

动平衡技术及其在自动分检衡器中的应用

□陈日兴

【摘要】在带有旋转轴的自动衡器产品设计和调试中，旋转轴动平衡技术对提高产品动态准确度至关重要。本文从动平衡技术的基本概念与原理出发，介绍了不平衡与平衡测试技术。文中以自动分检衡器为例，从动平衡精度选用与计算、许用比例剩余不平衡的确定、以及诊断动不平衡对衡器动态称量准确度影响等方面，较为详细地介绍了动平衡测试技术在产品设计方案与产品调试中的应用实例。

【关键词】自动衡器；自动检重衡器；动平衡技术

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2024）06-0005-05

概述

随着我国制造业产品朝着高、精、尖方向的发展，高速旋转平衡技术对于平衡精度的要求越来越高。很多旋转机械的工业产品在运行过程中由于转子不平衡造成振动的故障占有较高的比率，并且影响产品的使用寿命。如何消除转子不平衡的影响，除了在设备运行和保养上需要重点关注外，在产品设计和制造工艺以及产品全生命周期管理上应予以重视。

动平衡技术在我国衡器行业的自动衡器产品中值得关注。例如在连续累计自动衡器产品中的皮带秤的皮带驱动与从动轴的转轴不平衡；运行托辊特别是计量托辊的转轴不平衡，将会带来运行皮带张力的变化与皮带振动，从而影响皮带秤称重的准确性。在同样属于连续累计自动衡器的螺旋秤、失重秤等产品中，也同样有转轴不平衡的问题。在重力式自动装料衡器产品中，大部分前端输送加料装置，例如圆盘给料机、叶轮给料机、螺旋给料器、胶带给料机等辅助装置的给料流量的稳定与否，也会影响到衡器最终的称量准确性。据笔者所知，目前国内的衡器制造企业在带有转轴的动态衡器产品中，在产品设计和工艺制造中能够应用动平衡技术的为数不多。目前，在所有自动衡器产品中自动分

检衡器的动平衡技术应用最为直接。本文重点介绍了自动分检衡器产品设计和调试中的动平衡技术，首先从动平衡技术的概念出发，介绍了不同的动平衡测试技术，最后介绍了动平衡测试技术在自动分检衡器产品设计方案与产品调试中的应用案例，进一步说明动平衡技术对提高自动衡器产品动态准确度的重要性。

1 不平衡与平衡^[1]

在带有转轴的动态衡器产品中，由于转轴旋转时的径向跳动产生的振动，将直接带来称量误差。例如：自动分检衡器中的计量输送皮带滚筒的质量分布，由于受材料和加工技术的影响，不可能呈中心轴线绝对的轴对称，因此滚筒的质量中心和其旋转中心线间存在偏心距。这种因质量偏心使滚筒在运行中产生周期性离心力造成振动的现象称之为不平衡。

1.1 不平衡

根据国家标准化组织（ISO）对于“不平衡”的定义所述，在一个旋转的转轴中，不平衡的存在是由于离心力没有消除，从而使得振动负荷或振动位移传递给轴承所造成的。

决定离心力大小和方向的量是质量与半径的乘积，在平衡技术中称为不平衡（矢量）。不平衡与不

平衡质量的矢径始终具有同样的方向。

不平衡实质上是一个旋转体的质量轴线(惯量轴线)与实际的旋转轴线不重合。其单位为不平衡的质量与该质量中心至实际旋转轴线的距离的乘积,以g.mm计量。

例如:一个不平衡质量 $u=100\text{g}$,半径 $r=500\text{mm}$,其不平衡量 $U=u r= 50000\text{g.mm}$ 。

1.2 不平衡的表现形式

不平衡有3种表现形式:

(1) 静力不平衡(单平面)

一个旋转体的质量轴线与旋转轴线不重合,但平行于旋转轴线,因此不平衡将发生在单平面上。不平衡所产生的离心力作用于两端支承上是相等且同向的。

(2) 偶力不平衡

表现在一个旋转体的质量轴线与旋转轴线不重合,但相交于旋转体重心,不平衡所产生的离心力作用于两端支承是相等而 180° 反向的。

(3) 动力不平衡(双平面)

表现在一个旋转体的质量轴线与旋转轴线不重合,而且既不平行也不相交,因此不平衡将发生在两个平面上,可以认为动力不平衡是静力不平衡和偶力不平衡的组合,不平衡所产生的离心力作用于两端支承,既不相等且向量角度也不相同。

动平衡简单讲就是滚筒轴高速旋转时的跳动要达到一定标准精度,重心在旋转轴心上不会发生共

振。在所有称重单元带有转轴的动态衡器产品中,特别在重量自动检重秤中的计量输送皮带滚筒的动平衡精度是至关重要的。

1.3 平衡

按照国家标准化组织(ISO)的定义如下:

平衡是“检测以及在必要时校正转子质量分布的程序,以保证在工作转速下,轴颈运转时产生的振动和轴承力在规定范围内”。通俗地讲,不平衡状态的检验即为平衡。

在所有的旋转机械产品,包括具有称重单元转轴的动态衡器产品中,没有也不可能完全平衡的转子。因此在所有的此类产品运行中,允许有剩余不平衡量,由此需要规定许用剩余不平衡的许用公差。

在ISO-1940规范与标准《旋转的刚性转子的平衡状态的判断标准》及《旋转的刚性转子的平衡精度》中,规定了“转子质量和许用剩余不平衡量”和“工作转速和许用剩余不平衡量”的对应关系。

2 动平衡精度选用与计算实例

2.1 动平衡精度选用

现以自动分检衡器为代表举例说明。由于该产品一般在用户生产线的配置位置是在重力式自动装料衡器后端,用于用户产品的最终检验工位,属于较为精密的检测设备,因此根据自动分检衡器中不同的部位选用不同的平衡精度。按OIML R51中的X类自动分检衡器的准确度等级XII(0.2)级的最大允许误差估算,其平衡精度选用实例如表1所示:

表1 平衡精度选用实例

精度等级	最小剩余不平衡度	转子类型举例
G 2.5	2.5 g.mm/kg	自动分检衡器的分选滚筒;泵的叶轮;风扇;机床的一般零件;普通电机转子
G 1	1 g.mm/kg	自动分检衡器的输送进料滚筒;录音机驱动件;磨床驱动件;特殊要求的小型电枢
G 0.4	0.4 g.mm/kg	自动分检衡器的计量滚筒;精密磨床的主轴、磨轮及电枢、回转仪

2.2 不平衡量的简化计算

由于正规的计算较为繁琐,现将不平衡量的简化计算如下式表示:

$$m = 9549 \times \frac{M \times G}{r \times n}$$

式中: m ——不平衡合格量(g);

M ——转子质量(kg);

G ——根据精度等级选用的最小剩余不平衡度 (g.mm/kg) ;

r ——校正半径 (mm) ;

n ——工件的工作转速 (rpm) 。

3 许用比例剩余不平衡的确定

在确定动平衡对称量准确度的影响之前, 应详细阅读动平衡产品与动平衡的相关技术资料。下图^[1]中列出了动平衡精度等级和对应的动平衡测试的转速与许用比例剩余不平衡的对应关系:

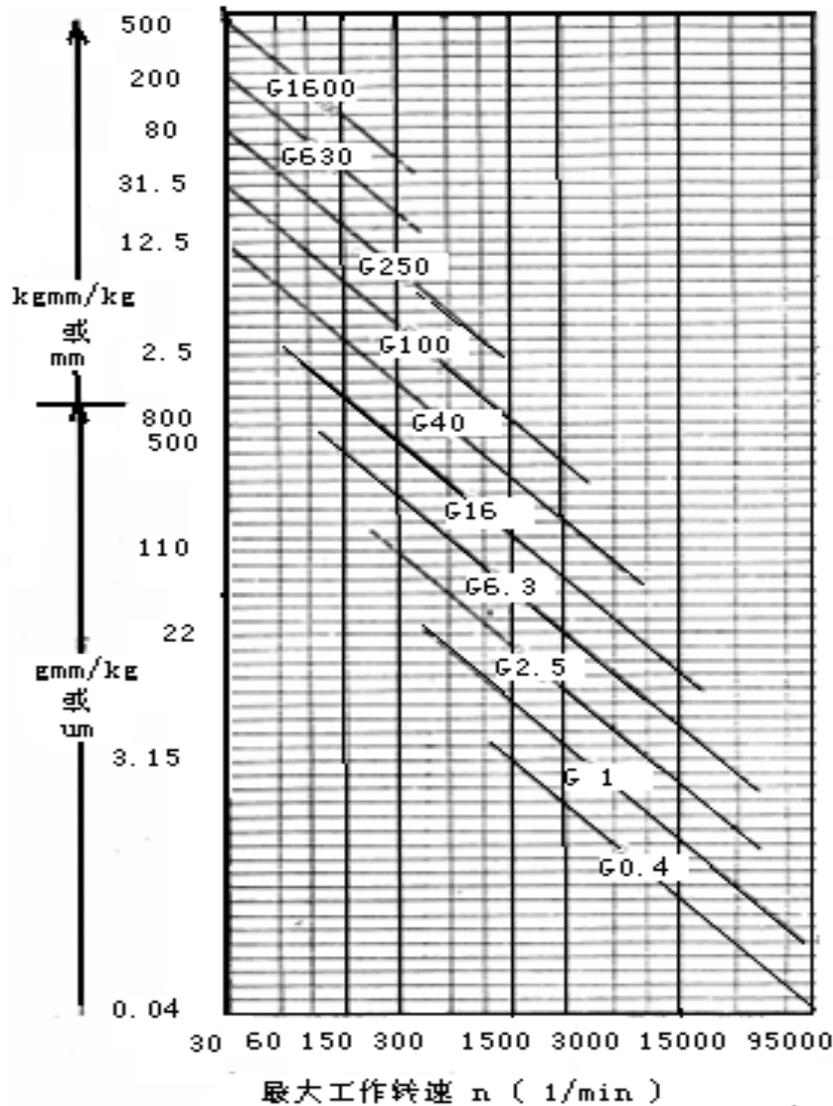


图 不同等级的最大工作转速与许用比例剩余不平衡的对应关系

4 根据动态称量准确度确定动平衡精度等级的操作程序^[2]

诊断动不平衡对动态称量准确度影响的基本程序如下:

4.1 根据承载器滚筒质量和转速计算出允许的剩余不平衡量

如果已知衡器转轴的动平衡精度等级, 可根据上面图表1中的对应的动平衡精度等级和对应的动平衡测试的转速, 查找出许用比例剩余不平衡, 再对照上述动平衡调整方法中不平衡量的简化计算公式, 验证许用比例剩余不平衡的正确与否。

4.2 根据衡器的准确度等级估算出动平衡精度等级

现以自动分检衡器为例。如果已知衡器的准确度等级，可估算出衡器滚筒的动平衡精度等级。具体步骤如下：

(1) 确定自动分检衡器系列产品主要参数
现举例自动分检衡器系列产品准确度等级为

XIII(1) 级。Max 规格分别为100g、500g、1000g、2000g、3000g。检定分度值 $e=2g$ 。

(2) 计算最大允许平均误差

表2 X类衡器最大允许平均误差^[3]

XIII(x)	首次检定	使用中检验
$0 < m \leq 500$	$\pm 0.5e$	$\pm 1e$
$500 < m \leq 2000$	$\pm 1e$	$\pm 2e$
$2000 < m \leq 10000$	$\pm 1.5e$	$\pm 3e$

动态自动运行的读数平均值计算如下：

$$\text{读数的平均值: } \bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}$$

平均误差计算如下： $ME = X - \bar{I}$

(3) 计算最大允许标准偏差

表3 X类衡器最大允许标准偏差^[3]

净载荷的质量值m (g)	等级因子(x)=1 时的最大允许标准偏差 (以m的百分比或以g表示)	
	首次检定	使用中检验
$m \leq 50$	0.48%	0.6%
$50 < m \leq 100$	0.24g	0.3g
$100 < m \leq 200$	0.24%	0.3%
$200 < m \leq 300$	0.48g	0.6g
$300 < m \leq 500$	0.16%	0.2%
$500 < m \leq 1000$	0.8g	1.0g
$1000 < m \leq 10000$	0.08%	0.1%
$10000 < m \leq 15000$	8g	10g
$15000 < m$	0.053%	0.067%

$$\text{标准偏差 } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

(4) 计算产品系列平均误差和标准偏差允许值

根据上述平均误差和标准偏差允许值列表，如表4 所示：

表4 最大允许平均误差和最大允许标准偏差（首次检定）

	3000g	2000g	1000g	500g	100g
最大允许平均误差 MPME	3g	2g	2g	1g	1g
最大允许标准偏差MPSD	2.4g	1.6g	0.8g	0.8g	0.24g

（5）计算产品称量误差分配比例系数 误差0.5的比例系数分配给允许的不平衡合格量如表按上述最大允许标准偏差的允许值，按照称量 5所示：

表5 允许不平衡合格量

3000g	2000g	1000g	500g	100g
1.2g	0.8g	0.4g	0.4g	0.12g

（6）计算最小剩余不平衡度

再根据滚筒半径、滚筒重量，代入不平衡量的简化计算，分别计算出不同重量规格的最小剩余不平衡度（g.mm/kg）。

（7）计算动平衡精度等级

根据上述图表即可粗略求得动平衡精度等级。

4.3 试验结果比较后确定

将动平衡测试前后的计量滚筒，分别装在自动分检衡器的计量输送机上。在其他条件不变的条件下，用标准试块按OIML R51自动运行的动态测试，比较两种情况的动态称量准确度等级。验证动平衡对称量准确度的影响。

5 编后语

本文从动平衡的基本概念与原理出发，以自动分检衡器产品为例，介绍了动平衡技术在具有转轴的动态衡器产品中的实际应用。衡器制造企业可以在产品设计和制造工艺以及产品全生命周期管理中，根据各自产品准确度的要求与转子质量，以及产品其中各个旋转部件的重要程度，选择不同的平衡精度等级和许用剩余不平衡量，并根据工作转速和许用剩余不平衡量找出对应关系，验证动平衡对称量准确度的影响。本文呼吁：为提高具有转轴的动态衡器产品准确度等级，在产品的设计和制造工艺以及产品全生命周期中，应引入动平衡应用技术。

期待本文对于进一步提高具有转轴的动态衡器产品的质量起到促进作用。

参考文献

- [1] 徐芳麟.《平衡技术的原理与技巧》P46-48[M].上海：上海科学技术文献出版社，1992.
- [2] 陈日兴.《衡器整机装配调试工（技师）》P148-152[M].北京：中国劳动社会保障出版社 2015.
- [3] OIML R50-2020《Automatic catchweighing instrument 自动分检衡器》国际建议[S]. 2020.

作者简介

陈日兴，男（1946—）享受国务院颁发政府特殊津贴工程技术类专家。原任上海大和衡器有限公司总工程师，现任《衡器》杂志编委会副主任委员、中国衡器协会发展战略咨询委员会委员、中国衡器协会专家技术委员会顾问、中国衡器协会团体标准技术委员会顾问。2019年荣获中共中央、国务院、中央军委联合表彰颁发的国庆70周年纪念奖章。研究方向：衡器产品研发与标准、计量。国内、外发表技术论文110余篇。