

安全丛书 No. 48



表面去污指南

国际原子能机构

原子能出版社

国际原子能机构安全丛书第48号

表面去污指南

范深根 译

谢 滋 袁良本 校

原子能出版社

内容简介

本书扼要地介绍了表面放射性物质污染的最大容许水平和污染的防止方法；详细地论述了与工作场所地面、设备、实验台、防护衣具和人体皮肤的实用去污方法有关的资料和指导原则；还介绍了英法等国常用的去污试剂；以及去污过程中去污工作人员的个人防护技巧。

本书可供从事实验室规模放射性物质操作、辐射防护和建筑设计工作的人员参考，并可供有关中等和高等学校有关专业的师生和卫生防疫人员阅读。

国际原子能机构安全丛书第48号

表面去污指南

范深根 译

谢 滋 袁良本 校

原子能出版社出版

(北京2018信箱)

北京振华印刷厂印刷

(北京顺义张镇)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张2 字数 41 千字

1986年10月北京第一版·1986年10月北京第一次印刷

印数1—1700·统一书号：15175·826

定价：0.45元

2576/07

前 言

放射性工作区、设备、防护服和人体皮肤的污染，可能是由非密封放射性物质的正常操作或事故性释放造成的。只有去污才能保证在操作放射性物质时达到合适的卫生要求，保持清洁而安全的工作条件，因此去污已成为辐射防护措施中的一个必不可少的组成部分。国际原子能机构1973年出版的第38号安全丛书《辐射防护方法》虽曾简要地提到了去污问题，但其中提供的资料只是一般性的。随着原子能和平利用的迅速发展，使用非密封放射性物质的工作日益增多。因此，本机构认为制定关于去污方法的导则是很重要的。

本指南是为成员国，特别是发展中国家中，那些负责制订和实施以实验室规模操作放射性物质的设施的去污计划的人员和主管部门编写的。其中包括有关工作场所、设备、实验台和防护衣具等实用去污方法的资料和指导原则。还提供了用温和的（非医学的）方法来清除工作人员皮肤上的松散污染的一些有用资料。要求医学监督的皮肤去污或体内促排方法，因纯系医学方法而未列入本指南。本指南也未涉及大型核设施中的大规模去污。

目 录

1. 引言.....	1
2. 最大容许表面污染水平.....	2
3. 检查和监测.....	3
4. 污染.....	4
4.1. 污染类型	4
4.2. 污染的性质	5
4.3. 污染源及污染过程	6
4.4. 表面的特性和类型对污染的影响	7
5. 污染的防止方法.....	8
5.1. 放射性工作区的准备和设计	9
5.2. 实验台	10
5.3. 地板材料	10
5.4. 管线	11
5.5. 好的可去污表面的标准	11
5.6. 可去污性试验	12
5.7. 其它重要考虑	13
6. 去污.....	13
6.1. 去污原则和方法	13
6.2. 去污剂和应用技术	17
6.3. 工作场所的去污	19
6.4. 设备和器材去污	21
6.5. 溅洒物去污	22
6.6. 衣具和防护服去污	22
6.7. 个人去污	24
参考文献.....	25
附录 I: 表面可去污性试验实施规程举例.....	26

A. 德意志联邦共和国.....	26
B. 英国.....	35
C. 美国.....	41
附录 II: 英国哈威尔原子能研究中心去污用化学试剂...	44
附录 III: 法国去污用化学试剂.....	47
附录 IV: 图解说明.....	48

1. 引言

在核工业中，工作人员的安全标准在很多方面与一般工业中的规定十分相似，假如遵守了这些规定，污染就可以保持在最低水平。

从事现代工业的人，都熟悉为确保不发生污染和他们的产品不被交叉污染而应采取的各种措施，并且知道彻底的清洁是进行有效工作必不可少的条件，在以消灭病原菌为目的的制药工业和医院中尤其如此。

上述这些实例和放射性物质操作人员所遇到问题之间最重要的区别在于：放出射线的物质既不能中和也不能消灭。因此，重要的是，在设计工厂或实验室时必须考虑对放射性物质进行适当的包容。其材料和表面的选择应当是允许在包容不完善时进行有效的去污。这里的基本原则是：假如通过良好的工作计划和实践防止了污染，那么去污常常就不成为问题。

放射性物质污染基本上是由放射性物质和任意表面的接触造成的，因此在操作放射性同位素时，总是会发生某种程度的污染。污染的存在，通常说明包容不需要的放射源的方案不够完善。因此，评价造成污染的根本原因和直接原因对防止今后不再发生类似的污染常常是很有用的。

不太严格地说，去污就是把污染表面上的任何一种放射性核素全部清除掉，或者降低到某种水平所经过的任何一种过程。很多理由表明去污是必要的，其中有：

(1) 危害健康——必须把污染水平降低到足以保证所有工作人员不致受到高于某个限定水平的照射；

- (2)对精确计数设备的干扰；
- (3)允许进行日常的或其它的维护工作；
- (4)便于对物件进行安全处置或检修；
- (5)使污染水平低到足以使物件能够重新使用。

关于对健康的危害，应当注意的是，气载污染物或重新悬浮到空气中的固着的污染物所造成的体内污染是一种潜在的危害。食入、吸入或通过皮肤的渗透而至的体内污染相对地来说是次要的。另一种最主要的危害是皮肤直接接触污染物引起的接触照射。由污染物导致的全身照射，很少成为主要危害。

只有以有效的检查程序和监测程序作后盾，去污才可能是有效的。

去污过程会产生一些需要处理的放射性流出物。在许多情况下，由于这些放射性流出物中存在着难于去掉的污物，而使清除放射性物质的效果可能受到影响。因此，显然应当把污染（包括去污以后）保持在一个绝对低的水平上。这就意味着必须研究某些因素，例如污染的性质、污染的机制和去污剂的特性等。

2. 最大容许表面污染水平

分布在任何类型表面上的放射性核素，由于外照射辐射场的存在或放射性核素（特别是 α 放射性核素）的摄入而对人造成危害。最大容许污染水平是由剂量当量限值推导出来的。

目前实际采用的数值为：对于 α 辐射体是 $1 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ ；对于 β, γ 辐射体是 $1 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ 。这些值

应当视为容许的最大值。这些限值都是对那些可以从控制区内拿出来的污染物品而定的。然而，对于控制区内部的材料表面上的污染，要根据工作条件另定一些最大容许污染限值。正如文献〔1〕中详细论证的，随着出发点和导出时所用模式的不同，这些数值也会各不相同。除了一般的实践以外，可能出现要求进一步降低这些数值的情况，正如从上述参考文献中引述的下面一段话中所说的：

“防毒面具的面罩部分、气罩、气衣头盔或其它类型保护呼吸器具的内表面上的污染，不得超过对皮肤规定的导出工作限值。在这种污染水平下，间断性地使用时，对工作人员来说应当不超过 ^{239}Pu 和 ^{90}Sr 的日最大容许摄入量。长时间使用或经常使用时，最好是在更低的水平下进行工作。”

在控制区内部，固定污染的最大容许限值可以比容易去掉的污染的限值高些。要拿到一般居民区去的物品，其固定污染水平不得超过上述的最大容许限值。

3. 检 查 和 监 测

任何操作放射性物质的装置和设备，必须通过常规监测方法进行检查。如这些方法能够确切地查明污染所在地的放射性物质，使人们能够判明污染源，那么它们是有效的。在正常情况下，这些监测结果给出的是该区域中各个地方的本底水平，因而一旦出现污染就很容易发现。

在实际工作中，常规监测包括直接对表面进行监测和擦拭检查。最重要的是要对离开放射性区的工作人员进行严密的监控，以使污染的散布减到最小。对常规方面的安全问题

予以严密的监视，以及把偏离正常工作谨慎地视为一种可能的污染源，这对于防止工作人员和设备的污染也是很重要的。

手和脚监测仪应当放在放射性工作场所的进口处，供在该区域工作的人员使用。对于 α 辐射体来说，直接监测很困难。必须细致地分析监测结果。对于低能 β 辐射体（如 ^3H 和 ^{14}C ）的监测，需要采用专门的技术。

监测表面污染的方法有两种：直接法和间接法。根据客观情况的需要，可以采用其中的一种，或两种兼用。直接监测是把仪器的探头直接放在污染区域进行测量，而间接监测方法则是先取得擦拭物，然后把它拿到涉及区域外面去测量。直接法的缺点是，难于在很不容易接近的地方和存在着外照射本底的地方进行测量，但是对于区域的一般性调查以及对于工作人员的监测来说却是很好的。擦拭法可以用在所有的地方，但是必须准确地估计出擦拭物上的放射性占总放射性的比例有多大。

监测程序的细节，主要决定于所监测的放射性物质的类型，例如，是裂变产物、核燃料，或是其它放射性物质，因此对监测设备，必须作出正确的选择。为了调查这方面的各种可能性并得到最佳的选择，可以用国际原子能机构的技术报告《表面放射性污染的监测》⁽²⁾作为指南。

4. 污 染

4.1. 污染类型

放射性污染可以出现在固态中、溶液里，也可以被气体或蒸气载带。最经常发生的形式可能是液体载带，但其它类

型的污染仍然必须考虑到。

任何一种微量的放射性物质都可以造成污染。就现在所知，每一种元素至少有一种放射性同位素，所以有 100 多种元素可以引起放射性污染。

由于可能有这么多种的污染物，所以去污就成了一个复杂的问题。还有一个事实是，虽然这些污染物迟早要衰变掉，但多数能产生各种各样的子体产物，这些子体产物有时是不同元素的同位素。

对去污有明显影响的两个因素是：

- (1) 污染物的化学、物理和放射化学性质；
- (2) 基底材料和表面层的光洁度。

4.2. 污染的性质

放射性物质吸着于表面上的主要机制与那些非放射性对应物的吸着机制并无不同，放射性污染同其它污染的区别主要在于放射性污染的量很小(例如 $1\text{mCi } ^{32}\text{P}$ 的重量是 $3.5 \times 10^{-9}\text{g}$)，而且放射性又不能被消灭。这种污染往往与油脂污染相联系，通常情况下与暴露于大气条件下的物体表面上的油秽粘在一起，而在金属(例如不锈钢)表面上，还与氧化物保护层粘在一起。

在大多数情况下，这种污染物很难去掉。它们可被分成以下三类：可溶性的(离子化的)污染物、颗粒状的污染物和胶状的污染物。可溶性的(离子化的)污染物通常由于与绝大多数非金属材料表面上存在的反应基(通常是酸性的)发生物理吸附或离子交换而粘在基底物质表面上。阴离子污染物因受这种表面上的带负电的粒子的互相排斥而不发生什么吸附。然而，阳离子却为这种酸性表面所吸附，在有利的情况下，特别是在低浓度下，多价阳离子几乎被定量吸附。

遗憾的是，大多数裂变产物和所有重的天然放射性元素都属于这种类型。

胶状的和颗粒状的污染能通过从悬浮物中吸附而沉积到基层层。去除这种污染需要使用能够溶解特定污染物的一些特殊试剂。

4.3. 污染源及污染过程

最重要的而又最不明显的污染源很可能是正进行涉及放射性物质工作的某个区域。在未发生任何明显的溅溢或事故的情况下，该区域也会被污染。这归因于多种理由，例如：

(1)微小的放射性物质颗粒进入到大气中造成轻微的气载污染；

(2)空气从其内正在进行放射性工作的通风柜中泄漏出来；

(3)放射性物质从一个场所转移到另一个场所；

(4)污染的扩散来自于放射性物质工作区的各个不同部位里已用过手套的散布；

(5)工作场所内废物处置容器可能泄漏。

比较容易造成污染的因素有：

(a)事故性溅溢——这是相当常见的一种因素，但是通过对放射性区域做好周密的准备工作和设计工作能将其影响减至最小；

(b)把放射性物质拿到工作区以及从运输容器中取出；

(c)容器本身被所装的放射性物质污染。这种污染不能有效地被包封住；

(d)向手套箱传递放射性物质；

(e)在工作场所进行的化学操作，例如蒸发，溶剂萃取，不同化学试剂之间的反应，在烧杯中进行搅拌，玻璃器皿的

破漏和向溶液中通气等；

(f)过滤器泄漏；

(g)由于过滤器阻塞散发出污染蒸气；

(h)利用车床、研磨机、切割机、破碎机等对固体材料进行的机械加工。

在制定监测计划时，所有这些可能的污染源都应当考虑到。

4.4. 表面的特性和类型对污染的影响

在选择可能受到放射性污染的材料和表面光洁度时，重要的是要考虑哪些机制可能使表面受到污染，以及去污时可以采用哪种类型的试剂和去污方法。选用的表面必须能耐去污剂的腐蚀，否则，它将逐渐变得容易被污染，以及越来越不易于去污。然而，不大可能做到完全不受去污剂的影响。

一般说来，只有三种类型的表面：金属表面、有机物表面和玻璃质表面。在金属表面的情况下，由于阳离子污染物和基底物质的化学相似性，往往使污染物原子逐渐变成基底物质的一部分。在这种情况下，只有除去含有污染离子的金属表面才能达到去污的目的。金属的表面大都有一层常常起着保护作用的氧化膜。大多数的污染物通常陷在这一层内。因此，对于这些金属来说，最好的去污方法也是除去这一层。

有机物表面和玻璃质表面的污染，是由若干种作用引起的，其中离子交换可能是最重要的一种作用。与玻璃和陶瓷品等玻璃质表面一样，所有的有机材料，例如油漆、塑料和纺织品，都具有活泼的酸性基，这些酸性基有一定的离子交换容量。从一般的离子交换树脂角度来看，这些表面的离子交换容量确实是很低的，但是仍然足以吸附相当多的放射性

离子。这些表面的酸性基，可能是原来就有的，也可能是通过氧化降解作用产生的，其中包括较高极性的基（例如羟基、羰基）和硅酸盐。尽管这种基能排斥阴离子，但是很容易吸附任何一种阳离子污染物。

即使是把聚合物或聚合物做的表面浸泡在pH值大于约2.5的酸性溶液中，这种酸性基也会电离，并且会吸附多价的阳离子。这种吸附可能伴随着下面的两种过程，第一种是快过程，可以把它看成是与很容易得到的表面酸性基建立起来的一种快速平衡；第二种是缓慢发展的过程，需要几个星期才达到平衡。在这第二种过程中，水在聚合物链间扩散，并使该过程中可电离的基电离。当足够的水渗到材料中之后，材料的介电常数就大大增加，使较大的水化阳离子可以利用膜上的固定离子作为“石阶”而进入材料中。

在某些情况下，有机材料的污染是由于污染物质能够在有机相中溶解所引起的。在使用磷酸盐塑化剂的地方，对于塑化的聚氯乙烯和各种塑化油漆涂料已经观察到了这一点。

在对用胺或聚酰胺作熟化剂的某些油漆薄膜进行去污的时候，遇到的困难归因于金属离子和胺之间形成了络合物。

5. 污染的防止方法

在操作放射性物质时，可取的方法是防止污染而不是去污。这有助于节省花费在去污和维修方面的钱财和时间。综合利用几种方法可以在很大程度上防止污染。综合应用妥当设计工作区、选择合适的表面材料、使用适当的防护衣具、培训操作人员以及选用相适应的监测设备等，就能在很大程度上防止污染。另外一些须考虑到的问题，就是使用放射性

物质的工作要有适当的计划，以及制定操作程序。

5.1. 放射性工作区的准备和设计

控制污染的第一个阶段是设计和准备将要进行放射性工作的区域。全面地调查一下对任何一种容易去污的表面所列出的种种要求，就能得到对放射性区域用的那些基本材料（结构材料，防护材料，在某种程度上还有装饰材料）进行初步评价的依据。参考文献〔3〕中列出了适用于各种温度、湿度、化学作用和机械作用条件下表面暴露于污染和辐射的实验室、建筑物、化工厂等使用的可以去污的材料，这些材料市场上都可以买到。其中的一些资料是非常宝贵的，很多国家可能都有类似的指导性出版物〔4〕。

放射性物质的操作，应当尽可能限制在通风柜或手套箱中进行，以保证事故释放出的污染物可以限制在较小的限定区域内。还要避免不必要的污染陷阱，使小区域内不会积累放射性活度。

有各种各样的表面覆盖层，为了保护表面和起到装饰的作用，一般要求把它们粘贴到表面上。还希望这些覆盖层经得起环境条件和化学的、热的或摩擦的损蚀。墙壁的主要涂料有三种，可以选择一种：

- (a) 以氯化橡胶为基质的涂料；
- (b) 以环氧树脂为基质的涂料；
- (c) 以醇酸树脂或桐油酚醛树脂为基质的涂料。

此外，在污染水平可能比较高的地方，采用过一些氯乙烯-醋酸乙烯共聚物为基质的可剥离的覆盖层。实验室和其它放射性区域的墙壁，通常采用陶瓷砖和聚氯乙烯这样的塑胶材料作嵌板。在这些情况下，重要的是要注意到所用的瓷砖越大，接缝的总面积就越小，接缝当然是污染趋于集中的

地方。

5.2. 实验台

尽管象实验台面之类的操作区可以铺上各种不同的塑料，然而更普遍的似乎还是采用适当刨光的木料。选用无孔材料作表面固然很重要，但是采用一些临时性的覆盖物也是很普遍的。这些临时性的覆盖物可以是不锈钢盘或搪瓷盘、聚氯乙烯或聚乙烯薄板以及沥青防水纸等。在许多情况下，当这种防护用的覆盖物受到污染的时候，就可以把它们当作固体放射性废物处置掉。这样，既节省时间，又能使该区域继续工作。这种防止固定表面被污染的办法可以使去污时间和费用都减到最少。

5.3. 地板材料

在任何建筑物中，地板是最为滥用的表面，并且也是最可能受到污染的一种表面。因此，它必须要经受得住正常情况下在该区域中遇到的机械方面的作用，而且还要能经得住摩擦，以确保微尘、磨渣不进入表面。可能发生液体溅溢的区域，地板应当能经得住该区所用液体的作用，并且有足够的防渗能力，以保护底部结构。如果机械方面的作用只是限于人们的脚来回走动等，那么用普通的漆布或聚氯乙烯覆盖物粘接在底层地板上就足够了。从去污的角度来看，聚氯乙烯较漆布好些，但是自然要贵得多。在这些表面上涂上密封漆或上光蜡能使他们不渗透水。如果蜡或漆被污染了，那么除去它们就达到了去污的目的。当发生严重污染的时候，去掉这一覆盖层并另盖上一层也是简单的操作。使用这种覆盖层时，重要的是，接缝的数目应尽量减少，这是因为污染趋向于积聚在接缝处。缝必须接得很整齐、牢固和完全密封。

在时常有液体溢出的地方，用沥青砂胶铺地板可能是合

适的。这样的地板比漆布或聚氯乙烯覆盖物能承受的负荷要大些，但是不适合于铺在那些经常承受较高点状负荷的区域，以及那些有可能被油和溶剂污染的区域。尽管某些地方用了沥青砂胶作表面，但一般说来，并不推荐使用它。

负荷很重的地板材料，最合适的是瓷砖。瓷砖必须仔细地铺平并连接好。这样的地板能耐受较重的负荷、腐蚀性液体和溶剂的作用，假若选用适当等级的瓷砖和合适的粘接剂，就很容易去污。瓷砖必须完全玻璃化，并且吸水性要很低。使用的粘接剂质量要好，通常采用的是环氧树脂粘接剂或呋喃树脂粘接剂。

5.4. 管线

把实验室洗涤池中流出的放射性污水输送到废水处理系统的一切管道总会受到污染，因此，要避免放射性积累就必须定期地进行清洗。这些管线必须能耐受压力、温度以及往往会遇到的严重腐蚀性环境条件。制作水管的常用材料是陶瓷、橡胶衬里的软钢和聚乙烯。陶瓷和聚乙烯表面比较容易去污，但对橡胶进行去污就比较困难，除非使用那种去污效果很好的特殊配制的合成橡胶。材料的选择最终必须取决于该实验室或车间所要开展的工作，以及该地方的环境条件，举例来说，假如火灾危害很大，那么任何塑料管件都是不适的。对于连接处、弯曲处和存水处等地方必须予以特别注意，因为污染会集中在这些地方，并且有可能发生泄漏。

5.5. 好的可去污表面的标准

在操作放射性物质的区域内使用的优质表面，理想情况应当是：

- (1) 非吸收剂（真正的多孔性材料是不能去污的）；
- (2) 所含的酸性基尽可能少；