

全球热液铀矿地球化学

——对当代国际热液铀矿理论的重建

杜乐天 著

地质出版社

全球热液铀矿地球化学

——对当代国际热液铀矿理论的重建

杜乐天 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是作者通过三年对全球重要铀矿原文献的深入调查、整理和再加工,发现国际现有矿床分类比较混乱,实际上绝大多数是属于热液型。再者他们揭示的成矿规律只限制在岩石学、矿物学层次,尚未上升到地球化学层次。西方学者一不懂中文,二不懂俄文,只是用英文撰著难以视为国际水平。经过重新认识,提出以下新的基本成矿规律:玄武岩事件基性岩墙贯入,引领幔汁上涌,通过长石化-绢英岩化碱交代作用成矿。今后在国际学坛上应有中国研究的话语权。

本书可供从事铀矿地质和一般矿床地质研究的生产、科研和教学人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

全球热液铀矿地球化学:对当代国际热液铀矿理论的重建 / 杜乐天著. —北京:地质出版社, 2015. 7

ISBN 978 - 7 - 116 - 09275 - 4

I. ①全… II. ①杜… III. ①火山岩型铀矿床—地球化学 IV. ①P619. 14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 117620 号

责任编辑:唐京春 白 铁

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话:(010) 66554528 (邮购部); (010) 66554625 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真:(010) 66554686

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm¹/₁₆

印 张:10

字 数:300 千字

版 次:2015 年 7 月北京第 1 版

印 次:2015 年 7 月北京第 1 次印刷

定 价:40.00 元

书 号:ISBN 978 - 7 - 116 - 09275 - 4

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

序

本书是杜乐天研究员继 2012 年出版的《中国铀矿床研究评价——花岗岩型铀矿》(上、中、下册)之后的又一铀矿地质理论专著。不同的是本书的支撑资料来自全球热液型铀矿床,通过系统梳理和精辟剖析,对当代国际热液铀矿理论及其科研路线提出了诸多质疑、反思和批鉴,并独辟蹊径,展现给读者一个“全球热液铀矿成因理论体系”,本人认为也是对其几十年孜孜不倦、潜心探索的“幔汁成矿论”的进一步丰富和发展。

本书篇幅简练,但内容十分广泛丰富,研究思路 and 理论观点都有很强的创新性和启发性。以本人浅见,有几个方面很值得我们同行,特别是后来者的学习和重视。其一,地质科学研究不仅要特别关注特殊的地质现象,还要注意揭示普通地质现象背后的大量奥秘。大量的基性岩, Si、K、Na、Al、Ca、P、O、C、H、N、S 等常量元素及矿物,都是地质的普通现象,大家熟视无睹,就像天天走楼梯而从不知道楼梯有几级一样,作者却抓住这些普通现象,拨云驱雾,揭开其与铀成矿之间在根子上的关系,提出“地幔软流体上隆,地壳减薄,发生玄武岩事件,基性岩墙贯入,幔汁跟着上涌,形成强烈碱交代(钠交代、钾交代)作用,热液成矿”这么一个完整的成矿机制演化链,理论意义十分深远。其二,刨根问底,打破砂锅问到底,是地质工作者应该坚持的专业精神。铀源何来?热源何来?碱交代的钠又何来?钾又何来?铀最后如何富集成矿?中国的热液型铀矿为什么规模偏小?等等,都是长期让人纠结的问题,本书从不回避绕着走,而是直面问题,用时下的话说叫“问题导向”,追根溯源,一一都有交代。其三,独立思考,旁征博引,注重证据。本书围绕上述“热液铀矿成因链”,引用资料涉及全球的主要铀矿,把以往刻板的描述性资料和流程性海量的分析测试数据进行一一甄别、辨析和归类,找出规律,回归地质过程,支撑地质认识,绝非人云亦云。其四,创新思维。创新思维是地质理论取得突破的关键,而且,有了理论的进步才能更好地指导找矿的发展。这里给大家的重要启示还在于如何突破固有的科研路线,说到底还是思维不能僵化,视野不能圈闭,基础工作和基本功不可削弱。

还有特别值得一提的是，本书是杜乐天先生年逾八十奉献给读者的第二部著作，这种始终保持当年科学研究激情、毕生耕耘不止的专业精神，值得大家称颂和发扬。我谨向广大地质工作者推荐本著作的同时，也希望借此推动铀矿地质学科的发展，正如作者所期待的，让中国铀矿地质科学走向世界并引领今后新科学潮流。

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '张', '秉', and '带'. The characters are written in a cursive, flowing style.

2015/2/16

前 言

本书“全球热液铀矿地球化学”研究，是在核工业地质局领导和资助下完成的成果。时间原定为两年（2012~2013）。鉴于涉及全球资料，工作量相当大，延长一年，到2014年底结束。

在2007~2011年期间我们承担了核工业地质局“中国铀矿床研究评价”项目中“花岗岩型铀矿”科研总结，在成矿理论上取得了许多过去未曾见及的新认识。这些新认识在国际热液铀矿研究文献中并没有被他们发现。长时间我们没来得及专门调查他们的研究成果和水平。在这次三年的课题中终于有时间查遍了国际上有关热液铀矿研究以下学术刊物的原文文献：

1. Economic Geology
2. Petrology
3. Lithos
4. American Mineralogist
5. Canadian Journal
6. Mineralium Deposita
7. Canadian Mineralogist
8. Cosmochimica et Geochimica Acta
9. Terra Nova
10. Natural Geoscience
11. Chemical Geology
12. Earth Pl. Sci. Lett.
13. Clay and Clay minerals
14. Contrib. Mineral Petrol
15. Геохимия
16. Рудные Месторождения

17. 俄罗斯、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、德国、捷克、美国、巴西、乌克兰、加拿大、澳大利亚、法国文献的中译文汇编、原文专著、考察报告、会议文集等资料。

经过对原文、原著的深入核对、剖析，考据，发现他们在鉴定、实验技术、方法方面有强势，但在成矿理论上总体尚处于状态学发展阶段，尚未发展到成因学、机制学层次；所用的学术名词几乎全限制在矿物学、岩石学概念，缺少深入的地球化学研究。多年来给我们的西方铀矿研究均具有国际水平的印象现在有了较为清醒的认识。那些矿床规模巨大，矿体又极其少见的富并不代表研究的深度、高度。这完全是两回事，此中存在相当多的理论缺欠，例如①至今找不到成矿的热液源；②热究竟从何而来？③成矿的铀源也没找到；④成矿的真实机制也不清楚；⑤铀矿为何有的特别之富？等等。另外，国际上对全球

铀矿的分类杂乱不清，概念重叠。经过这次重新识别，实际上应当把大多数矿床视为热液型铀矿，尽管地质背景相当多样，但却具有共同的成因。看来，当代全球热液铀矿成矿理论还得重写，这就是本书所要阐述的主要内容。

有比较，才能鉴别。现在对国际铀矿科研水平进行重新评价的依据如下：

1) 科学研究最核心的问题并不是矿床种种现代化测试的实际资料，而是从这些资料中发现的深刻规律。多年的经验表明，看问题的思维水平和分析问题的能力才是科研成果的核心价值。西方很多科学家普遍地擅长技术而弱于思想，专业知识面太细太窄，缺乏深入整体考察（相对说俄国同行地质基本功较西方同行扎实）。

科学研究由两大要素组成：数据和规律。二者缺一不可。没有数据，发现不了规律，前者是非有不可的理论大厦基础。但数据不是目的，它必须出规律。出浅显的规律还不行，要力求出高层次规律，否则就是跛腿的科研路线。西方同行恰恰在这方面是短板。在他们发表的论文中 3/4 甚至 4/5 的内容是测试或实验技术，仪器规格、工作条件，数据的灵敏度、精确度等等都有很多表格、图像和讨论。但一到对如此众多的测试结果加以解释时立即可见胡乱联系，到了最后的结论却奇怪地只有简单的三言两语。明显地可以看出不善于驾驭这些可贵的实际材料和理论升华。同样根据他们论文中展示的那些琳琅满目的分析、测试、观察、数据、图表所能发现的并不是他们在论文最后结论的那些认识，很多深刻的成矿奥秘可惜未被发现。

经过三年时间对西方铀矿资料的彻底考察不得不得出以下基本结论：至今为止，他们所提供的海量文献，几乎全是素材、实际资料而没有真正的成矿理论。

在科学研究中，取得数据很容易——只要有经费。但取得规律恐怕就要注意思想方法察隐探赜、撷英钩玄的素养。这也是本书反复强调“重新认识”的必要性所在。究竟怎样加以重新认识，请看正文。

2) 西方铀矿找矿、开发全是私人公司。探矿权圈地面积很小，而且分散。其研究视域局限、狭窄。他们和大学、科研单位协作进行矿床学研究，以有助于找矿营利为标准。对深入的成矿理论不感兴趣。承担课题研究的大学、科研单位（除少数国际知名专业铀矿机构外）都不是铀矿地质专业人员。很多论文明显地缺乏野外详细观察的功力，室内又严重忽视镜下鉴定，一味追求现代化测试数据，把矿床学演变成微区、微观、微量粉末矿床学。几十年来就是这类偏向。尽管矿床发现越来越多、越大、越好，可是在矿床成因规律上至今相当迷惘。难怪国际知名铀矿专家 Dahlkamp Franz J. (1995) 也发出感慨：“尽管我们对于许多铀矿床成矿作用的知识从总体上、原理上是了解的，然而在很多方面都是不足的，没有把握的，或是含糊不清的。根据理论与经验推测以及现有数据的解释，许多学识渊博的地质学家提出了铀矿床成矿作用的一些有趣概念和可信的模式。尽管如此，人们对很多矿床的实际成因仍然是完全或部分地迷惑不解！”

中国的铀矿研究和西方有很大区别：①我们有国家级专门的铀矿地质研究院和地区研究所队伍，研究全国铀矿，同时也和国外铀矿研究密切联系，视域是全球性的；②我们的专业铀矿研究历史很长，从 20 世纪 50 年代末至今有近 60 年的研究成果，而且一直未曾中断。这在世界各国少有。

3) 加拿大、澳大利亚等超大型铀矿属于前寒武系下部构造层成矿，克拉通或地盾地块稳定，矿床很少后期叠加破坏，地区一直隆升，剥蚀又恰到好处，埋藏很浅，很多矿床

出露地表。加拿大阿萨斯卡盆地不少矿石冰川漂砾于地表；澳北铀矿埋藏在地下 50 m, 200 m。地势又极为平缓，矿是很容易找的。矿越好找，就越不依靠深入的科学研究。考虑到我们华南山区沟深林密而且多是盲矿，找矿是如此之难、成本如此之高，对此深为感叹。

4) 令人不解的是，多年来国际铀矿研究成果全用英文发表。这很不正常。这些国际知名铀矿地质专家几乎我都认识，有过多次接触。他们绝大多数一不懂中文，二不懂俄文，中俄铀矿研究成果基本上都不了解。即使力求反映我们的原著也是只言片语，而且早已过时。缺少中国和原苏联 3000 多万平方千米这么广大国土铀矿研究是谈不上全球铀矿地质理论的。在本书中我们补充了俄罗斯、乌克兰、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、蒙古、捷克、德国及中国大量科研成果文献。国际上早就应该有中国研究的话语权。

最后尚须声明，像这类整理全球文献的工作只能是雾里看花，只能受制于他人文献。按理应当到所论矿床去野外考察，补取样品，重新按我们的科研路线和思路进行鉴定（那些现代化的实验室技术、方法及仪器，我们也都有了），才好给予确切的评判。然而现在暂时无法做到。不过今后中国的铀矿专家走向全球会有条件重新研究那些知名铀矿床，发现新规律。对于那么多的文献我们力求分析第一手原文，但也无法保证跟踪其全部最新认识。大体参考文献追踪到 2014 年。虽然存在上述种种限制，但本书中所有现在阐述的新规律相信有相当充足的根据——尽管我们的见解可能完全不同于被引用学者。至今为止，国际铀矿成因认识相当分歧，碎片化，亟须归纳和统一。另外，全球铀矿分类概念模糊不清，更缺乏深入的成因分类。现在有了幔汁成矿论，这种理论统一、集成、整合的可能性空前增大。

此处尚须强调，本书是以西方铀矿地质学界众多同行所做的大量科研成果为基础加以重新认识编写的。他们对推进全球铀矿地质科学的发展做出了杰出的贡献。多年来向他们学习到很多宝贵的知识和经验。在此向这些同行表示衷心的感谢。

本书将按成矿规律来分析全球各主要有关热液铀矿个例，分以下 7 章：

1. 碱交代作用矿床成因
2. 玄武岩事件——基性岩墙引领幔汁上涌成矿
3. 绢英岩化成矿及富矿成因
4. 成矿壳层
5. 热盖盆地铀矿成因
6. 伟晶岩型铀矿成因
7. 全球热液铀矿成因理论体系的重建

本书全部工作由著者一人完成。

多年的工作证明，任何科学理论都是有寿命的，不可能永生。随着实践发展、新资料增多，必然要被新认识修正甚至是代替。重新认识给科学以生命。

致谢：本书课题的立项核工业地质局张金带副局长兼总工程师给予很大帮助并承诺作序。郑大瑜研究员提供一批国外资料；谢红接博士提供一批国际文献。另外我院领导、科技处秦明宽处长、地质研究所所长范洪海也多处支持。在此一并深表感谢。另外对地质出版社白铁编审的辛劳也表示谢意。

目 录

序	
前 言	
第一章 碱交代作用矿床成因	(1)
一、加拿大阿萨巴斯卡盆地中的 Cigar Lake 铀矿床	(1)
二、Rabbit Lake 矿床	(2)
三、Key Lake 矿床	(5)
四、加拿大 Beaverlodge 铀矿田	(6)
五、Otish 铀矿床	(7)
六、Olympic Dam 铀矿床	(8)
七、澳北 Ranger 铀矿床	(10)
八、德国矿石山花岗体外接触带铀矿田	(12)
九、巴西铀 (磷) 矿床	(15)
十、巴西 Lagoa Real 铀矿	(17)
十一、捷克铀矿床	(19)
十二、俄国 Стрельцов 铀矿田	(20)
十三、哈萨克斯坦铀矿床	(28)
十四、乌克兰铀矿区	(37)
第二章 玄武岩事件——基性岩墙贯入引领幔汁上涌成矿	(46)
一、加拿大 Otish 矿田	(48)
二、阿萨巴斯卡铀矿区	(51)
三、澳北地区铀矿田	(54)
四、中国有关热液铀矿床	(57)
五、俄国远东 Эликон 热液铀矿田	(63)
六、哈萨克斯坦热液铀矿床	(66)
七、Olympic Dam 铀、铜、铁、金矿床	(75)
八、德国 - 捷克花岗岩体外接触带热液铀矿区	(77)
九、法国热液铀矿床	(83)

第三章 绢英岩化成矿及富矿成因	(89)
一、绢英岩化成矿实例	(92)
二、对国际铀矿热液蚀变矿物的不确切定名的重新认识	(108)
三、铀矿体品位富或特富的成因	(116)
四、绢英岩化富铀矿在中国华南发育的普遍性	(120)
第四章 成矿壳层	(123)
第五章 热盖(玄武岩盖)盆地铀矿床成因	(131)
第六章 伟晶岩型铀矿成因	(138)
第七章 全球热液铀矿成因理论体系的重建	(142)
参考文献	(144)

第一章 碱交代作用矿床成因

(提供矿源和碱-酸演化成矿机制)

环顾世界各地内生铀矿床，不论是所谓的澳加不整合脉型，法国变正长岩型、中国的硅化带型和绢英岩化型，哈萨克斯坦的火山岩型、德国、捷克的花岗岩体外接触带型、纳米比亚罗辛型甚至原来视为外生砂岩型铀矿，现在看，尽管矿化类型、成矿地质部位、赋矿构造及围岩、蚀变和矿物组合等各种外在状态彼此极为多样相异，但实质是共同碱(或 Na, 或 K)交代作用成因。碱交代作用是富 Na 或 K 地幔流体对矿床深部含铀岩石强烈蚀变交代浸出萃取岩石铀以提供矿源，热液由最初的强碱性随着被岩石不断中和酸化，卸载矿质沉淀而成矿。现对世界各地实例加以重新认识。

一、加拿大阿萨巴斯卡盆地中的 Cigar Lake 铀矿床 (图 1-1)

此矿床在 20 世纪 70 年代起 Knipping (1974) 提出是表生浅成地下水从盆地基底地层

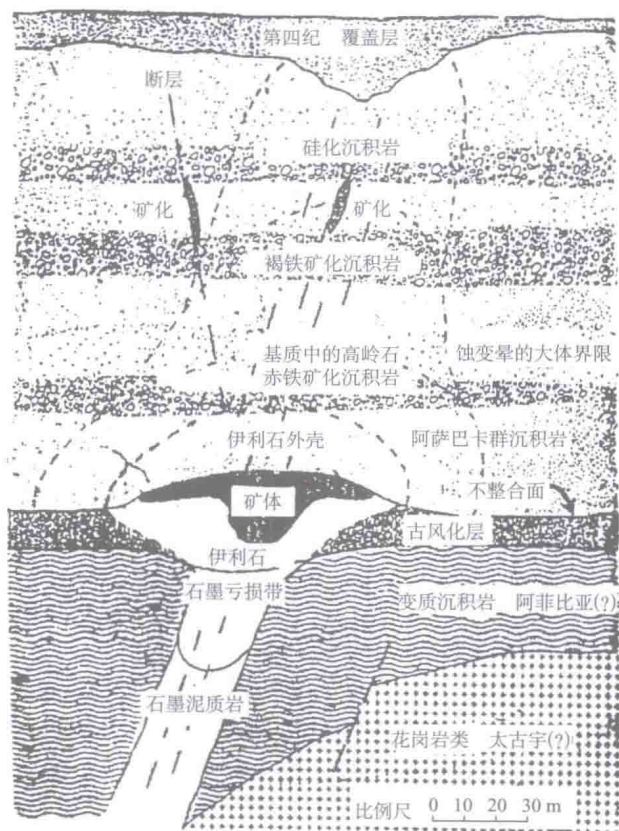


图 1-1 Cigar Lake 矿床剖面图

(据鲁泽斯卡, V., 1986)

取铀成矿。Von Pechmann (1981) 提出不是地下水而是变质热液; Binns 等 (1980) 则认为是岩浆热液。Dahlkamp (1978, 1982) 认为是 22 ~ 19 亿年时地层铀预富集, 到 19 ~ 18 亿年造山运动活化而富集, 18 ~ 13.5 亿年盆地形成风化建造后进一步富集; 10 ~ 2 亿年再活化富集。

前述学者关于如何富集的机制语焉不详。J. P. Fougues^① (1986) 来我院访问时提供了下述蚀变矿物组合:

基底岩石蚀变强烈, 出现了矿物新组合: 石英 20% ~ 30%, 黑云母 10% ~ 20%, 钾长石 + 斜长石 40% ~ 70%, 堇青石 5% ~ 15%, 石墨 1% ~ 3%。笔者从他的介绍认为这些岩石全部都不是原片岩和片麻岩地层岩石, 而是它们典型的碱交代岩, 而且是钾交代为主。这一点被西方同行忽视了。

Cigar Lake 矿体主要产于盆地底部古风化壳和阿萨巴斯卡盆地砂岩层中。风化壳和砂岩层中除石英外主要是高岭石。在热液成矿时高岭石发生强烈伊利石化。这是典型的钾交代, 因为伊利石是含 K 矿物而高岭石不含 K。现在看此伊利石当初命名也有问题, 其前身主要是绢云母, 后来在隆起、剥蚀中砂岩地层又有风化水解而变成伊利石。成矿时应是绢英岩化 (绢云母同时有硅化共生, 故称绢英岩化)。铀矿石中含 Ni (1%)、Co (0.2%)、Pb (1.2%)、Cu (0.7%)、As (1.7%), 这正是绢英岩化的特征性中高温成矿元素组合。相对低温的伊利石化从来不会产生此等元素富集。此 U、Ni、Co、Cu、Pb、As 的来源一直模糊不明。我们认为盆地基底的阿非比亚地层正是元古代含铀碳硅泥岩系, 其中总富含上述多种金属。这在中国研究的很详细。

总之, 此矿床实为元古代含铀碳硅泥岩系的钾交代作用成矿。多年称之为不整合脉型并未揭示出其成矿实质。图 1-1 最上部的硅化正是碱交代溶蚀石英排 SiO_2 向上而产生硅化。

二、Rabbit Lake 矿床

Hoeve^② 等 (1980) 在研究此矿床后认为是大气降水向下淋积成矿, 其根据是此矿床成矿年龄只有 10.75 亿年, 矿体又全部产于强高岭石化长石砂岩层之中。不过我们在仔细分析他们的论文中发现以下几个疑点:

1) 矿体旁发育所谓的“斜长岩” (Plagioclase) 见图 1-2。砂岩层中为何有斜长岩地层? 从该论文另外一个表中发现了问题, 分析结果表明它不是斜长岩, 而是砂岩层典型的碱 (钠) 交代岩, 见表 1-1。

2) 至于矿体旁的蚀变的绿泥石化, 不应称之为镁交代。实际上是钠长石化中必然伴生的绿泥石化。因为矿体围岩和基底地层黑云母多, 故绿泥石含量分外突出。绿泥石多为黑绿色, 绿色效应强, 总易被描述为绿泥石化。

从图 1-3 中可以明显看出以下过去研究者忽视的重要现象: 铀矿体并不分布于一般阿萨巴斯卡建造中而是只产生于被断裂带控制 (其上盘) 的所谓“Plagioclase” (斜长岩) (实为热液蚀变岩) 之旁。实际上这正是砂岩地层的强钠长石化碱交代岩。绿泥石化正是钠交代的后续蚀变, 把前期的钠长石变成绿泥石化蚀变残体。

① 我认识他, 到我单位做过报告。

② 在法国开会我认识他, 他是加拿大铀矿专家。

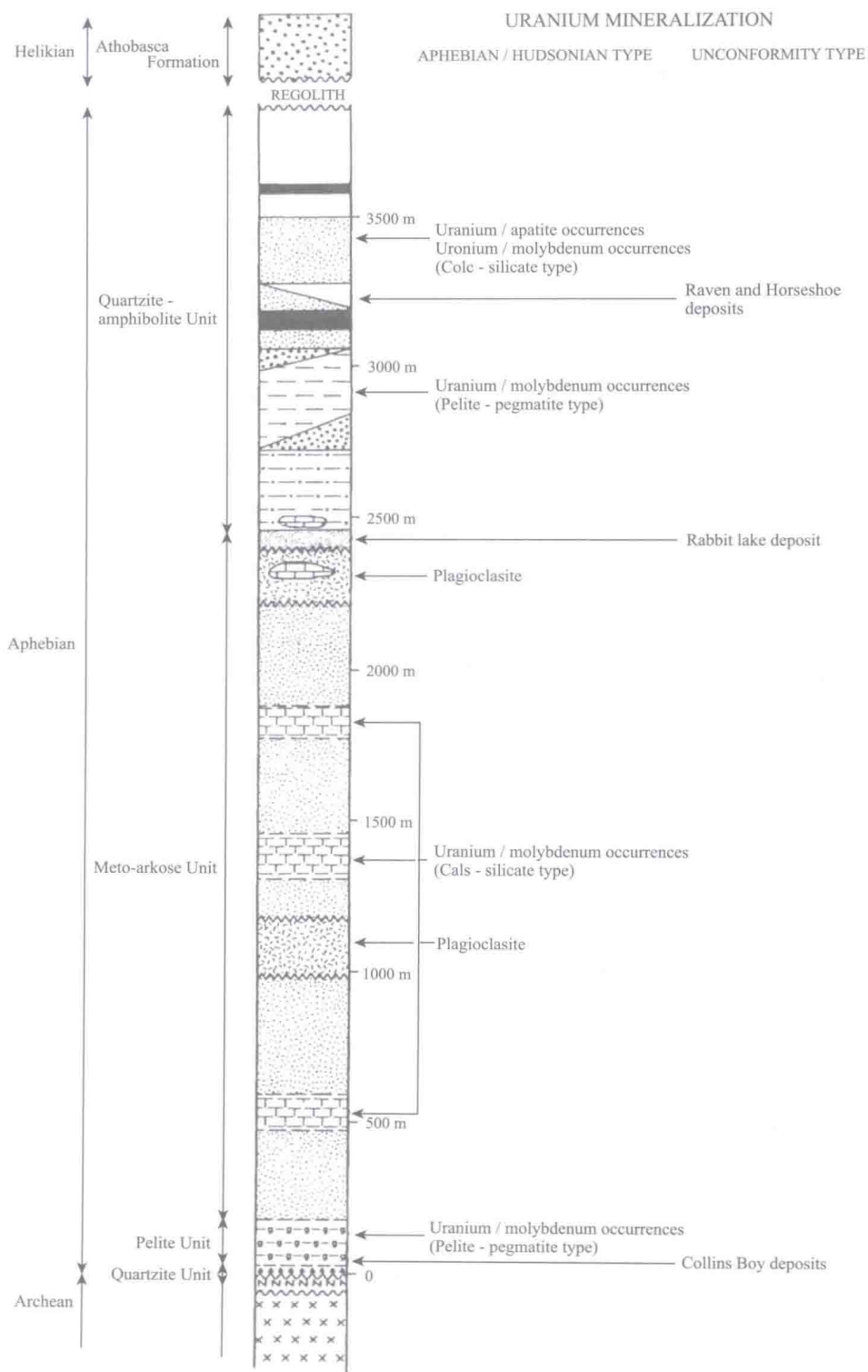


图 1-2 Rabbit Lake 矿床地层剖面图
(据 Hoeve 等, 1980)

表 1-1 拉比特“斜长岩”与真正的斜长岩化学成分 ($w_B/\%$) 对比

成分	拉比特“斜长岩”			拉比特长石砂岩	斜长岩	资料来源
SiO ₂	63.0	62.1	65.5	71.5	50.40	拉比特长石砂岩 (Adams, 1981) 斜长岩 (戴里, 1933)
TiO ₂	0.69	0.57	0.03	0.3	0.15	
Al ₂ O ₃	16.0	15.5	18.5	10.1	28.30	
Fe ₂ O ₃	0.50	2.26	0.26	0.20	1.06	
FeO	1.71	1.27	0.50	0.89	1.12	
MnO	0.03	0.02	0.02	0.02	0.05	
MgO	4.98	4.88	0.71	3.63	1.25	
CaO	2.26	4.60	1.17	2.7	12.46	
K ₂ O	1.71	1.00	3.73	5.25	0.74	
Na ₂ O	7.29	7.20	7.69	1.31	3.67	
H ₂ O	1.03	0.70	0.60	2.40	0.75	
CO ₂	1.20	0.12	0.02	3.84	—	

(据 Hoeve 等, 1980)

注: 从表 1-1 即可看出, 拉比特“斜长岩”和最右一栏的真正的斜长岩相去甚远。若把它和该区周围的长石砂岩做一比较即可看出, SiO₂ 大量减少, K₂O 减 Na₂O 增, 这三条判据在一起很好地表明所谓的斜长岩是长石砂岩的钠交代岩无疑。

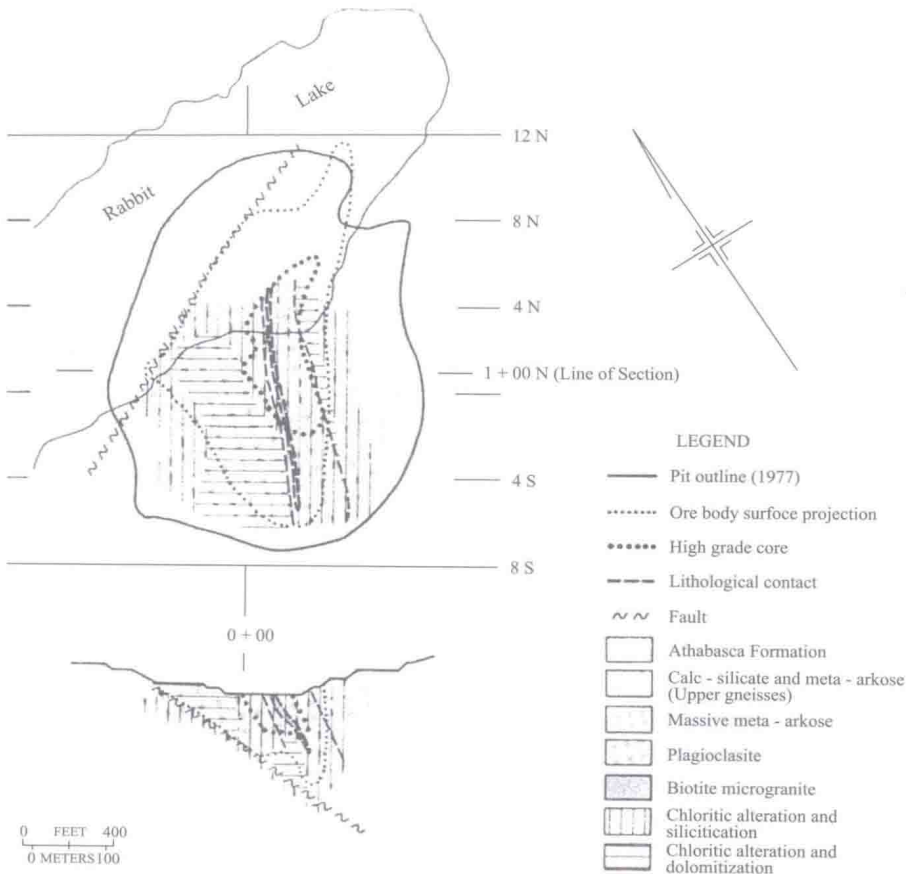


图 1-3 Rabbit Lake 矿床的围岩蚀变
(据 Hoeve 等, 1980)

值得提出, Hoeve (1978) 认为铀是从阿萨巴斯卡砂岩向下淋积的, 但 Dahlkamp 等 (1981) 指出, 这不符合事实, 主要铀源来自盆地基底岩系。例如在凯湖地区基底片麻岩中 U_3O_8 含量约 13×10^{-6} , 而阿萨巴斯卡砂岩铀含量太低只有 1.5×10^{-6} , 不足以成为铀源。铀、钴、镍实际上富含于基底黑云母泥岩中。此泥岩根据中国的经验, 这正是典型的碳硅泥岩系。凡是碳硅泥岩系总是富集 U、V、Co、Ni、P、Mo、C 等元素, 此等奇特的元素群在砂岩地层中是不存在的。盆地砂岩中也不可能有 Co、Ni 向下淋积。

三、Key Lake 矿床

此矿床剖面见图 1-4。

在图 1-4 基底中的 altered rocks 耐人寻味, 图例中说是风化的糜棱岩。从作者论文中的字里行间中可以推知这是钾交代的基底岩石 (黑云母 + 钾长石), 而且旁侧存在基性岩

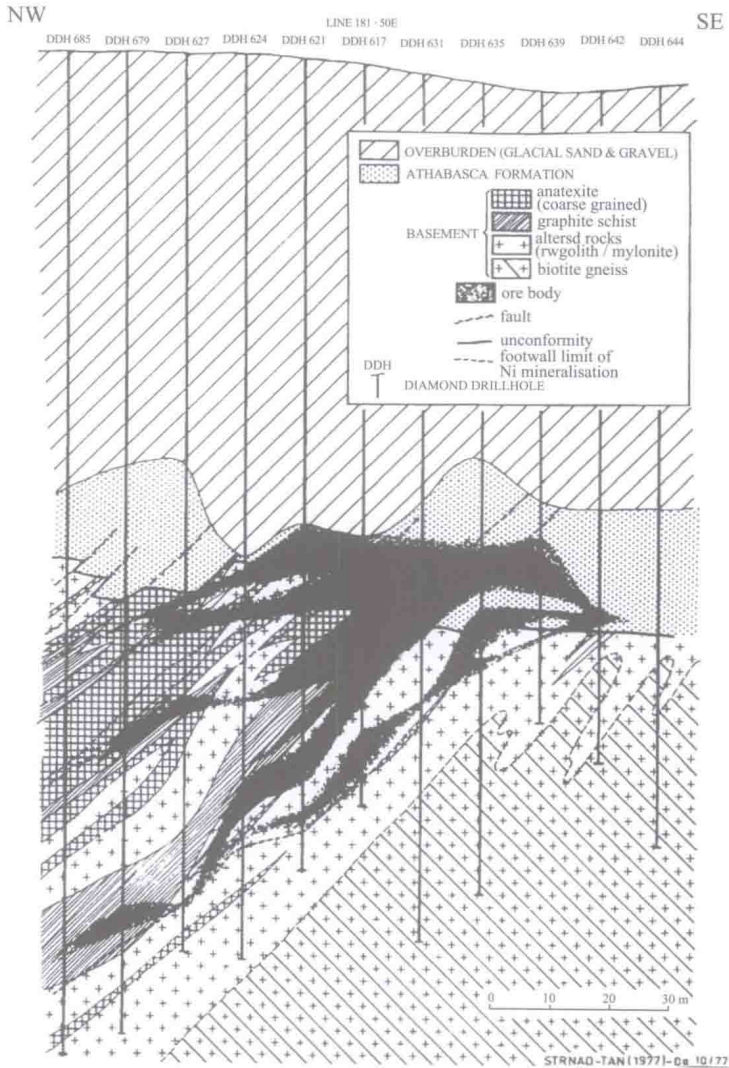


图 1-4 Deilmann 矿体剖面
(据 Dahlkamp, 1978)

墙。他给出 diabase dike 是 1230 Ma, 而沥青铀矿恰在其后, 是 1228 ~ 1160 Ma。现在看来 Key Lake 矿床实为碱交代成因, 是基性岩墙引领的幔汁对基底岩系产生强烈的碱交代, 从石墨片岩 (graphite schist) (我们认为这是含铀碳硅泥岩系) 浸出 U、Ni 等元素向上到盆地底部古风化壳成矿。

另外, 在 Carswell 矿区铀矿床该地也不认得是 K 交代岩, 只称之为石英长石岩 (其中钾长石增多到 55%, K_2O 含量 6% ~ 8% (Bell et al., 1985))。这是典型的钾长石化钾交代。

四、加拿大 Beaverlodge 铀矿田

此铀矿田产于阿萨巴斯卡盆地北缘之外的老基底变质岩系之中。应该说和不整合脉型无关。但可以反衬阿萨巴斯卡盆地下基岩中广泛发育碱 (钠) 交代作用成矿。

比弗洛支矿田是典型的钠交代型热液铀矿田, 由一批铀矿床 (例如爱伊斯、费伊、甘纳尔、弗尔纳、布尔格) 及数千个铀矿点组成。矿体产于钠长石化岩石中。该区所有岩石都被钠长石化。

奇怪的是许多加拿大同行多年不认为这是钠交代铀矿。Tramblay, L. R. (1972) 称钠长石化岩石为“变正长岩”; “Dawson, K. R. 等 (1962)、Beck, L. S. (1977) 称为红色蚀变; 有的称为“似碧玉岩” (jasperoids), 更为离谱。Stnard^① (捷克专家) 告诉我实为细晶钠长石岩。

Dahlkamp, F., Adams, S. (1981) 虽提到“钠交代”, 但仍然没有给予充分注意。Ward, D. M. (1984) 则提出是“长石岩”、“桔红碎斑糜棱岩”、“交代石英长石花岗岩”。有的研究者竟认为是古风化产物, 如 Sullivan (1957), Smith (1974), Langford (1977), Tortosa 等 (1986)。

本区结晶基底为花岗岩化太古宙塔秦群、古元古代石英长石片麻岩。后者原岩是含石墨的泥质至砂质岩系、硅质白云岩、石英岩 (实际上是富铀的碳硅泥岩系)。在费伊 - 爱伊斯矿山, 矿化和含石墨云母片岩原岩有关。此岩系在 1930 ~ 1780 Ma 赫德森运动时变质为麻粒岩相。1840 ~ 1815 Ma 发生退化变质 (实即钠交代热液作用), 1795 ~ 1740 Ma 发生主期热液铀矿化。这之后在 1300 Ma, 1100 Ma, 300 Ma 还有铀矿化再分布 (已不重要)。老矿床总是多期铀矿化继承, 主要期是第一期。碱交代岩规模相当之大, 可在圣·路易斯断裂下盘延伸达 5 km。

蚀变主要是钠长石化、赤铁矿化 (岩石发红)、绿泥石化、硅化、碳酸盐化、燧石化。根据中国的经验, 上述这么多“化”实质上是钠交代作用必然同时出现的共生蚀变矿物组合。铀矿物主要是沥青铀矿, 局部有钛铀矿, 矿石为低品位矿石。钠交代的原岩主要是泥质岩系, 其次是花岗岩。钠长石化后, 钠长石占全岩 60%, 其余为等量的石英、碳酸盐和绿泥石 (甘纳尔矿床)。原岩石中石英溶解迁移而消失, 岩石变为多孔状。这都是世界各地钠交代铀矿普遍可见的蚀变。

各矿床主要是单铀矿床。但在尼科尔逊小矿山中和沥青铀矿伴生的还有 Co、Ni 砷化物、硫化物, Co、Ni、Pb 的硒化物, 自然 Pt 等。在爱伊斯矿山有相当多的 V 富集。这均和基底含铀碳硅泥岩系中总富含 Co、Ni、V、P、Pb、As、Pt 等微量元素有关。

① 他来我院做过交流, 有学术水平。

Morton, R. D., Sassano, G. P. (1972) 认为, 圣·路易斯断裂是一个巨大规模宽达 200 m 的碎裂和糜棱岩化带。Krupicka, J. 等 (1972) 指出此形变第一次是在温度很高的情况下发生塑性流动, 产生花岗变晶结构, 由斜长石、黑云母、普通角闪石、绿帘石、绿泥石组成。第二期形变为角砾岩化, 细粒破碎直到形成超糜棱岩剪切带, 由钠长石、绿帘石、绿泥石、方解石、硬石膏、黄铁矿组成, 然后为沥青铀矿交代成矿。

在过去文献中所谓的“钾长石、绿帘石、绿泥石、方解石、硬石膏、黄铁矿组合”这类矿物学名词杂乱罗列一直成为铀矿地质文献的多年习惯描述。须知, 这些矿物组合概念很难反映成矿机制。如按地球化学观点用碱(钠)交代作用概括情况就会明朗。钠交代中除产生大量钠长石外, 还会把岩石中碱土金属二价的 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等释放, 故总共生绿泥石、绿帘石、方解石、黄铁矿等。它分前后两阶段: ①先是钠长石化交代, 此时碱性太强不能成矿, 必须碱性变弱演化到②绿泥石-碳酸盐化阶段成矿。

原苏联 Омельяненко 等 (1977, 1978), 根据加拿大上述蚀变研究资料得出结论, 明确提出加拿大 Goldfields 的几十个铀矿床、矿点是典型的钠交代型铀矿。

五、Otish 铀矿床

此矿床是加拿大另外一个重要产铀矿盆地, 在阿萨巴斯卡盆地之东数千千米之外。

法国 Ruhlmann F^①, Raynal M 等 (1986) 对加拿大魁北克省 Otish 盆地钠长石-铀的碱交代矿床发表了如下研究结果:

Otish 盆地面积 8000 km², 位于地盾区, 是元古宇砂岩不整合于太古宇之上。太古宇有含 U 异常的副片麻岩及花岗岩、混合岩, 有辉长岩墙、岩席 (1730 ± 10 Ma) 侵位于基底的盖层之中。基性岩墙的贯入对热液铀矿成因非常关键, 可惜在其论文中就此几句话。

铀矿床见于盆地中央, 可分三种矿化:

- 1) 产于碎屑岩中的 U-Th 矿化, 是次生淋积铀矿化, 不重要。
- 2) 钠长石-晶质铀矿-钛铀矿化, 是钠长石、绿帘石、绿泥石、白云石、方解石组合。实际上, 这正是钠交代矿物共生组合。
- 3) 沥青铀矿和硫化物矿化。此为后期铀再活化, 不重要。

钠长石化由盖层一直发育到基底混合岩、花岗岩中, 在它之前有微斜长石化和变正长岩, 钠交代沿不整合面发育。辉长岩和砂岩钠长石化的化学成分变化见表 1-2。

从表 1-2 中可看出辉长岩、砂岩钠长石化的同时有大量碳酸盐沉淀。从烧失量和 Ca、Mg 含量上看估计碳酸盐可占到 ~16%。

铀矿化有两类: ①浸染状, 和浸染状钠长石化有关, 主要是铀的钛酸盐, 钛铀矿占 90% 的铀; ②微裂隙脉状, 晶质铀矿为主, 自形, 和钠长石共生, 而钛酸盐不发育, 晶质铀矿中不含 Th, 年龄 1723 Ma。应特别加以强调, 钠长石化和之后的铀矿化正好紧在辉长岩墙侵位 (1730 ± 10 Ma) 之后, 空间上则紧靠辉绿岩墙, 而且贯入后不久又接着受到上涌幔汁的碱交代。这一相互关系他们多年未曾注意。我们发现先是辉长岩墙从地幔向上贯入, 引导幔汁^②上涌, 幔汁与围岩反应产生强烈的钠交代和铀成矿。关于这一重要问题,

① 我认识他, 有过交流, 他送我一本专著。

② 幔汁是地幔流体的化学破译。其地球化学式为 HACOONS 等离子体和超临界态流体: H 代表氢、卤素和热; A 代表碱金属族 (特别是 Na、K); C 为碳, O 为氧, N 为氮; S 为硫族。幔汁既是地球内部最重要的物质流, 也是最重要的能量流。有关幔汁论的详细解说请查看本书后参考文献中本人历年的论文和书著。