

热液铀矿床

re ye you kuang chuang

〔美〕 R. A. 里奇、H. D. 霍兰、U. 彼得森

原子能出版社

热 液 铀 矿 床

[美] R.A.里奇、H.D.霍兰、U.彼得森

巴 山、孙 裕 译

任 文 校

原 子 能 出 版 社

热液铀矿床

〔美〕 R. A. 里奇、H. D. 霍兰、U. 彼得森

巴 山、孙 裕 译

任 文 校

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 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $7 \frac{1}{2}$ ·字数198千字

1980年12月第一版·1980年12月第一次印刷

印数001—1600·统一书号: 15175·235

定 价: 1.00 元

内 容 简 介

本书分为两大部分:第一部分详细讨论了有关热液铀矿床的主要成因问题。作者通过大量的文献调研和野外工作,认为热液铀矿床和砂岩型铀矿床的地球化学行为相似。铀都是通过氧化溶液搬运的,并由六价还原成四价而沉淀成矿。这种看法对于寻找新的热液铀矿床是有指导意义。第二部分描述了世界上许多热液铀矿床,根据目前已有的文献,总结出这些矿床的特征。

本书简明扼要、取材较新、内容丰富,是目前论述热液铀矿床较好的著作。对于我国从事铀矿地质生产、科研人员及地质院校师生有一定参考价值。

前 言

最近几年来，国际范围内对铀及铀矿石的兴趣又有了巨大的增长，其原因是明显的。我们的石油和天然气的供应突然变得无保证和迅速减少。由于对健康和环境的危害，迅速增加煤的开采和利用的前景也是模糊的。太阳能作为主要直接能源也只是有限地得到利用，而且核聚变发电的前景也靠不住。看来，在今后五十年内，以铀为燃料的裂变反应堆对世界提供一部分重要动能来说是必不可少的。由此而值得考虑的是：是否有足够的价格适宜的铀矿石可供开采，并且不致造成严重的环境污染。

美国开采的绝大多数铀矿石是来自“科罗拉多高原”型和“怀俄明卷”型砂岩铀矿床。热液铀矿床，即呈不整合脉、网脉、角砾岩带和不规则交代岩体产出的矿床，只占美国生产量及储量总和的4%，但是这类矿床一直是加拿大、欧洲、澳大利亚和扎伊尔主要的，甚至是占绝对优势的铀资源。有充分理由认为，在美国和其他地方进一步勘探热液铀矿床是会取得成功的。而且对这种类型矿床的性质、分布和成因了解得越充分，取得成功的机会就越多。本书首次尝试在这方面做些促进工作。本书也是从作者之一——U. 彼得森1973年为埃克森公司写的报告中提炼出来的。1975年本书的两位作者——R. A. 里奇和H. D. 霍兰——又修改了该报告，并增添了内容，作为根据AT(05-1)-1640合同为美国能源研究和发展署所完成工作的一部分。最后的报告作为能源研究和发展署1975年末GJO-1640报告而存档。热液铀矿床正文是三位作者于1976年初在修改能源研究和发展署报告的基础上编写的。

本书分两部分。第一部分从整体上详细描述了热液铀矿床。

我们试图综合归纳热液铀矿床的性质，说明其在铀地球化学循环中的位置，并提出了解释热液铀矿床的产状和其矿物学的成因模式。

通过查阅文献和野外工作，我们开始对热液铀矿床同砂岩型铀矿床在地球化学性质上相似这一点印象很深。很可能在此两种类型矿床的形成过程中，铀在氧化溶液所搬运，并经还原作用由六价变为四价而沉淀。从长远来看，利用此假说寻找新的热液铀矿床是很重要的。本书第二部分描述了世界上许多重要的热液铀矿床。我们力图综合目前有关的文献，并总结这些矿床的突出特征，特别是对成因有影响的特征。

在编写本书过程中，承蒙许多同人和单位的帮助，作者深表谢意。

目 录

前言

第一部分 热液铀矿床的地质、地球化学和成因

第一章 铀的分布

一般概述	3
火成岩	4
沉积岩	6
变质岩	7
天然水	7

第二章 热液铀矿床特征

地质环境	11
矿床年龄	12
矿物学	12
共生组合	13
围岩蚀变	25
小结	27

第三章 热液铀矿床液包体研究述评

引言	30
与沥青铀矿沉淀有关的液包体研究	30
其他热液铀矿床的液包体研究	38
小结	38

第四章 热液中铀的迁移

引言	42
晶质铀矿和U-O系	42
$\text{UO}_3\text{-H}_2\text{O-CO}_2$ 系中的固体相	43
U-O- H_2O 系矿物成分饱和的水溶液中的铀含量	45
U-O- $\text{H}_2\text{O-CO}_2$ 系矿物成分饱和的水溶液中的铀含量	50
水溶液中其他组分对铀含量的影响	54

小结	55
第五章 热液中沥青铀矿的沉淀	
引言	59
沥青铀矿沉淀的还原作用机理	59
沥青铀矿沉淀的 CO_2 逸出机理	62
其他参数的影响	68
小结	69
第六章 热液铀矿床成因	
引言	72
地下被强烈氧化了的溶液的来源	72
可淋滤铀源	77
还原剂	78
水文环境	79
小结	82
第二部分 热液铀矿床描述	
一、北美洲	
(一)加拿大	89
1. 萨斯喀彻温省	89
(1)比弗洛支地区	89
A. 费伊-爱斯-弗尔纳矿山和博尔格露天矿	98
B. 甘纳尔矿山	102
C. 罗拉多矿山	104
D. 凯佐尔矿山	104
E. 辛奇湖矿山	105
F. 里克斯矿山	105
(2)阿萨巴斯卡盆地	106
A. 拉比特湖矿山	106
B. 克勒夫湖矿床	109
2. 西北地区	110
(1)大熊湖区	110
A. 埃尔多拉多/爱科湾矿床	116
B. 特雷矿山	118

(2) 雷罗克矿山	122
3. 拉布拉多半岛	122
马科维克-西尔湖铀矿床	122
(二) 美国	127
1. 亚利桑那州	128
沃尔凡矿床	128
2. 科罗拉多州	132
(1) 弗朗特山区	132
A. 施瓦兹瓦尔德矿山	134
B. 尤宁·培西非克矿山	138
C. 卡里堡矿山	138
D. 中心城地区	141
(2) 马歇尔·派司地区	144
皮契矿山	144
(3) 科契托帕地区	145
洛斯·奥乔斯矿山	145
3. 爱达荷州	147
桑赛因矿山	147
4. 内华达州	148
里斯河(澳斯汀)地区	148
5. 俄勒岗州	149
莱克维尤地区	149
6. 犹他州	149
麦里斯维尔地区	149
7. 华盛顿州	153
米德尼特矿山	153
二、澳大利亚	
(一) 达尔文地区	161
1. 拉姆·詹格区	163
2. 南阿利盖特河区	166
3. 阿利盖特河区	167
(二) 玛丽凯恩林矿床	168

三、欧洲

(一)中欧	173
1. 埃尔茨地区	173
(1)雅希莫夫	173
(2)霍尔尼斯拉夫科夫地区	179
(3)约翰乔治斯塔特区	179
(4)施纳贝格区	181
(5)弗赖贝格区	181
2. 普日布拉姆区	183
3. 拉贝·里尼蒙特地区	186
(二)西欧	186
1. 法国	186
(1)利木赞地区	187
(2)福雷地区	192
(3)莫尔旺地区	193
(4)旺代地区	195
(5)法国的其他铀矿床	199
2. 葡萄牙	200
(1)乌里热里萨矿床	200
(2)皮涅尔矿床	201
3. 康沃尔区	203

四、非洲

(一)加蓬	210
(1)穆纳纳矿床	210
(2)波因吉矿床	212
(3)奥克洛矿床	212
(二)纳米比亚	212
罗辛矿床	212
(三)扎伊尔	216
(1)欣科洛布维矿床	217
(2)斯旺波矿床	218
(3)卡隆维矿床	219

第 一 部 分

热液铀矿床的地质、 地球化学和成因

第一章 铀的分布

一 般 概 述

铀是一种富集于地壳上部的亲石元素 (Dybek, 1962; Clark et al., 1966; Rogers and Adams, 1967), 铀在地壳的平均丰度约 2ppm。天然铀以四价 (U^{4+}) 和六价 (U^{6+}) 状态产出。在大多数地质环境中, 铀以 U^{4+} 状态存在, 因为 U^{6+} 状态只有在氧化条件下才是稳定的。 U^{4+} 离子半径很大, 电荷高, 难于进入主要造岩矿物晶格中 (除痕量外); 但是, 大量的铀常常在副矿物中发现, 如方钍石、钍石、钍脂铅铀矿、褐帘石、磷钇矿、锆石、萤石、磷灰石和重晶石。在岩石中铀多数呈分散状, 这部分铀可能分布于造岩矿物颗粒外面的薄膜中, 而且易被稀酸所淋滤 (Larsen et al., 1956; Barbier et al., 1967; Szalay and Samsoni, 1969)。在氧化条件下 U^{4+} 易转变成 U^{6+} 。风化露头中的铀, 淋滤很快 (Barbier and Ranchin, 1969), 并且随着碳酸铀酰络离子和硫酸铀酰络离子的形成, 淋滤量增加 (Katz and Rabinowich, 1951; Dybek, 1962; Garrels and Larsen, 1959)。还原作用能大量地使铀从氧化溶液中析出。在自然界, 由于硫化物、二价铁、含碳物质或碳氢化合物的存在, 因而经常发生还原作用。铀也能被粘土、有机质和氢氧化铁吸附而从水溶液中析出。

晶质铀矿是含铀最富的铀矿物, 通常只呈 U^{4+} 产出。在某些热液铀矿床中发现有少量铀石。不过, 含六价铀的矿物很多。弗罗德 (Fron del, 1958) 和弗罗德等 (Fron del et al.,

1967) 总结了铀的矿物学。沥青铀矿是细粒状、块状、葡萄状或烟灰状的晶质铀矿变种。它是热液矿床中最重要的铀矿物。沥青铀矿的理想分子式为 UO_2 ，但在自然界中，总是存在一些 U^{6+} 。因此， $(U^{4+}_x, U^{6+}_y)O_{2+x}$ 为沥青铀矿较真实的分子式。天然沥青铀矿具有可变组成，变化范围为 $UO_{2.6}$ (Fron del et al., 1967)。目前尚不知道沥青铀矿成分的变化是反映原始沉淀条件的不同，还是反映沉淀后氧化作用的结果。岩浆岩和伟晶岩中的晶质铀矿通常含有大量的钍和稀土，但是热液沥青铀矿则不含这些成分 (Fron del et al., 1967)。

火 成 岩

表1-1表明，铀多半在岩浆分异作用的晚期阶段富集 (Larsen et al., 1956)。铀的高度富集通常与钾、硅的高度富集有密切关系。花岗岩和碱性岩通常含有2—4ppm铀，但是铀含量超过10ppm的长英岩（特别是其伟晶派生岩）也是常见的。例如，科

表1-1 各类火成岩的铀含量 (ppm)

(数据引自Clark et al., 1966; Rogers and Adams, 1967)

岩 石 类 型	平均值	变动范围
纯橄榄岩、橄榄石结核和橄榄岩包体	—	0.003—0.05
辉 岩	0.70	—
榴辉岩（地壳的、变质的、金伯利岩的和玄武岩的包体）	—	0.013—0.80
镁铁质火成岩	0.9	<0.2—3.4
闪长岩和石英闪长岩	2.0	<0.5—11.5
花岗闪长岩	2.6	<1 —9
花岗质岩石	—	2.2—15
硅质火成岩	4.7	<1 —21
硅质喷出岩（流纹岩和英安岩）	5.0	—
碱性侵入岩	—	0.04—19.7

罗拉多州中央城地区的淡歪细晶岩脉含100ppm铀(Phair, 1952)。镁铁质岩石和超镁铁质岩石的铀含量一般低于1ppm。

火成岩中长英矿物的铀含量,一般比黑云母、角闪石、辉石要少得多。在磷钼矿、锆石、独居石、榍石、褐帘石、绿帘石和磷灰石等副矿物中,铀含量最高。表1-2列出了已报道的各种火成造岩矿物的铀含量。许多常见造岩矿物中铀含量较高,可能是由于含有富铀矿物的固包体所造成的(例如黑云母中的锆石)。从表1-2中列举的数据可明显看出,只要存在少量的副矿物,就能大大影响岩石中的铀含量。在有一种或多种铀矿物(如品质铀矿、钍石、方钍石、钛铀矿和黑稀金矿)作为副矿物产出的岩石中,尤其是这样。

表1-2 火成造岩矿物的铀含量 (ppm)

(数据引自Clark et al., 1966; Rogers and Adams, 1967)

主 要 矿 物	变动范围	副 矿 石	变动范围
石 英	0.1—10	褐帘石	30—1000
长 石	0.1—10	磷灰石	5—150
白云母	2—8	绿帘石	20—200
黑云母	1—60	石榴石	6—30
角闪石	0.2—60	钛铁矿	1—50
辉 石	0.01—50	磁铁矿	1—30
橄榄石	~0.05	独居石	500—3000
		榍 石	10—700
		磷铁矿	300—35000
		锆 石	100—6000

在法国已证实,热液铀矿床与富铀的二云母花岗岩有密切关系(Gangloff, 1970)。与此相类似,马贾尼米和巴斯勒(Marjaniemi and Basler, 1972)发现,在空间上与美国西部已知热液铀矿床有关的各个新生代和中生代侵入岩体中,铀含量异常高。有关花岗质岩石中铀含量数据的参考文献列于附录1。

沉 积 岩

表 1-3 概括了沉积岩中铀的分布。沉积岩的平均铀含量大约与火成岩中的平均值相同。但在不同的沉积岩中，铀的分布变化很大。纯砂岩通常含铀很少，而铀多半富集在“重”副矿物中。纯灰岩同样含铀很少。然而在其他沉积岩中，特别是在页岩和磷灰岩中，铀明显地富集。页岩的铀含量与其中的粘土和有机碳的含量有关。缓慢沉积的碳质页岩，如美国中南部的晚泥盆世-早

表 1-3 各类沉积岩的铀含量 (ppm)

(数据引自Clark et al., 1966; Rogers and Adams, 1967)

	平均值	变 动 范 围
细粒碎屑岩		
普通页岩	3.7	1—13
北美灰色和绿色页岩	3.2	1.2—12
曼科斯页岩 (美国西部)	3.7	0.9—12
黑色页岩	—	3—1250
粗粒碎屑岩		
砂岩 (包括长石砂岩和硬砂岩)	—	0.45—3.2
正石英岩	0.45	0.2—0.6
碳酸盐		
碳酸盐岩石	2.2	0.1—9
俄罗斯碳酸盐	2.1	—
北美碳酸盐	2.2	0.65—8.8
加利福尼亚灰岩	1.3	0.03—4.9
佛罗里达灰岩	2	0.5—6
其他沉积岩		
海相磷块岩	—	50—300
蒸发岩	—	0.01—0.43
斑脱岩	5.0	1—21
铝土矿	8.0	3—27

石炭世查塔努加页岩（平均为70ppm U_3O_8 ）和瑞典的寒武纪明矾页岩（平均为300ppm U_3O_8 ），都是潜在的铀矿石。海相沉积物中的有机质，对海水中的 U^{6+} 起着还原剂的作用。但关于还原碳和页岩中铀含量之间的准确变量关系至今仍不清楚。铀容易与磷灰石同时沉淀，因此铀能牢固地富集于海相磷块岩中。在美国南部，从含 U_3O_8 100—200ppm 的磷块岩中作为副产品回收铀。

变 质 岩

变质岩中的铀含量变化很大，其含量可能反映其变质前原始岩石中的铀含量。但是一些变质程度高的岩石，相对于同样的变质程度低和未变质岩石来说，铀含量明显地减少。很可能在达到麻粒岩相变质程度期间，铀向地壳上部移动(Heier and Adams, 1965)。

天 然 水

大多数天然水中溶解的铀含量不超过几个 ppb。海水中的铀含量较固定，为1—4ppb。多数地表水和近地表大陆水中的铀含量略微低些。而且作为一类，其变化更大些。根据文献报道，其变化范围为从小于0.1ppb到大于1000ppb。但在天然水中，铀含量大于100ppb的情况极为少见，通常只在铀矿化的含水层中见到。在水化找矿时进行这种观测是有意义的。有关大陆地下水中铀含量数据的参考文献列于附录2。

大陆地下水中溶解的铀含量与许多变化因素有关，其中最重要的是含水层的岩石类型和地下水的组分（特别是 f_{O_2} ）(Barke_r and Scott, 1958; Scott and Barker, 1962; Lopatkina, 1964)。表1-4归纳了斯科特和巴克 (Scott and Barker, 1962) 的关于美国不同类型围岩与稀释低温地下水中铀含量关系的数