

LZDJ500T全液压步履式缆载吊机型式试验研究

邓年春¹ 罗珊² 伍柳毅¹ 刘显晖¹ 陈立¹ 韦富伦¹

(1 柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005 2 广西工学院 柳州 545005)

摘要:缆载吊机是大跨度悬索桥主梁吊装施工的专用设备。全液压步履式缆载吊机的结构一般主要由主桁架梁、行走机构、动力系统、液压系统、控制系统和吊具系统等组成。在应用于实际桥梁过程中,它依托悬索桥的主缆作为支撑,进行移位行走和固位吊装。在应用于实际工程之前,缆载吊机应进行型式试验,试验内容包括模拟实桥吊装工况的静载试验和行走试验。针对湖南矮寨大桥主梁吊装开发了2台LZDJ5000T全液压步履式缆载吊机,为了进行型式试验,设计了一套试验装置进行支承和加载。加载过程中对关键截面关键点的应力和跨中挠度进行了测量。试验结果表明,静载试验的位移和变形测试值与理论值比较吻合,提升加载系统性能良好,行走试验中动作准确,整机性能良好。

关键词:悬索桥 主梁架设 液压 缆载吊机 型式试验

1 概述

大跨度悬索桥的主梁常采用钢桁梁或钢箱梁结构,整桥的主梁划分成若干段标准节段,一般在工厂或岸边将节段梁预制好,然后通过船舶或轨道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。从结构组装要求和运输方便性考虑,标准节段梁的重量一般在2000kN~5000kN之间,公开文献^[1-4]表明,国内外的最大缆载吊机的起重能力为3750kN,对于特殊梁段的提升一般采用双机抬吊。

湖南矮寨大桥是长沙至重庆公路通道、湖南省吉首至茶洞高速公路跨越矮寨大峡谷的一座特大型桥梁,桥位处山峦起伏剧烈,地质复杂。大桥设计为钢桁加劲梁单跨悬索桥,主跨1176m,目前在跨峡谷的悬索桥中居世界第一位。主缆孔跨布置为242m+1176m+116m,主桥设8‰的单向纵坡、设2‰的横坡;桥面系宽度为24.5m,桥面距峡谷底部高度达330m。钢桁架全宽27m,主桁架高7.5m,全桥共设69个节段。结合矮寨桥自然条件和现场施工条件,采用“轨索运梁架设施工方案”实现钢桁梁的安装:以主缆及永久吊索作为支撑,设置水平轨索,锚固于两岸岩体;分别在两岸组拼钢桁梁标准节段;通过运梁小车将单个节段在轨索上纵向运输就位至永久吊索下方,用缆载吊机接住钢桁梁,退出运梁小车,节段对

接并销接吊索,逐节段由跨中向两岸对称施工,直至全桥贯通。根据湖南矮寨大桥的特殊情况和缆载吊机的通用性要求,开发了LZDJ500T全液压步履式缆载吊机,在缆载吊机应用于实桥之前,需要模拟实桥吊装工况进行型式试验。

2 缆载吊机结构

LZDJ500T全液压步履式缆载吊机主要由一个钢主桁梁、两个在主缆上的步履式行走机构、两套液压提升系统(含提升和牵引千斤顶、液压泵站、控制系统及钢绞线收线装置)、吊具扁担梁、发电设备等部分组成,见图1。其中,主梁桁架结构是由H型钢焊接的桁架梁连接两段箱型负重梁构成,两端的负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、发电机和控制室,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。提升系统是缆载吊机的主要工作部分,主要由千斤顶、钢绞线和钢绞线收线装置等组成,用于提升悬索桥主梁。步履式行走机构主要由牵引千斤顶、轨道顶推千斤顶、荷载转移千斤顶、轨道梁和移位器等组成,用于吊机在主缆上的行走、就位和支撑固定。控制系统是缆载吊机的中枢机构,由计算机系统、传感器控制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。为了适应矮寨大桥钢桁架吊点位置,在离主缆6.75m的位置设置中吊点,见图2,中吊点的最大起吊重量为2400kN,通用边吊点,设在离主缆2.56m的位置,起吊能力为5000kN。提升系统共用两套LSD2500-500提升系统,单顶提升能力为2500kN。

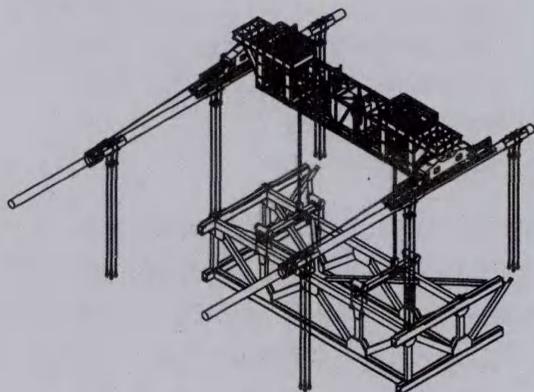


图1 缆载吊机结构图

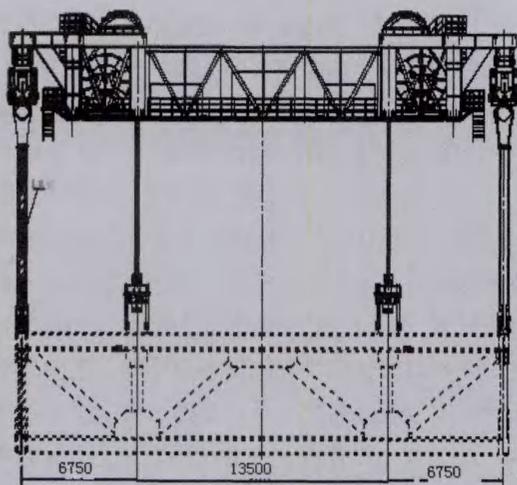


图2 缆载吊机吊点位置

3 型式试验方法

缆载吊机型式试验的目的是验证其结构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) 静载试验，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。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。在两试验架的地面上，与扁担梁吊点相对应的位置，设置地锚索，形成加载锚固反力点，见图3。最大荷载根据缆载吊机的额定荷载5000kN或2400kN的1.25倍加载，加载过程为^[6-7]，按额定荷载的20%，40%，60%，70%，80%，90%，100%，110%，125%进行分级持续加载，每级加载后，保压10分钟，然后进行缆载吊机和试验架的检查、应力应变和挠度测数，检查无异常后继续加载，加载至100%额定荷载后，保压60分钟，然后继续加载，加载至最大荷载保压30分钟后，卸载至初级荷载，测量应力应变和挠度测数。重复上述步骤，进行3次循环加载。静载试验后，卸除荷载解除吊点，在空载条件下，按照设计要求进行起升、行走等动作的操作和设计规定的各机构空载速度试验，重复进行3个循环，记录试验结果。



图3 缆载吊机试验

4 型式试验结果

缆载吊机静载试验的加载工况模拟荷载组合I(无风工况)进行分级加载试验。额定加载工况分为边吊点5000kN工况和中间吊点2400kN工况，分别进行加载。加载过程中对关键截面关键点的应力应变和跨中挠度进行了测量。应力应变的测试仪器为DH3813静态应变测试系统，敏感元件采用120Ω普通型小标距应变计，信号传输

导线采用屏蔽线,在与测试点同材质的钢材上粘贴应变计,作为温度补偿。跨中挠度的测量采用德国喜利得PD42手持激光测距仪,测量方法是对跨中和两端行走机构与桁架铰接位置同时进行位移测量,计算出跨中挠度。

第1台缆载吊机,对于边吊点工况,所有测点中最大负载应力值83.7MPa,最大合应力127.3MPa,中间吊点工况最大负载应力值90.8MPa,最大合应力115.8MPa,吊具最大负载应力值102.3MPa,最大合应力113.4MPa。吊机所有材料均采用Q345,屈服强度345MPa,许用应力为233.1MPa。测试结果表明,所有测点应力小于许用应力。5000kN工况下,加载过程的挠度变化值见表1和图4,额定荷载下的最大测量挠度值为26mm(与理论值比较偏差13%),挠跨比为1/1038小于允许值1/600,满足变形要求。2400kN工况下,加载过程的挠度变化值见表2和图5,额定荷载下的最大测量挠度值为22mm(与理论值比较偏差3%),挠跨比为1/1227小于允许值1/600,满足变形要求。

表1 第1台缆载吊机边吊点5000kN工况挠度值

荷载级别	荷载值/kN	挠度测量值/mm	挠度理论值/mm
0%	0	0	0
20%	1000	6	4.6
40%	2000	11	9.2
60%	3000	17	13.8
70%	3500	20	16.1
80%	4000	22	18.4
90%	4500	24	20.7
100%	5000	26	23
110%	5500	28	25.3

表2 第1台缆载吊机中间吊点2400kN工况挠度值

荷载级别	荷载值/kN	挠度测量值/mm	挠度理论值/mm
0%	0	0	0
20%	480	4	4.2
40%	960	8	8.4
60%	1440	12	12.7
70%	1680	15	14.9
80%	1920	17	17.0
90%	2160	19	19.2
100%	2400	22	21.3
110%	2640	24	23.5

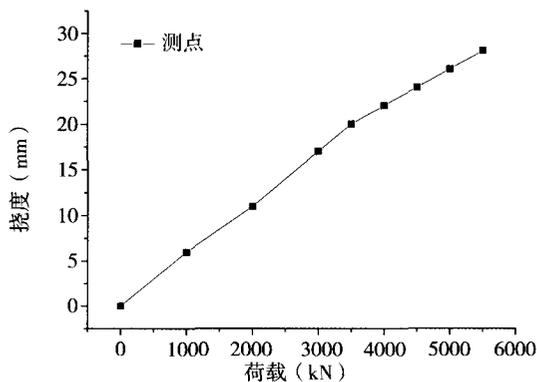


图4 第1台缆载吊机边吊点加载挠度曲线

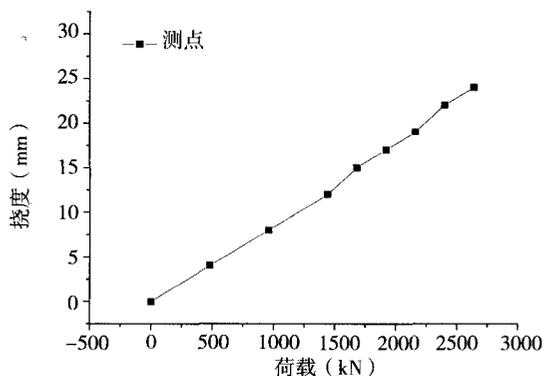


图5 第1台缆载吊机中吊点加载挠度曲线

第2台缆载吊机边吊点工况,所有测点中最大负载应力值82.3MPa,最大合应力122.0MPa,中间吊点工况最大负载应力值85.3MPa,最大合应力110.3MPa,吊具最大负载应力值101.5MPa,最大合应力112.6MPa。5000kN工况下,加载过程的挠度变化值见表3和图6,额定荷载下的最大测量挠度值为27mm(与理论值比较偏差8%),挠跨比为1/1000小于允许值1/600,满足变形要求。2400kN工况下,加载过程的挠度变化值见表4和图7,额定荷载下的最大测量挠度值为23mm,挠跨比为1/1174小于允许值1/600,满足变形要求。

表3 第2台缆载吊机边吊点5000kN工况挠度值

荷载级别	荷载值/kN	挠度测量值/mm	挠度理论值/mm
0%	0	0	0
20%	1000	6	4.6
40%	2000	12	9.2
60%	3000	17	13.8
70%	3500	20	16.1
80%	4000	22	18.4
90%	4500	25	20.7
100%	5000	27	23
110%	5500	29	25.3

(下转第10页)

5 结论

根据宁波大榭二桥的工程概况和120t桥面吊机的使用工况,应用ANSYS有限元软件,建立桥面吊机的有限元模型并进行加载分析,计算出了桥面吊机的应力分布、变形状态和稳定性情况。分析结构表明,大榭二桥桥面吊机钢桁架的强度、刚度和稳定性满足相关规范的要求。由于吊装过程的复杂性,在桥面吊机的计算过程中,诸如冲击系数、各工况的风力及工作温度等参数的取值仍需深入研究,此外桥面吊机吊装过程中与主体结构振动问题亦有待分析解决。

(上接第5页)

表4 第2台缆载吊机中间吊点2400kN工况挠度值

荷载级别	荷载值/kN	挠度测量值/mm	挠度理论值/mm
0%	0	0	0
20%	480	5	4.2
40%	960	10	8.4
60%	1440	14	12.7
70%	1680	16	14.9
80%	1920	18	17.0
90%	2160	20	19.2
100%	2400	23	21.3
110%	2640	25	23.5

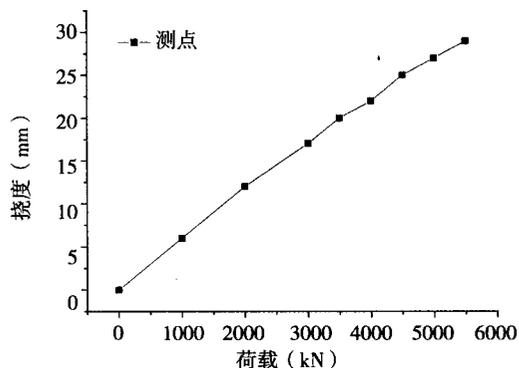


图6 第2台缆载吊机边吊点加载挠度曲线

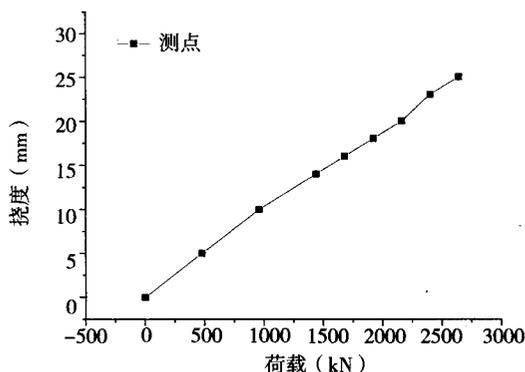


图7 第2台缆载吊机中吊点加载挠度曲线

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准. GB50017-2003 钢结构设计规范[S].
- [2] 中华人民共和国国家标准. GB50017-2003 起重机结构设计规范[S].
- [3] 陈明, 吴起和等. 苏通大桥桥面吊机多功能设计与使用[J]. 中外公路2008(5)
- [4] 沈斌, 谢发祥. 南京长江第三大桥钢箱梁桥面吊机及梁段吊装工程[J]. 世界桥梁2006(6)
- [5] Taekwun Park, Moon Kyum Kim, Changyoon Kim, and Hyoungkwan Kim. Interactive 3D CAD for Effective Derrick Crane Operation in a Cable-Stayed Bridge Construction [J]. Journal of Construction Engineering and Management. 2009.135.1261-1270

对缆载吊机进行静载试验之后,立即进行全面检查,试验结果表明钢结构无永久变形、焊缝无裂纹和油漆无剥落,各连接处无松动,主要零部件无损坏。检查之后进行行走试验。行走试验结果表明,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。

5 结论

文中对依托湖南矮寨大桥开发的LZDJ500T全液压步履式缆载吊机,进行了型式试验,试验内容包括模拟实桥吊装无风工况的静载试验和行走试验。试验结果表明,静载试验的位移和变形测试值与理论值比较吻合,误差在设计要求范围内,结构安全可靠。行走试验过程中,动作准确可靠,液压系统无泄漏现象,整机性能良好。试验之后的缆载吊机应用于湖南矮寨大桥实际工程,该桥于2011年8月20日完成了所有钢桁架梁的吊装,全桥合拢。应用结果表明,该缆载吊机结构安全可靠、性能良好。

参考文献

- [1] 郭友根. 矮寨悬索桥主桁架设计方案研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2009
- [2] 高明大. 悬索桥架缆载吊机的结构设计方法研究[D]. 柳州: 广西工学院, 2011
- [3] 吴建强, 彭武, 何治学. KLD3700型跨缆吊机在润扬大桥悬索桥钢箱梁吊装施工中的应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2005(07)
- [4] 张腾. 润扬大桥悬索桥上部结构施工专用设备跨缆吊机的开发研制[J]. 筑路机械与施工机械, 2005, (01)
- [5] 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].
- [6] 中华人民共和国国家标准. GB-T5905-1986 起重机试验规范和程序[S].