康滇地轴巨粒晶质铀矿的发现及其地质意义

张成江¹,陈友良¹,李巨初¹,徐争启¹,姚 健² ZHANG Chengjiang¹, CHEN Youliang¹, LI Juchu¹, XU Zhengqi¹, YAO Jian²

1.成都理工大学,四川成都 610059;

2.核工业280研究所,四川广汉618300

1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. No. 280 Institute of Nuclear Industry, Guanghan 618300, Sichuan, China

摘要:康滇地轴米易海塔地区富晶质铀矿石英脉产于晚元古代受混合岩化作用影响的五马箐组黑云斜长片岩中,受韧-脆性 断裂构造裂隙带控制。晶质铀矿呈黑色,半金属光泽;晶形完好,以立方体与八面体聚形及菱形十二面体为主,少量呈立方体; 粒径大多0.5cm左右,最大可达1cm以上。共生矿物组合为石英-晶质铀矿-榍石-辉钼矿组合。研究认为,晶质铀矿形成于 温度压力较高及深度较大的地质环境,是高温偏酸性流体在温度缓慢下降的强还原条件下结晶而成的。康滇地轴具有形成高 强度铀矿化的地质背景和成矿条件,在康滇地轴混合岩地区最有前景的铀矿类型应为受韧-脆性构造控制的中高温热液脉型 矿化。

关键词:晶质铀矿;石英脉;康滇地轴
中图分类号:P619.4 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2015)12-2219-08

Zhang C J, Chen Y L, Li J C, Xu Z Q, Yao J. The discovery of coarse–grained uraninite in Kangdian Axis and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(12):2219–2226

Abstract: The uraninite-bearing quartz veins from Haitain area of Miyi County along Kangdian Axis occur in the Wumaqing Formation consisting mainly of Late Proterozoic biotite-plagioclase schist, which was subjected to migmatization and controlled by ductile-brittle fault zone. Uraninite exhibits black and euhedral crystals composed of combination of cubes and octahedra as well as minor rhombic dodecahedra and cubes, with semi-metallic luster, from 0.5cm to 1cm in size. Mineral assemblage of uranium mineralization includes mainly quartz, uraninite, sphene and molybdenite. Researches show that uraninite formed in a high temperature and pressure geological environment in deep crust, derived from high temperature, acidic and reducing ore fluids. This discovery implies that Panxi area has especially favorable conditions for medium-high temperature hydrothermal vein-type uranium mineralization controlled by ductile-brittle faults in the migmatization region.

Key words: uraninite; quartz veins; Kangdian Axis

晶粒状晶质铀矿在自然界分布较广,在岩浆铀 矿床、伟晶岩型铀矿床及花岗岩、碱性岩副矿物中 都有产出,但晶粒一般都很小(大多小于1mm)。热 液矿床中铀一般以胶状的沥青铀矿形式产出,偶尔 以显晶质的晶质铀矿形式产出者,晶粒也很细小, 且晶形极不完整。笔者近期在康滇地轴米易海塔 地区产于混合岩化片岩的石英脉中发现了大量稠 密分布的巨粒状晶质铀矿,其粒径达几毫米到1cm, 且晶形完好,在世界上实属罕见,具有极高的科学 研究价值。

康滇地轴在地质历史上经历了十分复杂的地 质演化和多金属成矿作用,历来是中外地学界所瞩 目的地质构造单元和重要成矿带,被誉为"天然地 质博物馆"和"矿产资源聚宝盆"。康滇地轴有无富

收稿日期:2015-05-20;修订日期:2015-06-10

资助项目:国家自然科学基金项目(批准号:41472073)和中国核工业地质矿产事业部重点科研项目(编号:201479)

作者简介:张成江(1955-),男,教授,博士生导师,从事铀矿地质研究。E-mail: zcj@cdut.edu.cn

大铀矿找矿前景,也是铀矿地质工作者长期关注的 问题。经过半个多世纪的努力,在康滇地轴发现了 几个小型铀矿床和众多铀矿化点,但铀矿找矿工作 一直未取得重大突破(图1)。近年来,攀枝花大田 505地区大量富铀滚石的发现,为该区铀矿找矿带 来了希望,但遗憾的是,经过多年的努力探索,一直 没有发现原生露头。米易海塔地区成矿地质背景 与攀枝花大田地区基本一致,发现的富含晶质铀矿 的石英脉与大田505地区富铀滚石特征亦具有一定 的相似性。这一发现,对该区铀成矿作用、成矿类 型研究和找矿方向确定具有重要的指导价值,同时 也对解决攀枝花大田地区大量富铀滚石的来源和 成因具有重要的参考价值。

1 富晶质铀矿石英脉产出的地质背景

四川省米易县海塔地区地处康滇地轴中段之 泸定-米易台拱上。区内出露的地层主要为元古宇 河口群五马箐组中深变质岩系及震旦系—寒武系 碳酸盐岩-碎屑岩建造(图2)。五马箐组岩性主要 为二云母片岩、黑云母片岩、黑云斜(钾)长片麻岩 等,原岩为—套泥砂质沉积岩夹少量基性火山岩 类。受区域性晋宁运动影响,该套地层普遍发生区 域变质,并局部产生强烈混合岩化,形成混合岩化 黑云石英片岩、长英质角闪斜长黑云条带状混合 岩、长英质黑云二长条带状混合岩等。笔者于2014 年在A10铀矿点附近的长英质脉中,采用LA-ICP-MS方法测得其锆石U-Pb年龄加权平均值为801± 38Ma,代表了长英质脉的形成年龄,说明区内混合 岩化的形成时代应为晋宁期。

海塔地区分布最广的花岗岩亦称横山(顶针) 杂岩体,沿撒莲背斜轴部侵入于五马箐组,呈岩株 或岩枝状产出。有关该杂岩体的时代争论较大,在 公开出版的1:20万地质图[®]中曾将其划为印支期岩 体。而按1:5万地质图[®]资料,该杂岩体岩性复杂, 主要为含斑黑云母二长花岗岩、黑云母英云闪长 岩、片麻状二云花岗闪长岩等,且岩体经过了多次 变形变质。曾测得该杂岩的年龄为649.7±33.5Ma 和454.6Ma[®]。笔者于2014年在该杂岩体的粗粒黑 云母花岗片麻岩中,采用LA-ICP-MS方法测得其 锆石 U-Pb 年龄加权平均值为790±18Ma,认为该 杂岩体应是五马箐组变质岩重熔-混合岩化作用 的产物。 该区受华力西期一印支期构造-岩浆活动的影响,中基性-酸(碱)性岩脉较发育,主要岩性为辉长 岩、正长岩、花岗岩。

区内断裂构造总体呈南北向展布,发育近南北 向的韧性剪切带。大量长英质脉体、基性岩脉总体 上沿地层片理和韧性剪切构造带分布。由于韧性 剪切构造的改造,使得地层片理与韧性剪切面理一 致而难以区分。

海塔地区的铀矿化(以A10铀矿点为代表)产于 横山(顶针)杂岩体西部接触带附近的五马箐组 (图 2)。铀矿化主要产出在混合岩化黑云片岩和长 英质脉体中。长英质脉体顺片理方向贯入,形态为 不规则脉状、透镜状、眼球状,规模从几厘米到几米 不等。从铀矿化的产出特征看,地表所见铀矿化受 北东向韧-脆性构造带控制,铀矿化与异常沿构造 带断续分布。野外观察与镜下鉴定揭示,构造带显 示出韧-脆性断裂的特点,铀矿化部位与晚期脆性 构造有关,表现为沿裂隙充填石英细脉或发育硅 化、黄铁矿化蚀变,在脉状黄铁矿分布的部位具有 放射性异常。铀矿化与长英质脉体亦有一定关系, 割长英质脉体,长英质脉体有蚀变,或者在石英云 母片岩中长英质脉体被压碎的层间破碎带中有铀 的异常。此次在A10铀矿点以北发现如此大规模的 富晶质铀矿石英脉,在区内尚属首次。

富晶质铀矿石英脉的含矿主岩为混合岩化二 云母石英片岩,此类岩石可分为基体(暗色)和脉体 (浅色)2个部分,二者界线较清楚,为混合岩化程度 较低的产物。以暗色部分为主,浅色部分次之。

基体(暗色)部分具细粒鳞片粒状变晶结构,片状 构造。矿物成分主要为石英(55%±)、黑云母和白云 母(40%~45%),含少量斜长石。副矿物为微量锆石。 石英呈他形,总体较均匀散布,多呈粒状,见压扁拉长 状,具定向性,定向方向与云母一致;黑云母和白云母 呈鳞片状及集合体,以黑云母为主,白云母较少,见二 者共同构成的集合体,总体较均匀散布,定向排列且 定向性良好,见连续定向排列,显示片状构造特征;斜 长石多呈他形,零星产出,分布不太均匀。

脉体(浅色)为长英质脉,具不等粒他形粒状结构。矿物成分主要由石英(65%~70%)、斜长石和钾 长石(25%~30%)组成,含有少量黑云母和白云母 (1%~5%),偶尔可见磷灰石及榍石。矿物粒度大小



图1 康滇地轴铀矿地质略图

Fig. 1 Sketch geological map of uranium deposits in Kangdian Axis 1一康定群、河口群、大红山群、苴林群;2—会理群、昆阳群、盐边群、登相营群;3—晚震旦世 火山岩;4—新元古界-古生界地台型沉积;5—中生界-新生界陆相盆地沉积;6—第四系; 7—晋宁期花岗岩;8—澄江期-晋宁期基性岩;9—华力西期基性岩;10—印支期石英 闪长岩;11—峨眉山玄武岩;12—混合岩型铀矿点及编号;13—碳硅泥岩型铀矿点 及编号;14—砂岩型铀矿点及编号;①—箐河-程海断裂;②—元谋-绿汁江 断裂;③—安宁河-易门断裂;④—甘洛-小江断裂;⑤—红河-元江断裂





不等,一般 0.1~3mm。石英呈他形,较均匀散布。 长石多呈他形,分布不太均匀,以斜长石为主,可见 轻微绢云母化、粘土化蚀变。黑云母、白云母呈鳞 片状零星散布,也见黑云母、白云母共同构成的集 合体,以黑云母为主,次为白云母。

2 富晶质铀矿石英脉特征

2.1 形态与产状

此次发现的富晶质铀矿石英脉位于A10铀矿点 北北东14°方向约570m处的半山腰,地表被浮土覆 盖。经简单的槽探揭露,铀矿化带宽约2m,其中富 晶质铀矿石英脉宽35~50cm。石英脉产于混合岩化 二云母石英片岩的密集裂隙带中,二云母石英片岩 风化较为强烈,但整体上产状仍保持清晰,裂隙带 产状与片理产状基本一致,倾向307°,倾角76°,石 英脉产状与裂隙带产状一致。在露头处发现巨粒 晶质铀矿达数百颗以上(图3),如此多的巨粒晶质 铀矿密集分布实属罕见。采用HD-2000 伽玛辐射



图 3 富晶质铀矿石英脉 Fig. 3 The quartz veins with abundant uraninite

仪进行测量,其能谱测量值(U当量含量)最高可达 6800×10⁻⁶(图4)。

2.2 矿物组合特征

据野外观察、光薄片显微镜鉴定及电子探针分 析,富晶质铀矿石英脉矿物组成较简单,除晶质铀 矿及由晶质铀矿原地氧化形成的次生铀矿物外,偶 见少量辉钼矿和钛铀矿,其他金属矿物少见。另 外,石英脉中含有较多晶形完好的榍石(图5)及钛 铀矿。共生矿物组合为石英-晶质铀矿-榍石-钛 铀矿-辉钼矿。晶质铀矿呈浸染状、团块状分布于 烟灰色石英中。晶质铀矿含量(体积)一般1%~5%, 局部可达20%以上。根据有限的槽探揭露(深近 1m),晶质铀矿含量有向深部增多的趋势。

晶质铀矿新鲜面呈黑色,半金属光泽;晶形完 好,以立方体与八面体聚形及菱形十二面体为主, 少量呈立方体(图版 I -a~d);粒径大多0.5cm左右, 最大的可达 1cm 以上;表面氧化强烈,形成次生铀 矿物。次生铀矿物主要为铀酰氢氧化物和硅酸盐, 其次为磷酸盐。次生铀矿物在黑色晶质铀矿边缘 呈环带状分布,形成铀酰矿物绚丽多彩的特征色 调。彩色圈由里向外,一般具有橙红色-橙色-橙黄 色-黄色-黄绿色逐渐变化的趋势,反映出由铀酰氢 氧化物逐渐向铀酰硅酸盐、磷酸盐变化的特点,这 与原生铀矿物(晶质铀矿、沥青铀矿)氧化形成六价



a-能谱测量曲线;b-测线地质剖面;1-第四系浮土;2-混合岩化 黑云斜长片岩;3-硅质脉(发育大量晶质铀矿及次生铀矿物); 4-密集裂隙带;5-测线及测定位置;6-产状

铀矿物的一般顺序一致。当氧化强烈时,晶质铀矿 全部变为六价铀矿物,但仍保留晶质铀矿的形态 (图版 I -e、f)。 成分较纯,主要为UO₂、ThO₂和PbO,其他杂质组分 含量低。据前人研究,晶质铀矿普遍含Th,Th⁴⁺在 晶质铀矿中呈类质同像置换U⁴⁺,其含量高低与晶 质铀矿形成温度有关,高温有利于类质同像的进



图 6 晶质铀矿电子探针测点位置 Fig. 6 Image illustrating electron microprobe measuring points of uraninite

2.3 矿物成分特征

电子探针分析结果(表1;图6)表明,晶质铀矿



图 5 自形榍石晶体 Fig. 5 Euhedral crystal of titanite

图版 I Plate I

10mm

10mm 10mm с d 10mm 10mm f

a~d.自形晶质铀矿晶体;e、f.晶质铀矿氧化后形成次生铀矿物环带

10mm

а

e

矿物	UO_2	ThO_2	PbO	$\mathbf{Y}_2\mathbf{O}_3$	SiO_2	${\rm TiO}_2$	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO	MnO	K_2O	Na ₂ O	P_2O_5	总量
晶质铀矿	86.61	6.65	3.20	0.66	-	0.01	-	-	-	0.02	0.11	0.16	0.04	0.01	97.47
晶质铀矿	87.80	7.82	2.79	0.87	0.12	-	0.09	-	0.04	0.17	0.04	0.18	0.07	0.01	100.00
晶质铀矿	86.53	7.39	3.00	0.63	0.09	0.02	-	-	0.01	0.10	0.04	0.15	0.09	-	98.05
晶质铀矿	87.18	7.42	2.80	0.59	0.09	-	-	0.06	0.06	0.06	-	0.14	0.01	0.02	98.43
平均	87.03	7.32	2.95	0.69	0.08	0.01	0.02	0.02	0.03	0.09	0.05	0.16	0.05	0.01	98.49
榍石	0.13	-	-	-	29.93	37.44	0.91	27.96	0.01	0.78	0.07	0.02	0.03	0.11	97.39
榍石	-	-	0.08	0.02	30.70	37.11	1.25	27.94	0.03	0.85	0.06	0.01	-	0.14	98.19
榍石	0.56	-	0.09	0.36	28.09	29.22	1.92	22.55	0.02	0.63	0.11	-	0.03	0.02	83.60
平均	0.23	0	0.06	0.13	29.57	34.59	1.36	26.15	0.02	0.75	0.08	0.01	0.02	0.09	93.06
钛铀矿	43.50	0.70	2.91	0.21	1.12	17.50	1.62	0.72	0.07	2.34	-	0.65	-	6.54	77.88
钛铀矿	47.44	8.54	1.80	0.19	0.94	10.15	0.44	0.74	0.09	0.96	-	0.75	0.01	3.80	75.85
平均	45.47	4.62	2.36	0.20	1.03	13.82	1.03	0.73	0.08	1.65	0	0.70	0.01	5.17	76.87

表1 晶质铀矿电子探针分析结果 Table 1 Electron microprobe analyses of uraninite

注:在核工业北京地质研究院分析测试中心测试(2015)

行,该区晶质铀矿富Th,暗示其形成温度较高。Pb 为U放射性衰变的产物。

值得注意的是,2个钛铀矿测点中,Th含量变化 很大,一个测点ThO2含量仅为0.70%,另一个测点 ThO2含量则高达8.54%,Th与Ti呈明显的反消长关 系,其是否代表2期铀矿化作用的产物,尚待进一步 研究。

3 讨论

3.1 晶质铀矿特征对成矿条件的指示意义

晶质铀矿(UO_{2+x})属等轴晶系,多为立方体、 八面体、菱形十二面体及其聚形,有时可呈长方 形。不同成因的晶质铀矿,其结晶习性具有一定 的差异。据研究,产于岩浆岩中以副矿物形式产 出的晶质铀矿多呈立方体、八面体及其聚形,其次 呈立方体与菱形十二面体的聚形;产于伟晶岩中 的晶质铀矿主要呈立方体和菱形十二面体的聚 形;产于高温热液矿床中的晶质铀矿主要为立方 体和八面体的聚形,有时也呈立方体与四角三八 面体的聚形,个别也出现四六面体;产于中温热液 矿床中的晶质铀矿主要呈立方体;变质交代作用 过程中形成的晶质铀矿晶形较为复杂^[1-10]。姚莲 英等^[11]在矿物合成实验中发现,晶质铀矿的结晶粒 度与结构主要受流体温度的控制,结晶速率与温 度下降快慢有关,温度下降慢,结晶速率低,有利

于形成粗粒显晶质的晶质铀矿;温度下降快,结晶 速率高,有利于形成胶状隐晶质的沥青铀矿。沈 才卿等¹¹²人工合成了粗粒(2.5mm×3.5mm)八面体 晶质铀矿,发现有利于晶质铀矿生长的条件是:强 还原场、温度450℃以上、压力120MPa以上、强酸 性(pH<4)、稀溶液(U含量小于23.8mg/mL),推断 晶形完好的晶质铀矿容易生成于汽化热液阶段。 这是由于温度升高,压力增大,有利于流体中H₂S、 H₂等气体还原剂保持较高的浓度,加速了体系中 U⁶⁺的还原过程,促使晶质铀矿缓慢结晶成粒度较 大、晶形较完好的晶体¹³。如前所述,海塔地区发 现的晶质铀矿呈粗粒,以立方体、八面体聚形及菱 形十二面体为主,少量呈立方体,富含Th,表明其 是在高温偏酸性热液流体温度缓慢下降的条件下 结晶而成的,暗示其形成于温度压力较高及深度 较大的地质环境。共生矿物榍石、钛铀矿的出现 也反映出高温成矿条件。

3.2 富晶质铀矿石英脉对成矿类型的指示意义

前人研究认为,该区铀成矿与混合岩化-交代 作用有关,将铀成矿研究的重点主要聚焦在混合岩 化作用的研究方面。本次发现的晶质铀矿产于热 液成因石英脉中,而不是混合岩化成因的长英质 脉,石英脉产于混合岩化片岩中,且明显受构造裂 隙带控制。联系到具有相同地质背景条件的攀枝 花大田地区(505)和云南牟定地区(1101)的铀矿化 特征(图1),笔者认为,在康滇地轴混合岩地区,最 有前景的铀成矿类型应为受韧-脆性构造控制的中 高温热液脉型矿化。当然,并不排除混合岩化作用 过程中形成低品位铀矿的可能性。根据本次发现 和前人研究成果综合分析认为,康滇地轴具有形成 高强度铀矿化的地质背景和成矿条件,今后应加强 富晶质铀矿石英脉形成条件和控矿规律的研究,加 大深部找矿力度,有望取得找矿突破。

致谢:野外地质工作中得到核工业280研究所的大力支持,成文过程中得到中国核工业集团地质 矿产事业部张金带总工程师的亲切关怀和指导,在 此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- [1]戎嘉树.花岗岩中晶质铀矿及找矿意义[J].抚州地质学院学报, 1980, 2: 173-183.
- [2]戎嘉树, 孙西田, 王明太. 花岗岩晶质铀矿的产出概况及其富集因素的初步研究[J]. 铀矿地质, 1986, 2(5): 272-312.
- [3] 闵茂中, 张富生. 成因铀矿物学概论[M]. 北京: 原子能出版社,

1992: 262-264.

[4]王德荫, 傅永全. 铀矿物学[M]. 北京: 原子能出版社, 1981.

- [5]王德荫, 傅永全. 铀矿物学[M]. 北京: 原子能出版社, 1986.
- [6]张静宜, 王爱珍, 李秀英, 等. 中国铀矿物志[M]. 北京: 原子能出版社, 1995: 23-38.
- [7]陈鸣. 诸广山岩体南部晶质铀矿标型特征的探讨[J]. 铀矿地质, 1989, 3: 151-157.
- [8]张成江. 贵东岩体花岗岩中晶质铀矿的特征及其找矿意义[J]. 成都地质学院学报, 1990, 17(3): 10-17.
- [9]张成江, 王德荫, 傅永全. 铀矿物学[M]. 北京: 原子能出版社, 2007.
- [10]张少琴,朱文凤,韦龙明.产铀花岗岩体中的晶质铀矿的若干特
 征——以粤北石人嶂钨矿为例[J].中国矿业,2009,18(11):104–106.
- [11]姚莲英, 叽宝聚. 相山热液铀矿床实验地球化学[M]. 北京: 中国 原子能出版社, 2014.
- [12]沈才卿, 赵凤民. 八面体晶质铀矿的人工合成实验研究[J]. 铀矿 地质, 2014, 30(4): 252-256.
- ①四川省地质矿产局第一区测队.1:200000区域地质调查报告. 1966..
- ②四川省地质矿产局.1:50000区域地质调查报告(米易、撒莲、会理、关河、河口幅).1995.