

斜拉桥主塔竖转结构受力特征分析

谢曙辉

(华设检测科技有限公司, 江苏 南京 210014)

摘要:为研究斜拉桥主塔“卧拼竖转”工艺对结构受力的影响,通过有限元全过程仿真分析,对竖转结构的应力、索力、变形及稳定性进行计算。结果表明,竖转过程中,结构最不利受力状态为主塔刚脱离胎架阶段,此状态下结构应力、索力及变形较大,结构稳定安全系数较小,施工过程中应加强对此阶段的结构监控。

关键词:斜拉桥;主塔;卧拼竖转;有限元分析

中图分类号: U448.27

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)02-0056-03

0 引言

近海环境下大尺度斜拉桥钢主塔的施工,通常受海洋性季风气候的影响,常规的吊装工艺存在施工风险高、拼接精度低、进度影响大等弊端,而主塔“卧拼竖转”工艺则能较好地规避这些问题,近年来逐渐成为此类斜拉桥主塔施工的新兴工艺。

目前已有多位学者对斜拉桥主塔竖转技术进行研究总结,张伟等^[1]阐述了斜拉桥主塔竖转的施工技术;司永明等^[2]研究了组合结构主塔在竖转过程中的受力特征;徐琛^[3]分析了竖转过程中临时拉索的索力变化;康俊涛等^[4]对钢主塔竖转监测技术进行了研究。

本文以青岛市某斜拉桥钢主塔竖转为工程背景,对竖转结构体系进行全过程受力特征分析。该桥跨径布置为(41+165+85)m,为独塔斜拉-连续梁协作体系,主跨侧斜拉索采用扇形式布置,边跨采用网状式斜拉索,主跨主梁为钢箱梁,边跨主梁为预应力混凝土箱梁,桥塔采用双柱斜钢塔。桥面上塔高78.6 m,待转主塔总重约1 734.9 t,体量居国内A型钢主塔竖转之最(见图1)。

1 竖转方法

1.1 竖转结构

竖转结构体系由钢主塔、拉索、压杆格构、牵引索、牵引力控制系统等组成,结构总体布置见图2。钢主塔为箱型断面的人字型塔,共分11个节段,T0



图1 桥梁效果图

为钢混结合段,T1—T10为竖转节段。牵引索、拉索均采用直径 $\phi 17.8$ mm钢绞线,单束37根,4束一组,全桥共计2组钢绞线,钢绞线设计抗拉强度1 860 MPa。压杆格构柱采用 $\phi 800 \times 14$ mm钢管。牵引力控制系统由穿心式千斤顶与液压控制装置组成。

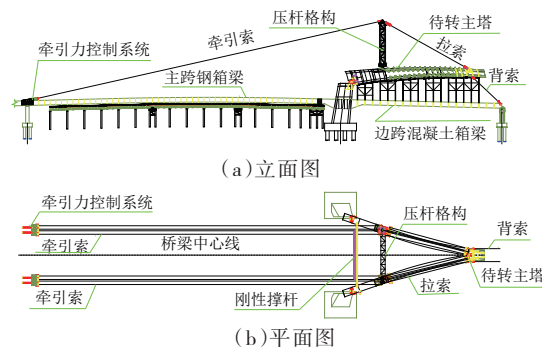


图2 竖转结构体系总体布置图

1.2 竖转流程

利用吊机在胎架上卧拼钢主塔,安装压杆格构及牵引索、拉索等临时结构。待竖转结构体系拼装完成后,进行整体试转。利用8台500 t穿心式连续千斤顶逐级加载,各台千斤顶之间预拉力差值不超过10 t。逐步张拉牵引索,使主塔脱离拼装胎架约200 mm,静

收稿日期: 2022-09-16

作者简介: 谢曙辉(1991—),男,工学硕士,工程师,从事桥梁试验检测工作。

置监测 24 h,待相关监测指标满足要求后,开始正式竖转。

钢主塔共计竖转 75°,正式竖转通过 5 个等角度提升行程完成。竖转主要特征工况为 0°,主塔卧拼状态;15°、30°、45°、60°,分级提升至指定角度;75°,主塔竖转到位,安装斜拉索,拆除临时结构。

牵引索、拉索作为提升主动力,直接关系转体角度、速度及行程,其力值大小必须控制在合理范围之内。竖转过程中,结构空间姿态动态变化,钢主塔及压杆格构受力状态不断改变,因此对竖转结构体系进行受力特征分析,有助于施工过程控制。

2 受力特征分析

利用 Midas Civil 桥梁结构分析软件对竖转结构体系进行全过程仿真,除索结构用桁架单元模拟外,其余结构用梁单元模拟,各竖转工况见图 3。计算分析考虑结构重要性系数 1.1 及动力系数 1.2。通过对结构主要受力构件的应力、索力、变形及整体稳定性进行计算,分析竖转过程受力特征。

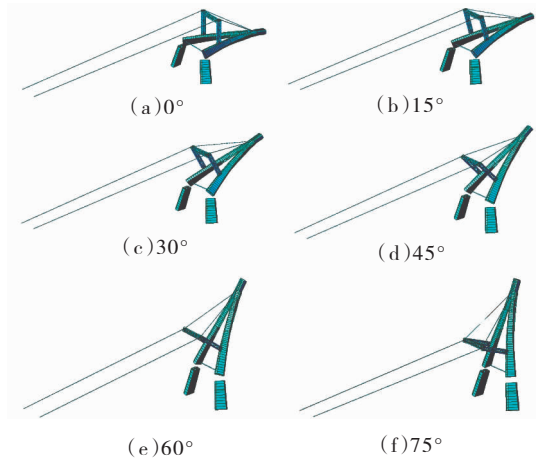


图 3 有限元模型

2.1 应力分析

分析各工况计算结果可知,主塔最大应力部位均出现在 T7 节段(压杆格构底部至主塔锚点距离的 1/3 位置附近),最大应力为 223.7 MPa。竖转过程中,主塔底部应力由 77.6 MPa 减小至 34.7 MPa,变化幅度较小;压杆格构最大应力部位均出现在压杆柱底部,最大应力为 232.8 MPa,结构典型受力状态见图 4。结构最不利状态为 0°工况(主塔刚脱离胎架),随着竖转角度的增大,主塔应力与压杆格构应力均呈逐步减小的趋势,见图 5。

2.2 索力分析

分析各工况计算结果可知,竖转过程中,牵引索、

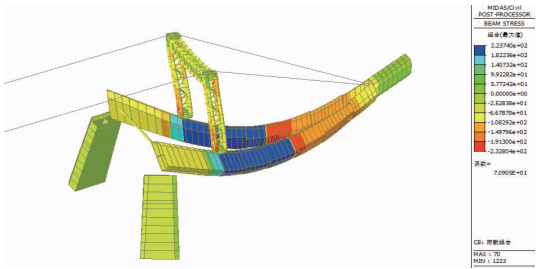


图 4 竖转过程结构应力典型结果

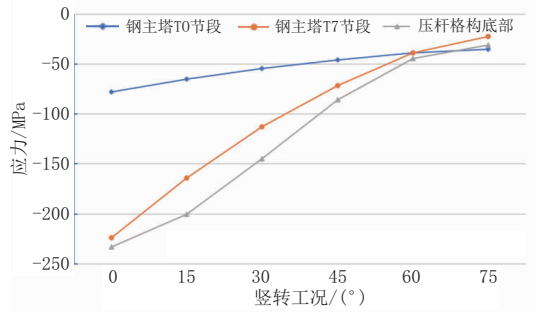


图 5 结构应力变化趋势图

拉索最大索力状态均出现在 0°工况(主塔刚脱离胎架),随竖转角度的增大,索力大小由初始的 1 600 kN 力值水平缩减至最终的 160 kN 力值水平,总体呈线性减小趋势,见图 6。

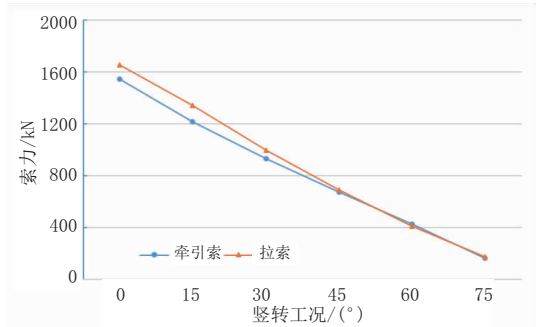


图 6 提升系统索力变化趋势图

2.3 变形分析

对竖转过程中主塔应力水平较大部位(T7 节段)的竖向(Z 方向)变形及顺桥向(X 方向)变形进行分析,结构典型变形特征见图 7。结果表明,随着竖转角度的增大,特征断面的竖向变形逐渐减小,而顺桥向变形呈先增大后减小的趋势,见图 8。

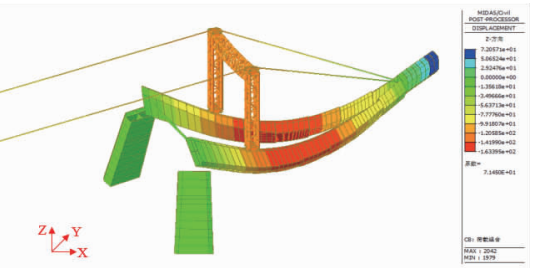


图 7 竖转过程结构变形典型结果

2.4 稳定性分析

对竖转过程进行结构屈曲特征分析,见图 9,计

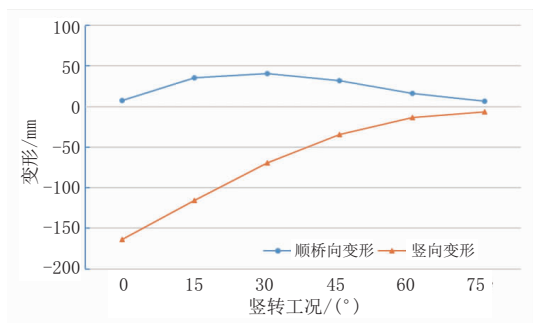


图8 结构特征断面变形趋势图

算得到的稳定安全系数结果表明,0°工况稳定安全系数最小,为4.10,但大于安全系数4.0^[5],随竖转角度的增大,结构稳定安全系数急剧增大,整体稳定性增强,见图10。

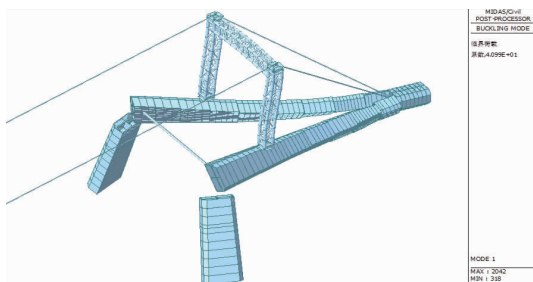


图9 竖转过程结构屈曲分析典型结果

3 结 语

(1)“卧拼竖转”工艺能克服传统吊装工艺施工中风险高、拼接精度低、环境影响大等弊端,能够有效保证工程质量及进度。

(2)有限元分析结果表明,对于竖转成塔工艺,

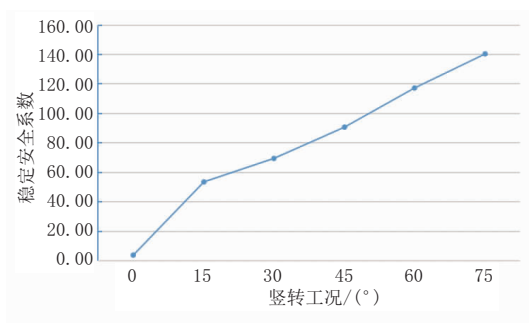


图10 结构稳定安全系数趋势图

结构体系最不利受力状态为主塔刚脱离胎架阶段,此状态下结构应力、索力及变形均较大,结构稳定安全系数较小,应重视对此阶段的结构监测控制。

(3)对于主要受力构件的主塔转铰,受制于竖转过程中主塔角度及轴向力的不断变化以及销孔附近的应力集中现象,此处的应力分布及预警机制还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 张伟,卢龙.倾斜独塔斜拉桥钢塔竖转施工技术[J].山西建筑,2020,46(12):143-144.
- [2] 司永明,姬子田,胡敏,等.钢箱混凝土索塔竖转过程的受力分析[J].公路,2022,67(8):130-136.
- [3] 徐琛.斜拉桥桥塔竖转工艺拉索受力性能研究[J].城市道桥与防洪,2021(7):88-90.
- [4] 康俊涛,何林,范杰,等.马蹄形独塔斜拉桥钢主塔竖转施工监控关键技术[J].公路,2016,61(1):95-101.
- [5] JTG/T D65-01—2007,公路斜拉桥设计细则[S].

(上接第55页)

专题研究报告[R].2018.

- [3] 湖南大学土木工程学院风工程试验研究中心.元江县跨江大桥抗风性能分析[R].2019.
- [4] 张清华,卜一之,李乔.正交异性钢桥面板疲劳问题的研究进展[J].中国公路学报,2017,30(3):14-30,39.
- [5] 刘高,唐亮,谭皓,等.混合梁斜拉桥钢混结合部的合理位置[J].公路交通科技,2010,27(6):52-57.
- [6] 张志平,贾伟红.鄂东长江公路大桥主梁钢混结合部位置的选取[J].公路,2017,62(2):118-122.
- [7] 彤辉.二次张拉低回缩预应力锚具及锚下应力分析[D].长沙:湖南大

学,2010.

- [8] 秦顺全.斜拉桥安装无应力状态控制法[J].桥梁建设,2003(2):31-34.
- [9] 黄彩萍.混合梁斜拉桥钢混结合段受力性能的试验研究与理论分析[D].武汉:华中科技大学,2012.
- [10] 叶华文,徐勋,李翠娟,等.大跨斜拉桥混凝土索塔锚固结构形式比较[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2014,33(3):11-15.
- [11] 卫星,李小珍,李俊,等.钢箱梁斜拉桥锚拉板式索梁锚固结构的试验研究[J].工程力学,2007(4):135-141.
- [12] CJJ 166—2011,城市桥梁抗震设计规范[S].