

微堆运行性能的提高

郭诚湛

(深圳大学核技术研究所, 广东 深圳 518060)

摘要:介绍了深圳大学微堆几年来在安全运行的基础上为提高微堆的运行性能所进行的技术改进。目前,微堆在额定功率下的最大可运行时间从约 8 h 提高到约 40 h,运行性能大为提高,为中短寿命放射性同位素制备和活化分析应用展现了新的前景。

关键词:冷态后备反应性;核安全;可运行时间

中图分类号: TL411.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6931(2000)03-0279-03

1 提高微堆运行性能的必要性及其技术途径

微堆的通量低,运行时间短,与加拿大 Slowpoke-2 一样,理论上虽可生产 43 种同位素^[1],但所制备的中短寿命同位素放射性比活度低,难以实际应用。80 年代以来,微量元素仪器分析技术突飞猛进,使得微堆上的中子活化分析面临严峻挑战。在安全条件许可之下,改变其运行特性,综合利用微堆,提高它的运行性能已迫在眉睫。在微堆设计中,为了确保其固有安全性,限制后备反应性不超过 4 mk。由于初始装料少、储备能量少,反应堆功率不能提高和不能维持长时间运行。要改变其运行特性,只有增加储备能量。但 5 m 深的堆芯“鸟笼”结构限制了核燃料元件的添加,同时,微堆建在人口稠密的城市,其固有安全性必须确保,决不允许发生瞬发临界和堆芯烧毁等事故。经过长期探索,找到如下解决途径。

1) 将处在微堆侧铍反射层中的内辐照管改为超热辐照管。用 0.5 mm 厚的镅片覆盖在内辐照管外面,这样,来自堆芯的快中子(能量高于 0.5 eV)通过镅片,而绝大部分的热中子(能量低于 0.5 eV)被吸收,起到中子过滤作用。安装超热辐照管之后,可以进行超热中子活化分析,减少热中子活化引起的干扰,拓宽了微堆的中子活化应用范围。

2) 添加顶部铍反射层。铍有 $(n, 2n)$ 、 (n, n) 反应,添加顶铍反射层如同添加了核燃料。内辐照管变为超热辐照管之后,必须添加 10.5 mm 厚的顶铍,相当添加 4.3 mk 的反应性,使得微堆冷态后备反应性维持在 3.5 ~ 4.0 mk 范围内。

3) 特殊的运行方式。在常规运行时,依靠中心控制棒的提升维持微堆运行,在此运行条

收稿日期:1999-03-11;修回日期:1999-05-23

作者简介:郭诚湛(1940—),男,上海人,研究员,反应堆物理专业

件下,可以进行热或超热活化分析;当进行同位素制备时,把超热辐照管作为补偿棒。目前,通过支架在堆厅栏杆附近手动操作超热辐照管,不久将通过传动机构垂直逐步提升,并与中心棒控制机构实现联动。超热辐照管最大提出量限为 170 mm(全提出铍反射层外为 200 mm)。把超热辐照管均分 4 段,每次只提出 1 段。停堆时,补偿棒随中心棒一起下插至堆底。

2 此项技术改进的特点

1) 冷态后备反应性始终处在 4 mk 以内,微堆的固有安全性得以确保。

2) 在额定通量下,连续可运行时间从改进前的约 8 h 提高约到 40 h,为中短寿命同位素制备创造了良好条件。例如,含铀的玻璃微球经 25 h 辐照后,放射性比活度为 44 GBq/g,能满足治疗肝癌的医用要求。

3) 反应堆在额定通量下运行。从 26 h 试运行的情况来看,微堆堆芯的平均温度提高了 5.1 (与运行 8 h 相比),堆芯温差下降 3.2,堆热功率下降 15%。因此,不会出现超功率(120%)、超温差(23)、超辐射剂量的情况。

4) 改造费用低,设备简单,操作方便。

3 安全分析

这种方法利用超热辐照管镅片有效吸收了通过添加顶铍反射层所释放的反应性。仅在辐照同位素时,传动机构方合上电源,并使中心控制棒的驱动机构与超热辐照管的传动机构实现联动。只有在反应堆运行中心控制棒即将提到顶部(约 200 mm)、由反应堆的温度效应(约 -2.9 mk)和(或)氙毒反应性(约 0.8 mk)引起的反应性损失几乎抵消冷态后备反应性(3.5~4.0 mk)时,同时只有堆芯平均温度分别超过预先设置的 4 个温度阈值后,才允许传动装置把超热辐照管垂直提升一段,即约 40 mm。此时,中心控制棒自动地从 200 mm 降到约 165 mm。随后,重复这一过程。每次只允许上升一段,引入的反应性仅为正 1 mk,即使此时发生失控,引起的堆芯温升亦是有限的。目前,手动情况下,只有在中心控制棒处于自动状态并达到约 200 mm 时,才允许运行人员通过支架逐步拔出超热辐照管,以使反应堆处于控制棒的有效自动控制范围内。超热辐照管提升最大高度为 170 mm,仍有 20 mm 留在堆内。在停堆或遇到紧急情况时,将它下插,及时吸收温度效应释放的反应性,实现停堆。实验结果表明:在 26.7~41.2 温度区间内,商用微堆慢化剂的等温温度系数为 -0.092 mk/^[2]。在极端情况下,如果超热辐照管 4 段一起提到堆顶,中心控制棒在堆顶又发生卡棒,那么,非常保守的计算表明,由此引起的堆芯温升为 45,运行 8 h 的堆芯平均温度由 46.45 升至 91.45,比饱和温度 113 低 20,堆的运行仍是安全的。由于所设各种条件的限制,瞬间引入最大反应性增量 8.1 mk(冷态后备反应性 4.0 mk,超热跑兔管提到 170 mm,释放 4.1 mk)的可能性是极小的。

正如国家核安全局[1997]206 号文^[3]所指出:“该项修改没有违背由我局审查批准的微堆运行限值和条件,超热辐照管释放的反应性可以得到有效控制,不会磨损反应堆其他部件,同时从辐射防护的角度也不会对工作人员造成不可接受的影响,因此安全上是可以接受的。”

4 结束语

深圳大学微堆在侧铍反射层中用超热辐照管代替了原来的辐照管,添加 10.5 mm 顶铍反

射层,相当于 4.3 mk 的储备能量由超热辐照管的镅片吸收。这样,一方面可以进行超热中子活化分析,拓宽了中子活化分析范围;另一方面,在辐照同位素时,把超热跑兔管当作一根补偿棒,逐步释放储备能量,使微堆的运行性能大为改善。在额定功率下,微堆最大可运行时间从约 8 h 提高到约 40 h,这是国内外同类型微堆所没有的。经过 25 h 的辐照,含钷的玻璃微球放射性比活度达到 44 MBq/g,可满足放射性介入治疗肝癌的医学要求。微堆的这项改进为辐照和活化分析应用展现了新的前景。

参考文献:

- [1] Atomic Energy of Canada Limited Commercial Products Isotope Products Special Products Group. Slowpoke-2 Information Notes[S]. Canada:Atomic Energy of Canada Limited,1981/1982.
- [2] 郭诚湛. 微型中子源核反应堆的固有安全性[J]. 核科学与工程,1994,14(2):104~109.
- [3] 国家核安全局文件——国核安堆字[1997]206号. 关于批准深圳大学微堆堆芯和运行方式修改申请的通知[S]. 北京:国家核安全局,1997.

Development of Operation Performances of Miniature Neutron Source Reactor(MNSR)

GUO Cheng-zhan

(Joint Institute of Applied Nuclear Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: The rated neutron flux density of MNSR is $1.0 \times 10^{12} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. Its average operating time per day is 2~2.5 h and the maximum operating time is about 8 h. These properties are the same as Slowpoke-2's. They can be used for neutron activation analysis and producing isotopes with middle and short half-life. Since the specific activity of prepared radioisotopes is very low, they are unefficient practically. The paper introduces a new specific measure which is adopted at Shenzhen University. Now the maximum operation time under rated neutron flux density can be increased from about 8 h to 40 h safely and the area of MNSR's application is broadened. It can be used for epithermal neutron activation analysis and preparing medical radioisotopes. For example, the specific activity of glass microspheres containing a large amount of ^{166}Ho after irradiating 25 h under rated neutron flux density can be reached 44 GBq/g which meet the requirement of curing the cancer of the liver.

Key words: cooling excess reactivity; nuclear safety; operating time