

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.S0.003

无轴式摩天轮安装施工技术模拟分析

袁银书¹, 余沛², 孙旭平¹, 余流³, 杜澎泉⁴

(1. 中建六局 土木工程有限公司, 天津 300451; 2. 商丘工学院 土木工程学院, 河南 商丘 476000;
3. 中建六局 技术中心, 天津 300451; 4. 中建六局 工业设备安装有限公司, 天津 300451)

摘要: 无轴式摩天轮安装过程中, 杆件间的位移关系到整个工程的质量, 它贯穿于施工期直至运行期。对无轴式摩天轮的安装施工技术过程进行模拟, 采用 MIDAS 数值分析软件, 对潍坊白浪河大桥及摩天轮安装工程进行模拟分析, 数值计算结果表明, 将高度 138 m 的无轴式摩天轮分成四部分安装, 下部安装采用地面支撑, 通过重型塔吊车进行构件单元安装; 中部采用下部结构及格构柱提供支撑, 配合塔吊及脚手架完成; 上部安装通过格构柱支撑, 配合塔支撑体系及操作脚手架完成; 摩天轮上部节点最大位移 258 mm, 下部最小位移 54 mm, 节点最大位移小于 1/500H, 满足施工规范要求, 为同类工程提供理论数值参考。

关键词: 无轴式摩天轮; 白浪河大桥; 节点位移; 数值模拟

中图分类号: TU472 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2015)S0-0010-05

Analysis and research of no-shaft ferris wheel installation construction technology of simulation

Yuan Yinshu¹, Yu Pei², Sun Xuping¹, Yu Liu³, Du Pengquan⁴

(1. China Construction 6th Engineering Bureau Civil Engineering Co. Ltd., Tianjin 300451, P. R. China;
2. China School of Architecture and Construction of Shangqiu Institute of Technology, Shangqiu, Henan 476000, P. R. China;
3. China Construction 6th Engineering Bureau of Technology Center, Tianjin 300451, P. R. China;
4. China Construction 6th Engineering Bureau Industrial Equipment Installation Company Co. Ltd., Tianjin 300451, P. R. China)

Abstract: Without shaft wheel installation process, the displacement relationship between bar to the quality of the whole project, it throughout the construction period and operation period, the paper mainly discusses the countless shaft simulation method in the process of installation construction technology of the no-shaft ferris wheel, using numerical analysis software MIDAS, to wei-fang whitewater river bridge and the no-shaft ferris wheel engineering simulation analysis, the numerical calculation results show that the height of 138 m without shaft wheel is divided into four parts installation, lower installation uses the ground support, through the heavy crane car component unit installation, USES the lower structure to pass the structure of central pillar support, cooperate with the tower crane and scaffolding, upper installed through the lattice column support, to complete supporting system and operating scaffolding tower, the no-shaft ferris wheel upper nodes maximum displacement of 258 mm, lower part of the minimum displacement of the 54 mm, node displacement less than 1/500 h, the biggest meet construction specification requirements; Provide theoretical numerical reference for similar projects.

Key words: no-shaft ferris wheel; bridge of bailanghe; node displacement; numerical simulation

收稿日期: 2015-03-15

基金项目: 中国建筑工程总公司科技示范工程(20140725); 住房城乡建设部绿色施工科技示范工程(S42015026)

作者简介: 袁银书(1969-), 男, 高级工程师, 主要从事基础设施施工技术管理方面研究, (E-mail) yupeis@163.com.

近年来随着国内基础设施建设的发展,桥梁建设发展迅速,逐渐成为一个地方的标志性建筑^[1-2],世界上最早建造的现代摩天轮是芝加哥摩天轮,直径 76.2 m^[3];之后摩天轮建造飞速发展,特别是英国相继建造了具有代表性的摩天轮多座,最著名的是英国“伦敦眼”摩天轮,直径达 135 m,我国从 20 世纪 80 年代开始建造摩天轮,第一个指环形摩天轮建在常州紫荆公园^[4],张琦等^[5-6]对摩天轮工作中的 7 种工况进行有限元分析,得出了摩天轮在不同工况下的应力分布情况,并对摩天轮进行优化设计,有效降低了摩天轮的质量;赵奋等^[7]对柔性巨型摩天轮结构项目进行了实例分析,通过力学解析与有限元数值两种模型的计算结果相比较,结果表明力学解析模型能揭示结构的受力特性。现有摩天轮建设规模较小,仅是游乐设施中的一部分,桥轮合一的摩天轮更少,2007 年建造的天津永乐桥摩天轮是桥轮合一的摩天轮,直径为 110 m^[8],但对无轴式摩天轮与桥梁的结合,尚未见工程实例。

潍坊白浪河大桥及摩天轮工程,首次采用编制网格形式无轴式摩天轮,椭圆十字节点 194 个,用钢量 4 630 t,铸钢节点 30 t,是目前世界上最大的无轴式摩天轮与桥梁的结合,施工中焊接工程量大,安装技术难度大,如何在安装中保证工程质量是重点,杆件数量多,高度大,尚无类似工程实例参考,因此安装施工技术应予以专门研究。

笔者依托在建的潍坊白浪河大桥及摩天轮工程,利用数值模拟进行分析,重点探讨无轴式摩天轮安装施工技术,探讨无轴式、高度大、节点多、焊接量大的摩天轮安装步骤,为类似工程提供理论参考。

1 工程概况

白浪河摩天轮建于白浪河大桥中央,摩天轮轮盘直径 125 m,是世界上首次采用编织网格形式无轴摩天轮。常规的摩天轮都是中间有轴,或刚性或柔性支撑,而直径 125 m 无轴式摩天轮建成后将是世界上最大的无轴摩天轮,同时也是轮桥合一的世界第一。建成后必将成为蜚声全国的新的城市名片。轮盘正立面外轮廓为一个直径 125 m 的圆,轮盘下部结构断面为一个轴线直径 5 m 的圆,上部结构断面为一个轴线直径 15 m 的圆,以这 2 个圆为基准,沿空间轮盘外轮廓线渐变形成轮盘面。

摩天轮钢结构总质量约 4 485 t,其中:杆件 3 172 t、节点及加劲板 167 t、支墩预埋件 686 t、钢梯 160 t、铸钢节点 300 t、摩天轮底约束框架 30 t、装饰灯饰支架等其他附属构件 50 t。

2 摩天轮主体安装思路

2.1 安装整体思路

安装内外弦杆,内外弦杆采用地面拼装,采用履带吊和重型塔吊安装;然后安装编织网格,网格按照内外弦杆之间截取一段,地面拼装成小单元采用履带吊和重型塔吊吊运安装,主要步骤为:

1) 摩天轮下部安装采用地面支撑,通过重型塔吊、吊车进行构件单元安装。

2) 中部安装采用下部结构及格构柱提供支撑,通过塔吊吊运构件单元安装,并配以操作脚手架进行安装。

3) 上部安装通过格构柱支撑,塔吊吊运构件单元安装,支撑体系、操作脚手架配合进行上部安装。

4) 张拉索通过放索盘放索,塔吊吊运进行索安装,利用油压千斤顶进行张拉,并进行实时监测。

2.2 安装区域划分

整个摩天轮自下而上划分 4 个安装区域,分别为:下部区域、中下部区域、中上部区域及上部区域(如图 1 所示)。针对每个安装区域分别叙述安装过程。

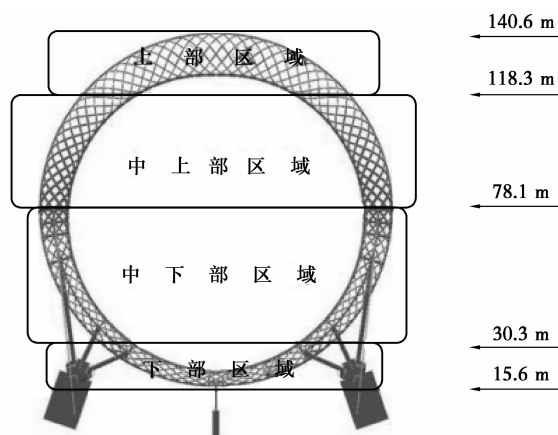


图 1 摩天轮区域划分

2.3 典型吊装单元

整个摩天轮安装区域内所有吊装构件,共有 3 种典型吊装单元。

1) 外弦杆吊装单元。外弦杆吊装单元划分为: 25 段吊装单元,每段长度 9.8~21.8 m,重量 8.77~

16.5 t, 支撑点共 19 处, 其中竖向支撑 16 处, 侧向支撑 3 处; 如图 2 所示。

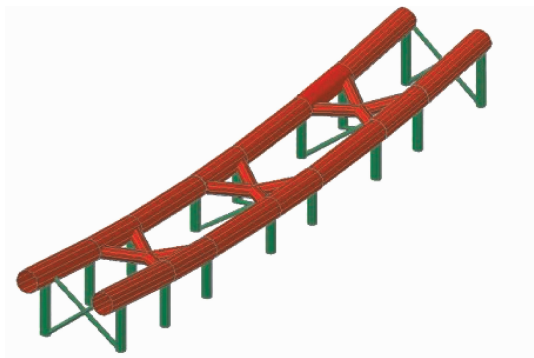


图 2 外弦杆吊装单元

2) 内弦杆吊装单元。内弦杆吊装单元划分为: 17 段吊装单元, 每段长度 15.4~22.6 m, 质量 8.44~12.38 t, 支撑点共 14 处, 其中竖向支撑 8 处, 侧向支撑 6 处; 如图 3 所示。

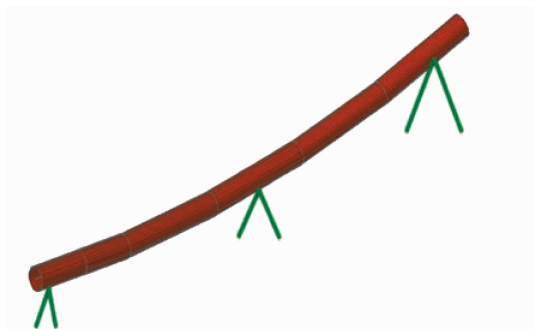


图 3 内弦杆吊装单元

3) 编织网格吊装单元。编织网格吊装单元划分为: 78 段吊装单元, 每段长度 15~22.8 m, 质量 14.47~17 t, 支撑点两端在内外弦杆上, 每个编织网格支撑点 4 个。如图 4 所示。

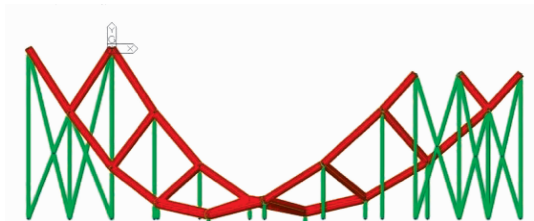


图 4 编织网格吊装单元

3 摩天轮主体安装过程

3.1 主体结构下部安装

首先安装摩天轮下部, 质量 363 t, 在环体下方设置塔吊标准支撑, 用于支撑摩天轮外侧 2 根主弦

杆, 外弦 2 根主弦杆长 16.9/15.6 m, 质量 8 t, 下部结构安装采用 150 t 履带吊吊运至安装点, 通过千斤顶调节标高。标准节支撑选择用 QTZ40 型塔吊标准节, 塔吊标准节下部浇筑于混凝土中, 避免在地面直接架立造成的不稳定情况, 提高安全保证。

由于部分构件尺寸较大, 采用 130 t 汽车吊进行安装就位, 其余构件单元采用 2 台 STL720 型塔吊安装就位; 为了人员、机具、措施等辅助措施的就位和移动, 主要进行组对、焊接、防腐涂装、人员行走和安全检查, 在操作平台桁架上、施工部位下方, 搭设临时活动脚手架。最后主体底部安装形成如图 5 所示的结构体系。

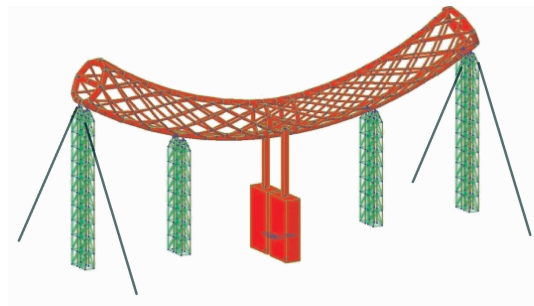


图 5 下部结构体系图

3.2 主体结构中下区域安装

中段安装标高为 57.6 m 至 75.6 m 之间, 由于高度较高且构件质量较大, 为确保施工安全及经济性考虑, 采用 400 t 履带吊进行安装就位, 部分小单位/杆件采用塔吊吊运, 最大安装质量为 67 t, 采用 400 t 履带吊作业半径 20 m, 主臂长 60 m 可起吊 70 t, 完全满足吊装需要。

在摩天轮底部安装完成的基础上, 两侧支撑柱逐步搭设至安装节点上 6 m, 用于辅助支撑摩天轮弦杆。首先安装 3 根弦杆, 利用支撑横梁进行支撑定位, 然后安装编织网格。

摩天轮斜腿部分主要有 3 部分组成, 先安装下部 2 部分, 完成后, 再安装两侧支撑柱桁架, 为结构继续安装提供可靠地支撑平台, 支撑安装至 50 m 时, 经模拟计算后, 在支撑桁架两侧安装 8 套 $\phi 24$ mm 缆风绳以抵抗支撑的水平荷载和限制水平位移, 确保支撑架体的稳定性。支撑桁架安装结束后, 安装最上部斜腿部分及内外侧弦杆, 用两侧支撑桁架支撑定位; 然后安装内外弦杆之间的编织网格。最大单元构件 65 t, 起吊高度 45 m, 400 t 履带吊完全满足工况要求, 如图 6 所示。

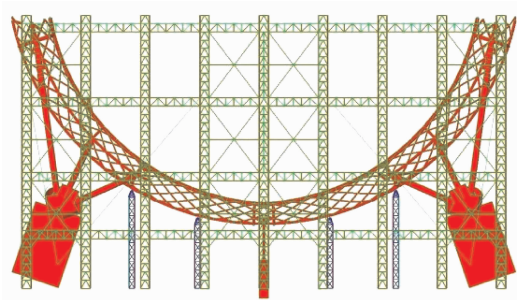


图 6 主体中下区域安装图

3.3 主体结构中上区域安装

主体中上区域首先定位安装内外弦杆,以内外弦杆为编织网格安装的定位基础和支撑,完成编织网格的安装,直到此安装区域结构安装完成。主要采用用地面汽车吊倒运,高空塔吊吊运安装。

3.4 主体结构上部区域安装

下部结构安装完成后继续向上安装支撑结构,在支撑架体两侧高度 90 m、120 m 位置设置 16 套 $\phi 24$ mm 缆风绳以抵抗支撑的水平荷载和限制水平位移,确保支撑架体的稳定性。首先安装内外弦杆,利用支撑架体定位内外弦杆;内外弦定位安装完成后,采用塔吊吊运安装编织网格。

摩天轮主体安装过程中,为确保施工工期、提高工作效率、减少措施费,楼梯及其他附属构件伴随主体结构同时安装。同时检修楼梯的安装位主体施工提供可靠地施工通道。最后安装完成的摩天轮如图 7 所示。

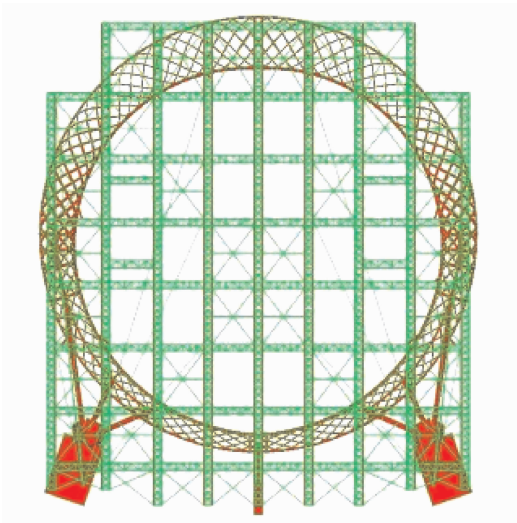


图 7 摩天轮合拢后立面图

3.5 数值分析结果

在模拟安装过程中,经计算,各阶段下,杆件应

力比控制在 0.85 以内;节点最大位移均小于 $1/500H$,满足《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99—98 的要求。

其中,摩天轮刚合拢时为最不利工况,摩天轮上杆件最大正应力 197 MPa、最大负应力 202 MPa,节点最大位移 258 mm(X 向 66 mm, Y 向 238 mm, Z 向 -86 mm),数值分析的位移图如图 8 所示;支撑架上杆件最大正应力为 266 MPa、最大负应力 289 MPa,节点最大位移 52 mm(X 向 64 mm, Y 向 235 mm, Z 向 -72 mm)。

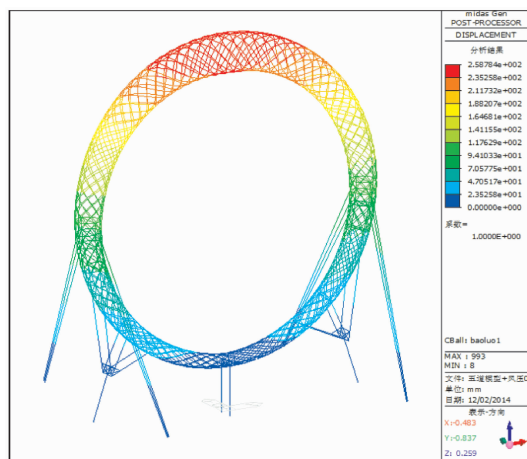


图 8 摩天轮合拢后位移图

4 张拉索安装

本工程由于拉索规格为 $\phi 7 \times 265$ 双护层 PE 拉索,直径 148 mm,长度约 80 m,每米重量约 85 kg,索头质量约 2 t,整根拉索总质量约 10 t,小于塔吊的额定质量,故借助塔吊进行拉索的安装。

本工程预应力拉索共 3 组 12 根,当钢结构拼装至 68.766 m 标高时,即拉索格 3 的上节点锚固点安装完毕以后,即开始安装 4 根拉索 3,并在 4 根拉索 3 安装完毕以后同时对该 4 根拉索进行第 1 级张拉,张拉至设计拉力的 20%。

本方案采用地面张拉,采用调节端单端张拉的方式进行张拉。预应力拉索共 3 组 12 根,拉索呈 1/4 对称,对主体结构起稳定作用。拉索规格为 $\phi 7 \times 265$ 双护层 PE 拉索,最大张拉力为 2 000 kN。

钢索张拉前结构刚度小,须设置支撑分担承担结构自重,通过张拉索使结构逐步达到施工完成时的设计刚度后方可撤除胎架。本工程张拉索与索之间的相互影响大,不论采用何种张拉方式都要对整个施工过程进行全面的模拟分析。张拉方案的选取

不仅涉及到张拉效率、可操作性等,而且涉及到结构的安全性。

该方案施工周期短,张拉过程简单,操作方便,可通过分级张拉逐步逼近结构设计要求的状态,张拉过程中结构始终处于安全状态。

5 结 语

1)将无轴式摩天轮划分 4 部分吊装,把众多杆件划分为外弦杆、内弦杆与编制网格式 3 种典型单元安装。

2)采用履带吊、汽车吊与塔吊相结合的方式,每阶段充分利用下部的支持体系,为焊接工作提供操作平台,大大提高了施工质量。

3)通过施工安装过程的模拟,推算出最不利工况,即摩天轮合拢时,节点最大位移 258 mm,但均小于 $1/500H$,满足规范要求,为工程施工提供了理论依据,也为后期类似工程施工提供数据参考。

参考文献:

- [1] 王小盾,石永久,王元清. 摩天轮结构及其工程应用研究[J]. 建筑科学与工程学报,2005(3):30-35.
- [2] 闫翔宇. 新型斜拉桥和摩天轮组合结构研究[D]. 天津: 天津大学,2004.
- [3] 沈之容,王之宏. 上海之星摩天轮结构方案分析[J]. 特种结构,2006(23):42-43.
- [4] 郭正兴,段凯元. 常州指环形摩天轮景观建造方法研究[J]. 施工技术,2011,40(22):1-4.
- [5] 张琦. 摩天轮结构有限元分析[D]. 柳州:广西科技大学,2013.
- [6] 张琦,陈瑞兵,孙建熙,等. 摩天轮结构有限元分析与优化设计[J]. 装备制造技术,2014(5):10-13.
- [7] 赵奋,丁洁民,杨晖柱. 柔性巨型摩天轮结构的力学解析与有限元分析[J]. 结构工程师,2013,29(1):1-8.
- [8] 马明,王卫东,宋涛,等. 天津永乐桥摩天轮结构设计[J]. 建筑结构学报,2010,31(11):78-82.

(编辑 张 苹)