

泡沫去污剂热点冲洗实践

Experience in Flushing Hot Spots with Foaming Detergent

程亚静 郎宇航

Yajing Cheng Yuhang Lang

中广核核电运营有限公司 中国·广东 深圳 518000

China Nuclear Power Operations Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

摘要: 为消除某核电站核取样系统热交换器一回路侧热点, 笔者通过分析放射性污染特点, 首次通过使用泡沫去污剂对管路进行冲洗, 实现降低环境剂量的目的。

Abstract: In order to eliminate the hot spot on the primary loop side of the heat exchanger of the nuclear sampling system in a nuclear power plant, the author analyzed the characteristics of radioactive pollution, and used foam detergent to flush the pipeline for the first time to achieve the purpose of reducing the environmental dose.

关键词: 泡沫去污剂; 腐蚀产物; 热点; 冲洗

Keywords: foam detergent; corrosion products; hotspot; rinse

DOI: 10.12346/peti.v5i2.7987

1 引言

活化腐蚀产物沉积源项是压水堆核电站停堆检修期间集体剂量的主要来源。在停堆期间, 主要的射线来自活化的腐蚀产物, 主要的同位素为 ^{58}Co 和 ^{60}Co , 它们对辐射场的贡献达到了 90%。腐蚀产物来源于堆芯, 放射性物质通过反应堆的冷却剂运输。当腐蚀产物随冷却剂运输时, 流经低流速区时, 容易堆积, 形成热点。热点使环境剂量高, 对于在附近检修的工作人员形成辐射场, 造成集体剂量高。如果能消除一回路中的热点, 就能降低集体剂量, 从而保障人员受照剂量可控。

2 放射性污染的类型

存在两种类型:

非固定(或不稳定)的放射性污染: 指所有由悬浮或挟带传播的污染。在疑似表面上进行擦拭法试验后, 一旦检测装置上出现高于环境底噪的放射性, 则认为存在非固定污染。这种污染可以通过机械方法(简单地涂抹、刷、洗)来消除。

固定的放射性污染: 它的特点是, 在载体材料中存在放

射性物质, 其只能通过特殊的机械、化学或二者的组合处理方法来移除。如果沉积物固定在高温或低温的状态下, 那么固定的放射性污染会或多或少的增加。处理难度也将由此引起。

根据一回路运行特点来看, 压力容器本体及其内部构件, 在运行期间不断受到中子照射, 及其他电离辐射($\alpha/\beta/\gamma$), 容易被活化成固定的放射性污染; 而一回路内的腐蚀产物, 被活化后随着介质传输, 变成非固定的放射性污染。

活化腐蚀产物, 作为源项之一的活性产物取决于系统运行状态、维修方式和反应堆使用的材料(合金种类、斯特莱特合金、控制棒束组件、密封环等)。根据经验反馈可对主要活性产物以及总 γ 放射性规定限值。一回路常见的活化腐蚀产物主要有: ^{58}Co , ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{95}Nb , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$...^[1]

3 污染结合力分析

表面污染来自放射性元素的滞留。这种滞留受到“污染物”的理化形式的影响。这些该“污染物”可能会以性质迥异的物质形式出现, 从电离或非电离性原子到分子聚合物。材料表面结合的坚固性取决于污染粒子的大小和电荷。

【作者简介】程亚静(1977-), 男, 中国内蒙古赤峰人, 本科, 工程师, 从事核电维修项目管理研究。

这些结合包括不同种类：

①通过静电作用力或表面张力的物理结合：即物理吸附作用。稳定性的物理因素（温度、压力、大气压）的变化可以改变这种吸附作用的稳定性；

②化学结合：即化学吸附作用；由于电子转移或共用形成的结合力；

③机械结合：放射性粒子被材料表面存在的微孔或由于外部物质腐蚀造成的微孔所截留。它们也会被各种表面沉积物（如润滑剂）所截留或单纯地由于碰撞（工具）而留在材料中。

4 去污原理

根据各种化学、机械、化学-机械方法去污。

机械方法如：吸除，适用于轻微的固定污染；可剥离漆层；擦拭或洗刷；超声波；压水、蒸汽、冰低位喷射；磨蚀，这包括从湿法喷粒到干法喷砂，但是其缺点在于某些情况下会导致材料损耗。

化学方法如：使受到污染的材料层溶解（主要涉及金属氧化物）；在材料表面形成一种化合物，然后使其溶解；与放射性元素形成络合物。

去污剂去污原理：

表面活性剂是去污剂中的主要活性成分，是一种在较低浓度下显著降低溶液表面张力的物质，肥皂和合成洗涤剂都有降低水溶液表面张力的性能，同样也有降低水-油、水-固之间表面张力的性能，这与其分子结构特点有关。表面活性剂分子的一端是由一个较长的烃链组成的，这一端的基团具有憎水性，且能溶于油而不能溶于水，通常将其称之为憎水基或亲油基；分子另一端是较短的极性基团，其特点是主要溶于水而不溶于油，通常被称为亲水基或憎油基。表面活性剂水溶液结构，如图1所示。

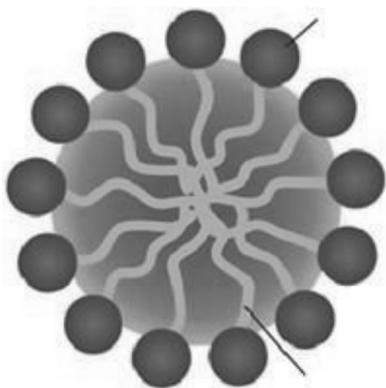


图1 表面去污剂特点

根据表面活性剂结构的两亲性特点，使其在相界面上产生定向排列，形成吸附膜，从而使表面张力或界面张力的降低。在水溶液中，表面活性剂分子聚集而规则定向排列，形成胶束，其在水溶液中形成胶束过程，如图2所示。由于表

面活性剂的表面活性和胶束性能，才使其水溶液具有润湿、渗透、分散、乳化、增溶、泡沫等作用的产生，为良好洗涤效果打下基础^[2]。

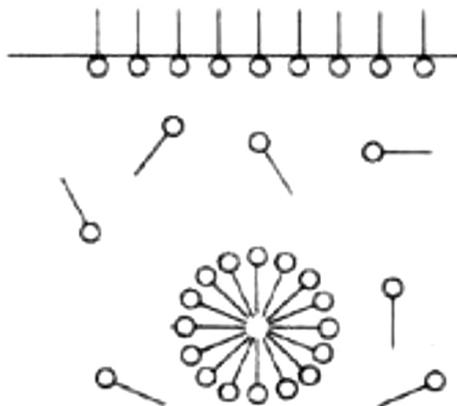


图2 表面活性剂去污过程

出现泡沫是因为这些清洁剂里有表面活性剂的存在，这也是能起到清洁作用的主要物质。常见的表面活性剂由两部分组成，一部分是亲水的头基，另一部分是疏水的碳链，在清洁表面的时候，疏水的碳链与杂质结合，然后在水的冲洗下，亲水的头基与水结合，杂质就被洗掉。

而对于气泡来说，等于是一个类似于“表面活性剂—水—表面活性剂”的三明治，隔开了两面的空气。气泡在热力学上是不稳定的状态，它有变薄，破裂，恢复液体状态的趋势，而有表面活性的物质吸附在气泡的气液界面上，形成单分子层，这样就可以防止薄膜在局部变得过分薄而破裂，而是整体上均匀的变薄，所以气泡最终是会破裂的。泡沫增大了接触面积，而在破裂的过程，杂质脱落。

5 泡沫去污液成分

泡沫去污剂成分表：乙醇胺（3%）、1-甲氧基-2-丙醇（12%）、水（85%）。

成分介绍：

乙醇胺：表面活性剂，浓度为80mg/L时对690合金的腐蚀有较大的抑制作用^[3]。

1-甲氧基-2-丙醇（丙二醇单甲醚）：溶剂，在化学结构上具有醚键和羟基两个强溶解能力的基团，前者具有亲油性，可溶解憎水性化合物；后者具有亲水性，可溶解水溶性化合物，是一类性能优良的通用性溶剂，有万能溶剂之称。

ALCATUM（不含盐矿质碱性去污剂）具有强大的除垢、脱脂、湿润能力，可以对各种表面进行去污（水池、金属件表面、乏燃料运输容器、铝表面、油漆表面、塑料、墙壁、地面）。

使用方法：在常温50℃下使用，在表面只受轻度辐射污染的情况下，可将去污剂稀释到20%~50%溶解在除盐水中使用。喷射（30%~100%），自动清洗机（2%~5%），湿巾（100%或者稀释），枪桶式喷射器（100%），超声波水

浴（30%~50%）。

6 混浊分析

一回路化学品使用有着严格的要求，必须不能引起冷却

剂混浊，否则影响堆水池、构件池设备操作。为调查 Y402 堆池浑浊原因，化学人员对泡沫去污剂进行了混浊实验，确认 ALCATUM 泡沫去污剂不会引起一回路介质浑浊，后续可以在一回路开口检修工作中推广使用（见表 1）。

表 1 混浊对比实验

堆池样品及现象	比对试验	堆池去污液	WD-40	拉伸机液压油
水面“油膜”	外观	原液为白色	原液为黄色（偏暗色）	原液为亮黄色
浑浊	同比例搅匀后，外观	不浑浊	浑浊	浑浊
油膜	同比例搅匀、静置后，俯视水面外观	目视清测	目视有垢状薄层及少量油迹	目视呈油膜状
未见明显颜色（滤膜是白色）	经过 0.45um 滤膜过滤	未见明显颜色（滤膜是白色）	未见明显颜色（滤膜是白色）	—
2019/10/8 构件池捞油后的吸油纸上有黄色圆斑	吸油纸的颜色	吸油纸浸泡后无异常颜色	吸油纸浸泡后无异常颜色	吸油纸浸泡后呈黄色

7 热点冲洗

冲洗方法：

在此前管线已经尝试过使用 6bar 除盐除氧水进行冲洗，通过 2 天的持续冲洗，环境剂量无显著变化。

尝试使用双氧水注入除盐除氧水进行冲洗，浸泡 1h 后，再使用除盐除氧水持续冲洗，环境剂量无显著变化。

使用 5 升 ALCATUM 溶质，使用 15L 除盐除氧水作为溶剂，配备百分比浓度 25% 溶液。根据核取样系统流程图设置冲洗路径。首先使用手摇泵将溶液通过手套箱中的快速接头压入管路，根据设备设计制造图可以计算得出充满管路所需溶液体积，约为 20L。注入完毕后，关闭核岛排气和疏水系统出口阀门，以保持溶液浸泡换热器，浸泡时间一小时。一小时后，使用除盐除氧水进行管路冲洗，冲洗一小时，冲洗后废液通过核岛排气和疏水系统排出。

8 数据跟踪与分析

本次对核取样系统热交换器加去污剂去污尝试，核取样系统热交换器下部工作点环境剂量率下降明显，平均降幅

28.5%，最大降幅为 47%。

核取样系统 001 热交换器加去污剂后冲洗时间：2 月 10 日 02：04 至 2 月 10 日 02：54 分，下部工作点环境剂量率下降约 25%（见表 2）。

核取样系统 002 热交换器加去污剂后冲洗时间：2 月 9 日 23：25 至 2 月 10 日 01：11 分，核取样系统 002 热交换器上部最大接触剂量率上涨至 28mSv/h（实际工作点位于热交换器下部，对工作点辐射水平影响较小，建议对上部实施屏蔽），下部工作点环境剂量率下降 33%（见表 3）。

核取样系统 004 热交换器加去污剂后冲洗时间：2 月 10 日 03：00 至 2 月 10 日 03：54 分，下部工作点环境剂量率下降 39%（见表 4）。

从去污数据来看，立式管壳结构的换热器下部去污效果明显，上部去污效果有限。根据经验来看流速低的区域容易形成腐蚀产物堆积，形成热点。根据换热器结构来看，冷却剂从入口进入后爬升到顶点后通过蛇管盘旋到底部，流速受重力及流向变化影响较大，容易形成热点。从实测数据来看，也符合这一特征。

表 2 核取样系统 001 热交换器冲洗前后数据

核取样系统 001 热交换器	2 月 6 日 19:00	2 月 10 日 02: 50
上部接触剂量率（mSv/h）	1.2	1.2
中部接触剂量率（mSv/h）	1.30	1.28
下部接触剂量率（mSv/h）	1.05	0.9（下降 16.6%）
工作位置环境剂量率（mSv/h）	0.8	0.6（下降 25%）

表 3 核取样系统 002 热交换器冲洗前后数据

核取样系统 002 热交换器	2 月 9 日 04: 00	2 月 10 日 01: 10
上部接触剂量率 (mSv/h)	11.3	28
中部接触剂量率 (mSv/h)	7.9	5.6 (下降 29%)
下部接触剂量率 (mSv/h)	3.13	2.6 (下降 17%)
工作位置环境剂量率 (mSv/h)	1.65	1.1 (下降 33%)

表 4 核取样系统 004 热交换器冲洗前后数据

核取样系统 004 热交换器	2 月 8 日 08: 00	2 月 10 日 03: 50
上部接触剂量率 (mSv/h)	10.5	11
中部接触剂量率 (mSv/h)	6.3	3.5 (下降 44%)
下部接触剂量率 (mSv/h)	3.4	2 (下降 41%)
工作位置环境剂量率 (mSv/h)	1.4	0.85 (下降 39%)

9 结论

从现场实践情况来看,泡沫去污剂对管路中的腐蚀产物造成的热点冲洗有效果,环境剂量有所降低,为检修人员提供了更为良好的工作环境,提高了检修效率,减少了人员受照剂量。未来对于流速较低的区域可以通过延长浸泡时间,提高溶液浓度,提高流速等措施,提高去污能力。

参考文献

- [1] 陈乐荣.阳江核电厂1、2号机组化学与放射化学技术规范解释[Z].
- [2] 孙会宁,张建,石建屏.表面活性剂去污原理分析及研究[J].山西化工,2018(5):96.
- [3] 孙荣鹏,王俭秋,韩恩厚.乙醇胺ETA浓度对核电站二回路碳钢和镍基合金690腐蚀的影响[J].中国腐蚀与防护学报,2013,33(2):97.