

弯束可换式锚碇锚固系统在湖南矮寨桥的应用

赵千明 张东福 苏强 曾诚 谢正元

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要: 锚碇锚固系统是大型悬索桥主缆的承力构件,是悬索桥的生命线工程。悬索桥隧道锚中多采用弯束状的预应力钢束,与顺直管道的预应力钢束相比,锚固系统在设计上、生产上、施工上增加很大困难。本文介绍弯束可换式锚碇锚固系统在湖南矮寨特大悬索桥上的应用情况,借此总结经验,为以后相似的工程提供借鉴。

关键词: 锚碇 预应力锚具 弯束 穿束 张拉 灌油 密封

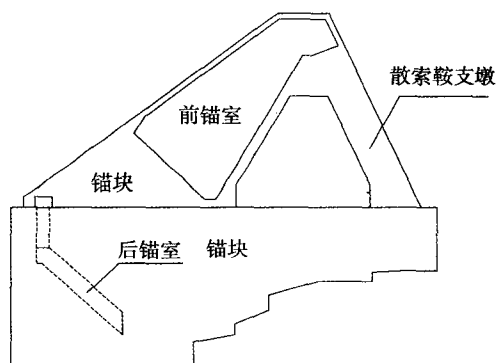
1 概述

悬索桥也称吊桥,是指利用主缆和吊索作为加劲梁的悬挂体系,将荷载作用传递到桥塔、锚碇的桥梁。其主要结构由主缆、索塔、锚碇、吊索、加劲梁组成。锚碇锚固系统是一种运用于大型悬索桥、连接主缆索与锚碇砗台墩之间、将来自主缆的荷载传递至锚碇台墩的结构,它具有不可替代性且受力复杂而被称为悬索桥的生命线工程。为确保这生命线工程,工程设计人员不断研究改进锚碇锚固技术、防腐技术、施工技术,确保锚碇锚固系统安全可靠。

湖南矮寨特大悬索桥为吉茶高速公路的控制性工程,如图1。其吉首岸重力锚锚体为一般形式锚体,锚体分为:锚块、散索鞍支墩及基础、前锚室、后锚室四部分。锚体长度25m,水平交角 45° ,如图2所示。而茶洞岸锚体受场地限制,设置成隧道锚形式,锚体分为:锚塞体、散索鞍支墩及基础、前锚室、后锚室及明洞五部分。水平交角 38° ,锚体长度43m,如图3所示。

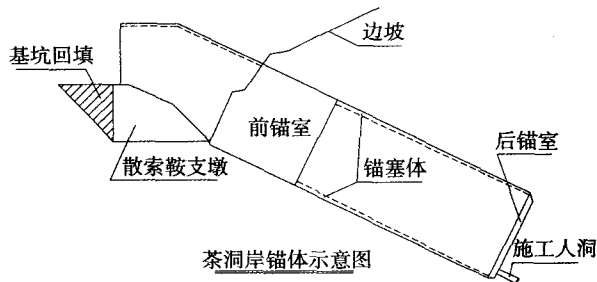


图1 矮寨特大悬索桥效果图



吉首岸锚碇示意图

图2 吉首岸锚碇示意图



茶洞岸锚碇示意图

图3 茶洞岸锚碇示意图

锚索布置如图4所示。其中吉首岸T15-16锚索62束, T15-31锚索144束;茶洞岸T15-16锚索74束, T15-31锚索132束。锚固体系在水平、竖向两个面内均辐射形布置,拉杆方向与其对应的索股方向一致,前后锚面均为大缆合力线垂直的平面,预应力钢束起初沿索股发散方向布置,再按一定半径收敛最后与大缆合力线平行锚固于后锚面^[1],如图5。

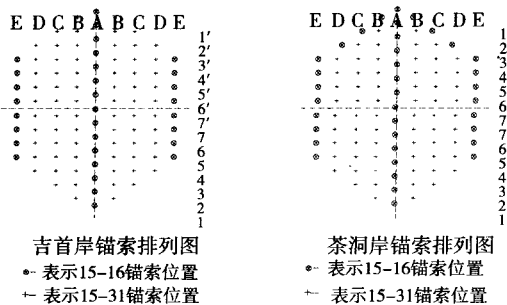


图4 锚索布置示意图

锚固系统由索股锚固连接构造和预应力钢束锚固构造组成。索股锚固连接构造由拉杆及其组件、连接平板、支承筒组成；预应力钢束锚固构造由管道、预应力钢绞线及锚具、防腐油脂、锚头保护帽等组成。拉杆上端与索股锚头上的锚板相连接，另一端与被预应力钢束锚固于前锚面的连接器相连接。

湖南矮寨特大悬索桥的预应力束管道与常规可换式锚碇锚固系统不同之处在于其结构是弯曲的，在靠近前锚的管道设计了弯曲的分丝管结构（转向器），如图6。

3 锚固系统的应用

2009年12月到2010年7月，矮寨桥进行了专项预应力施工，包括连接器安装、钢绞线穿束、张拉、灌油的施工等。施工前编制详细的施工细则，精心准备，精心施工，至今工程已顺利完成。实际工程应用表明，弯束可换式锚碇锚固系统及施工规程满足施工要求。

矮寨桥弯束可换式锚碇锚固系统的施工主要工艺流程如下：搭建前后锚面施工脚手架—连接器安装—钢绞线下料—钢绞线穿束—钢绞线张拉—切平端部钢绞线—安装防松装置与保护罩—灌注防护油脂。

3.1 搭建前后锚面施工脚手架

搭设施工平台及必要的施工便道，采用钢管脚手架在锚碇前、后锚面分别搭设张拉、灌油操作平台，平台上铺好脚手板。

3.2 连接器安装

在工厂将连接平板与连接筒预先用螺栓联接好后整体运输到工地。连接器安装前将连接筒沉

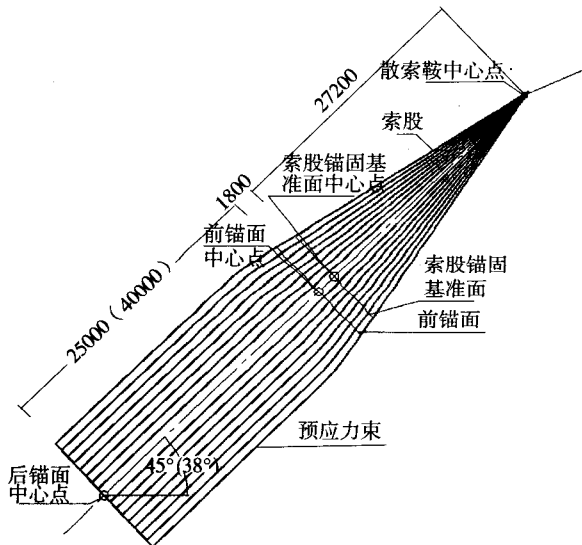


图5 锚碇预应力束布置

2 锚固系统结构

本桥锚碇采用预应力钢绞线锚固系统。根据国内已建悬索桥锚碇的设计施工经验^[2]，预应力锚固系统通常采用管道内灌注水泥浆的防腐方式，成为不可更换的永久结构，而管道压浆施工质量又难以保证，因此严重影响了预应力钢绞线的防腐耐久性。为了确保锚固系统乃至整个桥梁的安全与耐久性，本桥锚碇采用的是无粘结、可换式预应力系统。

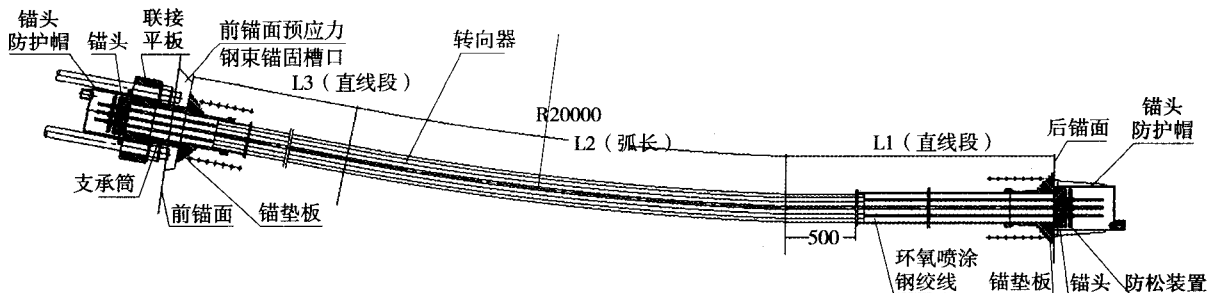


图6 含转向器的预应力钢束锚固构造

孔擦拭干净并均匀涂上胶水，之后把铜垫圈压入沉孔内，如图7所示；之后利用手拉葫芦、螺栓导向杆等工具，将连接器平稳安装到锚垫板止口内，用螺杆把连接器固定在锚垫板端面，在连接器及锚垫板之间的缝隙，用胶带对接缝环形缠包并涂上玻璃胶作临时密封。如图8所示。

连接器先固定于锚面上有利于减少在穿索过程中连接器错动，从而减少密封面上铜垫圈的错动，以免影响铜垫圈的密封效果。



图7 铜垫圈安装



图8 连接器安装

3.3 钢绞线下料

下料工艺流程：选取场地及场地清理铺垫—放线架及索盘放置到位—丈量、下料—钢绞线一端打散镦头—钢绞线头恢复原状—堆放覆盖等待穿束。

(1) 下料选择在一块平整干净的能防潮防雨的面积约为 $50\text{m} \times 10\text{m}$ 的场地上进行。为了吊装及穿束方便，在锚块附近范围内的空场地进行下料。如图9。

(2) 根据钢绞线来料卷盘形式，现场制作相应的下料盘支架及起吊龙门架。

(3) 采用高速砂轮切割机下料，切割时用力均匀，以保证切口平整，不散股。

(4) 用彩条布垫在索盘及牵引出来的钢绞线下面，防止下料时钢绞线表面的环氧涂层受损。下好的钢绞线下面垫好彩条布，上面再盖一层彩条布防护。

(5) 下好料后一端打散镦头，并切除旁丝留镦头中心丝高约 5cm 。



图9 钢绞线下料

3.4 钢绞线穿束

穿束前，在前锚安装临时撑脚，撑脚置于连接平板与工作锚板之间；在后锚，工作锚板置于锚垫板后一定距离。因预应力管道有分分管，穿束采用人工单根穿束，按设计定顺序（工作锚板锥孔从下到上，从左到右）从前锚面进行穿束。

穿束工艺流程：穿入前工作锚板—穿入临时撑脚—装上导向帽—穿入分分管—穿入直管—穿过后锚垫板—拆下导向帽—穿入后工作锚板—装上夹片—拆除临时撑脚—调索。前锚穿束如图10，调索后的后锚如图11。通过使用临时撑脚与导向帽保证钢绞线在孔道内顺直不打绞。

3.5 钢绞线拉张

穿束后尽快开始张拉施工。张拉顺序由设计给定，采用在前锚面单端张拉。

张拉机具采用YCW型预应力穿心式千斤顶，

T15-31预应力钢绞线束用YCW650A千斤顶张拉，T15-16预应力钢绞线束用YCW400B千斤顶张拉。YCW型千斤顶为一种通用性较强的张拉机具，性能稳定可靠，适用于张拉各种类型的钢绞线（包括各种光面或环氧喷涂钢绞线，有粘结或无粘结钢绞线），已广泛用于各种先张、后张法的预应力施工。

张拉工艺流程：安装限位板—安放千斤顶—安装工具锚板—安装油泵及油表—分级张拉—读数—卸荷、千斤顶回程—拆除张拉设备—下一束张拉准备。

张拉前用葫芦或卷扬机将千斤顶、油泵等机具吊上工作平台，接好各种电源和油路。按顺序安装限位板、千斤顶、工具锚和工具夹片，保证各安装件贴紧、对中。如图12所示。

按分级张拉进行，同时测量每级的伸长值，分级如下： $0 \rightarrow$ 初应力（ $10\% \sigma_{con}$ ） $\rightarrow 20\% \sigma_{con} \rightarrow 50\% \sigma_{con} \rightarrow 100\% \sigma_{con}$ —持荷2min锚固（若此时压力表读数下降，需把力补上到设计控制读数后再锚固）。张拉过程中每一级进行测量和记录，一是测夹片的外露剩余长度（前锚工具夹片与后锚工作夹片），二是测每一级张拉后的活塞伸长值；张拉时，操作人员要控制好加载速度，给油平稳，持荷稳定；后锚工作人员在张拉前及张拉到初值时分别将夹片打紧二次，确保夹片跟进平整。

张拉采用在前锚面一端张拉，张拉顺序由前锚面的下排往上排、由中心向两侧对称张拉。用双控法控制，即以控制应力为主，应变（伸长值）作为校核，若钢绞线的伸长值与计算值超过 $\pm 5\%$ ，应暂停张拉，查明原因，并采取措施调整后，方可继续张拉。

因预应力束较长，张拉伸长量较大，张拉时采用了浮动限位装置，保证钢绞线张拉伸长时，夹片内牙没有刮铲钢绞线表面的环氧，确保锚固可靠。

3.6 切平端部钢绞线

锚束张拉完成并检查合格后，应尽快将前锚端多余的钢绞线用砂轮机切割机去除，如图13。预

留长度尽可能长，以能安装保护罩为原则，以方便以后的换索。



图10 前锚穿束

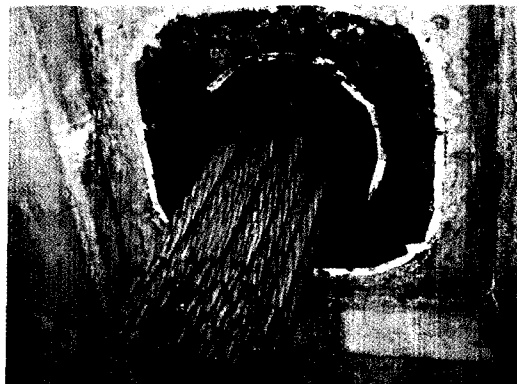


图11 调索后的后锚钢束



图12 张拉示意图

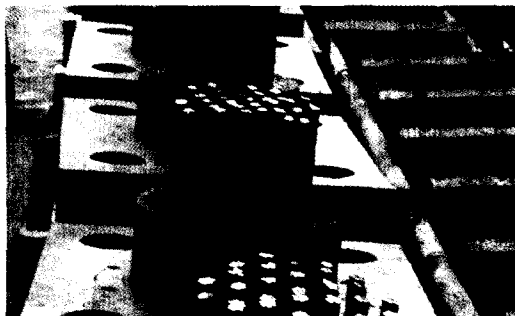


图13 切除端部钢绞线

3.7 安装防松装置及保护罩

切割钢绞后,要尽快装上夹片防松装置及保护罩,防止雨水进入孔道。

安装防松装置时,先将四颗连接螺钉拧紧,再逐个将空心螺栓拧到位。

保护罩安装前,检查并打磨与铜垫环接触的环面,如有碰伤或凹痕,需清洗干净后用铸铁修复剂或环氧将该处修复平整,如图14。保护罩安装前,用清洁剂将装铜垫环的沟槽及铜垫环擦干净,然后在沟槽内涂上密封胶,密封胶要连续、均匀,将铜垫环装到沟槽内并压平,用胶锤敲打平整,再在铜垫环外端面及内侧连续涂上密封胶,如图15。将与铜垫环接触的地方擦干净,装上保护罩,注意前保护罩上的观测管应处于高位,后保护罩的灌油孔应处于低位,并分级对称拧紧连接各螺栓,最后用加力棒逐个将螺栓按设计力矩拧紧一遍,保证铜垫环充分变形密封。如图16与图17。

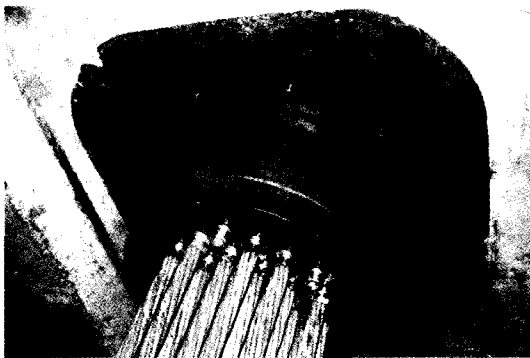


图14 后锚垫板端面打磨

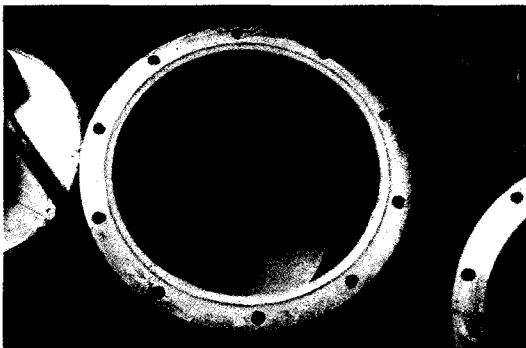


图15 铜垫圈安装

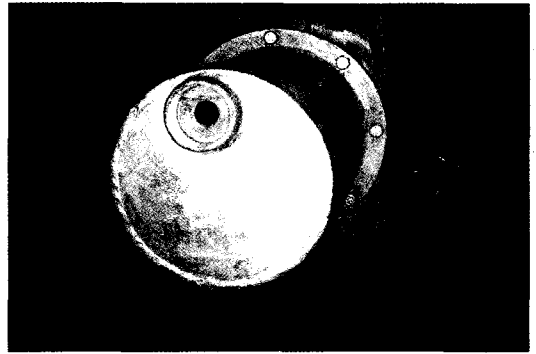


图16 前保护罩安装



图17 后保护罩安装

3.8 灌注防护油脂

注油工艺流程:后锚面注油泵准备—后锚保护罩连接进油管—开通注油泵开始注油—压力测试—灌油后处理。

用OVM-UBL3A注油泵进行灌油,如图18。它的优点是出力稳定,流量和压力的调节简单方便,适用于各种长度和预应力束的灌浆。

油脂灌注宜在后锚端进行,此时前锚保护罩装上测压装置,如图19。测压装置上的球阀需打开,灌油前应先将灌油泵内的空气排空,待连接管出油后再将其接到保护罩的球阀上,打开球阀进行灌油,如图20。施工时前锚面需留一人观察情况,并保持与后锚面的操作人员通讯畅通,当油脂到达前锚测压装置上的球阀出口时,前锚工作人员喊停,并关闭球阀。球阀关闭后注油泵继续加压直至后锚的压力达到设定要求,之后关闭后锚球阀,保持孔道压力约10分钟,在保压过程中检查各接触密封面

与各焊缝是否漏油。检查无渗漏后,打开前、后球阀使油脂液面下降到离前保护罩出口130~180mm时关闭后锚球阀。检查有渗漏的,采取措施处理后,重新保压检验,直到无渗漏。



图18 UBL3A注油泵



图19 前锚测压装置

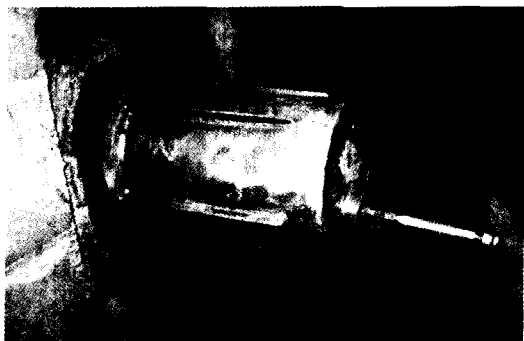


图20 后锚灌油

前锚拆下测压装置并装上观测管,后锚拆下注油连接管,用棉纱擦干净球阀内孔,装上螺堵并拧紧;用棉纱将球阀外表所粘结的油脂擦干净,拆下球阀手柄。用清洗剂把防漏罩的内螺纹及接头管上的螺纹擦干净,然后在接头螺纹外周涂上密封胶,并把防漏罩拧到接头管上。最后用清洗剂将锚垫板与连接器的接缝处、保护罩与锚

垫板的接缝处及连接螺栓头擦干净,然后涂刷环氧树脂。

为保证管道内油脂的密实性,对同一管道灌油应连续,灌油时缓慢均匀地进行,中途不间断,以使管道内排气通顺,无气泡残留。注油过程中应采取措施防止油脂污染地面。

4 总结

通过弯束可换式悬索桥锚碇锚固系统在矮寨特大悬索桥的成功应用,总结出一些设计与施工经验,供以后相似的工程参考:

(1) 结构设计上,应方便施工以减少因施工困难而影响密封构造的密封效果,如在穿束前,连接平板与连接筒应先组装好,且连接器应先安装固定在锚垫板上,减少铜垫圈错动的可能性。

(2) 采用密封性能好的球阀和增加防漏罩,以及保证使用合格的铜垫圈。

(3) 对于有分丝管的弯束管道穿束,采用临时撑脚与导向帽能实现钢绞线不打绞。

(4) 对于张拉伸长量大的情况,采用浮动限位装置进行张拉,能大大减少滑丝的可能性。

(5) 对于环境较恶劣的情况,要充分考环境对系统的影响,要合理安排各项工序的衔接。施工前要编制详细可行的施工方案,特别要落实关系到密封效果的各项步聚施工细则。施工中要精心策划,精心操作。

(6) 在每束灌油时作压力检查以及灌油结束后各密封面涂刷环氧树脂是保证系统不漏油的可靠防漏措施。

参考文献

- [1] 湖南省交通规划设计院. 矮寨桥特大悬索桥第三册锚碇. 2006
- [2] 徐国平, 刘明虎, 黄芳玮, 苏均. 悬索桥锚碇可更换无粘结预应力锚固系统试验研究. 桥梁建设, 2006.06