

中国地质科学院

矿床地质研究所所刊

1982 年 第 3 号

(总第 5 号)

地质出版社

中国地质科学院

矿床地质研究所刊

1982 年 第 3 号

(总第 5 号)

地质出版社

中国地质科学院
矿床地质研究所所刊
1982年 第3号
(总第5号)

*

矿床地质研究所编
(北京阜外百万庄)
责任编辑: 谭惠静 张肇新
地质出版社出版
(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: $9^{7/8}$ 字数: 231,000
1982年9月北京第一版·1982年9月北京第一次印刷
印数: 1—2,870册·定价: 1.50元
统一书号: 15038·新848

目 录

矿 床 地 质

黄铁矿型铜和多金属矿床——世界范围内一些主要矿带和矿床类型的对比

- 及研究趋势.....宋叔和 (1)
热液矿床的三源表成热液成矿模式.....季克俭 吴学汉 张国炳 (35)
冀北辽西斑岩型铜铅矿成矿规律.....王吉琚 余和勇 (47)
宝顶煤田煤分层对比.....刘忠平 (59)

矿物·岩石·成矿作用

- 湖北Q盆地下第三系盐类矿物.....徐其俊 刘 群 陈荣林 (67)
山东淄河铁矿矿石矿物特征和围岩蚀变的初步研究.....施允亨 宋世民 (79)
马坑铁矿流体包裹体研究及成矿作用探讨.....李荫清 陈伟十 (91)
金伯利岩中钛铁矿的电子探针研究.....周剑雄 周科子 方业龙 (103)
重砂矿物激光光谱定量新方法.....丁孝石 (115)
关于金云母-磷灰石地质温度计.....吴思本 徐志刚 (121)

测 试 方 法

测定辰砂单矿物中硫同位素组成——酸溶、提纯、热分解 BaSO_4

- 制备供质谱仪分析的 SO_2 的方法.....吴静淑 冯江华 (123)
通过 Ag_2S 制备硫同位素分析样品 SO_2 的方法.....白瑞梅 吴静淑 冯江华 (131)
金属铀法分析自然水中的氡.....冯江华 樊天益 新增力 (139)

述 评

- 矿产资源评价问题概述.....朱裕生 (145)

BULLETIN OF THE INSTITUTE OF MINERAL DEPOSITS, CHINESE ACADEMY OF GEOLOGICAL SCIENCES

No.3, 1982 (Serial Number:5)

CONTENTS

Geology of Mineral Deposits

- A Study of Pyritic Copper and Polymetallic Mineral Deposits(Cu,Pb,Zn):
the Correlation and Research Tendency of Some of the Worldwide
Mineral Belts and Ore Deposit Types*Song Shuhe* (30)
- The Hypergene Hydrothermal Model of Mineralization Based on
Three Sources — A Discussion on the Genesis of the Hydrothermal
Deposit*Ji Kejian et al.* (45)
- Metallogeny of Porphyry Copper-Molybdenum Deposits in the Northern
Hebei—Western Liaoning Area.....*Wang Jijun and Yu Heyong* (58)
- The Correlation of Coal Seams in Baoding Coal Field,Dukou,Sichuan
Province.....*Liu Zhongping* (66)

Mineralogy·Petrology·Mineralization

- The Eogene Saline Minerals in Q Basin, Hubei Province.....
.....*Xu Qijun et al.* (78)
- A Preliminary Investigation of the Mineralogical Characteristics of Iron
Ores and the Wall Rock Alteration in Zihé Iron Deposit, Shandong
Province.....*Shi Yunheng and Song Shimin* (89)
- A Study of Fluid Inclusions from Makeng Iron Deposit with An
Approach to the Mineralization*Li Yingqing and Chen Weishi*(100)
- A Preliminary Study of Ilmenites from Kimberlites by the Electron
Probe.....*Zhou Jianxiong et al.* (114)
- A New Method for Laser Spectrum Quantitative Analysis of Heavy
Minerals*Ding Xiaoshi*(120)
- On a Phlogopite-Aptite Geothermometry.....
.....*Wu Siben and Xu Zhigang*(122)

Methods of Chemical Analysis

- The Determination of Sulfur Isotopes in Cinnabar — A Method of
Preparing SO₂ for Mass Spectrometer Analysis through Acid Dissolu-
tion,Purification and Decomposition of BaSO₄ by Heating
.....*Wu Jingshu and Feng Jianghua*(128)
- A Method of Preparing SO₂ Sample through Ag₂S for Sulphur Isotopic
Analysis*Bei Ruimei et al.*(138)
- The Analysis of Deuterium in Natural Water using Metallic Uranium
Method.....*Feng Jianghua et al.*(143)

Review

- An Outline of Mineral Resources Assessment.....*Zhu Yusheng*(153)

黄铁矿型铜和多金属矿床

世界范围内一些 主要矿带和矿床类型的对比及研究趋势

宋叔和

(矿床地质研究所)

甲、黄铁矿型铜和多金属矿产资源仍 具有较大的潜在远景

一、古时容易发现这类矿床的原因

黄铁矿型铜和多金属矿床,在国外习称为块状硫化物矿床,苏联地质界称其为含铜黄铁矿。这种矿床是世界上发现最久,研究最久的矿床之一,也是各国开采利用时间最长的矿床之一。英文 Copper 一字就是来自拉丁文“Cuprum”即“Cyprus”(塞浦路斯),因为塞浦路斯国自古就盛产黄铁矿型的铜矿。

古代之所以能最早开采利用这种矿床,主要有以下各种原因:矿床上部往往是块状硫化物,出露地表后,容易风化成铁帽;古人在开采此类铁矿时,易于发现下部富集的铜矿;由于淋滤作用,铁帽下部金、银常较富集,开采铁帽下部富集的金、银时,自然容易发现下部硫化物铜矿体;此类矿床含金属硫化物比较复杂,氧化后特别是在干燥地带,往往形成各种氧化矿物和矾类矿物,颜色常鲜艳多彩,引人注目;矿床常具有明显的硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化等明显蚀变带,很容易与不含矿岩石分开;矿体受某一海相火山岩组,特别是酸性火山岩层控制,常簇聚成群,沿一定岩相断续出露,找到一矿体后,可能发现其它矿体;矿石品位较高,易于为古人冶炼利用。

六百年前^①我国开采的白银厂和金矿沟金银矿就可能是由于上述一些特点而被发现的。解放前后通过许多方面地质工作者的调查研究,才确定了此金银矿为黄铁矿型多金属矿床^[1,2,3]。

二、现在有些国家还不断发现这类矿床的原因

古时多开采黄铁矿型矿床,就是现代,有些国家的铜产量也主要依靠黄铁矿型铜和多

① 据白银厂碑文记载“若我白银厂凤凰山旧有古庙三圣庙焉,何时创修不知其详,自大明洪武初年重修,苗引四方...”

金属矿床。首先是因为这些国家具备形成此类矿床的海相火山岩浆活动的地质背景；同时因为近几十年来对这类矿床的控制条件和分布规律有了进一步的认识，对于选冶开采黄铁矿型矿床矿石技术也有了很大的提高。

各国通过长时间和大量的普查勘探工作，逐步取得了比较相近的见解，即矿床主要出现于海相火山活动带，特别是有些矿床出现于奥菲奥岩组(Ophiolite)的次火山活动区。以火山岩、基性侵入岩和超基性侵入岩为组员的奥菲奥岩组，多呈带状分布，伴生的黄铁矿型矿床亦断续分布，普查时顺火山岩带追索，常易成功。

矿床常具有比较明显的分带。较大的黄铁矿型多金属矿床往往是上部或边部为铅、锌或黄铁矿体，向下逐渐变为含铜黄铁矿体，最下部或下盘则为网状、脉状和浸染状黄铜矿或黄铁矿-黄铜矿体。这类矿床中的铜往往富集于中、下部。古时不能进行采掘的中深部位，利用现代技术，就矿找矿，国内外一些老矿区均扩大了远景，找到了许多铜矿体，而且在找铅锌矿时，于一些矿床的下部探到铜矿。这样使早期“块状黄铁矿型铜矿”概念已发展到包括浸染状矿体在内的“黄铁矿型多金属矿床”。

早期认为黄铁矿型矿床的矿物组合比较简单，现在由于选冶技术进步，知除去黄铁矿可以大规模利用，具有较大经济价值外，金属方面可以利用的不但有铜，而且有锌，某些矿床还有铅或钴，同时还可以不同程度的回收金、银、镉、硒、碲，有些矿床还可以回收少量铂族、锡、铋甚至钼、汞等金属。我国此类矿床采用选冶联合工艺，可获得电铅、精锌、电金、电银、硫精矿、铜精矿以及一些其它金属等。日本、苏联这类矿床矿石的各种金属回收情况相似，回收率更高，综合利用系数也高。

因为这些矿床的物质成分导源于比较复杂的岩浆，故硫化物成分亦比较复杂，例如以加拿大、日本、我国祁连山等矿床为例^[1,3,13]，综合起来它们的矿物组合包括简单硫化物、复硫化物、氧化物和其它矿物等：

简单硫化物：黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿、伊达矿、福库契利矿、方黄铜矿、斑铜矿、辉银矿、辉铜矿、别捷赫琴矿、硫铜银矿、辉铜银矿、黄锡矿、辰砂、紫硫镍矿、马基诺矿、方铅矿、闪锌矿等；

复硫化物：车轮矿($2\text{PbS}\cdot\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$)、砷黝铜矿($4\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{As}_2\text{S}_3$)、硫砷铜矿($\text{Cu}_3\text{-AsS}$)、深红银矿($3\text{Ag}_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$)、淡红银矿($3\text{Ag}_2\text{S}\cdot\text{As}_2\text{S}_3$)、脆硫锑铅矿($4\text{PbS}\cdot\text{FeS}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$)、硫锑铜银矿($(\text{Ag}, \text{Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$)等；

其它矿物：锡石、磁铁矿、金红石、自然金、自然银、自然铋、银金矿、锑银矿、碲铅矿、碲银矿等；

除上述矿物外，于一些老硐中出现许多钒类矿物，如黄钾铁矾、纤铁矾、叶绿矾、钠质黄钾铁矾、柱钾铁矾等十余种。

对这类矿床的矿石物质成分的复杂性一般有两种看法：一种认为黄铁矿型矿床时代愈新，矿物成分愈复杂；一种认为矿床的矿物成分与母岩浆和某一区域地球化学环境有关。有些矿床明显含锡，有些明显含钼，有些明显含钴，就可能基于后一地质因素。黄铁矿型多金属矿床含汞从十亿分之几到万分之几。闪锌矿常含汞，其次是黄铁矿、黄铜矿和方铅矿，但含汞较多的往往是黝铜矿-砷黝铜矿系列。W·R·Ryall研究Woodlawn矿床的汞分布，认为汞量不与矿带中铜、铅、锌含量成比例，而与矿石中银、砷及锑含量的高低相关^[14]。

黄铁矿型矿床固然常是硫、铅、锌、铜为主要的矿产,但如从贵金属着眼,它们也是金、银矿床。古时通过找金、银矿发现黄铁矿型多金属矿床。现在反过来,在有些地区通过这类矿床的线索也可以找寻金、银矿床,因为它们的地地质背景相似。东秦岭一层控金银矿床^[4]距某黄铁矿型多金属矿床不远,区域岩层由下至上可分为三套:第一套即含矿层,为炭质云母石英片岩与角斑岩、石英角斑岩互层;第二套为中基性火山岩(细碧岩);第三套为碎屑岩夹少量碳酸盐岩沉积。浸染状、网脉状矿石的矿物组合,颇类似上面述及的黄铁矿型矿床的矿物组合。

由于构成这类矿床的物质多导源于地壳深处,成矿时代不受限制。就现在资料所知,30亿年内从太古代绿色岩系,经下古生代地槽奥非奥岩组至第三纪海相火山岩系中,均发现了比较重要的此类矿床,而且在坳陷带中,虽然火山活动微弱但仍有类似矿床的发现。因此国外特别重视黄铁矿型矿床的对比研究,从而不断地发现了一些新产地。例如根据绿色岩相中矿床的特征,已设法在深变质岩相中寻找同类但遭受变质的黄铁矿型矿床。在南非普里斯卡发现的黄铁矿型矿床即产在石英-长石岩、石英黑云母片麻岩和石英斜长石角闪片麻岩系中。经研究这套岩石属变质偏碱质火山岩^[19]。我国也重视太古界、元古界中深变质岩系中这类矿床的调查研究,例如东北红透山^①锌铜矿床,据辽宁冶金地质勘探公司101队的研究,矿体围岩为矽线黑云斜长片麻岩、矽线黑云石英片麻岩和黑云斜长片麻岩,两边为角闪斜长片麻岩。矽线黑云石英片麻岩中并伴有少量石英堇青石直闪石岩。101队正确地指出这一套深变质的海相喷出沉积岩,基性者可能为细碧岩。内蒙古狼山霍各乞多金属矿床^②,据内蒙冶金地质勘探公司第一队的研究,矿体赋存于晚元古代地槽型变质岩系中。

总之,矿体受一定岩性控制,含矿的中酸性喷发一次火山活动往往在前,嗣后方是不含或很少含矿的中基性岩浆活动。由于对这类矿床时控、层控特点认识的加深,利用地质条件再结合矿石矿物组合特点,配以物探、化探多种方法和地质构造控制钻,就能提高普查找矿效果。例如普遍含汞,就可以进行汞晕测量,普遍含块状硫化物,就可以进行激发极化法等。国外有些地区近期就是这样提高了他们的找矿效果。

三、黄铁矿型矿床在铜矿床中所占的位置

假设我们将与中酸性“浅成”侵入体有关的斑岩型和接触交代型铜矿总起来作为规模较大的第一类;砂页岩层控铜矿类型属第二类;与海相火山-次火山岩和基性超基性岩有关的黄铁矿型和铜镍型总起来就属于重要类型铜矿中第三类。第二、三类矿床的成因在世界上虽然亦有争论,但是总的说地质界对它们的控矿地质条件和成矿物质来源的认识还是比较一致或相近的。但对第一类矿床,特别是其中矿体呈似层状,含矿层系有微弱火山活动(次火山活动可能较强)现象的“层控砂卡岩型矿床”^③的认识就不一致。近二十年来有许多研究者将矿石组合类似黄铁矿型矿床者归属于黄铁矿型矿床^④,如果进一步研究能

①② 据中国地质科学院原地矿所1975年资料。

③ 常印佛等研究。

④ 徐克勤等。

取得比较一致的看法,那么上述三种类型矿床的对比,第三类矿床所占的比例位置就要大大提高。铁矿床就是这样,有些过去认为属于矽卡岩型的矿床已归属于火山岩型。

火山岩型矿床与斑岩铜矿相比,在储量规模上虽然往往较小,但它的经济价值不一定小多少。米勒^[18]报到了—些大型火山岩型矿床和斑岩型矿床1973年的产值,任选六个大矿计算,它们的总产值分别为近5亿美元和近6.6亿美元,相差并不悬殊(火山岩型矿床:1) Brunswick, 2) Mattagami Lake, 3) Kidd Creek, 4) Prieska, 5) Mattabi, 6) Granduc; 斑岩铜矿床:1) Gaspe, 2) Bethlehem, 3) Craigmont, 4) Bougesinville, 5) Twin Buttes, 6) Gilbralter), 因此在海相火山岩发育地带寻找此类矿床还是很有经济意义的。如果以世界已知近全部斑岩铜矿1973年产值(100多个矿床)与已知近全部火山岩型矿床(800多个)比,即50亿美元与30亿美元比,当然是富斑岩型矿床产值高,但必须是富矿(或者品位不低于0.5—0.6%)。

关于各国黄铁矿型多金属矿床的储量规模,没有详细报导,较大的矿床如西班牙里奥廷托、加拿大基德克里克、巴瑟斯特只是少数,多数是几十万至几千万吨的矿石储量。这也是此类矿床的一个特征,是评价此类矿床时应注意的重要内容之一。里奥廷托矿区的单个矿床如塞罗科罗拉多的矿石储量为四千余万吨,铜品位是千分之八,铜储量不过30余万吨。整个里奥廷托总储量二亿多吨(包括已采的1.3亿吨),估计铜储量可达300万吨。基德克里克在2800呎水平以上储量为九千八百万吨,铜品位大于1.5%,估计铜储量可达150万吨。巴瑟斯特十余个矿总储量近1.5亿吨,含铜在百分之一以下,铜总储量亦可达一百五十万吨以上。日本黑矿矿石储量超过一千万吨者甚少,最大矿床是释迦内—花冈,矿石储量达四千五百万吨(由数个矿组成),它的品位大致是Cu2%, Pb1.5%, Zn5%, 金属储量大致是铜90万吨,铅60万吨,锌200万吨。总之这类矿床很少达到亿吨,千至几百万吨者居大多数。这就是说最大的矿床铜储量在100—300万吨间,一般矿床铜储量几十至十几万吨,锌储量往往较大,是另一特点。据1977年《地球上的矿产资源》和1975、1976年英国《世界金属统计》不完全统计,日本1976年铜产量为8.16万吨(其中从加拿大、菲律宾、智利等十余个国家进口铜矿石和铜精矿258万余吨)。以上数字说明,尽管铜有些进口,但近十年来铜的产量总的保持在8万吨以上,不能说是与不断发现的新矿床无关。根据1975年《鉱山》8期报导,日本至1975年探明的铜矿总金属储量不过157.6万吨,铜的数字不算大,但日本重视黄铁矿型铜矿(黑矿)的研究,不但不断发现新矿床,而且对这类矿床的成因也作了过细的研究,树立了世界公认的黑矿典型。

西班牙与日本不同,他需要的铜可以自给自足,产量不大,例如1973—1976年四年金属产量一直保持在铜4万吨、铅5万吨、锌8万吨左右。

加拿大黄铁矿型多金属产量很高,特别是锌矿,以1971年为例,加拿大年产铜65.45万吨、铅39.48万吨、锌127.03万吨、银1431.48吨,其中来自黄铁矿型的铜25.5万吨、铅15.4万吨、锌101.6万吨、银887.5吨和大量的金和锡等。

四、世界上已知的几个主要黄铁矿型矿带的分布

就目前资料,国外已确定的比较明显的海相火山成因黄铁矿型多金属矿带,按照成岩

成矿时代,大致有以下几带: (1) 加拿大太古代黄铁矿型铜锌矿分布于萨斯喀彻温省和魁北克省的南部。萨德伯里铜镍矿就位于魁北克省的南部。(2) 寒武—奥陶纪黄铁矿型矿床分布带出现于北大西洋两边,西边是北美阿巴拉契亚山。从加拿大纽芬兰至美国新英格兰的东北部,在近千公里加里东褶皱带的海相火山岩系中,多年来发现了许多黄铁矿型矿床。大西洋东边是斯堪的纳维亚半岛和部分英国的加里东火山活动带中的一些黄铁矿型矿带,就目前发现的矿床来说,规模虽然一般不大,但矿床稀疏分布延伸较长,仅在挪威、瑞典所处的半岛上,延长达千公里的海相火山岩带中,就有许多此类矿床被发现。国际地科联的国际对比计划组织中(IGCP),就专门有一个研究项目(计划60号)进行加里东层控硫化物矿床的对比研究。目前他们的研究区包括西部斯堪的纳维亚、英国、格陵兰东部和北美东部。(3) 上古生代海相火山岩带中的矿带:a.西班牙—葡萄牙黄铁矿型矿带是上古生代最有代表性的矿带,它东西展布为 35×230 平方公里。火山活动从上泥盆世开始,至下石炭世达到最高峰,矿床即出现于早石炭世。b.另一个矿带是苏联乌拉尔,海相火山岩南北延展近千公里,成岩成矿时代主要是中泥盆世和早石炭世。志留纪亦出现矿床。(4) 侏罗纪至始新世的优地槽活动,在土耳其一带比较发育,与海相火山活动有关的矿床有屈雷、木尔古尔和埃尔加尼等;在塞浦路斯有白垩纪的达码索斯矿带。这些晚中生代

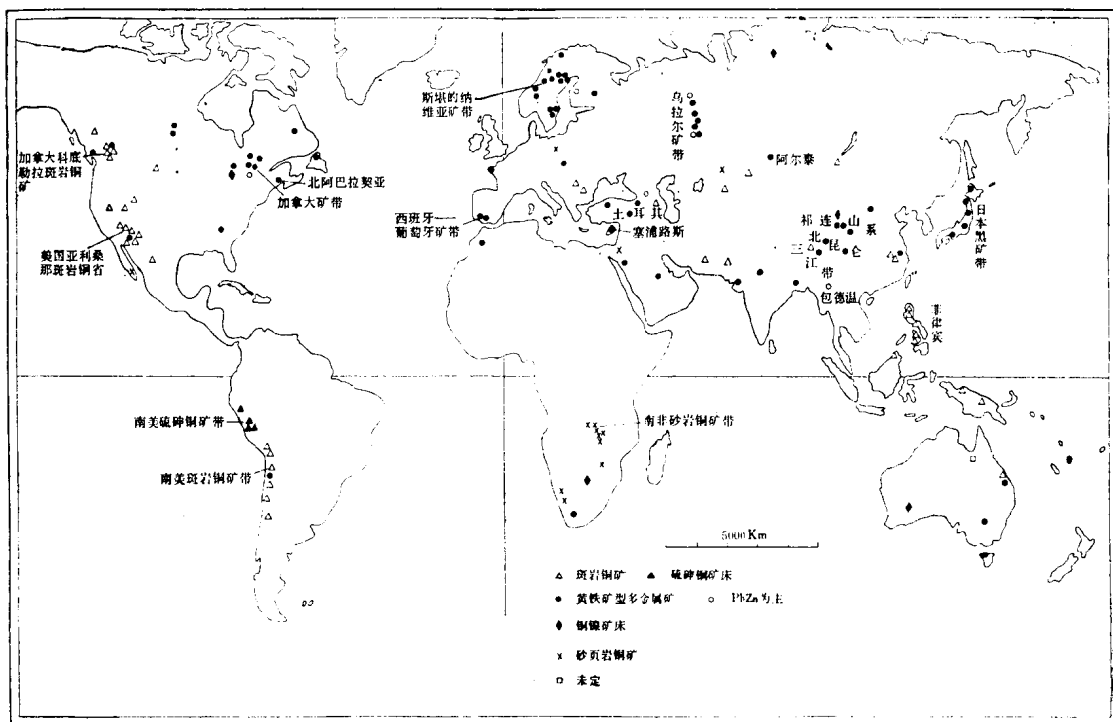


图 1 世界火山成因铜、铅、锌和其它类型铜矿分布简图

(根据狄克逊矿床分布图^[16]加以补充合并及简化)

Fig.1. Sketch map showing the distribution of the volcanogenic copper, lead, zinc and other types of copper deposits

至早第三纪矿床亦大体分布于近千公里的海相火山岩带中。(5) 新生代火山活动带主要发育于日本。众所周知的黑矿主要分布于日本中部的高坂。

以上是研究的比较详细的矿带, 世界上当然不止以上几个成矿带, 哈奇森^[15]就曾提及美国加州科地勒拉黄铁矿型矿带, 澳大利亚塔斯马尼亚矿带。前者的成矿成岩时代有泥盆纪、三叠纪和侏罗纪, 后者主要为下古生代。

狄克逊^[16]编了一张世界铜和一张多金属矿床分布图, 现将其与火山岩有成因联系的铜、铅、锌矿床并于一图(图1), 再标绘上国外新发现的矿床和我国一些已知黄铁矿型铜矿位置, 可以看出在北半球这类矿床远比其它类型铜矿分布广。

黄铁矿型矿床不受地质时代控制, 已为大家所接受, 是否受区域地质构造控制则有不同的看法。有些从事大地构造的研究者推测黄铁矿型多金属矿带是受大地构造活动带控制, 而将其分为岛弧型、裂谷型等或将其分为早优地槽活动型和晚优地槽活动型等等, 但是这些划分对于海相火山活动是言之成理的, 而对于仅出现于火山活动距离很短的某一地段的矿床, 同时较大的矿床不多而且常集中于某一小范围内, 就更难用很长的线性海相火山活动带来加以说明, 要说明矿床的成因, 还得另寻其它地质途径。

乙、黄铁矿型矿床的普查经验和对 矿床形成的认识

世界上究竟有多少处此类矿床, 尚无可靠统计数字。从朔罗门和哈奇森的文章中^[15, 17, 18]所引述的矿床, 总数在800以上, 规模大的至少在100左右。对这些调查研究, 各国地质工作者已积累了许多找矿经验, 同时对它们的控矿和形成地质条件等提出了许多新见解。

经验好坏是根据找矿实效来衡量, 成因的看法也要经过实践来检查, 要经得住时间考验, 不一定所有新见解都经得住考验。矿床的形成总的说是它们区域地质环境发展的反映。海相火山岩浆分异良好和比较发育的地区, 往往是黄铁矿型矿床的生成地区, 就说明了这一问题。

世界上提供较多的黄铁矿型矿床普查经验的地区有加拿大地盾、苏联乌拉尔、西班牙—葡萄牙矿带和日本黑矿带。此外像挪威—瑞典和北美阿巴拉契山加里东矿带等, 也总结出许多找矿经验。这些经验并可作为其它国家普查找矿时的借镜, 因此有必要略作介绍如下:

日本黑矿是一个时代较新并未遭受变质的矿床。据日本地质学者高桥太四郎和清规须加^[20]论述的经验, 日本近二十年之所以仍能不断发现此类矿床, 主要是依据不断更新比较符合日本地质实际的矿床生成的可能理论。五十年代以前多认为黑矿是后成矿床, 与中酸性侵入岩有关系, 1959年才认为是受一定层位控制的喷出热液矿床。这类矿床出现于中中新世较短的火山活动期内。据E·Horikoshi和T·佐藤等人研究, 以Kosaka区为例, 含矿火山岩的上下岩层层序如下:

上新世—第四纪

大范围英安质火山岩系

中新世晚期

玄武岩、安山岩和英安岩系

中新世

含矿火山岩：上部红色燧石岩层、凝灰角砾岩；中部侵入英安熔岩丘（多至九个），岩丘上部蚀变并多呈角砾状，矿体赋存于蚀变带中；下部为砾岩

二叠纪

千枚岩、石英岩

从上述岩层顺序和图 2 来看，很清楚，日本黑矿除去有一定层位而且与所谓的英安岩或流

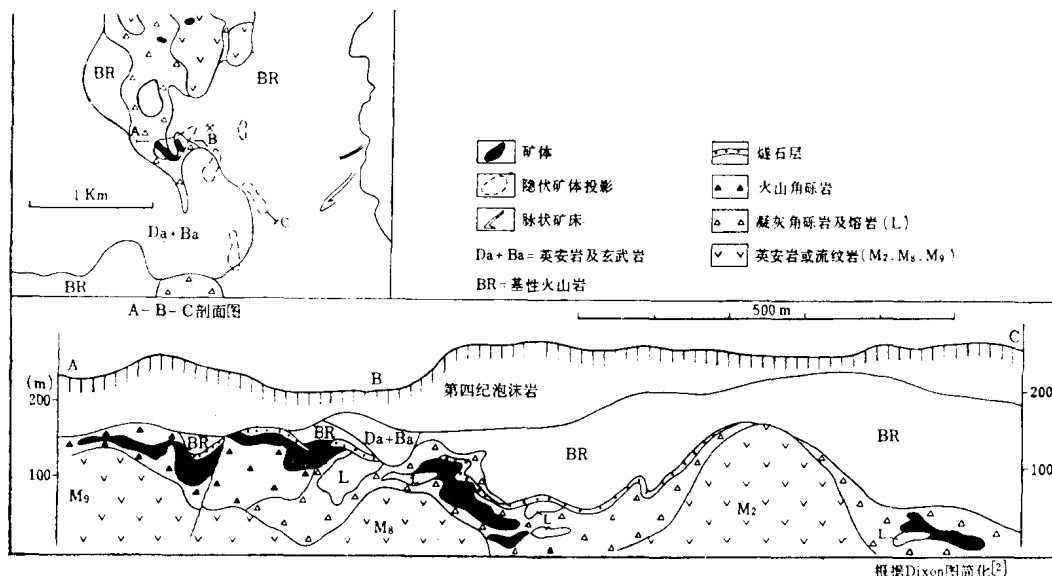


图 2 日本Kosaka区黑矿矿体示意图
(根据Dixon图简化)

Fig.2. Sketch map of the Kuroko-type ore deposit at Kosaka district, Japan.

纹岩丘有关系。据渡边武男(Takeo Watanabe)口头介绍，日本勘查此类矿床时，先在经过详细地质调查有利于赋存黑矿的火山活动区或盆地，打深孔地质构造钻(1000—1200米)，研究钻孔柱状岩性图，如见到相当的含矿层位或岩相，则根据此含矿层的埋深和构造特点，于附近进行中深部找矿钻探工作。

西班牙1960年后引进现代化普查找矿和露天开采技术后，找到了一些新矿床，并开始露天开采网脉状矿石。与日本相似，近20年的新成就，主要是由于重视了矿床的控制矿体的地质条件和矿床成因的研究，加强了地质填图和长时进行地面地球物理和地球化学探矿(大地电阻率法、重力测量和土壤汞晕测量)的工作等。斯特劳斯等人^①认为西班牙一些主要含矿火山岩层的层序如下：

① 据国外黄铁矿型铜矿资料

4. 板岩、硬砂岩
 3. 海相酸性火山岩、集块岩、凝灰岩
 2. {
 c. 细碧岩和火山碎屑岩及辉绿岩床
 b. 凝灰岩、炭质板岩——含矿层
 a. 海相酸性火山岩、集块岩及凝灰岩
 1. 泥质、硅质岩及凝灰质板岩

晚泥盆世：板岩、石英岩

火山岩的岩性主要为富钠或富钾的石英角斑岩、少量英安岩和成矿后期的细碧岩、钠长辉绿岩等。研究者多认为矿床系产于向斜构造内，但有些大型矿床如里奥廷托则产于背斜的两翼（图3）。

苏联乌拉尔是另一个有名的黄铁矿型矿带。我们国家在四十、五十年代普查北祁连这

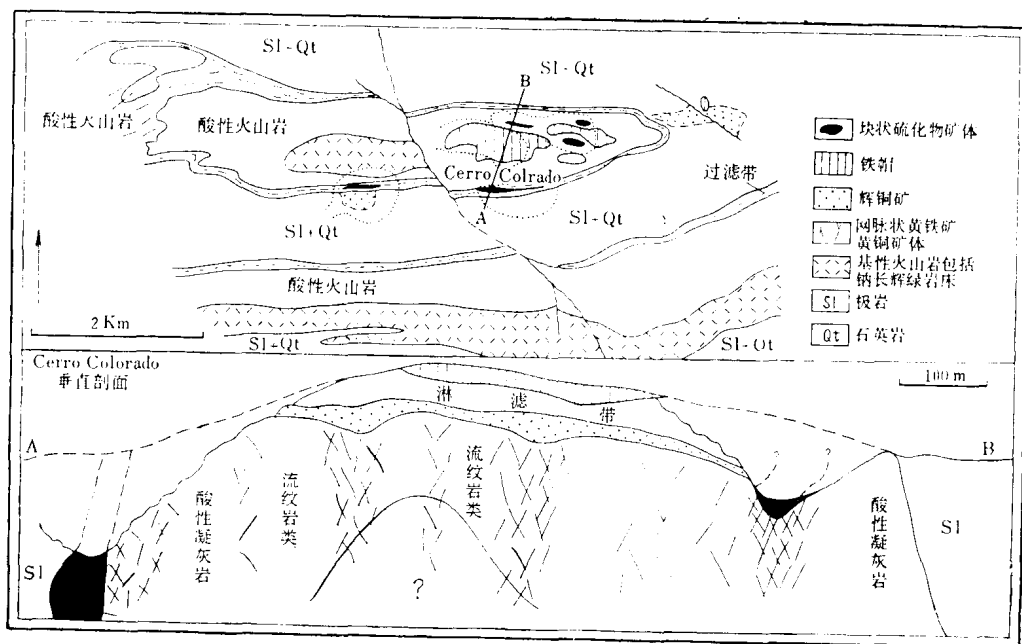


图3 西班牙里奥廷托矿区地质简图

(根据Dison图简化)

Fig.3. Sketch map of Rio Tinto ore deposit, Spain.

类矿床时，借镜了西班牙和乌拉尔开采此类矿床的经验。乌拉尔有关含铜黄铁矿的资源很多，肖庆辉等对其作了详细介绍。斯米尔诺夫在所著的《矿床地质学》中，专有一章论述此类矿床^[5]。苏联一些研究者认为矿化与细碧角斑岩或辉绿岩-钠长斑岩的火山建造有关；另一些人强调构造——短背斜和火山穹窿对矿化起作用。斯米尔诺夫认为火山活动开始时常为基性喷发，形成细碧岩，然后为玢岩，最后为角斑岩和（或）石英角斑岩。他认为这是派生的玄武岩浆经受了钠的自交代作用而形成的。在角斑岩形成及其后，黄铁矿大量聚集成矿。总之，苏联近期由于加强了有关矿床地质背景和隐伏火山构造研究，根据地质和

地球物理资料（地震、重力、磁测等）圈出火山短背斜范围，结合钻探，对普查此类矿床起到了一定作用。

加拿大可以说是世界上目前最富于黄铁矿型铜锌和铜铅锌矿床的地区。它的中东部位是太古代矿床分布区，东部阿巴拉契亚区是下古生代矿床分布区。桑斯特和斯科特^[21]对北美前寒武纪此类矿床作了详细的综合研究。现以太古代诺兰达区火山岩中铜锌矿床为例，矿床赋存岩层层序如下：

5. 砾岩、硬砂岩
4. 含矿酸性火山岩及安山岩
3. 基性至中性熔岩及凝灰岩
2. 集块岩、角砾岩
1. 硬砂岩

流纹岩是主要含矿层，其上覆以安山岩，矿体无例外地产于流纹岩或与安山岩交界处的流纹岩中，有些矿体产于流纹岩丘的边部，例如东怀特矿床（图4）。从图4看出块状矿体一般与流纹岩安山岩接触面平行，但其下部则往往出现一筒状蚀变体，其中浸染和网脉型硫

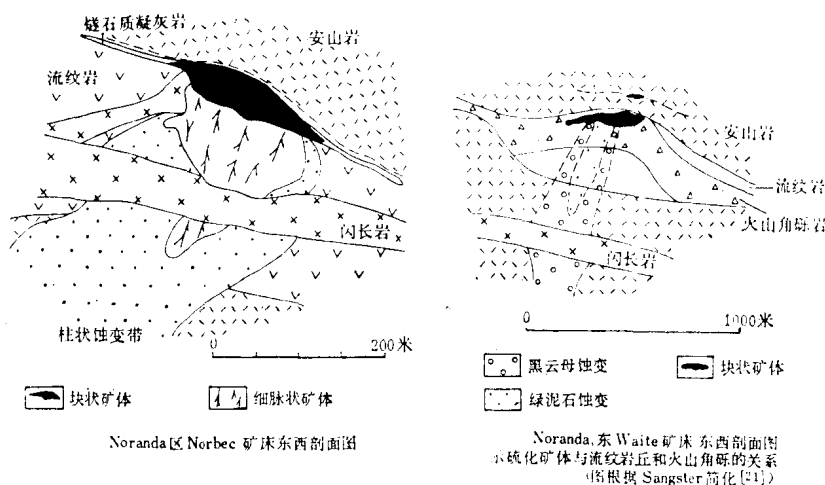


图 4 加拿大一些与酸性火山岩有关的矿床

（根据Sangster简化）

Fig.4. Some massive sulfide deposits related to acid volcanic rocks in Canada.

化物常达到工业品位。蚀变体主要由绿泥石和浸染状硫化物及磁铁矿组成。在加拿大下古生代黄铁矿型矿床以多金属为主。巴瑟斯特^[22]矿区的重要矿床 6 号和 12 号是 1952 年在一个磁铁矿层和伴生的黄铁矿体附近的电磁异常上，进行钻探找矿时发现的。12 号矿床铅加锌（13%）的矿石储量达 1 亿吨以上，但含铜品位低，一般在 0.3% 左右。巴瑟斯特火山岩系属早至中奥陶世。矿区地层呈椭圆状分布，中间为火山岩，边部为海相沉积岩。此喷出-沉积层序如下：

- 中奥陶世 { 4. 板岩及次硬砂岩
3. 玄武岩及其凝灰岩
2. 含矿酸性火山岩 (长石、石英斑岩及流纹质凝灰岩)
- 早奥陶世 1. 次硬砂岩及板岩

巴瑟斯特矿体主要产于斑岩附近,有些出现于酸性凝灰角砾岩中。哈雷^[22]认为这个50公里直径的火山岩分布区,在矿化时期是一个再生的破火山口,在酸性火山喷发后不久,下部岩浆房因失去了许多岩浆而压陷,形成了许多断裂,并于沉降区中沉积了碎屑岩,随后是再生穹状隆起和酸性火山岩浆的溢出以及随之而上的含矿流体,最后才是在酸性火山岩体隆起边部的大量基性火山岩浆的喷发。加拿大普查工作者沿着安山岩流纹岩交界处,特别是两个相似矿床之间进行激发极化法和汞晕测量,发现异常进行钻探,这种以地质为基础的物理探矿工作往往能发现一些隐伏矿床。

除上述几国的经验外,近十几年来法国、美国和南非(阿扎尼亚)等国运用地质物探相结合的方法,于法国阿摩里康地块晚元古代火山岩区,经航空物探(1975)之后,1976年地表工作发现Rouez大型黄铁矿型多金属矿床,估计矿石储量达7500万吨。同时期(1975)于美国接近加拿大的克兰多,在前寒武纪火山岩系小的蚀变露头研究的基础上,在较大的范围内进行地质及电磁测量工作,终于在冰积覆盖区一带良导性区,通过钻探找到大型的铜锌矿床。矿生于流纹质火山凝灰岩中,其上部为英安质至安山质的凝灰岩和熔岩。南非Prieska晚元古代铜锌矿床是1968年左右发现的。围绕一矿化点进行区域性航空磁测、电磁测量、重力测量和钻探工作,从而肯定了这一矿床的工业价值。矿体产于流纹质凝灰岩中,底部为英安岩,最高处为安山岩与基性岩流。

本文不厌其详地介绍几个国家的黄铁矿型矿床在火山岩系中的赋存部位和普查找矿的一般经验,目的不过要说明普查找矿是一个耐心细致、时间较长的地质调查研究工作,并没有什么神秘之处。古时是露头找矿和就矿找矿,现在则进入到在控矿地质条件的基础上应用一些地球物理、地球化学和地质构造钻找寻隐伏或半隐伏矿床的时期。尽管国内外对此类矿床形成的看法、含矿火山岩系酸性岩、基性岩的喷发-次火山侵入次序和岩石命名(流纹岩或石英角斑岩)仍有争论,但大家一致认为只要具备海相基性、中性至酸性特别是酸性至中、基性,甚至于基性超基性的喷出-侵入活动中心条件,就具备了可能形成黄铁矿型矿床的初步地质基础。当然是否能形成一定规模的矿床,形成以什么金属为主的矿床,还需要许多其它地质因素,这也就是目前正在研究而远没有解决的重大问题。

丙、黄铁矿型铜和多金属矿床的成因问题

尽管这类矿床的控矿地质条件并不复杂,但是几十年来对它的成因看法是多种多样的。国外以北美矿床为例^[23],1923年Spurr曾认为矿体是一侵入的可塑体,意即矿体是来源于贯入的具可塑性的矿浆。1933年按林格仑的观点,许多地质工作者认为矿体系源于酸性侵入岩的矿液。这种观点盛行了数十年,直至1957年Knight提出“矿源层”观点,

认为硫化物矿体是与它们的容矿岩同期形成, 这才结束了后成热液成矿的唯一说法。此后是Ofteadahl的喷出沉积成矿论, Stanton 1959年特别支持巴瑟斯特区矿床的喷出-沉积成因。喷出观点与热液交代成矿理论在作用上并没有什么明显差别。对矿床沉积或热液交代作用来说, 矿床的形成都需要导源于深部或地壳的热液沿着破碎带或其它软弱带上升等这些地质条件。这一通道就是现在看到的块状矿体下部蚀变筒状体。研究这一筒状蚀变体可以部分地了解原矿液的原始化学成分。两个说法的唯一不同是众所周知的围岩和矿体形成的先后问题, 而且一致认为矿液可能是热盐卤水性质的物质。

继上述研究者之后, 近些年来, 许多研究者均企图创建些化学演化模式来说明海相火山岩的矿床成因问题。例如朔罗门和沃尔1979年发表的文章中^[24], 根据塞浦路斯和日本黑矿矿石中液体包体的含盐度和测温资料, 设想矿液由海水下洋壳上升至海水中时所处的活动状态, 并根据铜硫化物溶解度, 说明几乎所有的铜均沉淀在热液通道口的上部, 特别是当温度猛降的时候。里奇^[25]计算, 在海底形成块状硫化物矿床只能在足够海水深度下进行, 因为较深的水体才能防止通过火山堆积上升到海底的热液沸腾。如果水深不大, 假设小于500米, 则热液抵达海底前就沸腾, 并将大部分的硫化物沉淀于海底界面下, 形成地下热液交代和裂隙充填矿床。斯彭斯^[26]则认为块状硫化物矿体是在火山活动相对稳定之后, 又继之以酸性喷发时期中形成的。爆发期堆积的酸性集块和碎屑物具有许多孔隙, 以致海水可以从海水-岩石界面渗透到相当深的部位, 这样上升热液交代作用与海水底矿石沉积作用共同组成一个完整的成矿系列——喷出沉积矿和含矿热液贯入交代矿以及它们两端员之间的过渡矿。

拉奇^[27]论述如何建立一个化学演化规律模式来解释现在国外地质学家常将黄铁矿型多金属矿床分作加拿大型、塞浦路斯型和日本黑矿型矿石的矿物组合和金属铜、铅、锌的分带原因。拉奇认为这三种类型之所以不同, 是由于各自的含矿热液的化学演化不同所致。按照Fe-S-O系统的矿物-溶液平衡资料, 拉奇认为加拿大型硫化物矿床可能是在高温、中等以下酸度和还原富氯化物溶液条件下沉淀的。这种溶液在火山堆积的上部与海水混合。混合时溶液pH值、氧逸度和 ΣS 增加, 但温度下降造成海水-岩石界面下的黄铜矿-磁黄铁矿($\pm FeS_2 \pm Fe_3O_4$)组合在下部沉淀, 而 FeS_2 -ZnS-PbS组合则沉淀于热液通道的边缘直达海底。矿床出现大量 FeS_2 而不是 Fe_3O_4 和 Fe_2O_3 , 说明喷溢出的热液含过量的还原硫。日本黑矿形成时虽然具有类似的地质条件, 但不同的是它是在较高氧逸度情况下和溶液较富于铅时形成的。巴瑟斯特12号矿床矿石分带(上部以细粒块状黄铁矿为主, 中部以闪锌矿、方铅矿、黄铁矿为主, 下部以黄铜矿及磁黄铁矿为主)亦可能由于类似原因。

总之近期研究者注意了上升热液与海水混合时, 溶液化学性质不断变化, 是造成金属硫化物分带的主要原因。以上就是近六十年来国外对黄铁矿型矿床成因认识上的演变。

我们谈矿床成因, 首先需指出的是, 所谓矿床是指研究那些具备工业开采价值的矿体赋存情况, 尚不具备开采价值的矿化体则不是主要讨论的内容。矿石是一种矿物商品, 因此它的产地、质量和数量均很重要。我们研究的是这些已具备相似地质和经济条件的工业矿体的成因。这样就标准一致, 便于对比。实际上世界上目前已知的这类较大的经济价值较高的矿床并不多, 先选择它们作详细对比研究, 对进一步了解它们的成因是很有帮助的。

国外由于重视了这类矿床的成因问题,加强了以下三方面的研究:(一)围岩蚀变的研究。黄铁矿型矿床常伴以明显蚀变。一般说蚀变作用可以发生于成矿作用前,亦可以延续到成矿作用之后。尽管近来由于强调层控而对围岩蚀变研究没有过去重视,但实际上蚀变作用对了解矿床的形成,特别是作为找矿标志,仍具有重要的意义。例如美国1970年勘查克兰多矿床就是借助于1966年发现的蚀变火山岩和黄铁矿化。苏联对这类矿床的研究也非常注意蚀变问题。斯米尔诺夫^[6]综合各方面资料,认为热液蚀变形成时的温度区间有四:含刚玉、电气石、红柱石、氯黄晶和黄玉的石英岩带,形成温度约450—350℃;石英绢云母带约在300—200℃间;中温绿泥石化带为250℃;高岭石化带在200—100℃间。他将黄铁矿型矿床分为从450℃到更高温度的高温矿床、从300℃开始的中温矿床以及200℃以下的低温矿床。(二)包裹体、稳定同位素和稀土元素分布的研究。各国近期特别是日本重视了此类矿床各组硫化物液体包裹体的形成温度、盐度、成分等研究工作,借以更深入了解矿床成因,研究硫同位素借以协助说明矿质来源。但这些数值均有一个较宽的变化范围。日本一些黑矿含矿溶液温度范围可以达到300—150℃,NaCl浓度可以达0.5—3.5克分子,黄铁矿的 δS^{34} 值变化范围达3.1—8.2‰,黄铜矿达2.1—6.9‰,不论矿床大小均具有类似的数值。这些数值还不足以说明有些矿床为什么在较小范围内堆积了大量金属这一特点。(三)区域岩浆演化的研究。黄铁矿型矿床绝大多数产于优地槽沉降沉积—岩浆活动的早期。岩浆活动前期的基底岩层,很少例外的均为泥质硅质建造(或泥质次硬砂岩质沉积,这一建造形成时无明显的岩浆活动和大的褶皱断裂运动,是一个比较稳定的时期),而成矿期和其后的很长一段时期,岩浆活动比较频繁。一般说早期阶段上升的岩浆以中、酸性为主,多局限于一个喷出一侵入的中心地区,而后期岩浆活动则以基性喷出一侵入为主,分布范围比较广泛,有些地区并伴以后期侵入的超基性岩体。这方面的研究,随着岩浆岩成矿专属性和板块构造与成矿关系研究的不断深入,愈来愈引起一些地质工作者的重视。

丁、我国海相火山一次火山岩浆活动 及黄铁矿型矿床的类型和分布

一、我国海相火山一次火山岩浆活动带

根据多年普查勘探和区域地质调查,我国海相火山岩系分布亦比较广泛(图5),以黄汲清等^[6]提出的早元古代末形成的中朝准地台、阿拉善元古代隆起和元古代末形成的塔里木地块这一下元古界—太古界地带为界,其南部、北部广大地带均有地槽海相火山岩浆的活动。中朝—阿拉善—塔里木以北主要是华力西天山兴安地槽褶皱系,除南天山外,地槽带的海相火山岩均较发育,火山活动时期以泥盆纪、石炭纪为主,亦有一些志留纪和二叠纪的火山活动。中朝—阿拉善—塔里木以南的海相火山岩分布带可以大体分为两部分:

(一)昆仑—祁连—秦岭加里东、华力西地槽褶皱带和其更南部的三江(印支)和雅鲁藏