某似层状銅矿床中含鈷黃鉄矿的工业意义*

邢 撫 安

某銅矿矿石中鈷主要賦存于黃鉄矿中，含鈷量一般均达到工业要求。早期晶出的黃鉄矿中有輝鈷矿共生，品位更高，含鈷黃鉄矿在矿体中分布除构成銅鈷矿石外，并可形成具有工业价值的鈷(含鈷黃鉄矿)矿石。由于矿石中含鈷黃鉄矿的确定和进一步明确了銅鈷矿物的分布特征，从而确定了該矿床中鈷的工业意义。

一、矿床物质成分的研究

(一) 矿床地质概况

該銅矿位于某变质岩区域，該区出露的岩层为片岩层和大理岩层，片岩层中包括石榴子石鈣质云母片岩、石榴子石云母片岩、鈣质云母片岩、黑色片岩、矽化大理岩；大理岩层包括厚层大理岩、鈣质云母片岩、矽化大理岩。矿区构造为一同斜向斜层，构造綫（軸綫）为北东一南西向。

矿床为似层状銅矿床，产于上述向斜层南北两翼大理岩层的底部，含矿围岩主要为矽化大理岩、鈣质云母片岩和黑色片岩等。南北矿化带延长方向与构造綫相同为北东一南西，傾斜南东，傾角为35°—55°，矿体呈透鏡状及似层状，围岩蝕变現象有碳酸盐化、金云母化、矽化以及綠泥石化等。

(二) 矿床物质成分及矿化特点

該矿床中矿物成分簡单，主要金属矿物有黃銅矿、含鈷黃鉄矿（黃鉄矿），次要矿物有赤鉄矿、磁黃鉄矿、輝鈷矿、輝鉬矿、閃鋅矿以及斑銅矿、磁鉄矿等，在氧化带中有輝銅矿、銅蓝、孔雀石、褐鉄矿等。

矿床中主要金属矿物的分布，根据矿物共生組合特点，构成黃銅矿黃鉄矿矿石、黃鉄矿矿石；不同矿石类型如按围岩条件和围岩蝕变組合特征，前者可称金云母化矽化黃銅矿、黃鉄矿矿石（銅鈷矿石），后者可称碳酸盐化含鈷黃鉄矿矿石（鈷矿石）。

矿石构造主要分为細脉浸染状、浸染状、团块状三种。

1. 細脉浸染状构造：金属矿物黃銅矿、黃鉄矿呈細脉和浸染状，沿含矿岩层的层理或裂隙进行充填交代，細脉主要由含矿及不含矿的方解石石英脉交錯組成，脉寬0.5—5厘米，长短不等，由几厘米到十几厘米，在含矿黑色片岩中細脉多与片理平行并呈断續状，在矽化大理岩中則多沿裂隙形成不規則之細脉状分布。

2. 浸染状构造：也是一种比較普遍的构造，黃銅矿、黃鉄矿呈不規則散点状分布在金云母化大理岩、鈣质云母片岩、矽化大理岩和黑色片岩中，矿物顆粒一般为0.5—1.5厘米，黃鉄矿晶粒完整，常呈自形，黃銅矿呈他形或細粒集合体交代黃鉄矿和脉石矿物。

3. 团块状构造：常与浸染状构造相伴生，当黃鉄矿或黃銅矿、黃鉄矿显著富集时，构成块状矿石。块状矿石尤以碳酸盐化地段发育。

矿石結构及矿物共生关系：硫化矿石的結构主要分为結晶結构和溶蝕交代結构，前者主要表現着黃鉄矿呈自形晶或粒状被包裹于黃銅矿或磁黃鉄矿中，溶蝕交代結构常发現于黃鉄矿、輝鈷矿和黃銅矿、黃鉄矿、磁黃鉄矿的共生体中，黃銅矿与磁黃鉄矿共生溶蝕交代現象显著，黃鉄矿被含銅石英脉溶蝕交代現象也較发育。矿物晶出順序根据矿石矿物共生組合、結构、构造特征，可确定矿石中硫化物以輝鈷矿、黃鉄矿（Ⅰ）晶出最早，磁黃鉄矿、黃銅矿、黃鉄矿（Ⅱ）次之，黃銅矿、黃鉄矿（Ⅲ）和黃鉄矿（Ⅳ）更晚，不同硫化物共生組合的重迭出現反映着矿区硫化物矿化的多阶段性。

* 本文系根据1961年研究工作汇报加以整理，参加工作人員有邱允贊、楊玉春等。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

（三）矿石中鈷的賦存矿物及分布

上述矿石物质成份研究証明，矿石中鈷除局部富集构成輝鈷矿外，主要富集于黄鉄矿及磁黄鉄矿中，黄銅矿次之，在脉石矿物（金云母、方解石）中最少。在黄鉄矿、黄銅矿中含鈷量，由于各矿物晶出世代不同也显有差异，早期黄鉄矿中含鈷最高，晚期与黄銅矿共生的黄鉄矿則較低，黄銅矿含鈷由于晶出世代不同也有递減的趋向，在硫化物中这种含鈷的递变現象，說明鈷的富集与成矿溫度有联系，在围岩中含鈷主要决定于金云母、方解石的含量，一般金云母化岩石含鈷比矽质岩石高，未受蝕变的厚层大理岩含鈷最低。

通过对矿石中鈷的分布状态的了解，看出不同类型矿石中鈷品位的变化主要决定于輝鈷矿和含鈷黄鉄矿的含量多寡，矿石中輝鈷矿含量极少，黄銅矿中含鈷量不高，磁黄鉄矿中含鈷虽接近于黄鉄矿，但其矿物量有限，影响不大，脉石和围岩中含鈷量均低，矿石綜合样品进行元素配分的資料証明，矿石中近82%的鈷富集在黄鉄矿中，因之确定了黄鉄矿为該矿石中鈷的主要工业原料矿物。

二、含鈷黄鉄矿的分布富集規律

构成該矿床的主要金属矿物为黄銅矿、含鈷黄鉄矿。不同矿物在矿体中的分布，根据矿石矿物組合和品級变化可区分出銅鈷矿石和鈷矿石。不同类型矿石及含鈷黄鉄矿在矿体中的变化規律，按其主要矿体有如下特征。

3号矿体呈似层状，矿石主要为細脉浸染状銅鈷矿石，鈷的品位变化与黄鉄矿矿化强度有关，矿体由北向南，黄鉄矿化現象显著，所以鈷的品位由北向南逐漸增高，在同一矿体中黄鉄矿由于产出部位不同，鈷的含量也有变化，一般当黄鉄矿产于矿体的端部，含鈷較低，在矿体中部含鈷則高。矿体产生变形时含鈷黄鉄矿特别富集，含鈷品位也显著增高，其中最富地段发現了輝鈷矿矿物。某矿体中鈷品位呈交錯状，銅在下盘富集，鈷在上盘富集（图1）。就矿体在不同水平高度含鈷品位变化，上部高下部低，同一世代黄鉄矿中鈷的含量也具有同样的趋向。

在某矿体銅矿石呈連續的透鏡体出現于鈷矿石中，鈷矿石构成該矿体的主要矿石（图2），矿石含鈷均高。

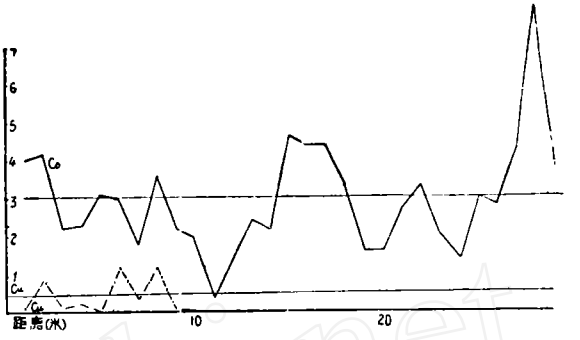

图 1　銅、鈷品位变化曲綫图

虛綫为銅品位，实綫为鈷品位，下同

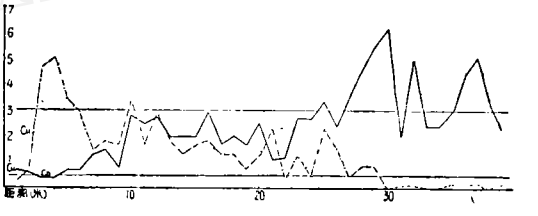

图 2　銅、鈷品位变化曲綫图

矿区主要矿体深部含鈷品位的变化情况，目前尚不够了解，但就某些鉆孔矿心所获資料，在一些矿体下部鈷品位有递減的趋势。矿体深部鈷的分布，除主要集中在銅矿体內部或近矿体上下盘外，在远离矿体黄鉄矿化显著地段，鈷的品位也高。

从矿体中含鈷黄鉄矿的分布富集情况，可以看出矿石中鈷的品位变化不但受黄鉄矿含量的影响，也和不同世代黄鉄矿中含鈷量的变化有关，并且在同一矿化阶段中，黄鉄矿含鈷量随空間的变化，在矿体边部或延深又有递減的現象。但本区黄鉄矿一般含鈷均高，就其平均含鈷量的变化范围尚不至影响其工业价值。

三、关于鈷的綜合利用和勘探问題

（一）含鈷黄鉄矿的工业意义

鈷的工业原料矿物，主要为硫鈷矿、砷鈷矿以及鈷土矿，其他具有工业意义的矿物，則为含鈷黄鉄矿及含鈷毒砂等。含鈷黄鉄矿主要富集在含鈷矽嘎岩型銅鉄矿床、似层状銅鈷矿床中。从有关資料看，一般似层状銅鈷矿床中含鈷矿物除少量輝鈷矿呈单独矿物外，主要为含鈷黄鉄矿。

本矿含鈷黄鉄矿經浮选試驗回收，已获得較好的硫鈷精矿，因之确信該銅矿所产含鈷黄鉄矿可做为鈷

（下轉第12頁）

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

石、輝銻錫鉛矿以及脉石矿物中也有一定含量。

4．硒、碲：硒和碲主要含在硫盐矿物及硫化物中。含硒最高的矿物为脆硫銻鉛矿，含硒量为万分之几。含碲最高的矿物为閃鋅矿，含碲量为十万分之几。其他矿物中硒和碲的含量极微。

5．鉈：矿石中鉈含量很少，从单矿物分析資料看，鉈主要在輝銻錫鉛矿中，其他硫化物中的鉈含量极微，一般不超过百万分之几。錫石中也含0.0003%。

6．金、銀：金富集于鉛銻精矿中，而銀富集于鋅精矿中，硫砷精矿中金、銀也有一定含量（錫精矿因样品不足未能进行考查）。金、銀的品位較高，其賦存状态尚待进一步研究。

三、矿石可选性能及綜合利用

（一）該矿石金属矿物种类繁多，粒度細小，結构复杂，因此其可选性程度如何，是急待解决的問題。

就錫而言，矿石中錫石嵌布粒度細小。加之其分布不但与硫化物連生而又常与脉石不易解离。此外矿石中錫石又以黝錫矿形式存在，黝錫矿呈乳滴状賦存于鉄閃鋅矿中，不能分选，造成錫在回收上的損失。

在伴生組分中，如鋅、鉛、銻、硫、砷等均以硫化物存在，鋅矿物粒度較大，易于选别。銅品位較低，特别是黃銅矿均呈乳滴状与鉄閃鋅矿連生，因而选矿过程中难以得到銅的精矿。鎘、銦主要富集于閃鋅矿中，脆硫銻鉛矿中含銦也可达0.023%。其他元素在各矿物中品位均低，是否具有工业意义，尚待进一步研究。

（二）根据該矿石物质組成特点，經选矿实驗証实錫石可以重选回收。其他伴生組份以浮选回收获得各种精矿效果良好。特别是先浮选后重选的流程对伴生組分的綜合利用更显得有利，如就矿石可选性研究所获各选矿产品指标来看，可确定矿石中伴生組分鋅、鉛、銻、砷、硫的綜合利用价值，为地区評价工作提供了依据。

分散元素在选矿过程中的分散与富集是确定分散元素是否有工业价值的主要根据，选矿各产品中分散元素及貴金属分析表明，鎘、銦、銀等主要含在鋅精矿中，鉛銻精矿中鎘、銦、金、硒的含量也比較高，但鎵和鉈則很貧乏，碲、鉈也不能大量富集，鎘、銦、金、銀在冶炼过程中应注意回收。

（上接第6頁）

的工业原料矿物。

（二）有关选矿問題

矿石中鈷的賦存状态除发現极少量輝鈷矿外，主要形成了含鈷黃鉄矿，在黃銅矿和磁黃鉄矿中含鈷很少，因之对鈷的綜合利用，主要决定于含鈷黃鉄矿的选矿富集。含鈷黃鉄矿的物理和化学性质基本上与黃鉄矿相同，黃鉄矿的选矿技术較簡单，所以不論对黃鉄矿与黃銅矿同时求得混合精矿，或进行优先浮选，都将获得較好的結果。

关于該矿石銅鈷回收問題，經多次研究，均获得了較好的成果，我們认为，就矿区矿石性质的实际情况，选矿采用銅鈷混合浮选和下一步抑鈷选銅的流程是合适的，分离銅鈷用石灰法、石灰亚硫酸鈉法、石灰氯化鈉法，都获得了比較滿意的指标，特别是石灰法价廉质高，更具优越性。

从选矿試驗証实了鈷精矿的主要成份为含鈷黃鉄矿，上述浮选含鈷黃鉄矿的选矿流程，可适用于类似矿区。

（三）对鈷的进一步勘探問題

該矿床为似层状銅鈷矿床，矿体形态稳定，矿物成份簡单，主要构成銅鈷矿石和鈷矿石，鈷矿石局部富集并密切与銅鈷矿石相伴，因之对該矿床鈷的勘探可在銅矿勘探的同时进行，过去勘探队勘探銅时曾用組合分析品位进行过鈷的儲量計算。对伴生元素利用組合样品分析进行儲量計算是否合理，还要看元素的賦存状态和其品位的代表性如何，目前矿山为研究鈷的矿化規律，在已探矿地段进行取样分析，由于矿块圈定包括了单鈷矿石，所求平均品位較前組合样分析品位均高，单鈷矿石在矿体中局部富集，并占有一定比量，在勘探时如按銅品位圈定矿体，势必使鈷矿資源造成損失，因之对如何圈定銅鈷綜合矿体或按矿石类型分别圈定，应根据单鈷矿石可采品位，进行不同类型矿石量的統計，和銅的貧化程度的研究，最后合理确定。但須指出，勘探該类型矿床时的矿石取样，就鈷的賦存特点，应以普通分析代替組合分析取得品位参数計算儲量为合理。

（四）关于找矿問題

本区含鈷黃鉄矿的形成，就其成矿控制因素分析，主要决定于鈷元素的地球化学特性和成矿溫度变化，以及矿床类型、区域地球化学特性等。

鈷是亲鉄亲銅元素，鈷在矿床中的分布更接近于銅，多构成銅鈷綜合矿床。該带銅矿矿点很多，类型相似，矿石中普遍发現含鈷矿物和鈷矿物，显然与区域岩浆成分和溶液性质的区域地球化学特征有关，应引起对該带銅矿床中鈷的評价工作的重視。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net