

# 铀矿物学



# 第三章 铀矿物通论



# 3.1 铀矿物的化学成分

- (1) 铀矿物的组成元素

在自然界，铀能与许多种化学元素结合。与铀结合的阴离子主要是 $\text{O}^{2-}$ ，而 $(\text{OH})^-$ 只见于少数铀矿物中， $\text{F}^-$ 只见于个别铀矿物中。许多元素以络阴离子形式与铀结合。铀矿物中常见的络阴离子有 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ， $[\text{PO}_4]^{3-}$ ， $[\text{AsO}_4]^{3-}$ ， $[\text{V}_2\text{O}_8]^{6-}$ ， $[\text{CO}_3]^{2-}$ ， $[\text{SO}_4]^{2-}$ ， $[\text{MoO}_4]^{2-}$ ， $[\text{SeO}_3]^{2-}$ 和 $[\text{TeO}_3]^{2-}$ 等。

参与铀矿物组成的阳离子主要是亲石元素（惰性气体型离子和靠近惰性气体型离子一侧的过渡型离子）中的K，Na，Ca，Mg，Ba，Al，Ti，Th，Y，RE，Nb，Ta和Mn等，其次是亲硫元素（铜型离子）中的Cu，Pb，Zn，Bi，Tl以及亲铁元素（过渡型离子）中的Fe，Co，Ni和Mo等。在个别情况下，亲气元素H和N以 $\text{H}^+$ 和 $\text{NH}_4^+$ 的形式参与铀矿物的组成。

## 3.1 铀矿物的化学成分

- (2) 铀矿物化学成分的特点和变化
- 铀的价态

铀是变价元素，在矿物中以+4和+6两种价态存在。

- 元素组合

铀属于亲石元素，与氧有很强的亲合力，因此在自然界只形成氧化物、氢氧化物和含氧盐类矿物，而不形成硫化物、砷化物和氟化物类矿物，也不存在自然元素型的单质铀。

铀矿物中的元素组合因铀的价态而异。这是铀矿物化学成分的又一特点。

# 3.1 铀矿物的化学成分

- (2) 铀矿物化学成分的特点和变化

- 类质同象

类质同象是引起矿物化学成分变化的主要因素之一。由于 $U^{4+}$ 的离子半径与 $Th^{4+}$ 及 $REE^{3+}$ 的相近，所以一些四价铀矿物中常含有钍和稀土元素的类质同象混入物。六价铀矿物中类质同象主要表现为阴离子之间的置换，如 $O^{2-}$ 和 $(OH)^-$ 之间、 $[PO_4]^{3-}$ 和 $[AsO_4]^{3-}$ 之间的置换。阳离子类质同象不太明显，仅见于少数矿物中。

- 放射性衰变

铀原子核属于不稳定原子核，铀矿物的化学成分是不恒定的。自从铀矿物在地壳中形成之后，其成分就按照一定的规律发生着变化，结果矿物中的铀含量逐渐减少，而铀的衰变产物—— $^{206}Pb$ 却越积越多。在形成时代较晚的矿物中，此变化甚微，可忽略不计。在形成时代较早的矿物中，放射性衰变成因的铅可积累得相当多，甚至要反映在矿物的化学式中。

## 3.1 铀矿物的化学成分

- (2) 铀矿物化学成分的特点和变化
- 铀矿物中的水

四价铀矿物一般不含水。一些矿物化学分析数据中的水多数不是矿物固有组分，而是在矿物（尤其是隐晶质矿物）形成过程中带入的，或者是由于变生作用而产生的。

大多数六价铀矿物都含水，其中以层间水和结构水为主。



## 3.2 铀矿物的晶体化学特点

- (1) 四价铀矿物的晶体化学特点

- 键性和晶格类型

四价铀矿物的晶体结构分析表明，铀在其中以 $U^{4+}$ 离子形式存在，四价铀矿物主要是离子键化合物，多数属于离子晶格，由于 $U^{4+}$ 的离子半径较大，所以其配位数较高。四价铀简单氧化物和硅酸盐中铀的配位数为8，铀-钛复杂氧化物中铀的配位数为6。

- 晶体结构类型

四价铀矿物的晶体结构有配位型、岛状型和层状型三种类型。

## 3.2 铀矿物的晶体化学特点

- (1) 四价铀矿物的晶体化学特点

- 类质同象

在四价铀矿物中， $U^{4+}$ 与 $Th^{4+}$ ， $REE^{3+}$ 之间的类质同象置换关系十分普遍。因为 $U^{4+}$ 的离子半径（ $1.01\text{\AA}$ ）与 $Th^{4+}$ （ $1.06\text{\AA}$ ）及 $REE^{3+}$ （ $0.86\sim 1.18\text{\AA}$ ）的离子半径相近，离子类型和键性也相似，所以它们之间能够发生置换。

- 变生作用

在铀、钍衰变过程中放出的射线的作用下和核裂变碎片的作用下，某些含铀，钍矿物的晶体结构遭到破坏从而呈非晶态的现象称为变生作用。变生矿物是指其内部结构遭到了破坏，但仍保持着晶体外形的矿物。与结晶质的同种矿物相比，变生矿物的性质已发生了相当大的变化。



## 3.2 铀矿物的晶体化学特点

- (2) 六价铀矿物的晶体化学特点

- 铀酰离子的结构

单独的 $\text{U}^{6+}$ 离子在自然界是不稳定的。 $\text{U}^{6+}$ 在矿物中几乎总是以铀酰离子形式存在。

经X射线分析确定，铀酰离子呈哑铃状， $\text{U—O}$ 间的平均距离为 $1.9\text{\AA}$ 。此距离比 $\text{U}^{6+}$ 与 $\text{O}^{2-}$ 的离子半径之和（ $0.80+1.32=2.12\text{\AA}$ ）要小得多。这说明铀原子和氧原子的电子云相互重叠， $\text{U—O}$ 之间为共价键。由于铀原子的内层电子—— $5f$ 电子参与了 $\text{U—O}$ 间共价键的组成，所以 $\text{U—O}$ 键非常牢固，无论在溶液中还是在固态化合物中，铀酰离子都很稳定，不易分解。

- 晶体结构类型

六价铀矿物的晶体结构有三种类型。其中层状型结构最常见，而链状型结构和架状型结构仅见于个别矿物中。

## 3.2 铀矿物的晶体化学特点

- (2) 六价铀矿物的晶体化学特点
- 同质多象和多型性
- 同质多象系指同种化学成分的物质，在不同的物理—化学条件下结晶成不同晶体结构的现象。这些不同结构的晶体称为该物质的同质多象变体。在矿物学中这些变体都是独立的矿物种。在六价铀矿物中已发现了一系列同质多象变体，如硅钙铀矿和准硅钙铀矿等，据报道，还发现过斜方晶系的钙铀云母和三斜晶系的铜铀云母等（这两个矿物一般都结晶成四方晶系）。
- 多型性系指化学成分相同的物质，形成若干种仅仅在层的堆积顺序上有所不同的层状晶体结构的现象（目前在非层状结构中也发现有多型现象）。多型也就是一维的同质多象。每种矿物与其多型变体在晶体结构和物理性质等方面的差别都很小，因此属于同一矿物种。

## 3.2 铀矿物的晶体化学特点

- (2) 六价铀矿物的晶体化学特点
- 类质同象
- 类质同象置换在六价铀矿物中很有限，因为不同的离子之间和不同的络离子之间能否发生置换，不但取决于其离子半径的大小，而且与矿物晶体结构的类型、离子在结构中的位置和配位数等因素有密切的关系，而各种铀矿物的结构中上述方面的差别是相当大的。



## 3.3 铀矿物的形态

- (1) 单体形态

- 等轴粒状

等轴粒状晶形见于铀的简单氧化物和含铀的简单氧化物和复杂氧化物中，如晶质铀矿、方钍石等。

- 针状、柱状和双锥状

具有柱状和针状晶形的铀矿物较常见，如铀石、钛铀矿等。六价铀的硅酸盐常以十分典型的针状和纤维状形态出现。此外，在六价铀的氢氧化物、碳酸盐、硫酸盐、钼酸盐和四价铀的磷酸盐以及铀-钼复杂氧化物中有些矿物也能形成柱状和针状晶形。

- 双锥状晶形在铀矿物中比较少见，如硅铀矿的斜方双锥状晶形，而含铀矿物中钍石和褐钇铀矿却常具有双锥状晶形。

## 3.3 铀矿物的形态

- (1) 单体形态

- 板状和片状

板状和片状晶形是六价铀的磷酸盐、砷酸盐和钒酸盐的典型形态，这三类矿物常形成四方片状及矩形片状晶体。此外，有些铀-钛复杂氧化物（铈铀钛铁矿）、含铀的铌-钽复杂氧化物（黑稀金矿、铌钽矿）以及六价铀的氢氧化物、钼酸盐、碳酸盐、硫酸—碳酸盐、亚硒酸盐和亚碲酸盐中的一些矿物也能形成板状和片状晶体。

- 板条状

板条状晶形见于铀-钛复杂氧化物、六价铀的碳酸盐、磷酸盐和砷酸盐中。少数六价铀的硅酸盐、磷酸盐和砷酸盐矿物能结晶成长片状晶体。

## 3.3 铀矿物的形态

- (2) 集合体形态

- 显晶集合体

散染粒状集合体、放射状集合体、纤维状集合体、鳞片状集合体、晶簇状集合体、微晶皮壳状集合体。

- 隐晶和胶态集合体

肾状集合体、葡萄状集合体、致密状集合体、薄膜状集合体、粉末状集合体、皮壳状集合体。



## 3.4 铀矿物的物理性质

1. 强的放射性
2. 绚丽的颜色
3. 特殊的发光性





## 3.5 铀矿物的成因

铀矿物形成于各式各样的地质条件下。在岩浆作用、伟晶作用、热液作用、变质作用、沉积作用、后生淋积作用和风化作用中都能形成铀矿物。

概括地说，四价铀矿物主要是内生作用的产物，六价铀矿物的绝大部分都是表生作用的产物。

内生条件下形成的铀矿物一般都称为原生铀矿物，而沉积成因和后生淋积成因的某些铀矿物（铀石、沥青铀矿、人形石等）习惯上也称为原生铀矿物。

由原生铀矿物氧化后形成的，或者以岩石中溶于地下水的活性铀为铀源而形成的六价铀矿物称为表生铀矿物。表生铀矿物一般也称为次生铀矿物。

许多种铀矿物不是单一成因的，而是能在不同的地质条件下形成的。同一种矿物，常因形成条件的变化而具有不同的共生组合、微量元素组分和形态特点。对这些标型特征的研究有助于正确解释矿物的成因，对指导找矿及评价工作也有重要意义。



## 3.6 铀矿物的分类和命名

本书采用西多连科的晶体化学分类。具体分类如下。

### ● 四价铀矿物

四价铀的简单氧化物

四价铀和钛的复杂氧化物

四价铀和钼的复杂氧化物

四价铀的硅酸盐

四价铀的磷酸盐

### ● 含铀矿物

铀呈类质同象混入物的含铀矿物

铀呈吸附质的含铀矿物

铀呈铀矿物超显微包裹体的含铀矿物

### ● 六价铀矿物

铀酰氢氧化物和重铀酸盐

铀酰硅酸盐

铀酰磷酸盐

铀酰砷酸盐

铀酰钒酸盐

铀酰碳酸盐

铀酰硫酸盐

铀酰钼酸盐

铀酰亚硒酸盐

铀酰亚碲酸盐

铀酰的复盐

## 3.7 铀矿物的鉴定方法

### (1) 铀矿物的特性决定了铀矿物独特的鉴定方法

放射性测量

放射性照相

裂变径迹

放射性效应

荧光测量

相邻矿物中的晕圈、变色、放射状裂纹、变生等。



## 3.7 铀矿物的鉴定方法

### (2) 快速鉴定的一般程序:

测放射性——确定是否为铀矿物

放射性照相——确定铀矿物的分布位置

看颜色——判别四价或六价铀矿物

黑色：四价铀矿物

彩色：六价铀矿物



## 3.7 铀矿物的鉴定方法

### (3) 四价铀矿物的鉴定:

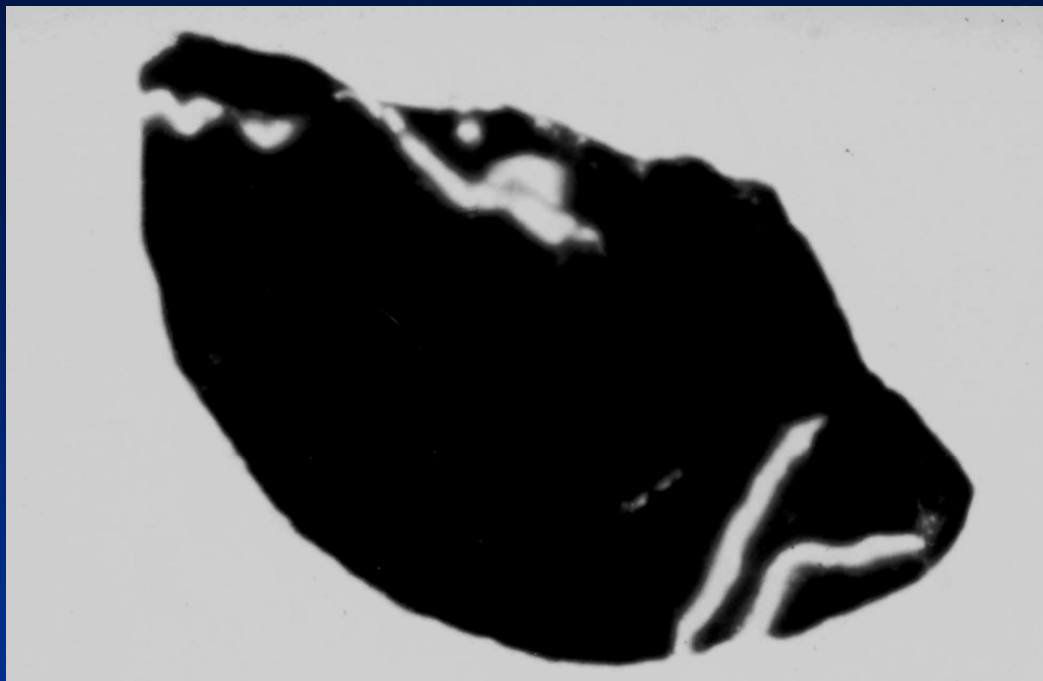
- 观察有无次生变化: 有: 简单氧化物  
无: 复杂氧化物
- 划条痕: 黑色: 简单氧化物  
褐色: 复杂氧化物
- 颜色、光泽、透明度
- 酸溶试验:  
易溶: 简单氧化物  
不溶: 复杂氧化物
- 形态判别
- 产状判别
- 详细鉴定: (变生矿物要进行脱玻化处理)

## 3.7 铀矿物的鉴定方法

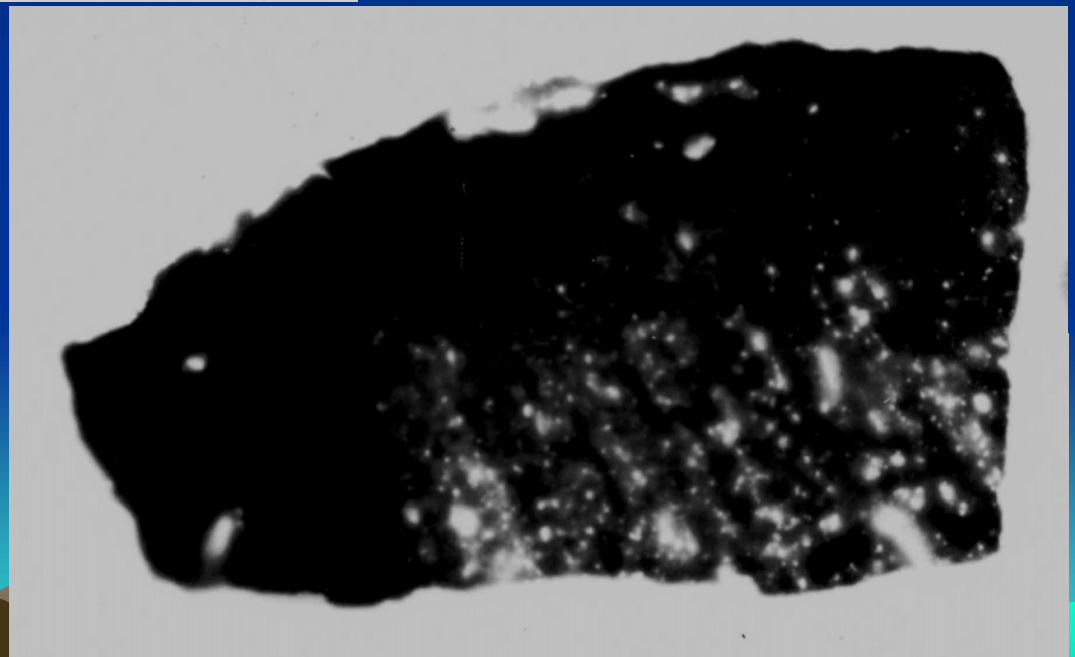
### (4) 六价铀矿物的鉴定:

- 形态判别: 柱状、片状、粉末状、块状
- 颜色判别: 红、黄、绿
- 荧光判别: 是否发荧光, 荧光的颜色、强度
- 产状判别: 与原生铀矿物的关系
- 微化试验:
- 详细鉴定:





# 放射性照相







(1)



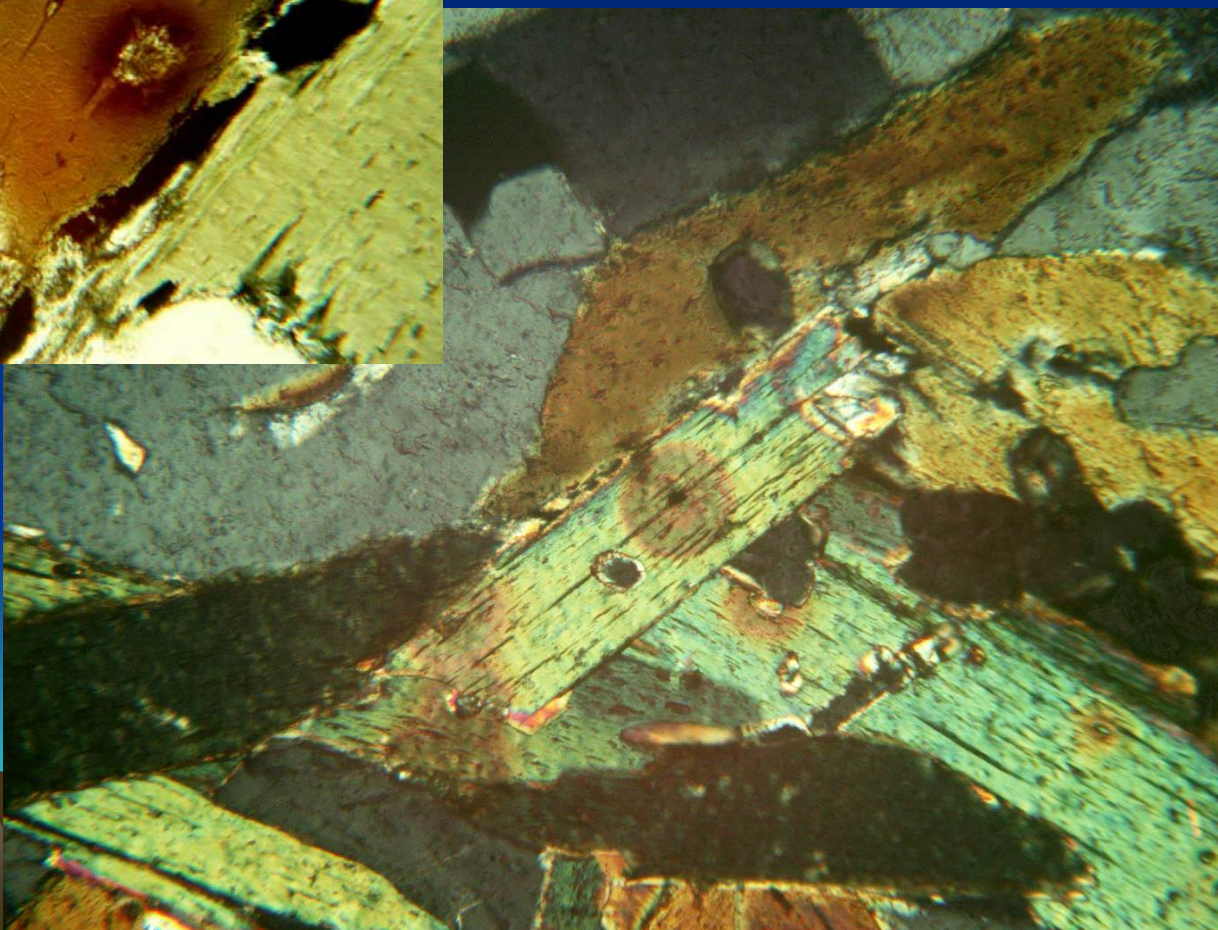
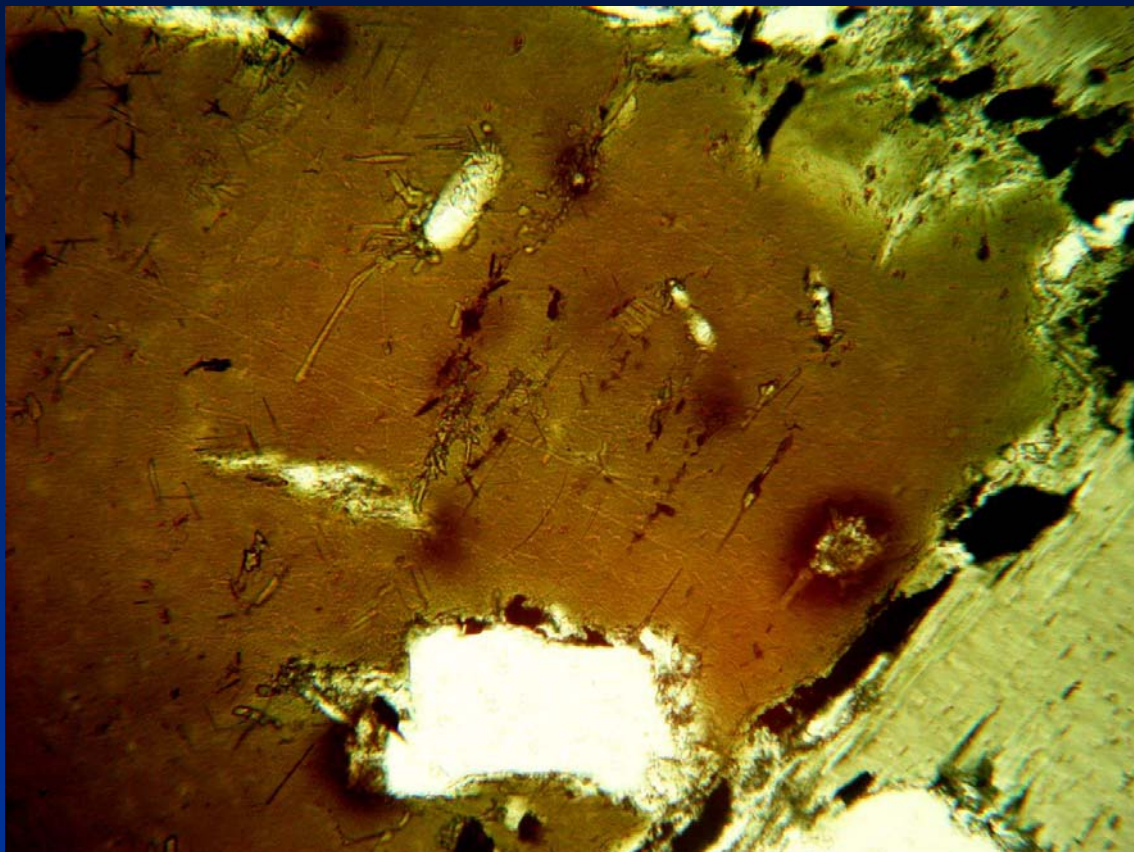
(2)

## 放射性照相

图3.2 铀矿石光面(1)及其放射性照相(2)原大  
图(1)中沥青铀矿(黑色)呈环带状包围着大理  
岩角砾



# 放射性晕圈





# 放射性晕圈

