

三塔两跨悬索桥猫道设计与施工

周 畅¹, 杜洪池²

(1. 江苏省长江公路大桥建设指挥部, 江苏泰州 225321; 2. 中交第二公路工程局有限公司, 西安 710065)

[摘要] 泰州大桥为国内外首座千米级三塔两跨悬索桥, 中塔首次采用全钢结构, 工程实践经验少, 猫道系统作为悬索桥上部结构安装工程最为重要的临时施工设施, 其设计和施工尤为重要。在分析三塔两跨悬索桥猫道设计与施工中存在的/key问题的基础上, 泰州大桥猫道设计选择了不设抗风缆的四跨连续构造。叙述猫道结构的总体设计以及猫道承重索及扶手索、锚固系统、猫道面层、横向通道等细部设计, 并分别描述了猫道牵引系统施工、承重索施工、面层系统施工等猫道施工工序, 为今后三塔两跨悬索桥猫道设计与施工提供有力的参考依据。

[关键词] 悬索桥; 猫道; 施工

[中图分类号] U445.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)04-0063-05

1 工程概况

泰州大桥位于江苏省的中段, 处于江阴大桥和润扬大桥之间。北接泰州市, 南联镇江和常州市。

主桥为 390 m + 1 080 m + 1 080 m + 390 m 的三塔两跨钢箱梁悬索桥结构, 桥面净宽 33 m, 主缆矢跨比为 1/9。悬索桥主缆采用预制平行钢丝索股, 每股由 91 根直径为 5.2 mm 镀锌高强钢丝组成, 全桥共两根主缆, 横向间距 34.8 m, 每根主缆由 169 根索股组成。吊索顺桥向标准间距为 16 m。悬索桥主索鞍采用全铸型可滑动结构, 散索鞍为轴式铸焊结合的形式。索夹为上下两半的结构, 高强螺杆连接。加劲梁横断面为单箱三室扁平钢箱梁构造, 全桥共划分 136 个制造、吊装梁段, 标准段 16 m。

2 工程关键问题

泰州大桥采用千米级三塔两跨悬索桥, 国内外无工程实例, 并且中间索塔为钢结构, 猫道设计与施工重点考虑以下关键问题: 适应三塔悬索桥结构行为特性要求, 尽量降低猫道对索塔等主体结构的附加影响(索塔偏位等); 猫道应保证有足够的强度、

刚度和抗风稳定性; 猫道形式及猫道与中塔联系构造等, 必须重点考虑对中间钢塔的成品保护, 尽可能减少在塔壁上钻孔, 以避免对永久结构的损坏; 多跨猫道架设施工需考虑保证永久结构物的安全; 选择合理的技术、工艺, 提高多跨猫道架设效率, 并减少对通航的影响。

3 猫道的构造比选

猫道是悬索桥上部结构各分项工程施工最重要的高空作业通道和场地, 其贯穿整个悬索桥上部结构安装工程始终。猫道的线形、结构安全、抗风稳定性将影响到整个上部构造施工各个主要分项工序的质量、进度和施工安全。

根据泰州大桥三塔两跨悬索桥桥跨特点, 猫道设计方案可以为四跨连续、两跨连续(锚碇和中塔处锚固)、四跨分离 3 种构造形式方案。

通过对 3 种形式猫道线形(与主缆的距离)、猫道承重索张力、塔顶水平力差的计算分析以及与塔顶连接的构造处理等的综合比较, 本桥猫道设计选择不设抗风缆四跨连续构造。其优点如下: a. 不需要在中塔塔壁上设置猫道锚固构造, 对永久结构钢

[收稿日期] 2010-01-05

[基金项目] 交通行业联合科技攻关项目(2008-353-332-170)

[作者简介] 周 畅(1977-), 男, 江苏扬州市人, 工程师, 研究方向为桥梁工程; E-mail: zhouchang@hotmail.com

结构中塔的成品保护有利;b. 连续式猫道布置方式理论上不会对主塔产生不平衡力,实际施工中可以做到猫道对永久结构的附加影响(如塔顶偏位)控制到最小程度,对降低施工过程中调索难度,对提高成桥安装精度均有好处;c. 猫道线形在端部区段更接近平行于主缆,竖向距离较为均匀,方便上部施工作业;d. 泰州长江公路大桥地处长江下游黄金水道,不设抗风缆对航道的影响最小。

4 猫道结构设计

4.1 猫道的抗风稳定性影响因素

猫道的空气静力失稳主要是由于横向通道之间的猫道床面在风力作用下发生过大的扭转变位而致。因此,提高猫道床面的抗扭刚度是提高猫道抗风稳定性的关键。

合理设置横向通道的间距和设置门架及上承重绳系统,是提高猫道抗风稳定性的有效途径。增大横向通道的间距将导致猫道抗风稳定性下降。从抗风稳定性、经济性及施工作业的便捷性几方面考虑,无抗风缆猫道横向通道的间距采用 130~170 m 为宜。

4.2 猫道重力刚度的选择

猫道刚度影响到上部缆索系统的质量。猫道刚度小,在活载作用下猫道容易发生变形过大和扭转。变形过大将影响到上部施工作业的方便性,扭转将传递给正在架设的主缆索股,引起断带和索股失形,对紧缆施工造成困难,钢丝排列还将影响到主缆结构受力。

对于泰州大桥三塔悬索桥,索股牵引距离长、多次穿越塔顶,猫道刚度对主缆的架设质量影响更为突出。

从润扬大桥、西堠门大桥、阳逻大桥施工情况来看,猫道刚度均比较大,猫道变形扭转均比较小,施工作业方便,人员通行比较舒适。

泰州大桥上部施工猫道初步设计选用 $\phi 42$ 镀锌钢丝绳,即可满足规范关于猫道承重索安全储备要求,但猫道相对国内其他千米以上悬索桥猫道张力较小。鉴于泰州大桥索股牵引距离长度国内第一,并且多次起伏穿越塔顶,猫道刚度小将可能影响到上部施工质量和进度,因此,提高猫道设计刚度很有必要。

鉴于猫道刚度将对主缆索股施工质量具有重要影响性,因此需提高猫道的设计刚度,其途径为采用增加猫道恒载的方式实现,猫道承重索改为 $\phi 54$ 钢丝绳。

4.3 猫道总体设计

工程设计基准风速 $U_{10} = 31.83$ m/s,按照抗风稳定性设计及国内外悬索桥施工经验,主跨设置横向通道 7 道,间距 135 m。边跨设置横向通道 2 道,间距约 130 m,在左右幅对应于主缆中心线下方各设一幅猫道,猫道主要由承重索、扶手索、猫道面层、塔顶转索鞍及变位系统、横向通道、制振结构、锚固体系等组成。边跨猫道距主缆中心线铅垂方向控制目标距离 1.7 m,主跨猫道距主缆中心线控制目标距离 1.5 m,设计宽度 4.0 m(见图 1)。国内外典型无抗风缆+制振系统猫道设计参数情况详见表 1。

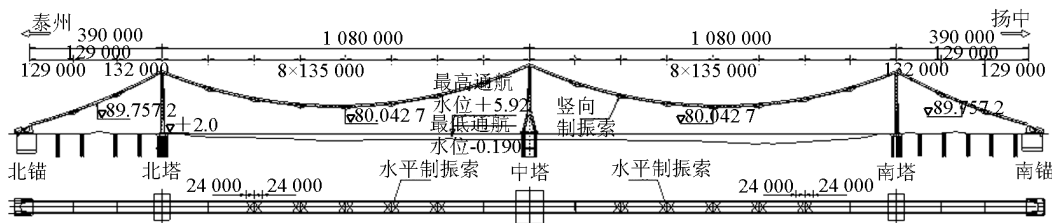


图 1 猫道总图布置图

Fig. 1 Overall layout of cat walk system

表 1 国内外典型无抗风缆+制振系统猫道设计参数

Table 1 Design parameters of typical cat walk system without anti-wind cables

桥名	主跨跨径/m	猫道形式	主桥设计基准风速 (m/s 重现期 100 年)	猫道承重索参数	通道数量	通道间距/m
润扬大桥悬索桥	1 490	三跨连续	$U_{10} = 29.1$	$10 \times \phi 54$	9	149
舟山西堠门大桥	1 650	三跨连续	$U_{10} = 41.12$	$12 \times \phi 54$	11	137.5
阳逻长江公路大桥	1 280	三跨连续	$U_{10} = 27.9$	$10 \times \phi 54$	7	160
日本明石海峡大桥	1 991	三跨分离	$U_{10} = 46$	$6 \times \phi 64 + 6 \times \phi 52$	11	166

4.4 猫道承重索及扶手索

根据计算,每条猫道设 10 根 $\phi 54$ 钢芯镀锌钢丝绳猫道承重索,采用四跨连续的布置形式,在边塔顶、中塔顶设置支撑转索鞍,在边塔塔顶附近主跨侧塔壁上设置变位刚架及下压装置,使猫道线形与主缆线形保持一致,并满足主缆紧缆与缠丝的设备空间需要。猫道每侧每 6 m 设置一栏杆立柱,用以固定上下 3 根扶手索。扶手索上层采用 $\phi 20$ 镀锌钢丝绳,下层采用 $2 \times \phi 16$ 镀锌钢丝绳。

4.5 猫道锚固体系

猫道承重索通过锚固系统锚固在锚碇鞍部预埋型钢构件上,锚固系统采用拉杆及锚梁组合结构。垂度调整通过长短拉杆结合的方式进行,小拉杆主要用于消除猫道承重索长度制造误差,使 10 根猫道

承重索垂度保持一致,富余长度后期用于猫道放出;长拉杆用于调整猫道整体垂度,大小拉杆组合调整长度。

4.6 塔顶变位及转索鞍

四跨连续式猫道,在边塔和中塔塔顶设置转索鞍,并通过在塔顶附近设置变位刚架及下压装置,使猫道线形与主缆线形保持一致。

4.7 猫道面层

猫道面层由两层镀锌钢丝网构成,其上每隔 0.5 m 绑扎一根防滑木条。在猫道面层网上每 3 m 交替设置面层小横梁和大横梁。另约每 45 m 设置一道猫道门架,其由 $2 \times \phi 54$ 门架承重索固定,并与猫道共同形成空间结构。见图 2。

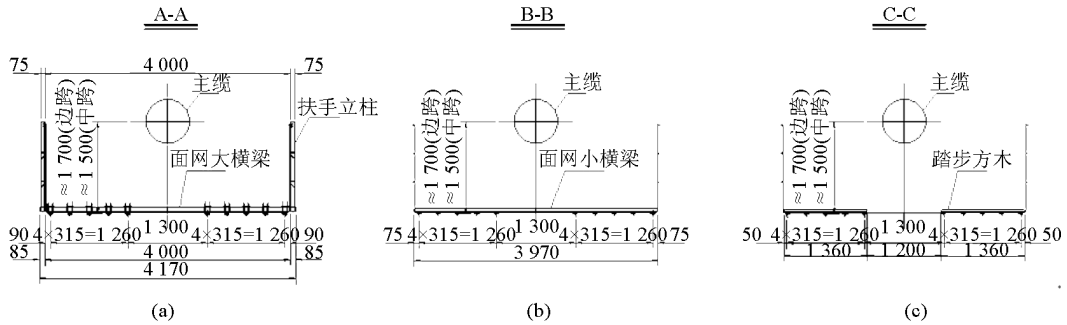


图 2 猫道断面面层(单位:mm)

Fig. 2 Cross sections of cat walk system (unit: mm)

4.8 横向通道

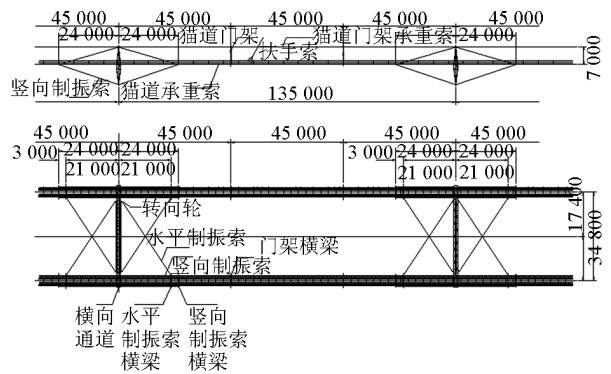
猫道共设置 18 道横向通道,主跨每隔 135 m 设置一道横向通道,共 7 道,边跨设横向通道 2 道,间距约 130 m,除满足左右幅猫道之间人员的通行外,并提高猫道自身的整体稳定性,使猫道具备足够的抗风能力。

4.9 制振系统

为了改善猫道抗振力,提高人员施工操作时的舒适性,根据需要在相应的横向通道部位设置制振装置,支撑架上安装竖向制振索和水平制振索,见图 3。

4.10 猫道门架承重索及猫道门架

猫道门架是门架拽拉式索股架设的关键构件,考虑猫道承重索与门架承重索的锚固点差异,线形不完全平行,猫道门架立柱设计为可调式。根据计算,猫道门架承重索采用 $\phi 54$ 镀锌钢丝绳。



注:图示为主跨中间 5 道横向通道的制振系统

图 3 猫道制振系统(单位:mm)

Fig. 3 Vibration control system on the cat walk system (unit: mm)

5 猫道计算

猫道设计计算采用悬索桥专业计算软件《桥梁结构空间静动力非线性分析系统 BNLAS》。该软件已用于多座桥梁(虎门珠江大桥、厦门海沧大桥、宜昌长江大桥、忠县长江大桥、润扬大桥南汉悬索桥、西堠门大桥)的结构分析、设计和验算。

5.1 计算静载

猫道承重索、面网、扶手索、电力和照明等按照均布荷载加载。猫道横梁、猫道门架横梁、制振索横梁、横向通道等重量按照集中力加载。

5.2 计算结果

根据组合工况计算结果,在“恒载+活载”、“恒载+活载+温度(-25℃)”和“恒载+风荷载+温度(+20℃)”工况下,最小安全系数均大于3.0。

猫道承重索安全储备满足需要。

6 猫道施工

猫道施工主要包括牵引系统施工、猫道承重索施工、面层系统施工等。

6.1 猫道架设牵引系统

泰州长江公路大桥三塔悬索桥,跨数多,架设距离长,为了提高猫道承重索架设速度,猫道承重索拟由中塔变位架处分两段,以中塔为界,南北猫道承重索由2套(上下游共4套)独立单线往复牵引系统架设。牵引系统布置见图4。两段猫道承重索,在南北锚碇前面牵引,前锚头经边塔导向轮至中塔连接,后锚头通过锚碇门架上的卷扬机滑车组牵引反拉至锚固处锚固,形成四跨连续的猫道承重索。

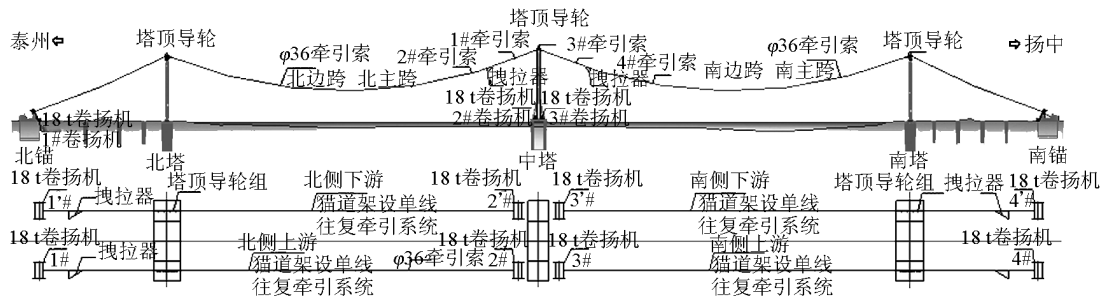


图4 猫道牵引系统布置图

Fig. 4 Layout of the traction system

6.2 猫道承重索架设

泰州长江公路大桥,地处长江黄金水道,航运繁忙,为尽量减小猫道架设对航道的影响,主跨猫道承重索采用空中托架法间接架设。托架设计间距100 m,猫道承重索边塔全高自重提供反张力,可使架设时托架间猫道承重索的最大垂度维持在最小通航净空以上,不影响通航。

6.3 下拉装置及变位刚架的安装

猫道承重索全部架设完成,单根承重索按照计算垂度精确调整后,进行猫道索塔侧的变位施工。先安装中塔变位梁,再安装边塔变位下拉系统。

1)中塔变位施工。出于保护中塔钢结构的目的,中塔猫道变位架与作业工作台为一体化设计,先期铰接在门架牛腿并悬挂在门架上。如图5所示,在工作平台上,通过手拉葫芦由内侧开始对称对拉猫道承重索,先逐根固定变位梁2的猫道承重索夹

板,再与变位梁1连接。安装完成后解除与塔顶门架牛腿的销接和与门架的悬挂。中塔变位系统安装完成后,复测主跨猫道承重索垂度,并进行调整,满足要求后进行边塔变位系统施工。

2)边塔处猫道变位架安装及下拉施工。首先用塔吊提升变位梁并固定在设计位置,然后利用塔顶卷扬机及手拉葫芦横向对称调整承重索至相应位置,安装下压梁并与承重索固定,全部承重索就位后,在下压梁塔侧承重索上安装防滑夹具,最后将下压梁与下压滑车组连接,塔顶卷扬机调整下压力至猫道线形符合设计要求,即完成下压装置安装。

6.4 猫道的垂度调整

单根猫道承重索架设完成后,根据考虑变位长度影响情况下对垂度进行粗调,基本达到设计计算目标垂度。待猫道承重索全部架设连接就位后,根据设计计算猫道承重索空索线形,逐根按照变位处

增加长度修正后的垂度进行精确调整。

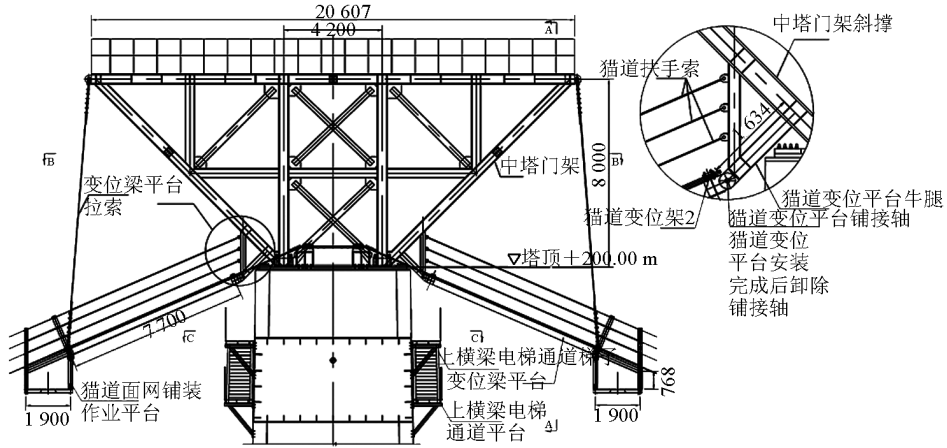


图5 中塔猫道施工工作平台

Fig. 5 Working table of the cat walk system

6.5 猫道面层施工

面层铺设时,由塔分别向主跨跨中、锚碇方向下滑铺设,上下游两幅猫道对称平衡施工,并应根据跨长比例控制各跨铺设速度,以减小铺设过程中的水平力差引起的索塔偏位。

7 结语

泰州大桥是国内外首座千米级三塔悬索桥,猫道工程是上部结构施工最重要的工作平台,科学设计,精心施工,确保猫道施工质量,可为整个上部结构各分项工序的质量、进度和施工安全提供最为有力的保障。

The design and construction of cat walk system for Taizhou Bridge

Zhou Chang¹, Du Hongchi²

(1. Jiangsu Provincial Yangtze River Highway Bridge Construction Commanding Department, Taizhou, Jiangsu 225321, China; 2. CCCC Second Highway Engineering Co., Ltd., Xi'an 710065, China)

[Abstract] Taizhou Bridge is the first kilometer level three-pylon two-span suspension bridge. The middle tower is manufactured by steel with little practical engineering experience. The design and construction of cat walk system is critical to the installation of the superstructures. The design of cat walk system of Taizhou Bridge chosen the continuous four-span structure without anti-wind cables based on the analysis of critical problems of the three-pylon two-span suspension bridge. This paper describes details and construction sequences of the overall design of the cat walk system and the supporting cables, arm rest cable, anchorage system, surface cover, and cross passages, which can be used as references in the similar engineering projects in the near future.

[Key words] suspension bridge; cat walk system; construction