

文章编号: 1674-9057(2012)03-0411-04

doi:10.3969/j.issn.1674-9057.2012.03.024

某石化公司聚合物框架振动实测与计算

颜 锋, 张高明, 潘宠平, 汤荣伟

(中国建筑科学研究院, 北京 100013)

摘 要: 某石化公司的多区循环反应装置框架在投产后上部结构受到明显振动。为保证结构与设备的安全性和正常使用, 对结构的自振特性和振动响应进行了现场实测, 实测加速度极值达 277 mm/s^2 。采用逆向工程的方法构造出结构的振动激励源, 将激励施加到结构上进行时程计算, 所得振动响应与实测结果基本吻合。采用在上部适当位置增设交叉斜撑的方法, 可提高结构的自振频率以避开激励频率带, 减小结构的振动响应。经计算, 南北向加速度幅值可减少 76%, 东西向加速度幅值减少 28%, 减振效果明显。

关键词: 石化; 振动; 实测; 逆向工程; 激励

中图分类号: TU311.3

文献标志码: A

1 工程概况

某石化公司多区循环反应聚丙烯装置支承框架高约 70 m, 采用了目前世界上最大的聚丙烯反应器装置。反应器投料运行期间, 框架结构上部能感受到明显的振动, 对结构和设备的正常使用和安全性造成一定影响。

反应器支承框架为双向正交空间钢框架, 在部分位置设有交叉斜撑。对聚合框架结构的自振特性和振动响应进行了现场实测, 并对测试结果进行了分析。采用逆向工程的方法构造出结构的振动激励源, 施加到结构上进行时程计算, 计算得到的振动响应与实测结果基本吻合。针对现场实际情况, 决定采用在上部适当位置增设交叉斜撑的方法以提高结构的自振频率, 从而避开激励频率带, 减小结构的振动响应。

2 现场测试

2.1 框架动力特性测试

采用脉动法对结构动力特性进行实测。测量仪器采用中国地震局工程力学研究所 941B 型拾振

器、北京东方振动和噪声技术研究所 Dasp 数据采集分析系统。通过在钢框架中合理布设拾振器, 在结构框架的 2 个典型立面上分别进行测试, 测试了 2 个主轴方向的结构振动参量, 对监测到的结构时域信号进行自谱或互谱分析, 可得出结构振型和自振频率等结构动力特性参数。

对振动测试进行了自谱分析, 得到结构前 5 阶振动频率, 通过半功率带宽法计算得出结构一阶阻尼比 (表 1)。框架水平振动能量主要集中在低阶振型内, 框架水平方向振动基频分别为 1.03 Hz (南北向) 和 1.20 Hz (东西向), 框架一阶阻尼比为 4% 左右, 表明多区循环反应器容器及其内的物料运动反应对其支承钢框架结构的动力特性有较明显的影响。

2.2 框架动力响应测试

2.2.1 框架动力响应幅值 据现场观察, 在反应器投料生产期间, 框架顶部的结构振幅较明显, 为此, 对结构的位移、速度和加速度进行了多次测试。其中每次监测时长约 1 000 s, 采样频率 100 Hz, 统计结果见表 2。

测试结果表明, 在反应器投料运行期间监测时

收稿日期: 2012-07-12

作者简介: 颜 锋 (1979—), 硕士, 工程师, 结构工程专业, yanfeng@cabrtech.com。

引文格式: 颜锋, 张高明, 潘宠平, 等. 某石化公司聚合物框架振动实测与计算 [J]. 桂林理工大学学报, 2012, 32 (3): 411-414.

表1 结构自振频率及阻尼比

Table 1 Natural frequency and damping ratio of structure

| 序号 | 频率/Hz | 阻尼比/% | 方向 |
|----|-------|-------|----|
| 1 | 1.03 | 4 | 南北 |
| 2 | 1.20 | 4 | 东西 |
| 3 | 1.66 | - | 扭转 |
| 4 | 2.05 | - | 东西 |
| 5 | 3.32 | - | 南北 |

测试者: 潘宠平; 测试方法: 脉动法; 测试时间: 2010-01。

表2 框架振动幅值统计结果

Table 2 Statistics amplitude of vibration of frame

| 测试内容 | 最大绝对值 | 最大值 | 最小值 | 方向 |
|-------------------------------|-------|-------|--------|----|
| 位移/mm | 4.2 | 4.2 | -4.2 | 南北 |
| | 2.8 | 2.8 | -2.8 | 东西 |
| 速度/ (mm·s ⁻¹) | 39.1 | 39.1 | -37.7 | 南北 |
| | 24.7 | 24.7 | -23.6 | 东西 |
| 加速度/ (mm·s ⁻²) | 276.9 | 260.1 | -276.9 | 南北 |
| | 269.5 | 253.1 | -269.5 | 东西 |

测试者: 潘宠平; 测试方法: 直接测量; 测试时间: 2012-01。

段内, 框架结构顶部的水平向振动位移最大值分别为 4.2 mm(南北向)和 2.8 mm(东西向); 速度最大值分别为 39.1 mm/s(南北向)和 24.7 mm/s(东西向); 加速度最大值分别为 276.9 mm/s²(南北向)和 269.5 mm/s²(东西向)。

2.2.2 框架动力响应波形 多次长时监测中, 框架南北向振动响应的位移时程波形均由多个往复波组成, 且往复波的幅值逐渐变化, 形成首尾相连的梭形, 每个梭形区间均分为增大和减小两个阶段, 如图 1 和图 2 所示。实测得到的每个梭形区间的长度和振动幅值不完全一致, 但有较好的统计规律, 振动幅值大小和梭形区间的长度正相关。

2.2.3 框架动力响应频谱 根据实测结果, 南北向振动卓越频率分量只有 1.03 Hz 1 个分量, 而东西向振动卓越频率包含 1.03 和 1.20 Hz 2 个分量(图 3)。

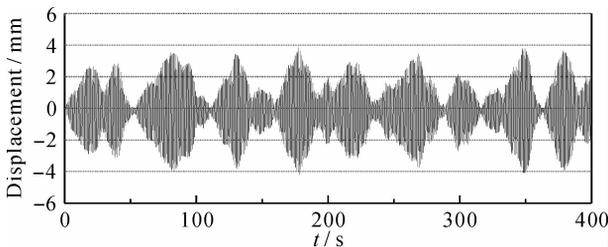


图1 实测框架振动南北向位移时程曲线

Fig. 1 Measured north-south vibration displacement curve

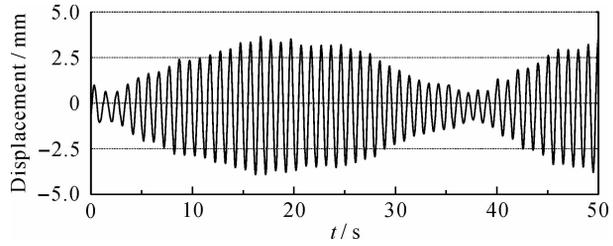


图2 实测框架南北向振动位移时程曲线典型区间示例

Fig. 2 Typical interval sample of measured north-south vibration displacement curve

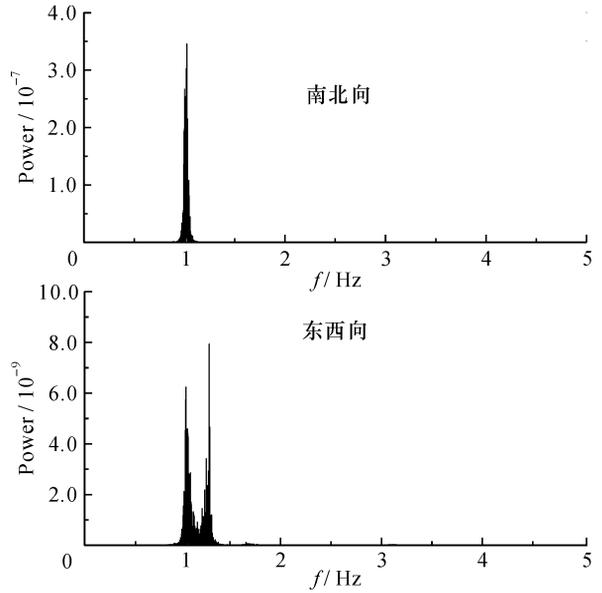


图3 框架结构振动的频率分布

Fig. 3 Frequency distribution of frame vibration

2.2.4 框架结构振型 对振动信号进行分析和计算处理, 得到框架的前 2 阶振型结果, 根据各测点的各阶振型的归一化振幅幅值, 得到振型图如图 4 所示。

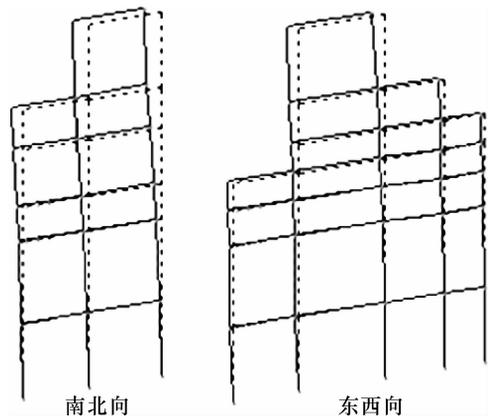


图4 框架振动振型

Fig. 4 Vibration mode of frame

3 计算分析

3.1 计算模型

采用大型通用有限元软件 ANSYS 建立振动计算模型,结构模型中的梁、柱和斜撑采用 Beam 单元,均按施工图中实际截面建模。所有构件均采用弹性材料。在进行时程分析时考虑阻尼项,阻尼比采用实测得到的数据,通过计算得到相应的 Rayleigh 阻尼。结构整体计算模型如图 5 所示。

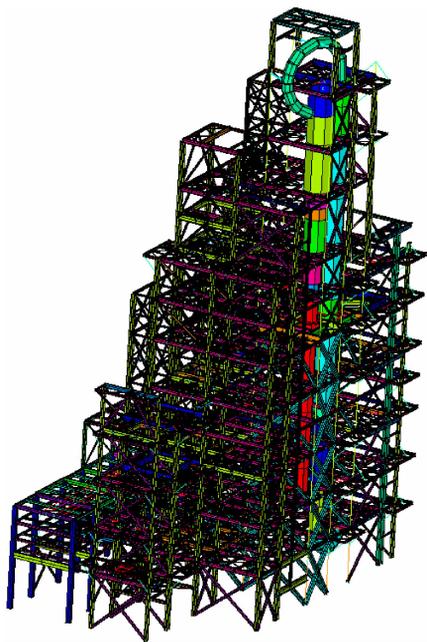


图 5 计算模型示意图
Fig. 5 Calculation model

3.2 激励力分析

由于反应器内部的气固二相反应造成的反应器振动激励及其分布都异常复杂,在现有理论体系下要对气固二相反应的振动激励力进行精确求解是非常困难的。参考了各种分析和计算方法之后^[1-5],由于多次测试得到的振动响应规律性很好,波形和振动的频率分量均较为简单,可以采用反向逆推法来构造激励力。可根据反应器和框架的振动响应时程曲线,采用逆向思路进行倒推,反演出激励力的时程。

振动响应时程的每段梭形区间内可分为 2 个阶段:第 1 阶段,激励为幅值接近恒定的往复荷载,振动响应逐渐稳步增长,此阶段持续时间为 3~20 s 不等;第 2 阶段激励降至较小的水平,振动响应表现为带衰减的自由振荡形式。由于每次

振动包含上述 2 个完全不同的受力状态,振动响应的卓越频率应该包含有 2 个分量:一个是增大阶段受迫振动响应的频率分量;一个是减小阶段结构自由振荡的自振频率分量。根据实测结果,振动激励的频率与南北向自振频率和振动激励的频率一致,均为同一频率 1.03 Hz,从而引起结构共振,由此来构造反应器对框架的振动激励力时程。

3.3 自振特性分析

对计算模型进行模态计算,得到的自振频率为 1.024 与 1.192 Hz,与实测结果非常接近,说明计算模型与实际情况基本相符。

3.4 振动响应计算

对模型施加振动激励进行时程计算,得到框架顶部的南北向振动位移时程如图 6 所示,可以看出与实测南北向位移波形非常类似,由多个往复波组成,幅值逐渐变化,可明显分为振动增大和减小两个阶段,形成一个梭形。这说明计算模型与构造得到的激励与实际情况基本吻合。

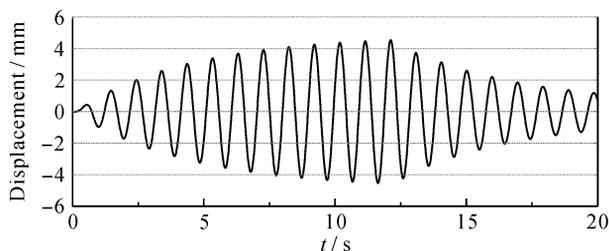


图 6 原结构南北向框架振动典型位移时程曲线
Fig. 6 Typical north-south vibration displacement curve of frame

4 减振分析

4.1 减振方案

由于框架结构南北方向上的自振频率与激励频率基本一致,形成共振,造成结构振动响应过大。因此可以通过改变结构自振频率的方法进行减振。由于结构在上部收进较多,且因设备布置原因上部斜撑设置较少,框架上部的水平刚度远小于下部,结构振动响应集中在上部区域。因此设想,可以在上部适当的位置增设斜撑,增加结构上部的水平刚度,增大结构的自振频率,以错开反应器对结构的激励频率,从而达到减振效果。

4.2 减振计算分析

原结构以及加撑之后的结构自振频率如表 3

所示。增设斜撑后,南北向结构自振频率增大13%,相对原结构更加远离激励的卓越频率,有助于减小振动响应。增设斜撑提高了框架结构上部的东西向刚度,东西向自振转变为以反应器的振动为主,框架结构振动幅度减小,所以虽然频率改变幅度不大,但也有助于减小框架结构的振动响应。

在计算模型上施加激励进行时程计算,计算得到的框架顶部振动加速度幅值如表4所示。框架在南北方向和东西方向的振动幅值均明显减小,且加速度幅值的变化趋势与位移幅度变化趋势一致。

目前结构正在进行加固施工,在施工完毕后会进一步实测,以对分析结果进行验证。

5 结论

(1) 经过现场测试,框架自振频率分别为1.03 Hz(南北向)和1.20 Hz(东西向),阻尼比

为4%左右。在反应器投料运行期间监测时段内,其中结构顶部的水平向振动位移最大值分别为4.2 mm(南北向)和2.8 mm(东西向);加速度最大值分别为276.9 mm/s²(南北向)和269.5 mm/s²(东西向)。

(2) 反应器内部的化学反应非常复杂,要通过正面求解基本上是不可能的,所以根据实测的结构振动响应,采用逆向工程的方法构造出结构的振动激励源。激励力的基频为1.03 Hz,按幅值大小可分为2个阶段。

(3) 建立结构模型并进行了计算,其自振频率和振动响应的计算结果均与实测结果接近,说明计算模型和构造的激励力比较接近实际情况。

(4) 针对现场实际情况提出了在上部适当位置增设交叉斜撑的方法,来提高结构的自振频率以避开激励频率带,减小结构的振动响应,经计算,其中南北向加速度幅值可减少76%;东西向加速度幅值可减少28%,减振效果明显。

表3 结构自振频率对比

| 南北向 | | | 东西向 | | |
|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 原结构 | 加撑后 | 变化幅度 | 原结构 | 加撑后 | 变化幅度 |
| 1.024 | 1.160 | 13% | 1.192 | 1.198 | 1% |

表4 结构响应幅值对比

| 比较项 | 南北向 | | | 东西向 | | |
|---------------------------------|-------|------|------|------|------|------|
| | 原结构 | 加撑后 | 减振幅度 | 原结构 | 加撑后 | 减振幅度 |
| 位移/mm | 4.56 | 1.00 | 78% | 2.00 | 1.46 | 27% |
| 加速度/ (mm · s ⁻²) | 191.7 | 46.0 | 76% | 96.4 | 69.8 | 28% |

参考文献:

- [1] 欧进萍,王光远. 结构随机动力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1994: 10-380.
- [2] 张汝清,殷学纲,董明. 计算结构动力学 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1987: 1-291.
- [3] 邱德修,樊开儒. 多层工业厂房的振动问题分析 [J]. 工业建筑, 2010 (S1): 520-523.
- [4] 周锡元,阎维明,杨润林. 建筑结构的隔震、减振和振动控制 [J]. 建筑结构学报, 2002 (2): 1-11.
- [5] 傅强,郭正婷. 机器振动对工业厂房的影响及控制措施 [J]. 山西建筑, 2010 (19): 71-72.

Measurement and Analysis of the Vibration of PP Plant Frame

YAN Feng, ZHANG Gao-ming, PAN Chong-ping, TANG Rong-wei
(China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

Abstract: Significant vibration can be notified in the upper part of pp plant frame while operating in a petrochemical company. In order to ensure the safety of the structure and equipment, the self-vibration characteristics and vibration response of the frame structure are measured in the field. Maximum acceleration is 277 mm/s². The excitation source is constructed by reverse engineering method. The vibration response of structure is calculated, with a very close to measured result. A plan of adding cross-bracing in the upper part is calculated. The natural frequency of structure is improved to avoid the excitation frequency band. The north-south acceleration amplitude would be reduced 76% while the east-west amplitude would be reduced 28%. The reduction of vibration is remarkable.

Key words: petrochemical; vibration; measurement; reverse engineering; excitation