

缆载吊机的横向扁担梁 两种方案比选设计研究

伍柳毅 李海峰 陈力 韦富伦

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘 要:缆载吊机是大型悬索桥主梁架设的专用设备,横向扁担梁是通用型缆载吊机的主要组件。针对马鞍山长江大桥采用既有缆载吊机而设计横向扁担梁的两种方案进行比选研究,即箱型截面梁和桁架梁的对比研究。在同样的工况下,采用ANSYS有限元分析软件,分别使每个方案满足强度、刚度和稳定性要求,从而对两种方案的优缺点进行分析。

关键词:悬索桥 缆载吊机 横向扁担梁 箱型截面梁 桁架梁

1 概述

大型悬索桥使用的液压缆载吊机一般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。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,用于承担结构,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。缆载吊机作为通用设备,应尽量设计满足通用要求。由于各个桥的吊点位置离邻近主缆的中心距很难做到统

一,一般设计一个横向扁担梁,来协调缆载吊机吊点与主梁吊点不垂直共线的矛盾,见图1。按南京四桥工况设计的LZDJ4000型缆载吊机在完成南京四桥吊梁任务后,准备用于马鞍山长江大桥的吊梁工作。由于马鞍山长江大桥的临时吊点位置与南京四桥的相差较大,需要增设一个横向扁担梁,扁担梁有箱型截面梁和桁架梁两种。本文针对马鞍山长江大桥的吊装工况,对两种结构型式进行比选分析。

2 横向扁担梁方案设计与分析

马鞍山桥缆载吊机吊最重的一片梁的重量是291t,考虑1.1的冲击系数后,该横向扁担梁承受的最大工作载荷是320t。下面分别对两种型式梁进行设计和计算。

2.1 箱型截面梁

2.1.1 箱型截面梁的结构设计

为便于运输,梁采用可拆的3个节段,节段间用10.9级的摩擦型高强螺栓连接,如图2所示。

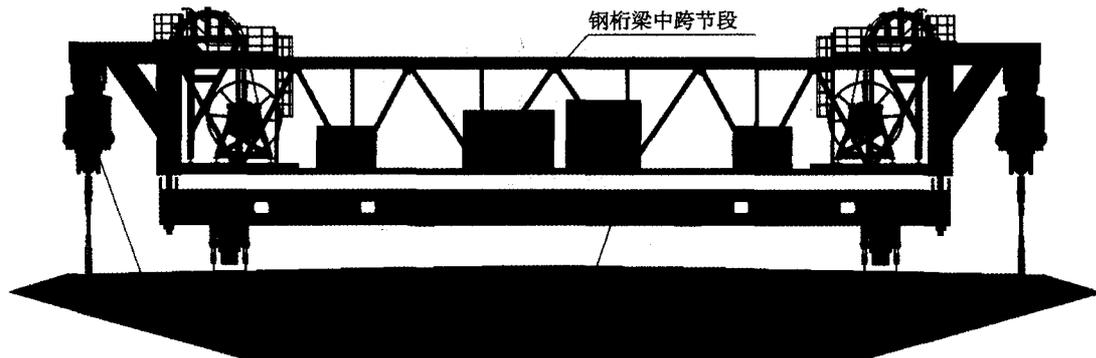


图1 含横向扁担梁的缆载吊机吊装图

经过计算初步拟定的箱型截面梁的截面尺寸如图3所示，材料为Q345B，总长30m，总宽0.8m，总高2m，自重28t，箱型截面梁与2根纵向扁担梁连接的中心距是24.44m（即桥梁临时吊点中心距），与提升千斤顶连接的距离是2.27m。

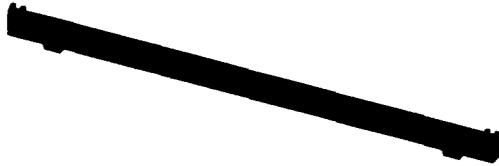


图2 箱形横向扁担梁

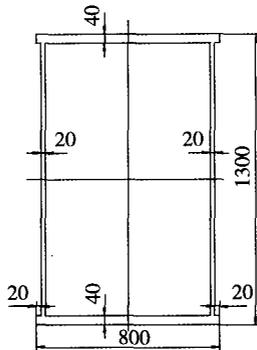


图3 箱形横向扁担梁横截面

2.1.2 箱型截面梁的受力分析

横向扁担梁两端上边的耳板与提升千斤顶的锚固支座销接，下边的耳板受到提升桥梁的重力产生的拉力，考虑横向扁担梁的自重，它的受力如图4。

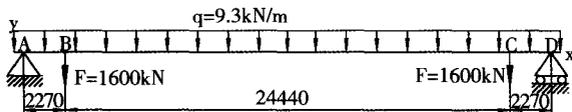


图4

根据图4的受力图，采用ANSYS有限元分析软件中的BEAM188梁单元建模进行模拟计算，得到横向扁担梁的弯矩图和剪力图，如图5和图6所示。

经过计算，梁的最大应力为105MPa，小于安全系数为1.6的允许应力203MPa。最大剪应力为85MPa，小于安全系数为1.6的203MPa。支承位置的局部承压应力为128MPa，小于安全系数为1.6的允许应力203MPa。A、D支座处的折算应力计算，由弯矩图知A、D支座处的弯矩为零，所以正应力为零，局部压应力和剪应力按上面已算出的最大值取，为128MPa和85MPa，折算应力为189MPa，小于1.6的允许应力203MPa。同时经过计算结构满足稳定性要求。

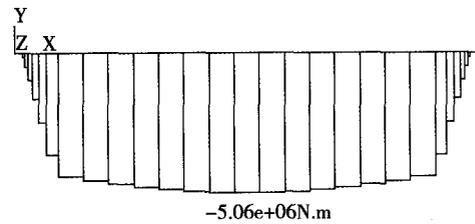


图5 横向扁担梁的弯矩图

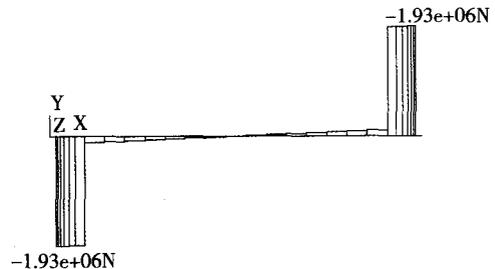


图6 横向扁担梁的剪力图

采用ANSYS有限元分析软件中的BEAM188梁单元建模计算横向扁担梁的挠度，得到横向扁担梁的位移变形，见图7，最大挠度为69.03mm。小于1/400的变形控制值72.4mm。

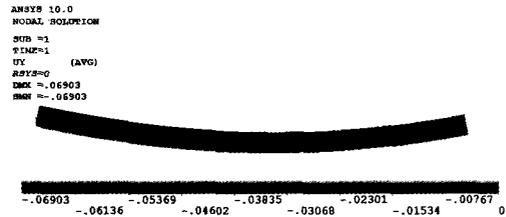


图7 横向扁担梁的挠度图

2.2 桁架梁

2.2.1 桁架梁的结构设计

与箱型截面梁的吊点尺寸一致，设计成的桁架扁担梁的结构见图8。桁架梁总长29.8m，总宽1.4m，总高2.17m，自重16t，用H型钢焊接而成。



图8 桁架扁担梁

2.2.2 桁架梁的受力分析

采用ANSYS有限元分析软件中的BEAM188梁单元建立桁架式横向扁担梁的空间桁架，并进行加载分析，得到其的Von Mises应力云图如图9，由图9可知最大应力为202MPa，小于安全系数为1.6的允许应力203MPa。桁架式横向扁担梁的总位移变形图如图10，由位移变形图可知扁担梁的最大挠度值是59mm，小于1/400的变形控制值72.4mm。同时经过计算结构满足稳定性要求。

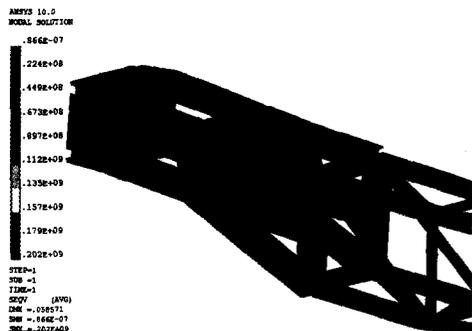


图9 桁架式横向扁担梁的Von Mises应力云图

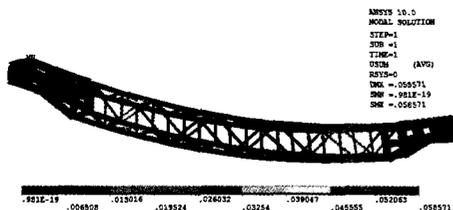


图10 桁架式横向扁担梁的挠度图

3 两种结构比较与结论

对于桁架和箱型截面的横向扁担梁，在强度、刚度和稳定性都满足设计要求的情况下，它们都有各自的优缺点。从力学性能来比较，箱型截面梁的抗弯刚度要比桁架梁差，所以箱型截面梁需要增大截面积来提高它的抗弯刚度，这样就会使重量增加，箱型截面梁重28t，桁架梁重16t，后者比前者轻了12t，可见在满足相同刚度的情况下，桁架梁要比箱型截面梁节省材料。另外，从制造的工艺来比较，箱型截面梁的优点是结构简单，加工方便，制造周期短，桁架梁的结构复杂，需要配节点板来保证杆件间节点的强度和传力，空间焊接组装，加工周期长。

参考文献

- [1] 刘鸿文. 材料力学[M]. 高等教育出版社, 1992
- [2] GB 50017-2003 钢结构设计规范[S].
- [3] GB/T3811-2008 起重机设计规范[S].

(上接第7页)

由表2可知，183285节点处Y方向的最大应力为870MPa，183289节点处的最大等效应力为997MPa，均大于材料屈服强度785MPa，表明 $F=260.4\text{kN}$ 在作用下，锚环局部应力集中部位已进入塑性状态。ANSYS计算分析结果还表明，在极限状态下，锚环的设计控制截面（部位）的等效计算应力均小于785MPa，整体上仍处于弹性工作状态。因此可认为，QMK15-1锚具的上述构造基本满足设计要求，预测其组装件能通过各项力学性能试验。计算模型各节点的等效应力 σ_e 按式(16)确定：

$$\sigma_e = \sqrt{0.5 \cdot [(\sigma_x + \sigma_y)^2 + (\sigma_y + \sigma_z)^2 + (\sigma_z + \sigma_x)^2]} \quad (16)$$

式中 σ_x 、 σ_y 、 σ_z 分别为X、Y、Z方向同一节点的计算应力。

4 结论

(1) 根据开口锚环较小截面最大应力验算结果，可初步确定产品外形与控制截面尺寸，及预测出有限元分析结果。(2) 通过有限元弹塑性分析，可确定产品使用极限状态下的性能，及预测出锚具组装件试验结果。(3) 依次根据控制截面应力验算与有限元分析结果，经设计优化后可最终确定产品构造，并能最大限度避免锚具组装件试验失败。

表2 开口锚环大孔端面部分节点的计算应力 (MPa)

节点号	变量	应力
183245	σ_y	-188
	σ_e	516
183257	σ_y	516
	σ_e	978
183262	σ_y	558
	σ_e	978
183275	σ_y	792
	σ_e	826
183285	σ_y	870
	σ_e	813
183289	σ_y	-703
	σ_e	997
183296	σ_y	9
	σ_e	477
183306	σ_y	640
	σ_e	877
183307	σ_y	-321
	σ_e	408
183871	σ_y	596
	σ_e	573
184666	σ_y	-427
	σ_e	754
185158	σ_y	0
	σ_e	43

注：表中 σ_y 为节点Y方向计算应力， σ_e 为节点等效应力，正值为拉应力，负值为压应力。

参考文献

- [1] 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》. GB/T 14370-2000
- [2] 《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》. JGJ 85-2002/J 219-2002
- [3] 庄茁等. 预应力结构锚固-接触力学与工程应用. 科学出版社, 2006;
- [4] 潘立, 刘明保. 钢绞线预应力筋用齿合型单孔开口锚具的设计与试验研究[J]. 建筑结构, 2009 (2)
- [5] 潘立. 钢绞线预应力筋用齿合型单孔开口锚具的结构设计与基本性能研究. 建筑科学研究报告, No.2006-001, 中国建筑科学研究院建筑结构研究所, 2008年10月。