安徽省铜陵马山金硫矿床北段金矿物特征研究

卢晶, 王枫, 李磊, 张青

(安徽省地质试验研究所, 安徽 合肥 230000)

摘要: 安徽省铜陵马山金硫矿床北段位于铜陵铜官山矿田内, 是一大型高砷硫金矿床。矿床中 Au 以独立金矿物及超显微金形式赋存, 通过金的配分计算, Au 在各矿物中的绝对配分比总计 50.56%, 以包体金或超显微金形式赋存于黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂中。单体解离金矿物经反推为 49.44%, 以晶隙金、裂隙金的形式赋存。独立金矿物以银金矿为主, 少量自然金、金银矿, 金矿物成色范围在 420.09‰~887.29‰, 平均 701.33‰, 金矿物成色偏低。金矿物的赋存形态多样, 主要以长角粒状、圆粒状为主, 次为枝丫状、针状。矿石中金矿物按颗粒数统计, 以微、细粒金含量为主; 按面积统计, 则以粗粒金为主。

关键词: 马山金硫矿床北段; 金矿物; 嵌布特征; 成色

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.05.017

中图分类号: TD989; P618.51 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 05-0115-05

马山金硫矿床位于著名的铜陵铜官山矿田内, 矿体以金、硫为主, 并伴有铜、铅、锌、砷等多种元素, 其中金金属量为 45.8 t, 硫元素量为 607.7 万 t, 砷元素量为 18.8 万 t, 是一大型的高砷硫金矿床^[1]。马山金硫矿床北段为马山金硫矿床的一部分, 即 24 号勘探线南 7.5 m 104° 直线以北部分, 共计查明金硫矿石量 1227424 t; 硫金矿石量 4309352 t, 共生铜矿石量 31250 t, 共生锌矿石量 25269 t。前人对铜陵马山金硫矿床研究主要集中于矿床地质特征^[2]、矿床成因^[3-5]、矿床地球化学特征^[6-8]等方面, 但对金矿物形态、嵌布特征、金矿物成色、金在各矿物相的配分等方面未进行详细的研究和讨论, 故笔者着重研究该矿床的金矿物特征, 该研究有助于提高金的回收率, 同时对选矿工艺的选择具有重要意义。

1 矿区地质概况

马山金硫矿床北段大地构造位置属扬子准地台

下扬子凹陷沿江台褶带的中段。矿床范围内出露地层为三叠系下统殷坑组, 二叠系上统大隆组, 龙潭组, 二叠系下统孤峰组, 栖霞组及第四系, 深部经钻孔揭露有石炭系上统船山组, 中统黄龙组, 下统高骊山组, 以及泥盆系上统五通组。其中最主要容矿围岩为石炭系。

矿区断裂构造具多组、多期次活动的特点, 位于铜官山背斜南西段主体部分与北东段倾伏部分的交接带, 是背斜南东翼岩层由南西向北东方向产状由倒转转为正常的过渡带。矿区范围内岩浆岩主要为天鹅抱蛋杂岩体, 岩性为闪长岩, 次为闪长玢岩, 受北东向断裂控制, 地表呈北东延长的椭圆形。矿区岩石蚀变强烈, 主要可见: 硅化、碳酸盐化、蛇纹石化、透闪石化、绿泥石化, 其中硅化、碳酸盐化、蛇纹石化与金矿化关系密切。

收稿日期: 2019-06-08

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

2 样品采集及测试方法

本次研究样品由安徽金联地矿科技有限公司及安徽省地质试验研究所岩矿鉴定室人员共同采集, 样品由两部分组成: 一部分由地质人员从不同钻孔中采取的块矿样, 作为光薄片鉴定、电子探针分析用样; 另一部分作为化学多元素分析、X 衍射分析、单矿物提纯用样, 为选矿粗副样。

样品采集完成后送至安徽省地质试验研究所进行测试分析。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 $2 \times 10^{-8} \text{A}$, 束斑 $5 \mu\text{m}$, 修正方法 ZAF; X 衍射分析采用德国布鲁克 D8 advance 型粉末衍射仪测定, 铜靶 ($\text{Cu K}\alpha$, $\lambda = 0.15406 \text{ nm}$), 工作电压 40 Kv, 工作电流 40 mA, 衍射数据经 EVA 软件定性分析, TOPAS 软件定量分析; 单矿物分析测试仪器为电感耦合等离子体质谱仪。

3 结果与讨论

通过马山金硫矿床北段显微镜下鉴定^[9-10]及单矿物分析发现, Au 以独立金矿物及超显微金形式存在于矿石内。独立金矿物以银金矿为主, 少量自然金、金银矿。单矿物分析及金的赋存状态测量统计显示, 主要载金矿物为毒砂、黄铁矿, 其次为方铅矿、闪锌矿及脉石矿物。

3.1 金的嵌布类型

本次对马山金硫矿床北段样品显微镜下观察, 共计观察到 30 粒明金。按照金矿物与其他伴生矿物的空间关系, 矿石中金的嵌布类型为晶隙金(粒间金)、裂隙金、包体金^[11-12]。

按颗粒数统计, 以包体金为主, 包体金 50.00%, 晶隙金 43.33%, 裂隙金 6.67%。按面积百分含量统计: 包体金 48.28%, 晶隙金 47.94%、裂隙金 3.78%。包体金主要包于黄铁矿内, 其次包于方铅矿、闪锌矿、黄铜矿内, 单矿物分析及镜下观察也显示黄铁矿在矿石中整体含量高, 且其中金含量也较高。所有包体金中, 包于黄铁矿

内的包体金颗粒数百分含量为 53.33%, 面积百分含量为 93.49%; 包于方铅矿内的颗粒百分含量为 16.67%, 面积百分含量为 3.90% (表 1)。

表 1 金的嵌布类型测量统计
Table 1 Disseminated type statistics of gold minerals

赋存状态	金矿物的赋存部位	面积 /mm ²	面积百分比 /%	颗粒数	颗粒百分比 /%
包体金	包于黄铁矿内	0.008955	45.14	8	26.67
	包于方铅矿内	0.000374	1.89	5	16.67
	包于闪锌矿内	0.0002	1.01	1	3.33
	包于黄铜矿内	0.00005	0.25	1	3.33
	小计	0.009579	48.28	15	50.00
晶隙金	黄铁矿 / 黄铁矿	0.0018	9.07	2	6.67
	毒砂 / 黄铁矿	0.00075	3.78	1	3.33
	黄铜矿 / 毒砂	0.00046	2.32	3	10.00
	闪锌矿 / 毒砂	0.00226	11.39	4	13.33
	菱铁矿 / 白云石	0.00424	21.37	3	10.00
小计	0.00951	47.94	13	43.33	
裂隙金	黄铁矿裂隙	0.0006	3.02	1	3.33
	毒砂裂隙	0.00015	0.76	1	3.33
	小计	0.00075	3.78	2	6.67

晶隙金在多数矿物晶粒间都有分布, 但主要分布于菱铁矿与白云石晶粒间, 毒砂与闪锌矿晶粒间, 黄铁矿与黄铁矿晶粒间。裂隙金仅见分布于黄铁矿、毒砂裂隙间。

3.2 金的嵌布粒度

根据《岩金矿地质勘探规范》中划分的金矿物粒级^[13-14], 本次研究测量到的金矿物按颗粒数统计 (表 2)。

表 2 金的粒级测量统计
Table 2 Grain size statistics of gold minerals

粒级	粒度范围 /mm	面积 /mm ²	面积百分含量 /%	颗粒数	颗粒百分含量 /%
微粒金	-0.01	0.000434	2.19	12	40.00
细粒金	-0.037+0.01	0.002855	14.39	10	33.33
中粒金	-0.074+0.037	0.00475	23.94	5	16.67
粗粒金	-0.295+0.074	0.0118	59.48	3	10.00
合计		0.019839	100	30	100

以微、细粒金含量为主, 部分中粒金、粗粒金, 其百分比分别为 40.00%、33.33%、16.67%、

10.00%；按面积统计，则以粗粒金为主，部分中粒金、细粒金，少量微粒金，其百分比分别为 59.48%、23.94%、14.39%、2.19%。

3.3 金的嵌布形态

对光片中自然金、银金矿、金银矿的形态统计发现，矿石中金矿物的赋存形态多种多样，主要有长角粒状、圆粒状，少量枝丫状、针状。其面积百分含量分别为：长角粒状 88.25%、圆粒状 8.34%、针状 1.76%、枝丫状 1.64%（表 3）。

表 3 金的嵌布形态测量统计

Table 3 Disseminated form statistics of gold minerals

形状	面积 /mm ²	面积 百分比 /%	颗粒数	颗粒 百分比 /%
圆粒状	0.001655	8.34	6	20
长角粒状	0.017508	88.25	17	56.67
针状	0.00035	1.76	2	6.67
枝丫状	0.000326	1.64	5	16.67
合计	0.019839	100	30	100

3.4 金矿物的成色

对电子探针分析的金矿物中的金银含量统计见表 4。

表 4 金矿物电子探针分析

Table 4 Electron microprobe analysis of gold minerals

样品号	As	Se	Fe	Cu	Zn	Te	Bi	S	Au	Ag	Sb	Co	Ni	Total	矿物定名
16gp931-4	0.008	0.028	0.590	0.005	0.045	0.031	0.646	0.100	88.729	9.589	0.000	0.008	0.000	99.779	自然金
16gp931	0.023	0.000	0.072	0.000	0.037	0.000	0.486	0.074	85.779	11.899	0.000	0.003	0.000	98.373	自然金
16gp931-5	0.011	0.034	0.069	0.000	0.000	0.010	0.637	0.022	88.519	9.959	0.008	0.000	0.000	99.269	自然金
16gp944	0.008	0.019	0.592	0.000	0.065	0.004	0.573	0.168	80.340	17.726	0.019	0.000	0.000	99.514	自然金
平均值	0.013	0.020	0.331	0.001	0.037	0.011	0.586	0.091	85.842	12.293	0.007	0.003	0.000	99.234	
16gp931-6	0.007	0.021	0.702	0.000	0.000	0.000	0.555	0.181	69.658	28.439	0.000	0.000	0.000	99.563	银金矿
16gp939-1	0.044	0.000	1.492	0.000	0.049	0.164	0.492	0.041	69.083	27.898	0.000	0.006	0.000	99.269	银金矿
16gp941-6	0.000	0.020	0.141	0.005	0.056	0.038	0.556	0.047	70.949	28.191	0.000	0.006	0.000	100.009	银金矿
16gp946-2	0.000	0.074	0.111	0.000	1.442	0.043	0.503	0.056	57.321	38.836	0.026	0.000	0.000	98.412	银金矿
16gp946-4	0.000	0.000	0.998	0.080	0.000	0.029	0.198	0.109	51.562	45.471	0.000	0.000	0.030	98.477	银金矿
16gp946	0.002	0.005	0.513	0.000	0.125	0.142	0.368	0.013	57.300	39.685	0.000	0.000	0.015	98.168	银金矿
16gp952	0.040	0.000	0.440	0.000	0.037	0.014	0.264	0.022	72.977	24.617	0.000	0.056	0.010	98.477	银金矿
16gp952-1	0.000	0.002	0.449	0.000	0.099	0.000	0.446	0.042	77.503	20.941	0.000	0.000	0.000	99.482	银金矿
平均值	0.012	0.015	0.606	0.011	0.226	0.054	0.423	0.064	65.794	31.760	0.003	0.009	0.007	98.982	
16gp946-10	0.072	0.009	0.566	0.027	1.815	0.000	0.198	0.144	42.009	55.472	0.104	0.056	0.000	100.472	金银矿

自然金中 Au 含量 80.340% ~ 88.729%，平均 85.842%，Ag 含量 9.589% ~ 17.726%，平均 12.293 %。银金矿中 Au 含量 51.562% ~ 77.503%，平均 65.794%；Ag 含量 20.941% ~ 45.471%，平均 31.76。金银矿中 Au 含量 42.009%，Ag 含量 55.472%。金银矿物成色范围在 420.09‰ ~ 887.29‰，平均 701.33‰，金矿物中金的成色偏低。

3.5 金在各矿物相中的配分

通过对马山金硫矿床北段选矿矿石样进行 X 衍射分析，其成分主要为磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、石英、菱铁矿等。

经 EVA 软件定性分析，TOPAS 软件定量分析后计算得出矿石中不同矿物相对百分含量，各矿物含量见表 5。

表 5 马山金硫矿床北段矿石样不同矿物相对百分含量

Table 5 Relative percentage of different minerals in ore samples in the northern part of Mashan

矿物	磁黄铁矿	黄铁矿	毒砂	闪锌矿	方铅矿	黄铜矿	菱铁矿	方解石	铁白云石	石英
含量 /%	53.41	23.1	3.09	0.046	0.06	0.49	9.13	2.51	1.8	3.88

对原矿进行单矿物分选，并测定不同矿物中 Au、Ag 含量，见表 6。

表 6 单矿物分析

Table 6 Single mineral analysis table

分析号	原样号	Au/10 ⁻⁶	Ag/10 ⁻⁶
16L331	M-2 脉石矿物	0.18	3.8
16L332	M-3 磁黄铁矿	0.7	8.5
16L333	M-4 毒砂	6.6	30.3
16L334	M-5 黄铁矿	4.18	19.0
16L335	M-6 闪锌矿	5.29	212.8

通过以上工作，可计算出 Au 在各矿物中配分（表 7）。

Au 在各矿物中的绝对配分比总计 50.56%，以包体金或超显微金形式赋存于金属矿物中，主要富

集于黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂中^[15]。单体解离金矿物经反推为 49.44%，以晶隙金、裂隙金矿物的形式赋存，人工重砂中见少量中粗粒独立金矿物。

表 7 马山金硫矿床北段 Au 在各矿物中的配分计算

Table 7 Calculation of the distribution of Au in each mineral in the northern part of the Mashan gold-sulfur deposit

矿物名称	矿物含量 / (a)	矿物中 Au 的含量 10^{-6} (b)	矿物中 Au 的配分量 /% $\times 10^{-6}$ (c=a $\times$ b)	Au 在各矿物中的配分比 /%	
				相对配分比 $d=c/\sum c \times 100\%$	绝对配分比 $e=c/f \times 100\%$
M-2 脉石矿物	17.5	0.18	3.150	2.00	1.01
M-3 磁黄铁矿	53.41	0.7	37.387	23.65	11.98
M-4 毒砂	3.09	6.6	20.394	12.90	6.54
M-5 黄铁矿	23.1	4.18	96.558	61.08	30.95
M-6 闪锌矿	0.046	5.29	0.243	0.15	0.08
总计	97.146		157.732	99.78	50.56

注：原矿石经分析 Au 的实测品位 $f=3.12 \times 10^{-6}$ ；单体解离金矿物反推得出结果为 49.44%。

4 结 论

(1) 安徽铜陵马山金硫矿床北段 Au 以独立金矿物及超显微金形式存在于矿石内。独立金矿物以银金矿为主，少量自然金、金银矿，金银矿物成色范围在 420.09‰ ~ 887.29‰，平均 701.33‰，金矿物成色偏低。金矿物的赋存形态多种多样，主要以长角粒状、圆粒状为主，次为枝丫状、针状。

(2) 矿石中金的嵌布类型为晶隙金（粒间金）、裂隙金、包体金。按颗粒数统计，以包体金为主；按面积百分含量统计：包体金 48.28%，晶隙金 47.94%、裂隙金 3.78%。包体金主要包于黄铁矿内。晶隙金在多数矿物晶粒间都有分布，但主要分布于菱铁矿与白云石晶粒间，毒砂与闪锌矿晶粒间，黄铁矿与黄铁矿晶粒间。裂隙金仅见分布于黄铁矿、毒砂裂隙间。

(3) 矿石中金矿物按颗粒数统计，以微、细粒金含量为主，部分中粒金、粗粒金；按面积统计，则以粗粒金为主，部分中粒金、细粒金，少量微粒金。

(4) Au 在各矿物中的绝对配分比总计 50.56%，以包体金或超显微金形式赋存于金属矿物中，主要富集于黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂中。单体解离金矿物经反推为 49.44%，以晶隙金、裂隙金矿物的形式赋存，人工重砂中见少量中粗粒独立金矿物。

参考文献：

[1] 俞沧海, 袁小明. 铜陵天马山硫金矿床地质特征及成因探讨 [J]. 矿产与地质, 2002, 16(2): 74-77.
 Yu C H, Yuan X M. Geological characteristics and genesis of the tianmashan sulfur gold deposit, tongling [J]. Minerals and geology, 2002, 16(2): 74-77.

[2] 阳运楼. 铜陵马山金硫矿床控矿因素及找矿方向分析 [J]. 安徽地质, 2015, 25(3): 170-173.
 Yang Y L, analysis on ore-controlling factors and prospecting direction of mashan gold-sulfur deposit in tongling [J]. Anhui geology, 2015, 25(3): 170-173.

[3] 邵毅, 张遵忠, 吴昌志, 等. 安徽铜陵马山层控金铜硫矿床成因 [J]. 地质找矿论丛, 2010, 25(4): 310-318.
 Shao Y, Zhang Z Z, Wu C Z, et al. Genesis of mashan stratodeposit, tongling, anhui [J]. Geological prospecting, 2010, 25(4): 310-318.

[4] 周真, 汪正琼. 铜陵马山金矿地质特征及成因探讨 [J]. 华东冶金地质, 1982 (1): 1-10.
 Zhou Z, Wang Z Q. Discussion on geological characteristics and genesis of Mashan Gold Deposit in Tongling [J]. East China Metallurgical Geology, 1982 (1) :1-10.

[5] 周真. 铜陵马山金矿床成因的研究 [J]. 地质论评, 1984, 30(5): 467-476.
 Zhou Z. Study on the genesis of mashan gold deposit in tongling [J]. Geological review, 1984, 30(5): 467-476.

[6] 王兆荣, 周泰禧, 张汉昌. 安徽马山金铜矿的地球化学研究 [J]. 华东地质学院学报, 1996, 19(1): 36-41.
 Wang Z R, Zhou T X, Zhang H C. Geochemical studies of mashan gold and copper deposit, anhui province [J]. Journal of east China geological institute, 1996, 19(1): 36-41.

- [7] 李学明, 李彬贤, 张巽, 等. 马山金矿的同位素组成 [J]. 中国科学技术大学学报, 1987, 17(3): 408-412.
Li X M, Li B X, Zhang X, et al. Isotopic composition of mashan gold deposit [J]. Journal of university of science and technology of China, 1987, 17(3): 408-412.
- [8] 田世洪, 侯增谦, 杨竹森, 等. 安徽铜陵马山金硫矿床稀土元素和稳定同位素地球化学研究 [J]. 地质学报, 2007, 81(7): 929-938.
Tian S H, Hou Z Q, Yang Z S, et al. Geochemistry of rare earth elements and stable elements in mashan gold and sulfur deposit, tongling, anhui [J]. Acta geographica sinica, 2007, 81(7): 929-938.
- [9] 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.
Chang L H, Chen M Y, Jin W, et al. Identification manual of transparent Mineral Flakes [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- [10] 卢静文, 彭晓雷. 金属矿物显微镜鉴定手册 [M]. 北京: 地质出版社, 2010.
Lu J W, Peng X L. Metal mineral Microscope Identification Manual [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010.
- [11] 邱柱国. 矿相学 [M]. 北京: 地质出版社, 1982.
Qiu Z G. Mineralogy [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982.
- [12] 王濮, 潘兆棹, 翁玲宝. 系统矿物学 [M]. 北京: 地质出版社, 1987.
Wang P, Pan Z L, Weng L B. Systematic mineralogy [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987.
- [13] 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.
Editorial Committee of Mineral Resources Industry Requirements Manual. Mineral Resources Industry Requirements Manual [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011.
- [14] 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.
National Commission of Mineral Reserves. Code for geological Exploration of rock and gold deposits [M]. Jilin: Metallurgical Geological Exploration Company, 1984.
- [15] 许时, 胡为柏, 崔琳, 姜广大. 矿石可选性研究 [M]. 北京: 中国工业出版社出版, 1963.
Xu S, Hu W B, Cui L, et al. Study on ore selectivity [M]. Beijing: China Industrial Press, 1963.

Study on the Characteristics of Gold Minerals in the Northern Segment of the Mashan Gold-sulfur Deposit in Tongling, Anhui Province

Lu Jing, Wang Feng, Li Lei, Zhang Qing

(Anhui Provincial Geological Experiment Institute, Hefei, Anhui, China)

Abstract: The northern section of the Mashan gold-sulfur deposit in Tongling in Anhui province, is located in the Tongguanshan ore field of Tongling, and is a large-scale high-arsenic sulfur-gold deposit. In the deposit, Au is present in the form of independent gold minerals and ultra-microscopic gold. Through the calculation of gold distribution, the absolute ratio of Au in each mineral is 50.56%, which indicates that gold is present in pyrite, pyrrhotite and arsenopyrite in the form of inclusion gold or ultramicroscopic gold. The monomer dissociated gold mineral was reversed to 49.44%, and it was deposited in the form of intercrystalline gold and fracture gold. The independent gold minerals are mainly electrum. A small amount of natural gold, kustelite. Gold fineness have a range of 420.09‰~887.29‰, with an average of 701.33‰, and the gold fineness is low. The occurrence forms of gold minerals are various, mainly in the form of long-horned grains and round grains, and secondary in the form of branches and needles. The gold minerals in the ore are counted according to the number of particles, mainly micro and fine grain gold; according to the area statistics, coarse gold is the main.

Keywords: Northern section of Mashan gold-sulfur deposit; Gold mineral; Disseminated characteristics; Fineness