

DOI: 10.7672/sgjs2025180082

钢绞线斜拉索群锚夹片整体顶压施工技术*

唐栋梁,阮泽莲,伍先友

(中交二航局第二工程有限公司,重庆 401120)

[摘要] 斜拉桥钢绞线拉索单根挂索并初张拉完成后,在二次张拉要求整体张拉时,往往存在群锚夹片后退距离不够刮伤防腐涂层的情形,在二次张拉完成钢绞线回缩时,往往存在两瓣式工作夹片不能同步回缩甚至出现错位情形,这就导致低应力状态下的钢绞线斜拉索的锚固性能骤然降低,给大桥安全带来较大隐患。以四川省泸州市榕山长江大桥为例,介绍一种能整体顶压钢绞线斜拉索群锚夹片前移的新型液压装置,该装置设置在限位板与整体张拉千斤顶之间,其顶升活塞能带动其前端的顶压头组整体前移,顶压头组为空心管结构,当其穿过限位板眼孔后,可将工作夹片整体顶入工作锚锥孔内,可有效解决前述锚固隐患问题。

[关键词] 桥梁;斜拉索;钢绞线;群锚;二次张拉;顶压;施工技术

[中图分类号] U448.27

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)18-0082-05

Overall Top-pressure Construction Technology of Anchor Clips of Steel Strand Cable Group Anchorage

TANG Dongliang, RUAN Zelian, WU Xianyou

(China Communications 2nd Navigational Bureau 2nd Engineering Co., Ltd., Chongqing 401120, China)

Abstract: After the single strand hanging and initial tensioning of the steel strand cables of a cable-stayed bridge are completed, there is often a situation where the anchor clips of group anchorage do not have enough retreat distance during the overall tensioning in the secondary tensioning, which can scratch the anti-corrosion coating. During the completion of the second tensioning, when the steel strand retracts, there is often a situation where the two-leaf working anchor clips can not retract synchronously or even become misaligned. This leads to a sudden decrease in the anchoring performance of the steel strand cables under low stress, posing a significant safety hazard to the bridge. Taking the cable construction of the Rongshan Yangtze River Bridge in Luzhou, Sichuan Province as an example, this paper introduces a new type of hydraulic device that can collectively advance the anchor clips of the steel strand cables. This device is installed between the limit plate and the collective tensioning jack. Its lifting piston can drive the entire front pressing head assembly to move forward. The pressing head assembly is a hollow tube structure. After it passes through the eye hole of the limit plate, it can push the working anchor clips into the working anchor cone hole as a whole, effectively resolving the aforementioned anchoring safety hazards.

Keywords: bridges; stay cable; steel strand; group anchorage; secondary tensioning; top pressure; construction

0 引言

对于早期的钢绞线索斜拉桥,由于缺乏系统研究,导致一些质量问题,如重庆马桑溪长江大桥于

2001年建成,其钢绞线索出现腐蚀、磨损和断丝等质量问题,因此,该桥的钢绞线索在2023年被更换为平行钢丝索^[1]。目前,国内外学者对钢绞线索斜拉桥在多个领域开展了研究,包括桥梁结构性能^[2]、斜拉索疲劳性能^[3-4]、斜拉索施工控制方法^[5-6]、钢绞线索锚固系统性能^[7-12]、维护与监测方法^[13-14],以及斜拉索的可靠性评估和健康寿命预

* 中交二航局科技立项课题:高低塔、钢绞线拉索、叠合梁斜拉桥主梁施工控制研究(EHYF-2023-B-032)

[作者简介] 唐栋梁,项目总工程师,高级工程师, E-mail: 195407395@qq.com

[收稿日期] 2025-03-18

测^[15]等,这些研究对斜拉桥安全使用和使用寿命延长发挥了积极作用。

然而,目前在施工阶段对钢绞线索的研究仍存在不足,如如何防止钢绞线环氧涂层在张拉过程中被夹片刚蹭及防止工作锚、夹片和钢绞线不能协同工作导致夹片夹持可靠性出现问题,以及如何防止在低应力水平、高应力幅值及长期振动疲劳作用下锚固系统中夹片出现松弛问题等,本文将针对这些问题进行阐述。

1 工程概况

榕山长江大桥位于四川省泸州市合江县,在百米镇插花梁与榕山镇临港工业园区区间由北向南跨越长江,跨江主桥长 1 055m,桥跨布置为 200m+530m+245m+80m,为高低双塔、两侧索面、四跨连续叠合梁、半漂浮体系斜拉桥。

其上部结构采用钢绞线斜拉索体系,全桥共计 168 根斜拉索,其中 1 号索塔共计 4×18=72 根,2 号索塔共计 4×24=96 根。拉索型号共计 6 种,分别为 M280-37, M280-43, M280-55, M280-61, M280-73, M280-85。

斜拉索采用 $\phi 15.2$ 单丝涂覆环氧涂层钢绞线,夹片锚固。拉索塔端为张拉端,梁端为锚固端,拉索在塔端锚固于索塔内齿块,在梁端通过锚拉板传力至主梁上。斜拉索钢绞线挂索初张拉采用单孔钢绞线张拉千斤顶(前卡式千斤顶)单根张拉,二次张拉采用大吨位穿心式千斤顶整体张拉。

2 夹片整体顶压装置

2.1 常规钢绞线张拉工艺

张拉前,在管道内提前安装钢绞线,并从钢绞线端部整体穿入工作夹片副(含 2 片工作夹片及 1 道钢丝圈),通过捅管(小直径钢管)冲顶工作夹片副,使其进入工作锚锥孔内,再依次安装限位板、千斤顶、工具锚、工具夹片副(含 3 片工具夹片及 1 道钢丝圈),最后用捅管冲顶工具夹片副使其进入工具锚锥孔。

张拉时,千斤顶抵住工作锚具,张拉油泵向进油嘴进油,在高压油推动作用下活塞向后运动,此时,工具夹片副在工具锚锥孔内被卡紧,工具夹片咬紧钢绞线,带动钢绞线向后运动,工作夹片副同步向后退出,由于受限位板阻挡,工作夹片副只能向后整体退出约 6mm(限位板槽口深度一般约 6mm),此时,工作夹片副与工作锚锥孔间理论上脱离接触,不再产生挤压力,工作夹片与钢绞线间咬合松弛,从而实现钢束张拉持续伸长。

张拉至设计力值后,张拉油泵回油,钢绞线在

自身张力作用下回缩,带动工作夹片副整体进入工作锚锥孔内再次被卡紧,工作夹片重新咬合钢绞线从而完成锚固。

钢束张拉完成后封堵锚头,向预应力管道内灌浆,灌浆料达到强度后形成预应力钢绞线锚固体系。

2.2 存在的问题

2.2.1 钢绞线斜拉索对夹片锚固性能要求更高

常规钢绞线锚固体系在张拉完成后会对预应力孔道进行灌浆处理,该锚固体系除孔道两端的夹片锚固外,灌浆料达到强度后更是起到核心锚固作用,故常规钢绞线体系对夹片的夹持锚固性能要求相对较低。

对于钢绞线斜拉索锚固体系而言,只能依靠上、下两端的工作夹片夹持钢绞线锚固,工作夹片夹持的可靠性决定了大桥的安全性,这就要求夹片夹持钢绞线时不得损伤环氧防腐涂层及钢绞线本身;此外,为保证大桥安全,钢绞线斜拉索往往具有较大安全储备,这就导致钢绞线应力值相对较低,在桥面动荷载长期反复作用下,钢绞线的应力幅值出现反复变化,钢绞线夹片在低应力条件下其咬合夹持可靠性相对更差,因此,如何保证钢绞线夹片在低应力条件下的夹持可靠性成为必须要重视的问题,这就对钢绞线斜拉索锚固体系的锚固性能提出了更高要求。

2.2.2 常规张拉工艺会刮伤钢绞线环氧防腐涂层

钢绞线斜拉索采用环氧涂层单丝涂覆体系,采用常规张拉工艺时,在限位板作用下,工作夹片在工作锚锥孔内后退距离较小(一般约 6mm),工作夹片咬齿丝牙与钢绞线间咬合实际上未完全松弛,仍有一定咬合力,钢绞线在张拉伸长过程中,工作夹片咬齿丝牙会刚蹭环氧喷覆涂层,导致其脱落并残留在工作夹片咬齿内,其夹持锚固性能骤然降低。此外,也极易存在刮伤钢绞线自身情形。

因此,有必要加大限位板内槽深度,使工作夹片副退出工作锚锥孔的距离增大,从而解决环氧涂层刮伤等问题。

2.2.3 两瓣式工作夹片不能同步进退(锚固时处于错位状态)

1)受挂索工艺影响工作夹片钢丝圈无法安装

1 个工作夹片副含有 2 个工作夹片(两瓣式)及 1 道钢丝圈,通常情况下,夹片副从钢绞线端部整体装入,随捅管冲顶能同步顶入工作锚锥孔内,在张拉过程中,由于有钢丝圈约束,整个夹片副能握裹住钢绞线并随钢绞线移动共同进退,夹片与钢绞线接触均匀,夹持锚固性能较好。

钢绞线斜拉索挂索安装,一般采用塔外卷扬机系统分次将多根钢绞线同步循环牵引至塔端索导管下口处塔外(单次一般可同步牵引 2 根钢绞线,如图 1 所示),然后逐根转换至塔内卷扬机牵引系统逐根牵引至塔内(见图 2),待单根钢绞线牵引拉出塔端索导管上口后,再安装两瓣式工作夹片夹持锚固。由于受安装工艺影响,钢绞线前端连接有塔内卷扬机牵引系统(见图 3),此时,工作夹片副无法从钢绞线端部整体装入,只能分为两瓣从钢绞线侧面人工安装塞入工作锚锚孔,而夹片的钢丝圈则无法安装,因此,在钢绞线张拉过程中,因无钢丝圈约束,两瓣式工作夹片不能与钢绞线同步进退,甚至出现两瓣式工作夹片错位不能对齐情形,这就导致其锚固可靠性出现较大问题,从而威胁到大桥安全。



图 1 塔外循环牵引系统单次牵引 2 根钢绞线

Fig. 1 The circulating traction system simultaneously pulling 2 steel strands in a single operation outside the pylon

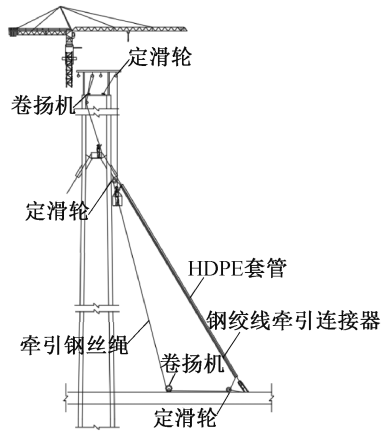


图 2 钢绞线塔外循环牵引

Fig. 2 Steel strand circulation towing outside the pylon

2)放射状钢绞线导致钢绞线与锚孔壁间隙不均匀

为了方便人工转运、安装及工具夹片更易退出,工具锚通常较工作锚更轻巧,厚度更小,锚孔锥度更小。考虑到斜拉索索力较大(最大索力>5 600kN),工具锚受力难以满足要求,故需加大工具锚锚孔间距、加厚锚孔壁间宽度、增强工具锚截

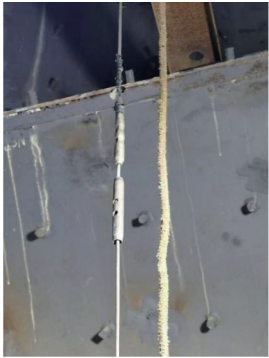


图 3 钢绞线塔内牵引并无法安装钢丝圈

Fig. 3 Steel strand towing inside the pylon and inability to install wire loops

面特性,保证工具锚受力满足要求,这将导致钢绞线张拉时呈放射状(见图 4)。

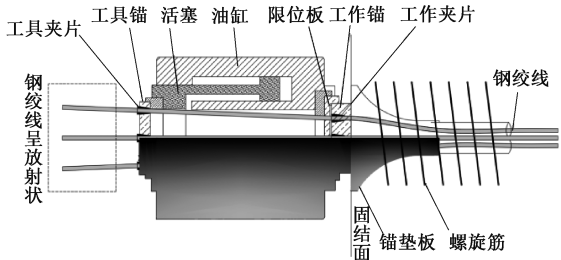


图 4 张拉时钢绞线呈放射状

Fig. 4 Steel strands in a radial pattern during tensioning

钢绞线张拉时工作夹片退出工作锚锚孔,由于钢绞线呈放射状,这就导致钢绞线与工作锚锚孔壁间隙不均匀,当张拉完成钢绞线回缩时,加之夹片无钢丝圈约束,两瓣式工作夹片也难以实现同步回退,这也将导致两瓣式工作夹片可能错位不能对齐的情形发生,锚固可靠性显著降低。

3 钢绞线斜拉索群锚夹片整体顶压装置

3.1 常规工艺存在问题的解决思路

3.1.1 夹片刚蹭环氧涂层或损伤钢绞线

针对工作夹片刮伤钢绞线环氧防腐涂层问题,采用加大限位板内槽深度方式,使工作夹片能更好地退出锚孔,工作夹片与钢绞线处于未咬合状态,不与夹片丝牙发生刚蹭而出现损伤、掉落防腐涂层的情况。项目现场经多次试验,将限位板齿槽深度由常规的 6mm 优化为 20mm,即工作夹片最大回退距离为 20mm,张拉时,钢绞线向后伸长,带动工作夹片向后退出 20mm,此时工作夹片与钢绞线处于未咬合状态,不会与夹片丝牙发生刚蹭。

3.1.2 工作夹片不能同步进退

针对两瓣式工作夹片不能同步进退问题,发明一种夹片整体顶压装置,安装在千斤顶与限位板间(见图 5),当工作夹片退出工作锚锚孔、钢绞线拉索

张拉至设计力值后,施加主动力将工作夹片(两瓣式)整体顶入工作锚锥孔内,此时,整体张拉千斤顶回油,钢绞线回缩与工作夹片在工作锚锥孔内均匀咬合,形成可靠锚固体系。

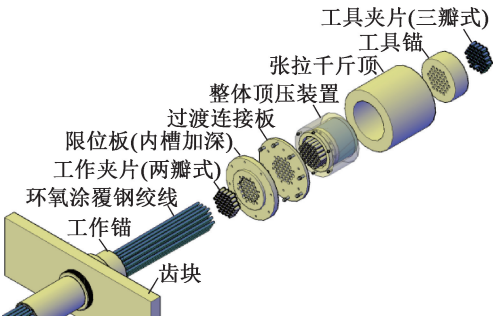


图 5 在千斤顶与限位板间增加夹片整体顶压装置

Fig. 5 Overall clip top-pressure device between the jack and the positioning plate

3.2 群锚夹片整体顶压装置具体结构

整体顶压装置由顶压头组、顶压千斤顶(含活塞及油缸)两部分组成,如图 6 所示。

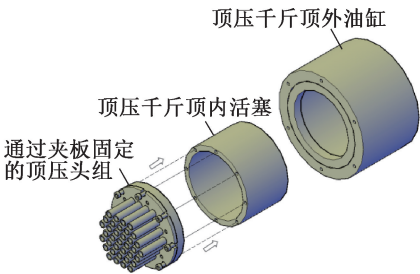


图 6 整体顶压装置组成

Fig. 6 Components of the overall top-pressure device

顶压头为头部带冠状环的空心钢管,夹板 I, II 根据锚孔位置及顶压头管径进行开孔,通过夹板 I, II 夹紧顶压头冠状环,再用螺栓连接紧固夹板 I, II, 形成顶压头组,如图 7 所示。

顶压头组通过螺栓与顶压千斤顶内活塞连接固定,在液压作用下,顶压头组可随顶压千斤顶活塞向前或向后运动,完整的夹片顶压装置组装及其部件拆解组成如图 8 所示。

3.3 工作原理

群锚夹片整体顶压装置安装在张拉千斤顶和限位板间,在斜拉索二次张拉前(钢绞线需整体张拉),锚夹片被固定在工作锚的锥孔内(见图 9a,步骤 1),在二次张拉过程中,随着钢绞线拉长,工作夹片从工作锚锥孔中退出(见图 9b,步骤 2),当钢绞线张拉到设计力值后,整体顶压装置的液压油缸进油驱动其活塞运动,活塞推动顶压头组件整体前移,顶压头组件前端空心管穿过限位板眼孔(顶压头组布置位置需与限位板眼孔位置匹配设计),并

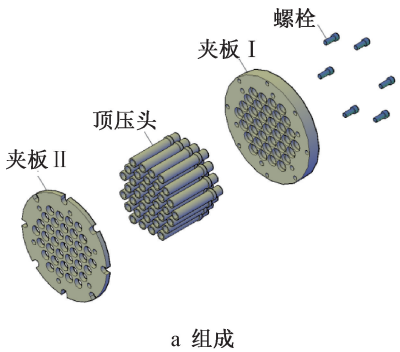
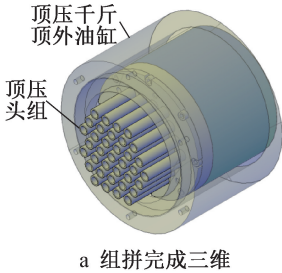


图 7 顶压头

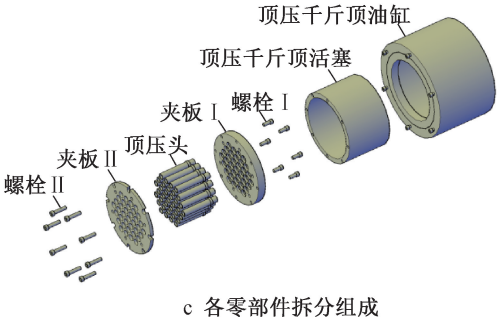
Fig. 7 The top-pressure head



a 组拼完成三维



b 组拼完成实景



c 各零部件拆分成

图 8 夹片整体顶压装置

Fig. 8 Overall clip top-pressure device

将工作锚夹片整体同步顶推回工作锚锥孔内(见图 9c,步骤 3),注意顶推力须适中。此时,整体张拉千斤顶回油,钢绞线回缩,与工作夹片在工作锚锥孔内均匀咬合,形成可靠锚固体系。

4 结语

本文介绍了一种全新的钢绞线斜拉索群锚夹片整体顶压装置,夹片整体顶压千斤顶活塞带动顶压头组整体前移,顶压头组前端空心管穿过限位板眼孔,将工作夹片整体顶入工作锚锥孔内,解决了常规张拉工艺中夹片不可避免地刮蹭、掉落钢绞线

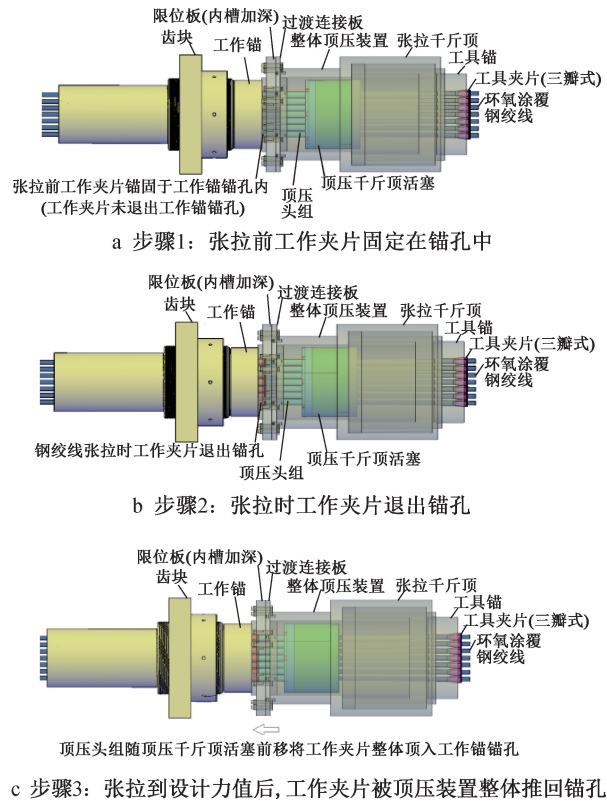


图 9 夹片整体顶压装置工作原理

Fig. 9 The working principle of the overall clip top-pressure device

环氧涂层及工作夹片不能共同进退,导致夹片锚固性能降低的问题。

该装置采用组装机顶压头,可根据拉索钢绞线根数的变化,通过夹板紧固安装与之匹配的顶压头形成不同数量的顶压头组,组装灵活,施工方便。该装置在泸州市榕山长江大桥钢绞线斜拉索施工中已得到成功应用,能很好地解决钢绞线拉索群锚夹片夹持可靠性问题,具有显著的社会、经济效益,推广应用前景广阔。

本文前述提到,在整体顶压过程中施加到工作夹片上的顶推力需适中,过大顶推力会导致夹片刮伤钢绞线环氧涂层,而顶推力不足则可能导致夹片锚固性能下降。因此,如何界定顶推力适中需后续进一步探讨。

参考文献:

[1] 谢琳. 斜拉桥钢绞线拉索更换为平行钢丝拉索结构性能变化研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2024.
XIE L. Research on structural performance of cable-stayed bridge with steel strand cables replaced by parallel steel wire cables [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2024.
[2] 陈维家,张强,何铁明. 珠海洪鹤大桥主航道桥总体设计[J]. 桥梁建设,2020,50(4):77-81.
CHEN W J, ZHANG Q, HE T M. Overall design of main navigational channel bridge of Honghe Bridge in Zhuhai [J].

Bridge construction,2020,50(4):77-81.
[3] 朱万旭,刘丰荣,朱世聪,等. 钢绞线拉索疲劳性能优化试验研究[J]. 世界桥梁,2020,48(5):46-50.
ZHU W X, LIU F R, ZHU S C, et al. Experimental study of fatigue performance optimization for steel strand cables[J]. World bridges, 2020,48(5):46-50.
[4] LIN Q, TABATABAI H. Bending-induced stresses in parallel seven-wire strand stay cables[J]. Journal of bridge engineering, 2024,29(11):04024084.
[5] 杨勇,魏朝西,王荣辉. 平行钢绞线斜拉桥“索、梁”同步施工及索力控制[J]. 工程建设,2023,55(9):56-59,66.
YANG Y, WEI C X, WANG R H. “Cable, beam” synchronous construction and cable force control for parallel strand stay bridge [J]. Engineering construction,2023,55(9):56-59,66.
[6] WANG L F, ZHANG Y, XIAO Z W, et al. A tensioning control method for stay cables with super large tonnage cable force[J]. International journal of structural integrity, 2024, 15(3): 613-630.
[7] 张强,李冰,郝玉柱,等. 马鞍山长江公铁大桥 2100MPa 高强度钢绞线斜拉索及锚具研制[J]. 桥梁建设,2024,54(1): 1-7.
ZHANG Q, LI B, HAO Y Z, et al. Study on stay cables composed of 2100MPa steel strands and anchorages of Maanshan Changjiang River Rail-cum-road Bridge [J]. Bridge construction, 2024, 54(1):1-7.
[8] 李闯. 超大吨位钢绞线斜拉索锚具力学性能研究及应用[D]. 重庆:重庆交通大学,2015.
LI C. The mechanical properties and application of large tonnage steel strand stayed-cable anchors [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2015.
[9] DING K W, LIU Y W. The finite element analysis of the clip type prestressed anchor [C]//Advances in Engineering Research, Yinchuan, China, 2015.
[10] ZUO X D, LI Q, WEN P. Discussion on the design of cable tower grouping-anchorage system of cable-stayed bridge[J]. Journal of highway and transportation research and development (English edition), 2021,15(2):30-39.
[11] SHI X F, PAN H S, LIU Z Q, et al. Performance of a U-shaped anchoring system for cable-stayed bridges[J]. Structures, 2022, 42:268-283.
[12] WEI B, ZHANG R M, JIANG L Z, et al. Scale model test and numerical analysis on the anchorage zone of a cable-stayed bridge with the cross-anchor structure[J]. Engineering structures, 2024, 316:118614.
[13] JIANG J G, BAI Y S, WU D H, et al. Key structure and technology of bridge cable maintenance robot—a review [J]. Robotic intelligence and automation, 2025,45(1):121-143.
[14] PAVLOVIĆ V, TOMIĆ M, STAN S D, et al. Control of a wire tensioning system with force prediction using artificial neural networks[J]. IEEE access, 2022,10:10989-10998.
[15] KONG X, LIU Z W, LIU H, et al. Recent advances on inspection, monitoring, and assessment of bridge cables [J]. Automation in construction, 2024,168:105767.