

空间缆索结构的悬索桥猫道系统施工

张日亮 韦壮科 罗志恭 彭春阳
(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要:悬索桥的空间缆索结构,确定猫道系统在施工过程中从空缆状态到成桥状态的转换。借鉴天津富民桥猫道的施工过程,介绍单塔空间缆索结构自锚式悬索桥的猫道系统施工中应用的一些新技术,为今后同类型桥梁的施工提供参考。

关键词:悬索桥 猫道系统 空间缆索 调整 施工

1 概述

悬索桥因其造型流畅、外形美观而在世界各地迅速发展。20世纪80年代末,世界上修建悬索桥到了鼎盛时期,建成跨径大于1000米的悬索桥17座。桥梁缆索结构由平面逐步发展为空间缆索结构。空间缆索结构的主缆线形在立面和水平面的投影皆为抛物线,这就决定了猫道在施工过程中需要调整以适应主缆从空缆状态到成桥状态变换的要求。猫道是主缆架设、紧缆、吊索安装以及主缆防护的空中作业脚手架。猫道系统是悬索

桥缆索系统施工的特有设施。

天津富民桥主桥为单塔空间缆索结构自锚式悬索桥,混凝土塔高约58m(图1)。猫道系统设置在主塔与主跨锚碇、以及主塔与边跨锚碇之间,主要由承重索、调节装置、猫道面、栏杆、扶手、滚筒等组成。根据该桥桥型特点和施工需要,猫道分两段布置:自锚式锚碇到主塔段,主塔到重力式锚碇段。边跨主缆间距较小,仅为1.3米,因此该边跨猫道合二为一,设置在两根主缆正下方(图2)。

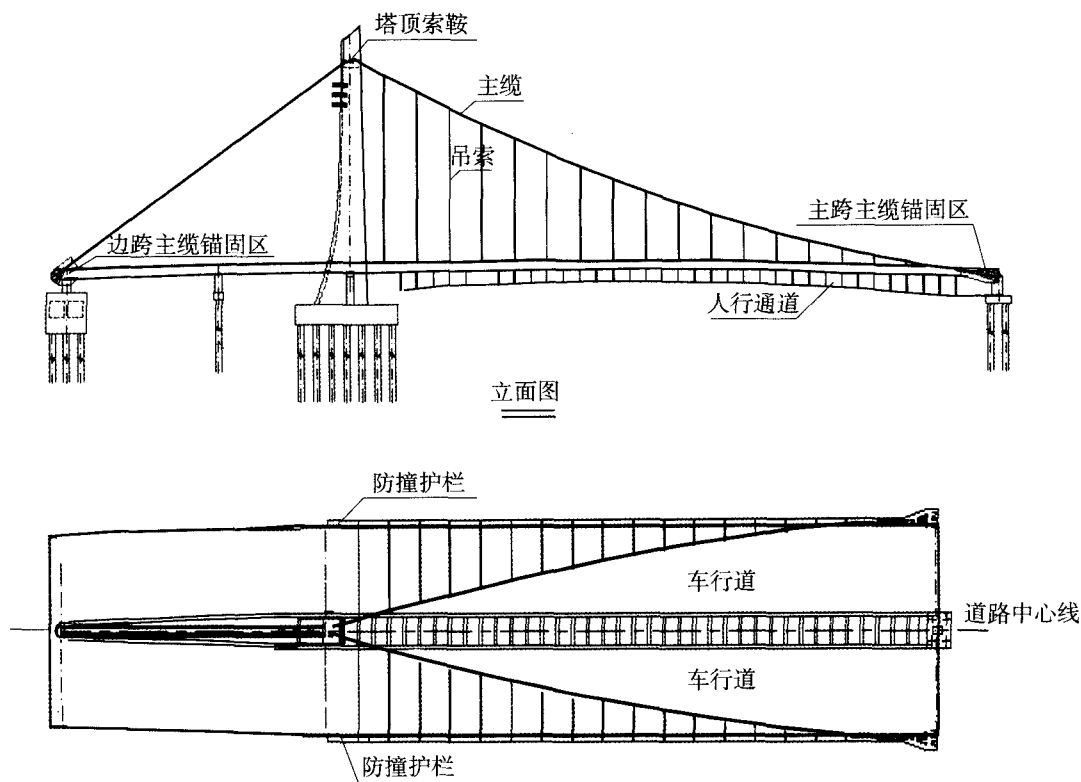


图1 缆索系统立面及平面布置图(单位: mm)

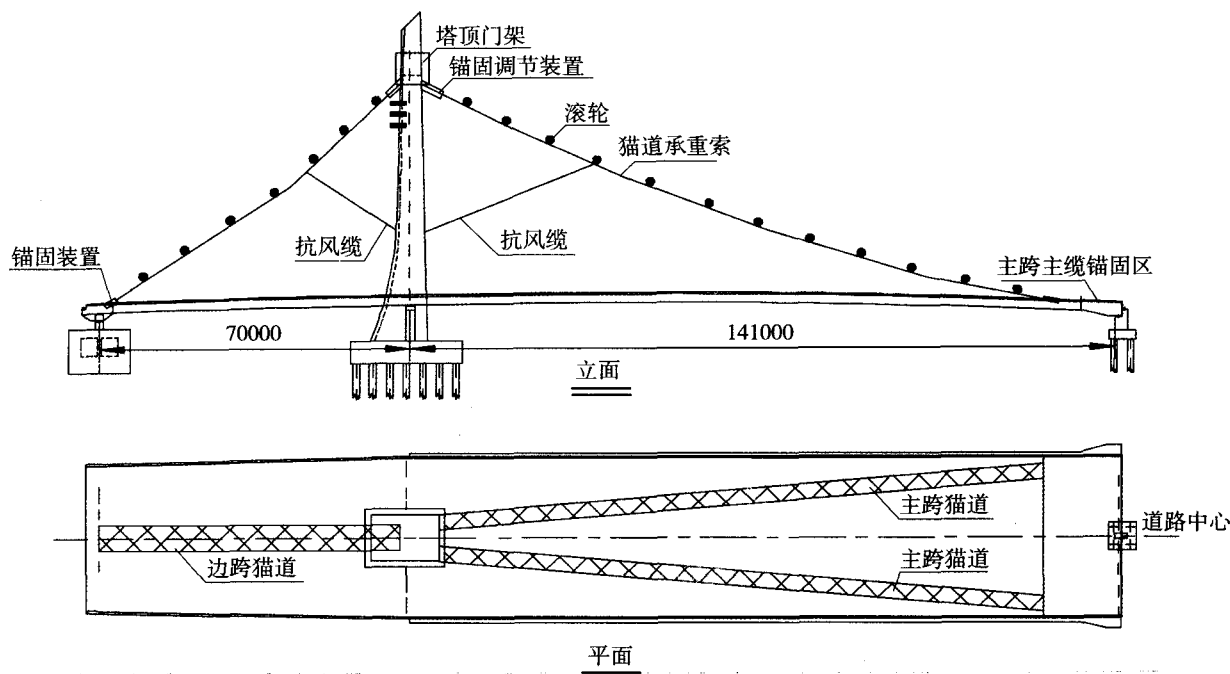


图2 猫道的立面和平面示意图 (单位mm)

通过强度验算,选用 $8 \times 26\text{SW}+\text{IWR}-28$ (光面)的钢丝绳作为承重索,其破断应力为 1670MPa ,最小破断拉力为 453kN 。每幅主跨猫道选用4根 $8 \times 26\text{SW}+\text{IWR}-28$ (光面)钢丝绳作承重索,每幅边跨猫道则由6根 $8 \times 26\text{SW}+\text{IWR}-28$ (光面)钢丝绳作承重索,承重索分别锚固于塔端、桥面的预埋件上,分两跨断开布置,成“人”字型架设。从工作空间和经济指标上考虑,确定主跨猫道面宽为 2.2m ,边跨猫道面宽为 3.2m 。猫道面层到架设的主缆底面距离为 $1.3 \sim 1.5\text{m}$,猫道上设置横梁、面层、横向通道、扶手绳、栏杆立柱、安全网等,为保证猫道的抗风稳定,主、边跨猫道都设置抗风缆装置。为了主缆索股的架设、索夹及吊索的安装、主缆的整形以及小型机具和料具的吊运等,在上下游各架设一组相互独立的工作索道,分别设置在两根主缆正上方。

2 猫道系统的设计原则与施工注意事项

2.1 猫道的设计原则

(1) 由于猫道的作业几乎贯穿整个上部结构施工过程,且是高空作业,在安全上应保证有足够的强度和抗风稳定性。

(2) 猫道面的线形应与主缆钢丝束在自由悬挂状态下的线形平行,除猫道本身的架设满足施工线形要求外,不允许对其他部位产生附加影响。

(3) 作为施工用的临时脚手架,应尽量减轻自重,减少挡风面积。

(4) 猫道系统本身要构造简单,架设、调整和拆除方便,以节约临时工程的作业时间和费用。

(5) 考虑猫道承重索受载后非弹性伸长度,根据主缆设计空缆线形进行承重垂度调整,因此要求设置有调节装置。

(6) 主缆由平面索向空间索转换的过程中,猫道会与吊索相碰,同时猫道会向横桥向的内侧倾斜。猫道的设计应能调节这种倾斜,满足保护吊索及安全施工的需要。

2.2 猫道施工的注意事项

(1) 猫道要有可靠的抗风设施,确保其稳定性。

(2) 施工过程中,要注意主跨、边跨的作业平衡,尽量减少对主塔的变形影响,确保主缆的架设质量。

3 猫道系统的架设

3.1 猫道架设的顺序及方法

猫道架设的主要施工流程为:安装索道的连接装置(包括调节装置)→导向索的安装→承重索架设→猫道面层铺设→调整猫道标高。

3.1.1 安装连接装置

天津富民桥为单塔悬索桥,猫道一端设置于塔身,另一端设置于桥面。猫道承重索的连接横梁通过精轧螺纹钢筋分别与塔、梁的预埋件联结。为使猫道适应施工过程中主缆线形的变化,保证人员和机械设备能进行正常操作,利用葫芦对承重索进行调节。考虑到施工便利等因素,其调节装置设在桥面的连接装置上,调节器一端与桥面预埋的锚固支架相连,另一端与承重索相连。调整猫道线型时,在桥面用手拉葫芦预紧后通过调整承重索的长度来实现。

3.1.2 导向索的安装

先将承重索的导向索钢丝绳 $6 \times 19 - 12.5$ 从桥面牵引至塔顶,并形成牵引循环索,利用循环索将猫道承重索牵引至塔顶。

3.1.3 承重索架设

在主塔附近设置放索盘,前端由夹索器夹持引向索塔,与塔顶的连接装置相连。利用已架好的循环索,牵引猫道承重索,按上、下游对称的方法进行架设。根据计算值每架设一根调整一根索垂度,并注意观测塔顶的偏移情况。待承重索全部架设完成后,利用两侧桥面端的调节装置对各承重索进行二次调整,使每幅猫道的承重索达到设计垂度。

3.1.4 猫道面层的铺设与调整

猫道的面层采用两层钢丝网铺设在承重索上,利用索道的牵引小车将钢丝网自桥面向主塔顶铺设。待钢丝网拽拉至塔顶后,从两端向跨中拧紧U型螺栓,然后安装扶手绳,安装栏杆立柱、钢丝网、护栏等。猫道安装完成后,测量垂度,利用锚固端的调节装置反复进行调整,直到符合要求为止。

3.2 猫道上设置起重索道

为了主缆索股的架设、索夹及吊索的安装、主缆的整形以及小型机具和料具的吊运等,在上下游各架设一组相互独立的工作索道,索道分别设置在两根主缆之上,根据该桥特点和施工需要,每幅索道分两段布置:自锚式锚碇到主塔段、主塔到重力式锚碇段。考虑到索道吊装件的重量较重,索道设置在较高的主缆位置之上。索道由设置在索塔顶部的塔架、导向承重索、牵引循环索、锚碇、驱动系统、行走小车、缆风系统等组成。每一组索道承重索由2根 $8 \times 26\text{SW} + \text{IWR} - 28$ (光面)钢丝绳组成,间距为50cm。

4 猫道系统的调整

4.1 主索鞍出口处辅助猫道架设

猫道上端连接主塔预埋件,索鞍在安装后高出猫道很多,主缆索股架设通过主索鞍时,会提前脱离滚轮,容易引起散丝、扭转现象。在主索鞍出口处,需要增加一段辅助猫道,上端通过辅助装置连接到主索鞍中间肋板上,下端用U型栓连接到猫道上。辅助猫道设置有滚轮,使主缆索股从主跨平顺跨越主索鞍架设到边跨猫道。同时,采用门架拽拉法配合悬索天车作为牵引系统进行主缆索股架设。

4.2 猫道倾斜调整

当主缆由平面索向空间索作体系转换时,猫道将与吊索干涉且向横桥向的内侧倾斜。由于主缆在平面和立面上呈抛物线形,故此时的猫道平面成折线形,而体系转换完后,还有主缆防护,螺栓复拧等工序。调整猫道线形,保护吊索、保证猫道施工平台功能是空间悬索主缆桥不同于传统悬索桥的一个新课题。针对天津富民桥,猫道倾斜通过调节猫道 $\phi 16$ 钢丝绳来修正(图3)。为防止钢丝绳绕索夹转动,保证钢丝绳在索夹上绕3圈以上,借助索夹上的吊装孔安装一个止动块。

4.3 猫道线形调整

空间缆索结构悬索桥猫道的架设施工,不仅要考虑钢丝绳的强度、主缆缠丝及紧缆的工作空间,还要考虑缆索水平变位引起猫道的线形调整

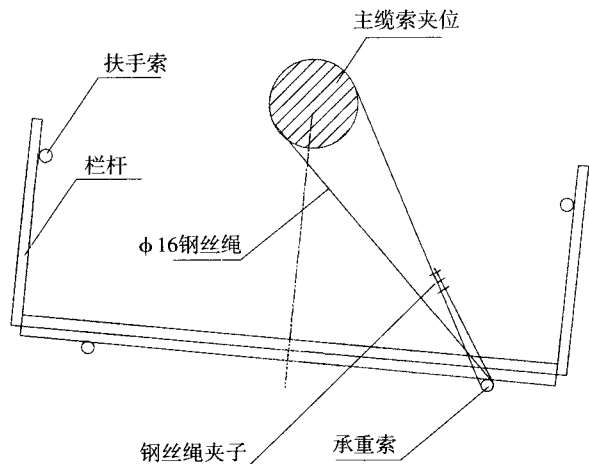


图3 猫道倾斜调整示意图

及猫道调整后的吊索位置及工作空间，因此猫道的线形变换与调整是施工的关键技术之一。猫道的线形调整就是将猫道的线形与主缆的线形的调整变化同步，以保证后期工序的顺利进行。由于空间缆索结构的主缆的线形无论是立面还是平面其线形都为抛物线，要将猫道的线形调整与主缆线形一致，作用于猫道的外力只能由主缆提供，同时要尽可能的减少调整猫道所产生的作用力影响到主缆的线形。

为了减少调整猫道对主缆的线形的影响，猫道系统转换时，采用如下方法进行调节。一是在施工工序中要求猫道的调整与主缆的线形变化同步，过快会因主缆的线形变化使猫道的钢丝绳产生张力而直接影响主缆线形的变化，而过慢会使钢丝绳直接作用于吊杆上，不仅影响吊杆力的调节，还因主缆的变化使钢丝绳产生张力直接影响主缆线形的变化；二是在施工结构上采用一种刚性支架结构与柔性钢丝绳固定相结合的方式调整猫道的线形，安装时刚性支架结构与柔性钢丝绳固定两种相互错开，同时每段之间的猫道钢丝绳须处于自由悬吊状态。刚性支架由数根12#的槽钢焊接而成，其上端与索夹高强螺栓连接，下端与猫道承重钢丝绳相连接，中间的斜槽钢的安置角度视吊索调索后索夹的转动角度而定。其具体的操作过程为：先将吊索安装好，然后在吊索调索时用钢丝绳将猫道挂在主缆上，钢丝绳一方面将猫道向上提，保证安装后猫道钢丝绳不产生拉紧力，另一方面将猫道随主缆做横向移动，初

次调索完成后将刚性支架焊接牢固；当下一根吊索调索时便直接采用钢丝绳来固定猫道，如此交递的安装完成所有索夹位置（图4）。

有刚性支架的存在，用这种猫道调整的方式使猫道更平稳、更可靠，结合钢丝绳来固定猫道，既节约了施工成本，又提高了工作效率。

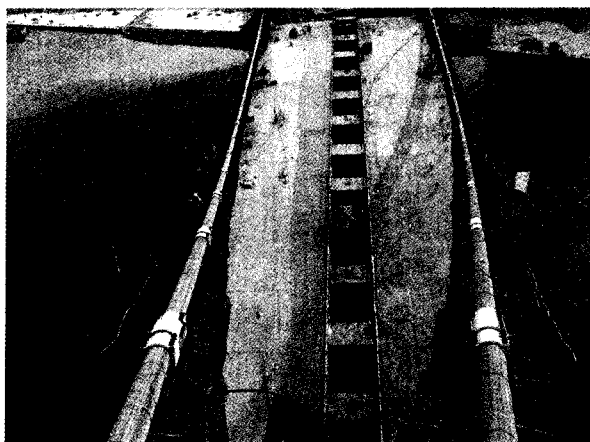


图4 猫道与主缆索夹连接

5 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。

6 结 语

空间缆索结构自锚式悬索桥主缆线形是空间结构的，在施工过程中，要求猫道系统线形与主缆的线形同步变化。这不同于平面缆索结构悬索桥猫道系统架设施工过程中不动的特点。天津富民桥采用了一些新技术对猫道系统进行了有效的架设与调整，解决了猫道变位难题，顺利实现了空间缆索体系的体系转换。

参考文献

- [1] 周昌栋, 谭永高, 宋官保 编著. 悬索桥上部结构施工. 北京: 人民交通出版社. 2004.01.
- [2] 刘吉士, 阎洪河, 李文琪 主编. 公路桥涵施工技术规范实施手册. 北京: 人民交通出版社. 2001.10.