

## 国外核聚变氚工艺研究简介

毛世奇

(中国原子能科学研究院, 北京)

### 一、引言

开发聚变能可从根本上满足人类对能源的需求。聚变氚工艺主要包括包层产氚工艺和废燃料再处理工艺,它是混合堆和聚变堆的关键技术之一。经过二十多年努力,核聚变研究取得很大进展,聚变氚工艺研究日益得到重视。这里对国外聚变氚工艺研究情况作一简要介绍。

### 二、概况

#### 1. 美国

(1) 洛斯阿拉莫斯科学实验室(LASL)<sup>[1-5]</sup>美国聚变氚工艺研究的主要工作在该实验室进行。美国能源部于1977年拨款建造一套模拟聚变堆氚工艺的氚系统试验装置(TS-TA),它包括:真空设备(VAC);燃料净化(FCU);同位素分离(ISS);转移泵(TPU);应急氚净化(ETC);含氚废气净化(TWT);氚监控(TM);二级防护(SES);去污染实验(XCS)和主数据获取与控制(MDAC)等子系统。该装置于1982年基本建成,其主要任务是:

- a. 论证聚变动力堆的燃料循环回路;
- b. 研究、试验和核准聚变计划中氚设施的有关设备;
- c. 研究和评价人体和环境的防护系统;
- d. 提供一套可以示范和模拟像ETR或INTOR的DT系统的装置;
- e. 论证在无事故情况下长期安全处理氚的方案;
- f. 研究和评价燃料回路及环境密封系统对正常和紧急情况所作出的反应;
- g. 研究与氚相容并能长期安全运行的可靠材料和部件。

TSTA的研究目的是为ETR和INTOR聚变堆的设计与建造提供广泛数据。根据设计,TSTA可以处理大约100g氚,而且工作人员进入大厅不必换工作服和鞋帽。1984年6月TSTA开始通氚运行,到1986年5月两年时间内共处理了 $3.7 \times 10^9$ GBq氚。在这期间释放到环境中的氚气总量低于111GBq、氟化水总量低于74GBq,个人所受到的剂量当量低于1mSv。目前回路里有30g氚,毫无疑问TSTA的工作在世界上处于领先地位。

(2) 阿贡国家实验室(ANL)该实验室主要从事有关氚增殖剂和提取氚的研究工作。一个锂回路(LPFL)已经运行了9500h以上。比较各种氚增殖剂和提氚方案,为聚变选择增殖剂/冷却剂/结构材料(B/C/S)的最佳方案。1984年阿贡实验室与橡树岭实验室(OR-

NL)合作在 TR 10 堆上进行了从锂陶瓷固体增殖剂中提取氚的首次实验。 $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{LiAlO}_2$ ,  $\text{LiPb}$  和  $\text{FLiBe}$  可选作氚增殖剂。

(3) 蒙德实验室(Mound Lab) 研究工作主要集中在氚的密封和环境控制上。目前有含氚废气控制实验系统(TECL)和氚的储存、输送系统(TSDS)。这两个系统都是为普林斯顿等离子体物理实验室的 TFTR 设计的。此外还进行氢同位素分离,与加拿大合作用电解催化交换联合装置(CECE)进行从含氚废水中提取氚的研究工作。

#### (4) 劳楞茨·里弗莫尔国家实验室(LLNL)

该实验室从 1952 年就开始从事氚的研究工作。目前从事的工作有:从排放废气中回收氚;研究 1,4-二苯基丁二炔等有机吸气剂的吸氚特性;用旋转 14 MeV 中子源(RTNS-II)研究材料的辐照损伤。

(5) 橡树岭国家实验室(ORNL) 主要进行聚变堆材料的研究。测定氚对各种材料中的渗透率,对材料表面进行防氚渗透处理。例如把材料放在 91.2 kPa 的水蒸汽中进行氧化处理后,在 930 k 温度下氚的渗透率比没有处理过的材料低几个数量级。

(6) 桑迪亚国家实验室(SNL)<sup>[6,7]</sup> 1973 年批准建立克量级氚实验室(TRL), 1977 年投入使用。有一个经过改进的保护环境和人员安全的二次密封手套箱,配备一个含氚气体纯化系统(GPS)和一个真空废气回收系统(VERS)。

## 2. 日 本

主要工作集中在日本原子能研究所(JAERI)和东京大学。日本原子能研究所从 1976 年开始从事聚变氚工艺研究工作。日本政府批准从 1983 年开始建造克量级氚处理实验室(TPL), 1986 年投入使用。以  $^6\text{LiAl}$  合金作靶材料经过裂变堆照射后提取氚,一次可以生产  $3.7 \times 10^{12}$  Bq。东京大学也建立了一个小规模氚实验系统(ESTG),它由手套箱、气体净化系统、氚气释放系统和氚分离系统组成。日本还准备建立一座操作高水平氚的工程规模实验装置,以适应聚变实验堆(FER)的要求。氚的生物效应研究工作同时在国家放射学科学研究所(NIRS)和一些大学进行,同时日本还积极与美国、西欧等国家合作。

## 3. 加拿大<sup>[11,12]</sup>

基于 CANDU 堆的运行经验和从重水中提取氚的经验,加拿大于 1982 年制定了新的聚变工程计划,它包括:a.燃料系统和氚处理计划;b.材料工艺研究;c.设备发展计划;d.保健与环境计划;e.增殖包层工艺研究计划;1983 年又制定了加拿大聚变燃料工艺计划(CFFTP)。此计划 1984—1986 年财政预算为 1260 万美元,它包括增殖聚变堆包层研究计划。安大略水电公司(Ontario Hydro)在皮克林建造的一座重水除氚装置(TRF)可为加拿大聚变堆研究提供廉价的氚。该装置可满足八个 CANDU 堆的除氚要求,计划在 1987 年初可提取 4 kg 的氚,到 1992 年达到平衡时每年可提取氚 0.8 kg。另外在巧可河核实验室(CRNL)亦正在建造一座先进的示范重水除氚装置。巧可河核实验室正在积极开展氚储存、输送和氚废物处理研究。巧可河核实验室和安大略水电公司联合建造能储存  $1.85 \times 10^7$  GBq 氚的钛海绵储存罐。同时加拿大也在进行氚增殖材料和安全防护的研究并积极参加国际合作。

### 4. 欧洲共同体<sup>[13]</sup>

主要是法国、西德、英国、意大利和比利时在进行这方面的研究。研究的内容有：Li 17 Pb 83 液体和固体锂陶瓷等氚增殖剂的研究；氢同位素分离；含氚气体净化；材料与氚的相容性等。欧洲共同体在卡尔斯鲁厄(Karlsruhe)为 JET 设计一个氚工程操作系统，制定了聚变氚工艺下一个五年研究与发展计划。

表(1)展示了主要国家(不包括苏联)的聚变氚工艺研究情况。

表 1 国外聚变氚工艺研究状况

Table 1 Situation of tritium technology research for the fusion abroad

国家	研究机构	研究项目	操作氚量	实验室面积	开始操作时间
美  国	洛斯阿拉莫斯科学 实验室 [LASL]	氚系统实验装置 (TSTA)	$18.5 \times 10^{15}$ Bq/次	~1100 m <sup>2</sup>	1982年
	康德实验室 [Mound Lab]	a. 氢同位素分离 b. 氚废物处理 c. 氚的储存与运输	$11 \times 10^{14}$ Bq	190 m <sup>2</sup>	
	橡树岭国家实验室 [ORNL]	a. 从增殖区提取氚 b. 氚在金属中的渗透 c. 氚靶制造	$3.7 \times 10^{12}$ Bq/a $3.7 \times 10^{12}$ Bq/a $76 \times 10^{14}$ Bq/a	300 m <sup>2</sup>	
	劳楞茨·里弗莫尔国家 实验室 [LLNL]	a. 从废物中回收氚 b. 聚变材料辐照损伤	$3.7 \times 10^{15}$ Bq/次		1952
	桑迪亚国家实验室 [SNL]	a. 气体纯化 b. 真空废气回收氚	$> 3.7 \times 10^{14}$ Bq/次		1973
日  本	日本原子能研究所 [JAERI]	a. 氚提取工艺 b. 气体净化	$3 \times 10^{12}$ Bq/次		1985
	东京大学 [TU]	氚释放与分装	$3.7 \times 10^{11}$ Bq/次	50 m <sup>2</sup>	
加 拿 大	安大略水电公司 [Ontario Hydro]	从重水中提取氚	公斤级氚/a		1985
	加拿大原子能有限公司 巧可河国家实验室 [CRNL]	a. 氚储存 b. 氚废物处理 c. 从增殖材料中提氚 d. 氚废气净化 e. 重水脱氚	可储存 $18.5 \times 10^{15}$ Bq		
欧 洲 共 同 体	卡尔斯鲁厄研究所(西德) [Karlsruhe], 沙克莱 (法)[Saclay]	a. 燃料净化 b. 空气净化 c. 增殖包层材料 d. 提氚方法			

### 参 考 文 献

- [1] Anderson, J. L., Proceedings of the IEEE, 69(8), 1069 (1981).
- [2] Anderson, J. L., Nucl. Technology/Fusion, 4(2), 75(1983).
- [3] Anderson, J. L., J. Fusion Energy, 4 (2/3), 155(1985).
- [4] Anderson, J. L., Fusion Technology, 10(3), Part 2B, 1329(1986).
- [5] Rogers, M. L., Fusion Technology, 10(3), Part 2B, 1367(1986).
- [6] Gildea, P. D., et al., CONF-78058, Vol. 11, May (1978).
- [7] Gede, V. P., et al., CONF-800427, 334(1980).
- [8] 铃木康夫 等人, 日本原子力学会志 26(1), 47(1984).

- [9] Masakazu TANASE, et al., *J Nucl. Sci. Technology*, 22(2), 147(1985).  
[10] Couichi YAMAGUCHI, et al., *J. Nucl. Sci. Technology*, 19(11), 948(1982).  
[11] Drolet, T. S., et al., *Nucl Technology/Fusion*, 5(1), 17(1984).  
[12] Holtslander, W. J., et al., *Fusion Technology*, Part 2B 1340(1986).  
[13] Palumbo, D., *Nucl. Technology/Fusion*, 4(2), 13(1983).

(编辑部收到日期: 1987年8月17日)

## DEVELOPMENT OF TRITIUM TECHNOLOGY FOR THE FUSION ABROAD

MAO SHIQI

(Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275, Beijing)

### 国际标准化组织核能技术委员会(ISO/TC85)第八次全体会议在巴黎召开

ISO/TC85第八次全体会议和辐射防护(SC 2)、动力堆技术(SC 3)、核燃料技术(CS 5),三个分委员会以及有关的工作组会议于1988年10月10日至14日在法国巴黎召开。

加拿大、中国、法国、西德、意大利、英国、美国、苏联等14个国家代表团共45名代表参加了会议。以中国原子能科学研究院张积舜为团长一行三人组成的中国代表团出席了这次会议。

会议分三段举行,先召开有关的工作组会议,具体讨论正在制订的几个国际标准。在分别召开的各分委会会议上,各工作组召集人汇报了自上届分委员会会议后至这届分委员会会议期间各工作且进展情况,最后召开技术委员会全体会议,由各分委员会主席或秘书向全会报告工作。会议经过热烈讨论作出了几项重要决议:1. ISO/TC85秘书处将在1989年3月前向ISO中央秘书处提交一份“战略政策报告”即今后5—10年的远景工作规划;2. 由于SC3工作领域里其他国际组织已经做了很多有成效的工作,会议决定经过一过渡阶段后,解散SC3;3. 成立一个“放射性测量”的特别工作组负责研究低水平放射性测量等方面的工作。

会后全体代表组织参观了离巴黎120公里的2×1300 MW的Nogent-sur-Seine核电站。

张积舜