

# 大跨度连续刚构混凝土现浇箱梁顶推合龙施工技术研究

文 / 索晓华 中电建成都建设投资有限公司

**摘要：**以某市域铁路岷江特大桥连续刚构混凝土现浇箱梁为工程背景，开展大跨度连续刚构顶推合龙施工关键技术研究。建立桥梁计算模型，分析成桥阶段温度变化对墩顶水平位移的影响规律，提出考虑环境温度差异的顶推力修正方程，通过线性拟合得出墩体抗推刚度及主梁竖向刚度，明确分级顶推控制值。形成“劲性骨架动态锁定-分级顶推-温控浇筑”的施工技术，为大跨度连续刚构桥梁合龙提供技术参考。

**关键词：**连续刚构；顶推合龙；分级顶推；温控浇筑

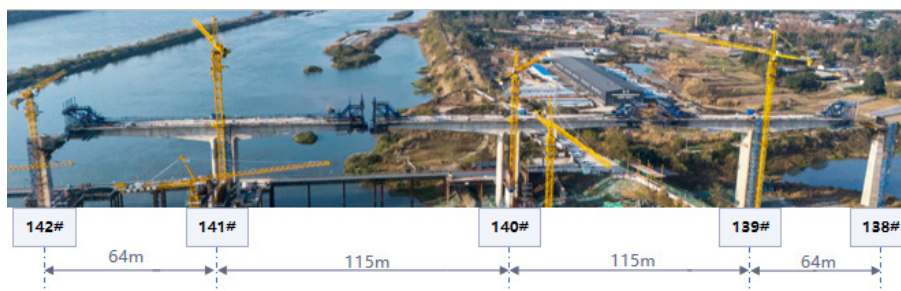
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.037

## 引言

岷江特大桥是某市域（郊）铁路的控制性工程，桥梁全长768m，主跨198m在国内无砟轨道铁路连续刚构桥中比较少见，主航道为(106+198+106)m，副航道为(64+2×115+64)m，施工技术难度大。本文以首先合龙的副航道为(64+2×115+64)m为例，通过建立模型，分析温度影响、使用线性拟合、采用分级顶推等技术，实现桥梁顺利合龙。

## 一、工程概况

岷江特大桥副航道(64+2×115+64)m连续刚构梁体为直腹板单箱单室结构，箱梁顶面宽度10.8m，梁底宽5.8m，梁高为3.5m~7m成二次抛物线变化。64+2×115+64m跨桥梁中、边跨合龙段长2m，边跨现浇段长5.4m。中跨合龙梁段混凝土采用C55补偿收缩混凝土，单个合龙段混凝土方量17.98m<sup>3</sup>，重量46.75吨。



## 二、施工技术重点分析

该工程为无砟轨道铁路桥梁，线形要求高、大跨度连续刚构施工工艺复杂、高标号混凝土内外温差易引起砼开裂、双联连续刚构体系转换复杂等技术管理重点<sup>[1]</sup>。

### 三、顶推参数修正计算分析

设计顶推力1800KN、温度18℃~22℃，实际考虑合龙时段应选取连续4小时内环境温度变化差异较小，由于合龙时的实际环境温度不一定处于设计温度范围内，因此，其顶推力的大小必须由合龙时的现场实际环境温度所

决定<sup>[2]</sup>，其控制原则为：桥梁合拢后处于运营阶段时，当桥梁处于设计温度这一环境下，其刚构墩墩顶的水平位移，应与设计顶推力1800KN时的墩顶水平位移一致。

(1) 成桥后阶段每℃温度变化下的墩中心梁顶截面水平位移量。计算可知，整体升温15℃下的MM139墩中心梁顶截面的水平位移为-17.1mm、MM141号墩墩中心梁顶截面的水平位移为17.1mm，平均为1.14mm/℃。

(2) 成桥阶段每发生单位位移(1mm)下的顶推力计算，结构见表1。

表1 不同顶推力作用下的墩中心梁顶截面水平位移量

顶推力 (KN)	500	1000	1500	2000	2500	3000
MM139# 墩 (mm)	23.9	13.7	3.4	-6.8	-17	-27.3
MM141# 墩 (mm)	-22.8	-12.4	-1.9	8.6	19.1	29.6

注：位移方向以向大里程侧为正，反之为负；监测点为139#墩及141#墩墩中心梁顶截面翼缘板处。

对以上数据进行线性拟合后，得到成桥墩中心梁顶截面水平位移与顶推力的关系：MM139墩中心梁顶截面单位位移所需的力为48.780KN/mm；MM141墩中心梁顶

截面单位位移所需的力为47.619KN/mm；平均为48.2KN/mm。

(3) 合拢阶段主墩抗推刚度计算。结果见表2。

表 2 不同顶推力作用下的墩中心梁顶截面水平位移量

顶推力 (KN)	500	1000	1500	2000	2500	3000
MM139# 墩 (mm)	-10.3	-20.8	-31.1	-41.5	-51.8	-62.2
MM141# 墩 (mm)	10.6	21.2	31.8	42.4	53	63.6

注：位移向 MM141# 墩方向为正，向 MM139# 墩方向为负；监测点为 139# 墩及 141# 墩墩中心梁顶截面翼缘板处。

对以上数据进行线性拟合后，得到合龙阶段顶推力作用下的墩中心梁顶截面位移的关系：合拢时 MM139 墩中心梁顶截面单位位移所需的力为 48.309KN/mm；合拢时 MM141 墩中心梁顶截面单位位移所需的力为 47.17KN/mm。

表 3 不同顶推力作用下的最大悬臂端竖向位移量

顶推力 (KN)	500	1000	1500	2000	2500	3000
MM139# 墩	最大悬臂梁端 - 小里程侧 (mm)					
	-4.8	-9.3	-13.7	-18.1	-22.6	-27.1
	最大悬臂梁端 - 大里程侧 (mm)					
	5.3	11	16.7	22.4	28	33.7
MM141# 墩	最大悬臂梁端 - 小里程侧 (mm)					
	5.6	11.5	17.4	23.3	29.2	35.2
	最大悬臂梁端 - 大里程侧 (mm)					
	-5.4	-10.5	-15.5	-20.5	-25.5	-30.7

注：位移向上为正，向下为负；监测点为主梁最大悬臂端（合龙口处）梁顶截面。

对以上数据进行线性拟合后得到合龙阶段顶推力作用下的主梁最大悬臂端（合龙口处）竖向位移关系：合拢时 MM139 墩主梁最大悬臂端（合龙口处）单位竖向位移所需的力为小里程侧是 112.36KN/mm，大里程侧为 88.496KN/mm；合拢时 MM141 墩主梁最大悬臂端（合龙口处）单位竖向位移所需的力为小里程侧是 87.746KN/mm，大里程侧为 99.01KN/mm。

(5) 顶推力温度修正计算结果

由于作用于 MM139 和 MM141T 构在合龙两侧的顶推力是等大反向的，且该桥两主跨及边跨是等跨径布置的连续刚构，由上述计算可知：MM139 和 MM141 的抗推刚度十分接近，因此，其顶推力的修正方程为：

$$F=1800+48.2 \times 1.14 \times \Delta T=1800(\text{KN})+54.948\text{KN}/\text{ }^{\circ}\text{C} \times \Delta T(\text{ }^{\circ}\text{C})$$

其中： $\Delta T(\text{ }^{\circ}\text{C})$  为环境温度与设计温度的差值，当施工环境温度小于  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  时， $\Delta T=t-18$ ， $t$  为环境温度（下同），当施工环境温度大于  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  时， $\Delta T=t-22$ 。

结合一周内天气预报，分别计算合龙阶段不同合龙温度下墩中心梁顶截面目标水平位移值与主梁最大悬臂端（合龙口处）竖向位移目标值，分级顶推。

四、64+2×115+64m 连续刚构合龙主要施工技术

合龙总体方案。先进行 (64+2×115+64)m 跨度合龙，后进行 (106+198+106)m 跨度合龙，两联合龙顺序均为先

中跨后边跨<sup>[3]</sup>，制定中跨、边跨合龙流程施工技术工艺。

(一) 合龙施工流程

中跨合龙施工流程：①挂篮前移、底侧模初步调整到位；②水箱配重、底板钢筋、波纹管、劲性骨架单侧连接到位；③千斤顶安装、同步顶推；④劲性骨架锁定、底侧模精调到位；⑤底腹板钢筋绑扎、波纹管连接、钢绞线穿束、内侧模安装加固；⑥顶板支架、模板安装、钢筋绑扎及管道安装、钢绞线穿束；⑦合龙段混凝土浇筑；⑧等强养护、张拉压浆。

边跨合龙施工流程：①挂篮前移、底侧模初步调整到位；②水箱配重、劲性骨架单侧连接到位；③底、腹板钢筋绑扎、波纹管安装、内侧模加固；④顶板支架、模板安装，钢筋绑扎、管道安装、钢绞线穿束；⑤劲性骨架对侧焊接锁定，边墩活动支座解锁；⑥合龙段混凝土浇筑；⑦等强养护、张拉压浆。

(二) 中跨合龙前施工准备

①标准节段施工完成后，两个墩中跨挂篮前移 1.2m 进行中跨合龙准备，边跨挂篮前移 0.7m 进行边跨合龙准备。此时中跨挂篮距墩中心 53.2m、边跨挂篮距墩中心 52.7m。

②模板初调。挂篮前移到位后，将底模、侧模调整至中跨合龙段浇筑部位，并与已浇筑的梁部保证 5-10cm 搭接长度，使底模、侧模与梁部混凝土保持平行状态（预

留 2cm 的间隙),待顶推到位锁定后,再调整底模、侧模使其与梁部混凝土紧密贴合。

③配重。合龙段中跨长度为 2m,混凝土方量 17.98m<sup>3</sup>,中跨配重根据无应力合龙原则,提前将合龙段砣二分之一重量采用水箱替代进行配重,中跨和边跨配重需保证力矩平衡。

④底板钢筋、劲性骨架及波纹管安装。底模、侧模初步安装到位后,进行底板钢筋及预应力管道安装,均只连接一端,并同步完成劲性骨架单侧焊接,待顶推锁定后再进行另一端连接。

⑤钢绞线穿束。在桥面设置转向滑车,在预留人洞位置进行穿牵引束,利用卷扬机拖拉,从而将整束钢绞线一次拖过。

⑥顶推杆与千斤顶安装。顶推杆与千斤顶安装检查,重点检查轴线、高程、平整度。

⑦顶推设备运行、调试,电焊焊机、焊接人员准备到位。

### (三) 中跨合龙顶推

①同步顶推控制。采用同步分级顶推,共分 5 级:20%,40%,60%,80%,100%;两个合龙段采用智能张拉设备同步加载(一主一辅无线连接),每一级持荷 5 分钟后,再进行下一级加载,直至顶推至设计力。

②顶推力及水平位移控制。查询天气及实测温度,选择合适温度。按照线形监控建模计算结果,选择对应温度的顶推力,再根据每个千斤顶的回归方程计算加载油压,提前输入智能张拉设备,过程中人工校核。在墩顶中心布设监测点,过程中监测墩顶位移,实测合龙口长度变化和千斤顶伸长量,最终以墩顶位移测量结果为准。

顶推过程做好位移数据记录,每级分析顶推力大小与计算参数设置的一致性。顶推完成后实测水平位移与理论顶推水平位移值基本一致。

③劲性骨架锁定。顶推完成后→焊接另外一端的劲性骨架→千斤顶保持持荷状态→焊接完成(待焊缝冷却)→千斤顶缓慢回油(每次回缩 10-20mm),避免突然卸载引发结构振动。劲性骨架焊接过程中需配置相应资源,两个合龙段、底板、顶板同步快速锁定。在 MM139-MM140 中跨位置,实测标高与相应设计标高吻合较好,合龙锁定前两端偏差在规范内,达到预期目标。

④底、侧模加固。中跨顶推、劲性骨架锁定后,将外模和底模进行加固。转换挂篮外滑梁的承重吊架,安装在 140# 梁部翼缘板预留的孔洞处,作为外滑梁的承重吊架,确保合龙段两侧变形协调。

### (四) 中跨合龙混凝土浇筑

中跨合龙浇筑施工准备。在顶推完成后,模板调整

到位,立即进行腹板、顶板钢筋、内膜支撑系统、合龙段的波纹管、钢绞线的穿束等安装施工工作,在顶推完成后 24 小时内最低气温时浇筑完成微膨胀混凝土。浇筑中跨合龙段混凝土时应遵循“平衡、对称、连续浇筑”的原则,边浇筑边放水,减轻的重量与浇筑的混凝土重量一致,使混凝土的浇筑与水箱配重保持动态的力学平衡。初凝后及时覆盖塑料薄膜和土工布保湿,通循环水降温养护,防止产生裂纹。

### (五) 中跨合龙张拉压浆

①张拉。在混凝土强度达到设计强度的 60% 时进行预张拉,预张拉时的张拉控制应力宜为设计终张拉张拉控制应力的 30%,预张拉时可选取居上外侧 2~3 束作为预张拉束(T17、T16);终张拉在梁部混凝土达到设计强度 95%、弹性模量达到设计值的 100% 后进行,且龄期不少于 5 天。

②真空辅助压浆。压浆采用真空辅助压浆,压浆前管道真空度控制在 -0.06~-0.08Mpa,压浆压力控制在 0.5-0.6Mpa,待压浆料从另外一端流出(持续五分钟),与进浆浓度一致时,持压 3min 后方可停止注浆。

### (六) 边跨合龙

首先中跨合龙段施工完成后,为了边跨合龙段浇筑时平衡控制,先进行边跨配重更换。其次进行底侧模加固,在边跨现浇段实心段预埋 PVC 管,待施工边跨合龙段时,穿入精轧螺纹钢吊杆,作为外滑梁的承重吊架,并在挂篮底部的纵梁下方焊接双拼 20 号槽钢,连接至边跨现浇段承重梁上方,采用钢板进行调节高度。然后底侧模加固完成后,进行底腹板钢筋、波纹管、内模及顶板钢筋波纹管施工,与中跨工序相同不在赘述。最后达到砼浇筑条件并验收完成后进行劲性骨架焊接,焊接完成后立即解除临时约束,浇筑砣(配重卸载和中跨卸载一致,距离、配重、混凝土浇筑方量均一致)。

### 结语

在大跨度连续刚构箱梁中,在中跨合龙前施加顶推力,改善主梁及桥墩的线形和受力状态,是保证桥梁使用的关键。因此通过温度变化,修正顶推力、偏移量参数,细化施工过程技术措施及管理,加强安全质量管控。

### 参考文献

- [1] 黄勤劳. 高墩大跨径连续刚构桥悬灌法施工关键技术[J]. 铁道建筑技术. 2020(10): 110-112+130.
- [2] 李勇磊, 丁南宏. 高墩大跨连续刚构桥合龙顶推力研究及效应分析[J]. 城市建筑. 2021, 18(08): 195-197.
- [3] 徐章洁, 代富, 陈曦. 深水库区高墩大跨连续刚构桥梁设计要点分析[J]. 技术与市场. 2022, 29(08): 114-116.