

300#堆在线产氙回路及其应用

沈文德 曹小华 姜亦祥 谈华锦 万竞平 熊智明 钱达志

(核物理与化学研究所 成都 610003)

摘要 本文介绍了300#堆在线产氙回路的组成及其主要指标、回路运行和释氙实验概况,阐明了在线产氙回路在聚变裂变混合堆包层产氙研究中的应用和前景。

关键词 反应堆, 聚变裂变混合堆, 在线产氙回路, 固体增殖剂, 释氙实验。

1 引言

对聚变堆或聚变裂变混合堆进行预先研究,是当今世界许多国家开发利用核能的重要途径.不论是聚变堆还是混合堆,其自身的燃料氙都只能通过锂和中子的核反应来产生.为此这两种堆均设计有造氙的包层。

80年代来,西方发达国家用热中子反应堆作包层在线产氙研究已完成多个实验^[1]。

300#堆在线产氙回路是研究混合堆包层产氙

的模拟装置,它是按我国“863计划”中混合堆专题计划于1991年12月在300#堆上建立的,在国内尚属首例。

2 回路组成

产氙回路系统见图1,它既是一种反应堆辐照装置,又是一种具有较完备热工监控手段实现核物理和氙化学测量的实验设备。

辐照盒是产氙回路的核心部件.选用我所

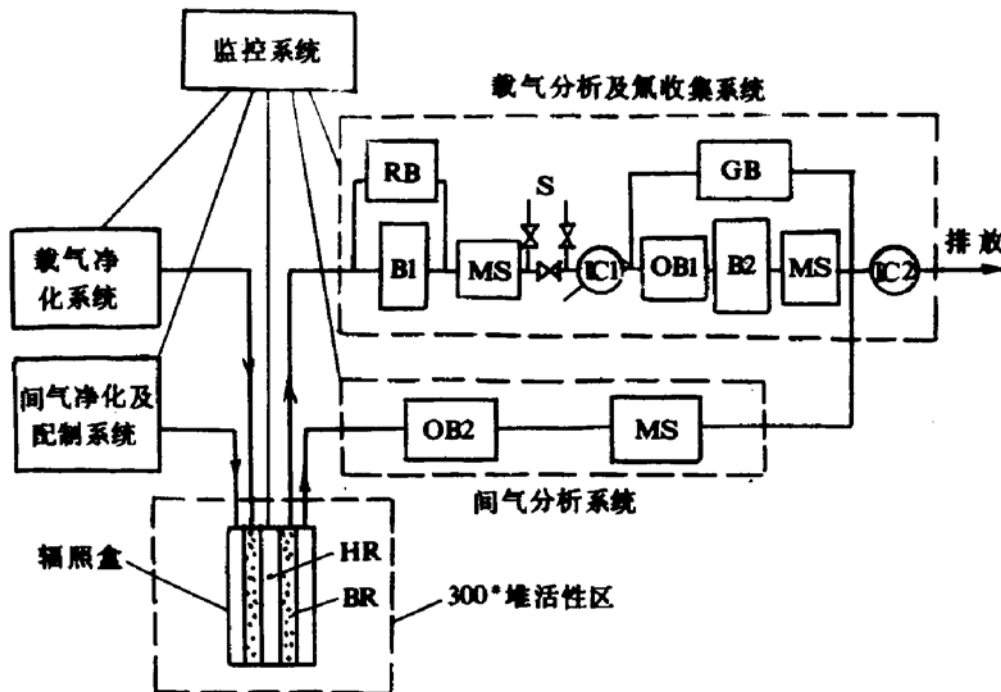


图1 产氙回路系统图

OB 氧化床, RB 还原床, GB HT收集床, B 鼓泡器, IC 流气式电离室, MS 分子筛, S 载气取样口, BR γ -LiAlO₂芯块, HR 电加热器

研制的 γ -LiAlO₂ 样品作为氚增殖剂^[2], 盒内增殖剂由 ${}^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$ 反应产氚. 增殖剂温度由间隙气体和电加热器控制, 释放的氚由载带气体载带. 辐照盒在反应堆内使增殖剂受中子辐照产氚的同时实现氚的带出、测量和收集. 温度、中子通量和注量分别由6支铠装热电偶、3支铍自给能探测器和6根注量丝测量. 显然, 这种在线回路可以对固体增殖剂产氚和释氚的动态过程进行较为真实的研究.

载气分析和氚收集系统通过三种反应床、鼓泡器和电离室等部件的不同组合可实现多种功能:(1)测量释氚率的实时值;(2)测量释氚的总量;(3)测量气态氚 HT 和液态氚 HTO 之比 HT/HTO;(4)用收集床回收释放的气态氚 HT.

鼓泡器中液态氚 HTO 的浓度用液体闪烁计数器测定. 经辐照后的载带气体可在 S 口取样, 其放射性核素用高纯锗 γ 谱仪测量.

3 运行和实验

300#堆在线产氚回路于1991年12月18日首次产氚演示成功, 截止1994年4月, 除有三个月以外产氚回路一直随堆运行, 堆内辐照盒表面所受的热中子注量为 $9.36 \times 10^{19} \text{cm}^{-2}$, 累计收集到的总氚量为 $1.49 \times 10^3 \text{GBq}$. 1992年10月和1994年4月做了二次共7轮释氚实验. 产氚回路的综合性能指标如下:

增殖剂块	
材料	γ -LiAlO ₂
形状	中空柱状
尺寸 $\Phi_{\text{外}}/\Phi_{\text{内}}$	35.5mm/26.5mm
总重量	121g
密度	73%(T.D)
${}^6\text{Li}$ 丰度	5.1%
载带气体	He+0.1% H_2
间隙气体	He Ne Ar
可控温度范围	250~700°C
热中子产氚效率	$0.183 \times 10^{-7} \text{Bq}/\text{ncm}^{-2}$
释氚比 HT/HTO	97.5/2.5

释氚效率窗口下限 400°C

实验证明: 增殖剂温度明显地影响氚的释放和增殖剂内的残留量; 载气中添加微量氢极大地提高了氚的释放率; 当增殖剂温度大于400°C 和辐照时间足够长, 回路的释氚率向产氚率趋近. 利用第二次释氚实验中不同增殖剂温度下氚残留量的差值计算得出了氚在 γ -LiAlO₂ 芯块中的扩散率 D ^[3]

$$D = 5.76 \times 10^{-16} \exp(-Q/RT) [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$$

R 为气体常数, T 为增殖剂温度 [K], Q 为活化能, 由计算得到

$$Q = 70.6 [\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}]$$

经比较, 该活化能值与法国 LILA 实验和日本 TTTE_x 实验的数据相吻合.

4 应用和展望

300#堆在线产氚回路已在我国聚变裂变混合堆专题研究中得到了应用:(1)演示了从固体增殖剂包层中回收氚的可行性;(2)测定了几个关键因素如增殖剂温度、载气成分与流量及热中子通量等对氚释放的影响;(3)研究了载带气体中氚释放的形态;(4)研究了氚在 γ -LiAlO₂ 样品中的某些动力学特征.

利用现有的产氚回路还可进行多项研究工作:(1)利用间隙气体系统测量穿过辐照盒内壳的氚渗透, 研究现有辐照盒材料和几何形状下的氚渗规律;(2)加深燃耗运行到一定深度, 取出辐照盒解体后, 进行 γ -LiAlO₂ 样品辐照后实验;(3)设计制造更为灵活先进的辐照盒, 可对多种固体增殖材料如 Li₂O、Li₂SiO₃、Li₄SiO₄、Li₂Si₂O₅、Li₂ZrO₃、Li₂TiO₃ 及 Li₂Be₂O₃ 等进行现场释氚实验, 研究氚释放和样品形状、结构和晶粒大小等因素的关系, 对增殖剂材料作出优选.

包层产氚的工程模拟试验是在线产氚研究的发展方向. 所谓工程模拟就是逐步向真实包层趋近, 如增加氚增殖剂装量, 加入中子倍增材料、裂变材料, 改进传热设计, 利用 14MeV 中子和堆中子的适当组合作中子源

等. 随着我国核能事业的发展, 这一设想不久会得到实现.

参加该工作的还有杨本福、杨茂年、李长喜、司宝萍和习瑞强等同志, 傅依备、郭高品、孙颖研究员先后进行了指导.

参 考 文 献

- 1 Miller J M. AECL-10042, 1989
- 2 Wang Heyi, et al. Proceedings of the First China-Japan Seminar on Fus. Eng. Hefei, 1993, 205
- 3 曹小华等. 材料科学应用研究文集, 1994, 85

In-pile Tritium Production Apparatus in SPRR—300 and Its Utilization

Shen Wende Cao Xiaohua Jiang Yixiang Tan Huajin
Wan Jinping Xiong Zhiming Qian Dazhi

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, Chengdu 610003)

Abstract An in-pile tritium production apparatus in SPRR-300 and its main characters are introduced. The operation of the apparatus and the tritium release experiments are briefly described. The utilization of the apparatus in tritium production study of fusion-fission hybrid reactor blanket and its future are reviewed.

Key Words reactor utilization, fusion-fission hybrid reactor, in-pile tritium production apparatus, solid breeder, tritium release experiment.

(上接86页)

参 考 文 献

- 1 曲治华. 辐射防护, 1993, 13(2):148
- 2 曲治华, 王朝清. 辐射防护, 1987, 7(6):407
- 3 曲治华, 王朝清. 辐射防护, 1982, 2(2):94
- 4 曲治华等. 中华放射医学与防护杂志, 1988, 38(2):149
- 5 曲治华. 第二次全国辐射防护学术会议论文集, 北京: 原子能出版社, 1984

Progress of Tritium Safety Protection

Qu Zhihua Wang Chaoqing

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, Chengdu 610003)

Abstract We have made wide researches on the safety protection on tritium in order to prevent the tritium radioactive toxicity. Systematic and comprehensive understanding is achieved in many aspects like the protection emphasis on tritium gas contactors, the most preferable measurement for the protection of tritium gas internal irradiation toxicity, the particular law of tritium gas internal irradiation dosage monitoring, and the principal involved organs of tritium-induced non-random radiative effects, etc. Some phenomena and laws are revealed which had been overlooked before, and some new evidences are presented for the protection of tritium toxicity.

Key Words tritium, safety protection, internal irradiation, tritium-proof materials.