

216448

基本馆藏

铀矿床普查与勘探

上册
(地质部分)

梁基



科学普及出版社

鈾矿床普查与勘探

上册

(地质部分)

梁基

科学普及出版社

1959年·北京

本書提要

“鈾矿床普查与勘探”分上、下兩册，上册为鈾矿的地質，下冊为鈾矿的地球物理。全書上下兩冊，就普查与勘探鈾矿的全部問題作了全面而又系統的介紹，这对大家搞原子能科学，办鈾矿工業將会有很大的帮助。

本書是它的上册，闡述的是鈾矿的地質。主要内容有鈾的物理化学性質和地球化学性質，鈾的矿物学和矿床学，鈾矿物的鑑定方法，以及鈾矿床的普查与勘探等几方面。其中有关鈾在地球上的分布，鈾矿物的生成和它的分类，鑑定鈾矿的各种方法，什么地方能找到鈾矿，怎样找它等具体問題，本書都作了詳細的說明。

总号：1235

鈾矿床普查与勘探

上册(地質部分)

著者：梁

基

出版者：科学普及出版社

(北京市西便門外前門外)

北京市書刊出版業營業許可證出字第091号

發行者：新华書店

印刷者：北京市印刷厂

(北京 西便門外大街乙1号)

开本：850×1168 $\frac{1}{2}$ 印張：12 $\frac{1}{2}$

1959年4月第1版 字数：280,000

1959年4月第1次印刷 印数：30,015

統一書号：15051·210

定 价：(9) 1元4角

目 次

第一篇 鈾的地球化学

第一章 鈾的物理化学性質.....	1
1. 鈾元素在門捷列夫周期表中的位置.....	1
2. 鈾的同位素.....	3
3. 天然界存在的放射性物質.....	4
4. 天然放射系.....	6
5. 鈾的化学性質.....	10
第二章 鈾的地球化学性質.....	17
1. 鈾在地球上的分布.....	17
2. 鈾矿物生成的一般特征.....	26
3. 鈾在热液过程中所表現的地球化学性質.....	32
4. 鈾在外生条件下所表現的行为.....	33

第二篇 鈾的矿物学和鑑定方法

第三章 鈾的矿物学.....	38
1. 鈾在自然界存在的方式.....	38
2. 鈾矿物的形成和共生情况.....	38
3. 鈾矿物的变化.....	40
4. 鈾的次生矿物在氧化帶分布特点.....	41
5. 鈾矿物的分类.....	43
(一)六价鈾矿物和实际上是混合($U^{4+} + U^{6+}$)的鈾矿物.....	
6. 鈷和鈾的氧化物.....	48
7. 鈾的氢氧化物和鈾酸鹽.....	52
8. 鈾的矽酸鹽.....	53
9. 鈾的硫酸鹽.....	55
10. 鈾的碳酸鹽.....	57
11. 鈾的磷酸鹽、砷酸鹽及钒酸鹽(鈾云母).....	58
12. 鈾的鉍酸鹽.....	63
13. 含有鈾雜質的非鈾矿物.....	63

(二)主要的四价铈的矿物

14. 无水含稀有元素矽酸盐	65
15. 钍钨酸盐及钍钨酸盐	71
16. 钍钨酸盐	71
17. 稀土元素磷酸盐	73
18. 有机化合物	82
第四章 含铈矿物的鉴定	83
1. 放射线测量	83
2. 铈的半微量化学定性分析	83
3. 钍的定性分析	92
4. 荧光分析	93
5. 放射性摄影	101
6. 矿物鉴定表	102

第三篇 铈的矿床学

第五章 铈矿床的类型及其成因特点	104
1. 铈的来源及其在各种不同地质过程中与其他金属 和非金属的相互关系	104
2. 铈矿床的研究程度及其分类	112
第六章 含铈伟晶岩矿床	133
第七章 热液铈矿床	139
1. 热液铈矿床分类	139
2. 围岩交代结果所形成的矿床	140
3. 开口岩洞中主要靠充填形成的各类矿床	145
4. 铈热液矿床的成因和它的分类	165
第八章 沉积铈矿床	169
1. 沉积铈矿床分类	169
2. 海成矿床	172
3. 湖沼成因的矿床	179
4. 关于铈源的某些见解	186
5. 最主要的沉积铈矿床的年代	187
第九章 铈矿化富集有利因素	189
1. 岩浆因素	189

2. 地質構造及古地理因素	192
3. 地層與成礦時代因素	198
4. 岩相因素	198
5. 風化作用因素	201
6. 地球化學因素	203
第十章 鈾礦床的成因及局部礦化的一般規律性	207
1. 含鈾地區內地質構造特點和含鈾地區的类型	207
2. 熱液型鈾礦床局部礦化的規律性	209
3. 沉積类型鈾礦床局部礦化的規律性	212
第十一章 鈾礦的分布和經濟狀況	213
1. 鈾礦在資本主義國家的分布	213
2. 鈾礦經濟和發展的某些趨勢	221
礦床实例	223

第四篇 鈾礦的普查與勘探

第十二章 普查與順便普查放射性元素的方法與基本原理	233
1. 概說	233
2. 普查鈾的地質方法及其採用的條件	233
3. 普查鈾礦床的地球物理輻射儀方法及採用的條件	234
4. 在各種不同研究程度的地區內布置普查鈾礦床	236
第十三章 各種不同类型鈾礦床的普查標志和普查特征	239
1. 鈾礦床的普查特征	240
2. 鈾礦床的普查標志	242
第十四章 在中國普查鈾礦床的地質前提	251
1. 中國的地質構造特點與普查鈾礦的關係	251
2. 中國可能找到的沉積鈾礦床	253
3. 中國可能找到的熱液鈾礦床	259
第十五章 鈾礦床普查檢查及順便普查方法	261
1. 鈾礦床普查方法概說	261
2. 地面路線普查工作	266
3. 地面順便普查工作	273
4. 檢查山地工作與鑽孔和技術保安知識	275
5. $\times \times \times$ 隊普查工作的方法	278

第十六章 揭露放射性異常的方法及其初步工業估價	285
1. 異常的發現.....	285
2. 異常的測定.....	286
3. 揭露異常.....	287
4. 異常的初步工業評價.....	289
第十七章 鈾礦床的勘探方法	290
第十八章 勘探鈾礦床的取樣工作	294
第十九章 鈾礦床的原始資料編錄	303
第二十章 鈾礦床的工業評價	308
第二十一章 普查檢查及順便普查鈾礦床的計劃與報告	318
附錄：鈾礦物中俄英名稱對照表.....	366

第一篇 鈾的地球化学

鈾元素最先为德国矿物化学分析学家克拉波劳特 (M.H. Klaproth) 于 1786 年所发现。当时正是赫而西尔 (S.W. Herschel) 发现天王星不久, 因此克拉波劳特也用 Uranus (天王星) 为名, 把这新元素叫做 Uranium (译作鈾)。但克氏当时所发现的并不是纯鈾, 而是鈾的氧化物 (U_3O_8)。1823 年阿尔夫维逊 (J.A. Arfvedson) 用氢使 U_3O_8 还原得棕色粉末。他以为这是纯金属鈾, 其实是四价鈾的氧化物 UO_2 。直至 1841 年以后, 才由德国化学家倍里戈 (E. Peligot) 用无水氯化物与钾同置于铂钳锅内, 密封强热才分出单体的鈾。

鈾的自发放射的性质, 是 1896 年法国物理学家贝克勒耳 (A.H. Becquerel) 以鈾化合物使底片感光, 知道鈾能不断的受外界环境影响而自发的放射许多具有穿透力很强、肉眼不能看见的射线或质点。以后于 1898 年居里夫妇先后发现放射性较鈾强得多的两种元素: 一为钋 (Po) (Polonium), 取这个名字就是为纪念居里夫人的祖国——波兰; 一为镭 (Ra) (Radium), 即能发光之意, 因为在发现此元素时, 得白色氯化镭, 它在黑暗处能发美丽的荧光。1939 年二次大战期间, 郝恩 (Hahn) 和斯特拉斯曼 (Strassman) 发现用慢中子冲击鈾核时, 鈾核可裂变为大约相等的两个碎片, 同时放出大量能量并放出数个中子, 而引起雪崩式的自行加速的连续的反应和链式反应。因此人类就掌握了取得原子核内能量的方法, 而将其利用到人类生活中。

第一章 鈾的物理化学性质

1. 鈾元素在门捷列夫周期表中的位置

鈾在周期表内属第七周期第Ⅴ族、镧族最末的一个元素。我们知道, 任何元素的化学性质地球化学性质, 完全取决于该元素在周期表中所居的位置。但鈾却不是这样, 虽然它位在Ⅴ族,

它的一切化学特性和在地球上表现的行为，很少相同于本族的其它三个元素——钨、钼、铬；而和它更相接近的，却是第Ⅲ族元素。这是因为，铀实际上应包括于第Ⅲ族中与镧系相关的锕系元素内。

镧系元素和锕系元素(稀土族)相同，都属于f组元素。它们各元素的最外电子层都仅有二个s电子(在镧系是6个s电子，锕系是7个s电子)。不仅这样，这两系列的元素的次外层的电子排列也是相类似的。在这层内，除了Th有两个6d电子外，其他元素仅有一个d电子或没有d亚层(在镧系为5个d电子，锕系为6个d电子)。这两系列元素的电子数的改变都在外数第三层的f组电子上(故称f组元素)。

由于这两系列元素各电子层的构造的一致性，所以它们之间的物理性质及化学性质非常相近。同样因为这一点，也决定了它们在地球上表现的地球化学性质相类似。

依据镧系和锕系各元素的离子是惰性气体型，即其最外电子层具有(2+6)个电子，那末这种型式的离子，按戈尔德史密斯(Goldschmidt)元素的地球化学分类，是属于亲氧元素类。这一点两者都是相同的。因此，镧系(稀土族)和锕系元素在内生岩浆过程中，往往同时富集共生在一起，生在相同的地质环境下，岩石中，和生成相近似的矿物种类。因为这样，所以铀在地壳上，特别在内生矿床伟晶岩期往往和大量的稀土元素共生，甚至和稀土元素生成类质同象混晶，共同存在于矿物的结晶格架内。所有这些都因为它们之间的原子构造相似性的缘故，特别是最外几层电子数目相一致和在周期表的位置所决定的。因此将铀放置于第Ⅲ类锕系元素内，更为合适。

铀的原子序数92，原子量238.07，原子体积12.70，电子层自内而外为：

K	L	M	N	O	P	Q
2	8	18	32	21	9	2

这些电子所处的量子状态分别是:

$$1S^2; 2S^2; 2P^7, 3S^2, 3P^5, 3d^{10}; 4S^2, 4P^6, 4d^{10}, 4f^{14};$$

$$5S^2, 5P^6, 5d^{10}, 5f^3; 6S^2, 6P^6, 6d^1, 7S^2.$$

它的价电子则是 $5f^3, 6d^1$ 和 $7S^2$ 。

2. 铀的同位素

铀的同位素非常多, 但自然界只有 $U^{234}, U^{235}, U^{238}$ 。

下表是铀的天然存在的同位素和人为的同位素一些性质。

表 1.1

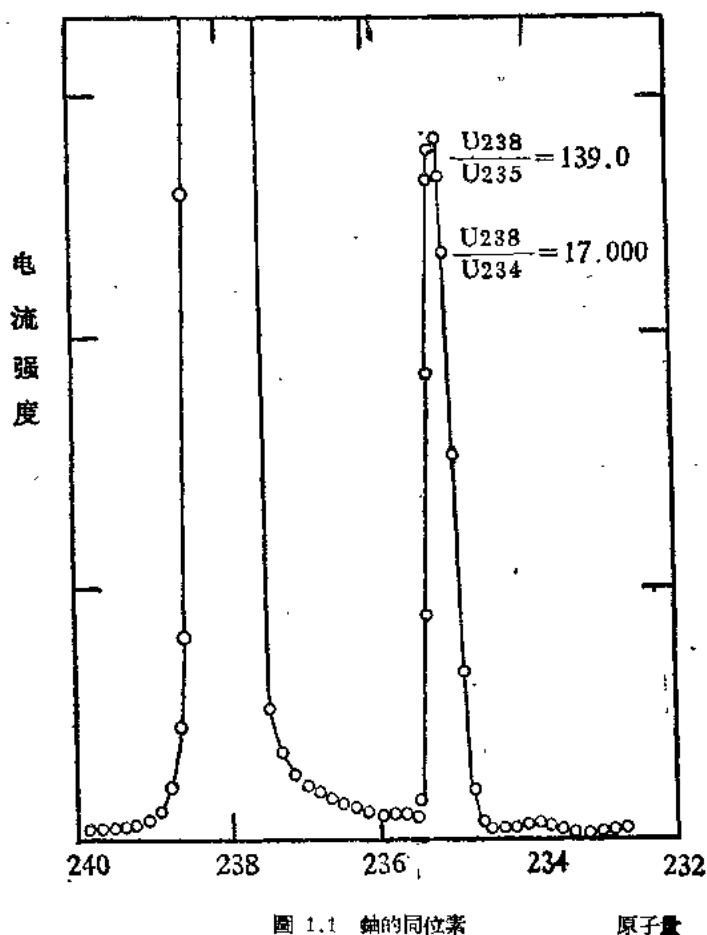
铀同位素的放射性性质

同位素	放射线性质	能 量 (Mev)	半 衰 期	同位素百分比
天然存在的同位素				
$^{234}(U II) \rightarrow$	$\alpha\gamma$	4.716(26%) α 4.763(74%) α (0.050) γ (0.117) γ	2.35×10^5 年	0.005
$^{235}(AcU)$	$\alpha\gamma$	4.20(4.2%) α 4.393(85.6%) α 4.58(10.2%) α (0.094, 0.143, 0.184, 0.289, 0.386) γ	8.91×10^8 年 7.07×10^8 年 8.52×10^8 年	0.714
$^{238}(U I)$	$\alpha\gamma$	4.132(22%) α 4.180(78%) α 0.048 γ	4.498×10^9 年	99.28
人造的同位素				
228	α (81%) K (20%)	6.72	95分	
229	α (20%) K (80%)	6.42	58分	
230	α	5.85	20.8天	
231	K		4.2天	
232	α	5.3	70年	
233	α, γ, e^-	4.8	1.6×10^5 年	
237	β^-, γ, e^-		6.8天	
239	β^-, γ, e^-		23.5分	

自然界存在的铀同位素之间数量的比例关系大概是:

$$\begin{array}{l} \text{U}^{238} \\ \text{U}^{235} = 141, \quad \text{U}^{235} \\ \text{U}^{233} = 141; \end{array}$$

天然存在鈾同位素的数量关系見下圖：



3. 自然界存在的放射性物質

自然界存在的具有放射性物質，不仅仅只有鈾这一元素，还有我們熟知的較鈾在地壳中多得多的鈾和釷。鈾在放射过程产生

的具有放射性的蜕变产物，以及许许多多的具有放射性的化学元素同位素。所有这些，对研究地球的放射性，研究放射性的地球化学及具有放射性的矿物，以及了解区域放射性的性质，都有一定的意义。

铀和钍天然放射过程存在地壳中的蜕变产物列于下表。

表 1 2 铀、钍放射过程中重要衰变产物

同 位 素	放 射 线 性 质 铀 系	半 衰 期
${}_{90}\text{Th}^{230}$	(1.61 25%) α (4.682 75%) α () γ	8.5×10^4 年
$\text{Ra}({}_{88}\text{Ra}^{226})$	(4.589 5.7%) α (4.777 94.3%) α () γ	1590 年
$\text{Rn}({}_{86}\text{Rn}^{222})$	(5.432) α	3,825 天
钍 系		
Th^{232}	(3.905 20%) α (3.98 80%) α (0.075) γ	$1,389 \times 10^{10}$ 年
$\text{Ms}=\text{Th}({}_{88}\text{Ra}^{228})$	(0.053) β^- (0.03) γ	6.7 年
$\text{Tn}({}_{86}\text{Rn}^{220})$	(6.278) α	54.5 秒

地壳上存在的一些具有放射性的化学元素同位素，如表 1.3。

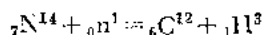
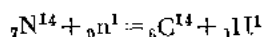
表 1.3

元 素	同 位 素 的 百 分 比	克拉克(依据維諾 格拉多夫)重量 百 分 比	半衰期(年)	放射后产物
${}_{19}\text{K}^{40}$	0.011	2.66	1.4×10^9	Ca^{40} Ar^{40}
${}_{37}\text{Rb}^{87}$	27.2	3.1×10^{-2}	6.3×10^{10}	Sr^{87}
${}_{80}\text{Sn}^{124}$	6.11	4×10^{-3}	6×10^{15}	Te^{124}

續上表

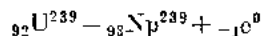
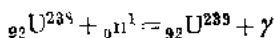
元 素	同位素的 百分比	克拉克(依据維諾 格拉多夫)重量 百分比	半衰期(年)	放射后产物
$_{52}\text{Te}^{130}$	34.11	(1×10^{-6})		
$_{57}\text{La}^{138}$	1.089	1.8×10^{-3}	1.2×10^{11}	Ba^{138}
$_{60}\text{Nb}^{150}$	5.60	2.5×10^{-3}		
$_{62}\text{Sm}^{147}$	15.07	7×10^{-4}	1.5×10^{11}	N
$_{62}\text{Sm}^{152}$	26.63			
$_{71}\text{Lu}^{178}$	2.5	1×10^{-4}	1.4×10^{10}	Hf^{178} Nb^{176}
$_{75}\text{Re}^{188}$	62.93	1×10^{-7}	4×10^{12}	Os^{187}

除此而外，自然界还有一些元素在現在時間內被宇宙綫作用所进行的一些核反应而产生具有放射性的物質，如：

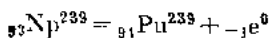


氮在被中子冲击后，可生成具有放射性的， C^{14} 或 H^3 (超重氢，又称氚)。

以及 U^{238} 被打进中子而生成 Pu^{239} 。



(半衰期23分鐘)



(半衰期2.3天)(鈾)

但這些在自然界中都是極其微少的，其中如 Pu^{239} 不到 $10^{-14}\%$ 。

4. 天然放射系

所有上述具有放射性元素，其中重要的是 U^{238} 、 U^{235} 、 Th^{232} 以及 K^{40} 、 Rb^{87} 等。 U^{238} 、 U^{235} 、 Th^{232} 的衰变过程組成主要自然界存在

的三个衰变系列:

U^{238} 放射系, 是以 U^{238} 开始, 放射最后产物是不具有放射性而稳定存在的 Pb^{206} 。在整个放射系列中共有 10 种放射性元素, 经 15 代, 17 种原子核。其中 8 种原子核具有 α 放射性, 6 种原子核具有 β 放射性, 11 种原子核在衰变时放射 γ 射线。

U^{235} 放射系, 是以 U^{235} 开始, 放射最后产物是稳定的不具有放射性的 Pb^{207} 。在整个放射系列中, 共有 12 种放射性元素, 经 12 代, 15 种原子核。其中 7 种原子核具有 α 放射性, 4 种原子核具有 β 放射性, 12 种原子核在衰变时放射 γ 射线。

Th^{232} 放射系, 是以 Th^{232} 开始, 放射最后产物为不具有放射性的稳定的 Pb^{208} 。在整个放射系列中, 共有 9 种放射性元素, 经 11 代, 13 种原子核。其中 6 种原子核具有 α 放射性, 4 种原子核具有 β 放射性, 8 种原子核在衰变过程中放射 γ 射线。

这三元素在自然界正常的衰变是按下列各表进行的。

表 1.4

U^{238} 放射系

放射元素	原子序数	原子量	元素	放射性质	半衰期
$\downarrow$ UI	92	238	U	α	$4.498 \cdot 10^9$ 年
$\downarrow$ UX ₁	90	234	Th	β	24.1 天
$\downarrow$ UX ₂	91	234	Pa	β	1.18 分
$\downarrow$ UZ	91	234	Pa	β	6.7 时
$\downarrow$ UII	92	234	U	α	$2.48 \cdot 10^5$ 年
$\downarrow$ I ₀	90	230	Th	α	$8.3 \cdot 10^4$ 年
$\downarrow$ Ra	88	226	Ra	α	1590 年
$\downarrow$ Rn	86	222	Rn	α	3.82 天
$\downarrow$ RaA $\downarrow$ At	84	218	Po	$\alpha, (\beta)$	3.05 分
$\downarrow$ At $\downarrow$ RaB	85	218	At	α	1.5 秒
$\downarrow$ RaB	82	214	Pb	β	26.8 分

續上表

放 射 性 元 素	原 子 序 數	原 子 量	元 素	放 射 性 綫 質	半 衰 期
RaC ↓ RaC'	83	214	Bi	$\beta(\alpha)$	19.7 分
↓ RaC	81	210	Tl	β	1.32 分
↓ RaD	84	214	Po	α	$1.6 \cdot 10^{-8}$ 秒
↓ RaE	82	210	Pb	β	22 年
↓ RaE' ↓ RaE''	83	210	Bi	$\beta(\alpha)$	5 天
↓ RaF	81	206	Tl	β	4.19 分
↓ RaG	84	210	Po	α	138.3 天
	82	206	Pb	—	穩 定

表 1.5

 U^{235} 放 射 系

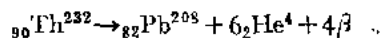
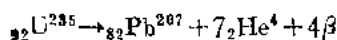
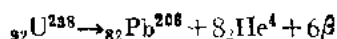
放 射 性 元 素	原 子 序 數	原 子 量	元 素	放 射 性 綫 質	半 衰 期
↓ AcU	92	235	U	α	$7.15 \cdot 10^8$ 年
↓ Uy	90	231	Th	β	25.64 時
↓ Pa	91	231	Pa	α	$3.43 \cdot 10^4$ 年
↓ Ac	89	227	Ac	$\beta(\alpha)$	22.0 年
↓ AcK	87	223	Fr	β	21 分
↓ RdAc	90	227	Th	α	18.6 天
↓ AcX	88	223	Ra	α	11.2 天
↓ An	86	219	Rn	α	3.92 秒
↓ AcA	84	215	Po	$\alpha, (\beta)$	$1.83 \cdot 10^{-8}$ 秒
↓ At	85	215	At	α	$\sim 10^{-4}$ 秒
↓ AcB	82	211	Pb	β	36.1 分
↓ AcC	83	211	Bi	$\alpha, (\beta)$	2.16 分
↓ AcC'	84	211	Po	α	0.5 秒
↓ AcC''	81	207	Tl	β	4.79 分
↓ AcD	82	207	Pb	—	穩 定

表 1.6

Th²³² 放射系

放 射 性 元 素	原 子 序 数	原 子 量	元 素	放 射 性 質	半 衰 期
Th	90	232	Th	α	$1.39 \cdot 10^{10}$ 年
↓ MsTh ₁	88	228	Ra	β	6.7 秒
↓ MsTh ₂	89	228	Ac	β	6.13 时
↓ RdTh	90	228	Th	α	1.9 年
↓ ThX	88	224	Ra	α	3.64 天
↓ Th	86	220	Rn	α	54.5 秒
↓ ThA	84	216	Po	$\alpha (\beta)$	0.158 秒
↓ At	85	216	At	α	$3 \cdot 10^{-4}$ 秒
↓ ThB	82	212	Pb	β	10.6 时
↓ ThC	83	212	Bi	$\beta (\alpha)$	60.5 分
↓ ThC'	81	208	Tl	β	3.1 秒
↓ ThC''	84	212	Po	α	$3.0 \cdot 10^{-7}$ 秒
↓ ThD	82	208	Pb	—	稳 定

整个說来是：



但有时也有例外，如鈾除了正常按照以上衰变規律进行衰变外，它也往往破碎为兩半，而成 Se, Ce, Ba 及 Kr 元素的同位素。

以上所述，主要只涉及鈾的一些放射特性。这固然重要，但从地質学观点来討論鈾在自然界中的分布、轉移及富集等，在何种条件下才能形成鈾的有工业价值矿床問題，鈾的一些化学性質，特别是那些和它在地球上的行为有关的化学問題，都显得特别重要了。下面我們先討論一般鈾的化学性質，然后比較再深入的在下一章节內專門略談一些关于鈾的地球化学問題。

5. 鈾的化學性質

化學性質：鈾和鈾的一般物理性質如下：

元素	比重	熔點(°C)	沸點(°C)	導電性(Hg-1)
Th	11.5	1800°	5200°	5
U	18.3	1135°	3500°	3

鈾和鈾都是白色金屬光澤，帶有淡銀(Th)或淡藍(U)的色彩，都相當軟，容易拉絲鍛造。

在通常條件下，鈾在空氣或水中，表面皆能氧化。剛磨光的鈾的表面，像銀一樣光亮，但在幾小時內便失去了光澤，接着由氧化而變成金黃色，又漸漸轉暗，3~4天後變成黑色。能慢慢地分解水。在酸中甚易溶解。在高溫下，能劇烈地和鹵素、氧及硫互相化合，也能和氮和碳相化合，和各種金屬(Hg, Sn, Cu, Pb, Al, Bi, Fe, Ni, Mn, Co, Zn, Be 等)也能生成金屬互化物。

鈾的化合價有+3, +4, +5, +6等幾種，在個別情形下，也可以有+2價的鈾，但以呈+6價為最穩定。從這一點說來和鈾在週期表中屬於第Ⅴ類的位置是相符的。而整個錒系中的多數元素，還是以3價為最穩定，特別是鈾以後的Np, Pu, Am, Cm等主要都是3價化合物，而沒有6價化合物存在。

錒系各元素的化合價對比如下：

Th	Pa	U	Np	Pu	Am
(2,3)4	(3,4)	3,4,5,6	3,4,5,6	3,4,5,6	2,3(4,5,6)
Cm	Bk	Gf			
3	(3,4)	(3)			

最特殊的原子價用粗體字來表示，最少殊特或研究得較少的原子價就放置在括弧內。

由上列的對比可以看出在：整個錒系元素中，其原子價的變化特征，在最初(由Th到U)是增加，而後(由U到Cm)則是降低的。

在自然界存在的鈾離子，目前所知道的，只有呈四價鈾(U^{4+})。