

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.10.037

# 人行斜拉桥换索工程施工控制

韩宏光

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司辽宁分公司, 辽宁 沈阳 110003]

**摘要:** 对人行斜拉桥换索施工控制过程进行分析, 讨论在换索过程中不同施工参数在不同施工阶段下的特点, 并借助有限元法进行理论索力值与实测索力值的对比分析。结果表明: 换索后, 实测索力与理论索力之间的误差均在规范要求的 2% 范围内, 主梁线形得到较大改善, 主塔偏位正常, 换索施工过程满足设计要求。

**关键词:** 人行斜拉桥; 换索; 施工控制; 有限元法

中图分类号: U448.11

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)10-0142-03

## 1 工程概况

本项目实施对象为一座偏东西走向单塔斜拉人行天桥, 共由 8 跨组成。其中主桥为 2 跨单塔斜拉桥, 跨径布置为  $2 \times 47.25 \text{ m}$ ; 桥塔采用门式钢筋混凝土索塔, 结构体系采用塔墩固结, 塔梁分离, 在塔墩处主梁下设置竖向支撑 - 半漂浮体系; 拉索采用辐射型双面索, 以索距为 10 m 的中密索布置, 塔每侧设 4 对索, 每根索由 2 根标称直径 28.5 mm 的钢丝绳 ( $19 \times \text{W}19$  非转扭式普通右捻 ( $z$ ) 钢丝绳, 日本 KOKOKW 钢铁会社生产) 组成。进行换索设计时, 新索采用规格为  $37\phi 5$  的平行钢丝, 钢丝强度为 1 770 MPa。拉索布置立面图、平面图见图 1、图 2。

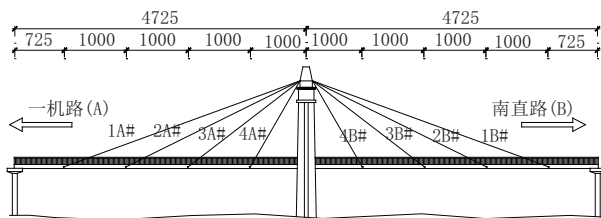


图 1 拉索布置立面图(单位: cm)

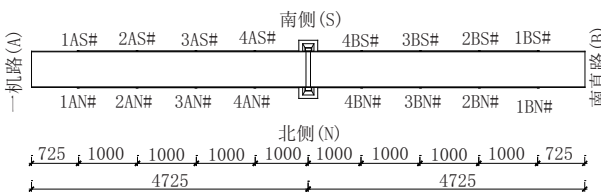


图 2 拉索布置平面图(单位: cm)

## 2 换索施工控制分析

### 2.1 斜拉索换索方案

该桥所处位置下方为铁路, 日营运火车较多, 经与铁路部门沟通, 桥下无法采用临时支撑作为防护。为保证本项目换索工程顺利进行, 决定采用临时斜拉索方案来代替桥下临时支撑方案。经多方单位共同商议, 确定了换索工程的施工方案:

(1) 安装临时索并张拉。

(2) 拆除旧索。

(3) 安装新索并张拉。

(4) 拆除临时索。

(5) 根据索力和标高的实测数据, 经计算后再调整拉索索力。

### 2.2 斜拉索索力控制

斜拉桥在换索施工过程中, 斜拉索会因不同施工阶段而受力不同, 每当进行一个施工阶段时, 斜拉索的索力都会进行一次重新分配<sup>[1-2]</sup>。因此, 需要对换索施工控制过程中不同施工阶段的索力影响因素进行分析<sup>[3-4]</sup>。

索力的测量一般有磁通量法、传感器读数法、油压表读数法和频率法。

该桥斜拉索索力测试采用频率法。频率法是利用精密拾振器, 拾取斜拉索在环境振动激励下的振动信号, 经过滤波、放大和频谱分析, 先根据频谱图来确定斜拉索的自振频率, 再根据自振频率与索力的关系来确定索力值。用频率法测定索力, 设备可重复使用。利用现有仪器及分析手段, 所测定的频率精度可达 0.005 Hz。

收稿日期: 2021-12-06

作者简介: 韩宏光(1989—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事桥梁设计工作。

换索施工过程工况说明见表1。

表1 换索施工过程工况说明

工况号	工况说明
1	换索前
2	张拉临时索
3	拆除原索
4	安装新索
5	拆除临时索

通过对不同施工阶段索力的监测,得到各个工况下索力的实测值与理论值对比图(见图3~图6)。

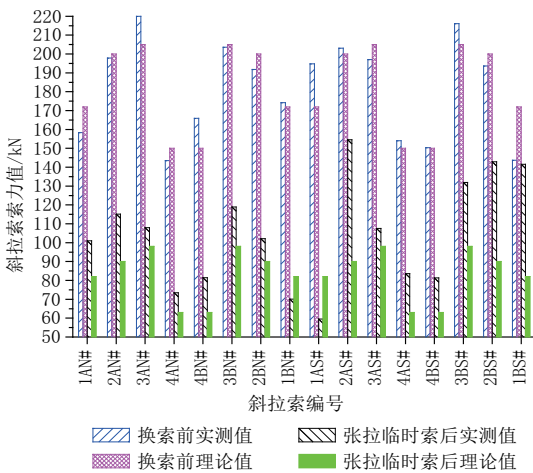


图3 工况1、2下原斜拉索的索力实测值与理论值对比图

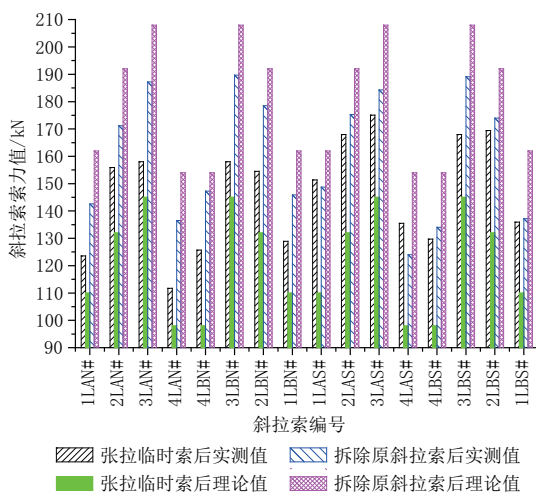


图4 工况2、3、4下临时索的索力实测值与理论值对比图

由图3可知:换索前索力实测值分布没有一定的规律性,且左右不对称,索力最大的索为3AN号斜拉索,索力最小的索为4AN号斜拉索;换索前索力实测值与理论值变化趋势基本一致。由于换索前该桥斜拉索已运营30a且已有损伤,主梁标高也有不同程度的下挠,因此斜拉索的索力值分布不一致属正常现象。由图4可知:张拉临时索后,主梁恒载由临时索与原斜拉索共同承担,临时索分担了一部分原斜拉索的索力,致使其张拉后的索力实测值与

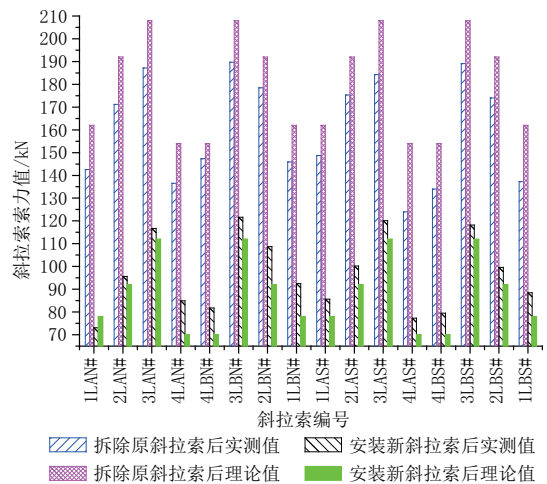


图5 工况3、4下临时索的索力实测值与理论值对比图

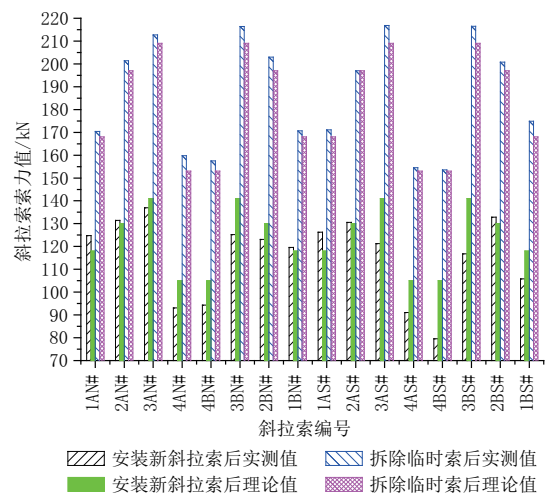


图6 工况4、5下新斜拉索的索力实测值与理论值对比图

理论值变化趋势基本一致;拆除原斜拉索后,临时索的索力实测值与理论值均增大,主梁荷载由临时索完全承担,且索力实测值的总体变化趋势与理论值相同。由图5可知:安装新斜拉索后,临时索的索力实测值与理论值均减小,主梁荷载由临时索和新斜拉索共同承担,由于安装了新斜拉索并张拉,新斜拉索分担了临时索承受的力,临时索的索力实测值与理论值基本接近,且两者变化趋势基本一致。由图6可知:拆除临时索后,新斜拉索的索力实测值与理论值均增大,主梁荷载由新斜拉索完全承担,新斜拉索的索力实测值与理论值基本接近,且两者变化趋势基本一致,接近最后的理想成桥状态,但还需对索力进行调整,以便使新斜拉索的索力值满足正常要求。

经过调整索力阶段后,实测斜拉索索力值与设计索力值对比图见图7。

由图7可知,调索后实测斜拉索索力值与设计索力值基本一致,最大误差为1.1%。由此说明,调索后的斜拉索索力已经满足要求,且误差均在2%以

内,符合设计标准;也说明本工程采用临时索方案进行换索的成功。

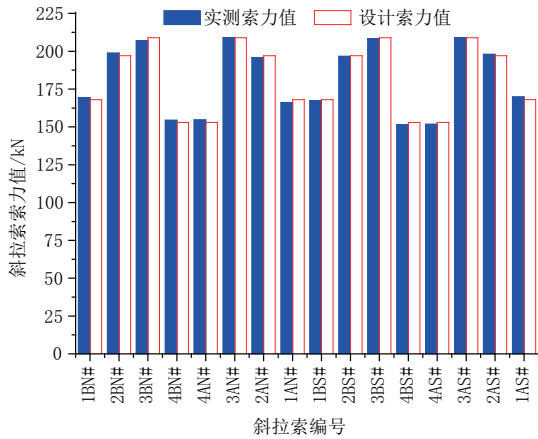


图7 调索后实测索力值与设计索力值对比图

### 2.3 主梁线形控制

本工程主梁线形采用水准仪法测量。首先通过测量学原理计算出主梁的相对标高,然后在实际换索过程中完成对主梁线形的控制<sup>[5-6]</sup>。

各工况下主梁标高对比图见图8。

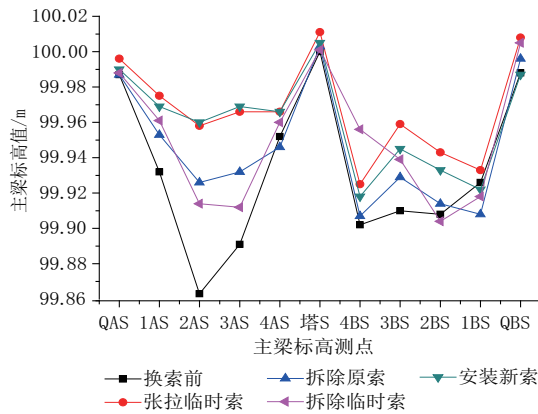


图8 各工况下主梁标高对比图

由图8可知,主梁标高在各个工况下线形变化较明显。在换索前工况下,主梁原桥已有明显的下挠现象,最大下挠13 cm,因此在换索过程中对于主梁标高的控制仅作为参考,实际以索力控制为主;在张拉临时索的工况下,主梁标高有很大的抬高,原因是此时由临时索和原斜拉索共同承受主梁荷载;在拆除临时索的工况下,主梁标高开始有所减小,原因是拆除临时索后,主梁荷载完全由新斜拉索承担,且在拆除临时索后,主梁标高相对换索前有所抬高,说明在换索结束后主梁标高有所改善。

调索前和调索后主梁南侧标高的实测值对比图见图9。

由图9可知,调索后的主梁标高比调索前略有抬高,变化值最大为5 mm。说明调索后主梁标高得

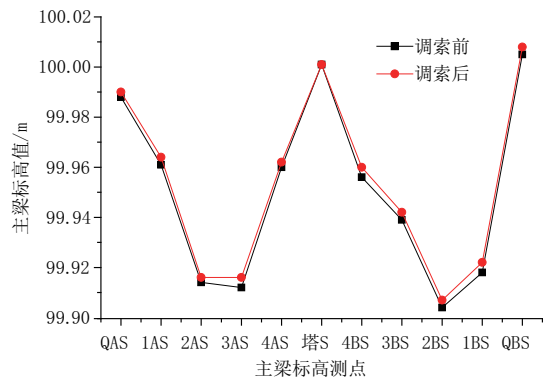


图9 调索前和调索后主梁南侧标高的实测值对比图

到了进一步的改善,但主梁依然存在小于10 cm的下挠。原桥运营后已有近14 cm的下挠,经过调索后,主梁线形得到了改善,主梁标高有所抬高,结构受力状态也达到合理程度,但若是强行将主梁线形通过斜拉索拉回水平无下挠的位置,则对结构的受力状态不利,有可能导致主梁开裂以致损坏。因此目前主梁线形已处于最佳状态,适于行人在桥上行走,安全舒适,同时提高了桥下通行的净空。

### 2.4 主塔偏位控制

本工程主塔偏位采用全站仪法测量。通过测量学原理,根据2点坐标值计算出主塔的相对位移即主塔的偏位值,以偏向一机路侧为正,偏向南直路侧为负,在实际换索过程中完成对主塔偏位的控制<sup>[7-8]</sup>。各工况下主塔偏位实测值见表2。

表2 各工况下主塔偏位实测值 单位:mm

主塔偏位测点	工况1	工况2	工况3	工况4	工况5
北侧N	0	1.2	-0.6	0.8	0.3
南侧S	0	1.4	-0.4	1.0	0.5
平均值	0	1.3	-0.5	0.9	0.4

由表2可知,主塔在各工况下的偏位值均小于2 mm,主塔偏位不大,在换索施工过程中具有一定的安全性。主塔南北侧测点偏移量基本相近,有所不同是因为南北侧的索力分布不一致导致的,因此主塔偏位在施工过程中满足要求。

## 3 结语

(1)通过对本桥换索施工控制过程的分析,讨论了换索过程中不同施工参数在不同施工阶段下的特点,得出5种工况下的斜拉索索力实测值与理论值变化趋势基本一致,主梁线形、主塔偏位变化合理的结论。

(2)通过对本桥换索控制,得到换索后实测索力

(下转第153页)

5.88 km。根据环评评估报告,独墅湖段需采用两期实施(见图 11)。一期北侧、南侧纵向围堰长度分别为 1 174 m 和 910 m。二期北侧、南侧纵向围堰长度分别为 600 m 和 708 m。其中,二期围堰利用一期围堰长度为 258 m,横向围堰长 253 m。为了满足独墅湖的环评要求,达到土方工程“取之于湖、用之于湖”的目的,在北侧围堰与湖内基坑放坡脚间预留 100 m 空间作为临时堆土场。

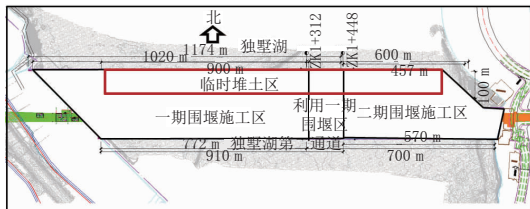


图 11 独墅湖段围堰分期实施平面示意图

湖中段基坑主要采用放坡开挖形式。通过计算分析,边坡坡率均为 1 : 2.0,边坡间平台宽度为 2.5 m。边坡表面采用 C20 早强喷射混凝土 80 mm,钢筋网片规格为  $\phi 6@200 \times 200$  mm,并设置了 1.5 m 长、间距为 1 500 mm  $\times$  1 500 mm 的  $\phi 16$  插筋固定钢筋网片。为了进一步提高坡体的稳定性,坡顶设置降水井。

围堰与基坑布置以“互不影响、自成体系”的原则,一般情况下围堰布置在 2 倍基坑开挖深度以外(见图 12)。

### 6 结语

截至目前,本项目土建结构部分基本完成,以上的关键技术研究结论在工程建设过程中起到了有效的指导作用。其中,水域段变形缝处采用“桩基 + 枕

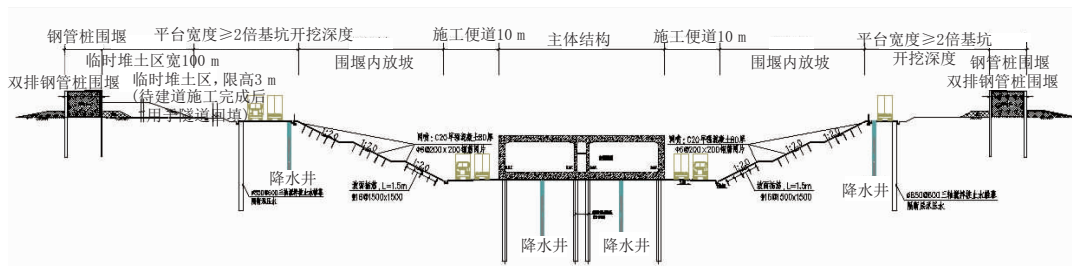


图 12 独墅湖段基坑放坡与围堰横断面图

梁”方案在施工期间监测反映变形缝两侧差异沉降值在 5 mm 以内,后期拟在隧道运营期继续进行相关沉降值的观测,以验证“桩基 + 枕梁”方案的合理性,并将在今后水下明筑围堰法隧道工程中进行推广使用。

#### 参考文献:

[1] GB 50139—2014,内河通航标准[S].

[2] SL 303—2017,水利水电工程施工组织设计规范[S].  
 [3] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].  
 [4] GB/T 51295—2018,钢围堰工程技术标准[S].  
 [5] 邓利明,肖铭钊,蔡兵华,等.城市生态与景观敏感区湖底隧道设计施工关键技术[J]市政技术,2016,2(3):79-84.  
 [6] 林克美,孙勇.武汉市东湖隧道方案探析[J]中国水运,2014(8):248-250.  
 [7] 张勇.水下明挖隧道防水层的选择[J].中国建筑防水,2007(2):23-27.

(上接第 144 页)

与理论索力值之间的误差最大为 1.1%,均在规范要求的 2% 范围内;主梁线形得到较大改善,最大抬高 4.9 cm,使行人出行更加舒适;主塔偏位最大偏移值为 1.3 mm,未超过施工控制时的规范要求,因此换索施工过程均满足设计要求。

(3)本工程斜拉桥规模不大,因现场条件限制,桥下为铁路,故采用临时斜拉索方案进行换索。此方案具有可行性,可为类似工程提供参考。

#### 参考文献:

[1] 吴春利,李涵.斜拉桥换索施工控制[J].吉林交通科技,2006(2):47-49.

[2] 周诚华,梅秀道.南昌市八一大桥斜拉桥换索工程施工监控[J].世界桥梁,2011(2):73-76.  
 [3] 岑慧,曾海,雷任安.柳州壶西大桥换索施工[J].预应力技术,2012(4):21-24.  
 [4] 沈平,严先荣.天津永和大桥斜拉索换索方法分析[J].公路交通科技(应用技术版),2011(4):47-51.  
 [5] 温敏.独塔斜拉桥换索施工控制研究[D].杭州:浙江大学,2014.  
 [6] 潘竺兰,赵长军,姜亮.章镇斜拉桥换索设计与施工[J].公路,2011(8):89-92.  
 [7] 张林.天津永和大桥的换索工程及其索力控制[J].公路交通科技(应用技术版),2011(1):153-155,171.  
 [8] 徐建华.斜拉桥换索设计研究[J].北方交通,2012(12):78-80.