

南京长江第四大桥猫道结构设计 与施工

栾昌花, 沈 斌

(南京重大路桥建设指挥部, 南京 210033)

[摘要] 南京长江第四大桥为主跨 1 418 m 的双塔三跨吊悬索桥, 上部结构施工猫道采用无抗风缆和无抑振机构的三跨连续式猫道结构。本文对南京长江第四大桥猫道结构设计、架设及猫道改吊与拆除施工进行了系统介绍, 可为类似悬索桥猫道设计及施工提供借鉴与参考。

[关键词] 南京长江第四大桥; 猫道设计; 猫道架设; 猫道改吊; 猫道拆除

[中图分类号] U448 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)08-0048-06

1 前言

猫道系统是悬索桥上部结构安装工程中最重要的施工平台, 几乎贯穿上部结构施工全过程。其结构主要由猫道承重索、猫道面层、栏杆及扶手、抗风系统、门架系统、横向通道及各锚固连接等系统构成。目前, 国内大多数悬索桥的施工猫道, 其扶手索采用三根钢丝绳(通常为 $\phi 12 \sim 20$ mm), 扶手索不参与猫道结构受力, 而且多数猫道设置抗风缆或抑振机构以增强猫道抗风稳定性。南京长江第四大桥采用一种新型“猫道结构”, 该猫道的扶手索采用单根大直径钢丝绳($\phi 32$ mm), 考虑扶手索通过猫道侧网与猫道承重索形成空间整体, 考虑扶手索与猫道承重索、门架承重索一起参与猫道结构受力, 较好地改善了其余猫道承重索和门架承重索的受力状态。同时猫道扶手索可在猫道架设阶段兼做托架承重索, 既方便了施工又减少了重复投入。另外通过抗风分析和风洞试验, 在确保猫道结构安全的前提下, 取消了抗风缆和抑振机构。

2 工程概况

南京长江第四大桥为主跨 1 418 m 的双塔三跨吊悬索桥, 桥跨布置为 576.2 m+1 418 m+481.8 m, 全长 2 476 m。主缆在成桥状态下的中跨垂跨比为 1:9.003, 主缆中心距为 34 m。

3 猫道结构设计

3.1 猫道结构总体设计

南京长江第四大桥上部结构施工猫道采用无抗风缆和无抑振机构的三跨连续式结构。猫道横桥向与主缆轴线呈对称布置, 在上、下游对应于主缆中心线下方各设一幅猫道。猫道线形与主缆线形基本平行, 猫道面距主缆轴线 1.5 m, 猫道宽 4.0 m, 高 7.0 m, 横向通道间距 150 m, 共 14 道。猫道结构总体布置如图 1 所示。猫道由猫道承重索、扶手索、门架承重索、猫道面层、猫道门架、横向通道及猫道锚固与变位系统组成。猫道断面结构如图 2 所示。

[收稿日期] 2013-05-19

[作者简介] 栾昌花(1963—), 女, 江苏南京市人, 高级工程师, 主要从事大跨径桥梁建设管理工作; E-mail: njlch456@sina.com

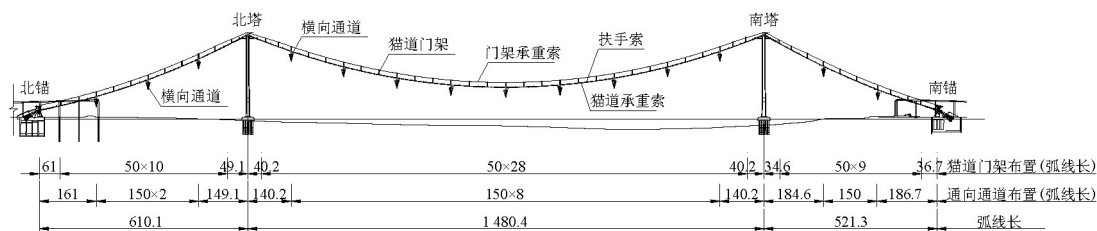


图1 猫道总体结构布置(单位:m)

Fig.1 The overall structure and layout of catway (unit:m)

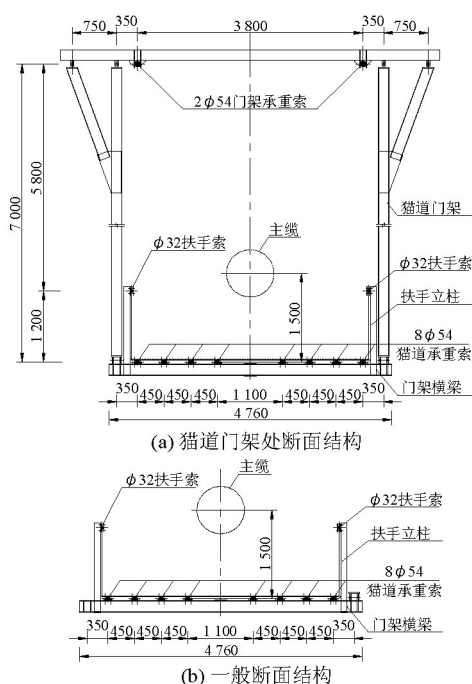


图2 猫道断面结构(单位:mm)

Fig.2 Cross sectional structure of catway(unit:mm)

3.2 猫道索

每幅猫道设置8根 $\phi 54$ mm猫道承重索、2根 $\phi 32$ mm扶手索和2根 $\phi 54$ mm门架承重索。其中,猫道单侧扶手索仅设置一根钢丝绳($\phi 32$ mm),该设计方案与国内大多数悬索桥中猫道扶手索单侧设置三根钢丝绳(通常为 $\phi 12\sim 20$ mm)相比,充分考虑了扶手索参与猫道结构受力,可增强猫道总体承载力性能。同时猫道扶手索可在猫道架设阶段兼做托架承重索,既方便施工又减少了投入。门架承重索在主缆索股架设阶段,通过猫道门架与猫道形成整体,作为门架式牵引系统的支承索;在主缆架设后,作为缆索小车的承重索,用于紧缆机移动,运输索夹、吊索、缠绕钢丝绳索盘等。猫道索采用镀锌钢丝绳,其主要技术参数如表1所示。

表1 猫道索主要技术参数表

Table 1 The main technical parameters of catway cables

名称	结构型式	规格/mm	强度等级/MPa	最小破断拉力/kN	弹性模量/MPa
猫道承重索	—	$\phi 54$	—	2 030	—
门架承重索	6×36WS+WR	$\phi 54$	1 960	2 030	$\geq 1.18\times 10^5$
扶手索	—	$\phi 32$	—	714	—

3.3 猫道面层

猫道面层由 $\phi 5$ mm@50 mm×70 mm的底网与 $\phi 2$ mm@20 mm×20 mm的面网组成,在网片上每隔0.5 m绑扎一对40 mm×25 mm×1 500 mm防滑方木,每隔3 m绑扎一道60 mm×40 mm×3 950 mm硬木横梁。

3.4 横向通道

两条猫道之间每隔150 m左右设置一道横向通

道。全桥共布置14道,中跨9道,南边跨2道,北边跨3道。横向通道由三角桁架、面层网、栏杆、扶手绳等组成。横向通道除满足人员在猫道间的通行外,同时能提高猫道自身的整体稳定性及抗风能力。

3.5 猫道锚固系统

南京长江第四大桥施工猫道为三跨连续式结构,仅在南北锚碇处设置锚固系统。猫道承重索和

扶手索通过锚固体系锚固在前锚面前方锚体底板大体积混凝土内,门架承重索锚固在上锚块的前锚面上。猫道承重索与扶手索锚固埋件均采用深埋型钢结构。为便于猫道架设阶段猫道索的调整及猫道改吊期间猫道索的释放,猫道锚固系统设计成大小拉杆组合式调节系统,大拉杆用于猫道整体收放,小拉杆用于调整猫道索长度偏差,使所有猫道索同步受力。猫道锚固系统结构如图3所示。

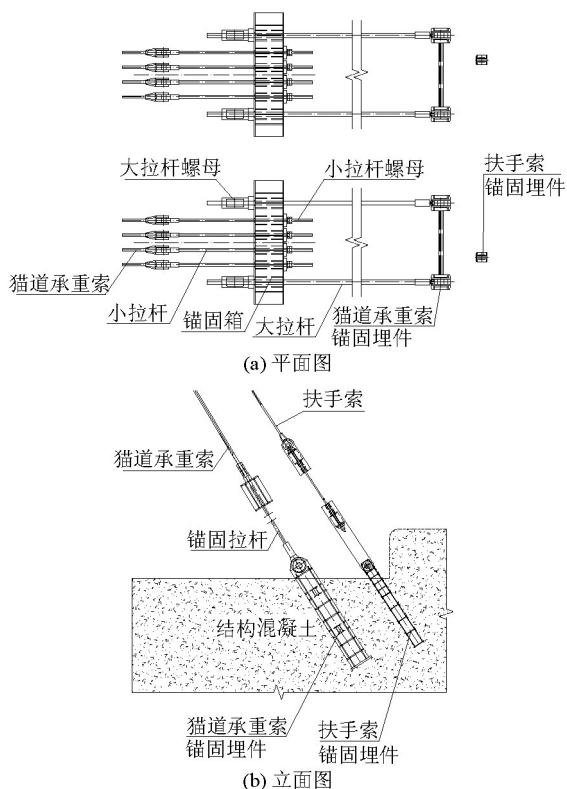


图3 猫道锚固系统结构示意图

Fig.3 The sketch of the anchor system for catway

3.6 猫道转向与变位系统

在塔顶和散索鞍墩顶设置猫道转索鞍,实现猫道承重索、扶手索和猫道门架承重索在塔、锚处的转向与固定。猫道在塔顶处线形,由猫道承重索下压装置和变位刚架进行调整,使猫道与主缆的线形平行。塔顶处猫道变位系统布置如图4所示,锚碇处猫道变位系统布置如图5所示。

4 猫道结构计算与分析

4.1 猫道结构计算

采用“通用有限元软件 ANSYS”对猫道结构进行计算,并通过“桥梁结构空间静动力非线性分析

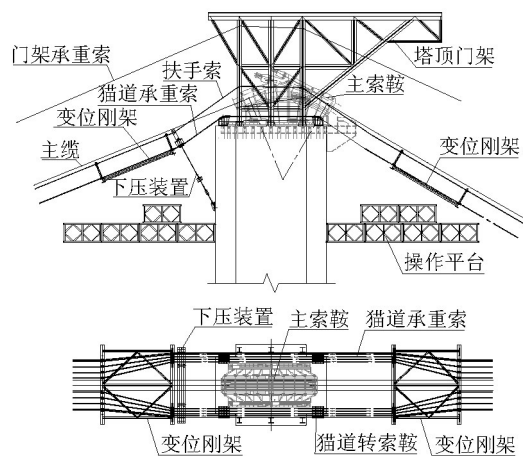


图4 塔顶处猫道变位系统布置

Fig.4 Arrangement of the transformation system for catway at the top of tower

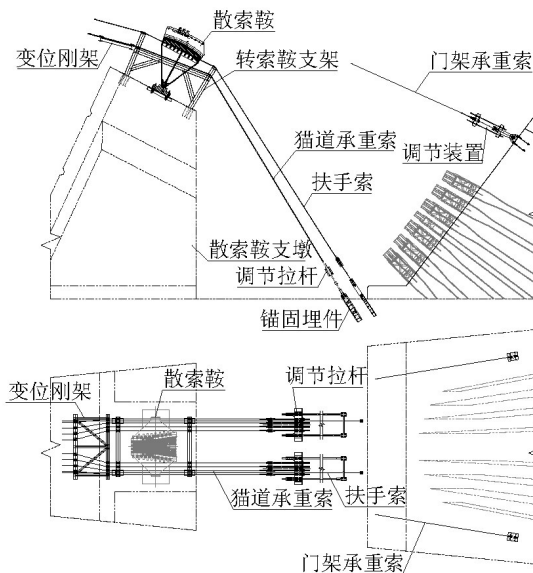


图5 锚碇处猫道变位系统布置

Fig.5 Arrangement of the transformation system for catway at the anchorage

系统BNLAS”软件进行计算复核。猫道承重索、扶手索及门架承重索采用分段空间悬链线进行模拟,猫道门架、横梁、横向通道及桥塔采用空间梁单元进行模拟。考虑施工期间,在每侧猫道上放置两根主缆索股,并考虑20年一遇的风载。经计算,在最不利工况下,猫道索的安全系数为3.17,满足规范要求。

4.2 猫道结构抗风稳定性分析

南京长江第四大桥施工猫道不设置抗风缆和抑振机构。为探明该猫道结构在风作用下的稳定

性,在西南交通大学风工程中心进行猫道节段模型风洞试验,并利用猫道节段模型静力三分力试验结果和“通用有限元软件ANSYS”对猫道进行了非线性抗风静力稳定性分析。经计算分析,在静风作用下,在中跨两个横向联系之间的小跨跨中容易发生扭转失稳,但失稳风速均高于静力失稳检验风速,结构具有足够的抗风稳定性。具体分析结果如表2所示。

表2 猫道静力稳定性计算结果

Table 2 Results of the static stability of catway

猫道形式	10 m高度静力失稳检验风速/(m·s ⁻¹)	10 m高度失稳风速/(m·s ⁻¹)	评价	
无制振索	中跨	33.0	55	安全
	北边跨	33.0	57	安全
	南边跨	33.0	56	安全
有制振索	中跨	33.0	55.5	安全

从表2分析结果可知,制振索对猫道静风稳定性的影响较小,南京长江第四大桥施工猫道采用无制振索的结构是安全的。

5 猫道施工

5.1 猫道架设

5.1.1 托架系统架设

猫道索架设前,先由单线往复式牵引系统架设托架承重索及托架系统。托架系统由两根托架承重索、若干托架和一根定位索组成。托架承重索采用 $\phi 32$ mm 钢丝绳(猫道索架设完毕后转换成扶手索),托架定位索采用 $\phi 22$ mm 钢丝绳。托架由支架、导轮和滚轮等组成,沿跨度每隔 100 m 布置一道,作为猫道索架设的支撑。托架系统结构如图6所示。

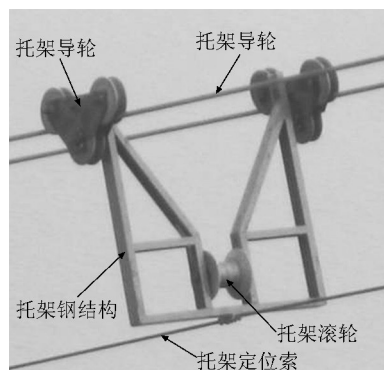


图6 托架系统结构

Fig.6 The layout of the carriage system

托架承重索分南北边跨、中跨共三段,分别临时锚固在主索鞍两侧和散索鞍墩处猫道索转索鞍上。托架承重索采用“吊环法”架设(见图7),南边跨及中跨托架承重索于南塔塔根承台处放索,其索头经塔吊提升至塔顶,后在牵引索牵拉下完成架设。北边跨托架承重索自北锚碇前放索。在牵引过程中,为了减小钢丝绳的垂度,每隔 50 m 用环式吊具固定于牵引索上,将被牵引的托架承重索吊住。放索架始终提供适当的反张力,使钢丝绳保持一定垂度,保证通航净高。托架和定位索由塔顶向另一侧塔顶及锚碇方向牵引下放,边牵引边安装托架。



图7 吊环法架设托架索

Fig.7 Erect the carriage system with rings

5.1.2 猫道索架设

猫道索采用托架法架设(见图8)。单根猫道索分三段,各段在南北塔顶处通过索节连接。中跨和南边跨猫道索均由南锚碇处放索,向北塔顶和南塔顶架设,北边跨猫道索由北锚碇前向北塔顶方向牵引架设。猫道索采用带力矩电机的放索架放索,放索过程中始终保持一定的反张力。为避免猫道索架设对桥塔产生过大的水平偏载,猫道索按照“上下游对称、内外侧对称”的顺序依次架设。



图8 托架法架设猫道索

Fig.8 Install catway cables with erection

5.1.3 猫道索调整

在猫道索调整前,根据猫道实际荷载计算猫道

线形,确定猫道索空索线形,并进行温度、跨度等修正,对猫道索逐根进行调整。猫道索线形调整后,猫道架设期间猫道各跨长度基本不再调整。

猫道索调整顺序为先中跨后边跨。在北塔顶将猫道索固定,全站仪测量中跨跨中点垂度及中跨跨径,并测量温度,计算出实际需要的调整量,并与计算值比较,利用塔顶卷扬机和手拉葫芦调整,直至满足要求。调整完毕后,在塔顶转索鞍锚固,用油漆做好标记。待中跨猫道承重索固定好后,进行边跨猫道承重索调整。边跨调整通过锚固系统千斤顶进行,调整方法同中跨。调整后,在锚碇转索鞍处锚固,并用油漆做好标志。

调整计算垂度过程中,注意中、边跨塔顶、锚碇处变位刚架的影响。猫道承重索标高调整允许偏差控制在 80 mm 以内,猫道承重索相对标高允许偏差控制在 30 ~ 50 mm。猫道索边跨处调索如图 9 所示。

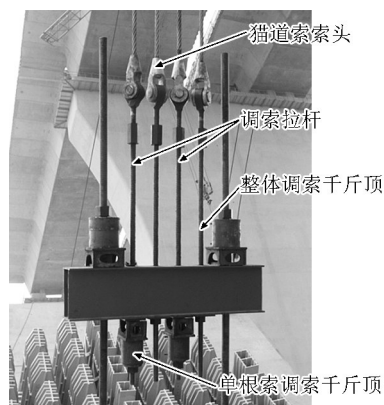


图9 猫道索边跨处调索

Fig.9 Catway cables adjustment at side span

5.1.4 猫道面层架设

猫道面网在后场拼装成长 2.1 m 的标准面网单元(见图 10)。面层单元在主塔中、边跨侧变位刚架处逐段拼装成单元段(见图 11),后按一定顺序下放,下放单元段长度取 150 m 或 300 m。横向通道在塔柱中、边跨侧承台上拼装成整体,在猫道面层铺设过程中,由塔吊吊至猫道相应位置安装。横向通道与面层连接后,随面层一起下滑,兼作配重。为减少横向通道与猫道承重索的摩擦力,减少猫道承重索的磨损,横向通道与猫道承重索之间采用滚轮连接,如图 12 所示。

5.2 猫道改吊

主缆架设阶段,猫道线形与主缆空缆线形保持



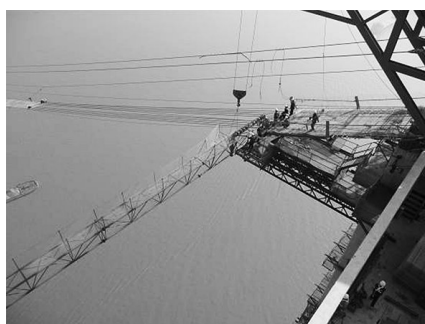
图 10 猫道面层后场拼装成单元

Fig.10 Assemble the catway panel in site



图 11 猫道面层单元塔顶分段组拼下放

Fig.11 Transfer the assembled catway panels at the top of tower



(a)



(b)

图 12 横向通道下滑滚轮

Fig.12 Sketch of the downslide wheels for the horizontal channel

同步,处于稳定状态,此时猫道荷载全部由锚碇处的猫道锚固系统承担。钢箱梁吊装阶段,主缆线形

将随钢箱梁吊装而不断变化。为确保钢箱梁吊装期间猫道线形能不断适应主缆线形的变化,须在索夹安装完毕后、钢箱梁吊装前,进行猫道改吊。猫道改吊时,通过千斤顶放松猫道锚固系统处拉杆,使猫道由南、北边跨向中跨滑移。根据计算,南北边跨猫道释放长度分别为3.80 m、3.75 m。猫道放松后,将猫道每隔一定距离用钢丝绳悬吊于主缆上,使猫道荷载均匀分散传递至主缆。猫道改吊绳采用 $\phi 18$ mm镀锌钢丝绳,外套橡胶管以保护主缆。改吊绳每隔12.5 m设一道,与猫道横梁对应布置。为确保猫道横向稳定,每隔50 m设置一道双绳

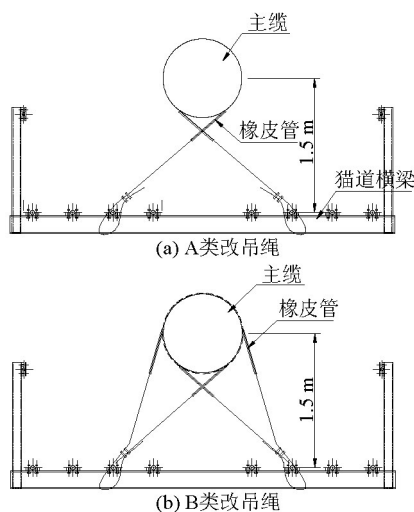


图13 猫道改吊示意图

Fig.13 The sketch for catway adjustment

交叉改吊绳。猫道改吊绳布置如图13所示。猫道改吊期间猫道锚固端的释放长度根据钢箱梁吊装后主缆线形目标值计算得出。

5.3 猫道拆除

猫道拆除顺序按猫道架设的逆向顺序进行,依次拆除猫道面网、猫道变位装置和猫道索。猫道底网和侧网拆除时,中、边跨分开同步进行,均由塔顶位置向中跨跨中和锚碇方向逐片拆除。猫道索分内外侧分别拆除,每根猫道索分北边跨、中跨、南边跨共三段,经门架处40 t滑车组提升后在塔顶处解开索节,后分段放松拆除。内侧猫道索放松后,直接铺摊于桥面,外侧猫道索放松后,铺摊于吊索外侧、检修栏杆内侧。猫道索拆除后,通过布置于南北塔处的收索盘卷盘存放。

6 结语

南京长江第四大桥上部结构施工猫道于2011年4月架设完成并投入使用,至2012年5月拆除。猫道使用期间,通过猫道线形的合理控制,使猫道处于良好的线形状态,为主缆架设施工及后续主缆紧缆施工,提供了良好的工作平台。猫道使用期间虽经历大风暴雨,但始终处于安全可控状态,为此本桥上部结构施工猫道中采用的创新设计是可行的,可为类似大跨度悬索桥猫道设计及施工提供借鉴与参考。

Structural design and construction of catway for the Fourth Nanjing Yangtze River Bridge

Luan Changhua, Shen Bin

(Nanjing Major Road & Bridge Construction Commanding Department, Nanjing 210033, China)

[Abstract] The Fourth Nanjing Yangtze River Bridge is a two-tower, three-span suspension bridge with the main span of 1 418 m, where in the catway with no wind cable and no vibration suppression mechanism for construction of the superstructure is a three-span continuous catway system. Structural design, erection, adjustment and demolition of the catway are systematically described in detail in this paper, which could provide great reference for catway structural design and construction of similar suspension bridges.

[Key words] the Fourth Nanjing Yangtze River Bridge; catway structural design; catway erection; catway adjustment; catway demolition