

Catwalk Design and Erection Technology of Long Span Suspension Bridge

Zilu Shao^{1*}, Xiaopeng Yang², Yang Shi¹, Bingnian Fu¹, Yu Zhang¹

¹No.4 Engineering Branch of CNPC Pipeline Bureau, Langfang Hebei

²China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd. International, Langfang Hebei

Email: *cyszl@cnpc.com.cn

Received: Oct. 19th, 2020; accepted: Dec. 1st, 2020; published: Dec. 15th, 2020

Abstract

Catwalk is a necessary temporary structure for long-span suspension bridge construction. It provides construction operation platform, material and tool transportation channel for main cable erection, cable clamp and sling installation, main cable protection, etc., and runs through the entire suspension bridge superstructure installation and construction from beginning to end. This paper studies the design and erection technology of catwalk by taking the bridge of some span suspension bridge as an example, which can be used for reference for similar catwalk construction in the future.

Keywords

Long Span over Suspension Bridge, Catwalk Design, Catwalk Erection

*通信作者。

大跨径悬索桥猫道设计及架设技术

邵子璐^{1*}, 杨晓鹏², 史 洋¹, 付丙年¹, 张 禹¹

¹中国石油管道局工程有限公司第四分公司, 河北 廊坊

²中国石油管道局工程有限公司国际事业部, 河北 廊坊

Email: *cyszl@cnpc.com.cn

收稿日期: 2020年10月19日; 录用日期: 2020年12月1日; 发布日期: 2020年12月15日

摘 要

猫道为大跨径悬索桥施工必备的临时结构, 为主缆架设、索夹和吊索安装、主缆防护等提供一个施工技术操作系统平台、材料及工具进行运输发展通道, 从始至终贯穿整个悬索桥上部构造安装施工使用。本文以某跨越悬索桥为例, 对猫道的设计及架设技术进行研究, 对今后同类型工程有一定的参考作用。

关键词

大跨径跨越悬索桥, 猫道设计, 猫道架设

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

桥面由悬索支撑的桥梁称为悬索桥。猫道是悬索桥上部结构施工中重要的空中作业通道和施工平台, 其架设精度直接关系到悬索桥后期的施工精度和桥梁的竣工状态。随着时代的进步和科学技术的发展, 随着悬索桥的发展, 猫道材料和结构形式也在不断的改进。在整个施工过程中, 猫道主要提供主缆牵引、调整、收紧、保护、索夹和吊索的安装等用途。猫道施工工艺复杂, 贯穿整个悬索桥上部结构安装工程, 有针对性地对猫道设计及架设技术进行研究, 是很有必要的。

2. 猫道设计

2.1. 猫道设计原则

猫道设计应遵循简单便利, 安全可靠, 经济合理的原则。猫道面的设计线形应平行于主缆空载线型, 并与其发展保持一定的间距, 尽量可以减轻结构自重、减少受风面积[1]。运行安全可靠, 并能为索股牵引, 主缆缠绕等机械操作提供所需的工作面, 以及满足强度和刚度要求。同时, 进行安装和拆除方便简单快捷, 以及选材经济且利于防火。此外, 猫道不能对塔、锚固墩和主缆产生附加的影响。

2.2. 猫道的结构形式

猫道主要由承重索、扶手索、刚性吊架、层面板和钢丝网材料组成。

主缆下方于 1.5 米为猫道面，面宽 3.5 米，对称于南北塔中心线布置。为便于进行施工及垂度调整，使用连续式猫道结构，由北岸锚固墩经两座主塔到南岸锚固墩，并在南北两岸锚固墩设调节装置。

通过两岸主塔和主索锚固墩，在主缆下方 1.5 m 左右设置 8 根 $\Phi 42$ mm 的猫道承重索(可根据主缆空载和承重情况下调整)，猫道两侧各设 2 根扶手索，使用 $\Phi 20$ mm 扶手绳。猫道宽 3.5 m，在两塔中心线位置进行布置。

猫道面层铺设两层面层钢丝网，底层采用 $\Phi 5-50 \times 70$ mm 普通钢丝网，上层采用 $\Phi 3-30 \times 20$ mm 普通钢丝网，边网采用 $\Phi 2-50 \times 50$ mm 普通钢丝网[2]。

猫道承重索两端分别锚固在两岸的主索锚固墩的预埋调节螺栓上，因此已在南北两岸各预埋调节螺栓 16 根(8 对)和预埋锚点 7 个。猫道承重索经过塔顶设置的临时分索装置来调整承重索的间距，通过锚固墩调节螺栓，来调整承重索的线形和猫道距主缆的高度，经过计算，主缆在空载情况下和最大承重状态下其线形上下高度变化在 1.775 m，猫道承重索根据此高度的变化需调整的索长为 880 mm，因此承重索两端锚杆设置的调节长度各 550 mm，调节最大长度可为 1.1 m。承重索在下料时，需考虑调整长度，按最长状态下下料灌注锚头。

为满足猫道架设和施工需求，需要利用现有塔架通过塔顶架设三道施工索，其线形高于主缆，断面呈在三角形布置。其中一根设置在塔顶高架平台支架上，另外两根平行架设在塔顶预埋塔耳牛腿处。

2.3. 猫道线形有限元分析

2.3.1. 猫道承重索平衡状态分析

根据设计要求，猫道线形与主缆线形平行且应与主缆保持 1.5 米的高差。按照猫道设计实际图纸，建立猫道的空间有限元模型，并对猫道进行计算[3]。计算主要荷载如下：猫道承重索以及横向猫道两侧栏杆等按 0.072 KN/m 计算；面网、方木、托架等按 1 KN/m 计算；施工人群荷载、部分器具等按 0.4 KN/m 计算；索股按 0.315 KN/m 计算[4]。

有限元模型如图 1 所示。本模型建立简化为 1 条猫道承重索[5]。索由 midas 桁架单元中的辅助单元索单元模拟。

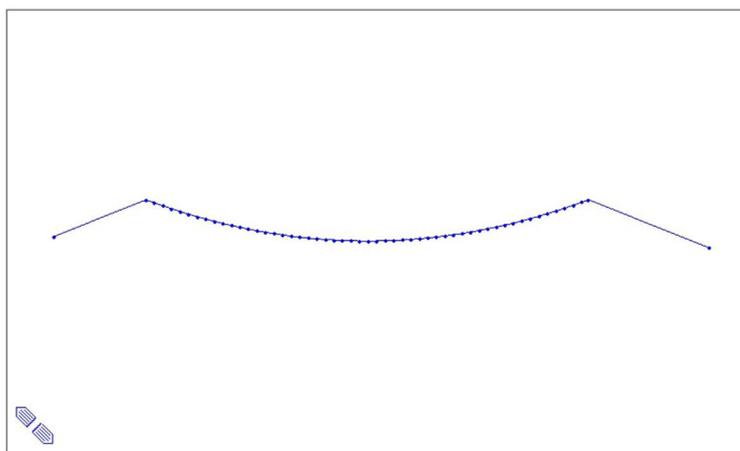


Figure 1. Finite element model diagram
图 1. 有限元模型图

按照以上模型，迭代计算，以获得电缆在空状态下，即不考虑施工人员、索股等荷载的情况下，猫道承重索的平衡位置如图 2 所示。

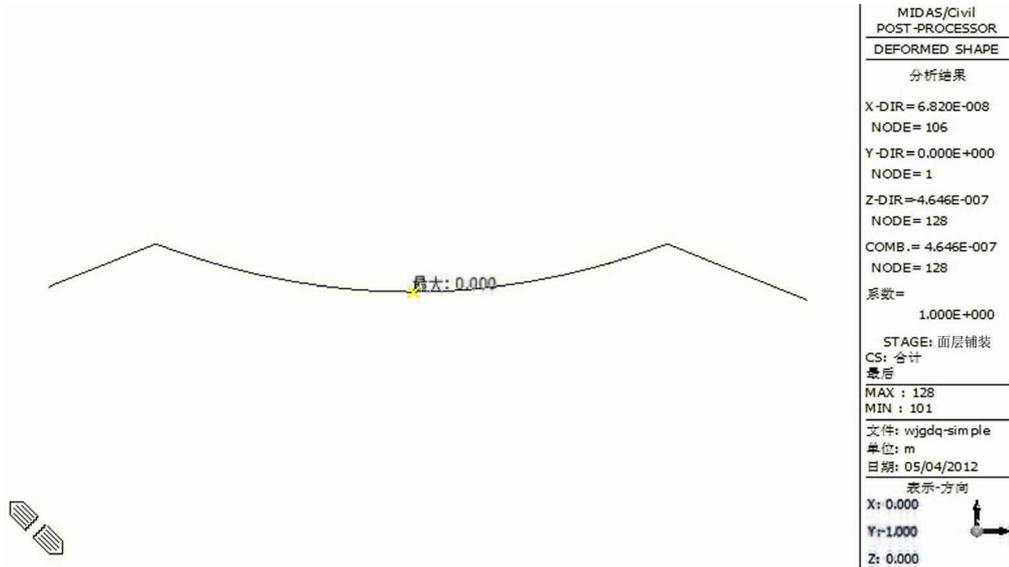


Figure 2. Location map of catwalk load-bearing cable balance state
图 2. 猫道承重索平衡状态位置图

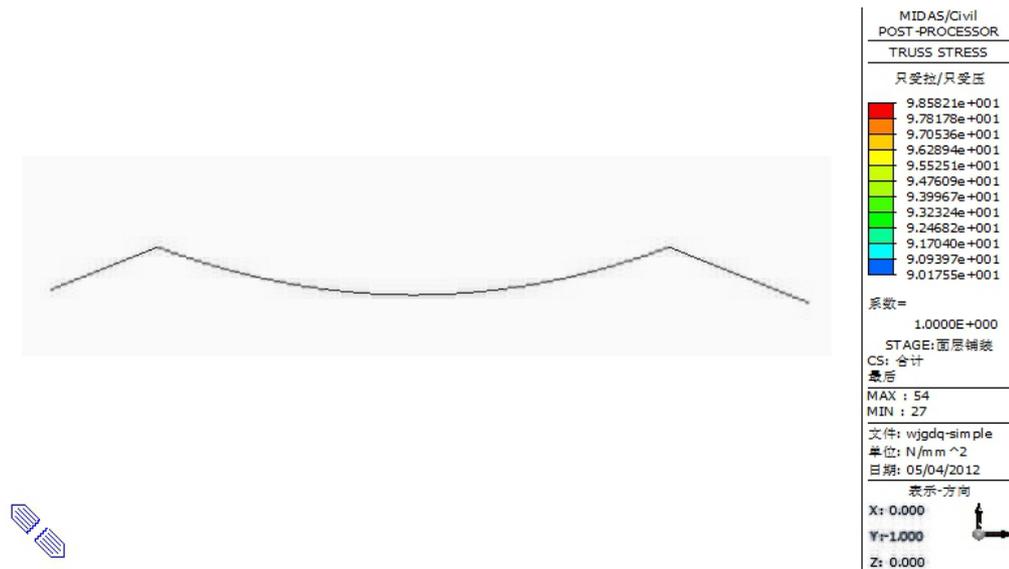


Figure 3. The equilibrium state of catwalk load-bearing cable should be attempted
图 3. 猫道承重索平衡状态应力图

由图 2、图 3 所示计算结果可以得知，猫道承重索在拉索自重和面层铺装作用状态下，猫道的平衡位置与模型初设值相差不大，且猫道承重索的应力处于一个较低的水平上。猫道承重索的矢高为 29.2 米，位于主桥主缆下方约 1.5 米处。猫道承重索应力的最大应力值为 98.6 MPa。

2.3.2. 猫道承重索安装过程计算

猫道承重索在所有的栏杆和面层等荷载作用下的平衡位置与主桥主缆的高差为 1.5 米。在猫道面层安装前，猫道承重索的位置在平衡位置之上，通过计算得到猫道空索的位置如图 4 所示，空索状态相应于平衡位置的变形为 0.7 米，其空索的垂度为 28.5 米。空索状态下的猫道承重索的应力如图 5 所示，最大应力为 37.7 MPa。

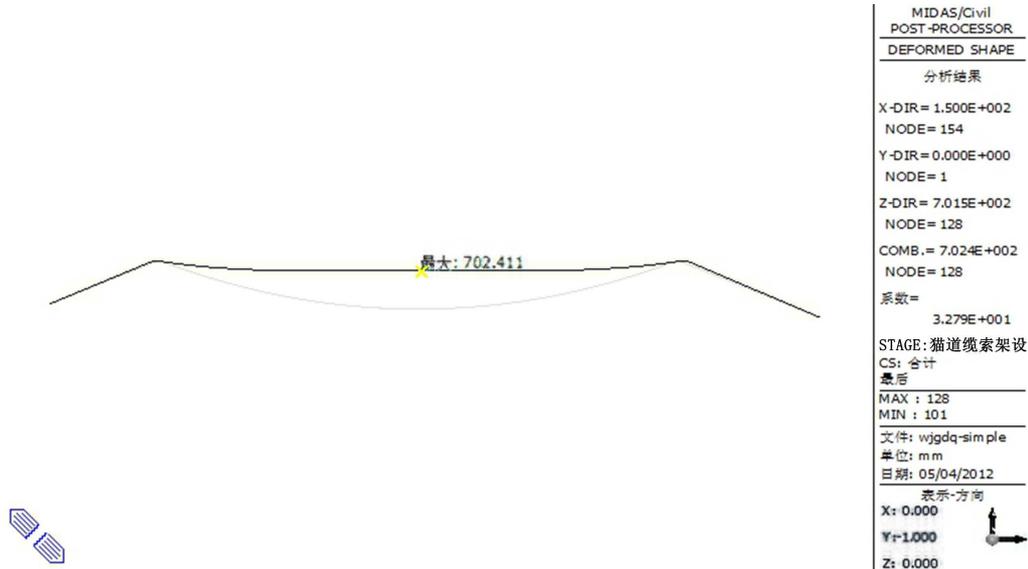


Figure 4. Cat lane empty rope location map
图 4. 猫道空索位置图

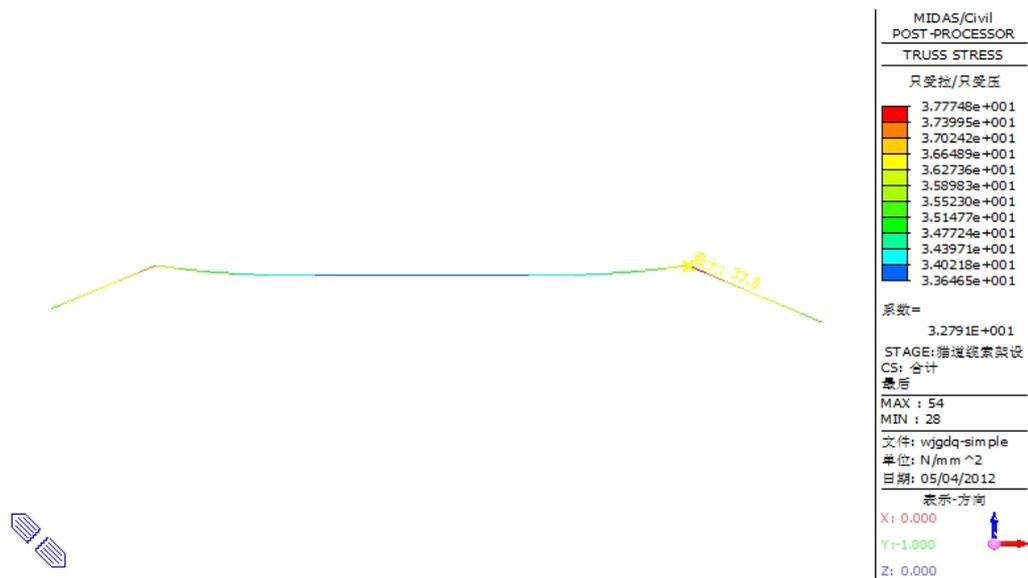


Figure 5. Cat lane cable should try hard
图 5. 猫道空索应力图

3. 猫道施工流程

先导索过江→施工索架设→承重索架设→扶手索架设→面层及边网敷设→承重索垂度调整→抗风索架设。

3.1. 先导索过江

某悬索跨越悬索桥斜跨 200 m 深切峡谷，两岸岸坡陡峭。根据现场实际情况，采取飞机拖送法进行先导索过江。选择在晴朗、风力小的天气进行。在北岸先用遥控飞机模型把直径为 1 毫米的尼龙绳牵引过江，用细绳拖粗绳的方式把直径为 8 mm 的细钢丝绳牵引过江，直径为 8 mm 的细钢丝绳把卷扬机跑

绳牵引过江。卷扬机跑绳在南岸通过导向滑轮后再利用 8 mm 细钢丝绳牵引回北岸，通过两台 5 t 卷扬机将卷扬机跑绳形成闭合回路。航模牵引先导绳过江见图 6 所示。



Figure 6. Model drawing pilot rope across the river
图 6. 航模牵引先导绳过江

3.2. 施工索和辅助施工索架设

3.2.1. 辅助施工索的架设

选用 $\Phi 36-6 \times 37-1670$ 的钢丝绳作为辅助施工索，成盘放置在北岸主索锚固墩附近的放索架上，将辅助施工索的一端牵引到主塔附近，由塔顶吊将辅助施工索的绳端吊至塔顶过塔，辅助施工索架设在中间的自制简易索鞍上。然后通过卷扬机跑绳回路将辅助施工索牵引到南岸，再经塔顶吊过塔，牵引至南岸主索锚固墩锚点锚固。

3.2.2. 施工索架设

通过辅助施工索架设 3 条 $\Phi 50-6 \times 19\text{IWS}-1870$ 型号的高架施工索，3 条施工索单根分别架设。先将一根施工索放置在主索锚固墩附近的放索架上，将施工索的一端牵引到主塔底部，由塔顶吊吊至塔顶，然后通过辅助施工索牵引过江。施工索在塔顶放置在中间的自制简易索鞍上。将施工索的一端通过钢丝绳吊环吊在辅助施工索上，施工索的绳端可沿辅助施工索进行滑动，通过对岸的卷扬机将施工索沿辅助施工索牵引到南岸。通过塔顶简易自制索鞍牵引至南岸主索锚固墩，先将南岸施工索锚固在主索锚固墩上，调节施工索的垂度，调好后将北岸施工索的绳端锚固在主索锚固端上[6]。然后再架两侧施工索，架设方法同于中间施工索架设方法，施工索的两端分别锚固在两岸主索锚固段的 $\Phi 80$ 锚点上。

3.3. 猫道承重索架设

该悬索结构跨越悬索桥边跨利用水平地面上的托滚向索塔方向进行牵拉承重索试验，当承重索绳头到达塔底后，利用控制塔顶吊将承重索绳头提拉至塔顶，使其与卷扬机跑绳相联接。

通过 4 台卷扬机，两两成对使用，分别起到牵引发送走线滑车和提升猫道承重索的作用。通过两台卷扬机牵引卷扬机跑绳，使卷扬机跑绳通过发送走线滑车提升猫道承重索，使得施工索线形与猫道承重

索线形基本相同。再通过两台卷扬机牵引发送走线滑车,使走线滑车沿施工索带动猫道承重索由一岸发送到另一岸[7]。

3.4. 猫道扶手索架设

猫道两侧各敷设2根 $\Phi 19.5-6 \times 37-1670$ 的镀锌扶手索,间距600 mm,与底部猫道承重索形成1.2 m的侧面封挡。猫道扶手索发送方式与猫道承重索相同,猫道上采用方钢支架对扶手索进行定位。

3.5. 猫道面层及边网敷设

猫道两层面板铺设两层钢丝网。底层采用 $\Phi 5-50 \times 70$ 普通钢丝网,上层采用 $\Phi 3-30 \times 20$ 普通钢丝网,边网采用 $\Phi 2-50 \times 50$ 普通钢丝网[8]。猫道防滑木采用3.5 m木方,规格 40×50 ,间距布置为500 mm。猫道刚性支架布置间距30 m。采用8#线铁丝绑扎固定。猫道面层断面结构如图7所示。

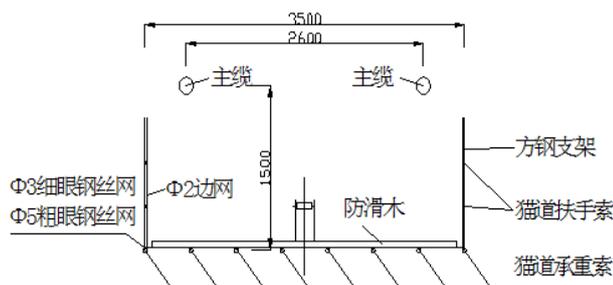


Figure 7. Cat path surface section structure
图7. 猫道面层断面结构

猫道层敷设应从主索锚固墩到主塔逐渐推进敷设,然后再进行主塔到两塔中间段敷设,在塔吊附近可借助塔吊进行敷设。

3.6. 猫道承重索调整

猫道面层及边网敷设施工完毕后,猫道的恒载已基本加载完备,需进行猫道线形的调整,调整顺序按照上下游对称的原则进行,利用全站仪测量承重索最低点的高程,通过改变承重索的长度来调整承重索的垂度,通过在调节螺栓锚固头的位置对承重索的长度进行调整。

承重索测量,可用全站仪的悬高测量方法进行,同一猫道面8根承重索应在同一弧面上,其相对高差值控制在 ≤ 30 mm [9]。在猫道承重索调整过程中,为了保证塔顶水平力的平衡,要求施工中对上下游猫道承重索对称调整,并随时监测线路和主塔位移。

3.7. 抗风索架设

由于猫道跨度较大,又为单条猫道形式,抗风能力较差,因此,采用临时抗风措施。采用四根长100 m, $\Phi 22$ 的临时风索钢丝绳与猫道相连接,通过四台卷扬机同时牵引,与四个风索锚固墩的锚点进行连接,起到对猫道抗风的作用[10]。

4. 结语

在本文中,本文以某跨越悬索桥施工猫道为背景,介绍了猫道的设计与架设方式。该悬索跨越猫道采用钢丝网作工作面和侧网,既减轻了猫道自重,又有利于材料的回收,同时也杜绝了火灾隐患。在悬索桥上部结构施工过程中,猫道使用状态良好,保证了施工的质量与进度。

参考文献

- [1] 彭世恩. 大跨度悬索桥猫道设计概述[J]. 四川建筑, 2005, 25(4): 75-76.
- [2] 徐阳. 大跨悬索桥猫道设计与结构验算[J]. 湖南交通科技, 2017, 43(2): 172-177, 204.
- [3] 郭雪妍, 王超, 张恒心, 等. 潮河大桥悬索桥猫道设计与计算分析[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2017, 29(1): 66-70.
- [4] 马亮, 屈喜庆, 李飞, 等. 空间索面悬索桥猫道设计与施工[J]. 天津建设科技, 2016, 26(3): 51-54.
- [5] 刘学才. 基于 Midas 的悬索桥猫道计算分析[J]. 交通世界(下旬刊), 2018(12): 80-81.
- [6] 王勇. 大跨径悬索桥猫道参数设计、架设与结构分析[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2013.
- [7] 陆永军, 肖锋. 宜昌长江公路大桥猫道施工[J]. 公路, 2001, 3(3): 14-16.
- [8] 王迟. 悬索桥猫道合理线形计算优化及选型研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2019.
- [9] 韦壮科, 彭春阳, 卢士鹏. 自锚式悬索桥空间索面猫道架设与调整[J]. 桥梁建设, 2008, 5(5): 46-48.
- [10] 刘吉士, 阎洪河, 李文琦. 公路桥涵施工技术规范实施手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.