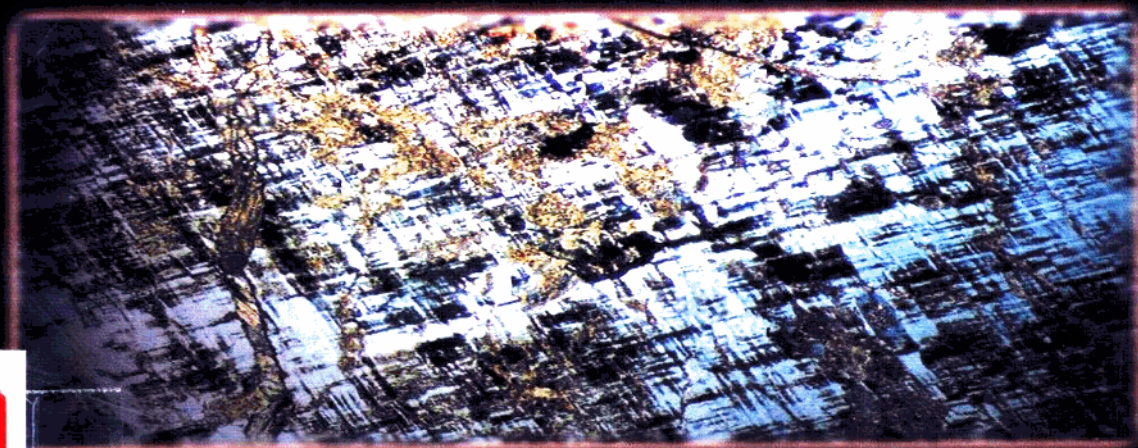


中国热液铀矿 基本成矿规律 和一般热液成矿学

杜乐天 著



原子能出版社

序

世纪之交，在人类告别以工业文明为标志的 20 世纪、全球迈向知识经济蓬勃发展的 21 世纪的时刻，杜乐天教授的又一部专著《中国热液铀矿基本成矿规律和一般热液成矿学》和读者见面了。这不仅为铀矿地质学的发展注入了新的思路和活力，而且也对深部地质和流体地质与成矿以及大规模成矿作用与矿集区预测等地学研究新热点的深入研究起着重要的推动作用。

需要在此提请读者特别注意的有两点：该书所称的“热液”并非传统意义上的“岩浆分异热液”，而是专指“地幔流体（幔汁）的转化物”，二者有本质的区别；该书不是过去资料的归纳总结，也不是一般性资料的二次开发与再加工，而是独辟蹊径的大胆探索与独具慧眼的重新认识。

通观全书，这本近 50 万字的新作，既有热液铀矿典型实例的精细解剖与中外热液铀矿和非铀热液矿的对比，又有关于作为热液来源的地幔流体新概念——“幔汁的详细论述以及诸如“幔汁的上涌通道”——拆离构造和“幔汁化石”——碱交代岩与隐爆角砾岩等等以幔汁为主线的新思路的演绎，还有涉及“富铀基底”、“成矿预富集系”和热液铀矿的时空分布等基本问题所“集成”的“幔汁成矿理论体系”。

专著的主要特点是——立足前沿、着眼前瞻、取材广泛、思路新颖、脉络清晰、自成体系、敢于挑战、富于创新，而且通篇不乏突发的奇想与大胆的推测，不时可见创新的思维和哲理的光芒。

平心而论，尽管作者对传统成矿理论提出了：“对过去中外不少热液成矿论的各种理论和结论以及研究方式、方法都需要加以怀疑和重新认识”；“热液矿床学研究也将辞旧迎新”等等措词尖锐的挑战，但其立意之高远和用心之良苦，却是显而易见的。

创新是真正的科学家必须具备的高贵品质与重要能力。科学家要想有所创新、有所建树，确实是一件相当艰难的事情，有幸能够做到这一点的人是屈指可数的，机会也是十分难得的。探索科学的前沿，预测学科的未来，是一项极其重要而又极其艰辛的高层次“科学长征”。不仅需要深厚的功底、不懈的努力、长期的积累和创新的思维；而且需要专心致志、持之以恒地把兴趣和精力集中地投向最有需求、最有希望的方向，深入地钻进去，直至“顿悟”之时；最重要的是，还需要敢于和善于坚持己见、“在真理面前半步也不后退”。

至于“争论”和“非议”，既然是“科学发展史中的必然”，那也不妨在此引述一段科学史上的小插曲来加以回应：

1913 年推荐爱因斯坦为普鲁士科学院成员时，在由权威物理学家共同签署的申请书上写道：“……他有时也会想得太远，例如他的光量子假说，但是不应当把这一点看得太重。要引进一点真正的新思想，即使是引进到最精密的自然科学中去，有时谁也不能不冒一点风险。”

说得很好，但没有说出事情的真相。其实，这个被否定的光量子理论，最早发表于

1905年；时隔八年，还没有得到权威的认可；又过了八年，爱因斯坦却为此而获得了1921年的物理学诺贝尔奖金。

由此可见，“科学长征”的道路上，“人总是要冒犯错误的风险的，但也要冒受到误解或错判等不那么重要的风险”。

郑大瑜

二〇〇一年元月五日于北京

前 言

众所周知，解放前我国对于什么地方有铀矿？铀矿是什么样的？一无所知。当时仅有少数地质学家发现一些次生铀矿物。即使建国以后，也是一片空白，既没有这方面的资料，也没有这方面的专家。我国的铀矿找矿开始于1955年前后。在党和各级政府的正确领导下，通过5~6万名专业找矿队伍的艰辛努力，前后终于发现了一批批各种类型的铀矿床、矿田，建立了许多铀矿山基地。这一切都是自力更生的结果。回忆当时国际上所找到的铀矿类型并非中国所有。我国的铀矿主力类型（花岗岩型）无论是在美国、前苏联还是其它国家都不发育。在法国、西班牙、葡萄牙有一些，但资料也很零散。国际上铀矿地质在当时也只有十几年的研究史（而且处于保密状态）。从1955年日内瓦原子能原料国际会议出版的文集中可以明显地看出那时各国都处于刚起步的摸索阶段。所以说，当时我们没有多少现成的关于铀矿成矿规律或理论可兹借鉴。

最近从报章中得悉，杨振宁先生在台湾清华大学80周年校庆上曾讲：“中国内地一直给人落后的印象，这是错误的。内地的科技其实相当进步。在1948年、1949年时，中国根本不知何处有铀矿，更不用谈开采了。但到了1964年，他们不仅试爆了第一颗原子弹，两年八个月后又试爆了氢弹。这足以说明他们培养了千千万万的科学家。”的确，我们具有庞大的能吃大苦、耐大劳富有一整套找矿、勘探经验的铀矿找矿大军，还有以二机部北京三所（现称核工业北京地质研究院）为科研主力的许多地区研究所和院校。他们在我国铀矿地质、物探、化探、仪器、同位素地质、测试、遥感、核废地质处置等各个领域做出了一大批开拓性的创新成果。关于铀矿地质以及成矿规律的认识，从总体上说，若干年前就已和国际水平并驾齐趋，有些方面可能还超前一些。

中国的铀矿主要是热液型，而且大多数成矿时代是燕山期。过去曾划分出四大类型：（1）花岗岩型；（2）火山岩（酸性火山岩）型；（3）碳硅泥岩型；（4）砂岩型。其它类型矿例都较少。此四大类型是按赋矿围岩为分类标准的。随着研究工作的扩大和深入，发现如按成矿作用来看，它们中发育的绝大多数是热液铀矿。至少到目前为止基本上是这样。

本书所称的热液并非中外习称的岩浆分异热液。几十年的研究证明热液铀矿和花岗岩浆分异毫无关系。热液是地幔流体（幔汁）的转化物。这一认识 and 传统理论有本质的区别。

本书不是过去资料的综合总结。如此之多的铀矿床，如此之多的科研报告及专著，个人是无能为力来汇总的。这方面期待着今后集体的努力。

本书主要反映笔者这些年从事铀矿科学研究上的一些理论认识，希图从自己的和他人的众多成果中抽取一些有关成矿基本规律的内容，是对资料的二次开发，再加工。

在热液矿床学的研究史上是否可以分出以下三个发展时期：

（1）地质矿化特征研究时期：诸如矿床、矿田、矿带的区域地质、地层、构造、岩体、矿体、矿石、蚀变、地球化学等等观测。这个时期已有一个世纪，现在还在继续这种

状况；

(2) 向深部探索时期：成矿是四链过程：源—运—聚—存（保存）。矿床、矿田研究主要回答的问题是聚和存。至于源、运何在？一直不明。热液从何而来？如何产生？怎样从矿源汲取矿质？通过什么方式和通道到达矿床卸载？有何证据？中外至今都是悬案。出现了众多推测。尽管见解纷纭，但也有共同点——要向深部找根源。这是当前的一个新动向。一旦认为必须向深部考虑，据笔者拙见，这就意味着几十年来世界各地的矿床、矿田虽然进行了解剖（很多已达到相当细致、深入的地步），但却回答不了上述成矿规律中的一些难题。不然，为什么大家还要向深部找原因？中外虽然有这么长时间和这么多矿床本身的研究，然而到头来发现这是不够的，有很多研究工作疏漏了，该做的还没做（当然，在这期间新矿床、新类型始终在不断发现）。

(3) 地幔流体研究时期：既然认为热液矿床学的研究需要向深部考察，然而到底是去探索深部的什么问题？什么研究对象？是过去习惯做的固体岩石、矿物、微量元素分布、同位素组成？还是更注意其中的流体问题？（当然，也要通过深入的固体研究，但着重点二者有原则不同）。

据笔者拙见，当代地球科学面临着科学观进行根本性转变的变革时代——由过去二三百年的固体地球科学观向今后的流体地球科学观更新转变。这可能是继水成-火成论和固定-活动论之后地球科学发展的第三阶段（杜乐天，1998）。

流体地球科学观的实质是强调流体运动主宰固体运动而不是相反。没有流体活动就没有大地构造运动。没有流体活动也没有岩浆作用，没有热液作用，没有成矿作用，等等。据笔者研究，这种流体是从矿床以下直到 2900 km 深的外地核边界的超临界态，它既不是水液，也不是岩浆，而是幔汁（HACONS）*（杜乐天，1987）。幔汁是来自外地核的强大氢流，向上幅射穿透，在下、中地幔演变成氢型幔汁（H-HACONS），再向外幅射到上地幔演变为碱型幔汁（A-HACONS）；如有断裂或薄弱带，还可继续向上进入地壳，演变为氧型幔汁（O-HACONS）。如存在裂谷、断陷带或拆离构造等拉张伸展环境，幔汁再上升就将变成热液。热液作用及其成矿从此开始。热液不是来自岩浆。二者不是父子关系而是兄弟关系，都是来自幔汁。二者间主要的差别在于：如介质温度在固相线之下，达不到周围岩石的熔点，即形成热液；如温度在固相线之上，即和围岩一起形成岩浆。这里须加强调，岩石的固相线并不像过去认为的那样是位置固定不变的。温度可以不升，只是固相线下移（即有流体来降低围岩岩石熔点）同样也可造成岩浆。前已述及，幔汁沿断裂、裂陷、裂谷快速上涌这是事实，但不宜得出结论，好像幔汁受构造控制只是被动上涌。我们的研究证明，诸如断裂、断陷、裂谷的发生及复活并不唯一地决定于固体的构造力学破断。这只是表层现象。深部真正的强大得多的主动力是幔汁的活动，是它造成了幔壳溃变（即出现软流体、低速高导体）。溃变体的膨大上隆底辟，不断消蚀其上部及两侧的固体岩石圈扩大溃变区，造成地壳大大减薄、重力侧向滑动、拉伸，出现拆离构造断裂、裂陷和裂谷。幔汁通过自己的活动（包括渗入、交代、富化、致熔）造成了上部岩石圈的减薄和破裂，又为自己的上涌开辟了通道（不排除构造应力作用）。

本书在热液成矿机制上将提出以下三个基本问题：

* H—氢、卤素、热；A—碱金属（主要是 Na、K）族；C—碳；O—氧；N—氮；S—硫族。

(1) 中国的和全球的热液铀矿是碱交代作用形成的。每个矿床的根部都可以找到这种碱交代作用形成的碱交代岩作为确凿证据的记录。不注意、不重视就没有；一注意，到处皆是。

(2) 从铀矿实例出发，结合对其它元素热液矿床对比研究进而认为世界上各种元素的热液矿床同样也是碱交代作用形成的。问题在于，明明事实摆在那里，只不过是“不关注、不理解、不认得和不研究而已”。

(3) 形成矿床的热液来自幔汁 (HACONS)。世界各地的碱交代岩和隐爆角砾岩 (Breccias) 正是幔汁的化石。没有幔汁上涌，就没有热液作用和成矿 (幔壳岩浆也是幔汁和岩石反应的产物)。

本书将用大量事实来论证上述每一个重大理论命题。

笔者估计这三大观点肯定会引起激烈争论，也许会遇到种种非议、反对。这恐怕是科学发展史中的必然。笔者认为，对过去中外热液成矿论不少理论和结论以及研究方式、方法都需要加以怀疑和重新认识。正确的接受，不足的补上。现在是时候了！总感到不满足才是科学发展的驱动力和生命力所在。马克思曾说过：“最好把真理比喻为燧石，——它受到的敲打越利害，发射的光辉就越灿烂！”爱因斯坦也说过，他觉得世界上最不可理解的是这个世界居然可以被理解。

现在旧的一个世纪已经过去。热液矿床学研究也将辞旧迎新。在国内外已有迹象表明一批研究者已经跨入了这一新的发展时期。最近有两本新著《安徽沿江地区铜多金属矿床地质》(唐永成、吴言昌、储国正、常印佛等, 1998) 及《深部构造作用与成矿》(裴荣富、翟裕生、张本仁主编, 1999) 反映了这一动向。在前一本书中作者们精辟地指出：“幔隆带是沿江地区岩浆岩成矿分带的基本因素。没有幔隆带，也就没有安徽省沿江地区乃至整个长江中下游的岩浆岩带和成矿带”；“大洋和大陆裂谷均位于地幔隆起带之上。不论是地壳拉张引起地幔上隆还是地幔上隆引起地壳拉张，幔隆经常处在地壳拉张部位。地壳拉张和地幔上隆引起的减压作用，使地幔的挥发分和碱质 (二者加在一起就是幔汁 HACONS—笔者) 以及热液释放出来向幔隆 (亦即笔者所指的溃变体) 富集，产生交代作用，导致地幔熔点降低，通过部分熔融产生基性岩浆，在大陆常为碱性玄武岩浆。幔源岩浆向幔隆顶部汇聚或侵入地壳，同化围岩形成各种岩浆岩。”

1997年12月中国地质学会矿床专业委员会和地科院矿床所联合在京举办了我国第一次“地幔流体成矿学术讨论会”。讨论会《论文摘要》的前言明确指出：在本世纪60年代以前，林格伦的成矿理论和艾孟斯的矿化分带理论……的核心是金属成矿作用与岩浆岩尤其是花岗岩的密切关系。但到本世纪中叶人们开始怀疑不少远成和超远成热液矿床与岩浆 (是否) 有亲缘性。……令人困惑不解的是有一部分矿床在矿区内无岩浆活动；成矿的物质和流体并不显示为海底或湖底的同生矿床。那么，这些矿床的物质和流体来自何方？对地幔流体在构造活动区成矿的思考无疑为解释该类矿床成因提供了一个线索。”

我国的铀矿地质界是由许多兄弟产业、科研、教学单位共同组成的，除二机部外，还有地矿部、科学院、南大、成都地院等。数以千计的科研人员许多专业、工种共同专门研究一个种矿而且有长达四十多年的研究历史一直至今，这在世界上也可能是独一无二的。可以自豪地说，我国的铀矿矿量不一定最多，但对成矿理论的认识高度、深度可能是居前的。这些年发现了一系列国外铀矿地质界所没有认识到的地质规律 (中外文献有案可查，

用不着非要外国人来说，我们也有判断力)。本书将努力反映这一点。

在此笔者还想把问题往一个更高的层次引伸，这就是网络科学或集成科学问题。过去凡是事物个论的研究都可以视为单元科学。今后的学术大潮是要向集成科学或整体科学发展。现在个论已经多得不可计数了，但事实证明统计性规律往往是不确定的。我们很需要再进一步到机制性规律，即共论揭示。以前提倡学科交叉出边缘科学，那只是一种初级形式，主要限于双边交叉。我们现在早已有足够的资料和条件进行跨学科多方面的串连，它是网络性的近距离尤其是远距离的杂交。这当中关键是无界论：在承认事物和学科都有自己确定的边界的基础上，更重要的是不承认它！不管是什么学科尽可以自由出入。本书中至少有以下三个无界：

- 1) 我国的热液铀矿和世界各地的热液铀矿无界；
- 2) 热液铀矿和其它各种元素热液矿床无界；
- 3) 地壳上的热液作用和上地幔的流体活动无界。

经过这样的破界网络串连，遂使笔者有充分的根据确立这样一种基本规律：幔汁→热液→热液矿床。请允许笔者再次表述下列这样一个学术信念：统治我们近一个世纪的岩浆分异热液成矿论早已完成了它的历史使命！

本书力求对热液铀矿上述集体科研成果的精髓有所反映。这是个人 40 多年来学习心得的一个小结。在这些年中笔者几乎跑遍了我国南北各地的铀矿床，有的去过多次。至于矿点看的数量就更多。笔者有个职业习惯，很愿意去看不成矿的矿点。这样正反对比有助于对真正成矿条件的理解。在当代，无论测试、实验条件如何现代化，对于研究矿床来说，野外直观考察仍为第一要素。不然，会基础不牢。地球科学研究如果脱离宏观掌握是不可思议的。另外这也是向广大地质找矿队伍学习和汲取知识营养的需要。回忆这些年去过的每一个地质队伍和各地地区地勘局及其研究所，都得到了他们热情的接待、帮助和指点。感人至深，终生不忘。

笔者所在的核工业北京地质研究院拥有一支高度敬业献身精神、雄厚科研实力的过硬队伍。他们这些年来默默无闻，辛勤耕耘，完成了数以百计的大小有关专业科研项目或课题，得出了大量的实际资料和数据，发现了许多前人未有的地质、成矿规律，很富有创新、开拓能力。笔者对此深有了解，并从中深受教益。正是这样一个素质精良的队伍集体为奠定我国铀矿新理论立下了汗马功劳。本书的编写宗旨就是尽量地反映向他们学习的结果——尽管感到力不从心，顾此失彼，只能说反映了一小部分。

在我院从事热液铀矿研究的同事前前后后不下六七十人。在花岗岩型铀矿研究中代表者有王祖邦、王炎庭、童航寿、戎嘉树、黄志章、李田港、韩泽宏、曹淑德、冯明月、蔡根庆、孙志富、刘尚华、徐梓阳、王玉明、徐涛林、刘长命、孙西田、李月湘、沈珠勇、王明太、王月莲等；在火山岩型铀矿研究中代表者有王传文、陈肇博、王正邦、张学权、季树藩、何钟琦、万国良、王灿林、谢佑新、方锡珩、侯文尧、林天保、王思龙、刘学斌、仇本良等。除上述同志外，早期参与热液铀矿研究的还有陈祖伊、赵凤民、胡绍康、黄净白、孙文鹏、程学友、张待时、张昭明、束秀琴、王文广、张邻素、田儒、张天恩、赵文选、陈璋如等。在成矿实验上有张学志、许德华、赵文渊、刘正义、仇宝聚、刘吉芳、姚莲英、沈才卿等；在包裹体研究上有徐国庆、苏守田、陈安福、欧光习等；在同位素地质研究上有李耀松、夏毓亮、郑懋公、朱杰辰、陶铨、菅俊龙等；在遥感上有刘德

长、黄显芳等。从 80 年代起开始参加热液铀矿研究的年轻人生力军有王驹、徐展、李子颖、刘小宇、黄树桃、程华汉、方茂龙、林锦荣、温志坚、肖湘萍等博士生、硕士生。

本书是在核工业集团公司地质局副局长兼总工程师郑大瑜（并作序）、我院院长李德廉、副院长侯惠群、科技委主任陈祖伊、副主任蒋永一以及辛至秀、地质总局地质处、科技处、我院科技处的鼓励、支持和资助下编写的。稿子的图表加工得到仇宝聚的帮助。原子能出版社编辑谭俊给予了大力热情协助。

笔者对以上各位同志现致以衷心的深切的谢意。没有他们平日的关照、合作、启发，本书是写不出来的。

最后拟献拙诗二首于下：

（一）清 醒

零金碎玉，
蛛丝马迹。
若隐若现，
扑朔迷离。
混惘困惑，
难谕其机。
如欲豁然，
亟须合集。
集后大明，
昭昭底细。

（二）不 息

“老牛自知黄昏近，
不用扬鞭自奋蹄。”
直奔天边地平线，
耕到哪里算哪里！
（前两句引自前人一诗）

目 录

| | |
|----------------------------------|-------|
| 第一章 典型热液铀矿实例解剖 | (1) |
| 一、广东下庄铀矿田大幅峰矿床 (331) | (1) |
| 二、甘肃茂岭铀矿田 (茂岭矿床, 新水井矿床) | (17) |
| 三、蚀变岩型铀矿 (湖南黄峰岭矿床, 江西桃山矿田) | (26) |
| 四、辽宁连山关元古代热液铀矿田 | (35) |
| 五、江西相山热液铀矿田 | (39) |
| 第二章 热液来源——幔汁 (HACONS) | (57) |
| 一、对地幔流体认识的过程 | (57) |
| 二、地幔流体中碱金属 (Na、K) 的地球化学 | (68) |
| 三、地幔岩气体研究 | (97) |
| 四、地幔岩溃变研究 | (103) |
| 五、上地幔溃变体地球物理异常的地球化学内因 | (104) |
| 第三章 拆离构造——幔汁的上涌通道 | (111) |
| 一、拆离构造研究的发展过程 | (113) |
| 二、拆离构造 | (116) |
| 第四章 碱交代岩——幔汁化石与矿源 | (151) |
| 一、如何识别碱交代岩 | (153) |
| 二、碱交代岩是爆裂岩 | (168) |
| 三、磷 (P) 是地幔流体的特征性成分 | (175) |
| 四、硅桥 | (182) |
| 五、价歧化 | (186) |
| 六、碱交代岩是矿源岩 | (190) |
| 第五章 富铀基底——碳硅泥岩系 | (201) |
| 第六章 铀矿的空间定位 | (217) |
| 一、华南铀矿域的划分 | (217) |
| 二、华南四大铀矿类型成矿作用的统一性 | (221) |
| 三、成矿壳层 | (225) |
| 第七章 铀的预富集系 | (238) |
| 一、地层预富集 | (239) |
| 二、岩体预富集 | (244) |
| 三、构造-热液蚀变预富集 | (254) |
| 四、脉体充填叠加工业富集 | (254) |
| 第八章 国外热液铀矿对比 | (255) |
| 一、哈萨克斯坦 | (255) |
| 二、俄罗斯 | (261) |

| | |
|---------------------------|-------|
| 三、蒙古人民共和国 | (265) |
| 四、乌克兰 | (265) |
| 五、法国、葡萄牙、西班牙 | (266) |
| 六、捷克斯洛伐克 | (272) |
| 七、德国 | (272) |
| 八、巴西 | (273) |
| 九、加拿大 | (273) |
| 十、澳大利亚 | (277) |
| 十一、美国 | (278) |
| 十二、南非 | (279) |
| 第九章 热液铀矿和其它元素热液矿床对比 | (283) |
| 第十章 今后找矿建议 | (287) |
| 参考文献 | (288) |
| 照片说明 | (303) |

第一章 典型热液铀矿实例解剖

过去在我国是按赋矿围岩来对铀矿床类型加以命名的，计有四大类型：①花岗岩型；②火山岩（酸性）型；③碳硅泥岩型；④砂岩型。随着找矿实践和研究工作的进展，逐渐发现除了砂岩型中的氧化-还原过渡带型、古河道型及碳硅泥岩型中的同生沉积铀矿外，其它所有的铀矿床都是热液铀矿，只不过产出的地质部位矿化特征有很多区别。中国的铀矿主体是热液型铀矿床，据不完全统计按矿床数目约占 80%。

本书不是这些热液铀矿床的资料综合和总结。这是一项庞大的工程，远非个人能力所能做到。本书只是打算以自己参与过的专题研究为重点兼顾我局系统及我院兄弟科、组的成果精华，来探讨一些其中的基本成矿规律。首先在本章中将顺次阐述以下我国几个主要的铀矿床和铀矿田，这是考察基本规律的基础：

1) 广东翁源县贵东花岗岩体中的下庄铀矿田（以大帽峰矿床为重点）。以此来代表我国花岗岩铀矿硅化带微晶石英型矿化的基本特征；

2) 甘肃河西走廊芨岭纳交代铀矿田，以此来代表北方碱交代热液铀矿床；

3) 蚀变岩型铀矿床（江西宁都桃山矿田、湖南汝城鹿井矿田）；

4) 辽宁连山关元古代热液铀矿床；

5) 江西乐安相山热液铀矿田，以此代表火山岩型铀矿。

须加指出，即使上述各矿田、矿床，笔者也无力对历年来各单位所做的科研成果都加以汇总和反映。读者从本书的章节安排中可以看出，第一章的内容还不是全书的主要部分。它只是考察基本成矿规律的必要基础。因此，恳请原谅未能把前人宝贵成果尽都反映。不过，虽然矿床具体实际资料在本书中未能尽揽，但有关成果中的规律精要是尽量加以吸纳的。在每一个引用处均明确加以注出。

一、广东下庄铀矿田大帽峰矿床（代号 331）

此矿床产于贵东花岗岩体东北角顶盖相细粒、中粒白云母花岗岩之中（图 1-1），位于高山区，海拔 600~1080 m。矿床由北东东向相互平行的 6 条含铀硅化带组成，其中以 101, 102 两条脉为成矿脉。含铀硅化带也就是包括两侧硅化蚀变在内的石英脉。石英颗粒均很细小，称为微晶石英或玉髓状石英。由于含有分散的赤铁矿、水针铁矿而成为红色。如含有较多的胶黄铁矿，则微晶石英脉是灰黑色。成矿期的铀矿石英脉有个很大的特点总是红色或灰黑色。只要是白色者（不是成矿前的就是成矿后的）均不成矿。颜色是判别有无铀矿化的可靠肉眼鉴定标志。当成矿期石英脉和早期煌斑岩墙（东西向，在矿床中共三条）相交时，矿特别富。本矿床是我国特富铀矿床的代表。底下主要是我们 1961~1962 年的成果，虽一直未发表，但至今仍有价值。

含矿硅化带一般长数百到两千米，宽 1~3 m，走向北东，倾角 70°~80°。其中可有四

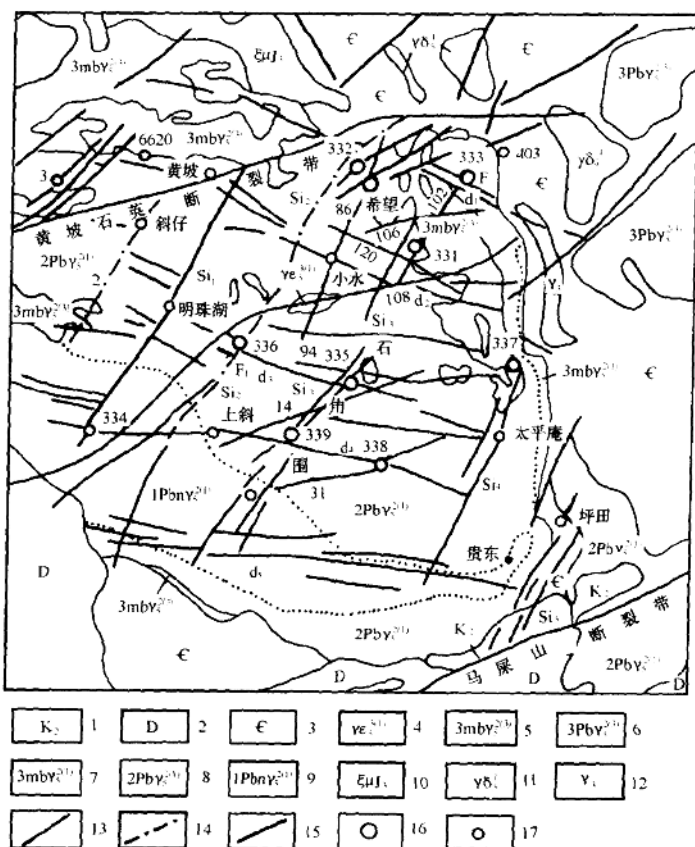


图 1-1 下庄铀矿田地质示意图

- 1—上白垩统；2—泥盆系；3—寒武系；4—碱交代岩；5—细粒二云母花岗岩；6—细粒斑状黑云母花岗岩；7—细粒二云母花岗岩（边缘相）；8—中粒斑状黑云母花岗岩（过渡相）；9—粗粒斑状黑云母二长花岗岩（内部相）；10—次英安斑岩；11—花岗闪长岩；12—片麻状花岗岩；13—辉绿岩；14—石英脉；15—硅化带；16—矿床；17—矿点；
 $d_1 \sim d_5$ 矿田内 5 条近东西向辉绿岩墙； $Si_1 \sim Si_5$ 矿田内 5 条北北东向大石英脉

期充填：

①乳白色微晶石英，不透明，石英晶体中有较多的泥质，石英粒度 0.2mm，颗粒大小不均匀，相差可到 10 倍。发育空洞，石英结晶就较粗，偶尔见黄铁矿、浅色萤石。此期石英从不含矿， $U \approx 0.01\%$ 。铀矿石最低工业品位是 0.05% (U)。此期石英相当于区域上我们划分的 Q_{4-1} ，见照片 1。

②红色微晶石英：定名为 Q_{4-2} ，主要是含有分散的胶赤铁矿、胶黄铁矿、沥青铀矿及水云母。石英粒度 $< 0.1mm$ 。含铀较高， $U = 0.03\% \sim 1.5\%$ ，变动幅度很大。如胶黄铁矿、沥青铀矿浓集，红色就会过渡为黑色。此期石英是矿床主要造矿者，见照片 2。

③黑色玉髓状隐晶石英：颗粒更细小，~0.02mm，见照片2。黑色玉髓状石英是由于有较多的胶状黄铁矿和沥青铀矿，U含量更高，U一般0.1%~2.6%，是富矿石但分布局限。此期石英定期为 Q_{5-1} 。有时伴生成矿期黑紫色萤石 Fr_1 。

④矿后期蛋白色隐晶石英(Q_{5-2})及梳状石英(Q_6)，规模很小，长数十厘米，宽1~2cm，分布局限于矿脉之内。经常有未填满的空间，充填有浅色萤石 Fr_2 、方解石、粘土、次生铀矿物。此二期脉均不成矿。

在下庄矿田(华南大区亦如此)形成热液铀矿的热液突出的一个特点是自始至终是一种富Si的热液系统。硫化物很少，在铀矿中极不发育。主成分是 SiO_2 ，占矿脉的90%~95%，其余是岩粉和蚀变矿物。因此Si—U之间的相互关系是热液铀矿研究的一条主线。在区域上我们一共分出六期八次石英脉体活动，如下。

矿前期石英脉有四期(都不成矿)：

| | | | |
|-------|-----------|-----------------|----------|
| 粗晶石英脉 | Q_1 | 石英粒度 > 3mm | 乳白色，见照片3 |
| 中晶石英脉 | Q_2 | 石英粒度 1~3mm | 乳白色，见照片4 |
| 细晶石英脉 | Q_3 | 石英粒度 0.1~1mm | 乳白色 |
| 微晶石英脉 | Q_{4-1} | 石英粒度 0.01~0.1mm | 浅白绿色 |

成矿期石英脉分两期：

| | | | |
|-------|-----------|-----------------|--------|
| 微晶石英脉 | Q_{4-2} | 石英粒度 0.01~0.1mm | 暗色(棕红) |
| 隐晶石英脉 | Q_{5-1} | 石英粒度 < 0.01mm | 暗色(灰黑) |

矿后期石英脉分两期：

| | | | |
|-------|-----------|---------------|--------|
| 隐晶石英脉 | Q_{5-2} | 石英粒度 < 0.01mm | 浅色(白色) |
| 梳状石英脉 | Q_6 | 石英粒度可大可小 | 无色透明 |

上述各期次石英脉的特点详细归纳于表1-1。

总体上看随热液由早到晚脉中石英结晶越来越细，越接近胶体沉淀，铀易富集于胶体 SiO_2 集合体中。脉体在规模上也是越晚越小。 Q_1 — Q_3 石英脉往往形成区域性巨型石英脉，宽数十米到百米，长度为数十到数百千米，往往构成控盆边缘断裂，也是控制铀矿田的基本构造格架。在下庄矿田黄陂石英断裂带及马屎山断裂带属此。此矿田中的众多铀矿床除6620外全都分布于此两条大石英脉夹持区内，夹持宽度约20km。

有的研究者认为 Q_1 — Q_3 不好分，石英粒度有粗有细不规律。如果只是从矿床范围观察，往往看不到区域上的全貌。笔者是根据华南大面积(西从广西东到江西，南从广东北到湖南)中众多巨型石英脉(如新资、南雄、河源、桃山、遂川等)来确定的。至于石英粒度的变化，主要是两个原因：一是因有脉体早晚穿插；二是因有构造岩、石英质糜棱岩、剪切带的发育，因而颗粒就细。但总体上石英粒度早粗晚细的规律是存在的。

在下庄矿田的北东东向硅化带，如石角围(331矿床的101, 102石英脉即其一个部位)石英断裂带(其上有矿床333, 331, 335, 339)、下庄石英断裂带(其上有332, 330矿床)、明珠湖石英断裂带(其上有明珠湖矿点, 334矿床)基本上是由 Q_3 ~ Q_4 组成，石英脉规模长几千米，宽几米，断断续续。在矿床的1~2km²小范围内很少有 Q_1 ~ Q_3 ，已经剥掉。在下庄矿床的河沟里还看到残留的矿前期 Q_1 ~ Q_3 石英脉(宽米许)，向下经钻孔检验已尖灭。在331矿床同样如此， Q_1 只有数厘米宽小脉。看来，矿床所在大体是矿前

期 (Q₁, Q₂, Q₃) 大石英脉均已基本剥去的深度 (地区不断快速上隆及剥蚀)。

表 1-1 铀矿热液各期石英野外鉴别标志表

| 石英脉期次 | Q ₁ | Q ₂ | Q ₃ | Q ₄₋₁ | Q ₄₋₂ | Q ₅₋₁ | Q ₅₋₂ | Q ₆ |
|-------|---|---|---|---|--|--|--|--|
| | 矿前期石英脉 | | | 矿期石英脉 | | 矿后期石英脉 | | |
| 命名 | 粗晶石英 | 中晶石英 | 细晶石英 | 微晶石英 | | 隐晶石英 | | 梳状石英 |
| 石英的粒度 | >3mm | 1~3mm | 0.1~1mm | 0.01~0.1mm | | <0.01mm | | 可大可小 |
| 颜色 | 乳白色 | 乳白色 | 乳白色 | 浅色(土黄, 浅绿白色) | 暗色(棕红) | 暗黑色 | 浅色(乳白, 浅灰, 浅红) | 无色 |
| 结构 | 晶柱发育, 自形性良好, 晶柱乱向生长, 总体由晶体成锥头形成。晶柱短粗, 长: 宽 = 3~4:1, 有时呈马牙状, 含较多气液包体, 故不透明 | 晶柱发育, 自形性良好, 晶柱乱向生长, 总体由晶体成锥头形成。晶柱短粗, 长: 宽 = 3~4:1, 有时呈马牙状, 含较多气液包体, 故不透明 | 均粒, 砂糖状, 断面为粒状 | 不均粒, 全它形, 致密块状。经常发育显微空洞, 经常为角砾结构, 多基底式胶结, 胶结物为主 | 不均粒, 全它形, 致密块状。经常发育显微空洞, 经常为角砾结构, 多基底式胶结, 胶结物为主 | 颗粒更为细密, 出现贝壳状断口, 发育显微空洞, 发育多层韵律或多带结构, 基底式胶结, 胶结物为主 | 颗粒细密, 出现特征性的结构, 实为梳状石英脉。发育多层韵律或多带结构, 贝壳状断面 | 石英晶柱细长, 长: 宽为 5~7:1, 对称生长, 往往充填脉中, 不留空隙, 或方解石, 蜜石等 |
| 矿物成分 | 几乎全部为石英, 很少见有硫化矿物, 偶而见浅色粗晶萤石单粒, 可有花岗岩碎屑 | 几乎全部为石英, 很少见有硫化矿物, 偶而见浅色粗晶萤石单粒, 可有花岗岩碎屑 | 几乎全部为石英, 很少见有硫化矿物, 偶而见浅色粗晶萤石单粒, 可有花岗岩碎屑 | 总混有水云母, 故往往呈浅绿色调, 含有少量黄铁矿, 有较多的花岗岩碎屑混入, 故不透明, 本期石英脉形成异常, 但不形成矿化 | 总含有较多的杂质矿物, 如含细分散或胶状黄铁矿, 则石英集合体带灰色或黑色。阳光下可见闪闪亮点。如含较多赤铁矿, 水针铁矿则为暗红、棕红。本期石英脉是重要的造矿者。沥青铀矿呈浸染体或微脉、细脉体于其中 | 同左, 往往有暗色萤石(以黑色最重)共生或叠加。本期石英脉及萤石脉是重要的造矿者。沥青铀矿呈浸染体、细脉、微脉于其中 | 所含杂质矿物不多, 故石英集合体为浅色的特点是白色高岭石含量较多, 故多发育乳白色, 往往有浅绿色(绿、蓝、黄、白)萤石共生, 可形成矿 | 在此期中石英脉体常有方解石、萤石、沸石、含磷灰石、他次生他矿, 有时有黄铁矿、氧化铁、锰、氧在空腔成膜, 有时有石膏 |

331 矿床各期次石英脉的化学成分见表 1-2。

表 1-2 331 矿床各期石英化学成分 (%)

| 矿物 | 样品号 | U | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | K/Na | S |
|---------|--------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|-------|-------|
| 乳白色微晶石英 | D-056 | 0.014 | 96.36 | 1.15 | 0.1 | 0.97 | 0.02 | 0.02 | 0.24 | 12 | <0.01 |
| | D-0170 | 0.009 | 97.15 | 0.83 | 0.04 | 1.44 | 0.13 | 0.03 | 0.07 | 2.2 | |
| | D-0171 | 0.009 | 96.44 | 0.88 | 0.14 | 1.20 | 0.10 | 0.018 | 0.12 | 0.7 | |
| 红色微晶石英 | D-021 | 0.033 | 90.98 | 4.31 | 0.69 | 0.57 | 0.24 | 0.04 | 1.43 | 3.25 | |
| | D-0121 | 1.529 | 83.82 | 4.56 | 3.99 | 0.60 | 0.22 | 0.01 | 1.12 | 8.0 | |
| | D-0192 | 0.043 | 80.90 | 5.11 | 0.89 | 0.65 | 0.25 | 0.02 | 1.82 | 7.6 | |
| | D-0193 | | 94.97 | 1.70 | 0.14 | 1.39 | 0.11 | 0.01 | 0.54 | 3.9 | |
| | D-0194 | 0.016 | 92.03 | 4.22 | 0.59 | 0.72 | 0.01 | 0.03 | 1.21 | 3.8 | |
| | D-0195 | 0.059 | 91.60 | 3.75 | 0.66 | 0.76 | 0.15 | 0.02 | 1.21 | 5.0 | |
| D-0398 | 0.008 | 95.57 | 1.33 | 0.27 | 1.33 | 0.22 | 0.04 | 0.32 | 8.9 | <0.01 | |
| 黑色玉髓状石英 | D-0123 | 2.614 | 87.93 | 2.87 | 2.27 | 0.27 | 0.27 | 0.02 | 0.49 | 2.5 | 0.34 |
| | D-0172 | 0.11 | 92.58 | 0.92 | 2.74 | 1.56 | | 0.02 | 0.31 | 0.7 | 2.03 |
| | D-0196 | 0.02 | 95.46 | 1.76 | 0.3 | 0.93 | 0.19 | 0.01 | 0.50 | 3.6 | 0.24 |

* 样中空者缺数据

在上述和热液铀矿有关的四期石英脉和玉髓脉外，在 331 矿床还见有数厘米宽的钨 (W) 矿石英脉。二者间颇不相同，肉眼即可分辨。W 矿石英脉多透明、钢灰色、油脂光泽强、石英结晶粗大，含电气石、粗晶黄铁矿、闪锌矿、方铅矿，而铀矿石英脉均不透明、乳白色、油脂光泽弱、石英结晶细小，胶体沉淀，即使含黄铁矿，也多非晶形的烟灰状胶黄铁矿，不含电气石，含较多的胶赤铁矿、沥青铀矿，故有红、灰、黑各种颜色。带颜色、结晶又差（细小）的石英脉是产铀矿的重要肉眼识别特征。这在华南有普遍性。

在 331 矿床，铀矿石英脉中的造矿矿物是非晶质的胶态沥青铀矿呈 0.1 mm 圆球、豆瘤、细脉，大到肉眼可见肾状、皮壳状沥青铀矿团块（见照片 5, 6, 7, 8），分布于红色、灰色、黑色微晶石英脉之中。另外在华南其它地区矿床如诸广山的 201, 361 矿床的铀矿石结构，见照片 9, 10, 11。在 331 矿床的硅化带切过煌斑岩墙处会变成十几到三十厘米的纯沥青铀矿大块，脉石矿物石英已很次要。笔者做过 B01 矿体坑道顶板素描，见图 1-2。

矿体主要产于 102 硅化带中，B01 富矿柱占 331 矿床的绝对储量，围岩是中粗粒花岗岩。花岗岩并不硅化而是极强的高岭石化，很疏松，褪色为白色（估计有矿前钠长石化，然后地下水水解，变为高岭石）。富矿柱旁的黑绿色煌斑岩同样也强烈高岭石化为白色（图 1-2 中虚线范围）。在被沥青铀矿脉包

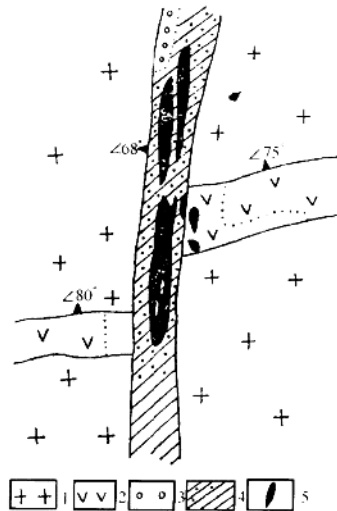


图 1-2 硅质脉和煌斑岩墙交会处特富矿体坑道平面图
1—花岗岩；2—煌斑岩墙；3—瓷白色矿前期微晶石英脉 Q₁₋₁；4—棕红色微晶石英脉 Q₁₋₂，宽 20cm，全部是矿体，有大量沥青铀矿斑块及浸染体（点区）；5—纯沥青铀矿透视镜

围后又红化为砖红色。红化的前提也是褪色,否则显不出红色。B01 矿柱正好产出在北东向 I02 硅化带切过近东西向的煌斑岩墙处,是交点型矿体,走向上长一二十米,倾向长 200 m,像一条扁担,垂向上严格地沿交点轨迹向下延深。矿柱的倾向长度远大于走向长度。从 9 号坑道向下经 13 号坑道一直延深到 14 号坑道。坑道间高差 48 m。在各坑道平面图上矿柱的走向长度取决于煌斑岩墙被硅化带错开的距离,见图 1-3。煌斑岩墙的厚度为 1~2 m。

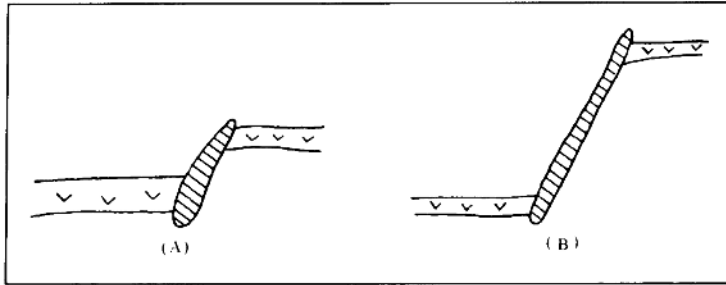


图 1-3 煌斑岩墙错动决定矿柱走向长度示意

图 1-3 中左图煌斑岩墙水平错距小 (A), 矿柱走向长度就短, 右图岩墙错距大 (B), 矿体走向长度拖得也长, 硅化带一旦离开煌斑岩远, 矿化立即大大变差。在不同高度坑道上都是如此。这很好地表明煌斑岩墙对富矿柱的严格控制。这一矿体产出特征在下庄矿田带有普遍性。后来在下庄矿田找到的众多矿床 (如石角围、砾下、仙人嶂、张光营等) 都是这一模式。交点成矿成了下庄铀矿田所独有的一个地质特征和成矿规律。

煌斑岩对硅化带中铀的特殊富集能力在法国中央地块也有实例, 但在那里只有少数矿例。下庄矿田发育程度大得多。

煌斑岩墙为什么远比花岗岩对热液中铀的富集能力大得多 (高出 1000 倍)? 笔者初步认为可能有以下四个原因:

1) 煌斑岩富 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 。蚀变褪色意味着暗色矿物分解, 其中 Fe^{2+} 会使六价铀还原沉淀。 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 则和热液中的 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 化合成为方解石、白云石、铁白云石, 热液中 CO_2 浓度降低, 破坏 $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2]^{2-}$ 的稳定迁移, 而大量卸货沉下, 见照片 5~9。 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 进入热液又会促使 UO_2 铀胶解胶而沉淀。花岗岩为贫 Fe、Ca、Mg 岩石, 故不具备上述还原、破坏碳酸铀酰和铀胶解胶的条件。在煌斑岩墙旁边的富铀矿石纯沥青铀矿块中 Fe_2O_3 高达 10%。

2) 也许更重要的有利条件在于煌斑岩墙是地壳高度拉张产物, 地幔还原流体幔汁沿岩墙上升。证明这一点的依据是很多的。首先煌斑岩特别富含碱金属 Na 或 K 及挥发份, 它和玄武岩是共同的地幔岩浆体系 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比为 0.706 左右)。自变质特别发育, 例如辉石的纤闪石化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化、更长石化、透长石化、方沸石化。特别是出现磷灰石化, 而 P 已被我们证明是典型的地幔流体的特征性成分。总之, 煌斑岩墙实乃幔汁易于上涌的通道。说明这一点的有岩石发育眼斑 (Ocelli), 实际上是气泡, 固结后是一系列富碱矿物 (钾长石、斜长石、黑云母、钛角闪石、钛辉石、霓辉石、方沸石及挥发份矿物 (方解石、磷灰石、萤石) 组合。煌斑岩不仅在岩浆时可为幔汁上涌通道, 即使在固结成岩后也会继续成为深部还原气体的通道 (沿岩墙接触面缝隙)。幔源还原气

体主要是 H_2 、 CO 、 CH_4 等，对热液中铀的富集特别有利。煌斑岩墙旁铀矿体之特别富与沿煌斑岩墙与花岗岩间的接触面上升的还原气体密切相关。

3) 煌斑岩的气液包裹体成分分析结果 (王学成¹, 1989) 证明了 H_2 、 CO 的大量存在, 见表 1-3。

表 1-3 辉绿岩中包裹体气相色谱分析 (ml/10g)

(王学成, 1989)

| 矿物 | CO | CH ₄ | CO ₂ | H ₂ | H ₂ S |
|-------|--------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|
| 角闪石 | 182.74 | 少 | 10.76 | 145.90 | 有 |
| 角闪石 | 218.60 | 少 | 11.25 | 50.91 | 有 |
| 长石、石英 | 47.35 | 1.97 | 22.39 | 214.62 | 有 |

* 辉绿岩一词在下庄矿田和煌斑岩通用。不过命名确可化尚有待进一步工作。

4) 沥青铀矿比重很大, 为 7.5。一旦在脉中沉淀出来必然重力下压集合为纯沥青铀矿块而把共生的胶状 SiO_2 轻物质 (含水 SiO_2 凝胶, 相对密度测定为 1.7~2.1) 挤出, $Si-U$ 分离, 矿质更为富集, 故形成几乎全部由黑色沥青铀矿组成的大矿块 (非 U 物质只占 10~20%)。矿脉厚度的垂向变化很值得注意。沥青铀矿柱形成于脉上宽下窄的漏斗部位而不出现于脉的上窄下宽的部段。比重大的沥青铀矿重力下坠, 集中于漏斗底部。脉在垂向上的宽窄变化对沥青铀矿的重力再集结是有一定作用的。

在 331 矿床中除上述 B01 主富矿柱产于 102 硅化带外, 在 102 带东二三十米还有一条相平行的 101 硅化带 (复脉), 在与煌斑岩墙相交处产出另一个富矿体 A02。不过, 矿石品位比 B01 要差些, 不见沥青铀矿大块, 矿体主要由红色黑色玉髓状隐晶石英脉组成。脉中 U 含量也很高, $U=0.82\%$ 。在 9 号坑道, 此黑色脉宽度高达 1.8 m, 但厚度很快变窄。实际上是个大团块。A02 不如 B01 的重要原因是离煌斑岩远。A02 矿体在地表就有出露, 向下经 19 号、9 号到 13 号坑道即尖灭于细粒花岗岩强钠长石化绿泥石化的碱交代岩之中。碱交代岩呈肉红色, 90% 由酸性斜长石、钾微斜长石组成, 石英大减, 岩石 Na_2O 含量陡增到 7.8%。这是当时 (1961) 我们第一次见到的碱交代岩。它们是铀成矿前的高温产物。当时我们并未认识到此碱交代岩的重要, 结果后来竟然从这里发现出整个热液作用成矿中最关键的众多规律。不过在观察时, 没有漏掉它, 取了样, 进行镜下观察并分析了成分。

沥青铀矿石的化学成分, 见表 1-4。

表 1-4 沥青铀矿石成分 (%)

| 样号 | U | PtO | Fe ₂ O ₃ | Th |
|--------|-------|------|--------------------------------|--------|
| D-0119 | 74.88 | 1.87 | 5.95 | — |
| D-0120 | 66.65 | 2.20 | 10.25 | 0.0046 |
| D-0183 | 74.98 | 2.37 | 0.49 | — |
| D-13-6 | 78.19 | 2.54 | 0.60 | 0.0056 |
| D-0246 | 75.37 | 4.53 | 0.76 | 0.0054 |

* 王学成, 华南产铀花岗岩体内暗色岩脉的成因及其与铀矿关系, 南京大学地质系博士论文, 1989