

钢桁梁悬索桥桥面板吊装方案对比分析

余波, 田仲初

(长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 为研究砼桥面板吊装施工对钢桁梁悬索桥受力的影响,以云南省黄登水电站库区石登桥悬索桥为背景,采用 MIDAS/Civil 软件建立三维空间数值模型,对施工阶段 3 种砼桥面板吊装方案的受力进行分析,探讨合理的吊装方案。结果表明,采用吊装方案 3 即分次由边跨和中跨分别对称施工时加劲梁应力控制效果最好。

关键词: 桥梁;钢桁梁悬索桥;桥面板;吊装方案

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)06-0102-04

对于砼桥面系钢桁式加劲梁悬索桥,桥面系不同吊装方案会对加劲梁位移与应力、索塔偏位产生较大影响。且由于钢材和砼两种材料本身的特性原因,往往砼桥面板在全桥恒载中所占比例较大,合理的桥面板吊装顺序对施工中结构安全有深远影响。该文通过有限元软件 MIDAS/Civil 拟定不同桥面板吊装方案,分析其对于结构的作用,以指导山区钢桁架悬索桥桥面吊装施工。

1 工程概况

云南省黄登水电站库区石登桥为主跨 280 m 简支钢管加劲桁梁悬索桥,钢管桁架加劲梁高 2.8 m、宽 7.2 m,节段长 5.6 m,主梁纵向沿跨中设双向 0.5%纵坡。桥面布置为净 6.0 m+2×0.35 m(栏杆)。行车道板为矩形实心砼桥面板,每块板长 5.59 m、厚 260 mm,共由 4 块桥面板组成。其立面布置见图 1。

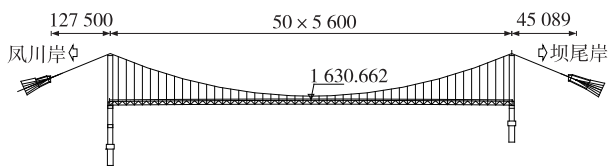


图 1 石登桥立面布置(单位:cm)

2 有限元模型及加载方式

2.1 材料与恒载

该桥各构件所用材料及其参数见表 1。

主要结构恒载如下:一期恒载为 16.418 kN/m;二期恒载为 73.525 kN/m。二期恒载在全桥中所占比例高达 82%,合理的桥面板吊装方案尤为重要。

表 1 石登桥各构件的主要材料及其参数

构件名称	材料	弹性模量/MPa	线膨胀系数	泊松比
主塔	C50 砼	35 000	1.0×10^{-5}	0.2
加劲梁	Q345 结构钢	206 000	1.2×10^{-5}	0.3
主缆	高强钢丝	205 000	1.2×10^{-5}	0.3
吊杆	高强钢丝	205 000	1.2×10^{-5}	0.3
桥面板	C40 砼	32 500	1.0×10^{-5}	0.2

2.2 单元离散

采用 MIDAS/Civil 建立全桥空间有限元模型(见图 2)。以成桥状态为初始状态,采用倒拆的方法对各吊装阶段进行分析计算。模型中,主缆采用索单元模拟,吊杆采用只受拉的桁架单元模拟,桥面板采用板单元模拟,主塔与加劲梁采用梁单元模拟。全桥采用 218 个只受拉单元、1 369 个梁单元、200 个板单元,共 893 个节点。

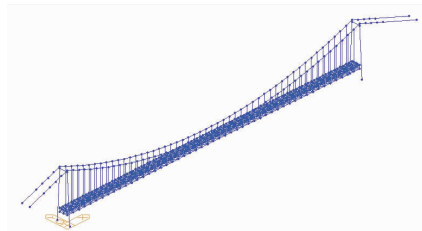


图 2 石登桥有限元模型

2.3 边界条件

塔柱底部按固接模拟,即约束节点的 DX 、 DY 、 DZ 、 RX 、 RY 、 RZ ;桥面板和加劲梁之间竖向按只受压弹性连接模拟,其余方向保持结构静定;塔柱与主缆之间采用刚性连接的主从约束,以塔柱顶节点为主节点、主缆对应节点为从节点,并释放顺桥向(X

向)位移,内部构件之间的连接采用共节点模拟。

3 钢桁梁悬索桥桥面板吊装方案分析

3.1 吊装方案

悬索桥桥面板吊装工艺一般分为全连接、全铺板和边连接、边铺板两种。全连接、全铺板是指在桁架梁悬索桥全部吊装完成并对全部节段进行刚接和线形调控后再进行桥面板吊装;边连接、边吊装是指节段间先进行临时连接,再进行吊装,吊装完成的同时完成刚接。该桥采用全连接、全吊装工艺,桥面板吊装方案有3种。

吊装方案1:边跨和中跨分别对称施工,即同时在跨中和中跨进行桥面板吊装,每一阶段依次完成边跨和跨中的中板和边板桥面板吊装,最终在桥两端靠近1/4L跨完成吊装。

吊装方案2:分次由边跨单向施工,即将横桥向桥面分成两个阶段施工,第一阶段单向吊装中板形成通道,第二阶段吊装两块边板。

吊装方案3:分次由边跨和中跨分别对称施工,吊装顺序同吊装方案1,但先只完成中间两块板的吊装形成通道,再完成两块边板的吊装。

相邻桥面板之间钢筋焊接、预埋件安装及湿接缝浇筑均在吊装完成后进行。

3.2 边跨和中跨分别对称施工

吊装方案1下对称半跨8分点的加劲梁上下弦杆同一位置应力(以拉应力为正、压应力为负)见图3、图4,钢桁架位移及吊杆应力以悬索桥成桥状态为平衡状态(见图5、图6)。

由图3~6可知:采用方案1即边跨和中跨对称施工时,4/8L跨上弦杆的正应力变化最大,最大拉应力为133.30 MPa,最小拉应力为10.57 MPa,无压应力出现;下弦杆的最大正应力变化同样出现在4/8L跨,最大压应力为140.92 MPa,最大拉应力为

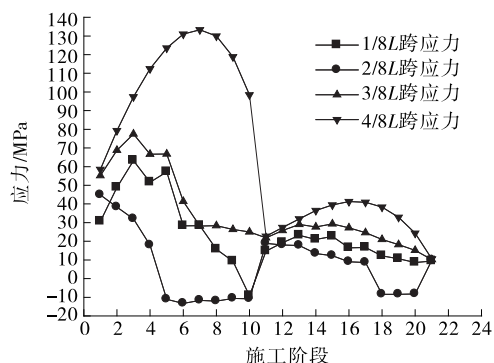


图3 吊装方案1下上弦杆应力

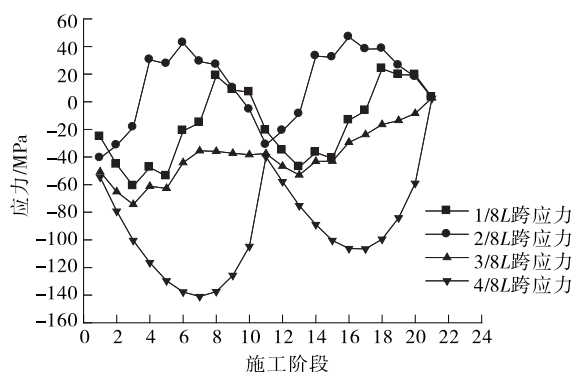


图4 吊装方案1下下弦杆应力

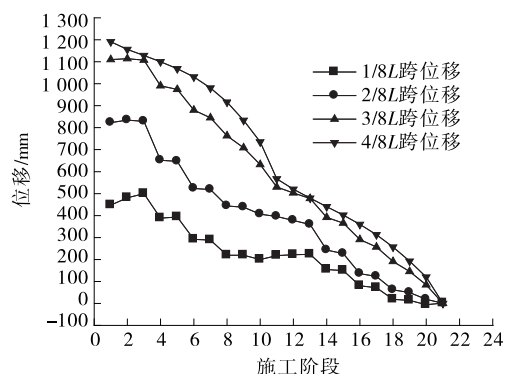


图5 吊装方案1下截面位移

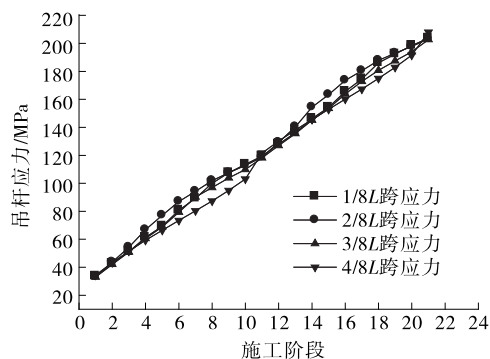


图6 吊装方案1下吊杆应力

2.52 MPa;1/8L和2/8L截面位置的位移变化呈现较明显的折线;吊杆应力增加较均匀,且数值接近,2/8L跨应力增幅较大。

3.3 桥面吊装分次由边跨单向施工

吊装方案2下对称半跨8分点的加劲梁上下弦杆同一位置应力见图7、图8,钢桁架位移及吊杆应力以悬索桥成桥状态为平衡状态(见图9、图10)。

由图7~10可以看出:采用吊装方案2即分次由边跨单向施工时,各截面上下弦杆应力变化均较大,3/8L跨上弦杆正应力变化最大,最大压应力为200.49 MPa,最大拉应力为55.21 MPa;4/8L跨下

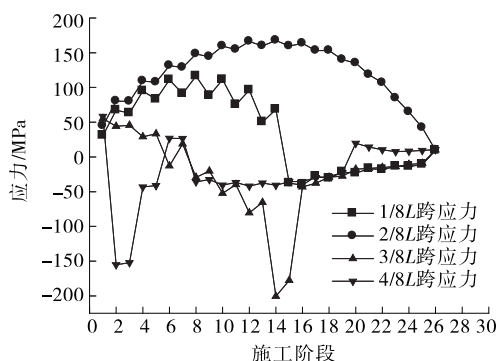


图7 吊装方案2下上弦杆应力

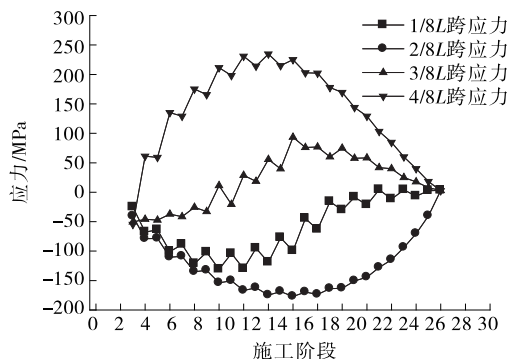


图8 吊装方案2下下弦杆应力

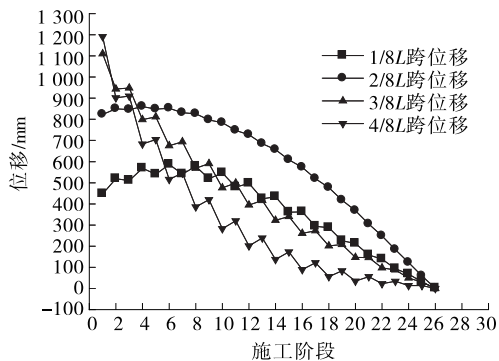


图9 吊装方案2下截面位移

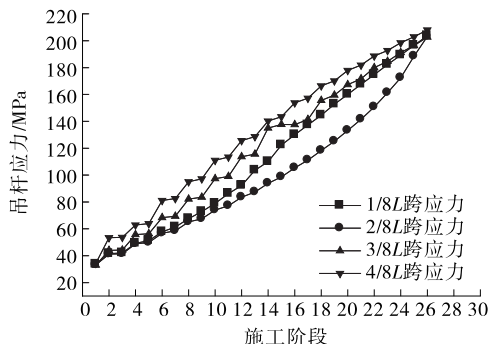


图10 吊装方案2下吊杆应力

弦杆正应力变化最大,最大拉应力为 234.82 MPa,最大压应力为 54.50 MPa;1/8L、3/8L、4/8L 跨位

移变化呈明显的折线;吊杆应力变化不统一,2/8L 跨吊杆应力前期变化较缓,后期变化剧烈。

3.4 桥面吊装分次由边跨和中跨对称施工

吊装方案3下对称半跨8分点的加劲梁上下弦杆同一位置应力见图11和图12,钢桁架位移及吊杆应力以悬索桥成桥状态为平衡状态(见图13和图14)。

由图11~14可以看出:采用吊装方案3即分次由边跨和中跨分别对称施工时,各截面上下弦杆应力变化均较小,上弦杆最大拉应力出现在2/8L跨,为112.69 MPa;上弦杆最大压应力出现在3/8L跨,为58.25 MPa;下弦杆最大拉应力出现在4/8L跨,为90.27 MPa;下弦杆最大压应力出现在2/8L跨,

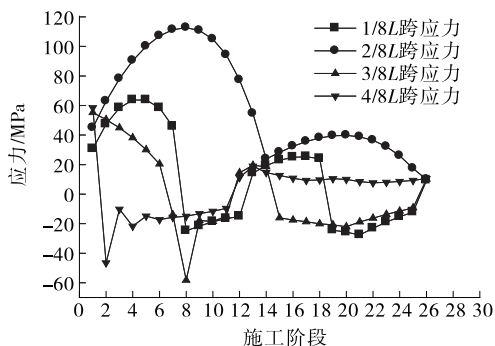


图11 吊装方案3下上弦杆应力

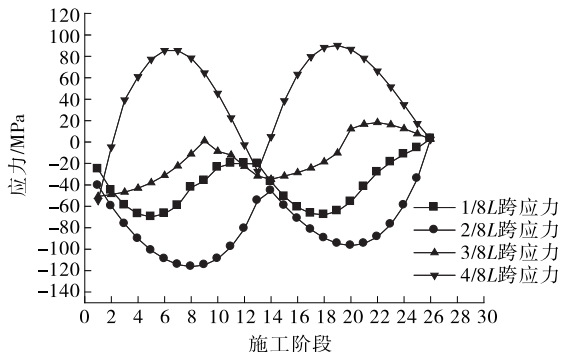


图12 吊装方案3下下弦杆应力

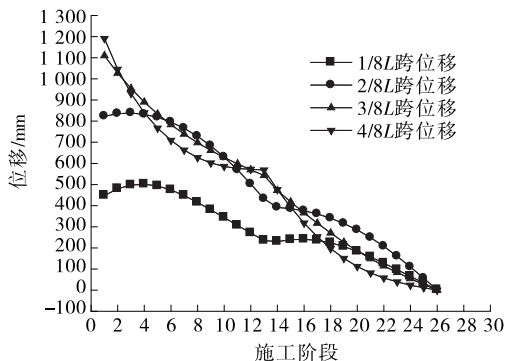


图13 吊装方案3下截面位移

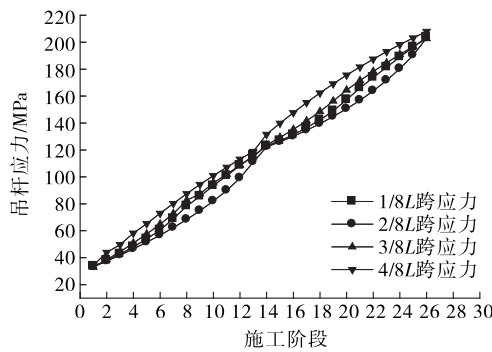


图 14 吊装方案 3 下吊杆应力

为 116.33 MPa;各截面位置位移变化较平缓,无明显折线;吊杆应力增加较均匀,且数值接近。

3.5 应力结果对比分析

3 种桥面板吊装方案下弦杆应力见表 2。

表 2 3 种桥面板吊装方案下弦杆应力极值 MPa

吊装方案	位置	各截面应力			
		1/8L 截面	2/8L 截面	3/8L 截面	4/8L 截面
吊装方案 1	上弦杆	63.24	44.87	77.46	133.30
	下弦杆	-61.04	-40.68	-74.31	-140.92
吊装方案 2	上弦杆	116.26	167.61	55.21	58.50
	下弦杆	-130.94	-177.10	-50.69	-54.50
吊装方案 3	上弦杆	63.77	112.69	55.21	58.50
	下弦杆	-69.84	-116.33	-50.69	-54.50

由表 2 可知:1/8L 截面最大拉压应力出现在吊装方案 2,上弦杆 116.26 MPa,下弦杆为 130.94 MPa;2/8L 截面最大拉压应力出现在吊装方案 2,上弦杆 167.61 MPa,下弦杆为 177.10 MPa;3/8L 截面最大拉压应力出现在吊装方案 1,上弦杆 77.46 MPa,下弦杆为 74.31 MPa;4/8L 截面最大拉压应力出现在吊装方案 1,上弦杆 133.30 MPa,下弦杆

为 140.92 MPa。综合分析,吊装方案 3 下加劲梁应力控制效果最好。

4 结论

采用全连接、全吊装桥面板施工方案时,加劲梁节段之间已刚接,控制加劲梁上下弦杆的应力尤为重要。且石登桥二期荷载占全桥的 82%,更需确定合理的吊装方式,保证施工中结构的安全。3 种桥面板吊装方案中,在施工条件允许的条件下,方案 3 可同时展开 4 个工作面,有利于加快施工进度,但会增大施工投入;在结构应力控制上,方案 3 最优,方案 1 次之,方案 2 最差,在确定吊装方案后,施工中应注意实时监控重点截面,防止最不利截面发生破坏;在加劲梁线形控制上,方案 3 的整体线形较平缓,无明显折线出现,而方案 1、方案 2 下,分别有 2、3 个截面出现明显折线,说明部分截面容易发生应力集中现象。

参考文献:

[1] 藤小竹.大跨度钢桁梁悬索桥关键问题研究[D].上海:同济大学,2008.
[2] 蒋望.钢桁加劲梁悬索桥施工与成桥阶段仿真计算分析[D].长沙:长沙理工大学,2008.
[3] 赵伟,胡兆同,吴文娟.钢桁梁悬索桥混凝土桥面板架设方案研究[J].中外公路,2011,31(6).
[4] 李林.大跨度钢桁梁悬索桥施工控制关键技术研究[D].南京:东南大学,2017.
[5] 王忠彬,沈锐利,唐茂林.悬索桥钢桁架加劲梁施工方法分析[J].石家庄铁道学院学报,2006,10(1).
[6] 李毓龙.云南金东大桥悬索桥施工控制技术研究[D].南京:东南大学,2015.
[7] Saafan S A.Theoretical analysis of suspension bridge [J].Journal of Engineering Mechanics,1966,94(4).

收稿日期:2018-03-19

(上接第 101 页)

龙方法与工作程序对同类型桥梁具有借鉴意义。

参考文献:

[1] JTG/T D65-01-2007,公路斜拉桥设计细则[S].
[2] 高涛.独塔混合梁斜拉桥施工控制技术研究[D].长沙:长沙理工大学,2008.
[3] 周绿野.独塔混合梁斜拉桥静力性能及参数敏感性分

析[D].长沙:长沙理工大学,2016.
[4] 涂光亚,颜东煌,陈常松,等.荆岳长江公路大桥中跨合龙施工技术[J].桥梁建设,2013(4).
[5] 周晟.大跨径混合梁斜拉桥中跨合龙施工控制研究[D].长沙:长沙理工大学,2011.
[6] 朱伟华.大跨径钢桁梁斜拉桥中跨合龙关键技术研究[D].长沙:长沙理工大学,2016.

收稿日期:2018-07-09