

陈家庄岩体罗辛型铀矿化 特征及成因

徐 展 杜乐天

本文通过对陈家庄岩体的野外地质观察及Rb-Sr同位素体系 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比为0.7130, 等时线年龄为378Ma)、氧同位素 ($\delta^{18}\text{O}$ 为12.72‰)、稀土元素 (ΣREE 为370ppm左右, δEu 为0.14—0.67), 以及钾长石结构状态 ($t_1=0.93-0.98$, $t_{10}=0.90-0.97$) 的研究, 得出陈家庄岩体是一个岩浆侵入的改造型花岗岩, 原岩物质主要来自大陆碎屑沉积物, 而中基性火山岩的混入并不占重要地位。铀矿化主要呈浸染状产于岩体内。唯一的矿石矿物为晶质铀矿。通过铀铅同位素体系研究发现, 矿化年龄在407Ma左右, 与Rb-Sr全岩等时线年龄接近。结合镜下研究认为, 这是一种岩体型铀矿化, 也即罗辛型铀矿化。

关键词 罗辛型铀矿化 陈家庄岩体 秦岭群 晶质铀矿

一、岩体地质背景

陈家庄岩体位于秦岭地槽中部, 总体上呈不规则岩株产出, 出露面积小于0.5km²。岩体侵入于黄龙庙岩体的南缘, 东南与秦岭群相邻, 二者间呈明显的侵入接触关系。

岩体的主体岩石为中粗粒花岗岩, 呈不同程度的肉红色。东南部有少量似伟晶状花岗岩, 无典型文象结构。岩石的矿物成分变化较大, 大体上为: 钾长石42%, 斜长石25%, 石英30%, 黑云母3%。其中以黑云母变化最大, 可从0—50%。一般来说, 岩石粒度较粗, 黑云母含量也较高, 偶而也可见到黑云母在似伟晶状花岗岩中呈团块产出。单个黑云母晶体粒径可达3cm。

岩石自变质作用发育微弱, 前期主要是钠长石化, 沿斜长石、钾长石边缘形成钠长石的对交代边, 交代边的宽度在0.2mm左右; 后期为钾交代作用, 显示更弱, 仅在钠长石交代边中间新生有少量白云母和白云母交代钾长石的现象。

二、岩体成因讨论

从野外地质情况来看, 陈家庄岩体与围岩之间有明显的侵入接触关系。局部可见岩体接触带上发育有黑云母富集边, 在黑云母边与正常花岗岩之间还发育有数厘米宽的石英增高带(图1)。因此, 可认为岩体是侵入结晶的产物。

为了探讨岩浆来源问题, 笔者分别进行了岩石样品和单矿物的Rb-Sr同位素、岩石中稀

收稿日期1987年9月10日

土元素含量和氧同位素, 以及钾长石结构等方面的系统研究, 现讨论如下:

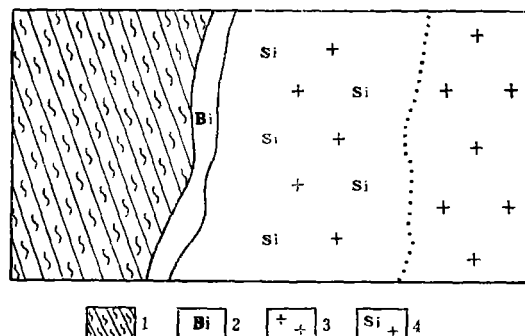


图1 岩体接触带的黑云母壁示意图

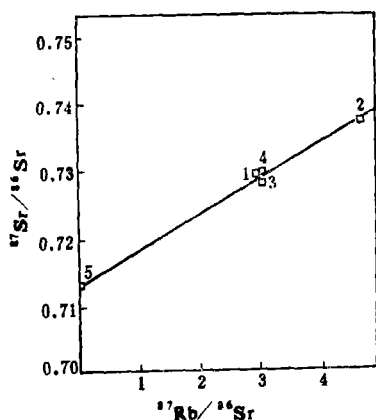
- 1——片麻岩;
2——黑云母壁;
3——花岗岩;
4——石英含量增高的花岗岩。

1. Rb-Sr同位素

陈家庄岩体全岩和单矿物Rb-Sr同位素组成的6个样品分析结果列于表1, 用前5个样品数据获得的等时线见图2。由等时线可以看出, 该组样回归结果是一条线性良好的等时

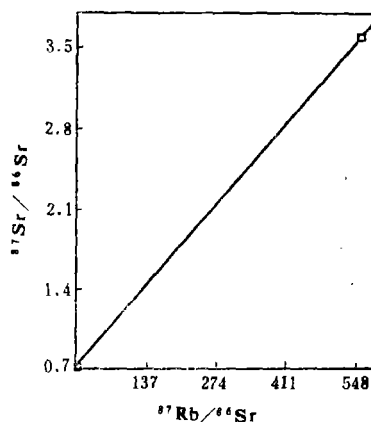
表1 陈家庄岩体Rb、Sr同位素分析结果

序号	样号	样品名称	Rb (ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	取样位置
1	T11	似伟晶状花岗岩	232.8	230.6	2.9280	0.72955	1号坑道东侧
2	T12	似伟晶状花岗岩	347.3	217.9	4.6251	0.73761	736号矿点
3	T39	似伟晶状花岗岩	220.6	211.4	3.0258	0.72802	坑道主巷
4	T54	似伟晶状花岗岩	259.7	248.2	3.0336	0.72980	坑道二号穿脉
5	T54P	磷灰石	2.1	175.3	0.0344	0.71298	从T54样中分离出
6	T54B	黑云母	1432.1	9.6	550.9709	3.58768	从T54样中分离出



$$\begin{aligned} R &= 0.99608 \\ b &= 0.00538 \\ &\pm 0.00055 \\ a &= 0.71292 \\ &\pm 0.00171 \\ T &= 377.64 \text{ mg} \\ &+ 38.59 \text{ mg} \\ &- 38.61 \text{ mg} \end{aligned}$$

图2 陈家庄岩体Rb-Sr等时线(1)



$$\begin{aligned} R &= 1.00000 \\ b &= 0.00522 \\ &\pm 0.00000 \\ a &= 0.71335 \\ &\pm 0.00075 \\ T &= 366.42 \text{ mg} \\ &+ 0.23 \text{ mg} \\ &- 0.23 \text{ mg} \end{aligned}$$

图3 陈家庄岩体Rb-Sr等时线(2)

线。根据等时线截距得到的锶同位素初始比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 为 0.71292, 其年龄值为 $377.6 \pm 38\text{Ma}$, 相当于加里东晚期或海西早期。根据锶同位素初始比值 (0.71292) 和秦岭群为下元古代地层的事实, 岩体主要应由硅铝质的大陆碎屑沉积物重熔而成, 并非是下元古界中基性火山岩的重熔产物, 因为中基性火山岩重熔不可能有如此高的锶同位素初始比。

由于黑云母的 Rb 含量过高, 以致它的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 达 3.58768, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 达 550.9709。这样, 当黑云母也参与等时线计算时, 前 5 个点实际上将被压缩到一起 (图 3)。计算结果表明, 图 2 和图 3 两条等时线结果十分接近, 年龄偏差仅 12Ma。这一事实说明, Rb-Sr 等时线的结果是可靠的。同时也说明, 岩体的 Rb-Sr 同位素体系自 378Ma 封闭以来, 未曾受过较大的导致岩体 Rb-Sr 同位素体系平衡破坏的变质改造作用。

2. 氧同位素特点

由于 ^{18}O 主要富集于沉积岩和沉积变质岩中, 所以, 高 $\delta^{18}\text{O}$ 值意味着不可能是地幔直接或间接分异的产物。根据这一原理, 徐克勤等 (1982 年) 根据华南大量氧同位素统计结果, 提出将花岗岩的氧同位素作为划分其成因类型的一个重要依据, $\delta^{18}\text{O}$ 值大于 10‰ 者为改造型花岗岩, 而 $\delta^{18}\text{O}$ 值小于 10‰ 者为同熔型花岗岩^[1]。陈家庄岩体 3 个样品的氧同位素值分别是 11.75‰ (T28 样), 12.33‰ (T39 样) 和 14.07‰ (T54 样), 均应划入改造型花岗岩的范围。

表2 陈家庄岩体稀土元素含量表 (ppm)

序号	样号	岩 性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
1	T12	似伟晶状花岗岩	39.0	81.0	8.1	33.0	6.5	1.10	6.4	1.0	4.4	0.7	1.9	0.22
2	T39	似伟晶状花岗岩	66.8	127.8	13.0	54.3	13.1	0.78	11.3	1.4	8.3	1.0	2.7	0.21
3	T54	似伟晶状花岗岩	154.9	329.9	30.2	134.2	35.6	1.60	34.0	5.8	30.5	3.5	7.2	
4	T78	似伟晶状花岗岩	16.7	32.7	3.10	13.8	3.8	0.85	4.0	0.7	4.3	0.4	1.8	0.23

序号	样号	岩 性	Yb	Lu	Y	LREE	HREE	ΣREE	LREE/HREE	δEu
1	T12	似伟晶状花岗岩	0.55	0.06	9.8	168.70	25.06	193.8	6.73	0.52
2	T39	似伟晶状花岗岩	1.60	0.26	31.1	275.80	57.87	333.6	4.77	0.19
3	T54	似伟晶状花岗岩	2.40	0.61	86.6	686.40	170.60	857.0	4.02	0.14
4	T78	似伟晶状花岗岩	1.30	0.15	14.7	70.95	27.58	98.5	2.57	0.67

3. 稀土元素特点

4 个似伟晶状花岗岩全岩的稀土元素及其有关参数列于表 2, 并绘制出稀土元素配分曲线 (图 4)。

从图 4 和表 2 中可以发现该岩体的岩石稀土元素含量变化相当大, 这种变化从岩石的重砂半定量分析 (表 3) 可以看出, 稀土元素变化大主要是岩石中副矿物含量变化大所引起。如 T54 和 T39 样的独居石含量分别为 1300g/t 和 409g/t, 而 T78 样的独居石含量则低于 100g/t。

从稀土元素平均含量约为 370ppm, $\text{LREE}/\text{HREE} = 2.57 - 6.23$, $\delta\text{Eu} = 0.14 - 0.67$, 以及图 4 的稀土配分形态来看, 它们明显是一种经过重熔作用的岩浆花岗岩。

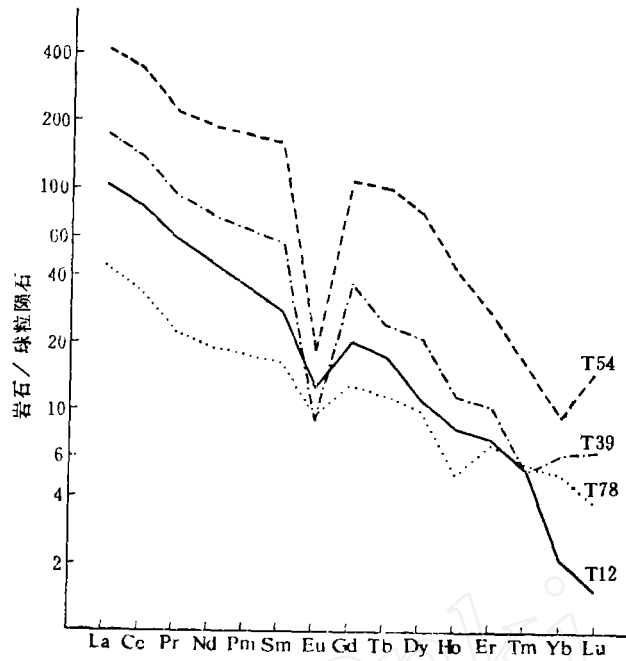


图4 陈家庄岩体稀土配分曲线

表3 含矿岩石重砂半定量分析

样 号	岩 性	晶质铀矿(g/t)	独居石(g/t)	岩石钍含量(ppm)
T39	似伟晶状花岗岩	494	406	660
T54	似伟晶状花岗岩	4339	1300	6110
T76	似伟晶状花岗岩	672	<100	1130

4. 钾长石结构态

花岗岩中钾长石的Al/Si有序程度是岩石形成条件的反映，它对温度的变化 尤为灵敏。许多作者都曾利用钾长石的结构态来研究花岗岩的成因。笔者通过X射线粉晶衍射法研究了陈家庄花岗岩体钾长石的Al/Si有序程度，所得结果见表4。

表4 岩石中钾长石结构状态

序号	样号	岩 性	2θ (CuKα)				Δ	t ₁	t ₁₀	t _m	t ₂₀ =t _{2m}
			131	131	060	204					
1	T04	中粒花岗岩	29.5	30.21	41.81	50.61	0.87	0.93	0.91	0.02	0.035
2	T11	中粒花岗岩	29.46	30.12	41.81	50.55	0.81	0.98	0.91	0.07	0.010
3	T12	中粒花岗岩	29.49	30.14	41.80	50.54	0.80	0.97	0.90	0.07	0.015
4	T23	伟晶岩	29.52	30.23	41.86	50.60	0.87	0.97	0.93	0.04	0.015
5	T24	伟晶岩	29.50	30.24	41.82	50.59	0.91	0.95	0.94	0.01	0.025
6	T39	似伟晶状花岗岩	29.45	30.20	41.82	50.55	0.93	0.98	0.97	0.01	0.010
7	T54	似伟晶状花岗岩	29.41	30.16	41.78	50.52	0.92	0.98	0.96	0.02	0.010

徐克勤、薛纪越运用Al在钾长石的4种四面体位置中的占位率，即t₁₀、t_{1m}、t₂₀和t_{2m}来指示钾长石的Al/Si有序度，并据此做出Al/Si有序度图来划分华南不同成因类型的花岗

岩^[1,2]。认为由沉积岩变质改造而成的花岗岩中的钾长石 t_1 值及 t_1 值均应大于0.90, 投影点集中分布在Al/Si有序度图的左下侧^[11]。从图5可以看出, 陈家庄岩体各样品的 t_1 及 t_1 值均大于0.90, 说明这是一种最大微斜长石, 其岩体成因应划入改造型花岗岩的范围。

根据以上讨论, 笔者认为陈家庄岩体主要是由大陆碎屑沉积物经重熔作用而成, 应属于改造型花岗岩。

三、铀矿化成因

陈家庄矿点矿化主要产于似伟晶状花岗岩中, 这种岩石的自变质作用较弱, 未发现后期热液蚀变。

矿点的矿物成分简单, 矿石类型单一, 为单铀型。矿石矿物为晶质铀矿, 伴生副矿物主要有独居石、磷灰石, 金属矿物有黄铁矿、磁黄铁矿。另外, 有少量的锆石、黄铜矿、锐钛矿、辉钼矿等。

晶质铀矿是本矿点唯一的原生铀矿物。具半金属光泽, 反射光下呈灰白色, 均质。经光电法测定其反射率为14.4—15。晶质铀矿在岩石中主要呈浸染状分布, 但在若干黑云母集中区也可成团出现。

通过研究, 发现该矿点有以下特点:

1. 镜下观察和重砂工作表明, 晶质铀矿散布于花岗岩中, 且矿石和岩石之间没有明显的界线和明显的差别, 仅仅是晶质铀矿含量上的不同而已。

2. 晶质铀矿在岩石中分布是随机的, 没有明显的选择性。这点可以从203个晶质铀矿颗粒的统计中看出(表5)。

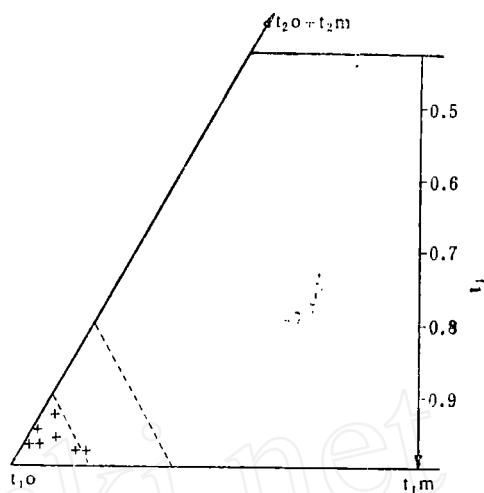


图5 陈家庄岩体钾长石中Al在4种四面体位置上的占位率图解

表5 晶质铀矿在岩石矿石中的分布情况

岩石特点	晶质铀矿颗粒	黑云母内部	黑云母颗粒间	黑云母与更长石颗粒间	更长石内部	更长石颗粒间	更长石与石英颗粒间	石英内部、颗粒间	钾长石与石英颗粒间	石英内部
黑云母含量很高	57	14	38	4	1					
黑云母含量较高	50	7	11	17	10	5				
更长石含量较高	48	1	2	5	20	20				
石英含量较高	48				3		2	33	8	2
合计	203	22	51	26	34	25	2	33	8	2

注: 数据取自224大队有关内部报告。

3. 晶质铀矿在岩石中的分布很不均匀。最高者可达13800g/t。大多数含矿岩石的晶质铀矿含量均在 $n \times 10^2$ g/t左右。这种差别可能是由于岩石结晶的时间不同造成。总体来说, 靠近边部的岩石黑云母含量较高, 晶质铀矿的含量也比较高。

4. 晶质铀矿形成后基本未受到后期变动的影响, 保持了原有的结晶形态, 仅少量晶质

铀矿颗粒有熔蚀现象（图6），但从这些受熔蚀颗粒的晕圈大小、形态来分析，这种熔蚀现象是原生的，很可能是在岩浆结晶阶段就形成了。

5. 晶质铀矿的形成早于岩石的自变质作用。镜下可以看到，晶质铀矿周围的钾长石都发生了钠长石的对错交代，但晶质铀矿本身并未受到钠质交代的影响。

6. 晶质铀矿的红外光谱分析表明，其结构是相当完整的，同标准的人工合成晶质铀矿的红外光谱曲线相当一致（图7）。

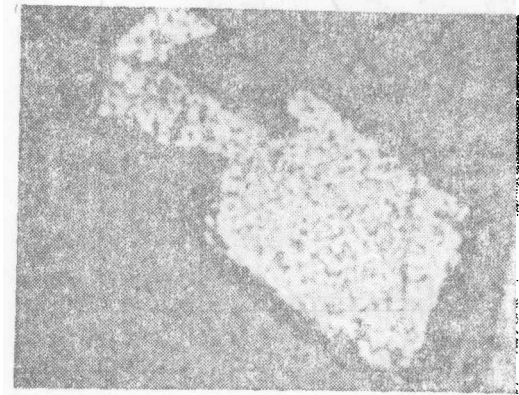


图6 岩石中的晶质铀矿有明显的熔蚀现象
T55 反光 ×280

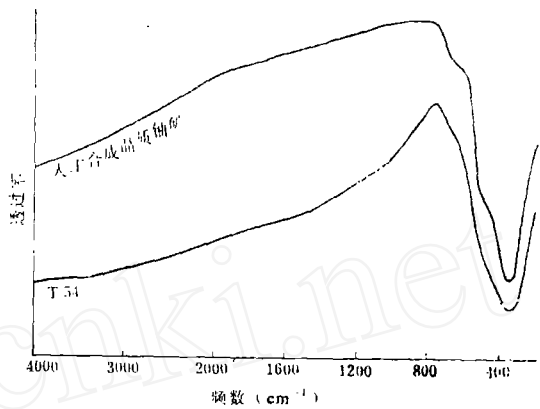


图7 晶质铀矿的红外光谱图

7. 晶质铀矿及其它副矿物的年龄测定表明（表6），大多数样品的单个年龄及U-Pb、Pb-Pb等时线年龄（图8）都比较一致，在381—422Ma之间。通过U-Pb同位素体系的研究发现，5个样品中以T54样最为可靠。从表面年龄也可看出，T54样的三组U-Pb年龄也最为一致。所以取T54样的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄407Ma作为矿化形成年龄。

表6 陈家庄岩体U-Th-Pb同位素分析结果

样号	矿物名称	U (%)	Th (%)	Pb (%)	铅同位素组成 (%)				表面年龄 (Ma)			
					²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb	²⁰⁸ Pb	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	²³⁵ U/ ²⁰⁷ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb	²³² Th/ ²⁰⁸ Pb
T54	晶质铀矿	76.73	3.790	4.610	0.011	93.193	5.286	1.510	407.2	407.9	411.8	299.2
T54	独居石	1.79	9.029	0.228	0.022	23.254	1.599	75.025	215.6	231.7	397.9	421.9
24U-1*	晶质铀矿	70.08	3.096	4.460	0.033	92.250	5.550	2.160	381.0	385.0	407.0	296.0
25N-6*	晶质铀矿	76.89	4.094	4.415	0.047	91.250	5.260	2.380	381.0	377.0	303.0	147.0
24U-1*	锆石	0.25	0.063	0.023	0.318	75.121	9.146	1.542	452.0	475.0	588.0	274.0

* 据罗忠成，1984。

以407Ma的矿化年龄与岩石的Rb-Sr等时线年龄378Ma相比，基本上在误差范围之内，可以认为是同时形成的。

根据以上特点，笔者认为陈家庄岩体的矿化是在岩浆作用期间形成的，属于典型的岩浆矿床。

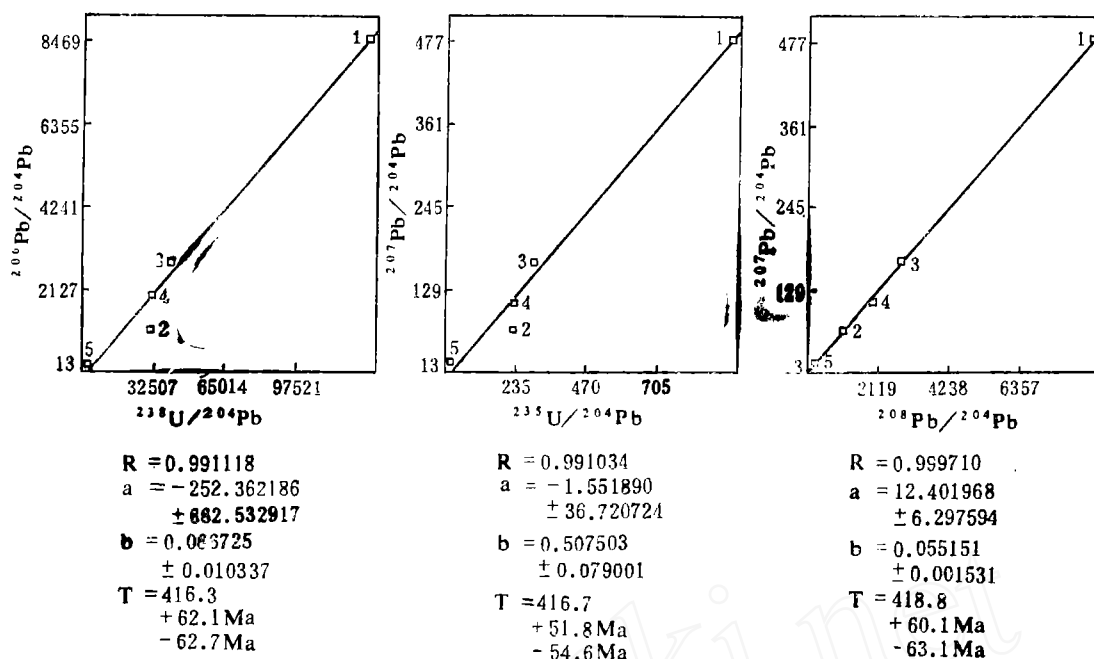


图8 单矿物U-Pb和Pb-Pb等时线

四、陈家庄矿点和罗辛矿床的对比

陈家庄矿点与国外著名的“斑岩型”铀矿床——纳米比亚的罗辛矿床相比，有许多相似的地方^[3, 4]。它们主要表现在以下几个方面：

1. 它们产出的大地构造位置都位于元古代优地槽褶皱带。
2. 含矿主岩都是伟晶状花岗岩或白岗质伟晶状花岗岩。都是由元古代富铀地层沉积物重熔侵入形成的。陈家庄矿点的母岩为下元古代秦岭群，罗辛矿床虽然产于上元古代的罗辛建造和哈恩建造中，但是，它的母岩很可能是富铀的基底岩石——阿巴比斯建造的片麻岩。
3. 含矿岩石的围岩都是受过强烈变质作用的片麻岩、混合岩等。
4. 它们的主要工业矿物都是晶质铀矿，都以浸染状为主。但是罗辛矿床还含有5%的铀钼铀矿和40%的次生铀矿物。
5. 矿石平均品位较低，且分布不均匀。富矿石的产出大多与黑云母的富集有关。
6. 最主要的共生金属矿物都是黄铁矿、辉钼矿。
7. 罗辛矿床的形成时代为510Ma，陈家庄矿点为407Ma，二者比较接近。

从以上诸特点可以看出，陈家庄矿点和罗辛矿床，无论是在区域地质背景，还是在矿化形成特点上都是非常相似的。这表明，陈家庄矿点是一个典型的罗辛型铀矿点。

五、陈家庄矿点的研究对秦岭地区铀矿成矿

远景及区域地质评价的意义

自秦岭群建立以来，一直认为秦岭群是一个优地槽相建造。虽然也有少数研究者认为秦岭群具冒地槽相性质^[6]，但是，大多数研究者都认为秦岭群主要由中基性火山岩组成，其

构造环境为早元古代活动大陆边缘或者成熟的活动岛弧环境,也即相当于优地槽环境^[6]。

多年工作结果表明,秦岭地区铀的成矿远景并不乐观,这同它的这种优地槽相的贫铀原岩建造是有密切关系的。虽然秦岭地区的构造活动相当强烈,但也难以形成较好的铀矿化。本区的一些大大小小的花岗岩体,如灰池子,张家坪、金堆城等岩体,与陈家庄岩体很不一样,从表7中可以看出,这些岩体的 $\delta^{18}\text{O}$ 均低于10‰,锶同位素初始比低于0.710,alk值低于1.1。说明这些岩体都应属同熔型花岗岩,或者说它们的原岩主要来自秦岭群或太华群的中基性火山岩。这样在铀成矿能力上就受到了很大的限制。陈家庄岩体则不一样,它的 $\delta^{18}\text{O}$ 值大于10‰,锶同位素初始比为0.71298,alk值为1.1,说明是由沉积物熔融而成的。

根据肖进忠所做秦岭地区各地层的U、Th含量,大部分都较低^[6],见表8。但是笔者所做13个矿点周围未受任何蚀变的片麻岩、片麻状混合岩,铀含量平均达9.8ppm,钍含量19.3ppm,钍铀比2.4。要比大区域上的U、Th含量高许多,这也表明,该区是一个比较有利的铀源区。

表7 秦岭地区若干岩体的情况表

岩 体	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	Rb-Sr等时线年龄	alk	$\delta^{18}\text{O}$
金堆城	0.7064	186	1.09	
华山	0.7067	160	1.00	8.80*
灰池子	0.7062	383	1.07	8.75
南泥湖	0.7080	196	1.08	
老君山	0.7056	105	1.02	6.78
蟒岭	0.7082	170	1.02	7.44
老牛山	0.7089	168	1.00	7.80
陈家庄	0.7130	378	1.10	12.72

* 数据取自文献[6]、[7],根据石英的氧同位素换算。

表8 秦岭地区地层U、Th含量

地 层	样 品 数	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	说 明
太华群	18	2.82	5.04	2.32	
宽坪群	50	2.61	11.02	5.52	
熊耳群	40	2.10	8.97	4.97	
信阳群	8	4.11	13.60		
秦岭群	62	2.51	11.02	5.02	大面积上取样
秦岭群	13	9.80	19.30	2.40	矿点周围

注:除秦岭群(自测)外,其余数据均来自文献[6]。

另一方面,224大队的工作表明,陈家庄周围地区还有多处类似于陈家庄矿点的花岗岩体和矿化。这表明,秦岭群虽然是一种优地槽相的建造,但至少在丹凤地区却含有较多的陆源碎屑物质,暗示了这是一个早元古代的活动大陆边缘^[6]。

本文在野外工作期间承蒙核工业部西北224大队的大力协助,在室内工作期间得到北京铀矿地质研究所一、四、七室许多同志的帮助,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 徐克勤等, 华南花岗岩成因与成矿, 花岗岩地质和成矿关系, 南京, 江苏科学技术出版社, 1984年, 第1—20页。
- [2] 薛纪越等, 矿物学报, (2), 117 (1984)。
- [3] Berning, J., et.al., Econ.Geol., 71 (1), 351 (1976)。
- [4] Armstrong, F.C., Uranium resources of the future —“Porphyr” Uranium Deposits, Formation of Uranium Ore Deposits, IAEA, 1974, pp.625—635。
- [5] 张维吉, 秦岭区测, (2), 1 (1984)。
- [6] 肖进忠, 华北地台南缘中段花岗岩类的成因类型及其与铀成矿的关系, 北京铀矿地质研究所硕士论文, 未发表, 1986年。
- [7] 严阵等, 陕西省花岗岩研究报告, 陕西省地质矿产局0383, 未发表, 1983年。

CHARACTERISTICS AND GENESIS OF RÖSSING TYPE URANIUM MINERALIZATION IN CHENJIAZHUANG GRANITE, DANFENG, SHANXI

Xu Zhan Du Letian

Abstract

According to the study of field geology and Rb-Sr isotopic system (initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7130$, isochron age = 378Ma), oxygen isotope ($\delta^{18}\text{O}=12.72\%$), rare earth elements ($\Sigma\text{REE}=370\text{ ppm}$, $\delta\text{Eu}=0.14-0.67$) and the structure state of K-feldspar ($t_1=0.93-0.98$, $t_{10}=0.90-0.97$) of Chenjiazhuang granite, it is recognized that Chenjiazhuang granite is a continental crust-transformation type granite, mainly derived from terrigenous clastic sediment rather than intermediate-basic volcanic rocks in Qinling group.

Uranium mineralization occurs as disseminated within the granite. Uraninite is the only ore mineral. U-Pb isotopic system of uraninite gives a mineralization age of 407 Ma \pm , this is similar to the whole-rock isochron age of Rb-Sr. These, combined with the observation of thin sections and the study of other aspects, make us conclude that this uranium mineralization is a syngenetic one, that is, Rössing type U-mineralization.

The study of genesis and mineralization of Chenjiazhuang granite is of significance not only to the exploration of uranium in this area, but also to the regional geology of Qinling area.

Key words Rössing type U-mineralization, Chenjiazhuang granite, Qinling group, Uraninite