浙西新路盆地火山岩型铀成矿的深部动力学机制

王正其[1)],李子颖[2)],汤江伟[3)]

1) 放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室,东华理工大学,江西抚州,344000;

2) 核工业北京地质研究院,北京,100029;

3) 浙江省核工业269大队,浙江金华,322000

内容提要:在中生代岩浆作用过程主量元素、微量元素和Sr-Nd同位素地球化学演化轨迹的研究基础上,探讨了新路盆地火山岩型铀成矿的深部动力学机制。研究表明,新路盆地由早至晚系列岩浆岩,SiO_2含量依次降低,碱度和K_2O/Na_2O比值逐渐升高,氧化物含量表现为"跳跃性"演变并趋向辉绿岩;ΣLREE、δEu值和Sr元素等含量显著动态升高;微量元素特征比值表现出趋势性变化特点;Sr-Nd同位素演化呈现出由黄尖组熔结凝灰岩依次趋向花岗斑岩、辉绿岩的混合演化趋势线;代表成矿流体同位素组成的萤石投影点位于岩浆作用过程Sr-Nd同位素混合演化趋势线上,且较花岗斑岩更趋近于辉绿岩投影区。认为新路盆地铀矿床成矿流体具有壳幔源区物质混合特征;酸性系列岩浆岩与火山岩型铀矿在空间上的叠置,是壳幔作用机制下系列产物的耦合;来自岩石圈富集地幔的以富含LREE及K、Sr等大离子亲石元素为特征的高温"轻物质流"持续上涌及由此诱发的壳幔作用,为新路盆地岩浆活动及火山岩型铀成矿作用提供了动力学机制;壳幔作用源区是铀成矿作用的动力源,也是成矿流体的发源地。

关键词:壳幔作用;岩浆作用;"轻物质流"上涌;火山岩型铀矿;浙江新路盆地

通常观点认为火山岩型铀矿为低温热液、浅成再造成因,成矿作用主要与壳内热液作用相关;同时基于火山岩型铀矿床与富铀酸性火山岩在空间上的良好对应关系,认为两者是一种"热液蚀变导致围岩中铀活化迁移,并在适合的部位富集成矿"的"就地取材"式成矿物源关系(Dahlkamp,1993;杜乐天,2001;Aliouka et al.,2001,2003)。然而上述观点难以解释以下地质事实:具有类似地球化学组成和成因特征的火山岩带或同一火山构造单元内,铀矿床仅在某些特定构造部位发育,而且表现出与晚期岩浆产物更密切的空间关系(范洪海等,2005;黄净白等,2005);几乎所有的火山岩型铀矿与赋矿围岩之间均存在较大矿岩时差,铀成矿时代接近或滞后于火山构造单元内发育的辉绿岩成岩年龄;蚀变场岩石较正常未蚀变岩石的铀含量,通常是不降反升(黄志章等,1999;黄净白等,2005);铀矿石通常伴生大量具有幔源性质的萤石、方解石和富磷矿物等,地球化学数据显示火山岩型铀成矿作用实际上与幔源物质参与密切相关(杜乐天,2001;黄世杰,2006;李子颖,2006;姜耀辉等,2004;陈肇博等,1982;毛景文等,2004;华仁民等,1999;胡瑞忠等,2004;王正其等,2007,2010a;Hu R Z et al.,2009;Jiang Y H et al.,2006;Pirajno,2000)。显然,铀成矿作用"相对独立于"酸性火山岩的成岩作用。众多学者业已认识到大陆岩石圈动力学及其演化过程对花岗质岩浆活动与内生金属成矿作用具有重要的制约作用(许志琴等,2008;王登红等,2008;翟裕生,2004;陶奎元等,1999),并将研究视角聚焦于深部壳幔作用过程与特点。那么,火山岩型铀矿与富铀火山岩体之间的空间对应关系,到底是一种"就地取材"式的成岩成矿关系,还是岩浆作用深部过程与铀成矿作用的耦合结果?诱发火山岩型铀成矿发生的动力学机制是什么?该问题的探讨对热液型铀成矿理论研究与创新具有重要价值。

1 成矿地质背景

位于浙江西部的新路盆地是赣杭火山岩型铀成矿带中的重要成矿单元之一,是一个中生代中晚期

注:本文为国家自然科学基金(批准号:41040019)资助的成果。

收稿日期:2011-08-24;改回日期:2012-02-03;责任编辑:黄敏。

作者简介:王正其,男,1964生。教授,研究方向为岩石成因与铀成矿作用。联系电话:0794-8258309。Email:zhqwang@ecit.cn。

地质学报 http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

发育形成的火山断陷盆地；位于江山-绍兴断裂带的北西侧，大地构造位置归属扬子地块（杜乐天，2001；黄净白等，2005；李兆鼐等，2003）。盆地呈北东向椭圆形，受球川-萧山深断裂与常山-漓渚大断裂所夹持的寿昌-梅城火山喷发带控制（毛孟才，2006；汤其韬，2000）；基底为南华系—下古生界的浅海、滨海相浅变质碎屑岩建造、含碳硅质岩建造和碳酸盐建造；盖层由下白垩统劳村组（K_1l）、黄尖组（K_1h）和寿昌组（K_1sh）组成；此外，尚发育形态不规则的花岗斑岩和少量的辉绿岩脉等（图 1）。其中，劳村组主要由一套暗紫色陆相碎屑岩夹不稳定的流纹质凝灰岩、流纹岩组成；黄尖组主要由一套流纹质晶屑玻屑熔结凝灰岩构成；寿昌组主要为一套杂色砂岩、页岩，上部夹有厚度不稳定的酸性火山岩。区内断裂构造发育，以北东向的双桥断裂和白鹤岩断裂为主，纵贯全区、规模大、活动历史长；其次是北西向断裂，规模相对较小。

前人同位素年代学研究结果显示，新路盆地劳村组火山岩年龄介于 128.8～135 Ma 之间（5 个，平均 131.6 Ma），黄尖组火山岩年龄范围为 126～129 Ma（6 个，平均 127 Ma）（浙江省地质调查院，2005❷；陈小明等，1999）；王正其（2010b）对区内花岗斑岩和辉绿岩分别开展了单颗粒锆石 U-Pb 法和全岩 Ar-Ar 法年龄测试工作，结果分别为 125±2 Ma 和 93±3 Ma。依据杨梅湾花岗岩的穿切关系，本文确认其成岩时代要晚于黄尖组，早于花岗斑岩。据此大致可确立新路盆地岩浆作用演化序列：大约从 135 Ma±开始大规模酸性火山喷发，先后经历了早白垩世火山作用（包括劳村期、黄尖期、寿昌期等），杨梅湾花岗岩、花岗斑岩侵入；辉绿岩脉侵入标志着区内岩浆活动基本结束（93 Ma±），岩浆活动大约持续了近 40 Ma 左右，形成了一套流纹质火山

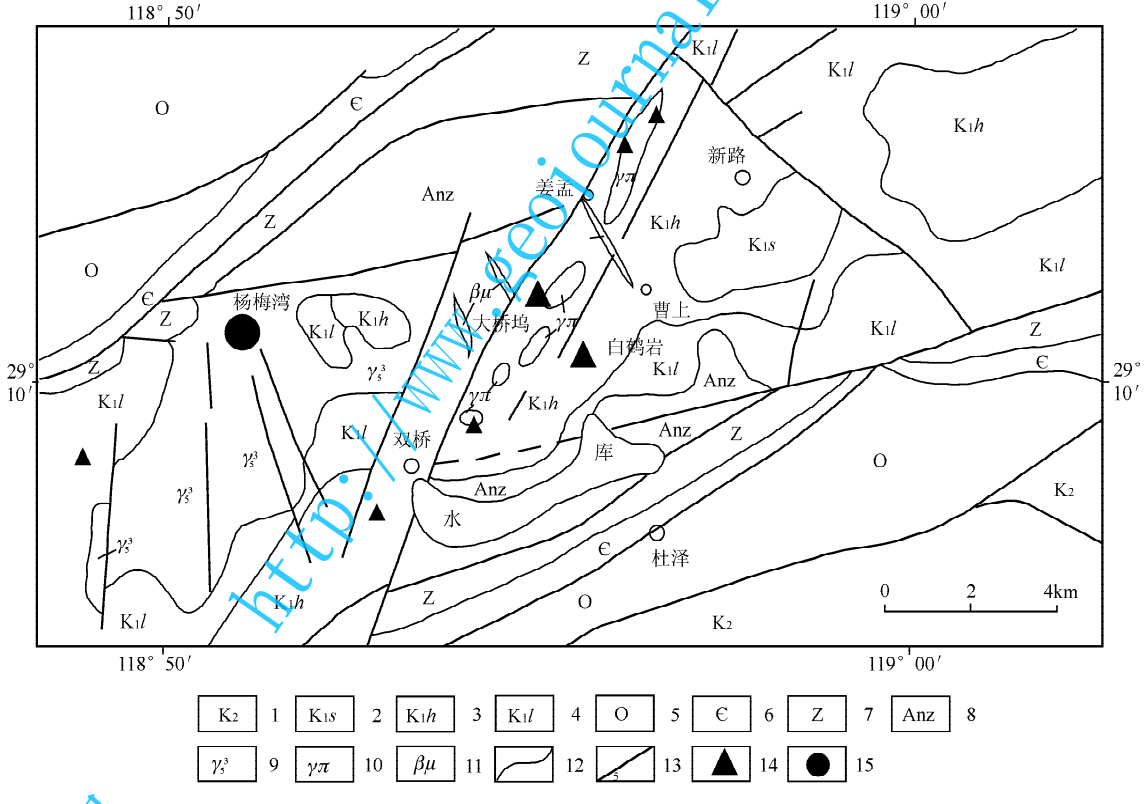

图 1 浙西新路盆地地质图（据浙江省核工业 269 大队❶，2008，有修改）

Fig. 1 Geological map of Xinlu Basin in western Zhejiang Province (modified after Geological Party No. 269, Nuclear Industry of Zhejiang Province❶, 2008)

1—上白垩统；2—寿昌组；3—黄尖组；4—劳村组；5—奥陶系；6—寒武系；7—震旦系；8—南华系；9—燕山晚期；10—花岗斑岩；11—辉绿岩；12—地层界线；13—断裂构造；14—火山岩型铀矿床；15—花岗岩型铀矿床

1—Upper Cretaceous; 2—Shouchang Formation; 3—Huangjian Formation; 4—Laocun Formation; 5—Ordovician; 6—Cambrian; 7—Sinian System; 8—Nanhua System; 9—granite; 10—granophyre; 11—diabase; 12—geological boundary; 13—fault; 14—volcanic-type uranium deposit; 15—granite-type uranium deposit

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx
地质学报

岩-花岗岩、花岗斑岩-辉绿岩岩石组合。

新路盆地已探明若干个热液型铀矿床,大桥坞矿床是其中最重要的矿床之一,成矿特征具有代表性。铀矿体以脉状或透镜状充填于北西向断裂构造中;依据颜色和矿物组合特征,可分为红化型和紫黑色萤石型两种矿石类型;铀矿物主要为沥青铀矿、铀石和钛铀矿,与黄铁矿、钛铁矿、方铅矿、金红石等密切共生,或以浸染状散布于赋矿围岩微裂隙中,或以铀矿物+萤石+黄铁矿为主要成分的独立脉体形式存在;赋矿围岩为黄尖组(K_1h)流纹质晶屑熔结凝灰岩和花岗斑岩,围岩蚀变主要为水云母化、红化(赤铁矿化)、萤石化、黄铁矿化和碳酸盐化等。通常在赋矿断裂构造界面或铀矿体附近围岩蚀变强度最大,往两侧逐渐减弱,直至过渡为正常岩石。铀矿石通常具有角砾状、碎裂状或网脉状构造,角砾之间往往可以相互拼贴,说明铀成矿作用与隐爆作用及由此形成的隐爆角砾岩密切相关。研究表明,大桥坞铀成矿年龄约 75 Ma(杜乐天,2001;黄净白等,2005;汤其韬,2000;杨建明等,2003),成矿作用发生于晚白垩世,与赋矿围岩之间存在较大的时差。

2　研究方法、样品采集与分析测试

本文将新路盆地岩浆作用在不同阶段形成的代表性产物(黄尖组熔结凝灰岩、杨梅湾花岗岩、花岗斑岩、辉绿岩)为研究对象,同时将铀成矿作用与岩浆作用过程联系起来,以时间为主线,从主量元素、微量元素、Sr-Nd 同位素地球化学演化轨迹入手,反演并探讨新路盆地岩浆作用的深部动力学过程及其对铀成矿的制约作用。

在大桥坞矿区及外围分别采集黄尖组熔结凝灰岩、杨梅湾花岗岩、花岗斑岩、辉绿岩等单元新鲜未风化岩石样品,根据显微鉴定确证未明显遭受后期热液蚀变的样品选取为岩石地球化学待测样品。在大桥坞矿床勘查钻孔矿芯中采集紫黑色萤石型铀矿石,用捣钵将其粉碎至 60 目,过筛和酒精淘洗后,在双目镜下分离成矿期脉石矿物——萤石,将挑纯后的萤石单矿物作为成矿流体 Sr、Nd 同位素待测样品。

将待测样品粉碎至 200 目后,送由核工业北京地质研究院分析测试中心完成相应的测试工作。其中主量元素和微量元素分析方法分别采用 X 荧光光谱法(XRF)和 ICP-MS 法,测试精度优于 5%。同位素分析仪器为 ISOPROBE-T 热电离质谱仪,分析误差以 2σ 计。

3　岩浆作用过程地球化学演化轨迹

3.1　主量元素

表 1 为新路盆地系列岩浆岩主量元素分析结果。主量元素表现出以下演化特征。

SiO_2-AR 图解表明新路盆地不同阶段形成的岩浆岩均属碱性岩系列(图 2a)。在 SiO_2-K_2O 图解中(图 2b),黄尖组熔结凝灰岩和杨梅湾花岗岩投影点

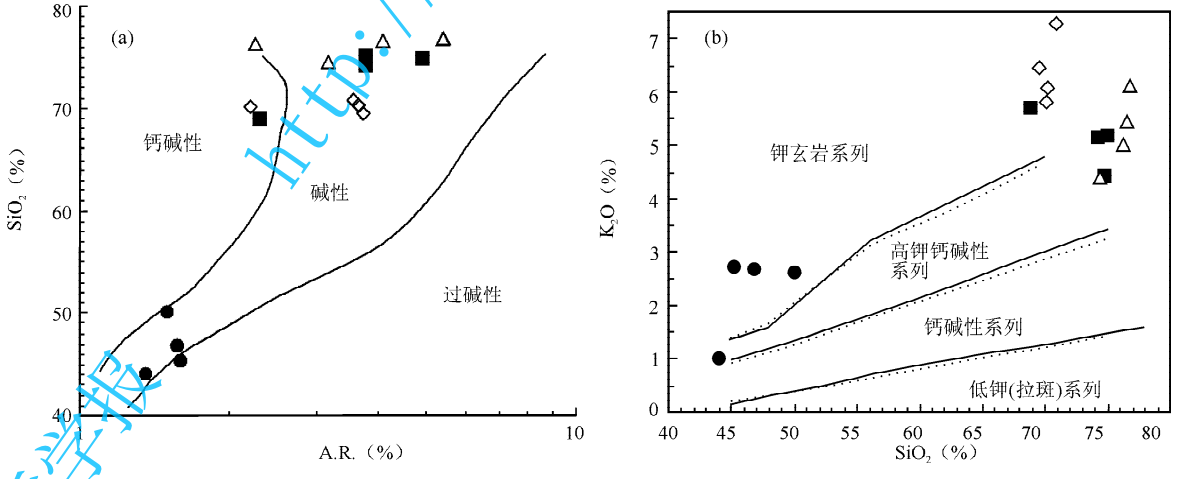

图 2　浙西新路盆地系列岩浆岩 SiO_2-AR(a)和 SiO_2-K_2O(b)图解;三角形、方块、菱形、圆形分别代表黄尖组凝灰岩、杨梅湾花岗岩、花岗斑岩和辉绿岩

Fig. 2　Diagram of SiO_2-AR(a) and SiO_2- K_2O(b) of series magmatic rocks in Xinlu Basin, western Zhejiang Province; triangle、square、diamond and circular corresponding to tuff of Huangjian Formation, Yangmeiwan granite, granophyre, diabase

地质学报 http://www.geoiournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

表 1 浙西新路盆地系列岩浆岩主量元素分析结果(%)

Table 1 Major-elements chemical composition (%) of series magmatic rocks in Xinlu Basin, western Zhejiang Province

单元	样品号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOI	总量
黄尖组熔结凝灰岩	DQW-09	76.28	0.11	11.83	0.97	1.15	0.04	0.09	0.62	2.41	5.01	0.02	1.44	99.97
	DQW-45	76.56	0.10	12.08	0.97	1.10	0.03	0.10	0.26	2.05	5.45	0.02	1.23	99.95
	DQW-49	76.83	0.09	11.42	0.86	0.80	0.03	<0.01	0.56	2.12	6.11	0.02	1.1	99.94
	YM-08	74.57	0.12	12.86	1.49	0.70	0.02	0.25	0.66	3.52	4.46	0.03	1.25	99.93
杨梅湾花岗岩	DQW-48	68.90	0.34	14.59	1.32	2.35	0.06	0.34	1.18	3.13	5.68	0.09	1.95	99.93
	YM-02	74.24	0.13	13.07	0.59	1.45	0.04	0.08	0.56	3.97	5.13	0.03	0.65	99.95
	YM-03	75.01	0.08	12.59	0.39	1.60	0.04	<0.01	0.70	3.87	5.15	0.02	0.33	99.77
	YM-10	74.76	0.07	12.78	0.76	0.75	0.03	0.07	0.90	4.64	4.42	0.02	0.75	99.95
花岗斑岩	DQW-04	69.52	0.28	14.46	1.42	1.85	0.05	0.33	1.15	2.57	6.44	0.07	1.78	99.92
	DQW-16	70.09	0.22	12.68	0.89	1.90	0.06	0.16	1.28	2.63	5.81	0.05	4.17	99.95
	DQW-17	70.85	0.24	13.50	1.03	1.70	0.10	0.22	0.98	0.83	7.30	0.06	3.08	99.89
	DQW-22	70.29	0.27	13.86	1.18	2.65	0.05	0.11	1.06	2.42	6.10	0.06	1.9	99.95
辉绿岩	DQW-12	45.28	1.26	13.73	5.08	5.65	0.19	6.20	7.39	2.44	2.70	0.44	9.04	99.40
	DQW-41	50.09	1.33	15.72	4.35	5.50	0.11	5.86	6.61	2.22	2.61	0.55	4.93	99.88
	DQW-42	44.00	0.84	13.83	4.56	4.60	0.16	8.56	11.43	2.84	1.00	0.29	7.46	99.57
	DQW-43	46.76	1.15	16.89	4.23	5.25	0.15	5.13	7.31	2.80	2.67	0.33	6.92	99.59

落在高钾钙碱性系列区和钾玄质区的过渡位置,花岗斑岩全部投影在钾玄质系列区,最晚形成的辉绿岩则符合钾玄岩特征(王正其,2010b)。这表明新路盆地岩浆作用早期形成高钾钙碱性系列岩石(黄尖组),其后发育钾玄质系列花岗岩和花岗斑岩,最后为源区深度更大的钾玄岩(辉绿岩)侵入,形成了一套高钾钙碱性-钾玄质-钾玄岩岩石系列,暗示辉绿岩与共生的酸性岩浆岩系列具有成因联系。

早期岩浆作用产物黄尖组熔结凝灰岩 SiO_2 含量最高,平均为 76.06%(74.57%~76.83%);其后形成的杨梅湾花岗岩 SiO_2 含量平均为 73.23%(68.90%~75.01%),花岗斑岩 SiO_2 含量平均为 70.19%(69.52%~70.85%);晚期辉绿岩 SiO_2 含量均值为 46.53%(44.0%~50.09%)。说明新路盆地岩浆作用演化形成的系列产物中,SiO_2 含量依次递降,早期以超酸性为特点,其后酸性程度依次递降,晚期则以基性岩侵入为特征。

黄尖组熔结凝灰岩、杨梅湾花岗岩和花岗斑岩的总碱均值分别为 7.78%(7.42%~8.23%)、8.99%(8.81%~9.06%)、8.53%(8.13%~9.01%);K_2O/Na_2O 比值分别为 2.10(0.79~2.88)、1.35(0.95~1.81)、4.01(2.21~8.80)。上述 3 个单元 Na_2O 含量分别为 0.87%~3.52%、3.13%~4.64%、0.83%~2.63%,变化趋势不明显,说明新路盆地酸性岩浆岩系列总碱及 K_2O/Na_2O 比值依次随时间递增,岩浆作用进程伴随着 K 质组分比例的明显递增。

Harker 图解显示(图 3),新路盆地不同岩浆岩单元投影点有各自的分布范围,由早期超酸性至晚期基性单元,Al_2O_3、CaO、FeO、MgO、P_2O_5、TiO_2 等氧化物含量表现出"跳跃性"递增趋势,而且不同单元投影区基本落在一条趋势线上,较晚期单元投影区总是落在辉绿岩与较早期单元投影区之间,酸性系列岩浆岩氧化物含量随时间演化一致趋向辉绿岩。分析认为,岩浆分异作用不会导致这种"跳跃性"并趋向辉绿岩的演变趋势,暗示新路盆地岩浆作用具有壳幔混合作用特点,幔源物质对酸性岩浆岩的形成与演化起着重要的制约作用。

3.2 微量元素

表 2 为新路盆地系列岩浆岩微量元素分析结果。

研究显示:黄尖组熔结凝灰岩、杨梅湾花岗岩和花岗斑岩的稀土元素配分曲线和微量元素蛛网图型式表现出相似性(图略),暗示 3 者具有相似的成因特征。但相互间存在以下变化特点:从早期至晚期单元,δEu 依次为 0.07、0.19、0.36;La_N/Yb_N 依次为 3.96、6.92、19.40;$\Sigma LREE/\Sigma HREE$ 依次为 4.31、6.58、14.98,$\Sigma LREE$ 依次为 169.28、200.33、394.81,与之相反,$\Sigma HREE$ 则表现出略有下降。源自岩石圈地幔的辉绿岩属轻稀土富集型,Eu 未亏损,说明新路盆地岩浆作用进程具有 $\Sigma LREE$ 和 δEu 值同步递增、HREE 略微递降的地球化学演化趋势。

稀土元素特征值表现出 3 种趋势分布特点(图 4):其一是以 δEu-SiO_2 为代表的中稀土元素演化图解,系列岩浆岩投影区表现出线性递增趋势;其二是

地质学报 http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

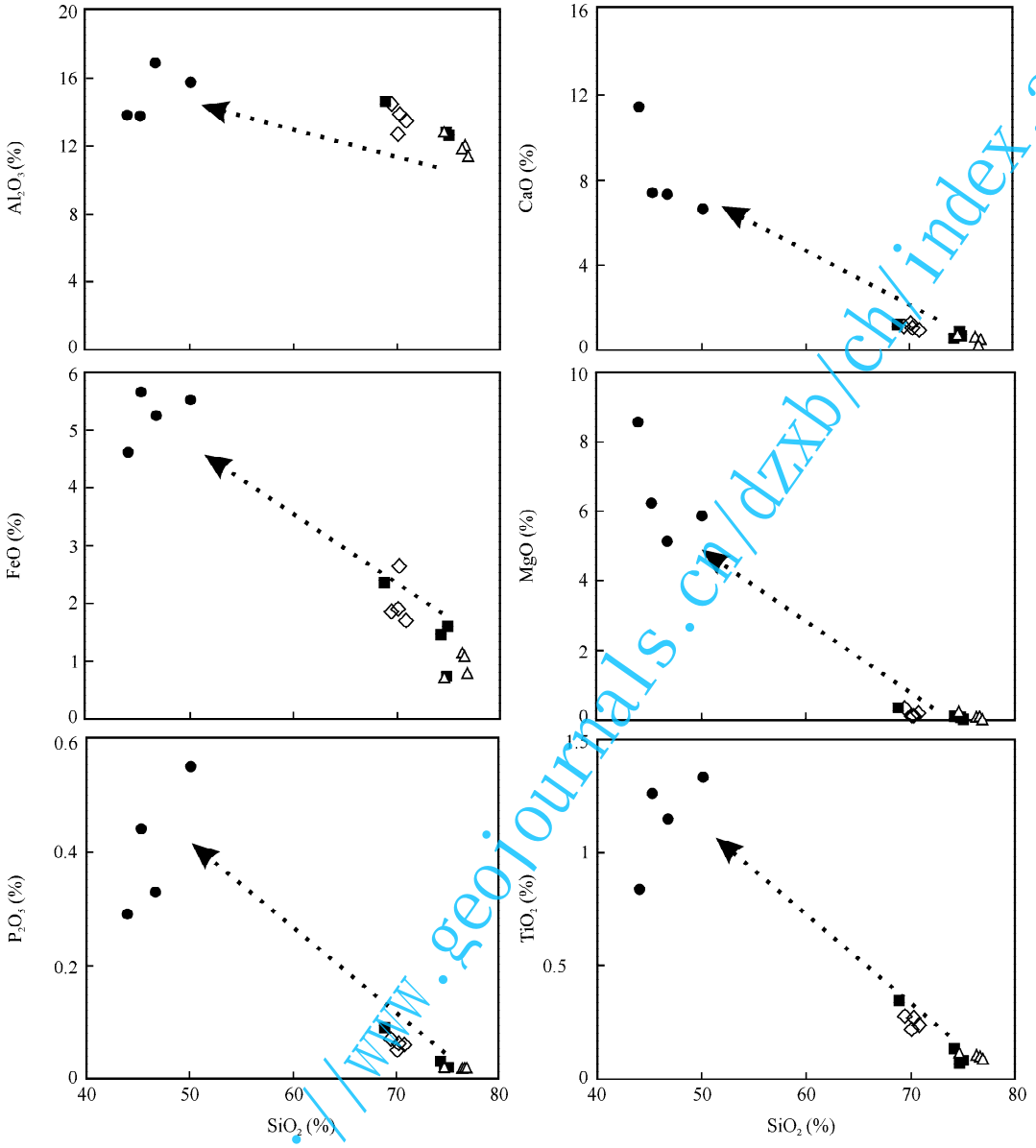

图 3　浙西新路盆地系列岩浆岩 Harker 图解;箭头表示随时间演化趋势,投影点图形含义同图 2

Fig. 3　Harker diagram of series magmatic rocks in Xinlu Basin, western Zhejiang Province; arrow represents major-elements change trend, the meanings of projection points is the same with fig. 2

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

ΣHREE-SiO_2 图解,不同单元投影区构成一条较为平坦的递降趋势线;其三是以 ΣLREE-SiO_2 为代表的投影图(包括 La_N/Yb_N-SiO_2 图解等),晚期花岗斑岩特征值明显升高,辉绿岩投影区相对独立,与酸性岩浆岩之间不构成一条趋势线。

显然,结晶分异作用或仅用部分熔融作用观点均不好解释上述特征值趋势变化特征。分析认为,上述稀土元素地球化学演化特征是轻稀土、中稀土和重稀土元素地球化学性质差异所致,反映了新路盆地岩浆作用成因的实质:由于重稀土元素相容性较好,中稀土元素次之,轻稀土元素则具强烈的不相容性,在以辉绿岩为代表的岩石圈地幔低程度部分熔融过程中,形成以富集轻稀土为主要特点,中稀土(如 Eu)含量中等,而重稀土元素相对亏损的高温熔融体。前两种投影趋势特征显示了壳源物质与幔源高温熔融体的混合特征,说明来自深部地幔物质的参与是酸性岩浆岩系列 δEu 随时间升高、而 HREE 相对下降的主要原因。部分熔融导致岩石圈地幔的熔融残留体(后期形成的辉绿岩)中轻稀土元素含量明显下降,是造成 ΣLREE-SiO_2 图解中辉绿岩以独立投影区分布、不表现出与酸性岩系列构成混合趋势"假象"的原因所在。

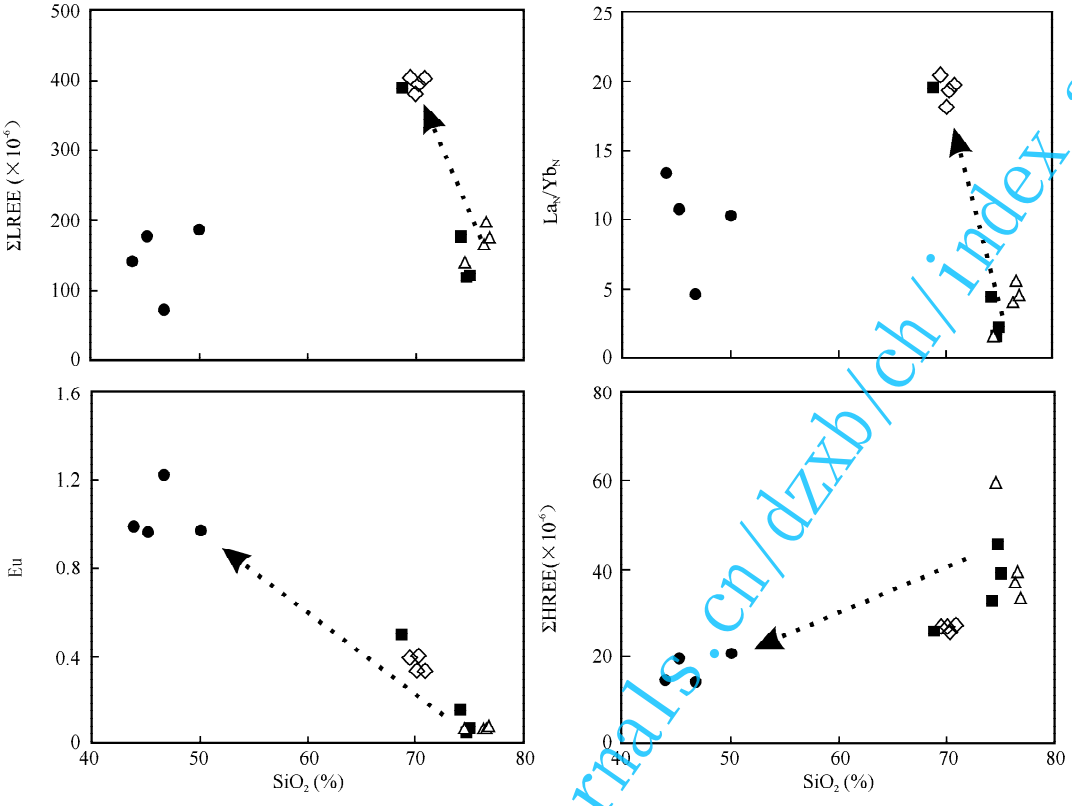

图 4 浙西新路盆地岩浆作用过程稀土元素地球化学演化趋势;箭头表示随时间演化趋势,投影点图形含义同图 2

Fig. 4 REE geochemical trend in process of magmatic evolution in Xinlu Basin, western Zhejiang Province; arrow represents REE geochemical trend, the meanings of projection points is the same with fig. 2

地球化学理论表明,在岩浆结晶分异作用中,Sr 趋向于早期阶段岩浆中富集,晚期阶段形成的岩浆中 Sr 含量会逐渐降低;Nb、Ta 元素趋向于在晚期岩浆中富集;过渡元素 Ni、Cr 元素为相容元素,在岩浆分异早期能较快地从熔体中析出,使得晚期阶段比早期阶段形成的岩浆岩更富集 Ni、Cr 等元素(赵振华,1997)。图 5 显示,相对早期单元而言,晚期岩浆岩中以 Sr 为代表的大离子亲石元素含量明显增加,Nb、Ta 等高场强元素含量递减,Cr、Ni 等过渡元素含量变化则不明显。显然,上述元素含量变化趋势与结晶分异过程相应元素的地球化学行为不符,据此也可排除新路盆地岩浆演化过程受结晶分异作用制约的可能性,而与前述得出的岩浆作用具有壳幔物质混合特点的认识相一致。

Nb、Ta、Zr、Hf 等元素具有相似的地球化学性质,在岩浆作用过程中,Nb/Ta、Zr/Nb、Zr/Hf 和 Ta/Hf 等元素比值通常不会发生明显变化,因而上述元素比值可以较好的示踪并反演岩浆作用过程(赵振华,1997;陈骏等,2004)。图 5 显示,新路盆地系列岩浆岩微量元素比值变化表现出趋势性,且晚期单元投影区总是位于早期黄尖组熔结凝灰岩和辉绿岩之间,显示并进一步论证了新路盆地岩浆演化过程的壳幔物质混合作用特点。

3.3 Sr-Nd 同位素

表 3 给出了样品 Sr-Nd 分析结果及基于新路盆地火山岩型铀成矿年龄(75 Ma)的 Isr、△Sr 和 $(^{143}Nd/^{144}Nd)i$、$\varepsilon_{Nd}(t)$计算结果。

黄尖组熔结凝灰岩$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值和 $\varepsilon_{Sr}(t)$均值分别为 0.73203、392.0,$(^{143}Nd/^{144}Nd)i$ 和 $\varepsilon_{Nd}(t)$值分别为 0.512213、−6.4;花岗斑岩$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值和 $\varepsilon_{Sr}(t)$均值分别为 0.72044、227.5,$(^{143}Nd/^{144}Nd)i$ 和 $\varepsilon_{Nd}(t)$值为 0.512207、−6.5;辉绿岩$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值和 $\varepsilon_{Sr}(t)$值分别为 0.70779、48.0,$(^{143}Nd/^{144}Nd)i$ 和 $\varepsilon_{Nd}(t)$值为 0.512405、−2.7。这说明新路盆地岩浆作用演化过程中,$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值和 $\varepsilon_{Sr}(t)$值明显依次递降,酸性岩浆岩系列的 Sr 同位素组成随演化进程逐渐趋近于辉绿岩,暗示幔源物质参与对新路盆地岩浆作用演化具有重要贡献。与黄尖组熔结凝灰岩比较,花岗斑岩的 $(^{143}Nd/^{144}Nd)i$ 和 $\varepsilon_{Nd}(t)$值变化虽然不明显,但总体呈现略有升高的趋势,同样喻示了岩浆作用过程存在幔源物质的参与。

地质学报 http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

表 2　浙西新路盆地系列岩浆岩微量元素分析结果($\times10^{-6}$)

Table 2　Trace element data ($\times10^{-6}$) of series magmatic rocks in Xinlu Basin, western Zhejiang Province

单元	样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
黄尖组熔结凝灰岩	DQW-09	34.8	70.8	9.97	39.9	9.94	0.22	8.85	1.60	10.2	2.10	6.10	0.930	5.81	0.899	60.6
	DQW-45	48.9	67.6	14.0	54.0	12.5	0.29	10.7	1.82	10.5	2.05	6.16	0.890	5.91	0.885	57.3
	DQW-49	36.5	76.1	10.4	42.3	9.54	0.23	8.15	1.50	9.15	1.89	5.45	0.805	5.44	0.781	52.0
	YM-08	28.5	57.3	8.38	34.5	10.2	0.24	10.8	2.41	16.6	3.49	11.3	1.63	10.6	1.75	106
均值		37.2	67.9	10.69	42.7	10.55	0.25	9.63	1.83	11.61	2.38	7.25	1.06	7.19	1.08	68.9
杨梅湾花岗岩	DQW-48	102	180	20.5	73.4	10.6	1.57	8.39	1.18	6.41	1.28	3.69	0.537	3.53	0.544	34.3
	YM-02	40.2	80.1	9.87	36.8	7.61	0.36	7.01	1.33	8.63	1.90	5.49	0.936	6.20	0.945	56.1
	YM-03	25.1	52.2	7.13	27.9	7.10	0.18	7.39	1.48	10.1	2.26	7.05	1.12	7.88	1.22	69.7
	YM-10	22.7	52.2	7.01	28.2	8.45	0.15	8.06	1.68	12.1	2.60	8.48	1.35	9.47	1.50	80.2
均值		47.5	91.1	11.13	41.6	8.44	0.57	7.71	1.42	9.31	2.01	6.18	0.99	6.77	1.05	60.1
花岗斑岩	DQW-04	107	188	21.3	73.9	11.3	1.30	8.66	1.22	6.94	1.29	3.77	0.531	3.54	0.559	35.5
	DQW-16	99.1	179	20.2	69.7	11.1	1.11	8.61	1.22	6.73	1.31	3.77	0.558	3.69	0.530	35.7
	DQW-17	105	188	21.5	74.9	11.4	1.14	8.84	1.23	6.93	1.38	3.87	0.551	3.60	0.550	36.1
	DQW-22	102	186	20.4	73.6	11.0	1.29	8.37	1.18	6.53	1.21	3.67	0.495	3.57	0.516	34.6
均值		103.3	185.3	20.85	73.0	11.20	1.21	8.62	1.21	6.78	1.30	3.77	0.53	3.60	0.54	35.5
辉绿岩	DQW-12	39.8	77.4	9.82	39.5	7.25	2.15	6.19	0.903	5.20	1.01	2.85	0.391	2.51	0.407	27.1
	DQW-41	43.0	81.8	10.4	40.7	7.46	2.27	6.63	0.884	5.16	1.06	2.98	0.404	2.83	0.423	27.1
	DQW-42	35.4	61.9	7.45	29.2	5.29	1.64	4.81	0.603	3.65	0.689	2.01	0.283	1.79	0.287	19.1
	DQW-43	14.8	29.4	4.26	18.6	3.88	1.55	3.79	0.577	3.64	0.795	2.19	0.332	2.20	0.350	19.2
均值		33.3	62.6	7.98	32.0	5.97	1.90	5.36	0.74	4.41	0.89	2.51	0.35	2.33	0.37	23.1
岩性	样品号	Sr	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	Zr	Hf	Cr	ΣREE	LREE	HREE	L/H	La_N/Yb_N	δEu
黄尖组熔结凝灰岩	DQW-09	7.3	57.7	101	22.0	2.10	21.5	149	7.94	110	202.11	165.63	36.49	4.54	4.05	0.07
	DQW-45	14.4	234	91.8	21.0	1.97	21.5	148	7.59	159	236.21	197.29	38.92	5.07	5.59	0.07
	DQW-49	17.9	235	81.6	21.9	1.98	19.8	148	7.72	86	208.23	175.07	33.17	5.28	4.53	0.08
	YM-08	32.9	251	115	32.7	4.60	40.6	182	10.5	56.9	198.70	139.12	59.58	2.34	1.66	0.07
均值		18.3	194.4	97.4	24.4	2.66	25.9	157	8.44	103	211.31	169.28	42.04	4.31	3.96	0.07
杨梅湾花岗岩	DQW-48	86.3	141	959	15.6	1.22	18.6	205	7.98	113	413.63	388.07	25.56	15.18	19.53	0.49
	YM-02	37.2	292	145	26.8	3.25	28.4	164	8.71	51.1	207.38	174.94	32.44	5.39	4.38	0.15
	YM-03	13.6	292	46.1	25.6	3.97	35.5	154	10.3	155	158.11	119.61	38.50	3.11	2.15	0.07
	YM-10	21.4	275	55.8	39.1	5.26	43.5	194	12.8	51.9	163.95	118.71	45.24	2.62	1.62	0.05
均值		39.6	250.0	301.5	26.8	3.43	31.5	179	9.95	93	235.77	200.33	35.44	6.58	6.92	0.19
花岗斑岩	DQW-04	52.1	176	611	16.8	1.33	18.0	191	7.51	121	429.31	402.80	26.51	15.19	20.43	0.39
	DQW-16	52.6	153	582	16.9	1.46	16.5	229	8.39	77.4	406.63	380.21	26.42	14.39	18.15	0.33
	DQW-17	30.6	255	494	16.6	1.37	17.5	228	8.46	34.7	428.89	401.94	26.95	14.91	19.71	0.33
	DQW-22	63.2	174	638	16.9	1.26	17.9	210	8.14	334	419.83	394.29	25.54	15.44	19.31	0.40
均值		49.6	189.5	581.3	16.8	1.36	17.5	215	8.13	142	421.17	394.81	26.36	14.98	19.40	0.36
辉绿岩	DQW-12	412	107	498	4.23	0.858	16.7	360	9.18	89.9	195.38	175.92	19.46	9.04	10.72	0.96
	DQW-41	468	75.4	683	4.91	0.905	18.0	393	10.2	116	206.00	185.63	20.37	9.11	10.27	0.97
	DQW-42	486	22	831	11.8	0.246	4.3	156	4.56	470	155.00	140.88	14.12	9.98	13.36	0.98
	DQW-43	305	89.6	488	2.08	0.455	6.4	138	4.50	168	86.36	72.49	13.87	5.22	4.55	1.22
均值		417.75	73.50	625.0	5.8	0.62	11.4	261.8	7.11	133	160.69	143.73	16.96	8.34	9.73	1.03

$^{87}Sr/^{86}Sr$-Sr 协变图解中(图 6a),黄尖组熔结凝灰岩、花岗斑岩和辉绿岩的投影点构成双曲线分布特征,而在 $^{87}Sr/^{86}Sr$-1/Sr 协变图解中(图 6b),上述各单元投影点则体现出良好的正相关关系,演化趋势呈现出随时间由黄尖组熔结凝灰岩依次向花岗斑岩、辉绿岩靠拢的特点。在 $\varepsilon_{Nd}(t)$-$\varepsilon_{Sr}(t)$ 图解(图 7a)和 $(^{143}Nd/^{144}Nd)i$-$(^{87}Sr/^{86}Sr)i$ 图解(图 7b)中,黄尖组熔结凝灰岩、花岗斑岩、辉绿岩的投影点有各自相对独立的投影区,且相互之间构成良好的随时间逐渐向辉绿岩靠拢的"双曲线型"混合演化趋势线。上述图解均印证新路盆地岩浆作用过程存在壳幔源区物质混合特征。

4　讨论

4.1　岩浆作用演化深部过程

新路盆地在中生代处于板内构造环境,系列岩浆岩是板内拉张构造环境下的产物。王正其(2010b)论证了新路盆地辉绿岩属钾玄岩,其岩石

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

表 3 浙西新路盆地岩浆岩与萤石 Sr-Nd 同位素组成及计算结果(t=75 Ma)

Table 3 Sr-Nd isotope compositions of series magmatic rocks and fluorite in Xinlu Basin, western Zhejiang Province (t=75 Ma)

性质	样品号	Rb ($\times10^{-6}$)	Sr ($\times10^{-6}$)	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	Isr	$\varepsilon_{Sr}(t)$	Sm ($\times10^{-6}$)	Nd ($\times10^{-6}$)	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$(^{143}Nd/^{144}Nd)i$	$\varepsilon_{Nd}(t)$
黄尖组	DQW-09	57.7	7.87	21.2091	0.752385	0.72979	360.2	6.93	36.0	0.1164	0.512251	0.512194	−6.8
	DQW-45	234	14.4	46.9222	0.798795	0.74880	630.2	9.59	52.3	0.1110	0.512281	0.512227	−6.1
	YM-08	251	32.9	22.1370	0.741075	0.71749	185.7	7.65	33.2	0.1392	0.512285	0.512217	−6.3
花岗斑岩	DQW-04	176	52.1	9.7523	0.726819	0.71643	170.6	8.54	72.0	0.0717	0.512258	0.512223	−6.2
	DQW-16	153	52.6	8.4364	0.724990	0.71600	164.5	8.39	69.0	0.0735	0.512215	0.512179	−7.1
	DQW-17	255	30.6	24.1881	0.754665	0.72889	347.5	8.54	70.0	0.0738	0.512256	0.512220	−6.3
辉绿岩	DQW-12	107	412	0.7504	0.709696	0.70890	63.7	5.48	38.0	0.0873	0.512390	0.512347	−3.8
	DQW-42	22	486	0.1309	0.707332	0.70719	39.5	3.78	26.5	0.0862	0.512490	0.512448	−1.8
	DQW-43	89.6	305	0.8495	0.708196	0.70729	40.9	3.00	17.8	0.1015	0.512470	0.512420	−2.4
萤石	DQW-14	12.5	38.8	0.9296	0.711988	0.71100	93.5	1.36	7.38	0.1117	0.512251	0.512196	−6.7
	DQW-51	18.3	44.7	1.1876	0.712948	0.71168	103.2	1.67	7.24	0.1398	0.512297	0.512228	−6.1

圈地幔源区性质具有富集型地幔特征。钾玄岩形成对应的地壳厚度应大于 40～67km(Meen,1987;邓晋福等,2004;莫宣学等,2007;张玉泉等,2000;夏斌等,2006),而现今新路地区地壳厚度约为 27～29km(熊绍柏等,2000),说明自早白垩世以来,新路地区存在强烈的地幔物质持续上涌及壳幔作用,岩石圈发生了大规模减薄作用。前述研究表明,新路盆地早期以高钾钙碱性、钾玄质酸性系列岩浆活动为特点,晚期则为来自岩石圈富集地幔的辉绿岩,发育了一套高钾钙碱性-钾玄质-钾玄岩岩石系列组合。岩浆作用过程形成的酸性岩浆岩系列中 SiO_2 含量依次降低,碱度和 K_2O/Na_2O 比值逐渐升高,氧化物含量表现为“跳跃性”演变并趋向辉绿岩;ΣLREE、δEu 值和 Sr 元素等含量显著动态升高,而ΣHREE、Nb、Ta 等高场强元素和 Cr、Ni 等过渡元素含量略有下降或变化不明显;微量元素特征比值图解显示酸性岩浆岩系列与辉绿岩间表现出趋势性变化特点,且晚期单元(如花岗斑岩)投影区总是位于早期黄尖组熔结凝灰岩和辉绿岩之间,体现了良好的壳幔源区物质混合特点;同时说明源自岩石圈富集地幔持续上涌的物质以富含轻稀土元素及 K、Sr 等大离子亲石元素,相对亏损重稀土元素、高场强元素和过渡元素为特征(本文称之为“轻物质流”)。Sr-Nd 同位素地球化学演化特征则明确表明新路盆地岩浆作用过程有地幔物质参与,进一步论证了岩浆作用壳幔源区的混合特征。结合 La/Sm-La 图解显示的不同单元岩浆岩投影点均表现为正线性分布特点(图 8),推断新路盆地岩浆作用过程不存在明显的结晶分异作用,成岩过程受平衡部分熔融作用和壳幔物质混合作用共同制约。

基于上述认识,可重塑新路盆地岩浆作用的深部过程如下:新路盆地发育的高钾钙碱性-钾玄质酸性岩浆岩系列,是壳幔作用机制下来自岩石圈地幔的高温“轻物质流”与壳源物质持续相互作用下的系列产物。以辉绿岩组成为特征的岩石圈地幔发生低程度部分熔融作用,释放并形成富含 LREE(包括 Eu 等中稀土元素)、大离子亲石元素(如 K、Sr 等),贫 HREE、高场强元素和过渡元素的高温“轻物质流”。高温“轻物质流”由于比重较轻而向上渗透、运移,并以“底侵”的形式聚集在下地壳与岩石圈地幔界面或其附近。由于高温“轻物质流”带来大量的热能,可导致下地壳增温至部分熔融所需的温度(大约 900～950℃),从而诱发下地壳物质发生部分熔融,并随之发生幔源高温“轻物质流”与壳源熔融物质间的混合作用。

幔源高温“轻物质流”作用的早期可能是以热传导作用为主,同位素物质交换相对较弱,部分熔融形成的岩浆岩(黄尖组熔结凝灰岩)大致继承了下地壳源区物质的微量元素与同位素组成特点。随着壳幔作用的持续进行,幔源“轻物质流”参与程度随时间提高,源区物质混合作用和同位素交换逐渐增强,使得晚期形成的岩浆岩(花岗斑岩)LREE 明显增加,Eu 亏损程度相对下降,同位素组成趋近于富集地幔的组成特征。上述壳幔作用过程为新路地区岩浆作用及其岩石圈大规模减薄提供了动力学机制。

4.2 岩浆作用与铀成矿关系

新路盆地岩浆活动集中于 135～93 Ma 之间(李兆鼐等,2003;陈小明等,1999;王正其,2010b),岩浆作用期对应于与富集地幔物质上涌相关的岩石圈减薄过程;而铀成矿年龄约 75 Ma(杜乐天,2001;黄净白等,2005;汤其韬,2000;杨建明等,2003),明显滞后于赋矿围岩火山岩和辉绿岩成岩时代,与岩

地质学报 http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

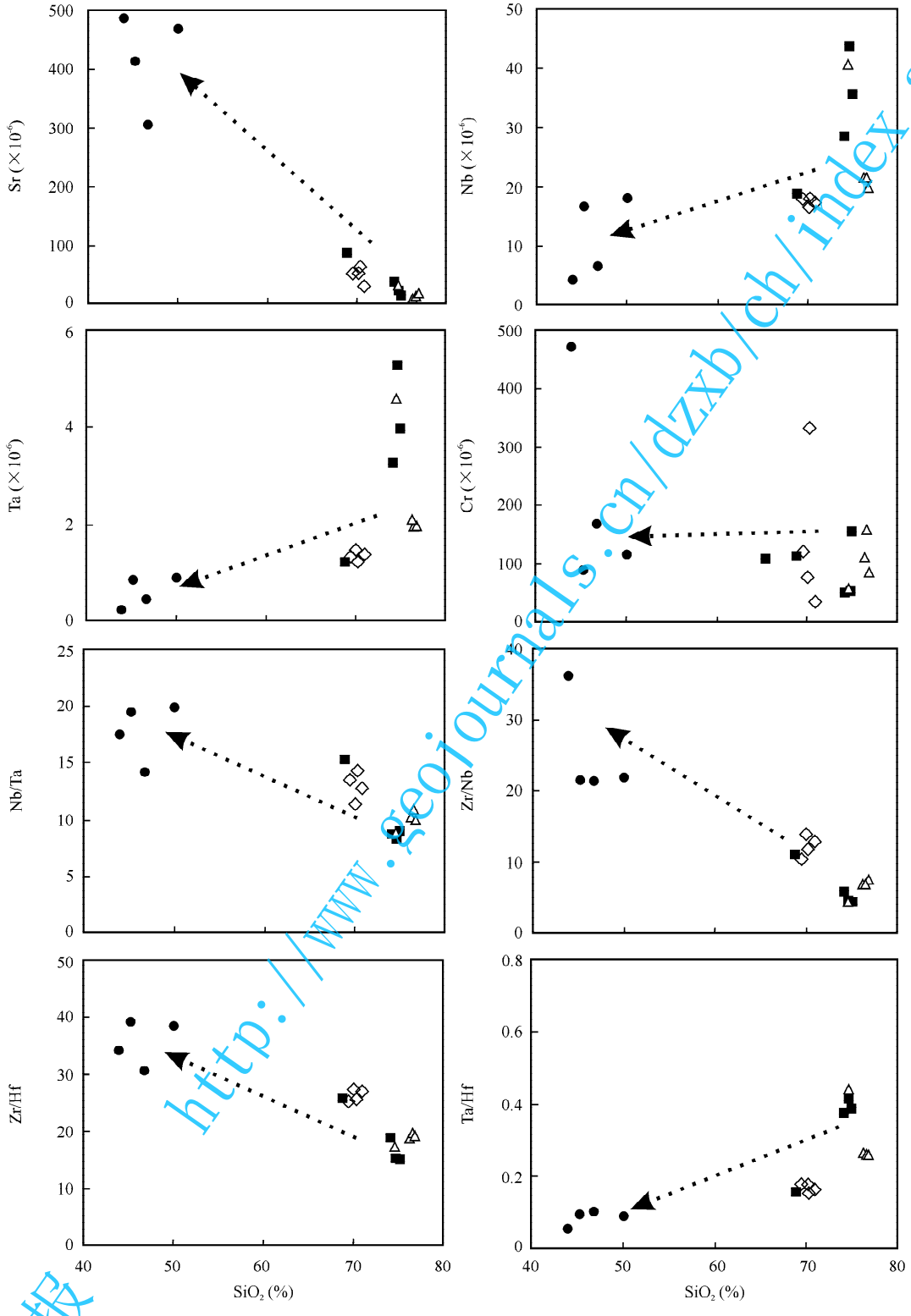

图 5　浙西新路盆地岩浆作用过程微量元素地球化学演化;箭头表示随时间演化趋势,投影点图形含义同图 2

Fig. 5　Trace-elements geochemical change trend in process of magmatic evolution in Xinlu Basin, western Zhejiang Province; arrow represents trace-elements change trend, the meanings of projection points is the same with fig. 2

石圈减薄作用末期大致相吻合。表 3 显示,两个来自大桥坞矿床铀矿石中脉石矿物——萤石的$^{87}Sr/^{86}Sr$初始值(平均 0.71134)和 $\varepsilon_{Sr}(t)$值(平均 98.4)明显小于黄尖组熔结凝灰岩(分别为 0.73203、392.0)和花岗斑岩(0.72044、227.5),接近于辉绿岩的$^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值和 $\varepsilon_{Sr}(t)$值(0.70779、48.0),暗

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx
地质学报

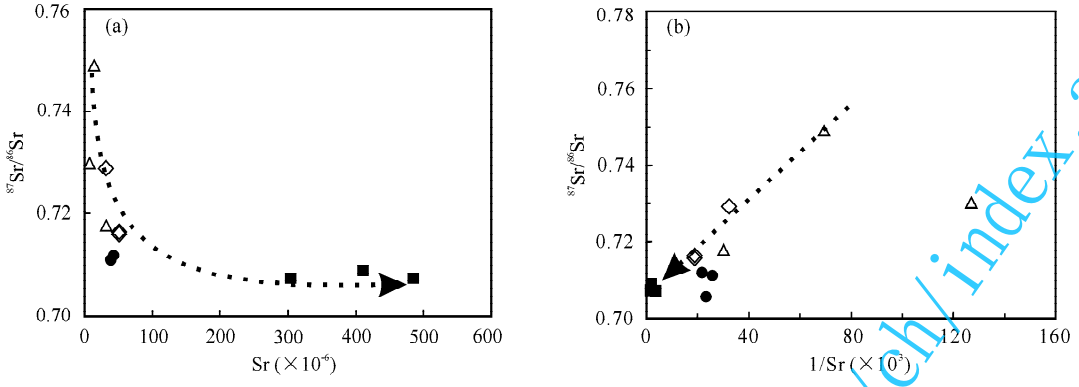

图 6 浙西新路盆地$^{87}Sr/^{86}Sr$-Sr(a)和$^{87}Sr/^{86}Sr$-1/Sr(b)图解;箭头表示 Sr 同位素随时间演化趋势;三角形、菱形、方块、圆形分别代表黄尖组凝灰岩、花岗斑岩、辉绿岩和萤石

Fig. 6 Diagram of $^{87}Sr/^{86}Sr$-Sr (a) and $^{87}Sr/^{86}Sr$-1/Sr (b) in Xinlu Basin, western Zhejiang Province; arrow represents Sr isotope change trend; triangle、diamond、square and circular mean to tuff of Huangjian Formation, granophyre, diabase and fluorite

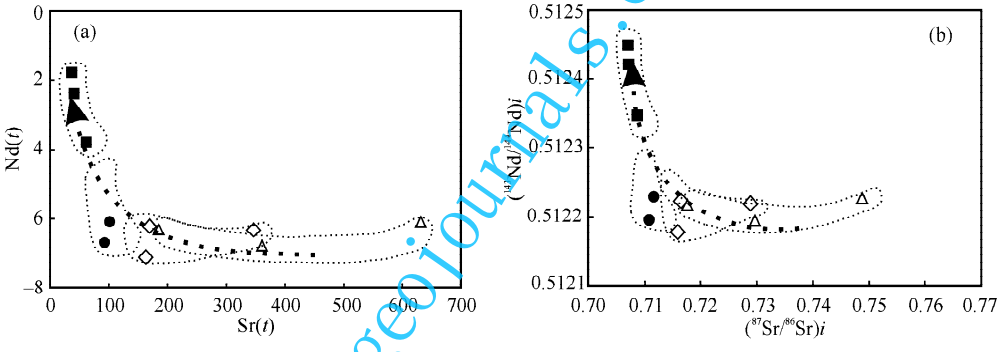

图 7 浙西新路盆地 Sr-Nd 同位素演化轨迹;箭头表示 Sr-Nd 同位素随时间演化趋势,投影点图形含义同图 6

Fig. 7 Evolution trend of Sr-Nd isotope in Xinlu Basin, western Zhejiang Province; arrow represents Sr-Nd isotope change trend; the meanings of projection points is the same with fig. 6

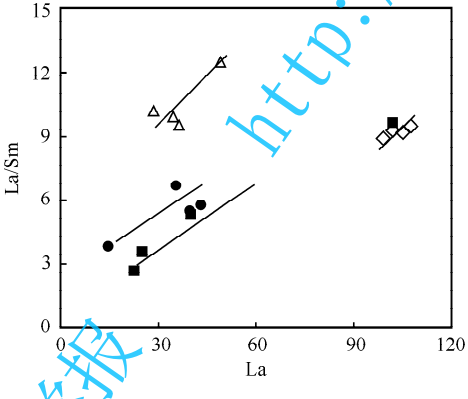

图 8 浙西新路盆地不同单元岩浆岩 La/Sm-La 图解;投影点图形含义同图 2

Fig. 8 Diagram of La/Sm-La for units magma in Xinlu Basin, western Zhejiang Province; the meanings of projection points is the same with fig. 2

示来自岩石圈富集地幔源区物质对成矿流体形成有重要贡献;萤石的$(^{143}Nd/^{144}Nd)i$值和$\varepsilon_{Nd}(t)$值分别为 0.512212、−6.4,值域与黄尖组熔结凝灰岩和花岗斑岩的$(^{143}Nd/^{144}Nd)i$值和$\varepsilon_{Nd}(t)$值大致接近或略高,略有向辉绿岩趋近的趋势,说明成矿流体 Nd 主要继承了酸性岩浆岩系列源岩的特征。$^{87}Sr/^{86}Sr$-Sr 和$^{87}Sr/^{86}Sr$-1/Sr 协变图解中(图 6),代表成矿流体同位素组成的萤石投影点均位于新路盆地岩浆作用过程 Sr 同位素演化趋势线上,且萤石投影点位于花岗斑岩与辉绿岩投影区之间,即演化趋势呈现出随时间由黄尖组熔结凝灰岩依次逐渐向花岗斑岩、萤石转变,并向辉绿岩靠拢的特征。$\varepsilon_{Nd}(t)$-$\varepsilon_{Sr}(t)$图解和$(^{143}Nd/^{144}Nd)i$-$(^{87}Sr/^{86}Sr)i$图解(图 7)一致表明,萤石投影区落在由黄尖组熔结凝灰岩与辉绿岩两个端元构成的 Sr、Nd 同位素演化趋势线上,较花岗斑岩更接近于辉绿岩投影区。由此推断,大桥坞

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx 地质学报

矿床铀成矿流体具有深部富集地幔源区物质与酸性系列岩浆源区物质的混合特征,其成因机制与新路盆地岩浆作用深部过程密切相关,是壳幔作用源区演化的产物,幔源高温"轻物质流"持续上升及其壳幔作用源区对铀成矿起着重要的制约作用。

5　结论

新路盆地岩浆作用过程受平衡部分熔融和壳幔源区混合作用共同制约,大桥坞铀矿床成矿流体具有壳幔源区物质混合的特征;酸性系列岩浆岩与火山岩型铀矿两者在空间上的叠置,是壳幔作用机制下系列产物的耦合。来自岩石圈富集地幔的高温"轻物质流"持续上涌及由此诱发的壳幔作用,为新路盆地岩浆活动及其铀成矿作用提供了动力学机制;壳幔作用源区是铀成矿作用的动力源,也是成矿流体的发源地。

注　释

❶ 浙江省核工业 269 大队. 2008. 浙江省衢州市大桥坞地区铀矿普查项目报告,2～9.

❷ 浙江省地质调查院. 2005. 1∶25 万金华市幅区域地质调查报告,173～175.

参　考　文　献

陈骏,王鹤年. 2004. 地球化学. 北京:科学出版社,342～349.

陈小明,陆建军,刘昌实,赵连泽,王德滋,李惠民. 1999. 桐庐-相山火山-侵入杂岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄. 岩石学报,15(2):104～112.

陈肇博,谢佑新,万国量,季树藩,王灿林,方锡珩. 1982. 华东南中生代火山岩中的铀矿床. 地质学报. 3:235～242.

邓晋福,罗照华,苏尚国,莫宣学,于炳松,赖兴运,谌宏伟. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用. 北京:地质出版社,11～20,101.

杜乐天. 2001. 中国热液铀矿基本成矿规律和一般热液成矿学. 北京:原子能出版社,57～110,151～237.

范洪海,王德滋,沈渭洲,刘昌实,汪相,凌洪飞. 2005. 江西相山铀矿田成矿物质来源的 Nd、Sr、Pb 同位素证据. 地质论评,51(1):86～91.

胡瑞忠,毕献武,苏文超,彭建堂,李朝阳. 2004. 华南白垩—第三纪地壳拉张与铀成矿关系. 地学前缘,11(1):153～159.

华仁民,毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发. 矿床地质,18(4):300～308.

黄净白,黄世杰. 2005. 中国铀资源区域成矿特征. 铀矿地质,21(3):129～138.

黄世杰. 2006. 略谈深源铀成矿与深部找矿问题. 铀矿地质,22(2):70～75.

黄志章,李秀珍,蔡根庆. 1999. 热液铀矿床蚀变场及蚀变类型. 北京:原子能出版社,107,137～151.

姜耀辉,蒋少涌,凌洪飞. 2004. 地幔流体与铀成矿作用. 地学前缘,11(2):491～496.

李兆鼐,权恒,李之彤,毛建仁,李汉声,吴才来,郝艳丽,张招崇,王碧香,刘焰. 2003. 中国东部中、新生代火成岩及其深部过程. 北京:地质出版社,220～286.

李子颖. 2006. 华南热点铀成矿作用. 铀矿地质,22(2):65～69.

毛景文,李晓峰,张荣华,王义天,郝英,张作衡. 2004. 深部流体成矿系统. 北京:中国大地出版社,1～45,199～218.

毛孟才. 2006. 浙江衢州铀资源基地勘查工作重点、找矿方向和目标任务. 铀矿地质,22(6):351～355.

莫宣学,赵志丹,邓晋福,喻学惠,罗照华,董国臣. 2007. 青藏新生代钾质火山活动的时空迁移及向东部玄武岩省的过渡:壳幔深部物质流的暗示. 现代地质,21(3):255～264.

汤其韬. 2000. 浙江铀矿床主要地质特征及其成矿模式. 铀矿地质,16(2):91～98.

陶奎元,毛建仁,邢光福,杨祝良,赵宇. 1999. 中国东部燕山期火山-岩浆大爆发. 矿床地质,18(4):316～322.

王登红,许建祥,张家菁,李水如,许以明,曾在淋,陈郑辉. 2008. 华南深部找矿有关问题探讨. 地质学报,82(7):865～872.

王正其,李子颖. 2007. 幔源铀成矿作用探讨. 地质论评,53(5):608～614.

王正其. 2010a. 李子颖,吴烈勤,陈国胜. 幔源铀成矿作用的地球化学证据:以下庄小水"交点型"矿床为例. 铀矿地质,26(1):24～34.

王正其. 2010b. 新路盆地中生代岩浆作用与铀成矿. 北京:核工业北京地质研究院博士学位论文,19～22.

夏斌,林清茶,张玉泉. 2006. 青藏高原东部新生代钾质碱性系列岩石地球化学特征:岩石成因及其地质意义. 地质学报,80(8):1189～1195.

熊绍柏,刘宏兵. 2000. 浙皖地区地壳—上地幔结构和华南与扬子地块边界. 地球物理学进展,15(4):3～16.

许志琴,李廷栋,杨经绥,嵇少丞,王宗起,张泽明. 2008. 大陆动力学的过去、现在和未来:理论与应用. 岩石学报,24(7):1433～1444.

杨建明,熊韶峰. 2003. 浙赣若干火山岩型铀矿床成矿模式及找矿勘探方向. 铀矿地质,19(5):283～289.

翟裕生. 2004. 地球系统科学与成矿学研究. 地学前缘,11(1):1～10.

张玉泉,谢应雯,李献华,丘华宁,赵振华,梁华英,钟孙霖. 2000. 青藏高原东部钾玄岩系岩浆岩同位素特征:岩石成因及其构造意义. 中国科学(D 辑),30(5):493～497.

赵振华. 1997. 微量元素地球化学. 北京:科学出版社,163～165.

Aliouka C, Alexei P A, Michel C, Etienne D, Viatcheslav N G, Vasilii I V, Bernard P. 2001. Geochemistry of the rhyolitic magmas from the Streltsovka caldera (Transbaikalia, Russia): A melt inclusion study. Chemical Geology, 175: 273～290.

Aliouka C, Michel C, Bernard P. 2003. Possible uranium sources for the largest uranium district associated wuth volcanism: The Streltsovka caldera (Transbaikalia, Russia). Mineralium Deposita, 38: 127～140.

Dahlkamp F J. 1993. Uranium Ore Deposits. Heidelberg: Springer-Verlag, 118～122.

Hu R Z, Burnad P G, Bi X W, Zhou M F, Peng J T, Su W C, Zhao J H. 2009. Mantle-derived gaseous components in ore-forming fluids of the Xiangshan uranium deposit, Jiangxi province,

地质学报 http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

China: Evidence from He, Ar and C isotopes. Chemical Geology, 266: 86～95.

Jiang Y H, Ling H F, Jiang S Y. 2006. Trace element and Sr-Nd isotope geochemistry of fluorite from the Xiangshan uranium deposit southeast China. Economic Geology, 101(8): 1613～1622.

Meen J K. 1987. Formation of shoshonites from calcalkaline basalt magmas: Geochemical and experimental constraints from the type locality. CMP, 97: 333～351.

Pirajno F. 2000. Ore deposit and mantle plumes. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 556.

Deep Geodynamic Mechanism of the Volcanic-Type Uranium Mineralization in Xinlu Basin, Western Zhejiang Province

WANG Zhengqi[1)], LI Ziying[2)], TANG Jiangwei[3)]

1) *Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment Ministry of Education, East China Institute of Technology, Fuzhou, Jiangxi*, 344000;

2) *Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing*, 100029;

3) *Geological Party No. 269, Nuclear Industry of Zhejiang Province, Jinhua, Zhejiang*, 322000

Abstract

Based on analysis of the geochemical evolution of major and trace elements, and Sr-Nd isotopes of Mesozoic magmatism in the Xinlu basin, this study discussed the deep geodynamic mechanism of the volcanic-type uranium mineralization. Geochemical study shows that magmatic rocks formed from early to late periods in the basin are characterized by decreasing of SiO_2 contents, increasing of alkalinity and K_2O/Na_2O ratios, oxide contents (turning into diabase), (LREE, δEu and Sr, and tendency change of trace elements. The evolution of Sr-Nd isotope presents a mixed trend line changing in order from Huangjian Formation ignimbrite to granite-porphyry to diabase. Fluorite representing the isotopic compositions of ore-forming fluids is projected on the mixed evolution trend line, nearer to the projection zone of diabase than granite-porphyry. It is suggested that the ore-forming fluids of the uranium deposit was of mixing features of crust and mantle sources and spatial superimposition between acidic magmatic rock and volcanic rock was the result of the Mesozoic crust-mantle interaction. Continuous upwelling of the high temperature "light material flow" that came from enriched mantle (enriched in LREE, K, Sr, etc) and its inducing crust-mantle effect provided geodynamics for magmatic activity and uranium mineralization in Xinlu basin. Therefore, the crust-mantle interaction is not only the source for driving force but the source of ore-forming fluids.

Key words: crust-mantle interaction; magmatism; upwelling of the "light material flow"; volcanic-typed uranium deposit; Xinlu Basin, Zhejiang

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx
地质学报