

广西大厂矿区脉岩的地球化学特征及其构造和成矿意义

范森葵^{1,2}, 黎修旦³, 成永生^{4,5}, 陈承珍², 黄伟洪²

(1. 中南大学地学与环境工程学院, 长沙 410083; 2. 广西215地质队, 柳州 545000;
3. 广西国土资源厅, 南宁 540001; 4. 中南大学信息物理工程学院, 长沙 410083;
5. 广西华锡集团股份有限公司, 柳州 545005)

[摘要] 位于丹池成矿带的大厂锡矿是我国著名的超大型锡多金属矿田和重要的锡矿产出地。大厂矿区的花岗斑岩和(石英)闪长玢岩脉岩, 位于主要矿床的两侧, 成群成带分布。花岗斑岩和闪长玢岩是在燕山晚期黑云母花岗岩之后同期或充填时间前后相差不大形成的。花岗斑岩和闪长玢岩均穿过矿体, 与围岩的接触带内包含围岩角砾和矿化。花岗斑岩的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 和 MgO 含量较高, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量较低。岩石的氧化度较低, 暗示成岩部位较深, 属相对还原的成岩环境, 其侵位固结前经过充分的演化分异, 对成矿有利; 闪长玢岩具有碱、铝、钛、镁、铁含量都较高的特点, 岩石的氧化度较高。脉岩来源于地壳的重熔; 脉岩沿南北向断裂充填形成, 侵入时间晚于成矿期; 矿床分带特征与脉岩的成岩环境一致; 脉岩中丰富的主成矿元素和微量元素及其变化趋势, 表明其提供了成矿物质或者其所充填的断裂曾是矿液运移通道, 在成矿后才被充填, 脉岩本身也为成矿物质提供了来源; 石英闪长玢岩具有埃达克质岩特征, 可能是由底侵的玄武质下地壳熔融形成, 推测有底侵的玄武质下地壳熔融形成的岩浆参与岩脉旁侧多金属矿床的成矿。

[关键词] 大厂矿区 脉岩 地球化学特征 构造与成矿意义

[中图分类号] P618.4+P588.13 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2010)05-0828-08

Fan Sen-kui, Li Xiu-dan, Cheng Yong-sheng, Chen Cheng-zhen, Huang Wei-hong. Geochemical features of vein rocks and their significance to structure and mineralization in the Dachang ore district, Guangxi province [J]. Geology and Exploration, 2010, 46(5): 0828-0835.

大厂矿田是一个以锡、锌为主, 多种有色金属共伴生的多金属矿田, 位于我国著名的桂西北南丹~河池有色金属成矿带中部。大厂矿区位于矿田内的西带, 已探明锡多金属资源储量占整个矿田的 80% 以上。对大厂矿田的大量研究工作表明, 岩浆对成矿起了重要作用 (M. Fu et al., 1991; 陈毓川等, 1993; 王登红等, 2004; 蔡明海等, 2004a; 蔡明海等, 2004b; 梁婷等, 2008a; 梁婷等, 2008b), 但也不乏热水喷流沉积成矿与喷流沉积叠加改造等不同观点 (韩发等, 1997; 秦德先等, 2002)。通过对成矿流体包裹体和同位素研究, 获得了关于岩浆熔融体、成矿流体的特征及其演化等多方面的重要信息 (M. Fu et al., 1991; 蔡明海等, 2004a; 王登红等, 2004; 梁婷等, 2008a; 梁婷等,

2008b)。矿区内已发现的特大型矿床大多产出于矿区内的在花岗斑岩脉岩两侧, 前人对脉岩的形成期、成岩阶段研究较多 (陈毓川等, 1993; 蔡明海等, 2004b), 对脉岩的控矿作用也有了初步认识 (李晓等, 2009)。专门针对脉岩的地球化学特征的研究较薄弱, 正确认识其对构造和成矿的重要作用, 对矿田矿床成因研究和地质找矿都有一定的指导意义。

1 地质背景

大厂矿区矿床形成于南丹~河池晚古生代裂谷盆地泥盆系中, 盆地内主要构造、岩浆和矿化活动的产物构成了丹池成矿带。从丹池成矿带到大厂矿区主要赋矿地层都是泥盆系中统至上统, 主要岩性为

[收稿日期] 2010-05-11; [修订日期] 2010-07-06; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 国家科技支撑项目(编号: 2006BAB01B03)和国土资源部危机矿山专项(编号: 200545022)资助。

[第一作者简介] 范森葵(1966年-), 男, 1988年毕业于中南工业大学, 获学士学位, 在读博士, 高级工程师, 现主要从事矿产资源勘查及技术管理工作, E-mail: gxfsk@163.com。

碳酸盐岩、硅质岩、泥质岩和碎屑岩。大厂矿田主体构造是由丹池大背斜叠加丹池大断裂、北东向横向断裂、南北向断裂及岩体隆起构造构成,矿区构造主要由大厂复式(倒转)背斜和核部一组北西向纵向断裂、北东向横向断裂~裂隙带及近南北向断裂(被脉岩充填)组成,同属丹池褶断构造的低序次构造,矿床的储存部位,大多位于背斜核部附近,背斜构造往往存在次级隆起或叠加褶皱等构造。在矿区北东有大厂矿田主岩体-龙箱盖复式隐伏黑云母花岗岩岩体,为一近等轴丘状岩株,在地表仅呈岩脉状出露(与岩株是连体),在0m标高已有工程控制的隐伏岩体面积约15km²,岩体的隐伏岩脊往南和西南延伸至大厂矿区。矿区内地表出露较多的脉岩,侵入中上泥盆统至下三叠统。大厂矿区的主要矿床巴力~龙头山和长坡两个特大型锡石硫化物矿床及通过国家危机矿山项目新探明的黑水沟~铜坑大型矽卡岩锌铜矿床都位于花岗斑岩的两侧。

脉岩主要有两类:花岗斑岩和(石英)闪长玢岩,因主要脉岩分别位于长坡矿床的东西两侧,被称为“东岩墙”和“西岩墙”,属同一南北向张扭性断裂构造带控制,与龙箱盖黑云母花岗岩出露地表的岩脉不同,它们都是次火山岩,而且,大致平行排列,成群成带分布(图1)。脉岩带总体分布似楔状,长10000m,宽5~2500m,其中花岗斑岩呈脉状,分布集中、整齐,大致呈一断续条状。(石英)闪长玢岩出露形态多呈脉状和不规则团块状,在北部近乎平行分布,在龙头山一带有交于花岗斑岩的态势,再往南1000m左右,脉岩都尖灭。

花岗斑岩在地表有10条脉岩,每条长80~3000m,宽5~80m。侵位于泥盆系至二叠系中,与围岩接触面清晰,呈左侧雁行式或“川”字形排列,走向北北西或近于南北向,倾向东,倾角50°~90°。在铜坑井下,清晰可见花岗斑岩呈锯齿状穿过矿体和围岩,在405中段可见脉岩与围岩接触面上大量地层角砾以及黑色炭质,局部地段出现星点状黄铁矿化和较强的锌矿化(图2)。

在地表(石英)闪长玢岩有脉岩21条,单条脉长80~2400m,宽3~130m。断续分布,走向北北西或南北,倾向东,倾角70°~80°,侵入上泥盆统至下三叠统。

花岗斑岩中闪长玢岩的捕虏体在地表、井下和钻孔中都很常见,在闪长玢岩中也发现有花岗斑岩的捕虏体。花岗斑岩中闪长玢岩的捕虏体的形态多种多样(图3),且易于风化。

在铜坑矿井下发现有次玄武岩的脉岩(李晓

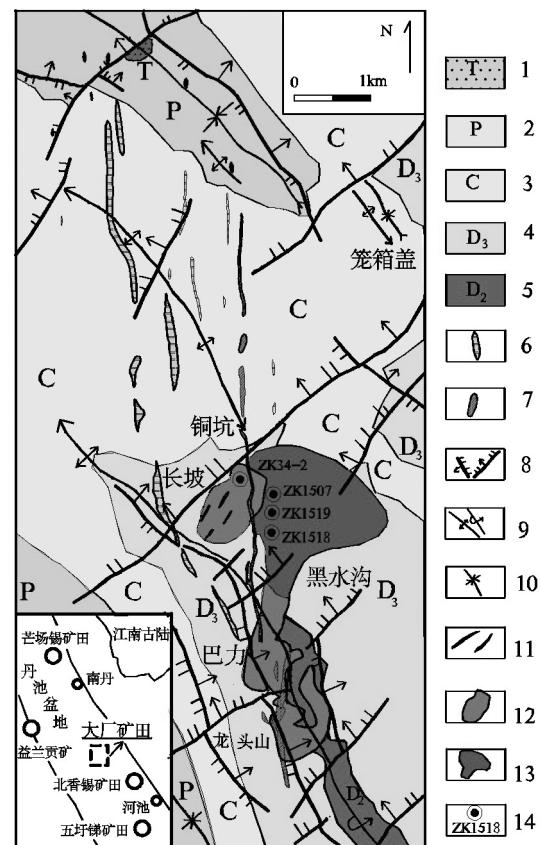


图1 大厂矿区地质图

Fig. 1 Geological map of the Dachang mining area
1-Triassic;2-Permian;3-Carboniferous;4-Upper Devonian;5-Middle Devonian;6-(Quartz) dioritic;7-granite porphyry;8-fault;9-anticlinal;10-synclinal;11-tin polymetallic ore-body vein;12-layered tin polymetallic ore-body;13-layered zinc copper ore-body;14-sampling drill hole of ore-forming element and its serial number

1-Triassic;2-Permian;3-Carboniferous;4-Upper Devonian;5-Middle Devonian;6-(Quartz) dioritic;7-granite porphyry;8-fault;9-anticlinal;10-synclinal;11-tin polymetallic ore-body vein;12-layered tin polymetallic ore-body;13-layered zinc copper ore-body;14-sampling drill hole of ore-forming element and its serial number

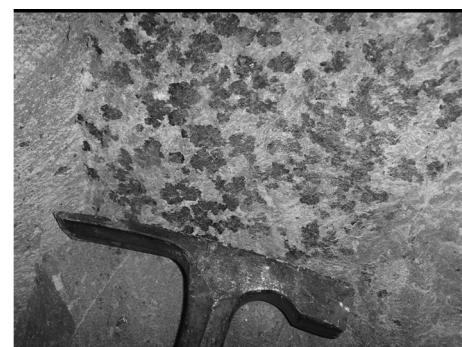


图2 铜坑305中段花岗斑岩边部闪锌矿化

Fig. 2 Sphalerite at granite porphyry edge in Tongkeng 305 mining level



图 3 花岗斑岩中的闪长玢岩捕虏体
(钻孔岩心直径 $\phi 36\text{mm}$)

Fig. 3 Dioritic xenoliths in granite porphyry
(drill core $\phi 36\text{mm}$)

等,2009),充填于穿切中泥盆统的断裂破碎带中,走向近南北,向东陡倾,宽度在0.4~3.0m。

2 岩相学特征

2.1 花岗斑岩

岩石呈浅灰绿色、灰白色,具斑状结构、嵌状显微花岗结构。斑晶主要为石英(20%左右)、钾长石(20%左右)、斜长石(5%左右),其次是白云母(5%左右)、电气石(1%左右)。基质主要由石英和玉髓(约占30%)、斜长石(5%左右)、钾长石(5%左右)、白云母(1%左右)、电气石(1%左右)组成。副矿物主要为锆石、电气石、磷灰石、钛铁矿、黄玉、方解石等,有时含少量黄铁矿、闪锌矿、脆硫锑铅矿及锡石矿物。岩石易发生蚀变:石英斑晶具熔蚀边,斜长石发生强烈的绢云母化转变为绢云母~白云母、钾长石发生强烈的高岭土化,黑云母发生绿泥石化。

2.2 (石英)闪长玢岩

闪长玢岩呈灰绿色、深灰色,具有斑状结构。斑晶主要由斜长石、石英、黑云母组成。基质含量占80%以上,具有微晶~细晶结构,主要为斜长石、角闪石、石英、黑云母等,少量磁黄铁矿、磷灰石、锆石。有时,岩石自变质作用明显,发生钠长石化和不同程度的碳酸盐化、绢云母化及绿泥石化。

石英闪长玢岩,斑晶约占25%,由斜长石和石英组成。岩石主要为斜长石(60%~65%)、石英(5%~15%)、黑云母和角闪石(20%左右)等,副矿物为锆石、磷灰石、钛铁矿等,含有少量黄铁矿、铁闪锌矿、方铅矿等金属矿物。有时,因强烈蚀变,大部分矿物已变为高岭石、方解石和绿泥石。

2.3 次玄武岩脉岩

次玄武岩脉岩呈暗灰绿色,主要矿物是斜长石,

次为辉石、绿泥石、碳酸盐矿物及少量的金红石、钛铁矿等。岩石基本上由斑晶、基质、杏仁体和捕虏体四部分组成(李晓等,2009)。

3 岩石化学特征

对脉岩岩石化学成分及与成矿关系密切的黑云母花岗岩进行比较研究(表1),便于了解脉岩的构造意义和对成矿的贡献。

花岗斑岩: SiO_2 含量变化于70.75~72.82%,平均含量为71.67%,低于大厂矿田等粒黑云母花岗岩的(平均73.77%)和世界含锡花岗岩的(73.1%),与中国黑云母花岗岩的(71.99%)接近, SiO_2 含量明显偏高,反映其侵位固结前经过充分的演化分异,于成矿有利; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量2.40~5.64%,平均3.71%,远低于上述各类花岗岩的 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量(大厂7.32%,中国7.23%,世界7.59%), $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值也高,为3.64,高于各类花岗岩(大厂1.36,中国1.11,世界1.52); CaO 含量为1.38%~4.15%,平均2.38%,明显高于前三类花岗岩; MgO 含量为0.25%~1.17%,平均0.71%, MnO 含量0.02~0.16%,平均0.10%,两者平均含量介于中国花岗岩与大厂花岗岩、世界花岗岩之间; Al_2O_3 含量较高,含量为12.88%~14.90%,平均14.16%,低于大厂花岗岩,高于中国和世界花岗岩,铝饱和指数A/CNK为1.242~2.213,岩浆属于过铝质; σ 为0.208~1.067,碱度AR为1.328~2.079,在全碱-硅(TAS)分类图上投影到花岗闪长岩和花岗岩区域,属于亚碱性岩石,在 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ Hacker图解上投影到钙碱性~高钾钙碱性系列。

石英闪长玢岩: SiO_2 含量为58.58~60.54%,平均59.56%; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为1.63~6.24%,平均3.94%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为2.05; CaO 含量为4.06~6.10%; MgO 含量为2.35~2.99%; Al_2O_3 含量为14.40%~14.91%。总体上具有碱、铝、钛、镁、铁含量都较高的特点。在全碱-硅(TAS)分类图上均投影在亚碱性岩石二长岩区域,在 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ Hacker图解上投影到钙碱性和钾玄岩系列。

岩石的氧化度 $\{\text{OX} = w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/[(w(\text{FeO}) + w(\text{Fe}_2\text{O}_3))]\}$,花岗斑岩为0.24~0.47,平均0.34,石英闪长玢岩为0.55,前者略低于各花岗岩的平均值,暗示岩石成岩部位较深、相对还原的成岩环境,后者高于中国和世界花岗岩,指示其成岩部位较浅、属氧化环境。与深部花岗斑岩比地表分布多、地表闪长玢岩比花岗斑岩分布广的野外观察结果吻合。

表1 大厂矿区脉岩岩石化学数据及相关参数(wt%)

Table 1 Petrochemical data and relevant parameters of dike rocks in the Dachang mining area(wt%)

成分	花岗斑岩			石英闪长玢岩			大厂矿田等粒黑云母花岗岩			中国黑云母花岗岩		世界含锡花岗岩			
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	σ	AR	A/CNK	OX
SiO ₂	70.75	71.44	72.82	58.58	60.54	73.28	74.26	71.99	73.1						
TiO ₂	0.01	0.04	0.09	0.81	0.87	0.03	0.12	0.21	0.21						
Al ₂ O ₃	12.88	14.90	14.71	14.91	14.40	15.01	13.82	13.81	13.96						
Fe ₂ O ₃	0.75	0.77	0.40	2.46	2.85	0.08	1.25	1.37	1.21						
FeO	0.84	2.43	0.95	2.03	2.37	2.16	0.16	1.72	1.64						
CaO	4.15	1.60	1.38	6.10	4.06	0.19	0.51	1.55	1.21						
MgO	1.17	0.70	0.25	2.99	2.35	0.49	0.19	0.81	0.55						
K ₂ O	2.00	2.24	4.49	1.60	3.69	4.23	4.2	3.81	4.58						
Na ₂ O	0.40	0.85	1.15	0.03	2.55	2.8	3.4	3.42	3.01						
MnO	0.02	0.16	0.11	2.99	0.56	0.1	0.07	0.12	0.05						
P ₂ O ₅	1.10	0.67	0.43	0.54	0.62	0.27	0.32	0.2	0.2						
σ	0.208	0.336	1.067	0.171	2.219	1.632	1.848	1.803	1.914						
AR	1.328	1.461	2.079	1.168	2.021	2.721	3.259	2.779	3.003						
A/CNK	1.242	2.213	1.588	1.158	0.925	1.575	1.249	1.099	1.153						
OX	0.47	0.24	0.30	0.55	0.55	0.04	0.89	0.44	0.42						

测试单位:桂林矿产地质研究院,2000。4号样和大厂矿田花岗岩的数据引自文献①。

表2 大厂矿区脉岩中元素含量表($\times 10^{-6}$)Table 2 Element content of dike rocks in the Dachang ore district($\times 10^{-6}$)

样号	岩石类型	高程(m)		Sn	Zn	Pb	Sb	Cu	Ag	Cr	Co	Ni	W	Mo	Bi	V	Ti	Mn	As	Hg
		自	至																	
ZK1518-1		536.54	546.54	26.5	121	45.5	47.9	12.4	0.856	11.0	20.8	9.6	40.9	2.75	2.59	114.6	6210	3766	59.7	0.061
ZK1518-2	花岗斑岩	532.24	536.54	83.3	207	74.1	66.1	20.6	1.108	14.3	27.7	15.0	84.1	3.02	3.18	110.3	7476	2753	3106.4	0.122
zk34-2-1		-256.15	-251.1	360.0	1000	2.2	22.5	886.6	4.9	70.0	13.2	73.5	56.0	10.03	6.42	600.0	2110	7100	258.5	0.136
zk1507-1		748.07	751.39	28.2	565	27.4	17.9	55.8	0.202	55.1	37.1	68.0	271.5	1.10	6.29	97.1	5711	1897	248.1	0.059
zk1507-2		730.63	748.07	38.6	530	32.0	12.7	44.1	0.230	63.6	35.5	63.3	242.4	1.12	5.34	106.4	5808	1874	299.5	0.035
ZK1518-3	闪长玢岩	508.39	518.39	23.7	115	45.7	115.3	19.6	0.761	8.0	15.0	7.3	28.0	1.80	1.63	72.6	5268	2434	6306.5	0.086
ZK1518-4		500.39	508.39	20.6	165	101.2	85.4	11.4	0.996	7.1	18.4	6.8	44.3	1.78	4.34	82.9	5067	1642	92.3	0.091
ZK1519-1		126.3	136.3	44.3	429	49.2	20.7	25.8	0.850	77.6	14.8	36.6	91.2	2.29	9.90	48.8	3467	1685	103.2	0.012
ZK1519-2		116.3	126.3	33.3	276	40.9	9.34	15.2	0.736	100.6	20.2	49.4	57.2	1.84	7.26	58.7	4068	1453	111.5	0.013
ZK1519-3		106.3	116.3	28.1	150	34.7	13.1	15.5	0.558	72.3	15.8	38.2	55.0	1.40	9.90	38.5	3277	1156	78.6	0.019
花岗岩 样品4个		31.5	212.3	64.0	52.0	94.8	2.500	10.0	12.0	10.0	249.0	5.00	10.00	10.0	720	3100	111.2	0.010		
地层*		3.3	34.6	16.3	2.7	19.3	0.21	64.69	10.9	33.1	1.7	2.42	0.30	145.1	2606	169.0	13.63	0.110		

测试单位:桂林矿产地质研究院,2007。*为矿田地层6个主成矿元素含量4442个样的平均值;其它元素系矿田内含矿地层泥盆系393个样的平均值,引自文献①。

4 成矿元素与微量元素地球化学特征

由于脉岩易风化,故对钻孔揭露脉岩获得的岩石采样,花岗斑岩样品3件,闪长玢岩样2件,保持样品新鲜,进行主成矿元素和与之密切相关的微量元素分析(表2),探讨脉岩的成矿意义。从表2和图4中得知,Sn、Zn、Pb、Sb、Cu、Ag这6个主成矿元素中,在脉岩中含量相对较高的是Zn、Sn和Cu在个别样品中较高。剔除个别高值样品,脉岩中的主成矿元素含量一般不超过矿田内花岗岩中的3倍,

却是相应地表地层平均含量的2.7倍至43倍,主成矿元素在脉岩中明显富集。图5显示,花岗斑岩的主成矿元素由浅至深,Sn、Zn、Cu、Ag这4个元素的含量,有升高趋势,Pb、Sb却相反,与矿区上部是铅锑矿化强、深部锡锌矿化强的矿化分带规律吻合。在闪长玢岩中,不同深度元素变化各异,Sn、Zn呈波状起伏,随着深度的加大Pb、Sb、Ag先升后降,Cu变化相对较为平稳;除zk34-2-1样品深度到-250m外,总体是在标高110~750m范围,闪长玢岩中各主成矿元素分布在一个固定区间。

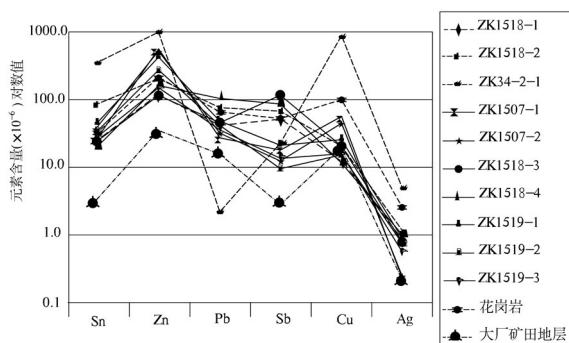


图 4 主成矿元素含量对比图

Fig. 4 Comparison of main ore-forming element contents

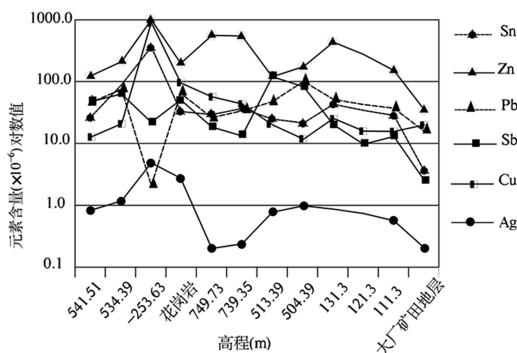


图 5 不同标高主成矿元素含量对比图

Fig. 5 Comparison of main ore-forming element contents for different elevations

除 As 元素外, 图 6 中各元素含量曲线大多平缓, 波动不大, 说明各微量元素的含量在不同的岩石中变化不大。特别是 Cr 与 Ni 的曲线形态几乎相同, 反映两者有相似的地球化学活性。脉岩的 Co、V、Ti、Hg 这 4 个元素含量高于花岗岩的, 与脉岩偏基性有关。花岗岩的 W 含量高于脉岩和地层, Mn 和 Mo 的含量在花岗岩中的高于闪长玢岩, W 和 Mo 元素在脉岩中成矿没有在花岗岩中成矿有利, 可能与成矿专属性有关联。Bi、W、Co、As、Mn 在地层的含量明显比脉岩和花岗岩中的低, 说明火成岩形成时, 岩石内携带来了这些微量元素。从花岗斑岩的 3 个样品来看, 由浅入深, Cr、Ni、Mo、Bi 含量增加的趋势明显, Cr、Ni 是否是因深部闪长玢岩混入较多的缘故, 尚不得而知, Mo、Bi 可能是由于深部更近岩体所致。但是, 微量元素往深部增加是客观的, 这些物质主要来源于深部。闪长玢岩中的 Co、V、Ti 和 Mn 含量曲线右倾, 呈现由浅入深, 含量逐渐降低的趋势, 可能指示深部近岩体, 岩石向酸性岩转变。总之, 各种与成矿关系密切的微量元素的变化特征, 反

映了脉岩形成过程中携带了这些元素上侵, 可能是与成矿物质属同一来源, 花岗斑岩中微量元素的变化趋势, 更证明成矿物质来源于深部, 来源于周边地层的可能性较小。

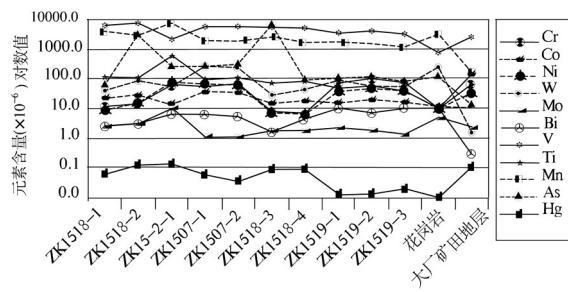


图 6 微量元素的变化特征图

Fig. 6 Variation characters of trace elements

5 脉岩的埃达克质岩特征探讨

自 Defant 对埃达克岩(Adakite)这类特殊的岩石进行命名与定义后(Defant M J et al., 1990), 国内外出现了大量的有关埃达克岩的研究成果和研究实例, 尤其是埃达克岩与斑岩型矿床的内在关系倍受关注, 并成为找矿的重要标志。然而, 目前对于埃达克岩的定义尚存在一定的争议, 尤其是对于定义中具有构造环境的限定(张旗等, 2003)。中国的埃达克质岩主要分布于太平洋板块和亚洲板块碰撞带、秦岭-祁连山-昆仑山造山带、青藏及中国东部地区(张旗, 2008; 王强, 2008)。随着对埃达克岩研究的不断深入, 其内涵已经得到了延伸与扩展。

埃达克岩具有特殊的地球化学特征: $\text{SiO}_2 \geq 56\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$, $\text{MgO} < 3\%$, $\text{Y} \leq 18 \times 10^{-6}$ 和重稀土元素(HREE, 如 $\text{Yb} \leq 1.9 \times 10^{-6}$)亏损等。从表 1 可以看出, 大厂矿区脉岩的 SiO_2 含量介于 58.58~72.82% 之间, Al_2O_3 含量一般都在 14.4%~14.9%, MgO 含量均小于 3%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 值小于 1。表 3 中列出了一部分稀土元素含量及其特征值, 石英闪长玢岩的 Sr 含量 $288 \times 10^{-6} \sim 340 \times 10^{-6}$, Ba 含量较高($> 500 \times 10^{-6}$), 大部分 Y 值大于 18×10^{-6} , Yb 值小于 1.9×10^{-6} 的占 50%, Sr/Y 值 $11.68 \sim 17.78$, $\text{La}/\text{Yb} > 22$, 贫重稀土元素, 存在弱的 Eu 异常, 高场强元素(HFSE)(如 Nb、Zr、Hf、Ti)含量相对较低。花岗斑岩中 Sr 、 Y 、 Yb 、 Sr/Y 、 La/Yb 都较低, 负 Eu 异常明显(梁婷等, 2008a)。石英闪长玢岩中主量元素和这些特征元素大部分具有埃达克质岩特征, 接近 C 型高钾埃达克岩地球化学特征(张旗等, 2004; 王强等, 2007; 张旗, 2008)。 Sr 含量 $< 400 \times 10^{-6}$ 可能

表3 部分稀土元素含量($\times 10^{-6}$)及其特征值表Table 3 Content of partial rare earth elements ($\times 10^{-6}$) and its eigenvalues

岩石	Y	Yb	La	Eu	Sr	Ba	Sr/Y	La/Yb	LREE/HREE	资料来源
石英闪长玢岩	29.1	2.53	84.1	1.97	340	1600	11.68	33.24	14.68	
石英闪长玢岩	16.2	1.59	35.3	0.99	288	500	17.78	22.20	11.71	
花岗斑岩	8.72	0.9	6.98	0.18	56.3	372	6.46	7.76	5.32	梁婷等,2008
花岗斑岩	8.52	0.68	11.1	0.16	116	420	13.61	16.32	6.92	
闪长玢岩	35.2	1.4	94.2	2.0				67.29		叶绪孙,1996
闪长玢岩	2.39	79.95	1.39					33.45		陈毓川,1993

是岩石发生部分熔融时熔浆中斜长石是稳定的矿物相,Sr倾向于以类质同像的形式替换斜长石中的Ca,导致熔浆中Sr含量稍低(罗照华等,2002)。张旗等认为埃达克岩包括O型和C型两种类型,O型为俯冲板片熔融形成,C型产于大陆内部,可能是玄武质岩浆底侵到加厚的陆壳(>50 km)底部导致下地壳部分熔融的产物(张旗等,2001),说明石英闪长玢岩可能形成于造山阶段和碰撞阶段,结合矿田大规模岩浆侵入时形成隆起的构造环境分析,石英闪长玢岩最大可能是形成于造山阶段。

6 脉岩的构造与成矿意义

上述主要成矿元素和微量元素变化特征的解释,离不开其成矿地质背景和宏观地质特征。

大厂矿区矿床主要赋存于泥盆系。到目前为止,尚未揭露到比泥盆纪更老的地层。联想到桂北地区曾发生过的广西运动,志留纪本区地壳强烈上升,极有可能存在前寒武的构造基底。岩石的主要和微量元素、稀土元素地球化学特征揭示大厂矿田铝质花岗岩的物源来源于地壳,石英闪长玢岩中包裹有围岩残块,说明岩浆与四堡组的砂岩、碎屑岩有关,也可能与矿区早期地壳中存在的“凝灰质砂岩”有关,不同类型的岩体具有相似的岩浆来源和演化过程(梁婷等,2008a)。次玄武岩脉岩的存在,表明岩浆有幔源物质的加入。

从东南沿海向大陆内部,燕山期中酸性侵入岩可能是玄武质岩浆的底侵作用提供热能或其自身熔融形成的(王强等,2001)。石英闪长玢岩主要由斜长石、角闪石、石英、黑云母等矿物组合构成,也具有埃达克质岩的地球化学特征,表明它可能是由底侵的玄武质下地壳熔融形成,最大可能是形成于造山阶段。从埃达克质岩与成矿的密切关系,可以推测有底侵的玄武质下地壳熔融形成的岩浆参与脉岩旁侧矿床的成矿。

从图1可以看出,花岗斑岩和闪长玢岩脉岩沿南北向成带分布,明显是沿南北向断裂充填形成,野

外观察到脉岩两侧局部地段发育有厚0.2~1.0m张性角砾岩带和厚0.1m断层泥,因此,这些脉岩属于同一张扭性断裂带。石英闪长玢岩中有黑云母花岗岩、花岗斑岩及硫化物矿石的捕虏体,也含有围岩残块;在矿区长坡~铜坑矿床井下深部,可见花岗斑岩与石英闪长玢岩同时出现,紧密接触,接触面清晰(梁婷等,2008a),在巴力矿区施工的钻孔中,发现花岗斑岩内有大量闪长玢岩捕虏体;高精度的SHRIMP锆石U-Pb同位素测年技术测定岩体的年龄分别为:龙箱盖岩体中细粒黑云母花岗岩93±1Ma、斑状黑云母花岗岩91±1Ma、花岗斑岩91±1Ma、石英闪长玢岩91±1Ma(蔡明海等,2006)。表明花岗斑岩和闪长玢岩是在燕山晚期黑云母花岗岩之后同期或充填时间前后相差不大形成的。花岗斑岩和闪长玢岩均穿过矿体,与围岩的接触带内包含围岩角砾和矿化,说明脉岩的侵入时间应晚于成矿期。

矿区大量矿化富集于脉岩带南段,主要矿床如长坡-铜坑和巴力-龙头山两个特大型锡多金属矿床,近年来通过国家危机矿山项目发现的96号和94号矿体的厚大矿块(新增资源量超过大型规模)都在脉岩两侧或附近,最明显的是后者在离脉岩较远的地段,矿床规模和品位都远比脉岩附近的差;闪长玢岩中有硫化物矿石的捕虏体,脉岩含少量黄铁矿、闪锌矿、脆硫锑铅矿及锡石矿物,证明是其本身有过矿化过程或是脉岩将矿物摄入。

花岗斑岩的SiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO含量较高,K₂O+Na₂O含量较低,岩石的氧化度较低,暗示成岩部位较深、属相对还原的成岩环境,其侵位固结前经过充分的演化分异,于成矿有利;闪长玢岩具有碱、铝、钛、镁、铁含量都较高的特点,岩石的氧化度较高,其成岩部位较浅、属氧化环境。成岩环境有助于解释脉岩的空间分布特征。矿区矿床分带是上部锡多金属矿床,下部锌铜矿床,上部出现大量锡石与硫化物共生,与脉岩的成岩环境较为吻合,说明脉岩与成矿关系密切。

脉岩中的主成矿元素含量一般不超过矿田内花

岗岩中的3倍,却是地层平均含量的2.7倍至43倍,成矿元素在脉岩中明显富集,显示出其潜在的含矿性;主成矿元素在花岗斑岩中趋于富集,且往深部有升高趋势,与矿床分布带规律一致,闪长玢岩在一个固定区间主成矿元素也有富集,这不大可能是成矿后形成的,说明是在成矿过程中或成矿前富集于脉岩中的;Bi、W、Co、As、Mn在地层的含量明显比脉岩和花岗岩中的低,表明火成岩形成时,岩石内携带来了这些微量元素;花岗斑岩中微量元素的变化趋势,证明成矿物质主要来源于深部,而非来自周边地层;脉岩基质对Sn、Cu、Zn都具有较高的占有率,分配系数大于1(廖宗廷,1996),也证明其有利于成矿。

热释汞异常分布与断裂构造和闪长玢岩密切相关,在断层、断层交汇处、闪长玢岩与断层交汇处,热释汞含量显著增高,是汞运移扩散的路径(余阳先等,2004)。

这些事实都证明,脉岩充填的断裂构造极有可能曾是矿液运移通道,在成矿后才被充填,脉岩本身也为成矿物质提供了来源。

致谢 审稿专家提出了许多宝贵的修改意见,在此深表谢意!

[注释]

① 广西有色地质勘查局二一五队. 1990. 广西南丹县大厂锡多金属矿田地质测量报告

[References]

- Cai Ming-hai, He Long-qing, Liu Guo-qing, Wu De-cheng, Huang Hui-min. 2006. The shrimp zircon U-Pb dating of the intrusive rocks in the Dachang Tin-polymetallic ore field, Guangxi and their geological significance[J]. Geological Review, 52(3): 409–414 (in Chinese with English abstract)
- Cai Ming-hai, Liang Ting, Wu De-cheng, Huang Hui-min. 2004b. Geochemical characteristic of granites and their tectonic setting of Dachang ore field in Guangxi[J]. Geological Science and Technology Information, 23(2): 57–62 (in Chinese with English abstract)
- Cai Ming-hai, Mao Jing-wen, Liang Ting, Wu Fu-xin. 2004a. Helium and argon isotopic components of fluid inclusions in Dachang tin-polymetallic deposits and their geological implications[J]. Mineral Deposits, 23(2): 225–231 (in Chinese with English abstract)
- Chen Yu-chuan, Huang Min-zhi, Xu Jue, Hu Yun-zhong, Tang Shao-hua, Li Yin-qing, Meng Ling-ku. 1993. Geology of the Dachang deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House: 69–34 (in Chinese)
- Defant M J, Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. Nature, 347: 662–665
- Han Fa, Zhao Ru-song, Shen Jian-zhong, Hutchinson RW, Jiang Shao-yong, Chen Hong-de. 1997. Geology and origin of ores in the Dachang Tin Polymetallic ore field[M]. Beijing: Geological Publishing House: 65–157 (in Chinese)
- Li Xiao, Qin De-xian, Cai Wen, Yu Yang-xian, Yao Gen-hua. 2009. The geological characteristics and ore-controlling role of the east dyke in Dachang deposit in Guangxi[J]. Mineral Resources and Geology, 23(5): 406–411 (in Chinese with English abstract)
- Liang Ting, Chen Yu-chuan, Wang Deng-hong, Cai Ming-hai. 2008a. Geology and geochemistry of the Dachang tin-olympetallic deposit in Guangxi[M]. Beijing: Geological Publishing House: 10–42 (in Chinese)
- Liang Ting, Wang Deng-hong, Cai Ming-hai, Chen Zhen-yu, Guo Chun-li, Huang Hui-min. 2008b. Sulfur and lead isotope composition tracing for the sources of ore-forming material in Dachang tin-poly-metallic orefield, Guangxi[J]. Acta Geologica Sinica, 82(7): 967–977 (in Chinese with English abstract)
- Liao Zong-ting. 1994. Distribution of Sn, Cu, Zn and ability of mineralization of granite in Dachang[J]. Journal of Tongji University, 22(2): 198–202 (in Chinese with English abstract)
- Luo Zhao-hua, Ke Shan, Chen Hong-wei. 2002. Characteristics, petrogenesis and tectonic implications of adakite[J]. Geological Bulletin of China, 21(7): 436–440 (in Chinese with English abstract)
- M. Fu, A. Changkakoty, H. R. Krouse, J. Gray, T. A. P. Kwak. 1991. An Oxygen, Hydrogen, Sulfur and Carbon isotope study of carbonate-replacement (Skarn) Tin deposits of Dachang Tin field, China[J]. Economic Geology, 86: 1683–1703
- Qin De-xian, Hong Tuo, Tian Yu-long, Chen Jian-wen. 2002. Ore geology and technical economy of No. 92 orebody of the Dachang tin deposit, Guangxi[M]. Beijing: Geological Publishing House: 31–132 (in Chinese)
- Wang Deng-hong, Chen Yu-chuan, Chen Wen, Sang Hai-qing, Li Hua-qin, Lu Yuan-fa, Chen Kai-li, Lin Zhi-mao. 2004. Dating of the Dachang giant Tin-polymetallic deposit in Nandan, Guangxi[J]. Mineral Deposits, 78(1): 132–138 (in Chinese with English abstract)
- Wang Qiang, Tang Gong-jian, Jia Xiao-hui, Zi Feng, Jiang Zi-qi, Xu Ji-feng, Zhao Zhen-hua. 2008. The Metalliferous Mineralization Associated with Adakitic Rocks[J]. Geological Journal of China University, 14(3): 350–364 (in Chinese with English abstract)
- Wang Qiang, Xu Ji-feng, Zhao Zhen-hua, Zi Feng, Tang Gong-jian, Jia Xiao-hui, Jiang Zi-qi. 2007. Adakites or Adakitic Rocks and Associated Metal Metallogenesis in China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 26(4): 336–349 (in Chinese with English abstract)
- Wang Qiang, Zhao Zhen-hua, Xiong Xiao-lin, Xu Ji-feng. 2001. Melting of the underplated basaltic lower crust: Evidence from the Shaxi adakitic sodic quartz diorite – porphyrites, Anhui Province, China[J]. Geochimica, 30(4): 353–362 (in Chinese with English abstract)
- Ye Xu-sun, Yan Yun-xiu, He Hai-zhou. 1996. The mineralization factors of Dachang superlarge tin deposits, in Guangxi[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press: 1–90 (in Chinese)
- Yu Yang-xian, Luo Xian-rong, Wei Ke-li, Qin De-xian. 2004. Measurement condition and abnormality character of heat-released mercury method in the Changpo Tin polymetallic deposit at Dachang[J]. Geology and Prospecting, 40(6): 71–74 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Qi. 2008. Adakite research retrospect and prospect[J]. Geology In China, 35(10): 32–39 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, Yang Jin-hui, Wang Yuan-long, Zhao Tai-ping, Guo Guang-jun. 2001. The characteristics and tectonic–

- metallogenetic significance of the adakites in Yanshan Period from eastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 17(2): 236–244 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Qi, Wang Yan, Wang Yuan-long. 2003. On the relationship between adakite and its tectonic setting [J]. Geotectonica et Metallogenia, 27(2): 101–108 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Qi, Xu Ji-feng, Wang Yan, Xiao Long, Liu Hong-tao, Wang Yuan-long. 2004. Diversity of adakite [J]. Geological Bulletin of China, 23(9–10): 959–963 (in Chinese with English abstract)
- [附中文参考文献]
- 蔡明海,何龙清,刘国庆,吴德成,黄惠民. 2006. 广西大厂锡矿田侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其意义 [J]. 地质论评, 52(3): 409–414
- 蔡明海,梁 婷,吴德成,黄惠民. 2004b. 广西大厂矿田花岗岩地球化学特征及其构造环境 [J]. 地质科技情报, 23(2): 57–62
- 蔡明海,毛景文,梁 婷,吴付新. 2004a. 广西大厂锡多金属矿床氦、氩同位素特征及其地质意义 [J]. 矿床地质, 23(2): 225–231
- 陈毓川,黄民智,徐 钰,胡云中,唐绍华,李荫清,孟令库. 1993. 大厂锡矿地质 [M]. 北京: 地质出版社: 69–340
- 韩 发,赵汝松,沈建忠,Hutchinson R W,蒋少涌,陈洪德. 1997. 大厂锡多金属矿床地质及成因 [M]. 北京: 地质出版社: 65–157
- 李 晓,秦德先,蔡 稳,余阳先,姚根华. 2009. 广西大厂锡矿“东岩墙”地质特征与控矿作用 [J]. 矿产与地质, 23(5): 406–411
- 梁 婷,陈毓川,王登红,蔡明海. 2008a. 广西大厂锡多金属矿床地质与地球化学 [M]. 北京: 地质出版社: 10–42
- 梁 婷,王登红,蔡明海,陈振宇,郭春丽,黄惠民. 2008b. 广西大厂锡多金属矿床 S、Pb 同位素组成对成矿物质来源的示踪 [J]. 地质学报, 82(7): 967–977
- 廖宗廷. 1994. 大厂花岗岩 Sn、Cu、Zn 的分配规律及成矿性评价 [J]. 同济大学学报, 22(2): 198–202

- 罗照华,柯 珊,谌宏伟. 2002. 埃达克岩的特征、成因及构造意义 [J]. 地质通报, 21(7): 436–440
- 秦德先,洪 托,田毓龙,陈健文. 2002. 广西大厂锡矿 92 号矿体矿床地质与技术经济 [M]. 北京: 地质出版社: 31–132
- 王登红,陈毓川,陈 文,桑海清,李华芹,路远发,陈开礼,林枝茂. 2004. 广西南丹大厂超大型锡多金属矿床的成矿时代 [J]. 矿床地质, 28(1): 132–138
- 王 强,唐功建,贾小辉,资 锋,姜子琦,许继峰,赵振华. 2008. 埃达克质岩的金属成矿作用 [J]. 大地构造与成矿学, 14(3): 350–364
- 王 强,许继峰,赵振华,资 锋,唐功建,贾小辉,姜子琦. 2007. 中国埃达克岩或埃达克质岩及相关金属成矿作用 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 26(4): 336–349
- 王 强,赵振华,熊小林,许继峰. 2001. 底侵玄武质下地壳的熔融: 来自安徽沙溪 adakite 质富钠石英闪长玢岩的证据 [J]. 地球化学, 30(4): 353–362
- 叶绪孙,严云秀,何海洲. 1996. 广西大厂超大型锡矿床成矿条件 [M]. 北京: 冶金工业出版社: 1–90
- 余阳先,罗先熔,韦可利,秦德先. 2004. 大厂锡—多金属矿床热释汞测量技术条件、异常特征及成晕机制 [J]. 地质与勘探, 40(6): 71–74
- 张 旗. 2008. 埃达克岩研究的回顾和前瞻 [J]. 中国地质, 35(10): 32–39
- 张 旗,王 焰,钱 青,杨进辉,王元龙,赵太平,郭光军. 2001. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造—成矿意义 [J]. 岩石学报, 17(2): 236–244
- 张 旗,王 焰,王元龙. 2003. 埃达克岩与构造环境 [J]. 大地构造与成矿学, 27(2): 101–108
- 张 旗,许继峰,王 焰,肖 龙,刘红涛,王元龙. 2004. 埃达克岩的多样性 [J]. 地质通报, 23(9–10): 959–963

Geochemical Features of Vein Rocks and Their Significance to Structure and Mineralization in the Dachang Ore District, Guangxi Province

FAN Sen-kui^{1,2}, LI Xiu-dan³, CHENG Yong-sheng^{4,5}, CHEN Cheng-zhen², HUANG Wei-hong²

(1. School of Geoscience and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083;

2. Guangxi No. 215 Geological Team, Liuzhou 545000; 3. Resources Department of Guangxi, Nanning 540001;

4. School of Info-physics and Geomatics Engineering, Changsha 410083; 5. Guangxi Huaxi Co., Ltd., Liuzhou 545000)

Abstract: The Dachang tin deposit, which is situated at the Danchi metallogenic belt, is one of the most famous superlarge tin-polymetallic deposit and the important tin output base in China. In the Dachang mining area, granite-porphyry and quartz diorite porphyrite vein rocks are located mainly on both sides of the deposit, which are distributed in swarms and belts. The granite-porphyry and diorite porphyrite formed synchronously or successively with a small lag after the biotite granite formed in the late Yanshan period. The granite-porphyry and diorite porphyrite, which contain wall rock breccia and mineralization material in the contacting zone, cut through the orebody. It is characterized by high content of silica, alumina oxide, calcium oxide, magnesium oxide and low K₂O+Na₂O for granite-porphyry. The low oxidizability of rock suggests the deep diagenesis site and the reducing environment of diagenesis, which experienced complete evolution and differentiation and was favorable to mineralization. Diorite porphyrite, which was highly oxidized, has high content of alkali, aluminum, titanium, magnesium, and iron. The tectonic environment of vein rocks originated from earth crust remelting, belongs to regional tension. The formation of vein rocks filled with N-S trending fractures was later than the mineralization. The zoning of deposit is the same as the vein rocks. The rich main mineralizing elements, trace element and their changing trend of vein rocks suggest that the vein rocks supplied a part of metallogenetic material, or the filled fracture was the migration channel of ore fluid and was filled after mineralization, which has important significance for deposit generation. And the vein rock was also the ore source. Quartz diorite porphyrite is characterized by adakitic rocks, which might be from the underplating basaltic lower crust and involved in mineralization of the polymetallic deposit near the dykes.

Key words: Dachang ore district, vein rock, geochemical features, structure and mineralization