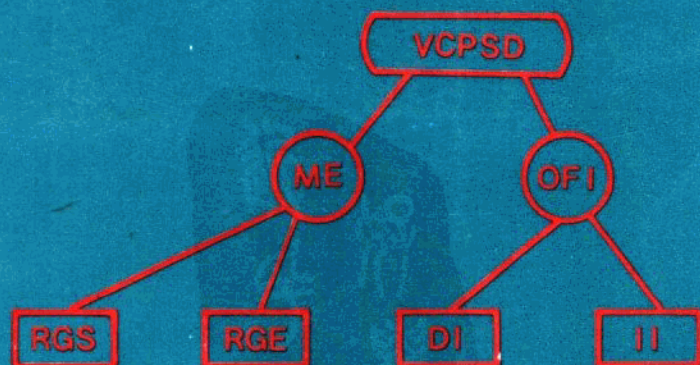


火山岩型铜多金属硫化物矿床

VCPSD 知识模型

宋叔和 韩 发 葛朝华
吴宣志 史大年 著

● 地 质 出 版 社



火山岩型铜多金属硫化物矿床

VCPSD 知识模型

宋叔和 韩发 葛朝华 吴宣志 史大年 著

地 质 出 版 社

北 京

(京)新登字 085 号

内 容 提 要

本书为火山岩型铜多金属硫化物矿床专著。书中重点论述了该类矿床形成的地质环境和找矿标志;并以我国代表性矿床为实例,结合国外一些典型矿床,讨论了不同地质时代、不同金属组合的各种矿床的地质特征。此外,书中还系统介绍了这类矿床成因理论的由来、流行的成因模式、现代海底热液成矿系统及其重要意义。本书还给出了与其配套的电子文本的结构、使用方法及相应的知识网络。它可借助计算机为用户提供找矿咨询服务,也便于读者方便、快速地查找书中任何有关资料。

本书重点突出,内容丰富,并应用计算机技术实现了理论与实践知识的工程化,对从事矿床学、地球化学方面的研究人员、找矿勘探人员及高等院校师生均有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

火山岩型铜多金属硫化物矿床 VCPSD 知识模型 / 宋叔和等著. —北京:地质出版社, 1994.4

ISBN 7-116-01614-7

I.火… II.宋… III.①火山成因矿床:多金属矿床-硫化物矿床-矿床成因论②多金属矿床:火山成因矿床-矿床成因论③硫化物矿床-火山成因矿床-矿床成因论 IV.P618.201 P618.411

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 00875 号

火山岩型铜多金属硫化物矿床 VCPSD 知识模型

宋叔和 韩 发 葛朝华 吴宣志 史大年 著

责任编辑:谭惠静 邢瑞玲

地质出版社出版发行

(100013, 北京和平里 7 区 10 楼)

中国地质科学院 562 印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092 1/16 印张: 6.75 字数: 150000

1994 年 4 月北京第一版 · 1994 年 4 月北京第一次印刷

印数: 1—500 册 定价: 7.00 元

ISBN 7-116-01614-7

P · 1304

前言 (Introduction)

为了继承和发展我国地质矿产专家丰富的知识和他们所开创的事业,地质矿产部制定了“矿产资源地质环境专家系统”规划,开展有关专家知识库的建设工程。宋叔和教授是我国铜城——白银铜矿的开拓者。他长期耕耘于生产第一线,有着丰富的实践经验;他数十年如一日在科研岗位潜心钻研,是我国块状硫化物矿床领域杰出的开创者之一。本文就是对宋叔和教授在火山岩型块状硫化物矿床方面宝贵经验的总结。

近 20 年来,有关块状硫化物矿床的论文浩如烟海,综合性专著亦不下 20 余部。本专著旨在阐明矿床形成的地质环境,以求从大局出发,在高层次上论述理论指导找矿的问题,故作者未采取格式化的著书方式,面面俱到地讨论各个方面。全书由五部分组成,重点在于论述成矿环境。即使在第二部分(找矿标志)中,相当多的内容也是围绕着成矿环境方面有关标志进行讨论的,书中详细介绍葡萄牙超大型 Neves-Corvo 矿床的发现过程就是如此。火山岩型块状硫化物矿床形成于上地壳演化的全过程。实践证明,任何一个较大的构造单元,只要海相火山岩作为其主要组成,那里就有块状硫化物矿化存在。因此,查明成矿环境是研究和寻找块状硫化物矿床的关键。矿床实例(第三部分)主要用来作为感性和理性认识的例子,以便大家在“科学语言”上有一个共同的尺度。当然,在这里我们要特别感谢那些一直战斗在找矿勘探和采矿工业第一线上的地质学家们,是他们积累了如此宝贵的基础资料。第四部分对矿床成因进行了较系统介绍。成因研究不是目的,归根结底还是为找矿实践服务,因为只有理解了的东西我们才能更深刻地去感觉它。

本书第五部分是上述地质理论和实践知识的工程化——VCPSP 知识网络及与本文配套的电子文件的结构与使用方法。把 VCPSP 知识网络装入我们研制的 MODES 专家系统,即可为用户提供找矿咨询服务,也便于读者借助于计算机方便地浏览本文,快速查找所需章节、图件、表格,或者某一典型矿床的有关资料。

当然,关于块状硫化物矿床的形成,尚存许多问题有待深入研究,本书只是部分内容的初步总结,还有诸多方面并未涉猎。结合我国的地质情况,我国地质学家已经为此做出了应有的贡献。当前,块状硫化物矿床已经成了我国地质学界的热门课题之一,随着找矿实践和理论研究的不断深入,必将获得双丰收。

本书编写过程中,参阅了大量文献资料,得到了许多同志的帮助、支持,在此深表感谢。由于水平和时间所限,难免有许多不妥之处,敬请读者指正。

韩发 吴宣志 葛朝华

11-4-1

目 录

GR 要点	(1)
ME 成矿环境	(3)
一、RGEM 适宜成矿的区域地球化学环境	(3)
二、RGSM 适宜成矿的区域地质构造环境	(4)
1. GEFM 有利的大地构造环境	(5)
2. GSMV 适宜成矿的海底火山活动的地质环境	(8)
3. SRS 有利的岩石构造环境	(18)
4. MME 主要成矿时代	(19)
OHI 找矿标志	(20)
一、II 间接找矿标志	(20)
1. DDT 目标区已有矿床(点)发现	(20)
2. IVT 火山岩沿走向加厚区	(20)
3. PMG 出现富锰质硬砂岩、泥质岩石	(20)
4. GGA 地球物理和地球化学异常	(21)
5. POPD 出现成对矿床之一	(22)
二、DI 直接找矿标志	(23)
1. CAZ 特征的蚀变及分带	(23)
2. SCAZ 特征蚀变带规模	(24)
3. POZ 存在硫化物氧化带	(24)
4. MSM 金属硫化物矿化	(26)
EVCPSD 中国火山岩型铜多金属矿床实例	(27)
一、AVCPSD 太古宙火山岩型铜多金属矿床	(27)
1. HTSCZD 红透山铜锌矿床 (Ar_3)	(27)
二、PVCPSD 元古宙火山岩型铜多金属矿床	(30)
1. TKYCD 铜矿峪铜矿床 (Pt_1)	(30)
2. DHSICD 大红山火山岩型铁铜矿床 (Pt_1)	(31)
3. YDGLZD 银洞沟银金铅锌矿床 (Pt_2)	(33)
4. BNMCPD 白乃庙火山岩型铜多金属矿床 (Pt_2)	(35)
5. YMCD 易门铜矿床 (Pt_2)	(36)
6. DSMPD 东升庙多金属矿床 (Pt_2)	(37)
三、PVCPSD 古生代火山岩型铜多金属矿床	(39)
1. BYCCPD 白银厂铜铅锌矿床 (ϵ_2)	(39)
2. XTSLZD 锡铁山铅锌矿床 (O_3)	(41)
3. DBSICD 大宝山铁铜矿床 (D_2)	(43)

4. BLWTCPD 别鲁乌图火山岩型铜硫多金属矿床 (C ₃)	(44)
四、MVCPSD 中生代火山岩型铜多金属矿床	(45)
1. GCPD 呷村多金属矿床 (T ₃)	(45)
GM 成因模式	(48)
一、HR 历史的回顾	(48)
1. SG 同生	(48)
2. BO 角砾状矿石	(50)
3. CZ 绿泥石化带	(50)
4. HBCC 热卤水及其对流循环	(51)
二、AHS 现代热液活动系统	(52)
1. AHSEPR 21°N 东太平洋中脊热液活动系统	(52)
2. AHSA-II DRS 红海阿特兰蒂斯-II (A-II) 海渊热液活动系统	(57)
3. AHSSL 索尔顿湖热液活动系统	(62)
三、MM 成矿模式	(63)
四、SMC 成矿组分来源	(67)
1. SM 金属源	(67)
2. SS 硫源	(71)
3. ICOHSSW 氧、氢、锶同位素组成及水的来源	(73)
五、RTMC 成矿组分的活化及迁移	(76)
六、PO 矿石的沉淀作用	(78)
NKH 知识网络及电子文本	(81)
一、KE 知识的工程化	(81)
1. RIK 推理知识的表达	(82)
2. RCR 控制知识的表达	(84)
二、INVSD VCPD 推理网络	(86)
三、HVSMD VCPD 知识模型电子文本	(89)
CR 结语	(92)
R 参考文献	(95)

Contents

General Remarks	(1)
Mineralization Environment	(3)
1. Regional Geochemical Environment for Mineralization	(3)
2. Regional Geotectonic Setting for Mineralization	(4)
(1) Geotectonic Environment Favorable for Mineralization	(5)
(2) Geologic Setting Suitable for Mineralization of Submarine Volcanic Activity	(8)
(3) Site of Rock Structure Favorable for Mineralization	(18)
(4) Main Metallogenic Epoch	(19)
Ore-Hunting Indicators	(20)
1. Indirect Indicator	(20)
(1) Deposit Discovered Around Target	(20)
(2) Increase in Volcanic Thickness	(20)
(3) Presence of Mn-rich Greywacke and Clayey Rocks	(20)
(4) Geophysical and Geochemical Anomalies	(21)
(5) Presence of One of the Paired Ore Deposits	(22)
2. Direct Indicator	(23)
(1) Characteristic Alteration and Zonation	(23)
(2) Size of Characteristic Alteration Zone	(24)
(3) Presence of Oxidized Zone	(24)
(4) Metallic Sulfide Mineralization	(26)
Examples of Chinese Volcanic-Hosted Copper and / or Polymetallic Sulfide Deposits ..	(27)
1. Archean Volcanic-Hosted Copper, Polymetallic Sulfide Deposits	(27)
(1) Hongtoushan Copper-Zinc Deposit (Ar_3)	(27)
2. Proterozoic Volcanic-Hosted Copper, Polymetallic Sulfide Deposits	(30)
(1) Tongkuangyu Copper Deposit (Pt_1)	(30)
(2) Dahongshan Iron-Copper Deposit(Pt_1)	(31)
(3) Yindonggou Lead-Zinc Deposit(Pt_2)	(33)
(4) Bainaimiao Copper, Polymetallic Deposit (Pt_2)	(35)
(5) Yimen Copper Deposit (Pt_2)	(36)
(6) Dongshengmiao Polymetallic Deposit (Pt_2)	(37)
3. Paleozoic Volcanic-Hosted Copper, Polymetallic Deposits	(39)
(1) Baiyinchang Copper, Polymetallic Deposit (E_2)	(39)
(2) Xitianshan Lead-Zinc Deposit (O_3)	(41)

(3) Dabaoshan Iron-Copper Deposit (D ₂)	(43)
(4) Bieluwutu Copper, Polymetallic Deposit (C ₃)	(44)
4. Mesozoic Volcanic-Hosted Copper, Polymetallic Deposits	(45)
(1) Gacun Polymetallic Deposit (T ₃)	(45)
Genetic Model	(48)
1. Historical Riview	(48)
(1) Syngenetic Origin	(48)
(2) Brecciated Ores	(50)
(3) Chloritization Zone	(50)
(4) Hot Brine and Its Convective Circulation	(51)
2. Active Hydrothermal Systems	(52)
(1) Active Hydrothermal Systems at East Pacific Ridge 21 ° N	(52)
(2) Active Hydrothermal Systems in Atlantis- II Deep, Red Sea	(57)
(3) Active Hydrothermal Systems of Salton Lake	(62)
3. Mineralizing Model	(63)
4. Sources of Mineralizing Constituents	(67)
(1) Sources of Metals	(67)
(2) Sources of Sulfur	(71)
(3) Isotopic Composition of Oxygen, Hydrogen and Strontium and Source of Water	(73)
5. Remobilization and Transport of Mineralizing Constituents	(76)
6. The Precipitation of Ores	(78)
Network of Knowledge & Hypertext	(81)
1. Knowledge Engineering	(81)
(1) Representation of Inference Knowledge	(82)
(2) Representation of Control Rules	(84)
2. Inference Network of VCPSD	(86)
3. Hypertext of VCPSD Model	(89)
Concluding Remarks	(92)
References	(95)

GR 要点 (General Remarks)

产于海相火山岩系(海相喷出—沉积岩系)中的铜多金属矿床与产于陆相火山岩中者明显不同。我国早期称其为黄铁矿型铜多金属矿床⁽¹⁾, 欧美现多称其为火山岩型块状硫化物矿床(Volcanic Massive Sulfide Deposits, 缩写为VMS)。

矿床的形成不受地质历史时间的限制, 从太古宙至现代, 在适宜成矿的环境中均可以出现。虽然因时间和海相火山活动程度之不同, 矿床规模和特征有一定的差异, 但总的说, 这类矿床仍有许多共性:

1. 矿床或矿带多形成于古陆边部的裂隙或断陷带火山活动程度不一的海相火山岩系内。

2. 不论海相火山岩系发育程度如何, 它们主要属于偏碱性岩石, 许多研究者称其为细碧岩—角斑岩—石英角斑岩组合⁽²⁶⁾。

3. 较大型的铜多金属矿床多产于酸性喷出—沉积岩相中, 或喷发间歇沉积岩带内, 上覆为中—基性火山岩和(或)火山碎屑岩、沉积岩。而许多较小型的古代铜、锌矿床和现代洋脊火山岩系中的矿床则与基性和超基性岩伴生⁽²⁵⁾。按照矿体围岩性质可分为(a)夹于熔岩—次火山岩间的凝灰岩和凝灰质岩层中的矿床和(b)位于偶见凝灰岩的凝灰质岩及喷流岩中的矿床两大类。第一类中又可分为(I)中酸性特别是酸性岩浆活动后期形成的矿床和(II)基性岩浆活动后期形成的矿床。两大类可依次以阿拉善古陆边部加里东优地槽褶皱带中的火山岩型矿床(a)和狼山近似优地槽褶皱带中的中元古代火山岩型矿床(b)为例。(I)和(II)的例子在祁连山系有白银厂铜铅锌矿床和银洞沟铜(锌)矿床。后者大体相当于塞浦路斯型⁽²⁷⁾, 前者大体相当 Rio Tinto 型⁽³¹⁾。

4. 火山岩型矿床的矿体, 常呈长扁豆体状、层状及似层状, 其下部或侧部常出现岩筒状或似层状的细脉浸染状矿体。硫化物矿体上部常出现一层角砾状凝灰质千枚岩(类似补钉状)或硅质铁质锰质岩, 有时其中可出现石膏、重晶石和菱铁矿。在西班牙 Rio Tinto 它被称作“过渡层”, 在其上部则过渡到不含矿的正常海相沉积或另一期熔岩。

5. 硫化物矿化带具明显的蚀变现象, 通常为绢云母化和绿泥石化以及接近矿体的硅化。碳酸盐化也比较显著, 特别是矿体发育处和矿化带靠上部位。如白银厂折腰山上部的铁白云石化, 部分可能属菱铁矿和菱铁镁矿⁽⁶⁾。

6. 矿床具有明显的金属分带, 下部或中心部位以铜为主, 上部或侧部以铅锌为主。这一分带现象可以 $Cu/(Cu+Zn+Pb)$ 比值的逐渐降低来表示。

7. 矿体的矿石矿物主要是黄铁矿和(或)磁黄铁矿, 伴以不同数量的黄铜矿和(或)闪锌矿、方铅矿。Hutchinson (1973)⁽²⁴⁾按金属成分将火山成因块状硫化物矿床分作3类:(a) 锌—铜型;(b) 铅—锌—铜型;(c) 含铜黄铁矿型。我国祁连山的火山岩型矿床则可分为铅—锌—铜型、锌—铜或铜型和铅—锌型。主要矿石矿物虽较简单, 但是伴生的微量和少量的矿物则往往比较复杂。以我国白银厂矿床为例⁽²⁾, 含有毒砂、辰砂、黄锡矿、方黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿和一些硫盐矿物(如车轮矿、砷黝铜矿、硫砷铜矿、脆硫锑铅

矿、硫锑铜银矿等)。根据我国选冶工艺,至少可以回收 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Cd、In、Tl、Se、Bi、Sb 和 S,以及少量铂族元素等。国外有些矿床还可回收 Sn。

火山岩型矿床是被人类最早利用的金属矿床之一,所以对矿床特征方面的认识比较深入,并积累了许多找矿经验。近几十年来由于探采技术不断发展,矿床研究不断深化,特别是洋脊火山岩型现代矿床的发现,人们对此类矿床的成因已有了渐趋一致的看法。最早有些研究者认为块状矿体系来源于岩浆分异的矿浆,后来认为矿质是来自酸性岩浆残浆(先认为来自花岗岩,后来认为来自酸性火山岩,即岩浆热液和(或)火山热液)。近来国外一些学者则根据成矿的3个重要因素——矿质来源、流体运移形式和矿质沉淀环境,相继提出并逐步被广泛承认的成矿模式,如早期由 Hutchinson 提出的 $Zu-Cu$ 和 $Pb-Zn-Cu-Ag$ 成矿示意图⁽²⁴⁾,后来许多研究者对日本黑矿、乌拉尔铜多金属矿床等提出了各自的成矿示意图⁽³⁶⁾。总的讲,他们都认为矿体是在海底热液系统喷出口及其附近形成的,热液对流由次火山岩浆驱动,热液从岩石中淋滤出金属,在适宜的地质环境中沉淀成矿⁽²⁸⁾。

ME 成矿环境 (Mineralization Environment)

海相火山岩岩浆活动和与其密切相关的喷出-沉积活动与陆相火山活动和其喷出-沉积作用有很大的区别。前者规模大,延续时间长,在地球发展过程中,几乎各个时代均有海相火山活动,但比较明显的是太古宙科马提岩和富钠质的火山岩岩浆活动,早元古代—中元古代的近地槽式海相火山活动和古生代—中生代的优地槽式火山活动,以及现代在洋脊地带见到的大量基性岩。而陆相火山岩则相对规模小,分布亦比较局限,现知其主要分布于太平洋边部。在岩性上海相火山岩多富钠质,并且熔岩和凝灰岩较多,特别是夹沉积岩的凝灰质岩多,更是一大特点。因为海底地形复杂,所以既可以在盆地内沉积厚度大范围小的凝灰岩和凝灰质岩,亦可以沉积宽广的能作为标志层的凝灰质岩层。它与陆相火山岩不同,集块岩少,而喷发角砾岩则较多。

海底喷发-次火山活动可以分作两类:一类是中酸性火山岩岩浆活动在前,基性岩浆活动在后;一类是仅有基性岩浆活动,或基性岩浆活动在前,中酸性岩浆活动在后。这两类火山活动环境均可形成火山岩型矿床,但是由于火山岩岩石组合和喷发环境不尽相同而在矿床类型上和规模上有差异。因此,成矿是受区域地质构造、区域岩石化学环境控制的。目前国内外对成矿区域地质构造研究得比较深入,但对区域岩石化学,特别是区域岩浆演化、岩石区域地球化学研究则尚感不足。我国与欧美的研究程度更有差距,这就影响了我们对一些火山岩带成矿规律的深入认识。

一、RGEM 适宜成矿的区域地球化学环境 (Regional Geochemical Environment for Mineralization)

从大区域上讲,火山岩型多金属硫化物矿床的区域地球化学环境资料还远不够系统,总的认为赋矿带岩石多属偏碱性。熔岩和次火山岩以及凝灰岩和含火山物质稍多的凝灰质岩石相对富于钠质。与其伴生的硬砂岩、凝灰质千枚岩亦富钠,甚至同期稍晚的中酸性侵入岩亦含较多的钠质长石。这一富钠的岩组就是细碧-石英角斑岩系列。

火山岩系中断续出现的火山岩型矿床、矿区乃至矿带多位于火山热液活动相对强烈的区带。该区带中的火山岩又往往蚀变明显,一些元素发生明显迁移,特别是矿床中近矿体部分钾质代替了钠的富集,富钠部位反变为矿床的间接标志。北欧挪威等国●根据区域岩石化学特征,提出在区域变质岩系中先用岩石学方法圈出海相火山岩系,再用化探方法于其中圈出富钠质的区域,进而于其中选出钾、硅、镁相对增高部位,再结合是否有微弱黄铁矿化,即可进行普勘工作。

●宋叔和, 1973, 关于国外黄铁矿型铜矿的一些问题, 西北地质科技情报, 第1期。

与火山岩浆活动有直接间接关系的热流体活动, 导致流体中的矿质部分集中形成矿体, 大部分金属可能分散形成地球化学晕。火山岩型金属硫化物矿床亚类较多, 每一亚类都有其比较复杂的金属晕。例如块状硫化物铜多金属矿床矿质比较复杂, 在矿体中常含有硫酸盐矿物, 除 Cu、Zn、Pb、Ag、Au、As、Ba、Mo、Co、Mn 等元素外还常见 Sb、Tl、Hg 等元素。西班牙等国普查此类矿床时曾用土壤汞晕测量法, 研究隐伏矿体是否存在, 同时还可探索普遍出现于矿化岩体之上的铁质和硅质岩中的 Ce、La、Yb、Sm、Tb、Lu 和 Eu 等稀土元素异常⁽²⁶⁾。

以北祁连山加里东优地槽为例, 南部带(产出块状硫化物铜和(或)多金属矿床、铬铁矿床、铁锰矿点)海相喷出—沉积岩及同期稍后的中、酸性侵入岩以及辉绿、辉长—超基性岩(斜辉辉橄岩为主)的区域岩石化学显示富钠、铁和镁的特征; 而其北部带地槽回返期的沉积岩和侵入岩(花岗闪长岩、花岗岩)则呈现出贫钠、富钾和钙的岩石化学特征, 未见火山岩型矿床。

二、RGSM 适宜成矿的区域地质构造环境 (Regional Geotectonic Setting for Mineralization)

火山岩型多金属硫化物矿床一般规模较大, 块状硫化物矿床的矿体长度可以达到千余米, 宽达数百米, 延深数百米; 总矿石量可达几亿吨, 金属量最大者近千万吨, 一般为几百万吨。蚀变范围和(或)类似的赋矿组合可以比矿化范围超出数至 10 倍。形成这样大的蚀变—矿化地质体, 特别是再由许多这样的矿床构成的几十至几百公里的块状硫化物成矿带, 就必须具备特定的地质构造环境。明显的例子是现代洋中脊热液活动成矿环境⁽²⁵⁾。在这种地质构造环境中, 我们已发现两种类型的矿床: 一类为块状硫化物矿床, 赋存于火山岩中; 一类赋存于凝灰质沉积岩和沉积岩中(国外文章一般称其为 Sediment-hosted)。前者可以近北美的东北太平洋 Juan de Fuca 脊的轴海山(Axial Seamount)的大火山岩区的矿化为例, 在海深近 1500m 的破火山口(21km²)的边部和内部断裂处, 含矿热液活动频繁, 形成了现代的矿床; 后者可以位于上述轴海山东北的 Escanaba 槽为例, 它位于海水 3200—3300m 以下, 基底岩石为基性火山岩, 其上覆为厚逾数百米的浊积岩(著者认为它包括凝灰质岩)并含有一定数量的基性岩。在此凝灰质沉积岩和沉积岩中赋存有所谓的 Sediment-hosted 块状硫化物矿床。就初步研究资料看, 含矿热液流体曾与沉积岩发生广泛相互作用。

与陆相火山活动环境相比, 海相火山活动具有以下一些特点: (1) 海水有足够的深度可防止上升的含矿热液流体在水—岩界面上发生沸腾散失; (2) 大的断裂控制海底火山活动, 小的断裂和适宜的岩相控制热流体活动, 拗陷区带控制含矿热液流体的集中; (3) 根据近火山活动中心及远火山活动中心的喷出—沉积, 特别是沉积—喷流沉积的成岩环境和赋存于其中的火山岩型矿床的不同特征, 将成矿环境分成喷出—次火山岩和喷出—沉积—喷流沉积两大类。它们均处于由深海还原泥质岩环境向浅海碳酸盐环境过渡处; (4) 应用现代大地构造对海相火山活动区带的划分, 主要成岩成矿环境是大陆边缘活动带和大陆裂谷带, 其次是洋壳火山岩成矿区、带。我国的明显例子是祁连山中央隆起和阿拉善古陆间的北祁连山优地槽, 它可能属于大陆裂谷。

1. GEFM. 有利的大地构造环境 (Geotectonic Environment Favorable for Mineralization)

这个问题可以从两方面来探讨:一是按槽台观点;一是按现在风行的板块构造观点。我国以往发现此类矿床不多,特别是对已发现的矿床是否能延展形成带,由于缺少大比例尺地质填图,因而缺乏足够的研究,所以对出现于鞍山群绿岩带中的红透山矿床,早元古代的大红山、中条山矿床等的大地构造环境,仅能说它们是出现于古陆边部断陷近似优地槽内形成的以铜为主的赋存于火山岩系中的矿床。古生代优地槽褶皱带中的块状硫化物矿床,因为它们断续出露已构成成矿带,所以其大地构造环境已比较清楚。现多将其归属于古陆边部优地槽早期海底火山活动成矿作用的产物。如祁连加里东期黄铁矿型矿床成矿带(祁连中央隆起带边部)、新疆境内与原苏联相连的阿尔泰成矿带(加里东褶皱隆起带边部)。近期许多研究者运用板块观点将其和三江发现的岬村矿床均归属于岛弧火山活动成矿作用,而不用古陆边缘断陷优地槽内火山活动成矿的观点。

国外对伊比利亚海西期黄铁矿型矿带和阿巴拉契亚加里东期块状硫化物矿带研究的结果,将前者归属于板内裂谷,将后者的矿床分属于早期离散板块边缘、洋底和汇聚板块边缘等构造环境。

可见,硅镁壳之上的含铜黄铁矿型矿床反映的是增生板块边缘的构造环境,是在大洋中脊扩张中心形成的。其余3种火山岩型块状硫化物矿床显然是沿消亡板块边界在不同的时间和(或)在不同的构造位置上产生的。其中原始型矿床反映的很可能是早期岛弧环境分异的拉斑玄武质到钙碱性直至硅-碱性的火山作用。铜-锌型块状硫化物矿床显然是在弧前海沟环境中形成的,锌-铅-铜型多金属矿床则是弧后盆地或更年轻的火山弧环境的典型产物。

板块构造活动很可能是地球上近十亿年的地质事件,那么十亿年以前,特别是太古宙、元古宙早期块状硫化物矿床形成的地质构造背景如何呢?太古宙早期,在原始薄地壳内线性裂谷作用引起来自地幔的超基性—基性岩浆活动。这种类型的岩浆活动连续进行,造成重力的不稳定性,老“洋壳”沉降后经过部分重熔和改造,发生“第二次地壳分异”,产生似岛弧型火山作用的厚层分异火山岩系。原始型的锌-铜块状硫化物矿床产生于分异的火山岩系顶部,典型的例子是加拿大太古宙中的原始型块状硫化物矿床。太古宙晚期—元古宙早期,陆壳裂谷作用变为主要的构造作用,导致较老的未成熟的原始型块状硫化物矿床重现。又由于陆壳增厚的缘故,也导致演变为较晚期的多金属型块状硫化物矿床出现。

明显出现于古陆或隆起带边部优地槽中的矿床,可以我国北祁连加里东期 VMS 和葡萄牙—西班牙伊比利亚华力西 VMS 为例(图 1、2、3、4)

(1) CMAZ 大陆边缘活动带 (Continental Marginal Active Zone)

研究比较详细的大陆边缘活动带是南美安第斯山系。该带岩浆作用发生在硅铝质大陆地壳之上,陆相火山岩以酸性为主,亦有安山岩和大量的熔结凝灰岩与同期的花岗岩类。它们主要属于钙碱性,在一些地区如秘鲁的中部和北部的白垩纪海相火山岩系中就发育有块状硫化物矿床。另一个研究比较详细的是阿巴拉契亚造山带,研究者将其分为沿断陷的劳伦琴古陆边缘海底火山岩系中的矿床、洋底火山岩系的矿床和汇聚板块边缘的众多块状硫化物矿床。

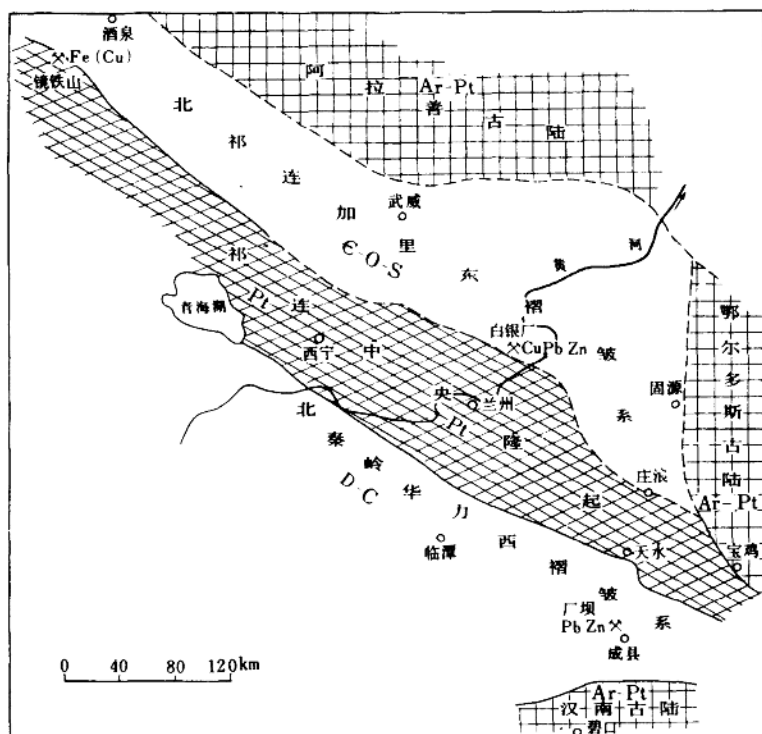


图1 北祁连加里东期火山岩型金属矿床分布示意图

(2) CR 大陆裂谷 (Continental Rift)

赋存众多块状硫化物矿床的大陆裂谷的实例有乌拉尔和伊比利亚两个黄铁矿型成矿带。前者出现多期火山活动，而后者仅有一期，但赋存矿床的海底火山喷发-次火山岩据报道主要属于偏碱性即细碧-石英角斑岩石系列。伊比利亚火山岩浆活动并不发育，在葡萄牙境内未发现大的浅成侵入岩体，而在西班牙境内，特别是 Rio Tinto 矿区则出现一组花岗岩类侵入体，研究者⁽²⁶⁾认为它们与海相火山岩浆活动有一定联系，特征的酸性侵入岩是 Trondhjemite (奥长花岗岩)。

(3) IA 岛弧 (Island Arc)

从块状硫化物矿床出现的岛弧实例讲，日本岛弧最多地为人们所引用。从岩石组合分布特点看，在横切岛弧接近海沟处为拉斑玄武质火山岩，渐次变为钙碱性岩至碱性岩，至距海沟甚远处为橄榄玄粗质火山岩类。在岛弧内带出现一长 1500km，宽 100km 的 Green tuff 分布带，其中形成了许多黑矿型矿床⁽²⁹⁾。这些矿床产在破火山口中，而火山活动则是受基底断裂控制。钙碱性岩以酸性熔岩占优势，岩石以钠高于钾而钙较低为特征。岛弧火山活动与裂谷蛇绿岩带不同，它缺少超基性岩，而与区域岩浆特点相一致。块状硫化物矿床以铅锌为主，其次为铜。

(4) FEOC 洋壳内部断裂火山喷发带(Fissure Eruption Zone within Oceanic Crust)

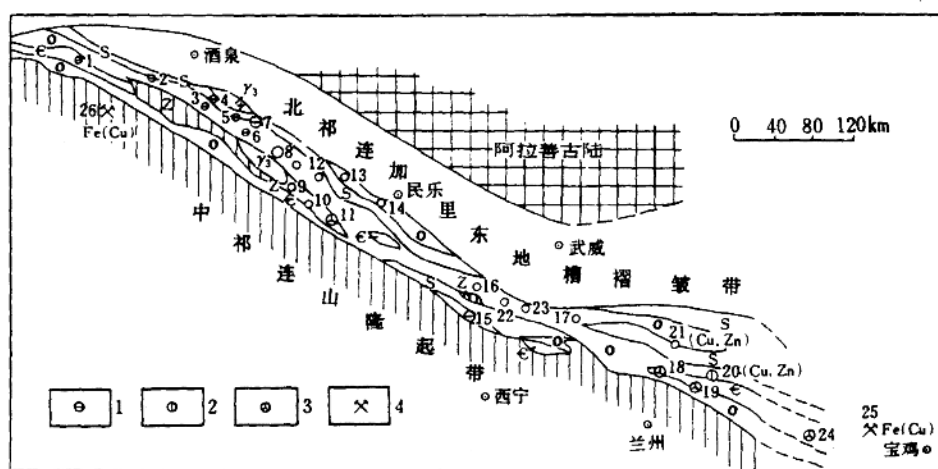


图2 北祁连山地槽褶皱带火山岩型铜和(或)多金属矿床(点)分布示意图

1—黄铁矿型铜矿; 2—黄铁矿型铜锌矿; 3—黄铁矿型铜铅锌矿和铅锌矿; 4—其他时代不同类型矿床(点); 1—凤凰山; 2—二道沟; 3—5051高地; 4—松木沟; 5—金龙河; 6—香台子; 7—皂矾沟; 8—九个泉; 9—大岔; 10—寺大隆; 11—大柳沟; 12—天桥湾; 13—西水; 14—红牙窑; 15—红沟; 16—直河; 17—干札子; 18—石膏棚; 19—白银厂; 20—银洞沟; 21—猪咀嘎吧; 22—阿潘; 23—大牛头沟; 24—蛟龙掌; 25—陈家庙; 26—镜铁山

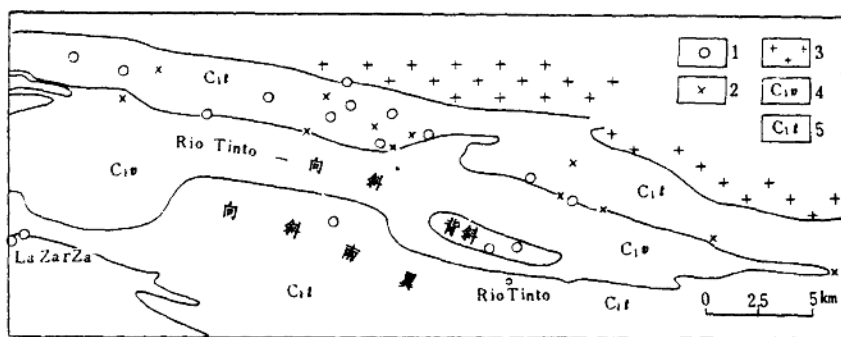


图3 Rio Tinto 区块状硫化物铜和(或)多金属矿床分布示意图

(引自 Werner Schutz, 1985)

1—块状硫化物铜和(或)多金属矿床; 2—锰矿床(点); 3—奥长花岗岩; 4—下石炭统布瓦组; 5—下石炭统杜内组

海洋地质调查⁽²⁵⁾结果表明, 和洋中脊共生的基性火山岩形成于中央裂谷。火山活动呈裂隙式喷发, 大量喷发可以形成盾形火山。形成于洋脊附近的裂隙和断裂随着岩石圈破裂向外扩张而调整, 促使火山丘裂解。在岩丘边部或岩丘内断裂拗陷处, 由于含矿热流体的活动, 形成了许多大小不一的块状硫化物矿床。在接近大陆部分, 于火山岩基下陷的上部, 沉积有陆源和火山喷发源的富含火山物质的沉积岩层, 含矿流体通过断裂深部也可以

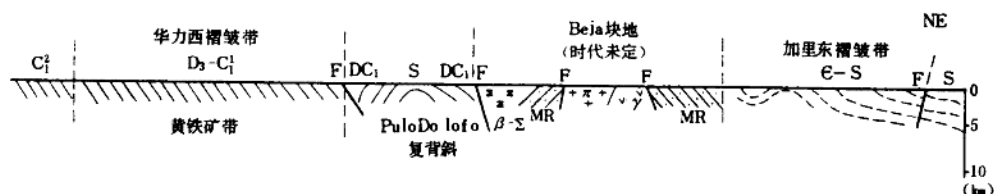


图4 葡萄牙黄铁矿带区域地质剖面示意图

(引自葡萄牙地质调查所, 1979, 《葡萄牙地质》, 1: 60 万)

C₁—石炭世库尔木阶复理石建造; C₁—早石炭世杜内阶含矿火山岩系; D₃—晚泥盆世法门阶干枚岩石英岩系; S—志留系砂岩板岩夹酸性火山岩; O—奥陶系燧石岩、灰岩夹酸性火山岩; E—寒武系白云岩, 上部为中性火山岩, 白云岩层中有铅锌矿床; β-Σ—基性岩—超基性岩; π—斑岩; γ—花岗岩; MR—变质岩 (时代不明)

排泄到上部沉积岩中, 形成所谓 Sediment-hosted 火山岩型铜和 (或) 多金属矿床。

2. GSMV 适宜成矿的海底火山活动的地质环境 (Geologic Setting Suitable for Mineralization of Submarine Volcanic Activity)

显生宙特别是其后期, 除海相火山岩继续发育外, 陆相火山活动也极发育, 如环太平洋南北美和中国东部的中生代陆相火山岩浆活动。它们与中国西部中生代海相火山活动不同, 形成了另具特色的与次火山—浅成酸性岩浆活动有关的金属矿床。而在现代洋脊和古代海相火山活动区, 则在喷发—次火山活动中心区形成块状硫化物铜多金属矿床, 在近大陆火山岩和覆以较厚的凝灰质和泥质沉积岩拗陷区, 亦能形成多呈层状的多金属块状硫化物矿床, 它们往往是成对出现, 可见它们有很大的差别。我国北祁连加里东地槽带则显示了另一成对矿床 (带) 现象。在靠近祁连中央隆起带古陆的断陷地槽内, 寒武纪细碧—角斑岩—石英角斑岩海相火山岩岩浆活动区, 形成一系列的铜多金属矿床, 而远距大陆以早奥陶世基性喷出—沉积为主的地带则出现规模较小但亦断续呈带的铜锌矿床 (图 5), 明显是由于海相火山活动有了质的变化所致。这一成对现象与现代洋脊不同, 但在基性海相火山岩分布区, 是否亦能形成成对矿床, 值得进一步研究。

(1) DWE 深水环境 (Deep Water Environment)

前已述及, 这类大型矿床的形成, 势必牵涉到矿质来源、流体运移和沉淀作用三大方面的问题。从现代洋脊成矿和古代矿床的地质环境分析, 均可以看出块状硫化物矿床的形成需要具备一种较深的海底喷发环境。海底火山喷发不同于陆上喷发之处, 最明显地是在较大深度水柱压力下, 喷发物质不致于大范围地散失, 成矿流体由通道上升到壳面不致逸散。同时深海区是还原环境, 有机质丰富, 对金属物质沉淀有利。

(2) NVC 火山活动旋回次数 (Numbers of Volcanic Cycle)

海相火山活动与陆相火山活动不同, 一般由基性到中性、酸性再到基性, 而由酸性到中、基性再到酸性的旋回不多。著名的国内外块状硫化物矿床火山旋回均主要为一次, 多次旋回者火山岩厚度薄, 火山活动性强, 不利于成矿。

(3) SMA 与成矿有关的火山岩浆活动次序 (Common Sequence of Magma Activity)

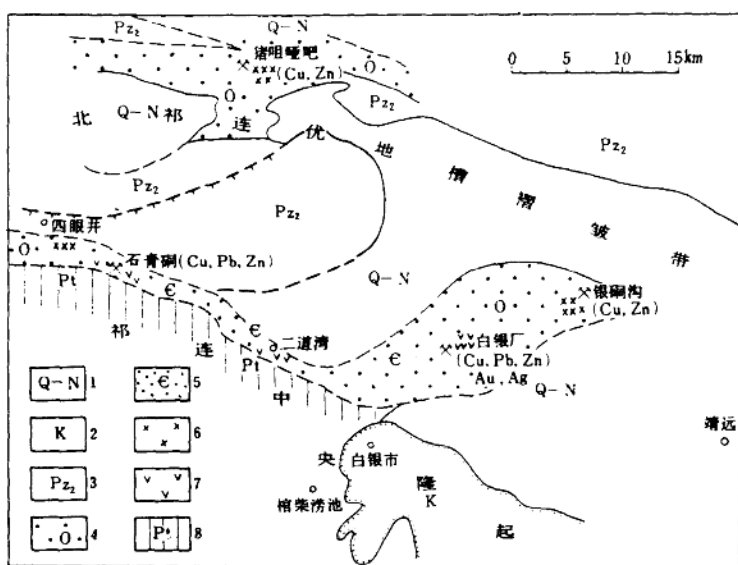


图5 白银厂矿区及其外围小矿床、矿点分布示意图

1—第四系—第三系；2—白垩系；3—上古生界；4—奥陶系；5—寒武系；6—基性火山岩；7—酸性火山岩；8—元古宇

古代块状硫化物矿床赋存的岩浆活动环境与现代洋脊玄武岩浆活动不同。以古生代伊比利亚和祁连山褶皱带的岩浆活动次序为例，早期主要是酸性、中性火山活动，嗣后是大规模的基性岩浆活动和（或）超基性岩浆活动，最后在造山期侵入形成以奥长花岗岩、英云闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩等为主的中酸性岩体。矿体赋存于酸性火山岩接近基性岩处，成因与后期侵入岩无关。靠近原苏联的阿尔泰矿区的新疆，火山岩浆活动次序有类似情况。值得探讨的是，对一个基性、中性、酸性火山岩浆多期活动的构造环境，如何正确地划分次序的问题，如先基性后酸性，还是先酸性后基性，就需要从区域地质以及岩石学方面做过细的工作。隐生宙的矿床常常因为地层倒转而将次序弄错，或者由于传统地坚持基性到中性到酸性的演化序列而将层序搞乱。

a. C-FVE 中心喷发演变为裂隙喷发 (Central to Fissure Volcanic Eruption)

在一些大陆边缘断裂带中形成的大规模海底火山活动，虽然不只一期，但多期活动时也总显示出一种由弱至强再转弱的现象。以祁连山系中北祁连的海底火山喷发活动为例，据多年区域地质调查的研究^①已了解到早古生代的海相火山活动可以分作早、中、晚3个阶段。早期中寒武世火山活动属于中心式强爆发式，以中酸性岩为主，沿北祁连与中央

①全国跨省（区）重要成矿带汇总，第二十项协作小组，1983，北祁连—北秦岭铜硫成矿带成矿远景区说明书（上册）。