10.2 所示。

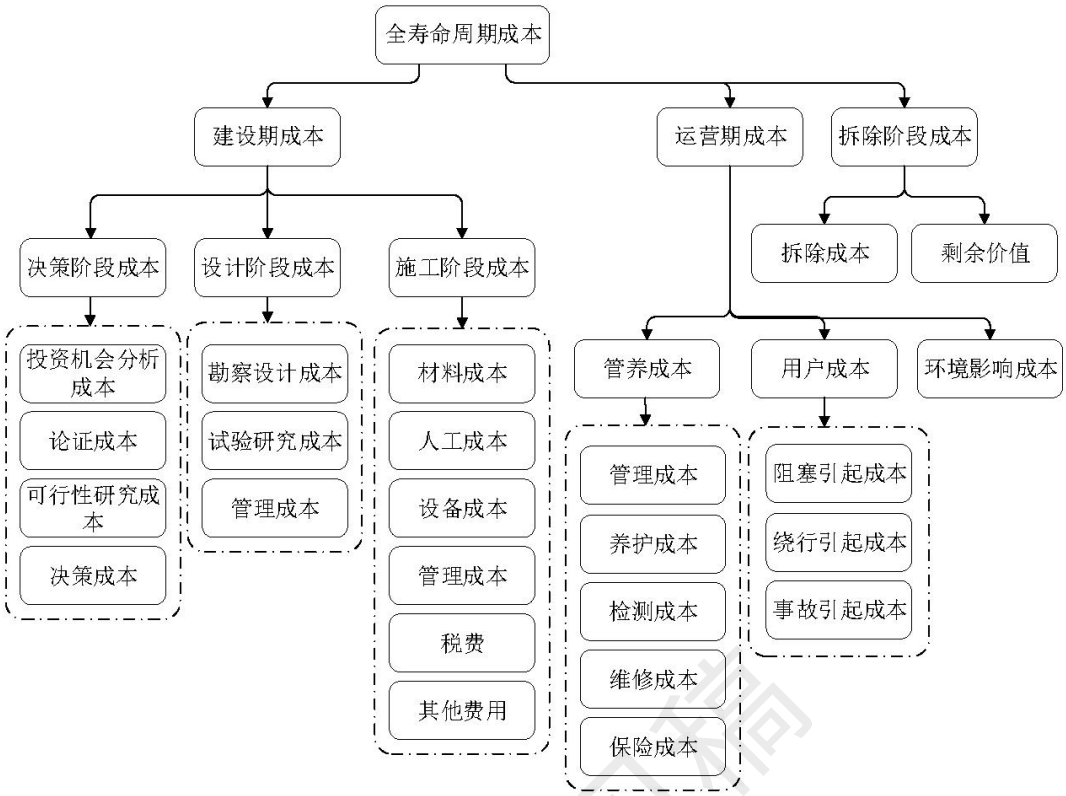


图 5.10.2 桥梁全寿命周期成本构成

5.10.3 耐候钢桥全寿命成本计算模型如公式 5.10.3 所示。

$$LCC=CC+OC+DC \tag{5.10.3-1}$$

$$CC=C_{\text{Planing}}+C_{\text{Design}}+C_{\text{Cconstruction}} \tag{5.10.3-2}$$

$$OC=C_{\text{Maintenance}}+C_{\text{User}}+C_{\text{Environment}} \tag{5.10.3-3}$$

$$DC=C_{\text{Demolition}}+V_{\text{Residual}} \tag{5.10.3-4}$$

式中：

LCC—全寿命周期成本；

CC—建设期总成本；

OC—运营期总成本；

DC—拆除期总成本；

C_{Planing}、C_{Design}、$C_{\text{Cconstruction}}$—建设期规划成本、设计成本、施工成本；

$C_{\text{Maintenance}}$、C_{User}、$C_{\text{Environment}}$—运营期管养成本、用户成本、环境成本；

$C_{\text{Demolition}}$、V_{Residual}—拆除成本、剩余价值。

6 制造

6.1 一般规定

6.1.1 耐候钢结构桥梁的制造除应符合本规程的规定外，尚应符合现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 及国家现行有关标准的规定。

6.1.2 耐候钢结构桥梁制造过程中，应根据免涂装或局部涂装使用要求，重点控制钢材表面污染、机械损伤、焊接及热加工对裸露表面状态的影响，并应采取措施保证后续保护性锈层能够均匀形成。

6.2 零件加工与组装

6.2.1 耐候钢零件的下料、切割、矫正、制孔及加工尺寸应符合现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 的规定。

6.2.2 耐候钢在热弯曲、热矫直、热成形及其他热加工过程中短时加热的温度不宜超过 750℃。

6.2.3 钢板钻孔或扩孔采用冷却剂或润滑剂时，加工完成后应将残留冷却剂、润滑剂及其他油污清除干净，不得影响后续耐候钢表面处理和保护性锈层形成。

6.2.4 耐候钢构件吊运和周转过程中，应采取措施防止吊装链条、夹具及其他工装对钢板边缘或已形成的保护性锈层产生碰伤。

6.2.5 耐候钢零件在组装前的表面预处理应符合本规程耐候钢表面预处理章节的规定。同一构件的表面处理方法和处理程度应保持一致。

6.2.6 加工完成后，应清除钢材表面的车间标记、油脂及其他影响保护性锈层形成的污染物。裸露使用的可视表面不宜采用难以清除的油漆等材料进行施工标记。

条文说明

对美观性有特殊要求时，需防止钢表面出现不均匀外观。这种不均匀可能由喷砂处理不彻底或局部重新喷砂导致的轧制氧化皮去除不均匀或不一致所引起。同一结构构件的清洁和/或喷砂清洗要求不得有所不同。虽然过去出于美观考虑

仅对可见表面进行喷砂清洗，但这会在未来检查同一桥梁各构件状况时增加难度。

6.2.7 构件组装前，应彻底清除待焊区域的铁锈、氧化皮、油脂、水分及其他有害物，使焊接区域达到焊接工艺要求的表面状态。

6.2.8 构件组装时宜采用预变形或减少临时工艺板的组装工艺，避免临时焊接及临时附件拆除对钢板母材和裸露耐候钢表面的损伤。临时附件拆除后应对影响区域进行修整。

6.2.9 引弧板、熄弧板及其他焊接辅助构件的设置、焊接和拆除应符合现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 及焊接工艺文件的规定，拆除过程中不得损伤母材。

6.3 焊接与矫正

6.3.1 耐候钢焊接应采用与母材相适应的焊接材料，裸露使用部位焊缝金属的耐候性能不应低于设计规定。

6.3.2 耐候钢焊接接头的构造和焊缝表面应有利于排水，不应因焊缝布置形成明显积水区域。处于水平状态且可能滞水的裸露对接焊缝顶面宜打磨平顺。

6.3.3 焊条烘干后放置时间不应超过 4h，用于 Q420qNH 及以上高性能耐候钢的焊条，烘干后放置时间不应超过 2h，重新烘干次数不应超过 2 次。

6.3.4 耐候钢的预热温度、道间温度及焊接热输入应根据钢材牌号、板厚、接头形式、拘束程度、焊接方法及焊接工艺评定确定。预热及道间温度控制应满足下列要求：

1 焊前预热及道间温度的控制宜采用电加热法、火焰加热法等加热方法，并采用专用的测温仪器测量；

2 预热的加热区域应在焊缝坡口两侧，宽度应为焊件施焊处板厚的1.5倍以上，且不小于100mm；预热温度宜在焊件受热面的背面测量，测量点应在离电弧经过前的焊接点各方向不小于75mm处；当采用火焰加热器预热时正面测温应在加热停止后进行；

3 耐候钢的最低预热温度可采用表6.8.4的规定执行，焊接过程中道间温度应不低于预热温度，最大道间温度不宜超过180℃，最大层间温度不超过230℃。

表 6.8.4 耐候钢最低预热温度建议值

耐候钢牌号	不同接头最大板厚（mm）的最低预热温度建议值			
	20≤t≤40	40≤t≤60	60≤t≤80	t>80
Q345qNH	/	50	80	100
Q420qNH	/	65	100	120
Q500qNH	80	100	120	150

注 1：“/”表示可不进行预热；

注 2：当采用非低氢焊接材料焊接时，预热温度应比该表规定的温度提高 20℃；

注 3：当母材施焊处温度低于 0℃时，应将表中母材预热温度增加 20℃，且应在焊接过程中保持这一最低道间温度；

注 4：焊接接头板厚不同时，应按接头中较厚板的板厚选择最低预热温度和道间温度；

注 5：焊接接头材质不同时，应按接头中较高强度、较高碳当量的钢材选择最低预热温度；

注 6：杆件约束度大时，可根据情况在推荐预热温度基础上提高 50℃。

6.3.5 耐候钢焊接前的预热范围、测温位置和测温方法应符合焊接工艺评定及焊接工艺文件的规定。

6.3.6 施工现场及制造过程中不得在永久构件非设计部位随意引弧或焊接其他部件、吊耳和临时支撑；确需设置临时焊接附件时，应经工艺设计，并应在拆除后对母材表面进行修整。

6.3.7 耐候钢焊接应控制扩散氢和焊接热输入，其控制指标应根据钢材牌号、板厚、焊接方法和焊接工艺评定确定。焊材扩散氢至少≤H8，焊接线能量推荐 E=15~35KJ/cm。

6.3.8 耐候钢构件焊接变形的矫正应优先采用冷矫；采用热矫时，加热温度及工艺应根据钢材牌号、交货状态和钢材生产厂技术要求确定，并不得对钢材性能产生不利影响。

6.3.9 热矫后裸露耐候钢表面出现明显氧化变色或表面状态不一致时，应按本规程第八章表面处理的规定进行处理；高强度螺栓摩擦面应重新检查其表面状态。

征求意见稿

6.4 成品表面保护

6.4.1 制造过程中产生的焊接飞溅、焊渣、油脂及其他污染物应及时清除，不得影响裸露耐候钢表面保护性锈层的均匀形成。

6.4.2 裸露耐候钢构件的焊缝余高及构造细部不得形成明显滞水部位；可能积水的焊缝宜打磨平顺。

6.4.3 裸露使用的耐候钢可视表面不宜采用油漆等影响锈层形成或难以清除的材料作施工标记。构件标识应设置在不影响结构使用性能和外观的位置，并宜采用便于清除的标记材料。

6.4.4 构件制造完成后，应对裸露耐候钢表面进行检查。存在油污、加工液、施工标记、焊接飞溅、局部氧化皮残留及其他影响保护性锈层形成的污染物时，应清除后方可进入后续工序。

6.4.5 耐候钢构件制造完成后的表面预处理、稳定化处理及其质量检验应符合本规程第八章表面处理的规定。

征求意见稿

7 安装

7.1 一般规定

7.1.1 耐候钢结构桥梁的包装、存放、运输、安装、工地连接及安装施工质量控制，除本章另有规定外，应符合现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 的有关规定。

7.1.2 耐候钢结构桥梁安装专项施工方案除应符合现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 的规定外，尚应包括耐候钢表面保护、防止持续潮湿和污染、稳定锈层保护、局部防护区域保护以及安装后表面清理等专项措施。

7.1.3 耐候钢构件安装过程中，应避免破坏裸露耐候钢表面或已形成的稳定锈层，并应防止油脂、泥沙、混凝土浆、砂浆、沥青、盐类及其他污染物附着于钢材表面。

7.1.4 安装过程中应避免耐候钢构件形成持续积水、长期潮湿、封闭凝露及盐分富集环境，并应保持永久和临时排水路径畅通。

7.2 构件存放、运输与吊装

7.2.1 耐候钢构件的包装、标识、装卸、运输和一般存放要求应符合现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 的规定。

7.2.2 耐候钢构件现场存放时，应采取有利于排水和通风的支垫方式，不得直接与土壤长期接触，不宜因构件叠放或覆盖造成积水或持续凝露。

7.2.3 已进行稳定化处理或已形成稳定锈层的构件，在装卸、运输和吊装过程中宜采取防止吊索、卡具、支垫物反复摩擦钢材表面的措施。

7.2.4 耐候钢构件采用支架安装、悬臂拼装、提升安装、顶推、整孔或大节段安装、转体施工时，其施工工艺、临时结构验算、安装精度和施工监控应符合现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 的规定。

7.2.5 构件安装过程中发现裸露耐候钢表面或稳定锈层受到局部机械损伤时，应根据损伤程度按本规程表面处理有关规定进行修复；不得为追求短期颜色一致而对完好区域进行大面积重复打磨或喷射处理。

征求意见稿

7.3 焊接连接

7.3.1 耐候钢桥工地焊接、高强度螺栓连接的施工工艺、施工环境、安装施拧、焊缝质量检验及返修，除本规程另有规定外，应符合现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 的规定。

7.3.2 耐候钢的现场焊接材料应与母材力学性能相匹配，并应满足焊接接头耐候性能要求。

7.3.3 现场焊接前，应将坡口及焊缝边缘 30mm～50mm 范围内影响焊接质量和焊后耐候性能的氧化皮、锈蚀、油脂、水分及其他污染物清除干净。

7.3.4 现场不得在永久耐候钢构件非设计部位随意引弧或焊接吊耳、临时支撑及其他临时附件。

7.3.5 现场焊接完成后，应清除焊渣、飞溅和焊接施工污染物。因焊接、打磨或临时附件拆除造成裸露表面状态明显不同的区域，应按本规程表面处理要求进行局部修复。

7.4 高强度螺栓连接

7.4.1 耐候钢结构桥梁高强度螺栓的存放、领取、安装、施拧及一般质量检查应符合现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 的规定。

7.4.2 免涂装耐候钢桥栓接连接所采用的高强度螺栓连接副、填板及其他直接接触的金属连接件，应与耐候钢主体结构具有良好的材料相容性

7.4.3 耐候钢高强度螺栓摩擦面采用喷射处理后自然氧化、喷射处理后稳定化处理或其他表面处理工艺时，应通过抗滑移系数试验验证；工地安装前的抗滑移系数复验应符合设计要求和现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 的规定。

7.4.4 耐候钢高强度螺栓摩擦面安装前应保持洁净、干燥，不得存在油脂、泥沙、松散锈层及其他影响抗滑移性能的污染物。

7.4.5 免涂装耐候钢栓接接头应传力明确、连接紧密，并应采取构造和工艺措施防止积水、毛细作用及缝隙腐蚀。高强度螺栓拼接部位的螺栓孔、拼接板缝隙及连接边缘存在进水风险时，应按设计要求采用密封剂进行局部密封

征求意见稿

7.4.6 螺栓连接构造宜避免在螺栓头、螺母及其周边区域积水和积聚污染物；必要时宜对螺栓头、螺母及其周边区域采取局部涂装等防护措施。

7.4.7 耐候螺栓布置应满足表 7.4.7 的要求，与板边相邻的螺栓的最大间距为 14t 且不大于 180mm；相邻螺栓中心线间的最大距离为 8t 且不大于 130mm，若螺栓间距必须大于上述值，应采取可靠的防水密封措施。

7.4.8 不宜采用设置填板的连接；必须采用时，填板应符合本节第 7.4.2 条的材料相容性要求。

表 7.4.7 耐候高强螺栓的容许间距

<table>
<tr><td>名称</td><td colspan="4">位置和方向</td><td>最大容许边距(两者较小值)</td><td>最小容许间距</td></tr>
<tr><td rowspan="5">中心间距</td><td colspan="4">外排（垂直内力方向或顺内力方向）</td><td>8d 或 12t</td><td rowspan="4">3d</td></tr>
<tr><td rowspan="3">中间排</td><td colspan="2">垂直内力方向</td><td>16d 或 24t</td></tr>
<tr><td rowspan="2">顺内力方向</td><td>构件受压力</td><td>12d 或 18t</td></tr>
<tr><td>构件受拉力</td><td>16d 或 24t</td></tr>
<tr><td colspan="4">沿对角线方向</td><td></td><td>2d</td></tr>
<tr><td rowspan="3">中心至构件边缘距离</td><td colspan="4">顺力方向</td><td rowspan="3">4d 或 8t</td><td rowspan="3">1.5d</td></tr>
<tr><td colspan="4">切割边或自动手工气割边</td></tr>
<tr><td colspan="4">轧制边、自动气割边或锯割边</td></tr>
<tr><td colspan="7">注 1：d 为连接板的孔径，对槽孔为短向尺寸，t 为外层较薄板件的厚度。
注 2：钢板边缘与刚性构件（如角钢、槽钢等）相连的耐候高强螺栓最大间距，可按中间排的数值采用。</td></tr>
</table>

7.5 施工期间的保护

7.5.1 耐候钢梁架设完成后，宜尽早实施桥面板等后续永久结构施工，并应避免施工期间裸露钢构件长期积水和受到污染。

7.5.2 桥面板钢筋、模板及混凝土施工期间，应防止混凝土浆、砂浆、砂土及其他施工材料污染耐候钢表面；发生污染时应及时清除，必要时应重新进行局部表面处理。

7.5.3 桥面混凝土施工及耐候钢保护性锈层形成初期，宜对桥墩、桥台及其他易受锈水污染的混凝土表面采取临时遮挡、集水或导流措施。

7.5.4 临时遮挡措施不得造成耐候钢构件长期封闭或持续凝露。

7.5.5 耐候钢桥安装完成后，应检查梁端、伸缩装置、泄水孔、泄水管、导水槽、滴水构造及箱形构件排水孔，确认永久排水路径畅通且水流不会直接排向耐候钢主体结构。

7.5.6 梁端、伸缩缝下方、钢—混凝土交界及设计规定的其他局部防护区域，在安装和后续施工过程中不得破坏设计涂层、密封层及挡水构造；发生损伤时应在隐蔽前修复。

7.5.7 箱形构件内部存在结露风险时，应在封闭前检查箱内排水设施及设计规定的内部防护层，不得因安装施工形成封闭积水区域。

7.5.8 接头密封和局部防护不得堵塞排水孔或改变设计排水方向。

7.6 安装后表面清理与检查

7.6.1 耐候钢桥安装及桥面附属工程施工完成后，应对裸露耐候钢表面进行全面检查和最终清理。

7.6.2 最终清理应重点清除混凝土浆、砂浆、泥沙、油脂、沥青、盐分、施工标记及其他影响保护性锈层正常形成的污染物。

7.6.3 灰尘和松散碎屑可采用清扫或低压清水冲洗等方式清除，清理过程中不应破坏已形成的稳定锈层。

7.6.4 构件受到融雪剂、海盐或其他水溶性盐污染时，应及时清洗，并应保证清洗水能够完全排离构件。

7.6.5 安装完成后发现持续积水、漏水、盐分富集、异常锈蚀或稳定锈层明显破坏时，应先查明并消除致害原因，再按本规程有关规定进行表面修复。

7.6.6 因运输、吊装、焊接或局部修磨造成的轻微色差，当表面无油污、盐分、松散锈层和异常腐蚀时，可不进行整色处理。

7.7 安装质量检查

7.7.1 耐候钢结构桥梁的安装平面位置、高程、线形、内力与变形以及普通钢桥安装质量检验项目，应符合现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 的规定。

征求意见稿

7.7.2 耐候钢桥安装质量检查除应符合现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 的规定外，尚应重点检查下列内容：

1 裸露耐候钢表面和稳定锈层损伤情况；

2 混凝土浆、砂浆、油脂、泥沙和盐分污染情况；

3 梁端、下翼缘、节点及箱室等部位的积水情况；

4 高强度螺栓摩擦面的处理及复验情况；

5 栓接连接边缘的密贴、密封和局部防护情况；

6 现场焊缝邻近区域的表面恢复情况；

7 钢—混凝土交界、伸缩缝下方及其他局部防护区域的完整性；

8 泄水孔、泄水管、滴水和导流构造的排水功能；

9 安装完成后的耐候钢表面最终清理情况。

7.7.3 安装完成后的耐候钢表面不应有影响保护性锈层正常形成的明显油污、盐分污染、混凝土浆、砂浆及其他施工污染物，并不应存在因施工造成的持续积水。

7.7.4 高强度螺栓连接、现场焊缝以及安装几何尺寸的检验资料，应按现行《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》JTG/T 3651 执行；耐候钢专项施工记录尚应包括表面损伤与修复、稳定锈层保护、表面污染及清理、局部防护修复和排水检查等内容。

7.7.5 安装交工前，宜对梁端、支座附近、连接节点、下翼缘、钢—混凝土交界、伸缩缝下方及排水敏感区域形成影像基准资料。

征求意见稿

8 表面处理

8.1 一般规定

8.1.1 免涂装或半涂装耐候钢结构桥梁的耐候钢构件，在构件制作完成后应进行表面预处理。表面预处理应去除影响保护性锈层均匀形成的氧化皮、油脂、切削液、焊接飞溅、焊渣、施工标记、泥沙、混凝土浆及其他污染物，并应为后续自然锈蚀或锈层稳定化处理创造均匀的初始表面条件。

条文说明

由表面预处理的目标不是一般意义上的除锈，而是为保护性锈层均匀形成建立一致、洁净的初始表面。当免涂装或半涂装耐候钢结构桥梁带着氧化皮曝露时，氧化皮将从较松的地方开始剥离，而较为结实的氧化皮会较长时同地残留在钢结构表面。由于稳定锈层的形成是从氧化皮剥离时开始的，剥离时间的不同就会导致初期锈层不均匀，为了发挥耐候钢“以锈制锈”的优势进行表面预处理十分必要。

8.1.2 耐候钢表面预处理宜在构件全部焊接、矫正、钻孔、打磨及其他可能破坏钢材表面的加工工序完成后进行；局部返修、焊接或机械加工造成表面重新污染或破坏时，应对影响区域重新进行表面处理。

8.1.3 耐候钢表面预处理工艺应根据钢材牌号、构件形式、表面初始状态、设计外观要求、后续处理方式及施工环境确定。正式施工前应进行工艺试验或样板试验，并应根据试验结果确定施工参数。

8.1.4 同一桥梁或同一视觉连续区域内耐候钢构件宜采用一致的表面处理方法、处理等级和施工参数，不宜采用局部重复喷砂等易造成明显色差的处理方式。

8.1.5 不采用锈层稳定化处理的耐候钢构件宜采用喷射或抛射方法去除轧制氧化皮；采用喷射或抛射处理前，应先清除钢材表面的油脂、油污及其他可溶或黏附性污染物，不得以喷砂代替除油处理。

8.1.6 表面预处理不得采用会在钢材表面残留不利腐蚀介质或妨碍保护性锈层形成的处理材料。采用化学清洗材料时，应验证其对耐候钢基体、后续锈层形成和环境的影响。

8.1.7 表面预处理完成后的构件在转运、堆放和安装过程中，应防止油污、氯盐、混凝土浆、沥青、泥土及其他污染物再次附着，并应防止长时间积水和凝露。

8.1.8 表面预处理及锈层稳定化处理区域应采取措施防止处理液、锈水、磨料和冲洗废水污染桥墩、桥台、桥面及周边环境。

8.2 表面预处理剂

8.2.1 用于耐候钢表面稳定化处理的预处理剂应与耐候钢基体相容，并应具有促进初期均匀锈蚀和保护性锈层形成的作用，不得降低钢材的耐大气腐蚀性能。

8.2.2 表面预处理剂应有产品质量证明文件、产品技术说明书、安全技术说明书和施工工艺文件，其产品名称、型号、批号、生产日期、储存期限和使用条件应明确。

8.2.3 处理剂中不含铬盐、亚硝酸盐等有毒有害物质，不含盐酸、硫酸等游离酸，依据《化学品分类和标签规范 第18部分：急性毒性》（GB 30000.18-2013）处理剂的急性毒性危害应低于类别4（经口，急性毒性估计值＞300mg/kg且≤2000 mg/kg）。

8.2.4 表面预处理剂用于高强度螺栓摩擦面时，应进行抗滑移系数试验，其处理后的摩擦面性能应满足设计要求。

8.2.5 表面预处理剂不应影响后续焊接、栓接、密封和局部涂装施工。需进行焊接或涂装的区域，应根据工艺要求预留或将预处理剂清除至符合后续工序要求的状态。

8.3 表面稳定化处理

8.3.1 耐候钢表面稳定化处理应在钢材表面预处理达到《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/T8923.1-2011）规定的Sa2.5级或St3级后进行。

8.3.2 经喷射或抛射处理的钢材表面，应在未发生明显返锈和重新污染的状

态下进行稳定化处理。发生明显返锈、凝露、油污或粉尘污染时，应重新清理至合格状态。

8.3.3 稳定化处理施工前，应根据钢材牌号、构件表面状态、环境温度和湿度、施工方式及预处理剂性能进行样板试验，并应确定材料用量、施工遍数、间隔时间、干燥时间及必要的湿干循环制度。

8.3.4 新型或首次用于桥梁钢构件的表面预处理剂，应进行型式检验和现场样板试验；试样锈层稳定性能应通过锈层微观形貌、锈层厚度、锈层与基体结合状态、锈层物相组成及耐蚀性能中的一项或多项进行验证。

8.3.5 稳定化处理环境应满足下列要求：

1 工作环境的空气相对湿度≤85%；

2 周围环境温度宜在0℃~35℃之间；

3 基材表面温度不低于周围环境温度。

8.3.6 稳定化处理宜采用喷涂、辊涂、刷涂或经工艺验证的其他方法。施工方法应保证处理剂覆盖均匀，边角、焊缝、加劲肋根部、螺栓连接周边和其他复杂部位不得漏处理。

8.3.7 采用多遍处理时，后一遍施工应在前一遍达到规定表干或反应状态后进行；施工遍数和每遍材料用量应符合经工艺试验确定的参数。

8.3.8 稳定化处理过程中应保证构件排水通畅，不得使处理液或清洗水在下翼缘、节点板、连接缝、加劲肋根部及箱形构件内形成积液。

8.3.9 采用人工湿干循环促进初期锈层形成时，应保证每次湿润后钢材能够充分排水并完成干燥，不得采用连续浸湿方式代替湿干循环。

8.3.10 构件湿干循环期间不宜被塑料膜等不透湿材料长期封闭覆盖，不得因覆盖导致表面持续凝露。

8.3.11 稳定化处理完成后，表面宜呈连续、均匀状态，不应有明显漏处理、流挂、堆积、局部过度反应、大片色差、粉化、鼓泡或易脱落层。

8.3.12 稳定化处理后的构件在形成稳定锈层前，应特别防止氯盐、油脂、混凝土浆、泥土及其他污染物附着。

8.3.13 稳定化处理完成后的外观应进行 100%目视检查。表面应连续、基本均匀，不得存在明显漏处理、堆积、流挂、污染、粉化、大片剥落及其他影响锈

层正常形成的缺陷。目视检查对稳定化处理效果进行初步检验，稳定化处理后钢构件表面锈层颜色随时间变化见图 8.3.1。3 天内锈层表面颜色可达到图 8.3.1 对照板的 3 级，锈层呈现棕红色、手指触摸没有明显脱落痕迹；30 天内锈层表面颜色达到图 8.3.1 对照板的 4 级到 7 级之间，钢板表面锈层色泽均匀，无红锈及黄锈等不均匀现象，锈层无锈液流挂飞散现象。

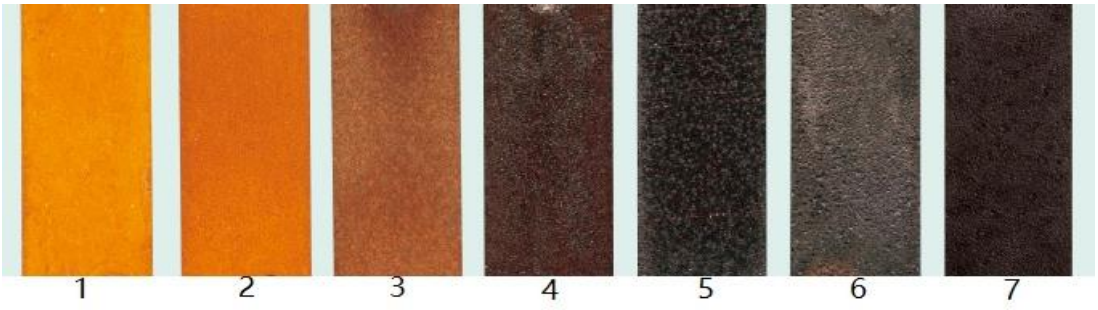


图 8.3.13　耐候钢锈层稳定性颜色对照图

8.3.14 耐候钢表面稳定化处理常见缺陷的预防措施和处理修补方法可按照表 8.3.14 执行。

表 8.3.14　稳定化处理常见缺陷和预防、修复处理方法一览表

序号	常见缺陷	预防措施	处理修补方法
1	表面色泽明显不均	保持喷砂、处理剂用量及施工遍数一致	轻微色差可不处理；明显不均时局部清理后重新稳定化处理
2	漏涂或局部处理不足	合理安排施工顺序，加强边角、焊缝及节点检查	清理漏处理区域后补做稳定化处理
3	流挂、堆积或局部过厚	控制处理剂用量、黏度及喷涂速度	清除流挂、堆积层后重新处理
4	表面粉化或附着不牢	确保基材清洁、干燥，处理剂质量合格	清除松散层，重新进行表面处理和稳定化处理
5	局部黑斑、深色斑或污染斑	防止积水、凝露及油污、盐分等污染	清除污染物并消除潮湿、积水等原因后局部修复
6	片状或鳞片状锈蚀	保持排水通畅，避免长期潮湿和盐分积聚	清除松散锈层，必要时检测板厚后重新处理
7	层状锈蚀或局部剥离	加强易积水、漏水和盐分富集部位防护	清除剥离锈层并检测板厚，必要时采取局部涂装或结构修复
8	局部锈水集中和锈迹污染	完善排水、滴水和导流措施	清理污染并修复排水或导流构造
9	起泡、脱层或局部剥落	保证基材干燥洁净，并控制处理剂施工厚度	清除缺陷层后按原工艺重新处理
10	异常腐蚀反复发生	优先消除积水、漏水、盐分及持续潮湿等环境因素	查明原因并修复；仍不能稳定时宜改用局部涂装

9 质量检验

9.1 一般规定

9.1.1 耐候钢结构桥梁质量检验应包括材料进场检验、构件制作质量检验、焊接质量检验、高强度螺栓连接质量检验、表面处理及锈层质量检验、局部涂装与密封质量检验、现场安装质量检验以及竣工质量检验，除应符合本规程规定外，尚应符合《公路工程质量检验评定标准》（JTG/T 5123）和《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》（JTG/T 3651）的规定。

9.1.2 质量检验除应满足结构强度、刚度、稳定和疲劳性能要求外，尚应检验影响耐候性能的材料相容性、表面状态、排水构造、缝隙构造、污染物残留和锈层状态。

9.1.3 耐候钢桥梁表面处理和锈层稳定化检验项目、检验方法、检验频率和验收要求宜按表 9.1.3 执行。

表 9.1.3　耐候钢桥梁主要质量检验项目

检验类别	主要项目	检验方法	检验频率	验收要求
表面处理	清洁度、均匀性、污染物残留	目视、必要时专项检测	逐构件/抽检	不影响锈层形成
锈层稳定化	外观、厚度、结合状态、物相、耐蚀性	显微、厚度、XRD 等	设计有要求时	符合工艺和专项标准

9.2 材料

9.2.1 耐候钢材进场时，应检查钢材牌号、质量等级、规格、炉批号、交货状态及产品质量证明文件，其品种、规格和性能应符合设计文件和现行国家标准的规定。

9.2.2 耐候钢材进场后应按批进行复验。复验项目应包括化学成分、拉伸性能、冲击性能、厚度方向性能及耐大气腐蚀性能等；有专项要求时，尚应检验晶粒度和焊接裂纹敏感性等指标。

9.2.3 裸露耐候钢用焊接材料的熔敷金属应具有与母材相适应的耐候性能；

焊接工艺评定时应对熔敷金属进行化学成分分析，并计算耐大气腐蚀性指数。

条文说明

无涂装耐候钢焊缝也处于大气暴露环境，焊材应具备与母材相适应的耐候性能。

9.2.4 耐候高强度螺栓连接副的螺栓、螺母和垫圈应按配套批进行验收，其力学性能、化学成分、耐候性能及表面状态应符合设计文件和本规程的规定。

9.2.5 与耐候钢直接接触的永久金属构配件，其材质应与设计文件一致；采用异种金属时，应检查设计规定的电绝缘、涂层或其他防电偶腐蚀措施是否完整有效。

条文说明

异种金属在潮湿条件下可能产生电偶腐蚀，需通过材质相容或隔离措施控制。

9.3 构件制作

9.3.1 耐候钢构件切割、矫正、制孔、组装及外形尺寸的质量允许偏差，应符合设计文件和现行有关钢桥制造标准的规定。

9.3.2 构件组装时，应检查构件间隙、错边、坡口尺寸及接触状态。栓接和焊接接头应贴合良好，不得存在影响受力、排水或形成长期缝隙积水的缺陷。

9.3.3 构件排水孔、过焊孔、滴水构造、坡度以及其他为避免积水设置的构造，应逐项检查，其位置和尺寸应符合设计要求，且不得被焊缝、密封材料或施工杂物堵塞。

9.3.4 构件表面不得残留影响锈层形成的油脂、切削液、焊接飞溅、标记物、混凝土浆、砂浆或其他污染物。

9.3.5 构件在制造、堆放、吊装及运输过程中产生的碰伤、擦伤、边缘损伤、局部压痕和锈层损伤，应在安装前检查并按经批准的工艺处理。

9.3.6 构件标识应清晰、准确并具有可追溯性，标识方法不得造成明显应力集中或影响耐候钢表面质量。

征求意见稿

9.4 焊接

9.4.1 耐候钢结构正式施焊前，应核查焊接工艺评定报告。实际使用的母材、焊接材料、接头形式、焊接方法、焊接位置、预热制度及主要工艺参数应在已评定的适用范围内。

9.4.2 焊缝无损检测应在外观检查合格后进行。耐候钢焊缝应以焊接完成24h后的检测结果作为验收依据；当钢板厚度不小于40mm时，应以焊接完成48h后的检测结果作为验收依据。

条文说明

耐候钢高强度级别和厚板存在延迟裂纹风险，因此上传资料均采用24h或48h后的结果作为验收依据。

9.4.3 电弧擦伤、临时焊点清除部位及焊缝返修区域应进行外观复查；经打磨或补焊处理后，应按设计或工艺规定进行磁粉检测或其他适用的无损检测。

9.5 高强度螺栓连接

9.5.1 耐候高强度螺栓连接副安装前，应对螺栓、螺母、垫圈的配套关系、批号、规格、外观及耐候性能进行检查，不得混入普通钢高强度螺栓连接副。

条文说明

耐候钢连接宜采用耐候等级紧固件，避免普通碳钢紧固件造成局部腐蚀和外观问题。

9.5.2 高强度螺栓摩擦面应检查其表面处理状态，不得存在油污、涂料、锈屑、泥沙及其他降低抗滑移性能的污染物。

条文说明

摩擦面污染会降低抗滑移性能，同时夹持污染物可能加剧缝隙腐蚀。

9.5.3 高强度螺栓摩擦面的抗滑移系数应通过试验检验。设计无特殊规定时，出厂和现场安装阶段的抗滑移系数不得低于本规程连接章节规定值。

9.5.4 高强度螺栓施拧质量、终拧扭矩或轴力、漏拧和欠拧情况应按《钢结构高强度螺栓连接技术规程》（**JGJ 82**）进行检验。

征求意见稿

9.5.5 高强度螺栓连接完成后，应检查板件贴合及缝隙状态。设计有密封要求的连接部位，密封胶或防护材料应连续、密实，不得存在影响水密性的开裂、脱空和漏封。

9.5.6 异种金属紧固件或附属构件与耐候钢接触时，应检查绝缘垫片、套管或涂层隔离措施是否按设计设置并完整有效。

9.6 表面处理及锈层

9.6.1 裸露耐候钢构件完成制作后，应检查表面清理质量。表面不得残留氧化皮、焊渣、油污、油漆、记号涂料、混凝土浆及其他影响保护性锈层均匀形成的污染物。

9.6.2 设计要求进行喷射或抛射除锈时，表面处理等级应符合设计文件和本规程施工章节的规定；同一可视区域的处理程度宜均匀一致。

9.6.3 无涂装耐候钢构件竣工时，钢材外表面应清洁、均匀，不应存在明显尘土、油脂、局部污染斑、异常黑斑及由施工污染引起的不均匀锈斑。

9.6.4 构件经运输和安装后，应对耐候钢表面进行最终检查。发现氯盐、化学污染物、油污、混凝土、砂浆或其他施工残留物时应及时清除。

9.6.5 锈层稳定化处理的工艺参数、处理次数和外观质量应满足设计文件要求。

9.6.6 可按照表 9.6.6 规定的检验项目和方法对耐候钢锈层稳定性进行检测。

条文说明

耐候钢表面锈层稳定检测具体方法可以参考中国钢铁工业协会团体标准《耐候钢锈层稳定性检测方法》（T/CISA 192—2021）。

表 9.6.6　锈层稳定化专项检验项目

检验项目	推荐方法	主要评价内容	适用情形
宏观外观	近距离目视、摄影	均匀性、污染、异常斑、剥落	常规验收
微观形貌	光学/共聚焦/扫描电镜	颗粒形貌、致密性、缺陷	专项检验
锈层厚度	显微截面法等	锈层平均厚度及局部差异	专项检验
结合状态	截面观察、划痕	分层、孔洞、结合紧密程度	专项检验
物相组成	X 射线衍射	稳定锈层相关物相组成	科研或专项验收
耐蚀性能	标准循环腐蚀试验	稳定化处理后的耐蚀能力	有设计要求时

9.6.7 锈层稳定性检验不应仅以颜色作为判据；现场质量判断应综合锈层附着性、纹理、均匀性和表面污染状况进行评价。

9.7 局部涂装与密封

9.7.1 耐候钢结构桥梁局部涂装的部位，应检查涂装范围、表面处理、涂层体系、涂层厚度和外观质量，其质量应满足设计要求且符合《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》（JTG/T 3651）的规定。

9.7.2 伸缩缝附近设计采取局部涂装时，应重点检查梁端、横梁、横隔板及支承区域涂层的连续性和完整性。

9.7.3 耐候钢与混凝土交界处采用涂装、封胶或挡水构造时，应检查其连续性、密实性和完整性，不得存在明显漏涂、开裂、空鼓或未封闭部位。

9.7.4 箱形构件内部采用涂层防护时，应检查内表面涂层完整性，同时检查箱内排水设施，不得以涂层替代必要的排水构造。

9.7.5 局部涂装与裸露耐候钢交界部位应平顺、完整，不得形成明显积水边界；竣工资料中应明确标示局部涂装范围，作为运营期重点检查部位。

9.8 现场安装

9.8.1 耐候钢构件进场后，应检查构件编号、外形尺寸、变形、运输损伤和表面污染状态，并应核对制造厂检验合格文件。

9.8.2 构件现场堆放应保持良好排水和通风，不得直接与土壤长期接触，不得采用易造成凝露和长期潮湿的覆盖方式。

9.8.3 架设过程中应保护已形成的均匀锈层；因吊装、碰撞或摩擦造成的局部表面损伤，应按经批准的工艺进行处理，并应避免形成明显色差或局部异常腐蚀环境。

9.8.4 构件安装后，应检查永久排水孔、滴水板、泄水管和其他排水设施，其水流路径不得直接冲刷或长期滴淋耐候钢主体构件。

9.8.5 现场焊接、栓接、桥面铺装、混凝土浇筑及附属设施安装完成后，应检查耐候钢表面是否受到焊渣、混凝土浆、沥青、油污、涂料或化学物质污染。

9.8.6 安装完成后，钢构件不得存在明显积水、封闭积水区和妨碍排水的施工遗留物；发现积水时，应在竣工验收前采取有效促使避免运营期积水。

条文说明

任何由施工遗留造成的积水都可能形成不利微环境，因此必须在竣工前消除。

9.9 竣工

9.9.1 耐候钢结构桥梁竣工质量检验应在构件制造、安装、焊接、高强度螺栓连接、局部防护、排水设施及表面清理等检验合格后进行。

9.9.2 竣工时应对裸露耐候钢构件进行全面外观检查，表面应清洁且状态基本均匀，不得存在影响保护性锈层形成的油脂、盐分、残留涂料、混凝土浆、泥沙和其他污染物。

9.9.3 竣工检查应对梁端、支座、横隔板、下翼缘、连接节点、钢—混凝土交界、排水设施附近及箱形构件内部等重点部位进行近距离检查，不得存在明显积水、漏水、杂物堆积和施工造成的异常腐蚀。

9.9.4 设计采用锈层稳定化处理时，竣工验收应核查稳定化处理记录；有专项质量要求时，应按现行耐候钢锈层稳定性检测标准进行检测。

9.9.5 施工单位应在竣工验收前完成耐候钢结构基准状态记录，宜对典型梁端、跨中、连接节点、下翼缘、支座区及其他重点部位拍摄近距离照片，必要时设置后续运营检测基准点。

9.9.6 耐候钢桥梁竣工验收时应确认排水、伸缩装置、密封和局部防护构造均可正常发挥作用，并应将需重点维护的部位移交运营管理单位。

9.10 质量验收资料

9.10.1 材料质量验收资料应包括耐候钢材、焊接材料、耐候高强度螺栓连接副的产品质量证明文件和复验报告，以及设计要求的耐候性能专项检测资料。

9.10.2 表面及锈层质量资料宜包括表面处理记录、局部涂装记录、稳定化处理记录、污染物清理记录以及设计要求的锈层稳定性检测报告。

9.10.3 竣工资料中宜包括耐候钢重点部位的基准照片、表面状态说明、排水构造检查记录及后续运营维护所需的专项注意事项。

征求意见稿

10 维护

10.1 一般规定

10.1.1 耐候钢结构桥梁维护应保持耐候钢表面正常的干湿交替条件和保护性锈层的稳定，防止构件长期潮湿、积水、盐分沉积、泥沙及其他污染物积聚，除应符合本规程规定外，尚应符合《公路钢结构桥梁养护技术规范》（JTG/T 5123）的规定。

条文说明

耐候钢维护的本质不是周期性除锈，而是保证保护性锈层形成所需的环境条件。持续潮湿、积水和氯盐滞留会破坏正常的干湿交替条件，是维护阶段首先需要控制的因素。

10.1.2 耐候钢结构桥梁应建立全寿命维护制度。维护工作应包括日常巡查、定期检查、重点部位检查、清理与清洗、伸缩装置和排水系统维护、异常锈层处治、局部防护与修复以及维护档案管理。

条文说明

耐候钢虽可减少维护涂装，但并非“免维护”。

10.1.3 耐候钢结构桥梁的维护应优先保证伸缩装置、桥面排水系统和构造排水系统功能正常，防止桥面径流直接流经、滴淋或长期浸润耐候钢构件。

10.1.4 采用裸露耐候钢的桥梁不应因免涂装而减少必要的检查、清理和维护。处于沿海、高湿、使用除冰盐、跨越高交通量道路、低净空水域或局部通风不良环境的桥梁，宜制定专项维护计划。

10.1.5 维护作业不得损伤母材，不得无目的地大面积清除正常、致密且附着牢固的保护性锈层。

10.1.6 发现影响耐候钢正常干燥的漏水、积水、排水堵塞、植被遮蔽、泥沙堆积或腐蚀性污染物沉积时，应查明原因并及时处治。

10.1.7 耐候钢桥梁维护方案应与检查结果相协调，并应根据环境腐蚀性、构件部位、锈层状态、截面损失程度及既往维护效果动态调整维护项目和周期。

征求意见稿

10.2 检查与状态评价

10.2.1 耐候钢构件维护检查应包括锈层状态、构件截面状态、积水和湿润状况、盐分及其他污染物沉积、杂物和植被堆积、伸缩装置与排水设施工作状态、连接部位以及钢—混凝土交界部位的腐蚀状况。

条文说明

将耐候钢维护检查分为表面状态、环境条件、排水设施和构造细部四类，目的在于同时识别“腐蚀表现”和“腐蚀原因”。

10.2.2 耐候钢表面锈层状态评价应以锈层附着性和纹理为主要指标，颜色宜作为辅助指标，不应仅根据锈层颜色判定耐候性能。

条文说明

耐候钢颜色受环境、光照和服役时间影响较大，单纯以颜色判断可能误判。附着性和纹理更能直接反映锈层是否具有保护性。

10.2.3 正常保护性锈层宜连续、致密并与基体附着牢固；当锈层可被手工工具轻易撬起、敲击后明显脱落，或出现较大颗粒状、片状、层状剥离时，应判定为异常锈层并进一步调查原因。

10.2.4 当目视检查发现截面损失、明显点蚀、层状锈蚀或异常锈层范围持续扩大时，应进行近距离专项检查，并宜采用超声测厚等方法测定剩余板厚；必要时应进行结构承载能力复核。

10.2.5 对锈层状态存在疑问的部位，宜采用近距离观察、轻刮、胶带法或其他适用方法辅助判断；检测位置应具有代表性，并宜设置固定观测点进行长期对比。

10.2.6 检查人员应重点检查伸缩缝下方梁端、端横梁和横隔板，支座及墩台顶面，主梁下翼缘上表面，竖向加劲肋与下翼缘交界，螺栓拼接板边缘和搭接缝，泄水管和排水槽附近，车辆溅水区，钢—混凝土交界以及箱形构件内部低洼部位。

10.2.7 箱形构件和其他闭口构件的检查应包括内部渗水、凝露、排水孔堵塞、泥沙堆积及局部腐蚀，并应确认内部水分能够有效排出。

10.2.8 发现疲劳裂纹或腐蚀坑可能对结构疲劳性能产生不利影响时，应进行裂纹专项检测；必要时可采用磁粉、渗透等无损检测方法。

征求意见稿

10.2.9 耐候钢桥梁状态评价应综合考虑锈层状态、环境条件和截面损失。当表面状态异常但尚无明显截面损失时，应优先采取环境治理和维护措施；当存在显著截面损失时，应开展结构承载能力复核和修复。

10.3 清理与清洗

10.3.1 耐候钢桥梁应定期清除桥面、构件表面、支座区、墩台顶面及排水设施内的泥沙、盐分、落叶、垃圾、鸟巢、松散锈片和其他堆积物。

10.3.2 构件清理宜优先采用清扫、压缩空气吹扫、工业吸尘、人工铲除、刷洗或刮除等干式方法；采用机械方法时不得损伤母材或大面积破坏正常保护性锈层。

10.3.3 对存在融雪剂、海盐、盐雾沉积或其他水溶性腐蚀性污染物的桥梁，宜在干式清理后采用清水冲洗。清洗应使污染物和清洗水顺利排离构件，不得形成新的积水区。

10.3.4 清水冲洗可采用普通冲洗、低压清洗或压力水清洗。采用压力水清洗时，应根据锈层状态、构件位置和污染程度选择适宜的水压、喷射角度和喷嘴距离，不得因冲洗造成基材损伤或大面积剥离正常保护性锈层。

10.3.5 桥面、伸缩装置、泄水孔、泄水篦、集水槽、排水管、梁端、端横梁、支座、主梁下翼缘、墩台顶面和车辆溅水范围内的构件应作为周期性清理和清洗的重点部位。

10.3.6 与耐候钢构件接触或可能影响构件通风、日照和干燥的植被应及时清除。

10.3.7 清理和清洗周期应根据环境腐蚀性、交通条件、除冰盐使用量、构件位置、积尘积盐速度以及历次检查结果确定。盐害明显、频繁溅水或易积聚杂物的部位应提高维护频率。

10.3.8 无专项监测资料时，耐候钢桥梁清理和清洗周期可按表 10.3.8 采用；当实际环境较严酷或检查发现污染物积聚较快时，应缩短维护周期。

表 10.3.8　耐候钢桥梁清理和清洗参考周期

区域/构件	维护作业	主要内容	参考周期

区域/构件	维护作业	主要内容	参考周期
桥面、伸缩装置及排水设施	干式清理	清除泥沙、盐分及其他杂物	1 年～2 年
	冲洗	清除干式清理后的残余污染物并冲通排水系统	1 年～2 年
梁端、支座、下翼缘、横隔板等重点上部结构	干式清理	清除泥沙、盐分及其他杂物	1 年～2 年
	清洗	去除盐分及附着污染物	2 年～4 年
墩台顶、支承区及飞溅区	干式清理	清除泥沙、盐分及其他杂物	1 年～2 年
	清洗	去除盐分及附着污染物	2 年～4 年
与结构接触或接近结构的植被	清除	修剪、清除并外运	1 年～2 年

10.4 伸缩装置与排水系统维护

10.4.1 每次现场维护检查均应检查伸缩装置及其附属排水设施的密封和排水状况；发现渗漏、破损、堵塞或脱落时，应及时维修或更换。

10.4.2 检查伸缩装置时，宜采用必要的冲水或其他方式确认其渗漏路径。发现漏水后，应同时检查其下方梁端、端横梁、支座及墩台顶面的盐分沉积和腐蚀状况。

10.4.3 排水篦、泄水孔、集水槽、导水槽和排水管应保持畅通，排水出口不得长期冲刷、滴淋或溅湿耐候钢构件。

10.4.4 当不能通过伸缩装置维修彻底消除漏水时，应采取导流措施，使漏水避开主梁、横梁、支座和墩台顶面；必要时应对受影响钢构件采取局部防护措施。

10.4.5 对反复发生泄漏或已造成明显异常腐蚀的伸缩装置，应结合桥梁改造条件研究取消伸缩缝、调整排水路径或设置永久导水、防护构造的可行性。

10.4.6 箱形构件、闭口构件和节点构造中的排水孔应保持有效；发现排水孔堵塞、内部积水或凝露不能及时排出时，应立即疏通并查明进水原因。

10.5 锈层维护与异常腐蚀处治

10.5.1 正常保护性锈层不应进行周期性除锈。仅存在均匀色泽变化且锈层致密、附着牢固、无明显截面损失时，可保持现状并继续定期观察。

10.5.2 出现局部疏松锈层或片状锈层但尚无显著截面损失时，应首先查明并

消除积水、漏水、积盐、积尘、植被遮蔽或排水不良等诱因，并应清除松散腐蚀产物和杂物。

10.5.3 当异常腐蚀主要由氯盐沉积引起时，应清除构件表面沉积物，并宜采用清水充分冲洗；清洗后应保证构件能够及时干燥。

10.5.4 耐候钢锈层状态可按表 10.5.4 分级进行维护处置。

表 10.5.4　耐候钢锈层状态与维护处置

状态	主要特征	维护处置
良好	锈层致密、附着牢固，纹理细密，无截面损失	按既定周期检查和清理
基本良好	锈层总体稳定，局部有轻微松散颗粒或污染物沉积	继续检查；必要时按基准周期清洗
需关注	局部锈层较粗糙或附着性下降，可能存在异常腐蚀诱因	查明原因；清理、清洗并加强监测
较差	明显疏松、片状或层状锈层，异常腐蚀持续发展	提高维护频率；改善排水和环境；评估局部涂装
严重	维护后仍持续劣化，或已出现显著截面损失	安排局部涂装或修复；必要时进行结构复核

10.5.5 对下翼缘、水平加劲板、节点板等水平向上表面发生长期积尘、积水或形成暗灰、黑色疏松腐蚀层的部位，应清除沉积物，并应检查和改善该部位排水条件。

10.5.6 对螺栓连接缝隙、竖向加劲肋与下翼缘交界以及其他不能正常排水的构造部位，当发生反复异常腐蚀时，除清理锈层外，宜采取封闭缝隙、改善排水或局部防护等措施。

10.5.7 异常腐蚀部位完成清理和环境治理后，应进行跟踪复查。当重新形成的锈层趋于致密稳定且腐蚀原因已消除时，可恢复常规定期检查；当异常锈层持续发展单面腐蚀减耗量预计 50 年超过 0.3mm 或预计 100 年超过 0.5mm 时应开展专项研究确定合理处置措施。

10.5.8 当腐蚀产物可能脱落并影响桥下行车、行人或其他设施安全时，应及时清除松散腐蚀产物，并采取必要的安全防护措施。

10.6 局部防护与修复

征求意见稿

10.6.1 当通过清理、清洗、排水改善等措施仍不能抑制局部异常腐蚀时，可对局部耐候钢构件实施防护涂装。

10.6.2 局部防护涂装宜优先用于伸缩缝下方梁端和横隔板、发生缝隙腐蚀的螺栓连接部位、竖向加劲肋与下翼缘排水不良的交界部位、反复受水的梁端和下翼缘以及长期潮湿的钢—混凝土交界部位。

10.6.3 局部涂装前应查明并消除造成异常腐蚀的水源、盐源和积污条件；未消除腐蚀环境原因时，不应仅以表面涂装代替排水或构造缺陷修复。

10.6.4 局部涂装的表面处理、涂层体系和施工质量控制应符合《公路钢结构桥梁制造和安装施工规范》（JTG/T 3651）的规定，并应考虑与裸露耐候钢相邻区域的界面处理。

10.6.5 当腐蚀导致构件实际剩余厚度不足、局部稳定风险增加、连接承载能力降低或结构安全性能不满足要求时，应进行结构复核计算，并根据复核计算结果采取补强、更换构件或其他结构修复措施。

10.6.6 耐候钢结构修复焊接和高强螺栓连接所采用的材料应与原结构的力学性能相适应，宜与原耐候钢的耐候性能相匹配；采用异种金属连接时，应采取防止电偶腐蚀的措施。

10.6.7 修复构造应避免形成新的积水、夹缝和泥沙滞留部位，并应为后续检查、清理和排水提供条件。

10.6.8 修复完成后，应检查修复区域及其相邻部位的排水、积水和表面状态；局部涂装与裸露耐候钢交界位置应作为后续检查的重点。

10.7 特殊环境维护

10.7.1 使用除冰盐道路上方的耐候钢桥梁，应重点检查梁端、下翼缘、支座、横隔板和车辆溅水区的盐分沉积及异常腐蚀，并宜在除冰盐使用季结束后及时进行清理或清洗。

条文说明

除冰盐道路上方的梁端、下翼缘和支座等部位常受氯盐和车辆水雾作用，季后清洗有助于减少盐分滞留。

10.7.2 沿海、高湿、低净空跨水桥梁以及受植被或建筑物遮挡、通风不良的

桥梁，应重点检查构件干燥条件和表面湿润时间，并应根据检查结果适当增加维护频率。

10.7.3 洪水、风暴、海水倒灌、融雪剂异常使用或排水系统严重损坏后，应及时开展专项检查，并应清除钢构件上的泥沙、盐分和漂浮杂物。

10.7.4 铁路上跨或下穿环境中存在粉尘、油污、制动颗粒或其他沉积污染物时，应根据沉积速度增加清理频率，并应防止污染物与水分共同长期滞留在耐候钢表面。

10.7.5 景观要求较高的桥梁，清洗、局部打磨或涂装作业应考虑构件外观一致性；必要的锈层取样、轻刮和机械清理宜选择不显眼位置。

10.7.6 特殊环境下采取的维护措施不得降低排水、通风、检查通道和构件可达性，不得因增设覆盖物或封闭设施造成新的凝露和潮湿环境。

条文说明

用覆盖方式“保护”耐候钢如果导致凝露或阻碍干燥，可能适得其反，因此增设设施必须避免形成新的潮湿微环境。

10.8 维护记录

10.8.1 耐候钢桥梁应建立维护档案。维护档案宜包括桥梁环境及其变化、除冰盐使用和盐害暴露、重点部位锈层照片和状态评价、厚度检测结果、伸缩装置及排水设施维修、清理清洗、异常腐蚀处治、局部涂装、补强和构件更换等记录。

10.8.2 同一重点部位的锈层宜在相近距离、角度和照明条件下连续拍摄，并宜设置固定测点，以便评价锈层状态和截面损失的长期变化趋势。

10.8.3 对曾发生异常腐蚀并采取处治措施的部位，应在后续检查中进行重点复查，并应根据腐蚀发展趋势和处治效果调整检查及维护周期。

10.8.4 维护档案应与桥梁定期检查、专项检查和结构评定资料关联保存，并宜用于确定伸缩装置更换、清洗、局部防护和修复的计划周期。

征求意见稿

本规程用词说明

1 本规范执行严格程度的用词，采用以下写法：

1）表示很严格，非这样做不可的用词：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用词：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用词：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用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1）在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规范的要求外，尚应符合国家和行业现行有关标准的相关规定”。

2）在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》（×××）的有关规定”。

3）当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规范第×章的有关规定”、“应符合本规范第×．×节的有关规定”、“应符合本规范第×．×．×条的有关规定”或“应按本规范第×．×．×条的有关规定执行”。

征求意见稿