

利用医用同位素生产堆生产⁸⁹Sr

邓启民, 李茂良, 程作用

(成都云克药业有限公司, 四川 成都 610041)

摘要: 医用同位素生产堆(MIPR)是一种新型的同位素生产堆,是以低浓铀或高浓铀为燃料的水均匀溶液反应堆。⁸⁹Sr是用于减轻恶性肿瘤骨转移骨痛的亲骨性放射性药物。本文介绍了医用同位素生产堆的结构、特点以及用它来生产⁸⁹Sr的原理。

关键词: 医用同位素生产堆; 水均匀溶液反应堆; ⁸⁹Sr

中图分类号: TL92⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7512(2007)03-185-04

Strontium-89 Production With Medical Isotope Production Reactor

DENG Qi-min, LI Mao-liang, CHENG Zuo-yong

(Yunke Pharmacy, Chengdu 610041)

Abstract: Medical isotope production reactor (MIPR) is a new type reactor for isotope production, it's an aqueous homogeneous solution reactor which can use High Enriched Uranium (HEU) or Low Enriched Uranium (LEU) as fuel. ⁸⁹Sr is bone seeking radiopharmaceuticals used for palliation of bone pain from osseous metastases. The current status of ⁸⁹Sr production, the structure and characteristics of MIPR as well as the principle of ⁸⁹Sr production with MIPR are described here.

Key words: ⁸⁹Sr; medical isotope production reactor; aqueous homogeneous solution reactor;

⁸⁹Sr($T_{1/2} = 52.5$ d)为纯 β 发射体,发射最大能量 β 射线是1.46 MeV($\sim 100\%$),对软组织的平均射程为2.4 mm。⁸⁹SrCl₂是用于减轻恶性肿瘤骨转移骨痛的亲骨性放射性药物,111~148 MBq的⁸⁹Sr可使恶性肿瘤骨转移引起的骨痛明显缓解3~6个月,有效率可达60%~84%^[1],具有很大的临床应用价值。⁸⁹Sr是以⁸⁹SrCl₂的形式静脉注射至体内,使用剂量为1.48~2.22

MBq/kg,通常治疗剂量是148 MBq(4 mCi)。

⁸⁹Sr通常利用热中子通过⁸⁸Sr(n, γ)⁸⁹Sr反应或利用快中子通过⁸⁹Y(n, p)⁸⁹Sr反应生产。利用热中子反应堆生产⁸⁹Sr,其反应截面很小(5.8×10^{-31} m²)、产量低,当辐照天然靶时还同时生成半衰期为65.2 d的⁸⁵Sr,同位素发射 γ 射线 $E_{\gamma} = 0.514$ MeV,因此很难对其进行化学分离。而利用浓缩⁸⁸Sr靶生产⁸⁹Sr的成本高。利

用快中子反应堆生产的 ^{89}Sr 纯度高,但由于核反应截面相对热中子反应更小($<10^{-31}\text{ m}^2$),产量更低,并且许多国家没有快中子反应堆,因此研究生产 ^{89}Sr 的新方法很有必要。

1 医用同位素反应堆简介

医用同位素反应堆(MIPR)是均匀性水溶液反应堆,以硝酸铀酰或硫酸铀酰为燃料,燃料 ^{235}U 的富集度为20%~90%。MIPR概念最早是在1992年由美国Babcock&Wilcox(B&W)公司的CHOPELA和BALL^[2]提出。B&W公司设计的MIPR结构示意图示于图1。该反应堆以20%低浓铀为燃料,铀浓度为117 g/L^[3-4]。MIPR运行中燃料溶液中的 ^{235}U 在反应堆运行中裂变生成 ^{99}Mo 、 ^{131}I 等放射性核素, ^{99}Mo 和 ^{131}I 都是重要的医用放射性核素,这些核素可以在停

堆后让燃料溶液通过产品提取柱提取。而从MIPR气回路中也可以提取 ^{131}I 、 ^{89}Sr 等医用放射性核素。利用MIPR生产放射性核素与传统的固体靶辐照法相比有以下优点^[5-6]:①MIPR负温度系数大,固有安全性好,反应堆具有反应自调节性;②MIPR使用的燃料为硝酸铀酰或者硫酸铀酰溶液,没有固体燃料元件的加工运输和乏燃料后处理,也无需靶件的加工、辐照和溶解处理;③ ^{235}U 燃料约为1.2 g/(MW·d),以200 kW运行每天的燃料约为0.24 g,而且MIPR运行一次可以生产多种重要的医用放射性核素,如 ^{99}Mo 、 ^{131}I 和 ^{89}Sr ,以200 kW运行24 h,可以生产 ^{99}Mo 约74 TBq, ^{131}I 约14.8 TBq, ^{89}Sr 约3.7 TBq。因此反应堆的利用效率高,生产成本低。

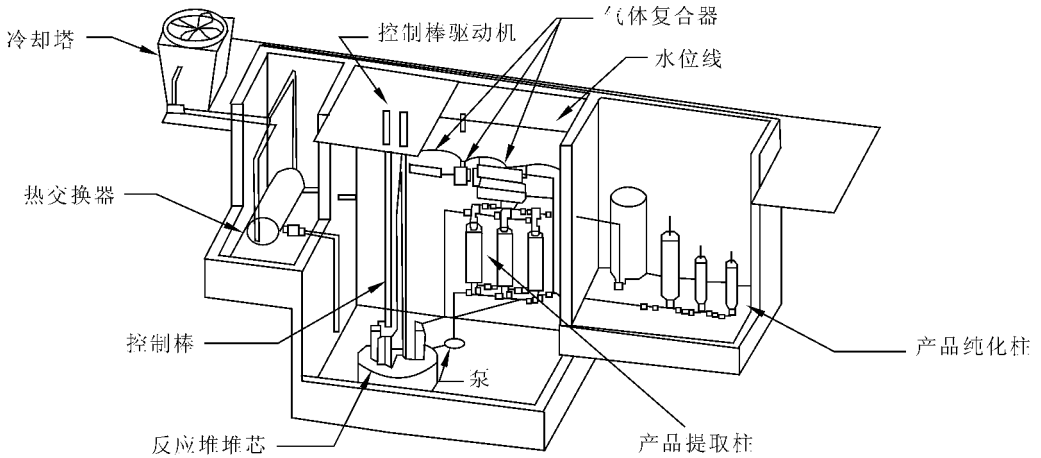


图1 MIPR结构示意图

2 MIPR生产 ^{89}Sr 原理

MIPR运行中, ^{235}U 裂变将产生 ^{85}Kr 、 ^{87}Kr 、 ^{88}Kr 、 ^{89}Kr 、 ^{90}Kr 、 ^{91}Kr 、 ^{92}Kr 、 ^{95}Kr 和 ^{131}Xe 、 ^{135}Xe 、 ^{137}Xe 、 ^{138}Xe 、 ^{139}Xe 、 ^{140}Xe 、 ^{141}Xe 等放射性惰性气体。这些裂变产生的放射性气体很快(约2 s)逸出溶液进入气体回路。这些放射性惰性气体衰变生成的子体核素有 ^{89}Sr 、 ^{90}Sr 、 ^{92}Sr 、 ^{95}Sr 和 ^{137}Cs 、 ^{138}Cs 、 ^{138}Ba 、 ^{139}Cs 、 ^{140}Ba 、 ^{140}La 、 ^{141}Ce 等,其中Cs、Ba和Ce与Sr属不同元素,可以采用化学方法分离^[7],而 ^{89}Sr 与 ^{90}Sr 属同一元素,难以采用化学方法分离。因此要从MIPR的气回路得到 ^{89}Sr 产品,关键在于 ^{89}Sr 与 ^{90}Sr 的分离。 ^{90}Sr 的半衰期为29 a,而 ^{89}Sr 半衰期为52.5 d, ^{90}Sr

属于极毒放射性核素,如果进入人体,会对人体组织造成长期的辐射损伤,因此要求严格控制医用 ^{89}Sr 产品中 ^{90}Sr 与 ^{89}Sr 的放射性活度比低于 10^{-6} 。

^{89}Kr ($T_{1/2}=197.7\text{ s}$)在铀裂变中的产额为4.88%, ^{89}Kr 衰变成 ^{89}Rb 后再衰变成 ^{89}Sr 。 ^{90}Kr ($T_{1/2}=33\text{ s}$)在铀裂变中的产额为5.93%, ^{90}Kr 衰变成 ^{90}Rb 后再衰变成 ^{90}Sr 。 ^{89}Kr 和 ^{90}Kr 的衰变链示于图2。因此可以利用 ^{89}Kr 与 ^{90}Kr 这两种放射性惰性气体的半衰期不同来分离它们的衰变产物 ^{89}Sr 和 ^{90}Sr 。 ^{89}Sr 的提取可以在MIPR气回路中设置气回路旁路,使从反应堆芯产生的气体进入旁路,在旁路中实现 ^{89}Kr 与 ^{90}Kr 的分离。

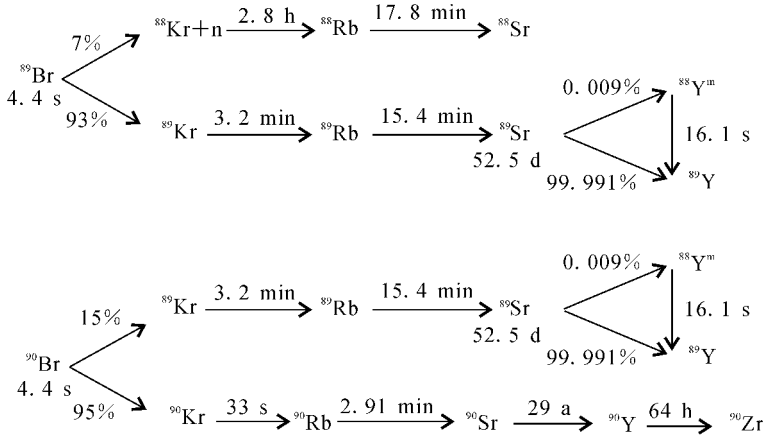


图 2 ⁸⁹Kr 和⁹⁰Kr 的衰变链

俄罗斯 Kurchator 研究院和美国 Technology Commercialization International (TCI) 公司联合开发设计了在俄罗斯 ARGUS 堆上的气回路旁路提取⁸⁹Sr, 该装置示意图示于图 3^[8]。ARGUS 运行 20 min 后运行图 3 的气回路旁路生产⁸⁹Sr。打开图 3 中的阀 3 和阀 9, 并开启泵 5 将堆芯内产生的气体输入到⁹⁰Sr 沉降段(管 4)。⁹⁰Sr 沉降段作用是使气体中的绝大部分⁹⁰Kr 充分衰变成⁹⁰Rb, ⁹⁰Rb 再衰变成⁹⁰Sr 沉降在管壁上或通过过滤器 6 时被过滤。气体经过过滤器 6 进入⁸⁹Sr 提取段(管 7), 其中的大部分⁸⁹Kr 在此段衰变成⁸⁹Rb, ⁸⁹Rb 再衰变成⁸⁹Sr 沉降在管壁, 没有沉降的固体通过过滤器 8 去除。⁹⁰Sr 沉降段的长度设计是基于气体中⁹⁰Kr 能充分衰变, 同时又要保证尽可能多的⁸⁹Kr 在⁸⁹Sr 提取段衰变。⁹⁰Sr 沉降段长度由气体通过时需要的时间和气流的速度决定, 如气流的速度为 2 L/min, 需要的时间为 10 min, 则管的直径为 10 mm, 长

度为 255 m。如管的直径为 20 mm, 长度为 64 m, 气体中的⁹⁰Kr 在⁹⁰Sr 沉降段经过 10 min 衰变后, 在⁸⁹Sr 提取段得到的⁸⁹Sr 产品中⁹⁰Sr 与⁸⁹Sr 的放射性活度比可以达到 10⁻⁸。⁸⁹Sr 沉降段的设计也是根据⁸⁹Kr 衰变需要的时间和流速决定。⁸⁹Sr 提取结束后, 阀 3 和阀 9 以及泵 5 关闭。沉降在⁸⁹Sr 提取段和过滤器 8 中的固体通过酸溶解后用化学方法分离其中的其它杂质(Cs, Ba, Ce, La 等), 最后得到符合医用标准的⁸⁹SrCl₂ 产品。

3 结束语

利用图 3 ⁸⁹Sr 提取装置, ARGUS 反应堆以 20 kW 功率运行 20 min 后可以提取到 130 MBq ⁸⁹Sr^[9]。如果以 200 kW 功率运行 MIPR, 一年至少能提取到约 14.8 TBq ⁸⁹Sr。MIPR 不仅可以生产⁹⁹Mo, 还可以在气回路中提取到大量⁸⁹Sr, 而且从 MIPR 气回路和液体回路中还可以提取¹³¹I, 这将大大提高 MIPR 的利用率, 降低医用放射性核素的生产成本。使得生产⁸⁹Sr 和⁹⁹Mo 的生产工艺简单、经济, 而且²³⁵U 的燃耗少, 不需要燃料的后处理, 减少了对环境的污染。因此 MIPR 的出现将为医用放射性核素的生产提供新的途径, 为核医学的发展和人类健康做出重要贡献。

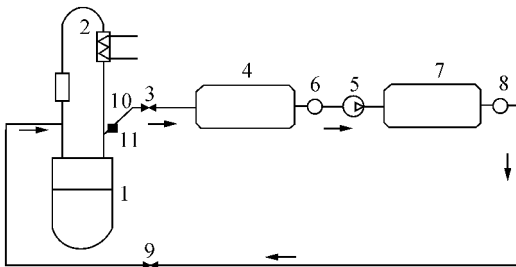


图 3 MIPR 气回路旁路⁸⁹Sr 提取装置示意图

- 1——堆芯; 2——加热器; 3——阀门;
- 4——⁹⁰Sr 成像管; 5——泵; 6——过滤器;
- 7——⁸⁹Sr 成像管; 8——过滤器

参考文献:

[1] SCIUTO R, FESTA A, PASQUALONI R, et al. Metastatic Bone Pain Palliation With ⁸⁹Sr and ¹⁸⁶Re-HEDP in Breast Cancer Patients[J]. Br Cancer Res Treat, 2001, 66(2): 101-109.

- [2] BALL RM. Testimony Before the Congressional Committee on US Resources on the Production of ^{99}Mo With Aqueous Homogeneous Reactors[Z]. Mike Synar, Chairman, August, 1992.
- [3] BALL RM, PAVSHOOK VA, KHVOSTIONOV VYe. Present Status of the Use of LEU in Aqueous Reactors to Produce Mo-99, Reduced Enrichment for Research and Test Reactors[C]// International RERTR Meeting. Sao Paulo: October18, 1998.
- [4] DAN GIENN A, SHARIF HEGER, WILLIAM B HLADIK. Comparison of Characteristic of Solution and Conventional Reactor for ^{99}Mo production [J]. Nuclear Technology, 1997, 118(2): 142-150.
- [5] 邓启民, 李茂良, 程作用. 医用同位素生产堆(MIPR)生产 ^{99}Mo 的应用前景[J]. 核科学与工
程, 2006, 26(2): 68-70.
- [6] 王刚, 向学琴, 傅红宇, 等. 应用溶液堆生产裂变 ^{99}Mo [J]. 同位素, 2004, 17(4): 247-249.
- [7] STELLA R, GANZERBI M, VALENLI LI, et al. Characterization of Copper Chromate as a New Inorganic Exchanger for the Isolation of Sr Radioisotopes From Fission Products[J]. Radioanal Nucl Chem, 1991, 149(1): 59-65.
- [8] Abalin SS, Vereschagin YI, Grogoriev GY, et al. Technology Commercialization International, Inc Method of Strontium-89 Radioisotope Production; US, 6456680 B1[P]. 2002-09-24.
- [9] CHUVILIN DYU, MEISTER JD, ABALIN SS, et al. An Interleaved Approach to Production of ^{99}Mo and ^{89}Sr Medical Radioisotopes[J]. Radioanal Nucl Chem, 2003, 257(1): 59-63.

=====

专利简讯:

氚表面污染监测仪

【公开日】2007.01.24 【分类号】G01T1/169 【公开号】CN1900742 【申请日】2006.07.14

【申请号】200610021396.3 【申请人】成都理工大学;中国工程物理研究院核物理与化学研究所;

四川先达核测控设备有限公司

本发明氚表面污染监测仪与监测氚的表面污染水平的装置有关,解决已有装置成本高、探测效率低、抗干扰差的问题。本发明包括探测器(1)、信号获取模块(2)和中央处理器(3)。探测器(1)为流气式正比计数器,由金属罩负极(4)及其内腔(5)中的金属线或片正极(6)组成。正极(6)与高压模块(7)的输出连接。正极(6)通过信号线与信号获取模块(2)的输入连接,内腔(5)有进气孔(8)和出气孔(9),工作时甲烷气从进气孔不断进入内腔(5)并从出气孔流出。