

# 大兴安岭南段主要金属矿物的 成分标型特征

张德全 雷蕴芬

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京 100037)

关键词: 金属矿物标型 矿床成因 大兴安岭南段

摘要: 内蒙古东部的黄岗-甘珠尔庙矿带是地处大兴安岭南段的锡多金属矿带。矿带中各矿床的磁铁矿、锡石、方铅矿、闪锌矿的主元素和微量元素数据表明, 这些矿床是属与燕山期岩浆活动有关的矽卡岩型、热液型、斑岩型和云英岩型矿床; 其成矿金属组分中的铁来源于区域晚古生代海相中-基性火山岩, 部分铅锌来源于区域二叠纪地槽沉积物。研究还表明, 与燕山期偏碱性花岗岩有关的锡钨矿床和与燕山期中酸性花岗岩类有关的铅锌矿床其方铅矿、闪锌矿的微量元素含量及比值存在明显的差别。

黄岗-甘珠尔庙矿带是位于大兴安岭南段的锡多金属矿带<sup>[1]</sup>, 通过近年来的地质勘查和科研工作已为该矿带积累了比较丰富的地质资料。本文在前人工作基础上, 对矿带中方铅矿、闪锌矿、锡石、磁铁矿等4种常见金属矿物进行了系统的成分分析, 目的是力图从金属矿物成分标型的角度进行区域对比, 以便探讨区域成矿环境、成矿物质来源及矿床成因类型。

## 1 地质概况

区内锡、铁、钨、稀有、铜、铅锌、银等多种金属矿床、矿点星罗棋布, 其分布严格受区域构造、岩浆作用和地球化学场的制约<sup>[1-3]</sup>, 并分别组合成两个矿床成矿系列。

第一个成矿系列是与中生代偏碱性的花岗岩有关的锡钨多金属矿床成矿系列。该系列的矿床(点)主要分布于断隆区, 由岩体上部的斑岩型或云英岩型矿床、岩体与下二叠统安山岩或大理岩接触带的钙矽卡岩型矿床、岩体外接触带的热液脉状矿床组合成一个矿床成矿系列。本文涉及到这个系列的矿床(点)有: 黄岗(矽卡岩型, Fe、Sn)、大井子(热液脉型, Ag、Cu、Sn、Pb、Zn) 东山湾(云英岩型, Sn、Pb、Zn)、敖脑达坝(斑岩型, Sn、Ag、Cu)、小海青(云英岩型, Sn)、白音皋(热液脉型, Sn)、浩腾吐(云英岩型, Sn、W)。

第二个成矿系列是与中生代中酸性花岗岩类有关的铅锌多金属矿床成矿系列。主要分布于断陷区, 由外接触带锰钙矽卡岩型和热液脉型铅锌多金属矿床组合而成, 铅锌是主要工业元素, 伴生铜、银。本文涉及到该系列的矿床(点)有白音诺、哈达吐、银洞子、中段、后补河、四方城、北杨家营子、团结、榆树林子, 其中前3个矿床属矽卡岩型, 后6

个矿床(点)为热液脉型。此外,浩布高矿床是一个矽卡岩型铅锌矿床,但矿床中局部分布着矽卡岩型铁锡矿体,这个矿床是兼有两个成矿系列特色的复合矿床。

上述两个矿床成矿系列在矿床类型组合、矿化分带、金属元素组合、与成矿有关的花岗岩类、矿床地质特征、成矿作用、地球化学等方面存在极大差异。

## 2 磁铁矿

磁铁矿常见于矽卡岩型矿床中,主要分布于花岗岩与富钙质岩石接触带近岩体一侧的

表 1 磁铁矿的化学成分

Table 1. Chemical composition of magnetite

序号	矿床	世代	wt%			ppm				
			TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Sn	Zn	Ni	Co	
1	黄岗	I	0.16	0.90	0.52	310	940	100	10	
2			0.08	0.55	0.34			50		
3		II	0.008	0.068	0.56	150	600			
4			0.064	0.39	0.236	200	600	20	4	
5			0.08	0.59	0.16	0	920	120	40	
6		III		0.08	0.53	0.39		940	110	0
7				0.12	0.76	0.73	690	5750	50	0
8				0.57	0	0.15	197	83		
9				0.172	0.154	0.41	20	1500	40	8
10				0.07	0.632	0.312	19.7	723		
11				0.04	2.19	0.18	240	450	100	10
12				0.04	0.25	0.20		350	100	10
13				0.04	2.03	0.45	2430	1880	90	10
14		0.08	0.87	0.13		1170	80	0		
15		0.08	1.63	0.08		300	90	10		
16		0.12	0.63	0.16		890	90	0		
17		0.007	0.213	0.48	867	3937				
18		0.06	0	0.04	420	1200				
19	白音诺	II	0.014	0.08	0.19	858	4800	25	<5	
20	浩布高	I	0.045	0.51	0.80	1200	2000	15.2	<5	
21			0.016	0.13	0.08	248		27	15	
22		II	0.01	0.13	0.03	291		18	209	
23		花岗岩副矿物		0.601	0.84	0.154	376		40	18
24				8.16	2.66	0.042	532		19	92
25				6.24	1.99	0.12	592	1770	59	78
26				4.98	1.68	0.155	456	35	19	56
27				0.193	0.296	0.08	465		89	120
28	0.144			0.482	0.076	718		233	99	

注:黄岗矿床 18 件磁铁矿样品据沈逸民、李鹤年等(1984)研究报告,其余为本次研究的采样分析结果,由地矿部岩矿测试技术研究所谢秀英、戴朝玉等分析。

辉石石榴石矽卡岩中,如黄岗矿床和浩布高矿床,磁铁矿十分普遍,白音诺矿床仅在西南段可以见及。磁铁矿主要与钙铁榴石、绿钙闪石伴生,构成磁铁矿矿石和含锡磁铁矿矿石;晚期磁铁矿与石英一起,呈脉状产出;部分地段磁铁矿与铁闪锌矿或黄铜矿伴生,构成铁锌矿石或铁铜矿石。

通过区内主要矽卡岩型矿床 28 件磁铁矿样品的主元素和微量元素含量对比(表 1),可以获得一些有意义的信息。

### 2.1 $Al_2O_3$ - $TiO_2$ - $MgO$ 图解

用  $Al_2O_3$ - $TiO_2$ - $MgO$  图解来区别磁铁矿的矿床成因,已被国内外许多学者所接受<sup>[4]</sup>。

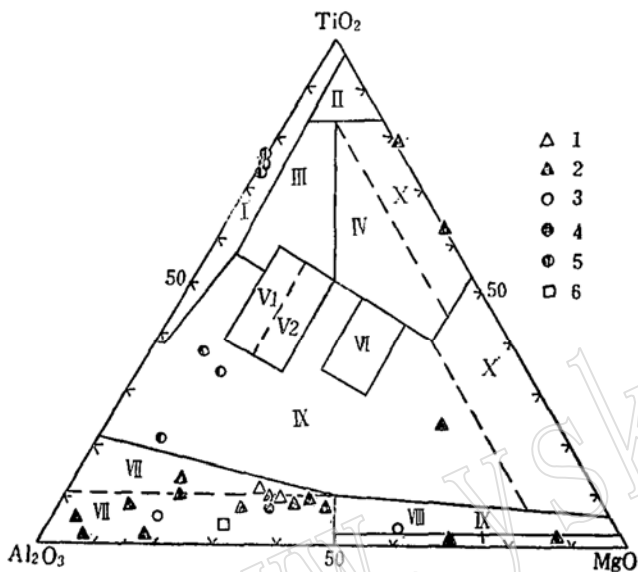


图 1 磁铁矿的  $Al_2O_3$ - $TiO_2$ - $MgO$  图解

Fig. 1  $Al_2O_3$ - $TiO_2$ - $MgO$  diagram of magnetite

1—2 黄岗矿床,其中 1 为早世代,2 为晚世代;  
3—5 浩布高矿床,其中 3 为早世代,4 为晚世代;  
5 为花岗岩副矿物;6 白音诺矿床

I 花岗岩区; II 玄武岩区; III 辉长岩区; IV 橄  
榄岩区; V<sub>1</sub> 角闪石岩区; V<sub>2</sub> 闪长岩区; VI 金伯  
利岩区; VII 热液及矽卡岩(虚线以上为深成热液,  
以下为热液及钙矽卡岩); VIII 热液及镁矽卡岩; IX 沉  
积变质、热液叠加; X 碳酸盐岩(靠上部与超基性  
岩有关,下部与围岩交代有关); XI 过渡区(该图式  
引自文献[4])

本区大多数磁铁矿样品均落入矽卡岩和热液矿床成分区(图 1)。黄岗矿床中有 2 件磁铁矿样品落入沉积变质区,有 3 件落入碳酸盐岩和过渡区,这 5 件样品均相对贫  $Al_2O_3$  而富  $TiO_2$  和  $MgO$ 。这表明黄岗铁锡矿床中大部分磁铁矿属矽卡岩型,少部分磁铁矿可能系早二叠世海相火山-沉积铁矿被燕山期热液改造的产物,后者常出现在下二叠统安山岩(已矽卡岩化)中,呈似层状矿体。

浩布高矿床与成矿有关的燕山期花岗岩、石英二长岩中的副矿物磁铁矿成分点(6 件样品)有 3 件落入花岗岩区,另 3 件则落入过渡区。这表明花岗岩类的副矿物磁铁矿可能有部分已受到岩浆期后热液改造。该矿床矿石中磁铁矿则投影于热液及矽卡岩磁铁矿成分区。

### 2.2 磁铁矿中的微量元素

本区磁铁矿含 Sn、Zn 较高,其中黄岗矿床磁铁矿含 Sn 最高可达 2430 ppm,浩布高矿床磁铁矿含 Sn 最高达 1200 ppm。黄岗矿床和浩布高矿床北东段都有较多的矽卡岩型铁锡矿石。这类矿床的磁铁矿中

富含 Sn 和 Zn 是普遍规律,如苏联和美国的诸多矽卡岩型铁锡矿床以及我国华南地区的大顶、香花岭等矿床中,磁铁矿均含较高的 Sn 和 Zn<sup>[5-7]</sup>。早世代磁铁矿中,Sn 与 Fe 呈类质同象代换,晚世代磁铁矿中,锡石呈显微包体包裹于其中,笔者在黄岗、浩布高矿床矿石光薄片,均见到锡石微粒被包裹于磁铁矿中。

Ni 优先进入结晶相,Co 则易于进入流体相。由于 Ni 和 Co 在熔体-溶液中的不同地球化学行为,所以它们常被用来判断矿床成因和成矿物质来源。

本区矽卡岩矿床中磁铁矿  $Co < Ni$  ( $Co/Ni = 0.2 - 0.38$ ),只有浩布高矿床有 1 件磁铁

矿样品  $\text{Co}/\text{Ni}=11.6$ 。

与成矿有关的燕山期花岗岩类岩石的副矿物磁铁矿,其  $\text{Co}$ 、 $\text{Ni}$  含量变化恰好与矽卡岩矿体中磁铁矿相反。6 件样品中,有 4 件样品  $\text{Co} > \text{Ni}$ ,  $\text{Co}/\text{Ni}$  平均 1.86, 2 件样品  $\text{Co} < \text{Ni}$ , 平均  $\text{Co}/\text{Ni}=0.43$ 。6 件样品平均  $\text{Co}/\text{Ni}=1.01$ , 即  $\text{Co}$  亦高于  $\text{Ni}$ 。

切尔内舍娃统计过苏联乌拉尔等地不同含矿建造中磁铁矿的  $\text{Co}$ 、 $\text{Ni}$  含量<sup>[8]</sup>, 其结果是矽卡岩建造中磁铁矿的  $\text{Co} > \text{Ni}$ , 与基性-超基性岩有关的磁铁矿则  $\text{Ni} > \text{Co}$ 。

因此,上述结果也从一个侧面暗示着矽卡岩矿床中成矿物质(主要指铁)并非主要来自于燕山期花岗岩类,而是矿区中的晚古生代中-基性火山岩。黄岗矿床下二叠统海相安山岩中原生磁铁矿的发现,是直接的野外证据。磁铁矿的成分标型,反映成矿带中的矽卡岩型铁锡矿床明显地具有中生代活化前中生代成矿的特点。

### 3 锡石

黄岗-甘珠尔庙矿带中,目前已发现锡矿床(点)十余处。其中规模最大的为矽卡岩型铁锡矿床(如:黄岗),现阶段最具工业意义的是热液脉型矿床(如:大井子),其次是斑岩型(如:敖脑达坝)和云英岩型(如:小海青、浩腾吐)。

矽卡岩型矿床中,锡石常被包裹于磁铁矿中呈显微颗粒,晚期与阳起石质角闪石、石英、萤石伴生。热液、云英岩型矿床中,锡石主要与石英共生。斑岩型矿床中,锡石与石英、黄玉、绢云母伴(共)生产出。

24 件锡石样品的化学成分列于表 2 中。

#### 3.1 锡石的微量元素含量

(1) 锡石的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量与矿床类型及成矿元素组合有关。富集磁铁矿的矽卡岩型铁锡矿床中锡石含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  最低。如黄岗矿床锡石含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.005%—0.50%, 平均值仅 0.22%; 浩布高矿床锡石含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.54%—1.37%, 平均 0.758%。而远离岩体、不含磁铁矿的热液矿床中锡石含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  高,如大井子矿床中锡石含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1.048%—3.039%, 平均 1.767%。白音泉是火山热液型锡矿床,其锡石含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1.8858%。云英岩型锡矿床的锡石  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量变化大,如小海青为 0.0523%, 东山湾为 0.4977%, 浩腾吐则高达 3.2397%。斑岩型银锡矿床(敖脑达坝)中锡石含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  为 2.03%。

富集铁元素的矽卡岩型铁锡矿床中,与磁铁矿伴生的锡石含铁量最低,而铁元素低于工业品位的热液型锡多金属矿床中锡石含铁量明显增高。这与华南地区的一些锡矿床很相似。例如,湖南香花岭锡矿床中,矽卡岩型铁锡矿石(即磁铁矿条纹岩)中锡石  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  仅 0.6%, 而热液型锡石硫化物矿石中锡石的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量高达 1.35%<sup>[7]</sup>。这表明在矽卡岩矿床中,铁和锡(或者说磁铁矿和锡石)在成矿时间上是分开的,其中磁铁矿普遍早于锡石。热液矿床中,没有磁铁矿的优先晶出,矿液中较富铁,当锡石形成时,会有较多的  $\text{Fe}^{3+}$  和  $\text{Nb}^{5+}$ 、 $\text{Ta}^{5+}$  一并进入锡石晶格中,取代  $\text{Sn}^{4+}$ 。

(2) 绝大多数锡石均含较高的砷。以大井子矿床最高,4 件样品平均含 As 5947 ppm, 浩腾吐矿点锡石含砷最低,为 1132 ppm, 其余矿床(点)锡石含砷量介于这二者间。华南地区锡矿床中锡石虽然测过砷含量的报道不多,但仅有的资料显示其一般为数百

表 2 锡石的化学成分  
Table 2. Chemical composition of Cassiterite

序号	wt%							ppm					总量
	SnO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	Zr	Hf	Ga	In	As	
1	98.40		0.54	0.038	0.0047	<0.0003	0.098	25.6	70		41.4		99.09
2	98.32		1.37	0.064	0.0068	0.0039	0.13	24	70		160		99.92
3	98.00	0.1765	0.7357	0.3024	0.0079	0.0136	0.1321	45	93	171	211	576	99.48
4	98.02	0.0962	0.6299	0.0902	0.004	0.0073	0.1198	23	11	140	163	1839	99.19
5	97.62	0.3044	0.8704	0.0143	0.0068	0.0099	0.1531	43	96	426	325	1747	99.24
6	98.22	0.1529	0.6192	0.0515	0.0086	0.008	0.1371	46	94	433	349	1708	99.46
7	97.25	0.1103	0.711	0.1153	0.0071	0.0109	0.1241	33	103	411	345	1992	98.62
8	98.16	0.062	0.5861	0.0501	0.0116	0.0116	0.1581	59	145	490	320	1868	99.33
9	97.52	0.6418	0.4997	0.1511	0.0296	0.0125	0.2656	289	61	265	191	2280	99.43
10	97.50		2.03		0.003	<0.002	0.024				29.1		99.56
11	98.29	0.1274	0.0523	0.0624	0.0206	0.0077	0.4328	253	55	595	309	1675	99.28
12	96.75	0.1457	1.262	0.51	0.0009	0.0086	0.1406	208	77	224	255	7526	99.65
13	96.12	0.238	1.72	0.5597	0.0016	0.0112	0.1821	61	106	263	308	5090	99.42
14	94.39	0.4438	3.0395	0.5148	0.0024	0.0136	0.2763	64	180	217	244	6262	99.38
15	97.00	0.1679	1.0485	0.5839	0.0036	0.0114	0.1590	45	120	341	317	4912	99.55
16	95.41	0.1997	1.8858	1.4263	0.0041	0.0091	0.1875	262	115	341	337	6852	99.91
17	94.56	0.3696	3.2397	0.679	0.0867	0.0289	0.2072	156	409	19	145	1132	99.36
18	98.55		0.46				0.15						99.16
19	98.37		0.18				0.16						98.71
20	97.5		0.30				0.10						97.90
21	97.6		0.50				0.22						98.32
22	99.85		0.085				0.06						100.00
23	99.32		0.005				0.04						99.37
24	99.40		0.007				0.05						99.46

注：样品序号及样品产地同图 2；其中 18—24 样品为沈逸民、李鹤年等（1984）研究报告资料（黄冈矿床锡石）；其余为本次研究的采样分析结果，由地矿部岩矿测试技术研究所谢育英等分析。

至 1000 ppm。锡石含砷高，这主要与 Sn、As 之间的地球化学亲和性有关，但本区锡石这么高的砷含量，不能不认为与黄冈-甘珠尔庙矿带砷元素的高背景场是一致的。根据详细的地层地球化学采样分析，本区锡矿床围岩（二叠系岩石）的砷元素浓集系数一般为 4—10，就是例证。

（3）无论是远离岩体的热液矿床，还是岩体内的斑岩、云英岩锡矿床，其锡石的 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量均较低（一般为 0.003%—0.01%），而且锡石中 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的情况均有出现，17 件锡石样品平均结果，Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 1.23，这些都和华南与花岗岩有关的锡矿床（如：大厂、个旧、宝坛、柿竹园矿床）中的锡石相近似。但华南地区产于花岗岩体中的锡矿床（如：栗木），其锡石的铌、钽含量是本区岩体中锡矿床（如：敖脑达坝、东山湾）锡石铌、钽含量的数十倍。因此，本区花岗岩类岩体中锡石低铌、钽的特点，与本区燕山期含锡花岗岩低铌、钽的背景是一致的。

### 3.2 锡石的 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Zr/Hf-In/150 图解

在 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Zr/Hf-In/150 图解上，矿带中不同成因类型矿床的锡石，各自

聚集于特定的区域(图 2)。云英岩型及斑岩型锡石投影于图解的左半部,其 In 的含量相对较低。矽卡岩型矿床的锡石投影于图解的中偏右侧(黄岗矿床的锡石未分析 Zr、Hf、In,故未参与投影),In 含量居中。热液型矿床锡石集中在图解的最右侧,In 含量较高(244—317 ppm)。

锡石中 In 含量是成矿深度的函数。本区不同成因类型锡石 In 含量的差别,反映按斑岩和云英岩型→矽卡岩型→热液型锡矿床的顺序其成矿深度是逐渐减小的。

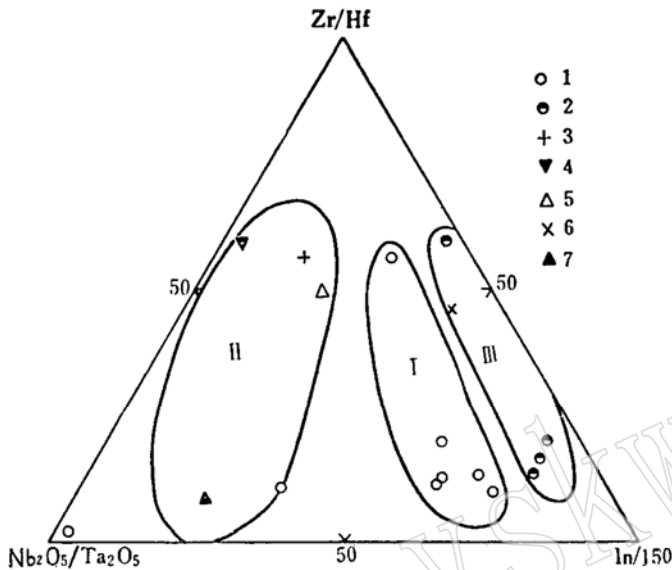


图 2 锡石的  $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Zr/Hf-In/150 图解

Fig. 2  $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Zr/Hf-In/150 diagram of cassiterite

1—浩布高; 2—大井子; 3—东山湾;  
4—敖脑达坝; 5—小海背; 6—白音  
泉; 7—浩腾吐。

图中分区: I—矽卡岩型; II—斑  
岩及云英岩型; III—热液型

#### 4 方铅矿

方铅矿是本矿带矽卡岩型和热液型铅锌多金属矿床中最常见的金属矿物之一。在锡多金属矿床中,也常有少量方铅矿。

对 12 个矿床(点)共作了 39 件方铅矿的主元素和微量元素分析(表 3)。方铅矿中的 Bi、Ag、Sb 含量及其比值,是矿床成因的微量元素指示剂。随着测试资料的不断积累,方铅矿的 Bi-Ag-Sb 三角图解可以用作鉴别矿床成因和探讨成矿物质来源的常用图解。笔者搜集了国内外(主要是国内)不同类型的 28 个铅锌矿床的方铅矿微量元素数据,它们包括岩浆热液型(含矽卡岩型)矿床 11 个(如:水口山、东坡、黄沙坪等)、火山岩型(包括火山喷气型)矿床 4 个(如:锡铁山、五部、日本黑矿等)、沉积改造型铅锌矿床 13 个(如:凡口、北山、金顶、柴河、密西西比等)<sup>[9-14]</sup>。在 Bi-Ag-Sb 图解上,这三类矿床方铅矿的平均成分分别投影于不同的区域(图 3)。

将黄岗-甘珠尔庙矿带中各矿床(点)方铅矿的平均成分投于图 3 中(黄岗矿床方铅矿未测 Sb,故不参与投图),大部分均落入岩浆热液(含矽卡岩)型铅锌矿床区。有 5 个矿点的方铅矿分别投入沉积改造(层控)型铅锌矿床区或落在岩浆热液型和沉积改造型矿床之间的过渡区。当然,由于这 5 个矿点样品少(每个矿点仅 1 件样品),其代表性不一定很好。但在本区其它矿床中(如:白音诺、浩布高、大井子),象这样相对富 Sb 而贫 Bi、

表 3 方铅矿的平均化学成分  
Table 3 Average chemical composition of galena

矿床 (矿点) (个)	wt. %													ppm					总量
	Pb	Zn	S	Mn	Cd	As	Fe	Cu	In	Ga	Sn	Bi	Ag	Sb					
白音诺 13	82.75—86.6 84.95	0.03—0.93 0.30	12.65—14.03 13.01	<2—216 74	<2—62 28	83—987 344	329—8500 1755	5—2200 636	<2 <2	<1 <1	1.5—153 72	12—2400 361	13—860 233	<1—210 79	98.62				
浩布高 7	81.75—87.9 85.11	0.01—0.99 0.23	13.38—14.21 13.82	18—151 61	34—70 53	34—284 90	351—4897 1359	39—3785 1468	<1 <1	<4 <4	<10—340 50	78—10050 1804	13—1377 554	0.66—890 445	99.75				
大井子 10	82.92—87.8 86.02	0.02—0.27 0.07	13.03—13.76 13.30	3—49 16	21—430 94	128—4529 1200	208—8671 1559	32—3700 650	<1 <1	<4 <4	<10—20 12	15—6500 1072	15—2000 550	40—480 187	99.92				
黄岗 1	83.40	2.27	13.40		137		4913	44				3227	14		99.90				
哈达吐 1	86.66	0.27	13.41		59		1213	71				101	38	1100	100.60				
后补河 1	86.02	0.02	13.31		542		369	35				24	17	70	99.46				
东山湾 1	85.33	0.10	13.42		37		525	41				14092	12	190	100.34				
中段 1	86.60	0.52	13.40		69		1474	1139				511	16	170	100.86				
四方城 1	85.70	0.11	13.26		64		343	39				19	18	1050	99.22				
北杨家 营子 1	86.60	0.01	13.40		97		97	2				1563	27	50	100.19				
团结 1	86.08	0.13	13.32		51		612	111				64	63	1800	99.80				
榆林 1	85.75	0.15	13.27		56		290	1154				38	12	250	99.35				

注: 表中 1—3 排中数据, 其上一行为该元素的含量范围, 下一行为该元素平均含量。样品由地矿部岩矿测试技术研究所谢育英等分析。

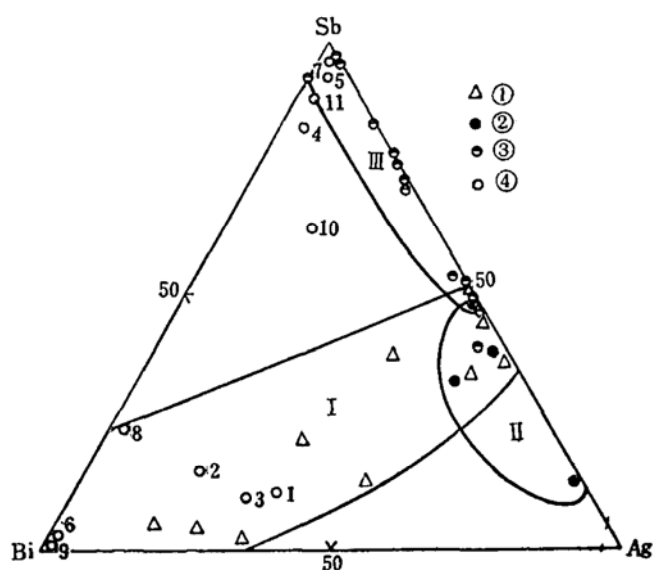


图3 方铅矿的Bi-Sb-Ag图解

Fig. 3 Bi-Sb-Ag diagram of galena

①—岩浆热液(含矽卡岩)矿床; ②—火山岩型(含火山喷气)矿床; ③—沉积改造型矿床; ④—本区矿床: 1. 白音诺; 2. 浩布高; 3. 大井子; 4. 榆树林子; 5. 团结; 6. 北杨家营子; 7. 收发地; 8. 中段; 9. 东山湾; 10. 后补河; 11. 哈达吐。

图中分区: I—岩浆热液(含矽卡岩)矿床区; II—火山岩(含火山喷气)型矿床区; III—沉积改造型矿床区, 其中区外资料主要引自文献[9—14]。

属矿床中的方铅矿(如白音诺、榆树林子、团结、中段等)则相对富集Sb或Ag。这从一个侧面反映了本区第一矿床成矿系列和第二矿床成矿系列在金属矿物的化学标型性上存在着明显差别。

## 5 闪锌矿

对本区11个矿床(点)的48件闪锌矿样品进行单矿物成分分析(表4)。数据表明, 本区闪锌矿的含铁量因各矿床而异, 与矿床类型无关, 也和矿体距侵入体的远近关系不密切。多数矿床早阶段闪锌矿色深、含铁高, 晚阶段闪锌矿透光性好、含铁低。例如, 5个矽卡岩型矿床(白音诺、浩布高、黄岗、哈达吐、银洞子)的闪锌矿含铁量变化极大, 其中, 白音诺矿床平均含Fe 5.43%, 黄岗平均3.63%, 哈达吐平均9.31%, 银洞子7.18%。热液型矿床闪锌矿含Fe较低(2.53—3.94%), 但大井子矿床例外, 该矿床闪锌矿大多属铁闪锌矿, Fe变化于11.46%—14.53%, 是本区含Fe最高的闪锌矿。云英岩型(东山湾)和斑岩型(敖脑达坝)矿床含Fe 6.69%—11.52%。

笔者搜集了区外24个铅锌矿床的闪锌矿成分数据(这些矿床的类型、产地同上节方铅矿)<sup>[9—14]</sup>, 经整理后, 将其平均成分用Se/Te-Zn/100Cd-Ga/In图解投影。结果表明, 该图解是鉴别矿床成因、探讨成矿物质来源的一种较好图解(图4)。白音诺矿床有

Ag的方铅矿单个样品是没有的。而且, 这5个矿点中的部分铅锌矿体是呈似层状沿下二叠统层间分布的, 其一般均远离燕山期花岗岩类侵入体。目前尚无其它地质证据, 来证明这些矿点的铅锌矿体是沉积改造形成的, 然而许多资料确已表明, 区域上铅锌矿床中有少部分铅是来自二叠纪地槽沉积物<sup>[1-3]</sup>。

因此, 方铅矿的微量元素数据表明, 本区铅锌矿床主要属与燕山期花岗岩类岩浆活动有关的热液和矽卡岩型矿床。少量矿点中的方铅矿富Sb、贫Bi和Ag, 可能是二叠纪地槽沉积物中部分铅金属被活化到远离燕山期侵入体的铅锌矿体中的证据之一。

此外, 笔者还注意到, 黄岗、东山湾等矿床与锡、钨相伴的方铅矿极富Bi, 而铅锌多金



表 4 闪锌矿的平均化学成分  
Table 4 Average chemical composition of sphalerite

矿床 (矿点) (个)	wt. %											ppm							总量
	Zn	Pb	Cd	Mn	Fe	S	Cu	Ag	Bi	Co	Ni	Ga	In						
白音诺	53.12-61.3	0.02-11.23	0.17-0.29	0.08-0.80	2.24-6.24	29.36-32.76	21-30000	0.4-40	1.6-53	13-233	<2-35.2	<1-2.5	2.2-57						
	58.20	2.85	0.23	0.30	5.43	32.18	3615	20	17	127	15	1	22						
浩布高	55.12-60.66	0.07-1.67	0.25-0.44	0.23-0.74	2.62-11.25	29.87-32.81	35-9545	1-115	22-752	26-334	<2-29	<4	60-336						
	58.14	0.43	0.31	0.34	8.01	31.95	4366	31	214	164	8	<4	183						
大井子	50.37-54.19	0.06-0.70	0.22-0.40	0.02-0.23	11.46-14.53	31.25-33.04	575-10722	1-168	34-313	24-86	<2-28	<4-6	302-655						
	52.83	0.37	0.31	0.09	12.88	32.36	3502	26	138	48	5	<4	492						
黄岗	57.60-65.10	0.52	0.10-0.36	0.14-0.33	1.45-5.26	31.98-34.55	700-1710	104	585	71	18	5-18	140-690						
	61.17	0.52	0.26	0.23	3.63	33.22	1481	104	585	71	18	10	267						
哈达吐	51.99-58.75	2.12-6.13	0.01-0.30		7.75-10.86	30.59-31.60	180-10220	133-254	261-326	36-198	21-28		218-286						
	55.37	4.12	0.16		9.31	31.10	5200	194	294	117	25		252						
东山湾	56.13	0.29	0.46		6.69	31.91	13190	113	237	37	21		1113						
中段	61.97		0.33		3.83	31.65	11260	184	368	59	16		147						
北杨家	60.30-62.09	0.38-0.82	0.28-0.32		3.00-4.87	32.11-32.20	26-49	7-9	51-59	76-98	11-14		120-144						
营子	61.20	0.60	0.30		3.94	32.16	38	8	55	87	13		132						
团结	62.53-65.76	0.08-0.80	0.43-0.56		1.26-3.79	31.73-31.76	112-505	36-42	64-84	81-93	13-18		229-235						
	64.15	0.44	0.50		2.53	31.75	309	39	74	87	16		232						
敖脑达	56.45		0.55	0.08	11.52	32.89	0	106	1261			24	737						
银洞子	59.08	0.12	0.51		7.18	31.58	619	35	350	336	25		296						

注: 每栏中数据, 其上一行为该元素的含量范围, 下一行为该元素的平均含量。样品由地矿部岩矿测试技术研究所陈小青等分析。

10 件闪锌矿样品作了 Se、Te、Ga、In 分析，大多投入岩浆热液（含矽卡岩）型矿床区，没有 1 件投入火山岩型或沉积改造型矿床区（图 4）。因此，白音诺矿床划归矽卡岩型铅锌矿床是合理的。

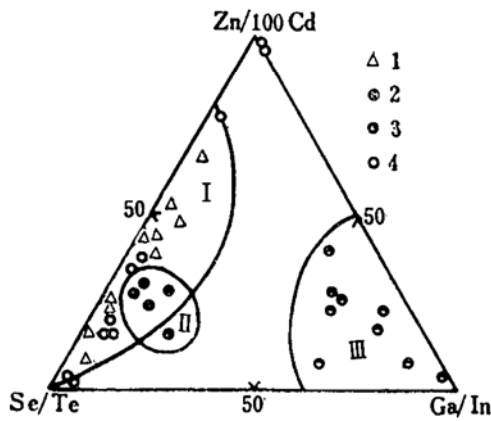


图 4 闪锌矿的 Se/Te-Zn/100 Cd-Ga/In 图解  
Fig. 4 Se/Te-Zn/100 Cd-Ga/In diagram of sphalerite

图中 I 区为岩浆热液（含矽卡岩）型，II 区为火山岩（含火山喷气）型，III 区为沉积改造（层控）型  
1-3 为国内外铅锌矿床 [1. 岩浆热液（含矽卡岩）型，2. 火山岩（含火山喷气）型，3. 沉积改造（层控）型] [9-10]；4. 为本区白音诺铅锌矿床。

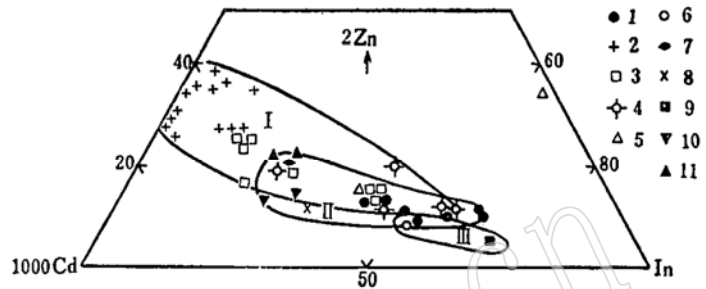


图 5 闪锌矿的 1000 Cd-2 Zn-In 图解  
Fig. 5 1000 Cd-2 Zn-In diagram of sphalerite

1-大井子；2-白音诺；3-浩布高；4-黄岗；5-哈达吐；6-敖脑达坝；7-中段；8-银洞子；9-东山湾；10-团结；11-北杨家营子  
图中 I 为矽卡岩型矿床区；II 为热液型矿床区；III 为斑岩和云英岩型矿床区。

由于经费和分析技术上的原因，本区多数闪锌矿样品未测 Se、Te。因此，改用 1000 Cd-2 Zn-In 三角图解（图 5）。将本区 11 个矿床（点）的 48 件闪锌矿样品投在该图上后，矽卡岩型、热液型和斑岩型矿床可以较好地被区分开来。其中，斑岩型矿床闪锌矿较靠近 In 端员，集中于图 5 的 III 区；矽卡岩型矿床的闪锌矿远离 In 端员，集中于图 5 的 I 区；热液型矿床闪锌矿的投影点主要介于 I 区和 III 区之间。仅哈达吐（矽卡岩型铅锌矿床）有 1 件闪锌矿因富 In、贫 Cd，投影点远离其它样品，其成因有待进一步研究。

东山湾、敖脑达坝、大井子、黄岗等矿床是与燕山期偏碱性花岗岩有关的锡钨多金属矿床成矿系列，它们的闪锌矿全部投影于图 5 的右下部区域。而白音诺、中段、银洞子、浩布高等矿床（点）是与燕山期中酸性花岗岩类有关的铅锌多金属矿床成矿系列，它们的闪锌矿全部投影于图 5 的左上部区域。因此，本区两个不同的矿床成矿系列的闪锌矿，其化学标型性不同，前者相对富集 In，后者相对富集 Cd。

## 6 结论

本区主要金属矿物磁铁矿、锡石、方铅矿、闪锌矿成分的对比性研究，提供了以下有益的启示：

(1) 主要金属矿物的成分标型，反映黄岗-甘珠尔庙矿带的矿床主要属与燕山期花岗岩类岩浆活动有关的矽卡岩、热液、斑岩、云英岩型矿床，这与据宏观和其他微观地质

证据所确定的矿床类型一致。

(2) 锡石的化学成分特点,反映本区是一个砷元素的高背景场,燕山期含锡花岗岩铍、钼含量低与锡石低铍、钼的特点一致。

(3) 磁铁矿、方铅矿的化学成分特点显示出本区矿床具中生代活化前中生代成矿特点。其中,矿床中的铁质主要来源于晚古生代海相中-基性火山岩,铅锌矿床中部分金属来自早二叠世地槽沉积物。

(4) 本区众多的矿床(点),可以划分成与燕山期偏碱性花岗岩有关的锡钨多金属矿床成矿系列和与燕山期中酸性花岗岩类有关的铅锌多金属矿床成矿系列。这两个系列矿床的闪锌矿和方铅矿的微量元素含量及比值存在着明显差别。这就从金属矿物的化学成分标型性方面,为确定区域矿床成矿系列提供了依据。

### 参 考 文 献

- 1 张德全.黄岗-甘珠尔庙锡银多金属矿带地质背景及矿床类型.中国地质科学院矿床地质研究所所刊,1989,第1号:41—54.
- 2 张德全等.内蒙古白音诺中酸性火山-深成杂岩体的岩石学、地球化学与成因研究.地质论评,1990,36(4):289—297.
- 3 张德全等.内蒙古白音诺铅锌矿床地质特征及成矿作用.矿床地质,1991,10(3):204—216.
- 4 勒是琴等.成因矿物学概论(下册),吉林工业大学出版社,1986.64—68.
- 5 Dosborough G A, Sainsbary C L. Cassiterite as an exsolution product in magnetite Lost River mine. Econ. Geol., 1970, 65(6): 1004—1006.
- 6 Александров С М. Геохимия бора и олова в месторождениях магнезиально-скарновом формации. Москва: Наука, 1982. 25—75.
- 7 王立华,张德全.湖南香花岭锡矿床地质特征及成矿机理,北京:北京科学技术出版社,1988.53—65.
- 8 薛君治等.成因矿物学,武汉:武汉地质学院出版社,1986.32—33.
- 9 叶庆同.闪锌矿的化学成分特征及其地球化学意义.中国地质科学院矿床地质研究所所刊,1985,第2号:28—42.
- 10 宋学信.凡口矿床闪锌矿和方铅矿的微量元素及其比值——一个对比性研究.岩矿测试,1982,1(3):37—43.
- 11 陈毓川等.南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质,北京:地质出版社,1989.352—381.
- 12 徐国风等.论某矿床金属矿物和标型特征及矿床成因.矿物学报,1982,(1):33—48.
- 13 芮宗瑶等.关门山铅锌矿床,北京:地质出版社,1991.102—112.
- 14 Both R A. Minor element geochemistry of sulfide minerals in the Broken Hill lode in relation to the origin of ore. Mineralium Deposita, 1973, 8: 349—369,

## Typochemical Characteristics of Major Ore Minerals from Southern Da Hinggan Mountains in East Inner Mongolia

Zhang Dequan, Lei Yunfen

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

**Key words:** typomorphic characteristic of ore mineral; genesis of ore

deposits, Southern Da Hinggan Mountains

### Abstract

The Huanggang-Ganzhuermiao ore belt of east Inner Mongolia is tin-polymetallic ore belt in Southern Da Hinggan Mountains. Data of major and minor elements in magnetite, cassiterite, galena and sphalerite from ore deposits within this ore belt suggest that these ore deposits are of skarn, hydrothermal, porphyry and greisen types related to Yanshanian magmatic activity and that iron in ores came from regional Permian marine intermediate-basic volcanic rocks whereas partial lead and zinc from Permian geosynclinal sediments. Studies also indicate that galena and Sphalerite in tungsten-tin deposits related to Yanshanian subalkaline granite differ obviously from these minerals in lead-zinc deposits associated with Yanshanian intermediate-acid granitoids in contents and ratios of minor elements.

www.yskw.ac.cn