

# 钢箱梁斜拉桥悬臂拼装流程优化分析

李亚陵<sup>1</sup>, 刘灿<sup>2</sup>, 李瑞祥<sup>1</sup>

(1.长沙理工大学, 湖南 长沙 410004; 2.湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410008)

**摘要:** 根据大跨度钢箱梁斜拉桥的施工特点, 针对传统的斜拉索张拉及钢箱梁 U 肋环缝焊检实施流程提出优化方案, 采用整体几何非线性有限元软件选择关键施工阶段对优化前后流程进行对比分析, 论证斜拉索张拉优化流程对结构整体响应的影响; 采用通用有限元软件选择标准截面进行细部分析, 论证环缝焊检优化流程对局部应力的影响。结果表明, 对于大跨度钢箱梁斜拉桥, 在精细论证的基础上可采用适当的优化施工方案, 提高整体建设效益。

**关键词:** 桥梁; 钢箱梁斜拉桥; 悬臂拼装施工; 流程优化

中图分类号: U445.466

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)01-0120-03

现代大跨度斜拉桥多采用密索体系结构, 一般应用桥面吊机(挂篮)逐节段拼装、焊接(浇筑)并完成斜拉索张拉。施工机具的完善促进了施工质量的大幅提高, 也使建设单位可对传统作业流程进行优化, 提高工程建设效益。

大跨度斜拉桥悬臂施工中, 为保证结构受力安全, 一般采取控制结构上下缘的应力水平手段, 将当前梁段的浇筑及斜拉索张拉分多次实施。大跨度钢斜拉桥悬臂施工亦沿用该流程。但由于钢结构与(预应力)砼结构材料性质上的差别, 有必要针对大跨度钢斜拉桥悬臂施工提出优化流程。该文在分析一般悬臂拼装作业流程的基础上提出优化方案, 并采用有限元软件建立整体非线性及局部模型对优化流程进行分析比较, 从静力学方面为该流程的实施提供可靠依据。

## 1 大跨度钢斜拉桥悬臂施工流程优化

钢箱梁斜拉桥标准梁段一般悬臂拼装施工流程(对各梁段循环)为梁段吊装及定位、打码→环缝(含嵌补段)焊检→斜拉索初次张拉→桥面吊机前移→斜拉索再次张拉, 其中步骤二要求将当前梁段的环缝(含 U 肋嵌补段)全部焊接完成且符合规范要求后方能进行后续斜拉索张拉(含准备期), 且将具体的斜拉索张拉分成多次实施会增加大量额外耗费。

拟优化钢箱梁悬臂拼装施工流程为梁段吊装及定位、打码→环缝焊检→斜拉索张拉到位→桥面吊机前移→斜拉索再次张拉。优化后的悬臂拼装过程主要体现在两方面: 1) 斜拉索采用一次张拉(初次张拉)到位并锚固, 后期如无特殊需要将不再对该斜

拉索进行调整; 2) 环缝的主结构焊检完成后即进行斜拉索张拉(含准备期), 环缝的 U 肋嵌补段焊检于梁段施工的间歇期进行。相比一般流程, 优化后流程在整个梁段悬拼期间减少了斜拉索张拉、调整作业的频率及完成环缝焊检的时间, 在保障施工质量的基础上具有提高工程建设经济效益的潜力。

## 2 算例分析

### 2.1 工程概况与建模

某长江公路大桥为主跨 800 m 钢箱梁斜拉桥, 桥型布置见图 1, 钢箱梁标准截面见图 2。

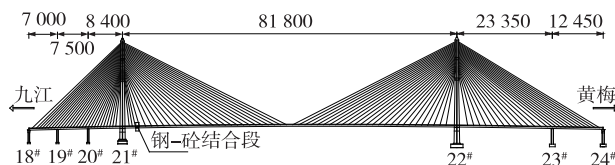


图 1 某钢箱梁斜拉桥桥型布置(单位: cm)

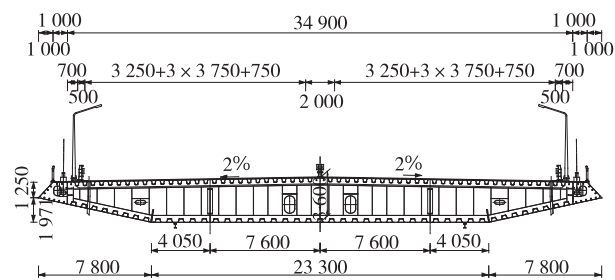


图 2 钢箱梁标准截面(单位: mm)

采用 ANSYS 软件建立该桥梁段局部模型(见图 3), 其中面板主材和 U 肋采用四边形 Shell63 单元模拟, 重点关注的焊缝连接位置采用单元加密划

分。利用该模型分析上述优化施工流程对结构变形和内力的影响。

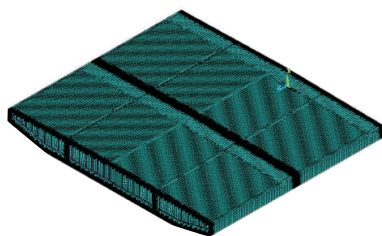


图 3 梁段局部应力计算有限元模型

2.2 斜拉索一次张拉到位对结构整体变形及内应力的影响

选取 8<sup>#</sup>、26<sup>#</sup> 梁段,对比优化前后施工流程对结构变形及内应力的影响。

2.2.1 对结构变形的影响

表 1 和表 2 分别为 8<sup>#</sup>、26<sup>#</sup> 梁段按两种流程施工当前梁段时,不同工况下结构有限元模型节点累计位移。分 2 种工况:工况 1 为按一般流程确认的初次张拉及按优化流程确认的初次张拉(一次到位);工况 2 为当前梁段施工作业完成。

表 1 8<sup>#</sup> 梁段按不同流程施工时各节点的累计位移

工况	施工流程	各节点的累计位移/mm				
		4	5	6	7	8
工况 1	一般流程	-4.5	-3.6	-5.2	-9.6	-14.4
	优化流程	14.8	33.7	57.7	85.3	115.6
工况 2	一般流程	16.9	34.2	52.7	68.8	82.6
	优化流程	16.9	34.2	52.7	68.8	82.6

表 2 26<sup>#</sup> 梁段按不同流程施工时各节点的累计位移

工况	流程	各节点的累计位移/mm				
		22	23	24	25	26
工况 1	一般流程	932.7	920.7	898.1	870.2	842.3
	优化流程	996.9	1 013.3	1 023.9	1 032.8	1 043.5
工况 2	一般流程	1 038.6	1 043.1	1 035.4	1 018.0	995.8
	优化流程	1 038.6	1 043.1	1 035.4	1 018.0	995.8

由表 1、表 2 可知:梁段施工过程中(如斜拉索初次张拉后),两种施工流程下结构的累计位移存在一定差别,但当前梁段施工完成后结构的累计位移完全一致。说明改变施工流程会对阶段位移增量产

生较大影响,但梁段施工完成后这种差别将不存在。

2.2.2 对结构内应力的影响

图 4 和图 5 分别为 8<sup>#</sup>、26<sup>#</sup> 梁段按两种流程施工当前梁段时,不同工况下(工况 1 为初次张拉;工况 2 为当前梁段施工作业完成)结构有限元模型单元下缘应力。

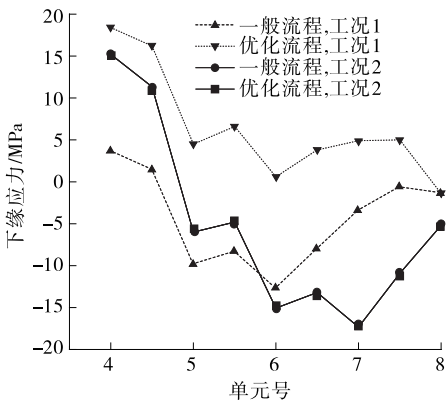


图 4 8<sup>#</sup> 梁段按不同流程施工时主梁下缘应力

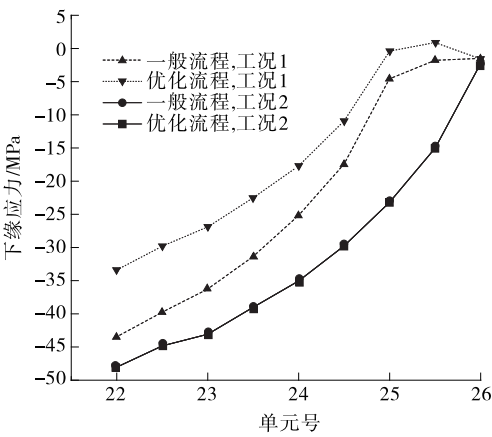


图 5 26<sup>#</sup> 梁段按不同流程施工时主梁下缘应力

由图 4、图 5 可知:梁段施工过程中(如斜拉索初次张拉后),两种施工流程下结构的应力水平存在一定差别,但其绝对值均较小,且当前梁段施工完成后结构的应力水平完全一致。说明改变施工流程仅会对阶段应力增量产生一定影响,但梁段施工完成后这种差别将不存在。

2.3 U 肋嵌补段焊接顺序对应力的影响

钢箱梁梁段之间除顶板、底板、内腹板 and 外腹板连接外,在顶板下缘有 U 肋螺栓连接件,在底板上缘有 U 肋嵌补段。上下缘的 U 肋能改善钢箱梁面板的局部受力,对结构有利。

选择 8<sup>#</sup> 梁段作为研究对象,分析下缘 U 肋螺栓连接件和上缘 U 肋嵌补段对面板轴向应力的影

响,对比其在典型工况(8<sup>#</sup>索张拉)下的应力大小及分布规律。图6为钢箱梁顶板焊缝横向应力分布,图7为钢箱梁底板焊缝横向应力分布,图8为钢箱梁内腹板焊缝纵向应力分布,图9为钢箱梁外腹板焊缝纵向应力分布。

由图6可知:顶板横向应力在考虑U肋嵌补段

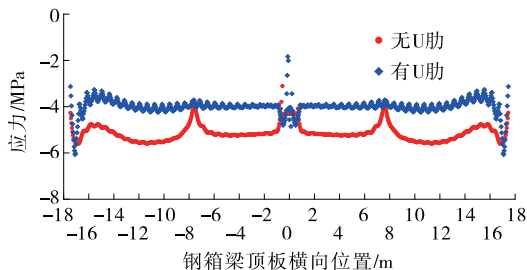


图6 钢箱梁顶板焊缝横向应力分布

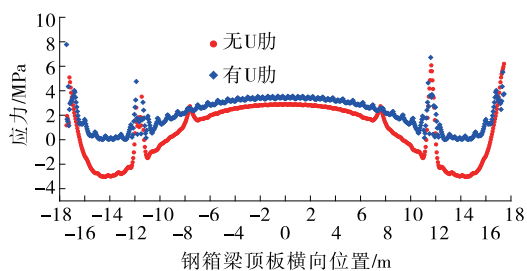


图7 钢箱梁底板焊缝横向应力分布

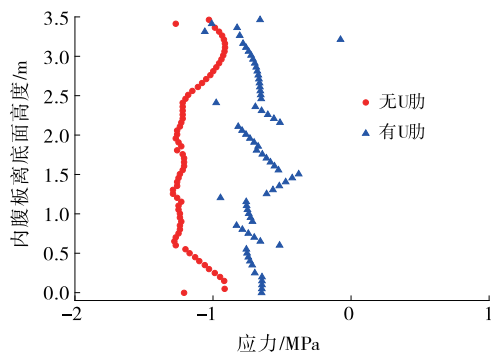


图8 钢箱梁内腹板焊缝纵向应力分布

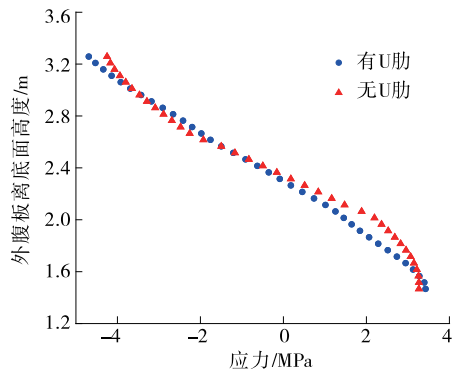


图9 钢箱梁外腹板焊缝纵向应力分布

时最大值为 4.28 MPa,不考虑 U 肋嵌补段时为 6.42 MPa,相差 2.14 MPa。

由图7可知:底板横向应力在考虑 U 肋嵌补段时最大值为 3.56 MPa,不考虑 U 肋嵌补段时为 5.80 MPa,相差 2.24 MPa。

由图8可知:钢箱梁内腹板纵向应力在考虑 U 肋嵌补段时最大值为 0.9 MPa,不考虑 U 肋嵌补段时为 1.2 MPa,相差 0.3 MPa。

由图9可知:钢箱梁外腹板纵向应力在考虑 U 肋嵌补段时最大值为 6.04 MPa,不考虑 U 肋嵌补段时为 5.80 MPa,相差 0.24 MPa。

上述计算结果显示,考虑 U 肋嵌补段和不考虑 U 肋嵌补段两种情况下焊缝及附近的应力值总体差异较小,且其绝对值较小,说明采用优化流程施工对结构局部应力造成的影响较小。

### 3 结论

(1) 对钢箱梁斜拉桥斜拉索的张拉工况进行优化(一次到位张拉)后,与一般施工流程相比,主梁梁段施工过程中的应力仅在当前梁段施工过程中存在差别,但其绝对值较小,且在当前梁段施工完成后与原流程完全一致。

(2) 对钢箱梁环缝 U 肋嵌补段焊检顺序进行优化造成的应力差别较小,其整体应力水平较低。

(3) 在保证结构施工质量的基础上,针对现有大跨度钢箱梁斜拉桥可对其一般传统施工流程进行优化,提高建设效益。

### 参考文献:

- [1] 尼尔斯 J 吉姆辛,金增洪,戴竞.缆索支承桥梁:概念与设计[M].第二版.北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 葛耀君.分段施工桥梁分析与控制[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [3] JTG/T F50—2011,公路桥涵施工技术规范[S].
- [4] 陈常松.超大跨度斜拉桥施工全过程几何非线性精细分析理论及应用研究[D].长沙:中南大学,2007.
- [5] 梁鹏.超大跨度斜拉桥几何非线性及随机模拟分析[D].上海:同济大学,2004.
- [6] 秦顺全.桥梁施工控制:无应力状态法理论与实践[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [7] 陈常松,颜东煌,陈政清.超大跨度斜拉桥的自适应无应力构型控制法[J].中外公路,2008,28(1).

收稿日期:2017-10-10