

双索面钢箱梁斜拉桥塔梁同步安装技术研究

周锡海, 杨雁君, 韦宇宁, 殷泽武, 张 勇

(保利长大工程有限公司, 广东 广州 511431)

摘 要: 以横门西特大桥为工程背景, 针对双索面钢箱梁斜拉桥施工中的“塔梁同步”安装技术展开研究。在分析塔、梁、索力学相互作用关系, 以及“塔梁同步”安装基本原理的基础上, 提出了“塔梁同步”施工工艺优化方案。该方案涵盖了施工前期准备、塔梁同步安装流程、关键技术要点、质量和安全保障措施; 与传统施工技术相比, “塔梁同步”安装技术在缩短工期、降低安全风险、保证质量等方面都具有较大优势, 并且在不同类型和规模的桥梁工程中都具有广阔的推广前景。

关键词: 双索面斜拉桥; 塔梁同步施工; 钢箱梁安装; 施工控制

中图分类号: U445.4; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)11-0220-05

Research on Synchronous Installation Technology of Pylon and Girder in Double-plane Steel Box Girder Cable-stayed Bridges

ZHOU Xihai, YANG Yanjun, WEI Yuning, YIN Zewu, ZHANG Yong

(Poly Changda Engineering Co., Ltd., Guangzhou 511431, China)

Abstract: Taking the Hengmenxi Special Bridge as the engineering background, the "pylon-girder synchronous" installation technology in the construction of a double-plane steel box girder cable-stayed bridge is studied. On the basis of analyzing the mechanical interaction among the pylon, girder and cables, as well as the fundamental principles of the "pylon-girder synchronous" installation, an optimization scheme for the pylon-girder synchronous construction process is proposed. This scheme encompasses the pre-construction preparations, pylon-girder synchronous installation procedure, key technical points, and quality and safety assurance measures. Compared with the traditional construction techniques, the "pylon-girder synchronous" installation technology has the significant advantages in shortening the construction period, reducing the safety risks and ensuring the quality, and shows the broad application prospects in bridge projects of different types and scales.

Keywords: double-plane cable-stayed bridge; pylon-girder simultaneous construction; installation of steel box girder; construction control

0 引 言

随着对桥梁性能要求的提高, 双索面钢箱梁斜拉桥逐渐兴起。传统斜拉桥施工多采用先塔后梁技术, 即先建主塔再建梁部。然而, 为优化工期, 部分斜拉桥施工已逐渐转向塔梁同步施工工艺。该工艺依据工程特点, 能显著缩短施工周期, 提升效率。近年来, 斜拉桥塔梁同步安装施工研究聚焦于工期节省和施工控制, 通过一体化施工工艺、智能监测系统应用及先进力学模型分析, 显著提升了工程进度和质量把控。如潘成杰等^[1-7]对斜拉桥塔梁同步快速安装工艺进行了研究; 易成^[8]对斜拉桥塔梁固结应

力应变监测进行了研究; 赵成贵等^[9-11]对斜拉桥塔梁同步施工控制技术等进行了研究。

本文结合横门西特大桥工程实例, 介绍双索面钢箱梁斜拉桥塔梁同步安装技术方案。

1 工程概况

横门西特大桥全长 2 518 m, 为主跨 390 m+324 m 的独塔钢箱梁斜拉桥^[12]。该桥梁工程设计为独塔整体式钢箱梁斜拉桥, 跨径之大在国内同类在建桥梁中首屈一指。横门西特大桥主梁采用钢箱梁, 钢箱梁截面为带风嘴的扁平流线型, 梁顶宽 43.2 m (含风嘴), 底板宽 27.2 m, 梁高 3.8 m, 标准节段长 15 m。全桥共计 63 节钢箱梁, 最大吊重约 463 t。斜拉索锚固于边腹板外侧。

横门西特大桥钢箱梁一般构造图见图 1。

收稿日期: 2025-03-28

作者简介: 周锡海(1971—), 男, 学士, 高级工程师, 从事路桥施工管理工作。

表 1 “塔梁同步”安装技术与传统施工技术对比

对比项目	“塔梁同步”安装技术	传统施工技术
工期	由于塔梁同步施工,减少了等待时间,整体工期可缩短	主塔施工完成后才进行梁体安装,施工顺序固定,工期相对较长
资源	同步施工减少了设备的周转次数和租赁时间,同时缩短工期也减少了人工等	施工周期长,设备租赁和人工较多
结构受力	在施工过程中,塔、梁、索协同受力,结构内力分布更均匀,能更好地控制结构变形	主塔施工完成后在安装梁体,梁体安装时主塔已成型,结构受力变化相对较大,对结构内力控制要求较高
施工难度	需要高度精确的施工组织和协调,对施工技术和管理水平要求高	施工顺序明确,施工组织相对简单,但后期梁体安装难度可能较大

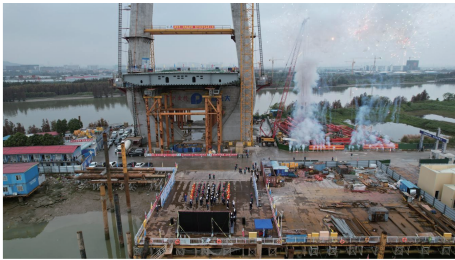


图 5 横门西特大桥主塔钢箱梁同步航拍图 1



图 6 横门西特大桥主塔钢箱梁同步航拍图 2

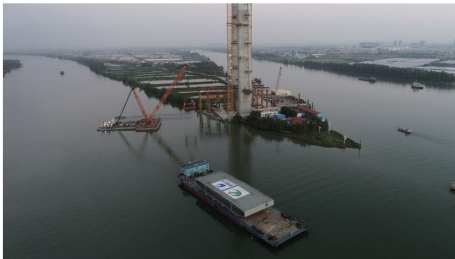


图 7 横门西特大桥主塔钢箱梁同步航拍图 3



图 8 横门西特大桥主塔钢箱梁同步航拍图 4

3 横门西特大桥塔梁同步施工

3.1 施工前期准备

施工前期准备工作是确保“塔梁同步”安装技术顺利实施的基础。在技术方面,组建专业技术团队,深入研究施工图纸和技术规范,针对横门西特大桥的特点,制定详细的“塔梁同步”施工方案,并进行多

次论证和优化。同时,开展技术培训,使施工人员熟悉该技术的原理、流程和要点。

人员方面,选拔经验丰富、技术熟练的施工人员和管理人员,明确各岗位的职责和分工。组织全体人员进行安全 and 质量培训,提高人员的安全意识和质量把控能力。

设备上,配备先进且满足施工要求的各类机械设备,如大型浮吊、塔吊等,并对设备进行全面检查和调试,确保设备性能良好。针对“塔梁同步”安装技术,定制专用的测量和监测设备,用于实时监测施工过程中的各项参数。

材料方面,严格筛选钢箱梁、拉索等原材料供应商,确保材料质量符合设计要求。材料进场时,进行严格的检验和验收,保证材料的规格、性能等满足施工标准。此外,针对“塔梁同步”施工中可能出现的材料损耗和意外情况,准备一定数量的备用材料。

3.2 塔梁同步安装流程

(1)塔柱施工。首先进行主塔基础施工,确保基础稳固。接着进行塔柱钢筋安装。模板安装要保证精度和稳定性,通过多功能一体化智能造塔平台实现塔柱的向上浇筑,每节段施工严格控制混凝土浇筑质量和塔柱垂直度。

(2)钢箱梁吊装。在塔柱施工到一定高度后,开始钢箱梁吊装作业。利用大型浮吊等设备,将预制好的钢箱梁节段吊运至指定位置。在吊装过程中,通过定位装置精确控制钢箱梁的位置及姿态,确保与已安装节段准确对接。采用焊接方式完成钢箱梁节段间的连接,保证连接强度。

(3)拉索安装。钢箱梁安装完成后,进行拉索安装。首先将拉索穿入塔上的索孔和梁上的锚具,然后通过张拉设备对拉索进行张拉。张拉过程中,严格按照设计索力值进行控制,采用传感器实时监测索力,确保拉索拉力符合要求。拉索安装完成后,进行防护处理,防止拉索受到腐蚀。

(4)循环施工。按照上述步骤,不断重复塔柱施

工、钢箱梁吊装、拉索安装的循环作业,直至完成全桥的塔梁同步安装。在施工过程中,加强各工序之间的协调与配合,确保施工进度与质量。

(5)主桥施工顺序为:施工准备→施工平台填筑→主墩及边辅墩钻孔灌注桩施工→围堰及承台施工→主塔及边辅墩施工→主墩钢箱梁滑移支架搭设→主墩旁钢箱梁段吊装→边跨侧钢箱梁滑移支架搭设→边跨支架区钢箱梁吊装→桥面吊机安装→桥面吊机吊装常规梁段并安装斜拉索→两边跨处钢箱梁合拢施工→桥面铺装及护栏施工→其他附属工程施工。

3.3 关键技术要点

“塔梁同步”安装过程中,诸多关键技术要点决定着施工的成败。梁体重心位置分析至关重要,由于钢箱梁尺寸大、形状不规则,准确确定重心位置是安全吊运的前提。通过三维 BIM 模型精确模拟分析,结合实际测量数据,得出梁体重心的准确位置,为吊装作业提供可靠依据。

专用吊具设计是另一要点。根据钢箱梁的结构特点和重量,设计定制专用吊具。吊具须具备足够的强度和稳定性,同时要便于操作和安装。在设计过程中,充分考虑各种工况,通过力学计算和模拟试验,优化吊具的结构和尺寸。

吊装工艺优化也不容忽视,综合考虑现场环境、设备性能等因素,制定科学合理的吊装工艺。例如,根据潮汐变化合理安排吊装时间,提高作业效率和安全性;同时,采用先进的同步控制技术,确保钢箱梁在吊运过程中的平稳性和准确性。此外,在索塔与钢箱梁连接、拉索张拉等环节,严格控制施工精度,确保各部件协同受力。

施工过程中对结构进行实时监测。对于结构变形,采用全站仪、水准仪等测量仪器,定期测量塔柱的垂直度、钢箱梁的标高与轴线位置,获取结构的位移变化数据。利用应变片、传感器等设备,监测塔柱、钢箱梁关键部位的应力变化情况。

依据监测结果及时进行调整。若结构变形超出允许范围,通过调整拉索索力来纠正变形,使结构恢复到设计位置。当应力检测值接近或超过设计允许值时,分析原因并采取相应措施,如调整施工顺序、优化结构参数等,确保结构应力处于安全可控状态。通过持续监测和动态调整,保障“塔梁同步”安装过程中桥梁结构的安全与稳定,为桥梁的最终建成质量提供有力支撑。

4 塔梁同步施工的质量与安全保障

4.1 质量控制措施

为确保横门西特大桥“塔梁同步”安装质量,一系列严格的控制措施贯穿施工全过程。原材料检验是质量把控的首要关卡。例如,对钢材的强度、韧性等指标进行详细检测,杜绝不合格材料进入施工现场。

施工过程监测是保障质量的关键环节。利用高精度测量仪器,实时监测索塔的垂直度、钢箱梁的安装位置偏差等参数。通过传感器对拉索拉力进行动态监测,确保拉力值在设计范围内。一旦监测数据出现异常,立即分析原因并采取调整措施。

明确的质量验收标准为施工质量提供了清晰的衡量尺度。每完成一个施工工序,都依据相关规范和设计要求进行验收。从基础工程到上部结构,从焊接质量到防腐涂层厚度,每一项都严格按照标准检查,只有验收合格才能进入下一道工序,确保整个桥梁工程质量达到优良水平。

4.2 安全管理策略

针对横门西特大桥“塔梁同步”安装施工,制定了全面的安全管理策略。成立专门的安全管理小组,负责统筹协调施工现场的安全管理工作,定期进行安全检查和隐患排查,及时发现并解决潜在的安全问题。

开展深入的安全技术交底工作,在施工前,技术人员向施工人员详细讲解施工过程中的安全风险和防范措施,确保每位施工人员熟悉操作规程和安全要求。例如,针对高处作业、吊装作业等危险环节,进行专项交底。

制定完善的应急预案,针对可能出现的自然灾害、设备故障、人员伤亡等突发情况,制定详细的应对方案。定期组织应急演练,检验和提升应急救援队伍的实战能力以及全体施工人员的应急反应能力。确保在突发事件发生时,能够迅速、有效地进行救援和处理,最大限度减少损失。

4.3 实际效果评估

通过实际监测数据和工程成果来看,“塔梁同步”安装技术在横门西特大桥建设中的质量与安全保障效果显著。在质量方面,索塔的垂直度偏差控制在极小范围内,实际测量数据显示,偏差值远低于设计允许范围(塔柱的倾斜度偏差不大于塔高的 $1/3\ 000$ 且不大于 $30\ \text{mm}$),保证了索塔的稳定性和

箱梁的安装位置精准,梁段之间的拼接误差符合高精度要求,焊缝质量经检测全部合格,确保了钢箱梁结构的整体性和可靠性,钢箱梁合龙毫米级别控制,低于设计允许范围(钢箱梁合龙轴线偏位不大于 $\pm 10\text{ mm}$)。

安全保障方面,在整个施工过程中,未发生重大安全事故。通过严格的安全管理措施和应急预案的有效执行,成功应对了多次突发状况。

从工程成果来看,横门西特大桥顺利建成,其结构稳定、外形美观,各项性能指标均达到设计要求。这充分证明“塔梁同步”安装技术的质量与安全保障措施在实际工程中取得了良好的效果。

5 “塔梁同步”安装技术的应用价值与展望

5.1 在横门西特大桥中的应用价值

在横门西特大桥建设中,“塔梁同步”安装技术展现出多维度的重要价值。经济价值层面,该技术通过缩短工期约2个多月,大幅减少了施工过程中的人力、设备租赁等支出。同时,降低了因工期延长带来的潜在高空作业风险。

社会价值方面,大桥提前建成通车,极大地改善了区域交通状况,加强了广州、中山等城市间的联系,促进了人员往来与交流。便捷的交通网络有利于推动区域一体化发展,提升居民生活质量,对城乡基建及社会发展具有正面效应。

技术价值上,在横门西特大桥建设中,通过实践检验和优化“塔梁同步”安装技术的施工流程与工艺,提升了我国在大跨度斜拉桥施工领域的技术水平,为后续同类桥梁建设提供了可靠的技术支撑。

5.2 在其他桥梁工程中的推广前景

“塔梁同步”安装技术在不同类型和规模的桥梁工程中具有广阔的推广前景。对于大跨度跨海、跨江桥梁,该技术能够有效缩短海上或水上作业时间,降低施工风险,提高施工效率。在山区峡谷等地形复杂的桥梁建设中,“塔梁同步”技术可减少场地限制对施工的影响,实现高效施工。

然而,推广过程也面临一些挑战。不同桥梁的结构形式、地质条件 and 环境因素差异较大,需要对技术进行针对性调整和优化。部分施工团队对该技术的掌握程度有限,可能影响施工质量和进度。

针对这些挑战,可加强技术研发和创新,根据不同桥梁特点制定个性化施工方案。同时,需增强技术培训深度和广度,以提升施工队伍的专业技术能

力,促进该技术在更多桥梁工程中的应用。

5.3 技术发展趋势

未来,“塔梁同步”安装技术将朝着与新技术深度融合的方向发展。与智能化技术结合,实现施工过程的自动化控制和实时监测。利用传感器、大数据和人工智能技术,对索塔、钢箱梁和拉索的施工状态进行精准监测和分析,及时调整施工参数,提高施工精度和质量。

在施工工艺方面,将不断改进和创新。研发更先进的材料和施工设备,提高结构的承载能力和施工效率。

此外,“塔梁同步”安装技术将更加注重绿色环保理念。优化施工流程以降低能耗并减轻环境负担,实现可持续发展的目标,为未来桥梁建设提供更加高效、智能、环保的解决方案。

6 结 语

“塔梁同步”安装技术在未来有着广阔发展空间。在新技术应用方面,随着智能化技术发展,可引入智能监测系统,实现对施工过程全方位实时监测和自动预警,提高施工安全性和精准度。利用大数据与云计算技术,对施工数据进行深度分析,优化施工方案。在改进方向上,应进一步研发适用于不同地质、气候条件的施工工艺,扩大技术应用范围。加强对结构耐久性研究,通过改进材料与施工工艺,提高桥梁使用寿命。此外,应注重与其他先进施工技术融合,如装配式建筑技术等,提高施工工业化水平,减少现场作业量,推动双索面钢箱梁斜拉桥建设向高效、智能、绿色方向发展。

参考文献:

- [1] 潘成杰. 湖杭高铁富春江特大桥主桥施工关键技术[J]. 桥梁建设, 2024, 54(6): 153-159.
- [2] 朱强, 艾华, 张美玲. 某宽幅矮塔斜拉桥 Y 形桥塔施工方案优化[J]. 世界桥梁, 2023, 51(2): 47-52.
- [3] 张玉平, 雷丰红, 杨胜江, 等. 混合梁斜拉桥 A 形索塔施工方案比选与优化[J]. 公路与汽运, 2022(3): 98-103.
- [4] 黄斌, 张国刚, 曾振华, 等. 钻石形主塔“塔梁同步”施工分析及控制技术[J]. 公路, 2023, 68(9): 195-199.
- [5] 刘爱林, 刘幸福, 王令侠. 芜湖长江公铁大桥主桥上部结构施工关键技术[J]. 中国铁路, 2021(9): 161-166.
- [6] 刘幸福, 王令侠. 商合杭高铁芜湖长江公铁大桥总体施工方案[J]. 中国铁路, 2020(6): 19-25.
- [7] 李军堂. 沪苏通长江公铁大桥主桥基础、主塔、钢桁梁及斜拉索施工技术[J]. 中国铁路, 2021(9): 155-160.
- [8] 易成. 矮塔斜拉桥塔梁墩固结粘接部位局部模型构建与应力分析[J]. 粘接, 2023, 50(4): 162-165.

(下转第 256)