

氟安全防护研究进展

曲治华 王朝清

(核物理与化学研究所 成都 610003)

摘要 本文简要介绍了与氟气所接触者的防护重点、防止氟气内照射毒害的首选措施、氟气内照射剂量监测的特殊规律、氟致非随机辐射效应的首要受累器官等方面的研究工作和一些新认识。

关键词 氟, 安全防护, 内照射, 防氟材料.

1 氟气操作者的防护重点

氟气可以气体形态通过皮肤、呼吸道进入人体,叫浸没吸收.当裸露皮肤接触被氟气污染的器皿、材料表面时,吸附在材料表面的氟可通过裸露皮肤进入人体,叫接触吸收.接触吸收的严重性长期以来未被人们充分重视,而实际上,这是氟气操作者的防护重点.

在一起现场操作氟气所致的氟内照射事件中^[1],有两组11人受氟气内照射.甲组5人为直接操作者,使用被氟污染的工具,在手套箱中频繁接触被氟污染的构件.乙组6人是现场记录和防护人员,几乎不受任何污染.甲乙两组浸没吸收情况相同.根据尿氟数据计算,甲组人均待积剂量高于乙组29.1mSv,这高出的部分,显然完全是由接触吸收造成的.将接触吸收的多种防护因子计算在内以后,推算出,对于本次处于氟气污染环境中的操作者

来说,皮肤接触吸氟量,与相同面积的皮肤,在相同时间里浸没吸收吸氟量的比值,约为 5×10^3 ,双手双臂接触吸氟量与全身皮肤和呼吸道在相同时间里的浸没吸氟量的比值约为 2×10^2 ,单是双手掌接触吸氟量与全身皮肤和呼吸道在相同时间的浸没吸氟量的比值约为18倍.

2 氟气内照射的首选防护措施^[2]

氟和氢一样,容易在材料表面被吸附浓集,实验证实浓集于材料表面的氟很容易被氧化成氟水,还有比例很高的含氟有机化合物.这是接触吸氟高于浸没吸氟的根本原因.既然如此,那么,不同材料,其吸附、转化(成氟水或有机氟化物)、转移(进入人体、实质是一种解吸过程)氟的能力必不相同.

表1 不同材料对氟的吸附转移特性

材料	吸附量 (kBq/cm ²)	第1小时解吸 量(kBq/cm ²)	第一小时解吸量占 总吸附量百分数(%)	总吸附量 相对值	第一小时解吸 量相对值
聚四氟乙烯	0.448	0.147	32.8	1.00	1.00
玻璃	2.07	1.37	66.2	4.62	9.32
硬铝	2.60	0.78	29.9	5.80	5.29
不锈钢	4.92	3.96	80.5	11.0	26.9
氟丁橡胶	1.82×10^3	551	30.3	4.06×10^3	3.75×10^3

将厚度约为2mm的碳钢、不锈钢、黄铜、紫铜、硬铝、普通硅酸盐玻璃、聚四氟乙烯、聚乙烯、聚氯乙烯、黑橡胶、氟丁橡胶及乳胶(医用手套料)薄片,裁成4cm×4cm见方的

试片,悬挂于氟气浓度为 6.3×10^9 Bq/L的手套箱中污染适当时间,随后放入蒸馏水中,隔一定时间测量水中氟浓度,鉴定氟的化学状态,以此模拟人体接触试片时的吸氟情况.实

验证实,试片上解吸下来的氚,已全转化为含氚化合物而不是单质氚,其中氚水占(23.1~83.6)%,其余为含氚有机物.不同材料表面吸附转移氚的能力相差很大,以单位面积材料吸附氚的总量作吸附能力的指标,以第一小时解吸量与吸附总量的百分数作为转移能力的指标,几种典型材料对氚气的吸附转移特性列于表1.氚处理设备尽量选用吸附转移氚能力较低的材料.

3 氚气内照射剂量监测的特殊性^[3]

长期以来,氚气操作者的内照射剂量监测一直是:测量最高尿氚浓度 C_0 和工作人员体重 W ,按照下述公式计算单次摄入的待积剂量当量 H 为

$$H = Th_{50T} = W \cdot 60\% \cdot C_0 \cdot h_{50T} \quad (1)$$

式中尿氚浓度 C_0 的测量方法,很长时期内,国际国内氚防护学术界普遍认为:(1)活性炭吸附脱除尿中猝灭剂法;(2)加强氧化剂蒸馏消除猝灭剂法;(3)用内标法通过计算扣除猝灭效应的影响,这三种方法是完全等效的.然而,我们在实践中却发现,后两种在任何情况下所测测结果均一致,而某些情况下,与测量值差别十分显著.我们实测的一批尿样,(2)和(3)测得值高于1倍以上.对上述尿样进行实验研究后发现:凡是接触吸氚较多的氚气操作者,其尿氚中有很高比例的含氚有机化合物,它们在用活性炭脱除猝灭剂时被吸附在活性炭上.单纯操作氚水的人员,未发现其尿中含有有机氚.含氚有机物排出体外的速率较快,其半排出期平均为0.4天.仅为氚水半排出期的1/25.尿中含有高浓度有机氚,是氚气操作者接触吸氚的特有现象.用常规监测方法和计算公式监测内照射剂量,上述三种方法都得不到正确的结果.(1)只测得氚水浓度,使结果偏低,我们的典型病例偏低16%;(2)和(3)虽测得了氚中总氚浓度,但因有机氚半排出期较氚水为短,按氚水的 h_{50T} 值计算待积剂量当量,将使结果偏高,我们的

典型病例偏高4倍.正确的方法只能是分别测尿中氚水和有机氚的最大浓度,各自按上述公式(1)计算各自的待积剂量当量后求和.

4 氚吸收非随机辐射损伤效应的首要受累器官^[4~5]

氚致内照射的严重程度,除了与器官对辐射的敏感性有关系外,还与器官组织跟含氚体液的接触情况有关.以往人们只注意到器官含水量的多少,认为含水量越高,组织所受含氚体液的辐射也越厉害,损伤也越重.这里一个重要的因素未被充分注意,即氚的 β 射线在水中的最大射程只有 $6\mu\text{m}$,在其以外的氚水再多,对组织就不再有直接辐射损伤作用.因此,在器官含水量相同的情况下,生物组织与体液接触面积较大的器官,所受辐射较重.另外,氚的 β 射线在体液中引起电离和激发,生成具有损伤能力的正负离子和自由基,在与组织接触时,可发生间接损害.但自由基和正负离子的寿命都很短,在静止的体液中很快复合后失去活性.只有体液以较高的速度流动,自由基和正负离子与组织接触的机会才较多,间接损伤也就较严重.

人体一部分要害器官,如肝、肾、肺、淋巴系统、肾上腺等,是由很薄很细的囊、泡、膜、管构成,单位质量的器官组织与体液接触的面积很大,而体液在其中流动的速度又很快,一旦体液中含氚,所受辐射就较其他器官为重,应重点保护.上述分析与一次现场氚气急性内照射事件的临床观察结果相当吻合.当时15名人员在现场受到氚的急性内照射,剂量当量最高的达 0.1295 Sv (相当于每克体重摄入 $3.7 \times 10^4\text{ Bq}$ 氚),低的为 $4.6 \times 10^4\text{ Sv}$.临床检验表明,肝功能中 TTT、尿中17酮类固醇(主肾上腺)、体液免疫球蛋白中 IgM(主淋巴系统)的改变,与工作人员所受剂量当量的多少有明显关系.说明肝、肾上腺、淋巴系统因受氚的辐射而发生了功能改变.

(下转92页)

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.