

蔡耀春
王兴泉 编
王方瑶
傅铁城

铀水冶厂的通风与防尘



原子能出版社

内 容 简 介

本书介绍了铀水冶厂的工艺特点及有害物来源、通风与防尘的设计技术资料、设备维护检修方法、有害物质及通风系统的测定、医疗预防与卫生保健等方面的内容。

本书可供铀水冶、冶金、化工等工业部门的工矿企业的技术人员和工人以及从事通风与防尘、安全防护和环境保护工作的工程技术人员、设计研究人员和工人参考。

铀水冶厂的通风与防尘

蔡耀春 王兴泉 编
王方瑶 傅铁城

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

国防科工委印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $19^{1/4}$ · 字数 428 千字

1983年1月第一版·1983年1月第一次印刷

印数001—1500·统一书号: 15175·439

定价: 2.80元

前 言

编写《铀水冶厂的通风与防尘》一书的目的在于：为原子能事业的铀水冶厂提供一套比较完整的防止放射性有害气体及放射性粉尘对人造成危害的办法，以贯彻、执行国务院《关于防止厂矿企业中矽尘危害的决定》、卫生部《放射防护规定》、《工业企业设计卫生标准》和国家标准《工业“三废”排放试行标准》等有关规定，达到保护职工和居民的身体健康和发展生产的目的。

本书的主要内容包括：铀水冶厂通风与防尘的设计技术资料、设备维护检修方法、通风与防尘效果的检测及职业性疾病的医疗与预防等内容。本书可供铀水冶、冶金、化工等工业部门的工矿企业的技术人员和工人以及从事通风与防尘、安全防护和环境保护工作的工程技术人员、设计研究人员和工人参考。

本书是由从事设计、生产、科研工作的几位同志集体编写的。第一章至第四章由蔡耀春编写，第五章、第六章、第七章分别由王兴泉、王方瑶、傅铁城编写。作者在编写本书之前，曾对国内主要铀水冶厂的通风与防尘工作做了比较详细的调查。参加调查工作的还有林修良、崔殿忠、陈东文、孙竞、傅子佩、张顺民等，他们为本书的编写提供了资料。参加本书审查工作的有李承汀、沈荣江、栾弘、易金保、尤源庆等。此外，李沛、王帮定、林善容、肖宝鉴、岑奋云、黄超、刘泽清等分别对本书的有关章节提出了宝贵意见，朱润菊、彭碧云等对本书的编写给予协助，在此一并表示感谢。

由于水平所限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者 1980年10月

绪 论

铀是一种天然放射性元素，元素符号为U，原子序数为92，原子量为238.07。铀的比重为18.7，它是自然界中最重的元素，位于元素周期表中第七周期第六族。在自然界中，铀有 ^{238}U 、 ^{235}U 、 ^{234}U 三种核素，其中 ^{238}U 的丰度为99.28%、 ^{235}U 为0.714%、 ^{234}U 为0.006%。

铀水冶工艺是原子能工业的一个重要组成部分，铀水冶厂的基本任务是将开采出来的具有工业品位的含铀矿石，加工生产成含铀量较高的重铀酸铵、三碳酸铀酰铵、铀的氧化物或四氟化铀，为进一步制备各种类型的核燃料提供核纯产品。

铀水冶厂在生产过程中产生的有害物有放射性粉尘、氡气及其子体、放射性气溶胶、非放射性的氮氧化物、氨气、氟化氢和各种酸雾等。铀水冶厂通风与防尘的任务是防尘、降氡以及防止其他有害物质对人体造成危害。

我国在长期的防尘实践中，除建立和健全了安全防护体制以外，还总结了一套比较完整的通风与防尘的综合措施：即“水（物料加湿及湿法清扫）、密（对有害物发生源进行密闭）、风（通风和吸气除尘）、改（改进工艺流程）、管（通风设备的维护管理）、护（个人防护）、宣（宣传教育）和查（剂量监测及体格检查）”。实践证明，实现了这些综合措施是完全可以使铀水冶厂工作场所空气中的有害物浓度控制在国家卫生标准规定的容许范围以内的。

在工艺流程、机械化和自动化程度、厂房建筑、给水排水、总平面布置等各个方面，均应充分考虑通风与防尘的综合措施的贯彻。必须指出：生产工艺流程的选择和生产设备的配置是决定通风与防尘效果的先决条件。众所周知，对粉状物料采取人工运输、人工装卸、随地堆放的生产方式，是不能做好通风与防尘工作的。

放射性粉尘、氡气、气溶胶等有害物质对人体的危害以及由此可能产生的矽肺病和其他放射性损伤，必须依靠预防，而不能只靠治疗来解决问题。问题的根本解决在于坚决执行国务院《关于防止厂矿企业矽尘危害的决定》、卫生部《放射防护规定》和国家标准《工业“三废”排放试行标准》，认真贯彻通风与防尘的综合措施，切实把铀水冶厂生产过程中产生的有害物控制在国家卫生标准容许范围以内，以保证职工和居民的身体健康，达到发展生产的目的。

铀水冶厂各个作业地点的空气中有有害气体和粉尘的最高容许浓度如表1所示。送入车间中的空气中的有害气体、粉尘和放射性气溶胶的含量不得超过国家规定工作场所最大容许浓度标准的30%，否则要予以净化处理。通风与除尘系统排往大气中的空气，所含有的粉尘、有害气体、放射性气溶胶超过国家规定工作场所最高容许浓度10倍以上时，必须经过有效的净化处理后，方可排出。

表1 铀水冶厂作业地点的空气中有害物质的最高容许浓度

编 号	有 害 物 质 名 称	最高容许浓度 (毫克/米 ³)
一、有 害 物 质		
1	氡	3×10^{-11} (居里/升)
2	矿仓内的氡气	1×10^{-10} (居里/升)
3	α 放射性气溶胶	1×10^{-14} (居里/升)
4	锰及其化合物(换算成 MnO_2)	0.3
5	钼(可溶性化合物)	4
6	钼(不溶性化合物)	6
7	碱性气溶胶(换算成 $NaOH$)	0.5
8	铀	0.02
9	三氧化二砷及五氧化二砷	0.3
10	氟化氢	1
11	氨	30
12	氧化氮(换算成 N_2O_5)	5
13	硫酸及三氧化硫	2
二、生产性粉尘		
1	含有80%以上游离二氧化硅的粉尘	1
2	含有10%以上游离二氧化硅的粉尘	2
3	含有10%以下游离二氧化硅的粉尘	10
4	其他各种粉尘	10

目 录

绪论

第一章 铀水冶工艺特点及有害物的来源 (1)

第一节 铀水冶工艺和卫生防护的特点 (2)

一、铀水冶工艺流程的特点 (2)

二、铀水冶厂的卫生防护的特点 (5)

第二节 有害物的来源 (7)

一、放射性粉尘 (7)

二、氦气 (8)

三、放射性气溶胶 (9)

四、其他化学有害物质 (9)

第三节 铀衰变系和有关的计算方法 (10)

一、衰变定律 (14)

二、衰变常数与半衰期 (15)

三、放射性的衰变关系 (16)

四、放射性核素的量与放射性强度的关系 (18)

第二章 防尘与降氦 (20)

第一节 隔离操作和自动控制 (20)

第二节 设备密闭 (23)

一、设备密闭的型式 (23)

二、密闭罩的设计原则 (24)

三、密闭设施的严密性处理 (25)

四、设备密闭的方法 (30)

五、密闭材料 (39)

第三节 吸气除尘 (40)

一、除尘系统的设计原则 (40)

二、设备除尘吸风量的确定 (41)

第四节 除尘管道及其计算 (64)

一、除尘管道的规格 (64)

二、除尘管道计算 (65)

三、除尘管道真长真角的确定	(122)
第五节 加湿作业和湿法清扫	(130)
一、水力除尘	(130)
二、蒸汽除尘	(132)
第六节 降氡	(134)
一、氡气量的计算	(134)
二、排氡所需空气量的计算	(138)
三、关于矿石仓库的氡气排出问题	(140)
第三章 通风	(141)
第一节 局部通风	(141)
一、局部通风系统的设计原则	(141)
二、局部通风量的计算	(145)
第二节 全面换气	(159)
一、放射性厂房的分类与分级	(160)
二、铀水冶厂的放射性强度的计算	(162)
三、全面换气量的确定	(166)
第三节 有害气体的净化与回收	(168)
一、放射性气体的净化	(168)
二、其他有害气体的净化	(173)
第四节 有害气体的大气扩散	(178)
一、大气扩散的原则	(178)
二、有害气体高空排放的计算	(181)
第五节 送风	(184)
一、送风室	(184)
二、百叶窗及保温阀	(185)
三、空气过滤器	(188)
四、空气加热器	(200)
五、空气分布器	(217)
六、通风管道计算	(219)
第四章 除尘的和通风的设备	(227)
第一节 常用的除尘器	(227)
一、旋风除尘器	(227)

二、袋式除尘器	(239)
三、水膜除尘器	(250)
四、CPM 型泡沫除尘器	(259)
五、电除尘器	(261)
第二节 除尘器的卸尘装置	(274)
一、斜板式自动卸尘阀	(274)
二、双层斜板式自动卸尘阀	(275)
三、圆锥式闪动阀	(276)
四、电动回转卸尘阀	(277)
五、螺旋卸尘机	(278)
六、水封排浆阀	(279)
第三节 湿式除尘器的泥浆处理设施	(280)
一、综合利用	(280)
二、耙式浓密机的计算与选择	(282)
三、水管的水力计算	(285)
四、泵的选择	(295)
五、浓密机处理含尘废水的流程	(316)
第四节 通风机与电动机的选择	(319)
一、离心式通风机	(319)
二、4-72-11 (或B4-72-11) 型离心式通风机	(324)
三、7-40-11 型离心式通风机	(364)
四、6-46-11 型离心式通风机	(369)
五、营塑-A 式塑料离心式通风机	(419)
六、离心式通风机选择例解	(421)
七、轴流式通风机	(422)
八、30K ₁ -11型轴流式通风机	(422)
九、B 30K ₁ -11型防爆轴流式通风机	(440)
十、电动机	(442)
十一、JO ₂ 系列电动机	(442)
十二、BJO ₂ 系列防爆电动机	(451)
十三、JS 系列电动机	(457)
十四、J 和 JO 系列电动机	(462)

十五、JBS系列防爆电动机·····	(471)
十六、JCL 型电动机 ·····	(473)
十七、电动机的选择和计算 ·····	(473)
十八、通风机和电动机的附件 ·····	(474)
第五章 通风防尘装置的管理与维修·····	(485)
第一节 通风防尘装置的管理 ·····	(485)
一、通风防尘降氡的管理机构 ·····	(485)
二、通风防尘降氡的管理制度 ·····	(488)
三、通风防尘装置的技术档案 ·····	(489)
第二节 通风防尘装置的维护检修 ·····	(492)
一、通风防尘装置维修计划的编制 ·····	(492)
二、通风机的维修 ·····	(494)
三、旋风除尘器的维修 ·····	(497)
四、脉冲袋式除尘器的维修 ·····	(499)
五、泡沫除尘器的维修 ·····	(502)
六、水膜除尘器的维修 ·····	(506)
七、电除尘器的维修 ·····	(507)
八、通风防尘管道的维修 ·····	(511)
第三节 通风除尘装置的运行 ·····	(513)
一、通风除尘装置运行前的准备 ·····	(513)
二、通风机的启动与调整 ·····	(514)
三、通风除尘设备的操作 ·····	(514)
第六章 空气中有害物质与通风系统的测定 ·····	(521)
第一节 空气中有害物质的测定 ·····	(521)
一、空气样品的采集 ·····	(521)
二、空气中粉尘浓度的测定 ·····	(526)
三、粉尘中游离二氧化硅含量的测定 ·····	(528)
四、粉尘分散度的测定 ·····	(531)
五、氡气浓度的测定 ·····	(538)
六、长寿命 α 放射性气溶胶浓度的测定·····	(547)
七、空气中微量铀的荧光测定 ·····	(549)
八、二氧化锰含量的测定 ·····	(552)

九、空气中硫酸雾含量的测定	(554)
十、空气中氮的氧化物含量的测定	(555)
十一、空气中氨含量的测定	(560)
十二、空气中胺类含量的测定	(562)
第二节 通风系统的测定	(564)
一、风压的测定	(565)
二、风量计算	(572)
第三节 除尘效率的测定	(572)
一、除尘器净化效率的表示方法	(572)
二、除尘器净化效率的测定	(574)
第七章 医疗预防与卫生保健	(583)
第一节 各种有害物质对人体的危害	(583)
一、粉尘	(583)
二、氦及其子体	(584)
三、放射性气溶胶	(586)
四、酸雾	(589)
五、氮的氧化物	(589)
六、氨	(590)
七、磺化煤油	(590)
八、有机胺	(590)
九、二氧化锰	(591)
第二节 卫生保健措施	(591)
一、个人防护用具的介绍	(591)
二、工作服的管理与清洗	(593)
三、浴室的管理	(593)
四、作息制度的合理安排	(594)
五、搞好环境卫生的重要性	(594)
第三节 医疗预防措施	(595)
一、职工的体格检查	(595)
二、铀水冶厂各主要岗位之职业不适应症	(600)
三、职业病患者的安置	(601)
四、职工健康档案的管理	(602)

第一章 铀水冶工艺特点及有害物的来源

从铀矿资源的勘探到生产出 ^{235}U 和 ^{239}Pu 核燃料的全部过程是极其复杂的，通常是把全部过程划分成几个部分来组织生产的。核燃料的大致生产过程如图1-1所示。

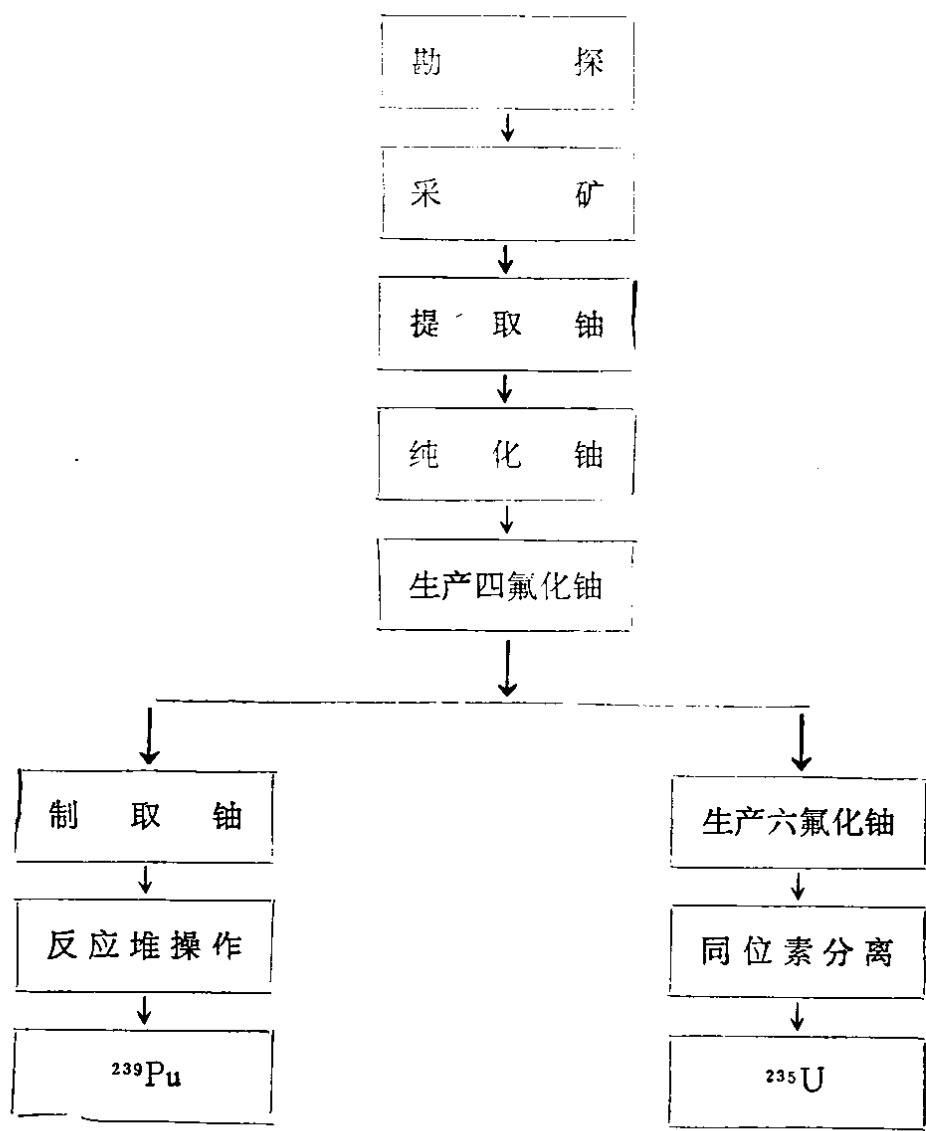


图1-1 核燃料生产过程系统简图

铀水冶厂的任务是将铀矿石加工生产成含铀量较高的重铀酸铵、三碳酸铀酰铵、铀的氧化物和四氟化铀等产品。生产过程通常采用湿法冶炼工艺，俗称铀水冶工艺。本章将介绍铀水冶工艺的特点、有害物的来源及其有关的计算资料等。

第一节 铀水冶工艺和卫生防护的特点

铀水冶工艺的特点是具有放射性，所以它与一般冶金工艺是有区别的。现将铀水冶工艺流程特点及卫生防护特点分述于后。

一、铀水冶工艺流程的特点

从铀矿山开采出来的铀矿石，通常只含有0.05—0.3%的铀，在一般情况下，采用机械选矿方法来处理铀矿石，只能分离废石和除去一些有害杂质，或者回收其中有用的伴生元素。如果要获得铀含量在40%以上的精矿，同时使废弃的尾矿的铀含量在0.0015%以下，必须采用化学方法来处理铀矿石。

铀的化学处理方法，主要是根据铀的化学特性来确定的。含铀矿物能与酸或碱起化学反应，生成可溶于水的铀化合物。因此需要先将含铀矿石破碎、磨矿，使铀矿物充分暴露出来，然后往矿浆中加入硫酸或碳酸钠，把铀从矿浆中浸取出来，通过分级、洗涤、过滤，除去矿渣，再采用化学沉淀、离子交换、溶剂萃取等方法，从清液或矿浆中提取铀，制得铀化学浓缩物或核纯的铀化合物。现将一般常见的铀水冶工艺流程简单介绍如下。

1. 酸浸、矿浆吸附流程

含铀矿石经过破碎、磨矿以后，用硫酸浸出，然后对浸出的矿浆进行分级和粗砂洗涤，使矿浆中95%以上的矿物达到200目以下的粒度，才能满足吸附作业的要求。含细泥的矿浆一般还要用石灰乳进行部分中和，以降低溶液的酸度(pH值等于2左右)。中和后的矿浆送到吸附工序，用离子交换树脂进行交换吸附，吸

附达到饱和后，要用水冲洗树脂层，以除去树脂中夹带的泥砂。然后用硝酸等淋洗液淋洗树脂的铀，得到铀淋洗液，用氨水中和到 $\text{pH}=6.5-7$ ，此时铀便以 $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ 的形式沉淀下来，过滤后，就得到铀的化学浓缩物。矿浆吸附流程如图 1-2 所示。

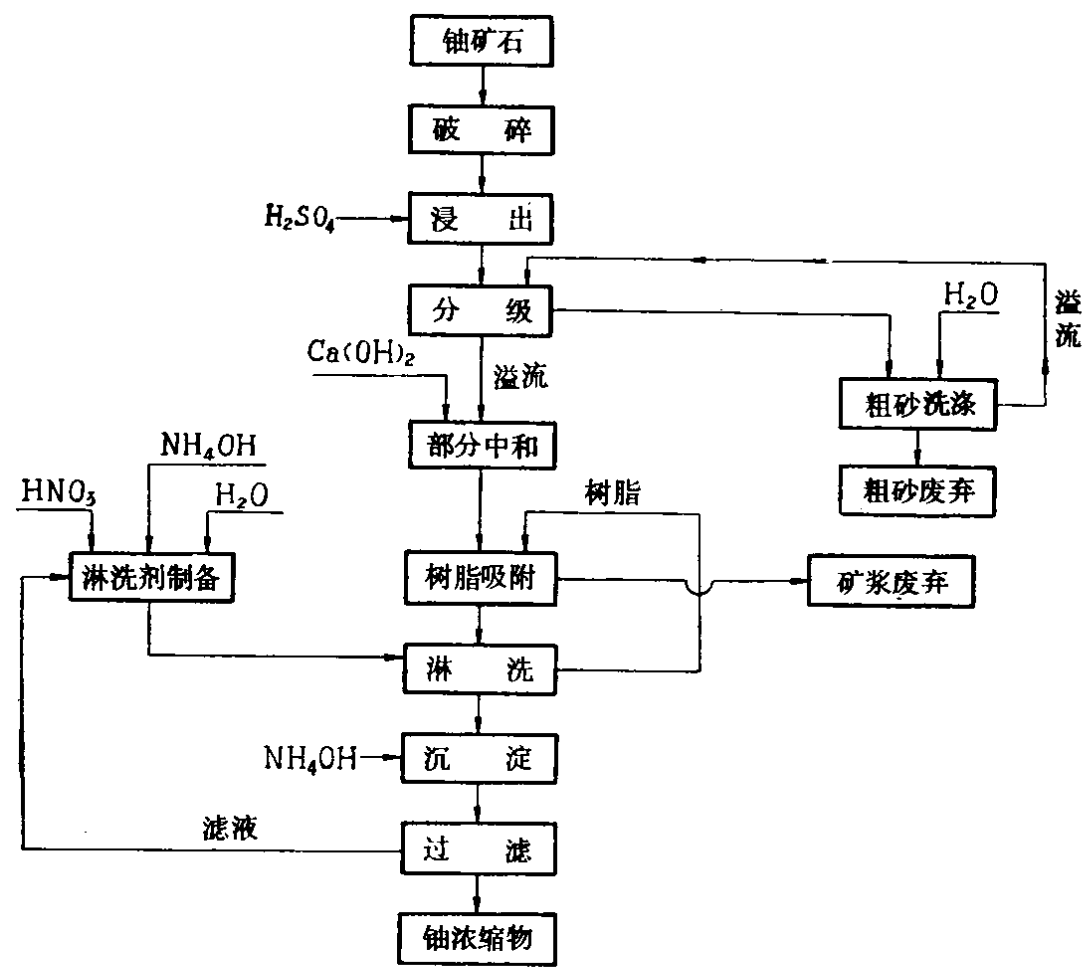


图1-2 矿浆吸附流程

2. 酸浸、清液吸附流程

清液吸附流程与矿浆吸附流程相似，主要是在吸附之前要通过逆流倾析或过滤操作来制备含铀清液，然后采用离子交换树脂进行清液吸附作业。

3. 酸浸、清液萃取流程

酸浸、清液萃取流程是将硫酸浸出后的矿浆进行逆流倾析及细泥检查过滤，然后用溶剂萃取法回收浸出液中的铀。常用的萃

取剂是有机胺（如三脂肪胺），这种萃取剂能从硫酸介质中萃取铀，其饱和有机相可以采用 NaCl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等溶液进行反萃取。反萃取水相用氨水沉淀，过滤后，即可得到重铀酸铵浓缩物。

4. 碱法流程

碱法流程通常用于处理碳酸盐含量较高的铀矿石。碱法浸出所用的主要试剂是碳酸钠(Na_2CO_3)，它对铀的浸出能力要比硫酸差，为了提高浸出率，常常采用高温、高压浸出，浸出后的矿浆采用浓密或过滤的方式得到清液，然后用 NaOH 沉淀，得到化学浓缩物。

5. 直接生产四氟化铀的流程

四氟化铀是铀冶金中的重要中间产物。目前生产四氟化铀一般都是把铀水冶厂生产的三碳酸铀酰铵进行煅烧得到二氧化铀，然后采用干法或湿法氟化，制取四氟化铀。

由于科学技术的发展，不经过二氧化铀阶段而直接生产四氟化铀的方法现已研究成功，使铀的生产过程减少了很多工序。

这种流程的主要过程是，矿浆经硫酸浸出和逆流倾析后送往萃取工序，用硫酸反萃取得到硫酸铀酰溶液，经电解还原，再用氢氟酸沉淀出四氟化铀。经过滤、干燥脱水后，就可得到无水四氟化铀产品。直接生产四氟化铀的流程如图 1-3 所示。

6. 从含铀煤矿中提取铀

从含铀煤矿中提取铀，不采用原煤浸出的方法，因为原煤中含有大量的有机物，使浸出、固液分离、吸附、萃取等工序的操作都很困难；且原煤直接用硫酸浸出，处理量大，煤的热能不能利用，造成热能损失。因此，通常是将含铀煤先进行灰化，再从煤灰中提取铀。煤的灰化采用特制的煤粉锅炉，燃烧含铀煤，可以利用含铀煤燃烧的热能发电或生产蒸气。在灰化后的煤灰中，铀得到了富集，其品位可达到 1% 左右。燃烧后的含铀煤灰的粒度极细，可用硫酸进行浸出。

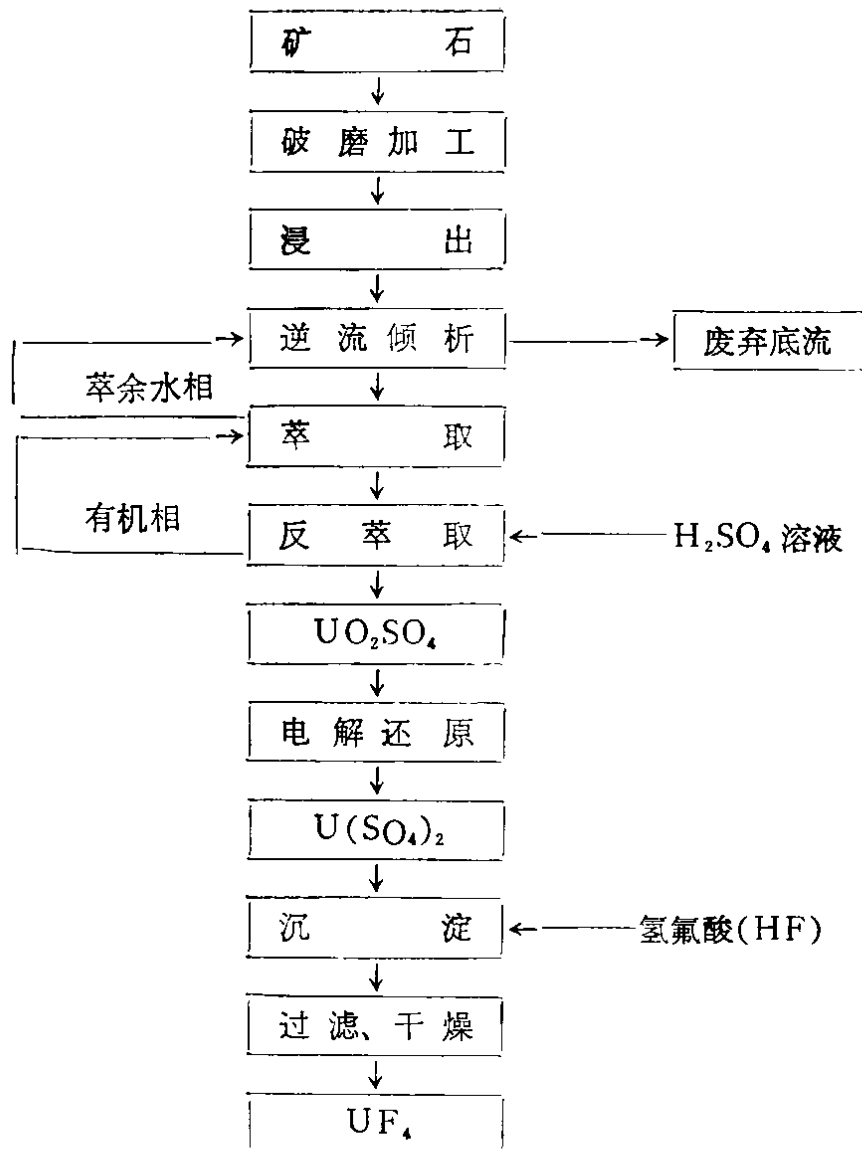


图1-3 直接生产四氟化铀的流程示意图

二、铀水冶厂的卫生防护的特点

铀水冶厂属于开放型放射性工作单位，在工厂的总平面布置上要符合卫生防护的要求。居民区的位置要根据当地的地理及气象条件布置在受污染最小的地方。居民区与放射性及有毒物质的污染源之间，要有足够宽的卫生防护地带，防护地带的宽度，一般要大于 500 米。在卫生防护地带内不能布置与生产无关的建筑物，也不能种植农作物。

水冶厂的厂房（或车间）布置要求划分为三个区域：污染

区、过渡区和非污染区，要注意避免交叉污染。在厂区内，非放射性辅助厂房（或车间）应布置在厂区内受污染最小的地方，并与污染源要保持一定的距离。

在铀水冶厂里，各车间的设备要根据污染水平的高低和生产工艺的需要来合理布置，同时应考虑到事故处理和设备检修的安全防护要求。

在铀水冶厂工作的工作人员，要配备专用的工作服，内衣和胶靴，并配带高效、低阻的卫生防护口罩，一般来说不允许穿便服出入放射性工作场所。

为了保持生活区的清洁，运输放射性物资的车辆不允许进入生活区。更不准使用运输放射性物质的车辆运输食品。

在铀水冶厂的工作人员出入口，需要设置供放射性工作人员专用的卫生通过间。卫生通过间包括便服更衣室、剂量检查室、淋浴室、工作服更衣室等。合理布置上下班人员的人流路线，使之不要交叉污染。放射性工作人员上、下班的人流路线如图 1-4 所示。

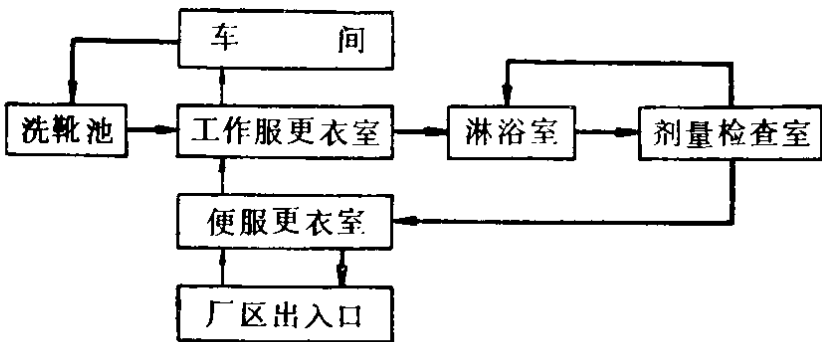


图1-4 放射性工作人员上、下班人流路线图
→上班路线 ➡下班路线

图 1-4 表明，上班的工作人员进厂后到便服更衣室脱去便服，穿拖鞋到工作服更衣室，换好工作服，穿好靴、袜，带好防护口罩，到车间进行工作。下班的工作人员到卫生通过间的洗靴池冲洗胶靴，去工作服更衣间脱去工作服，到淋浴室淋浴，将全