

核电站技术废物的管理与改进

Management and Improvement of Technical Radioactive Waste in Nuclear Power Station

刘资平 叶永东

(大亚湾核电运营管理有限责任公司, 广东深圳, 518124)

摘要 叙述了大亚湾核电站放射性技术废物(主要指维修活动所产生的废物)的主要来源、组成和处理工艺。通过对影响技术废物产生量高的主要因素进行深入分析,找出原因所在,并有针对性地提出一些有效的改进措施。经过2003年现场实践,证明所采取的措施是切实可行、行之有效的,对减少技术废物产生量起到了关键性的作用。

关键词 核电站 放射性 技术废物 措施

Abstract This paper describes the main sources, compositions and treatment processes of technical radioactive waste from Daya Bay Nuclear Power Station (produced mainly from maintenance activities of the power plant). By further analysis on main factors contributing to high production of technical radioactive waste, it is available to identify the causes and then come up with several effective measures correspondingly. These measures adopted have been proved feasible and effective, and play a key role in reducing radioactive waste through the onsite maintenance activities in 2003.

Key words Nuclear power station Radioactivity Technical radioactive waste Measures

大亚湾核电站放射性固体废物管理,经过近十年的实践和探索,形成了目前较完整的管理体系,取得了显著的经济效益和社会效益,然而在整个固体废物的组成中,技术废物仍然存在一定的减容空间。从大亚湾核电站多年的运行经验看,技术废物主要集中在大修期间的设备解体检修、设备改造以及由于作业人员的废物产生最小化意识不足、不正确的作业方法、技能不够熟练及对现场不熟等原因造成的误操作(如跑水现象)。由于许多设备要解体维修,需要用大量的塑料布布置工作现场,同时也要投放大量的塑胶手套、纸衣、气衣、气面罩等辐射防护用品,最终导致了技术废物产量增加。由此可见,采取相应的对策控制源项,合理使用辐射防护用品,可以有效地减少技术废物产生量及降低技术废物处理、处置的成本,最终达到固体废物产生量合理可行尽可能低的效果。

1 大亚湾核电站固体废物产生概况

核电站放射性固体废物主要来源于机组正常运行和年度换料大修。

大亚湾核电站1994年投产时,废物管理就站在高起点上。最初设备供应商设计的固体废物产生量为965 m³/年,而投产当年已使固体废物产量下降至不足一半。在这个高起点上,大亚湾核电站始终以安全为目的、以处置为核心来建立自己的管理系统。通过贯彻执行减少产生、分类收集、净化浓缩、减容固化、严格包装、安全运输、就地暂存、集中处置、控制排放、加强监测的废物管理方针,安全地处理了自投产以来产生的所有废物,并使其完全在监控之下。固体废物体积逐年下降,近三年固体废物产量的平均值为135.08 m³,已达到法国同类机组的先进水平,并且未发生一起由于固体废物处理不当而引发的外泄事件。大亚湾核电站固体废物的主要组成见表1。

表1中列出了大亚湾核电站1994年至2003年产生的不同废物产量。技术废物的平均产生量约占

表1 大亚湾核电站固体废物组成

年份 固体废物种类 年产量
(m³)

浓缩液 废树脂 淤积物 废滤芯 技术废物 大于2mSv/h检修废物

1994年 56 0 0 12.8 28.56 0 97.36

1995年 94 56 0 31.6 68.46 4 254.06

1996年 68 38 0 28.4 55.86 4 194.26

1997年 72 50 0 18.4 60.27 8 208.67

1998年 44 56 0 20 53.97 4 177.97

1999年 46 60 0 15.6 59.01 4 184.61
2000年 22 70 6 17.2 67.2 4 186.40
2001年 42 18 2 12.4 50.82 8 133.22
2002年 48 30 0 11.26 35.7 2 126.96
2003年 26 18 0 17.15 77.91 6 145.06
合计 518
396
8
184.81
557.76
44
1708.57

总废物量的32%。从表1可以看出，每年的固体废物总量呈下降趋势，但技术废物在1997年、1999年、2000年分别为60.27 m³、59.01 m³、67.20 m³，并且2003年为历年之最，达77.91 m³，首次超过固体废物总量的50%，其原因是本年度进行的209大修是十年大修，大修周期长，重大改造项目多。仅209大修就产生了114桶（208 l钢桶），计体积23.94 m³，主要来自：

- ？ 反应堆大盖更换；
- ？ PMC换料机改造；
- ？ 报废的辐射防护用品处理；
- ？ 安全壳填料处理，增加废物产量25桶（5.25 m³）。

2 技术废物的分类

技术废物来源于核电站检修过程中被放射性污染的废弃的设备、工具和材料以及工作服、手套、塑料布、抹布、吸水纸等。

技术废物按自然特性分为可压缩废物（塑料制品、吸水纸、报废的防护用品、抹布）和不可压缩废物（废钢铁、废木头和废建筑材料等）。

从生物屏蔽要求又分为剂量率大于2 mSv/h的废物和小于2 mSv/h的技术废物。

3 技术废物的收集、处理工艺

3.1 收集点的设置

检修工作产生的技术废物由工作负责人送到指定的废物收集点。废物收集点也有可能设置在控制区内离工作场所较远的地方，其数量在大修前根据实际情况决定，主要用于收集剂量率低于2 mSv/h的废物。在停堆大修期间，除具备正常运行条件外，另增一个C1型水泥桶（放置在核辅助厂房N265房间）用于收集剂量率为2 mSv/h~100 mSv/h的废物。反应堆厂房20 m标高区域根据实际情况也放置1个C1型水泥桶。

3.2 废物的收集与分拣

？ 若废物接触剂量率大于2 mSv/h，装入粉红色塑料袋运往各收集点的C1型水泥桶中。

？ 若接触剂量率小于2 mSv/h，则：

- 可压缩废物用粉红色塑料袋包装。
- 不可压缩废物用蓝色塑料袋包装。

废物分拣在SAS（空气隔离间）内完成，隔离间内必须有分拣测量仪表、废物架、气源、排风机，进入隔离间必须穿戴好辐射防护用品。

对低放射性固体废物（接触剂量率小于2 mSv/h），分拣人员将其分成可压缩的和不可压缩两种，贴上标签并填写废物跟踪单，收集一定数量后，送至QS（废物辅助厂房）进行分拣、打包。

3.3 压缩减容处理

压缩减容的方法是将可压缩的技术废物用10 t压缩机压缩于208 l钢桶中，一桶大约能压缩12包（700×1100塑料袋）技术废物。对于不可压缩废物则直接装入钢桶中，并加入适量的吸水材料（水泥）。

4 原生技术废物组成分析

（1）技术废物包括：

- ？ 废塑料制品：塑料布、塑料袋、气衣、气面罩、塑料鞋套等；
- ？ 废金属：报废的零部件、工具和电缆等；
- ？ 纸制品：吸水纸、纸衣、纸帽、废纸箱；
- ？ 废木头：报废的脚手架跳板、小枕木、废拖把、废木板（包装箱）；
- ？ 棉制品：报废的工作服、T恤衫、鞋套，核清洁用过的废抹布（湿废物）、废棉纱等；
- ？ 废建筑材料（混凝土块等）；
- ？ 其它（玻璃制品、电缆、软管等）。

（2）技术废物组成分析

2004年1月，对大亚湾核电站2003年所有产生的放射性技术废物货包就废物组成进行了分类，其中占比最大的是纸制品（如纸衣、吸水纸等），占技术废物的35%，其次是工作现场使用的废塑料制品及棉制品分别占24%、23%，其余如废金属、废木头、建筑垃圾和其它废弃物分别占7%、5%、4%和2%。

5 影响技术废物产生量高的主要因素

（1）重大改造项目

近几年技术废物产量高的主要原因之一是大量改造项目的实施，如：反应堆大盖更换、PTR大罐改造、

PMC改造、RRA管道改造和反应堆环廊改造等，2000年废物量为67.2 m³，而PTR大罐改造一项就产生38 m³，而且仍有2 m³废物暂存于AC厂房未作处理。

(2) 系统跑水

1997年稳压人孔跑水造成1号机反应堆厂房大面积污染，而当时所采取的处理手段为全部采用人工擦拭去污，消耗了大量的吸水纸、棉布、塑料袋，装满了25个金属桶，约产生5 m³的技术废物。2003年的D209大修共有十几起24小时事件单，界定跑水事件就有3起，据不完全统计，每年由于跑水造成地面污染（≤1 m²）就不少于10次。

(3) 交叉污染

大量设备、物品的包装容器带入作业现场，没有较好地采取污染防治措施。另外，在大修设备检修现场发现可压缩废物、不可压缩废物与待去污的各类防护用品混装，无污染与污染废物混装，光在反应堆厂房环廊伸缩缝改造一项，就产生25金属桶、约5 m³的技术废物。

(4) 湿废物无法压缩减容

大修期间产生大量湿废物，对于这些湿废物又无法进行压缩处理，只能直接装桶处理，并且加入了外加吸水材料（1桶约加20 kg水泥），额外增大体积。

(5) 消耗材料控制不严

？ 废物收集袋没装满就更换。

？ 大量使用一次性消耗品（如吸水纸）。

？ 控制区使用的消耗材料未作严格的控制，现场要多少给多少，2003年通过制定吸水纸、塑料袋等一次性用品的使用管理规定，与2002年相比其塑料袋的消耗量得到了较明显的降低，见表2。

(6) 防护用品质量差

部分防护用品使用不到三个月，就出现开线、脱色、拉链损坏、变形等。另外在检修现场有部分检修人员用T恤、手套、连体服用来擦拭设备、工具、污垢等。因此，造成防护用品报废量大，2003年防护用品报废统计，见表3。

(7) 现场管理不完善

？ 设备包装皮（如木箱、塑料膜、纸盒等）在没拆除就带入控制区。

？ 在有油漆地面的工作现场，也采用大面积铺塑料布铺设工作现场。

表2 塑料袋消耗量统计（单位：个）

类别 白色塑料袋

700*1100 粉红塑料袋

700*1100 兰塑料袋

700*1100 黄色塑料袋

700*1100

消耗量 2002年 1800 6000 3000 2000

2003年 1150 3080 1320 710

表3 各种类防护用品报废统计

防护用品

名称 连体服、T恤衫 工作鞋 袜子 手套 鞋套

破损 沾污

报废量 54袋约1750件 601件 90袋约3140双 840双 20500双 1260双

计废物量 6.125 m³ 1.26 m³ 5.495 m³ 0.315 m³ 2.1 m³ 0.42 m³

总计废物量 15.715 m³

？ 现场布置无计划性，因检修计划取消搭设好的SAS（空气隔离间）没有使用就拆除，造成增加废物量。

6 减少技术废物产生量的有效措施

6.1 管理方面

(1) 加强培训，提高废物控制意识

？ 加强员工和承包商的培训，并在辐射防护授权课上作为重要的内容进行讲解，提高各位员工废物控制的自觉性及废物最小量化的意识。

？ 提高操作人员的基本技能和素质，保证自己的工作尽可能产生最少量的废物。

？ 工作人员之间加强关于减少废物的原理、技术和改进方法方面的信息交流。

(2) 充分利用公司媒体，大力宣传废物最小量化

？ 通过公司局域网发送废物处理指南性文件。同时及时表扬一些做的好的单位和个人，以此来鼓励员工节约资源，减少废物产生量。

？ 定期出版宣传栏。特别是大修，加深员工对废物管理的认识，使员工自觉维护作业现场的废物收集状况，谴责和制止乱丢废物的行为，从而养成废物最小量化的好习惯。

？ 制作宣传手册，让全体员工了解废物管理、处理手段，养成良好工作习惯，逐渐形成强烈的废物最小量化氛围，为废物最小量化作出贡献。

？ 规范、系统地制作现场指南性或废物管理方面的标语，引导现场工作人员处理相关废物。

(3) 制定管理措施，有效控制源生废物

？ 建立奖惩制度。重大项目改造时，项目负责人除对本项目工期承诺外，应对废物的最大产生量进行承诺，把废物产生量和完工质量捆绑在一起，作为对项目负责人的一项考核指标。

？ 落实责任制。设备维修、改造单位负责人，明确废物控制职责，实施固体废物的源项监控与管理，减

少跑、冒、滴、漏。

? 严格控制进入控制区的包装材料，由辐射防护人员把关监督、避免包装材料带入控制区。

? 编写最小量化程序和实施最小化管理。

? 建立废物的计量和跟踪系统，以便取得废物的源项、类型、数量、活度和特性的定量数据。

? 制定《控制区巡检细则》，明细巡检员职责，规范现场布置。

? 制定吸水纸、抹布等一次性用品的使用管理规定。

(4) 加强现场监督，促进废物分类收集

? 大修期间派专人跟踪现场废物收集情况，发现问题及时处理。

? 监督重要设备检修现场，纠正不正当行为。

? 评估现场布置。

(5) 把好关口，严防污染物的产生

? 严格控制生产过程中不易处理的各种试剂、添加剂、清洗去污剂，尽可能使废物的组成简单并易于处理。

? 辐射防护人员实施物品进入控制区的监控与管理。

? 加强废弃物的管理，如没有污染应作非放废物处理。

6.2 技术方面

(1) 将湿废物变为干废物

现场产生的湿废物大部分为棉布、工作服等。故于2003年10月对棉布、工作服做了吸水率冷试验，从试验结果看，每公斤湿废物含水量平均在50%左右。因此，将湿废物自然干燥和烘干机干燥处理可以有效地减少废物量，而且变为干废物后每1 m³废物可以节约100 kg的水泥，可见减容效果是相当明显的。

(2) 将不可压缩废物进行整形处理

现场检修下来报废的金属废物、木制废物形状均是不规则的，直接装桶后，其占空间较大。因此，为了提高金属桶有效空间得到充分利用，必须对金属废物和木制废物作必要的整形处理。

(3) 对局部污染的设备进行切割、打磨、去皮处理

根据近几年对控制区报废的设备、电缆和工具的处理经验，有一半以上可以通过切割、打磨和去皮后成为非放废物。因此，对于控制区报废的工具、设备，在拆卸前，不能盲目全部作为放射性技术废物装桶处理，应由辐射防护人员进行热点检查并经过必要的去污、切割、打磨等，将污染部位进行适当的处理，最终再根据实际污染情况作废物处理。

(4) 使用专用衣物收集袋

热更衣室及热洗衣房每年至少需要1500-2000个塑料袋收送及储存防护用品，一年就这一项约多产生4 m³的废物。因此，制作类似于邮电局信件传用帆布废物袋，可以有效地减少技术废物。

(5) 改制清洁工具

核清洁现场使用的刷子、刮水板的长杆均为竹制品或木制品，由于强度不够经常断裂、损坏、报废。每年2台机组大修就水池去污这一项，需使用70-90根，如果包括日常用量，每年至少需要150根。如果将其改造成不锈钢把柄，不仅延长了使用寿命，而且容易去污。据不完全统计，这一项每年大约可减少2 m³的技术废物。

(6) 采用超级压缩机

将现有的可压缩废物桶进行超级压缩处理，通过岭澳核电站试验证明，平均减容系数为3，即经过10 t预压缩后还能减容30%左右。大亚湾核电站从1994年截至2003年固体废物总产生量为1708.57 m³，如果将其中的可压缩技术废物355 m³（可压缩占总技术废物为65%）再进行超级压缩处理后，其体积仅为118.3 m³，减容效果较好。

(7) 将可以拆卸的废物进行拆卸

? 如APG过滤器芯子及通风过滤器器芯子，对其进行拆卸处理，把过滤器纸作为可压缩废物；把过滤器框架作为不可压缩废物处理，有效减少废物体积。

? 将破损、报废的安全鞋去掉防砸的铁头，将鞋体部分作为可压缩废物处理，将铁头作为非放废物处理。2003年，就此次活动共减少废物约7 m³。

(8) 破损防护用品再利用

将破损报废的连体服、T恤衫、鞋套剪成30×30 mm、40×40 mm大小不等的布块，当作核清洁擦布使用。

7 结论

近年来，虽然大亚湾核电站固体废物产生量呈下降趋势，但通过以上分析，技术废物还是有很大的可减空间。因此，我们还必须把减少技术废物产量这一课题进行深入研究，然后采取相应的对策或措施，力争将技术废物降到最低，既降低成本，又保护环境。

参考文献

[1] 高福宝. 废物管理基础

[2] 王显德、李学群主编. 放射性废物管理（四）. 原子能出版社，1995

[3] 2000核工业—法国尖端技术转让的现实与展望研讨会文集

