

大面积薄壳装饰拱提升系统设计与受力分析研究

田久晖

武汉市桥梁工程有限公司 湖北武汉 430000

【摘要】武汉市江北快速路新河大桥为(48m+196m+48m)三跨中承式梁提篮钢拱桥,为增强双片拱肋的稳定性,及结构造型的美化,在拱肋与横撑之间布置装饰拱。新河大桥装饰拱为大面积薄壳结构,通过方案比选确定采用“超大型构件液压同步提升施工技术”将装饰拱整体提升到位。本文对装饰拱提升系统进行方案设计,通过数值分析提升过程中被提升装饰拱、提升支架、吊耳及吊具的受力性能,成功克服了装饰拱提升过程和安装就位时受力边界不一致造成的提升过程变形过大、提升不同步造成结构受力变化等诸多困难,保证了提升系统的安全性,顺利实现新河大桥大面积装饰拱结构的整体提升。

【关键词】提篮钢拱桥;装饰拱结构;整体提升;数值分析

1 引言

近年来,提篮钢拱桥因其功能性和美观性,而饱受青睐,尤其是城市景观区跨河桥梁中得到了广泛应用,同时设计人员也根据结构稳定和美观效果对提篮拱桥结构进行了一些发展,如在拱肋之间增加装饰拱结构,这也对该类结构的施工提出新的要求。装饰拱结构通常重量大,尺寸大,刚度低,若采用常规的分件高空散装方案,需要搭设大量的高空脚手架,不但高空组装、焊接工作量巨大,而且存在较大的质量、安全风险,方案的技术经济性指标较差。根据大跨度体育场馆、机场等建筑工程屋顶结构提升的成功经验^[1-6],装饰拱结构在地面拼装成整体后,再整体提升到位,再进行少量的连接工作,将大大降低安装施工难度,保证工程质量、安全和工期等。本文结合江北快速路新河大桥装饰拱结构的提升系统设计和数值分析验证,确保提升系统的安全性,指导新河大桥大面积装饰拱结构的整体提升。

2 工程概况

新河大桥跨越新河,连接江岸区和黄陂区,是武汉市重点城建项目江北快速路的节点工程。新河大桥主桥为(48m+196m+48m)三跨中承式梁提篮拱桥钢结构拱桥,宽40.5m。主拱圈采用双片等截面钢箱型拱肋,拱轴线为悬链线,通过矩形钢管风撑进行连接,拱肋向内倾斜,与竖向成 10° 夹角,主拱矢高 $f=43.556\text{m}$,矢跨比 $f/L=1/4.5$ 。

装饰拱位于钢箱拱拱肋与横撑之间,横撑间距 $24.0\text{m}\sim 27.3\text{m}$,拱肋间距 $23.3\text{m}\sim 27.2\text{m}$,分C1-1、C2-1、C3-1、C3-2、C2-2、C1-2共6大块,以桥跨中线对称布置,其中装饰拱高1.8m,顶底板板厚12mm,纵隔板厚10mm。主拱肋及

横撑等主承重结构安装完成后,考虑装饰结构自重较大、安装高度较高,C1-1和C1-2装饰拱采用汽车吊吊装,C2-1、C3-1、C3-2、C2-2装饰拱采用“超大型构件液压同步提升技术”安装,单块装饰拱提升重量约160t,提升总重量640t。

3 设计思路

采用“超大型构件(设备)液压同步提升技术”吊装钢结构,需在已安装完成的拱肋结构上设置提升平台(上吊点),在提升平台上配置相应的液压提升器及相关提升设备,待钢结构装饰地面拼装完成后,进行提升工作:若干液压提升器分别通过专用钢绞线与设置在被提升结构的下吊点连接,液压提升器集群通过彼此同步的重复伸缩缸过程,逐步将钢结构装饰提升至设计位置,最后将已安装好的拱肋结构、横撑杆与提升到位的装饰结构连接成一个整体,提升设备卸载、拆除,装饰结构安装工作完成。

4 装饰拱提升系统受力分析

4.1 装饰拱结构受力分析

4.1.1 受力分析说明

(1)采用ANSYS进行有限元分析,其中装饰拱上钢板、下钢板、横向肋板、纵向肋板和加固肋板均采用板单元,加固工字钢采用梁单元,板单元节点和梁单元节点均采用固结,在其中1处提升点设置三向铰支座、另外3处提升点设置Z向铰支座模拟提升过程。

(2)荷载工况:强度分析—— $1.35\times$ 自重;刚度分析—— $1.0\times$ 自重;

4.1.2 装饰拱结构受力分析结果

(1)强度分析结果

分别对装饰拱C2-1、C2-2、C3-1和C3-2同步提升和不同步提升（25mm）时，在1.35×自重荷载工况下结构的受力状态进行分析，受力分析结果见表1。

分析可知：提升过程中装饰拱结构最大应力均发生在提升点板肋加固区，是提升过程中应力监测的关键部位。

表1 提升过程中装饰拱结构受力分析结果

装饰拱编号	装饰拱最大应力 $\sigma_{\max}$ (MPa)	
	同步提升	不同步提升 (25mm)
C2-1、C2-2	95.4	152
C3-1、C3-2	201	206.9

根据表1受力分析结果可知，提升过程中装饰拱结构最大应力均小于Q235钢材的设计应力 $f_y=215\text{MPa}$ ，则提升过程中装饰拱的强度满足要求。

(2) 刚度分析结果

分别对装饰拱C2-1、C2-2、C3-1和C3-2同步提升和不同步提升（25mm）时，在1.35×自重荷载工况下结构的变形状态进行分析，变形分析结果见表2，其中装饰拱C3-1的变形状态见图1和2。

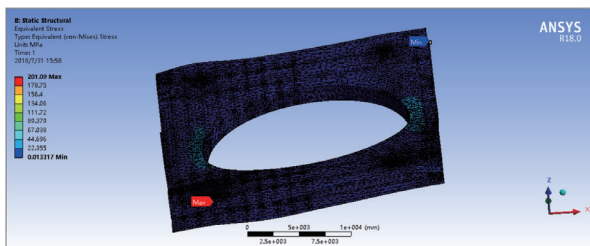


图1 装饰拱结构C3-1在同步提升过程时的应力云图

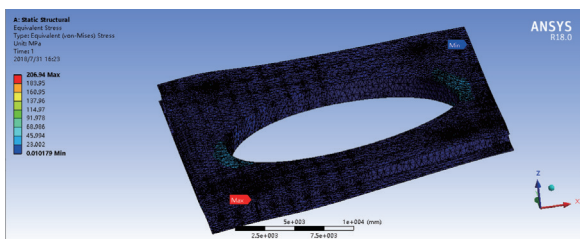


图2 装饰拱结构C3-1在25mm不同步提升过程时的应力云图

提升过程中装饰拱结构最大变形均发生在提升点板肋加固区，是提升过程中应力监测的关键部位。

表2 提升过程中装饰拱结构变形分析结果

装饰拱编号	装饰拱最大变形d(mm)	
	同步提升	不同步提升 (25mm)
C2-1、C2-2	11.6	35.8
C2-1、C2-2	19.6	35.6

根据表2变形分析结果可知，提升过程中最大变形为 $35.8\text{mm} < 1/400 = 23.3\text{m}/400 = 58.3\text{mm}$ ，装饰拱结构的刚度满足

要求。

(3) 吊点反力

装饰拱在同步和不同步提升过程中，各吊点反力见表3，其中最大吊点反力为496kN。

表3 装饰拱提升过程中吊点反力表

装饰拱编号	同步情况	吊点反力 (kN)			
		1	2	3	4
C2-1、C2-2	同步提升	372	496	490	383
	不同步提升 (25mm)	171	625	302	514
C2-1、C2-2	同步提升	448	415	415	455
	不同步提升 (25mm)	381	526	338	566

4.2 提升支架受力分析

4.2.1 受力分析说明

(1) 提升支架为Q345钢材，板厚30mm，强度为 $f_y=295\text{MPa}$ 。为保证所有提升支架的安全，根据表3，按最大吊点的反力625kN进行受力分析。

(2) 采用Midas Civil进行有限元分析，提升支架各构件均采用梁单元模拟，提升支架与钢箱拱连接处设置三向铰支座，如图4所示。

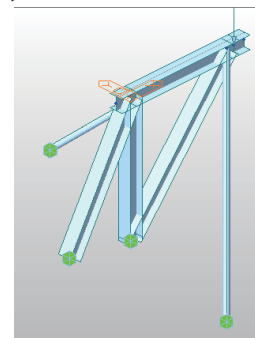


图3 提升支架有限元分析模型图

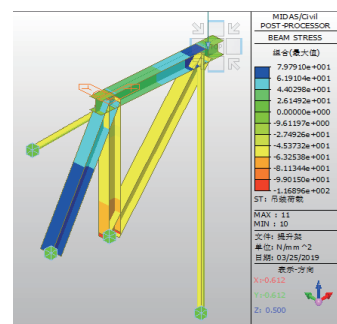


图4 提升支架应力云图

4.2.2 结果分析

由提升支架受力分析的应力云图4可知，最大应力为 $\sigma_{\max}=116.9\text{MPa} < f_y=295\text{MPa}$ ，提升支架的强度满足要求。

4.3 下吊具受力分析

4.3.1 受力分析说明

(1) 下吊具为Q345钢材, 板厚30mm, 强度为 $f_y=295\text{MPa}$ 。为保证所有下吊具的安全, 根据表4-1, 按最大吊点的反力625kN进行受力分析。

(2) 采用Ansys进行有限元分析, 下吊具采用板单元模拟, 在与钢绞线锚头的接触面设置三向铰支座, 如图5所示。

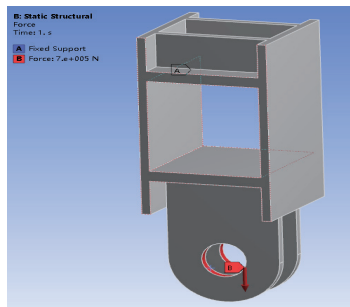


图5下吊具有限元分析模型图

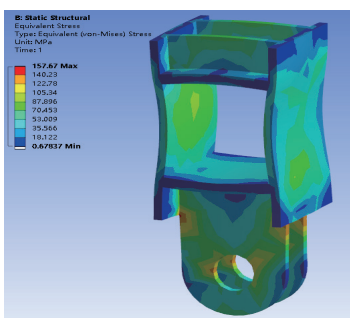


图6下吊具应力云图

4.3.2 结果分析

由下吊具受力分析的应力云图6可知, 最大应力为 $\sigma_{\max}=157.7\text{MPa}<f_y=295\text{MPa}$, 下吊具的强度满足要求。

4.4 吊耳受力分析

4.4.1 分析说明

(1) 吊耳为Q345钢材, 板厚30mm, 强度为 $f_y=295\text{MPa}$ 。为保证所有吊耳的安全, 根据表4-1, 按最大吊点的反力625kN进行受力分析。

(2) 采用Ansys进行有限元分析, 吊耳采用板单元模拟, 在与装饰拱的接触面设置固定支座, 如图7所示。

4.4.2 分析结果

由吊耳受力分析的应力云图8可知, 最大应力为 $\sigma_{\max}=198.37\text{MPa}<f_y=295\text{MPa}$, 吊耳的强度满足要求。

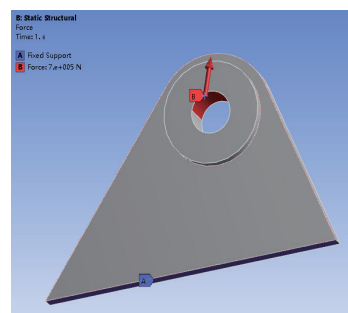


图7 吊耳有限元分析模型图

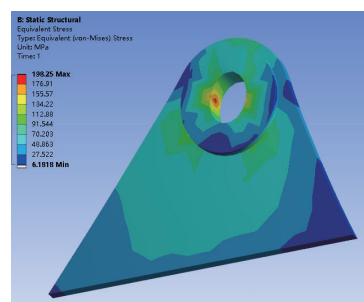


图8 吊耳分析应力云图

5 结论

结合新河大桥装饰拱结构施工情况, 确定了适用本工程的装饰拱结构整体提升系统, 利用有限元软件Midas对整体提升系统中的被提升装饰拱、提升支架、提升吊具在同步提升和不同步提升过程中受力状态进行模拟分析, 满足规范和设计要求, 确保整体提升系统的安全性和可行性。采用设计的整体提升系统, 新河大桥装饰拱结构顺利整体提升安装就位, 为同类型结构施工积累了宝贵的经验。

参考文献:

- [1] 王超, 时春震等. 异形单层网壳结构整体提升施工数值分析及应用[J]. 施工技术, 2018, 47(8): 34-37.
- [2] 王涛, 廖维张等. 某机库钢结构网架屋盖整体提升施工关键技术研究[J]. 钢结构, 2008, 44(20): 81-85.
- [3] 范格平, 耿俊峰等. 大型钢结构液压整体提升技术应用[J]. 钢结构, 2017, 29(10): 16-66.
- [4] 刘彪, 刘航等. 首都机场A380钢屋盖整体提升施工方案分析[J]. 钢结构, 2008, 23(1): 65-69.
- [5] 张涛, 贾晋文等. 液压整体提升技术在北辰行政中心工程的应用[J]. 钢结构, 2010, 25(6): 67-71.
- [6] 汪超平, 叶发宝等. 苏州商服楼工程钢结构连廊整体提升技术[J]. 钢结构, 2008, 30(9): 88-90.