

注塑机曲肘式合模机构弹性振动的研究*

陈学锋^{1,2} 瞿金平¹

(1. 华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心, 广州 510640; 2. 顺德职业技术学院机电工程系, 顺德 528300)

摘要 给出五点斜排双曲肘合模机构弹性动力学模型, 对肘杆振动的理论计算值和实验结果进行了对比研究, 对实测动模板三向振动值进行了小波分析, 发现动模板振动与肘杆弹性变形间的对应关系, 为减少合模时的振动、提高合模精度提供了依据。

关键词 合模机构 弹性变形 振动 小波理论

随着市场对高品质高效率注塑机的需求日益增加, 注射成型越来越向着高速高效方向发展, 因此对合模机构的要求也越来越高。为保证塑料制品满足使用要求, 高速精密注塑机合模机构必须满足的要求为: ①开、合模速度快且平稳; ②开、合模定位精度高; ③合模力准确稳定、重复精度高; ④模板受力均匀。合模机构的高速度、高精度和低振动化趋向, 迫使我们对其分析研究时必须考虑构件的弹性变形、振动等因素的影响。而以往对合模机构的研究大都集中在合模力放大比及尺寸参数的优化等方面^[1-3], 对其弹性变形、振动等进行深入研究的不多。笔者以双曲肘合模机构弹性动力学方程为基础, 对高速合模条件下五点斜排双曲肘合模机构的弹性变形、振动进行探讨, 并对实测的动模板质心处三个相互垂直方向的弹性振动进行小波分析, 旨在为高速合模情况下合模机构减振和优化设计提供理论依据。

1 肘杆弹性振动的研究

略去弹性动力学方程的推导、建立和求解过程, 直接给出双曲肘合模机构系统的运动微分方程, 为:

$$M\ddot{U} + KU = F - M\dot{U}, \tag{1}$$

式中: M 、 K 、 F ——分别为系统质量矩阵、系统刚度矩阵和系统广义力列矩阵。

五点斜排双曲肘合模机构示意图见图1。

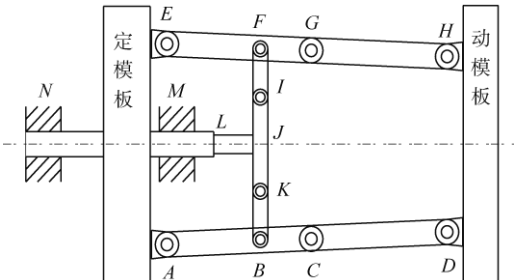
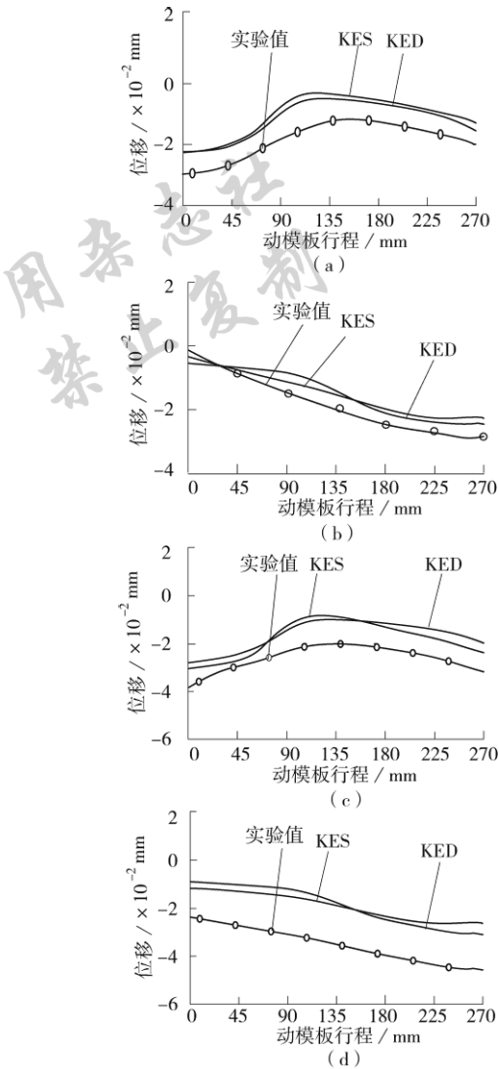


图1 五点斜排双曲肘合模机构示意图

图2为合模速度为200、350 mm/s时肘杆上B



a—B点X向, 200 mm/s; b—B点Y向, 200 mm/s;
c—B点X向, 350 mm/s; d—B点Y向, 350 mm/s

KES—准静态分析值; KED—弹性动力分析值

图2 合模速度为200、350 mm/s时的弹性振动曲线

* 广东省经贸委项目(粤企财[2003]302号)

点在 X、Y 向的弹性振动曲线。

图 3 示出合模速度为 500 mm/s 时肘杆上 B 点在 X、Y 向的弹性振动曲线。

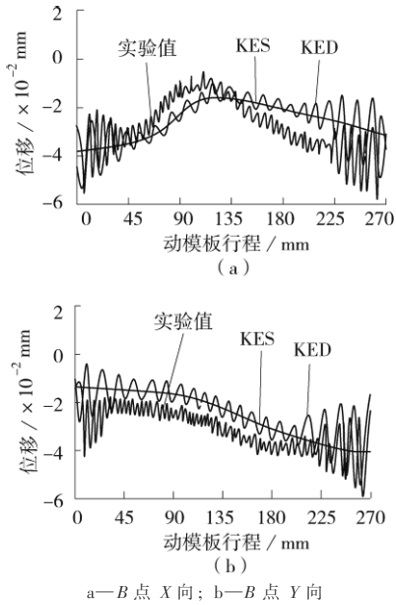


图 3 合模速度为 500 mm/s 时的弹性振动曲线

从图 2、图 3 可知,理论值与实验值基本吻合,这表明所建模型是正确的;当合模速度较低时,KES 值与 KED 值相近,但是当合模速度达到 500 mm/s, KED 与 KES 的差异就非常明显,出现本质性差异,这说明在高速合模时肘杆的弹性变形是不能忽略的,因此在对合模机构进行分析计算时必须考虑弹性变形的影响。

2 动模板振动小波分析

在整个合模机构系统中,肘杆只是力与速度的传递者,而并非最终的动作执行者,最终直接影响合模位置精度的是动模板,所以动模板运动的平稳性是必须关注的重点,且肘杆机构所有杆件的运动、弹性变形和振动都会通过铰接副传递给动模板,并且在动模板上引起振动,因此对动模板稳定性的要求是至关重要的。理论和实验分析表明,动模板工作瞬时振动信息能很好地反映系统的动力性能状态,因此可以通过动模板工作瞬时振动特性来深入探讨整个合模机构的振动及稳定性问题。由于动模板工作瞬时振动波形是进行动态性能研究的基础,要想获得好的分析效果,必须首先获得高精度的瞬时振动波形。但实验表明,无论哪种方法测得的瞬时振动信号中都包含大量的机构系统中其它运动部件和结构的信息,也包含严重的噪声干扰。这些信息对于合模机构(动模板)的研究而言属于背景噪音,使

直接测得的波形与动模板工作过程无明确的对应关系,因而无法直接用来评价其动态性能等指标。故必须对测得的波形进行处理,剔除各种测量噪声,突出所需的特征信息,获取能真正用于模板动态性能检测的有用瞬时振动波形。

近年来,小波变换理论在非平稳振动信号处理领域得到越来越广泛的应用,它在时频两域具有表征信号局部特征的能力,其低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率,在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率,正是这种特性使它具有对信号的自适应性,因此越来越多地被应用于实际工程^[4-5]。笔者采用小波变换对测得的瞬时振动信号进行分析处理,有效地剔除了各种噪声的干扰,准确地提取了进行性能检测所需的瞬时转速波形,其特点是未牺牲测量点数,保持了很好的时域特性。

离散数字信号的小波变换,实质上就是将信号波形分解为一族离散化的小波函数的叠加。小波基函数为:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{a} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right), a, b \in R; a > 0 \quad (2)$$

变动参数 a 和 b 可以衍生出一族小波函数。a 的变动使函数伸缩,形成不同“级”的函数;b 的变动使函数移位,形成不同“位”的小波。若取 a > 0, 且 a 按二进制离散, b 按等距离散,即 a = 2^{-m}, b = n2^{-m}, 其中 m 取自然数, n 取整数。当 t = kT, T 是周期, 则有离散信号 f(t) 的小波变换为:

$$W_f(m, n) = 2^{m/2} \sum_k f(k) \Psi(2^m k - n) \quad (3)$$

相应的小波级数重构信号表示为:

$$f(k) = \sum_m \sum_n W_f(m, n) \Psi_{m,n}(k) \quad (4)$$

其中, $\Psi_{m,n}(k) = 2^{m/2} \Psi(2^m k - n)$, 即 W_f(m, n) Ψ_{m,n}(k) 为某级小波 2^m 个叠加之一, 该级小波共由 2^m 个小波叠加而成。

利用小波分析法对信号进行分析时, 信号 f(t) 的小波分析的关键是确定小波基函数 Ψ_{a,b}(t) 和每一级小波的系数系列 Ψ_{m,n}(k)。Mallat 算法给出了小波系数系列 Ψ_{m,n}(k) 的计算形式, 即利用小波的正交性, 将原始信号 f(t) 从高频级到低频级逐级地滤出各级小波, 形成快速分解算法。若离散采样信号为 C⁰, 其 Mallat 金字塔算法如图 4 所示。

Daubechies 小波函数是世界著名数学家 Inrid Daubechies 于 1988 年构造的小波函数, 具有有限支

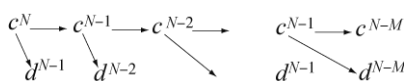


图4 Mallat 金字塔算法

撑长度及正则正交性小波, 但没有解析式表示。

若信号的离散采样为 $C_k^{(0)}$ ($k = 1, 2, \dots, N$), 则 Daubechies 的小波快速分解算法为:

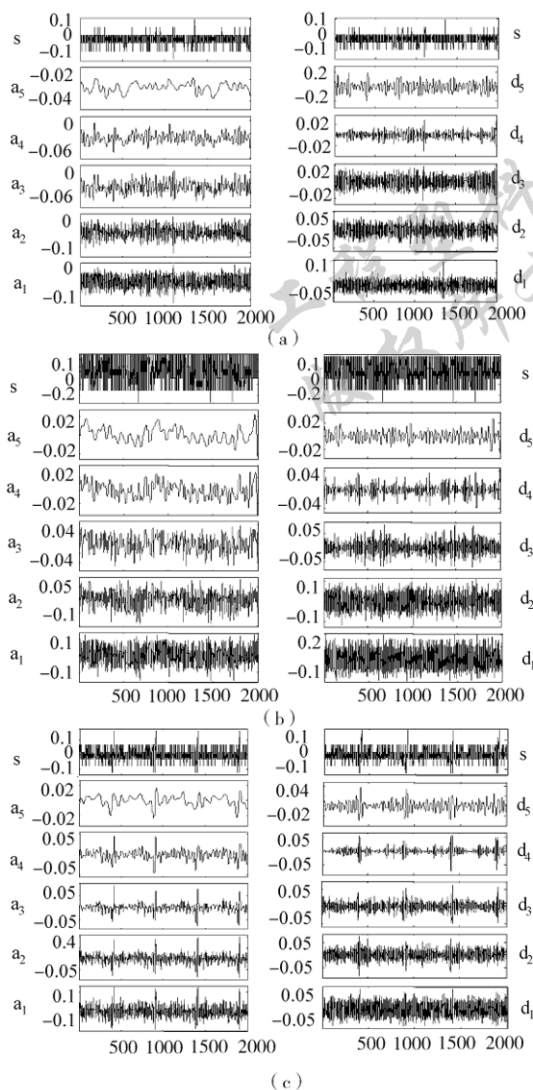
$$d_k^j = \sum_{n=1}^{2M} g_n C_{n+2k-2}^{j-1} \quad (5)$$

$$C_k^j = \sum_{n=1}^{2M} h_n C_{n+2k-2}^{j-1} \quad (6)$$

式中: h_n ——低通滤波系数;

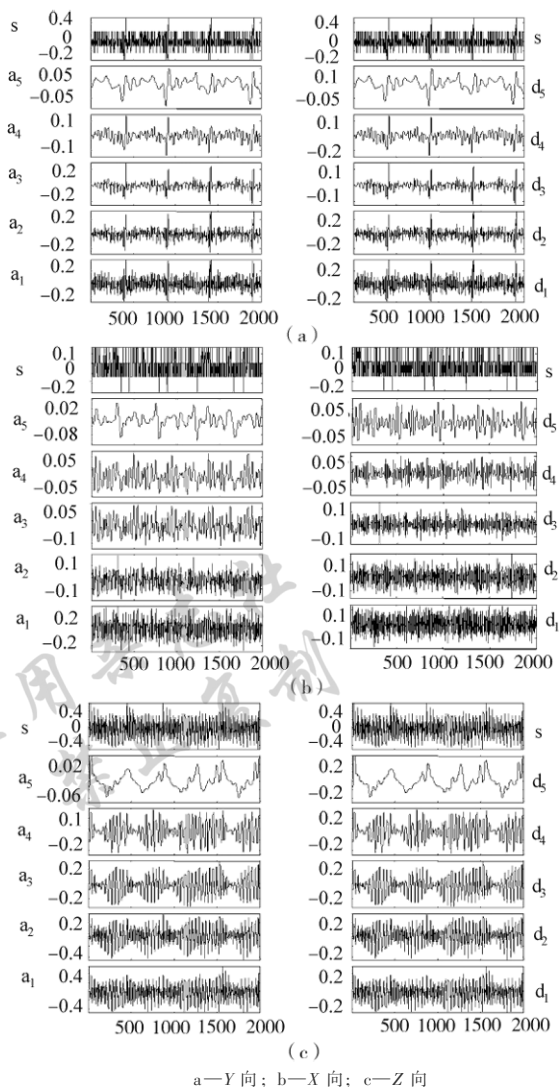
g_n ——高通滤波系数。

图5~图7是合模速度分别为200、350、500 mm/s 时对实测动模板质心处三方向振动信号进行



a—Y 向; b—X 向; c—Z 向

图5 合模速度位 200 mm/s 时动模板质心处三向振动小波分析



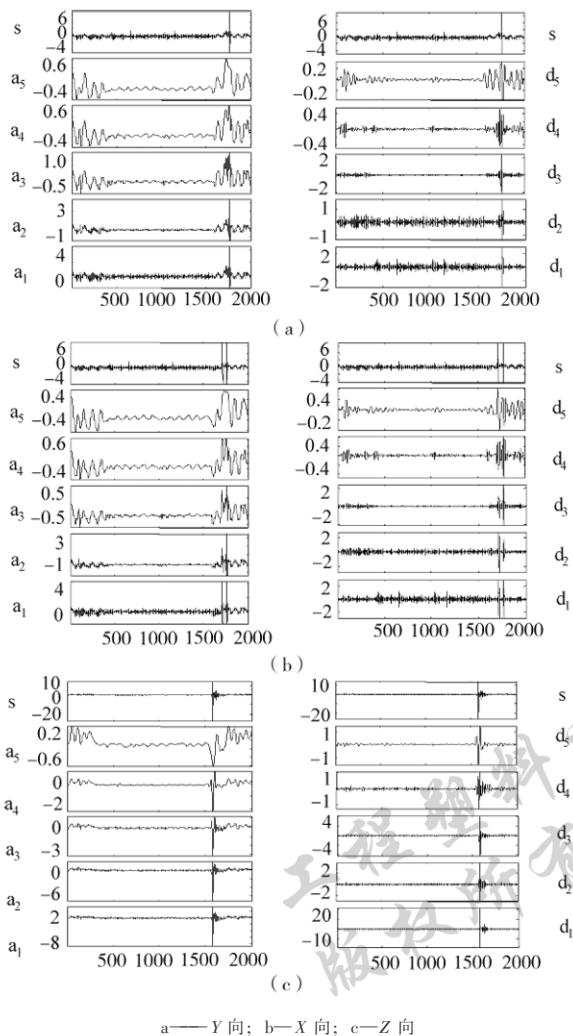
a—Y 向; b—X 向; c—Z 向

图6 合模速度为 350 mm/s 时动模板质心处三向振动小波分析

Daubechies 小波的 5 尺度多分辨率分析。各图左边部分由下至上是信号的 1~5 层近似, 为低频部分, 各图右边部分由下至上 1~5 层是信号细节, 属高频部分; 图中的 s 是原始振动信号。

从图5~图7可以看出, 随着分解层次的逐渐增加, 包含在近似中的高频噪声信息越来越少, 而在第 5 层近似中, 大部分的噪声信号被滤掉了, 真实信号的发展趋势被越来越清晰地显示出来, 其高频部分反映了压力信号的细节, 而低频部分则反映了动模板振动信号的概貌。

在合模速度较低时, 动模板的振动曲线较平稳、无大的突变。合模速度越大, 振动越大。不论在低合模速度还是在高合模速度下, 动模板在三个方向都存在振动, Y 向(与动模板移动方向一致)振动始终大于另两个与之垂直方向的振动, 动模板在与模



a—Y 向; b—X 向; c—Z 向

图 7 合模速度为 500 mm/s 时动模板质心处三向振动小波分析
板移动方向垂直的两个方向产生的振动冲击会导致

轴套受冲击、疲劳、磨损, 而振动会导致模具受冲击。

当合模速度达到 500 mm/s 时, 动模板弹性振动出现实质性转变, 振动曲线上有两处出现较大的突变, 即在合模过程的开始阶段及靠近闭模阶段的弹性振动明显高于其它段, 这一结果与肘杆的 KED 值相一致。振动原因为在此两个阶段内肘杆机构较大的弹性变形所致, 这说明在对高速合模机构进行研究时必须考虑肘杆合模机构的弹性变形。

3 结语

通过对肘杆弹性振动进行的理论和实验对比研究, 以及利用小波分析理论和方法对实时采集的不同合模速度下动模板三方向弹性振动信号的时频、局域特性的分析研究, 为优化合模运动过程的速度曲线、应力曲线, 降低弹性振动, 减少肘杆各连接副间冲击磨损, 降低动模板轴套与拉杆间冲击及动模与静模间冲击, 增加动模板运动平稳性, 提高合模过程轨迹精度和合模精度提供了理论依据。

参考文献

- [1] 黄步明. 注塑机合模装置存在的主要问题及解决方法[J]. 中国塑料, 2001(9): 76 - 80.
- [2] 陈洪涛. 注塑成型机肘杆式锁模机构 CAD 系统的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 1999.
- [3] 段绵开, 王喜顺, 彭玉成. 曲肘式合模机构运动特性分析及其优化设计[J]. 中国塑料, 1996, 6(10): 77 - 82.
- [4] Tanaka Makoto. Application of wavelet transform to compression of mechanical vibration data[J]. Cybernetics and Systems, 1997: 28 (3): 225 - 244.
- [5] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

STUDY ON ELASTIC VIBRATION OF TOGGLE CLAMPING UNIT OF INJECTION MOLDING MACHINE

Chen Xuefeng^{1,2}, Qu Jinping¹

(1. The National Engineering Center of Novel Equipment for Polymer Processing, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Mechanical Department of Shunde Polytechnic Institute, Guangzhou 528300, China)

ABSTRACT A kineto-elastic dynamics model for double-toggle clamping unit with diagonal-five points is presented. The theory and experiment result of the vibration of toggles are studied. The three-direction vibration experiment signal of the move mold board is analyzed by using wavelet theory. Corresponding relation between the vibration of move mold and elastic distortion of toggles is discovered. The theoretic basis for decreasing vibration and increasing die-clamping precision is offered.

KEYWORDS die-clamping unit, elastic distortion, vibration, wavelet theory

道恩北化阻燃 TPV 材料获“黄卡”

山东道恩北化弹性体材料有限公司的 Dawnprene 阻燃 TPV 材料日前顺利通过 (苏州) UL 美华认证公司的 UL 认证, 并获得“黄卡”。该“黄卡”表明道恩北化公司的 Dawnprene 阻燃 TPV 材料已达到国际品质保证的标准。

面对激烈的市场竞争, 越来越多的电子电器生产商对材

料品质提出了更高要求。UL 认证是美国最具权威的安全试验和鉴定机构, 主要从事产品的安全认证和经营安全证明业务, 它采用科学的测试方法来研究确定各种材料、装置等对生命、财产有无危害和危害的程度。Dawnprene 阻燃 TPV 产品通过 UL 权威机构的认证, 可有效消除国际贸易中的技术壁垒, 扩大出口。
(中聚网)