ICS 93.040
P28

DB21

辽 宁 省 地 方 标 准

DB 21/T XXXX—XXXX

公路桥梁耐候钢焊接技术规程

Technical Specification for Welding Weathering Steel for Highway Bridges

20XX - XX - XX 发布　　20XX - XX - XX 实施

辽宁省市场监督管理局　发 布

目　　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语 1
4　总则 2
5　材料 3
6　焊接工艺评定 3
6.1　一般规定 4
6.2　试样制备 4
6.3　试件或试样的试验及检验 4
7　人员要求 5
8　焊接工艺 5
8.1　母材准备 5
8.2　焊接材料要求 6
8.3　定位焊的要求 6
8.4　焊接环境要求 6
8.5　预热和道间温度控制 6
8.6　焊接工艺要求 7
8.7　焊接变形的控制 8
9　焊接质量检验 8
9.1　外观检验 8
9.2　无损检测 9
10 其它注意事项 9
11 安全施工与环境保护 9
附录 A（规范性附录）　用词说明 10

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。

本文件由辽宁省交通运输厅提出并归口。

本文件主编单位：辽宁省交通规划设计院有限责任公司公路养护技术研发中心.

本文件参编单位：辽宁省交通建设管理有限责任公司、中铁宝桥集团有限公司、鞍钢集团钢铁研究院。

本文件主要起草人员：张冠华、宋承哲、王佳伟、王吉英、韩基刚、车平、宋迪、刘心亮、李万德、屈丰来、杨奇、郭金波、张潇、于百刚、李军平、马森、周丹、张剑锋、朱新华、吴宏业、王振吉、朱晓飞

本文件发布实施后，任何单位和个人如有问题和意见建议，均可以通过来电和来函等方式进行反馈，我们将及时答复并认真处理，根据实际情况依法进行评估及复审。

归口管理部门通讯地址：沈阳市和平区十三纬路 19 号，联系电话：024—23867960。

标准起草单位通讯地址：沈阳市苏家屯区河榕路 1 号，联系电话：024—67856519。

公路桥梁耐候钢焊接技术规程

1 范围

本文件规定了公路桥梁耐候钢焊接材料、焊接工艺评定、人员资格要求、焊接工艺、焊接质量检验、其它注意事项及安全施工与环境保护要求。

本文件适用于辽宁省公路桥梁耐候钢焊接施工工程。

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 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法
GB/T 714 桥梁用结构钢
GB/T 2650 焊接接头冲击试验方法
GB/T 2651 焊接接头拉伸试验方法
GB/T 2652 焊缝及熔敷金属拉伸试验方法
GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法
GB/T 2654 焊接接头硬度试验方法
GB/T 3323.1 焊缝无损检测 射线检测 第 1 部分：X 和伽马射线的胶片技术
GB/T 3375 焊接术语
GB/T 4842 氩
GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
GB/T 6052 工业液体二氧化碳
GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
GB 9448 焊接与切割安全
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 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
GB/T 37910.1 焊缝无损检测 设计检测验收等级第 1 部分：钢、镍、钛及合金
GB 50661 钢结构焊接规范
HG/T 3728 焊接用混合气 氩-二氧化碳
JB/T 3223 焊接材料质量管理规程
JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
TB/T 2374 铁道车辆用耐大气腐蚀钢及不锈钢焊接材料

3 术语和定义

3.1

耐大气腐蚀钢 Atmospheric corrosion resistance steel

耐候钢，又称耐大气腐蚀钢，是指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。耐大气腐蚀钢也称耐候钢，代号：NH，在牌号后加 NH。

3.2

耐大气腐蚀性指数（I）Atmospheric corrosion resistance index（I）

用于评价钢材的耐大气腐蚀性能，参考美国 G101 标准，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。

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

该预测公式应适用于钢的化学成分范围如下：

Cu　0.012～0.510%；

Ni　0.05 ～ 1.10%；

Cr　0.10 ～ 1.30%；

Si　0.10 ～ 0.64%；

P　0.01 ～ 0.12%。

3.3

消氢处理 hydrogen relief treatment

对于冷裂纹倾向较大的结构钢，焊接后将焊接接头加热至 200℃～250℃温度范围内并保温一段时间，以加速焊接接头中氢的扩散逸出，防止由于焊缝中扩散氢的积聚而导致冷裂纹的焊后热处理方法。

3.4

有效焊缝厚度 effective throat thickness

对接焊缝中，减去焊缝余高，由焊缝表面到焊缝根部的最小距离。

3.5

焊接环境温度 temperature of welding circumstance

施焊时，焊件周围环境的温度。

3.6

焊接环境湿度 humidity of welding circumstance

施焊时，焊件周围环境的湿度。

4　总则

4.1　为在公路桥梁耐候钢钢结构焊接中贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保焊接质量，制定本规程。

4.2　本规程适用于钢材厚度不小于 3mm 的耐候钢结构焊接。

4.3　使用的焊接材料必须具有耐候性，焊接操作与非耐候钢有所不同，故制定本规程。

4.4　本规程旨在指导耐候钢桥梁焊接施工，为交通建设发展起到推动作用。

4.5　耐候钢焊接施工必须遵守国家现行安全技术和劳动保护等有关规定。

5　材料

5.1　本规程所指公路桥梁用高性能耐候钢应符合《桥梁用结构钢》（GB/T714）中所规定的Q345qDNH、Q345qENH、Q420qDNH、Q420qENH、Q500qDNH、Q500qENH 钢牌号的相关要求。

a)　主要成分符合表 1 的规定，其中，Q345qNH、Q420qNH、Q500qNH 钢的焊接裂纹敏感指数 Pcm 值分别≤0.21、0.23、0.26（按照 Pcm = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V /10 + 5B 计算 Pcm。）

表 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]
											不大于		
Q345qNH	D E	≤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	0.1	0.008	0.015～0.050
Q420qNH											0.2		
Q500qNH								0.45～0.70	0.30～0.45	0.25～0.55	0.25		

[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]卷板 Mn 含量下限可到 0.50%。
[d]当采用全铝（Alt）含量计算时，全铝含量应为 0.020%~0.055%。

b)　Q345qD/ENH 钢板 TMCP 或 TMCP+回火状态交货（其中厚度＞32mm 需回火）；Q420qD/ENH、Q500qD/ENH 钢板以 TMCP+回火状态交货。当轧后采用水冷却时，必须进行回火。

c)　钢材耐候性能采用《桥梁用结构钢》（GB/T714）标准附录 C“评估耐候桥梁钢耐大气腐蚀性指南”的化学成分公式进行评估。免涂装耐候钢的最低耐大气腐蚀性指数 I 为 6.5，涂装或局部涂装使用的耐候钢最低耐大气腐蚀性指数 I 为 6.0。

5.2　公路桥梁用高性能耐候钢及焊接材料应符合设计文件的要求，并应具有钢厂和焊接材料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。

5.3　高性能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，并保证焊接接头裸露使用的要求。

5.4　对焊接材料的熔敷金属化学成分应进行光谱分析，计算耐大气腐蚀指数 I。免涂装耐候钢焊接时，焊接材料的耐大气腐蚀性指数 I≥6.5；涂装或局部涂装使用的耐候钢的焊接材料耐大气腐蚀性指数 I≥6.0。各强度级别的匹配焊接材料应满足现行国家标准的相关要求，在具有工程先例的情况下，可采用更高 Ni 含量的高性能耐候钢焊接材料进行焊接。

5.5　气体保护焊使用的二氧化碳应符合《工业液体二氧化碳》GB/T 6052 的规定。

5.6　气体保护焊使用的氩气应符合现行国家标准《氩》GB/T 4842 的规定，其纯度不应低于 99.95%。

5.7　气体保护焊使用的富氩混合气应符合现行行业标准《焊接用混合气 氩-二氧化碳》HG/T 3728 的规定，技术指标不低于Ⅱ类要求。

5.8　高性能耐候钢材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。

6　焊接工艺评定

6.1 一般规定

6.1.1 施工所采用的耐候钢材、焊接材料、焊接方法、接头形式、焊接位置以及焊接工艺参数、预热和焊后热处理措施等各种参数的组合条件，均应在钢桥梁制作及安装施工之前进行焊接工艺评定，不设定免予评定条件。

6.1.2 施工单位根据所承担耐候钢桥梁的设计节点形式，钢材类型、规格，采用的焊接方法，焊接位置等，制订焊接工艺评定方案，拟定相应的焊接工艺评定指导书。

6.1.3 当采用气体保护焊时推荐采用药芯焊丝 CO_2 保护焊，也可采用其他可靠气体保护焊。

6.1.4 焊接工艺评定必须符合工程施工现场的环境条件。

6.1.5 焊接工艺评定试件应由当前工程施工企业中持证的焊接人员施焊。

6.1.6 焊接工艺评定应按照设计文件的要求，满足《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 附录 H 的规定。

6.2 试样制备

6.2.1 试板厚度应符合《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 附录 H.2 的规定。

6.2.2 试件的母材材质、焊接材料、坡口形状和尺寸和焊接等必须符合焊接工艺评定指导书的要求。

6.2.3 试件的尺寸应满足所制备试样的取样要求。各种接头形式的试件尺寸、试样取样应按照现行国家标准 GB/T 2650、GB/T 2651、GB/T 2652、GB/T 2653、GB/T 2654 的规定。

6.3 试件或试样的试验及检验

6.3.1 焊缝外观检查

焊缝进行外观检查，不得有裂纹、未熔合、夹渣、焊瘤、咬边等缺陷，外观质量应符合《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 中表 8.6.1 的规定。

6.3.2 焊缝无损检验

焊缝外观质量检查合格后进行无损检测，检验在试板焊接完成 24 小时后进行。无损检验按照《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定进行。

6.3.3 焊接接头力学性能试样的制备及试验方法

a) 力学性能试验项目及试样数量见表2

表 2 焊接接头力学性能试验项目及试样数量

试件型式	试验项目	试样数量（个）	试验方法
对接接头试件	接头拉伸试验	1	GB/T 2651
	焊缝金属拉伸试验	1	GB/T 2652
	接头侧弯试验	1	GB/T 2653
	低温冲击试验	3	GB/T 2650
	接头硬度试验	1	GB/T 2654
熔透角接试件	焊缝金属拉伸试验	1	GB/T 2652
	低温冲击试验	3	GB/T 2650
	接头硬度试验	1	GB/T 2654
T 型接头试件	焊缝金属拉伸试验	1	GB/T 2652
	接头硬度试验	1	GB/T 2654

注 1：接头侧弯试验：弯曲角度 α =180°。当试板板厚为 10mm 以及以下时，可以用正、反弯各一个代替侧弯。

注 2：低温冲击试样缺口开在焊缝中心、热影响区（熔合线外 1mm）处各 3 个。如果接头为异种材质组合，热影响区（熔合线外 1mm）分别取样。

注3：板厚＜12mm的对接接头试件、焊缝有效厚度≤8mm的角焊缝不进行焊缝金属拉伸试验。

b) 熔透角接试件当未开坡口板厚≥30mm时应进行冲击试验；当未开坡口板厚＜30mm时，可用同样坡口的对接接头代替。

6.3.4 耐候钢的焊接接头力学性能要求

a) 焊缝强度：焊缝屈服强度和抗拉强度不低于母材对应的强度标准值；
b) 焊缝金属伸长率：不低于母材标准值；
c) 接头韧性：对接焊缝和全熔透角焊缝低温冲击功不低于表 3 的规定，试验温度按照母材的规定执行；

表 3 接焊缝和全熔透角焊缝低温冲击功规定值

钢材牌号	Q345q	Q420q	Q500q
对接接头和熔透角接	34J	47J	54J
注：板厚≤20mm 的薄钢板接头冲击功标准值为 27J			

d) 冷弯：对接接头弯曲 180°，试样受拉面上的裂纹总长不大于试样宽度的 15%，且单个裂纹长度不大于 3mm，则判为合格；
e) 接头硬度不大于 380HV10。

6.3.5 每一组试板进行一次宏观断面酸蚀试验，试验方法应符合《钢的低倍组织及缺陷酸蚀试验方法》GB/T 226 的规定。通过断面检查，还应满足以下要求：

a) 熔透角焊缝，必须全熔透；
b) 部分熔透角焊缝的焊缝有效深度达到设计要求；
c) T 形角焊缝焊脚尺寸达到设计要求。

6.3.6 焊缝表面成分分析，耐大气腐蚀性指数 I≥6.0。

7 人员资格要求

7.1 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。
7.2 焊接操作人员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。
7.3 焊接前焊接操作人员必须进行高性能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、焊道排列布置等进行学习，并熟练掌握。
7.4 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。
7.5 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。

8 焊接工艺

8.1 母材准备

8.1.1 母材上待焊接的表面和两侧应均匀、光洁，且无毛刺、裂纹和其它对焊缝质量有不利影响的缺陷。待焊接的表面及距焊缝位置 50mm 范围内不得有影响正常焊接和焊缝质量的氧化皮、锈蚀、油脂、水等杂物。
8.1.2 可采用机械方法加工、热切割、碳弧气刨、铲凿或打磨等方法进行母材焊接接头坡口的加工或缺陷的清除。
8.1.3 采用机械方法加工坡口时，加工表面不应有台阶。采用热切割方法加工的坡口表面质量应符合国家现行行业标准《热切割 气割质量和尺寸偏差》JB/T 10045.3 的相应规定；材料厚度小于或等于 100mm 时，割纹深度最大为 0.2mm；材料厚度大于 100mm 时，割纹深度最大为 0.3mm。

8.2 焊接材料要求

8.2.1 焊接材料应通过焊接工艺评定试验确定。焊接材料熔敷金属化学成分和力学性能应符合现行国家标准的相关要求规定。焊接材料的复验应符合国家现行相关工程质量验收标准的规定，复验时的组批规则应按生产批号进行，检验项目及代表数量应按相应的焊接材料国家标准执行；

8.2.2 焊接材料应储存在干燥、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。

8.2.3 低氢型焊条的烘干应符合下列要求：

a) 焊条使用前在 300～430℃温度下烘干 2h，或按制造厂推荐的焊条使用说明书进行烘干。焊条放入时烘箱的温度不应超过最终烘干温度的一半，烘干时间以烘箱到达最终烘干温度后开始计算；

b) 烘干后的低氢型焊条应放置于温度不低于 120℃的保温箱中存放。使用时，应从保温箱中取出后置于保温筒中，随用随取；

c) 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。

8.2.4 焊剂应符合下述要求：

a) 使用前应按制造厂家推荐的温度进行烘焙。已潮湿或结块的焊剂严禁使用；

b) 焊剂烘焙后在大气中放置时间不应超过 4h。

8.2.5 焊丝表面应无油污、锈蚀。

8.2.6 两种不同材质的耐候钢组焊，按强度较低的母材选用焊条和焊丝，但焊接工艺需满足强度较高的母材的焊接工艺要求；当耐候钢与普通低合金钢组焊时，优先选用与普通合金钢匹配的焊接材料，也可选用耐候钢焊接材料。

8.3 定位焊的要求

8.3.1 定位焊必须由持相应资格证书的焊接操作人员施焊，所用焊接材料应与所焊接构件母材性能匹配。

8.3.2 定位焊焊缝厚度应不小于 3mm，对于厚度大于 6mm 的正式焊缝，其定位焊缝厚度不宜超过正式焊缝厚度的 1/2。定位焊缝的长度应为 50~100mm，定位焊缝间距宜为 400mm～600 mm。

8.3.3 钢衬垫焊接接头的定位焊宜在接头坡口内焊接；定位焊焊接时预热温度应高于正式施焊预热温度 20℃～50℃；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。

8.3.4 定位焊缝距离工件的端部 30mm 以上。十字焊缝定位焊时，在距离十字焊缝中心位置 50 mm 内不允许有定位焊。

8.4 焊接环境要求

8.4.1 焊条电弧焊焊接作业区最大风速不宜超过 8m/s；气体保护电弧焊不宜超过 2m/s；否则应采取有效措施以保障焊接电弧区域不受影响。

8.4.2 当焊接作业处于下列情况下严禁焊接：

a) 焊接环境湿度的相对湿度大于 80%；

b) 焊件表面潮湿或暴露于雨、冰、雪中；

c) 焊接作业条件不符合《焊接与切割安全》GB 9448 规定要求时。

8.4.3 焊接环境温度不得低于 5℃。低于 5℃时，应采取加热或防护措施，应确保焊接接头和焊接表面各方向不小于 2 倍钢板厚度且不小于 100 mm 范围内的母材温度，不低于 20℃或规定的最低预热温度二者的较高值，且在焊接过程中均不应低于这一温度。

8.5 预热和道间温度控制

8.5.1 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焊接方法等因素综合考虑确定或通过焊接试验确定。

8.5.2　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 4 的规定进行。

表 4　最低预热温度

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 5℃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 15～30kJ/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：杆件拘束状态复杂的可根据情况在推荐预热温度基础上提高 50℃。

8.5.3　焊接过程中，最低道间温度应不低于预热温度。耐候钢焊接时，最高道间温度不宜超过 180℃。

8.5.4　预热及道间温度控制应符合下列规定：

a)　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进行，并采用专用的测温仪器测量；

b)　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 100 mm；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 75 mm 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。

8.5.5　耐候钢 Q500qNH 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试验结果确定。

8.5.6　在高外部限制收缩的拘束条件下施焊时，必须在接头冷却温度降低到规定的最低预热温度和道间温度以前进行连续焊接。

8.6　焊接工艺要求

8.6.1　焊接施工前，制造单位应制定焊接工艺文件用于指导焊接施工，工艺文件可依据焊接工艺评定结果进行制定。

8.6.2　严格按照焊接工艺文件确定的工艺参数进行焊接施工，避免由于参数选择不当而影响焊接质量。焊接操作应严格按照工艺规定的焊接顺序、焊接位置及操作要点进行施焊，不得随意更改。

8.6.3　焊接过程中应严格控制焊接线能量，过大的焊接线能量将严重影响焊缝力学性能、抗裂性等，埋弧焊接的焊接线能量不宜大于 30 KJ/cm。

8.6.4　多层焊时应连续施焊，每一焊道焊接完成后应及时清理焊渣及表面飞溅物，出现影响焊接质量的缺陷时，应清除后方可施焊。遇有中断施焊的情况，应采取适当的后热处理和保温等措施，再次焊接时的预热温度应高于初始预热温度。

8.6.5　构件端部能安装引弧、熄弧时，应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 1～3 mm 的余量，用砂轮机打磨至与母材平齐。

8.6.6　有预热要求时，焊前必须按工艺要求进行预热，预热范围不得小于焊缝两侧 100 mm，在距焊缝不小于 75 mm 处测温。施焊过程中层温度不得低于预热温度，每条焊缝宜连续焊完，当中断焊接时，应采取相应的后热、缓冷等措施。重新施焊时，按要求预热后方能进行。

8.6.7　需气刨清根的焊缝，气刨深度、宽度要均匀。碳弧气刨时，根部至少应有 R≥6 mm 的圆弧。

8.6.8　焊缝及钢材表面若被电弧擦伤，该处的弧坑需要打磨，使均匀的过渡到母材表面，若打磨后的母材局部厚度减少超过 1mm 时，则要补焊后再打磨至与母材平齐，并进行 MT 检测。

8.6.9 施焊过程中，若发现重大焊接质量问题，应立即停止施焊，并报告焊接主管工程师，找出产生问题的原因并提出防止措施、解决办法，焊接质量问题解决后才能继续施焊。

8.7 焊接变形的控制

8.7.1 在进行钢桥梁的装配和部件间连接以及将部件焊接到构件上时，采用的工艺和顺序应使最终构件的变形和收缩最小。

8.7.2 根据构件上焊缝的布置，可按要求采用合理的焊接顺序控制变形：

a) 对接接头、T 形接头和十字接头，在工件放置条件允许或易于翻身的情况下，宜双面对称焊接；有对称截面的构件，宜对称于构件中心轴焊接；有对称连接杆件的节点，宜对称于节点轴线同时对称焊接；
b) 非对称双面坡口焊缝，宜先在深坡口面完成部分焊缝焊接，然后完成浅坡口面焊缝焊接，最后完成深坡口面焊缝焊接，特厚板宜增加轮流对称焊接的循环次数；
c) 对长焊缝宜采用分段退焊法或与多人对称焊接法同时使用；
d) 根据构件形式及精度控制要求可采用跳焊法，避免构件局部热量集中。

8.7.3 构件装配焊接时，应先焊预计有较大收缩量的接头，后焊预计收缩量较小的接头，接头应在尽可能小的拘束状态下焊接。

8.7.4 对于预计有较大收缩或角变形的接头，可通过计算预估焊接收缩和角变形量的数值，在正式焊接前采用预留焊接收缩裕量或预置反变形方法控制收缩和变形。

8.7.5 为减少焊接变形，可根据构件焊缝情况，选择适当的焊接方法控制变形，如采用对称焊、分段退焊等方法。根据焊缝布置的位置，应制定合理的焊接顺序，按要求施焊。

8.7.6 对于焊接变形较严重的熔透焊缝，焊后进行火焰矫正。热矫形温度≤650℃，瞬时峰值温度不得超过 800℃。

8.8 焊缝返修

8.8.1 焊缝金属或母材的缺陷超过相应的质量验收标准时，可采用砂轮打磨、碳弧气刨、铲凿或机械方法加工等方法彻底清除。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。

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

8.8.3 焊缝的返修应按下列要求进行：

a) 焊瘤、凸起或余高过大：采用砂轮或碳弧气刨清除过量的焊缝金属；
b) 焊缝凹陷或弧坑、焊缝尺寸不足、咬边、未熔合、焊缝气孔或夹渣等应在完全清除缺陷后进行补焊；
c) 焊缝或母材的裂纹应采用磁粉、渗透或其它无损检测方法确定裂纹的范围及深度，用砂轮打磨或碳弧气刨清除裂纹及其两端各 50mm 长的完好焊缝或母材，修整表面或磨除气刨渗碳层后，并用渗透或磁粉探伤方法确定裂纹是否彻底清除，再重新进行补焊。对于拘束度较大的焊接接头上焊缝或母材上裂纹的返修，碳弧气刨清除裂纹前，宜在裂纹两端钻止裂孔后再清除裂纹缺陷；
d) 焊接返修的预热温度应比相同条件下正常焊接的预热温度提高 30～50℃，并采用低氢焊接材料进行焊接；
e) 返修部位应连续焊接完成。如中断焊接时，应采取后热、保温措施，防止产生裂纹。厚板返修焊宜采用消氢处理；焊接裂纹的返修，应通知专业焊接工程师对裂纹产生的原因进行调查和分析，制定专门的返修工艺方案后按工艺要求进行；
f) 同一部位两次返修后仍不合格时，应重新制定返修工艺方案，并经业主或监理工程师批准后方可实施返修；
g) 裂纹返修焊接应填报返修施工记录及返修前后的无损检测报告，作为工程验收及存档资料。

9 焊接质量检验

9.1 外观检验

9.1.1 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，不得进入下一道工序。

9.1.2 焊缝外观质量应符合《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 中表 8.6.1 的规定。

9.2 无损检测

9.2.1 基本要求

a) 无损检测应在外观检测合格后进行。高性能耐候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≥40mm 时，以焊接完成 48h 后无损检测结果作为验收依据。

b) 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。

9.2.2 无损检测工艺及方法

a) 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。

b) 射线探伤应符合现行国家标准《焊缝无损检测 射线检测 第 1 部分：X 和伽马射线的胶片技术》GB/T 3323.1 的规定。

c) 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。

9.2.3 无损检验质量评定

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《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）表 8.6.2 的规定。

10 其它注意事项

需要特别提醒注意，不同钢厂所生产的相同牌号的高性能耐候钢其耐腐蚀性能、焊接性能表现各不相同。对于同一个桥梁工程采购不同钢厂的相同牌号的产品时，应分别进行焊接工艺评定工作。

11 安全施工与环境保护

公路桥梁耐候钢焊接施工安全与环境保护须符合《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650）的相关规定。

附　录A
（规范性）
用词说明

A.1　为便于在执行本规程时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

A.1.1　表示很严格，非这样做不可的：正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。
A.1.2　表示严格，在正常情况均应这样做的：正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不应该”、“不准许”。
A.1.3　表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。
A.1.4　表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

A.2　条文中指明应按其他有关标准执行的写法如为“应符合……的规定”或“应按……执行”。