

蕴藻浜大桥主缆系统施工方法

王培晓

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:自锚式悬索桥缆索系统的施工是施工控制的重要部分,空间索面自锚式悬索桥由于主缆从空缆到成桥状态,受力不同,空间线形变化幅度大,对施工要求更高。通过采取有针对性的施工措施,可以有效解决空间索面自锚式悬索桥主缆系统的施工难题。

关键词:自锚式悬索桥;主缆系统;空间索面;施工方法

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)04-0121-04

0 引言

随着我国桥梁技术的发展,在跨江海、山区悬崖山谷等极限困难条件下,突破交通障碍并建立区域交通联系已经实现。在众多跨越障碍的桥梁中,自锚式悬索桥因其刚柔并济的美观效果、优异的受力特性、成熟的施工工艺等特点,在桥梁建设中越来越受到青睐^[1]。自锚式悬索桥不设重力式地锚,主缆锚固于加劲梁梁端,加劲梁传力于主缆,同时又承受主缆端部的水平与竖向分力,从而形成主梁存在较大的轴向压力,为自平衡受力体系。与地锚式悬索桥相比可以不受地质条件的影响,由于免去了巨大的锚锭,降低了工程造价^[2]。自锚式悬索桥的施工方法与传统地锚式悬索桥不同,一般采用先梁后缆的施工方法,特殊环境下也可采取技术措施,先缆后梁,然后进行体系转换,形成自锚体系。缆索系统的施工是自锚式悬索桥施工控制的重要部分,本文以蕴藻浜大桥主桥为例,对独塔空间索面自锚式悬索桥缆索体系施工方法进行论述,为同类工程提供借鉴。

1 工程概况

上海市嘉定区南翔大型居住区澄浏南路跨蕴藻浜大桥主桥为独塔空间索面自锚式悬索桥,孔跨布置为155 m+40 m+38.5 m(见图1)。主桥边跨跨度为78.5 m,设置一个辅助墩,将边跨跨度划分为40 m+38.5 m;主跨跨度为155 m,边跨与主跨跨度比为0.51。主梁分幅设置,通过钢箱横梁连接,形成纵横

梁体系。主跨主梁采用钢箱梁,边跨及锚跨主梁采用预应力混凝土箱梁,主跨桥塔附近设置钢-砼过渡段。主塔位于两幅主梁的横桥向中间位置,为独柱型式。主塔在主梁下方设置一道横梁,对主梁提供竖向支承。



图1 蕴藻浜大桥效果图

全桥共设两根主缆,其结构为预制平行丝股(PWS),每根主缆由37根127丝 $\phi 5.1$ mm的镀锌高强钢丝组成。每根钢丝束极限破断力为4 332.7 kN,主缆抗拉强度标准值为1 670 MPa。主缆施工采用预制平行索股逐根架设的方法(PPWS)。

吊索顺桥向间距为10 m,在主跨锚固于钢箱梁横桥向两端,采用单吊索。全桥共有吊索28根,采用低松弛预应力镀锌钢丝,抗拉强度标准值1 860 MPa。主跨端部1号吊杆和14号吊杆采用127- $\phi 7$ 镀锌平行钢丝束,其余吊索均采用91- $\phi 7$ 镀锌平行钢丝束。

2 缆索系统施工难点

(1)蕴藻浜大桥主桥为独塔空间索面自锚式悬索桥,主缆集中锚固于加劲梁两端横梁上,悬索受拉,加劲梁受压,形成内部自身平衡体系,而传统悬索桥则依靠加劲梁重力传递于主缆,使得主缆承受巨大拉力,通过主缆两端锚固于两端地锚结构上形成平衡体

收稿日期:2020-09-24

作者简介:王培晓(1979—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

系,这是两者结构受力上的根本区别。自锚式悬索桥是自身受力平衡系统,它不能借助外力来平衡自身内部的力,故只有索塔两侧荷载对称平衡才能保证全桥力的均衡。平衡、对称原理是自锚式悬索桥设计的基础,更是施工过程中必须遵循和控制的重点。

(2)蕰藻浜大桥缆索系统为空间结构,从空缆到成桥的施工过程中,主缆的空间变形及吊杆转角比较大,吊杆之间的相互影响使吊杆的张拉调整极其复杂,吊杆的调整施工控制难度大,体系转换难度大。

(3)对于大跨度自锚式悬索桥而言,要求结构内力和标高的最终状态符合设计要求,控制主缆索股无应力长度、锚跨索股张力匀值性、对索夹初始安装位置和主索鞍分阶段顶推的控制、以及吊杆加载张拉方案优化难度大。

(4)独塔空间索面自锚式悬索桥相对于传统地锚悬索桥的索股更为复杂:首先,空缆时的初始安装应力及钢丝弹性伸长值小;其次,索股在水平及竖向两个方向的弯曲,钢丝长度在股内不能较好的补偿,存在长度差。导致空间索面自锚式悬索桥的索股架设中出现鼓丝的现象比地锚悬索桥架设要相对严重,架设好这样的索股难度大。

(5)边跨两根主缆平行间距为1 m,而缠丝机宽度为2.4 m左右,单侧至少需要约1.2 m的间隙,操作空间不足,无法进行缠丝。

3 施工采取措施

(1)为满足空缆到成桥的施工过程中,主缆的横桥向位移及吊杆转角比较大的情况,针对这一难点,优化吊杆结构,在吊杆的下端锚圈下设置推力关节轴承,上端销轴设置关节轴承,提高吊杆在转换过程中的调整能力,适应主缆在位移中的产生扭转,见图2。

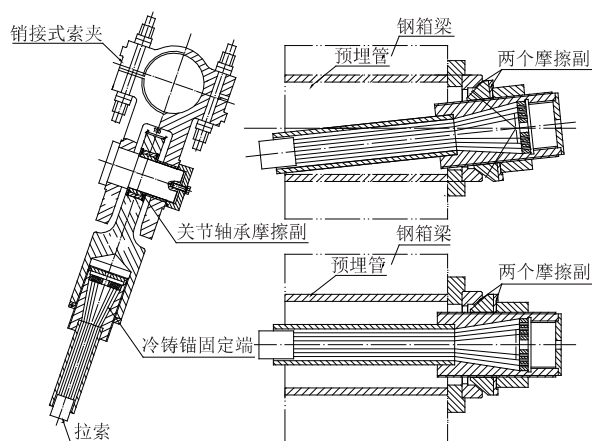


图2 吊杆上端及下端转动示意图

(2)针对主缆线型控制,在架设中控制好基准索股的线型,通过反复观察和调整达到控制指令及规范对架设的精度要求,在此基础上进行一般索股的架设。为确保主缆内各钢丝受力均匀,在主缆架设中,各索股进入鞍座槽路,应处于自由悬挂、若即若离的状态,量测其中点的矢高,进行调股。索夹的施工放样在悬索桥施工中是相当重要的一环。索夹的位置准确与否,将关系到结构受力状况。因此在这一环节,我们主要采取加强测控,反复测量,多种手段相互效核的办法保证索夹的定位位置准确。

(3)与其他工程不同,索股牵引系统中主缆索股输送的滚轮全部采用滚动轴承,这极大的减小了索股在牵引过程中的阻力,使索股牵引过程中钢丝串动减少,保持索股的原态。在索股的关键点(转索鞍起弯点,主索鞍起弯点等),用特殊工装加强这些点的夹持握裹,使索股钢丝在这些点位不产生串动,其目的是均匀分配股内不相等的长度差。同样采用特殊工装梳理在各起弯点产生的股丝,使其沿全索股均匀分配。

(4)针对边跨两根主缆平行间距不足的问题,在边跨靠近主索鞍和转索鞍的第一个索夹位置用千斤顶撑开主缆,使主缆横向间距达2 m左右(便于缠丝机正常工作)。如此以后,中间的主缆均可采用缠丝机进行缠丝,靠两端的索夹段内主缆采用人工缠丝的方式进行缠丝,见图3。

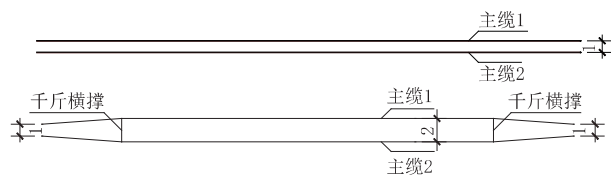


图3 原主缆间距及主缆撑开后示意图

4 缆索系统施工方法介绍

4.1 牵引系统施工

牵引系统是主缆索股架设的必备设备,它的优劣直接影响到主缆架设的成败和质量,主缆拽拉牵引系统采用单线往复式牵引系统,牵引系统的牵引索两端分别卷入主、副卷扬机,一端用于卷绳进行牵引,另一端用于放绳,两台驱动装置联动,使牵引索作往复运动。采用单线往复式牵引系统具有结构简单,操作方便;且容易实现较大的牵引力,牵引作业时能控制速度等特点。

(1)在牵引系统方案确定后结合施工现场场地、索盘运输道路状况等实际因素,5 t主牵引卷扬机布

置在锚固端横梁面上,放索区布置在一侧,对应的3 t副卷扬机放置在另一侧岸,牵引过程采用人工打梢收放牵引绳,形成一套单线往复式牵引系统。牵引系统分别由主、副卷扬机、牵引滑道、转向滑轮组、锚梁和塔顶门架、 $\phi 26$ 承重索、 $\phi 16$ 牵引索等组成,总体布置见图4。

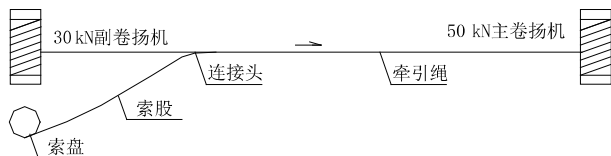


图4 缆索牵引系统示意图

(2)主缆拽拉牵引系统采用单线往复式牵引系统,相对设置承重索,以用于主缆索股架设支索股锚头及其它的吊运。承重索采用 $\phi 26$ mm钢丝绳,分别锚固于塔顶门架及主梁预埋位置,其矢跨比选择略小于主缆线形。承重索上安装3 t开口滑车作跑马滑车,滑车下悬挂2 t手拉葫芦用于调整主缆索股的锚头与滑道的间距,让锚头始终高于滚轮支架20~30 cm,布置见图5。承重索在塔端锚固采用钢丝绳夹直接与塔顶吊装钢架连接,梁端锚固采用同猫道承重索一致的锚固方式。

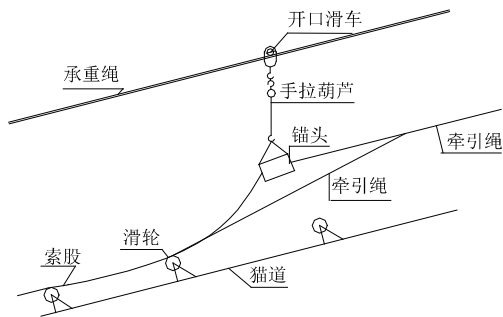


图5 主缆牵引示意图

4.2 主缆索股架设施工

4.2.1 索股的牵引

(1)通过牵引索携带主缆索股,从放索场出发向另一侧行进,牵引速度以15 m/min左右为宜,牵引最初几根索时,要降低牵引速度。在牵引过程中设专人随索股锚头前进,全程跟踪,随时用承重索上的手拉葫芦调整锚头的高度,防止锚头与猫道碰,注意临时承重绳在受力后出现下挠,以及扭转、磨损及钢丝鼓丝等现象出现。

(2)每个塔顶设专人负责锚头的交替转换,在这里辅以2 t手拉葫芦协助携带装置及锚头翻过塔顶。

(3)前锚头牵引到达前端横梁锚管口,解除锚头与承重索上的手拉葫芦的连接。检查整根索股的扭转情况,从前端锚头开始往后端锚头方向用人工将

索股扭正,保证有红色丝的平面平行朝上,且红色丝位于六边形的右上角。

4.2.2 索股横移整形入鞍

(1)当索股牵拉到位后,在每个塔顶距索鞍两侧约5 m位置分别将握索器安装在索股上,并将它与挂在门架上的手拉葫芦相连,通过收紧手拉葫芦把索股从猫道滑轮上提起,当平稳、缓缓地把索股主索鞍部分同步提升到索塔顶主索鞍上方约30 cm后,停稳,检查并确认全跨径索股已完全离开滑轮,用手拉葫芦将索股横向移到索鞍承缆槽正上方,等待整形(见图6)。

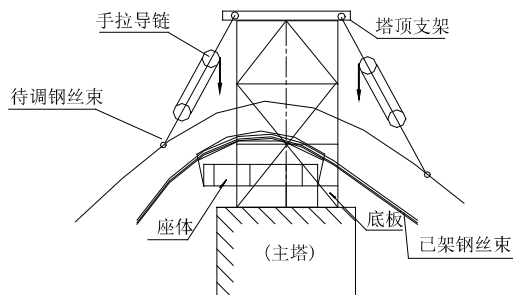


图6 索股提升及横移就位

(2)预制索股为六边形,在索股入鞍前需将索股整形成矩形断面。在距索鞍两侧约0.8 m处的索股上安装六边形夹具,拆除两个六边形夹具之间索股的绑扎带,在距索鞍约0.5 m处开始用四边形整形器将索鞍部分索股整形成矩形,整形时用短钢片分层整理,以保证整形效果。整形时将四边形整形器从边跨往中跨方向梳理前移,并用木锤或橡皮锤敲打索股表面,使索股在索鞍段全部整成设计形状的矩形,用四边形定形夹具和不干胶布每隔2 m进行固定。

(3)整形完成后,两吊钩同时平缓下降,将整形后的索股放入索鞍承缆槽内规定的位置。入鞍方向:塔顶鞍座部位是从边跨侧向中跨侧进行,入鞍时严格控制索股红色丝在索鞍的位置,以防索股的扭转。入鞍时将索股在索鞍的标记对准,并用木楔楔紧。

4.2.3 主缆线形调整

(1)基准索股主跨与边跨跨中垂度调整方法是采用三角高程法测量,利用在跨中设置棱镜测出基准索股跨中点高程,计算出索股跨中点垂度,与设计垂度比较,依据垂度调整表,计算出索股需移动调整长度,同时进行温度修正,来进行垂度调整。在单根基准索股的绝对垂度满足要求的同时,要调整两根索股的相对垂度。

(2)主跨垂度调整完以后,开始调整边跨垂度。边跨调整方法采用在端横梁后端的主缆锚垫板上安

装千斤顶张拉索股,通过调整螺母在锚具上的位置来调整边跨主缆索股的长度,即调整索股边跨的垂度,直至边跨线形符合设计要求。

(3)在稳定的温度时间内,多次观察索股垂度,并连续观察三个夜晚以上,确认基准索股垂度稳定达到要求。如观察中,因天气或其它原因引起变化,需重新调整直至达到设计要求。

4.2.4 主缆紧缆

构成主缆的全部索股的垂度调整结束后,各索股之间,索股内部都存在空隙,其表观直径比所要求的直径大的多。为了能够顺利地进行索夹安装及缠丝作业,需要把主缆截面紧固为圆形,尽可能缩小内部空隙,紧缆施工分为预紧缆和正式紧缆。

(1)首先要进行预紧缆,主缆架设完了后即使垂度调整好了的索股群,如果索股之间产生温度差,索股的排列就会产生微妙的变化,因此夜间温度均匀,排列整齐的索股,到了白天,受日照的影响也会产生起伏、扭曲等紊乱现象。在夜间温度条件好的情况下,主缆表面温度趋于一致时,拆除掉主缆形状保持器后马上进行预紧缆作业。紧缆顺序采用跳跃方式,均由边跨、中跨自跨中、四分点、八分点位置向两边紧缆。首先将预紧点附近6~7 m范围的外层绑扎带解掉,索股的绑扎带采取边预紧边拆除的办法,不要一次全部拆光,在主缆外层包上一层起保护作用的麻布袋或塑料布条。用 $\phi 10$ mm镀锌钢丝绳千斤头配合手拉葫芦捆扎主缆,人工收紧主缆,用大木锤

沿主缆周围敲打、振动,初整圆后用钢带打包机在主缆上每隔3~5 m打上一道钢带,带扣放在索股群的侧下方。按上述顺序先疏后密的进行,直至把索股群大致整成圆形为止,且预紧缆的目标空隙率在24%~28%之间。

(2)预紧缆作业完成后,进行正式紧缆,使用主缆紧缆机将主缆截面紧固为圆形,并达到设定的空隙率(一般目标空隙率设定为 $20\% \pm 1\%$ 左右)。每隔1 m左右紧固一次。当紧缆机紧固到预紧缆时所捆扎的软钢带的位置时,要将其拆除掉,以免影响紧固效果。

5 结 语

(1)空间索面自锚式悬索桥缆索系统,从空缆到成桥过程中,空间变形大,受力复杂,应从吊杆的张拉程序上进行优化,使每根吊索张拉前其转角及位移能进入其可调整的范围。

(2)预紧缆过程中,应理顺外层索股钢丝,不得出现交叉及窜丝现象,紧缆过程中,缆索吊挂紧缆机,处于受力状况,防止紧缆机失稳侧翻,紧缆机行走要匀速、平稳,防止侧翻失稳。

参考文献:

- [1] 刘信航.自锚式悬索桥的设计关键技术讨论[J].工程施工技术,2018(13): 231-233.
- [2] 张哲,窦鹏,石磊,等.自锚式悬索桥的发展综述[J].世界桥梁,2003(1): 5-9.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com