

文章编号:0258-7106 (2001) 04-0331-08

双峰式火山岩与块状硫化物矿床

姜福芝

(北京矿产地质研究所, 北京 100012)

摘 要 双峰式火山岩不仅是火山成因块状硫化物矿床中最常见的含矿岩石组合, 而且也是研究其古成矿地质背景和成矿作用的主要依据之一。笔者收集了我国以及世界一些著名火山成因块状硫化物矿床和矿带的含矿建造资料, 其中包括含矿建造的岩石组合、形成时代和层序、火山岩的岩石组合和岩石化学、产出的大地构造环境等等。整理结果表明, 双峰式火山岩是火山成因块状硫化物矿床的最佳含矿岩石组合; 它们主要产于各个时期的造山带中、形成于以会聚板块边界为大背景的局部引张阶段; 这种构造背景造就了规模巨大的有利成矿的钙碱性长英质火山岩类, 产生了有利成矿组分浓集的巨大热液循环系统及适宜的(海水深度和封闭条件良好的)含矿流体集积的沉陷盆地(裂谷), 从而为成群成带的 VHMS 型矿床的形成提供了有利的地质环境。

关键词 双峰式火山岩 块状硫化物矿床 长英质火山岩 会聚板块

中图分类号: P588.14; P618.4

文献标识码: A

火山成因块状硫化物(VHMS)矿床, 以它规模巨大、金属含量高而著称于世。特别是以长英质火山岩类为含矿围岩的块状硫化物型(Cu-Zn、Cu-Pb-Zn、Pb-Zn 等)矿床, 除规模巨大、矿石品位高外, 还富含 Au、Ag, 而且分布广泛, 成群成带产出, 历来受到经济地质学家们的重视并作为研究对象。双峰式火山岩系指时空关系密切, 即空间相伴, 时间相连(或前或后), 缺失或不发育中间成分(安山岩类)的镁铁质(玄武岩、玄武安山岩类)和长英质(流纹岩、英安岩类)火山岩类组合。经统计, 块状硫化物型矿床大部分产于双峰式火山岩组合的长英质火山岩类中。

1 产出区域地质背景

含矿的双峰式火山岩及其块状硫化物矿床主要集中于陆块边缘的造山带中。根据目前研究成果, 它们主要形成于造山带演化的板块会聚阶段和其中局部引张时期。其形成时代包括自太古宙以来的各个时期, 如加拿大地盾南缘太古宙绿岩带中块状硫化物矿床、中国祁连山新元古代一早寒武世火山岩带中的白银块状硫化物矿田、北美阿巴拉契亚奥陶纪一早志留世, 俄罗斯乌拉尔志留纪一中泥盆世, 葡萄牙—西班牙伊比利亚早石炭世、中国四川省义敦岛弧晚三叠世以及日本新第三纪中新世等造山带的含矿双峰式火山岩等。海底火山喷发是形成块状硫化物矿床不可缺少的重要古地理条件。矿床主要形成于浅海-半深海(水深达千米以上)地区, 其环境对含矿火山流体顺利进入海底、下在火山通道中沸腾及与围

岩发生交代沉淀有利。陆缘的裂谷构造恰恰营造了良好的封闭条件, 是使含矿流体不致散失的最佳场所。双峰式火山岩组合的岩浆作用是形成巨大规模优质铜多金属块状硫化物矿床的主要成矿条件之一。

2 含矿双峰式火山岩实例

2.1 日本黑矿型块状硫化物矿床

形成于新第三纪中新世中晚期(4~14 Ma)的西黑泽阶, 由于保存较好而为矿床地质学家所重视, 是世界上研究最为深入的 VHMS 型矿床之一。含矿火山建造产于发育不完全的岛弧裂谷地区, 人称“绿色凝灰岩带”(Cathles et al., 1986)。成矿作用发生在大规模安山岩喷发(岛弧火山活动)之后, 较平静的双峰式火山岩活动时期(即玄武岩、英安岩、流纹岩组合的火山喷发)、含矿长英质火山岩发育于镁铁质火山岩层之间。北鹿地区是日本黑矿型矿床最发育地区, 大-中型的小板、花岗、深泽、释迦内等著名矿床均集中于该地。它们位于日本本州东北部的绿色凝灰岩带中。为了解绿色凝灰岩带双峰式火山岩的岩石特征, 笔者收集了如下资料分析研究: 长英质火山岩的岩石化学资料选自深泽矿区, 代表性样品均为未蚀变或弱蚀变的岩石(伊达二郎, 1981); 玄武岩的岩石化学资料取自秋田-山形地区绿色凝灰岩带中的中新世玄武岩(土谷信之, 1988)。笔者对上述数据进行了整理, 结果表明(见表 1 和图 1、2), 其火山岩主要由玄武岩、玄武安山岩、流纹岩及少量安山岩、英安岩类组成, 具有明显的双峰式火山岩组合特

作者简介 姜福芝, 女, 1936 年生, 教授级高级工程师, 主要从事与火山活动有关的金属矿床及其成矿预测研究

收稿日期 2001-07-13; 改回日期 2001-09-12。张绮玲编辑。

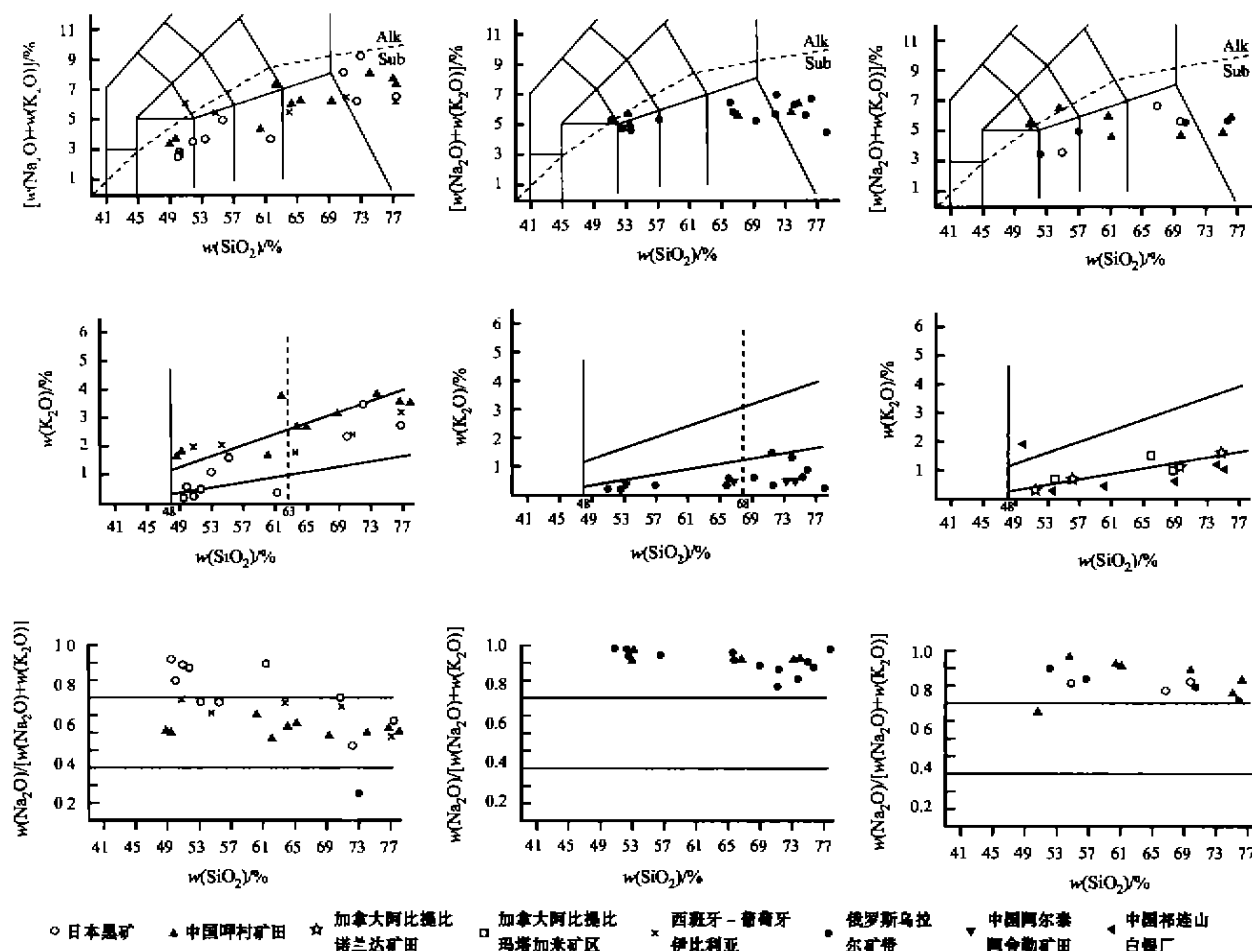


图 1 火山岩岩石化学图解

Alk—碱性系列, Sub—亚碱性系列(底图据 Irvine et al., 1971); $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图据 Maitre et al., 1989; $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ 图据姜福芝, 1991

Fig. 1 Chemical composition of volcanic rocks

Alk—Alkaline series; Sub—alkaline series(after Irvine and Baragar, 1971)

征。火山岩岩石以中钾为主, 少量低钾(主要为中基性岩类), 长英质火山岩主要属于钾钠质流纹岩类。该区火山岩属亚碱性系列, 其中的中基性岩由拉斑和钙碱性玄武岩类组成, 其拉斑玄武岩具有洋中脊和洋岛玄武岩特征, 这与其产出于局部拉张构造环境的认识是吻合的。

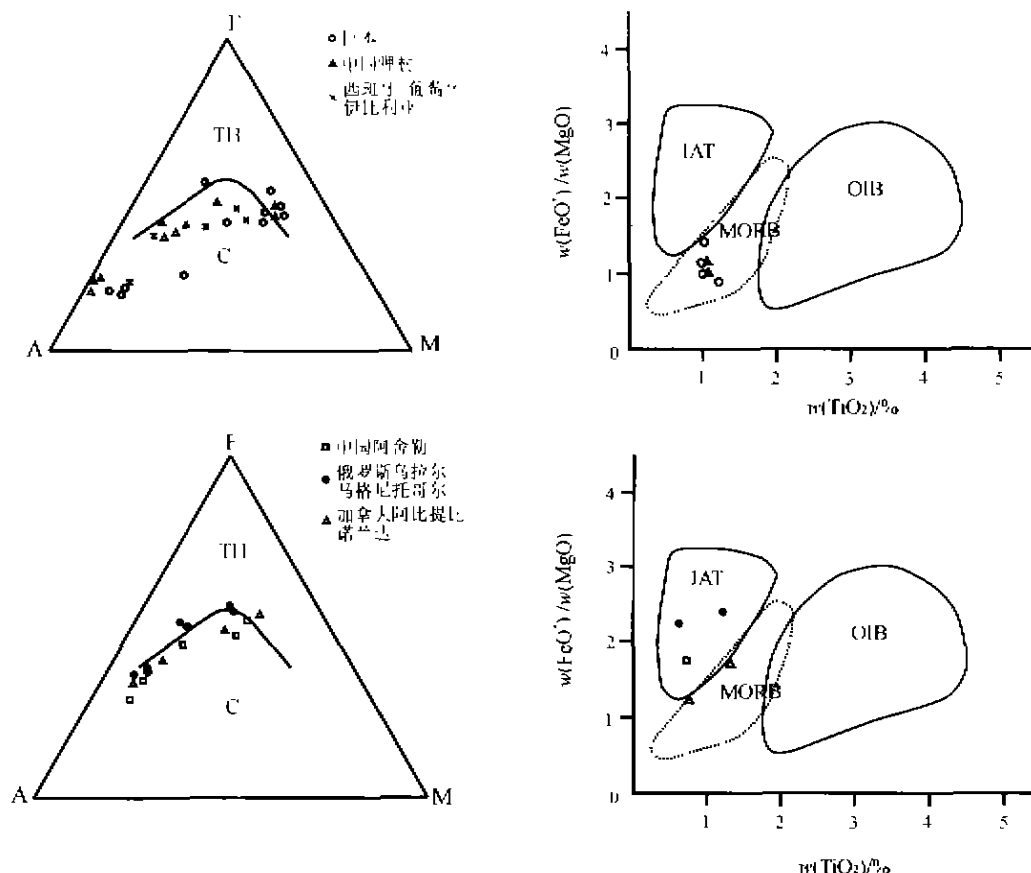
2.2 西班牙—葡萄牙的伊比利亚华力西造山带

该造山带发育早石炭世火山岩, 是世界又一著名的火山岩型块状硫化物矿床成矿带, 在长约 230 km, 宽 20~40 km 的火山岩带中, 约有 300 个块状硫化物矿床, 其中大型-特大型矿床 60 余个。主要含矿建造的产出层序和岩石化学成分(见表 1 和图 1.2)表明, 该区火山岩仍以长英质和镁铁质火山岩最为发育, 在含矿的长英质火山岩中有少量安山岩产出, 属双峰式火山岩组合。巨大的含矿长英质火山岩位于上、下两层玄武岩之间, 是硫化物矿床能如此巨大规模的重要原因之一。对火山岩岩石化学数据整理结果, 岩石由粗面玄武岩、

玄武安山岩、英安岩和流纹岩组成, 其岩石主要由钙碱性长英质岩和钙碱性玄武岩及少量碱性玄武岩组成, 表明其构造背景有可能为亲弧裂谷活动的结果。长英质岩类属于中钾和钾钠质酸性岩浆岩类。

2.3 俄罗斯乌拉尔造山带

是块状硫化物矿床十分发育的火山岩带。初步统计有百余个矿床, 主要分布在塔吉尔—马格尼托哥尔拗陷带中。该成矿带位于俄罗斯地台的东缘, 火山活动发生于奥陶纪—中泥盆世。奥陶纪—早志留世有玄武岩-辉绿岩建造形成, 有少量铜-黄铁矿型矿床形成(塞浦路斯型); 志留纪—早中泥盆世是大规模双峰式钠质火山岩及部分安山岩-流纹岩组合形成时期, 之后有大规模安山岩-玄武岩岩浆活动。贱金属块状硫化物矿床主要形成于双峰式火山岩(少量安山岩-流纹岩)建造形成时期, 容矿岩石为其中的长英质岩类。该区双峰式火山岩非常发育, 也是铜锌型块状硫化物矿床主要含矿岩石组

图2 镁铁质亚碱性系列火山岩 AFM 图解及 $\text{FeO}^*/\text{MgO}-\text{TiO}_2$ 图解

$F = \text{FeO}^*$; $M = \text{MgO}$; $A = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; TH—拉斑玄武岩; C—钙碱性玄武岩(据 Irvine and Baragar, 1971); MORB—洋中脊拉斑玄武岩; IAT—岛弧拉斑玄武岩; OIB—洋岛玄武岩(据 Glassiey, 1974)

Fig. 2 Geochemical characteristics of volcanic rocks of mafic subalkaline series on AFM diagram and FeO^*/MgO vs TiO_2 diagram

$F = \text{FeO}^*$; $M = \text{MgO}$; $A = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; TH—Tholeiitic basalts; C—Calc-alkaline basalts (after Irvine and Baragar, 1971); MORB—Mid-ocean ridge basalts; IAT—Island arc tholeiitic basalts; OIB—Ocean-island basalts (after Glassiey, 1974)

台。通过岩石化学数据的整理(Язева, 1985)含矿建造由粗面玄武岩、玄武岩、玄武安山岩、英安岩、流纹岩等岩类组成(见图1、2和表1)。少量中钾的钠质火山岩类(细碧角斑岩系)。根据较为系统的马格尼托哥尔地区火山岩岩石化学资料整理结果(见图2),岩石以低钾为主,岩石属于亚碱性系列,以拉斑玄武岩-钙碱性长英质火山岩类为主,其中拉斑玄武岩具有岛弧玄武岩特征。

2.4 北美阿巴拉契亚造山带

是含矿双峰式火山岩又一发育地区。它活动于晚元古代—早古生代时期。根据 Stephens (1984)等研究,该造山带的古构造活动可划分为4个阶段:晚元古代板内硅质基底的早期裂谷阶段、早奥陶世及其以前的洋底阶段、奥陶纪—志留纪板块会聚构造阶段以及早古生代晚期碰撞及弧后裂谷阶段。含矿的双峰式火山岩主要形成于奥陶纪—志留纪板块会聚构造为背景的活动时期,经 Sangster (1984)统计,该阶段形

成的块状硫化物矿床数量最多(约占整个造山带的59%),贱金属 $\text{Cu}-\text{Zn}+\text{Pb}$ 品位最高,矿床规模最大(如加拿大新布伦瑞克12矿床,矿石量为109 Mt, $w(\text{Zn})+w(\text{Pb})=13\%$)。

该区含矿双峰式火山岩的岩石及岩石化学特征显示(Stephens, 1984),大致可分两大岩类:一为发育于硅镁质基底之上的钠质火山岩类(细碧角斑岩系);另一为形成于硅铝质基底之上或成熟岛弧区的钾钠质火山岩类(或富钾的火山岩类)。直接含矿火山岩均属钙碱性长英质岩类,而伴生或上覆的镁铁质岩类则属于拉斑及碱性玄武岩类,同时应用不活动性元素(Ti, Y, Zr等)判别,表明其镁铁质火山岩与洋中脊及板内玄武岩有亲缘关系。

上述两组岩类,与钠质火山岩有关,常形成铜锌块状硫化物矿床,如北阿巴拉契亚的斯堪的纳维亚造山带的 Stokke-Levi 铜锌矿床[矿石量约28 Mt, $w(\text{Cu})+w(\text{Zn})=4\%$, $w(\text{Pb})=0.2\%$]等矿群;与钾钠质火山岩有关则常常形成

表 1 含矿火山岩化学成份表
Table 1 Chemical composition of ore-bearing volcanic rocks

地区	时代	岩石名称	样品数	w _b /%										
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
日本本州北鹿地区深泽矿山含矿岩石 ^[1]														
	N ₂	流纹岩	1	70.23	0.27	14.47	0.95	1.95	0.08	2.95	0.23	2.50	3.32	0.07
		流纹岩	1	68.51	0.34	16.07	0.47	1.83	0.06	1.21	0.80	5.38	2.33	0.03
		流纹岩	1	74.72	0.24	12.95	0.81	0.87	0.02	0.61	0.51	3.51	2.62	
		流纹岩	1	71.15	0.15	13.54	0.59	1.79	0.08	1.40	0.12	1.44	7.47	0.02
日本本州秋田—山形地区绿色凝灰岩 ^[2]														
	N ₂	玄武岩	1	49.71	0.96	16.43	9.69 ⁺	—	0.21	7.71	10.04	2.22	0.28	0.13
		玄武安山岩	1	54.01	0.95	17.48	7.35 ⁺	—	0.13	4.69	7.56	3.26	1.54	0.24
		玄武安山岩	1	51.07	0.77	16.67	7.81 ⁺	—	0.13	6.66	9.01	2.40	1.07	0.16
		玄武岩	1	49.73	0.86	17.26	8.41 ⁺	—	0.14	6.28	9.77	2.82	0.42	0.14
		玄武岩	1	48.53	1.00	17.93	3.04	6.82	0.15	6.70	11.02	2.21	0.19	0.10
		玄武岩	1	48.05	0.94	15.77	9.41 ⁺	—	0.15	8.67	10.18	2.14	0.55	0.16
		安山岩	1	58.45	1.11	15.69	7.29 ⁺	—	0.16	2.04	6.62	3.08	0.38	0.29
中国四川省岷村矿田岷村组 ^[3]														
底部	T _{3g}	玄武岩	1	47.92	1.01	16.92	5.11	6.06	0.10	9.25	8.10	1.69	1.56	0.17
		玄武岩	1	47.73	1.03	17.99	3.45	6.12	0.13	8.99	7.32	1.78	1.75	0.20
中部		英安岩	1	62.64	0.73	16.12	1.81	3.79	0.06	2.51	4.30	3.13	2.62	0.14
		粗安岩	1	60.43	0.73	17.35	2.91	2.31	0.07	1.69	4.71	3.28	3.69	0.13
		安山岩	1	58.52	0.80	16.57	2.54	4.41	0.13	3.28	6.53	2.57	1.61	0.16
上部		英安岩 ¹	5	63.50	0.76	15.97	2.00	3.29	0.08	2.16	3.49	3.36	2.62	0.18
		流纹岩 ²	3	75.89	0.11	12.53	0.94	1.27	0.04	0.11	0.57	3.98	3.48	0.05
		英安岩	1	67.54	0.65	14.18	2.06	3.21	0.06	1.35	2.65	2.91	3.00	0.09
		流纹岩 ³	5	72.75	0.15	13.89	1.35	1.31	0.03	0.27	0.87	3.97	3.78	0.04
		流纹岩 ⁴	11	77.22	0.08	12.07	0.65	1.14	0.04	0.20	0.38	3.67	3.46	0.04
伊比利亚矿带含矿主岩系 ^[3]														
C ₁		流纹岩	27	75.38	0.39	12.52	1.32	0.71	—	0.95	0.87	2.86	3.06	
		英安岩类	9	61.47	0.84	15.95	3.08	2.73	—	3.36	3.66	3.51	1.70	
		英安岩类	8	68.42	0.33	13.79	1.91	2.99	—	1.39	1.24	4.25	2.24	—
		粗面玄武岩	9	47.06	1.28	16.13	2.70	6.94	—	7.80	5.00	3.85	1.74	—
		玄武安山岩	11	51.95	1.35	17.77	3.31	5.47	—	5.62	4.20	3.19	1.94	—
中国新疆阿勒泰阿舍勒矿田 ^[3]														
D ₂₋₂		石英角斑岩	13	72.62	0.27	13.14	1.17	2.46	0.07	1.14	1.71	5.26	0.45	0.05
		石英角斑质凝灰岩 ²	2	71.94	0.28	12.25	1.10	1.91	0.07	1.07	2.07	5.68	0.52	0.11
		角斑岩	6	64.53	0.36	14.58	2.89	3.75	0.10	2.21	2.64	4.81	0.58	0.09
		细碧岩	3	49.92	0.73	16.99	4.08	6.12	0.11	6.32	4.40	4.84	0.47	0.09
		细碧质凝灰岩	3	50.16	0.68	16.62	6.92	5.58	0.10	6.70	2.87	4.46	0.15	0.08
俄罗斯乌拉尔矿带 ^[3]														
极地乌拉尔	S ₂₋₃	玄武安山岩	28	49.63	0.70	15.75	2.45	6.85	0.16	6.73	7.87	4.36	0.11	—
		钠流纹岩	8	76.30	0.32	0.82	1.45	1.79	0.04	0.56	2.28	4.26	0.10	—
塔吉尔地区	S ₁	玄武粗安岩	1	50.75	1.16	17.03	4.08	6.60	0.15	5.94	5.64	4.73	0.29	—
		钠英安岩	4	64.52	0.58	14.70	1.22	4.02	0.14	3.18	3.41	6.08	0.26	—
		钠流纹岩	5	75.20	0.30	12.78	0.42	2.28	0.05	0.68	0.69	5.90	0.79	—
	S ₂₋₃	玄武安山岩	1	55.01	0.96	15.88	3.95	5.51	0.14	5.54	4.61	4.73	0.28	—
		钠流纹岩	10	69.36	0.40	14.68	1.22	2.19	0.04	1.15	1.28	6.50	0.26	—
西马格	D ₂	玄武安山岩	1	50.92	0.60	15.36	4.57	7.27	0.16	5.08	7.06	4.09	0.42	—
托哥尔地区		钠英安岩	2	67.90	0.50	12.83	1.77	5.72	0.12	1.69	2.47	4.69	0.56	—
		钠流纹岩	1	73.94	0.37	12.04	1.68	2.46	0.07	1.00	1.20	5.05	0.50	—
东马格	D ₂	粗面玄武岩	8	49.10	1.15	15.25	5.22	8.99	0.16	5.70	5.81	4.91	0.11	—
尼托哥尔地区		钠英安岩	4	64.40	0.92	14.10	3.12	5.14	0.12	2.20	1.64	5.29	0.45	—
		钠流纹岩	11	68.85	0.41	13.65	1.99	2.29	0.11	1.12	2.56	4.15	1.32	—
		钠流纹岩	10	72.20	0.38	12.90	1.72	2.38	0.06	0.86	1.05	4.95	1.22	—

续表 1
Table 1 (Cont.)

地区	时代	岩石名称	样品数	$w_i/\%$										
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
中国祁连山东段白银厂矿田 ^①														
	Z ₁	玄武粗安岩	1	51.05	0.97	19.43	1.30	6.03	0.06	4.23	4.31	5.79	0.25	0.03
		安山岩	1	59.20	0.63	16.70	1.78	6.18	0.04	4.71	3.02	3.98	0.43	0.22
		钠流纹岩	5	74.74	0.21	12.30	0.72	85.10	0.72	2.05	3.66	1.14	0.06	
		钠流纹岩	11	75.29	0.18	12.31	1.33	1.12	0.06	0.72	2.28	4.76	0.98	0.05
		钠英安岩	8	67.26	0.57	13.68	0.91	4.28	0.10	2.67	2.45	3.93	0.53	0.16
		安山岩	1	58.18	0.70	15.66	2.24	4.93	0.07	4.16	4.20	5.18	0.44	0.16
		粗面玄武岩	6	48.08	0.92	16.36	3.73	6.33	0.17	5.59	7.52	3.29	1.81	0.49
加拿大阿比提比矿带 ^②														
诺兰达地区	Ar ₂	超基性岩	9	41.70	0.31	4.10	4.1	5.5	0.16	29.1	4.5	1.0	0.05	0.02
		玄武安山岩	323	49.5	1.23	15.2	2.5	8.1	0.2	6.1	8.5	2.8	0.4	0.14
		玄武安山岩	264	54.3	1.14	16.2	2.1	6.3	0.17	4.3	6.1	3.9	0.8	0.17
		钠英安岩	64	68.1	0.55	14.5	0.8	3.7	0.12	1.4	2.4	4.2	1.1	0.11
		钠流纹岩	50	74.2	0.30	13.1	0.8	2.4	0.07	0.8	0.9	3.9	1.6	0.08
马塔加米地区 ^③		钠英安岩	1	67.84	0.32	14.64	6.21	4.09	0.04	1.06	0.70	5.21	1.52	0.02
		钠英安岩	1	66.99	0.86	12.95	0.06	5.23	0.12	2.03	2.46	4.39	0.94	0.18
		玄武安山岩	1	52.72	0.66	13.99	2.66	6.68	0.23	7.29	8.31	2.72	0.65	0.09

* 按 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 计算的全铁: 1. 按 $w(\text{SiO}_2)$ 在 63%~64% 之间平均; 2. 按 $w(\text{SiO}_2) > 70\%$ 平均; 3. 按 $w(\text{SiO}_2) = 70\% \sim 74\%$ 平均; 4. 按 $w(\text{SiO}_2) > 74\%$ 平均; —: 为未测成份。

资料来源: ① 伊达二郎, 1982; ② 上谷信之, 1988; ③ 叶庆同等, 1992; ④ Богданова, 1984; ⑤ 薛毓川等, 1995; ⑥ Ясая, 1985; ⑦ Roberts, 1975

Zn-Pb-Cu 型矿石组合, 如阿巴拉契亚造山带加拿大新布伦瑞克- 带的 Zn-Pb-Cu-Ag(-Au) 大型、超大型矿床。在该成矿带, 超过 25 Mt 矿石量的矿床至少有 4 个(如加拿大布伦瑞克 12, Heath-Steel, Caribon, 美国的 Bald 等矿床)。它们都具有含矿钙碱性长英质火山岩和上部覆盖的拉斑玄武岩和碱性玄武岩等岩类。这种双峰式火山岩组合, 镁铁质火山岩(上)与长英质火山岩(下)层序特征, 岩石系列组合以及形成如此巨大规模的矿床群, 不能不使人们注意成矿地质构造背景和岩石含矿性特征。

2.5 加拿大前寒武纪块状硫化物矿床

加拿大地盾南缘绿岩带中大约有 70 多个矿床, 为又一世界闻名的块状硫化物成矿带。它们形成于新太古代- 元古宙。经过近些年的研究, 不少学者认为加拿大地盾南缘呈条带平行分布的花岗岩- 绿岩带, 是由北向南(自老向新)不断俯冲拼贴作用的结果。如苏必利尔省的绿岩带, “主要岛弧地体的造山作用的年代由北向南逐渐年轻: Uchi-Sachig, 地体为 2725 Ma, Wabigoon 地体为 2705 Ma, Wawa-Abitibi 地体为 2695 Ma, 最后与 Minnesota 前陆碰撞构成当前的苏必利尔省绿岩带”(毛德宝, 1994)。含块状硫化物矿床的双峰式火山岩组合, 即产于阿比提比绿岩带中, 与显生宙火山成因块状硫化物矿床产出地质条件极其相似。位于阿比提比含矿绿岩带东侧的 Timmins 矿田, 所有的铜- 锌型块状硫化物矿床(如 Kidd-Creek, Kama-Katia 等矿床)均产于中心式长英质火山岩体

中, 杂岩体呈蘑菇状位于基性火山岩层中。诺兰达矿田规模最大, 岩石化学成分表明(Богданова, 1984), 其含矿火山岩组合属于长英质(流纹岩, 英安岩)- 镁铁质(玄武岩, 玄武安山岩和科马提岩)双峰式火山岩组合(表 1 和图 1, 2)。 $w(\text{Na}_2\text{O})/[w(\text{Na}_2\text{O}) + w(\text{K}_2\text{O})]$ 比值大于 0.7 (见图 1), 属于钠质火山岩类。岩石 K_2O 含量为低钾与中钾界线处, 显然钾含量是很低的。岩石属拉斑- 钙碱性玄武岩类和钙碱性长英质岩组合, 其拉斑玄武岩与洋中脊玄武岩具亲缘关系(图 2)。含矿火山建造与太古宙火山岩(绿片岩类)特征一致。矿石产于长英质火山岩中, 成矿元素组合以 Cu-Zn 为主, 伴生少量 Au, Ag, Pb, Cd 等。

2.6 中国铜多金属块状硫化物矿床

中国虽无上述国家那么集中的成群成带产出的块状硫化物矿床, 但也产有一些大型、超大型块状硫化物矿床, 如白银厂矿田、阿舍勒铜锌矿床以及呷村铅锌银矿床等。

中国祁连山白银厂矿田含大、中、小型矿床 6 个, 其中拆腰山铜锌矿床和小铁山铅锌铜矿床规模最大, Cu-Zn, Zn-Pb-Cu 的综合金属储量均在百万吨以上。其含矿建造为钠质流纹岩、钠质英安岩、玄武安山岩、玄武岩(细碧角斑岩系)。安山岩仅少量产出, 不成独立地质体, 与玄武岩伴生。含矿火山岩建造呈明显的双峰式组合, 含矿岩石为长英质火山岩类。火山岩石系属碱性玄武岩与钙碱性长英质火山岩类。岩石为以低钾为主, 少量高钾(见表 1 和图 1)的钠质火山岩类。

● 姜福芝, 李叔良, 王玉仕, 等 1991. 甘肃省白银矿田及外围块状硫化物矿床的地质特征、成矿模式及找矿前景

新疆阿尔泰地区的阿舍勒矿床、为哈萨克斯坦阿尔泰块状硫化物矿带的东延部分,是中国又一大型铜锌型块状硫化物矿床。其含矿建造由玄武粗安岩、玄武安山岩、钠质英安岩和钠质流纹岩组成(细碧角斑岩系)的双峰式火山岩类(见表1和图1,2)。岩石属于钠质、低钾的火山岩类。以铜、锌为主要成矿元素组合的矿体产于其中长英质火山岩类中,镁铁质岩石直接覆盖在含矿长英质岩类之上。

四川省西部三江地区的呷村铅锌银块状硫化物矿床,产于德格—义敦—乡城岛弧火山岩带中,火山岩时代为晚三叠世,自下而上分为根隆组、呷村组、勉戈组,各组均发育有厚的海相火山岩-碎屑岩和碳酸盐岩建造。根据侯增谦等(2001)和叶庆同等(1992)资料,将呷村矿区的火山活动划分为3个时期,早期以基性火山活动为主(见表1),含少量酸性火山岩类;中期以酸性英安岩类为主,少量安山岩和流纹岩类;晚期火山活动属英安岩一流纹岩组合,在其顶部流纹质凝灰岩与碳酸盐岩过渡层位有黑矿矿体、磁铁矿石岩(硅质岩)、重晶石层产出,是该区主要成矿火山活动时期。据40余个硅酸盐全分析数据判别,呷村组以英安岩一流纹岩类最为发育,次为玄武岩,少量安山岩,原先所定之安山岩者,经计算多属英安岩类(见图1,2)。它们均属亚碱性系列,由拉斑玄武岩和钙碱性岩类组成,以中钾—高钾为主(可能受到与成矿作用有关的钾交代造成的),属正常的钾钠质火山岩类。其中拉斑玄武岩与洋中脊玄武岩具亲缘关系(见图2)。

3 双峰式火山岩与块状硫化物矿床关系的讨论

含矿火山建造主要为双峰式火山岩,发育于自太古宙以来的任何时代的造山带中,各时代的陆缘地区(具有陆壳基底)是岛弧和裂谷的主要构造活动区。这是既可形成带状展布的大规模钙碱性长英质火山岩喷发,又可形成一定水深的大海底火山喷发的古构造和古地理环境。

双峰式火山岩组合中,镁铁质火山杂岩多发育在含矿长英质杂岩顶、底部,特别是顶部更有意义。如日本黑矿型矿床,西黑泽阶含矿长英质岩赋存于玄武岩层之间;中国呷村多金属矿床之镁铁质岩产于底部;伊比利亚黑矿顶、底部都有镁铁质岩发育;俄罗斯乌拉尔块状硫化物矿床顶、底部有镁铁质岩;中国阿舍勒铜锌矿床镁铁质岩发育在顶部;阿巴拉契亚造山带黑矿型矿床镁铁质岩多发育在顶部;加拿大阿比提比造山带的诺兰达和马达加米矿田镁铁质火山岩;中国祁连山白银厂矿田含矿长英质岩的顶、底部都产有镁铁质火山岩类等。上述表明:①发生在陆壳背景上的镁铁质火山岩应是深源(地幔或下地壳)部分熔融的岩浆,在拉张减压构造条件下快速上升到海底,未经或经过少量硅铝质陆壳的混染同化,基本保持镁铁质岩浆成分;②伴随顶部镁铁质岩浆活动的裂谷作用,导致岛弧钙碱性长英质岩浆房的破裂和喷发;③

导致地壳碎裂和下沉形成深海裂谷盆地,有利含矿流体的上升和循环,是成矿元素的富集和沉积的构造古地理环境;④顶部镁铁质火山岩浆喷发,尤其说明深源岩浆活动的持续,不断供给成矿流体和热驱动力,加强循环规模,促使成矿热流体保持对围岩成矿元素淋滤和使其富集到成矿流体中,是能够形成巨大规模矿床的物质基础。

含矿的双峰式火山岩中镁铁质火山岩,可以是拉斑、钙碱性和碱性玄武岩类,有时它们同时出现,但以钙碱性玄武岩类为主。收集整理的含矿双峰式火山岩岩石化学数据(见表1),虽然不全面、不够系统,但总体还是能够反映块状硫化物形成的大地构造环境。所有含矿双峰式火山岩组合中,都有钙碱性玄武岩或岛弧拉斑玄武岩产出,并作为主要岩类之一,应是具有陆壳和岛弧环境的产物。钙碱性长英质火山岩的大量产出,也表明总体上以会聚板块活动为背景。与此同时,也有相当部分地区的镁铁质岩属于碱性玄武岩类或具洋中脊和洋岛亲缘关系的拉斑玄武岩系列火山岩。如北美阿巴拉契亚、伊比利亚、中国呷村等含矿双峰式火山岩。日本和加拿大含矿长英质岩上覆的镁铁质火山岩则属拉斑-钙碱性玄武岩类,其拉斑玄武岩成分表明与洋中脊玄武岩有亲缘关系。上述岩石特征总体上以钙碱性系列为主,局部有碱性玄武岩和洋脊拉斑玄武岩产出,应属于会聚板块活动为背景,局部裂谷作用造成的,是形成双峰式火山岩组合及其块状硫化物矿床的最佳构造环境。

含矿双峰式火山岩组合中的长英质火山岩类是铜多金属块状硫化物矿的直接含矿岩石。其岩石化学特征显示属钙碱性系列,但岩石类型可因钾、钠含量变化而出现钠质流纹岩、钠质英安岩(石英角斑岩)、流纹岩、英安岩(钾钠含量接近)以及钾流纹岩等。其与矿化规模和含矿质量的统计资料(Singer,1990)表明,钙碱性长英质火山岩是铜多金属块状硫化物矿床的最佳含矿岩系,而钾钠含量变化与矿化规模和含矿质量无关。块状硫化物矿床成矿元素组合与含矿火山岩的岩石化学成分关系表明(见图1),Cu-Zn组合多与钠质火山岩类有关,而Zn-Pb-Cu组合多与钾钠质火山岩有关,且同时受到地壳演化时代所制约。即时代愈老(或陆壳愈薄),钠质火山岩愈发育,伴生矿石则多为Cu-Zn型组合,如加拿大地盾南缘、中国祁连山白银厂、俄罗斯乌拉尔、北欧斯勒的那维亚及中国阿尔泰阿舍勒矿田等等。泥盆纪以前的含矿双峰式火山岩多以低钾的钠质火山岩类为主,矿床成矿元素多为Cu-Zn组合,但也出现少部分Pb-Zn-Cu-Ag-Au组合的矿床,后者如白银厂矿田的小铁山大型Zn-Pb-Cu-Ag-Au矿床,以及乌拉尔多金属矿床等。随着地壳的演化,从晚古生代至新生代,火山岩中钾含量增高,多以中钾-高钾为主,岩石 $w(\text{Na}_2\text{O})/[w(\text{Na}_2\text{O})+w(\text{K}_2\text{O})]$ 比值多在0.7~0.3范围之内,成矿元素主要为Pb、Zn、Ag,多形成Zn-Pb-Cu或Zn-Pb-Ag等块状硫化物矿床。这种内生成矿专属性以及它们受到地壳演化及形成时代的制约关系已受到普遍的认同。

对岩浆作用、岩浆期后系统中成矿元素的富集、成矿的行

为过程研究证实了钙碱性长英质岩有利于硫化物矿床形成这一认识。块状硫化物矿床的主要成矿元素为S、Cu、Pb、Zn、Fe等,除铁为亲铁元素(亲石和亲硫的过渡元素)外,其它均为亲硫元素,具有强的共价键特征,因而很难进入以离子键为主的硅酸盐矿物的结晶格架中。同时根据质量作用定律,在岩浆中首先结晶的是主要元素,组成硅酸盐矿物,因此在硅酸盐结晶阶段作为微量元素的亲硫元素,因含量低和键性不同而被排斥于造岩矿物之外,留存于残浆中或转入期后热液中。此外,岩浆的酸度对亲硫元素从熔体中分离有重要意义。实验表明,岩浆随着温度下降和SiO₂浓度的增高,硫化物相在硅酸盐熔体中的溶解度降低(武汉地质学院地球化学教研室,1979),这样有利于硫及亲硫元素从熔体中分离,结晶成微粒状硫化物分布于岩浆岩中。可以认为,分布于岩浆岩中的硫化物以结晶成微粒状为主,转入期后热液中的硫化物仅是少部分。

硫在岩浆中的丰度排第十四位,其丰度为 $300 \cdot 10^{-6}$,“足够与岩浆中全部亲硫元素结合,同时还能吸收一部分过渡元素Fe、Co、Ni等构成岩浆中的硫化物相”(武汉地质学院地球化学教研室,1979)。海底火山岩浆喷发活动,往往伴有大量海水参与的热液循环体系,因此,成矿流体中不仅有来自岩浆期后热液中的硫化物,而且还有从火山岩和深海沉积物中淋滤和萃取出来的亲硫元素。如中国白银厂矿田,矿体周围发育有千米以上规模的金属(Cu、Pb、Zn等)负异常和绢云母化、硅化带。因此,海底火山活动,特别是钙碱性长英质火山岩浆活动,得以富集于地壳丰度百倍、千倍的硫化物,并形成规模巨大的块状硫化物矿床是很自然的。

关于含矿双峰式火山岩形成的古构造环境,日本新生代岛弧和北美阿巴拉契亚造山带的黑矿型矿带,都作了比较深入的构造研究,认为含矿双峰式火山岩是以会聚板块边界为总背景,形成于局部受到扩张构造作用造成的裂谷盆地中,也就是所谓的亲弧裂谷(Sawkins,1984)或发育不全的岛弧裂谷(Cathles et al.,1983)。这一成果已受到普遍的认同。对于加拿大地盾南缘、俄罗斯乌拉尔、西班牙—葡萄牙的伊比利亚,以及中国呷村、白银厂等矿床,也不乏有认为形成于岛弧火山活动环境的认识。

4 结 论

整理上述著名块状硫化物矿床成矿带双峰式火山岩资料,可归纳为以下特点:

(1)有规模的成群成带块状硫化物成矿带绝大部分产于陆缘地区、即具有陆壳的环境中,它是大规模长英质火山岩形成的物质基础;

(2)会聚板块边界是造成与块状硫化物矿床有关的钙碱性长英质火山岩产出的基本条件;

(3)总的俯冲作用环境下伴随有局部的、阶段性的拉张作用促成多重性玄武岩浆(洋脊型、岛弧型或它们的过渡类型等)沿岛弧区喷发,以及与上地壳的同化混染和结晶分异。伴

随玄武岩浆活动的扩张作用诱发了在上地壳(陆壳)中早已形成的酸性岩浆房的破裂和喷发。这些可能是造成时空关系密切的双峰式火山岩组合的关键。对沟弧盆构造体系以及日本岛弧区的日本海、大和海和发育在岛弧上的绿色凝灰岩带等平行分布的拉张盆地形成时代的研究表明,在42 Ma以来的日本岛弧活动过程中,日本海(弧后裂谷)形成起始于30 Ma,大和海起始于22.5 Ma,而岛弧裂谷(绿色凝灰岩带)则形成于13~4 Ma。说明挤压俯冲作用相伴扩张裂谷作用是普遍性规律;

(4)上述讨论可以说明,造山带的岛弧火山活动期间伴随局部的引张作用,形成了特定的古地理、占构造背景,这种特定的构造背景造就了双峰式火山岩组合及其中含矿性良好的钙碱性长英质火山岩,产生了对成矿组分浓集的巨大热液循环系统及含矿流体集积的沉陷盆地(裂谷作用),从而为规模巨大的铜多金属块状硫化物矿床和矿带的形成提供了有利的地质环境。

致 谢 宋叔和先生为我国火山岩型铜多金属矿床的勘探和研究作出了巨大贡献,笔者受益颇深。为祝贺宋先生从事地质工作65周年,仅以此文略表敬意。有关双峰式火山岩的成因观点很多,限于篇幅和水平,这里不作更多的讨论。

参考文献

- 陈毓川,叶庆同,等 1996 阿舍勒铜锌成矿带成矿条件和成矿预测[M].北京:地质出版社,72~80
- 侯增谦,曲晓明,徐明基,等 2001 四川呷村 VHMS 矿床:从野外观察到成矿模型[J].矿床地质,20(1):44~56
- 姜福芝 1991 块状硫化物矿床含矿火山建造的岩石化学特征[A].火山岩 火山作用及有关矿产[C].北京:地质出版社,31~39.
- 邱家骧,林景任 1991 岩石化学[M].北京:地质出版社,194~202.
- 毛德宝 1994 太古宙板块构造研究综述[J].国外前寒武纪地质,(2):6~21.
- 武汉地质学院地球化学教研室 1979 地球化学[M].北京:地质出版社,215~237.
- 叶庆同,胡云中,杨岳清,等 1992 三江地区区域地球化学背景和金银铅锌成矿作用[M].北京:地质出版社,144~150
- Cathles L M, Guber A L, Lenagh T C, 等 1986 日本黑矿型块状硫化物矿床是一种发育下完全岛弧裂谷的产物[A].国外地质,与火山岩有关块状硫化物矿床专辑[C].(7):236~247
- Sawkins F J 1984 金属矿床与板块构造[M].北京:地质出版社,97~113
- Singer D A and Moser D L 1990. 与海相长英质-镁铁质喷出岩有关的矿床[A].矿床模式[C].北京:地质出版社,184~190
- Irvine T N and Baragar W R A 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. Can. Earth Sci.,8:523~548
- Roberts R G 1975 The Geological Setting of the Martagami Lake Mine, Quebec: A Volcanogenic Massive Sulfide Deposit [J]. Econ

- Geol., 70:115~129.
- Sampster D G. 1984. Grade-Tonnage Summaries of Massive Sulfide Deposits Relative to Paleotectonic Settings in the Appalachian-Caledonian Orogen [J]. Econ. Geol., 79: 1479~1482.
- Stephens M B, Swindin H S and Slack J F. 1984. Correlation of Massive Sulfide Deposits in the Appalachian-Caledonian orogen on the basis of paleotectonic setting[J]. Econ. Geol., 79: 1442~1478.
- Богданова Е И. 1984. Колчеданные Месторождения Зарубежных Стран. [М.] МОСКВА.
- Язев Р Г. 1985. Вулканогенные Формации [А] СМ: Медно-колчеданные Месторождения Урала [С]. Свердловск: УНЦ АН СССР. 48~63.
- 伊达一郎. 1982. 秋田景深沢鉱床下盤石英安山岩の変質とくに移動成份の量的推定. 鉱山地质[J]. 32(1): 35~45.
- 土谷信之. 1988. 秋田—山形油田地帯附近における中新世中期玄武岩類の微量元素組成[J]. 岩石鉱物鉱床学会誌. 83(11): 486~491.

Bimodal Volcanic Association and Massive Sulfide Deposits

Jiang Fuzhi

(Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China)

Abstract

Bimodal volcanic rocks are not only the most common host rock association of volcanic-hosted massive sulfide (VHMS) deposits, but also serve as the main grounds for studying the ore-forming geological settings and ore-forming processes of these deposits. The author has collected the data on host rock formations of some well-known volcanogenic massive sulfide deposits and belts both in China and abroad, which include rock associations, time and successions of host rock formations, and rock associations, chemical composition, and tectonic settings of volcanics. Studies show that bimodal volcanics constitute the most favorable host rock association for volcanogenic massive sulfide deposits. They mainly occur in orogenic belts of various geological times and are formed during extension periods against the background of convergent plate margins. Such tectonic settings contain a large volume of calc-alkaline acidic volcanics associated with mineralizations, form large-scale ore-forming hydrothermal convective circulations and subsidence (rift) basins where the seawater depth and closed condition are suitable for precipitation of ore fluids, and provide favorable geological prerequisites for the formation of VHMS type deposits distributed in groups and belts.

Key words: bimodal volcanics, massive sulfide deposit, felsic volcanics, convergent plate