

缅甸LEINLI悬索桥上部悬索结构施工

张峰 李双荣 杨奇光

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要: LEINLI悬索桥是迄今为止缅甸境内最大的悬索桥。柳州欧维姆机械股份有限公司为该项目提供了相关的设计、材料、施工设备及施工指导。该悬索桥上部悬索结构采用的施工工艺符合当地技术特点, 操作性强, 确保了施工的安全与质量。简要介绍LEINLI悬索桥的结构及上部悬索结构的施工工艺, 包括猫道的架设与调整、主缆的架设、索夹与吊索的安装等。

关键词: 缅甸 LEINLI悬索桥 上部结构

1 概述

LEINLI悬索桥(如图1)是迄今为止缅甸境内最大的悬索桥, 主跨304.8米, 设双向两车道。该桥采用混凝土重力式锚碇和钢结构索塔。全桥共有4个主索鞍、4个散索套、118个索夹, 主跨设吊索120根, 其中114根为钢丝成品索柔性吊索, 6根为刚性吊索。桥面为钢-砼叠合梁。

LEINLI悬索桥共2根主缆, 采用PWS(预制平行丝股)法编制。每根主缆由24股平行钢丝索股构成, 每股索股由91根 $\phi 5.25\text{mm}$ 镀锌高强钢丝编制而成。索股两端采用热铸锚。成桥状态下, 索夹处主缆直径为268mm。



图1 施工中的LEINLI悬索桥

2 上部悬索结构施工

上部悬索结构主要包括锚碇、索鞍、散索套、主缆、索夹、吊索等。其施工安装次序如下: 锚碇施工→主索鞍安装→散索套临时固定→猫道架设→主缆架设→索夹安装→吊索安装→猫道拆除。

2.1 锚碇施工

锚碇是支承主缆的重要结构之一。LEINLI悬索桥锚块混凝土的浇注按大体积混凝土浇注的注意事项进行, 锚块与基础形成整体。穿锚索的钢管安装时, 先利用钢筋临时支撑住, 在用测量仪

器确定其位置和角度后, 焊接固定。图2为锚碇施工现场。

每束锚索由13根 $\phi 15.24$ 钢绞线组成, 长度约10米。张拉控制应力为钢绞线极限应力的75%。主缆索股热铸锚头通过2根刚性拉杆与锚碇链接。图3为锚索张拉现场。



图2 锚碇施工



图3 锚索张拉

2.2 索鞍安装

索塔按节段拼装完成后, 按设计图纸布置索鞍底板支承钢棒, 并用测量仪器控制钢棒顶面标高, 使钢棒顶面标高与索鞍底板底面标高一致后焊接固定。用汽吊将索鞍底板吊致塔顶放置于支承钢棒上方, 复核水平位置后临时焊接固定以防止索鞍底板变位。按要求浇注钢塔顶面混凝土。

用汽吊将索鞍放置于索鞍底板上, 按设计偏移量向边跨方向偏移后临时固定, 见图4。

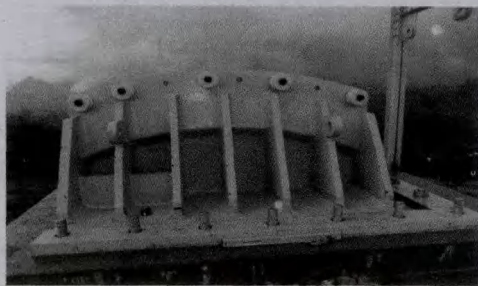


图4 索鞍安装

2.3 散索套的安装

架设主缆前,在锚碇的相应位置制作一个钢结构支承架,把散索套的下半部分固定在钢支架上,并用测量仪器测量保证其位置及角度符合设计图纸要求,见图5。

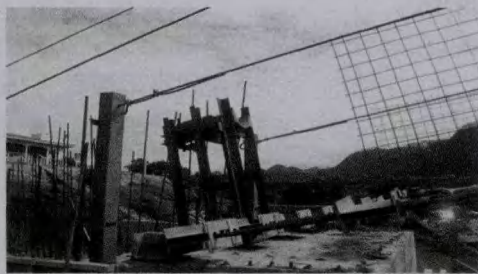


图5 散索套安装

2.4 猫道的架设

在架设猫道前,将塔顶施工门架在地面组装好并用汽吊吊至塔顶焊接固定。由于主跨下方地面为陆地,为猫道及后面吊索的施工提供了便利。

根据主缆索股牵引的需要,在4个锚碇块上各设置了一台5吨卷扬机,猫道架设过程中,充分利用这4台卷扬机进行猫道钢绳的牵引和提升。

2.4.1 猫道承重绳的安装

(1) 边跨

将边跨猫道承重绳在边跨引桥上展开,按计算长度制作两端接头。利用汽吊将承重绳一端提起并与塔端连接点连接。使用锚碇上的5吨卷扬机牵引承重绳的另外一端至锚碇并与锚碇上的猫道调节装置连接。

(2) 中跨

将中跨猫道承重绳在两塔之间的陆地上展开,按计算长度制作两端接头。分别利用PIN和PMN两侧的5吨卷扬机把承重绳牵引提升至塔顶并与塔顶塔端猫道调节装置连接。

猫道承重索架设完后,测量各索中点标高,用手拉葫芦辅助通过调节装置逐一调整其标高,使同一幅猫道各承重索中点的标高大致相等。

2.4.2 猫道面层的铺设及标高调整

(1) 边跨

将预制好的钢丝网片运至锚碇顶面,并逐片放置于猫道承重绳上。钢丝网片之间用U型螺栓连接。钢丝网片上每隔6米设置一道横向的槽钢,槽钢通过U型螺栓与承重绳连接。在塔顶设置转向滑轮,利用锚碇上的5吨卷扬机将钢丝网片向塔端牵引。当钢丝网牵引至塔顶后,从下至上拧紧槽钢上的U型螺栓将钢丝网固定在猫道承重绳上。

(2) 中跨

用吊车把钢丝网吊至塔顶,逐片放于承重绳上。利用锚碇上的5吨卷扬机提供反力,让钢丝网逐渐下滑至中跨中点。反力绳每隔约6米与钢丝网连接,控制后面钢丝网的下滑,避免挤压前面的钢丝网造成钢丝网拱起。同样,每隔约6米布置一道横向槽钢,并用U型螺栓将其与承重绳连接。钢丝网滑动过程中,U型螺栓不拧紧。当钢丝网下滑至中跨中点后,利用另外一侧的5吨卷扬机牵引,直至钢丝网到达另外一侧塔顶。逐一拧紧槽钢上的U型螺栓将钢丝网固定在承重绳上。

在槽钢两侧安装扶手绳立柱并利用U型螺栓将扶手绳固定在立柱上。逐片安装猫道两侧的边网。最后在猫道上每隔约6米设置滚动。

猫道架设完成后,通过猫道调节装置来调整猫道的标高,直至猫道线性符合设计要求。调整结束后按设计位置安装抗风缆。

图6为猫道架设现场。



图6 猫道架设

2.5 主缆架设

2.5.1 索股牵引

用PMN和PIN两侧设置在锚碇上面的5吨卷扬机形成复式牵引系统。根据实地情况,将放索盘放置在PMN侧锚碇后方,索股从PMN侧向PIN侧牵引。将卷扬机钢丝绳连接在索股锚头上,索

股锚头由滑车和手拉葫芦悬挂在轨道索上。牵引过程中,通过手拉葫芦调整锚头的高度,使其始终高于猫道滚轮,索股则沿滚轮前进。当锚头牵引至接近PIN侧锚碇且索股上的索鞍定位点位于索鞍中点附近时,停止牵引,解开卷扬机钢丝绳,利用PMN岸的卷扬机将牵引接头拉回PMN侧。图7为主缆索股索引现场。



图7 主缆索股牵引

2.5.2 索股横移与整型入鞍

索股牵引完成后,以基准丝为标准检查主缆索股是否有扭转并校正。两端锚头临时固定。在塔顶两侧距离门架大约6米处把六边形握索器安装在索股上,并将其与门架上的10吨手拉葫芦相连。收紧手拉葫芦使索股离开中跨猫道上的滚轮,且位于索鞍上方。用四边形整形器把鞍槽上方的索股整成方形并放于鞍槽内,如图8所示。

将两端锚头与锚碇连接好,安装张拉设备,做好索股线性调整准备。



图8 主缆索股整形

2.5.3 索股线性调整

索股线性调整按照先中跨后边跨的顺序进行。PIN侧作为固定端:在PIN侧使索股上的标记点与索鞍中点重合,并用竖向定位装置临时固定。PMN侧作为调整端:在PMN侧使索股上的标记点相对索鞍中点向边跨偏移约50mm,使索股在主跨中点的标高比设计标高高约100mm。通过手拉葫芦辅助,反复测量和调整直至中跨索股标高符合设计要求。通过边跨的张拉和放张来调整边跨索股标高直至符合设计要求。

第2至第24号索股的牵引方法与第1号索股相同;索股调整则按照其与第1号索股的相对位置进行调整。调整方法和顺序与第1号索股相同。主缆索股调整见图9。



图9 主缆索股调整

2.5.4 紧缆

紧缆分为预紧缆和正式紧缆。预紧缆时在主缆上每隔5米用钢丝绳收紧,然后用钢带缠紧,把主缆大致紧成圆形。同时拆除外圈索股上的高强聚酯带,如图10所示。

正式紧缆是利用紧缆机将主缆进一步收紧成圆形,同时打上钢带。正式紧缆时每隔1米左右操作一次,中跨由中间向两塔方向进行,边跨则由锚碇向塔方向进行,如图11所示。



图10 预紧缆



图11 正式紧缆

2.6 索夹安装

用全站仪在收紧好的主缆上标记出索夹中心投影在主缆顶面的位置。然后在主缆上标记出对应索夹两端边缘的位置。索夹对号入座后先初拧索夹螺栓临时固定,待调整索夹垂直度后再用标定好的电动扳手拧紧,如图12所示。



图12 索夹螺栓拧紧

2.7 吊索的安装

在待装吊索的索夹下方、猫道的钢丝网上剪开一个直径约0.5m的孔。用汽车将吊索运至猫道下方，利用锚碇上的5吨卷扬机从开洞处将吊索逐一吊装。

2.8 索鞍顶推

在主缆架设和钢梁吊装过程中，由于中跨水平分力大于边跨水平分力，会导致主塔塔顶向中跨偏移。因此在安装索鞍时，各索鞍已按设计要求向边跨预偏了一定距离并临时固定。在中跨载荷增加的过程中，利用设在塔顶的千斤顶和反力装置将索鞍顶推至索塔垂直的位置，使中跨与边跨的水平分力大致平衡。按设计要求，钢梁吊装完成后，索鞍即可顶推至最终安装位置并固定。

2.9 猫道的拆除

在主缆防腐工作全部完成后，用化整为零的

(上接第34页)

3.10.3 锚头的防腐

在锚杯内涂抹防腐油脂，锚头外安装保护罩，密封后往保护罩内灌满防腐油脂，如图5所示。



图5 锚头防腐图

3.10.4 索鞍的防腐

在索鞍出口两端安装保护罩，将该处主缆密封，在索鞍外面再加一个鞍罩，鞍罩与与底板之间用螺栓连接固定，如图6所示。

方法拆除猫道。先由高至低拆除每道猫道上的钢丝绳片及槽钢。然后解除塔顶连接后利用卷扬机将承重绳下放至桥面。

3 上部悬索结构施工小结

缅甸LEINLI悬索桥上部结构施工的工具及材料均由OVM提供，种类齐全、质量可靠，保证了施工进度和施工质量。中缅双方克服物资缺乏，因地制宜地使用了一些适合工地实际情况的施工方法，安全快捷的完成了施工任务。

锚碇浇注过程中，缅方使用的木模板过于单薄，造成少数锚头角度超差。通过加工钢制斜垫块来调整偏差。

4 结束语

经过OVM与缅方项目部的通力协作，LEINLI悬索桥于2010年11月2日通车，缅甸国家领导人对OVM公司提供的材料、技术和服务，所涉及的上部结构施工的安全顺利、快速度和高质量，及整桥质量给予了高度的肯定和赞赏。

参考文献

- [1] 雷均卿, 郑明珠, 徐恭义. 悬索桥设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002
- [2] 甘科, 姚新奇等. 苏丹共和国TUTI悬索桥猫道施工工艺[J]. 预应力技术, 2008(3)
- [3] 张日亮, 甘科等. 苏丹共和国TUTI大桥缆索系统施工[J]. 预应力技术, 2009(3)
- [4] 周孟波主编, 刘自明, 王邦楣副主编. 悬索桥手册[M]. 人民交通出版社
- [5] 钱冬生等. 大跨悬索桥的设计与施工[M]. 99第1版修订版

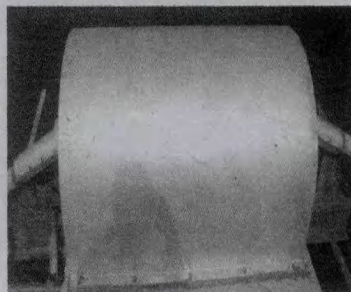


图6 索鞍防腐图

5 施工总结

施工过程中，很好的坚持运用了以上施工方法，经检测桥梁各项误差均能满足设计要求。实践表明：该施工方法合理安全，能满足工程要求，可供同类型工程施工参考借鉴。

参考文献

- [1] 周昌栋, 谭永高, 宋官保. 悬索桥上部结构施工[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 严国敏, 周世忠. 现代悬索桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.