

小半径桥梁 30m T 梁“空中接梁”架设施工技术应用研究

吕攀

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂，甘肃 陇南 746412

[摘要]针对苗家坝水电站五库河大桥施工场地狭小、运梁通道坡度大、桥梁平面曲线半径小（R=150m）等不利条件，传统架桥机难以适配。本项目采用双机抬吊结合“空中接梁”施工技术，通过大型汽车吊完成 30m 预应力 T 梁的运输与架设作业。结合工程实际，系统阐述该技术的施工工艺流程、关键工序控制要点以及安全质量保障措施，同时通过吊装能力、钢丝绳选型、地基承载力等多项核心验算验证方案可行性，为类似复杂地形条件下 T 梁架设提供可靠的技术方案与实践参考。

[关键词]T 梁架设；双机抬吊；空中接梁；小半径曲线；陡坡运梁；施工技术

DOI: 10.33142/aem.v7i9.18031 中图分类号： 文献标识码： A

Application Research on the Construction Technology of "Aerial Beam Connection" for 30 Meter T-beams of Small Radius Bridges

LYU Pan

Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: Traditional bridge erecting machines are difficult to adapt to the unfavorable conditions of narrow construction site, steep slope of beam transport channel, and small radius of bridge plane curve (R=150m) for the Wukuhe Bridge of Miaojiaba Hydropower Station. This project adopts the construction technology of double machine lifting combined with "aerial beam connection", and completes the transportation and installation of a 30m prestressed T-beam through a large truck crane. Based on the actual engineering situation, the construction process flow, key process control points, and safety and quality assurance measures of this technology are systematically elaborated. At the same time, the feasibility of the scheme is verified through multiple core calculations such as lifting capacity, wire rope selection, and foundation bearing capacity, providing reliable technical solutions and practical references for T-beam erection under similar complex terrain conditions.

Keywords: T-beam installation; dual machine lifting; aerial beam connection; small radius curve; transporting beams on steep slopes; construction technology

引言

苗家坝水电站五库河大桥重建工程路线全长 240.9m，新建主桥全长 127m（含耳墙），作为连接五库河左右岸交通的关键节点，其建设质量与进度直接影响区域交通条件改善，对保障两岸通行及区域发展具有重要现实意义。针对桥梁施工场地受限、曲线半径小等复杂条件，传统架桥机施工难以实施，亟需探索适配的架设技术方案。

1 工程概况

苗家坝水电站五库河大桥桥梁中心桩号为 K0+108.00，桥位平面位于半径 150m 的圆曲线及缓和曲线上，桥面横坡为 1.72%~3%，纵坡-0.3%，斜交角 90°。桥梁上部结构采用 4×30m 预应力混凝土简支 T 梁，桥面连续体系。

30m T 梁梁高 2.0m，混凝土强度等级 C50，桥面铺装为

15cm 厚 C40 防水混凝土。T 梁中梁预制宽度 1.75m，边梁为异形结构，梁肋宽 20cm，马蹄宽 60cm，梁间距 2.28m，翼缘间设 0.53m 宽湿接缝。不同跨径 T 梁具体基础参数见表 1。

表 1 30mT 梁技术参数表

| 跨编号 | 梁编号 | 梁长 (cm) | 梁重 (t) | 首夹角 | 尾夹角 |
|-----|-----|---------|-----------|--------|--------|
| 1 | 1 | 2918.7 | 边梁约 84.5t | 84.56° | 84.29° |
| | 2 | 2963.1 | | | |
| | 3 | 3007.6 | | | |
| | 4 | 3052.1 | | | |
| 2 | 1 | 2922.7 | 中梁约 82.5t | 84.27° | 84.27° |
| | 2 | 2968.4 | | | |
| | 3 | 3014.2 | | | |
| | 4 | 3060.0 | | | |

| 跨编号 | 梁编号 | 梁长 (cm) | 梁重 (t) | 首夹角 | 尾夹角 |
|-----|-----|---------|--------|--------|--------|
| 3 | 1 | 2922.7 | | 84.27° | 84.27° |
| | 2 | 2968.4 | | | |
| | 3 | 3014.2 | | | |
| | 4 | 3060.0 | | | |
| 4 | 1 | 2916.7 | | 84.27° | 84.27° |
| | 2 | 2962.4 | | | |
| | 3 | 3008.2 | | | |
| | 4 | 3053.9 | | | |

2 方案选择

由于 0 号桥台右侧紧邻玉草公路弯道, 左侧为民房, 施工场地极为受限, 且桥梁曲线半径小, 导致架桥机无法现场拼装及前支腿落位, 喂梁作业难以实施。综合现场条件、工期要求及安全质量控制需求, 最终确定采用汽车吊双机抬吊结合“空中接梁”的施工方案: 预制场配置 100t 与 80t 吊车各 1 台负责装梁, 500t 牵引车与 200t 炮车负责运梁, 桥位现场采用 300t 与 200t 汽车吊各 1 台执行双机抬吊架设任务, 并对第 2~4 跨应用“空中接梁”技术完成 T 梁架设。

3 施工组织与实施

3.1 施工人员配置

(1) 技术管理: 现场负责人 2 名, 技术员 1 名, 试验员 2 名, 专职安全员 1 名, 负责技术指导与质量安全管控。

(2) 作业班组: 现场主管 1 名, 技术工人 4 名, 设备操作员 6 名, 电工 1 名, 电焊工 3 名, 起重信号工 1 名, 承担现场具体施工作业。

3.2 设备投入计划

主要施工机械设备配置见表 2, 涵盖运梁、装梁、架梁及辅助作业设备, 确保各工序高效衔接。

表 2 主要机械设备计划表

| 序号 | 名称 | 规格 | 单位 | 数量 | 备注 |
|----|--------|----------|----|----|-------------|
| 1 | 运梁炮车 | LPLC200T | 台 | 1 | T 梁运输 |
| 2 | 运梁车牵引车 | 500t | 辆 | 1 | T 梁运输 |
| 3 | 汽车吊 | 100t | 台 | 1 | 梁场装梁 |
| 4 | 汽车吊 | 80t | 台 | 1 | 梁场装梁 |
| 5 | 汽车吊 | 300T | 台 | 1 | T 梁架设 |
| 6 | 汽车吊 | 200T | 台 | 1 | T 梁架设 |
| 7 | 挖机 | SanY365 | 台 | 1 | T 梁运输配合 |
| 8 | 装载机 | 50 | 台 | 1 | T 梁运输配合 |
| 9 | 电焊机 | 500 | 台 | 3 | 湿接缝、中横梁钢筋焊接 |

3.3 施工工艺流程

施工整体流程为: 预制场装梁→运梁(预制场→便道→玉草公路→0 号台)→现场架设(第一跨常规双机抬吊, 第 2~4 跨空中接梁)。具体工序如下:

3.3.1 现场准备

(1) 运梁便道整治: 对原有 2.5m 宽、坡度 14% 的便道进行加宽、平整与压实处理, 确保运梁车安全通行。

(2) 吊车平台填筑: 在河道内选用级配良好砂石料分层填筑压实吊车作业平台, 地基承载力要求不低于 300kpa。

(3) 吊车就位检查: 提前标定吊车站位, 清除回转障碍, 吊车就位后全伸支腿并垫设专用垫板, 确保基础稳固。

3.3.2 T 梁吊装与运输

预制场采用 100t 与 80t 吊车协同装梁, 装车后车身总长约 34m。运输车在距梁体两端约 2m 处各用 2 个 5t 导链捆绑固定, 防止倾覆。运梁时, 梁头由 500t 牵引车牵引, 前方装载机辅助引导; 梁尾垫设橡胶垫, 采用挖机顶推防止梁板后移。



图 1 预制 T 梁运输示意图

3.3.3 T 梁架设工艺

T 梁架设按 1#~4#梁板顺序，从起点向大里程方向推进，不同跨径采用差异化架设方法：

(1) 第一跨架设：300T 吊车位于河道内 1#墩合适位置，200T 吊车位于河岸 0#台；运梁车将 T 梁送至 0#台右侧跨中 10m 处，200T 吊车起吊梁头并配合运梁车喂梁至 300T 吊车起吊半径内，两机分别起吊梁头、梁尾，协同吊装至设计位置。

(2) 第二、三跨架设：第一跨完成后，200T 吊车移入河道；T 梁通过第一跨桥上喂梁，喂梁前确保第一跨 T 梁横向联结牢固，梁顶面铺设钢板分散荷载。运梁车将 T 梁送至 1#墩台合适位置，200T 吊车起吊梁头，配合运梁车送梁至 300T 吊车作业半径内，两机协同吊装落位。

(3) 第四跨架设：300T 吊车留在河道 3#墩处，200T 吊车移至 4#台；T 梁通过第三跨桥上喂梁，300T 吊车起吊梁头送梁至 200T 吊车作业半径内，两机协同完成吊装。

3.4 质量安全控制要点

3.4.1 支座安装控制

核对支座顶面与底面，避免反置安装；确保支座垫石顶面高程准确，平坡段同一梁端及同墩垫石相对高程误差 $\leq \pm 1.5\text{mm}$ ，单垫石四角高差 $< 0.5\text{mm}$ 。

梁体吊装时防止支座偏压或初始剪切变形，就位后确保梁底与支座顶面密贴，严禁用撬棍移动梁体调整位置。

3.4.2 T 梁运输控制

梁体运输竖立放置并设固定装置，装卸梁需支撑稳固后方可卸钩；大型梁运输支点设活动转盘，避免搓伤混凝土。

双机抬吊统一指挥，确保两端同步起吊、同步就位；梁体就位后立即设置临时支撑，与已安装梁体可靠横向连接，防止倾覆。

3.4.3 结构横向联接控制

梁体就位后立即加强横向临时支撑，连接跨中横隔板及翼缘板接缝钢筋，24h 内完成横隔板、翼缘板满焊作业。

每跨 T 梁安装完成后，及时焊接边跨护栏钢筋，间距 50~80cm，设置上下 3 道水平钢筋并固定，挂设安全密目网作为临边防护。

3.4.4 特殊作业控制

双机抬吊设专职指挥人员，使用对讲机统一信号，指挥位置需确保两台吊车司机均能清晰观察。

吊车接梁前，运梁车需停稳并用三角木固定；送梁过程中吊车端与运梁车端保持同步同高，信号指令准确传递。

第一跨架设时，确保吊车悬臂远离右侧 10KV 高压线，规避触电风险。

4 关键安全验算

4.1 吊装能力验算

(1) T 梁技术参数表

表 3 T 梁技术参数表

| T 梁 | 混凝土 (t) | 钢筋 (t) | 钢绞线 (t) | 压浆料 (t) | 合计 (t) | 备注 |
|-----|------------|-----------|------------|------------|-----------|-----|
| 中梁 | 73.728 | 6.2 | 1.1 | 1.5 | 82.528 | 8 片 |
| 边梁 | 75.144 | 6.72 | 1.1 | 1.5 | 84.464 | 8 片 |

(2) 吊车参数

主要分析现场吊装吊车抗倾覆能力，装车吊车采用 1 台 100T 吊车加 1 台 80T 吊车装梁，装梁机械设备进场检查，符合要求后方可投入使用。

预制预应力 T 梁利用 300T 及 200T 吊车联合吊装

①起重量验算

取边梁重 84.5t，索具重 0.33t，降低系数 K=0.8，则有：

$$(Q_{主}+Q_{副}) \geq (Q_1+Q_2)/K = (84.5t+0.33t)/0.8 = 106t;$$

②起重高度

墩柱最高高度为 14m，盖梁高度为 1.5m，垫石支座高度为 0.25m，支座高度计算得 $h_1=14+1.5+0.25-4.5=11.25\text{m}$ （扣除现场回填高度 4.5m）。 h_2 安装间隙取 0.5m， h_3 绑扎点至构件吊起后底面的距离取 1.6m， h_4 吊索高度取 4.5m。

$$H \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = 11.25 + 0.5 + 1.6 + 4.5 = 17.85\text{m};$$

③起重臂长度

H 起重高度取 17.85m， h_0 起重臂顶至吊钩底面的距离取 1.5m， h 起重臂底铰至停机面距离取 1m， a 起重臂仰角取 70° 。

$$L \geq (H+h_0-h)/\sin a = (17.85+1.5-1)/\sin(70^\circ) \approx 19.5\text{m}$$

④工作半径

200t 吊车控制在 11m 以内，300t 吊车控制在 12m 以内，满足要求。

根据现场模拟 11m 半径作业满足施工需要，作业时指挥和测量人员应该时刻注意吊装幅度，严禁超范围作业。

4.2 钢丝绳选型验算

预应力 T 梁吊装过程中采用 2 根钢丝绳环线绕在预制梁吊装孔内，后挂勾于起重机吊钩内悬吊。钢丝绳与水平夹角为 40~60 度，钢丝绳端头数 n=8，边梁自重为 84.5t。

以边梁自重 84.5t 进行验算。边梁自重 G=84.5t × 10=845KN。选用 6×K36Φ52mm 钢丝绳，公称抗拉强度 1960N/mm²，破断拉力总和 2130KN，捻制不均折减系数取 0.82。吊装时动荷载系数取 1.2，吊索钢丝绳的安全系

数取 10。

$$S_p = \Psi \Sigma S_i = 0.82 \times 2130 = 1746.6 \text{KN}$$

钢丝绳受拉力:

$$N = K_1 \times G/n \times 1/\sin\alpha = 1.2 \times 422.5/4 \times 1/\sin 60^\circ = 145.7 \text{KN}$$

安全系数:

$$S_p/K_2 = 1746.6 \div 10 = 174.6 \text{KN} > 145.7 \text{KN}$$

钢丝绳满足要求。

4.3 地基承载力验算

300t 吊车自重 130t (含配重), 构件 (T 梁和钢丝绳) 总重 84.83t, 安全系数取 1.2, 则每个吊车承担构件重量为 50.9t, 吊车及构件对地基总总重量为 206.9t, 吊车每个支腿对地面的力为 51.7t。支腿作用面积 2.25m², 地基承载力为 230kPa。现场地基承载力均不低于 300kPa, 地基承载力满足要求。

4.4 抗倾覆稳定性验算

按最不利工况计算, 200t 汽车吊自重(含配重)120t, 重心至支脚倾覆支点的距离为 4.15m, 起升物重量考虑双机抬吊取 42.3t, 汽车吊作业半径取 11m, 风动载按起升物重量的 20% 考虑。

$$\begin{aligned} \Sigma M &= 1 \times G \times a - 1.15 \times Q \times (R-a) - 1 \times W \times h \\ &= 1 \times 1200000 \times 4.15 - 1.15 \times 423000 \times (11-4.15) - 1 \times 423000 \times 0.2 \times (11.25 + 1.6/2 + 0.2) \\ &= 611467.5 \text{N}\cdot\text{m} > 0 \end{aligned}$$

稳定性满足要求。

4.5 边梁偏心验算

中梁基本为对称结构, 无需计算偏心问题, 主要验证边梁的偏心, 取第 3 跨的 4#边梁进行验算, 以腹板为中心, 计算右侧翼缘板重量与左侧翼缘板重量加横隔板重量之间差值, 低的一侧超过允许范围的需增加配重以保证梁体吊装平衡:

表 4 翼缘尺寸表 (实测)

单位: m

| 跨位 | 翼缘 | 起始侧 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 终止侧 |
|----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| 3 | 右侧 | 0.53 | 0.88 | 1.14 | 1.26 | 1.34 | 1.36 | 1.34 | 1.23 | 1.08 | 0.8 | 0.53 |
| | 左侧 | | | | | | | | | | | 0.75 |

左侧翼缘平均宽度为 0.75m, 右侧翼缘平均宽度为 1.04m, 梁板长度为 30.6m, 翼缘板高度取 0.23m, 混凝土密度取 2500Kg/m³, 计算得出右侧翼缘板重量为 18298.8kg, 左侧翼缘板重量为 13196.3kg。

左侧设置有 5 道横隔板, 横隔板高度为 1.8m, 横隔板宽度为 0.28m, 横隔板长度为 0.75m, 计算得出横隔板总重量为 4593.8kg。

左侧翼缘板重量加横隔板重量为 17790.1kg。

右侧翼缘板重量与左侧翼缘板重量加横隔板重量之间差值为 508.7kg。

根据现场试吊情况, 适当增加配重确保梁体平衡即可。

5 结论

针对苗家坝水电站五库河大桥狭小场地、小半径曲线、陡坡运梁等复杂条件, 采用双机抬吊结合“空中接梁”技术完成 30mT 梁架设, 通过科学组织、严格工序控制及全面安全验算, 有效解决了传统架桥机无法适配的难题。该技术保障了施工进度与质量安全, 恢复了五库河两岸交通, 为类似复杂地形条件下的 T 梁架设提供了可推广的技术方案与实践经验, 具有重要的工程应用价值。

[参考文献]

- [1]建设部.建筑起重机械安全监督管理规定(建设部 166 号令)[Z].
- [2]JTGT 3650—2020.公路桥涵施工技术规范[Z].
- [3]代路云.40m 预制 T 梁吊车架设在江通高速的应用[J].云南水利发电,2022,38(4):139-143.
- [4]李解.40m 预制 T 梁架设施工技术[J].城市建设理论研究,2011(31):15.
- [5]李峰.复杂条件下汽车吊架设预制 T 梁施工技术[Z].北京工程管理科学学会 2011 年年会论文集.

作者简介: 吕攀 (1984.10—), 毕业院校: 武汉大学, 所学专业: 水利水电工程, 当前就职单位: 大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 职务: 副主任, 职称级别: 高级工程师。