

文章编号:1673-9469(2010)01-0012-04

棋盘形四角锥网架屋盖动力分析

朱恩静¹, 张亚鹏¹, 李伍恩²

(1. 河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038; 2. 河北荣盛集团, 河北 廊坊 065000)

摘要:利用有限元软件 SAP2000 对 64~96m 的 5 种不同跨度的棋盘形四角锥网架建模, 进行模态分析和力学性能分析, 得出了大跨度棋盘形四角锥网架的自振周期与网架的跨度及荷载等级有关。并且得出了在静荷载与竖向地震组合作用下内力分布规律, 上弦内力由四周拉力向中部压力过渡; 下弦内力最大值发生在 1/4 平面的中部; 腹杆内力在四周锥体内较大, 为设计和施工提供参考。

关键词:棋盘形四角锥网架; 模态分析; 时程分析; SAP2000

中图分类号: TU394

文献标识码: A

Dynamic analysis of the chessboard - shaped pyramid space grid

ZHU En-jing¹, ZHANG Ya-peng¹, LI Wu-en²

(1. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. RiseSun Construction Engineering Co. Ltd, Hebei Langfang 065000, China)

Abstract: By use of SAP2000, five kinds of chessboard - shaped pyramid space grid which span in 64~96 meters were made as examples for modeling, which were compared with the mechanical properties. The results show that the natural vibration period is related to span and load rating of the space grid. The internal force distribution regulation under the combination of static load and vertical earthquake were also decrypt-ed that the tension of upper chord was transited to the central pressure from surrounding; the maximum internal force of bottom chord occurred in the one force plane central; and the maximum internal forces of belly bars occurred in the surrounding pyramids, which was available for design and engineering project.

Key words: chess board - shaped pyramid space grid; modal analysis; time - history analysis; SAP2000

网架常采用平面桁架式和角锥体形式, 棋盘形四角锥网架是以倒置四角锥为组成单元, 受压上弦杆短, 受拉下弦杆长, 能充分发挥杆件截面的作用, 受力合理。尤其是当周边布置成满锥时, 结构刚度较好, 更有利于充分发挥网架结构的优越性^[1]。

在地震作用下, 网架结构也会受到不同程度损害。研究表明, 钢结构的震害特征主要有 3 种破坏形式: 节点连接破坏、杆件破坏和结构整体倒塌^[2-3]。钢网架结构很容易因局部杆件薄弱造成杆件失稳进而整个结构倒塌。

通常对正交正放类网架、正放四角锥网架的性能掌握的较为深入, 而对大跨度棋盘形四角锥

网架的研究还不够完善。本文利用有限元软件 SAP2000 对 64m~96m 跨度的棋盘形四角锥网架进行模态分析和时程分析, 找出其内力分布规律, 为此类网架设计和施工提供理论依据。

1 网架资料

网架平面尺寸见表 1, Q235 钢, 弹性模量 $E = 206 \text{ GPa}$, 密度 $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$, 泊松比 $\lambda = 0.3$ 。恒载标准值^[4] G_k 取前 3 级: 1 级为 0.30 kN/m^2 ; 2 级为 0.85 kN/m^2 ; 3 级为 2.10 kN/m^2 。活载标准值 $Q_k = 0.50 \text{ kN/m}^2$, 上弦四周铰接支撑。

表 1 网架模型尺寸
Tab.1 Size of space grids m

网架跨度	网格尺寸	网架高度
64×64	4×4	3.2
68×68	4×4	3.4
72×72	4×4	3.6
84×84	4.2×4.2	4.2
96×96	4.8×4.8	4.8

杆件截面:(1)上弦平面,周边边弦杆采用 $\phi 63 \times 3.5$,各边第 2、3 排杆件采用 $\phi 133 \times 6$,其余上弦杆采用 $\phi 152 \times 7$;(2)下弦平面,周边边弦杆采用 $\phi 63 \times 3.5$,各边与边弦相接的杆件采用 $\phi 114 \times 5$,其余上弦杆采用 $\phi 133 \times 6$;(3)腹杆,采用 $\phi 95 \times 4.5$ 。

2 模态分析

通过模态分析确定网架结构的自振周期和振型。按静力等效原则,将节点所辖区域内的荷载集中作用在该节点上^[5]。采用特征向量分析法确定振型和周期,每种网架各提取前 10 阶振型,并获取网架结构周期。5 种跨度网架的前 10 阶振型周期见表 2。

由表 2 可以看出,1 级荷载下,跨度每增加

4m,周期约增大 0.032s;2 级荷载下,每增加 4m,周期约增大 0.042s;而在 3 级荷载下,跨度每增加 4m,周期约增大 0.057s。可以明显看出,当荷载等级一定时,周期随跨度增加而增大。

对同种跨度的网架分别在 1、2、3 级荷载下基本周期进行比较。软件分析时将屋面荷载转化为各节点的附加质量。附加质量越大,结构的周期越大^[6-7],表 2 中各跨度网架均明显体现出这一规律。以 64m 跨度网架为例:1 级荷载下周期为 0.525s,2 级和 3 级荷载下分别为 0.683s、0.950s。因此可以得出,在相同跨度下,随着荷载等级增大,棋盘形四角锥网架基本周期呈增大规律。

3 ANSYS 模态分析对比

利用 ANSYS 在同条件下建模进行模态分析,利用子空间迭代法提取模型的振型及频率,与 SAP2000 进行对比。现列出 64m×64m、72m×72m 两种跨度网架在 2 级、3 级荷载下第一阶周期对比情况(表 3)。

由表可见,SAP2000 分析结果比 ANSYS 偏大,但相差不大,不超过 10%,并且 ANSYS 所得周期规律与 SAP2000 相同,即跨度相同时,荷载等级增加,周期增大;荷载等级相同时,跨度增大,周期增大。

表 2 五种跨度网架不同荷载等级下前 10 阶振型周期表
Tab.2 Top 10 step vibration period of 5 kinds of span under different load

荷载等级	跨度/m	各阶振型周期/s									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	64×64	0.525	0.268	0.268	0.186	0.156	0.155	0.129	0.129	0.106	0.106
	68×68	0.557	0.284	0.284	0.197	0.165	0.164	0.136	0.136	0.112	0.112
	72×72	0.589	0.300	0.300	0.208	0.174	0.173	0.143	0.143	0.118	0.118
	84×84	0.702	0.356	0.356	0.245	0.205	0.204	0.168	0.168	0.138	0.138
	96×96	0.838	0.426	0.426	0.295	0.247	0.245	0.203	0.203	0.167	0.167
2	64×64	0.683	0.349	0.349	0.243	0.204	0.202	0.168	0.168	0.139	0.139
	68×68	0.725	0.370	0.370	0.257	0.215	0.214	0.177	0.177	0.146	0.146
	72×72	0.766	0.391	0.390	0.271	0.227	0.225	0.187	0.187	0.154	0.154
	84×84	0.947	0.480	0.480	0.331	0.277	0.275	0.227	0.227	0.187	0.187
	96×96	0.949	0.483	0.483	0.334	0.279	0.278	0.230	0.230	0.189	0.189
3	64×64	0.950	0.486	0.486	0.338	0.284	0.281	0.234	0.234	0.193	0.193
	68×68	1.007	0.514	0.514	0.357	0.299	0.297	0.247	0.247	0.204	0.204
	72×72	1.064	0.542	0.542	0.376	0.315	0.312	0.259	0.259	0.214	0.214
	84×84	1.311	0.665	0.665	0.459	0.384	0.381	0.314	0.314	0.259	0.259
	96×96	1.539	0.783	0.783	0.543	0.453	0.451	0.373	0.373	0.308	0.308

表 3 64m、72m 跨度网架基本周期表

Tab.3 Vibration period of 64m and 72m span

	2 级荷载下		3 级荷载下	
	64 × 64	72 × 72	64 × 64	72 × 72
SAP2000	0.683	0.766	0.950	1.064
ANSYS	0.668	0.723	0.935	1.036
差值	2.25%	5.95%	1.6%	2.7%

注:差值栏中的数据是 SAP2000 的结果比 ANSYS 的增大百分率。

4 网架动力分析

对 5 种棋盘形四角锥网架在静荷载与竖向地震组合作用下的内力分布进行了研究,图 1 中给出 64m 跨度网架在 2 类屋面荷载作用下的 1/4 部分上弦杆件静内力分布,以及 II 类场地、设防烈度为 8 度,场地特征周期 $T_g = 0.35s$,竖向天津波(地震加速度 $\alpha_{max} = 0.3g$,时间间隔 $\Delta t = 0.02s$,结构阻尼比 $\zeta = 0.02$)作用下的内力分布情况。

4.1 上弦内力分布

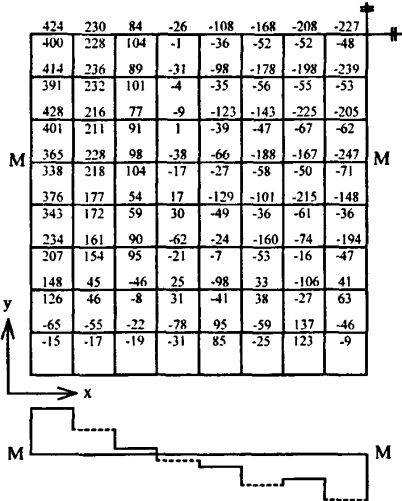


图1 1/4网架上弦内力分布图

Fig.1 Internal force distribution of upside bars in the 1/4 pyramid space grid

图 1 中杆件上侧是静内力,下侧是动内力,对比可见棋盘形四角锥网架在竖向地震作用下内力分布与静力作用时相似。对于上弦而言,不论是静力还是竖向地震作用下,轴力较大杆件的位置主要集中在网架四周靠近各边跨中央的位置,由四周的拉力向平面中心的压力过渡,隔跨呈明显

递减规律。图 1 以 M - M 位置上的杆件为例,用梯形图来表示杆件内力大小,由虚实两种线型表示隔跨杆件,明显看出由四周向中部隔跨递减的规律。

4.2 下弦内力分布

对于下弦平面,因存在以对角线为轴的对称性,故取 1/4 下弦平面(图 2),分别用 ① ~ ⑦ 及 I ~ VII 编号示意下弦杆件所在位置, A、B 为下弦平面的两个相邻角点,OA 和 OB 为对角线,编号 1 ~ 23 # 示意部分下弦杆件。

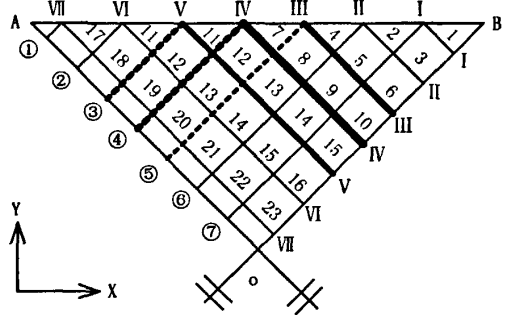


图2 1/4下弦平面杆件示意图

Fig.2 Schematic diagram of the bottom bars in one quarter plane

1 ~ 10 # 杆件在地震作用下的内力值见表 4。由图 2 和表 4 得,平行于 OA 的杆件,越靠近 OB 内力越大。其中以 IV - IV 位置上的 10 # 杆件内力最大(图中用线的粗细来表示杆件内力的大小,取内力最大的三个位置来示意),并向 OB 两端方向的杆件递减,各杆件大小依次为 10 # > 6 # > 15 # > 3 # > 16 # > 23 # > 1 #。沿 OA 方向也存在相似分布规律(虚线粗细表示内力大小),其中 ④ ~ IV 位置上靠近 OA 的杆件内力最大。可见内力最大值并非出现在平面中部,而是出现在 1/4 平面中部,并以对角线为轴对称分布。

表 4 1 ~ 10 # 下弦杆件最大动内力

Tab. 4 Maximum internal force of 1 ~ 10 # bottom bars

编号	1			
内力/kN	390			
编号	2	3		
内力/kN	431	593		
编号	4	5	6	
内力/kN	363	578	681	
编号	7	8	9	10
内力/kN	238	461	612	684

4.3 腹杆内力分布

对于腹杆,拉压均存在,受力适中。取网架一角连续五跨范围内的腹杆为例(图3),横线上为杆件静内力,横线下为最大动内力。

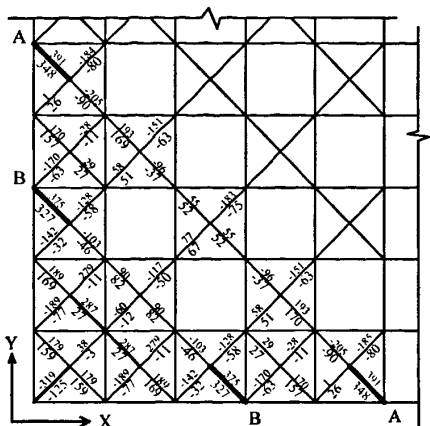


图3 五跨腹杆内力分布图

Fig.3 Internal force distribution of 5-span interlayer bars

A-A和B-B位置上,两端四角锥内腹杆内力比中间四角锥内的偏大,图中已用粗线表示内力较大杆件位置。沿轴的腹杆内力由两端向中间递减,且沿垂直轴方向的对角线对称分布。由前面下弦内力分布可知,A-A位置上杆件内力比B-B大,由此可以得出,下弦杆件内力越大,杆件所在轴两端的四角锥内腹杆内力越大。

5 结论

(上接第3页)结果与理论分析对比证明,采用SAP2000进行张弦梁的分析是可行的。

2)初始预应力在降低上弦正弯矩的同时,也会增大上弦负弯矩,所以初始预应力虽然能改善结构的受力性能,但是其取值不宜过大。

3)初始预应力值的大小对结构的挠度和支座位移的影响较小,说明预应力对结构整体刚度的贡献很小,所以施加预应力的主要作用是使结构形成一个整体共同受力。

参考文献:

- [1] 丁博涵. 张弦梁结构的静力、抗震和抗风性能研究[D]. 杭州:浙江大学, 2005.
- [2] 白正仙, 刘锡良, 李义生. 单榀张弦梁结构各因数的

1)大跨度棋盘形四角锥网架基本周期受荷载等级、跨度影响,当只改变其一个因素时,周期随其增大而呈增大趋势。

2)通过对棋盘形四角锥网架的模式分析和时程分析对比,SAP2000的分析结果比ANSYS偏大;但相差不大,且都呈现相同的变化规律。

3)棋盘形四角锥网架无论是在静荷载还是在竖向地震作用下,上弦平面内力分布规律清晰,由四周的拉力向中间压力过渡,隔跨杆件呈明显递变规律;下弦内力分布则比较复杂,在1/4平面的中部为大;腹杆受下弦影响,下弦内力较大杆件所在轴两端的锥体内腹杆内力较大。

参考文献:

- [1] 网架结构设计手册编写委员会. 网架结构设计手册(实例与图集)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1998.
- [2] 李国强, 陈素文. 从汶川地震灾害看钢结构在地震区的应用[J]. 建筑钢结构进展, 2008(4): 1-8.
- [3] 田黔, 孟文清, 赵鹏燕. 焊接空心球网架节点的质量控制[J]. 河北建筑科技学院学报, 2003, 6(2): 52-54.
- [4] 白那. 正放四角锥网架屋盖的固有振动与竖向地震作用研究[D]. 大庆:大庆石油学院, 2004.
- [5] 彭俊生, 罗永坤, 彭地. 结构动力学、抗震计算与SAP2000应用[M]. 成都:西南交通大学出版社, 2006.
- [6] JGJ7-91. 网架结构设计与施工规程[S].
- [7] 网架结构设计与施工规程编写组. 网架结构设计与施工(规程应用指南)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1995.

(责任编辑 马立)

影响分析[J]. 钢结构, 2001, 16(3): 42-46.

- [3] 黄明鑫. 大型张弦梁结构的设计与施工[M]. 济南:山东科学技术出版社, 2005.
- [4] 陈佩. 预应力张弦拱结构的理论分析和受力性能研究[D]. 杭州:浙江大学, 2001.
- [5] 董石麟, 罗尧治, 赵阳, 等. 新型空间结构分析、设计与施工[M]. 北京:人民交通出版社, 2006.
- [6] 许曙东, 张开臣. SAP2000软件在预应力空间索结构设计分析中的应用[C]. 第一届金土木结构软件全国用户大会会议论文集, 2008: 199-202.
- [7] 史三元, 景晓昆. 冷弯薄壁型钢轴心受压构件局部屈曲后强度分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2008, 25(3): 1-3.

(责任编辑 马立)

作者: 朱恩静, 张亚鹏, 李伍恩, ZHU En-jing, ZHANG Ya-peng, LI Wu-en
作者单位: 朱恩静, 张亚鹏, ZHU En-jing, ZHANG Ya-peng(河北工程大学土木工程学院, 河北, 邯郸, 056038), 李伍恩, LI Wu-en(河北荣盛集团, 河北, 廊坊, 065000)
刊名: 河北工程大学学报(自然科学版) 
英文刊名: JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING (NATURAL SCIENCE EDITION)
年, 卷(期): 2010, 27(1)

参考文献(7条)

1. 《网架结构设计手册》编辑委员会 网架结构设计手册(实例与图集) 1998
2. 李国强;陈素文 从汶川地震灾害看钢结构在震区的应用[期刊论文]-建筑钢结构进展 2008(04)
3. 田黔;孟文清;赵鹏燕 焊接空心球网架节点的质量控制[期刊论文]-河北建筑科技学院学报 2003(02)
4. 白那 正放四角锥网架屋盖的固有振动与竖向地震作用研究[学位论文] 2004
5. 彭俊生;罗永坤;彭地 结构动力学、抗震计算与SAP2000应用 2006
6. JGJ 7-1991. 网架结构与施工规程
7. 网架结构与施工规程编写组 网架结构与施工(规程应用指南) 1995

本文读者也读过(10条)

1. 毛静, 王付松, 宁香灵 浅谈螺栓球网架屋盖施工技术[期刊论文]-南北桥2009(8)
2. 贾乃文, 汤顺波 三向六边形网架的弹塑性变分解[期刊论文]-空间结构2001, 7(2)
3. 秦乃兵, 吴金志, 张毅刚, QIN Nai-bing, WU Jin-zhi, ZHANG Yi-Gang 大跨度开合网格结构的动力相互作用分析[期刊论文]-工程建设与设计2005(12)
4. 吕森, LV Sen 建行浦东培训中心综合楼结构设计[期刊论文]-上海建设科技2010(4)
5. 刘晖, 瞿伟廉, 王雪亮, 王锦文, LIU Hui, QU Wei-lian, WANG Xue-liang, WANG Jing-wen 大跨度大型复杂体型网架结构的风效应分析[期刊论文]-武汉理工大学学报2007, 29(2)
6. 徐昶荻, 俞建国, 俞洪春, Xu Changdi, Yu Jianguo, Yu Hongchun 螺栓球节点网架屋盖在海外体育场工程中的应用[期刊论文]-建筑施工2007, 29(8)
7. 郑勇 某网架屋盖厂房的结构设计分析[期刊论文]-山西冶金2010, 33(1)
8. 李星 大跨度屋盖管桁架结构在地震作用下的振动控制[学位论文]2008
9. 司波, 秦杰, 张然, 沈斌, 黄明鑫, Si Bo, Qin Jie, Zhang Ran, Shen Bin, Huang Mingxin 正六边形平面弦支穹顶结构施工技术[期刊论文]-施工技术2008, 37(4)
10. 曹国峰, 陆余年, 姚念亮 黄山体育馆屋盖网壳静动力分析[期刊论文]-空间结构2004, 10(1)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb201001004.aspx