

陆相火山—斑岩 Au、Ag、Pb、Zn、Cu 矿床 系统与 VHMS 矿床系统对比研究^{*}

秦克章

(中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所 北京 100012)

摘 要 陆相火山—斑岩型 Au、Ag、Pb、Zn、Cu、Mo 矿床与海相火山岩块状硫化物型矿床,这两类极为重要的成矿系统,似乎属于两类完全不同的成矿体系。前者产于造山后挤压陆壳环境,与侵入作用关系密切,形成时代新、品位较低、规模大,易遭剥蚀;后者产于拉张洋壳和过渡壳环境,与火山喷发作用关系更密切,形成时代跨度大(太古代~至今),品位较高,且易遭受变质改造。然而相似之处亦很明显并具有某些内在联系,如均具双层矿床结构,火山—侵入建造组合具可比性,定位空间均以岩浆热源为中心,均存在中间岩浆房,矿化均与以绢英岩化为代表的热液蚀变相伴,成岩、成矿温度相近,成矿系列矿床组合相似。某些地区由于所处构造环境的变化,早期形成 VHMS 矿化,晚期形成斑岩铜矿化系列,后者继承了前者的成矿物质。但陆相系列岩石(富 K、Mo、Ag)分异程度要高一些。关于这两类矿床的关系,长期以来存在诸多混乱认识。在对两类成矿体系进行系统对比的基础上,本文提出前述相似性暗示洋底与陆壳背景下火山岩浆活动具有统一的岩浆起源和成矿作用。二者之间的差别系由岩浆侵位浅表环境、地壳厚度、流体介质不同、造山作用的时空演化所造成。分析了该项研究所涉及的关键技术问题。最后指出了该项对比研究具有成矿理论上的创新苗头和重要的找矿应用价值。

关键词 斑岩铜矿 脉状 Pb、Zn 矿 浅成低温 Au、Ag 矿 海相块状硫化物矿床

分类号 P618.2/P612

斑岩型铜钼矿系我国最重要的铜、钼矿类型,占我国铜矿储量的 47.5%,全球铜矿的 55.3%(王之田、秦克章,1992)。浅成低温热液金银矿系最主要的金银矿床类型之一。次火山岩脉状铅锌铜矿亦占重要比例。斑岩铜矿、浅成低温金银矿分别是 70 年代、80 年代的研究与勘查热点。将陆相火山岩—斑岩—深成岩作为有机的构造—岩浆演化—成矿系统来进行研究则是 90 年代的新趋势,且在北美、南美、菲律宾和我国银山、紫金山和额尔古纳矿带取得巨大成功。

VHMS 型矿床以其品位高、共伴生组份多为显著特点。就铜矿而言,占我国铜矿储量的 8.4%,全球的 8.8%(王之田、秦克章,1994)。对 VHMS 矿床的研究,早期多集中于围岩蚀变的研究,后来注意到矿床与火山岩的关系及各个矿床之间的对比研究。80 年代以来侧重于古

* 中国有色金属工业总公司跨世纪人才基金资助项目

作者简介:秦克章,男,1964 年 9 月出生,研究员(博士),主要从事矿床学研究。

收稿日期:1998-01-05

代矿床与现代洋底热液喷口硫化物矿床的对比以探讨古代矿床的形成机理。近年来,国内外均在一些典型的 VHMS 型 Cu、Pb、Zn 矿带或矿田内发现了一批重要的金矿床,如阿尔泰、北祁连、Abitibi 矿带。

关于这两类矿床的关系,长期以来存在诸多混乱认识。如对某些矿床,如铜矿峪、白乃庙、公婆泉的成因认识长期存在斑岩型与 VHMS 型之争论;有的认为存在海相斑岩铜矿(以白银为例)。有人甚至认为同期的 VHMS 硫化物矿与斑岩铜矿共生在同一个矿区(以南斯拉夫玻尔铜矿为例),前者实为陆相致密块状硫砷铜矿(大脉)(Sillitoe, 1983)。我们知道,日本岛弧以盛产黑矿、矽卡岩型 Cu、Pb、Zn 矿和浅成低温金矿而著称。但迄今尚未发现一处斑岩铜矿。有人解释为黑矿(VHMS 家族中一员)与斑岩铜矿不共生(Sillitoe, 1980)。有人认为日本岛弧属张性环境缺乏挤压环境,因而与斑岩铜矿无缘(西协亲雄, 1982)。这实质上涉及到两类矿床的相互关系问题(Qin and Ishihara, 1998)。至于与火山岩相伴的金银矿床类型归属则更加混乱。涂光炽(1993)、宋叔和(1993)指出应区分海相与陆相火山岩型矿床。在第九届国际矿床成因讨论会(1994)上,秦克章首次提出进行海、陆相火山—侵入两类成矿体系对比这一问题,引起中外学者的莫大兴趣和热烈讨论。

美国经济地质学会前主席曾经说过“在矿床中和矿床之间我们发现的差异愈多,以及观察资料越丰富,我们就愈能发现成矿作用的一致性”(B J Skinner, 1987)。陆相火山-斑岩型 Au、Ag、Pb、Zn、Cu、Mo 矿床(subaerial volcano-porphyry hydrothermal deposits,简称 VPH)与海相火山岩块状硫化物型矿床(submarine volcanic-hosted massive sulfide deposits,简称 VHMS)二者初看起来似乎属于两类完全不同的成矿体系。前者产于造山后挤压陆壳环境,与侵入作用关系密切,形成时代新、品位较低、规模大,易遭剥蚀;后者产于拉张洋壳和过渡壳环境,与火山喷发作用关系更密切,形成时代跨度大(太古代~至今),品位较高,且易遭受变质改造。然而其相似之处亦很明显并具有某些内在联系,如均具双层矿床结构,火山-侵入建造组合具可比性,定位空间均以岩浆热源为中心,均存在中间岩浆房,矿化均与以绢英岩化为代表的热液蚀变相伴,成岩、成矿温度相近,成矿系列矿床组合相似。某些地区由于所处构造环境的变化,早期形成 VHMS 矿化,晚期形成斑岩铜矿化系列,后者继承了前者的成矿物质,如美国亚利桑纳、加拿大西岸、南美安第斯、我国三江地区、俄罗斯乌拉尔等地,表现为典型的同位成矿(梅友松等, 1992)。但陆相系列岩石(富 K、Mo、Ag)分异程度要高一些。前述相似性暗示洋底与陆壳背景下火山岩浆活动具有统一的岩浆起源和成矿作用。二者之间的差别系由岩浆侵位浅表环境、地壳厚度、溶液介质不同、造山作用的时空演化所造成。

1 两类矿床系统对比的不同点

(1) 产出区的地壳厚度与构造背景: VPH 产于陆壳挤压环境,包括大陆边缘(如 Arizona 斑岩铜矿省)、岛弧(东南亚)和大陆内部(德兴、乌山斑岩铜矿)。迄今为止洋壳中尚未发现斑岩矿床,只是在岛弧和陆壳形成之后,地壳厚度较大,才有斑岩铜矿大量出现。因有刚性基底,岩浆作用以侵入为主,喷发次之。VHMS 产于洋壳或过渡壳拉张环境,地壳厚度较小,覆盖层薄,因而岩浆作用以喷发为主,侵入较次要,主要有大陆边缘始裂谷(大红山、拉拉厂式,钱锦和等, 1990)、大洋中脊(塞浦路斯(Cyprus)型与德尔尼型(王玉往、秦克章, 1997)、弧前盆地(Besshi type 别子型)、弧后盆地(白银厂型)、岛弧(Kuroko type 黑矿型)和陆缘扩张带(可可塔

勒型 PbZn) 六种成矿环境(秦克章等,1994,1997)。

(2) 与造山作用的时、空关系及其时代分布: VHMS 产于造山前一优地槽环境, VPH 产于同造山期、造山期后与克拉通环境(芮宗瑶、张洪涛,1988)。同一板块中,前者形成早,后者形成晚。前者时间跨度大,太古代~新生代均有产出,太平洋洋脊扩张轴现在还在成矿;后者成型矿床形成时代为中元古代~新生代,主要在中、新生代,现智利俯冲陆壳下部还在形成。至于斑岩铜矿时代较新,有人认为是后期剥蚀造成,笔者认为可能还有早期陆壳厚度小且分布范围局限这一原因。

(3) 容矿岩性差别及矿—岩时差: VHMS 在海底喷发一次火山活动时,伴随大量凝灰岩和凝灰质沉积岩层,凝灰岩多呈角砾状,熔岩和晶屑凝灰岩含石英大斑晶(达 5 mm)。矿床与火山岩基本同期,矿—岩时差甚小。VPH,陆相火山喷发多伴随次火山岩—斑岩的侵入,很少见同期层状沉积夹层。容矿岩除含矿斑岩体外,一般较矿石早,时间跨度也大(太古代~元古代~显生宙均有)。即使是斑岩体与矿石之间,亦存在明显的矿—岩时差(李长江等,1991;秦克章等,1995),显示岩浆热液作用持续时间较长。如江西银山英安斑岩为 138 Ma,穿插矿体的石英斑岩为 105 Ma,矿—岩时差 10~30 Ma;福建紫金山金铜矿火山岩年龄 115 Ma,矿石年龄 100~103.9 Ma,矿—岩时差 10~15 Ma(张德全等,1992);浙江大岭口铅锌银矿火山岩 115 Ma,蚀变岩 100 Ma,时差 15 Ma;江西铜厂花岗闪长斑岩成岩时代 172 Ma,成矿年龄上限 150~161 Ma(朱训等,1982)。根据已有资料可归纳出以下结论:陆相火山岩金银矿床矿、岩时差为 30~60 Ma,脉状铅锌铜矿为 10~30 Ma,斑岩铜矿矿、岩时差为 2~15 Ma。

(4) 矿体产状: VHMS 除部分矿床的底部呈筒状(浸染状矿石)或呈似层状矿体外,主要呈层状,长度较大(数百米~十公里),层控性明显。VPH 则在火山岩、老地层和次火山岩体中呈浸染状矿石(Cu、Au、Mo)或脉状矿体(Au、Ag、Pb、Zn、Cu),矿体切穿层理,形态不很规则,斑岩铜矿多呈柱状形态,表现为厚大矿体。共同的特点则是矿体延深往往大于延长。

(5) 矿石品位、规模、硫含量、伴生元素

VHMS 形成于海水介质中,水/岩比大,硫含量高,硫化物含量多在 10%~60%之间,矿石以块状、半块状、条带状为主,浸染状次之,但矿床规模较小。常见有 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Fe、S,共伴生元素主要有:少量 Se、Bi、As、Gd、Te、Sn、Co、Ni 等元素。矿石总体较富,Cu 0.8~3.6%,最高可达 10%,Cu+Pb+Zn 平均 6%,一般 10%(D. F. Sangster,1977)。现代大洋考察表明,在洋脊硫化物从现代黑烟囱喷口堆积是一个十分低效($<1\%$)的过程(Lydon,1984,1988)。洋流运动使之迁移、分散到很远的地方。全球已有 53 处超大型 Cu 矿床中,仅有一处是 VHMS 型矿床(里奥廷托)。约有 80%的矿床规模为 10~1 000 万 t 矿石量,其中一半矿床的矿石储量 <100 万 t,个别可高达 3 亿 t 以上(D. F. Sangster,1977)。

VPH 形成于陆相环境,受地层水、大气降水影响,且水/岩比小,为低硫环境,水~岩交换不够充分。硫化物含量 $<10\%$,通常 5%,呈细脉浸染、浸染状、脉状矿石,矿石品位较低,一般 Cu 0.3%~1%,仅少数达 1.1~1.5%。据世界 103 个大型斑岩铜矿床统计,单个矿床矿石储量平均可达 5.5 亿吨,Cu 平均品位 0.6%。脉状矿床中 Pb+Zn 含量变化较大(3%~15%),多在 3%~8%(如甲乌拉、银山等),我国蔡家营、五步铅锌矿较富。但由于成矿时代较新,易同化继承古老矿床或海相火山岩中的矿质,矿质不易分散,故往往能形成较大规模,如智利埃尔特尼恩特 Cu 达 5000 万 t,构成最重要的铜矿类型。相对而言,VPH 中 Pb—Zn 则占较次要地位。但其顶部浅成低温热液矿床中 Au、Ag 的品位则较高,规模亦很大,如印尼埃尔茨

据西利托(R H Sillitoe, 1979, 1983)所推定的完整的斑岩系列具有直立的延伸,包括下伏的侵入岩部分,可达 8 km。成矿体系深度在 3 km 左右。顶部层状火山岩以及部分老地层中为泉华、硫黄、大脉状银、金矿,陆相块状铅锌铜矿石,脉状 Pb、Zn、Ag、Cu 矿石,近斑岩体顶部为细脉状 Cu、Au 矿石,斑岩体内外接触带为细脉浸染状 Cu(Au、Mo)矿石,斑岩内部为网脉状 Mo 矿石,下伏等粒侵入相(中心相)中可见 Mo、W、Sn 矿化。

过去人们将东南亚岛弧带浸染—网脉状矿石上部的块状含铜黄铁矿石(如巴布亚新几内亚的 Frieda River(浅见宪正等, 1980)、菲律宾 CuAu 矿),和巴尔干半岛波尔矿床中的块状硫化物矿体(表 1)认为是海相火山岩型。并据此推断同期的斑岩铜矿与 VHMS 铜矿共生在一起,产生了混乱认识。实际上,陆相环境中局部(如沿透水性断层通道)也可出现块状硫化物矿石,只是规模较小,不象在 VHMS 矿床中那样普遍而已(王之田、秦克章, 1990)。

表 1 含硫砷铜矿块状硫化物矿床的地质特征

国家、地区	矿床	围岩岩性	矿化时代	热液角砾 岩化作用	断层走向	含铜矿物
菲律宾、勒班陀	勒班陀	安山质火山岩、英安质火成碎屑岩	新生代晚期(更新世)	很普遍	北西	硫砷铜矿、四方硫砷铜矿、砷黝铜矿
巴布亚新几内亚、弗里达河	尼纳	安山质火成碎屑岩、岩流	1300 ~ 1400 万年	出现	北西	硫砷铜矿、四方硫砷铜矿
南斯拉夫、波尔	波尔 布雷扎尼克 “H”地区	安山质岩流	早第三纪	出现	南北	硫砷铜矿、铜蓝、辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿
匈牙利、雷克斯克	拉霍卡	安山质火成碎屑岩	晚始新世	很普遍	北北东	硫砷铜矿、四方硫砷铜矿、砷黝铜矿

这些含硫砷铜矿块状硫化物矿床产于安山质(和少量英安质)火山岩中的高级泥化蚀变带内,后者由高岭石、明矾石、地开石、硬水铝石、叶腊石、玉髓、硬石膏和重晶石等矿物组成。斑岩型铜矿床产于高级泥化蚀变带之下或其旁侧。已有放射性年龄资料表明,斑岩铜矿系统上部的高级泥化蚀变作用与下伏的钾硅酸盐蚀变几乎是同时发生的,或稍晚时候发生的。这四处典型的含硫砷铜矿块状黄铁矿矿床平均含有 1% ~ 2% 的 Cu 和高达 3.5 g/t 的 Au。勒班陀矿石量达 2700 万 t,波尔铜矿 9 个矿体总计达 9000 万 t。

硫砷铜矿化很可能发生在潜水带的底部,在该部位岩浆流体可以在不发生重大稀释的条件下骤冷和氧化。Einaudi(1979, 1982)赞同硫砷铜矿是由于较浅的小岩株侵入到饱含地下水的岩石中而形成的。因此进而可以认为,块状含硫砷铜矿矿床赋存在透水性通道,特别是在断层带中。在这些地方,部分含有大量 SiO₂、H₂S、HCl 和挥发性金属的岩浆蒸气柱最先被氧化的对流循环水带走。由此形成的溶蚀性流体显然能够造成块状硫化物对通道两侧火山岩的交代。

以南斯拉夫波尔斑岩铜矿为例,其矿化与石英闪长斑岩有关,围岩为安山岩。块状硫化物矿体位于上部,其下为网脉状矿石,再往下为浸染状斑岩铜钼矿石,彼此逐步过渡。块状和网

脉状矿石主要由黄铁矿、辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿、硫砷铜矿等组成,辉铜矿可能是次生富集矿物,黄铜矿向下逐渐增多,而硫砷铜矿逐渐减少。斑岩型矿石矿物为黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿,并含有少量斑铜矿和硫砷铜矿(图2)。

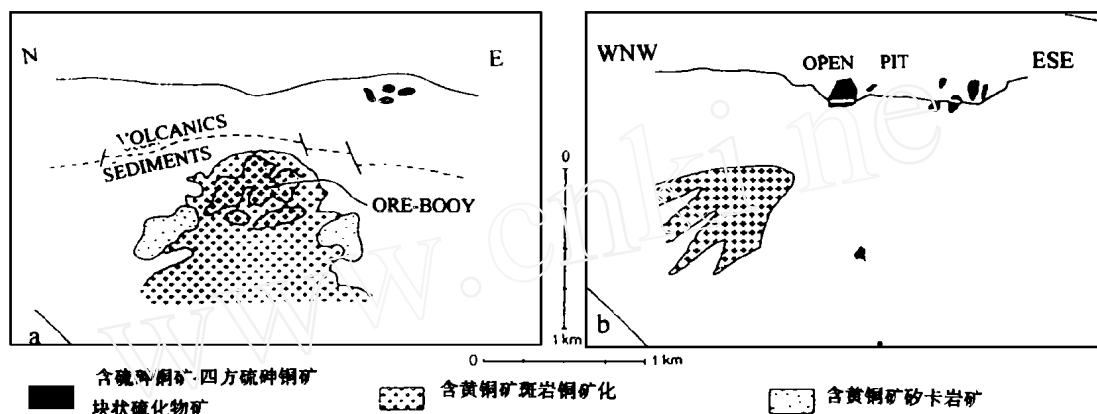


图2 含硫砷铜矿块状硫化物矿床和斑岩型铜矿化之间的总体空间关系

(a) 雷克斯克(Reesk), 匈牙利; (b) 玻尔(Bor), 南斯拉夫

Arribas, A. Jr 等(1995)的研究揭示出,菲律宾勒班陀高硫化物型浅成低温热液金铜矿床(原为块状硫砷铜矿石,后发现有金,成为金—铜矿)与1 km 以东的隐伏斑岩铜金矿近乎同时形成(图3)两矿床受控于同一岩浆热液系统(Hedenquist and Lowenstern, 1994)。

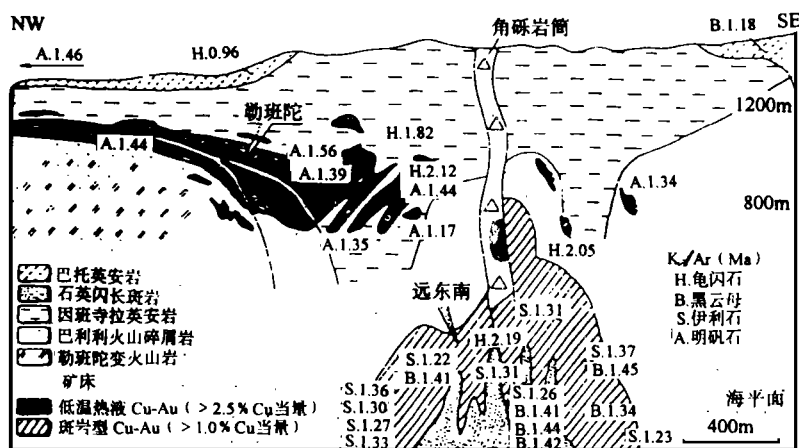


图3 沿勒班陀断层展布的勒班陀硫砷铜矿 Au 矿床和远东南

斑岩铜矿床(FSE)示意性横剖面图,菲律宾吕宋岛(据 Arribas, A. Jr. 等, 1995)

VHMS 铜矿床,过去强调块状、条带状、层纹状矿石重要性。1989 年,姜福芝划分出浸染状硫化物矿床,以我国康滇地轴古元古代的大红山铜铁矿(1700 Ma, 含 Cu 0.78%)和拉拉厂铜矿(Cu 品位 0.922%)为代表。二者均达大型规模,产于大陆边缘始裂谷偏碱性细碧角斑岩系

中。

著名的伊比利亚(Iberian)黄铁矿带,块状硫化物矿石的总储量 > 10 亿 t。只是在 70 年代后期才确定具有经济意义的低品位浸染型 Cu 和 Cu—Zn 矿化。葡萄牙新发现的内维斯—科尔沃(Neves—Corvo,石炭纪)特大型隐伏矿床以富含 Cu(品位高达 7.75%)而引人注目。其底盘围岩中局部有硫化物网脉带。全矿区大约 60%的 Cu 含在块状硫化物矿石中,30%含在网脉状矿石和角砾岩中,10%含在层状黄铜矿中。相反,99%的 Zn 和全部的 Pb 均局限在块状矿石中。伴生 Ag、Sn 等。投产后于 1987 年该矿床内又发现了 280 万吨锡矿石(基本上与 Cu 一起产出),Sn 品位 2.6%,成为欧洲的一个重要锡矿产地。

斑岩铜矿以浸染状、细脉状矿石为主,但在浅剥蚀区也见有块状矿石,如 Fireda River 矿、南斯拉夫的波尔 Cu 矿;VHMS 以块状、半块状、条带状矿石为主,其下往往有不整合的网脉型硫化物矿化带,并且在某些矿床中占有重要地位,如 Neves—Corvo,而我国大红山、拉拉厂本身就是浸染状硫化物铁铜矿床。

(2) 两类矿床延深均较大,延深大于延长,其垂直延伸多在 1000 m 以上,如乌拉尔盖伊矿床延伸达 1100~1200 m,美国宾厄姆斑岩铜矿开采深度已超过 1500 m(Einaudi, M. T., 1982, 1994)。

(3) 热液蚀变分带及 REE 的活动性。斑岩铜矿热液蚀变十分发育且分带明显,主要有钾化带、绢英岩化带、青盘岩化带或泥化带,Cu(Mo)矿体主要产于绢英岩化带中。次火山岩热液脉状铅锌矿床则以硅化、绿泥石化、泥化蚀变为主。浅成低温热液金银矿床中则以硅化、明矾石化、高岭石土化、冰长石化、绢云母化、方解石化为主。

VHMS 矿床蚀变比较普遍,种类也较多,但在空间上能显示与矿化分布关系的主要有绿泥石化、绢云母化、硅化。蚀变带在矿体下盘岩石中较发育,上盘岩石中则很微弱。白银厂铜—铅—锌矿则是以绢云母和细粒石英组成无长石绢英岩带(姜福芝、王玉往,1992)。阿舍勒铜锌矿也呈类似现象。

斑岩铜矿与 VHMS 矿床的绢英岩化蚀变带在宏观和微观特征上都十分相象。同样地,二类矿床蚀变带中都表现为 Na_2O 的带出和 K_2O 的带入, Na_2O 亏损晕圈已被有效地运用于找矿评价。并且,在两类矿床中均表现出热液蚀变规模、强度与矿化规模、强度之间的正相关关系(秦克章,1990,1993)。

近来研究发现,在两类矿床的热液蚀变过程中不活泼元素—稀土元素均表现出明显的活动性(I H Campbell et al. 1984; D J Whitefid et al. 1988; Wang Z T and Qin K Z 1988;秦克章、王之田,1993)。

(4) 矿化中心与定位空间。VHMS 表现为以中心式火山机构为中心的岩性、蚀变、矿化分带。矿床多定位于火山间歇期不同岩性(火山岩—火山岩、火山岩—沉积岩)的界面上。大矿床往往与位于孤立基底下陷构造中的中酸性成分的巨大的(约 50~100 km²)多期火山构造有关。矿床尤受内喷发带构造、火山丘、火山短背斜和短向斜控制。白银矿田 6 个矿床分别与两个火山活动中心密切相关(姜福芝、王玉往,1992)。因此寻找酸性火山喷发中心对找矿是有利的。

斑岩铜矿床均表现为以斑岩体为中心的蚀变、矿化分带。矿体定位于斑岩体内、外接触带上,厚大矿体多呈披覆状产于斑岩体侵入前缘(如铜厂、乌山),受接触破碎带、角砾岩化带、环状断裂、放射状断裂及破裂裂隙控制。

(5) 成矿系列(程裕淇等,1983)相似。对 VHMS 矿床而言,在同一火山活动带内,由火山喷发中心到火山沉积拗陷到远侧沉积岩中,依次出现 Cu—Zn—Cu、Pb—Zn—Au 矿化分带。如阿尔泰泥盆纪火山岩带,产于近火山口的阿舍勒 Cu—Zn 矿床,邻火山口火山断陷洼地中的可可塔勒 Pb—Zn 矿床和远离火山口稍后期的多纳拉萨依金矿床,构成一个完整的与海相火山岩有关的 Cu—Zn—Pb—Zn(Cu)—Au 成矿系列(Qin,1994)。

在同一陆相火山-斑岩成矿带,亦有极相似的成矿系列存在。如内蒙古额尔古纳矿带,侏罗系安山岩中破碎裂隙带中的额仁陶勒盖特大型 Ag 矿床,邻近斑岩墙、岩脉构造破碎带中的甲乌拉—查干布拉根特大型脉状 Ag—Pb—Zn(Cu)矿田(129Ma),二长花岗斑岩株(188Ma)内外接触带中的乌奴格吐山特大型浸染状铜钼矿床构成一个完整的 Ag—Ag—Pb—Zn(Cu)—Cu(Mo)成矿系列(Qin et al,1995)。在赣东北,产于元古代双桥山群(现疑为古生代)中的特大型金山 Au 矿田(成矿年龄:白垩纪),银山以英安斑岩墙(138Ma)为中心的特大型脉状—细脉状 Ag—Pb—Zn—Cu—Au 矿床,围绕花岗闪长斑岩株(172 Ma, Rb—Sr 法)的铜厂超大型斑岩铜矿构成了另一个完整的陆相浅成低温热液 Au 矿—中温脉状 Ag—Pb—Zn—Cu—Au 矿—斑岩 Cu(Mo)矿床系列(杨子江等,1996)。

(6) 二者均产于受深大断裂控制的多旋回的火山岩浆活动带中,因而矿床均具成群成带分布的特点。对于 VHMS 而言,大型矿床具有 2~5 个火山喷发旋回,矿化多半富集在厚层火山堆积的顶部或其附近,有的是在火山岩与上覆沉积岩的界面上。不少矿带表现为多层矿化。

对于斑岩铜矿而言,矿化多与多期次火山—侵入活动形成的复式杂岩体相伴。部分矿区,斑岩体多期侵入,造成多期矿化叠加,如 El Salvador (Gustafson and Hunt, 1975), Sar Chesmeh (S.J. Haynes, 1988)。伊朗萨尔切什梅超大型斑岩铜矿区岩浆侵入及蚀变有 6 个期次(65、50、35、20、10、5 Ma),其中矿化有 4 期。

由于构造和火山活动等对成矿的控制,使两类矿床均成群成带产出(Sawkins, 1990)。前者如内维斯-科尔沃、里奥廷托等十多处大型-超大型铜铅锌矿床产于欧洲伊比利安块状硫化物矿带(7800 km²)中,霍恩等数十处大铜矿产于加拿大地盾中。后者如美国亚利桑纳州西南部成矿省 70,000 km² 范围内产出的 35 处斑岩铜矿床(含 8 处超大型铜矿床)的总储量就达 40 Mt(王之田等,1990)。智利素以“铜国”著称,近年浅成热金矿勘查也取得重大突破,仅马里昆加(Maricunga)金矿带地质储量已超过 500t,银约 1.4 亿 t。

(7) 中间岩浆房及对流循环成矿系统。两类矿床均与多旋回火山岩浆活动相伴,表明其容矿岩均曾与深部岩浆房保持长期联系。

据前苏联经验,地球物理资料表明,在产出 VHMS 矿床的古火山岩下部发现有深达几公里的穹状隆起(推测在火山岩之下有侵入作用)。白银-天祝一带航磁和重力数据处理结果表明,白银矿田、石膏碛矿田深部,都具有一巨大圆形的磁性隆起,即磁性和重力的高值区,其顶部距地表 4~7 km。这些高值区代表铁镁质岩性的中间岩浆房(姜福芝等,1992)。

现代海底热泉矿床调查(R M Haymon, K C MacDonald, 1985)表明,驱动热液活动的热源是扩张轴下面热的熔融岩石(>1200 °C)的上涌作用。岩浆是位于洋中脊轴线下的岩浆房里的,而不是由地幔深处的直接喷出。沿快速扩张中心(如东太平洋洋中脊)众多地点的地震研究表明:在洋中脊轴线下大约 2~3 km 深处,有一个厚 3~5 km、宽约 5 km 的岩浆房。在慢速扩张中心(如大西洋中脊)下部,尚未探测到岩浆房。

VHMS 矿床的成因有岩浆热液模式(Sato, 1978; 宋叔和, 1982; Bryndzia, 1983; Urabe,

1987)和对流圈模式(J W Lydon, 1988)之争。笔者认为,很多矿床二者兼有,岩浆热液-对流循环混合模式可能更为接近地质实际。该成矿系统,能量来源与深部岩浆热液是一致的,活化的海水起着搬运介质的作用(李人树, 1996),下伏的洋壳岩石可作为成矿物质的来源。据计算,能量来源(中间岩浆房)的成矿作用的垂向距离为2~3 km,其对流单元在横向上亦具同样大的规模。

已有资料表明,斑岩体表现为小岩株成大矿,但小岩株多与深部较大岩基(中间岩浆房)相连。斑岩铜矿岩浆体系具有上小下大的形态,上部呈指状、柱状、钟状、筒状,面积多为0.05~1 km²,2~5 km²以下与5~50 km²的中间岩浆房相接。具这种特殊形态的岩浆体系,具较大的温度与压力梯度,对含矿流体相的析出、运移和集中极为有利(任启江, 1989)。如德兴矿田,产有铜厂、富家坞、朱砂红三个斑岩铜矿床,根据航磁、地磁、蚀变范围及深部钻探资料等,三个斑岩体到深部可能汇合成同一个隐状岩体。关于斑岩铜矿,学者们先后提出了“正岩浆模式”(Burnham, 1967; Whitney, 1975)和“对流模式”。实际上只有少数斑岩铜矿很象某一模式,而大多数矿床兼具两个模式的特点,即为岩浆热液-对流混合模式(Mcmillan, 1980; 任启江, 1989; 秦克章、王之田, 1987, 1993)。秦克章等(1993)以蚀变过程中主、围岩REE变化的互补性、氢氧同位素和流体包裹体特征的垂向变化三方面的证据证实了乌山斑岩铜钼矿中热液对流的存在。聚矿作用发生在垂向范围3~5 km的侵入岩体—侵入体之上的地带内(Thompson et al., 1995),属于深成-热液再循环(对流)成矿系统,围岩亦可提供大量成矿组分(杜琦, 1984; 季克俭等, 1985; 王之田、秦克章, 1988)。

(8)含矿火山—侵入建造及其组合也具有一定可比性,深部源岩前进式熔融和后退式熔融作用均存在。就火山—侵入建造的特点来看,陆相系列分异程度普遍要高一些。

陆相:斑岩铜矿床:矿带(或矿田)内,岩浆杂岩带往往由从偏基性到偏酸性的多种岩性的岩体组成。陆相分异作用比较完整,矿床规模亦较大。

潘古纳铜金矿与辉长岩—闪长岩—石英闪长岩钠质建造有关,相对应的火山岩呈玄武岩—安山岩—英安岩组合,钠质,火山岩中Pb-Zn矿少见;

德兴铜矿与辉长岩—闪长岩—花岗闪长岩钾钠质建造有关,相应的火山呈玄武岩—安山岩—英安流纹岩组合为钾钠质,次火山岩、火山央岩中产有Au矿, Pb-Zn矿;

宾厄姆铜钼矿与闪长岩—花岗闪长岩—花岗岩钠钾质建造有关,相对应的火山岩呈安山岩—英安岩—流纹岩组合,钠钾质,相应的火山—次火山岩中产有Pb—Zn—Ag矿及独立Ag矿床。

海相:超基性—基性火山岩——产有德尔尼型、塞浦路斯型矿床, Cu-Zn、Cu(Co)为主,无Pb或少Pb;

基性—中性火山岩——大红山Cu—Fe矿, 别子型Cu矿, 少Pb—Zn, 有Au;

中性—中酸性—酸性火山岩——伊比利安矿带、黑矿矿床, 呈Pb—Zn—Cu组合, Au低, Ag高;

基性—酸性双峰式火山岩——白银厂Cu—Pb—Zn矿, 含Au;

基性—中性—中酸性—酸性火山岩(或相反序列)——阿舍勒Cu—Zn矿, Aibitibi矿带Cu—Zn型含Au;

单一酸性—中酸性单元火山岩——可可塔勒Pb-Zn矿。

由上述比较可见,相似岩性建造组合(分异情形),产出的矿床其金属组合也有类似之处。

有所不同的是,VHMS 中 Zn、Co 重要一些,斑岩铜矿中以含 Mo 为特征,且陆相中温脉状 Pb-Zn 矿床及浅成低温矿床富 Ag。此差别是与地壳中 Zn、Mo、Ag 的成矿时代差别相一致,即早期富 Zn,晚期富 Mo、Ag。还可能与深部岩浆在源区的熔融特性和岩浆孕育时间长短有关。

(9) 成岩温度相近。据有关资料:玉龙含铜二长花岗斑岩初始岩浆温度为 1050 ~ 1200 (马鸿文,1990);乌山含铜钼二长花岗斑岩熔融包裹体温度为 1115 ~ 1160 (刘继贤,1988;秦克章,1996)。

安徽张八岭石英角斑岩石英斑晶中的岩浆包裹体均一温度为 1030 ~ 1180 (李光麟,1982);白银厂石英角斑岩石英斑晶中岩浆包裹体的均一温度在 1050 ~ 1100 之间(彭礼贵,1982);甘肃永登县辉石细碧玢岩(O_2)的单斜辉石斑晶中发现了原生富钠质岩浆包裹体,均一温度为 1185 ~ 1222 (夏林圻,夏祖春,1989)。

成矿温度比较。陆相斑岩系列矿床中:斑岩铜矿流体包裹体均一温度变化范围较宽(150 ~ 800 °C),其中 Cu 矿成矿温度为 200 ~ 340 °C,Mo 矿 340 ~ 410 °C,Pb-Zn 成矿温度在 150 ~ 270 °C 之间。

VHMS 矿床成矿温度区间也很相似,白银矿床石英斑晶或晶屑中流体包裹体均一温度在 120 ~ 450 °C 之间(刘文武,1982;夏林圻,1985),磁黄铁矿筒形成温度在 340 ~ 350 °C。四川岷村银多金属矿(199.2 ~ 200 Ma)成矿温度在 382 ~ 122 °C,其中脉状、网脉(Chimney)状 PbZn 矿的形成温度为 382 ~ 271 °C,块状 AgPbZn 矿的形成温度为 146 ~ 267 °C。块状重晶石矿为 122 ~ 143 °C (叶庆同,1991)。而现代海底黑烟囱流体温度为 350 ± 6 °C,白烟囱流体温度 < 300 °C (均系直接测定,Haymon et al,1981)。折腰山磁黄铁矿矿筒与黑烟囱流体温度十分接近。因而斑岩铜矿与 VHMS 矿床形成温度相近。

硫同位素对比。中国斑岩铜矿,金属硫化物硫同位素组成结果, ^{34}S 在 +7.6 % ~ -0.54 % 范围内变化,接近岩浆源硫(陈民扬等,1983);VHMS 金属硫化物硫同位素组成测定结果, ^{34}S 在 +11 % ~ -6 % 之间,变化范围稍大一些,但二者仍较接近。后者受海水影响多一些。若按亚类型进行详细比较,将是很有意义的。

3 结论及讨论

综上所述,陆相火山岩—斑岩 Au—Ag—Pb—Zn—Cu 矿床与海相火山岩块状硫化物矿床,在矿床结构、热液蚀变分带、矿化中心、定位空间、矿体延深、成矿系列、多旋回火山岩浆活动与矿床成群成带分布、成岩成矿温度、含矿火山—侵入建造及其组合诸方面比较类似,均存在中间岩浆房,均属于热液—对流循环成矿系统(分属于深成热液—对流再循环成矿系统与火山热液—对流再循环成矿系统)。表明洋底与陆壳背景下火山岩浆活动具有统一的岩浆起源和成矿作用。而二者在矿床品位、规模、硫含量、共伴生元素(陆相矿床富 Ag、Mo)、矿体产状、容矿岩性及矿—岩时差、后期改造作用强度等方面的明显差别,则是由于其岩浆侵位环境(扩张环境与挤压弧系环境)、地壳厚度、定位空间、浅表溶液(水)介质、造山作用的时空演化所造成。

VHMS 矿床的容矿火山岩似乎都是在一种纯大洋环境中就位的,其深部岩浆近于同时喷发;而大陆火山—侵入岩带则带有一些陆壳成分的证据,则推断岩浆上侵过程中与陆壳发生过相互作用。并且对那些大陆区大火成岩区的形成来说,肯定需要孕育作用(持续时间长一些),结晶分异进行得更充分一些。

据此,可将全球若干地区不同阶段的火山侵入活动集中区与地幔喷流柱结合起来,以查明

大陆岩石圈中地幔喷流柱的形迹,并进而逐步逼近幔—壳作用的机理与时空演化。

两类矿床相互关系研究涉及空间组合(有此无彼、有彼无此、前 VHMS 后 VPH 三种)、时空演变、矿床规模变化、矿化组合随地史的演化,应强调成矿继承性与新生性,进而试图寻找东、西太平洋带火山—斑岩矿床规模相差悬殊的原因(东带前期 VHMS 发育,VPH 规模巨大;西带缺乏早期 VHMS,斑岩矿床上规模者少)。

特定地区找矿选区有四种情况:只能找 VPH,只能找 VHMS,两者均不行,两类矿床叠加区,寻找斑岩铜矿—浅成低温金银矿更有利,如我国三江地区、南、北美洲西岸。

该项对比研究所涉及的关键技术主要有以下几个方面:两类火山岩型矿床不同点之区别标志;相似性中之含矿火山—侵入建造形成构造环境之厘定,形成深度的估算(岩石化学法、同位素、地球物理资料);某些矿区多旋回、长期继承性火山—侵入活动及矿化期次之甄别;成矿继承性、基底成分影响之地球动力学控制;时空交替与规模演变。上述唯有通过详细野外调查和多学科综合研究才能逐一解决。

现代矿产勘查已由就矿找矿、方法找矿进入到模式(理论)找矿阶段。以板块构造学说和大陆动力学研究的新进展为指导,矿床与勘查研究已不再局限于单一矿床、矿田或单一类型、单一矿种,而是强调研究矿床、矿带或成矿省的形成环境和演化历史,将其置于地壳乃至地幔的发展演化中去加以探讨。那种矿床类型之间是彼此孤立、没有联系的旧观念终将废除(汪东波,1993)。通过不同学科(矿床学、岩石学、大地构造、地球化学、地史学、地球物理、洋底考察)的交叉和综合,展开对这两种不同矿床类型不同成矿体系的对比及其内在联系的研究,首先有助于澄清长期以来存在的一些模糊认识,同时有助于沿岩石圈演化的轨迹追索不同矿床类型形成的地质时空交替规律及必然联系,进而在更高层次上去探索一些重大地学问题(如深部地质作用、地幔喷流柱、区域地壳演化、成矿省和成矿作用的演化、东西太平洋边缘斑岩铜矿带的差异),并可望得出导向性的宏观准则和微观标志以指导找矿实践。因此也必将有助于我们更准确地进行成矿区带的划分和某些矿带优势矿床类型、优势矿种的选区勘查。

致谢:在思考、准备本文过程中,同 Ishihara Shunso 教授、孙枢研究员、王之田教授、汪东波教授、王玉往高工的讨论使笔者受益匪浅,特致谢忱。

参考文献

- 1 王之田,秦克章,张守林.大型铜矿地质与找矿.北京:冶金工业出版社,1994.162
- 2 王之田,刘湘培,宋叔和.美国西南部斑岩铜矿.当今世界地球科学动向—中国科学家谈第28届国际地质大会,北京:地质出版社,1990.174~181
- 3 王玉往,秦克章.VAMSD 矿床系列最基性端员—青海省德尔尼大型铜钴矿床的地质特征和成因类型.矿床地质,1997,16(1):1~10
- 4 《江西银山铜铅锌金银矿床》编写组.江西银山铜铅锌金银矿床.北京:地质出版社,1996.308
- 5 宋叔和.火山活动与成矿的一些问题.第二届全国火山岩会议论文集.北京:地质出版社,1993.12~16
- 6 汪东波.成矿省和成矿作用的演化—查明矿产分布规律和解决某些重大基础地质问题的关键.有色金属矿产与勘查,1993,2(5):257~263
- 7 李人树.成矿系统分析的理论与实践.北京:地质出版社,1996.262
- 8 姜福芝,王玉往.白银矿田块状硫化物矿床几个地质问题的新认识.有色金属矿产与勘查,1992,1(3):129~139
- 9 涂光炽.关于火山岩型矿床若干问题的探讨.第二届全国火山岩会议论文集.北京:地质出版社,1993.6~12
- 10 秦克章,王之田,潘龙驹.满洲里—新巴尔虎右旗铜、钼、铅、锌、银带成矿条件与斑岩体含矿性评价标志.地质论评,1990,36(6):478~488
- 11 秦克章,王之田.内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床稀土元素的行为及意义.地质学报,1993,7(2):323~335
- 12 秦克章.试论大型—超大型铜矿床的主要控制因素.地质探索,1993,(8):39~45
- 13 秦克章,王京彬,朱思才,等.可可塔勒铅锌矿床地质地球化学特征与火山热水—对流循环成矿模型.首届有色系统青年地质工作者学术讨论会论文集,北京:冶金工业出版社,1995.13~16
- 14 梅友松,汪东波,黄浩,等.同位成矿概论.地质与勘探,1995,31(5):3~14

- 15 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,等. 再论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报,1983,(6):1~52
- 16 Arribas A Jr, Hedenquist J W, Ita Ya T. *et al.* Contemporaneous formation of adjacent porphyry and epithermal Cu - Au deposits over 300ka in northern Luzon, Philippines. *Geology*, 1995, (23): 337 ~ 340
- 17 Campbell I H, Leshner C M, Coad P. *et al.* Rare earth element mobility in alteration pipes below massive Cu - Zn sulfide deposits. *chemical Geology*, 1984, 45: 181 ~ 202
- 18 Hedenquist J W, Lowenstern J B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits *Nature*, 1994, (370): 519 ~ 527
- 19 Lydon J W. Ore deposits models - 8: Volcanic massive sulphide deposits. Part : A genetic model *Geoscience Canada*, 1988, 15(1): 43 ~ 66
- 20 Qin K Z. A comparison of subaerial volcano-porphyry Au、Ag、Pb、Zn、Cu deposit systematics with VHMS analogues. *Proceedings of 9th IA GOD Symposium*, 1994. 533 ~ 534
- 21 Qin Kezhang, Wang Zhitian Pan Longju. Magmatism and metallogenic systematics of the Southern Ergun Mo、Cu、Pb、Zn and Ag belt. Inner Mongolia, China. *Resource Geology Special Issue*, 1995, (18): 159 ~ 169
- 22 Qin K Z, Ishihara S. On the possibility of porphyry copper mineralization in Japanese Islands. *International Geology Review*, 1998 (accepted)
- 23 Sawkins F J. Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. 2nd rev and enlarged. Springer ~ Verlag 1990. 85 ~ 110
- 24 Sillitoe R H. Are porphyry copper and Kuroko-type massive sulfide deposits incompatible. *Geology*, 1980, 8: 11 ~ 14
- 25 Sillitoe R H. Enargite-bearing massive sulfide deposits high in porphyry copper systems. *Economic Geology*, 1983, 78: 348 ~ 352
- 26 Thompson J F H ed. Magmas, Fluids, and Ore Deposits. Mineralogical Association of Canada Short-Course 23, 1995. 525p
- 27 Urabe T. Kuroko deposit modeling based on magmatic hydrothermal theory. *Mining Geology*, 1987, 37: 159 ~ 176

A Comparison of Subaerial Volcano-Porphyry Au, Ag, Pb, Zn, Cu Deposit Systematics With Vhms Analogues

Qin Kezhang

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

Abstract Referring to subaerial volcano-porphyry Au, Ag, Pb, Zn and Cu hydrothermal deposit (VPH) and marine volcanic-hosted massive sulfide deposit (VHMS), they seem to be totally unrelated at first glance but both of them have obvious differences and similarities in fact. For a long time there exists much chaos on them. Tu Guangzhi and Song Shuhe (1993) emphasized discrimination of the subaerial volcanic-hosted and submarine volcanic-hosted deposits. A correlation over the two metallogenic systematics stressed on copper deposit is tackled.

Key words Porphyry copper deposit, Vein Pb-Zn deposit, Epithermal Au Ag deposit, Submarine volcanic-hosted massive sulfide deposit, Difference similarity, Correlation significance