

总装分析在火车站站房结构设计中的重要性

汪 凯 席 滨 陈 颖

(中铁芜湖建筑设计研究院有限公司 芜湖 241000)

摘 要:本文首先指出将上下部结构分开分析的传统设计方法的缺陷,说明了总装分析在火车站大跨空间结构设计中的重要性。对具体工程实例石柱火车站进行分析,对比了整体模型和单体模型的静力、动力特性,并且对两种模型进行了反应谱分析的比较。结果揭示了由于单体模型不能考虑下部混凝土支座不均匀变形的影响也不能考虑下部混过凝土的有限刚度对上部结构效应的放大,从而导致只采用单体模型进行结构的设计存在一定的安全隐患。所以总装分析对火车站大跨空间结构设计具有重要意义。

关键词:总装分析 大跨空间结构 模态 反应谱

随着我国综合国力的增强,铁路系统日益发达,火车站房如雨后春笋般蓬勃发展,大跨空间结构在火车站中的应用逐渐增多^[1-3]。该类站房通常采用钢筋混凝土结构,屋面系统采用大跨度的钢结构体系,如图1的广州新火车站与图2的南京南站。对于大跨空间结构,常规的设计方法是将上部大跨空间钢结构和下部钢筋混凝土结构分开考虑,单独设计,这种方法没有考虑两者之间的协同关系,必然不能真实反应结构的受力状

态。上下部结构之间密不可分,上部结构对下部结构既有作用又有刚度约束,下部结构对上部结构既有支撑又有效应放大。所以对大跨空间结构的设计,有必要进行上部结构与下部结构的总装分析[4]。本文采用有限元方法,对石柱火车站进行总装分析,并与上部结构单独分析作对比。为将来火车站站房结构设计提供一定的参考,同时对于体育场馆类的结构设计也有一定的借鉴作用。



图1 广州新火车站效果图

作者简介:汪 凯 助理工程师

收稿日期:2012年2月



图2 南京南站效果图

1 工程实例

以我院最近设计的石柱火车站为例来说明总装分析在火车站大跨空间结构中的重要性。石柱火车站总

建筑面积 6000m^2 ，高度 20.3m 。屋顶采用网架结构体系，网架的尺寸为 $45\text{m}\times 80\text{m}$ 。网架高度为 3m ，网格尺寸为 $3.5\text{m}\times 4\text{m}$ 。



图3 石柱站效果图

屋面系统除结构自重外，承受的主要荷载为：屋面横载 $0.5\text{kN}/\text{m}^2$ ，屋面活载 $1.5\text{kN}/\text{m}^2$ （含部分悬挂荷载），基本风压 $0.4\text{kN}/\text{m}^2$ ，地面粗糙度为B类，基本雪压 $0.45\text{kN}/\text{m}^2$ ，温度作用按 $\pm 30\text{C}_0$ 计算。该地区地震设防烈度6度，场地类别二类，地震分组一组，钢结构的阻尼比 0.03 ，混凝土结构的阻尼比为 0.05 。下部混凝土采用C30，钢筋HRB400，上部屋面钢结构采用Q345。本工程结构分析均采用

MIDAS GEN有限元软件，以避免采用不同的计算结构软件带来的差异。网架杆件采用梁单元，通过释放自由度来模拟杆件间的铰接。下部梁和柱采用梁单元，板采用板单元。上部钢结构和下部混凝土的连接处采用耦合自由度来处理。本文分别对整体模型和网架屋盖独立模型进行分析。独立模型的支座采用铰接支座。整体模型如图4，上部网架模型如图5。

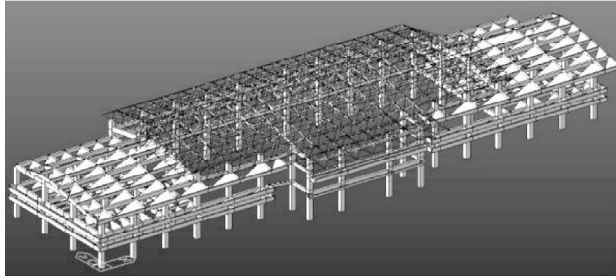


图4 整体模型

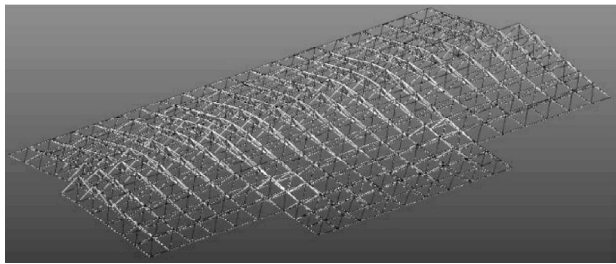


图5 上部单体模型

2 静力分析

下面对比整体模型与单体模型部分节点和杆件的应力和位移。在包络工况下考虑应力的变化,在1.0恒载+1.0活载工况下考虑位移的变化。为比较结构中不同位置杆件的影响,选取结构中4个不同部位的杆件作应力对比,如图6所示为1~4,同时选取结构中5个不同节点作位移对比,图6中①~⑤为代表性节点。

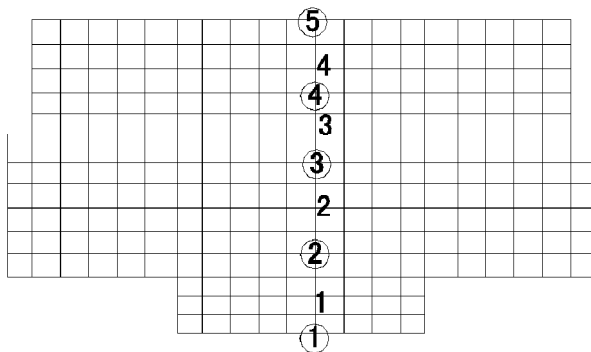


图6 单元与节点编号

分析对比结果见图7和图8,从图7中可以看出总装分析得到的上部钢结构节点竖向位移明显大于单体分析结果,其中跨中差距尤为明显,达到了50%左右。这是因为钢结构支撑于混凝土结构之上,作为钢结构

支座的混凝土结构刚度有限,而且混凝土自身有收缩徐变变形,因此实际上钢结构的支座存在不均匀变形,所以只用单体模型进行分析明显不合理。由于下部混凝土刚度有限且存在不均匀性,图8中总装分析得到的钢结构杆件应力也明显增大,上部钢结构单体分析不能反应上部钢结构与下部混凝土的协同工作,下部混凝土结构作为支座存在的不均匀变形,带来了网架应力的二次重分布,导致网架应力的增大。因此传统的只用单体模型进行上部钢结构的设计偏于不安全。

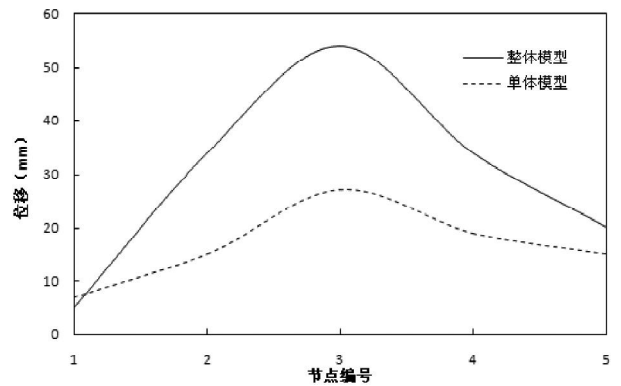


图7 节点竖向位移

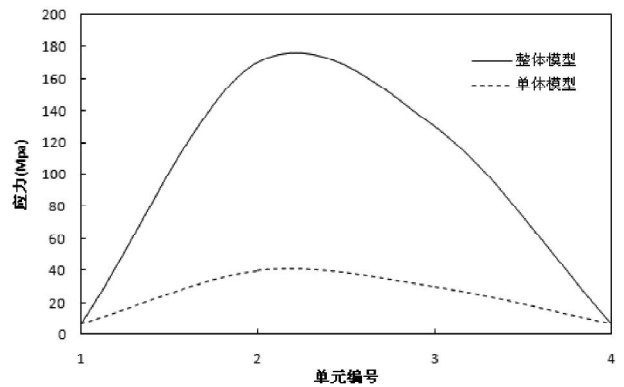


图8 杆件应力

3 模态分析

模态分析是结构动力特性的主要方面,因此有必要对这种结构体系进行模态分析。采用子空间迭代法对结构进行模态分析,提取前30阶模态的自振频率。从图9中可以看出整体模型和单体模型的频率都很密集,没有出现较大的跳跃。但是单体模型的频率比整体模型的频率要大,并且从低阶模态到高阶模态而逐

渐增大。上部网架单体模型由于支座采用铰接约束时刚度变大,但是实际上网架是支撑于下部混凝土上的,而下部混凝土刚度有限。对于频率较为密集的网架结构,对高阶频率的影响尤其明显。整体模型第一阶振型为沿 Y 向水平振动,第二阶振型为扭转,第三、四阶振型为平动,而单体模型前四阶的振型出现的都是局部振动,这是因为单体模型缺少下部混凝土的参与以及没有考虑上下部结构协同工作对模态的影响,从而导致原来高阶的振型前移为低阶振型从而忽略了重要振型的作用,所以只用单体模型设计对结构动力分析有不利的影响。

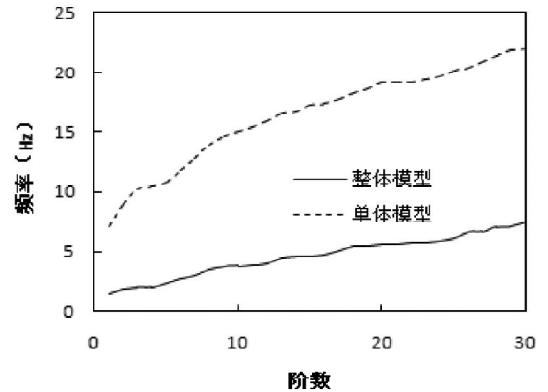
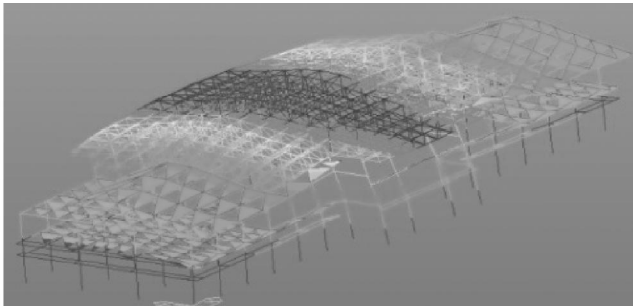
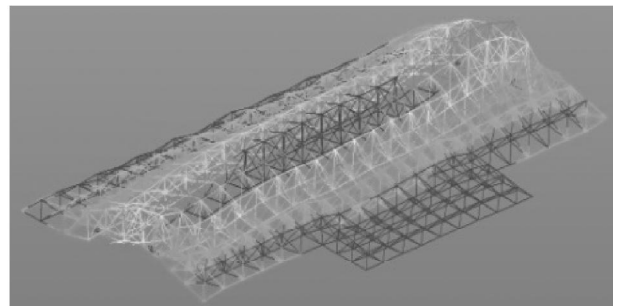


图9 频率比较

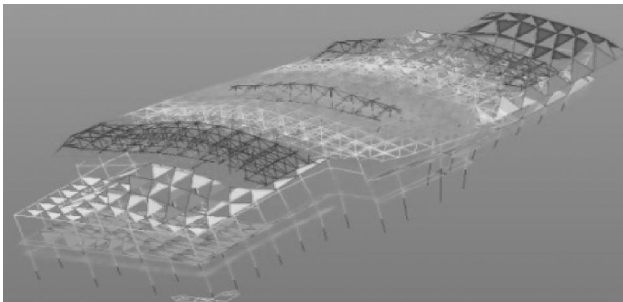


整体模型

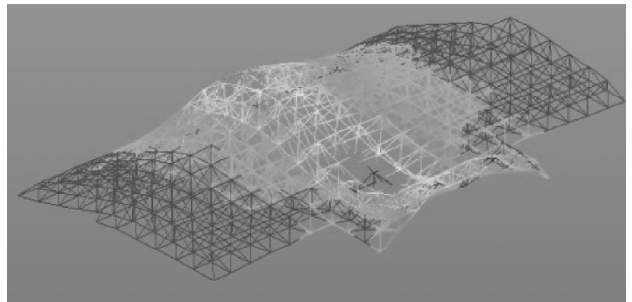


单体模型

(a)第一阶振型

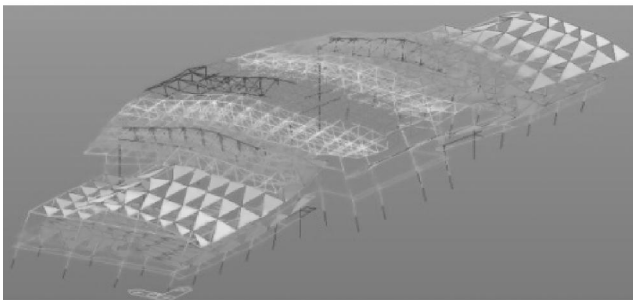


整体模型

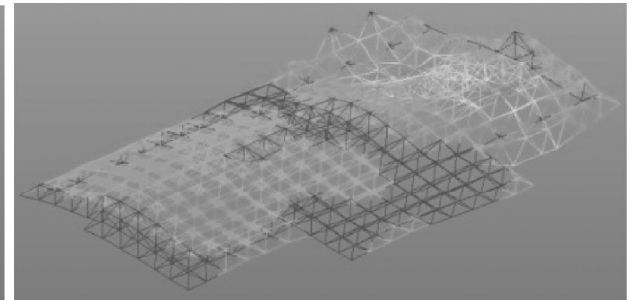


单体模型

(b)第二阶振型

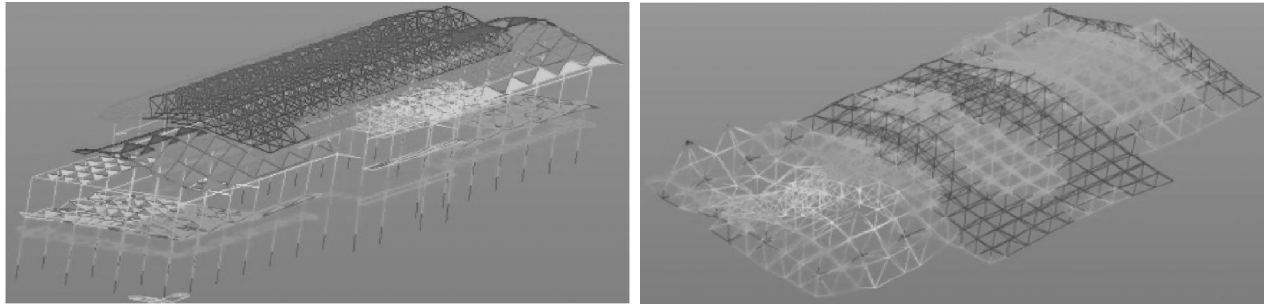


整体模型



单体模型

(c)第三阶振型



整体模型

单体模型

(d)第四阶振型

图 10 前四阶振型对比

4 地震反应谱分析

采用振型分解反应谱法进行地震作用分析,重力荷载代表值取 1.0 恒载+0.5 活载。在仅考虑地震作用下对比两种模型的节点位移和单元应力。从表 1 中可以看出在竖向地震作用下,整体模型得到的结果与单体模型得到的结果差别不大。但是在水平地震作

用下两者结果相差较大,单体模型得到的最大节点位移和最大杆件应力较整体模型偏小。这是因为上部钢结构高位支撑于下部混凝土结构,结构基底受到的地震作用传到上部钢结构将有较大的放大效应,钢结构置于高位时吸收的地震能量要远大于置于地面时吸收的能量,所以上部网架单体模型抗震设计具有较大的隐患。

表 1 地震作用下单元应力和节点位移对比

	最大杆件应力(MPa)		最大节点位移(mm)		
	整体模型	单体模型	整体模型	单体模型	
X 向地震	6.32	5.12	2.6	0.29	X
			0.18	0.08	Y
			0.24	0.14	Z
Y 向地震	18	5.73	1.12	0.04	X
			6.6	0.22	Y
			0.8	0.28	Z
Z 向地震	4.1	4.18	0.12	0.08	X
			0.35	0.23	Y
			0.83	1.2	Z

5 结论

对比整体模型和单体模型的静力特性发现,用整体模型分析得到的上部钢结构节点位移要明显大于单体模型,跨中节点位移差距最大。总装分析得到的钢结构杆件应力也大于单体分析。所以总装分析比单体分析偏安全。

上部钢结构单体模型的刚度要比带下部混凝土的整体模型刚度大,而且原来高阶的振型前移为低阶振型从而忽略了重要振型的作用,所以只用单体模型设计对结构动力分析有不利的影响。

上部钢结构高位支撑于下部混凝土结构,结构基底受到的地震作用传到上部钢结构将有较大的放大效

应,上部网架单体模型抗震设计具有较大的隐患。

总装分析能够考虑上下部结构的协调工作,能真实反应结构的受力特性,对结构的安全可靠、经济合理具有重要的意义。

参考文献

- [1] 尹思明,胡瀛珊,刘旭,等.某体育馆多次预应力钢网壳屋盖结构设计与研究[J].工业建筑,1998,28(7):16-19.
- [2] 傅学怡,杨想兵,高颖.济南奥体中心体育场结构设计[A].第七届全国现代结构工程学术会议论文集[C],2007:65-74.
- [3] 张毅刚,孔祥和.网架结构体系的水平抗震性能[J].工业建筑,1998,28(7):11-15.
- [4] 赵耀宗,蔡建国,王峰岚等.江苏溧水体育场结构方案设计与分析[J].空间结构,2010,16(4):67-73