

苏丹共和国TUTI大桥缆索系统施工

张日亮 甘科 张峰 韦德旺

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要:简要介绍了苏丹共和国TUTI大桥缆索结构,以及主缆的架设、辅助猫道的架设及调整、索夹与吊索的安装等上部悬吊结构关键施工技术。

关键词:TUTI大桥 悬索桥 缆索系统 安装

1 概述

苏丹共和国TUTI桥主桥为双塔三跨结构悬索桥,位于苏丹首都KHARTOUM市区,跨越青尼罗河,跨径布置为56.809m + 211.335m + 56.809m,采用钢筋砼重力式锚碇和钢筋砼索塔。全桥共4个主索鞍、4个散索鞍、38个索夹,均为铸钢结构;主跨设置吊索38根,为钢丝成品索结构,桥面为钢-砼叠合梁(图1)。

苏丹TUTI大桥主缆共2根,采用PPWS(预制平行钢丝索股)法编制,每根主缆由19股 $\phi 5.25\text{mm}$ 镀锌预制平行高强钢丝索股构成,索股两端采用热铸锚,用 $\phi 75$ 钢拉杆通过螺母锚固于锚碇。成桥状态下,索夹处主缆直径284.8mm。柳州欧维姆机械股份有限公司根据TUTI大桥的施工要求和当地经济条件,采用了一些新的、简易的安装工艺对该悬索桥缆索系统精心施工,完全满足了该桥的使用要求。



图1 建设中TUTI大桥

2 缆索系统安装

缆索系统包括锚碇、索鞍、索夹、散索鞍、主缆、吊索等设备及部件。其施工工艺次序如下:索鞍安装→锚碇钢框架安装→散索鞍固定→辅助猫道架设→主缆架设→索夹安装→吊索安装→猫道及索道拆除。

2.1 索鞍安装

索塔浇注完塔顶砼后,复测塔顶砼顶面标高;用全站仪测量定位,控制螺栓顶面标高,确保每颗螺栓顶面标高正好等于索鞍底板底面标高。用汽吊将索鞍底板吊至塔顶,放于6颗膨胀螺栓顶面,在对岸用全站仪对索鞍底板的平面位

置测量并调整定位。再用短钢筋将定位好的索鞍底板与塔顶钢筋焊接牢固,防止索鞍底板位置变动。在索鞍底板与塔顶砼之间的缝隙内灌满高强砂浆。待高强砂浆凝固后,索鞍底板上平面放置7mm厚的四氟滑板。将索鞍吊至塔顶,放于四氟板上,按设计要求往边跨预偏283mm,用钢结构临时与索鞍底板固定。

2.2 锚碇钢框架安装

锚碇把主桥的上拔力传递给地球,以克服主缆的上拔力。锚碇质量好坏直接影响主缆的受力以及施工质量。锚碇钢框架安装时,用型钢在锚碇处焊一个可调式刚性骨架,作为锚碇钢框架的

调整和支撑定位。用测量仪器精确对锚碇钢框架各部件的平面位置及角度,与劲性骨架焊接固定,浇注锚碇砼,保证锚碇符合设计要求(图2)。

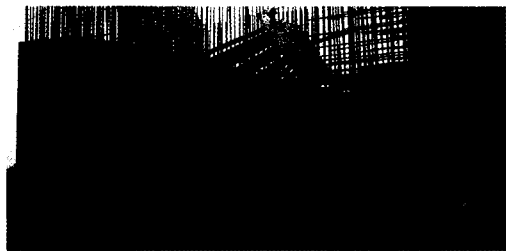


图2 锚碇钢框架

2.3 散索鞍固定

散索套起支承转向及分散索股便于主缆锚固的作用,在主缆受力或温度变化时要随主缆同步移动。在主缆架设前,在每个锚碇的前锚面相应位置处焊一个散索鞍支架,把下半散索鞍固定在支架顶上,用全站仪测量保证散索鞍的位置和角度符合设计图纸要求(图3)。



图3 散索鞍的固定

2.4 辅助猫道架设

(1) 牵引索架设。用驳船牵引法架设。用长约200m的 $\phi 12$ 辅助牵引钢丝绳绕在TUTI侧锚碇处2t牵引卷扬机的卷筒上,绳头通过TUTI塔顶滑轮向下引至TUTI侧岸边临时固定;用长约850m的 $\phi 20$ 钢丝绳绕在KHARTOUM侧锚碇处的5t卷扬机上,绳头引过KHARTOUM塔顶通过滑轮下放至岸边,与驳船临时固定;由驳船牵引该钢丝绳过江直至与TUTI侧的 $\phi 12$ 辅助牵引钢丝绳相连;2t卷扬机收绳,同时5t卷扬机放绳,保持一定张力,避免钢丝绳不落入水中。当KHARTOUM侧钢丝绳绳头一直被牵引至TUTI侧的2t主牵引卷扬机处后,与设在该处的5t牵引卷

扬机相连,构成一套完整的牵引系统。

(2) 猫道承重索安装。将承重绳索盘运至KHARTOUM侧引桥上,用装载机辅助将钢丝绳在引桥面展开,再将其前端与牵引系统连接好,开动TUTI侧5t卷扬机牵引系统,使猫道承重索向TUTI侧塔顶前进,同时索盘刹车在KHARTOUM侧提供反拉力,同速向TUTI侧开动,避免钢丝绳落入水中;等钢丝绳后端到达KHARTOUM锚碇后,改为由一台引桥上的2t卷扬机提供反拉力;当钢丝绳前端头到达TUTI塔顶后,用手拉葫芦配合与TUTI塔锚梁固定,再将后端与KHARTOUM塔锚梁固定。待全部猫道承重索架设完后,测量各索中点标高,用手拉葫芦通过调整装置逐根调整其标高,同一幅猫道各承重索之间的跨中标高大至相等。

(3) 猫道面层铺设与标高调整。中跨部分,将预制好的 $2\text{m} \times 2.8\text{m}$ 钢丝网片用卷扬机逐片吊至塔顶,用拔杆逐片放于猫道承重钢丝绳上,装上U形螺栓,但不拧紧螺母;连接牵引及反拉系统,将钢丝网往跨中牵引,刚开始铺设时应由反拉系统控制滑出,铺设到一定程度后需用牵引系统控制滑出。当猫道面层滑到跨中中点后,再拧紧U形螺栓,将钢丝网牢固固定于猫道承重索上。安装栏杆立柱及扶手钢丝绳,每4米设置一套猫道滚筒。

边跨部分,将预制好的钢丝网片运至锚碇顶面,用人工逐片放于猫道承重钢丝绳上,装上U形螺栓;连接牵引系统,将钢丝网往塔顶牵引。当猫道面层滑到塔顶位置后,拧紧U形螺栓,将钢丝网牢固固定于猫道承重索上。安装栏杆立柱及扶手钢丝绳,每4米设置一套猫道滚筒。

用手拉葫芦,通过拧紧或放松精轧螺纹钢螺母位置来调整猫道标高,并用全站仪测量,直至整幅猫道线型符合要求。将抗风缆一端牵引上猫道,在设计位置与猫道相连好,用卷扬机将另一端牵引至索塔连接处,与索塔底部连接,按设计拉力将其拉紧(图4)。

2.5 主缆架设

(1) 索股牵引系统。采用往复式小车牵引系统,牵引索与索股前锚头相连,索道运输小车将索股前锚头与牵引索吊起一定高度,通过卷扬

机牵引使索股运行于猫道滚筒上，而运输小车则运行于轨道索上。

(2) 索股架设工艺流程。主缆索股吊放在放索架上→前端锚头抽出与牵引钢丝绳连接→索股牵引→检查索股扭转并调整→两端锚头临时锚固→索股提升横移→索鞍部位的索股整形入鞍→测量主缆线型→中跨线型调整→边跨线型调整→锚跨拉力调整。



图4 猫道的调整

(3) 索股牵引。在KHARTOUM锚碇处，先用汽吊将索盘放在放索架上，把索股锚头从索盘上引出，分别与牵引系统的运输小车及牵引索连接，运输小车通过手拉葫芦将索股前锚头吊起一定高度，在猫道上向对岸前进，直至到达另一端锚碇处，且索股在索鞍处的定位点位于索鞍标志点附近。

(4) 索股提升横移与整形入鞍。在塔顶两侧距塔顶支架约10m处将握索器安装在索股上，并将它与塔顶门架的10T葫芦相连，把索股从猫道滚筒上提起，直至比索鞍顶高约0.5m处并确认全跨径的索股已离开边跨支架及中跨滚轮后，将索股横移至索鞍鞍槽正上方；用四边形整形器把位于鞍槽部分的索股整成矩形（图5）。然后把索股从边跨往中跨放入鞍槽，并且安装临时竖向限位装置。



图5 索股整矩形

(5) 锚头锚固。把两端锚头与锚碇预应力锚固装置（锚杆）连接好，安装张拉设备，两侧同步张拉索股，使索股在TUTI塔顶处的定位标志点与索鞍上的定位标志点相重合。

(6) 调整索股线型。把TUTI塔顶索股做为固定端，将1#索股位置标志点与鞍座中心标志重合并固定。在可动侧KHARTOUM塔顶索鞍安装调整装置（手拉葫芦），调整索股在索鞍槽内的位置，反复测量和调整直到索股标高符合要求。调整完了的索股，在塔顶鞍座内在索股上做出标记，然后在各塔顶鞍座部位临时固定索鞍。中跨垂度调整完以后，用千斤顶张拉边跨索股，反复测量和调整直到索股标高符合要求。2#~19#索股线形调整是通过调整该索股相对于1#索股的相对位置进行调整，调整步骤与调整1#索基本相同。

(7) 紧缆。紧缆目的是将各单元的索股挤紧成一个外部圆整内部排列紧密，断面稳定，能团结一致承受外部强大荷载的一个索股群，在全部索股架设完毕，并且空缆成型调整后，即可进行此项工作，紧缆作业大致可分成预紧缆和正式紧缆（图6）。



图6 紧缆

预紧缆时在主缆上每隔5米用钢丝绳收紧，用细铁丝将主缆缠紧，并拆除外圈缠包带，将主缆大致紧成圆形。正式紧缆是用紧缆机将主缆收紧，标准断面的空隙率为 $20\% \pm 2\%$ ，索夹部位为 $18\% \pm 2\%$ ，并打上钢带。松开紧缆机，移到下一个紧缆点，每一个紧缆点间的距离约为1m。中跨从中央向索鞍方向进行，边跨从锚碇向索鞍方向进行。

2.6 索夹安装

采用全站仪测距把索夹的安装位置在主缆上作标记，标记完成后，对标记位置再一次用全站

仪进行复测确认。用索道小车将索夹吊至主缆上进行安装,安装时在索夹的结合部位需注意不让钢丝发生弯曲。具体做法:

(1) 根据做好的安装索夹位置记号,在距索夹两端约20mm,各装上一套两片式抱箍,因索夹为上下两片式,抱箍须按左右两片式安装,以防止索夹交接处钢丝蹿出。

(2) 将索夹吊至待安装位置,拧紧螺栓将上下两片索夹进行预紧,于夜间用水平尺控制索夹安装位置竖直。

(3) 用液压扭矩扳手设计要求进行紧固。为保证同一个索夹的各颗螺栓受力均匀,用扭矩扳手分级为螺栓加载,加载顺序为从中间往两边进行(图7)。

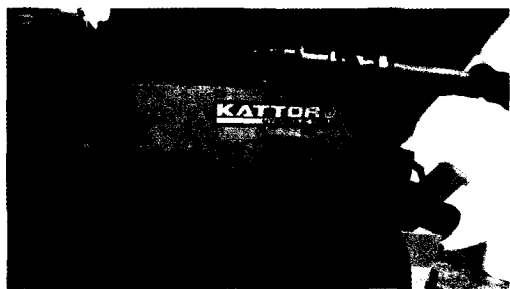


图7 扭矩扳手加载

2.7 吊索安装

(1) 将猫道面待装吊索位置正下方的钢丝网剪开一个直径约0.5m的圆孔。

(2) 用驳船将吊杆运至猫道下方,用索道小车将吊杆吊起,上锚头穿过已剪开的网洞,继续起吊吊杆,将吊杆上锚头与索夹耳板用销子连接。

2.8 索鞍顶推

在架设主缆和吊装钢箱梁过程中,由于中跨水平分力比边跨水平力大,将引起索塔顶部向中跨偏移。TUTI桥在塔顶设索鞍顶推装置,在架设主缆前,通过计算将索鞍往边跨预偏一定距离并临时固定,在吊装钢箱梁完成后,利用设在塔顶的千斤顶和相应的反力装置将索鞍顶推至索塔垂直位置,以此来平衡中、边跨的水平力。当完成5片桥面砼施工后,索鞍即可顶推回到原设计位置,最终固定。

2.9 猫道及索道拆除

猫道及索道等主缆防腐工作全部完成后进行拆除。用整体拆除法将猫道拆除,拆除时在塔顶设卷扬机牵引系统,将牵引钢丝绳与绑扎承重索

的锚箱连接并上提,当连接装置上的精轧螺纹钢不受力后拆除锚固螺母,使锚固调节装置与承重索完全脱离,然后开动卷扬机缓慢将猫道放至桥面。

3 缆索系统施工小结

(1) 苏丹TUTI大桥缆索系统的施工器具由柳州OVM公司提供并参与施工。由于当地的经济条件较差,施工中遇到了一些不可遇见的因素。通过中国和苏丹两国的工程技术人员共同努力,使缆索系统施工得以顺利完成。

(2) 主缆在紧缆时,采用简易双顶索夹式紧缆,施工十分便捷,达到大型紧缆机的使用效果。但是内衬的四氟滑板容易损坏,需要经常更换。

(3) 主缆架设过程中,在索股牵引上猫道时,由于索股轨道不在猫道中心上,索股自重引起猫道的倾斜,通过猫道承重索的调整来解决猫道倾斜问题。

(4) 主缆放索过程,由于索股成盘直径小,索股回弹力大,索股出放索架后落到地面上。在放线盘下托盘外圆加焊8根400mm长的10号槽钢辐条防止索股落到地面上。放线盘设有刹车装置,防止放线盘转速过快索股成呼啦圈状态。

(5) 索股在散索鞍处的安装,当索股超过下半鞍体时,采用临时固定装置进行限位,待索股就位后加上半鞍体紧密扣合后,上螺栓用扭矩扳手预紧;整圆紧缆后再用液压扭矩扳手加到设计螺栓张力。

4 结语

悬索桥缆索系统安装的控制精度非常重要,直接影响到主缆的线形,也影响桥梁寿命。苏丹共和国TUTI大桥的缆索系统的安装施工,在中国和苏丹的施工人员密切配合下顺利完工,达到了设计质量要求并于2009年3月21日顺利通车。该桥是苏丹共和国的第一座悬索桥,倍受当地人民和政府的关注。通过该桥的施工增进了中国和苏丹共和国两国人民之间的友谊。

参考文献

- [1] JTJ041-2000. 公路桥涵施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社,2000.
- [2] 雷俊卿,郑明珠,徐恭义. 悬索桥设计[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [3] 甘科,姚新奇等. 苏丹共和国TUTI悬索桥猫道施工工艺. 预应力技术[J], 2008, (3): 11-14.