

非化学的清除污染技术

R.P.Allen

前　　言

本文概述了各式各样的清除表面污染的技术，是按照部件和设备类型不同以及运用不同的清除污染技术，分类归纳和论述的。从小的手用工具直到反应堆腔以及其他大面积表面，列举了清除污染技术的多样性。有代表性的非化学的清除污染技术，有下列一些：

- | | |
|-----------|---------------------|
| 1. 手擦 | 11. 酸洗 |
| 2. 超声波 | 12. 高压氟里昂清洗 |
| 3. 高压水 | 13. 振动抛光 |
| 4. 超高压水 | 14. 机械方法 |
| 5. 研磨清除 | 15. 蒸汽或热水清洗 |
| 6. 干冰冲击 | 16. 泡沫或胶体粘贴清
除污染 |
| 7. 电解清除 | 17. 剥落涂层 |
| 8. 浸没式电抛光 | 18. 盐溶法 |
| 9. 在原位电抛光 | 19. 高温侵蚀 |
| 10. 交流电解 | |

还有用剥落、增溶、研磨、刮削、喷沙、水冲，以及剥除涂料、揭去被沾污的砖瓦、除掉沾污了的混凝土表面层等等方法，

也属于非化学的清除污染技术，因篇幅限制，对这些及另外一些比较少用的方法，在本文中未加论述。

能适应各种清除污染目的、条件、要求与限制的各式各样的非化学清除污染技术，已经发展起来。如同化学浓缩或稀释的清除污染技术一样，存在不少缺点，主要是辐照变质的问题，那么非化学的清除污染技术，在应用中同样也会有许多缺点。这非化学的清除污染技术随着大型非标准设备维修保养的增多，而显得特别重要起来。此外，它之所以被日益广泛地应用，是通过设备和工具的重复循环使用，达到节约成本的目的，否则就要花费很大力气去降低废物的放射性强度，换句话说，就要花大力去更换或处理。还要拿出一笔钱来回收已被沾污的物资，搞废物利用。清除关键性部件的污染，使其达到排放水平——即不再认为某些零件还具有放射性的水平，就要从原位上拆卸下来实行离位检修消除沾染，这往往是非比寻常的事，即便如此，也还是离不开非化学的清除污染技术。

运用非化学技术来实现清除污染的目的

- (2) A. Baudry, et al., Solid State Ionics, 9-12, 799 (1983).
(3) H. Hahn, Z. Metallkd., 75, 407 (1984).
(4) N. Coursol, et al., Nuclear Medicine and Biology Advance, V3, A. Raynaud(ed), Pergamon Press, 1983.
(5) J. P. Adloff, Radiochim. Acta, 25, 57 (1978).
(6) 倪新伯, 扰动角关联及其应用, 1985.
(7) K. Siegbahn, α , β and γ -ray Spectroscopy, V2, 1965.
(8) J. Krugers (ed), Instrumentation in Applied Nuclear Chemistry, Plenum Press, New York, 1973.
(9) A. R. Arends, et al., Hyperfine Interact., 8, 191 (1980).
(10) J. A. Martinez, Hyperfine Interact., 12, 279 (1982).

(未完待续)

与要求，是很多的。需处理不同的基材（金属、橡胶、塑料、玻璃、木材、混凝土），不同的表面材料（油漆、腐蚀层、油、油脂、灰尘、胶带），以及各种不同的表面状态（裸露的、多孔疏松的、粗糙的、密封的、不渗透的、抛光的）。清除污染的需要多种多样，沾污物有可能是与表面材料结合在一起的，有的扩散或研磨到基材里去了，或者是吸留在表面的缝隙中；部件的尺寸与形状不一，小从手用工具、裂缝、划线部位，直到大型的管、槽内部，以至是一个完整的反应堆腔体，非化学的清除污染技术都必须能够适应。

技术的说明

要获得预期的结果，一种特殊技术的固有特性固然重要，而更多地还要依赖于清除污染的技术人员（或队伍）的知识、技能、训练程度和他们的操作本领。

下面概要地介绍几种目前常用的、有代表性的非化学清除污染技术，以及它们在应用中的主要优缺点。

手擦 手擦和有关的清除沾染的作业，可能是非化学技术最广泛和最常用的方法。根据清除沾污的具体要求，利用擦抹物品或冲刷器材，以至化学清洁剂，用手、电动刷或拖把（抹布）去擦掉或刷除沾污在表面上的污染物。清除在光滑表面上的或不渗透表面上的可涂抹性的沾染，简单的用干的或湿的抹布擦，即可清除掉。然而要清除那种与充分沾染有关的、在表面已形成一个侵蚀层的，或嵌入到表面中去的沾染，却需利用蘸有侵蚀力的化学清洗剂的磨料去磨擦，方有可能除去。有机溶液和洗涤剂，是用来除掉各种不同类型沾污表面上的油和润滑脂的。

手擦的典型应用包括：手用工具，小设备，阀门，泵零件，海运木桶，还有地板、墙壁以及一般地面污染的清除。在多数情况下，手擦清污，是对容易接触的沾染进行全

面清除的准备工作的一部分，拆卸开部件先用手擦，然后再用其他方法进行更彻底的清洗。手擦甚至可同大规模的应用相竞争。例如，一个6400平方呎的反应堆腔，用工业吸尘器干擦（或湿擦）进行常规的清除污染，整个作业一般在8—12小时内完成，清除沾污的水平，由 $>6000000 \text{ dpm}/100\text{cm}^2$ 降到 $<20000 \text{ dpm}/100\text{cm}^2$ ，照射量总计数2.4—2.8人/仑。

手擦主要涉及到的问题和受限制的问题是辐射照射量的问题，可能产生空气污染，而且清除裂缝或阻塞区里的沾染是困难的（虽然发泡型的清洗对提高效果有帮助）。

照射量，废物的产生，消耗代价和清污效果，都取决于个人的清除本领如何。由有知识的、受过良好训练的人，讲述在困难的环境下安全而有效的清除大面积表面污染的技术细则，在某些操作器具方面产生的废物，要比常规清污时造成的废物还要少。

超声波与化学清污 高频机械振荡，由传感器通过液体传导，由于超声波的空穴作用，在局部范围内能发生“揩擦”现象，使化学洗涤剂浸沉于表面，可显著增大其清除污染的效力，尤其是用此技术处理有裂缝或螺纹的部件，会有特殊的功效。空穴作用是极为灵敏的，超声波系统与溶液都是可变的。适当选用洗涤剂，将会增大机械作用。

鉴于超声波清除污染，是在容器（槽）内进行的，因而使用的规模受到限制。一般用超声波可清除污染的零部件有：手用工具、可清除的过滤器件、燃料处理设备，以及泵或阀的零件。工厂里的经验表明，恰当的利用超声波时，是一种很有效、辐射低、成本低廉，同时产生次级废物很少的清除污染技术。使人遗憾的是，对可用的超声波系统缺乏了解，因而未能最大限度的发挥它的潜力。

超声波振荡，对某些零件，因尺寸或几何形状的关系，有一个盲区（零件后的遮蔽部分），因而超声清污显得不足。在多数情况

下，在化学溶液中，利用超声波的作用，去清除基本上属同类的零部件，可用泵或螺旋推进器，以很慢的速度对溶液进行机械搅拌。在整个清除污染过程中，被清污的零件之间可能有碰撞，为了重新使用，是必须要考虑到的。

研磨清除 使研磨物质与被沾污了的表面之间，能够强行接触。研磨，可利用离心力沿表面推进；或者是用液体冲刷表面（气流冲磨、水流冲磨或气浆冲磨）；可在粘性基质中渗带磨料，去摩擦表面（如用研磨膏），亦可以机械方式直接地用细油石研磨表面。在离心的或流体的推进系统中，可使用干冰或水冰，作为一种常规的磨料，它能减少次级废物。这些清污方法，在美国一直被广泛地应用着，甚至清除蒸汽发生器管道头也使用这些方法。

水和磨料混合的泥浆，用压缩空气从喷咀中朝着被沾污的表面冲击。其对表面的清污率，可通过改变空气压力、研磨类型及尺寸、喷咀与表面的间距和角度、其他系统参数等加以控制。可以根据清除污染要求的程度，来规定与调整这个清污率，而且便于保持临界公差。此法的主要优点是，一般说它能满足任何预清除的需要；适用材料的范围很宽，包括金属、木材、橡胶和塑料等；研磨清除，在清除涂料、腐蚀层及其他表面沾污物质方面也非常有效；能达到的清污系数，也与表面的初始状态无关。

气流冲磨清除污染的应用，这种方法亦有多方面的适用性，对涂漆的铁管支架、维修工具、铅屏蔽体、橡胶绝缘电缆、单支撑构件、反应堆头金属密封圈、木制运送车、气缸底座、液压千斤顶、吊车搅链、涡轮叶片、装料泵的叶轮和转子等都可清除其污染，大多数能达到排放水平，而且产生次级废物已到最低限度。

这种方法的缺点，与其他研磨清除方法有共同之处。控制沾污的扩散和清除裂缝中及其他阻塞区里的沾污，都比较困难；处理

污染严重的零件时，存在交叉污染、有照射和增大废物体积的问题；而且，就部件再利用而言，可能还有表面被搞得粗糙了，以及磨料成雾状或粉末状被夹带到周围空气中去等影响。

高压水和超高压水 水流喷射，在压力达 $10000\text{磅}/\text{时}^2$ 以及流量为 $5-40\text{加仑}/\text{分}$ 的情况下，一般用来清除部件及其表面上的松散黏附沾污物，目前清污系数已能达到几百。如附加化学清污剂或磨料，能进一步提高效率及浓度，便可清除某些凝固的污染。喷射还能穿过裂缝和阻塞区，在某种程度上可驱除堵塞的沾污。

高压水可用以消除大部件及表面上较大块的沾污，还能清除具有不规则形状部件的污染，恰当的应用也能清除管子内部及槽里的污染。其优点是，可在远距离处理，以减少对操作人员的辐射；对材料和辐射损伤体的清洗手段都是一样的，因而对操作人员的熟练程度的要求最低。缺点是一些应用中的特殊问题尚待解决，如沾污的蔓延以至形成空飘污染的问题，液体废物量大的问题和清除凝固沾污较困难等。

高压水清污典型的应用有：手用工具和小设备，空燃料桶架，空燃料海运木桶，消声器，水喷雾器，贮水箱，加燃料的控制装置，反应堆冷却剂泵，各种阀门，腔体表面，排水地板与池槽，管内壁等。

最近的研究表明，水流喷射作业，压力在 $>10000\text{磅}/\text{时}^2$ 时，不仅能除掉腐蚀层，甚至连被侵蚀过的金属基材也能清除。利用高压水的清污效率已被证实，被铯污染过的紧密附着在表面层上的TMI-2铅螺钉断头，都被清除掉了。对于凝固污染，当压力为 $35000\text{磅}/\text{时}^2$ 距喷咀6吋远时，清除很容易，清污系数大于140。

单纯使用高压水喷射的表面复盖率，大约是 $1.7\text{吋}^2/\text{分}$ ，清污表面的用水率，相当于 $0.7\text{加仑}/\text{吋}^2$ 。超高压水喷射的缺点；对需要再次使用的零件表面，可能被严重侵蚀

打毛，虽然调整最佳的处理参量能够减轻。

电抛光 电抛光处理，是一种电化学过程，用阳极的溶解去清除较弱的污染，在表面一定厚度（通常 <0.001 吋）有控制的形成一个光滑的抛光表面层。对于可拆卸掉的部件，可进行浸没式电抛光，对大部件表面、管或槽的内部，也可用“原位法”电抛光。其主要优点是具有迅速降低污染的能力，污染低到不易觉察的程度，任你随意使用。它是一种有多方面用途的加工工艺，对任何污染组合，或是导电的表面（包括腐蚀层），电抛光的效果，几乎都相同。利用辅助电极电抛光，还可以清除比较复杂的、没有拆卸开的部件污染。

电抛光的主要缺点是对非金属不适用，材料表面需要先做洗消的预处理；对要重复使用的零件，操作中必须特别留意保持其公差；再就是产生废液。在大规模应用的情况下，对电解液及产生的低容积固体废物，要做净化与再生处理。进行电抛光操作，也是比较紧张繁重的。对高辐射强度的零件电抛光，即使在远距离操作，也会受一定程度的照射。

电抛光的典型应用包括：反应堆冷却管道，各种类型的阀门，泵壳与零件，空燃料桶，手用工具，给水喷雾器等。为了进行离开现场检修和废品再利用，对清除过污染的已达到排放水平的部件或材料再行电抛光，效果特别好，经过电抛光的产品，微观表面光滑，能减缓再次污染，有利于以后用其他方法清除污染。

振动抛光 振动抛光，是在桶内充填磨料或撞击传导物体，并使桶快速地摆动，机械地清除污染及其他表面物质，对几乎任何的金属与非金属（包括橡胶、塑料和玻璃）表面上的油漆、胶布带、侵蚀层或污物等均可清除掉。用低浓度的溶液，将污染物清除干净，展现出原来的、没有涂敷物的表面，并把凝固污染降低到相当低的水平。

振动抛光系统能自动地工作，间接地减

少了劳动量和辐照量。除环氧树脂油漆外，均无需作预处理；还可同时处理不同材料、尺寸和形状的各式各样的零件，次级废物的体积也很小。

不过，振动抛光的主要缺点是，被处理的零件，最大尺寸限制在大约8—12吋以内。对于工具和成批的小零件，振动抛光却是一种极好的清污技术，但大的部件必须拆卸开分成若干小零件来处理。在大设备方面应用振动抛光，目前在Hanford N-反应堆上已有过，一次将多达300磅的扳手、螺钉及其他杂乱工具清除了污染，在一小时内以最低限度的操作进行了保养，以便再行利用。

高压氟里昂清洗 用工业氟里昂溶剂，在3000磅/吋²压力下，对各种零件和表面上的涂抹性的沾污，进行清除污染的系统，已研制出来了。此系统以循环方式工作，对氟里昂进行回收与净化（过滤或蒸馏）以便再用。最理想的是，它可将那些被清除掉的表面物质形成的次级废物，由溶剂夹带走。氟里昂喷射的另一优点是，它优于水喷射系统之处在于，在压力相仿的条件下，能把润滑脂、油及其他所有氟里昂可溶物质一下子都清除掉；对电器及其他仪器的易损器件没有损伤；粘度与表面张力低，易于穿过裂缝或阻塞区；而且它对金属、橡胶、织物、塑料等各种材料均有适用性。

氟里昂可用任何附加容器盛装，循环使用。亦可在原存放处用真空方法通过喷管传输来收集氟里昂。对活动地板、墙壁、天花板及其他大面积污染的清除，同细小的、可分解的零件清污是一样的。部件类的典型应用，包括铝电动闸门，不锈钢轴，焊接电缆，软橡胶管，电动机，手用工具和通信设备。其中大多数零件的沾污，均可清除到排放水平。设施类的清污应用有：混凝土地板，导线板，多孔混凝土块，涂漆或未涂漆的表面，木材，沥青瓦，墙面纸板及玻璃等。

氟里昂喷射技术的主要缺点是，目前清除涂抹性污染还很有限，因氟里昂价格比较

昂贵，还受某些难清除沾污的限制。某些凝固的沾污，在高压下已可清除，不过，氟里昂中如添加合成剂，对某些放射性核素的清污率，还能提高。

剥落涂层 如用液体处理各种表面上的凝固沾污一样，为了降低在空气中飘移的活性，已研制出几种薄膜形的人造聚合物配方，固体的薄膜固化后，揭掉薄膜将沾染物粘走。已被沾污的薄膜，用塑料薄膜袋包装，以便贮存或处理。

清除大的、易接近的表面污染，常用剥落涂层的方法，例如清除有涂层和无涂层的地板和墙壁，隔离反射镜及反应堆腔等，由熟练技术人员操作，能迅速有效的清除污染，辐照量低，产生次级废物也较少。例如，大约20000呎²的有涂层的混凝土地板和裸露的混凝土墙，清除污染以后，清污系数到40—100，辐照量仅为1.3仑/人，产生疏松废物60呎³。

剥落涂层技术的主要缺点是，它可清除的污染，一般只限于对涂抹性或可揭性的污染。

机械清污 几种工业用的机械除垢技术，用来清除管壁内的污染，已通过了鉴定。有下列一些方法：

转动研磨刷——一种机械转动的、刷毛尖端带有碳化硅球的尼龙刷；用旋转毛刷、刀具或圆柱形刮刀等器具，毛刷旋转时会扩张开，刀具与圆柱刮刀是切削方式，均可刮除管子内壁；带钢丝刷或有碳化硅镀层的圆柱形铸铁块，以水压强行通过管道；带槽的螺旋推进器具，用水压将这种圆柱形金属刮刀拧进并通过管道。

鉴定内容包括：除掉模拟残渣及侵蚀层的能力，清污后的表面状况，以及器具通过90°弯曲部的能力。上述一些方法，在有放射性沾染的部件上做试验，效果是明显的。

技术的选择

对于特殊的应用，选择一种最佳的非化

学的清除污染技术，是个复杂的问题。进行选择时必须考虑到整个范围内可能出现的情况、目标、工作量、处理方法的优缺点和应用限制等问题。从特殊用途考虑，与某种特殊的清除技术，有明显的不一致性，以电解抛光为例，对于清除非金属的污染，是不适合的，振动抛光也不适于清除腔体表面。但在大多数的情况下，两种或多种技术，似乎均可结合使用。为了应用到清污区去，想建立一套清除污染的设备，精心地选择起来，还会发现更多的困难问题。

唯一的办法显然是将候选的技术，根据预定的用途，确定恰当的评价标准，加以排列。应优先考虑的标准有：处理的效率，材料适用性，材料影响，废物的体积和形态，费用与工作定额，辐射学方面和工业方面的安全，部件尺寸与其他应用限制，清除污染前后的表面状态，临界公差的维护。

有些比较重要的系数，不是一个常数，所以随着清污对象的不同，加以改变是有意义的。对于被清除污染的关键性部件，为了再加利用，对材料可能有的影响和临界公差的维护，要首先注意到，而废物的体积压缩利用，就没有多大关系。同理，为使设备和工具重新利用，考虑成本和辐射量的限度，就比考虑设备清污达到排放水平的能力和处理的效率更为重要。无论如何，在选择一项技术时，防备部件或材料报废、或者势必撤离部件进行检修，总是关键的条件。

在所有选择标准中，操作技术人员的知识和技能、实际使用的设备运行中的变动，尤为重要和复杂。受尺寸限制及对材料的适应性，是清除污染技术固有的特性，处理的效率、运行费用、产生的废物及人员接受的辐照量，都取决于清除污染人员(队伍)的知识、技能和训练程度，而这，往往要比考虑某项技术的能力与特性的准确程度更加重要。

(张毓亭译自 Nuclear News, June,
1985)