

江苏省地方标准

DB32/T 2330-2013

公路桥梁钢塔制造与安装指南

Guideline for highway bridge steel tower manufacturing and installation

2013-05-15 发布

2013-06-15 实施

江苏省质量技术监督局 发布

前 言

为规范和指导公路桥梁钢塔制造、安装及验收工作，保证钢塔质量和施工安全，特制定本指南。

本指南吸取了国内外公路桥钢塔制造及安装的研究结果和实际施工经验。

公路桥梁钢塔节段工厂制造与现场安装，除应符合本指南外，尚应符合国家及行业现行有关标准、规范的规定。

本指南按GB/T1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的要求进行编制。

本指南由江苏省长江公路大桥建设指挥部提出并负责解释。

本指南起草单位：江苏省长江公路大桥建设指挥部、中交第二航务工程局有限公司、中铁宝桥集团有限公司。

本指南起草人：冯兆祥、张鸿、吉林、李军平、陈策、张国志、杨宁、张永利、张永涛、刘红涛、杨炎华、裴雪峰、游新鹏、祁宝金、李洪涛、刘建波、成宇海、顾碧峰。

公路桥梁钢塔制造与安装指南

1 范围

本标准给出了公路桥梁钢塔制造与安装的指南。

本指南适用于以公路桥梁钢塔节段工厂制造、现场安装、高强螺栓连接施工，其它钢塔制造与安装可以参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 226-1991 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法
- GB/T 231-2009 金属材料布氏硬度试验方法
- GB/T 709-2006 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB/T 714-2000 桥梁用结构钢
- GB/T 1228-2006 钢结构用高强度大六角头螺栓
- GB/T 1229-2006 钢结构用高强度大六角螺母
- GB/T 1230-2006 钢结构用高强度垫圈
- GB/T 1231-2006 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
- GB/T 2649-1989 焊接接头机械性能试验取样方法
- GB/T 2650-2008 焊接接头冲击试验方法
- GB/T 2651-2008 焊接接头拉伸试验方法
- GB/T 2652-2008 焊缝及熔敷金属拉伸试验
- GB/T 2653-2008 焊接接头弯曲试验方法
- GB/T 2654-2008 焊接接头硬度试验方法
- GB/T 2970-2004 厚钢板超声波检验方法
- GB/T 3323-2005 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级
- GB 4956-85 磁性金属基体上非磁性覆盖层厚度测量磁性方法
- GB/T 5117-1995 碳钢焊条
- GB/T 5118-1995 低合金钢焊条
- GB/T 5210-2006 色漆和清漆拉开法附着力试验
- GB/T 5293-1999 埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂
- GB/T 5313-2010 厚度方向性能钢板
- GB/T 6463-2005 金属和其他无机覆盖层厚度测量方法评述
- GB/T 6747-2008 船用车间底漆供货技术条件
- GB/T 8110-2008 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
- GB 8923-1988 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级
- GB/T 9286-1998 色漆和清漆漆膜的划格试验
- GB/T 10045-2001 碳钢药芯焊丝
- GB/T 10433-2002 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
- GB/T 11345-1989 钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果的分级
- GB/T 12470-2003 埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂
- GB/T 13288-91 涂装前钢材表面粗糙度等级的评定
- GB/T 13312-91 钢铁件涂装前除油程度检验方法(验油试纸法)
- GB/T 14957-1994 熔化焊用钢丝

GB/T 14977-2008 热轧钢材表面质量的一般要求
 GB 50017-2003 钢结构设计规范
 JB/T 3223-1996 焊接材料质量管理规程
 JB/T 6061-2007 焊缝磁粉检验和缺陷磁痕的分级
 JGJ 46-2005 施工现场临时用电安全技术规范
 JTGF 80/1-2004 公路工程质量检验评定标准
 TBJ 214-92 铁路钢桥高强度螺栓连接施工规定
 TB/T 1527-2004 铁路钢桥保护涂装
 TB 2137-90 铁路钢桥栓接板面抗滑移系数试验方法
 TB/T 2772-1997 铁路钢桥用防锈底漆供货技术条件
 TB/T 2773-1997 铁路钢桥用面漆、中间漆供货技术条件
 TB 10203-2002 铁路桥涵施工规范
 TB 10212-2009 铁路钢桥制造规范
 YB/T 5149-1993 铸钢丸
 YB/T 5150-1993 铸钢砂
 YB/T 5151-1993 铸铁丸
 YB/T 5152-1993 铸铁砂

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本指南。

3.1.1

零件 Component

组成板单元的最小元件。其中壁板、腹板、隔板、横梁板件、拼接板为主要零件，其余为次要零件。

3.1.2

板单元 Plate element

由若干零件组成。板单元包括壁板单元、腹板单元、横隔板单元等。

3.1.3

块体 Block

由侧壁板单元、边隔板单元、角壁板、边腹板单元组成。

3.1.4

节段 Segment

由块体和板单元组成一个完整的安装单元。

3.1.5

部件 Assembly unit

由若干零件组成。部件包括板单元、块体及节段。

3.1.6

调整节段 Adjustment segment

用于调整钢塔线形的节段。

3.1.7

几何控制 Geometric control

通过在制造阶段精确控制结构构件的无应力尺寸与形状、在安装阶段精确控制结构的几何形态并辅以结构内力状态的控制来达到控制钢塔最终线形和内力状态的施工控制方法。

3.1.8

导向板 Guide plate

节段安装时的导向装置，一般分为上导向板和下导向板。

3.1.9

制造施工图 Manufacturing drawing

根据设计图纸，编制钢塔制造使用的细化图纸，主要有零件、板单元等加工图、塔柱节段和横梁的组装图及预拼装图。

3.1.10

作样 model making

根据零件的实际形状及尺寸，制作相应的样杆、样板。

3.1.11

号料 Number material

将已经展开的零件的实际形状及尺寸，通过样板、样箱、样条或草图划在钢板或型材上的工艺过程。

3.2 符 号

下列符号适用于本指南。

- B、b——宽度；
- d——直径；
- f——拱度、弯曲矢高；
- H、h——截面高度；
- K——焊脚尺寸；
- L——长度；
- S——间距；
- t——厚度；
- α 、 β ——角度。

4 基本安全要求

4.1 人员防护

4.1.1 施工作业现场应配备满足安全生产相关的各种防护设施。

4.1.2 施工人员乘坐交通船应遵循相应管理规定。

4.1.3 从事特种作业工种的人员要经过国家有关机构培训、考核合格，取得特种作业操作证后，方可上岗。

4.2 设备安全

4.2.1 钢塔制造厂临时用电安全管理应执行 JGJ 46-2005 的要求。

4.2.2 钢塔节段制造厂内运输要求

4.2.2.1 厂内平板拖车运输, 时速应控制在 5km/h 以内。

4.2.2.2 重车下坡应缓慢行驶, 并应避免紧急刹车。驶至转变或险要地段时, 应降低车速, 同时注意两侧行人和障碍物。

4.2.3 钢塔节段水上运输作业应经当地港航管理部门的得批准, 在指定的时间和水域进行。如需临时封闭航道时, 应请当地港航管理部门的人员予以现场督导。

4.2.4 钢塔安装设备使用要求

钢塔安装设备属于特种设备, 主要包括有塔吊、浮吊、电梯等, 其使用应遵循以下要求:

4.2.4.1 使用单位在采购或租赁特种设备时, 应选择具备国家规定资质的生产厂家, 设备具有出厂合格证。

4.2.4.2 特种设备应选择具备相应资质的专业单位来进行安装与拆除, 并制定专项安拆方案。投入使用前, 应申请特种设备检验部门, 对设备进行检验检测, 取得检测合格证和安全准用证书。

4.2.4.3 使用单位应定期对特种设备进行维修保养, 对关键工况进行全面的分析和识别, 确定出最危险工况, 并有针对性的制定安全控制措施。

4.3 防火安全

4.3.1 油漆和溶剂应贮存在干燥、阴凉、通风、隔热、无阳光直射的库房里。贮存库房 30 米内不许动用明火。

4.3.2 油漆进库存放时, 贮存库内应搭设木架, 人工堆码不宜超过 1.8 米, 以免倒垛产生火星引起火灾。

4.3.3 灭火器应本着分散与集中相结合的原则进行布点。管理人员应懂得防火常识、灭火知识, 并能够熟练掌握灭火器。灭火器要经常检查, 定期换药。

4.3.4 涂装作业场所禁止吸烟、电气焊等明火作业; 掺兑稀释剂时, 禁止使用铁棒搅拌, 以防碰出火星。作业场所的照明灯具和电气设备, 应具有防爆功能; 进行此项作业时, 应派专人进行安全监护, 作业场所要准备相应的消防设备。

5 总体制造方案

5.1 节段的合理分割

5.1.1 钢塔柱节段分割时, 应需要考虑的因素

5.1.1.1 起重设备

起重设备的吊装能力包括起吊高度, 起吊重量。

5.1.1.2 运输条件

水运, 公路或铁路。

5.1.1.3 工厂条件

厂房空间和场地, 吊运能力, 机械切削设备和测量仪器及其精度等。

5.1.1.4 节段间的现场连接方法。

5.1.1.5 钢塔精度标准。

5.1.1.6 钢塔规模

高度, 塔柱断面尺寸, 节段长度和重量。

5.1.2 钢塔节段的分割

钢塔节段的分割应使节段便于组装,焊接,架设和维修,为减小架设时多节段误差累积对垂直度的影响,节段分割长度应尽可能长。受起吊能力等条件限制时,可进行纵向分割,纵向分割件断面、焊缝宜对称布置;刚性组成节段整体后才能进行端面切削加工,拆开运至现场分别吊装时,应能再现工厂安装状态。

5.2 制造顺序

制造厂内完成节段制作、端面加工、预拼装、涂装等工序后运输至桥位安装,钢塔柱宜自下而上的制作每个节段,制作完成后,进行节段预拼装(每次不少于2个节段),同时建立钢塔柱节段制作累积误差的精度管理,以控制钢塔柱偏斜的累计影响,保证钢塔柱的整体安装精度。

6 技术准备

6.1 制造施工图编制

应在充分理解设计图纸的基础上,采用计算机绘制详细的制造施工图,为编制制造工艺、工装设计奠定基础。制造施工图应包括钢塔柱节段施工图(含块体、板单元、零件)、预拼装施工图等。

6.2 工艺性试验

为保证制造质量,应在钢塔加工制造前,开展以下工艺试验:

- a) 焊接工艺评定试验,焊接工艺编制前,应依据设计图和 TB10212-2009 附录 C 进行焊接工艺评定试验;
- b) 火焰切割工艺试验;
- c) 高强度螺栓连接抗滑移系数试验;
- d) 涂装工艺性试验;
- e) 焊接变形试验。

6.3 制造工艺文件编制

根据制造施工图编制制造工艺文件,节段制造应严格按制造施工图和工艺文件执行。

制造工艺文件主要包括:

- a) 结构作业指导书;
- b) 焊接作业指导书;
- c) 端面机加工作业指导书;
- d) 预拼装作业指导书;
- e) 涂装工艺作业指导书;
- f) 高强度螺栓施拧工艺文件;
- g) 检验细则;
- h) 焊缝质量检验工艺文件。

6.4 技术培训要求

6.4.1 开工前切割工、铆工、电焊工、机床工、钳工、涂装和起重工等均应进行专项技术交底,要求熟练掌握本工种的操作规程,了解本工程的相关要求。

6.4.2 对有特殊要求的工种,如电焊工、起重工,应进行专门的培训并考试,考试合格者方可持证上岗。

7 材料

7.1 钢材

7.1.1 所用材料应符合设计文件要求,钢材必须有出厂质量证明书,并按附录 B 进行复验。

7.1.2 钢塔节段及其配件制作所采用的主要钢材化学成分和力学性能应满足 GB/T 714-2000 要求。

7.1.3 对于首批钢板,对于 $\geq 30\text{mm}$ 厚有探伤要求的钢板应按 GB/T 2970-2004 进行检验,验收等级为Ⅱ级。

7.1.4 对于 $\geq 50\text{mm}$ 厚的钢板,应符合 GB/T 5313-2010 中 Z25 的要求。

7.1.5 钢材表面质量应符合 GB/T 14977-2008 的规定,若发现钢材缺陷需要修补时,应符合本标准附录 A 的规定。当钢材的表面有锈蚀麻点或划痕等缺陷时,其深度不得大于该钢材厚度负允许偏差值的 1/2。

7.1.6 钢材表面的锈蚀等级应符合现行 GB 8923-1988 规定的 C 级及 C 级以上。

7.1.7 钢材材质及规格的变更,必须征得监理工程师及设计单位的认可后方可实施。

7.1.8 钢材进厂后在钢材端面涂上识别色,搬运和堆放时,应注意不使钢材出现永久变形和损伤。

7.2 焊接材料

7.2.1 焊接材料进厂时应有质量证明书,焊接材料的质量管理应符合 JB/T 3223-1996 规定,并按附录 B 进行复验。

7.2.2 焊接材料应符合表 1 的要求。

表 1 焊接材料标准

材料名称	标 准	标 准 号
焊 条	《碳钢焊条》	GB/T 5117 - 1995
	《低合金钢焊条》	GB/T 5118 - 1995
焊 丝	《熔化焊用钢丝》	GB/T 14957 - 1994
	《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》	GB/T 8110 - 2008
	《碳钢药芯焊丝》	GB/T 10045 - 2001
焊 剂	《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》	GB/T 5293 - 1999
	《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》	GB/T 12470-2003

7.2.3 焊接材料应根据焊接工艺评定实验结果确定,所选择的焊接材料应与母材匹配。

7.3 涂装材料

7.3.1 涂装材料的相关指标应满足 TB/T 2772-1997、TB/T 2773-1997、TB/T1527-2004 的要求,无机硅酸锌车间底漆应满足 GB/T 6747-2008 的要求。涂装材料进厂后,应按出厂的材料质量保证书验收,并按附录 B 进行复验。

7.3.2 配套体系应提供权威机构出具的耐中性盐雾试验、人工气候老化试验的检测报告;车间底漆必须提供焊接与切割、弯曲与成型实验报告。

7.3.3 喷砂除锈所用钢砂及钢丸应符合 YB/T 5149、YB/T 5150、YB/T 5151、YB/T 5152 的规定,在使用过程中,还可根据喷砂后钢表面清洁度与粗糙度情况对配比进行调整。

7.4 高强度螺栓

7.4.1 高强度螺栓、螺母及垫圈必须有产品出厂质量证明书,并按附录 B 进行复验。其各项指标应满足表 2 所列标准要求。

表 2 高强度螺栓连接副标准

名 称	标 准
钢结构用高强度大六角头螺栓	GB/T 1228-2006
钢结构用高强度大六角螺母	GB/T 1229-2006
钢结构用高强度垫圈	GB/T 1230-2006
钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件	GB/T 1231-2006

7.4.2 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。保管期内不应任意开箱,防止生锈和沾染污物。

7.5 圆柱头焊钉

圆柱头焊钉的化学成份和力学性能应符合 GB 10433-2002 的规定。

8 零件制作

8.1 预处理

钢材进厂滚平后，其表面采用抛丸除锈，除锈等级为 GB/T 8923-2009 标准规定的 Sa2.5 级。钢材表面清理干净后，喷涂车间底漆 20 μm 一道。

8.2 作样

8.2.1 作样用尺，必须定期经二级以上计量机构进行检定合格后方可使用。

8.2.2 作样必须写明零部件号、材质、规格、数量等。

8.2.3 样杆、样板必须按工艺规定留出加工余量及焊接收缩量，其制作允许偏差符合表 3 的要求：

表 3 样杆、样板制作允许偏差

序号	项 目	允许偏差 mm
1	两相邻孔中心线距离	± 0.5
2	对角线、两极边孔中心距离	± 0.8
3	孔中心与孔群中心线的横向距离	± 0.5
4	宽度、长度	+0.5, -1.0
5	曲线样板上任意点偏离	± 1.0

8.3 号料

8.3.1 号料前应检查钢料的牌号、规格、外观质量，当发现钢料不平直、有锈蚀、油漆等污物影响号料质量时，应矫正、清理后再号料，号料误差 $\pm 1\text{mm}$ 。

8.3.2 钢塔节段的壁板和腹板及其纵向加劲肋、横梁的盖板、腹板及其纵向加劲肋，在号料时，其主要应力方向应与钢板轧制方向一致。其中壁板、腹板和横梁盖板、腹板号料时应在规定位置移植材质、炉批号，并作相应记录以便对其进行追溯。

8.4 下料

8.4.1 剪切边缘应整齐、无毛刺、反口、缺肉等缺陷。

表 4 钢板剪切偏差要求

项 目	剪切偏差
板件宽度、长度	$\pm 2.0\text{mm}$
局部缺口深度	$< 1.0\text{mm}$ （每米长度中不多于两处）
切割面平直度	$0.05t$ 且 $\leq 2.0\text{mm}$
注：剪切仅适用于次要零件或边缘需进行机加工的零件。	

8.4.2 气割应优先选用精密切割，手工气割仅适用于工艺特定的及切割后仍需进行边缘加工的零部件。

8.4.3 火焰切割的工艺要求

8.4.3.1 采用数控切割机下料的零件编程时，要根据零件形状复杂程度，尺寸大小、精度要求等规定切入点和退出点、切割方向和切割顺序等，并应加入补偿量，以消除切割热变形的影响。采用数控及门式切割机精密切割下料时，尺寸精度必须达到 $-1.0\text{mm} \sim +2.0\text{mm}$ 以内。

8.4.3.2 切割面硬度不得超过 HV350，切割面不得有裂纹等危害性缺陷。

8.4.3.3 精密切割边缘表面质量应符合表 5 的规定。

表 5 精密切割边缘表面质量要求

项 目	等 级		附 注
	1	2	
	用于主要零件	用于次要零件	
表面粗糙度 Ra	25 μm	50 μm	GB/T 1031-2009 用样板检查
崩 坑	不允许	1m 长度内，容许有一处 1mm	超限修补应按本标准附录 A 焊接修补规定处理
塌 角	圆角半径≤0.5mm		
切割面垂直度	≤0.05t，且不大于 2.0mm		t 为钢板厚度

8.4.3.4 手工气割边缘表面质量应符合表 6 的规定。

表 6 手工气割面质量要求

项目		允许偏差 mm
零件自由边	主要零件	≤0.2
	次要零件	≤0.6
焊接接缝边	主要零件	≤0.2
	次要零件	≤1.0

8.4.3.5 对于工艺要求切割后要进行机加工的气割零部件，其尺寸偏差应按工艺文件要求的尺寸执行。

8.4.3.6 焊接边及坡口采用切割工艺加工的，应磨掉氧化皮。

8.4.4 钢塔节段的壁板和腹板及其纵向加劲肋、横梁的盖板、腹板及其纵向加劲肋等主要受力零件，在下料时，应使钢板轧制方向与其主要受力方向一致。

8.4.5 钢板下料凿打零件编号及钢板炉批号转移时，应避免钢板表面有因凿打钢印而造成影响使用的损伤，凿打钢印时不得使用扁铲。

8.5 矫正与弯曲

8.5.1 零件的矫正宜以冷矫为主，矫正后的钢料表面不应有明显的凹痕和损伤，冷矫时的环境温度不低于-5℃。

8.5.2 采用热矫时，其温度应控制在 600℃~800℃ 范围内，严格控制“过烧”现象。矫正后零件温度应缓慢冷却，降至室温以前，不得锤击钢材或用水急冷。

8.5.3 零件矫正允许偏差符合表 7 的规定。

表 7 零件矫正允许偏差

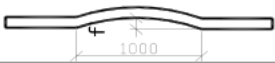
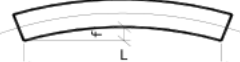
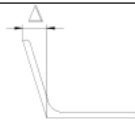
零件	名 称	简 图	允许偏差 mm	说 明
钢 板	平面度		$f \leq 1.0$	每米范围
	马刀形弯曲、 曲线度		$f \leq 3.0$	$L \leq 8000$
			$f \leq 4.0$	$L > 8000$
型 钢	直线度		$f \leq 0.5$	每米范围
	角钢肢垂直度		$\Delta \leq 0.5$	连接部位
			$\Delta \leq 1.0$	其他部位
	角钢肢平面度		$\Delta \leq 0.5$	连接部位
			$\Delta \leq 1.0$	其他部位

表 7 (续)

零件	名 称	简 图	允许偏差 mm	说 明
	腹板平面度		$\Delta \leq 0.5$	连接部位
			$\Delta \leq 1.0$	其他部位
	翼缘垂直度		$\Delta \leq 0.5$	连接部位
			$\Delta \leq 1.0$	其他部位

8.5.4 弯曲加工

8.5.4.1 零件冷作弯曲后, 边缘不得产生裂纹。

8.5.4.2 凡冷弯零件在施工前应对边缘进行倒角处理, 倒角半径 $R=2\text{mm}$ 。

8.5.4.3 主要零件冷弯时, 环境温度不得低于 0°C , 内侧弯曲半径不得小于板厚的 15 倍, 小于者必须热煨, 热煨的温度应控制在 $900\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 。

8.6 零部件划线

8.6.1 零部件划线应在平台上进行, 允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

8.6.2 精确划线号孔, 允许偏差为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

8.7 边缘加工

8.7.1 对于工艺要求进行机加工的零件, 其尺寸允许偏差应按工艺文件和图纸注明的要求执行。

8.7.2 机加工零部件应除去边缘飞刺, 使表面光滑匀顺。

8.7.3 机加工零件的边缘加工深度不得小于 3mm (当边缘硬度不超过 $\text{HV}350$ 时, 加工深度不受此限), 加工面粗糙度 R_a 不得大于 $25\mu\text{m}$ 。

8.7.4 零件尺寸加工允许偏差应符合表 8 的规定。

表 8 零件加工尺寸允许偏差

项目		允许偏差 mm
塔段壁板和腹板、 横梁盖板和腹板	长度	± 2
	宽度	± 2
	板边直线度	≤ 2
横隔板	长度	± 1
	宽度	± 1
	对角线差	≤ 2
	板边直线度	≤ 2
锚箱	长度	± 1
	宽度	± 1
	锚座板、锚垫板平面度	≤ 0.2
其他零件	长度	± 2
	宽度	± 2
	板边直线度	≤ 2

8.7.5 焊接坡口可采用机加工或精密切割, 坡口形状、尺寸和允许偏差由焊接工艺确定。

8.8 制孔

8.8.1 高强度螺栓孔必须采用钻床钻孔, 不得采用冲床冲孔。

8.8.2 螺栓孔应成正圆柱形, 孔壁表面粗糙度 R_a 不得大于 $25\mu\text{m}$, 孔缘无损伤不平、毛刺屑。

8.8.3 对于钢塔柱调整接口的拼接板,应根据桥位钢塔节段安装情况(包括空间姿态、线形等测量结果)进行配孔。

8.8.4 磨完后的钻头,应先在废料上试钻孔,经检验合格后方可在零部件上钻孔。

8.8.5 使用新安装或新检修的样板钻出的首件,或用样板在不同位置钻出的第一个杆件,均应该经检查人员检查合格后方可继续施钻。

8.8.6 螺栓孔孔距允许偏差应符合表 9 的规定,孔的允许偏差符合表 10 的规定。

表 9 孔距允许偏差

定位方法	检查项目	允许偏差 mm	说 明
用钻模钻孔	两相邻孔距	± 0.5	注:采用配钻工艺的孔群除外
	两组孔群中心线距	± 0.8	
	孔群中心线与杆件中心线的横向偏移	≤ 1.5	
	同一杆件不同平面孔群中线纵横向偏移	≤ 1.0	
号钻的孔	两相邻孔距	± 1.0	只适于临时构造及附属设施等
	极边及对角线孔距	± 1.5	
	孔中心与孔群中心线的横向偏移	≤ 1.5	

表 10 螺栓孔加工的容许偏差

检查项目	直径及容许偏差 mm	
螺 栓	M24	M30
螺栓孔	26.5	33
螺栓孔容许偏差	0, +0.7	
圆度(最大和最小值之差)	≤ 1.5	
垂直度	不大于板厚 t 的 2%, 且不得大于 1.5mm	

9 部件制作

9.1 一般规定

9.1.1 组装前必须熟悉施工图和工艺文件,认真核对零件编号、外形尺寸和坡口方向,按照工艺文件规定的组装顺序进行组装。

9.1.2 组装前,零件、部件应检查合格。主要部件,应在平台或胎架上以纵、横基准线为基准进行组装。

9.1.3 对主要焊缝的埋弧自动焊焊缝位置,组装时须安装引、熄弧板,使焊缝的起、熄弧落在产品构件的焊缝之外,引、熄弧板的材质、厚度、坡口形式应与所对应焊件相同。

9.1.4 组装合格后的杆件,应在规定位置打上编号钢印(不允许用扁铲,损伤深度不超过 0.3mm)。首件完成制作后,必须经专检检查,检验合格并经经监理工程师批准后方可批量生产。

9.1.5 钢板需要接料时,接料宽度须 $\geq 200\text{mm}$;当横向需要接料时,其接缝到最近一排螺栓孔中心线的距离不宜小于 100mm。

9.1.6 采用埋弧自动焊、 CO_2 气体保护焊及低氢型焊条手工电弧焊方法焊接的接头,组装前必须彻底清除待焊区域的铁锈、氧化皮、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。

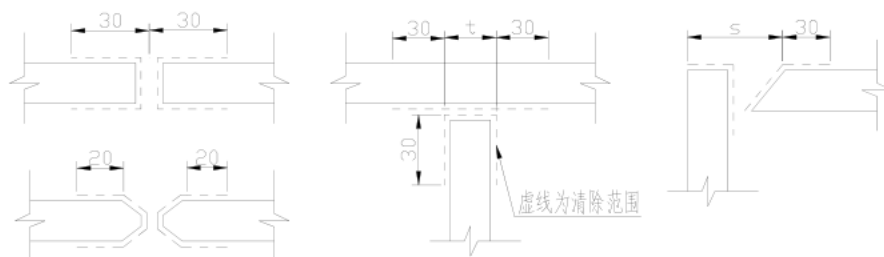


图 1 焊接区域清除范围 (单位: mm)

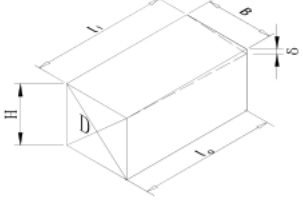
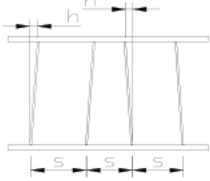
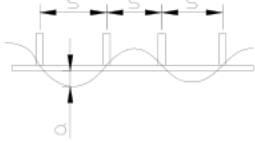
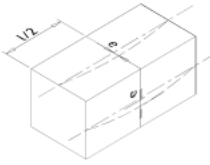
9.2 组装允许偏差

9.2.1 部件组装公差应符合表 11、表 12 规定,个别顶点公差为保证成品尺寸,可根据实际情况进行适当调整。

表 11 部件组装允许偏差

序号	项 目	允许偏差 mm	简 图
1	对接高低差 Δ	≤ 0.5 ($t < 25$) ≤ 1.0 ($t \geq 25$)	
	对接间隙 b	6 ± 2.0	
2	组装缝隙 Δ	≤ 0.5 , 局部 1.0	
3	组装倾斜 Δ	≤ 1.0	
5	壁板上纵肋间距 S1, 位置 S2	端部及横隔板处 ± 1.0 其余 ± 2.0	
	倾斜 Δ	≤ 2.0	
6	磨光顶紧	局部缝隙	≤ 0.2

表 12 部件组装允许偏差

序号	项目		允许偏差 mm	说明
1	块体	高度(H)	※	 注：因节段及横梁两端需要加工或二次切割，故长度尺寸根据工艺文件确定； ※ 该项点根据经验及焊接收缩情况确定，具体由工艺文件给出。
		宽度(B)	※	
		对角线长(D)之差	≤ 3	
		扭曲(δ)	≤ 3	
	节段、横梁	高度(H)	※	
		宽度(B)	※	
		对角线长(D)之差	≤ 3.0	
2	节段和横梁	横隔板垂直度(h)	≤ 2.0	
		横隔板间距(s)	± 2.0	
3	板的平面度	纵肋间(a)	$\leq w/300$	 w-肋间距；s-隔板间距
		隔板间(a)	$\leq s/500$	
4	块体、节段和横梁	水平向弯曲度(e)	≤ 3.0	 经纬仪测量
		垂直向弯曲度(e)		

9.3 板单元制作

- 9.3.1 板单元应在专用的组装胎上进行组装，组装前应对组装胎架进行检查。
- 9.3.2 采用合理的焊接顺序，在专用胎架（平台）上进行焊接，严格控制焊接变形。
- 9.3.3 板单元制作允许偏差应符合表 13 规定。

表 13 板单元制作允许偏差

部 位	简 图	项 目	容许偏差 mm
壁板、腹板、横梁上下盖板、腹板单元		长度	±2.0
		宽度	±2.0
		纵肋及竖肋间距 $s/\Sigma s$	±1.0/±2.0
		横向平面度 a	≤ 2.0
		纵向平面度	≤ 4.0 (4m 范围)
		四角不平度	≤ 3.0
		旁弯	≤ 3.0
横隔板单元		长度 L	±1.0
		宽度 B	±1.0
		对角线差	≤ 2.0
		横向平面度 f	≤ 2.0
		纵向平面度	≤ 4.0 (4m 范围)

9.3.4 板单元超差时应进行返修，返修前应确定合理的返修工艺。

9.4 节段制作

9.4.1 组装前应熟悉施工图及工艺文件，依据施工图及技术文件核对每个零件、部件，不允许使用未经检验或检验不合格的零、部件进行组焊。

9.4.2 钢塔节段在专用组装胎架上进行，并用马板固定。在确保产品组装精度、控制变形的条件下尽量减少马板的数量。

9.4.3 马板焊接与定位焊要求相同，在解除马板时不应伤及母材，解除后应对马板定位焊位置按工艺要求进行处理。

9.4.4 为约束焊接变形，在节段组装完成后，应对其进行加固，特别是刚性较小的不封闭箱型结构的块体及节段箱口部位应进行重点加固，以减小焊接变形，确保焊后箱口尺寸能达到标准要求。

9.4.5 组装后的钢塔节段同一接缝两个端面各参数的容许误差应同正或同负，以确保接口错边量满足公差要求。

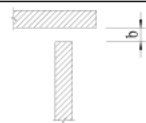
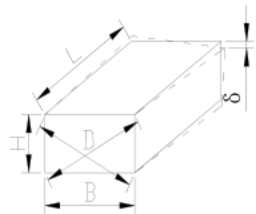
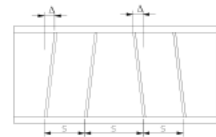
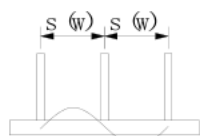
9.4.6 在钢塔节段组装过程中，应由基准线控制每一个被安装部件的位置，使其在允许的误差范围内，以保证钢塔节段的整体几何精度。

9.4.7 钢塔块体、节段及横梁结构制作允许偏差应符合表14 的规定。

表 14 节段及横梁制作允许偏差

序号	项 目		允许偏差 mm	简 图
1	板单元对接	对接高低差 Δ	≤ 1.0 ($t \geq 25$) ≤ 0.5 ($t < 25$)	
		对接间隙 b	≤ 1.0	
2	板单元对接单面焊双面成型	对接高低差 Δ	≤ 1.0 ($t \geq 25$) ≤ 0.5 ($t < 25$)	
		焊接间隙 b	6 ± 2.0	

表 14 (续)

序 号	项 目	允许偏差	序号	项 目
3	T 字接头组 装	组装间隙 b	≤ 0.5	
4	块体	长 L	※	 ※ 该项点根据焊接收缩量及端面机加工量确定。
		高 H	± 2.0	
		宽 B	± 2.0	
		端口对角线相对差 (D)	≤ 3.0	
		扭曲 δ	≤ 3.0	
	节段、 横梁	长 L	※	
		高 H	± 2.0	
		宽 B	± 2.0	
		端口对角线相对差 (D)	≤ 3.0	
		扭曲 δ	≤ 5.0	
5	横隔板	垂直度 Δ	≤ 2.0	
		间距 S	± 2.0	
6	旁弯		≤ 3.0	
7	板 面 平面度	纵向	$\leq W/300$	 W 为纵肋中心距 S 为隔板中心距
		横向	$\leq S/500$	
		连接部位	≤ 2.0	
注：对于棱角焊缝、T 形坡口角焊缝熔深较大的钢塔，焊缝部位壁板、腹板可能出现死弯，平面度标准要求应根据实际情况适当从宽。				

9.4.8 钢塔部件矫正时，应优先采用机械矫正方法，矫正时应缓慢加力，环境温度不宜低于 -5°C 。钢塔块体、节段及横梁矫正允许偏差应符合表 14 的规定。

9.4.9 焊接变形造成允许偏差超标时，如不影响钢塔节段的整体受力及钢塔节段的连接关系，应将测量结果提交监理工程师，并会同业主、设计单位、质检部门共同研究处理方案，并查明超限原因，落实改正措施。

9.5 定位焊

9.5.1 定位焊前应按图纸及工艺文件检查焊件的几何尺寸、坡口尺寸、根部间隙、焊接部位的清理情况等，如不符合要求不得定位焊。

9.5.2 焊接工艺要求需要焊前预热时，则定位焊焊前也需要按同样的预热温度预热。

9.5.3 定位焊不得有裂纹、夹渣、焊瘤、焊偏，弧坑未填满等缺陷。如遇定位焊缝开裂，必须查

明原因，清除开裂焊缝，并在保证构件尺寸的情况下作补充定位焊。

9.5.4 定位焊应距设计焊缝端部 30mm 以上，焊缝长为 60~100mm，间距 400~600mm；板厚大于 50mm 的构件，定位焊缝的间距为 300~500mm。定位焊的焊脚尺寸不得大于设计尺寸的一半，且不小于 4mm；因吊运需加强的部位，可按工艺规定加长、加密。

9.5.5 定位焊使用的焊材烘干条件应按表 15 的规定执行。

表 15 焊条、焊剂烘干温度

焊接材料	烘干温度 ℃	保温时间 h	保存温度 ℃	备注
SJ101q	350±10	2	150±10	由烘干箱取出后超过四小时应重新烘干
SHJ507.01	350~400	2	150±10	

10 焊接

10.1 一般规定

10.1.1 焊工（包括定位焊）必须经过培训，并经考试、取得资格证书，且只能从事焊工考试资格认定范围内的工作；对有特殊要求的焊缝，还应进行专项考试，择优上岗。焊工应保持相对稳定，当焊工脱离焊接工作六个月以上时，应对其重新考核。

10.1.2 必须根据经评审通过的焊接工艺评定报告编制焊接工艺，施焊时必须严格执行焊接工艺，焊接参数应在工艺规定的范围内调整，不得随意变更。

10.1.3 露天焊接工作应采取防风防雨措施，焊接环境湿度应不大于 80%。低合金钢及桥梁用钢的焊接环境温度宜在 5℃ 以上，普通碳素钢的焊接环境温度宜在 0℃ 以上，当环境条件不满足要求时，应采取必要的工艺措施后进行施焊。

10.1.4 主要杆件宜在组装后 24 小时内完成焊接，超过的应在焊接部位进行必要的清理及去湿处理后方可施焊。

10.1.5 焊前预热温度通过焊接试验和焊接工艺评定确定，预热范围一般为焊缝每侧 100mm 以上，距焊缝 30~50mm 范围内测温。

10.1.6 焊前必须彻底清除待焊区域内有害物及定位焊的飞溅、熔渣，认真检查并确认所使用的设备工作状态正常，仪表良好；施焊时应按工艺规定的焊接位置、焊接顺序及焊接方向施焊，不得在母材的非焊接部位起、熄弧，埋弧自动焊应在距构件端部 80mm 以外的引板上起、熄弧；施焊完的部件，应及时清除熔渣及飞溅物。

10.1.7 CO₂ 气体保护焊焊接时，要及时清除喷嘴上的飞溅物，且干燥器始终处于良好的工作状态。CO₂ 气体保护焊施工风力不宜大于 5 级，当风力影响到焊接质量时，应采取相应措施。

10.1.8 I、II 级焊缝焊后应记录杆件的名称、件号、焊缝位置、焊接日期，焊接参数、质量状况、操作者等信息。I 级焊缝焊后应按规打焊工钢印，以便对其进行追溯。

10.1.9 焊接后必须用气割切掉两端的引板或产品试板，并磨平切口，且不得损伤母材。

10.2 焊接材料的使用

10.2.1 焊丝表面的油、锈必须清除干净，焊剂中不允许混入熔渣和脏物使用。

10.2.2 焊条、焊剂必须按表 14 规定烘干使用，烘干后的焊接材料应随用随取。当从烘干箱取出的焊接材料超过 4 小时，应重新烘干后使用。焊条的再烘干次数不宜超过两次。

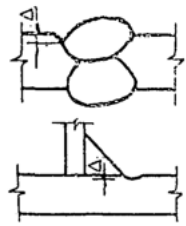
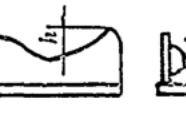
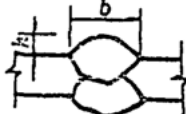
10.2.3 气体保护焊所使用的 CO₂ 气体纯度应不小于 99.5%。

10.3 焊接质量检验

10.3.1 焊缝外观质量检验

所有焊缝均应进行外观检查，焊缝不得有裂纹、未熔合、焊瘤、未填满的弧坑等缺陷，其质量应符合表 16 的规定。

表 16 焊缝外观允许缺陷

序号	项目	简 图	质量要求 mm		
1	咬边		受拉部件纵向及横向对接焊缝		不容许
			受压部件横向对接焊缝 $\Delta \leq 0.3$		
			主要角焊缝 $\Delta \leq 0.5$		
			其他焊缝 $\Delta \leq 1$		
2	气孔		横向及纵向对接焊缝	不容许	
			主要角焊缝	直径小于 1	每米不多于 3 个, 间距不小于 20
			其他焊缝	直径小于 1.5	
3	焊脚尺寸		埋弧焊 K_0^{+2} , 手弧焊 K_{-1}^{+2} , 手弧焊全长 10% 范围内容许 K_{-1}^{+3} ,		
4	焊波		$h < 2$ (任意 25mm 范围内)		
5	余高 (对接)		$b < 15$ 时 $h \leq 3$; $15 < b \leq 25$ 时 $h \leq 4$ $b > 25$ 时, $h \leq \frac{4b}{25}$		
6	余高铲磨 (对接)		$\Delta 1 \leq +0.5$; $\Delta 2 \leq -0.3 $;		

10.3.2 无损检测

10.3.2.1 无损检测人员必须持有资质证书, 且只能从事资格证书中认定范围内的工作。

10.3.2.2 焊缝的无损检测应在焊缝外观检验合格后进行, 且无损检验的最终检验应在焊接 24 小时后进行。钢板厚度 $\geq 30\text{mm}$ 焊接件应在焊接 48h 后进行无损检验。

10.3.2.3 焊缝的级别、检验方法及检验范围见表 17。

表 17 焊缝部位及探伤范围

焊缝部位	焊缝等级	探伤方法	探伤比例	探伤部位
钢塔壁板、腹板及横梁盖腹板横、纵向对接焊缝	I 级	超声波	100%	焊缝全长
		射线	10%	焊缝两端各 250~300mm
D0 150mm 底座板对接	I 级	超声波	100%	焊缝全长
产品试板对接焊缝	I 级	超声波	100%	焊缝全长
		射线	100%	焊缝全长
纵肋对接焊缝	I 级	超声波	100%	焊缝全长

表 18 (续)

焊缝部位	焊缝等级	探伤方法	探伤比例	探伤部位
横隔板对接焊缝	Ⅱ级	超声波	100%	焊缝全长
壁板与壁板、横梁的腹板与翼缘间角焊缝	Ⅱ级	超声波	100%	每条焊缝的两端螺栓孔部位并延长500mm及中间各随机抽探1m
		磁粉	100%	
腹板与壁板间坡口角焊缝	Ⅱ级	超声波	100%	每条焊缝的两端螺栓孔部位并延长500mm及中间各随机抽探1m
横隔板与腹板、壁板间角焊缝	Ⅱ级	超声波	30%	角焊缝全长
纵向加劲肋与壁板间角焊缝	Ⅱ级	超声波	100%	每条焊缝的两端螺栓孔部位并延长500mm及中间各随机抽探1m
注：表中探伤比例按焊接接头数量计。				

10.3.2.4 焊缝无损检验等级见表 18。

表 18 焊缝无损检验等级

焊缝质量级别	探伤方法	无损检验等级
对接焊缝	超声波	B级
	射线	B级

表 18 (续) 焊缝无损检验等级

焊缝质量级别	探伤方法	无损检验等级
熔透角焊缝	超声波	A级
坡口角焊缝及角焊缝	超声波	A级
	磁粉	

10.3.2.5 焊缝超声波探伤的距离-波幅曲线灵敏度见表 19a、表 19b；焊缝超声波探伤的内部质量要求应满足表 19c 的规定；其它技术要求应符合国家标准 GB/T11345-1989 的规定。

表 19a 超声波探伤的距离-波幅曲线的灵敏度 (1)

接头形式	板厚 mm	判废线	定量线	判定线
对接焊缝	8~100	$\phi 3 \times 40-4\text{dB}$	$\phi 3 \times 40-10\text{dB}$	$\phi 3 \times 40-16\text{dB}$
接头形式	板厚 mm	判废线	定量线	判定线
熔透角接焊缝	8~100	$\phi 3 \times 40-4\text{dB}$	$\phi 3 \times 40-10\text{dB}$	$\phi 3 \times 40-16\text{dB}$
坡口角焊缝	10~25	$\phi 1 \times 2$	$\phi 1 \times 2-6\text{dB}$	$\phi 1 \times 2-12\text{dB}$
	≥ 25	$\phi 1 \times 2+4\text{dB}$	$\phi 1 \times 2-4\text{dB}$	$\phi 1 \times 2-10\text{dB}$

表 19b 超声波探伤的距离-波幅曲线的灵敏度 (2)

接头形式	板厚 mm	判定灵敏度	定量灵敏度	判废灵敏度
熔透角焊缝	8~100	$\phi 3$	$\phi 4$	$\phi 6$
坡口角焊缝	采用等声程与允许未熔透尺寸等宽的槽型对比试块未熔透尺寸进行超声评价			

表 19c 超声波探伤缺陷等级评定

评定等级	板厚 mm	单个缺陷指示长度 mm	多个缺陷的累计指示长度
对接焊缝Ⅰ级	10~60	t/4, 最大不超过 8	在任意 9t 焊缝长度范围不超过 t
对接焊缝Ⅱ级	10~60	t/2, 最大不超过 10	在任意 4.5t 焊缝长度范围不超过 t
角焊缝Ⅱ级	10~60	t/2, 最大不超过 10	
注: 判定为裂纹、未溶合、未焊透(对接焊缝)等危害性缺陷者, 应判为不合格。			

10.3.2.6 对接焊缝的射线探伤应符合国家标准 GB/T 3323-2005 的规定, 射线照相质量等级为 B 级; 焊缝内部质量为Ⅱ级。

10.3.2.7 磁粉探伤检验按 JB/T 6061-2007 标准执行, 焊缝质量等级为Ⅱ级。

10.3.2.8 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。

10.3.2.9 对于用超声波探伤不能准确评定缺陷严重程度的对接焊缝, 应补充进行射线检验, 原则上以射线探伤结果来评定焊缝缺陷。

10.4 焊缝返修及修磨

10.4.1 埋弧自动焊施焊时不宜断弧, 如有断弧则必须将停弧处气刨或铲磨成 1: 5 斜坡, 并搭接 50mm 再引弧施焊, 焊后搭接处应修磨匀顺。

10.4.2 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。

10.4.3 焊接缺陷修补时, 预热温度应按焊接工艺的规定再加 30℃~50℃, 预热范围为缺陷周围不小于 100mm 的区域。返修的焊缝应修磨匀顺, 并按原质量要求进行复检。返修次数不宜超过两次。

10.4.4 主要杆件横向对接焊缝的余高应按表 15 第 6 条的规定修磨。

10.4.5 焊缝缺陷的修补方法按表 20 执行。

表 20 焊接缺陷修补方法

序号	焊接缺陷种类	焊接缺陷修补方法
1	误引弧	对直径 $\phi \leq 4\text{mm}$, 深度 $h \leq 0.5\text{mm}$ 的缺陷用砂轮修磨匀顺; $\phi > 4\text{mm}$, 深度 $h > 0.5\text{mm}$ 的缺陷, 补焊后用砂轮修磨匀顺
2	咬边	深度 $0.3 \leq h \leq 0.5\text{mm}$ 处用砂轮修磨匀顺; 深度 $h \geq 0.5\text{mm}$ 处补焊后用砂轮修磨匀顺
3	焊缝表面高低不平、焊瘤	用砂轮修磨匀顺
4	未焊透、夹渣、气孔、凹坑、焊瘤等	用气刨或磨削清除后补焊并用砂轮修磨
5	焊接裂纹及弯曲加工时的边缘裂纹	查明原因, 提出防治措施, 清除裂纹, 按补焊工艺补焊后修磨匀顺
6	烧穿	先在一面补焊, 后在另一面刨槽封底补焊
7	飞溅	铲除

10.5 产品试板

10.5.1 对钢塔节段壁板、腹板、横梁盖板、腹板纵横向对接焊缝及桥位焊接接口制作产品试板。

10.5.2 产品试板的材质、厚度、轧制方向及坡口形式必须与焊件相同, 其长度应大于 400mm, 焊缝每侧宽度不得小于 200mm。

10.5.3 产品试板数量: 每 10 条横向对接焊缝做一组产品试板, 每 20 条纵向对接焊缝做一组产品试板; 桥位每 5 个焊接接口做一组产品试板。

10.5.4 产品试板经探伤合格后进行接头拉伸、焊缝金属低温冲击和侧弯试验。试样数量和试验结果应符合焊接工艺评定的有关规定。

10.5.5 产品试板合格标准应符合表 21 的规定。

表 21 产品试板试样合格标准

试验内容	合格标准
接头拉伸	不低于母材标准的规定值
冲击	见附录 C 中要求
弯曲	180° 不裂

10.5.6 若试验结果不合格,可在原试板上重新取样再试验,如试验结果仍不合格,则应先查明原因,然后对其代表的焊缝作相应处理。

10.5.7 产品试板应组装在焊件上并同时施焊,当不能组焊在焊件上时,可采用与杆件相同的焊接条件进行同时施焊。

10.6 圆柱头焊钉焊接与检验

10.6.1 焊接前应清除焊钉头部及钢板待焊部位(大于 2 倍焊钉直径)的铁锈、氧化皮、油污、水份等有害物。受潮的瓷环使用前应在 150℃ 的烘箱中烘干 2 小时。

10.6.2 每班开始正式焊接前,应按焊接工艺在试板上试焊两个焊钉,焊后按本技术规范要求进行检验,合格后方可进行施焊;若检验不合格,应分析原因重新施焊,直到合格为止。

10.6.3 平位施焊焊钉,焊缝金属完全凝固前不允许移动焊枪;少量平位、立位及其它位置也可采用手工焊接;当环境温度低于 0℃,或相对湿度大于 80%,或钢板表面潮湿时,不允许焊接焊钉。

10.6.4 圆柱头焊钉焊缝检验

圆柱头焊钉焊完之后,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° 周边挤出焊脚。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。

11 节段端面机加工

11.1 划线及定位

11.1.1 节段划线与定位前应根据结构特点采用有限元进行计算分析,确定支撑点位置及支撑反力,确保支撑变形达到最小。

11.1.2 检测钢塔节段几何尺寸,并与设计尺寸相核对,以确定节段的轴线在构件表面的投影线,结合构件长度和断面角度等数据划出切削基准线。

11.1.3 节段划线时应提前运入厂房,使工件各部位温度与厂房环境达到均衡。划线须选择温度差较小时段进行。

11.2 端面机加工

11.2.1 对从事钢塔节段机加工人员进行岗前专题培训,操作人员须经过考核合格后方可上岗工作。

11.2.2 钢塔节段机加工应根据设计规定的节段精度要求选择切削刀具、确定切削参数,并制定施工工艺及质量控制方法。

11.2.3 钢塔节段加工前,应设计定位工作平台。平台应具有足够刚度,并应设置精确的定位调整设备,其精度应满足钢塔节段端面机加工的要求,并对刚度较小的局部采用工装进行加固。

11.2.4 端面加工前,应设专人对铣刀盘进行检查,检查刀片的型号、磨损及卡固情况等是否满足要求。严禁使用磨损较大或失效的刀具进行机加工。

11.2.5 加工场区应采取防护措施确保机加工环境的稳定,降低加工场区内的环境温差,防止阳光的直接照射及外部气流的侵入,引桥机加工过程中节段的热变形。

端面加工过程中应采取下列措施控制温度变化对加工精度的影响:

11.2.5.1 半精加工、精加工及检测应在加工车间温度变化较小(温度差应不大于 2℃)的时段(如夜晚)进行。

11.2.5.2 钢塔节段应提前进入加工车间,并应搁置一定时间,待钢板温度与室温相同后再进行加工。

11.2.5.3 铣床应提前开机，待机床各部件达到热平衡状态后再进行加工。

11.2.6 端面加工时应按切削基准线进行铣削；半精铣和精铣过程必须连续走刀，不得中途停车；精铣时，不得往复走刀及产生残余切削，同时应对加工时产生的切削热采取冷却措施。对于后加工的端面应以已完成的加工面为基准，并考虑先加工面的误差。

11.2.7 节段端面加工完成后，采用钢划针划出预拼装对位线，并作出标识，对加工端面喷涂无机硅酸锌涂料进行临时防护，以免锈蚀。

11.2.8 节段端面加工的容许偏差应符合表 22 的规定。

表 22 钢塔节段端面机加工允许偏差

项目	容许偏差 mm	检测方法
节段长度	± 2	钢尺
平面	0.08/m, 0.25/全平面	API
表面粗糙度 Ra	$\leq 12.5 \mu\text{m}$	粗糙度测量仪或样块对比法
节段端面对轴线的垂直度（顺桥向、横桥向）	$\leq 1/10000$	API

12 节段预拼装

12.1 一般规定

12.1.1 节段端面加工完成后，必须在制作厂内进行预拼装作业，每次预拼装节段数量不得少于 2 个节段。

12.1.2 预拼装方式分为立式预拼装、水平预拼装两类；可根据厂内生产条件、制作工期加以选择。

12.1.3 预拼装前，应清除接触面边缘的机加工毛刺，以减少对金属接触率的影响。预拼装场地温度的控制应满足本标准第 11.2.5 条的有关规定。

12.1.4 预拼装过程中，精确调整节段间接口的相对位置、对预拼装的长度、垂直度、旁弯、端面金属接触率、钉孔通过率、轴线偏位等情况进行检查，超差时应进行修整或作记录后，在下一次预拼装时修正。

12.1.5 预拼装检测合格后，进行拼接板螺栓孔配制，严格按工艺文件进行编号，确保桥位安装对号入座。

12.1.6 首次预拼装应组织专家进行鉴定，对制造工艺进行补充、完善后，方可进行批量生产。以后每次钢塔节段预拼装完成后，技术、检查部门应进行全面质量检查、验收。

12.1.7 每个钢塔节段加工完成，应用高精度的测量仪器检测，采用计算机模拟预拼装，其结果与实际预拼装结果比较后，指导后续钢塔节段加工和预拼装。当预拼装结果与计算机模拟预拼装结果有较大差异时，应进行必要的修正处理。

12.2 立式预拼装

12.2.1 采用模拟桥位钢塔节段安装的姿态进行预拼装，高度较大，必须有相应的安全措施。一般在室外进行，受环境影响较大，最终检测应在温度恒定时段进行，常选择在凌晨 3~5 点。

12.2.2 端面金属接触率检查：从板的两侧分别插入塞尺 0.04mm 的塞尺，不能插入接触面或双面插入深度总和不超过板厚的 1/3 为密贴，插入深度超过板厚的 1/3 为不密贴。同时，在任何部位 0.2mm 的塞尺不得插入。

12.2.3 金属接触率检查的测点间隔约 20cm（角点处必须作为测点），并应做好检查记录，在计算端面金属接触率时应计入错边的影响。

12.2.4 塔柱节段立位匹配预拼装的允许偏差应符合表 23 的规定。

表 23 立式预拼装允许偏差

项目		允许偏差 mm	检查仪器	备注
预拼装长度		$\pm 2n$	钢盘尺	n 为节段数
垂直度	顺桥向	1/10000	全站仪	
	横桥向			
错 边		≤ 2.0	钢板尺	
塔柱节段弯曲		$\leq 3+0.1L$	全站仪	L 单位为 m
端面金属接触率		壁板: $\geq 75\%$	塞尺	
		腹板: $\geq 60\%$		
		加劲板: $\geq 37.5\%$		

12.3 水平预拼装

12.3.1 水平预拼装应设置相应的预拼装支撑架，预拼装支撑架要有足够的刚度及平整度，便于钢塔节段预拼装姿态的调整及保持，可满足钢塔与拼装的精度要求。如高精度的数控千斤顶装置，可便于控制各点支撑反力，减少支撑变形。

12.3.2 预拼装前，应仔细检查预拼胎架是否完好，安全设施是否可靠，所用工具、仪器是否处于良好状态。

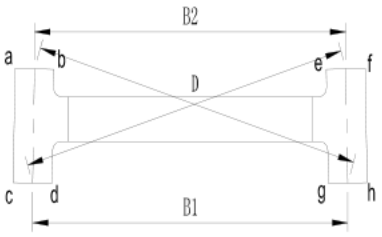
12.3.3 水平预拼装时应控制厂房内的温度差恒定小于 2℃，并施加的轴向力，轴向力不大于上节段的自重，以保证端面金属接触率。

12.3.4 端面金属接触率检查：以 0.2mm 的塞尺检查，其塞入面积不超过 25%。

12.3.5 用试孔器检查所有的螺栓孔，所有螺栓孔必须 100% 自由通过小于设计直径 1mm 的试孔器。

12.3.6 水平预拼装容许偏差按表 24 执行。

表 24 水平预拼装允许偏差表

项目		允许偏差 mm	检查方法	备注
节段与 节段预 拼	预拼长度	$\pm 2n$	钢卷尺	n 为节段数
	垂直度	1.5/10000	全站仪	
	错边	≤ 2.0	钢板尺	个别角点不大于 3mm
	端面金属 接触率	壁板: $\geq 50\%$ 腹板: $\geq 50\%$ 加劲肋: $\geq 40\%$	塞尺	
节段与 横梁预 拼	对角线	≤ 3.0	钢卷尺	
	横梁水平度 (两端)	± 3.0	全站仪	
	塔段中心距	± 3	钢卷尺	
	错边量	≤ 2.0	钢板尺	

注：塔段中心距由桥位测量结果确定。

13 防腐涂装

13.1 喷砂除锈

13.1.1 除锈前应对构件自由边进行倒弧，圆弧半径约为 2mm，构件表面所有的油、污物等要清除干净；检测相对湿度、钢板温度、露点温度，空气相对湿度须低于 85%，金属表面温度要高于露点以上 3℃。

13.1.2 喷砂除锈所用压缩空气必须不含水、油，保持清洁，油水分离器必须定期清理。

13.1.3 全面喷砂除锈后，对漏喷或不合格部位进行返工，达到涂装所要求的标准；对所有钢板表面（包括脚手架上）的灰尘需采用吸尘器或高压空气清理干净，并应在 4 小时内（或钢板表面颜色

未产生变化前)进行涂装,除锈后湿度较大时应缩短间隔时间。

13.1.4 安装接口涂装前应对高强螺栓头部的油污及螺母、垫圈外露部分的清理。

13.2 涂装

13.2.1 涂装环境要求

环氧富锌底漆温度不得低于 10℃,其余涂装环境温度在 5℃~38℃之间,相对湿度 85%以下(当与油漆说明书不符时,应执行油漆相应产品施工说明书)。构件表面结露不得涂装,金属表面温度高于露点 3℃以上方可施工,涂装后 4 小时内应保护免受雨淋。

13.2.2 涂装工艺试验

涂装施工前,制造厂和油漆供应商应进行专项涂装工艺试验,涂装工艺试验报监理工程师确认,工艺试验合格后方可进行正式涂装施工。

13.2.3 涂装材料、工艺要求

13.2.3.1 应按图纸规定涂层体系配套进行喷涂,涂装材料、工艺及性能要求等亦应符合图纸要求。涂装的油漆应按批次送国家检验机构进行抽样检验。施工方案必须符合油漆厂商提供的使用说明所规定的要求。

13.2.3.2 涂装前应仔细确认涂料的种类、名称、质量及施工位置,制造厂应对批量油漆的主要性能指标进行检验。

13.2.3.3 对双组份涂料要明确混合比例,并搅拌均匀、熟化后使用。混合后如超过使用期,则不得使用。

13.2.3.4 工地焊缝处 50mm 范围内不涂装,并采取有效措施进行保护。

13.2.3.5 构件在运输和安装过程中损坏的油漆应进行补涂,对大面积损伤的,必须重新打砂按层修补。局部小面积损伤者用手工打磨,进行修补。

13.3 涂装质量要求与检测

13.3.1 漆膜的外观要求平整、均匀、无气泡、裂纹,无严重流挂、脱落、漏涂等缺陷,面漆颜色与比色卡相一致。

13.3.2 涂膜厚度按图纸规定,采用《金属和其他无机覆盖层厚度测量方法评述》(GB/T 6463-2005)的磁性测厚仪进行测量。涂装体系干膜厚度要求外表面满足 90-10 规则,内表面满足 85-15 规则。

13.3.3 漆膜附着力的检验采用《色漆和清漆漆膜的划格试验》(GB/T 9286-1998)进行划格评级,内表面须达到 1 级以上、外表面须达到 0 级;采用拉开法测量时,其测量值应符合产品说明书的要求。

13.3.4 涂装质量检验

涂装质量检验符合表 25。

表 25 各工序质量检验要求表

工序	检测项目	检测手段	检验要求	检测数量	标准
除油	油污、杂质	目测	清除可见油污、杂质	全 面	GB/T 13312-91
喷砂	清洁度	图谱对照	Sa2.5 (Sa3.0)	全 面	GB 8923-88
	粗糙度	表面粗糙度比较样板或粗糙度测量仪	Rz=40~60 μ m 或 Rz=40~80 μ m	全 面	GB/T 13288-91
涂层	漆膜厚度	用磁性测厚仪	达到规定漆膜厚度	每一构件为一测量单元,大构件以 10m ² 为一测量单元,每个测量单元选取三处基准表面,每个基准表面按 5 点法进行测量。	TB/T 1527-2004 GB 4956-85

表 18 （续）

工序	检测项目	检测手段	检验要求	检测数量	标准
涂层	附着力	划格法	0 级（外表面） ≤1 级（内表面）	每交验批成品构件 抽测一处	GB/T9286-1998
		拉开法	满足涂料产品说明书		GB/T 5210-2006
	外观	目测	漆膜颜色与色卡一致，漆膜无流挂、针孔、气泡、裂纹等缺陷；铝涂层均匀、致密，无未熔化大颗粒，无漏喷现象	在每种涂层指干后 全面检查	TB/T 1527-2004
注：漆膜厚度测量值外表面（内表面）必须满足 90-10（85-15）规则，即所测量值中必须 90%（85%）以上的测值达到规定的厚度要求，另 10%（15%）厚度不达标的测值其厚度不得低于规定厚度的 90%（85%）。					

13.4 抗滑移系数试件与试验

13.4.1 抗滑移系数试件的设计、制作应符合铁道部标准 TB 2137-90 的规定。

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

13.4.3 抗滑移系数试件批次应根据塔柱节段数量和架设的时间而定，在塔段出厂前，按每三个接口做一批，桥位按每六个接口做一批，每批三组抗滑移系数试件。若塔段架设时间距出厂时间不超过 15 天，桥位可不作抗滑移系数试验。

13.4.4 出厂时栓接表面抗滑移系数试验值应不小于 0.55，安装前不小于 0.45，抗滑移系数试验应符合 TB 2137-90 的规定。试验结果报监理工程师确认。如安装前抗滑移系数不符合要求，应采取相应措施直至重新处理构件。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。

14 包装、标志、存放和运输

14.1 包装

14.1.1 包装应在涂层干燥后进行；包装应保护构件涂层不受损伤，保证构件、零件不变形、不损坏、不散失；包装应符合运输的有关规定。

14.1.2 喷涂面保持清洁，防止污染。

14.1.3 小零件应分类打包，每件一般不超过 50 公斤。

14.1.4 包装箱上应标注构件、零件的名称、编号、重量，并应填写包装清单。

14.1.5 须栓合的零部件，应用螺栓栓紧。每处栓合螺栓不少于两个。

14.2 标志

14.2.1 板单元及隔板等，除按规定打钢印外，还应在规定位置涂油号。

14.2.2 钢塔柱节段在预拼完除锈前，在规定位置打上塔段钢印号，现场涂装完后，在规定位置涂油号（塔段号）。

14.3 存放

14.3.1 存放场地应坚实、平整，有排水设施，支撑处有足够的承载力。钢塔柱节段存放期间不应有不均匀下沉。

14.3.2 板单元、零、部件应分类存放在垫楞上，并应不与地面直接接触。

14.3.3 节段支撑点应设置在自重作用下不产生永久变形处。

14.4 运输

14.4.1 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，防止压伤下层

板单元或出现安全事故。

14.4.2 由于节段在运输过程中吊装环节较多，为防止吊装变形，应采取必要的保护措施。

14.4.3 钢塔节段装船后，应用钢丝绳将其牢靠固定在运输船上，绑扎钢丝绳时，应在塔段边加垫木板，严防损伤塔段边缘。

14.4.4 钢塔节段采用船舶运输，装船前应进行稳定性验算，制定合理的抗倾覆安全系数。

15 钢塔现场安装

15.1 一般规定

15.1.1 节段和横梁吊装必须编制详细的吊装工艺文件，架设前应按制造单位的杆件发送表核对塔柱节段和横梁的起吊数量。

15.1.2 节段安装时的吊点数量、吊耳和吊具应进行专门设计。吊点数量宜设置为4个，对于平面尺寸较大的节段可设置6个。吊耳和吊具的设计应满足《钢结构设计规范》（GB 50017）相关要求。

15.1.3 节段和横梁吊装前应进行稳定性验算，对必要部位应进行临时加固，并应进行试吊，试吊重量应为最大节段重量的1.25倍。每个节段起吊时应仔细核实节段的实际重量和拼接板、螺栓、电梯等附加设备的重量。

15.1.4 节段连接前，应仔细检查各构件是否存在锈蚀、缺损等现象。若存在上述问题，应立即进行除锈或其它补救措施。

15.1.5 节段连接前，应对节段的定位误差进行复测。测量时应从不同基准点对节段分别进行测量，消除视角误差。若节段定位误差不能满足精度要求，应重新调整。

15.2 高强度螺栓施工

15.2.1 领用高强度螺栓必须严格按施工图上标注的规格、数量领取，一般不得以短代长，也不能以长代短。

15.2.2 施工前，高强度大六角头螺栓连接副应按出厂批号，每批不少于8套复验扭矩系数，其平均值和标准偏差应符合有关规定。扭矩系数平均值应在0.11~0.15范围内，标准偏差应小于或等于0.01，同时应记录测试环境温度。施工时，应考虑环境温度、相对湿度变化对扭矩系数的影响。

15.2.3 高强度螺栓施拧前试验规定

15.2.3.1 扭矩法施工时，根据选用的施拧工具进行螺栓扭矩系数试验。从试验数据求数理统计值作为施拧依据，并符合现行《铁路钢桥高强度螺栓连接施工规定》（TBJ214-92）的有关规定。

15.2.3.2 转角法施工时，确定初拧预拉力后，按板束厚度或层数，经过试验测定螺栓轴力与相应转角（包括偏差限度）之间的关系，作为施拧依据。

15.2.3.3 摩擦系数复验应符合《铁路桥涵施工规范》（TB 10203-2002）的有关规定。

15.2.4 高强度螺栓连接副的安装应在塔柱节段位置调整准确后进行。高强度螺栓、螺母垫圈必须按生产厂提供的批号配套使用，不得改变其出厂状态。

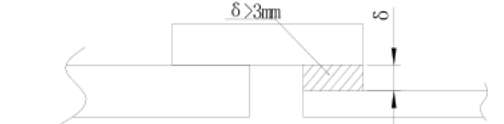
15.2.5 塔柱节段安装时应使板层密贴，使用不少于螺栓孔总数10%的冲钉定位，同时使用不少于螺栓孔总数的20%的普通螺栓紧固。

15.2.6 安装高强度螺栓时，螺栓应能自由穿入孔内，如遇螺栓不能自由穿入栓孔时，不得强行将螺栓打入，而应用绞刀进行修孔，修整后孔的最大直径应符合相关规范要求，不得用气割扩孔。对于铰孔或扩孔的节段及孔眼位置，应有施工记录备案。

15.2.7 安装高强度螺栓时，被栓合板束的表面应垂直于螺栓轴线，否则应在螺栓垫圈下面加垫斜坡垫板。

15.2.8 当安装出现摩擦面间隙时，应按表26的要求处理。

表 26 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		$\delta = 1.0 \sim 3.0\text{mm}$ 时, 将板厚一侧磨成 1:10 的缓坡, 使间隙小于 1.0mm。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 3mm, 垫板厚度和摩擦面处理方法应与构件相同。

15.2.9 高强度螺栓拧紧顺序, 宜从螺栓群中间顺序向外侧进行拧紧, 并应在当天全部终拧完毕。施拧时, 不得采用冲击拧紧和间断拧紧。

15.2.10 高强度螺栓的拧紧分初拧、复拧和终拧依次进行。拧紧时应采用扭矩扳手, 初拧扭矩应由试验确定, 一般为终拧扭矩的 50%; 初拧后应对每个螺栓用敲击法检查。复拧扭矩等于终拧扭矩。

15.2.11 终拧方法可选用扭矩法或转角法, 应在施工中填写记录。转角法系在初拧后的螺杆和螺母面相对位置划一直线, 用长扳手或电动、风动扳手将螺母旋至规定角度; 扭矩法是采用电动或带显示功能扳手将初拧后的螺母拧紧至规定扭矩, 扭矩值按公式 (1) 计算。

$$M = K \times N \times d \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

M ——扭矩值 ($\text{N} \cdot \text{m}$);

K ——扭矩系数 (按试验的数理统计值);

N ——螺栓的施工预拉力 (KN), 为设计预拉力的 1.1 倍;

d ——螺栓计算直径 (mm)。

15.2.12 终拧时, 施加扭矩必须连续、平稳, 螺栓、垫圈不得与螺母一起转动, 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、复拧、终拧。

15.2.13 高强度螺栓施拧按 TBJ214-92 的规定执行。采用的扭矩扳手在每班作业前后均应进行校正, 其扭矩误差应为使用扭矩的 $\pm 5\%$; 使用前, 检查扭矩扳手必须标定, 其扭矩误差应为使用扭矩的 $\pm 3\%$ 。

15.2.14 电动扳手应与控制箱配套使用, 并应尽量独立供电。

15.2.15 每批高强度螺栓连接副的检查扭矩应由公式 (2) 计算确定:

$$Tch = K \times Pch \times d \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

Tch ——检查扭矩 (Nm);

K ——高强度螺栓连接副的扭矩系数平均值;

Pch ——高强度螺栓的设计预拉力;

d ——高强度螺栓公称直径 (mm)。

15.2.16 高强度螺栓施拧检查规定

15.2.16.1 高强度螺栓拧紧后的检查应设专职人员负责, 并应在终拧 4h 以后、24h 之前完成扭矩检查。

15.2.16.2 采用松扣、回扣法检查时, 先在螺栓与螺母上划一细直线做标记, 然后将螺母退回 30° , 再用检查扭矩扳手把螺母重新拧至原来位置测定扭矩, 该值应在 $0.9Tch \sim 1.1Tch$ 范围内。

15.2.16.3 采用紧扣法检查时, 用检查扭矩扳手拧紧螺母, 测得螺母与螺栓刚发生微小相对转角的扭矩, 该值应在 $0.9 \sim 1.1$ 紧扣检查扭矩范围内。紧扣检查扭矩由试验确定, 并在测定紧扣检查

扭矩值时，应确认高强螺栓的预拉力的误差在设计预拉力的 $\pm 2\%$ 范围内。

15.2.16.4 经过检查的螺栓，其不合格者不得超过抽验总数的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，超拧者更换后重新补拧。

15.2.17 用小锤（重约0.3Kg）敲击法对复拧后的全部高强度螺栓进行检查，以防漏拧。

15.2.18 终拧检查合格的螺栓，应作出规定的标记，并在螺栓、螺母、垫圈的外露部分立即涂上油漆。

15.2.19 高强螺栓的施拧应有的施工、检查记录

15.2.19.1 高强度螺栓连接副的复验数据。

15.2.19.2 栓接板面抗滑移系数试验数据。

15.2.19.3 初拧扭矩、终拧扭矩。

15.2.19.4 施拧扭矩扳手和检查扭矩扳手的标定、校正记录。

15.2.19.5 各接口高强度螺栓连接副终拧扭矩。

15.3 钢塔与混凝土承台连接段安装

15.3.1 钢塔与混凝土承台或塔柱的连接方式主要有承压板与预应力锚固螺栓连接及剪力键连接。

15.3.2 承压板与预应力锚固螺栓连接要求

15.3.2.1 吊装前应进行定位架、锚固螺栓等预埋件安装，锚固螺栓的安装容许误差不大于 $\pm 2\text{mm}$ 。锚固螺栓、螺母和垫圈的质量及防腐措施应满足设计要求。

15.3.2.2 吊装前应进行吊点设计，并对局部受力较大部位进行加固处理。

15.3.2.3 应根据节段重量和安装位置选择合理的起重设备，并进行试吊试验。

15.3.2.4 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。

15.3.3 采用剪力键连接时，节段安装前应进行底座定位件、底座等预埋件安装，底座预埋误差精度应满足设计要求。

15.3.4 连接节段调位时要求

15.3.4.1 调位前应对调位设备和测量仪器进行校验。

15.3.4.2 调位前应对局部受力部位进行加固或安装其它受力构件。

15.3.4.3 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0.5mm作为最终测量数据。测量基准面的平面位置误差应不大于1mm，垂直度误差应不大于1/3000。

15.3.4.4 若调位完成后需要局部焊接，应尽量选择在温度较均匀的情况下进行，在焊接过程中也应进行测量检测。

15.3.5 对于首节段与承台采用承压板与锚固螺栓连接的情况，必须保证承压板底面与承台顶面接触率不低于75%。对于两接触面采用直接接触的情况，需要对承台顶面进行打磨处理，其平整度以不大于2mm为宜。对于承压板底面与承台顶面采用间隙压浆的情况，灌浆料性能应满足设计要求。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。

15.3.6 对于承台采用剪力键连接时，混凝土浇筑前，剪力钢筋定位误差应满足设计要求。承台或塔柱混凝土浇筑时应保证其充分捣实。

15.4 节段安装

15.4.1 钢塔一般节段吊装前施工平台和爬梯应安装到位，各部分连接牢固可靠。

15.4.2 调整节段吊装前，应设置合理的垫片方案；对于与多端面同时匹配的节段，吊装前应对空间几何状态进行调整。

15.4.2 钢塔安装时宜采用上、下导向板辅助定位。导向板的设计应根据节段螺栓直径、孔位、重量等因素综合确定，其材料强度应满足钢结构相关要求。

15.4.3 现场焊接

- 15.4.3.1 焊接前对焊缝及两侧各 50mm 范围内，用砂轮除锈清理并达到焊接工艺规程要求。
- 15.4.3.2 按工艺评定制定相应焊接工艺规程，焊工应按《焊接工艺规程》施焊，并制定相应措施控制变形。
- 15.4.3.3 焊缝外观检验按表 15 执行。焊缝无损检测按表 16 中的相关规定执行。
- 15.4.3.4 节段临时连接时应在内外壁均匀设置拼接板。
- 15.4.3.5 调整节段定位完成及临时连接后，应及时进行拼接板现场孔位匹配与工厂投孔制造。
- 15.4.6 对于分块节段的安装，应先安装闭口节段或重量较重节段，并采用拼接板进行临时固定，然后在安装开口节段或重量较轻节段。分块节段间宜采用高强螺栓进行永久连接。
- 15.4.7 应复核调整节段几何位置和垂直度误差。若满足安装精度要求，方可进行永久连接；若不满足要求，应调整垫片方案。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，接触率要求应满足表 27 的规定。

表 27 金属接触率容许值

项 目		容许值
金属接触率	塔柱壁板	≥50%
	塔柱腹板	≥50%
	加劲肋板	≥40%

15.4.8 节段安装精度要求

- 15.4.8.1 节段端面倾斜度误差不大于 1/2000。
- 15.4.8.2 节段间的相互错位不超过 2mm。
- 15.4.8.3 两节段端面相互扭转不超过 1/3000（1 为节段的短边长度），最大值不超过 2mm。

15.5 横梁安装

15.5.1 横梁安装前的准备工作

- 15.5.1.1 应对横梁顶面中轴线、断面尺寸及端面平整度进行复核，精度应满足设计要求。
- 15.5.1.2 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。
- 15.5.1.3 对于长度长、断面大的横梁，吊装前应进行吊点位置设计，并对吊点位置进行局部加强。同时应进行横梁试吊试验，观测其在吊点支承情况下整体变形情况。
- 15.5.1.4 横梁吊装前，应综合考虑安装高度、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。
- 15.5.1.5 临时支架或塔柱牛腿必须全部施工完成，水平撑应具有足够的稳定性。
- 15.5.1.6 千斤顶应进行标定，油压设备避免出现漏油、渗油现象。

15.5.2 整体式横梁安装要求

整体式横梁宜采用起吊能力较强的设备进行安装，安装时应满足下列要求：

- 15.5.2.1 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 4mm。
- 15.5.2.2 横梁起吊过程中应尽量保持节段处于水平和无摆动或微小摆动的状态。
- 15.5.2.3 横梁吊装到位后，经粗调、精调，其安装精度应满足设计要求。
- 15.5.2.4 横梁与塔肢间的连接应符合一般节段永久连接相关规定。

15.5.3 特殊桥塔形式施工要求

对一些特殊桥塔形式，根据其特点，施工时可将横梁分成多个节段分别吊装，应满足以下要求：

- 15.5.3.1 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；施工单位应根据现场施工情况，确定合理、安全的吊装方案。
- 15.5.3.2 在吊装过程中，应使各节段顶面中轴线基本保持在一条直线上，误差小于 1mm；各节段相关控制点标高基本控制在一个水平面上，误差小于 1mm；应尽量减少各节段间相互扭转及节段空间位置偏差在设计允许误差值范围以内。
- 15.5.3.3 单个节段吊装完成后，应及时进行临时锚固，禁止在未采取任何锚固措施的情况下进行下一节段的安装工作。

15.6 钢塔安装控制

- 15.6.1 施工控制人员应对材料误差、施工临时荷载和环境因素敏感度进行分析，确定主要施工误差因素。
- 15.6.2 对于特殊节段安装，应制定详细施工控制实施技术方案。
- 15.6.3 钢塔安装施工监测包括几何测量、环境监测和物理监测，三种测量方式应同步进行，并满足下列要求：
- 15.6.3.1 几何测量的主要内容为节段预拼装测量、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。
- 15.6.3.1.1 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进行测量。
- 15.6.3.1.2 安装现场塔柱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，且应尽量选择在夜间温度相对稳定且风速小的情况下进行测量。
- 15.6.3.1.3 钢塔单个节段的测量应达到 2~3 次，不得少于 1 次。
- 15.6.3.1.4 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。
- 15.6.3.2 环境测量的主要内容为温度测量和风速风向测量。
- 15.6.3.2.1 温度测量包括大气温度测量、钢塔结构系统温度测量和断面温度梯度测量。
- 15.6.3.2.2 温度测量断面应根据计算结果合理选取，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。
- 15.6.3.2.3 风速风向测量控制点宜布置在安装节段的顶端。
- 15.6.3.3 物理测量主要内容为钢塔最不利截面应力监测、水平撑轴力监测及其他临时荷载监测。
- 15.6.3.3.1 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。
- 15.6.3.3.2 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。
- 15.6.4 施工控制过程中应及时提交各施工阶段钢塔线形评估报告。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。
- 15.6.5 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。
- 15.6.6 钢塔安装完成后，其安装精度应符合表 28 相关规定。

表 28 钢塔安装精度容许误差

序号	项 目		容许误差
1	塔柱垂直度	桥轴向	1/4000
		垂直于桥轴向	1/4000
2	塔顶标高		20mm
3	塔柱中心距		±4mm
4	两塔柱横梁处中心相对高差		±6mm

附录 A
钢材和加工缺陷的修补
(规范性附录)

A.1 钢材及加工缺陷的修补方法

钢材及加工缺陷的修补方法应符合表 A.1 的规定。

表 A.1 钢材及加工缺陷的修补方法

序 号	缺 陷 种 类	修 补 方 法
1	钢材表面麻坑划痕等	深度 0.3 mm~1 mm 的修磨匀顺, 超过 1 mm 时补焊后修磨匀顺
2	钢材端面局部层状裂纹	深度不超过 5mm 时, 气刨、补焊后, 用砂轮修磨匀顺
3	气割边缘的缺口 (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 (边缘加工且能加工掉的除外)
4	弯曲加工时产生的边缘裂纹	查明原因, 提出防止措施, 清除裂纹, 按补焊工艺补焊后修磨匀顺

A.2 钢材缺陷焊接修补

钢材缺陷焊接修补时, 将缺陷部位清理干净, 采用焊条手工电弧焊进行修补, 焊后用砂轮修磨匀顺。焊接材料为: J507Ni ($\phi 3.2$ 、 $\phi 4$) 焊条, 按要求烘干, 焊接电流 $I=170A$ 。预热温度应符合表 A.2 的规定。

表 A.2 钢材修补预热温度

钢 材	板厚范围 mm	预热温度 ℃
Q370qD	$\delta \leq 32$	不预热
	$32 < \delta \leq 40$	50℃
	$40 < \delta \leq 60$	80℃
	$\delta = 150$	120℃
Q420qD	$\delta \leq 32$	不预热
	$32 < \delta \leq 40$	80℃
	$40 < \delta \leq 60$	100℃

附录 B 原材料复验规则 (规范性附录)

B.1 检验频次

B1.1 钢材复验频次

用于钢塔的钢板应按同一厂家、同一材质、同一板厚、同一出厂状态每 10 炉(批)抽检一组,且不大于 600 吨组成一个检验批,每检验批抽验一组试件。对于有探伤要求的钢板,应抽取每种板厚的 10%进行超声波探伤。型材应按同一厂家、同一材质、同一规格、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。

B1.2 其它材料复验频次

B1.2.1 焊接材料按其生产批号逐批抽样复验。

B1.2.2 圆柱头焊钉、高强度螺栓连接副按其生产批号逐批抽样复验。

B1.2.3 涂装材料按批号检验,每检验批随机抽取一组试样,进行复验,同一批号超过 4000 升,增加取样品一个。

B.2 检验项目

B.2.1 钢材复验项目

B.2.1.1 审核生产厂家提供的《质量证明书》。

B.2.1.2 化学成分

复验 C、Si、Mn、P、S、Als 元素含量(如果为了提高钢材性能,增加了必要的微量元素,那么对质保书有的主要微量元素,增加复验内容,即对 Q370qD 增加复验铌元素, Q420qD 增加复验钒、氮元素)。

B.2.1.3 机械性能

屈服强度 ReL、抗拉强度 Rm、延伸率 A、弯曲(180°)、Ak_v(-20℃,纵向)。

B.2.1.4 超声波探伤

按《厚钢板超声波检验方法》(GB2970-2004)标准中 II 级执行。

B.2.1.5 Z 向性能

对于大于等于 50mm 厚的钢板,进行 Z 向性能检查。按 GB/T 5313-2010 中 Z25 的要求执行。

B.2.2 焊接材料复验项目

B.2.2.1 审核生产厂家提供的《质量证明书》。

B.2.2.2 药芯焊丝

熔敷金属的化学成分和机械性能(屈服强度 ReL、抗拉强度 Rm、延伸率 A、Ak_v)。

B.2.2.3 实芯焊丝

焊丝的化学成分和熔敷金属的机械性能(屈服强度 ReL、抗拉强度 Rm、延伸率 A、Ak_v)。

B.2.2.4 手工焊条

熔敷金属的化学成分和机械性能(屈服强度 ReL、抗拉强度 Rm、延伸率 A、Ak_v)。

B.2.2.5 埋弧焊焊丝

首批复验力学性能和化学成分（复验 C、Si、Mn、P、S、Cu 元素含量），续批仅复验化学成分。

B.2.2.6 埋弧焊焊剂

首批复验力学性能和化学成分（复验 P、S 元素含量），续批仅复验化学成分。

B.2.3 高强度螺栓连接副复验项目

B.2.3.1 审核生产厂家提供的《质量证明书》。

B.2.3.2 楔负载试验。

B.2.3.3 螺母的保证载荷。

B.2.3.4 螺母硬度。

B.2.3.5 垫圈硬度。

B.2.3.6 连接副扭矩系数（平均值和标准偏差）。

B.2.4 涂装材料复验

B.2.4.1 审核生产厂家提供的《质量证明书》。

B.2.4.2 每种涂料复验项目

B.2.4.2.1 车间底漆

固体含量、粘度、比重。

B.2.4.2.2 环氧富锌底漆

固体含量、比重、附着力、不挥发成分中锌的含量。

B.2.4.2.3 无机富锌底漆

固体含量、比重、附着力、不挥发成分中锌的含量。

B.2.4.2.4 环氧封闭漆

固体含量、附着力。

B.2.4.2.5 环氧厚浆面漆

固体含量、比重、附着力、耐磨性。

B.2.4.2.6 聚氨酯面漆

固体含量、比重、耐磨性、附着力、弯曲性能、冲击强度。

B.2.4.2.7 无机富锌防锈防滑涂料

附着力、干燥时间。

B.3 评定规则

B.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。

B.3.2 焊接材料、高强度螺栓连接副和油漆的评定以每一批号的试验结果为准。钢板试验炉的评定以抽样试验结果为准。型材试验批的评定以抽样试验结果为准。

B.3.3 对于检验批的质量评定原则

B.3.3.1 当试验炉号评定为合格时，评定整个检验批为合格。

B.3.3.2 当试验炉号评定为不合格时，在该检验批内再抽取两个炉号的样品进行试验。

- B.3.3.3 若两个试验炉号均合格，则该检验批其余炉号均判定为合格。
- B.3.3.4 若两个试验炉号均不合格，则对该检验批剩余的 7 个炉号逐炉取样进行试验，逐炉评定。
- B.3.3.5 若两个试验炉号一个合格另一个不合格时，在该检验批剩余的 7 个炉号中取两个炉号进行试验，如果两个炉号均合格则判定该 7 个炉号合格，否则，对该检验批剩余的炉号逐炉取样试验逐炉评定。
- B.3.3.6 对于型材的评定以生产批为单位组成检验批，评定方法同上。

附录 C
焊接工艺评定
(规范性附录)

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，评定必须使用与产品相同的钢材及焊接材料。
- C.1.3 首次采用的钢材和焊接材料必须进行评定，已评定并批准的工艺，可不再进行评定；遇有下列情况之一者，应重新进行评定：
- C.1.3.1 钢种改变。
- C.1.3.2 焊接材料改变。
- C.1.3.3 焊接方法和焊接位置改变。
- C.1.3.4 衬垫改变。
- C.1.3.5 焊接电流、焊接电压或焊接速度改变±10%以上。
- C.1.3.6 预热温度低于规定值下限温度 20℃以上。
- C.1.3.7 坡口形状和尺寸改变。

C.2 试板

- C.2.1 试板宜选用碳、磷、硫等化学成分偏标准上限、及碳当量标准上限且冲击韧性偏标准下限的母材制备。
- C.2.2 对接接头试板应按产品的每一板厚范围参照《铁路钢桥制造规范》（TB10212-2009）的有关规定选择一种适合本工程的试板厚度。
- C.2.3 T 型接头试板可按每一焊角尺寸参照《铁路钢桥制造规范》（TB10212-2009）有关规定选择一种壁板、环板厚度组合。
- 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，自动焊不得小于 600mm，手工焊、CO₂ 气体（混合气体）保护焊不得小于 400mm。

C.3 试验及检验

- C.3.1 焊缝的外观质量应符合本标准第 7.4.1 条的规定。
- C.3.2 样坯截取位置应根据焊缝外形及探伤结果，在试件的有效利用长度内做适当分布。试样加工前允许样坯冷矫正。
- C.3.3 力学性能试验项目、试样数量及试验方法应符合表 c.1 的规定。

表 C.1 力学性能试验项目、试样数量

试件形式	试验项目	试样数量（个）	试验方法
对接接头试件	接头拉伸试验	1	按标准 GB/T 2649-1989 GB/T 2650-2008 GB/T 2651-2008 GB/T 2652-2008 GB/T 2653-2008 GB/T 2654-2008 执行
	焊缝金属拉伸试验	1	
	接头侧弯试验①	1	
	低温冲击试验	6 ②	
	接头硬度试验	1	
熔透角焊缝及棱角焊缝	焊缝金属拉伸试验	1	
	低温冲击试验	6 ②	
	接头硬度试验	1	
T 型接头试件	焊缝金属拉伸试验	1	
	接头硬度试验	1	
注 1：弯曲角 $\alpha = 180^{\circ}$ ；			
注 2：缺口开在焊缝中心及融合线外 1.0mm 处各 3 个。			

C.3.4 试件制作以及机械试验规定

- C.3.4.1 当拉伸试验结果（屈服强度、抗拉强度及拉棒的伸长率）不低于母材的标准时，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，则可判为合格，否则判为不合格；

C.3.4.2 接头侧弯试验结束后，若受拉面上的裂纹总长不大于试样宽度的 15%，且单个裂纹长度不大于 3mm，则判为合格；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，则判为合格；否则判为不合格。

C.3.4.3 Q370qD 钢材对接接头-20℃的 Akv 规定值为 34J，Q420qD 钢材对接接头-20℃的 Akv 规定值为 41J。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。当试样结果未满足上述要求，允许从同一试件上再取一组（3 个）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（其中不得有两个以上的试验结果低于 0.7 倍的规定值，也不得有任一试验结果低于 0.5 倍规定值），则仍可判为合格，否则判定为不合格。

C.3.4.4 当焊接接头的硬度值不大于 HV350 时，则判为合格，否则判为不合格。

C.3.4.5 力学性能试验结束后，若发现试样断口上有超差的缺陷，应查明产生该缺陷的原因并决定试验结果是否有效。

C.3.5 每一评定应作为一次宏观断面酸蚀试验，试验方法应符合现行国家标准《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》（GB226-91）的规定；单道焊缝成型系数应为 1.3~2.0。

C.4 焊接工艺评定报告

C.4.1 “评定”报告内容

C.4.1.1 母材和焊接材料的牌号、规格、化学成分和力学性能。

C.4.1.2 试板图。

C.4.1.3 试件的焊接条件及施焊工艺参数。

C.4.1.4 焊缝检验结果。

C.4.1.5 力学性能试验及宏观断面酸蚀试验结果。

C.4.1.6 结论。
