

高温气冷堆 UO_2 燃料芯核振动分选设备

杨志军¹, 刘隆祉¹, 王国生², 李睿²

(1. 清华大学核能技术设计研究院, 北京 100084;

2. 清华大学机械厂, 北京 100084)

摘要:介绍了高温气冷堆 UO_2 燃料芯核振动分选设备的结构, 并对设备的工作原理进行了分析, 同时指出了影响分选效果的几个因素。设备运行结果表明: 分选设备性能达到了预期设计要求。

关键词:燃料芯核; 振动分选机; 高温气冷堆

中图分类号: TL211.1; TL292

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2003)02-0154-03

Vibration Selection Device of UO_2 Fuel Kernel for High Temperature Gas-cooled Reactor

YANG Zhi-jun¹, LIU Long-zhi¹, WANG Guo-sheng², LI Rui²

(1. Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Machinery Plant, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The paper describes structures of the vibration selection device of UO_2 fuel kernels used for high temperature gas-cooled reactor. The working principle of the device and some factors affecting the selection efficiency of UO_2 fuel kernels are analyzed. Running result shows that the device achieve the desired design performance.

Key words: fuel kernel; vibrating selection device; high temperature gas-cooled reactor

正在建设中的 10 MW 高温气冷堆使用包覆燃料颗粒弥散在石墨基体中的全陶瓷球形燃料元件, 每个燃料元件含 8 000 多个包覆颗粒, 包覆颗粒的芯核为直径 0.5 mm 的低富集度的 UO_2 微球。高温气冷堆一回路放射性物质存在的多少主要取决于在燃料元件制造过程中和辐照条件下包覆颗粒的破损率。制造破损率由包覆过程和元件压制过程中 SiC 包覆层产生缺陷或破损造成。在冷准等静压压制过程中, 球形包覆颗粒的破损率远低于畸形包覆颗粒的破

损率, 而畸型 UO_2 芯核是造成畸形包覆颗粒的主要原因之一。因此, 在燃料元件的制造中, 降低畸型 UO_2 芯核的比例可显著降低燃料元件中自由铀的含量, 从而提高反应堆的安全可靠性。为达到这一要求, 既要在制造工艺上有充分的技术保障, 又要对制造出的 UO_2 芯核有可靠的分选手段, 通过分选使成品中的不合格芯核的比例保持在规定的范围之内。

本文介绍试制的用于 UO_2 芯核分选的振动分选台的结构和工作原理。

收稿日期: 2001-12-30; 修回日期: 2002-03-12

作者简介: 杨志军 (1946—), 男, 河北隆尧人, 副研究员, 核动力模拟及控制专业

1 UO₂芯核分选设备的技术要求

UO₂芯核分选设备的技术要求如下:1) 连续工作时间大于 200 h;2) 班(每班 8 h)处理量不少于 1 kg;3) 处理后的燃料芯核不合格率小于万分之五。

2 分选方法与分选设备构造

振动分选台(图 1)是通过机械振动在摩擦力和下滑力共同作用下将畸型球和正常球区分开来的一种设备。畸型球的摩擦力大于正常球的摩擦力,并可认为畸型度越高,其摩擦力越大,运动阻力亦越大,从而在振动过程中将不同畸型度的 UO₂ 芯核球分选开来。

分选台将电机的转动转换为托板的振动。调整偏心轮的偏心度可改变托板的振动幅度和不对称性;调频电机用于改变托板振动频率;托板在与振动方向垂直的方向与水平面有约 2° 的夹角,该夹角亦是可调参数。被测芯核球从送料器进入托板后,在托板带动下产生机械振动,同时又受到与振动方向垂直的下滑力作用(图 2)。由图 2 可看出:小球在 x 和 y 向两个互相垂直力的共同作用下运动,因畸型度不同的球具有不同的运动阻力,在托板平面上产生了不同的运动轨迹,从而达到分选的目的。

3 分选原理分析

芯核球在 y 向的受力情况示于图 3。

托板在偏心轮(转动示意图示于图 4)驱动的连杆推动下在 y 向作不对称振动,分析可得托板的加速度变化曲线(图 5)。托板振动时,托板弹片与底座间夹角的变化范围为 $\alpha/2 > \alpha > \alpha/4$ 。实际上, α 的变化范围比这小得多,这是因为托板弹片为刚性材料,它将推动托板作上下运动(α 的具体参数通过试验调整决定变化范围)。因此,托板和托板上的小球同时受到水平推力 F_1 和垂直举力 F_2 的作用。托板通过与小球间的摩擦力把水平推力传递给小球。若小球与托板间的最大摩擦力 $f > F_1$,则小球与托板同时运动;若 $f < F_1$,小球则与托板之间产生滑动。

偏心轮旋转角为 $0 \sim \alpha/2$ 时,连杆推动托板前进,可近似认为此期间的加速度 $a = \cos$ (图 5),同时,托板弹片推动托板向上运动。在 $\alpha = 0+$ 时,作用在小球上的水平推力 $F_1 = ma$ 为最大值,作用在小球上的最大摩擦力 $f = \mu(P + F_2)$ 。式中: μ 为摩擦系数, P 为小球的重力, m 为小球质量。假设不同畸型度小球的最高摩擦力分别为 $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, \dots$, 且 $f_1 > f_2 > f_3 > f_4 > f_5 > \dots$, 此时, $f_1 > F_1 > f_2 > f_3 > f_4 > f_5 > \dots$, 则除最大摩擦力为 f_1 的小球随托板一起运动外,其它小球均将在托板上产生滑动。随着 α 的增加, F_1 减少。当 $f_1 > f_2 > F_1$ 时,最大摩擦力为 f_1, f_2 的小球将随托板一起运动,其它小球在托板上产生滑动;

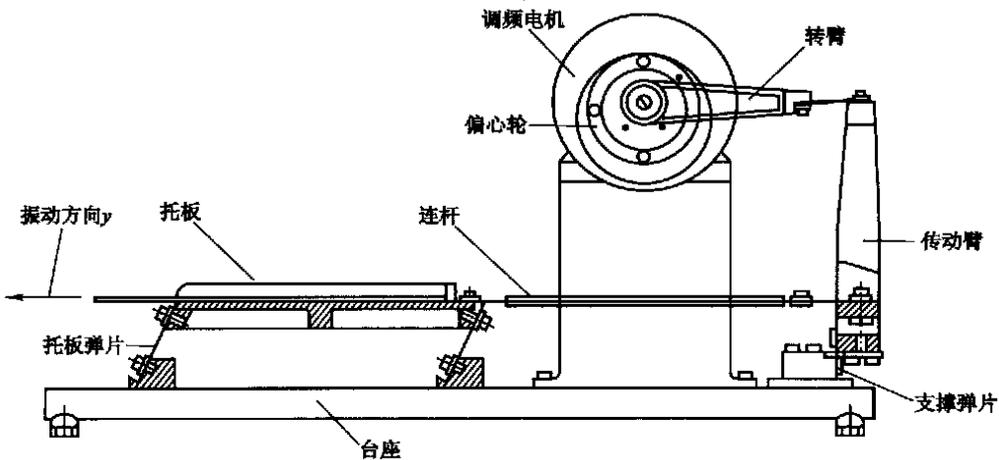


图 1 振动分选台的结构

Fig. 1 Structure of vibrating sifter

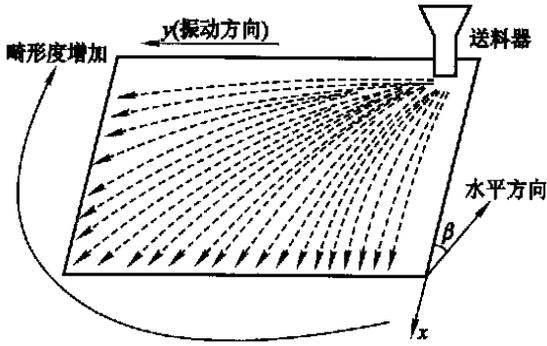


图2 小球在托板上的运动情况

Fig. 2 Behaviour of fuel core moving on carriage

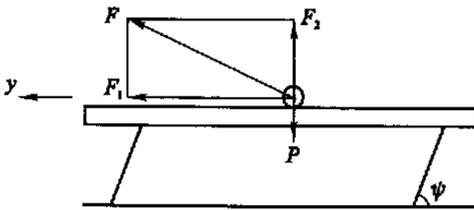


图3 小球在 y 向的受力分析

Fig. 3 Effort accepted by fuel core in y direction

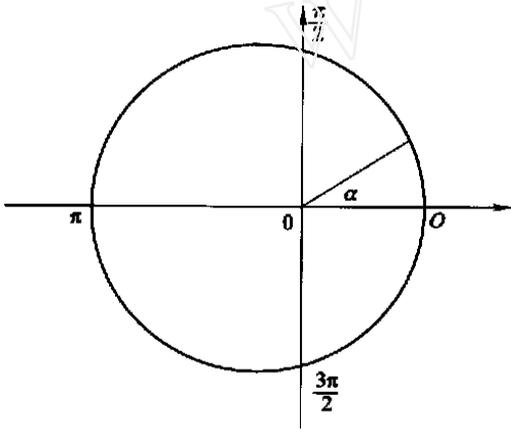


图4 偏心轮的转动示意图

Fig. 4 Turning conceptual diagram of eccentric

当 $f_1 > f_2 > f_3 > F_1$ 时,最大摩擦力为 f_1, f_2, f_3 的小球随托板一起运动,其它小球在托板上产生滑动,依此类推。可见,摩擦系数越大的小球随托板运动的越远,从而使小球按照摩擦力

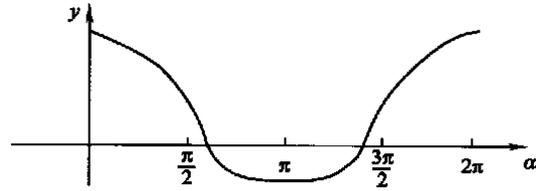


图5 托板的加速度曲线

Fig. 5 Acceleration curve of carriage

大小在 y 向分布开来。

当 $\pi/2 < \alpha < \pi$ 时,运动加速度虽变为反向,但其值远小于第一象限的值,因而不会影响小球在第一象限形成的分布。

$\pi < \alpha < 2\pi$ 时,托板反向运动, F_2 方向改变,小球对托板的正压力变小,作用在小球上的最大摩擦力 $f = \mu(P - F_2)$ 不足以维持小球与托板同时运动,小球将在托板上产生两次方向相反的滑动,这并不影响小球的分布状态。

托板在 x 向与水平面间有约 2° 的夹角,小球必然受到下滑力的作用。调整该夹角,使得下滑力恰好大于小球在 x 向的摩擦力时,小球便在托板上产生下滑运动,并最终滑出托板。因小球根据摩擦力大小在 y 向分布开来,所以,当托板上的小球沿 x 向滑出托板时,便按摩擦力(畸型度)大小自然依次排开,从而达到分选目的。

4 分选设备的实际工作效果

到目前为止,分选设备已运行一年多,设备性能达到了预期的设计要求。

参考文献:

[1] WT 汤姆森. 振动学理论及应用 [M]. 康 渊译. [s.l.]: 晓圆出版社, 1994. 45 ~ 58.
 [2] 黄安基. 非线性振动 [M]. 西安: 西南交通大学出版社, 1993. 205 ~ 208.