

不对称独塔叠合梁斜拉桥塔梁同步施工 可行性与影响因素分析*

易志慧¹, 赵超², 彭建新¹

(1.长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114; 2.中交路桥华南工程有限公司, 广东 中山 528400)

摘要:以贵州省铜仁市凯峡河特大桥为工程背景,运用有限元软件建立数值模型,分别计算塔梁同步施工和先塔后梁施工方式下成桥索力、成桥预拱度、主塔根部压应力等关键参数,结果表明,两者计算结果吻合较好,该桥采用塔梁同步施工工艺可行;分析桥塔顺桥向温差、桥塔两侧不平衡荷载对塔梁同步施工状态下桥塔偏位的影响,结果表明,顺桥向温差为 20℃ 时主塔塔顶偏位达 57 mm,桥面不平衡荷载为 40 t 时主塔塔顶偏位为 24.9 mm,塔梁同步施工中不能忽视日照温差与桥面偏载的影响。

关键词:桥梁;叠合梁斜拉桥;塔梁同步施工;温差;不平衡荷载

中图分类号:U448.27

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)02-0101-04

传统的斜拉桥施工工序是先浇筑塔柱,封顶后再进行主梁架设和斜拉索张拉,即先塔后梁。近年来,塔梁同步施工技术以其较好的施工效果越来越受青睐,该技术的特点是在塔柱封顶前同时进行主梁架设和斜拉索张拉。曾洋等以某混合梁斜拉桥为工程背景,分析了斜拉桥张拉级数、张拉次序、温度变化等因素对塔梁同步施工中桥塔偏位的影响。顾箭锋等运用 MIDAS/Civil 软件模拟混合梁斜拉桥施工过程,对比分析了塔梁同步和先塔后梁施工时成桥索力和成桥状态,发现 2 种施工方法的理论值均与实测值吻合,塔梁同步施工可行。张淑坤等分析了砼斜拉桥塔梁同步施工的影响因素,结果表明主要影响因素为桥塔垂直度、索力、高程控制、索导管施工、劲性骨架施工等。谢官模等依托某砼斜拉桥,利用 MIDAS/Civil 软件模拟塔梁同步和先塔后梁施工方式,发现塔梁同步施工对箱梁应力、主梁线形、支座反力的影响较小,相对于塔梁异步施工,塔梁同步施工可减小 5% 塔根处应力。赵晓斌以钢箱斜拉桥为研究对象,利用 MIDAS/Civil 和桥梁博士软件进行分析比较,发现塔梁同步施工时成桥索力、线形与设计结果较吻合。目前针对塔梁同步施工的研究主要以混合梁斜拉桥、砼斜拉桥和钢箱斜拉桥为主,对不对称叠合梁斜拉桥塔梁同步施工的研究很少。该文以贵州省铜仁市凯峡河特大桥为工程背景,利用 MIDAS/Civil 分别模拟塔梁同步工艺和先

塔后梁工艺的施工过程,比较 2 种施工方式下成桥索力、成桥预拱度、主塔根部压应力等关键参数,分析不对称独塔叠合梁斜拉桥采用塔梁同步施工的可行性及影响因素。

1 工程概况

凯峡河特大桥全长 410 m,主梁采用钢主梁与桥面板相结合的整体断面,属于不对称独塔双索面叠合梁斜拉桥(见图 1)。全桥钢梁划分为 A(主塔处梁段)、B、C、D、E、F 6 种类型梁段,共 39 个梁段。主塔采用人字形,由 61 m 高的上塔柱和 56 m 高的中塔柱组成,分为 23 个节段施工,总高度为 117 m。斜拉索采用 7 丝 $\phi 15.2$ 环氧钢绞线,共 36 对(72 道)。

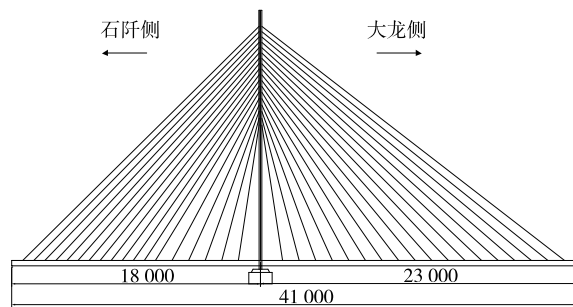


图 1 凯峡河特大桥的总体布置(单位:cm)

该桥原设计采用先塔后梁施工工艺。为保证施工进度,施工方变更施工工序,采用塔梁同步施工工艺。表 1 为 2 种施工工艺的施工工序对比。

* 基金项目:湖南省教育厅重点项目(18A136)

表1 塔梁同步和先塔后梁施工工序对比

工序 编号	施工内容	
	先塔后梁	塔梁同步
1	主墩施工	主墩施工
2	主塔第19节	主塔第19节
3	主塔第20节	主梁 A、B1 梁段安装
4	主塔第21节	斜拉索 S1、M1 张拉
5	主塔第23节	主塔第20节
6	安装主梁 A、B、C、D、E、F	主塔第23节
7	张拉斜拉索 S1~S18、 M1~M18	完成剩余梁段和 斜拉索安装

2 塔梁同步工艺可行性分析

运用 MIDAS/Civil 有限元软件建立该桥计算模型,模拟塔梁同步和先塔后梁施工过程,通过对比2种施工工艺下成桥状态验证不对称叠合梁斜拉桥采用塔梁同步施工工艺的可行性。主梁和主塔采用梁单元模拟,斜拉索采用桁架单元模拟,斜拉索与主塔、主梁之间采用刚性连接。全桥共794个节点、693个单元(见图2)。

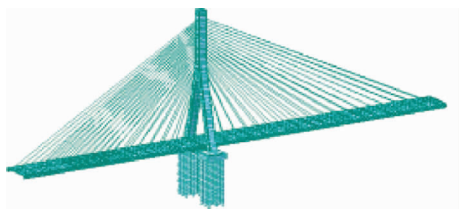


图2 凯峡河特大桥有限元模型

2.1 成桥索力对比

每种合理成桥状态匹配一组最优成桥索力,成桥索力的好坏决定斜拉结构受力是否均匀。调整成桥索力的目的是使“塔直梁平”,即尽量使主塔处于轴心受压状态,主梁处于类似于多点弹性支撑的连续梁状态。图3为2种施工工艺下成桥索力对比。

由图3可知:塔梁同步施工与先塔后梁施工时成桥索力无太大差别,差值在100 kN以内。最小成桥索力差值出现在M4索,为0.08 kN,远小于原设计成桥索力的1%;最大成桥索力差值出现在M15索,为92.31 kN,占原设计成桥索力的1.7%。表明改变施工工序对成桥索力的影响很小,该桥采用塔梁同步施工工艺可行。

2.2 成桥预拱度对比

主梁线形是否平顺直接影响桥梁运营期的安全和行车舒适度。考虑汽车荷载和砼收缩徐变的影响,主梁在成桥后需设置预拱度以实现合理的成桥

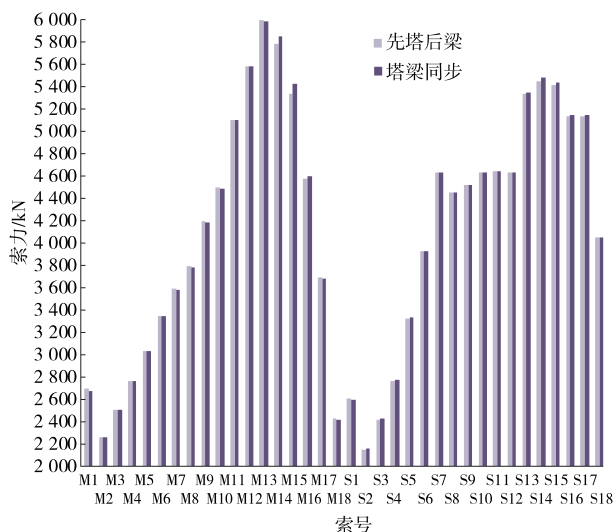


图3 不同施工工艺下成桥索力对比

线形。通过有限元模型分别提取塔梁同步施工和先塔后梁施工时成桥预拱度,并将塔梁同步施工时预拱度与设计预拱度进行对比,结果见图4、图5。

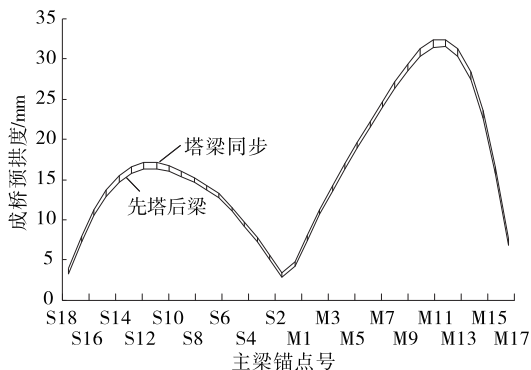


图4 不同施工工艺下成桥预拱度对比

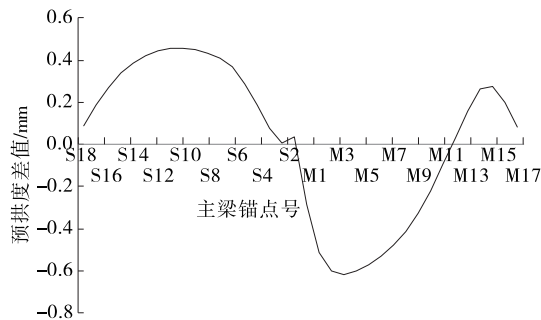


图5 塔梁同步施工时预拱度与设计预拱度对比

由图4、图5可知:塔梁同步施工与先塔后梁施工时成桥预拱度差值的绝对值为0~1 mm,最大差值为0.7 mm;塔梁同步施工时预拱度与设计预拱度最大相差0.6 mm,出现在M4锚点处,两者吻合较好。采用塔梁同步施工方法可控制主梁成桥线形,对合理成桥状态的影响较小,叠合梁斜拉桥采用塔

梁同步施工工艺可行。

2.3 主塔根部应力对比

根据文献[6],在斜拉桥塔梁同步施工中,由于主塔处于未封顶状态,主塔根部压应力储备不多,在这种情况下进行斜拉索张拉应注意保持桥塔两侧索力基本一致,从而保证主塔安全。对该桥主塔封顶前 4 种工况(分别为斜拉索 S1、M1 初次张拉,斜拉索 S1、M1 二次张拉,安装桥面吊机,安装梁段 B2)下主塔根部压应力进行分析,2 种施工工艺下主塔根部压应力见表 2。

施工工况	不同施工方式下主塔根部应力	
	塔梁同步施工	先塔后梁施工
斜拉索 S1、M1 初次张拉	-1.99	-1.99
斜拉索 S1、M1 二次张拉	-1.98	-1.98
安装桥面吊机	-1.98	-1.98
安装梁段 B2	-1.97	-1.98

由表 2 可知:不同工况下,塔梁同步施工和先塔后梁施工时主塔根部压应力几乎完全吻合,只有在安装梁段 B2 时,两者相差 0.01 MPa。这是因为在塔梁同步施工中,只对斜拉索 S1、M1 进行张拉。根据上述研究,斜拉索 S1、M1 的成桥索力不足 2 700 kN,桥塔两侧斜拉索索力差值为 70 kN 左右,对桥塔的影响较小。该桥采用塔梁同步施工工艺,可通过减少不足 1%的压应力储备来换取施工工期的缩短,说明该施工工艺可行。

3 塔梁同步施工影响因素分析

3.1 索塔顺桥向温差对桥塔偏位的影响

贵州铜仁地区的昼夜温差常年较大。凯峡河特大桥坐西朝东,受阳光照射的影响,一天中主塔两侧的温差随时间的推移而变化。实测发现:背阳侧(石阡侧)桥塔的温度滞后于向阳侧(大龙侧)的温度,这种情况在 14:00 时表现最明显;夏季桥塔背光侧和向光侧温差最大可达 20 ℃,冬季温差达 10 ℃。该桥塔梁同步施工在 6 月进行,需考虑日照温差的影响。

塔梁同步施工中,主塔两侧由于不平衡荷载使下部已浇筑的桥塔产生相对于理论轴线的偏位,而后续浇筑的桥塔节段按照原设计轴线进行爬模,导致成桥后塔柱的实际线形产生顺桥向偏位,若该偏位超过容许值,会给工程带来一定风险。因此,需探究日照温差对桥塔偏位的影响。设定 5、10、15、20 ℃ 4 个顺桥向温差,提取塔柱顶部附近的单元位移

进行分析,结果见图 6。

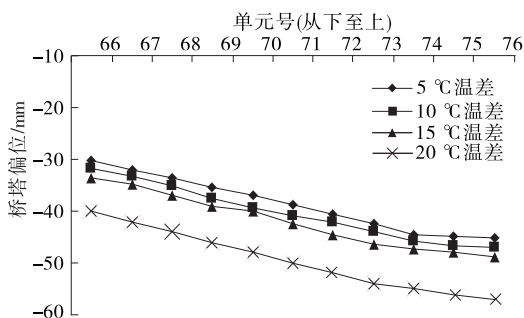


图 6 不同温差下桥塔偏位

由图 6 可知:1) 随着桥塔高度的增大,桥塔偏位增大,增长速率在远离桥塔顶部时较大,在接近桥塔顶部时有所放缓。这是因为斜拉索分布在桥塔顶部靠下的位置,斜拉索的加入影响附近的温度场作用,在索力和温差应力的双重作用下桥塔偏位更明显。2) 温差大小影响主塔偏位。5 ℃温差时,主塔最大偏位为-45.2 mm;10 ℃温差时,主塔最大偏位为 46.9 mm;15 ℃温差时,主塔最大偏位为-48.9 mm;20 ℃温差时,主塔最大偏位达到-57 mm。表明主塔顺桥向温差会影响主塔偏位,20 ℃温差时主塔偏位值接近 6 cm。塔梁同步施工应尽量在每天 12:00 时之前和 18:00 时之后进行,同时密切关注施工过程中主塔偏位情况,发现问题及时调整桥塔线形。

3.2 不平衡荷载对桥塔偏位的影响

塔梁同步施工的关键是保证桥塔两侧荷载对称,以确保主塔的垂直度和线形。桥塔两边不平衡荷载可能导致较大桥塔偏位。在塔梁同步施工中,桥塔两侧斜拉索索力、主梁自重、桥面人员与设备等的差异会产生不平衡荷载。以塔梁同步施工完成时的几个主塔节段为控制截面,设定无不平衡荷载、20 t 不平衡荷载、40 t 不平衡荷载 3 种情况分析不平衡荷载对桥塔偏位的影响,结果见图 7。

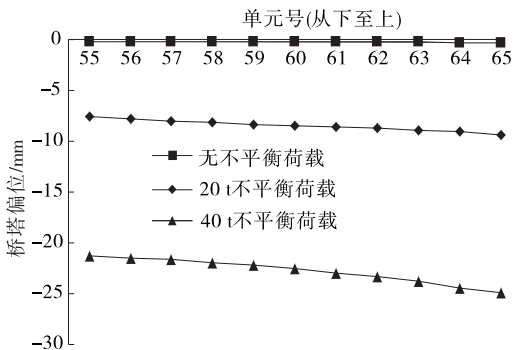


图 7 不平衡荷载作用下桥塔偏位

由图7可知:不平衡荷载对桥塔纵向偏位的影响较大。不平衡荷载达到40 t时,桥塔偏位值为-24.9 mm,远大于无不平衡荷载时的-0.29 mm,说明桥塔偏位对不平衡荷载大小较敏感。在塔梁同步施工中,需注意由桥塔两侧不平衡荷载导致的主塔轴线偏移,尽量避免不平衡荷载情况出现。

4 结论

(1) 塔梁同步施工和先塔后梁施工时成桥索力最大差值为92.31 kN,为原设计成桥索力的1.7%,塔梁同步施工对叠合梁斜拉桥合理成桥状态的影响可忽略。

(2) 塔梁同步施工中,主塔顺桥向温差对主塔偏位有一定影响,温差达到20℃时桥塔顺桥向最大偏位值接近6 cm。塔梁同步施工时应避免出现温差过大的情况。

(3) 塔梁同步施工中,主塔偏位对不平衡荷载大小较敏感,无不平衡荷载作用时主塔偏位值仅为-0.29 mm,而不平衡荷载为40 t时该值为-24.9 mm。塔梁同步施工时应避免荷载堆积在同一侧。

参考文献:

- [1] 曾洋,冯仲仁.混合梁斜拉桥塔梁同步施工中主塔偏位影响因素分析[J].中外公路,2017,37(6):205-209.
- [2] 顾箭锋,曾祥红.混合梁斜拉桥塔梁同步施工可行性分析[J].桥梁建设,2016,46(1):111-116.
- [3] 张淑坤,张向东,陆启珂.大跨度斜拉桥塔梁同步施工控制技术[J].广西大学学报(自然科学版),2012,37(1):88-93.
- [4] 谢官模,刘志.不对称独塔斜拉桥塔梁同步施工的可行性研究[J].公路工程,2014,39(1):169-176.
- [5] 赵晓斌.大跨钢箱斜拉桥塔梁同步施工计算分析[J].北方交通,2013(2):104-106.
- [6] 孙全胜,孙永存.斜拉桥塔梁同步施工与控制技术的研究[J].公路,2007(6):88-91.
- [7] 韩伟.基于无应力状态法的铁路独塔混合梁斜拉桥索力调整研究[J].施工技术,2019,48(23):53-58.
- [8] 许立强.确定斜拉桥合理成桥索力的综合方法与施工控制研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.
- [9] 冯仲仁,苗永慧,王雄江.确定斜拉桥施工索力的影响矩阵[J].武汉理工大学学报,2012,34(2):85-90.
- [10] 张玉平,刘雪松,李传习.基于MOPSO算法的双塔斜拉桥合理状态确定[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2019,16(2):22-27.
- [11] 郑一峰,毛健,尹笑.基于影响矩阵的双塔斜拉桥合理成桥状态研究方法[J].公路,2017(2):82-85.
- [12] 刘来君,刘世臣.大跨径斜拉桥悬拼施工控制中温度影响的研究[J].公路交通科技(应用技术版),2013(4):229-232.
- [13] 刘来君,贺拴海,宋一凡.大跨径桥梁施工控制温度应力分析[J].中国公路学报,2004,17(1):53-56.
- [14] 赵阳,项贻强,汪劲丰,文辉.大桥索塔变形监测[J].施工技术,2004,33(11):61-63.
- [15] 刘来君.大跨径桥梁施工控制温度荷载[J].长安大学学报(自然科学版),2003,23(2):61-63.
- [16] 喻骁.大跨度斜拉桥施工控制与塔梁同步施工方法[D].重庆:重庆交通大学,2009.
- [17] 陈钧.斜拉桥塔梁同步施工技术研究[D].南京:东南大学,2013.
- [18] 王琳,周世军.基于解释结构模型的塔梁同步施工风险因素分析[J].公路交通科技,2015,32(2):100-107.

收稿日期:2020-10-09

(上接第100页)

- 公路,2019,39(6):130-132.
- [4] TIAN Zhong-chu, PENG Wen-ping, ZHANG Jian-ren, et al. Determination of initial cable force of cantilever casting concrete arch bridge using stress balance and influence matrix methods[J]. Journal of Central South University, 2019, 26(11): 3140-3155.
- [5] 訾银辉,田仲初,彭文平.基于ANSYS的斜拉悬臂浇筑拱桥施工中的索力优化[J].公路与汽运,2013(1):171-176.
- [6] 陈磊,郭全魁,吕彬.线性规划问题的统一建模与快速算法[M].北京:北京邮电大学出版社,2012.
- [7] 王祺顺.扣索力与预应力耦合作用对悬浇混凝土拱桥

- 拱圈截面应力调控机理研究[D].长沙:长沙理工大学,2018.
- [8] 胡大琳,陈定市,赵小由,等.大跨径钢筋混凝土拱桥悬臂浇筑施工控制[J].交通运输工程学报,2016,16(1):25-36.
- [9] 何畏,周伟光,陈俊诚.悬臂浇筑拱桥扣索索力优化研究[J].桥梁建设,2015,45(3):32-36.
- [10] 李晓斌,蒲黔辉,杨永清,等.钢筋混凝土拱桥悬臂浇筑施工模型试验设计与索力优化[J].公路,2007(7):7-11.

收稿日期:2021-04-28