

甘肃白银厂和青海德尔尼黄铁矿 型铜矿与塞浦路斯铜矿的成因对比

杨 经 綏 白 文 吉

(中国地质科学院地质研究所)

论述了甘肃省白银厂和青海省德尔尼黄铁矿型铜矿床的地质背景、成矿特征和成因,并与塞浦路斯的一些铜矿床进行了对比,认为这些矿床的特征与现代大洋硫化物矿床的特征基本一致,当属海底热泉成因的硫化物矿床。文中提出了热泉成因矿床的一般模式。同时分析了各矿床成矿作用的特殊性。

白银厂和德尔尼是国内两个较大的黄铁矿型铜矿床。前者产在北祁连山加里东蛇绿岩的细碧—角斑岩组合中;后者产于东昆仑南缘印支期蛇绿岩的超镁铁岩组合中。关于白银厂矿床的成因,曾提出过与岩浆侵入作用有关的中温热液矿床、与火山作用有关的喷发型热液矿床、喷发沉积—热液—变质改造矿床、与海底火山喷发—沉积活动有关的喷发—沉积矿床等成因认识;关于德尔尼矿床的成因,有人认为是与火山作用有关的受变质的深部熔岩—贯入(有热液叠加)矿床等。本文将塞浦路斯矿床与之对比,结合近年在洋底发现的硫化物矿床,探讨白银厂和德尔尼黄铁矿型铜矿床的海底热泉成因。

黄铁矿型铜矿床的地质背景

1. 塞浦路斯铜矿床 按层序,塞浦路斯特罗斯蛇绿岩由下往上为超镁铁岩、(堆积)辉长岩、辉绿岩墙群和枕状熔岩等四个单元。黄铁矿型铜矿主要产于辉绿岩墙群之上的枕状熔岩中,其他单元中仅见零星矿化。

早期曾将枕状熔岩细分为上部枕状熔岩和下部枕状熔岩,矿体产在上、下枕状熔岩之间。最近,根据火山玻璃的成分,揭示出至少存在两个岩浆组合,较老的是安山岩—英安岩—流纹英安岩组合,是岛弧拉斑玄武岩属性;较晚的是苦橄岩—玄武岩—玄武质安山岩组合,具玻宁岩属性(Robinson et al, 1983)。矿床即存在于下部安山岩—英安岩—流纹英安岩组合中,也产在上部的玻宁质熔岩中。

熔岩中的块状硫化物矿体分四个矿群和五个矿区。矿体多为透镜状和扁豆状,储量5~2000万吨,Cu品位0.5~4.5%,Zn低于0.2%。许多矿体被薄层赭石——一种贫Mn、富Fe的沉积物覆盖,赭石可能形成于海底风化作用和硫化物矿床的淋滤。

矿床中较大的碟状矿体(被充填的古海底)以明显的垂直分带为特征,上部通常为块状矿带,往下转变为网脉状矿带,延深可达700米。

块状矿带矿石为具多孔性的团块状;带状和胶状结构发育,证明它原来是沉积形成的。矿石主要成分为硫、铁、铜及少量锌、钴和镍。黄铁矿是主要矿物,次有闪锌矿、黄铜矿、白铁矿、磁黄铁矿、铜蓝、辉铜矿和斑铜矿。

网脉状矿带中普遍存在火山角砾岩,并被石英和黄铁矿胶结。岩石强烈青盘岩化,以致所有的镁铁矿物都被交代。主要矿物为黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿。矿化的熔岩含大量石英、绿泥石、伊利石和高岭石,未见蒙脱石。蒙脱石是未矿化玄武质熔岩中的常见矿物,与沸石伴生。

网脉带被认为是热液沉淀作用的产物。这种热液系来自深处经过强烈高温渗滤以后向上运移的热液。层状矿体为含重金属的沉积物,是以无机沉淀的方式在低氧化环境下形成的。

矿体受断层控制,但大多数断层并不向上穿透不整合的、上覆的海相沉积岩。

2. 白银厂铜矿 白银厂块状硫化物矿体大都产于寒武—奥陶纪的细碧岩—石英角斑岩内。该岩系中夹有海相灰岩及放射虫硅质岩,发育枕状

构造,属偏碱性的钙碱性系列,以富钠(或钾)、低钙、高 H_2O 为特征, $Na_2O + K_2O = 6.6\%$, $Na_2O/K_2O = 4.0$ 。与世界典型细碧-角斑岩系岩石比较,钠含量偏低而钾偏高。

矿体围岩为石英角斑凝灰岩、基性凝灰岩、绿泥石板岩、千枚岩,以及石英钠长斑岩侵入体等。主矿体上盘有不稳定的或扁豆状石膏夹层,重晶石以脉状或浸染状出现在浸染状矿体中。

近矿围岩发育硅化、绢云母化和绿泥石化,强绿泥石化的位置往往是富铜矿体出露的位置。

矿体由下往上,一般可以分出四个层位:浸染状矿石带→块状黄铁矿、含铜黄铁矿带→多金属矿石带→重晶石带。主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿及方黄铜矿、砷黝铜矿、磁铁矿、毒砂等。脉石矿物为石英、绢云母、绿泥石、白云石、重晶石等。

3.德尔尼铜矿 位于东昆仑南缘早三叠世蛇绿岩带内。矿体主要赋存在蛇绿岩带的超镁铁岩组合中。超镁铁岩以斜辉辉橄岩为主,发育蛇纹石化,保留了橄榄石和斜方辉石的假象。属镁质超基性岩, $MgO/(MgO + \Sigma FeO) = 0.81 \sim 0.87$ 。

超镁铁岩的围岩为砂质板岩。矿体虽然产在超镁铁岩块的内部,但直接顶板为一层厚度不大的板岩夹变砂岩层,矿体与围岩的接触界线清楚,不论是和砂板岩还是和超镁铁岩之间,都可见到截然的界面,但并不排斥矿体附近的围岩出现一些矿化,如接触面附近出现数米宽的矿化板岩。

围岩蚀变有碳酸盐化、蛇纹石化、滑石化、绿泥石化、钠长石化和硅化。其中强碳酸盐化常与强蛇纹石化相伴,空间上与矿体伴生,并围绕矿体形成一个宽约数十米至数百米的蛇纹岩包围圈:碳酸盐化蛇纹岩为内圈,蛇纹岩为外圈;矿体边部的片状蛇纹岩包围圈中常见有滑石化。

矿石有块状、条带状、浸染状和角砾状。块状含铜黄铁矿矿石主要分布在矿体上半部;条带状(包括角砾状条带)含铜黄铁矿矿石主要分布在矿体下半部及矿体两端的尖灭部位;浸染状含铜黄铁矿矿石和含铜磁铁矿矿石主要出现在矿体边部及小矿体中

原生矿石中最重要的矿物是:黄铁矿、黄铜

矿、闪锌矿、磁黄铁矿、钴镍黄铁矿等。其中,黄铁矿是最主要的造矿矿物,一般含量60~70%,尤以矿体中上部含量较高;黄铜矿广泛存在于各矿体中,含量2~5%;闪锌矿主要分布在各矿体的上部;磁黄铁矿多分布于矿体边部,尤以矿体底部较富集。

4.海底硫化物矿床 在Galapagos裂谷中发现的富铜硫化物矿床,直接分布在海底熔岩之上,耸立成高达30米的海底水下山丘。涌流的热泉水温可达400℃,从海底流出,进入水温只有2℃的冷海水盆地中。矿床的体积为 $40 \times 30 \times 1000 m^3$,矿石储量约2500万吨,矿石平均品位: $Cu 10\%$, $Ag 0.03\%$, $Fe 10\%$, $Pb 0.1\%$, $Zn 0.1\%$, $Mo 0.1\%$

在所调查的海底矿床中,21°N的东太平洋脊的矿床研究最为深入。这些矿床可分为烟囱(Chimney)和底丘(Basal mound)两部分。烟囱作为底丘的顶部,高一般1~5米,其中一些正在喷出热液流体(黑烟或白烟),另一些则是不活动的。底丘可能是在缓慢但扩散的热液流体的本流通过时形成的。

黑烟的特征是热水温度高($> 350^\circ C$),流速快(每秒数米)。黑烟囱的内部矿物由黄铁矿、方黄铜矿和斑铜矿组成;外部矿物有硬石膏、石膏、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、纤锌矿和铜蓝,不存在有机物质。

白烟的特征是热水的温度略低($\leq 300^\circ C$),流速相对较慢。白烟囱的主要矿物有非晶质二氧化硅、硫、黄铁矿、重晶石、闪锌矿、纤锌矿、白铁矿,还有一些管状虫和有机物。

组成底丘的主要矿物成分是闪锌矿、纤锌矿、黄铁矿、黄铜矿、白铁矿、非晶质的二氧化硅、重晶石、硫、针铁矿、黄钾铁矾、方黄铜矿和滑石。

此外,滑石和蒙脱石是较为常见的深海热液矿物,它们在红海含金属沉积物中,在东太平洋隆的加里福尼亚海湾的底丘及中大西洋的中脊上都有发现。

各硫化物矿床之间的对比

1.产出特征 硫化物矿床的产出特征对比列于表1。从表中看出,虽然产出的时间和空间位

硫化物矿床的产出特征对比

表1

	塞浦路斯	白银厂	德尔尼	现代大洋中
时代和构造背景	白垩纪蛇绿岩	寒武—奥陶纪蛇绿岩	早三叠世蛇绿岩	活动着的洋脊和洋盆
矿体位置	枕状玄武岩中	细碧—角斑岩中	超镁铁岩中	枕状玄武岩之上
矿体顶板围岩	赭石	砂板岩、重晶石	砂板岩	重晶石、深海沉积物
围岩蚀变	绿泥石化、硅化	绢云母化、硅化、绿泥石化	碳酸盐化、蛇纹石化、滑石化	滑石化、纤维蛇纹石化
矿石构造分带	上部块状、下部网脉状、角砾状	上部块状、下部浸染状、网脉状、角砾状	上部块状、下部条带状、浸染状、角砾状	上部块状、下部网脉状(?)
矿石矿物	黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿	黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿	黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿	黄铜矿、方黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿

置差距很大,但它们所处的构造背景、地质特征都存在相似之处

2.形成温度 Heaton (1977)根据 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 、D/H同位素比值,对塞浦路斯铜矿床及蚀变围岩的温度做了计算:块状硫化物同位素温度大于 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$,块状硫化物之下的网脉状矿带同位素温度从大于 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的初始值,最后降到晚期的石英脉形成期的 $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下;矿体围岩(玄武岩)蚀变作用发生在大于 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下。

白银厂铜矿用包裹体测温法测定^①:块状黄铁矿平均温度 $332\text{ }^{\circ}\text{C}$,变化区间 $314\sim 355\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。矿石矿物温度测定表明,这套共生矿物组合的形成温度相近,都在 $200\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。

德尔尼铜矿虽然没有测温数据,但根据围岩蚀变矿物组合,其成矿时温度不超过 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

现代大洋正在形成中的硫化物矿床直接测温表明,形成硫化物矿床的黑烟温度为 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$,白烟 $<300\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Haymon and Kastner, 1980)。同位素确定的深海热液矿物滑石等形成温度约 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。滑石、磁黄铁矿和蒙脱石都已在海水和玄武岩的热液活动实验中产生,其中温度要高到 $300\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 才能产生磁黄铁矿和滑石 (Lonsdale, 1980)。

3.硫同位素 塞浦路斯诸铜矿床的黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值基本是一致的,其中网脉浸染状矿石为 $+4.7\sim +7.3\text{ }^{\text{‰}}$ (9个平均 $+5.1\text{ }^{\text{‰}}$),脉状矿石为 $+2.0\sim +6.5\text{ }^{\text{‰}}$ (12个平均为 $+4.8\text{ }^{\text{‰}}$),块状硫化物矿石为 $+2.8\sim +7.5\text{ }^{\text{‰}}$ (22个平均为 $+4.3\text{ }^{\text{‰}}$),赭石为 $+1.9\sim +5.0\text{ }^{\text{‰}}$ (2个平均为 $+3.4\text{ }^{\text{‰}}$) (据

Heaton and Sheppard, 1977)。虽然各矿床间略有变化,但同一矿床黄铁矿的硫同位素组成相似。

白银厂铜矿床的黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $+3.9\sim +5.4\text{ }^{\text{‰}}$ (6个平均为 $+4.7\text{ }^{\text{‰}}$),黄铜矿为 $+3.4\sim +4.2\text{ }^{\text{‰}}$ (3个平均为 $3.7\text{ }^{\text{‰}}$),闪锌矿为 $+3.4\sim +5.0\text{ }^{\text{‰}}$ (5个平均为 $+4.4\text{ }^{\text{‰}}$),方铅矿为 $+1.9\sim +3.3\text{ }^{\text{‰}}$ (3个平均为 $+2.6\text{ }^{\text{‰}}$) (据叶庆同, 1982)。

德尔尼铜矿床的黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-4.6\sim -5.93\text{ }^{\text{‰}}$ (8个样品平均为 $+1.32\text{ }^{\text{‰}}$),磁铁矿为 $-6.15\sim +4.6\text{ }^{\text{‰}}$ (3个样品平均值为 $+1.2\text{ }^{\text{‰}}$) (据章午生, 1981)。从分析数据看, $\delta^{34}\text{S}$ 虽出现负值,但11个样品平均值仍为正值($+0.60\text{ }^{\text{‰}}$),负值可能是某些生物成因 H_2S 的贡献。海水中硫被细菌还原后产生的成岩硫化物,其 $\delta^{34}\text{S}$ 值通常十分低($-15\sim -25\text{ }^{\text{‰}}$) (Golhaber, 1974)。

现代大洋中从海水热液系统沉淀出的硫化物通常有轻微正的($+1\sim +10\text{ }^{\text{‰}}$) $\delta^{34}\text{S}$ 值(据Ohmoto, 1979)。Styrer等人(1981)测定东太平洋洋脊 21°N 的23个硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值在 $-1.3\sim +4.3\text{ }^{\text{‰}}$ 之间。Lonsdale等人(1980)测定加里福尼亚海湾的硫化物中磁黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $+3.94\text{ }^{\text{‰}}$ 。Galapagos裂谷活动的热水喷口处的硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-3\sim 4\text{ }^{\text{‰}}$ 。

从图中看出, $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围在 $-6.15\sim +6.64$ 之间,可以认为其硫源是统一的,主要通过分馏作用来自海水硫酸盐。其中德尔尼和Galapagos裂谷两处硫化物中出现负值,可解释为生物硫的贡献或埋藏期间硫的还原。

①中南矿冶学院地质系白银厂科研队, 1981年

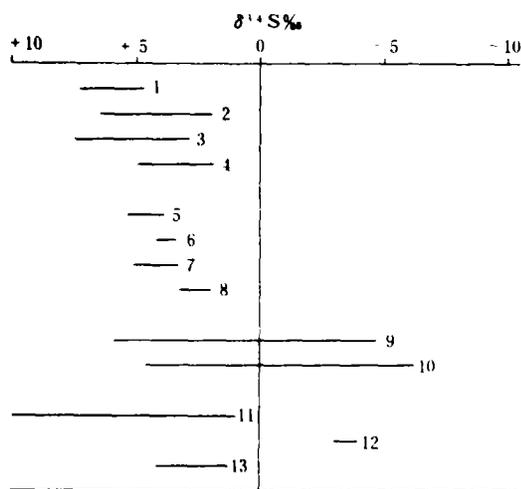


图1 白银厂、德尔尼矿床与塞浦路斯、现代大洋中硫化物矿床硫同位素对比
塞浦路斯：1—网脉浸染状矿石；2—脉状矿石；3—块状矿石；4—块状矿石；白银厂：5—黄铁矿；6—黄铜矿；7—闪锌矿；8—方铅矿；德尔尼：9—黄铁矿；10—黄铁矿；11—现代大洋硫化物；12—Galapagos裂谷硫化物；13—东太平洋洋，21°N硫化物（23个样品）

白银厂和德尔尼硫化物矿床的成因

通过以上对比发现，白银厂、德尔尼和塞浦路斯矿床与现代大洋硫化物矿床的特征基本一致，应归属于海底热泉成因的硫化物矿床。热泉成因的一般模式是：火成作用发育在扩张的洋底环境。在洋壳向轴外扩展期间，正断层发育，产生裂隙，加之枕状熔岩的枕间空隙，海水或卤水向下渗滤迁移，进入炽热的大洋玄武岩裂隙中，热水溶解并携带着岩石中有益组份，经过通道又回到海底并循环进行。由泉口涌出的热泉的水温

可达400℃，遇到只有2℃的冷海水时，热卤水中的有益组份沉淀，形成海底矿床。矿质也会在裂隙中沉淀，这时形成的是块状矿床下面的网脉状矿床。块状硫化物中通常富集Cu、Zn、Ag、Pb。

白银厂矿床的特殊性是产在偏酸性的熔岩中，矿体围岩有较多的火山碎屑岩；有些是Pb、Zn为主的多金属矿床，有别于典型的洋底玄武岩含矿性。认为白银厂矿床是在距大陆不远的弧前或弧后盆地环境中形成的。

德尔尼矿床的特殊性是矿体位于超镁铁岩中，而顶板围岩却为砂板岩。表明成矿前超镁铁岩已通过底辟侵位在海底，且上面已经沉积了砂泥岩。认为是超镁铁岩冷却时散发的热量，或其下部另有岩浆房提供热源，促使海水发生循环，引起超镁铁岩强烈蚀变，并在超镁铁岩中或超镁铁岩与砂板岩之间形成硫化物矿床，甚至在砂板岩中局部也有矿化作用发生。推断矿体是在扩张脊附近的深水环境中形成的。

大型黄铁矿型铜矿床产于蛇绿岩的超镁铁岩组合中，德尔尼铜矿无疑是个范例。德尔尼铜矿的特殊性，说明海底热泉成因的硫化物矿床可以产在所有洋壳岩石中，包括洋底沉积岩。前提是只要它们提供热泉通道，通道下面又存在岩浆物质提供热源。这类矿床所在的矿体围岩都发生强烈蚀变，尽管不同的原岩可以有不同的蚀变类型，但矿化围岩普遍地要比没有热泉通过的岩石的蚀变程度高。蚀变的矿化围岩，是这类矿床的一个重要找矿标志。

A Genetic Comparison of the Baiyinchang and De'erni Pyritic Copper Deposits with the Cyprus Type Copper Deposits

Yang Jingsui Bai wenji

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science)

Abstract

The geological backgrounds, mineralization features and origins of the Baiyinchang (Gansu province) and De'erni (Qinghai province) pyritic copper deposits are discussed and compared with those of some Cyprus type copper deposits. We hold that the characteristics of all these deposits are basically identical with those of recent oceanic sulfide deposits. They all belong to the submarine hot spring sulfide deposit type. In this paper a generalized model for deposits of hot spring origin is put forward and the unique metallogenetic features of these deposits are also analysed.