

# 不中断交通条件下斜拉桥试验索更换关键技术

石光辉

(重庆万桥交通科技发展有限公司, 重庆 400000)

**摘要:**斜拉索是斜拉桥的主要承重结构之一,它的耐久性直接影响桥梁运营的安全。由于拉索系统长期暴露于自然环境中,极易遭受环境腐蚀,当索内钢丝受到严重腐蚀发生断裂时,可导致拉索系统失效,影响到桥梁的安全性和使用寿命。对于在役斜拉索腐蚀状况的评定目前无可靠的无损检测技术,当斜拉索出现腐蚀病害或接近设计寿命年限时,管养单位一般采取更换部分试验索,通过对试验索进行室内试验来判定其剩余使用寿命。本文结合西南地区某工程实例就试验索更换技术及施工过程控制方法进行探讨,为后续斜拉索更换施工及管理养护提供参考。

**关键词:**斜拉索;更换;技术;施工

中图分类号:U448.27

文献标识码:A

文章编号:1004-7344(2022)35-0070-03

## 0 引言

西南地区某特大桥主桥为预应力混凝土单塔双索面斜拉桥,全桥长 1276.4m,主跨 2×180.0m 布置。上部

结构为塔墩梁固结体系,全桥共 112 根平行钢丝斜拉索。主桥布置见图 1。

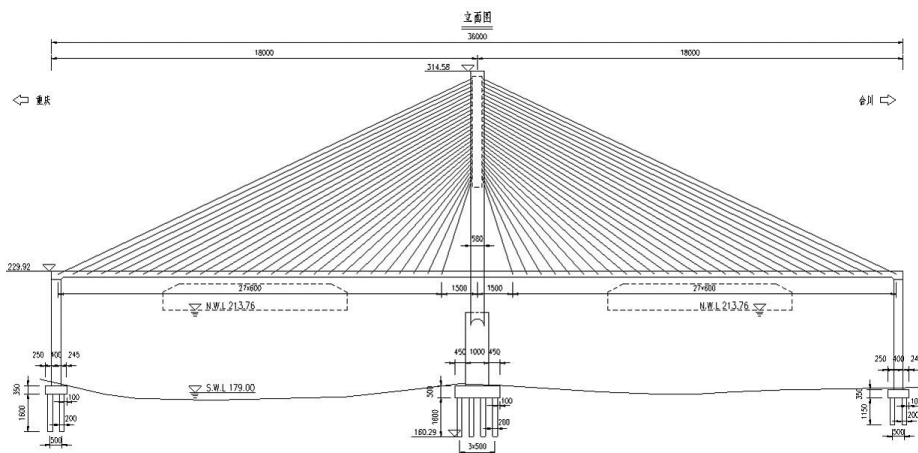


图 1 某特大桥主桥布置(单位:cm)

该桥已运营近 20 年,斜拉索接近设计使用寿命年限。桥梁定检发现,该桥 112 根斜拉索中,1 处下锚头钢丝墩头严重锈蚀,5 处下锚头钢丝墩头中度锈蚀,106 处下锚头钢丝墩头轻微锈蚀。定性判定结果表明,1 根拉索评定标度为 4, [PMCI]<sub>i</sub> 为 40.00;5 根拉索评定标度为 3, [PMCI]<sub>i</sub> 为 55.00;106 根拉索评定标度为 2, [PMCI]<sub>i</sub> 为 65.00。

综上,大桥斜拉索系统部件技术状况评分 [PMCI]<sub>i</sub> 为 40.10,属于 4 类部件。

设计选取钢丝墩头严重锈蚀的 1 根拉索和索力偏差最大 1 根拉索进行更换。将更换的斜拉索送试验检测,评估斜拉索剩余使用寿命。

## 1 换索设计原则及目标

(1)综合结构安全、经济造价、施工便捷、加固后结

构可靠性及耐久性等因素<sup>[1]</sup>,达到以下维修加固设计目标:拆除更换墩头锈蚀严重的典型斜拉索及索力偏差最大的斜拉索,交由业主进行斜拉索安全性检测专项评估工作。经论证如有必要时,对全桥斜拉索进行更换,并进行索力调整,以保证结构安全运营。

(2)新索设计维持原旧索结构设计;新更换的拉索索力与旧索索力相等,并以桥面标高不变为控制目标。全桥斜拉索不再调整索力。

(3)新更换的斜拉索型号及锚具型号均与原设计保持一致。

(4)新换拉索最终张拉力以拆除拉索时的千斤顶实测启动索力为准。

(5)新在更换拉索期间,主梁应力变化不得超过理论计算值的±20%,主梁变形不得超过理论变形土

5mm, 拉索索力不得超过理论索力的±5%。

## 2 拉索更换总体方案

在役斜拉桥一般都处于交通要道上, 在不中断交通条件下进行部分斜拉索的更换已是大势所趋。本桥试验索更换交通组织方式为占道施工。临时措施在满足占道施工条件下进行布置。

斜拉索的张拉端设置在塔端, 锚固端设置在梁端。总体更换顺序按照先拆除短索再拆除长索。

旧索拆除顺序: 塔端放张→梁端拆除→塔端拆除。

新索安装顺序: 桥面展索→塔端挂索→梁端挂索锚固→塔端张拉。

塔端放张及新索塔端挂设, 因塔端索导管长度较短, 全部采用硬牵引。使用塔顶吊架作为起吊设备。

梁端旧索拆除及新索挂设, 使用卷扬机反拉压锚, 并使用汽车吊配合作业。

斜拉索安拆主要临时施工措施包括: 塔顶吊架、塔内张拉平台, 梁端安装平台、桥面防护平台。

## 3 施工准备

### 3.1 拉索更换施工前应复核的内容

拉索更换施工过程中应复核的内容如下: ①桥梁线形与设计值的偏差。②拉索索力及其长度与设计值的偏差。③拉索和锚固区域的实际构造及病害情况。④斜拉桥相关构件的病害情况。⑤新索与锚固构造的匹配情况。⑥新旧索工具锚口的匹配情况。⑦拉索更换施工条件。⑧桥面通行交通状况。

### 3.2 工装设计与准备

(1) 塔顶吊架。塔顶吊架是塔端挂索及张拉机具设备材料进入塔内的主要起吊设备。通常采用设置在桥面的卷扬机通过转向轮做为塔顶吊架的起吊动力<sup>[2]</sup>。

塔顶吊架一般设计为桁架形式, 除具有足够的强度、刚度、稳定性外, 还应重点保证塔顶吊架与塔顶混凝土的锚固性能。图 2 为塔顶吊架。

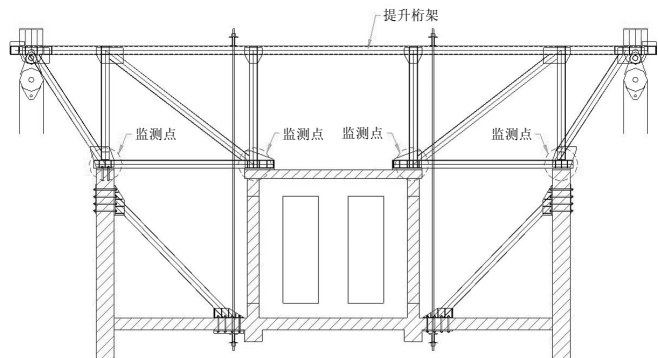


图 2 塔顶吊架

(2) 塔外挂篮及桥面防护平台。塔外挂篮主要为塔端挂索及塔端索导管中内置减震器安装提供作业平台。为保证桥面作业人员及通行车辆安全, 在桥面拉索

塔端施工影响区域范围内搭设桥面防护平台。

(3) 张拉千斤顶。张拉千斤顶不小于设计张拉力的 1.5 倍。千斤顶使用前应进行校验<sup>[3]</sup>。

(4) 张拉撑角、变径螺母及张拉杆。张拉撑脚高度确定时, 应满足最大规格斜拉索张拉到最大锚杯外露量时的空间要求<sup>[4]</sup>。张拉杆长度选择时应综合考虑塔内张拉空间和塔端锚杯下放距离。塔端锚杯下放距离满足下放后拉索承受的张拉力小于梁端设备能提供的压锚力。图 3 为硬牵引及张拉系统。

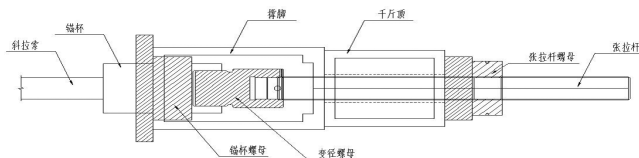


图 3 硬牵引及张拉系统

(5) 其他主要机具设备: 放索盘、展索小车、卷扬机、索夹、吊装带等。

## 4 斜拉索安拆工况索力分析

施工前应根据索长、索重、斜度和风力等因素, 计算拉索在安装时锚头距索管口不同距离以及满足锚环支承时的牵引力。

假设斜拉索钢丝精下料长度为  $L$ , 塔、梁两端索孔锚板中心的几何距离  $L_0$ , 梁端锚杯分丝板墩头到锚垫板距离为  $\Delta L$  梁, 塔端锚杯分丝板墩头到锚垫板距离为  $\Delta L$  塔, 在牵引力  $T$  作用下, 其弹性伸长量为  $TL/EA$ , 垂度影响的伸长量近似为  $-\omega 2L_x 2L_0 / (24T_2)$ , 因此可得:

$$\Delta L \text{ 塔} + \Delta L \text{ 梁} = L - L_0 - (\omega 2L_x 2L_0) / (24T_2) + TL/EA;$$

$$(24L/EA) T_3 + 24 \times (L - L_0 - \Delta L \text{ 塔} - \Delta L \text{ 梁}) T_2 - \omega 2L_x 2$$

$$L_0 = 0。$$

其中:  $\Delta L$  梁——梁端分丝板墩头到锚垫板距离 (拉出时为正值);  $\Delta L$  塔——塔端分丝板墩头到锚垫板距离 (拉出时为正值);  $L$ ——斜拉索钢丝精下料长度;  $L_0$ ——塔、梁两端索孔锚板中心的几何距离;  $\omega$ ——斜拉索单位长度重量;  $L_x$ —— $L_0$  的水平投影长度;  $T$ ——牵引力;  $A$ ——钢丝截面面积;  $E$ ——弹性模量。

此公式是变量为  $T$  的一元三次方程, 通过盛金公式求解一元三次方程, 并采用 Excel 编写计算程序, 从而求出各工况斜拉索安装索力  $T$ 。图 4 为拉索索力计算。

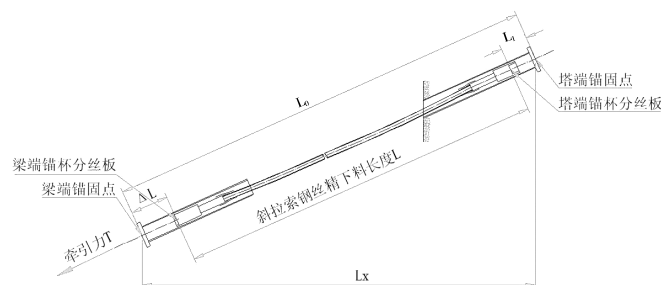


图 4 拉索索力计算

## 5 旧索拆除

### 5.1 旧索拆除工序

旧索拆除工序为：塔端张拉系统安装→起始拆索力测定→塔端锚杯下放→梁端压锚松锚头→梁端拆除→塔端拆除。

### 5.2 塔端放张,张拉端锚杯下放

使用塔端硬牵引张拉系统放张旧索,放张前应拆除内置减震器、清除索导管内填充物。张拉启动旧索后,按照计算所需长度将锚杯下放至索导管内。

拆除前使用退锚剂要提前一天对锚头进行灌注,留足时间来供退锚剂产生作用。

旧索拆除启动后,测定启动索力。检查无异常后千斤顶缓慢回油,分5级将斜拉索索力放张。每一级索力分别为启动索力的90%、80%、60%、30%、直至斜拉索索力小于15t。在每一级放张到位后持荷5min,测量锚杯或张拉杆向索导管内回缩量,并读取监控系统数据,如出现异常应立即停止放张。

### 5.3 梁端及塔端拆索

使用设置在桥面的卷扬机反拉旧索,使锚头部分松脱拆除锚环,然后逐步将拉索锚杯从梁端索导管内退出。

梁端拆除后,将塔端锚头下放至索导管外缘,接触硬牵引与锚杯连接,使用塔顶吊架先放斜拉索至桥面,完成旧索拆除。图5为梁端放索。

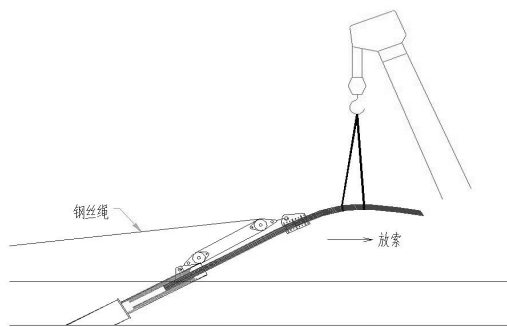


图5 梁端放索

### 5.4 启动索力测定

精确测定拆索启动索力,是确定新索终张拉力的关键<sup>[4]</sup>。肉眼对于旧索索力启动的瞬间较难判定,本项目采用在塔端设置百分表,建立百分表位移与千斤顶油表读数的对应关系,找出旧索启动瞬间的油压表读数,从而精确确定起始索力。

旧索启动张拉瞬间油表会急剧上升到超大值,在停止张拉保压时会回落,以保压读数为准。

## 6 新索安装

### 6.1 新索安装工序

新索安装工序为：桥面展索→塔端牵引至索导

口→连接硬牵引→塔端锚杯入索导管临时锚固→梁端穿索锚固→塔端张拉→锚头防腐及附件安装。

### 6.2 斜拉索张拉

拉索张拉的顺序、级次数和量值应符合设计和施工控制的规定;张拉宜以测定的索力或油压表量值为准,以延伸值作为校核。

张拉用的千斤顶与压力表应配套标定、配套使用。

斜拉索张拉分3阶段,每个阶段的张拉力分别为启动索力的50%、80%、100%,操作设备张拉到达每阶段索力时,应暂停持荷5min。

斜拉索张拉时,应根据施工监控指令分5级张拉,按照最终索力的30%、60%、80%、90%、100%分级,每级持荷5min。

### 6.3 斜拉索锚头防腐

斜拉索锚头防腐设计及防腐施工质量直接影响斜拉索后期腐蚀状况,进而影响使用寿命。从本桥的旧索状况来看,防腐施工质量好锚头外观质量明显要好很多,应充分重视锚头防腐施工质量。

## 7 结语

(1) 锚头防腐的施工质量与拉索的腐蚀状态密切相关。

(2) 斜拉索索力监控应在夜间封闭状态下测量,减少通行车辆干扰。

(3) 新索索长确定理论计算与现场实测结合。

(4) 新索终张拉值的确定应将旧索的启动力与设计理论值比较综合确定,以桥面标高作为校核。

(5) 频率法实测拉索索力偏差约10%,使用千斤顶实测相对准确。千斤顶实测数值使用稳压状态下读数。

(6) 根据塔内张拉空间及斜拉索伸长量选择使用软牵引或硬牵引。硬牵引安全性高,但若索导管较长所需张拉杆长度大,较笨重;软牵引适应范围广,操作复杂。

## 参考文献

- [1] 宗志荣.独塔斜拉桥全桥换索方案设计与研究[D].上海:同济大学,2013.
- [2] 吴俊明,吴中鑫.不中断交通条件下斜拉索更换施工关键技术[J].公路,2015(3):91-95.
- [3] 周孟波.斜拉桥手册[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [4] 田波,梁健.涪陵长江大桥换索设计[J].四川建筑,2016(2):247-249.

作者简介:石光辉(1984—),男,汉族,河北邯郸人,本科,工程师,主要从事桥梁养护加固设计施工总承包管理方面工作。