

# 安徽滁县琅琊山一带燕山期岩浆岩成因 及区域找矿方向

段留安<sup>1 2</sup> 杨晓勇<sup>1</sup> 孙卫东<sup>3</sup> 孙健<sup>4</sup> 洪长春<sup>4</sup> 胡俊杰<sup>4</sup>

( 1. 中国科学技术大学 地球和空间科学学院 ,安徽 合肥 230026; 2. 武警黄金第七支队 ,山东 烟台 264004;  
3. 中国科学院 广州地球化学研究所 矿物学与成矿学重点实验室; 同位素地球化学国家重点实验室 ,广东  
广州 510640; 4. 安徽省地质勘查局 332 地质队 ,安徽 黄山 245000)

**摘要:** 滁县琅琊山铜矿床是长江中下游成矿带北东段滁县 - 庐江铜金成矿带的一部分 ,为安徽东部目前发现规模最大的铜及伴生金矿床。与成矿关系密切的滁县岩体 ,长期以来前人鲜有系统的地球化学研究 ,本文在野外地质调查的基础上 ,系统采集了一套滁县岩体样品 ,发现其地球化学特征与典型的埃达克岩基本一致: 具有 $\text{SiO}_2 > 56\%$  , $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$  ,富 Sr、Ba 和 Cr、Ni ,具有高的 Sr/Y 和 $(\text{La}/\text{Yb})_N$  值 ,但 Y 和 Yb 含量低 ,无明显 Eu 异常 ,另外岩石具有较高的 MgO、 $\text{Mg}^\#$  及 Sr/La 值 ,显示海水蚀变 MORB 相似的地球化学特征。分析认为 ,该区燕山期岩浆岩为洋壳俯冲产物 ,属比较典型的和成矿有关的埃达克岩 ,伴随着该期侵入岩的上侵 ,富含 Cu、Au 的成矿物质随着温度、压力或者氧逸度的降低 ,在合适的部位富集成矿。对比分析了上腰铺岩体的地球化学特征 ,认为它和滁县岩体特征基本一致 ,应该有着相似的成岩成矿背景。同时在滁县岩体西南段发现一条含微细粒黄铁矿碎裂状白云岩质硅化带 ,在上腰铺岩体周边发现一条多金属矿化硅质脉 ,并对琅琊山含铜矿化矽卡岩及上述白云岩质硅化带和多金属矿化硅质脉进行了地质分析和痕量元素测试 ,认为它们与燕山期侵入岩有着密切的关系 ,上腰铺岩体周边可以作为下步铜及伴生金矿床勘查的新的远景地区 ,同时指出该区找矿不能只盯着矽卡岩型铜金矿而忽视多金属矿化硅质脉新类型矿的寻找。

**关键词:** 滁县琅琊山; 燕山期岩浆岩; 岩石化学特征; 岩石成因; 找矿方向

**中图分类号:** P595; P611 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-4552( 2012) 02-0259-015

## 0 引言

琅琊山铜矿床是典型的矽卡岩型富铜伴生金矿床 ,有着悠久的采矿和冶炼历史。国内外地质人员先后在该区开展过大量的地质工作 ,尤其是近年来的深部勘探 ,取得了丰硕的地质成果 ,研究表明琅琊山铜金矿的成矿与燕山期滁县岩体有着密不可分的时空关系 ,岩体与寒武系的接触带位置是形成矽卡岩型矿床的有利部位 ,铜金矿床的形成与该期侵入岩密不可分。显然查清燕山期侵入岩的岩石地球化

学特征、岩石成因、成矿意义 ,对于进一步找矿起着至关重要的作用。

## 1 地质背景及岩石学特征

琅琊山铜矿床位于扬子地台东部 ,西邻著名的郟庐大断裂( 图 1a、b) ,位于长江中下游成矿带北缘滁县 - 全椒铜金成矿区内( 常印佛等 ,1991) 。滁县 - 全椒铜金成矿区出露地层主要为震旦系灯影组 ,寒武系黄栗树组、余家凹组和琅琊山组 ,奥陶系上欧

收稿日期: 2011 - 09 - 05; 改回日期: 2011 - 12 - 19

项目资助: 中国科学院知识创新工程( KZCX1-YW-45 ,KZCX2-YW-QN509) ,国家自然科学基金重点项目( No. 90814008 ,41173057) 和安徽省公益性地质科研项目( 2011-K-08) 共同资助。

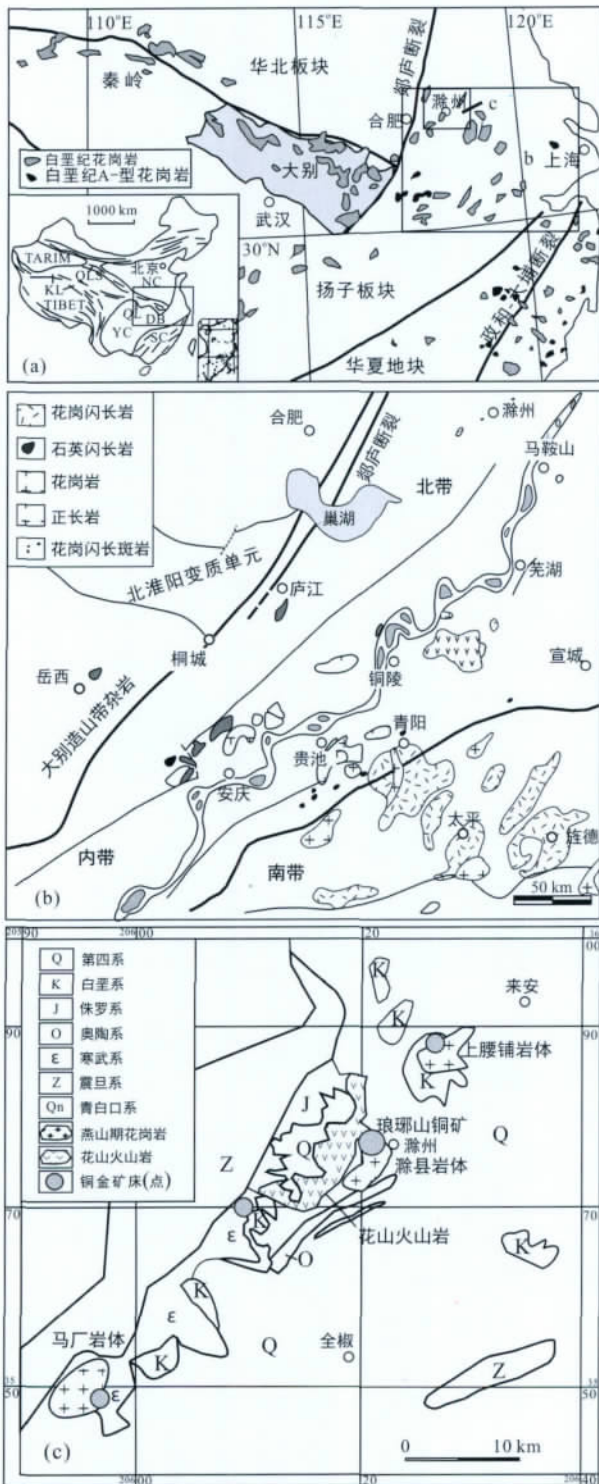
第一作者简介: 段留安( 1976 - ) ,男 ,在职博士生 ,工程师 ,矿产勘查及地球化学专业。通信作者: 杨晓勇 ,Email: xyang555@163.com

冲组,侏罗系红花桥组和白垩系浦口组。上述地层均呈北东-南西向延展,以寒武系琅琊山组条带状含碳质大理岩分布最为广泛。寒武系含碳质地层在同生成岩作用过程中,对主成矿物质进行了初始富

集,使该类岩石中铜、金、银、镍等元素含量显著高于本区其它层位的灰岩,如 Cu 为  $20 \sim >1000 \mu\text{g/g}$ , Au 为  $0.013 \sim 0.26 \mu\text{g/g}$ , Ag 为  $0.5 \sim 8.6 \mu\text{g/g}$ ;另一方面该类岩石为条带状和薄层状,其上覆岩石为厚层状灰岩,下伏地层为孔隙较为发育的泥砂质岩石,其特殊的含水-透水层地层系统促使成矿热液主要顺该层运移并沉淀,对形成矽卡岩型铜矿床起到重要作用。这些均与长江中下游地区层控矽卡岩型铜矿床具有相似的成矿特点(王波华等,2007)。

矿区内褶皱、断裂构造极为发育,主要构造格架总体为复式向斜,伴生或叠加有逆冲推覆或伸展拉伸的断裂活动。挤压缩短机制下的盖层褶皱和层间推覆-滑覆构造,构成一系列北东向 S 形同斜倒转褶曲,褶皱轴线在平面上均呈 S 形展布,褶皱轴面的三维空间形态为“麻花状”,即褶皱中段轴面近直立,两翼大致对称,南北两段轴面分别倾向北西和南东,这种 S 形褶皱可能是东西向基底断裂限制了北东向 S 形变形所致。北东向褶皱之上又叠加有东西向褶皱,为轴向  $280^\circ$  的宽缓褶皱,叠加褶皱的横跨复合造成北东向向斜枢纽昂起,形成的隆起、虚脱空间则是岩体和矿体赋存的有利地段(王波华等,2007)。S 形构造是长江中下游地区一种典型的控岩控矿构造,尤其是在背斜构造的核部或翼部,琅琊山矿床即分布于大丰山背斜中。区内断裂主要为 NE、NNE 走向,大致有两种产出状态:一是沿第一期褶皱的倒转翼发育的剪切逆冲断裂,为一系列性质、产状基本相同的断裂组合,相当于逆冲推覆带内的一组叠瓦状逆冲断层系,断裂基本上向 NW 倾,倾角上陡下缓;二是晚期活动时,断裂产状为陡倾。早期为挤压逆冲剪切作用,中期为伸展张裂活动,晚期又为张扭性剪切破碎活动(侯明金等,2001)。其中,中期活动为铜金矿提供了有利赋存空间,晚期使铜金矿化进一步富集。

滁县-全椒铜金成矿区区内侵入岩主要为马厂岩体、滁县岩体及上腰铺岩体(图 1c),三个岩体按 NE 方向自南向北依次展布,加上已有的物探资料,推测它们的侵位与 NE 向断裂相关,为同一期岩浆活动的产物(尽管不同地段表现出的形式可能不同),同时三者之间可能存在同时期的隐伏岩体。从整个扬子地块东部区域上看,早白垩世的岩浆活动非常发育(翟裕生等,1992;邓晋福等,1992;Chen and Jahn,1998;Xu et al.,2004;Guo et al.,2006;Wang et al.,2006b,2007a,b)。滁县、上腰铺岩体黑云母的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  定年结果分别为(127.17



(a) 研究区大地构造位置简图; (b) 长江中下游地质简图(图 a、b 据 Ling et al., 2009 修改); (c) 琅琊山铜矿及周边地质简图。

图 1 研究区大地构造位置及区域地质图

Fig. 1 Sketch maps of tectonics and regional geology

$\pm 0.40$ ) Ma, (129.90  $\pm 0.23$ ) Ma( 资锋等, 2007), 显示它们有几乎相同的成岩年龄, 同时它们的岩石学特征(表 1)、岩石地球化学特征也类似, 佐证了上述推断。同时, 秦燕等(2009)对琅琊山铜矿辉钼

矿 Re-Os 同位素定年获得了 $^{187}\text{Re}$ - $^{187}\text{Os}$  等时线年龄为(128.6  $\pm 2.2$ ) Ma 的成矿年龄。由此可见, 该区成岩成矿为同一时代的构造-岩浆活动的产物。

表 1 滁县和上腰铺岩体特征表

Table 1 Petrographic characteristics of the Chuxian and Shangyaopu intrusions

岩体名称	岩体组成	结构构造	主要矿物成分	围岩及围岩蚀变	岩体形态
滁县岩体	石英二长斑岩(花岗岩)、少量闪长斑岩	斑状-似斑状结构, 块状构造	斑晶为斜长石(约 23%)、钾长石(20%), 少量角闪石、黑云母、石英等, 粒度一般 2.5~4 mm; 基质为微晶状, 由斜长石、钾长石、黑云母、角闪石、石英及副矿物组成(图 2-a、b、c、d)	围岩为下奥陶统至上寒武统灰岩。围岩蚀变主要为大理岩化、矽卡岩化, 还有少量硅化、钾长石化、绿泥石化、碳酸盐化	平面形态不规则, 呈 NE 向展布, 出露面积约 1.2 km <sup>2</sup>
上腰铺岩体	石英二长斑岩(花岗岩)、少量闪长斑岩	斑状-似斑状结构, 块状构造	斑晶为斜长石(约 25%)、钾长石(约 20%), 少量角闪石、黑云母等, 粒度一般 2~4.5 mm; 基质为微晶状, 由斜长石、钾长石、黑云母、角闪石、石英及副矿物组成(图 2-e、f)	围岩为下奥陶统上欧冲组。围岩蚀变有大理岩化、硅化、矽卡岩化、绿泥石化、碳酸盐化、绢云母化、高岭土化等, 局部出现铜矿化	平面形态为 NE 向展布的椭圆形, 出露面积约 8.5 km <sup>2</sup>

## 2 样品分析测试

本次研究采集了 22 件新鲜岩矿石样品, 其中滁县岩体 10 件, 弱矿化矽卡岩 2 件, 上腰铺岩体 4 件, 全椒矿化硅质白云岩 4 件, 上腰铺附近官山硅质脉 2 件。样品采集后, 统一编号送至澳实矿物实验室(广州), 由该实验室对样品进行主、微量元素的分析测定。样品首先经过严格控制的制样过程, 以获取均匀的、有代表性的缩分样。制样打包系列执行国际标准, 包含的步骤有排样、干燥、破碎、缩分、研磨。所有破碎、研磨设备及操作台均安装在“负压收尘制样系统”上, 每做完一个样品, 均使用“高压、干燥、净化的空气”吹洗设备、设施、乃至操作人员的手套等, 使整个流程避免粉尘飘逸造成的样品交叉污染。

主量元素分析用 X 荧光光谱仪(Analytical AX-IOS)检测分析。微量元素的分析则采用等离子体质谱(PerkinElmer)、等离子体光谱(Varian)检测仪器检测分析, 主、微量元素分析方法代码分别是 ME-XRF06 和 ME-MS81。

岩石样品的主、微量元素及稀土元素的分析结果见表 2。

## 3 结果讨论

### 3.1 主量元素

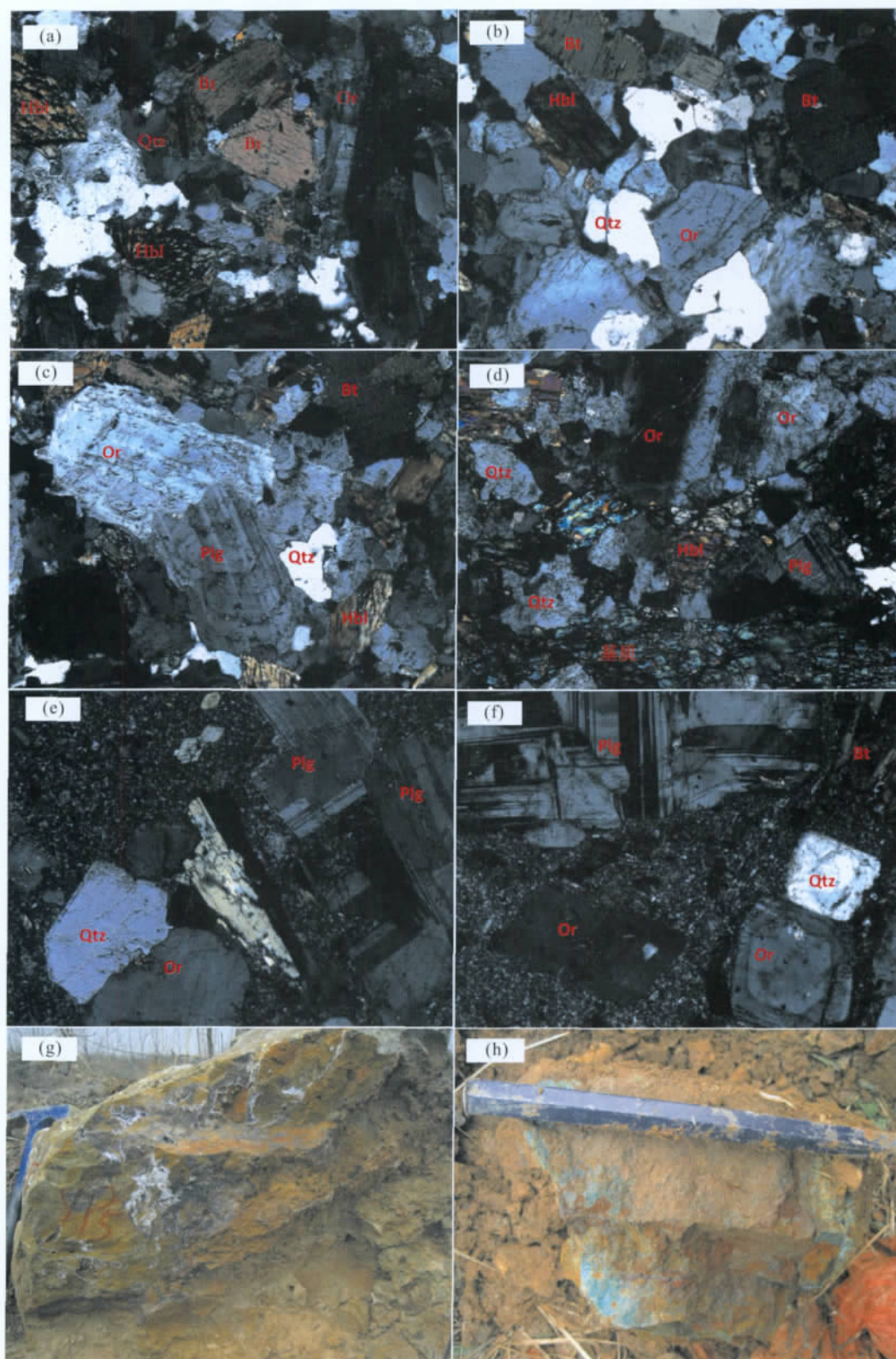
滁县岩体的 SiO<sub>2</sub> 含量为 62.5%~63.03%, 平均 62.81%, 这与资锋等(2007)报道的上腰铺岩体的 SiO<sub>2</sub> 含量(58.2%~66.11%, 平均 63.51%) 大

体相当, 同属中酸性侵入岩(表 2)。在 TAS 图解中, 两者样品主要落于二长岩-石英二长岩区(图 3a), 在 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 图解中, 滁县、上腰铺岩体全部落在高钾钙碱性系列岩石区(图 3b)。滁县岩体 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 15.69%~16.14% (平均值 > 15%), Na<sub>2</sub>O 含量为 4.61%~4.91%, 所有样品 Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O 值均大于 1(1.43~1.65), 岩石总体上显示富 Al、Na 的特点, 与上腰铺岩体(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量平均值 > 15%、Na<sub>2</sub>O 含量 4.15%~4.27%、Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O 值均大于 1) 的特点一致。滁县岩体样品具有高 MgO, 含量为 3.18%~3.36% (平均 3.23%), Mg<sup>#</sup>(55.7~66.2) 的特征, 比上腰铺岩体 MgO 含量平均值 2.36%、Mg<sup>#</sup> 平均值 50.8 略高。

同滁县地区的火山岩相比(谢成龙等, 2007), 滁县和上腰铺岩体的 TFeO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO<sub>2</sub>、MnO 含量略低, 而 CaO、MgO 的含量略高。

### 3.2 微量元素

滁县岩体富 Sr(1300~1405 μg/g) 和 Ba(1355~1560 μg/g), 具有高的 Sr/Y(145~181) 值, 但 Y(7.5~9.1 μg/g, 平均 8.08 μg/g) 和 Yb(0.68~0.71 μg/g) 含量低(表 2)。另外, 样品具有相对高的 Cr(110~140 μg/g) 和 Ni(53~66 μg/g) 含量, 上腰铺岩体也具有上述特点, 只是 Cr、Ni、Sr、Pb 略低于滁县岩体, 而 Ba、Rb、Cs 略高于滁县岩体; 在微量元素的 Harker 图解(图 4) 中, 滁县岩体和上腰铺岩体的 Cr、Ni、Yb 及 Y 分别与 SiO<sub>2</sub> 呈负相关性, 而 Sr、Ba、Zr 和 Ce 并不与 SiO<sub>2</sub> 有相关性。样品的 ΣREE 为 96.62~112.7 μg/g, 平均为 102.74 μg/g 和上腰



Hbl. 角闪石; Bt. 黑云母; Qtz. 石英; Or. 正长石; Plg. 斜长石。图(a)、(b)、(c)、(d)的样品编号分别为CX02、04、06、10,均为花岗闪长斑岩;图(e)、(f)的样品编号分别为SYP01、04,为石英闪长斑岩;图(g)、(h)为本次工作发现的官山硅质脉,样品编号分别为YP5、8。

图2 琅琊山铜矿周边侵入岩镜下及官山硅质脉照片

Fig. 2 Photos and micrographs of the intrusive rocks and silicified veins in the Langyashan skarn Cu deposit and adjacent region

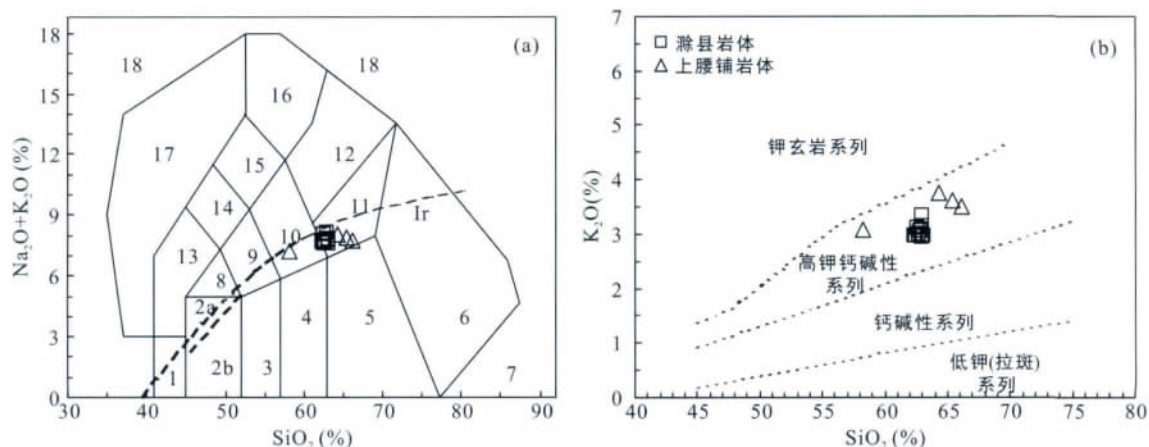
表 2 琅琊山铜矿周边侵入岩和硅质脉元素地球化学特性(主要元素:%; 微量元素:μg/g)

Table 2 Chemical compositions of intrusive rocks and silicified veins in the Langyashan skarn cu deposit and nearby region

样品编号	岩石名称	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	BaO	LOI	Total	Co	Cr	Cs	Cu	Mo	Ni	Zn
09CX01	花岗岩	63.00	15.80	4.71	3.18	3.58	0.04	0.51	4.06	3.14	0.21	0.16	0.15	1.30	99.86	13.4	120	0.96	304	3	57.0	41
09CX02	花岗岩	63.10	15.80	4.61	3.30	4.15	0.04	0.51	3.76	2.98	0.22	0.16	0.18	0.88	99.69	14.0	120	1.00	189	3	59.0	39
09CX03	花岗岩	62.60	16.00	4.91	3.33	3.74	0.05	0.51	4.21	3.12	0.21	0.16	0.17	0.86	99.80	13.4	110	0.70	343	3	53.0	56
09CX04	花岗岩	63.00	16.00	4.84	3.21	4.02	0.05	0.54	3.87	2.94	0.22	0.16	0.17	0.75	99.82	14.5	120	0.85	533	2	57.0	43
09CX05	花岗岩	62.40	15.60	4.69	3.21	3.90	0.05	0.52	3.79	2.98	0.21	0.16	0.17	0.77	98.48	14.4	130	0.92	154	<2	61.0	41
09CX06	花岗岩	63.00	16.10	4.77	3.21	4.05	0.04	0.54	3.88	2.97	0.22	0.16	0.17	0.68	99.88	13.7	120	0.82	33	2	58.0	38
09CX07	花岗岩	63.00	15.80	4.78	3.15	3.19	0.05	0.52	4.49	3.33	0.21	0.16	0.15	1.16	99.96	13.8	130	0.80	105	4	54.0	47
09CX08	花岗岩	62.80	15.70	4.64	3.23	4.65	0.05	0.52	3.75	3.06	0.21	0.15	0.17	0.72	99.66	14.0	130	1.10	142	3	60.0	38
09CX09	花岗岩	62.70	16.00	4.77	3.36	3.75	0.05	0.53	4.28	3.00	0.22	0.16	0.16	0.93	99.93	14.0	140	0.78	85	2	66.0	42
09CX10	花岗岩	62.50	15.80	4.62	3.19	5.03	0.05	0.53	3.73	2.97	0.22	0.16	0.17	0.68	99.71	15.5	130	1.04	17	2	58.0	44
SYP-2	花岗岩	66.10	16.00	4.22	1.23	3.01	0.02	0.49	2.76	3.49	0.21			2.08	99.57	7.2	60.7	3.49				22.2
SYP-3	花岗岩	58.20	14.80	4.15	5.14	4.90	0.08	0.54	7.53	3.08	0.17			1.23	99.87	14.2	206	0.94				53.4
SYP-4-1	花岗岩	65.40	15.80	4.27	1.66	3.79	0.03	0.52	3.12	3.62	0.18			1.19	99.49	11.5	51.7	2.68				23.0
SYP-5	花岗岩	64.30	16.40	4.27	1.39	3.46	0.03	0.55	3.53	3.75	0.22			1.69	99.62	11.8	80.4	3.40				39.4
09CX11	砂卡岩	39.30	5.15	0.12	3.69	17.85	0.24	0.4	30.70	0.02	0.09	0.01	<0.01	1.54	99.05	9.1	30.0	0.19	84	<2	21.0	34
09CX12	砂卡岩	41.00	4.67	0.12	5.29	16.28	0.22	0.36	29.80	0.03	0.10	<0.01	<0.01	1.92	99.81	12.8	40.0	0.16	142	<2	31.0	41
SH1	硅化带	16.80	2.14	0.04	14.70	2.54	0.07	0.2	25.90	0.63	0.07	0.02	0.01	35.1	98.18	7.6	10.0	4.35	16	<2	18.0	57
SH2	硅化带	20.00	1.59	0.03	11.40	1.49	0.10	0.21	28.80	0.27	0.10	0.02	0.04	34.2	98.15	7.0	10.0	0.99	36	<2	10.0	47
SH3	硅化带	17.30	2.29	0.04	14.60	2.86	0.07	0.26	25.40	0.70	0.09	0.02	0.01	34.6	98.29	8.3	10.0	4.78	13	<2	18.0	78
SH4	硅化带	54.70	1.44	0.06	5.80	3.64	0.06	0.11	13.50	0.41	0.10	0.03	2.23	17.4	99.47	8.1	20.0	1.54	24	6	48.0	345
SYP1	硅质脉	75.90	0.89	0.04	0.23	18.63	0.09	0.02	0.16	0.07	0.10	0.01	0.01	3.41	99.52	335	70.0	0.41	624	47	1870	20
SYP2	硅质脉	73.00	0.75	0.04	0.20	21.16	0.08	0.01	0.10	0.05	0.09	0.01	0.01	3.62	99.17	346	110	0.31	758	52	2470	21

(续表 2)

样品编号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	(La/Yb) <sub>N</sub>	δEu	δCe
09CX01	21.10	42.80	5.13	19.10	3.44	1.07	3.07	0.39	1.61	0.28	0.82	0.11	0.69	0.11	7.80	107.52	92.64	7.08	13.08	21.93	0.99	0.98
09CX02	21.40	43.60	5.21	19.90	3.54	1.11	3.17	0.40	1.66	0.31	0.87	0.13	0.73	0.11	7.70	109.84	94.76	7.38	12.84	21.03	0.99	0.98
09CX03	21.50	43.10	5.16	19.80	3.42	1.08	3.07	0.39	1.60	0.29	0.86	0.10	0.71	0.10	7.50	108.68	94.06	7.12	13.21	21.72	1.00	0.97
09CX04	22.20	44.20	5.37	20.30	3.59	1.12	3.21	0.41	1.70	0.32	0.92	0.12	0.69	0.11	7.90	112.16	96.78	7.48	12.94	23.08	0.99	0.96
09CX05	20.90	42.30	5.11	19.30	3.39	1.06	3.14	0.39	1.66	0.29	0.85	0.12	0.69	0.11	7.80	107.11	92.06	7.25	12.70	21.73	0.98	0.97
09CX06	20.90	42.70	5.13	19.00	3.52	1.07	3.11	0.4	1.58	0.31	0.9	0.12	0.71	0.11	7.70	107.26	92.32	7.24	12.75	21.11	0.97	0.98
09CX07	23.5	46.80	5.37	19.70	3.44	1.05	3.16	0.38	1.79	0.33	0.9	0.12	0.68	0.11	9.10	116.43	99.86	7.47	13.37	24.79	0.96	0.98
09CX08	20.80	41.30	4.89	18.30	3.26	1.06	2.85	0.36	1.73	0.31	0.86	0.11	0.69	0.10	8.70	105.32	89.61	7.01	12.78	21.62	1.04	0.97
09CX09	24.40	49.20	5.71	21.30	3.64	1.13	3.08	0.37	1.72	0.33	0.89	0.11	0.71	0.11	8.50	121.2	105.38	7.32	14.40	24.65	1.00	0.99
09CX10	22.70	45.20	5.26	19.70	3.54	1.09	3.03	0.35	1.64	0.31	0.85	0.1	0.74	0.11	8.10	112.72	97.49	7.13	13.67	22.00	0.99	0.98
SYP-2	21.14	43.01	5.21	19.45	3.17	0.82	2.06	0.29	1.40	0.25	0.62	0.09	0.54	0.09	6.67	104.81	92.80	5.34	17.38	28.08	0.92	0.98
SYP-3	20.02	40.24	4.98	18.99	3.50	0.75	2.65	0.35	1.93	0.36	0.96	0.14	0.9	0.15	9.84	105.76	88.48	7.44	11.89	15.96	0.72	0.96
SYP-4-1	23.04	42.74	5.44	18.95	3.23	0.82	2.27	0.28	1.45	0.25	0.60	0.08	0.53	0.08	6.69	106.45	94.22	5.54	17.01	31.18	0.88	0.90
SYP-5	28.18	53.84	6.18	22.09	3.37	0.92	2.21	0.32	1.64	0.3	0.79	0.12	0.79	0.13	8.36	129.24	114.58	6.30	18.19	25.59	0.97	0.96
09CX11	13.90	66.70	10.4	42.20	7.02	2.67	5.07	0.54	2.40	0.48	1.34	0.19	1.16	0.17	12.80	167.04	142.89	11.35	12.59	8.60	1.30	1.30
09CX12	13.10	60.80	9.31	37.70	6.32	2.32	4.48	0.48	2.10	0.39	1.17	0.15	0.96	0.15	10.80	150.23	129.55	9.88	13.11	9.79	1.27	1.30
SH1	5.00	11.90	1.46	6.30	1.60	0.54	1.64	0.27	1.62	0.28	0.84	0.11	0.65	0.08	9.00	41.29	26.80	5.49	4.88	5.52	1.01	1.07
SH2	4.30	8.80	1.07	4.20	0.89	0.26	0.89	0.12	0.80	0.14	0.46	0.06	0.39	0.04	4.60	27.02	19.52	2.90	6.73	7.91	0.88	0.98
SH3	5.60	12.90	1.63	6.80	1.79	0.61	1.93	0.33	1.87	0.34	0.95	0.12	0.75	0.09	10.60	46.31	29.33	6.38	4.60	5.36	1.00	1.03
SH4	4.10	8.10	0.81	3.30	0.87	0.37	0.91	0.13	0.83	0.14	0.45	0.06	0.38	0.04	4.20	24.69	17.55	2.94	5.97	7.74	1.26	1.02
SYP1	3.70	8.70	0.97	3.60	0.99	0.36	1.03	0.22	1.42	0.28	0.89	0.11	0.9	0.12	5.70	28.99	18.32	4.97	3.69	2.95	1.08	1.10
SYP2	3.80	8.30	1.05	4.20	1.16	0.40	1.18	0.28	1.73	0.32	1.05	0.14	0.92	0.13	6.70	31.36	18.91	5.75	3.29	2.96	1.04	1.00



(a) 中 1. 橄辉长岩; 2a. 碱性辉长岩; 2b. 亚碱性辉长岩; 3. 辉长闪长岩; 4. 闪长岩; 5. 花岗闪长岩; 6. 花岗岩; 7. 石英岩; 8. 二长辉长岩; 9. 二长闪长岩; 10. 二长岩; 11. 石英二长岩; 12. 正长岩; 13. 副长石辉长岩; 14. 副长石二长闪长岩; 15. 副长石二长正长岩; 16. 副长正长岩; 17. 副长深长岩; 18. 宽方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩。(a 据 Middlemost, 1985, 转引自 Rollinson, 2000; b 据 Peccerillo and Taylor, 1976, 数据来自表 2)。

图 3 琅琊山铜矿及周边岩浆岩 TAS 分类图解

Fig. 3 TAS classification diagrams for the magmatic rocks from the Langyashan Cu-Au deposit

铺岩体( $\Sigma$ REE 平均为  $103.67 \mu\text{g/g}$ ) 相当。

在微量元素球粒陨石标准化蛛网图解(图 5a)上,两个岩体都呈现明显的 Ba、Sr 正异常和 Nb、Ta、Ti、Th 负异常。滁县岩体样品的球粒陨石标准化稀土配分曲线为右倾型(图 5b),  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 21 \sim 25$ , 平均为 22; 轻稀土元素富集,重稀土元素强烈亏损,无明显负 Eu 异常 - 正 Eu 异常( $\delta\text{Eu} = 0.96 \sim 1.04$ ),上腰铺岩体特点和其类似。

在  $\text{Sr}/\text{Y}-\text{Y}$ (图 6)和  $(\text{La}/\text{Yb})_N-\text{Yb}_N$  图解中,滁县、上腰铺侵入岩样品全部落入埃达克岩区。

### 3.3 岩石成因

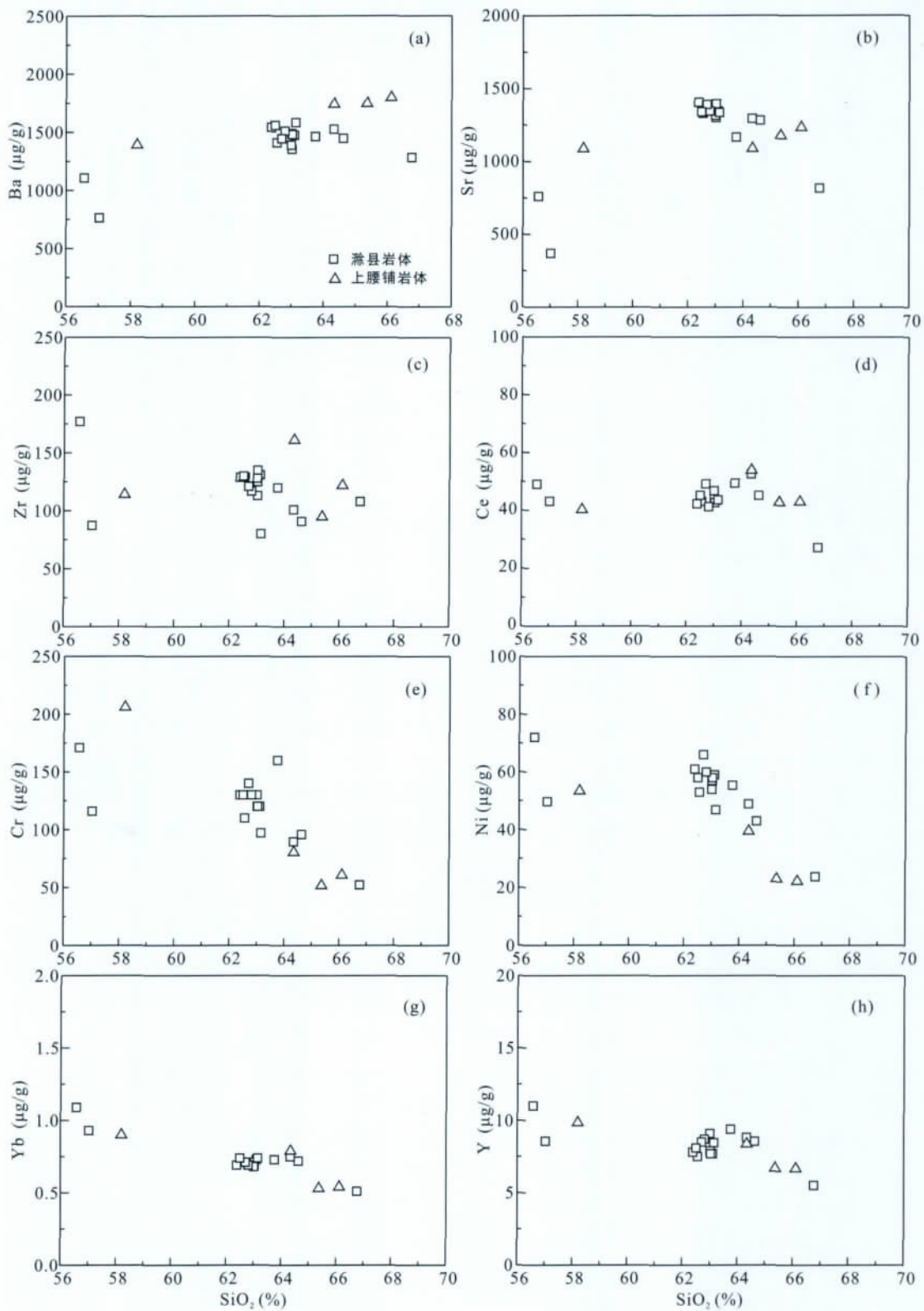
近十年来,国内外学者将中国东部多个含铜(金)矿化的燕山期岩体厘定为埃达克岩(adakite),但是对其成因有多种解释,主要模式有:(1)俯冲洋壳的熔融(如 Defant and Drummond, 1990; 石玉若等, 2005; Wang et al., 2007c; Zhang et al., 2006); (2)玄武质岩浆的地壳混染与分离结晶(AFC)过程(Castillo et al., 1999; Castillo, 2006); (3)增厚玄武质下地壳的部分熔融(Atherton and Petford, 1993; 张旗等, 2001a, b; 王金荣等, 2005; 侯增谦等, 2007); (4)拆沉下地壳熔融(Xu et al., 2002; Gao et al., 2004; Wang et al., 2006a, b, 2007a; 侯增谦等, 2007; 资锋等, 2008)。Guo et al. (2006)认为滁县地区早白垩世高铝火山岩可能由增厚的下地壳熔融形成,但资锋等(2007)认为它们不可能由增厚玄武质下地壳熔融形成,同时认为也不可能由 AFC 过程和俯冲洋壳的熔融形成,而

是由拆沉下地壳熔融形成。

滁县地区的埃达克岩普遍具有高 Sr/Y 和高 Na ( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} < 0.5$ ) 的岩石地球化学特征,运用俯冲洋壳重熔的观点可以很好地解释其地球化学特征和成因机制。在微量元素特征上,主要表现富集 LILE,亏损 Nb、Ta、Ti 等元素,稀土元素配分图解为轻稀土富集型,不具有 Eu 负异常的特征(图 5)。因为地球化学基本规律表明,岩浆岩若是洋壳俯冲重融成因,在主量元素的行为上,应该富集 Na 而相对贫 K,因为俯冲过程中必然有海水的加入,会使得源区的 Na 质大大提高;相反,若是陆壳拆沉(加厚)重融,应该是富集 K,因为以北美页岩为代表的平均地壳元素丰度其 K 含量高于 Na 含量数倍(Rollinson, 2000)。据此我们做  $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  图解(图 7),从图上可以看出,本研究区岩石的  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  值均小于 1.0,而且多数样品在 0.5 附近,与之形成鲜明差别的是,大别山同期被认为是加厚下地壳成因的埃达克岩,其  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  值多高于 1(Huang et al., 2008),这从一个侧面证实了我们关于本区岩浆岩起源于洋壳俯冲重融的结论。

余良范等(2008)对长江中下游沙溪斑岩型铜金矿床的成矿母岩研究发现,该类型的岩浆岩富集 Na 而相对贫 K,推测为洋壳俯冲重融成因,而不应该是前人推测的陆壳拆沉成因。

同时,运用传统的埃达克岩判别图  $\text{Sr}/\text{Y}-(\text{La}/\text{Yb})_N$  图解(图 8),也可以清楚地判明琅琊山铜矿及周边岩浆岩适用于和洋壳部分熔融有关,明显



滁县岩体和上腰铺岩体数据来自表 2。

图 4 琅琊山铜矿及周边岩浆岩微量元素 Harker 图解

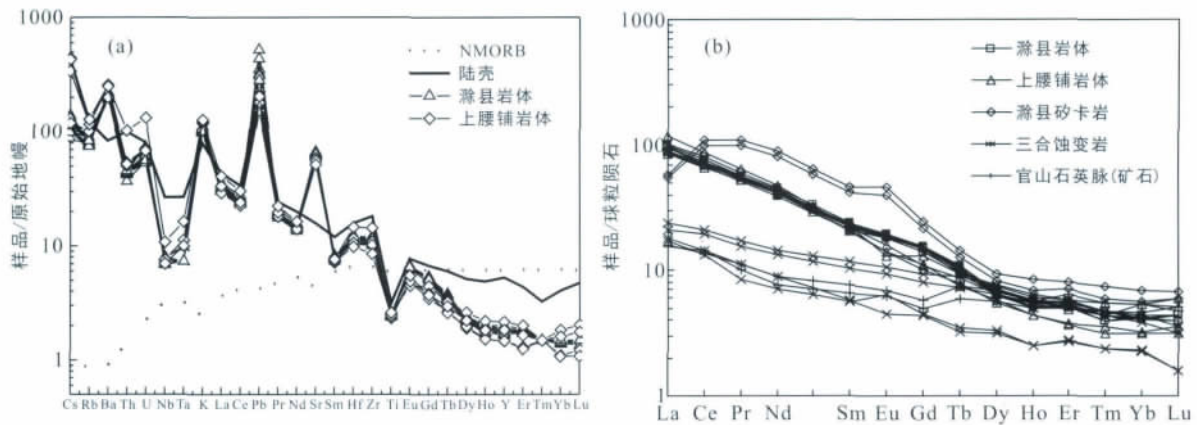
Fig. 4 Harker diagrams of trace elements for the magmatic rocks from the Langyashan Cu-Au deposit

区别于加厚的下地壳成因的埃达克岩。

Liu 等(2010)对长江中下游(LYRB)和郟庐断

裂带南部(STLF)早白垩世含矿和无矿高镁埃达克岩进行了系统研究,认为:(1)STLF 不含矿埃达克





标准值据 Taylor and McLennan, 1985, 转引自 Rollinson, 2000。

图 5 琅琊山铜矿及周边岩浆岩微量元素蛛网图 (a) 及稀土元素配分图解 (b)

Fig. 5 Distribution patterns of trace elements and REE of the magmatic rocks from the Langyashan Cu-Au deposit

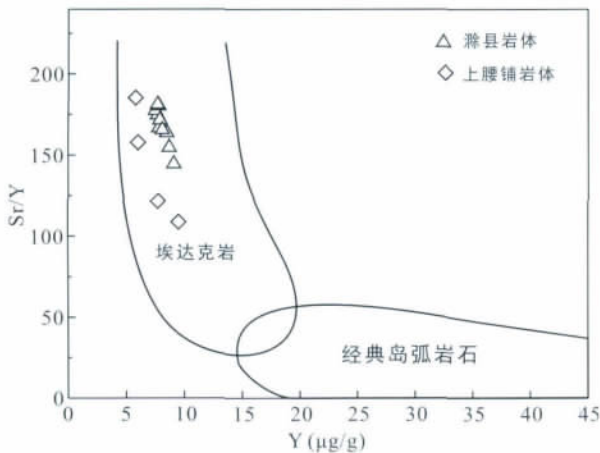
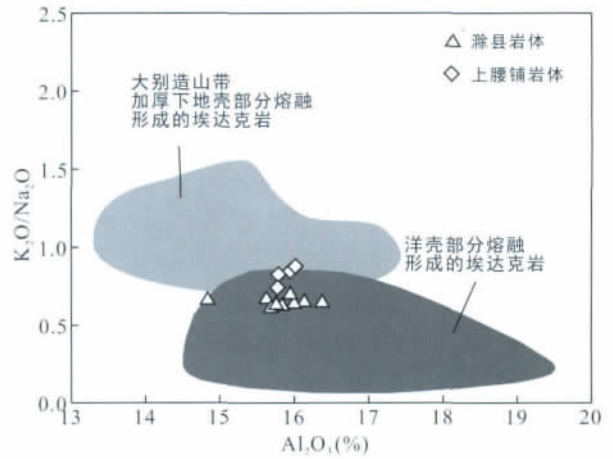


图 6 琅琊山铜矿及周边岩浆岩微量元素 Sr/Y 对 Y 图解

Fig. 6 Sr/Y vs Y diagram for the magmatic rocks from the Langyashan Cu-Au deposit



加厚的下地壳范围据 Huang et al., 2008。

图 7 琅琊山铜矿及周边岩浆岩 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 图解

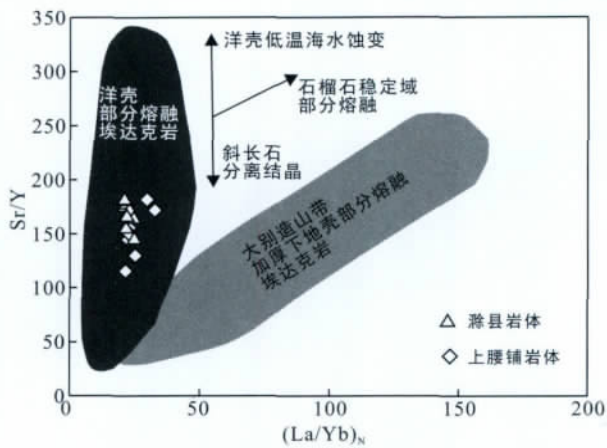
Fig. 7 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O vs Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diagram for the magmatic rocks from the Langyashan Cu-Au deposit

岩具有典型古老下地壳 Sr-Nd 同位素特征; LYRB 含矿埃达克岩落入陆缘岛弧的 Sr-Nd 同位素分布区。(2) STLF 不含矿埃达克岩具有典型古老下地壳低放射成因 Pb 同位素特征; LYRB 含矿埃达克岩落入 MORB 区, 该区早白垩世镁铁质岩浆岩也具有类似同位素特征。(3) LYRB 高 Mg 埃达克岩具高 Ce/Pb 和 Sr/La 值, 显示海水蚀变 MORB 特征。STLF 高 Mg 埃达克岩具低 Ce/Pb 和 Sr/La 值, 显示大陆地壳特征。滁县及上腰铺岩体位于长江中下游构造-岩浆活动带的北缘, 其 Ce/Pb 和 Sr/La 值投图完全落入蚀变洋壳的区域(图 9), 和 Liu 等(2010) 研究铜陵地区的铜金矿床的成矿母岩十分类似, 说明它们可能有相似的地球动力学背景。

这样的微量元素特征可能来自于与俯冲作用相

关的富集岩石圈地幔部分熔融。Maruyama et al. (1997)、孙卫东等(2008) 认为太平洋板块俯冲对中国东部构造运动和岩浆活动起着决定因素, 随后 Ling 等(2009)、孙卫东等(2010) 进一步指出约在 125 ~ 140 Ma 之间, 太平洋板块向南西方向俯冲, 而 Izanagi 板块则向北北西方向俯冲, 两者之间的洋脊正对长江中下游地区。由于两个板块都有向西运动的分量, 可以导致洋脊俯冲, 从而可以很好地解释该区埃达克岩、钙碱性岩、富铋岛弧岩石、A 型花岗岩以及相关矿产资源的时空分布。即洋脊俯冲造成了长江中下游地区中生代的构造-岩浆活动, 可能是该区铜多金属成矿带的主要控制因素。

上述地球化学证据支持长江中下游早白垩世岩浆岩及 Cu-Au 成矿带可能与 Izanagi 板块和太平洋



加厚的下地壳范围据 Huang et al., 2008。

图 8 琅琊山铜矿及周边岩体微量元素 Sr/Y (La/Yb)<sub>N</sub> 图解

Fig. 8 Sr/Y vs (La/Yb)<sub>N</sub> diagram for the magmatic rocks from the Langyashan Cu-Au deposit

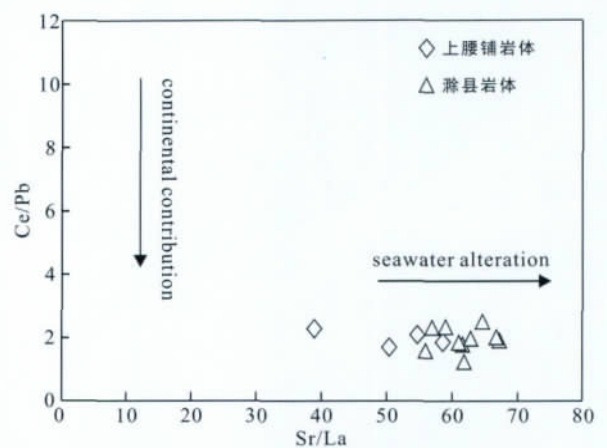


图 9 琅琊山铜矿及周边岩体微量元素 Ce/Pb-Sr/La 图解

Fig. 9 Ce/Pb vs Sr/La diagram for the magmatic rocks from the Langyashan Cu-Au deposit

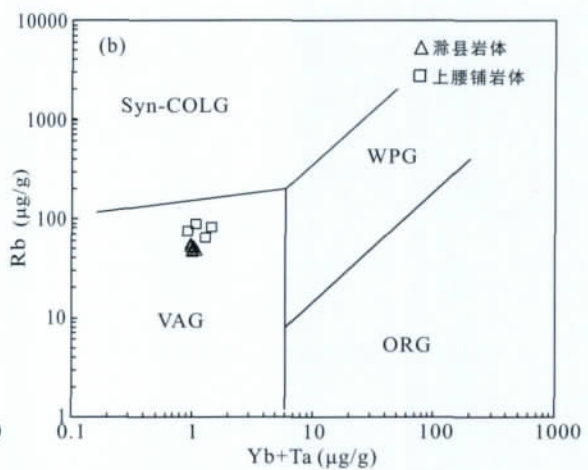
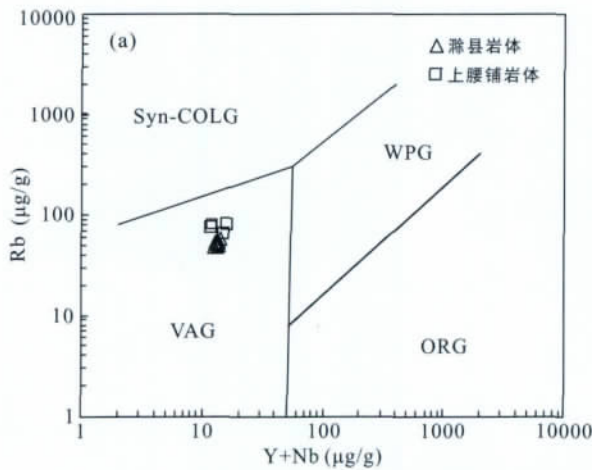


图 10 琅琊山铜矿及周边岩体大地构造环境判别图解

Fig. 10 Diagrams of tectonic environmental discrimination for the magmatic rocks from the Langyashan Cu-Au deposit

板块之间的洋中脊向西俯冲于中国东部大陆下有关,从矿床实例上支持 Sun 等(2007)关于中国东部在晚白垩世以来太平洋板块俯冲控制中国东部多金属成矿的理论假说。

在 Rb-(Y+Nb) 及 Rb-(Yb+Ta) Pearce 等图解(图 10)中,两岩体均落入火山弧花岗岩(VAG)区域,与板内花岗岩(WPG)及同碰撞花岗岩(Syn-COLG)有明显区别,说明其大地构造环境不是板内或同碰撞环境。

综上所述,我们认为作为长江中下游成矿带的一部分,该区与铜金成矿密切相关的 Adakite 岩可能是早白垩世洋脊俯冲的结果。

### 3.4 成矿意义

Thieblemont et al. (1997) 统计了全球 43 个 Au、Ag、Cu、Mo 低温热液和斑岩矿床,发现其中 38 个与埃达克岩有关。Oyarzun et al. (2001) 研究发现,世界上最大的智利斑岩铜矿床(如 Chuquibambilla, 铜金属储量超过 6000 万吨)也与埃达克岩有关。Defant(2002)指出,埃达克岩和富 Nb 岛弧玄武岩可以作为金和铜矿的找矿标志。张旗等(2004b)认为中国三条重要成矿带(古亚洲洋造山带、东北吉黑东部和西藏冈底斯成矿带)都与埃达克岩有关。中国东部成矿区(包括长江中下游矿集区)是目前我国最大的 Cu、Au 和 Mo 矿产地之一(Wang et al.,

2006a, b; 王元龙等, 2003; 汪洋等, 2004; 张旗等, 2004a, b), 其矿化大多与埃达克(质)岩关系密切, 尤其是长江中下游与铜矿有关的斑岩几乎都具有埃达克岩的地球化学特征(余良范等, 2008; 李印等, 2009)。研究发现, 不论中国范围内还是世界范围内, 埃达克岩都和铜金矿床有着密切的关系, 这些充分表明埃达克岩在成矿作用中的重要性。

目前主要认为埃达克质岩浆富流体、高氧逸度和基性源岩, 有利于 Cu、Au 等深源金属元素的萃取与富集成矿。Hedendust and Lowenstern(1994)指出在 Cu、Au 等金属矿床的形成过程中流体发挥了重要的作用。Sillitoe(1997)认为, 大型-超大型斑岩型 Cu-Au 矿床和热液 Au 矿床大多产于岩弧环境中, 与俯冲进入地幔中的洋壳具有高的氧逸度( $f_{O_2}$ ), 而由此产生的高 $f_{O_2}$ 流体或熔体会导致地幔释放出 Cu、Au 等成矿元素相关。Mungall(2002)和王强等(2003, 2006)也认为斑岩铜矿成矿与板片熔体的高 $f_{O_2}$ 有关, 并指出板片熔体可能携带了大量的 $Fe_2O_3$ , 而富 $Fe_2O_3$ 的熔体进入地幔楔后致使地幔中 $f_{O_2}$ 增高, 使地幔中的金属硫化物被氧化, 从而更加有利于地幔中的亲铜元素(如 Cu、Au 等)进入熔体。

俯冲进入地幔的洋壳, 由于本身携带大量的水、Cu-Au 物质和高的 $f_{O_2}$ , 形成高 $f_{O_2}$ 和富流体的熔体, 同时在熔体与地幔的相互作用过程中, 包含高 $F_2O_3$ (即高 $f_{O_2}$ )熔体不断加入到地幔中, 导致地幔的 $f_{O_2}$ 增高, 地幔中金属硫化物被氧化, 地幔中亲铜元素(如 Cu、Au)则以硫酸盐的形式进入熔体中。富含 Cu、Au 等成矿物质的熔体在快速上升到地壳浅处时, 由于温度的降低和压力的释放而有利于成矿(Wang et al., 2006a, b, 2007b)。此外, 侵位于地表浅处的岩浆由于 $f_{O_2}$ 的降低, 也可能导致 Cu、Au 等成矿物质从熔体中释放而成矿(Sun et al., 2004; 孙卫东等, 2007), 同时这种中酸性岩浆在上侵过程中遭遇碳酸盐岩发生接触交代反应, 可使地层中的金属离子进一步萃取富集。因而矿体分布一般受构造(褶皱、断裂)、地层和侵入体产状及接触带的控制。

### 3.5 找矿方向探讨

在滁县岩体南西端约 13 km 黄栗树镇附近发现一条含微细粒黄铁矿碎裂状白云岩质硅化带(三合微细浸染型金矿外围), 地表追索长约 200 m, 厚约 1.20~2.40 m, 走向 $22^\circ\sim 44^\circ$ , 倾向 NW, 倾角 $51^\circ\sim 75^\circ$ 。蚀变带呈似层状、透镜体或脉状, 产于灯影

组中。岩石结构为半自形、它形粒状结构、碎裂-压碎结构、交代假象、交代残余结构。岩石构造为角砾状-碎裂状构造、片理化构造或块状构造。在该蚀变带附近一采石场中发现两条石英玢岩露头。另据物探资料及地质分析认为, 黄栗树地区应该有和滁县岩体岩性大致相同的隐伏岩体。在滁县 NE 方向约 10 km 官山村附近发现一条硅质脉: 地表追索长约 350 m, 脉厚 1.15~5.50 m, 走向 $30^\circ\sim 55^\circ$ , 倾向 SE, 倾角近直立, 围岩为花岗闪长斑岩(局部为寒武系残留体与斑岩接触带)。地表铜草生长茂密, 矿脉可见较强的褐(磁)铁矿化、铜兰、孔雀石化、硅化等矿化蚀变(图 2g、h)。该脉产于 NE 向断裂构造中, 具有热液成矿的一般特点, 采样分析结果显示:  $\Sigma$  REE 平均为 23.98  $\mu\text{g/g}$ ,  $\Sigma$  LREE 平均为 18.62  $\mu\text{g/g}$ ,  $\Sigma$  HREE 平均为 5.36  $\mu\text{g/g}$ , 平均 LREE/HREE 为 3.47。微量元素 Mo (47~52  $\mu\text{g/g}$ )、W (52  $\mu\text{g/g}$ )、V (179~229  $\mu\text{g/g}$ )、Co (335~346  $\mu\text{g/g}$ )、Cu (624~758  $\mu\text{g/g}$ )、Ag (89.9~91.6  $\mu\text{g/g}$ )、Pb (52~69  $\mu\text{g/g}$ ) 等显著高于灰岩及花岗岩等围岩, 具有 Au、Ag、Cu、Pb、Mo、W、V、Co 等多金属组合异常特征。根据李惠等(1999)对中国典型金矿床原生晕预测深部盲矿的准则, 显示了头、尾晕和近矿晕叠加的特点, 指示了该脉深部还有较大延深, 有一定找矿前景。同时该硅质脉的 Ni 含量为 1870~2470  $\mu\text{g/g}$ , 具有进一步的勘探潜力和科研价值。

马厂、滁县、上腰铺岩体按 NE 方向呈线性展布, 它们的成岩时间相近, 岩石地球化学特征相似, 所处的地质背景相似, 说明三者可能是同一时代构造岩浆的产物, 只不过 SW 段覆盖厚 NE 段覆盖薄或者是 NE 段先抬升遭受剥蚀程度大, 以至于已发现的矿体表现出各自不同的类型。黄栗树-马厂一带厚层状寒武系、奥陶系盖层之下与隐伏岩体接触带附近可能存在“琅琊山矽卡岩型”矿床或者因含矿流体压力无法及时释放造成的二次爆裂形成的“爆破角砾岩型”矿床, 而滁县岩体上覆的寒武系盖层中有可能存在“三合”微细浸染型金矿体, 同时马厂、滁县两岩体内部可能存在受断裂构造控制的腰铺硅质脉型多金属矿化体。黄栗树和上腰铺岩体周边为潜在的铜及伴生多金属矿床找矿靶区。

今后的勘探工作建议: 全椒马厂-黄栗树-滁县-腰铺-莱安一带, 要以已知岩体为出发点, 沿 NE 向进行野外追索, 查清中酸性岩体的地表出露情况, 使用高精度磁测大体判断出可能存在的隐伏岩体位

置,同时使用CSAMT、激电中梯、激电测深等物探手段,寻找低阻高激化异常带(矽卡岩型矿体)和高阻高激化带(石英脉型矿体),配以适当山地工程验证,寻找矿化富集体。

## 4 结 论

(1) 滁县琅琊山一带岩浆岩在地球化学特征上与典型埃达克岩基本一致: 具有  $\text{SiO}_2 \geq 56\%$ , 高铝 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$ ), 富 Sr、Ba 和 Cr、Ni, 高的 Sr/Y 和 La/Yb 值, 低 Y ( $\leq 9.1 \mu\text{g/g}$ ) 与 Yb ( $\leq 0.71 \mu\text{g/g}$ ), 无明显 Eu 异常 - 正 Eu 异常等特点。与长江中下游含矿埃达克岩特征类似, 且已发现有铜金矿床, 因此该区埃达克岩可以作为铜金多金属矿的找矿标志。该类埃达克岩是富钠质的火成岩, 我们认为是源自俯冲洋壳的部分熔融。

(2) 该区埃达克岩成因与燕山晚期西太平洋板块俯冲至扬子地块深部所导致的洋壳板片熔融作用有关。洋壳俯冲过程的大量流体参与, 所携带的铜金物质在岩浆形成过程中带入浅部地壳是该区铜金矿床的主要成因机制。

(3) 滁县岩体是琅琊山铜矿床重要的控矿因素, 而上腰铺岩体在成岩年龄、地球化学特征、岩体围岩等与滁县岩体的一致性, 说明它们是同一时代构造岩浆的产物, 上腰铺岩体可能是滁县岩体 NE 向的延续, 滁县岩体两侧可能还存在一系列隐伏岩体。根据相似类比理论, 推测上腰铺乃至隐伏岩体与寒武系接触带附近是寻找新一轮铜金多金属矿产的热点。

(4) 此次在滁县琅琊山周边发现的两条矿脉: 黄栗树硅化白云质碎裂岩形成于挤压的破碎带中, 发育在寒武系背斜的轴部; 上腰铺硅质脉形成于上腰铺岩体中的张性断裂带中。硅化白云质碎裂岩具有弱的金、铅矿化显示, 而硅质脉具有明显铜、镍、钼、钴、钒及钨等多金属组合异常, 展示了良好的潜在找矿价值。说明本区可能存在由于岩浆上侵形成热液型脉状矿体, 今后的工作不仅要继续围绕中酸性岩体与围岩的接触带寻找矽卡岩型铜金矿, 还要关注这种脉状热液矿床甚至“爆破角砾岩型”矿床的寻找。

致谢: 衷心感谢两位匿名审稿人对该文的修改所提出的宝贵意见和建议!

## 参考文献(References):

- 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带. 北京: 地质出版社: 1-379.
- 邓晋福, 叶德隆, 赵海玲, 汤德平. 1992. 下扬子地区火山作用、深部过程与盆地形成. 武汉: 中国地质大学出版社: 1-183.
- 侯明金, 赵文广, 王东运, 李勇, 杨友进. 2001. 全椒县范水洼金矿区控矿构造初步研究. 安徽地质, 11(3): 206-214.
- 侯增谦, 潘小菲, 杨志明, 曲晓明. 2007. 初论大陆环境斑岩铜矿. 现代地质, 21(2): 332-351.
- 李惠, 张文华, 常凤池, 曲媛菲, 左宏伟. 1999. 金矿盲矿预测的原生晕轴向“反(向)分带”和地化参数轴向“转折”准则. 桂林工学院学报, 19(2): 114-117.
- 李印, 凌明星, 丁兴, 刘健, 韩峰, 孙卫东. 2009. 中国东部埃达克岩与成矿作用. 大地构造与成矿学, 33(3): 448-464.
- 秦燕, 梅玉萍, 王登红, 张建, 吴礼彬. 2009. 安徽滁县琅琊山铜矿辉钼矿铼-钨同位素定年及其地质意义. 岩矿测试, 28(3): 259-264.
- 石玉若, 刘敦一, 张旗, 简平, 张福勤, 苗来成, 施光海, 张履桥, 陶华. 2005. 内蒙古苏左旗白音宝力道 Adakite 岩类成因探讨及其 SHRIMP 年代学研究. 岩石学报, 21(1): 143-150.
- 孙卫东, 胡艳华, 丁兴, 范安川, 梁华英. 2007. 汇聚板块边缘岩浆中金属和氯的地球化学性质研究. 地学前缘, 14(2): 139-148.
- 孙卫东, 凌明星, 汪方跃, 丁兴, 胡艳华, 周继斌, 杨晓勇. 2008. 太平洋板块俯冲与中国中东部中生代地质事件. 矿物岩石地球化学通报, 27(3): 218-225.
- 孙卫东, 凌明星, 杨晓勇, 范蔚茗, 丁兴, 梁华英. 2010. 洋脊俯冲与斑岩铜金矿成矿. 中国科学(D辑), 40(2): 127-137.
- 王波华, 张怀东, 彭海辉. 2007. 安徽省滁县市琅琊山铜矿成矿规律与深部找矿. 安徽地质, 17(3): 174-177.
- 王金荣, 郭原生, 付善明, 陈建林, 秦秀峰, 张洪培, 杨永均. 2005. 甘肃黑石山早古生代埃达克质岩的发现及其构造动力学意义. 岩石学报, 21(3): 977-985.
- 王强, 许继峰, 赵振华. 2003. 强烈亏损重稀土元素中酸性侵入岩(或埃达克质岩)与成矿. 地学前缘, 10(4): 561-572.
- 王强, 赵振华, 许继峰, Derek A. Wyman, 熊小林, 资峰, 白正华. 2006. 天山北部石炭纪埃达克岩-高镁安山岩-富 Nb 岛弧玄武质岩: 中亚造山带显生宙地壳生长与铜金成矿的意义. 岩石学报, 22(1): 11-30.
- 王元龙, 张旗, 王强, 刘红涛, 王焰. 2003. 埃达克质岩与 Cu-Au 成矿作用关系的初步探讨. 岩石学报, 19(3): 543-550.

- 汪洋,邓晋福,姬广义. 2004. 长江中下游地区早白垩世埃达克质岩的大地构造背景及其成矿意义. *岩石学报*, 20(2): 297-314.
- 谢成龙,朱光,牛满兰,王勇生. 2007. 滁县中生代火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及构造地质学意义. *地质论评*, 53(5): 642-655.
- 余良范,杨晓勇,孙卫东,池月余,张千明. 2008. 埃达克岩与皖中沙溪斑岩铜矿的成矿作用. *中国地质*, 35(6): 1150-1161.
- 翟裕生,姚书振,林新多,金福全,周珂若,万天丰,周宗桂. 1992. 长江中下游地区铁、铜等成矿规律. *矿床地质*, 11(1): 1-12.
- 张旗,秦克章,王元龙,张福勤,刘红涛,王焰. 2004a. 加强埃达克岩研究,开创中国 Cu、Au 等找矿工作的新局面. *岩石学报*, 20(2): 195-204.
- 张旗,秦克章,许继峰,刘红涛,王元龙,王焰,贾秀琴,韩松. 2004b. 中国与埃达克质岩有关的矿床分布、找矿方向及找矿方法刍议. *华南地质与矿产*, (2): 1-8.
- 张旗,王焰,钱青,杨进辉,王元龙,赵太平,郭光军. 2001a. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义. *岩石学报*, 17(2): 236-244.
- 张旗,王焰,王元龙. 2001b. 燕山期中国东部高原下地壳组成初探: 埃达克质岩 Sr、Nd 同位素制约. *岩石学报*, 17(4): 505-513.
- 资锋,王强,戴圣潜,许卫,许继峰,邱华宁,梁细荣,涂湘林,刘颖. 2007. 皖东滁县、上腰铺埃达克质侵入岩年代学及地球化学特征: 岩石成因与成矿意义. *岩石学报*, 23(6): 1485-1500.
- 资锋,王强,唐功建,宋彪,谢烈文,杨岳衡,梁细荣,涂湘林,刘颖. 2008. 皖中管店岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学与地球化学: 岩石成因和动力学意义. *地球化学*, 37(5): 462-480.
- Atherton M P and Petford N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust. *Nature*, 362: 144-146.
- Castillo P R. 2006. An overview of adakite petrogenesis. *Chinese Science Bulletin*, 51(3): 257-268.
- Castillo P R, Janney P E and Solidum R U. 1999. Petrology and geochemistry of Camiguin island, southern Philippines: Insights to the source of adakites and other lavas in a complex arc setting. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 134: 33-51.
- Chen J F and Jahn B M. 1998. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. *Tectonophysics*, 284: 101-133.
- Defant M J. 2002. Reply for comment by R Conner on the "Evidence suggests slab melting in arc magmas" by M Defant and P Kepezhinskas (*EOS*, 2001, 82: 65, 68-69). *EOS*, 66: 256-257.
- Defant M J and Drummond P M. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347: 662-665.
- Gao S, Rudnick R L, Yuan H L, Liu X M, Liu Y S, Xu W L, Liu W L, Ayers J, Wang X C and Wang Q H. 2004. Recycling lower continental crust in the North China craton. *Nature*, 432: 892-897.
- Guo F, Fan W M and Li C W. 2006. Geochemistry of late Mesozoic adakites from the Sulu belt, eastern China: Magma genesis and implications for crustal recycling beneath continental collisional orogens. *Geological Magazine*, 143(1): 1-13.
- Hedenduis J W and Lowenstern J B. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*, 370: 519-527.
- Huang Fang, Li Shuguang, Dong Feng, He Yongsheng and Chen Fukun. 2008. High-Mg adakitic rocks in the Dabie orogen, central China: Implications for foundering mechanism of lower continental crust. *Chemical Geology*, 255: 1-13.
- Ling M X, Wang F Y, Ding X, Hu Y H, Zhou J B, Zartman R E, Yang X Y and Sun W D. 2009. Cretaceous ridge subduction along the Lower Yangtze River Belt, eastern China. *Economic Geology*, 104: 303-321.
- Liu S A, Li S G, He Y S and Huang F. 2010. Geochemical contrasts between early Cretaceous ore-bearing and ore-barren high-Mg adakites in central-eastern China: Implications for petrogenesis and Cu-Au mineralization. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74: 7160-7178.
- Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G and Terabayashi M. 1997. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present. *Island Arc*, 6(1): 121-142.
- Mungall J E. 2002. Roasting the mantle: Slab melting and the genesis of major Au and Au-rich Cu deposits. *Geology*, 30: 915-918.
- Oyarzun R, Marquez A and Lillo J. 2001. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: Adakitic versus normal calc-alkaline magmatism. *Mineralium Deposita*, 36: 794-798.
- Peccerillo R and Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib Mineral Petrol*, 58: 63-81.
- Rollinson H R. 2000. 岩石地球化学. 杨学明, 杨晓勇, 陈双喜译. 合肥: 中国科学技术大学出版社: 117-118.
- Sillitoe R H. 1997. Characteristic and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44: 373-388.

- Sun W D , Arculus R J , Kamenetsky V S and Binns R A. 2004. Release of gold-bearing fluids in convergent margin magmas prompted by magnetite crystallization. *Nature* , 431: 975 – 978.
- Sun W D , Ding X , Hu Y H and Li X H. 2007. The golden transformation of the Cretaceous plate subduction in the west Pacific. *Earth and Planetary Science Letters* , 262: 533 – 542.
- Thieblemont D , Stein G and Lescuyer J L. 1997. Epithermal and porphyry deposits: The adakite connection. *Earth and Planetary Sciences* , 325: 103 – 109 .
- Wang Q , Xu J F , Jian P , Bao Z W , Zhao Z H , Li C Y , Xiong X L and Ma J L. 2006a. Petrogenesis of adakitic porphyries in an extensional tectonic setting , Dexing , South China: Implications for the genesis of porphyry copper mineralization. *Journal of Petrology* , 47: 119 – 144.
- Wang Q , Wyman D A , Xu J F , Zhao Z H , Jian P , Xiong X L , Bao Z W , Li C F and Bai Z H. 2006b. Petrogenesis of Cretaceous adakite and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area , Anhui Province ( eastern China ) : Implications for geodynamics and Cu–Au mineralization. *Lithos* , 89: 424 – 446.
- Wang Q , Wyman D A , Xu J F , Jian P , Zhao Z H , Li C F , Xu W , Ma J L and He B. 2007a. Early Cretaceous adakitic granites in the Northern Dabie complex , central China: Implications for partial melting and delamination of thickened lower crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 71: 2609–2636.
- Wang Q , Wyman D A , Xu J F , Jian P and Zi F. 2007b. Partial melting of thickened or delaminated lower crust in the middle of eastern China: Implications for Cu–Au mineralization. *The Journal of Geology* , 115: 149 – 161.
- Wang Q , Wyman D A , Zhao Z H , Xu J F , Bai Z H , Xiong X L , Dai T M , Li C F and Chu Z Y. 2007c. Petrogenesis of Carboniferous adakites and Nb-enriched arc basalts in the Ajataw area , northern Tian Shan Range ( western China ) : Implication for Phanerozoic crustal growth of Central Asia Orogenic Belt. *Chemical Geology* , 236: 42 – 64.
- Xu J F , Shinjo R , Defant M J , Wang Q and Rapp R P. 2002. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: Partial melting of delaminated lower continental crust? *Geology* , 12: 1111 – 1114.
- Xu X S , Fan Q C , Oreiny S Y , Jiang S Y , Grimm W L , Wang R C and Qiu J S. 2004. U–Pb dating of zircons from quartz diorite and its enclaves at Tongguan shan in Anhui and its petrogenetic implication. *Chinese Science Bulletin* , 49: 2073 – 2082.
- Zhang H F , Zhan G L , Harris N , Jin L L and Yuan H L. 2006. U–Pb zircon ages , geochemical and isotopic compositions of granitoids in Songpan–Garze fold belt , eastern Tibetan Plateau: Constraints on petrogenesis and tectonic evolution of the basement. *Contributions to Mineralogy and Petrology* , 152: 75 – 88.

## Study on the Yanshanian Intrusions in Langyashan Area of Chuxian County: Petrogenesis and Regional Ore Prospection

DUAN Liuan<sup>1 2</sup> , YANG Xiaoyong<sup>1</sup> , SUN Weidong<sup>3</sup> , SUN Jiang<sup>4</sup> ,  
HONG Changchun<sup>4</sup> and HU Junjie<sup>4</sup>

( 1. School of Earth and Space Sciences , University of Science and Technology of China , Hefei 230026 , Anhui , China; 2. The 7<sup>th</sup> Detachment of Armed Police for Gold Exploration , Yantai 264004 , Shandong , China; 3. CAS Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny; State Key Laboratory of Geochemistry; Guangzhou Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guangzhou 510640 , Guangdong , China; 4. No. 332 Geological Team , Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province , Huangshan 245000 , Anhui , China)

**Abstract:** The Langyashan copper deposit in Chuxian , Anhui province , is part of the Lower Reaches of the Yangtze River metallogenic belt , where the largest copper deposit associated with gold was found so far in east Anhui. There are few case studies on geochemical features of the Chuxian magmatic intrusion that closely related to the mineralization. Base on field geological survey , a suit of samples from the Chuxian magmatic intrusion and Shangyapu magmatic intrusion was analyzed. The results show that these Yanshanian intrusive rocks have geochemical characteristics similar to those of adakite , with features of SiO<sub>2</sub> > 56% , high Al content ( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≥ 15% ) , rich in Sr , Ba and Cr , Ni , high in Sr/Y ( 145 ~ 181 ) and ( La/Yb )<sub>N</sub> ≥ 21 ratios; with low Y ( 7.5 ~ 9.1 μg/g ) and Yb ( 0.68 ~ 0.71 μg/g ) contents , and no significant Eu anomalies ( δEu = 0.96 ~ 1.04 ) . The high MgO contents ( 3.15% ~ 3.36% ) , Mg<sup>#</sup> ( 56

~66) and Sr/La(56~67), display characteristics of seawater alteration of MORB. The Yanshanian magmatic rocks in this region are the typical adakites which were derived from subducted oceanic crust. During the emplacement of the rocks, the ore-forming materials were enriched and mineralized in the suitable position. The Shangyaopu magmatic intrusion nearby has similar geochemical features, and thus, should have similar genetic and mineralization background like that of the Chuxian intrusion. Moreover, we found a pulse of silicified shattered dolomite belt with micron pyrite on the north-west side of the Chouxian magmatic body occurring as siliceous vein and polymetallic mineralization around the Shangyaopu magmatic body. Comparing the silicified belt and siliceous vein to the Langyashan copper mineralization skarn, we deduced that they are closely related to the Yanshanian intrusive rocks, the Shangyaopu magmatic body and surrounding areas can be prospective area for copper associated with gold deposit. In conclusion, the authors propose that regional ore exploration should not be limited to the present skarn-type copper-gold deposit while the new type of siliceous veins with polymetallic mineralization be ignored.

**Keywords:** Langyashan in Chuxian; Yanshanian intrusions; petrochemical features; petrogenesis; ore prospection

## 陈国达先生诞辰 100 周年纪念暨陈国达学术思想研讨会在长沙召开

为纪念国际著名地质学家、大地构造学家、教育家、社会活动家、中国科学院资深院士、中文核心期刊《大地构造与成矿学》及其英文版 *Geotectonica et Metallogenia* 的创办者、首任主编陈国达先生诞辰 100 周年,弘扬他勇于创新、勤俭治学的科学精神,2012 年 3 月 22~23 日,由中南大学、中国科学院广州地球化学研究所共同主办的纪念陈国达先生诞辰 100 周年暨陈国达学术思想研讨会在湖南长沙隆重召开。中国科学院院士孙枢、欧阳自远、叶大年、傅家谟、翟裕生、邓起东、金振民,中国工程院院士何继善,俄罗斯科学院外籍院士谢先德,湖南省政协副主席张大方,中南大学学校领导、陈国达院士的亲属、先前同事、弟子及地质学界专家、学者近 200 人参加了研讨会。

大会开幕式上,中国科学院院士孙枢、何继善、叶大年教授,广州地化所所长徐义刚研究员、陈老学生代表、第二炮兵工程大学刘代志教授等先后发言,表达了对陈老的深切怀念。

陈国达先生是国际大地构造与成矿学理论体系——地洼学说(活化构造与成矿理论)及其学派的创立者,曾任国际地科联矿床成因协会矿床大地构造委员会副主席兼“构造岩浆活化(地洼)学组主席”、协会期刊《全球矿床大地构造》顾问编委、国际地洼构造与成矿研究中心主席等。共发表论著 400 余篇(部)。陈国达先生于 1956 年创立发展的大地构造理论体系——地洼学说,突破了传统大地构造学的束缚,被国际上列为世界科学史的大事之一(1983)。

从 1977 年创刊至先生 2004 年 4 月辞世,陈老一直担任《大地构造与成矿学》中、英文版的主编。回顾本刊从 1977 年到 2004 年期间的办刊历程,期刊所走过的每一步、所取得的每一次进步与成就,无不是在陈国达先生的亲自指导与关心下而完成的,无不倾注了陈老的心血与精力。先生对刊物的关心,大到办刊方针和宗旨的制定、每一期稿件的最后审定和国内外编委的聘请,小到拟定刊物的排版格式、参考文献在正文中的引用格式和在文后的注录格式等等。尤其从 1980 年代后期起,陈老不再担任研究所的领导职务之后,更是潜心全力倾注于刊物的工作,花费了更多的时间与精力来指导刊物的稿件审查与编辑工作,有时甚至还亲自为一些年青作者的稿件进行仔细的修改。对于自己的稿件更是精益求精,编辑部的老同志们难以忘记,1991 年陈老为修改自己的一篇稿件时,曾经 9 易其稿。先生这种认真负责、一丝不苟的科学作风,堪为表率,一直激励和影响着我们几代办刊人对刊物每一项工作的态度与责任!

陈国达先生严谨的科学态度、优秀的学术道德在我国科学、教育史上留下了不朽的篇章。

(本刊编辑部供稿)