

杭瑞洞庭湖大桥主缆型钢锚固系统安装技术研究

胡超^{1,2}

(1.湖南湘江新区发展集团有限公司, 湖南 长沙 410205; 2.中交路桥建设有限公司, 北京 100027)

摘要:以杭瑞(杭州—瑞丽)高速公路洞庭湖大桥为工程背景,为提高主缆型钢锚固系统的安装精度,建立型钢锚固系统和定位支架整体模型,通过型钢锚固系统和定位支架的设计计算,获得定位支架的变形量;介绍了定位支架和型钢锚固系统的施工顺序和要点,分析了洞庭湖大桥主缆型钢锚固系统的安装效果。

关键词:桥梁;悬索桥;型钢锚固系统;定位支架;安装精度

中图分类号:U443.24

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)05-0112-05

悬索桥主缆锚固系统的作用在于连接主缆和锚碇,是悬索桥连接系统中较关键的受力结构。由于主缆型钢锚固系统具有可靠性高和耐久性好等优点,在大跨度悬索桥中得到广泛应用。杭瑞(杭州—瑞丽)高速公路洞庭湖大桥的主缆锚固系统也采用型钢锚固方式。

1 工程概况

杭瑞洞庭湖大桥主桥为 1 480 m+453.6 m 双塔双跨钢桁梁悬索桥,双向六车道,设计速度为 100 km/h。主桥两侧锚碇均为重力式结构,由葫芦形锚碇基础和锚体两部分组成。主缆锚固采用型钢锚固系统,由浇筑于锚体内的后锚梁和锚杆组成(见图 1)。单根后锚梁重约 26.5 t,单根锚杆长约 25.8 m、重约 12.1 t。锚杆分 2 段制造,采用焊接而成的 H 形截面,上端伸出前锚面与主缆索股锚头连接,锚杆与后锚梁之间采用接头连接,接头也为 H 形截面,依据主缆散索角度及锚固位置确定锚杆的具体安装位置。



图 1 杭瑞洞庭湖大桥主缆锚固系统

2 主缆锚固系统安装方法

主缆锚固系统是大跨度悬索桥主缆与锚碇之间

非常重要的连接构件。众所周知,主缆索股的线形在空载与承载时是不一样的,为确保承载时主缆索股线形的稳定,需加大主缆锚固系统的刚度。由于型钢锚固系统具有刚度大、耐久性好等特点,越来越多的大跨度悬索桥采用型钢锚固方式连接主缆和锚碇。但主缆型钢锚固系统对施工安装精度的要求非常高,若安装偏差过大,会导致索股线形变化,并产生较大偏载,从而在索股锚头处产生较大附加应力。目前多通过架设定位支架控制锚固系统的安装精度。洞庭湖大桥主缆型钢锚固系统的安装方法:

(1) 定位支架设计。利用 MIDAS 有限元软件建立定位支架和锚固系统结构模型,并赋予定位支架和锚固系统的材料参数,计算获得定位支架在各工况下的挠曲变形。

(2) 定位支架制作与定位。定位支架在工厂加工制作,刷底漆防锈,砼浇筑前再对支架整体除漆、除锈。在现场进行测设放样,给定位架定位,并标示出定位支架的监测点。根据锚固型钢件理论安装位置,换算出各监测点的控制坐标。

(3) 定位支架安装。根据定位支架的前后位置,将其分为前支架、中支架和后支架(支撑)。当型钢锚块砼浇筑到相应分层位置时,开始安装定位支架,先安装后支架及后锚梁,再安装中支架,最后安装前支架。

(4) 型钢锚固系统安装。型钢锚固系统安装包括后锚梁安装、后锚梁定位和锚杆安装等。安装时,型钢锚固件空间坐标偏位控制在 3 mm 以内。

3 定位支架安装

型钢锚固系统定位支架的杆件主要采用钢管、

普通工字钢和槽钢等型钢,各型钢杆件之间通过焊接连接。主要受力杆件或控制变形的构件采用刚度较大的型钢,其中后支撑采用桁架结构,前、中支架采用人字形骨架+型钢分配梁结构(见图 2)。

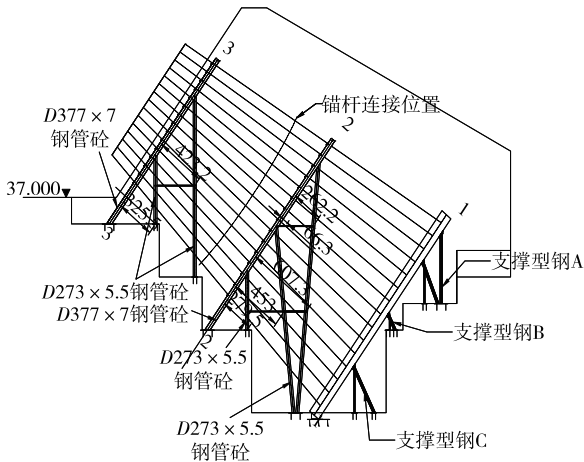


图 2 定位支架立面图(单位:标高为 m,其他为 cm)

如图 2 所示,定位支架由大刚度人字形骨架支撑于各层锚体砣顶面,锚杆支承定位于型钢分配梁上,通过高强螺栓与后锚梁连接。根据空间相互支撑有利于结构受力稳定的原则,将定位支架与锚杆、后锚梁相互支撑起来,以利于锚固系统的安全稳定。为节约材料用量和工期,采取整体起吊的方式吊装单束锚杆。

3.1 定位支架变形计算

为确保锚固系统的空间定位精度满足设计要求,对定位支架的强度和稳定性进行计算,确保后锚梁和锚杆在安装中的刚度满足要求。利用有限元软件 MIDAS/Civil 建立型钢锚固系统和定位支架三维计算模型(见图 3),计算定位支架在型钢锚固系统安装中的受力与变形。

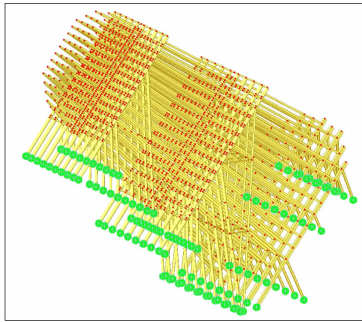


图 3 型钢锚固系统和定位支架整体模型

计算模型中,以梁单元模拟支架杆件和锚固系统的构件,模型边界条件采用弹性连接。计算时,考虑自重、风荷载、温度等荷载,并对正常使用极限状

态下的荷载效应进行组合。通过计算,得到定位支架及型钢锚固系统构件的变形(见图 4 和表 1)。

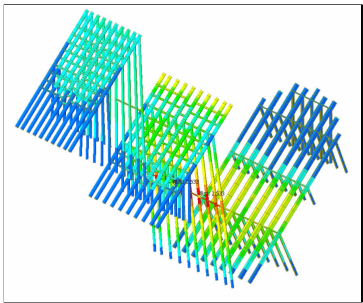


图 4 锚杆钝化后的定位支架变形

表 1 定位支架及型钢锚固系统构件变形计算结果

结构类别	定位支架最大变形量/mm
斜向主受力杆件	1.79
水平支撑杆件	1.44
竖向支撑杆件	2.53
后支撑杆件	1.20
支架平联	2.53

根据计算结果,在型钢锚固系统施工到第二阶段,即安装第 9 层锚杆时,中支架中的竖向撑杆变形量达到 2.53 mm,对应的支架平联杆件变形为 2.53 mm。这是因为施工过程中,中支架主斜杆在第二阶段的悬臂长度最大,导致施工安装到第 9 层锚杆后杆件位移达到最大。该计算结果与理论分析结果吻合较好。

3.2 定位支架安装

定位支架在工厂车间刷底漆作防锈处理,在砣浇筑前再进行除漆、除锈处理。待锚块砣浇筑到相应分层位置时,开始安装定位支架。先安装后支撑架及后锚梁,再安装中支架,最后安装前支架,其中中、前支架采用分片、分节安装。准确测量定位后,先通过点焊固定预埋件,再将加劲板与预埋件焊牢。后锚梁的安装顺序为先安装中间锚梁,再对称安装左右相邻锚梁。在每根主缆对应的锚体一端布置 109 根锚杆,吊装时采用汽车吊和塔吊整体起吊安装。后锚梁采用履带吊配合手拉葫芦起吊安装。

3.2.1 锚固系统预埋件安装

在上下锚块施工的同时,进行定位支架及后锚梁预埋件安装。在预埋件上布置支架系统,并确保预埋件上有足够的焊接面积,可提供设计所需拉力。预埋件施工前,仔细复核其空间位置,包括预埋件顶面高程、平面位置及表面水平度。锚固系统预埋件布置见图 5、图 6。

4.1 后锚梁定位

现有工程经验表明,锚固型钢系统的安装精度由后锚梁的精度决定,后锚梁的定位至关重要。为确保后锚梁的安装精度满足设计要求,将后锚梁安装定位分成粗定位和精调整2个环节。

(1) 粗定位。先在预埋件上焊接限位块,保证限位块与后锚梁接触面的角度一致。再利用履带吊起安装后锚梁。安放时,先将后锚梁最下端放置在预埋件定位卡板上,再慢慢往后支撑架上靠放。后锚梁安放到位后,测量各监测点的坐标,用于指导精调整。

(2) 精调整。采用千斤顶和手拉葫芦进行后锚梁精度调整。精调整通常安排在夜间气温较稳定时进行,以消除温度对测量精度的影响。因后锚梁为空间状态布置,调整过程中需多次改变支撑点的位置,慢慢顶升并配合拉升旋转后锚梁角度,直至与理论轴线方向一致。后锚梁调整到位后,再进行各向限位固定,以防锚杆安装对后锚梁的扰动而改变后锚梁的安装位置。

4.2 后锚梁安装

洞庭湖大桥型钢锚固系统的后锚梁与锚杆采用高强螺栓连接,后锚梁的安装精度决定锚杆的空间位置,从而控制索股锚头处的附加应力大小。

后锚梁安装采用支撑后支架和定位底座的方式进行定位支撑,通过测量放样将后锚梁调整至理论位置。施工时,为精确控制每个后锚梁的底部标高和空间角度,在下层砼浇筑时设置后锚梁定位卡板,根据后锚梁的理论位置确定定位卡板的坡度和角度。为控制后锚梁的安装精度,在后支撑架安装时,先安装后支撑架A部分,通过底部定位卡板与A部分支撑型钢进行定位,再将A部分支撑型钢顶部与后锚面底面平行接触的三角劲板焊接。

按照2条直线确定一个平面的原则确定与后锚梁底部平行的接触面。通过在定位板2块劲板上以 52° 角度斜向拉通长铁丝,确定支撑型钢A顶部处三角劲板的标高和里程,从而按尺寸精确加工焊接三角劲板。在底部卡板、支撑型钢A三角劲板和支撑型钢A顶部托板安装过程中,反复测量、调整、校核各构件的安装位置,然后对后锚梁进行粗定位安装。后锚梁的安装采用钢丝绳配吊带两点起吊的方法,钢丝绳与吊带间采用卸扣连接。先在后锚梁的下端设一根钢丝绳,通过10 t手拉葫芦调整后锚梁的安装角度,并控制后锚梁的安装线形。后锚梁定

位安装见图8)。

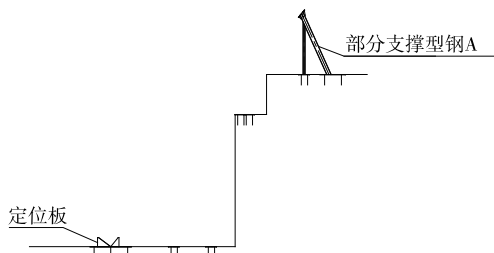


图8 后锚梁定位安装示意图

4.3 锚杆安装

前、中支架第一节及后锚梁安装完毕且施工精度满足要求时,开始锚杆安装。型钢锚固系统的锚杆在工厂车间进行预拼装。锚杆运输到施工现场后,通过70 t汽车吊和塔吊配合同时起吊,将锚杆安装到型钢分配梁上。根据各工况下定位支架计算结果,型钢分配梁安装时需设置预抬。考虑到锚杆的长度较大,采用四点法吊装(见图9)。

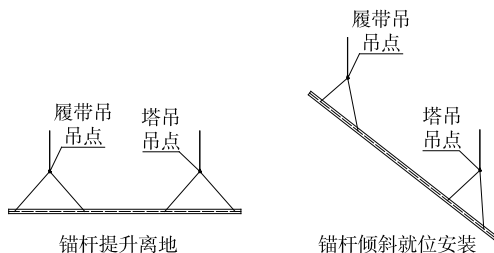


图9 四点法吊装锚杆

锚杆的安装通过分层对称从下往上进行,并采用马鞍式限位装置,安装一根即限位一根。安装步骤(见图10):1) 安装前、中支架主斜杆最下端分配梁及第1层锚杆;2) 安装主斜杆上剩余分配梁及第2~5层锚杆;3) 安装第二节中支架和前支架下平联,浇筑钢管砼;4) 安装第二节主斜杆上分配梁及第6~10层锚杆;5) 安装第三节中支架和前支架上平联,浇筑钢管砼;6) 安装第三节主斜杆上分配梁及剩余锚杆。

洞庭湖大桥型钢锚固系统的锚杆与后锚梁之间采用高强螺栓连接。安装时,先将锚杆下端头与后锚梁对位,再插入定位销,然后精确定位锚杆的上端,并限位固定,最后施拧螺栓。定位支架及锚固系统的制作安装要求见表2。

5 结论

杭瑞洞庭湖大桥主缆型钢锚固系统的安装中优化了定位支架结构形式、创新了施工工艺。通过对

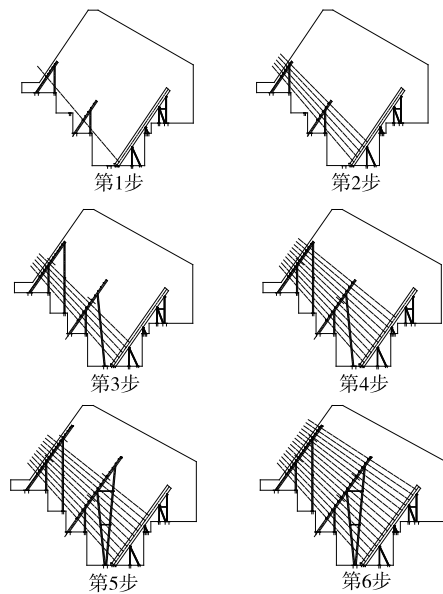


图10 锚杆的安装步骤

表2 定位支架及锚固系统的制作安装要求

项目	规定值或允许偏差	检查方法和数量	权值
支架中心偏位	10 mm	经纬仪;检查前后端	1
支架安装锚杆之平联高差	+2, -0 mm	水准仪;全部检查	1
锚杆坐标	纵 ±5 mm	经纬仪;每根检查	2
	横 ±2 mm		
	竖 +2, -0 mm		
后锚梁中心偏位	2 mm	经纬仪;每根检查	1
后锚梁倾斜度	符合设计要求,设计未规定时 1/2 000	倾角仪;每根检查	1
高强螺栓扭矩	±10%	测力扳手;抽查5%,每连接点不少于2次	3

常规整体框架式定位支架结构的优化,使结构更简单、受力更均匀,减少了常规整体式框架结构定位支架的钢材用量。施工工艺创新,既保证了主缆型钢

锚固系统的安装精度,又大幅降低了安装难度。同时,由于锚体砼与锚固系统同步施工,可有效压缩关键工序的施工时间,节省工期近40 d。目前,杭瑞洞庭湖大桥已建成通车,桥梁运行良好。该桥主缆型钢锚固系统的安装精度高、施工难度小、适用性强且经济可靠,可为同类工程施工提供参考。

参考文献:

- [1] 崔冰,董萌,贾立峰,等.一种新型悬索桥主缆锚固系统设计概念综述[J].中国工程科学,2013,15(8):12-17.
- [2] 唐宏,欧阳祖亮.特大跨径悬索桥主缆锚固系统施工定位技术研究[J].华东科技(学术版),2014(5):83-187.
- [3] 李好.防止悬索桥主缆鼓丝和扭转的主缆架设技术[J].中外建筑,2015(5):177-178.
- [4] 豆飞,徐永春,宋松林,等.自锚式悬索桥主缆锚固区受力分析及试验研究[J].公路,2018(12):155-160.
- [5] 甄宗标.超大型锚杆式悬索桥锚碇锚固系统施工关键技术[J].铁道标准设计,2019,63(12):73-78.
- [6] 陈旭峰.BIM技术在大型桥梁工程中的应用研究:以岳阳洞庭湖大桥为例[J].工程经济,2017,27(6):97-101.
- [7] 李海,鲜亮,姚志安.国内大跨径悬索桥锚碇锚固系统比较研究[J].公路工程,2011,36(6):31-33.
- [8] 苏强,王强,曾诚,等.我国悬索桥主缆预应力锚固系统设计探讨[C]//中国土木工程学会.第十六届全国混凝土及预应力混凝土学术会议暨第十二届预应力学术交流会论文集.北京:中国土木工程学会,2013:414-419.
- [9] 刘武,赵煜成,唐中滨.悬索桥主缆型钢锚固系统支撑定位技术[J].中外公路,2016,36(4):207-210.
- [10] 周可夫,张永健,王达.洞庭湖大桥型钢锚固系统新隔离防护体系试验及运用[J].中外公路,2018,38(4):146-149.
- [11] 中交第一公路工程局有限公司.公路桥梁施工技术规范:JTG/T F50-2011[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2011.

收稿日期:2020-03-02

(上接第105页)

- [2] 韦全余,徐春林,艾军,等.某简支空心板桥的静载试验与承载能力分析[J].公路与汽运,2009(5):145-149+160.
- [3] 章霄羽,艾军,叶翔,等.简支空心板桥静载试验分析[J].公路与汽运,2012(5):171-175.

- [4] 长安大学.公路桥梁荷载试验规程:JTG/T J21-01-2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [5] 赵慧.预应力砼空心板现场静载试验研究[J].公路与汽运,2019(2):125-127.

收稿日期:2020-05-28