

文章编号: 1673- 9620 (2008) 03- 0036- 03

# 华药集团厂房框架结构楼面振动有限元分析<sup>\*</sup>

李美娟<sup>1</sup>, 封金财<sup>1</sup>, 李 珠<sup>2</sup>

(1 江苏工业学院 环境与安全工程学院, 江苏 常州 213164; 2 太原理工大学 建筑与土木工程学院, 山西 太原 030024)

**摘要:** 利用有限元软件对华药集团厂房结构进行了有限元建模并进行了模态分析, 得出了厂房的自振频率。在此基础上对厂房进行了谐响应分析, 得出了厂房楼面振动的原因主要是由于荷载增加, 而不是由于结构与动力设备共振。

**关键词:** 振动; 有限元; 模态分析; 谐响应分析

中图分类号: TU 311.3

文献标识码: A

## Floor Broad Vibration Finite Element Analysis for Frame Structure of the Factory Building of North China Pharmaceutical Group

LI Mei-juan<sup>1</sup>, FENG Jin- cai<sup>1</sup>, LI Zhu<sup>2</sup>

(1. School of Environmental and Safety Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China; College of Civil and Architecture Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** The finite element model and modal analysis is performed about the industry premise of North China Pharmaceutical Group by finite element procedure software. The frequency of vibration of the factory building is derived. Harmonic response analysis is made. A conclusion of vibration causes of the factory building ground is presented. The chief cause of vibration is not resonance of the equipment and the structure but the increment of load.

**Key words:** vibration; finite element; modal analysis; harmonic response

### 1 工程概况

华药集团厂房为多层厂房, 自 1997 年投产期间增加设备进行过数次加固, 现又引进 5 台强外循环设备, 其设备及动力电动机放在 7 m 标高处。仅安装投入了两台设备后, 楼地面上出现了轻微的振动, 操作间及办公室的办公桌上的电脑有轻微的晃动, 生产人员反映在厂房内操作有很大的不安全感。为了建筑物的使用安全及控制振动对人体健康和厂房结构的不利影响, 厂方领导高度重视, 要求

查找振动原因及采取减振措施。

#### 1.1 较大振幅产生的原因分析<sup>[1]</sup>

引起振幅较大的原因可能有以下几个方面: 一是增加了静荷载, 即增加的 5 台强外循环设备及相应的电动机, 其中每跨一台强制外循环设备, 其放置在钢架上, 钢架直接支撑在楼板上, 结构每跨 60 t。与此强制外循环设备相邻的 4 跨上有 8 台结晶罐, 每跨两台, 包括钢架结构每跨 40 t。原真空泵房有浓储液罐 6 台自重加料液共 108 t, 甲醇罐 4

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007- 05- 16

作者简介: 李美娟 (1977- ), 女, 山西万荣人, 助教, 工学硕士。

台计算罐自重共 32 t, 所以此次二层共计增加了静荷载 600 t。以前虽然由于增加设备对厂房进行了数次加固但这次增加的荷载可能还是超过结构的承载能力。二是增加了动荷载, 其中动力设备电动机放在混凝土块体基础上, 而块体又直接坐落在框架的楼板上。电动机的振动引起了楼板的振动, 间接引起了柱、次梁及楼板的振动, 振动的传递在某些部位被放大。三是电动机在运转的过程中其平稳转动的频率和结构的某阶频率比较接近, 可能与结构发生了共振<sup>[2]</sup>。图 1 为二层平面结构图。

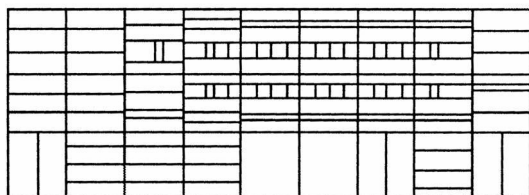


图 1 二层 7 m 标高结构平面图

Fig 1 The structure plan of second story in 7 meter elevation

## 2 有限元动力分析

### 2.1 有限元建模

运用有限元软件进行建模。结构具有不同程度的整体性, 不同固有频率对应不同的振型, 因此不能按单根梁或楼板来考虑, 而应整体建模。虽然在厂房中有很多的质量设备和砌体建筑物, 这些质量块对于楼面的实际振动有一定的影响, 但对于结构的整体动力特性而言, 这些质量块所提供的质量阻尼相对于结构的刚度阻尼仅占有很小的份额, 所以在建模时将其略去。

结构整体标高 21 m (整体 2 层, 局部 3 层), 结构形式为现浇钢筋混凝土框架结构。结构纵向为 9 跨每跨 6 m, 横向为 3 跨两端跨为 7 米中间跨为 6 m。建模时单元类型采用 3 种, 梁柱单元采用 12 节点空间梁单元 beam4, 板单元采用 shell63, 振动设备采用 3 维质量单元 mass21。其中板单元 6 648 个, 梁单元 3 501 个, 质量单元 5 个, 混凝土采用线弹性模型, 混凝土的弹性模量为 25.5 GPa, 泊松比采用 0.2。 $x$  和  $z$  为水平方向,  $y$  为竖向方向。图 2 给出结构的纵向剖面图, 图 3 给出了结构的横向剖面图。

### 2.2 模态分析<sup>[3]</sup>

频率和模态是结构非常重要的参数, 通过模态分析得出了结构的频率和模态。同时模态分析是谐

响应分析的基础, 电动机的转动频率 900 r/min (即 15 Hz), 谐响应分析所选的频率要覆盖振动频率 (即 15 Hz) 的范围, 所以在分析中选用了分块 Lanczos 法, 提取了结构的 126 阶模态, 根据模态参与系数表得出了结构在 3 个  $x$  方向的主要模态是第 2、4、8 阶, 在  $z$  方向的主要模态为第 1、3、5、11 阶, 在竖直  $y$  方向的主要模态主要为第 16、27、31、33。第 1 阶到第 3 阶主要表现为整体模态, 即依次为横向水平、纵向水平、整体扭转模态, 频率为 0.94、0.96、1.12 Hz。第 4~34 阶主要表现为局部横向、局部纵向、局部扭转及局部垂直的模态, 频率从 1.92 Hz 到 8.52 Hz。第 35~126 阶主要表现为局部垂直的模态, 频率从 8.56 Hz 到 15.19 Hz。

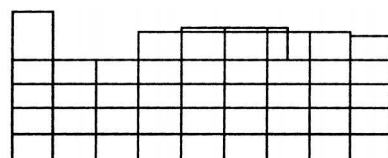


图 2 结构的纵向剖面图

Fig 2 The lengthways cross section of the structure

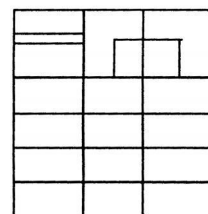


图 3 结构的横向剖面图

Fig 3 The horizontal cross section

### 2.3 谐响应分析<sup>[4]</sup>

选用 ANSYS 软件动力计算模块进行分析计算。由于厂房内结构复杂, 并且有较多的设备管道操作室等附属物, 精确模拟原型非常困难。本着结构计算模型能反映原型振动特性的原则, 对结构较为复杂的部位进行了简化: 将结构上的振源电动机简化为一质点, 其他小型设备忽略; 忽略底层墙体对结构整体刚度的增强作用。

谐响应分析中, 分别对不同的荷载工况进行了分析。所谓荷载工况是指结构分析中模型承受不同的荷载条件, 开动不同数量不同位置的动力机器时模型承受的荷载条件不同其结构的响应也不同, 进行荷载工况分析目的就是分析在不同荷载条件下的结构的响应。以下把不同动力机器开动时的工况和对应的动力机器编号对应起来。一台机器开动时有五种工况, 分别为开动 1 号机器、2 号机器、3 号

机器、4 号机器、5 号机器, 分别对不同工况下进行了计算分析, 通过 post1 后处理, 找出了结构发生最大位移幅值的频率在 11 Hz 以及在此频率下产生最大位移的节点位置和相应的位移幅值。其中在工况 5 时, 结构响应最大, 结构位移幅值响应最大达到了 0.11 mm, 工况 2 时, 结构的位移幅值响应达到了 0.08 mm。图 4 列出了工况 5 结构中位移幅值最大时的位移幅值 频率的时程曲线。通过分析发现开动一台机器时位移幅值最大的频率点在 11 Hz。通过节点位移幅值大小的排序, 发现位移幅值较大的节点主要发生在竖向标高 7 m 的楼面, 即二层楼面上。

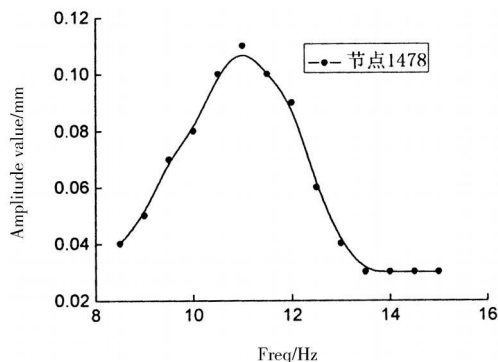


图 4 工况 5 时结构中节点的位移幅值- 频率时程曲线

Fig 4 The displacement versus frequency of vibration node in load case 5

两台机器开动时有 10 种工况组合, 分别对不同工况进行了计算分析。通过 post1 的后处理, 得出了位移幅值较大的工况, 分别是工况 13、工况 24、工况 34、工况 45, 其中工况 24 位移幅值响应最大为 0.22 mm, 位移幅值最大时对应的频率为 11 Hz。图 5 列出了两工况的结构中位移最大节点的位移幅值 频率的时程曲线, 从图中也可以发现二台机器开动时位移幅值最大的点在 11 Hz。

通过对节点位移幅值大小的排序处理, 发现位移较大的节点也是主要发生在竖向标高 7 m 的楼板上, 即 2 层楼面上。当 3 台机器开动时, 有 10 种工况组合, 位移幅值较大的工况有 124 和 125, 结构位移幅值最大时的对应的频率也是 11 Hz, 工况 124 最大位移幅值为 0.10 mm, 工况 125 最大位移幅值为 0.11 mm。

4 台机器开动时共有 5 种工况, 位移最大响应也是在 11 Hz 左右, 其中位移幅值最大的工况为 1

235 和 1345, 工况 1235 时频率是 11.5 Hz, 最大位移为 0.119 mm; 工况 1345 时频率为 11 Hz, 最大位移为 0.204 mm。开动 5 台机器时, 结构中位移响应最大的节点编号是 4268, 位移幅值为 0.03 mm, 对应的频率和以前工况最大位移响应时频率一致。

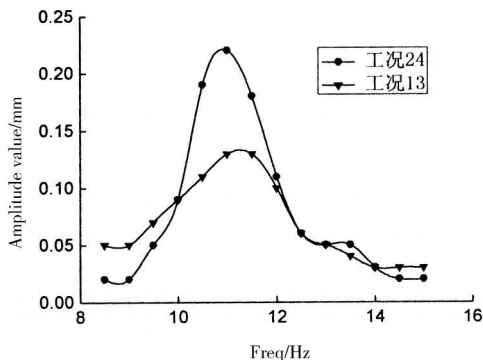


图 5 工况 13 和 24 时结构中节点的位移幅值- 频率时程曲线

Fig 5 The displacement versus frequency of vibration node in load case 12 and 24

### 3 结 论

通过分析发现, 在 15 Hz 时结构中位移幅值不超过规范规定的对结构无影响的限值 0.06 mm, 有些工况位移响应幅值在对人体健康无影响的限值 0.02 mm 附近。结构发生最大位移响应时的频率是在 11 Hz, 不是振源所在频率 15 Hz, 11 Hz 不在振源频率 15 Hz 左右的 20% 范围内。位移幅值超过 0.06 mm 时, 结构的底部反力也比不超过 0.06 mm 时大了很多, 说明规范规定的对结构有影响的位移幅值是合理的。同时建议对原有结构进行大幅度增加荷载前需要进行结构的承载力进行计算。

### 参考文献:

- [1] 周增国, 杨吉新. 多层厂房楼盖竖向振动分析 [J]. 武汉交通科技大学学报, 2000, 24 (3): 308- 312
- [2] 刘金伟, 熊光晶. 某工业厂房屋面板开裂原因分析 [J]. 建筑技术开发, 2005, 32 (5): 12- 13
- [3] 李美娟. 华药集团厂房结构动力分析 [D]. 太原: 太原理工大学, 2006 55- 79
- [4] 周庆华. 某框架结构厂房的减震加固动力分析 [J]. 选煤工程, 2006, (2): 72- 74.