桂北中上元古界地球化学研究*

阎 明 刘英俊 马东升
(南京大学地球科学系, 210008)

摘 要 桂北中上元古界浅变质岩系为一套由活动型向稳定型转变的火山-陆源碎屑沉积建造，具有后太古代正常沉积砂泥质岩的岩石化学和稀土元素地球化学特征。其As，Sb原始富集，Sr，Hg明显亏损，Au等成矿元素呈双峰或多峰分布，Sn，Cu，Ni，Au，Ag，As，Sb变异系数较大，属活动性强的元素。微量元素组合早期以亲铁、亲铜元素为主，晚期则出现亲石元素。桂北中上元古界发育以四堡群为基底原始含矿建造、丹洲群和下震旦统为盖层衍生含矿建造的演化系列。

关键词 元古界；地球化学；微量元素；广西
中图号 P596；P534.3

桂北中上元古界四堡群、丹洲群和震旦系分布于九万大山至越城岭一带，其以变质的砂泥质岩为主，夹超基性—基性岩、喷出岩和少量碳酸盐岩、硅质岩，总厚逾万米，具绿片岩相和复理石建造特征。刘英俊等对湘、赣、浙、桂、粤5省的地层地球化学研究表明[1]，华南发育以基底含矿建造（元古界—寒武系）为主，盖层衍生含矿建造为辅的多时代含矿建造序列。作为桂北元古界活动型火山-陆源碎屑沉积建造的四堡群、丹洲群和震旦系，是否如同冷家溪群、板溪群、双桥山群、双溪坞群、陈蔡群等一样，是华南地区重要的含矿建造，本文就此进行讨论。

1 中上元古界地质特征

桂北四堡群分布于九万大山一带和元宝山两侧，由浅变质的砂泥质岩夹中基性熔岩、科马提岩、火山碎屑岩及层状或似层状基性-超基性侵入岩组成，为深海浊流复理石建造和基性-超基性火山岩建造，水平层理、递变层理、包卷层理及底冲刷等浊积岩特征发育。该岩系经区域变质，为低级绿片岩相，厚度大于3 840 m（未见底，宝坛地区）。依岩性组合四堡群自下而上划分为文通组和鱼西组。文通组下段由灰色、灰绿色变质中细粒长石质石英砂岩、变质粗中粒砂岩、变质粉砂岩、千枚岩、板岩组成，夹少量层状、似层状基性-超基性侵入岩，厚度大于655 m；上段以夹多层海相火山岩为特征，主要由深灰色、灰绿色变质细砂岩、变质粉砂岩、基性熔岩、凝灰岩、科马提岩组成，厚度2 514 m。鱼西组由灰绿色、

1994年6月27日收稿。
第一作者简介：阎 明，男，1967年出生，博士研究生，地球化学专业。
* 国家自然科学基金(9488010)和国家教委博士点基金资助项目。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn

灰色中-薄层状变质泥质粉砂岩、板岩、绢云母千枚岩、变质细砂岩组成，局部夹中酸性喷出岩，厚度大于671 m。

四堡群的时代隶属尚无定论。多数学者根据侵入四堡群而被丹洲群所不整合覆盖的本洞花岗闪长岩体的同位素年龄（1 063 Ma）而将其归于中元古界，并与贵州梵净山群、湖南冷家溪群、江西九岭群、浙江双溪坞群相类比，认为四堡运动即晋宁运动。广西区调队（1987）以文通组上段具鬣刺结构的科马提质玄武岩为测定对象，采用Rb-Sr法测得1 667 Ma的年龄数据。采用Sm-Nd法测试四堡群文通组8件镁铁质-超镁铁质火山岩样品，获得成岩等时线年龄2 219 Ma[2]，说明四堡群为早元古代而不是中元古代的产物。综上可知，其成岩时代还有待进一步研究。

丹洲群分布于九万大山至越城岭一带，由变质的砂泥质岩夹少量碳酸盐岩组成，龙胜—三门一带夹多层细碧-角斑岩、火山碎屑岩，并有大量透镜状、似层状基性-超基性岩顺层侵入，构成一套独特的蛇绿混杂岩。丹洲群总厚度约968～4 780 m，与下伏四堡群一般为角度不整合接触，唯元宝山地区二者呈平行不整合关系。依据岩性、岩相及标志层，丹洲群自下而上划分为白竹、合桐、拱洞3组，其间均为整合接触。白竹组下部为砾岩及砂泥质岩，上部为碳酸盐岩夹泥质岩，自下而上组成一个沉积旋回，水平层理发育。合桐组主要由变质的泥质岩夹砂质岩组成，上段的泥质岩常含炭质，以深灰、黑色为其特征而区别于下段，复理石韵律明显。拱洞组由灰、灰绿色绢云板岩、绢云千枚岩、绢云石英千枚岩夹变质砂岩、变质长石石英砂岩、变质粉砂岩组成，岩层普遍具清晰的条带或条纹，水平层理、斜层理、交错层理、印模构造均较发育，复理石韵律明显。

丹洲群仍具复理式、类复理式沉积建造特点，白竹组上部有较稳定的钙质层段，合桐组上段具有黑色炭质千枚岩、板岩和中基性火山岩段，其岩性组合与湖南板溪群马底驿组和黔东南下江群甲路组、乌叶组酷似。说明桂、湘、黔三省区的丹洲群、板溪群、下江群可以对比。根据产于丹洲群合桐组中的似层状辉橄-辉长辉绿岩体的锆石铀铅年龄值为837 Ma，认为丹洲群形成年代属晚元古代[3]。

震旦系分布较广，主要由一套轻变质的含砾泥砂岩、砂岩、砂泥质岩、硅质岩和少量白云岩组成，属浅海-半深海相沉积，与上覆寒武系及下伏丹洲群均为连续整合接触，总厚360～4 859 m。震旦系分下、上统，下统分为长安组（主要为巨厚层状含砾泥岩、含砾砂岩夹变质细砂岩、粉砂岩、泥岩）、富禄组（由砂质岩、泥质岩局部夹透镜状白云岩组成）和泗里口组（以巨厚层块状的含砾碎屑岩为主）。上统为陡山沱组（由深色的页岩、炭质页岩、硅质页岩、硅质岩局部夹砂岩、白云岩透镜体组成）和老堡组（由硅质岩组成，中上部局部夹少量炭质页岩或炭质硅质页岩，常构成陡崖峭壁）组成。

桂北震旦系与湘黔两省震旦系可以对比。桂北震旦系底界（长安组）下限年龄定为800 Ma，震旦系上、下统界线为700 Ma，而震旦系顶界年龄值定为615 Ma①

2 岩石化学和稀土元素地球化学特征

桂北中上元古界主要岩石类型的岩石化学成分和稀土元素含量特征列于表1和表2。其具有以下特点:

①广西地矿局. 广西震旦纪沉积相古地理及矿产. 1989

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn

(1) 桂北中上元古界浅变质岩系不同岩类岩石化学成分上的差异与其矿物组成密切相关，板岩、千枚岩与变质粉砂岩、变质砂岩相比，SiO_2 含量低，Al_2O_3，K_2O 含量高。所有样品均是 $MgO > CaO$，$K_2O > NaO$。运用尼格里图解、西蒙南图解、$(al-alk)-c$ 图解，结果，其均落在正常沉积的砂泥质岩范围。

(2) 桂北四堡群蚀变玄武岩、蚀变科马提质玄武岩、蚀变辉石质科马提岩具有低 TiO_2(<0.9%)、低 Na_2O (<4%) 和 K_2O、高 MgO (7.26～21.17%) 的特点。研究表明，其属拉斑玄武岩-科马提质玄武岩-科马提岩建造。该火山岩系列 $FeO^*/(FeO^*+MgO) < 0.65$, $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+}) < 0.4$, $CaO/Al_2O_3 < 0.82$, Al_2O_3/TiO_2 比值接近球粒陨比值 (20.4)，具有幔源火山岩的特征，可与世界上许多太古代绿岩带中的基性-超基性火山岩建造相类比。桂北四堡群基性侵入岩、蚀变辉长辉绿岩的化学成分与火山岩的最大差异在于 MgO 较低 (3.78%), FeO^* 较高 (13.44%)。变石英闪长岩 MgO, CaO 更低，但 SiO_2, ALK 增高。

(3) 桂北中上元古界浅变质岩系 ΣLREE 富集并具明显的分馏现象，ΣEu 显著负异常，显示后太古代沉积岩稀土配分模式(图 1)。由于受沉积物粒度的控制，板岩、千枚岩 ΣREE 较变质粉砂岩、变质砂岩高。桂北四堡群变石英闪长岩与蚀变辉长辉绿岩、蚀变玄武岩、蚀变科马提质玄武岩稀土配分模式极其相似 (图 2)，除 ΣREE 外，ΣLREE／ΣHREE，δEu，δCe，$(La/Yb)_N$ 比值等主要参数均很接近，反映它们乃同源岩浆演化的产物。

3 微量元素含量分布特征

3.1 微量元素含量分布特征

Au：桂北中上元古界金含量不高（表 3），四堡群、丹洲群和下震旦统金平均含量分别

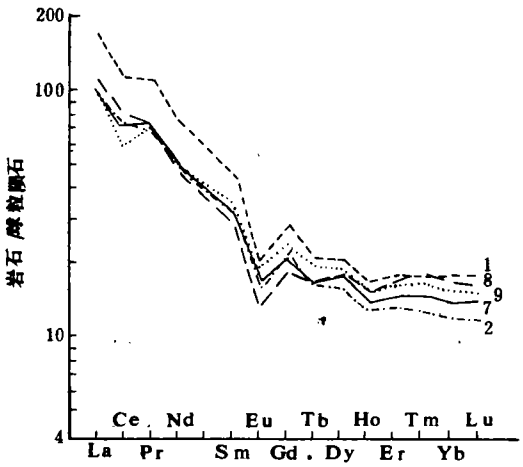


图 1 桂北中上元古界浅变质岩系稀土配分模式

Fig. 1 REE distribution pattern of the epimetamorphic series

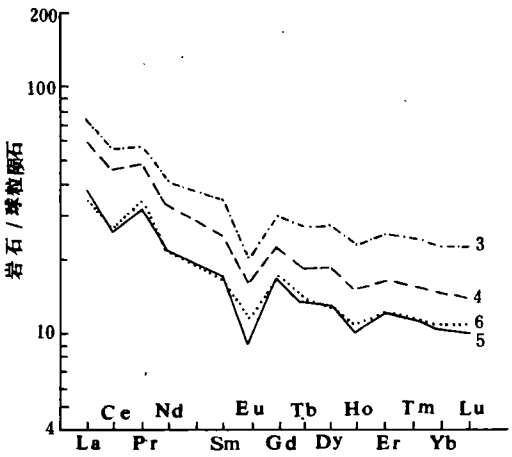


图 2 桂北中元古界四堡群岩浆岩稀土配分模式

Fig. 2 REE distribution pattern of Sibao Group magmatite

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn

表 1 桂北中上元古界主要岩石类型化学成分和参数特征

Table. 1 Chemical compositions and parameters of major rock types

地层单元	岩石名称	化学成分(干) %											参数			
		SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	$\frac{FeO}{FeO+MgO}$	$\frac{Fe^{3+}}{Fe^{3+}+Fe^{2+}}$	$\frac{CaO}{Al_2O_3}$	$\frac{Al_2O_3}{TiO_2}$
四堡群	千枚岩(1)	55.12	1.01	23.93	4.88	3.37	0.14	5.07	0.13	0.15	5.69	0.02	0.61	0.38	0.01	23.7
	变质砂岩(1)	75.45	0.55	12.80	4.02	2.36	0.09	2.07	0.12	0.60	2.07	0.06	0.75	0.35	0.01	23.3
	变石英闪长岩(1)	67.58	0.59	12.51	6.49	3.82	0.15	1.30	2.12	3.14	2.20	0.21	0.88	0.35	0.14	21.2
	蚀变辉长辉绿岩(3)	57.13	1.18	14.63	9.50	4.38	0.18	3.78	5.26	1.54	2.43	0.11	0.78	0.29	0.36	12.4
	蚀变玄武岩(2)	55.82	0.77	15.59	6.74	3.76	0.20	7.26	5.68	2.74	1.15	0.06	0.58	0.33	0.36	20.3
	蚀变科马提质玄武岩(2)	53.32	0.74	14.82	6.56	4.05	0.18	8.60	7.87	2.54	1.02	0.07	0.54	0.36	0.53	20.0
	蚀变辉石质科马提岩(3)	47.94	0.51	9.86	10.61	1.33	0.17	21.17	7.33	0.30	0.32	0.11	0.38	0.10	0.74	19.3
丹洲群	变质砂岩(1)	72.34	0.41	16.91	1.69	4.85	0.07	0.58	0.13	0.15	2.36	0.02	0.91	0.72	0.01	41.2
	变质粉砂岩(1)	71.53	0.43	15.66	1.40	3.73	0.14	1.61	0.21	0.93	3.64	0.11	0.75	0.71	0.01	36.4
	含炭千枚岩(1)	68.29	0.60	17.70	2.22	3.45	0.05	1.48	0.25	1.50	4.11	0.02	0.78	0.72	0.01	29.5
	千枚岩(1)	64.22	0.48	21.80	1.62	5.94	0.11	1.75	0.11	0.28	3.45	0.12	0.80	0.77	0.01	45.4
	板岩(1)	60.63	0.57	23.71	1.67	5.56	0.14	1.49	0.10	0.50	5.26	0.11	0.82	0.75	0.01	41.6
震旦系	变质砂岩(1)	74.33	0.52	16.00	1.31	2.87	0.06	1.10	0.21	0.09	3.27	0.09	0.78	0.66	0.01	30.8
	板岩(1)	61.20	0.66	22.03	2.53	5.58	0.14	2.58	0.11	0.42	4.21	0.13	0.75	0.66	0.01	33.4

由南京大学地球科学系中心实验室分析; 括号内为样品数.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn

表 2 桂北中上元古界主要岩石类型稀土元素含量($\times 10^{-6}$)及参数特征

Table 2 REE contents ($\times 10^{-6}$) and parameters of major rock types

地层单元		四堡群						丹洲群		震旦系
岩石名称		千枚岩	变质砂岩	变石英闪长岩	蚀变辉长辉绿石	蚀变玄武岩	蚀变科马提质玄武岩	变质砂岩	含炭千枚岩	变质砂岩
稀土元素	La	56.45	34.30	25.61	21.05	13.00	12.14	33.93	37.08	34.14
	Ce	102.80	68.87	52.46	42.67	24.34	25.36	65.18	73.91	55.71
	Pr	13.30	8.40	7.13	6.06	4.01	4.21	9.03	8.83	8.81
	Nd	48.47	30.87	27.16	21.68	14.10	13.55	32.45	30.01	32.49
	Sm	8.90	6.30	6.75	5.02	3.37	3.27	6.41	5.61	6.77
	Eu	1.47	1.17	1.53	1.18	0.69	0.87	1.22	0.96	1.34
	Gd	7.43	5.56	7.82	5.91	4.48	4.56	5.38	4.73	6.02
	Tb	0.99	0.77	1.27	0.86	0.63	0.67	0.79	0.78	0.90
	Dy	6.19	4.80	8.26	5.51	3.92	3.90	5.32	5.28	5.67
	Ho	1.31	0.98	1.78	1.17	0.80	0.85	1.08	1.17	1.20
	Er	3.61	2.60	5.03	3.27	2.40	2.41	2.90	3.39	3.35
	Tm	0.57	0.40	0.78	0.50	0.37	0.37	0.46	0.58	0.53
	Yb	3.93	2.57	5.00	3.17	2.32	2.40	3.00	3.60	3.45
	Lu	0.61	0.39	0.76	0.48	0.35	0.37	0.47	0.54	0.53
	Y	29.58	24.95	44.38	29.04	21.87	20.58	26.27	29.72	29.78
	ΣREE	285.61	192.93	195.72	147.57	96.65	95.51	193.80	206.19	190.69
参数	$\frac{\Sigma LREE}{\Sigma HREE}$	4.27	3.48	1.61	1.96	1.60	1.64	3.25	3.14	2.71
	δEu	0.54	0.59	0.65	0.67	0.55	0.69	0.62	0.56	0.63
	δCe	0.82	0.89	0.86	0.84	0.75	0.79	0.82	0.89	0.71
	$\left(\frac{La}{Yb}\right)_N$	9.29	8.64	3.31	4.30	3.63	3.27	7.32	6.66	6.40

由南京大学地球科学系中心实验室分析.

为 1.2×10^{-9}，1.6×10^{-9} 和 2.9×10^{-9}，变异系数则分别是 100%、75% 和 54%。四堡群不同岩性组合以变质砂岩、变质粉砂岩、板岩和千枚岩等沉积变质岩金含量相对较高（$1.1\times 10^{-9}\sim 2.1\times 10^{-9}$），基性-超基性岩金含量甚低（仅 0.4×10^{-9}），导致以沉积变质岩为主的鱼

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn

表3 桂北中上元古界不同地层单元微量元素含量和统计参数

Table 3 Trace elements contents and parameters of different strata units

地层单元	统计参数	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	W	Sn	Mo	Bi	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Hg	Sr	Ba
四堡群(28)	$\bar{x}$	4097	157	126	1127	18	30	3.1	5.3	0.5	0.30	71.3	2.0	45	36	94	1.2	0.06	28	46	453
	CV	20	46	83	37	61	83	32	204	20	67	263	190	89	28	35	100	133	14	96	45
	Fs	1.37	2.62	3.03	1.88	1.80	1.50	1.11	0.96	0.38	1.50	47.53	10.00	1.80	1.80	1.32	0.67	1.20	0.35	0.13	0.82
文通组(17)	$\bar{x}$	4171	187	152	1267	21	32	2.8	6.3	0.5	0.20	63.8	1.5	31	37	100	1.0	0.07	27	51	400
	CV	19	40	81	33	57	94	36	217	0	50	348	93	55	30	37	130	129	11	92	48
鱼西组(11)	$\bar{x}$	3982	110	85	912	914	27	3.6	3.8	0.6	0.40	82.9	2.8	66	34	86	1.6	0.05	29	38	48
	CV	22	35	48	33	21	48	25	37	17	75	139	200	80	24	26	50	80	14	100	37
丹洲群(33)	$\bar{x}$	3998	111	61	863	17	34	3.4	4.3	1.4	0.34	12.5	1.3	33	27	103	1.6	0.05	29	40	794
	CV	23	34	43	50	47	35	35	28	114	94	76	92	58	74	34	75	80	21	58	50
	Fs	1.33	1.85	1.74	1.44	1.70	1.70	1.21	0.78	1.08	1.70	8.33	6.50	1.32	1.35	1.45	1.78	1.00	0.36	0.11	1.44
白竹组(14)	$\bar{x}$	4623	138	82	900	23	39	4.3	4.5	0.6	0.33	13.8	0.7	34	33	106	1.0	0.03	28	24	558
	CV	21	25	24	30	22	18	33	20	33	58	78	86	38	73	20	100	33	14	21	46
合桐组(11)	$\bar{x}$	3524	100	56	738	14	32	3.0	3.9	2.8	0.45	15.2	2.5	40	26	79	2.0	0.08	32	39	1127
	CV	18	31	34	71	43	50	10	10	79	109	60	56	60	69	53	35	75	22	38	39
拱洞组(8)	$\bar{x}$	3559	80	31	971	12	29	2.6	4.7	0.8	0.20	6.6	0.9	23	17	132	2.2	0.03	26	69	750
	CV	12	10	23	49	67	34	8	43	25	0	39	56	57	29	11	64	0	4	35	18
下震旦统(14)	$\bar{x}$	3152	76	36	870	15	38	2.5	3.6	0.8	0.29	8.9	4.3	34	32	112	2.9	0.05	29	72	855
	CV	24	18	22	55	25	74	12	17	22	44	171	130	41	43	41	54	125	9	44	58
	Fs	1.05	1.27	1.03	1.45	1.50	1.90	0.89	0.65	0.62	1.45	5.93	21.5	1.36	1.60	1.58	1.61	1.00	0.36	0.21	1.55
长安组(9)	$\bar{x}$	3364	78	37	821	13	22	2.5	3.7	0.8	0.27	3.9	4.6	28	26	86	2.3	0.04	29	89	792
	CV	17	7	22	25	17	21	13	17	17	31	76	144	21	45	9	58	19	9	27	30
富禄组(5)	$\bar{x}$	2771	73	34	957	17	67	2.5	3.4	0.8	0.34	18.0	3.6	45	43	158	4.2	0.08	30	42	969
	CV	31	29	21	77	25	42	10	15	29	51	126	65	40	19	31	30	123	9	47	77

由华东有色地质勘查局八一四队实验室分析. 括号内为参加统计的样品数，$\bar{x}$为平均值，*CV* 为变异系数，*Fs* 为相对于上部大陆地壳平均值（S. R. Taylor, 1985）的富集度. Au, Hg 含量单位为$\times 10^{-9}$, 其余元素均为$\times 10^{-6}$.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn

西组金含量较文通组高。桂北中上元古界由文通组→富禄组，金含量有增高的趋势。金呈现三峰或双峰的近似对数正态分布（图3）。

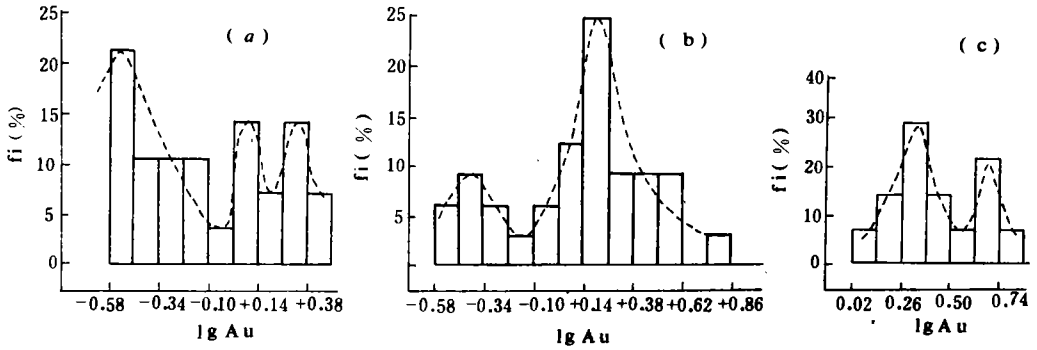


图3 桂北中上元古界金含量对数频率分布直方图

Fig. 3 The log frequency distribution histogram of gold contents

a—四堡群 b—丹洲群 c—下震旦统

Ag: 四堡群、丹洲群和下震旦统银平均含量分别是 0.06×10^{-6}、0.05×10^{-6} 和 0.05×10^{-6}，与 S. R. Taylor（1985）的上部大陆地壳平均值相近或相等，变异系数则分别高达 133%、80% 和 125%。四堡群不同岩性组合以变质粉砂岩银含量最高（0.09×10^{-6}），且变异系数也最大（166%）。丹洲群以合桐组银含量最高（0.08×10^{-6}），变异系数亦最大（75%）。银在下震旦统富禄组中含量较长安组高，变异系数较大。

As, Sb: 四堡群砷、锑的平均含量相对于上部大陆地壳平均值的富集度分别是 47.53、10.00，变异系数分别高达 263%、190%。丹洲群砷、锑的富集度分别为 8.33、6.50，变异系数分别是 76%、92%。下震旦统砷、锑的富集度分别为 5.93、21.50，变异系数分别是 171%、130%。说明砷、锑是桂北中上元古界原始富集的元素。与其它岩性组合相比，砷、锑在四堡群变质砂岩和变质粉砂岩中含量最高，变异系数也最大。丹洲群则以合桐组砷、锑含量较高。与长安组相比，砷在富禄组含量较高，变异系数也较大，而锑则相反。

Sn, Cu, Ni: 四堡群 Sn, Cu, Ni 相对于上部大陆地壳值的富集度分别是 0.96、1.80、1.50，变异系数分别是 204%、89%、83%。Sn, Cu, Ni 在四堡群基性-超基性岩中含量最高，变异系数也最大，这与桂北地区广泛分布与四堡期基性-超基性岩有关的锡多金属矿化相吻合。丹洲群和下震旦统锡、铜、镍富集度有所降低，且含量分布较稳定，变异系数较小。

Hg, Sr: 四堡群汞、锶相对于上部大陆地壳值的富集度分别是 0.35、0.13，变异系数分别是 14%、96%。丹洲群汞、锶的富集度分别为 0.36、0.11，变异系数分别是 21%、58%。下震旦统汞、锶的富集度分别为 0.36、0.21，变异系数分别是 9%、44%。表明汞、锶是桂北中上元古界明显亏损的元素。汞和锶在地下水中有极强的活动

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn

性，这些活泼元素在地下热水作用下能够发生水平或垂直方向上大规模的定向运动[4]。桂北中上元古界汞、锶的明显亏损表明其形成之后曾遭受大规模地下热水的强烈改造作用，而这种改造作用显然是同成矿作用联系在一起的。鉴于 Au，Ag，As，Sb，Sn，Cu，Ni 在桂北中上元古界中的高变异系数，可以认为它们受后期改造作用之影响，属活动性较强的元素，暗示桂北不仅是锡多金属矿化区，同时亦有可能是 Au-Ag-As-Sb 成矿区。

在常见微量元素比值方面，四堡群 Sr／Ba，Co／Ni，Au／Ag 比值分别是 0.10、0.60、0.02，丹洲群依次分别是 0.05、0.50、0.03，下震旦统依次分别是 0.08、0.39、0.06。与正常海相地层 Sr／Ba 相比，桂北中上元古界 Sr／B 比值明显偏低，反映后期迭加改造作用过程中地层锶的淋失。由四堡群→丹洲群→下震旦统，Co／Ni 比值逐渐减小，而 Au／Ag 比值则逐渐增大。

3.2 微量元素相关性

上元古界 20 种微量元素进行了 R 聚类分析结果（图 4），在临界相关系数内，四堡群主要存在以下 3 类微量元素组合：Au-W-Ba，Sb-Bi-Pb-Mo，Sr-Cr-Co-V-Mn-Ni。金的相关体系的构成可在一定程度上反映建造中金的存在形式，四堡群 Au 与除 W，Ba 以外的所有元素均不相关，反映金可能主要以不规则分布的独立矿物形式存在，这种状态的金化学上具活性，易在变质作用过程中活化转移。Sr 与亲铁元素 Cr，Co，V，Mn，Ni 共同组成相关群，表明相当一部分 Sr 存在于四堡群基性-超基性岩中，且 Sr^{2+} 与 Ca^{2+} 发生了强烈的类质同象置换。

丹洲群 Au 与其它任何元素均不相关，表现出较强的独立性。这一点与四堡群具有相似性。由图 4 可以看出，丹洲群共有 3 个主要的相关群：Ti-V-Cr-W-Co，Mn-Ni-Zn，Hg-Mo-Ag-Sb-As。Ti-V-Cr-W-Co 属亲石元素组合，Mn-Ni-Zn 具有亲石、亲铁、亲铜三重性，而 Hg-Mo-Ag-Sb-As 则是典型的亲铜元素组合。微量元素相关群出现亲石元素组合是丹洲群区别于四堡群的重要特征。

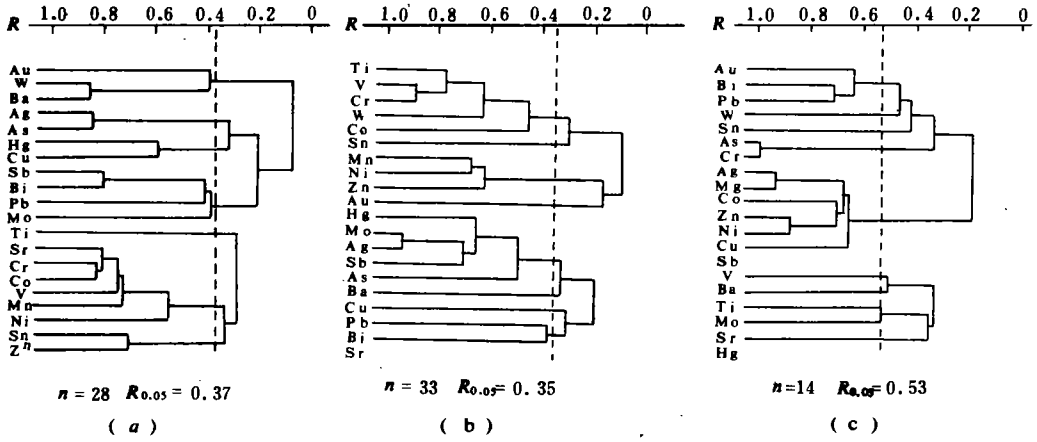


图 4　桂北中上元古界微量元素 R 型聚类分析

Fig. 4　R-type group analysis of trace elements

a—四堡群；b—丹洲群；c—下震旦统

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cn

与四堡群和丹洲群不同，桂北下震旦统 Au 与其它元素尤其是亲铜元素的相关性显著增加，在临界相关系数内，计有 As，Bi，Cu，Zn，Ni。由图 4 可见，下震旦统主要有 2 个微量元素相关群，即 Au-Bi-Pb 和 Ag-Mn-Co-Zn-Ni-Cu，前者属亲铜元素组合，后者为亲铁亲铜元素组合。下震旦统目前是桂北地区最重要的含金层位，主要赋矿地层是长安组。相关分析表明，长安组与 Au 相关的元素有亲铜元素 Ag，As，Bi，Sn，Pb，微量元素相关群为 Au-Pb-Ag-Bi-As-Sn 和 Zn-Cr-V；富禄组 Au 的相关性明显减弱，仅与 Ni 有一定的相关性，微量元素相关群为 Au-Ni，As-Cr，Sb-Pb，Ag-Mn-Co 组合，相关群较为分散。

3.3 含矿建造

四堡群作为一套复杂的火山-沉积建造，具有以下特点：（1）尽管四堡群平均金丰度较低，但这并不排斥某些含金层位的存在，例如一些熔岩间碎屑沉积物含金达 5.9×10^{-9}，部分蚀变辉长辉绿岩和科马提质玄武岩含金高达 $7.0\times10^{-9}\sim16\times10^{-9}$。这些金是活动性较强的"可得金"，成为后期变质热液型金矿重要的物质来源。如同其它含金建造一样，四堡群中金具有多峰分布的特征。（2）四堡群微量元素组合以亲铁和亲铜元素为特征，金与其它元素之间的相关性微弱。（3）四堡群 Sn，Cu，Ni，Au，Ag，As，Sb 变异系数较大，属活动性强的元素。其中 Sn，Cu，Ni 与基性-基性岩有关，而 Au，Ag，As，Sb 主要与四堡群沉积变质岩有关。（4）桂北广泛发育与四堡群基性-超基性岩有关的锡、铜、镍矿化，例如九毛、一洞、沙坪和红岗等地，其中大坡岭铜镍矿，是我国唯一的由科马提质岩浆形成的铜镍矿床。（5）近年来随着金矿地质工作的不断加强，四堡群文通组内已陆续发现了一些金矿点或金矿化点①，如地吴、文通、峒马口等地，其成因类型主要属变质热液成因的硫化物-石英脉金矿床。

综上所述，认为桂北四堡群乃是 Sn-Cu-Ni-Au-Ag-As-Sb 多元素组合的综合性原始含矿建造。其不仅为金、锡等矿床提供成矿物质来源，还通过外生作用为该区丹洲群和震旦系衍生含矿建造提供物质来源。对含矿建造的已有研究表明[5]，其往往与多种沉积建造有关，其中最重要的是火山—沉积和陆源碎屑沉积。在同一地区内，可以形成若干不同的含矿建造，它们在时空关系和物质组分上具有明显的继承性，从而可构成一套以最老的原始含矿建造为基础的，由一个或多个衍生含矿建造相伴生的演化系列。就桂北中上元古界而言，四堡群应属活动型火山—沉积原始含矿建造，丹洲群和下震旦统则属于活动型和稳定陆源碎屑沉积衍生含矿建造。桂北中上元古界含矿建造之间的继承性，表现为 As，Sb 原始富集，Sr，Hg 明显亏损，Au 等成矿元素呈双峰或多峰分布，Au，Ag，As，Sb 具有较大的变异系数等一些共同的元素地球化学特点。当然，由四堡群→丹洲群→下震旦统，不仅存在着继承性，同时还具有一定的演化性，具体表现为 Ti，V，Cr，Mn，Co，Sn，As 等亲铁亲铜元素含量的降低，Sb，Au，Sr，Ba 等亲铜亲氧元素含量的增高。

丹洲群和下震旦统 Au-Ag-As-Sb 衍生含矿建造还得到以下岩石组合、元素地球化学和矿化特征识别标志的支持：（1）丹洲群发育钙质千枚岩、黑色含炭板岩或千枚岩以及碳酸盐夹层，下震旦统发育含砾砂泥质岩并夹碳酸盐透镜体，这些岩石层位往往具

①广西区调队. 桂北前寒武系含金性初步研究. 1990

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn

有较高的成矿元素含量，是丹洲群和下震旦统重要的含矿层位。(2) 丹洲群和下震旦统砷、锑明显富集，平均金含量虽不高但仍有局部含金层位的存在（最高金含量达 52×10^{-9}），且在对数频率分布直方图上金含量呈双峰分布。微量元素组合方面，不仅有亲铜元素，而且出现了亲石元素组合。(3) 丹洲群和下震旦统已陆续发现许多金、锑矿化点，如产于拱洞组的龙胜平等、广南金矿点和罗城黑刚、龙胜地灵锑矿点，赋存于长安组的三江高榜、桐木山金矿点，龙胜半河、疱田、老寨、分水坳、洋头坪、麻岭金矿点以及罗城环群九江村锑矿点。

参 考 文 献

1 刘英俊, 马东升. 华南含金建造的地球化学特征. 地质找矿论丛，1987，2 (4)：1～14

2 毛景文，张宗清，董宝林. 江南古陆南缘四堡群钐钕同位素年龄研究。地质论评，1990，，36 (3)：264～268

3 广西地矿局. 广西区域地质志. 北京：地质出版社，1985. 18～20

4 马东升, 刘英俊. 江南金成矿带层控金矿的地球特征和成因研究. 中国科学 (B辑) 1991，(4)；424～433

5 刘英俊. 马东升. 金的地球化学. 北京：科学出版社，1991. 195～206

STRATIGRAPHIC GEOCHEMISTRY OF UPPER–MIDDLE PROTEROZOIC SUBERATHEM IN NORTHERN GUANGXI

Yan Ming Liu Yingjun Ma Dongsheng

(*Department of Earth Sciences, Nanjing University*)

Abstract

The epimetamorphic series of rocks of Upper–Middle Proterozic Suberathem in Northern Guangxi is a volcanic–terrigenous clastic sediment formation transforming from mobile phase into stable phase, petrochemistry and REE geochemistry of which are similar to Eparchean normal argillo–arenaceous sedimentation. It is obvious for Upper–Middle Proterozoic Suberathem in Northern Guangxi as follows: original enrichment of As and Sb, significant depletion Sr and Hg, double or multiple populations of Au content distribution, high variation coefficients and strong mobilities of Sn, Cu, Ni, Ag, As and Sb, associations of siderophile and chalcophile elements occurring in Middle Proterozoic Subera and associations of lithophile elements occuring in Upper Proterozoic Subera. The authors suggest that in Northern Guangxi exists a evolutional series of synthetical ore–bearing formation which Sibao Group is the protogenous basement, Danzhou Group and Lower Sinian Series are the derivative cap.

Key words Proterozoic Erathem; geochemistry; trace elements; Guangxi

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cn