

# 塞浦路斯黄铁矿矿床的成因

## 黄铁矿矿床的地质概况

塞浦路斯岛的中心由特罗多斯火成杂岩体组成,其边部为层状沉积岩。主要的黄铁矿矿床即产于火成杂岩体与上覆沉积物的接触带上或其附近。最下部的沉积层为佩拉佩德希层,该层局部含有火山碎屑-沉积岩,但总的看来,它以独立的单位发育。主要的黄铁矿矿床与该层密切伴生,据推测,二者具有相同的成因。

## 分类与说明

浸染状、块状、脉状、洞穴和(或)空隙充填等几种不同类型的黄铁矿矿化的地层关系如图1所示。

**浸染状** 佩拉佩德希层为碧玉铁质至赭石建造,其中的黄铁矿主要以浸染状发育。该种黄铁矿也遍及特罗多斯熔岩,垂向延深至已知最深的采掘面之下,水平方向延伸至已知矿床的边缘外。尽管浸染状良好,但黄铁矿也以集合体和(或)星团、充填和(或)镶嵌气孔壁的形式发育。

**块状** 块状黄铁矿透镜体(图1)产于与黄铁矿矿化较弱的碧玉铁质岩鲜明的接触

带内,以块状黄铁矿的粗粒集合体发育于细粒黄铁矿基质中。一部分在出露于潜水面之上的块状硫化物内,以粗砾的稍带圆形的黄铁矿白铁矿块产于易碎的砂质黄铁矿基质内。

块状、多孔、细-中粒黄铁矿集合体是最常见的,而以块状透镜体的基底、即透镜体的剖面最厚的部位与硫化物体的最外部边缘间的部分发育最好。

块状透镜体的下面是两边陡峭成楔形的脊部块状黄铁矿(图1),其特征为粗粒、他形、无孔。

不规则“蚕茧”状和透镜状的多孔、粗粒黄铁矿分布在蚀变熔岩内,其本身内又含有大洞穴,通常与自形黄铁矿的被壳成线状排列。

**脉状,裂隙、空隙充填状** 脉状黄铁矿产于块状黄铁矿透镜体下部的硅化和黄铁矿化的熔岩内。该种黄铁矿常有黄铜矿伴生,它们可能和碧玉一起呈脉状产生出。

裂隙内的黄铁矿呈细-中粒他形至自形集合体并沿硫化物形成后的断层破碎带充填。

填隙黄铁矿以洞穴形式发育于枕状角砾岩内或充填于枕状角砾岩之间。

## 地球化学研究

通过野外观察区别开的几种不同类型的黄铁矿矿化均用发射光谱法分别鉴定其微量元素。在这些元素中,Co、Ni、Ti和As表现出了不同类型的黄铁矿化的各自特征。

显微镜下对黄铁矿样品的详细研究表明微量Cu和Zn来源于黄铜矿、辉铜矿或铜蓝和闪锌矿的包体。未鉴定出Co、Ni或As矿物的存在。在黄铁矿中鉴定出的金红石包体解释了Ti值的来源,但由于金红石明显地表

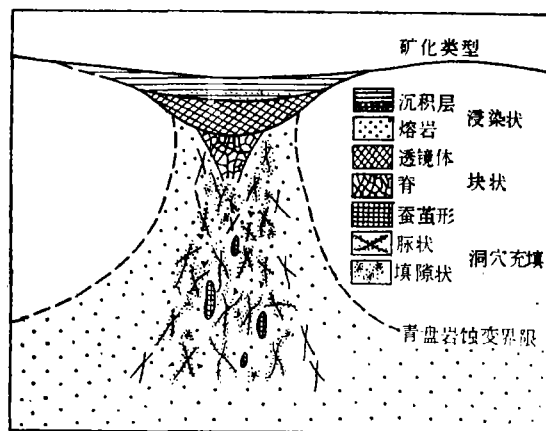


图1 表明矿化类型及其与沉积物和熔岩之间关系的剖面图

明了一种特殊类型的黄铁矿化,故Ti含量亦可用做同样目的。

痕量元素的资料根据坎贝尔和贾科夫斯基(1967)使用的方法标绘,以便说明Ni、Ti和As值与Co值的关系。Co值(图2)以直方图形式沿横座标从左至右按数值渐增的顺序排列。并用相同的图来表示相应的Ni、Ti和As值,在四个图中,每一个图均是沿横座标在相应的位置上由一根棒来代表一个样品。

### Co: Ni关系

黄铁矿中Co和Ni的相关关系用图表示。图中所示的(图3)两个点群,用P-I

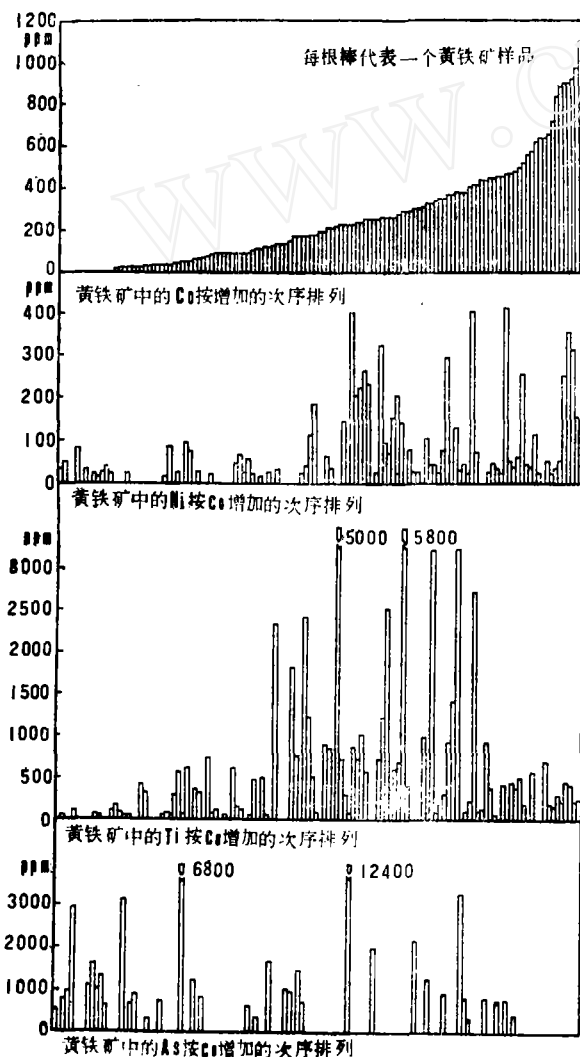


图2 塞浦路斯黄铁矿的微量元素含量

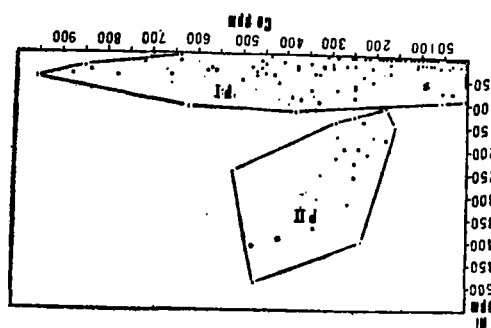


图3 黄铁矿中Ni与Co值相关关系图

和P-II标明,分别表示黄铁矿矿床和与青盘岩蚀变伴生的黄铁矿。

黄铁矿矿床的Co: Ni比率大大超过1,它包括裂隙、间隙、块状和浸染状几种类型,浸染型与断裂带有密切的空间关系,沿枕状熔岩和(或)角砾碎块的边缘形成扩散边界。这几种类型中所含的Co量均比Ni高,而且,Ni值从脉状黄铁矿至原生块状黄铁矿向上逐渐减少。Ni值的减少区别开了该种黄铁矿与青盘岩熔岩内的浸染状黄铁矿。裂隙和(或)洞穴充填黄铁矿显然是由于Fe、Co和S的导入而形成,但发育在青盘岩蚀变带内的黄铁矿则因原生的硅酸盐和氧化铁最初所含的Fe和Ni中加进了S和Co而在原地形成的。许多脉状黄铁矿中不含Ni,这点表明,在火山岩浸染状黄铁矿形成阶段与脉状黄铁矿沉积阶段之间,不是热液系统中Ni含量递减,就是Ni未被后期结晶的黄铁矿吸收,二者必居其一。熔岩内的块状硫化物“蚕茧”中常不含Ni而含微量Co。这些“蚕茧”从结构特征上被解释为洞穴充填,这表明Fe和S在不含Ni而含微量Co的热液系统中富集。

块状黄铁矿透镜体脊部的黄铁矿通常不含Ni,Co含量一般少于脉状或洞穴充填黄铁矿中的Co含量。根据微量元素含量,可将块状黄铁矿透镜体分为两种类型。第一种是由具不规则Co: Ni比率的黄铁矿样品所代表。与脊部不同的是,这种黄铁矿常含微量Ni。第二种类型就是

不同类型黄铁矿化的Co含量及Co: Ni的比率

|                  | Co (ppm) |     | Ni (ppm) |     | Co: Ni   |      |
|------------------|----------|-----|----------|-----|----------|------|
|                  | 范围       | 平均值 | 范围       | 平均值 | 范围       | 平均值  |
| 块状(次生).....      | 无资料      | 无资料 | 10-37    | 23  | 无资料      |      |
| 块状(原生)透镜体.....   | 无资料-640  | 201 | 无资料-74   | 15  | 40.0-2.1 | 12.5 |
| 脊部.....          | 140-720  | 416 | 无资料-15   | 3   | 无资料      | 48.0 |
| 脉状, 裂隙、间隙充填..... | 190-1100 | 600 | 无资料-400  | 93  | 31.5-1.1 | 9.1  |
| 浸染状.....         | 180-520  | 329 | 100-410  | 220 | 3.3-0.8  | 1.8  |

被认为是次生块状黄铁矿矿体的那部分。化学分析表明, 该种黄铁矿明显地富含As, 产于两种不同的地质环境内。产于靠近块状黄铁矿矿床顶部的砷黄铁矿是一种乌黑的细粒集合体, 与次生铜矿物密切伴生。砷黄铁矿还以一种典型的粗粒斑状变晶立方体而产于硫化物生成后的断裂带内。

用59个黄铁矿样品代表不同类型的黄铁矿矿化, Co, Ni的平均值及Co: Ni比率列于上表。

据作者本人的意见, 由于浸染状黄铁矿为青盘岩化的产物, 是在主要黄铁矿矿化之前形成的, 因此, 除去浸染状黄铁矿之外, 黄铁矿矿体内的Co: Ni比率及Co值的地质关系表明矿体深部Co含量显著增加。洛夫特斯-希尔斯和所罗门(1967)根据他们自己的工作及对其它一些作者的观点的评述, 发现硫化物矿床内黄铁矿Co含量增加表明成矿时温度升高, Co: Ni比率大于1及Co含量高都表明了其火山成因。同样, 推测在火山岩裂隙充填环境的深部, 温度可能要比熔岩-沉积物交界面的温度高, 而主要块状黄铁矿透镜体即产于其间。达到工业品位的黄铁矿矿体中的Co: Ni分布也证实了这点。

某些块状矿床的上部曾经历过氧化和淋滤, 如结构所表明, 若这些作用的结果形成了次生黄铁矿的话, 则这种黄铁矿是在相对低温下形成的。塞浦路斯矿床的这种黄铁矿样品不含Co而含微量Ni, 就证实了这一观点。

#### 硫同位素研究

24种黄铁矿样品的硫同位素由美国犹他

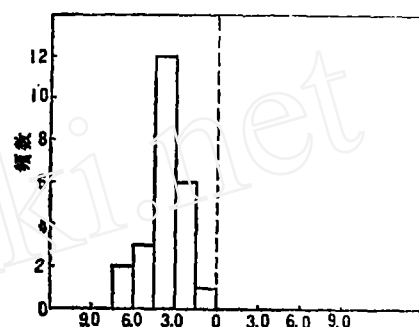


图4 塞浦路斯黄铁矿 $\delta S^{34}$ 直方图

州盐湖城犹他大学同位素实验室鉴定。

用1.5%级做的频数图表示出 $\delta S^{34}$ ‰值的分布(图4)。它的范围从+0.43‰至+6.55‰, 这个范围是狭窄的, 其平均值为+3.75‰, 与生物环境硫同位素值的范围和分馏程度相比, 该值相对于标准值0.0‰的分馏是很小的。而且, 硫同位素资料并未区别黄铁矿矿化的不同类型。

硫同位素分馏可能发生于岩浆系内一个较窄的范围内, 而且通常是在结晶后期。这种分馏在后期形成的硫化物中造成了轻微的 $S^{34}$ 的富集。同位素分馏继续到结晶的热液阶段, 在因岩浆射气而形成的硫化物矿床内形成了较大些的 $S^{34}$ 富集。因此, 特罗多斯杂岩的弱分馏与黄铁矿中 $S^{34}$ 的微量富集都表明, 硫来源于与后期岩浆分异有关的热液溶液, 而岩浆大概来源于熔岩本身。

#### 佩拉佩德希层和黄铁矿的成因

佩拉佩德希层包括基底的块状黄铁矿可分为下列几个单元。

|               | Mn%   | Fe%  | Co: Ni平均值 |
|---------------|-------|------|-----------|
| 顶部 褐铁矿·····   | 5.9   | 12.8 | 0.47      |
| 赭石·····       | 0.9   | 36.2 | 0.38      |
| 碧玉铁质岩·····    | 0.005 | 17.7 | 无资料       |
| 底部 块状黄铁矿····· | 无资料   | 50.0 | 12.5      |

该层的Co: Ni比率与块状黄铁矿的Co: Ni比率截然相反, Ni值大大超过Co值。推测该层与火山喷气活动有直接关系, 因此, 有人认为该层的Ni含量可能部分来源于下伏熔岩的淋滤作用。Ni被运移的实际形式尚未确定, 但很可能Ni形成了一种气相和(或)液相的氯化物络合物。该沉积层中, Mn含量与Ni一样, 有向上增加的趋势, 这点表明, Mn与Ni之间可能有某种相关关系。

加勒尔斯和克赖斯特(1965)认为, 在还原条件下, Ni比Fe和Co易溶, 和Mn一样, 沉淀时需要高的氧化条件。Ni最初沉淀的形式也未确定, 可能与氧化锰络合或是被吸收到沉积层中存在的粘土物质上。在同一沉积面上, Co含量很不规律, 多数情况下比Ni低。然而, Co比这种类型的沉积物中通常发现的Co含量要高, 这就进一步证明了Co在该岩系中的总富集, 至少是达到和包括沉积层在内。

综上所述, 显然, Co与Ni或是具有不同的来源, 或是具有共同的来源, 而在它们现在赋存的黄铁矿与沉积物之间分馏了。假设这一共同的来源是未蚀变的特罗多斯火山杂岩体的玄武熔岩, 具有130ppmNi和48ppmCo的平均组份, 则可能黄铁矿矿化和上覆的佩德佩拉希层中所含的Ni是因蚀变时熔岩的淋滤而来。除去已经分出去的黄

铁矿中的含Ni量, 与玄武岩的平均含Ni量相比, 表明了含量明显递减。

### 结 论

以下几点是作者根据调查研究得的证据而作出的结论:

1. 黄铁矿矿化在特罗多斯火山杂岩体内均有发育, 并延伸至上覆的佩拉佩德希层内。

2. 据火山或沉积岩系中不同类型的黄铁矿矿化的产状断定, 他们之间有空间上的关系。

3. 黄铁矿的微量元素研究表明, Fe、Co和Ni来源于岩浆源。

4. 砷黄铁矿具次生成因, 于潜水面上的淋滤和氧化时期形成。

5. 钴黄铁矿与火山成因有关。

6. Co: Ni比率接近1表明, 广泛的浸染状黄铁矿矿化为青盘岩蚀变的产物。

7. 矿体深部Co: Ni比率的减少及黄铁矿中Co含量的增加表明成矿时温度增加。

8. 硫同位素数据表明, 各种类型的黄铁矿矿化中所含的硫都来源于岩浆。

9. 多数证据说明, 构成主要矿体的块状硫化物透镜体最初是一种化学沉积物, 是由与水下升华活动有关的富含金属的含硫喷气中导出的。从地层上看, 这套地层属化学沉积岩, 透镜体为佩拉佩德希层的基底部分, 而顶部则是未矿化的部分。

立樱译自: 《24th International Geological Congress》,  
Section 4, pp.291~298  
作者: A.E. 约翰逊 (加拿大)