

人字型钢塔制造总体工艺设计

吉林¹, 张永利²

(1. 江苏省长江公路大桥建设指挥部, 江苏泰州 225321; 2. 中铁宝桥集团有限公司, 陕西宝鸡 721006)

[摘要] 泰州大桥钢中塔首次采用纵向人字型钢塔结构, 制造安装难度大, 通过对钢混结合段、整体式塔柱节段、下塔柱合龙段等不同结构形式的钢塔节段的特点开展针对性分析, 提出不同的钢塔节段制造工艺方案, 并通过泰州大桥实践, 为今后采用高强厚钢板、结构形式复杂的钢塔柱制造提供了借鉴及技术保障。

[关键词] 板单元; 块体; 节段; 钢塔柱; 工艺设计

[中图分类号] U445.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)04-0043-05

1 前言

泰州大桥跨江主桥采用主跨跨径为 1 080 m 的双主跨悬索桥桥型方案, 该桥型要求中塔具有既刚且柔的受力特性, 因此中塔首次选择了纵向人字型的钢结构。钢中塔塔柱高 191.5 m, 塔柱沿高度方向共设置两道横梁。钢塔柱主体结构采用 Q420qD, Q370qD, 共划分为 21 个节段 (D0 ~ D20), 其中 D0 为钢砼结合段。塔段间一般接口采用“金属接触 + 高强度螺栓”联合受力, 采用 M30 高强度螺栓、 $\phi 33$ mm 栓孔。塔段最大吊重 495 t, 钢塔总重约 1.3×10^4 t。

钢中塔塔柱节段断面为单箱多室布置, 由四周壁板、中腹板、边腹板构成。塔柱外侧角点处切去 $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 的 4 个矩形面积, 将截面进行钝化。塔柱横桥向尺寸自塔底至塔顶等宽为 5 m; 纵桥向尺寸 $6.6 \sim 15.54 \text{ m}$, 由于吊装重量限制, D6 ~ D17 塔段采用纵向分块结构, 两块体之间通过耳板、拼接件、高强度螺栓等连接。泰州大桥钢中塔塔柱一般构造见图 1。

2 结构特点及制作难点

泰州大桥钢塔结构形式复杂, 所用钢板厚度大、

断面大、精度要求高, 制作与安装存在众多难题。

1) D0 钢混结合段底板采用 150 mm 厚的钢板, 通过 34 根 $M 140 \text{ mm} \times 10 184 \text{ mm}$ 长锚杆 (中间为 $\phi 130$) 与基础固定, 其周圈壁板、锚杆劲板均要求与底板采用磨光顶紧连接。 $M 140 \text{ mm} \times 10 184 \text{ mm}$ 长锚杆的制作存在大直径锚杆镦粗工艺、大直径长锚杆热处理和较高的两端同轴度要求等诸多技术难点, 厚板对接质量及焊后平面度的控制又是一个新的难题。

2) 钢塔柱为变断面切角矩形结构, 断面尺寸 $5 \times (6 \sim 15.54) \text{ m}$, 切角 $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$, 壁板、腹板厚度 $44 \sim 60 \text{ mm}$, 加劲肋厚度为 40 mm 和 48 mm, 标准横隔板间距 3 m, 横隔板一般厚度 16 mm。钢塔节段断面横桥向、纵桥向尺寸公差为 $\pm 2 \text{ mm}$, 对角线差及扭曲允许误差不大于 3 mm。为达到以上的精度标准, 给制造带来了难度和挑战。

3) 作为下塔柱的合龙节段, D4 节段结构复杂, 具有多个方向的连接关系, 因此保证 D4 节段制作精度、实现下塔柱顺利合龙也是难点之一。

4) 由于一般接口采用金属接触 + 高强度螺栓并用接头, 根据受力及线形要求, 给塔段端面加工提出了较高的要求: 塔段平面度 $\leq 0.25 \text{ mm}$ (0.08 mm/m), 塔段横桥向和纵桥向垂直度

[收稿日期] 2010-01-08

[基金项目] 国家科技支撑计划资助项目 (2009BAG15B02)

[作者简介] 吉林 (1962-), 男, 博士, 研究员级高级工程师, 研究方向为桥梁工程; E-mail: JI-WANG304@sina.com

≤1/10 000,塔段间壁板、腹板金属接触率≥50%,
纵肋金属接触率≥40%。如此高的精度要求,给机

器加工、测量、精度控制带来了很大的难度。

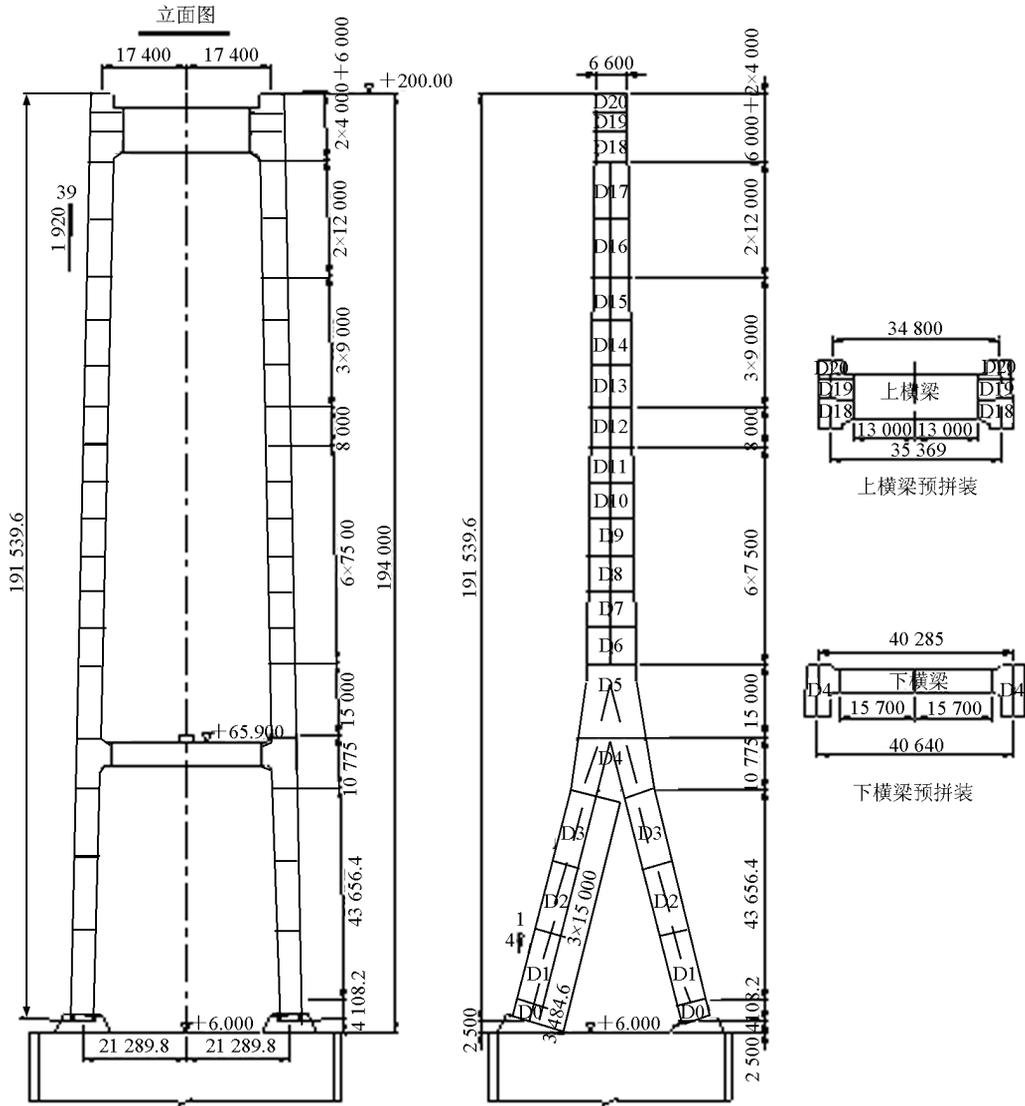


图1 泰州大桥钢中塔塔柱一般构造图(单位:mm)

Fig.1 General structural of Taizhou Bridge(unit:mm)

5) 泰州大桥钢塔节段高度大、重量大、预拼精度要求高,采取何种预拼装方案保证预拼装安全作业,实现预拼装目的,是需要认真研究和攻关的课题。

6) 为了保证桥位吊装重量满足要求,上塔段采用了纵向分块方案。纵向分块节段其中的一块或者两块为非封闭箱形结构,其90%以上焊缝分布在切角一侧,开口结构焊接变形及几何尺寸、块体旁弯控制,确保两个块体能顺利拼接,是又一需要攻关的难题。

针对泰州大桥钢塔柱的结构特点及制作与安装难点,在研究国内外钢塔制作与安装经验的基础上,规划了钢塔制作总体工艺方案。

3 钢塔制作安装总体工艺构思

3.1 钢混结合段制作工艺

钢混结合段D0典型结构形式如图2所示,由于D0节段结构的特殊性,拟采取单元件与零件结合组装节段的制作思路,采用如下的制作流程。底座板在平台上定位—组装底座板补强板—组装横隔

板—组壁板—组焊四周加强板—组焊加强板盖板、封板。

D0 节段结构形式复杂,工艺设计采用特殊的立式组装方案。为保证壁板与承压板磨光顶紧要求,对承压板上壁板组装位置的平面度及高程进行精确测量,采取打磨或局部补焊方法,保证组装要求;对锚杆加劲板,采取量测承压板上相应组装位置高程,划线配刨(按位置编号)结合打磨的方法,保证磨光顶紧要求。锚杆加劲盖板与壁板要求熔透焊接,由于结构形式限制,只有采用半 V 形坡口加钢衬垫、CO₂ 药芯焊丝焊接工艺,才能既保证焊接质量,又可避免较大的焊接变形;所有厚板对接及结构焊缝均采取了电热毯预热、焊后石棉保温措施保证焊接质量。

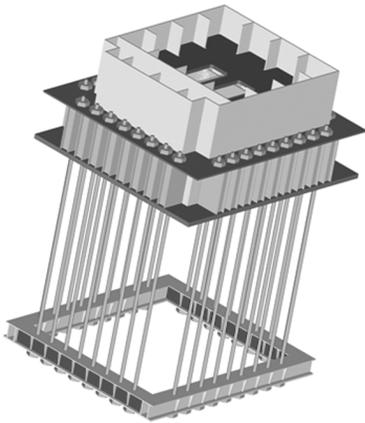


图 2 D0 节段的典型构造

Fig. 2 Typical structure of D0 segment

3.2 整体式塔段制作工艺

为了提高生产效率、实现阶梯式生产以及分步控制焊接变形的需要,整体式标准节段制作分 4 步完成,即板块—板单元—块体—箱体,拟采用的分块方案和钢塔节段箱体形成工艺流程如图 3 所示。

板块纵肋组装重点控制组装位置及垂直度,采用 CO₂ 气体保护焊同方向对称施焊;板单元对接采用留钝边的非对称坡口,采用埋弧自动焊焊接;块体组装中重点控制角部壁板的组装位置及垂直度,预留合理的工艺量,如图 4;节段组装检查合格后进行加固以便约束焊接变形,节段加固措施见图 5。

3.3 下塔柱合龙节段制作工艺

下塔柱合龙节段 D4 构造如图 6 所示,下塔柱的合龙节段,分别与下面塔段 D3、上面塔段 D5、横梁连接。与 D3 节段连接部位尺寸的控制,各个连接部位之间的相对位置是保证下塔柱顺利合龙的关键,也是上塔柱安装的基准。

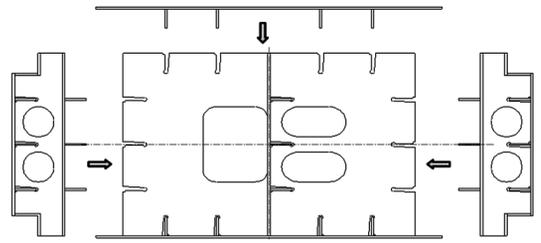


图 3 分块方案及箱体形成示意图

Fig. 3 Separate block and combine process

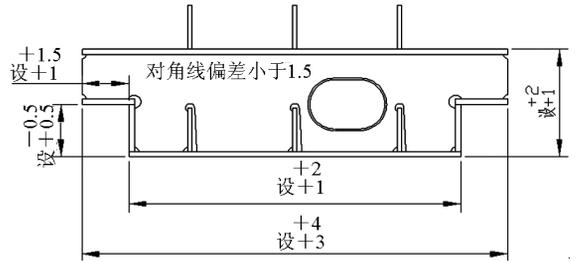


图 4 块体组装预留工艺量(单位:mm)

Fig. 4 The reserved process quantity in block assembly (unit:mm)

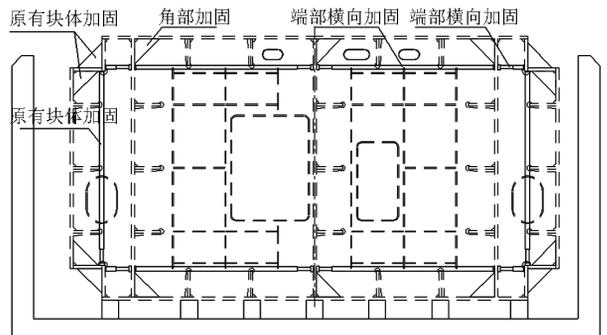


图 5 块体、节段焊接变形约束措施

Fig. 5 Control measures in welding deformation of the block and segment

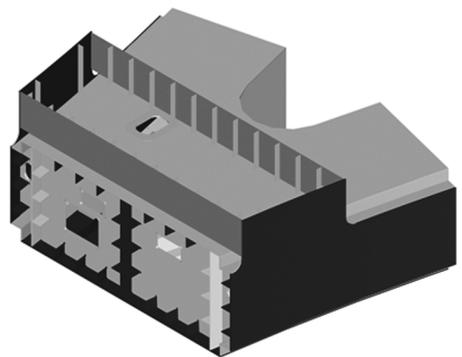


图 6 D4 节段构造

Fig. 6 Structure of D4 segment

D4 节段结构特殊、数量少,采用平台上不设组装基准线,完成组装、焊接作业。其制作工艺为:外侧壁板在平台上就位—组装腹板单元—依次组装中隔板单元—组装两侧块体—组装内壁板单元—组装横梁接头及其加劲。

节段严格按照平台上设置的基准线组装,确保三个箱口的位置关系,重点控制腹板组装的空间位置,因为腹板组装的位置将是影响节段叉开位置角度的关键,也是保证桥位下塔柱合龙的关键;为保证 D4 节段焊接质量,采用纵向翻身方案实现节段

180°翻身焊接;采取合理的焊接变形约束措施及合理的焊接顺序、焊接方法,尽量减小焊接变形对几何精度的影响;对部分立位及仰位焊缝采用脱渣性好的药芯焊丝进行焊接,严格控制焊接中的预热温度及层间温度。

3.4 纵向分块式塔段制作工艺

D6 ~ D17 纵向分块节段有两种形式:一种有中腹板、一种无中腹板,具体见图 7。两个块体采用栓连接连接。分块制作方案见图 8,分块制作完成后栓合成整体节段。

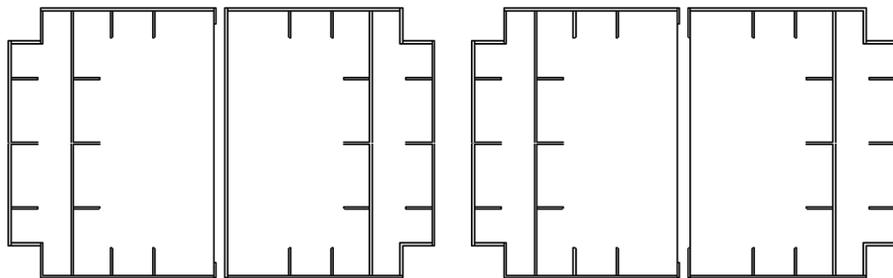


图 7 塔段纵向分块形式

Fig. 7 Longitudinal separate form of the segment

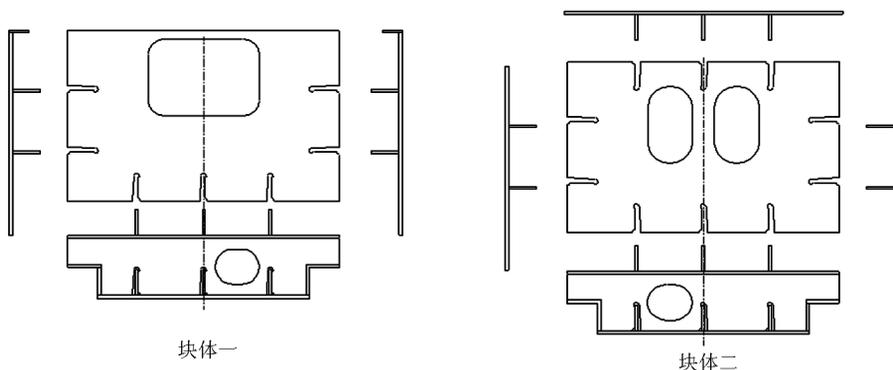


图 8 纵向分块节段块体划分及形成示意

Fig. 8 Longitudinal separate form and combine process

要保证整体节段断面横桥向、纵桥向 ± 2 mm 的尺寸公差,必须考虑两个块体之间连接的中腹板、耳板或纵肋板厚公差的影响,每个连接处的两个板的厚度公差足以超出 ± 2 mm 的标准要求。根据已焊接完成的有腹板侧块体箱口实际尺寸及节段箱口理论尺寸,并考虑焊接收缩量,划线、小车精密切割开口侧块体内外壁板,保证节段整体尺寸,切割允许公差 $-1 \sim +2$ mm。

纵向分块节段块体为一边切角的矩形结构,无论有腹板块体还是无腹板块体,其结构形式在一个

方向上均不对称,尤其对于无腹板的块体,90% 的焊缝集中在一侧,极易产生旁弯、扭曲变形,保证两个块体的密贴连接十分困难。严格检查组装前胎架检测程序和组装过程中的测量监控工作,确保块体在组装过程中不出现旁弯、扭曲变形;块体组装完经检查合格后,将块体壁板与胎架进行马固,方可开始焊接作业;严格按焊接工艺执行,保证同方向对称施焊,以控制钢塔块体焊接过程中的扭曲变形。

节段组装应保证耳板部位的密切,当耳板密切与保证节段箱口尺寸矛盾时以保证耳板密切为原

则,必要时对箱口尺寸进行修整,或者对相邻节段箱口尺寸进行特殊要求,保证桥位安装后两节段间壁板错台量控制在标准范围内。

在两块体连接部位预留工艺孔,在节段组装合格后钻制,作为两块体桥位安装时复位的基准,采用游标卡尺或特制的圆锥销钉对孔径进行精确测量,用比测量值小 0.1 mm 的精制冲钉将两块体定位。同时在两块体间划出定位基准线,作为桥位安装时的定位检查线。

对非封闭块体设置合理的临时支撑措施,是保证两个块体内、外壁板尺寸匹配的关键所在。

4 结语

通过前期制造工艺研究和整体制造工艺规划,泰州大桥钢塔柱制造突破了高强度厚板(Q370qD 厚度 150 mm, Q420qD 厚度 60 mm)在不同施工条件下的对接焊接质量控制及各种结构形式塔段几何精度控制等难题,并摸索出了一套纵向分块钢塔节段的制造经验。从目前大桥制造、安装结果可知,各类塔段整体制造工艺合理,为国内后续结构复杂的钢塔制造与安装提供了经验。

Overall process design of herringbone steel pylon

Ji Lin¹, Zhang Yongli²

(1. Jiangsu Provincial Yangtze River Highway Bridge Construction Commanding Department, Taizhou, Jiangsu 225321, China; 2. China Railway Baoji Bridge Group Co., Ltd., Baoji, Shanxi 721006, China)

[Abstract] The central tower of Taizhou Bridge adopts the vertical steel tower structure for the first time in the world and its manufacturing and installation are also difficult. Through targeted analysis in the steel-concrete composite section, the integral segment, the lower link segment and different structural forms of the steel tower, we propose different manufacturing programs for different segments, and the application to Taizhou Bridge will provide references and technical support for using high-strength steel plate and manufacturing of the steel tower with complex structural forms.

[Key words] plate element; block; segment; steel tower; technology design