

广西大厂锡多金属矿床中铟的富集规律

戴塔根¹, 杜高峰¹, 张德贤¹, 王明艳²

- (1. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083;
2. 湖南有色控股集团 矿产资源部, 长沙 410015)

摘要: 详细论述大厂锡多金属矿床中地层和矿石的微量元素和主要金属元素与铟的关系, 岩浆岩、近矿围岩和矿石的稀土元素特征与铟的关系以及铟与成矿温度之间的关系。微量元素分析结果表明: 在赋矿地层中铟的含量较高, 且不同岩性之间的铟含量变化较大, 而在矿石中铟与锡和镉均呈正相关关系, 与锌呈负相关关系。稀土元素分析结果表明, 在岩浆岩中铟含量与 δEu 成负相关, 在近矿围岩中铟含量与 δEu 呈正相关, 在矿石中铟含量与 δEu 、LREE/HREE、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 关系密切, 而且铟在相对氧化、弱碱性的高温阶段更易于富集。最后对大厂锡多金属矿床中铟富集的有利部位进行了预测。

关键词: 大厂锡多金属矿床; 铟; 围岩; 微量元素; 稀土元素

中图分类号: P612

文献标志码: A

Indium distribution in Dachang tin-polymetallic deposit of Guangxi Province

DAI Ta-gen¹, DU Gao-feng¹, ZHANG De-xian¹, WANG Ming-yan²

- (1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals,
Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;
2. Department of Mineral Resources, Hunan Nonferrous Metals Holding Group Co., Ltd., Changsha 410015, China)

Abstract: The preliminary research focused on dispersed elements in Dachang tin-polymetallic deposits of Guangxi province. The relationships among indium, trace elements and main metal elements of wall rock and ore were introduced, as well as the relationships among indium content and distribution, and the typical characteristics of rare earth elements of igneous, wall rock and ore. The trace element analyses results suggest that indium enriches in the wall rock and varies in different lithologies, and indium is positively correlated to Sn and Cd, and negatively correlated to Zn. The rare earth element analyses results suggest that indium content is negatively correlated to δEu in igneous rocks and positively correlated to δEu in wall rocks. The indium contents are intimately associated with δEu , LREE/HREE, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ in ores. The relative oxidized, weakly alkali and high temperature stage is favorable for enrichment of indium during the ore-forming process. At the end, the enrichment prospect of indium was given here.

Key words: Dachang tin-polymetallic deposit; indium; wall rock; trace element; rare earth element

在过去的一个多世纪, 学者们对于分散元素铟在各种不同矿床中的赋存状态进行了大量的研究^[1-9]。对脉状钨、锡矿床(如世界上铟储量最大的 Mount Pleasant 矿床)和斑岩型钨、锡矿床中铟的研究表明^[7, 10-11], 富铟的矿石一般形成细脉状、半块状、不

规则状的复杂矿石形态, 主要与元古代、海西期和三叠纪的板块碰撞后的花岗岩侵入有关, 矿床一般伴随有多期次的火山侵入和伴随的岩浆热液活动。铟矿化与矿化破碎带、细脉等密切相关, 铟的独立矿物一般以硫铟铜矿、羟铟石等为典型。铟主要赋存于造矿矿

物,如闪锌矿、黄铜矿、锡石、黝锡矿中,这些矿物中赋含的铟超过了矿床中铟总含量的75%以上。而对于从太古代至今的火山成因多金属块状硫化物矿床(VMS)中铟的研究^[12-16]表明,在VMS矿床中,铟一般赋存在富铜的高温矿化系列矿物中,从Kidd Creek等典型矿床情况来看,铟在黄铜矿中含量最高,并且表现出较明显的均一性;而在闪锌矿中含量较低,且表现出明显的不均一性。在大地构造位置上,富铟的VMS矿床一般是在水下古地堑或者弧后盆地。铟的独立矿物一般表现出对主要造矿矿物如黄铜矿和闪锌矿的固相溶解,这种方式赋存的铟一般占整个矿区铟总储量的70%以上。在VMS矿床中,硫铜铟矿在大多数黄铜矿中都是重要的指示成分。对于在热液成矿环境下,铟主要赋存在基本金属的硫化矿物中,如黄铜矿、闪锌矿等。铟矿化一般发生在高温条件下,矿化温度在250~380℃之间。因为经历了多期成矿和交代作用,所以富铟矿体在矿物组成上都很复杂。在这种类型矿床中,硫铜铟矿都作为一种主要的痕量物质出现铜锌锡银矿脉中。除了硫铜铟矿,富铟的黄铜矿、锡石、锌黄锡矿也都是重要的含铟矿物。

位于桂西北丹池成矿带中,有许多大型、超大型的有色金属矿床产出,如铜坑—长坡锡(Sn)多金属矿、高峰锡(Sn)多金属矿、龙头山锡(Sn)多金属矿、拉么锌(Zn)铜(Cu)矿、大福楼锡(Sn)多金属矿、亢马锡(Sn)多金属矿、茶山钨(W)铋(Sb)矿等。该区是我国重要的有色矿业基地和世界著名的大厂超大型锡矿所在地,同时也是重要的分散元素资源产地,尤其是铟、镓和锗。据目前已经探明储量表明,大厂矿田的铟资源量在我国、甚至全球都是规模较大的,大厂矿田内的几乎所有矿床都富含铟,单个矿床的铟金属储量都达到大型甚至超大型规模。前人对广西大厂矿田中的分散元素进行了初步研究^[17-19],但该矿田中铟的富集规律和赋存状态仍不太清楚,本文作者对广西大厂锡多金属矿床中铟的赋存状态及其与矿床的相关性进行探讨,试图从元素地球化学角度揭示该矿床中铟的富集规律。

1 大厂矿床地质背景

丹池成矿带产出的构造背景是NW向丹池拗陷褶皱断带(见图1),它是在加里东地台基础上经海西期的断陷沉积、印支期的挤压褶皱和燕山期的拉张伸展并伴随岩浆侵位和成矿作用而发展起来的。带内可划分为地台盖层(D-T)、早古生代褶皱基底(加里东基底)和前

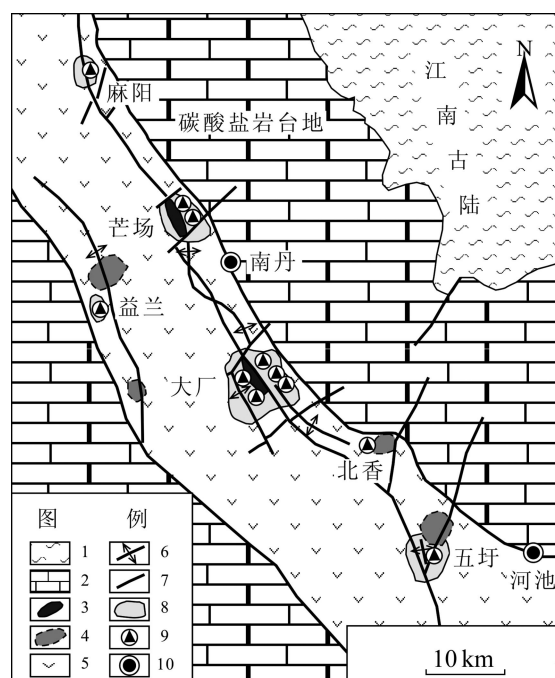


图1 丹池成矿带构造位置及矿产分布示意图(据文献[20]): 1—早—中元古代基底; 2—丹池褶皱断带; 3—晚古生代碳酸盐岩; 4—白垩纪花岗岩; 5—推测隐伏花岗岩; 6—背斜; 7—断裂; 8—矿田; 9—矿床; 10—城市

Fig. 1 Tectonic setting and ore deposit distribution in Danchi metallogenic belt (From Ref. [20]): 1—Lower-Middle Proterozoic basement; 2—Danchi fold-fault belt; 3—Upper Paleozoic carbonate rock; 4—Cretaceous granite; 5—Inferred granite; 6—Anticline; 7—Fault; 8—Mine area; 9—Deposit; 10—City

震旦系结晶基底(结晶基底)3个岩性—构造层^[17-19, 21]。

丹池成矿带内出露的地层有泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系和第四系。其中泥盆系是丹池成矿带内主要的赋矿地层。泥盆系地层主要为一套含浮游生物化石的砂岩、页岩、灰岩及硅质岩组成的地台型沉积,即所谓的“南丹型”沉积,与广西大部分地区含底栖生物的碎屑岩—碳酸岩沉积的“象州型”泥盆系形成鲜明对比。整个泥盆系地层主要由上泥盆统(自上而下分为同车江组、五指山组和榴江组)的海槽—海盆型沉积、中泥盆统(罗富组和纳标组)的泥岩、页岩与泥灰岩、灰岩互层偶夹硅质岩层和下泥盆统(自上而下为塘丁组、益兰组、那高岭组、莲花山组)砂岩和泥岩组成。

丹池成矿带内岩浆岩有侵入岩和喷出岩两类,并以侵入岩为主。侵入岩主要集中分布在北部的芒场地区和中部的的大厂地区,主要为燕山晚期的花岗岩。

2 样品采集与分析

前人^[20, 22]虽对大厂矿田的微量元素作过较多的研究,但主要是针对大厂矿田与主要金属元素相关的微量元素研究,对于赋矿地层中铟与微量元素的关系研究较少。为了研究矿田赋矿地层中微量元素的特征,本次研究中对大厂矿田分别考虑了不同岩类、不同勘探线、不同矿化类型等因素,共采集微量元素样品49件,室内严格按照地球化学样品的制备规范进行加工,共进行了14项微量元素及相关主要金属元素(Ag、Cr、Co、Ni、Ga、Ge、Cd、In、Sn、Pb、Zn、Cu、Cs、Ba、U、Nb、Rb、Zr、Fe)测定,并利用微量元素样品挑选了部分有代表性的矿石、岩浆岩以及不同岩性的近矿围岩样品进行了稀土元素测试分析,共分析样品90件。

3 研究结果

3.1 微量元素及相关主要金属元素分析结果

3.1.1 地层中铟的富集与微量元素及相关主要金属元素间的关系

通过与克拉克值进行比较(见表1),大厂矿田的近矿围岩微量元素具有以下特征。

1) 赋矿地层中分散元素铟的含量较高,平均达到 1.88×10^{-6} ,为克拉克值的18.80倍,铟出现轻度富集。其中在罗富组(D₂l)中铟的平均含量达 4.64×10^{-6} ,为克拉克值的46.42倍;特别是在罗富组浅灰色灰岩中铟的含量达 30.62×10^{-6} ,为克拉克值的306.20倍,铟出现了高度富集,可能是在成矿过程中有利的岩性受到了含矿热液的影响。在五指山组第三段、同车江组、纳标组、五指山组第一段、五指山组第二段、榴江组,铟的平均含量为克拉克值的17.21、16.07、16.05、7.31、6.64、5.92倍,均出现了轻度富集。此外区内不同岩性之间铟的含量变化较大,可能与地层岩性有关,说明成矿对围岩具有选择性,纯净的碳酸盐岩是理想的赋矿岩性。

2) 从铟与各微量元素及相关主要金属元素相关性分析(见表1、图2和图3)来看,铟与镉元素显著相关,其次为镓、锡、锌、铜、铅元素,与其他元素相关性都较弱,反映了铟在地层中赋存的浅成性,表明铟与亲铜元素关系密切。

3) 镉元素含量较高,赋矿地层中平均达到

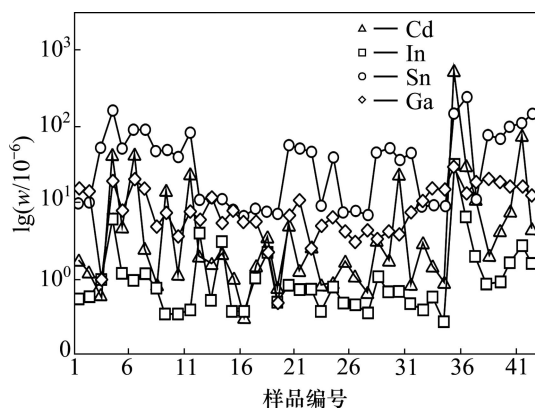


图2 赋矿地层 In-Cd-Ga-Sn 含量变化图

Fig. 2 In-Cd-Ga-Sn content variation diagram of host rocks

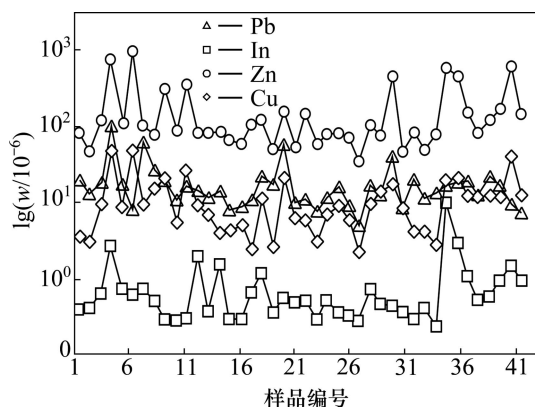


图3 赋矿地层 In-Pb-Zn-Cu 含量变化图

Fig. 3 In-Pb-Zn-Cu content variation diagram of host rocks

20.88×10^{-6} ,为克拉克值的104.4倍,属高度富集。镉元素因其与铟元素地球化学性质相近,一般常紧密伴生,另外在本矿田近矿围岩中镉与铟的相关性很好。

4) 按富集系数大小,近矿围岩微量元素及相关主要金属元素排列顺序前5位为镉、银、锡、铟、锌等,这些元素可作为是否接近矿体的找矿指示元素。

3.1.2 矿石中铟的富集与微量元素及相关主要金属元素间的关系

1) 铟-锡正相关

在大厂矿田,铟和锡之间存在正相关关系(见表2和图4)。铟与锡这种同步增长的关系也在其它类型的矿床中存在^[5-6, 18]。即使处于同一矿田的不同矿床,含锡低的矿床含铟也相应低,如大厂矿田的拉么矿锡平均含量为 57.93×10^{-6} ,高峰100#矿体锡平均含量为 139.6×10^{-6} ;而拉么矿铟平均含量为 3.017×10^{-6} ,高峰100#矿体铟平均含量为 199.7×10^{-6} ,拉么矿铟的平均含量比高峰100#矿体铟的平均含量低数十倍。尽管前人大量的研究^[20, 22]表明,大部分铟并不进入锡石而是

表1 大厂矿田近矿围岩微量元素分析结果

Table 1 Trace element concentrations in wall rocks from Dachang ore field

样品编号	地层	岩性	w/10 ⁻⁶								
			Ag	Cr	Co	Ni	Ga	Ge	Cd	In	Sn
Y5	D ₃ ³	黑色炭质页岩	0.34	10.75	11.64	15.37	15.60	1.53	1.77	0.53	9.69
Y6		黑色炭质页岩	0.23	6.46	2.03	12.41	14.30	1.48	1.27	0.57	10.19
Y7		黑色泥灰岩	0.71	124.90	32.00	78.58	1.00	1.08	0.60	0.98	49.98
Y8		灰色细条带灰岩	8.84	125.70	15.76	52.18	19.20	1.78	45.19	5.88	161.40
Y9		黑色泥灰岩	1.01	119.70	14.14	53.64	7.80	1.18	4.91	1.18	50.31
Y10		灰黑色泥灰岩	55.26	104.30	10.20	101.90	20.60	1.87	45.20	0.96	89.46
Y11		灰色泥灰岩	3.09	139.40	14.03	48.96	15.60	1.51	2.55	1.16	90.13
Y15	D ₃ ^{2d}	深灰色大扁豆灰岩	0.68	58.05	21.61	39.71	4.90	0.88	0.84	0.75	47.04
Y16		灰色大扁豆灰岩	0.83	54.68	18.08	41.08	7.50	0.82	15.01	0.36	47.99
Y17		深灰色大扁豆灰岩	0.21	56.86	9.42	32.40	3.70	0.10	1.16	0.34	38.49
Y18		浅灰色大扁豆灰岩	2.09	30.20	3.20	11.85	7.70	0.31	24.54	0.39	83.22
Y22	D ₃ ^{2c}	灰色小扁豆灰岩	0.41	6.53	6.77	16.76	6.00	0.74	1.95	3.99	11.00
Y23		灰色小扁豆灰岩	0.20	19.26	8.92	24.22	11.90	1.00	1.67	0.52	11.62
Y24		灰色小扁豆灰岩	0.43	15.81	6.93	20.24	5.40	0.57	2.20	2.94	11.15
Y25		灰色小扁豆灰岩	0.19	5.91	5.90	24.00	7.80	0.63	1.02	0.37	8.02
Y26		灰色小扁豆灰岩	0.19	18.39	7.11	24.25	5.70	0.40	0.31	0.38	6.85
Y27		灰白色小扁豆灰岩	0.22	4.20	3.46	13.58	5.90	0.31	1.48	1.04	8.09
Y28		灰白色小扁豆灰岩	0.33	11.69	10.97	25.93	2.40	1.94	3.58	2.12	7.46
Y29	D ₃ ^{2b}	细条带硅质灰岩	0.53	5.36	4.02	13.12	0.50	0.27	0.82	0.49	7.14
Y30		浅灰色宽条带灰岩	5.43	48.31	10.85	39.92	6.70	0.61	5.29	0.83	54.86
Y31	D ₃ ^{2a}	深灰色宽条带灰岩	0.81	85.60	9.88	30.14	11.00	1.69	1.35	0.73	50.48
Y32		深灰色宽条带灰岩	0.39	52.40	9.27	26.71	2.50	3.07	2.64	0.73	45.62
Y33	D ₃ ¹	薄层状灰黑色硅质岩	0.19	9.33	4.01	14.44	5.00	0.84	0.84	0.37	9.09
Y34		薄层状灰色硅质岩	0.54	37.41	5.97	29.21	6.50	0.79	0.89	0.77	39.15
Y35		薄层状灰黑色硅质岩	0.20	9.94	6.30	21.76	4.20	0.46	1.71	0.48	7.40
Y36		薄层状灰黑色硅质岩	0.21	16.66	8.06	26.98	3.00	0.53	1.10	0.44	7.63
Y37		薄层状灰黑色硅质岩	0.17	2.45	1.55	13.60	4.30	0.68	0.70	0.35	6.69
Y38		薄层状灰色硅质岩	1.23	89.94	11.91	44.40	3.30	0.43	3.38	1.14	44.81
Y39		薄层状灰色硅质岩	0.98	81.39	16.87	63.18	4.20	0.84	1.81	0.67	51.57
Y40		薄层状灰色硅质岩	12.89	26.23	8.12	24.52	3.80	0.57	24.16	0.65	35.86
Y41		薄层状灰黑色硅质岩	0.78	78.52	7.35	41.68	7.40	0.63	0.87	0.47	44.09
Y42	D ₂ ²	黑色硅质岩	0.37	23.13	4.38	14.09	10.50	1.20	3.06	0.38	8.81
Y43		黑色硅质岩	0.39	12.20	2.37	15.48	15.30	2.10	1.50	0.57	9.00
Y44		黑色硅质岩	0.80	53.89	3.02	13.33	15.10	3.93	0.93	0.28	8.79
Y45		浅灰色灰岩	1.80	16.12	12.98	23.02	28.80	0.23	529.50	30.62	146.50
Y46		灰色灰岩	1.14	239.40	9.18	42.43	13.20	3.43	31.14	6.58	236.70
Y47		灰黑色硅质岩	0.46	22.53	10.98	41.56	18.10	8.24	11.55	1.95	10.91
Y48		黑色钙质泥岩	0.98	94.86	9.54	43.15	19.90	0.97	2.09	0.81	75.09
Y49		黑色钙质泥岩	1.04	99.66	12.91	50.04	18.70	1.28	4.38	0.90	64.61
Y50		黑色钙质泥岩	1.20	64.44	10.82	40.18	16.50	1.40	7.91	1.61	97.18
Y51		黑色钙质泥岩	1.10	24.51	13.16	21.67	16.10	1.03	79.46	2.73	107.60
Y55		D ₂ ¹	生物礁灰岩	0.60	125.70	9.42	48.25	12.70	0.67	4.65	1.61

(待续)

(续表)

样品 编号	地层	岩性	w/10 ⁻⁶									w(Fe)/ %
			Pb	Zn	Cu	Cs	Ba	U	Nb	Rb	Zr	
Y5	D ₃ ³	黑色炭质页岩	68.93	412.30	8.49	6.52	175.90	1.69	1.91	39.71	44.87	4.30
Y6		黑色炭质页岩	41.74	210.00	6.95	4.92	128.10	0.53	1.10	22.14	29.47	2.03
Y7		黑色泥灰岩	67.59	688.50	28.81	22.80	244.20	2.43	3.71	65.23	54.76	3.63
Y8		灰色细条带灰岩	554.20	6505.00	223.90	23.12	326.30	2.87	3.99	80.77	62.40	1.87
Y9		黑色泥灰岩	61.96	628.30	26.29	44.29	541.50	4.01	4.26	97.74	72.35	0.67
Y10		灰黑色泥灰岩	24.10	8928.00	219.10	35.71	539.50	9.56	4.86	182.30	81.65	1.41
Y11		灰色泥灰岩	297.50	549.70	28.68	54.02	796.40	6.11	8.93	226.50	136.70	1.64
Y15	D ₃ ^{2d}	深灰色大扁豆灰岩	102.30	394.90	49.27	10.84	154.50	1.05	3.44	52.53	32.00	0.95
Y16		灰色大扁豆灰岩	74.04	2163.00	79.45	4.66	342.30	1.77	4.79	79.92	48.36	0.39
Y17		深灰色大扁豆灰岩	35.04	467.10	14.93	1.87	92.96	0.51	2.32	24.85	18.21	0.69
Y18		浅灰色大扁豆灰岩	56.24	2566.00	104.50	17.20	254.60	0.81	1.79	88.12	12.73	1.32
Y22	D ₃ ^{2c}	灰色小扁豆灰岩	46.59	424.60	28.05	3.38	96.35	0.76	1.95	38.81	55.34	1.77
Y23		灰色小扁豆灰岩	36.48	418.90	19.60	4.11	162.50	0.84	1.86	41.68	21.39	1.02
Y24		灰色小扁豆灰岩	48.00	443.40	9.77	6.07	157.50	0.77	3.23	50.89	65.38	0.55
Y25		灰色小扁豆灰岩	23.61	315.20	10.78	3.83	109.20	0.40	2.06	25.49	20.20	0.71
Y26		灰色小扁豆灰岩	25.92	278.00	13.50	2.75	108.40	0.49	1.05	32.46	17.84	1.28
Y27		灰白色小扁豆灰岩	33.51	581.80	5.34	0.91	50.28	0.35	0.72	13.26	15.48	0.87
Y28		灰白色小扁豆灰岩	80.59	682.60	34.46	22.96	674.80	2.02	0.37	31.45	15.24	0.84
Y29	D ₃ ^{2b}	细条带硅质灰岩	62.59	234.90	6.12	2.12	55.46	0.39	1.12	21.48	26.68	2.45
Y30		浅灰色宽条带灰岩	272.80	945.30	79.70	16.84	177.10	1.61	0.65	122.20	5.34	0.51
Y31	D ₃ ^{2a}	深灰色宽条带灰岩	30.31	245.00	16.88	11.53	156.40	1.51	7.18	62.80	354.10	1.30
Y32		深灰色宽条带灰岩	33.83	861.70	16.07	33.85	308.30	1.37	2.16	125.00	33.58	1.90
Y33	D ₃ ¹	薄层状灰黑色硅质岩	21.80	280.00	7.09	0.67	43.01	0.33	0.60	5.54	20.17	3.50
Y34		薄层状灰色硅质岩	39.25	393.60	20.15	3.41	140.20	2.01	1.84	23.51	25.89	1.75
Y35		薄层状灰黑色硅质岩	54.69	417.90	27.39	4.95	136.30	1.50	0.49	19.80	14.29	1.71
Y36		薄层状灰黑色硅质岩	27.28	366.00	15.95	1.98	97.36	0.72	1.40	19.64	57.23	1.38
Y37		薄层状灰黑色硅质岩	12.97	140.80	4.90	1.68	71.92	0.32	0.84	10.09	14.00	0.62
Y38		薄层状灰色硅质岩	57.65	545.30	29.65	2.80	82.95	1.05	1.54	16.33	13.48	1.00
Y39		薄层状灰色硅质岩	39.64	382.10	48.92	25.39	148.30	6.04	2.15	71.44	31.08	0.70
Y40		薄层状灰色硅质岩	172.40	3518.00	64.20	7.00	66.00	0.91	1.20	31.63	12.29	0.76
Y41		薄层状灰黑色硅质岩	24.25	209.90	24.11	17.05	99.98	3.55	1.39	70.26	10.02	0.59
Y42	D ₂ ²	黑色硅质岩	72.28	416.70	10.61	8.08	416.30	4.06	1.94	88.42	55.33	1.44
Y43		黑色硅质岩	37.09	216.40	10.09	7.17	437.50	1.35	1.60	59.18	43.80	2.43
Y44		黑色硅质岩	43.34	403.60	6.39	7.00	298.40	2.18	1.54	88.51	55.77	2.37
Y45		浅灰色灰岩	59.52	4901.00	70.15	5.74	35.11	3.84	3.36	4.87	28.43	6.39
Y46		灰色灰岩	64.87	3515.00	77.70	7.22	37.73	4.98	7.48	17.92	56.60	6.54
Y47		灰黑色硅质岩	68.33	910.10	41.07	8.80	215.30	3.39	0.36	10.94	10.86	5.95
Y48		黑色钙质泥岩	40.52	412.00	38.86	19.55	178.10	7.17	3.54	111.00	51.02	6.02
Y49		黑色钙质泥岩	80.83	683.40	40.58	24.50	417.40	3.43	4.84	133.40	62.34	8.59
Y50		黑色钙质泥岩	60.01	1013.00	38.73	43.05	590.60	2.67	5.22	233.80	55.50	0.76
Y51		黑色钙质泥岩	28.46	5270.00	174.20	36.35	2504.00	2.00	4.09	128.10	31.33	3.90
Y55	D ₂ ¹	生物礁灰岩	21.55	845.50	39.87	17.40	333.30	4.52	4.53	90.48	37.72	2.82

注: Fe、Pb、Zn、Cu、Sn 由地质矿产部湖南省中心实验室测试; 其它元素由中南大学地质研究所 ICP-MS 实验室采用 ICP-MS 系统测试。

表 2 大厂矿田矿石微量元素分析结果

Table 2 Trace element concentrations in ore from Dachang ore field

样品编号	矿体编号	w/10 ⁻⁶										
		Ag	Cr	Co	Ni	Ga	Ge	Cd	In	Sn	Pb	Zn
B1	91	63.37	7.038	7.559	8.721	3.528	7.58	1 998	429.7	113.4	721.2	147.1
C1	92	4.884	5.496	17.46	22.95	1.723	6.63	27.31	7.227	91.34	757.2	1 994
C2	92	7.476	6.205	39.36	18.1	1.614	4.6	78.46	14.92	165.8	151.6	9 038
C3	92	5.74	5.092	20.91	22.29	2.631	1.65	102.2	24.33	146.6	452.7	13 220
F1	95	34.06	16.68	72.9	28.12	8.857	6.26	1 349	40.67	38.55	504.5	183.9
F2	95	3.863	51.88	101.2	54.33	9.552	2.41	1 358	37.23	47.37	92.64	436.1
F3	95	0.354	22.59	4.446	15.65	12.77	2.21	2.058	0.425	11.78	65.09	864.7
F4	95	1.244	9.059	8.719	26.03	10.78	4.34	16.07	1.233	10.5	72.33	1 204
F5	95	2.492	113.7	12.04	44.79	29.99	1.57	41.51	7.132	397.2	90.51	4 883
F6	95	31.03	76.3	10.9	23.79	20.28	3.02	111.8	13.8	208.7	424.8	12 100
G1	96	3.655	16.15	6.306	12.88	5.754	3.04	71.16	14.2	234.7	68.64	4 226
G2	96	7.377	26.31	10.75	13.33	8.672	9.01	360.9	57.6	246.8	183.1	19 290
G3	96	2.375	35.73	10.4	42.7	29.98	8.38	82.48	12.87	185.3	69.77	9 718
G4	96	12.72	81.2	13.21	28.98	41.13	8.77	348.3	53.93	122.8	383.1	36 580
G5	96	26.51	54.81	25.01	20.82	5.054	8.03	1 791	291.5	70.78	1085	410
G6	96	13.75	5.331	17.08	11.25	2.976	2.52	730.3	37.66	34.92	62.64	288.8
G7	96	8.911	7.823	8.78	18.07	5.769	6.36	937.9	104.5	15.68	157.8	170.6
G8	96	9.856	9.027	9.962	14.3	4.383	3.62	1 348	237.2	93.05	179.6	146.3
G9	96	8.638	8.661	9.951	11.31	3.117	2.84	1 150	131	23.57	219.6	142.1
J1	100	0.361	9.359	4.087	12.69	27.91	2.85	3.691	0.245	14.4	61.23	353.9
J2	100	51.81	6.494	2.006	7.716	2.687	1.48	1 341	269.1	97.43	15 480	194.7
J3	100	9.419	1.025	2.216	7.445	0.389	2.87	87.57	27.06	8.624	951.2	6 112
J4	100	45.74	32.57	3.644	14.28	12.08	1.98	3 355	672.6	319.2	25 781	328
J5	100	37.05	4.547	2.037	8.577	3.022	7.65	1 597	305.5	129.4	13 420	220.5
J6	100	149.5	4.575	1.765	7.597	0.879	4.88	57.37	53.18	147.5	12 960	6 466
J7	100	94.94	5.934	3.325	9.774	1.129	4.45	281.5	70.39	260.5	1 024	15 820
K1	拉么	50.63	48.45	6.447	18.28	30.78	0.99	75.12	3.439	88.2	272.7	7 398
K2	拉么	135.8	52.18	6.061	16.13	10.83	3.22	185.3	2.283	80.88	1 012	21 800
K3	拉么	135.2	51.5	8.365	16.54	12.51	3.57	178.9	2.228	83.39	968	19 940
K4	拉么	33.62	6.18	19.11	103.1	2.47	3.58	191	5.815	9.646	2 625	21 370
K5	拉么	177.1	41.17	15.48	32.84	17.4	2.95	162.5	3.507	65.78	1 354	18 970
K6	拉么	25.45	7.467	5.247	12	3.958	1.4	11.65	0.828	19.68	901.5	1 719

样品编号	矿体编号	w/10 ⁻⁶									
		Cu	Fe	Cs	Ba	Sc	Rb	Sr	Nb	Rh	U
B1	91	266.5	7.71	0.617	26.56	0.846	2.985	4.378	0.310	0.998	0.179
C1	92	60.97	4.93	1.317	44.72	0.919	6.778	15.1	0.404	1.108	0.971
C2	92	111.9	6.52	0.728	25.37	2.204	7.644	4.812	0.663	1.026	0.306
C3	92	103.4	10.8	1.344	29.75	1.957	16.19	12.68	0.791	1.135	0.889
F1	95	203.2	8.43	10.14	90.44	6.844	28.72	50.43	7.749	1.031	2.629
F2	95	82.37	10.9	24.53	49.24	6.473	62.21		0.626	1.32	2.432
F3	95	15.71	5.24	14.12	462.8	7.955	54.68	212.5	4.180	1.199	2.750

(待续)

(续表)

样品编号	矿体编号	w/10 ⁻⁶									
		Cu	Fe	Cs	Ba	Sc	Rb	Sr	Nb	Rh	U
F4	95	39.6	7.78	12.15	277.1	1.716	14.71	223.9	0.168	1.010	1.203
F5	95	27.64	6.17	35.53	79.12	13.67	167.5		9.411	1.358	3.671
F6	95	100	6.24	36.95	89.18	10.04	220.3		3.939	1.389	3.105
G1	96	49.3	4.94	24.46	47.46	2.485	71	21.67	1.739	1.002	2.116
G2	96	162.3	10.5	48.49	124.8	3.427	117.5	62.33	2.322	0.992	3.959
G3	96	34.54	8.94	16.62	56.97	8.482	83.08	42.81	5.306	1.261	3.017
G4	96	379	17.3	18.99	241.9	11.3	75.32	219.8	40.83	1.055	7.256
G5	96	436.4	18.8	2.105	36.44	3.451	11.3		2.124	1.354	0.278
G6	96	867.2	10.7	4.96	77.15	1.421	9.869	12.71	3.912	0.937	1.452
G7	96	699	9.44	6.259	147.8	1.167	7.044	34.29	0.506	1.038	2.236
G8	96	640.4	7.32	5.976	32.12	1.005	6.276	10.24	0.65	1.044	1.941
G9	96	1127	19.6	4.919	41.61	1.047	6.346	5.193	0.516	0.97	1.188
J1	100	9.191	17.3	5.356	455.8	3.465	61.89		6.471	0.8	1.612
J2	100	155.9	20.2	0.711	65.81	1.603	4.71	4.494	0.414	1.1	8.476
J3	100	30.35	13.4	0.489	17.38	0.994	2.41	1.178	0.194	0.976	0.119
J4	100	314.1	9.67	0.794	103.4	2.952	5.206		0.61	1.214	21.76
J5	100	149.5	6.71	0.715	58.5	1.646	4.73	3.541	0.343	1.22	9.937
J6	100	116.5	7.05	1.077	51.32	1.499	7.164	8.491	0.637	1.089	4.027
J7	100	142.3	12.3	0.545	93.64	0.938	2.786	41.07	0.298	0.945	3.469
K1	拉么	443	14	30.52	138.6	11.7	160.1		22.69	1.201	7.875
K2	拉么	829.4	5.99	4.635	43.68	3.427	43.76		1.872	1.04	5.964
K3	拉么	800.6	19.3	4.524	55.04	3.847	42.54		1.971	0.982	5.901
K4	拉么	297.4	7.26	2.081	9.627	24.88	14.18		0.354	43.72	0.034
K5	拉么	954.6	15.2	21.75	132.9	5.253	116.2		1.161	1.203	1.806
K6	拉么	626.4	12.9	4.071	23.2	2.013	16.79	12.71	0.661	1.153	1.081

注: Fe、Pb、Zn、Cu、Sn 由地质矿产部湖南省中心实验室测试; 其它元素由中南大学地质研究所 ICP-MS 实验室采用 ICP-MS 系统测试。

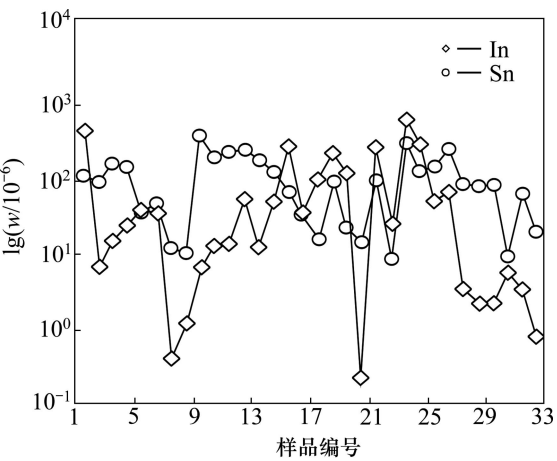


图 4 矿石中 In-Sn 含量变化图
Fig. 4 In-Sn content variation diagram in ore

进入闪锌矿晶格中, 但锡对铟的活化、迁移及富集十分重要。涂光炽^[17]认为锡在铟的富集过程中所起的主要作用在于: 由于铟与锡的地球化学性质的相似性, 当锡存在的情况下, 铟才可能大量进入热液体系, 使得铟在成矿溶液中能够达到较高的浓度, 而在沉淀过程中, 铟与锡分离, 大量进入闪锌矿。

2) 铟-锌负相关

如图 5 所示, 铟的含量变化曲线与锌的含量变化曲线呈剪刀形, 反映铟与锌负相关关系, 这说明 In³⁺以类质同象的形式进入了闪锌矿晶格。在还原环境中, 铟易形成+3 价离子。

涂光炽^[17]和张乾等^[18]详细研究了全球不同类型矿床平均铟含量的变化, 认为最富铟的矿床是锡石硫

化物矿床和富铟的铅锌矿床。国内著名的大厂矿田、云南都龙、白牛厂、个旧锡铅锌矿床、广东金子窝和内蒙古孟恩陶勒盖矿床等等,都是富铟矿床的例子;而日本的丰羽矿山(Toyoha)、鹿儿岛矿山、西班牙的Nevos Corvo矿床、加拿大的Kidd Creek矿床等等富铟矿床也都不同程度的富含锡。这说明锡在铟的富集过程中起到了某种重要作用。

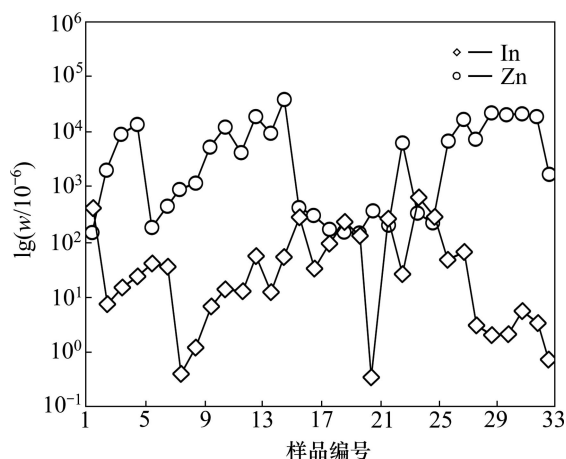


图5 矿石中 In-Zn 含量变化图

Fig. 5 In-Zn content variation diagram in ore

涂光炽^[17]和张乾等^[18]对不同类型矿床中铟与锡的关系表明不同类型矿床中,铟与锡具有同步增长的关系,即使在贫铟的矿床中,如在铁、锰、铜矿床中也存在这种同步消长的关系。而在热液型、夕卡岩型矿床中,矿石中铟和锡的含量明显高于其他类型的铅锌矿床。即使处于同一矿田的不同矿床,含锡低的矿床含铟也相应低,如大厂矿田的拉么矿锡平均含量为 57.93×10^{-6} ,高峰100#矿体锡平均含量为 139.6×10^{-6} ;而拉么矿铟平均含量为 3.017×10^{-6} ,高峰100#矿体铟平均含量为 199.7×10^{-6} ,拉么矿铟的平均含量比高峰100#矿体铟的平均含量低数十倍。但是尽管铟富集在含锡的硫化物矿床中,但是大部分的铟并不进入锡石而是进入闪锌矿等集中矿物中。

3) 铟-镉正相关

根据 ICP-MS 分析的结果(见表 2),矿石中的铟与镉呈正相关关系(见图 6)。由于铟的原子容易失去 3 个电子而成为+3 价的阳离子,其离子的最外层具有 18 个电子,属于铜型离子;镉是典型的亲铜元素,铟和镉的地球化学性质相近,在地质作用过程中,特别是在内生地质作用过程中,有着相似的地球化学行为。当 Zn^{2+} 从成矿热液中开始结晶时,铟和镉以类质同象的形式一起进入闪锌矿的晶格中。

铟虽以闪锌矿作为载体矿物,可以说闪锌矿是铟

的聚宝盆,但单纯的铅锌矿,铟的含量很低(见图 7)。如拉么矿铟的平均含量达 15×10^{-6} ,但铟的平均含量仅为 3.017×10^{-6} 。只有在锡石硫化物矿床和富锡的铅锌矿床中,分散元素铟才能得到富集。如 95#、96#、100#矿体等。

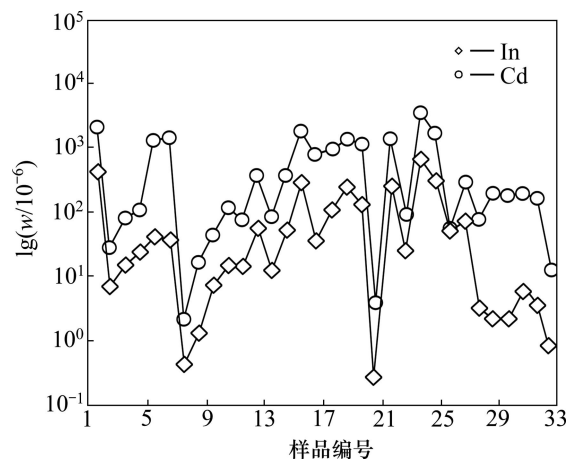


图6 矿石中 In-Cd 含量变化图

Fig. 6 In-Cd variation diagram in ore

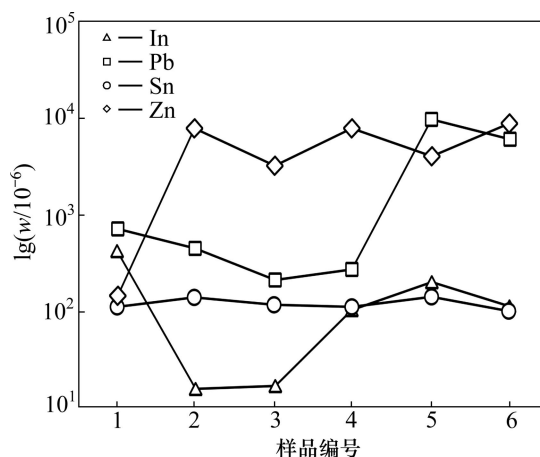


图7 矿体 In-Sn-Pb-Zn 平均含量变化图

Fig. 7 In-Sn-Pb-Zn diagram variation average content in orebody

3.2 稀土元素分析结果

稀土元素是包括成矿作用在内的各种地质作用的良好地球化学特征的示踪剂,因而对其组成和配分的研究,是探讨地质作用和成矿物质来源的重要途径之一。此次研究中,主要研究了岩浆岩,近矿围岩以及矿石中稀土元素特征及其与铟的关系。

3.2.1 岩浆岩稀土元素特征与铟的富集

大厂矿田内岩浆岩活动强烈,主要表现为燕山晚期期中酸性岩浆的侵入活动。岩浆岩在地表出露不多,主要以隐伏岩体的形式产出。地表仅见断续的岩脉,

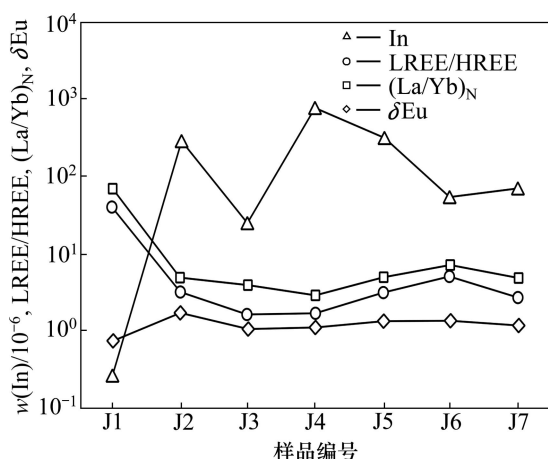


图 11 100[#]矿体矿石中铟与稀土元素主要参数间的关系

Fig. 11 Relationship between indium and major REE in 100[#] orebody

矿体的 δEu 、 LREE/HREE 、 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 平均值分别为 1.22、7.85、13.85，如果排除 J1 号样的影响(铟的含量为 0.245×10^{-6} ，对应的 δEu 、 LREE/HREE 、 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 分别为 0.78、37.35、68.34)，100[#]矿体中铟平均含量则达 232.97×10^{-6} ，对应的 δEu 、 LREE/HREE 、 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 平均值分别为 1.30、2.94、4.76，铟出现富集，暗示了一种相对氧化的成矿环境；此外，由于在成矿流体早期结晶过程中，重稀土优先进入固相，轻稀土则趋向于保存在流体中，100[#]矿体 LREE/HREE 、 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值均较其它矿体小，说明 100[#]矿体矿石结晶较早，同时说明了当时 100[#]矿体较其它矿体的成矿环境相对呈酸性。铟在铟出现富集、轻重稀土分异较小的 100[#]矿体中得到很大的富集，说明铟在相对氧化、弱碱性的成矿环境更易得到富集，并且这种富集发生在高温阶段。

4 铟与成矿温度之间的关系

张乾等^[18]对不同矿床中铟的含量与成矿温度之间做了定性分析后指出，从沉积岩中的铅锌矿至铜矿床至火山岩中的铅锌矿床、岩浆热液-矽卡岩型铅锌矿床，成矿温度从 190 °C 升高到 350 °C 以上，矿石中铟的平均含量有所升高，而富铟矿床的成矿温度为 250~320 °C。由此看出，富铟矿床都具有较高温度，但是高温并不一定都富铟，即温度并不是铟富集的决定因素。

在垂直方向上，铟含量与深度成正相关关系^[2,4]。以长坡矿床为例，在 725 水平铁闪锌矿中平均含铟为

0.028 8%，685 水平铁闪锌矿平均含铟为 0.054 3%，635 水平铁闪锌矿平均含铟为 0.061 8%。其中，38 号矿脉中铁闪锌矿中铟的含量来看，也具有同样的现象。725 水平铁闪锌矿中平均含铟 0.012%，685 水平含铟 0.042 6%，635 水平含铟 0.059 8%。卜国基^[25]在论述大厂矿田中铟的分布的时候也提出了类似的观点，他认为在同一矿床中，铟含量与深度呈正相关关系。SCHWARZ-SCHAMPERA 和 HERZIG 等^[3,5]在研究位于西南太平洋的弧后盆地—Lau 盆地的時候也提出了相似的观点。他们认为，随着温度的升高，在热液系统的作用下，铟的富集系数会相应升高。认为在 280~350 °C 的范围内，随着温度的升高，从矿体的边缘到中心，铟呈现出明显的富集现象。这是由于随着温度的变化，物理化学条件发生了一定的变化，总的趋势是温度升高，硫逸度/氧逸度降低，使铟的活动性增加，使得深部铁闪锌矿中铟的含量高，而浅部铁闪锌矿中铟的含量较低。因此，铟与成矿温度成正相关关系，一般深部的铁闪锌矿比浅部的形成温度高，成矿热液、成矿流体从下部向上贯入过程中，随着温度的降低，铟的富集程度也下降。

从目前掌握的有限的一些资料来看，在同一矿床中，沿着水平方向铟含量变化不大。

5 铟的富集规律

在大厂矿田，铟的富集有如下几个方面的规律。

铟赋存在铁闪锌矿中，在铁闪锌矿中主要以类质同像的方式存在，而很少存在铟的独立矿物，尽管涂光炽^[17]曾经在大厂铜坑矿的选矿产品—锡精矿中发现过自然铟，但是数量极少，不足以构成大厂矿田如此巨大的含铟量。

在大厂矿田形成过程中，锡、岩浆岩以及物理化学条件变化在铟的富集过程中起到了非常重要的作用。首先，含铟最高的矿床是锡石硫化物矿床，次之是含锡铅锌矿，而含铟最低的是不含锡的铅锌矿，大厂矿田各个矿床都不同程度的富含铟，如在脆硫锑铅矿、黄铁矿等矿物中含铟超过其他地区矿床中同种矿物一个数量级以上，在目前以及可以预见的未来，铟都具有较大的经济价值；其次，岩浆岩在成矿作用过程中起到的作用不可忽略，越靠近岩体，铟的含量越高；最后，在成矿过程中弱碱性的氧化环境更有利于铟的富集。

根据以上特点，结合实际情况，可以初步总结出

大厂矿田有如下几个有利部位易形成富铟矿体。

围绕龙箱盖花岗岩体是形成富铟矿体的有利部位,以前的工作都是围绕着花岗岩体寻找锡矿体、锑矿,而忽略了对其中铁闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿等的研究,从目前掌握的情况来看,在铟的价值越来越大的情况下,在龙箱盖周围的矿体中大量的黄铁矿、磁黄铁矿和铁闪锌矿是具有巨大的经济价值的。

100[#]矿体下部的 105[#]矿体是另一个铟储量巨大的富铟矿体,从目前的勘探情况来看,100[#]矿体是世界上已知的铟储量最大的矿体,但是其成矿温度要比 105[#]矿体的低,且 105[#]矿体是综合品位更高的锡石硫化物型矿体,105[#]矿体是下一个值得重点研究的对象。铜坑—长坡矿床是区内另一个大型的富铟矿体。

6 结论

1) 大厂锡矿床中,铟在赋矿地层中的含量较高,而且不同岩性之间铟的含量变化较大,而在矿石中铟与锡和镉均呈正相关关系,与锌呈负相关关系。稀土元素分析结果表明:在岩浆岩中,铟的含量与 δEu 成负相关,铟在近矿围岩中的含量与 δEu 呈正相关;在矿石中,铟的含量与 δEu 、LREE/HREE、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 关系密切。铟与成矿温度的关系表现在在垂直方向上铟的富集与温度之间存在正相关关系,而在水平方面上一般影响不大。

2) 铟赋存在铁闪锌矿中,在铁闪锌矿中主要以类质同像的方式存在,而很少存在铟的独立矿物。在大厂矿床的形成过程中,锡、岩浆岩以及物理化学条件变化在铟的富集过程中起到了非常重要的作用,基于这些控制因素,最终确定龙箱盖周围的矿体中,100[#]矿体下部的 105[#]矿体和铜坑—长坡矿床都是铟储量巨大的富铟矿体,有重要的经济价值。

REFERENCES

- [1] ANDERSON J S. Observations on the geochemistry of indium [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1953, 4(5): 225–240.
- [2] ELDRIDGE C S, WILLIAMS N, WALSHE J L. Sulfur isotope variability in sediment-hosted massive sulfide deposits as determined using the ion microprobe SHRIMP (II)—A study of the H.Y.C. Deposit at McArthur river, Northern Territory, Australia [J]. *Economic Geology*, 1993, 88(1): 1–26.
- [3] FRETZDORFF S, SCHWARZ-SCHAMPERA U, GIBSON H L, GARBE-SCHÖNBERG C D, HAUFF F, STOFFERS P. Hydrothermal activity and magma genesis along a propagating back-arc basin: Valu Fa Ridge (southern Lau Basin) [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111(B8): B08205.
- [4] GEMMELL J B, LARGE R R. Stringer system and alteration zones underlying the Hellyer volcanogenic massive sulfide deposit, Tasmania, Australia [J]. *Economic Geology*, 1992, 87(3): 620–649.
- [5] SCHWARZ-SCHAMPERA U, HERZIG P M. Indium: Geology, mineralogy and economics [M]. Berlin: Springer, 2002.
- [6] SHAW D M. The geochemistry of indium [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1952, 2(3): 185–206.
- [7] SINCLAIR W D, KOOIMAN G J A, MARTIN D A, KJARSGAARD I M. Geology, geochemistry and mineralogy of indium resources at Mount Pleasant, New Brunswick, Canada [J]. *Ore Geology Reviews*, 2006, 28(1): 123–145.
- [8] WOOD S A, SAMSON I M. The aqueous geochemistry of gallium, germanium, indium and scandium [J]. *Ore Geology Reviews*, 2006, 28(1): 57–102.
- [9] YI W, HALLIDAY A N, LEE D C, CHRISTENSEN J N. Indium and tin in basalts, sulfides and the mantle [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(24): 5081–5090.
- [10] HANNINGTON M D, JONASSON I R, HERZIG P M, PETERSEN S. Physical and chemical processes of seafloor mineralization at mid-ocean ridges in seafloor hydrothermal systems: physical, chemical, biological, and geological interactions [C]// HUMPHRIS S E, ZIERENBERG R A, MULLINEAUX L S, THOMSON R E. *Geophysical Monograph*. Washington DC: American Geophysical Union, 1995: 115–157.
- [11] RONA P A, SCOTT S D. A special issue on sea-floor hydrothermal mineralization: new perspectives; preface [J]. *Economic Geology*, 1993, 88(8): 1935–1976.
- [12] FTHENAKIS V, WANG W, KIM H C. Life cycle inventory analysis of the production of metals used in photovoltaics [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13(3): 493–517.
- [13] HERZIG P M. Economic potential of sea-floor massive sulphide deposits: Ancient and modern [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 1999, 357(1753): 861–875.
- [14] CABRI L J. Applications of proton and nuclear microprobes in ore deposit mineralogy and metallurgy [J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 1988, 30(3): 459–464.
- [15] HUSTON D L, SIE S H, SUTER G F, COOKE D R, BOTH R A. Trace elements in sulfide minerals from eastern Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits (Part I): Proton microprobe analyses of pyrite, chalcopyrite, and sphalerite, and Part II, Selenium levels in pyrite; comparison with delta 34 S values and implications for the source of sulfur in volcanogenic

- hydrothermal systems [J]. *Economic Geology*, 1995, 90(5): 1167–1196.
- [16] LARGE R R. Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits; features, styles, and genetic models [J]. *Economic Geology*, 1992, 87(3): 471–510.
- [17] 涂光炽. 分散元素可形成独立矿床: 一个有待开拓深化的新矿床领域[C]//欧阳自远. 中国矿物岩石地球化学研究新进展(2). 兰州: 兰州大学出版社, 1994: 1–234.
- TU Guang-chi. Disperse element can form independent deposit—A remain new ore deposit research realm [C]// OUYANG Zi-yuan. *New Progression of Chinese Mineralogy, Petrology and Geochemistry (II)*. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1994: 1–234.
- [18] 张 乾, 刘志浩, 战新志, 邵树勋. 分散元素铟富集的矿床类型和矿物专属性[J]. *矿床地质*, 2003, 22(3): 309–316.
- ZHANG Qian, LIU Zhi-hao, ZHAN Xin-zhi, SHAO Shu-xun. Specialization of ore deposit types and minerals for enrichment of indium [J]. *Mineral Deposit*, 2003, 22(3): 309–316.
- [19] 李锡林, 章振根. 大厂矿田分散元素的分布特征及地球化学[J]. *地质与勘探*, 1981, 7: 19–25.
- LI Xi-lin, ZHAN Zhen-gen. The distribution and geochemistry of disperse element in Dachang deposit [J]. *Geology and Prospecting*, 1981, 7: 19–25.
- [20] 韩 发, HUTCHINSON R W. 大厂锡多金属矿床热液喷气沉积的证据—含矿建造及热液沉积岩[J]. *矿床地质*, 1989, 8(2): 25–40.
- HAN Fa, HUTCHINSON R W. Evidence of exhalative origin for rocks and ores of the Dachang tin polymetallic field: The ore-bearing formation and hydrothermal exhalative sedimentary rocks [J]. *Mineral Deposit*, 1989, 8(2): 25–40.
- [21] 陈国达. 中国大地构造基本特征. 陈国达全集[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2008: 349–396.
- CHEN Guo-da. The essential characteristics of tectonics in China in Chen Guoda complete works [M]. Changsha: Central South University Press, 2008: 349–396.
- [22] FU M, CHANGKAKOTI A, KROUSE H R, GRAY J, KWAK T A P. An oxygen, hydrogen, sulfur, and carbon isotope study of carbonate-replacement (skarn) tin deposits of the Dachang tin field, China [J]. *Econ Geol*, 1991, 86(8): 1683–1703.
- [23] FU M, KWAK T A P, MERNAGH T P. Fluid inclusion studies of zoning in the Dachang tin-polymetallic ore field, Peoples Republic of China [J]. *Econ Geol*, 1993, 88(2): 283–300.
- [24] PAŠAVA J, KŘÍBEK B, DOBEŠ P, VAVŘÍN I, ŽÁK K, DELIAN F, TAO Z, BOIRON M C. Tin-polymetallic sulfide deposits in the eastern part of the Dachang tin field (South China) and the role of black shales in their origin [J]. *Mineralium Deposita*, 2003, 38(1): 39–66.
- [25] 卜国基. 浅谈铟、镉在大厂矿田的分布及综合回收前景[J]. *广西地质*, 2000, 13(1): 37–40.
- BO Guo-ji. Preliminary discussion on distribution of In and Cd in Dachang ore and its prospective of comprehensive retrieve [J]. *Guangxi Geology*, 2000, 13(1): 37–40.

(编辑 何学锋)