

文章编号:0258-7106(2002)01-0023-13

# 大井锡多金属矿床矿石矿物成分及时空演化\*

王玉往<sup>1,2</sup> 曲丽莉<sup>2</sup> 王京彬<sup>1,2</sup> 王莉娟<sup>1,2</sup> 姜能<sup>1</sup> 毛骞<sup>1</sup>

(1 中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100101; 2 北京矿产地质研究所,北京 100012)

**摘要** 文章总结和划分了矿床的矿石类型、矿化阶段及其在空间上的分布;对不同阶段、不同地段和不同类型的黄铁矿类、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿和锡石等 6 种主要矿石矿物进行了电子探针微区分析。结果显示,矿床中主要矿石矿物的化学成分明显受时间因素控制,尤其是黄铁矿类和锡石。毒砂、闪锌矿、黄铜矿和方铅矿等硫化物,更具空间上的分带性,总体上,老区东部—北区南部的矿物成分特征显示出其形成温度较高,可能是本区的重要矿化中心,而南区和西区可能还存在其他的矿化中心。

**关键词** 内蒙古 大井矿床 矿石类型 矿石矿物 矿物成分 时空演化

**中图分类号**: P618.4

**文献标识码**: A

大井矿床位于内蒙古东部林西县东北 21 km 处,是一个以锡、铜、银、铅锌为主的多金属大型矿床,目前建有我国北方最大的锡生产矿山。因其复杂的地质特征和独特的经济地位,我国地质学家曾从不同角度对该矿床进行过研究,并多次涉及到矿石矿物特征(姚德等,1990;艾霞等,1992;张德全,1993;赵一鸣等,1994;芮宗瑶等,1994)。谢玉华(1988)首先报道了当时已发现的 40 余种矿物,简述了矿物的结构、构造及原生金属矿物的产状和个别化学成分含量,冯建忠等(1990)分别讨论了黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和锡石的某些微量元素标型特征及其形成的物理化学条件。但总的来看,对于该矿床专门的矿石学研究尚不够系统和深入,特别是缺乏结合时空演化的矿石学研究。矿石学研究是矿床研究的基础和最主要的研究内容之一,它对于一个研究程度较高的矿床是不可缺少的。90 年代后,随着矿山建设和矿体的采掘,新的地质现象被不断揭露,而测试技术的发展,又使我们有可能对矿床成矿阶段和矿石空间演化的认识更趋深入和接近客观事实。本文在系统、详细的野外调查基础上,对矿床不同种类的主要矿石矿物进行了化学成分分析,以揭示其在时间和空间上的变化规律。

## 1 矿床地质简介

大井矿床位于大兴安岭褶皱带南端的黄岗—甘珠尔庙中生代构造成矿带内。矿区主要出露上二叠统林西组淡水湖泊相正常沉积的粉砂岩、细砂岩夹中粒杂砂岩及泥灰岩,其中的炭质板岩、粉砂岩和细砂岩是主要容矿围岩。矿区广泛发育有侏罗系英安斑岩、霏细斑岩、辉绿玢岩、玄武玢岩、煌斑岩等浅成、超浅成岩脉。矿区断裂构造发育,主要有 NW 向、NW<sub>W</sub> 向、NE 向及近 EW 向等 4 组断裂,其中由多条 NW<sub>W</sub> 和 NW 向断裂组成的平行密集的断裂带为主要容矿构造。根据不同时期的勘探范围和目前开采区域的分布,可将矿床分作老区、东区、北区、西区和南区 5 个矿段(勘查区)。整个矿床由 690 余条矿脉组成,但可开采的主矿脉仅 30 多条,且大部分为隐伏矿,多呈 NW 向或 NW<sub>W</sub> 走向,北倾为主,一般与容矿地层斜交。矿脉与围岩界线清晰,围岩蚀变不强。矿床中已发现的矿物达 70 余种,主要的矿石矿物有黄铁矿、胶状黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿、毒砂、锡石、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿,脉石矿物为石英、碳酸盐(如菱铁矿、方解石、铁白云石、铁方解石等)、粘土矿物(如水白云母、绢云母等)、绿泥石,常见的

\* 本文得到中国科学院资源与生态环境项目(KZ951-BI-404)和知识创新项目(KZCX1-07)资助  
第一作者简介 王玉往,男,1965 年生,高级工程师,主要从事金属矿床地质及成矿预测研究。  
收稿日期 2001-03-27; 改回日期 2001-08-31。李岩编辑。

微量金属矿物还有黝铜矿、黝锡矿、银黝铜矿以及深红银矿等。

## 2 矿石基本特征及成矿阶段划分

### 2.1 矿石类型

根据矿山的实际开采和回收情况,大井矿床的工业矿石类型主要有3种:铜锡银矿石(黄铜矿-锡石型)、铅锌银矿石(方铅矿-闪锌矿-银矿物)及两者的复合。

若从成矿阶段的角度考虑,亦应考虑非工业矿物(包括脉石矿物和金属矿物,如黄铁矿等),由此,笔者将大井矿床的矿石分为基本类型和复合类型两类。

基本类型是指矿区内所出现的各种最简单组合的矿石种类,一般为块状和(或)浸染状构造,而不具网脉、角砾等多期次构造特征,矿物为单世代。大井矿床的基本类型矿石特征见表1。

矿石的基本类型是划分成矿阶段的基本单元,上述4个主要类型即分别形成于成矿期的4个主要成矿阶段。

复合类型指2种以上基本类型以不同的组构复合而成。在大井矿床复合型矿石有多种多样,如前述的工业矿石类型就多为复合类型。不同矿石构造的复合型矿石是划分各成矿阶段顺序的重要依据。如由不同期次的矿脉穿插而成的网脉、复脉状、似条带状构造矿石,可形成铜铅锌矿石〔即黄铁矿-闪锌矿(-方铅矿)脉(基本类型IV)在黄铜矿-黄铁矿矿石(II)与围岩之间生成〕,I型矿石在II型中呈角砾构造组成锡石-毒砂-黄铜矿-黄铁矿矿石等。

### 2.2 成矿阶段划分

根据上述矿石类型和矿物之间的穿插、胶结关系,将大井矿床的成矿作用划分为3期和若干个矿化阶段。大井矿区的成矿阶段和主要矿石矿物在各阶段中的分布见表2。

表1 大井矿床的基本类型矿石特征

Table 1 Basic ore types of the Dajing deposit

	I、锡石-毒砂型	II、黄铜矿-黄铁矿型	III、无矿黄铁矿型	IV、闪锌矿-方铅矿型
分布地区	北区南部以及老区东部	北区南部,老区东、西部,南区局部	老区东、西部,北区南部	全区,是北区北部、东区的主要类型
主要矿物组合	锡石、毒砂、石英	黄铜矿、黄铁矿、锡石、菱铁矿、绿泥石	黄铁矿、胶状黄铁矿、白铁矿	闪锌矿、黄铁矿、方铅矿、菱铁矿、绿泥石
次要及微量矿物	萤石、黄铁矿	磁黄铁矿、胶状黄铁矿、石英、绢云母、白铁矿及少量闪锌矿、方铅矿、黝锡矿、银的硫盐及硫化物	菱铁矿	复硫盐矿物、白铁矿、银的硫盐及硫化物
其他	可有少量碳酸盐、黄铜矿、闪锌矿等沿裂隙贯入和交代	黄铁矿、黄铜矿、锡石、菱铁矿为常见组合,黄铜矿中常有闪锌矿的固溶体,其他矿物时有时无	白铁矿为晚期蚀变矿物,有时含少量后期碳酸盐、黄铜矿等	闪锌矿中偶有黄铜矿、磁黄铁矿等固溶体

表2 主要矿石矿物在各阶段中的分布

Table 2 Distribution of major ore minerals in various stages

矿物	成矿前		成矿期				成矿后
	石英脉阶段 1-①	柔皱变形阶段 1-②	锡石-毒砂- 石英阶段 2-①	黄铜矿-黄铁 矿阶段 2-②	无矿黄铁 矿阶段 2-③	方铅矿-闪 锌矿阶段 2-④	石英-方解石 (-萤石)脉阶段 3
毒砂		+	+++			+	+
锡石		+	+++	++			
黄铁矿	+	++	+	+++	+++	+++	+
胶状黄铁矿				+++	+++	+++	
白铁矿				++	++	+++	++
闪锌矿	+	+		++		+++	
方铅矿						++	
黄铜矿	+	+		+++		+	

+++ : 主要; ++ : 次要; + : 微量。

### 3 样品采集、分析条件及数据处理

为能较真实地反映矿石的时空演化特征,笔者选择了 14 个中段的坑道、41 个钻孔的近万米岩心及两条地表剖面,前后采集样品 1 200 余件。样品包括了大井老区、北区、东区、西区和南区等所有 5 个勘查区,在垂向上重点选择了标高在(600±20) m 和(400±20) m 的区段,并兼顾了深部(最低 0 m 标高,Zk74-2 钻孔)和重点矿体(如老区 1<sup>#</sup>、10<sup>#</sup>)的上下延伸,因此可以说比较全面和有代表性地覆盖了整个矿区(图 1)。在此基础上选择了近 400 件光薄片进行显微镜观察,并分别对不同阶段、不同地段和不同类型的主要矿石矿物进行了化学成分分析。全部样品分析均为笔者在中国矿物资源探查研究中心的岛津“EPMA-1500”电子探针仪上完成的,共获得了 300 余个分析数据。经过反复核对,剔除不合格样品后,对所获数据重新以 100% 计算,之后再分类进行统计和处理,最后实际使用的数据为 214 个。

### 4 主要矿物成分及演化

#### 4.1 黄铁矿类

大井矿床中的黄铁矿类包括黄铁矿、胶状黄铁矿和白铁矿,它们在空间上的变化规律性不强,其成分主要受成矿阶段和矿石类型的制约(表 3),其特征如下。

(1) 早期石英脉中黄铁矿的  $w_{Co}$ 、 $w_{Ni}$  值比其他类型黄铁矿高一个数量级,Se 含量也达全区最高,Fe 含量最低。黄铁矿中微量元素偏高,尤其是 Co、Ni 偏高,反映出本区原始含矿流体中微量元素含量较高,来源较深的特征。

(2) 柔皱变形岩石内及其中矿化细脉内的黄铁矿在成分上有很大的相似性,与全区相比,各微量元素含量均偏低,但显示出与随后的主矿化期黄铁矿成分的一致性。

(3) 在老区和北区的铜锡矿石中,特别是石英中含部分黄铁矿。其化学成分与柔皱变形的黄铁矿

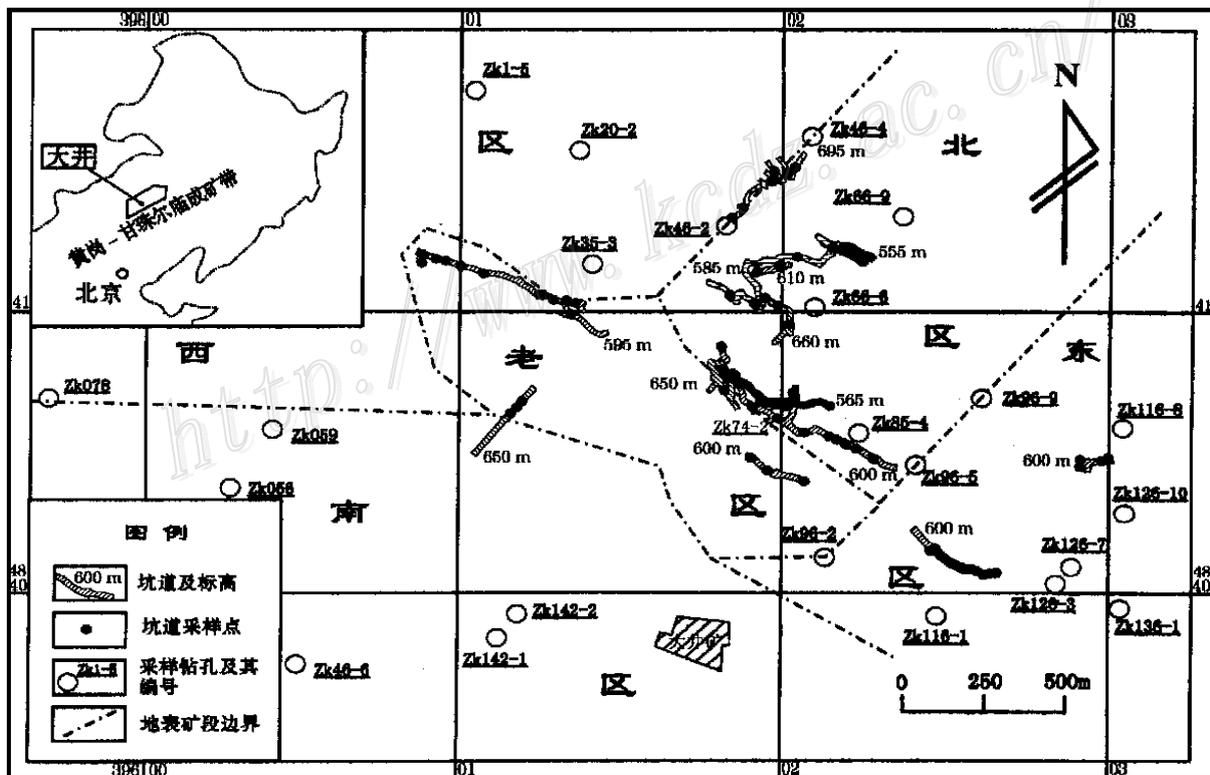


图 1 实际采样位置图

Fig. 1 Sampling location map

表3 大井矿床黄铁矿类的平均化学成分

Table 3 Average composition of pyrites

矿物	序号	成矿阶段	黄铁矿产状	样品数	$w_B/\%$						
					S	Fe	Co	Ni	As	Cu	Se
黄铁矿	1	1-①	石英脉	2	53.12	45.27	0.27	0.77	0.44	0.05	0.07
	2	1-②	次生石英岩	1	53.29	46.30	0.06	0.00	0.35	0.00	0.00
	3		黄铜黄铁矿脉	1	53.82	45.68	0.06	0.03	0.35	0.06	—
	4		黄铁矿脉	2	52.91	46.68	0.03	0.02	0.35	0.01	0.00
	5	2-①?	与石英共生	8	53.79	45.76	0.04	0.01	0.35	0.04	0.02
	6	2-②	块状含锡铜矿石	7	53.19	46.23	0.04	0.02	0.42	0.13	0.03
	7	2-③	块状黄铁矿矿石	8	53.09	46.45	0.04	0.02	0.40	0.00	0.00
	8		页岩中浸染状	4	53.30	46.17	0.06	0.02	0.44	0.00	0.00
	9	2-④	闪锌矿-黄铁矿矿石	9	53.35	46.15	0.05	0.07	0.39	0.02	0.00
	10		页岩中浸染状	3	53.39	45.89	0.06	0.01	0.64	0.00	0.01
	11		碎粒状(方铅矿亚阶段)	7	53.58	45.38	0.04	0.02	0.97	0.01	—
胶状黄铁矿	12	2-②	铜锡矿石	4	53.04	46.09	0.06	0.03	0.42	0.37	—
	13	2-③	块状黄铁矿矿石	2	53.68	45.92	0.05	0.00	0.34	0.01	—
白铁矿	14	2-③	围岩中浸染状	2	53.26	46.13	0.03	0.15	0.41	0.02	—
	15		块状黄铁矿矿石	2	52.74	46.24	0.05	0.02	0.42	1.07	—
	16	2-④	闪锌矿-黄铁矿矿石	2	52.90	46.55	0.07	0.05	0.45	0.00	0.00
	17	3	含矿石角砾的胶结物中	1	52.44	46.72	0.03	0.00	0.76	0.04	—

注：“—”为未测。

相似,即不似后来大规模的黄铜矿-黄铁矿阶段的黄铁矿富Cu,其他元素Co, Ni, As, Se也较低,推测该期黄铁矿化应与石英-毒砂-锡石阶段相当。

(4) 黄铜矿-黄铁矿阶段的黄铁矿和胶状黄铁矿中Co, Ni, As等含量有不同程度的升高,其显著特征是富Cu,与本期铜矿化的性质相一致。

(5) 块状黄铁矿阶段的黄铁矿、胶状黄铁矿和白铁矿,具有中等或正常含量的S, Fe, Co, Ni, As; Cu含量一般极低;白铁矿有时富Cu,可能与继承黄铜矿矿化阶段有关。

(6) 闪锌矿阶段出现的黄铁矿有2种:一种是与方铅矿和闪锌矿共生,可较早或较晚;另一种为在闪锌矿矿石之后的破碎期形成的,有时甚至出现次生加大的环带结构,严格来讲,该期黄铁矿应与方铅矿有关。前者具有正常的S, Fe和微量的微量元素含量,与主成矿期其他阶段的黄铁矿相似;后者黄铁矿的特点是 $w_{As}$ 极高,一般大于0.6%(其他类型一般 $w_{As} < 0.45%$ ),这种闪锌矿-黄铁矿组合中常有有毒砂产出,其围岩中的浸染状黄铁矿仍然具有相似的特点。

(7) 晚期石英脉中的白铁矿虽也具有较高的Cu, As含量,但却是因为胶结了含黄铜矿或(和)毒砂矿石的角砾所致。总的来看,大井矿床黄铁矿中

$w_{As}$ 较高,大多数在0.3%~1%,平均0.48%,远高于华南锡矿中黄铁矿的 $w_{As}$ (如大厂为0~0.3%,平均0.19%)(黄民智等,1988),与大兴安岭南段区域背景富As特征(赵一鸣等,1997)一致。As是黄铁矿中含量较高和相对较稳定的元素,从其地球化学性状可知,它常以类质同像形式置换S。As在矿床中多富集于晚期形成的矿物中,即在形成温度较低的黄铁矿中含量较高(黄民智等,1988; GriGore et al., 1999)。本矿床的黄铁矿亦符合此规律,即从矿化期开始到最后方铅矿矿化阶段,As含量有逐渐增高的趋势(图2)。

大井矿床黄铁矿的 $w_{Co}/w_{Ni}$ 比值绝大多数大于

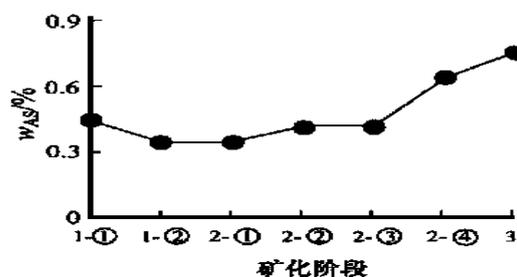


图2 不同阶段黄铁矿中As的变化  
数据见表3

Fig. 2 Variation of As in pyrites of different stages (data in table 3)

1,部分小于 1 的样品又明显产于脉体中,与沉积成因的黄铁矿有较大差别(Wolf,1976;Bralia et al.,1979;Campbell et al.,1984); $w_S/w_{S_c}$ 比值也是反映黄铁矿成因的要素,一般沉积成因的黄铁矿较高(大于  $20 \times 10^3$ )(叶绪孙等,1996),本区黄铁矿之  $w_S/w_{S_c}$  值亦属热液矿床范畴。

## 4.2 毒砂

### 4.2.1 在时间上的变化

不同阶段和矿石类型中毒砂的化学成分见表 4。

(1) 成矿前柔皱变形阶段,毒砂成分上表现为 S,As 均衡,微量元素中除 Cu 较其他类型偏高外,Co,Ni 含量中等。

(2) 毒砂-锡石-石英阶段,为矿区最主要的毒砂产出阶段,在矿石中毒砂常以粗大自形晶产出,但由于形成较早,在后期的矿化活动中毒砂常有破碎和被交代现象,后者(破碎和被交代的毒砂)与前者相比, $w_S/w_{As}$  比值无太大变化,但 Fe 含量降低,Cu,Co,Ni 等升高,可见在交代过程中伴随了 Fe 被 Cu,Co,Ni 等的置换。

(3) 铜(锡)矿石中,严格来讲,它们应为早期锡石组合中的毒砂,被后期黄铜矿叠加和改造常呈溶蚀状。由于在交代作用过程中成分发生了变化,该阶段中毒砂  $w_{Fe}$  呈降低趋势,Cu,Co,Ni 则趋于富集;S 和 As 的变化主要受空间位置的影响(见后)。

(4) 闪锌矿矿石中,其中的毒砂属次要矿物。其成分特征为富 S,Fe; $w_S/w_{As}$  比值高,S 与 As 的原子数比大于 1;微量元素变化不稳定,除个别样品点外,大多较低。

(5) 成矿后晚期石英脉中。这种毒砂极具特征: $w_S, w_{Fe}$  达全区最高,而  $w_{As}$  达最低,微量元素  $w_{Cu}, w_{Co}, w_{Ni}$  也较低。

毒砂中 S 与 As 的比例是反映形成温度的重要参数(Clark 1960;Kretschmar et al.,1976;Sharp et al.,1985)。从最早的成矿前柔皱变形期→锡石-石

英期(→黄铜矿-黄铁矿期)→闪锌矿期→成矿期后的石英脉, $w_S/w_{As}$  值趋于升高,这与成矿温度降低有关。

如果用  $w_{Fe}/w_{(Cu+Co+Ni)}$  比值表示毒砂含杂质的程度,则由早到晚,该值有先降后升的趋势,即早期较纯,随着矿化的进行成分渐趋复杂,而矿化末期再度纯化。

### 4.2.2 在空间上的变化

由于该矿床整个矿化期间隔不大,毒砂成分在空间上的演化可能更为突出(表 5)。同一标高(如 600 m)  $w_S, w_{Fe}$  由西向东渐高, $w_{As}$  降低。 $w_S/w_{As}$  值在西区达到最大,表明该处可能温度最高;在 400 m 亦有相似的变化。在同一地区不同深度上,如老区东部,由 0 m→565 m→600 m,  $w_S, w_{Fe}$  升高而  $w_{As}$  降低, $w_S/w_{As}$  增大;北区由 400 m→600 m 的变化类似(图 3)。

大井矿床的毒砂一般  $w_{Co}$  较高,为 0.02%~1.94%,且多在 0.1%~1.3%之间。但成矿后的石英脉和东区闪锌矿矿石中的毒砂  $w_{Co}$  最低(0.02%~0.12%,多小于 0.1%)。Cu,Ni 的含量一般较低, $w_{Cu}$  为 0~0.08%(多小于 0.06%), $w_{Ni}$  为 0~0.34%(多小于 0.1%),不具工业回收价值。

## 4.3 黄铜矿

黄铜矿可以以下形式产出:

(1) 早期石英脉中黄铜矿,在粗粒(粒径 > 1.5 mm)石英中呈微量微粒状(粒径 < 0.05 mm)产于其间隙中。以富 Ag 为特征, $w_{Ag}$  达 0.14%(表 6),为全区最高,与该期的闪锌矿富 Ag、黄铁矿富 Co 和 Ni 的特点相协调,可见早期石英脉中 Ag 已初步富集。

(2) 柔皱变形期的黄铜矿,显示与早期石英脉的继承特征,Ag 虽有所降低,但与全区相比仍略富集( $w_{Ag} = 0.07%$ )。其他特征亦与早期石英脉中的黄铜矿类似,但更趋富 Fe、贫 Cu 和低 As。

(3) 产于黄铜矿-黄铁矿期的黄铜矿,黄铜矿-黄

表 4 不同阶段中毒砂的平均化学成分

Table 4 Average composition of various stages of arsenopyrite

成矿阶段	毒砂类型	样品数	$w_B/\%$						$w_S/w_{As}$	$w_{Fe}/w_{(Cu+Co+Ni)}$
			S	As	Fe	Cu	Co	Ni		
1-②	柔皱次生石英岩	2	19.93	45.81	33.96	0.04	0.24	0.03	0.43	110.17
2-①	锡石毒砂矿石	11	19.94	44.80	34.57	0.02	0.36	0.06	0.44	79.09
2-②	铜锡矿石中	11	19.35	46.08	33.98	0.03	0.51	0.05	0.42	56.25
2-④	闪锌矿矿石中	12	20.66	44.20	34.93	0.02	0.13	0.05	0.47	173.12
3	晚期胶结物石英中	1	22.06	41.43	36.43	0.01	0.05	0.02	0.53	494.99

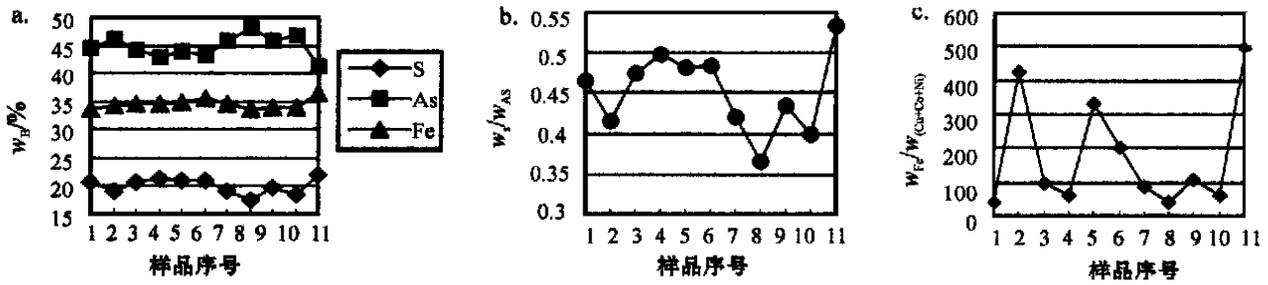


图3 毒砂化学成分在空间上的变化

a-S、As、Fe含量；b- $w_S/w_{As}$ 比值；c- $w_{Fe}/w_{(Cu+Co+Ni)}$ 比值；数据见表5

Fig. 3 Spatial variation of arsenopyrite composition (data in table 5)

表5 不同矿段和标高毒砂的平均化学成分

Table 5 Average composition of arsenopyrite from various blocks and levels

序号	产出位置	样品数	$w_B/\%$						$w_S/w_{As}$	$w_{Fe}/w_{(Cu+Co+Ni)}$
			S	As	Fe	Cu	Co	Ni		
1	695 m 标高,北区北部	2	20.73	44.67	33.78	0.00	0.78	0.05	0.46	40.72
2	600 m 标高,老区西部	3	19.25	46.29	34.37	0.01	0.04	0.03	0.42	424.39
3	600 m 标高,北区南部	2	20.92	44.06	34.662	0.04	0.22	0.10	0.47	96.54
4	600 m 标高,老区东部	5	21.35	42.92	34.60	0.02	0.44	0.10	0.50	61.55
5	600 m 标高,东区中部	6	21.10	43.91	34.87	0.02	0.06	0.02	0.48	330.96
6	600 m 标高,东区东部	4	21.01	43.33	35.48	0.03	0.04	0.10	0.48	200.33
7	565 ~ 530 m 标高,老区东部	5	19.28	45.76	34.57	0.01	0.36	0.02	0.42	89.46
8	400 m 标高,西区	5	17.59	47.98	33.63	0.04	0.70	0.06	0.37	42.18
9	400 m 标高,北区(剪切期)	2	19.93	45.81	33.96	0.04	0.24	0.03	0.43	110.17
10	0 m 标高,老区东部(最深部)	2	18.66	46.78	34.02	0.00	0.51	0.03	0.40	63.25
11	晚期胶结物中(老区西部)	1	22.06	41.43	36.43	0.01	0.05	0.02	0.53	494.99

表6 大井矿床黄铜矿的平均化学成分

Table 6 Average composition of chalcopyrite

成矿阶段	类型	样品数	$w_B/\%$							$w_{Fe}/w_{Cu}$	$w_S/w_{As}$	
			S	As	Fe	Cu	Zn	Ag	In			Sb
1-①	石英脉中	1	35.81	0.29	30.48	33.23	0.03	0.14	0.00	0.01	0.92	122.68
1-②	柔皱变形岩石	1	34.93	0.28	30.80	33.85	0.05	0.07	0.00	0.01	0.91	124.94
2-②	含铜石英(岩)脉中	4	34.92	0.28	29.87	34.43	0.01	0.09	0.00	0.84	0.87	125.04
	铜锡矿石											
	老区西部 675 mL	2	35.11	0.30	30.55	33.96	0.01	0.04	0.00	0.00	0.90	118.52
	老区西部 595 mL	2	33.97	0.32	32.25	33.43	0.00	0.02	0.00	0.00	0.96	107.11
	北区南部 585 mL	1	34.89	0.23	29.00	35.88	—	0.00	—	0.00	0.81	151.29
	北区南部 400 mL	3	35.15	0.33	30.23	34.28	0.00	0.01	0.01	—	0.88	107.54
	含 Pb 的 Cu-Zn 矿石	4	34.97	0.29	30.07	34.44	0.00	0.02	0.21	—	0.87	121.05
	Cu-Zn 矿石	5	35.07	0.29	30.05	33.95	0.58	0.02	0.00	0.01	0.88	121.06

注：“—”为未测。

铁矿期为大井矿床铜的主矿化期,形成了该矿床的主要工业铜矿化,分布于除东区和北区北部以外的所有矿段。根据其产出的矿石类型可将该期黄铜矿

分为3大类:

A. 含 Cu(Sn) 石英脉或浸染状含 Cu(Sn) 石英脉矿石中的黄铜矿,与早期石英脉被主矿体穿插的特

征不同,这类矿石属工业矿体的组成部分,与主矿体构造一致,但其富 Ag 的特征与早期石英脉中的黄铜矿相同。另外,除个别样品点外,As 含量较低( $w_{As}$ 多小于 0.3%,最低 0.21%——全区黄铜矿最低值),且含 Sb 也是该类黄铜矿的一个特点。这类黄铜矿在主成矿期中可能属早期,由于温度较高,溶液中的 Ag, Sb 不易形成银的硫盐矿物而与黄铜矿结合(或机械混入)是其富 Ag, Sb 的主要原因;而较高温度下,As 抢先与 S, Fe 结合形成毒砂,从而使黄铜矿中 As 含量相对较低。

B. 一般的 Cu-Sn 矿石中的黄铜矿,是最主要的铜开采类型。该类黄铜矿在同一矿化阶段中属晚期结晶矿物,常为他形粒状或交代其他矿物(以交代黄铁矿、毒砂最普遍)。受周围矿物成分的影响,其成分变化较大,特别是主成分 S, As, Fe, Cu, 这与包裹或交代的黄铁矿、毒砂有直接关系,如同一样品中包裹和交代黄铁矿的黄铜矿较粗粒纯净的黄铜矿富 Fe 贫 As ( $w_S/w_{As}$  和  $w_{Fe}/w_{Cu}$  分别为 130.74, 104.44 和 0.91, 0.89)。一般来说,细粒或交代的黄铜矿  $w_{As}$  值趋于降低,富铁而贫铜。亦由于上述因素的影响,空间上也难显示变化规律,总的趋势是深部较浅部(如同在老区西部和北区南部)As, Fe 高而 Cu 低。本类黄铜矿含 As 较高( $w_{As}$  平均 0.31%,最高可达 0.37%),其他微量元素均较低(质量分数基本小于 0.05%)。

C. 铜锌矿石中的黄铜矿,又分为 2 种: ① 与闪锌矿同期的黄铜矿,有时以固溶体形式产于闪锌矿

中,有时呈细粒状与闪锌矿共结,成分上以富 In 为特征( $w_{In}$  平均 0.21%); ② 后期活化的黄铜矿,与方铅矿同期,呈细脉或网脉(脉宽  $< 0.1$  mm) 直接穿插于闪锌矿中,或产于方铅矿-碳酸盐脉中穿插闪锌矿矿石。这类黄铜矿的特点是富 Zn (一般  $w_{Zn} > 0.05%$ )。两种黄铜矿在主成分上相似,且含量较稳定,Fe, Cu 原子数比近 1:1。

#### 4.4 闪锌矿

(1) 早期石英脉中的闪锌矿,呈半自形-他形细粒状,含 Fe 中等( $w_{Fe}$  为 6%~10%),其显著特点是 Ag 含量高, $w_{Ag}$  为 0.01%~0.11%,平均 0.06%(表 7),在所有闪锌矿中最高;而 As 最低, $w_{As}$  平均仅 0.04%;含 Cu 极低。

(2) 柔皱变形期的闪锌矿,闪锌矿中含 Fe, As 较高,Cu 亦较石英脉中的闪锌矿增高,也比闪锌矿-黄铁矿期闪锌矿为高,富 Fe 特征反映出其结晶温度较高和形成压力较小。

(3) 黄铜矿矿石中的闪锌矿,与黄铜矿、早期黄铁矿同期,多在黄铜矿、黄铁矿中呈星状、雪花状固溶体出溶,颜色偏紫,在矿区中部和北区南部属微量或少量矿物,在西区、南区可形成 Cu-Pb-Zn 矿石。其成分特点是含 Cu 极高( $w_{Cu}$  为 4%~7%),Cd 也较高( $w_{Cd}$  一般 0.23%~0.46%),而 Fe 较低( $w_{Fe}$  为 5.5%~8.5%),As 也较低( $w_{As}$  为 0.01%~0.11%)。该类闪锌矿又有几种不同产状:a. 呈闪锌矿“粗脉”,这种闪锌矿“脉”看似晚于黄铜矿矿石,实为闪锌矿角砾,早于黄铜矿产出;b. 在黄铜矿矿石

表 7 大井矿床不同阶段和类型闪锌矿的平均化学成分

Table 7 Average composition of sphalerite of various stages and types

序号	成矿阶段	产状	闪锌矿类型	样品数	$w_B/\%$							
					S	As	Fe	Cu	Zn	Ag	Cd	In
1	1-①	早期石英脉中	石英脉中	2	34.03	0.04	7.78	0.00	57.93	0.06	0.16	0.00
2	1-②	揉皱变形期	柔皱变形岩石中	3	34.28	0.11	11.24	0.33	53.87	0.02	0.13	0.00
3	2-②	黄铜矿矿石中	铜矿石中闪锌矿粗脉	2	33.78	0.10	7.97	6.69	51.21	0.01	0.25	0.00
4			铜矿石中粗粒闪锌矿	4	33.85	0.08	7.84	6.15	51.77	0.00	0.18	0.00
5			铜矿石黄铁矿中雪花状	2	32.67	0.08	6.81	3.93	55.93	0.01	0.42	0.00
6			铜矿石黄铜矿中雪花状	1	34.29	0.06	6.01	4.20	54.92	0.01	0.37	0.00
7			南区含铜-闪锌矿矿石	2	33.73	0.05	8.25	5.82	51.64	0.02	0.20	0.21
8			老区南部含铜-闪锌矿矿石	1	34.33	0.10	9.94	2.69	52.87	0.01	0.00	0.00
9	2-④	块状闪锌矿	含毒砂-闪锌矿矿石	1	34.37	0.16	11.66	0.00	53.30	0.00	0.29	0.21
10			块状闪锌矿矿石	18	33.98	0.10	9.64	0.08	56.02	0.01	0.15	0.02
11			闪锌矿-石英组合	2	34.41	0.05	6.11	0.72	58.33	0.02	0.27	0.08
平均					33.91	0.09	8.97	1.75	55.01	0.01	0.19	0.03

中呈粗粒状,有时似共结,但多数被黄铜矿穿插,即这类闪锌矿结晶亦比黄铜矿、黄铁矿要早,或黄铜矿矿化过程中同化了早期闪锌矿;c. 在黄铁矿和黄铜矿中呈雪花状、星状出溶的固溶体,应与黄铜矿、黄铁矿同期;南区所分析的样品,实际相当于老区或北区南部的b类闪锌矿。从早到晚(a→c),Fe,Cu,As含量递减,显示结晶温度递降的过程,与此同时,Zn,Cd,Ag显示增高的趋势。

(4) 块状(黄铁矿-方铅矿-)闪锌矿矿石中的闪锌矿,为Zn的主要矿石类型,分布于东区和北区北部,棕黑色,多呈自形、半自形,常含黄铜矿、磁黄铁矿乳滴。其 $w_{Fe}$ 为本区最高(9.13%~12.72%),而Cu极低( $w_{Cu}$ 一般小于0.2%),As较高( $w_{As}$ 一般大于0.1%)。Lusk等(1993)的研究表明,在325~150℃时闪锌矿中铁的含量随温度降低和压力的升高而呈减少趋势。由于这种闪锌矿中含FeS较高,其估算的形成温度也会较其他闪锌矿要高,前人均将其作为第一世代,但在描述时又将其放入最晚的闪锌矿-方铅矿-碳酸盐阶段(艾霞等,1992;张德全,1993),显然前后矛盾。事实上,矿床中的流体成矿作用很可能不是同一流体在不同的时间段内温度递降生成的,而可能是不同来源的成矿流体多次脉动成矿的结果。

本次工作详细研究了该类闪锌矿在空间上的变化。分别选择了600m(坑道为主,结合钻孔)和(400±10)m(钻孔)两个标高自西向东采样分析,发现自西向东、从浅部向深部,闪锌矿成分出现有规律的变化(表8):As和Fe含量降低,Zn,Cd,In含量增高,表明靠近西部和浅部压力较小而温度较高,而Cu,Ag含量变化较大(图4)。由于这类闪锌矿常出现生长环带,从内向外可视为从早到晚,其成分变化为(见表9):As,Fe,Cu含量降低,而Zn,Cd含量升高,亦显示结晶温度递降的特征(图5)。

上述4种闪锌矿,均属铁闪锌矿,只是Fe含量有从低→高→低→高(→低)的变化。一般认为闪锌矿的含铁量取决于其形成的温度、压力和硫逸度(Scott et al., 1973; Kojima et al., 1985),该矿床可能还与Cu,Fe的逸度有关。黄铜矿阶段由于Cu的丰度极高,Zn的丰度显然不足以与Fe结合,Fe首先将以黄铁矿和黄铜矿的形式与S结合,多余的Fe常形成磁黄铁矿、磁铁矿,甚至赤铁矿。晚期的闪锌矿阶段中可能Fe的浓度本身就低。

通过比较还可以看出,In的含量变化也不相同,

表8 东区闪锌矿的平均化学成分

Table 8 Average composition of sphalerite from East block

采样位置 及样品数	$w_B/\%$							
	S	As	Fe	Cu	Zn	Ag	Cd	In
600 m 标高西→东								
4	32.57	0.14	11.63	0.06	55.45	0.01	0.15	0.00
6	34.79	0.11	11.08	0.06	53.89	0.02	0.06	0.00
2	34.16	0.15	10.58	0.01	54.82	0.00	0.28	0.00
1	33.86	0.13	12.83	0.21	52.95	0.01	0.00	0.00
400 m 标高西→东								
1	34.54	0.08	10.09	0.11	54.96	0.00	0.22	0.00
2	34.41	0.05	6.12	0.72	58.33	0.02	0.27	0.08
4	33.97	0.02	4.116	0.14	61.41	0.01	0.25	0.08

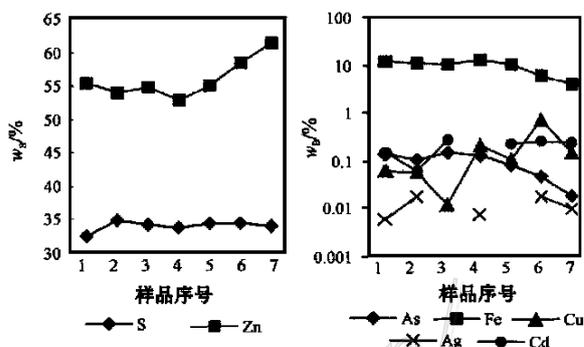


图4 东区闪锌矿成分在空间上的变化

样品1~4分别为600m标高从西向东的4个位置;5~7分别为400m标高从西向东的3个位置(数据见表8)

Fig. 4 Spatial compositional variation of sphalerite from East block (data in table 8)

表9 环带闪锌矿化学成分

Table 9 Composition of girdle sphalerite

样号及序号	位置	$w_B/\%$							
		S	As	Fe	Cu	Zn	Ag	Cd	In
wy890823									
1	环带外缘	32.34	0.14	11.50	0.00	55.87	0.00	0.16	0.00
2	↓	32.73	0.14	11.82	0.08	55.06	0.00	0.15	0.00
3	↓	32.78	0.15	11.64	0.00	55.29	0.00	0.13	0.00
4	环带中心	32.41	0.13	11.57	0.16	55.56	0.02	0.15	0.00
zk13613582									
5	环带外缘	34.32	0.00	1.03	0.00	64.27	0.02	0.29	0.08
6	↓	33.58	0.00	4.96	0.00	61.10	0.00	0.28	0.08
7	↓	33.56	0.07	5.74	0.27	60.09	0.01	0.17	0.08
8	环带中心	34.41	0.00	4.74	0.31	60.18	0.01	0.25	0.08

大井闪锌矿中In总体偏低( $w_{In}$ 多小于0.2%),仅局部地区(如南区深部、老-东区交界)较高( $w_{In} \approx$

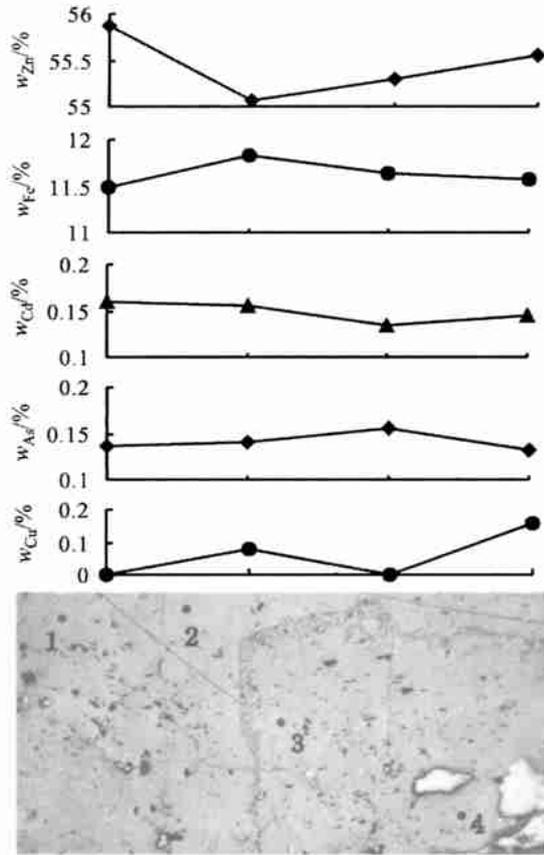


图 5 环带闪锌矿的成分变化  
1-4 分别为 wy890823 闪锌矿由外向内的 4 个点,数据见表 9  
Fig. 5 Variation of girdle sphalerite composition  
(data in table 9)

0.21%) ,由于 In 易聚集于高温闪锌矿中(刘英俊等,1984) ,推测这两个地区是两个矿化中心部位。

另外,闪锌矿中 Cu 的含量具有“地域性”,东区的闪锌矿矿石中基本不含 Cu(  $w_{Cu}$  多小于 0.5%) ,而老区、北区南部、南区则为含 Cu 闪锌矿,即使不含黄铜矿固溶体,  $w_{Cu}$  也多大于 3% ,最高可达 6.99% ,其与东区和北区北部的闪锌矿显然非同一阶段形成。

4.5 方铅矿

大井矿床的方铅矿可出现在老区、东区和南区的铜矿石或铜铅锌矿石以及闪锌矿矿石中,一般是矿化晚期阶段的产物,除局部呈半自形-自形外,一般为他形,有时在碳酸盐中呈蠕虫状产出。可细分为:a. 老区和南区等黄铜矿矿石中的方铅矿;b. 东区无铜闪锌矿矿石中的方铅矿;c. 明显晚于闪锌矿的黄铜矿脉或碳酸盐脉中的方铅矿。总体来看,a 类富 Ag, Cu, 而 b 类和 c 类则相对富集其他元素( Fe, Zn, Ag, Cd, In, Ga) ,特别是 In, Ga 在最晚期方铅矿中含量较高(表 10) 。然而,各类方铅矿的成分变化较大,无明显的演化规律,其成分并未显示方铅矿在时间上的分异和演化。

方铅矿中 Pb 含量在空间上的变化表现为,同一平面上(如 600 m 标高 3→6 号)由西向东趋于降低(图 6) ,而其他微量元素升高。如用  $w_{Pb} / w_{Tre}$  比值来表示方铅矿中含杂质的程度,则同一平面由西向东该比值降低,表明杂质增多。本区方铅矿中的微量元素含量较低,质量分数一般小于 0.5% ,仅 650 中段老区南部的样品含 Zn 较高(  $w_{Zn} = 2.68%$  ) ,但

表 10 不同位置及不同类型方铅矿的平均化学成分

Table 10 Average composition of galena of various types

序号	标高和位置	样品数	$w_B / \%$										$w_{Pb} / w_{Tre}$
			S	Fe	Cu	Pb	Zn	Ag	Cd	In	Ga		
1	675 m, 老区西部	5	14.24	0.02	0.02	85.48	0.00	0.16		0.01	0.00	0.06	306.70
2	650 m, 老区南部	1	13.949	0.16	0.15	83.01	2.68	0.00	0.00	0.00	0.06	27.21	
3	600 m, 东区东部	1	13.45	0.11	0.00	86.11	0.22	0.05	0.00	0.00	0.06	194.82	
4	600 m, 东区中部	3	14.17	0.05	0.00	85.50	0.01	0.03	0.10	0.00	0.15	255.81	
5	600 m, 东区西部	2	14.05	0.15	0.04	85.50	0.13	0.00	0.00	0.09	0.03	190.44	
6	600 m, 东区西部	1	14.12	0.03	0.02	85.23	0.04	0.00	0.06	0.17	0.31	133.31	
7	400 m, 老区东部	2	14.05	0.03	0.07	85.77	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	553.57	
8	400 m, 东区东部	2	14.12	0.01	0.00	85.59	0.00	0.00	0.00	0.09	0.19	295.16	
9	400 m, 东区最东	4	14.06	0.15	0.00	85.63	0.02	0.00	0.03	0.09	0.03	273.68	
10	400 m, 南区	1	14.15	0.09	0.00	85.32	0.00	0.12	0.06	0.23	0.02	160.42	
A	黄铜矿矿石中	6	14.22	0.04	0.02	85.45	0.00	0.16	0.02	0.04	0.05	266.29	
B	闪锌矿矿石中	11	14.01	0.10	0.01	85.66	0.06	0.01	0.04	0.05	0.06	262.55	
C	晚期碳酸盐中	5	14.11	0.07	0.05	84.97	0.55	0.00	0.01	0.07	0.16	92.66	

\*  $Tre$  为  $Fe + Cu + Zn + Ag + Cd + In + Ga$

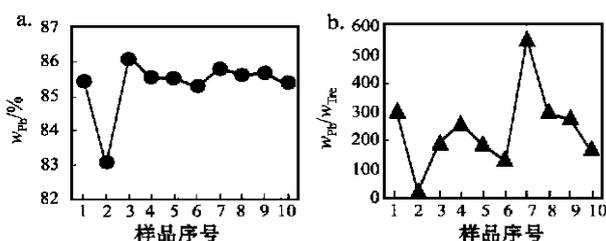


图6 不同位置上方铅矿中  $w_{Pb}$ (a) 及  $w_{Pb}/w_{Tl}$  比值(b)的变化(数据见表10)

Fig. 6 Variation of  $w_{Pb}$ (a) and  $w_{Pb}/w_{Tl}$ (b) in galena from different positions (data in table 10)

因颗粒较小,很可能受周围矿物(闪锌矿)的影响而造成分析上的干扰。

#### 4.6 锡石

锡石是大井矿床主要的含锡矿物,在矿床中有以下产出方式:

(1) 柔皱变形期形成的锡石,呈细粒、长柱状,常见肘状双晶。 $SnO_2$  最低,  $w(SnO_2)$  近于或小于 98%;  $FeO$ ,  $TiO_2$ ,  $Ta_2O_5$  较高(表 11),这与早期阶段其他矿物(如黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿等)的化学成分较复杂相似。

(2) 锡石-毒砂矿石中的锡石,虽分布局限,但含量较高。这种锡石常呈细粒状(0.1~0.5 mm 为主),比石英、毒砂要细小得多,一般为自形一半自形等轴粒状,镜下多呈浅黄色,洁净透明;受后期构造和矿化作用影响,常破碎而呈他形,有时颜色发乌。这两种锡石在成分上并无明显区别,其  $w(SnO_2)$  多大于 98%,其他次要成分以  $Fe$  为主,含量多小于 0.5%,  $w(FeO)$  重叠(分别为 0.13%~2.04% 和 0.37%~1.61%)。若以 0.05% 为检出限,则有较多

的自形锡石中可检出  $TiO_2$ ,  $Ta_2O_5$  和  $In_2O_5$ , 其含量为:  $w(TiO_2)$  分别为 0.31%~0.47% 和 0.06%,  $w(Ta_2O_5)$  分别为 0.08%~0.20% 和 0.08%,  $w(In_2O_5)$  分别为 0.07%~0.17% 和 0.05%~0.06%。其他元素除个别点  $Ga_2O_3$  较高外,均不具对比意义。

(3) 黄铜矿-黄铁矿矿石中的锡石,为该矿床中最普遍的锡石类型,其标型特征与(2)相似,可呈现自形、半自形和他形。该类锡石  $w(SnO_2)$  多大于 99%,  $w(FeO) < 1%$ , 在 0.02%~0.80% 之间,其他微量元素含量变化较大,总体范围与(2)中破碎的锡石相似。从化学成分看,与(2)类锡石大体相当,只是变化范围大小不同,且表现出成分上的相似性和继承性。

(4) 方铅矿-闪锌矿矿石中的锡石,分 2 种: a. 因老区闪锌矿的生成可能早于黄铜矿,其锡石亦可能较早,结晶特征为以细粒长柱状为主,与柔皱变形期的锡石相似,成分上  $w(SnO_2)$  较低;  $w(FeO)$ ,  $w(TiO_2)$  和  $w(Ta_2O_5)$  均较前者明显偏高。b. 方铅矿-碳酸盐脉中的锡石,亦为中细粒(粒径 0.05~0.2 mm),但多呈半自形-他形等粒状,被闪锌矿或碳酸盐胶结,亦属早期锡石破碎和被同化混染形成。成分上与黄铜矿矿石中的锡石难以区分。

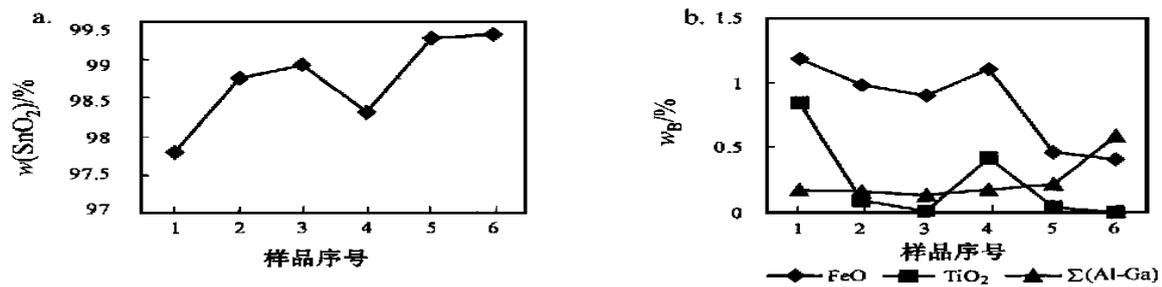
虽然锡石的成分变化较大,但各种类型的平均值却有一定规律(见图 7),由早到晚,锡石中的  $w(SnO_2)$  呈递增趋势,而  $w(FeO)$  和  $w(TiO_2)$  逐渐降低,与  $w(SnO_2)$  呈负相关,其他微量元素之和  $\Sigma w(Al+Ga)$  则与  $w(SnO_2)$  呈正相关演化。

根据尼库林的研究(黄民智等,1988),锡石中  $In$  含量与其形成深度有关,也就是说,  $In$  作为杂质

表 11 大井矿床不同类型锡石的平均化学成分

Table 11 Average composition of cassiterite of various types

序号	成矿阶段	锡石类型	样品数	$w(B) / \%$									
				$SnO_2$	$FeO$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$NiO$	$Nb_2O_5$	$Ta_2O_5$	$In_2O_5$	$Ga_2O_3$	
1	1-②	柔皱石英岩中	3	97.79	1.18	0.84	0.05	0.02	0.00	0.10	0.02	0.00	
2	2-①	锡石-毒砂矿石,自形圆粒	9	98.77	0.97	0.10	0.01	0.01	0.01	0.07	0.05	0.01	
3		锡石-毒砂矿石,他形碎粒	6	98.94	0.91	0.02	0.01	0.04	0.01	0.01	0.03	0.03	
4	2-②	铜锡矿石中	7	99.34	0.41	0.00	0.44	0.02	0.01	0.03	0.05	0.03	
5	2-④	黄铁矿-闪锌矿矿石,细粒	2	98.31	1.10	0.42	0.01	0.02	0.00	0.08	0.06	0.00	
6		闪锌矿-菱铁矿脉中,细粒	2	99.28	0.46	0.04	0.01	0.04	0.01	0.07	0.07	0.02	
平均				98.84	0.82	0.15	0.12	0.02	0.01	0.05	0.04	0.02	

图 7 不同类型锡石的 SnO<sub>2</sub>(a) 及其他元素(b) 含量变化

数据见表 11

Fig. 7 Variation of SnO<sub>2</sub>(a) and other elements (b) in various types of cassiterite (data in table 11)

元素进入锡石晶格的能力主要依赖于压力条件。根据其拟合出的经验公式计算所得深度为 0.204 ~ 2.035 km, 早期较深。

## 5 总 结

从上述讨论中看出,矿床中 6 种主要矿石矿物的化学成分明显受时间因素控制,尤其是黄铁矿类和锡石,从早到晚的变化规律较强。早期石英脉作为本区最早的流体活动产物,含微量的黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿等金属矿物,它们表现出成分复杂、富含 Ag 等微量元素的特征,是大规模矿化的前奏,但真正的矿化期可能从柔皱变形阶段开始,其黄铁矿、闪锌矿、锡石的成分特征均显示与主成矿期有连续和继承性。主成矿期成分的变化显示形成温度和压力趋于降低,但并不是连续递降而可能是多次脉动,同时成分上又受同阶段矿物组合和交代作用的影响。成矿后的流体活动产物中含金属矿物较少,其成分较纯,并显示低温特征。

相对来讲,其他硫化物,如毒砂、闪锌矿、黄铜矿和方铅矿等更具“地域性”,空间上的分带性更明显。总体上,老区东部—北区南部的矿物成分特征显示出形成温度较高,可能是本区的重要矿化中心,而南区和西区亦可能还存在其他的矿化中心。同一地区的矿物成分显示的温压变化与深部较浅部压力大、温度高的定律相一致,旁证了成矿流体是直接深部上升就位的,并未发生倒转。

**致 谢** 本文得到大井银铜矿、中兴铅锌矿、富源铜矿、小城市铜矿等矿山的大力支持和帮助,工作中还得到了矿物资源中心的孙世华教授、赵利青博

士、刘红涛研究员,以及日本专家上本武、岛崎英彦、相泽直人、冢越重明等的帮助和指导。在此谨表谢忱!

## References

- Ai X and Feng J Z. 1992. Geological feature and genesis of the Dajing Cu, Sn, polymetallic deposit, Inner Mongolia [J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 1: 82 ~ 92 (in Chinese).
- Bralia A, Sabatini G and Troja F. 1979. A reevaluation of the Co/Ni ratio in pyrite as a geochemical tool in ore genesis problems [J]. Mineralium Deposita, 14: 353 ~ 374.
- Campbell F A and Ethier V G. 1984. Nickel and cobalt in pyrrhotite and pyrite from Faro and Sullivan orebodies [J]. Canadian Mineralogist, 22: 503 ~ 506.
- Clark L A. 1960. The Fe-As-S system: phase relations and applications [J]. Econ. Geol., 55: 1345 ~ 1381.
- Feng J Z, Ai X and Wu Y B. 1990. Characteristics of trace elements and its geological significance on Dajing polymetallic deposit, Inner Mongolia [J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 4: 47 ~ 52 (in Chinese).
- GriGore S, Stephen E K and Stephen C. 1999. Geochemistry and texture of gold-bearing arsenian pyrite, Twin Creeks, Nevada: Implications for deposition of gold in Carlin-type deposit [J]. Econ. Geol., 94: 405 ~ 422.
- Huang M Z and Tang S H. 1988. Ore petrology on tin field deposits at Dachang [M]. Beijing: Beijing Sci. Tech. Press (in Chinese with English abstract).
- Kojima S and Sugaki A. 1985. Phase relations in the Cu-Fe-Zn-S system between 500 °C and 300 °C under hydrothermal conditions [J]. Econ. Geol., 80: 158 ~ 171.
- Kretschmar U and Scott S D. 1976. Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application [J]. Canadian Mineralogist, 14: 364 ~ 382.
- Liu, Y J, Cao L M, Li Z L, et al. 1984. Element geochemistry [M].

- Beijing: Science Press (in Chinese).
- Lusk J, Scott S D and Ford C E. 1993. Phase relations in the Fe-Zn-S system to 5 kbars and temperatures between 325 °C and 150 °C [J]. *Econ. Geol.*, 88: 1880 ~ 1903.
- Rui Z Y, Shi L D and Fang R H. 1994. Geology of nonferrous metallic deposit on the northern margin of the north China landmass and its adjacent Area [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Scott S D and Kissin S A. 1973. Sphalerite composition in the Zn-Fe-S system below 300 °C [J]. *Econ. Geol.*, 68: 475 ~ 479.
- Sharp Z D, Essene E J and Kelly W C. 1985. A re-examination of the arsenopyrite geothermometer: pressure considerations and applications to natural assemblages [J]. *Canadian Mineralogist*, 23: 517 ~ 534.
- Wolf K A. 1976. Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits [M]. Amsterdam: Elsevier.
- Xie Y H. 1988. Preliminary studies for ore mineral composition of a tin-polymetallic deposit, Inner Mongolia [J]. *Geol. of Non-ferrous Metals in North China*, (1-2): 38 ~ 45 (in Chinese).
- Yao D, Li H N and Duan G Z. 1990. The mineralization geochemistry and exploration guides of the Dajing tin-bearing polymetallic deposit, in Northern Chifeng [J]. *Geol. and Prospecting*, 26: 5 ~ 9 (in Chinese with English abstract).
- Ye X S, Yan Y X and He H Z. 1996. Dachang Metallogenic factors of world class tin deposit in Guangxi [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q. 1993. The Dajing Ag-Cu-Sn deposit—The characteristics and genesis of an epithermal deposit related to the subvolcanic intrusions [J]. *Volcanology & Mineral Resources*. 14: 37 ~ 47 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M, Wang D W, Zhang D Q, et al. 1994. Ore-controlling factors and ore-prospecting models for Cu-poly metallic deposits in southeastern Inner Mongolia [M]. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Zhao Y M, Zhang D Q, et al. 1997. Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposit in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions [M]. Beijing: Seismological Press (in Chinese).

#### 附中文参考文献

- 艾霞, 冯建忠. 1992. 内蒙大井铜锡多金属矿床成矿地质特征及矿床成因 [J]. *有色有色金属矿产与勘查*. (4): 47 ~ 52.
- 冯建忠, 艾霞, 吴俞斌. 1990. 内蒙大井多金属矿床微量元素特征及地质意义 [J]. *有色金属矿产与勘查*, 1 (2): 82 ~ 92.
- 黄民智, 唐少华. 1988. 大厂锡矿矿床学概论 [M]. 北京: 北京科学技术出版社.
- 刘英俊, 曹厉明, 李兆麟, 等. 1984. 元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社.
- 芮宗瑶, 施林道, 方如恒, 等. 1994. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质 [M]. 北京: 地质出版社.
- 谢玉华. 1988. 内蒙某锡多金属矿床矿石矿物成分的初步研究 [J]. *华北有色金属地质*, (1-2): 38 ~ 45.
- 姚德, 李鹤年, 段国正. 1990. 赤峰北部大井锡多金属矿床成矿作用地球化学及找矿方向 [J]. *地质与勘探*, 26(2): 5 ~ 9.
- 叶绪孙, 严云秀, 何海州. 1996. 广西大厂超大型锡矿床成矿条件 [M]. 北京: 冶金工业出版社.
- 张德全. 1993. 大井银铜锡矿体——一个潜火山热液矿床的特征和成因 [J]. *火山地质与矿产*, 14(1): 37 ~ 47.
- 赵一鸣, 王大畏, 张德全, 等. 1994. 内蒙古东南部铜多金属成矿地质条件及找矿模式 [M]. 北京: 地震出版社.
- 赵一鸣, 张德全, 等. 1997. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价 [M]. 北京: 地震出版社.

## Ore Minerals in Dajing Tin-polymetallic Deposit, Inner Mongolia, and Their Temporal and Spatial Evolution

Wang Yuwang<sup>1,2</sup>, Qu Lili<sup>2</sup>, Wang Jingbin<sup>1,2</sup>, Wang Lijuan<sup>1,2</sup>, Jiang Neng<sup>1</sup>, Mao Qian<sup>1</sup>

(1 Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100101, China; 2 Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China)

#### Abstract

In this paper, the types and distribution of ores and the stages of mineralization are summarized, the composition and evolution of different types of ore minerals in time and three-dimensional space are emphatically studied and, on such a basis, the influence of the physical chemistry of fluids upon the composition is pointed out. Six kinds of minerals, such as pyrites, arsenopyrite, sphalerite, galena and cassiterite from various metallogenic stages, ore blocks and ore types were analyzed by EMPA. The constituents of six ore minerals, especially those of pyrites and cassiterite, are obviously controlled by temporal factors. Sulfides such as arsenopyrite, sphalerite, chalcopyrite and galena show obvious spacial zoning. On the whole, it is inferred that the area between

the eastern part of Laoqu (local) block and the southern part of North block might be an important mineralization center characterized by ore minerals formed at high temperature, and that South block and West block might have other centers.

**Key words:** Inner Mongolia, Dajing deposit, ore type, ore mineral, mineral composition, temporal and spatial evolution

## 白云鄂博矿床中自然金的发现\*

刘玉龙 陈江峰 谢智 郑永飞

(中国科学技术大学地球和空间科学系, 安徽 合肥 230026)

内蒙古白云鄂博矿床是著名的稀土-铌-铁超大型矿床,具有多期热液活动、矿物成分复杂的特点。前人对它进行了广泛和深入的研究。但是,关于金等贵金属元素及其矿物在该矿床中的地球化学行为和特征的报道很少。

近期笔者通过重砂分离,在白云鄂博的稀土矿石中发现了自然金。自然金是在白云石型磁铁-铌-稀土矿石(00BYC28)的人工重砂中见到的,该矿石为萤石、独居石、氟碳铈矿和磁铁矿矿化的白云岩。第一次重砂分离是在国土资源部天津地质矿产研究所进行的,样品的重量约为 20 kg,用于此矿石样品破碎的所有设备都经过彻底的风淋清洗。第二次采集的该类型矿石,在河北省物探队进行重砂分离,分离条件与第一次类似,又一次找到了自然金。两次结果相似,表明自然金是外界混入的可能性很小。

对一批矿石进行了常量金的测定,由中国地质科学院物化探中心实验室用无火焰原子吸收法完成。每一个样品的质量在 20 g 至 30 g 之间,分析结果见表 1。有些矿石如(00BYC31 霓石萤石型矿石)

的 Au 含量较高,但由于取样量太小,这些结果仅作参考。笔者还试探性地随机采了两个尾砂样品,分析结果表明其中的金比原生矿石明显含量高。

表 1 白云鄂博矿床中不同矿石类型 Au 的分析结果

样号	产地	矿石类型	$w_{\text{Au}}/10^{-6}$
00BYC04	主矿	萤石岩	0.002
00BYC28	东矿	白云石型矿石	0.001
00BYC31	东矿	霓石萤石型矿石	0.021
00BYC32	东矿	霓石萤石型矿石	0.016
00BYC43	主矿	块状磁铁矿	0.011
01BYC01	主矿	萤石岩	0.007
01BYC04	东矿	含萤石黄河矿条带状矿石	0.002
01BYC05	东矿	含萤石霓石的条带状矿石	0.013
0000A	尾砂坝	尾砂	0.028
0000B	尾砂坝	尾砂	0.160

白云鄂博矿床自然金的发现,对于该矿床的成矿作用研究和资源评价有一定意义。但是,迄今为止仍有专家认为自然金有可能是外界混入物。因此,这一发现尚有待于进一步工作去验证。

\* 国家重点基础研究发展规划项目(GI999043201)资助成果

第一作者简介 刘玉龙,男,1970年生,博士研究生,主要从事岩石地球化学研究。E-mail: ylliu@mail.ustc.edu.cn