

国外铀矿地质 文献选编

第三集

(火山岩和火山碎屑岩铀矿床)

华东地质勘探局270研究所

一九八三年十一月

国外铀矿地质文献选编

第三期

编辑：华东地质勘探局 270 研究所

《华东铀矿地质》编委会

出版：华东地质勘探局 270 研究所

（江西省南昌县 79 号信箱）

校核：雷文高

承印：江西新华印刷二厂

一九八三年十一月出版

前 言

近十年来,火山岩型铀矿床在国外受到日益广泛的重视,特别是近年来发展得较快,不少国家都集中了相当力量在火山岩区进行铀矿普查勘探、地质研究和铀资源评价预测。1980年2月,在美国得克萨斯州埃尔帕索市召开了规模较大的“火山学与铀”学术讨论会,并编辑出版了《火山岩和火山碎屑岩铀矿床》会议论文集,收编了24篇论文。这些论文较集中地论述了国外目前一些重要的火山岩铀矿区或矿床的产出地质环境,探讨了有关火山岩铀矿床的成因、研究方法和火山岩区铀资源评价预测等问题,从中可以大体了解国外火山岩铀矿床当前概况和发展方向,本文集是一部难得的颇有参考价值的资料汇编。

我所已于1983年组织力量全文译出。由于篇幅长,图表多,为尽快介绍给我国读者,拟分两期出版,陆续登于《国外铀矿地质文献选编》第三集和第四集上。第三集共刊出13篇论文,每篇文章的译者和校者均在文末署名,全书最后经雷文高同志校阅。由于水平有限,时间仓促,错误之处,在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

1. 加拿大、澳大利亚和意大利火山岩和火山碎屑岩铀矿床实例…………… (1)
2. 麦克德米特破火山口组合体中与铀矿床有关的火山岩的岩石化学特征…………… (16)
3. 富氟火山岩中铀/钍元素矿床成矿模式…………… (27)
4. 俄勒冈州麦克德米特破火山口组合体东北边缘地质特征和铀矿床…………… (38)
5. 俄勒冈州马卢尔郡奥罗拉铀矿远景区地质…………… (45)
6. 墨西哥奇瓦瓦州佩尼亚布兰卡区铀矿地质…………… (52)
7. 美国犹他州中西部马尔斯维尔火山岩区铀矿化系列…………… (66)
8. 墨西哥奇瓦瓦州佩尼亚布兰卡山对铀运移起屏蔽作用的灰岩基底…………… (81)
9. 火山岩结构和矿物中铀、钍的微观分布…………… (89)
10. 犹他州斯波尔山火山作用与铀矿化…………… (106)
11. 亚利桑那州盆地和山脉区新生代沉积岩、火山岩及有关的铀矿化…………… (116)
12. 墨西哥奇瓦瓦州戈麦兹山铀矿化…………… (129)
13. 墨西哥奇瓦瓦城区的区域地球物理场研究…………… (141)

加拿大、澳大利亚和意大利火山岩 和火山碎屑岩铀矿床实例

柯蒂斯(Laurence Curtis)

近几年来,在加拿大、澳大利亚和意大利等国铀资源评价中,火山岩和火山碎屑岩铀矿床和矿点已成为注意的中心。在评价火山岩区铀矿远景时,主要应考虑火山岩类型、其形成时代和有利于铀成矿的特性。

火山岩和火山碎屑岩铀矿床种类繁多,从第四纪至早元古代各种类型的火山岩中均有产出。地壳上部岩层内的网状侵入岩脉、流纹岩丘、塌陷角砾岩、角砾岩筒、圆形环状岩墙以及火山岩流、火山角砾岩和火山碎屑岩中,均有与火山作用有关的铀矿床产出;与火山作用有关的铀矿化也产于交错层状或边缘外成碎屑岩和沉积盆地中。这种铀矿化受构造或地层控制,在某些地区,则受构造和地层的三重控制。岩浆热液、同火山喷气和表生作用均可产生含或不含贱金属矿化的铀的富集。在任一有利的火山组合体或地区,这几种作用可同时发生,对矿产普查者来说,既能起到促进作用,又能起到吸引作用。

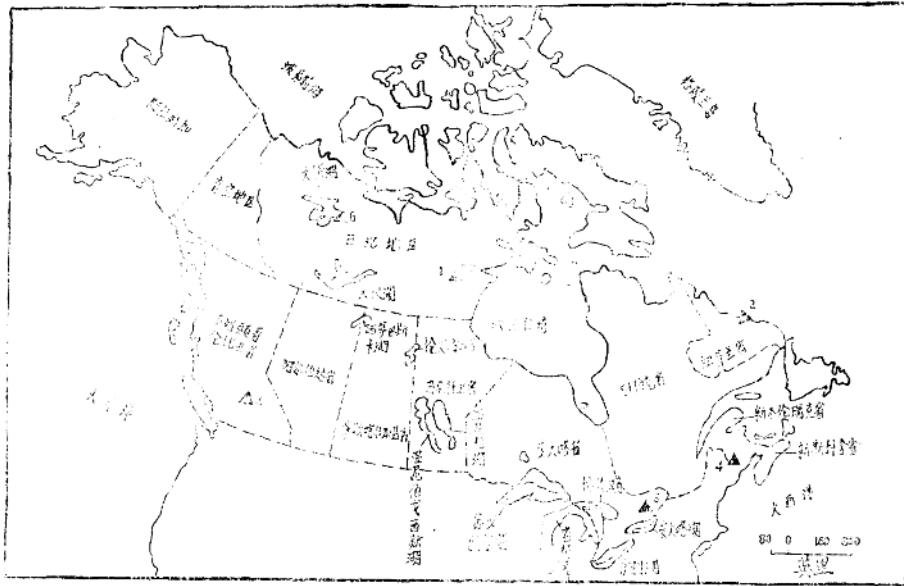
鉴于本次学术讨论会的重点是美国西部和墨西哥北部火山岩和火山碎屑岩铀矿化,本文只打算简介加拿大、澳大利亚和意大利当前进行评价某些这类铀矿床和矿点的情况。

加拿大、澳大利亚、意大利火山岩铀矿实例

加拿大

当前,加拿大在两个地区(图1)进行火山岩铀矿床普查勘探工作,一个是西北区元古代贝克(Baker)湖盆地,本区出现大量的以火山岩为主岩的铀矿点,但至今未发现具有工业价值的铀矿床;另一个地区是拉布拉多中部麦科维克(Makkovik)褶皱带,已在元古界火山沉积岩中发现两个铀矿床,目前正在继续普查。至于布列颠哥伦比亚省南部雷克斯巴(Rexpar)U—Th—F火山岩铀矿床,由于延期付款而停产,阻碍了铀矿的进一步普查。

西北区贝克湖盆地铀矿区 盆地内有下(?)—中元古界河流沉积岩和碱性及钙—碱性火山岩,它们堆积于被为数众多的复式断层控制的地堑内。同岩浆源的正长岩株、粗面岩墙和含萤石花岗岩均侵入于火山碎屑岩中。往北,赛隆(TheLon)陆相砂岩不整合地覆于火山杂岩之上。整个火山岩系构成了杜邦特(Dubaunt)群,其中产有各种类型的铀矿点。某些矿点内还含有贱金属,概述于表1。



火山岩铀矿床和远景区

- | | |
|-------------------|----------------|
| 1 Baker湖盆地远景区 | 4 Pleasant山远景区 |
| 2 MakroviK 褶皱带远景区 | 5 Gancylot铀矿床 |
| 3 Rexpat 铀矿床 | 6 Radium港铀矿床 |

图1 加拿大火山岩和火山碎屑岩铀矿床和远景区分布图

表1 加拿大西北区贝克湖盆地区与杜邦特群有关的铀矿化分布情况

| | 时代(m. y.) | 地 层 | 矿 化 |
|-------|--------------------|---|--|
| 上杜邦特群 | >1350, 可能 ≈1600 | 白云岩(无正式名称), 赛隆组砂岩和含砾砂岩 匹兹组: 钙-碱性火山岩, 玻质碎屑岩 *花岗岩 昆瓦克组: *火山碎屑岩 | (U) U U-F(Cu) U-(Cu) |
| 中杜邦特群 | 至少1786 ± 25 | 马蒂尔正长岩 *火山道角砾岩 克里斯托夫岛组: 钾质碱性火山岩、火山口集块角砾岩、火山碎屑沉积岩 *煌斑岩墙 | Th-U, REE U(Cu, Pb, Zn) U-F U(Se, Cu, Ag, Au) |
| 下杜邦特群 | | 卡赞组: 红色长石砂岩层 南运河组: 砾岩 安基库宁组: 砂岩、泥岩 | U(Cu, Ag) |

• 层位不清的岩石

⊗ 局部发育的岩层

~ 不整合面

°° 主要不整合面

大多数铀矿化与克里斯托夫岛(Christopher)组有关,其余的主岩为杜邦特(Dubaunt)群煌斑岩附近的长石砂岩。克里斯托夫岛组含有大量熔岩、火成碎屑岩、集块岩、火山口角砾岩和火山碎屑沉积物。这些火山岩主要为钾质粗玄岩,粗面安山岩、粗面岩以及少量流纹岩,并与肖肖尼岩*(Shoshonite)岩浆有亲缘关系(Blake, 1980)。

上述火山岩局部地方P和Ba的含量都很高, Sr和U含量也较高,但变化较大。时代较年轻的钙—碱性火山岩,由斑状岩流(局部含萤石)和少量火山碎屑岩组成。人们认为与碱性火山作用同岩浆源的正长岩(普遍具放射性异常)、煌斑岩和火山道角砾岩也是铀矿化的主岩。

不少研究者探讨过区内所具有的多种矿化。莱克米隆特和米勒(Lecheminant, Miller, 1978)叙述过杜邦特群中,以及与杜邦特群同岩浆源的侵入体中的五种不同铀矿化类型。这五种矿化是:

(1) 受断裂构造控制的矿化,产于火山岩和长石砂岩或凝灰质砂岩中。矿化由沥青铀矿±少量的Se、Cu、Ag、Au、Pb和Zn组成。

(2) 与杜邦特侵入岩毗邻的杜邦特红层中的矿化,产于靠近煌斑岩墙的蚀变长石砂岩中。矿化主要由沥青铀矿和少量的Cu和Ag组成。

(3) 与火山道角砾岩共生的矿化,沥青铀矿局限于和碳酸盐脉共生的角砾岩基质中,并含有少量的Cu、Zn和Mo。

(4) 接触变质带中的铀矿化,沥青铀矿产于靠近含萤石花岗岩的交代碱性火山岩和角砾岩中。

(5) 侵入体和杜邦特群火山岩中的同生浸染型铀矿化,此种矿化的构造控制作用不明显。低品位的U和U—Th矿化产于正长岩、淡歪细晶岩和碱性火山岩中。

图2和表1简述了铀矿化与区内岩层之间的地层关系。目前尚无足够资料说明各种铀矿化与破火山口的演化和内、外破火山口相之间的联系。许多铀矿化点虽然都具有构造控制的后生矿化特征(类型1),但是品位低(U含量为200至500ppm)的铀矿化所出现的部位却通常显示同生和同火山成因特征。考虑到碱性火山岩的时代(约1800m.y.)会有足够的时间使原生富集的铀发生再活化而提高品位。

中拉布拉多麦科维克褶皱带

本区下元古界火山沉积杂岩中产有为数众多的铀矿点,其中有两个铀矿床,即基茨(Kitts)和米什林(Mchelin)铀矿床已在进行开拓,准备投产。

铀矿化主岩为艾利克(Aillik)群沉积变质岩和变质火山岩。往南,该岩系突然被格伦维尔(Grenville)构造区花岗岩取代。艾利克群由石英—长石斑岩、流纹质火成碎屑岩

• 据原文Shoshonite暂拟定的音译名,系一种含橄榄石和辉石斑晶的玄武质岩石,基质为含正长石反应边、橄榄石、辉石和少量白榴石及部分暗色玻璃质的富拉长石玄武岩,名称是根据怀俄明州Shoshone河定的——译者注。

以及少量拉斑玄武质玄武岩(略偏碱性)和沉积变质岩组成。以往对该区有过许多论述,最近,甘德海(Gandhi, 1978)和贝利(Bailey, 1979)对该区作了全面总结。米什林铀矿床产于流纹质凝灰岩(据贝利1980年私人通信告知,可能为降落火山灰和火山灰流凝灰岩)中。矿化

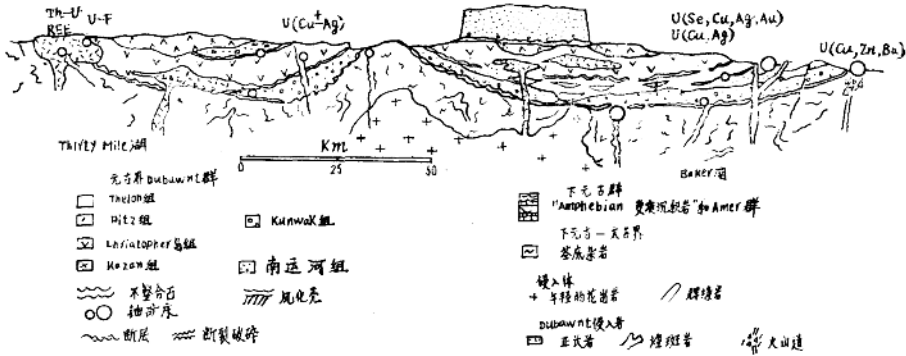
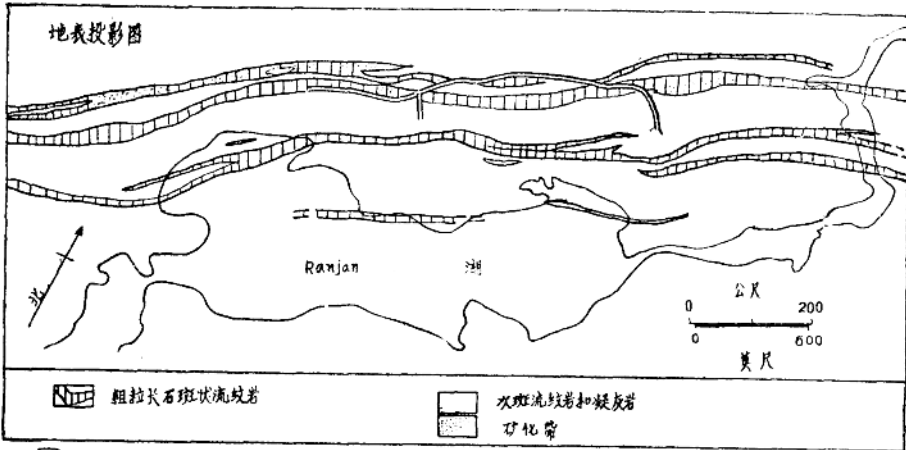


图2 贝克湖盆地示意剖面图(据Curtis等, 1980)

A



B

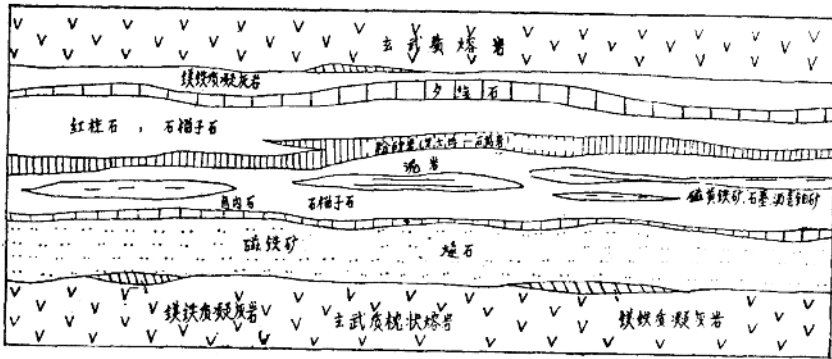


图3 (A) 拉布拉多米什林铀矿床地表投影图(据Ghandi, 1978); (B) 拉布拉多基茨铀矿床附近地层层序示意剖面图(据Ghandi, 1978)

带形态表明铀矿化与火山岩呈准整合关系,至少矿带中部分铀矿化明显受构造控制(图 8 A)。贝利和甘德海认为主要铀矿化期与火山作用是同时代的。怀特和马丁(White, Martin, 1978)根据地质年代资料,认为铀最初富集与火山作用是同时的,而主要矿化作用则晚于火山作用,是由地下水循环使铀再活化沉积形成的。由于矿化时发生广泛的碱交代作用,矿化带出现明显的钠的富集和钾的流失,以及高 Fe^{3+}/Fe^{2+} 比值(Watson—White, 1976; Bailey, 1979)。矿化主岩的U、Th和Zr含量超过背景值,矿化带一般富Ba。贝利和弗赖尔(Fryer)1980年私人通信透露,矿化主岩富含轻、重稀土元素,表明碳酸盐络合物和其它阴离子络合物(氯化物?)参与了成矿作用。区内有极少量萤石和辉铜矿,但未发现其与铀的一致关系。铀矿化由低钍的浸染状沥青铀矿组成,与赤铁矿和蛭晶质矿物(桐石?)共生(Gandhi, 1978)。该矿床已公布的 U_3O_8 储量约为7802吨,矿石中 U_3O_8 平均品位为0.11%(表 2)。

表 2 已公布过储量的火山岩铀矿床

| 矿床 | 平均品位 ($U_3O_8\%$) | U_3O_8 储量 (t) | 有经济意义的伴生元素 | 区域性共生矿化 |
|-----------|------------------------|--------------------|------------------------------|------------|
| 美国奥罗拉 | 0.046 | 7711 | Hg、Mo | F、Sb、As、Hg |
| 墨西哥佩尼亚布兰卡 | ? | (6904+) | Mo | |
| 加拿大: | | | | |
| 雷克斯巴 | 0.068 | 903 | CaF_2 、Th、REE | 块状硫化物、Ba |
| 米什林 | 0.11 | 7802 | | |
| 基茨 | 0.049 | 1138 | 微量 Mo | |
| 澳大利亚茂林 | 0.14 | 3584 | CaF_2 (13%)、Mo、W、Ba(0.01%) | Sn、Li、Be、F |
| 瑞典普勒塔约克 | ? | 1814 | Ba | |
| 玻利维亚: | | | | |
| 通拉巴卡 | 0.092 | 1814+ | | Sb |
| 米纳科塔耶 | 0.16 | 408 | | |
| 意大利诺瓦扎 | 0.146 | 1452 | Zn、Mo | |

表 3 未公布储量的火山岩铀矿床和矿点

| 矿床 | 有经济意义的伴生元素 | 区域性共生矿化 |
|---------------|---------------------|----------|
| 美国: | | |
| 布雷兹 | | Hg—Sb |
| 莱克维佑区 | Hg、Mo、Pb、Zn | |
| 乔里斯区 | | Sn、Nb、Be |
| 斯波尔山 | Be、F | |
| 加拿大: 普莱增特山 | CaF_2 、Mo、W、Bi、Sn | Sn、W |
| 瑞典: 杜布龙 | Mo、Zn | |
| 芬兰: 帕塔弗马 | | 块状硫化物 |
| 苏联: 为数众多的矿床 | Cu、Mo、Au | |
| 意大利: 武塞宁—沙巴蒂克 | CaF_2 、Th | Sb、Hg |
| 阿根廷: | | |
| 德包利斯 | | |
| 洛斯雷乌罗斯 | | |

基茨铀矿床由含沥青铀矿—磁黄铁矿—石墨的变质泥岩透镜体组成，后者夹在镁铁质火山岩中，受构造控制（图3B）。甘德海（1978）所提到的本区其它许多矿点都属于砂岩和长英质及镁铁质凝灰岩内的层控铀矿化。矿带本身遭受了各种褶皱和形变作用，局部出现不连续现象。矿化主岩经历了接触变质和区域变质作用。

甘德海强调基茨铀矿床的层控作用，提出了同生沉积成因模式，认为铀矿床的形成是由于含铀溶液渗入含黄铁矿—石墨的静海沉积盆地的结果。但是，马顿（Marten, 1977）则强调铀矿化的构造控制作用，提出后生成因模式，认为铀从上覆酸性火山岩淋滤活化产生含铀溶液，这种溶液迁移到含有合适的还原物质的地带而形成铀矿化，惠特和马丁（Whit, Martin, 1978）也赞同这种观点。

基茨铀矿床的矿化由含钍低的沥青铀矿和磁黄铁矿组成，伴有石英和方解石，有的报告中还提到含极少的黄铜矿、辉钼矿和毒砂。该矿床已公布的 U_3O_8 储量为1138吨，矿石平均含 U_3O_8 0.049%。这样，基茨和米什林两个铀矿床已公布的 U_3O_8 总储量大约有9000吨。

布列颠哥伦比亚省南部雷克斯巴（Rexpar）铀矿床。这个矿床于1949年发现，由三个U—Th矿体组成，矿区内并含有广泛分布的工业萤石—天青石矿床。矿化主岩为含黄铁矿的粗面状碱性长石斑岩和角砾岩，属二迭至石炭系伊格尔贝（Eagle Bay）组（Preto, Morton, 1978）。矿带位于岩屑凝灰岩和角砾岩带中，后者含有较粗的碎屑层，表明其接近火山口。

矿化主岩遭受了不同程度的钠长石化、绢云母化和碳酸盐化，上覆有黑色泥岩。雷克斯巴铀矿化产于含氟金云母和黄铁矿的岩层中，主要由晶质铀矿和含钍晶质铀矿组成。矿化带的特点是REE、Ba、Sr和P的含量都很高，Zn、Nb、Cu和Mo的含量也超过本底值，U/Th比一般小于1，朱毕姆和詹姆斯（Joubin, James, 1957）认为铀的沉积受原生火山构造控制，并推测矿床属同火山喷气成因。普雷托（Preto, 1978）认为矿化溶液是属于火山作用晚期含挥发分的岩浆期后热液，而莫顿等人则认为含矿溶液属于含 CO_2 的热卤水。尽管这样，但重要的一点是大家都认为成矿作用是伴随或者紧接着火山作用发生的。

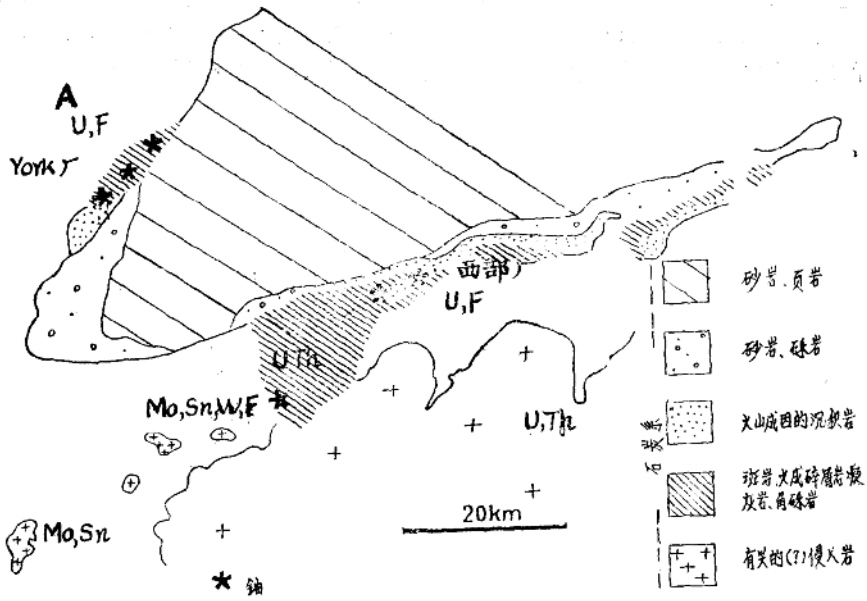
雷克斯巴三个矿带 U_3O_8 总储量为903吨，矿石中 U_3O_8 平均品位为0.068%。

其它火山主岩中的铀矿化（图1）

新不伦瑞克省普莱增特（Pleasant）山石炭系火山杂岩中含有若干小的铀矿点，但其中尚只发现一个有工业价值的铀矿床（表3）。该杂岩对火山岩和火山碎屑岩铀矿床是很有利的。长英质火成碎屑中富含U和Th，并普遍含有萤石。位于破火山口边部的同岩浆源的浅部斑岩中产有Mo、W、Bi、Sn和萤石矿床（Parrish等, 1978），并在矿床伴生矿物组合中含有晶质铀矿。铀矿点既产于构成杂岩主体的火山灰流凝灰岩中，也产于作为杂岩次要组分的火山碎屑和河流沉积物互层中（图4）。铀矿化带通常伴生有萤石、绿泥石、高岭土和黄铁矿。

此外，加拿大西北区大熊湖东部下元古界火山岩（McTavish群）中也已知有铀矿点和矿床。这种脉型铀（含Cu、Co、Ni和Bi）矿化大部分产于近地表火山岩和火山碎屑岩或花岗质岩株中，这可能表明它们之间有成因关系。

布赖特（Bright, 1979）通过对安大略省南部班克洛夫特（Bancroft）区铀矿床的研究，对其成因提出了新的看法，而且越来越引起人们的重视。以往人们都把本区铀矿床当作变质—伟晶岩型铀矿床的代表（McMillan, 1978），而布赖特则把本区的霞石片麻岩看作是粗面岩至响岩的凝灰质变质火山岩，认为岩石中P、F和U的异常含量是由同火山喷气作



B

岩面西北象

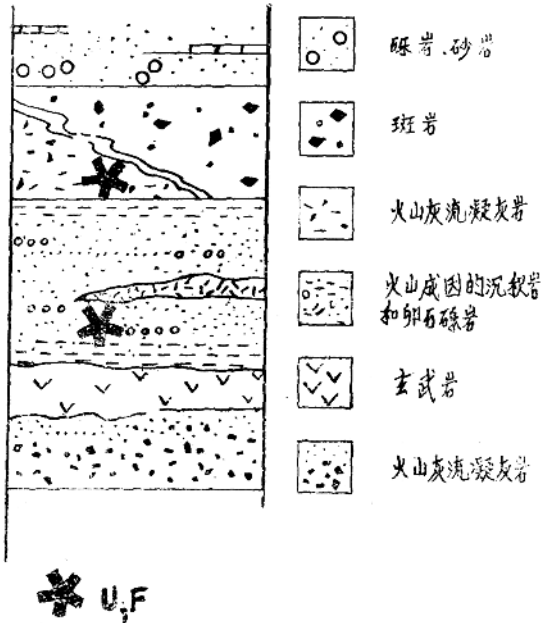


图4 (A) 新不伦瑞克省普莱增特山地质简图, (B) 普莱增特山杂岩威斯特米尔 (West Mill) 区火山—沉积岩系地层简图 (据 Gemmell 等, 1975)

用产生的，而晚期伟晶岩中U和Th的空间组合关系乃是这些元素从富含它们的火山岩和沉积岩中重新活化造成的，因此，布氏认为本区的铀矿床与雷克斯巴、米什林和基茨铀矿床类似，也是属于与火山—侵入杂岩有关的矿床。虽然在布氏以前也有人(Holm, 1971)提到过不饱和的碱性火山岩转变为霞石片麻岩，但布氏的解释不仅有新的发展，而且似乎更合理。

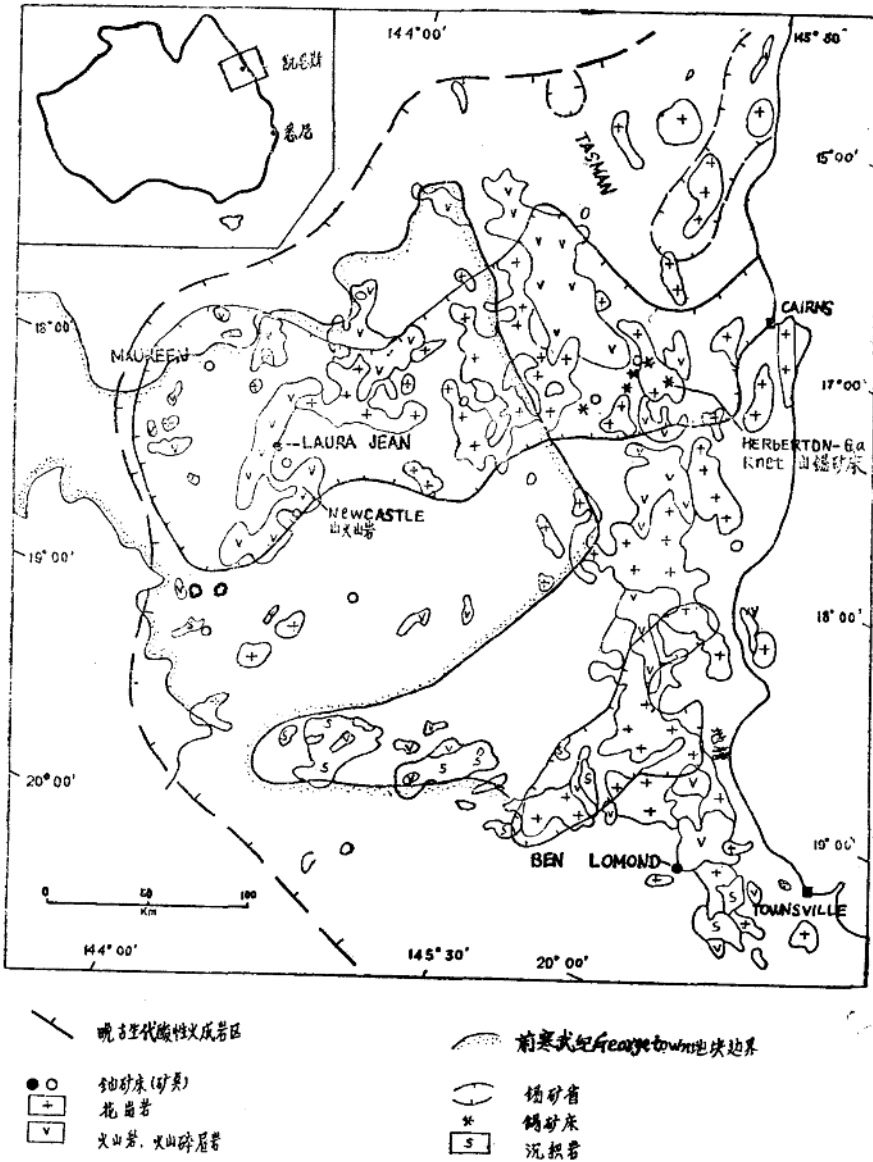


图5 昆士兰州东北部晚古生界花岗岩类, 同岩浆源火山岩, 有关的火山岩、火山碎屑岩和沉积岩及有关的铀和锡矿分布图(据贝恩, 1977, 修改)

澳大利亚

虽然澳大利亚近几年来在其东北部集中力量开展火山岩铀矿床的普查工作，但成效不大。贝恩 (Bain, 1977) 对这方面的情况作了简要总结。过去十年来，在昆士兰州东北部发现了十多个火山岩铀矿点，但其中只有茂林和本洛蒙德 (Maureen, Ben Lomond) 两个矿点具有工业远景。大多数铀矿点与古生界上部的酸性火成杂岩和同岩浆源的钙—碱性火山岩有关 (Branch, 1966)，并受主要的壳层断裂系控制 (Bain, 1977)。

含有铀矿床的地区其特点是也具有 Mo、Sn 和 F 矿化。许多矿床集中分布于一个锡矿省内 (图 5)。区内长英质浅色花岗岩 (SiO_2 含量 75%) 特别发育，且均属于 I 型花岗岩，不过其 $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ 比值 (0.709—0.716) 略高于其它地区的 I 型花岗岩 (D. Richards, 私人通信, 1979)。花岗岩类富 Li、Be、Rb、F、Y、Sn、Th 和 U，而贫 Ba 和 Sr (Sheraton 和 Labonne, 1978)。

火山岩系由流纹质熔结凝灰岩、熔岩、火成碎屑岩和火山碎屑沉积岩组成。许多岩层底部均出现有河流相碎屑沉积。虽然某些火山—火山碎屑岩组合具有受断层控制的火口沉陷沉积特征 (Branch, 1966)，但英格拉姆 (P. Ingram, 私人通信, 1979) 认为其它火山—火山碎屑岩均属于浅水盆地沉积。火山岩中亲岩元素含量不如成分相当的侵入岩高，碱含量变化大；谢拉顿和拉博宁 (Sheraton, Labonne, 1978) 将这种变化归因于伴随脱玻化

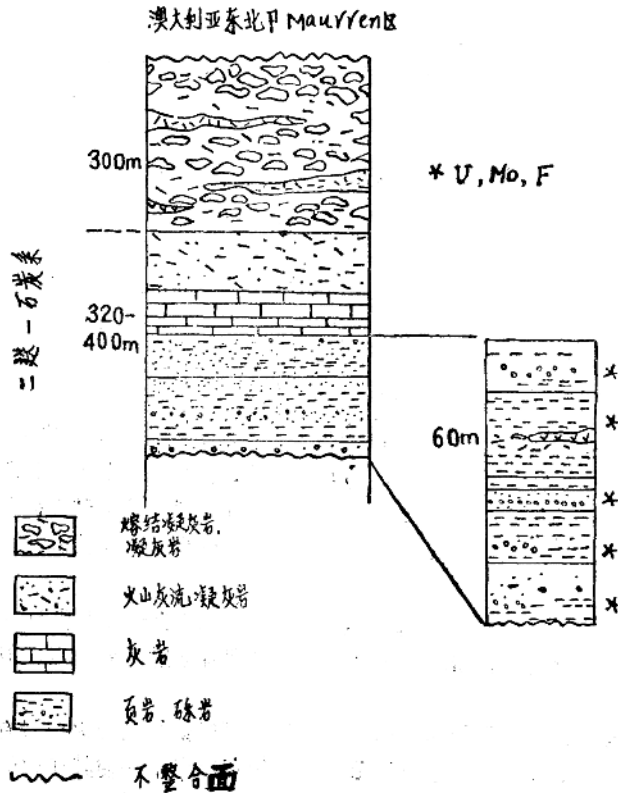


图 6 昆士兰州东北部茂林铀矿床二迭—石炭系地层简图 (据奥罗克, 1979, 修改)

的交代作用。贝恩也认为通常普遍发育的高岭土化和硅化也与交代作用有关。

昆士兰州东北乔治城岩块茂林铀矿床

奥罗克(O'Rourke, 1975)和贝恩(1978)的文章中叙述了这个U—Mo—F矿床的地质情况。矿化呈透镜状产于二迭—石炭系加洛威(Galloway)组火山岩底部碎屑岩中。底部单元层由石英岩、长石砂岩和凝灰质砂岩、砾岩、粉砂岩及少量页岩、凝灰岩和流纹岩组成(图6)。其上为厚330至400公尺的砂岩、粉砂岩、钙质凝灰岩所覆,再往上为主要由熔结凝灰岩组成的酸性火山岩(O'Rourke, 1975)。

茂林铀矿床矿化受沉积岩性控制,并具有对渗透性较好的岩层选择性矿化的特征。主要矿石矿物有铀磷酸盐、品质铀矿和复杂钼酸盐。晶质铀矿与细粒黄铁矿和炭质共生。富萤石的部位铀品位最高,表明二者之间具有成因联系。Sr、Ba和Ti呈局部富集。微量的Sn、W和Hg与铀有关。该矿床 U_3O_8 储量为3584吨,矿石平均含 U_3O_8 0.14%,其中0.05%的储量中平均含 U_3O_8 0.16%, Mo 0.01%, CaF_2 13%(表2)。

奥罗克认为铀矿化是由交代作用产生的,矿液可能来自富亲岩元素的隐伏花岗岩,并通过主要的基底断层上升到火山碎屑岩中。

从茂林铀矿床与文献中所叙述的其它U±Mo、F矿床之间的相似特征来看,充分显示火山作用也在矿床形成中起了重要的作用。本文最后将讨论与茂林铀矿床相似的U—F矿床的成矿模式。

昆士兰东北乔治城(Georgetown)岩块劳拉琴(Laura Jean)矿点

U—Th—F矿点位于纽卡斯蒂尔(Newcastle)山二迭—石炭(?)系火山岩与下伏元古界花岗闪长岩之间的断层接触带,后者同时也是劳拉琴附近的安山岩和微花岗岩侵入中心部位。矿化产于英安角砾岩中,矿化带由被铁质混染的含萤石、绿泥石(±黄铁矿)和碳酸盐脉的斑状英安角砾岩碎块组成(Bain, 1977)。最强的矿化与强萤石化共生。矿带中的样品分析结果表明,U和Th含量不高(不到500ppm),U/Th比也低,大约为0.3至0.5,Mo含量达0.07%,还含有微量Cu、Pb和Zn。贝恩认为矿化属后生的,是由通过渗透性的角砾岩带的含矿溶液产生的。

昆士兰州东北赫维(Hervey)山本洛蒙德(Ben Lomond)铀矿床

该矿床产于汤斯维尔(Townsville)西面的圣·詹姆斯(St. James)石炭系火山岩中(Bain, 1977),火山岩系由厚为数百公尺的火成碎屑岩、石英—长石斑岩和熔结凝灰岩组成,并含有少量中性火山岩和炭质沉积岩(P. Ingram, 私人通信, 1980)。

在本洛蒙德铀矿附近,圣·詹姆斯火山岩与元古界基底岩系之间为古生界沉积岩(Game山层),其上被卡斯蒂尔克里克(Castle Creek)组的火山岩覆盖。铀矿化除了似乎与不整合面上部有某种空间联系外,主要受断层和角砾岩带控制。矿带遭受硅化和赤铁矿化,含少量硫化物,此外还含极少量绿泥石,但却出乎意料地缺少萤石和碳酸盐。目前尚无足够的资料来判断矿化成因。

本区其它铀矿点均与Sn—W—Mo云英岩有关,产于二迭—石炭和前寒武纪(?)花岗岩破碎带中。区内某些较老的金和Cu—Ag采场也发现有放射性异常点,但尚无一个具有工业意义。

澳大利亚其它与火山岩有关的铀矿化 有关其它可以认为是与火山岩有关的铀矿区的资料极少。德里克(Derrick, 1977)把侵入元古界沉积变质岩中并使其矿化的流纹岩墙看作是昆士兰州西北部玛丽凯塞林(Mary Kathleen)区铀矿化的直接来源,流纹岩墙具有铀、

钍异常，并很可能产生使铀进行搬运和使其周围的沉积变质岩蚀变的交代溶液。

最近在澳大利亚南部罗克斯贝当斯(Roxby Downs)区发现了奥林匹克达姆(Olympic Dam) W—U矿床。该矿床产于所谓“绢云母化火山岩”、“富赤铁矿沉积岩与绢云母化火山岩互层”、“富赤铁矿角砾岩”和“花岗岩角砾±富赤铁矿—硫化物薄层角砾岩带或岩脉”中。斯图阿特陆架及其侧翼的上元古界页岩不整合地覆盖于矿化主岩上。斯图阿特(Stuart)陆架及其侧翼的上元古代阿德莱德(Adelaide)地槽为一铜矿省。迄今所获得的部分资料表明，奥林匹克达姆是一个巨型Cu—U矿床。至于“火山岩”和“花岗岩”对Cu—U矿床形成的意义，目前尚不清楚，任何成因的推测都还为时过早。

意大利

近来，有关讨论意大利中部火山岩铀矿床的文章特别受到人们的重视，原因在于这个地区大部分铀矿床均产于1—2百万年前形成的火山岩中，比较容易确定铀矿化地层和构造位置与火山的几何形态之间的关系。罗马地区一些铀矿化提供了一个火山作用和铀成矿作用的立体模型。罗卡蒂(Locardi, 1967、1975)等人的文章中叙述了这方面的情况，1978年，金伯利(Kimberley)又对意大利中部火山岩铀矿化作了总结。这里只是根据文献资料简要地介绍意大利火山岩铀矿化情况，并简单地讨论一下矿化的成因问题。下面将提到的意大利北部诺瓦扎(Novazza)铀矿床是迄今为止的唯一具有工业价值的火山岩铀矿床。

意大利中部火山岩区区域构造位置和火山岩岩石学特征

意大利中部第四纪火山作用发生于地堑构造中，地堑与区内上新世中晚期发生的重要的地壳运动有关。区内酸性(钙—碱系列)火山作用开始的时间比碱性火山作用早，并首先形成托斯卡纳(Tuscan)省北部的火山岩。铀矿化主要主岩——钾质碱性火山岩中微量元素和同位素特征与分隔罗马省南部幔源碱性火山岩和托斯卡省北部的深源酸性火山岩的过渡区的岩石是一致的(Hawkesworth和Vollmer, 1979)。

各火山中心由熔结凝灰岩、凝灰岩和少量熔岩流组成，并为具有火山碎屑的河流和湖泊沉积岩的盆地所分隔。沉积盆地中普遍含有大量的萤石、磷灰石、重晶石和方解石。火山中心区的火山岩有钾质粗面岩、安粗岩和钾不饱和的安粗岩、响岩、碱玄岩和白榴岩。从全区来看，这些火山岩的铀(平均25ppm)和钍(平均130ppm)的含量都很高，并且具有异常的Zr、Be和Sr的含量。

矿化作用 铀含量达500ppm的U—Fe—S矿化位于武塞宁(Vulsini)火山两侧(Assereto等人, 1976)。铀矿化带由层状蚀变火山碎屑岩和CO₂与H₂S喷气火山口中的玻璃质火山岩组成(图7)。喷气源似乎受断层系控制(Mittempergher, 1970以及其他)。喷气作用与放射性之间虽无直接联系，但人们认为H₂S及其最终产物硫化物对被酸性(富H₂SO₄)地下水从边缘火山岩和火山碎屑岩中淋滤出来的铀起着还原剂的作用，具体表现在铀—钍—黄铁矿—白铁矿矿化由多个层状矿带构成，而这种多层状矿带反映了地下水位的变化，也就是说矿化是受流体静力的控制，而不只是受地层的控制，因而含水性越好的地层越优先矿化。矿化主岩均遭受了高岭土化和硅化。矿带长达1公里，宽数百公尺，厚2—3公尺。虽然矿石中铀含量可高达0.2—0.3%，但平均品位只有300至500ppm(Mittempergher, 1970)。

拉齐奥(Latium)成矿省的一个尚不清楚的特点是具有单独的U和F矿化，表明这两个

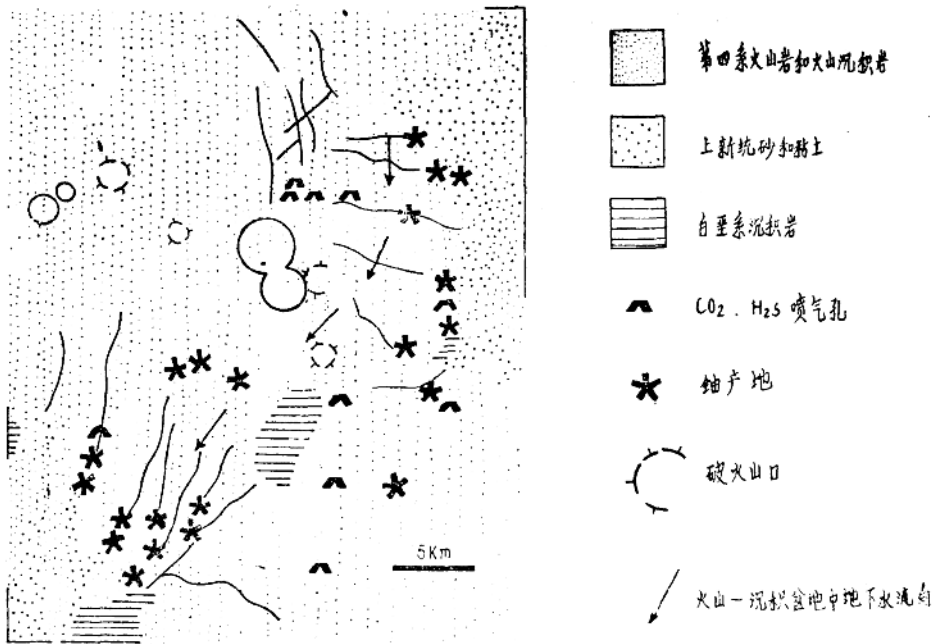


图7 意大利中部武塞宁附近火山岩和火山沉积岩平面分布图(据罗卡蒂, 1975, 修改)

元素是该区的特征元素。罗卡蒂(1975)认为本区湖泊盆地沉积中的萤石来自与拉张构造有关的深源物质。诺曼(Norman, 1978)等人也同意罗卡蒂的看法,认为岩石中F的富集与断裂作用有关。托斯卡纳南部也产有Hg和Sb矿床,不过其所处大地构造位置不同。无论是托斯卡纳区还是拉齐奥区, Hg—Sb与U—F矿化之间均无明显的成因关系。

总之,意大利中部与第四系火山岩有关的铀矿化属表生成因,但火山喷气产物在铀矿带形成中起了决定性作用。矿带中硫同位素都属于典型的火山硫,因此,米特姆甫赫(1970)将本区铀矿划归为“火山喷气—表生”矿床。喷气活动在空间上以及很可能还在成因上与近代层火山之间的关系,说明这种喷气—表生铀矿床形成过程是属于火山演化晚期同火山作用过程。近来在某些地区所进行的勘探,查明了U和萤石有关,这进一步表明火山作用引发的深源溶液很可能在铀搬运中起了重要作用。

意大利北部贝尔加马斯克(Bergamasque)阿尔卑斯山诺瓦扎铀矿床 矿床属二迭(?)—石炭纪,矿化产于轻度变质的酸性斑状凝灰岩中,后者与凝灰质沉积变质岩成互层,某些沉积岩中含炭质(D' Agnolo, 1969)。矿化由沥青铀矿和闪锌矿组成,含微量Mo、Sb、Pb和As矿物。所有这些矿物均富集于火山沉积岩系中的渗透性的蚀变凝灰质层位中(图8)。

矿床呈透镜状,由许多小透镜状矿体组成,总厚度约40公尺。铀矿化除了与由钾交代产生的绢云母共生外,还与大量碳酸盐岩共生,此外还含有由矿化溶液沉淀的少量石英、绿泥石、黄铁矿和方铅矿。达格罗认为矿物是富溶解性碳酸盐低温(80°—100℃)深成溶液沉积的。此种溶液可能与某一喷气时期有关,并侧向运移经过火山沉积岩层,凝灰岩在溶液经过时发生强烈的碱交代。

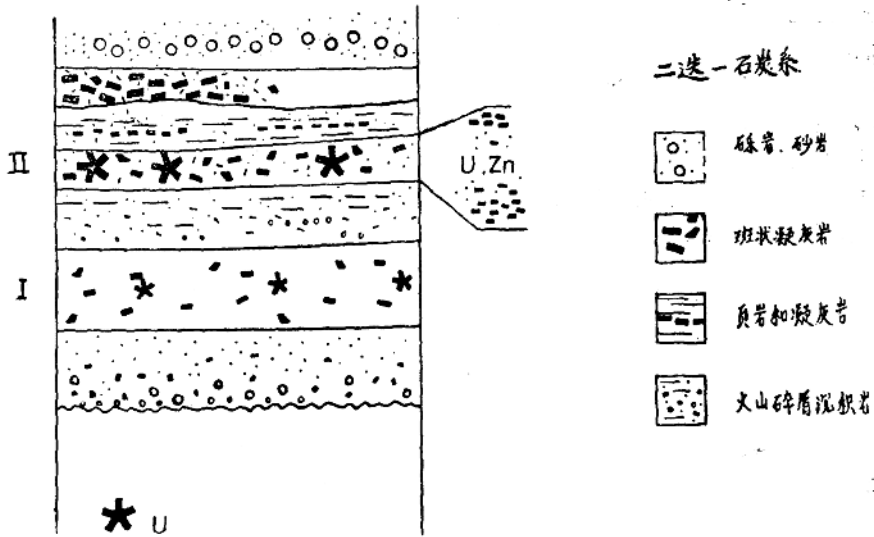


图8 意大利北部诺瓦扎U—Zn矿床地层简图(据D' Agnolo, 1969, 修改), I代表下部矿化层, II代表上部矿化层, 矿层厚度不详

诺瓦扎铀矿床估计有1452吨 U_3O_8 储量, 平均品位为0.146% (表2)。

火山岩和火山碎屑岩铀矿床成因探讨

从前面讨论中可以看出, 与火山岩和火山碎屑岩有关的铀矿床可产于各种地质环境中, 经历过复杂的形成过程。不可否认, 某些火山岩和火山碎屑岩铀矿床形成中, 表生和深成作用都有影响。尽管现代许多陆地火山区都具有喷气和温泉活动, 然而许多地质学家却忽视同火山作用在此种类型铀矿床形成中的作用。这种同火山喷气源可以有效地提供淋滤火山堆积物的溶液。大多数喷气中, 除了含水以外, 还含有溶解性 CO_2 、硫和卤素气体, 这种喷气喷到地面可产生酸性溶液。

高温泉水的成分变化较大, 往往富含溶解的氯化物和 H_2S 。许多温泉还含有相当数量的放射性元素, 如钍 (Mac Donald, 1972)。这就引起人们推测这种泉水在某些情况下可能是铀的一个来源。此外, 火山喷气和温泉还有助于火山喷发区硫化物 (黄铁矿或白铁矿) 和粘土矿物的形成, 从而影响溶解铀的沉淀部位。库洛科 (Kuroko) 火山成因硫化物矿床普遍含铀100—1000ppm, 最高甚至达2300ppm的现象想必决非偶然的巧合 (Hayashi, 1969)。

许多火山岩和火山碎屑岩铀矿床的一个显著特点是含有萤石, 后者或直接与矿化共生, 或富集于矿化附近。兰米尔 (Langmuir, 1978) 指出, 含四价 (U^{4+}) 铀和铀酰 (UO_2^{2+}) 氟化物络合物在酸性介质中很容易溶解。

近代火山活动喷气中心周围的高岭石、白铁矿、黄铁矿和碳酸盐的存在, 表明这种地段主要处于酸性环境。于是人们推测来自火山岩和富火山玻璃物质的淋滤铀或热液 (和喷气)