

# 大跨度斜拉桥之斜拉索安装技术

贺燕平, 彭川疆, 程蔚菘

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

**摘要:**在桥梁建设中,斜拉桥作为大跨度桥梁的最主要桥型发展迅猛。斜拉索作为斜拉桥施工的关键工序,其制作、安装、张拉、索力调整等工艺复杂,施工难度及强度大且施工效率较低,介绍了某工程项目通过研发斜拉索施工辅助平台提高了斜拉索的安装精度、全桥同步张拉并结合相关的辅助与管理措施,极大程度地提高了大跨度斜拉桥斜拉索施工的效率及精度。

**关键词:**斜拉桥;斜拉索;展索;张拉;索力调整

**中图分类号:**U44;U445;U445.3

**文献标志码:**B

**文章编号:**1001-2184(2024)05-0076-04

## Cable Installation Technology of Long-span Cable-stayed Bridges

HE Yanping, PENG Chuanjiang, CHENG Weisong

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

**Abstract:** In the bridge construction, the cable-stayed bridge, as the main type of long-span bridge, is developing rapidly. As the key working procedure of cable-stayed bridge construction, the manufacturing, installation, tensioning and adjustment of cable force are complex, difficult and strong in construction, and the construction efficiency is low, the project improves the installation accuracy and efficiency of stay cables through the development of an auxiliary platform for the construction of stay cables, which greatly improves the construction efficiency and precision of long-span cable-stayed bridge.

**Key words:** Cable-stayed bridge; Stayed cable; Cable extension; Tensioning; Cable force adjustment

### 1 概述

某大桥位于千里沱江第一城——成都市金堂县,全长 1 297 m,宽 38 m,主塔高 137.5 m,主桥跨度为 860 m,引桥长 429 m,是成都市跨度最大、塔柱最高、钢箱梁最重的双塔双索面斜拉桥。

该桥主塔为混凝土塔,斜拉索塔端采用钢锚梁锚固,主梁为钢箱梁,采用支架顶推。主梁合龙后集中安装斜拉索。

斜拉索所用材料为  $\Phi 7, 1\ 770\ \text{MPa}$  的低松弛、高强度平行镀锌成品索,每个主塔布置 17 对斜拉索,全桥共布置了 136 根斜拉索,其单根最大长度为 238.99 m,最大重量为 24.21 t。根据其索力的不同,全桥采用了七种规格的拉索,对其外层防护采用热挤双层高密度 PE 防护套,两端采用冷铸镦头锚具。梁端为固定端,塔端为张拉端。

### 2 斜拉索施工质量的控制

#### 2.1 斜拉索进场检验

斜拉索按照设计要求及相关规范在工厂制作

完成、经质检人员验收合格后打盘包装,使用汽车将其运至施工现场,由监理工程师、技术、质检、物资管理人员对斜拉索按照以下标准进行验收:

(1)斜拉索出厂合格证、质保书、出厂机械物理性能试验书。

(2)斜拉索标牌上各项指标与实际是否相符。

(3)斜拉索表面是否光滑平整,保护套厚度是否均匀。

(4)锚具是否有损伤,锚圈和锚杯是否能完全自由旋合。

斜拉索运至场内后按照其使用的先后顺序进行堆放,同时用枕木进行支垫,以便于转运时取放及安装吊索具。存放时须按索号对每根斜拉索进行标记。

#### 2.2 斜拉索的转运及吊装

斜拉索运输至现场后根据挂索需求转至桥塔位置储存。转运前应看清标识牌,按照拉索编号及施工要求进行转运。斜拉索采用马尼拉优质吊带吊装(禁止采用钢丝绳吊装,以免将索套勒坏)。

收稿日期:2024-06-26

吊装采用3点起吊,吊点的距离需根据锚头的位置布设,吊装时防止因偏心而发生滑钩。根据现场塔吊的起吊重量,所有斜拉索直接用塔吊吊至桥面放入放索盘。根据斜拉索重量参数表:1~15号斜拉索最重的约为13.92 t,现场采用7050塔吊卸货,16、17号斜拉索最重的约为24.21 t,当现场的7050塔吊不能满足吊装要求时,采用100 t汽车吊卸货吊装上桥。

### 2.3 塔端挂索准备及塔端挂索<sup>[1]</sup>

(1)布置上横梁卷扬机。斜拉索塔上的安装采用塔吊吊装,在塔肢顶出入人孔处的边上安放一台5 t卷扬机,采用 $\Phi 19$ 钢丝绳,该卷扬机的用途是牵引斜拉索锚头进入塔内,以及塔内施工机具的垂直吊装;为方便施工人员及塔内设备进出,卷扬机钢绳沿孔洞的边缘进入塔内。

(2)钢锚梁临边防护脚手管的搭设。鉴于斜拉索位置均有钢锚梁,且钢锚梁横桥向的宽度为1 m,能够满足斜拉索整体装拆千斤顶和张拉空间的要求。由于钢锚梁两侧无临边防护,需要设置临边栏杆,但由于钢锚梁为受力构件,不允许直接在钢锚梁顶面两侧焊接栏杆,故采用脚手管成“#”型卡在钢锚梁上,脚手管向上延伸高出钢锚梁顶面1.2 m并制作临边栏杆。脚手架顺桥向的间距为1 m,沿钢锚梁通长搭设。临边栏杆需要至少同时在待施工索号及相邻索号的位置搭设2层<sup>[2]</sup>。

#### (3)挂索准备

①索导管的检查与准备工作:挂索前,对主塔内、已浇梁段的索导管和锚垫板上的焊渣、毛刺及杂物进行检查与清理,并检查锚垫板是否平整,位置是否正确,采用特制的探孔器检查索导管本身是否发生变形,如果发生变形,则必须在进行处理后方能进行挂索。

②施工人员上下主塔的通道:通过升降电梯到达中横梁,再通过塔内的爬梯到达主塔顶部。

③提吊头的牵引工作准备:在索导管中心轴线延长方向的主塔上焊一固定点或在钢锚梁上用钢丝绳栓结作为滑轮的固定点,栓结时,注意对钢锚梁的保护。在上横梁处安装5 t卷扬机,采用 $\Phi 19$ 钢丝绳。钢丝绳通过固定点的导向滑轮将拉索提吊头和钢丝绳用卡环连结,穿过斜拉索塔端的锚固螺母,通过索导管放至塔肢外与斜拉索的

索头相连接。

(4)塔端的斜拉索施工操作平台。为了提高塔端斜拉索操作的安全系数及施工质量,该项目通过搭建模型进行计算、自主研发了塔端斜拉索简易操作平台,该平台由横向支撑架和竖向卡位装置组成,在钢锚梁上形成了一个有利于斜拉索安装、张拉及锚固的操作平台,为塔端斜拉索施工创造了有利的施工作业环境,保障了施工过程安全可控,解决了塔内操作空间有限、塔端斜拉索安装、张拉及锚固施工操作困难的问题<sup>[3]</sup>。

(5)斜拉索塔端拉索的安装过程。将斜拉索放置在桥面后,把索从塔内下放至桥面,安装塔内拉索提吊头的锚固装置,检查卡环、钢丝绳是否安装牢固。对于自身成盘捆扎运输的斜拉索,在打开索捆带前先将其吊放入水平放索盘内,用塔吊或吊车将索放出一定长度并平放于桥面,吊点的选择应考虑索管的长度和拆卸吊具方便的长度。一般距离等于索导管的长度加2 m,采用20 t软吊带至少在斜拉索上缠绕4圈以防止起吊过程滑动,同时要保护好斜拉索的HDPE护套。起吊时由专人指挥上横梁卷扬机提升斜拉索,在斜拉索起吊前必须进行试吊2次,然后用塔吊提升斜拉索。塔吊起吊时其挂钩下面的吊重钢丝绳长度不能太短,以便于吊绳脱落。起吊过程中,提升头和塔吊的提升速度一定要保持协调;到达索导管口位置时,塔吊和卷扬机的速度须配合一致,卷扬机操作工人须严格听从指挥人员的指挥,防止因起吊过快、锚头撞到索导管而刮伤丝头,或因卷扬机受力过大将钢丝绳拉断或使塔吊受力过大。塔吊进行升降用以调整锚头的高度,与卷扬机升降相互配合,将斜拉索牵引进入索导管,将锚头拉出锚垫板,戴上螺帽,此时的螺帽戴平扣即可,取下提吊头,装上变径接头和张拉杆,拉索的塔上部分即告安装完成。

(6)塔外吊点的解除。塔吊起吊前需要解除塔吊的保险扣,挂好索后可以直接下钩使吊带从塔吊吊钩上脱离出来。吊带在斜拉索上的绑扎点解除需要采用载人吊笼,吊笼一次载人数为2人,并且需要系好安全带,且安全带坚持高挂低用,严禁直接挂在吊笼上,最后由直接在吊笼里面的人员用对讲机指挥塔吊升降。

### 2.4 斜拉索展索

斜拉索在塔端位置固定后,沿着斜拉索竖直投影到桥面上的方向,在距已挂好的斜拉索内侧 0.5 m 左右的位置安放运索小车和圆木,其纵向间距根据现场情况确定,以保证斜拉索索体直接在小车和圆木上滚动,而不能在地面上滑行,以保护斜拉索 HDPE 护套不被划烂和擦伤,然后用梁端卷扬机牵引放索盘,一边牵引,一边放索,以保证索在小车和圆木上前行,使拉索 HDPE 护套得到有效保护<sup>[4]</sup>。

## 2.5 斜拉索梁端的安装

(1)梁端的安装机具。梁端设计的可使用的最大牵引力为 40 t。根据滑车组功能系数与型号最终选用 H40×4D 吊环型滑车,共 4 个,选用 8 t 卷扬机将其牢固焊接在主梁顶面钢板上,每个点用 3 个 3 t 手拉葫芦配合汽车吊调节梁端锚头进入预埋管的管口,同时配合采用单柄闭口滑车用以调整索头的高度。使用汽车吊梁端展索时,在待施工斜拉索侧面支腿,在斜拉索梁端安装与牵引过程中,汽车吊一直提着斜拉索的索头,随着斜拉索的牵引,汽车吊大臂缓慢转动跟随牵引一起移动,即在整个起吊过程中均尽可能地使汽车吊的提升保持垂直。

(2)短索在梁端就位。在塔端挂好索后将索展在桥面上,用卷扬机提前将索牵引至主梁前端。在斜拉索距离锚头比梁端预埋管长度再增加 1~2 m 的位置设置吊点,吊点采用 2 t 软吊绳绑扎至少 4 圈后采用 50 t 扁吊带对折后缠绕斜拉索依次编织,吊点两端一定要交替缠压,同时保护 HDPE 护套不被夹坏。在即将入锚的梁端预埋管管口附近设置滑车组的吊点,并将吊点焊接在桥面钢板上,需要满足最大 400 kN 的压锚力即可。在吊点上设置 H40×4D 定滑轮,同时在斜拉索安装的吊点上设置 H40×4D 动滑轮,通过桥面 8 t 卷扬机拉动定滑轮组之间的  $\Phi 26$  钢丝绳组,同时由吊车配合使斜拉索梁端锚头往预埋管管口方向移动,使用汽车吊调节角度后,斜拉索的索头穿过预埋管从箱梁内的锚垫板端面露出满足设计要求的长度、带上螺帽即可。

(3)长索在梁端就位。由于长索牵引力较大,仅用卷扬机加滑轮组牵引无法将梁端锚头就位,必须将斜拉索辅助加长以减少卷扬机的牵引力才能压锚。斜拉索塔端就位,梁端展索,塔端张拉杆

安装好后,在主张拉杆后安装牵引接长杆并逐节加长、下放至规定长度。在梁端用 8 t 卷扬机加 2 个 40 t 滑轮组将索牵引就位并将其最大牵引力控制在 400 kN。

## 2.6 斜拉索的张拉<sup>[5]</sup>

(1)张拉设备的选用。张拉杆为 40 Cr 的钢拉杆, $\Phi 205$ ,长 140 cm,共计 8 根;配套螺帽,千斤顶为 650 t,共 8 台;ZB500 型电动油泵 8 台,撑脚 8 个。

(2)斜拉索张拉施工工艺流程。塔端挂索后螺帽锚固→安装变径接头、张拉杆、撑脚、千斤顶→塔端进行张拉→监控必须符合设计要求→拆除千斤顶、张拉杆、撑脚→下一循环施工。

(3)张拉前的准备工作。每次张拉前,根据设计张拉力的大小,对千斤顶和配套压力表在标定时给出的力与压力表读数之间的线性方程进行计算,得出与之相对应的油压表读数,并根据力的大小将油压表读数分成 2~4 级,同时标出对应级数,计算出每根斜拉索的对应设计伸长值。

(4)张拉过程。 $0 \rightarrow 10\% \sigma_{con} \rightarrow 20\% \sigma_{con} \rightarrow 40\% \sigma_{con} \rightarrow 60\% \sigma_{con} \rightarrow 80\% \sigma_{con} \rightarrow 100\% \sigma_{con}$  (持荷 5 min 锚固,或由监控单位指定分级次数, $\sigma_{con}$  为张拉控制应力值)。斜拉索的张拉力严格按照监控指令值控制,将伸长量作为校核。

斜拉索张拉时,两个主塔的 8 台千斤顶同步进行施工,施工过程中不允许发生震动、碰伤油表。操作油泵时须根据油压分级读数,将两个主塔的 8 台油泵每次都要控制并达到相同的级数。在测量伸长值时应注意保持测量起止位置的一致,将实际伸长值与设计伸长值进行对比并记录数据,差值过大时一定要查清原因。索力到位后,观察伸长值的实际值和理论值,实际值与理论值相差不大时,旋紧螺帽并进行锚固。在其张拉时,每拉起一点、螺帽即向下旋进一点,应尽量减少螺帽与锚垫板之间的丝扣数;松开进油阀卸荷时,油压不能降得过快,卸荷完毕须等待监控反馈数据,若监控数据不符合要求需要调整。若符合要求则千斤顶回油,将油表卸下装回箱中,并将张拉系统拆除,盖上锚头保护盖,进行下一循环施工。

## 2.7 索力调整

调索的步骤、顺序、调整力的大小均须严格按照监控指令进行。索力的调整采用整体张拉方



式,设备的安装与布置均与整体张拉一致并在塔内完成,要求两个主塔同一个索号的8根斜拉索一定要同时、同步调整。全桥调索分两次进行,桥面施加二期恒载前进行一次全桥调索,二期恒载上完后还要进行部分斜拉索的索力优化调整。

调索时应注意的问题及达到的效果:

调索要求“对称、均匀、分次、循环”施工,一般按三种目标进行控制:①索力控制;②标高控制;③索力与标高双控。调索后主梁的标高应恢复到原合龙状态,桥面线型应流畅,索力均匀,梁结构亦能处于较好的状态,索塔应力均处于安全工作范围内。

### 2.8 附件的安装

该桥在24根斜拉索梁端锚头处设置了永久光栅传感器,以用于后期桥梁的健康监测。斜拉索塔端和梁端预埋管管口均设置有内置阻尼减震器,用于斜拉索减震。桥面预埋管安装减震器后采用土工膜密封,然后安装不锈钢防水罩,以防止雨水进入预埋管内。对主塔内和主梁钢箱梁内斜拉索锚头的外露部分均匀涂抹建筑防护油脂,然后安装保护罩以保护锚头金属件不被锈蚀。

### 3 结语

(上接第50页)

油缸伸缩驱动,流程类似行走部分:遥控器指令→接收机接收→电子调节器处理→电磁阀控制换向阀,供油驱动油缸伸缩,完成机械臂动作。其液压前铲与旋转轴承机构的运作原理相同。顶管挖掘机的机械运作原理见图11。

### 3 结语

李家岩水库输水管道Ⅲ标所研发出的无人顶管施工技术通过采取高穿透性、低延时、高功率实时图传遥感控制技术,能够使顶管施工始终处于一种危险地带无人、现场施工情况清晰、数据传输及时、机械控制精准的安全高效状态,可实现资源节省、经济高效、安全可控的目标。虽然该技术暂未得到应用,但该技术本身能为后续类似项目提供解决安全隐患的参考方案。

参考文献:

[1] 高振宇. 深部煤矿高抽巷顶管施工力学行为及对策研究

在大跨度斜拉桥斜拉索安装及张拉施工过程中,项目部根据实际情况研究后增加了塔端斜拉索施工操作平台,旨在为塔端斜拉索安装及张拉提供有利的施工环境,同时提升了斜拉索的安装精度及安全系数。采用全桥同步张拉方式进行施工,不但张拉质量能够得到保障,而且施工效率亦得到了有效提升,取得了良好的经济效益与社会效益。

参考文献:

[1] 刘芳. 桥梁项目斜拉索施工技术要点研究[J]. 四川建材, 2023,49(4):196-198.  
[2] 王宁. 六广河特大桥施工中的斜拉索钢套管定位及钢锚索施工研究[J]. 黑龙江交通科技, 2019,42(8): 78-79.  
[3] 赵干明,李海民. 双塔钢箱桁梁斜拉桥斜拉索安装施工技术[J]. 工程建设与设计, 2020,68(3): 239-240,243.  
[4] 董云鹏. 双塔钢箱桁梁斜拉桥斜拉索安装关键技术[J]. 铁道工程学报, 2019,36(5): 37-40,89.  
[5] 张九俊. 斜拉索施工工艺流程及参数控制要点[J]. 价值工程, 2023,42(15): 131-133.

作者简介:

贺燕平(1996-),女,陕西铜川人,助理工程师,学士,从事市政工程施工技术与质量管理工作;  
彭川疆(1997-),男,重庆璧山人,助理工程师,学士,从事市政工程施工设备物资管理工作;  
程蔚蕊(1996-),男,四川南充人,助理工程师,从事市政工程施工技术与质量管理工作。 (编辑:李燕辉)

[D]. 华南理工大学, 2018.

[2] 蔡振飞. 非开挖顶管施工技术在市政排水工程中的应用[J]. 工程建设与设计, 2022,70(22): 174-176.  
[3] 闻衍. 顶管施工技术在城市给排水工程中的应用[J]. 山西建筑, 2022,48,70(22): 118-120,174.  
[4] 林凡通,肖兰,周献祥,等. 顶管施工技术应用研究[J]. 防护工程, 2022,44(5): 54-61.  
[5] 王楠,宋晓伟,黄玉峰,等. 一种橡胶履带底盘[J]. 物探装备, 2022,32(4): 218-220.

作者简介:

王雷(1987-),男,四川达州人,项目经理兼项目总工程师,副高级工程师,从事市政工程施工技术与管理工  
帅悦熹(1991-),男,四川乐山人,工程师,从事市场营销及建设工程施工技术与管理工  
何永丰(1994-),男,贵州思南人,项目安全负责人,助理工程师,从事市政工程施工安全管理工作;  
张苗苗(2001-),女,陕西商洛人,助理工程师,从事市政工程施工技术与管理工

(编辑:李燕辉)