

退役铀矿山整治工程

**TUIYI YOUKUANGSHAN
ZHENGZHI GONGCHENG**

王德舫 编著



原子能出版社

退役铀矿山整治工程

王德舫 编著

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

退役铀矿山整治工程/王德舫编著. —北京:原子能出版社, 2003. 6
ISBN 7-5022-2736-9

I. 退… II. 王… III. 退役-铀矿-治理 IV. X753

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 040589 号

内 容 简 介

本书较系统地介绍了退役铀矿山的井巷工程封闭方法, 废石堆、尾矿库、塌陷坑、露天矿坑及其他污染物的治理、复垦及清污方法, 辐射环境质量评价方法和治理经济评价及管理工作等, 并扼要地总结了国内外在铀矿山治理方面的成果。本书有理论、有方法、有实例, 对铀矿山和非铀矿山退役后的整治工作有一定指导意义。

本书可供退役矿山企业领导干部、技术人员和科研、设计人员, 高等院校和中等专业学校采矿、环境保护等专业师生参考。

退役铀矿山整治工程

出版发行	原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100037)
责任编辑	李盈安
责任校对	冯莲凤
责任印制	刘芳燕
印 刷	保定市印刷厂
开 本	787 mm×1092 mm 1/32
字 数	135 千字
印 张	6.25
版 次	2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-5022-2736-9
经 销	各地新华书店
印 数	1--500
	定 价 20.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

铀矿开采与其他矿山开采一样,在生产过程中不断产生“三废”。它不仅排放一般有害化学物质,而且还排放数量较大的放射性物质,如不严加控制,任意排放,势必造成环境的严重污染,给子孙后代带来危害。因此,在铀矿开采过程中,首要任务就是要加强辐射防护工作,对“三废”要严格控制,尽量减少排放量,做到建设、生产、治理同步进行,将其对环境的污染程度降到最低限度。铀矿山退役后,首先要在矿区影响范围内全面、系统地进行辐射环境质量评价,确定其污染范围、主要污染源、关键核素、关键途径及集体有效剂量当量和其中贡献最大的核素等。然后,按照程序编制治理可行性研究报告和设计治理方案及编制实施计划等。退役铀矿山的治理是一项投资较大,时间较长,问题较多,范围较广,技术要求复杂,关系到环境保护与公众安全的重要工作。因此,我们要精心设计、精心施工,确保工程质量,使“三废”治理达到预期效果。

铀矿开采工业对环境的污染是可以控制的,也是可以治理的。它的决定因素是社会制度。我们是社会主义国家,我国政府对环境保护工作极为重视。据2001年统计,在环境保护方面颁布的国家级法规就有30多件,环境标准达290多项;核工业企业集团公司结合行业特点,在环境保护方面又颁

布了 30 多件法规;各省(市)、自治区也相应地颁布了环境保护的地方性法规 185 多件及规章 850 多件。《环境保护法》中明确规定:“建设项目中防治污染的设施,必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用”,“谁污染谁治理”等等。这充分说明了我国各级政府对防治污染、保护环境是非常重视的,而且注意将环境保护工作纳入法制化、规范化、制度化的轨道。

我国铀矿工业是从 20 世纪 50 年代末期逐步建设起来的,到 80 年代末期有部分铀矿山面临着退役。退役后的环境整治工作涉及面广,疑难问题多,技术要求高,治理难度大,是一项从未做过的新工作;又无经验借鉴,更无一本较系统的资料和专著参考。作为从事首批退役铀矿山的工作者,在治理实践中,深深体会到急需有一本较系统、较完整、适用性较强的书籍作指导。因此,作者通过对退役铀矿山整治实践及有关资料的学习,以总结经验教训的方式,编写了本书。诚然,本书所介绍的内容和整治方法还很不成熟、很不完善,但却是一次大胆尝试,想借此起到一个抛砖引玉的作用,若能对退役铀矿山整治工作有某些帮助的话,其目的也就达到了。

本书初稿完成后,承蒙南华大学王昌汉教授主审、高级工程师潘英杰、李盈安、李涛审校,同时还承蒙高级工程师陈鼎懿、龚菱芳、周传林及工程师蒋志诚、张仲恒等审阅,他们都提出了许多宝贵的意见,在此一并表示衷心感谢。

由于水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2002 年 3 月

目 录

第 1 章 总论	(1)
1.1 铀矿山的“三废”状况	(2)
1.2 铀矿山退役与整治	(3)
1.3 退役铀矿山的整治标准	(5)
第 2 章 井巷工程封闭	(7)
2.1 基本概念	(7)
2.2 竖井封闭方法	(8)
2.3 斜井封闭方法	(15)
2.4 平峒封闭方法	(19)
2.5 井巷工程封闭防水和堵水设计	(23)
2.6 “三下”开采井下空区治理方法	(31)
第 3 章 废石堆、尾矿库的污染与治理	(34)
3.1 概述	(34)
3.2 铀废石堆和尾矿库的危害	(37)
3.3 治理程序	(45)
3.4 废石堆和尾矿库治理方法	(47)
3.5 尾矿废水中铀和镭的处理方法	(53)
3.6 开展废石和尾矿的综合利用	(56)
3.7 无害化技术	(59)
第 4 章 塌陷坑的整治	(66)
4.1 基本概念	(66)

4.2	回填法	(69)
4.3	水覆盖治理法	(73)
4.4	爆破法充填塌陷坑	(76)
4.5	裂缝治理方法	(77)
第5章	铀矿山土地复垦与绿化	(79)
5.1	铀矿山土地复垦概况	(79)
5.2	铀矿山土地破坏类型和复垦要求	(83)
5.3	塌陷区的复垦方法	(85)
5.4	露天矿坑的复垦方法	(87)
5.5	废石堆场的复垦方法	(97)
5.6	尾矿库的复垦方法	(106)
5.7	矿区环境绿化	(108)
第6章	辐射环境质量评价	(110)
6.1	辐射环境质量评价的目的和意义	(110)
6.2	铀矿山区域自然环境调查	(115)
6.3	辐射环境质量评价的基本原则	(117)
6.4	辐射环境污染调查	(119)
6.5	环境放射性监测	(122)
6.6	向大气释放放射性剂量估算	(128)
6.7	常用气载放射性释放剂量估算	(133)
6.8	液态放射性流出物释放剂量估算	(143)
6.9	集体剂量当量估算	(151)
第7章	其他污染物的清污与治理	(153)
7.1	概述	(153)
7.2	对井下各种设备和器材回收要求	(154)
7.3	铀矿山的表面污染特点	(154)

7.4	铀矿山表面污染机理	(156)
7.5	表面污染的去污方法	(156)
7.6	矿石堆场和矿石转运站的治理方法	(161)
7.7	运矿公路、索道、铁路专用线的清理方法 ...	(163)
7.8	农田和水塘的清污方法	(164)
第8章	环境整治经济评价	(167)
8.1	概述	(167)
8.2	环境经济最优化模型	(169)
8.3	费用—效益分析法	(172)
8.4	代价—利益分析法	(173)
8.5	代价—效能分析法	(174)
8.6	代价—利益分析法在铀矿山的应用	(176)
第9章	加强治理后的环境管理工作	(179)
9.1	基本概念	(179)
9.2	环境管理现代化	(185)
9.3	环境管理体制	(188)
参考文献		(191)

第1章 总 论

人是依存于环境的,而环境是由人来改造的,这是历史发展的客观规律。人们在改造自然、发展生产和提高生活水平等方面,已经收到了巨大成效。与此同时,人们也越来越清楚的看到,在改造大自然、向大自然索取物质财富时,自然环境也受到了不同程度的破坏,从而也直接影响到人们的生存环境。众所周知,随着现代化工业的迅速发展,城市人口的急剧增加和集中,生产和生活水平的不断发展、改善和提高,加之对自然资源利用上的盲目性,造成了自然环境的严重污染和破坏。尤其是近几十年来,地球的污染,已经由局部性的污染发展成全球性的“公害”,因此,防治污染、保护环境已成为人们关注的重大问题,也是当前环境科学研究的重大课题。

采矿工业是工业发展的基础。现代化工业和科学技术需要原材料,也就需要采矿工业。搞现代化工业,不搞采矿工业就是无米之炊。而核工业是现代化工业不可缺少的一部分,发展核工业,同样也要首先发展铀矿开采工业。然而,铀矿资源又是不能再生的工业原料,因此,合理地开采和保护铀矿资源也是非常重要的。值得注意的是,开采铀矿资源与开采其他矿产资源一样,都不可避免的要破坏自然环境,它所开采的矿石和产生的“三废”都具有放射性,它对环境所造成的污染除与其他矿山相同外,还有放射性的污染和危害。由此可见,在开采铀矿资源的同时,应确保铀矿资源开采的合理性和充

分性。在铀矿建设和开采过程中,应加强辐射防护,防止和尽量减少由于开采所造成的对环境的破坏与污染。铀矿山退役后,对矿区环境要进行全面的、综合性的整治,是非常重要的。这是本书研究的重点。

1.1 铀矿山的“三废”状况

我国铀矿床具有类型多、品位低、矿化不均匀、矿体规模小且分散及矿体埋藏复杂等特点,造成矿山开拓工程量大,采矿贫化率高,废石产生量大。

废石和尾矿产生量 在铀矿开采过程中,所产生的大量废石,均排放和堆积在地表,它不但占用了土地,而且对环境造成了一定的污染和危害。地下开采的废石产生量为矿石量的0.7~1.5倍。露天开采的废石产生量为矿石量的5~8倍,废石中铀含量为30~300 mg/kg,镭含量为370~7 400 Bq/kg,氡析出率一般为0.1~20 Bq/(m²·s),还含有其他放射性核素和金属元素。有的铀矿山还有与之配套的水冶厂,其尾矿产生量基本与矿石量相等,尾矿中铀含量一般为80~100 mg/kg,镭含量一般为8 500~55 000 Bq/kg,氡气析出率一般为1.85~16.53 Bq/(m²·s),还含有其他放射性元素和重金属元素。它是铀矿山的主要污染源,是退役铀矿山的整治重点。

废气产生量 铀矿山的废气排放有大量的氡和放射性气溶胶,同时还含有其他放射性核素,其中以氡的排放量最大,它是关键核素。

废水产生量 铀矿山废水排放中的铀含量与废水的pH

值有关,当废水中 pH 值小于 3 时,废水中铀含量在 10 mg/L 左右,在废水中各种核素排放量以天然铀为主。

据铀矿山辐射环境质量评价表明,在正常生产的铀矿山,“三废”所产生的放射性对居民的照射中,关键居民组为邻近矿区的居民点,关键核素为氡,关键途径为空气吸入,但少数铀矿山在某些年份里,关键核素也有是 ^{210}Po 的,关键途径为食入(鱼、农产品、水),在集体有效剂量当量中氡的贡献最大,约为 89.8%。

众所周知,由于铀废石中有一定铀含量及几乎全部子体,尾矿中残留一定的铀含量和矿石中几乎全部铀系衰变子体,大约 99%的 ^{230}Th 和 ^{226}Ra 残留在尾矿中。因此,废石和尾矿中的放射性核素含量比本底高 2~3 个数量级,由于它的迁移和扩散,造成环境污染。而母体核素半衰期相当长,如 ^{238}U , ^{230}Th , ^{226}Ra 等,都在成千上万年以上,它们衰变释放氡及短寿命氡子体,以及 ^{210}Po 和 ^{210}Pb ,构成对环境的长久潜在危害,所以这是一项关系到未来几代人的长期安全问题。这就是退役铀矿山的环境整治工作的重要性和必要性。

1.2 铀矿山退役与整治

1.2.1 铀矿山退役

铀矿山退役是指:对永久中止运行的铀矿冶设施所做的善后处理,以保证工作人员和公众免受残留放射性的照射和其他可能的危害(据 GB 14586—93)。这种退役,在进行经济、技术和安全等方面的论证后,需经上级主管部门审批。

1.2.2 整治要求与原则

退役铀矿山的整治工作是一项非常复杂的综合性的治理系统工程。其中无论哪一项工作没有做好,都会影响其综合效果。因此,要全面系统地对矿区的井巷工程、塌陷坑、废石堆、尾矿库、贮矿场、工业场地、受污染的设备和器材及受污染的农田、水体等,进行彻底的清污、治理和处置,使矿区的污染程度降低到人们可以接受的水平,使矿区的土地复垦、造林植被等都有明显的改善,使矿区的环境质量有很大的改善和提高。

由于我国铀矿床的上述特点,以及我国地域辽阔,铀矿山所处地区社会条件、地理自然条件和气候条件相差悬殊等情况,决定了我国退役铀矿山整治工作的特点和一般应遵循的原则。

(1) 坚持突出重点,因地制宜,彻底清污的原则

根据退役铀矿山所处的地理自然位置、人口密度状况、气候条件及污染严重程度等有重点地进行规划和治理工程设计。这种规划和设计要因地制宜,使整治后的污染程度降低到人们可以接受的水平。

(2) 坚持先易后难,分类处置的原则

对于治理工程难度大、治理方案一时难以确定或对治理后的效果难以预计的治理工程,要做必要的前期调研和试验工作,同时还要收集有关资料进行科学评价。在此基础上,进行可行性研究论证,提出技术可靠、方案可行、经济合理,并能达到预期治理目标的可行性研究报告,经上级批准后,再行治理工程的方案设计、施工设计与组织工程施工等。

(3) 坚持按程序进行退役的原则

退役铀矿山环境治理的制约因素多,情况复杂,要根据有关规定进行退役。退役单位首先要编制退役申请报告,经上级主管部门批准后,委托有资格单位编制退役环境治理可行性研究报告和环境影响评价报告等报主管部门审批,经上级批准后方能进行退役治理工程设计和施工等。

(4) 坚持辐射防护最优化原则

环境治理工程是一项综合性的系统工程,要做到技术可靠、经济合理、效果最优,必须要有科学的态度。在治理前,要对退役矿区一定范围内的工农业生产状况、人口分布、社会状况、地形地貌、气候条件和污染源的分布、数量、污染程度与水体、生物、土壤等污染状况以及对污染源项进行全面的系统的取样、分析,提出治理可行性研究报告和辐射环境质量评价报告,经过经济、技术论证和科学分析后,选择技术可行、经济合理、安全可靠、效果最优的治理方案。

1.3 退役铀矿山的整治标准

我国于1988年颁布了《辐射防护规定》的国家标准,并明确规定:“伴有辐射照射的一切实践和设施的选址、设计、运行和退役,都必须遵守本规定”;“一切伴有辐射照射的实践和设施,都应当符合实践的正当性和辐射防护最优化的原则,并确保个人所受的照射低于相应的剂量限值”;“辐射防护最优化必须贯穿于实践和设施的设计、运行和退役的全过程”等等,还对个人剂量限值、 γ 辐射剂量、 α 表面污染程度、氡气析出率等有关辐射防护限制标准等都作了明确的规定。在退役铀矿

山整治工程的可行性研究、治理工程设计和施工及最终的整治工程验收等过程中必须遵守和执行上述规定。在执行中还不能把这些限值大小作为防护严格程度的惟一量度,也不能把剂量限制作为安全与危险的分界线。众所周知,辐射防护的目的,在于防止发生非随机性效应,并将随机性效应的发生率降低到可以接受的水平。因此,必须遵循辐射防护三原则,即实践的正当性,辐射防护的最优化和对个人剂量的限制。在这三原则中,正当性是由行政机关做出的,个人剂量限制已有规定的数值,而辐射防护的最优化,是我们研究的重点,在研究过程中,要因地制宜,即充分考虑到所处的地理自然位置、人口密度、气候条件等因素。

辐射防护最优化与源项有关,主要是保护群体,个人剂量限值与个人相关,主要保护个体。这是最优化的约束条件。个人剂量限值是指不可接受水平的下限,而在执行中尽可能向限值接近的原则。因此,在退役铀矿山整治工程设计、施工和验收时,首先应该是评价辐射防护最优化达到的程度,如果最优化水平达到了,其辐射防护标准也就达到了。其次,根据辐射防护最优化原则,使其治理后的环境,公众所受剂量水平达到合理的,尽可能低的程度。

第 2 章 井巷工程封闭

2.1 基本概念

矿山,它是生产矿石的,不论资源储量有多大,它总是有一定的服务年限,即总有一天要将矿区矿石探清采尽的。特别是铀矿井,它具有储量小,服务年限短等特点,当矿井储量探清采尽后,就完成了它的历史使命,因此,它就要“退役”。而矿井退役时,为了防止井下废水和废气排出地表而继续污染环境,首先要将通往地表的各种井巷和通道进行封闭。

铀矿井除具有与其他矿井相同的特点外,它的废水、废气和废石等均有放射性。因此,井巷工程的封闭更具有它的特殊要求,这种封闭必须是坚固、牢靠和严实的。封闭后,必须使矿井成为与地表完全隔绝的封闭体。

井巷工程封闭,分为永久封闭和非永久封闭。

永久封闭 在井田范围内,按设计要求,对其铀资源已探清采尽,并在深部或两翼均无工业储量或远景储量、也无其他矿种储量或远景储量的矿井,经上级主管部门核实批准后。均可按永久矿井封闭处置。其封闭体的服务年限至少在 200 年以上。

非永久封闭 在井田范围内,按设计要求,对铀矿资源虽已探清采尽,但在井田深部或两翼还有工业储量或远景储量,

或有其他矿种的工业储量和远景储量的矿井;或者由于出现下列一种或几种情况,无法继续开采的矿井:①地质品位明显变化,②矿体形态变得复杂,③矿体规模变小,储量减少,④水文地质条件改变,如涌水量过大,⑤地温太高,⑥井下其他重大灾害等等,都要进行技术、经济、安全等方面的论证,经上级主管部门核实批准的,均可按非永久矿井封闭处置。

随着国民经济的发展与科学技术的进步,非永久性封闭矿井在若干年后有重新恢复生产的可能。因此,在设计和实施非永久性封闭时,既要考虑封闭体在封闭期间的安全可靠,也要考虑恢复矿井时的安全方便。

2.2 竖井封闭方法

2.2.1 永久封闭

填实法 用废石或泥土填充全井筒(图 2.1)。在填充过程中,每填充 10~20 m 时,要向井筒内注入无压水,以加快填充料的压实。填满全井筒后,待 3~6 个月,使其基本充实和稳定,整平井周围,将其井口和周边用水冲洗干净、打毛,在井口处用钢筋混凝土整体浇灌进行封闭。并与井口紧密结合为一体。其大小为井径 D 的 2 倍,厚度为 0.4~0.5 m,井口封闭形式采用平面圆形(图 2.2)或圆拱形(图 2.3)。再覆盖黄土,厚度为 1~2 m,范围为井径 D 的 3~5 倍,高出地表 1 m 以上,设永久性标志。

为了防止在井筒中,由于填充料的自重及水的作用,使充填料沿井筒整体下滑,造成填充后井筒中形成空洞和不稳定,甚至失去充填作用,造成塌井事故。因此在井筒进行填充前

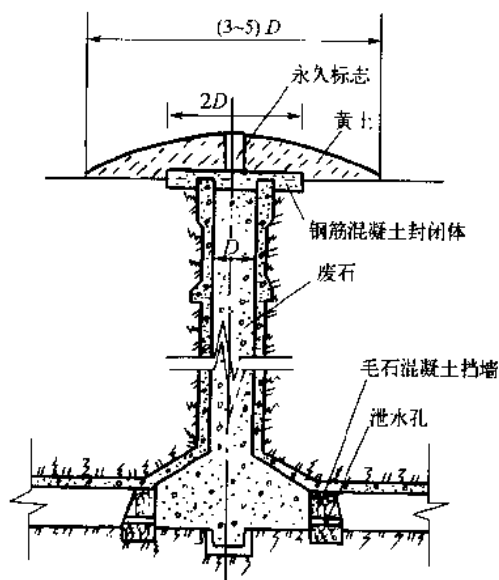


图 2.1 竖井充填封闭图

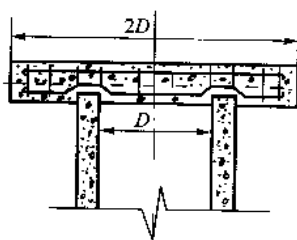


图 2.2 竖井井口整体封闭图

必须在井底马头门颈部(如井筒为多中段开拓,均在各中段井