

连续组合梁桥桥面板施工顺序影响研究^{*}王红良¹, 钱金巨², 王立超¹, 王栋威³, 何余良³

(1. 华汇工程设计集团股份有限公司, 浙江 绍兴 312000; 2. 绍兴市越城区公路管理所, 浙江 绍兴 312000; 3. 绍兴文理学院 土木工程学院, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 钢—混组合连续梁桥在施工期间的受力会随着桥面板施工顺序不同而变化。为研究桥面板施工顺序对钢—混组合连续梁桥受力的影响, 文中基于三维有限元软件 ABAQUS 对三跨连续的钢—混组合连续梁桥施工阶段进行数值模拟, 分析现浇桥面板在施工过程中因浇筑顺序不同而引起的应力变化差异, 同时对现浇砼容重误差对施工中钢—混组合连续梁桥受力的影响进行数值分析。结果表明, 采用整体浇筑时, 负弯矩区桥面板的应力变化幅度大, 易产生早期裂缝; 采用文中所述两种分段浇筑方法能改善负弯矩区桥面板的受力状况, 且浇筑方法一优于浇筑方法二; 砼容重误差对连续组合梁整体受力的影响较小。

关键词: 桥梁; 连续组合梁桥; 桥面板; 施工顺序; 受力特性

中图分类号: U446.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)01-0121-05

钢—混组合梁桥的现浇桥面板在其浇筑前后受力变化较复杂, 尤其是对于钢—混组合连续梁桥结构, 连续段负弯矩区的砼易出现早期裂缝, 易受浇筑顺序的影响。现行设计规范对于现浇桥面板的施工顺序描述较少, 仅对桥面板浇筑时机进行了简要阐述。为探索钢—混组合连续梁桥浇筑阶段受力变化情况, 该文对某三跨连续的钢—混组合连续梁桥进行试验研究, 利用有限元方法对现浇桥面板施工阶段进行受力分析, 研究砼浇筑完成前后钢—混组合连续梁桥施工阶段受力变化, 为钢—混组合连续梁桥现浇桥面板施工顺序确定提供参考。

1 静载试验

选取某三跨连续的钢—混组合连续梁桥中 3×13 m 跨径进行试验, 桥面宽 11.99 m, 由 6 片间距为 2.15 m、高 0.65 m 的工字型钢主梁及 0.2 m 厚现浇砼板组成, 钢梁翼缘厚和宽分别为 28、320 mm, 腹板厚 16 mm。在主梁间设置工字型钢横梁加强其横向连接性能及整体受力性能, 在支点位置及每跨 $1/4L$ 、 $1/2L$ 处布置横梁结构。横梁结构均采用工字型钢, 板厚均为 16 mm, 其中桥台位置端横梁上下翼缘宽 0.55 m、高 0.4 m, 桥墩位置中横梁上下翼缘宽 0.4 m、高 0.45 m, 桥跨内跨间横梁上下翼缘宽 0.3 m、高 0.3 m。采用 C50 砼、Q345 钢材。钢—混组合连续梁桥横断面见图 1, 材料特性见表 1。

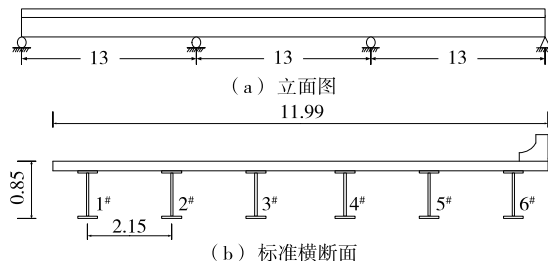


图 1 桥梁立面及标准横断面(单位:m)

表 1 钢—混组合梁桥的材料特性

构件	材料规格	弹性模量/ GPa	泊松比	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
钢材	Q345	206.0	0.3	7 800
砼	C50	34.5	0.2	2 600

静载试验采用 2 辆总载重为 380 kN 的标准车辆进行加载, 挠度测点布置于梁底, 沿行车方向分别布置于 I—I、II—II 及 III—III 测试断面。试验现场车辆及测点布置见图 2, 标准车辆加载位置见图 3。在标准车辆行至指定位置后, 采用千分表测量钢



(a) 实测车辆布置



(b) 主梁跨中挠度测点布置

图 2 试验现场车辆及挠度测点布置

^{*} 基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY18E080017); 2020 年度浙江省建设科研项目(2020K127)

作用下在连续段产生负弯矩,使钢梁上翼缘产生较大拉应力,最大变化为 22.8 MPa。由于负弯矩区的迅速出现,墩顶刚浇筑的砼会产生早期裂缝。

如图 7 所示,钢梁下翼缘纵向正应力变化与上翼缘类似。砼浇筑后,边跨及中跨跨中拉应力及连续段压应力都变化较大,这主要由下部钢结构承受荷载的增加及简支转连续结构后受力的变化所致。

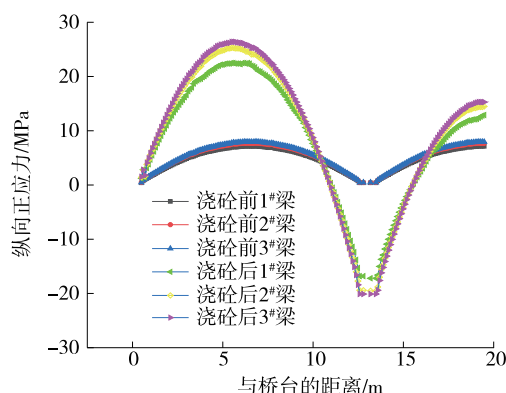


图 7 钢梁下翼缘纵向正应力分布

在材料自重荷载和临时荷载作用下,钢梁腹板的剪应力占比不等(见图 8)。由图 8 可知:与正应力分布相似,3# 梁在自重荷载及临时荷载作用下内力较大,其剪应力对于下部钢结构占比也较大,剪应力为 1.695 MPa,占比约为 17.3%。随着荷载的增加,2#、3# 梁所占比逐渐上升,且在中跨支座附近的占比增加较快。1# 梁所有位置的剪应力占比下降较大,其相应承受的荷载比重减少,而由 2#、3# 梁承担;1# 梁剪应力在中跨支座附近占比最小,仅为 14%,减小约 11.6%。各钢梁受力的不均匀反映了施工阶段结构体系变化中荷载的横向分布情况。

4 桥面板分段浇筑分析

4.1 分段浇筑施工工艺

在钢—混组合连续梁桥施工阶段,砼桥面板浇筑

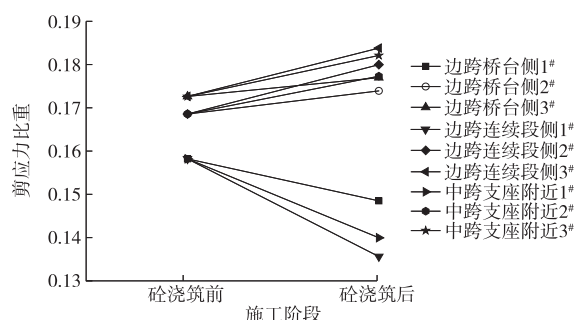


图 8 桥梁截面各梁腹板剪应力比重

前后结构受力变化非常明显。现浇砼桥面板的过程中,由于砼用量大,同时出于负弯矩段板件受力等考虑,常采用间断浇筑法,先浇筑桥梁跨中位置的砼,再浇筑负弯矩区段的砼,以改善负弯矩区段砼板的应力情况。但在实际施工过程中,现浇砼桥面板的间断浇筑顺序有所不同,两种常用砼间断浇筑顺序见图 9。

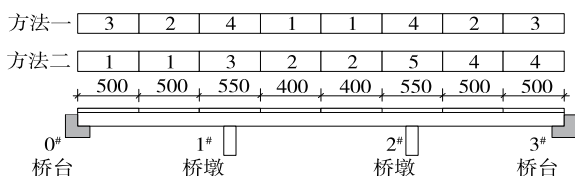


图 9 砼间断浇筑顺序示意图(单位:cm)

4.2 分段浇筑受力分析

以 3# 钢梁为例,两种浇筑顺序下钢梁受力变化见图 10、图 11,其中腹板剪应力取 3# 钢梁边跨桥台附近、边跨连续段侧及中跨支座附近腹板剪应力情况进行分析。

由图 10 可知:1) 按方法一浇筑时,钢梁的应力情况随着浇筑顺序的变化而改变。钢梁边跨跨中及墩顶支座附近,上、下翼缘纵向正应力呈缓慢上升趋势,这主要是由浇筑期间砼桥面板自重不断加大造成的;而钢梁中跨跨中位置的上、下翼缘正应力在浇筑墩顶砼桥面板前一直呈下降趋势,间断浇筑使连

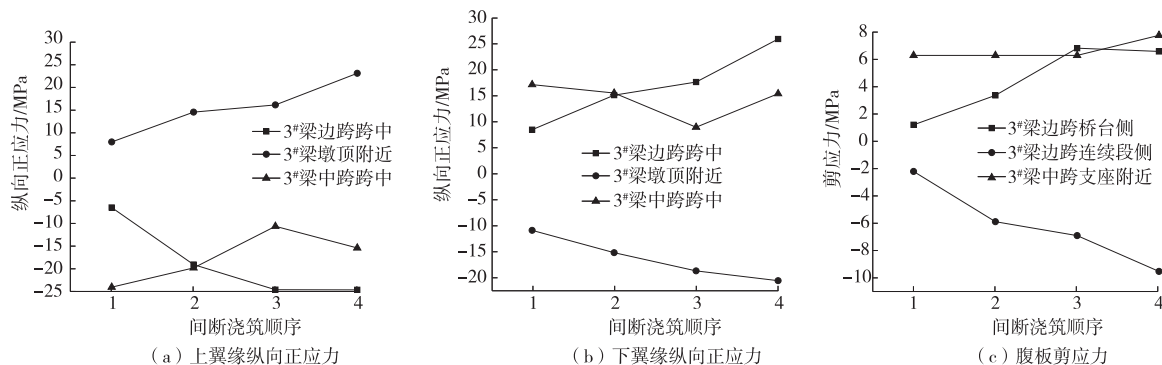


图 10 方法一间断浇筑期间钢梁应力情况

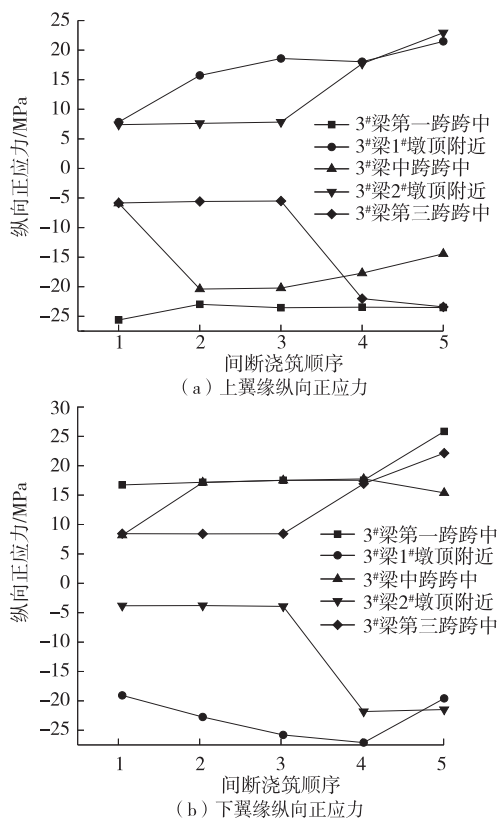


图 11 方法二间断浇筑期间钢梁应力情况

续梁结构的受力发生变化。2) 以方法一间断浇筑施工,负弯矩区段的砼桥面板在浇筑时仅需考虑浇筑墩顶附近砼的重力造成的应力变化,浇筑顺序 4 主梁应力变化量仅占总应力变化量的 29.2%,可有效改善现浇砼桥面板时负弯矩区段砼上部受拉的情况。因此,钢—混组合连续梁桥现浇砼桥面板施工宜采用间断浇筑法。3) 随着砼桥面板逐渐浇筑完

成,桥台支座附近及墩顶支座附近的腹板剪应力都不同程度上升;浇筑边跨砼时,对中跨剪应力的影响不大;浇筑墩顶附近连续段砼时,对边跨桥台侧腹板剪应力的影响较小。

由图 11 可知:按方法二浇筑,浇筑 1# 墩顶附近砼时,浇筑顺序 3 主梁应力变化量仅占当时总应力变化量的 15.3%,与方法一对称浇筑相比,对负弯矩区的影响较小。浇筑顺序 5 中,2# 墩顶附近的主梁应力变化量占当时总应力变化量的 22.7%,比方法一时稍好。但在间断浇筑顺序 5 时,对比有限元分析的现浇砼板应力,在浇筑第 2 个负弯矩区段时,第 1 个负弯矩区的现浇砼将增加 0.02 MPa 纵向拉应力,1# 墩顶附近的砼会进一步产生应力,对于板内钢筋及剪力键连接效果不明显且未达到一定设计强度的砼桥面板极为不利。而实际钢—混组合连续梁桥现浇砼桥面板施工工期较短。因此,宜采用方法一这种对称浇筑的间断浇筑法。对于支架法现浇的连续组合梁桥,由于模板支架架设的限制,在采用方法二间断浇筑时,应充分考虑浇筑顺序 5 对 1# 墩顶负弯矩区砼桥面板的作用。

5 砼容重误差影响分析

桥梁砼浇筑时的容重常不同于设计容重,这对钢—混组合连续梁桥浇筑砼后的受力会产生影响。以砼浇筑后受力较大的 3# 梁为例,采用单因素分析法,将现浇砼的容重进行增加及减少(增加、减少 10%),分析现浇砼桥面板浇筑后砼容重误差对钢—混组合连续梁桥浇筑砼后受力的影响,结果见表 2。

表 2 容重误差影响下 3# 梁的应力值

项目	容重	边跨跨中应力		墩顶附近应力		中跨跨中应力	
		应力值/MPa	变化幅度/%	应力值/MPa	变化幅度/%	应力值/MPa	变化幅度/%
上翼缘应力	设计容重	-23.5	—	23.5	—	-14.4	—
	容重减少 10%	-21.4	8.9	21.1	10.2	-12.8	11.1
	容重增大 10%	-24.2	3.0	25.8	9.8	-14.6	1.4
下翼缘应力	设计容重	25.9	—	-20.5	—	15.4	—
	容重减少 10%	24.5	5.4	-18.4	10.2	14.6	5.2
	容重增大 10%	28.1	8.5	-22.9	11.7	16.1	4.5
项目	容重	桥台支座附近剪应力		边跨支座附近剪应力		中跨支座附近剪应力	
		剪应力值/MPa	变化幅度/%	剪应力值/MPa	变化幅度/%	剪应力值/MPa	变化幅度/%
剪应力	设计容重	6.61	—	-9.53	—	7.79	—
	容重减少 10%	6.20	6.2	-8.90	6.6	7.30	6.3
	容重增大 10%	7.20	8.9	-10.51	10.3	8.55	9.8

砼容重的变化实质上是上部砼重力变化。由表 2

可知:砼浇筑时,10%的砼容重误差对钢—混组合连续

梁桥受力的影响并不大。在砼容重误差影响下,3#梁的上翼缘纵向正应力最大变化幅度约为11.1%;墩顶附近下翼缘纵向正应力变化幅度比其他位置稍大,分别约为10.2%、11.7%;其他位置钢梁上、下翼缘纵向正应力变化幅度都小于10%;腹板剪应力的变化也不大,最大变化幅度约为10.3%。

6 结论

通过某三跨连续的钢-混组合连续梁桥试验和数值模拟,分析砼桥面板浇筑顺序和砼容重误差对桥梁结构受力的影响,得出如下结论:

(1) 采用桥面板整体浇筑时,结构受力迅速从简支转为连续,砼桥面板在浇筑前后负弯矩区的应力变化幅度较大,易产生早期裂缝。

(2) 文中所述两种间断浇筑法都可改善负弯矩区砼桥面板的受力情况,砼桥面板宜采用间断浇筑法施工,且方法一(对称浇筑的间断浇筑法)优于方法二。在采用方法二进行间断浇筑时,应考虑浇筑第2个负弯矩区段对于第1个负弯矩区段的影响。

(3) 现浇砼的容重误差对于施工中的钢-混组合连续梁桥受力影响较小,翼缘应力变化幅度最大约为

11.7%,腹板剪应力变化幅度最大约为10.3%。

参考文献:

- [1] 《中国公路学报》编辑部.中国桥梁工程学术研究综述·2014[J].中国公路学报,2014,27(5):1-96.
- [2] 胡国伟,张宇宁,张俊兵,等.大跨度复杂结构桥梁施工全过程结构空间受力特性研究[J].铁道工程学报,2010,27(3):42-48.
- [3] 中交公路规划设计院有限公司.公路钢混组合桥梁设计与施工规范:JTG/T D64-01-2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [4] 刘佳.大跨度钢-混凝土连续组合梁桥施工过程有限元分析[D].武汉:华中科技大学,2012.
- [5] 郭一枝,贺耀北,焉学永,等.连续钢板组合梁力学性能研究[J].世界桥梁,2019,47(4):58-63.
- [6] 盛可鉴.简支转连续梁桥的几个关键问题研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- [7] 邵长宇.梁式组合结构桥梁[M].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [8] 胡金桂.桥梁上部结构施工[M].成都:西南交通大学出版社,2019.

收稿日期:2020-08-12

(上接第120页)

弱和刚度退化的影响。由于实体单元建模同样考虑了铰缝和主梁刚度的损伤,有限元法竖标值计算结果更接近于修正铰接板法,最大误差不超过1%。修正铰接板法与实体仿真建模结果更接近,其计算精度更高。按照修正后的方法对既有损伤桥梁进行受力计算和承载力评估,可为桥梁工程加固的精确计算提供依据。

4 结论

(1) 考虑铰缝和梁体损伤的修正铰接板法的计算结果与有限元分析结果接近。

(2) 对于铰缝和主梁均发生损伤的在役空心板桥,传统铰接板法精度不足;修正铰接板法综合考虑了铰缝损伤和梁体刚度退化的影响,符合在役桥梁实际受力特点,其计算结果更精确。

参考文献:

- [1] 曾强.预制安装空心板桥的受力形式及加固技术研究[D].大连:大连理工大学,2016.
- [2] 刘国兴.铰缝损伤对于空心板桥横向分布系数的影响

分析[J].公路交通科技(应用技术版),2019(2):215-217.

- [3] American Association of State Highway and Transportation Officials.AASHTO LRFD bridge design specification(4th Edition)[S].American Association of State Highway and Transportation Officials,2007.
- [4] 周颖.装配式预应力混凝土箱梁刚度退化及识别的足尺试验研究[D].西安:长安大学,2017.
- [5] 聂瑞锋,石雪飞,阮欣.在役多车道空心板梁桥弯矩横向分布系数计算方法研究[J].桥梁建设,2014,44(2):56-60.
- [6] BAKHTIARI-NEJAD F,RAHAI A,ESFANDIARI A. A structural damage detection method using staticnoisy data[J].Engineering Structures,2005,27(12):1784-1793.
- [7] 魏保立,邓苗毅.损伤桥梁的荷载横向分布计算方法研究[J].河南理工大学学报(自然科学版),2015,34(1):102-108.
- [8] 李英明.ANSYS梁单元与实体单元分析比较[J].中国科技信息,2015(2):146-147.

收稿日期:2020-03-10