



工艺矿物

青海肯德可克钴铋金矿钴铋金的赋存状态及工艺特性研究

董春艳, 迟效国, 孙丰月, 张渊
(吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要:应用矿相显微镜、电子探针和化学物相分析等测试手段,研究了肯德可克钴铋金多金属矿中钴铋金的赋存状态及工艺特性。钴主要以钴矿物或类质同象状态赋存于Ni、Bi、As等矿物之中;铋主要以辉铋矿、自然铋、硫铋矿等独立矿物产出;金主要以独立的金矿物或类质同象金产出。

关键词:钴; 铋; 金; 赋存状态; 工艺特性

中图分类号:P57 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2005)01-0029-05

矿区地处青海西部东昆仑成矿带的昆北构造带上,矿区地层较为简单,主要为上奥陶统、上石炭统、上三叠统,矿床主要产于上奥陶统铁石达斯群硅质岩中。控矿构造以近东西向和北北东向为主,具多期次演化特征。多种成矿作用互相叠加,形成了多种金属元素如: Au、Co、Bi、Cu、Ni、Mo 富集成矿,且均可圈出独立的矿体。

一个矿床的经济价值不仅取决于矿石的储量与品位,还要视其是否符合选冶工艺^[1]要求。由于该矿床矿化元素多样,相对单一矿种的矿床来讲,其选矿方法就显得尤为复杂。因此正确认识矿床矿石中元素的赋存状态及矿石工艺特性,是选择合理选矿工艺流程的关键所在。

1 矿石物质成分

矿区位于肯德可克向斜北翼,断裂构造

发育。矿床受控于一近东西向的F1主断裂,目前矿体控制延长约500m,其带宽约30~100m^[2]。依据矿区坑探及钻探分析数据,在含矿砂卡岩内共可圈出11种不同元素或元素组合矿体,分别为Cu、Au、Co、Bi、Mo、CuPbZnAg、CoBi、CoBiAu、CoAu、PbZn及磁铁矿矿体。

1.1 矿石的化学组成

该矿石化学分析结果(表1)表明,矿石中的主要工业元素有Au、Cu、Co、Ni、Mo、Bi、Fe等,其中Au的含量为3.5~11.8g/t,Co含量为0.023~8.45%,平均0.07%,Bi的含量平均为0.64%。由于有价值的元素较多,必须考虑综合回收利用^[3]。

1.2 矿石的矿物组成

由于该矿床成矿作用的多期叠加性,其矿物种类非常复杂。研究查明,矿石中的主要矿物、次要矿物和微量矿物如表2所示。

收稿日期:2004-03-17

基金项目:中国地质调查局项目(No. 20011020002107);吉林大学创新基金项目

作者简介:董春艳(1976-),女,博士研究生,地球化学专业,主要从事矿物岩石方面的研究。

万方数据

表 1 矿石化学成分分析结果/%

样号	Au*	Ag*	Co	Ni	Cu	Pb	Zn	Mo	Bi	As	Sb	Fe	S
31	3.5	20	0.07	0.2	0.02	<0.01	0.013	0.14	0.66	1.0	0.0134	0.31	0.66
61	3.48	15.3	0.072	0.24	0.02	0	0.008	0.16	0.94	0.9	0.00519	0.64	0.68

* 单位为 g/t。

表 2 肯德可克矿石矿物组成

项目	金 属 矿 物								非金属矿物
	金矿物	银矿物	钴矿物	镍矿物	铜矿物	铋矿物	钼矿物	其他	
主要矿物	银金矿	自然银	方钴矿、 辉砷钴 矿、水钴 矿、菱 钴矿	红砷镍矿、 辉砷镍矿、 钴镍矿	黄铜矿、 黝铜矿、 孔雀石、 铜蓝	自然铋、 辉铋矿	辉钼矿	磁黄铁矿、 方铅矿、闪 锌矿、黄铁 矿、磁铁矿	石英、方解石、 白云石、透石、 钙铝榴石、透 辉石、绿帘石
次要矿物	自然金	辉银矿	钴毒砂、 钴镍矿、 钴华	镍华	辉铜矿	碲铋矿、 硫碲铋 矿、软 铋矿	钼铋	硒矿物、胶 黄铁矿、白 铁矿、褐铁 矿	透闪石、绿泥 石、硅辉石、 符山石、磷灰 石、阳起石、 黝帘石、绢云 母、萤石
微量矿物					自然铜			陨硫铁	

2 钴铋金的赋存状态

矿石中可见的钴矿物有方钴矿、辉砷钴矿、钴毒砂、水钴矿、钴镍矿和菱钴矿等,还有部分钴以类质同象状态赋存于 Ni、Bi、As 等硫化矿物之中。铋主要呈辉铋矿,自然铋、硫碲铋矿等独立矿物产出,其次是呈类质同象赋存于 As、Cu 等硫化矿物之中。金矿物主要是银金矿和自然金,呈裂隙金、包裹金或晶隙金产于辉砷镍矿、黄铁矿、石英等载金矿物之中。其赋存状态有两种:一是独立的金矿物,二是类质同象金。

现将钴铋金矿主要矿物的赋存状态分述如下:

方钴矿:粒度较大,粒径为 0.18 ~ 0.47mm,常与自然铋、辉砷钴矿共生,大量自然铋被包含于方钴矿中,排列显示为环带状,表明方钴矿与自然铋近于同时形成。辉砷钴矿与方钴矿镶嵌产出,构成环带结构,为同时形成的产物。

辉砷钴矿:辉砷钴矿为粒状集合体,粒径为 0.01 ~ 0.07mm,可产在方钴矿裂隙中,有的与毒砂、自然金呈包体形式产于黄铜矿中,有的与方钴矿共同产在透明矿物中。

自然铋:自然铋为不规则粒状、片状,单偏光下呈灰黄—灰白色,粒径 0.01 ~ 0.15mm,含微量的 As、S、Co、Sb、Ni 等元素。自然铋与自然金共生,有的与硫碲铋矿共生,呈包体状态存在于辉砷镍矿中,有的与毒砂、辉铋矿共生,呈包体状态存在于透明矿物中,或在方钴矿中以包裹体形式大量产出,并总体排列显现为方钴矿的生长环带,反映了在方钴矿生长过程中,自然铋晶出并被包含,说明自然铋与方钴矿近于同时形成。

辉铋矿:辉铋矿在镜下(单偏光)呈灰—灰白色,为粒状集合体,短轴为 0.01 ~ 0.04mm,长轴为 0.02 ~ 0.10mm。有的辉铋矿与硫碲铋矿共生,产于石英的晶隙中,共同形成石英的填隙结构;有的与自然金、自然铋共生,呈包体状态存在于辉砷镍矿中;有的与毒

砂、石英、方钴矿相伴生,呈包体状态存在于透明矿物中。

硫碲铋矿:与碲铋矿、自然铋和自然金、自然银、辉钼矿、辉锑矿等共生。为不规则长条状,短轴为0.04~0.13mm,长轴为0.06~0.33mm。在单偏光下呈灰色,有的与自然铋共生以包体形式存在于辉砷镍矿中,有的与辉铋矿一起共生,共同产在石英的晶隙中,形成填隙结构。

自然金:为显微金,粒状、薄片状和团块状,粒度大小不一,多以包体金和裂隙金形式存在。自然金主要见于辉砷镍矿中,多数与自然铋、辉铋矿共生,被辉砷镍矿交代成港湾状和浑圆状,并包含于辉砷镍矿中。在黄铜矿中也有自然金、辉砷钴矿和毒砂相伴产出。

钴铋金矿物电子探针分析结果分别见表3~5。

表3 钴矿物电子探针分析结果/%

矿物名称	Au	Ag	Co	Ni	Cu	Bi	Te	As	S	Fe	Sb
方钴矿	0.25	0.18	19.25	3.71	0	0.65	0	75.6	0.44	0	0
辉砷钴矿	0.26	0.06	23.19	3.73	0	0.05	0	46.57	21.3	4.8	0
钴毒砂	0.07	0.05	9.96	0.2	0	0.11	0	47.6	18.4	23.8	0
钴镍矿	0.03	0.04	19.6	25.4	0.3	0.5	0	44.6	0.2	9.56	0

表4 铋矿物电子探针分析结果/%

矿物名称	Au	Ag	Co	Ni	Cu	Bi	Te	As	S	Fe	Sb
自然铋	0	0	0.03	0.49	0	99.06	0.1	0.02	0	0	0.36
辉铋矿	0.07	0.10	0.07	0.02	0	80.30	0	0.02	19.1	0.12	0.2
硫碲铋矿	0.2	0.5	0.05	0.11	0	65.91	26.70	0	6.94	0.04	0.46
碲铋矿	0	0.04	0.48	0.1	0.1	79.11	16.76	0.12	2.01	1.13	0.3

表5 金矿物电子探针分析结果/%

矿物名称	Au	Ag	Pb	Zn	As	Bi	Co	Ni	Te	Fe	Mo
银金矿	68.9	28.06	0.32	0.39	0.67	0.85	0.2	0.11	0	1.8	0
自然金	91.86	7.62	0	0	0	0.64	0.03	0.64	0.08	0.18	0.02

3 矿石工艺特性

3.1 矿石结构

晶粒结构:黄铁矿、辉砷镍矿等矿物呈自形粒状结构,由于结晶时间早,不受外界条件控制,矿石形成较完整的晶形;磷灰石、透辉石、磁铁矿、黝帘石等矿物虽然结晶力强,但受其他条件限制,使矿物结晶不完全而呈半自形粒状结构;自然铋、方解石、石英、石榴石等,由于结晶能力低或结晶晚于其他矿物,受其他条件控制而呈他形粒状结构。

环带结构:毒砂、石榴石由于形成晶体时

物化条件的不断改变而呈环带结构;此外自然铋包含于方钴矿中,其排列构成了方钴矿的环带结构。

压碎结构:黄铁矿、磁黄铁矿晶体受力后呈碎裂现象,反映它们形成后又具有构造应力的活动。

胶状结构:主要见于胶黄铁矿。由于胶黄铁矿形成于热水喷流-沉积期,胶体本身具强烈的脱胶化性质,加上后期强烈的成矿叠加作用的改造和热能影响,胶黄铁矿的胶状结构往往被破坏,可呈残缺不全的残块,或被交代呈残余状包含于毒砂和磁黄铁矿中,有的再结晶

构成特殊的黄铁矿形态,如本区特别发育的树枝状黄铁矿集合体。此外,再次生氧化期,钴华呈胶状结构,内反射时可见粉红色的胶环。

3.2 矿石构造

块状构造:本区金属硫化物发育,往往多期叠加,当矿石中金属硫化物含量 > 80%,呈块状构造,如磁黄铁矿、黄铁矿,另外辉砷镍矿也呈致密块状构造。

条带状构造:硅质岩形成时由于成分差异,构成了条带状构造;矽卡岩化硅质岩及矽卡岩,其矽卡岩矿物的形成与原始硅质岩成分有关,也构成了条带状构造。如黝帘石透辉石矽卡岩中,黝帘石呈不等粒的条带构成了条带

状构造;石墨透辉石矽卡岩中,不同矿物组分呈条带状间隔分布,构成条带状构造。

脉状、网脉状构造和微孔网脉状构造:黝帘石矽卡岩中黝帘石微晶细脉发育,呈细脉状构造;磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿和毒砂呈脉状穿切在矽卡岩中,构成脉状构造;黄铁矿等硫化物充填于碎裂的硅质岩和矽卡岩的裂隙,构成网脉状构造;热水喷流-沉积成矿时,由于物理化学条件急剧变化,黄铁矿呈大量微粒状晶出,在后期成矿作用影响下,重结晶构成微孔网脉状构造。

3.3 矿物嵌布特征

该矿石中的矿物嵌布特征详见表 6。

表 6 矿物嵌布特征

矿物	粒级/mm	嵌布关系	镶嵌关系	共生组合
自然金	0.005 ~ 0.02	不均匀	包裹镶嵌	自然铋
自然铋	0.01 ~ 0.15	均匀	包裹镶嵌	自然金
辉砷镍矿	0.02 ~ 0.21	均匀	毗邻镶嵌	硫砷铋矿、红砷镍矿、自然铋
硫砷铋矿	0.04 ~ 0.05	不均匀	包裹镶嵌	辉砷镍矿、方钴矿、硫砷铋矿
红砷镍矿	0.02 ~ 0.07	不均匀	包裹镶嵌	毒砂、方钴矿、硫砷铋矿
辉铋矿	短轴 0.01 ~ 0.04 长轴 0.02 ~ 0.10	均匀	包裹镶嵌	方钴矿、毒砂、软铋矿、硫砷铋矿
软铋矿	显微	不均匀	包裹镶嵌	毒砂、方钴矿、辉铋矿
硫砷铋矿	短轴 0.04 ~ 0.13 长轴 0.06 ~ 0.33	不均匀	包裹镶嵌毗邻镶嵌	自然铋、辉铋矿
方钴矿	0.18 ~ 0.47	均匀	毗邻镶嵌	辉砷铋矿、自然铋
辉砷铋矿	0.01 ~ 0.07	不均匀	毗邻镶嵌包裹镶嵌	方钴矿、自然金、毒砂
黄铁矿	0.06 ~ 0.09	不均匀	毗邻镶嵌	石英、脉石矿物

根据该矿床矿石的特征、属性将该矿床矿石的成矿元素划分为 Au、Ag—Co、Ni、Cu—Mo、Bi 三大类,其中金、银矿物的嵌布粒度在 0.001 ~ 0.1mm 之间,Co、Ni、Cu 矿物的嵌布粒度在 0.4 ~ 2.15mm 之间,Mo、Bi 矿物的嵌布粒度在 0.001 ~ 1.1mm 之间,所以综合考虑矿物的嵌布粒度,其单体解离度应在 0.01 ~ 0.074mm。

4 结 论

青海肯德可克钴铋金多金属矿床成矿具多期、多阶段性,矿化元素有 Au、Ag、Co、Ni、Cu、Mo、Bi 等,矿石组构复杂,矿物组成差别

较大。通过对该矿石中钴铋金元素的赋存状态的研究及其工艺特性的研究,得出以下几点结论:

1. 矿石中钴主要呈钴矿物或类质同象状态赋存于 Ni、Bi、As 等矿物之中;矿石中铋主要呈辉铋矿、自然铋、硫砷铋矿等独立矿物产出;矿石中金的赋存状态有两种:一是独立的金矿物、二是类质同象金,金矿物主要是银金矿和自然金,呈裂隙金、包裹金或晶隙金产于辉砷铋矿、黄铁矿、石英等载金矿物之中。

2. 矿石结构主要有晶粒结构、环带结构、压碎结构和胶状结构,矿石构造主要有块状构造、条带状构造、脉状、网脉状构造和微孔

网脉状构造。

3. 综合考虑矿物的嵌布粒度, 单体解离度应在 0.01 ~ 0.074mm 之间。

4. 针对矿石中有用金属元素的赋存状态及矿石工艺特性, 研究认为该矿石为难选多金属矿石, 建议分段综合提取矿石中有用金属元素。

参考文献:

[1] 韩秀丽, 李昌存. 昌平锰银多金属矿矿石工艺性

质研究[J]. 河北理工学院学报, 1997(3): 68 ~ 71.

[2] 潘彤, 孙丰月. 青海东昆仑肯德可克钴铋金矿床成矿特征及找矿方向[J]. 地质与勘探, 2003, 39(1): 17 ~ 20.

[3] L. S. Likhoded, I. V. Kud', and L. I. Eremenko. Effect of boron on the structure and composition of cobalt silicides, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Vol. 39. Nos. 11 ~ 12, 2000.

Research on Occurrence and Technical Characters of Cobalt, Bismuth and Gold in Kendekeke Cobalt-Bismuth-Gold Ores, Qinghai

DONG Chun-yan, CHI Xiao-guo, SUN Feng-yue, ZHANG Yuan

(Jilin University, Changchun, Jilin, China)

Abstract: The occurrence and technical characters of cobalt, bismuth and gold in kendekeke cobalt-bismuth-gold polymetallic ores were researched through determination and measuring using mineralographic microscope, electron probe analysis and chemical phase analysis. Cobalt mainly as cobalt minerals or isomorphous impurity forms occurred in minerals of Ni, Bi and As. Bismuth mainly occurred as individual mineral of bismuthinite, native bismuth and joseite, and gold was occurred as individual gold mineral and isomorphous gold.

Key words: Cobalt; Bismuth; Gold; Occurrence; Technical character

2005年《铜业工程》征订启事

国际刊号 ISSN1009 - 3842 国内刊号 CN36 - 1237/TF 广告许可证号 16011068 - X

办刊宗旨: 推广铜工业技术, 开展铜技术理论研究, 交流国内成功经验, 传递国际铜发展信息。

着重报道: 铜企业的采矿、选矿、冶金、分析化验、材料加工、机电、工业建筑、自动化、节能、环保、企业管理和资源综合利用等方面的科研成果、学术论文和综合评述, 并侧重报道国内外铜工业生产的建设成就、科技动态、市场信息、新知识、新技术、新观点等。

本刊为季刊, 全年订价 38 元(含邮费), 订费直接由邮局汇至本编辑部。

编辑部地址: 江西贵溪江西铜业集团公司培训中心 邮编: 335421

联系电话: 0701 - 3338098, 3338099 传真: 0701 - 3331665

E - mail: tygc@china journal. net. cn