

- Acta*, 59, 357, 1975.
- [2] Krishnaswamy, K.: *Int. J. Vitamin Nutri. Res.*, 41, 240, 1971.
- [3] Hanfelt, A., Tuvemo, T.: *Clin. Chem. Acta*, 41, 287, 1971.
- [4] Horder, M., et al.: *Organisatein des Labortoirs-Biologie prospective*, p. 315—320, 1975.
- [5] Shrawder, E. J., Martinez-Carrion, M.: *J.B.C.* 248, 2140, 1973.

- [6] 大阪府病院药剂师会編集: “医药品要覧”, 794, 昭和49年。
- [7] Gunsalus, I. C., et al.: *J.B.C.*, 161, 743, 1945.
- [8] Ferrel, R. E., et al.: *J. Am. Chem Soc.*, 70, 2101, 1948.
- [9] Mrtabiya, A.: 1959 Japanese patent 2,533, *Chem. Abstr.* 59, 11445, 1963.

[本文于1978年10月9日收到]

超速离心机转子安全运转的某些问题

张 维 明

(中国科学院新疆分院化学所)

超速离心机是生化研究的重要设备之一。如何保证安全运转,是实验人员关心的一个问题。因超速离心机转数高,产生的离心力大,往往由于使用不当或者没有定期的检查和维修而发生事故。

传统离心机故障的理论是转子过量的不平衡引起的。而离心样品的称量误差;使用过程中转子内外表面被缓冲液部分腐蚀是造成转子这种不平衡的主要原因。但是往往却忽视了造成不平衡另一原因,即由于转子材料不均匀和内应力的释放而引起内部微观裂纹及表面宏观裂纹的失稳扩展,而且往往是恶性循环的。对离心机转子可能产生的裂纹扩展进行分析并采取一些相应的对策,可保证离心机的安全运转。下面仅对这一问题谈谈自己的看法。

离心机转子旋转时所产生的离心力为:

$$F = m \frac{V^2}{R} \quad (1)$$

m 为转子质量,若转子重量为 W ,重力加速度为 g ,则

$$m = \frac{W}{g}$$

V 为转子边缘的线速度,如果角速度为 ω 每分钟转数为 N ,转子半径为 R ,则

$$V = \omega R = 2\pi NR,$$

若转数化为每秒钟的转数,则 $V = \pi NR/30$,这样(1)式中所表示的离心力为:

$$F = \frac{W}{g} R \left(\frac{\pi N}{30} \right)^2 \quad (2)$$

如果要计算转子产生的最大离心力,只要取转子最大的额定转数 $N_{\max}$,若是圆锥形转子取离心试管孔底到转轴中心的半径,代入(2)式即可算出,可是在实际使用离心机时,往往采用转子旋转时产生多少倍的重力加速度 g 来表示离心力的大小,我们称之为相对离心力

$$G = \frac{(\pi N)^2 R}{900g} \quad (3)$$

一般超速离心机说明书中都给出最大的 G 值。

离心机转子要作到绝对平衡是不可能的,即使刚出厂的新离心机转子也是不平衡的,因为材料不均匀等的微观缺陷,及加工方面的误差而造成的“本征不平衡”,不过这种不平衡是微量的还不足以引起事故。

若转子重心偏移轴心距离为 e ,而产生的不平衡力为

$$f = m e \omega^2 = m e \left(\frac{\pi N}{30} \right)^2;$$

f 力使转轴产生的挠度为:

$$y = \frac{m e \omega^2 \alpha}{1 - m \omega^2 \alpha} \quad (4)$$

m 为转子质量; ω 为角频率, α 为轴的柔度, 由弹性力学原理知, 转轴变形时的弹性力, 相当于转子不平衡的离心力, 即;

$$m(y + e)\omega^2 = ky \quad (5)$$

k 为转轴的刚度是柔度的倒数 $k = \frac{1}{\alpha}$, 由

(5) 式可得

$$y = \frac{e \omega^2}{\frac{k}{m} - \omega^2} \quad (6)$$

而

$$\frac{k}{m} = \omega_c^2$$

为转子转轴固有振动频率, 这样可以把 (6) 式写成

$$y = e \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2} \quad (7)$$

当 $\omega = \omega_c$ 时转轴挠度变为无穷大, 此时转数为临界转数。

从这里可以看出转子的不平衡力有两部分一是由于偏心而产生的, 另一由于转轴的挠度而产生的, 即:

$$m e \omega^2 + m y \omega^2 = m \omega^2 (e + y) \quad (8)$$

再将 (4) 式代入 (8) 式后得不平衡力的表示为:

$$f_x = m \omega^2 \left[e + \frac{m \omega^2 e \alpha}{1 - m \omega^2 \alpha} \right] \quad (9)$$

在使用离心机时, 转子的转数由零升到额定最高转数下实验所须的某一转数, 再由此转数降到零, 此时转子及轴受到是疲劳应力。在这种应力作用下, 如果转子及轴内部有微观裂纹或者在内外表面有腐蚀坑及细小的裂纹是否能引起失稳扩展呢? 这就要估算轴及转子材料的断裂应力及断裂韧性。用传统的 $S-N$ 曲线(应力幅度与循环次数的关系曲线)来判断转子及

轴的疲劳强度特性是不够的, 因为 $S-N$ 曲线是在无裂纹的条件下作出的, 而离心机转子及轴要作到一点裂纹都没有是不可能的, 因为有些微观裂纹肉眼是不易观察到的。由断裂力学观点知道, 只要把裂纹基本上控制在非扩展区内, 这样离心机转子及轴运行时还是安全的。这里我们引进一个“应力强度因子幅度 ΔK ”的概念, 因为受疲劳应力条件下裂纹的扩展与 ΔK 有一定的关系, 各种材料的应力强度因子幅度, 都有一界限值, 称之为“界限应力强度因子幅度 ΔK_{Ih} ”。在一定条件下, 只要外加应力强度因为幅度小于 ΔK_{Ih} 时, 裂纹是不会扩展的。

在某研究所离心头爆炸的情况调查中, 有人提到转子长期搁置不用, 再重新使用时就有爆炸的危险。好像转子有一定寿命, 如果从内应力释放使转子内部微观裂纹扩展来讲是有一定道理, 但也不是绝对的, 关键还是对转子及轴断裂应力及断裂韧性的估算。如果有条件的话, 用超声探伤法检查转子及轴内部是否有缺陷, 或用全息法探测转子内应力的分布情况, 这样给离心机的安全使用提供依据。

目前国内一些研究所有许多六十年代初期进口的超速离心机, 至今已使用十多年了, 转子发生爆裂事故还是不多的, 所以说转子搁置不用有一定寿命的提法是欠妥的。

综合以上分析, 我们在使用超速离心机时为了保证安全, 除了按说明书规定的程序使用外, 还要对转子很好的保护, 防止铝合金转子表面钝化层的破坏而出现腐蚀裂纹, 另外转子加速时间或减速制动时间不要过短, 否则转子及轴要受到较大的离心冲击力, 这对安全使用是不利的。

我国研究所内使用进口的超速离心机占多数, 说明书中往往缺少有关转子及轴材料力学方面的数据, 这就要我们在使用过程中进行估算, 以防止事故的发生。