

团 体 标 准

T/CCMS 011—2026

港口机械钢结构制造规范

Port machinery steel structure fabrication code

2026-04-13 发布

2026-05-01 实施

中国机械工程学会 发布

目 次

| | |
|-----------------|-----|
| 前言 | III |
| 1 范围 | 3 |
| 2 规范性引用文件 | 3 |
| 3 术语与定义 | 4 |
| 4 材料 | 4 |
| 5 零件加工 | 9 |
| 6 结构组装 | 18 |
| 7 焊接及机加工 | 29 |
| 8 螺栓连接 | 43 |
| 9 涂装 | 47 |
| 参考文献 | 51 |

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国工程机械学会提出并归口。

本文件起草单位：上海振华重工（集团）股份有限公司、武汉理工大学、三一海洋重工有限公司、广州港工程管理有限公司、南京港机重工制造有限公司、青岛海西重机有限责任公司、江苏卫华海洋重工有限公司、天津港股份有限公司、山东港口日照港集团有限公司、常州市明强港机配件有限公司、中检港航（武汉）检验检测有限公司、无锡市港津机械制造有限公司、上海港联机械技术有限公司、青岛港国际物流有限公司、唐山曹妃甸实业港务有限公司、连云港东粮码头有限公司、大连港散杂货码头有限公司。

本文件主要起草人：陈文卫、肖汉斌、肖雄、董熙晨、路强、孟二建、焦志刚、吴作价、赵冰、朱泽、彭学忠、孙杰、范旭东、王衍棣、林勇、崔鹏、侯文晟、赵焕章、梁晋榕、许镇杰、谢绍南、吴强、陈强、姚坚强、陈凡、张博、马海峰、刘永刚、陈勇博、刘朝辉、邵光义、姜安琪、霍彪、郭佳庆、卢茹利。

港口机械钢结构制造规范

1 范围

本文件规定了港口机械钢结构制造的材料、零件加工、结构组装、焊接及机加工、螺栓连接和涂装。本文件适用于港口机械钢结构制造。

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 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓连接副
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB 2893 安全色
- GB 2894 安全色和安全标志
- GB/T 2970—2016 厚钢板超声检测方法
- GB/T 3098.23 紧固件机械性能 M42~M72螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 3323.1—2019 焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术
- GB/T 3323.2—2019 焊缝无损检测 射线检测 第2部分：使用数字化探测器的X和伽玛射线技术
- GB/T 3811—2008 起重机设计规范
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5118 热强钢焊条
- GB/T 5210—2006 色漆和清漆 拉开法附着力试验
- GB/T 5313—2023 厚度方向性能钢板
- GB/T 8923.1—2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级
- GB/T 9286—2021 色漆和清漆 划格试验
- GB/T 18851.1 无损检测 渗透检测 第1部分：总则
- GB/T 19866 焊接工艺规程及评定的一般原则
- GB/T 26951 焊缝无损检测 磁粉检测
- GB/T 26952 焊缝无损检测 磁粉检测 验收等级
- JB/T 10559 起重机械无损检测 钢焊缝超声检测

3 术语与定义

GB/T 19866界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

断裂危险构件 fracture critical member; FCM

失效将引起结构坍塌、断裂灾难的受拉构件或弯曲构件、受反向应力构件。

注：也称特别重要结构件。

3.2

非断裂危险构件 non fracture critical member; non FCM

失效不引起结构坍塌、断裂灾难，承载或受拉应力的构件。

注：也称重要结构件。

3.3

Z向板 Z-direction steel plate

厚度方向有力学性能要求的钢板。

3.4

消应热处理 stress relief heat treatment

焊接后将焊接接头加热到母材A线以下温度550℃~650℃并保温一段时间，降低焊接残余应力，改善接头组织性能的焊后热处理方法。

3.5

过焊孔 weld access hole

在构件焊缝交叉位置，为保证主要焊缝连续性，并有利于焊接操作，开设的焊缝穿越孔。

3.6

焊材批号 batch number of welding material

由同一原料按同一工艺在一定时间内生产的焊接材料的批次编号。

4 材料

4.1 一般规定

4.1.1 设计图纸指定的材料应与标准及技术规格书一致。施工材料应以设计图纸为准。修改材料应以设计修改单或设计签认的材料代用单为依据。

4.1.2 材料合格证书应包括下列内容：

- a) 供方名称；
- b) 交货状态；
- c) 产品名称；
- d) 牌号、炉号和批号；
- e) 尺寸及重量；
- f) 化学成分及力学性能。

4.1.3 材料应根据制造商原材料合格证和质保书，经检验部门检验或检测，不应存在影响结构强度的裂缝、分层、锈蚀、麻点、剥落等缺陷。验收合格后方可入库。

4.1.4 进口材料应具有质量证明文件和商检报告，有复验要求的应按国家现行产品标准或约定复验，复验合格后方可使用。

4.1.5 经检验合格的材料应做好标识，分类存放并妥善保管。

4.1.6 材料不应使用牌号不明、未经检验部门检验或检验不符合设计图纸要求的材料。

4.2 断裂危险构件材料

断裂危险构件材料应满足下列要求：

- a) 细晶粒镇静钢、钢材出厂前无返修，并在采购技术条件中明确热处理、韧性值、化学成分要求；
- b) 在材料级别代号后面应标上“FCM”和区号。

4.3 尺寸偏差

4.3.1 钢材名义厚度应在订货时合同中确定。钢材偏差应满足下列要求：

- a) 负偏差为钢材实际厚度小于钢材名义厚度，但可接受的范围下限；
- b) 正偏差为钢材实际厚度大于钢材名义厚度，但可接受的范围上限。

4.3.2 钢板厚度允许偏差应符合表1的规定。

表1 钢板厚度允许偏差

单位为毫米

| 厚度 | 负偏差 | 不同宽度的正偏差 | | | | | |
|--------------|------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | <1600 | <1600~2000 | <2000~2500 | <2500~3150 | <3150~4000 | <4000~5000 |
| >6.3~10.0 | -0.3 | +0.80 | +1.00 | +1.00 | +1.30 | +1.30 | +1.50 |
| >10.0~16.0 | | +0.80 | +1.00 | +1.00 | +1.30 | +1.30 | +1.70 |
| >16.0~25.0 | | +1.00 | +1.20 | +1.20 | +1.60 | +1.60 | +1.90 |
| >25.0~40.0 | -0.5 | +1.00 | +1.20 | +1.20 | +1.60 | +1.60 | +1.90 |
| >40.0~63.0 | | +1.10 | +1.40 | +1.40 | +1.70 | +1.70 | +2.10 |
| >63.0~100.0 | | +1.30 | +1.70 | +1.70 | +2.10 | +2.10 | +2.50 |
| >100.0~150.0 | | +1.80 | +1.90 | +2.20 | +2.50 | +2.70 | +3.10 |

4.3.3 钢板平直度允许偏差应符合表2的规定。

表2 钢板平直度允许偏差

单位为毫米

| 板厚 δ | 偏差 |
|------------------|------------|
| $\delta \leq 20$ | <10 mm/2 m |
| $\delta > 20$ | <8 mm/2 m |

4.3.4 钢板波浪度应按表3的规定整平。

表3 钢板波浪度

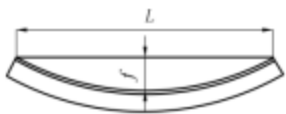
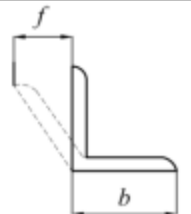
单位为毫米



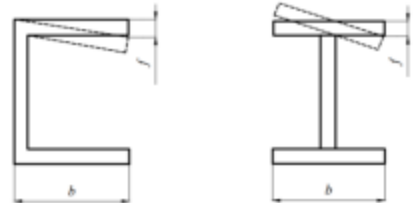
| 板厚 δ | 偏差 |
|-------------------------|-----------|
| $6 \leq \delta \leq 20$ | <3.0 mm/m |
| $20 < \delta \leq 30$ | <2.5 mm/m |
| $\delta > 30$ | <2.0 mm/m |

4.3.5 型材形状允许偏差应符合表4的规定。

表4 型材形状允许偏差

单位为毫米

| 型材类型 | 偏差要求 | 简图 |
|------|---|---|
| 角钢 | 全长直线度偏差 $\leq \frac{2}{1000}L$ |  |
| | 垂直度偏差 $f \leq \frac{1}{100}B$ ，且不大于1.5，不等边角钢按长腿宽度计算 |  |

| 型材类型 | 偏差要求 | 简图 |
|--------|--|---|
| 槽钢与工字钢 | 全长直线度偏差 $\leq \frac{2}{1000}L$ |  |
| | 扭曲度当 $L \leq 1000$ 时, $f \leq 3$; 当 $L > 1000$ 时, $f \leq 5$ |  |
| | 腿相对腰的垂直度偏差 $\leq \frac{1}{100}b$ |  |

4.4 外观检查 and 无损检测

4.4.1 原材料表面锈蚀麻点、剥落缺陷消除可采用局部打磨方法，修磨后表面应光洁平顺，修整后原材料任何部位厚度允许值应根据设计计算确定。

4.4.2 钢板表面缺陷不连续深度不应超过表5的规定，且应保证钢板最小厚度，可不修补。

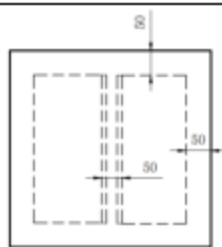
表5 钢板表面缺陷不连续最大深度允许值

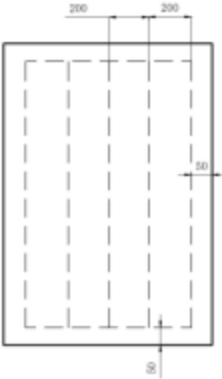
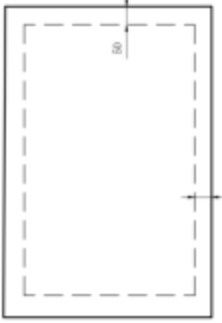
单位为毫米

| 钢板公称厚度 δ | 最大允许深度 |
|-------------------------|--------|
| $3 \leq \delta < 8$ | 0.2 |
| $8 \leq \delta < 25$ | 0.3 |
| $25 \leq \delta < 40$ | 0.4 |
| $40 \leq \delta < 80$ | 0.5 |
| $80 \leq \delta < 250$ | 0.7 |
| $250 \leq \delta < 400$ | 1.3 |

4.4.3 钢板超声波探伤（UT）质量标准应按GB/T 2970执行，探伤部位见表6。凡钢厂已作UT合格的钢板，下料前可不重复UT。

表6 钢板UT部位

| 检验分类 | 探伤部位 | 适用范围 |
|---|---|---------------|
|  I类 | 周边50 mm以内或以坡口预定线的中心两侧25 mm以内与十字和T字接头等受力构件角接焊中心两侧25 mm以内探伤 | 断裂危险构件（FCM构件） |

| 检验分类 | 探伤部位 | 适用范围 |
|--|---|-----------------------|
|  <p style="text-align: center;">II类</p> | <p>在纵横间距200 mm的条状线上和周边50 mm，或以坡口预定线的中心两侧25 mm以内探伤</p> | <p>非断裂结构件（非FCM构件）</p> |
|  <p style="text-align: center;">III类</p> | <p>周边50 mm以内或以坡口预定线的中心两侧25 mm以内探伤</p> | <p>一般结构件</p> |

4.4.4 下料切割后发现层状缺陷的钢板，不应使用。

4.4.5 受Z向力的FCM用板，断面收缩率 ψ 不应小于15%，沿板厚方向断面收缩率不应小于GB/T 5313—2023规定的Z15级允许限值。

4.4.6 全部钢板应进行探伤检验，ASTM A709/A709M-50T-2和ASTM A709/A709M-HPS70WT-2钢板探伤检验应符合规定：若任一区域内存在一个或多个不连续，导致连续底波完全消失，且这些不连续指示在同一平面上无法被直径为75 mm或1/2板厚中的较大圆完全包容，无论各不连续的尺寸大小如何，该区域应判定为不合格；ASTM A709/A709M-50F-2和ASTM A709/A709M-HPS70WF-2钢板探伤检验应符合规定：若任意两个或两个以上不连续之间的最小间距不小于其中最大不连续的直径，且这些不连续的指示能够直径为75 mm或1/2板厚中的较大圆完全包容，该区域应判定为合格；Q355钢板探伤检验应符合GB/T 2970—2016中III级规定；Q355FCM、Q355Z25钢板探伤检验应符合GB/T 2970—2016中II级规定。

4.5 力学性能

4.5.1 力学性能试验频率应符合下列规定：

- a) 钢板每批应进行检验，每批应由同一牌号、同一炉号、同一规格、同一交货状态的钢板组成；
- b) 钢板每批重量不大于40 t，Z向板每批重量不大于25 t；
- c) 每张断裂极限（FCM）轧制钢板Z向均应作拉伸、弯曲和夏比V型缺口冲击试验；
- d) 断裂极限钢板应打上标记“FCM”，一般强度结构用钢的力学性能应符合GB/T 1591的规定。

4.5.2 基于熔炼分析的钢板碳当量值应符合表7的规定。

表7 基于熔炼分析的钢板碳当量值

| 牌号 | | 交货状态 | 碳当量CEV (质量分数) /% | | |
|---------------------------------|-------|------|------------------|--------|---------|
| | | | 公称厚度或直径/mm | | |
| 钢级 | 质量等级 | | ≤30 | >30~60 | >63~150 |
| Q355、Q355FCM、Q355Z25、Q355FCMZ25 | B、C、D | — | 0.45 | 0.47 | 0.47 |

4.6 常用焊接材料

4.6.1 焊接材料检验

4.6.1.1 焊材应进行技术性能检验，检验应按批进行，每批次同一焊接批号到货焊材应至少随机抽取一盘（盒）进行焊接试验及相关技术性能检验。

4.6.1.2 入库检验项目应至少包括焊材熔敷金属试验，检验合格后方可通知批量供货、入库和领用。

4.6.1.3 首次选用的焊接物料，应进行焊接技术认证，出具书面报告，并进行再现性试验，且应按产品及技术要求进行焊接工艺评定，评定结果满足产品技术要求者方可使用。集中采购或特殊要求的焊接物料，应进行焊接技术认证。

4.6.1.4 药芯焊丝应采用真空包装，且储运过程应采取防破损保护措施。

4.6.2 焊接材料力学性能

4.6.2.1 焊接材料凡符合较高韧性级别要求者，可认为该材料也符合较低级别的要求。

4.6.2.2 235级别、355级别和690级别钢材的焊接材料熔敷金属力学性能应符合表8的规定。

表8 235级别、355级别和690级别钢材的焊接材料熔敷金属力学性能

| 级别 | 焊材类型 | 屈服强度 σ_s /MPa | 抗拉强度 σ_b /MPa | 伸长率 A_5 % | V型缺口冲击功 | |
|-----|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|---------|--------|
| | | | | | 试验温度/°C | 冲击功/kJ |
| 235 | 药芯焊丝 实心焊丝 焊条 埋弧焊丝-焊剂 | ≥330 | ≥430 | ≥20 | -20 | ≥47 |
| 355 | 药芯焊丝 实心焊丝 焊条 埋弧焊丝-焊剂 | ≥400 | ≥490 | ≥22 | -30 | ≥51 |
| 690 | 药芯焊丝 实心焊丝 焊条 埋弧焊丝-焊剂 | ≥690 | 770~940 | ≥18 | -40 | ≥69 |

4.7 钢种识别标记、移植及跟踪

4.7.1 入库钢材应有钢种的识别标记。

4.7.2 钢材表面冲砂、油漆处理后，应按要求移植标记。

4.7.3 主结构钢材切割、预处理等工序后应移植炉号和批号到零件上，并做好记录。

5 零件加工

5.1 一般规定

5.1.1 号料前应对原材料是否符合规定材质和规格。

5.1.2 采用数控切割的零件应核对零件图、材质和尺寸。

5.1.3 受拉弯板件下料方向、板件轧角和弯曲方向宜同钢板轧制方向一致。

5.1.4 对步道、平台用的花纹板和网眼板小料应观察纹路方向，菱形短边应沿走道前进方向，见图1。

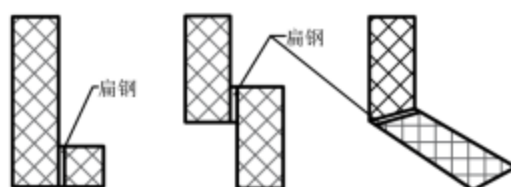


图1 有走道框架安装时的网眼板接头

5.1.5 切割线、检验线、轧角线、余量线、基准线应打上钢冲标记，钢冲线中心与划线位置偏移不应大于0.5 mm。

5.1.6 下料后应注明工号、图号、件号及各种坡口型式和加工符号。

5.1.7 下料后应记录每一件号所用材料的炉批号等。

5.1.8 号料时对钢板原始边缘应留有切割、剪切或刨边裕量10 mm~15 mm。

5.2 号料前准备

5.2.1 用于制造重要焊接构件的钢板、型钢、钢管等，号料前应去除油污和水分，并采用表面预处理。

5.2.2 钢材表面预处理，应按矫形、除锈、涂防锈层的顺序依次执行。

5.2.3 经预处理后的钢材，不应有牢固的轧制氧化皮和其他污物，抛丸后的钢材表面应呈现银白色的光泽，并应符合下列规定：

- a) 钢材要求达到Sa2½级；
- b) 型钢要求达到Sa2级。

5.2.4 经预处理后的钢材，应根据涂料特性要求涂防锈剂或薄层底漆。涂层厚度应按技术合同执行，若无规定，漆膜厚度不宜小于35 μm。

5.2.5 钢材预处理后，应将原材料标记移植至预处理涂漆后的板件上。

5.3 号料

5.3.1 对单件小批生产的产品，允许直接在钢材上按样板号料和按放样清单号料；形状复杂、精度要求高的零件应采用仿形切割、数控切割、光电跟踪切割直接下料。

5.3.2 号料时应划出检查线、中心线、弯曲线，并注明接头处的字母记号、坡口型式，零件现场装配或在现场加工时，应根据图纸要求和工艺文件注明。

5.3.3 号料后钢材应注明产品名称、图号、件号，号料后余料应注明材质分类堆放。

5.3.4 划线用的卷尺、钢尺应经计量检定合格后，方可使用。

5.4 热切割

5.4.1 厚度3 mm~150 mm的碳素结构钢和低合金结构钢，宜用氧-乙炔自动火焰切割、半自动火焰切割、仿形切割、数控切割和光电跟踪切割等。

5.4.2 热切割工件尺寸偏差不应超过表9的规定。

表9 热切割工件尺寸偏差

单位为毫米

| 切割厚度 | 基本尺寸 | | | |
|----------|--------|-----------|------------|------------|
| | <5~315 | <315~1000 | <1000~2000 | <2000~4000 |
| >3~50 | ±0.5 | ±1.0 | ±1.5 | ±2.0 |
| >50~100 | ±1.0 | ±2.0 | ±2.5 | ±3.0 |
| >100~150 | ±2.0 | ±2.5 | ±3.0 | ±4.0 |
| >150~200 | ±2.5 | ±3.0 | ±3.5 | ±4.5 |
| >200~250 | — | ±3.0 | ±3.5 | ±4.5 |

| 切割厚度 | 基本尺寸 | | | |
|---|--------|-----------|------------|------------|
| | <5~315 | <315~1000 | <1000~2000 | <2000~4000 |
| >250~300 | — | ±4.0 | ±5.0 | ±6.0 |
| 注：表中所列工件尺寸偏差适用于： a) 图样上未注公差尺寸； b) 长宽比不大于4:1的工件； c) 切割周长不小于350 mm的工件。 | | | | |

5.4.3 零件下料不准许徒手切割。在现场属少量修补性等特殊情况者除外，但切割面质量应光滑，粗糙度不应大于200 μm 。

5.4.4 对垂直切割的接缝，应采用磁性导轨半自动切割，切割的直线度不应超过 $L/1000$ ， L 为切割长度。

5.4.5 对切割线深度大于60 mm、板厚大于60 mm及高碳钢等材料切割前应预热，见图2。

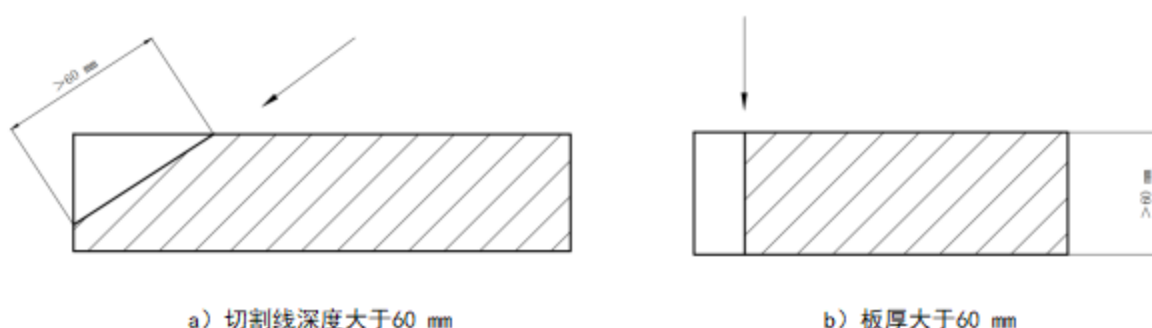


图2 切割线深度和板厚示意图

5.4.6 气割圆盘尺寸偏差应符合表10的规定。

表10 气割圆盘尺寸偏差

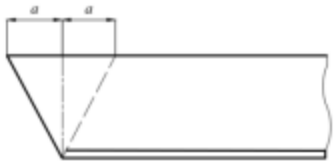
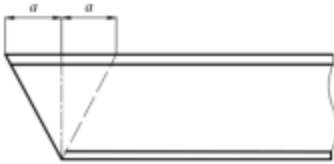
单位为毫米

| 工作尺寸 | 内孔 | 外孔 |
|--------------------------|---------|----------------------|
| $\leq \phi 100$ | +1~+1.5 | $\pm 0.5 \sim \pm 1$ |
| $\phi 100 \sim \phi 200$ | +1.5~+2 | $\pm 0.5 \sim \pm 1$ |
| $\phi 200 \sim \phi 600$ | +2~+2.5 | $\pm 1 \sim \pm 1.5$ |

5.4.7 气割型钢的斜度偏差应符合表11的规定。

表11 气割型钢的斜度偏差

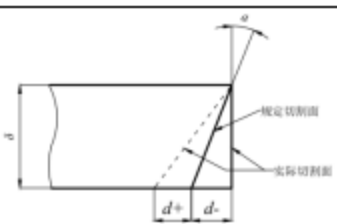
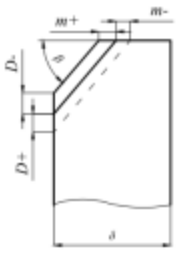
单位为毫米

| 型钢类型 | | 允许偏差值 a |
|---|---|--------------|
| 角钢 | 槽钢 | |
|  |  | |
| L100×10以下 | [10以下 | |
| L125×12以下 | [12~]20 | |
| — | [22以上 | $a \leq 5.0$ |

5.4.8 气割坡口偏差应符合表12的规定。

表12 气割坡口偏差

单位为毫米

| 简图 | 切割角度 | 符号 | 精度等级 | 气割方法 | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|---------|---|-----------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----|
| | | | | 自动气割 | | | | | 手工气割 | | | | | |
| | | | | 厚度 (δ) | | | | | | | | | | |
| | | | | ≤ 30 | $> 30\sim 50$ | $> 50\sim 120$ | $> 120\sim 180$ | $> 180\sim 250$ | ≤ 30 | $> 30\sim 50$ | $> 50\sim 120$ | $> 120\sim 180$ | $> 180\sim 250$ | |
|  | — | $d \pm$ | I | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | — | — | — | — | — | |
| | | | II | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 7.0 | 2.0 | 2.5 | 4.0 | 6.0 | 10 | |
| | | | 表中精度偏差指 $\alpha \leq 30^\circ$ 时的公差 当 $30^\circ < \alpha \leq 45^\circ$ 时, 公差增大至1.5倍 | | | | | | | | | | | |
|  | $\beta \leq 15^\circ$ | $D \pm$ | 所有精度 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | |
| | | $m \pm$ | | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | |
| | $\beta > 15^\circ \sim 30^\circ$ | $D \pm$ | | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| | | $m \pm$ | | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| | $\beta > 30^\circ \sim 45^\circ$ | $D \pm$ | | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |
| | | $m \pm$ | | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |

5.4.9 焊缝坡口气割后，边缘的毛刺、熔渣及凹凸不平处均应清除、打磨，对非焊接切割表面上的裂纹、凹陷，应焊补修平。

5.4.10 针对FCM板的坡口，不应采用火焰切割，应采用机械加工成形。


5.5 矫正

5.5.1 钢材的矫正宜在室温状态下用辊式矫正机或油压机进行。对于一般结构用钢板，也可放在平台上用平锤矫正。

5.5.2 钢材矫正宜在室温状态下进行，平面度超过表13规定的钢材，碳素结构钢应加热到 $900\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时矫正；低合金结构钢应加热至 $700\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时矫正；当钢材温度在 $200\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 兰脆温度时，不应进行任何形式的打击。

5.5.3 矫正钢板平面度应符合表13的规定。

表13 矫正钢板平面度

| 钢板厚度 δ | 平面度 | 简图 | 单位为毫米 |
|----------------|--------|--|-------|
| | | | 测量工具 |
| $6<\delta<20$ | <2 |  | 1 m直尺 |
| $20<\delta<30$ | <1.5 | | |
| $\delta>30$ | <1 | | |

5.5.4 型钢形状误差经矫正后应符合表4的规定。

5.6 锯切

5.6.1 凡重要构件的型钢宜采用锯切。

5.6.2 型钢的锯切面斜度 a 不应超过 5 mm ，见图3。

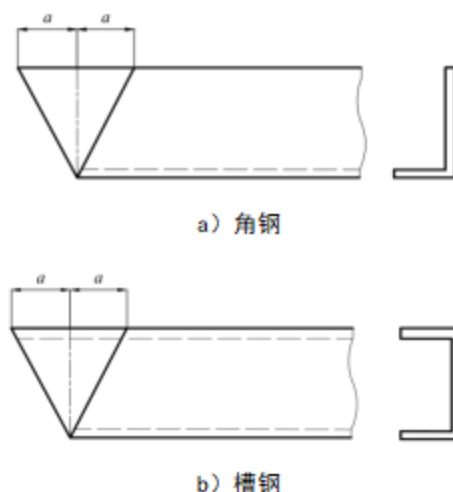


图3 型钢锯切斜度

5.7 钻孔

5.7.1 钻孔宜适用于 $\phi 50\text{ mm}$ 以下，粗糙度不大于 $25\text{ }\mu\text{m}$ 的孔及漏水孔，一次钻孔。

5.7.2 当图纸未注出钻孔孔径公差时，钻孔孔径允差应符合表14的规定。

表14 钻孔孔径允差

| 尺寸范围 | 单位为毫米 | | | | |
|------|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| | ≤ 3 | $>3\sim 10$ | $>10\sim 18$ | $>18\sim 30$ | $>30\sim 50$ |
| 允差 | +0.25 | +0.3 | +0.43 | +0.52 | +0.62 |

5.7.3 钻孔中心与划线中心偏差不应大于0.5 mm。

5.7.4 当图纸未注明钻孔中心距公差时，偏差不应大于 ± 1.5 mm。

5.8 轧圆

5.8.1 厚度 $\delta \leq 40$ mm钢板可在室温状态下轧圆加工。

5.8.2 初轧弯曲成型的筒体尺寸偏差应表15的规定。卷筒等设计图上有圆度要求时，应经复校圆加工，直至圆度符合要求。

表15 初轧弯曲成型的筒体尺寸偏差

单位为毫米

| 外径 D_H | 公差 | | | | | |
|-------------|---|------------|--------|------------------|--------|------|
| | 直径偏差 ΔD_H ($\Delta D_H = A - B $) | 周长公差 | 表面凹凸量C | 筒壁壁厚 | | |
| | | | | >10~18 | >18~30 | >30 |
| | | | | 圆度 $ A - D_H /2$ | | |
| ≤ 400 | 2.0 | ± 6.3 | 1.2 | 1.5 | 1.5 | 1.0 |
| >400~500 | 2.5 | ± 8.0 | 1.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 |
| >500~630 | 3.0 | ± 10.0 | 2.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 |
| >630~800 | 4.0 | ± 12.5 | 2.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 |
| >800~1000 | 5.0 | ± 16.0 | 3.0 | 4.0 | 3.0 | 2.5 |
| >1000~1250 | 6.0 | ± 19.0 | 3.5 | 5.0 | 4.0 | 3.5 |
| >1250~1600 | 7.5 | ± 23.0 | 4.0 | 6.0 | 5.0 | 4.0 |
| >1600~2000 | 9.0 | ± 28.0 | 4.0 | 7.0 | 6.0 | 5.0 |
| >2000~2500 | 11.0 | ± 34.5 | 5.0 | 8.0 | 7.0 | 6.0 |
| >2500~3150 | 13.0 | ± 40.0 | 5.0 | 10.0 | 8.0 | 7.0 |
| >3150~4000 | 15.0 | ± 47.0 | 6.0 | 12.0 | 9.0 | 8.0 |
| >4000 | 17.0 | ± 50.0 | 7.0 | 14.0 | 10.0 | 10.0 |
| 符号图示 | | | | | | |

5.8.3 轧圆折边、回弹、过量允差应符合表16的规定。

表16 轧圆折边、回弹、过量允差

单位为毫米

| R | ≤ 500 | >500~1000 | >1000 |
|----------|------------|-----------|-------|
| Δ | 5 | 8 | 13 |

| | | | |
|------------|----|----|-----|
| Δ_1 | 10 | 30 | 50 |
| Δ_2 | 25 | 80 | 100 |
| 符号图示 | | | |

5.8.4 初轧经焊接再复圆时，筒体圆度允差图纸无要求时，可按表17的规定执行。

表17 复轧圆后筒体圆度允差

单位为毫米

| 壁厚 | 公称直径 | 允许偏差 | 周长误差（外圆） | 简图 |
|-----------------|---------------|---|----------------------------------|----|
| $\delta \leq 6$ | $D < 1500$ | $\frac{D_1 - D_2}{2} \leq \frac{2.5}{1000} D$ | $\pm \frac{3D}{1000}$ | |
| | $D \geq 1500$ | $\frac{D_1 - D_2}{2} \leq \frac{1.5}{1000} D$ | $\pm 5 \sim 7$ | |
| $\delta > 6$ | | $\frac{D_1 - D_2}{2} \leq \frac{1.5}{1000} D$ | $\pm \frac{3D}{1000}$ 且 ≤ 7 | |

5.9 成型弯曲

5.9.1 钢材的成型弯曲，弯曲半径符合下列情况时，可冷弯。

- a) 钢板弯曲半径应符合表18的规定。

表18 钢板弯曲半径

单位为毫米

| 工作厚度 δ | | ≤ 10 | $> 10 \sim 25$ | $> 25 \sim 30$ | > 30 |
|---------------|--------|-------------|----------------|----------------|-------------|
| 弯曲半径 R （内径） | 碳素结构钢 | 1.0δ | 1.5δ | 2.0δ | 3.0δ |
| | 低合金结构钢 | 1.5δ | 2.0δ | 3.0δ | 5.0δ |

表中数值是弯曲线垂直于板材终轧方向的，平行于终轧方向的直乘以1.5倍

- b) 碳素结构钢型材截面尺寸符号见图4。

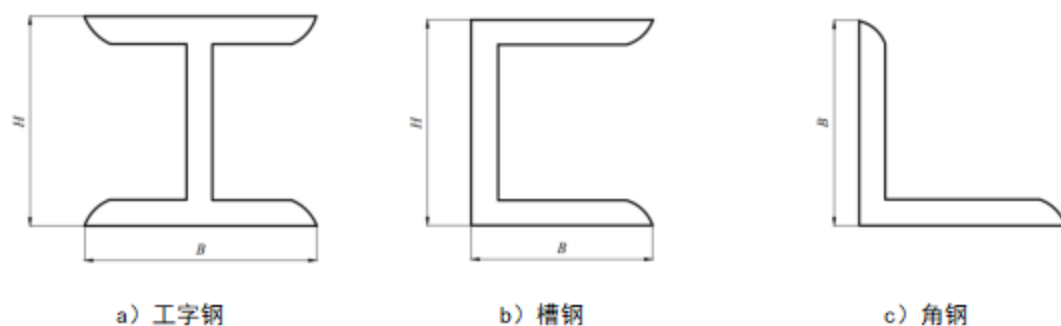


图4 型钢截面尺寸符号

- 1) 工字钢：弯曲半径 $R \geq 25H$ 或 $R \geq 25B$ ，随弯曲方向确定；


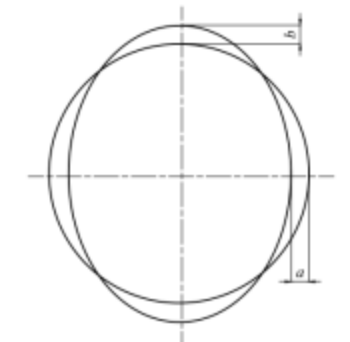
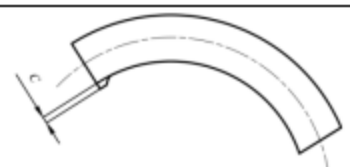
- 2) 槽钢：弯曲半径 $R \geq 25H$ 或 $R \geq 45B$ ，随弯曲方向确定；
- 3) 角钢：弯曲半径 $R \geq 45B$ ，不等边角钢随弯曲方向确定。

注：低合金结构型钢的弯曲半径为碳素结构钢1.5倍，即 $R = 1.5R$ 。

- 5.9.2 当弯曲半径小于表18规定时，应热弯，热弯温度宜为 $900\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，弯曲终止温度不应低于 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 5.9.3 圆管的弯曲半径 $R \geq 3d$ （ d 为圆管外径）。
- 5.9.4 管子弯曲允差应符合表19的规定。

表19 管子弯曲允差

单位为毫米

| 类别 | | 管子外径 d | | | | | | | | | | | 简图 |
|------------------------------|-----------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---|
| | | ≤ 30 | 38 | 50 | 60 | 76 | 89 | 102 | 108 | 146 | 168 | 219 | |
| 弯曲半径 R 允差值 | 75~125 | ± 2 | ± 2 | ± 3 | ± 3 | ± 4 | — | — | — | — | — | — |  |
| | $>125\sim 300$ | ± 1 | ± 1 | ± 2 | ± 2 | ± 3 | — | — | — | — | — | | |
| | $>300\sim 400$ | — | — | — | — | — | ± 5 | ± 5 | ± 5 | ± 5 | ± 5 | ± 5 | |
| | $>400\sim 1000$ | — | — | — | — | — | ± 4 | ± 4 | ± 4 | ± 4 | ± 4 | ± 4 | |
| | >1000 | — | — | — | — | — | ± 3 | ± 3 | ± 3 | ± 3 | ± 3 | ± 3 | |
| 在弯曲半径处的圆度 a 或 b (用两点法测量) | 75~100 | 1.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |  |
| | $>100\sim 125$ | 1.3 | 1.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | $>125\sim 60$ | 1.2 | 1.3 | 1.8 | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | $>160\sim 200$ | 0.8 | 1.0 | 1.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | $>200\sim 300$ | — | 1.0 | 1.4 | 1.8 | — | — | — | — | — | — | — | |
| | $>300\sim 400$ | — | 0.8 | 1.3 | 1.5 | 2.3 | 3.0 | — | — | — | — | — | |
| | $>400\sim 500$ | — | — | — | 1.2 | 2.0 | 2.5 | 3.5 | 4.0 | — | — | — | |
| | $>500\sim 600$ | — | — | — | 0.9 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 3.5 | 3.6 | — | — | |
| | $>600\sim 700$ | — | — | — | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.5 | 3.0 | 3.3 | 3.8 | — | |
| >700 | — | — | — | 0.6 | 1.0 | 1.3 | 1.8 | 2.0 | 2.5 | 3.8 | 3.5 | | |
| 弯曲处波纹深度 C | | — | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 |  |

6 结构组装

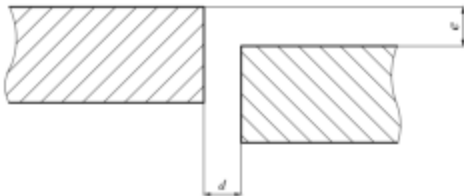
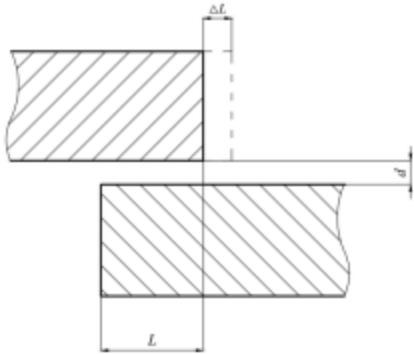
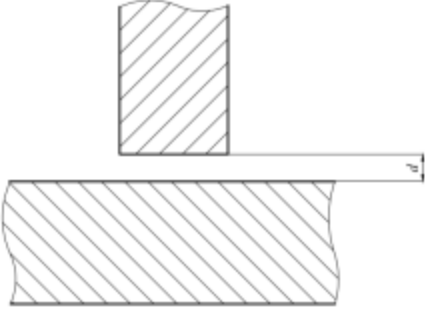
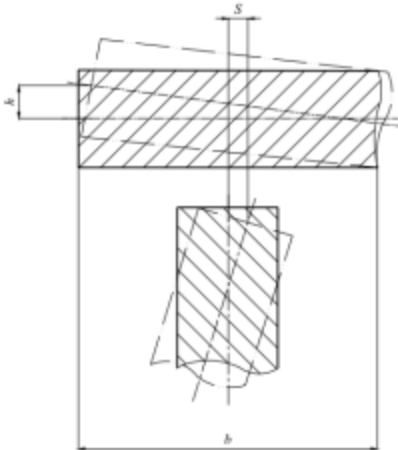
6.1 装配

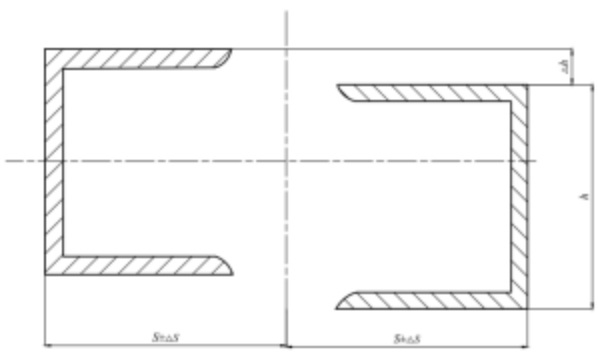
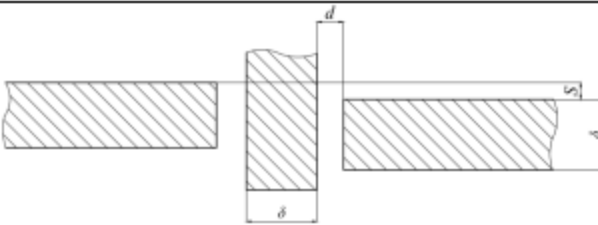
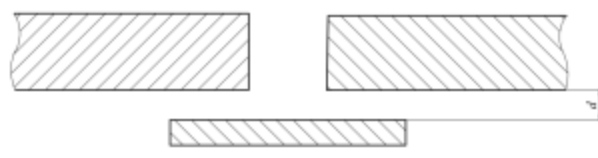
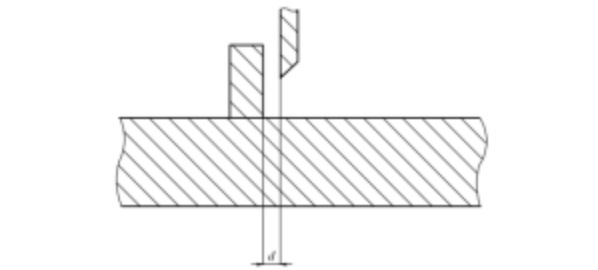
6.1.1 装配前全部零件应经检验合格。

6.1.2 装配间隙及位置允差应符合表20的规定。

表20 装配间隙及位置允差

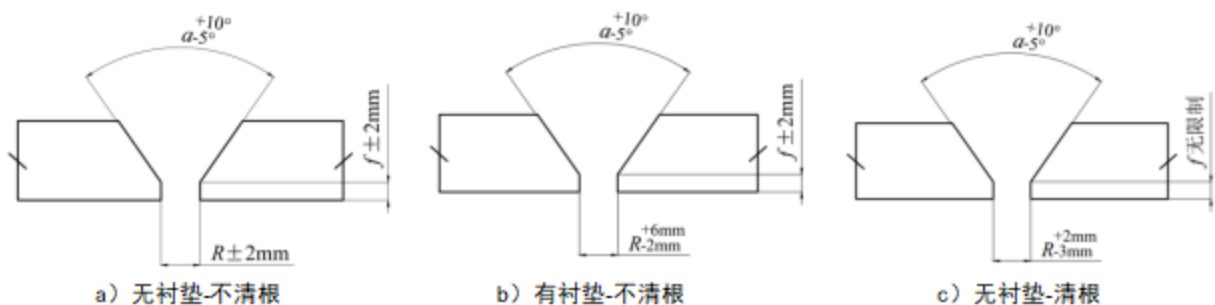
单位为毫米

| 序号 | 接缝类型 | 偏差名称 | 允差偏差值 |
|----|---|-------------------|--|
| 1 |  | 根部间隙偏差 | $d \leq c \pm 1$, c 为标准间隙 |
| | | 边缘高度偏差 e | $e \leq 10\%$ 薄板厚度, 且 $e \leq 3 \text{ mm}$ |
| 2 |  | 搭接间隙 d | $d \leq 1.0$ |
| | | 搭接长度偏差 ΔL | $-5 \leq \Delta L \leq 5$ |
| 3 |  | T形接头熔透间隙 d | $d \leq 1.5$ |
| 4 |  | 翼缘倾斜 h | $h \leq 10$ |
| | | 翼缘与垂直腹板的位移 S | $S \leq 3$ |

| 序号 | 接缝类型 | 偏差名称 | 允差偏差值 |
|--|---|-------------------|--|
| 5 |  | 型钢高度偏差 Δh | 型钢号不大于25时, $\Delta h \leq 1$ 型钢号大于25时, $\Delta h \leq 1.5$ |
| | | 型钢中心偏差 ΔS | $\Delta S \leq 1/100S$ |
| 6 |  | 十字接头根部间隙 d | $d \leq 1.5$ |
| | | 十字接头错位 S | $S \leq 0.3\delta$, 且 $S \leq 6 \text{ mm}$ |
| 7 |  | 垫板装配间隙 d | $d \leq 1.0$ |
| 8 |  | 垫板装配间隙 d | $d \leq 1.0$ |
| <p>对厚度不小于 70 mm 的钢板, 组装后根部间隙不紧密, 达不到公差要求; 使用打底焊或适当的衬垫材料, 根部间隙可适当放宽至不大于 6 mm, 且应增加角焊缝的焊脚, 增加值等于根部间隙值。 对于 FCM 的自由边位置, 不应焊接附件</p> | | | |

6.1.3 坡口接头剖面尺寸超出图5公差值时, 应经设计和工艺工程师同意回用或修改, 应符合下列规定:

- a) 根部间隙超过图5的允许值, 但不大于2倍较薄工件厚度或20 mm, 取小者, 焊接前经设计和工艺工程师同意, 可焊补修正到尺寸规定;



标引符号说明:

α ——坡口角度; R ——根部间隙; f ——钝边高度, 所示坡口形状为示意图。

图5 坡口接头组装时的加工公差

b) 管材接头截面尺寸及根部间隙公差应符合表21的规定。

表21 管材接头截面尺寸及根部间隙公差

单位为毫米

| 焊接方法 | 接头钝边 | 无钢衬垫的接头 | 接头坡口角度/(°) |
|----------------|------|---------|------------|
| 手工电弧焊 (SMAW) | ±2 | ±2 | ±5 |
| 气体保护焊 (GMAW) | ±1 | ±2 | ±5 |
| 药芯焊丝电弧焊 (FCAW) | ±2 | ±2 | ±5 |

6.1.4 在拼板装配中,板缝间隙过大时,修补应符合下列规定:

- 间隙连续超差长度大于20 mm,或间隙超差长度累计超过整条焊缝长度的10%时,应出具质量事故报告,由设计审核确认采取修补或报废措施,并出具质量事故处理意见,归档存底;
- 超差严重且不能补焊时,由设计制定整改方案。

6.1.5 待焊的构件应对准,在焊接完成前应用夹具和固定装置定位固定。固定时应留出适当的余量抵消翘曲和收缩。

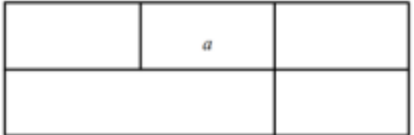
6.2 拼板接缝位置关系

6.2.1 工艺拼板接缝位置应符合设计图纸要求。设计图纸上没有指定拼缝位置,不应以材料利用率作为判定依据,应按下列规定执行。

- 十字交叉焊缝不强求错开。有条件错开,相邻交叉焊缝限制宜符合表22的规定。

表22 交叉焊缝限制

单位为毫米

| 板厚 δ | a |  |
|-----------------------|------------|--|
| $\delta \leq 16$ | ≥ 150 | |
| $16 < \delta \leq 60$ | ≥ 300 | |
| $\delta > 60$ | ≥ 400 | |

- 拼缝与横隔板、折角线以及相互垂直拼缝,不强求错开,但二次焊接位置的拼缝应采用二次探伤。有条件错开,间距不宜小于150 mm,见图6。

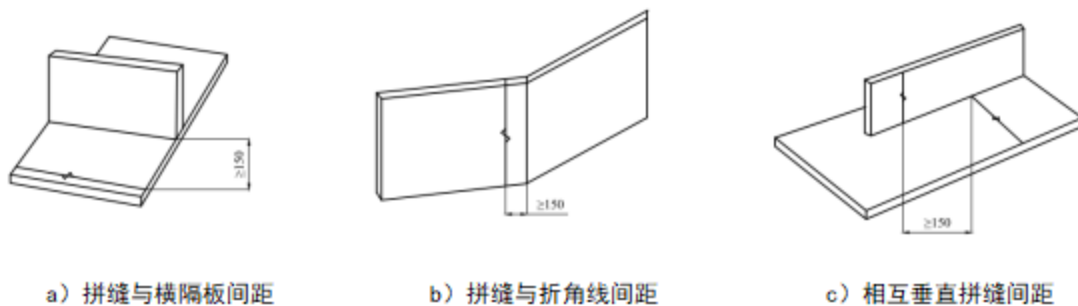


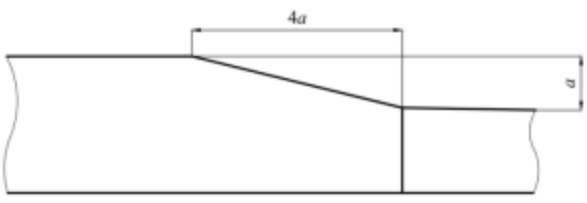
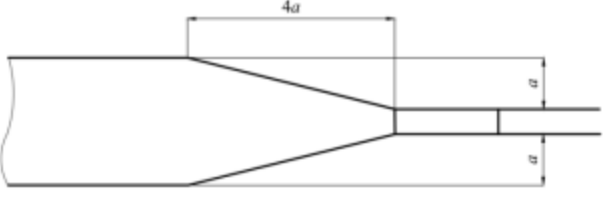
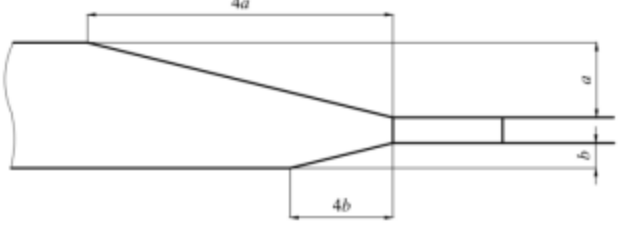
图6 拼缝与横隔板、折角线及相互垂直拼缝的间距

- T形小车承轨梁等有平直度要求的构件,两段梁之间翼板与腹板的对接缝不宜错开。每段预制的T形钢内部翼板对接缝和腹板对接缝可错开。不应有两段T形小车承轨梁对接缝与承载承轨梁的箱型结构梁面拼缝位于同一截面。

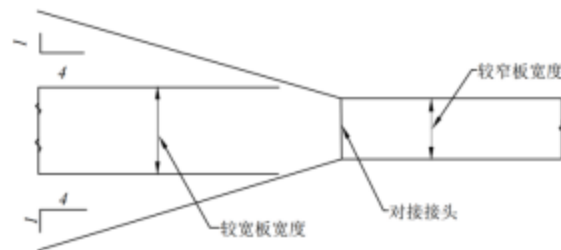
- 箱形构件的侧板拼接长度不应小于600 mm。

6.2.2 不同板厚的板材对接时,单边厚度差不小于4 mm的,应在厚板上制作过渡斜坡,此斜坡斜率不应大于1:4,单边厚度差不小于4 mm不同厚度板对接形式见表23。宜采用铣边加工等机械加工制作斜坡,斜坡长度不大于60 mm时,也可用火焰切割制作。切割后应对表面处理,机加工表面粗糙度不应大于25 μm 。

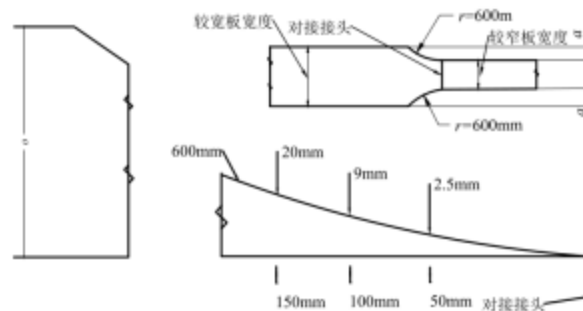
表23 单边厚度差不小于4 mm不同厚度板对接形式

| 类型 | | 尺寸及图形 |
|------|---------|---|
| 单面削薄 | |  |
| 双面削薄 | 二板中心一致 |  |
| | 二板中心不一致 |  |

6.2.3 宽度不相等的对接接头承受拉应力时，应将两边错口制成斜坡平滑过渡。图纸无规定，此斜坡相对任一边斜率不应大于1:4，或制成圆弧过渡，最小半径应为600 mm，且对接接头中心应与较窄部件边相切。屈服强度 $\sigma_s \geq 620$ MPa的高强钢应采用圆弧过渡，见图7。



a) 斜坡过渡



b) 圆弧过渡

注：圆弧过渡对屈服强度 $\sigma_s \geq 620$ MPa的钢材是强制性要求，供其他强度钢材选择。

图7 周期荷载非管材结构宽度过渡

6.2.4 拼板焊接应按先拼短焊缝，矫平后，再拼焊长焊缝的原则执行。拼板顺序应为①~②，见图8。

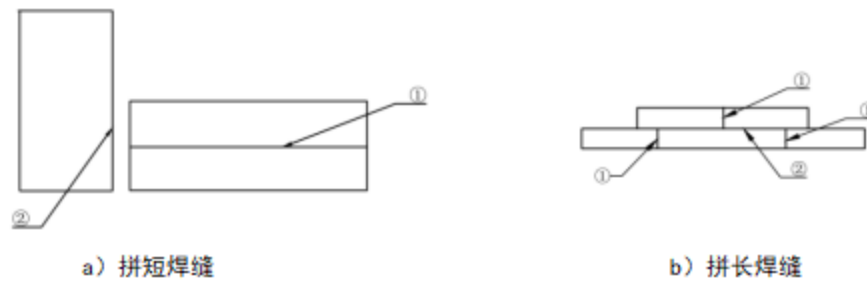


图8 拼板顺序

6.2.5 引（熄）弧板应符合下列规定：

- a) 拼板焊接前应加装引（熄）弧板，引（熄）弧板强度不应大于被焊钢材强度，且应具有与被焊钢材相近的焊接性；
- b) 引（熄）弧板规格宜为80 mm×100 mm，当拼接厚板时，应相应增大引弧板和熄弧板尺寸。引（熄）弧板上焊缝延伸长度不应小于40 mm；
- c) 引（熄）弧板去除宜采用火焰切割、碳弧气刨或机械等方法，去除时不应伤及母材并将割口处修磨至与焊缝端部平整。不应使用锤击去除引弧板和引出板；
- d) 引（熄）弧板应有和对接的坡口相同的形状。

6.3 定位焊

6.3.1 定位焊的焊材材质、焊接质量应保持与设计焊缝同样的质量要求，定位焊焊脚尺寸不应小于3mm、不应超过2/3倍设计焊缝的焊脚尺寸，长度不应小于40 mm，间距宜为300 mm~600 mm，不准许存在裂纹、夹渣和其他缺陷，但下列情况除外：

- a) 存在连续埋弧焊熔合的单道定位焊，不强制预热；
- b) 咬边、未填满弧坑和气孔等缺陷，在埋弧焊前可不清除。

6.3.2 最后熔入正式焊缝的定位焊应采用符合正式焊缝要求的焊接材料施焊，焊后应彻底清除熔渣，多道定位焊时，应在端部做出台阶。

6.3.3 定位焊交叉部位错开不应小于50 mm，见图9。

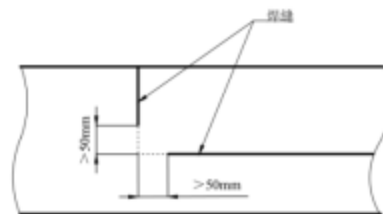


图9 交叉焊缝处定位焊要求

6.3.4 定位焊表面应均匀、无遗漏、无裂纹及无大于0.8 mm的咬边，表面应无肉眼可见的气孔。

6.3.5 定位焊与母材熔合，不应有大于2.0 mm的夹杂。

6.4 预制组件

6.4.1 对组合构件宜拆分成预制组件等独立小部件，预制组件在车间内焊接、矫正后装配。

6.4.2 工字梁组件应符合下列规定。

- a) 工字梁组装时应在平整平台或水平胎架上进行，且应按6.3要求定位焊。
- b) 在专用的“船形”胎架上可采用埋弧焊工艺施焊，“船形”胎架45°放置，见图10。

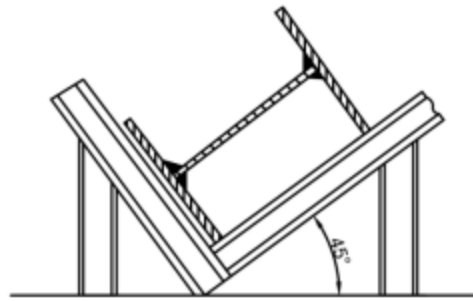


图10 工字梁焊接位置

- c) 焊后产生的角变形应采用型钢矫正机矫正，见图11。纵向弯曲的扭曲变形，可采用火焰矫正。或翼缘板预先反变形后，装配焊接。

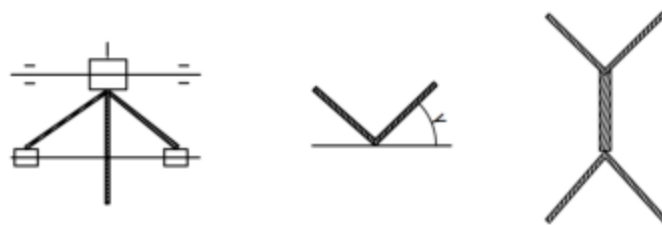


图11 工字梁焊后角变形矫正或反变形装配焊接示意图

6.4.3 箱形梁组装应按下列规定执行。

- 装底板：底板在胎架上定位，底板上应标明基准线、检测线、装配线，见图12a)。
- 装横隔板，有纵向筋的应预装焊好：以横隔板中心线定位，不准许以一侧装配线定位，装配线仅作参考，见图12b)。
- 装腹板：腹板应以腹板装配线定位并垂直于底板，不准许迎合横隔板尺寸偏差紧贴横隔板导致腹板平直度装配偏差。允许腹板与横隔板焊缝根部留有符合表20的装配间隙。可在横隔中用“马”定位，见图12c)。
- 箱体内部焊接：开口处留 $H/4$ 不焊，焊接顺序见图12d)中①~③。
- 装面板：面板定位与腹板相同，面板不宜强制压致横隔板贴近，可留有允许的间隙。若间隙超过标准，应按表20中加注部分修补。合理的焊接顺序见图12e)中④~⑧。
- 矫正：对焊接造成的角变形和整体弯扭变形宜采用火焰矫正，火焰矫正的加热区域不宜超过隔板厚度的3倍，见图12f)。

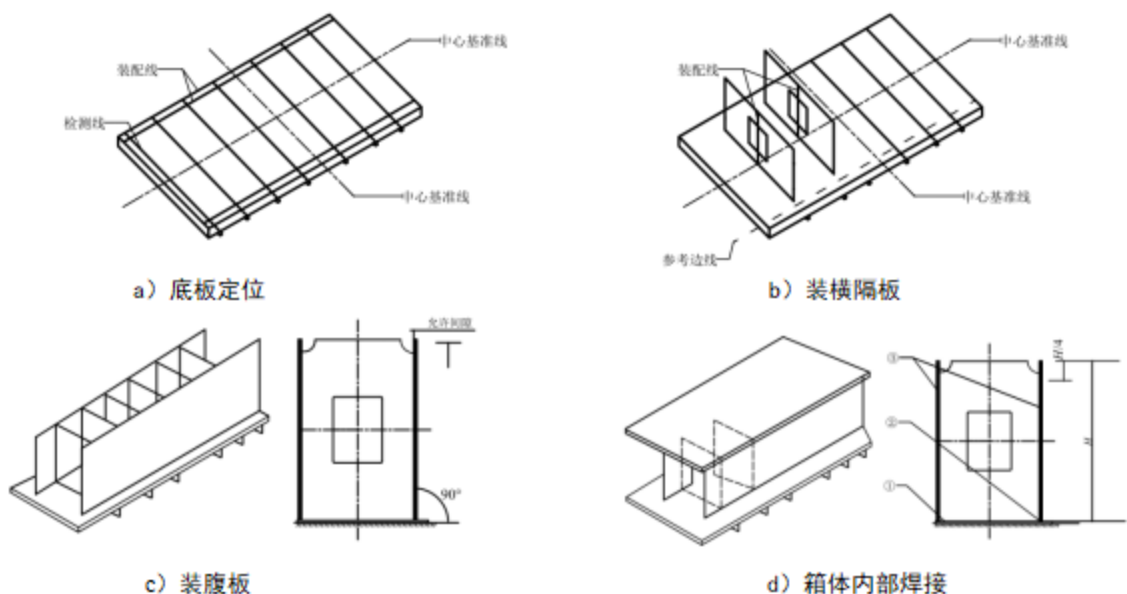




图12 箱形梁组装示意图

6.4.4 横隔板框架结构应符合下列规定。

- a) 除图纸有规定外，横隔板允许拼接。拼接形式见图13，焊缝位置不应在圆弧 R 切点内。

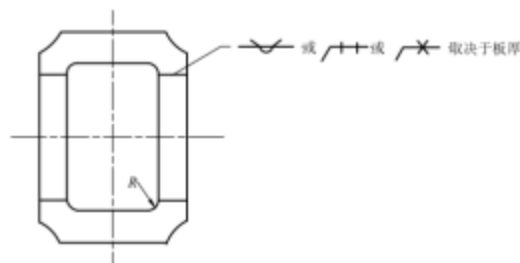


图13 横隔板拼接示意图

- b) 横隔板对接焊缝应熔透，除图纸有规定外，可不探伤。
 c) 横隔板从拼装到焊接过程应使用工装夹具保证形位精度。几何尺寸偏差不应大于2 mm。
 d) 若横隔板的尺寸偏差大于2 mm且不超过5 mm，可采用修边和焊补等修整。
 e) 所有圆弧切割边应打磨光洁。
 f) 焊缝过焊孔的半径 $R20\text{ mm}\sim R25\text{ mm}$ 。

6.5 组装用工艺马板

FCM板不准许焊马板定位，可采用C型夹具等其他手段。

6.6 装配基准和检测线、余量线

- 6.6.1 组装使用基准宜为构件的中心线。采用底板或腹板为基准时，不应与中心线为基准相矛盾。
 6.6.2 组装的基准线在组装后不便测量时，应另标出永久检测线。
 6.6.3 装配基准应与机加工划线基准相统一。
 6.6.4 余量线应保留在构件上，余量线只在与大组装尺寸线重合时才可作为切割线。
 6.6.5 余量在大组装前应保留。

6.7 构件

6.7.1 箱形梁、工字梁、筒体及其他基本构件，在图纸、订货技术要求和工艺文件没有注明制造公差时，焊接成形后的结构件及有关配合件时，线性尺寸允差应符合表24的规定。

表24 基本构件焊后线性尺寸允差

单位为毫米

| 公称尺寸 | 外形 | 相关 |
|------------|----|------|
| >30~120 | ±2 | ±1 |
| >120~315 | ±2 | ±1 |
| >315~1000 | ±3 | ±1.5 |
| >1000~2000 | ±4 | ±3 |

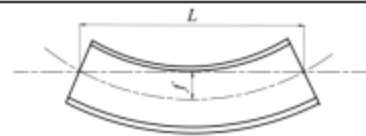
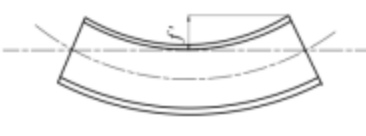
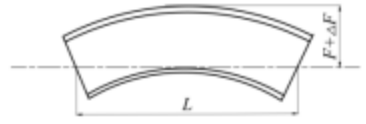
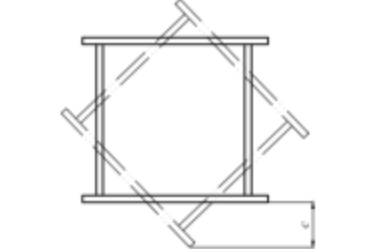
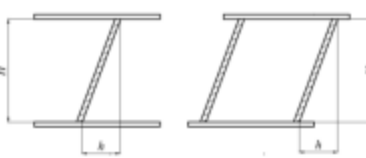
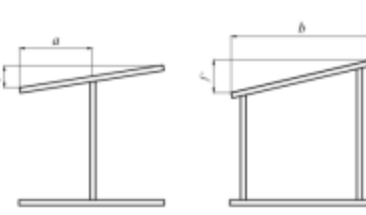
| 公称尺寸 | 外形 | 相关 |
|--------------|-----|-----|
| >2000~4000 | ±6 | ±4 |
| >4000~8000 | ±8 | ±5 |
| >8000~12000 | ±10 | ±7 |
| >12000~16000 | ±12 | ±8 |
| >16000~20000 | ±14 | ±9 |
| >20000 | ±16 | ±10 |

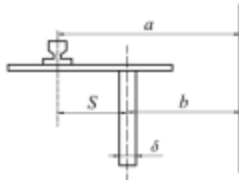

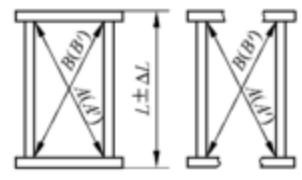
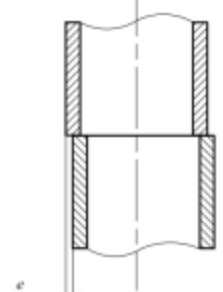
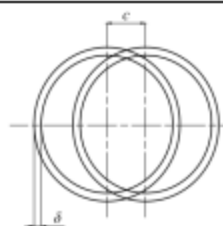
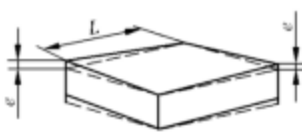
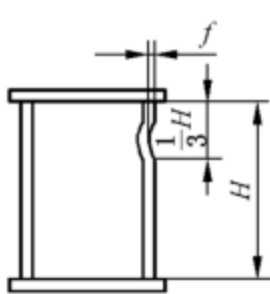
6.7.2 构件的基准线应作钢印标记永久保留。在易变形处应采取固定基准线措施。

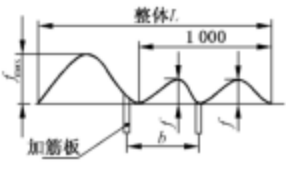

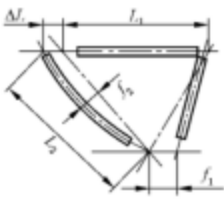
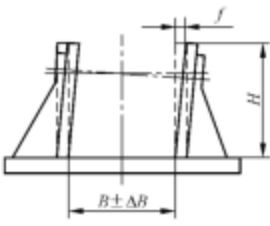
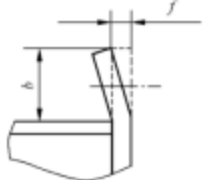
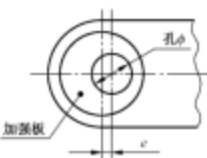
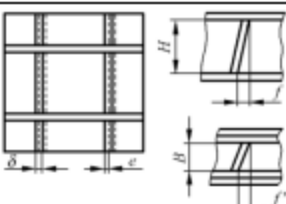
6.7.3 若图纸、订货技术要求和工艺文件无规定，焊接成型后的结构件形状和位置允差应符合表25的规定。

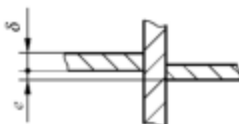
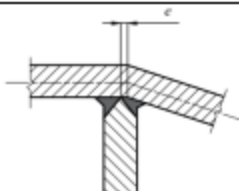
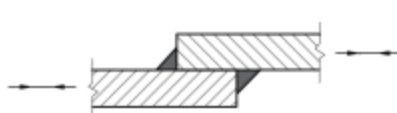
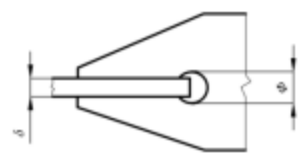
表25 构件形状和位置允差

单位为毫米

| 序号 | 类型 | 检验项目 | 适用范围 | 允许公差 | |
|------------------------|---|--------------------|------|--|---------------------------|
| 1 |  | 构件直线度 | 垂直方向 | A | $f \leq \frac{1}{1500}L$ |
| | | | | CDE | $f \leq \frac{1}{1000}L$ |
| |  | | 水平方向 | A | $f' \leq \frac{1}{1500}L$ |
| | | | | BCD | $f' \leq \frac{1}{2000}L$ |
| 2 |  | 梁上拱偏差 ΔF | ABCD | $\Delta F = \begin{matrix} +0.03F \\ -0.05F \end{matrix}$ F 为图纸规定拱度 | |
| 3 |  | 箱型梁、工字梁扭曲度 c | ABCD | 构件长度 L | c |
| | | | | ≤ 5000 | ≤ 4 |
| | | | | $5000 < L \leq 10000$ | ≤ 6 |
| | | | | $10000 < L \leq 20000$ | ≤ 8 |
| | | | | $20000 < L \leq 30000$ | ≤ 10 |
| $30000 < L \leq 50000$ | ≤ 15 | | | | |
| 4 |  | 箱型梁、工字梁腹板垂直度偏差 h | A | $h \leq \frac{1}{300}H$ | 此值在筋板或节点处测量 |
| | | | BCD | $h \leq \frac{1}{200}H$ | |
| 5 |  | 工字梁翼缘板翘曲度 f | ABCD | $h \leq \frac{1}{100}a$ $f \leq 6$ 取小者 | f 值在筋板处测量 |
| | | 箱型梁上翼缘水平翘曲度 f' | A | $f' \leq \frac{1}{300}b$ | f' 值在筋板处测量 |
| | | | BCD | $f' \leq \frac{1}{200}b$ | |

| 序号 | 类型 | 检验项目 | 适用范围 | 允许公差 | |
|----|---|---------------------------------|------|---|---------------------------|
| 6 |  | 轨道中心线与腹板中心线位置偏差 ($S = a - b$) | BCD | $S \leq 0.5\delta$ δ 为腹板厚度 | |
| 7 |  | 相配梁高度差 ΔH | A | $\Delta H \leq \frac{1}{1000}B$ $\Delta H \leq 10$ 取小者 | ΔH 在筋板处 测量 |
| | | | BCD | $\Delta H \leq \frac{1.5}{1000}B$ $\Delta H \leq 10$ 取小者 | |
| 8 |  | 构件尺寸偏差 ΔL | ABCD | $L \leq 7000$ 时, $\Delta L \leq 3$ $L > 7000$ 时, $\Delta L \leq 5$ | |
| | | 对角线偏差 | ABCD | $L \leq 7000$ 时, $ A - B \leq 4$ $L > 7000$ 时, $ A - B \leq 7$ 关联: $ A - A' \leq 1$, $ B - B' \leq 1$ | |
| 9 |  | 筒体对接厚度错位 e | A | $e \leq 0.2\delta$, $e \leq 2.5$ 取小者 δ 为圆筒壁厚 | |
| |  | 筒体对接中心偏差 c | A | $c \leq 0.2\delta$ δ 为圆筒壁厚 | |
| | | | B | $c \leq 0.125\delta$ δ 为圆筒壁厚 | |
| 10 |  | 翘曲变形量 e | ABCD | L | e |
| | | | | ≤ 2000 | $\leq \frac{L}{1000} + 2$ |
| | | | | $2000 < L \leq 5000$ | $\leq \frac{L}{1000} + 4$ |
| | | | | $5000 < L \leq 15000$ | $\leq \frac{L}{1000} + 7$ |
| 11 |  | 箱型梁、工字梁腹板平面度 f | A | 用1 m直尺检查: a) 在受压 $1/3H$ 区域内, 且相邻筋板间凹凸不超过一处, $f \leq 0.6\delta$; b) 在其余区域内, $f \leq 1.2\delta$ | |
| | | | BCD | 用1 m直尺检查: a) 在受压 $1/3H$ 区域内, 且相邻筋板间凹凸不超过一处, $f \leq 0.7\delta$; b) 在其余区域内, $f \leq \frac{\delta}{2} + \frac{H}{500}$, 且 $f \leq 15$ | |

| 序号 | 类型 | 检验项目 | 适用范围 | 允许公差 | | |
|----|---|--|------|-------------------------------------|---------------------------|--|
| 12 |  | 箱型梁、工字梁翼缘板平面度1m内的 f ，整体 f_{max} ，加劲肋之间 f | ABCD | 用1m直尺检查： $f \leq 3$ | | |
| | | | | 整体 $f_{max} \leq \frac{1.5}{1000}L$ | | |
| | | | | b | f' | |
| | | | | ≤ 500 | ≤ 2 | |
| | $500 < b \leq 2000$ | $\leq \frac{1}{250}b$ | | | | |
| | > 2000 | ≤ 8 | | | | |
| 13 |  | 司机室围壁平面度 | ABCD | 用1m直尺检查 | $f \leq 5$ | |
| | | 机器房围壁平面度 | | | $f \leq 5$ | |
| | | 棚顶平面度 | | | $f \leq 8$ | |
| | | 平台平面度 | | | $f \leq 8$ | |
| 14 |  | 桁架腹杆轴线对理论轴线的偏差 f_1 | AB | $f_1 \leq 5$ | | |
| | | 腹杆的直线度 f_2 | | $f_2 \leq \frac{1.5}{1000}L_2$ | | |
| | | 桁架节距偏差 ΔL | | $\Delta L \leq \frac{3}{1000}L_1$ | | |
| 15 |  | 支座耳板垂直度偏差 f | A | $f \leq \frac{1}{200}H$ | | |
| | | | BCD | $f \leq \frac{1}{100}H$ | | |
| | | 支座开档偏差 ΔB | A | $\Delta B \leq \frac{1}{200}B$ | | |
| | | | BCD | $\Delta B \leq \frac{1}{100}B$ | | |
| 16 |  | 法兰面角变形 f | ABCD | b | f | |
| | | | | < 100 | $< \frac{1}{50}b$ | |
| | | | | ≥ 100 | $\leq 1 + \frac{1}{100}b$ | |
| 17 |  | 加强板偏心度 c | ABCD | $\phi \geq 100$ | 内侧 $e \leq 10$ | |
| | | | | | 外侧 $e \leq 5$ | |
| | | | | $\phi < 100$ | 内侧 $e \leq 5$ | |
| | | | | | 外侧 $e \leq 3$ | |
| 18 |  | 筋板或隔板相对位置偏差 | ABCD | $e \leq \frac{1}{2}\delta$ | | |
| | | 筋板或隔板对箱型梁或工字梁腹板或翼缘板的垂直度 | ABCD | 箱型梁 | $f \leq \frac{3}{1000}B$ | |
| | | | | 工字梁 | $f \leq \frac{3}{1000}H$ | |

| 序号 | 类型 | 检验项目 | 适用范围 | 允许公差 |
|---|---|--------------|------|-----------------------------|
| 19 |  | 贯通筋板错位量 | ABCD | $e \leq 0.3\delta$, 最大3 mm |
| 20 |  | T形连接处三板交点错位量 | ABCD | $e \leq 3$ |
| 21 |  | 轴向应力搭焊 | ABCD | 在带有轴向应力的构件上不准许有螺栓或焊接形式的偏心搭接 |
| 22 |  | 插板端部应力释放孔孔径 | ABCD | $\phi \geq 2\delta$ |
| 注：A—港口门座起重机； B—岸边集装箱起重机； C—轮胎式集装箱门式起重机； D—轨道式集装箱门式起重机。 | | | | |

6.7.4 除表25规定的基本构件外，其他焊接成型后的结构件形位公差应符合表26的规定。

表26 其他构件形位公差

单位为毫米

| 公称尺寸 | 形位公差 |
|--------------|------|
| >30~120 | 1 |
| >120~315 | 1.5 |
| >315~1000 | 3 |
| >1000~2000 | 4.5 |
| >2000~4000 | 6 |
| >4000~8000 | 8 |
| >8000~12000 | 10 |
| >12000~16000 | 12 |
| >16000~20000 | 14 |
| >20000 | 16 |

6.7.5 结构件装配完成后，焊接成形前，应按图纸对构件几何尺寸、零件位置等进行检验。

7 焊接及机加工

7.1 一般规定

7.1.1 焊工应经专门培训合格后，方可进行焊接工作。对焊接重要结构的焊工，应根据产品技术要求验证合格后才能施焊。焊接操作人员应根据项目要求通过相应技能评定，取得资质证书。

7.1.2 焊接机器人操作人员应符合下列规定：

- a) 操作人员应经培训并取得上岗证后方可操作；
- b) 由机器人实施的焊接，宜制定专门的焊接工艺规程（WPS）；
- c) 应对焊接件、焊材、焊接气体逐一检查，并形成记录。

7.1.3 焊接过程中的清理应包括下列内容：

- a) 施焊前：焊接前，应清理坡口或待焊区域的铁锈、切割氧化皮、油污、水分或其他污染物；
- b) 焊接过程：前面焊道覆盖前，应清除焊渣，及时处理影响焊接的缺陷，并同时焊缝使用擦刷等清理方法；
- c) 完工焊缝清理：应清除完工焊缝的焊渣；宜清除结构件外表面的飞溅；应清除结构件内部的飞溅；应清除UT检测的焊缝周围的飞溅。

7.1.4 对于GMAW和FCAW方法的外场焊接，应采取防风措施。鼓风机不应对准施焊中的电弧区域。下列情况下不应焊接：

- a) 下雨、下雪、大雾、大风或环境温度低于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 焊接人员暴露于险恶条件下，若无特殊措施不应进行焊接。

7.1.5 对于下列情况的碳素钢构件，应根据有关技术要求和工艺文件规定焊前预热和后热保温：

- a) 焊接成型后板厚不小于 50 mm 的厚板结构的返修焊补；
- b) 四周线位移和角位移约束、无法自由变形的结构的施焊；
- c) 某些特殊结构在气温低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温环境下施焊。

7.1.6 所有焊接应根据WPS规定的预热要求预热。不同厚度、不同强度的母材组合时，应以对预热要求高的厚度和强度的预热温度作为最低预热温度。预热温度范围应为焊接点所有方向上 75 mm ，若板材厚度大于 75 mm ，预热范围应根据板厚相应增加。

7.1.7 后热的作用和预热应相同；WPS规定后热，应在焊缝完成或焊接停止，且焊缝温度不低于最低预热温度时后热。

7.1.8 力学性能试验的重要结构，应焊接试验板，试验板材质、厚度、坡口型式和尺寸应与工件完全相同。

7.1.9 对接焊缝去除焊根或采用的衬垫时，宜采用碳弧气刨、机加工、机械打磨等方法，不应伤及母材。

7.1.10 锤击可用于焊接或修补焊接。不对焊缝根部、表面焊层或焊缝边的母材锤击。

7.1.11 焊缝宜在平焊位置焊接。不同焊接位置，应由经技能考试，具有规定资格的焊工施焊。

7.1.12 焊接操作应根据WPS执行；操作现场应有适用的WPS。

7.1.13 修补焊接应根据WPS确定；修补裂纹不宜在焊缝处于受载情况下进行；应先探明裂纹范围，落实在端部止裂的措施，修补时应超出裂纹两端各 50 mm 。裂纹的修补焊接应按工艺确定。

7.1.14 焊接不应进行倒拖焊。

7.2 焊接方法

7.2.1 药皮焊条手工焊（SMAW）

7.2.1.1 焊条储存方法应符合下列规定：

- a) 焊条应分类、分牌号、分批号存放；
- b) 焊条应存放在通风良好、干燥的仓库内；
- c) 焊条应垫高 0.3 m 以上分桩堆放；
- d) 焊条堆放离墙距离应大于 0.3 m ；
- e) 重要焊接工程使用的低氢型焊条等焊条，宜储存在合适的温度和湿度仓库内，温度宜高于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度应低于 60% 。

7.2.1.2 焊条使用前的烘干方法应符合下列规定。

- a) 碱性低氢型焊条在使用前应烘干。碱性低氢型焊条烘焙温度宜为300℃~350℃，烘焙时长为1h~2h。不应将焊条突然放入高温炉中或突然冷却。应缓慢加热、保温，经烘干的碱性低氢焊条放置于120℃~150℃的低温烘箱中保温存放，随用随取。
- b) 酸性焊条宜在70℃~150℃烘干1h。存储时间短且包装良好的，使用前可不再烘干。
- c) 烘干焊条时，焊条堆放层数宜为1层~3层。
- d) 焊接重要结构时，焊工应携带小型焊条保存筒。
- e) 碱性焊条领用量不应超过4h的用量。未用完的焊条应及时送回焊材库放入保温箱中。放置时间超过8h的焊条应再放入高温箱中重新烘焙，回送烘焙不宜超过3次。若使用保温桶储存，焊条可使用8h。

7.2.1.3 低氢焊条允许暴露于大气的时间应符合表27的规定。

表27 低氢焊条允许暴露于大气的时间

单位为小时

| 标准 | 焊条型号 | 允许暴露时间 |
|-----------|---------|--------|
| GB/T 5117 | E50XX | ≤4 |
| | E50XXR | ≤9 |
| | E5018M | ≤9 |
| GB/T 5118 | E50XX-X | ≤4 |
| | E55XX-X | ≤2 |
| | E60XX-X | ≤1 |
| | E70XX-X | ≤1/2 |
| | E80XX-X | ≤1/2 |

焊条暴露于大气时间超过本表规定值时，应在使用前再干燥。
 焊条应配给并保存于小筒中或其他小敞口容器中。不强制使用加热器。
 注：选用的补充标号R表明该低氢焊条经过焊条药皮暴露于潮湿环境9h的含水量试验，符合GB/T 5117的规定。

7.2.1.4 当用于屈服强度不小于420 MPa钢的焊接时，除E5018M和E50XX4R以外，任何级别低于E70XX-X的焊条，不论是否包装于密封容器中，均应根据焊材厂家推荐的温度和时间烘干。

7.2.2 埋弧焊 (SAW)

7.2.2.1 焊丝应包装完好，使用前不应拆封。焊丝表面不应有锈迹、油污。焊剂应干燥且未受污染。焊丝应根据焊材厂家推荐的温度和时间烘干。随用随取。

7.2.2.2 对接焊的单面埋弧焊可采用下列任一方法：

- a) 在垫板上；
- b) 在焊剂层上；
- c) SMAW、GMAW或FCAW封底。

7.2.2.3 埋弧焊的接缝起始端和终止端应设置引（熄）弧板，并应符合6.2.5的规定。

7.2.2.4 对低合金结构钢，焊后不应急于敲渣、回收焊剂。

7.2.3 气体保护电弧焊 (GMAW)

7.2.3.1 焊前工件表面坡口20 mm区域内应清除水、锈、油等杂物。气体保护焊的焊接速度不宜超过2 m/s，否则应采取保障焊接电弧区域不受影响的措施。

7.2.3.2 保护气体应采用干燥处理。

7.2.4 药芯焊CO₂气体保护电弧焊 (FCAW)

7.2.4.1 CO₂气瓶应安装干燥器和预热器。瓶内压力不足1 MPa时应停止使用，并换瓶。

7.2.4.2 焊丝应包装完好，使用前不应拆封或受损坏。随用随拆封。

7.2.4.3 焊前工件焊接区应无水、锈、油等杂物。应在避风处或加防风罩施焊。

7.3 焊接设备

- 7.3.1 焊接设备应与焊接类型相适配。
 7.3.2 焊机上的电流表和电压表应定期校准。
 7.3.3 焊机的接线应可靠、牢固，应定期检查维护并记录。

7.4 焊缝的钢衬垫

- 7.4.1 合同无规定，任意级别的Q235或Q355板材均可用作衬垫。
 7.4.2 衬垫在焊缝长度内应为整体，不应有接头。
 7.4.3 衬垫厚度应符合表28的规定。

表28 衬垫厚度

单位为毫米

| 焊接方法 | 最小厚度 |
|--------|------|
| GTAW | 3 |
| SMAW | 5 |
| GMAW | 6 |
| FCAW-S | 6 |
| FCAW-G | 6 |
| SAW | 10 |

7.5 结构焊接工艺

7.5.1 焊接方式

焊接方式选择应符合表29的规定。

表29 焊接方式选择

| 焊接方式 | 手工电弧焊 | 埋弧焊 | CO ₂ 保护焊（实心） | CO ₂ 保护焊（药芯） | 备注 |
|--------|-------|-----|-------------------------|-------------------------|------|
| 纵横加强筋 | △ | × | √ | √ | — |
| 箱梁角焊缝 | △ | √ | √ | √ | — |
| 板对接 | ○ | √ | ○ | ○ | — |
| 型钢对接 | √ | △ | ○ | ○ | — |
| 机房围板对接 | △ | × | √ | × | — |
| 现场大接缝 | √ | √ | × | √ | — |
| 小型结构件 | √ | △ | √ | √ | 除对接焊 |
| 工字梁 | ○ | √ | △单焊道小于8 mm | √单焊道小于8 mm | 船形焊 |

超出上述范围的方式应经同意。方式选择应符合最小板厚要求。
 注：“√”表示使用，“×”表示不使用，“○”表示打底用，“△”表示少用。

7.5.2 焊接规范

焊接规范应按WPS执行，应符合下列规定：

- 母材材质、坡口及接头规格应符合WPS的规定；
- 焊缝区域的预热应按WPS规定执行。

7.5.3 角焊缝细节

7.5.3.1 除GMAW-S外，由免除评定的SMAW、SAW、GMAW或FCAW方法焊成的角焊缝，除加强坡口焊缝用的角焊缝外，最小角焊缝尺寸应符合表30的规定。除非设计图规定较大尺寸的焊缝，否则在所有情况下应使用最小角焊缝尺寸。

表30 经鉴定合格接头的最小角焊缝尺寸

单位为毫米

| 母材厚度 (δ) ^a | 角焊缝最小尺寸 ^b |
|--------------------------------|----------------------|
| $\delta \leq 6$ | 3 ^c |
| $6 < \delta \leq 12$ | 5 |
| $12 < \delta \leq 20$ | 6 |
| $\delta > 20$ | 8 |

^a 对非低氢焊接法，若不按计算值预热， δ 等于接头较厚件的厚度，且应采用单道焊缝；对低氢方法以及防止裂纹产生的非低氢焊接方法， δ 等于接头较薄件厚度，无单道焊缝要求。
^b 焊缝尺寸可不超过接头较薄件厚度者除外。
^c 周期荷载结构的最小尺寸为5 mm。

7.5.3.2 被焊接材料边缘作搭角焊的最大焊缝尺寸见图14，并应符合下列规定。

- 材料厚度小于6 mm者，应为母材厚度。
- 材料厚度不小于6 mm者，应较母材厚度小2 mm，但图纸上标明焊缝应填满全部焊缝尺寸者除外。若焊接后焊缝尺寸可精确测量，母材边缘与焊趾的距离可小于2 mm。

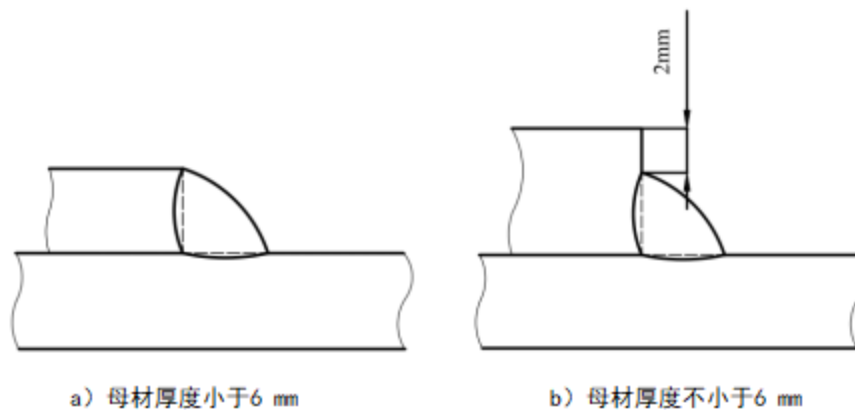


图14 搭接接头中沿棱边的最大焊角尺寸

c) 应预留10 mm自由边，见图15。

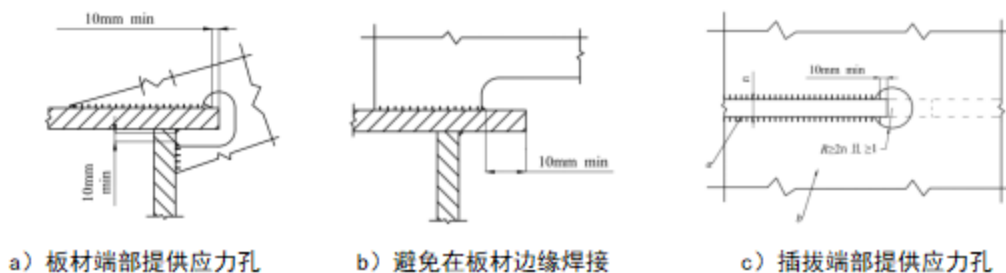


图15 预留最小10 mm自由边

d) 筋板端部不应包角。

7.5.3.3 间断角焊缝的长度不应小于38 mm，间隔应为300 mm~600 mm。

7.5.4 纵向加劲肋对接

一般构件的加劲肋的对接焊见图16。重要构件的加劲肋应采用开坡口对接焊透的形式。

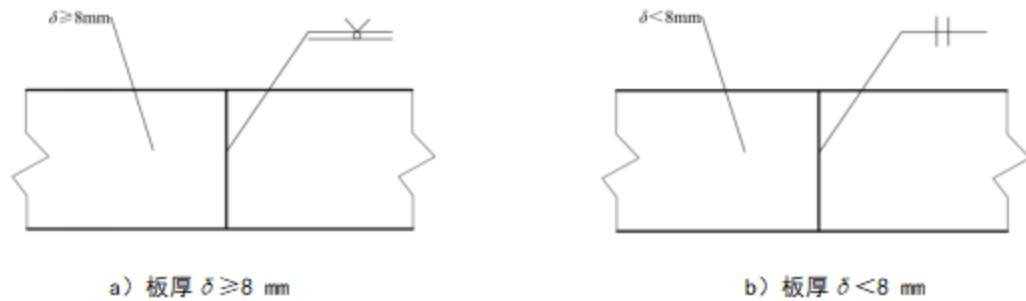


图16 加劲肋的对接焊

7.5.5 网眼板焊接

7.5.5.1 网眼板对接接头若不在角钢、槽钢等支撑筋板上,应采用对接节点单面焊接、反面衬垫 $25\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 的扁钢单面填角焊的形式,见图17。

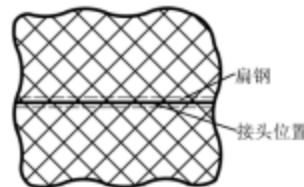


图17 网眼板对接接头

7.5.5.2 对网眼板直接头、平行接头及斜接头,应采用 $25\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 扁钢沿网眼板的结合面全部单面包角焊填角焊。接头处有走道框架安装时,可利用框架全部单面填角焊,见图1。

7.5.5.3 网眼板与框架焊接时,沿框架纵向每焊1个节点空2个节点,应采用单面填角焊,在框架端部每个节点全部单面填角焊,见图18。

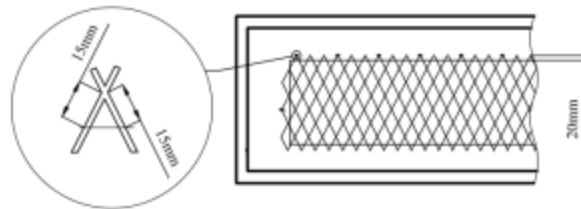


图18 有框架的网眼板焊接

7.5.5.4 单边厚度差小于 4 mm 的板对接形式应符合表31的规定。单边厚度差不小于 4 mm 应在较厚板上作出单面或双面削薄形式,削薄长度图纸无标出时,应按GB/T 3811—2008的规定取 $1:4$ 的斜势,见表23。

表31 单边厚度差小于 4 mm 的板对接形式

单位为毫米

| 较薄板的厚度 δ | 允许厚度差 ($\delta_1 - \delta$) |
|-----------------|-------------------------------|
| 2~5 | 2 |
| 6~8 | 3 |
| 9~11 | 4 |

7.5.6 焊接变形控制

构件或组合构件的装配和部件间连接时,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。根据构件上焊缝布置,可按下列规定采用合理的焊接顺序控制变形:

- 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,先焊接对接接头,并对称焊接,再焊接T型接头;
- 非对称双面坡口焊缝,宜先焊深坡口侧,然后焊浅坡口侧,最后完成深坡口侧焊缝;
- 对长焊缝宜采用分段退焊法或与多人对称焊接法同时运用;
- 宜采用跳焊法,避免工件局部热量集中。

7.6 焊缝质量检验

7.6.1 焊缝质量分级及检验标准应符合表32的规定。

表32 焊缝质量分级及检验标准

| 焊缝级别 | 检验方法 | | 检验标准 |
|-----------------|------|-----------------|------------------------------|
| I ^a | 外部 | VT | 达到表33的I级 |
| | | MT ^c | 达到GB/T 26952的要求 |
| | | PT ^c | 达到表33的I级 |
| | 内部 | UT | 达到JB/T 10559的要求 |
| | | RT | 达到GB/T 3323.1、GB/T 3323.2的要求 |
| II ^b | 外部 | VT | 达到表33的II级 |
| | 内部 | UT | 达到JB/T 10559的要求 |
| | | RT | 达到GB/T 3323.1、GB/T 3323.2的要求 |
| III | 外部 | VT | 达到表33的II级 |

注: VT——目检, MT——磁粉检查, PT——渗透检查, UT——超声波检查, RT——射线检查。

^a I级焊缝的无损探伤仅适用于特别重要构件的受拉对接焊缝,如桥式起重机主梁的下翼缘拼缝,门座起重机臂架系统上、下翼缘、腹板拼缝和其他荷载明确的受拉拼缝或周期荷载非管材连接的对接焊缝。被探钢材厚度不小于12mm时,应采用超声波探伤;厚度小于8mm时应采用射线探伤;对于8mm或10mm的手工电弧焊焊缝,除超声波探伤外,还可采用RT抽查5%焊缝累积长度、并拍片不少于1张。

^b II级焊缝的无损探伤适用于受压对接焊缝,如桥式起重机主梁的上翼缘拼缝和其他荷载明确的受压拼缝等或静荷载非管材连接焊缝。

^c 当采用目检发现被检焊缝有明显缺陷,并进一步了解缺陷情况时,可采用磁粉检查或渗透检查的方法作为辅助手段评定焊缝外观质量等级。

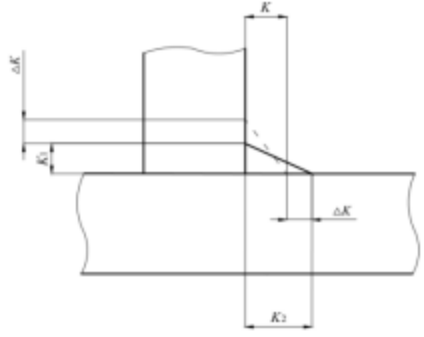
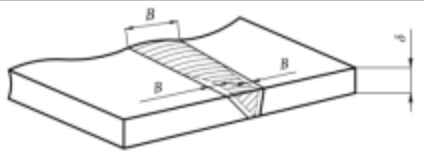
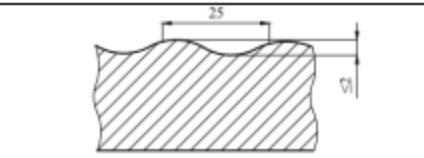
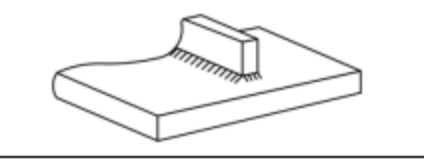
7.6.2 焊缝外部质量目检(VT)可用肉眼或放大镜及焊缝尺寸量具全数检验,检验前应将焊缝表面焊接熔渣清理干净。焊缝外部质量目检(VT)内容及标准应符合表33的规定。

表33 焊缝外部质量目检(VT)内容及标准

单位为毫米

| 序号 | 缺陷名称 | 简图 | 级别 | 评级标准 | |
|----|------|----|------|-----------------------|--|
| 1 | 裂纹 | — | I、II | 任何焊缝不允许有裂纹 | |
| 2 | 未熔合 | — | I、II | 相邻焊层之间以及焊缝与母材之间不允许未熔合 | |
| 3 | 飞溅 | — | I | 外表面 | 全部清除,无飞溅点 |
| | | | II | | 基本清除,在难以清除之处,允许100mm焊缝长度内有直径不超过1mm的飞溅点2粒 |
| | | | 不合格 | | 超过II级规定 |
| | | | I | 箱体内表面 | 基本清除,在难以清除之处,允许100mm焊缝长度内有直径不超过1mm的飞溅点5粒 |
| | | | II | | 基本清除,在难以清除之处允许100mm焊缝长度内有直径不超过1mm的飞溅点10粒 |
| | | | 不合格 | | 超过II级规定 |

| 序号 | 缺陷名称 | 简图 | 级别 | 评级标准 | | |
|-----|------------------------------------|----|------|---|---|-----------------------------|
| 4 | 咬边 | | I | $\Delta h' \leq 0.25$ | | |
| | | | II | $\delta \leq 25, h' \leq 0.5$ $\delta > 25, h' \leq 1.0$ 且咬边累积长度不超过焊缝长度的15% | | |
| | | | 不合格 | Δh 超过II级规定 | | |
| 5 | 弧坑、焊瘤、烧穿、表面气孔、焊缝间断 | — | I、II | 不允许 | | |
| | | | 不合格 | 存在此类缺陷 | | |
| 6 | 对接焊缝的余高 | | I | 增高量 | $\delta \leq 12, \Delta h \leq 2.5$ $\delta > 12, \Delta h \leq 3.0$ | Δh 仅局部有(不超过10%焊缝总长) |
| | | | | 减薄量 | 重要结构 $\Delta h = 0$ 一般结构 $\Delta h \leq 0.5$ | |
| | | | II | 增高量 | $\delta \leq 12, \Delta h \leq 3.0$ $\delta > 12, \Delta h \leq 5.0$ | Δh 超过I级规定 |
| | | | | 减薄量 | 重要结构 $\Delta h = 0.3$ 一般结构 $\Delta h \leq 1.0$ | |
| 不合格 | $\Delta h > 3.0, \Delta h$ 超过II级规定 | | | | | |
| 7 | 角接焊缝的凹度与凸度 | | I | 凸度(Δh) | $K < 6, \Delta h \leq 1.5$ $K \geq 6, \Delta h \leq 2.0$ | Δh 仅局部有(不超过10%焊缝总长) |
| | | | | 凹度(Δh') | 重要结构 $\Delta h' \leq 0.3$ 一般结构 $\Delta h' \leq 0.8$ | |
| | | | II | 凸度(Δh) | $K < 6, \Delta h \leq 1.8$ $K \geq 6, \Delta h \leq 2.2$ | Δh 超过I级规定 |
| | | | | 凹度(Δh') | 重要结构 $\Delta h' \leq 0.5$ 一般结构 $\Delta h' \leq 1.0$ | |
| 不合格 | $\Delta h, \Delta h'$ 超过II级规定 | | | | | |

| 序号 | 缺陷名称 | 简图 | 级别 | 评级标准 | | | | |
|-----|--------------------|---|------|---|---------|-----------------|-------------|-------------------------------------|
| | | | | K | $K < 6$ | $6 \leq K < 14$ | $K \geq 14$ | ΔK 仅局部有 (不超过10% 焊缝总长) |
| 8 | 焊缝尺寸的允差 |  | I | K | $K < 6$ | $6 \leq K < 14$ | $K \geq 14$ | |
| | | | | ΔK | +1.0 | +1.5 | +2.0 | |
| | | | II | K | $K < 6$ | $6 \leq K < 14$ | $K \geq 14$ | |
| | | | | ΔK | +1.5 | +2.0 | +2.5 | |
| 不合格 | ΔK 超过II级规定 | | | | | | | |
| 9 | 焊缝宽度不均匀 |  | I | $\delta \leq 12, \Delta B \leq 1, B$ 不允许有突变 $\delta > 12, \Delta B \leq 1.5, B$ 不允许有突变 | | | | |
| | | | II | $\delta \leq 12, \Delta B \leq 1.5, B$ 不允许有突变 $\delta > 12, \Delta B \leq 2, B$ 不允许有突变 | | | | |
| | | | 不合格 | ΔB 超过II级规定 | | | | |
| 10 | 表面焊高不均匀 |  | I、II | 在每25 mm焊缝长度内焊高不等量不超过2 mm | | | | |
| | | | 不合格 | 超过II级规定 | | | | |
| 11 | 间断焊缝长度允差 | — | I | ±5 | | | | |
| | | | II | ±10 | | | | |
| | | | 不合格 | 超过II级规定 | | | | |
| 12 | 表面成形包角 |  | I | 焊缝应具有均匀的鳞状波纹并在全长上保持一致, 端部包角应饱满 | | | | |
| | | | II | | | | | |
| | | | 不合格 | 超过II级规定 | | | | |
| 13 | 焊渣 | — | I、II | 均应全部清理干净 | | | | |

7.6.3 表33中焊缝尺寸 K 为最小角焊缝尺寸时, I级的下公差应为+0.5 mm, II级下公差应为0 mm, 最小角焊缝尺寸 K 应符合表34的规定。

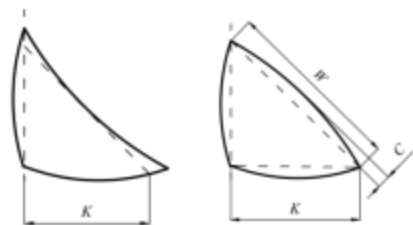
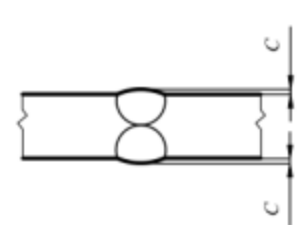
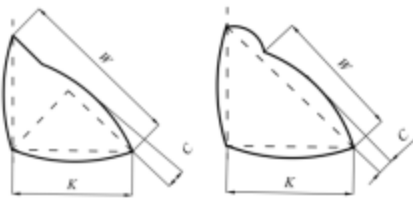
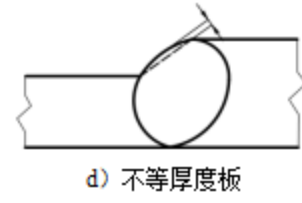
表34 最小角焊缝尺寸

单位为毫米

| 母材厚度 δ | $\delta \leq 6$ | $6 < \delta \leq 12$ | $12 < \delta \leq 20$ | $\delta > 20$ |
|--|-----------------|----------------------|-----------------------|---------------|
| 最小角焊缝尺寸 K | 3 (5) | 5 | 6 | 8 |
| 注1: 非一般结构件取括号内数值。 注2: 在大梁两端的2倍翼板宽度的长度内, 腹板与翼板的焊缝不允许欠焊 ($\Delta K=0$)。 | | | | |

7.6.4 焊缝截面形状应符合表35的规定。

表35 焊缝截面形状

| | 角焊缝 | 对接焊缝 |
|---|---|---|
| 理想角焊缝剖面形状 |  <p>a) 微凹状 b) 微凸状</p> |  <p>c) 等厚度板 d) 不等厚度板</p> |
| 合格角焊缝剖面形状 |  |  |
| 注: K 为要求的焊脚尺寸, C 表示凸度, W 表示焊缝或焊道宽度。 | | |

7.6.5 焊缝宽度尺寸为 W 的表面焊道凸度 C 应符合表36的规定。

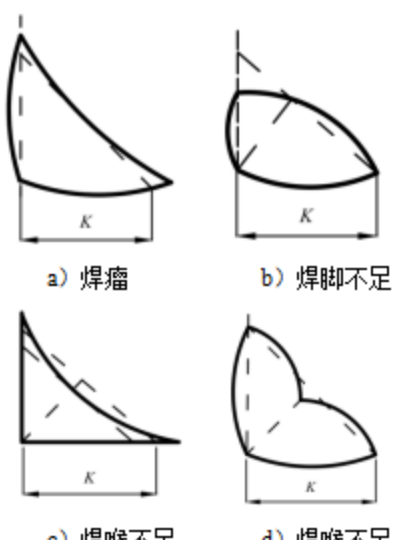
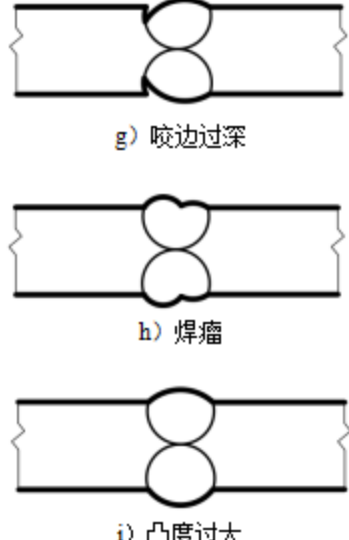
表36 焊缝宽度尺寸为 W 的表面焊道凸度 C



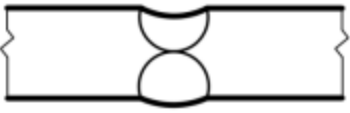
单位为毫米

| 焊道或各别的表面焊道宽度 W | 最大凸度 C | 任何板厚情况下, $C \leq 3$ |
|------------------|----------|---------------------|
| $W \leq 8$ | 2 | |
| $8 < W < 25$ | 3 | |
| $W \geq 25$ | 5 | |

7.6.6 不合格焊缝剖面形状见表37。


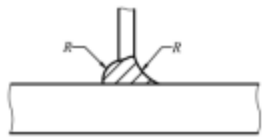

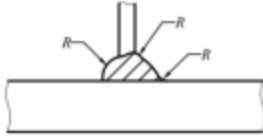
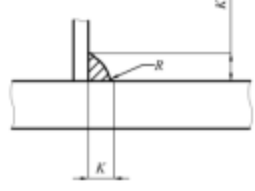
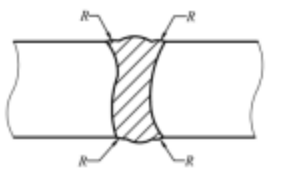
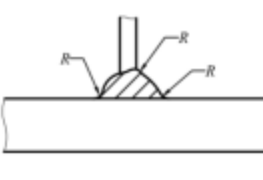
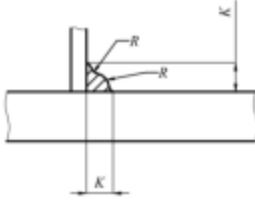
表37 不合格焊缝剖面形状

| 角焊缝 | 对接焊缝 |
|--|---|
|  <p>a) 焊瘤 b) 焊脚不足 c) 焊喉不足 d) 焊喉不足</p> |  <p>g) 咬边过深 h) 焊瘤 i) 凸度过大</p> |

| 角焊缝 | 对接焊缝 |
|---|---|
|  e) 厚度过大  f) 咬边过深 |  j) 焊缝厚度不足 |

7.6.7 合格的完工焊缝表面可不打磨。其他需打磨的焊缝应在图纸中标明，打磨符号见表38。

表38 焊缝打磨符号

| 打磨符号 | 符号的说明 | 对接焊缝 | T型焊缝 | 角焊缝 |
|------|-----------------|---|--|---|
| G0 | 焊缝凸起之处磨平 |  |  | — |
| G1 | 将焊缝修整成圆滑形状 |  |  |  |
| G2 | 焊缝与母材连接处修整成圆滑过渡 |  |  |  |

齐平的对接接头 (G0) 表面修整时, 不应使用较薄母材且焊缝金属厚度减薄量不应大于0.8 mm或5%厚度 (取其小者)。打磨后的余高不应超过0.8 mm。
角焊缝的G1、G2在修整后焊脚尺寸不应小于标准值或图纸注明的尺寸

7.6.8 对焊缝的打磨仅限于下列情况:

- 焊瘤;
- 过大的焊缝余高;
- 图纸指定焊缝余高应去除, 使焊缝表面与母材平齐的部位。

7.6.9 打磨应符合下列规定:

- 打磨不应伤及母材;
- 打磨应沿焊缝主应力方向, 打磨形成的磨痕应垂直于焊缝轴线, 不应沿焊缝轴线和焊趾, 见图19;
- 打磨工具及磨头应根据焊缝缺陷及要求选用;
- 打磨时应用力均匀, 不应过度打磨。

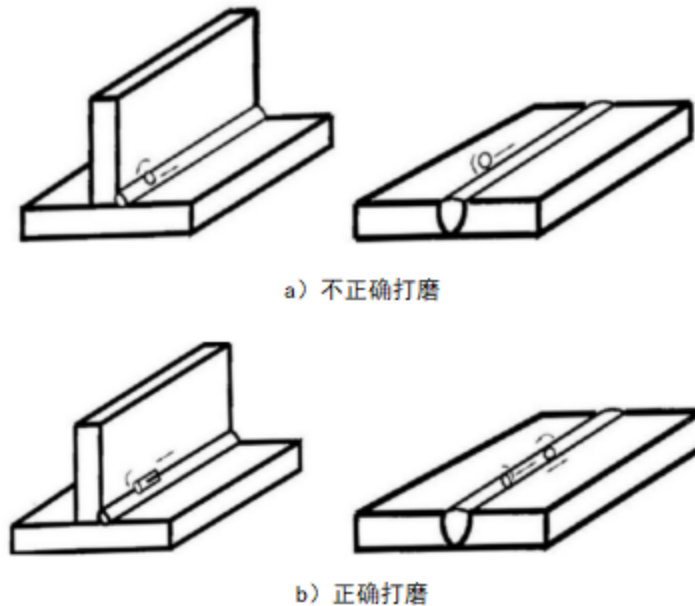


图19 焊缝打磨应沿焊缝主应力方向示意

- 7.6.10 焊缝尺寸和焊缝质量应符合图纸和技术文件的规定。
- 7.6.11 图纸和技术文件对焊缝尺寸和焊缝质量未作规定时，不应低于表32规定的Ⅲ级焊缝质量等级。
- 7.6.12 对重要受力构件的主焊缝质量检验应按表32的Ⅰ级焊缝执行，检验部位、检查长度和数量应在图纸和技术文件规定。
- 7.6.13 对于起重臂、变幅支座、吊耳和图纸特别注明要求探伤的角焊缝应采用MT磁粉探伤。
- 7.6.14 按图纸要求对焊缝采用UT、RT、MT、PT等无损检测时，标书、图纸无特殊要求，检测标准应符合表39的规定。

表39 无损检测标准

| 检测方式 | 依据标准 |
|-------------|-------------------------|
| 超声波 (UT) | JB/T 10559 |
| 射线 (RT) | GB/T 3323.1、GB/T 3323.2 |
| 磁粉 (MT) | GB/T 26951 |
| 渗透 (PT) | GB/T 18851.1 |

7.6.15 经无损探伤发现有低于质量标准的缺陷焊缝时，应在缺陷的延伸方向或可疑部位作补充探伤检查，探伤方法应与原焊缝要求一致，补查数量与部位应按具体条件确定，但对于10m长的焊缝补查的数量不应少于3张。若补查合格，缺陷可修补，补查不合格，该焊缝宜全部铲除重焊，对重焊处应再检查直至合格为止，但修补次数不应多于3次。

7.6.16 对重要构件，发现下列情况者，应采用钻孔检查：

- 无法用超声波及射线检测时；
- 对超声波及射线无损探伤结果需进一步证实时；
- 检验员发现其他现象认为需要钻孔检查时。

7.6.17 图纸或技术文件规定进行气密性检验时，应按下列规定执行。气密性检验前，焊缝表面应清除干净，不应有焊渣、油污、油漆和严重锈蚀等。

- 应用压缩空气进行压力试验。
- 应在图纸或订货技术要求的压力下进行，压力值宜为0.01 MPa。

- c) 试验时,焊缝外表涂抹肥皂水,宜保持30 min或按图纸要求时长。若焊缝出现气泡,应铲除重焊,再试验直至合格。
- d) 焊缝处于试验压力时,不应敲击、振动以及修补焊缝缺陷。

7.7 焊接结构件消除应力处理

7.7.1 焊接结构件的消应力处理方法和部位应在图纸中作出规定,按相应的消应力工艺文件规定执行。

7.7.2 板厚大于50 mm的重要焊接构件,焊后消除内应力可采用消应热处理法,正火钢可在595 °C~650 °C下热处理,调质钢热处理温度应低于母材回火温度20 °C, TMCP钢热处理温度不应超过550 °C,或采用振动消应力法消除内应力。

7.7.3 热处理或振动消除应力后的焊接结构件,应由检验部门按图纸或工艺文件重新检验,合格后进行下道工序加工。

7.7.4 焊接构件的焊后热处理可在需要时随时进行。焊接结构件焊后热处理应根据文件的规定执行。

7.8 焊接变形矫正

7.8.1 焊接变形的矫正工艺宜采用机械矫正和火焰矫正。矫正方法应根据焊接变形的类型和条件选择。

7.8.2 结构件的焊接变形可包括下列类型:

- a) 整体弯曲;
- b) 截面扭曲变形;
- c) 角变形;
- d) 拼接板、梁主结构腹板及自由边的波浪变形。

7.8.3 火焰矫正的应用范围应符合下列规定。

- a) 焊接结构件焊后形位公差超过表25和表26的规定时,可采用火焰矫正。
- b) 火焰矫正时加热温度不宜高于650 °C。对低合金结构钢,应采用风冷法冷却,不应水冷。
- c) 火焰矫正结构件变形时,应防止淬裂,不应使用金属锤击。

7.8.4 火焰矫正的质量应符合下列规定:

- a) 碳素结构钢的加热次数不宜超过5次,低合金结构钢的加热次数不宜超过3次;
- b) 经矫正的焊接结构件应力求表面光滑平整,不应有敲击痕迹。

7.9 结构件机加工

7.9.1 划线

7.9.1.1 构件应已完成零件装配焊接,焊缝质量、尺寸形位公差、平整度等应已检验合格。

7.9.1.2 构件应处于自由状态;划线状态应模拟构件工作状态时的受力情况调整零位点的顶升位置。

7.9.1.3 划线前,应对构件表面划线位置去除油污、锈蚀和杂质等,确保点位清晰可见。

7.9.1.4 划线时应避免太阳直射。

7.9.1.5 划线完成后,应对照图纸逐项检查并复测。

7.9.2 端部铣平及顶紧接触面加工

7.9.2.1 端部铣平后顶紧接触面应有超过75%的面积紧贴。用0.3 mm塞尺检查,塞入面积不应大于25%,边缘间隙不应大于0.8 mm,大型箱型构件的内法兰连接面应采用铣平磨光顶紧。

7.9.2.2 铣平构件端面时,铣平端面应与构件轴线垂直,端部铣平的允许偏差应符合表40的规定。

表40 端部铣平的允许偏差

单位为毫米

| 序号 | 项目 | 允许偏差 |
|----|------------|--------|
| 1 | 两端铣平时构件长度 | ±2.0 |
| 2 | 两端铣平时零件长度 | ±0.5 |
| 3 | 铣平面的平面度 | 0.3 |
| 4 | 铣平面对轴线的垂直度 | L/1500 |

注: L为铣平面长度,单位为毫米(mm)。

7.9.2.3 加工后外露的铁平面及顶紧接触面表面粗糙度图纸有要求时应按图纸执行，图纸无要求时，不应超过 $12.5\ \mu\text{m}$ ，且应采取涂抹防锈油等防锈措施。

7.9.3 构件销轴镗孔

7.9.3.1 加工完成后，应按图纸检查开档、轴孔孔径、孔距等尺寸和形位公差，允许偏差应符合图纸公差要求，图纸无公差要求时，应按自由公差执行。

7.9.3.2 构件长度方向的孔距图纸有要求应按图纸执行，图纸无要求时，不应大于 $2.0\ \text{mm}$ 。

7.9.3.3 机加工后的重磅板偏心度应符合表25中序号17的规定。

7.9.3.4 销轴及其配合孔的尺寸应符合图纸要求，销轴孔同轴度公差宜符合表41的规定。

表41 销轴孔同轴度公差

| 序号 | 公称尺寸 D/mm | 公差等级11级时的公差值/ μm |
|----|----------------------|-----------------------------|
| 1 | $30 < D \leq 50$ | 200 |
| 2 | $50 < D \leq 120$ | 250 |
| 3 | $120 < D \leq 260$ | 300 |
| 4 | $260 < D \leq 500$ | 400 |
| 5 | $500 < D \leq 800$ | 500 |
| 6 | $800 < D \leq 1250$ | 600 |
| 7 | $1250 < D \leq 2000$ | 800 |

7.9.4 螺栓制孔

7.9.4.1 对于螺栓孔精度，A、B级螺栓孔（I类孔）应具有H12的精度，孔壁表面粗糙度 Ra 不应大于 $12.5\ \mu\text{m}$ ，孔径允许偏差应符合表42的规定。C级螺栓孔（II类孔），孔壁表面粗糙度 Ra 不应大于 $25\ \mu\text{m}$ ，允许偏差应符合表43的规定。抽查时应抽查钢构件数量的10%，且不应少于3件。

表42 A、B级螺栓孔径的允许偏差

单位为毫米

| 序号 | 螺栓公称直径、螺栓孔直径 | 螺栓公称直径允许偏差 | 螺栓孔直径允许偏差 |
|----|--------------|--|--|
| 1 | 10~18 | $\begin{matrix} 0 \\ -0.18 \end{matrix}$ | $\begin{matrix} +0.18 \\ 0 \end{matrix}$ |
| 2 | 18~30 | $\begin{matrix} 0 \\ -0.21 \end{matrix}$ | $\begin{matrix} +0.21 \\ 0 \end{matrix}$ |
| 3 | 30~50 | $\begin{matrix} 0 \\ -0.25 \end{matrix}$ | $\begin{matrix} +0.25 \\ 0 \end{matrix}$ |

表43 C级螺栓孔径的允许偏差

单位为毫米

| 项目 | 直径偏差 | 圆度 | 垂直度 |
|---------------|---|-----|------------------|
| 允许偏差 | $\begin{matrix} +0.0 \\ 0 \end{matrix}$ | 2.0 | $0.03t$ ，且不大于2.0 |
| 注： t 为钢板厚度。 | | | |

7.9.4.2 螺栓孔中心距离自由边不应小于1.5倍螺栓孔径，螺栓孔中心距离焊缝不应小于螺栓孔径。任意螺栓孔距允许偏差应为 $\pm 0.5\ \text{mm}$ 。

7.9.4.3 法兰板贴合面应采用机加工，孔宜采用配对加工并作标记。

7.9.4.4 制孔后，应清除孔周边的毛刺、切屑等杂物，孔壁应圆滑，应无裂纹和大于 $1.0\ \text{mm}$ 的缺棱。

7.9.5 表面质量

7.9.5.1 加工面的表面粗糙度 Ra 不应大于 $25\ \mu\text{m}$ ，零件边缘的加工深度不应小于 $3\ \text{mm}$ ，零件边缘硬度

不超过HV350时，加工深度不受此限。

7.9.5.2 零件应磨去边缘的飞刺、挂渣，使端面光滑匀顺。

8 螺栓连接

8.1 高强度螺栓扭矩系数测试

8.1.1 高强度螺栓扭矩系数保证期应为出厂之日起6个月，订货后宜根据项目安装及发运装箱计划提前一个月通知供应商发货。当保管时间超过6个月后使用时，应按要求重新进行扭矩系数或紧固轴力试验，检验合格后，方可使用。

8.1.2 高强度螺栓连接副使用安装前应按GB/T 3098.23、GB/T 230.1、GB/T 1231的规定对每批次高强度螺栓连接副进行扭矩系数测定。

8.1.3 高强度螺栓副安装施工当天前应进行施工扭矩系数试验，试样应为从领用安装批中随机选取3套规格、等级和批次与安装时相同的螺栓连接副。

8.1.4 同一性能等级、材料、炉号、螺纹规格、长度、机械加工、热处理工艺、表面处理工艺的螺栓为同批；同一性能等级、材料、炉号、螺纹规格、机械加工、热处理工艺、表面处理工艺的螺母为同批；同一性能等级、材料、炉号、规格、机械加工、热处理工艺、表面处理工艺的垫圈为同批。分别由同批螺栓、螺母、垫圈组成的连接副为同批连接副。螺栓长度小于100 mm时，长度相差不大于15 mm；螺栓长度大于100 mm时，长度相差不大于20 mm，可视为同一长度。

8.1.5 连接副的扭矩系数试验应在轴力计上进行，每一连接副只能试验一次，不应重复使用。

8.1.6 施加扭矩前应先将多功能测量仪轴向预拉力数值调整至零位，然后根据表44、表45中轴向预拉力 P 值使用施工扳手将螺栓进行50%轴向力预拉力的初拧、75%轴向力预拉力的复拧、100%轴向预拉力的终拧，分别记录初拧、复拧及终拧时预拉力读数及对应施拧扭矩。

表44 高强度螺栓预拉力值

单位为千牛

| 螺栓性能等级 | 螺栓公称直径 | | | | | | |
|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | M12 | M16 | M20 | M22 | M24 | M27 | M30 |
| 8.8S | 45~55 | 81~99 | 126~154 | 149~182 | 176~215 | 230~281 | 279~341 |
| 10.9S | 54~66 | 99~121 | 153~187 | 189~231 | 225~275 | 288~352 | 351~429 |

表45 高强度螺栓设计预拉力转换表

单位为千牛

| 螺栓公称直径 | 预紧轴力最小值 | |
|--------|---------|----------|
| | 830 MPa | 1040 MPa |
| M16 | 91 | 114 |
| M20 | 142 | 179 |
| M22 | 176 | 221 |
| M24 | 205 | 257 |
| M27 | 267 | 334 |
| M30 | 326 | 408 |

注：相当于70%最低抗拉强度螺栓，四舍五入至最接近值。

8.1.7 试验时螺栓预拉力值 P 应符合表44、表45的规定，超出范围所测扭矩系数无效。

8.1.8 施拧时施力应连续、均速，垫圈不应发生跟转。

8.1.9 试样螺栓连接副终拧时的扭矩系数值 K_i 应按公式(1)计算:

$$K_i = \frac{T}{Pd} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- K_i —— 试样扭矩系数值;
- T —— 施拧扭矩峰值,单位为牛米(N·m);
- d —— 高强度螺栓螺纹的公称直径,单位为毫米(mm);
- P —— 高强度螺栓预拉力峰值,单位为千牛(kN)。

8.1.10 试样螺栓连接副扭矩系数平均值 $\bar{K}_{\text{现场}}$ 应按公式(2)计算:

$$\bar{K}_{\text{现场}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $\bar{K}_{\text{现场}}$ —— 同批试样的扭矩系数平均值;
- $\sum_{i=1}^n K_i$ —— 试样中的扭矩系数总和;
- n —— 试样的个数。

8.1.11 每批3套高强度螺栓连接副扭矩系数平均值应为0.110~0.150。




8.2 高强度螺栓连接副安装

8.2.1 高强度螺栓连接副应经安装扭矩系数试验合格后安装。应按施工规范矫正,矫正时应采取防止结合面损伤,确保摩擦面密贴接触措施。

8.2.2 安装高强度螺栓连接副前,结合面应按规定方法处理并检查。安装时应对结合面清理,浮锈宜用细铜丝刷去除,油污、油漆等应清除干净。

8.2.3 因板厚公差、制造偏差或安装偏差等产生的接触面间隙,处理方法应符合表46的规定。

表46 接触面间隙处理

| 项目 | 示意图 | 处理方法 |
|----|---|---|
| 1 |  | $\delta < 1.0 \text{ mm}$ 时不予处理 |
| 2 |  | $\delta = 1.0 \text{ mm} \sim 3.0 \text{ mm}$ 时将厚板一侧磨成1:10的缓坡,使间隙小于1.0 mm |
| 3 |  | $\delta > 3.0 \text{ mm}$ 时加垫板,垫板厚度不小于3 mm,最多不超过3层,垫板材质和结合面处理方法应与构件相同 |

8.2.4 安装高强度螺栓连接副时,不应将产品高强度螺栓兼作临时螺栓使用。

8.2.5 安装高强度螺栓连接副时,每个节点上应穿入的临时螺栓和引销数量,由安装时可能承担的载荷计算确定,并符合下列规定:

- a) 不应少于节点螺栓总数的1/3;
- b) 不应少于2个临时螺栓;
- c) 引销穿入数量不宜多于螺栓数量的30%。

8.2.6 安装高强度螺栓连接副时，接头组装定位后宜用引销对准孔位，在适当位置插入临时螺栓并用扳手拧紧。打入引销时不应出现栓孔变形，高强度螺栓应在接头板间使用临时螺栓拧紧密贴后穿入。

8.2.7 安装高强度螺栓连接副时，螺栓不应强行穿入螺栓孔。当螺栓不能自由穿入螺栓孔时，宜用直径相同的铰刀或钻头修整或扩孔，修整后孔的最大直径不应大于1.2倍螺栓孔直径，且修孔数量不应超过该节点螺栓数量的25%。为防止钢屑落入板层缝中，修孔前应将四周螺栓全部初拧紧，使板紧密贴后再进行铰孔，不应气割扩孔。

8.3 高强度螺栓连接副的施拧工艺

8.3.1 高强度螺栓连接副安装前，应按8.1.6~8.1.10规定的安装扭矩系数计算公式确定安装当天该批高强度螺栓连接副的终拧扭矩系数。

8.3.2 高强度螺栓连接副的终拧扭矩应按公式（3）计算：

$$T_C = \bar{K}_{\text{现场}} \times P \times d \dots \dots \dots (3)$$

- T_C —— 施工终拧扭矩，单位为牛米（N·m）；
 $\bar{K}_{\text{现场}}$ —— 每批现场测定的扭矩系数平均值， $\bar{K}_{\text{现场}}$ 按8.1.6~8.1.10试验测得确定；
 P —— 高强度螺栓施工预拉力，单位千牛（kN），按表44、表45分别取用；
 d —— 螺栓公称直径，单位为毫米（mm）。

8.3.3 高强度大六角头螺栓连接副初拧扭矩应为终拧扭矩的50%，复拧扭矩应为终拧扭矩的75%。

8.3.4 初拧或复拧后的高强度螺栓应在螺母上标记颜色，并按8.3.2规定的终拧扭矩值进行终拧，终拧后的高强度螺栓应用另一种颜色在螺母上标记。

8.3.5 高强度大六角头螺栓连接副的初拧、复拧、终拧宜在一天内完成。终拧时，施加扭矩过程应连续、平稳，螺栓、垫圈不应与螺母一起转动，若垫圈发生转动，应更换高强度螺栓连接副，按操作程序重新施拧。

8.3.6 高强度螺栓连接副拧紧到规定的扭矩后不应二次使用。

8.3.7 高强度螺栓终拧后螺栓头部应露出2牙~3牙。

8.3.8 高强度螺栓连接副应按一定顺序初拧、复拧和终拧，宜由螺栓群中央按顺序向外拧紧，或由接头刚度大的部位向约束小的方向拧紧，按先中间、后两边、再对角、同时针方向依次紧固的顺序执行。

8.3.9 接头螺栓施拧顺序应符合下列规定：

- a) 一般接头应从接头中心依次向两端施拧，见图20；

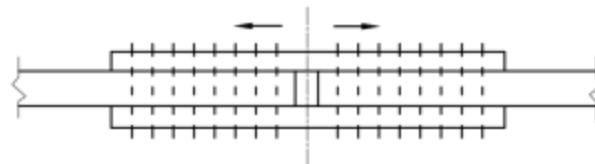


图20 一般接头的紧固顺序

- b) 箱型接头应按A、C、B、D的顺序施拧，见图21；

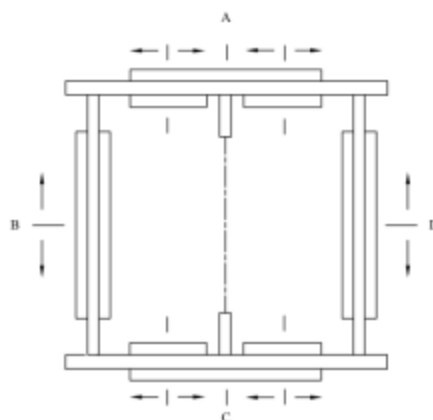


图21 箱型接头螺栓紧固顺序

- c) 矩形法兰板接头应按A、B、C、D的顺序由中间向两边对称施拧。圆法兰板接头应按编号①~⑫的顺序对角、同时针方向顺序施拧，见图22；

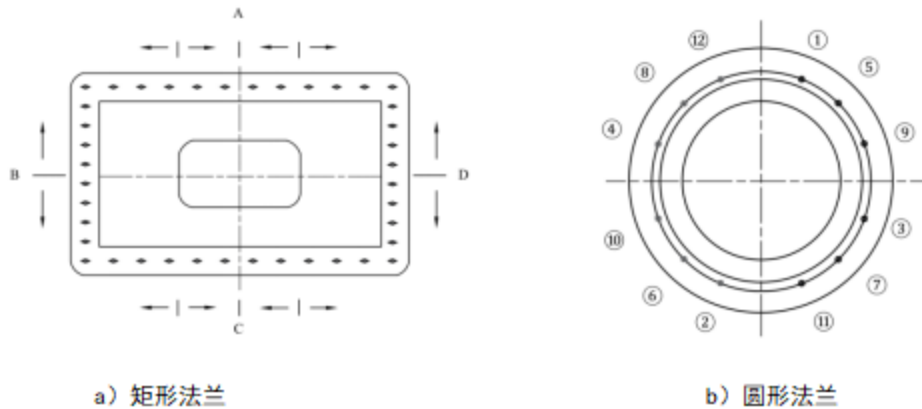


图22 矩形、圆形法兰接头螺栓紧固顺序

- d) 工字梁接头螺栓应按从右侧上、下翼缘—右侧腹板—左侧上、下翼缘—左侧腹板的顺序施拧，见图24中①~⑥顺序；工字形柱对接螺栓应按先翼板后腹部顺序施拧，见图23；

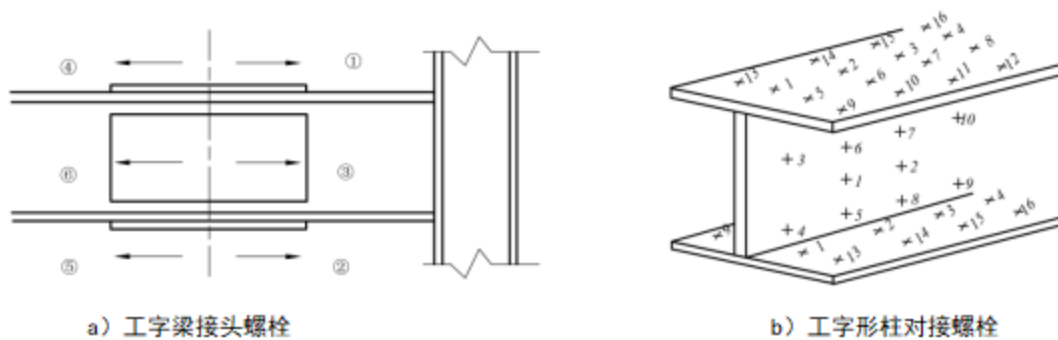


图23 工字梁接头螺栓紧固顺序

- e) 两个或多个接头应按先主要构件接头、后次要构件接头的顺序施拧。

8.3.10 高强度螺栓连接副的终拧扭矩检查应在螺栓终拧1 h~24 h内完成。

9 涂装

9.1 一般规定

9.1.1 港口机械油漆颜色应符合下列规定。

- 港口机械整体油漆颜色按供需双方约定执行。
- 应在机械工作或移动时易碰撞的危险部位涂上醒目的黄黑或红白相间的安全警戒色。黄色与黑色宽度应相等，可为80 mm、100 mm、120 mm或150 mm。在较小的面上，每种颜色不应少于两道，斜道可与水平面成45°。大车行走机构黑黄警戒线倾斜的方向应以机械的中心线为对称轴，呈对称形，见图24。采用黄、黑道不够醒目时，可采用红、白道。

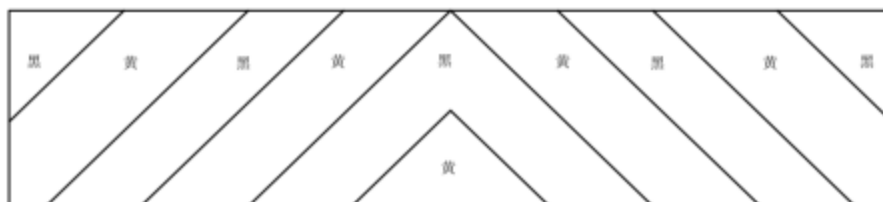


图24 醒目的黄黑相间安全警戒色

- c) 电动机、电器控制柜、发动机、减速箱等外购配套件油漆颜色无约定时,可保持配套件的标配颜色。
 - d) 安全颜色设计应符合GB 2893、GB 2894的规定。
 - e) 铰点系统、润滑系统、电气穿线管等附件颜色应与安装位置的主结构颜色保持一致。
- 9.1.2 不锈钢件、塑料件、铜制件及已采用标准防腐的构件表面可不涂装。
- 9.1.3 结构外表面的油漆配套系统设计年限无要求时应按7年~15年的中等耐久性设计,有要求时应按约定执行。

9.2 对焊接成型的钢结构二次处理

9.2.1 二次除锈作业前,应先清理焊缝周围残存的焊渣和飞溅,用动力工具打磨棱边和尖角,不规则的焊缝应打磨圆滑;咬边和焊缝气孔应补焊并打磨圆滑。结构件自由边、火焰切割边缘、钻孔边缘等尖角和棱边宜打磨成 R 为0.5 mm~2.0 mm的圆角。

9.2.2 二次除锈前应清理结构件表面的油污和水分、盐分、灰尘等。油和油脂等污物应用清洗剂清除,表面灰尘和盐分可采用高压淡水冲洗。

9.2.3 用于二次除锈喷砂的磨料,宜为钢丸、钢砂的混合磨料,应保持干燥、无油污及盐分合格,并除去粉尘杂物。

9.2.4 构件外表面二次除锈采用喷砂(丸)除锈,表面质量应达到GB/T 8923.1—2011的Sa2.5级,表面无可见的油、脂或污物,氧化皮、铁锈、涂层及污物等应清除到仅剩轻微点状或条纹状痕迹的程度。

9.2.5 结构内表面二次除锈应符合下列规定:

- a) 对于结构件非封闭内表面,采用喷砂(丸)或打磨除锈。喷砂(丸)除锈表面质量应与构件外表面相同。打磨除锈表面质量应达到GB/T 8923.1—2011中St3级,表面无可见的油脂和污垢,且没有疏松的氧化皮、锈和油漆涂层,底材显现部位有金属光泽,允许残留极少量的痕迹;
- b) 对于封闭型箱体内部表面,封仓前应将内仓清理干净并保持干燥,箱体封闭后对内仓做气密性试验,试验压力应为0.01 MPa~0.02 MPa,宜保持30 min。可不涂装油漆。

9.2.6 出现油漆破坏位置,应将表面打磨至St3级后进行油漆修补。

9.3 涂层施工和涂层系统

9.3.1 涂层施工

9.3.1.1 钢结构在二次处理后,应在6 h内涂装底漆,若底漆施工前结构件表面出现闪锈,应重新冲砂处理。

9.3.1.2 对于双组份的油漆应在使用时按油漆说明书要求混合使用,并在混合后使用寿命时间内使用完成。

9.3.1.3 涂料开罐前应检查和确认涂料品种、牌号和出厂日期,开罐后在使用前应检查涂料是否有漆病,不应使用过期、变质涂料。

9.3.1.4 在涂装中层漆和面漆前应先检查前一道涂层表面是否有损坏、漏涂、流挂等现象。

9.3.1.5 难以喷涂的地方和不适于喷涂的平台栏杆、舾装支架等构件可用刷涂和辊涂,其他表面宜喷涂施工。

9.3.1.6 对于漆膜厚度难以保证的构件边缘、型钢反面及作业困难区等部位,应在每道油漆正式涂装前刷涂或辊涂漆1遍~2遍,在预涂结束后立即开始喷涂,或待预涂油漆完全干燥后大面积涂装。

9.3.2 涂层配套系统

涂层配套系统应按供需双方约定执行。

9.4 涂层修补

9.4.1 表面处理

对结构件表面因焊接、火焰矫正或机械碰撞等造成的涂层破坏,应先去除表面油污和松脱的漆层,再将被破坏的涂层区域打磨至St3级,并留有一定的坡度过渡面,然后逐层修补,见图25。



图25 涂层坡度过渡面示意图

9.4.2 涂层修补系统

涂层修补系统应按被修补位置原油漆系统执行。

9.5 涂层施工环境条件

9.5.1 底材温度应大于露点3℃以上，底漆与中间漆施工时的空气相对湿度宜小于85%，面漆施工时的相对湿度宜小于80%，应以油漆型号技术要求为准。

9.5.2 油性漆施工时环境温度宜为-5℃~40℃，钢材表面温度应为-10℃~50℃；水性漆施工时环境温度应为5℃~40℃，钢材表面温度应为5℃~40℃。

9.5.3 施工部位应保证良好的照明和通风。箱体等密闭空间应强制通风。

9.5.4 任何一道油漆施工前均应检查表面是否有灰尘，若有灰尘可用吸尘器或压缩空气清除，应达到洁净无灰尘的表面施工条件。

9.5.5 风力超过5级的环境里不应采用喷涂施工。

9.6 涂装质量检查

9.6.1 油漆品质检查

油漆品质应按合同规定检查。

9.6.2 涂层表面质量

涂层表面应无漏涂、流挂、刷痕、针孔、起皱或龟裂等缺陷，表面颜色与规定颜色一致，无干喷雾的颗粒。

9.6.3 膜厚管理

9.6.3.1 湿膜厚度控制应边检测、边施工，随时调整湿膜厚度获得较均匀的符合规定膜厚要求的涂层。

9.6.3.2 干膜厚度控制应符合下列规定：

- a) 算术平均干膜厚度不应小于规定厚度；
- b) 干膜厚度不应小于规定膜厚的80%；
- c) 监测点干膜厚度在规规定膜厚80%和规定膜厚之间，每平方米监测点数量不应超过监测点总数的20%；
- d) 干膜厚度最大值不应大于油漆型号技术要求允许厚度。

9.6.4 环境条件

9.6.4.1 施工环境温度和湿度应用温度仪和湿度仪每2h测定，达到油漆产品规定的施工条件才可施工。

9.6.4.2 油漆时作业环境应清洁，被涂装的表面应干净。

9.6.4.3 箱体内部照明和通风等施工区域应定时检查。

9.6.5 漆膜附着力试验

9.6.5.1 在底漆、中层漆和面漆的涂装工作结束后，且经过涂层养护期后，可对涂层系统进行粘附力试验。

9.6.5.2 当测试涂层厚度小于250 μm时，可按GB/T 9286—2021的划格法试验，附着力不超过2级为合格。当测试涂层不小于250 μm时，可按GB/T 5210—2006的拉开法附着力试验，测试点粘附力不应小于3 MPa。拉开法的测试模块以拉下涂层为准，若未拉下涂层，测试数据应无效，应重新选点试验。

9.6.5.3 整机可选取不少于5个代表性的点进行粘附力测试，且有报告记录。

9.6.5.4 因作粘附力测试而被破坏的涂层，应打磨至St3级后，按油漆修补系统逐层修补，修补的表面应和未破坏的表面具有相同的外观效果。

参考文献

- [1] GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- [2] GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- [3] GB/T 232 金属材料 弯曲试验方法
- [4] GB/T 324 焊缝符号表示法
- [5] GB/T 700 碳素结构钢
- [6] GB/T 709 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
- [7] GB/T 712 船舶及海洋工程用结构钢
- [8] GB/T 714 桥梁用结构钢
- [9] GB/T 983 不锈钢焊条
- [10] GB/T 984 堆焊焊条
- [11] GB/T 985.1 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口
- [12] GB/T 985.2 埋弧焊的推荐坡口
- [13] GB/T 5293 埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求
- [14] GB/T 8110 熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
- [15] GB/T 10045 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝
- [16] GB/T 14783 轮胎式集装箱门式起重机
- [17] GB/T 14957 熔化焊用钢丝
- [18] GB/T 14977 热轧钢板表面质量的一般要求
- [19] GB/T 16270 高强度结构用调质钢板
- [20] GB/T 17495 港口门座起重机
- [21] GB/T 17600.1 钢的伸长率换算 第1部分：碳素钢和低合金钢
- [22] GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- [23] CB/T 8504 船厂门座起重机技术规定
- [24] JB/T 10045 热切割 质量和几何技术规范
- [25] JGJ 82 钢结构高强度螺栓连接技术规程（附条文说明）
- [26] JTS 203 水运工程钢结构施工规范
- [27] JTS 217 港口设备安装工程技术规范
- [28] ISO 8501-1 Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Visual assessment of surface cleanliness — Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings
- [29] AISC 360 Specification for Structural Steel Buildings
- [30] ASTM A388/A388M Standard Practice for Ultrasonic Examination of Steel Forgings
- [31] ASTM A435/A435M Standard Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Steel Plates
- [32] ASTM A578/A578M Standard Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Rolled Steel Plates for Special Applications
- [33] ASTM F3125/F3125M Standard Specification for High Strength Structural Bolts and Assemblies, Steel and Alloy Steel, Heat Treated, Inch Dimensions 120 ksi, 144 ksi, and 150 ksi Minimum Tensile Strength, and Metric Dimensions 830 MPa and 1040 MPa Minimum Tensile Strength
- [34] AWS D1.1/D1.1M Structural Welding Code-Steel
- [35] AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code
- [36] DIN EN 1712 Non-destructive testing of welds—Ultrasonic testing of welded joints— Acceptance levels (includes Amendment A1:2002)
- [37] DIN EN 1713 Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Characterization of indications in welds (includes Amendment A1)
- [38] DIN EN 1714 Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing of welded joints (includes Amendment A1)
- [39] DIN EN 1290 Non-destructive testing of welds — Magnetic particle testing of welds (includes Amendment A1:2002)
- [40] DIN EN 1435 Non-destructive testing of welds— Radiographic testing of welded joints (includes Amendment A1)

