

DB14

山 西 省 地 方 标 准

DB14/T 1864—2019

耐候钢桥梁技术规程

Specifications for weathering steel bridges

2019 – 05 – 10 发布

2019 – 07 – 10 实施

山西省市场监督管理局 发布

目 次

前 言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 一般规定..... 2

5 材料..... 3

6 构造设计..... 6

7 施工..... 8

8 质量验收..... 12

9 运营管理..... 13

附录 A（资料性附录） 耐候桥梁钢的耐大气腐蚀性指数..... 18

附录 B（资料性附录） 耐候钢板厚减少量计算..... 19

附录 C（资料性附录） 典型钢板焊接材料供货技术条件..... 20

附录 D（资料性附录） 耐候钢相关标准牌号对照表..... 23

附录 E（资料性附录） 推荐的耐候钢屈强比..... 24

附录 F（资料性附录） 耐候钢性能附加要求..... 25

前 言

本标准按GB/T 1.1-2009《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写》的规定编写。

本标准由山西省交通运输厅提出、归口并监督实施。

本标准起草单位：山西路桥建设集团有限公司、南京工业大学、山西省交通规划勘察设计院、中交第二航务工程局有限公司、河南大建桥梁钢构股份有限公司、河北舞阳钢铁股份有限公司、苏交科集团股份有限公司。

本标准主要起草人：邓治国、解卫江、肖耀辉、张建东、梁博、郭向兵、秦志军、陈成、刘朵、毛泽亮、陈华利、高雅、冯沅、王泉、金文刚、蔡水秀、史健、李国伟、郭勇、杨毅、孙文、张帅奇、皇甫凡飞、贺江平、杜松、李世芳、王辉、贾学正。

耐候钢桥梁技术规程

1 范围

本标准规定了耐候钢桥梁的术语和定义、一般规定、材料、构造设计、施工、质量验收和运营管理。

本标准适用于山西省采用耐候钢材料的桥梁，耐候钢使用方式包括无涂装使用和涂装使用，使用材料类型为焊接耐候钢、耐候螺栓以及焊材等。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 3323 金属熔化焊焊接接头射线照相

GB/T 4842 氩

GB/T 6052 工业液体二氧化碳

GB/T 11345 焊缝无损检测超声检测 技术、检测等级和评定

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

HG/T 3728 焊接用混合气 氩-二氧化碳

JGJ 82 钢结构高强度螺栓连接技术规程

JTGT F50 公路桥涵施工技术规范

JTG H11 公路桥梁养护规范

ASTM G101 低合金钢耐大气腐蚀评估技术指南（Standard Guide for Estimating the Atmospheric Corrosion Resistance of Low-Alloy Steels）

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

指在钢中加入一定数量的合金元素，如 Cu、P、Cr、Ni、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。

注：耐候钢代号：NH。

3.2

耐候性 Atmospheric corrosion resistance

指在腐蚀介质作用下的耐腐蚀性能。

3.3

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，钢的耐腐蚀性能越好其指数越大。

注：根据含有的各化学成分的比例及其抵抗腐蚀的程度进行计算，通常采用美国ASTM G101标准。

3.4

无涂装使用 Non-coating use

在黑皮的附着状态或消除黑皮再经锈层稳定化处理的状态下使用，之后不再做涂装处理。

3.5

无涂装用耐候钢材 Structural steels with atmospheric corrosion resistance for Non-coating use

焊接结构用耐候性热轧钢材，可以直接裸露使用或经锈层稳定化后直接使用。

3.6

无涂装耐候性桥梁 Bridge with atmospheric corrosion resistance for Non-coating use

无涂装使用耐候性钢材的桥梁。

3.7

稳定锈层 Stable rust layer

良好的环境下，耐候钢材的表面生成的锈层由红褐色、褐色到暗褐色变化，腐蚀速度也渐渐放缓，此时钢材表面紧贴着致密的锈层，这种具有保护性质的锈层称为稳定锈层。

3.8

锈汁 Rust water

在钢材的表面，结露或聚积的雨水被氧化后形成的会影响构造物及周边环境的含杂质的水。

4 一般规定

4.1 基本要求

4.1.1 耐候钢桥梁技术要求除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

4.1.2 耐候钢桥梁施工应编制专项施工方案，明确安全保障措施，并按规定经审批后实施。

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

4.2 桥梁耐候钢标示方法

耐候钢的牌号由代表屈服强度的汉语拼音字母、规定最小屈服强度值、桥字的汉语拼音首位字母、质量等级符号等几个部分组成。

示例：Q420qDNHZ15，其中：

- Q —— 桥梁用钢屈服强度的“屈”字汉语拼音的首位字母；
- 420 —— 规定最小屈服强度数值，单位 MPa；
- q —— 桥梁用钢的“桥”字汉语拼音的首位字母；
- D —— 质量等级为 D 级；
- NH —— 具有耐候性能；
- Z15 —— 厚度方向(Z 向)性能级别代号。

4.3 适用范围

4.3.1 耐候钢在无涂装使用情况下，其耐大气腐蚀性指数应大于 6.0，晶粒度应不小于 7 级，耐大气腐蚀性指数的计算方法参考附录 A。

4.3.2 原则上，空气中飘散的盐分含量在 0.05mdd (mg/dm²/day) 以下时，可以使用无涂装耐候钢。距离海岸线 5 公里以上时，可省略飘散的盐分测试，直接使用无涂装耐候钢。耐候钢板厚减少量可参照附录 B 公式计算。

4.3.3 在以下环境中，不宜采用无涂装耐候钢：

- a) 年平均湿度大于 80%；
- b) 距离海岸线 5 公里以内或空气中的盐分 (NaCl) 含量超过 0.05mdd；
- c) 重腐蚀性工业大气或硫酸盐 (SO₃) 含量超过 2.1mdd；
- d) “类隧道”跨线桥或通风性差的地区；
- e) 距离静水位线 3 米以内或流水 2.5 米以内；
- f) 大量使用融雪剂 (除冰盐) 且有大量盐分聚集。

5 材料

5.1 钢材

5.1.1 本标准所指桥梁耐候钢应符合 GB/T 714 中所规定的钢牌号的相关要求，且应采用细晶粒钢操作法冶炼。其主要成分及力学性能应符合表 1 和表 2 的规定。

表 1 耐候钢牌号及化学成分

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
											不大于		
Q345qNH	D E F	≤0.11	0.15~0.50	1.10~1.50	0.01~0.10	0.01~0.10	0.006~0.030	0.40~0.70	0.30~0.40	0.25~0.50	0.10~0.20	0.008	0.015~0.050
Q370qNH													
Q420qNH													
Q460qNH													
Q500qNH													

^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，耐大气腐蚀性指数 I≥6.0，详见附录 A。

^d 当卷板状态交货时 Mn 含量下限可到 0.50%。

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

表 2 耐候钢的力学性能

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 ℃	冲击吸 收能量 KV ₂ /J
		厚度 ≤50mm	50mm＜厚度≤ 100mm	100mm＜厚度 ≤150mm				
		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。								

5.1.2 桥梁耐候钢应符合设计文件的要求，并应具有钢厂出具的产品质量证明书或检验报告，其化学成分、力学性能和其它质量要求应符合现行国家标准的规定。

5.1.3 钢材的种类及板厚要考虑市场的供应，宜尽量少。

5.2 焊接材料

5.2.1 耐候钢焊接所用焊接材料的选择须与母材性能匹配和成分匹配，并保证焊接接头满足无涂装使用的要求，焊接材料应由权威机构认证其耐候性。

5.2.2 各强度级别的匹配焊接材料应满足附录 C 的要求，在具有工程先例的情况下，可采用更高 Ni 含量的耐候钢焊接材料进行焊接。

5.2.3 气体保护焊使用的二氧化碳应符合 GB/T 6052 的规定。

5.2.4 气体保护焊使用的氩气应符合 GB/T 4842 的规定，其纯度不应低于 99.95%。

5.2.5 气体保护焊使用的富氩混合气应符合 HG/T 3728 的规定，技术指标不低于 II 类要求。

5.2.6 结合制造单位的焊接技术水平，耐候钢焊接材料在参照生产厂家的推荐焊材或市场上其它同类焊材进行选择后，必须通过焊接工艺评定试验确定合适的焊材，焊接质量指标达到要求后方可进行焊接施工。

5.2.7 化学成分不同会导致不同钢材间形成电势差，诱发腐蚀，故耐候钢与普通钢材不宜组焊。

5.3 耐候高强螺栓

5.3.1 耐候钢桥用螺栓、螺母和垫圈的使用配合可参照表 3。

表 3 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

5.3.2 10.9S 级和 8.8S 级耐候高强螺栓的化学成分可参照表 4。

表 4 10.9S 级和 8.8S 级耐候高强螺栓副的化学成分

螺栓、螺母、垫圈	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	I
	0.20 ~ 0.30	≤ 0.25	0.30 ~ 0.75	≤ 0.012	≤ 0.005	0.60 ~ 0.90	0.30 ~ 0.50	0.30 ~ 0.50	0.015~ 0.040	≤ 0.030	≥6.5

5.3.3 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。

表 5 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
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。							

5.3.4 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,气候复杂地区建议选用表面处理(磷皂化、发黑)的耐候高强螺栓。

6 构造设计

6.1 一般构件

6.1.1 应避免采用过于密集的梁,并尽可能减少节点,以利于通风。

6.1.2 钢板梁桥下翼缘宜设置适当的坡度以利于排水,见图 1。

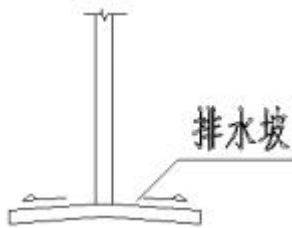


图 1 下翼缘排水构造

6.1.3 主梁外侧的横向加劲肋与下翼缘、腹板的空间交角处应设置半径 50mm 以上的过焊孔,不宜形成死角,见图 2。

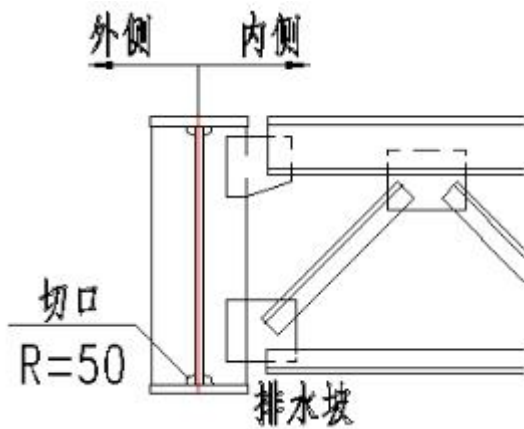


图 2 主梁部位构造

6.1.4 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,容易积水的部位,应在最低点设置排水孔。

6.1.5 拱桥的拱内系杆等存在较大倾斜角度的构件,应在杆件上设置排水构造,见图 3。

6.1.6 宜使用格栅或网格防止鸟类和啮齿动物进入钢构件的内部腔室。

6.1.7 应考虑排、泄水设置的孔洞的大小、位置对结构疲劳的影响。

6.1.8 宜设置桥梁托盘或桥台墙收集锈汁,避免污染桥墩。

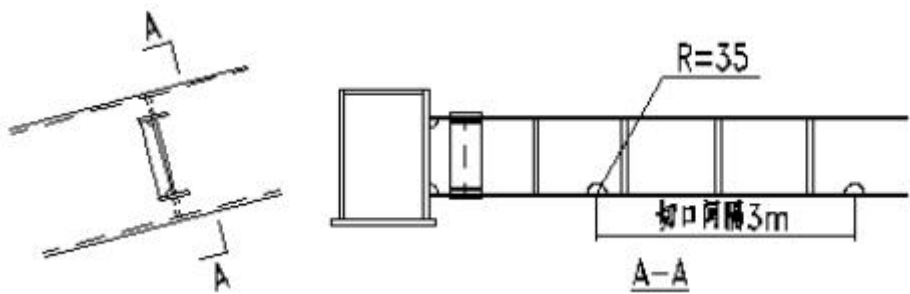


图3 倾斜构件排水构造

6.2 连接构造

6.2.1 在主梁杆件之间宜设置 10mm~20mm 间隙，以便雨水的排出。箱断面下翼缘下侧的连接板可设置排水孔，亦可断开设置，见图 4。

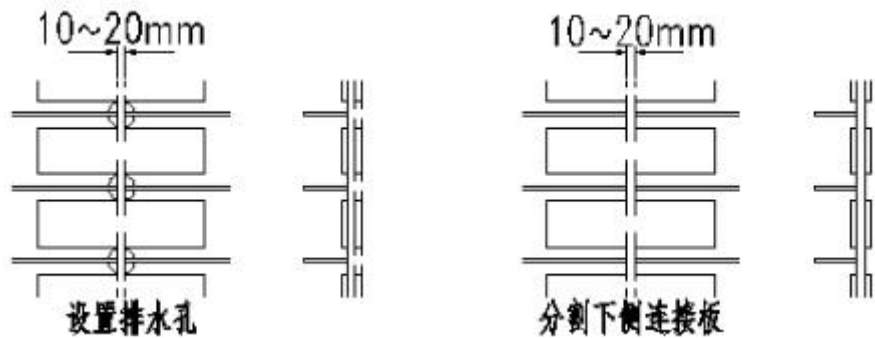


图4 箱断面下翼缘下侧连接板

6.2.2 腹板上的连接板宜只设一块，板数较多时板间间距不宜小于 10mm，见图 5。

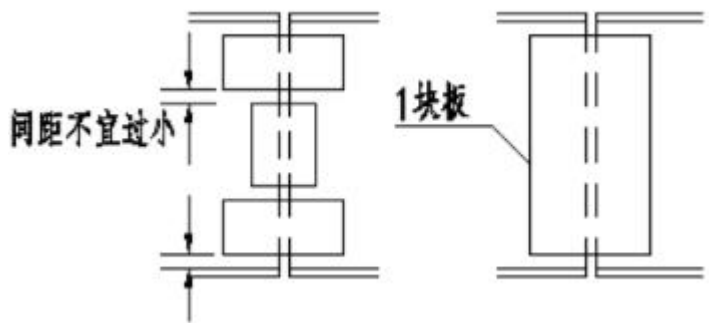


图5 腹板的连接

6.2.3 耐候高强螺栓孔距和边距的容许间距应符合表 6 的规定。

表 6 耐候高强螺栓的容许间距

名称	位置和方向			最大容许边距 (两者较小值)	最小容许间距
中心间距	外排（垂直内力方向或顺内力方向）			8d或12t	3d
	中间排	垂直内力方向		16d或24t	
		顺内力方向	构件受压力	12d或18t	
			构件受拉力	16d或24t	
	沿对角线方向			-	2d
中心至构件边缘距离	顺力方向			4d或8t	1.5d
	切割边或自动手工气割边				
	轧制边、自动气割边或锯割边				
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。					

6.2.4 不宜使用有填板的连接，必须采用时填板的材料也应使用耐候钢。此外，应避免与电镀异种金属部件的连接。

6.3 梁端部

- 6.3.1 梁端从桥梁各部位来看，通风性较差，由路面排水不畅或是伸缩缝装置故障导致梁端处于一种较为不利的环境中，故设计中梁端直至桥台前部宜进行涂装。一般情况下，梁端部的涂装范围宜大于梁高的 1.5 倍。
- 6.3.2 基于通风和检查考虑，腹板在梁端应设置切口。
- 6.3.3 应在靠近梁端疲劳应力较低处设置挡水条，注意避开疲劳应力敏感区。
- 6.3.4 箱梁端部易积水部位，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。
- 6.3.5 下部结构的上顶面应设置排水的坡度，设置了排水沟等专门构造的情况下应加大纵坡坡度。

6.4 桥面板

- 6.4.1 桥面板应采用高性能防水保护层或涂料，特别是带有人行道的情况下，防水层应满铺包括人行道的整个桥面，以防止除冰盐渗透。
- 6.4.2 悬臂的桥面板下应设置滴水细节，避免水流至钢构件表面。

6.5 附属物

- 6.5.1 泄水管横向引流应充分保证坡度，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。
- 6.5.2 栏杆、隔离带等部位，不宜使用耐候钢。
- 6.5.3 水管管道附挂于桥上时，由于其内外温差容易结露浸湿钢结构，对此应加以考虑。
- 6.5.4 处于潮湿状态的金属部件可以考虑涂装或电镀。
- 6.5.5 伸缩缝处宜设置非金属排水系统，或将伸缩缝下方的梁端部涂装，涂料颜色应匹配耐候钢锈层稳定后的最终颜色。

7 施工

7.1 钢材的表面处理

7.1.1 耐候钢构件在制作过程中可先不进行表面处理，但在结构全部组焊完成后，应进行喷砂清理，使表面除锈等级达到 Sa2 级，并不得残留施工过程中的任何杂物，并在喷砂后使用淡水进行浇水，使构件形成统一、稳定的锈蚀层，达到防护效果。

7.1.2 耐候钢表面锈层稳定化处理后，可批覆环保罩面，以提高锈层稳定性。

7.2 堆放与运输

7.2.1 制作工厂位于滨海地区，应注意空气中携带的盐分的腐蚀，必要时在发货前可以用水冲洗。

7.2.2 构件标识应在应力不集中的部位使用低应力钢印进行标识，发运桥位应采用粘贴或者悬挂唛头等方式进行标识。

7.2.3 耐候钢材存放场地应设有独立专用材料标识牌；存放时，钢板应摆放整齐，便于料件的查找。

7.2.4 吊运钢材应避免磕碰和边缘损伤，运输时盐分的附着量须在 $100\text{mg}/\text{m}^2$ 以下，途中尽量不要沾染污物；为避免擦触、碰撞，宜在表面设置防护膜。

7.2.5 对连接部摩擦结合面处的高强螺栓，应充分保证其品质。

7.2.6 焊接材料应存储在干燥、通风良好的地方，由专人保管、烘干、发放和回收，并有详细记录。

7.2.7 材料表面沾染的尘埃或油脂污物应及时去除。

7.2.8 焊剂使用前应按厂家推荐的温度进行烘焙，已潮湿或结块的焊剂严禁使用；焊剂烘焙后在大气中放置时间不应超过 4h。

7.3 技术人员要求

7.3.1 焊接技术人员（焊接工程师）应具有中级及以上资格证书；桥梁工程的焊接技术负责人应取得高级及以上技术职称，并有五年以上焊接生产或施工实践经验。

7.3.2 焊工必须持有特种作业操作证（焊接和切割）和职业技能鉴定合格证，并应通过专项培训和考试，取得耐候钢材焊接上岗证后才能进行焊接。

7.3.3 由于高性能耐候钢添加了 Cu、Cr、Ni 等多种合金元素，其焊接操作难度大，焊接操作性不同于普通合金钢，焊接前焊工必须进行耐候钢焊接的适应性训练，包括对焊丝送进速度、焊枪倾斜角度、焊层厚度、焊道排列布置进行熟悉，并熟练掌握。

7.3.4 焊接质量检验人员应接受过焊接专业的技术培训，并应经岗位培训取得相应的质量检验资格证书。

7.3.5 焊缝无损检测人员应取得国家专业考核机构颁发的等级证书，并应按照证书合格项目及权限从事焊缝的无损检测工作。

7.4 现场安装

7.4.1 在现场储存和安装耐候钢构件时，应注意不要破坏形成的稳定锈层，避免出现锈层不均匀现象。

7.4.2 耐候钢梁架设后，宜尽早浇筑混凝土部分。

7.4.3 搭设混凝土桥面板，应尽快除去附着在耐候钢构件上的混凝土、砂浆、砂土等，必要时应进行喷抛处理。

7.4.4 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而且紧密。

7.4.5 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 0.50，架设时不小于 0.45。可采用以下处理方法：

- a) 喷砂除锈后自然氧化；
- b) 喷砂除锈后进行锈层稳定化处理；
- c) 喷砂除锈后涂无机富锌防锈防滑涂料。

7.4.6 应制作抗滑移试件，并对摩擦面处理工艺进行验证，根据试验情况确定最佳处理方案。

7.4.7 耐候高强螺栓可参考 JGJ82 相应规范进行安装。

7.4.8 接头处的毛细现象可能导致生锈鼓包，宜在接头处用富锌涂料涂覆，接头周围采用硅酮密封胶密封。

7.5 耐候钢焊前准备

7.5.1 制定焊接工艺评定报告应报监理工程师认可，并按照工艺评定报告制定工艺指导书。

7.5.2 施焊前连接接触面和焊缝边缘每边 30mm~50mm 范围内的铁锈、毛刺、污垢、冰雪等污物应清除干净，露出钢材金属光泽。

7.5.3 应根据设计图纸和加工技术要求，编制现场焊接的工艺文件。焊工必须熟悉工艺要求，明确焊接工艺参数，施焊前由技术人员对焊工进行技术交底。

7.5.4 所有的焊接，应按照焊工艺指导书要求进行，若存在与焊接工艺要求不一致的变化，需重新进行焊接工艺评定试验。

7.5.5 当工作件表面潮湿或有雨、雪、大风、严寒气候(风力等级超过 6 级，环境温度低于 5℃，相对湿度大于 80%) 时，不宜进行焊接作业。

7.5.6 应根据有关规范标准，制定严格的存放、领用制度，以便对主要焊缝进行焊材跟踪。

7.5.7 严格检查钢板加工尺寸，确保焊缝坡口间隙为 0mm~3mm，否则不予使用。焊接面相邻块偏差小于 0.5mm，否则应校正后再施焊。

7.6 预热和道间温度控制

7.6.1 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、熔敷金属含氢量水平及所采用的的焊接方法等因素综合考虑确定，或进行焊接试验，以确定实际工程结构施焊时的最低预热温度。

7.6.2 常用耐候钢材采用中等热输入焊接时，最低预热温度可参照表 7 的规定进行。

表 7 最低预热温度 (°C)

耐候钢牌号	接头最厚部件的板厚t (mm)			
	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: 推荐焊接热输入约为 15kJ/cm~30kJ/cm; 注 5: 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 6: 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 7: 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℃。				

7.6.3 耐候钢焊接时，最大道间温度不宜超过 180℃。

7.6.4 耐候钢的预热温度、道间温度的确定应符合钢厂提供的指导性参数要求或者根据实验结果确定。

7.6.5 在高外部限制收缩的拘束条件下施焊时，必须在接头冷却到低于规定的最低预热温度和道间温度以前连续进行焊接，或连续进行至能确保不产生裂纹的程度。

7.7 耐候钢焊接

7.7.1 定位焊必须由持相应合格证的焊工施焊，焊工需佩戴防护手套、工作服、面罩。

7.7.2 定位焊前，必须按施工图及工艺文件检查焊件坡口尺寸、根部间隙等，如不符合要求，不得进行点焊。

7.7.3 定位焊应达到焊缝的质量要求。定位焊长度、间距及焊脚高度应符合相关规范标准的要求。

7.7.4 定位焊焊缝若存在裂纹、气孔、夹渣等缺陷，要完全清除后补充定位焊。

7.7.5 手工焊焊接的引弧应放在焊接坡口之内进行。

7.7.6 埋弧自动焊过程中应尽量不断弧，多层焊接宜连续施焊，应注意控制层间温度，每一层焊缝焊完后及时清理检查，清除药皮、熔渣、溢流和其他缺陷后，再焊下一层。

7.7.7 构件端部能安装引弧、熄弧时，要安装引弧板和熄弧板。焊接完成后，引、熄弧板不允许用锤击等方法去掉，要采用火焰切割，并且留 1mm~3mm 的余量，用砂轮机打磨至与母材平齐。

7.7.8 焊缝及钢材表面若被电弧擦伤，该处的弧坑需要打磨，使其均匀地过度到母材表面，若打磨后的母材局部厚度减少 1mm 时，则要补焊后再打磨至母材平齐，并进行 MT 检测。

7.7.9 施工现场禁止在钢结构上随意焊接其它部件或临时支撑，临时支撑可在工厂加工时焊接完成。

7.7.10 对于同一个桥梁工程采购不同钢厂的相同牌号的产品时，需要分别进行焊接性能评定工作。

7.8 焊缝处理

7.8.1 焊缝金属或母材的缺欠超过相应的质量验收标准时，可采用砂轮打磨、碳弧气刨、铲凿或机械等方法彻底清除。返修焊接之前，应清洁修复区域的表面。对于焊缝尺寸不足、咬边、弧坑未填满等缺陷应进行焊补。

7.8.2 对于不合格的焊缝，应进行返修或重焊，焊缝应按原检测方法和质量标准进行检测验收。

7.8.3 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。

7.9 防腐处理

7.9.1 并行双幅桥和靠近山坡的桥梁考虑到喷溅腾起的防冻剂影响，宜设置防护墙。

7.9.2 在桥梁接头处梁高的 1.5 倍范围内，上部结构钢构件宜进行涂装。耐候钢采用部分或局部涂装时，需按照 JTGT F50 的规定执行。

7.9.3 耐候钢与混凝土接触面（如连接件、内衬面等）宜进行底漆处理，涂层的厚度不应低于 100 μ m，宜采用无机富锌底漆或环氧富锌底漆，如图 6。

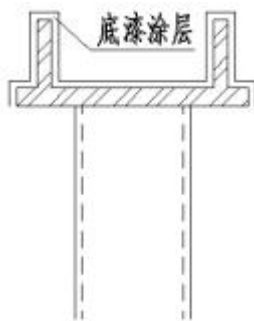


图 6 钢与混凝土接触面（钢混组合桥梁）示意图

7.9.4 一般箱梁的内侧表面如果通透性不好，或有内外温差产生结露的风险，宜在箱室内侧表面进行涂装处理，可使用具有高防水性能的环氧树脂进行简易涂装。

7.9.5 箱梁采用斜腹板的钢混组合桥梁，为防止箱室内侧积水，可采用图 7 所示措施。

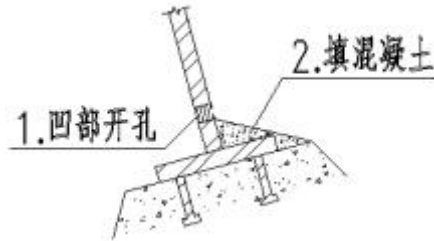


图 7 斜腹板排水措施（钢混组合桥梁）示意图

7.9.6 耐候钢和混凝土下连接部位可直接封胶处理，亦可在上部设置挡板，如图 8。



图 8 连接部位防水措施（钢混组合桥梁）示意图

8 质量验收

8.1 材料验收

8.1.1 耐候钢技术要求应符合 GB/T 714 中有关耐候钢的规定，具有完整的出厂合格证明，并经制作厂家和监理工程师复检合格后方可使用。

8.1.2 耐候钢验收按 JTG/T F50 进行钢材进场后检验。

8.1.3 焊接材料（焊条、焊丝和焊剂等）的复验应符合国家现行相关工程质量验收标准的规定，复验时的组批规则按生产批号进行，检验项目及代表数量应按相应的焊接材料国家标准执行。

8.1.4 焊接工艺评定时，应对焊接材料的熔敷金属化学成分进行光谱分析，并计算耐大气腐蚀性指数 I，其值不应低于 6.0。

8.1.5 耐候高强螺栓应符合本标准 5.3 节要求。

8.2 外观检查

8.2.1 无涂装耐候钢表面应均匀一致，不应有尘土、油脂、不均匀锈斑等。

8.2.2 所有焊缝应无裂纹、未熔合、焊瘤、夹渣、未填满弧坑及漏焊等焊接缺陷；焊缝外形尺寸要求与普通钢相同。

8.3 无损检测和磁粉检测

8.3.1 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；当钢材板厚不小于 40mm 时，以焊接完成 48h 后无损检测结果作为验收依据。

- 8.3.2 焊缝无损检测报告签发人员必须持有相应探伤方法的Ⅱ级及Ⅱ级以上资格证书。
- 8.3.3 超声波检测设备及工艺要求应符合 GB/T 11345 的规定。
- 8.3.4 射线探伤应符合 GB/T 3323 的规定。
- 8.3.5 磁粉探伤应符合 GB/T 26951 的规定，合格标准应符合 GB/T 26952 的规定。
- 8.3.6 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 F50 的规定。

9 运营管理

9.1 日常养护

9.1.1 耐候钢桥梁养护要求按 JTG H11 相关规定执行，除此之外，应针对耐候钢特点，参照图 9 进行日常养护管理。

9.1.2 对于耐候钢桥表面已发生比较严重的腐蚀(如层状剥离)情况，应及时进行以下维护：

- a) 排除造成异常的原因，脱离或隔绝今后继续造成腐蚀的外部环境；
- b) 可除去附着的盐分，可用清水冲洗来降低表面可溶性盐分的分量，且要定期清洗，以改善锈层状况；
- c) 以异常部位为中心包含周边部分进行涂装，对一些诸如梁端部等预防性的涂装部位也应及时清除污物堆积，定期进行涂装修补。

9.1.3 通常耐候钢桥梁无须涂装，日常维护也较为简便，可采取以下操作方法：

- a) 灰尘和碎屑造成的表面污染，可用低压水冲洗，注意不要破坏保护锈层；
- b) 受融雪剂沾染的，待冰雪融化后应及时清洗；
- c) 经常检查清理排水系统和伸缩缝，任何排水通路的泄露都应彻底排除。

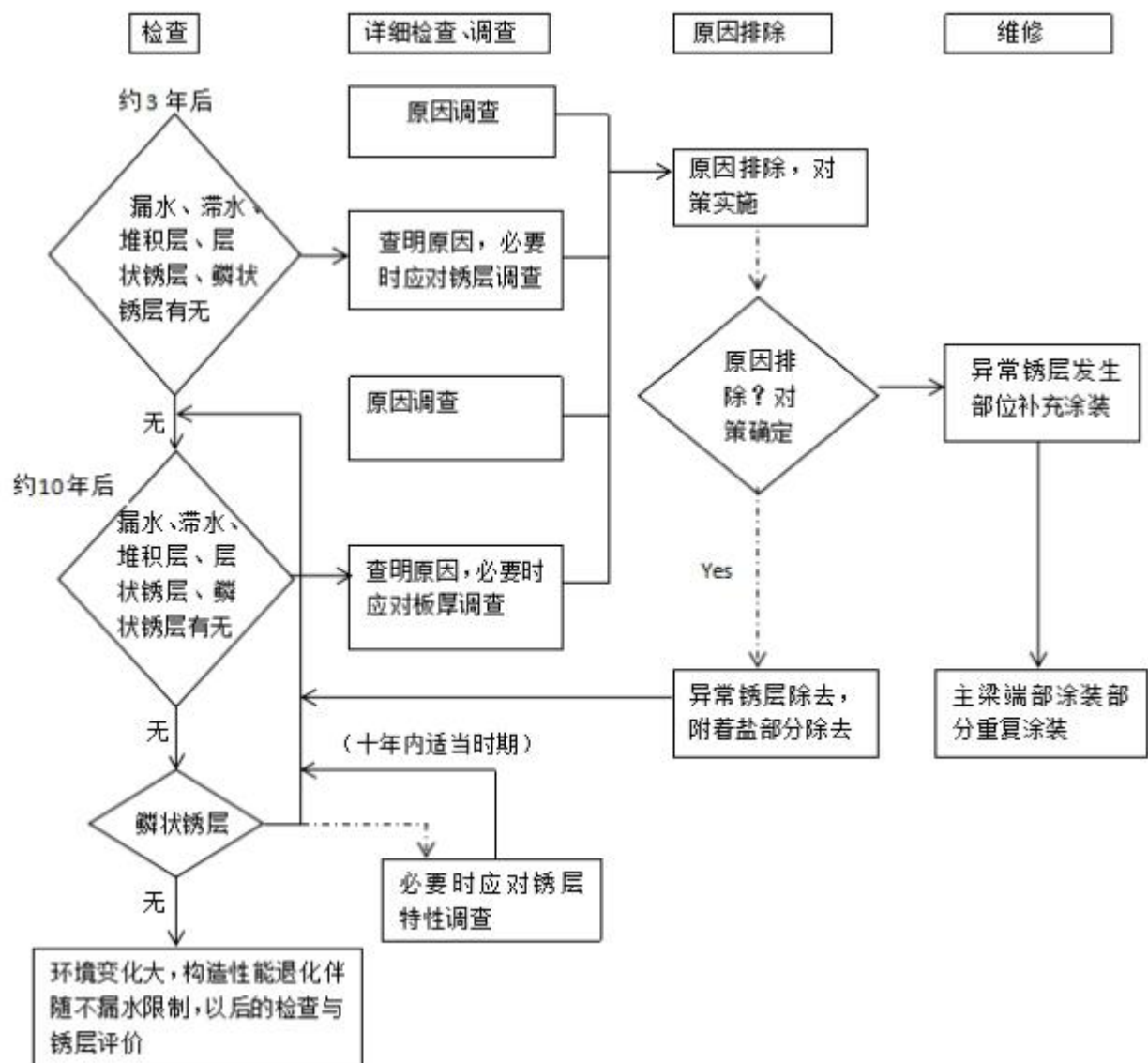


图9 耐候钢桥梁管理流程图

9.2 检测评估

9.2.1 依据锈层外观变化, 把握锈层腐蚀状况, 预测结构性能。锈蚀评价应以外观目视调查为主, 以板厚测定为参考, 以影像资料为补充。评估流程见图10。

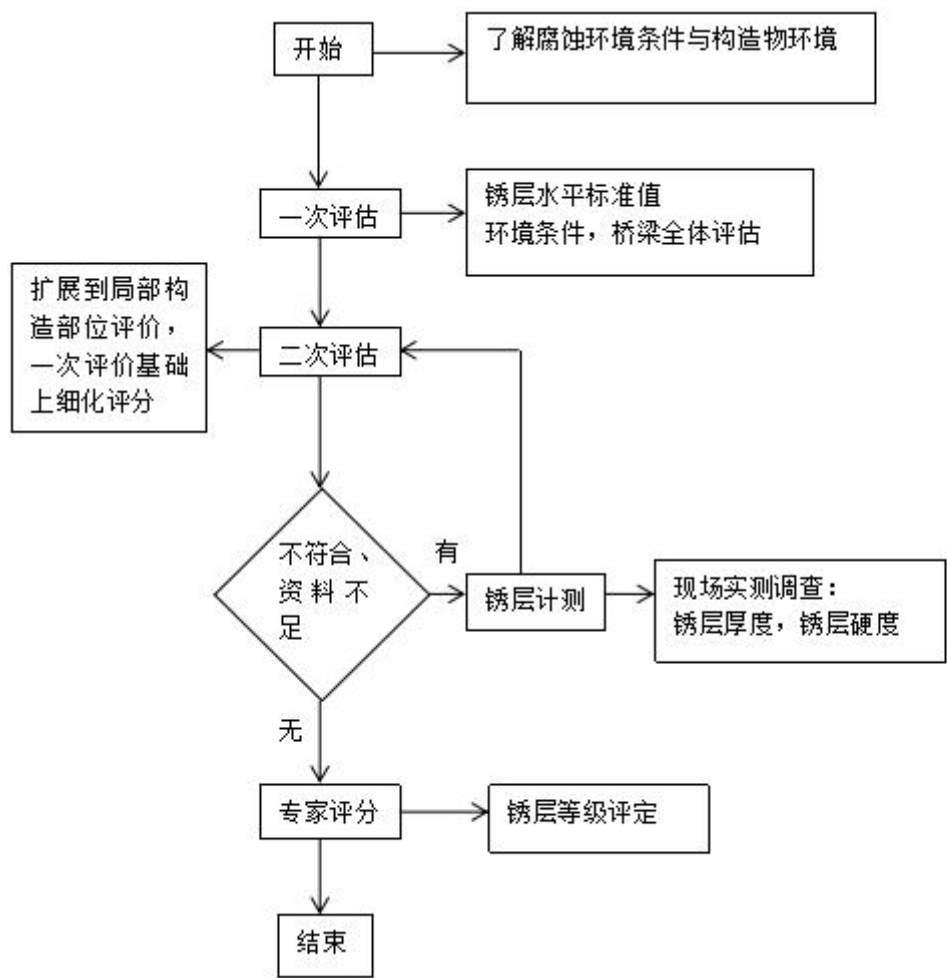


图 10 检测评估流程图

9.2.2 耐候钢的锈蚀外观评价级别可参照表 8。

表 8 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 今后处置：不需要 锈蚀厚度：小于约 200 μm

等级 4		外观：锈蚀大小在 1mm 以下，细小均匀 今后处置：不需要 锈蚀厚度：小于约 400 μm
等级 3		外观：锈蚀大小在 1mm~5mm 左右，粗糙 今后处置：不需要 锈蚀厚度：小于约 400μm
等级 2		外观：锈蚀大小在 5mm~25mm 左右，鳞片状 今后处置：需要观察进程 锈蚀厚度：小于约 800μm
等级 1		外观：锈蚀有层状剥离 今后处置：测量板厚 锈蚀厚度：超过约 800μm

9.2.3 根据评点对耐候钢材腐蚀程度的评估：

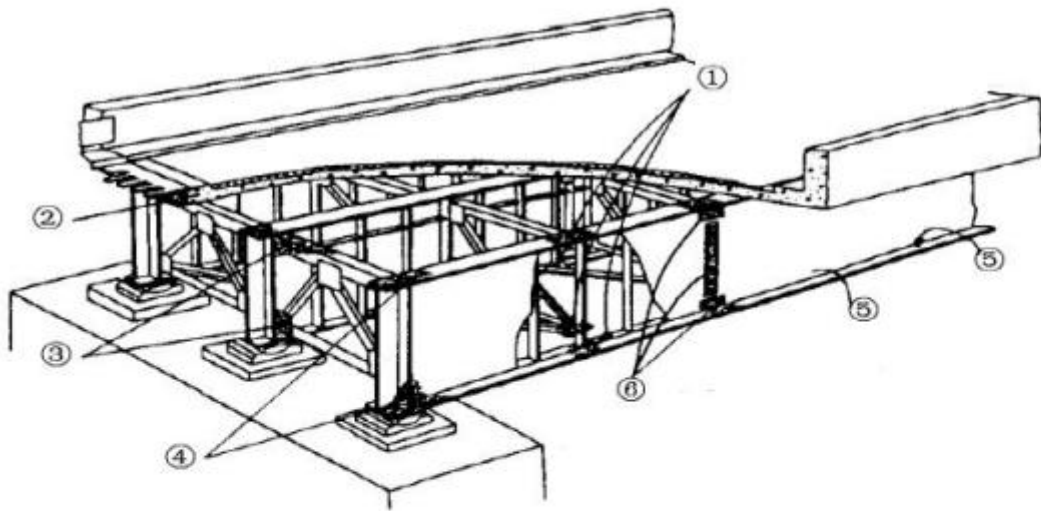
- 暴露 3 年的程度，外观评点为 1 或 2 的，100 年后单面平均腐蚀减耗量超过 1mm 的可能性很高；暴露 3 年的程度，外观评点为 3mm~5mm 的，未来锈蚀层是否能趋于稳定还很难判断。
- 暴露 9 年的程度，外观评点为 3mm~5mm 的，100 年后单面平均腐蚀减耗量不超过 0.5mm 的可能性很高，只要外部环境不发生大的变化，锈蚀层稳定的判断是可以做出的。
- 外部环境趋于不利则锈蚀层外观变化的速度也将加速，若预测在未来某段时间内超出设计应力时需要及时修补。

9.3 腐蚀监控

9.3.1 当耐候钢的锈蚀外观级别被评价为等级 1 或 2 时，宜进行腐蚀监控。

9.3.2 腐蚀是对耐候钢耐久性影响最大的因素，腐蚀最严重的后果是造成钢材板厚减小使得耐力不足，故其腐蚀减耗量必须被控制管理。一般的单面腐蚀减耗量控制界线为 50 年 0.3mm 以下，100 年以内 0.5mm 以下。

9.3.3 耐候钢腐蚀监控的部位可参考图 11。



注：①桥面板损伤引起的漏水对桁架，对倾构，横沟的腐蚀
 ②排水口的淤泥堆积，伸缩装置的漏水
 ③端部对倾构，端横桁的腐蚀以及涂层的恶化
 ④端部主桁上，下翼缘，腹板的腐蚀以及涂层的恶化
 ⑤下翼缘上面的堆积物，下翼缘以上 10 cm 内的生锈情况
 ⑥高强螺栓结合部的腐蚀

图 11 耐候钢重点监控部位

9.3.4 耐候钢监控宜包括以下内容：

- a) 构造物监控应以外观为主，考虑构造物的环境条件、上下部等的基础上判断构造细节是否合适。
- b) 采用千分尺和超声波仪器测量桥墩、桥台上的桥板厚度，计算桥板厚度减少量，从桥板厚度的角度评价桥梁的安全性。
- c) 测量计算锈蚀厚度，判断锈蚀的发展程度。通常，锈蚀厚度小（小于 $400\mu\text{m}$ ）是判断为“良好”，大（大于 $400\mu\text{m}$ ）时判断为“不良”。
- d) 可通过胶条测试，近距离拍摄照片，摄像等观察锈蚀粒子量、大小、颜色、均匀性、凹凸等。
- e) 计算附着于钢材表面的盐分，作为判断锈蚀的指标。
- f) 制作锈蚀图，记录锈蚀的分布状况。

附录 A

(资料性附录)

耐候桥梁钢的耐大气腐蚀性指数

A.1 范围

本附录提供通过化学成分对低合金钢的耐大气腐蚀性进行评估的一种方法。参照本附录，可以对各牌号钢的耐腐蚀性的相对大小进行评估。参考美国ASTM G101标准，钢材具有较好的耐大气腐蚀性能时，要求其按本附录计算出的耐腐蚀性指数应为6.0或6.0以上。

本方法利用基于钢的化学成分的预测公式计算钢的耐腐蚀性指数。

由于世界上有多种耐腐蚀性指数正在使用，因此当选择一种指数时，考虑到不同的使用环境和钢的化学成分是必要的。基于使用环境和钢的化学成分的不同，任何指数都可能不适用，因此，由供需双方共同来确定使用哪种指数以及在预计的使用环境中该指数的大小是必要的。

A.2 定义

A.2.1

低合金钢 Low alloy steel

低合金钢是含有合金元素总量大于1%但小于5%的碳钢。

注：大多数“低合金耐候钢”含有添加的Cr和Cu元素，也可能含有添加的Si、Ni、P或其他的增加耐大气腐蚀性的合金元素。

A.3 方法

A.3.1 Legault和Leckie公布了基于钢的化学成分来预测暴露于不同大气环境下15.5年后的低合金钢的腐蚀情况的公式。该公式是以Larrabee和Coburn公布的大量数据为基础的。

A.3.2 为了使用，工业环境(Kearny, N. J.)下的Legault-Leckie公式被修改以便能计算基于化学成分的耐大气腐蚀性指数。这些修改包括常量的删除和公式中变量符号的变动。修改后的耐大气腐蚀性指数(I)计算公式如下。指数越大，钢的耐腐蚀性能越好。

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

A.3.3 预测公式应使用在钢的化学成分满足Larrabee-Coburn试验时的化学成分范围的情况下。这些化学成分范围如下：

Cu	0.012%~0.51%
Ni	0.05%~1.1%
Cr	0.10%~1.3%
Si	0.10%~0.64%
P	0.01%~0.12%

A.3.4 最小允许耐大气腐蚀性指数应由制造商(供应商)和购买商双方协议确定。

附 录 B
(资料性附录)
耐候钢板厚减少量计算

在空气中飘散的盐分作用下，无涂装耐候钢的板厚减少量可由以下公式计算：

$$Y=\alpha C\beta X^{0.73}$$

其中：

Y——板厚减少量（mm）；

X——暴露时间（年）；

α 、 β ——由空气中盐分含量0.1mdd以下的数据求得的常数；

C——空气中的盐分含量。

根据该公式，暴露地点的空气中飘散的盐分含量为0.05mdd时，耐候钢材在暴露50年后的推定板厚减少量分别为0.24mm～0.25mm（在垂直方向暴露的情况下）、0.29mm～0.30mm（水平方向暴露的情况下）。根据美国和日本相关研究成果，盐分含量在0.05mdd以下时的耐候钢板厚减少量为工程上的可接受范围。

附 录 C
(资料性附录)
典型钢板焊接材料供货技术条件

C.1 Q345qENH钢板焊接材料供货技术要求

表 C.1 焊条熔敷金属成分及性能

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu
≤0.12	≤0.65	≤1.6	≤0.012	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.1
Rel(MPa)		Rm(MPa)		A(%)		AKV(J) -40℃	
≥345		≥490		≥20		≥47	
注：Ti、B元素可适量添加							

表 C.2 气保焊丝熔敷金属成分及性能

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu
≤0.12	≤0.65	≤1.6	≤0.01	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.1
Rel(MPa)		Rm(MPa)		A(%)		AKV(J) -40℃	
≥345		≥490		≥20		≥47	
注：Ti、B元素可适量添加							

表 C.3 埋弧焊丝熔敷金属成分及性能

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu
≤0.12	≤0.65	≤1.6	≤0.012	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.1
Rel(MPa)		Rm(MPa)		A(%)		AKV(J) -40℃	
≥345		≥490		≥20		≥47	
注：Ti、B元素可适量添加							

C.2 Q420qENH 钢板焊接材料供货技术要求

表 C.4 焊条熔敷金属成分及性能

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo
≤0.12	≤0.65	≤1.90	≤0.012	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.1	≤0.5
Rel(MPa)		Rm(MPa)		A(%)		AKV(J) -40℃		
≥420		≥540		≥19		≥47		
注：Ti、B元素可适量添加								

表 C.5 气保焊丝熔敷金属成分及性能

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo
≤0.12	≤0.65	≤1.90	≤0.01	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.1	≤0.5
Rel(MPa)		Rm(MPa)		A(%)		AKV(J) -40℃		
≥420		≥540		≥19		≥47		
注：Ti、B元素可适量添加								

表 C.6 埋弧焊丝熔敷金属成分及性能

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo
≤0.12	≤0.65	≤1.90	≤0.012	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.1	≤0.5
Rel(MPa)		Rm(MPa)		A(%)		AKV(J) -40℃		
≥420		≥540		≥19		≥47		
注：Ti、B元素可适量添加								

C.3 Q500qENH 钢板焊接材料供货技术要求

表 C.7 焊条熔敷金属成分及性能

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo
≤0.12	≤0.65	≤2.00	≤0.012	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.1	≤0.5
Rel(MPa)		Rm(MPa)		A(%)		AKV(J) -40℃		
≥500		≥600		≥16		≥47		
注：Ti、B元素可适量添加								

表 C.8 气保焊丝熔敷金属成分及性能

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo
≤0.12	≤0.65	≤1.90	≤0.01	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.1	≤0.5
Rel(MPa)		Rm(MPa)		A(%)		AKV(J) -40℃		
≥500		≥600		≥16		≥47		
注：Ti、B元素可适量添加								

表 C.9 埋弧焊丝熔敷金属成分及性能

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo
≤0.12	≤0.65	≤2.0	≤0.012	≤0.025	≥0.05	≥0.10	≥0.1	≤0.5
Rel(MPa)		Rm(MPa)		A(%)		AKV(J) -40℃		
≥500		≥600		≥16		≥47		
注：Ti、B元素可适量添加								

附 录 D
(资料性附录)
耐候钢相关标准牌号对照表

本标准与ASTM A709:2011、EN 10025-3:2004、EN 10025-4:2004、EN 10025-6:2004 (2009) 等相关标准的牌号对照见表B. 1。

表 D. 1 相关标准牌号对照表

本标准	ISO 630-5:2014	EN 10025-5: 2004	GB/T 4171-2008	JIS G 3114:2008
Q345qNH	SG345W SG345WP	S355J0W S355J2W S355K2W S355J0WP S355J2WP	Q355NH Q355GNH	SMA490W SMA490WP
Q370qNH	SG365W1 SG365W2	—	—	—
Q420qNH	—	—	Q415NH	—
Q460qNH	SG460W1 SG460W2	—	Q460NH	—
Q500qNH	SG500W	—	Q500NH	—
Q550qNH	—	—	Q550NH	—

附 录 E
(资料性附录)
推荐的耐候钢屈强比

本标准推荐的耐候钢屈强比（屈服强度与抗拉强度的比）宜不大于表C.1的数值。

表 E.1 耐候钢的屈强比

牌号	屈强比 (R_{el}/R_m)
	不大于
Q345q	0.85
Q370q	0.85
Q420q	0.85
Q460q~Q690q	协议
注：屈服现象不明显时，可用 $R_{p0.2}$ 代替 R_{el} 。	

附 录 F
(资料性附录)
耐候钢性能附加要求

自保护氧化层的耐腐蚀的效果与其组成成分以及钢中合金元素及其化合物的作用有关。耐大气腐蚀性能取决于基板的自动保护氧化层的形成过程中干湿交替的气候条件。所提供的保护作用与环境以及主要是在结构中的部位等其他条件有关。

在结构件的设计及生产过程中,对于表面自动保护氧化层的形成及再生应作出规定。对于设计者来说,在计算过程中考虑裸露钢材的腐蚀,或者是提高产品的厚度对浸蚀进行补偿。

在空气中含有某些特殊的化学物质或者结构件长时间与水接触、或一直裸露在潮湿的空气中、或在海洋性气候中使用时,建议采用常规表面保护。在涂漆前需去除产品表面的氧化铁皮。在相同条件下,涂漆后耐候钢的腐蚀敏感程度小于一般的结构钢。

非暴露结构件的表面与制造过程有关,需保持通风。否则需进行适当的表面保护。保护程度与最敏感的气候条件和结构件在腐蚀过程中的有效期有关。因此,就不同的用途选用何种合适的产品这一问题,使用方应与制造方进行协商。
