

文章编号:0258-7106(2004)01-0039-13

湘东北燕山期陆内碰撞造山带金多金属 成矿地球化学*

贺转利 许德如[#] 陈广浩 夏 斌 李鹏春 符巩固

(中国科学院广州地球化学研究所,南海海洋研究所边缘海地质重点实验室,广东 广州 510640)

摘 要 文章采用微量元素(包括稀土元素)地球化学示踪方法,着重讨论了金大规模成矿的物质来源、含矿流体来源及含矿流体运移的能量问题。认为湘东北地区金多金属矿床成矿物质和含矿流体具多来源,大规模花岗岩岩浆活动能为成矿元素的活化和成矿流体运移提供巨量能源;成矿物质一部分源于深部含矿热液,可能与富铅、富氯、中高温(320℃左右)、相对还原的酸性环境下的气成热液有关,而冷家溪群及相关地层金多金属成矿物质在热液活动和动力变质作用下的活化迁移有利于金多金属的大规模成矿。侏罗纪以来,岩石圈地球动力学转折及伴随的热液作用和动力变质作用对区内金多金属成矿起重要的作用,而岩浆作用、动力作用和/或热液活动影响程度的可能差异,导致了金多金属矿床具有不同的成矿特点。

关键词 地球化学 地球化学示踪 金多金属成矿地球化学 燕山期陆内碰撞造山带 湘东北地区

中图分类号: P611; P618.51

文献标识码: A

湘东北地区(东经 112°45′ 以东,北纬 26°40′ 以北)位于江南造山带中段。晚元古代以来,以江(山)绍(兴)深大断裂为界,该区地处扬子陆块与华夏陆块碰撞会聚带北西侧的下扬子东南缘(程裕淇,1994;饶家荣等,1993;王剑,2000),沿下扬子陆块南缘与滇东北、川南和赣东北等成矿带相衔接,形成一个规模宏大的受 NE 向区域性大断裂控制的跨省金、铜多金属成矿区带(翟裕生等,1999)。扬子陆块与华夏陆块,约在中元古代完成拼合后(Chen et al., 1991; Li et al., 2002),又经历了多次裂解、碰撞和贴合,表现出极其复杂的地球动力学演化特征,位于上述两大陆块结合部位的湘东北地区,由于多期次、多类型(陆缘、陆间和陆内)造山作用,最终形成了该区由 NNE 向和 NW 向大型走滑断裂系统控制的雁列盆岭山链构造格局和陆内岩浆活动带及以金、铜、钴、铅、锌等为特色的多金属成矿带(饶家荣等,1993;傅昭仁等,1999;李紫金等,1998)(图 1)。

已有资料(湖南省地质矿产局,1988;刘姝群等,

1999)表明,湘东北是岩浆活动期次最多的地区之一,尤以燕山期花岗岩岩浆活动最为强烈,岩体分布最广,但目前关于湘东北地区燕山期花岗岩与金成矿作用之间的关系仍相当模糊,并存在不同的看法。一些学者认为湘东北地区金矿床的成矿物质来源于冷家溪群围岩或下伏岩层,主要是因为绝大多数金矿床均产出于冷家溪群(罗献林,1988;1990;黎盛斯,1991;马东升等,1991;程国满,1999;柳德荣等,1994;刘亮明等,1999;彭建堂,1999);另一种观点则强调金成矿与岩浆岩关系密切,认为时代较老的中基性岩(王甫仁等,1993)或中新世代的长英质脉岩(刘继顺,1996)为该区金成矿提供了矿质,但该区规模甚小的脉岩,不具备提供大量金的能力,难以解释区内金大规模成矿(彭建堂,1999)。近几年来,毛景文等(1997;Mao et al., 2002)、刘姝群等(2001)的初步研究则表明,湘东北地区金矿既来源于冷家溪群,又可能来自深部的岩浆,但都缺乏足够证据证明燕山期花岗岩与金成矿的关系。而越来越多的证据(王

* 本文得到国家科技攻关项目(2001BA690A-07-01)、中国科学院知识创新重要方向性项目(KZCXZ-SW-117)和湖南省自然科学基金项目(03jjy3066)的资助

第一作者简介 贺转利,男,1966年生,博士研究生,长期从事花岗岩地质与成矿学研究。

[#] 通讯作者:许德如,中国科学院广州地球化学研究所, e-mail: xuderu@gig.ac.cn。

收稿日期 2003-06-23;改回日期 2003-11-27。李 岩编辑。

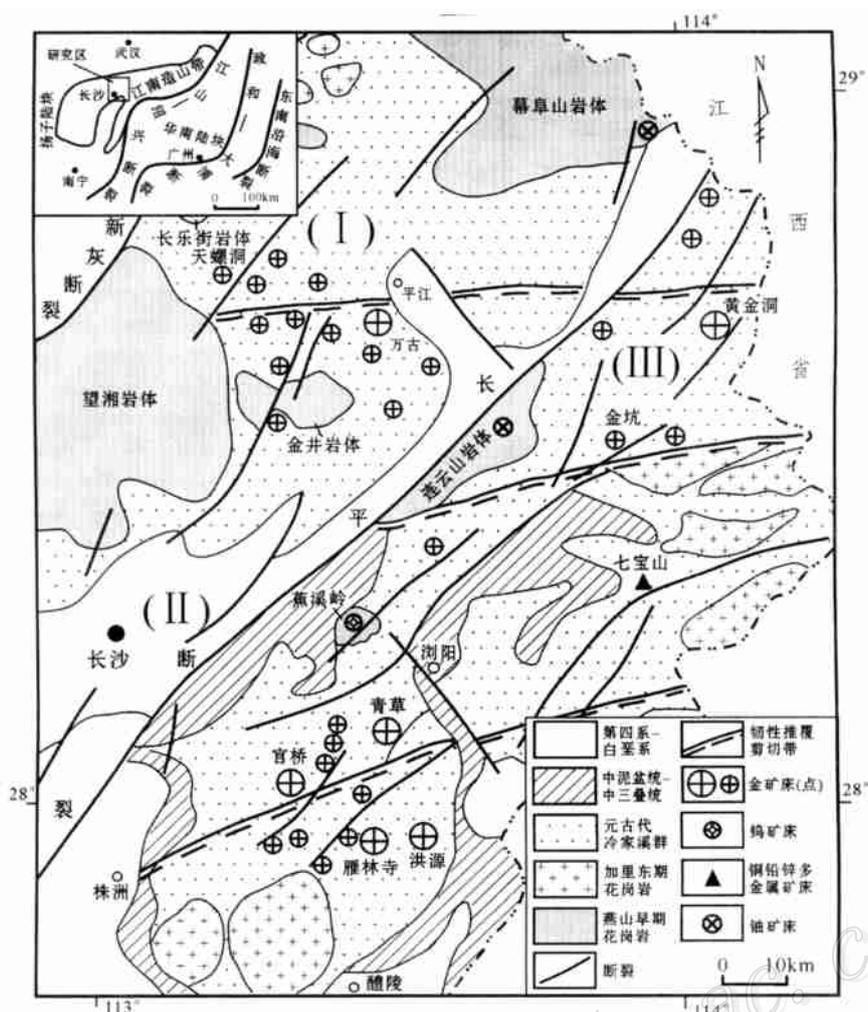


图1 湘东北地区构造-岩浆-成矿地质略图

I—幕阜山-紫云山山岭; II—平江-长沙-衡阳盆地; III—连云山-衡阳山岭

Fig.1 Sketch map showing structural, magmatic and metallogenic geology of northeastern Hunan Province

I—Mufushan-Ziyunshan mountain ridge; II—Pingjiang-Changsha-Hengyang basin; III—Lianyunshan-Hengyang mountain ridge

甫仁等,1993;彭建堂,1999;彭建堂等,1998;毛景文等,1997;胡瑞英等,1995)表明,燕山期是区内金多金属成矿的主要时期,因此,本文试图通过对燕山期陆内构造岩浆活动的分析和金成矿地球化学示踪,来更好地理解该区大规模金多金属成矿作用。

1 湘东北金多金属矿床成矿特点

1.1 燕山期花岗岩的成因类型

早中生代以来,湘东北地区花岗质岩浆活动主要有印支期(257~165 Ma)、燕山早期(160~140 Ma)和燕山晚期(137~128 Ma)3个主要侵入期。燕山期花岗岩出露面积达2300 km²以上,大多呈复式

岩体,与金、铜、钴、银等多金属大规模成矿作用关系最为密切(毛景文等,1997;湖南地质矿产局,1988;符巩固等,2002),根据地质学、岩石学、地球化学及地球动力学背景,可以将燕山期花岗岩分成以下两种成因类型:

第一类型为燕山早期同碰撞型花岗岩,属高钾钙碱性强过铝质I-S型。岩浆起源于中下地壳冷家溪群地层的部分熔融,并受岩石圈拆沉和软流圈上涌及随后的富钾玄武质岩浆底侵作用的影响,因而具壳幔混合岩浆特征,构造环境属于同碰撞造山(类似于A型俯冲),是印支期以来湘中南陆壳向赣西陆壳俯冲(傅昭仁等,1999)在160~140 Ma陆内碰撞造山作用增温减压体制达到鼎盛阶段的产物(李鹏

春等,2004)。燕山早期花岗岩体出露最广,面积约 2 000 km²(图 1),主要有长乐街、小墨山、幕阜山、望湘、金井等岩体,同位素年龄介于 140~160 Ma 之间(湖南省地质矿产局,1988),大部分岩体为燕山晚期(136~86 Ma)的基性脉岩和花岗质岩浆侵入体(贾大成等,2002a)。岩体均侵位于长平断裂带西北侧和南东侧的中元古代冷家溪群变质沉积岩中,呈岩基、岩株状产出;岩性以细-中粗粒斑状黑(二)云母二长花岗岩为主,局部为黑云母花岗闪长岩及斜长花岗岩,与印支期中酸性侵入岩相似(贾大成等,2001),而与燕山晚期酸性侵入花岗岩体差异较大(贾大成等,2002b);岩体与围岩接触部位,热接触变质强烈,变质带宽数百米至 2 000 余米,由岩体边缘向中心一般可分为斑点状板岩带、石英绢云母千枚岩带和石英片(角)岩带,局部尚见微弱混合岩化。

第二类型为燕山晚期后造山 A 型碱性花岗岩(PA 型)(贾大成等,2002b),属于富碱质的钙碱性 I 型系列,形成于印支-燕山早期陆内挤压-走滑剪切造山作用后期的构造松弛阶段。岩体多呈岩株状沿 NE 向断裂产出,侵入于中晚侏罗世花岗岩中,主要岩体为由幕阜山的黄龙山岩体和望湘复式岩体中的万寿宫、四方岭、桃花洞、莲花塘、元冲、天雷山等岩体构成的影株山岩石序列、东岗山花岗斑岩体和珍珠岭花岗斑岩体。这些岩体的同位素年龄集中在 139~128 Ma 间(湖南省地质矿产局,1988)^①。主要岩性为细粒-中细粒-中粗粒无斑或少斑二云母二长花岗岩,以相对富石英和碱性长石为特征。各岩体内的白云母为含锂多硅白云母,与燕山早期花岗岩内的白云母明显不同。

燕山期花岗岩的成因类型反映了中生代以来湘东北地区岩石圈构造也相应地经历了自印支期的陆内俯冲到燕山早期碰撞挤压-伸展(减薄)的构造转换以及燕山晚期进一步拉张(减薄)的动力学演化过程。傅昭仁等(1999)、丘元禧等(1998)、邓晋福等(1995)就分别从陆内俯冲的俯冲陆块和仰冲陆块的性质、陆内俯冲机制和过程等方面讨论了中生代以来湘赣边区发生的这一陆内俯冲作用。

1.2 燕山期花岗岩与金多金属矿床的关系

湘东北地区的金属矿产以金、铜、铅、锌、钴、钨、钼等为特色,矿床(点)多于 125 处,较为典型的有万古、黄金洞、雁林寺、高田、柏树等一批金矿床和铜

鼓、七宝山、井冲等 Au-Cu 多金属矿床(符巩固等,2002)。这些矿床(点)在矿集区(群)的空间分布、单个矿体的产出特征以及矿床类型、控矿因素等均与花岗岩岩浆活动密切相关,且多分布于燕山期特别是燕山早期的岩体内外。由于岩浆的化学成分及围岩部分熔融程度的差异,可以形成不同矿物类型的矿床组合,表现出明显的成矿专属性。

金是湘东北地区主要的金属矿种,主要与花岗闪长斑岩、黑云母花岗闪长岩、富黑云母二长似斑状花岗岩有关,如金井岩体东北面的万古金矿区、连云山岩体东北的黄金洞金矿(毛景文等,1997),其他如洪源金矿、雁林寺金矿等也与岩浆热液活动和/或动力变质作用有关(毛景文等,1997;刘亮明等,1999)。赋矿围岩主要为冷家溪群浅变质岩系,蚀变作用强烈,岩体主要为硅化和绢(白)云母化,围岩为绢云母化、硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化。主要矿化类型有石英脉型、变质热液型和破碎蚀变岩型。90%以上的金矿与韧性推覆剪切构造及其派生的裂隙系统密切相关(黄镜友,1997;刘亮明等,1997;符巩固等,2002;童潜明,1998),形成于中-低温、还原环境(柳德荣等,1994),成矿流体具有混合源的特点(刘亮明等,1999;毛景文等,1997;刘姝群等,2001)。

铜铅锌金多金属矿化主要与酸性、中酸性花岗斑岩、花岗闪长斑岩等燕山期小型浅成侵入岩体有关,并伴有热液蚀变、破碎蚀变和接触交代作用,如七宝山铜多金属矿床。七宝山矿床位于七宝山-荷花推覆断层与岩寨推覆断层的复合交接部位,矿区内断层、褶皱发育,岩浆活动频繁,大小矿体 200 多个。按成矿作用可分为热液作用形成的充填型矿体、接触交代作用形成的夕卡岩型矿体、风化作用形成的残余型矿体。斑岩铜矿的蚀变和矿化作用常形成围绕斑岩体(筒)的环状或半环状蚀变、矿化分带,矿体(化)主要赋存于蚀变岩带内及岩体附近的断裂和裂隙中,成矿物质主要来自岩浆分异演化(刘姝群等,2001)。与铜多金属矿床有关的岩体受构造交汇部位的控制,矿体就赋存于岩体内及其附近的破碎带中。

钨矿(黑钨矿及白钨矿)化主要与燕山早期二长花岗岩有关,岩体本身就是成矿母岩,典型的如蕉溪岭高温热液裂隙充填型钨铜多金属矿;钼矿化主要与花岗闪长岩关系密切,其次与二长花岗岩有关;铀

① 湖南省区调所,1993.新市镇,樟树港,铜盆寺,金井幅 1:5 万区域地质调查报告.31~57

矿则受 NNE 向走滑断裂的控制,产于前中生代花岗岩及印支-燕山期重熔花岗岩内,如幕阜山岩体内的井冲铀矿田(李先福等,1998;李紫金等,1998)。

2 金成矿地球化学示踪

对 10 个燕山早期花岗岩样品和 33 个万古金矿、黄金洞金矿及雁林寺金矿的围岩、蚀变围岩及矿石样品进行了微量元素(含 REE)和贵金属 Au 元素分析,为保证分析数据合理、可信,所采集的围岩样品尽量远离矿区。测试分析均在湖北省地质实验研究所完成,REE 和其他微量元素采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)分析,Au 采用化学反应光谱法分析(ES-D),U 用激光荧光光度法分析,Pb 用 X 射线荧光光谱法分析。精度均优于 3%。分析结果见表 1、表 2。

2.1 含矿性分析

采样分析表明,无论是燕山早期花岗岩还是冷家溪群地层,Au 的含量都较低,均小于 0.2×10^{-9} ,

远低于程国满(1999)、刘荫椿等(1986)(见:程国满,1999)对湘东赣西北地区冷家溪群地层的金含量(w_{Au} ,下同)分析(分别为 2.83×10^{-9} 、 1.70×10^{-9} ~ 4.73×10^{-9})和柳德荣等(1994)对湘东北万古金矿区冷家溪群地层的分析结果(13.50×10^{-9})及刘亮明等(1999)对黄金洞金矿和雁林寺金矿近矿围岩、远矿围岩的金分析结果(分别为 3.10×10^{-9} ~ 4.00×10^{-9} 和 1.70×10^{-9} ~ 2.40×10^{-9} 、 4.35×10^{-9} ~ 5.46×10^{-9} 和 1.83×10^{-9} ~ 2.43×10^{-9}),较大的分析值差可能与样品选择和(或)岩性有关。但受蚀变作用和动力变质作用的影响,Au 含量都有增加的趋势,如,蚀变和强蚀变板岩 Au 含量为 0.1×10^{-9} ~ 3.9×10^{-9} ,糜棱岩化板岩 Au 含量为 0.2×10^{-9} ~ 9.2×10^{-9} ,反映湘东北地区赋矿地层冷家溪群含矿元素丰度较低、变化较大,金的富集明显受热液活动和动力作用的控制。因此,燕山早期花岗岩不具备提供金矿成矿物质的基础,但如果认为上述分析者采样是合理的话,也只能认为湘东北地区

表 1 湘东北地区岩(矿)石金丰度分析

Table 1 Au concentrations of rocks and ores from northeastern Hunan Province

岩性及时代	样号	样品数	$w_{Au}/10^{-9}$
金井岩体、幕阜山岩体燕山早期(160~139 Ma)富黑云母斑状二长花岗岩	JJ01-JJ10	10	均小于 0.2
郑家里中元古代冷家溪群泥质板岩、砂质板岩	ZJ01-ZJ0	10	均小于 0.2
大洞金矿区中元古代冷家溪群砂质板岩	DD01-DD05	5	均小于 0.2
大洞金矿含矿石英脉(样号 DK01~DK05)	DK01	1	26.3
	DK02	1	35.0
	DK03	1	16.9
	DK04	1	54.1
	DK05	1	<0.2
黄金洞金矿区中元古代冷家溪群强硅化蚀变板岩	HD07-HD13	7	均小于 0.1
黄金洞金矿含矿石英脉(样号 HD01~HD06)	HD01	1	1.6
	HD02	1	13.1
	HD03	1	0.4
	HD04	1	23.9
	HD05	1	17.3
	HD06	1	4.8
雁林寺金矿区中元古代冷家溪群糜棱岩化板岩(样号 LL01、LL03~LL05)	LL01	1	0.4
	LL03	1	9.2
	LL04	1	0.2
	LL05	1	0.6
雁林寺金矿区中元古代冷家溪群强糜棱岩化板岩(黄铁矿化)	LL08	1	1.6
雁林寺金矿区中元古代冷家溪群蚀变板岩	LL07	1	1.9
雁林寺金矿区中元古代冷家溪群强蚀变板岩	LL02	1	3.9
雁林寺金矿含金石英脉(样号 LL06、LL09、LL10)	LL06	1	236.0
	LL09	1	14.4
	LL10	1	82.3

测试方法:化学反应光谱法(ES-D);测试单位:湖北地质实验研究所;测试人:曹显文;测试精度:优于 3%。

表 2 湘东北地区岩(矿)石微量元素分析

Table 2 Trace element analyses of rocks and ores from northeastern Hunan Province

岩石类型 采样地 及样号	$w_B/10^{-6}$																
	Ga	Cr	Co	Ni	U	Th	Rb	Sr	Pb	V	Ba	Cs	Ta	Nb	Hf	Zr	Sc
雁林寺金矿区冷家溪群地层																	
糜棱岩化岩石																	
LL01	14.3	72.3	14.9	32.7	3.5	15.1	187	112	19.9	117.5	441	11.9	0.6	15.4	4.7	216	15.2
LL03	11.8	54.9	12.7	27.6	2.3	8.9	162	100	18.1	95.9	441	9.5	0.5	12.7	3.7	137	14
LL04	21.3	84.8	19.8	42.9	4	17.3	246	76	18.4	150.1	618	13.5	1.6	18.7	5.2	201	18.8
LL05	16.8	12.4	7.6	18.6	3	15.2	208	56	13.6	57.6	625	10.6	<0.5	13.1	6.9	274	15.7
强糜棱岩化岩石																	
LL08	24.5	77.4	21	46	2.8	16.2	222	61	35.1	158.2	695	11.9	0.6	16.5	4.8	192	19.9
蚀变岩石																	
LL07	8.6	54.6	11.4	27.7	2.9	12.1	125	108	13.6	86.9	316	10	0.9	14.6	6.1	212	12.5
强蚀变岩石																	
LL02	16.1	67.5	14.9	33.9	2.8	11.6	203	70	12.3	115.7	528	10.3	0.6	14.6	3.7	153	14.4
大洞金矿区冷家溪群地层																	
DD01	20.5	85.9	16.5	35.1	2.2	13.9	152	75.4	22.2	103	369	10.5	0.8	17.5	6.6	214	18.5
DD02	23.6	84	20	40	2.4	15.3	192	65.4	16.7	128	448	13.1	1.19	18.3	6.2	202	23
DD03	22.6	96	21	42.1	2.5	15.4	222	79.4	14.6	125	460	16.5	1.96	19.6	6.7	201	23.5
DD04	33.6	105	23	45.8	3	16.8	226	62.4	17.4	148	548	18.5	1.31	20	6.1	224	25.8
DD05	26.5	103	22.8	45	2.6	16.3	227	64.4	14.3	144	540	15.8	2.16	20.3	5.5	215	23.3
燕山早期金井和幕阜山岩体																	
JJ01	31.2	19.5	4.5	5.6	3	24.7	304	140	42	24.6	519	10.5	0.5	14.6	4.2	135	3.8
JJ02	27.2	9.1	4.3	5.2	3.9	23.1	273	116	36.9	23.6	507	9.8	0.82	12.9	3.5	123	3.5
JJ03	22.7	15.8	5.5	6.5	6	27.7	288	140	44.2	27.7	517	10.5	0.98	13.8	4.1	150	4.2
JJ04	30.6	15.8	5.5	6.5	12.3	27.3	292	169	49.3	26.8	629	11.5	0.95	13.8	4.5	150	3.9
JJ05	22.6	13.3	5.4	6.3	11.3	30	282	137	40.3	27.4	517	11.1	0.77	14.1	4.5	151	4.3
JJ06	21.3	6.5	4	5.4	2.2	16.8	345	102	42.6	16.1	358	32.5	2.09	16.6	3.3	104	2.6
JJ07	15.8	11.9	4.2	5.1	1.9	17	336	106	44.2	16.3	344	34.5	1.79	16.9	2.9	108	2.8
JJ08	19.5	6.7	3.4	4.5	2.1	18	350	103	44.6	15.5	354	34.5	1.26	16.6	2.7	105	2.6
JJ09	22.2	13.6	5.7	6.9	4.3	15.3	318	226	48.2	26.6	564	42.5	1.1	16.5	4.2	123	4.4
JJ10	21.6	13.1	4.5	5.2	4.1	13	298	229	48.7	23	488	46.5	1.23	16.2	3.1	110	3.9
雁林寺金矿区含金石英脉																	
LL06	<1.0	15.9	3.1	6.8	0.5	2.1	25	72	274.3	17.5	93	2	<0.5	4.2	1.1	33	4
LL09	<1.0	21.8	1.8	10	<0.5	1.2	7	50	355.4	6.3	52	1.3	<0.5	2.5	<0.5	20	2.7
LL10	<1.0	7.5	2.5	6.3	0.6	<1.0	14	53	590.9	10.4	45	1.3	0.5	3.2	<0.5	27	3.5
大洞金矿区含金石英脉																	
DK01	14	53.7	13.9	28.6	1.2	9.8	168	61.2	84.3	66.1	218	9.8	0.56	16.5	2.8	155	11
DK02	1.5	14.4	2	4.3	0.06	1.2	20.3	10	153	10.2	44.1	<1.0	<0.5	6	<0.5	30.3	1.5
DK03	9.4	46.7	13.8	25.6	1.2	8.4	139	120	52.3	65.7	220	10.5	0.74	13.4	3.2	127	11.2
DK04	1.9	10.8	2.3	4	0.17	1.2	20.2	7.2	323	10.5	40.2	0.84	<0.5	5.5	<0.5	30.8	1.3
DK05	0.68	<5.0	0.9	2.1	0.26	<1.0	1.9	10.7	16.5	2.7	21.3	<1.0	<0.5	4.9	<0.5	21.9	0.51

测试方法: U 用激光荧光光度法, Pb 用 X 射线荧光光谱法, 其余微量元素采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES); 测试单位: 湖北省地质实验研究所; 测试人: 张赤斌, 黄福滨等; 精度: 优于 3%。

冷家溪群地层金较为分散、变化大, 能在局部提供金成矿物质。但大规模成矿常与物质巨量供给有关, 甚至与地幔活动及部分物质供应有关, 并必须有巨大的能量供给和流体的运移(毛景文等, 1999)。而大规模的花岗岩形成过程常促使金等成矿元素活化转移, 为金的成矿创造了有利条件(胡受奚等,

2002)。无疑, 湘东北燕山早期大规模酸性岩浆活动为金的成矿提供了热能和流体条件。

2.2 微量元素变化特征

与冷家溪群地层相比, 燕山早期花岗岩 Co、Cr、Ni、V、Nb、Zr、Hf、Sc、Ta 含量均较低, 而 Th、U、Rb 则偏高, 在 CI-球粒陨石标准化微量元素图解上(图

2a), Ga、Cr、Rb、Sr、Pb、Ba、Zr 元素含量比 CI-球粒陨石高, Co、U、V、Cs、Ta、Nb、Hf、Sc、Th 元素含量比 CI-球粒陨石低, 与冷家溪群地层具有非常类似的元素分布特征(图 2b)。但冷家溪群无论是未蚀变围岩、蚀变围岩还是糜棱岩化围岩, 微量元素变化均不大, 只是 Cr、Co、Pb 在糜棱岩化围岩中略有变化, 反映热液蚀变和动力变质作用对冷家溪群地层微量元素的质量迁移影响不大或处于质量迁移平衡, 其中 Cr、Rb、Zr、Ba、Sr、Pb、Ni、Ga、V 元素含量比 CI-球粒陨石高, Sc、Th、U、Nb、Cs、Hf、Co 元素含量比 CI-球粒陨石低。含矿石英脉中的微量元素含量变化都相当大, Pb 元素显著高于冷家溪群, 其他元素丰度低于冷家溪群各类围岩, 也低于燕山早期花岗岩中相应元素的含量, 而 Ga、U、Cs、Co、Ba 元素显著偏低。一般来说, Pb 含量越高金的丰度越高, 如 DK05 石英脉样品 w_{Pb} 仅为 16.5×10^{-6} , 远低于其他几个金含量较高的含矿石英脉样品, 此外, Co、Ni、V、Ba、Rb、Sc 也表现出类似的特征。由于含金石英脉中的矿石铅主要赋存在方铅矿、黄铁矿等中, 而这些矿物形成后不再有放射性成因铅的明显加入, 铅元素从矿源岩中浸取时又不会产生同位素分馏, 转移进入成矿热液并随之迁移, 即使成矿热液的物理化学条件发生变化, 它们的同位素组成一般也不会发生变化(吴开兴等, 2002), 说明成矿热液中的一部分来源于富铅的氯化物络合物气成热液, 与岩浆活动有关(刘英俊等, 1984); 与 CI-球粒陨石成分相比, 含金石英脉 Pb、Ba、Sr、Zr、Rb、Cr 的含量比 CI-球粒陨石高, 其他元素均较 CI-球粒陨石低, 在不同矿区矿石之间或同一矿区不同矿石之间微量元素变化较大。在微量元素球粒陨石标准化图上(图 2c), 与燕山早期花岗岩和冷家溪群微量元素变化特征相比, 含金石英脉既具有继承性特点, 又与前两者有较大的不同, 反映了在热液作用和动力变质作用过程中成矿热液内的微量元素活动性有较大差异。上述表明, 含金热液蚀变和动力变质作用对成矿起重要的控制作用, 成矿物质和成矿热液具有多来源性。

2.3 稀土元素变化特征

燕山早期花岗岩的稀土元素总量为 $81.48 \times 10^{-6} \sim 172.67 \times 10^{-6}$ (表 3), $LREE/HREE = 16.52 \sim 24.92$, $(La/Yb)_N = 25.13 \sim 39.90$, $(La/Sm)_N = 5.56 \sim 6.12$, $(Gd/Yb)_N = 2.03 \sim 2.86$, 显示轻重稀土元素的明显分馏和 LREE 的强烈富集(图 3a)。Eu 表现出一定程度的负异常, 且 δEu 值变化较大

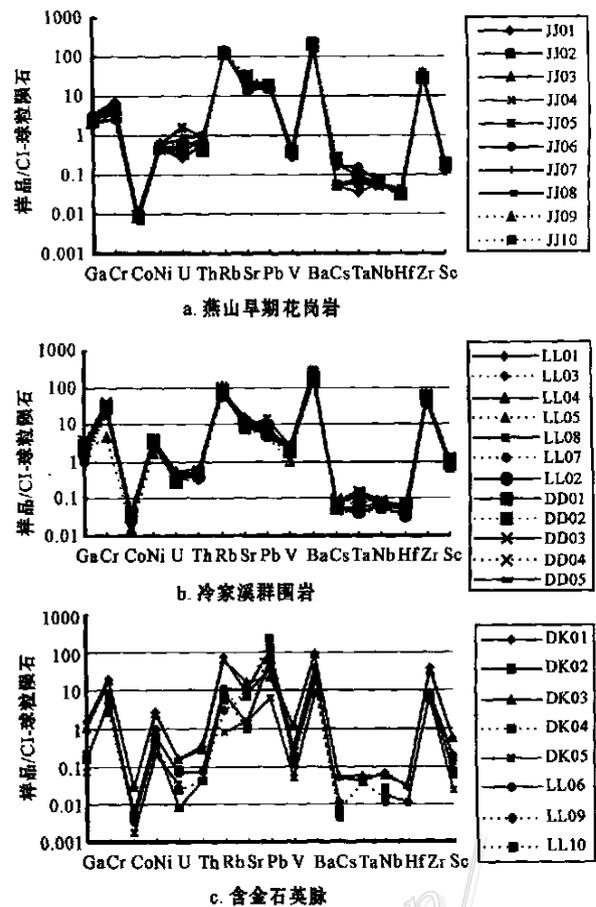


图 2 湘东北地区岩(矿)石微量元素球粒陨石标准化图(CI-球粒陨石数据据 McDonough et al., 1995)

Fig. 2 CI-Chondrite-normalized trace element spidergrams for rocks and ores from northeastern Hunan Province
a. Early Yanshanian granites; b. Lengjiaxi Group wall rocks; c. Gold-bearing quartz veins

(δEu 0.58 ~ 0.85), Ce 则表现为弱的负异常(δCe 0.74 ~ 0.83)。冷家溪群无论是未蚀变、未糜棱岩化围岩还是蚀变和糜棱岩化围岩的 REE 总量均较高(ΣREE $141.15 \times 10^{-6} \sim 225.68 \times 10^{-6}$), 并均表现出轻稀土富集[(La/Sm)_N 2.98 ~ 4.23], 重稀土分布曲线平坦[(Gd/Yb)_N 0.98 ~ 1.13, $LREE/HREE$ 6.56 ~ 11.32](图 3b)的特征; Eu 表现出中等至弱的负异常(δEu 0.62 ~ 0.76), Ce 则表现出弱的负异常(δCe 0.81 ~ 0.88), 与燕山早期花岗岩稀土配分型式有一定的相似性。另一方面, 蚀变围岩和糜棱岩化围岩具有不同的稀土元素活动特征, 与围岩相比, 糜棱岩化岩石 $LREE/HREE$ 比值升高, 如, 雁林寺金矿及其糜棱岩化围岩 REE 总量普遍高于 190×10^{-6} , $LREE/HREE$ 值可达 11.32; 而蚀变围岩的

表 3 湘东北地区岩(矿)石稀土元素含量及特征值
Table 3 REE elements analyses and eigenvalues for rocks and ores in northeastern Hunan Province

元素及特征值	燕山早期金井和幕阜山岩体										大洞金矿区含金石英脉					黄金洞金矿含金石英脉					雁林寺金矿区含金石英脉			
	JJ01	JJ02	JJ03	JJ04	JJ05	JJ06	JJ07	JJ08	JJ09	JJ10	DK01	DK02	DK03	DK04	DK05	HD01	HD02	HD03	HD04	HD05	HD06	LL06	LL09	LL10
La	30.61	31.01	39.71	35.59	42.13	27.08	29.01	26.14	26.55	21.15	23.33	1.42	18.38	1.79	0.48	0.6	3.25	0.26	1.42	2.36	0.65	6.96	2.76	3.9
Ce	56.43	54.68	73.67	68.59	78.8	48.19	51.62	43.98	46.32	36.05	47.79	3.08	35.64	3.49	0.81	0.75	5.46	0.26	1.89	4.69	1.01	14.35	5.29	8.12
Pr	6.38	6.23	8.13	7.63	8.78	5.33	5.78	5.28	5.1	3.99	5.63	3.38	4.42	0.44	0.1	0.13	0.74	0.05	0.31	0.54	0.16	1.9	0.66	0.92
Nd	20.29	20.35	27.74	25.01	30.22	17.82	18.56	17.18	16.17	13	21.68	1.37	16.94	1.56	0.39	0.48	2.91	0.25	1.36	2.25	0.63	6.05	2.4	3.49
Sm	3.3	3.29	4.31	4	4.74	2.96	3.2	2.91	2.71	2.14	4.24	2.23	3.5	0.32	0.1	0.1	0.59	0.09	0.26	0.49	0.16	1.34	0.31	0.84
Eu	0.59	0.6	0.7	0.68	0.71	0.5	0.53	0.49	0.61	0.5	0.89	0.06	0.82	0.06	0.03	0.02	0.11	0.02	0.05	0.12	0.03	0.46	0.09	0.26
Gd	2.2	2.22	2.76	2.47	2.98	2.13	2.21	2.03	1.9	1.66	3.89	0.22	3.69	0.23	0.11	0.09	0.49	0.09	0.21	0.51	0.13	1.27	0.26	0.94
Tb	0.31	0.32	0.38	0.35	0.41	0.32	0.31	0.3	0.27	0.25	0.59	0.04	0.59	0.04	0.02	0.02	0.09	0.02	0.04	0.09	0.02	0.2	0.04	0.14
Dy	1.52	1.54	1.75	1.57	1.95	1.42	1.46	1.39	1.39	1.26	3.57	0.21	3.38	0.22	0.1	0.1	0.52	0.1	0.23	0.49	0.12	1.09	0.24	0.83
Ho	0.27	0.26	0.31	0.27	0.33	0.24	0.24	0.24	0.25	0.23	0.76	0.05	0.67	0.05	0.02	0.02	0.1	0.02	0.05	0.09	0.02	0.22	0.04	0.16
Er	0.65	0.63	0.75	0.65	0.78	0.58	0.58	0.57	0.62	0.58	2.17	0.12	1.86	0.13	0.05	0.06	0.29	0.06	0.13	0.24	0.06	0.6	0.1	0.41
Tm	0.09	0.09	0.1	0.09	0.11	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.34	0.02	0.29	0.02	0.01	0.009	0.049	0.008	0.02	0.037	0.009	0.1	0.01	0.06
Yb	0.51	0.52	0.59	0.54	0.64	0.47	0.48	0.49	0.53	0.5	2.21	0.11	1.88	0.13	0.05	0.05	0.31	0.05	0.14	0.23	0.06	0.6	0.09	0.37
Lu	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.07	0.06	0.07	0.08	0.07	0.33	0.02	0.28	0.02	0.01	0.009	0.048	0.007	0.022	0.036	0.009	0.09	0.01	0.06
ΣREE	123.24	121.81	160.97	147.50	172.67	107.18	114.12	101.16	102.59	81.48	118.58	7.34	92.33	8.51	2.27	2.45	14.41	1.28	6.11	12.16	3.06	35.24	12.13	20.5
LREE/HREE*	21.25	20.56	22.99	24.92	22.69	19.22	20.06	18.53	19.00	16.52	7.00	8.18	6.31	9.01	5.47	5.62	9.67	2.66	6.45	6.11	6.29	7.43	18.56	5.90
δEu	0.69	0.70	0.63	0.67	0.58	0.63	0.63	0.64	0.84	0.85	0.72	0.88	0.76	0.70	0.96	0.69	0.67	0.74	0.69	0.80	0.67	1.17	1.03	0.98
δCe	0.81	0.78	0.82	0.83	0.82	0.80	0.79	0.74	0.80	0.77	0.85	0.86	0.80	0.80	0.74	0.54	0.71	0.45	0.57	0.84	0.64	0.81	0.80	0.87
(La/Yb) _N *	35.69	35.37	39.9	39.16	39.07	34.26	35.83	31.66	29.74	25.13	6.27	7.66	5.81	8.22	5.77	7.23	6.23	3.12	6	6.1	6.34	6.88	18.36	6.25
(La/Sm) _N *	5.8	5.89	5.76	5.56	5.56	5.72	5.67	5.61	6.12	6.18	3.44	3.86	3.28	3.49	3.0	3.76	3.44	1.8	3.42	3.01	2.54	3.21	5.57	2.9
(Gd/Yb) _N *	2.65	2.61	2.86	2.81	2.85	2.78	2.82	2.54	2.2	2.03	1.08	1.22	1.2	1.09	1.35	1.15	0.97	1.12	0.92	1.36	1.31	1.3	1.79	1.55

$w_B/10^{-6}$

续表 3 (continued Table 3)

元素及特征值	雁林寺金矿区冷家溪群地层																		
	大洞金矿区冷家溪群地层								黄金洞金矿含金石英脉										
	糜棱岩化岩石				强糜棱岩化岩石				糜棱岩化岩石				强糜棱岩化岩石						
	DD01	DD02	DD03	DD04	DD05	HD07	HD08	HD09	HD10	HD11	HD12	HD13	LL01	LL03	LL04	LL05	LL08	LL07	LL02
La	33.51	33.58	33.64	38.68	38.66	34.74	33.23	33.58	30.81	26.59	33.31	31.26	40.99	27.95	41.38	42.34	39.23	38.56	32.23
Ce	66.47	66.44	70.66	77.84	79.34	71.09	68.05	67.01	63.66	55.22	70.66	65.7	86.63	58.34	83.86	87.25	77.87	74.73	67.22
Pr	7.83	8.38	8.33	8.97	9.65	8.72	8.3	8.38	7.87	6.69	8.26	7.58	9.85	6.59	9.33	11.18	9.27	8.92	7.57
Nd	30.41	31.42	31.54	35.4	36.28	32.69	31.34	31.67	29.66	24.66	31.53	29.78	35.29	25.75	32.86	42.38	32.57	32.19	27.98
Sm	5.95	6.13	6.1	6.78	7.31	6.62	6.41	6.27	5.8	4.91	6.45	6.1	7.21	4.9	6.12	8.88	6.54	6.42	5.39
Eu	1.28	1.39	1.35	1.47	1.54	1.42	1.35	1.32	1.14	1	1.4	1.27	1.43	1.05	1.2	1.62	1.25	1.38	1.17
Gd	5.67	6.09	5.89	6.59	6.94	5.78	5.56	5.54	5.1	4.39	5.59	5.3	6.56	4.66	4.96	8.34	6.49	6.17	5.1
Tb	0.93	1	0.99	1.08	1.12	0.91	0.88	0.91	0.81	0.71	0.92	0.88	1.06	0.77	0.66	1.39	1.05	0.96	0.8
Dy	5.55	5.93	5.84	6.5	6.82	5.67	5.4	5.43	4.97	4.15	5.44	5.39	6.48	4.3	3.47	8.78	6.3	5.85	4.66
Ho	1.12	1.17	1.16	1.3	1.36	1.18	1.12	1.13	1.02	0.85	1.12	1.12	1.29	0.91	0.71	1.79	1.34	1.2	0.96
Er	3.28	3.61	3.42	3.85	3.91	3.37	3.13	3.31	2.84	2.45	3.23	3.23	3.74	2.5	2.13	5.09	3.71	3.3	2.81
Tm	0.51	0.56	0.53	0.62	0.6	0.561	0.528	0.539	0.476	0.402	0.521	0.526	0.58	0.4	0.39	0.83	0.62	0.53	0.45
Yb	3.33	3.56	3.44	4.08	3.97	3.45	3.3	3.43	3	2.6	3.31	3.3	3.74	2.64	2.69	5.05	4	3.34	2.85
Lu	0.5	0.54	0.51	0.6	0.6	0.525	0.498	0.52	0.464	0.388	0.496	0.511	0.54	0.39	0.44	0.75	0.59	0.5	0.43
ΣHREE	166.33	169.79	173.40	193.77	198.10	176.73	169.1	169.05	157.64	135.02	172.25	161.96	205.40	141.15	190.19	225.68	190.84	180.04	159.64
LREE/HREE*	6.97	6.56	6.96	6.87	6.82	7.24	7.28	7.12	7.43	7.47	7.35	6.99	8.87	7.52	11.32	6.05	6.92	9.09	7.83
δEu	0.73	0.76	0.75	0.73	0.72	0.75	0.74	0.73	0.69	0.71	0.76	0.73	0.68	0.73	0.71	0.62	0.64	0.73	0.74
δCe	0.83	0.81	0.86	0.85	0.84	0.83	0.84	0.82	0.84	0.85	0.87	0.87	0.88	0.87	0.86	0.82	0.83	0.82	0.87
(La/Yb) _N *	5.97	5.6	5.81	5.63	5.78	5.98	5.98	5.81	6.1	6.07	5.98	5.62	6.51	6.29	9.13	4.98	5.82	6.85	6.71
(La/Sm) _N *	3.52	3.42	3.45	3.57	3.31	3.28	3.24	3.35	3.32	3.38	3.23	3.2	3.55	3.56	4.23	2.98	3.75	3.75	3.74
La/Yb*	10.06	9.43	9.78	9.43	9.74	10.07	10.07	9.71	10.27	10.23	10.06	9.47	10.96	10.59	15.38	8.38	9.81	11.54	11.31
(Gd/Yb) _N *	1.04	1.05	1.05	0.99	1.07	1.03	1.03	0.99	1.04	1.04	1.04	0.98	1.08	1.08	1.13	1.01	0.99	1.13	1.1
Sm/Nd*	0.20	0.20	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.21	0.20	0.20	0.19

测试方法: 电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES); 测试单位: 湖北地质实验研究所, 测试人: 张赤斌, 黄福滨等; 测试精度: 优于3%。* 单位为1。

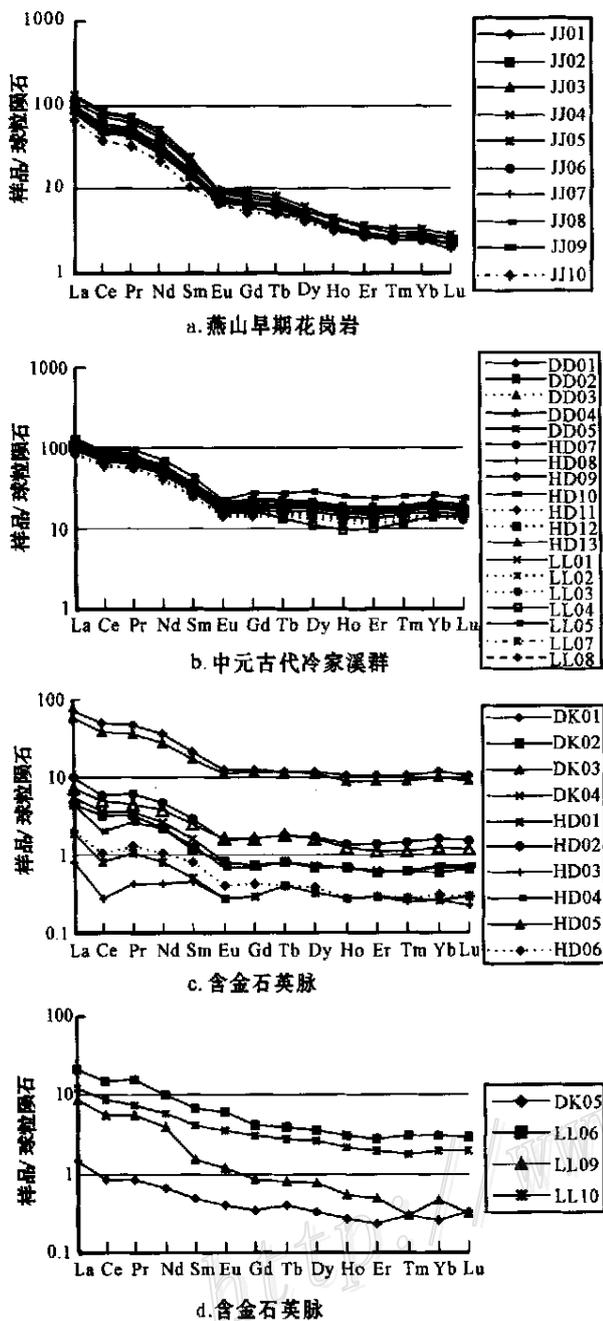


图 3 湘东北地区岩(矿)石稀土元素配分图

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns of rocks and ores from northeastern Hunan Province

a. Early Yanshanian granites; b. Lengjiaxi Group; c & d. Gold-bearing quartz veins

REE 总量则有降低的趋势,但 LREE/HREE 值有升高的趋势,如黄金洞金矿和雁林寺金矿,反映蚀变作用和糜棱岩化过程不仅引起金元素的迁移,还能引起稀土元素的迁移。前者主要与动力变质作用有关,后者主要与热液蚀变作用有关。

与燕山期花岗岩和冷家溪群地层未蚀变和未糜棱岩化岩石相比,含矿石英脉稀土元素含量显著偏低,其中大洞金矿含矿石英脉 $\Sigma\text{REE } 2.27 \times 10^{-6} \sim 118.50 \times 10^{-6}$,黄金洞金矿含矿石英脉 $\Sigma\text{REE } 1.28 \times 10^{-6} \sim 14.41 \times 10^{-6}$,雁林寺金矿含矿石英脉 $\Sigma\text{REE } 12.13 \times 10^{-6} \sim 35.24 \times 10^{-6}$ 。稀土配分模式可分为 2 种型式:第一种为中等铈负异常($\delta\text{Eu } 0.67 \sim 0.8$)、显著铈负异常($\delta\text{Ce } 0.45 \sim 0.85$),均为轻稀土元素相对富集[(La/Sm)_N 1.80 ~ 3.86],重稀土元素较为平坦分布[(Gd/Yb)_N 0.92 ~ 1.36]的右倾型[(La/Yb)_N 3.12 ~ 7.66](图 3c),这种分配模式以黄金洞金矿为代表,与冷家溪群围岩和燕山早期花岗岩稀土配分特征基本一致,铈弱负异常可能是成矿流体继承围岩冷家溪群的结果,或与当时古海水加入有关(王中刚等,1989);第二种为铈弱负异常或弱正异常($\delta\text{Eu } 0.96 \sim 1.17$)、铈弱负异常($\delta\text{Ce } 0.74 \sim 0.87$)、轻稀土元素较为富集[(La/Sm)_N 2.90 ~ 5.57]、重稀土元素亏损明显[(Gd/Yb)_N 1.30 ~ 1.79]的右倾型[(La/Yb)_N 5.77 ~ 18.36](图 3d),这种分配模式以大洞金矿和雁林寺金矿为代表,与围岩明显不同。由于石英的稀土元素特征可近似地反映石英沉淀时流体的稀土元素特征(Rossman et al., 1987; Norman et al., 1989),因此,含金石英脉稀土元素特征反映了湘东北金成矿物质来源的多样性、成矿流体的多源性、成矿条件的特殊性,不同矿床具有不同的成矿特点,成矿流体至少一部分源于富 Cl、中高温(320℃左右)、相对还原的酸性环境(pH < 6)(Michard, 1989; 王中刚等, 1989),与岩浆热液有关,一部分源于冷家溪群地层,古海水对成矿流体可能也有一定的贡献。

3 讨论与结论

湘东北地区金成矿地球化学示踪揭示了金成矿物质和含矿流体具多源性,不同地域的金矿床可能具有不同的成因,但成矿物质和含矿流体既来源于深部含矿的气成热液,又与围岩含矿物质的活化、迁移和富集有关,古海水对成矿流体也可能有一定的贡献;燕山早期花岗岩和冷家溪群地层难于直接提供大规模成矿物源,但花岗岩岩浆活动能为成矿流体活动和运移提供巨量能源,热液作用和动力变质作用则是区内金成矿的主要控制因素。这一金成矿地球化学特征可以从侏罗纪以来湘东北地区岩石

圈动力学演化方面加以探讨。

侏罗纪以来,湘东北地区经历了由陆内会聚走滑造山向陆内伸展走滑造山的动力学转变(傅昭仁等,1999)。尽管目前对印支期以来华南联合古陆发生的陆内俯冲的俯冲陆块和仰冲陆块性质及地球动力学机制还存在不同的观点和看法(邓晋福等,1995;饶家荣等,1993;毛建仁等,1997;王金琪,1998;丘元禧等,1998;傅昭仁等,1999),但也有一点共识,即在湘东北及华南邻区出现了一系列NEE向大型走滑剪切断裂、板片堆叠及广泛的陆内岩浆作用和金、铜、铅、锌、(钴)等多金属成矿作用。由此可见,侏罗纪以来,湘东北地区无疑是位于俯冲板片之上的仰冲板片,这决定了金等成矿作用主要发生在该仰冲块体中(葛良胜等,1997)。印支期以来(230 Ma),湘赣边区因强烈的陆内俯冲作用(傅昭仁等,1999),主滑脱俯冲带强烈应变引起应力、热力作用,不仅使与俯冲和仰冲陆块相关的地层和岩石中的金等成矿元素活化、迁移、富集,也使来自深部的含矿热液或其他循环流体伴随逆冲推覆运动沿滑动面运行上升(葛良胜等,1997)。特别是碰撞挤压达高峰时期(160~140 Ma),因受地壳加厚、岩石圈拆离和软流圈上涌及随后的玄武岩底侵影响,区域热异常持续增高并逐步达高峰(陈衍景,1998),致使俯冲板片和之上的仰冲板片中下地壳冷家溪群或更古老的基底物质部分熔融加快,形成大规模含矿流体和混合岩浆,并以流体或岩浆的形式向低压、低温的上部迁移,在仰冲板片内发生流体与冷家溪群地层的化学反应,同时高的热异常为含矿流体活动提供了最大的能量,导致深源含矿流体与浅源含矿流体强烈活动并混合、循环,进一步萃取仰冲陆块冷家溪群地层及相关地层中分散的金等成矿物质;而在碰撞挤压达高峰时期进一步发展、成熟的走滑剪切构造,因减压扩容而为含矿流体活动和岩浆侵位提供了空间,最终在仰冲陆块即湘东北地区发生了大面积的燕山早期花岗质岩浆侵位和金多金属成矿作用。由于在陆内俯冲作用发展时期,仰冲陆块主要呈上升和被剥蚀状态,因而在其上的沉积物保存相当有限,仅见于少数断陷盆地内的红色磨拉石或类磨拉石等沉积,因此,在区内发现的许多在陆内俯冲体制作用下(或与之有关)的金矿床,它们虽然以燕山期为主要成矿期,但绝大多数均产出在陆内俯冲之前所形成的沉积建造,即冷家溪群地层中,只是可能因受岩浆作用、动力作用和(或)热液活动影响程

度的差异,产于其内的金多金属矿床表现了不同的成因特征。

References

- Chen J F, Foland K A, Xing F M, et al. 1991. Magmatism along the southeast margin of the Yangtze and Cathaysia blocks of China[J]. *Geol.*, 19: 815~818.
- Chen Y J. 1998. Constrains and their mechanism on the petrogenic and metallogenic model for collision orogenesis[J]. *Earth Science Frontiers*, 5(Supp.): 109~118 (in Chinese with English abstract).
- Cheng G M. 1999. Preliminary study on the source rocks of gold deposits in east Hunan and west Jiangxi[J]. *Gold Geol.*, 5(2): 32~35 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Y Q. 1994. Regional geological conspectus in China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~517(in Chinese).
- Deng J F, Zhao H L, Mo X X, et al. 1995. Intracontinental subduction of the Yangtze continent and continent reducing-inferred from muscovite (two mica) granites[J]. *Geol. J. Univ.*, 1(1): 50~57 (in Chinese with English abstract).
- Fu G G, Xu D R and Chen G H. 2002. New recognitions on geological characteristics of gold ore deposits in northeastern Hunan Province, China and new prospecting advances[J]. *Geotectonic et Metallogenia*, 26(4): 416~422 (in Chinese with English abstract).
- Fu Z R, Li Z J and Zheng D Y. 1999. Structural pattern and tectonic evolution of NNE trending strike slip orogenic belt in the border region of Hunan and Jiangxi Province[J]. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 263~272 (in Chinese with English abstract).
- Ge L S, Guo X D and Zou Y L. 1997. Geological features and gold mineralization of intracontinental subduction orogenic belt in southwestern Sichuan[J]. *J. Precious Metallic Geol.*, 7(1): 32~42 (in Chinese with English abstract).
- Hu R Y, Chen J P, Guo S L, et al. 1995. Application of fission track technique to study of gold deposits[J]. *Geochimica*, 24(2): 188~192 (in Chinese with English abstract).
- Hu S X, Zhao Y Y, Sun J G, et al. Fluids and their sources for gold mineralizations in the North China platform[J]. *J. Nanjing Univ. (Natural Sciences)*, 38(3): 381~391 (in Chinese with English abstract).
- Huang J Y. 1997. Geology feature of east west trend group of lodes and prospecting direction[J]. *Hunan Geol.*, 16(3): 159~162 (in Chinese with English abstract).
- Hunan Regional Geological Survey. 1988. *Geology of Hunan Province* [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 417~437 (in Chinese).
- Jia D C and Hu R Z. 2001. Diagenesis tectonic setting and mobilization form of granitic rocks in tectonic mobilized epoch in northeastern Hunan Province[J]. *Geotectonic et Metallogenia*, 25(3): 277~281 (in Chinese with English abstract).
- Jia D C and Hu R Z. 2002a. Tectonic setting discrimination of late Yanshanian granites in northeast Hunan Province[J]. *Geology-Geochemistry*, 30(2): 10~14 (in Chinese with English abstract).
- Jia D C, Hu R Z and Xie G Q. 2002b. Petrological geochemistry of the mesozoic mafic dikes and their implication on tectonic setting in northeast Hunan Province[J]. *Geotectonic et Metallogenia*, 26(2): 179~184 (in Chinese with English abstract).
- Li P C, Xu D R, Chen G H, et al. 2004. Granites of Early Yanshanian

- epoch in northeastern Hunan Province—an example of intracontinental syn-collisional orogenic granite: geochemical constraint and geodynamic setting[J]. *Acta Petrologica Sinica*(in press) (in Chinese with English abstract) .
- Li S S. 1991. Generality of gold mine geology in Hunan Province[M]. Changsha: Cent. South Univ. Technol. Press(in Chinese) .
- Li X F, Li J W, Fu Z R, et al. 1998. Structural patterns and fractal features of ore-forming geo-anomalies in strike-slip fault zone in eastern Hunan and western Jiangxi[J]. *Earth Science—J. China Univ. Geosci.*, 23(2) : 141 ~ 146 (in Chinese with English abstract) .
- Li Z J, Fu Z R and Li J W. 1998. Dynamic system analysis of metallogenesis of NNE-trending strike-slip fault-fluid-Uranium mineralization in Hunan-Jiangxi border region[J]. *Geoscience*, 12(4) : 522 ~ 531(in Chinese with English abstract) .
- Li Z X, Li X X, Zhou H W, et al. 2002. Grenvillian continent; collision in south China: New SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia[J]. *Geol.*, 30 : 163 ~ 166 .
- Liu D R, Wu Y Z and Liu S N. 1994. Geochemistry of Wangu gold deposit[J]. *Hunan Geol.*, 13(2) : 83 ~ 90(in Chinese with English abstract) .
- Liu G Q, Zhang L X, Jin W Q, et al. 1999. The Yanshanian granitoids in northeast Hunan[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (4) : 1 ~ 9 (in Chinese with English abstract) .
- Liu G Q, Jin W Q, Zhang L X, et al. 2001. Discussion on sources of metallogenetic materials of porphyry-type and hydrothermal copper deposits in northeastern Hunan Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (1) : 40 ~ 47(in Chinese with English abstract) .
- Liu J S. 1993. About the metallogenic time on gold metallogenic district in Xuefeng[J]. *Gold*, 14(7) : 7 ~ 12 (in Chinese) .
- Liu L M, Peng S L and Wu Y Z. 1997. Features of metallogenic tectonics and mechanism of tectonic-mineralization for vein-type gold deposits in the north-eastern Hunan, China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 21(3) : 197 ~ 204 (in Chinese with English abstract) .
- Liu L M, Peng S L and Wu Y Z. 1999. Genetic features forming vein-type gold deposits in northeastern Hunan[J]. *J. Cent. South Univ. Technol.*, 30(1) : 4 ~ 7 (in Chinese with English abstract) .
- Liu Y J, Cao L M, Li Z L, et al. 1984. Element geochemistry[M]. Beijing: Sci. Press. 6 ~ 548 (in Chinese) .
- Luo X L. 1988. On the genesis and Metallogenic model of the Huangjiong gold deposit from Hunan[J]. *J. Guilin College of Geol.*, 3 : 225 ~ 239(in Chinese with English abstract) .
- Luo X L. 1990. Discussion on the material sources of gold deposits in precambrian strata in Hunan[J]. *J. Guilin Institute of Metallurgy and Geology*, 10(1) : 13 ~ 25 (in Chinese with English abstract) .
- Ma D S and Liu Y J. 1991. Study on the geochemical characteristics of stratum-controlled gold mine in Jiangnan gold metallogenic belt and its genesis[J]. *Sci. in China(Series B)*, (4) : 424 ~ 433 (in Chinese with English abstract) .
- Mao J R, Tao K Y, Yang Z L, et al. 1997. Geodynamic background of the Mesozoic intracontinental magmatism in southeast China[J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 18(2) : 95 ~ 104 (in Chinese with English abstract) .
- Mao J W and Li H Y. 1997. Research on genesis of the gold deposits in the Jiangnan terrain[J]. *Geochimica*, 26(5) : 71 ~ 81 (in Chinese with English abstract) .
- Mao J W, Hua R M and Li X B. 1999. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits[J]. *Mineral Deposits*, 18(4) : 291 ~ 299 (in Chinese with English abstract) .
- Mao J W, Kerrich R, Li H Y, et al. 2002. High He/He ratios in the Wangu gold deposit, Hunan Province, China: Implications for mantle fluids along the Tanlu deep fault zone[J]. *Geochem. J.*, 36 : 197 ~ 208 .
- McDonough W F and Sun S S. 1995. The composition of the earth[J]. *Chem. Geol.*, 120 : 223 ~ 253 .
- Michard A. 1989. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, (53) : 745 ~ 750 .
- Norman D I, Kyle P R and Baron C. 1989. Analysis of trace elements including rare earth elements in fluid inclusion liquid[J]. *Econ. Geol.*, 84 : 162 ~ 166 .
- Peng J T and Dai T G. 1998. On the mineralization epoch of the Xuefeng gold metallogenic provinces[J]. *Geol. & Prosp.*, 34(4) : 37 ~ 41(in Chinese with English abstract) .
- Peng J T. 1999. Gold mineralization and its evolution in the Xufeng district, Hunan[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 23(2) : 144 ~ 151 (in Chinese with English abstract) .
- Qiu Y X, Zhang Y C and Ma W P. 1998. Tectonics and geological evolution of Xufeng intra-continental orogene, south China[J]. *Geol. J. China Univ.*, 4(4) : 432 ~ 443 (in Chinese with English abstract) .
- Rao J R, Wang J H and Chao Y Z. 1993. Deep structure in Hunan Province[J]. *Hunan Geol.*, (Supp) : 1 ~ 100(in Chinese) .
- Rossmann G R, Weis D and Wassernurg G J. 1987. Rb, Sr, Nd and Sm concentration in quartz[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51 : 2325 ~ 2329 .
- Tong Q M. 1998. Forming condition of large-size Au-Cu deposits in northeastern Hunan and opinions for the future work[J]. *Hunan Geol.*, 15(4) : 33 ~ 37 (in Chinese with English abstract) .
- Wang J. 2000. Evolution of Neoproterozoic rift basin in East China and discuss the relationship with the Rodinia break-off[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 146(in Chinese) .
- Wang J Q. 1998. Matching of small continental blocks, polycyclic tectonic movements and intracontinental tectonic movements—three foundations of petroleum in China[J]. *J. Chengdu Univ. Technol.*, 25(2) : 182 ~ 190 (in Chinese with English abstract) .
- Wang P R, Quan Y Y, Hu N Y, et al. 1993. Forming condition for rock-gold deposits in Hunan Province and their disciplinarians of distribution and enrichment[J]. *Hunan Geol.*, 12(3) : 163 ~ 170 (in Chinese with English abstract) .
- Wang Z G, Zhao Z H and Yu X Y. 1989. Geochemistry of REE elements[M]. Beijing: Sci. Press. 76 ~ 159(in Chinese) .

- Wu K X, Hu R Z, Bi X W, et al. 2002. Summarization to the tracing metallogenic material sources by means of Pb isotope-bearing ores [J]. *Geology-Geochemistry*, 30(3): 73 ~ 79 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Deng J and Li X B. 1999. Regional mineralogeny[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 287(in Chinese).
- ### 附中文参考文献
- 陈衍景. 1998. 影响碰撞造山成矿模式的因素及其机制[J]. *地学前缘*, 5(增刊): 109 ~ 118.
- 程国满. 1999. 湘东赣西地区金矿源层的初步研究[J]. *黄金地质*, 5(2): 32 ~ 35.
- 程裕淇. 1994. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 517.
- 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 1995. 扬子大陆的陆内俯冲与大陆缩小——由白云母(二云母)花岗岩推导[J]. *高校地质学报*, 1(1): 50 ~ 57.
- 符巩固, 许德如, 陈广浩. 2002. 湘东北地区金成矿地质特征及找矿新进展[J]. *大地构造与成矿学*, 26(4): 416 ~ 423.
- 傅昭仁, 李紫金, 郑大瑜. 1999. 湘赣边区 NNE 向走滑造山带构造发展样式[J]. *地学前缘*, 6(4): 263 ~ 272.
- 葛良胜, 郭晓东, 邹依林. 1997. 川西南陆内俯冲造山带地质特征及金成矿作用[J]. *贵金属地质*, 7(1): 32 ~ 42.
- 胡瑞英, 程景平, 郭士伦, 等. 1995. 裂变径迹法在金矿研究中的应用[J]. *地球化学*, 24(2): 188 ~ 192.
- 胡受奚, 赵乙英, 孙景贵, 等. 2002. 华北地台重要金成矿过程中的流体作用及其来源研究[J]. *南京大学学报(自然科学)*, 38(3): 381 ~ 391.
- 湖南省地质矿产局. 1988. 湖南区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 417 ~ 437.
- 黄镜友. 1997. 湖南境内东西走向矿脉群的地质特点及找矿方向[J]. *湖南地质*, 16(3): 159 ~ 162.
- 贾大成, 胡瑞忠. 2001. 湘东北构造活化期花岗岩形成的构造环境及成因[J]. *大地构造与成矿学*, 25(3): 277 ~ 281.
- 贾大成, 胡瑞忠, 谢桂青. 2002a. 湘东北中生代基性岩脉岩石地球化学及构造意义[J]. *大地构造与成矿学*, 26(2): 179 ~ 184.
- 贾大成, 胡瑞忠. 2002b. 湘东北燕山晚期花岗岩构造环境判别[J]. *地质地球化学*, 30(2): 10 ~ 14.
- 黎盛斯. 1991. 湖南金矿地质概论[M]. 长沙: 中南工业大学出版社.
- 李鹏春, 许德如, 陈广浩, 等. 2004. 湘东北燕山早期花岗岩——一个陆内同碰撞型花岗岩实例: 地球化学制约和地球动力学背景[J]. *岩石学报(待刊)*.
- 李先福, 李建威, 傅昭仁, 等. 1998. 湘赣边地区走滑断裂带致矿异常的结构样式及分形特征[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 23(2): 141 ~ 146.
- 李紫金, 傅昭仁, 李建威. 1998. 湘赣边区 NNE 向走滑断裂流体铀成矿动力学分析[J]. *现代地质*, 12(4): 522 ~ 531.
- 柳德荣, 吴延之, 刘石年. 1994. 平江万古金矿床地球化学研究[J]. *湖南地质*, 13(2): 83 ~ 90.
- 刘姝群, 金维群, 张录秀, 等. 2001. 湘东北斑岩型和热液脉型铜矿成矿物质来源探讨[J]. *华南地质与矿产*, (1): 40 ~ 47.
- 刘姝群, 张录秀, 金维群, 等. 1999. 湘东北燕山期花岗岩[J]. *华南地质与矿产*, (4): 1 ~ 9.
- 刘继顺. 1993. 关于雪峰山一带金成矿区的成矿时代[J]. *黄金*, 14(7): 7 ~ 12.
- 刘亮明, 彭省临, 吴延之. 1997. 湘东北地区脉型金矿床成矿构造特征及构造成矿机制[J]. *大地构造与成矿学*, 21(3): 197 ~ 204.
- 刘亮明, 彭省临, 吴延之. 1999. 湘东北地区脉型金矿床的活化转移[J]. *中南工业大学学报*, 30(1): 4 ~ 7.
- 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 1984. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社. 6 ~ 548.
- 罗献林. 1988. 论湖南黄金洞金矿床的成因及成矿模式[J]. *桂林冶金地质学院学报*, 8(8): 225 ~ 239.
- 罗献林. 1990. 论湖南前寒武系金矿床的成矿物质来源[J]. *桂林冶金地质学院学报*, 10(1): 13 ~ 25.
- 马东升, 刘英俊. 1991. 江南金成矿带层控金矿的地球化学特征和成因研究[J]. *中国科学(B辑)*, (4): 424 ~ 433.
- 毛建仁, 陶奎元, 杨祝良, 等. 1997. 中国东南部陆内岩浆作用的动力学背景[J]. *火山地质与矿产*, 18(2): 95 ~ 104.
- 毛景文, 华仁民, 李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. *矿床地质*, 18(4): 291 ~ 299.
- 毛景文, 李红艳. 1997. 江南古陆某些金矿床成因讨论[J]. *地球化学*, 26(5): 71 ~ 81.
- 彭建堂, 戴塔根. 1998. 雪峰地区金成矿时代问题的探讨[J]. *地质与勘探*, 34(4): 37 ~ 41.
- 彭建堂. 1999. 湖南雪峰地区金成矿演化机理探讨[J]. *大地构造与成矿学*, 23(2): 144 ~ 151.
- 丘元禧, 张渝昌, 马文璞. 1998. 雪峰山陆内造山带的构造特征与演化[J]. *高校地质学报*, 4(4): 432 ~ 443.
- 饶家荣, 王纪恒, 曹一中. 1993. 湖南深部构造[J]. *湖南地质*, (增刊): 1 ~ 100.
- 童潜明. 1998. 浅析湘东北地区形成大型金铜多金属矿的条件及进一步工作意见[J]. *湖南地质*, 17(1): 19 ~ 21.
- 王甫仁, 权玉钰, 胡能勇, 等. 1993. 湖南省岩金矿床形成条件及分布富集规律[J]. *湖南地质*, 12(3): 163 ~ 170.
- 王剑. 2000. 华南新元古代裂谷盆地演化——兼论与 Rodinia 解体的关系[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 146.
- 王金琪. 1998. 小陆拼接、多旋回、陆内构造中国大陸石油地质三根基柱[J]. *成都理工学院学报*, 25(2): 182 ~ 190.
- 王中刚, 赵振华, 于学元. 1989. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社. 76 ~ 159.
- 吴开兴, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 2002. 矿石铅同位素示踪成矿物质来源综述[J]. *地质地球化学*, 30(3): 73 ~ 79.
- 翟裕生, 邓军, 李晓波. 1999. 区域成矿学[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 287.

Gold-Polymetallic Ore-forming Geochemistry of Yanshanian Intracontinental Collision Orogen, Northeastern Hunan Province

He Zhuangli, Xu Deru, Chen Guanghao, Xia Bin, Li Pengchun and Fu Gonggu

(Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry and South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

Abstract

Northeastern Hunan Province located in the center of Jiangnan orogenic belt has a series of Au, Cu, Co, Pb, Zn, (Co), Ag polymetallic deposits. Using geochemical tracing of trace elements (including REE), this paper has analyzed the metallogenic material source, ore-bearing fluid source and energy source for the movement of ore-bearing fluids which resulted in large-scale gold mineralization. The authors hold that metallogenic materials and ore-bearing fluids for gold polymetallic deposits were derived from several sources. Early Yanshanian granites and Mesoproterozoic Lengjiaxi Group might not provide metallogenic materials for large-scale gold mineralization. Nevertheless, large-scale granitic magmatism in Early Yanshanian period probably provided considerable energy for the movement of ore-bearing fluids. Metallogenic materials derived mainly from ore-bearing hydrothermal fluids might have been related to Pb- and Cl-enriched pneumatolite-hydrothermal fluids at somewhat higher temperature (about 320 °C) and in a relatively reductive acid environment. They were favorable for the reactivity and movement of gold-polymetallic materials in Mesoproterozoic Lengjiaxi Group or in correlated strata to form large-size gold-polymetallic deposits. Geodynamic transformation, synchronous hydrothermal activity and dynamic metamorphism were important factors for gold metallogeny in northeastern Hunan Province. However, magmatism, dynamism and/or hydrothermal activity might exhibit varied behaviors in northeastern Hunan Province, and hence different gold polymetallic deposits might have different metallogenic features.

Key words: geochemistry, geochemical tracing, gold polymetallic ore-forming geochemistry, Yanshanian intracontinental collision orogen, northeastern Hunan Province

<http://www.kcdz.ac.cn/>