



## 关于浸染型金矿普查勘探靶区选择问题

朱三光 尹付 沈志海

近年来,全国不少地质队承担着金矿地质普查勘探任务。同时,一些地质研究所和地质院校也在开展金矿床成矿理论、分析测试和低品位矿石加工等方面的研究。随着生产的发展,势必要求提供更多的勘探靶区。本文试图通过美国卡林型金矿床建立勘探模式的回顾和展望及含金标型矿物——毒砂的特征来讨论浸染型金矿床勘探靶区选择问题。

### 卡林型金矿床勘探模式的演化

美国重要的金矿区(产量超过1万盎司的矿区)有465个,主要分布在美国本土的20个州。其中,内华达州中北部的含砷金矿带占有重要地位。该带位于前寒武纪科罗拉多地盾的西部边缘地带,与科迪勒拉地槽的东部相接。含砷金矿带长达960公里,仅卡林和科特兹两个金矿床储量就有100多吨,其产量占美国金总产量的1/4。迄今该带发现的矿床有20多个,单个矿床的矿石量为几百万到几千万吨。除富矿外,大部分金矿的品位为1.56~3.12克/吨。以卡林矿床为代表,著称于世界。

卡林金矿床是目前美国发现的最大的浅成热液浸染交代型金矿床;是与第三纪晚期浅部火成活动有关的热液作用形成的。矿床产在志留—泥盆纪罗伯茨山组上部的薄层泥质砂质白云岩层中。矿体由碳酸盐矿物(主要是方解石)被交代而成。实际上,卡林型金矿的命名由来已久。从矿带的设想到证实,从形成巨型金矿带到建立海尔模式长达30多年,但发生重大变化的是最近的20年。

1949年, Joralemon 在提交博士论文时,首先注意到在内华达州似乎有一个南北向的汞矿带。同时,格彻尔和曼哈顿金矿区的矿物特征和结构特征表明金与辰砂矿床有成因联系。这两个

矿床都产在炭质灰岩中,都含有雄黄、辉锑矿、重晶石、萤石和少量辰砂。金银比值高(1.1~1:10),都含沥青质脉石矿物。因此,设想内华达州中北部可能有一条受线性构造控制的含砷金矿带。他把相距480公里的两个脉状矿床称为格彻尔—曼哈顿型金矿。

1959年, Joralemon 发现了另一个金矿,即博斯金矿。因产在安山岩中,所以当时没有把博斯金矿归纳到含砷金矿带中。在区域调查工作的基础上,1960年 Roberts 指出:该区已知的金矿都产在罗伯茨山逆断层下盘炭质岩层的构造窗内或其附近。1961年纽蒙特采矿公司选择林恩构造窗老矿区进行工作,果然发现了一个含砷金矿,即卡林金矿。这个金矿从矿物成分来看,与格彻尔—曼哈顿型金矿十分相似。现在认为构造窗是由背斜核部隆起、第三纪断块隆起以及深部火成岩的侵入隆起和后来的侵蚀作用等结合起来而形成的。

卡林金矿的发现,在美国政界产生了强烈的反响。1966年,几家采矿公司共同进行了一项勘查活动,获得的模式是:(1)存在罗伯茨山逆断层。(2)存在暴露下盘碳酸盐岩岩层的构造窗。勘查结果在科特兹和金地两个矿区发现了浸染型金矿。此外,又在其他地方发现了一些含砷金矿,但是许多矿床并不符合这个模式,碳酸盐岩岩层不是唯一的容矿围岩。矿区研究表明,含砷金矿带上金矿的围岩性质,南带与北带有所不同。北带金主要产于炭质灰岩中;南带除炭质灰岩外,有的产在流纹岩、安山岩、片岩、钙质页岩和燧石中;有的产在白岗岩中。由于人们已经在许多岩石类型中观察到与卡林金矿相似的成矿特征,1971年 Roberts 等对内华达州中北部的热液金矿床进行了初步分类。卡林型术语被推广到涉及产于各种围岩中的浸染状金矿,提出寻找塞

莱乌型斑岩金矿,即寻找与花岗闪长岩共生的金矿。这就把卡林型金矿床的概念,经科特兹浸染状金矿引伸到含矿母岩体内产出的斑岩金矿上去了。即把浸染金、脉金视为一个系列,采用了斑岩铜矿模式的勘探方法,使这个时期的储量激增。

另一方面,七十年代由于世界黄金价格迅速上涨,导致美国对全国的金矿区进行重新调查。许多勘探人员藉此研究与金矿地质有关的疑难问题。如Nash(1972)根据包裹体的研究结果认为,包括卡林在内的浸染状金矿,主要矿化阶段是低温( $175\pm 25^{\circ}\text{C}$ )、低盐度的热液作用而形成。这就使人认为它与斑岩铜矿的高盐度是不可类比的。近来,Spence和Worthington(1980)研究了南卡罗来纳州的海尔火山型金矿,并在北卡罗来纳州的皮德蒙特地区的其他金矿床得到证实后,指出海尔型模式也适用于美国西部的一些金矿床(如矿物山和格彻尔金矿)。他认为形成大型浸染状金矿床所需要的条件很简单,只要有含金的物质来源、有可渗透的容矿围岩和储金构造即可成矿。

30多年来,卡林型金矿床虽然经历了五个阶段:格彻尔—曼哈顿型(1949)—卡林型(1961)—科特兹型(1966)—塞莱乌型(1979)—海尔型(1980),但金矿床成矿系列的时空控制和成因研究尚未完成。

### 含金黄铁矿和毒砂的标型特征

金在元素周期表中居于铁和硫之间,与铁相邻,化学性质相似。和金矿床共生的黄铁矿或毒砂等硫化物中容易混入金和其他铁、硫之间的元素,从而使这些矿物具有一定的标型特征。许多矿床实例证明,金矿床不同程度地含有一些标型元素。Au含量与Se、Te、Cu、Bi、Pb等的含量成正比,而与Co、Ni的含量成反比。通过金矿床标型矿物(包括脉石英)特征的研究,可以为靶区的选择提供大量的信息。

**黄铁矿的矿物学(标型)特征** 黄铁矿是金—硫化物建造浸染型金矿石主要标型矿物之一。这种类型的金矿床矿化期常可细分出与三种矿物组合相应的三个阶段——早期阶段、成矿阶段和

晚期阶段。黄铁矿也可相应地分成三个世代。第Ⅱ世代黄铁矿往往与金关系密切。

Д. П. Вилкулова等人曾以典型矿床为例,综合研究了金—硫化物矿石的黄铁矿。为了便于比较,本文将含金与不含金黄铁矿逐一描述如下:

第Ⅰ世代的黄铁矿,呈他形粒状,有时出现八面体。晶面具线状和梯状条纹是其特点。含有大量的磁黄铁矿、黄铁矿以及造岩矿物的包裹体。结晶温度区间 $215\sim 450^{\circ}\text{C}$ 。硫铁比为1.98。钴、镍、铜、锌、碲的含量很高,镍钴比 $> 1$ 。

硫同位素比值为正,变化范围很小。晶胞参数及穆斯堡尔谱分析表明,黄铁矿有晶体缺陷,其成分上化学计算数据略有不同,有很低(负值)且很稳定的热电动势,有较高的物理密度、X射线密度和显微硬度;在可见光区单色光下有较高反射指数。在电子显微镜下,黄铁矿中含有微粒红镍矿、铁镍矿、辉铁镍矿、辉钴矿—辉砷镍矿、金的砷化物的类质同象和碲金矿、针碲金矿等。

第Ⅱ世代黄铁矿在矿石中分布最广,它既是与其同时结晶的次微粒金的主要载体,也是叠加在晚期阶段金的主要载体。它与第Ⅱ世代的石英、菱铁矿及第Ⅰ世代的铁白云石共生。黄铁矿虽常呈立方体和五角十二面体,但形态是多变的,晶面具多角状与羽状条纹是它的显著特点。粒径 $0.1\sim 0.1\mu\text{m}$ 毫米,极细的 $0.01\mu\text{m}$ 粒级者为他形或胶态沉淀物。黄铁矿中含有大量矿物包裹体,包括第Ⅰ世代的黄铁矿包裹体。

黄铁矿形成温度为 $150\sim 265^{\circ}\text{C}$ 。该黄铁矿中,硫铁比为2,砷、硒和铋等显著增加,而铜、锌、碲、镍和钴减少,镍钴比 $< 1$ 。黄铁矿中 $\text{S}^{34}$ 单一分布,其值变化不大。晶胞参数及穆斯堡尔谱分析表明,这类黄铁矿晶体结构高度完善,而其成分符合化学计算。热电动势变化无常,单色光反射指数、显微硬度、X射线密度和物理密度比第Ⅰ世代者低。电子显微镜下可见有成矿期的标型微粒矿物组合:金与银的碲化物(碲金银矿和碲银矿)、铜的硒化物(红硒铜矿)、镍和钴的砷化物(方钴矿—斜方砷钴矿)及镍的硫砷砷化合物(砷镍砷矿)。

第Ⅲ世代的黄铁矿,呈斑状变晶,晶面具粗

断线状条纹。据包裹体测温研究,形成温度不超过100~215℃。硫铁比大于2。钴、镍、铜、锌和铅的含量最低,而砷和铋最高。镍钴比小于1。晶胞参数很高,说明第Ⅲ世代黄铁矿有晶体结构缺陷。成分与化学计算的数据不同。硫同位素成分在正值范围内变化。热电动势为正值,往往带有低(负的)值热电动势的边缘带。由于铁的含量下降,显微硬度和反射指数也相对下降。在电子显微镜下可见微粒铋硫盐(辉铅铋矿)、铅的砷化物(似铋银矿和圆柱锡石)。

**毒砂的矿物学标志** 金—硫化物建造浸染型金矿石中另一个标型矿物是毒砂。它往往也可分为三个世代,产于不同矿物共生组合中。其中第Ⅰ、Ⅱ世代的毒砂带不同程度的含金,以第Ⅱ世代的毒砂含金最高。

第Ⅰ世代的毒砂发育在石英—毒砂—黄铁矿组合中,有时与第Ⅱ世代的黄铁矿构成连晶,或者以不等粒的单矿物呈浸染状产出。呈自形变粒结构,针状或长柱状,更常见的是短柱状;具内部环带结构,常有大量造岩矿物残余,粒径为0.07到0.4~0.8毫米,超过2毫米的少见(主要分布在矿带边缘)。在消光方位定向的针状切片上,显微硬度大于第Ⅱ世代的毒砂。当负荷100克时,硬度为1073~1101公斤/毫米<sup>2</sup>。显微硬度无各向异性。第Ⅰ世代的毒砂,在定向的针状切片上,反射强度比第Ⅱ世代的毒砂低,在黄光区表现的最明显。第Ⅰ世代毒砂含钛、钴、镍多,还含有锰、锡、铜等,砷的含量低于第Ⅱ世代。结晶化学式:  $FeAs_{0.86}Si_{1.14}$ 。

第Ⅱ世代的毒砂,含金量最高,常呈金—黄铁矿—毒砂—铁白云石组合,构成交代脉产于构造裂隙中。毒砂呈他形,变晶结构,细针状或等粒的短柱状,细针状更为常见。变晶大小不超过0.07毫米,多为0.03~0.04毫米。在1:1的酸中腐蚀可显出晶体生长的分带性。在消光方位定向的针状切片上,显微硬度比第Ⅰ世代的毒砂小,为688~849公斤/毫米<sup>2</sup>。显微硬度无各向异性。反光强度高于第Ⅰ世代毒砂。其成分中除了含金程度高以外,还含有铋、钛、铅、铜、锰和痕量

元素钴、镍、锡。砷的含量比第Ⅰ世代毒砂多。结晶化学式:  $FeAs_{0.9-0.925}Si_{1.075-1.125}$

含金的第Ⅱ世代毒砂成分中硫过剩(砷不足),第Ⅰ世代砷更不足。硫砷比值(S/As)及矿物晶胞参数随结晶温度变化,故可作为地质温度计。当砷的含量增加时,结晶习性从三斜晶系向单斜晶系过渡,实测晶格接近于斜方晶系。两个世代含金的毒砂反光强度共同特点是在以光波为横坐标,反射率为纵坐标的反射强度特性线上,随波长的增大反射强度也增大,即为反光异常色散。毒砂反射率 $R_1$ 与 $R_2$ 的二谱线在波长在472~600m $\mu$ 区内相交。随反射程度的增加有光谱线交点向红光区转移的趋势。这二种毒砂的结晶温度都在380~320℃区间内。

第Ⅲ世代的毒砂(不含金),呈极微粒状在碳酸盐岩中构成树枝状连晶,以无包裹体的纯晶体为特征。

### 关于靶区选择问题的建议

目前国外的大部分精力正以露头区地质和地球化学的特征为评价依据,开展被砾石层或火山岩层覆盖的矿化蚀变区的研究。采用壤中砷的地球化学方法圈定远景区,通过标型矿物的研究评价矿床远景,以发现有潜在价值可供露天开采的金矿床。

卡林型金矿床在我国报道不多。过去,除微粒金分析技术和低品位矿石冶炼工艺的限制外,看来很大程度上是我们对卡林型金矿床的认识不一。国外的工业分类过宽,而国内的分类较窄,以致在矿床工业类型的划分上理解不尽相同。目前认为我国只有石峡、苗龙、潭山头、李家沟等地金矿(或矿化点)可与美国卡林金矿类比。这就分散了人们对卡林型矿床的注意,影响了找矿效果。为此,作者建议加强广义的浸染状金矿床的研究;以同一标准,从成矿作用的时间、空间上入手,按照一定的层次逐级建立热液金矿的成矿系列;使划分的各种型式与成矿母岩(包括层状矿石)的地质特征对应,今后,在选择勘探靶区时,首先应注意矿床分类中目前尚存在的问题。