

铀矿的普查与勘探

[苏联] A·A·雅克仁著

陆茂修等译

中国工业出版社

本书是苏联高等院校用的教科书。它系统地介绍了铀的地球化学、铀矿物及矿石的研究方法、各种工业铀矿的成因类型、铀矿普查方法、各种形态类型铀矿床的勘探方法，以及不同成因类型铀矿的取样、加工、地质编录、储量计算的主要方法和储量分类等，内容比较充实。

本书对地质院校师生和从事铀矿地质工作人员，均有一定参考价值。

全书由陆茂修等译，锁林校。

本书所有附图一律按原书中附图译印。

А. А. Якимов

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ МОСКВА 1961

铀矿的普查与勘探

陆茂修 等译

地质部地质书刊编辑部编辑 (北京西四羊市大街地质部院内)

中国工业出版社出版 (北京住总胡同10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $14 \frac{15}{16}$ ·字数366,000

1965年11月北京第一版·1965年11月北京第一次印刷

印数0001—2,250·定价(科四)1.80元

统一书号: 15165·4158(地质-360)

原 序

由于人們对原子能原料的兴趣不断增长，近几年来出版了許多有关鈾的化学和矿物学、鈾矿地质及其普查、放射性测量学、放射性地质学等方面的书刊。

在有关鈾的大量著作中，出現了一些极有价值的、內容丰富的著作、文集和期刊論文。1958年9月在日內瓦召开的第二届国际和平利用原子能會議的文献也已出版問世。

然而，尽管关于鈾的书刊数量很大，但地质院校的学生在学习“鈾矿的普查和勘探”这门課程时，由于時間所限，不能利用如此繁多的篇幅。他們不止一次地提出要求，希望編写一本內容紧凑、适于地质普查和勘探专业用的教学参考书，以便于学习这门課程。

为了滿足这种愿望，我們根据多年来在莫斯科C.奥尔忠尼启則地质勘探学院为地质专业的学生講授的講义提綱，试图編写这种参考书。

在編写本书中，考虑到某些鈾矿地质和普查方法的問題在已出版的有关鈾矿的书籍中已有充分的闡述，因此，在取材方面我們尽量作了压縮。

本书的手稿曾經 Д. М. 伏凱耶夫教授、Г. С. 謝尔居科娃、А. В. 加尔布申娜和 А. О. 維尔切巴副教授、А. А. 斯米尔諾夫和 В. А. 加留克 (Галюк) 两位副博士审閱。

作者謹向以上各位致謝，感謝他們提出的宝貴意見。

作者特別感謝 В. И. 庫茲明科、А. А. 达尼里雅涅茨、Н. С. 宗托夫和 Е. Е. 彼特連科等几位政府方面的評論家。根据他們的建議，本书曾作了許多訂正和补充。

讀者如能对本书提出批評意見，我們將十分感謝。

目 录

原 序

鈾的概論	1
鈾的发现、勘探和开采史	1
鈾的物理性质和放射性质	11
鈾的化学性质	28
鈾的应用范围及放射性輻射的利用	34
鈾的地球化学	40
岩石的放射性	41
土壤的放射性	50
天然水、底沉积物和大气圈的放射性	50
鈾天然富集的形成条件	61
鈾矿物	67
鈾矿物和鈾矿石的研究方法	79
光学法	79
放射性照相法	81
放射性测量法	83
螢光法	85
印痕法的化学分析	94
化学反应法	95
光譜分析和伦琴光譜分析	98
伦琴結構分析或伦琴分析	99
差热分析	100
定量化学分析及实验性化学和物理-化学研究	100
微化分析	101
鈾矿地质	107
工业鈾矿的成因类型	107
一、内生鈾矿	111

I. 正岩浆岩铀矿	111
I. 伟晶岩铀矿	113
II. 热液铀矿	119
二、外生铀矿	132
I. 风化矿床	132
氧化带和胶结带中的铀矿	133
淋滤铀矿	138
曝晒铀矿	146
I. 沉积铀矿	146
海相成因的沉积铀矿	147
陆相(湖泊、河流)成因沉积铀矿	163
铀和钍的砂矿	169
三、变质铀矿	175
I. 受变质铀矿	175
I. 正变质铀矿	180
四、其它矿床	184
含铀带、含铀域和含铀期	185
铀矿的普查	198
铀矿区的地质测量	201
铀矿的分散量	213
原生分散量	215
次生分散量	216
铀矿的普查方法	222
I. 放射性测量普查法	223
铀矿的顺便普查	231
航空 γ -普查	237
汽车 γ -普查	241
徒步放射性普查	243
I. 射气普查法	253
II. 萤光普查法	258
IV. 铀量测量普查法	258
V. 放射性水文地质普查法	262
VI. 地植物和生物地球化学普查法	267

地植物法	268
生物地球化学法	269
Ⅵ. 重砂普查法	276
Ⅶ. 坑道-钻孔普查法	280
Ⅷ. 普通地球物理普查法	283
X. 铀矿的深部普查	284
铀矿的勘探	291
铀矿勘探的总任务	291
勘探的技术手段	293
山地坑道	293
钻孔	303
放射性测量研究	308
初步勘探的目的和任务	308
详细勘探的目的和任务	310
开采勘探的目的和任务	313
各种形态类型铀矿的勘探方法	314
大面积发育的层状矿床的勘探	314
似层状矿床的勘探	318
柱状矿床的勘探	321
脉状矿化带的勘探	324
透镜状矿床的勘探	326
平行细脉的勘探	328
砂矿的勘探	330
铀矿的取样	333
矿物取样	334
化学取样	334
刻槽法	335
剥层法	341
全巷法	343
攫取法	344
打眼法	345
方格法	346
技术加工取样	347

钻孔取样	349
放射性测量取样	350
不同成因类型的铀矿取样	356
含铀遷青頁岩矿床的取样	356
含铀泥质頁岩和粘土矿床的取样	359
含铀煤矿床的取样	360
含铀磷块岩矿床的取样	363
含铀砂岩、石灰岩和白云岩矿床的取样	364
以交代矿体为主的热液矿床的取样	365
以网状細脉或浸染型矿体为主的热液矿床的取样	366
以热液細脉为主的矿床的取样	367
以中等厚度热液矿脉为主的矿床的取样	368
含铀伟晶岩的取样	369
含铀砾岩矿床的取样	370
砂矿的取样	370
样品的加工	375
样品加工流程的制定	377
样品的加工技术	380
样品加工实验室的組織	399
矿石物理性质的測定	405
铀矿石质量的研究	410
地质編录	414
铀矿儲量計算的主要方法及儲量分类	417
矿山地质	435
大地地形测量和矿山测量工作	440
铀矿石的技术加工处理	443
矿石的机械选矿法	445
铀的湿法冶金提取	448
化学淨化	452
金属铀的获取	453
铀矿石技术加工处理举例	454
矿山安全技术和剂量测量	461
参考文献	467

鈾 的 概 論

鈾的發現、勘探和開采史

鈾于1789年为德国化学家 M. Г. 克拉普罗特 (Клапрот) 所发现。他用碱中和了瀝青鈾矿冷溶液的方法得到了一种呈固体氧化物状态的鈾 (UO_2)。他把这个新元素命名为鈾，借以紀念在这不久前 (1781年) 在太阳系中所发现的天王星。

1841年法国化学家 E. M. 彼利科第一次获得了金属鈾，这才得以能研究了它的某些物理和化学性质。

1870年俄国学者 Д. И. 門捷列夫确定了鈾的原子量和原子序数，把它編入周期系中的第六族，而且預言进一步研究鈾的化学和物理性质以后，将会有很多新的发现。最近人們把鈾同門捷列夫周期系中第三族的錒系元素看作同系，因为它们的化学性质相似。

1896年法国物理学家 A. A. 貝克勒尔观察到鈾自发地放出一种射线，可以自由地通过空气层和固体物质而作用于照相底片。稍后，法国科学家皮埃尔·居里和斯克拉多夫斯卡婭-居里夫妇曾对这种射线的性质进行研究，并把这种自发的輻射現象称为元素的放射性。1898年居里夫妇首先从捷克斯洛伐克雅希莫夫矿区 (Яхимовское месторождение) 的瀝青鈾矿中提炼出一种新元素——鐳。这种新元素經随后的研究証明，具有极为强烈的放射性。

1899年英国物理学家卢瑟福在研究放射性輻射时发现，輻射的性质并不是单一的，其中可分出 α 射线和 β 射线，而后分出 γ 射线。經過对这些射线的物理特性的研究已經可以制造原子和原子核的实际模型，而所获得的資料在元素的人工核轉变的工作中也得到了利用。1919年卢瑟福胜利地进行了核裂变的初步工作。

由于坚持不懈的研究的结果证明，放射性辐射可以在医学上用来治疗恶性新生赘瘤、风湿病、痛风及其他病症。由于这些新的发现，镭和钋引起了人们格外的注意，因为这些元素都具有十分强大的放射性。最引人注意的是镭，它的工业开采远在1906年就已经开始了。

镭本身并没有天然矿物，因此，为了取得镭就开始开采铀矿——铀矿总是含有少量的镭。当时铀的实际应用很有限：它多用在纺织、玻璃和陶瓷等工业中作染料，在提取镭时铀也未被充分回收，因此大量地抛置在选矿厂的废矿堆里。

镭的价格急剧上升，而且高得惊人：1905年1克镭约值2万5千美元，而在1916年—1921年间1克镭约值10万—12万美元。镭的价格既然如此昂贵，很多有铀矿的国家便广泛地发展镭的开采工业。

为了获得镭，便开始开采铀矿：1908年从葡萄牙的热液矿脉和南澳大利亚的伟晶岩中开采；1909年从康沃耳的铀铜矿床中开采；1910年从澳大利亚蒙特品捷尔矿床中瑞典页岩、挪威的伟晶岩和美国科罗拉多高原的钾钒铀矿砂岩中开采；1921—1923年间从刚果(利)南部的加丹加地区的铜-铀矿床中开采，同时还发现到这里的储量丰富、品位极高的铀矿，如申戈罗布维、卡姆博维、路易斯维什等；在1930—1933年间从加拿大北极地区的大熊湖热液矿床的银-铀-钼矿脉及其有名的埃耳德腊多矿山中开采。这座名矿直到二次世界大战之前，在世界上除了刚果(利)加丹加外它一直是最大的镭产地。

在上述地区（仅瑞典的铀页岩矿例外），从地下采出来的铀矿石中都含有很富的铀矿物，在很多情况下可用手选的方法取得铀精矿。例如：在乌尔日利克铀矿床，葡萄牙矿山从氧化带采出来的是含 U_2O_5 达1—2%的矿石；在申戈罗布维矿床开采出来的是铀含量高达3—7%的沥青铀矿，而在分选出来的矿石中铀含量达50%；从大熊湖矿脉中开采出来的矿石含铀1—2%；从雅希莫夫矿床开采的是块状沥青铀矿；从南澳大利亚和挪威的伟晶

岩中用手拣含鈾矿物的方法可取得富精矿。

在采鐳方面，申戈罗布維和大熊湖的矿床起的作用最大。人們对这些矿床的兴趣較大并不只是因为它們的鈾含量高。这些矿床中的鈾矿石是由瀝青鈾矿組成的，与其他鈾矿物相比，含鐳最富。

如果鐳鈾之間持有地球化学平衡的話，那么 1 吨瀝青鈾矿 ($k\text{UO}_2 \cdot l\text{UO}_3 \cdot m\text{PbO}$) 中应含純鐳 260 毫克左右。但是，由于鐳的淋滤或者由于瀝青鈾矿的时代較新，这种平衡常常有所偏移，因此鐳在瀝青鈾矿中的含量比理論上推算出来的含量要略低一些。其它各种鈾矿物含鐳更少，可是它們也都成了提取鐳的开采对象。

在开采鈾矿的初期，鐳的世界年产量总共只有数克，后来提高到 30—40 克，1939 年达到了 1758 克。从开采鈾矿以来直到 1939 年止，鐳的世界产量总和为 1000 克。这个数量只是在处理了 4 千—7 千吨以上的从地下采出来的鈾以后才能取得。

从鈾矿石中提取鐳的工艺加工是在許多工厂中进行的。例如，1909 年在法国就建成了第一座鐳的加工工厂以处理約希姆斯塔尔^①矿石。后来这座工厂又接受葡萄牙的鈾矿石和科罗拉多的鉀鈾鈾矿石进行加工。此后不久在奥匈帝国又有一家官方經營的鐳工厂开工生产。1914 年在登維尔（美国）又开办了一座鉀鈾鈾矿石的鐳工厂。在这座工厂开办之前，这些矿石都运往法国加工。由于这座工厂的开办，自 1914 年起，美国的鐳工业在世界鐳工业中曾起过主导作用。但 1922 年，在沃冷（Оолен）开办了一座比利时鐳工厂，專門加工加丹加的富矿石。此后不久美国的鐳工业就縮小了活动范围。

在开采鈾矿床提取鐳的同时，世界各国建立了很多研究机关，就放射現象的实际应用进行了大量的科学研究工作。法国建立了巴黎居里研究所，由 1934 年发现了人工放射性的約里奧-居里夫

① 約希姆斯塔尔属德意志民主共和国。——編者注

妇领导。在奥地利建立了以 O. 甘 (Ган) 为首的維也納鐳研究所；在德国由 C. 梅耶尔 (С. Мейер) 领导的柏林凱撒-威廉研究所 (Берлинский Кайзер-Вильгельм-Институт)；在苏联有以著名学者——В.И. 維尔納茨基院士和В.Т. 赫洛宾院士领导的列宁格勒鐳研究所。这些研究所的研究工作取得很大成就，至1939年就已经发现了原子核的人工裂变以及据此而导出实际应用它所儲藏的巨大核能的方法。

尽管有了极为宝贵的发现，但在1940年以前許多国家反倒对采铀的兴趣大大降低了，这是由于鐳的銷路剧减，鐳的价格每克降到2万美元。

某些国家停止开采铀，也与象申戈罗布維和大熊湖这样举世无双的大型铀矿的发现有关。

远在1909年，由于南阶地 (Южный Террас) (英国) 这个在当时仅知是有铀矿的矿床已经采尽，在康沃耳就停止了采铀的工作。1929年总规模不大、铀含量較低的科罗拉多鉀釷铀矿床采鐳的工作也停下了。1936年刚果 (利) 加丹加地区铀矿也关闭了；这里开矿十五年以來，即从1921至1935年总共采出10万吨放射性矿石，当时山地坑道深达150米。1939年葡萄牙也停止了采铀。葡萄牙在1926年曾达到了最大开采量，当时在世界鐳的供銷國中占第四位。由于鐳的价格继续剧降，在埃耳德腊多为提取鐳而开采铀的工作量也下降了，1940年，当开采业已完全无利可图时，这个地区的铀矿全都关闭了。

茲将1909—1939年間鐳的世界生产情况列入表1。

1932年和1933年鐳的开采量曾大幅度下降，这是资本主义国家連續的工业危机所造成的。

从1942年起，原子能开始利用，于是铀的开采量复又剧增。从这时起铀之引人重視不再是因为它可作为提取鐳的原料，而是因为它可以作为核燃料。过去废弃的矿山又重新复工；1942年埃耳德腊多和刚果 (利) 加丹加恢复生产；1945年葡萄牙和科罗拉多恢复生产。1942年刚果 (利) 从封存儲量中开采了600多吨铀，

鑛的世界(苏联除外)开采量①(克)

表 1

年 度	約 希 姆 斯 塔 尔	美 国	法 国	比利时	加 拿 大	葡 萄 牙 西 班 牙 英 国 等	年总产量
1909	0.7217	—	—	—			
1910	1.2937	—	—	—			
1911	2.0144	—	—	—			
1912	1.6977	—	—	—			
1913	2.1174	—	—	—			
1914 ⁺	0.8751	—	—	—			
1914/1915	1.7118	—	—	—			
1915/1916	1.4013		13.5			5.4	
1916/1917	1.4199			—			
1917/1918	2.7749			—			
1918 ⁺⁺	0.0459	154.0		—			
1919	0.9689			—			
1920	2.2310			—			
1921	3.200			—			
1922	2.230	12.21		3.00			
1923		—	1.00	25.00		2.30	
1924			1.00	—		2.00	
1925	每 年	—	—	—		—	
1926	1.5—2.0	—	—	20.0		—	
1927		—	—	26.0		—	
1928		—	—	40.0		—	
1929	3.5	0.2		60.0			63.7
1930	3.6	0.2		61.0			64.8
1931	3.7	—		44.0			47.7
1932	3.8	0.4		6.0			10.2
1933	3.3	0.2		6.7	3.0		13.26
1934	2.7	1.0		†	3.0		27.08
1935	2.9	3.3		†	8.4		25.54
1936	5.0	2.7		†	15.6		35.52
1937	2.0	3.1		30.0	23.9		59.0
1938							99.62
1939							175.80

⁺ 上半年 ⁺⁺ 下半年

① 根据 Г. М. 費尔德曼 (Фельдман) (1940), В. С. 多馬列夫 (Домарев) (1956) 的資料及技术百科全书 (13卷, 1932)

在复工的埃耳德腊多矿山中也开采了400—500吨。

在随后的几年里,由于各国投入了大量资金进行普查和勘探,开发了許多新的矿床,铀的开采量一直是上升的。此外,还由于加工工艺的完善,铀还可以从贫矿中提取,或者在处理綜合性矿石,例如在处理佛罗里达的磷鈣土,威脫华泰斯兰的含铀砾岩和印度的独居石时順便提取。

1953年资本主义国家开采了不下于9,000吨铀,1954年,据德国专家M.陆宝(Pybo)报导,开采量为10,000吨,而在1955年和1956年,铀的开采量保持在12,000—15,000吨的水平上。

根据約翰松(Johnson, 1957)的报导,1957年资本主义国家开采的铀矿石折合成铀約为16,000吨,而在1959年达到了30,000吨,其中美国和加拿大生产了20,000吨以上。1960年預計采铀40,000吨左右。

关于资本主义国家铀的开采水平仅能根据間接的資料判断,因为有关铀矿石的开采量及其在资本主义市場上的銷售量的准确数据是沒有的。

近来资本主义国家之間,为了爭夺铀原料,展开了拚命的竞争。

从这个角度可以指出,1955年美国进口了24,000吨铀原料(折合成 U_3O_8),而美国自己开采的只有几千吨。在供应美国铀矿的国家中,刚果(利)的加丹加占首位;比利时将开采出来的铀約有90%輸入美国和英国,其比例为3:1,只有少量由比利时自理。

美国規定到1962年3月有效的铀原料的保証购买价格以及和各公司签定的合同,都保証了在各个矿区的相应的铀开采量。这种购买价格(即1公斤 U_3O_8 精矿17.8美元)将从1962年3月延期到1966年。約翰松(1958)指出,资本主义世界市場形成的这一价格,即每公斤 U_3O_8 18—22美元,使资本主义国家铀产量能維持在每年40,000吨的水平上。

由于在美国、加拿大、非洲、澳大利亚、法国、印度以及其他地区发现了許多新的铀矿床,铀的原料基地和它在各国的儲量

分布情况都有了一些变化。

美国在鉀钒铀矿发育地区——科罗拉多、犹他、内华达、新墨西哥、怀俄明、爱达荷等州内进行了大量的勘探工作，发现了一些新矿床或者在先前已知的矿床中又大大增加了储量。在新发现的矿床中最大的要算新墨西哥的安布罗西亚湖矿床，估计该矿储量为11万5千吨铀，矿石中 U_3O_8 的平均含量为0.03%。该矿在勘探期间共打了5千个钻孔，总进尺为一百万米。

美国加速了对鉀钒铀矿床的开采工作。到1955年止，各公司创办了1千座矿山。后来对企业进行了合并，因而矿山的数目大为减少。

在开采铀矿的同时，还进行着大规模的普查勘探工作。后一种工作的规模大小，只要指出下面事实便能判断出来：美国在勘查鉀钒铀矿时钻孔总进尺数在1954年为100万米，而在1955年则为150万米。

1953年美国从鉀钒铀矿中开采了1,200吨铀，1955年则为1,700吨；据专家报导，这个地区铀的开采量每过一年半的时间大约要增加一倍。美国最大的矿床除了安布罗西亚湖之外，还有米维达、蒙纽门特、怀特、卡尼昂、海皮杰克、哲克拜耳等。

加拿大由于发现了许多新矿床，最近铀的开采量也在剧增。采铀的地方集中在三个大矿区：（1）大熊湖、阿撒巴斯卡和比维尔洛支，这里开采的是埃尔多拉多、古纳尔、里克斯、涅斯比特、拉宾、罗拉多、布兰湾、埃斯、拉迪奥尔等矿山的脉矿；（2）布兰德河-阿尔戈玛，这里是不久前才在含铀砾岩中勘探到储量巨大的铀矿床；（3）班克洛夫特地区，这里是伟晶岩中的矿床。

这三个地区铀的年产量保持在3、4千吨，是加拿大采矿工业中最主要的部门。据A.X.朗格（Лэнг, 1957）报导：《供应铀化合物的采矿才签订了一些有效期至1962年的合同，其总额为7亿美元。》

在布兰德河-阿尔戈玛地区含铀砾岩中的铀矿床特别有价值；这些矿床从1948年开始勘探，结果发现铀的储量很大。根据这些

儲量已建成并正在建設若干座鈾矿山。加拿大的鈾矿儲量有90%集中在砾岩矿床中。

非洲的威脫华泰斯兰含金砾岩矿床有着巨大的工业价值，这里的鈾的工业提取是从1953年开始的。这个地区的鈾主要与金共生。鈾在矿石中含量比金的品位高10—15倍。目前，这里金的年产量已达4百吨，順便提取的鈾也不少于4—5千吨。此外，鈾还能从选矿厂加工过的废矿中提取，并且也能从比尔茲基山和多米尼加礁島的純鈾矿床中提取。

根据現有資料，1956年威脫华泰斯兰的二十六座矿山共开采了約4千吨鈾；矿石含0.005—0.06% U_3O_8 和4.5—5克/吨的金，分別在17个工厂中加工。

在澳大利亚、法国和印度，鈾的开采量近来也在扩大。

在澳大利亚正在开采的矿床有鐳山、拉姆詹格尔，梅丽卡特林等矿床以及其他一些位于阿特兰塔河流域以及南阿利格特的矿床。

法国1953年鈾的开采量总共达1百吨左右，但現在由于发现了新的矿床，鈾的开采量急剧增加了。根据已知矿床，目前法国鈾的总远景儲量計达5万—10万吨；E·考尔（Kohl, 1957）指出，看来法国是欧洲开采鈾矿的第二中心。

印度从独居石中开采鈾，特兰瓦哥尔砂矿中鈾的儲量甚为丰富。

资本主义国家鈾矿的普查勘探工作量逐年有所增长（表2）。

沉积矿床在资本主义各国鈾的儲量中居主导地位，占有儲量的百分之九十，鈾开采量的百分之八十。

如果把貧的綜合性矿石——含鈾的磷块岩、頁岩、褐煤和独居石——中的鈾儲量也計算在內，那么资本主义国家的儲量則約为七百万吨。

根据鈾的儲量，鈾矿可划分为：1）儲量为数百吨的小型矿床；2）儲量为2—3千吨以內的中型矿床；3）儲量为万吨以上的大型矿床和特大型矿床。鈾儲量为数百吨的矿床沒有单独开采

资本主义世界各国鈾的儲量和开采量

表 2

(据 H. C. 威托夫, 1959)

国 家 名 称	1958年鈾的 儲量(吨)	矿石中鈾的 含量(%)	1957年鈾的 开采量(吨)	1959年預計 的鈾开采水 平(吨)
加 拿 大	295,000	0.087	5,100	10,000
南 非	255,000	0.026	4,780	5,400
美 国	170,000	0.22	6,500	11,500
澳 大 利 亚	10,100	0.22	380	900
法 国	15,000	0.15	380	750
意 大 利	10,900	0.091	5	100
比 利 时	6,000	0.30	850	850
其他国家(西班牙、葡 萄牙、印度、日本、阿 根廷等)	38,000	0.10	205	500
共 計	800,000	0.053	18,200	30,000

的价值, 如果鈾的总儲量足够做赢利性的开采工作的話, 那么可以和其他矿一同开采。

按矿石的质量, 矿床可分为: 貧矿或劣矿——矿石中鈾含量万分之几者; 普通矿——鈾含量为千分之几者; 富矿——鈾含量在百分之几者, 例如: 刚果(利)的加丹加和加拿大的大熊湖。

国外开采单独鈾矿床采取的下限鈾含量为 0.06—0.1%; 在順便开采鈾时认为有利的矿石鈾含量为 0.01—0.03%。例如, 在佛罗里达的磷块岩中, 鈾的含量为 0.005—0.01%, 仅在个别的地段鈾含量才达到 0.04%; 但是, 在开采过磷酸盐的原料磷块岩时順便采取鈾仍是有利的, 同时, 鈾的順便开采量每年可达 1 千吨, 因为这个地区的磷块岩的年开采量約为 1 千万到 1 千 3 百万吨。在威脫华泰斯兰的砾岩中鈾含量为 0.006—0.06%, 平均为 0.02—0.04%。

表 3 是 Б. В. 涅夫斯基 (Невский, 1959) 依据綜合性矿石加工的实际生产情况編制的。表內列出了能够大致評定可以順便提取的伴生矿物的最低含量数据。

早先开采的鈾矿床, 其矿石中的含量都在 0.2—0.25% 以上。

目前更貧的鈾矿也收入开采之列。矿石鈾含量的最低标准降低的原因是：1) 对鈾矿的需求急剧增长；2) 富矿开采殆尽；3) 从貧矿中提取鈾的工艺的改革；4) 綜合性矿石——金矿、磷块岩、鉍-鈾矿以及其它含鈾矿石也被利用起来。

在评价鈾矿的时候，不仅要考虑矿石中鈾的含量及其在工艺加工过程中的提取能力，而且还要考虑到有无伴生矿物可以順便开采。沉积矿床的鈾含量比較低，但是大儲量的沉积矿床比其他成因类型的大儲量鈾矿更为常見。

从上面列举的資料可以看出，鈾矿床开采的历史可分为两个阶段。第一阶段的特点是，开采含鈾比較富的矿石从中提取鐳，开采規模不大；这一阶段所包括的时期是从1906年到1940年。第二阶段从1942年开始，由于发现了鈾能被用来获取原子能，鈾的普查、勘探和开采在世界各国开始大規模地发展起来，于是被开采的不仅是鈾含量高的富矿，而且还有比較貧的鈾矿石。

綜合性鈾矿中伴生組份的大致最低工业含量 表 3

矿 石 类 型	最 低 工 业 含 量	
	鈾 (当其他組份为工业含量时) (%)	其他伴生組份 (当鈾为工业含量时)
金-鈾矿	0.01	0.5—1克/吨 金
磷-鈾矿	0.01—0.02	5—10% 五氧化磷
鈾-鈾矿	0.02—0.03	0.5—1% 五氧化鈾
鈾-銅矿	0.02—0.03	0.2—0.3% 銅
含鈾的煤和頁岩	0.03—0.05	20—30% 可燃物
鈾-黃铁矿	0.01—0.02	2—3% 硫
鈾-鈾矿	0.01—0.02	1—2% 五氧化鈾
鈾-鈾矿	0.01—0.02	0.05—0.1% 五氧化鈾
鈾-鈾矿	0.01—0.02	0.05—0.1% 二氧化鈾