

放射性废物库工艺系统和废物贮存设施的改造

刘学阳,王 帅,乔延波,钱正华,马洪军*,
陈 堃,王红玉,何柳斌,蔡 军,李长园

(中国科学院上海应用物理研究所,上海 201800)

摘 要:介绍了某放射性废物库工艺系统和废物贮存设施的改造情况。根据废物库改造目标和放射性固体废物的源项确定了放射性废物的处理工艺和废物贮存设施的改造内容。改造内容包括新增放射性固体废物压缩装置和园区废物转运车、升级改造库内原有行车、增加行车吊运监控系统、重新修整和规划废物库贮存区等。改造恢复了二类库的基本功能,并增加了废物的转运和压缩功能,为核技术的开发和利用提供了保障。

关键词:放射性固体废物;废物库;废物处理;贮存;设施;安全;改造

中图分类号:TL942 文献标志码:A 文章编号:1672-755X(2016)02-0052-05

Renovation of Solid Radwaste Repository's Processing System and Storage Facility

LIU Xue-yang, WANG Shuai, QIAO Yan-bo, QIAN Zheng-hua, MA Hong-jun*,
CHEN Kun, WANG Hong-yu, HE Liu-bin, CAI Jun, LI Chang-yuan
(Shanghai Institute of Applied Physics of Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract: The paper introduced the renovation project of a radwaste repository's processing system and storage facility. Based on the target of renovation project and sources of solid radwaste, the radwaste treatment process and the renovation contents had been decided. The project included: constructing a new solid radwaste compactor, bringing a new radwaste transport cart and a new monitoring system, upgrading the crane, renewing and planning the radwaste storage areas. The renovation project has achieved the basic function of a secondary repository, and improved the transfer and compact function for solid radwaste, which also guarantees the development and utilization of nuclear technology.

Key words: solid radwaste; radwaste repository; waste treatment; storage; facility; safe; renovation

某放射性废物库始建于 20 世纪 50~60 年代,南北长 30.5 m,东西宽 20.0 m,为总体一层、局部两层的建筑结构,总建筑面积 775 m²。该废物库按照前苏联设计标准建造,库内拥有废物贮槽 30 条,贮槽有效体积 275 m³,并配备了送排风系统和转运行车等。40 多年来该废物库不仅承担了单位放射性废物和废源的收贮任务,而且在城市放射性废物库建造前(20 世纪 70~80 年代)还承担着全市放射性废物及废放射源的收贮任务(废物贮存体积约 60 m³,废放射源 129 只)。

在钚基熔盐堆核能项目实施过程中,需要开展相关的放化试验。依据国家相关规定和“三同时”原则

收稿日期:2016-04-03

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(XDA02050000)

作者简介:刘学阳(1987—),男,辽宁大连人,工程师,主要从事环境治理、辐射防护和放射性三废处理等研究。

通信作者:马洪军(1968—),男,山东临沂人,高级工程师,主要从事放射化学、辐射安全和放射性三废处理等研究。

等要求,在放化实验设施建设的同时需配套放射性“三废”处理设施。由于原废物库年久失修,库内行车老旧损坏无法使用,贮槽内部钢覆面和贮槽盖板分别出现腐蚀和破损现象,且缺少固体废物的转运、监控和处理设备,满足不了目前的实际需求,因此迫切需要对其进行改造,在恢复其二类库的基本功能基础上,增加废物的转运和处理设施等。在 2010 年上海世博会前,该单位聘请中核四〇四有限公司清理了废物库内的放射性固体废物和废放射源,并对废物库贮存设施进行了放射性去污等工作。2011 年放射性废物库改造工程项目立项,2013 年完成了废物库的修缮加固以及配套水电、通排风系统和安全防范系统的改造,从 2014 年开始对废物库工艺系统进行改造升级,于 2015 年底完成。

放射性废物库的改造目标是恢复二类库的基本功能,同时增加废物处理和运输装置。改造后能够收贮低水平放射性固体废物(活度 $\leq 4.0 \times 10^6 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)、废弃的密封放射源及少量中放废物,按国家相关标准整备后暂存,废物暂存周期一般不超过 5 年,在达到一定规模或年限后送指定处置场所最终处置^[1]。

1 工艺及流程

放射性废物的源项包括废放射性样品、污染防护用品、污染设备、废旧器具等放射性固体废物,其形式多样、成份复杂。放射性废物应按照其特性在其产生源头进行有效分类,并针对不同类型的废物、废放射源采用不同的处理工艺方案,以达到放射性废物最小化的要求^[2-3]。结合改造项目的目标,放射性废物根据其分类和特性采用不同的处理工艺,如表 1 所示。

表 1 放射性固体废物分类及处理工艺

Table 1 The classification of solid radwaste and treatment processes

废物名称	分类名称	废物特性	整备处理工艺
废样品、旧器具;污染劳保、设备;蒸残液	低放	可压缩	压缩、辐射监测、标识、暂存
		不可压缩	固定、辐射监测、标识、暂存
	中放	—	固化固定 ^[3] 、辐射监测、标识、暂存
废放射源	—	—	包装、辐射监测、标识、暂存

放射性废物按照上表中的分类及处理整备后,形成的废物及其包装的各项性能指标应满足《放射性物质安全运输规程(GB 11806—2004)》^[4]、《放射性废物体和废物包的特性鉴定(EJ 1186—2005)》^[5]中规定的要求,经检测标识后分区暂存,在达到一定规模或暂存年限后需送指定场所处置。放射性固体废物处理流程如图 1 所示。

考虑到废物的最终处置,废物库采用的废物回取和转运的技术方案是:通过库内行车将废物包装体转运至操作区,由叉车(园区统一配备)转运至库外,再通过汽车吊吊至外运车辆上。

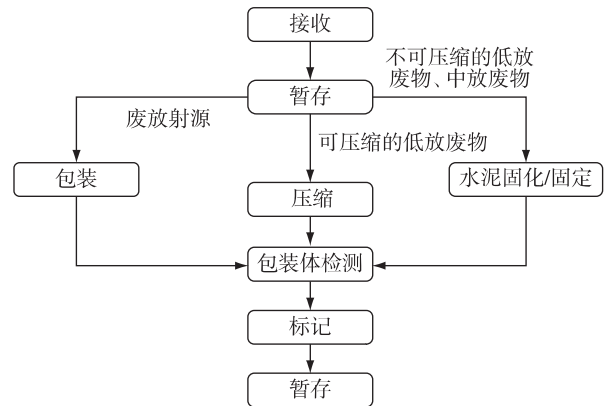


图 1 放射性固体废物处理流程

Fig.1 The flowchart of solid radwaste treatment

2 工艺系统改造

根据废物库的改造目标和废物处理工艺确定了工艺系统和废物贮存设施的改造内容,主要包括:新增放射性固体废物压缩装置,以减少废物体积^[6-8],增加废物库收贮能力;新增放射性固体废物转运车,以提高园区固体废物的转运能力;升级改造库内原有行车,将原行车更换为新型 3 t 双梁行车;增加行车吊运监控系统,从而实现废物吊运的远程操控,降低工作人员库内操作强度,减少受照时间,保证人员安全;重新修整和规划废物库贮存区,恢复废物贮存功能。

2.1 20 t 放射性固体废物压实装置

20 t 固体废物压缩装置用于处理单位产生的可压缩低放固体废物,以减少放射性固体废物的体积,达到合理优化库容的目的。可压缩废物由产生地工作人员装袋,将装满的废物袋封口后装入钢桶内运送到废物库转运接收区。待废物达到一定量时转运至压缩工作区,采用人工加料的方式分次将废物装入废物桶内压实。装桶率达到 90% 时,停止加料。压实后的钢桶经封盖标识后由行车吊运至储存区贮存。压缩操作在密闭箱体进行,并设置一套废气净化系统,对操作过程中产生的放射性废气进行处理。放射性固体废物压缩装置见图 2。

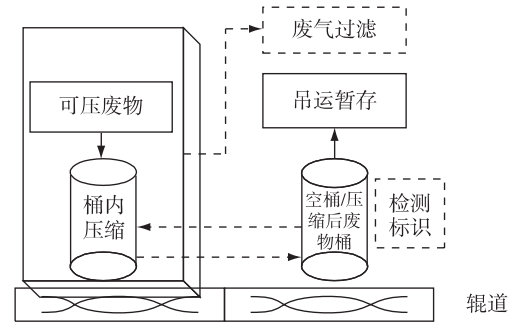


图 2 放射性固体废物压实装置示意

Fig.2 The flowchart of radwaste compactor

该装置是一种简易的放射性固体软废物压缩装置,将加料和压缩操作设置在屏蔽箱体内的同一工位,其主要特点是结构紧凑、体积小、占地空间少、操作简单方便,比传统的双工位操作减少了桶的运送时间,从而提高了工作效率,并设置了能够自动刺破废物包装的刺破锥装置,减少人工破碎废物包装的工作量;其不足在于对投入的废物一定要经过严格分选,对前期的废物收集管理提出了更高的要求。该装置主要由机架、压头、夹紧机构、定位机构、进料系统、刺破装置、除尘机构、排风过滤器、液压站、控制和电器系统等组成。该装置的主要工艺参数见表 2,装置现场见图 3。

表 2 放射性固体废物压实装置的主要工艺参数

Table 2 Main parameters of solid radwaste compactor

项目	参数
处理能力/(桶·班 ⁻¹)	4
系统公称压力/MPa	10
废物装桶率/%	90
废物压缩倍数	≥2.5
可压缩废物活度/(Bq·kg ⁻¹)	<4.0×10 ⁶
环境温度/℃	0~40
环境相对湿度/%	<80



图 3 20 t 放射性固体废物压实装置

Fig.3 20 t solid radwaste compactor

2.2 放射性固体废物转运车

放射性固体废物转运车用于园区内放射性固体废物的收集和转运,主要是将实验楼、废液处理车间的废物包转运到放射性废物库。放射性固体废物转运车的主要性能指标见表 3。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准(GB 18871—2002)》规定^[9],放射性工作人员年平均有效剂量不超过 20 mSv。遵循合理可行尽量低(ALARA)原则,该废物库的屏蔽设计目标值取国家标准剂量限值的 1/4,即保证任何放射性工作人员年平均有效剂量不超过 5 mSv。废物转运车年使用时间按照 250 h 计算,驾驶室剂量率应不超过 20 μSv·h⁻¹,如屏蔽计算考虑 2 倍安全系数,则驾驶室剂量率应不超过 10 μSv·h⁻¹。

表 3 放射性固体废物转运车的主要性能指标

Table 3 The main performance indicators of radwaste transport cart

项目	性能指标
额定载重量/t	1.2
最高设计时速/(km·h ⁻¹)	26
一次充电续航能力/km	40~60

根据源项数据进行计算,结果表明废物转运车在没有屏蔽的情况下,距离桶侧面 1 m 处驾驶室位置的剂量率最大值为 $34 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$,超过了规定限值,因此需要在驾驶室与废物桶之间进行局部屏蔽。采用的屏蔽方案为:在驾驶室后侧设置 20 mm 的铅夹板(中间铅板厚度 8 mm,两侧钢板各 6 mm)。经屏蔽后驾驶室处剂量率的最大计算值为 $8.8 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$,满足辐射防护要求。

2.3 行车及监控系统

行车及监控系统用于库内放射性固体废物包装体的转运、存储和回取。根据废物包装体的特性和平稳转运的要求,将原库内行车更换为 3 t 双梁电动行车,跨度为 13.5 m,采用无线遥控和有线控制 2 种操作模式。新增的吊运监控系统包括 8 部球形摄像机和监控设备,分别设置在废物库操作区(1 部)、废物贮存区(4 部)和行车上(3 部),监控设备设置在废物库控制室内。专用抓具为无动力抓具,用于抓取 200 L 标准桶。行车及监控系统主要设备组成及参数见表 4。

该系统的工作原理是操作人员通过控制室内监控设备的显示器观察废物库内部情况,并远程操控行车(图 4),完成库内废物的吊运。其特点是可以实现人机交互式操作模式,实现精准吊装,保证转运系统的可操作性。同时,降低工作人员在库内的操作时间,保证人员安全。

表 4 行车及监控系统主要设备组成及参数

Table 4 Equipments and parameters of crane and monitoring system

设备	主要参数
行车	3 t 电动葫芦桥式行车,型号 LH 3-13.5 A3
录相机	八路硬盘录像机,型号 SX-DVR5008,1 台
存储器	监控专用存储器,储存容量 2 TB
显示器	液晶显示器
摄像机	智能中速球摄像机,型号 SX-ZS7830,8 台
抓具	专用 200 L 桶抓取



图 4 改造后废物库行车现状

Fig.4 Crane of radwaste repository after renovation

2.4 废物贮存区的改造

放射性废物库的贮存区包括贮槽和贮槽盖板以上两部分区域。贮槽用于存放废放射源和部分水泥固化固定体,贮槽盖板以上区域用于存放可压缩固体废物包装体。废物库共有 30 条贮槽,贮槽长分别为 6.7 m(15 条)和 5.1 m(15 条),宽分别为 1.1 m(6 条)和 1.6 m(24 条),深 2 m;贮槽采用预制混凝土盖板覆盖,盖板厚度为 0.5 m;贮槽内表面为钢覆面,并涂覆防锈漆。改造前,贮槽内的钢覆面已有部分锈蚀。为防止贮槽内的钢覆面进一步腐蚀,对钢覆面表面进行了打磨,并喷涂了防辐射防锈漆,改造前后贮槽内部情况如图 5 所示。此外,对贮槽混凝土盖板上表面打磨平整后涂覆环氧漆,并对全部盖板进行编号(图 4),编号采用红黄两种字体,以区分不同放射性水平废物存放区域;同时,盖板上的编号也可以帮助操作人员能够在控制室通过监控设备查找废物存放的位置,便于管理。



图 5 改造前后贮槽内部对照

Fig.5 Storage tank before and after renovation

3 结 语

放射性废物安全管理不仅与人类健康、环境保护息息相关,更会对子孙后代的生存环境产生深远影响。随着近年来我国核工业的快速发展,放射性废物的安全管理已是当前公众关注的热点问题。

放射性废物库是放射性固体废物的贮存场所,其作为放射废物安全管理的重要组成部分,在放射性废物的安全管理过程中发挥着重要的作用。本工程在对原有放射性废物库清理去污的基础上,根据废物库工程改造目标和废物源项的特点对废物库工艺系统和废物贮存设施进行改造。通过此次改造,该废物库已恢复其二类库的基本功能,具备了放射性固体废物的收集、转运、处理和贮存能力。2015年主管部门组织的技术测试专家组经评审认为,“该工程改造工作相关技术指标达到设计要求,符合验收要求”。改造后的废物库安防系统也已通过上海市公安局技术防范办公室验收,可以确保放射性废物的贮存安全,为核技术的开发和利用提供了保障。

参考文献:

- [1] 国家技术监督局.低、中水平放射性固体废物暂时贮存规定:GB 11928—1989[S].北京:中国标准出版社,1989:1-6
- [2] 罗上庚.放射性废物处理与处置[M].北京:中国环境科学出版社,2007:11-45
- [3] 王帅,秦强,邓玥,等.低放废水处理设施升级改造设计中的安全[J].金陵科技学院学报,2015,31(3):1-6
- [4] 全国核能标准化技术委员会.放射性物质安全运输规程:GB 11806—2004[S].北京:中国标准出版社,2004:32-52
- [5] 国家科学技术工业委员会.放射性废物体和废物包的特性鉴定:EJ 1186—2005[S].北京:核工业标准化所,2005:3-17
- [6] 罗上庚.放射性废物的最少化[J].辐射防护,2000,20(5):308-311
- [7] 孙明生.核电厂放射性废物最少化的目标及其具体实施[J].辐射防护,2002,22(1):359-364
- [8] 马小强,刘登奎,王棋赞.某反应堆研究基地放射性废物最小化措施[J].辐射防护通讯,2011,31(4):37-39
- [9] 国家质量监督检验检疫总局.电离辐射防护与辐射源安全基本标准:GB18871—2002[S].北京:中国标准出版社,2002:3-13

(责任编辑:湛 江)

声 明

1.本刊已许可相关合作单位以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文,相关著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。

2.本刊已加入“中国知网”学术期刊优先数字出版平台。

作者向本刊提交文章发表的行为视为同意我刊上述声明。

本刊编辑部