

核防—5024

氡的監測和個人 防護技術

中国科学院原子核科学委员会編輯委员会
文 献 編 輯 室 編 輯

新 书 目 录

1. 糖对Puyex废液的脱硝作用
2. 氡的韧致辐射及其应用
3. 钚的生物检验方法
4. Puyex废液用糖脱硝汇编
5. 氡的测定方法
6. 尿中总 β 放射性和总 α 放射性的测定
7. 三氟化氯操作手册
8. 钚气溶胶监测方案
9. 氡的生产及纯化
10. 钚处理安全指南
11. 氡的生产过程
12. 符合计数 α 粒子空气监督器
13. 金属表面氡沾污的去除
14. 美国原子能委员会计划中的放射性废物处置和处理的
现状报告
15. Li^6 的中子反应理论

书号: 核防—5024

定价: 0.10元

张家口日报印刷厂印刷

1966年2月出版

內 容 簡 介

本文介紹了在美国薩凡娜河工厂研究氚的檢測和防护方法所获得的一些資料。这些研究結果已用于建立真正的防护措施，以便保証那些从事氚工作的职工安全。本文主要对下列几方面进行叙述：沾污；在塑料和橡胶中的渗透率，測量仪表，生物和物理特性。

本文譯自美国原子能委员会报告 DP-329, "A Synopsis of Studies Related to Tritium Monitoring and Personnel Protective Techniques", 1959年2月出版。由Harry L. Butler 等人著，謝滋釋。

目 录

一、引言	(1)
二、沾污	(1)
三、在塑料和橡胶中的渗透率	(4)
四、测量仪表	(8)
五、生物特性	(14)
六、物理特性	(17)
七、其他	(18)
参考文献	(19)

引 言

美国原子能委员会所属的一些单位，在操作氚方面取得了一些辐射防护经验，但这些经验还是不够的。要在操作氚的方面建立真正的防护措施来保证接触这种同位素的职工的安全，需要有关氚的技术数据。这份报告主要是摘要地叙述在萨凡娜河工厂保健物理部指导下进行的各个研究工作所获得的资料。

沾 污

沾污限量

由于缺少直接测量氚的表面沾污的检测仪表，因而使得辐射监督变得很复杂。擦拭技术是测定低水平和中等水平松散沾污的唯一实际可行的方法。对强度在3,000—300,000计数/分的氚的擦拭样品作延迟计数时，如果计数是在擦拭取样后100小时以内进行，则误差不会超过13%。

由于擦拭检查法对氚沾污的适用性有一定的限制，因此规定了一个保守的表面沾污限量（列出如下：）

可擦拭下的氚的沾污的最大限量*

清洁区	小于1/4计数器本底或200计数/分**
操作区	500计数/分
操作区内的工具和设备	500计数/分
辐射危险区的工具	200,000计数/分
清洗后的橡皮衣	1,000计数/分
清洗后的塑料衣	2,000计数/分 外面

消过毒的防毒面罩	1,000計数/分	内面
	2,000計数/分	外面
	500計数/分	内面

* 这些限量是利用干法擦拭测定的

** 修正本底后的計数

对涂上甘油的擦拭样进行鉴定后表明，在氡沾污（特别是对无油表面）〔1〕的半定量分析方面，它比干法擦拭样要有效得多。

氡的亲合力

涂有潤滑脂或油膜的圓片对氡的亲合力比清洁的圓片要大。与高浓度的氡接触时，这一点特别显著。曾将圓片放在加热炉中，在 75°C 下加热30分鐘进行干燥去污，結果发现，涂有油或潤滑脂的圓片的去污效果比清洁的圓片强9倍。如果将涂有油或潤滑脂的圓片放在清洁的空气流中10—20小时或更久一些，也可以达到部分的去污效果。

当将一些防护衣的實驗样品与含氡空气接触时，发现棉布和天然橡胶对氡具有最大的亲和能力，而聚乙烯对氡的亲合力为最小。

工具和设备的去污

工具的光滑金屬表面是最容易去污的。因此，应尽量多使用这种工具。由于橡皮和塑料对氡具有亲合力，所以要尽可能避免使用由这些材料制成的工具。

水、去污剂、三氯乙烯和高硼酸鈉可用来清洗工具和設備，它們均具有中等的去污能力。为了实用和經濟的目的，

最經常使用的方法是採用去污劑和強有力的擦洗相結合。

最初的試驗表明，將沾污的金屬工具和設備在 300°C 高溫下加熱10—30分鐘，然後放在冷水中淬火，即可達到去污。在淬火用的水中加入一些去污劑，看來可以增加去污的能力〔1〕。

δ（受到高水平氟沾污的工具和設備較難去污。在幾次的研究中发现，操作過氟的一些工具和設備，雖然已清洗干淨了，但以後又會在它的表面重新出現可以被擦下的氟。如果將工具和設備移往別處使用，要特別注意這個問題。）

防護衣的去污

防護衣應送到工廠的洗衣房清洗。為了控制氟的危害，洗衣房不應清洗氟沾污大於250,000計數/分的衣服。在洗完衣服以後，應對洗衣機和干燥機進行擦拭，以保證沒有殘留的氟沾污。到目前為止，在洗衣機和干燥機上沒有探測到有明顯的殘留沾污。

一般來說，（棉布制品和橡膠制品，通常用普通的清洗方法就可以去污。但是塑料衣服是很難去污的。）對塑料去污的最有效方法是採用大量去污劑，即在標準清洗過程中的每一步驟都要加入去污劑，只有在最後一步洗沖中不加去污劑。為了經濟的原因，每台洗衣機每次最少洗40套塑料衣。洗衣水和干燥的溫度都不應超過 140°F 。過高的溫度將損壞塑料。

對乙烯基塑料進行的紅外線分析表明，最大沾污水平出現在含增塑劑最多的地方。因此，使用不含增塑劑的塑料，可以顯著減少去污的問題。

氟的穿透与轉移

（氟不但可以粘附在防护衣上，同样还可以穿透过去。棉衣是最容易被穿透的。）氟也可以透过用聚氯乙烯做的单层或双层的塑料衣服。氟的穿透程度随着接触氟的浓度的增高而增加。收集了说明在接触各种浓度氟时塑料衣中所存在的氟浓度的数据。繪制了说明在空气中含有特定氟浓度下穿上这些衣服同化1毫居里氟所需的时间列綫图解。根据此列綫图解，可以有效地限制穿塑料服进行工作的时间，从而可以控制工作人员的接触时间。塑料服经过清洗后，渗透速率不受影响。

在塑料和橡胶中的渗透率

表征氟的氧化物通过塑料和橡胶材料的相对渗透率数据，对于确定提供最佳防护效果的材料类型和衣服式样是有用的。

大部分数据是从水蒸气透射試驗获得的。在标准型的Payne渗透率杯中，倒入約1毫升的NaCl溶液，把待試驗的材料密封在杯的开口端，然后以24小时的时间間隔进行一系列的称重，再画出失水重量与时间关系的实验曲线。由曲线的斜率即可定出水蒸气*对所試驗材料的渗透速率（“Q”值）。这个数值是被試驗材料的类型和厚度的函数。用渗透率常数（“P”值）做为量度材料单位厚度对水蒸气的渗透速率，这个值是由“Q”值来确定的。因此，“P”值与厚度无关，因而将它做为被試驗的一个基本常数。这些数据列于下表：

* 原文为水，有誤——譯者注

在 23 °C 进行的水蒸气渗透率試驗*

材 料	厚度 (密耳)	平均“Q”值 厘米 ³ /秒/厘米 ² /厘米 Hg 压 力	平均“P”值 厘米 ³ /秒/厘米 ² /厘米厚/厘米 ² Hg 压 力
塑料			
聚氯乙烯	6	16×10^{-5}	2.1×10^{-7}
聚氯乙烯	12	12×10^{-5}	2.2×10^{-7}
聚乙烯	1.5	3.5×10^{-5}	0.19×10^{-7}
“賽綸”(Saran)	1.5	3×10^{-5}	0.068×10^{-7}
对压力灵敏的黄色带状塑料	5	9.4×10^{-5}	0.7×10^{-7}
聚氯乙烯鞋套	7	12×10^{-5}	—
“美拉”膜Mylar)	0.5	—	0.19×10^{-7}
含铝聚酯	2.0	—	$< 0.01 \times 10^{-7}$
“特氟隆”X-100 (聚四氟乙烯)	2.0	—	0.02×10^{-7}
天然橡胶			
赛波林(Seiberling) 5330号手套	18	13×10^{-5}	3.5×10^{-7}
表皮无损伤的外科医用手套	10	21×10^{-5}	3×10^{-7}
橡皮鞋套	38	2.6×10^{-5}	5×10^{-7}
氯丁橡胶手套			
半长手套, “察科”(Charco)	26	7.5×10^{-5}	2.9×10^{-7}
全长手套, “察科”(Charco)	30	4.3×10^{-5}	1.9×10^{-7}
赛波林 Seiberling) No. 5720-5	24	5.3×10^{-5}	2.0×10^{-7}
丁基手套 (自原子能委员会获得)			

材 料	厚度 (密耳)	平均“Q”值 厘米 ³ /秒/厘米 ² /厘米 Hg 压 力	平均“P”值 厘米 ³ /秒/厘米 ² /厘米厚/厘米 Hg 压 力
高压模塑的	40	—	1.1×10^{-7}
浸漬的	32	—	0.98×10^{-7}
其它			
涂有氯丁橡胶的尼龙	14	48×10^{-5}	8.8×10^{-7}
耐酸橡胶衣 (美国橡胶公司)	—	36×10^{-5}	11×10^{-7}
氯丁橡胶—尼龙叠层 制件	34	5.3×10^{-5}	2.7×10^{-7}

- * 試驗表明，氚对塑料的渗透率随着温度升高而增加。例如，在 50°C 下所测定的乙烯基塑料的氚的渗透率比 23°C 时测定的值大 5 倍。对每种特定的塑料，渗透率随温度的增长率是不同的。对聚乙烯在 50°C 时测定的渗透率比在 23°C 时大 10 倍。

必須注意到，在进行透射率試驗时要得到重复性較好的結果是困难的。这可能是由于試驗材料的杂质和厚度变化引起的。如果两个試驗結果之間相差在一倍以下，仍然可以認為这两个数据是一致的。

进行了現場試驗，以观测在用几种材料做成的一些密閉单元內的水所摄取的氚的氧化物的量。先检查各个密閉单元，証明沒有小洞和裂痕以后，就可以充入一定量的水，然后把开口封住并放入所操作的通风橱中使与氚的氧化物接触。每隔 24 小时，从这些单元中取水样进行分析，以測定所摄入的氚的氧化物的量。用氚的氧化物的摄入的速率来比較一种材料与另一种材料的渗透率。这种类型的試驗只用来对各种材料的渗透率进行相对比較。得到的結果是試驗材料的厚度和类型二者的函数。密閉的单元可以是塑料袋也可以是

手套。

把具有相同厚度的精制氯丁橡胶手套与氯丁橡胶-尼龙双层手套的渗透率进行比较，所得数据作为一个例子列于下表。每个手套倒入 100 厘米³ 的水，将开口封住，然后放在含有一定氟的氧化物浓度的通风橱中暴露 4 天。每隔 24 小时，取出一些样品。

手套内水中氟水的含量

取样日期	手套内水中氟的分析结果（微居里/升）	
	双 层 手 套	精制氯丁橡胶手套
8月25日	3	1
8月26日	5	6
8月27日	42	42
8月28日	118	117

水蒸气试验确证了这些手套的相对渗透率是相同的。虽然数据是有限的，但是现场试验表明与水蒸气试验之间符合得很好，因而对本试验方法在某种程度上提供了可信的证据。

水蒸气透射率试验的数据表明，含铝聚脂，“特氟隆”X-100，“赛纶”，“美拉”膜和聚乙烯是试验过的一些塑料中渗透能力最小的。但是这些物质的其他一些性质对加工衣服是有害的。塑料工业的最新进展表明，可以成功的制成“赛纶”与乙烯基的叠层，它可以用于制造衣服。丁基是已试验过的橡胶化合物中渗透能力最小的一种。但是，因为丁基橡胶手套的供应是极其有限的，所以在含氟浓度较高的情况下操作时，建议使用氯丁橡胶手套。

測量仪表

Kanne监测仪

Kanne 监测仪广泛用于测定空气中氚的浓度。Kanne 电离室配上对数型放大器，或者配上线性放大器，可测量 1×10^{-13} — 1×10^{-7} 安培电流。在这个量程内，能测量的氚浓度范围是 6×10^{-6} —6 微居里/厘米³ 空气。放大器出来的讯号画在用对数或直线标度的记录仪上。虽然 Kanne 监测仪用在氚的监测中是很满意的，但是也遇到某些微小的困难，这些将在下面讨论。

当放大器工作时，会产生大量的热。在某些场所，把几个放大器装配在一个单独的继电器架上，这时放大器组件的温度超过了制造厂商推荐的最高工作温度 42°C。为了改变这种情况，装放大器的小室设置了空气供应系统和排气系统。

Kanne 监测仪装有过滤器，以便在空气样品进入电离室之前就除去其中的粒子物质。固定式监测仪上连接有专门设计来排除直径大于 2 微米的粒子的不锈钢过滤器。但这些滤器不能排除某些能在 Kanne 监测仪中引起响应的非放射性粒子。其中最主要的有烟尘、焊料及焊烟、粉笔灰尘、发动机排气烟等所产生的电离粒子。可携带式 Kanne 监测仪通常装配有能排除直径非常小的粒子的“满流量纤维玻璃”过滤器。当使用这种过滤器时，上面提到的那些非放射性粒子几乎全部都会被排除掉。在可能出现这种粒子的固定式 Kanne 监测仪系统中，也配备了“纤维玻璃”过滤器。

烟囱监测仪

使用Kanne 监测仪連續測量自烟囱排出的空气中的氡浓度。虽然开始安装在烟囱上的Kanne 监测仪不是为了精确地定量測量烟囱內的放射性排出物，但是現在它已用于这个目的。

因为监测仪提供的是烟囱內部氡浓度的連續記錄，所以要想确定每天自烟囱中排出的总氡量，記錄仪上的数据必須对24小时进行积分。在記錄图表上，氡的浓度用对数刻度表示，而時間是用綫性刻度表示的，因此需要运用目視或笔算方法积分。最初这是主要的誤差来源，因为通常需要几个人才能完成这个积分。但是后来将积分方法标准化，并保証对数据有适当的检查，这样就显著地减少了人为的誤差。

为了代替目視或笔算积分，研制了一架电子积分器。有限的數據表明，此仪器是令人滿意的。装备电子积分器以后，要求烟囱监测仪的放大器的量程扩大到能測量 1×10^{-6} 安培的电流。因为放大器供应給Kanne 电离室的电压只有210伏，为保証这样的电压足够使电离室在其全部电流量程內达到飽和，进行了許多試驗。210 伏对正常的量程 $1 \times 10^{-13} - 1 \times 10^{-7}$ 安培是足够了，但是为了使 1×10^{-6} 安培以下的量程达到完全的飽和，供給烟囱监测仪的电压要增至600伏。

为了精确檢驗所有的烟囱监测仪的刻度和积分方法，把一定量的氡噴入烟囱。用不銹鋼制的高压圓筒盛上所需要的氡量。借助于閥門和流量計裝置来控制氡气由圓筒流至排出管道；已經做到使瞬时和长时期注入的氡量都在 25—130 居里之間。在定量測量这些已知的烟囱排出物时，总的誤差小于10%。这些試驗証明了此监测仪的精确度和可靠性与积分

方法一样。

振簧式静电計 *

振簧式静电計用于分析尿和水样，但是，用静电計来測量特定場所空气中的氟浓度的情况不多。这些样品被称为“攫取空气样品”。将液体样品与金屬鈣碎片进行反应产生的氢气充入容积为1立升的电离室中。用静电計測量流过电离室的电流在固定电阻上产生电压降。输出的訊号被画在綫性记录仪上。

因为静电計測量显示出有某些漂移，所以必須采用一种解释图表記錄的标准化方法，以便确定真正的讀数。以前的刻度表明，被記錄下来的最低的单个的最小点，只要具有保持稳定的适当的延迟时间，便可以看做是真正的讀数。由这种标准化方法得到了准确的和可重复的数据。

振簧式静电計装置最初是用一个限制了測量量程的 10^{12} 欧姆电阻。为了增大量程，使用了 10^{10} 欧姆和 10^8 欧姆的电阻。因为供电离室的电源只有22.5伏，所以如果利用这些电阻来測量高浓度的氟，将会由于电离室电流未达到飽和而产生誤差。試驗表明， 10^8 欧姆的电阻是一定不能应用的，但在0—100毫伏量程档使用 10^{10} 欧姆电阻，可以保证电离室的电流达到飽和。这就使得能分析的浓度限制在30毫居里/升以下。浓度更高的样品要进行稀释。

正比計数管 **

擦拭地板、工作区和設備上的氟沾污，是沾污控制計劃

* 应用物理公司 (Applied Physics Corporation) 的产品

** 核子測量公司 (Nuclear Measurements Corporation) 的产品

中的一个重要方面。低放射性水平的擦拭样品，要用经过用氟校准过的气流式正比计数管来测量。

计数室沾污是一个严重的问题。在大多数情况下，测量氟含量大于 10,000 计数/分的擦拭样品时，计数室就会发生沾污。当出现沾污时，就要把计数室拿开并进行清洗，以便将本底降到可以允许的水平。除用普通去污剂清洗以外，通常还需要利用砂纸强有力地擦洗室壁，以达到更有效的清洗。这种仪器的不能利用的时间很长，维修费也很高。

把正比计数管的使用限制在测量 10,000 计数/分或以下的擦拭样品，沾污问题总算部分地解决了。高放射性水平的擦拭样品或疑为高放射性水平的擦拭样品，目前用低灵敏的开窗式气流盖革-弥勒计数管来测量。有了这种限制以后，计数室的沾污次数大大减少了。此外在计数管室内壁涂一种很容易除去和更换，并且能用水溶解而剥落的敷层 (Monsanto D-1000)，这样一来，大大减少了去污所需的时间和劳动。在敷层上再涂上一层“导电敷层”，以便使表面导电。采取这些措施以后，计数管室沾污的问题几乎全都解决了。

在正比计数管中，以前用甲烷做为计数管填充气体。由于甲烷具有着火的危险，且价格贵，因此努力寻找满意的代用品。研究结果表明，“Q—气体”（98% 氦，2% 异丁烷）能够做为测量氟的计数管填充气体。由实验数据得出，计数管特性曲线的坪长度缩短到 25—50 伏，而且需要增加清洗次数。此外，仪器的运转经验证明，盛气体圆筒的储存位置周围的温度必须在 45°F 或 45°F 以上，以防其中异丁烷气体凝结。

液体閃爍計数器*

对一台液体閃爍計数器进行了鉴定，并已将此計数器用于分析尿和水样中的氧化氚含量。对每升含有 1 微居里的氧化氚的尿样品計数 1.5 分鐘，就可以达到所要求的灵敏度。測質浓度为 0.01 微居里/升的水要計数 30 分鐘。实验数据表明，进一步延长計数時間，还可以得到更高的灵敏度。

其他測量仪表

为了特殊监测的需要，还試制了几种仪表，并在現場进行了鉴定。现将这些仪表及其评价做一簡要叙述：

携带式測量表面氚沾污监测仪(底窗式盖革-弥勒計数管)

此仪器由一个連接着标准定标器的底窗式盖革-弥勒計数管組成。在測量过程中，作为計数管填充气的“Q—气体”，連續不断的供应給盖革-弥勒計数管。計数效率約为 2%。从体积和灵敏度来看，这个仪器不是一个良好的携带式測量表面氚沾污监测仪；但实践証明，把这种仪器放在測量室，測量高放射性水平或疑为高放射性水平的擦拭样品，倒是很有用的。这种仪器通常都是用于此目的，这样就使得正比計数管室的沾污次数大大减少。

携带式的振簧式靜电計連續空气取样器

把一个振簧式靜电計制成可携带的，并进行改装，以使空气連續不断通过容积为 1 立升的电离室。实验証明这个仪器是令人滿意的，但是沒有对它做进一步的改进，因为它并

* 派克仪器公司 (Packard Instrument Company) 产品

不比現有的 Kanne 監測儀先進。

工具監測儀

在現場對一台專為監測工具用的原型儀器進行了檢驗。這個裝置由一個能放入被測工具的大電離室構成，並裝有振簧式靜電計。最初的刻度表明，儀器的響應幾乎與工具在電離室內所處的位置無關。儀器的靈敏度是 1700 計數/分/毫伏。這台原型監測儀是令人滿意的，目前已用做測定工具和設備所有沾污的基本監測儀表。

手監測儀

對一台原型的測量手部受氚沾污的監測儀進行了性能檢驗，以確定它的適用性。儀器是由一個用“Q—氣體”供應的大正比電離室構成的，把手放在電離室內進行測量。正比電離室側面有兩個洞，是供插入手用的，為了防止漏氣，用連鎖橡皮板蓋住。這個儀器在常規測量中不實用，因為它的響應時間長，靈敏度差，並且在運轉時需要大量氣體。

攜帶式測量氚表面沾污的監測儀（電離室）

鑑定了一個由開端式圓柱形電離室構成的攜帶式監測儀，電離室的直徑 3 吋，高 $1\frac{1}{4}$ 吋。電離室用固定電壓充電，開端對准被監測的表面。經過一段適當時間的照射以後，將電離室拿開，測量電離室兩端的電壓降。刻度表明，1 毫倫琴 γ 輻射產生的電壓降與 1.1×10^3 蛻變/分的氚 β 輻射等效。這種電離室在常規使用中也是不實用的，因為它所要求的照射時間和測量時間長，電離室經常受到沾污，而且需要設在人員行走區域的地板上，這也存在着一些問題，同時這種儀