

工业污染治理技术丛书

● 放射性卷

铀矿冶污染治理

国家环境保护局

中国环境科学出版社



(京) 新登字 089 号

图书在版编目 (CIP) 数据

铀矿冶污染治理/国家环境保护局编著. —北京: 中国环境科学出版社, 1995

(工业污染治理技术丛书)

ISBN 7-80093-782-8

I. 铀… II. 国… III. ①铀矿-放射性污染-污染防治-废物处理②铀矿-放射性废物-污染防治-废物处理 IV.X753

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 14222 号

工业污染治理技术丛书

放射性卷

铀矿冶污染治理

国家环境保护局

责任编辑 张维平

*

中国环境科学出版社出版

(100062 北京崇文区北岗子街 8 号)

北京市燕山联营印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

1996 年 3 月第 一 版 开本 850×1168 1/32

1996 年 3 月第一次印刷 印张 9 7/8

印数 1—1500 字数 265 千字

ISBN 7-80093-782-8/X·939

定价: 15.00 元

《工业污染治理技术丛书》编辑委员会

顾问 曲格平

主任委员 陶葆楷

副主任委员 臧玉祥 (责任) 鲍 强
岩 流 叶奕森 张崇华

委员: (按姓氏笔画为序)

王文兴	王育文	井文涌
石 青	朱荣胃	刘均一
刘成琴	刘兴华	来 禄
严兴忠	李国鼎	李思宇
李学群	李献文	杨传芳
桂壁君	林尤文	苗润生
孟承嘉	张淑群	张如彦
殷德洪	郭秀兰	龚铭祖
舒惠芬	阎鸿炳	雍永智
潘文燦	魏宗华	

《放射性污染治理卷》编辑委员会

主 编：李学群

副 主 编：王显德

编 委：（按姓氏笔画为序）

马明燮 厉炳祥 范深根

袁家昕 赵宏圣

《铀矿冶污染治理》编辑委员会

主 编：赵宏圣 李学群
编 委：蒋书典 吴 刚 严 锋
李敬云 刘树金 赵文焕
郑连发

序

我国的工业污染在环境污染中占 70%。随着工业生产的迅速发展,工业污染的治理工作越来越引起人们的广泛注意。

我国对工业污染的治理十分重视,从 1973 年建立环境保护机构起,各级环境保护部门就积极开展工业“三废”的治理和综合利用。十几年来,国家在工业污染治理方面进行了大量投资,建设了大批治理污染的设施,也取得了比较明显的环境效益。然而,我国工业污染治理的发展远远落后于工业生产的发展。到目前为止,我国工业污染的治理率还很低,工业废水治理率仅 20%,工业废气治理率为 56%,工业废渣治理率为 50%。因此,解决我国工业污染的任务还相当艰巨。

进行工业污染的治理,需要有一系列行之有效的治理技术。我国很多工业企业就是因为找不到比较适合的治理技术,影响到治理设施迟迟不能上马;已经上了治理设施的,也有不少企业因治理技术不过关,结果消耗了物力而见不到环境效益。因此,加强对工业污染治理技术的开发和研究,特别是加强工业污染治理技术的信息交流,让那些行之有效的治理技术尽快传播,以便发挥更大的作用,这在当前是十分重要的。

《工业污染治理技术丛书》从我国经济建设的需要出发,对我国工业生产中大量治理污染的实例进行了系统的技术性的总结,把经过实践检验证明是行之有效的各种典型的治理技术汇编于书中,其目的就在于给我国从事工业污染治理和关心工业污染治理的广大环境科技工作者提供大量的可靠的技术信息。

《工业污染治理技术丛书》对我国老工业企业进行技术改造,解决环境污染问题;对新建工业企业实行“三同时”以及蓬勃兴起的大量乡镇企业开展污染治理是一套难得的技术资料。有了它,

工业企业可以很方便地从其中所提供的大量技术信息中找到比较适合
的治理技术，可以避免到处调研，浪费大量的人力和物力。

《工业污染治理技术丛书》对各级环境保护部门从事环境管理和工业污染源监督，制定环境保护技术政策、工业污染源的排放标准以及区域环境污染综合防治规划等，也有重要的参考价值。不难想象，这套丛书对我国从事环境教学和环保科研工作的科技工作者也将是十分重要的参考书。

总结我国工业污染治理的经验并使其推而广之，这是我国广大环保科技工作者多年来的愿望。《工业污染治理技术丛书》编辑委员会的同志们为这项工作做出了巨大的努力，他们的工作是卓有成效的。

我们的国家正处在一个飞跃发展的时代，科学技术是推动这个时代发展的原动力，新的科技成果层出不穷，工业污染治理技术的发展更是这样。因此，我们应该不断地总结，不断地充实，以便通过交流，让我国工业污染治理技术的发展跟上工业生产发展的要求。

曲 格 平

编者的话

《工业污染治理技术丛书》是由工业废水治理卷、工业废气治理卷、工业固体废物治理卷、工业噪声治理卷和工业放射性污染治理卷五部分组成。各卷按行业又分若干分册。

《工业污染治理技术丛书》是一部总结性的实用技术丛书。它的内容主要是介绍我国各种工业生产中治理污染的典型实例。在丛书的每一分册中，都收集了大量的用不同工艺流程治理各种污染物的实例。这些实例，多是从连续运转时间一般在两年以上的、性质相似、治理工艺类同的若干实例中，根据技术可靠、经济合理、环境效益比较显著的原则筛选出来的。对每一实例，从污染源的情况、治理工艺、设计和运行参数、主要设备型号和构筑物的尺寸、运行情况、投资及效益情况等都比较详细的介绍。为了使读者对工业污染治理技术的状况有一个全面的了解，丛书还对工业废水、废气、固体废物、噪声和放射性污染治理概况分卷加以介绍，作为总论放在各卷每一分册的前面；并在每一分册的第一章和每一产品类型的实例前，就全行业和每一产品类型的污染治理的技术现状进行了概述和评价。

《工业污染治理技术丛书》是为适应我国当前所面临的大量工业污染治理工作的需要而编写的，也可为我国各级环保管理部门实行有效的环境管理和监督提供科学依据。

《工业污染治理技术丛书》是在国家环境保护局的组织下，动员全国各工业部门的广大环保科技工作者和环境保护专家共同编写的。在编写过程中，得到了各工业主管部门和清华大学等单位的大力支持。在此，谨向为这套丛书的出版作出过贡献的单位和所有科技工作者表示衷心的感谢！

由于这类丛书的编写和出版还是第一次，经验不足，错误之

处，敬请读者指正。

《工业污染治理技术丛书》编辑委员会

目 录

序	(V)
编者的话	(VI)
放射性污染治理技术总论	(1)

第一部分 铀矿山放射性污染与防治

第一章 铀矿山“三废”治理概论	(25)
第一节 铀矿山“三废”来源、特征及危害	(25)
第二节 铀矿山“三废”治理方法	(36)
第三节 铀矿山“三废”治理技术政策	(44)
第二章 铀矿山废水治理	(48)
第一节 铀矿山废水概况及治理现状	(48)
第二节 铀矿山废水治理方法与实例	(50)
实例 2-1 国营 711 矿废水处理设施——固 定床塔回收铀	(67)
实例 2-2 国营 715 矿废水处理设施——流 化床塔回收铀，氯化钡-污渣循 环-石灰沉淀法治理酸性废水	(77)
实例 2-3 水口山矿务局柏坊铜矿放射性废水处 理设施——含铀有色金属矿山废水治理	(85)
第三章 铀矿山废气治理	(89)
第一节 铀矿山废气的来源和危害	(89)
第二节 铀矿山废气治理技术	(101)
第三节 铀矿山废气治理实例	(117)
实例 3-1 711-1 矿井抽出式通风系统	(118)
实例 3-2 741-1 矿井抽出式通风系统	(123)

实例 3-3	743-1 矿井压入式通风系统	(127)
实例 3-4	721-2 矿井压入式通风系统	(134)
第四章	铀矿山废石治理	(139)
第一节	铀矿山废石治理原则及措施	(139)
第二节	铀矿山废石治理实例	(142)
实例 4-1	国营 711 矿利用废石充填井下采空区	(142)
实例 4-2	国营 719 矿地表堆浸回收金属铀	(144)
实例 4-3	国营 712 矿人工植被治理矸石山	(152)
第五章	铀矿石运输车辆的防护	(158)
第一节	公路与铁路铀矿石污染现状	(158)
第二节	装运铀矿石车辆的清洗	(160)

第二部分 铀水冶放射性污染与防治

第六章	铀水冶“三废”治理概论	(185)
第一节	铀水冶“三废”来源及危害	(185)
第二节	铀水冶“三废”治理方法	(189)
第三节	铀水冶“三废”治理技术政策	(198)
第七章	铀水冶废水治理	(201)
第一节	铀水冶废水概况及治理现状	(201)
第二节	铀水冶废水治理方法与实例	(202)
实例 7-1	国营 721 矿水冶厂废水处理设施 酸法铀水冶废水治理	(213)
实例 7-2	国营 276 厂废水处理设施——碱 法铀水冶废水治理	(221)
第八章	铀水冶废气治理	(226)
第一节	铀水冶废气来源、成分及危害	(226)
第二节	铀粉尘及废气治理方法与实例	(230)
实例 8-1	国营 272 厂废气及铀粉尘的治理	(240)
第九章	铀尾矿治理	(265)
第一节	铀尾矿概述	(265)

第二节 铀尾矿治理技术与管理	(271)
实例 9-1 国营 272 厂铀尾矿处置	(292)
实例 9-2 国营 792 矿水冶厂尾矿处置	(296)
编后记	(299)

放射性污染治理技术总论

环境放射性污染问题是伴随着核工业和核技术应用的发展而出现的。

放射性是某些核素的原子所固有的一种性质。核素是指具有相同原子序数和质量数的一类原子。某些核素，由于其原子核的不稳定性，可自发地转变为别种核素，同时放出带电粒子(α 射线或 β 射线)和电磁波(γ 射线)。这种性质就称作放射性，这种转变称作放射性衰变，这种核素称作放射性核素。特定放射性核素的放射性特征，如核素的每个原子发生自发衰变的概率(通常用半衰期，即核素原子衰变掉一半所需要的时间来表征)，和衰变中放出的射线的种类和能量，都是由这种核素的原子核结构所决定的。表示放射性强弱的量是放射性活度。它的国际制单位是贝可(Bq)。贝可的定义是1核衰变/s。单位质量物质的(放射性)活度称比活度(Bq/kg)。单位体积物质的活度称放射性浓度(Bq/m³或Bq/L)。

放射性的有害作用就在于当人体受到放射性核素释放出的射线照射时，射线可以通过电离和激发作用引起人体细胞组成分子的结构、性质的改变，并进而造成机体的各种损伤。在遭到放射性污染的环境中，人们可能受到来自体外的射线照射，也可能通过吸入污染的空气或摄入污染的食物和水而受到进入体内的放射性核素的射线照射，从而影响健康。

在世界范围内，80年代以前多次进行的大气层核爆炸试验，以及历史上曾发生的若干次重大核事故(如1986年前苏联切尔诺贝利核电站事故)，曾经造成全球性或地区性不同程度的放射性污染。但环境中放射性污染物主要的来源，则是核工业和核技术应用部门，这些部门在正常生产情况下通过排放的放射性废气、废

液以及处置的放射性固体废物而使放射性核素进入环境。因此对于环境保护工作来说，防止环境放射性污染的主要对策就是：加强放射性废物治理，以严格控制在常规情况下释入环境的放射性的量，并对重大事故隐患采取有效的预防措施。

一、定义、分类和特点

（一）定义

放射性废物是指在核工业的各个系统以及核技术应用部门中，在操作或处理放射性物料的过程中所产生的具有放射性的废物。放射性废物可以是气态、液态或固态的。所谓“具有放射性”，是指废物的放射性比活度（Bq/kg）或浓度（Bq/L 或 Bq/m³）高于规定的限值（参见下面表 1）。放射性废物治理的任务就是努力减少释入环境的放射性物质的量；而这些释入环境的放射性物质就是环境放射性污染主要的经常的来源。

（二）分类

放射性废物有各种不同的来源。不同来源的放射性废物，其组成、性质以及放射性水平往往差别很大。对不同的废物，治理措施自然也不相同。为了便于管理，需要进行适当的分类。

作为分类的依据，应该是废物的最能反映其特征的性质，这首先是比活度或放射性浓度。不同废物的比活度可能相差极大，因此其处理过程以及辐射安全要求都很不相同。其次是废物中放射性核素的半衰期。有些核素的半衰期只有几天或更短，而有些则长达几千、几万年。显然，对于放射性废物的最终处置来说，半衰期是个极其重要的因素。不同核素的放射毒性也可能有很大差别。人体摄入相同活度的不同核素所造成的危害可能差别很大。因此放射毒性也是分类中必须考虑的一个特性。

目前世界上还没有一个普遍接受的放射性废物分类体系。我国参照国外放射性废物分类的一般原则，已制定了放射性废物分类的国家标准（GB 9133），见表 1。这个分类标准首先把废物分成气载废物、液体废物和固体废物。气载和液体废物按照放射性浓

表 1 放射性废物分类系统表

类别	级别	名称	放射性浓度 A_v (Bq/m ³)			
气载废物	I	低放	DAC* (公众) $< A_v \leq 10^4$ DAC (公众)			
	II	中放	10^4 DAC (公众) $< A_v \leq 10^8$ DAC (公众)			
	III	高放	10^8 DAC (公众) $< A_v$			
液体废物			放射性浓度 A_v (Bq/L)			
	I	弱放	DIC** (公众) $< A_v \leq 3.7 \times 10^2$			
	II	低放	$3.7 \times 10^2 < A_v \leq 3.7 \times 10^5$			
	III	中放	$3.7 \times 10^5 < A_v < 3.7 \times 10^9$			
	IV	高放	$3.7 \times 10^9 < A_v$			
固体废物			放射性比活度 A_m (Bq/kg)			
			$\tau_{1/2} \leq 60d$	$60d < \tau_{1/2} \leq 5a^{①}$	$5a < \tau_{1/2} \leq 30a^{①}$	$30a < \tau_{1/2}$
	I	低放	$7.4 \times 10^4^{③} < A_m$ $\leq 3.7 \times 10^7$	$7.4 \times 10^4^{③} < A_m$ $\leq 3.7 \times 10^6$	$7.4 \times 10^4^{③} < A_m$ $\leq 3.7 \times 10^6$	$7.4 \times 10^4^{③} < A_m$ $\leq 3.7 \times 10^6$
	II	中放	$3.7 \times 10^7 < A_m$ $\leq 3.7 \times 10^{11}$	$3.7 \times 10^6 < A_m$ $\leq 3.7 \times 10^{11}$	$3.7 \times 10^6 < A_m$ $\leq 3.7 \times 10^{10}$	$3.7 \times 10^6 < A_m$ $\leq 3.7 \times 10^9$
	III	高放	$3.7 \times 10^{11} < A_m$	$3.7 \times 10^{11} < A_m$	$3.7 \times 10^{10} < A_m$	$3.7 \times 10^9 < A_m$

①包括放射性核素钴-60($\tau_{1/2}$)=5.271年。

②包括放射性核素铯-137($\tau_{1/2}$)=30.17年。

③对仅含天然 α 辐射体的固体废物,下限值为 3.7×10^5 Bq/kg。

[注]* DAC(公众)公众导出空气浓度 (Civil Derived Air Concentration),年摄入量限值除以参考人在一年时间中吸入的空气体积(即 $1.0512 \times 10^5 m^3$)所得的商。

** DIC(公众)公众导出摄入量浓度 (Civil Derived Intake Concentration),年摄入量限值除以参考人在一年时间中摄入的水量(即 $8.03 \times 10^2 kg$)所得的商。

年摄入量限值 (Annual Limit of Intake, ALI),在一年时间内摄入体内的某一种放射性核素的摄入量,其对参考人的照射达到职业性照射的年剂量当量限值。

(摘自 GB 9133 放射性废物分类标准)

度分别划分为三个和四个等级。固体废物又分为非超铀废物和超铀废物两类。非超铀废物又按半衰期长短分成四类，每一类再按比活度分为三个等级。应该注意，气载废物各个等级的放射性浓度界限值并不是固定的值，而是和具体核素的 DAC（公众），即公众的导出空气浓度相联系的。这里就包含了对核素放射毒性的考虑。弱放液体废物的浓度下限值也是这样的。

铀水冶厂中产生的尾矿，其比活度大都低于低放固体废物比活度下限值。按此分类标准应不属于放射性废物。但由于尾矿数量巨大，而且会向大气中释放氡气，因此必须作为一类特殊废物妥善治理。按照我国有关规定，含天然放射性核素的尾矿砂和废矿石，其比活度在 $(2\sim7) \times 10^4 \text{Bq/kg}$ 范围时应建坝存放，如比活度大于 $7 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ ，应建库存放。某些伴生放射性的矿物资源，如稀土矿和某些有色金属矿，其中往往含有数量不可忽视的天然放射性核素。在它们的采矿加工中产生的废渣，也应按上述规定建坝或建库存放。

（三）特点

1. 放射性污染物只能通过自发衰变达到无害

放射性污染的最基本的特点就是其污染物（放射性核素）是不能用化学的、生物的和一般的物理方法破坏的，但可以通过其自身的衰变最终转变为无害的稳定物质。这个特点也就决定了放射性污染治理工作的特点，即不可能主动地使污染物转化为无害，而只能消极地等待其自动消亡。但是要在人为控制下将放射性废物长期贮存直至衰变到无害，这种做法是不可能实现的。目前放射性废物治理的根本对策只能是利用环境的巨大的容纳能力与隔离能力。具体讲，就是利用两种形式，分散稀释或浓集隔离，把放射性污染物送回自然界而同时又使其不会污染人类的生存环境，在这种条件下使放射性污染物衰变消亡。放射性浓度很低的废气、液可以排到大气或地表水体中，通过分散稀释使其浓度进一步降低，这样就不致造成危害。经过浓集的高比活度废物可以放到地层中或海洋深处，利用这些环境介质的巨大的隔离能力，使

它与人类生存环境长期地隔离开来。这就是整个放射性废物治理工作的基点。使放射性废物最终进入分散或隔离状态的过程就称作处置。但习惯上常常只把隔离形式称作处置。

2. 放射性废物治理是一个完整的体系

如上所述，处置是放射性废物治理工作的终点。废物治理工作的其它步骤都应服从于处置的。废物治理工作由废物的产生开始到处置终结，它是由废物的分类收集、处理、贮存、运输、处置等一系列互相关联的过程构成的一个完整体系。图 1 是放射性废物治理工作体系的示意图。

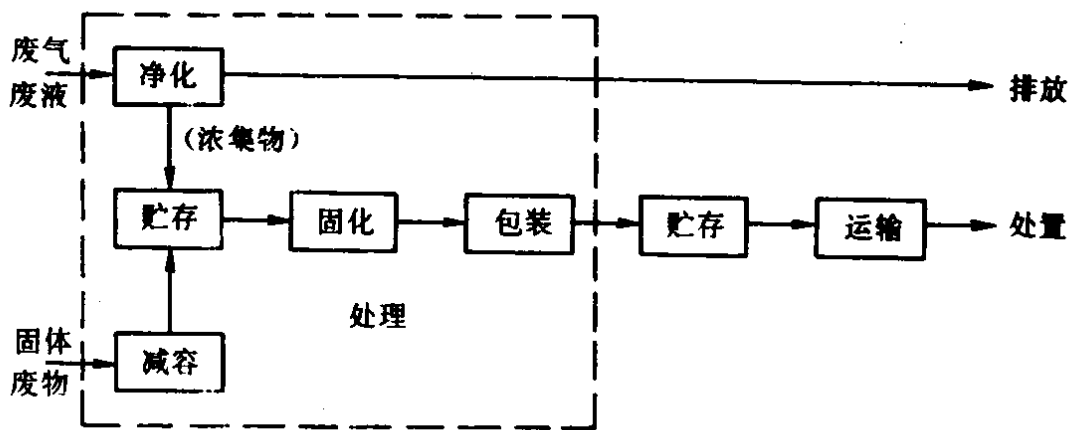


图 1 放射性废物治理工作体系

废气、废液的净化在性质上属于分化过程，即通过某种过程使废物中的放射性绝大部分浓集在尽量小的体积中，从而使大部分介质（空气、水）得到净化。净化后的废气、废水可以排入环境。浓集部分，为了适应隔离处置的需要，须转变成稳定的固体形式，并封装入包装容器中。净化、减容、固化、包装总的称作处理过程。习惯上也常常把废气、废液的净化，固体废物的减容称作处理。最后将废物固化体运输到废物处置场或位置库进行处置。

所有放射性废物，不管其来源、组成、放射性水平如何，其