

斜拉桥桥塔竖转工艺拉索受力性能研究

徐琛

[上海公路桥梁(集团)有限公司,上海市 200433]

摘要:为减少高空作业风险,保证焊接质量,提高安装精度,加快施工进度,钢主塔采用工厂制作、现场横卧拼装、钢主塔竖向转体的施工工艺。具有安全、可靠、经济、工期短等优点。通过施工实例,主要介绍了竖转结构施工步骤、受力特性、对拉索进行了有限元仿真分析等关键技术,为类似施工提供一些借鉴与参考。

关键词:横卧拼装;竖转;拉索;仿真分析

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)07-0088-03

0 引言

目前在空间网状索面独塔斜拉桥的桥塔施工过程中,钢主塔常规采用支架法,人工辅助,节段空中焊接作业。既不安全,功效也低。此类桥塔一般可以考虑采取“横卧竖转”法,竖向转体临时结构主要由油缸、拉索、拉杆、压杆、背索、转铰等组成,其中由李宇航对液压油缸进行了研究分析^[1],由杨士成对转动铰进行了研究分析^[2]。本文以某景观斜拉桥梁为背景,对拉索在施工各阶段受力状态开展理论计算与现场实际监测,并做了分析与对比。该桥梁是空间网状索面独塔景观斜拉桥,桥塔为钢塔,在成桥状态下与主梁成 82° 夹角,向主跨倾斜,塔高104 m,采用竖向转体法施工,转体重量1 150 t,见图1。



图1 桥梁效果图

1 拉索的作用

拉索是转体临时结构的重要组成部分,通过拉索将千斤顶产生的拉力传导到至塔体进而使得桥塔由水平静止状态,以转铰为轴心,实现竖向转体动作。拉索在此过程中主要承受拉应力,传递拉力和控

制位移。目前常规应用中,拉索分刚性拉索和柔性拉索两种,其中刚性拉索较多采用组合型钢形式,柔性拉索则多采用平行钢丝拉索或钢绞线拉索。

相比刚性拉索,柔性拉索具有自重轻,安装简易,传力顺畅且价格低,运输方便等优点,相比平行钢丝,钢绞线标准强度大,整索自重轻,下料进度要求低、更换便捷、可单根调整索力等优点。由此可见,采用钢绞线作为拉索使用更具合理性。

2 竖转工艺

2.1 竖转临时结构

主塔施工在边跨现浇箱梁主桥完成施工后进行,主塔分节段用履带吊吊装至边跨桥面拼装胎架完成边跨侧主塔横卧拼装后并焊接成一个整体,然后安装转体临时结构;竖向转体临时结构见图2,其中拉索采用 $25 \times \Phi 17.8$ 钢绞线,共4束,分南北2组。

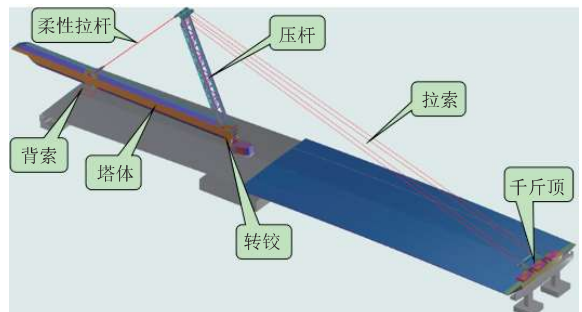


图2 竖转临时结构布置图

2.2 转体步骤

利用前锚4台560 t穿心千斤顶逐级加载,采用“位置同步,载荷跟踪”法通过行程传感器,检测南北两侧锚点转体行程,通过计算机进行实时调节,确保两者最大差值不超过1 cm,在同一侧的两个转体油

收稿日期: 2021-03-18

作者简介: 徐琛(1983—),男,学士,工程师,从事工程管理工作。

缸,压力并联使用,各台千斤顶之间拉力差值不大于20 t。使穿心千斤顶按照20%→40%→60%→80%→100%逐级进行加载张拉拉索,通过拉索传力。过程中以索力控制为主,线形控制为辅的“双控”措施。

钢主塔横卧0°状态→张拉拉索,使钢主塔脱离胎架10 cm,静载24 h→分级张拉拉索,塔体竖转至20°→分级张拉拉索,塔体竖转至41°→塔体竖转至41°,张拉背索,并分级加载到指定荷载→分级加载张拉拉索和背索,塔体竖转至60°→分级加载张拉拉索和背索,塔体竖转至70°→分级加载张拉拉索和背索,塔体竖转至82°→对位焊接桥塔根部,分级张拉B1和Z1永久索形成自稳,拆除临时结构,完成桥塔转体施工,见图3。

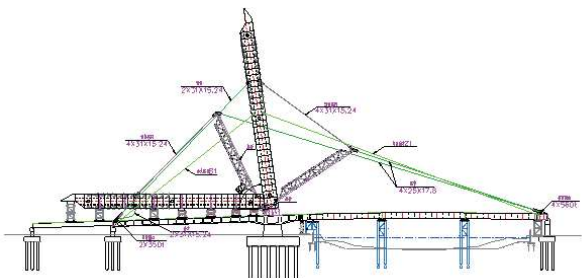


图3 桥塔竖转立面示意图

3 拉索的不同施工阶段有限元分析

该桥为高次超静定结构,且桥塔为倾斜构造,采用竖转施工,施工过程中结构体系将随施工阶段不同而变化,钢绞线作为主要传力构件的类似工程施工经验较少,施工控制难度较高。受此影响可能引起桥塔内力和位移偏离设计理论值,这种偏离累积到一定程度如不及时加以调整修正,有可能在施工过程中发生安全事故或成桥后斜拉桥结构的理想受力状态将难以保证。因此施工过程中必须通过拉索对结构线形及内力进行控制,及时掌握结构实际状态,对施工步骤及控制条件作出调整,防止施工中的误差积累,保证最终的成桥线形及结构受力合理。

利用MIDAS CIVIL 计算软件,将塔体离散成空间杆系,建立有限元静力分析模型,分析每一竖转工况,依次计算各施工工况下结构的内力与变形。塔体和刚性压杆设定为梁单元,拉索设定为桁架单元。模型中拉索分两组,见图4~图7。各工况计算结果见表1。

4 拉索受力与理论分析的对比

为降低初始提升力,一般考虑提高初始起扳角度,以10°为例,该工艺下拼装胎架为倾斜状态,相较

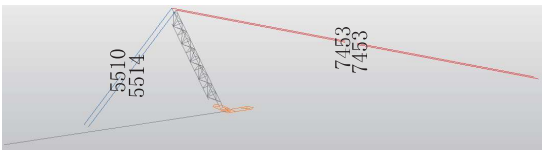


图4 拉索、柔性拉杆最大张拉力值(单位:kN)

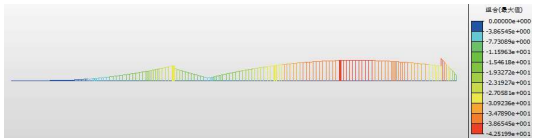


图5 塔体最大应力(单位:MPa)

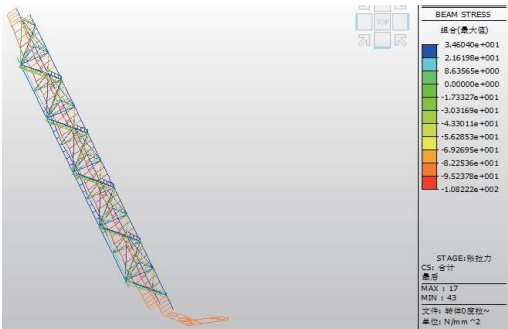


图6 压杆最大应力值(单位:MPa)

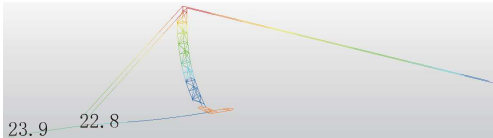


图7 结构最大变形图(单位:mm)

表1 各工况计算结果表

工况	牵引索总 拉力/kN	柔性拉 杆/kN	塔体最大 应力/MPa	压杆最大 应力/MPa	桥塔最大 变形/mm
转体0° (起扳)	14 906	11 028	-42.5	-108.2	23.9
转体20°	9 452	8 754	-31	-58.5	12
转体42°	6 502	6 900	-24.7	-28	10
转体42° 拉背索	9 830	10 382	-29.2	-37.8	13
转体60°	7 068	7 694	-20.8	-38.9	7.2
转体70°	5 714	6 080	-16	-16	3.7
转体82°(就 位)	4 918	4 792	-11	-55.7	2.7

于0°,拼装胎架高度有所提高,且每个格构柱标高均不一致,要求测量精度较高。塔尖尾端最后一个格构柱10°状态下比0°状态下要加高15 m,横卧拼装焊接难度和高空作业风险增大。

综上所述,初始起扳角度选取为0°更适合于该工程。这势必会提高拉索提升力,故对实际转体各工况的拉索索力进行监测,通过实际采集的索力数据,跟踪计算分析理论状态,得出和反馈控制措施,验证0°状态作为初始状态的合理性与可靠性。

该工程实施过程中,通过在拉索表面设置应力计进行拉索拉力的监测,并在不同转体角度时进行数据采集,具体数据见表2。通过采集的数据与有限元分析理论值进行对比分析,理论与现场变化轨迹基本吻合,且桥塔竖转过程中,整体空间姿态较为理想,变化趋势见图8。桥塔最终对口位置准确无误。

表2 塔体竖转拉索拉力监测结果表 单位:kN

工况描述	北侧牵引索	南侧牵引索	理论值	北侧误差 1%	南侧误差 1%
转体 0°	7 627	7 792	7 453	2.3	4.5
转体 20°	4 834	4 941	4 726	2.3	4.5
转体 42°	3 319	3 382	3 251	2.1	4.0
转体 42°拉背索	5 000	5 077	4 915	1.7	3.3
转体 60°	3 586	3 635	3 534	1.5	2.9
转体 70°	2 889	2 917	2 857	1.1	2.1
转体 82°	2 467	2 466	2 459	0.3	0.3

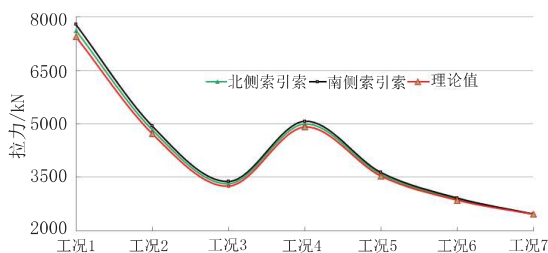


图8 监测截面应力测点变化趋势图

由表2和图8可知,桥塔竖转过程中,受滚轴摩擦影响,南侧牵引索张拉力均略大于北侧牵引索张拉力,但整体误差均在4.5%以内,满足设计和规范的要求。

5 结 语

(1)针对高度较高的桥塔采用竖向转体法可有效解决高空作业风险,提高施工效率,保证安装精度。较常规吊装方案具有显著优势。

(2)拉索采用钢绞线拉索相较刚性拉索与平行钢丝拉索具有经济性好、安全性高、安装方便、受力状态清晰等优点,更适用于高度较高、重量较大的塔体竖转施工。

(3)拉索在转体各阶段的受力状态通过采用有限元理论分析,实测采集数据结果与之相比基本吻合。

(4)本文未对柔性拉杆和刚性压杆开展理论与实际研究对比分析,建议后续开展相应研究,并结合拉索的研究开展总体论证。

参考文献:

- [1] 李宇航.蕴藻浜公路大桥斜塔竖转采用超大型液压同步提升技术研究[J].铁道建筑技术,2013(4):77-81.
- [2] 杨士成.斜主塔竖转吊装结构的局部应力分析[J].施工技术,2015,44(S1):354-357.
- [3] 蔡宁.大跨度针形独塔斜拉桥钢主塔竖转提升施工过程分析[J].中国市政工程,2014(3):58-61.
- [4] 宋佳杰.大跨度斜拉桥彩针形钢独塔施工技术[J].国防交通工程与技术,2019,17(4):34,40-43.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 张波.大跨度矮塔斜拉桥V形钢主塔的竖转施工与结构分析[J].城市道桥与防洪,2020(1):36.

(上接第72页)

(3)水泥有助于再生沥青混合料抗冻性能的提升,且水泥掺量越大,对于水泥改性冷再生沥青混合料抗冻性能的改善越明显。

参考文献:

- [1] 吴正光,徐剑,康爱红,等.水泥稳定废旧沥青混合料的强度试验[J].扬州大学学报(自然科学版),2014,17(1):71-74.
- [2] GEORGE M F. Shrinkage cracking of soil-cement base: Theoretical and model studies[M]. [S.L.]: Highway Research Board, 1971.
- [3] RAMZI T. Cement stabilization of reclaimed asphalt pavement aggregate for road bases and subbases[J]. Journal of Materials in Civil En-

gineering, 2002, 14(3): 239-245.

- [4] 李强,马松林,王鹏飞,等.水泥稳定废旧沥青混合料路用性能试验研究[J].公路交通科技,2004,21(5):25-28.
- [5] 王艳,倪富健,李再新.水泥稳定碎石混合料疲劳性能[J].交通运输工程学报,2009(4):10-14.
- [6] 孙正.旧二灰碎石基层再生利用关键技术[D].苏州:苏州科技大学,2017.
- [7] 交通部公路科学研究所.公路工程无机结合料稳定材料试验规程[M].北京:人民交通出版社,2010.
- [8] 张鹏.水泥稳定旧沥青混合料基层长期性能研究[D].苏州:苏州科技大学,2019.