

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2021.01.006

北秦岭东段柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床 铅同位素特征与成矿作用探讨

林锐华¹, 杨秀峰¹, 刘行², 王亚飞¹, 朱斌¹, 韩建栢¹, 孙志明¹, 王继远¹

(1. 中钢集团天津地质研究院有限公司, 天津 300181;

2. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170)

摘要: 柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床地处华北克拉通南缘, 南接南秦岭构造带, 位于北秦岭东段的灰池子岩体东段北侧。本文对柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床中含铀花岗伟晶岩脉、接触带附近黑云斜长片麻岩和黑云母二长花岗岩所含黄铁矿开展了铅同位素对比研究。结果表明, 黑云母二长花岗岩黄铁矿铅 μ 值为9.50~9.58, 区别于正常铅 μ 值, 而介于地幔 μ 值与造山带 μ 值之间, 应是下地壳铅与造山带铅(即峡河岩群地层铅)的混源。花岗伟晶岩脉的数量和产铀能力与距离岩体的远近有直接关系, 当距离岩体较近时, 则具有数量增多、产铀能力增强的特点, 铀工业矿体(或含铀矿化体)主要赋存在岩体与黑云斜长片麻岩地层的内外接触带有限距离范围内的花岗伟晶岩脉中。柳树湾地区黑云母二长花岗岩黄铁矿铅同位素组成具有混源铅特征, 是对区内钾长石化、黑云母化和石英硅化等成矿蚀变的响应。

关键词: 柳树湾; 花岗伟晶岩; 铅同位素特征; 成矿作用; 北秦岭; 豫西南地区

中图分类号: P597.1 **文献标识码:** A

0 引言

北秦岭造山带为华北克拉通南缘与南秦岭造山带北缘过渡结合部位, 主要受栾川断裂和商丹断裂控制的大致呈NWW向展布的构造带, 其东段是整个秦岭造山带中构造变形、地层变质较为强烈的地带, 岩浆活动较为发育, 其中以中酸性花岗质岩浆最为频繁, 侵位时代主要为古生代, 新元古代次之, 并伴随多类矿种、多个期次的岩浆期后金属成矿事件, 其中以灰池子岩体外围铀的较大规模成矿事件尤甚^[1-8]。

古生代以来, 加里东期受扬子板块向华北克拉通俯冲影响, 岩石圈受到了碰撞造山作用的改造, 于

北秦岭东段形成以灰池子岩体、漂池岩体为代表的中酸性侵入岩体^[9-14]。其中, 在灰池子岩体外围出现较大规模的铀成矿作用, 导致在横跨豫、陕两省的灰池子岩体外围区域形成一个与构造-岩浆密切相关的花岗伟晶岩型和构造热液型铀矿(或矿化)富集带, 受到诸多学者关注^[1-5, 7-8, 15-22]。

近年来灰池子岩体外围地区找矿成果显著, 新发现了光石沟铀矿床^[2, 5]、小花盆铀矿床^[23]、陈家庄铀矿床^[24]、柳树湾铀矿床^[1]等多个铀矿床, 显示了灰池子岩体外围铀成矿地质条件的优越性, 找矿潜力巨大。

柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床位于河南省西部的卢氏县境内, 是实施“河南省官坡—军马河地区放射性及三稀元素矿产远景调查”项目期间新发现的一处花岗伟晶岩型铀矿床; 该矿床位于灰池子岩体东

收稿日期: 2020-08-18; **责任编辑:** 赵庆

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查项目(编号:DD20160129-2、1212011120771)资助。

作者简介: 林锐华(1985—), 男, 高级工程师, 主要从事地质及岩石、矿床学研究。通信地址:天津市河东区广宁路友爱东道平房4号, 中钢集团天津地质研究院有限公司; 邮政编码:100181; E-mail: kangcongquan@sina.com

通信简介: 刘行(1988—), 男, 工程师, 硕士, 从事铀及三稀元素矿产勘查与研究。通信地址:天津市河东区大直沽八号路4号; 邮政编码:300170; E-mail: liuxing_tegs@163.com

段北侧,填补了灰池子岩体外围于河南省境内的找矿空白。鉴于该矿床为一新发现矿床,研究程度较低,有关柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床的报道仅有矿床的发现意义^[1]、矿床地质特征总结^[1,3]、黑云母矿物化学特征^[17]、矿产勘查过程中相关找矿方法的应用^[18]等方面,而对成矿物质来源、成矿作用等方面研究尚无报道,很大程度上制约了下一步找矿工作的持续推进及成矿模型的搭建。为此,本文基于对柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床中含铀花岗伟晶岩脉、接触带附近黑云母斜长片麻岩和黑云母二长花岗岩所含黄铁矿铅同位素测定和对比研究,分析铅同位

素组成及其特征,探讨成矿物质来源与铀成矿作用,为更加深入认识灰池子岩体外围铀成矿地质条件奠定基础,为本区铀的迁移、富集、成矿机制提供新的证据。

1 矿区成矿地质背景

柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床位于河南省三门峡市卢氏县西南约 90 km 处。大地构造位置北依华北克拉通南缘,南接南秦岭构造带^[25-27],位于商县—丹凤(商丹)断裂以北,栾川断裂以南^[27](图 1)。

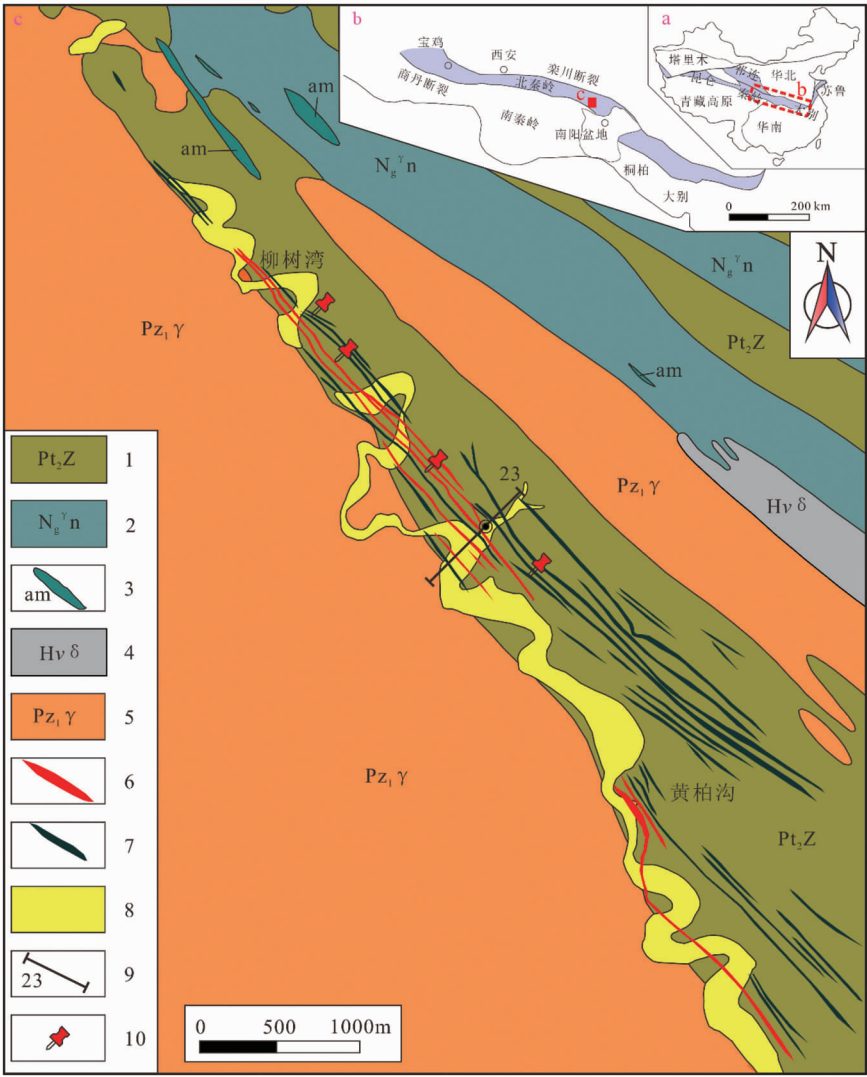


图 1 北秦岭东段柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床大地构造位置简图(b)和地质略图(c)

Fig. 1 Geotectonic and geological sketch of the Liushuwan granitic pegmatite type U deposit at eastern part of the North Qinling orogenic belt

1. 中元古代峡河岩群寨根岩组; 2. 新元古代花岗片麻岩; 3. 新元古代角闪岩脉;
4. 中基性杂岩体; 5. 古生代灰池子岩体; 6. 含铀花岗伟晶岩脉;
7. 非矿花岗伟晶岩脉; 8. 第四系; 9. 勘探线及其编号; 10. 采样位置

区域上出露的地层主要有二郎坪群、秦岭群、宽坪群、峡河岩群、丹凤群^[28-30]。其中,峡河岩群寨根岩组含一套高级变质岩系(原岩为富泥质陆源碎屑岩),为本区主要的赋矿围岩。加里东期本区岩浆活动颇具规模,代表性岩浆活动产物主要有漂池岩体(505 Ma~470 Ma)和灰池子岩体(437 Ma~382 Ma)^[2,15,27,31]。二者外围有大量花岗伟晶岩脉展布,且具有一定的分带性,向远离岩体方向依次发育黑云母花岗伟晶岩脉、二云母花岗伟晶岩脉、白云母花岗伟晶岩脉和锂云母花岗伟晶岩脉^[3,16,32]。

灰池子岩体东段(即河南段)铀矿(或矿化)富集带范围内圈定了若干靶区,其中以岩体北东侧的柳树湾矿床成矿地质条件最为优越,含铀伟晶岩矿脉长度可达 2 km 以上,矿体厚度最厚处 2.4 m 以上,一般为 0.7~1.5 m,品位 0.03%~0.14%^[17]。铀工业矿体(或含铀矿化体)主要赋存在灰池子岩体与黑云斜长片麻岩地层的外接触带有限距离范围内(一般距离岩体 300 m 以内)的花岗岩伟晶岩脉中(图 2)。经过野外地质调查发现,灰池子岩体中的黑云母二长花岗岩与成矿关系最为密切,通过放射性伽玛扫描调查发现黑云母二长花岗岩自然伽玛 40 γ~120 γ。围岩为出露于岩体北东侧的黑云斜

长片麻岩(峡河岩群寨根岩组)(图 1c),铀矿脉体(或铀矿化脉体)呈脉状(或透镜状)顺层产出,走向 NW-SE,倾角 55°~85°^[1]。

2 样品采集与分析方法

2.1 样品采集和处理

本次分析用样品采自柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床钻孔中。其中,样品 201707ZK1301-y-2、ZK1301HTK-Y2、ZK1301HTK-Y4、ZK1501HTK-D2、ZK1501HTK-D3、ZK0001HTK-D4、ZK1501HTK-ρ1、ZK0001HTK-ρ3、ZK1601HTK-ρ4、ZK1601HTK-ρ5 分别采自 1301 号钻孔 42 m、54 m、62 m 处,1501 号钻孔 23 m、34 m 处,0001 号钻孔 24 m 处,1501 号钻孔 54 m 处,0001 号钻孔 42 m 处,1601 号钻孔 54 m、73 m 处。

样品预处理(包括样品粉碎加工、黄铁矿单矿物分选等)主要由廊坊市诚信地质服务有限公司完成。将野外采集的岩石样品,经过分级破碎、分级过筛,于双目镜下挑选 5 g 以上的高纯度(99%以上)黄铁矿,研磨至 200 目以下备用。

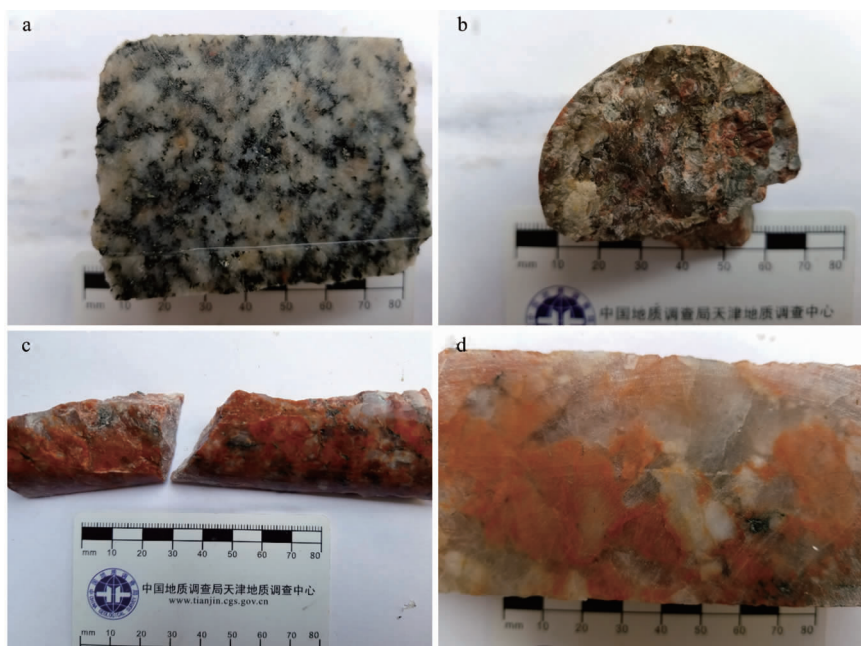


图 2 柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床代表性岩石手标本照片

Fig. 2 The photographs of the representative rocks of the Liushuwan granitic pegmatite type U deposit

a. 黑云母二长花岗岩; b. 含铀花岗伟晶岩;
c. 黑云母花岗伟晶岩; d. 钾长石化花岗伟晶岩

2.2 测试仪器和方法

铅同位素测试工作由核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成,使用仪器为 Phoenix 热表面电离质谱仪(仪器编号为 9444)。

称取 15 mg 黄铁矿样品置于溶样罐中,用聚四氟乙烯(PTFE)密封,加入 HNO₃ 和 HCl 溶液,将样品封存于 180℃ 条件下,直至样品全部溶解,然后蒸干,再加入 6 mol/L HCl 溶液溶解,再次蒸干。加入 HCl 和 HBr 溶液,离心后用 HCl 和 HBr 淋滤杂质。再用 6 ml 浓度为 6 mol/L 的 HCl 溶液解吸铅,蒸干后上机器分析。

铅同位素分析在 Phoenix 热表面电离质谱仪上进行,采用 NBS981 标样进行测试监控,该标样分析结果为 0.01‰,其中²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 分析精度优于 0.05‰,²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 分析精度优于 0.005‰。

3 分析结果

本次从柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床中采集了 10 件黄铁矿单矿物样品用于研究,其中赋存于含铀花岗伟晶岩脉的 4 件黄铁矿样品(ZK1501HTK - ρ1、ZK0001HTK - ρ3、ZK1601HTK - ρ4、ZK1601HTK - ρ5)、接触带附近黑云斜长片麻岩的 3 件黄铁矿样品

(ZK1501HTK - D2、ZK1501HTK - D3、ZK0001HTK - D4)和接触带附近的黑云母二长花岗岩的 3 件黄铁矿样品(201707ZK1301 - y - 2、ZK1301HTK - Y2、ZK1301HTK - Y4)。Pb 同位素分析结果见表 1,Pb 同位素特征值见表 2。

由表 1 可知:

①含铀花岗伟晶岩脉中黄铁矿的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb=43.502~125.992、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb=16.018~21.587、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb=39.331~55.563,均显示出较宽的比值范围,比值不均一,这可能是放射性铅累积的结果。

②黑云母二长花岗岩中黄铁矿的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb=19.312~19.907(平均 19.687,极差 0.595)、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb=15.655~15.716(平均 15.686,极差 0.061)、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb=38.728~39.868(平均 39.149,极差 1.086);黑云斜长片麻岩中黄铁矿的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb=18.141~18.616(平均 18.412,极差 0.475)、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb=15.602~15.632(平均 15.618,极差 0.030)、²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb=38.569~38.806(平均 38.669,极差 0.237)。以上两组铅同位素样品测试结果比较稳定,变化范围较小,且较为均一,具有正常铅的特征,可代表柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床中黄铁矿铅同位素特征。

表 1 柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床黄铁矿铅同位素组成

Table 1 Pb isotopic compositions of pyrites from the Liushuwan granite pegmatite type U deposit

序号	样品号	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2σ	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	2σ
1	201707ZK1301 - y - 2	19.312	0.003	15.655	0.002	38.852	0.005
2	ZK1301HTK - Y2	19.841	0.003	15.716	0.002	38.728	0.005
3	ZK1301HTK - Y4	19.907	0.003	15.686	0.002	39.868	0.005
4	ZK1501HTK - D2	18.141	0.003	15.602	0.003	38.569	0.007
5	ZK1501HTK - D3	18.479	0.003	15.621	0.003	38.806	0.006
6	ZK0001HTK - D4	18.616	0.002	15.632	0.001	38.633	0.003
7	ZK1501HTK - ρ1	63.014	0.011	18.038	0.003	39.822	0.007
8	ZK0001HTK - ρ3	125.992	0.027	21.587	0.005	55.563	0.011
9	ZK1601HTK - ρ4	43.502	0.007	16.018	0.002	39.331	0.006
10	ZK1601HTK - ρ5	71.807	0.016	18.565	0.004	46.055	0.011

表 2 柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床围岩黄铁矿铅同位素特征

Table 2 Pb isotopic characteristic parameters of pyrites from the Liushuwan granitic pegmatite type U deposit

序号	样品号	μ	ω	w(Th)/w(U)	V1	V2	△α	△β	△γ
1	201707ZK1301 - y - 2	9.50	34.09	3.47	114.81	109.16	147.48	22.89	55.50
2	ZK1301HTK - Y2	9.58	31.84	3.22	125.64	138.40	178.91	26.87	52.13
3	ZK1301HTK - Y4	9.52	35.19	3.58	155.17	128.22	182.83	24.91	83.10
4	ZK1501HTK - D2	9.50	38.61	3.93	77.25	52.56	77.90	19.43	47.81
5	ZK1501HTK - D3	9.50	37.84	3.85	91.88	67.24	97.99	20.67	54.25
6	ZK0001HTK - D4	9.51	36.50	3.71	91.25	76.28	106.13	21.39	49.55

4 讨论

4.1 铅同位素示踪

形成于加里东期的柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床中沥青铀矿、晶质铀矿、硅钙铀矿、钍石等矿物结晶后,高异常含量的铀、钍等放射性同位素(如 ^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 等),经放射性衰变可能产生一定量的 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{208}Pb 的异常积累,使得含矿伟晶岩中铅同位素组成发生变异, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 同位素比值发生解耦,表1中含铀花岗伟晶岩脉中黄铁矿的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=43.502\sim 125.992$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=16.018\sim 21.587$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=39.331\sim 55.563$,已经发生变异超过了正常环境的比值范围,故通过利用含铀样品的铅同位素来直接反演岩浆流体演化特征和示踪成矿物质来源是不可靠的。因此,为了克服上述不利因素的影响,通过铅同位素示踪达到反演成矿流体性质和成矿物质来源的目的,本次研究采集了离花岗伟晶岩型铀矿体一段距离的赋存于黑云母二长花岗岩和黑云斜长片麻岩地层中的黄铁矿样品进行对比研究。

如表1和表2所示,柳树湾黑云母二长花岗岩中 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=19.312\sim 19.907$ (均大于18.000); $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.655\sim 15.716$,均高于15.300,显示铀铅富集的特征; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.728\sim 39.868$,低

于39.000,显示钍铅微弱亏损。柳树湾黑云母二长花岗岩黄铁矿铅 μ 值为9.50~9.58,区别于正常铅 μ 值(8.69~9.24^[33-34]),而介于地幔 μ 值(8.92)与造山带 μ 值(10.87^[33])之间。 μ 值的高低可以示踪地质体演化过程中的信息,反演铅的源区特征^[35-37]。柳树湾黑云母二长花岗岩中的黄铁矿中的铅具有低 μ 值(9.50~9.58<9.58),暗示有下部地壳(或上地幔)铅参与。鉴于黑云母二长花岗岩源岩物质经岩石地球化学模拟后的玄武岩岩浆组分比例可高达90%,即为富铁镁质的变中基性岩,以及其 $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 值(3.22~3.58)均低于全球上地壳 $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 值(3.88^[38]),表明上地壳铅对其形成的贡献较小,应为下地壳铅与造山带铅的混源。以上证据表明,柳树湾黑云母二长花岗岩Pb并非单一来源,具有混源铅的特征,其来源可能与区域内的下部地壳铅与造山带铅(即峡河岩群地层铅)混染有关。

在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 增长曲线图解(图3)^[38]中,黑云斜长片麻岩中的黄铁矿样品均落在铅的造山带演化线上,而黑云母二长花岗岩中黄铁矿样品点均落在铅的上地壳演化线和造山带演化线中间区域内。一般情况下多数花岗质岩浆均经历了多阶段演化,导致Pb同位素解释存在多解性^[39],因此黑云母二长花岗岩中黄铁矿的铅应是上地壳铅与造山带铅(即峡河岩群地层铅)的混源。

此外,黑云母二长花岗岩中的热液黄铁矿硫同

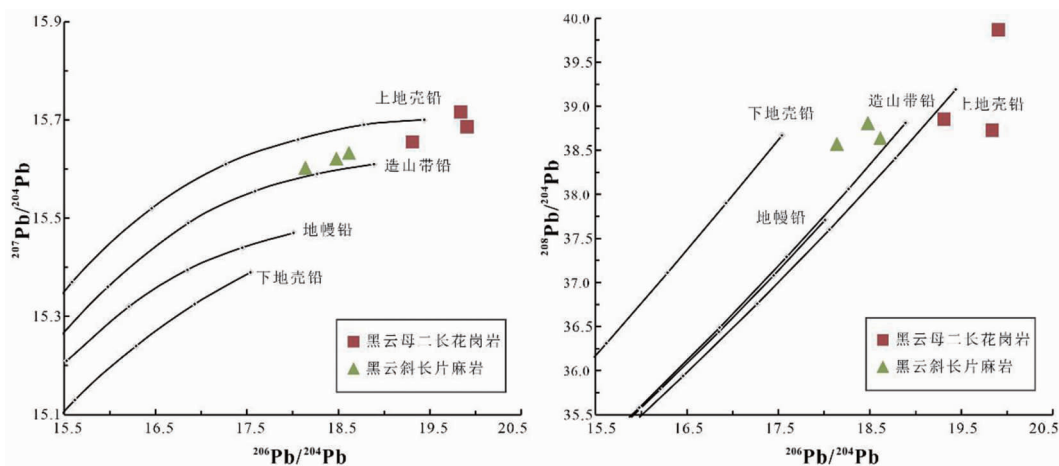


图3 柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床黄铁矿

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 增长曲线

Fig. 3 The $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ curves of pyrites from the Liushuwan granite pegmatite type uranium deposit

位素平衡的流体的 $\delta(^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}) = 1.7 \times 10^{-3} \sim 6.4 \times 10^{-3}$, 平均为 5×10^{-3} , 均为正值, 且与黑云斜长片麻岩中黄铁矿的硫同位素组成有部分重叠, 同样印证了黑云斜长片麻岩(峡河岩群地层)对黑云母二长花岗岩中的热液黄铁矿硫源的贡献。

4.2 成矿作用探讨

通常情况下, 与中酸性岩浆有成因联系的花岗伟晶岩矿物组成主要为长石和石英, 是产于母岩体附近(或有限距离范围内)与围岩接触带的地质单元^[40-41], 一般是分异程度较高的花岗质岩浆晚期阶段作用的产物^[42]。它的形成与富含 H_2O 、 CO_2 、 F 、 Cl 等挥发分的母岩浆(缓慢)冷却、(循环)结晶有关, 期间伴随携带大量金属元素的成矿流体与母岩浆不断分离^[40], 出溶的流体可携带大量的金属元素搬运并于成矿期构造中富集卸载, 便形成岩浆期后热液矿床。柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床中的花岗伟晶岩脉作为铀矿的载体地质单元, 必定残留了成矿流体的“印记”, 继承了丰富的矿化信息^[41-42]。

通过野外地质调查研究发现, 柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床中黑云母花岗伟晶岩脉主要产于灰池子岩体内外接触带, 岩脉密集成群出现, 多数呈带状近似平行展布, 局部有分枝、复合现象, 走向与区域构造线方位相耦合, 呈 NW-SE。区内主要铀矿体均受黑云母花岗伟晶岩脉严格控制, 且一般黑云母花岗伟晶岩脉围绕岩体呈环带分布, 因此该期岩浆活动对形成花岗伟晶岩型铀矿床起到了空间定位作用。花岗伟晶岩脉的数量和产铀能力与距离岩体远近有直接关系, 当距离岩体较近时, 则具有数量增多、产铀能力增强的特点, 铀工业矿体(或含铀矿化体)主要赋存在岩体与黑云斜长片麻岩地层的内外接触带的有限距离范围内(一般距离岩体 300 m 以内)的花岗岩伟晶岩脉中, 且该产铀接触带一般伴随强烈的钾长石化、黑云母化和石英硅化, 即具有“又红、又黑、又粗”的特点, 该特点已经成为本区的重要找矿标志。成矿流体虽起源于岩浆, 但与黑云斜长片麻岩地层接触过程中所发生的钾长石化、黑云母化和石英硅化蚀变作用, 必然被地层混染, 使其携带了黑云斜长片麻岩地层中的地球化学信息。因此, 本区黑云母二长花岗岩黄铁矿铅同位素组成所具有的混源铅的特征, 即源自下部地壳铅与峡河岩群黑云斜长片麻岩铅的混合, 是对区内钾长石化、黑云母化和石英硅化等成矿蚀变的响应。

5 结语

(1)通过黑云母二长花岗岩和黑云斜长片麻岩中的黄铁矿铅同位素对比研究, 柳树湾黑云母二长花岗岩铅并非单一来源, 具有混源铅的特征, 其来源可能与区域内的下部地壳铅与造山带铅(即峡河岩群地层铅)混染有关。

(2)黑云母二长花岗岩黄铁矿铅同位素组成所具有的混源铅的特征, 即源自下部地壳铅与峡河岩群黑云斜长片麻岩铅的混合, 是对区内岩体与地层产铀接触带中钾长石化、黑云母化和石英硅化等成矿蚀变的响应。

参考文献:

- [1] 张盼盼, 陈化凯, 温国栋, 等. 河南省卢氏县灰池子岩体外围花岗伟晶型铀矿地质特征研究[J]. 矿床地质, 2017, 36(6): 1425-1438.
- [2] 袁峰, 刘家军, 吕古贤, 等. 北秦岭光石沟铀矿区花岗岩、伟晶岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及成因意义[J]. 地学前缘, 2017, 24(6): 25-45.
- [3] 李靖辉. 豫西卢氏产铀伟晶岩地质特征及其找矿前景分析[J]. 东华理工大学学报:自然科学版, 2010, 33(3): 257-261.
- [4] 冯张生, 张夏涛, 焦金荣, 等. 陕西省丹凤地区花岗伟晶岩型铀矿特征及找矿方向[J]. 西北地质, 2013, 46(2): 159-166.
- [5] 左文乾, 沙亚洲, 陈冰, 等. 丹凤地区光石沟铀矿床大毛沟岩株锆石 U-Pb 同位素定年及其地质意义[J]. 铀矿地质, 2010, 26(4): 222-227.
- [6] 卢欣祥, 祝朝辉, 谷德敏, 等. 东秦岭花岗伟晶岩的基本地质矿化特征[J]. 地质论评, 2010, 56(1): 21-30.
- [7] 冯明月. 商丹地区产铀伟晶岩成因讨论[J]. 铀矿地质, 1996(1): 30-36.
- [8] 万吉, 高立宝, 王莲香. 商丹三角地区花岗伟晶岩型铀矿成矿环境研究及远景评价[J]. 铀矿地质, 1992(5): 257-263.
- [9] 张建新, 于胜尧, 孟繁聪. 北秦岭造山带的早古生代多期变质作用[J]. 岩石学报, 2011, 27(4): 1179-1190.
- [10] 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 1996(3): 193-200.
- [11] 王涛, 王晓霞, 田伟, 等. 北秦岭古生代花岗岩组合、岩浆时空演变及其对造山作用的启示[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2009, 39(7): 949-971.
- [12] 时毓, 于津海, 徐夕生, 等. 秦岭造山带东段秦岭岩群的年代学和地球化学研究[J]. 岩石学报, 2009, 25(10): 2651-2670.
- [13] 闫全人, 王宗起, 闫臻, 等. 从华北陆块南缘大洋扩张到北秦岭造山带板块俯冲的转换时限[J]. 地质学报, 2009, 83

- (11): 1565–1583.
- [14] 张成立, 刘良, 王涛, 等. 北秦岭早古生代大陆碰撞过程中的花岗岩浆作用[J]. 科学通报, 2013, 58(23): 2323–2329.
- [15] 赵如意, 李卫红, 姜常义, 等. 陕西丹凤地区含铀花岗伟晶岩年龄及其构造意义[J]. 矿物学报, 2013, (S2): 880–882.
- [16] 陈西京. 论东秦岭某地花岗伟晶岩的分布规律[J]. 长安大学学报: 地球科学版, 1982(1): 12–13.
- [17] 曲凯, 尹青青, 刘行, 等. 北秦岭柳树湾花岗伟晶岩型铀矿床中黑云母矿物化学特征及其地质意义[J]. 铀矿地质, 2019, 35(6): 330–342.
- [18] 刘行, 曲凯, 尹青青, 等. 活性炭吸附测氡法在北秦岭柳树湾铀矿床勘查中的应用[J]. 铀矿地质, 2020, 36(3): 190–198.
- [19] 冯张生. 丹凤地区花岗伟晶岩型铀矿区放射性水文地球化学特征及找矿效果[J]. 世界核地质科学, 2011, 28(2): 79–83.
- [20] 沙亚洲, 左文乾, 张展适, 等. 陕西秦岭光石沟铀矿床含矿与非含矿伟晶岩差异性及其研究意义[J]. 东华理工大学学报: 自然科学版, 2011, 34(3): 215–223.
- [21] 冯张生. 陕南光石沟伟晶岩型铀矿床中长石矿物化学初步研究[J]. 化工矿产地质, 2012, 34(2): 71–76.
- [22] 陈佑纬, 毕献武, 胡瑞忠, 等. 陕南光石沟伟晶岩型铀矿床黑云母矿物化学研究及其对铀成矿的启示[J]. 矿物岩石, 2013, 33(4): 17–28.
- [23] 刘刚, 刘家军, 袁峰, 等. 陕西小花岔铀矿床岩浆演化及其对铀成矿作用的制约[J]. 现代地质, 2017, 31(5): 990–1005.
- [24] 凌锦兰, 田浩浩, 王建国, 等. 陈家庄伟晶岩型铀矿床黑云母成分特征及成因分析[J]. 矿物岩石, 2018, 38(2): 13–19.
- [25] 王晓霞, 王涛, 张成立. 秦岭造山带花岗质岩浆作用与造山带演化[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2015, 45(8): 1109–1125.
- [26] Santosh M, Dong Y. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling Orogenic Belt, Central China [J]. Gondwana research: international geoscience journal, 2016, 29(1): 1–40.
- [27] 李伍平, 王涛, 王晓霞, 等. 北秦岭灰池子复式岩体单颗粒锆石年龄[J]. 中国区域地质, 2000, 19(2): 172–174.
- [28] 郭进京, 李怀坤, 陈志宏. 秦岭造山带秦岭杂岩研究中有关问题讨论[J]. 地质调查与研究, 2003, 26(2): 95–102.
- [29] 陆松年, 陈志宏, 相振群, 等. 秦岭岩群副变质岩碎屑锆石年龄谱及其地质意义探讨[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 303–310.
- [30] Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, et al. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt [J]. Geochimica et cosmochimica acta, 2008, 72(18): 4607–4626.
- [31] Qin Z, Wu Y, Wang H, et al. Geochronology, geochemistry, and isotope compositions of Piaochi S-type granitic intrusion in the Qinling orogen, central China: Petrogenesis and tectonic significance [J], Lithos. 2014, 202: 347–362.
- [32] 栾世伟. 秦东花岗伟晶岩成因问题讨论[J]. 成都地质学院学报, 1979(3): 36–48.
- [33] Doe B, Zartman R. Plumbotectonics: The Phanerozoic [C]// Barnes H L (ed.). Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, New York: John Wiley & Sons, 1979: 509–567.
- [34] Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics—the model [J]. Tectonophysics, 1981, 75(1–2): 135–162.
- [35] 吴开兴, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 矿石铅同位素示踪成矿物质来源综述[J]. 地质地球化学, 2002, 30(3): 73–81.
- [36] 项新葵, 王朋, 孙德明, 等. 赣北石门寺钨多金属矿床同位素地球化学研究[J]. 地球学报, 2013, 34(3): 263–271.
- [37] 周涛发, 岳书仓, 袁峰, 等. 长江中下游两个系列铜、金矿床及其成矿流体系统的氢、氧、硫、铅同位素研究[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2000, 30(Z1): 122–128.
- [38] Zartman R E, Haines S M. The plumbotectonic model for Pb isotopic systematics among major terrestrial reservoirs—A case for bi-directional transport [J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 1988, 52(6): 1327–1339.
- [39] 郑永飞, 李曙光, 陈江峰. 化学地球动力学[J]. 地球科学进展, 1998, 13(2): 121–128.
- [40] 邹天人, 徐建国. 论花岗伟晶岩的成因和类型的划分[J]. 地球化学, 1975(3): 161–174.
- [41] London, David. A petrologic assessment of internal zonation in granitic pegmatites [J]. Lithos, 2014, 184–187: 74–104.
- [42] Shearer C K, Papike J J, Jolliff B L. Petrogenetic links among granites and pegmatites in the Harney peak rare-element granite-pegmatite system, Black hills, south Dakota [J]. Canadian Mineralogist, 1992, 30(3): 785–809.

Pb isotope characteristics of Liushuwan granitic pegmatite type U deposit in the eastern part of The North Qinling orogenic belt and its implications for metallogenesis

**LIN Ruihua¹, YANG Xiufeng¹, LIU Xing², WANG Yafei¹,
ZHU Bin¹, HAN Jianbai¹, SUN Zhiming¹, WANG Jiyuan¹**

(1. Sinosteel Tianjin Geological Academy, Tianjin 300181, China;

2. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China)

Abstract: The Liushuwan granitic pegmatite type U deposit is located in the north side of the eastern Huichizi granite body neighbouring the south margin of the North China Craton to the north of and the South Qinling tectonic belt to the south of the east section of the North Qinling orogenic belt. In this paper, Pb isotopic studies have been carried out on pyrites in the biotite adamellites and biotite-plagioclase gneisses. The results showed that the μ values of pyrites in biotite adamellites are 9.50~9.58, different from the normal Pb value and between those of the mantle and the orogenic belt thus should be the mixed source value of Pb from the lower crust and the orogenic belt (the Xiaheyan Group). The closer to the Huichizi granite body the more granitic pegmatitic dykes occur and the stronger the U mineralization of the veins is. The U ore bodies (or the U mineralization bodies) mainly occur in the granitic pegmatite dykes at limited distance to the outer and inner contact zones of the rock body and the biotite plagioclase gneisses. The Pb isotopic composition of pyrites in the biotite adamellites is characteristic of mixed source Pb.

Key Words: Liushuwan; granite pegmatite; Pb isotopic characteristics; metallogenesis; North Qinling orogenic belt; western part of Henan province