

大跨度连续钢混组合梁中支点顶升施工技术

谭文武

(九峰海洋生态建设集团有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘要: 大跨度连续钢混组合梁中支点处混凝土桥面板由于墩顶负弯矩作用长期处于受拉状态, 易开裂, 导致钢筋锈蚀, 影响结构耐久性。通过对中支点进行顶升施工, 可有效降低墩顶桥面板拉应力, 避免中支点处桥面板开裂, 确保混凝土桥面板在运营过程中的质量与使用功能。以某大跨径连续钢混组合梁中支点顶升施工为背景, 详细阐述了运用PLC液压同步顶升系统进行顶升施工的关键技术, 包括千斤顶型号选型、顶升设备选型、顶升设备布置、临时支点布置、试顶升要点、正式顶升关键步骤及施工过程监测等, 旨在为同类型工程施工提供有价值的技术参考。

关键词: 大跨度; 连续钢混组合梁; 顶升施工; 关键技术

中图分类号: U445.462; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)07-0384-05

Middle Fulcrum Jacking Construction Technology for Long-Span Continuous Steel-Concrete Composite Beams

TAN Wenwu

(Jiufeng Marine Ecological Construction Group Co., Ltd., Ningbo 315000, China)

Abstract: The concrete bridge deck at the middle fulcrum of the long-span continuous steel-concrete composite beam is constantly under tension for a long time due to the negative bending moment at the pier top, which makes it prone to cracking, leading to steel bar corrosion and affecting the durability of the structure. By jacking the middle fulcrum, the tensile stress of the bridge deck at the pier top can be effectively reduced, avoiding cracking of the bridge deck at the middle fulcrum, and ensuring the quality and using function of the concrete bridge deck during the operation process. Taking the middle fulcrum jacking construction of a long-span continuous steel-concrete composite beam as the background, the key technologies for the jacking construction using a PLC hydraulic synchronous jacking system are elaborated in detail, including selection of jack types, selection of jacking equipment, layout of jacking equipment, arrangement of temporary fulcrums, key points of trial jacking, key steps of formal jacking and monitoring of construction process, aiming to provide the technical references for the construction of similar projects.

Keywords: long-span; continuous steel-concrete composite beams; jacking construction; key technology

0 引言

钢混组合梁由钢结构主梁与混凝土桥面板通过连接件紧密结合, 能够充分发挥2种材料各自的特性, 具有跨越能力大、结构整体性好、稳定性高、施工快速便捷等优点, 近年来在我国桥梁建设中得到了愈加广泛的应用^[1-4]。

在城市桥梁或公路桥梁中, 钢混组合梁常用于跨越现状道路或河道, 可采用简支或连续结构。相较于简支结构, 采用连续钢混组合梁可有效降低每平米钢结构用量指标, 减少伸缩缝数量, 行车舒适性

好, 景观效果好^[5-6]。但中支点附近由于承受墩顶负弯矩作用, 混凝土桥面板长期处于受拉状态, 易产生裂缝, 导致钢筋锈蚀, 影响结构耐久性^[5-8]。为解决上述问题, 可在施工过程中对钢混组合梁中支点进行整体顶升, 该工法能有效降低墩顶桥面板拉应力, 避免钢混组合梁中支点处桥面板开裂, 确保混凝土桥面板在运营过程中的质量与使用功能^[6-10], 具有较好的借鉴意义及推广价值。

本文以某三跨连续钢混组合梁为背景, 通过介绍组合梁中支点顶升施工关键技术, 总结相关施工关键点, 为今后类似桥梁的施工提供有价值的实例参考。

1 工程概况

某高架桥采用三跨连续钢混组合梁, 跨径布置

收稿日期: 2026-04-13

作者简介: 谭文武(1968—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事市政工程。

为 49 m+70 m+52 m,桥宽 26.5 m,设计道路中心线为直线,荷载等级为公路—Ⅰ级。上部结构采用槽型钢梁+现浇混凝土桥面板的结构形式。主梁采用变高度箱梁,支点处梁高 3.85 m,跨中梁高 2.55 m,钢结构槽型钢梁梁高分别为 3.5 m 及 2.2 m,梁底线形采用二次抛物线变化。钢结构主梁横向由 4 片组成,每片槽型钢梁顶面开口宽 3.2 m,顶板宽 700 mm,板厚 20~40 mm;腹板采用斜腹板,板厚 16~20 mm;底板宽 2 210~2 615 mm,板厚 20~40 mm;腹板及底板均采用一字肋加劲。四片钢梁每隔 12.5 m 设置一道工字形横梁,支点采用箱形横梁。混凝土桥面板标准厚度为 250 mm,在主梁及横梁处加高至 350 mm,通过剪力钉与钢结构连为一体。下部结构采用双柱大挑臂预应力混凝土盖梁。桥梁总体布置图及桥梁中支点横断面布置图如图 1 和图 2 所示。

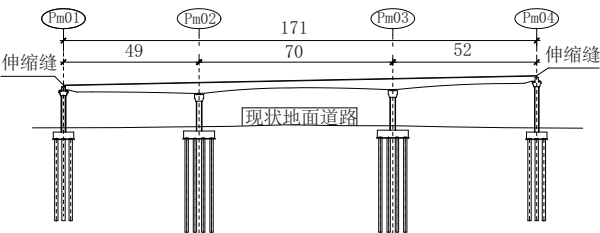


图 1 桥梁总体布置图(单位:m)

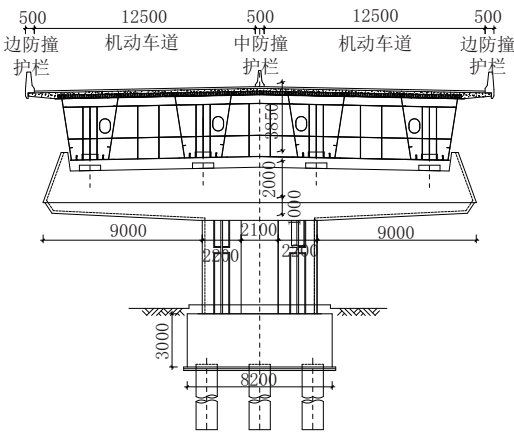


图 2 桥梁中支点横断面布置图(单位:mm)

2 主要施工步骤

本文项目采用中支点顶升的施工工法,通过在支点顶升—浇筑混凝土桥面板—支点回落的过程中,使得中支点处桥面板产生部分预压力^[11],抵消部分二期恒载、活载及收缩徐变产生的拉应力,避免连续钢混组合梁墩顶混凝土桥面板开裂。主要施工步骤如下。

(1)施工步骤 1 如图 3 所示。钢梁节段运输至桥位处,吊装至临时支架后焊接形成连续体系。撤除临时支架,并填充端部压重混凝土。

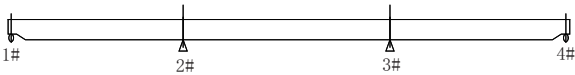


图 3 施工步骤 1

(2)施工步骤 2 如图 4 所示。在中支点盖梁顶部安装千斤顶,顶升主梁,使中支点处钢梁产生向上 700 mm 位移。临时支点位置位于主梁腹板与中支点横隔板之间,如图 5 所示。

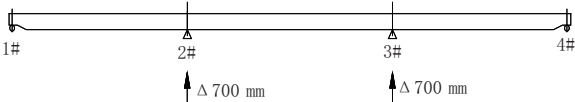


图 4 施工步骤 2

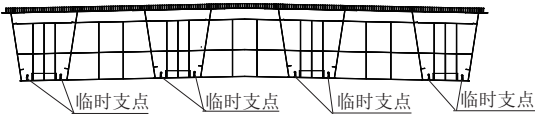


图 5 顶升阶段主梁临时支点位置示意图

(3)施工步骤 3 为绑扎桥面板钢筋。

(4)施工步骤 4 如图 6 所示。按次序浇筑混凝土桥面板①,后浇筑混凝土桥面板②^[11-12]。

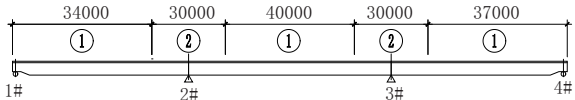


图 6 施工步骤 4(单位:mm)

(5)施工步骤 5 如图 7 所示。待混凝土强度达到要求后,回落中支点至支座上,并撤除千斤顶。此时,主梁中支点支承方式由千斤顶处临时支点转换至永久支座,如图 8 所示。

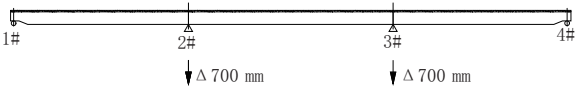


图 7 施工步骤 5

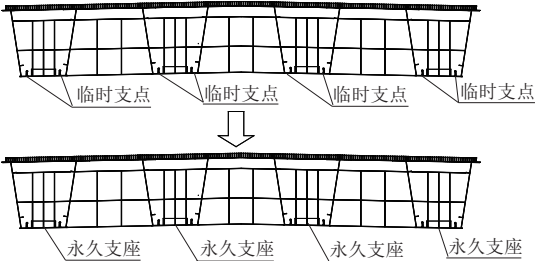


图 8 落梁阶段主梁支承方式变化示意图

(6)施工桥面铺装、栏杆及其他附属设施。

3 主要施工过程

3.1 顶升反力计算

采用 MIDAS Civil 2023 软件对顶升施工过程进行计算,最大顶升反力工况为混凝土桥面板浇筑完成后—钢梁回落前,标准组合下单个主梁中支点最大反力约为 5 521 kN,如图 9 所示。

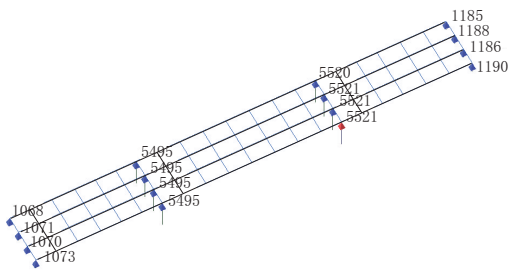


图9 顶升工况中支点最大反力(单位:kN)

同时,应确保在顶升过程中边支点不出现负反力,最不利工况为钢梁顶升后一混凝土桥面板未浇筑,边支点最小反力为280 kN,未出现负反力,如图10所示。

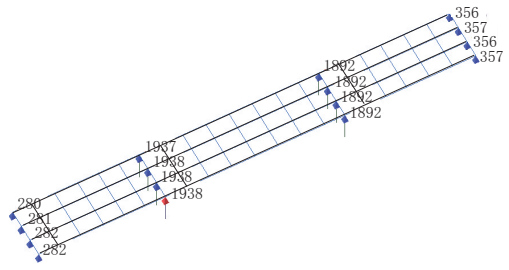


图10 顶升工况边支点最小反力(单位:kN)

3.2 顶升设备选型

3.2.1 千斤顶选型

依据桥梁结构形式,在每片主梁下布置2个千斤顶,单个桥墩处设置8个千斤顶。依据顶升阶段最大反力,千斤顶型号选用YDT500-150,额定最大顶升重量为5 096 kN,施工人员荷载、振捣荷载、模板荷载等施工荷载按170 kN计,安全系数为 $5\,521 \div (5\,521 + 170) = 1.79$,满足《桥梁顶升移位改造技术规范》(GB/T 51256—2017)4.3.5条不小于1.5的要求^[13]。同时,主梁底与盖梁顶高差为450~700 mm,选用千斤顶高度399 mm,满足操作空间需求。

3.2.2 同步顶升设备系统

为确保主梁顶升施工的同步性,采用PLC系列同步顶升控制系统,如图11所示。

每套系统由1台SHL-8P-MP 8点同步顶升控制器(见图12)、2台SHL-4P-S 4点同步顶升控制器(4点液升工作伺服控制元)(见图13)、1个油路同步控制阀总成及2个电动超高压油泵组成,同步控制8个顶升点。

同步顶升设备系统基于闭环控制理论设计,将数个千斤顶组成顶升组托举主梁。顶升时,以千斤顶反力作为控制变量,控制精度为 ± 0.5 MPa,最大油缸承载力为509.6 t。同时,在每个千斤顶处安装位移传感器,将顶升位移信号作为控制参数,进行位置

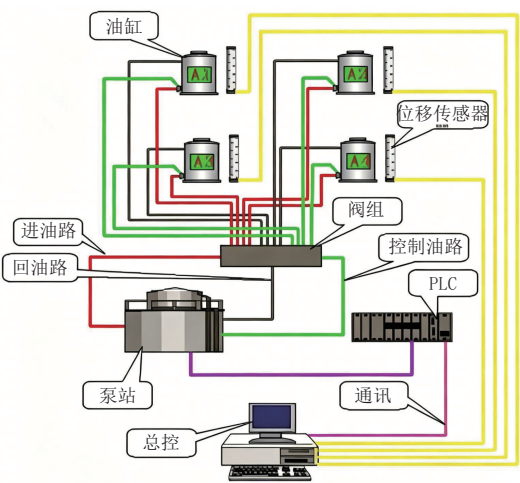


图11 PLC顶升控制系统



图12 8点同步顶升控制器



图13 4点同步顶升控制器(4点液升工作伺服控制元)

反馈,组成千斤顶荷载-位移的闭环控制,位移控制精度为 ± 1 mm,最大行程为150 mm。

在顶升过程中,控制器自动对由传感器输入的8个点位位移信号与指令信号进行比较,将两者产生的信号误差放大并叠加至指令信号上,再通过PLC液压同步系统自动对泵站及控制阀组发出指令,通过二位二通电磁截止球阀控制油液的通断,进而控制8个油缸的同步位移,直至误差消除,实现智能化、自动化控制。当顶升位移过大时,控制器发出指令,二位二通电磁截止球阀关闭液压油流,限制油缸上升或下降;当顶升位移滞后时,控制器发出指令,二位二通电磁截止球阀开启液压油流,从而恢复油缸的上升或下降。

通过传感器、控制器、PLC系统及油缸的智能

化、自动化的协调工作,对单个中支点处 8 个顶升点进行精密控制,使整个系统达到同步状态。

同时,每个油缸均设有液控单向阀,实现液压锁紧功能。当液压管路遇到意外破损泄漏时,油缸仍能够支撑重物,保证同步顶升的安全性。

3.2.3 顶升设备布置

本工程主梁为 4 片主梁,在每个主梁下设置 2 个千斤顶,每个盖梁处设置 8 个,全桥共计 16 个千斤顶。

每个千斤顶分别布置在主梁两道腹板与横隔板的交叉点,为避免局部应力过大,千斤顶上采用长宽均为 300 mm、厚度为 20~40 mm 的方形钢板与钢梁接触。临时支撑设置于盖梁支座上,考虑钢梁支点及永久支座的局部承压要求^[14],采用 2 摞方形钢板作为临时支撑。为确保施工过程中的铅锤平稳,在钢梁底面及盖梁顶面设置楔形钢板进行找平,待千斤顶上下施工面调平后方可施工^[9]。千斤顶位置及临时支撑位置布置如图 14、图 15 所示。

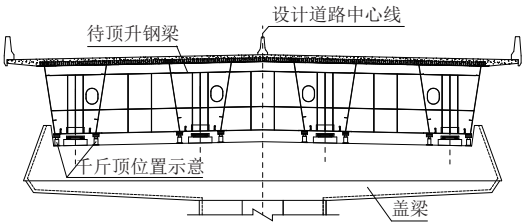


图 14 顶升设备布置立面图

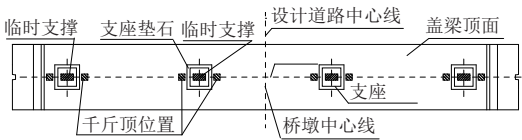


图 15 顶升设备布置平面图

4 施工关键技术

4.1 施工准备

(1)正式顶升施工前,应对现有桥梁进行全方位检测,排除安全隐患。

(2)预备足量施工设备,以防仪器损坏无相关替换设施。

(3)对放置千斤顶的盖梁顶面位置进行清扫及调平,确保千斤顶顶升的铅垂度。

(4)复核梁底标高、盖梁顶与梁底距离,以保证千斤顶操作空间。

(5)布置 PLC 液压同步顶升系统至设计位置。

4.2 试顶升

在正式顶升之前必须进行试顶升,做好千斤顶、油管、液压泵站、计算机控制系统等检查,确保系统

运行完好。

钢梁试顶升高度为 3 mm,保压时间大于 10 min,试顶升无异常后方可进行正式顶升工作。

4.3 正式顶升

(1)正式顶升阶段中,两个墩台共 16 个千斤顶同步启动。

(2)主梁采用由千斤顶、临时支撑钢板交替支撑的方式进行顶升施工,现场实景如图 16 所示。



图 16 顶升过程中千斤顶与临时支撑交替加高

(3)主梁顶升速度按 0.1~1.0 mm/min 控制,顶升 1 个行程约 150 mm 后停止,加垫临时支撑钢板,千斤顶回落使主梁支承于临时支撑钢板;在千斤顶顶面加垫钢板后继续顶升,如此反复循环,直至顶升 700 mm 至设计位置。此时,千斤顶回落,使主梁支承于临时支撑钢板,后续进行桥面板钢筋及混凝土施工。详细施工步骤如下,以顶升施工区域大样 A 为例。

a. 顶升步骤 1 如图 17 所示:试顶完成后,进行千斤顶第一个行程顶升。初始顶升 150 mm,使钢梁与支座脱空,千斤顶处于受力状态。

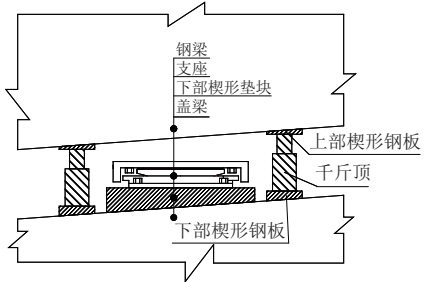


图 17 顶升步骤 1

b. 顶升步骤 2 如图 18 所示:放置临时支撑钢板,使钢梁底部与中部临时支撑钢板接触。

c. 顶升步骤 3 如图 19 所示:千斤顶缩缸回落,钢梁与千斤顶脱空,此时主梁支承于临时支撑钢板上。

d. 顶升步骤 4 如图 20 所示:在千斤顶上方放置临时支撑钢板垫板,进行下一个行程顶升。

e. 顶升步骤 5 重复步骤 1 至步骤 4,直至顶升至设计位置。

(4)顶升千斤顶应缓慢、同步、分级。顶升过程

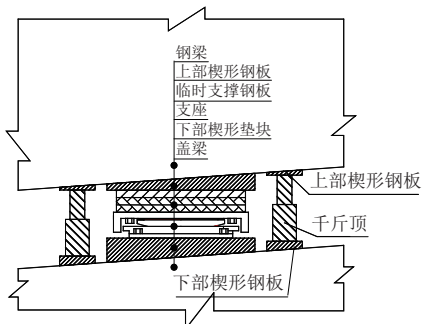


图 18 顶升步骤 2

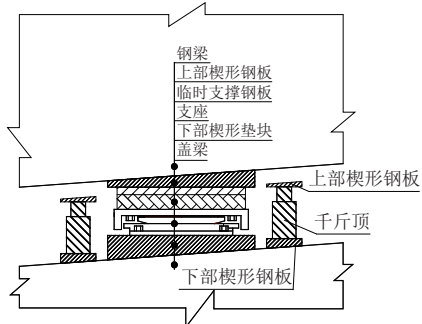


图 19 顶升步骤 3

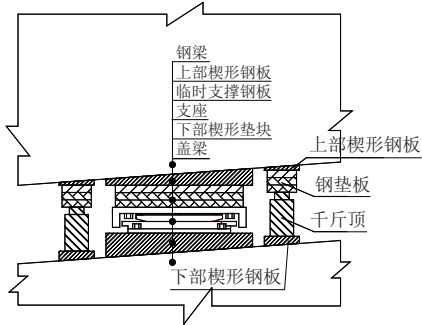


图 20 顶升步骤 4

中每顶升 1 级,停机约 15 min,观察梁体变化情况,并对千斤顶、临时支撑钢板进行全面检查,无异常情况后方可进入下一级顶升。

(5)由于钢梁的顶升高度较大,每级顶升高度应控制在 5 cm 以内,并通过带有精密油压表的千斤顶系统逐级控制顶升力。每级顶升施工前,墩顶液压油缸初步带压,带压五分钟后未发生漏油、油压表示数下降等情况,可进行顶升施工。每级顶升施工结束后,做好临时支撑处钢板的支垫,以防止千斤顶突然失效导致钢梁回落,避免发生事故。

4.4 落梁及设备拆除

(1)待桥面系混凝土施工完成且强度达到要求后,千斤顶同步落梁。

(2)落梁开始时,由千斤顶承担主梁荷载,撤除 150 mm 临时支撑钢板;千斤顶回落一个行程后,由临时支撑钢板支承主梁,千斤顶泄力并撤除其上钢垫板后再顶升至主梁底受力,以此往复,直至主梁回

落至永久支座上^[15]。

(3)各千斤顶同步误差应控制在 ± 20 mm,速率控制 ≤ 20 mm/min。

(4)拆除顶升设备,撤出千斤顶及相关设施。

4.5 施工过程监测

施工过程监测是确保同步顶升结构安全与质量的关键一环,尤其对于钢梁变形的监测应贯穿于钢梁顶升施工全过程^[7]。

本项目对主梁关键部位(边跨 $L/2$ 点,中跨 $L/2$ 、 $L/4$ 、 $3L/4$ 处)设置共计 5 个变形观测断面,每个断面设置 4 个观测点,分别布置于每片钢梁梁底,如图 21、图 22,定时测量钢梁变形,全面反映钢梁在顶升施工过程中的状态^[7]。

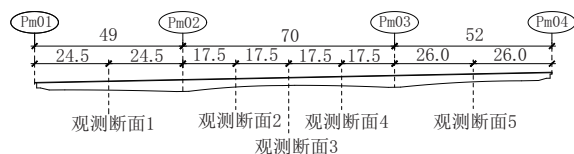


图 21 变形观测断面位置(单位:m)

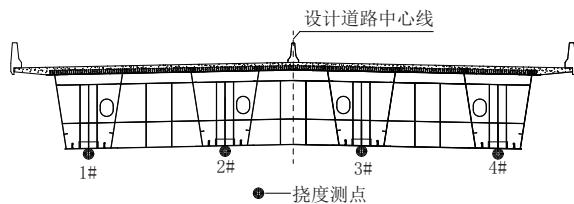


图 22 变形观测点横断面位置示意图

顶升过程中的监测位移报警值为 2 cm,监测频率不低于 3 d/次,超过此数值应立即停止施工,发现原因并解决问题后方可继续施工。

当顶升施工结束或落梁施工结束后,应对主梁的高程及轴线偏位进行复核,高程误差控制要求为 ± 1 cm,轴线偏位误差控制要求为 2 cm。

本文项目在整个顶升施工过程中,对主梁变形进行密切监测,钢梁变形测量数据与理论数据较吻合,施工过程钢梁结构安全,工程质量可靠。

4.6 钢梁计算复核

在顶升施工过程中,对钢梁的整体受力状态、局部支承状态进行了受力分析,相关位移、应力指标满足规范要求^[14]。

5 结 语

中支点顶升技术通过在墩顶桥面板中存储适量压应力,抵消后续混凝土收缩徐变、二期恒载、活载及温度作用等引起的拉应力,从而有效避免连续钢混组合梁负弯矩区混凝土板的开裂。

本文以某三跨连续钢混组合梁中支点顶升施工

(下转第 413 页)