

安徽池州大石门铅锌银硫多金属矿床物质组分赋存状态研究

王枫, 卢晶, 李磊, 袁晓玲, 遇祯, 张青

(安徽省地质实验研究所, 安徽 合肥 230000)

摘要: 本文通过详细的镜下鉴定及化学分析、电子探针分析、单矿物分析、物相分析等手段查明安徽池州大石门铅锌银硫多金属矿床中矿石的化学组成、矿物组合, 研究了矿床主要有益有害组分的赋存状态。

关键词: 大石门多金属矿床 主要有益有害组分 赋存状态

doi:10.3969/j.issn.1000-6532 (2019) 04.021

中图分类号: P57 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2019) 04-0098-05

安徽池州大石门铅锌银硫多金属矿床为矽卡岩型矿床, 位于扬子准地台 (I), 下扬子台坳 (II) [1-2], 沿江拱断褶带 (III), 贵池—安庆凹断束 (IV) 之白笏—铜矿里背斜中部的次类褶皱大佛堂—太平曹背斜南西端北翼。

1 样品分析方法

本次分析测试样品来源于不同钻孔及选矿粗副样。矿石多元素化学分析运用重量法、比色法、容量法、原子荧光光谱法测得; 电子探针分

析测试仪器为 EPMA-1720, 分析条件为加速电压 15 KV, 束流 2×10^{-8} A, 束斑 5 μm , 修正方法 ZAF; 单矿物分析测试仪器为电感耦合等离子体质谱仪; 物相分析测试仪器为电感耦合等离子光谱仪; 以上测试地点均为安徽省地质试验研究所。

2 赋存状态研究

2.1 矿石性质

2.1.1 化学组成

矿石多元素化学分析结果见表 1。

表 1 矿石多元素分析结果 / %
Table 1 Ore multi-element analysis results

TFe	Pb	Zn	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaF ₂	Cu	Mn	S	Mo*	Co*	Ni*	Bi*
5.88	2.67	4.97	4.29	8.90	33.98	4.03	0.031	4.06	6.03	10.06	11.8	25.85	28.5
Se*	Te*	Ga*	Ge*	Cd*	Ag*	Au*	Tl*	Sb*	As*	WO ₃ *	Sn*	Re*	In*
0.95	10.59	27.97	2.00	370.1	24.2	0.14	3.8	7.9	7.2	71.6	<20	0.01	24.9

* 单位为 g/t。

2.1.2 矿物组成

矿床矿石矿物组成较简单, 已查明金属矿物十五种, 脉石矿物二十一种。金属矿物以黄铁矿、闪锌矿、方铅矿为主, 少量黄铜矿, 微量磁铁矿、穆磁铁矿、赤铁矿、斑铜矿、白钨矿、铜蓝、磁黄铁矿、碲银矿、碲铋矿、辉铅铋矿、自然银。脉石矿物以方解石、白云石、石英、绿帘石、黝帘石、斜黝帘石、绢云母、白云母、水白云母为

主, 其次为石榴石、透辉石、萤石、(斜) 绿泥石、菱铁矿, 少量钾长石、钠长石、硅灰石、石墨、白钛矿、金红石, 微量磷灰石、锆石等 [6-7]。现对矿床中几种重要金属矿物特征阐述。

黄铁矿: 为矿床中主要含硫矿物, 多呈不等粒自形~半自形晶粒状, 部分他形晶粒状, 结晶粒径多在 0.03~2 mm。电子探针分析黄铁矿 S (53.24%)、Fe (46.12%) 均略低于理论值的 S

收稿日期: 2018-05-04

作者简介: 王枫 (1986-), 女, 工程师, 主要从事岩矿鉴定工作、X 射线衍射分析。

(53.33%)、Fe (46.67%)，单矿物分析显示黄铁 基本不含 Cd、Ga、In、Ge (见表 2、表 6)。
矿中含微量元素 Au (0.12×10^{-6})、Te (35.31×10^{-6})，

表 2 黄铁矿电子探针分析 /%
Table 2 Electron microprobe analysis of pyrite

样品号	S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Te	Au	Bi	Total
1434-1-2	53.32	46.14	0	0	0.37	0	0	0.02	0.14	99.99
1401-1-5	52.79	46.27	0.07	0.05	0.49	0.02	0.05	0.02	0.01	99.77
1412-1	53.55	46.27	0.01	0	0.37	0	0	0	0.02	100.22
1418-2-2	52.86	46.82	0	0	0.4	0.03	0	0.03	0.17	100.31
1428-2-4	52.84	45.28	0.64	0	0.31	0.03	0	0.02	0.2	99.32
1436-3-1	53.12	45.5	0.04	0.95	0.43	0	0.01	0	0.04	100.09
1430-1-3	53.31	46.23	0.02	0.03	0.59	0.02	0.01	0	0.12	100.33
1431-1-1	53.39	45.58	0.04	0	0.45	0	0.03	0.05	0.1	99.64
1399-2-1	53.55	46.83	0.01	0	0.38	0	0.03	0.15	0.07	101.02
1413-1	53.34	45.93	0	0	0.57	0.03	0	0.12	0.19	100.18
1399-5-1	53.48	46.63	0	0	0.46	0.04	0.03	0.12	0.09	100.85
1433-1	53.41	46.02	0.01	0.08	0.37	0.03	0.02	0	0.05	99.99
1426-1-2	53.17	46.11	0	0.08	0.35	0.02	0	0	0.2	99.93
平均值	53.24	46.12	0.06	0.09	0.43	0.02	0.01	0.04	0.11	100.13

方铅矿：为矿床主要金属矿物之一，与闪锌矿紧密共生，结晶粒径为 0.002 ~ 1 mm 不等。电子探针分析方铅矿中 S (13.49%)、Pb (85.41%)，S 含量略高于理论值 (13.39%)，Pb 含量略低于理论值 (86.61%)，单矿物分析方铅矿含微量元素 Ag (477.42×10^{-6})、Au (63.73×10^{-6})、Te (48.59×10^{-6})、Cd (63.74×10^{-6})、Ga (0.17×10^{-6}) 等，表明这类元

素以类质同象或超显微包体形式不均匀混入方铅矿中。对包含碲银矿与无碲银矿的方铅矿中 Ag、Te、Bi 含量统计发现，含碲银矿的方铅矿晶体内部均不含银，而不含碲银矿的方铅矿则含银相对较高，且含量不均匀，Ag 与 Te、Bi 具正相关性 (表 3、表 6)，表明在未见碲银矿的方铅矿内银可能是以含碲、铋的超显微包体形式存在。

表 3 方铅矿电子探针分析 /%
Table 3 Electron microprobe analysis of galena

样品号	产出状态	S	Pb	Cu	Zn	Ag	Sb	Te	Au	Bi	Total
1420-1-1		13.63	85.24	0.04	0	0	0	0.07	0.05	0	99.03
1409-2-2	包裹碲银	13.35	86.85	0	0	0	0	0.05	0.06	0	100.31
1426-1	矿方铅矿	13.48	86.02	0.01	0	0	0	0.04	0.16	0.21	99.92
平均值		13.49	86.04	0.02	0	0	0	0.05	0.09	0.07	99.76
1418-2-3		13.58	81.86	0.03	0.12	1.09	0	0.12	0	2.29	99.09
1428-2-3		13.32	87	0	0.02	0	0	0.05	0.03	0	100.42
1430-1-1	未包裹含	13.43	87.38	0.01	0	0	0	0	0	0	100.82
1431-1-3	银矿物	13.4	86	0	0.03	0	0	0.02	0.18	0	99.63
1436-3-3	方铅矿	13.7	80.43	0.02	0.05	1.51	0	0.13	0	3.5	99.34
1399-3-4		13.48	86.03	0	0.68	0	0.02	0.06	0	0.4	100.67
平均值		13.49	84.78	0.01	0.15	0.43	0.00	0.06	0.04	1.03	100.00

闪锌矿：为矿石中主要金属矿物之一。矿床中见锌黑色、绿黄色两种闪锌矿分别存在于不同的矿石中，他形~半自形粒状，结晶粒径为 0.1 ~ 2 mm。电子探针分析，闪锌矿平均含 Zn (66.49%)，S (32.74%)，Zn、S 略低于理论值的 Zn (67.11%)，S (32.99%)，少量 Fe、Cu 呈类质同象替代了 Zn。单矿物分析黑色

闪锌矿含 Au (2.13×10^{-6})、Ag (106.99×10^{-6})、Te (5.29×10^{-6})、Cd (6797.69×10^{-6})、In (398.35×10^{-6})；绿色闪锌矿含 Au (1.72×10^{-6})、Ag (73.74×10^{-6})、Te (4.38×10^{-6})、Cd (6399.20×10^{-6})、In (529.18×10^{-6})；即黑色闪锌矿所含上述微量元素大多较绿色闪锌矿高，但二者含 Ga、Ge 均较低 (表 4、表 6)。

表 4 闪锌矿电子探针分析 /%
Table 4 Electron microprobe analysis of sphalerite

样品号	S	Zn	Fe	Cu	As	Ag	Te	Au	Bi	Total
1399-3-1	33.34	66.06	1	0.16	0	0.03	0	0.28	0.14	101.01
1409-1-3	32.86	66.69	0.78	0.3	0.03	0.02	0	0.18	0	100.91
1418-2-1	33.01	65.34	1.39	0.23	0	0	0.01	0.31	0.07	100.36
1430-1-2	32.9	65.91	0.54	0.05	0	0.01	0	0.43	0.15	99.99
1434-1-1	32.82	65.66	0.83	0.15	0.04	0.03	0	0.44	0.17	100.14
1435-1	32.67	66.08	0.76	0.04	0	0	0	0.23	0.04	99.82
1436-3-4	32.43	66.49	1.14	0.22	0.06	0	0	0.37	0.08	100.78
1428-2-2	32.23	67.36	0.25	0	0	0.04	0	0.28	0.14	100.31
1401-1-1	32.02	67.77	0.64	0.08	0	0	0.01	0.24	0.1	100.88
1422-3	32.74	67.56	0.24	0.03	0	0	0.01	0.32	0	100.94
1426-1-1	33.16	66.48	0.6	0.01	0	0.02	0	0.23	0	100.5
平均值	32.74	66.49	0.74	0.12	0.01	0.01	0.00	0.30	0.08	100.51

银矿物：经光片镜下鉴定及电子探针分析查证的独立银矿物主要为碲银矿，少见自然银。碲银矿灰白色带褐色，呈乳滴状包于方铅矿内，电子探针分析其平均含 Ag 59.98%、Te 35.91%，普

遍含 Bi 量较高，平均含 Bi 2.17%。自然银银白色，超微细粒粒状，高反射率，因颗粒过于细小，未做电子探针分析（表 5）。

表 5 碲银矿电子探针分析 /%
Table 5 Electron microprobe analysis of hessite

样品号	S	Cu	Zn	As	Se	Ag	Sb	Te	Au	Pb	Bi	Total
1420-1-2	0.04	0.06	0	0	0.03	62.09	0.08	37.79	0	0.11	0	100.31
1408-4	0.12	0	0.62	0	0	61.41	0.1	36.96	0.11	0.09	0	99.7
1409-2-3	6.29	3.37	0	0	0	64.57	0	24.44	0.23	0	0.04	99.08
1403-1-5	0.14	0.03	0.04	0.06	0.03	61.39	0.09	37.1	0	0.01	0	99.45
1411-4-3	1.97	0	0	0	0.03	57.43	0.04	33.4	0	2.43	6.16	101.56
1411-4-7	0.71	0	0	0	0.06	59.41	0.07	35.6	0.08	0.83	2.52	100.05
1426-2	0.06	0.07	0.04	0	0.01	61.69	0.16	37.52	0.12	0.18	0	99.93
平均值	0.72	0.03	0.02	0.01	0.03	59.98	0.09	35.91	0.05	0.86	2.17	100.25

表 6 单矿物分析结果 /%
Table 6 Single mineral analysis result table

分析样品	Cu	Pb	Zn	Fe	Ag*
13L882	0.05	-	-	36.1	87.76
13L883	1.76	0.85	53.68	3.85	106.99
13L884	0.62	0.25	47.49	3.45	73.74
13L885	0.06	80.62	1.05	2.2	477.42
分析编号	In*	Ge*	Cd*	Te*	Ga*
13L882	-	-	-	35.31	-
13L883	398.35	0.82	6797.69	5.23	3.47
13L884	529.18	0.83	6399.2	4.38	6.03
13L885	-	-	63.74	48.59	0.17

注：13L882- 黄铁矿单矿物；13L883- 黑色闪锌矿单矿物；13L884- 绿色闪锌矿单矿物；13L885- 方铅矿单矿物。

2.2 主要有益组分、伴生有益组分的赋存状态

2.2.1 主要有益组分赋存状态

铅：据光、薄片显微镜下鉴定、电子探针分析及物相分析（表 7），矿石中铅主要赋存在方铅矿中。

物相分析显示，以方铅矿形式存在的铅占总含量的 91.48%，其它铅含量占总含量的 8.52%。但镜下鉴定及电子探针分析，本次研究的矿石中除方铅矿外，其它含铅矿物仅见微量辉铅铋矿（Pb 30.76%）、碲铋矿（Pb 6.58%）、碲银矿（Pb 0.01%~2.43%），未见物相分析中的白铅矿、铅矾、磷氯铅矿等。

表 7 铅的物相分析
Table 7 Phase analysis of lead

名称	铅矾	白铅矿	方铅矿	{ 磷（碲）铁 铅 氯铅矿 }	钒矿	合计
含量 /%	0.021	0.157	2.341	0.025	0.015	2.259
占有率 /%	0.82	6.14	91.48	0.98	0.58	100.00

锌：据光、薄片显微镜下鉴定、电子探针分析及物相分析（表 8），锌在矿石中主要赋存在闪锌矿中。物相分析显示，以闪锌矿形式存在的锌

占总含量的 89.59%，另有 10.41% 的锌存在于其它矿物中。电子探针分析显示，黄铜矿及部分黄铁矿、方铅矿、方解石等矿物中也含少量锌。

表 8 锌的物相分析
Table 8 Phase analysis of lead

名称	硫酸锌	锌的总 氧化物	硫化锌	其他 形态锌	合计
含量 /%	0.001	0.144	4.430	0.370	4.945
占有率 /%	0.02	2.91	89.59	7.48	100.00

硫：矿石中金属矿物多以硫化物形式存在，不同矿物中硫的含量不同，黄铁矿为主要含硫矿物，其次为黄铜矿、闪锌矿，方铅矿，但黄铜矿在矿石中总含量少。所以矿石中硫主要赋存于黄铁矿中，部分以闪锌矿、方铅矿等矿物形式存在。
2.2.2 伴生有益组分金、银、碲、镉、镓、铟的赋存状态

金：金在原矿石中的品位为 0.14 g/t，已达到伴生有益组分 (0.1 g/t) 的指标^[3-5]。单矿物分析，浅色 (黄绿色) 闪锌矿含金为 1.72 g/t，深色 (黑色) 闪锌矿含金为 2.13 g/t，方铅矿和黄铁矿含金分别为 63.73 g/t、0.12 g/t，说明金主要赋存于方铅矿、闪锌矿中，少量赋存于黄铁矿中。电子探针分析也显示，闪锌矿、方铅矿均有一定的金含量。

银：银在原矿石中的品位为 24.2 g/t，远高于银的综合评价指标 (2 g/t)^[3-5]。光片显微镜鉴定及电子探针分析显示，银在矿石中一部分呈独立矿物碲银矿、自然银产出，另一部分以超显微包体形式产出。单矿物分析，银的赋存状态与金相似，主要赋存于方铅矿内 (477.42 g/t)，电子探针分析，不同方铅矿内银含量相差较大 (0 ~ 1.5 g/t)。

碲：碲在矿石的品位为 10.59 g/t，正好达综合评价标准 (0.001%)^[3-5]。光片鉴定及电子探针分析发现，矿石中存在少量碲银矿、碲铋矿，大多黄铁矿、方铅矿中也含少量碲，但闪锌矿中基本不含碲。表明矿石中碲一部分以独立矿物碲银矿、碲铋矿产出，另一部分以类质同象或超显微包体形式存在于黄铁矿、方铅矿中。单矿物分析结果显示黄铁矿、方铅矿均有较高的 Te 含量 (分别为 35.31 g/t 和 48.59 g/t.)。

镉：镉在矿石的含量 307.1 g/t，而铅锌矿石中镉的综合评价指标为 0.01%^[3-5]，已超过综合评价指标。光片鉴定及电子探针分析中未发现独立镉矿物。单矿物分析显示，深色闪锌矿和浅色闪锌矿中镉含量分别为 6797.69 g/t 和 6399.20 g/t，说明镉主要以类质同象形式存在于闪锌矿中。

镓：镓在矿石的含量 27.97 g/t，而铅锌矿石中镓的综合评价指标为 0.001%^[3-5]，已超过综合评价指标。光片鉴定及电子探针分析中未发现独立镓矿物。单矿物分析，黄铁矿、方铅矿、闪锌矿中镓含量分别为 0 g/t、0.17 g/t、3.47 ~ 6.03 g/t，说明镓可能分散赋存与脉石矿物中。

铟：铟在矿石中含量为 24.9 g/t，而铅锌矿石中铟的综合评价指标为 0.001%^[3-5]，已超过综合评价指标。光片鉴定及电子探针分析中未发现独立铟矿物。单矿物分析黄铁矿、方铅矿、闪锌矿中铟含量分别为 0 g/t、0 g/t、398.35 ~ 529.18 g/t，说明绝大部分铟以类质同象的形式存在于闪锌矿中。

2.3 有害物质组分的赋存状态

按《矿产资源工业要求手册》要求^[3]，对比本次研究矿石中的化学多元素分析结果显示，其中 MgO、SiO₂、Al₂O₃ 可能成为其潜在有害组分。MgO 主要存在于白云石、白云母、绢云母、绿泥石等矿物中，这些矿物经选矿后大多可选除。SiO₂ 在矿石中以石英及硅酸盐矿物中，这些矿物在选矿中也可被降至符合规范要求。Al₂O₃ 以绿泥石、长石、云母、石榴石等脉石矿物形式存在，这些矿物在选矿中大多可以被选除。

3 结 论

(1) 矿石中主要有益组分为铅、锌、硫，伴生有益组分为金、银、碲、镉、镓、铟，有害组分为 MgO、SiO₂、Al₂O₃。矿石中的主要金属矿物有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿。有害组分 MgO、SiO₂、Al₂O₃ 主要赋存于脉石矿物内。

(2) 主要有益组分铅赋存于方铅矿中；锌主要赋存于闪锌矿中；硫主要赋存于黄铁矿中，部

分以闪锌矿、方铅矿等矿物形式存在。伴生有益组分金主要赋存于方铅矿、闪锌矿中；银一部分呈独立矿物碲银矿、自然银产出，另一部分以超显微包体形式赋存于方铅矿内；碲一部分以独立矿物碲银矿、碲铋矿产出，另一部分以类质同象或超显微包体形式存在于黄铁矿、方铅矿中；镉、铟主要以类质同象形式赋存于闪锌矿中；镓可能分散赋存与脉石矿物中。

参考文献：

[1] 吴保禄. 扬子准地台中段几个大地构造问题 [J]. 地质学报, 1964, 44(3): 279-287.

[2] 储著新, 曹金海, 倪尤运, 等. 池州黄山岭铅锌矿床伴生银的分布规律研究 [J]. 现代矿业, 2012, 515: 57-59.
[3] 矿产资源工业要求手册编委会. 矿产资源工业要求手册 [M]. 北京: 地质出版社, 2011.
[4] 全国矿产储量委员会. 岩金矿地质勘探规范 [M]. 吉林: 冶金地质勘探公司, 1984.
[5] 许时. 矿石可选性研究 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
[6] 常丽华, 陈曼云, 金巍, 等. 透明矿物薄片鉴定手册 [M]. 北京: 地质出版社, 2006.
[7] 卢静文, 彭晓蕾. 金属矿物显微镜鉴定手册 [M]. 北京: 地质出版社, 2010.

Study on Occurrence of Pb-Zn-Ag-S Polymetallic Deposit in Dashimen, Chizhou County, Anhui Province

Wang Feng, LuJing, Li Lei, Yuan Xiaoling, Yu Zhen, Zhang Qing
(Anhui Provincial Geological Experiment Institute, Hefei, Anhui, China)

Abstract: In this paper, the chemical composition and mineral assemblage of the ore and the occurrence state of the main useful harmful components are identified by chemical analysis, mineral analysis, single mineral analysis, EMPA and phase analysis. The samples are come from Pb-Zn-Ag-S polymetallic deposit in Dashimen, Chizhou county, Anhui Province.

Keywords: Dashimen polymetallic deposit; The main useful harmful components; Occurrence

////////////////////////////////////
(上接 62 页)

Effects of SiO₂ on High Magnesia Flux Pellets Performance

Huo Guojie, Tian Tielei, Li Yaru, Xu Hu

(College of Metallurgy and Energy, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, China)

Abstract: In order to solve the problem of high magnesia flux pellets adhesion, we studied the effect of SiO₂ content on the quality of high magnesia flux pellets. The results showed that with the increase of SiO₂ content, the compressive strength of the pellets first was increased and then decreased, and reached the maximum when the content of SiO₂ reached 5%. With the increase of SiO₂ content, the compressive strength of high magnesia flux pellets first increased and then decreased, and the optimum value of the compressive strength is 2306 N when the content of SiO₂ reached 5%. The suitable range of calcination temperature is 1240 ℃ and 1260 ℃. When the calcination temperature was over 1260 ℃, the bonding phenomenon will happen. With the increase of SiO₂ content, the RDI of high magnesia flux pellets was improved, the starting temperature of softening gradually decreases, softening interval gradually widened. The SiO₂ content is between 4% and 6%, with the increase of SiO₂ content, the RI rises first and then decreases. The maximum value of RI was 77.2%, when the content of SiO₂ reached 5%. The RSI first decreased and then increased and the minimum value reached 5.7% when SiO₂ content was 5%.

Keywords: SiO₂; High Magnesia Flux Pellets; Compressive Strength; Metallurgical Properties