

1kg 偏心负载对滚筒洗衣机振动作用的研究

许振刚 鲁建国 霍雨佳 林思建

(中国家用电器研究院, 100053)

摘要: 本文提出了 1kg 偏心负载对洗衣机振动作用的研究理论。市场上销售的部分滚筒洗衣机额定转速已经达到 1400 转/分钟及 1600 转/分钟, 大家在追求高转速的同时, 洗衣机振动性能是否得到了有效控制和降低, 是广大消费者和企业非常关注的问题。本文通过理论研究分析了洗衣机振动的传递过程, 并对正常工作条件和 1kg 偏心负载条件下振动性能数据进行了对比分析。GB/T 4288-20**《家用和类似用途电动洗衣机》新版中对洗衣机振动性能试验方法及分等分级进行了描述, 其中包含 1kg 偏心负载条件下的振动试验内容。

关键词: 洗衣机 振动性能 1kg 偏心负载

The effect on Drum Washing Machine about vibration performance by 1kg centrifugal load

Xu Zhengang, Lu Jianguo, Huo yujia, Lin sijian

(China Household Electric Appliance Research Institute, 100053)

Abstract: This paper presents a method to study the effect on drum washing machine about vibration performance by 1kg centrifugal load. The spin speed of drum washing machine is 1400 r/min or 1600 r/min on the market. Dose the indicators of drum washing machine vibration performance reduced when we go after the high spin speed? This is attracts the most attention by consumers & companies. Through theoretical study, this paper analyze the vibration transfer process and two cases are compared and analyzed about rated capacity & 1kg centrifugal load. The test method and the grade of vibration performance will be added in GB/T 4288-20**< Household and similar electrical washing machine >, which includes the method about vibration performance by 1kg centrifugal load.

Keywords: Washing Machine, Vibration performance, 1kg centrifugal load

1 引言

洗衣机在使用过程中, 会出现洗衣机振动较为剧烈的情况。我们采用 1kg 偏心负载研究洗衣机在不平衡条件下的振动情况, 来分析洗衣机产生振动的原因, 及如何避免洗衣机振动较大的情况发生。

洗衣机偏心振动的危害关系到以下几个方面:

- 1) 洗衣机偏心振动情况下, 洗衣机内桶会撞击外箱体, 从而造成安全隐患;
- 2) 噪声由振动产生, 振动较大的洗衣机会产生较高的噪声;
- 3) 偏心振动产生不平衡造成洗衣机反复进水进行平衡调整, 造成电资源和水资源浪费。

本文通过对洗衣机 1kg 偏心振动负载的理论计算及分析，及相关的试验数据对比，来描述 1kg 偏心振动研究的重要意义。

2 滚筒洗衣机结构与振动传递过程

2.1 滚筒洗衣机结构示意图

滚筒洗衣机由以下结构组成：箱体承载部件、悬挂配重部件、供水排水部件、电气控制部件。

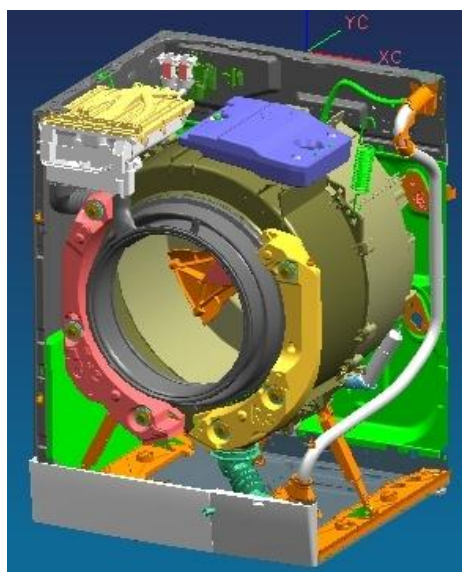


图 1 滚筒洗衣机结构示意图

2.2 洗衣机振动传递过程

滚筒洗衣机在脱水过程中，由于负载不平衡，产生离心力，依次作用于洗涤内筒、轴承、外筒、悬挂支撑、箱体。如果离心力过大，产生较大的振动，造成洗衣机晃动明显，在某些情况下洗衣机会移动位置，从而出现潜在风险。

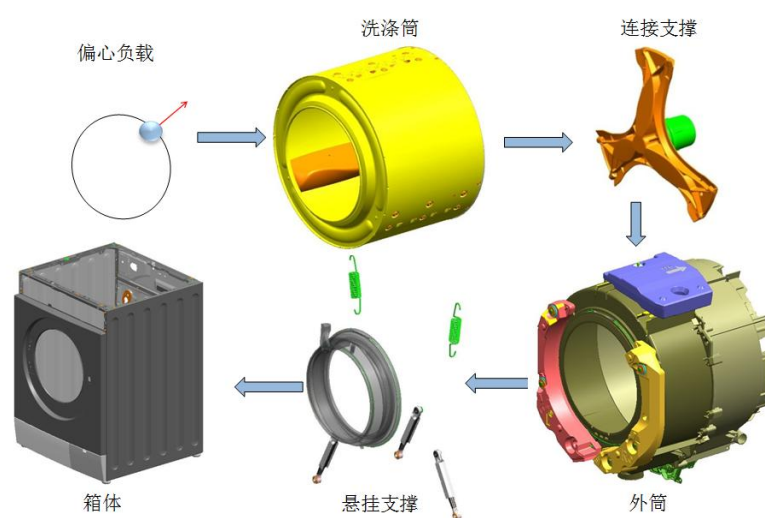


图 2 洗衣机振动传递过程

3 定义和计算

2.1 定义

位移 displacement: (振动与冲击)表征物体上一点相对于某参考系的位置变化的时间变量。

速度 velocity: (振动与冲击)位移的变化率。

加速度 acceleration: (振动与冲击)速度的变化率。

振动 vibration: 围绕某一平衡点的机械振荡, 此振荡可以是周期性的或随机的。

2.2 1kg 偏心负载相关计算

测试条件: 1kg 偏心负载作用于洗涤内筒筒壁; 洗涤内筒直径 500mm, 深 320mm; 脱水转速 800r/min, 1000r/min, 1200r/min, 1400r/min, 1600r/min。

假设在理想条件下, 计算 1kg 偏心负载作用于洗涤内筒筒壁的向心力及产生的能量, 计算过程如下:

1) 在各转速条件下, 计算洗衣机内筒旋转一周所用的时间: 周期 T

计算公式: $T = 1/rps$, 单位: 周期 (T): 秒 (s)。

表 1 周期 T 计算

转速 (rpm)	800	1000	1200	1400	1600
周期 (s) ($T = 1/rps$)	0.075	0.060	0.050	0.043	0.038

2) 在各转速条件下, 计算线速度: V

计算公式: $V = 2\pi r / T$, 单位: V:m/s, r:m, T:s。

已知内筒直径 0.5m, 半径 0.25m, 计算线速度 V。

表 2 线速度 V 计算

转速 (rpm)	800	1000	1200	1400	1600
线速度 ($V = 2\pi r / T$)	20.94	26.18	31.42	36.65	41.89

3) 在各转速条件下, 计算向心力: F

计算公式: $F = mv^2 / r$, 单位: F:N。

表 3 向心力 F 计算

转速 (rpm)	800	1000	1200	1400	1600
向心力 (N) ($F = mv^2 / r$)	1755	2742	3948	5373	7018

这个力有多大，我们可以假设在上述条件下，用水的质量对向心力进行折算：

计算公式： $m = F / g$ ，单位：m:kg。

表 4 向心力 F 与相对应水的质量计算

转速 (rpm)	800	1000	1200	1400	1600
对应水的质量 (kg) ($m = F / g$)	179	280	403	548	716

在不同转速条件下，1kg 偏心负载产生的向心力，相当于有 179 kg、280 kg、403 kg、548 kg、716 kg 的水作用于洗衣机内筒筒壁。而洗衣机自重大约在 60kg~80kg，向心力远远超过洗衣机自身重量，在 1600 转条件下，1kg 偏心负载产生的向心力为洗衣机自身重量的 10 倍。

4) 在各转速条件下，计算 1kg 偏心负载的动能:焦耳 (J)

计算公式： $E = \frac{1}{2}mv^2$ ，单位：焦耳 (J)。

表 5 动能计算

转速 (rpm)	800	1000	1200	1400	1600
动能 (J) ($E = \frac{1}{2}mv^2$)	219	343	493	672	877

在理想条件下，根据能量守恒定律，1kg 偏负载的动能传递给外筒，外筒的动能与重力势能和弹性势能相互转换，数学模型如下所述：

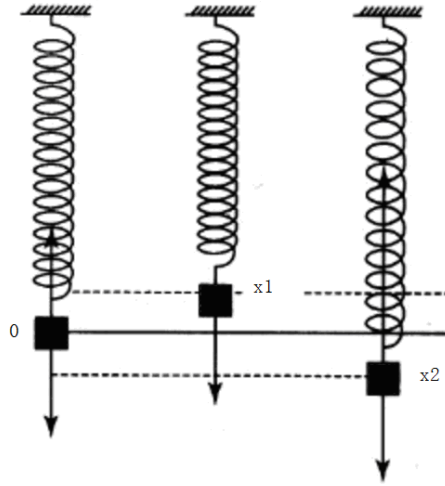


图 3 能量转换模型

计算公式： $E_1 = E_2 = E_2 + E_3$

$$E_1 = \frac{1}{2}mv_1^2; \quad E_2 = \frac{1}{2}Mv_2^2; \quad E_2 = mgh; \quad E_3 = \frac{1}{2}kx^2$$

说明： E_1 : 1kg 负载的动能； m : 1kg 负载的质量 (kg)； v_1 : 1kg 负载的速度 (m/s)；

E_2 : 悬挂筒的动能 (焦耳 J)； M : 悬挂筒的总质量 (kg)； v_1 : 悬挂筒的速度 (m/s)；

E_2 : 外筒的重力势能 (焦耳 J)； m : 外筒质量 (kg)； g (9.8N/kg)； h : 外筒振动的高度 (m)；

E_3 : 弹簧的弹性势能 (焦耳 J)； k : 弹性系数 (N/m)； x : 弹簧形变量 (m)。

依据上述公式，洗衣机筒增加配重的目的是增加内筒的总质量 M ，减少洗衣机悬挂筒的振动大小。洗衣机实际脱水过程中，会存在各个方向的力及动能势能转换。洗衣机跳起来的直接原因多是由于内筒振动过大造成，并且内筒振动过大的情况下，极易出现悬挂筒碰撞外箱体的情况，也是一部分振动产生的原因。由于该振动是受迫振动，符合受迫振动理论，下面进行相关分析。

5) 受迫振动理论

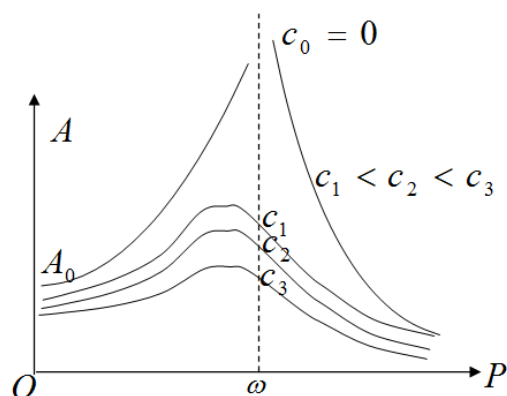


图 4 受迫振动曲线

上图为受迫振动特征曲线，横坐标 P 为频率，纵坐标 A 为振幅， c 为阻尼系数，其特征为：

- 1) 当 p 接近共振频率时振幅最大，出现共振；
- 2) 阻尼越小，共振越大；
- 3) $p \gg \omega$ 时，振体由于惯性，来不及改变运动状态，物体处于近似静止状态。

所以物体的固有频率是该物体的固有特性，洗衣机在周期性向心力的作用下，振动由洗衣机内部传递到外部。根据实际试验情况，洗衣机不同的部件的固有频率是不一样的。举例：悬挂内桶的固有频率多在 50Hz 到 60Hz，所以滚筒洗衣机在脱水过程中会较快的通过这个频率，所以大家感觉洗衣机在低速提速过程中会有一小段振动较大的情况，是由于洗衣机快速通过了 300r/min 附近的转速，并且不进行停留。而洗衣机外箱体的固有频率则是高于最高脱水转速，不能采用快速通过的方式。

3 1kg 偏心负载条件下洗衣机振动性能试验方法

3.1 振动性能测试测点位置

振动性能测点位置如图 5 所示，转速测点位置如图 6 所示。

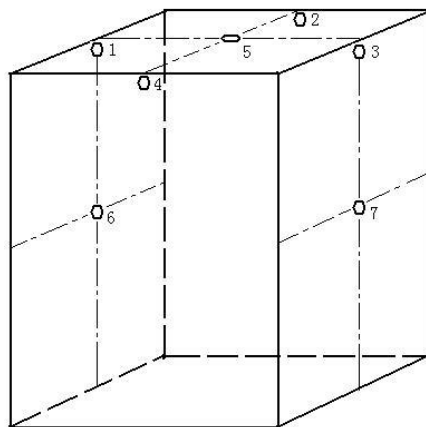


图 5 洗衣机振动性能测点位置

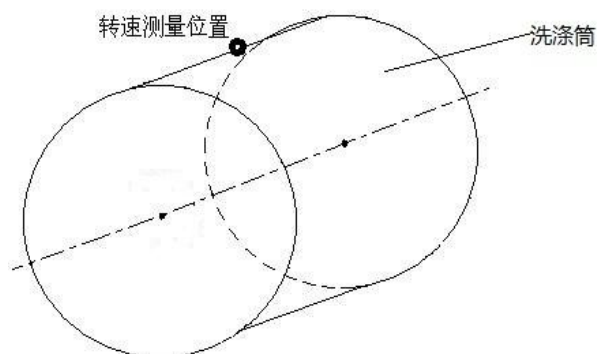


图 6 洗衣机转速测点位置

3.2 1kg 偏心负载组成

称量由餐巾和 1 个布包共同组成的 1 kg 负载，布包由餐巾对折缝制而成，餐巾放于布包内，模拟一个偏振负载。测试 1 kg 偏振负载条件下的洗衣机振动，选择单脱水程序，最高脱水转速。

3.3 1kg 偏心负载寿命试验过程

使用 1kg 偏心负载进行测试。寿命试验选择单脱水程序，最高脱水转速，测试时间不少于 500h。寿命试验结束后，测量洗衣机振动性能。

4 1kg 偏心负载条件下洗衣机振动性能试验数据

我们采用 1200 转条件下 6.0kg 洗衣机进行振动性能数据分析。

4.1 正常工作条件下洗衣机振动性能试验数据

测试条件：6.0kg 额定负载质量。检测结果如下：

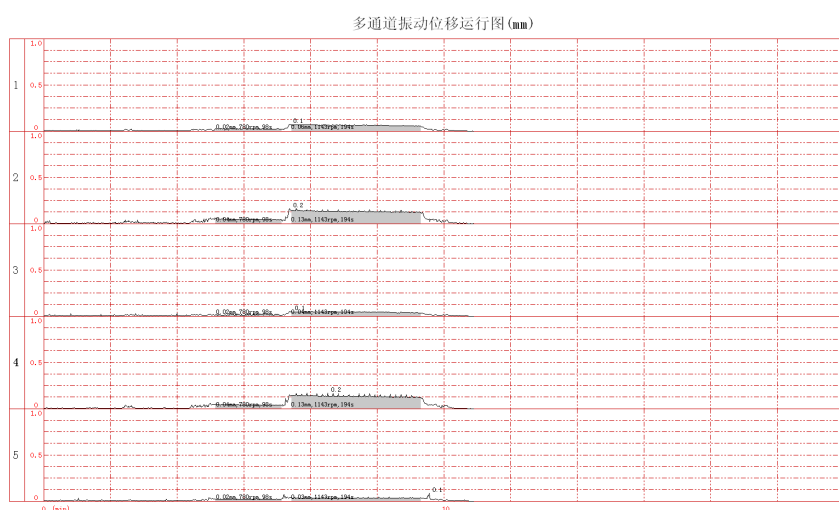


图 7 位移运行图

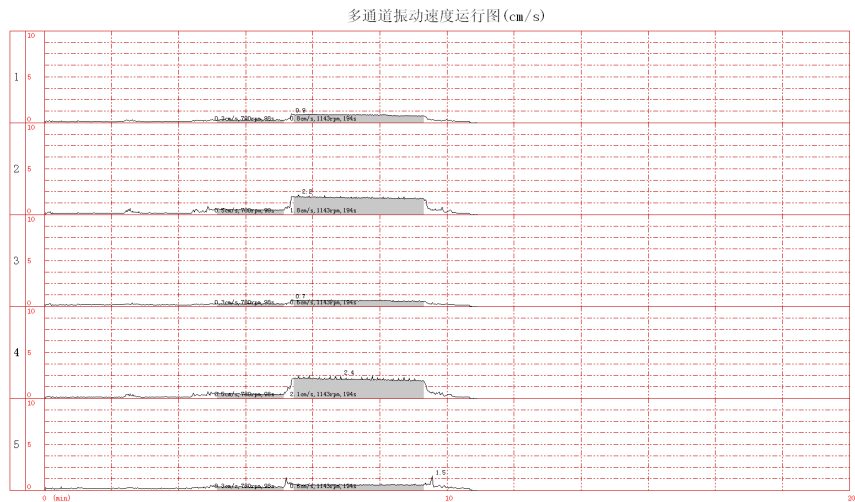


图 8 速度运行图

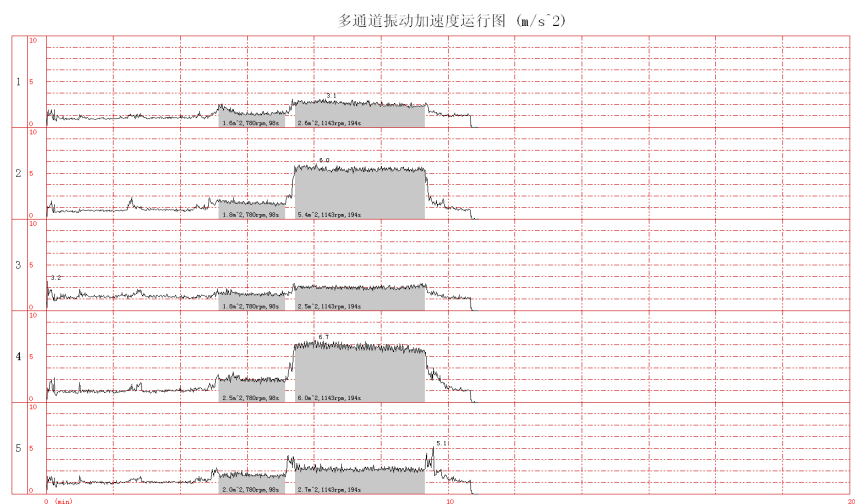


图 9 加速度运行图

4.2 1kg 偏心负载条件下洗衣机振动性能试验数据

测试条件：1kg 偏心负载质量。检测结果如下：

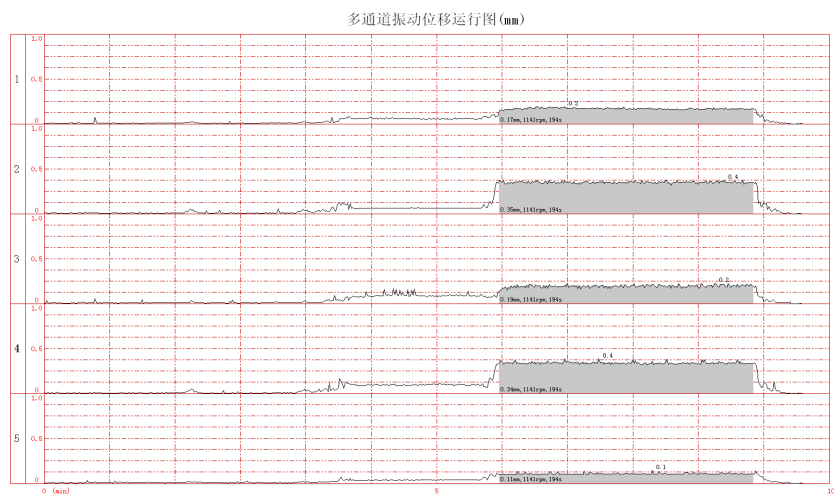


图 10 位移运行图

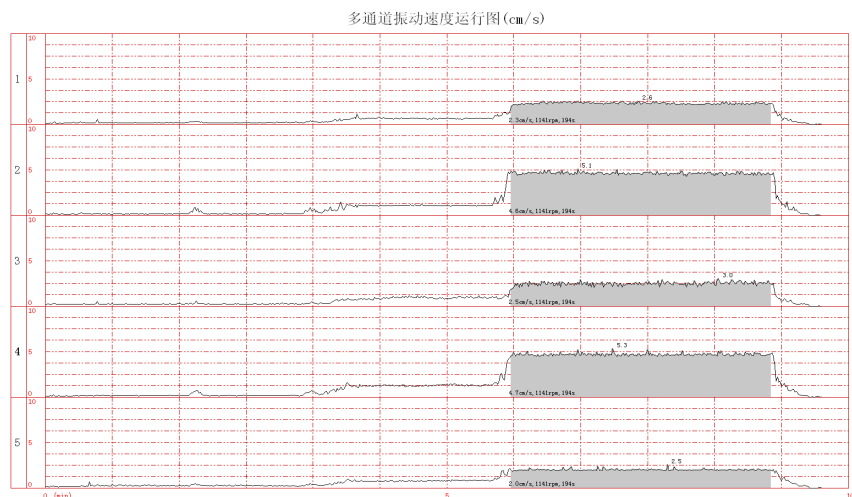


图 11 速度运行图

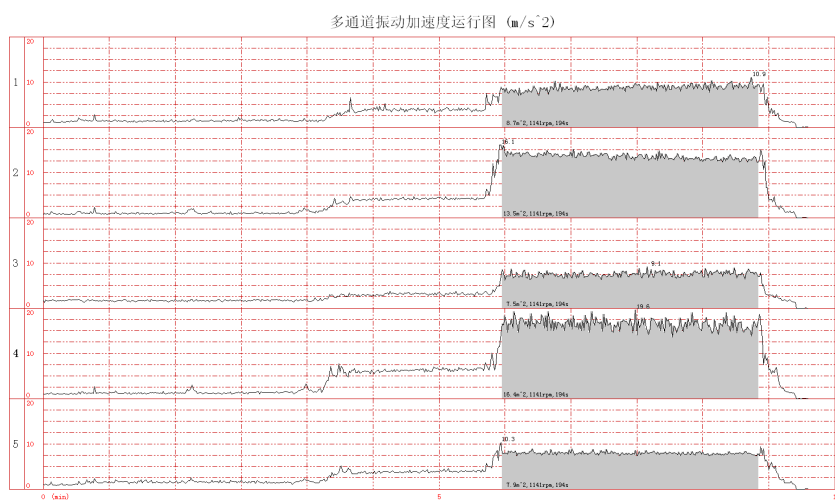


图 12 加速度运行图

4.3 试验数据对比

试验数据对比如下表所述：

表 6 两种条件下振动性能试验数据对比

测试条件	最高脱水转速 平均转速 (r/min)	最高脱水转速 持续时间(s)	位移 (mm)	速度 (cm/s)	加速度 (m/s ²)
额定负载条件	1143	194	0.13	2.1	6.0
1kg 偏心负载条件	1141	194	0.35	4.7	16.4

根据以上数据对比,可以发现洗衣机在 1kg 偏心负载条件下脱水振动远大于额定负载条件,振动测量值在两倍以上。在额定负载条件下,该洗衣机振动性能等级为 A+等级,在 1kg

偏心负载条件下，该洗衣机振动性能等级为>C 级。而实际使用情况多是偏心负载情况。

5 洗衣机振动性能分等分级指标

洗衣机脱水运行过程中，箱体上边沿各测量点及上、左、右各面几何中心位置各测量点的加速度峰值、速度峰值和位移峰值等级指标如下表所示。

表 7 洗衣机振动性能分等分级指标

试验项目		A+级	A 级	B 级	C 级
位移峰值/mm ≤		0.2	0.3	0.4	0.5
加速度峰值/（m/s ² ）≤	脱水转速≤1400 r/min	9	11	13	15
	脱水转速>1400 r/min	9	12	15	18
速度峰值/（cm/s）≤	脱水转速≤1400 r/min	3	5	7	9
	脱水转速>1400 r/min	5	7	9	11
注：7 个测量点的加速度峰值、速度峰值、位移峰值同时达到同一等级指标时取该等级，否则取其中的最低等级。					

6 结论

企业及用户关注 1kg 偏心负载条件下洗衣机脱水振动性能指标具有重要意义。1kg 偏心负载条件模拟了实际使用过程中洗涤单件厚重衣物的情况，如一个被罩、一个床单、一个防寒服等，或者衣物缠绕情况，而偏心振动情况在实际使用过程中经常发生。

对于洗衣机用户，在衣物洗涤过程中应该避免洗衣机出现过度不平衡现象，可以通过以下方法实现：

1) 滚筒洗衣机洗涤多件衣物比洗涤单件衣物更容易平衡，洗涤单件过厚衣物容易造成洗衣机脱水不平衡；

2) 衣物洗涤过程中应避免衣物缠绕情况，在衣物缠绕严重的情况下应及时整理衣物再进行脱水，可有效降低洗衣机振动。

对于开发企业，应关注在 1kg 偏心负载条件下及偏心振动寿命试验后，洗衣机的振动性能，并持续的提高洗衣机的振动水平及耐久性。通过以下方法改善提高洗衣机振动性能技术指标。

1) 优化洗衣机减振结构，通过力学及能量传递过程，在振动传递各环节对洗衣机结构进行升级优化，从而在提高脱水转速的同时，有效降低洗衣机振动性能；

2) 优化平衡判断条件，提高洗涤脱水平衡调节能力，有效节约能耗及水耗；

3) 说明书中应注明脱水不平衡及衣物缠绕情况下，手动调节过程，确保用户在使用过

程中的安全问题。

洗衣机行业不断发展,洗衣机脱速转速提高的同时有效优化振动噪声性能指标,对于企业良好发展、提高产品竞争力、树立品牌形象具有重要意义。

参考文献

1. GB/T 4288-2008. 家用和类似用途电动洗衣机
2. QB/T 4680-2014. 复式高滚筒洗衣机技术规范

通信作者简介:

许振刚, 男, 工作单位: 中国家用电器研究院, 主要从事测试设备开发工作, 电子邮箱: xuzg@cheari.com, 联系电话: 13581911036,