

大榭二桥120T桥面吊机设计研究

陈立¹ 陈竹¹ 邓年春¹ 黄庄灯²

(1 柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005 2 广西科技大学土木建筑系 柳州 545005)

摘要:文章介绍了宁波大榭二桥桥面吊机的系统组成,并在桥面吊机的设计过程中,采用ANSYS有限元软件模拟分析桥面吊机吊装过程中钢桁架受力情况。分析结果表明,该桥面吊机的钢桁架的应力、变形和稳定性满足相关规范的要求。结果表明,通过ANSYS有限元分析,能够简单快速的计算出桥面吊机的受力状态,有利于验算结构的稳定性和安全性,并对结构进行优化设计,对指导实际工程有着重要的意义。

关键词:斜拉桥 桥面吊机 钢桁架 有限元

1 工程概况

宁波大榭二桥主桥为双塔单索面钢箱梁斜拉桥,跨径布置为50+158+392+158+50m。主梁采用单向三室箱型截面,全钢结构,标准段顶板宽29.5m,底板宽17.5m,顶面设双向2%横坡。桥梁中心线处梁高3.5m。两侧悬臂板长度4.0m。中间腹板间距1.7m,横隔板间距为3.5m。该工程塔梁处采用主梁梁体开洞主塔贯通的形式,结构体系采用塔墩固结、塔梁分离体系(支承体系),索塔与主梁间设置竖向和横向限位支座。钢箱梁标准预制节段长度10.5m,全桥共77个梁段,梁段间采用焊接连接。塔区梁段、边跨梁段和外边孔梁段均采用大型浮吊吊装。中跨标准梁段采用桥面吊机施工,起吊重量在148~203t之间,钢箱梁构造如图1所示。

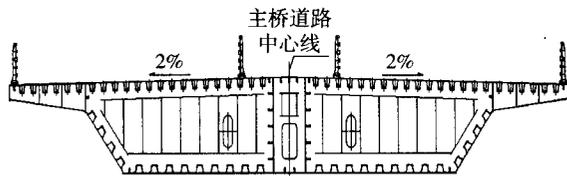


图1 钢箱梁构造

2 桥面吊机设计性能要求

针对宁波大榭二桥的桥梁特点和性能要求,桥面吊机应满足以下设计要点:1)大榭二桥为双塔单索面斜拉桥,为了防止吊机移动与拉索施工的交叉影响,每个工作面设置2台桥面吊机联合抬吊作业;2)起吊重量的确定主要根据标准梁段最大重202.7t确定单台吊机的额定起重量120t。3)起吊高度与速度,因起吊高度约50m,

尽可能减少航道占用时间,要求起吊速度较快。

4)吊机前臂长度和高度,依钢箱梁准确重心位置和起升工作高度确定。5)吊机前支点和后锚点位置,需要纵向支撑在钢箱梁横隔板上,位置按钢箱梁的设计确定。6)吊机行走,缩短施工工期需要,要求较快的行走速度。7)纵横坡度,因顶面设双向2%横坡,吊机需适用坡度。8)吊具通用性,需要考虑不同长度和重心的标准段,以及合龙段抬吊。9)吊机控制系统,需精确控制调位精度。10)吊机结构自重,需要吊机结构尽可能轻巧。11)结构强度和稳定性,规范要求安全系数和抗倾覆稳定系数大于1.5。

3 120T桥面吊机系统组成

大榭二桥的中跨标准梁段采用2×120t步履式桥面吊机进行施工,它的结构主要由主体钢桁架结构、专用吊具、纵移机构、起升机构、支锚机构、调位系统、电气及液压系统等部分组成。

3.1 主体钢桁架结构

主体结构是通过采用焊接或高强螺栓,将两片由销轴连接而成菱形钢架用型钢连接成上部窄下部宽的空间桁架结构体系。桁架结构的上部为桥面吊机的吊臂,其顶端放置有带主千斤顶的水平调位系统。桁架下部结构底架前后两端分别设有前支点装置和后锚固装置,支锚间距10.5m。两个菱形钢架之间另设有辅助平联杆件,保证吊具工作时钢桁架的横向稳定性。

3.2 前支点装置

桥面吊机前端,在行走过程中,直接支撑在

行走轨道上,而在吊装时,直接支撑于钢箱梁上。这种方法可确保桥面吊机荷载分配于这4个支撑点,且可以分散对桥面的压力。

3.3 后锚固装置

后锚是保证桥面吊机受力和整体稳定的关键部位,由于加工误差和主梁安装造成的结构变形,销轴与桥面锚点间的连接将非常困难。若后锚设计采用多铰链杆结构,可以放大后锚连接误差的限制,这样既能实现快速连接,又能保证后锚的受力均匀。后锚系统由后锚固支座焊接件、锚固耳板、插销等组成。吊机安装到桥面上后,桥面吊机后端在所有梁段荷载条件下都将保持上举状态。桥面提升期间,每台桥面吊机后端用2个销栓下拉并固定在桥面板上。

3.4 行走系统

行走机构由行走油缸、滑座、滑道和液压系统等组成。前行走轨道2根,布置在前支点下,后行走滚轮组,布置在后锚横梁中间。桥面吊机步履行走原理为机架向前移动时,轨道相对固定,轨道向前移动时,机架相对固定,二者交替向前滑移,实现步履行走,桥面吊机的轨道通过钢箱梁上的预留螺栓孔,用高强螺栓连接。桥面吊机行走时,承重主桁架前端与行走滑船(含重物移位器)通过销轴连接,将行走滑船搁置在行走梁上。后行走小车跟着滑动,起到支撑吊机后部重量,平衡吊机作用。桥面吊机行走步骤为:用安装在机架底部的三只油顶将桥面吊机顶起,再用两只水平油缸将水平导轨推到位→将桥面吊机放下、水平油缸将吊机水平向前推移行走→导轨向前移动一次、桥面吊机前移6m,每个工作循环导轨移动2次、桥面吊机移动10.5m。两侧滑道支撑座设计为不等高,以适应2%坡度施工。

3.5 吊具

吊具具有连接梁段吊点和调节梁段纵坡两个功能:(1)连接:吊具与梁段吊点间采用钢索柔性连接。(2)调坡:在吊具上设置调位油缸,以实现梁段纵坡调整,满足梁段水平吊装和匹配时,纵坡调整需要。纵坡油缸连接座与锚头

通过纵坡油缸连接,在扁担梁顶板上前后滑移。调整纵坡时,纵坡油缸连接座通过螺栓连接固定在扁担梁上,伸缩纵坡油缸,调整锚头在扁担梁上的位置,从而调整梁段重心的水平位置,使其按要求倾斜,达到纵坡调整的目的,期间也可以通过增加或减少配重的方式来辅助调整纵坡。纵坡调整完毕,用锁紧螺母固定锚头,才能进行梁段提升工作。

3.6 横移纠偏装置

设备设计有横移纠偏装置,当桥面吊机行走出现偏离时,先依靠顶升油缸把整机抬起,然后安装装置,把横移垫块放置在滑道下面。此时,回收顶升油缸,使整机压在滑块上,依靠横移油缸的推拉,整机在滑块上滑动,让桥面吊机走到指定位置。一次最大横移距离为160mm。横移完成后,需将横移装置取出。

3.7 主千斤顶、泵站及控制系统

吊机两台主千斤顶都采用LSD2300钢绞线千斤顶,配备压力和位移传感器,采用电脑集中控制,配置专用控制软件。在吊装过程中,控制系统界面可以显示千斤顶行程、荷载和状态,诊断系统主要故障,自动和手动实现2台主千斤顶的同步运动。千斤顶配置有双层自锚系统,以保证液压失效时,钢绞线千斤顶的安全锚固。泵站采用进口ABB电机、负载反馈变量泵(大流量、无溢流、少发热)、多路换向阀组(各油路输出油压单独限定)、比例阀组(实现无级调节流量)。

3.8 调位系统

调位系统精度是保证梁段无应力匹配的关键。其工作原理是通过吊具上的千斤顶和桥面吊机的主千斤顶分别实现梁段的纵坡、高程、平面位置调整。通过3种调整组合,快速实现3个方向精准调位。

4 桥面吊机钢结构设计分析

桥面吊机钢结构设计方法,采用许用应力方法设计计算。由于桥面吊机的使用频率比较低,所以不考虑疲劳影响,只按静强度进行设计,考

考虑冲击系数。计算过程中,考虑三种不同的基本载荷情况:1)无风工作情况;2)有风工作情况;3)非工作情况,分别进行整体结构分析、主要节点局部分析。其中整体结构分析,是应用理论公式或ANSYS有限元软件进行桥面吊机在自重、梁段荷载、风荷载、冲击荷载及其他临时性荷载作用下的应力分析,并计算结构的强度、刚度和稳定性,确定前、后支点反力,分别用于施工期永久结构加固设计和施工控制计算。主要节点局部分析是在整体结构分析基础上对吊机关键整体节点进行局部应力复核。

4.1 桥面吊机钢桁架分析

4.1.1 钢桁架整体稳定性验算

验算钢桁架走行、纯承重桁架平面内和吊机倾斜3.4%吊重作业时桁架平面外的整体稳定性。计算结果表明,走行时结构会倾翻,应增加配重8.05t,此时抗倾覆系数为1.87。纯承重主桁架的抗倾覆系数为1.68,倾斜3.4%吊重作业时,桁架平面外抗倾覆系数为13.2,均大于一般结构要求抗倾覆系数1.5的要求。

4.1.2 钢桁架有限元分析

应用ANSYS有限元软件,采用BEAM188单元,建立桥面吊机钢桁架有限元模型,如图2所示。根据桥面吊机吊装最不利工况情况下,实加荷载,计算可知最大应力为67.8MPa(如图3所示)。最大变形为11.4mm。材料的屈服强度取325MPa,安全系数取1.6则允许应力 $[\sigma]=203\text{MPa}$,悬臂6.95m,允许挠度为 $[\delta]=6950/500=13.9\text{mm}$,则结构满足强度和刚度要求。

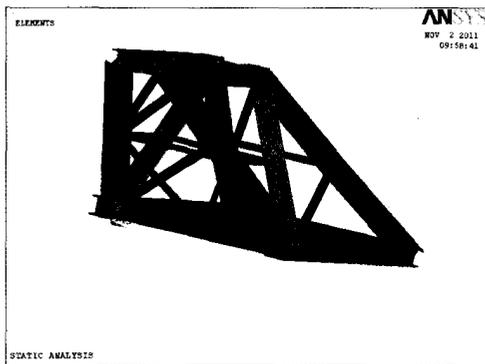


图2 钢桁架有限元模型

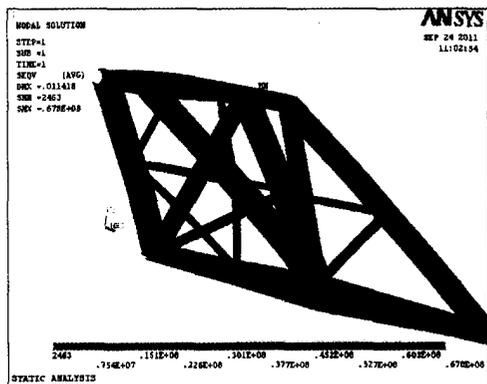


图3 钢桁架von mises图

4.1.3 钢桁架局部分析

采用ANSYS分析结果,验算各杆件的稳定性,并校核其螺栓和销轴连接,各杆件的稳定性和连接满足《钢结构设计规范》(GB50017-2003)和《起重机设计规范》(GB/T3811-2008)要求。

4.2 吊具计算

吊具结构主要包括扁担梁、扁担梁滑箱、提升锚固支座、吊耳和吊装钢绞线等部分。

4.2.1 扁担梁计算

桥面吊机吊装共33 [16+16+1(合龙段)]吊装节段,桥面吊机吊装节段(主跨及合龙段)重量为:5749.86t。吊具材质为Q345,自重作用下的最大应力:2.53MPa。经计算吊具上下翼缘边缘最大正应力为147.25MPa,腹板最大剪应力53.45MPa,最大挠度6.83mm(1/1062)。强度和稳定性都符合结构计算要求。

4.2.2 扁担梁滑箱实体模型分析

采用实体计算单元Solid185、接触分析单元TARGE170和CONTA174三种建立实体模型,如图4所示,其中在扁担梁滑箱与销子及扁担梁之间采用上述接触单元,摩擦系数取0.15。在扁担梁滑箱上模拟两个刚体做为销子和扁担梁,并在扁担梁滑箱与销子及扁担梁间分别作接触;在对称截面上施加对称约束;在销子上施加全约束。在模拟为扁担梁的刚体上施加35t均布压力(吊梁负载120t,吊具自重7T,系数1.1)。行走机构由材料为Q345-B的钢板拼焊而成,钢板屈服极限为325MPa,抗拉极限为550MPa,取材料实际材料属性,即弹性模量 $E=200\text{GPa}$,泊松比

$\mu=0.3$ 。经分析,扁担梁滑箱结构整体变形最大1.8mm。扁担梁滑箱主体结构综合应力大小不大于160MPa,扁担梁滑箱在部分区域应力集中,应力较大,综合应力范围为156.4~281.4MPa(如图6所示)。综合应力 $160\text{MPa} < [\sigma]$,即结构处于安全状态。

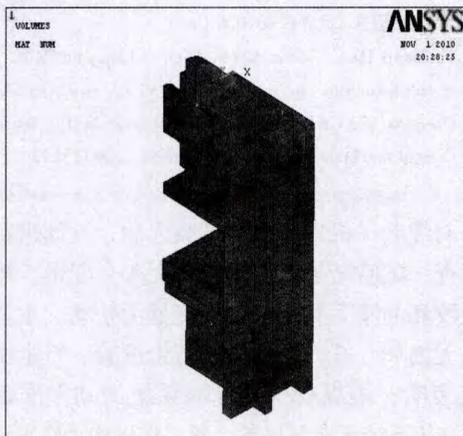


图4 扁担梁滑箱模型(四分之一)

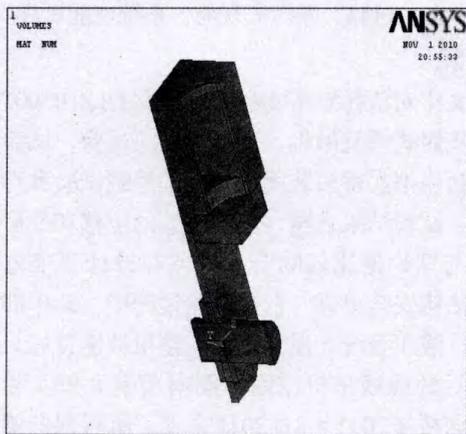


图5 提升锚固支座模型(四分之一)

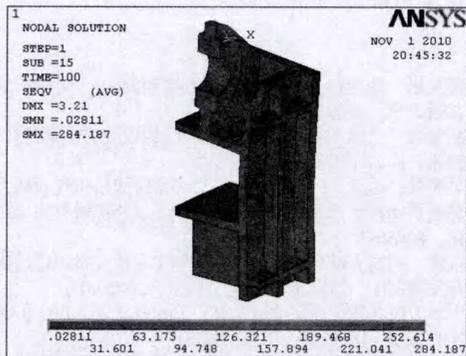


图6 扁担梁滑箱von mises图

4.2.3 提升锚固支座实体模型分析

采用实体计算单元Solid185、接触分析单元TARGE170和CONTA174三种建立实体模型,如图7所示,其中在230吨千斤顶锚固支座与销子及锚板之间采用上述接触单元,摩擦系数取0.15。在230吨千斤顶锚固支座上模拟两个刚体做为销子和锚板,并在230吨千斤顶锚固支座与销子及锚板间分别作接触;在对称截面上施加对称约束;在销子上施加全约束。在模拟为锚板的刚体上施加35t均布压力(吊梁负载120t,自重7T,冲击系数1.1)。提升锚固支座由材料为Q345-B的钢板拼焊而成,钢板屈服极限为325MPa,抗拉极限为550MPa,取材料实际材料属性,即弹性模量 $E=200\text{GPa}$,泊松比 $\mu=0.3$ 。

经分析,230吨千斤顶锚固支座结构整体变形最大0.57135mm。230吨千斤顶锚固支座主体结构综合应力大小不大于130MPa,部分区域应力较大,综合应力范围为122.82~157.742MPa(如图7所示)。综合应力 $130\text{MPa} < [\sigma]=325/2=162.5\text{MPa}$,即结构处于安全状态。

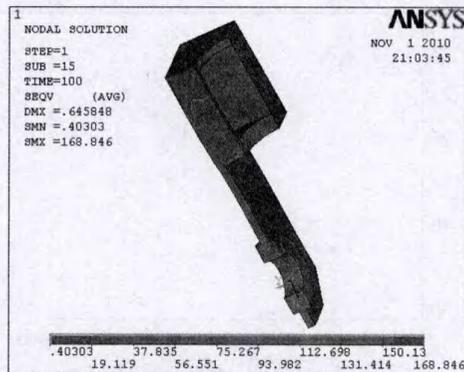


图7 提升锚固支座von mises图

4.2.4 钢绞线受力校核

每台230t连续提升千斤顶,采用16根 $\phi 17.8$ 的钢绞线,其抗拉强度为1860MPa,整根钢绞线能承受的最大力为353kN。提升额定质量为120t(含吊具质量)时,考虑1.1倍冲击系数,钢绞线的安全系数为 $353 \times 16 / (1200 \times 1.1) = 4.2$ 。根据《公路斜拉桥设计细则》(JTG D66-01-2007T)规定,施工状态斜拉索的安全系数不应小于2.0。由此可知提升钢绞线满足要求。

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。

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

(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

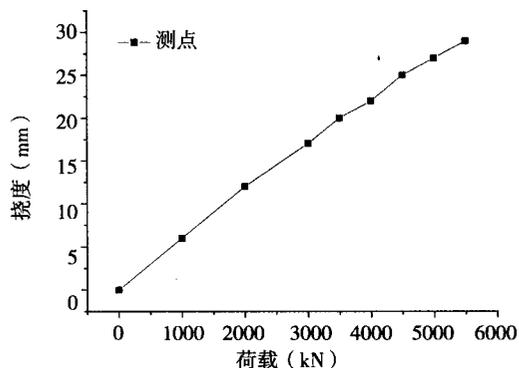


图6 第2台缆载吊机边吊点加载挠度曲线

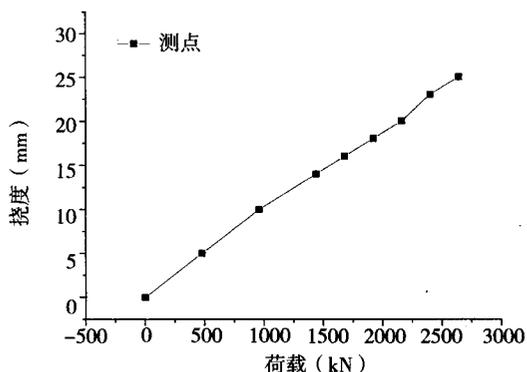


图7 第2台缆载吊机中吊点加载挠度曲线

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].