

福建龙岩中甲铁矿床中铟、镉赋存状态及其综合回收经济评价

毛光武, 朱玉磷

(中国冶金地质总局二局, 福州 350001)

摘要: 福建龙岩中甲铁矿是上世纪60年代探明的海相火山沉积-热液叠加改造型多金属硫化物磁铁矿床。随着该矿难选铁矿石选矿技术的突破,最近发现矿石中共(伴)生的分散元素铟、镉含量超过综合利用工业最低品位要求,铟、镉的储量估算均可达大型规模。通过研究铟、镉的赋存状态,认为矿石中尚无铟、镉的独立矿物存在,铟、镉主要与锌呈类质同象存在于闪锌矿的晶格中;铟、镉综合回收经济评价表明,铟、镉在选矿流程中主要走向锌精矿,可在锌的冶炼过程中综合回收,并会获得很好的经济效益。永安-梅县凹陷带内有众多与该矿床类似的铁多金属矿,该矿床共(伴)生铟、镉含量及赋存状态的考察,对区域同类矿床伴生元素的综合利用、提升经济价值有重大意义。

关键词: 中甲铁矿床;磁铁矿;铟、镉;赋存状态;综合利用;永安-梅县凹陷;福建省

中图分类号: P595;P616.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2013)01-0058-07

回收利用。

0 引言

福建龙岩中甲铁矿是上世纪60年代探明的小型铁多金属矿床,其成因为海相火山沉积-热液叠加改造型多金属硫化物磁铁矿床,伴生有铅、锌、铜、锡等多金属硫化物、氧化物,曾被判定为难选矿石。近几年来,龙岩中甲铁矿选矿研究工作取得突破,采用浮选、磁选、重选联合工艺流程,获得了合格的铁精矿、锌精矿、铅精矿、硫精矿、锡精矿和铜精矿,取得了显著的经济效益。最近,笔者通过研究该矿矿石性质有了新的发现:矿石中居然富含分散元素铟、镉,其质量分数平均值分别为0.0076%和0.0276%,是伴生有用组分最低工业品位的数十倍,已达到独立(共生)矿种工业矿床的要求。依据该矿已探明的铁矿石资源储量,按所伴生的铟、镉平均品位来估算,铟、镉储量规模均可达到大型。本文主要研究龙岩中甲铁矿矿石中分散元素铟、镉的赋存状态,分析选矿过程中铟、镉的走向,以利于综合

1 矿区地质概况

龙岩中甲铁矿位于武夷山多金属成矿带闽西南铁多金属矿带中,大地构造位置处于永安-梅县上古凹陷(福建西南-广州梅州拗陷之北缘,即闽西南凹陷),在政和一大埔NE向区域深大断裂带南西段构造带的西侧(图1)。

矿区出露地层为震旦系一下泥盆统古海相砂泥质复理石建造;上泥盆统和下石炭统粗碎屑岩建造;中、上石炭统和下二叠统碳酸盐岩建造、砂泥质建造,含煤细碎屑岩建造和钙、硅泥岩建造,地层沉积厚度巨大。矿区火山活动、褶皱断裂强烈,形成一系列较紧密的复式背、向斜构造,甚至成倒转褶皱。区内断裂构造较为发育,以NE-NNE向为主,次为NW向和SN向。印支-燕山期花岗岩类的侵入,交代了中、上石炭统和下二叠统碳酸盐岩,成为矿区层控夕卡岩型铁多金属矿床形成的基本特征。

收稿日期: 2012-04-02; 改回日期: 2012-07-26; 责任编辑: 赵庆

作者简介: 毛光武(1982-),男,工程师,硕士研究生,资源勘查工程专业,现主要从事有色金属矿产普查与勘探及其开发工作。联系地址:福建省福州市仓山区闽江大道65号联通花园1-2502;邮政编码:350001。

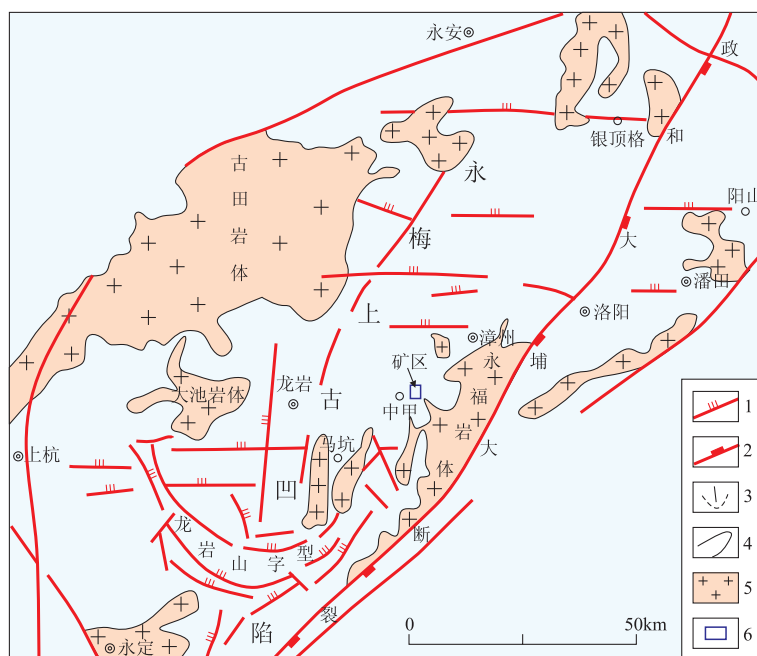


图1 龙岩中甲铁矿区域地质构造简图

Fig. 1 Regional tectonic sketch of Zhongjia iron ore district

1. EW向断裂; 2. NNE向断裂; 3. 山字型构造; 4. 凹陷区; 5. 岩体; 6. 矿区位置

矿体呈似层状赋存于经畚组硅质铁质碳酸盐岩和硅质碳酸盐岩层内,矿层与底板围岩界线清楚,矿层底部具明显的条带状构造和后期热液改造特点,矿体顶板(或局部)有一定厚度的夕卡岩分布。矿体可分为东、西2个矿段:①西矿段矿体主要分布于林地组上部与经畚组中,单个矿体规模小,呈透镜状、巢状或似层状,产状与围岩一致,总体走向 $300^{\circ}\sim 325^{\circ}$,倾向NE,倾角 $10^{\circ}\sim 50^{\circ}$,控制南北长度700 m。该矿段有7个矿体,Ⅱ号矿体(早期的11号矿体)具代表性。②东矿段矿体主要赋存于船山组下部、经畚组—林地组上部,为似层状,产状似与地层一致,走向 $308^{\circ}\sim 320^{\circ}$ 。矿体靠近向斜轴部倾向NE,其他部位主要倾向SW,倾角 $34^{\circ}\sim 58^{\circ}$,矿体断续长1 000 m。该矿段主要由8个矿体组成,以Ⅲ号、Ⅴ号矿体最具研究意义。

矿石结构主要有他形、半自形晶粒状结构,交代残余结构,格子状结构,叶片状结构,乳滴状结构等;矿石构造主要有块状、浸染状、条带状、网脉状等。

矿石中金属矿物主要为磁铁矿、闪锌矿、磁黄铁矿、锡石、黄铜矿,次为赤铁矿、褐铁矿、假象磁铁矿、赤磁铁矿、黄铁矿;脉石矿物主要为石英、透辉石、石榴石,次为碧玉、方解石、绿帘石、萤石、绿泥石等。

矿床围岩蚀变主要有夕卡岩化、钾长石化、硅化、萤石化,次为碳酸盐化、绿泥石化、黄铁矿化及绢

云母化等。

2 铟、镉赋存状态

2.1 铟、镉在矿石矿物中的分配

铟、镉是2个典型的分散元素,无论在地壳还是在岩石中分布都极其分散。它们主要以类质同象的形式进入硫化物晶格中,也有以显微吸附或独立矿物等形式存在^[1],但以独立矿物存在极为罕见^[2]。

为考察矿区原生矿石金属硫化物中铟、镉含量的变化,挑选闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿单矿物进行分散元素含量分析。金属硫化物单矿物样品主要取自矿区东矿段Ⅲ号、Ⅴ号矿体和西矿段Ⅱ号矿体的各类矿石。为确保每种金属硫化物单矿物的纯度,对每个样品进行破碎、挑选、淘洗等多次选别,再在双目镜下挑选后方可分析测定。

测定。

矿区硫化物单矿物中铟、镉及多元素化学分析结果(表1)显示:铟、镉在硫化物单矿物中富集程度相差极大,主要富集在闪锌矿中。闪锌矿中 $w(\text{In})=1\ 000\times 10^{-6}\sim 2\ 000\times 10^{-6}$,平均 $1\ 566\times 10^{-6}$; $w(\text{Cd})=2\ 247\times 10^{-6}\sim 3\ 139\times 10^{-6}$,平均 $2\ 790\times 10^{-6}$ 。赋存于闪锌矿中的铟、镉量达80%,仅有少部分在方铅矿、黄铜矿等矿物中。铟、镉在各载体矿物中质量分数平均值由高到低依次为:闪锌矿>方铅矿>磁黄铁矿>黄铜矿。

矿石中单矿物闪锌矿镉含量相对较高,但相对地壳丰度其富集系数却比铟低,二者富集系数:铟为13 463倍,镉为12 617.5倍(表2)。铟、镉在黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等硫化物中的富集系数均未超过1 100倍,富集系数多数<400倍,也反映出铟、镉主要赋存于闪锌矿中。

将富含铟、镉的闪锌矿矿石做成光片,在光学显微镜(最大倍数1 000)下观察,未发现铟、镉的独立矿物存在。从理论上分析,铟与锌处在元素周期表的相邻周期和副族的对角线位置,镉与锌处在相邻周期同一副族, In^{3+} , Cd^{2+} 与 Zn^{2+} 的地球化学特征参数相近,完全可以呈类质同象置换^[4]。由此推断,锌矿石中的铟、镉与闪锌矿中的锌发生类质同象置换而存在于闪锌矿晶格中的可能性较大。

表 1 龙岩中甲铁矿原生矿石硫化物单矿物中铟、镉及多元素化学分析结果

Table 1 Chemical analysis of In,Cd and multi-element of mono-mineral of sulfide from primary ores

序号	样号	硫化物单矿物	Fe	Zn	Sn	Cu	Pb	S	In	Cd	Ga
1	Zjds1	浅色闪锌矿	0.06	67.16	0.09	微	0.00	32.60	2000	3139	18.92
2	Zjds11	浅色闪锌矿	0.27	64.87	0.06	0.13	0.00	33.79	1640	2971	11.21
3	Zjds3	浅色闪锌矿	0.08	66.31	0.01	0.05	0.03	32.28	1890	3095	17.35
4	Zjxs1	浅色闪锌矿	0.20	65.36	0.02	微	微	33.98	1880	3012	10.35
5	Zjxs4	中色闪锌矿	2.15	65.23	0.01	微	微	32.17	1490	2889	微
6	Zjds5	中色闪锌矿	1.13	64.52	0.07	微	0.04	32.85	1250	2405	13.35
7	Zjxs7	中色闪锌矿	2.92	63.74	0.00	微	微	35.11	1080	2247	9.35
8	Zjds8	中色闪锌矿	1.37	64.48	0.04	微	微	32.36	1380	2568	10.77
9	Zjds9	深色闪锌矿	8.63	62.16	0.04	0.08	微	33.37	784	1766	7.28
10	Zjds10	深色闪锌矿	5.51	63.11	0.04	0.12	微	32.26	980	2219	微
11	Zjds11	深色闪锌矿	11.28	62.47	0.04	0.04	微	33.58	913	1936	5.46
12	Zjds12	深色闪锌矿	7.89	61.68	0.04	0.09	微	33.07	869	2025	微
13	Zjdf1	方铅矿	0.92	0.08	0.00	0.07	84.72	13.25	38	220	25.37
14	Zjdf2	方铅矿	1.35	0.06	0.00	0.11	85.08	12.86	42	212	27.46
15	Zjdf6	方铅矿	1.12	0.16	0.00	0.05	86.01	13.71	66	237	39.31
16	Zjdf4	方铅矿	0.76	0.04	0.00	0.09	85.39	13.51	34.8	201	29.63
17	Zjdf8	方铅矿	1.45	0.02	0.00	0.04	86.13	12.38	19.6	188	41.19
18	Zjxch1	磁黄铁矿	60.34	0.06	0.00	0.16	微	39.15	27.2	79	微
19	Zjdch2	磁黄铁矿	59.87	0.00	0.05	0.11	微	38.86	19	22	微
20	Zjxch3	磁黄铁矿	61.06	0.02	0.07	0.04	1.99	39.57	21	18	微
21	Zjdch4	磁黄铁矿	59.13	0.00	0.00	0.08	1.71	40.03	24	38	微
22	Zjxht1	黄铜矿	1.72	0.12	0.00	36.04	微	34.15	12	45	微
23	Zjxht2	黄铜矿	0.88	0.11	0.00	35.16	0.08	34.62	31	72	微
24	Zjdht3	黄铜矿	1.54	0.09	0.00	34.27	微	34.13	23	110	微
25	Zjdht1	黄铁矿	45.76	0.05	0.00	0.07	微	53.65	18	28	微
26	Zjdh2	黄铁矿	47.13	0.00	0.00	0.19	0.04	52.64	53	41	微
27	Zjdh3	黄铁矿	46.48	0.04	0.00	0.03	0.08	53.67	21	39	微

测试单位:福建龙岩东辰化验测试中心;量的单位: $w_B/\%$, $w(\text{In,Cd,Ga})/10^{-6}$ 。

表 2 龙岩中甲铁矿床原生矿石硫化物铟、镉等分散元素质量分数及参数

Table 2 Contents and parameters of the In,Cd dispersed elements in primary ore sulfide minerals of Zhongjia iron deposit

原生矿石硫化物	矿样数/个	Zn	In	Cd	Ga	Ga/In	Zn/Cd	富集系数		
								In	Cd	Ga
黄铜矿	3	1066.7	22	75.7	微	微	14.09	220	378.5	—
黄铁矿	3	566.7	30.7	36.0	微	微	15.74	307	180	—
方铅矿	5	720	40.08	211.6	32.59	0.813	3.40	400.8	1058	2.17
闪锌矿	12	642575	1346.3	2522.7	8.67	0.006	254.7	13463	12617.5	0.77
磁黄铁矿	4	200.0	22.8	39.25	微	微	5.10	228	196.25	—
地壳丰度		—	0.10	0.20	15.00	—	—			

数据来源:In,Cd,Ga 地壳丰度值据文献[3];Zn,In,Cd,Ga 原始数据据表 1;量的单位: $w(\text{Zn})/\%$, $w(\text{In,Cd,Ga})/10^{-6}$ 。

不同颜色闪锌矿中分散元素铟、镉、镓质量分数的平均值见表 3。从表 3 可知,铟、镉在不同颜色闪锌矿中的富集规律为:浅色闪锌矿>中色闪锌矿>深色闪锌矿。镓富集在浅色闪锌矿中,在深色闪锌矿中的质量分数较浅色及中色闪锌矿低。

铟、镉具有高度的分散性,一般很难形成独立矿

物。铟、镉主要富集在闪锌矿中,铟、镉与锌表现为正相关关系,铟、镉的地球化学性质在很多方面与锌相似,当 Zn^{2+} 从成矿热液中结晶沉淀时, In^{2+} 、 Cd^{2+} 随着 Zn^{2+} 同时与 S^{2-} 结合,以类质同象的形式进入闪锌矿的晶格中。镉的四面体共价半径、构造类型与锌相似,二者具有形成类质同象的条件。随着成

表 3 龙岩中甲铁矿床原生矿石不同颜色闪锌矿中铜、镉等分散元素平均质量分数

Table 3 The average content of In,Cd dispersed elements in sphalerites with different color

闪锌矿	样品个数	Zn	In	Cd	Ga	Ga/In	Zn/Cd
浅色闪锌矿	4	65.93	1852.5	3054.3	14.46	0.008	215.86
中色闪锌矿	4	64.49	1300	2527.3	8.37	0.006	255.17
深色闪锌矿	4	62.36	886.5	1986.5	3.19	0.004	313.92

量的单位: $w(\text{Zn})/\%$, $w(\text{In}, \text{Cd}, \text{Ga})/10^{-6}$ 。

矿作用的不断进行,大量的 In^{2+} , Cd^{2+} 占据了 Zn^{2+} 的位置,进入闪锌矿晶格的其他元素(主要是镓)则减少;尤其当温度逐渐降低时, Fe^{2+} 进入闪锌矿中的机会降低,而锌、铜、镉却逐渐增多。

其次,铜、镉与闪锌矿中的 TFe 具有负相关关系,闪锌矿含铁量越高,其中所含的铜、镉会有所降低。这主要是由于铁与锌的地球化学性质相似,闪锌矿中的锌易于被二价铁取代,随着其中含铁量的增加,闪锌矿的颜色将逐渐变深,含铁量一般可达 15% 左右。但当铜、镉以类质同象形式进入闪锌矿晶格,且取代部分铁在闪锌矿中所占据的位置,会使闪锌矿含铁量减少,导致闪锌矿的颜色变浅,此时铜、镉含量反而增加,由此说明铜、镉主要富集在浅色的闪锌矿中。这也印证了热液体系中铜、镉是一种亲硫性很强的元素,较难以独立矿物形式存在,常与离子半径相近的其他硫化物元素以离子替代形式富集其中^[1,5]。闪锌矿颜色与形成温度有关:温度高,铁进入闪锌矿的量多,颜色就深;随着温度降低,进入闪锌矿的铁少,铜、镉则多。这亦方证明铜、镉在成矿晚期富集并大量进入闪锌矿。

综上所述,矿床中伴生分散元素的富集与特定矿物有着密切关系,即其载体矿物具有专属性^[1,6-7]。实际上,这些行为与分散元素具有亲硫等地球化学性质有着密切的关系,铜、镉元素的原子半径、离子半径等地球化学参数与锌元素具有较高的相似性^[1,6],因而含锌较富的矿床中闪锌矿成为分散元素最主要的载体矿物。

2.2 铜、镉在矿石中的分配

主要研究对象选自中甲多金属硫化物磁铁矿矿床具有代表性的东矿段Ⅲ号、Ⅴ号矿体和西矿段Ⅱ号矿体,对揭露完整的矿层从底至顶系统取样分析,以考察铜、镉在矿石中富集的规律。

通过分析得知,矿床东、西两矿段的Ⅲ号、Ⅴ号及Ⅱ号矿体矿石平均含铜为 76×10^{-6} , 镉为 276×10^{-6} , 矿床中所含铜、镉均高出工业指标的数倍,具有极大的工业价值。并且铜、镉在矿体中富集具有

一定的规律性:垂向于矿体厚度方向,从矿体顶部(顶板)到下部(底板)铅、锌含量自上而下逐渐减少,矿体上部铜、镉的含量明显高于下部,铜、镉在富含闪锌矿矿石(矿体顶部富含闪锌矿的夕卡岩型多金属硫化物矿石)中的分布与锌的含量成正相关,说明铜、镉主要富集于富含闪锌矿的矿石中。其次,铜、镉与锡的含量呈正消长关系,东矿段锡品位明显高于西矿段,东矿段矿石单位锌中铜的含量相应地较西矿段要富,即矿体中锌含量相当,锡含量高,铜含量就高,锡在铜的富集过程中存在某种密切关系。

张乾等^[5,8]介绍,铜随成矿热液运移富集过程中锡起到一定作用,虽然二者具有相似的化学性质,但在成矿作用下,当铜析出成矿时,锡并不随同铜以离子替代的方式进入富铜矿物的晶格中,反而,锡在富氧状态下可能被游离氧捕获呈单矿物沉淀^[5]。

3 铜、镉综合回收经济评价

3.1 精矿粉中铜、镉的分配

对矿区选厂各浮选产品进行分散元素铜、镉走向分析,结果见表 4。

对选厂全流程所得的锌精矿、硫精矿、铁精矿、锡精矿及尾矿进行铜、镉质量分数对比分析,结果见表 5。

从表 5 可见,矿石经破碎-细磨到-200 目占 75%~80%,在碱性条件下选别,采用石灰作 pH 调整剂和硫化物的抑制剂,获得的锌精矿品位达 46.26%,锌回收率 69.86%。铜、镉在该选矿工艺流程中一般随锌精矿富集,这与上述研究相吻合:因为铜、镉属亲硫性元素,主要富集于富锌的矿石中。平均有 86.92% 的铜和 91.26% 的镉进入锌精矿内,铜、镉品位分别为 485.70×10^{-6} , 3205.4×10^{-6} , 回收率分别为 64.97% 和 73.31%;落入硫精矿的铜、镉约占 5.75%, 4.62%;其余则进入铁精矿、锡精矿及尾矿中。

表 4 龙岩中甲铁矿浮选产品中铟、镉走向情况

Table 4 Distribution of dispersed In, Cd element in different concentrates and tailing and raw ore

产品名称	锌精矿	铁精矿	硫精矿	锡精矿	尾矿	原矿
数量/个	5	5	5	5	5	5
产率(平均)/%	6.18	39.53	20.41	0.05	33.83	100.00
$w_B/10^{-6}$	In	485.70	15.27	32.14	15.10	10.58
	Cd	3205.40	51.80	162.30	38.40	54.63
回收率/%	In	64.97	13.07	14.19	0.02	7.75
	Cd	73.31	7.58	12.26	0.01	6.84

表 5 龙岩中甲铁矿选矿精矿及尾矿化学多元素分析结果

Table 5 Multi-element analysis of concentrate and tailings

元素	Zn	Sn	Cu	S	TFe	MFe	Pb	In	Cd
锌精矿	46.26	0.089	0.45	40.80	11.87	0.86	4.50	485.70	3205.40
铁精矿	0.55	<0.01	0.038	1.95	61.14	50.55	0.13	15.27	51.80
硫精矿	1.04	0.15	0.72	49.18	24.06	0.32	0.21	32.14	162.30
锡精矿	0.13	48.87	0.11	5.70	7.85	0.07	0.43	15.10	38.40
尾矿	0.78	0.03	0.16	1.39	18.73	0.19	0.23	10.58	54.65

量的单位: $w_B/\%$; $w(\text{In}, \text{Cd})/10^{-6}$ 。

3.2 铟、镉资源估算

中甲含锡多金属硫化物型磁铁矿矿床, 1960 年提交了中甲铁矿初勘总结报告, 初勘工作面积 2.6 km², 共圈定矿体 15 个, 全区铁矿石总储量 749.11 × 10⁴ t, 其中 I 号矿体 272.4 × 10⁴ t, III 号矿体 369.7 × 10⁴ t, 占总量的 80%; 1974—1991 年间, 矿山开采铁矿石量 178 × 10⁴ t; 1992—2010 年, 开采铁矿石量 131.00 × 10⁴ t; 2010 年底, 矿石保有储量约 440 × 10⁴ t。根据 2010 年底含锡多金属硫化物磁铁矿矿石保有储量、矿石中铟、镉含量及其理想回收率, 计算出铟、镉的金属量和潜在经济价值(表 7)。

由表 6 可知, 1995—2010 年, 共采矿石约 100 ×

10⁴ t, 矿体开采矿量中铟、镉的金属量分别为 76.00 t, 276.00 t, 可回收金属量分别为 43.38 t, 202.34 t, 其中铟的经济价值就达 11 524.33 万元。这意味着, 由于以往铟、镉未能综合回收利用, 已造成远远超过价值 11 524.33 万元以上的资源流失。其次, 2010 年底该矿区保有储量约 440.11 × 10⁴ t, 按铟、镉入选平均品位(76 × 10⁻⁶ 和 276 × 10⁻⁶) 计算, 铟、镉金属量分别 334.48 t, 1 214.70 t, 可回收铟、镉金属量分别为 217.31 t, 890.50 t, 其潜在经济价值分别为 99 745.29 万元, 3 740.10 万元, 合计 103 485.39 万元, 十分可观。

表 6 龙岩中甲铁矿铟、镉综合经济价值估算

Table 6 Comprehensive economic assessment of In and Cd

矿石量/10 ⁴ t	综合利用元素	品位/%	金属量/t	理想回收率/%	可回收金属量/t	价格万元/t	潜在经济价值/万元	总价值/万元
749.11 原矿区总储量	In	0.0076	569.32	64.97	369.89			
	Cd	0.0276	2067.54	73.31	1515.71			
309 (1974—2010) 已消耗矿石量	In	0.0076	234.84	64.97	152.58			
	Cd	0.0276	852.84	73.31	625.22			
100 (1995—2010) 已消耗矿石量	In	0.0076	76.00	64.97	49.38		13118.29	
	Cd	0.0276	276.00	73.31	202.34	265.66		13118.29
440.11 (2010 年底) 保有储量	In	0.0076	344.48	64.97	223.81	459	102728.79	
	Cd	0.0276	1214.70	73.31	890.50	4.2	3740.10	106468.89

数据来源: 铟、镉单价为 2011 年 1—8 月欧洲小金属报价; 1995—2010 年已消耗矿石量铟价格据文献[2]、文献[9]。

矿床中价值较高的分散元素镧、镨主要与闪锌矿伴生,要回收镧、镨,不用单独建矿开采和增加额外的成本投入。在原有选矿流程和药剂制度的基础上,只要将主载体矿物闪锌矿选出来,就可达到综合回收矿床中镧、镨的目的。镧、镨目前的国际价格每吨分别为450~500万元和4.2万元,从选矿回收来看,不但省去了前期耗资巨大的投资过程,而且具有极高的经济价值。

目前从闪锌矿等硫化物矿石中提取的镧最多,其次是从含镧的废弃金属中提取;镨主要从冶炼硫化物矿石提取,其次是从废弃的镍-镨电池、合金冶炼电弧炉的烟尘中回收。吴锦梅、王吉坤、鲁焘、岩温等^[10]对伴生于高铁闪锌矿中的镧采用两段加压酸浸-萃取工艺进行回收,镧的浸出率、萃取率等指标均达到90%以上,取得了较好的效果;又如李小英^[11]对高铁硫化锌精矿中伴生的镧进行氧压酸浸-萃取提镧,在适宜的浸出条件下,海绵镧的回收率达76%。以上事实说明,采用现有新工艺能够很好地提取伴生镧金属。

4 镧、镨资源利用潜力

通过对福建龙岩中甲铁矿床所含镧、镨及相关元素的研究,并查阅分散元素富集成矿的相关资料,认为该类伴生镧、镨等分散元素的含锡多金属硫化物铁矿床在地质特征和成因上具有一致性。该类矿床在闽西南—梅州Pb-Zn-Cu-Fe多金属成矿带中数量较多,如马坑、阳山、洛阳、潘田、焦山、田地等一批富含有色金属的中-大型铁矿。随着科学技术的飞速发展,分散元素应用范围不断扩大,属“急需、紧缺”矿产。加大该类富集分散元素矿床的研究,有利于分散元素资源的综合回收,提高矿山经济价值。永安—梅县凹陷带内众多同类铁多金属矿床伴生有镧、镨的可能性很大,具有巨大的潜在资源,也必将产生巨大的经济效益,应引起足够的重视。

5 结语

(1)龙岩中甲多金属硫化物夕卡岩型磁铁矿矿

床中,磁铁矿-铅锌矿矿石除含有能被工业利用的铁、锡、铅、锌外,还伴生镧、镨等分散元素,且含量较高,具有较大的综合利用价值。

(2)通过研究镧、镨的赋存状态,认为矿石中尚无镧、镨的独立矿物存在,镧、镨主要与闪锌矿中的锌发生类质同象而存在于闪锌矿晶格中。

(3)镧、镨综合回收经济评价表明,镧、镨在选矿流程中主要走向锌精矿,可在锌冶炼过程中综合回收,并会获得很好的经济效益。

(4)永安—梅县凹陷带内有众多与该矿床类似的铁多金属矿,该矿床共(伴)生镧、镨含量及赋存状态的考察,对该类矿床伴生元素的综合利用、提升经济价值有重大意义。

致谢:本文在编写过程中得到中国地质大学(武汉)胡明安教授的指导,在此深表感谢!

参考文献:

- [1] 涂光炽,高振敏,胡瑞忠,等. 分散元素地球化学性质及成矿机制[M]. 北京:科学出版社,2003:1-407.
- [2] 陈德潜. 稀有元素地质概述[M]. 北京:地质出版社,1982:58-66.
- [3] 黎彤. 化学元素的地球丰度[J]. 地球化学,1979,9(3):167-168.
- [4] 郭承基. 稀有元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1965:519-520.
- [5] 张乾,刘玉平,叶霖,等. 分散元素成矿专属性探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报,2008,7(10):252.
- [6] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1984:360-420.
- [7] Höll R, Kling M, Schroll E. Metallogenesis of fermanium—A review[J]. Ore Geol Rev, 2007(30):145-180.
- [8] 朱笑天,张乾,何玉良,等. 富镧及贫镧矿床成矿流体中镧与锡铅锌的关系研究[J]. 地球化学,2006,35(1):6-12.
- [9] 洪托,秦德先,田毓龙,等. 镧市场形式及中国镧资源特点[J]. 云南地理环境研究,2004,16(3):28.
- [10] 吴锦梅,王吉坤,鲁焘,等. 锌精矿中伴生镧的提取[J]. 有色金属:冶炼部分,2006(6):37-39.
- [11] 李小英. 高铁硫化锌精矿氧压酸浸-萃取提镧的工艺研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2006. 12. 20. 网址: <http://www.lunwentuanxia.com/product.sf.3307523.1/>

The occurrence and comprehensive recovery assessment of In and Cd in the Zhongjia iron deposit, Fujian

MAO Guangwu, ZHU Yulin

(No. 2 Bureau of China Metallurgical Geology Bureau, Fuzhou 350001, China)

Abstract: Zhongjia iron deposit is a marine volcanic sedimentary-hydrothermally reworked polymetallic sulfide-magnetite ore deposit discovered in the last 60th. With breakthrough of beneficiation technology contents of indium and cadmium of the by-products is identified above the required minimum industrial grade and calculation shows that reserve of indium and cadmium is of a large ore deposit. The by-products occur as isomorph in lattice of sphalerite and not in independent minerals. It is assessed during comprehensive recovery that the by-products are mainly flowed to the Zn concentrate and in metallurgical process of Zn they can be comprehensively recovered with excellent economic result. In Yong'an-Meixian depression occur many similar Fe-poly-metallic ore deposits. Occurrence of indium and cadmium in Zhongjia iron deposit would supply evidence for comprehensive recovery of the by-products and raise economic value of so many iron deposits.

Key Words: Zhongjia iron deposit; magnetite; occurrence of indium and cadmium; comprehensive recovery; Yong'an-meixian depression; Fujian province