

安徽铜陵老鸦岭铜矿床中伴生金的赋存状态及选矿工艺^①

陈 武 周建平 魏元柏 肖万生

(南京大学地球科学系)

朱节清

(上海原子核研究所)

提 要 安徽铜陵老鸦岭铜矿床中伴生一定量的金,本文通过对矿床矿物 Au 含量的测定,表明黄铁矿和黄铜矿是金的主要载体矿物,利用电子探针、扫描质子探针等手段对上述矿物的微区测试,金的物相分析,浸取实验等方面的研究,表明金主要以次显微金形式存在,对金的选矿工艺试验提供了理论依据。

关键词 伴生金 赋存状态 选矿工艺 老鸦岭铜矿床 安徽铜陵

安徽铜陵老鸦岭铜矿床中,伴生有一定量的金,由于其含量低(0.32×10^{-6}),为研究其赋存状态带来一定的困难,影响工业回收。本文将在化学实验的基础上,结合电子探针、质子探针等分析结果探讨该矿床中伴生金的赋存状态,从而为提高其工业回收率提供科学依据。

1 矿床地质概况

老鸦岭铜矿床位于铜陵有色金属成矿区中部狮子山矿田内,其构造主要为一近东西向的基底断裂和近南北向的“盖层构造”。后者系由一系列相间排列的背、向斜及相伴的断裂组成。

矿区地层从石炭系到三叠系,为一系列碳酸盐岩(灰岩、泥质灰岩及白云质灰岩等)组成。矿体呈似层状和透镜状赋存于大隆组、小凉亭组和孤峰组地层中。矿石类型主要为矽卡岩型、硅质页岩型和角岩型。

该矿床之金属矿物主要为黄铜矿和黄铁矿,而磁黄铁矿数量不多,闪锌矿、方铅矿等少见;非金属矿物以石英、石榴子石、透辉石为主,透闪石、绿帘石、绢云母、绿泥石等次之。

该矿床成因类型为同生沉积叠加改造型。

^① 中国科学院核分析技术联合开放研究实验室上海分部部分资助课题

2 金的赋存状态

2.1 金的载体矿物

为查明矿床矿物的 Au 含量,我们在不同类型矿石样品和矿石综合大样中,分离出有关矿物,分别进行了 Au 测定(表 1)。

由于矿床中多数矿物,特别是金属矿物其粒度均较细小且彼此紧密连生,矿物单体分离难度很大,用选矿方法分离出来的单矿物样品中往往含有一定量的杂质成分。不过从表 1 中可以看出,黄铁矿和黄铜矿中 Au 含量较高,并且是矿石中的主要金属矿物,故金的主要载体矿物应为黄铁矿和黄铜矿。虽然磁黄铁矿含有一定量的 Au,由于它在矿石中的数量有限,作为金的载体矿物,其意义远不如黄铁矿和黄铜矿。

表 1 单矿物的 Au 含量(10⁻⁶)
Table 1 Concentrations of gold in the minerals

	砂卡岩型	硅质页岩型	角 砾 岩	矿石综合大样
黄 铁 矿	10.21	1.58	4.29	5.68
黄 铜 矿	0.99	1.13	1.91	1.68
石 英	0.042	0.011	0.61	0.03
磁黄铁矿				1.05
方 铅 矿				
石榴子石				0.07
方 解 石				0.02
其它脉石				0.03

矿石综合大样由南京大学地科系中心实验室分析
其余由地矿部南京岩矿测试中心分析

2.2 金的赋存状态

对本矿床的三种类型矿石的人工重砂取样和分析,仅在角岩型矿石的样品中发现有 10 余颗自然金,其粒度变化于 0.04~0.25mm 之间,主要为 0.04~0.05mm,属细粒金范畴。其形态为不规则粒状(照片 1、2)。它们或产于黄铁矿、黄铜矿及石英的晶粒之间,或分布于上述矿物颗粒的微裂隙中。

自然金颗粒的电子探针成分分析见表 2。金的成色较高,Au 含量在 88%以上,Ag 含量低于 10%。此外还含有少量的 Cu、Fe 等成分。

除角岩型矿石中出现细粒金外,矿床中的 Au 主要以次显微金存在黄铁矿和黄铜矿中。根据电子探针的成分分析,Au 在黄铁矿中含量为 0.005%~0.311%(表 3),在黄铜矿中含量为 0.001%~0.130%(表 4)。从微区的成分分析来看,黄铁矿和黄铜矿中 Au 的存在虽然具有一

定的普遍性,但其含量的变化却很大。其他矿物中 Au 含量甚低,且不具普遍性。由于电子探针是微区(1μm±)分析,它与化学分析有一定的差别,但从总体上看,电子探针的成分分析与上述单矿物 Au 的分析结果(表 1)基本近似。

表 2 自然金成分的电子探针分析(wt%)
Table 2 Electronic microprobe analysis of native gold

样 号	Au	Ag	Cu	Fe	Σ
TA-1	90.84	7.05	0.80	1.32	100.01
TA-2	91.34	7.76	0.89	—	99.99
TA-3	89.56	8.93	2.13	1.39	102.01
TA-4	91.54	8.48	—	—	100.02
TA-5	92.41	8.37	—	0.10	100.88
TA-5	89.37	8.04	0.93	1.06	99.40
TA-6	92.05	7.13	0.67	0.32	100.17
TA-7	88.76	9.52	1.01	0.74	100.03
TA-7	89.41	9.03	0.72	0.66	99.86
TA-8	91.44	7.59	1.01	—	100.04
TA-9	90.82	8.30	0.95	0.10	100.17

贵阳地化所电子探针室测试

由于 Au 在硫化物中的粒度小于电子探针的空间分辨率,且分布不均匀,致使有些测点含量低于电子探针的检测下限,而有些测点则高达数百 10⁻⁶ 的含量。这些测试结果表明,硫化物中 Au 主要以次显微金存在。由于硫化物中 Au 的含量没有达到电子探针的金 X 射线面分布图像所要求的该元素含量的一定界限,故未能获得硫化物中次显微金的金 X 射线面分布图象。

由于硫化物中 Au 主要以次显微金形式存在且含量低,采用扫描电镜、电子探针分析较难直观判断,而利用扫描质子探针,则较好地证实了这一情况。

图 1 和图 2 分别为黄铜矿样品的相应选区的位置图和 Au 等元素分布之等高线图。图 3 和图 4 分别为黄铁矿样品的相应选区的位置图和 Au 等元素分布之等高线图。从图 2 和图 4 中可以看出,Au 主要集中分布于黄铜矿、黄铁矿及部分石英中,但石英中之含量相对较低;Au 在上述三种矿物中的分布是极不均匀的,表现出同一颗粒内出现多个 Au 的峰尖,表明不可见金在上述诸矿物中主要呈次显微金存在。

2.3 金的物相分析

虽然通过上述有关测试手段,基本查明了黄铜矿、黄铁矿中 Au 的存在形式,但 Au 的不同赋存形式间,其相对含量仍无法了解。金的物相分析,试图通过对黄铜矿、黄铁矿的溶解试验,测定其中易溶金与难溶金的相对含量,从定量角度了解 Au 的不同赋存形式间,其相对含量的比例关系。其溶解实验方法与步骤为:

(1)氰化浸取:用 1.5% 的 KCN 溶液浸泡样品 5 天,过滤。滤液用 HNO₃ 破坏氰化物,转换

为王水介质测定其中的 Au 含量。

(2)溴素-甲醇溶解黄铜矿:经氰化浸泡的过滤残渣,用新配制的 5%溴素-甲醇溶液浸泡、振荡,放置 4~5 小时,过滤,滤液蒸干加 HNO₃ 去溴去甲醇,转换为王水介质,测定其中的 Au 含量。

表 3 黄铁矿成分的电子探针分析(wt%)
Table 3 Electronic microprobe analysis of pyrite

编 号	Fe	S	Au	Cu	As	Zn	Ag	Σ
TS4	46.992	50.947	0.005	0.201	0.214			98.319
M5-1	45.795	52.480	0.011	0.048		0.074	0.029	98.445
M5-2	46.798	51.558	0.090	0.167	0.146	0.084		98.807
M5-3	45.412	52.820	0.020	0.403				98.655
M5-4	45.219	53.933		0.241	0.163			99.556
M12	45.436	53.990	0.040	0.009			0.019	99.494
M14-4	47.181	51.300	0.016	0.075	0.036	0.046		98.658
M14-2	48.246	51.962	0.102	0.093	0.131	0.006		100.54
M14-3	45.763	51.742	0.311	0.145		0.101		98.062
220-13-2	44.887	53.955		0.545		0.077		99.464

贵阳地球化学研究所探针室测试

表 4 黄铜矿成分电子探针分析(wt%)
Table 4 Electronic microprobe analysis of chalcopyrite

编 号	Cu	Fe	S	Au	Ag	As	Zn	Σ
Ts1-2	34.995	30.678	35.536	0.111		0.119		101.529
Ts2-2	34.819	29.806	33.234	0.034	0.035	0.004		97.982
Ts6-2	36.675	31.082	32.753	0.042				100.552
Ts11-2	36.003	31.396	33.111	0.073				100.583
M12-1	35.012	29.220	36.503			0.202		100.937
M12-2	36.110	29.218	35.059	0.001	0.003			100.391
M14-1	35.946	30.477	34.478			0.536		101.437
M14-2	35.504	29.875	35.340	0.130				100.849
220-13-1	35.124	29.497	36.670	0.051	0.044		0.052	101.438
220-13-2	33.893	30.510	35.864		0.020			100.287
脉-1	32.934	30.370	36.155					99.459

贵阳地球化学研究所探针室测试

(3)盐酸溶解黄铁矿:黄铁矿样品经氰化浸取后的过滤残渣用 10%HC1 洗几遍,最后用王

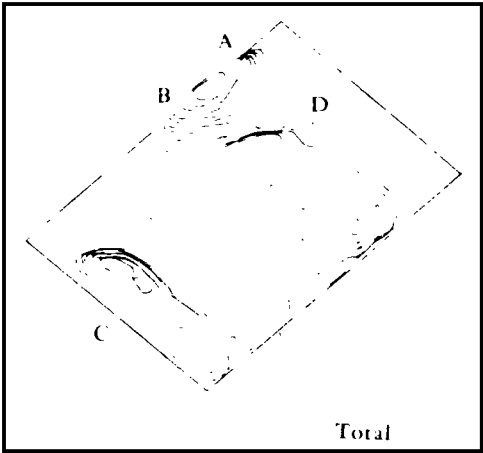


图 1 扫描质子探针样品矿物位置图(样品编号 128)图中 A、B、C 区为黄铜矿,D 区为石英

Fig. 1 Positioning map of the analysed—minerals under SPMP. area A,B, and C are chalcopyrite. Area D is quartz

水洗至红棕色,经 650℃ 的灼烧后,用 HCl 溶解,过滤,测定滤液中的 Au 含量。

上述步骤中,氰化浸取主要溶解样品中可见的和次显微的自然金,它们属于易溶金;而后两个步骤则溶解其中的难溶金,包括胶体金和晶格金。物相分析结果见表 5。

从表 5 中可见: Au 在黄铜矿、黄铁矿中均以易溶金为主,在黄铜矿中占 90% 以上,在黄铁矿中占 80% 左右。

结合探针测试结果表明,黄铁矿、黄铜矿中当粒度主要在 0.01~0.2μm 之间的 Au,既是次显微金,又是易溶金。张振儒等(1978)在研究多金属硫化物金矿床中 Au 在黄铁矿、黄铜矿中的存在形式时,得出 Au 常以<0.2μm 的圆球状及链状次显微金存在的结论。老鸦岭铜矿床中 Au 在硫化物中的存在形式与张振儒等的结论基本一致。

表 5 金的物相分析(单位:10-6mg/l)

Table 5 Phase analysis of gold

分析项目 矿物值	易 溶 金		难 溶 金	
	含 量	比 率%	含 量	比 率%
黄 铜 矿	2850	90.5	300	9.5
黄 铜 矿	2650	90.0	295	10.0
黄 铁 矿	2900	78.8	780	21.2
黄 铁 矿	2600	80.1	660	19.9

南大地科系中心实验室测试

3 伴生金的选矿工艺

老鸦岭铜矿床中 Au 是作为伴生元素回收的。因此,选矿过程中对矿石破碎粒级的选择和精矿浸取时间的多少是 Au 选矿工艺的主要课题。这一工作,既可作为矿石中 Au 赋存状态研究的间接证据,而更主要的是为工业生产过程中有效地回收 Au 提供理论依据。

3.1 破碎粒度与金含量的关系

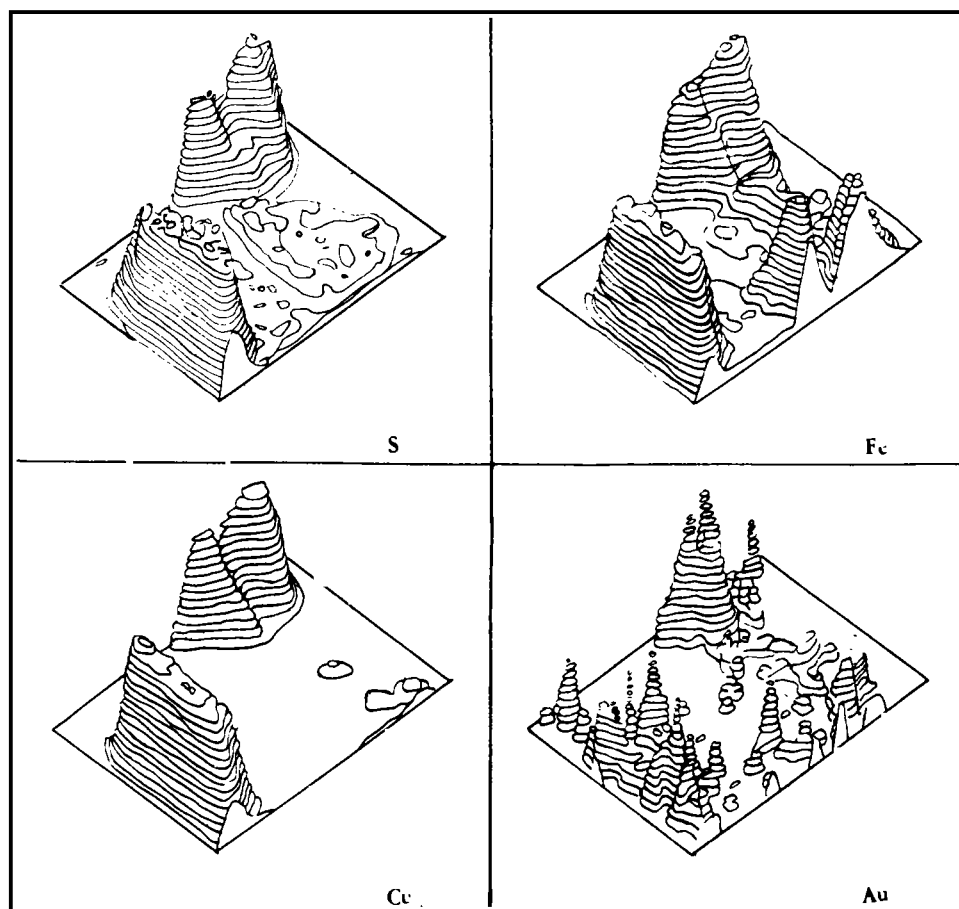


图2 黄铜矿及石英中 Au、Cu、Fe、S 的分布图。扫描范围为 $154 \times 255 \mu\text{m}$

Fig. 2 Au, Cu, Fe and S distribution maps of chalcopyrite and quartz. The scanning area is $154 \times 255 \mu\text{m}$

从矿石综合大样中取一定量的样品,破碎,过筛得到不同粒级的样品,分别测定 0.25mm 以下粒级样品中的 Au 和 Cu 的含量,结果见表 6,图 5。

筛析结果表明,样品中 Au 含量随着矿石粒级变细而有上升趋势(图 5)。生产中如只考虑最大限度提高 Au 的回收率,应把矿石尽量磨细。Cu 含量在 0.74~0.125mm 粒径范围有一峰值(图 5),向两边含量减小。从提取 Cu 角度考虑,矿石破碎粒径在 0.74~0.125mm 范围内效果最好。

从表 6 可看出,不同粒级中 Au 含量最大值与最小值之差为 0.07×10^{-6} ,而 Cu 为 0.84%。相对矿石中平均含量(Au 0.32×10^{-6} , Cu 1.24%),相对差别分别为 21.9%和 67.7%,差别较明显。该筛析结果对矿山生产过程中矿石破碎程度在工业选矿上具有重要理论意义。

筛析结果间接反映了矿石中 Au 的存在形式。由于矿石中 Au 粒度极细,主要以次显微金

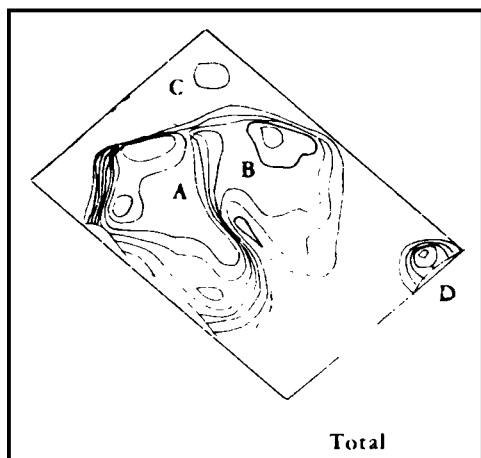


图3 扫描质子探针样品矿物位置图(样品编号

122)图中A区为黄铁矿,B、D为石英

Fig. 3 Positioning Map of analysed — minerals under SPMP. Area A is pyrite, area B and D are quartz, area C is malachite.

形式存在,故磨矿粒度要求越细越好。但对Cu的回收则有所不利。

3.2 金浸取试验

从矿石综合大样中取一定量的样品,将硫化物富集后分离出一个铜精矿(含黄铜矿85%~90%)样品和两个硫精矿(含黄铁矿80%±)样品,分别进行浸取实验。其方法如下:

把铜精矿及硫精矿样品分别磨碎到200目以下($<0.074\text{mm}$),各取样品5g,用10ml%的KCN溶液($\text{PH}=12$)浸泡,并不时振荡,24小时后过滤,用 HNO_3 溶液破坏氰化物并转换为王水介质,分别测定其中的Au含量。残渣再用上述KCN溶液浸泡,要求同上。这样重复四次,测定每次浸泡出来的Au含量,见表7。

从表7中可以看出,Au的第一次浸取率在76.5%以上,前两次浸取率之和在92.8%以上。从矿山生产的角度来考虑,精矿的浸取时间一般一天就行,最多两天,过长浸泡意义不大。

表6 不同破碎粒级中Au和Cu的含量

Table 6 Au and Cu contents of various grain sizes

样 号	粒径(mm)	Au(10^{-6})	Cu(%)
Tc-13	0.20~0.25	0.26	0.82
Tc-14	0.125~0.20	0.25	0.91
Tc-15	0.074~0.125	0.28	1.66
Tc-16	0.05~0.074	0.30	1.49
Tc-17	0.04~0.05	0.31	1.55
Tc-18	<0.04	0.32	1.38

地矿部南京岩矿测试中心测试

表7 金浸取试验结果(单位:10-6mg/l)

Table 7 Outputs of gold—leaching experiment

	第一次		第二次		第三次		第四次	
	浸取量	浸取率%	浸取量	浸取率%	浸取量	浸取率%	浸取量	浸取率%
铜精矿	56000	85.4	7000	10.7	2000	3.1	550	0.8
硫精矿	47000	84.9	6000	10.8	1450	2.6	920	1.7
硫精矿	30000	76.5	6400	16.3	1950	5.0	850	2.2

南大地科系中心实验室测试

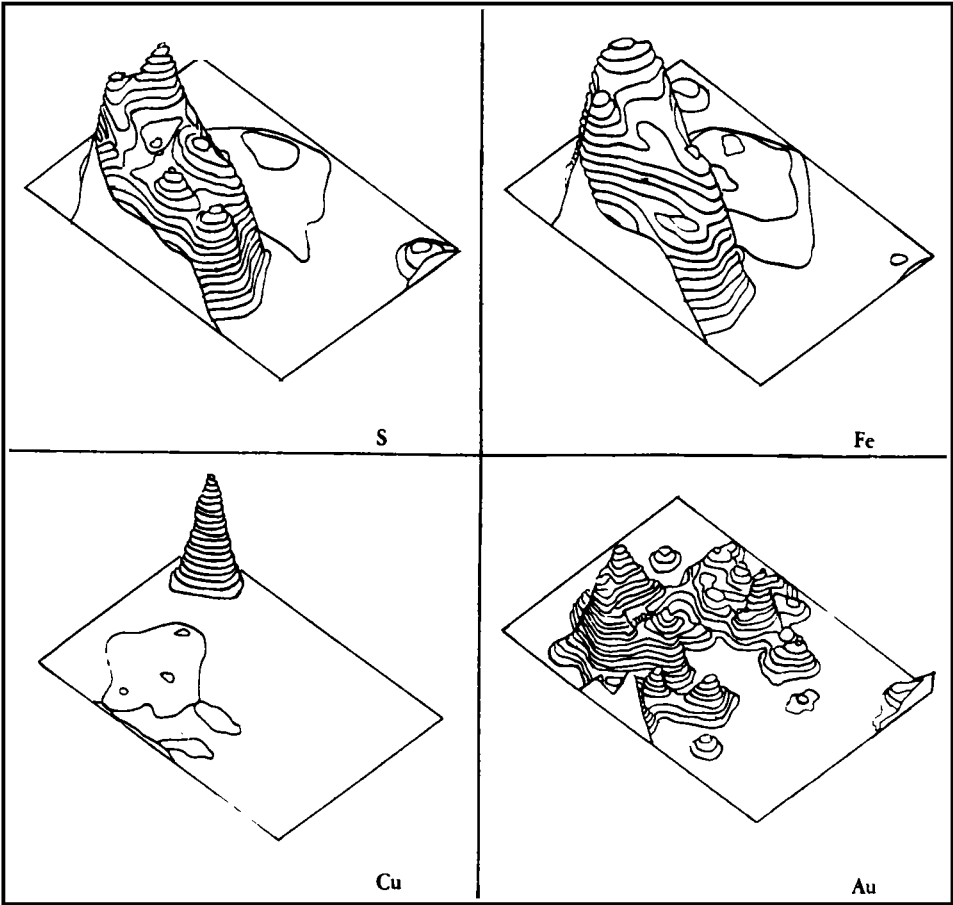
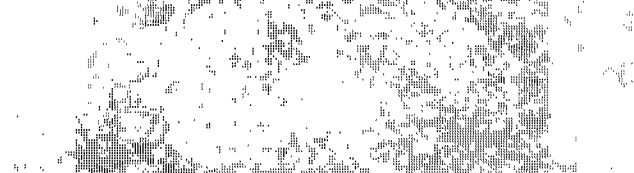


图 4 黄铁矿及石英中 Au、Cu、Fe、S 的分布图。扫描范围为 $154\times 255\mu\text{m}$

Fig. 4 Au, Cu, Fe and S distribution maps of pyrite and quartz. Scanning area is $154\times 255\mu\text{m}$

4 结论

- (1)黄铁矿和黄铜矿是 Au 的主要载体矿物,且前者含 Au(5.68×10^{-6})大于后者(1.68×10^{-6}),从矿床矿物的含量来看,黄铁矿与黄铜矿较为相近,因此要注意回收黄铁矿中的 Au。
- (2)脉石矿物中,Au 含量均很低($0.02\times 10^{-6}\sim 0.07\times 10^{-6}$),但角岩型矿石之石英中,含 Au 量相对较高(0.61×10^{-6}),从生产角度上对此应给予一定重视。
- (3)Au 主要为次显微金(占 Au 总量的 80~90%)。因此,很难单体分离,回收难度相对较



自然图像自然图像类型识别

参考文献

- 1 张振儒,等. 某些矿物中次显微金及晶格金研究. 地质找矿论丛,1987,2(4)
- 2 魏元柏,等. 扫描质子探针在微量金赋存状态研究中的应用,科学通报,1993,38(18)
- 3 Nigel J Cook, et al. Concentrations of "Invisible Gold" in the common sulfides. The Canadian Mineralogist, 1990, Vol. 28

ASSOCIATED GOLD DISTRIBUTION AND ORE—DRESSING PROCESS OF LAOYALING COPPER DEPOSIT, TONGLING, ANHUI

Chen Wu Zhou Jianping Wei Yuanbai Xiao Wansheng

(Department of Earth Sciences, Nanjing University)

Zhu Jieqing

(Shanghai Institute of Atomic Nucleus)

Abstract

A certain amount of associated gold occurs in copper ores of Laoyaling copper deposit, Tongling, Anhui pyrite and chalcopyrite are described as the main gold—hosted minerals according to measurement of gold concentrations of the ores. Furthermore, submicroscopic gold, the dominant type of gold in the minerals, is revealed by electronic microprobe and scanning proton microprobe analysis, phase analysis and leaching experiments. Some experiment data is provided for ore—dressing process.