

## Balance calculation and analysis of rotating members

Bai Chao

Qinghai Normal University, Xining

**Abstract:** With the rapid development of the domestic semiconductor equipment industry technology, the balance of rotary components precision demand is higher and higher, especially in silicon processing industry performance, especially for the balance of the semiconductor equipment precision requirements, the system elaborated the importance of mechanical balance, balance precision in engineering design to choose way, rigid balance calculation of rotary components as well as in practice of dynamic and static balance method of general and special rotor.

**Key words:** Semiconductor; Equipment; Rotary member; Balance

Received: 2019-09-12 ; Accepted: 2019-10-10 ; Published: 2019-11-01

# 回转构件平衡计算分析

白 超

青海师范大学, 西宁

邮箱: chaobai90@sina.com.cn

**摘 要:** 随着国内半导体设备行业技术的迅速发展, 对回转构件的平衡精度要求越来越高, 尤其在硅加工行业中表现尤为突出, 针对半导体设备的平衡精度要求, 系统阐述了机械平衡的重要性, 工程设计中平衡精度选择方式, 刚性回转构件的平衡计算以及在对一般、特殊转子的动静平衡方法。

**关键词:** 半导体; 设备; 回转构件; 平衡

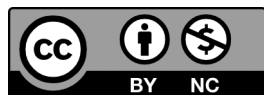
收稿日期: 2019-09-12; 录用日期: 2019-10-10; 发表日期: 2019-11-01

---

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



目前, 国内硅片制造加工业中所采用的设备大都为旋转切割模式。有旋转必然存在机械平衡问题。机械平衡对产品的质量, 设备的工作精度、可靠性、使用寿命及噪音污染直接相关。在硅片加工制造业中, 由于不平衡惯性力引起

的振动很可能使脆性硅晶体碎裂,以致降低生产效率和加工质量,提高生产成本,尤其当振动频率接近机械系统的固有频率时将引起共振,造成机器破坏,甚至危及周围工作人员和厂房安全,因此尽量消除不平衡惯性力的影响,减轻机械振动,是改善机械工作性能,延长机械使用寿命,改善工作环境,提高生产效率和产品质量的关键。

## 1 平衡计算

鉴于挠性转子比较复杂且已有专门学科研究,对半导体设备行业意义不大,我们只对刚性转子的不平衡量予以讨论。对于不平衡质量在同一回转平面内和不在同一回转平衡内,通过空间静力学分析,不难得出:

$$e = \frac{mr}{G} \quad (1)$$

其中:

$e$ ——转子校正平面上的质心偏移;

$m$ ——转子校正平面上校正半径  $r$  处的不平衡质量;

$r$ ——转子校正平面上不平衡质量所在的半径;

$G$ ——转子的质量。

在工程图纸中,评价刚性转子的不平衡大小,往往以许用不平衡力矩表示,即:  $M=eG$  结合式 (1) 容易得出静平衡 (单面平衡),  $M=Ge=mr$ , 动平衡 (双面平衡)  $M=1/2e$ ,  $G=1/2mr$ , 这正是所有动平衡机测定回转体不平衡量的原理和方法,因此这样给出的不平衡精度要求更便于实验者进行实际平衡操作。有时在工程图样中,不平衡大小要求以许用偏心距来表示,这对于区别不同重量的回转体平衡精度非常方便,但对于动平衡实验很不直观。

## 2 平衡方式选择

厚度与直径之比小于 0.2 的盘状转子,一般只需进行静平衡实验,圆柱形转子或厚度与直径之比大于 0.2 的盘状转子应根据转子的工作速度来决定平衡方式,采用图 1 所示进行选择比较直观。其中  $b$  为转子厚度,  $D$  为转子直径。下斜线以下的转子只需进行静平衡,上斜线以上的转子必须进行动平衡,两斜线

间的转子必须根据转子的重量、制造工艺、加工情况及轴承的距离等因素来确定是否需要进行动平衡。

### 3 动平衡技术分析

硬支承平衡机的转速选择必须满足转子平衡转速的角频率与平衡机振动角频率之比  $\omega/\omega_0 \leq 0.3$ ，由于硬支承平衡机支承刚度较大，转子在旋转时不平衡量产生的离心力不足使支承架产生足够的位移，通过一机械放大机构，将此振动位移放大。转子的不平衡量以交变动压力的形式作用于支承架上，它包含有不平衡量的大小和相位，无论对于机械式动平衡机还是电测式动平衡机，在动平衡校正之前，都必须设法消除一个平衡平面中的不平衡量对另一个平衡平面的影响。硬支承平衡机对转子两校正平面不平衡量的相互影响是通过两校正平面间距  $b$ ，校正平面到左、右支承平面的间距即用  $a$ 、 $b$ 、 $c$  参数的预先设置予以解决。

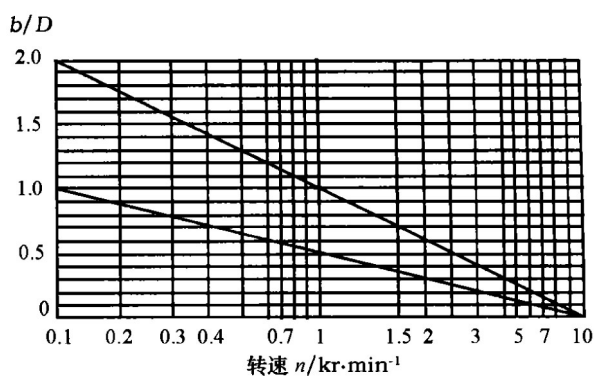


图 1 平衡选择方式

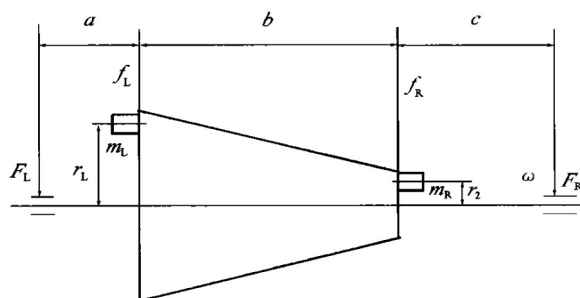


图 2 动平衡模形图

根据图 2 对校正平面上不平衡量进行计算：

图中： $F_L$ 、 $F_R$ ——左、右支承平面上承受的动压力；

$f_L$ 、 $f_R$ ——左右校正平面上由不平衡质量产生的离心力；

$m_L$ 、 $m_R$ ——左右校正平面上的不平衡质量；

$a$ 、 $c$ ——左、右校正平面至左右支承平面间的距离；

$b$ ——左右校正平面之间的距离；

$r_1$ 、 $r_2$ ——左右校正平面的校正半径；

$\omega$ ——旋转角速度。

其中  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $r_1$ 、 $r_2$  和  $F_L$ 、 $F_R$  及  $\omega$  均为已知，刚性转子处于平衡时必须满足  $\Sigma F=0$  和  $\Sigma M=0$  的静力平衡条件：

$$\begin{cases} F_L \cdot a + f_R \cdot b - F_R(b + c) = 0 \\ F_L + F_R - f_L - f_R = 0 \end{cases}$$

因  $f_R = m_R \cdot r_2 \omega^2$ ， $f_L = m_L \cdot r_1 \omega^2$  不难得出：

$$m_R = \frac{1}{r_2 \cdot \omega^2} \left[ \left( 1 + \frac{c}{b} \right) F_R - \frac{a}{b} F_L \right] \quad (2)$$

$$m_L = \frac{1}{r_1 \cdot \omega^2} \left[ \left( 1 + \frac{a}{b} \right) F_L - \frac{c}{b} F_R \right] \quad (3)$$

式 (2)、(3) 的物理意义是：

(1) 如果转子的几何参数 ( $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $r$ ) 和平衡转速  $\omega$  已确定，则校正平面上应加的校正质量即试重可以直接测量出来，并以 ( $g \cdot mm$ ) 为量纲。

(2) 转子校正平面之间的相互影响是由转子的几何参数所确定的 [见公式 (2)、(3) 中  $\frac{a}{b}F_L$  和  $\frac{c}{b}F_R$  项]，故不需再进行调整，转子就能在平衡运行前完成平面分离。

## 4 常用平衡方法介绍

(1) 刚性转子不平衡在要求不太高的情况下，可在转子静力状态下确定不平衡重量的数值和位置，即将转子的轴颈搁置在水平刀口静平衡架上观察确定；对于半导体行业中的薄壁类即长径比不大于 1/5 的回转体，要求精度很高，可按动平衡中的单面平衡可达到理想的效果。

(2) 带有叶片的转子, 旋转时产生的风压负荷应连同工件驱动功率, 计算在电机功率范围内, 过大的风压产生的空气阻流将使传感器信号噪声增大, 数显值跳动而影响平衡精度和效率, 在这种情况下可以用质量较轻的物体, 如牛皮纸等, 封住风口, 来校验转子。

(3) 任何一个动不平衡量, 都可用两面分解的方法予以校正, 即任意选定两个校正平面, 一般按尽可能靠近转子的两端来确定, 这样做出的动平衡精度相对较高。

(4) 对于某些特殊转子的动平衡校正, 采用静、偶分解方法也十分方便和合理。

## 5 结语

为了适应机械工业对高转速, 高精度, 大型回转构件的机械平衡要求, 并提高生产效率; 我们的工程设计人员不光要懂得理论知识, 更要勇于实践, 吸取国内外先进平衡技术经验, 为这门新兴的独立学科做出一份贡献, 使我们的产品质量更上一层楼。

## 参考文献

- [1] 张世民. 机械原理 [M]. 北京: 中央广播电视大学出版社, 1991: 292-305.
- [2] 机械设计手册联合编写组. 机械设计手册上册第一分册第二版 (修订) [M]. 北京: 化学工业出版社, 1987: 445-447.