

国际原子能机构技术报告丛书第 324 号

氙的安全操作

数据与经验综述



原子能出版社

氙的安全操作 数据与经验综述

潘雨霖 译
邓汉儒
李茂良 校

原子能出版社

北京 1996

图书在版编目(CIP)数据

氚的安全操作:数据与经验综述/潘雨霖,邓汉儒译. 北京:
原子能出版社,1996.5

书名原文:Safe Handling of Tritium; Review of Data and
Experience

ISBN 7-5022-1487-9

I. 氚… I. ①潘… ②邓… III. 氚-安全-生产 N. TQ122.1
中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第03513号

Safe Handling of Tritium, Review of Data and Experience

©IAEA, 1991

氚的安全操作
数据与经验综述
潘雨霖 邓汉儒 译

©原子能出版社, 1996

原子能出版社出版 发行

责任编辑:张书贤

社址:北京市海淀区阜成路43号 邮政编码:100037

原子能出版社印刷厂印刷 新华书店经销

开本:787×1092mm 1/32 印张5.25 字数116千字

1996年5月北京第1版 1996年5月北京第1次印刷

印数:1—500

定价:9.50元

内 容 简 介

本书主要包括氟的生物危害及剂量学、氟的监测及防护,氟容器系统的材料,氟污染系统的维修和含氟废物管理及处理、氟的安全操作等内容。

本书可供从事氟研究、生产设计人员以及广大的从事氟使用的科技人员及剂量防护和管理人员参考。

原 版 前 言

氟的使用在几个领域,例如氟动力装置、放射化学制品和药物的制造,重水裂变堆的运行,实验室处理或加工氟的操作以及有关聚变能的研究与开发等领域,正变得日益重要。由于氟会被吸入体液和组织中并使之受到照射,因此,有必要为氟的安全操作提供实际指导和建议。

此出版物包括于有关诸如氟的剂量学与监测、防护、氟处理实验室的安全常规和氟相容材料等方面的资料。这些资料是根据氟各种应用的现行经验汇编的。它们作为对策材料,预料对氟的所有使用者,包括参与聚变研究与发展有关人员,都是有价值的。

氟的环境作用及其对公众的影响,在本出版物中未予以详述,因为这些问题已由国际原子能机构和其它组织在别处论及了。

本出版物是1986年10月13日至17日在维也纳举行的国际原子能机构技术委员会关于氟的安全处理的会议和1987年3月在加拿大安大略省乔克河举行的咨询会议,于1989年12月经最后汇编的成果。

国际原子能机构对为本出版物做出贡献的诸位专家,无论是技术委员会会议或咨询会议的参加者,或者是撰稿人和书评作者都表示衷心地感谢。

编辑说明

此出版物原文是在1990年10月德国统一前编成的。因此,德意志民主共和国和德意志联邦共和国的名称仍然保留。

虽然,尽量保持此出版物所包含资料的准确性,但是国际原子能机构(IAEA)或其成员国都不对使用它可能产生的后果承担任何责任。

一些国家或地区的特定名称的使用都不意味着出版者IAEA对这些国家或地区、它们的当局和制度或者它们的边界的界定的所有法律状态作出任何评判。

对具体公司或产品名称(不管是否标明注册)的提及,都不意味着对所有权的任何有意侵犯,也不能解释为IAEA方面的任何认可或推荐。

目 录

1. 导言	(1)
1.1. 背景	(1)
1.2. 目的	(1)
1.3. 范围	(1)
1.4. 氟安全操作的一般原理	(2)
2. 辐射危害和剂量学	(3)
2.1. 职业照射的氟危害	(3)
2.2. 氟剂量学	(5)
2.2.1. 剂量学	(5)
2.2.2. 氟的氧化物	(7)
2.2.3. 氟气	(10)
2.2.4. 金属氟化物	(12)
2.3. 生物检测规范	(13)
2.4. 剂量负担的减少	(17)
2.4.1. 照射后的洗涤	(17)
2.4.2. 增加水摄入量	(17)
2.4.3. 其它医疗方法	(21)
3. 氟的监测	(22)
3.1. 引言	(22)
3.2. 监测的一般原理	(23)
3.3. 空气或气体中氟的监测	(24)
3.3.1. 起泡器和无动力采样器	(24)

3.3.2. 电离室方法	(30)
3.3.3. 正比计数器	(35)
3.3.4. HT-HTO 的甄别	(36)
3.3.5. 校正	(39)
3.3.6. 含氡尘	(40)
3.4. 液体中氚的监测	(41)
3.4.1. 概述	(41)
3.4.2. 随机取样	(41)
3.4.3. 液体闪烁计数	(41)
3.4.4. 闪烁流动池	(42)
3.5. 表面污染监测	(43)
3.5.1. 概述	(43)
3.5.2. 擦拭技术	(44)
3.6. 固体中氚的监测	(45)
4. 个人防护服	(45)
4.1. 引言	(45)
4.2. 罩衣和连身工作服	(45)
4.3. 手套	(46)
4.4. 统靴或护脚	(47)
4.5. 供气呼吸装置	(48)
4.6. 充气服	(50)
5. 保证含氚系统安全规范的材料性质和相容性	(54)
5.1. 引言	(54)
5.2. 核性质和放射学性质	(55)
5.3. 化学反应和辐射分解反应	(56)

5.3.1. 腐蚀	(57)
5.3.2. 结构性质的降低	(57)
5.3.3. 挥发性含氟化合物的产生	(58)
5.4. 氟气的物理性质	(58)
5.4.1. 溶解性	(58)
5.4.2. 扩散性	(60)
5.4.3. 渗透性	(60)
5.5. 氟相容材料的准则	(66)
5.5.1. 金属	(66)
5.5.2. 石墨、玻璃和陶瓷	(70)
5.5.3. 塑料、合成橡胶和油类	(71)
6. 氟化废物的管理	(77)
6.1. 引言	(77)
6.2. 废物的来源	(78)
6.3. 废物的分类	(78)
6.4. 氟含量的测定	(79)
6.4.1. 液体废物	(79)
6.4.2. 固体废物	(79)
6.5. 废物的氟释放	(79)
6.6. 液体废物的包装和调制	(80)
6.7. 固体废物的包装	(82)
7. 实验室中氟的安全操作	(82)
7.1. 氟实验室的分类和建议的安全措施	(82)
7.2. 有关氟系统运行和维修的特殊问题	(84)
7.2.1. 流动性	(84)
7.2.2. 化学形式	(84)

7.2.3. 化学和辐射分解的相互作用	(84)
7.2.4. 液体废物净化问题	(85)
7.3. 封闭	(85)
7.3.1. 引言	(85)
7.3.2. 一级封闭	(86)
7.3.3. 二级封闭	(93)
7.4. 维修和污染控制	(104)
7.4.1. 引言	(104)
7.4.2. 封闭系统的维修	(105)
7.4.3. 污染控制和废物处理	(107)
7.4.4. 去污染	(108)
7.4.5. 氟贮存	(108)
参考文献	(111)
附件 I. 气体氟光源的制造	(126)
I -1. 引言	(126)
I -2. 制造过程说明	(127)
I -3. 安全性问题概述	(128)
I -4. 控制氟照射的方法	(128)
I -4.1. 双封闭	(128)
I -4.2. 包壳焊封时氟漏泄的控制	(129)
I -4.3. 氟净化系统	(129)
I -5. 监测	(130)
I -6. 材料和设备的选择	(130)
I -7. 氟的安全操作程序	(131)
I -7.1. 分区污染控制	(131)

I -7. 2. 个人防护装备	(132)
I -7. 3. 维护和修理	(132)
I -7. 4. 安全委员会	(133)
附件 I 的参考文献	(134)
 附件 I .放射化学制品的商业化制造	(135)
I -1. 引言	(135)
I -2. 含氟自发光化合物的制造	(135)
I -3. 在荧光合剂覆盖层工业中的照射控制	(135)
I -4. 氟的标记	(137)
I -5. 废物处理	(139)
I -6. 释放到环境的控制	(139)
附件 I 的参考文献	(139)
 附件 II .在低氟活度水平操作与中等水平操作的大学 和医疗单位内的氟安全操作	(140)
II -1. 引言	(140)
II -2. 组织和管理	(140)
II -3. 工作人员的选择和培训	(140)
II -4. 职业辐射控制	(141)
II -4. 1. 源的控制	(141)
II -4. 2. 设计特点	(141)
II -4. 3. 管理控制	(142)
II -5. 对公众的辐射控制	(143)
II -6. 事故和去污	(143)
附件 II 的参考文献	(144)

附件 IV. 重水反应堆中氟的安全操作	(146)
IV-1. 源的控制	(146)
IV-1.1 含氟加工系统的不透性	(146)
IV-1.2. 空气中 HTO 的去除	(147)
IV-1.3. 含氟空气的封闭	(147)
IV-1.4. 净化通风	(147)
IV-2. 污染和照射控制	(148)
IV-2.1. 进出控制	(149)
IV-2.2. 区域控制	(149)
IV-2.3. 程序控制	(149)
IV-2.4. 氟的监测	(149)
IV-2.5. 剂量控制	(150)
IV-2.6. 个人防护装备	(151)
IV-2.7. 剂量负担减少的方法	(151)
IV-2.8. 氟水溅出的控制	(151)
IV-3. 含氟废物的处理	(152)
附件 IV 的参考文献	(153)

1. 导 言

1. 1. 背景

国际原子能机构已经出版的两本技术报告丛书^[1,2],已经阐述了含氟流出物和废物管理的技术问题。经济合作与发展组织的核能机构(OECD/NEA)所做的一项研究认为,氟作为核燃料循环产生的四种挥发性的放射性核素之一,在放射学上它具有潜在的长期意义^[3]。由 IAEA 和 OECD/NEA 联合组织的一次专题讨论会对氟的环境行为作了阐述^[4]。

1. 2. 目的

本出版物的主要目的是对氟安全操作中的辐射防护方面的问题提供实际指导和建议。另外,本出版物也作为一种框架,用于成员国之间的信息交流,并对今后可能需要的数据和研究进行分类处理。

本出版物中的建议不应理解为标准,而应当看成是值得效仿的一种规范,如果应用得当,这种规范有可能对改善氟操作设备的运行安全性起到有益的作用。

1. 3. 范围

本书阐述了下列类型设备的氟安全操作的主要要求:

- (a) 氟操作的实验室;
- (b) 工业规模的核设备,例如重水反应堆、氟排除工厂和裂变燃料后处理厂;
- (c) 制造商业用含氟装置和放射化学制剂的设备。

对于核聚变反应堆的要求没有给予特别的说明,因为到目前为止还没有有关聚变堆氟处理的经验。但是,本出版物所包含的许多材料预期对于核聚变堆也有联系。

本出版物附件Ⅲ对于大学、医学研究中心和类似机构较小规模使用氟的问题作了简要的说明。然而,本出版物的主要内容是有关更为大量氟的处理。

操作方面包括氟安全性的设计,安全操作规范,氟相容材料和设备的选择,辐射评价、监测、污染控制以及个人防护设备的设计与使用。

本出版物不论述氟的控制和废液净化、氟的清除、氟废物的固定化与处置的有关技术,也不论述氟的环境行为。

1.4. 氟安全操作的一般原理

辐射防护的主要目标就是防止急性损伤照射,保证不超过规定的限定值,使照射保持在可合理做到的尽可能低的价值(ALARA)。几个组织的经验已经证明,以下的组织因素有助于保证辐射防护纲要的有效性:

(a)管理上保证最低程度照射;

(b)独立的保健与安全部门提供全面的辐射安全计划指导和进行独立的评估。

(c)设备设计者与操作者之间的密切关系,促使操作经验迅速地转化为改进的设计。

氟的职业辐射安全纲要的基本要素是:

(1)源控制

——减少源量,

——采用工程控制办法封闭源。

(2)照射控制

——维修设计,

——放射学安全程序,

——工作地点监测,

- 污染控制，
- 废物管理，
- 个人防护装置。

(3)照射评估

- 生物鉴定法，
- 剂量测定法。

(4)ALARA 纲要

- ALARA 政策，
- 设计的安全评审，
- 操作的安全检查。

(5)辐射防护培训。

控制源的危害一般说来是最有效的。氟的控制由以下几部分组成：

- (i)系统元部件的密封性，
- (ii)控制氟的渗透，
- (iii)用多重壁垒封闭含氟气氛，
- (iv)限制含氟废物，
- (v)空气净化，
- (vi)通风控制。

氟的操作和照射控制在一定程度上，取决于设备(核反应堆，氟实验室，等等)的类型、氟的化学形态和处理氟的数量。对于大型的核设备，正规的设计安全性评审和运行的安全性检查将提供花费合理照射降低的策略。

2. 辐射危害和剂量学

2.1. 职业照射的氟危害

氟能够以气体、蒸气或含氟尘埃或气溶胶的空气载带形式存在于工作场地,也能存在于受沾污的液体(油、水);或存在于受沾污的装置和材料上。人体摄取氟的途径是:

(a)吸入;

(b)皮肤摄取

——空气载带的氟[主要是氧化氟(HTO)^①]通过未受损伤皮肤的扩散,

——皮肤通过与受污染的表面或与受污染的液体接触而吸收;

(c)食入。

不同形式的氟其生物危害是明显不同。HTO 在被摄入体内后,在二到三小时内便会与身体中的水分均匀地混合。它能扩散进入细胞,在较小程度上还会被结合到身体的有机化合物内。另一方面,氟气(HT)^②则不容易掺合到体内的水分或组织中。溶解于体内水分中的 HT 会被迅速地排出体外,因此,被吸入的 HT 主要成为肺组织的辐照体[一种较温和的辐照体,由于氟 β 粒子的能量很低(平均能量5.7 keV)]。根据国际放射防护委员会(ICRP)的第30号出版物,HTO 的辐射危害与 HT 比较,对于职业辐照来说,在空气中相等浓度的条件下,是25000比1。请参看2.2.2节。

HT 通过氧化作用和同位素交换机制能转变成 HTO。因为 HT 与 HTO 之间的放射学危害有大的差别,所以这一转变过程

① 在本出版物中以氧化物形式存在的氟(HTO, DTO 或 T_2O),一般就写作 HTO。

② 在本出版物中,以氢分子形式出现的氟(HT, DT 或 T_2),作为一种气体或在表面上被吸附,一般就写为 HT。

在氟的安全操作中是一个主要考虑的因素。

以粒子形式存在的氟,例如金属氟化物,当被吸入时就可能滞留在肺里,如果这种物质的溶解度低,那么生物排出半衰期可能为数百天。剂量学还没有很好建立并且生物检测是困难的。

在某些工作环境中可能存在的其它一些氟的化合物还包括碳氢化合物和氨。一些在生产和处理氟发光化合物和放射性药物时也遇到另外一些氟的有机化合物。

2. 2. 氟剂量学

2. 2. 1. 剂量学

根据能量转换率, $1\text{MeV}=1.602\times 10^{-13}\text{J}$, 并假定氟在软组织中均匀分布, 吸收剂量率 $\dot{D}$ 为:

$$\dot{D}=1.602\times 10^{-13}EA(t)/M\text{ (Gy/s)} \quad (1)$$

或者

$$\dot{D}=1.384\times 10^{-8}EA(t)/M\text{ (Gy/d)} \quad (2)$$

式中:

E 是每次衰变的平均吸收能量(MeV);

$A(t)$ 是时间为 t 时的放射性活度(Bq);

M 是吸收能量 E 的物质的质量(kg)。

接受的吸收剂量 D 是

$$D=1.384\times 10^{-8}(E/M)\int_0^{\infty}A(t)dt\text{ (Gy)} \quad (3)$$

组织 j 的剂量当量用下式给出:

$$H_j=QND_j \quad (4)$$

式中:

H_j 是剂量当量(Sv);

Q 是品质因数;