

# DB32

## 江苏省地方标准

DB32/T 5154—2025

### 桥梁钢塔制造和安装规范

Specification for the manufacture and installation of steel bridge tower

2025-07-01 发布

2025-08-01 实施

江苏省市场监督管理局 发布  
中国标准出版社 出版

目 次

前言 .....Ⅲ

1 范围 .....1

2 规范性引用文件 .....1

3 术语和定义 .....1

4 基本要求 .....2

5 材料 .....3

6 零件加工 .....3

7 组装 .....8

8 焊接.....12

9 矫正.....17

10 匹配制造 .....18

11 端面机加工 .....20

12 预拼装 .....21

13 涂装 .....23

14 成品尺寸检验 .....25

15 存放和运输 .....26

16 现场安装 .....27

附录 A(规范性) 原材料复验 .....33

附录 B(规范性) 钢材和加工缺陷的修补 .....35

附录 C(规范性) 钢材焊接工艺评定 .....36

附录 D(规范性) 圆柱头焊钉焊接工艺评定 .....40

附录 E(规范性) 焊接接头超声波探伤质量要求 .....41

附录 F(规范性) 焊接接头射线探伤质量要求 .....43

参考文献 .....45

# 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。

本文件由江苏省交通运输厅提出、归口并组织实施。

本文件起草单位：南京市公共工程建设中心、江苏省交通工程建设局、中铁武汉大桥工程咨询监理有限公司、中铁宝桥(扬州)有限公司、中铁山桥(南通)有限公司、中交二航局第四工程有限公司、中铁建大桥工程局集团靖江重工有限公司。

本文件主要起草人员：郭志明、周进、孙小军、刘春风、李洪涛、马增岗、王建国、周畅、刘朝晖、康学云、华乐、蒋伟平、孙蕾蕾、谈发帮、李亮、李潜、曹林、关勇、翟存林、周晓陵、杜伟、王辉、解长远、杨亮、马浩鹏、陈姝姝、常大宝、陈厚仕、王尹园、曲建生。

# 桥梁钢塔制造和安装规范

## 1 范围

本文件规定了桥梁钢塔制造和安装的基本要求、材料、零件加工、组装、焊接、矫正、匹配制造、端面机加工、预拼装、涂装、成品尺寸检验、包装、存放和运输,以及现场安装。

本文件适用于各类桥梁钢塔的制造和安装。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法  
GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓连接副  
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 焊缝和熔敷金属拉伸试验方法  
GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法  
GB/T 2654 焊接接头硬度试验方法  
GB/T 2970—2016 厚钢板超声波检验方法  
GB/T 3323.1—2019 焊缝无损检测 射线检测 第1部分:X和伽马射线的胶片技术  
GB/T 5210 色漆和清漆拉开法附着力试验  
GB/T 5313 厚度方向性能钢板  
GB/T 10433 紧固件 电弧螺柱焊用螺柱和瓷环  
GB/T 10610 产品几何技术规范(GPS)表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法  
GB/T 11345—2023 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定  
GB/T 26951 焊缝无损检测 磁粉检测  
GB/T 26952—2011 焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 检测验收等级  
GB/T 29712—2023 焊缝无损检测 超声检测 检测验收等级  
GB/T 37910.1—2019 焊缝无损检测 射线检测验收等级 第1部分:钢、镍、钛及其合金  
GB 50017 钢结构设计规范  
JB/T 3223 焊接材料质量管理规程  
JGJ 82 钢结构高强度螺栓连接技术规程  
JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件  
JTG/T 3651—2022 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。



3.1

**零件 part**

组成构件的最小单元。

3.2

**板单元 steel panel**

由板和纵横肋组成的基本单元。

注：包括壁板单元、隔板单元、腹板单元等。

3.3

**块体 tower block**

由壁板单元、隔板单元、腹板单元、锚箱单元等组成,节段需要纵向分开制造的构件或安装单元。

3.4

**节段 tower segment**

由块体和板单元组成一个完整的安装单元。

3.5

**构件 assembly**

由若干零件、板单元或块体组合而成可独立安装的结构单元。

3.6

**金属接触率 metal contact ratio**

两个相互接触的节段端面之间,金属实际接触面积与理论接触面积之比。

3.7

**端面传力钢塔 end-force transfer steel tower**

端面有金属接触率要求,且部分靠端面传力的钢塔。

3.8

**非端面传力钢塔 non-end force transfer steel tower**

端面无金属接触率要求的钢塔。

3.9

**匹配制造 matching manufacturing**

采用两个或以上块体、节段进行连续拼装的作业。

3.10

**预拼装 trial assembly**

为验证钢塔节段制造尺寸、环口匹配、结构关系及连接精度是否满足要求而进行的拼装。

3.11

**产品试板 product test panel**

为验证产品焊接接头质量而制造的试件。

3.12

**首制件 First article**

根据产品结构特点和设计文件要求确定的需要首先制造的构件。

注：用于验证厂内设备加工能力和工艺装备的可行性、检验制造方案和工艺的合理性,评判产品质量的可靠性。

## 4 基本要求

4.1 制造前应对设计图进行工艺性审查。当需要修改设计时应取得原设计单位同意,并签署相关设计变更文件。

- 4.2 制造前应按设计文件深化为加工图,编制制造工艺等文件并按文件执行。
- 4.3 钢塔制造和安装应进行全面质量管理,对制造和安装过程进行质量检验并具有可追溯性,并按规定报验。
- 4.4 钢塔制造和安装验收应使用计量检定合格且在有效期内的计量器具,并按有关规定进行操作。
- 4.5 质量报验过程中,制造单位应提供必要的仪表、工具及设备,并配备操作人员予以配合。
- 4.6 应根据钢塔的结构特点,在批量生产前进行首制件的制造。首制件通过验收后方可进行板单元和块体、节段的批量生产。
- 4.7 钢塔构件检验合格方可进入下一工序。
- 4.8 钢塔制造线形应满足设计、监控的要求。
- 4.9 钢塔制造和安装过程中宜应用建筑信息模型(BIM)、智能制造等数字化技术。
- 4.10 钢塔制造与安装过程中,采用的新技术、新工艺、新材料和新设备,应提前做好试验研究和论证等工作。
- 4.11 钢塔的制造和安装需建立一个监控体系。

## 5 材料

- 5.1 钢材应符合设计文件的要求。
- 5.2 钢板应涂色带标识,色带标识中每种颜色的宽度不宜小于 50 mm。
- 5.3 钢板原材缺陷需要修补时,应符合附录 B 的规定。
- 5.4 焊接材料应通过焊接工艺评定试验确定,焊接材料应与设计选用的钢材相匹配,并符合设计文件的要求。
- 5.5 焊接材料的质量管理应按 JB/T 3223 的规定执行。
- 5.6 高强度螺栓连接副应符合 GB/T 1231 的规定。
- 5.7 高强度螺栓连接副进场后应按包装箱上注明的批号、规格分类保管,室内应架空存放,堆放不宜超过五层。保管期内不应任意开箱。
- 5.8 圆柱头焊钉应符合 GB/T 10433 的规定。
- 5.9 涂装材料应符合涂装设计文件的规定,且应存放在专用库房内,超出质保期不应使用。
- 5.10 密封材料应符合设计文件的要求。
- 5.11 材料除应有生产厂家的质量证明书外,制造单位还应按附录 A 的规定进行抽样复验,复验合格方能使用。

## 6 零件加工

### 6.1 下料

- 6.1.1 钢板在下料前应进行预处理,对构件在车间内加工制造且在非梅雨季节使用的钢材,当确认其不会产生锈蚀时,可不喷涂防锈底漆。设计有要求时应按要求进行表面预处理。
- 6.1.2 下料尺寸应按要求预留足够的工艺余量。
- 6.1.3 主要零件下料时,应使钢材的轧制方向与其主要应力方向一致。
- 6.1.4 Q420 及以上级别钢材切割面的硬度不应超过 380HV10;其他钢材切割面的硬度应不超过 350HV10。
- 6.1.5 切割工艺应根据其评定试验结果编制,切割表面不应产生裂纹。所有零件应优先采用精密(激光、数控、自动、半自动)切割下料,切割面质量应符合表 1 的规定。

表 1 精密切割边缘表面质量要求

项目	质量要求	备注
表面粗糙度	25 μm <sup>a</sup>	—
崩坑	不准许 <sup>b</sup>	—
塌角	圆角半径≤1 mm	—
切割面垂直度	≤0.05 <i>t</i> , 且不大于 2.0 mm	<i>t</i> 为钢板厚度
<sup>a</sup> 按 GB/T 10610 用样块检测。		
<sup>b</sup> 非焊接边缘不准许, 焊接边缘 1 000 mm 长度内允许有 1 处, 且深度不大于 1.0 mm。		

6.1.6 零件的剪切边缘应整齐、无毛刺、反口等缺陷, 缺棱不应大于 1.0 mm。

6.1.7 崩坑缺陷的修补应符合附录 B 的规定。

6.2 矫正

6.2.1 零件矫正宜采用冷矫, 冷矫时的环境温度不应低于 -12 ℃。矫正后的钢材表面不应有明显的凹痕或损伤。

6.2.2 采用热矫时, Q370 及以下级别的钢材加热温度应不超过 800 ℃; Q420 级别的钢材热矫温度应控制在 750 ℃以下; Q500 级别的钢材热矫温度应控制在 700 ℃以下, 设计有要求时, 按设计文件规定执行。热矫过程不应保温, 温度降至室温前, 不应锤击钢材和用水急冷。

6.2.3 零件矫正允许偏差应符合表 2 的规定。

表 2 零件矫正允许偏差

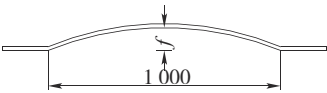
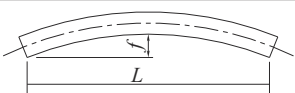
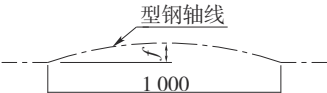
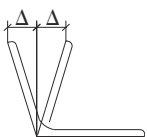
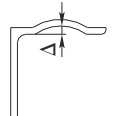
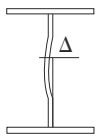
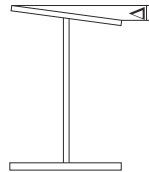
序号	名称	项目	简图	说明		允许偏差
1	钢板	平面度 <i>f</i>		每米范围		≤1.0 mm
2		直线度 <i>f</i>		全长范围	<i>L</i> ≤ 8 m	≤2.0 mm
3					<i>L</i> > 8 m	≤3.0 mm
4	型钢	直线度 <i>f</i>		每米范围		≤0.5 mm
5		角钢肢垂直度 Δ		全长范围	连接部位 <sup>a</sup>	≤0.5 mm
6					其余部位	≤1.0 mm
7		角钢肢平面度 Δ		连接部位		≤0.5 mm
8				其余部位		≤1.0 mm
9		H 型钢腹板平面度 Δ		连接部位		≤0.5 mm
10				其余部位		≤1.0 mm

表 2 零件矫正允许偏差（续）

序号	名称	项目	简图	说明	允许偏差
11	型钢	H型钢翼板垂直度Δ		连接部位	≤0.5 mm
12				其余部位	≤1.0 mm
a 用角式样板卡样时,角度不应大于90°。					

6.3 弯曲加工

- 6.3.1 钢材可通过冷、热加工弯曲或压制成形,但加工后其边缘不应产生裂纹,力学性能应不低于其标准规定。
- 6.3.2 零件冷作弯曲时,环境温度不宜低于 $-5^\circ\text{C}$ ,内侧弯曲半径不宜小于钢板厚度的 15 倍;附属构件热煨温度应控制在 $900^\circ\text{C}\sim 1\,000^\circ\text{C}$ 。弯曲后的零件边缘不应产生裂纹。

6.4 边缘加工

- 6.4.1 零件的切割边缘不再进行机加工的,应打磨去除飞刺、挂渣,使切割面光滑匀顺。
- 6.4.2 焊接坡口的形状、尺寸应由焊接工艺评定确定。
- 6.4.3 零件边缘的机加工深度不应小于 $3\text{ mm}$ ,当边缘硬度不超过 $350\text{HV}10$ 时,加工深度不受此限;加工面的表面粗糙度 $Ra$ 不应大于 $25\text{ }\mu\text{m}$ 。
- 6.4.4 顶紧加工面与板面垂直度偏差应小于 $0.01t$ ( $t$ 为钢板厚度),且不应大于 $0.3\text{ mm}$ 。
- 6.4.5 机加工后零件应磨去边缘飞刺,使端面光滑匀顺。

6.5 基本尺寸

- 6.5.1 钢锚梁零件尺寸的允许偏差应符合表 3 的规定。

表 3 钢锚梁零件尺寸允许偏差

单位为毫米

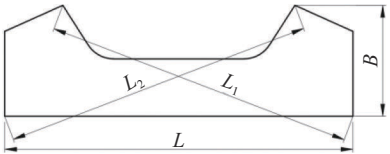
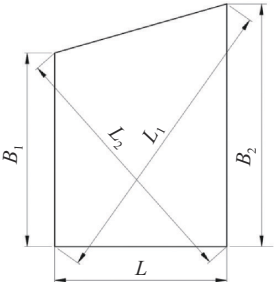
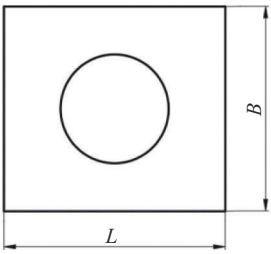
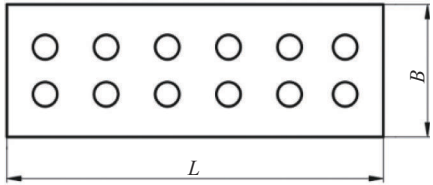
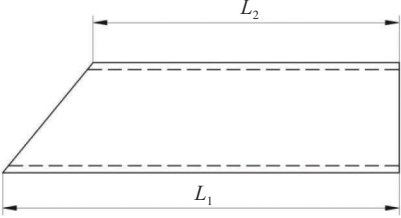
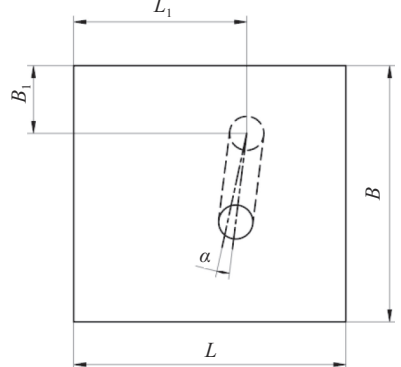
序号	名称	项目	允许偏差	简图
1	拉板	长度 $L$	$\pm 2.0$	
		宽度 $B$	$\pm 2.0$	
		对角线差 $ L_1-L_2 $	$\leq 3.0$	
2	承力板	长度 $L$	$+1.0$ $0$	
		宽度 $B$	$+1.0$ $-0.5$	
		对角线差 $ \triangle L_1-\triangle L_2 ^a$	$\leq 2.0$	

表 3 钢锚梁零件尺寸允许偏差（续）

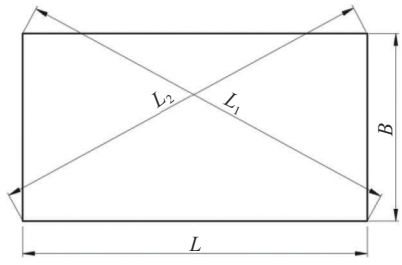
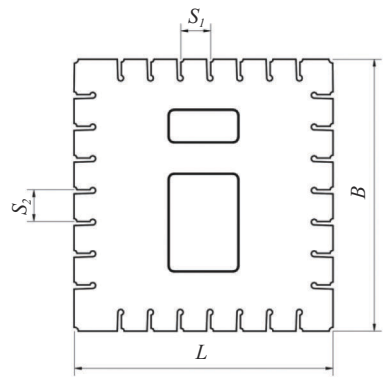
单位为毫米

序号	名称	项目	允许偏差	简图
3	锚垫板、承压板	长度 $L$ 、宽度 $B$	$\pm 2.0$	
		平面度	$\leq 0.2$	
		锚管孔中心位置	$\pm 2.0$	
		锚管孔直径	$\pm 2.0$	
4	拼接板	长度 $L$ 、宽度 $B$	$\pm 2.0$	
5	锚管	长度	$\pm 3.0$	
		长度差 $ L_1 - L_2 $	$\leq 3.0$	
6	壁板	长度 $L$	$\pm 2.0$	
		宽度 $B$	$\pm 1.0$	
		椭圆孔轴线角度 $\alpha$	$\pm 0.15^\circ$	
		椭圆孔定位尺寸 $L_1, B_1$	$\pm 2.0$	
7	盖板	长度	$\pm 2.0$	—
		宽度	$\pm 1.0$	—
8	其余零件	长度、宽度	$\pm 2.0$	—
<sup>a</sup> $\triangle L_1, \triangle L_2$ 分别是 $L_1, L_2$ 的理论值与实际值的偏差。				

6.5.2 钢塔零件尺寸的允许偏差应符合表 4 的规定。

表 4 钢塔零件尺寸允许偏差

单位为毫米

序号	名称	项目	允许偏差	简图
1	壁板、腹板	宽度 $B$	$\pm 2.0$	
2		长度 $L$	$\pm 2.0$	
3		对角线差 $ L_1 - L_2 $	$\leq 3.0$	
4	横隔板	长度 $L$	$\pm 1.0$	
5		宽度 $B$	$\pm 1.0$	
6		相邻槽口尺寸 $S_1, S_2$	$\pm 1.0$	
7		任意两槽口尺寸	$\pm 2.0$	
8		平面度(每米)	$\leq 2.0$	
9		板边垂直度	$\leq 1.0$	
10		对角线差	$\leq 3.0$	
11	其他	长度、宽度	按工艺要求,如工艺无要求则 $\pm 2.0$	—

6.6 制孔

6.6.1 高强度螺栓孔应钻制成正圆柱形,孔壁  $Ra$  应不大于  $25\text{ }\mu\text{m}$ ,孔缘无损伤不平,无刺屑。不应采用冲孔、气割孔。

6.6.2 高强度螺栓孔的孔径允许偏差应符合表 5 的规定。

表 5 高强度螺栓孔的加工允许偏差

单位为毫米

序号	螺栓直径	螺栓孔径	允许偏差	
			孔径	孔壁垂直度
1	M12	14	$+0.5$ $0$	钢板厚度 $t \leq 30$ 时,不大于 0.3; 钢板厚度 $t > 30$ 时,不大于 0.5。
2	M16	18	$+0.5$ $0$	
3	M18	20	$+0.7$ $0$	
4	M20	22	$+0.7$ $0$	
5	M22	24	$+0.7$ $0$	

表 5 高强度螺栓孔的加工允许偏差（续）

序号	螺栓直径	螺栓孔径	允许偏差	
			孔径	孔壁垂直度
6	M24	26	+0.7 0	钢板厚度 $t \leq 30$ 时,不大于 0.3;  钢板厚度 $t > 30$ 时,不大于 0.5。
7	M27	30	+0.7 0	
8	M30	33	+0.7 0	
9	>M30	>33	+1.0 0	

6.6.3 高强度螺栓孔的孔距允许偏差应符合表 6 的规定;当设计对孔距偏差有特殊要求时,应符合设计文件的规定。

表 6 螺栓孔距允许偏差

序号	项目		允许偏差
1	两相邻孔距离		±0.4 mm
2	同一孔群任意两孔距		±0.8 mm
3	多组孔群两相邻孔群中心距		±0.8 mm
4	两端孔群中心距 $L$	$L \leq 11$ m	±1.5 mm
		$L > 11$ m	±2.0 mm
5	孔群中心线与构件中心线的横向偏移	壁板、腹板不拼接	$\leq 2.0$ mm
		壁板、腹板拼接	$\leq 1.0$ mm
6	构件任意两面孔群纵、横向错位		$\leq 1.0$ mm
7	孔与自由边距 <sup>a</sup>		±2.0 mm
<sup>a</sup> 连接板安装后,不与其余构件相连的,正差不受此限;且孔与自由边距应不小于1.5倍孔的直径。			

6.6.4 采用不同的工装、工艺钻制出的第一个构件或零件,均应经专检人员检查合格后方可继续钻制。

7 组装

7.1 一般要求

7.1.1 组装前,首先应按图纸和工艺文件检查各零件的零件编号、外形尺寸、坡口方向和尺寸,确认无误后方可组装。

7.1.2 组装应在专用胎架上进行,胎架的基础应满足承载力和沉降的要求。

7.1.3 组装前应彻底清除待焊区域的铁锈、氧化铁皮、油污、水分等有害物,使其表面显露出金属光泽。清除范围应符合图 1 的规定。

单位为毫米

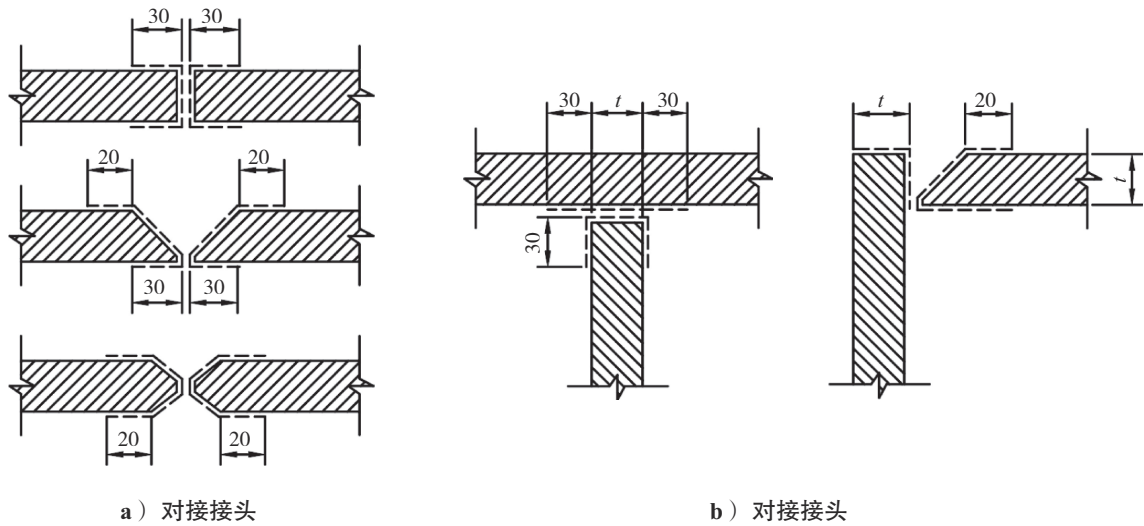
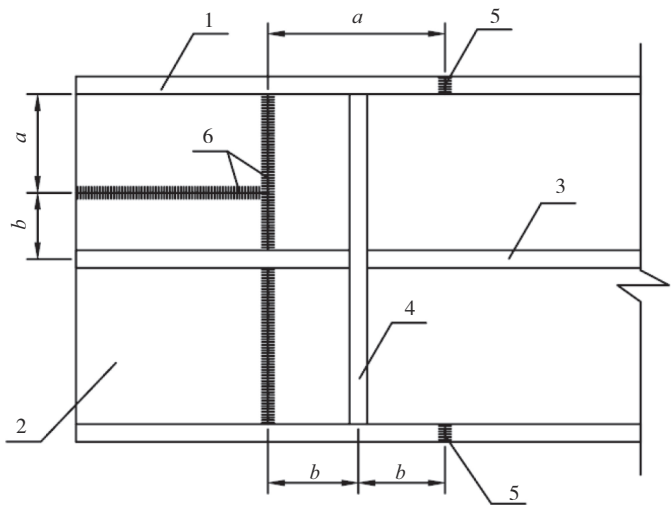


图1 组装前的有害物清除范围

7.1.4 钢板接料应在板单元组装前完成,壁板、腹板接料长度宜不小于 1 000 mm,接料宽度不应小于 200 mm。横向接料焊缝中心线距最近一排螺栓孔中心线的距离宜不小于 100 mm。接料时,应将相邻焊缝错开,错开最小距离应符合图 2 的规定。



标引序号说明:

- 1——壁板;
  - 2——腹板;
  - 3——加劲肋;
  - 4——横隔板;
  - 5——壁板对接焊缝;
  - 6——腹板对接焊缝。
- $a$ ——壁板对接焊缝与腹板对接焊缝距离不小于 200 mm。  
 $b$ ——腹板、壁板对接焊缝与加劲肋、隔板距离不小于 100 mm。

图2 焊缝错开的最小距离

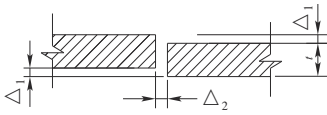
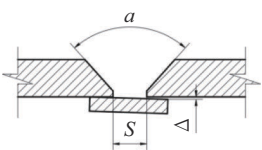
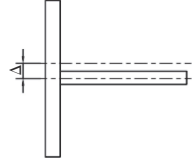
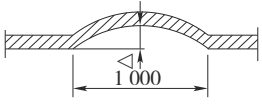
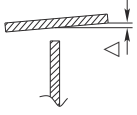
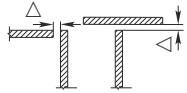


7.1.6 组装时应在焊缝端部连接引板,引板的材质、厚度、坡口应与所焊件相同。

7.1.7 组装允许偏差应符合表 7 的规定。

表 7 组装允许偏差

单位为毫米

序号	项目	允许偏差		简图
1	对接高低差 $\triangle_1$	$\leq 0.5(t < 25)$		
		$\leq 1.0(t \geq 25)$		
	对接间隙 $\triangle_2$	$\leq 1.0$		
2	钢衬垫或陶质衬垫对接焊接头组装	$\alpha$	$\pm 5^\circ$	
		$\triangle$	0.5(衬垫)	
		S	+6.0 -2.0	
3	盖板中心和腹板中心线的偏移 $\triangle$	$\leq 1.0$		
4	腹板的局部平面度 $\triangle$	连接部位 1.0		
5	盖板倾斜 $\triangle$	$\leq 0.5$		
6	组装间隙 $\triangle$	$\leq 1.0$		
7	磨光顶紧	$\leq 0.2$ (磨光顶紧部位全长的 75%)		局部间隙

7.2 板单元组装

板单元组装允许偏差应符合表 8 的规定。

表 8 板单元组装允许偏差

单位为毫米

序号	名称	项目	允许偏差	简图
1	壁板单元 腹板单元	长度 <sup>a</sup>	工艺量	
		宽度 B	$\pm 2.0$	
		板肋间距 S、S <sub>1</sub>	端部和隔板处	
			其他位置	
		板肋定位距离 L 偏差	$\pm 1.0$	

表 8 板单元组装允许偏差（续）

单位为毫米

序号	名称	项目	允许偏差	简图
1	壁板单元 腹板单元	单元两端孔群中心距	$\pm 2.0$	
		板肋垂直度	$\leq 1.0$	
		板肋组装间隙 $\Delta$	$\leq 1.0$	
2	隔板单元	长度 $L$	$\pm 1.0$	
		宽度 $B$	$\pm 1.0$	
		平面度(每米) $f$	$\leq 1.0$	
		板肋垂直度	$\leq 1.0$	
		板肋组装间距	$\pm 1.0$	
<sup>a</sup> 根据工艺取值。				

7.3 锚箱单元组装

锚箱单元组装允许偏差应符合表 9 的规定。

表 9 锚箱单元组装允许偏差

单位为毫米

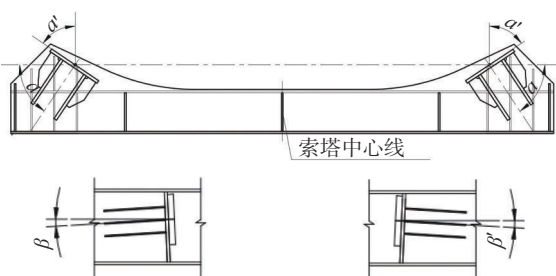
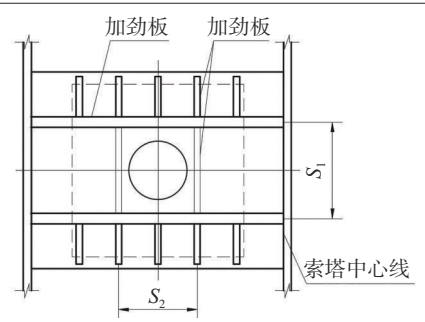
序号	项目	允许偏差	简图
1	宽度 $b$	$+3.0$ $+2.0$	
2	腹板间距 $S$	$+2.0$ $0$	
3	锚垫板与承压板同心度	$\leq 1.0$	
4	锚拉板与承压板的垂直度	$\leq 2.0$	
5	锚垫板与承压板密贴度	$\leq 0.5$	

7.4 钢锚梁组装

钢锚梁组装允许偏差应符合表 10 的规定。

表 10 钢锚梁组装允许偏差

单位为毫米

序号	名称	允许偏差		简图
1	锚点坐标	$\pm 2.0$		
2	锚垫板角度	$\alpha, \alpha'$	$\pm 0.1^\circ$	
3		$\beta, \beta'$	$\pm 0.1^\circ$	
4	加劲板间距 $S_1, S_2$	$\pm 3.0$		
5	箱口对角线差	$\leq 3.0$		—
6	旁弯	$\leq 3.0$		—

8 焊接

8.1 一般要求

- 8.1.1 在钢塔制造开工前,应按照设计和附录 C 的规定进行焊接工艺评定。
- 8.1.2 应采用合理的焊接顺序和工艺,减少焊接变形和残余应力。
- 8.1.3 焊工应通过考试并取得资格证书,且只能从事资格证书中认定范围内的工作。
- 8.1.4 焊接材料应通过焊接工艺评定确定;焊剂、焊条应按产品说明书烘干使用;焊剂中的脏物、焊丝上的油锈等应清除干净; $\text{CO}_2$  气体纯度应不小于 99.5%,Ar 气体纯度不小于 99.9%。
- 8.1.5 焊前预热温度和道间温度应按焊接工艺评定试验确定;预热范围一般为焊缝每侧 100 mm 以上,距焊缝 30 mm~50 mm 范围内测温。
- 8.1.6 焊接前应彻底清除待焊区(包括定位焊)域内的有害物;焊接时不应在母材的非焊接部位引弧,焊接后应清理焊缝表面的熔渣和两侧的飞溅。
- 8.1.7 焊接工作宜在室内进行,施焊环境相对湿度应小于 80%;环境温度不应低于 5℃;构件宜在组装后 24 h 内焊接。
- 8.1.8 焊工施焊时应做焊接记录,记录的内容包括构件号、焊缝部位、焊缝编号、焊接参数、操作者、焊接日期。

8.2 定位焊

- 8.2.1 定位焊缝应距设计焊缝端部 30 mm 以上,其长度为 50 mm~100 mm;间距为 400 mm~600 mm;厚

板(50 mm 以上)和薄板(不大于 8 mm)应缩短定位焊间距,间距为 200 mm~400 mm;定位焊缝的焊脚尺寸不应大于设计焊脚尺寸的 1/2 且不小于 4 mm。

8.2.2 定位焊缝不应有裂纹、夹渣、焊瘤等缺陷,对于开裂的定位焊,应先查明原因,然后再清除开裂的焊缝,并在保证构件尺寸正确的条件下补充定位焊。

8.3 焊接过程

8.3.1 粗丝埋弧自动焊应在距设计焊缝端部 80 mm 以外的引板上起、熄弧,手工电弧焊、CO<sub>2</sub> 气体保护焊和细丝埋弧焊应在距设计焊缝端部 30 mm 以外的引板上起、熄弧。

8.3.2 在自动焊过程中不宜断弧,如有断弧则应将停弧处刨成 1:5 斜坡,并搭接 50 mm(粗丝焊)或 25 mm(细丝焊)再引弧施焊,焊后搭接处应修磨匀顺。

8.4 圆柱头焊钉的焊接

8.4.1 圆柱头焊钉的焊接应按附录 D 的规定进行焊接工艺评定。

8.4.2 焊接前应清除焊钉头部和钢板待焊部位(大于 2 倍焊钉直径)的铁锈、氧化皮、油污、水分等有害物。受潮的瓷环使用前应在 150℃的烘箱中烘干 2 h。

8.4.3 每台班开始焊接前应按焊接工艺在试板上试焊两个焊钉,焊后进行外观和锤击 30°弯曲检验,进行正式焊接;若检验不合格,应分析原因重新施焊,直到合格为止。

8.5 焊缝磨修和返修焊

8.5.1 构件焊接后,两端的引板、工艺板或产品试板应用气割切掉,不应损伤母材,并磨平切口。

8.5.2 焊脚尺寸、焊波或余高等超出本文件表 11 规定的上限值的焊缝应修磨匀顺。

8.5.3 焊缝不超差的咬边应修磨匀顺;咬边超差或焊脚尺寸不足时,可采用手工电弧焊或 CO<sub>2</sub> 气体保护焊进行返修焊。

8.5.4 应采用碳弧气刨或其他机械方法清除焊接缺陷,在清除缺陷时应刨出利于返修焊的坡口,并用砂轮磨掉坡口表面的氧化皮,露出金属光泽。

8.5.5 焊接裂纹的清除长度应由裂纹端各外延 50 mm。

8.5.6 用埋弧焊返修焊缝时,应将焊缝清除部位的两端刨成 1:5 的斜坡。

8.5.7 返修焊的预热温度应较正常要求的预热温度提高 30℃~50℃。

8.5.8 返修焊应按原焊缝质量标准要求检验;超过两次时应查明原因,并制定专项返修工艺措施。

8.6 外观检验

8.6.1 所有焊缝应在全长范围内进行外观检查,不应有裂纹、未熔合、夹渣、未填满弧坑和焊瘤等缺陷,并应符合表 11 的规定。

8.6.2 产品试板焊缝的外观应符合产品焊缝的外观质量要求。

表 11 焊缝外观质量要求

单位为毫米

序号	项目	焊缝种类	质量要求	
1	气孔	横向、纵向对接焊缝	不准许	
		熔透角焊缝、棱角焊缝、主要角焊缝 <sup>a</sup>	直径小于 1.0	每米不多于 3 个, 间距不小于 20
		其他焊缝	直径小于 1.5	

表 11 焊缝外观质量要求（续）

单位为毫米

序号	项目	焊缝种类	质量要求	
2	咬边	纵向对接焊缝、竖向加劲肋焊缝	不准许	
		横向对接焊缝、棱角缝、主要角焊缝	≤0.5	
		其他焊缝	≤1.0	
3	焊脚尺寸	主要角焊缝 $K$	+2.0 0	
		其他焊缝 $K^b$	+2.0 0	
4	焊波	对接焊缝和角焊缝	$h \leq 2.0$ (任意 25 mm 范围高低差)	
5	余高	不铲磨余高的对接焊缝	$h \leq 2.0 (b \leq 20)$ $h \leq 2.5 (b > 20)$	
6	有效厚度	T 形角焊缝	凸面角焊缝有效厚度应不大于规定值 2.0,凹面角焊缝应不小于规定值 0.3	
a 主要角焊缝为节段的壁板单元、腹板单元与承压板之间角焊缝等。				
b 手工焊每条焊缝总长的 10% 范围内 $-1.0 \leq K \leq 3.0$ 。				

8.7 无损检验

8.7.1 无损检测人员须持国家相关部门颁发的有效证件,经监理工程师确认后方可上岗,且只能从事资格证书中认定范围内的工作。

8.7.2 经外观检查合格的焊缝方能进行无损检验,无损检验应在焊接 24 h 后进行,设计有要求时按设计要求执行。焊缝内部质量分级和超声波探伤范围和检验等级符合表 12 的规定。

表 12 钢塔焊缝无损检测范围和检验等级

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
1	壁板、腹板横纵向对接焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 2 级	焊缝全长
			射线	10%	GB/T 3323.1—2019 B 级	GB/T 37910.1—2019 1 级	两端各 250 mm~ 300 mm
2	隔板对接焊缝 加劲肋对接焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2013 2 级	焊缝全长
3	承压板接料对接熔透焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 2 级	焊缝全长

表 12 钢塔焊缝无损检测范围和检验等级（续）

序号	焊缝部位	质量等级	检测方法	检测比例	执行标准		检测范围
					检测标准/级别	验收标准/级别	
4	承压板接料对接部分熔透焊缝	C 级	超声	100%	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 3 级	焊缝全长
5	钢塔节段间壁板、腹板对接焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 2 级	焊缝全长
6	钢塔节段棱角部分熔透角焊缝	C 级	超声	100%	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 3 级	焊缝两端各 1 m
			磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952—2011 2X 级	焊缝两端各 1 m
7	钢塔节段锚箱传力板熔透角焊缝 钢塔节段锚箱熔透角焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 3 级	焊缝全长
			磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952—2011 2X 级	焊缝全长
8	钢塔节段纵肋嵌补对接焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 2 级	焊缝全长
9	锚梁部分熔透角焊缝	C 级	超声	100%	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 3 级	焊缝两端各 1 m
10	锚梁腹板与钢塔壁板熔透角焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 2 级	焊缝全长
			磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952—2011 2X 级	焊缝全长
11	承力板、承压板与锚梁腹板熔透角焊缝	B 级	超声波	100%	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712—2023 2 级	焊缝全长
			磁粉	100%	GB/T 26951	GB/T 26952—2011 2X 级	焊缝全长
12	产品试板、其他结构熔透角焊缝、熔透对接焊缝	B 级	超声	100%	GB/T 11345—2023 B 级	GB/T 29712 2 级	焊缝全长

8.7.3 超声波(UT)检测应符合 GB/T 11345—2023 的规定,缺陷评定应符合附录 E 的规定。焊缝的射线探伤(RT)应符合国家标准 GB/T 3323.1—2019 的规定,缺陷评定应符合附录 F 的规定。焊缝的磁粉探伤(MT)应符合标准 GB/T 26951 和 GB/T 26952—2011 的规定。此外,还应符合以下规定。

a) 进行局部超声探伤的焊缝,当发现裂纹缺陷或较多其它缺陷时,应扩大该条焊缝探伤范围,必要时可延长至全长。进行射线探伤的焊缝,当发现超标缺陷时,应在不合格部位相邻两端 250 mm~300 mm 范围各增加一处射线照相拍片;若仍不合格时,不合格端应延长至另一射线照相拍片抽检部位。

b) 经超声波和射线两种方法检查的焊缝,当评定结果不一致时,两种方法应达到各自的质量标准

方可认为合格。

- c) 焊缝不合格部位应进行返修,返修次数不宜超过两次,所有返修部位仍按原探伤方法进行100%的无损检测,并应达到相应焊缝的内部质量要求。

8.8 产品试板检验

8.8.1 按表 13 规定的数量制造焊接产品试板。产品试板按对接焊缝要求进行超声波探伤。对接焊缝产品试板经外观和探伤检验合格后进行接头拉伸、侧弯和焊缝金属低温冲击试验,试件数量和试验结果应符合焊接工艺评定的有关规定。

表 13 焊接产品试板数量

序号	焊缝类型	接头数量	产品试板数量
1	厂内壁板、腹板纵向对接焊缝	20 条	1 组
2	桥位壁板、腹板纵向对接焊缝	10 条	1 组
3	全断面对接焊缝	8 个断面	1 组
4	底座承压板对接熔透焊缝	每 10 条	1 组

8.8.2 产品试板应从构件上引接,要求试板材质、厚度、轧制方向和坡口应与所焊对接板材相同,试板长度应不小于 600 mm,宽度每侧不小于 150 mm。当焊缝端部不具备引接试板条件时可单独施焊,但应采用与构件焊缝相同的工艺和设备,并应在同一地点施焊,不准许异地施焊产品试板。

8.8.3 若试验结果不合格,应先查明原因,制定相应的处理方案进行处置。

8.9 圆柱头焊钉焊缝检验

8.9.1 每 100 个圆柱头焊钉至少抽一个进行弯曲检验,方法是用锤打击圆柱头焊钉,使焊钉弯曲 30°时,其焊缝和热影响区没有肉眼可见的裂缝为合格;若不合格则加倍检验。

8.9.2 圆柱头焊钉的补焊:对有缺陷的焊钉焊缝可采用手工焊进行补焊,补焊长度应自缺陷两端外延 10 mm,焊角尺寸为 6 mm;当钢板厚度达到手工焊要求预热的厚度时应预热,预热温度和手工焊要求的预热温度相同;当焊钉焊缝不合格时,应将焊钉从构件上切除,且不应伤及母材,切除圆柱头焊钉的部位应打磨平整,然后用原焊接方法重新焊接圆柱头焊钉。

8.9.3 圆柱头焊钉螺柱焊之后,应及时敲掉圆柱头焊钉周围的瓷环进行外观检验。焊钉底角应保证 360°周边均匀挤出焊脚;咬边深度不大于 0.5 mm,且最大长度不大于 1 倍焊钉直径。采用手工焊的圆柱头焊钉,最小焊脚尺寸应符合表 14 规定。

表 14 采用手工焊方法的焊钉角焊缝最小焊脚尺寸

单位为毫米

序号	圆柱头焊钉直径	角焊缝最小焊脚尺寸
1	10、13	6
2	16、19、22	8
3	25	10
注:来源于 JTG/T 3651—2022 表 7.2.11。		

9 矫正

9.1 一般要求

- 9.1.1 矫正后的构件表面不应有凹痕和其他损伤。
- 9.1.2 构件采用冷矫时应缓慢加力,环境温度不宜低于 5℃。
- 9.1.3 采用热矫时,Q370 和以下钢板加热温度应不超过 800℃;Q420 钢热矫温度应控制在 750℃以下;Q500 钢热矫温度应控制在 700℃以下。不宜在同一部位多次重复加热,不应过烧,且不应锤击钢材和用水急冷。加热时应应对温度控制和测量。

9.2 板单元矫正

板单元矫正允许偏差应符合表 15 的规定。

表 15 板单元矫正允许偏差

单位为毫米

序号	名称	项目		允许偏差	简图
1	壁板单元、腹板单元	对角线相对差		$\leq 4.0$	
		平面度 $f$	横向	$\leq 2.0$	
			纵向	$\leq 4.0$	
		角变形 $\delta$		$\leq S_1/150$ , 且不大于 4	
		板边直线度		$\leq 2.0$	
		板肋垂直度		$\leq 2.0$	
2	隔板单元	平面度 $f$	横向	$\leq 6.0$	
			纵向	$\leq 5.0$	
		板肋垂直度		$\leq 2.0$	
		板肋组装间距		$\leq 2.0$	

9.3 锚箱单元矫正

锚箱单元矫正允许偏差应符合表 16 的规定。

表 16 锚箱单元矫正允许偏差

单位为毫米

序号	项目	允许偏差	简图
1	腹板间距 $S$	$\pm 1.0$	
2	锚拉板与承压板的垂直度	$\leq 2.0$	



9.4 钢锚梁矫正

钢锚梁单元矫正允许偏差应符合表 17 的规定。

表 17 钢锚梁矫正允许偏差

单位为毫米

序号	名称	允许偏差		简图
1	锚点坐标	$\pm 2.0$		
2	锚垫板角度	$\alpha, \alpha'$	$\pm 0.1^\circ$	
3		$\beta, \beta'$	$\pm 0.1^\circ$	
4	加劲板间距 $S_1, S_2$	$\pm 3.0$		
5	箱口对角线差	$\leq 3.0$		—
6	旁弯	$\leq 3.0$		—

9.5 块体、节段矫正的允许偏差应符合成品尺寸允许偏差的规定。

10 匹配制造

10.1 一般要求

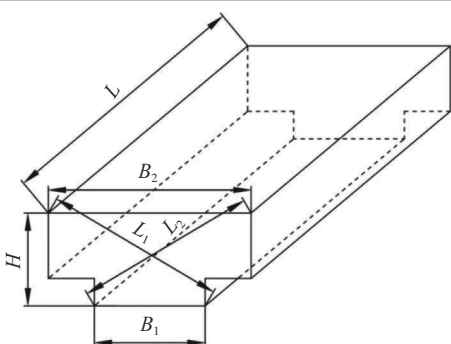
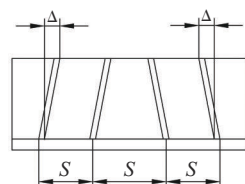
- 10.1.1 拼装场地应具备足够的面积和配套的起吊设备,场地应平整、不应发生支点下沉。
- 10.1.2 块体、节段应在专用组装胎架上进行连续匹配制造。
- 10.1.3 未经检验或检验不合格的构件不应进行组焊。
- 10.1.4 测量时,宜选择在温度恒定时进行。
- 10.1.5 组装后的块体、节段同一接缝两个端面各参数的允许偏差应注意单向正负偏差积累。
- 10.1.6 在块体、节段组装完成后,经检验合格方可进行施焊。
- 10.1.7 尺寸检测应在块体、节段与胎架解除约束后进行。

10.2 块体匹配制造

块体匹配制造允许偏差应符合表 18 的规定。

表 18 块体匹配制造允许偏差

单位为毫米

序号	名称	项目	允许偏差	简图
1	块体	长 $L^a$	工艺量	
2		高 $H$	$\pm 2.0$	
3		宽 $B_1, B_2$	$\pm 2.0$	
4		端口对角线相对差 $ L_1 - L_2 $	$\leq 3.0$	
5		扭曲 $\delta$	$\leq 3.0$	
6		旁弯	$\leq 3.0$	
7		隔板垂直度 $\Delta$	$\leq 2.0$	
8		隔板间距 $S$	$\pm 2.0$	
9	匹配制造	匹配制造长度 $L$	$\pm 2n, \pm 10$ ;取绝对值较小值	$n$ 为同一批次匹配制造的块体数量
10		相邻块体纵距	$\pm 2.0$	两块体横基线间距
11		块体中心线错位	$\leq 2.0$	块体中心线和桥轴中心线偏差
12		对接错边量	$\leq 1.5$	相邻块体之间
13		加劲肋错台	$\leq 1.5$	相邻节段之间
14		旁弯	$\leq L/5\ 000$ ,且不大于10	$L$ 为匹配制造长度
<sup>a</sup> 需整体端面机加工的节段,根据工艺文件取值。				

10.3 节段匹配制造

节段匹配制造允许偏差应符合表 19 的规定。

表 19 节段匹配制造允许偏差

单位为毫米

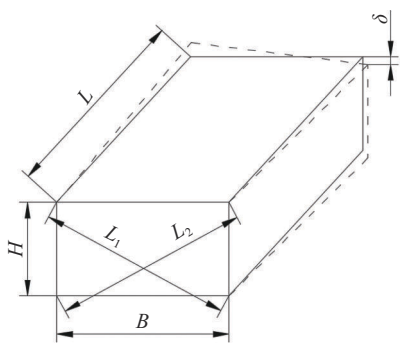
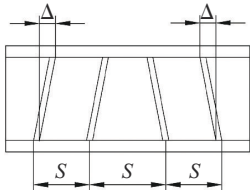
序号	名称	项目	允许偏差	简图
1	节段	长 $L^a$	工艺量	
2		高 $H$	$\pm 2.0$	
3		宽 $B$	$\pm 2.0$	
4		端口对角线相对差 $ L_1 - L_2 $	$\leq 3.0$	
5		扭曲 $\delta$	$\leq 3.0$	
6		旁弯	$\leq 3.0$	

表 19 节段匹配制造允许偏差

单位为毫米

序号	名称	项目	允许偏差	简图
7	节段	隔板垂直度 $\Delta$	$\leq 2.0$	
8		隔板间距 $S$	$\pm 2.0$	
9	匹配制造	匹配制造长度 $L$	$\pm 2n, \pm 10$ ;取绝对值较小值	$n$ 为同一批次匹配制造的节段数量
10		相邻节段纵距	$\pm 2.0$	测节段横基线间距
11		节段中心线错位	$\leq 2.0$	节段中心线和桥轴中心线偏差
12		对接焊缝错边	$\leq 1.5$	相邻节段之间
13		加劲肋错台	$\leq 1.5$	相邻节段之间
14		旁弯	$\leq L/5\,000$ ,且 $\leq 10$	$L$ 为匹配制造长度
a 需整体端面机加工的节段,根据工艺文件取值。				

## 11 端面机加工

### 11.1 一般要求

11.1.1 端面传力钢塔应进行端面机加工。

11.1.2 对从事节段端面机加工人员进行岗前专项培训, 操作人员考核合格后方可上岗作业。

11.1.3 机加工应根据设计规定的精度要求选择切削刀具、确定切削参数, 并制订施工工艺和质量控制方法, 上报监理工程师批准后方可实施。

11.1.4 机加工前, 应设置定位工作平台。平台应具有足够刚度, 并应设置精确的定位调整设备, 其精度应满足端面机加工的要求。

11.1.5 端面切削加工前, 应对刚度较小的局部区域进行加固。

11.1.6 机加工前, 应对铣床的精度进行检测。

11.1.7 机加工过程中, 对端面铣平时产生的切削热, 应采取冷却措施。

11.1.8 机加工完成后, 应用钢针划出预拼装对位线, 并做出标识; 加工端面宜进行临时涂装防锈保护。

### 11.2 划线与定位

11.2.1 划线前应检测其几何尺寸, 并与设计尺寸相核对, 基准线的确定要满足加工要求。

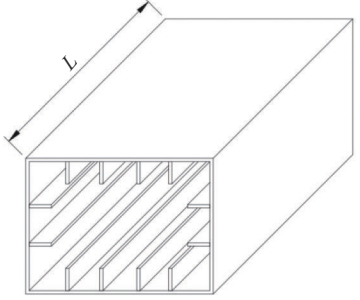
11.2.2 对块体、节段划线时, 应提前将其置于机加工车间, 使各部位的温度达到均衡, 且应选择节段的壁板、腹板温差不大于  $2^{\circ}\text{C}$  时进行。

11.2.3 机加工前应根据节段的受力状态、支点位置进行分析, 划线与定位前应先调整支点反力, 使各点受力均匀。

### 11.3 机加工要求

块体、节段机加工精度允许偏差应符合表 20 的规定。

表 20 块体、节段机加工精度允许偏差

序号	项目	允许偏差	简图
1	长度 $L$	$\pm 2.0\text{ mm}$	
2	两端面的平行度	$\leq 0.5\text{ mm}$	
3	平面度	$0.08\text{ mm/m}$	
		$0.25\text{ mm/全平面}$	
4	表面粗糙度 $Ra$	$12.5\text{ }\mu\text{m}$	
5	节段端面对轴线的垂直度 (顺桥向、横桥向)	$1/8\ 000\text{ mm}$ 或设计要求	

12 预拼装

12.1 一般要求

- 12.1.1 检查胎架是否完好,安全设施是否可靠,所用工具、仪器是否处于良好状态。
- 12.1.2 可采用立式和卧式两种方式进行预拼装。
- 12.1.3 应设置相应的预拼装胎架,胎架强度、刚度和平整度应满足要求。
- 12.1.4 每轮的预拼装节段数量应不少于 2 段,每轮预拼装完成后预留一段进行下轮拼装。
- 12.1.5 预拼装的块体、节段应检验合格后参与节段整体预拼装。
- 12.1.6 预拼装的检测宜在温度恒定时进行,其温差变化的范围应为 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 12.1.7 预拼装后,组焊临时连接匹配件,并按规定打号。
- 12.1.8 每次预拼装应注意避免单向正负偏差积累。

12.2 端面传力钢塔立式预拼装

- 12.2.1 金属接触率检查前应清除接触面边缘的机加工毛刺,避免其对金属接触率的影响。
- 12.2.2 金属接触率检查应以  $0.04\text{ mm}$  的塞尺插入深度不超过钢板厚度的  $1/3$  为密贴,超过时应判定为不密贴;测量点按设计规定执行,每个顶紧处都应有检查记录。
- 12.2.3 螺栓孔应 100% 自由通过较设计孔径小  $1.0\text{ mm}$  的试孔器。
- 12.2.4 端面传力钢塔立式预拼装允许偏差应符合表 21 中的规定。

表 21 端面传力钢塔立式预拼装允许偏差

序号	项目	允许偏差	备注
1	预拼高度 $H$	$\pm 2n$	$n$ 为预拼装节段数量 允许偏差单位为 $\text{mm}$
2	垂直度 <sup>a</sup>	$1/8\ 000\text{ mm}$ 或设计要求	—
3	壁板、腹板错边量 <sup>b</sup>	$\leq 1.5\text{ mm}$	—
4	加劲肋 <sup>b</sup>	$\leq 2.0\text{ mm}$	—

表 21 端面传力钢塔立式预拼装允许偏差（续）

序号	项目	允许偏差	备注
5	端面金属接触率 <sup>c</sup>	壁板:≥50% 腹板:≥40% 加劲肋:≥25% 或设计要求	—
6	锚点坐标	±3.0 mm	—
7	锚管出口点坐标	±3.0 mm	—
<sup>a</sup> 弧形塔采用轴线偏离度控制。 <sup>b</sup> 个别角点≤3.0 mm。 <sup>c</sup> 测点频次:壁板、腹板:1点/每个加劲肋间隔;加劲肋:1点/每个加劲肋。			

12.3 非端面传力钢塔立式预拼装

12.3.1 预拼装过程中,进行长度、拱度、旁弯等项点调整,同时对接间隙、接口错边等工艺项点进行检测,超差时需进行修整。

12.3.2 非端面传力钢塔立式预拼装允许偏差应符合表 22 中的规定。

表 22 非端面传力钢塔立式预拼装的允许偏差

序号	项目	允许偏差	备注
1	预拼高度 $H$	$\pm 2n$	$n$ 为预拼装节段数量 允许偏差单位为 mm
2	垂直度 <sup>a</sup>	1/8 000 mm 或设计要求	—
3	错边量 <sup>b</sup>	≤2.0 mm	—
4	锚点坐标	±3.0 mm	—
5	锚管出口点坐标	±3.0 mm	—
<sup>a</sup> 弧形塔采用轴线偏离度控制。 <sup>b</sup> 个别角点≤3.0 mm。			

12.4 端面传力钢塔卧式预拼装

12.4.1 预拼装施工与检测均应在温度恒定时进行,并施加必要的轴向力,以保证端面金属接触率。

12.4.2 端面传力钢塔金属接触率检查前,应清除接触面边缘的机加工毛刺。

12.4.3 端面金属接触率检查应以 0.2 mm 的塞尺检查,当塞尺的插入深度不超过钢板厚度的 1/4 为密贴,否则判定为不密贴。

12.4.4 螺栓孔应 100% 自由通过较设计孔径小 1.0 mm 的试孔器。

12.4.5 端面传力钢塔卧式预拼装允许偏差按表 23 执行。

表 23 端面传力钢塔卧式预拼装允许偏差

序号	项目	允许偏差	备注
1	预拼长度 $L$	$\pm 2n$	$n$ 为预拼装节段数量 允许偏差单位为 mm
2	垂直度 <sup>a</sup>	1/8 000 mm 或设计要求	—
3	壁板、腹板错边量 <sup>b</sup>	$\leq 1.5$ mm	—
4	加劲肋 <sup>b</sup>	$\leq 2.0$ mm	—
5	端面金属接触率 <sup>c</sup>	壁板： $\geq 50\%$ 腹板： $\geq 40\%$ 加劲肋： $\geq 25\%$ 或设计要求	—
6	锚点坐标	$\pm 3.0$ mm	—
7	锚管出口点坐标	$\pm 3.0$ mm	—
<sup>a</sup> 弧形塔采用轴线偏离度控制。 <sup>b</sup> 个别角点不大于 3.0 mm。 <sup>c</sup> 测点频次：壁板、腹板：1 点/每个加劲肋间隔；加劲肋：1 点/每个加劲肋。			

12.5 非端面传力钢塔卧式预拼装

非端面传力钢塔卧式预拼装的允许偏差应符合表 24 的规定。

表 24 非端面传力钢塔卧式预拼装的允许偏差

序号	项目	允许偏差	备注
1	预拼长度 $L$	$\pm 2n$	$n$ 为预拼装节段数量 允许偏差单位为 mm
2	垂直度	1/8 000 mm 或设计要求	—
3	错边量 <sup>a</sup>	$\leq 2.0$ mm	—
4	锚点坐标	$\pm 3.0$ mm	—
5	锚管出口点坐标	$\pm 3.0$ mm	—
<sup>a</sup> 弧形塔采用轴线偏离度控制。 <sup>b</sup> 个别角点不大于 3.0 mm。			

13 涂装

13.1 一般要求

13.1.1 涂装方案应满足设计文件要求；设计无要求时，密闭箱形构件的内部不涂装。

13.1.2 涂装前应编制专项施工方案，并应依据专项施工方案编制工序作业指导书。

13.1.3 涂装前，应对构件自由边的双侧倒弧，倒弧的半径应不小于 2 mm。

13.1.4 涂装施工所使用的设备和工具应保持良好状况、安全可靠。

13.1.5 涂装完成后应对构件进行标识,且应待涂层干燥后再进行构件的存放。

13.1.6 涂装施工的环境温度、相对湿度、钢板温度应符合涂料说明书要求及 JT/T 722 的规定。

### 13.2 表面清理

13.2.1 若设计对表面清理的除锈等级和表面粗糙度有特殊要求,则应执行其规定的特殊要求。

13.2.2 涂装前,应对构件的表面进行喷砂除锈,除锈等级和表面粗糙度应符合现行 JT/T 722 的规定。

13.2.3 涂装前应对结构进行检查处理,包括:

- a) 粗糙焊缝打磨光滑,焊接飞溅物用刮刀或砂轮机除去。焊缝上深度为 0.8 mm 以上或宽度小于深度的咬边应补焊处理,并打磨光滑;
- b) 边角用砂轮打磨成曲率半径为 2 mm 的圆角;
- c) 切割边的峰谷超过 1 mm 时,打磨至 1 mm 以下;
- d) 表面层叠、裂缝、夹杂物,应打磨处理,需补焊。

13.2.4 需要热浸、镀锌的零部件,在施工前的表面清理应符合相关的规定。

### 13.3 涂装作业要求

13.3.1 在表面处理完成后 4 h 内应将涂料施工在准备涂装的表面;当所处环境相对湿度不大于 60% 时,可以适当延时,但最长不应超过 12 h;不管停留多久,只要表面出现返锈现象,应重新除锈。底漆、中间漆涂层的最长暴露时间不应超过 7 d,两道面漆的涂装间隔也不宜超过 7 d。若两道面漆的涂装间隔超过 7 d 时,应先用细砂纸将涂层表面打磨成细微毛面,然后再涂装后一道面漆。

13.3.2 在涂装前应清除高强度螺栓头部的油污和螺母、垫圈外露部分的皂化膜。

13.3.3 对于局部损伤的涂层,应按本文件的 13.2 的规定进行表面清理,并按原设计涂层补涂各层涂料。

### 13.4 涂层检验

13.4.1 涂料涂层表面应平整均匀,不应有漏涂、剥落、起泡、裂纹、气孔等缺陷,允许有不影响防护性能的轻微桔皮、流挂、刷痕和少量杂质。颜色应与比色卡一致。

13.4.2 金属涂层表面应均匀一致,不应有漏涂、起皮、鼓包、大熔滴、松散粒子、裂纹、掉块,允许有不影响防护性能的轻微结疤、起皱。

13.4.3 每涂完一道涂层后,应检查干膜厚度,出厂前检查总厚度。

13.4.4 涂层厚度每 10 m<sup>2</sup>测 5 个点,每个点附近测 3 次,3 次的平均值即为该点厚度的测量值。钢塔外部所有测点的值应有 90% 达到或超过规定的漆膜厚度值,未达到规定膜厚的测点之值不应低于规定膜厚的 90%;钢塔内部所有测点的值应有 85% 达到或超过规定的漆膜厚度值,未达到规定膜厚的测点之值不应低于规定膜厚的 85%。当漆膜厚度不大于 300 μm 时,漆膜厚度测定点的最大值不应超过设计厚度的 3 倍;当漆膜设计厚度达到 300 μm 以上时,漆膜厚度测定点的最大值不应超过设计厚度的 2.5 倍;无机富锌底漆漆膜测定点的最大值不应超过 120 μm。

13.4.5 若未达本文件 13.4.4 要求或在 10 m<sup>2</sup>内有 2 个和以上点的测量值小于规定的漆膜厚度值,则应加涂一道涂料。

13.4.6 漆膜附着力的检验应采用 GB/T 5210 进行评定,热喷涂金属涂层体系附着力要求不小于 5.9 MPa,涂料涂装体系附着力要求不小于 5 MPa,其中无机富锌防锈防滑涂层体系不小于 4 MPa。

### 13.5 抗滑移系数试件与试验

13.5.1 抗滑移系数试件与节段应为同一材质、同一摩擦面处理工艺、同批制造,并在相同条件下运输、存放。

13.5.2 若节段架设时间距出厂摩擦试件试验时间不超过 15d,则可同时计入桥位摩擦试件数量,减少相应的桥位摩擦试件数量。

13.5.3 抗滑移系数实验应符合 JTG/T 3651—2022 附录 G 的规定,出厂时栓接表面抗滑移系数试验值应不低于 0.55,安装前不低于 0.45。

13.5.4 构件出厂后,摩擦面涂层抗滑移性能的保质期应为 6 个月;超过保质期后,应重新检验其抗滑移系数,合格后方可使用。

14 成品尺寸检验

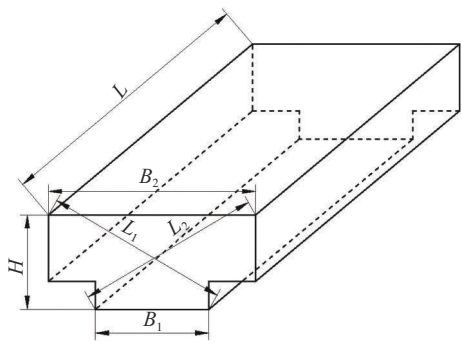
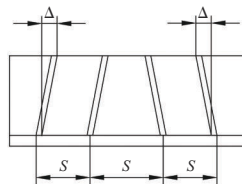
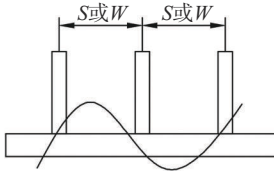
14.1 块体、节段的成品检验和验收应按图纸和本文件相关规定执行。

14.2 块体、节段出厂时应提供工地抗滑移系数试验用试件,随节段发运至工地。

14.3 块体的成品尺寸允许偏差应符合表 25 的规定。

表 25 块体成品尺寸允许偏差

单位为毫米

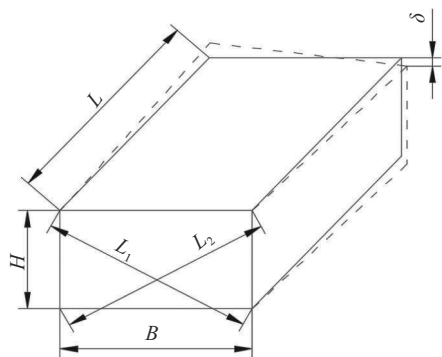
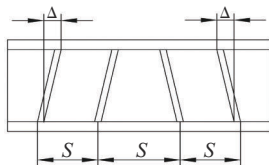
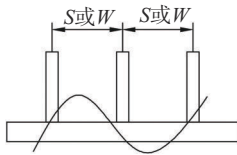
序号	名称		允许偏差	简图
1	长度 $L$		$\pm 2.0$	
2	高度 $H$		$\pm 2.0$	
3	宽度 $B_1, B_2$		$\pm 2.0$	
4	横断面对角线差 $ L_1 - L_2 $		$\leq 3.0$	
5	旁弯		$\leq 3.0$	
6	扭曲		$\leq 3.0$	
7	出锚点坐标		$\pm 3.0$	
8	横隔板垂直度 偏差 $\Delta$		$\leq 2.0$	
9	横隔板间距 $S$		$\pm 2.0$	
10	板面 平面度	横向	$\leq W^a/300$	
11		纵向	$\leq S^b/500$	
12		栓接部位	$\leq 2.0$	
<div><div><sup>a</sup></div><div><math>W</math> 为纵肋中心距。</div></div> <div><div><sup>b</sup></div><div><math>W</math> 为纵肋中心距。</div></div>				

14.4 节段的成品尺寸允许偏差应符合表 26 的规定。



表 26 节段成品尺寸允许偏差

单位为毫米

序号	名称		允许偏差	简图
1	长度 $L$		$\pm 2.0$	
2	高度 $H$		$\pm 2.0$	
3	宽度 $B$		$\pm 2.0$	
4	横断面对角线差 $ L_1 - L_2 $		$\leq 3.0$	
5	旁弯		$\leq 3.0$	
6	扭曲偏差 $\delta$		$\leq 3.0$	
7	横隔板垂直度 偏差 $\Delta$		$\leq 2.0$	
8	横隔板间距 $S$		$\pm 2.0$	
9	板面 平面度	横向	$\leq W^a/300$	
		纵向	$\leq S^b/500$	
		栓接部位	$\leq 2.0$	
<p><sup>a</sup> <math>W</math> 为纵肋中心距。</p> <p><sup>b</sup> <math>W</math> 为纵肋中心距。</p>				

15 存放和运输

15.1 存放

- 15.1.1 钢塔的存放场地应坚实、平整、有排水设施,支承处应有足够的承载力,不准许在存放期间出现不均匀沉降。
- 15.1.2 板单元、零部件存放要分别种类、堆放整齐、平稳。
- 15.1.3 钢塔的支撑点布置,应设在自重作用下,不致产生永久变形处。
- 15.1.4 钢塔的存放应留有适当空隙,便于吊装人员操作和查对。
- 15.1.5 钢塔在存放时,下端面坡口或机加工面不能直接与支墩接触,需要进行保护,以防损伤端面坡口或机加工面。

15.2 运输

- 15.2.1 板单元、零部件厂内转运时,应采取防护措施。
- 15.2.2 同类板单元多层堆放时,各层间垫块应在同一垂直面,其叠放时不宜过高。
- 15.2.3 存放、运输和起吊过程中,应加强对附属结构连接件的保护。
- 15.2.4 节段、块体吊装运输时,应对机加工端面、高栓摩擦面采取一定的保护措施。

- 15.2.5 节段、块体装船前应进行稳定性验算,其抗倾覆安全系数不小于 1.5。
- 15.2.6 节段、块体运输时,应牢靠固定在运输船或运输车上,绑扎时应在接触的边缘加垫(木板、胶垫),防止损伤母材。
- 15.2.7 构件采取公路运输方式时,应提前对运输路线进行现场实地踏勘,确认运输车辆能顺利通行。
- 15.2.8 构件采取水上运输方式时,应提前对运输船舶需经过水域的特点及通航规则进行调查,并应据此确定运输船舶,宜为吊装位态运输。
- 15.2.9 运输应按航运或道路运输有关规定办理。
- 15.2.10 出厂资料应随构件同时抵达。

## 16 现场安装

### 16.1 一般规定

- 16.1.1 钢塔安装前应编制专项施工方案,组织专家进行论证,并逐级进行安全技术交底。
- 16.1.2 钢塔安装应进行安全生产条件检查并接受建设单位、监理单位审查,不具备安全生产条件的不应开工。
- 16.1.3 钢塔节段(块体)进场后应组织验收,各构件应不存在锈蚀、缺损等问题,轴线等标记点应清晰可见。
- 16.1.4 钢塔节段(块体)在桥位处的临时存放平台,以及钢塔结构的强度、刚度和稳定性应符合 JTG/T 3651 的规定。
- 16.1.5 根据节段(块体)尺寸、重量和安装位置选择合理的起重设备,并进行试吊试验。
- 16.1.6 钢塔吊点数量、吊耳和吊具应进行专项设计。吊耳和吊具的设计应符合 GB 50017 的规定。
- 16.1.7 对钢塔节段(块体)的安装工况进行强度、刚度和稳定性验算,并根据验算结果对钢塔结构进行必要的加固。
- 16.1.8 施工平台、电梯、泵管、塔吊等临时设备附墙构件与钢塔壁板之间宜采用螺栓连接。
- 16.1.9 大雨、大雪、大雾和六级及以上大风等恶劣天气不应进行露天作业。

### 16.2 钢塔与混凝土承台连接段提升安装

- 16.2.1 吊装前应进行定位架、锚固螺栓等预埋件安装,锚固螺栓的安装允许偏差不大于 $\pm 2$  mm。
- 16.2.2 节段下落时,应避免与螺杆发生碰撞,宜采用导向架辅助其下落。
- 16.2.3 钢塔与混凝土承台或塔柱的连接方式宜采用承压板与预应力锚固螺栓连接或剪力键连接。
- 16.2.4 当首节段与承台或塔柱采用承压板与锚固螺栓连接方式时,应满足以下要求:
  - a) 承台顶面接触率不低于 75%;
  - b) 对于两接触面采用直接接触的情况,需要对顶面进行打磨处理,其平整度宜不大于 2 mm;
  - c) 对于承压板底面与承台或塔柱顶面采用间隙压浆的情况,灌浆料性能应满足设计要求。
- 16.2.5 当首节段与承台采用剪力键连接方式时,应满足以下要求。
  - a) 剪力钢筋、底座定位件、底座等安装精度应满足设计要求,承台或塔柱混凝土浇筑时应保证其位置稳定。
  - b) 调位完成后应对基准面进行多次连续测量。测量时应选择在温度较为均匀、风速较小的环境下进行,且应以至少 3 次连续有效测量数据差不大于 0.5 mm 作为最终测量数据。测量基准面的平面位置误差应不大于 1 mm,垂直度误差应不大于设计要求。
  - c) 若调位完成后需要局部焊接,应选择在温度较均匀的情况下进行。
- 16.2.6 高强度锚固螺杆进行预应力张拉时,应满足对称施工的原则,且首次张拉力不小于设计张力的

50%。设计张力可分 2~3 次张拉完成。

16.3 钢混结合段安装

16.3.1 钢混结合段内宜设置临时内支撑,其强度、刚度和稳定性应满足 GB 50017 要求。

16.3.2 钢混结合段定位支架应满足以下要求:

- a) 在混凝土塔柱顶部设置定位支架,用于支撑钢混结合段;
- b) 定位支架根部预埋件应提前预埋在已浇筑混凝土节段,预埋件和临时支架结构尺寸应满足 GB 50017 要求;
- c) 定位支架顶部应设置调位装置,用于钢混结合段精确定位。

16.3.3 钢混结合段定位应满足以下要求:

- a) 吊装前,测量定位支架高程,在定位支架顶部和临时内支撑上制作定位标识点;
- b) 在定位支架上设置导向装置,保证钢混结合段快速就位;
- c) 通过设置调位装置调整钢混结合段姿态,经连续测量观测且偏差满足设计要求后,将钢混结合段临时内支撑桁架与定位支架连接固定。

16.4 节段(块体)提升安装

16.4.1 钢塔节段(块体)间应设置限位及匹配件,用于控制节段空间姿态及临时匹配连接。匹配件的数量应依据钢塔块体(块体)在支撑状态下的结构受力及稳定计算结果来确定,并在制造阶段安装。

16.4.2 钢塔节段(块体)吊装前,施工平台和爬梯应安装到位,各部分连接牢固可靠。

16.4.3 对于分块安装的节段,应先安装闭口块体或重量较重块体,并进行临时固定,然后再安装开口块体或重量较轻块体。

16.4.4 钢塔节段(块体)吊装至安装位置上方时,应采用导向板引导调整措施,逐渐缓慢引导下放至临时匹配件位置。导向板的材料强度应满足钢结构相关要求。

16.4.5 匹配件之间采用冲钉定位及普通螺栓临时连接,单个临时匹配件冲钉数目不宜少于 2 个,匹配件完成普通螺栓紧固后,方可进行松钩操作。

16.4.6 根据已安装钢塔线形误差,确定调整方式。定位精度应满足设计和规范要求。

16.4.7 索导管连接时应设置索导管调位和固定的临时措施,索导管节段定位误差应满足相关要求。

16.4.8 应复核调整节段几何位置和垂直度误差。满足安装精度要求,可进行永久连接;若不满足要求,应调整方案。对于非调整节段的其他节段,应进行端面间金属接触率检测,金属接触率允许偏差应符合表 27 的规定。

表 27 金属接触率允许偏差

序号	项目		允许偏差
1	金属接触率	塔柱壁板	≥50%
2		塔柱腹板	≥40%
3		加劲肋板	≥25%

16.5 横梁提升安装

16.5.1 在横梁吊装前,对塔肢与横梁的安装位置进行精确复核。对于跨度较大的横梁,应考虑并设置预拱值。

16.5.2 综合考虑安装高度、横梁高度、栏杆高度和起重设备工作参数等相关因素,选择合理起重设备。

16.5.3 横梁顶面栏杆、内部楼梯等附属设施应在吊装前全部安装到位。

16.5.4 对于长度长、断面尺寸大、重量重的横梁,吊装前应进行吊点、吊具等专项设计。

16.5.5 整体式横梁安装应满足以下要求:

- a) 横梁安装前,利用顶推设备将已安装塔肢间距调整至设计值,定位误差不大于 4 mm;
- b) 横梁起吊过程中应保持节段处于水平的状态;
- c) 横梁吊装到位后,经粗调、精调,其安装精度应满足设计要求;
- d) 横梁与塔肢间的连接应符合一般节段永久连接相关规定。

16.5.6 对一些特殊桥塔形式,根据其特点,可将横梁分成多个节段分别安装,应满足以下要求:

- a) 根据横梁长度、重量、起重设备能力、施工风险等因素划分合理的横梁节段数量;
- b) 在吊装过程中,应使各节段顶面中轴线保持在一条直线上,误差不大于 1 mm;各节段相关控制点标高控制在一个水平面上,误差不大于 1 mm;应减少各节段间相互扭转及节段空间位置偏差在设计允许偏差值范围以内;
- c) 单个节段吊装完成后,应及时进行临时锚固。

## 16.6 钢塔转体施工

16.6.1 应对结构转体的各个施工工况进行分析验算。

16.6.2 应对竖转铰结构、锚固、转动和位控系统进行专项设计。当利用提升架或塔架竖转时,提升架或塔架应进行专项设计。

16.6.3 千斤顶、卷扬机、液压提升系统等设备的最大工作负荷不宜超过设备额定工作能力的 80%,且在使用前应对油表、张力测力仪和起重力限制器等计量器具进行标定。

16.6.4 锚固系统应安全可靠,锚碇的抗拔、抗滑安全系数应不小于 2。竖向转动铰的强度安全系数应不小于 2。

16.6.5 采用塔架或提升架竖转施工时,拉索和扣索应选用钢丝绳或钢绞线,钢丝绳的安全系数不应小于 6,钢绞线的安全系数不应小于 2。塔架应有临时锁定拉索的装置;提升架应有临时固定构件的装置。

16.6.6 位控系统除应设置必要的转体限位、微调装置外,尚应设置测力装置、测量变形装置和测量转体平衡装置。同时,应设置八字形反向拉索,防止转动时的横向偏位和竖直时的过位失控。

16.6.7 转体施工作业转动前应进行试转,竖转的速度宜控制在 0.005 r/min~0.01 r/min 范围内。

16.6.8 转体作业时应统一指挥、统一信号、统一行动;各部位的操作人员在未得到指令或指令不明的情况下严禁操作;转体作业应采用计算机自动控制系统。

16.6.9 转体施工时,转动影响区域 10 m 范围内应无其他障碍物。

16.6.10 提升作业应在构件与胎架之间的连接解除之后进行,且宜通过分级加载的方式进行试提升,宜将构件吊起 200 mm~300 mm 高度后悬停,对吊点、吊具和绳索等进行全面检查,确认无异常后再正式提升。

16.6.11 多点提升时,应对提升过程中各提升点的负荷、高差等进行监测,实测偏差应在允许范围内。用于保证提升系统结构稳定的缆风绳在提升作业过程中不应进行拆除、转换。

16.6.12 将构件提升到设计位置后,应对其进行平面位置和高程的校正,并应及时固定,防止构件失稳或倾覆。

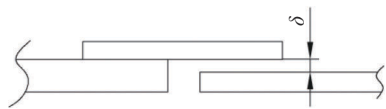
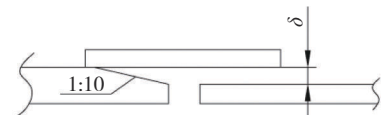
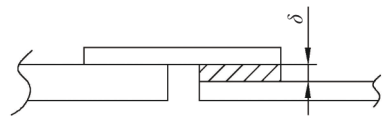
## 16.7 高强度螺栓连接

### 16.7.1 高强度螺栓连接副管理

16.7.1.1 高强度螺栓连接副进场后,应按包装箱上注明的批号、规格分类保管,室内架空存放,堆放不宜超过五层。在保管期内不应任意开箱,防止生锈和沾染污物。

- 16.7.1.2 高强度螺栓每批应进行检验,检验合格后方可使用。
- 16.7.1.3 每套高强度螺栓连接副由一个螺栓、一个螺母、二个垫圈组成。
- 16.7.1.4 高强度螺栓连接副在运输、保管过程中应防雨、防潮,并应轻装、轻卸,防止损伤螺纹。
- 16.7.1.5 领用时不应以短代长或以长代短。
- 16.7.2 高强度螺栓连接副施工
- 16.7.2.1 高强螺栓施拧前,应在施工现场按出厂批号分批测定其扭矩系数。每批抽取 8 套,其平均值和标准偏差应符合设计要求;设计未要求时,平均值偏差应在 0.110~0.150 之间,标准偏差应 $\leq 0.0100$ 。测定系数应作为施拧的主要参数。
- 16.7.2.2 施工前,应清除连接板的飞边、毛刺等,摩擦面应保持干燥、整洁,不应在雨中作业。
- 16.7.2.3 安装前应检测抗滑移系数,最小值不应小于 0.45,如不符合要求,应采取相应措施重新处理。重新处理后,应再次进行抗滑移系数试验,确认抗滑移系数符合要求后方可安装。
- 16.7.2.4 组装时,螺栓头一侧和螺母一侧应各置一个垫圈,垫圈有内倒角的一侧应朝向螺栓头、螺母支撑面。高强度螺栓、螺母、垫圈应按生产厂提供的批号配套使用,不应改变其出厂状态。
- 16.7.2.5 安装高强度螺栓时,螺栓应能自由穿入孔内。
- 16.7.2.6 在使用过程中,不应在施工现场随意堆放,且不应使其遭受雨淋、接触泥土和油污等。
- 16.7.2.7 当环境温度低于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、或摩擦面潮湿或暴露于雨雪中时,不应进行高强度螺栓连接副的安装和施拧施工作业。
- 16.7.2.8 当安装出现摩擦面间隙时,应按表 28 的要求处理。

表 28 摩擦面间隙处理

序号	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,将钢板厚度一侧磨成 1:10 的缓坡,使间隙小于 1.0 mm。用砂轮打磨时,应使打磨方向与受力方向垂直
3		$\delta > 3.0\text{ mm}$ 时加垫板,垫板厚度不小于 3.0 mm,垫板材质和摩擦面处理方法应与构件相同

- 16.7.2.9 高强度螺栓拧紧顺序,宜从螺栓群中间向外侧进行拧紧,并应在 24 h 之内全部终拧完毕。施拧时,不应采用冲击拧紧和间断拧紧。
- 16.7.2.10 设计预拉力、施工预拉力应符合设计规定。
- 16.7.2.11 高强度螺栓连接副的紧固宜分为初拧、复拧、终拧 3 个步骤,对螺栓数量较少且板层不超过 3 层的节点可按初拧、终拧 2 个步骤进行;对单排(列)螺栓个数超过 15 个的节点,需要进行复拧。初拧扭矩应为终拧扭矩的 50%,复拧扭矩应等于初拧扭矩;初拧、复拧、终拧应在同一工作日内完成。每批高强度螺栓连接副的终拧扭矩应按公式(1)计算确定:

$$T_c = K \times P_c \times d \dots\dots\dots (1)$$

式中:  
 $T_c$ ——终拧扭矩,单位为牛米(N·m);



$K$ ——高强度螺栓连接副的扭矩系数平均值；

$P_c$ ——高强度螺栓的施工预拉力；

$d$ ——高强度螺栓公称直径,单位为毫米(mm)。

16.7.2.12 终拧时,施加扭矩应连续、平稳,螺栓、垫圈不应与螺母一起转动,如果垫圈发生转动,应更换高强螺栓连接副,按操作程序重新初拧、终拧。

16.7.2.13 高强度螺栓连接副的施拧按 JGJ 82 的规定执行。

16.7.3 高强度螺栓连接副施工质量检验

16.7.3.1 高强度螺栓连接副施工质量检查应由专职质量检查员进行,扭矩法施工施拧的高强螺栓连接副应在终拧 1 h 以后,24 h 之前完成扭矩检查。

16.7.3.2 使用前,检查扭矩扳手应标定,其扭矩误差不应大于使用扭矩值的 $\pm 3\%$ 。

16.7.3.3 用小锤(重约 0.3 kg)敲击法对初拧后的全部高强度螺栓连接副进行检查,以防漏拧。

16.7.3.4 每批高强度螺栓连接副的检查扭矩应按公式(2)计算确定:

$$T_c = K \times P \times d \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$T_c$ ——检查扭矩,单位为牛米(N·m);

$K$ ——高强度螺栓连接副的扭矩系数平均值;

$P_c$ ——高强度螺栓的设计预拉力;

$d$ ——高强度螺栓公称直径,单位为毫米(mm)。

16.7.3.5 一般情况下宜优先采用松扣、回扣法进行检查。当有足够、准确的实测试验数据时,也可采用紧扣法进行检查。

16.7.3.6 每个栓群的螺栓,其不合格者不应超过抽验总数的 20%,如超过此值,应继续抽检,直至累计总数的 80% 合格为止,然后对欠拧者补拧,超拧者更换后重新施拧。

16.7.3.7 终拧检查合格的螺栓,应按规定作出标记。

16.7.3.8 高强度螺栓的施拧应包含高强度螺栓连接副的复验数据,栓接板面抗滑移系数试验数据,施拧扭矩扳手和检查扭矩扳手的标定、校正记录,初拧扭矩、终拧扭矩、检测扭矩等施工、检查记录。

16.8 焊接连接

16.8.1 焊接前对焊缝及两侧各 50 mm 范围内,用砂轮除锈清理并达到焊接工艺规程要求。

16.8.2 焊接前应制定工艺规程,对温度、湿度、风速等指标进行量化规定。

16.8.3 应采取焊接变形控制措施,减少不对称焊接对钢塔节段(块体)垂直度影响,焊接收缩引起的偏斜应不超过允许值。

16.8.4 钢塔壁板焊接时,气体保护焊作业区的最大风速应不超过 2 m/s;焊条电弧焊和自保护药芯焊丝电弧焊作业区的最大风速应不超过 8 m/s,当不满足要求时,应采取防风措施。

16.8.5 焊接时作业区温度宜不低于 5℃;当作业区温度低于 5℃但不低于-10℃时,应采取加热或防风保温措施,同时应预热焊缝 100 mm 范围内的母材不低于 20℃或工艺规定的其他预热温度,并在焊接后缓慢降温。

16.8.6 外壁板环缝焊缝余高应磨平,表面无毛刺及凹凸不平,整体表面应达到平整匀顺。

16.8.7 焊接应在除锈后 12 h 内进行。

16.8.8 焊缝检测应满足以下要求:

- a) 所有焊缝应在全长范围内进行外观检查,表面不应有裂纹、未熔合、夹渣、未填满弧坑和焊瘤等缺陷,并满足设计和相关规范的要求;
- b) 经外观检查合格的焊缝,方能按设计的要求进行无损检验,无损检验应在焊接 24 h 后进行,当

钢板厚度大于等于 30 mm 时,应在焊接 48 h 后进行无损检验;

- c) 无损检测方法和要求按照 JTG/T 3651 的规定;
- d) 其他要求按照第 8 章的规定执行。

16.9 安装控制

16.9.1 施工控制应对构件制造误差、施工临时荷载和环境因素等进行敏感度分析,以制定有针对性的措施。

16.9.2 对于钢混结合段、合龙节段等特殊节段安装,应制定详细施工控制实施方案。

16.9.3 钢塔安装中几何测量、环境监测和物理监测应同步进行。

16.9.4 几何测量主要内容应包含节段预拼装测量、节段控制点相对关系测量、安装现场塔柱几何位置及倾斜度测量、整体线形测量。

- a) 预拼装测量应选择在温度稳定的情况下进行,截面温差不大于 0.5℃。测量时应对环境温度同步进行测量。
- b) 几何位置及倾斜度测量应在节段永久连接全部完成后方可进行,特殊情况下也可在临时连接完成后进行,且应选择在夜间温度相对稳定且风速小的情况下进行测量。
- c) 钢塔单个节段的测量通常为 2 次~3 次,不应少于 1 次。
- d) 对于以基准控制点测量结果误差较大的情况,应采用自由设站方法对钢塔柱中心相对距离和扭转进行测量。
- e) 宜综合考虑塔吊、电梯、施工平台等不均衡荷载对线形产生的影响。

16.9.5 环境测量主要内容应包含温度测量和风速风向测量。

- a) 大气温度测量、钢塔结构系统温度测量和断面温度梯度测量应根据计算结果合理选取测试断面,同一监测断面内相邻两测点间距不宜过大,且内外壁板温度均应测量。
- b) 大气温度测量、钢塔结构系统温度测量和断面温度梯度测量应根据计算结果合理选取测试断面,同一监测断面内相邻两测点间距不宜过大,且内外壁板温度均应测量。
- b) 风速风向测量控制点宜布置在安装节段的顶端。

16.9.6 应力监测主要内容应包含钢塔最不利断面应力监测、水平撑轴力监测及其他临时荷载监测。

- a) 钢塔最不利应力监测断面应根据施工计算分析结果,选择结构应力最大断面和应力突变断面。
- b) 应力监测应根据计算应力值、监测时间和监测环境等因素合理选择监测元件。

16.9.7 施工控制过程中应及时提交钢塔线形评估报告。控制单位在对钢塔几何状态进行评估和后续节段预测后,若发现误差精度不满足相关要求,应采取相应修正措施。

16.9.8 由混凝土徐变及钢塔受载后弹性压缩引起的误差应在节段制造时进行一次或多次补偿。

16.9.9 钢塔安装精度允许偏差应符合表 29 的规定。

表 29 钢塔安装精度允许偏差

单位为毫米

序号	项目		允许偏差	备注
1	塔柱垂直度	栓接连接	$H/3\ 000$	$H$ 为塔高
2		焊接连接	$H/4\ 000$	$H$ 为塔高
3	钢塔节段顶面高程		$\pm 10.0$	
4	钢塔累计顶面高程		$\pm 10.0$	
5	塔柱中心偏位		$\pm 4.0$	
6	两塔柱横梁处中心相对高差		$\pm 6.0$	

## 附 录 A

### (规范性)

### 原材料复验

#### A.1 检验频次

##### A.1.1 钢材检验规则如下：

- a) 钢板应按同一厂家、同一材质、同一钢板厚度、同一出厂状态,每10炉(批)组成一个检验批,且检验批重量 $\leq 600$  t,每检验批抽验一组试件;
- b) 对有探伤要求的钢板,应抽取每种钢板厚度的10%进行超声波探伤;
- c) 型材应按同一厂家、同一材质、同一钢板厚度、同一出厂状态每10个批号组成一个检验批,每检验批抽验一组试件。

##### A.1.2 焊接材料按其生产批号逐批抽样复验。

##### A.1.3 高强度螺栓连接副的复验应按批进行,组批应符合下列规定：

- a) 同批高强度螺栓连接副应由同批高强度螺栓、螺母、垫圈组成;
- b) 同批高强度螺栓应由同一性能等级、材料、炉号、螺纹规格、长度(当螺栓长度小于或等于100 mm、长度相差小于或等于15 mm时;或当螺栓长度大于100 mm、长度相差小于或等于20 mm时,均可视为同一长度)、机械加工、热处理工艺、表面处理工艺的螺栓组成;
- c) 同批高强度螺母应由同一性能等级、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组成;
- d) 同批高强度垫圈应由同一性能等级、材料、炉号、规格、机械加工、热处理工艺、表面处理工艺的垫圈组成;
- e) 同批高强度螺栓连接副的最大数量应为3 000套,进场数量少于3 000套时应视为一批。

##### A.1.4 圆柱头焊钉应按相同型号规格、相同生产批号组成检验批,同批最大数量应 $\leq 30\,000$ 套。进场数量少于上述规定时应视为一批。

##### A.1.5 涂装材料按其生产批号逐批抽样复验。

#### A.2 检验项目

##### A.2.1 钢材检验项目包括：

- a) 审核生产厂家提供的质量证明材料;
- b) 化学成分:按设计要求及相关制造标准执行;
- c) 力学性能:拉伸试验检验屈服强度 $R_{el}$ (或 $R_{eH}$ )、抗拉强度 $R_m$ 、伸长率 $A$ ;180°弯曲试验;低温冲击试验KV2;
- d) 对于有探伤要求的钢板,应按GB/T 2970—2016对钢板进行检测,钢板质量应符合Ⅰ级要求。
- e) 对于有Z向拉伸要求的钢板,应根据GB/T 5313的相关规定进行检验。

##### A.2.2 焊接材料检验项目包括：

- a) 审核生产厂家提供的《质量证明书》;
- b) 药芯焊丝:逐批检验熔敷金属的化学成分(C、Si、Mn、P、S、Ni)和力学性能(屈服强度 $R_{el}$ 、抗拉强度 $R_m$ 、伸长率 $A$ 、冲击功KV2);



- c) 实心焊丝:逐批检验焊丝的化学成分(C、Si、Mn、P、S、Ni)和熔敷金属的力学性能(屈服强度  $R_{el}$ 、抗拉强度  $R_m$ 、伸长率  $A$ 、冲击功  $KV2$ );
- d) 手工焊条:首批检验熔敷金属的化学成分(C、Si、Mn、P、S、Ni)和力学性能(屈服强度  $R_{el}$ 、抗拉强度  $R_m$ 、伸长率  $A$ 、冲击功  $KV2$ ),其余批次检验熔敷金属的化学成分;
- e) 埋弧焊焊丝:逐批检验化学成分(复验 C、Si、Mn、P、S、Ni,其他元素按质保书验收);
- f) 埋弧焊焊剂:逐批检验化学成分(复验 P、S 元素含量),焊丝与焊剂组合复验熔敷金属的力学性能(屈服强度  $R_{el}$ 、抗拉强度  $R_m$ 、伸长率  $A$ 、冲击功  $KV2$ )。

**A.2.3 高强度螺栓连接副复验项目包括:**

- a) 生产厂家提供的质量证明材料;
- b) 楔负载试验;
- c) 螺母的保证载荷;
- d) 螺母硬度;
- e) 垫圈硬度;
- f) 连接副扭矩系数(平均值和标准偏差)。

**A.2.4 圆柱头焊钉复验项目包括:**

- a) 审核生产厂家提供的质量证明材料;
- b) 原材料检验化学成分(复验 C、S、Si、Mn、P、Al 元素含量)、拉伸试验( $R_m$ 、 $R_{p0.2}$ 、 $A$ )。

**A.2.5 涂料复验包括:**

- a) 审核生产厂家提供的质量证明材料;
- b) 车间底漆执行 JT/T 722 中技术要求,重点复验项目为:不挥发物含量、表干时间;涂装材料复验应按照 JT/T 722 进行。

**A.3 评定规则**

**A.3.1** 各项试验结果的评定按照相应国家标准进行,当没有相应的国家标准或订货合同(技术条件)有特殊规定时,按合同(订货技术条件)执行。

**A.3.2** 焊接材料、油漆的评定以每一批号的试验结果为准。钢材试验炉(批)的评定以抽样试验结果为准。

**A.3.3** 对于钢材检验批的质量评定按下述原则进行。

- a) 当试验炉(批)号评定为合格时,评定整个检验批为合格。
- b) 当试验炉(批)号评定为不合格时,在该检验批内再抽取两个炉(批)号的样品进行试验;
  - 1) 若两个试验炉(批)号均合格,则该检验批其余炉(批)号均判定为合格;
  - 2) 若两个试验炉(批)号均不合格,则对该检验批剩余的 7 个炉(批)号逐炉(批)取样进行试验,逐炉(批)评定;
  - 3) 若两个试验炉(批)号有一个合格另一个不合格时,在该检验批剩余的 7 个炉(批)号中再抽取两个炉(批)号进行试验;如果两个试验炉(批)号均合格则判定该 7 个炉(批)号合格,否则对该检验批剩余的炉(批)号逐炉取样试验,逐炉(批)评定。

附 录 B  
(规范性)  
钢材和加工缺陷的修补

- B.1 缺陷的修补方法应符合表 B.1 的规定。
- B.2 缺陷修补的补焊的预热温度应较正常要求的预热温度提高 30℃~50℃。

表 B.1 超标缺陷修补方法

序号	缺陷种类	修补方法
1	钢材表面麻坑、划痕等	深度为 0.3 mm~1 mm 时,可修磨匀顺(栓接面位置可不打磨);深度超过 1 mm 时,应在补焊后修磨匀顺
2	钢材边缘局部的层状裂纹	深度不超过 5 mm 时,可先按 8.5.4、8.5.5 的规定清除裂纹后补焊并修磨
3	切割边缘的缺口(或崩坑)	深度 2 mm 以内的,用砂轮磨顺,超过 2 mm 的,磨出坡口补焊后修磨匀顺
4	焊缝裂纹和弯曲加工时产生的边缘裂纹	清除裂纹,按补焊工艺补焊后修磨匀顺
5	电弧擦伤	深度不大于 0.5 mm 的缺陷,用砂轮修磨匀顺;深度大于 0.5 mm 的缺陷,补焊后用砂轮磨平
6	焊瘤	用砂轮磨掉或用气刨清除掉后修磨匀顺

附 录 C  
(规范性)  
钢材焊接工艺评定

C.1 一般要求

- C.1.1 焊接工艺评定(以下简称“评定”)是编制焊接工艺的依据。
- C.1.2 评定条件应与产品条件相对应,评定应使用与产品相同的钢材和焊接材料。
- C.1.3 制造单位应根据钢材类型、结构特点、接头形式、焊接方法、焊接位置等制订评定方案,拟定评定指导书,按本文件的相关要求进行评定。
- C.1.4 制造单位首次采用的钢材和焊接材料应进行评定,在同一制造单位已评定并批准的工艺,可不再评定;遇有下列情况之一者,应重新进行评定:
- a) 钢种改变;
  - b) 焊接材料改变;
  - c) 焊接方法或焊接位置改变;
  - d) 衬垫材质改变;
  - e) 焊接电流、焊接电压和焊接速度改变±10%以上;
  - f) 坡口形状和尺寸改变(坡口角度减少10°以上,熔透焊缝钝边增大2 mm以上,无衬垫的根部间隙变化2 mm以上,有衬垫的根部间隙变化在-2 mm~+6 mm以上);
  - g) 预热温度低于规定的下限温度20℃时;
  - h) 增加或取消焊后热处理时;
  - i) 电流种类和极性改变;
  - j) 加入或取消填充金属;
  - k) 母材焊接部位涂车间防锈漆而焊接时又不进行打磨的。
- C.1.5 “评定”包括对接接头试验、熔透角接试验和T形接头试验。

C.2 试板

C.2.1 对接接头试板代表的钢板厚度范围按表C.1执行。

表 C.1 对接接头试钢板厚度

单位为毫米

序号	试板钢板厚度	产品钢板厚度	备注
1	$t \leq 16$	$0.5 t_c \leq t \leq 1.5 t$	$t_c$ —产品钢板厚度 $t$ —试板钢板厚度
2	$16 < t \leq 25$	$0.75 t_c \leq t \leq 1.5 t$	
3	$25 < t \leq 80$	$0.75 t_c \leq t \leq 1.3 t$	

C.2.2 T型接头埋弧自动焊试板可按每一焊脚尺寸在表C.2中选择一种盖、腹钢板厚度组合。

表 C.2 T 形接头埋弧自动焊钢板厚度

单位为毫米

序号	焊脚尺寸	试钢板厚度	
		腹板	盖板
1	6.5×6.5	8~12	12~16
2	8×8	10~16	16~24
3	10×10	14~24	20~40
4	12×12	>20	>28

C.2.3 全熔透、部分熔透 T 形接头试钢板厚度按表 C.3 中选择一种试钢板厚度。

表 C.3 全熔透、部分熔透 T 形接头试钢板厚度

单位为毫米

序号	试板钢板厚度	产品钢板厚度	备注
	腹板	腹板	
1	$t \leq 16$	$0.5 t \leq t_c \leq 1.5 t$	$t_c$ 为产品钢板厚度 $t$ 为试板钢板厚度
2	$16 < t \leq 25$	$0.75 t \leq t_c \leq 1.5 t$	
3	$25 < t \leq 80$	$0.75 t \leq t_c \leq 1.3 t$	

C.2.4 试板长度应根据样坯尺寸、数量(含附加试样数量)等因素予以综合考虑,自动焊不宜小于 600 mm,焊条电弧焊、CO<sub>2</sub> 气体(或混合气体)保护焊不应小于 400 mm。宽度应根据钢板厚度、试样尺寸、探伤要求确定。

C.2.5 试板的制造应符合本文件的技术要求。

C.3 检验和试验

C.3.1 焊缝应全长进行超声波探伤,对接焊缝、熔透角焊缝质量等级应达到 GB/T 11345—2023 中 B 级,不熔透角焊缝质量等级应达到 GB/T 11345—2023 中 C 级。

C.3.2 样坯截取位置应根据焊缝外形和探伤结果,在试板的有效利用长度内作适当分布。试样加工前允许样坯冷矫正。

C.3.3 力学性能试验项目、试样数量和试验方法应符合表 C.4 的规定。

表 C.4 力学性能试验项目、试样数量

试件型式	试验项目	试样数量/个	试验方法
对接接头试件	接头拉伸(拉板)试验	1	GB/T 2651
	焊缝金属拉伸试验	1	GB/T 2652
	接头侧弯试验	1	GB/T 2653
	低温冲击试验	6	GB/T 2650
	接头硬度试验	1	GB/T 2654

表 C.4 力学性能试验项目、试样数量（续）

试件型式	试验项目	试样数量/个	试验方法
熔透角接试件	焊缝金属拉伸试验	1	GB/T 2652
	低温冲击试验	6	GB/T 2650
	接头硬度试验	1	GB/T 2654
T形接头试件	焊缝金属拉伸试验	1	GB/T 2652
	接头硬度试验	1	GB/T 2654
<p>注 1：对接接头侧弯试验：弯曲角度 <math>\alpha=180^\circ</math>。当试板钢板厚度为 10 mm 及以下时，可以用正、反弯各一个代替侧弯。</p> <p>注 2：对接接头和熔透角接低温冲击试验缺口开在焊缝中心和熔合线外 1.0 mm 处各 3 个；如果接头为异种材质组合，熔合线外 1 mm 分别取样。</p> <p>注 3：钢板厚度 <math>\leq 12</math> mm 的对接焊缝、焊缝有效厚度 <math>\leq 8</math> mm 的角焊缝不进行焊缝金属拉伸试验。</p>			

C.3.4 力学性能试验验收应符合下列规定。

- a) 当拉伸试验结果(屈服、抗拉强度和拉棒的伸长率)不低于母材标准值时,则判为合格;当试验结果低于母材标准值,则允许从同一试件上再取一个试样重新试验,若试验结果不低于母材标准值,则仍可判为合格,否则,判为不合格。
- b) 接头侧弯试验结束后,若试样受拉面上的裂纹总长度不大于试样宽度的 15%,且单个裂纹长度不大于 3.0 mm,则判为合格;当试验结果未满足上述要求,则允许从同一试件上再取一个试样重新试验,若试验结果满足上述要求,则仍判为合格,否则,判为不合格。
- c) 各种钢材焊接接头的冲击功应符合设计要求,设计无规定时应符合 C.5 的规定。若冲击试验的每一组(3 个)试样试验结果的平均值不低于规定值,且任一试验结果不低于 0.7 倍的规定值,则判为合格;当试验结果未满足上述要求,允许从同一试件上再取一组(3 个)附加试样重新试验,若总计 6 个试验结果的平均值不低于规定值,且低于规定值的试验结果不多于 3 个(其中,不应有 2 个以上的试验结果低于 0.7 倍的规定值,也不应有任一试验结果低于 0.5 倍的规定值),则可仍判为合格,否则,判为不合格。
- d) 当焊接接头的硬度值不大于 380HV10 时,则判为合格;否则,判为不合格。
- e) 力学性能试验结束后,若发现试样断口上有超标的缺陷,应查明产生该缺陷的原因并决定试验结果是否有效。

表 C.5 焊接接头的冲击功规定值

钢材牌号	Q345			Q370			Q420			Q500		
质量等级	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E
试验温度	0℃	－20℃	－40℃	0℃	－20℃	－40℃	0℃	－20℃	－40℃	0℃	－20℃	－40℃
对接焊缝和熔透角焊缝	34J			41J			47J			54J		
注：试验温度可按照设计规定。												

C.3.5 每一评定应作一次宏观断面酸蚀试验,试验方法应符合 GB/T 226 的规定;单道焊缝的成型系数应为 1.3~2.0。

#### C.4 焊接工艺评定报告

##### C.4.1 “评定”报告应包括下列内容：

- a) 母材和焊接材料的型(牌)号、规格、化学成分和力学性能等；
- b) 试板图；
- c) 试件的焊接条件和施焊工艺参数；
- d) 焊缝外观和探伤检验结果；
- e) 力学性能试验和宏观断面酸蚀试验结果；
- f) 结论。

## 附 录 D

### (规范性)

#### 圆柱头焊钉焊接工艺评定

##### D.1 一般要求

D.1.1 试验用焊接圆柱头焊钉的钢板材质应和生产用钢板相同,按较厚板选用。

D.1.2 圆柱头焊钉的力学性能和化学成分应符合规定要求。

D.1.3 瓷环应符合 GB/T 10433 的规定。

D.1.4 试验用焊接设备应和生产用焊接设备相同;采用不同焊接方法焊接的焊钉应分别评定。遇有下列情况之一者,应重新进行评定:

- a) Q370 级以上的钢种改变;
- b) 焊钉直径或焊钉端头镶嵌(或喷涂)稳弧脱氧剂的改变;
- c) 焊机和配套焊枪形式、型号和规格的改变;
- d) 磁环材料和规格的改变;
- e) 焊接电流变化 $\pm 10\%$ 以上,焊接时间为 1.0 s 以上时变化超过 0.2 s 或 1.0 s 以下时变化超过 0.1 s;
- f) 焊钉伸出长度和提升高度的变化分别超过 1 mm;
- g) 焊钉焊接位置偏离平焊位置  $15^\circ$  以上的变化或立焊、仰焊位置的改变。

##### D.2 试验和检验

D.2.1 试验时应记录施焊参数。

D.2.2 圆柱头焊钉评定试验数量为 6 个,一组 3 个进行敲击  $30^\circ$  弯曲检验;另一组 3 个进行拉伸检验。

##### D.3 弯曲和拉伸检验

D.3.1 弯曲试验采用锤击圆柱头焊钉的方法,弯曲角度为  $30^\circ$ 。当焊钉焊脚未出现肉眼可见裂缝时,该焊钉焊缝判为合格,否则为不合格。弯曲试验的 3 个焊钉全部合格,则该组弯曲评定试验合格,若出现 2 个不合格,该组弯曲评定试验为不合格。若出现 1 个不合格,加倍补做,加倍补做的全部合格后,该组弯曲评定试验合格。

D.3.2 焊钉拉伸试验断裂在焊钉部位,且拉力载荷满足 GB/T 10433 的规定,则焊钉焊缝合格,否则为不合格。当 3 个焊钉焊缝全部合格时,则该组拉伸评定试验合格。若拉伸试验出现 2 个不合格,该组拉伸评定试验为不合格。若出现 1 个不合格,则加倍补做试验,加倍补做的全部合格后,该组拉伸评定试验合格。

##### D.4 焊接工艺评定报告

“评定”报告应包括下列内容:

- a) 钢板、焊钉规格、化学成分和力学性能等;
- b) 试件的焊接条件和施焊工艺参数;
- c) 焊缝外观检验结果;
- d) 焊钉弯曲试验结果;
- e) 焊钉拉伸试验结果;
- f) 结论。

附 录 E  
(规范性)  
焊接接头超声波探伤质量要求

E.1 通则

焊接接头超声波探伤方法和探伤结果分级应符合 GB/T 11345—2023 的规定,并同时满足本附录的要求。

E.2 超声波探伤的距离——波幅曲线

超声波探伤的距离—波幅曲线应符合表 E.1 的规定。

表 E.1 距离-波幅曲线灵敏度

焊缝质量等级		钢板厚度/mm	判废线	定量线	评定线
对接焊缝Ⅰ、Ⅱ级		10~46	$\phi 3 \times 40-6 \text{ dB}$	$\phi 3 \times 40-14 \text{ dB}$	$\phi 3 \times 40-20 \text{ dB}$
		>46~80	$\phi 3 \times 40-2 \text{ dB}$	$\phi 3 \times 40-10 \text{ dB}$	$\phi 3 \times 40-16 \text{ dB}$
全熔透角焊缝Ⅰ级		10~80	$\phi 3 \times 40-4 \text{ dB}$	$\phi 3 \times 40-10 \text{ dB}$	$\phi 3 \times 40-16 \text{ dB}$
			$\phi 6$	$\phi 3$	$\phi 2$
角焊缝 Ⅱ级	部分熔透角焊缝	10~80	$\phi 3 \times 40-4 \text{ dB}$	$\phi 3 \times 40-10 \text{ dB}$	$\phi 3 \times 40-16 \text{ dB}$
	贴角焊缝	10~25	$\phi 1 \times 2$	$\phi 1 \times 2-6 \text{ dB}$	$\phi 1 \times 2-12 \text{ dB}$
		>25~80	$\phi 1 \times 2+4 \text{ dB}$	$\phi 1 \times 2-4 \text{ dB}$	$\phi 1 \times 2-10 \text{ dB}$
<p>注1:角焊缝超声波探伤采用铁路钢桥制造专用柱孔标准试块或和其校准过的其他孔形试块。</p> <p>注2:<math>\phi 6</math>、<math>\phi 3</math>、<math>\phi 2</math>表示纵波探伤的平底孔参考反射体尺寸。</p> <p>注3:评定线以上至定量线以下为弱信号评定区(Ⅰ区);定量线至判废线为长度评定区(Ⅱ区);判废线和以上区域为判废区(Ⅲ区)。</p>					

E.3 缺陷评定

E.3.1 超过评定线的信号应注意其是否具有裂纹等危害性缺陷特征,如有怀疑时应采取改变探头角度、增加探伤面、观察动态波形、结合结构工艺特征作判定,如对波型不能准确判断时,应辅以其他检验作综合判定。

E.3.2 最大反射波幅位于长度评定区(II 区)的缺陷,其指示长度小于 10 mm 时按 5 mm 计。

E.3.3 相邻两缺陷各向间距小于 8 mm 时,两缺陷指示长度之和作为单个缺陷的指示长度。

E.4 检验结果的等级分类

最大反射波幅位于长度评定区(II 区)的缺陷,根据缺陷指示长度和多个缺陷的累计长度按表 E.2 的规定进行分级。满足表 E.2 质量等级要求的判为合格;不满足表 E.2 质量等级要求的判为不合格。



表 E.2 长度评定区缺陷等级评定

评定等级	钢板厚度	单个缺陷指示长度	多个缺陷的累积指示长度
对接焊缝Ⅰ级	10 mm~80 mm	$t/4$ ,最小可为8 mm	在任意9 $t$ 焊缝长度范围不超过 $t$
对接焊缝Ⅱ级		$t/2$ ,最小可为10 mm	在任意4.5 $t$ 焊缝长度范围不超过 $t$
全熔透角焊缝		$t/3$ ,最小可为10 mm	
角焊缝Ⅱ级		$t/2$ ,最小可为10 mm	
<p>注1: 最大反射波幅不超过评定线的缺陷,均评为Ⅰ级。</p> <p>注2: 反射波幅位于弱信号评定区(Ⅰ区)的非裂纹性缺陷,均评为Ⅰ级。</p> <p>注3: 超声波探伤判定为裂纹、未熔合、未焊透(对接焊缝)等危害性缺陷者,判为不合格。</p> <p>注4: 反射波幅位于判废区(Ⅲ区)的缺陷,无论其指示长度如何,判为不合格。</p>			

E.5 复验

不合格的缺陷,应予返修,返修区域修补后,返修部位和补焊受影响的区域,应按原探伤条件进行复验,复探部位的缺陷应按本附录评定。

附录 F  
(规范性)  
焊接接头射线探伤质量要求

F.1 通则

焊接接头射线探伤方法和探伤结果应符合 GB 3323 的规定,并同时满足本附录的要求。

F.2 焊接接头质量要求

对接接头内应无裂纹、未熔合、未焊透,圆形缺陷和条型缺陷应符合 F.3 和 F.4 的规定。

F.3 评定厚度

评定厚度  $t$  是指母材的公称厚度。

F.4 缺陷的评定

F.4.1 圆形缺陷评定

长宽比小于或等于 3 的缺陷定义为圆形缺陷,他们可以是圆形、椭圆形、锥形或带有尾巴(在测定尺寸时应包括尾部)等不规则的形状。包括气孔、夹渣和夹钨。

圆形缺陷用评定区进行评定,评定区域的大小见表 F.1,评定区应选在缺陷最严重的部位。

表 F.1 缺陷评定区

单位为毫米

评定厚度 $t$	$\leq 25$	$> 25$
评定尺寸	$10 \times 10$	$10 \times 20$

评定圆形缺陷时,应将缺陷尺寸按表 F.2 换算成缺陷点数。

表 F.2 缺陷点数换算

缺陷长径/mm	$\leq 1$	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 3$	$> 3 \sim 4$	$> 4 \sim 6$	$> 6 \sim 8$	$> 8$
点数	1	2	3	6	10	15	25

不记点数的缺陷尺寸见表 F.3。

表 F.3 不记点数的缺陷尺寸

单位为毫米

评定厚度	缺陷长径
$\leq 25$	$\leq 0.5$
$> 25$	$\leq 0.7$

当缺陷和评定区边界线相接时,应把它划入该评定区内计算点数。

对于材质或结构等原因进行返修可能会产生不利后果的焊接接头,经合同各方商定,各级别的圆形缺陷可放宽1~2点。

圆形缺陷的评定见表F.4。满足表F.4要求的判为合格;不满足表F.4要求的判为不合格。

表 F.4 圆形缺陷的评定

评定区/mm	10×10			10×20
评定厚度 $t$ /mm	$\leq 10$	$> 10 \sim 15$	$> 15 \sim 25$	$> 25$
允许缺陷点数的上限	3	6	9	12

圆形缺陷长径大于  $t/2$  时,评为不合格。

焊接接头内不计点数的圆形缺陷,在评定区内不应多于10个。

F.4.2 条形缺陷的评定

长宽比大于3的气孔、夹渣和夹钨定义为条形缺陷,条形缺陷的评定见表F.5。满足表F.5要求的判为合格;不满足表F.5要求的判为不合格,表中  $L$  为该组缺陷中最长者的长度。

表 F.5 条形缺陷的评定

单位为毫米

评定厚度 $t$	允许单个条形缺陷尺寸上限	不准许条形缺陷总长
$t \leq 12$	4	在平行于焊缝轴线的任意直线上,相邻两缺陷间距均不超过 $6L$ 的任何一组缺陷,其累计长度在 $12t$ 焊缝长度内不超过 $t$
$t > 12$	$t/3$	

F.5 综合评定

在圆形缺陷评定区内,同时存在圆形缺陷和条形缺陷判为不合格。

F.6 不合格处置

不合格的缺陷,应予返修,返修区域修补后,返修部位和补焊受影响的区域,应按原探伤条件进行复验,复探部位的缺陷应按本附录评定。

参 考 文 献

[1] GB/T 222 钢的成品化学成分允许偏差

[2] GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法

[3] GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

[4] GB/T 232 金属材料 弯曲试验方法

[5] GB/T 247 钢板和钢带包装、标志及质量证明书的一般规定

[6] GB/T 700 碳素结构钢

[7] GB/T 706 热轧型钢

[8] GB/T 709 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差

[9] GB/T 714 桥梁用结构钢

[10] GB/T 985.1 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊推荐坡口

[11] GB/T 985.2 埋弧焊的推荐坡口

[12] GB/T 1591 低合金高强度结构钢

[13] GB/T 3505 产品几何技术规范(GPS)表面结构 轮廓法 表面结构的术语、定义及参数

[14] GB/T 4336 碳素钢和中低合金钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)

[15] GB/T 4956 磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法

[16] GB/T 5116 非合金钢及细晶粒钢焊条

[17] 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

[18] GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝

[19] GB/T 10045 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝

[20] GB/T 11160 不锈钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)

[21] GB/T 13288.1 涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理后的钢材表面粗糙度特性 第1部分:用于评定喷射清理后钢材表面粗糙度的ISO表面粗糙度比较样块的技术要求和定义

[22] GB/T 13288.2 涂覆涂料前钢材表面处理 喷射清理后的钢材表面粗糙度特性 第2部分 磨料喷射清理后钢材表面粗糙度等级的测定方法 比较样块法

[23] GB/T 13778 金属夏比冲击断口测定方法

[24] GB/T 15977 热轧钢板表面质量的一般要求

[25] GB/T 16853 不锈钢药芯焊丝

[26] GB/T 32533 高强钢焊条

[27] GB/T 36034 埋弧焊用高强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求

[28] GB/T 36037 埋弧焊和电渣焊用焊剂

[29] GB/T 36233 高强钢药芯焊丝

[30] GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准

[31] JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准

[32] JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

[33] Q/CR 749.1 铁路桥梁钢结构及构件保护涂装及涂料 第一部分:钢梁

[34] Q/CR 9211 铁路钢桥制造规范

[35] Q/CR 9603 高速铁路桥涵工程施工技术规范

[36] TB 2137 铁路钢桥栓接板面抗滑移系数试验方法

[37] TB/T 3556 铁路桥梁用结构钢