

文章编号: 1671-7449(2024)03-0230-10

大跨度复杂竖曲线钢梁顶推控制关键技术

王海南¹, 楚民红², 阙水杰²

(1. 中铁开发投资集团有限公司, 云南 昆明 650599; 2. 中铁桥隧技术有限公司, 江苏 南京 210061)

摘要: 以柳州凤凰岭大桥为背景, 其具有顶推跨径大、钢梁线形复杂等特点, 介绍了凤凰岭大桥钢梁顶推过程中的关键技术, 包括顶推控制、钢梁预拼和桥位拼装、顶推过程扣锚索调整、顶推到位整体落梁等方面; 钢梁顶推过程中通过调整各支点的相对高程和扣锚索索力来控制各支墩支反力、钢梁导梁结构应力等参数, 采用“隔墩交替落梁”的方法, 平稳地将钢梁从顶推支撑线高度落至设计标高。柳州凤凰岭大桥较好地完成了钢梁顶推控制, 对同类桥梁施工有很好的借鉴意义。

关键词: 钢梁顶推; 导梁上墩; 支撑反力; 索力调整; 整体落梁

中图分类号: U448.215; U445.462 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1671-7449.2024044

引用格式: 王海南, 楚民红, 阙水杰. 大跨度复杂竖曲线钢梁顶推控制关键技术[J]. 测试技术学报, 2024, 38(3): 230-239.

WANG Hainan, CHU Minhong, QUE Shuijie. Key technology of jacking control for large-span complex vertical curve steel beam[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2024, 38(3): 230-239.

Key Technology of Jacking Control for Large-Span Complex Vertical Curve Steel Beam

WANG Hainan¹, CHU Minhong², QUE Shuijie²

(1. China Railway Development and Investment Group Co., Ltd., Kunming 650599, China;

2. China Railway Bridge & Tunnel Technologies Co., Ltd., Nanjing 210061, China)

Abstract: Taking the Fenghuangling Bridge in Liuzhou as the background, with the characteristics of large top pushing span and complex steel beam curves, this paper introduces the key technologies in the steel beam top pushing process of Fenghuangling Bridge, including top pushing control, preassembly of steel beams and bridge position assembly, adjustment of anchor cables during top pushing process, and overall drop of beams in place during top pushing. During the process of pushing the steel beam, the relative elevation of each support point and the tension of the anchor cable are adjusted to control the parameters such as the reaction force of each support pier and the structural stress of the steel beam guide beam. The method of “alternating dropping the beam from the pier to the top support line” is adopted to smoothly lower the steel beam from the height of the pushing support line to the design elevation. The Fenghuangling Bridge in Liuzhou has achieved good control of steel beam launching, which has great reference significance for the construction of similar bridges.

Key words: steel beam pushing; upper pier of guide beam; bearing reaction; tension adjustment; overall fall beam

收稿日期: 2024-02-02

作者简介: 王海南(1971-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事施工控制及管理研究。E-mail: 745617107@qq.com。

0 引言

顶推法施工是桥梁建设中一种常见的施工方法,最早在 1959 年奥地利的阿格尔桥上使用,具有主梁分段预制、连续作业、施工效率高、作业场所要求低等优点。随着工程施工技术的不断发展和创新,钢梁顶推技术得到了不断改进和完善。现代顶推技术已经可以实现对大型、超大型钢梁的顶推,提高了施工效率和安全性。

钢梁顶推可以在较短的时间内完成大跨度桥梁的施工,缩短了工程周期,降低了施工成本,特别适用于需有限时间内完成的紧急工程^[1]。传统的桥梁施工需要大量的临时支撑结构,而钢梁顶

推技术可以减少对临时支撑的依赖,简化了施工工序,降低了工程风险。钢梁顶推作为一种高效、安全的桥梁施工方法,可以满足工程施工的时间、质量、成本等多方面的要求,是现代桥梁建设的重要技术手段之一。

1 桥梁概述

柳州凤凰岭大桥主桥为(96+124+3×130+90)m 等高连续组合梁桥,钢梁为双箱单室钢槽梁结构,主桥全长 700 m。

5 个中墩墩顶位置设置和风雨桥造型一致的塔楼,塔楼间以廊亭相接;塔楼与廊亭均采用钢结构形式。桥跨布置见图 1。

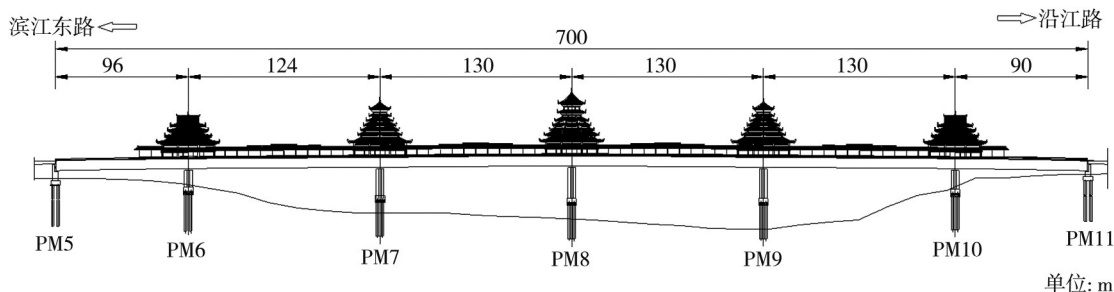


图 1 桥跨布置图

Fig. 1 Bridge span layout

凤凰岭大桥主桥采用多点自平衡步履式顶推施工工艺,单导梁,顶推最大跨径为 130 m,顶推总长度 690.9 m,采用 4 m 大行程,主墩之间不设置临时墩,为改善顶推过程中钢梁的结构受力,钢梁前端设置临时塔架和扣锚索。钢梁竖曲线为“圆曲线+直线+圆曲线+直线+圆曲线”5 段线,且每跨均设置接近二次抛物线预拱度,线形极为复杂,顶推过程中各个支点的高差一直在变换,

抄垫高度控制尤为重要。

1.1 钢梁

凤凰岭大桥桥面标准断面宽 46.6 m,中墩墩顶处局部加宽至 48.6 m,等高双箱组合梁断面,梁高 6.5 m。主桥标准断面见图 2,钢梁设计线形参数见表 1。

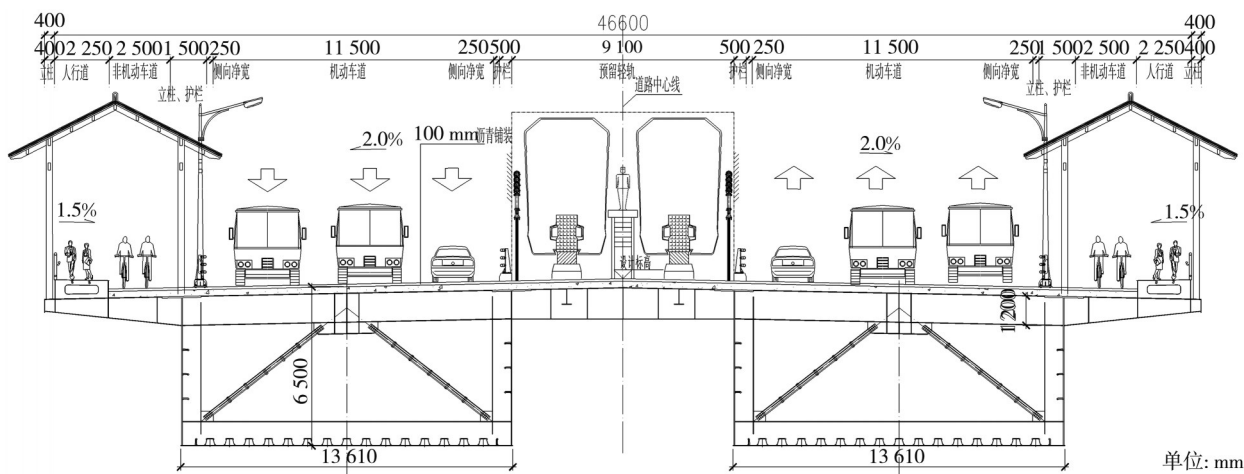


图 2 钢梁标准断面布置图

Fig. 2 Standard section layout of steel beams

表1 钢梁设计线形参数表
Tab. 1 Linear parameters of steel beam design

钢梁总长/m	699.52				
分段长度/m	68.32	204.94	153.00	205.05	68.21
理论线形	$R=4\ 750\text{ m}$ 圆曲线	$i=0.85\%$ 直线段	$R=9\ 000\text{ m}$ 圆曲线	$i=-0.85\%$ 直线段	$R=4\ 650\text{ m}$ 圆曲线

注: R 为圆曲线半径; i 为直线段纵坡。

钢梁高6.24 m, 断面采用槽形布置, 包括: 顶板、腹板、底板以及横隔板、挑梁、小纵梁。钢梁横向包括空腹式横梁和实腹式横梁, 除支点位置及预应力锚固区采用实腹式横梁外, 其余位置均采用空腹式横梁, 标准空腹式横梁标准间距4 m, 顶附近加密至3.5 m, 由腹板、顶底板横向加劲肋、悬臂挑梁、角钢钢撑杆组成。撑杆与节点板采用栓接。

1.2 导梁

按照0.6~0.8倍导梁最优长度的原则, 凤凰

岭大桥主桥导梁长度为80 m, 采用桁架式变截面型钢组合导梁, 顶推过程中共设置4片导梁, 采用H字型变曲线截面, 各节段增加横肋、竖肋、纵肋。两侧导梁之间采用槽钢进行横向联接, 槽钢之间联接采用节点板栓接。导梁共设置8个节段, 每个节段之间采用熔透焊接。首节导梁长度为7 m, 中间节段长度为12 m, 末端两节导梁为6.5 m, 导梁总长为80 m, 采用Q345b材质。为了方便导梁上墩, 在导梁最前端设置宽度1.95 m, 高度0.7 m的鼻端。导梁立面、平面布置图见图3、图4。

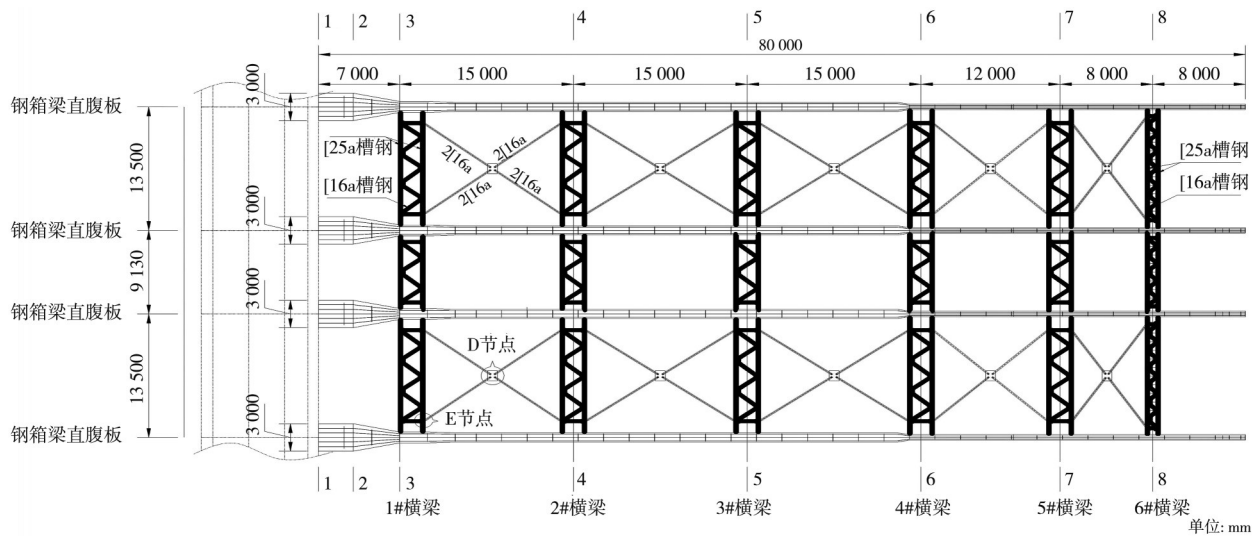


图3 导梁平面布置图

Fig. 3 Layout plan of guide beam

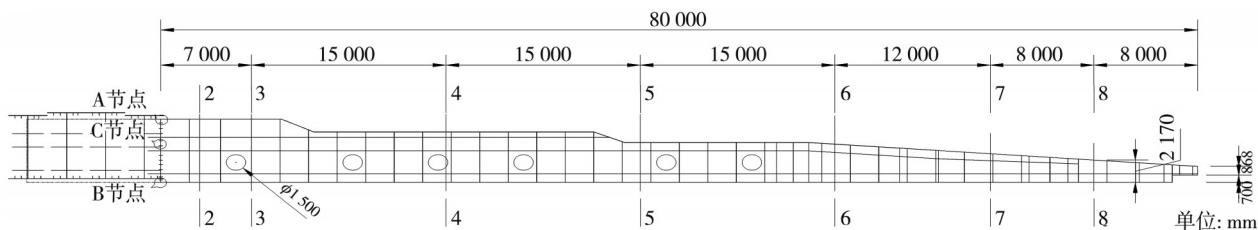


图4 导梁立面布置图

Fig. 4 Vertical layout of guide beam

1.3 临时塔架及拉索

采用临时塔架的方式改善钢梁在顶推施工过

程中的受力, 临时塔架布置在距导梁前端149.26 m处, 塔架共设3层拉索, 横向在钢梁横断面的4道腹板处均设置拉索, 上层、中层、下层拉

索间距均为 1 m, 临时塔架底部与钢梁的 4 道腹板通过铰接的方式连接。塔架采用 $\Phi 630 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 的钢管立柱作为主要受力构件, 横联采用

$\Phi 325 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 钢管, 斜撑采用 16a 槽钢, 临时塔架立面、横断面布置图见图 5。

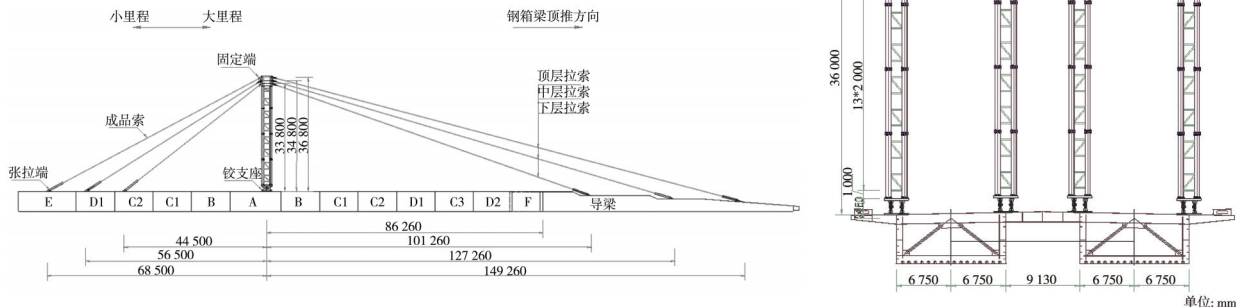


图 5 临时塔架立面/横断面布置图
Fig. 5 Temporary tower elevation/cross section layout

2 顶推控制方法

将钢梁成桥梁底支撑线形和导梁拟合为同一半径的圆曲线; 抬高钢梁和导梁, 使梁底线形与拟合圆曲线最小高差大于零; 各个顶推支墩墩顶设置固定垫块, 使其高程位于拟合圆曲线上; 各支墩滑道的坡度按对应位置拟合曲线的切线坡度设置; 梁体顶推过程中, 主动调整梁底与墩顶支撑间活动垫块的高度, 使钢梁和导梁始终无间隙支撑于拟合曲线上; 将双向纵坡复杂竖曲线桥梁

钢梁顶推施工转化为钢梁以固定圆心转动施工, 将梁的转动分散到每一步顶推过程中, 成为自适应的过程^[2]。

具体实施可分为:

1) 各临时墩设置固定垫块使支墩顶面高程处于半径 19 500 m 圆曲线上, 称为固定支撑线。导梁底面线形为与固定支撑线同圆心的圆曲线。

2) 钢梁整体抬高 0.4 m。任一工况钢梁梁底线形不低于固定支撑线; 顶推到位时, 不计钢梁下挠值, 梁底制造线形、固定支撑线、抬高线形的对比如图 6 所示。

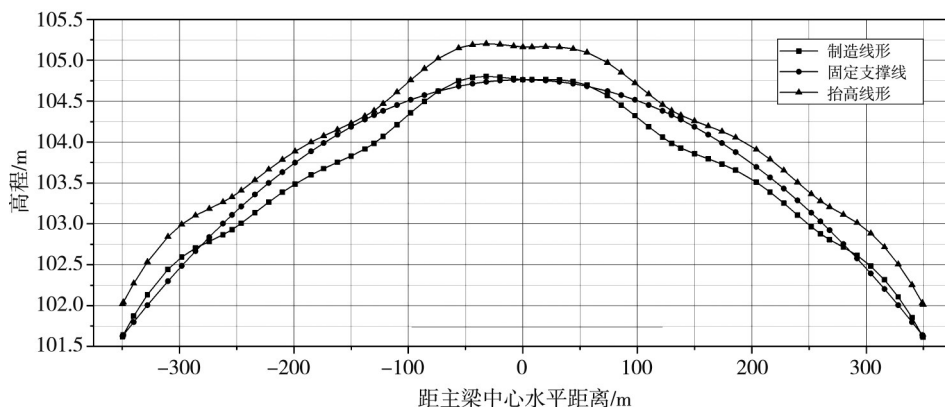


图 6 顶推到位时钢梁和导梁线形
Fig. 6 Linear shape of steel beam and guide beam when pushing in place

3) 钢梁顶推过程中梁底任一点与固定支撑线的法向间距保持不变, 其到达任一临时支墩时设置活动垫块。

活动垫块高度只与钢梁线形有关, 为一固定值, 钢梁各处的活动垫块高度如图 7 所示。导梁活动垫块高度均为 0.387 m。

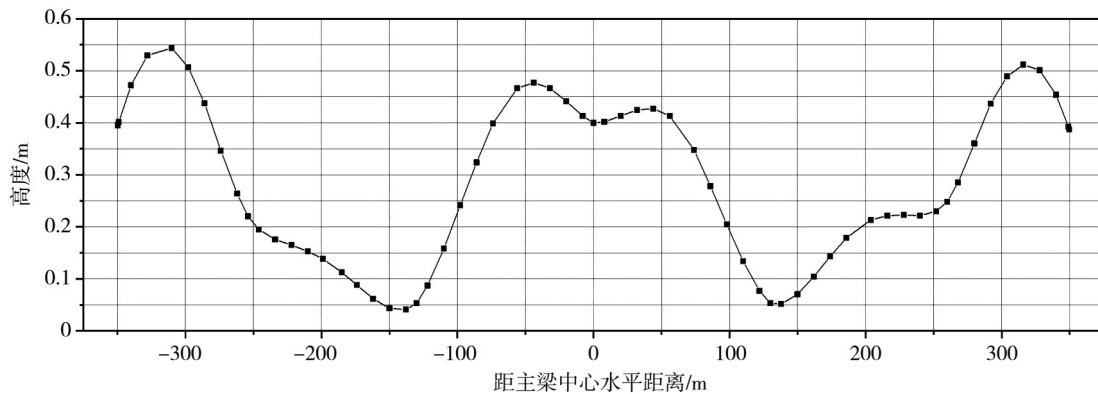


图7 钢梁活动垫块高度变化

Fig. 7 Height variation of steel beam movable cushion block

3 钢梁顶推过程控制

3.1 钢梁预拱

为使钢梁成桥后达到设计目标状态,钢梁预拼装时,须对钢梁设置预拱度,按规范要求,钢结

构桥梁预拱度可按照“结构自重+1/2车道荷载频遇值”的反向值设置^[3]。车道荷载频遇值考虑双向六车道(城市主干道)+双线轨道,经计算并与设计充分比对,得出钢梁在结构自重、汽车和轨道荷载作用下变形如图8所示,钢梁预拱度如图9所示。

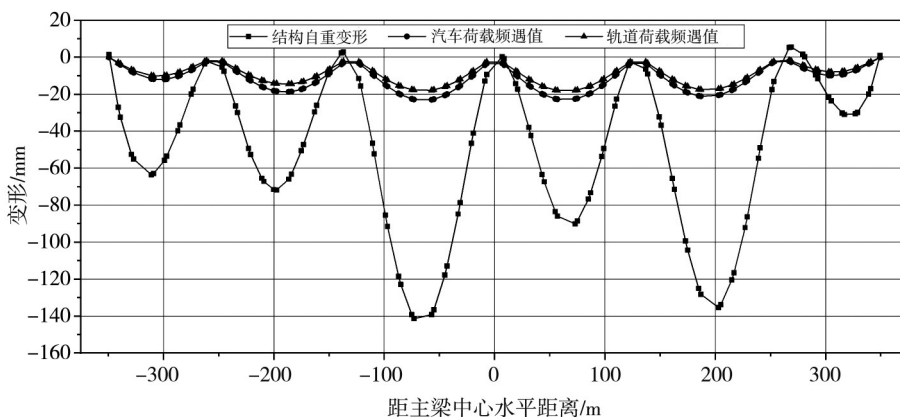


图8 钢梁在不同荷载作用下变形

Fig. 8 Deformation of steel beams under different loads

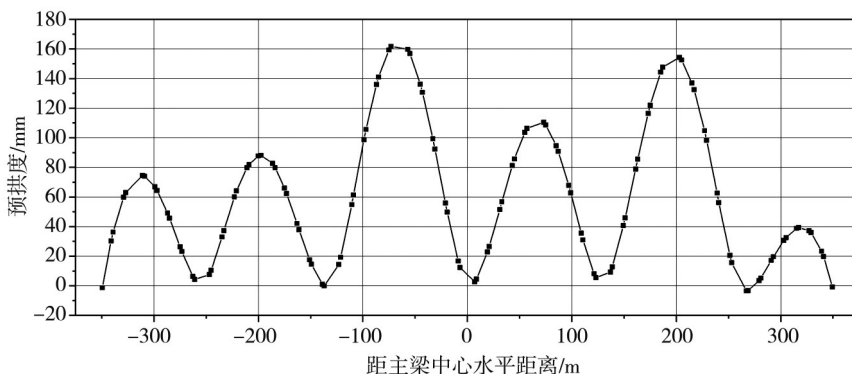


图9 钢梁预拱度

Fig. 9 Steel beam pre arch

3.2 钢梁桥位拼装

钢梁桥位拼装选择在拼装支架上进行,预留4~

5片梁作为下一轮待拼梁段的母梁,以长节段控制短节段为原则(以已安装的B、C1、C2、D1、C3、D2和F梁段整体控制待拼装B和A梁段),按照梁段预拼

状态下的节段与节段之间的相对关系进行匹配(控制节段间夹角)^[4-5]。梁段匹配时,应减少梁段的匹

配轮次,防止较多轮次匹配导致梁段匹配误差累计。梁段匹配示意图见图 10。

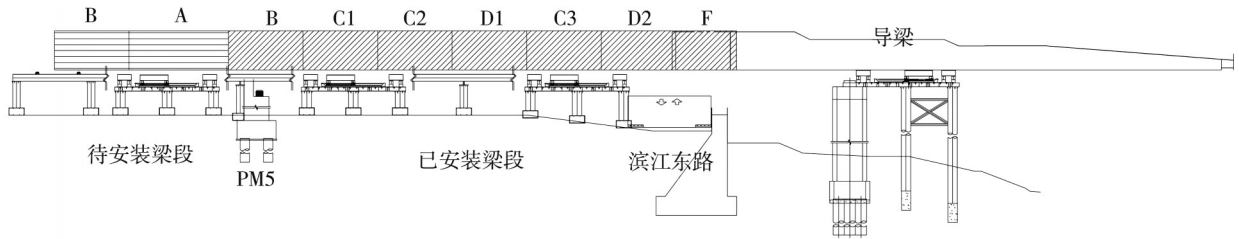


图 10 梁段匹配示意图

Fig. 10 Schematic diagram of beam segment matching

3.3 钢梁顶推过程扣锚索调整

3.3.2 扣锚索调整

3.3.1 整体思路

凤凰岭大桥钢梁顶推最大跨径为 130 m,主墩之间不设置临时墩,顶推过程中(导梁上墩前)钢梁自重作用下不断下挠,钢梁受力难以满足设计及规范要求^[6],通过采用临时塔架和临时扣锚索的方式改善钢梁在顶推施工过程中的受力,实现导梁顺利过墩。

在不设置临时塔架和临时扣锚索情况下,钢梁过 130 m 跨(最大跨)最大悬臂时,钢梁应力及前端累计变形偏大,结构不安全,导梁上墩困难,前端设置临时塔架并张拉临时扣锚索后,钢梁应力水平明显降低,导梁前端累计变形明显减小。

以导梁上 PM8#墩为例(其他支墩类似),如图 11 所示。在设置和不设置临时塔架和临时扣锚索情况下,计算钢梁和导梁结构应力水平以及结构变形,具体见表 2。

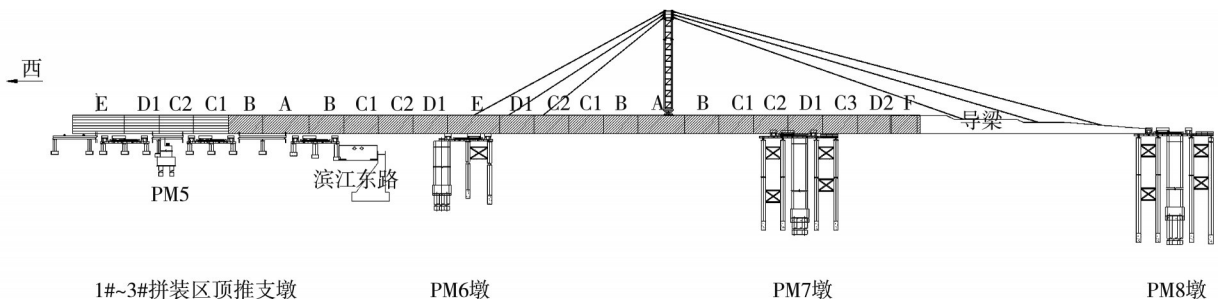


图 11 导梁上 PM8#墩

Fig. 11 PM8 # pier on guide beam

表 2 钢梁过 PM8#墩最大悬臂时结构状态

Tab. 2 Structural status of steel beam passing over PM8 # pier with maximum cantilever

状态	PM7#墩顶梁段 顶板应力/MPa	PM7#墩顶梁段 底板应力/MPa	导梁根部 顶板应力/MPa	导梁根部 底板应力/MPa	导梁前端 累计位移/m
不设置临时索	320.9	-200.8	124.6	-117.0	-2.356
设置临时索	173.1	-124.4	32	-45.0	-0.451

导梁上 PM8#墩前悬臂最大时,通过设置临时索,钢梁和导梁的结构应力水平明显改善,不设临时索时,钢梁最大拉应力 320.9 MPa,已超过钢材的设计强度值;设置临时索后,导梁前端累计位移-0.451 m,导梁可通过钢梁整体抬高和导梁前端台阶进行上墩,上墩难度明显降低。

斤顶的承载能力,影响当前支墩千斤顶起落梁,因此,在导梁上墩完成后,尽快对临时扣锚索进行放索,卸载支反力,由前后两个支墩共同承受。

同时,由于临时扣锚索张拉后,扣锚索塔端竖向分力通过塔架传递到塔架下方钢梁,在塔架过顶推支墩时,顶推支墩的支反力较大,超过千

经计算,导梁上墩后,临时拉索放索和不放索情况下,临时塔架过 PM7#墩时,如图 12 所示,支墩支反力分别为 46 718 kN 和 39 806 kN,支墩支反力减小明显。临时塔架过其他支墩时,支墩支反力大小接近。

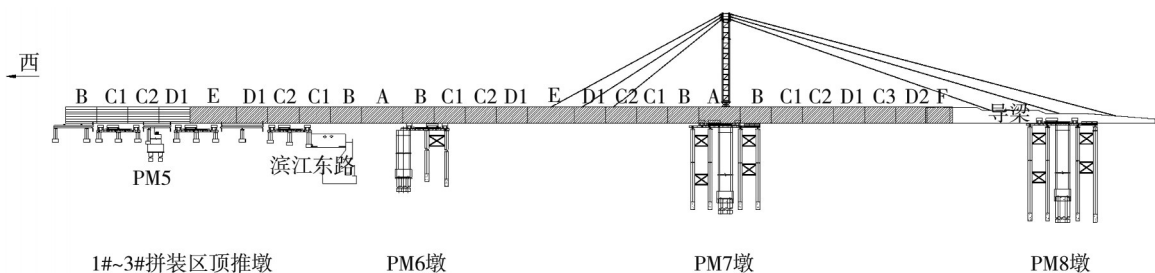


图 12 临时塔架过 PM7#墩

Fig. 12 Temporary tower passing over PM7 # pier

4 整体落梁及支座预偏

4.1 整体落梁

4.1.1 落梁方案

钢梁顶推到位后，拆除临时塔架、扣锚索和顶推滑道梁等临时设施，然后支点千斤顶起顶，

抽出临时支垫的垫块^[7]，交替进行，采用置换法将钢梁落到桥墩永久支座上，整体落梁高度平均为 1.35 m。支墩布置图如图 13 所示。

钢梁落梁前，首先确定每个支点的落梁次序，凤凰岭大桥钢梁共 7 个落梁支点，为提高落梁效率以及结合现场实际情况，落梁次序方案考虑有 3 种，具体见表 3。

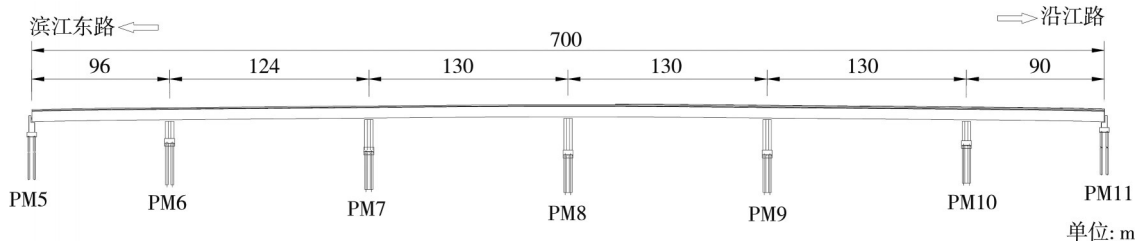


图 13 支墩布置图

Fig. 13 Layout of piers

表 3 钢梁落梁方案

Tab. 3 Steel beam falling plan

编号	落梁方法	说明
方案一	PM5、PM6、PM7、PM8 支点与 PM9、PM10、PM11 支点交替落梁	前 4 支点与后 3 支点交替落梁
方案二	PM5、PM6、PM10、PM11 支点与 PM7、PM8、PM9 支点交替落梁	前 2 支点和后 2 支点与中间 3 支点交替落梁
方案三	PM5、PM7、PM9、PM11 支点与 PM6、PM8、PM10 支点交替落梁	隔墩交替落梁

方案一、方案二单次落梁区域均较大，落梁过程中可能造成整体的水平滑移，由于现场钢梁底部操作空间有限，钢梁落到位后，平面位置(里程、轴线)无法进行调整，所以，落梁过程中须保证里程和轴线的精度，而且大区域落梁会导致结构体系不稳定。综合考虑选择方案三隔墩交替落梁法。

其次确定单次落梁高度，考虑结构安全，控制落梁过程中钢梁结构内力和各支墩支反力，以及落梁千斤顶的性能，防止突然回程，最终确定单次落梁高度为 10 cm。

4.1.2 计算模拟

利用有限元软件，在各个支点添加支座强迫位

移，计算各阶段钢梁结构内力和各支墩支反力变化。钢梁顶推到位后，精确调整里程、轴线和标高，以此为基准，首轮落梁 5 cm，后续每轮落梁均为 10 cm，直至落梁至理论位置，实际落梁的强迫位移仅为 5 cm，落梁过程结构更加安全、体系更加稳定。具体落梁步骤见表 4，落梁过程钢梁主要截面应力见表 5，落梁过程各支墩支反力见表 6。

从计算结果中得出，落梁过程中，钢梁顶板最大拉应力为 117 MPa，底板最大压应力为 -59 MPa，远小于结构容许应力；落梁支墩最大支反力为 36 553 kN，小于支墩千斤顶承载能力，也小于支墩、桩基的承载能力。

表 4 落梁施工步骤

Tab. 4 Construction steps for falling beam

落梁步骤	施工内容
步骤一	钢梁顶推到位后, 精确调整里程、轴线、标高, 拆除步履设备装置
步骤二	PM6#、PM8#、PM10#墩处千斤顶起顶至梁段刚好脱空, 抽出支墩抄垫 5cm, 千斤顶缓慢落梁至支墩上
步骤三	PM5#、PM7#、PM9#、PM11#墩处千斤顶起顶至梁段刚好脱空, 抽出支墩抄垫 10cm, 千斤顶缓慢落梁至支墩上
步骤四	后续 PM6#、PM8#、PM10#墩三个墩和 PM5#、PM7#、PM9#、PM11#墩四个墩交替落梁, 每次落梁高度均为 10cm, 直至钢梁落到位
步骤五	落梁完成后, 须按要求将钢梁里程、轴线调整至规范、设计允许值
步骤六	安装支座, 设置支座预偏量, 进行支座灌浆

表 5 落梁过程钢梁主要截面应力(半桥)

Tab. 5 Main section stress of steel beam during falling process (half bridge)

单位: MPa

落梁工况	PM5墩顶		PM5\6跨中		PM6墩顶		PM6\7跨中		PM7墩顶		PM7\8跨中		PM8墩顶	
	顶	底	顶	底	顶	底	顶	底	顶	底	顶	底	顶	底
顶推到位	0	0	-41	27	81	-41	-50	29	91	-46	-57	33	93	-47
PM6/8/10落 5 cm	0	0	-58	38	58	-29	-49	29	115	-58	-56	33	70	-35
PM5/7/9/11落 10 cm	0	0	-23	15	104	-52	-51	30	67	-34	-57	33	117	-59
PM6/8/10落 10 cm	0	0	-58	38	58	-29	-49	29	115	-58	-56	33	70	-35
后续交替落梁	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注: 限于篇幅, 仅展示半桥计算结果, 应力符号为拉正压负。

表 6 落梁过程中各支墩支反力

Tab. 6 Reaction force of each pier during the process of beam falling

单位: kN

施工工况	PM5	PM6	PM7	PM8	PM9	PM10	PM11
顶推到位	8 660	31 517	32 971	33 455	33 683	35 333	7 872
PM6/8/10落 5cm	9 122	30 332	34 392	32 062	35 080	34 113	8 389
PM5/7/9/11落 10cm	8 197	32 702	31 550	34 848	32 286	36 553	7 354
PM6/8/10落 10cm	9 122	30 332	34 392	32 062	35 080	34 113	8 389
后续交替落梁	-	-	-	-	-	-	-

4.1.3 实测数据

面受力情况, 具体数据见表 7。

落梁过程中, 监测 PM6 墩顶、PM6\7 跨中、PM7 墩顶、PM7\8 跨中和 PM8 墩顶等钢梁关键断

通过千斤顶油压反馈支墩支反力, 具体数据见表 8。

表 7 落梁过程钢梁关键断面应力极值

Tab. 7 Extreme stress values of key sections of steel beams during beam falling process

单位: MPa

施工工况		PM6墩顶		PM6\PM7跨中		PM7墩顶		PM7\PM8跨中		PM8墩顶	
		顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板
PM6/8/10墩落梁工况	理论	58	-29	-49	29	115	-58	-56	33	70	-35
	过程极值	68	-35	-53	34	130	-67	-57	36	79	-41
	偏差	10	-6	-4	5	15	-9	-1	3	9	-6
PM5/7/9/11墩落梁工况	理论	104	-52	-51	30	67	-34	-57	33	117	-59
	过程极值	111	-57	-53	34	77	-45	-59	38	130	-68
	偏差	7	-5	-2	4	10	-11	-2	5	13	-9

注: 应力为拉正压负。

表 8 落梁过程中各支墩最大支反力

Tab. 8 Maximum support reaction force of each pier during beam falling process

单位: kN

施工工况		PM5	PM6	PM7	PM8	PM9	PM10	PM11
PM6/8/10起顶(PM5/7/9/11落到位)	理论	-	32 702	-	34 848	-	36 553	-
	过程最大值	-	33 969	-	35 953	-	37 961	-
	偏差	-	1 267	-	1 105	-	1 408	-
PM5/7/9/11起顶(PM6/8/10落到位)	理论	9 122	-	34 392	-	35 080	-	8 389
	过程最大值	9 775	-	35 822	-	36 067	-	9 148
	偏差	653	-	1 430	-	987	-	759

落梁过程中,通过主要断面的应变监测,钢梁整体应力水平较低,结构较安全。落梁过程各支墩实测千斤顶支反力均未超过理论值的1.1倍,满足规范要求。

4.2 支座预偏

钢梁整体落梁完成后,对支座进行纵向预偏。支座预偏的目的是在钢梁体外束及后续二期恒载施工完成后,各支墩支座上下座板中心重合且位

于设计里程处(设计温度下);支座预偏通过将“支座下座板安装在垫石中心、上下座板纵向错位”实现。

提前将支座放至垫石处,待钢梁整体落到理论位置后,精确控制支座安装位置。设置预偏量主要考虑后续混凝土桥面板安装、体外束张拉、风雨楼安装、二恒施工、混凝土收缩徐变及温度影响等。经计算,凤凰岭主桥支座纵向预偏量见表9。

表9 钢梁支座纵向预偏量

Tab.9 Longitudinal Predeviation of steel beam support

单位: mm

支座编号	固定预偏量/ Δ_1	温度影响量/ Δ_2
PM5	-75	$(t-20) \times 1.2 \times 10^{-5} \times (-349\ 000)$
PM6	-51	$(t-20) \times 1.2 \times 10^{-5} \times (-254\ 000)$
PM7	-24	$(t-20) \times 1.2 \times 10^{-5} \times (-130\ 000)$
PM8	0	0
PM9	27	$(t-20) \times 1.2 \times 10^{-5} \times 130\ 000$
PM10	54	$(t-20) \times 1.2 \times 10^{-5} \times 260\ 000$
PM11	75	$(t-20) \times 1.2 \times 10^{-5} \times 349\ 000$

注: 1. 支座纵向预偏量 $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$, 正值表示往大里程预偏, 负值表示往小里程预偏; 2. t 为支座纵向预偏时梁体结构温度, 设计温度为20℃。

5 结论

针对大跨度、复杂竖曲线桥梁,对凤凰岭大桥顶推过程中具体的控制方法进行了详细分析研究。较为新颖地提出将钢梁顶推先平动再转动转化为在一个合适的圆曲线上转动,结构受力明确,大大减少顶推过程中支墩抄垫的工作量。对梁段预拼、桥位拼装以及后续的导梁上墩、塔架过墩等均做了详细的计算分析。提出对隔墩交替落梁的方法,并通过计算确定每一步的落梁高度,平稳地将钢梁整体落至永久支座上;落梁后,对支座考虑纵向预偏,保证成桥后,支座能回归到设计里程。凤凰岭大桥最终顺利完成钢梁顶推工作,通过过程施工控制,钢梁整体落梁后线形最大偏差为23 mm,轴线偏差均在10 mm以内,控制精度高,保证了线形平顺、结构安全,为以后同类型桥梁提供宝贵的技术经验。

参考文献:

[1] 黄艺年, 韦丽丽. 步履式连续顶推施工的关键技术探讨[J]. 建筑, 2021(6): 65-68.
HUANG Yinian, WEI Lili. Discussion on key technology of walking continuous pushing construction[J]. Construction and Architecture, 2021(6): 65-68. (in Chinese)

[2] 杨水爽, 阙水杰, 楚民红. 复杂竖曲线桥梁主梁顶推

转动自适应控制法[J]. 桥梁建设, 2022, 52(2): 53-59.

YANG Wenshuang, QUE Shuijie, CHU Minhong. Rotation adaptive control method for incremental launching construction of main girder in bridge with complex vertical curves [J]. Bridge Construction, 2022, 52(2): 53-59. (in Chinese)

[3] 翁方文, 田卿, 田飞. 大跨连续钢箱梁桥顶推施工控制技术研究[J]. 公路, 2018, 63(3): 89-92.

WENG Fangwen, TIAN Qing, TIAN Fei. Research on controlling technology of incremental launching construction for large-span continues steel box girders bridge [J]. Highway, 2018, 63(3): 89-92. (in Chinese)

[4] 宋敏, 朱江, 皮淑萍, 等. 大跨度钢桥梁顶推过程中的竖曲线线形控制技术[J]. 建筑施工, 2020, 42(11): 2119-2121.

SONG Min, ZHU Jiang, PI Shuping, et al. Vertical curve linear control technology in launching process of long span steel bridge [J]. Building Construction, 2020, 42(11): 2119-2121. (in Chinese)

[5] 王世峰, 陈超华, 孙晓伟. 多变竖曲线钢槽梁拼装及顶推施工技术[J]. 中外公路, 2012, 32(3): 237-241.

WANG Shifeng, CHEN Chaohua, SUN Xiaowei. Construction technology of assembling and pushing steel groove beam with changeable vertical curve [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2012, 32(3):

- 237-241. (in Chinese)
- [6] 杨增权. 大跨曲线钢槽梁顶推施工关键技术[J]. 公路交通科技, 2021, 38(3): 56-62.
YANG Zengquan. Key technology of long-span curved steel trough beam incremental launching construction [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2021, 38(3): 56-62. (in Chinese)
- [7] 庄泽亮. 钢箱梁顶推施工关键技术研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2018, 14(3): 215-216.
ZHUANG Zeliang. Research on key technology of steel box girder jacking construction [J]. Highway Traffic Technology (Applied Technology Edition), 2018, 14(3): 215-216. (in Chinese)

声 明

本刊已许可中国知网、万方数据知识服务平台、超星网等多家单位以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述各家网络著作权使用费，所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。如有异议，请在投稿时说明，本刊将按作者说明处理。
