

滇西北甬哥碱性杂岩体地球化学与成矿作用分析

黄玉蓬^{1,2} 刘显凡¹ 邓江红¹ 董毅¹ 邹金沙¹

(1.成都理工大学地球科学学院,四川成都610000;2.四川省冶金地质勘查局成都地质调查所,四川成都610203)

摘要:透岩浆流体成矿理论和地幔流体交代引发壳幔混染叠加成矿的机理,为“小岩体成大矿”这一事实提供了理论依据。滇西北甬哥碱性杂岩体岩石地球化学特征表明其受到强烈的深部流体作用,且成矿物质并非岩浆本身所携带,相应引发矿质富集的流体作用与岩浆作用分属不同的体系,初步推测甬哥金矿成矿受制于透岩浆流体与壳幔混染叠加这一深部流体作用过程。其机制可以理解为含矿地幔流体与岩浆互不混溶并同步运移,伴随岩浆结晶成岩而交代岩体成矿,或在一定条件下与岩体分离,运移至物理化学边界层等有利部位聚集成矿,在此过程中,含矿地幔流体也可沿途交代、活化围岩,导致壳幔混染叠加使成矿元素进一步富集。基于此,该岩体具有良好的深部成矿潜力。

关键词:甬哥碱性杂岩体;透岩浆流体;地幔流体;壳幔混染叠加成矿;滇西北

中图分类号:P588.15 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)03-0885-10

随着科学技术条件的进步和成熟,越来越多的矿产资源被人们发掘出来,相应的成矿理论也得到了极大的发展,逐渐建立了多元化的成矿系列模式及成矿作用机制^[1-5]。尤其与富碱侵入岩等碱性岩密切相关的大型超大型内生多金属矿床已引起国内外学者的普遍重视^[1-8],并通过大量研究表明该类型矿床成矿作用具有明显深部地质过程痕迹^[3,5-11]。然而,基于汤中立院士提出的“小岩体成大矿”的事实与理论认识^[12-13],传统的岩浆热液成矿理论对某些矿床的成因并不能给出很好的解释^[4],小体积岩体无法析出导致大规模成矿作用的流体和金属已经得到证实^[14-15]。这就需要新的理论来探讨某些大型超大型矿床的成矿物质来源问题。

科尔任斯基(1952)提出的透岩浆流体提供了一种可能的成矿作用途径。罗照华等从“小岩体成大矿”的角度切入,对该理论进行了系统验证及阐述^[4],提出了透岩浆流体成矿作用理论的框架模型,论证了该理论模型在研究现代成矿作用机制等方面

所具有的重要现实意义。

甬哥碱性杂岩体所在区域一直以来被认为是滇西北重要的金成矿远景区^[16-21],然而该区金矿的储量和找矿一直没有进展和突破,这可能受制于对该区与富碱岩浆有关成矿作用理论和实践的研究和认识。本文试图以甬哥碱性杂岩体金矿化为线索,探讨其可能的成矿机制和潜力,为该区成矿规律研究和矿产资源开发提供参考。

1 区域地质背景

中甸甬哥碱性杂岩体位于滇西北三江并流区域东侧,大地构造上临近欧亚板块和冈瓦纳板块的结合部位,属喜马拉雅-特提斯构造域东缘,义敦岛弧南缘部分^[17,22](图1)。其所在部位受印度洋板块和太平洋板块与欧亚板块相互作用的影响,在地质构造上显示出复杂性和多样性,其一级大地构造单元属三江复合造山带,位于造山带和克拉通两大构造单元交接处,其内部次级大地构造单元由西到东主要

收稿日期:2012-11-05;改回日期:2013-04-12

基金项目:中国地调局地调项目(1212011120587)和成都理工大学矿床学、岩石学、矿床学国家重点(培育)学科建设项目(SZD0407)联合资助。

作者简介:黄玉蓬,男,1987年生,硕士生,矿床学、岩石学和矿床地球化学专业;E-mail:owenhy10@yahoo.com.cn。

通讯作者:刘显凡,教授,博士生导师,E-mail:liuxianfan@cdu.cn。

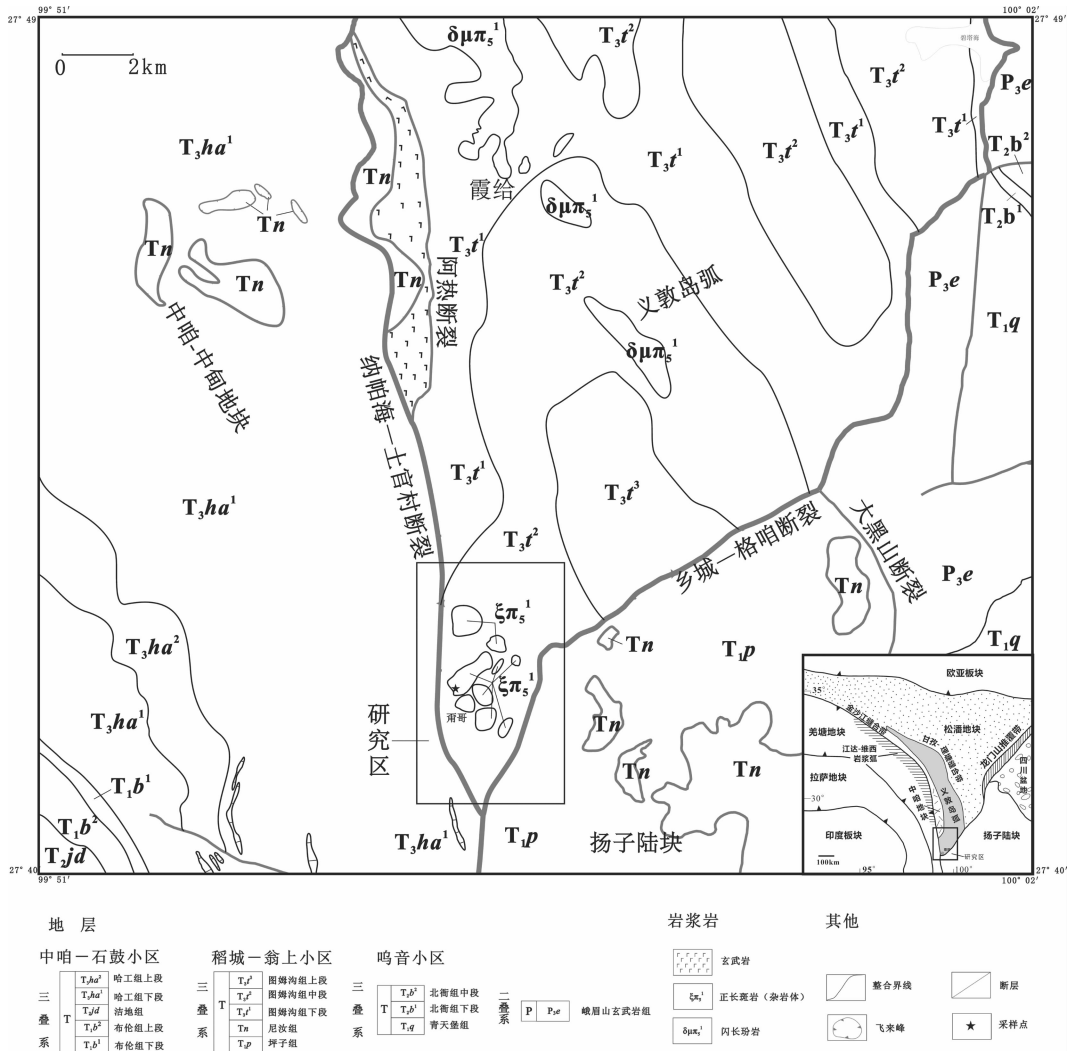


图1 甬哥岩体区域地质背景简图
Fig.1 Tectonic sketch map of Bengge area

有：中咱—中甸地块西部边缘造山带，中咱—中甸地块东部边缘褶皱带，德格—中甸地块，昌台—乡城晚三叠世岛弧带。它们经历了早古生代被动大陆边缘，晚古生代—三叠纪多岛海活动边缘，中生代中晚期弧后拼合—增生造山和新生代陆内汇聚—转换—走滑—造山四个演化阶段。显然，研究区独特且复杂多样的区域地质背景是以构造—岩浆—流体综合作用为特征的深部地质过程促进壳幔混染叠加，进而有利于形成大型—超大型多金属矿床的重要地球动力学背景。

2 岩体地质特征

甬哥碱性杂岩体呈岩株、岩枝集群式出露，主体

近南北向展布于碧塔海—甬哥与纳帕海—土官村两组深大断裂“Y”字型交汇部位，其围岩为上三叠统图姆沟组中段(T_3t^2)弱碎裂岩化砂质板岩，发育黄铁矿化，绢云母化，硅化，褐铁矿化等蚀变。岩体单一侵入体规模较小，平面上出露最大的不足1 km²，岩石类型以正长岩为主，另有正长斑岩，煌斑岩，矿化钾长石脉等相互穿插、包嵌，没有明显的分带性。正长岩主要矿物为正长石(55%~75%)、少量黑云母、辉石和角闪石等，半自形不等粒粒状结构，正长石颗粒一般较细，有弱的粘土化；正长斑岩斑晶为正长石，基质主要为长石微晶，还可见少量角闪石、黑云母及辉石，正长石斑晶可见生长环带结构，自形度较高，反映了其深部结晶过程。煌斑岩主要为正煌岩，暗色矿

物以黑云母、角闪石、透辉石为主,浅色矿物为碱性长石(30%~40%),多呈基质分布,薄片可见局部有碳酸盐细脉穿切。另外,钾长石脉手标本呈深灰—黑色,薄片钾长石含量大于 70%,暗色矿物极少,伴随强烈的矿化现象,金属矿物多以硫化物为主,如方铅矿、黄铁矿,且熔蚀、熔离结构发育,多呈树枝状、港湾状等,反映了矿物经历过后期热液或流体改造。

3 岩石地球化学特征

3.1 主量元素

从甬哥碱性杂岩体主量元素(表 1)分析结果可以看出,岩体 SiO₂ 变化范围较宽,为 53.90%~63.92%,碱质含量高(Na₂O+K₂O=8.78%~12.98%),其中 K₂O>3%,显示出富碱高钾的特征,且 K₂O/Na₂O>2,属超钾质岩^[2]。在硅碱图解(图 2)中,样品点主要落于碱性岩区域,属于正长岩类,个别样品向闪长岩类过渡,这表明正长岩与闪长岩或花岗闪长岩具有一定的成因联系。将甬哥碱性杂岩体主要岩石类型分别与典型的同类岩石相比,其正长岩和正长斑岩 SiO₂、Al₂O₃、TiO₂、Na₂O 含量不同程度地偏低,而镁铁质组分 MgO、Fe₂O₃、FeO 以及 CaO 与 K₂O 明显偏高,暗示有偏基性组分的混入,或可能受到深部富钾碱质流体的强烈交代作用。个别样品

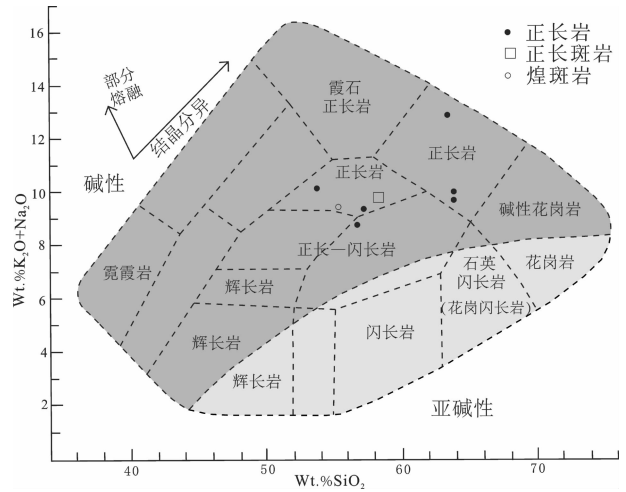


图 2 甬哥碱性杂岩体硅碱图

Fig.2 SiO₂-Alkali diagram of Bengge alkaline igneous complex

(KDBG-8)因蚀变强烈而成分差异较大;煌斑岩除 SiO₂ 明显偏高以外,其余组分含量基本相当,表明煌斑岩岩浆在成岩期受到一定程度的富硅流体作用的影响。

3.2 微量元素

从岩体微量元素测试分析结果(表 2)可以看出,甬哥岩体明显富集不相容元素而亏损 Ni、Co、V

表 1 甬哥碱性杂岩体主量元素分析结果(%)

Table 1 The data of main elements of Bengge alkaline igneous complex (%)

样品编号	AD0583	AD0585	AD0586	KDBG-11	KDBG-2	KDBG-8	BGBY-1*	BGBY-2*
岩石名称	黑云煌斑岩	正长斑岩	黑云正长斑岩	角闪正长岩	黄铁矿化细粒正长岩	硅化褐铁矿化蚀变正长岩	黑云母辉石正长岩	辉石角闪正长岩
SiO ₂	56.56	63.92	57.08	53.90	58.10	63.58	63.93	56.63
TiO ₂	0.87	0.69	0.83	0.68	0.84	0.23	0.71	0.90
Al ₂ O ₃	12.36	13.78	13.08	11.79	12.31	14.83	14.06	11.65
Fe ₂ O ₃	3.61	2.72	3.69	4.55	2.50	5.68	3.31	4.32
FeO	3.81	2.53	3.41	2.52	4.14	0.13	2.41	3.26
MnO	0.15	0.10	0.17	0.18	0.15	0.01	0.20	0.08
MgO	4.55	2.47	4.15	3.81	4.12	0.06	2.42	4.62
CaO	5.64	2.29	6.22	4.62	4.87	0.03	2.76	5.76
Na ₂ O	3.12	3.44	2.19	0.22	2.36	0.15	3.12	2.03
K ₂ O	6.43	6.31	6.59	9.86	7.57	12.83	6.39	7.00
P ₂ O ₅	1.15	0.55	1.22	1.42	1.08	0.17	0.57	0.76
H ₂ O ⁺	0.48	0.90	0.69	1.27	0.82	1.88	0.96	1.24
H ₂ O ⁻	0.39	0.37	0.56	0.52	0.28	0.33	-	-
Total	99.13	100.07	99.88	95.34	99.13	99.91	100.84	98.25

注:数据由四川省冶金岩矿测试中心测定(2011);带“*”号数据来源于文献[17]。

表 2 甬哥碱性杂岩体微量元素测试结果 ($\mu\text{g/g}$)
 Table 2 The data of trace elements of Bengge alkaline igneous complex ($\mu\text{g/g}$)

样品编号	KDBG-3	KDBG-4	KDBG5-1	KDBG-9	AD0583	AD0585	AD0586	KDBG-11	KDBG-2	KDBG-8
岩石名称	硅化黄铁矿化金矿石	硅化黄铁矿化金矿石	黑云正长岩	蚀变正长岩	黑云煌斑岩	正长斑岩	黑云正长斑岩	角闪正长岩	黄铁矿化正长岩	硅化褐铁矿化蚀变正长岩
Ba	1931.00	7942.00	2823.00	1783.00	7619.00	2760.00	2581.00	9039.00	4407.00	5444.00
U	18.50	11.30	4.45	5.06	3.69	3.81	3.55	1.21	4.24	1.47
Ta	23.74	15.81	2.08	2.25	1.65	1.78	1.15	0.69	1.59	0.51
La	26.54	8.24	62.55	74.17	59.30	48.70	50.20	43.64	53.39	4.85
Ce	41.11	12.50	125.37	157.85	122.90	102.75	111.50	107.02	113.56	8.33
Pb	2390.00	950.00	52.47	15.69	18.07	45.53	47.04	9.51	23.19	13.27
Pr	3.65	1.24	13.79	15.80	13.09	9.86	11.26	10.04	11.74	0.88
Sr	224.48	113.03	363.44	280.51	836.28	597.08	579.31	1482.54	845.38	207.28
Nd	10.77	4.19	32.64	36.41	30.45	22.00	27.47	23.86	25.62	3.00
Sm	2.49	3.55	9.68	10.19	10.68	6.89	8.56	9.91	9.22	2.26
Eu	0.81	1.49	2.81	2.65	3.11	1.87	2.22	2.95	2.49	0.87
Gd	1.90	0.73	7.16	8.07	6.78	5.21	6.24	5.45	6.59	0.37
Tb	0.31	0.14	0.96	1.06	0.89	0.73	0.86	0.68	0.88	0.05
Dy	1.94	0.97	4.76	5.33	4.39	3.80	4.38	3.11	4.43	0.26
Ho	0.40	0.21	0.79	0.87	0.73	0.65	0.72	0.46	0.73	0.05
Er	1.49	0.79	2.23	2.45	2.04	1.87	1.96	1.21	2.02	0.16
Tm	0.31	0.18	0.32	0.36	0.29	0.29	0.28	0.16	0.30	0.03
Yb	2.13	1.33	1.98	2.17	1.78	1.79	1.71	0.92	1.78	0.25
Y	12.33	4.98	21.08	22.20	18.30	17.56	17.40	11.68	18.37	0.97
Lu	0.49	0.27	0.32	0.35	0.28	0.29	0.27	0.14	0.28	0.05
P	856.80	123.75	4852.50	7181.00	5014.50	2405.00	5337.00	6206.00	4716.50	761.80
Ni	1.55	0.89	25.47	43.45	26.51	15.49	33.78	30.47	24.89	1.76
Co	3.33	0.71	15.94	31.10	20.16	12.00	24.36	23.59	19.83	1.94
ΣREE	94.34	35.83	265.37	317.72	256.73	206.70	227.63	209.54	233.03	21.40
δEu	1.10	1.92	0.99	0.87	1.05	0.92	0.89	1.12	0.93	1.82
LREE/HREE	12.34	8.21	22.35	24.27	23.66	20.95	21.38	30.40	21.35	24.29

注:数据由四川省冶金岩矿测试中心测定(2011)。

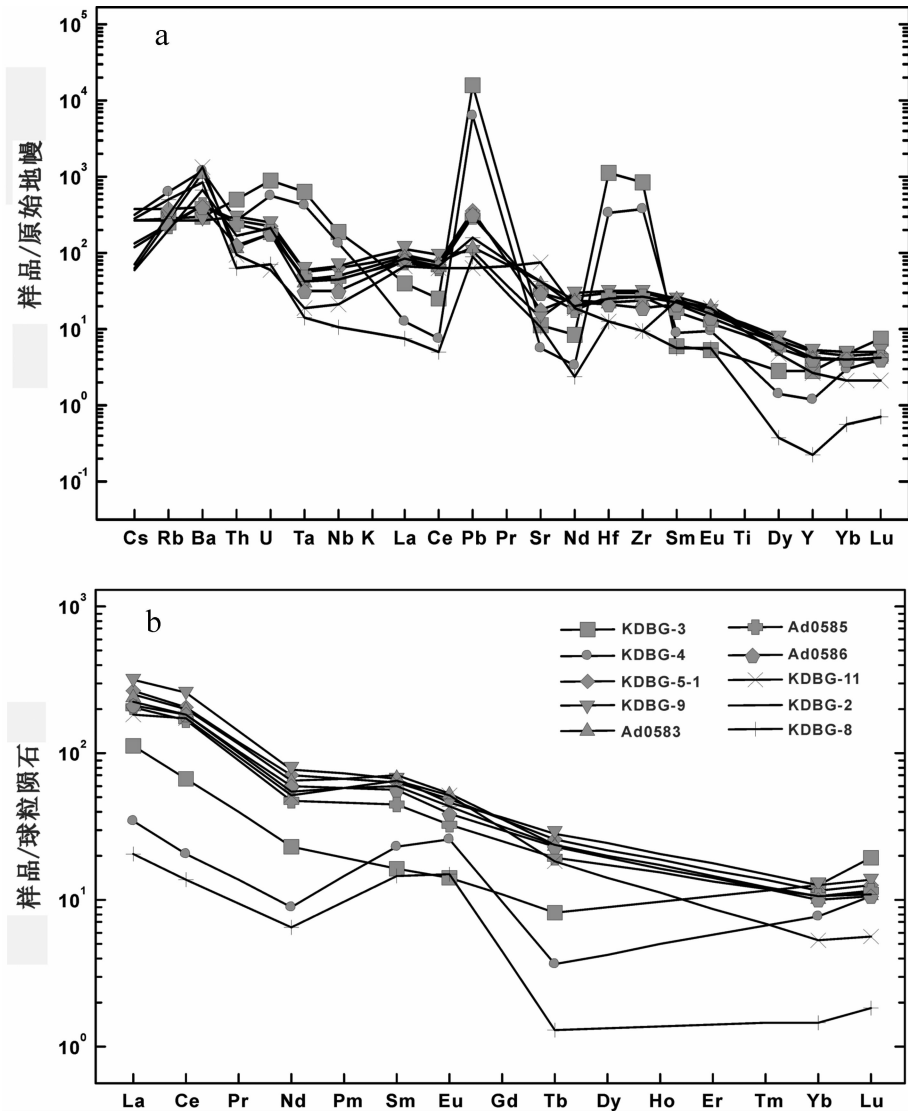


图 3 甬哥碱性杂岩体主要岩石微量元素类型原始地幔标准化蛛网图(a)与稀土元素球粒陨石标准化分配型式图(b)(标准化值分别据 Sun & McDonough(1989) and McDonough & Sun(1995))
 Fig.3 Primitive mantle-normalized spider diagram of trace elements(a) and chondrite-normalized REE patterns of Bengge alkaline igneous complex(b). Normalized values after Sun&McDonough (1989) and McDonough&Sun (1995)

等相容元素,尤其是大离子亲石元素,相当于原始地幔岩的数百倍。在原始地幔标准化微量元素蛛网图中(图 3-a),有矿化及含金矿石样品(KDBG-3, KDBG-4, KDBG-8)表现出与其他样品不同的异常曲线,如 Ta、Sm、Eu(正异常),Nd、Y(负异常);U、Pb 则表现出更为强烈的正异常或负异常,其余蚀变岩石的曲线型式基本一致。这表明甬哥岩体成岩过程中受到流体作用,该流体主要来源于与岩浆同步运移但互不混溶的含矿地幔流体^[23]。岩体稀土元素总量较高, $\sum \text{REE} = 206.7 \times 10^{-6} \sim 317.72 \times 10^{-6}$, 而具强烈

蚀变和矿化样品的稀土总量明显较低, $\sum \text{REE} = 21.40 \times 10^{-6} \sim 94.34 \times 10^{-6}$, 这可能是由硅化蚀变引起稀土元素大量流失^[23], 也间接表明矿质富集与富硅流体作用有关。所有样品轻重稀土分馏明显, $\text{LREE}/\text{HREE} = 8.21 \sim 30.40$ 。在原始地幔标准化稀土元素配分模式图(图 3-b)中, 表现为轻稀土强烈富集型。另外, 除样品 KDBG-4 和 KDBG-8 表现出极高的正 Eu 异常外($\delta \text{Eu} = 1.92$ 和 1.82), 其余样品 Eu 异常并不明显($\delta \text{Eu} = 0.87 \sim 1.12$)。这可能暗示了成矿流体在较低氧逸度下, 呈液态不混溶状态, 与岩浆发生持

表 3 甬哥碱性杂岩体成矿元素分析结果 ($\mu\text{g/g}$)Table 3 The data of ore-forming elements of Bengge alkaline igneous complex ($\mu\text{g/g}$)

样品编号	岩石名称	Au	Ag	Cu	Pb	Zn
KDBG-3	硅化黄铁矿化金矿石	1.1100	14.0000	77.5626	2390.0000	103.7731
KDBG-4	硅化黄铁矿化金矿石	3.8000	4.2500	54.7157	950.0000	46.8566
KDBG5-1	中粗粒黑云正长岩	0.0140	0.5050	24.5524	52.4735	83.0035
KDBG-9	蚀变正长岩	0.0350	1.1000	115.2647	15.6903	207.3940
AD0583	黑云煌斑岩	0.0020	0.0660	23.9193	18.0718	75.9023
AD0585	正长斑岩	0.0001	0.0380	44.8260	45.5328	57.9984
AD0586	黑云正长斑岩	0.0026	0.2750	146.8719	47.0399	103.8992
KDBG-11	角闪正长岩	0.0080	0.3300	182.0098	9.5101	56.8127
KDBG-2	黄铁矿化细粒正长岩	0.0006	0.1500	16.6900	23.1899	69.2955
KDBG-8	硅化褐铁矿化蚀变正长岩	0.1060	0.3500	22.7224	13.2676	16.3858

注:数据由四川省冶金岩矿测试中心测定(2011)。

续而缓慢的交代作用。

3.3 成矿元素

甬哥岩体成矿元素分析数据(表 3)显示:除 3 个矿化及金矿石样品 Au、Ag 高于地壳丰度以外,其余样品含矿元素都很低。这表明岩体本身可能并不携带大量成矿元素,或者岩浆体中的成矿元素受到流体萃取而相对贫化,而含矿流体呈不混溶状态独立存在于岩浆体系。此外,金矿化强烈的样品同样表现出 Ag、Cu、Pb、Zn 等的富集,推测深部可能具有多金属矿床的成矿潜力。刘显凡等认为^[9],透岩浆流体实质上就是一种含矿的地幔流体;然而,该含矿(或不含矿)地幔流体与岩浆分离后,伴随其运移并与围岩地层相互作用过程中活化物质成分,进而导致壳幔混染叠加,其流体属性由熔浆流体→超临界流体→热液流体演变。这一流体作用机制在一定条件下有利于深部成矿并形成大型和超大型矿床。考虑到甬哥地区含矿流体来源较深^[17],可以认为该流体在参与成岩成矿过程中,通过与地壳岩石相互作用,引发壳幔物质混染而可能在深部有利部位聚集形成富矿体。岩体主量元素与成矿元素协变图解(图 4)显示,成矿元素 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 随着 SiO_2 的增加并没有明显的增加,而随着碱质的增加,Au、Ag 呈现富集的趋势,这表明甬哥岩体的金成矿作用主要与硅碱质流体的强烈活动关系密切,而与岩浆本身的演化分异无明显关系。

4 讨论与结论

以上研究表明,甬哥岩体在岩浆期及成岩期后

受到过富硅碱流体作用,该流体就是一种具透岩浆流体属性的含矿地幔流体,在其与岩浆分离后的运移过程中,以其超强的化学活性沿途活化迁移围岩中的物质成分以促进壳幔混染叠加成矿。野外综合地质特征显示甬哥地区具有非常好的成矿地质条件,如物化探及遥感资料显示出本区有明显的 Au、Ag 矿化异常^[26]。然而目前在浅部出露的岩体中开采出来的金矿石含金量虽已达到工业边界品位,却未见明显的高含金量富矿体。已有研究认为甬哥金矿成矿时代为喜山期,成矿物质来源为幔源流体+地壳围岩^[16-20]。从岩体剥蚀较浅,含金脉体多与石英脉密切伴生,岩体钾化强烈并出现大量含金属硫化物钾长石脉等野外地质特征来看,出露地表的矿脉很可能是二氧化硅熔体或碱质流体沿裂隙上升到浅部时所携带的少部分金属成矿物质,并在地表水如大气降水的影响下使得围岩中的金属元素进一步富集而成,而大量成矿物质应定位在深部的物理化学边界层或混沌边缘(如含有丰富可交换离子的膏盐层或使流体流速减小的断裂构造膨大部位)^[27]。事实上,当岩浆孔隙度较高,渗透压力足够大时,这种情况是可能发生的。罗照华等^[25]指出,当岩石冷凝速率较慢,渗透率较大时,含矿流体将会与岩浆体成功分离,受岩浆热的驱动而远离岩浆体,并在合适的物化条件部位(混沌边缘或物理化学边界层)停留聚集成矿。由于该含矿流体在某种程度上就是一类富含挥发分、富硅碱深源流体^[9]。因此,小岩体虽不能携带大量成矿物质,但如果存在深部流体持续不断地提供成矿物质的话,也能形成大型超大型矿床。刘显凡

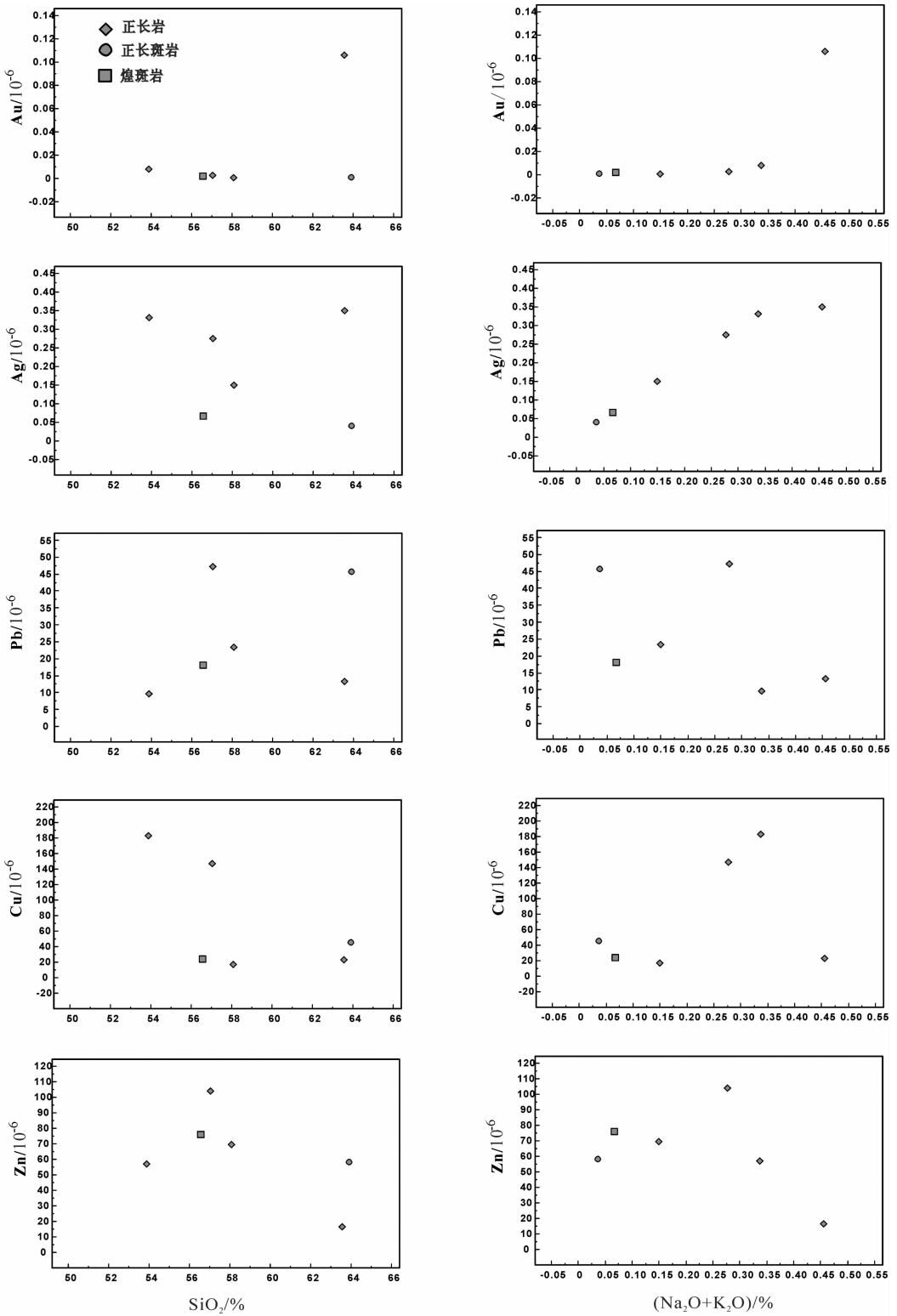


图 4 成矿元素与 SiO₂ 及碱质协变关系图

Fig.4 Variation diagram of ore-forming elements and SiO₂ and alkali

等^[5,9,28-29]与李春辉等^[11]认为,滇西新生代与富碱斑岩有关的大型超大型内生多金属矿床成因,受制于地幔流体交代作用,并以此促进壳幔混染叠加成矿这一深部地质过程,进而引发从高温到低温的系列成矿效应。同时还指出,富硅成矿流体实质上是地幔流体交代成矿在地壳中的延续^[9]。基于以上认识,结合甬哥岩体岩石地球化学特征,可以得出以下结论:

(1)甬哥碱性杂岩体金成矿作用并非岩体本身提供成矿物质,含矿流体可能呈独立的不混溶体系与岩浆同步运移上升并在适当条件下与岩浆体分离。

(2)甬哥岩体岩石地球化学特征表明,深部流体尤其是地幔流体在该区活动强烈,该流体以不混溶独立相形式赋存于富碱岩浆并与其同步运移,伴随参与成岩成矿作用,必然引发一定程度的壳源物质混染,进而有利于促进岩体或其相邻部位的矿质富集。

(3)甬哥金矿成矿作用受制于与富碱岩浆同源、但以互不混溶方式与其同步运移、具透岩浆流体属性的含矿地幔流体作用及由此引发壳幔混染叠加成矿这一深部流体作用过程,在此过程中,流体可伴随岩浆缓慢冷凝及渗透率高的条件下与岩浆体分离,并在岩浆热驱动下移动到物理化学边界层或混沌边缘聚集成矿,并沿途活化、交代、迁移围岩成矿元素引发壳幔混染叠加使成矿物质进一步富集。

(4)综上所述,甬哥碱性杂岩体存在很大的深部成矿潜力,这为该区的进一步找矿勘探提供了具有一定理论依据的实践参考。

参考文献(References):

- [1] 陈毓川,常印佛,裴荣富,等.中国成矿体系与区域成矿评价(上)[M].北京:地质出版社,2007:3-464.
Chen Yuchuan, Chang Yinfu, Pei Rongfu, et al. Mineralization System and Regional Metallogenic Evaluation of China (I) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007:3-464(in Chinese with English abstract).
- [2] 翟裕生.论成矿系统[J].地学前缘,1999,6(1):13-28.
Zhai Yusheng. On the metallogenic system [J]. Earth Science Frontiers,1999,6(1):13-28(in Chinese with English abstract).
- [3] 毛景文,李晓峰,张荣华,等.深部流体成矿系统[M].北京:中国大地出版社,2005:1-365.
Mao Jingwen, Li Xiaofeng, Zhang Ronghua, et al. Mantle-derived Fluid-related Ore-forming System [M]. Beijing:China Land Press, 2005:1-365(in Chinese with English abstract).
- [4] 罗照华,卢欣祥,陈必河,等.透岩浆流体成矿作用导论[M].北京:地质出版社,2009:1-139.
Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Chen Bihe, et al. Introduction to the

Metallogenic Theory on the Transmagmatic Fluids [M].Beijing: Geological Publishing House, 2009:1-139(in Chinese with English abstract).

- [5] 刘显凡,蔡永文,卢秋霞,等.滇西地区富碱斑岩中地幔流体作用的现实踪迹及其成矿作用意义[J].地学前缘,2010,17(1):114-136.
Liu Xianfan, Cai Yongwen, Lu Qiuxia, et al. Actual traces of mantle fluid from alkali-rich porphyries in Western Yunnan, and associated implications to metallogenesis [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(1):114-136(in Chinese with English abstract).
- [6] Daniel Muller, David I. Groves. Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization [M].Springer, 1997, 85-200.
- [7] Hou Zengqian, Khin Zaw, Pan Guitang, et al. Sanjiang Tethyan metallogenesis in S.W. China: Tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types[J]. Ore Geology Reviews, 2007, 31:48-87.
- [8] Huang Zhilong, Xiao Huayun, Xu cheng, et al. Geochemistry of Rare Earth Elements in Lamprophyres in Laowangzhai Gold orefield, Yunnan Province [J]. Jurnal of Rare Earths, 2000, 18(1):62-68.
- [9] 刘显凡,刘家铎,张成江,等.滇西富碱斑岩型矿床岩体和矿脉同位素地球化学研究[J].矿物岩石地球化学通报,2004,24(1):32-39.
Liu Xianfan, Liu Jiaduo, Zhang Chengjiang, et al. Isotopic geochemistry of rock mass and ore-vein from alkali-rich porphyry type deposits in western Yunnan, China [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2004, 24 (1):32-39 (in Chinese with English abstract).
- [10] 杜乐天,王文广.碱性地幔流体与富碱热液成矿[J].矿床地质,2009,18(5):599-610.
Du Letian, Wang Wenguang. Alkaline mantle fluids and alkali-rich hydrothermal metallogenesis[J]. Mineral Deposits, 2009, 18(5):599-610(in Chinese with English abstract).
- [11] 李春辉,刘显凡,赵甫峰,等.金顶超大型铅锌矿床中的地幔流体现踪与壳幔混染叠加成矿机制[J].地学前缘,2011,18(1):194-206.
Li Chunhui, Liu Xianfan, Zhao Fufeng, et al. Actual traces of mantle fluid of Jinding super-large Pb-Zn deposit and the mechanism of crust-mantle overlapping mineralization [J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18 (1):194-206 (in Chinese with English abstract).
- [12] 汤中立.中国的小岩体岩浆矿床[J].中国工程科学,2002,4(6):9-12.
Tang Zhongli. Magmatic Ore Deposits in Small Rockbody in China[J]. Engineering Science, 2002, 4(6):9-12(in Chinese with English abstract).
- [13] 汤中立,李小虎.两类岩浆的小岩体成大矿[J].矿床地质,2006,25(增刊):35-38.
Tang Zhongli, Li Xiaohu. Small intrusions forming large deposits in two types of magma[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(supp.):35-

- 38(in Chinese with English abstract).
- [14] 侯增谦,莫宣学,高永丰,等.埃达克岩:斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例[J].矿床地质,2003,22(1):1-12.
Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Gao Yongfeng, et al. Adakite, a possible host rock for porphyry copper deposits: case studies of porphyry copper belts in Tibetan Plateau and in northern Chile[J]. Mineral Deposits, 2003, 22 (1):1-12 (in Chinese with English abstract).
- [15] 罗照华,莫宣学,卢欣祥,等.透岩浆流体成矿作用——理论与野外证据[J].地学前缘,2007,14(3):165-183.
Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, Lu Xinxiang, et al. Metallogeny by trans-magmatic fluids——theoretical analysis and field evidence[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14 (3):165-183 (in Chinese with English abstract).
- [16] 云南省地矿局区域地质矿产调查大队.中甸幅 1:25 万区调报告[R].2003:156-251.
Yunnan Bureau of Geology and Regional Geological Survey Brigade [R]. The Zhongdian area 1:250000 regional geological investigation report. 2003:156-251.
- [17] 杨岳清,侯增谦,黄典豪,等.中甸弧碰撞造山作用和岩浆成矿系统[J].地球学报,2002,23(1):17-24.
Yang Yueqing, Hou Zengqian, Huang Dianhao, et al. Collision orogenic process and magmatic metallogenic system in Zhongdian arc[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23(1):17-24(in Chinese with English abstract).
- [18] 葛良胜,邹依林,邢俊兵,等.滇西北与喜马拉雅期富碱斑岩有关的金矿成矿系统[J].黄金地质,2004,10(1):39-47.
Ge Liangsheng, Zou Yilin, Xing Junbing, et al. Gold mineralization system related to alkali-rich porphyries in Himalayan, the northwestern part of Yunnan[J]. Gold Geology, 2004, 10(1):39-47 (in Chinese with English abstract).
- [19] 曾普胜,杨伟光,喻学惠.滇西富碱斑岩带及其与金矿化的关系[J].地球学报,1999,20(增刊):367-372.
Zeng Pusheng, Yang Weiguang, Yu Xuehui. Alkali-rich porphyry zone and the relationship between the porphyry and gold metallization in the western Yunnan [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1999, 20(supp):367-372(in Chinese with English abstract).
- [20] 武玉海,葛良胜,邢俊兵,等.滇西北与新生代富碱斑岩体(脉)有关的金矿床区域成矿模式[J].地质找矿论丛,2004,19(3):159-167.
Wu Yuhai, Ge Liangsheng, Xing Junbing, et al. Metallogenic model of Cenozoic alkali-rich porphyries-related Au deposits in northwest Yunnan province, China [J] Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2004, 19(3):159-167(in Chinese with English abstract).
- [21] 曾普胜,李红,罗锡明,等.滇西北中甸地区的铜金找矿远景[J].黄金地质,2000,6(3):13-18.
Zeng Pusheng, Li Hong, Luo Ximing, et al. The prospecting of Cu-Au in Zhongdian, northwest of Yunnan [J]. Gold Geology, 2000, 6(3):13-18(in Chinese with English abstract).
- [22] 曹殿华,王安建,修群业,等.中甸地区甬哥正长岩地球化学特征及其地质意义[J].地质学报,2007,81(7):995-1003.
Cao Dianhua, Wang Anjian, Xiu Qunye, et al. Geochemical Characteristics of Bengge Syenites in the Zhongdian Area, Yunnan Province and Its Geological Significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(7):995-1003(in Chinese with English abstract).
- [23] 黄玉蓬,刘显凡,邓江红,等.滇西北甬哥岩体成岩与成矿地质地球化学特征分析[J].矿物学报,2011,31(增刊):349-350.
Huang Yupeng, Liu Xianfan, Deng Jianghong, et al. Analysis on geological and geochemical characteristics of diagenesis and metallogenesis of Bengge igneous in northwest Yunnan [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2011, 31 (supp.):349-350 (in Chinese with English abstract).
- [24] Foley S F, Venturelli G, Green D H, et al. The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models [J]. Earth Science Review, 1987, 24:81-134.
- [25] 罗照华,卢欣祥,郭少丰,等.透岩浆流体成矿体系[J].岩石学报,2008,24(12):2669-2678.
Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Guo Shaofeng, et al. Metallogenic systems on the transmagmatic fluid theory [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(12):2669-2678(in Chinese with English abstract).
- [26] 李文昌,卢映祥,尹光候,等.西南三江南段找矿重大疑难问题研究报告[R].昆明:云南省地质调查院,2006.
Li Wenchang, Lu Yingxiang, Yin Guanghou, et al. The Research Report of Important Problems on Prospecting in South of Sanjiang, Southwest China. [R]. Kunming: Institute of Geological Survey of Yunnan Province, 2006.
- [27] 於崇文.矿床在混沌边缘分形生长(上)[M].合肥:安徽教育出版社,2006:1-789.
Yu Chongwen. Fractal Growth of Mineral Deposits at the Edge of Chaos[M]. Hefei: Anhui Education Press, 2006:1-789(in Chinese with English abstract).
- [28] 刘显凡,蔡飞跃,陶专,等.富碱斑岩中地幔流体的微观表现形式与交代蚀变成矿意义[J].矿物学报,2009,228-229.
Liu Xianfan, Cai Feiyue, Tao Zhuan, et al. Microscopic manifestations of mantle fluid in the alkali-rich porphyry and metallogenic significance of metasomatic alteration [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2009, 228-229(in Chinese with English abstract).
- [29] 刘显凡,刘家铎,张成江,等.地幔流体交代作用的系列成矿效应[J].矿床地质,2002,21(增刊):1002-1004.
Liu Xianfan, Liu Jiaduo, Zhang Chengjiang, et al. Effect of series mineralization of mantle fluid metasomatism [J]. Mineral Deposits, 2002, 21(supp.):1002-1004(in Chinese with English abstract).

An analysis of geochemistry and metallogenesis of Bengge alkaline igneous complex in northwestern Yunnan Province

HUANG Yu-peng^{1,2}, LIU Xian-fan¹, DENG Jiang-hong¹, DONG Yi¹, ZOU Jin-xi¹

(1. *Institute of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610000, Sichuan, China*; 2. *Chengdu Geological Survey, Sichuan Metallurgical Geological Prospecting Bureau, Chengdu 610203, Sichuan, China*)

Abstract: The metallogenic theory of trans-magmatic fluid and mechanism of the interaction between mantle fluid and crustal hydrothermal fluid provides a credible explanation for the idea “little intrusion could form large deposit”. The geochemical characteristics suggest that the Bengge alkaline complex had been strongly affected by deep fluid and the ore-forming elements were not provided by the magma or melt which formed the Bengge complex. The ore-forming fluid system and the magma were independent of each other. It is believed that the mineralizing process was controlled by the trans-magmatic fluid and the mechanism of interaction between mantle fluid and crustal hydrothermal fluid. The ore-forming mantle fluid was not mixed with the alkaline magma but they could move together. During the crystallization of the alkaline magma, on the one hand, the mantle fluid could alter the alkaline body; on the other hand, the mantle fluid might escape from the magma and move to the physical-chemical boundary layer which was favorable for the enrichment of the ore-forming elements. During this process, the mantle fluid could react and extract the ore-forming elements in the crust, which was helpful to the formation of a large ore deposit. Based on the above analysis, the authors hold that Bengge alkaline complex has attractive ore potential.

Key words: Bengge alkaline complex; trans-magmatic fluid and mantle fluid; mantle-crustal interaction; northwest Yunnan

About the first author: HUANG Yu-peng, male, born in 1987, master candidate, majors in mineralogy, petrology and ore geochemistry; E-mail: owenhyp10@yahoo.com.cn.