

实验室和研究堆的 放射性废水处理

〔苏联〕A.A. 霍尼克维契著

原子能出版社

实验室和研究 堆的放射性废水处理

〔苏联〕 A. A. 霍尼克维契 著

芮尊元 罗淑元 译

雷汉声 校

原子能出版社

内 容 简 介

本书全面介绍了实验室和反应堆的放射性废水的各种处理方法，着重介绍了苏联废水处理的工艺流程、设备及厂房布置原则，还论述了放射性废水处理站的经济核算问题。

本书可供从事环境保护特别是废水处理以及放化工作的人员参考，也可供大专院校有关专业师生参考。

实验室和研究堆的放射性废水处理

〔苏联〕A.A.霍尼克维契 著

芮尊元 罗淑元 译

雷汉声 校

原子能出版社出版

（北京2108信箱）

民航总局印刷厂印刷

（北京东四育群胡同13号）

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 9·字数 195 千字

1980年 9 月第一版·1980年 9 月第一次印刷

印数001—2500·统一书号：15175·255

定价：1.30 元

目 录

序 言 (略)	
第一章 放化实验室	(1)
一、放化实验室的任务	(1)
二、放化实验室的主要设备	(2)
三、放化实验室的放射性废物——放射性废液	(10)
四、实验设备和工作间的去污	(19)
五、放化实验室的布置	(26)
第二章 实验堆	(34)
一、实验堆的用途	(34)
二、实验堆装置的主要设备及布置	(34)
三、实验堆装置的放射性废物——放射性废液	(36)
四、实验堆装置的去污	(44)
第三章 放射性废水处理技术发展的概况	(49)
一、处理放射性废水的必要依据	(49)
二、中放和低放废液处理技术的发展	(53)
放射性废物向露天水源的排放	(53)
生物处理法	(61)
共沉淀法	(63)
蒸馏法 (蒸发法)	(68)
离子交换法	(71)
冷冻法	(76)
泡沫浮选法	(77)
电解去离子法 (电渗析法)	(80)

水泥固化.....	(81)
沥青固化及塑料固化.....	(82)
废物排入土壤.....	(85)
天然洞穴贮存和废盐矿贮存.....	(86)
深地层贮存.....	(87)
三、废水的化学和放化组成变化对选择 有效处理方法的影响.....	(89)
第四章 放射性废水处理站的主要工艺设备.....	(93)
一、沉淀过程的设备.....	(93)
混合器.....	(94)
投药器.....	(99)
沉淀槽.....	(106)
二、澄清过滤器.....	(113)
三、阳离子交换过滤器.....	(119)
四、阴离子交换过滤器.....	(137)
强碱性阴离子交换剂.....	(137)
弱碱性阴离子交换剂.....	(138)
两性阴离子交换剂.....	(143)
分级离子交换的作用.....	(144)
五、混合床离子交换过滤器.....	(146)
六、蒸发器.....	(148)
七、电解去离子器(电渗析器).....	(160)
八、沥青固化器.....	(169)
九、离心泵.....	(172)
第五章 放射性废水处理的工艺流程.....	(174)
一、实验堆 I 回路旁通水净化.....	(174)
二、应用凝聚、蒸馏、离子交换过程的	

放射性废水处理·····	(186)
三、主要应用电解去离子法处理放射性废水·····	(204)
四、放射性废液的水泥固化和沥青固化·····	(211)
水泥固化·····	(211)
放射性废物并入沥青中·····	(214)
五、放射性废水注入地层·····	(218)
第六章 放射性废水处理站的布置原则·····	(223)
一、低放废水处理站·····	(223)
二、处理比放射性大于 1×10^{-5} 居里/升的 废水处理站·····	(225)
三、放射性废水处理站各种辅助设施及卫生通 过间设计方案的主要原则·····	(238)
通风·····	(238)
给水和排水·····	(240)
处理站的运行控制·····	(242)
剂量监督和辐射测量·····	(243)
卫生通过间制度, 个人卫生防护措施 及安全技术·····	(244)
四、放射性废水处理站的辅助建筑物·····	(246)
废液贮存库·····	(247)
固体废物库·····	(250)
特种洗衣房·····	(252)
第七章 放射性废水处理站的经济分析·····	(255)
一、处理站经济核算的主要原则·····	(255)
二、废水处理费用与处理方法的关系·····	(258)
三、废水处理费用与处理站采用的 工艺流程的关系·····	(261)

列宁格勒放射性废物处理及贮存站·····	(261)
莫斯科处理站·····	(262)
苏联原子能反应堆科学研究所·····	(262)
苏联别洛雅尔斯克地区库尔卡托夫核电站··	(264)
电渗析法经济指标的分析·····	(264)
四、废水处理费用与处理站生产能力的关系····	(267)
五、放射性废水处理站的放射性浓缩物和泥浆 固化车间的某些经济指标·····	(270)

第一章 放化实验室

一、放化实验室的任务

放化实验室（以前称其为‘热’实验室）在一些国家的科学技术的各个领域里都获得了广泛应用。虽然这些实验室所要解决的任务是多种多样的，但其主要任务是操作放射性物质。正如科学院士斯毕采恩（В.И.Спицын）〔2〕所指出的，从现今已获得1500多种放射性同位素可以看出，放化科研人员是大有可为的。

这些实验室，按其任务粗略分类如下：

1）核燃料后处理化学 这个重要工业部门要求不断改进工艺过程并寻找新工艺流程与设备。如成功地解决此问题，便能促进原子能事业更快的发展。

2）理论放射化学 除对基础理论进行深入研究外，还要研究天然的和人工的放射性元素的性质。

3）金相学 研究放射性同位素金属或其氧化物的物理-机械性质。在金相实验室里进行试样的切割、抛光、热处理和酸蚀工作。

4）辐射化学 研究强 γ 辐射源对各种化学反应过程的影响。在电离辐射作用下，产生了能够激发化学反应的化学活泼的游离基。在某些情况下， γ 辐射源的放射性强度达几十万克镭当量。例如，布鲁克海文国立实验室（美国）的 Co^{60} 源的放射性强度达 4.5×10^5 居里〔3〕。

5）电离辐射作用下的腐蚀和电化学 人工放射性元素，特别

是原子序数高于95的锕系元素，其电化学性质到目前为止还没有充分的研究。

6) 生物物理学 研究放射性同位素的电离辐射对生物机体生命活力的影响。

7) 放射化学在肿瘤研究上的应用和癌症的放射性治疗 在苏联，这些研究工作最初是按苏联科学院通讯院士伏多文柯 (В.М. Вдовенко) [1] 的倡议，并在其领导下在赫鲁宾 镭 研究院 (Радиевый институт имени В.Г. Хлопин) 中进行的。

在放化实验室里可以研究与示踪原子 * 的应用有关的任何过程。

目前苏联能生产约1000种示踪原子化合物 [4] 。

从上述不全面的情况可以看出，在放化实验室里可对化工工艺的各个方面进行研究。放化工作者的任务将逐年扩大，工作将越来越复杂。

二、放化实验室的主要设备

大剂量电离辐射对生物机体是有害的。因此在操作放射性同位素时，应认真遵守所有必要的预防措施 [5-7]。这些措施在现行卫生规范中都有严格的规定。

这些含有放射性同位素的物质的特性决定了放化实验室的特殊性质：在放化实验室里应配备专门的设备(热室、工作箱、密封通风柜等)，配备远距离控制仪表以及收集和去除放射性

* 在这种情况下，示踪原子可理解为化学元素的放射性同位素，这种同位素在化学反应时，随同元素的稳定性同位素一起从一种分子中转移到另一种分子中。借用电离辐射仪，便很容易测定示踪原子存在与否。

这就能在复杂的物质转变过程中跟踪探索到这些示踪原子。

废液、固体废物和废气的容器。

热室是用于远距离操作一定数量的强 γ 辐射放射性物质的设备。这样强的辐射要求有相当厚度的混凝土墙或铸铁墙，以便对操作人员进行生物保护。

按苏联国家标准 ГОСТ 16950-71，热室是放射性防护工艺设备。它有一个固定外壳，里面衬有不吸附放射性物质的覆面材料，它在负压下工作应具有足够的密封性，并可用一些装置进行远距离操作。

热室通常有各种不同的类型、规格和用途。图1是简易热室的剖面，其中示出了主要专门设备。

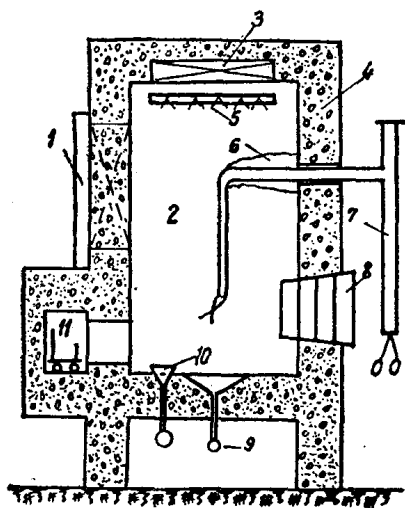


图1 热室剖面

1) 防护门 它是用来关闭检修走廊通向热室的人孔。

2) 热室本体 其内表面应用耐化学腐蚀和抗辐照的覆面作防护衬里。这种覆面应具有较高的耐腐蚀性、足够的强度，并易于去污*。去污后，热室表面用水冲洗，尔后用适当的放射性剂量监测仪测量热室表面，以确定去污程度。

作覆面用的最好材料是铬镍不锈钢，如0X18H10T、X18H9T，1X21H5T等不锈钢，而对于受强烈腐蚀介质作用的

* 去污可理解为利用各种方法（溶液、膏剂、蒸汽、乳浊液等）和工具（夹具、设备和机械）去除沾污在表面上的放射性污染物。

部分，则采用0X18H12B和X17H13M3T不锈钢。由于不锈钢是昂贵的，因此除采用不锈钢外，还采用普通碳素钢，甚至有时就用普通混凝土，但它们的表面应贴以聚合塑性材料作防护，如用聚乙烯、聚氯乙烯、聚四氟乙烯塑料，环氧树脂及其他涂料。这些覆面同样应具有化学稳定性和辐射稳定性，但聚乙烯、聚氯乙烯的耐热性较低。

必要时，可以在热室下面设置辅助室。其中放置收集容器、传动装置、集水槽。

3) 热室内部空间照明装置 一般采用日光灯，水平照度达1000勒克司。

4) 混凝土墙 用于削弱放射性同位素的 γ 射线，以保证操作人员的安全，一年中的剂量不应超过5生物伦琴当量⁽⁵⁾。

5) 去污装置 用来清除热室内表面、设备、器皿，试管及工具的放射性污染。其类型有固定式和移动式两种。

6) 塑料波纹套管 该套管用来防止放射性气溶胶通过机械手穿墙孔的不密封处扩散到研究人员的操作间去。当热室装设非密封钢丝绳传动机械手时，特别需要这种套管。

7) 模拟机械手 供远距离进行热室内的各种操作用（一套是两只机械手，即左右手各一只）。机械手就好象是延长了的机械的“手”，其执行机构应能重复人手的许多动作⁽⁸⁾。

苏联生产的几种机械手如下：^(9, 10)

模 拟 机 械 手	M-15A	M-22	M-44
抓 举 能 力, 公 斤	3	8	16
行 程, 毫 米			
水 平 方 向	600—700	700—900	700—900
竖 直 方 向	—	550	540

每副机械手必须配备一套工作用的工具和附件（把手、夹具、钳子、接头等）。结构较复杂的机械手的执行机构用电机（МЭМК-3，МЭМ-5С，МЭМ-10СД等）来驱动，电机由操作人员在操作台进行控制。密封性最好的是М-38А磁性座标模拟机械手。它完全防止了热室内的气体向工作人员所在的操作间直接流动。操作人员的各种动作是借助于穿通热室壁的磁性联轴节滑动机构进行传递的。

8) 窥视窗（供观察热室里生产过程之用） 窥视窗的厚度要相当于热室前壁生物防护层的厚度。为此，采用组装铅玻璃或透镜作窥视窗，而在“透镜”内要填充高密度耐辐照的透明溶液（例如80% ZnBr_2 溶液）。

苏联生产有长方形和圆形的防护观察玻璃。它是由重型光学玻璃（К-108， $\Phi 101$ 和 ТФ-5）板组装成的。长方形玻璃尺寸：轻型为 300×500 ，中型为 400×600 和重型为 500×700 毫米。应用长方形玻璃的优点是对热室内空间的观察视界比较大。英国一些放化实验室，如哈威尔原子能研究中心（Харуэллс）、温弗里斯核电站（Уинфритс），唐瑞核电站（Даунри）等都采用填充 ZnBr_2 溶液的大型观察系统。

9) 第一特种下水管道系统 供收集和排除低放废液之用。

10) 第二特种下水管道系统 用于收集和排除中放和高放废液。

11) 运输装置 如果实验室有若干个热室或工作箱，则用运输装置来联系各热室和工作箱。利用运输装置，可向小室内运送容器、细颈瓶或装有必用物料的罐，以及排除固体废物（为排除废物，某些热室内还另装设运输装置）。运输装置运行采用钢丝绳牵引，或用电磁系统控制。后一种方法比较安全，

还可保证良好的密封。

热室装有排风系统，在排风系统上装有捕集放射性气溶胶的过滤器。

在大型热室内，通常配置有试验台，台上装有进行试验用的各种实验设备。有时在这些试验台上进行的工艺过程就是未来放化工厂的工艺流程。

图2所示的是大型双层热室的剖面图，其有效高度近10米。这类热室中的部分设备同图1所示的热室：防护门（1）、照明灯（2）、运输装置（3）和组装窥视窗（4），除此之外，热室（见图2）还装备有磁性机械手（5）及远距离控制的吊车（6）。

热室内表面的涂覆层是采用添加了对酸敏感的黄色偶氮染料的聚氯乙烯专用涂料〔11〕。这种涂覆层经受一定剂量的 γ 或 β 射线辐照后，能由黄色变成红色。如在那些不应变色的地方涂覆层表面的颜色改变了，则表明涂覆层已失效，必须更换。涂覆层外面再涂以能吸收紫外线的清漆薄层。这样，可使其耐水蒸汽和耐弱酸溶液，并可在温度80℃下长时间加热。

在操作少量 γ 放射性物质或大批量的 β 和 α 辐射源时，可采用防护工作箱，它是一种非固定式的防护罩。根据放射性物质的量及其辐射强度，工作箱装备剑式机械手（图3）或橡皮手套（图4和图5）。苏联生产有М-2、МПП、МПВ、МПЛ-0.5、МПП-5等几种类型的剑式机械手〔12, 13〕。苏联生产的一些手套工作箱的简明技术特性列于表1中。

手套工作箱设有进排风系统；电气照明设备；冷水、热水、压缩空气、普通气体和试剂的供给管线。为排除放射性固体废物和废液，工作箱设有收集和排除器具及若干容器。

另外，手套工作箱的尺寸也有的比表1所列的要大些。例

如在英国阿尔德尔马斯顿 (Олдермастон) 科学研究中心用一些大型工作箱安装成流水线来生产钚〔14〕。在这条流水线中，最大的工作箱外形尺寸为长4500×宽3650×高3300毫米。

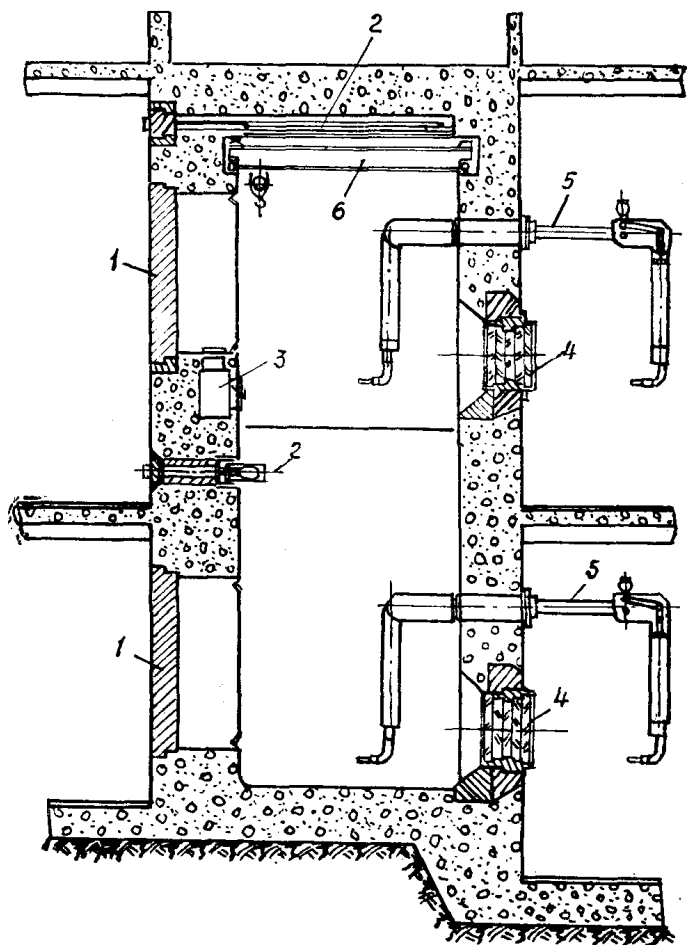


图2 双层热室剖面

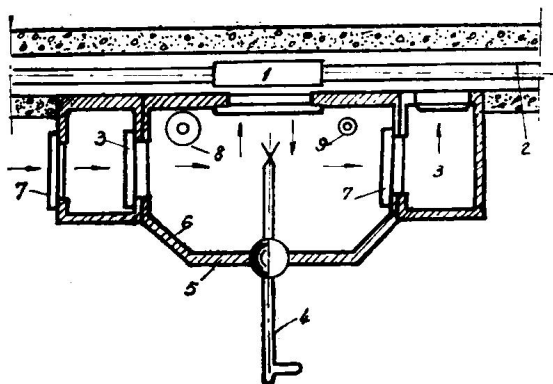


图3 剑式机械手工作箱平面图(俯视)

1——运输小车; 2——运输通道; 3——隔离前室; 4——剑式机械手; 5——防护玻璃(位于机械手之上); 6——防护覆面; 7——密封检修孔; 8、9——第1和第2特种下水道。

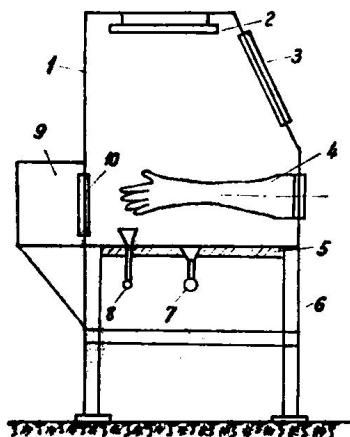


图4 手套工作箱剖面

1——箱壁(不锈钢板或3*钢板衬以防护覆面); 2——照明灯; 3——窥视玻璃; 4——橡皮手套; 5——台面; 6——支架; 7、8——第1和第2特种下水道; 9——运输通道; 10——运输门。

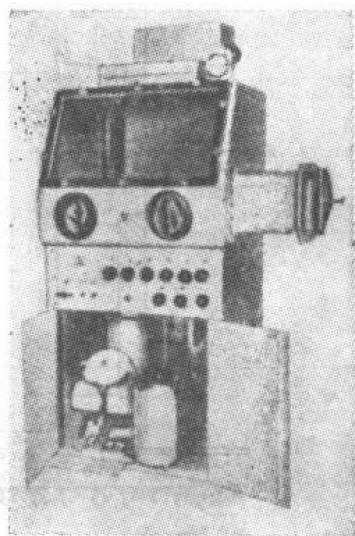


图5 单工作位置的3*型防护工作箱

表 1 手套工作箱的简明特性

型 号	尺 寸 (长×宽×高), 毫米	工作容积, 米 ³	重量, 公斤	材 料 与 设 备
6K-HJK	1020×550×635	0.15	43	不锈钢, 也可采用碳钢
B14-HJK	1150×780×800	0.15	55	不锈钢, 有空气封闭循环装置
1KA-HJK	1285×820×2190	0.4	215	不锈钢
3K-HJK	1350×900×2010	0.4	185	不锈钢或碳钢
B13-HJK	1450×890×1990	0.4	205	不锈钢或碳钢
B15-HJK	1350×850×2100	0.4	280	不锈钢或碳钢
B12-HJK (洗涤)	1310×900×2050	0.4	215	不锈钢
B11-HJK (化学热分解)	1950×910×2540	1.5	385	设有 4 对手套
B8-HJK (分装)	2290×1100×2215	0.7	2900	不锈钢, 碳钢台架
2KA-HJK	2285×820×2220	0.8	320	不锈钢, 碳钢台架
5K-HJK	2250×900×2010	0.8	305	不锈钢或碳钢
6B-OC (台式)	1070×615×740	0.14	26	有机玻璃壳体
7B-OC	860×760×440	0.07	20	有机玻璃壳体
45-OC-A	1220×615×1555	0.19	65	有机玻璃壳体
8B-OC	2160×800×1925	0.87	105	有机玻璃壳体
2-YK3	3050×2580×2485	1.0	5620	设有铸铁防护板
2-K3	2785×2580×2485	1.0	7540	设有铸铁防护板

注: 各种类型的手套工作箱应能承受标准负压20毫米水柱。

操作示踪量放射性物质可应用通风柜, 它与普通化学实验通风柜不同的是: 密封性好、壳壁和台面材料不同、通风系统风量较大及设有特种下水道^[13]。每台通风柜(表2)配备有进风、排风系统、电气照明及冷水、热水、压缩空气、普通气体和试剂供应管线。

表2 专用通风柜的主要技术特性

通风柜类型	规格, 毫米	工作容积, 米 ³	重量, 公斤	工作位 置 数	柜 体 材 料
1 III-HXK	1460×855×2635	0.55	234	1	不锈钢, 底座 为碳钢
1 III-OC	1460×855×2635	0.55	85	1	有机玻璃
2 III-HXK	1816×820×2820	0.9	560	2	不锈钢
3 III-HXK	2915×825×2760	1.3	715	3	不锈钢, 前壁 为有机玻璃

在通风柜内设有放射性废液的排除器具及废液收集容器。此外, 在每个通风柜内设有装在小车上的收集放射性固体废物的容器。通风柜在负压下进行工作。放化实验室专用设备的构造在苏联〔9, 10, 15—17〕及其他国家〔3, 14, 18—20〕一些作者的著作中均有更详尽的阐述。

三、放化实验室的放射性废物 ——放射性废液

这种实验室的放射性废物与开放型放射性企业所产生的废物一样, 分为三类: 废液、固体废物和废气。1972年之前, 各工厂企业的废液和固体废物的放射性符合下列条件之一者均属于放射性废物: 对半衰期 ($T_{1/2}$) 小于60天 (短寿命) 的放射性物质, 如果其比放射性 a (以居里/升或居里/公斤计算) 高于天然水系中年平均容许浓度100倍者; 而对半衰期 ($T_{1/2}$) 大于60天 (长寿命) 的放射性物质的比放射性高于天然水系中平均浓度10倍者。

1972年苏联颁布了《放射性物质及电离辐射源工作卫生规范》-OCH-72〔5〕。该规范规定废液中的放射性物质含量高于年平均容许浓度者, 属于放射性废液; 每100厘米²的表面污