

高等学校试用教材

铀矿物学

王德荫、傅永全 编

原子能出版社

高等学校试用教材

铀 矿 物 学

王德荫 傅永全 编

原 子 能 出 版 社

内 容 简 介

本书内容包括铀矿物的基本特征、铀矿物各论和鉴定方法。全书分通论和各论两部分。通论着重阐述了铀矿物的晶体化学性质和与铀矿物成因有关的铀的化学性质。各论着重描述了铀矿物的基本性质、铀矿物的晶体结构和铀矿物的形成条件。各论分三章：四价铀矿物、六价铀矿物和含铀矿物。书中收入了1979年3月以前发表的148个铀矿物和含铀矿物的资料，并反映了近年来我国铀矿物的研究成果。书末附有铀矿物及含铀矿物鉴定表和X射线粉末分析鉴定表索引。

本书可作为放射性矿产地质与勘探专业的教材，亦可供有关岩矿鉴定人员和地质人员参考。

* * *

责任编辑 姜利民

高等学校试用教材

铀 矿 物 学

王德荫 傅永全 编

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

国防科委印刷厂印刷

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 $16^{1/8}$ ·字数427千字

1981年7月第一版·1981年7月第一次印刷

印数001—3,000·统一书号：15175·326

定价：2.00元

前 言

铀矿物学是放射性矿产地质与勘探专业的一门专业课。由于矿物的化学组成和晶体结构是决定矿物各项性质的基本因素，因此本教材对铀矿物的晶体化学特点作了详细的介绍，并根据四价铀矿物和六价铀矿物所具有的截然不同的晶体化学性质，将铀矿物各论分为四价铀矿物、六价铀矿物和含铀矿物三章。铀矿物学与铀的地球化学和铀矿床学有密切的关系，因此在本教材的铀矿物成因和产状部分中列举了较多的实际资料，并从理论上作了比较详细的论述。本教材还对各类铀矿物的鉴定特征和主要鉴定方法作了重点介绍，并结合一般岩矿鉴定实验室的条件，编制了铀矿物系统鉴定表。

全书共分二篇六章。第一、四、六章及附录三、四由傅永全编写，第二、三、五章及附录一、二、五由王德荫编写，全书由王德荫统稿，由赵凤民审校，马永焕参加了复审工作。描图工作由成都地质学院绘图室完成。

在为编写本书收集资料的过程中，曾得到北京铀矿地质研究所、湖南230研究所和中国人民解放军00259部队、00279部队等单位的大力协助，对此我们谨表示衷心的感谢。

由于编者的水平和经验有限，书中错误和不妥之处在所难免，请读者给予批评指正。

编者 1979. 10

目 录

前言

第一篇 通 论

第一章 铀的性质	(3)
第一节 铀的放射性	(3)
第二节 铀原子的电子层结构	(5)
第三节 铀的主要化学性质	(7)
一、铀的稳定氧化态	(7)
二、四价铀和铀酰的性质	(10)
三、铀在自然界的化合物	(14)
第二章 铀矿物的基本特征	(16)
第一节 铀矿物的化学成分	(16)
一、四价铀矿物	(16)
二、六价铀矿物	(17)
第二节 铀矿物的晶体化学特征	(18)
一、四价铀矿物的晶体化学特征	(18)
二、六价铀矿物的晶体化学特征	(20)
第三节 铀矿物的形态特征	(26)
一、四价铀矿物	(26)
二、六价铀矿物	(26)
第四节 铀矿物的物理性质	(27)
一、放射性	(27)
二、荧光性	(28)
三、光学性质和其他物理性质	(29)
第五节 铀矿物的成因	(31)
一、岩浆成因的铀矿物	(31)
二、伟晶岩成因的铀矿物	(32)
三、热液成因的铀矿物	(32)

四、沉积成因的铀矿物	(33)
五、后生成因(淋积型、层间氧化带型)的铀矿物	(33)
六、沉积-变质成因的铀矿物	(33)
七、氧化带中的表生铀矿物	(34)
八、现代半人工铀矿物	(35)
第六节 铀矿物的分类	(36)
第三章 铀矿物的鉴定方法	(40)
第一节 铀矿物的鉴定程序	(40)
一、查明放射性矿物	(40)
二、分选矿物	(40)
三、鉴定矿物	(42)
第二节 放射性照相	(43)
一、普通放射性照相	(43)
二、显微放射性照相	(47)
第三节 荧光分析	(49)
第四节 微化分析	(51)
一、铀矿物的溶解度	(51)
二、操作方法	(52)
三、定性微化反应	(52)
四、显微结晶化学反应	(57)
第五节 X射线粉晶分析	(60)
一、样品的准备	(60)
二、照相条件	(60)
三、数据解释	(61)
第六节 热分析	(62)

第二篇 各 论

第四章 四价铀矿物	(67)
第一节 铀的简单氧化物	(67)
一、概述	(67)
二、分述: 晶质铀矿、沥青铀矿、残余铀黑、再生铀黑	(90)

第二节 铀和钍的复杂氧化物	(105)
一、概述	(105)
二、分述: 钍铀矿、斜方钍铀矿、钍铀钛铁矿	(109)
第三节 铀和铈、钼的复杂氧化物	
铈钼铁铀矿、铈钼铀矿	(116)
第四节 铀和钨的复杂氧化物	(120)
一、概述	(120)
二、分述: 褐钨铀矿、紫钨铀矿	(122)
第五节 铀的硅酸盐	(126)
铀石、硅钨铀矿	
第六节 铀的磷酸盐	(132)
稀土磷铀矿, 稀土磷铀矿	
第五章 六价铀矿物	(136)
第一节 铀酰氢氧化物和重铀酸盐	(136)
一、概述	(136)
二、分述	(145)
1. 简单氢氧化物: 柱铀矿	(145)
2. 复杂氢氧化物	(147)
(1) 黄钼铀矿亚组: 黄钙铀矿, 黄钼铀矿, 黄钾铀矿, 黄钾钙铀矿, 黄钾钙钼铀矿, 绿铀矿, 红铀矿, 橙黄铀矿	
(2) 红铅铀矿亚组: 红铅铀矿, 板铅铀矿, 橙红铀矿, 铜铀矿, 钡铀矿, 钙铀矿, 准钙铀矿, 纤铀矿	
3. 重铀酸盐: 水标铀矿	(172)
分类位置未定的矿物: 水斑铀矿, 水丝铀矿	(173)
非晶质矿物: 水沥青铀矿, 水铀矿	(176)
第二节 铀酰硅酸盐	(179)
一、概述	(179)
二、分述	(187)
1. 硅钙铀矿-硅钨铀矿组: 硅钙铀矿, β 硅钙铀矿,	

硅铈铀矿, 硅铜铀矿, 硅钽铀矿, 硅铅铀矿,	
硅钾铀矿	(187)
2. 硅铀矿组: 硅铀矿	(203)
3. 高硅钾铀矿组: 高硅钾铀矿, 高硅钙铀矿, 钙水	
硅铀矿, 镁水硅铀矿	(205)
第三节 铀酰磷酸盐	(212)
一、概述	(212)
二、分述	(224)
1. 钙铀云母-准钙铀云母组: 钙铀云母, 准钙铀云母,	
铜铀云母, 准铜铀云母, 钽铀云母, 准钽铀云母,	
铈铀云母, 铝铀云母, 准铝铀云母, 锰铀云母,	
铁铀云母, 铅铀云母, 氢铀云母, 钠铀云母, 准	
钾铀云母, 铈铀云母	(224)
2. 磷钙铀矿组: 磷钙铀矿, 多水磷铅铀矿, 水磷铅	
铀矿, 磷铅铀矿, 高钙磷钙铀矿, 磷钽铀矿, 钽	
磷铀矿, 磷铀矿	(250)
3. 斜磷铅铀矿组: 斜磷铅铀矿, 假钙铀云母, 芙蓉	
铀矿	(261)
第四节 铀酰砷酸盐	(265)
一、概述	(265)
二、分述	(272)
1. 钙砷铀云母-准钙砷铀云母组: 钙砷铀云母, 准钙	
砷铀云母, 翠砷铜铀矿, 准翠砷铜铀矿, 铈砷铀	
云母, 准铈砷铀云母, 钠砷铀云母, 钾砷铀云母,	
钽砷铀云母, 准钽砷铀云母, 准钽砷铀云母, 准	
铁砷铀云母, 准铁砷铀云母, 铝砷铀云母, 氢砷	
铀云母	(272)
2. 砷钙铀矿组: 砷铀矿, 砷钙铀矿, 砷铅铀矿	(293)
3. 斜砷铅铀矿组: 斜砷铅铀矿, 砷铈铀矿	(297)
第五节 铀酰钒酸盐	(300)
一、概述	(300)
二、分述	(310)

1. 钒钙铀矿-钒钾铀矿组	(310)
(1) 钒钙铀矿亚组: 钒钙铀矿, 钒钙铀矿, 准钒钙铀矿, 钒钡铀矿, 钒铅铀矿, 钒钠铀矿	(310)
(2) 钒钾铀矿亚组: 钒钾铀矿, 钒铝铀矿, 准钒钼铀矿, 钒铜铀矿	(320)
2. 红钒钙铀矿组: 红钒钙铀矿, 钒铀矿	(326)
3. 磷钒铀矿组: 磷钒铀矿	(327)
第六节 铀酰碳酸盐	(328)
一、概述	(328)
二、分述	(334)
1. 纤碳铀矿组: 纤碳铀矿, 水菱铀矿, 菱铀矿	(334)
2. 黑碳钙铀矿组: 黑碳钙铀矿, 副黑碳钙铀矿	(338)
3. 菱钙铀矿组: 菱钙铀矿, 准菱钙铀矿	(340)
4. 菱镁铀矿-纤铀碳钙石组: 菱镁铀矿, 多水碳钙镁铀矿, 水碳钙镁铀矿, 纤铀碳钙石, 碳铅铀矿	(342)
5. 碳钠钙铀矿组: 碳钠钙铀矿, 菱钾铀矿	(349)
分类位置未定的矿物: 菱钙铜铀矿	(351)
第七节 铀酰硫酸盐	(353)
一、概述	(353)
二、分述: 水铀矾族, 水硫铀矿, β 水硫铀矿, 铜铀矾	(356)
第八节 铀酰钼酸盐	(366)
一、概述	(366)
二、分述	(370)
1. 钼铀矿组: 钼铀矿, 镁钼铀矿	(370)
2. 钙钼铀矿组: 钙钼铀矿, 钠钼铀矿	(374)
3. 水钼铀矿组: 水钼铀矿	(377)
非晶质矿物: 多水钼铀矿	(379)
第九节 铀酰亚硒酸盐	(380)
一、概述	(380)
二、分述: 硒铅铜铀矿, 硒钡铀矿, 高硒铜铀矿, 硒铜铀矿	(381)
第十节 铀酰亚碲酸盐	(387)

一、概述	(387)
二、分述: 碲铅铀矿, 高碲铀矿, 碲铀矿	(388)
第十一节 含复合阴离子的铀酰矿物	(391)
一、铀酰硫酸盐-碳酸盐: 板菱铀矿	(391)
二、铀酰硫酸盐-磷酸盐: 铁铝硫磷铀矿, 湘江铀矿	(393)
第六章 含铀矿物	(397)
第一节 铀呈类质同象混入物的含铀矿物	(398)
一、含铀的简单氧化物: 方钍石	(398)
二、含铀的复杂氧化物	(401)
(一)概述	(401)
(二)分述: 铌钽铀矿, 烧绿石, 细晶石, 褐钨铀矿, 黄钨钽矿, 黑稀金矿, 复稀金矿, 铌钨矿, 易解 石	(406)
三、含铀的硅酸盐: 钍石, 钍脂铅铀矿	(426)
四、含铀的磷酸盐	(432)
第二节 铀呈吸附质状态的含铀矿物	(434)
第三节 铀呈铀矿物机械混入物的含铀矿物	(438)
附录一 铀矿物及含铀矿物鉴定表	(440)
附录二 铀矿物及含铀矿物的 X射线粉晶分析鉴定 表索引	(485)
附录三 含铀有机物	(501)
附录四 含镭矿物	(504)
附录五 已取消的矿物名称	(505)
主要参考文献	(505)

第一篇 通论

第一章 铀的性质

铀矿物的化学成分、晶体结构、物理性质、化学性质和形成条件等特点与铀元素的原子结构、化学性质、物理性质，特别重要的是铀的放射性有密切的关系。

第一节 铀的放射性

铀的原子序数为92，原子量为238.09。

铀在自然界有三种同位素： ${}_{92}^{238}\text{U}$ ， ${}_{92}^{235}\text{U}$ 和 ${}_{92}^{234}\text{U}$ 。它们的丰度分别为99.2739%，0.7205%和0.0056%。其比例大致是 ${}^{238}\text{U}$ ： ${}^{235}\text{U}$ ： ${}^{234}\text{U}$ = 1:1/140:1/17000。

铀的三种同位素都有放射性，能够自发地转变为另一种原子核，同时放出射线。

在放射性元素衰变过程中，放出 α 粒子或 β 粒子的过程称为 α 衰变或 β 衰变。 α 射线由快速运动的 α 粒子流组成。 α 粒子带两个正电荷，质量数为4，实际上就是氦的原子核 ${}^4_2\text{He}$ 。 β 射线是一群高速运动的电子， β 粒子就是带负电荷的电子 $-{}^0_{-1}e$ 。 γ 射线是伴随着 α 衰变和 β 衰变而放出的一种波长极短的电磁辐射(波长 $1.2 \times 10^{-3} - 4.7 \times 10^{-11}$ 厘米)。

α 射线和 β 射线能使物质中的原子发生电离，即在射线通过物质时，可以把部分能量传递给原子中的束缚电子，使它从电子壳层中逸出成为自由电子。这样，原子就变成了带正电的离子。 γ 射线本身不能使原子电离，而是通过间接的作用使原子电离。

α ， β ， γ 三种射线都有穿透物质的能力，但它们的穿透力差别很大。厚度0.004—0.005厘米的铝箔或一张纸，可将 α 射线全

部挡住。0.5厘米厚的铝板可以挡住 β 射线。 γ 射线则需要50—60厘米的铝板才可挡住。 α 、 β 、 γ 三种射线在单位路程上的电离能力的比例大约是10000:100:1。

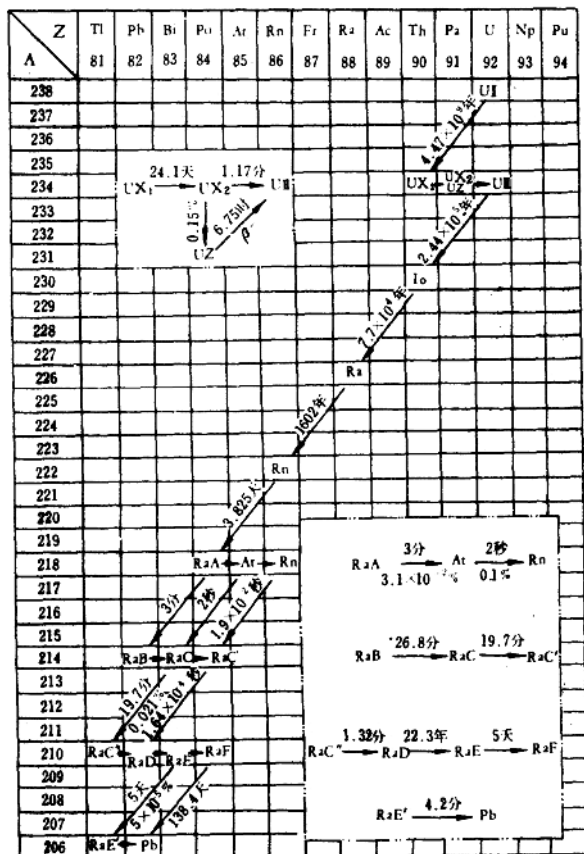


图1.1 铀系衰变图

在自然界有三个放射性系，即铀系(铀-镭系)、钍系和锕系，其相应的起始元素(母体元素)为 $^{238}_{92}\text{U}$ ， $^{232}_{90}\text{Th}$ 和 $^{235}_{92}\text{AcU}$ 。经过一系列放射性衰变，最终分别变为 $^{206}_{82}\text{Pb}$ ， $^{206}_{82}\text{Pb}$ 和 $^{207}_{82}\text{Pb}$ 三种稳定同位素。

铀系由 18 种放射性核素组成(图 1.1)。铀系的成员按地球化学性质可分成两组，即铀组和镭组。铀 I ($^{238}_{92}\text{U}$) 至钍 ($^{230}_{90}\text{Th}$) 称为铀组，镭 ($^{226}_{88}\text{Ra}$) 及其衰变产物称为镭组。铀系中的主要 γ 辐射体为 RaB 和 RaC。镭组放出的 γ 射线强度占总强度的 97.9%，而铀组仅占 2.1%。

在正常衰变过程中铀和镭之间可达到一定的比例关系 ($\text{Ra}/\text{U} = 3.4 \times 10^{-7}$)，即处于平衡状态。但是铀、镭的地球化学性质不同，由于环境的改变，两者的正常比例可能被破坏，即发生铀或镭的相对富集或贫化，使铀和镭处于不平衡状态。

用物理方法测试铀时，主要根据 γ 射线的强度，即根据镭的含量来确定铀含量。如果铀-镭平衡，则用上述方法获得的结果是正确的。但是，当放射性平衡偏镭时， γ 射线强度很高，铀含量却并不高；反之，当平衡偏铀时，则 γ 射线强度不高，但铀含量却偏高。因而，在研究表生铀矿物时，对放射性平衡问题应予以特别注意。

第二节 铀原子的电子层结构

铀位于周期表上第三族，属于锕系元素。锕系元素在电子层结构上与镧系元素相似，也称为 f 区元素。f 区元素电子层结构的特点是具有三个不饱和的电子层——最外层、次外层和外数第三层(表 1.1)。所有锕系元素的最外层电子数相等，都只有两个电子(7s 电子)，次外层中除钍有两个 6d 电子外，其他元素仅有一个 d 电子或没有 d 亚层。外数第三层(5f 亚层)从镧到镥逐渐被填满。

表1.1 铜系元素原子序数分布

元 素	符 号	原 子 序 数	电 子 层						
			K	L	M	N	O	P	Q
			1	2	3	4	5	6	7
			1s	2s 2p	3s 3p 3d	4s 4p 4d 4f	5s 5p 5d 5f	6s 6p 6d	7s
铜 系 元 素	Ac	89	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 1	2
	Th	90	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 2	2
	Pa	91	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 2	2 6 1	2
	U	92	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 3	2 6 1	2
	Np	93	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 5	2 6	2
	Pu	94	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 6	2 6	2
	Am	95	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 7	2 6	2
	Cm	96	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 7	2 6 1	2
	Bk	97	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 9	2 6	2
	Cf	98	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 10	2 6	2
	Es	99	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 11	2 6	2
	Fm	100	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 12	2 6	2
	Md	101	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 13	2 6	2
	No	102	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 14	2 6	2
	Lr	103	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10 14	2 6 1	2

元素的化学性质主要决定于其外层电子层的结构。由于镧系元素的外层电子层结构相似，所以各成员的化学性质非常相似。镧系中的四价铈、四价钕与镧系元素及钇（合称稀土元素）在离子构型、离子电荷和离子半径方面都很相似，因此它们互相之间常呈类质同象置换。

铈的价电子层结构为 $5f^3 6d^1 7s^2$ 。成键的价电子为最外层的两个 s 电子，次外层的一个 d 电子和外数第三层的三个 f 电子。由于不仅最外层电子参与成键，而且次外层和外数第三层的电子也都参与了成键，所以铈具有变价的特性。

第三节 铈的主要化学性质

一、铈的稳定氧化态

铈在参加化学反应时，随反应条件的不同，它首先失去 $7s$ 亚层电子和 $6d$ 亚层电子而显+3的氧化态，再失去部分或全部 $5f$ 亚层电子而显+4、+5和+6的氧化态。其中+4和+6的氧化态比较稳定，+3和+5的氧化态不稳定。

(1) 铈的标准电极电位

铈具有多种氧化态。如果以图解方式从高氧化态至低氧化态的顺序相应地排列其标准电极电位，则这种表明元素各种氧化态之间的电极电位变化的关系图叫做元素电位图。

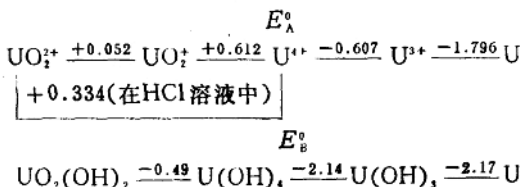


图1.2 铈在酸性、碱性溶液中的电位图

线上的数字是电对的标准电极电位(伏)；

E_A° ——酸性溶液； E_B° ——碱性溶液