

千米级斜拉桥长索架设技术

饶华容, 邓惠斌

(武汉二航路桥特种工程有限责任公司, 武汉 430071)

[摘要] 以苏通长江公路大桥为例介绍了千米级斜拉桥斜拉索安装方法及其施工要点。论述了斜拉索的桥面展开、塔端挂设、梁端牵引锚固以及 PE 保护等长索安装施工的关键技术问题。长索桥面的展开采用立式放索, 梁端牵引锚固采用卷扬机、钢绞线以及张拉杆共同组成的三级组合牵引方式, 长索张拉在梁端进行。

[关键词] 千米级斜拉桥斜拉索; 长索张挂工艺; 长索安装

[中图分类号] U448.27 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2009)03-0071-04

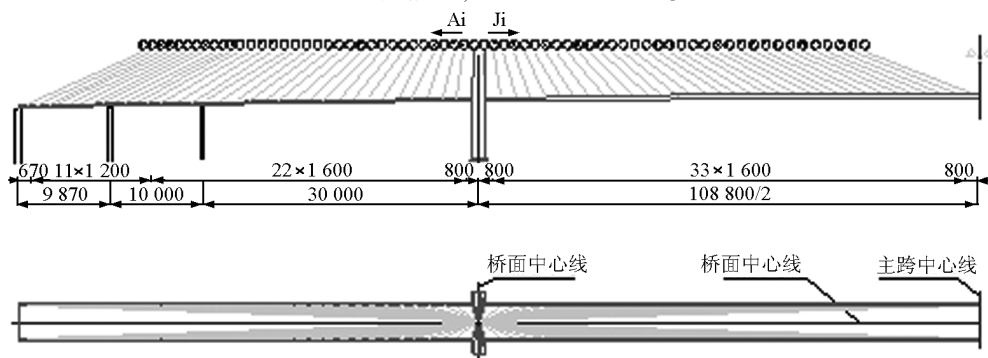
1 前言

为完善国家公路主骨架网, 一批跨大江(河)、海湾(连岛)的大跨径斜拉桥逐步开工建设。随着技术的不断发展, 其跨度越来越大, 作为斜拉桥主要受力构件的斜拉索也随之加长、加重, 超长索的安装已经成为大跨斜拉桥顺利实施的关键工序之一。超长索安装工艺的选择直接关系到整个斜拉桥施工的成败, 苏通大桥建成通车前, 我国通过几座大跨度桥梁的建设, 已积累了跨径 700 m 以下斜拉桥斜拉索安装施工的经验, 但对于千米级斜拉桥目前国内外尚无成功经验可供借鉴,

笔者就此技术进行了简要的总结, 为今后大跨径斜拉桥超长索施工提供依据。

2 工程概述

作为目前世界第一大跨径斜拉桥的苏通大桥, 主桥为 $100 + 100 + 300 + 1\ 088 + 300 + 10 + 100 = 2\ 088$ m 的双塔双索面钢箱梁斜拉桥, 索塔为倒 Y 型结构, 高 300.4 m; 梁宽 41 m, 梁高 4 m; 斜拉索为空间双索面扇形布置, 每塔两侧各布置 34 对平行钢丝斜拉索, 全桥共 272 根索, 最长索为 577 m, 重 59 t, 如图 1 所示。



注: A_i 为岸侧第 i 号索, J_i 为江侧第 i 号索

图 1 斜拉索总体布置图 (单位: cm)

Fig. 1 General layout of cables

[收稿日期] 2008-11-10

[基金项目] 国家科技支撑计划资助项目(2006BAG04B02)

[作者简介] 饶华容(1979-), 男, 湖北天门市人, 武汉二航路桥特种工程有限责任公司工程师, 从事大型斜拉桥、悬索桥上部结构安装技术研究; E-mail: raono.1@163.com

斜拉索采用双防腐系统(镀锌和高密度聚乙烯保护层)的高强度低松弛平行钢丝扭绞型成品拉索,钢丝规格型号为 PES7,共分 8 种规格,即:PES7-139,PES7-151,PES7-187,PES7-199,PES7-223,PES7-241,PES7-283 和 PES7-313。全桥共设 $4 \times 34 \times 2 = 272$ 根斜拉索,梁段中跨及边跨索距为 16 m,辅助跨远塔处索距为 12 m。

3 长索架设总体施工工艺

苏通大桥超长索的施工方案借鉴了日本多多罗大桥的成功经验,并结合自身实际条件进行了调整与优化,其长索张挂总体工艺如下:长索采用桥面吊索桁车整体提升上桥面,置于立式放索机上;桥面卷扬机牵引梁端锚头至前端梁,MD3600 塔吊提升斜拉索中部协助完成桥面展开;利用塔顶门架及卷扬机进行塔端挂设;桥面卷扬机、连续千斤顶、软硬组合牵引梁端锚头入索套管锚固,最后在梁端进行张拉^[1]、塔端调索。

由于在梁端进行软、硬牵引及张拉,为满足施工空间要求,部分或全部风嘴先不安装,待该节段斜拉索施工完成后再进行安装。

4 主要施工方法

长索安装主要包括索上桥面、桥面展索、塔端挂设、梁端牵引锚固以及张拉^[2]等工序。

4.1 索上桥面

长索采用长江水运,根据斜拉索安装计划,斜拉索制造厂将验收后待交付的斜拉索运至南、北索塔主墩旁抛锚定位。由桥面上的门式吊索桁车将斜拉索连同钢盘一起整体提升上桥面,置于立式放索机上^[3]。

4.2 桥面展开及塔端挂设

4.2.1 桥面展开及塔端挂设方法

由于苏通大桥长索长度和重量都很大,采用塔吊协助桥面卷扬机进行桥面展开,采用塔顶卷扬机协助塔顶门架完成塔端挂设。长索桥面展开及塔端挂设流程如下:

卷扬机牵引立式放索机、斜拉索至箱梁中央→汽车吊卸下梁端锚头置于锚头小车梁端→锚头连接卷扬机钢丝绳→卷扬机牵引梁端锚头至前端梁→塔吊提升斜拉索中部直至斜拉索全部展开→安装挂索夹具连接塔顶门架起吊系统→塔顶门架起吊系统提

升塔端锚头至索套管口处一塔顶卷扬机牵引塔端锚头锚固。

4.2.2 关键技术问题

1)斜拉索桥面展开。由于苏通大桥长索重量大,为保证斜拉索桥面展开、移动过程中不损伤钢箱梁,长索采用将立式放索机、索盘固定于岸侧 3 号梁段,只做横向移动(施工中对放索机移动范围内钢箱梁做了局部加固处理)的方式完成桥面展开。

对托索小车进行了改进,将小车高度降低,摆放密度加密,确保桥面展开后的斜拉索更加顺直,对斜拉索保护更为有利,斜拉索桥面展开后形状见图 2。



图 2 苏通大桥斜拉索桥面展开后的形状
Fig. 2 Outspreading cables of Sutong Bridge

2)斜拉索塔端挂设。斜拉索塔端挂设的关键点是:如何在不损伤斜拉索的情况下将塔端锚头安全顺利地提升至塔端锚垫板处锚固。长索采用两点配合提升的方式避免起吊过程中斜拉索出现过度弯折的现象,但由于塔端挂设主吊点(采用索夹同斜拉索连接)受力很大,索夹与斜拉索容易产生相对滑动从而损伤斜拉索。

苏通大桥 J34 号索塔端挂设主吊点所需最大提升力约为 23 t,橡胶垫同斜拉索 PE 护套以及索夹内表面间摩擦系数均小于 0.1(目前国内没有这方面的资料作为试验数据),为保证斜拉索与橡胶垫、橡胶垫与索夹内表面不产生相对滑动,夹紧力必须大于 230 t,对于脆弱的 PE 护套只有通过增加索夹长度来避免其损伤,索夹长度的增加使施工的困难与风险增大。

为减小施工风险,通过反复的 PE 抗压、抗拉试验(见图 3)对索夹的长度、内径和橡胶垫的种类做了筛选,对施工索夹的夹紧力、每个螺栓的拉拔力与施加扭矩进行了确认;同时对索夹内表面进行了喷砂、打磨处理(见图 4),施工时采用扭力扳手对索夹螺栓进行分级逐个施拧,确保斜拉索塔端挂设过程中索夹与斜拉索不产生相对滑动,同时也最大程度

地减小了操作困难。

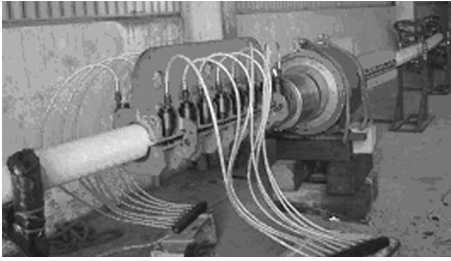


图3 斜拉索 PE 护套抗压、抗拉试验选取施工参数

Fig. 3 Select the construction parameters for the compressive and tensile test of cable PE sheaves



图4 索夹内表面打磨处理

Fig. 4 Sandblasting inner surface of cable clip

4.3 梁端牵引锚固及张拉

4.3.1 梁端牵引锚固及张拉方法

苏通大桥长索采用梁端软硬组合牵引完成梁端牵引锚固,张拉统一在梁端完成,其施工流程如下:

梁端锚头处安装牵引夹具连接牵引卷扬机滑车组→卷扬机牵引梁端锚头至桥面吊机处→梁端锚头处安装张拉杆、钢绞线等软、硬组合牵引装置→软牵引千斤顶牵引梁端锚头张拉杆至索套管口处→角度调整支架调整角度使张拉杆、锚头与索套管同心→软牵引千斤顶牵引张拉杆出锚垫板面临时锚固→硬牵引牵引梁端锚头出锚板面锚固→开启张拉油泵梁端对称同步张拉斜拉索。

4.3.2 关键技术问题

斜拉索梁端牵引锚固关键点就是确定梁端牵引各阶段所需的牵引力,根据牵引力选择牵引设备^[4]。以苏通大桥 J34 号索为例对长索牵引方式选择进行分析,牵引力位移关系见图 5。

若采取单一的软牵引进行 J34 号索梁端牵引锚固施工,所需要软牵引钢绞线数量约为 40 束(单根钢绞线受力按照 12 t 考虑),20 多米长 40 束钢绞线的软牵引实际操作无法实现;若采取单一的硬牵引

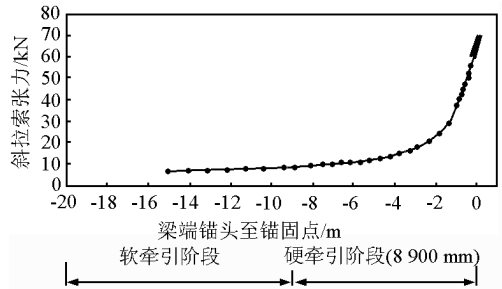


图5 34号索梁端牵引力、位移关系图

Fig. 5 The pulling force and displacement at deck of cable No. 34

进行斜拉索梁端牵引锚固施工,所需要的最大硬牵引长度为 26 m,这样长的硬牵引张拉杆施工过程的弯折问题很难解决。苏通大桥长索采取软、硬组合牵引的方法完成梁端牵引锚固,采用这种施工方式能够充分发挥硬牵引与软牵引的各自优势,硬牵引减小了软牵引力,将软牵引钢绞线数量减少,使软牵引钢绞线受力均匀性更容易控制,降低了软牵引的施工风险与难度,软牵引的使用又可以缩短硬牵引长度,降低硬牵引风险。

4.4 斜拉索 PE 护套的保护

PE 护套全称为高密度聚乙烯保护套,其主要作用是保证斜拉桥运营期间斜拉索钢丝不受侵蚀,PE 护套保护的好坏直接影响到斜拉索乃至斜拉桥的使用寿命。斜拉索张挂过程中若 PE 护套与硬性物质直接接触或斜拉索弯曲半径不够容易造成 PE 护套损伤,为避免施工过程中造成斜拉索 PE 损伤,长索张挂过程中在拉索与硬性物质接触的地方都加垫了 10 mm 厚的橡胶垫。对于长索,塔端挂设完成而梁端还未牵引时,若不采取保护措施,斜拉索在塔端索套管口处很难满足最小弯曲半径要求而造成 PE 护套损伤。为解决长索局部弯曲半径难以满足要求的难题,长索塔端挂设结束后在斜拉索与塔柱面接触处加垫橡胶垫,并且利用塔顶手拉葫芦将斜拉索套管出口处提起(见图 6),使其悬空,有效地增大弯曲半径,延长了使用寿命。

5 结语

苏通长江公路大桥主桥长索安装借鉴了国内外大跨径斜拉桥超长索安装的成功经验。采用改进后的桥面展开工艺确保桥面展开后的斜拉索更加顺直,对斜拉索保护更为有利;长索张拉采用梁端软硬组合牵引完成梁端牵引、锚固和张拉,这种施工

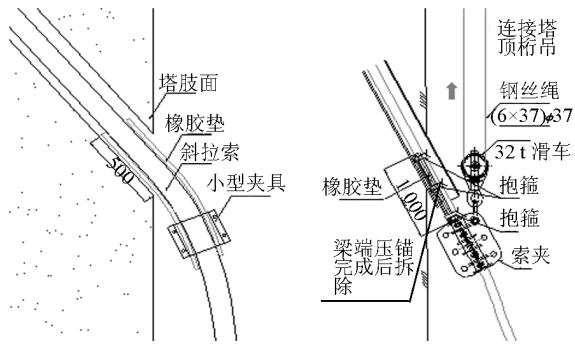


图6 斜拉索弯曲半径保证措施图 (单位:mm)

Fig.6 Measures for protect bending radius of cables

牵引减小了软牵引力,软牵引又可以缩短硬牵引长度,从而降低了软牵引和硬牵引的施工风险与难度。

主桥于2007年6月10日顺利合龙,实践证明,主桥长索安装工程的施工方案合理、组织得当、措施到位,为今后同类型桥梁的施工提供了宝贵的经验。

参考文献

[1] 金增洪,编译.日本多多罗大桥施工技术介绍[J].国外公路,1999,19(4):8-13
 [2] 陈明宪.斜拉桥建造技术[M].北京:人民交通出版社,2004
 [3] 交通部第一公路工程总公司.公路施工手册—桥涵(下册)[M].北京:人民交通出版社,2003
 [4] 刘士林,梁智涛,侯金龙,等.斜拉桥[M].北京:人民交通出版社,2002

方式能够充分发挥软牵引与硬牵引的各自优势,硬

Technology for long cable erection of a thousand-meter scale cable-stayed bridge

Rao Huarong, Deng Huibin

(Wuhan Second Navigational Road and Bridge Special Engineering Corporation Limited, WuHan 430071, China)

[Abstract] In the background of the construction of Sutong Yangtze River Bridge (short as Sutong Bridge), the cable construction method and techniques of a thousand-meter scale cable-stayed bridge are introduced. Some key construction techniques, such as outspreading cable on deck, installing cable at pylon, pulling and fixing cable at the attachment with decks and cable PE protection, are discussed.

[Key words] stay cables of a thousand-meter scale cable-stayed bridge; construction technique for long cables; long cable construction