

INPC 开展的辐射环境研究

范国琪

(核物理与化学研究所 成都 610003)

摘要 本文简要概述了二十年来在 INPC 开展的辐射环境保护研究工作. 主要包括放射性流出物的监测和处理, 环境监测与剂量评价.

关键词 放射性流出物, 辐射环境保护, 环境监测.

1 引言

INPC 是从事核物理与放化研究的综合性研究所, 拥有反应堆、快中子脉冲堆、加速器、专业化核物理放射化学室、氟操作室和同位素制备车间等核设施. 辐射环境保护研究中心承担核设施运行中的辐射防护, 放射性流出物的监测与净化处理. 建立了辐射场和个人剂量测量系统及放射性废液处理和含氟废气、废物处理系统, 对环境的 γ 辐射和环境样品(植物、土壤、河水和沉降)中的总活度每月进行监测. 为了研究放射气体在本地区的扩散规律, 用 SF_6 作示踪剂进行了大气扩散试验, 给出了不同位置公众的附加剂量.

2 氟的辐射防护

氟操作主要是 ICF 靶球高压充氟、氟钛靶制备、氟标记化合物制备和加速器运行.

2.1 含氟废气净化研究

2.1.1 催化氧化法净化空气中的氟

催化氧化法是用催化剂在 150°C 以上的温度下, 将氟气(T_2 、HT)氧化成氟化水, 再用分子筛吸收^[1,2]. 常用的催化剂是 Pt(Pd)- Al_2O_3 , 因受水汽的影响, 其催化活性随着使用时间和在潮湿空气中放置的时间而降低, 一般数天后降低(60~70)%. 为克服这种缺点, 制备了新型疏水催化剂. 研究了疏水担体、附铂量、还原温度及还原时间等因素对催化剂催化活性的影响. 实验表明: 当温度为 $20\sim 25^\circ\text{C}$, 空速 $7 \times 10^3 \text{h}^{-1}$, $[H_2] \sim 1000 \text{ppm}$, $[HT]$ 比活度为 $2.5 \times 10^8 \text{Bq/m}^3$, 空气相对湿

度为(70~90)%时, 研制的3.5%(Wt)Pt-405 硫化催化剂使用三月并放置一年以上, 其催化活性不变, 仍能定量氧化空气中的氟.

2.1.2 直接消气法净化空气中的氟

催化氧化法净化空气中的最终产物是 HTO, 其危害性比同等浓度的 HT 高四个量级. 为了避免 HTO 生成, 开展了磷酸铀酰氢(HUP)消气性能研究. HUP 是无机质子导体, 在直流电场作用下, 可以捕捉空气中的氟而不生成氟化水. HUP 用硝酸铀酰和磷酸通过化学合成法制备, 产品是含有四个结晶水的亮黄色结晶粉末. 用两片厚 1.6mm 的烧结微孔不锈钢片在 $2 \times 10^{10} \text{kPa}$ 压力下将粉末压制在一起, 不锈钢片外表面点焊上镀银引线, 其中一面涂钨黑作正极. 制得的消氟电极置入 2.2 升电离室, 充入含氟 $(0.41 \sim 18.6) \times 10^8 \text{Bq}$ 的空气, 消氟电极两端加 4~7V 直流电压, 经过 50 小时, 即可消除约 95% 的氟.

2.2 含氟废物处理

在氟操作工艺和氟的废气净化过程中, 产生大量 HTO 废物, 通常采用包容密封贮存方式^[3,4], 关键在于降低 HTO 透过容器壁的浸出率. 研究了 HTO 透过混凝土块、聚合物涂层混凝土块和聚乙烯的浸出率^[5].

按照公式 $R_{\text{HTO}} = k \cdot (a \cdot A/V \cdot d)$ ^[6] 导出了 HTO 透过聚乙烯的浸出率常数 k . R_{HTO} 为 HTO 的月平均浸出率; a 为 HTO 的活度(Bq); A 为容器表面积(cm^2); V 为 HTO 体积(l); d 为容器壁厚(cm). 显然, 利用 k 值可得出聚乙烯包装内的 HTO 月浸出率, 也可对已知活度和体积的 HTO 废物设计符合辐射环

境安全要求的合理包装容器。

2.3 ICF 靶球充氚操作中的辐射防护

2.3.1 充氚操作特点

ICF 靶球是 DT 气体的玻璃微球·微球充氚工艺是在 $\sim 400^{\circ}\text{C}$ 、4.3MPa 条件下操作 10^{14} Bq 氚,充氚系统在手套箱内。系统低压部分泄漏率为 $3.1 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{L/s}$,高压部分泄漏率为 $3.5 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{L/s}$ 。运行24h,由系统泄漏到手套箱内的氚量 $\sim 1.5 \times 10^{10}$ Bq(氚浓度量为 2.4×10^7 Bq/L)。手套箱的泄漏率为 $0.2 \times 10^2 \text{Pa} \cdot \text{L/s}$,运行24h 泄漏到工作间的氚量小于 4×10^8 Bq,即在不排风时工作间(50m^3)空气中氚浓度小于 0.8×10^4 Bq/L。

2.3.2 防护工作要点

现场监测 利用电离室监测手套箱内、工作间空气和排放烟囱内的氚浓度。在冷冻条件下抽取工作间空气样品,利用液体闪烁计数器测量 HTO 浓度。

系统泄漏氚气净化 用催化氧化法,在淹没氢载带下将氚气氧化成氚化水,吸附在分子筛柱中。处理能力为 30L/min ,运行1h 将手套箱(640L)内空气中氚浓度降低一个量级。

个人剂量监测 充氚操作开始后,分24h、48h、60h 收集工作人员尿样,测量尿中氚浓度,按下式计算初始氚摄入量

$$I = 42000 \times C(t) \cdot \exp(0.693t/T_{(b)}) \quad (1)$$

式中, I 为初始摄入量(Bq), $C(t)$ 为 t 时刻尿氚浓度(Bq), $T_{(b)}$ 为氚水在人体内的生物半排期(取值10天)。

工作人员的待积有效剂量(mSv)由下式求得

$$\begin{aligned} E_{(50)} &= 20 \frac{I}{\text{ALI}} \\ &= 8.4 \times 10^{-7} C(t) \cdot \exp(0.693t/T_{(b)}) \end{aligned} \quad (2)$$

环境空气中 HTO 浓度监测 以充氚试验室为中心,在5km 范围内设取样点。用硅胶收集24h 空气中的氚化水,蒸馏,测量每克水中的氚浓度。依据空气的绝对湿度计算出在一定地点空气中的 HTO 浓度,利用下式计算高压充氚对当地居民造成的附加剂量

$$E_{(50)} = 7.14 \times 10^{-12} C_a \cdot t \quad (3)$$

式中, $E_{(50)}$ 为当地居民附加剂量(mSv), C_a 为空气中 HTO 浓度(Bq/ m^3), t 为高压充氚天数(取值6天)。

氚废物处理 用体积30L、壁厚3mm 的聚乙烯容器封装工艺中产生的 HTO 废物,按(2.3)节研究结果进行辐射安全评价。

2.3.3 事故的预警与紧急处理

高压充氚期间连续监测手套箱内空气中氚浓度。当氚浓度达到 1×10^8 Bq/L(手套箱内的氚量为 6.4×10^{10} Bq)时,应停止充氚操作,检查系统漏源,进行处置;当氚浓度达到 1×10^9 Bq/L(手套箱内的氚量为 6.4×10^{10} Bq)时,则表明系统发生严重突发性泄漏,应立即关闭加热电源,按步骤开启各回收罐阀门回收氚,封闭手套箱挡板,启动废气净化系统。

连续监测充氚工作间(50m^3)内空气中氚浓度。当氚浓度达到 1×10^5 Bq/L 时,则表明充氚系统有大量氚泄漏或手套箱密封出现异常,应停止充氚操作。

3 放射性废水处理

3.1 中放废水处理

3.1.1 废水来源

在反应堆运行、同位素生产、强放化分析及脉冲堆(^{239}Pu , ^{235}U)运行过程中,产生了大量的放射性废水。废水中总 β 的比活度为 1.1×10^6 Bq/L,总 α 为 3.7×10 Bq/L。

3.1.2 废水处理工艺

采用混凝沉淀、蒸发浓缩和离子交换三段流程,总去污因数大于 10^5 。

混凝沉淀 调节废水 PH 值 ~ 11 ,加硫酸亚铁、磷酸三钠和高锰酸钾,形成氢氧化铁絮凝物和磷酸盐混晶沉淀。在间歇式混凝沉降槽中静置8h,排出底部泥浆,上清液经砂滤进入蒸发段再净化。混凝沉淀将稀土、碱土核素和 U、Pu 等 α 放射性核素去除90%。生成放射性泥浆,经冷冻破坏胶体后进行水泥固化。

蒸发浓缩 废水中的放射性核素大多数

是不易挥发的. 用一次蒸气将废水加热至沸腾, 废水中的水分被逐渐蒸发形成水蒸气(二次蒸气), 而放射性核素被保留在小体积的蒸残液中. 二次蒸气经旋风分离器、吸附塔、泡罩洗汽塔等除去夹带的雾沫, 去污因数可达到 $10^3 \sim 10^5$. 为便于工艺运行, 蒸发浓缩比通常控制在200左右(含补充蒸发). 含有放射性核素的蒸残液用水泥固化处理.

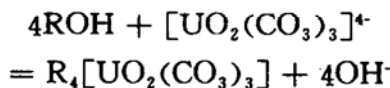
离子交换 二次蒸气冷凝液中仍含有少量放射性核素离子. 通过阴阳离子交换树脂混合柱可以进一步予以去除, 去污因数为10.

3.2 弱放废水处理

弱放废水主要来自放化分析实验室, 废水中总 β 比活度为 $2.4 \times 10^2 \text{Bq/L}$. 经氢氧化铁絮凝沉淀和碳酸盐沉淀, 比活度降低90%. 上清液经无机离子交换剂和有机离子交换树脂处理, 废水总 β 比活度降到 11Bq/L 以下.

3.3 含铀废水处理

在贫化铀部件加工过程中, 金属铀碎屑及其氧化物进入废水中. 在水中溶解氧和重碳酸根离子作用下, 铀逐渐转化为 $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ 络合阴离子, 与强碱性阴离子交换树脂有较强的亲和力, 其交换反应如下式



经过阴离子交换处理, 可使废水中铀浓度由 $500 \mu\text{g/L}$ 降到 $50 \mu\text{g/L}$ 以下.

4 辐射环境监测与环境影响评价

4.1 放射性气体总排放量监测

放射性气体和气溶胶主要来自反应堆、同位素生产和强放化室, 经两级过滤后排入110m山坡上的42m高烟囱. 为了提高放射性

碘的净化效率, 对碘同位素制备室附设了碘过滤器. 长期监测表明, 烟囱排放气体中主要源项是放射性 ^{131}I 、 ^{41}Ar 和 ^3H . 为了研究放射气体在该地区的扩散规律, 使用 SF_6 作示踪剂进行了大气扩散试验, 求出了与烟囱不同距离处的扩散因子. 依据排放源项和扩散因子, 计算出了80km范围内居民的附加剂量.

4.2 环境样品的监测

选择采集的环境介质主要是空气、土壤、河水、植物和沉降. 对空气样品做总 α 、总 β 、氡浓度和氡子浓度测量; 对土壤样品做总 α 、总 β 、 ^{40}K 、天然铀、 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{137}Cs 测量; 对河水样品做总 α 、总 β 、氡浓度、 ^{40}K 和天然铀测量; 对植物样品进行 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 测量; 对沉降样品进行总 α 、总 β 测量和 γ 谱全分析.

根据监测数据, 按文献[7]的模式进行剂量估算. 结果表明, 20年来因本所核设施运行引起的环境剂量均低于天然本底辐射产生的剂量, 对公众的健康危害是可以接受的. 本地地区的辐射环境质量一直保持良好的状况.

参 考 文 献

- 1 Bixel J C, and Kershner C J. WASH-1332(74), 261
- 2 Rhinehammer T B, and Lamberger P H. Tritium Control Technology. WASH-1269(73), 539
- 3 Mershad E A. Nucl. Tech., 1976, 33: 53
- 4 IAEA. Safe Handling of Tritium. TBS No. 324. International Atomic Energy, Vienna, 1991
- 5 苑国琪. 材料科学应用研究文集, 傅依备主编. 中国工程物理研究院核物理与化学研究所, 1994, 139
- 6 Grank and Park G S. Diffusion in Polymers. London: Academic Press, 1969.
- 7 潘自强. 环境本底辐射测量与剂量评价, 北京: 国家环保局出版社, 1986

Study on Radiation Environmental Protection in INPC

Yuan Guoqi

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, Chengdu 610003)

Abstract The studies on radiation environmental protection in recent (下转40页)

台基于反馈可控被动锁模(FCM)和啁啾脉冲放大(CPA)技术的皮秒钕玻璃超短脉冲激光系统(图 3). 其主要指标为:激光脉冲宽度 ~ 1.5 ps,单脉冲能量 ~ 1.5 J,激光脉冲功率 ≥ 1 TW. 此外,目前还在研制结构更为紧凑的超高强度飞秒激光系统.

为了适应 XRL 的实验研究,我们研制了透-反射镜组合的线聚焦系统,线长为 3cm(可调),线宽为 60 μ m.

为实现皮秒激光脉冲的线聚焦,正建立反-反射镜组合的线聚焦系统,预期可得到高的纵横比和功率密度分布均匀的线聚焦.

4 结束语

作为 ICF 驱动源的高能固体激光器集激光、光学、机电于一体,涉及各种单元技术;而且,随着激光能量提高,路数增多,工程规模

愈来愈大,精密化的要求也越来越高. 对于这类大型装置如何大幅度降低造价是至关重要的. 今后将进一步在大型激光系统的主放大器结构、精密化、光束质量、多路激光系统对靶的均匀照明技术、靶场光学排布以及包括材料膜层在内的各种关键技术方面开展工作. 为在我国建造高性能价格比的大型激光系统做出应有的贡献.

参 考 文 献

- 1 National Research Council, National Academy of Sciences, Second Review of the Department of Energy's Inertial Confinement Fusion Program, Final Report (National Academy Press, Washington, D. C., 1990)
- 2 Lowdermik W H, et al. 1992 LLNL Livermore, CA. 94550

Driver Technology of Inertial Confinement Fusion(ICE)

Zhou Pizhang

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, Chengdu 610003)

Abstract This paper briefly describes high power laser technology for ICF drivers and estimates its present status, key technology and developing trend. In particular, a description of the laser driver key technical progress and near future program in CAEP are also presented herewith.

Key Words ICF, high power Nd: glass laser, diode pumped solid-state laser (DPL), chirped pulse amplification (CPA).

(上接82页)

20 years in INPC are briefly introduced, which include the monitoring and treatment of radioactive effluents, environmental monitoring and dose assesment.

Key Words radioactive effluent, radiation environmental protection, environmental monitoring.