

---

# 公路桥梁耐候钢焊接施工技术规范

Technology schedule For Construction Of Highway Bridge Weathering Steel Welding

(征求意见稿)

2018年10月

## 目 录

|          |                |    |
|----------|----------------|----|
| 1        | 范围             | 1  |
| 2        | 规范性引用文件        | 1  |
| 3        | 术语             | 2  |
| 4        | 总则             | 3  |
| 5        | 材料             | 3  |
| 6        | 焊接工艺评定         | 5  |
| 6.1      | 一般要求           | 5  |
| 6.2      | 试样制备           | 5  |
| 6.3      | 试件和试样的试验及检验    | 6  |
| 7        | 人员要求           | 8  |
| 8        | 焊接工艺           | 8  |
| 8.1      | 母材准备           | 8  |
| 8.2      | 焊接材料要求         | 8  |
| 8.3      | 定位焊的要求         | 9  |
| 8.4      | 焊接环境要求         | 9  |
| 8.5      | 预热和道间温度控制      | 9  |
| 8.6      | 焊接工艺要求         | 10 |
| 8.7      | 焊接变形的控制        | 11 |
| 8.8      | 焊缝返修           | 12 |
| 9        | 焊接质量检验         | 13 |
| 9.1      | 外观检验           | 13 |
| 9.2      | 无损检测           | 14 |
| 10       | 其它注意事项         | 14 |
| 11       | 安全施工与环境保护      | 15 |
| 附录 A     | 典型钢板焊接材料供货技术条件 | 16 |
| Q345QENH | 钢板焊接材料供货技术要求   | 16 |
| Q420QENH | 钢板焊接材料供货技术要求   | 17 |
| Q500QENH | 钢板焊接材料供货技术要求   | 18 |

---

## 前言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由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提出。

本规程由辽宁省交通厅归口。

本规程主要编制单位：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，辽宁省高等级公路建设局、中铁宝桥集团有限公司、鞍钢集团钢铁研究院。

主要起草人：

主要审查人员：

# 公路桥梁耐候钢焊接施工技术规范

## 1 范围

本规程规定了公路桥梁耐候钢焊接施工技术、材料、焊接工艺评定、人员要求、焊接工艺、焊接质量检验、其它注意事项、安全施工与环境保护要求。

本规程适用于辽宁省公路桥梁耐候钢焊接施工。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规程的引用而成为本规程的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本规程，然而，鼓励根据本规程达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规程。

|             |                       |
|-------------|-----------------------|
| GB/T 3375   | 焊接术语                  |
| GB/T 714    | 桥梁用结构钢                |
| GB/T 5117   | 非合金钢及细晶粒钢焊条           |
| GB/T 5118   | 热强钢焊条                 |
| GB/T 8110   | 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝     |
| TB/T 2374   | 铁道车辆用耐大气腐蚀钢及不锈钢焊接材料   |
| GB/T 12470  | 埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂         |
| GB/T 17493  | 低合金钢药芯焊丝              |
| HG/T 2537   | 焊接用二氧化碳               |
| GB/T 4842   | 氩                     |
| 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            |
| GB/T 3965   | 熔敷金属中扩散氢测定方法          |
| TB/T 2375   | 铁路用耐候钢周期浸润腐蚀试验方法      |
| JTG/T F50   | 公路桥涵施工技术规范            |
| Q/CR 9211   | 铁路钢桥制造规范              |
| GB 50661    | 钢结构焊接规范               |
| GB 50205    | 钢结构工程施工质量验收规范         |
| ZBJ-59002.3 | 热切割 气割质量和尺寸偏差         |
| GB 9448     | 焊接与切割安全               |
| 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 226      | 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法        |
| GB/T 11345  | 焊缝无损检测 超声检测技术、检测等级和评定 |
| GB/T 3323   | 金属熔化焊焊接接头射线照相         |

|           |      |        |
|-----------|------|--------|
| JB/T 6061 | 无损检测 | 焊缝磁粉检测 |
| JB/T 6062 | 无损检测 | 焊缝渗透检测 |

### 3 术语

下列术语和定义及《焊接术语》GB/T 3375 确立的均适用本标准

#### 3.1

##### 耐大气腐蚀钢 Atmospheric corrosion resisting steel

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)

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。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，防止由于焊氢的积聚而导致冷裂纹的焊后热处理方法。

#### 3.4

##### 消应处理 stress relief treatment

焊接后将焊接接头加热到母材 Ac1 线以下的一定温度并保温一段时间，以消减接头位置的焊接残余应力，降低焊接接头的冷裂倾向为目的的焊后热处理方法。

#### 3.5

##### 有效厚度 effective 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。

#### 3.6

##### 有效焊喉 effective throat

角焊缝中，不包括焊缝凸起或下凹部分，从焊缝表面到焊根的最小距离。

#### 3.7

##### 焊接环境温度 temperature of welding circumstance

施焊时，焊件周围环境的温度。

## 4 总则

- 4.1** 为在公路桥梁耐候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、确保质量，制定本规程。
- 4.2** 本规程不适于钢材厚度小于 3mm 的结构焊接。
- 4.3** 由于耐候钢中加入了较多的合金元素，其可焊性和同级别的低合金结构钢相比有其特殊性，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** 耐候钢桥的相关国家标准、规范尚未健全，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 GB/T 714 中所规定的 Q345qDNH、Q345qENH、Q370qDNH、Q370qENH、Q420qDNH、Q420qENH、Q500qDNH、Q500qENH 钢牌号的相关要求。其主要成分符合表 5.1 的规定。

表 5.1 常用耐候钢材主要成分

| 牌号      | 质量等级        | 化学成分 <sup>a, b, c</sup> (质量分数) /% |                   |                 |      |      |       |                   |                   |                   |      |       |     |
|---------|-------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------|------|------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------|-----|
|         |             | C                                 | Si                | Mn <sup>d</sup> | Nb   | V    | Ti    | Cr                | Ni                | Cu                | Mo   | N     | Als |
| Q345qNH | D<br>E<br>F | ≤<br>0.11                         | 0.15<br>~<br>0.50 | 1.10            | 0.01 | 0.01 | 0.006 | 0.40              | 0.30              | 0.25              | 0.10 | 0.008 |     |
| Q370qNH |             |                                   |                   | ~               | ~    | ~    | ~     | ~                 | ~                 | 0.15              |      |       |     |
| Q420qNH |             |                                   |                   | ~               | 0.10 | 0.10 | 0.030 | 0.70              | 0.40              | 0.50              | 0.20 |       |     |
| Q500qNH |             |                                   |                   |                 |      |      |       | 0.45<br>~<br>0.70 | 0.30<br>~<br>0.45 | 0.25<br>~<br>0.55 | 0.25 |       |     |

<sup>a</sup> 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%。

<sup>b</sup> 为控制硫化物形态要进行 Ca 处理。

<sup>c</sup> 对耐候钢耐腐蚀性的评定，耐大气腐蚀指数 I ≥ 6.0。

<sup>d</sup> 卷板 Mn 含量下限可到 0.50%。

- 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，焊接材料应由权威机构认证其耐候性。
- 5.4** 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；同时，对焊接材料的熔敷金属化学成分进行光谱分析，并计算耐大气腐蚀指数 I ≥ 6.0。各强度级别的匹配焊接材料要满足附录 A 的要求，在具有工程先例的情况下，允许采用更高 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国家现行标准《焊接用二氧化碳》HG/T 2537 的规定。焊接用二氧化碳组分含量的要求见表 5.5。

表 5.5 焊接用二氧化碳组分含量的要求

| 项 目                             | 组分含量   |       |       |
|---------------------------------|--------|-------|-------|
|                                 | 优等品    | 一等品   | 合格品   |
| 二氧化碳含量, V/V, 10 <sup>-2</sup>   | ≥99.9  | ≥99.7 | ≥99.5 |
| 液态水                             | 不得检出   | 不得检出  | 不得检出  |
| 油                               |        |       |       |
| 水蒸气+乙醇含量, m/m, 10 <sup>-2</sup> | ≤0.005 | ≤0.02 | ≤0.05 |
| 气味                              | 无异味    | 无异味   | 无异味   |

注：对以非发酵法所得的二氧化碳，乙醇含量不作规定。

**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国家标准《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** 结合制造单位的焊接技术水平，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 一般要求

6.1.1 首次采用的钢材、焊接材料、焊接方法、接头形式、焊接位置以及焊接工艺参数、预热和后热措施等各种参数的组合条件，应在钢桥梁制作及安装施工之前进行焊接工艺评定。

6.1.2 当采用气体保护焊时推荐采用药芯焊丝 CO<sub>2</sub> 保护焊。

6.1.3 焊接工艺评定必须符合工程施工现场的环境条件。

6.1.4 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。

6.1.5 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 F50-2011 附录 F1 的规定，或者《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211-2015 附录 C 的规定。

### 6.2 试样制备

6.2.1 选择试件厚度应符合评定试件厚度对构件厚度的有效适用范围。

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、试样取样位置应符合图 6.2.3-1~图 6.2.3-2 的要求。

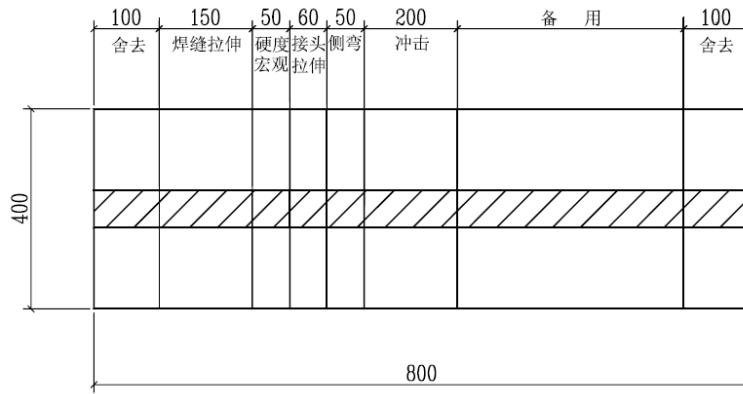


图 6.2.3-1 板材取样图



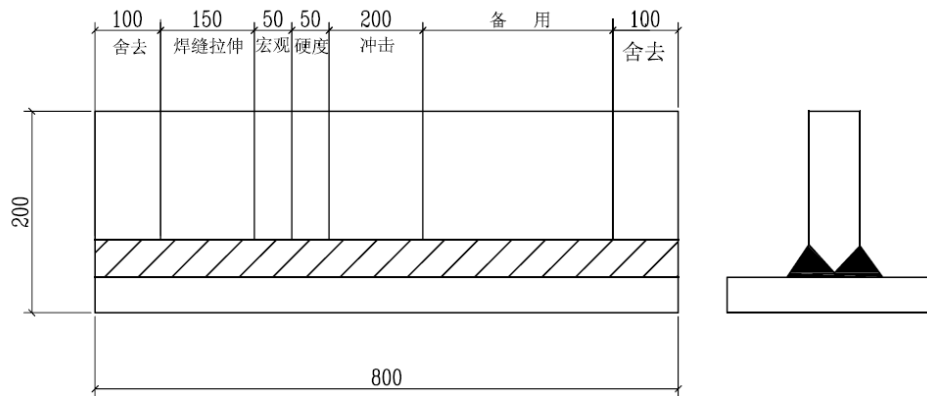


图 6.2.3-2 角接头的取样图

### 6.3 试件和试样的试验及检验

#### 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、焊瘤等缺陷，外观质量符合《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50-2011 中表 19.6.1 或者《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211-2015 中表 6.9.12 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《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211-2015 的有关规定进行。

#### 6.3.3 耐候钢的焊接接头力学性能要求

- ① 焊缝强度：焊缝屈服强度和抗拉强度不低于母材标准值；
- ② 焊缝金属伸长率：不低于母材标准值；
- ③ 接头韧性：对接焊缝和全熔透角焊缝低温冲击功不低于 47J，试验温度按照母材的规定执行；
- ④ 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；
- ⑤ 接头硬度不大于 HV10350。

#### 6.3.4 焊接接头力学性能试样的制取及试验

(1) 力学性能试验项目及试样数量按《铁路钢桥制造规范》Q/CR 9211-2015 的规定执行，具体见表 6.3.4。

表 6.3.4 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<br>(个) | 试验方法 |
|------|------|-------------|------|
|      |      |             |      |

| 试件型式    | 试验项目     | 试样数量<br>(个) | 试验方法                                   |
|---------|----------|-------------|--|
| 对接接头试件  | 接头拉伸试验   | 1           | 按《焊接接头机械性能试验方法》<br>(GB 2650~2654) 的规定。 |
|         | 焊缝金属拉伸试验 | 1           |  |
|         | 接头侧弯试验   | 1           |  |
|         | 低温冲击试验   | 6           |  |
|         | 接头硬度试验   | 1           |  |
| 熔透角接试件  | 焊缝金属拉伸试验 | 1           |  |
|         | 低温冲击试验   | 6           |  |
|         | 接头硬度试验   | 1           |  |
| T 型接头试件 | 焊缝金属拉伸试验 | 1           |  |
|         | 接头硬度试验   | 1           |  |

注：1 接头侧弯试验：弯曲角度  $\alpha=180^\circ$ 。板厚  $\delta \leq 16\text{mm}$ ， $d=2a$ ；板厚  $\delta > 16\text{mm}$ ， $d=3a$ 。；当试板板厚为 10mm 及以下时，可以用正、反弯各一个代替侧弯。

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。

3 板厚  $< 12\text{mm}$  的对接接头试件、焊缝有效厚度  $\leq 8\text{mm}$  的角焊缝不进行焊缝金属拉伸试验。

(2) 熔透角接试件当未开坡口板厚  $\geq 30\text{mm}$  时进行冲击试验；当未开坡口板厚  $< 30\text{mm}$  时，可用同样坡口的对接接头代替。冲击试样取样位置参见《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50-2011 附录 F1.3.4。

**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 226 的规定。另外，通过断面检查，还应满足以下要求：

- ① 熔透角焊缝，必须全熔透；
- ② 部分熔透角焊缝的焊缝有效深度达到设计要求；
- ③ 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， $I \geq 6.0$

## 7 人员要求

**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，并有五年以上焊接生产或施工实践经验。

**7.2** 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，并在此基础上增加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** 由于高性能耐候钢添加了 Cu、Cr、Ni 等多种合金元素，其焊接操作难度较大，焊接操作性不同于普通合金钢，焊接前焊工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熟悉，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欠。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欠的清除。

**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标准《热切割 气割质量和尺寸偏差》ZBJ-59002.3 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** 焊接材料熔敷金属的力学性能应不低于相应母材标准的下限值或满足设计文件要求。

**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：

(1) 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；

(2) 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，使用时应置于保温筒中，随用随取；

(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。

#### **8.2.4 焊剂应符合下述要求：**

(1) 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；

(2) 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合格证的焊工施焊，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 3 mm，对于厚度大于 6 mm 的正式焊缝，其定位焊缝厚度不宜超过正式焊缝厚度的 2/3。

**8.3.3** 定位焊缝的长度应不小于 40mm，定位焊缝间距宜为 300~600 mm。

**8.3.4** 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、夹渣等缺欠，要完全清除后补充定位焊。

**8.3.5** 定位焊缝距离工件的端部 30 mm 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 8 m/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应严禁焊接：

(1) 焊接作业区的相对湿度大于 90%；

(2) 焊件表面潮湿或暴露于雨、冰、雪中；；

(3) 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** 焊接环境温度不低于 -10℃。低于 0℃ 时，应采取加热或防护措施，确保焊接接头和焊接表面各方向大于或等于 2 倍钢板厚度且不小于 100 mm 范围内的母材温度不低于 20℃，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。

**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 8.5.2 的规定进行。

表 8.5.2 最低预热温度

| 耐候钢<br>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；  
 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℃；  
 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；  
 4. 推荐焊接热输入约为 15~30kJ/cm；  
 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；  
 6. 焊接接头材质不同时，应按接头中较高高强度、较高碳当量的钢材选择最低预热温度；  
 7. 杆件拘束度大的可根据情况在推荐预热温度基础上提高 50℃。

**8.5.4** 焊接过程中，最低道间温度应不低于预热温度。耐候桥梁钢焊接时，最大道间温度不宜超过 180℃。

**8.5.5** 预热及道间温度控制应符合下列规定：

(1) 焊前预热及道间温度的保持宜采用电加热法、火焰加热法和红外线加热法等加热方法进行，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 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。

**8.5.6** 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。

**8.5.7** 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。

## 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，也可采用符合替代工艺评定条件的工艺直接编制焊接工艺文件。

**8.6.2** 严格按照焊接工艺评定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。

**8.6.3** 焊接过程中应严格控制线能量，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，发现影响焊接质量的缺欠时，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，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 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。施焊过程中层温不得低于预热温度，每条焊缝尽可能连续焊完，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** 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。

**8.6.8** 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  $R \geq 6$  mm 的圆弧。

**8.6.9** 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 1mm 时，则要补焊后再打磨至与母材平齐，并进行 MT 检测。

**8.6.10** 施焊过程中，若发现重大焊接质量事故，要立即停止施焊，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，焊接质量事故解决后才能继续施焊。

## **8.7 焊接变形的控制**

焊接变形控制是钢桥梁制造精度和质量控制的主要内容之一，变形控制直接关系到焊接后的构件的矫正、几何尺寸及钢梁节段间的匹配等，为此，需要按照以下原则进行变形控制：

**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：

(1) 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；

(2) 非对称双面坡口焊缝，宜先焊深坡口侧，然后焊满浅坡口侧，再完成深坡口侧焊缝，特厚板宜增加轮流对称焊接的循环次数；

(3) 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；

(4) 根据构件形式及精度控制要求可采用跳焊法，避免工件局部热量集中。

**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** 焊后热矫形：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 $\leq 650^{\circ}\text{C}$ ，瞬时峰值温度不得超过 $800^{\circ}\text{C}$ 。

## **8.8** 焊缝返修

**8.8.1** 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。

**8.8.2** 对于不合格的焊缝缺欠，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：

(1) 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；

(2) 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；

(3) 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 $50\text{mm}$ 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；

(4) 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 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，并采用低氢焊接材料进行焊接；

(5) 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；

(6) 承受动荷载结构的裂纹返修以及静载结构同一部位两次返修后仍不合格时，应对返修焊接工艺进行工艺评定，制定返修工艺方案，经批准后方可实施返修；

(7) 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

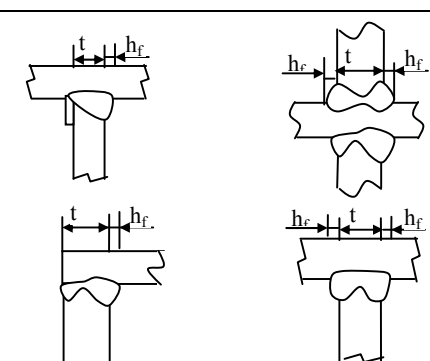
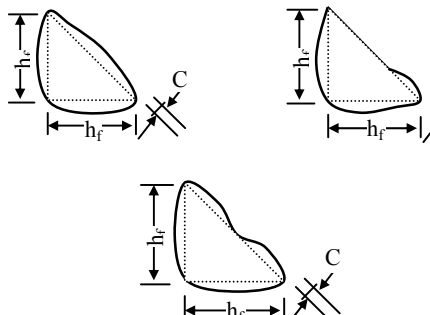
### 9.1 外观检验

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，不进入下一道工序。

9.1.2 焊缝外形尺寸应符合以下规定：

(1) 焊缝焊脚尺寸应符合表 9.1.2-1 的规定；

表 9.1.2-1 角焊缝焊脚尺寸允许偏差

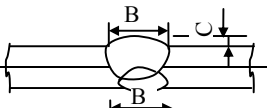
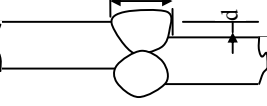
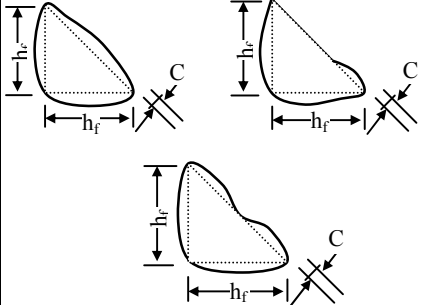
| 序号  | 项目                 | 示意图  | 允许偏差 (mm)  |                      |
|---|--------------------|--|--|----------------------|
| 1   | 全焊透角接与对接组合焊缝       |   | $h_f \geq \left(\frac{t}{4}\right)_0^{+4}$ 且 $\leq 10$ |                      |
|   |                    | $h_f \geq \left(\frac{t}{2}\right)_0^{+4}$ 且 $\leq 10$                               |  |                      |
| 2   | 角焊缝及部分焊透的角接与对接组合焊缝 |  | $h_f \leq 6$ 时<br>0~1.5                                | $h_f > 6$ 时<br>0~2.0 |
| 注：1. $h_f > 8.0\text{mm}$ 的角焊缝其局部焊脚尺寸允许低于设计要求值 1.0mm，但总长度不得超过焊缝长度的 10%。 |                    |  |  |                      |

(2) 焊缝余高及错边应符合表 9.1.2-2 的规定。

表 9.1.2-2 焊缝余高和错边允许偏差

| 序号 | 项目 | 示意图 | 允许偏差 (mm) |    |
|----|----|-----|-----------|----|
|    |    |     | 一、二级      | 三级 |
|    |    |     |           |    |



|   |           |   |  |                             |
|---|-----------|---|--|-----------------------------|
| 1 | 对接焊缝余高(C) |  | C 为 0~2  | C 为 0~3                     |
| 2 | 对接焊缝错边(d) |  | $d < 0.1t$<br>且 $\leq 1.0$                         | $d < 0.15t$<br>且 $\leq 1.0$ |
| 3 | 角焊缝余高(C)  |  | $h_f \leq 6$ 时 C 为 0~1.5;<br>$h_f > 6$ 时 C 为 0~2.0 |                             |

## 9.2 无损检测

### 9.2.1 基本要求

(1) 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  $\geq 40\text{mm}$  时，以焊接完成 48h 后无损检测结果作为验收依据。

(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。

### 9.2.2 无损检测工艺及方法

(1) 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。

(2) 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。

(3) 磁粉探伤应符合国家标准《无损检测 焊缝磁粉检测》JB/T 6061 的规定，合格标准应符合外观检测的有关规定。

### 9.2.3 无损检测质量评定

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 F50-2011) 表 19.6.2 的规定。

## 10 其它注意事项

需要特别提醒注意，由于不同钢厂采用的生产工艺有所不同，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。因此，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。

## **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 F50-2011)的相关规定。

## 附录 A 典型钢板焊接材料供货技术条件

### Q345qENH 钢板焊接材料供货技术要求

#### 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 1: 耐大气腐蚀指数  $I=26.01 (\%Cu) + 3.88 (\%Ni) + 1.20 (\%Cr) + 1.49 (\%Si) + 17.28 (\%P) - 7.29 (\%Cu) (\%Ni) - 9.10 (\%Ni) (\%P) - 33.39 (\%Cu) \geq 6.0$

2: Ti、B 元素可适量添加

#### 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 1: 耐大气腐蚀指数  $I=26.01 (\%Cu) + 3.88 (\%Ni) + 1.20 (\%Cr) + 1.49 (\%Si) + 17.28 (\%P) - 7.29 (\%Cu) (\%Ni) - 9.10 (\%Ni) (\%P) - 33.39 (\%Cu) \geq 6.0$

2: Ti、B 元素可适量添加

#### 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 1: 耐大气腐蚀指数  $I=26.01 (\%Cu) + 3.88 (\%Ni) + 1.20 (\%Cr) + 1.49 (\%Si) + 17.28 (\%P) - 7.29 (\%Cu) (\%Ni) - 9.10 (\%Ni) (\%P) - 33.39 (\%Cu) \geq 6.0$

2: Ti、B 元素可适量添加

注: 焊接材料(焊条、气保焊丝和埋弧焊丝)熔敷金属成分及性能检验方法参照本焊接施工技术规范第 2 章中所列的相应的国家标准进行。

## Q420qENH 钢板焊接材料供货技术要求

### 1. 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°C |      |      |
| ≥420      |       | ≥540     |        | ≥19    |       | ≥47           |      |      |

注 1: 耐大气腐蚀指数  $I=26.01 (\%Cu) + 3.88 (\%Ni) + 1.20 (\%Cr) + 1.49 (\%Si) + 17.28 (\%P) -$

$7.29 (\%Cu) (\%Ni) - 9.10 (\%Ni) (\%P) - 33.39 (\%Cu) \geq 6.0$

2: Ti、B 元素可适量添加

### 2. 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°C |      |      |
| ≥420      |       | ≥540     |       | ≥19    |       | ≥47           |      |      |

注 1: 耐大气腐蚀指数  $I=26.01 (\%Cu) + 3.88 (\%Ni) + 1.20 (\%Cr) + 1.49 (\%Si) + 17.28 (\%P) -$

$7.29 (\%Cu) (\%Ni) - 9.10 (\%Ni) (\%P) - 33.39 (\%Cu) \geq 6.0$

2: Ti、B 元素可适量添加

### 3. 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°C |      |      |
| ≥420      |       | ≥540     |        | ≥19    |       | ≥47           |      |      |

注 1: 耐大气腐蚀指数  $I=26.01 (\%Cu) + 3.88 (\%Ni) + 1.20 (\%Cr) + 1.49 (\%Si) + 17.28 (\%P) -$

$7.29 (\%Cu) (\%Ni) - 9.10 (\%Ni) (\%P) - 33.39 (\%Cu) \geq 6.0$

2: Ti、B 元素可适量添加

注: 焊接材料(焊条、气保焊丝和埋弧焊丝)熔敷金属成分及性能检验方法参照本焊接施工技术规范第 2 章中所列的相应的国家标准进行。

## Q500qENH 钢板焊接材料供货技术要求

### 1. 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 1: 耐大气腐蚀指数  $I=26.01 (\%Cu) + 3.88 (\%Ni) + 1.20 (\%Cr) + 1.49 (\%Si) + 17.28 (\%P) -$

$7.29 (\%Cu) (\%Ni) - 9.10 (\%Ni) (\%P) - 33.39 (\%Cu) \geq 6.0$

2: Ti、B 元素可适量添加

### 2. 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 | ≤2.0     | ≤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 1: 耐大气腐蚀指数  $I=26.01 (\%Cu) + 3.88 (\%Ni) + 1.20 (\%Cr) + 1.49 (\%Si) + 17.28 (\%P) -$

$7.29 (\%Cu) (\%Ni) - 9.10 (\%Ni) (\%P) - 33.39 (\%Cu) \geq 6.0$

2: Ti、B 元素可适量添加

### 3. 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 1: 耐大气腐蚀指数  $I=26.01 (\%Cu) + 3.88 (\%Ni) + 1.20 (\%Cr) + 1.49 (\%Si) + 17.28 (\%P) -$

$7.29 (\%Cu) (\%Ni) - 9.10 (\%Ni) (\%P) - 33.39 (\%Cu) \geq 6.0$

2: Ti、B 元素可适量添加

注: 焊接材料(焊条、气保焊丝和埋弧焊丝)熔敷金属成分及性能检验方法参照本焊接施工技术规程第 2 章中所列的相应的国家标准进行。