

振动离心复合环境下科里奥利力的计算及分析

田昌会¹, 雷虎民¹, 屈马林¹, 王永仓¹, 李荣林², 牛宝良²

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 中国工程物理研究院环境试验研究所, 四川 绵阳 610003)

摘要:分析了在振动离心复合环境下科里奥利力的影响并作了相应的计算。指出在振动离心复合环境下科里奥利力并非可以忽略,振动离心复合环境实际上是振动、离心、科里奥利力三者的复合,在进行实验设备设计时应考虑其影响。

关键词:科里奥利力;离心力;振动台

中图分类号:TH311-53 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2000)03-0039-03

关于过载与振动的综合实验,现在公认的实现方法是在离心环境下进行振动实验。然而振动台在离心机运转时的振动过程中除受到离心力的作用外还要受到另一个惯性力,即科里奥利力的作用,研究它对振动系统的影响程度是非常必要的。关于科里奥利力的影响还未见其它资料报道。

1 离心机上振动台受力分析

离心机上振动台安装示意图如图1所示。离心机提供离心力,配重使离心臂保持平衡,其振动台的安装方向考虑离心机的稳定性,通常振动台的振动方向按图1的Y,Z方向安装^[1]。振动方向沿Y方向的安装又称为顺臂安装。振动方向沿Z方向又称为垂臂安装。对振动台面及试件而言,除受到重力及与之平衡的支撑力外,在离心机运转过程中,还要受到离心力和科里奥利力两个惯性力及相应的平衡力。离心力与离心机的转动角速度有关,科里奥利力与离心机转动及试件在离心机上的运动有关。本文主要分析科里奥利力及其影响。

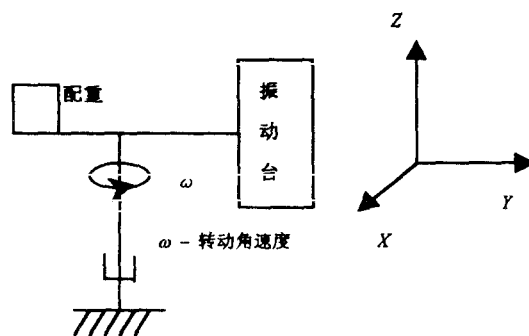


图1 离心机振动台安装示意图

2 科里奥利力分析

物体相对于定轴转动参照系作相对运动时,物体受到科里奥利力的作用,其大小为

$$F = 2mv' \times \omega$$

其中, ω 为离心机的旋转角速度。 v' 为试件相对于转动参照系运动的速度^[2]。在振动离心复合环境下,若振动台沿垂臂方向安装,振动方向沿图1的Z方向,振动台及试件所受到的科里奥利力 $F=0$,即振动台及试件在振动过程中不受科里奥利力的影响,这是理想状态下的结果,若轴向不正或振动过程出现摆动,科里奥利力仍将有影响。若振动台沿顺臂方向安

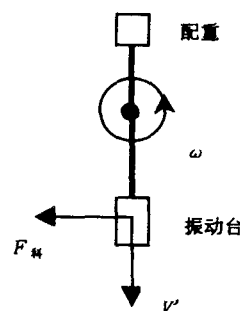


图2 科里奥利力方向示意图

装,振动方向沿图1的Y方向,振动台及试件所受到的科里奥利力 $F=2m\omega v'$,其方向沿图1的X方向。设离心机转动方向为逆时针,当振动台及试件沿Y坐标轴正方向运动时,振动台及试件所受到的科里奥利力指向X坐标轴的正方向,俯视图见图2所示;当振动台及试件沿Y坐标轴负方向运动时,振动台及试件所受到的科里奥利力指向X坐标轴的负方向,与图2所示方向相反。下面给出其大小计算。

3 科里奥利力计算

在计算时,选用的电动振动台及离心机的技术指标见表1。

振动台的主要技术指标中,额定加速度、额定速度、额定位移等指标并不是在全工作频域内都能得到满足,额定加速度只能在高频域(加速度区域)达到,低频域(位移区域)受额定位移的限制,而介于这两者之间(速度区域)则受额定速度的限制,其空载、40kg负载工作特性曲线,即加速度频率($a-f$)关系曲线如图3所示。图中所示结果是根据表1所示技术指标参考电动振动台的相关规律计算得到^[3]。

根据振动台振动频率、加速度、速度、位移参量的换算关系式:

$$\omega = 2\pi f$$

$$v = 2\pi f A$$

$$a = \omega v' = \omega^2 A = 4\pi^2 f^2 A$$

利用图3所示的振动台工作特性曲线计算振动台速度幅值与频率的关系曲线如图4所示。依据科里奥利力 $F=2m\omega v'$ (式中 $\omega = \sqrt{a_{\text{离}}/L_{\text{离}}}$ 计算得到科里奥利力 $F_{\text{科}}$ (等效为加速度 $a_{\text{科}}$,以 g 为单位)随频率变化的关系曲线如图5所示。

4 计算结果分析及结论

从图5可见,科里奥利力的最大值在 784m/s^2 的离心加速度、40kg负载下可达 $F_{\text{科}} = ma_{\text{科}} = 1.55\text{kN}$,其引起的加速度是离心加速度大小的5%,是振动加速度大小的26%。图5所示情况并不代表最大科里奥利力,若离心机臂长变为3m,计算结果如图6所示,这时科里奥利力引起的加速度是离心加速度大小的7.5%,是振动加速度大小的39%。从这些分析可知,在振动离心复合环境下科里奥利力并非可以忽略。

在振动离心复合环境下由于科里奥利力的存在,在离心机上沿顺臂方向的振动实际上是振动、离心、科里奥利力三者的复合。由于实用设备在工作过程中部分部件往往伴随着转动,在过载情况下的振动也应当是过载、振动、科里奥利力三者的共同影响,可以说科里奥利力是振动、离心试验不能代替振动离心复合试验的重要原因之一。

表1 振动台及离心机技术指标

项 目	指 标
最大推力 F_{max}	6 664N
最大振幅 A_{max}	25.0mm
最大速度 V_{max}	1.78m/s
最大加速度 a_{max} (空载)	1 127m/s ²
电枢质量 $M1$	5.9kg
负载质量 $M2$	40kg
频率范围 f	5~2 000Hz
离心加速度 $a_{\text{离}}$	784m/s ²
离心机臂长 $L_{\text{离}}$	7.00m

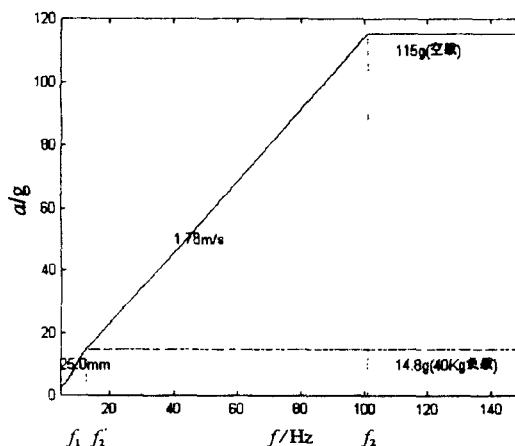


图3 振动台工作特性曲线

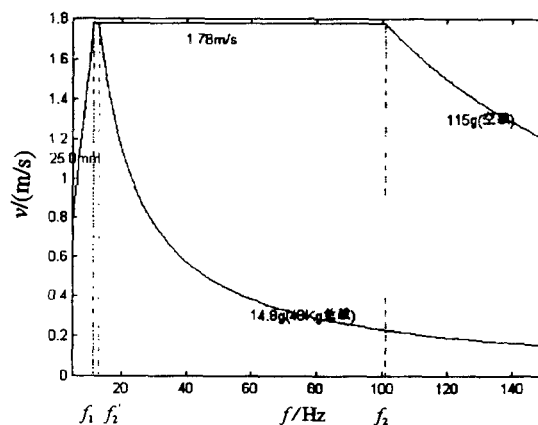


图4 振动台速度与频率的关系曲线

图3、图4、图5、图6所示曲线皆为加速度、速度、科里奥利力的幅值与频率的关系曲线,由于振动台振动的周期性,科里奥利力也将作周期性变化,会引起振动,在设计过程中应加以考虑,特别注意防止共振。

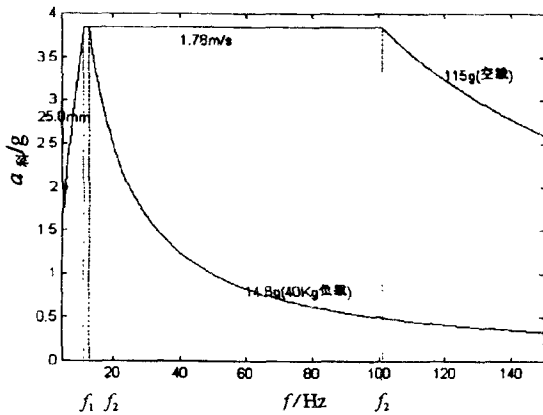


图5 科里奥利力与频率的关系曲线

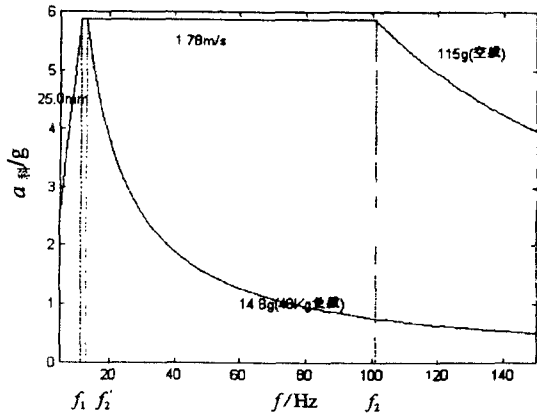


图6 臂长 $L=3m$ 时科里奥利力与频率的关系曲线

参 考 文 献

- [1] 贺云波. 离心力复合环境下电液伺服振动台的研究[J]. 机床与液压, 1998, 10(6): 16 - 18.
- [2] 北京大学物理系. 普通物理学(力学部分)[M]. 北京: 人民教育出版社, 1979.
- [3] 李德葆, 张元润. 振动测量与试验分析[M]. 机械工业出版社, 1992.
- [4] Campbell D J, Cheney J A, Kutter B L. Boundary effects in dynamic centrifuge model tests[A]. Centrifuge 91 [C]. Balkema; Rotterdam, 1991. 441 - 448.
- [5] Stephen A K, Hanover N H. Performance of an earthquake motion simulator for a small geotechnical centrifuge[A]. Centrifuge 91[C]. Balkema; Rotterdam, 1991. 361 - 168.

Calculation and Analysis of Corioli's Force under the Circumstances of Centrifuging and Vibration

TIAN Chang-hui¹, LEI Hu-min¹, QU Ma-lin¹, WANG Yong-cang¹,
LI Rong-lin², NIU Bo-liang²

(1. The Missile Institute, AFEU., Sanyuan 713800, China; 2. Environment and Test Center of Engineering Physics Academy of China, Mianyang 610003, China)

Abstract: The effect of Corioli's force under the conditions of centrifuging and vibration is investigated in the paper. It is pointed out that Corioli's force cannot be neglected under composite circumstance of centrifuging and vibration, which is in fact the combinations of vibration, centrifuging and Corioli's force. Its effects should be considered in the design about the experimental devices of centrifuging and vibration.

Key words: Corioli's force; centrifuging force; vibration table