

电梯系统动态固有频率分析

王艳军, 任立刚, 于杰

(昆明理工大学 机电工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要:以某型号电梯为参考原型, 详细介绍了电梯在运行过程中出现的振动现象, 在分析和合理简化的基础上, 建立了电梯系统振动数学模型, 运用振动理论分析了发生振动的原因, 找出了系统共振发生的频率带, 提出了变刚度电梯模型补偿策略的解决方法, 结果表明改进后的电梯系统固有频率与曳引机激振频率一直不会相同, 有效地防止了共振的发生, 同时也减少了工作中的振动, 提高了电梯的运行性能和安全性能, 为以后的研究提供了一种有益的方法。

关键词: 电梯; 振动; 固有频率

中图分类号: TB123

文献标识码: A

文章编号: 1006 - 0316 (2010) 00 - 0035 - 03

Analysis of dynamic natural frequencies of elevatorsystem

WANG Yan-jun, REN Li-gang, YU Jie

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: Taking a certain type of elevator for reference subject, vibration phenomenon was introduced particularly during elevator operation. On the basis of analysis and reasonable simplifying, mathematic model of vibration for the elevator system was established, and the reasons of vibration occurring was analyzed through vibration theory, finding out the frequency spectrum of system resonance and bringing forward the solution methods of variable stiffness elevator model compensatory strategies. The results indicates that the natural frequency of improved elevator system is continuously different from the excited frequency of the tractor, resonance occurring prevented effectively, meanwhile the vibration in operation is reduced, and operation and safety performances of the elevator are improved, providing a instructive method for after research.

Key words: elevator; vibration; natural frequency

电梯已经成为了现代建筑行业不可缺少的一部分。随着生活水平的提高, 人们对电梯的要求已经不再局限于快捷方便, 更注重其安全可靠。作为一个机械系统, 电梯的振动对其性能的影响越来越受到人们的关注。分析电梯运动, 其运动形式有驱动轮的旋转运动和轿箱及对重块的直线往复运动, 这两种运动的加速度和惯性力是电梯产生振动的主要原因, 系统的固有频率与激振频率接近时, 系统的振动就会相对剧烈。电梯振动是无法避免的, 但是减小振动是可行的, 这也是研究电梯振动的基础。

1 实例分析

以某公司生产的客梯为研究对象, 该电梯在调试过程中, 出现振动现象。该电梯提升高度 60 m,

速度 1.5 m/s, 主要表现为电梯行至 2 到 3 层间出现高频振动, 并伴有“呜呜”的轿厢噪音。经检查, 电梯导轨安装符合标准和技术要求。在调试过程中, 经轿厢轿顶加固处理, 振动现象有所减轻。在采取调频调速的措施中发现, 当曳引机速度变化时, 振动楼层区间相应出现变化(升高或降低)。根据上述现象, 可以应用振动的理论进行分析并采取有效的解决方法。

电梯运行系统模型如图 1 所示, 电梯实际各种参数为:轿箱 1320 kg, 对重 1440 kg, 最大载荷 1000 kg, 曳引机(包括机架) 500 kg, 承重梁为两根 16 号工字梁, 单根长度 2560 mm, 曳引机转速 1465 r/min, 轿箱引绳符合 GB8903 - 88 标准, 共 6 根, 为双强度级别配置。建立电梯振动模型如图 2 所示。

收稿日期: 2009 - 10 - 05

作者简介: 王艳军(1984 -), 山西代县人, 硕士, 主要研究方向为发动机 CAE 分析与设计。

图2中， m_1 为承重梁质量，这部分质量包括承重梁自身质量和曳引机（包括机架）质量； m_2 、 m_3 分别为轿箱和对重的质量。

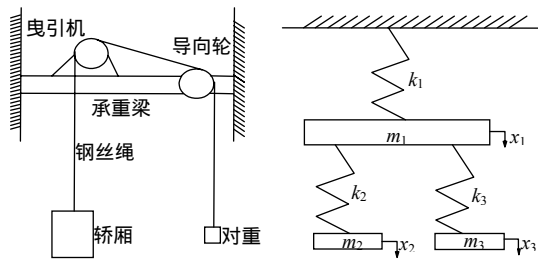


图1 电梯运行系统模型图 图2 电梯振动等效模型

结合承重梁的约束条件和受力情况， i 根承重梁抗弯刚度的计算公式为：

$$k_1 = \frac{192iEI}{L_1^3} \quad (1)$$

式中： k_1 为承重梁等效抗弯刚度； L_1 为承重梁的长度； E 为弹性模量； I 为转动惯量。

$$k_2 = \frac{iEA}{L_2} \quad (2)$$

$$k_3 = \frac{iEA}{L_3} \quad (3)$$

式中： k_2 、 k_3 分别为悬挂轿箱和悬挂对重的钢丝绳的等效刚度； L_2 、 L_3 分别为钢丝绳绳的长度，在电梯运行过程中一直变化， A 为截面积。

曳引机转速 $n = 1465 \text{ r/min}$ ，工作周期 $T = \frac{60}{n} = \frac{60}{1465}$ ，则曳引机工作激振频率为：

$$f = \frac{1}{T} = 24.4 \text{ Hz} \quad (4)$$

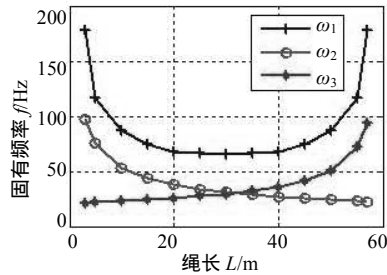
系统的动力学微分方程组：

$$[m]\{\ddot{x}_i\} + [k]\{x_i\} = 0 \quad (5)$$

式中： $[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$ ； $[k] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_3 & -k_2 & -k_3 \\ -k_2 & k_2 & 0 \\ -k_3 & 0 & k_3 \end{bmatrix}$ 。

用 MATLAB 编程计算出电梯系统的固有频率，并绘制出了图3，通过观察分析图3，可以看出，电梯在运行过程中，钢丝绳一直在变化，所以其固有频率也一直在变化。曳引机激振频率 $f = 24.41 \text{ Hz}$ ，从图3可以看出电梯运行过程中，其系统固有频率与曳引机激振频率会相同，从而造成电梯系统共振。为了避免共振，必须对系统作改进设计。

对该电梯加补偿装置来稳定系统固有频率。其运行系统模型如图4所示。补偿绳的一端与对重的下部固定连接，另一端通过补偿绳张紧装置与轿厢的下部固定连接，其中补偿绳采用钢丝绳，补偿绳张紧装置主要包括张紧绳轮和张紧重块，张紧绳轮上有用于对补偿绳张紧和导向的大槽距，补偿绳层绕在轮槽中，补偿绳的一端安装有用于调节和平衡补偿绳张紧度的绳端调节装置，建立补偿式电梯振动模型如图5所示。



$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 分别为前三阶固有频率

图3 电梯系统固有频率

2 电梯改进策略

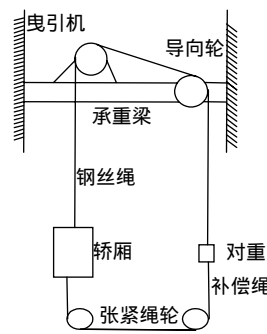


图4 补偿式电梯运行系统模型图

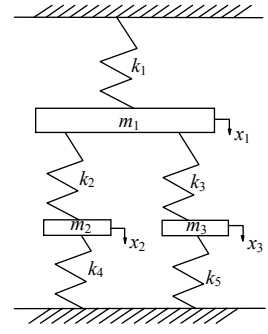


图5 补偿式电梯振动等效模型

系统的动力学微分方程组：

$$[m]\{\ddot{x}_i\} + [k]\{x_i\} = 0 \quad (6)$$

式中： $[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$ ； $[k] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_3 & -k_2 & -k_3 \\ -k_2 & k_2 + k_4 & 0 \\ -k_3 & 0 & k_3 + k_5 \end{bmatrix}$ ；

k_4 、 k_5 为补偿绳的等效刚度。

用 MATLAB 编程计算出电梯系统的固有频率，并绘制出了图6，由图6可以看出，补偿式电梯在运行过程中其固有频率一直是不变的。电梯系统固有频率与曳引机激振频率一直不会相同，避免发生

(下转第77页)

$$\dot{\alpha}/\dot{\beta} = (r_2 \cos \theta_1)/R \quad (8)$$

又因为

$$\dot{\beta}/\dot{\theta}_2 = R/r_1 \quad (9)$$

由式(6)~式(9)得各关节运动模型为：

$$\begin{cases} \dot{\theta}_1 = \frac{r_1 \dot{\psi}}{R} \\ \dot{\theta}_2 = \frac{r_1^2 \dot{\psi}}{R r_2 \cos \theta_1} \\ \dot{\theta}_3 = \frac{r_1^3 \dot{\psi}}{R r_2^2 \cos \theta_1 \cos \theta_2} \\ \dots\dots \\ \dot{\theta}_i = \frac{r_1^i \dot{\psi}}{R r_2^{(i-1)} \prod_{j=1}^{i-1} \cos \theta_j} \end{cases}$$

取 $\dot{\psi} = 1$ 、 $r_1 = 10$ 、 $R = 20$ 、 $r_2 = 5$ ，取前三个关节计算结果如图 4 所示。

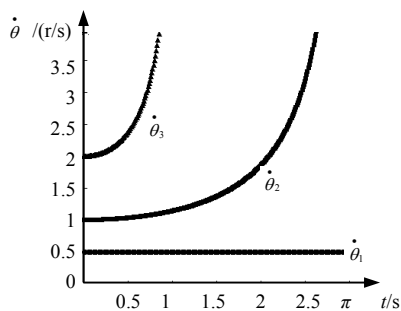


图 4 计算结果

3 结论与展望

通过以上分析表明摩擦盘运动合成分解传递机构对速度的传递是可控的。运用这样的摩擦盘传动机构作为关节模型，可建立起欠驱动蛇形机器人模块。通过本文的研究为进一步对欠驱动蛇形机器人模块的动力学研究和控制方法的研究奠定了基础。

参考文献：

[1] Hirose S, Sato M. Coupled drive of the multi-dof robot[A]. Proceedings of the 1989 IEEE International Conference on Robotics and Automation[C]. 1989 : 1610 - 161

[2] Hirose S. Biologically inspired robots-snake-like loco-motors and manipulators[M]. Oxford University Press, 1993.

[3] K. L. Paap, M. Dehlmisch, B. Klaassen. GMD-Snake : A Semi-Autonomous Snake-like Robot[C]. 3rd Int. Symp. on Distributed Autonomous Robot Systems (DARS96), Japan, 1996 : 29 - 31.

[4] M. Mori, S. Hirose. Three-dimensional Serpentine Motion and Lateral Rolling by Active Cord Mechanism ACM R3[C]. Proc. IEEE Int. on Intelligent Robots and Systems, Switzerland, 2002 : 829 - 83.

[5] 李斌, 叶长龙. 蛇形机器人的扭转运动研究[J]. 中国机械工程, 2005, 16 (11) : 941 - 944.

[6] 李斌, 叶长龙. 蛇形机器人平面运动控制方法的研究[J]. 高技术通讯, 2005, 15 (2) : 29 - 33.

[7] 刘金国, 王超越. 蛇形机器人伸缩运动仿生研究[J]. 机械工程学报, 2005, 41 (5) : 108 - 113.

[8] 谭跃刚, 周祖德. 摩擦圆盘运动分解合成机构[P]. 中国发明专利 : ZL02147771.X2004 - 09.

(上接第 36 页)

共振；与此同时，曳引机的转速选择范围也很宽广。这种结构采用钢丝绳作为补偿绳，包含了绳端调节装置、带绳轮张紧装置、监控装置等，极大地提高了补偿钢丝绳在电梯运行过程中的平稳性、提高电梯的运行性能和安全性能。

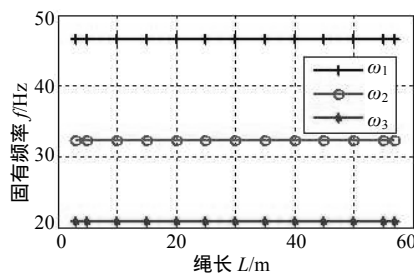


图 6 补偿式电梯系统固有频率

3 结论

通过对电梯系统动态固有频率的分析，更加真实的反映出电梯系统运行过程中的振动情况，找出了发生共振的原因，为以后的电梯设计和实际应用提供了一定的理论依据。

参考文献：

[1] 傅武军, 朱昌明, 张长友. 单绕式电梯动力学建模及仿真分析[J]. 系统仿真学报, 2005, 17 (3) : 635 - 638.

[2] 张志, 张汉生. 电梯振动分析[J]. 广船科技, 2004, (1) : 33 - 35.

[3] 傅武军, 廖小波, 朱昌明. 基于 ADAMS 的电梯横向振动频域分析及参数优化[J]. 系统仿真学报, 2005, 17 (6) : 1500 - 1504.

[4] 张长友, 朱昌明. 电梯系统动态固有频率计算方法及减振策略[J]. 系统仿真学报, 2007, 19 (16) : 3856 - 3859.

[5] 郑晓珺. 电梯曳引机隔振系统动态分析及设计[J]. 起重运输机械, 2007, (11) : 28 - 29.