

文章编号:0258-7106 (2001) 02-0112-07

与海相火山作用有关的铁-铜-铅-锌 矿床成矿系列类型及成因初探*

王登红

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

陈毓川

(中国地质科学院, 北京 100037)

提 要: 文章初步厘定了与海相火山作用有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿系列类型的概念, 并对其进行了分类, 讨论了其成因, 认为内生外成(沉)是其主要特征, 即成矿物质主要由火山作用从深部提供, 而矿石又是通过沉积作用在海底形成的。在一定程度上, 可从成矿类型的角度将块状硫化物矿床与 BIF 型或磁铁石英岩型矿床联系起来考虑。该类矿床成矿系列类型的演化特点在一定程度上可以反映地球演化的历史轨迹。

关键词: 矿床成矿系列类型 海相火山作用 块状硫化物矿床 层状氧化物矿床

中图法分类号: P612

文献标识码: A

最近 20 年来, 矿床成矿系列的研究在我国取得了重大进展, 在一些重要成矿区带, 如长江中下游、东南沿海、南岭、西南三江、秦岭、华北地台周缘、阿尔泰等地所做的有关工作, 为矿床成矿系列类型的提出与研究奠定了重要的基础。目前认为矿床成矿系列是在一定的地质历史发展阶段内所形成的一定的构造单元中, 与一定的地质作用有关的, 在一定的构造部位所形成的不同矿种、不同类型, 但在时、空及成因上相互联系的矿床组合(陈毓川, 1994; 陈毓川等, 1989)。因此, 特定的矿床成矿系列对应于特定地质历史时期的特定的构造背景及其特定的地质成矿作用, 如南岭地区的有色及稀有金属矿床成矿系列对应于中生代发生在我国南岭广大地区并与花岗岩类有关的地质事件及成矿作用。这样的成矿系列在其他地区少见或只有部分相似性。但是, 有些矿床成矿系列虽然形成于不同的构造环境和不同时代, 但它们具有极其明显的相似性。这些在不同时代、不同构造单元内可类似出现的矿床成矿系列统称为矿床成矿系列类型。一个系列类型中的不同系列之间既有共性又有个性, 其共性可能取决于相似的地质构造环境或相同的成矿作用, 而个性则可能取决于具体的地质条件或地球演化的具体历史阶段, 应具体情况具体研究。比如火山岩型块状硫化物矿床可以形成于洋中脊、弧后、大陆裂谷等不同的

构造部位, 既可以在元古宙大量出现, 也可以形成于现代, 但它们都属于拉张环境产物, 都与海相火山喷发及有关的喷气活动有成因联系。因此, 我们把形成于海相拉张环境、与海相火山作用密切相关的以铁、铜、铅、锌为主的矿床成矿系列归为一个成矿系列类型, 简称为与海相火山作用有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿系列类型。

1 分 类

对与海相火山作用有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿系列类型进行分类还有许多问题需要深入研究, 但由于在不同的拉张环境或同一环境的不同演化阶段所形成的矿床成矿系列具有明显的个性, 因此, 具体研究过程中可以考虑将该矿床成矿系列类型进一步分为不同的亚类型。本文根据构造背景的不同、结合主要的火山作用的特点认为至少可以分出以下 7 种亚类型:

I. 与大陆裂谷基性火山作用有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿系列亚类型

氧化物矿床如红海现代沉积物, 硫化物矿床如鸭镇;

II. 与弧后基性火山作用有关的铁、铜、钴矿床成矿系列亚类型

* 本文得到国家重点基础研究项目(G1999043203)和地质调查项目(K1.4-3-4)的资助

第一作者简介 王登红, 男, 1967 年生, 研究员, 博士, 主要从事矿床学研究。

收稿日期 2000-10-20; 改回日期 2000-12-25。李 岩编辑。

氧化物矿床如石碌式铁铜钴矿,硫化物矿床如别子式铜钴矿;

Ⅲ. 与岛弧或弧后酸性火山作用有关的铅、铜、铁矿床成矿系列亚类型

氧化物矿床如加拿大海伦山铁矿,硫化物矿床如呷村式、可可塔勒式、上华-云盘式;

Ⅳ. 与陆缘裂谷中基性火山作用有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿系列亚类型

氧化物矿床如赵卡隆式、鹅头厂式、惠民式,硫化物矿床如铜峪沟式、老厂式、铜矿坡式、东川式、霍各气式、青城子式,氧化物与硫化物共存矿床如大红山式、拉拉厂式、陈家庙式;

V. 与陆缘裂谷双峰式火山作用有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿系列亚类型

氧化物矿床如鱼洞子式、弓长岭式,硫化物矿床如阿舍勒式、锡铁山式、红沟式、白银厂式、槽子沟式、中条山式、红透山式,翁泉沟式硼铁矿和白云鄂博式铁-稀土矿也可归入此列;

Ⅵ. 与洋盆基性火山作用有关的铁、锰、铜多金属矿床成矿系列亚类型

氧化物矿床如铁锰结核,硫化物矿床如与海相热点有关的喷气矿床;

Ⅶ. 与洋中脊基性超基性火山作用有关的铁、铬、铜、锌矿床成矿系列亚类型

氧化物矿床如罗布莎式,硫化物矿床如银洞沟式、塞浦路斯式和德尔尼式。

上述每个亚类型又可以根据具体地质单元的不同,分出不同的成矿系列(或亚系列)。如第Ⅲ亚类型中实际上包括了我国西南三江的呷村系列和日本岛弧的黑矿系列,第V类亚类型中既包含了我国西北阿尔泰的阿舍勒系列、祁连山的白银厂系列、东北的红透山系列等,也包括西欧的伊比利亚系列。总体上看,每个系列可由于成矿条件和元素组合的不同而包括两个或三个相互联系又有区别的亚系列或成因类型,即主要由块状硫化物矿床组成的亚系列和主要由层状氧化物矿床组成的亚系列,有时可能出现氧化物矿床与硫化物矿床共存的亚系列。这3个亚系列在空间上可能出现有规律的配置,如在水平方向(随离火山口距离的增加)和垂直方向上(地层层位自下而上)出现块状硫化物矿床→硫化物与氧化物共存矿床→氧化物矿床的分带。但是,3个亚系列或3种成因类型同时发育的情况可能不多见。一般在以块状硫化物矿床为主的系列中,氧化物矿床

常不甚发育或以含铁碧玉岩、重晶石岩等形式出现,如在阿舍勒块状硫化物铜锌矿的外围出现重晶石岩和红色的碧玉岩;在以层状氧化物为主的系列,如磁铁石英岩型铁矿或称BIF型铁矿中可能伴生有少量硫化物,如弓长岭式铁矿;氧化物与硫化物共存的例子如云南的大红山铁铜矿床。

从矿化元素组合的角度看,上述3个不同的亚系列基本上分别对应于铜、铅-锌矿床和铁矿床,前者主要呈块状硫化物出现,后者呈层状氧化物出现。锰常出现在铁矿中,如与洋盆基性火山岩有关的铁锰结核;钴可见于与弧后基性火山作用有关的铁铜矿床成矿系列中,如海南的石碌式铁铜钴矿;铬则见于与洋中脊基性-超基性火山作用有关的成矿系列中,如罗布莎式铬铁矿。金、银、锑、钼(重晶石)也很重要,如广东永梅拗陷中的宝山银锑矿被认为与海相基性火山作用有关(郑庆年,1996)。

2 特征

通过对我国一些主要矿床的对比分析(表1),可以将“与海相火山作用有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿系列类型”的最大特点归结为“内生外成(沉)”,即成矿物质是由火山作用从地球深部带来的,而矿体或矿石则是通过沉积(主要是化学沉积)作用在海底富集而形成的。含矿流体经历了从封闭环境向开放环境突然变化的过程,矿石常形成于导致物理化学条件突变的部位,这种部位以裂隙拉张的构造背景最为常见。火山作用不仅是促进含矿流体运移的重要因素,而且还可造成高热流环境,有利于热液的对流循环以萃取成矿物质,同时也是成矿物质的直接提供者;不同的火山岩组合对应于不同的矿化元素组合,如洋中脊蛇绿岩组合对应于铜、钴、铬,岛弧钙碱性火山岩对应于富含铅、锌、银的黑矿。当矿体底板以基性火山岩为主时,矿化元素以铁、铜为主;当矿体底板以酸性火山岩为主时,矿化元素富铅而相对贫铜。

3 成因与演化

3.1 成矿物质来源与成矿专属性

总体上铁、铜主要与基性火山岩有关,成矿物质与成岩物质同源且均以幔源为主;铅、锌则主要与酸性火山岩有关,成岩物质与成矿物质也同源但以壳

表 1 与海相火山作用有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿系列类型中代表性矿床的地质特征

Table 1 Geological features of mineral deposits belonging to the metallogenic series type related to submarine volcanism

序号	矿床名称	时代	主元素组合	赋矿地层	含矿建造或容矿围岩	构造环境	资料来源
1	罗布莎		Cr, Fe, PGE*	Mz-Kz	镁质超基性岩(蛇绿岩套下部)	类洋中脊	袁见齐等, 1985
2	嵩溪宝山	J _{1s}	Ag, Sb	嵩岭组	底板为玄武岩, 喷流碎屑岩容矿	裂陷槽	郑庆年, 1996
3	呷村	T _{3g}	Ag, Pb, Zn, Cu	呷村组	流纹岩含矿并作为底板, 顶板为碳酸盐岩	古岛弧带	叶庆同等, 1991; 莫宣学等, 1993
4	赵卡隆	T _{3j}	Ag, Fe, Pb, Zn, Cu	甲丕拉组	陆源碎屑岩、白云岩, 底板为安山岩	古盆地边缘	叶庆同等, 1991; 莫宣学等, 1993
5	德尔尼	P ₁	Cu, Co, Ni		超基性岩(蛇绿岩套中、上部)	类洋中脊	章午生, 1981
6	小坝梁	P ₁	Cu	格根敖包组	细碧-石英角斑岩, 细碧岩与铜矿关系最密	深断裂	陈德潜等, 1995
7	老厂	C ₁	Ag, Pb, Zn		中基性火山凝灰岩	断陷盆地	王增润等, 1992
8	岭后	C ₁	Cu, Zn, Pb	叶家塘组	中酸性火山岩(底板)-含铜白云岩建造	拗陷	陈毓川等, 1992
9	可可塔勒	D _{1k}	Pb, Zn	康布铁堡组	变质双峰式火山岩但以酸性为主	活动大陆边缘	胡剑辉等, 1994
10	阿舍勒	D _{1-2as}	Cu, Zn	阿舍勒组	双峰式火山岩、火山碎屑岩	陆缘裂陷	王登红, 1996a; 1996b
11	阿巴宫	D _{1k}	Fe	康布铁堡组	变质细碧角斑岩系及其火山碎屑岩	活动大陆边缘	张建中等, 1987
12	六一	Pz	Cu, Zn, Pb		底板中基-基性, 顶板酸-中酸性火山岩	陆缘裂谷	王 茵等, 1987
13	可可乃克	S	Cu, Zn	阿河布拉克群	中酸性为主火山岩-陆缘碎屑岩建造	冒地槽	地质矿产研究所, 1977
14	锡铁山	O ₃	Fe, Pb, Zn, Cu		酸性为主双峰式火山岩-碎屑岩-碳酸盐岩	裂谷海槽	郭 介人, 1985; 宋 叔和, 1982
15	红沟	O ₃	Cu, Fe, Zn		双峰式火山岩、火山碎屑岩	陆缘裂谷	任秉琛等, 1991 [●]
16	蛟龙掌	O _{1k}	Pb, Zn, Cu, Fe	扣门子组	双峰式火山、火山碎屑岩, 酸性岩-灰岩容矿		任秉琛等, 1991 [●]
17	银洞沟	O ₁	Cu, Zn		基性火山岩-硅质岩(蛇绿岩套上、顶部)	类洋中脊	任秉琛等, 1991 [●]
18	猪咀哑吧	O	Cu, Zn, Co		基性火山岩-硅质岩(蛇绿岩套上、顶部)	类洋中脊	任秉琛等, 1991 [●]
19	白银厂	Є ₂	Cu, Pb, Zn	黑炭沟群	基性(底板)-酸性(容矿)火山岩系	优地槽	宋叔和, 1982
20	刘山岩	Pz	Cu, Zn	刘山岩组	蛇绿岩		宋峰等, 1999
21	石碌	Zs ₆	Fe, Cu, Co	石碌群	火山岩底板-白云岩矿层-碎屑岩顶板	裂陷	冯建良, 1980
22	鱼洞子	Zy	Fe	鱼洞子组	双峰式, 基酸性火山岩互层夹灰岩透镜体	裂陷	冯本智, 1980
23	铜矿坡	AnZ	Cu, Au	阳坝组	巨厚层细碎屑岩为主, 夹基性火山岩	冒地槽	赵绳武, 1989
24	槽子沟	Pt ₁	Zn, Cu, Pb, Ag	刘家坪组	底板细碧岩, 顶板石英角斑质凝灰岩	裂陷	高质彬, 1982
25	张八岭	Pt ₂₋₃	Fe, Mn	张八岭组	双峰式细碧岩-石英角斑岩组合	裂陷	李应运等, 1980
26	马松岭	Pt ₂₋₃	Cu, Zn	白水河群	底板中基性火山岩, 顶板酸性火山碎屑岩	裂陷	地质矿产研究所, 1977
27	鹅头厂	Pt ₂₋₃	Fe, Cu	因民组	细碧岩为主火山、火山碎屑岩夹白云岩	沉降	阙梅英, 1984
28	惠民	Pt ₂₋₃	Fe	惠民组	中基性火山岩	拗陷张裂	杨应选等, 1988; 冉崇英, 1981
29	东川易门	Pt ₂₋₃	Cu, Fe	因民、落雪组	碱质基性为主火山岩-砂质白云岩-白云岩	裂陷槽	杨应选等, 1988; 冉崇英, 1981
30	陈家庙	Pt ₂₋₃	Cu, Fe, Pb, Zn	陇山群	基性火山岩与凝灰岩互层, 至少 7 个矿层	优地槽	罗传治, 1989
31	大红山	Pt ₁	Fe, Cu, Co	曼岗河红山组	细碧岩为主火山岩-碳酸盐岩	深裂谷优地槽	钱锦和等, 1990
32	拉拉厂	Pt ₁	Cu, Fe, Co	河口群	细碧角斑岩为主火山岩-碳酸盐岩-碎屑岩	浅裂谷优地槽	孙燕等, 1990; 肖渊甫等, 1992
33	东升庙	Pt ₁	Pb, Zn, Cu		变质中基性-中酸性火山岩	裂谷	缪远兴, 1992; 芮宗瑶等, 1994
34	西裘	Pt ₁	Cu, Zn	双溪坞群	变质细碧角斑岩系		王执均等, 1980; 黄有年, 1992
35	中条山	Pt ₁	Cu	中条群	双峰式火山岩-碎屑岩-碳酸盐岩	裂谷	李兆龙等, 1986; 真允庆等, 1992
36	云盘	Pt ₁	Fe, S, Cu	下辽河群	酸性凝灰岩为底板并含矿, 顶板碳酸盐岩	冒地槽	张秋生等, 1988
37	青城子	Pt ₁	Zn, Pb, Cu		钠质含硼火山岩为底板, 浊积岩容矿, 顶板为碳酸盐岩	优地槽过渡到冒地槽	芮宗瑶等, 1994; 张秋生等, 1988
38	翁泉沟	Pt ₁	Fe, B, REE		钠质火山岩	拗拉槽	张秋生等, 1988
39	落家河	Ar	Cu, Zn	降县群	基、酸性火山岩之间		张秋生等, 1988
40	弓长岭	Ar	Fe	鞍山群	拉斑玄武岩与酸性火山岩转化部位	台缘活动带	张秋生等, 1988
41	红透山	Ar	Cu, Zn	鞍山群	底板中基性火山岩, 顶板为酸性火山岩	台缘断裂带	张秋生等, 1988; 阎鹏仁, 1986

* PGE: 铂族元素。

● 任秉琛, 等. 1992. 祁连山东段块状硫化物矿床区域成矿规律与找矿预测. 科研报告.

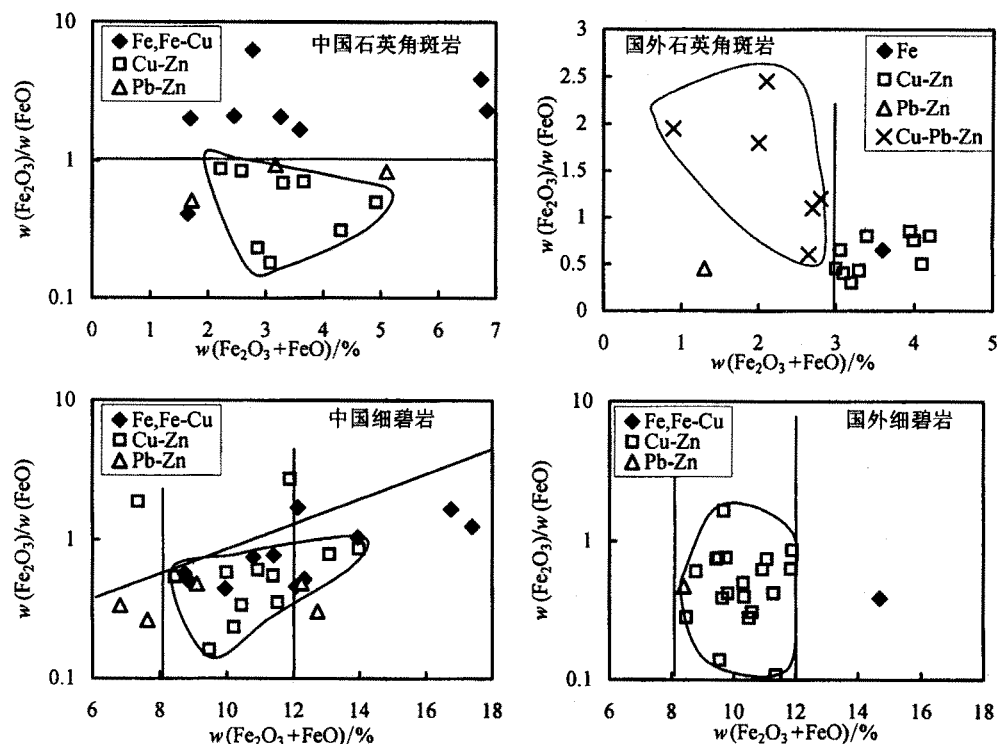


图1 细碧岩、石英角斑岩 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ 对 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/w(\text{FeO})$ 图解 (每个点代表一个矿区的平均值)

Fig. 1 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ versus $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/w(\text{FeO})$ diagram of spilite and quartz-keratophyre

源为主。不同类型的矿床在火山岩特征上也有不同,如对我国一些典型矿床的统计发现(图1),与铁矿或铁铜矿床有关的细碧岩 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ 可大于12%,而块状硫化物矿床的 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ 多小于12%,其中铜锌矿多集中于8%~12%(国外亦然),铅锌矿多<8%。铅或铅占重要地位的块状硫化物矿床与铜锌矿床相比,与前者有关的酸性火山岩 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) < 3\%$,与后者有关的酸性火山岩 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) > 3\%$ 。这表明,铁铜主要来自基性岩(铁矿又与含铁更高的基性岩有关),而铅主要来自酸性岩,具有一定的成矿专属性。

块状硫化物矿床与层状氧化物矿床的区别还在于前者有充分的硫,致使铁以硫化物(主要是黄铁矿)的形式出现,这种硫可能主要来自火山喷气而不一定是通常所说的生物对硫酸盐的还原。这从几个方面可以得到佐证:①块状硫化物矿床常围绕火山口或喷气口分布,而氧化物矿床离火山口较远,如现代铁锰结核多见于广海盆地;②块状硫化物矿床的硫同位素组成具有典型的塔式分布,如阿舍勒、火焰山、折腰山、拉拉厂、锡铁山、蛟龙掌等,而且不同时代矿床的硫同位素值都接近于地幔值,并不像海水

那样随时代而漂移,只有那些与火山作用关系不太明显的块状硫化物矿床才有分散的硫同位素组成;③现代深海考察观察到闪锌矿等硫化物直接围绕从深部冒出的富含 H_2S 的气泡周围生成(J. J. Tiercelin, 1989),并不需要生物起作用。从某种意义上讲,生物也在吸取火山喷气提供的硫;④从地球演化的角度考察,像元古代那样的块状硫化物矿床生成的高峰期并不是生物的最发育期,Charlson 等(1989)也认为地球上特别是海洋中的循环硫最终还是由火山作用提供并积累起来的。可见,在寻找与海相火山作用有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿系列类型时,最重要的还是要研究火山作用及其成矿规律。

3.2 成矿物理化学条件

显然,块状硫化物矿床形成于还原环境,氧化物矿床形成于氧化环境,但它们又是对立统一的。从现代正在进行的成矿作用看,无论是大洋盆中铁锰结核的广泛分布,还是红海裂谷中氧化物和氢氧化物在数量上占绝大多数,都表明硫化物的生成是局限环境的产物,主要围绕在某些火山口或火山喷气口的周围。除了氧化环境由于火山喷气作用带出硫而变为还原环境外,还原环境变为氧化环境的可能

性也不能排出,其一是海水变浅,其二是海底流带来大量的氧和生物,生物又可消耗大量的硫。这一过程不利于块状硫化物矿床的形成与保存。因此,洋底流活跃地带不利于块状硫化物矿床的生成。海水变浅的情况,如裂谷在演化过程中由拉张变为充填、沉积、封闭时,硫化物矿床可能向氧化物矿床转化,硫化物铜矿可能变为铁铜矿床进而变为砂页岩型铜矿。后者似乎与火山作用无关,但不能排除铜等成矿物质来自早期底板火山岩的可能,西昌-滇中地区可能就是这种情况。

3.3 与地球演化的关系

矿床成矿系列是地球演化到一定阶段的产物,因而矿床的地质地球化学特点又可反映地球演化的特点。一般地,形成于洋中脊的拉斑玄武岩锶初始值最低,并由洋中脊→岛弧→大陆趋于增大,反映地壳由年轻→成熟的演化。与海相火山作用有关的铁-铜-铅-锌矿床成矿系列类型也有此特点,时代越新,锶初始值越大。对同一系列或同一时代的系列而言,又有铁矿的锶初始值高于铅锌矿,铅锌矿高于铜矿的趋势,如阿尔泰成矿带同形成于泥盆纪的矿床,蒙库铁矿($Sr_{\text{初始}} = 0.7344 \sim 0.7380$) > 冲乎尔-麦孜盆地的铅锌矿($0.7079 \sim 0.7112$) > 阿舍勒铜矿($0.7075 \sim 0.7093$)。具体到一个矿床来说也可能出现同样的演化规律,如阿舍勒铜矿由矿化蚀变岩筒中细脉浸染状矿石→块状矿石→矿体顶部铁碧玉岩→后期变质成因含铜石英脉,锶初始值由 $0.7075 \rightarrow 0.7080 \rightarrow 0.7083 \rightarrow 0.7093$ (李华芹等,1998)。这种矿石锶初始值的变化趋势与火山岩的变化趋势是一致的,后者一般由基性向酸性锶初始值趋于增大,如白银厂细碧岩→角斑岩→石英角斑岩,锶初始值由 $0.7052 \rightarrow 0.7053 \rightarrow 0.7065$ ^①,西裘细碧岩锶初始值为 0.7033 ,石英角斑岩锶初始值为 0.7038 (王执均等,1980)。可见,锶初始值既可用于研究地球演化的历史也可用于探讨成矿演化的历史。

3.4 意义

与海相火山作用有关的铁、铜、铅、锌成矿作用不仅是铁、锰等黑色金属及铜、铅、锌等有色金属的重要来源,也是金、银等贵金属的重要来源。当前研究这一成矿系列类型对于成矿远景区划、开拓地质找矿思路具有重要意义,而且对于深入理解地球的

演化历史也具有重要的参考价值。由于该成矿系列类型具有“内生外成(沉)”的特点和明显的分带性,因此,在实际工作中应注意铁、铜互找。也就是说,在火山岩型铁矿分布区,尤其是外围或深部,应注意寻找铜矿;或者说,块状硫化物矿床与层状氧化物矿床可以互为找矿标志。例如,弓长岭式铁矿与红透山式铜矿虽然在空间上有一定的距离,但都容于鞍山群变火山岩之中,在两者之间有可能找到过渡类型的矿床,这种矿床在空间上可能并不在已知矿区。又如,早元古代大红山铁铜矿床是一个典型的氧化物与硫化物共存的矿床,同时代火山岩地层中还存在一个独立的拉拉厂块状硫化物铜矿,那么,在康滇地轴是否还存在其他独立铁矿就值得考虑。而中晚元古代铁矿、铜矿独立产出和同时产出的现象在川西-滇中一带更是常见。在层状氧化物铁矿(包括BIF型和铁矿化较弱的石英岩)的下部层位找到块状硫化物铜矿的例子也屡见不鲜。最近,在西昆仑也发现了铁铜共生的矿带。需要注意的是层状氧化物矿床与块状硫化物矿床在成因及成矿条件上的共性与个性,共性指导互为找矿,个性则引导找什么矿及到何处去找。

与海相火山作用有关的铁、铜、铅、锌矿床成矿系列类型由于跨时代产出,因而对研究地球的演化历史也具有重要意义。在大趋势上,地球早期铁矿化较强,反映成矿环境偏氧化;在小的方面,针对一个成矿系列来说也有先还原后氧化的趋势,表现为氧化物矿石在上,硫化物矿石在下(即便像阿舍勒这样强还原环境中生成的硫化物矿床,其顶部和外围也存在氧化条件下生存的铁碧玉岩和重晶石岩)。对块状硫化物矿床而言,又有铜老铅新的趋势,表现为自下而上由铜矿石变为富铅锌的黑矿石。

限于篇幅,文中无法将众多资料一一列举,也无法系统论述不同亚类型的特点、产出环境、演化及相互之间的关系等重要问题。本文旨在抛砖引玉,恳请大家批评指正,以便今后深入阐述。

致谢 汤中立院士、赵一鸣研究员等在本文的成文、修改过程中提出了很好的意见和建议,有关问题曾向裴荣富院士请教,在此表示特别的感谢。

① 任秉琛,等. 祁连山东段块状硫化物矿床区域成矿规律与找矿预测. 科研报告, 1992.

参考文献

- 陈德潜,赵平,魏振国.1995.论小坝铜矿床的海底火山热液成因[J].地球学报,17(2):190~203.
- 陈文森.1985.白银厂黄铁矿型矿床成因模式探讨[J].地质与勘探,21(1):15~20.
- 陈毓川,裴荣富,张宏良,等.1989.南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质[M].北京:地质出版社,505p.
- 陈毓川,朱裕生编著.1991.中国矿床成矿模式[M].北京:地质出版社,367p.
- 陈毓川.1994.矿床成矿系列.地学前缘[J],(3):90~94.
- 程裕洪,陈毓川,赵一鸣.1979.初论矿床的成矿系列问题[J].中国地质科学院院报,1(1):32~58.
- 程裕洪,陈毓川,赵一鸣,等.1983.再论矿床的成矿系列问题[J].中国地质科学院院报,5(6):1~64.
- 地质科学院地质矿产研究所.1977.铁铜矿产专辑(第七集)[M].北京:地质出版社,47~69.
- 冯本智,杨天齐,杨殿范,等.1980.陕西南秦岭鱼洞子式含铁建造特征及其磁铁矿英岩成因的初步研究[J].地质论评,26(5):405~413.
- 冯建良.1980.论海南石碌铁矿成因[J].地质与勘探,16(12):21~28.
- 高质彬.1982.槽子沟铜铅锌矿床成矿条件及找矿[J].地质与勘探,18(2):9~13.
- 胡剑辉,孙星红.1994.可可塔勒铅锌矿床地球化学异常模式研究[J].矿产与地质,8(5):355~362.
- 黄有年.1992.浙江西裘含铜块状硫化物矿床特征及成矿模式[J].地质找矿论丛,7(3):22~34.
- 蒋心明,丛桂新.1986.白银厂中部成矿带稀土元素地球化学特征研究[J].地质找矿论丛,1(3):68~79.
- 李华芹,谢才富,常海亮,等.1998.新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M].北京:地质出版社,264.
- 李应运,桑宝梁,郑进发.1990.皖东张八岭细碧角斑岩系若干特征[J].地质论评,26(5):397~404.
- 李兆龙,陈爱民,李继英.1986.中条地区胡家峪-筓子沟型铜矿床稀土元素地球化学特征[J].地质找矿论丛,1(2):46~53.
- 罗传治.1989.陈家庙铁铜矿床成矿模式探讨[J].地质与勘探,25(9):12~16.
- 缪远兴.1992.内蒙古东升庙铅锌硫矿床海底喷流沉积成矿作用地质地球化学特征[J].地球化学,20(4):375~382.
- 莫宣学,路凤香,沈上越,等.1993.三江地区特提斯火山作用与成矿[M].北京:地质出版社,251p.
- 钱锦和,沈远仁.1990.云南大红山火山岩铁铜矿[M].北京:地质出版社,235p.
- 阙梅英.1984.云南鹤头厂铁矿床主要铁矿物特征及矿床成因探讨[J].矿物岩石,4(1):17~23.
- 冉崇英.1981.康滇地轴东川式层状铜矿的沉积环境与成矿作用[J].地球化学,9(2):114~119.
- 芮宗瑶,施林道,方如恒,等.1994.华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质[M].北京:地质出版社,576p.
- 宋峰,刘铁,王铭生.1999.东秦岭二郎坪群蛇绿岩中的火山成因硫化物矿床[J].中国区域地质,18(1):80~85.
- 宋叔和.1982.甘陕境内秦祁地轴两侧古生代断陷地槽海相火山活动与多金属成矿的探讨[M].中国地质科学院矿床地质研究所所刊,第2号:1~11.
- 孙燕,李承德.1990.四川拉拉铜矿床成矿机制研究[J].成都地质学院学报,17(4):1~9.
- 王登红.1996a.新疆阿舍勒铜矿区双峰式火山岩与成矿背景的初步研究[J].地质论评,42(1):45~53.
- 王登红.1996b.新疆阿舍勒铜矿区火山岩与成矿[J].地质科学,31(2):163~169.
- 王茵,黄锐华.1987.内蒙六一块状硫化物矿床基本地质特征[J].矿产与地质,1(4):26~32.
- 王增润,吴延之,段嘉瑞,等.1992.滇西澜沧裂谷成矿作用兼论老厂大型铜铅矿床成因[J].有色金属矿床与勘查,1(4):207~215.
- 王执均,赵筱福.1980.西裘铜矿矿床特征及其成因探讨[J].地质与勘探,16(2):19~24.
- 郭介人.1985.青海锡铁山块状硫化物矿床地质特征[J].矿床地质,4(2):1~12.
- 肖渊甫,孙燕.1992.拉拉铜矿床含矿岩系岩石学特征及其变质原岩[J].成都地质学院学报,19(2):41~48.
- 阎鹏仁.1986.清原地区太古代绿岩带铜矿床地球化学特征及其找矿标志[J].地质与勘探,22(6):56~60.
- 杨应选,仇定茂,阙梅英,等.1988.西昌一滇中前寒武系层控铜矿[M].重庆:重庆出版社,148p.
- 叶庆同,石桂华,叶锦华,等.1991.怒江、澜沧江、金沙江地区铅锌矿床成矿特征和成矿系列[M].北京:北京科学技术出版社,161p.
- 袁见齐,朱上庆,翟裕生主编.1985.矿床地质学[M].北京:地质出版社,44~49.
- 张建中,冯秉襄,金浩甲,等.1987.新疆阿勒泰阿巴宫-蒙库海相火山岩与铁矿的成生关系及地质特征[M].中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊,第20号:89~180.
- 张秋生,等.1988.辽东半岛早期地壳与矿床[M].北京:地质出版社,573p.
- 章午生.1981.德尔尼铜矿[M].北京:地质出版社,113p.
- 赵绳武.1989.前震旦系碧口群层控黄铁矿型铜金矿床的一些基本特征[J].地质与勘探,25(5):24~29.
- 真允庆,姚长富.1992.中条地区裂谷型层状铜矿床[J].桂林冶金地质学院学报,12(1):30~47.
- 郑庆年.1996.一个海底基性火山喷流成因的银锑矿床地质特征[J].矿床地质,15(3):238~248.
- Charlson R J, Anderson T L, McDuff R E. 1992. The sulfur cycle. In: Butcher S S, Charlson R J, Orians G H, et al. ed. Global Biogeochemical Cycles [M]. Academic Press: 285~300.
- Tiercelin J J. 1989. Discovery of sublacustrine hydrothermal activity and associated massive sulfides and hydrocarbons in the north Tanganyika trough, East Africa rift[J]. Geology, 17(11): 1053~1056.

A Preliminary Study on the Metallogenic Series Type of Fe-Cu-Pb-Zn Ore Deposits Related to Submarine Volcanism and Its Origin

Wang Denghong¹ and Chen Yuchuan²

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words: metallogenic series type of ore deposits, submarine volcanism, massive sulfide deposit, banded oxide deposit

Abstract

This paper presents a concept of metallogenic series type of Fe-Cu-Pb-Zn mineral deposits related to submarine volcanism and deals briefly with its classification and genesis. This type of metallogenic series can be divided into seven subtypes: (1) Fe-Cu-Pb-Zn subtype related to basic volcanism in continental rift; (2) Fe-Cu-Co subtype related to basic volcanism in back-arc basin, which includes oxide mineral deposits such as the Shilu-type Fe-Cu-Co deposit; (3) Pb-Zn-Cu-Fe subtype related to acidic volcanism at island arc or back-arc, consisting of sulfide mineral deposits such as the Gacun deposit in Sichuan, the Keketale deposit in Xinjiang, and the Shanghua-Yunpan deposit in Liaoning; (4) Fe-Cu-Pb-Zn subtype related to middle and basic volcanic rocks in epicontinental rift, comprising oxide deposits such as the Zhaokalong deposit in Sichuan, the Etouchang deposit and the Huimin deposit in Yunnan, sulfide deposits such as Tongyugou, Laochang, Tongkuangpo, Dongchuan, Huogeqi and Qingchengzi, and oxide-sulfide coexisting deposits such as Dahongshan, Lalachang and Chenjiamiao; (5) Fe-Cu-Pb-Zn subtype related to bimodal volcanism in epicontinental rift, embracing oxide mineral deposits such as Yudongzi and Gongchangling, and sulfide mineral deposits such as Ashele, Xitieshan, Honggou, Baiyinchang, Caozigou, Zhongtiaoshan, and Hongtoushan; (6) Fe-Mn-Cu-polymetallic subtype related to basic volcanism in ocean basin, made up of oxide deposits such as Fe-Mn nodule; (7) Fe-Cr-Cu-Zn subtype related to basic-ultrabasic volcanism in mid-ocean ridge, consisting of oxide deposits such as the Luobusha deposit in Tibet, and sulfide deposits such as the Yindonggou deposit, the Cyprus deposit and the De'érni deposit.

These kinds of Fe-Cu-Pb-Zn mineral deposits, formed at the bottom of seabasin or in rifting environment with ore-forming materials originating from a deep source by submarine volcanism, can be classified as the same type of metallogenic series. This concept can be used to study the relationship between submarine volcanogenic massive sulfide deposits and bedded oxidized iron deposits or BIF type iron deposits. Massive sulfide deposits are usually distributed near exhalative vents, while oxide deposits are spread on the seabottom far away from the vent. The evolution characteristics of this type of metallogenetic series show a clue of the evolution history of the earth. For example, submarine volcanic rocks related to massive sulfide copper deposits formed at different stages show a trend of increasing initial Sr value from early to late, namely from 0.703268~0.703860 in Xiqiu (Pt₁; Huang Y. N., 1992) to 0.705171~0.706453 in Baiyinchang (Є₂, Ren Bincheng et al., 1992) to 0.7075~0.7093 in Ashele (Li Huaqin et al., 1998).