

DOI:10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.20210908001

文章编号:1674-599X(2023)03-0067-07

引用格式:王达,黎峥.大跨径混合式叠合梁斜拉桥合龙方案研究[J].交通科学与工程,2023,39(3):67-73.

Citation: WANG Da, LI Zheng. Research on the closing scheme of a long-span hybrid composite girder cable-stayed bridge[J]. J. Transp. Sci. Eng., 2023, 39(3): 67-73.

大跨径混合式叠合梁斜拉桥合龙方案研究

王达^{1,2}, 黎峥¹

(1. 长沙理工大学 土木与建筑学院, 湖南 长沙 410114; 2. 中南林业科技大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘 要: 为保证大跨径混合式叠合梁斜拉桥在中跨合龙过程中各构件的受力可以满足规范要求, 以及成桥之后能达到理想成桥状态, 以宜宾盐坪坝长江大桥为研究对象, 考虑该桥的结构受力与施工特点, 对桥梁合龙过程进行有限元分析, 并分析在中跨合龙过程中的温度和合龙段主纵梁吊装方案对结构受力及成桥状态的影响。研究结果表明: 温度主要影响合龙口的宽度和成桥后的塔偏, 合龙段主纵梁的吊装方案主要影响合龙过程中的桥面板应力和成桥后的梁位移。该研究结果确保了该桥成功完成精准合龙, 节约了施工成本, 也为同类桥梁的合龙施工提供了参考。

关键词: 叠合梁; 斜拉桥; 合龙施工; 温度; 主梁吊装

中图分类号: U448.27

文献标志码: A

Research on the closing scheme of a long-span hybrid composite girder cable-stayed bridge

WANG Da^{1,2}, LI Zheng¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China;

2. School of Civil Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: In order to ensure that the force of each component of the long-span hybrid composite girder cable-stayed bridge can meet the requirements of the specification during the mid-span closing process and reach a ideal state after the bridge is completed, the Yanpingba Yangtze River Bridge is taken as the research object. Considering the structural force and construction characteristics of the bridge, the finite element analysis of the bridge closing process was performed. The influence of the temperature and the hoisting plan of the main longitudinal beam of the closing segment on the structural force and the bridge status during the mid-span closing process were studied. The research results show that the temperature mainly affects the width of the closure and the tower's deviation after completion of the bridge. The hoisting scheme of the main longitudinal beams of the closing segment mainly affects the stress of the bridge deck during the closing process and the displacement of the main girder after the completion of the bridge. This research ensures the successful and accurate of bridge closing, saves construction costs, and also provides a reference for the closing construction of similar bridges.

Key words: composite beam; cable-stayed bridge; closure construction; temperature; main beam hoisting

混合式叠合梁斜拉桥中跨的梁体为钢-混凝土叠合梁, 边跨的梁体为混凝土梁, 其跨越能力大。边跨

对中跨有良好的锚固作用, 能消除中边跨跨径的不协调^[1]。其中, 钢混凝土叠合梁以预制的混凝土桥面板

收稿日期: 2021-09-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51878072); 湖南省科技创新计划资助项目(2020RC4049)

作者简介: 王达, 男, (1980—), 中南林业科技大学教授, 博士。

代替了常规的钢结构正交异性板,起到了提高桥面系刚度的作用^[2]。在斜拉桥的施工过程中,中跨合龙是其中的关键,对结构能否达到目标成桥状态有至关重要的作用^[3-5]。叠合梁斜拉桥由于中跨叠合梁一般采用悬臂散拼法进行施工^[6]。因此,相对于混凝土斜拉桥的现浇施工和普通钢箱梁斜拉桥的整体吊装施工,其在合龙施工过程中的结构受力、施工工序以及现场施工组织都更为复杂。目前,国内外学者对斜拉桥合龙施工的研究通常是针对钢箱梁斜拉桥和混凝土梁斜拉桥,而对叠合梁斜拉桥的合龙研究还很匮乏。因此,本研究以盐坪坝长江大桥为研究背景,详细分析了叠合梁斜拉桥在合龙过程中的影响因素,并最终确定一个合理的叠合梁斜拉桥的合龙方案,为同类型桥梁的合龙施工提供借鉴。

1 斜拉桥合龙方案

目前,中跨为钢主梁的大跨度斜拉桥主要存在以下两种合龙方式:

1) 温度配切法。根据现场的合龙口宽度对合龙段钢梁进行配切,配切完成之后,直接将合龙段钢梁喂入合龙口完成主梁合龙^[7-8]。该方法的特点主要有:合龙施工能够在塔梁临时约束措施没有解除的情况下进行,现场施工组织简单,但钢梁的配切改变了结构的无应力状态,对成桥之后的结构受力及主梁线形都会有影响,且合龙施工过程中的结构状态容易受到温度影响^[9],可能会存在合龙口宽度的变化,导致钢梁不能喂入或焊缝太大等问题。

2) 顶推合龙法。合龙段钢梁的长度按照设计理论值进行选取。合龙时,通过在主梁两端施加顶推力,调整合龙口宽度,将合龙段主梁喂入,完成主

梁合龙^[10-12]。该方法的特点主要有:不需改变合龙段钢梁尺寸大小,减小了合龙温度与设计基准温度不一致对成桥后结构体系的影响,但是现场施工组织较为困难,且顶推力随着跨度的增大而增大,需对结构局部承载力进行验算。

这两种合龙方式的最大区别在于它们对合龙温度的适应性,若合龙温度与设计基准温度相同,则两种合龙方式没有本质区别^[13-14]。叠合梁斜拉桥合龙方案的确定,应根据温度影响的分析结果,选用合适的合龙方式,除此之外,还应对施工过程中存在的其他影响因素进行分析,从而完善合龙方案的具体施工工序。

2 工程实例

盐坪坝长江大桥是一座大跨径混合式叠合梁斜拉桥,主桥采用半漂浮体系,桥跨布置为 45.000 +51.000 +97.000 +480.000 +97.000 +51.000 +45.000 m,边跨 193.000 m 及中跨索塔根部 7.500 m 为预应力混凝土 π 形梁。平面分段按线形规律从 51.030 m 渐变至 40.000 m。横截面由桥面板+两道主纵梁+三道小纵肋组成,梁高为 3.500 m。中跨主梁为 π 形钢混叠合梁,梁高 3.500 m,宽度 40.000 m,横截面由两道钢箱主纵梁+三道工字形小纵梁+混凝土桥面板组成。预应力混凝土 π 形梁和钢混叠合梁之间设置 10.000 m 长钢混过渡段。斜拉索采用扇形索面,共 168 根索,左右幅对称布置,边跨拉索间距为 8.500 m,中跨前 5 对拉索间距为 10.500 m,后 16 对拉索间距为 11.100 m。主塔采用箱形混凝土结构,塔高 182.922 m,其中,桥面以上塔高 128.600 m,高跨比为 0.268,塔底左右塔中心间距 27.200 m。该桥的材料特性见表 1,总体布置如图 1 所示,中跨叠合梁截面如图 2 所示。

表 1 盐坪坝长江大桥主桥材料特性表

Table 1 Material properties of the main bridge of Yanpingba Yangtze River Bridge

构件	材料	弹性模量/MPa	泊松比	容重/(kN·m ⁻³)
主塔	C55	35 500	0.2	26.00
斜拉索	φ 15.2 mm	190 000	0.3	78.50
叠合梁-钢梁	Q370qD	206 000	0.3	76.98
叠合梁-砼板	C60	36 000	0.2	27.00
砼主梁	C60	36 000	0.2	26.00

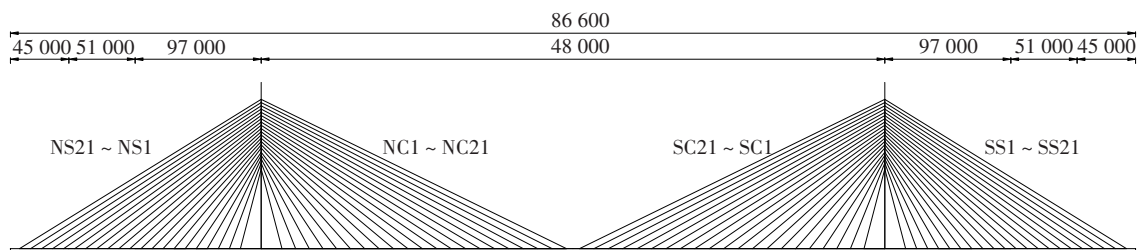


图1 盐坪坝长江大桥总体布置(单位:mm)

Fig. 1 General layout of Yanpingba Yangtze River Bridge (unit:mm)

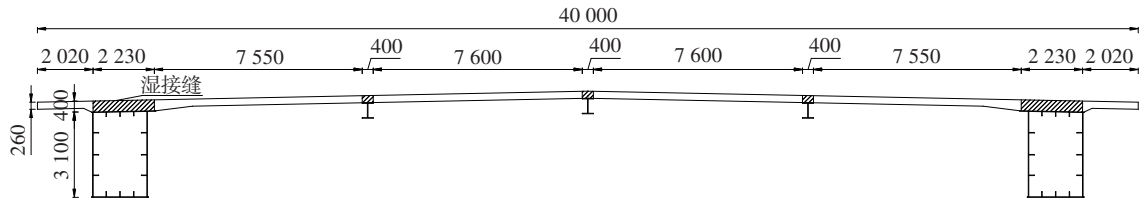


图2 盐坪坝长江大桥中跨截面图(单位:mm)

Fig. 2 Cross-section of the mid-span of Yanpingba Yangtze River Bridge (unit:mm)

2.1 有限元模型

利用 Midas/Civil 数值软件建立全桥有限元模型进行分析,桩基础、墩台、索塔及混凝土主梁用梁单元模拟,斜拉索采用桁架单元模拟,中跨叠合梁的钢梁部分采用梁单元梁格进行模拟,桥面板通过板单元进行模拟,二者通过弹性连接。主塔桩基用土弹簧约束,墩底固结;梁端及辅助墩处竖向约束;主梁与主塔之间进行竖向和横向约束;拉索与索塔、主梁通过零容重刚臂连接。全桥计算模型共划分成 6 312 个单元,其中,梁单元 4 524 个,只受拉的桁架单元 168 个,板单元 1 620 个,该桥的有限元整体模型如图 3 所示。

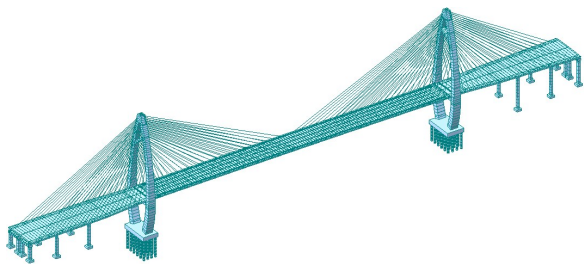


图3 盐坪坝长江大桥有限元模型

Fig. 3 The finite element model of Yanpingba Yangtze River Bridge

2.2 影响因素分析

2.2.1 温度对合龙口状态的影响

在中跨合龙前的最大悬臂状态下,根据现场温度的实际变化情况对合龙口宽度、两端主梁标高等参数的状态进行温度影响分析。中跨合龙时,现场

温度变化范围为 4 ~ 9 ℃,理论分析的合龙基准温度取 5 ℃。在合龙基准温度上,分析温度变化对合龙口宽度、标高以及索塔位移的影响,计算结果见表 2。表中“-”分别代表悬臂端挠度向下、北岸主塔向岸侧发生位移以及合龙口宽度缩短。

表2 温度变化对合龙口状态的影响值

Table 2 The influence of temperature changes on the state of the cantilever end

温度/℃	悬臂端挠度值/mm	北塔塔偏/mm	合龙口宽度变化值/mm
-1	-0.5	0.0	4.0
1	0.4	-0.3	-4.0
3	1.2	-0.1	-14.0
5	2.0	-1.6	-24.0
7	2.8	-2.3	-34.0
9	3.7	-3.0	-43.0
11	4.5	-3.6	-53.0

由表 2 可知,温度的变化对合龙口的主梁标高和索塔位移的影响均较小,但其对合龙口宽度的影响较大。当温度升高时,索塔往岸侧发生位移,主要是因为中跨处于悬臂状态,其索力随温度的变化相对比边跨的更为敏感。当温度升高时,中跨索力减小,导致主塔往岸侧发生位移。另外,其合龙口宽度与温度之间基本呈线性关系。当温度升高 1 ℃时,合龙口宽度大概减小 5 mm,该合龙口宽度随温度变化的规律可以作为确定合龙时机的理论依据。

2.2.2 合龙温度对成桥状态的影响

由于合龙施工时的现场实际温度与设计基准温度存在差异,因此,合龙施工应考虑其温度差异对成桥状态参数的影响,该桥的设计基准温度为 15°C 。在进行理论分析时,结合合龙施工时的实际温度,计算了合龙温度分别为 5°C 和 10°C 时对成桥状态的影响。与基准温度下的塔偏相比,当合龙温度为 5°C 时,成桥后的塔偏往边跨方向多位移了 24 mm ;当合龙温度为 10°C 时,成桥后的塔偏往边跨方向多位移了 12 mm 。合龙温度对主梁标高和索力的影响如图4~5所示。

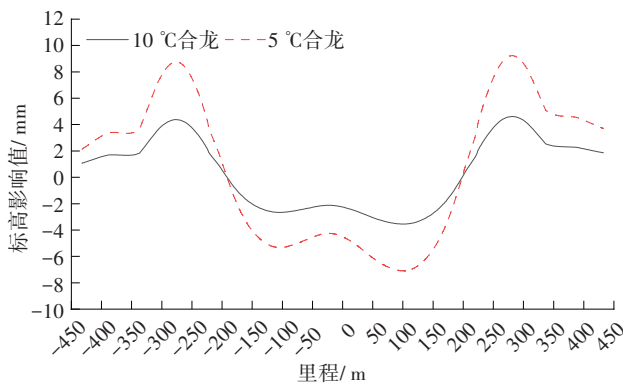


图4 合龙温度对主梁成桥标高的影响

Fig. 4 The effect of closing temperature on the elevation of the main girder

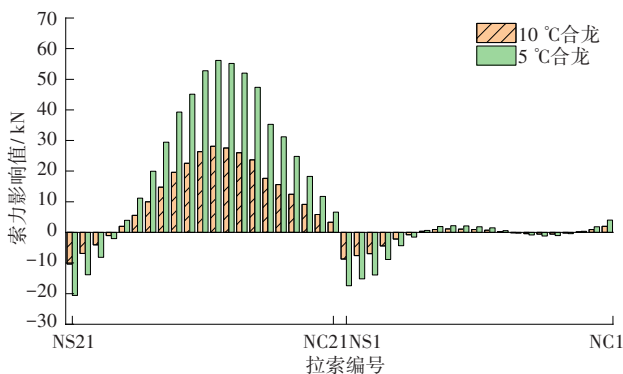


图5 合龙温度对成桥索力的影响

Fig. 5 The effect of closing temperature on the cable force of the completed bridge

通过分析可知, 5°C 合龙对成桥状态的影响比 10°C 合龙的要大。 5°C 合龙时,该温度对塔偏影响值为 24 mm ,该值为合理成桥状态塔偏值 103 mm 的 23.3% ;对成桥状态标高影响最大值为 9 mm ,该值为合理成桥状态主梁最大位移 95 mm 的 9.5% ;该温度对索力影响最大值为 56 kN ,该值为对应斜拉索合理成桥索力 $5\,346\text{ kN}$ 的 1.0% 。由此可见,当

合龙温度与设计基准温度不一致时,温度对成桥塔偏的影响最大,其次为成桥状态的主梁标高对其的影响,而成桥索力对其的影响较小。

2.2.3 合龙段主纵梁吊装方案影响分析

叠合梁的施工一般是利用全回转桥面吊机进行悬臂拼装。合龙段吊装施工时,存在两种施工方案:①先将下游侧(或上游侧)的合龙段主纵梁通过南北两岸的桥面吊机共同起吊至合龙口,完成下游侧(或上游侧)的主纵梁合龙,随后再通过同样的方法进行另一侧主纵梁的合龙施工,如图6所示。②利用南北两岸的桥面吊机将上下游两侧的主纵梁同时吊装至合龙口,上下游同步进行主纵梁合龙施工,如图7所示。

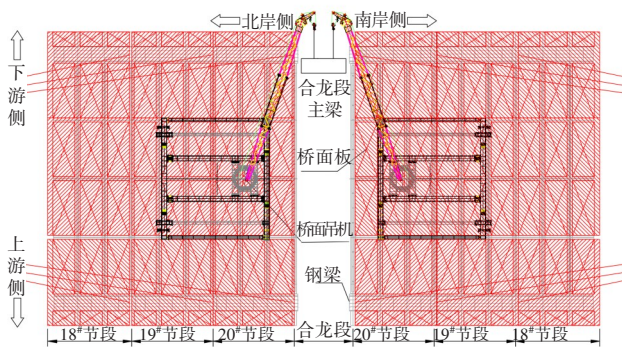


图6 主纵梁吊装示意(方案一)

Fig. 6 Hoisting schematic of main longitudinal beam

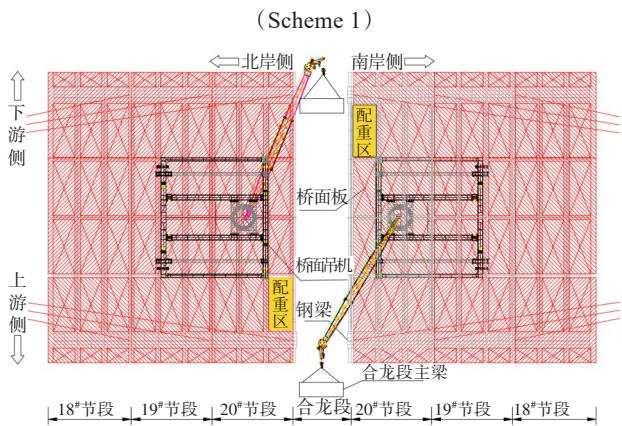


图7 主纵梁吊装示意(方案二)

Fig. 7 Hoisting schematic of main longitudinal beam

(Scheme 2)

当采用方案一进行主纵梁吊装施工时,合龙口两端的荷载情况基本一致,只需要在合龙施工前将合龙口两端的标高调整成一致即可。合龙施工过程中,不需要施加临时配重,但是该方法的施工周期较长。当采用第二种吊装方案时,由于合龙口两

端产生的荷载不对称。因此,需要对主梁进行临时配重,才能保证合龙口两端标高一致。与方案一相比,方案二缩短了施工周期,但方案二的现场施工组织更为困难,合龙施工时应根据现场施工条件选用合适的施工方法,且需对这两种施工方案下结构的受力情况进行对比分析。

在全桥的有限元模型中,通过改变桥面吊机的支反力大小,模拟这两种方案下结构的实际受力情况。经过计算得知,该桥若采用第二种吊装方案进行吊装施工时,需要在北岸上游侧和南岸下游侧各施加 20 t 的临时配重,才能确保合龙口两端产生的位移一致。通过分析这两种主纵梁吊装方案对桥面板应力、钢梁应力以及成桥状态的影响,发现主桥南北两岸的受力情况基本一样,且结构应力受合龙施工影响最大的部位均为靠近合龙段的部分节段。

因此,在应力分析结果中,只给出了北岸 18# ~ 20# 节段的受力情况。其中,方案一所选的施工工况为吊机起吊下游侧主纵梁,桥面板应力取每个截面的最大应力值。这两种方案在起吊过程中的结构应力对比如图 8 ~ 9 所示,对成桥后主梁标高和索力的影响如图 10 ~ 11 所示。

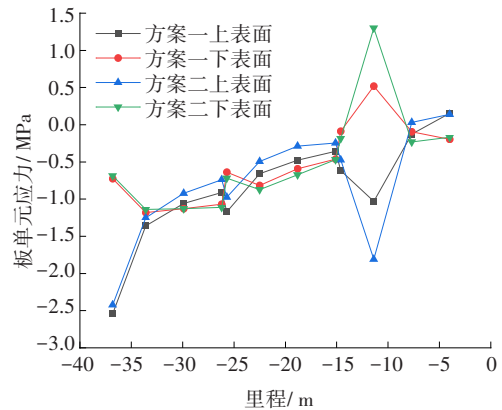


图8 两种方案起吊过程中的桥面板应力对比

Fig. 8 Comparison of bridge deck stress during the lifting process of the two schemes

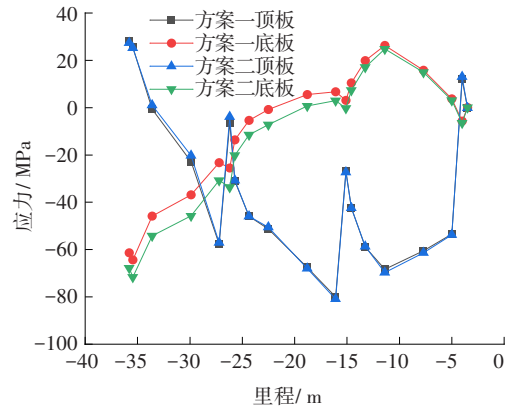


图9 两种方案起吊过程中的钢梁应力对比

Fig. 9 The stress comparison of steel beams during the lifting process of the two schemes

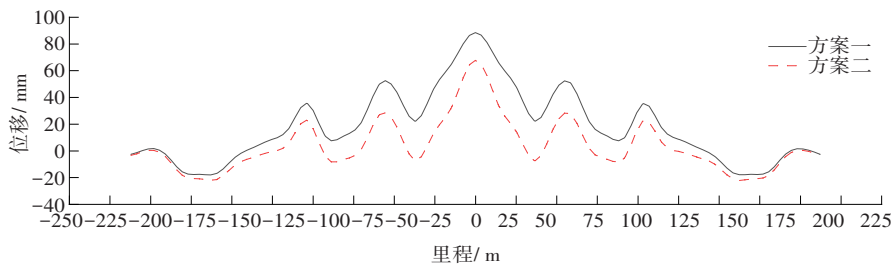


图10 两种方案成桥后主梁位移对比

Fig. 10 Comparison of the displacement of the main girder after completion of the two schemes

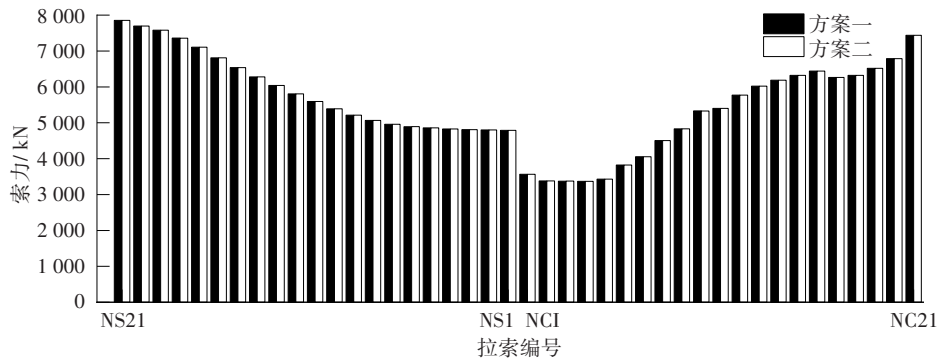


图11 两种方案成桥后索力对比

Fig. 11 Comparison of cable forces after completion of the two schemes

从图 8~9 可以看出,在施工合龙段时,主纵梁的吊装方案对桥面板应力的影响较大,而对钢梁应力的影响较小。其中,按方案一施工时,桥面板在主纵梁吊装过程中出现的最大拉应力为 0.52 MPa,最大压应力为 2.50 MPa;按方案二施工时,其最大拉应力为 1.30 MPa,最大压应力为 2.40 MPa。其最大拉应力均出现在桥面吊机下游侧的前支点处,产生此差别的原因主要是采用方案二进行吊装时,桥面吊机产生的支反力比方案一的更大,而支反力较大增大会增大桥面板在吊机支点处的局部变形,从而导致桥面板出现较大拉应力。从图 10~11 可以看出,合龙段主纵梁的吊装方案对主梁的成桥位移有较大影响,而对成桥索力几乎没有影响。按方案一施工后,得到成桥状态下的主梁位移比方案二的偏大,两种方案的成桥位移最大差值为 33 mm。

因此,当叠合梁斜拉桥进行合龙施工时,主纵梁的吊装方案对结构受力和成桥状态都存在一定的影响。因此,在确定叠合梁斜拉桥的合龙方案时,应根据理论分析、现场施工条件和桥梁结构的实际状态,选用合适的合龙段主纵梁吊装方案。

2.3 合龙方案的确定

该桥在合龙之前对全桥的索力、应力、标高和塔偏均进行了现场测量,测量结果显示合龙前主塔位移与理论值相比,往中跨方向偏移了 15 mm 左右。该误差可利用合龙温度对成桥状态的影响值进行适当弥补。索力、应力和标高结果均与理论值比较吻合,因此,该桥的主梁合龙宜采用温度配切法进行施工。为了配合现场施工条件,节约施工成本,该桥的合龙段主纵梁吊装采用方案一进行吊装施工。

考虑桥梁实际状态和现场施工条件,根据计算分析结果,最终确定该桥的合龙施工方案为:调整合龙口状态→对合龙口进行 24 h 观测→对合龙段主纵梁进行现场配切→合龙段下游侧主纵梁施工→合龙段上游侧主纵梁施工→解除临时约束→安装横梁和小纵梁→安装桥面板→浇筑合龙段湿接缝→张拉中跨预应力钢束→拆除桥面吊机→完成合龙。

合龙施工过程中,应注意的关键问题有:合龙段施工前合龙口两端的标高差异通过调整靠近合龙段的两对拉索索力进行消除,轴线偏差采用斜向

对拉措施进行调整。通过对合龙口 24 h 观测,得出合龙口宽度随温度变化的规律,并根据观测结果确定合龙时机和合龙段主纵梁尺寸大小,确定的合龙时机应在温度较为稳定的时间段。当合龙段主纵梁吊装采用两台吊机共同起吊时,起吊过程中应确保两台吊机的起吊速度保持一致。合龙段主纵梁吊至合龙口后,先用马板将其进行临时固定,随后再同时对合龙段主纵梁两端进行环焊施工。下游侧的主纵梁全部焊接完成之后,才能松掉吊机挂钩,并进行上游侧的主纵梁施工。上下游的合龙段主纵梁全部焊接完成之后,应立即拆除临时约束措施,防止合龙段钢梁在温度作用下产生过大的应力。为了避免吊机拆除后吊机支点处的横梁发生上拱,导致桥面板开裂,该桥采用先张拉完,再中跨预应力,最后对吊机进行拆除的措施。

桥梁进行正式合龙时的现场温度为 4~7℃,与设计合龙温度 15℃相差 8~11℃。采用该方案进行施工,在合龙过程中结构未出现变形过大和应力超限等情况,最终顺利完成精准合龙,成桥之后的索力、应力和塔偏等参数均与理论值相吻合。

3 结论

针对大跨径混合式叠合梁斜拉桥的受力与施工特点,分析了叠合梁合龙过程中的影响因素,确定了适用于混合式叠合梁斜拉桥的合龙方案。以盐坪坝长江大桥为例,得出结论:

1) 在混合式叠合梁斜拉桥的中跨最大悬臂状态下,温度变化主要影响合龙口的宽度,对悬臂端的标高、主塔位移和斜拉索索力的影响均较小。合龙施工时,应重点考虑合龙口宽度随温度变化的规律。

2) 当实际合龙温度与设计基准温度存在差异时,合龙温度主要会影响成桥状态的塔偏,而对成桥后的主梁位移与斜拉索索力的影响均较小。

3) 混合式叠合梁斜拉桥由于中跨主梁独特的截面形式,在中跨合龙时存在两种合龙段主纵梁吊装方案。吊装方案对施工过程中的桥面板应力和成桥后的主梁位移有一定影响,而对施工过程中的钢梁应力和成桥后的索力几乎没有影响。

4) 根据桥梁实际状态以及理论分析结果,确定

了适用于混合式叠合梁斜拉桥的合龙方案。该方案保障了盐坪坝长江大桥顺利完成合龙,节约了施工成本,为同类型桥梁的合龙施工提供借鉴。

参考文献(References):

- [1] 彭元诚,刘新华.大跨度混合式叠合梁斜拉桥设计特色与关键技术[J].中外公路,2017,37(1):135-138.
PENG Yuancheng, LIU Xinhua. Design characteristics and key technologies of long-span hybrid composite beam cable-stayed bridge[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2017, 37(1): 135-138.
- [2] 成壮壮,刘扬,鲁乃唯.大跨度连续刚构桥施工期稳定可靠性分析[J].交通科学与工程,2018,34(2):58-63.
CHENG Zhuangzhuang, LIU Yang, LU Naiwei. Stable reliability analysis of long-span continuous rigid frame bridge during the construction period [J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2018, 34(2): 58-63.
- [3] 仇光亮.双塔双索面结合梁斜拉桥合龙段施工方案及关键技术分析[J].中外建筑,2014(7):183-185.
QIU Guangliang. Analysis of the construction scheme and key technology of closure segments in double pylons and double cable plane cable-stayed bridge [J]. Chinese & Overseas Architecture, 2014(7): 183-185.
- [4] 李毅.大跨预应力混凝土双塔斜拉桥主梁施工技术[J].铁道建筑技术,2017(10):62-65,76.
LI Yi. Construction technology for the main girder of large-span prestressed concrete double pylon cable-stayed bridge [J]. Railway Construction Technology, 2017(10): 62-65, 76.
- [5] 马宝利.大跨度叠合梁斜拉桥中跨合龙技术研究[J].铁道建筑技术,2021(2):97-100,145.
MA Baoli. Study on mid-span closure technology of long span composite girder cable-stayed bridge [J]. Railway Construction Technology, 2021(2): 97-100, 145.
- [6] 张丰,颜东煌,陈常松.大跨度组合梁斜拉桥成桥状态参数敏感性分析[J].交通科学与工程,2021,37(2):91-97.
ZHANG Feng, YAN Donghuang, CHEN Changsong. Parameter sensitivity analysis of the long-span composite girder cable-stayed bridge in the finished bridge state [J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2021, 37(2): 91-97.
- [7] 李宗平.南京长江第三大桥钢箱梁安装技术[J].施工技术,2008,37(5):111-114.
LI Zongping. Installation technology for steel box-girder of Nanjing No.3 Yangze River Bridge [J]. Construction Technology, 2008, 37(5): 111-114.
- [8] 刘明虎,谭皓,徐国平,等.大跨径混合梁斜拉桥合龙技术研究与实践[J].桥梁建设,2011,41(4):83-87.
LIU Minghu, TAN Hao, XU Guoping, et al. Research and practice of closure techniques for long span hybrid girder cable-stayed bridge [J]. Bridge Construction, 2011, 41(4): 83-87.
- [9] 施文彬,颜东煌,许红胜,等.大跨度板桁结合斜拉桥施工阶段温差效应研究[J].交通科学与工程,2017,33(2):37-42.
SHI Wenbin, YAN Donghuang, XU Hongsheng, et al. Study on temperature difference effect of long-span plate-truss combined cable-stayed bridge during construction [J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2017, 33(2): 37-42.
- [10] 陈鸣,罗承斌,吴启和,等.苏通大桥主桥中跨顶推辅助合龙技术[J].中国工程科学,2009,11(3):75-80.
CHEN Ming, LUO Chengbin, WU Qihe, et al. Assistant pullback technique for main span closure of Sutong Bridge [J]. Engineering Sciences, 2009, 11(3): 75-80.
- [11] 涂光亚,李辉,李亮辉.超大跨度混合梁斜拉桥中跨合龙温度影响及对策[J].中外公路,2020,40(1):61-64.
TU Guangya, LI Hui, LI Lianghui. Temperature influence and countermeasure of mid-span closure of super long-span hybrid girder cable-stayed bridge [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2020, 40(1): 61-64.
- [12] 刘明虎,谭皓,徐国平,等.鄂东大桥混合梁斜拉桥合龙技术[J].中国工程科学,2011,13(10):99-104.
LIU Minghu, TAN Hao, XU Guoping, et al. Closure technique for the hybrid girder cable-stayed bridge of Edong Bridge [J]. Engineering Sciences, 2011, 13(10): 99-104.
- [13] 王进军,胡永波.钢-混结合梁斜拉桥中跨合龙施工及敏感性分析[J].施工技术,2018,47(9):113-117.
WANG Jinjun, HU Yongbo. Midspan closure construction and sensitivity analysis on steel-concrete composite beam cable stayed bridges [J]. Construction Technology, 2018, 47(9): 113-117.
- [14] 胡海波.武汉二七长江大桥主桥结合梁施工技术[J].桥梁建设,2012,42(3):1-6.
HU Haibo. Construction techniques for composite girder of main bridge of Wuhan Erqi Changjiang River Bridge [J]. Bridge Construction, 2012, 42(3): 1-6.

(责任编辑:罗容;校对:李脉;英文编辑:粟森)