兰州柴家峡黄河大桥钢箱梁同步滑移施工技术

郝志敏, 吕 洁

(中国二冶集团有限公司, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章全面总结了兰州柴家峡黄河大桥钢箱梁同步滑移施工技术。通过对钢箱梁同步滑移技术的研究, 系统提出"两岸拼装, 相向顶推, 逐段累积滑移"的施工方案, 通过 BIM 建模技术解决滑移路线、临时墩布设、滑移梁段拼装、钢导梁长度等技术问题。文章梳理出滑移施工的关键技术控制措施, 为复杂条件下跨河斜拉索桥的梁体滑移施工提供参考。

关键词: 滑移; 曲线; 钢箱梁; 钢导梁; 临时墩

中图分类号: U445.4 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009 - 5438(2026)01 - 0069 - 04

Construction Technology of Synchronous Sliding for Steel Box Girder of Lanzhou Chaijiaxia Yellow River Bridge

Hao Zhimin, *Lv Jie*

(*China Second Metallurgy Group Co.*, *Ltd.*, *Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region*, *China*)

Abstract: In this article, the construction technology of synchronous sliding for steel box girder of Lanzhou Chaijiaxia Yellow River Bridge is comprehensively summarized. The construction scheme of "assemble on both shores, incremental launching toward each other and accumulate sliding section by section" is systematically proposed through researching the synchronous sliding technology for steel box girder. Moreover, such technical problems as the sliding route, setting of temporary piers, assembly of sections for girder of slippage and length of steel launching nose are solved through the BIM (building information modeling) technology. The control measures for key technologies of sliding construction are sorted out in this paper, which could provide references for sliding constructions of girder for cross - river cable - stayed bridge under complicated conditions.

Key words: sliding; curve; steel box girder; steel launching nose; temporary pier

1 工程概况

柴家峡黄河大桥位于甘肃省兰州市西固区柴家峡水电站下游, 是兰州西固区至港务区联络线工程跨黄河连接线重点控制性项目, 通过新城大桥与北环路西线工程衔接, 与西行线 G109 国道及京藏高速兰州段形成区域内"双通道"交通网络干线, 建成后将为兰州市社会经济发展提供便利的交通条件。

柴家峡大桥全长 1.25 km, 主桥为双塔六跨钢箱梁半漂浮体系斜拉桥, 南塔高 102 m, 北塔高 118 m, 为保证桥梁桥墩不影响黄河泄洪安全及柴家峡水电站正常发电, 主桥设计跨径 360 m。桥梁

收稿日期: 2024 - 11 - 01

作者简介: 郝志敏(1984 -), 男, 内蒙古呼和浩特市人, 硕士, 高级工程师, 现从事工程技术管理工作。

上部结构采用钢箱梁,设计宽度 35.2 m,由边箱、中箱、边箱三部分组成,采用 Q345qD 钢材制造。桥梁左岸桥面呈弧线形,弧线半径 600 m,右岸桥面呈直线形,梁段采用栓焊连接,钢箱梁总重量 11 925.4 t。

2 滑移施工方案

依据两岸相向拼装、逐段栓焊连接、累积顶推滑移的工作思路,南北主塔首节滑移段分别以合拢线梁段为首推段,后续梁段依次推送,与前段滑移梁段顺序栓焊连接,沿滑移路径控制线同步滑移合拢。以桥梁纵向合拢线为划分基线,结合桥梁设计特点,充分考虑施工条件,全桥划分 57 段、9 种型号的钢箱梁滑移段。

主桥滑移路线总长度 598.022 m。依据滑移路线及滑移分段施工图布设,左岸主桥滑移路线长度 187.58 m,分 19 个滑移拼装节段,总重量 3 788.573 t,右岸主桥滑移路线长度 410.442 m,分 38 个滑移拼装节段,累计重量 8 136.827 t。滑移施工方案见图 1。

3 滑移路线确定

根据滑移施工方案及设计施工图纸,确定桥梁滑移路线及合拢线位置,左岸滑移路线为弧线段,弧线半径 R =600 m,滑移距离为 187.58 m,右岸滑移路线为直线段,滑移距离为 410.442 m。钢箱梁矢高约 705 mm,滑移合拢线以左岸主塔中心 130 m 至右岸主塔中心 230 m 交界处划分,滑移路线及滑移单元分界线见图 2。

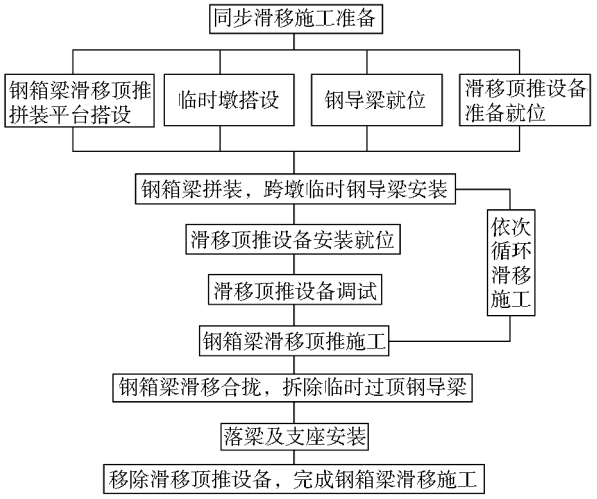


图 1 滑移施工方案图

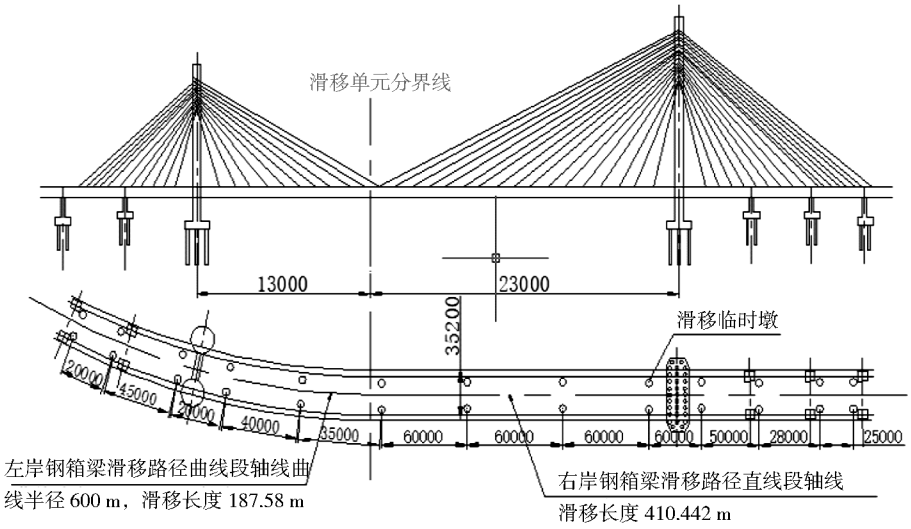


图 2 滑移路线及临时墩布置图

4 临时墩布设

临时墩是滑移施工核心措施构件,是保障桥梁滑移安全跨越支墩不可或缺的技术措施。临时墩由钢管支架、分配梁、轨道梁及垫梁等组成[1],左岸弧线段滑移线路设置 5 处临时墩,右岸直线段滑移线路布置 8 处临时墩,详见图 2。

5 滑移梁段拼装

滑移段钢箱梁全部在钢结构工厂完成制造和单

元件的拼装。钢结构工厂将预拼装好的分节钢箱梁分别运输至施工现场南北主塔的滑移拼装平台，按照钢箱梁节段拼装作业指导手册，在滑移拼装平台完成滑移节段的拼装焊接任务。

6　钢导梁安装

钢导梁是钢梁滑移施工安全跨越临时支墩的核心受力措施构件，由 Q235B 钢材加工制成。钢导梁在滑移过程中起引导梁体准确跨越支墩、减少跨越过程中梁体应力集中、分散荷载并降低局部压力峰值、防止临时支墩压损、实现连续跨越滑移的作用。钢导梁强度必须满足施工要求，分 4 段制作，通过钢管横向连接组成桁架体，以增强导梁整体横向刚度，现场完成整体拼接[2]。钢导梁与首段滑移钢箱梁通过加强腹板栓焊连接，滑移段最大跨径为 60 m，左岸滑移段导梁长 30 m，右岸滑移段导梁长 40 m，滑移完成后在合拢位置分解拆除。

7　滑移设备安装

滑移设备沿桥面中心轴线方向对称布设在临时墩分配梁两端，每组布置液压泵站 2 台，主控平台设在拼装平台上（并非同时将所有墩顶都安装滑移设备，而是在每次滑移箱梁所在临时墩和前一个临时墩布置，最多同时布置 32 组）。每个小的滑移单元竖向顶升力为 2 × 500 吨，纵向滑移行程1 000 mm，横向纠偏行程 100 mm。

滑移设备由 TLJ – 5000 型/8000 型液压移桥器、TL – HPS – 60 型液压泵源系统、TLC – 1.3 型计算机同步控制系统组成。通过计算机同步控制，滑移过程中钢箱梁滑移姿态平稳，结构受力同步，位移精准控制，利用设备自身纠偏智能控制系统可实现精准滑移施工目的。

8　滑移施工作业

滑移施工采用超大型构件液压同步/同角速度滑移施工技术，施工过程无需润滑滑道，通过钢导梁与临时支墩精准配合，引导主梁沿滑移路线整体滑移，导梁率先就位，为主梁提供横向约束，避免主梁偏移，保障主梁安全跨墩就位。

初始滑移启动前需将滑移控制系统切换至手动控制模式，逐项检测液压泵站、顶升装置、纠偏机构、推进执行器、压力仪表及传感单元的工作状态是否正常。确认全部符合启动条件后，启动滑移指令，然后顶升压力传感器检测到的压力数值通过主控系统转换成支反力数值，系统将该数值转换为顶推油缸压力指令，传导至执行顶推设备，控制墩顶钢箱梁两侧纠偏设备同步工作，实现同步滑移。在滑移作业过程中，实时监测顶推支反力，保证滑移设备顶推力稳定，滑移平稳。当一个滑移行程结束后，滑移设备油缸回缩至下一个顶推受力点，继续重复进行下一轮滑移行程。待主梁滑移进入稳定状态后，手动控制模式无缝切换至自动推进模式，实现主梁匀速连续滑移。在连续滑移进程中，全程采集液压系统动态压力数据，重点标注各顶推循环内的压力极值，作为滑移设备工作状态调整的评估依据，为钢箱梁滑移施工提供安全保障。为防止梁体横向偏移，系统内置高精度激光定位纠偏模块，实时追踪钢箱梁中心线与预设轴线的偏差，超出范围自动触发限位机构微调指令，确保横向偏移量始终不大于 15 mm（依据工程要求设定阈值）。按照“顶推→暂停→标高/轴线修正→再顶推”的标准化流程循环作业，直至钢箱梁整体精确就位，每轮顶推行程需结合传感器反馈数据动态优化滑移参数，保障施工精度与结构安全。

9　同步滑移施工关键技术控制措施

9.1　钢梁滑移顶升支点选取控制

钢箱梁段采用多点千斤顶连续滑移顶推施工，按“分级调压，集中控制，差值限定”原则进行控制，依据钢箱梁 BIM 受力分析计算结果，顶升受力点布设在钢箱梁下翼缘中腹板处。钢箱梁在动态顶推过程中呈现三维空间受力特征，其顶推载荷分布模式与成桥永久状态存在显著相位差异，整个顶推过程的监控以“支反力控制为主，标高控制为辅”为原则进行，因此每轮顶推前依据监控指令，必须明确该轮顶推钢箱梁所经临时支墩的竖曲线变化范围（标高变化值）及箱梁许用支反力变化范围。

9.2　钢箱梁同步滑移位移控制

在桥梁滑移施工阶段，由于接触面摩擦力的非均匀性难以完全消除，通过精准调控多组液压顶推装置的协同运动，以位移同步性补偿受力差异，从而降低结构受力扭转风险。当竖向液压缸完成梁体抬升后，随即启动滑移顶推系统进行平移推进，此阶段需实施三维动态控制，即基于传感器的位移同步反馈控制、液压回路压力自适应平衡控制、实时横向纠偏修正控制。主控台不仅需要集成各临时支墩顶推单元的动作时序，更需通过激光测距与 PLC 联动控

制,保证滑移轨迹的线性度符合设计及规范要求。

9.3 竖向顶升控制

在钢箱梁顶升与回落作业中,主控系统采用双闭环控制实现同步顶升。通过液压驱动装置对集群千斤顶协调动作控制的同时,利用箱梁－垫梁接合部的高精度位移传感器实时采集高程数据,保证两侧顶升千斤顶的同步精度。系统采用主从跟随控制模式,选定主导侧作为基准轴,通过PID算法确定从动侧双轴位移差的允许误差范围,当从动侧位移超前时,降低其液压流量输出;当从动侧位移滞后时,则增加液压流量供给,从而将双轴位差严格限制在±2 mm的允许误差范围内。该措施有效解决了钢箱梁同步滑移过程中的偏载风险,保证了滑移钢梁在竖直方向上的精准位移。

9.4 滑移平衡控制

在滑移施工过程中,采用多自由度姿态监测系统保障滑移梁段动态平衡,即在各分配梁支点处顶部正交布设双轴倾角仪,实时采集箱梁 x、y 轴向倾角数据。系统设置动态阈值管理模块,当任一监测点双轴倾斜值突破预设姿态偏差允许范围时,将触发急停保护机制并发出声光警报。通过全时域姿态闭环控制,使钢箱梁在三维空间内的水平度偏差始终处于受控状态。该监测机制覆盖滑移作业全过程,可有效预防结构体因非对称荷载导致的失稳风险,确保滑移轨迹符合设计要求。

9.5 滑移横向纠偏控制

在每组临时支墩分配梁上安装1～2个光电传感器,检测箱梁中轴线是否与设计中轴线一致,实时对钢箱梁滑移横向偏移进行纠偏控制。在滑移过程中,若哪个光电传感器监测不到中轴线,则由这个光电传感器发出相应指令,驱动相应的横向调节千斤顶纠偏,直到光电传感器检测到中轴线后停止纠偏,保证施工中钢箱梁中轴线与设计中轴线始终保持一致。

9.6 滑移累积误差控制

滑移过程中,主控台通过计算每个受力点纵向滑移千斤顶移动的总位移,用最大位移量减去最小位移量得出累计误差,若累计误差超出要求时则由“自动”模式切换至“手动”模式,单独调节某一侧油缸动作予以纠偏。

9.7 导梁过墩顶施工控制

结构受力分析表明,钢箱梁在自重荷载作用下,导梁前端将产生最大276 mm的弹性挠度。当导梁悬臂端临近临时支墩滑移设备时,需要启动导梁过墩专项预案。首先采用阶梯式过渡装置对导梁首节段实施液压顶升,通过多级荷载传递实现悬臂体系向简支体系的平稳转换。待导梁完成姿态调平,并稳固落位于滑移设备上后,再进行连续滑移作业。导梁顶升系统配置50 t级螺旋式液压千斤顶,鉴于单次行程限制与顶升高度需求矛盾,需多次重复顶升作业。通过钢垫块循环置换实现多次支垫和倒顶,全过程需配合激光测距仪进行高程监控。导梁过墩顶施工示意图见图3。

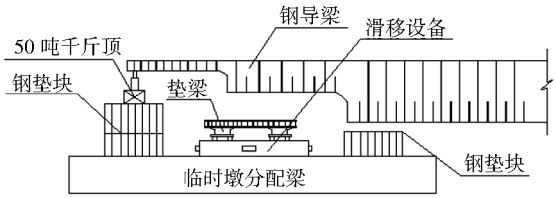


图3 导梁过墩顶施工示意图

9.8 合拢线形与对接精度控制

滑移合拢前,需对临时支墩及永久墩的垫梁高程进行精确调节,其垫设高度范围为0.7～1.0 m,保证梁体滑移就位后空间线形与桥梁预设拱度值相匹配。当梁体滑移至合拢位置时,解除前端钢导梁约束,拆除钢导梁,继续滑移至合拢支撑平台,运用多向同步调控系统实施三维姿态精确定位。选择夜间低温时段进行拢口临时焊接固定,经检验对接成桥线形及合拢精度满足设计要求后,再进行最后的栓焊连接,实现最终合拢,至此完成整桥滑移施工。

10 结束语

兰州柴家峡黄河大桥钢箱梁施工采用了同步滑移施工技术,滑移施工无需通长布置滑道,顶升荷载在临时墩上,受力明确,施工简便。滑移过程中,滑移推进力均匀,加载速度均匀,桥面结构不会产生非正常抖动现象。通过计算机同步控制滑移设备,钢箱梁滑移受力明确,姿态平稳,同步滑移精度可控,安全可靠,施工质量稳定,自动化程度高,操作简便,为类似工程施工提供了实践案例。

参 考 文 献

[1] 鲍广鉴. 钢结构施工技术及实例[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.

[2] 《建筑施工手册》编写组. 建筑施工手册:第四版[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.