

东川层控铜矿床的地质地球化学特征*

P55.410.24

王林江

冉崇英**

(桂林冶金地质学院) (昆明工学院)

东川铜矿床位于云南省东北部,其大地构造位置是康滇地轴南段东缘。区内广泛出露前寒武系昆阳群,主要是地槽型碳酸盐岩、泥质岩建造。矿体主要赋存于中昆阳亚群落雪组下部的砂泥质白云岩、含藻白云岩中,呈层状(包括似层状、透镜状)和脉状产出。层状矿体受落雪组的岩性(不纯白云岩)和岩相(潮坪碳酸盐岩相)控制;而脉状矿则产于构造裂隙中,与层状矿密切相关。层状矿为同生沉积——成岩作用的产物;脉状矿是后期地质作用改造层状矿形成。东川铜矿床为典型的复合成因的层控矿床,其矿源层是落雪组下伏的因民组紫色砂泥质白云岩夹白云质板岩。

本文以常量元素、微量元素、有机质含量特征,包裹体成份、稳定同位素组成特征等方面,讨论东川铜矿床的地球化学特征。

(一) 常量元素地球化学特征

东川铜矿床常量元素地球化学特征见表1。不难看出,各类样品中的铜含量,与岩石的主要化学成份— MgO 、 CaO 、 CO_2 、 Al_2O_3 和 SiO_2 的各单项之间的相关关系并不十分明显。考虑到本区岩石主要由白云质和泥砂质两大部分组成,可把主要化学成分分为 $MgO+CaO+CO_2$ 和 $Al_2O_3+SiO_2$ 两部分,分别代表岩石中的白云质和泥砂质含量,并与铜含量关系作图(图1)。从图1a中可以看出,当 $MgO+CaO+CO_2$ 含量小于30%或大于80%时,铜含量均较低,而当 $MgO+CaO+CO_2$ 含量在40%—65%时,铜含量就较高。在图1b中,含矿岩石(铜含量大于0.5%)的 $Al_2O_3+SiO_2$ 值主要在20—40%间,当 $Al_2O_3+SiO_2$ 含量小于16%或大于65%时,铜含量均低。

另外,300余件岩石化学成份分析的统计结果也表明,含矿岩石的 $Al_2O_3+SiO_2$ 多在30%—40%间, $CaO+MgO$ 在25%—30%间。统计结果还表明,随着岩石中 Fe^{3+}/Fe^{2+} 比值的降低,岩石中的铜含量则增高,赋矿岩石的 Fe^{3+}/Fe^{2+} 平均值为0.45,说明铜质的沉淀需要相对还原的环境。

野外地质观察和显微镜下鉴定结果证实,有利于铜质富集的岩石是成份不纯的泥质、砂泥质白云岩和含藻白云岩,它们的颜色都比较浅。这与地球化学的认识相一致。

(二) 微量元素地球化学特征

东川铜矿床中,伴生的微量元素主要有Ba、B、Cr、Pb、Sn、Ga、Ni、Bi、Mo、V、

* 国家自然科学基金资助项目

**为前面作者的指导教师

表1 岩石化学成分分析表

样号	岩性	分析项目											目	
		Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	CO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	TiO ₂	S	Cu	MgO+CaO+CO ₂	Al ₂ O ₃ +SiO ₂
D1-3	白云岩	1.79	14.24	16.88	24.93	37.96	0.08	1.10	0.75	0.08	/	<0.01	79.77	16.03
-4	白云岩	1.17	7.24	17.84	27.94	41.92	1.27	0.64	0.26	0.03	/	0.01	87.74	8.43
-5	白云质板岩	14.77	68.04	2.19	0.55	0.30	0.61	0.79	0.04	1.05	/	0.01	3.04	82.82
-6	白云岩	1.10	7.20	19.79	27.64	42.62	0	0.41	0.16	0	/	0.01	90.05	8.30
-8	矿化白云岩	6.12	20.12	10.89	15.71	22.49	1.35	1.64	0.32	0.33	7.74	7.91	49.07	26.20
-14	矿化白云岩	1.42	15.46	16.78	24.55	38.28	1.01	0.79	0.13	0.09	0.69	0.78	79.61	16.88
-18	矿化白云岩	5.95	26.40	10.08	15.34	24.14	3.61	2.96	0.32	0.33	3.58	4.40	49.56	32.35
-21	矿化白云岩	2.28	16.14	14.21	21.89	24.80	1.35	2.19	0.42	0.16	1.35	2.25	60.90	18.42
-22	矿化白云岩	4.91	31.82	9.16	14.41	24.87	8.44	1.98	0.30	0.31	1.05	1.88	48.44	36.73
-23	白云岩	7.15	29.70	11.86	17.19	26.50	0.64	2.15	0.30	0.39	0.04	0.06	55.55	36.85
-24	白云岩	2.16	19.74	14.88	22.40	35.31	0.64	2.02	0.28	0.12	0.33	0.64	72.59	21.90
-33	白云岩	9.91	48.76	6.51	10.53	14.94	0.30	2.42	0.15	0.51	0.09	0.38	32.98	58.67
-34	白云岩	10.13	51.12	6.38	8.43	13.32	0.46	2.01	0.13	0.57	0.01	0.04	28.13	61.25
-47	白云质板岩	16.55	51.00	4.35	3.94	5.63	4.50	1.92	0.10	0.90	1.37	0.02	13.91	67.55

西南冶金地质勘探公司三一四队分析。

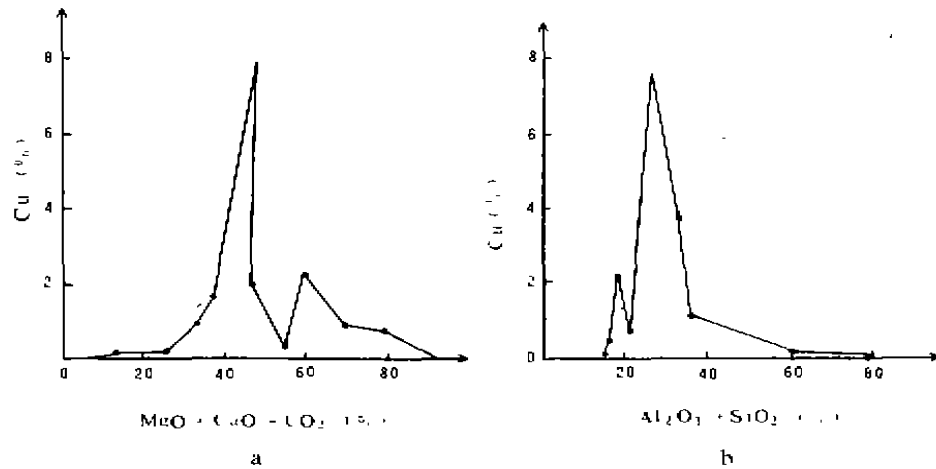


图1 岩石主要化学成份与铜含量关系图

La、Ag、Co、Sr，其中与铜矿关系密切的为Ag、Mo、Bi和Ga，它们一般随样品中铜含量的增加而增加（表2）。Ag、Bi主要赋存于斑铜矿中，Ga、Mo则在黄铜矿中相对较为富集。矿体及矿石矿物中Co、V、Ni等元素的含量一般较低，围岩的微量元素组成也是以富Ag、Bi、Ga、Mo为特征。相反，2件辉长岩样品则富Co、Ni和V，贫Ag、Mo。说明成矿物质主要来自地层，而与火成岩无关。事实上，该区产出的侵入体都是成矿后的，它们切割了脉状矿，不可能是成矿物质的来源。

（三）有机质在成矿过程中的作用

有机质在成矿过程中的作用主要表现在以下方面：（1）在元素迁移过程中，有机质能吸附金属元素或与金属元素形成有机络合物，从而参与成矿物质的迁移活动；（2）在成矿过程中，有有机质存在的条件下，细菌还原硫酸盐产生硫化氢，提供了形成硫化物所需的还原硫。另外，在成矿过程中，有机质将发生两极分化，一部分由于热解而转化成水、二氧化碳等组分，另一部分则在热解时浓缩形成含碳率更高、分子量更大的产物，它们与金属硫化物一起残留原地。以上因素可能是含矿部位和矿石矿物中富集有机质的原因之一。

因为沉积岩中有机质的绝大部分为有机碳，因此本文对东川矿区仅作有机碳的分析（表3）。在长期的地质作用（特别是成岩作用）过程中，岩石中的有机碳含量就大大减少。据有关资料，现今测得的岩石中有机碳含量只相当于其原始含量的0.01%^[1]。由此可见，表3所示的东川矿区的有机碳含量是比较高的，且由围岩到层状矿到脉状矿，随着其中铜含量的增加，有机碳含量也增加，尤以金属硫化物中最为富集，说明有机质对铜的富集起到了比较重要的作用。

（四）包裹体温度、盐度和成份

该区石英和白云石的原生包裹体均一温度数据（表4）显示东川铜矿的成矿温度是比较高的。其中：脉状矿为225—310℃，平均为250℃；层状矿为192—249℃，平均220℃；围岩

表2 微量元素组成特征表

样号	分析对象	产状	项 目																	
			分 析							日										
			Ba	Re	B	Cr	Cu	Pb	Sn	Ga	Ni	Bi	Nb	Mo	V	La	Y	Ag	Co	Sr
53	黄铜矿	脉状矿	75.2	—	—	—	—	41	48	30.5	5.2	—	—	—	26	—	—	32	1.6	—
71	辉长岩	侵入体	75	—	—	32	0.07	22	—	37	80	—	21	—	780	60	—	<1	80	85
83	黄铜矿	脉状矿	10.8	—	72	—	—	21	35	26	3.2	—	—	210	28	—	12	5.2	5.8	—
85	白云岩	层状矿	114	—	32	11.3	1.32	23.5	18	8.8	17.3	100	—	285	181	390	18	12	16.2	39
92	辉长岩	侵入体	190	—	—	220	0.02	28	44	50	310	—	16	10	500	62	20	<1	155	33
97	氧化矿石		54	—	1.1	<1	—	10	—	—	12.3	—	—	—	11.7	—	—	9.7	6.8	29
116a	黄铜矿	脉状矿	12	—	—	—	—	32.5	38	32.5	5.6	—	—	—	26	—	—	21	7.5	—
116b	斑铜矿		5	—	—	—	—	18	11.2	13	2.4	160	—	10	12.2	—	—	100	1.4	—
121			255	—	39	16.2	0.02	12	18	7.1	10.4	—	—	—	52	52	13	<1	5.8	32
131	白云石	围岩	21	—	12.7	3.4	0.05	17.3	12	8.4	17	—	—	4	67	—	—	2.3	132	56
148a			154	—	20	12	0.25	10	28	8.4	6.6	—	—	—	46	45	—	<1	6.3	32
148b	褪色白云岩		149	1.1	18.8	11.2	0.16	10	—	7.8	5.4	—	—	—	41	50	—	<1	2.7	25
149	含藻白云岩	层状矿	11.2	—	11	—	1.58	21	35	26	3.2	—	—	210	29.5	—	—	8.4	2.5	26
177		围岩	18.5	—	118	1.6	0.17	15.5	18	5.7	8.2	—	—	6	52	78	10	2.6	9.8	55

云南省地质局中心实验室分析。

表3 有机碳分析成果表

样号	产出地质体	分析对象	有机碳(%)	样号	产出地质体	分析对象	有机碳(%)
53	脉状矿	黄铜矿	0.33	L-14	围岩	白云岩	0.04
83			0.19	L-15			0.06
116		斑铜矿	0.33	L-16			0.11
L-11			0.18	L-17			0.06
L-22		辉铜矿	0.21	L-20			0.03
L-44		斑铜矿	0.19	L-21			0.03
L-8		层状矿	黄铜矿	0.16			L-23
L-18	辉铜矿		0.24	L-24			0.03
L-19	0.28		L-26	0.05			
L-31	斑铜矿		0.19	L-27			0.06
149	围岩	白云岩	0.03	L-28			0.03
121			0.05	L-29			0.03
131			0.03	L-33			0.03
148a			0.01	L-35			0.03
148b		褪色白云岩	0.01	L-40			0.03
177		白云岩	0.03	L-41			0.08
L-1			0.04	L-43			0.04
L-2			0.03	L-44			0.07
L-4			0.02	L-45			0.07
L-6			0.04	L-46			0.04
L-7			0.02	L-47	0.10		
L-10			0.05	L-48	0.10		
L-12			0.08	L-49	0.04		
L-13	0.02		L-50	0.04			

中科院贵阳地化所测试室分析

与层状矿相似,为216°C。成矿溶液盐度也相当高,已属热卤水范围。脉状矿一般为15.2—38 NaCl wt%,平均为19.7 NaCl wt%;而层状矿一般为10.2—34 NaCl wt%,平均为19 NaCl wt%。其中,含盐子晶包裹体的盐度是根据子晶消失温度求得的(图2),并根据盐度—均一温度—密度的关系(图3),估计了成矿溶液的密度范围为0.95—1.12,平均1.0。但由于大量含盐子晶包裹体(密度大于1.1)的个体小,大多未能测得子晶消失温度,因而未求得密度值。考虑到这一因素,可以认为成矿溶液的密度应大于1.0。

对矿体的脉石矿物(石英、白云石)作了包裹体液相成份 H_2O 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 的分析(表5),结果说明,除基本成份 H_2O 外,成矿溶液以富 K^+ (29—3378 μg)、 Na^+ (38—299.7 μg)、 Ca^{2+} (13—1128 μg)、 Cl^- (167—2788 μg)、 SO_4^{2-} (130—1500 μg)为特征;且层状矿和脉状矿具有相似的成矿溶液成分。但在同一产状地质体的不同样品中,同一组分含量的变化是相当大的,显示了成矿溶液的不均一性。

表4 包裹体温度盐度和密度

产出地质体	样号	包裹体类型	平均均一温度(°C)	盐度 NaCl wt (%)		密度	
				范围	平均值		
围岩	4	液体型	216.4				
层状矿	29	液体型	213.6	7.8—12.7	10.2	0.95	
		含NaCl子晶			>20.3		
	30	纯液体型			16.5		
		液体型	206.5	13—17.8	15.4	1.01	
		含NaCl子晶	240		34	>1.10	
	124	液体型	192.3	15.1—22.2	17.1	1.02	
151	249		12—16.4	14	0.93		
脉状矿	22	液体型	290	14.9—20.2	17.6	0.99	
	26		288	16.5—17.9	17.2	0.96	
	34		225.3	15.5—18	16.8	0.96	
	40		258	16.1—22.5	19.3	0.99	
	41	含NaCl子晶	310		38	1.12	
			230		33.5	>1.12	
			240		34	>1.12	
	43	液体型	300	14—20.2	17.1	0.98	
			239	11—17.2	15.2	0.92	
			237	7.2—12.1	9	0.90	
			116	231.3	11.2—18.1	15	0.96
			128	256	14.5—16.1	15.4	0.94

昆明工学院地质系测试室分析

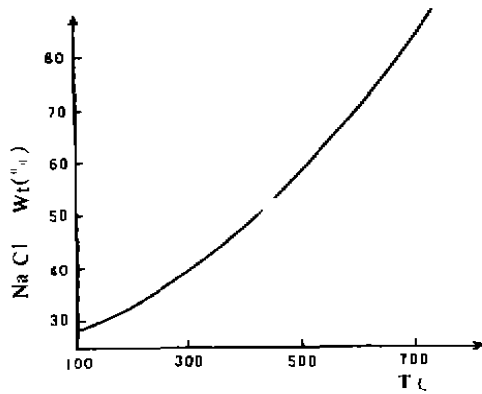


图2 多相包裹体NaCl子晶消失温度与盐度的关系 [2]

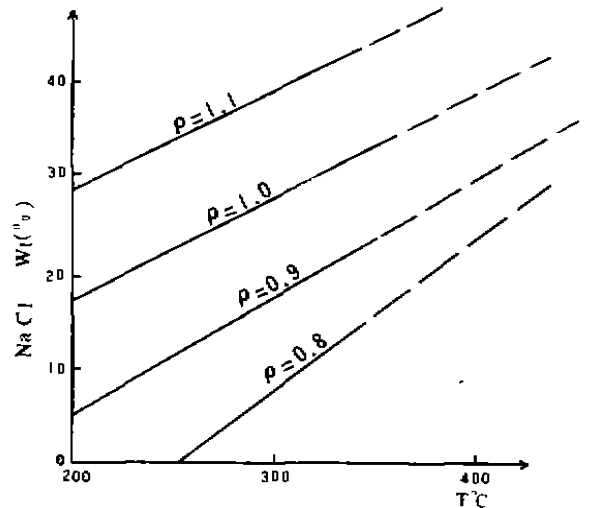


图3 包裹体盐度—均一温度—密度关系图 [2]

综上所述,东川铜矿床的成矿溶液具有温度较高、盐度较高、密度较大、成分复杂等特点,为热卤水。

(五) 稳定同位素地球化学特征

表6是东川铜矿床中与矿石矿物共生的脉石矿物的碳、氢、氧同位素组成。其中 $\delta C^{13}\text{‰}$ (PDB)、 $\delta D_{H_2O}\text{‰}$ (SMOW)分别为矿物包裹体中溶液的碳、氢同位素组成; $\delta C^{13}_{DOL}\text{‰}$ (PDB)、 $\delta O^{18}_{DOL}\text{‰}$ (PDB)分别为白云石的碳、氧同位素; $\delta O^{18}_{H_2O}\text{‰}$ (SMOW)为换算所得的成矿溶液的氧同位素。该区成矿溶液氧、氢同位素组成在图4中的投影位于变质水热液和发生了“氧同位素漂移”的大气降水成矿溶液区间或建造水区间。从东川矿区的地质情况看,岩石变质程度甚浅,除少量板岩外,未见其他明显变质迹象,因此,大气降水或建造水可能为东川矿区成矿热液的主要来源。据有关资料,昆明地区现代大气降水的 $\delta D\text{‰}$ (SMOW)值为 -76‰ ,与东川矿区的 $\delta D\text{‰}$ 平均值比较接近。“氧同位素漂移”是大气降水成矿热液的主要特征,东川矿区主要含岩石为富 O^{18} 的白云岩,成矿温度又比较高,具备了发生 O^{18} 漂移的条件。

由于碳同位素分馏作用的结果, C^{13} 趋向于在碳酸盐矿物中富集,而成矿溶液中则富 C^{12} ,因此热液比白云石具有更低的碳同位素组成。另外,由于有机碳参与了成矿作用,使该区碳同位素值比较低,脉状矿比层状矿更低。

该区硫同位素值变化范围较大,脉状矿为 -0.2‰ (PDB) — 12.5‰ (PDB),层状矿为 -12.7‰ (PDB) — 14‰ (PDB),显示二者具有相同的来源,可能均为细菌还原海水硫酸盐的产物。但脉状矿可能在较高温度下发生了硫同位素均一化作用,从而显示出较为集中的硫同位素组成。

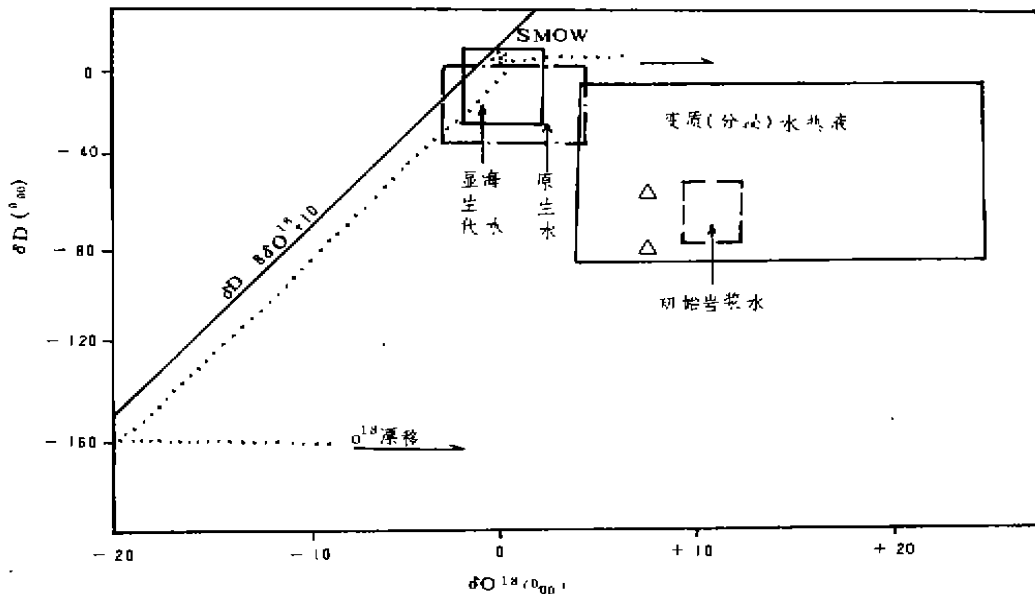


图4 成矿溶液的氢氧同位素组成 [5]

△ 东川矿区样品投影点

表5 包裹体成份分析表

产出地质体	样品号	矿物	包体打开法	H ₂ O	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺ /K ⁺	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻
脉状矿	116	石英	研磨	—	29.0	53.7	222.9	72	1.00	167	200	1.85	0.84
	96	白云石	爆裂、研磨	1.4	29.1	44.4	1128.6	120	1.6	200	1500	1.53	0.13
	D-40	石英	爆裂450°C	1.51	531.2	299.7	132.5	74.4	23.9	1409	130	0.56	10.8
层状矿	D-41	白云石	研磨	—	3378	110	32.1	13.8	163	2210	480	0.03	4.6
	D1-4	白云石	爆裂400°C	3.4	64.3	38.9	508.2	75	2.9	200	450	0.6	0.44
	D-16	白云石	研磨	—	6980	66.6	742	12.0	51.8	2788	403	0.01	6.92
	D-30	石英	爆裂450°C	5.0	80.5	92.5	13.0	11.70	33.2	386	643	1.15	0.6

贵阳地球化学研究所测试重分析。

表中除H₂O的单位为mg外，其余为μg。

表6 稳定同位素组成

矿体产状	样号	矿物	δC _{org} ¹³ ‰(PDB)	δC _{org} ¹³ ‰(PDB)	δD _{H₂O} ‰(SMOW)	δO _{org} ¹⁸ ‰(PDB)	δO _{H₂O} ¹⁸ ‰(SMOW)
脉状矿	116	石英		-16.41	-68.60		
	D-41	白云石	-0.84			-14.19	8.041
层状矿	D1-4	白云石	0.40	-2.71	-83.90	-11.42	7.045
	D-30	白云石	0.18		-59.90	-11.32	7.085

北京大学地质系测试重分析

有关换算公式：

$$\delta O_{SMOW}^{18} = 1.0308 \times \delta O_{PDB}^{18} + 30.86(3)$$

$$1000 \ln \left[\frac{\delta O_{DOL}^{18} + 1000}{\delta O_{H_2O}^{18} + 1000} \right] = 3.2 \times 10^6 \times T^{-2} - 2.0(4)$$

参 考 文 献

- (1) 中国科学院地球化学研究所有机地球化学实验室 1982 有机地球化学 科学出版社
- (2) 何知礼 1982 包体矿物学 地质出版社
- (3) Jochen Hoefs, 1980, *Stable Isotopes Geochemistry*. Berlin Heidelberg New York.
- (4) 丁梯平 1980 氢氧同位素地球化学 地质出版社
- (5) 张理刚 1985 稳定同位素在地质科学中的应用 陕西科学技术出版社。

THE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE DOUNGCHUNG STRATA-BOUND COPPER DEPOSIT

Wang Linjiang

Ran Changying

(*Guilin Metallurgical Geological Institute*) (*Kunming Institute of Technology*)

Abstract

The doungechung copper deposit is a typical strata-bound deposit. The total content of $MgO+CaO+CO_2$ is from 40 percent to 65 percent and $SiO_2+Al_2O_3$ from 20 percent to 40 percent in the ore-bearing rocks. Trace elements data shows that the metallogenic substance is of the same source with strata. Organic matter played an important role during migration and enrichment of copper. The ore-forming fluid, having high salinity, riching in K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , coming from meteoric water, is of hot brine.