

# 300<sup>#</sup>反应堆及其在核技术中的应用

马振泽

(核物理与化学研究所 成都 610003)

**摘要** 300<sup>#</sup>反应堆是一座池式研究用反应堆. 本文介绍该堆的基本特性、堆上的一些实验装置及其性能; 综述了在该堆上所做的中子物理、核物理、核化学和材料科学等方面的工作, 以及某些中子辐照产品及其应用的概况.

**关键词** 研究用反应堆, 核技术, 热中子, 辐照.

## 1 概述

我院的300<sup>#</sup>反应堆是一座池式研究堆, 于1979年6月建成启动, 功率为3.5MW, 堆芯最大热中子注量率为 $6.5 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2\text{s}$ . 它采用Mg为弥散体的 $\text{UO}_2$ 棒状元件作核燃料,  $^{235}\text{U}$ 的富集度为10%, 活性段尺寸为 $\phi 7 \times 500\text{mm}$ , 每根元件棒含 $^{235}\text{U}$  8g, 元件棒中心距(标准棒栅)为16mm. 采用普通(去离子)水作冷却剂、慢化剂和堆芯上部屏蔽层, Be和石墨作反射层. 堆芯冷却水(一回路)系统采用了双喷射器和延时水箱, 堆芯进出口水温分别为 $35^\circ\text{C}$ 和 $42^\circ\text{C}$ .

本堆堆芯由 $9 \times 10$ 个栅元组成, 每个栅元为 $68 \times 68\text{mm}$ . 堆芯周围布置了两个热柱实验和四个水平实验孔道, 在堆芯及其周围可

布置20多个垂直实验孔道(见图1). 十五年来, 在300<sup>#</sup>堆上逐步建立了一些实验装置和配套设施, 在有关方面都发挥了一定的作用.

## 2 堆上的实验和研究工作

### 2.1 材料辐照实验研究

在核武器和核反应堆(核电站)等核设施及在航天技术中, 材料、部件和电子元器件的抗核辐照性能, 是产品质量的主要指标之一. 如引爆系统中的系统电池与无线电引信、点火装置和传感器、各种半导体器件、集成电路、金属和非金属结构件、绝缘材料、支撑材料和陶瓷体等, 在300<sup>#</sup>堆上进行了中子或 $\gamma$ 射线的辐照实验, 测定了其性能变化, 为保证产品的抗辐照性能提供了科学依据.

### 2.2 滤过中子束实验研究

在直径为 $\phi 140\text{mm}$ 的切向孔道内, 用Fe、Si、 $^{238}\text{U}$ 等材料分别作中子过滤介质, 分别获得了不同能量的、且近于单能的中能中子束. 这些准单能中子束强度都在 $10^4 \text{ n/cm}^2\text{s}$ 范围内, 用它测定某些元素的核截面和刻度中子谱仪及中子剂量仪等. 由于滤过中子束能谱中某一能量的中子峰值特大而狭窄, 所以具有与中子能量对应关系准确、干扰因素少、测量和刻度精度高等优点.

### 2.3 核泵浦激光试验研究

从1988年开始, 在300<sup>#</sup>堆上开展了核泵浦 $^{10}\text{B}-\text{O}_2$ 、 $^{10}\text{B}-\text{O}_2-\text{Ar}$ 和 $^3\text{He}-\text{Ne}$ 等系统的气体激光试验, 在前两个系统中, 测定了 $\text{O}_3$ 的生成及浓度, 在后一个系统中实现了 $^3\text{He}-\text{Ne}(\lambda=$

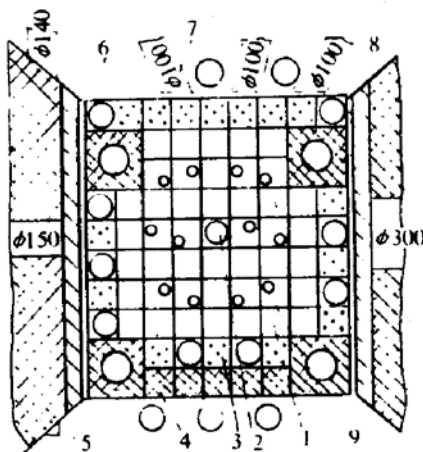


图1 300<sup>#</sup>堆堆芯及周围设备布置图

- 1 燃料元件盒, 2 中央孔道, 3 铝盒,
- 4 石墨盒, 5 热柱, 6 垂直孔道,
- 7 水平孔道, 8 铅屏, 9 控制棒导管

0.63 $\mu\text{m}$ )激光增益,并进行了激射实验.由于中子通量偏低,难以达到激光体系的泵浦阈值.但实验结果和国外的经验表明,当今的核(堆)泵浦激光研究可以操作在脉冲状态下,也可以在稳态运行,而真正有实用价值的连续核泵浦激光,只有依靠稳态堆才能实现.

#### 2.4 聚变裂变混合堆包层技术研究

我国第一条混合堆产氚演示回路已于1992年在300<sup>#</sup>上建成并投入运行.目前,利用热中子研究堆建立“在线”产氚回路,进行现场释氚实验,是演示混合堆“包层”产氚和研究氚释放、回收规律的最有效途径.本堆采用 $\gamma\text{-LiAlO}_2$ 作为氚增殖剂,总质量为121g,用He气(掺有少量 $\text{H}_2$ )作为T的载带气体,释T温度控制在400~700 $^\circ\text{C}$ 之间.增殖剂处的中子注量率为 $8.22 \times 10^{12} \text{n/cm}^2\text{s}$ .实验结果表明:即使在此低中子注量率场下,产T率也能达到 $4.7 \times 10^3 \text{GBq/a}$ ,达到了国际80年代中期的水平,可以和美国的TRIO回路、加拿大的CRITIC回路相比拟.为我国混合堆包层产氚研究提供了实验数据和经验.

#### 2.5 辐射剂量学和辐射防护研究

300<sup>#</sup>堆的中子和 $\gamma$ 射线场及其已知场强,为辐射剂量学和辐射防护研究提供了良好的实验条件,为研究材料的屏蔽性能、热释光剂量计的标定、中子反照剂量计的刻度和各种剂量仪器的实验刻度及不同介质对不同射线及其不同能量的吸收剂量研究等,为剂量监测和技术安全发挥了重要作用.

### 3 核技术的应用研究

#### 3.1 生产放射性同位素

放射性同位素是开展放化分析、核医学研究和应用、标记合物示踪技术和一切核诊断技术研究的必备条件之一.300<sup>#</sup>堆上生产的放射性同位素有40多种,其主要用途有以下三个方面:(1)医用同位素,如 $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{198}\text{Au}$ 、 $^{169}\text{Yb}$ 等.(2)放射性参考源和工作源,如 $^{24}\text{Na}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 和 $^{170}\text{Tm}$ 等.(3)医学和

农业用示踪元素,如 $^{32}\text{P}$ 和 $^{131}\text{I}$ 等.

#### 3.2 中子照像无损检验

由于原子核对中子的质量衰减系数与原子序数无关,即使是相邻元素之间或同一元素的不同同位素之间其质量衰减系数也有很大差异.因此中子照相可以对X和 $\gamma$ 射线无法检验的物体进行无损检验.如对重金属包装的轻材料(炸药组件和密封圈等)的检测和对金属件内有机杂质的检查,具有很高的灵敏度.还可以对强放射性物质进行检查,及观察它们的形变、裂缝或同位素的丰度等.

本装置已对含炸药组件、核燃料元件、金属结构中的有机物和电子元器件等进行了大量的检测工作.

#### 3.3 中子活化分析技术

中子活化分析测定微(痕)量元素,具有灵敏度( $10^{-9} \sim 10^{-12}$ )高、多元素同时测定和非破坏性等特点.在300<sup>#</sup>堆上建立了快速分析“跑兔”实验装置和其它分析设备,活化样品的转运时间约7s,可分析半衰期小于1min的核素.十多年来,对地质样品及矿样、环境污染样品、人体组织的血液和头发等器脏,以及中草药和农作物等物质中的微量元素,作了大量的分析和测定工作.

### 4 辐照改性和辐照加工技术

#### 4.1 单晶硅中子嬗变掺杂

区熔单晶硅在中子场内辐照时,发生了 $^{30}\text{Si}(n, \beta)^{31}\text{P}$ 、 $^{30}\text{Si}(n, \gamma)^{31}\text{Si}$ 和 $^{31}\text{Si}$ 的 $\beta$ 衰变,产生 $^{31}\text{P}$ 反应. $^{31}\text{Si}$ 衰变半衰期为2.62h.由于中子在Si中的穿透力强,所以生成的 $^{31}\text{P}$ 分布也很均匀,因此目标电阻率的命中率可达90%以上,不均匀性可控制在10%以下.这种方法要比传统的“冶金渗透”法提高成品率3倍左右,而且省事、方便(常温常压),成本低,产品质量好.300<sup>#</sup>堆的单晶硅辐照掺杂生产能力可达每年3~4t.

#### 4.2 宝石和玉石的辐照优化处理

中子辐照各类宝石、玉石和水晶,可改变

其原来的颜色或消去“杂色”,提高了原始宝石和玉石的品位及观赏价值,如无色透明或浅色的天然“黄玉”(Topaz)经辐照后不但没有改变其原有物理和化学性能,而且使颜色变成“天兰色”,可与天然宝石比美,其残余放射性(监测时)控制在35Bq/g以下(国家标准为70Bq/g,欧共体标准为100Bq/g)。另外,对诸如刚玉、紫晶、兰宝石和绿宝石等的辐照改色或褪色优化处理的研究,也取得一定的进展和阶段成果。

#### 4.3 核微孔过滤膜的辐照加工

重离子轰击聚碳酸酯薄膜( $\delta=10\mu\text{m}$ )可

形成核径迹损伤( $\Phi 3\sim 5\text{nm}$ ),经化学腐蚀(蚀刻),可分别获得孔径为0.1~0.8 $\mu\text{m}$ 不等的系列新型过滤膜,孔密度一般在 $10^8/\text{cm}^2$ 。其最大优点是:孔径大小均匀,截留的微粒都留在表面可以实现“全回收”,机械强度高(对气体的承压力2.5kgf/cm<sup>2</sup>,液体8kgf/cm<sup>2</sup>)。在许多方面都得到了广泛的应用。

我国的研究堆应用技术和先进国家相比还有很大的差距,今后必须引起重视和努力去开辟新的学科领域。

## 300<sup>#</sup> Reactor and Its Utilization in Nuclear Technology

Ma Zhenze

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, Chengdu 610003)

**Abstract** 300<sup>#</sup> reactor is a pool type of research reactor. In this paper the basic feature of the reactor, and several experimental devices and their properties are introduced. It was summarized that the experiment and study work is developed on the reactor, such as neutron and nuclear physics, nuclear chemistry, material science, and a few irradiated products by neutron and their applications and so on.

**Key Words** research reactor, nuclear technology, hot neutron, irradiation.

(上接84页)

## Activities of Radiation Safety and Environmental Protection

Liu Zhilin

(Technical Supervision Department, Chengdu 610003)

**Abstract** In this paper the activities of radiation safety and environmental protection work in CAEP are briefly reviewed.

**Key Words** radiation safety, environmental protection.