

空间平板网架结构的模态分析

金鹏程¹ 许长秋² 刘刚¹

1 江苏河海建设有限公司, 江苏 镇江 212000

2 新兴际华资产经营管理有限公司, 北京 100000

[摘要] 文章主要基于大跨度平板网架模型, 对其模态进行了分析, 旨在指出每阶模态对应的固有频率, 以便在地震、风荷载或其他动力荷载作用时, 有针对性地对结构进行防护。分析了在不同杆件截面面积和密度条件下大跨度平板网架结构的前六阶模态及其对应的固有频率的情况, 发现模架固有频率在 6HZ 以下, 为模架的动态设计提供了依据。

[关键词] 空间平板; 网架结构; 模态分析

DOI: 10.33142/hst.v6i10.10566

中图分类号: TU356

文献标识码: A

Modal Analysis of Spatial Flat Grid Structures

JIN Pengcheng¹, XU Changqiu², LIU Gang¹

1 Jiangsu Hehai Jianshe Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China

2 Xinxing Cathay Asset Management Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract: The article mainly analyzes the modes of large-span flat plate truss models, aiming to point out the natural frequencies corresponding to each mode, in order to provide targeted protection for the structure under earthquake, wind load or other dynamic loads. An analysis was conducted on the first six modes and their corresponding natural frequencies of large-span flat grid structures under different cross-sectional areas and densities of members. It was found that the natural frequencies of the formwork were below 6Hz, providing a basis for the dynamic design of the formwork.

Keywords: space tablet; grid structure; modal analysis

1 杆件密度变化对模态的影响

杆的密度变化时前六阶模态对应的固有频率如表 1 所示。

表 1 杆的不同密度对应的前六阶固有频率

杆的密度 ($\text{kg}/\text{m}^3 \times 10^{-3}$)	1	2	3	4	5	6
7.0	2.7211	6.0237	6.0237	8.4741	12.601	12.677
7.2	2.6831	5.9395	5.9395	8.3555	12.424	12.499
7.4	2.6466	5.8587	5.8587	8.2418	12.255	12.329
7.6	2.6115	5.7811	5.7811	8.1327	12.093	12.166
7.8	2.5778	5.7065	5.7065	8.0277	11.937	12.009
8.0	2.5454	5.6347	5.6347	7.9267	11.787	11.858
8.2	2.5141	5.5655	5.5655	7.8295	11.642	11.712
8.4	2.4840	5.4989	5.4989	7.7357	11.503	11.572
8.6	2.4550	5.4346	5.4346	7.6452	11.368	11.437
8.8	2.4269	5.3725	5.3725	7.5579	11.238	11.306

前六阶固有频率随着杆的密度的变化而变化的折线图如图 1-6 所示。

由图 1 可知, 随着杆的密度的增加第一阶固有频率在逐渐变小, 呈下降趋势, 但是频率的范围在 2.4Hz~2.75Hz 之间, 总体变化不大。

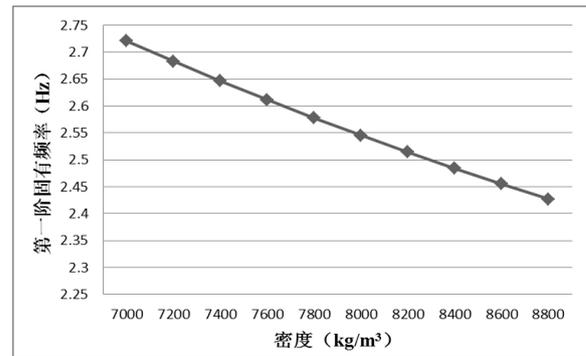


图 1 第一阶固有频率随着杆的密度的变化图

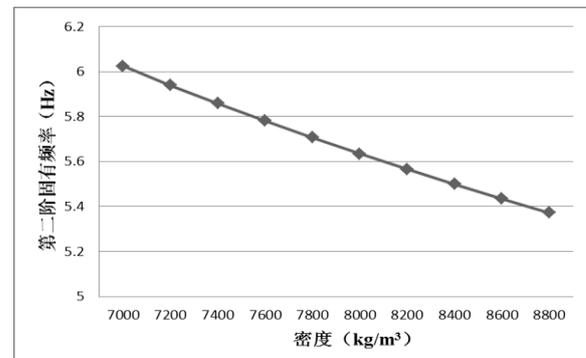


图 2 第二阶固有频率随着杆的密度的变化图

由图 2 可知, 随着杆的密度的增加第二阶固有频率在

逐渐变小，呈下降趋势，但是频率的变化范围在 5.2Hz~6.2Hz 之间，总体变化不大，相比于第一阶固有频率的变化变大了，并且频率变大了。

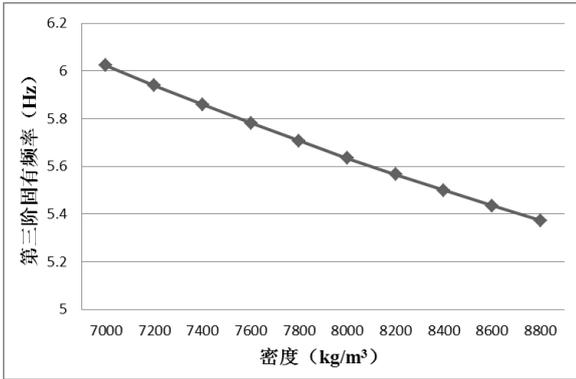


图3 第三阶固有频率随着杆的密度的变化图

由图3可知，第三阶固有频率的数值同第二阶的相同，因此变化趋势也是一样的。

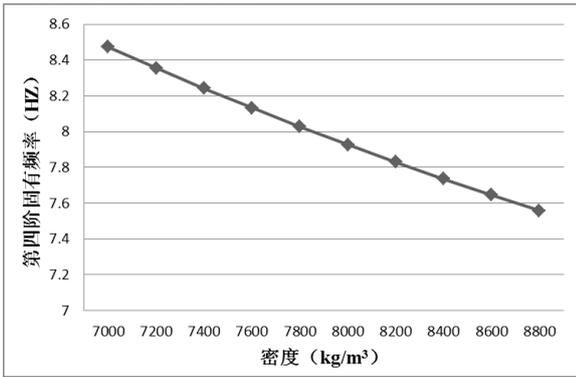


图4 第四阶固有频率随着杆的密度的变化图

由图4可知，随着杆的密度的增加第四阶固有频率在逐渐变小，呈下降趋势，但是频率的变化范围在 7.4Hz~8.6Hz 之间，总体变化不大，相比于第三阶固有频率的数值频率变大了。

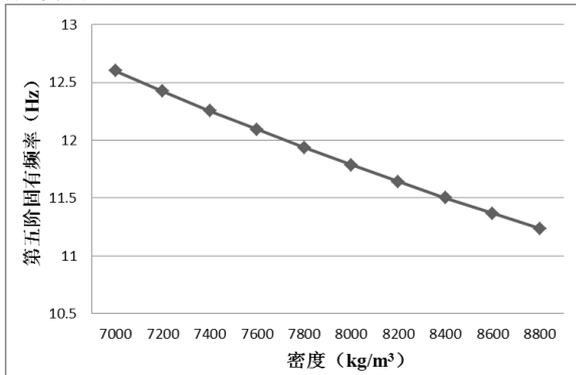


图5 第五阶固有频率随着杆的密度的变化图

由图5可知，随着杆的密度的增加第五阶固有频率在逐渐变小，呈下降趋势，但是频率的变化范围在 11Hz~12.7Hz 之间，变化不大，相比于前几阶固有频率变化范围变大了，并且在数值上也变大了。

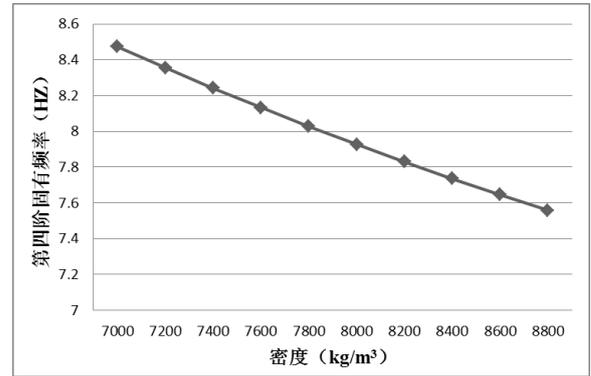


图6 第六阶固有频率随着杆的密度的变化图

由图6可知，随着杆的密度的增加第六阶固有频率在逐渐变小，呈下降趋势，但是频率的变化范围在 11Hz~13Hz 之间，总体变化不大，相比于前几阶固有频率变化范围变大了，并且在数值上也变大了。

通过对前六阶固有频率随着杆的密度的变化而变化的图的分析不难发现，每一阶的频率变化都是随着杆的密度的增加而减小，呈下降趋势。除了第二阶和第三阶的固有频率一样之外，其他的都是在相同的密度情况下随着阶数的增加固有频率在不断增加，并且每一阶的频率变化范围也随着阶数的增加而变大。这说明固有频率的变化和杆的密度有关，并且随着密度的增加而减小。

2 杆的横截面面积对模态的影响

杆的横截面面积变化时前六阶模态所对应的固有频率表如表2所示。

表2 杆的不同横截面面积对应的前六阶固有频率

杆的横截面面积 (m²)	模态的阶次					
	1	2	3	4	5	6
4.91E-4	2.5778	5.7065	5.7065	8.0277	11.937	12.009
9.82E-4	2.5778	5.7065	5.7065	8.0277	11.937	12.009
1.473E-3	2.5778	5.7065	5.7065	8.0277	11.937	12.009
1.964E-3	2.5778	5.7065	5.7065	8.0277	11.937	12.009
2.455E-3	2.5778	5.7065	5.7065	8.0277	11.937	12.009

由表可知，在改变杆的横截面面积时，各阶的固有频率未发生变化，这说明结构的固有频率的改变和杆的横截面面积无关。

3 结构的上下弦平面之间的距离变化对模态的影响

结构的上下弦平面之间的距离变化时前六阶模态所对应的固有频率表如表3所示。

表3 不同上下弦平面之间的距离对应的前六阶固有频率

上下弦平面之间的距离 (m)	模态的阶次					
	1	2	3	4	5	6
2.0	1.9454	4.3669	4.3669	6.2262	9.1538	9.2325
2.4	2.2722	5.0692	5.0692	7.1383	10.623	10.700

上下弦平面之 间的距离 (m)	模式的阶次					
	1	2	3	4	5	6
2.8	2.5778	5.7065	5.7065	8.0277	11.937	12.009
3.2	2.8634	6.2802	6.2802	8.7592	13.093	13.159
3.6	3.1302	6.7925	6.7925	9.3811	14.093	14.152

前六阶固有频率随着结构的上下弦平面之间的距离变化而变化的折线图如图 7-12 所示。

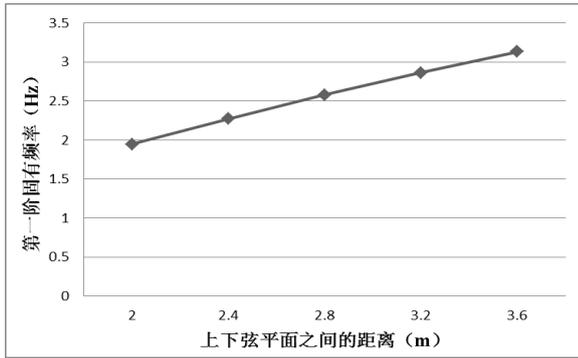


图 7 第一阶固有频率随着结构的上下弦平面之间的距离变化图

由图 7 可知,随着结构的上下弦平面之间的距离的增加第一阶固有频率在逐渐增大,呈上升趋势,但是频率的变化范围在 1.5Hz~3.5Hz 之间,处于低频阶段。

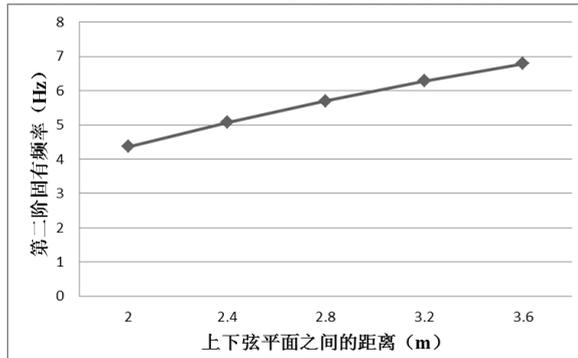


图 8 第二阶固有频率随着结构的上下弦平面之间的距离变化图

由图 8 可知,随着结构的上下弦平面之间的距离的增加第二阶固有频率在逐渐增大,呈上升趋势,但是频率的变化范围在 4Hz~7Hz 之间,总体变化不大,但是相比于第一阶的固有频率在数值上有所增加。

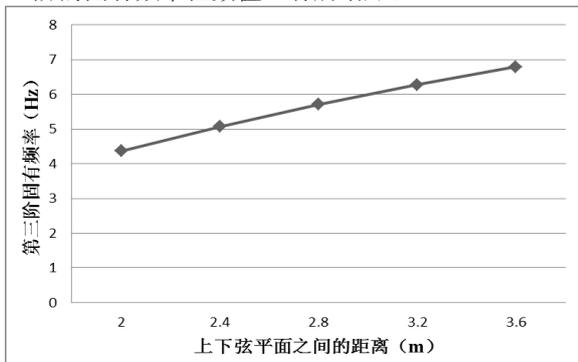


图 9 第三阶固有频率随着结构的上下弦平面之间的距离变化图

由图 9 可知,随着结构的上下弦平面之间的距离的增加第三阶固有频率在逐渐增大,呈上升趋势,和第二阶一样。

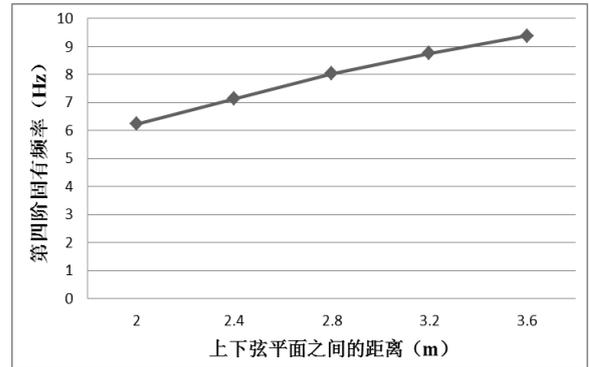


图 10 第四阶固有频率随着结构的上下弦平面之间的距离变化图

由图 1-10 可知,随着结构的上下弦平面之间的距离的增加第四阶固有频率在逐渐增大,呈上升趋势,频率的变化范围在 6Hz~10Hz 之间,变化范围有所增加。

由图 11 可知,随着结构的上下弦平面之间的距离的增加第五阶固有频率在逐渐增大,呈上升趋势,频率的变化范围在 8Hz~15Hz 之间,变化范围又变大了。

由图 12 可知,随着结构的上下弦平面之间的距离的增加第六阶固有频率在逐渐增大,呈上升趋势,频率的变化范围在 8Hz~15Hz 之间,总体变化和第五阶差不多。

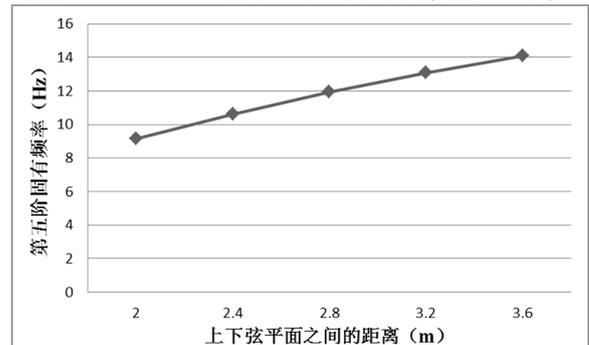


图 11 第五阶固有频率随着结构的上下弦平面之间的距离变化图

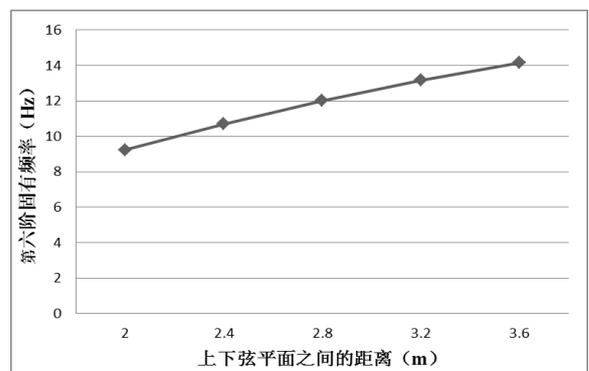


图 12 第六阶固有频率随着结构的上下弦平面之间的距离变化图

通过对前六阶固有频率随着结构的上下弦平面之间的距离的变化而变化的图的分析不难发现,每一阶的频率变化都是随着杆的密度的增加而增加,呈上升趋势。除了第二阶

和第三阶的固有频率一样之外,其他的都是在相同的结构的上下弦平面之间的距离情况下随着阶数的增加固有频率在不断增加,并且每一阶的频率变化范围也随着阶数的增加而变大。这说明固有频率的变化和结构的上下弦平面之间的距离有关,并且随着结构的上下弦平面之间的距离的增加而增大。

4 各阶模态图

本论文在下面列出了当杆的横截面积为 $1.964 \times 10^{-3} \text{m}^2$, 密度为 $7.8 \times 10^3 \text{kg/m}^3$, 上下弦平面之间的距离为 2.8m 时的前六阶模态振型,各阶模态振型分别如图 13-18 所示:由图可以看出,结构的偶数阶模态为反对称,奇数阶模态为正对称。且由偶数阶模态的变形图可以看出,最大变形发生在反对称中心点处,而奇数阶模态的变形图,最大变形发生在正对称轴线上。这对结构在各阶模态下的变形分析具有重要意义。

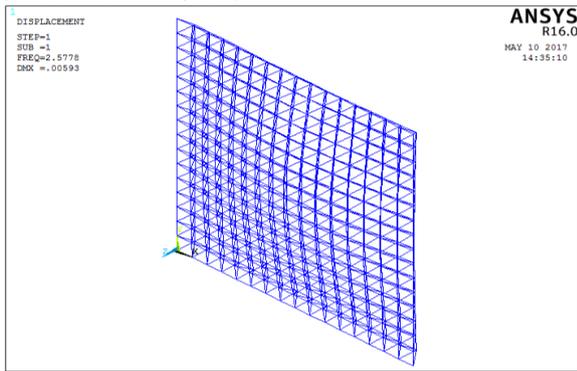


图 13 第一阶模态图

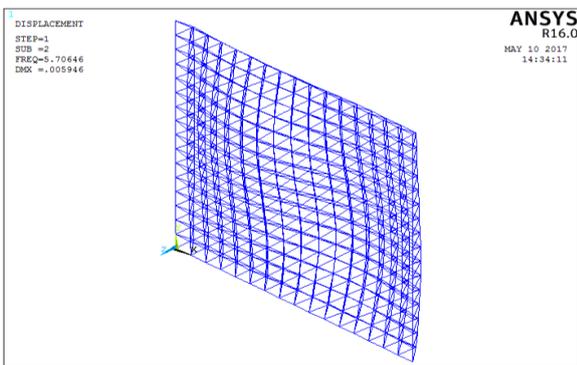


图 14 第二阶模态图

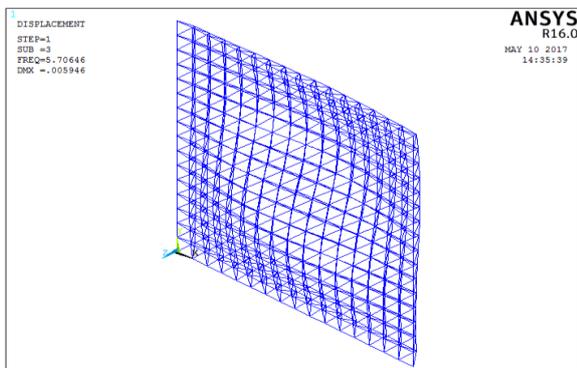


图 15 第三阶模态图

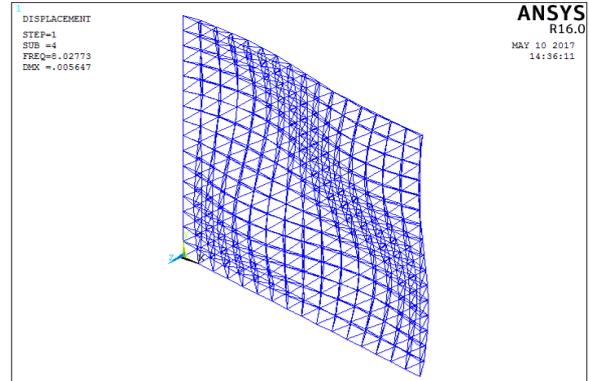


图 16 第四阶模态图

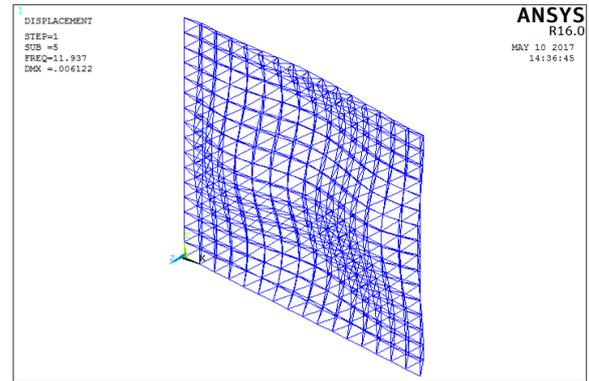


图 17 第五阶模态图

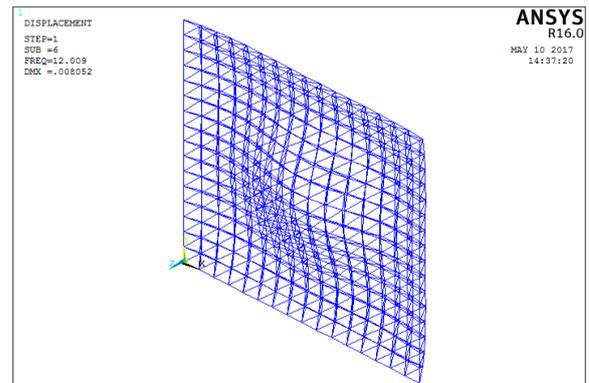


图 18 第六阶模态图

由网架的前六阶模态可以看出,随着模态数的增加,网架的固有频率和最大位移也在不断增加,说明,模态数越多,对结构越不利。由于空间网架结构的各向刚度均比较大,高阶模态发生的概率极小,因此只对低阶模态进行分析比较符合实际情况。前三阶模态,结构只出现了一个波峰,而四到六阶模态,出现了两个波峰,在实际情况下,由于平面网架结构一般为矩形,横向尺寸和纵向尺寸相差不是很大,因此出现两个波峰的情况几乎是不可能的。这样对于空间网架结构,只有前三阶模态是有研究价值的。第三阶模态的固有频率为 5.70646Hz,因此,在对网架进行动力荷载作用下的模态分析时,只需对 6Hz 以下的小频率情况进行分析。

5 结论

本文主要对空间网架结构的模态进行了分析。首先对网架的固有频率进行了分析,并讨论了杆件的密度、横截面积和长度对固有频率的影响,得到如下结论:

(1) 除了第二阶和第三阶的固有频率一样之外,其他阶数的模态都是在相同的密度情况下随着阶数的增加固有频率在不断增加,并且每一阶的频率变化范围也随着阶数的增加而变大。

(2) 在改变杆的横截面积时,各阶的固有频率未发生变化,这说明结构的固有频率的改变和杆的横截面积无关。

(3) 固有频率的变化和结构的上下弦平面之间的距离有关,并且随着结构的上下弦平面之间的距离的增加而增大。

[参考文献]

[1]张士辉.网架结构的连续性倒塌分析[D].河北:河北大学,2015.

[2]Adrian Olaru.Modification of Space Truss Vibration Using Piezoelectric Actuator[J].Applied Mechanics and Materials,2015(811):246-252.

[3]C.V.Camp.Design of space trusses using modified teaching-learning based optimization[J].Engineering Structures,2014,5(62):87-97.

[4]白凤龙,李宏男.地震动多点激励下空间网架结构的反应分析[J].工程力学,2010(7):67-73.

作者简介:金鹏程(1982.2—),男,中共党员,建筑工程高级工程师,项目经理,江苏河海建设有限公司安全科科长。