

某大桥桥塔中塔柱钢筋部品块体组拼成型 关键技术*

程明明

(中交第二航务工程局有限公司,湖北 武汉 430040)

[摘要] 常泰长江大桥主航道桥5号桥塔采用钢-混凝土空间钻石形结构,中塔柱施工中创新性地应用了钢筋单元件→钢筋片体→钢筋块体→钢筋部品的部品化方案。钢筋块体在工厂预制后,在塔下施工平台组拼成部品,这是上塔前最关键的最后一道工序。针对塔下组拼作业环境复杂、块体尺寸多变、合龙阻力大及精度要求高等问题,研发了自顶推式组拼胎架及配套工艺与调控措施。该技术创新实现了大倾角变截面塔柱钢筋部品的快速精准组拼,为塔上高效拼装奠定基础,显著提升了施工效率与质量。

[关键词] 桥梁;桥塔;钢筋部品;胎架;组拼;成型

[中图分类号] U445

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)20-0112-05

Key Technology of Block Assembly and Forming of Steel Reinforcement Parts in the Middle Tower Column for a Bridge Tower

CHENG Mingming

(CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430040, China)

Abstract: The No. 5 bridge tower of the main channel bridge of Changtai Yangtze River Bridge adopts a steel-concrete space diamond-shaped structure. In the construction of the middle tower column, the componentization scheme of steel reinforcement element → steel reinforcement sheet → steel reinforcement block → steel reinforcement part is innovatively applied. After the prefabrication of the steel block in factory, the construction platform under the tower is assembled into parts, which is the most critical last process before the tower. Aiming at the problems of complex assembly operation environment, variable block size, large closure resistance and high precision requirements under the tower, the self-push assembly jig and its supporting technology and control measures were developed. Technological innovation realizes the rapid and accurate assembly of steel reinforcement parts of tower columns with large inclined angles and variable cross-sections, lays a foundation for efficient assembly on the tower, and significantly improved construction efficiency and quality.

Keywords: bridges; bridge tower; steel reinforcement parts; jigs; assembly; forming

1 工程概况

常泰长江大桥主航道桥5号桥塔为钢-混凝土结构,采用空间钻石形设计,主塔总高352m,中塔柱高182.6m,横、顺桥向坡度分别为1:8.15,1:15.61。

中塔肢采用规则正八边形截面,截面外轮廓尺寸自顶端8m×8m渐变至底端11m×11m,壁厚由1.55m逐段增大至1.9m。结构主筋选用φ36

HRB400级钢筋,沿截面内、中、外3层对称分布;箍筋与拉钩筋分别采用φ20、φ16钢筋,其中箍筋沿正八边形8个侧面独立闭环布置,并于角部节点通过拉钩筋交叉锚固形成刚性互锁结构。钢筋平面布置如图1所示。

2 钢筋部品总体施工方案

在传统桥塔钢筋施工方法中,首先在桥塔钢筋加工厂预制单元件,然后将这些单元件运输至桥塔施工现场。在高达数百米的高空,施工人员需进行原位散绑作业,这种方式不仅属于劳动密集型,还

* 中国交通建设股份有限公司科技研发项目(2020-ZJKJ-03)

[作者简介] 程明明,高级工程师,E-mail:1617158461@qq.com

[收稿日期] 2025-05-20

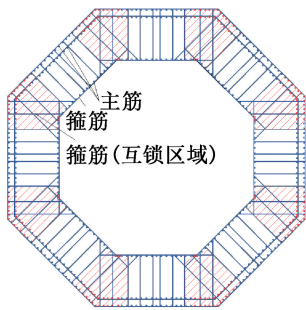


图 1 钢筋平面布置

Fig. 1 Plan layout of steel reinforcement

存在诸多问题,如高空作业环境恶劣、效率低下、人员需求量大及危险系数高等。此外,整个施工过程中需要较大场地用于材料堆存,频繁的吊装和运输操作不仅增加了运输压力,还带来了额外的吊运风险。特别是对于斜拉桥塔柱这种结构复杂的钢筋构造,采用传统施工方法的难度更大、效率更低,危险系数也更高。

为有效改善工作环境、减轻劳动强度、提高工作效率并减少工人数量,常泰长江大桥主航道桥 5 号桥塔中塔柱采用基于块体组拼成型的钢筋部品施工方案。施工流程为:①在工厂采用数控设备加工钢筋单元件;②利用智能生产线进行钢筋片体和钢筋块体的机械化成型;③将钢筋块体运输至塔位处施工平台,在施工平台上将块体组拼成整体,并安装箍筋互锁区域主筋,形成钢筋部品;④采用大型塔式起重机整体吊装钢筋部品至高空塔柱,通过多自由度姿态调整系统校准空间位姿;⑤通过锥套锁紧接头实现主筋的快速对接,彻底摒弃了高空散绑作业。钢筋部品化施工流程如图 2 所示。

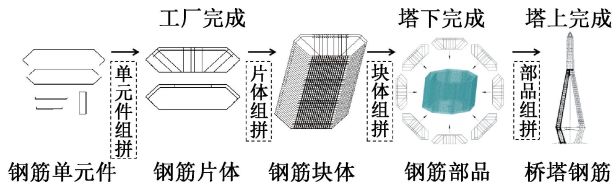


图 2 钢筋部品化施工流程

Fig. 2 Construction process of steel reinforcement productization

根据钢筋来料长度、工厂批量生产可行性及运输安装条件,钢筋部品按每节段 6m 高度划分。钢筋部品外轮廓随塔柱截面收分而变化,尺寸多样,并在竖向同时具有双向倾角。钢筋部品八角形外边长为 3.466~3.995m,内边长为 2.256~2.635m,厚 1.46~1.64m,外壁轮廓高度为 8.367~9.642m;内腔轮廓高度为 5.447~6.362m。

单元件组拼和片体组拼均在工厂利用机械设

备完成,效率与精度易于控制。块体组拼在塔下施工平台进行。由于钢筋块体及部品尺寸变化复杂,其效率与精度控制难度显著增加,一旦成型质量不高,将直接加大塔上组拼难度并影响整体质量。因此,块体组拼成为钢筋部品装配化施工的关键环节,本文将重点阐述其关键技术。

3 钢筋块体组拼关键技术

在钢筋部品组拼过程中,每段钢筋部品被细分为 A,B,C,D,E,F,G,H 8 个块体。由于塔肢在 2 个方向上存在倾角,导致这 8 个块体空间尺寸各不相同。组拼流程为:①将 A,C,E,G 块体就位;②通过滑移操作将 B,D,F,H 块体就位;③完成合龙后,需对钢筋块体空间姿态进行调整,并插入箍筋互锁区域的主筋。经过复测和进一步的姿态调整,确保钢筋部品空间姿态符合要求后,对箍筋与主筋的连接点进行人工焊接,最终完成钢筋块体组拼,形成钢筋部品。块体组拼成型流程如图 3 所示。

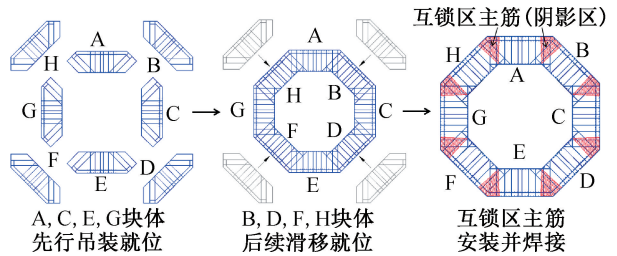


图 3 块体组拼成型流程

Fig. 3 Forming process of block assembly

对单个块体采用有限元软件进行建模计算,发现钢筋最大应力为 121MPa<360MPa,箍筋悬臂端挠度为 68mm。由于箍筋净层间距为 100mm,块体合龙时需重点关注钢筋穿插相互干涉问题。钢筋块体结构计算结果如图 4 所示。

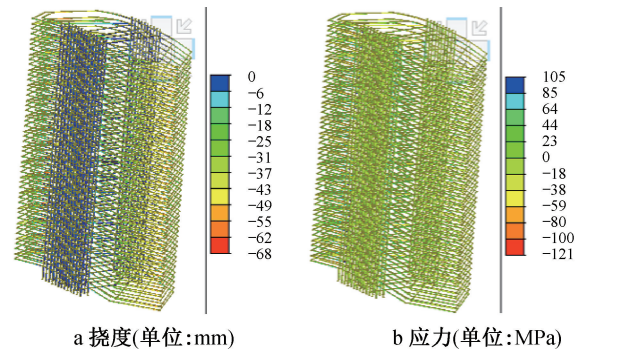


图 4 钢筋块体结构计算结果

Fig. 4 Calculation results of steel reinforcement block structure

3.1 钢筋块体组拼胎架

为高效完成钢筋块体组拼并形成钢筋部品,研

发一种自顶推滑移式的钢筋部品组拼胎架。该胎架主要由滑移轨道、滑移台车、外圈平台和内圈平台等组成(见图 5,6)。为适应不同块体空间尺寸,将组拼胎架划分为 8 个部分。通过液压双作用油缸的驱动,滑移台车能实现自我前进或后退,从而带动固定在其上的钢筋块体移动,最终使 8 个钢筋块体快速、精准地达到合龙状态。

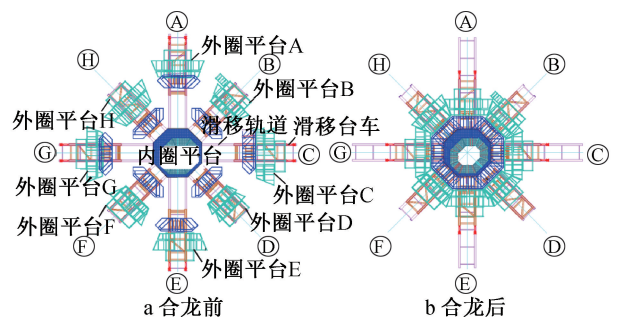


图 5 自顶推式组拼胎架平面布置

Fig. 5 Plan layout of self-push assembly jig

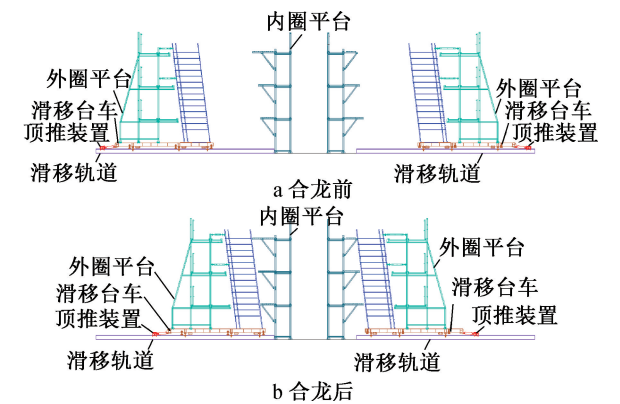


图 6 自顶推式组拼胎架立面布置

Fig. 6 Facade layout of self-push assembly jig

1) 滑移轨道。整个胎架共设置 8 组滑移轨道,由于钢筋块体一部分通过吊装就位,一部分通过滑移就位,因此①,③,⑤,⑦轴轨道为长轨,②,④,⑥,⑧轴轨道为短轨。每组轨道有 2 根焊接固定于钢平台上的定制箱形轨道梁,轨道梁间按一定间隔设置连系梁。为适应钢筋部品正八边形外形,相邻轨道组间夹角设为 45°。轨道梁上设有滑移台车顶推油缸反力点,以实现滑移台车自顶推。整个组拼胎架仅滑移轨道与钢平台固定,因此滑移轨道支座和安装质量直接影响钢筋块体组拼精度和姿态调整效率,因此轨道梁采用专业工厂定制,安装过程中控制安装精度,其中轨道中心线与轴线误差不大于±5mm。

2) 滑移台车。整个胎架共设置 8 辆滑移台车,外圈平台连同钢筋块体均坐落于滑移台车。滑移

台车的作用是带动外圈平台和钢筋块体沿滑移轨道纵向移动,并可精确调整钢筋块体空间姿态。台车采用框架式结构,主要部件包括台车框架、滑座、反扣装置、导向装置、可调支腿和顶推油缸。台车框架由型钢焊接而成;滑座为聚四氟乙烯滑板滑座;反扣装置确保台车在滑移过程中承载外圈平台与钢筋块体不发生倾覆,并在就位后保持固定;导向装置可减小滑移偏差;6 个可调支腿通过高度调节改变台车姿态,从而调整钢筋块体姿态;顶推油缸借助滑移轨道上的反力点实现台车顶推。

3) 外圈平台。为适应 8 个钢筋块体空间形状,共设置 8 个外圈平台。每个外圈平台共 3 层,各层均设伸缩平台,展开后可随钢筋部品外形尺寸变化而调整。根部与滑移台车通过螺栓连接且滑移台车上沿纵向设置 1 排螺栓孔,滑移台车以外部分外圈平台立柱根部设置滚轮,因此外圈平台可沿滑移平台纵向移动并固定,以适应钢筋块体厚度变化。为防止钢筋块体在纵移过程中发生倾覆,外圈平台上边 2 层均设置调节螺杆,与钢筋块体临时锁定。

4) 内圈平台。相对于可移动的外圈平台,内圈平台为焊接固定于施工平台的结构。共分为 3 层,每层设置伸缩平台以适应钢筋部品内腔尺寸变化。

3.2 钢筋块体初定位

由于块体厚度不断变化,为便于钢筋块体快速定位,块体初定位时仅控制底口内侧主筋平面位置。在滑移台车前端设置钢筋块体内侧主筋定位槽,钢筋块体吊至滑移台车时,保证内侧主筋与定位槽契合即可完成钢筋块体与滑移台车的初定位。

1) 先行就位块体初定位。依据拟拼装钢筋部品内腔轮廓放样,确定主筋定位槽位置;将对应 4 个钢筋块体的滑移台车按放样数据滑移到位;就位后顶升台车,待滑座脱空,旋出可调支腿并锁定反扣装置,完成台车就位。利用履带式起重机起吊先行就位块体,将内侧主筋与钢筋定位槽对准,测量底口主筋位置,合格后松钩落座;随后安装外圈平台与钢筋块体间的调节螺杆,并旋紧至略微预紧,完成钢筋块体与滑移台车的锁定。

2) 后续就位块体初定位。将对应的滑移台车移至滑移轨道尾部并锁定。鉴于钢筋块体滑移时互锁区箍筋相互穿插,为便于穿插就位,后续就位块体整体比先行就位块体低 50mm。采用同样方法完成后续就位块体与滑移台车的定位及锁定(见图 7)。

3.3 钢筋块体悬臂段调平

在钢筋块体悬挑部位,由于互锁区域箍筋缺少

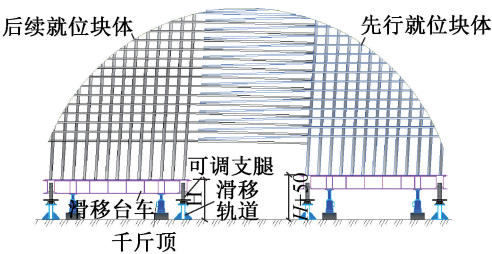


图 7 钢筋块体初定位示意

Fig. 7 Initial positioning of steel reinforcement blocks

主筋支承,端部悬挑部分产生较大挠度,仅 50mm 高差难以避免 2 个相邻块体悬挑箍筋相互干涉,导致块体滑移与合龙阻力增大,合龙困难;若强行合龙,易使块体产生变形或位移,降低合龙精度。为有效解决这一问题,在钢筋块体箍筋悬挑处设置梳齿杆调平。梳齿杆身按箍筋层距布设梳齿,可稳固兜住钢筋;杆底配置可调支托,经悬挑梁与滑移台车连接。通过支托,可精准调平箍筋悬臂段。在实际操作中,对于后续就位块体,在其外侧拐角处设置梳齿杆(见图 8),而已就位块体则在内侧设置。随着滑移进程的推进,适时调整梳齿杆位置,以有效避免其与后续就位块体发生干涉。

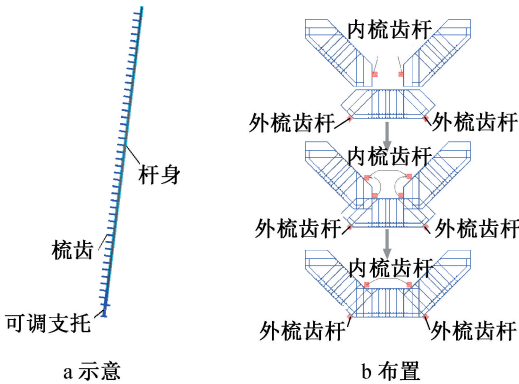


图 8 梳齿杆示意

Fig. 8 Comb rod

3.4 钢筋块体初步合龙

在组装钢筋部品过程中,依据其外形尺寸,利用全站仪精确测定并标记后续块体角点最终位置。随后,借助油缸步履式同步顶推技术,驱动滑移台车将后续块体精准移至预定位置。为确保操作精确便捷,依次将 4 个后续块体滑移到位,并密切观察互锁区箍筋的碰撞情况,及时调平悬臂段。待全部块体就位后,顶升滑移台车,使 8 个块体达到同一标高;随后下调可调支腿并锁定反扣装置,完成块体初步合龙(见图 9)。

3.5 钢筋部品顶口调整

在完成钢筋块体初步合龙后,首先伸展外圈平



图 9 块体合龙

Fig. 9 Closure of blocks

台伸缩平台,确保 8 个外圈平台通道全部连通。利用全站仪对顶口 8 个角点的空间位置进行精确放样(见图 10),并通过焊接在施工平台上的内圈操作平台设定 8 个角点目标位置。然后,通过调整滑移台车可调支腿不同高度组合,精细控制台车空间倾斜角度,进而精确调控钢筋块体空间姿态。考虑到块体在运输和吊装过程中可能产生变形,在其顶部调整时,通过外圈平台上调节螺杆进行补偿,以修正变形并辅助调节块体倾斜角度。当顶口空间尺寸达到设计要求后,将 8 个钢筋块体劲性骨架进行焊接连接,形成一个完整的劲性骨架结构。此外,为进一步增强钢筋部品整体刚度,对适量箍筋进行点焊加固。

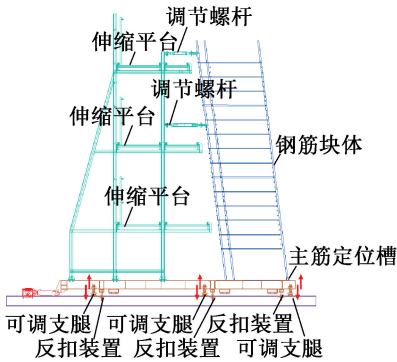


图 10 顶口调整示意

Fig. 10 Top port adjustment

3.6 互锁区域主筋安装

在钢筋部品初步合龙后,进行如下操作:①将在其互锁区域的底部精心安装后插主筋定位支架,以精准确定每根后插主筋位置;②利用钢筋起吊工装固定多根后插主筋(见图 11),并借助汽车式起重机将钢筋连同起吊工装一同吊运至钢筋部品互锁区域,作业人员在内外圈作业平台上协同工作,辅助后插主筋的定位操作,确保主筋能准确调整至设计位置,并进行临时绑扎固定;③主筋全部穿插完成后,将主筋与箍筋进行点焊,形成钢筋部品;④通

过大型塔式起重机将拼装好的钢筋部品从组拼胎架中吊出,为后续施工做好准备。

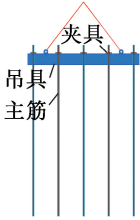


图 11 钢筋起吊工装示意

Fig. 11 Steel reinforcement lifting tooling

4 结语

钢筋部品化技术在常泰长江大桥主航道桥 5 号桥塔塔柱施工中得以应用,21 节塔柱共 84 根钢筋部品的安装工作在 5 个月内全部完成。在钢筋块体组拼施工中,专门设计了钢筋部品自顶推式组拼胎架,该胎架具备快速合龙和精准调位等功能。同时,与之配套的块体拼装工艺和调控措施也已研发完成,为塔架上快速拼装钢筋部品提供了坚实的技术保障,顺利实现了塔柱钢筋部品大倾角变截面快速组拼。

参考文献:

[1] 曾健,胡培,王超. 常泰长江大桥主塔下横梁支架设计与施工工艺研究[J]. 中外公路,2024,44(6):185-190.
ZENG J, HU P, WANG C. Design and construction process of cross-beam supports for main tower of Changtai Yangtze River Bridge[J]. Journal of China & foreign highway, 2024, 44(6): 185-190.

[2] 张金涛,傅战工,秦顺全,等. 常泰长江大桥主航道桥桥塔设计[J]. 桥梁建设,2022,52(5):1-7.
ZHANG J T, FU Z G, QIN S Q, et al. Pylon design for main navigational channel bridge of Changtai Yangtze River Bridge [J]. Bridge construction, 2022, 52(5): 1-7.

[3] 王赐,张贵强,刘航. 桥塔钢筋部品拉钩筋自动化安装技术[J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(8): 47-52, 91.
WANG C, ZHANG G Q, LIU H. Automatic installation technology of reinforcement parts of bridge tower [J]. Construction technology, 2025, 54(8): 47-52, 91.

[4] 严双桥,吴中正,余昌文. 常泰长江大桥主航道桥 5 号桥塔中塔柱钢筋部品装配化施工关键技术[J]. 桥梁建设, 2024, 54(4):1-7.
YAN S Q, WU Z Z, YU C W. Key construction techniques for

prefabricated reinforcement in intermediate columns of pylon No. 5 of main navigational channel bridge of Changtai Yangtze River Bridge[J]. Bridge construction, 2024, 54(4): 1-7.

[5] 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.
ZHA D H, LI J T, HU Y. Developments and prospects of rapid construction techniques for reinforced concrete pylons of long-span cable-stayed bridge [J]. World bridges, 2022, 50(4): 32-40.

[6] 万正. 悬索桥超高索塔快速施工关键技术 [J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(6): 50-54.
WAN Z. Key technologies for rapid construction of high-cable tower in suspension bridges [J]. Construction technology, 2025, 54(6): 50-54

[7] 邹威,宋神友,陈焕勇. 深中通道伶仃洋大桥超高混凝土桥塔施工关键技术[J]. 桥梁建设, 2020, 50(6): 97-103.
ZOU W, SONG S Y, CHEN H Y. Key construction techniques for ultra-high performance concrete pylon of Lingdingyang Bridge in Shenzhen-Zhongshan Link [J]. Bridge construction, 2020, 50(6): 97-103.

[8] 袁航,火东俊,吴中正. 深中通道伶仃洋大桥索塔钢筋部品装配化施工关键技术[J]. 公路, 2022, 67(4): 147-151.
YUAN H, HUO D J, WU Z Z. Key technology of assembly construction of reinforcement parts of cable tower of Lingdingyang Bridge in Shenzhen-Zhongshan Link[J]. Highway, 2022, 67(4): 147-151.

[9] 程茂林,吴中正,杨秀礼,等. 基于网片弯折成型的超高索塔钢筋部品装配化施工工法[J]. 公路, 2022, 67(1): 145-150.
CHENG M L, WU Z Z, YANG X L, et al. Assembly construction method of super-high bridge tower reinforcing parts formed by integrated mesh bending[J]. Highway, 2022, 67(1): 145-150.

[10] 黄甘乐,吕昕睿,孙南昌. 常泰长江大桥 5 号墩索塔下塔柱施工关键技术 [J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(18): 69-75.
HUANG G L, LÜ X R, SUN N C. Key construction technology of lower tower column of No. 5 pier cable tower of Changtai Yangtze River Bridge [J]. Construction technology, 2024, 53(18): 69-75.

[11] 聂斌,底江天,孙旭霞,等. 空间扭索面曲塔斜拉桥塔梁固结区构造优化与施工技术研究 [J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(15): 58-61, 116.
NIE B, DI J T, SUN X X, et al. Structural optimization and construction technology of tower-beam consolidation zone of curved pylon cable-stayed bridge with spatial torsion cable plane [J]. Construction technology, 2024, 53(15): 58-61, 116.