

# 液压牵引与滚轮行走结合的新型5000kN缆载吊机研制

邓年春 刘显晖 伍柳毅 陈立 郭世滔 刘俊

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

**摘要:** 液压式缆载吊机主要包括行走机构、钢桁架、液压提升系统和控制系统四部分。武汉鹦鹉洲长江大桥的主梁架设拟采用液压式缆载吊机施工方案。文中提出采用液压千斤顶牵引和多轮行走结合的行走方式, 其中每个行走轮可独立升降或组合升降, 这样行走过程中仍然保持液压千斤顶的稳步牵引, 且行走轮一直与主缆接触, 结构简单行走速度快, 结构的重心也比较低, 整体安全性好。另缆载吊机的行走机构设计成双向对称结构, 可实现同方向的上坡和下坡行走。为液压系统提供动力的液压泵站, 采用柴油机直接驱动液压泵站的一体化柴油泵站, 这样既节省了能源, 同时减少了泵站和发电机组组合系统的体积。液压提升千斤顶, 采用了易更换夹片的新型结构, 收放钢绞线采用液压马达动力收放装置。研制的4台液压牵引与滚轮行走结合的新型5000kN缆载吊机通过厂内型式试验之后应用于实际工程, 文中介绍了现场架设、试验和吊装方法。自2013年9月开始正式吊装至12月成功完成鹦鹉洲长江大桥全桥143片主梁架设。实践证明, 研制的新型缆载吊机系统是成功的。

**关键词:** 悬索桥 主梁架设 液压 缆载吊机 滚轮行走

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2014.05.002

## 1 概述

武汉鹦鹉洲长江大桥位于武汉市中心城区, 北接汉阳的鹦鹉大道, 南连武昌的复兴路。大桥全长3420m, 其中主桥长2100m, 采用三塔四跨钢板结合梁悬索桥, 主梁跨径布置为: (200+2×850+200)m。桥梁横向布置两根主缆, 中心间距为36m, 主跨矢跨比采用1/9。主缆在1号、3号边塔靠边跨侧处最大坡度30.5度。每根主缆由114股索股组成, 每根索股由127丝直径为5.25mm的镀锌高强钢丝组成。主缆采用平行钢丝预制束股法制作, 直径为索夹内697.6mm、索夹外706.3mm。吊索采用高强平行钢丝, 间距为15m。主塔中心到最近吊索的间距均为20m, 每吊点按两根布置。加劲梁采用钢-混凝土结合梁, 梁高3.0m, 由钢主梁、钢横梁和混凝土桥面板组成。其中钢主梁高2.423m, 标准节段长15m, 横向设两片主梁, 中心距31.2m。吊索横向间距36m, 吊索锚点设在主梁外侧的风嘴上。全桥共有11种类型的加劲梁, 节段共143个, 单个边跨有14个节段, 单个中跨有57个节段。梁段节段最大重量约4500kN。该桥的主梁与砗板主梁在工厂预制并结

合后整体下河, 然后通过船舶将节段梁运输至安装位置的正下方, 通过支撑在主缆上的缆载吊机垂直提升, 将节段梁安装就位。全桥共布置4台缆载吊机。

根据架设方案, 从两中跨靠近中塔开始架设, 而后再从边塔向锚碇、跨中方向架设, 该方案要求能够同方向上行与下行双向行走, 靠主塔的梁段采用荡移法架设。另外, 对缆载吊机在主缆上的空载行走速度和吊具下放速度有明确的要求。

目前国内外的缆载吊机结构形式主要有两种: 一种为全液压步履式缆载吊机, 它是采用液压步履行走结构和钢绞线液压千斤顶提升系统<sup>[1]</sup>; 另一种是卷扬机牵引轮滚式行走和卷扬机提升的简易缆载吊机<sup>[2]</sup>。第1种缆载吊机的行走方式采用由液压千斤顶牵引, 荷载转移千斤顶和轨道顶推千斤顶交替垂直顶升和水平顶推使轨道梁和行走机构主体相互产生位移而实现在主缆上的行走。此种行走方式的优点是, 行走过程类似人的步履行走, 抬脚和落脚动作与主缆间隔接触, 受猫道吊绳影响小; 缺点是, 行走速度相对较慢, 行走机构的结构相对复杂且重心高, 步履行走顶

升过程中,整个桁架结构存在整体失稳安全隐患。此外,此种缆载吊机只适用于单方向坡度行走。第2种缆载吊机的行走方式是,采用卷扬机牵引和多滚轮结合的行走机构。此方式的优点是,行走机构一直与主缆接触,行走速度快,行走结构的重心低,有利于整体结构的安全,能满足同方向的上坡和下坡行走;缺点是卷扬机牵引,两行走机构的同步性难以控制,单钢丝绳牵引安全性稍差。针对武汉鹦鹉洲长江大桥项目,有必要研制综合两种优势的新型缆载吊机。

## 2 缆载吊机结构

为了确保行走速度,并能双向行走,而且保证缆载吊机性能指标,针对武汉鹦鹉洲长江大桥项目,研制了液压牵引与滚轮行走结合的新型5000kN缆载吊机。它主要由一个钢桁主梁、两个在主缆上轮滚式行走的行走机构、两套液压提升千斤顶、两套钢绞线收线装置及吊具扁担梁、两套内嵌柴油发动机的一体化液压泵站和一套控制系统等部分组成(见图1)。其中,主梁桁架结构是由型钢焊接的桁架梁连接两段箱型承重梁构成,两端的承重梁主要用来安放液压提升千斤顶,同时也是主要的受力构件,中间桁架梁主要是对整体结构起刚性支撑作用,桁架的空间用于安放收线装置、液压泵站和控制室,并为施工操作提供工作平台,为便于运输和适应不同主缆间距的桥梁,桁架实行节段模块化设计。各节段模块之间采用销轴连接,便于快速安装。液压泵站、提升千斤顶、钢绞线、钢绞线收线装置和吊具扁担梁组成提升系统,是缆载吊机的主要工作部分,用于提升悬索桥主梁。行走机构主要是由行走机构钢结构主体、滚轮、牵引千斤顶、荷载转换千斤顶、小型液压卷扬机和可换式支撑抱箍装置等组成。各部件之间采用销轴或螺栓连接。行走机构的主要作用就是形成一个可以行走的机械装置,能在主缆上行走、就位和支撑固定。控制系统是缆载吊机的中枢机构,由计算机控制系统、传感系统和操作平台等组成,用于控制缆载吊机的钢梁吊装、缆上行走就位等全过程以及吊机上所有千斤顶系统、动力系统、液压辅助系统的工作状态和操作过程。

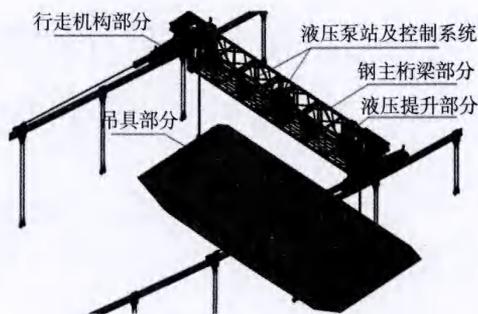


图1 缆载吊机结构图

根据鹦鹉洲长江大桥主梁架设的施工方案,缆载吊机在两个方向均有上坡行走和下坡行走工况,所以要求两个方向均能牵引行走。针对这一工况,将行走机构设计成完全对称的结构形式,也就是说,牵引千斤顶和小型卷扬机可以根据工况进行对换。缆载吊机共有8个行走轮组,每个行走机构主体安装4个行走轮组,安装于同一主体的行走轮组,由一台液压泵站控制,可单独起落,也可同时起落。小型液压卷扬机是当缆载吊机向下行走下滑动力不够时,提供下行或水平前行动力的辅助装置。为了适应钢桁架吊点位置,在离主缆3m的位置设置吊点,起吊能力为5000kN。提升系统采用两套LSD2500-500提升系统,单项提升能力为3500kN。整套缆载吊机的主要性能参数见表1。

表1 缆载吊机主要性能参数表

序号	项目	性能参数
1	缆载吊机额定提升能力	5000kN(含梁架及吊具重量)
2	主缆中心距	36m
3	平均提升速度	30m/h
4	最大下放速度	80m/h(液压马达放线)
5	提升钢绞线存储容量	250m
6	结构最大自重(不含吊具)	140t
7	与主缆接触的最大压力	4.0N/mm <sup>2</sup>
8	最大主缆倾角	32°
9	桁架荡移角度	±15°
10	缆上平均行走速度	20m/h
11	缆上行走跨越最大的索夹尺寸	2720mm×300mm
12	行走机构适应缆径范围	索夹内φ697.6mm、 索夹外φ706.3mm
13	动力源	柴油发动机
14	工作环境温度	-10℃~+50℃
15	工作状态最大风速	25m/s(吊机平面处3s阵风)
16	非工作状态最大风速	55m/s(吊机平面处3s阵风)
17	空气相对湿度	≤90%

为了确保结构的安全性,根据文献<sup>[3]</sup>的规定,针对缆载吊机的无风工作、有风工作、非工作三种条件,以及垂直提升和最大角度与最大重量的荡移两种工况,在主缆水平位置和主缆32°倾斜位置作业的两种边界状态,采用许用应力方法,分别计算了钢桁架、行走机构、提升系统等结构受力。钢桁架的ANSYS分析结果请见图2,行走机构主体ANSYS分析结果,请见图3。另外还进行了极限吊梁工况下的止动块抗滑移和焊接强度校核等方面分析计算。

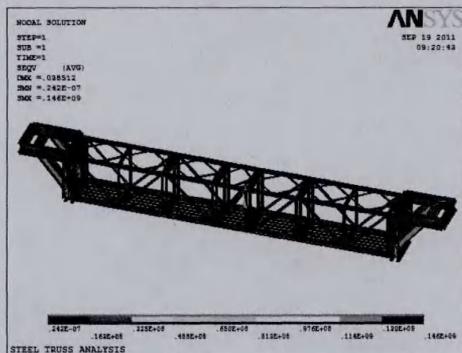


图2 钢桁架的ANSYS分析结果

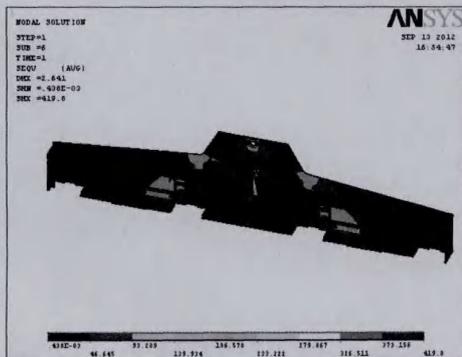


图3 行走机构主体分析结果

### 3 厂内型式试验

缆载吊机加工完成后需要逐台进行型式试验,目的是验证整套设备的承载能力和使用性能。试验内容包括:(1)额定荷载试验,检验缆载吊机在额定荷载下的变形和应力。(2)超载试验,检验缆载吊机在125%荷载下的结构承载能力。(3)空载行走试验,检验缆载吊机的起升、行走等动作的准确性<sup>[4-5]</sup>。荷载试验的方法是,在一块平整的场地上,搭设两个试验钢

架,每个试验钢架的顶端设置一个与主缆半圆直径一致的半圆,以支承缆载吊机。为模拟实桥主缆是可摆动的结构,一个试验钢架设计为固定结构,另一个为可沿横向和纵向自由滑动的结构。在两试验架的下方,横穿两根横梁,用于支撑扁担梁吊具,试验架与缆载吊机形成自反力支架(见图4)。最大荷载根据缆载吊机的额定荷载5000kN的1.25倍加载,加载过程见文献<sup>[6]</sup>,试验过程对缆载吊机和试验架进行检查,同时测量应力应变和挠度。四台缆载吊机试验过程中的最大应力为148.5MPa,最大挠度变形量为45mm,位移和变形测试值与理论值比较吻合。钢桁架结构的材质采用Q345B,许用应力为219.6MPa,变形量设计限值按1/750控制,其最大允许挠度为48mm,因此试验结果表明,吊机满足结果安全要求。



图4 缆载吊机型式试验

负载试验后,卸除荷载解除吊点,在空载条件下,进行起升、行走等动作的操作和各机构空载速度试验。动作性能试验结果表明,操纵机构和控制系统的动作准确可靠,液压系统无泄漏现象,各工作机构动作平稳,运行正常,能实现规定的功能和动作,无异常震动、冲击、过热、噪声等现象,系统性能可靠。

### 4 工程应用

厂内型式试验之后的四台缆载吊机,应用于武汉鹦鹉洲大桥实际工程。钢桁架结构分解成模块组件进行运输,确保运输过程中无超宽超高组件,同时确保拆除和重新安装工作量尽

量小。缆载吊机的重新组装,先在一块场地拼装成标准模块,然后利用船舶运输至桥塔的门架下,利用门架的起重设备将标准模块在桥塔位置进行吊装并空中组拼。5个钢结构模块组件包括2个行走结构、2个提升负重梁节段和1个中间桁架节段,先将行走结构吊装并固定于主缆上,其它的依次序吊装组拼,模块的最大重量为220kN。缆载吊机现场安装照片见图5。钢结构组拼之后,利用桥塔附近的塔吊对液压和控制设备进行吊装,液压设备单件的最大重量为35kN。缆载吊机整套设备装配调试好后,行走至跨中的待吊装位置,靠近索夹进行现场荷载试验,试验的最大荷载为待吊装梁最大节段重量的1.25倍。现场荷载试验完成后,直接对主梁进行正式吊装作业。缆载吊机吊装第1片主梁照片,见图6。采用液压牵引与滚轮行走结合的新型结构之后,缆载吊机在主缆上正常行走的最大综合速度达到了22m/h。四台新型缆载吊机于2013年7月15日运至现场,9月8日完成完成现场拼装并调试,9月中旬全部行走到位,9月18日完成现场荷载试验,并顺利吊装,吊装的正常提升速度为20m/h。四套吊机设备在行走、吊装过程中,都比较顺利,预计2013年12月上旬,完成全桥143片主梁吊装作业,全桥合拢。

## 5 结论

依托武汉鹦鹉洲长江大桥研制了液压牵引与滚轮行走结合的新型5000kN缆载吊机。该吊机采用新的行走机构,可大幅度提升行走速度,从传统液压缆载吊机的10m/h左右,提升至20m/h,同时大幅度降低结构重心,有利于确保缆载吊机在主缆上的行走和吊装安全。另外行走机构采用双向对称结构,可实现同方向的上坡和下坡行走。液压系统采用柴油机直接驱动液压泵站的一体化柴油机泵站,可节省能源,减少设备体积。还有该系统采用动力收放线装置,下放吊具速度达到80m/h,减少了封航时间。提升千斤顶设备,采用了易更换夹片的新型结构。缆载吊机加工之

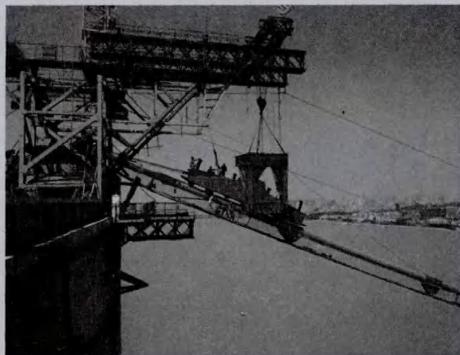


图5 缆载吊机现场安装照片

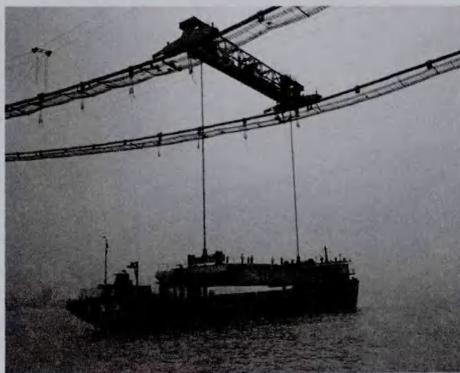


图6 缆载吊机吊装第1片主梁

后,在厂内搭建了自反力试验架上进行了型式试验,试验结果表明,结构安全可靠和动作准确。经过现场荷载试验之后,缆载吊机应用于实际工程。在鹦鹉洲长江大桥项目中,吊机行走和吊装作业,都比较顺利,2013年12月上旬完成全部主梁吊装,全桥合拢。实践结果表明,该缆载吊机结构安全可靠、性能良好,研制是成功的。

## 参考文献

- [1] 高明大. 悬索桥架设缆载吊机的结构设计方法研究[D]. 柳州: 广西工学院, 2011
- [2] 赵虹, 谢海波. 珠江黄埔大桥南汉悬索桥跨缆吊机静载试验研究[J]. 中外公路, 2009, 29(1): 123-125
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 3811-2008起重机设计规范[s].
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. TSG Q7002-2007桥式起重机型式试验细则[s].
- [5] 中华人民共和国国家标准. GB-T5905-1986起重机试验规范 and 程序[s].
- [6] 邓年春, 罗珊, 伍柳毅等. LZDJ500T全液步履式缆载吊机型式试验研究[C]. 武汉: 第二十届全国桥梁学术会议论文集, 2012.6