

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.12.035

常泰长江大桥 6# 主塔中塔柱钢筋部品施工技术

李 杰

(中铁大桥局集团第二工程有限公司,江苏 南京 210015)

摘 要: 常泰长江大桥主航道桥为双塔五跨连续钢桁梁斜拉桥,其 6# 主塔采用“钢-混”混合结构四塔肢空间钻石型桥塔。超高主塔塔肢钢筋施工,往往存在高空作业难度大、风险高、人员工效低的问题,施工进度、成本难以控制。针对 6# 主塔工程特点,中塔柱钢筋采用钢筋部品施工,塔肢钢筋首先在标准化钢筋绑扎平台上节段整体绑扎、分块吊装、塔上锥套锁紧钢筋连接接头连接,为主塔钢筋施工提供了更加安全、高效、经济、先进的施工技术,对于项目施工具有显著的社会效益和经济效益。

关键词: 斜拉桥;超高主塔;钢筋部品;整体绑扎;分块吊装;锥套;效益

中图分类号: U445 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2024)12-0162-05

0 引 言

随着近年来我国桥梁事业的迅速发展,超大跨度桥梁、异形结构桥塔层出不穷,结构设计更加新颖,与此同时,工程规模、施工难度也随之越来越大^[1]。钢筋散绑是传统的钢筋施工方法,工效低、安全质量控制难度大。超高主塔塔肢钢筋绑扎施工存在高空作业难度大、风险高、人员工效低的问题,施工进度、成本难以控制。

伴随着钢筋施工经验的日积月累,钢筋绑扎施工工艺取得了较大的进步,更加安全、高效、经济、合理的施工方法不断涌现,主塔钢筋采用在标准化绑扎平台^[2]或者场地节段绑扎、整体吊装、塔上锥套锁紧钢筋连接接头连接的部品化施工工艺为主塔钢筋施工提供了更加安全、高效、经济、先进的施工技术^[3]。

1 工程概况

常泰长江大桥采用“高速公路+城际铁路+普通公路”方式过江,跨江采用桥梁方案。其中主航道桥为双塔五跨连续钢桁梁斜拉桥,孔跨布置为:(142+474+1208+474+142)m=2 440 m,桥型布置见图 1。

6# 墩主塔采用“钢-混”混合结构空间钻石形主塔,主塔设计总高 350 m,分为上、中、下塔柱三个

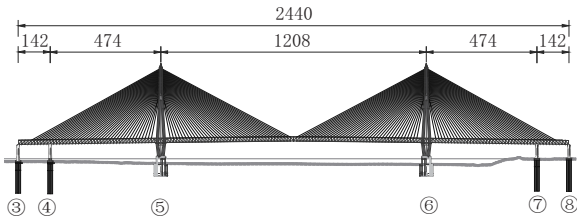


图 1 桥型布置图(单位:m)

区段,上塔柱采用钢-混组合结构,中、下塔柱采用钢筋混凝土结构,见图 2。主塔混凝土采用标号 C60 混凝土,方量 6.1 万 m³;钢筋采用 HRB400 材质,用量 1.3 万 m³,钢材采用 Q420qD、Q370qD 材质,用量 5 000 t。

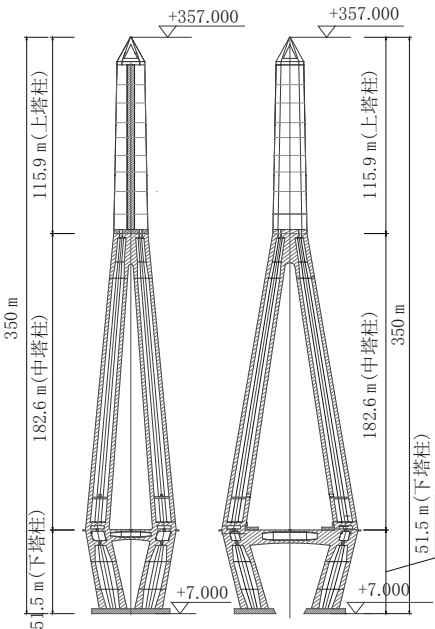


图 2 主塔结构图(单位:m)

收稿日期: 2024-06-03

作者简介: 李杰(1993—),男,本科,工程师,从事大跨度桥梁施工工作。

中塔柱总高 182.6 m,为四肢结构,高程为 +58.5 ~ +241.1 m,单塔肢为正八边形截面,外轮廓尺寸为 11 m×11 m~8 m×8 m,壁厚由上至下 1.55~1.9 m。

中塔柱竖向主筋采用 $\phi 36$ mm 的 HRB400 钢筋,塔肢外侧布置 2 层主筋,内侧布置 1 层钢筋,箍筋采用 $\phi 20$ mm 钢筋,箍筋间距为 12 cm,纵向呈梅花形布置。

2 钢筋部品化方案

主塔中塔柱采用液压爬模分节段施工,标准节高 6 m,钢筋施工采用部品化施工工艺,钢筋绑扎首先在标准化绑扎平台上整体绑扎,然后分块吊装、塔上锥套连接的施工方法。

塔肢节段钢筋根据塔肢高度 6 m/节分节采用短线法绑扎,高度方向竖向分节、水平方向平面分块,在胎架上整体绑扎,验收合格后再分块吊装。钢筋水平方向分成 4 片,分块钢筋和劲性骨架整体吊装,见图 3。节段钢筋竖向主筋连接采用锥套锁紧钢筋接头连接,接头率 100%;箍筋采用单面焊接+套筒连接,在分块位置断开。

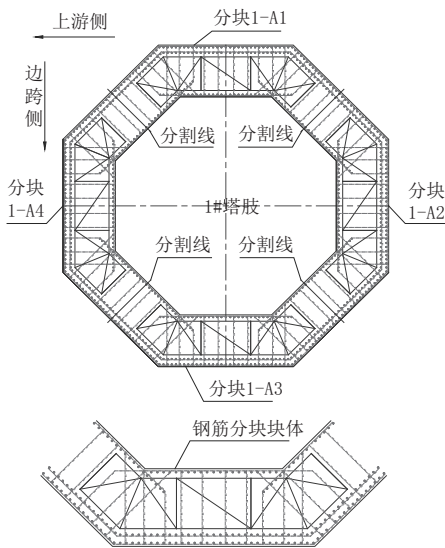


图 3 钢筋分块示意图

3 钢筋部品化施工工艺

3.1 场地及工装

(1)部品钢筋整体绑扎场地

塔柱节段钢筋整体绑扎、分块在标准化钢筋绑扎平台完成,钢筋绑扎平台设置器具、钢筋半成品、成品存放区,布置的 3 台 25 t+25 t 龙门吊,龙门吊净空高度 16 m,跨度 21.6 m,可以满足 4 个节段钢筋同时绑扎及 4 个节段成品钢筋的存放,见图 4。

(2)节段钢筋整体绑扎平台

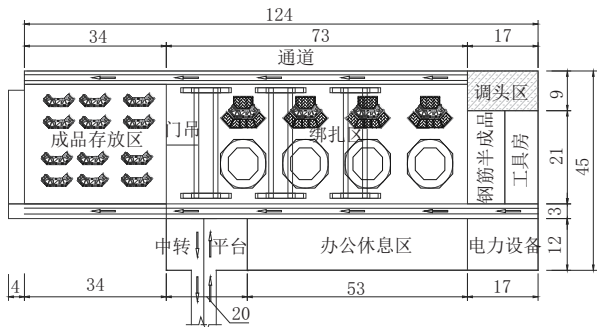


图 4 钢筋绑扎场地(单位:m)

主塔中塔柱钢筋竖向分节高度 6.0 m,整体绑扎时,在塔肢内侧、外侧设置拆装一体化钢筋绑扎平台,与劲性骨架整体拼装。

(3)节段钢筋定位底座

节段钢筋定位底座主要用于主筋顶口位置高程、间距参数提取,用于下节段主筋底口定位,见图 5。



图 5 部品钢筋绑扎底座

(4)钢筋定位卡板

主筋定位卡板用于主筋定位及间距控制,卡板采用角钢 $\angle 75 \times 8$ 制造,按照主筋间距 15 cm,均布开 $\phi 40$ mm 半圆孔,主筋安装时采用卡箍固定,防止吊装过程脱落,定位卡板及卡箍见图 6。

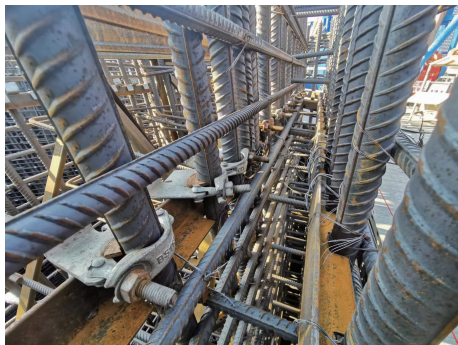


图 6 定位卡板及卡箍

(5)节段钢筋吊具

劲性骨架及钢筋吊具采用矩形吊具,吊点设置于劲性骨架竖杆,吊具纵梁上设置间距 100 mm 螺栓孔,以实现横向间距的调节,分块重心平稳,见图 7。

3.2 钢筋绑扎胎架

劲性骨架作为节段钢筋整体绑扎胎架,根据塔

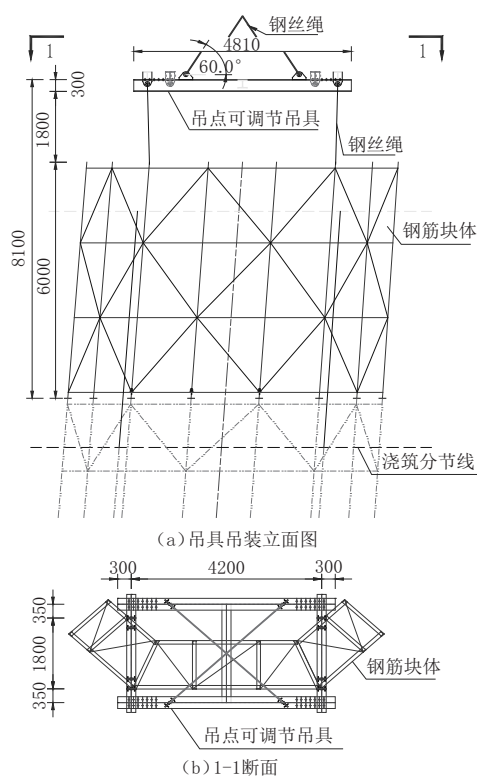


图7 钢筋块体矩形吊具(单位:mm)

柱施工分节相匹配,竖向方向6m/节,水平方向与节段钢筋块体施工相匹配分成4块,劲性骨架高度方向比混凝土分界线高0.8m。

劲性骨架立杆采用 $\angle 80 \times 10$ 型钢,水平杆采用 $\angle 63 \times 6$ 型钢,斜杆采用 $\angle 63 \times 6$ 型钢,顶口及底口采用壁厚 $\delta 10$ mm连接钢板,上下两层劲性骨架之间做导向及匹配件,实现快速定位连接。

3.3 钢筋下料

塔柱钢筋在钢筋加工车间利用数控设备精确下料,制做成钢筋半成品,运输至钢筋绑扎平台半成品存放区,进行分类存放。

(1)主筋下料:采用定尺下料,保证主筋安装完后接头均在同一标高位置。

(2)箍筋下料:按照水平分块方式进行下料,箍筋接长长短钢筋一端采取焊接,一端采用套筒连接,焊接长度 $10d$,上下层交错布置,接头位置错开距离不小于 $35d$,焊接接头不设置预弯。

3.4 节段钢筋绑扎

(1)主筋定位

已绑扎节段钢筋主筋顶设置钢管套筒($\phi 50$ 钢管,开长圆孔),销轴限位,焊接定位卡板,作为下节主筋定位母板,定位步骤见图8~图10。

步骤1:第N#节段钢筋整体绑扎,顶口定位母板就位,调节套筒与母板,焊接固定,母板取出。

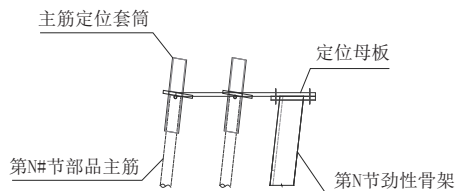


图8 主筋定位步骤1

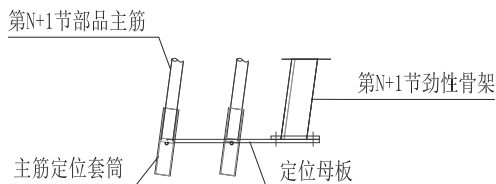


图9 主筋定位步骤2

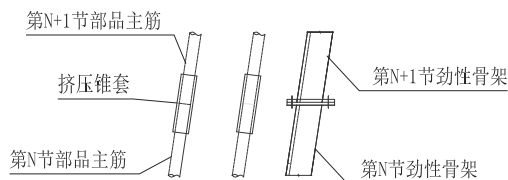


图10 主筋定位步骤3

步骤2:第N+1#节骨架定位,主筋母板就位与骨架底口栓接固定,依次定位绑扎主筋及箍筋,完成第N+1#节段钢筋整体绑扎。

步骤3:第N+1#节节段钢筋分块吊装至成品区,吊装过程取出母板。然后使用塔吊分块吊装至已施工塔柱,依次进行骨架对接→主筋对接→箍筋连接。

(2)节段钢筋绑扎

钢筋绑扎顺序:内侧主筋→内侧箍筋→外侧主筋→外侧箍筋,逐层绑扎,主筋卡在定位卡板上,并在顶层安装固定套环;箍筋分界线位置接头无需连接,钢筋绑扎步骤见图11~图13。

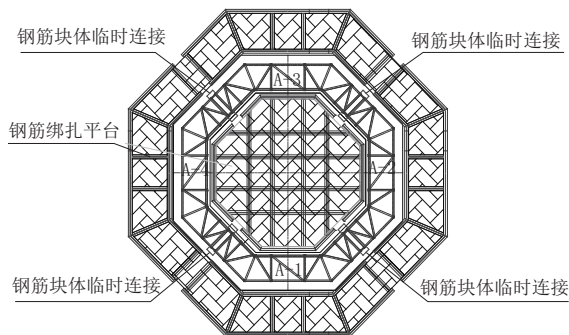


图11 节段钢筋绑扎步骤1

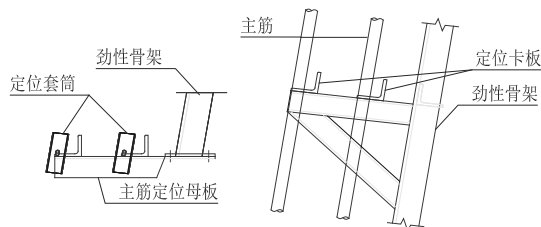


图12 节段钢筋绑扎步骤2

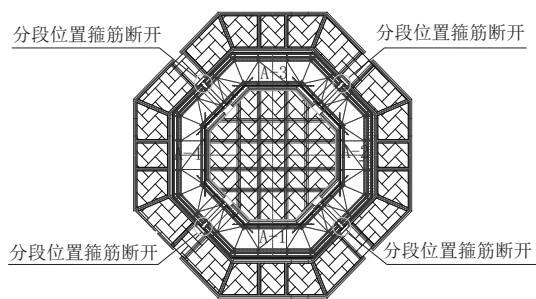


图 13 节段钢筋绑扎步骤 4

步骤 1:中间钢筋绑扎平台就位,依次吊装劲性骨架分块 1、分块 2、分块 3、分块 4,调整定位分块设置临时连接,安装外圈钢筋绑扎平台。

步骤 2:安装底部钢筋对接母板,并与劲性骨架临时连接。安装上下层钢筋定位卡板,并与劲性骨架焊接固定。

步骤 3:主筋安装就位,利用钢筋固定卡套将主筋与上层定位卡板固定牢靠。

步骤 4:安装箍筋,分块分界线位置箍筋不连接;绑扎完成后,对钢筋外轮廓尺寸、钢筋保护层厚度全面测量,复核节段钢筋块体尺寸。

步骤 5:安装顶部钢筋对接母板,套筒调整后与母板焊接固定,然后顶部钢筋对接母板移出,编号标记,作为下一节节段钢筋绑扎母板。

3.5 钢筋分块解体、存放

节段钢筋绑扎验收合格后,钢筋分块解体,见图 14,吊装至成品存放区存放。

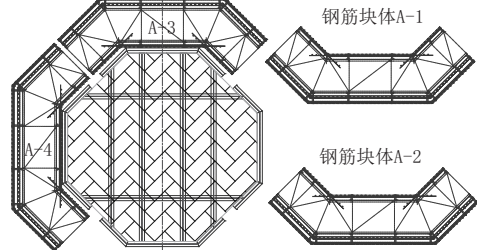


图 14 塔肢钢筋分块解体

3.6 钢筋分块吊装、定位

(1)节段钢筋分块吊装^[4]

节段钢筋块体,利用塔吊分块吊装至设计位置,吊装前对钢筋块体重量、塔吊吊距、吊幅进行核实,确保满足吊重要求。

(2)节段钢筋块体定位

钢筋块体吊装定位顺序:劲性骨架定位→竖向主筋调节→主筋锥套连接→箍筋连接。劲性骨架底口四个方位设置 4 台 2 t 倒链,用于钢筋精准定位,快速将上下层劲性骨架通过连接板固定,塔吊松钩,然后依次进行竖向主筋、水平箍筋的连接。要求主筋

接头连接不少于 8 个,方可松钩。

3.7 钢筋连接

塔柱竖向钢筋直径 36 mm,采用锥套锁紧钢筋接头连接;水平箍筋直径 20 mm,采用一端焊接连接,一端套筒连接,焊接长度不小于 10 d。

3.7.1 主筋锥套锁紧钢筋接头结构

锥套锁紧钢筋接头由两个锥套、三片锁片、一个保持架组成。

3.7.2 主筋锥套锁紧钢筋接头连接

锥套连接^[5]接头施工时,将待连接钢筋插入锁片两端、顶紧保持架,然后将锥套套入锁片的两端,用专用 JJQ700 挤压钳轴向挤压锥套,夹紧力 500 kN、夹紧压强 42 MPa,锥套轴向夹紧的同时,推动锁片径向紧紧抱住钢筋,锁片自带螺牙会咬入钢筋肋部,从而实现连接钢筋的目的。主筋连接见图 15。



图 15 主筋锥套连接

3.7.3 主筋锥套连接接头相关要求

(1)钢筋接头设置在承受应力较小处,并分散布置,同一截面内接头率可达 100%。

(2)套筒表面无裂纹和其它缺陷,外形尺寸包括套筒内螺纹直径及套筒长度应满足产品设计要求。

(3)钢筋锥套连接接头的安装应符合以下规定。

a. 接头规格与钢筋规格一致。

b. 锁片安装时,三片的轴向位置相对误差不应大于 3 mm。

c. 接头连接前钢筋的径向、轴向允许误差范围应符合表 1 的规定。

表 1 径向、轴向允许误差

钢筋强度等级 / MPa	钢筋径向最大允许误差范围 /mm	钢筋轴向间隙最大允许误差范围 /mm
400	不大于 d	0 ~ 20
500	不大于 d	0 ~ 15

注: d 为钢筋公称直径。

d. 同径型、异径型接头安装后长度应满足表 2 的规定,尺寸误差应不超过接头长度设计标准值 $S0 \pm$

2.0 mm,其中 $\phi 36$ mm 钢筋设计接头长度 141 mm。

表 2 同径型接头安装后长度尺寸 单位:mm

规格	长度 S0	规格	长度 S0
16	85	28	125
18	93	32	133
20	101	36	141
22	109	40	149
25	117	50	173

3.7.4 箍筋焊接

箍筋一端采用焊接,一端采用套筒连接,焊接长度不小于 10 d。塔上箍筋焊接设置焊接操作平台,见图 16。



图 16 塔上箍筋绑扎

3.8 监控测量

钢筋绑扎、安装全过程,均进行相对坐标测量放样,提前放出节段钢筋底、顶面轮廓线、中心线及各项面倾斜度,确保各项指标满足设计要求,见表 3。

表 3 塔肢节段钢筋施工允许偏差

序号	控制项目	允许偏差	检验方法
1	总体倾斜度	塔高的 1/8 000	测量检验
2	节段倾斜度	塔高的 1/1 000,且不大于 8 mm	
3	轴线偏差	不大于 20 mm	
4	断面尺寸偏差	不大于 20 mm	

4 实施效果

常泰长江大桥 6# 主塔中塔柱施工中,采用了钢筋部品化施工技术,提升了安全,保证了质量,加快了施工进度,取得了较好的经济效益和社会效益。

(1)主塔中塔柱钢筋采用节段整体绑扎、分块吊

装施工,减少塔上钢筋绑扎施工的时间,实现四塔肢同步性作业,主塔快速化施工,质量安全可控。

(2)主塔节段钢筋绑扎设置标准化钢筋绑扎平台,将塔上作业转为地面作业,变高空作业为低空作业,将作业人员转换至地面作业,降低了施工风险、提升了施工工效。

(3)针对塔肢空间倾斜、塔肢钢筋交叉互锁结构,设置劲性骨架+上下层定位卡板作为钢筋绑扎胎架,用于主筋固定、定位,实现钢筋间距合格率 100%,钢保厚度合格率不小于 95%的优质目标。

(4)主塔节段钢筋主筋采用锥套锁紧接头连接,质量可靠,方便快捷。

(5)节段钢筋块体吊装采用专用吊具,吊点间距可调节,保证节段钢筋分块吊装呈水平状态,实现精准对位。

(6)中塔柱部品钢筋施工,将塔肢每节段施工由钢筋散绑施工的 10 d/节,降低至 7 d/节,减少了塔吊、拌合站、钢筋生产设备的使用时间,为项目部节约了大量人工费、机械租赁费,取的良好经济效益和社会效益。

5 结 语

随着桥梁建设技术的不断发展,人们追求的“高、大、新”型的大跨度桥梁正逐步实现并被不断超越,大跨度桥梁主塔结构承担着桥梁受力、外形美观的重任,施工过程如何提升安全、保证质量并实现快速化施工是各方创新的关键点,大截面四肢塔柱钢筋部品化施工可为高塔、高墩钢筋施工提供借鉴。

参考文献:

[1] 查道宏,李军堂,胡勇.大跨度斜拉桥钢筋混凝土桥塔快速施工技术发展与展望[J].世界桥梁,2022,50(4):32-40.
[2] 郭熙冬.港珠澳大桥承台墩身工厂化预制施工技术[J].桥梁建设,2014,44(2):107-111.
[3] 何志春.深中通道陆域桥梁大型盖梁快速化施工技术[J].世界桥梁,2020,48(4):25-29.
[4] 金兵.斜拉桥主塔钢筋节段整体吊装施工关键技术[J].工程技术研究,2020,5(1):127-128.
[5] 张普耀,申思,丁冠群.锥套锁紧连接接头施工技术.建筑施工[J].2022,44(9):2126-2129.