

文章编号: 1006-2106(2013)03-0038-07

临时支墩在大跨度钢桁拱桥梁架设中的应用^{*}

王晓敬^{**}

(中铁大桥局集团第二工程有限公司, 南京 210015)

摘要: 研究目的: 大跨度钢桁拱桥梁架设施工过程中钢梁局部杆件应力和变形大于桥梁使用过程中的应力和变形, 为此在施工此类桥梁过程中会采用临时设施辅助施工, 吊索塔架是常用的结构形式, 临时支墩目前国内同类桥梁尚无使用先例。根据柳州维义大桥钢桁拱跨度大、横向稳定性弱的特点, 对该桥施工关键技术进行研究, 解决支墩法架设大跨度钢桁拱的关键施工技术问题。

研究结论: 桥梁施工中最简单、常用的临时支墩作为钢桁拱外部辅助构件适用于大跨度钢桁拱桥梁架设施工, 能够满足对钢桁拱的线形调整, 并通过纵横移及标高控制等主动控制技术实现钢桁拱的拱和系杆的合龙, 避免了钢桁拱桥的整体起落操作, 简化了钢桁拱桥梁的合龙调整措施。

关键词: 柳州维义大桥; 钢桁拱; 临时支墩; 合龙

中图分类号: U445.446; U448.36 **文献标识码:** A

Application of Temporary Buttress in Erecting Large Span Steel Truss Arch Bridge

WANG Xiao-jing

(The Second Engineering Co. Ltd, China Zhongtie Major Bridge Engineering Group Co. Ltd, Nanjing, Jiangsu 210015, China)

Abstract: Research purposes: The local stress and deformation of the member bar of the steel girder of the large steel truss arch bridge in the course of the erection are bigger than those in the usage course of the bridge. Therefore, the temporary facility like the suspension cable tower is often used for construction of such kind of bridge. The temporary buttress has never been used for construction of such kind of bridge in China. As the Wei Yi Bridge in Liuzhou has features of the big span of the steel truss arch and the poor lateral stability, the research is done on the key construction technologies of this bridge for using the buttress to erect the large span steel truss arch bridge.

Research conclusions: As the simplest and the most commonly-used means, the temporary buttress can be used as the external auxiliary member of the steel truss arch for erecting the large span steel truss arch bridge, and by using it, the requirement of the linear adjustment for the steel truss arch can be met. By using active control technologies for controls of the vertical and horizontal shifts and the elevation, the arch and tie bar of the steel truss arch can be gathered up, the up and down operation of the whole steel truss arch bridge can be avoided and the measures for the closure adjustment of the steel truss arch bridge can be simplified.

Key words: Liuzhou Wei Yi Bridge; steel truss arch; temporary buttress; closure

钢桁拱桥梁由刚劲的桁拱与柔细的吊杆组合形成刚柔并济、相得益彰的建筑效果, 具有较佳的建筑景

观。钢桁拱结构在近几年被广泛地应用到铁路和公路桥梁上, 比较有代表性的桥梁包括缅甸曼德勒桥(公

^{*} 收稿日期: 2012-11-28

^{**} 作者简介: 王晓敬, 1971年出生, 高级工程师。

路)^[1]、万州长江大桥(铁路)^[2]、重庆朝天门长江大桥(公路)^[3]、南京京沪大胜关长江大桥(高铁)^[4]和柳州维义大桥(市政)^[5]。

钢桁拱桥梁往往由两端的单孔或多孔平弦钢桁梁结构加中间拱跨结构组成,平弦段的施工多采用支架法,拱跨部分的钢梁则多采用吊索塔架辅助施工,吊索塔架辅助施工法如图1所示^[6],吊索塔架安装于主墩墩顶钢梁顶面,设前后拉索辅助钢梁受力,并通过调整

拉索内力改变钢梁内力和变形,实现钢梁架设合龙。吊索塔架辅助施工具有构造简单的优点在多座同类桥梁施工中得到应用,但吊索塔架辅助施工也有由于自身结构高度往往高于墩顶钢梁很多,塔架自身拼装困难的缺点。结合柳州维义大桥的施工环境,本文介绍一种临时支墩辅助施工法在钢桁拱桥梁架设施工中的应用。

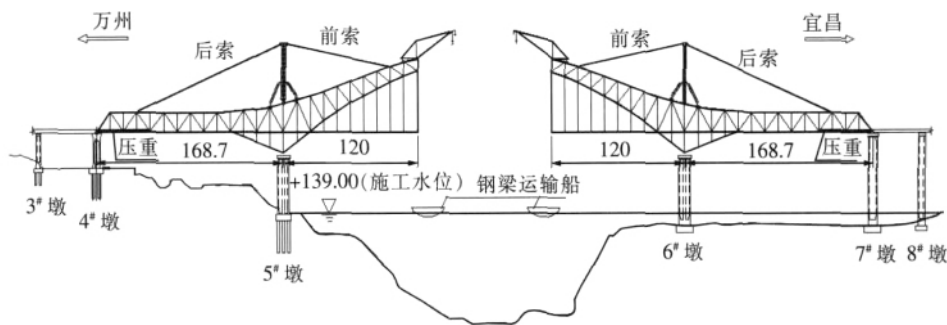


图1 吊索塔架法施工(万州长江大桥) (单位: m)

1 工程概况

柳州维义大桥^[7]主桥跨径布置为(108+288+108)m=504m,边、中跨跨度比为0.375。主桁由两

片钢桁架组成,主桁中心距37m,为目前国内桁间距最宽的钢桁拱桥。固定支座设置在1号桥墩,其余桥墩均设置纵向活动支座。拱脚在桥面以下高度为12m。该桥立面布置如图2所示。

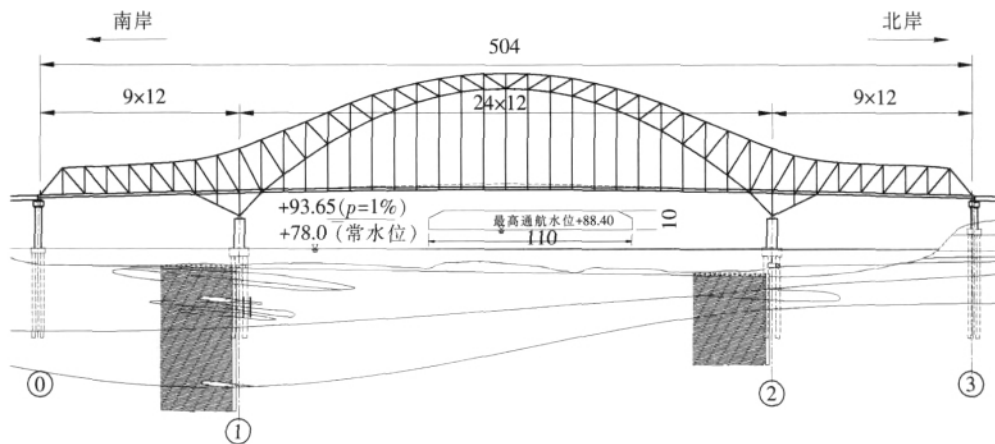


图2 维义大桥立面布置图(单位: m)

1.1 主体结构

主桁由两片钢桁架拱组成,中心距37m,主跨拱圈矢高55m,矢跨比约1/4.8。拱肋下弦拱轴线采用二次抛物线,拱肋上弦拱轴线中跨部分线形采用二次抛物线,与边跨上弦之间采用半径150m的反向圆曲线进行过渡。钢桁拱肋跨中桁高为8m,中支点处桁高34.45m(其中拱肋加劲弦高12m),边支点处桁高为13m。主桁采用节间长度12m的“N”形桁式。

吊杆选用平行高强钢丝吊索:拱肋每个节点处采

用2根109— $\phi 7$ mm的高强度、低松弛镀锌钢丝,抗拉强度1670MPa,锚具采用冷铸墩头锚。吊杆间距12m,采用双根索布置以方便更换吊索,全桥共4×21根。

公路桥面采用钢正交异型桥面板,横桥向设6道小纵梁,纵梁高734mm,纵梁顶板与桥面板焊接;在下弦节点处以及沿桥纵向每3m设一道横梁,横梁为鱼腹式。桥面板在横桥向分为三段与非节点横梁焊为一体出厂,工地安装时桥面板采用焊接,横梁采用高强度

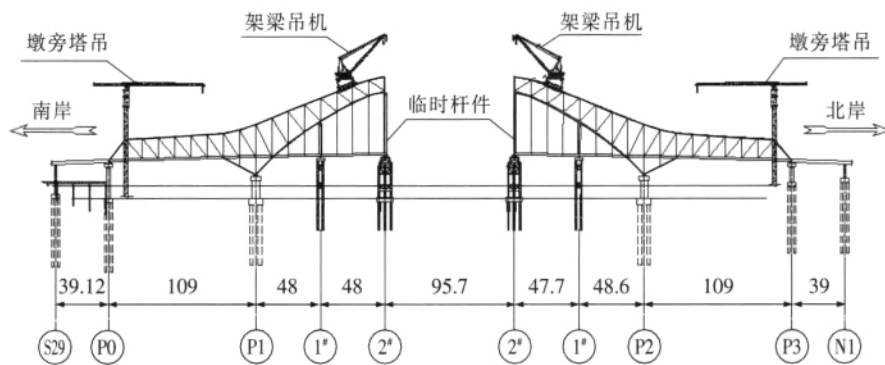
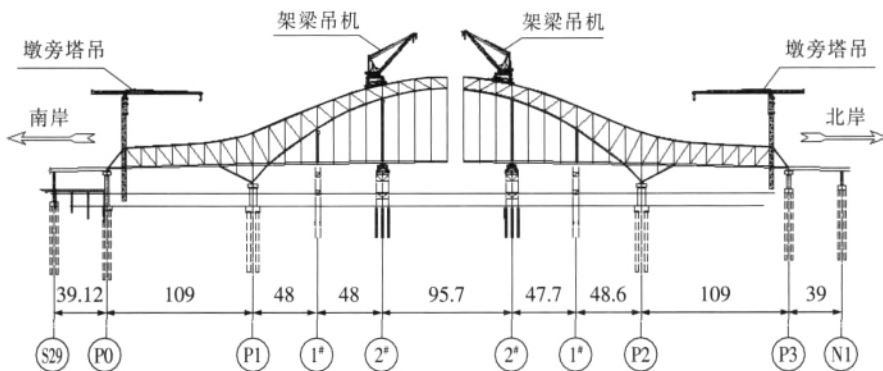
图5 拱桁架设至2[#]临时支墩示意图(单位:m)

图6 拱桁合龙(单位:m)

步骤四: 拱桁合龙后卸载1[#]临时支墩,再次下调2[#]临时支墩墩顶标高,合龙桥面系杆实现全桥合龙,最后安装吊杆及桥面系,拆除刚性撑杆。

3 拱跨施工设计

3.1 设计荷载

(1) 钢桁梁自重: 自重通过计算转换成节点荷载施加于上、下弦杆节点或上下拱肋;

(2) 架梁吊机自重: 吊机自重330 t, 作用于上弦杆, 每片主桁承受165 t;

(3) 施工走道(0.3 t/m)及施拧脚手架(1.5 t/个, 加载前4个节间)荷载;

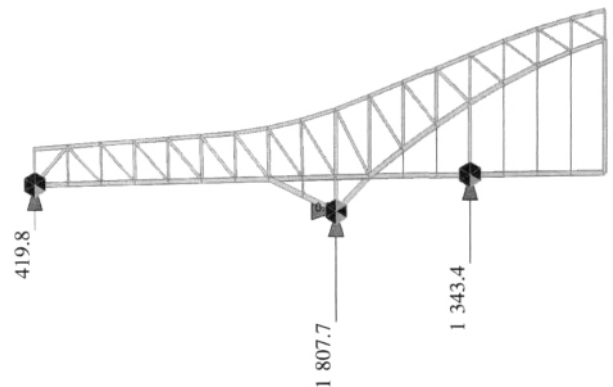
(4) 压重荷载(压重区间为1~3[#]节间, 压重线荷载为单侧桁26 t/m, 全桥共压重1872 t)。

3.2 拱跨施工关键工况计算

计算采用Midas模拟钢桁梁架设流程, 计算出各阶段的临时墩的反力及钢桁梁的变形, 计算时取半桥单片桁进行计算, 对中跨架设关键步骤计算结果如下。

工况一: 钢梁悬臂架设过1[#]临时支墩四个节间(计算模型如图7所示)。

此工况控制1[#]临时支墩设计。1[#]临时支墩墩顶反力1343.4 t, P1(P2)墩侧拱桁前端下弦杆位移量: 水

图7 1[#]临时支墩最不利工况计算模型(单位:t)

平位移 $D_x = -341 (+371)$ mm, 竖向位移 $D_z = +309 (+428)$ mm。

工况二: 钢梁悬臂架设过1[#]临时支墩四个节间, 下弦杆合龙(计算模型如图8所示)。



图8 下弦杆合龙工况计算模型(单位:t)

此工况位移控制拱桁合龙。2[#]临时支墩墩顶反力 1 588.9(1 350.5) t, P1(P2) 墩侧拱桁前端下弦杆位移量: 水平位移 $D_x = -357(+357)$ mm, 竖向位移 $D_z = +398(+398)$ mm。

工况三: 系杆合龙(计算模型如图 9 所示)。

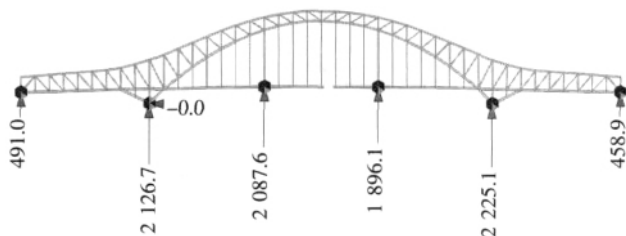


图 9 系杆合龙工况计算模型(单位: t)

此工况控制 2[#]临时支墩设计。2[#]临时支墩反力 2 087.6(1 896.1) t, P1(P2) 墩侧系杆前端位移量: 水平位移 $D_x = -2(+2)$ mm, 竖向位移 $D_z = -55(-55)$ mm。

计算反力结果汇总如表 1 所示。

表 1 各墩支点反力最大值汇总表

临时墩号		最大反力/t	最大反力时的 对应工况
边墩		721.9	边跨架设完成起顶
边跨	N1	189.2	安装 E4 节间
	N2	218.7	安装 E3 节间
	N3	637.3	安装 E5 节间
	N4	1852.4	安装 E9 节间
中墩		3 925.4(3 890.5)	临时支墩卸载
中跨	1 [#]	1 343.4	安装 2 [#] 临时支墩前
	2 [#]	2 087.6(1 896.1)	系杆合龙前

3.3 临时支墩设计

临时支墩为 Q235 桁架式结构, 立柱为直径 $\phi 1.5$ m 钢管。基础为直径 $\phi 1.5$ m 的桩基础, 混凝土强度等级 C30。1[#](2[#]) 临时支墩设计 4(6) 根直径为 1.5 m 的钻孔灌注桩, 为保证钻孔桩整体受力并考虑避免出现上拔力, 4(6) 根钻孔桩通过 1.5 m 厚承台连成整体(施工过程中取消); 承台上布置 4(6) 根直径 1.2 m 的钢管立柱, 顶设分配梁。

3.4 临时杆件设计

临时杆件设计为钢桁架结构, 具有一定的刚度, 顶端与钢桁拱下弦节点铰接, 底端与桥面系杆铰接, 通过临时杆件的连接使得钢桁拱与系杆之间形成刚性连接, 有利于将拱桁结构荷载传递给临时支墩。

3.5 墩顶布置及纵横移

墩顶起顶及纵横移设备是调整钢梁几何状态的重要设施, 在钢梁架设过程中起着至关重要的作用, 尤其是对于拱桁结构, 合龙的关键是布置一套安全可靠、操

作灵活的位移调整系统, 通过墩顶设备中的位移调整系统主动控制跨中高精度合龙^[7]。

3.5.1 中墩墩顶布置

钢梁架设过中墩 2 个节间后进行钢梁整体架设姿态的调整, 此时钢梁整体自重较轻, 调整设备不需要太多, 2 个中墩均需设竖向和横向调整设备, 仅活动支座侧设纵向调整设备。中墩墩顶布置如图 10 所示。

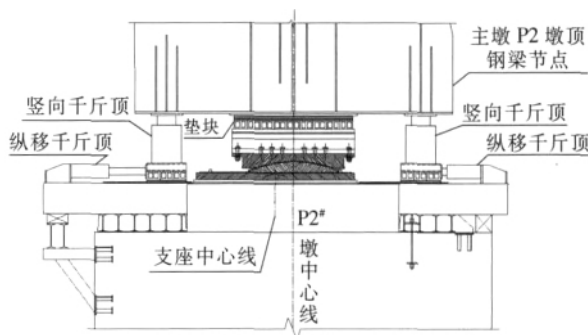


图 10 中墩墩顶布置示意图

3.5.2 临时支墩墩顶布置

临时支墩作为辅助设施仅对钢梁悬臂端提供竖向支撑, 拱桁合龙前悬臂端荷载较小, 变容易调整, 待拱桁合龙后, 钢梁有了整体刚度, 调整荷载增加, 此时如果进行起顶工作则难度较大, 因此, 临时支墩顶面标高同样采用主动控制措施, 以拱桁下弦无应力合龙工况设计起始标高, 下弦合龙后仅进行落梁调整。由于竖向高度的调整引起的纵向位移通过在支墩顶面与钢梁之间设滑动面的形式进行释放, 临时支墩由于水平荷载被释放也使得安全性大大提高。临时支墩墩顶布置如图 11 所示。

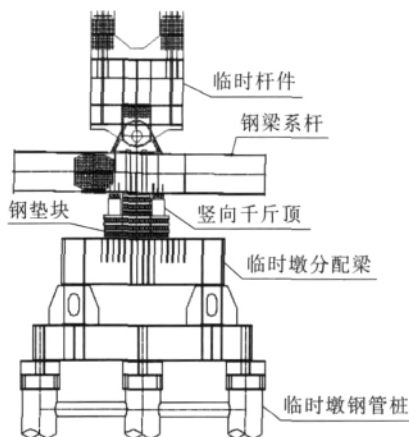


图 11 临时支墩墩顶布置

3.6 合龙设计

钢梁架设过程中需采取措施使得钢梁跨中能够顺利合龙, 本桥的合龙包括拱桁杆件的合龙和系杆的合龙两部分, 先合龙拱桁, 再合龙系杆。拱桁合龙后, 释

放活动支座,并通过调整临时支墩的支点标高实现系杆合龙。

3.6.1 主动控制^[8]调整措施

合龙调整按主动控制分 3 步完成: (1) 边跨架设完成后即通过边墩下落(南岸下落 750 mm,北岸下落 688 mm) 满足拱桁下弦合龙口转角为零,通过北岸侧钢梁整体纵移 678 mm 实现拱肋合龙口纵向调整; (2) 拱桁下弦合龙后下落 2[#]临时支墩,利用拱桁自重变形实现上弦和斜杆合龙; (3) 同样利用钢梁自重状

态下的变形实现桥面合龙口的竖向、纵向调整,实现系杆合龙。

3.6.2 合龙口微调整措施

通过在合龙口设调整对拉结构以及利用温度和荷载移动法进行拱肋合龙前的微小调整,拱桁跨中端节点固定侧 A21(上弦)、E21(下弦)、C21(系杆)及活动侧 A21′(上弦)、E21′(下弦)、C20′(系杆)在温度等工况变化情况下的位移计算结果如表 2 所示。

表 2 拱桁跨中合龙计算汇总表 (单位: mm)

拱桁下弦合龙计算(表中数据往 p3 [#] 墩方向及往上为正,反之则为负)						
杆件 项目	A21	E21	C21	A21′	E21′	C20′
体系升温 10 ℃	$\Delta X=18.6$ $\Delta Y=7.0$	$\Delta X=18.6$ $\Delta Y=6.1$	$\Delta X=17.8$ $\Delta Y=-0.3$	$\Delta X=-18.5$ $\Delta Y=7.1$	$\Delta X=-18.3$ $\Delta Y=6.1$	$\Delta X=-16.4$ $\Delta Y=-0.2$
前节点压重 10 t	$\Delta X=1.5$ $\Delta Y=-8.2$	$\Delta X=0.2$ $\Delta Y=-8.2$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=-8.5$	$\Delta X=-1.1$ $\Delta Y=-6.1$	$\Delta X=-0.3$ $\Delta Y=-5.8$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=-4.6$
上弦拉 100 t	$\Delta X=6.8$ $\Delta Y=-15.4$	$\Delta X=3.8$ $\Delta Y=-15.5$	$\Delta X=0.9$ $\Delta Y=-16.0$	$\Delta X=-6.4$ $\Delta Y=-14.1$	$\Delta X=-3.7$ $\Delta Y=-14.0$	$\Delta X=-0.9$ $\Delta Y=-11.3$
吊机前移 2 m	$\Delta X=0.6$ $\Delta Y=-2.8$	$\Delta X=0.2$ $\Delta Y=-2.8$	$\Delta X=0.0$ $\Delta Y=-2.9$			
吊机前移 10 m	$\Delta X=3.6$ $\Delta Y=-17.4$	$\Delta X=1.3$ $\Delta Y=-17.4$	$\Delta X=0.0$ $\Delta Y=-18.2$			
吊机后退 2 m	$\Delta X=-0.4$ $\Delta Y=2.3$	$\Delta X=-0.1$ $\Delta Y=2.3$	$\Delta X=0.0$ $\Delta Y=2.4$			
吊机后退 10 m	$\Delta X=-1.4$ $\Delta Y=8$	$\Delta X=-0.3$ $\Delta Y=8.1$	$\Delta X=0.0$ $\Delta Y=8.4$			
拱桁上弦合龙计算(表中数据往 p3 [#] 墩方向及往上为正,反之则为负)						
杆件 项目	A21	E21	C21	A21′	E21′	C20′
体系升温 10 ℃	$\Delta X=1.7$ $\Delta Y=21.8$	$\Delta X=0.1$ $\Delta Y=20.8$	$\Delta X=14.2$ $\Delta Y=15.7$	$\Delta X=-3.7$ $\Delta Y=14.2$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=19.7$	$\Delta X=-12.7$ $\Delta Y=8.5$
P1 侧压重 10 t	$\Delta X=0.3$ $\Delta Y=-1.9$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=-1.9$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=-1.9$	$\Delta X=-0.7$ $\Delta Y=-4.4$	$\Delta X=-0.1$ $\Delta Y=-2.1$	$\Delta X=-0$ $\Delta Y=-3.3$
P2 侧压重 10 t	$\Delta X=0.7$ $\Delta Y=-4.4$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=-4.3$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=-4.5$	$\Delta X=-0.3$ $\Delta Y=-2.6$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=-4.3$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=-1.9$
上弦拉 100 t	$\Delta X=3.0$ $\Delta Y=-10.2$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=-10.2$	$\Delta X=0.1$ $\Delta Y=-10.5$	$\Delta X=-3.6$ $\Delta Y=-13.9$	$\Delta X=-0.1$ $\Delta Y=-10.5$	$\Delta X=-0.1$ $\Delta Y=-10.2$
吊机前移 2 m	$\Delta X=0.2$ $\Delta Y=-1.5$	$\Delta X=0.1$ $\Delta Y=-1.5$	$\Delta X=0.0$ $\Delta Y=-1.6$	$\Delta X=0.1$ $\Delta Y=-0.8$	$\Delta X=0.1$ $\Delta Y=-1.4$	$\Delta X=0.0$ $\Delta Y=-0.6$
吊机前移 10 m	$\Delta X=1.5$ $\Delta Y=-9.3$	$\Delta X=0.4$ $\Delta Y=-9.3$	$\Delta X=-0.2$ $\Delta Y=-9.8$	$\Delta X=-0.4$ $\Delta Y=-5.2$	$\Delta X=0.5$ $\Delta Y=-8.6$	$\Delta X=0.1$ $\Delta Y=-3.8$
吊机后退 2 m	$\Delta X=-0.2$ $\Delta Y=+1.3$	$\Delta X=1.3$ $\Delta Y=1.3$	$\Delta X=0.0$ $\Delta Y=1.3$	$\Delta X=0.1$ $\Delta Y=0.7$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=1.2$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=0.5$
吊机后退 10 m	$\Delta X=-0.5$ $\Delta Y=4.4$	$\Delta X=0$ $\Delta Y=4.4$	$\Delta X=0.1$ $\Delta Y=4.6$	$\Delta X=0.3$ $\Delta Y=2.4$	$\Delta X=0.0$ $\Delta Y=4.4$	$\Delta X=0.0$ $\Delta Y=1.8$

本桥钢梁合龙过程中采用主动控制措施,未整体端姿态实现合龙,简化了合龙调整步骤,避免了大吨位顶升钢梁,仅仅通过临时支墩标高下调调整钢梁悬臂顶升设备的投入。

4 方案对比

梁从所投入的机械设备、临时设施的数量和工期三个方面的对比情况如表 3 所示。

临时支墩辅助施工与吊索塔架辅助施工拱跨钢桁

表 3 施工投入对比表

项目 施工方案	机械设备	大临设施	工期	合龙措施
临时支墩辅助施工	2 台爬坡架梁吊机; 2 台边墩提升吊机; 大型顶升设备	拱跨 8 个临时支墩 ,结 构工程量较大	临时支墩与主体基础 同时施工 ,不占用架梁 时间	需严格控制支墩顶抄 垫标高 ,利用钢梁自重 变形实现合龙
吊索塔架辅助施工	2 台爬坡架梁吊机; 2 台边墩提升吊机; 4 台中墩拼装吊机; 小型顶升设备	墩顶 2 台吊索塔架 ,结 构简便、工程量较小	墩顶钢梁架设完成后 拼装吊索塔架 ,占用架 梁时间	利用整体顶升钢梁和 调整拉索内力调整合 龙口变形实现合龙

5 结论

柳州维义大桥根据项目所处的特殊的地理位置 , 针对钢桁拱横向刚度小、施工过程中整体稳定性差的特点 , 采用了临时支墩的方法架设钢桁拱 , 相对于吊索塔架辅助架设的施工方法减少了大型机械设备的投入 , 规避了高空作业的风险 , 并能够与桥梁主体基础同时施工 , 工期方面具有一定的优势; 同时临时支墩作为外部辅助设施相对于吊索塔架对钢桁拱桥架设过程中的整体稳定性更加有利; 临时支墩通过合理的技术措施 , 充分利用钢桁拱自身刚度简化了合龙步骤 , 避免了钢桁拱桥梁的整体起落调整 , 使得钢梁合龙工序简单、易控。但该施工方案同样具有临时支墩后期拆除困难、临时结构工程量大的不利因素 , 因此 , 钢桁拱桥梁的架设施工应根据具体的施工条件和施工环境进行施工方案的选择 , 不可拘泥于一种施工方法。

参考文献:

[1] 耿增现 , 骆双全 , 沈庆龙 , 等. 缅甸曼德勒大桥钢梁架设 [J]. 桥梁建设 2007(S1) : 66 - 68.
Geng Zengxian , Luo Shuangquan , Shen Qinglong , etc. Erection of Steel Girders of Mandalay Bridge in Myanmar [J]. Bridge Construction , 2007(S1) : 66 - 68.

[2] 秦顺全. 宜万铁路万州长江大桥设计与施工 [J]. 铁道工程学报 2006(2) : 20 - 23.
Qin Shunquan. Design and Construction of Wanzhou Yangtze River Bridge on Yichang - Wanzhou Railway Line [J]. Journal of Railway Engineering Society , 2006 (2) : 20 - 23.

[3] 徐伟. 钢桁拱刚性拱桥的设计 [J]. 桥梁建设 2006(S1) : 1 - 3.

Xu Wei. Design of Steel Truss Rigid Arch Bridge [J]. Bridge Construction , 2006(S1) : 1 - 3.

[4] 易伦雄. 南京大胜关长江大桥大跨度钢桁拱桥设计研究 [J]. 桥梁建设 2009(5) : 1 - 5.
Yi Lunxiong. Design and Study of Long Span Steel Truss Arch Bridge of Dashengguan Changjiang River Bridge in Nanjing [J]. Bridge Construction 2009 (5) : 1 - 5.

[5] 胡涛 , 易伦雄. 柳州市维义大桥主桥设计与施工 [J]. 桥梁建设 2010(5) : 39 - 41.
Hu Tao , Yi Lunxiong . Design and Construction of Main Bridge of Weiyi Bridge in Liuzhou Citye [J]. Bridge Construction , 2010(5) : 39 - 41.

[6] 李芳军 , 彭月燊. 万州长江大桥钢桁拱系杆梁桥架设技术 [J]. 中国铁道科学 2007(6) : 136 - 140.
Li Fangjun , Peng Yueshen. Construction Technology for the Steel Truss - arch Tied - bar Beam Bridge of Wanzhou Yangtze River Bridge [J]. Chniese Railway Science , 2007(6) : 136 - 140.

[7] 刘承亮. 万州长江大桥钢桁拱架创新技术分析 [J]. 铁道工程学报 2008(9) : 52 - 57.
Liu Chengliang. Analyses of Erection Technology for Steel Truss Arch of Wanzhou Yangtze Rridge [J]. Journal of Railway Engineering Society , 2008(9) : 52 - 57.

[8] 陈金州 , 郑平伟. 主动控制在三主桁钢桁拱桥施工监控中的应用 [J]. 铁道工程学报 2012(7) : 36 - 40.
Chen Jinzhou , Zheng Pingwei. Application of Active Control Technique in Monitoring Construction of Steel Truss Arch Bridge with Three Main Trusses [J]. Journal of Railway Engineering Society , 2012(7) : 36 - 40.