

文章编号: 0253-9993(2007)07-0753-04

基于幅频特性的工业型弛张筛合理工作点的确定

翟宏新

(安徽理工大学 机械工程学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 考察了工业型弛张筛的状况, 从双质体非线性振动系统的角度分析了它的幅频特性, 绘制了计算机辅助的国产 CZS 系列3个规格弛张筛的幅频特性曲面, 得到了频率比 $z_0 = 0.85 \sim 0.91$, 转速 $n = 600 \text{ r/min}$, 阻力比 $b = 0.05$, 相对振幅 $\lambda = 7 \sim 12 \text{ mm}$ 的结果. 提出了采用近亚共振动力状态, 即低频大振幅工作条件的建议, 完善了弛张筛在环保和节能应用中的理论和技术支持.

关键词: 幅频特性; 弛张筛; 细煤筛分

中图分类号: TD452

文献标识码: A

Determination of the operation range for flip-flow screen in industrial scale based on amplitude-frequency response

ZHAI Hong-xin

(Institute of Mechanical Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: The amplitude-frequency response of the flip-flow screen was analyzed by combining computer aided three-dimensional plot, called A3D method, for a double-mass nonlinear vibration system. The optimum operation conditions of flip-flow screen were found to be frequency ratio $z_0 = 0.85 \sim 0.91$, rotational speed $n = 600 \text{ r/min}$, damp ratio $b = 0.05$, relative amplitude $\lambda = 7 \sim 12 \text{ mm}$. The results agreed very well with from the reality as well as our previous study. A proposal of using low frequency but high amplitude technology for flip-flow screen was put forward. This is essential for the fine coal wet-sieving in energy saving and environmental protection field.

Key words: amplitude-frequency characteristic; flip-flow screen; fine coal wet-sieving

我国多数矿区的动力煤具有粉煤量大和潮湿的特点. 适合于采用筛分及联合加工工艺, 筛出的细粒级煤粉直接供电厂等用户, 粗粒级煤进入跳汰机进行洗选. 研究和发弛张筛分的机理和改变选择筛分机参数的盲目性, 可以避免依靠现有经验设计造成的设计周期长、费用高、性能欠佳的弊病. 弛张筛虽然属于振动筛的一种, 但是在结构上却有其显著的特点: ① 具有双筛箱, 2个筛箱分别与橡胶筛板上的相邻横梁连接; ② 具有双偏心驱动轴的曲柄连杆机构使横梁作往复直线运动, 而筛箱作相对和相背运动; ③ 整个筛面由若干段橡胶筛板组成, 每段筛板作交替张紧与松弛运动, 以实现潮湿细黏物料的筛分^[1,2]. 弛张筛的原型虽有一段历史, 但在潮湿细粒煤炭筛分方面的理论和实践却刚刚开始不久. 笔者曾经从系统参数的角度进行了优化, 研究了它的一部分动力学特征^[3]. 还有一些关键参数的认识和应用, 比如弛张筛的振幅问题至今尚未解决. 有人把筛面弹性挠曲运动时的挠度称为弛张筛振幅, 生产厂家则是凭经验, 按照2倍偏心距的量给出了所谓的相对振幅的值, 也有用张紧量来代替振幅以及靠调节张紧量来调节振幅之说^[4,5].

幅频特性是评价筛分机械动力学特征的基本属性. 笔者试图从弛张筛的共性和特性的结合上进行探讨. 究竟应该如何定义它的振幅? 如何确定它的振幅值? 如何认识它的振幅与其它关键参数之间的关系? 以及如何应用上述认识去解决弛张筛在实际应用中的问题?

弛张筛的振动系统中采用了橡胶弹簧, 其弹性力是非线性的. 其惯性力项、阻尼力项和激振力项也是非线性的. 研究非线性振动的方法, 有定性和定量 2 种分析方法. 由于非线性系统的复杂性, 至今尚无一个能适用于各种情况的通用方法^[6,7]. 考虑到现有的分析方法的不足和两维显示的局限性, 笔者发展了解析和三维图示相结合的方法 (简称 A3D 方法), 即在采用常规解析方法的基础上, 借助于计算机辅助的三维曲面, 通过观察其三维曲面的分布性态, 从整体上直观地分析参数变化对振动的影响, 定量地获得近似结果.

1 工业型弛张筛简化的幅频特性曲面

按照在一定条件下, 双质体振动系统可以转换为相当单质体振动系统进行计算的思路, 考虑到弛张筛具有 2 个筛箱和橡胶弹簧, 属于非线性双质体振动系统. 首先假设振动中心与初始平衡位置重合, 隔振弹簧刚度较小, 按达朗贝尔原理, 分别建立质体 1 和质体 2 的振动方程, 即

$$m_1 \ddot{\chi}_1 + f_1 \dot{\chi}_1 + f \dot{\chi} + (k_0 + k) \chi + F_1(\chi) = k_0 r \sin \omega t, \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{\chi}_2 + f_2 \dot{\chi}_2 + f \dot{\chi} - (k_0 + k) \chi - F_2(\chi) = -k_0 r \sin \omega t, \quad (2)$$

式中, m_1 , m_2 分别为质体 1 和质体 2 的质量; χ , $\dot{\chi}$ 和 $\ddot{\chi}$ 为质体 1 对质体 2 的相对位移、速度和加速度; $\chi = \chi_1 - \chi_2$, $\dot{\chi} = \dot{\chi}_1 - \dot{\chi}_2$, $\ddot{\chi} = \ddot{\chi}_1 - \ddot{\chi}_2$, 而 χ_1 , χ_2 , $\dot{\chi}_1$, $\dot{\chi}_2$, $\ddot{\chi}_1$, $\ddot{\chi}_2$ 分别为质体 1 和质体 2 的位移、速度和加速度; r 为偏心轴的偏心距; $F_1(\chi)$, $F_2(\chi)$ 为非线性阻尼力和弹性力, 均为间隙弹簧的间隙 e 、阻力系数 Δf 与刚度 Δk , 以及 e 对应于相对位移的相位差角的函数; k_0 和 k 分别代表连杆弹簧和储能主弹簧的刚度: $k_0 = m\omega^2/z_0^2$, $k = m\omega^2/(z_0^2 - 1)$, z_0 为频率比, $z_0 = \omega/\omega_0$, ω 与 ω_0 分别代表工作频率和固有频率.

将隔振弹簧的弹性力归化到质体 2 的计算惯性力中, 经过变换, 得到简化的振动方程为

$$m \ddot{\chi} + f \dot{\chi} + F_1(\chi) + (k_0 + k) \chi + F_2(\chi) = k_0 r \sin \omega t, \quad (3)$$

式中, m 为诱导质量, $m = \frac{m'_1 m'_2}{m'_1 + m'_2}$, m'_1 , m'_2 为计算质量.

在近似计算的情况下, 质体 1 对质体 2 的相对振幅为

$$\lambda = \xi \frac{k_0 r \cos \alpha}{k_0 + k + \Delta k \left\{ 1 - \frac{4}{\pi} \frac{e}{\lambda} \left[1 - \frac{1}{6} \left(\frac{e}{\lambda} \right)^2 - \frac{1}{40} \left(\frac{e}{\lambda} \right)^4 \right] \right\} - m\omega^2}, \quad (4)$$

式中, ξ 为综合影响系数, $\xi = 1.8 \sim 2.0$; 隙幅比 $e/\lambda = 0.5$; $\omega = 62.8 \text{ s}^{-1}$.

调查并研究了国产机的有关参数, 对上式进行了一些变换, 针对同一型号 3 个规格的弛张筛进行了计算, 获得了简化的幅频特性曲面, 如图 1 所示.

3 个规格弛张筛的幅频特性曲面性态极为类似, 局部而直观地揭示了工业型弛张筛的 2 个现象: ① 频率比对振动的影响是显著的, 尤其是在 $z_0 = 1$ 附近; ② 当 z_0 接近于 1 时, 相对振幅约为 11 mm.

但是, 此类曲面未能够反映出阻尼对系统的影响, 也未计入激振力的因素, 致使振幅值偏小, 而且所揭示的数据也是比较粗略的. 因此, 需要寻求更进一步的表达方式, 全面揭示出振动系统的内涵.

2 工业型弛张筛的幅频特性曲面

考虑到激振力的影响, 将弹簧等效刚度代入振幅公式得到相对振幅为

$$\lambda = \xi \frac{F}{\sqrt{\left\{ k' + \Delta k \left[1 - \frac{5}{4} \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{4} \left(\frac{e}{\lambda} \right)^5 - m\omega^2 \right]^2 \right\} + f^2 \omega^2}}, \quad (5)$$

式中, 当量激振力 $F = \sqrt{(1 - z_0^2)^2 + (2bz_0)^2} m \omega^2 \lambda / z_0^2$, 振动质量 m 为机体及偏心块总质量; k' 为主振弹簧线性部分的刚度, $k' = m \omega^2 / z_0^2$, 频率比 $z_0 = \omega / \omega_0$; Δk , f 分别为非线性弹簧的刚度与附加阻力系数, $\Delta k = k' / 125$, $f = 2bm\omega_0$, b 为阻尼比.

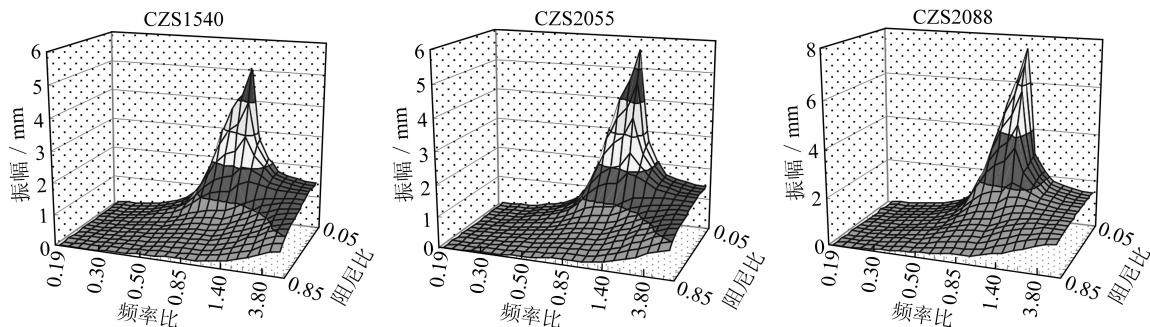


图1 非线性弹性连杆式振动筛的幅频特性曲面

Fig. 1 Amplitude-frequency response without modifying

对上式进行了一些变换之后, 采用调研国产机的有关参数, 针对同一型号3个规格的弛张筛进行了计算, 获得了3种幅频特性曲面, 其形状极为类似, 如图2所示.

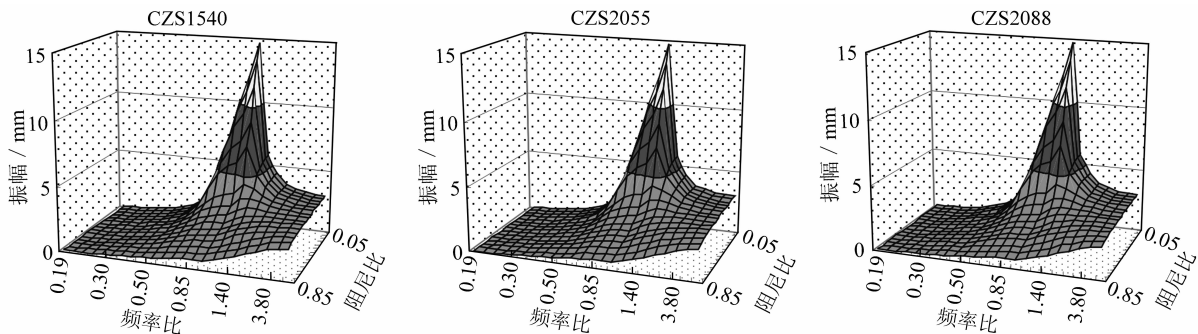


图2 弛张筛的幅频特性曲面

Fig. 2 Amplitude-frequency response of flip-flow screen

曲面揭示的本质特征与图1一致. 而且3种规格弛张筛振动系统的振幅, 均是随频率的提高而提高, 其响应曲面的峰部右倾, 显示出硬特性. 由图2可见: ①当 $z_0 \approx 1.0$ 时, 相对振幅均为 10 mm 左右. 以 CZS1540 为例, 当 $z_0 = 0.89$, $b = 0.05$, 相对振幅 $\lambda = 9.94$ mm; 当 $z_0 = 1.1$ 时, $\lambda = 14.72$ mm. ②当激振频率比 z_0 趋于 0 时, 相对振幅趋于 0. ③当 b 较小时, 随着 ω 的上升, z_0 逐渐增大, 振幅随着增加, 阻尼对振幅的影响逐渐明显起来. 特别在共振区 ($z_0 \approx 1.0$) 附近, 阻尼对振幅的影响较大, 随着阻尼的变化, 振幅将会急剧变动, 最大振幅约等于 15 mm.

3 弛张筛合理工作点的确定

在上述研究的基础上, 还要考虑到振幅稳定性和频率比的关系. 这涉及到激振力和频率比等要素, 用计算机分别作出了无阻尼和有阻尼情况下激振力幅值与惯性力幅值比作为频率比函数的二维曲线 (图3).

由图3可以看出, 不管是在无阻尼还是有阻尼的情况下, 当操作点在共振区附近时, 激

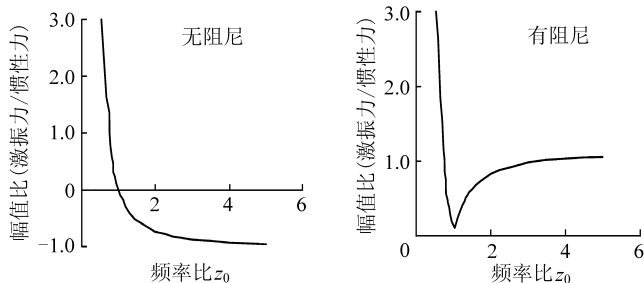


图3 激振力幅值 / 惯性力幅值 = $f(z_0)$

Fig. 3 Excitation force / inertia force = $f(z_0)$

振力值很小;当操作点远离共振区时,激振力显著增加.也就是说,在激振力不变的情况下,当在共振区附近工作时,振动质体有较大的振幅;而在远离共振区的情况下运转时,则振幅较小.换言之,当要求振动质体有相同的振幅,即令振幅保持不变,则在共振区附近工作时,其所需激振力较小.

随着激振力的减小,传动机构的作用力及传动部的摩擦功率也相应减小,有利于减小电动机的容量.但是过分靠近共振点工作时,常常会严重影响机器振幅的稳定性.线性振动机试验表明,工频过于接近系统固有频率,即工作点在共振区时,振幅稳定性较差,加载后的振幅往往比空载时的振幅有明显下降,为了避免这种情况,加强振幅的稳定性,工作点应偏离共振点一定距离,使 z_0 值应小于 1 一定数值,即采用亚共振的动力状态,此时,以 CZS1540 为例, $z_0 = 0.85 \sim 0.91$, 转速 $n = 600 \text{ r/min}$, $b = 0.05$, $\lambda = 7 \sim 12 \text{ mm}$.

4 结 论

(1) 工业型弛张筛的幅频曲面,显示出它的非线性硬特性动力学特点,既具有一般振动筛的共性,又有其特殊性.它的振幅是可以定义、可以计算的,只是需要附加上它的特殊条件.

(2) 实际上,由于多因素干扰,弛张筛的工作状态不可能在通常所说的一个点上,而是在趋近于共振点的一个区间上,位于近亚共振区.

(3) 工业型弛张筛宜采用近亚共振的动力状态,当 $n = 600 \text{ r/min}$ 时,振幅比较稳定, $\lambda \approx 10 \text{ mm}$,属于低频大幅的工作模式.上述数据与生产厂家给出的数据基本一致,并与笔者发表的优化结果符合^[3,4].

(4) 采用解析法辅以计算机三维曲面表达的 A3D 方法中,三维曲面在此起到了直观地从整体上揭示弛张筛幅频特性的显著作用,是对于以前采用二维曲线表达方式的突破.

参考文献:

- [1] Schmidth H. Theoretical analysis on flip-flow screening [J]. Aufbereitungs-Technik, 1977 (7): 706 ~ 712.
- [2] Hirsch W. Flip-flow screens of the third generation [J]. Aufbereitungs-Technik, 1992, 33 (12): 686 ~ 690.
- [3] 翟宏新, 杨 丽. 弛张筛系统参数的整体优化 [J]. 煤炭学报, 2004, 29 (1): 105 ~ 108.
- [4] 唐敬麟. 破碎与筛分机械的设计与选用手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [5] 赵跃民, 刘初升. 干法筛分理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [6] 闻邦椿, 刘树英, 何 勍, 等. 振动机械的理论与动态设计方法 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [7] 徐 灏. 机械设计手册 (第 1 卷第 2 版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

+++++

重要启事

近几年,《煤炭学报》收到的论文越来越多,为了刊出更多的优秀论文,缩短出版周期,2007 年,《煤炭学报》由双月刊 (136 页) 改为月刊 (112 页);《JOURNAL OF COAL SCIENCE & ENGINEERING (CHINA)》(《煤炭学报》英文版) 由半年刊改为季刊,欢迎大家踊跃投稿.

本刊编辑部已安装远程稿件处理系统,该系统已于 2007-01-01 正式启用,可实现作者网上投稿、查稿、上传修改稿、专家网上审稿等.自 2007-01-01 编辑部不再接收邮寄和 E-mail 投稿,谢谢合作!

详情请登陆本刊网站: <http://www.mtxb.com.cn>

本刊编辑部