

矮塔斜拉桥交叉抗滑键技术的研究

宋 强 覃巍巍 邱 敏 李文献 石 伟 李华萍

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545005)

摘 要:矮塔斜拉桥一般采用环氧握裹式对拉索整体抗滑,但该装置无法实现单根钢绞线抗滑和单根换索,提出采用交叉抗滑键抗滑装置,研究该装置在矮塔斜拉桥中的应用。通过有限元分析、抗滑力试验、疲劳寿命、布置形式研究可知,抗滑键能够可靠地握裹住钢绞线、具有足够的抗滑能力及良好的抗疲劳性,采用交叉布置形式,解决了单根钢绞线抗滑和单根换索难题。根据交叉抗滑键模拟张拉工艺试验总结、完善其张拉工艺,并在山西临汾汾河桥中成功应用。

关键词:矮塔斜拉桥 交叉抗滑装置 抗滑键 单根换索 桥梁施工

1 引言

矮塔斜拉桥是介于梁桥与传统斜拉桥之间的一种桥梁结构。矮塔斜拉桥和一般斜拉桥的区别主要在于塔上的锚固结构。一般斜拉桥的拉索一端锚在梁上,另一端直接锚固在塔上。矮塔斜拉桥一般采用贯通式索鞍锚固或钢锚箱锚固,由于钢锚固箱造价较高,已建矮塔斜拉桥中大部分采用贯通式索鞍锚固。采用索鞍锚固时,鞍座两侧需要设置抗滑装置,以保证斜拉索在使用过程中不产生任何滑移、换索方便,同时靠抗滑装置来克服拉索的不平衡力^[1]。矮塔斜拉桥拉索体系采用分丝管转向鞍,鞍座两端采用环氧砂浆握裹式抗滑装置(通过灌注高强环氧砂浆对钢绞线产生握裹力,从

而达到抗不平衡力的作用),其示意图1。

环氧握裹式抗滑装置已在国内外40多座桥上成功运用,实际运用中发现还有以下问题需解决:(1)施工中的抗滑问题。该装置需在成桥索力张拉到位后才灌注环氧砂浆,对施工偏载的控制要求就比较高,一旦偏载力超过转向鞍段的摩阻力,拉索会产生滑移。(2)单根换索问题。由于环氧砂浆将钢绞线与抗滑锚固筒粘接在一块^[2]。后期换索时需要把环氧砂浆凿出,但操作起来比较困难。针对以上问题,在进行深入研究、多个方案试验对比后,提出一种新的抗滑装置---交叉抗滑装置,本文以临汾河河大桥为例,介绍该装置在矮塔斜拉桥中的应用。

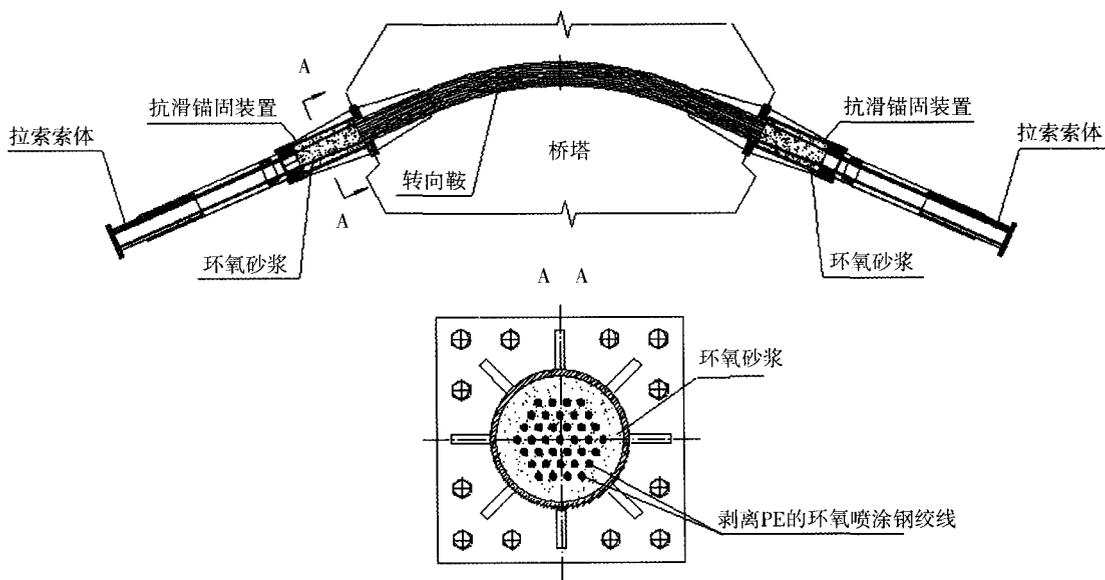


图1 环氧砂浆握裹式抗滑装置

2 交叉抗滑键抗滑装置的设计研究

为了实现矮塔斜拉桥单根换索,须保证每一根钢绞线能独立的进行抗滑。经过研究采取了抗滑键结构,该结构通过冷挤压的方式在单根钢绞线上挤压一个空心柱状体,使得空心柱状体与钢绞线紧紧的握裹在一起,抗滑键结构见图2。当空心柱状体的端面受力时,它和钢绞线不会发生位移,实现每一根钢绞线能独立的进行抗滑。



图2 抗滑键

抗滑键是通过挤压的形式固结在钢绞线上,为了满足抗滑力要求,并实现单根钢绞线抗滑和单根换索,首先须从理论设计的角度保证抗滑键的握裹力可靠,同时还需对抗滑键的抗滑力试验、疲劳寿命及布置形式进行研究。

2.1 理论设计依据

采用ANSYS软件,通过有限元方法建立抗滑键挤压有限元模型,对抗滑键冷挤压过程进行模拟分析^[3]。由于挤压实体模型结构受力为轴对称,因此,可以建立1/4结构模型,抗滑键挤压分析有限元模型见图3。模型中的抗滑键采用Solid45单元模拟,其弹性模量为 2.06×10^5 MPa、泊松比为0.3、屈服极限为540MPa。挤压模采用Solid45单元模拟,其弹性模量为 2.06×10^5 MPa、泊松比为0.3。抗滑键与钢绞线、挤压模接触的表面定义为接触,并考虑一定的摩擦系数^[4-6]。根据相应的计算法则和设计需求,对抗滑键的4个挤压过程进行分析:过程1为抗滑键进入挤压模初期阶段,过程2为抗滑键进入挤压模中期阶段,过程3为抗滑键进入挤压模末期阶段,过程4为抗滑键全部通过挤压模。

抗滑键模拟挤压过程应力云图见图4。由图4可知,在整个挤压过程中,挤压模内模部分应力最高,抗滑键通过挤压模后,应力有所释放,除了两端外,残余应力最终仍能保持200MPa以上。有限元分析说明抗滑键能够可靠地握裹住钢绞线。

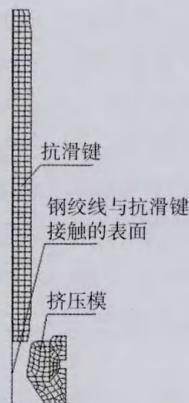


图3 抗滑键挤压分析有限元模型

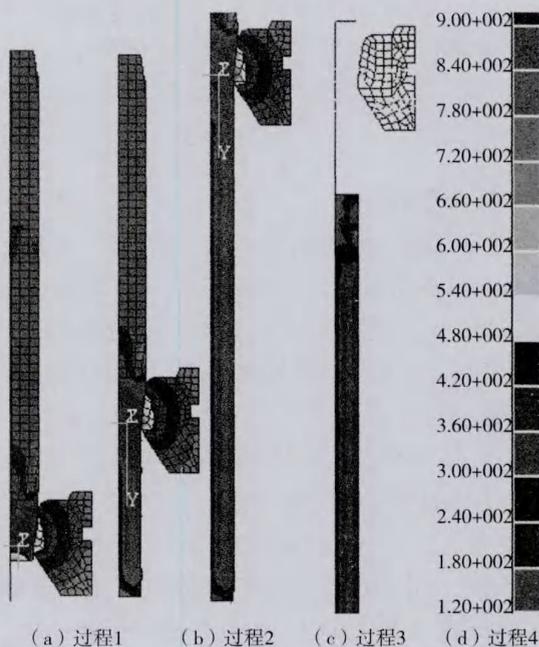


图4 抗滑键模拟挤压过程应力云图

2.2 抗滑力试验研究

矮塔斜拉桥的主塔鞍座锚固区配筋密集、管道集中,而且由斜拉索传来的垂直分力很大,应力分布及其传递十分复杂,在施工和运营阶段,索塔两侧的不平衡力需要通过结构的摩擦力和锚固装置承担,锚固结构的抗滑移能力对矮塔斜拉桥的施工和运营安全非常重要^{[7][8]}。为验证抗滑键的抗滑力,进行抗滑力试验研究。

试验采用直径15.24mm、标准强度为1860MPa的环氧涂层钢绞线,其标准抗拉力为260.4kN。在钢绞线一端挤压抗滑键,另一端使用工作锚板进行锚固,中间放置千斤顶和传感器

(图5), 给千斤顶施加张拉力, 通过传感器来测试抗滑键所能提供的最大抗滑力, 同时观察抗滑键是否有滑移现象。按一般钢绞线静载试验步骤连续进行四组试验, 通过试验可知, 4组抗滑键的实测抗滑力分别为265.8, 269.9, 272.4, 261.3kN, 均大于钢绞线的标准抗拉力, 验证了抗滑键有足够的抗滑能力。同时试件产生破坏的位置均不在抗滑键的位置, 且抗滑键未出现滑移现象。

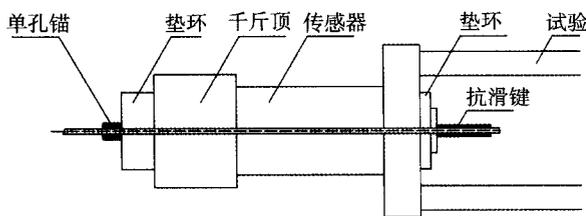


图5 测试抗滑力的试验装置

2.3 疲劳寿命研究

抗滑键作为斜拉索的一个组成部分, 不但要提供足够的抗滑力, 同时还应该具备抗疲劳性能, 为了验证抗滑键的抗疲劳性能是否满足设计和使用要求, 在江苏科技大学工程检测中心进行以下疲劳试验:

(1) 将钢绞线试件两端挤压抗滑键, 以抗滑键为锚固单元, 按钢绞线标称抗拉强度的0.55倍应力上限 (即 $F_s=143.39\text{kN}$)、应力幅值为250MPa, 做200百万次循环加载疲劳试验。试验结果满足“PTI (2001) 斜拉索设计、测试和安装条例”的要求, 且抗滑键未出现滑移和钢绞线断丝现象。

(2) 按实际使用状况测试抗滑键的抗疲劳性能, 两端张拉到钢绞线标称抗拉强度的0.5倍 (即 $F_s=0.5 \times 260.4\text{kN}=130.2\text{kN}$), 然后对抗滑键施加460MPa的动载荷, 做200百万次循环加载疲劳试验, 试验中抗滑键未出现滑移和钢绞线断丝现象。

以上试验结果表明抗滑键的抗疲劳性能非常优越。

2.4 抗滑键的布置形式

抗滑键在转向鞍两端的布置是实现抗滑的关键, 在施工过程中, 若拉索的一端产生不平衡

力, 则拉索上的抗滑键如何产生抗滑力, 桥梁运营后期如何实现单根换索, 因此, 需研究抗滑键的布置形式。

临汾汾河大桥是临汾市城区西南环路桥工程, 横跨汾河和大运高速公路。主桥采用跨径为(90+150+90)m矮塔斜拉桥。全桥共54对斜拉索, 塔身斜拉索通过处设有分丝管转向鞍, 转向鞍两端布置抗滑装置, 该桥塔上每束拉索最大设计抗滑力为314kN, 塔上竖向斜拉索间距为1.2m。每根斜拉索均由37根 $\phi 15.24\text{mm}$ 标准强度为1860MPa的环氧涂层PE防护钢绞线组成。

把带有抗滑键的单根钢绞线拉索从索鞍的一边穿入另一边, 由于抗滑键的外径比分丝管鞍小钢管的内径大, 顶在分丝管的端面, 形成单边抗滑装置。为了保证索塔两侧的抗滑力均等, 交叉排布索塔两侧的抗滑键, 以达到索鞍两侧抗滑作用, 这种结构为交叉抗滑装置, 其结构示意和模型分别见图6、图7。抗滑键在施工时可以提供足够的抗滑力, 该抗滑力从施工到运营整个过程均是持续的。

该桥整束拉索在极端偏载工况下的最大设计抗滑力为314kN, 抗滑键采取交叉布置, 索塔两侧的抗滑键数量分别为18个、19个, 抗滑键需承担的最大设计抗滑力为17.44 kN, 由抗滑力试验得到的单根抗滑键实际抗滑力远远大于每根钢绞线的设计抗滑力, 说明采取交叉抗滑键实现桥塔抗滑是安全可靠的。

在单根换索过程中, 打开锚头保护罩, 拆下索塔两端的PE连接装置及索上附属件, 把PE管在桥面往上推开一定距离, 把同一根钢绞线的应力释放, 从有抗滑键的一端把这根拉出, 安装上另一根钢绞线, 即可实现单根换索。

3 施工应用

由于在临汾汾河大桥中首次采用交叉抗滑键抗滑装置, 其张拉施工工艺控制较以往的环氧裹裹式抗滑结构形式不同, 因此, 施工前通过模拟的张拉工艺试验完善张拉工艺, 以确保张拉施工工艺的可行性, 张拉施工模拟试验布置示意图8。根据张拉工艺试验可以归纳出以下张拉施工

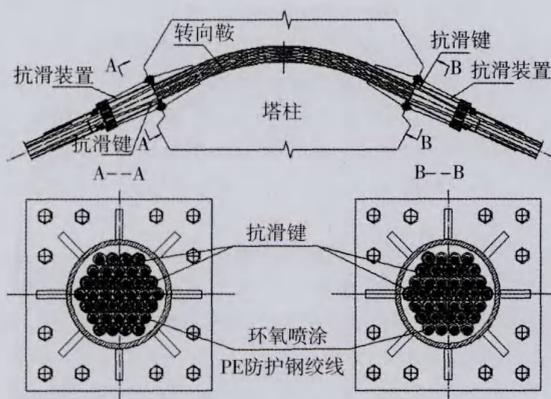


图6 交叉抗滑装置结构示意图

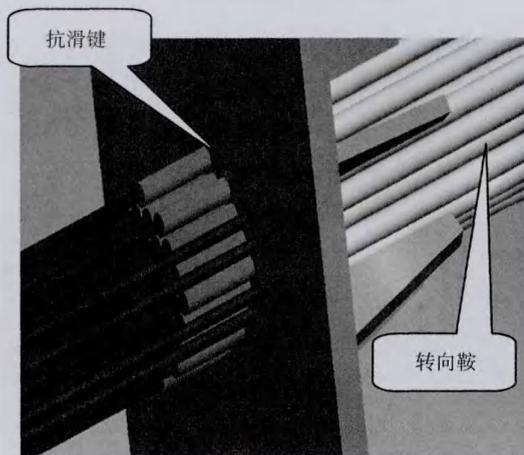


图7 交叉抗滑装置模型

工法:

(1) 根据张拉力的大小可以计算出带抗滑键的PE防护钢绞线在孔道内的最大摩擦损失力^[9];

(2) 先张拉无抗滑键端, 其张拉力应保证稍大于最大摩擦损失力, 以确保抗滑键紧贴转向鞍端面;

(3) 确保抗滑键紧贴转向鞍端面后, 两端同时进行张拉, 通过对两端的传感器的控制, 抗滑键始终都是紧贴在转向鞍端面, 并张拉到所需要的设计力。

在临汾汾河大桥的实际施工中, 斜拉索钢绞线的安装采用单根穿索的方式进行。安装前, 根据设计的要求, 先定位安装好相应的锚板、HDPE护套等相关配套部件的安装位置, 以便钢绞线顺利穿过相应构件, 完成挂索工作。带有抗

滑键的斜拉索安装过程如下:

(1) 斜拉索在工厂下料后直接按要求制作抗滑键, 对带有抗滑键的钢绞线进行标记, 成盘运输到施工现场;

(2) 在施工现场, 辨别钢绞线上对应的拉索编号, 按照施工顺序将带有抗滑键的钢绞线线盘放置到放线基架上, 对钢绞线两端头进行墩头处理, 以供斜挂索牵引用;

(3) 明确抗滑键布置以确保转向鞍两端的抗滑键数目均衡, 竖向按应自上而下逐行进行穿索, 水平方向则按自外侧往内侧逐孔进行穿索。

(4) 将带有抗滑键的钢绞线的两头分别穿过预埋管和HDPE护管及塔上连接装置, 在一根带有抗滑键的钢绞线安装后, 安装索塔的另一侧、相邻的带抗滑键的钢绞线;

(5) 根据张拉施工工法, 按张拉施工工艺控制斜拉索各根钢绞线的张拉力, 并保证抗滑键均紧密贴合在转向鞍两端面。

按照以上方法, 完成一束带有抗滑键钢绞线的安装, 逐至全桥的斜拉索安装完毕。

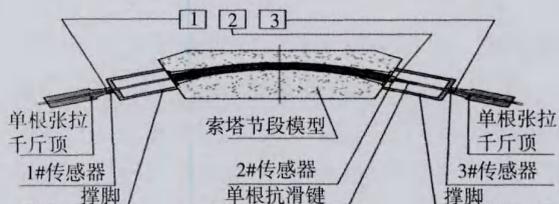


图8 张拉施工模拟试验布置示意

4 结语

交叉抗滑键抗滑装置可提供均匀可靠的抗滑力来克服桥梁施工和运营期间产生的不平衡力, 同时能实现斜拉索的单根调索和单根更换, 实现了矮塔斜拉桥单根换索体系的设计理念, 该结构已在山西临汾汾河大桥中成功运用。采用这种交叉抗滑键抗滑, 该桥在施工时更安全、后期维护保养更便利。交叉抗滑键的运用, 为矮塔斜拉桥实现单根可换式结构体系迈上了一个新的台阶, 在今后矮塔斜拉桥单根可换式发展起着巨大的推动力。

参考文献

- [1] 魏朝柱. 矮塔斜拉桥结构及设计特点[J]. 广东交通职业技术学院学报, 2011, 10(3): 18-22.
- [2] 庄年, 应伟强. 北京某矮塔斜拉桥的设计与施工实践[J]. 特种结构, 2011, 28(1): 89-92.
- [3] 张洪双. 孔冷挤压强化工艺参数分析[J]. 机械设计制造, 2011, 12(12): 204-206.
- [4] 张少雄, 陈宾康, 赵成璧, 曹伟松. 轴对称冷挤压的刚塑性有限元分析与模拟(英文)[J]. 武汉交通科技大学学报, 1999, 23(5): 567-570.
(Zhang Shao-xiong, Chen Bin-kang, Zhao Chen-bi. Rigid-plastic FEM Analysis for Axi-symmetric Cold Extrusion [J]. Journal of Wuhan Transportation University, 1999, 23(5): 567-570. in Chinese)
- [5] 夏雪梅, 高学仕, 许朝辉. 管套双向挤压变形的有限元仿真分析[J]. 石油矿场机械, 2005, 34(4): 46-48.
- [6] 王艳, 魏春明, 陈淮. 部分斜拉桥施工力学性能分析[J]. 桥梁建设, 2012, 42(2): 46-51.
(WANG Yan, WEI Chun-ming, CHEN Huai. Analysis of Mechanical Properties of Extradosed Bridge in Construction Process [J]. Bridge Construction, 2012, 42(2): 46-52. in Chinese)
- [7] 宋茂林. 矮塔斜拉桥索塔足尺模型试验方法[J]. 山西交通科技, 2008, 2(191): 59-61.
- [8] 杨晓燕. 广州沙湾大桥索鞍区模型试验[J]. 桥梁建设, 2011, (3): 31-35.
(YANG Xiao-yan. Model Test for Stay Cable Saddle Zone of Shawan Bridge in Guangzhou [J]. Bridge Construction, 2011, (3): 31-35. in Chinese)
- [9] 王清标. 孔道成孔工艺对锚固力损失的分析与控制[J]. 山东大学学报, 2009, 39(4): 145-148.

信息视窗

中科院国家天文台与柳工欧维姆公司成功签约FAST工程反射面索网制造和安装项目

2013年3月30日, 中科院国家天文台与柳工欧维姆公司在柳州丽笙大酒店隆重举行了关于FAST工程项目反射面索网制造和安装工程合同签约仪式, 合同金额达1.185亿元。国家天文台台长严俊、副台长郑晓年、总工程师南仁东以及柳工欧维姆公司董事长郑津、党委书记刘广德、总经理刘璇等领导出席了签字仪式。

FAST工程全称为“500米口径球面射电望远镜”, 其反射面面积约30个足球场大, 为国家重大科学工程。作为世界最大的单口径射电望远镜, FAST将在未来20-30年保持世界一流设备的地位; 作为一个多学科基础研究平台, FAST有能力将中性氢观测延伸至宇宙边缘, 观测暗物质和暗能量, 寻找第一代天体, 并将在国家重大需求包括国家安全服务方面有重要应用价值。这次中科院国家天文台和柳工欧维姆的成功签约, 标志着这项前无古人、没有成功历史经验可借鉴、具有我国自主知识产权的国家重大科技基础

设施工程的建设迈出了走向成功关键的一步。

在签约仪式上中科院国家天文台严俊台长回顾了十几年来我国科学家们对FAST工程从项目的最初设想、反复论证到最终实施, 特别是近三年来和欧维姆公司合作的过程, 真诚感谢OVM公司的不懈努力、经过艰苦研制和反复修正, 成功研发出为FAST项目主动反射面主体支承结构量身定制的、具有自主知识产权的OVM-ST型超高应力幅拉索体系, 为FAST项目能按既定方案顺利实施作出重大贡献!

柳工副总裁、OVM董事长郑津在签约仪式上庄重承诺: 秉承柳工核心价值观“客户导向, 品质成就未来, 以人为本, 合作创造价值”和OVM品牌文化“协作、创新、诚信、品质”, 将用公司最好的资源、最精心的组织、最高的效率、不折不扣保质保量完美地完成FAST项目所需的技术、产品、服务等各项工作!

(王煜明)