

## 康定县三碛金矿床金的赋存状态

何阳阳<sup>1,2</sup>, 周玉<sup>3</sup>, 赵林<sup>2</sup>, 张锐<sup>2</sup>

- (1. 内江师范学院 地理与资源科学学院, 四川 内江 641112;
2. 四川省地质矿产勘查开发局四〇二地质队, 四川 成都 611730;
3. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:** 探讨了三碛金矿床金的赋存状态。通过野外实地调查、实验室分析测试以及室内综合研究, 查明了该矿床矿石的矿物组成和化学组成、矿石结构和矿石构造、金矿物粒度大小、矿物形态、矿物成分以及金矿物的嵌布类型。研究表明, 矿石中金矿物主要呈角粒状, 所占比例为 47.50%; 以细粒金为主, 所占比例为 52%, 指示三碛金矿金的沉淀方式以交代作用为主; 自然金较纯, 含 Au 为 94.46%, 成色高 (946), 指示三碛金矿的形成温度较高、深度较深; 金主要以游离形式存在, 占有率为 79.3% ~ 91.2%, 矿石细磨能提高金的选别指标。

**关键词:** 赋存状态; 三碛金矿床; 康定

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.03.021

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2018) 03-0099-05

三碛金矿床位于康定县城至康定县城交通距离约 76 km<sup>[1]</sup>。实践证明, 科学、合理的选矿技术不仅能降低选矿成本, 而且还能提高金的回收利用率, 因此, 选矿工艺流程的拟定具有重要理论及现实意义, 而制定选矿工艺流程需要详细研究金的赋存状态、金矿物和载金矿物的粒度分布特征<sup>[2-7]</sup>。本文暨对三碛金矿床金的赋存状态进行研究。

### 1 矿床地质概况

#### 1.1 矿区地质

我国黄金储量占世界第 4 位<sup>[8]</sup>, 大渡河金矿田功不可没。它位于扬子地台西缘中段, 金矿床(点)分布在南北长约 60 km、东西宽约 30 km 范围内的康定大渡河两岸, 构成了举世闻名的康定大渡河“金谷”<sup>[9]</sup>。三碛金矿是“金谷”中的典型矿床, 它位于大渡河的西岸。

矿区出露地层主要为前震旦系康定群和第四系。康定群包括呈 NNW-SSE 向斜贯矿区的咱里组, 以及分布于矿区北东和南西两地段的冷竹关组。咱里组由斜长角闪岩和混合岩化斜长角闪岩夹少量角砾混合岩组成, 占基岩面积的 60% 以上; 冷

竹关组由混合花岗岩夹极少变粒岩和浅粒岩组成。按现康定群所建层序, 本区为背斜构造, 轴向为 350° ~ 170° 方向, 核部为咱里组, 翼部为冷竹关组。根据断裂特征, 交截状况及与成矿的关系, 区内断裂至少可划分为三期, 即成矿期前韧性剪切断裂: 该期断裂为 F1 和 F2 两断裂; 成矿期的韧-脆性断裂: 该期断裂规模较大者有 F4 和 F5 等断裂; 成矿期后脆性断裂: 该期断裂中以 F11、F13、F14、F16 等规模较大。区内除前震旦纪大规模的基性-中酸性火山喷发外, 澄江期后岩浆活动, 仅有文象花岗岩和极少细晶岩、变辉绿岩脉。

#### 1.2 金矿带特征

区内有两条金矿(化)带, 主要为受 F1 剪切带控制的 I 矿化带, 其次为受 F2 剪切带控制的 II 矿化带。I 矿带沿 F1 剪切带, 总体由南往北顺倾斜展布, 与 F1 剪切带产状一致, 长度 1260 m, 地表出露高程 3170 ~ 2590 m, 高差 580 m。受中段成矿后的 F11、F15 和 F16 等断层错断位移, 而分为南、中和北三段, 矿带南延出矿区, 北延至 PD10 北侧被第四系所覆盖。矿带由绢云绿泥千糜岩和石英脉体组成, 厚度 1.60 ~ 22.50 m, 其中千糜岩呈似层状,

收稿日期: 2016-12-06

基金项目: 四川矿产资源研究中心资助项目 (SCKCZY2016-ZC03); 四川省教育厅科研项目资助

作者简介: 何阳阳 (1984-), 男, 博士, 讲师, 主要从事矿产勘查研究工作。

厚度 1.20 ~ 13.76 m; 石英脉体则呈规模不等的透镜体或似层状, 厚度 0.2 ~ 17.3 m。I 矿带由南至北主矿带中, 有石英脉体 9 个, 南段分枝矿带中有一个, 共计 10 个。石英脉体长度 44 ~ 379 m, 延深多为隐伏状, 斜长 40 ~ 380 m, 以北段 q8 脉体规模最大, q5 和 q2 的规模最小。q4、q5、q7、q8 和 q10 等 5 个石英脉体中赋存有金矿体, 余者仅具有金矿化, 多属单脉型, 边部呈不规则波状或港湾状、分枝状。脉中含有千糜岩或斜长角闪岩的不规则条带、薄层及团块。石英脉为乳白、灰白或淡黄色, 多呈粒状镶嵌结构, 块状构造, 组成矿物以石英为主, 一般占 90% 以上, 含少量绢云母、铁白云石和黄铁矿及其它硫化矿物。

II 矿带位于 I 矿带南段东侧, 相距 70 ~ 125 m。受 F2 剪切断裂控制, 近南北向延伸, 出露长度 330 m, 南高北低, 出露高程 2960 ~ 2910 m, 倾向 238° ~ 262°, 倾角 42° ~ 54°, 矿化带厚度 4.12 ~ 8.41 m, 主要由铁白云石化千糜岩和夹于其中的一个长 160 m, 厚度 1.0 ~ 1.2 m 的石英脉组成, 矿化带铁白云石化蚀变强烈, 地表含金品位较低, 未达到边界品位。

### 1.3 矿体特征

矿区内共圈定有 3 个金矿体, 均赋存于 I 号矿带内的石英脉体中, 其中北段的 I N 为主要矿体, 南段的 I S 和 II 为 2 个小矿体。

I N 号矿体赋存于 I 号矿带北段, 金矿化于脉体上下盘较强, 中部矿化稍弱, 由南往北顺倾斜出露, 半隐伏于地下, 南面以 F15 断层为边界, 北延至 PD10 北侧, 目前由 PD6、PD7、PD8、PD9、PD10 等工程控制, 倾斜延深 320 m, 控制长度约 60 m, 见矿标高 2890 ~ 2570 m, 矿体形态简单, 为似板状或扁豆状。沿倾斜方向的下部还未控制其边界; 工程中矿体厚度 3.28 ~ 7.81 m, 厚度变化系数为 54% ~ 149%, 平均 5.23 m; 金品位 2.76 ~ 6.45 × 10<sup>-6</sup>, 平均 4.42 × 10<sup>-6</sup>, 品位变化系数: 9% ~ 465%。I S 号矿体位于 I 矿带南段中部, 露头长 165.00 m。矿体倾斜延深 74 m, 厚度 0.72 ~ 6.10 m, 平均 3.56 m, 金品位 0.39 ~ 29.50 × 10<sup>-6</sup>, 平均 15.09 × 10<sup>-6</sup>, 沿倾斜方向矿体厚度、品位变化较大, 连续性和稳定性差, 加之后期断层错切, 其形态复杂, 呈不规则的扁豆体。II 号矿体位于

I 号矿带中矿段, 夹持于 F4、F5 断层间的重复断块中, 长约 60 m, 见矿标高 2962-2915 m, 厚度 0.5 ~ 1.64 m, 平均 1.49 m; 金品位 1.85 ~ 26.40 × 10<sup>-6</sup>, 平均 9.06 × 10<sup>-6</sup>, 向北西倾伏, 矿体厚度由 2.66 m 渐变为 0.63 m, 呈透镜状。

## 2 矿石特征

### 2.1 矿物成分

矿区金矿石类型为硫化物石英脉型金矿石, 矿石由 95% ~ 97% 的非金属矿物和 3% ~ 5% 的金属矿物组成 (表 1)。金矿物主要为自然金和少量银金矿物; 金属矿物种类较多, 主要为黄铁矿, 次为黄铜矿, 含少量至微量辉铜矿、磁铁矿等; 非金属矿物中, 以石英为主, 占 80% 以上, 次要为绢云母、叶绿泥石和铁白云石, 含少量至微量的长石、电气石等。

其中, 自然金为金黄色, 形状呈薄片状、麦粒状、浑圆状和丝钩状、树枝状等, 部分表面有凹坑且卷曲; 具强金属光泽, 条痕金黄色, 硬度低, 延展性强; 反射率较高, 无内反射, 均质。区内黄铁矿多期形成, 分布广, 成矿期前生成的黄铁矿多呈立方体, 星散状或浸染状, 产于石英脉体边部, 围岩包裹体或围岩中, 颗粒粗大, 粒径 1 ~ 4 mm, 个别达 15 mm; 另见八面体黄铁矿, 仅局部见于石英脉下盘, 与绿泥石和铁白云石伴生, 一般粒径 1 ~ 2 mm, 最大 4 mm。成矿期黄铁矿为绿灰色, 含量 2.1% ~ 3.5%, 呈半自形-它形, 浸染状、斑杂状、团块状或细脉状, 分布于石英脉的上、下部, 及其中千糜岩残留体的外侧边部, 粒度较细呈粉末状, 粒径 0.005 ~ 10 mm, 一般 0.5 ~ 1 mm, 裂隙中赋存有自然金, 系区内主要载金矿物。石英系主要载金矿物, 热液石英占矿石矿物总量的 70% ~ 95%, 为乳白、灰白、浅黄等色, 呈它形粒状, 不等粒交生镶嵌结构, 块状、斑杂状、角砾状和条带状等构造; 粒径 0.5 ~ 10 mm, 局部以巨晶为主, 颗粒边缘呈缝合线、锯齿状或港湾状; 受构造挤压, 碎裂强烈, 裂隙发育; 普遍具亚裂纹, 叠瓦状波状消光和条带状、菱形交叉变形纹; 碎粒石英再结晶, 又被压扁、拉长而定向排列; 充填于它形黄铁矿粒间, 常与绢云母伴生的石英, 呈它形粒状, 变余砂状或亚颗粒

结构, 粒径 1 mm 左右, 团块状或细脉状分布; 石英裂纹中有金属硫化物和自然金, 绢云母、绿泥石和碳酸盐等矿物充填, 成透镜体和脉体或网脉产出。

表 1 三碛金矿石矿物成分组成

Table 1 Mineral composition of the Sandiao gold ore

含量	金矿物	金属矿物 (总量 3%~5%)	非金属矿物 (95%~97%)
主要	自然金	黄铁矿	石英
次要		黄铜矿	绢云母、叶绿泥石、 铁白云石
少量	银金矿	辉铜矿、斑铜矿、 闪锌矿、磁铁矿、 磁黄铁矿等	中长石、白云母、 黑云母、钠长石、 电气石等
微量		方铜矿、赤铁矿、 碲银、碲铅矿等	方解石、楣石、金 红石、石榴石、锆 石等

表 2 石英脉常量元素分析结果 /%

Table 2 Major element analysis results of the quartz vein

名称	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	S	Au*
硫化物石英脉型	82.87	0.13	1.64	10.07	0.99	0.02	0.12	0.10	0.06	0.48	0.08	2.69	4.40	7.50
贫金石英脉	86.48	0.11	2.19	3.64	0.93	0.08	0.56	3.11	0.06	0.49	0.08	3.12	0.02	0.06

\* 单位为 g/t

### 3 金的赋存状态

矿石中金含量的高低和赋存状态是衡量含金矿体工业价值大小的标准, 而对矿石中的金进行化学物相分析是查明金赋存状态的重要手段<sup>[10]</sup>。金在自然界主要以细小自然金状态存在于各种脉石矿物或载体矿物中, 因此金矿石中金的化学物相分析主要是分析金在各种矿物中的比例<sup>[11]</sup>。金矿石化学物相分析不仅广泛应用于找矿勘探和矿床评价, 而且在资源的综合利用方面起到了举足轻重的作用。

每一个金矿床中的金都存在一定的粒度分布范围, 这个范围对矿床的成因具有指示意义, 同时也是确定磨矿细度和选矿方法的重要依据<sup>[12-13]</sup>。矿床形成时的物理化学条件对金的粒度影响较大, 通常认为裂隙金、粒间金在交代作用下形成, 正常结晶的金粒粒度大小与结晶条件密切相关, 而

### 2.2 矿石结构与构造

矿石结构主要为自形-半自形粒状、碎裂状、填隙或镶嵌状等结构; 矿石构造以脉状、网脉状和斑杂状、角砾状、浸染状构造为主。岩石致密块状, 性硬而脆, 裂隙发育, 含金品位一般较富, 最高可达 18.9 g/t, 一般都在 3 g/t 以上。

### 2.3 矿石化学成分

矿石化学组分以 SiO<sub>2</sub> 为主, 其次为 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、S 等, CaO、MgO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O 等较低。与贫金石英脉比较, 表明在金矿富集过程中, SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO 等均有减少, TiO<sub>2</sub>、MnO、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O 等变化不大, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、S、Au 等则有明显的增高(表 2)。

被硫化物包裹金和泥质碳吸附金的粒度细微, 常由胶体凝聚形成<sup>[14-15]</sup>。三碛金矿物粒度测量结果见表 3, 据统计, 该矿石中金矿物粒级主要以细粒金为主, 占有率为 52%, 中粒金、微粒金次之。根据测量结果, 认为三碛金矿金的沉淀方式以交代作用为主, 它位于大渡河剪切带的旁侧, 成矿流体和物质可沿裂隙上升运移并与围岩之间发生物质和能量的交换, 进而沉淀富集成矿。

表 3 金矿物粒度测量结果

Table 3 Particle size measurement results of the gold mineral

名称	粗粒	中粒	细粒	微粒	合计
粒级 /mm	> 0.075	0.075 ~ 0.037	0.037 ~ 0.01	< 0.01	-
比例 /%	-	20.50	52.00	27.50	100.00

金矿物的形态尽管十分复杂, 但总体上有粒状、片状、树枝状 3 种基本类型<sup>[13]</sup>, 三碛矿区的金矿物主要呈粒状, 其形态测量结果见表 4, 角粒

状和长角粒状所占比例分别为 47.5% 和 30%，其他形态较少。

表 4 金矿物形态测量结果

Table 4 Shape measurement results of the gold mineral

形态特征	麦粒状	浑圆粒状	角粒状	长角粒状	其他	合计
含量 /%	6.50	5.00	47.50	30.00	11.00	100.00
比例 /%	-	20.50	52.00	27.50	100.00	

自然金是我国岩金矿床中最主要的金矿物，孟繁聪等<sup>[16]</sup>认为自然金的成色与矿床形成深度、围岩性质、变质程度、成矿温度、成矿热液性质、矿化阶段等多种要素相关；张振儒等<sup>[17]</sup>认为矿床形成深度大，成矿温度高，金的成色也高。自然金的电子探针成分测定结果见表 5，可以看到

自然金较纯，含 Au 为 94.46%，成色高（946），含杂质以 Ag 为主，Fe、Te、Sb、Cu、S 等少量。由此反映出三碲金矿的形成温度较高，深度较深。

表 5 金矿物电子探针成分测定结果

Table 5 Electron probe test of the gold mineral

Au	Ag	Te	S	Sb	Fe	Cu	成色
94.46	4.84	0.12	0.01	0.10	0.17	0.11	964
所占比例 /%	-	20.50	52.00	27.50	100.00		

金的化学物相分析结果见表 6，金主要有 3 种嵌布类型，分别为游离形式、包裹金、其他形式。其中，以游离形式存在的金为主，占有率为 79.3% ~ 91.2%；包裹金次之，所占比例为 3.0% ~ 14.6%，其它金约为 4.1% ~ 10.3%。

表 6 金的化学物相分析结果 /10<sup>-6</sup>

Table 6 Phase analysis of the gold ore /10<sup>-6</sup>

样号	游离明金	游离细微金	黄铁矿包裹金	碳酸盐包裹金	石英和硅酸盐包裹金	褐铁矿包裹金	其他金	合计	游离金所占比例 /%	包裹金所占比例 /%	其他金所占比例 /%
PD6H36	1.85	3.20	0.82	0.000	0.061	0.046	0.393	6.37	79.3	14.6	6.1
PD7H8	1.64	4.32	0.40	0.013	0.041	0.036	0.280	6.73	88.6	7.3	4.1
PD8H28	2.28	1.56	0.23	0.033	0.061	0.080	0.486	4.73	81.2	8.5	10.3
PD9H19	2.67	1.09	0.21	0.052	0.061	0.000	0.307	4.39	85.6	7.4	7.0
PD10H18	2.74	7.57	0.22	0.046	0.041	0.032	0.651	11.30	91.2	3.0	5.8

测试单位：西南冶金地质测试中心

### 4 结 论

(1) 三碲金矿区金矿石类型为硫化物石英脉型金矿石，矿石中金属矿物含量约占 3% ~ 5%，主要为黄铁矿、黄铜矿等；非金属矿物约占 95% ~ 97%，主要为石英、绢云母等。

(2) 矿石中金矿物粒径集中在 0.037 ~ 0.01 mm 之间，主要为细粒金，占有率为 52%，指示三碲金矿金的沉淀方式以交代作用为主。

(3) 金矿物形态主要呈角粒状，所占比例为 47.5%；自然金较纯，含 Au 为 94.46%，成色高（946），指示三碲金矿的形成温度较高，深度较深。

(4) 物相分析表明，金主要以游离形式存在，占有率为 79.3% ~ 91.2%；包裹金所占比例为 3.0% ~ 14.6%，其他金约为 4.1% ~ 10.3%；矿石细磨能提高金的选别指标。

### 参 考 文 献：

[1] 四川省康定县三碲金矿详查地质报告[R]. 成都：四川省地质矿产勘查开发局四〇二地质队, 2015.

[2] Liipo J. Characterization of the mode of occurrence of gold in Joki- sivu pilot feed and products[J]. Minerals Engineering, 2003,16(11):1317-1321.

[3] Connor C T, et al. The foliation of gold bearing ores-a review[J].Minerals Engineering,1994,7(7):839-849.

[4] Hausen D M. Characterizing the textural features of gold ores for optimizing gold extraction[J].Miner. Met. Mater. Soc.,2000,52(4):14-16.

[5] Allan G C, Woodcock J T. A review of the flotation of native gold and electrum[J]. Minerals Engineering,2001,14(9):931-962.

[6] Hallbauer, D. K. , Joughin, N. C. The size distribution and morphology of gold particles in Witwatersrand reefs and their crushed products[J]. S. Afr. Inst. Min. Metall.1973,73:395-405.

[7] Zhou J Y, Cabri L J. Gold process mineralogy: objectives, tech-niques, and applications[J]. Miner. Met. Mater. Soc.,

2004,56(7): 49-52.

[8] 肖骏, 房朝军, 陈代雄, 等. 河南某石英脉型金矿选矿技术 [J]. 矿产综合利用, 2015 (4): 73-77.

[9] 李晓峰, 毛景文, 王登红, 等. 四川大渡河金矿田成矿流体来源的氩氩硫氢氧同位素示踪 [J]. 地质学报, 2004,78(2):203-210.

[10] 王峰, 郭茂生, 王凯, 等. 金矿石化学物相分析标准物质的研制 [J]. 2006,25(3):263-269.

[11] 王海军, 权斌, 宁新霞, 等. 金化学物相分析的准确测定与进展 [J]. 2013,22(1):103-107.

[12] 刘家军, 郑明华. 拉尔玛层控金矿床中金的赋存状态研

究 [J]. 黄金, 1994,15(11):7-12.

[13] 梁俊红, 刘海波, 王建国. 自然金的标型及成色特征在金矿床研究中的意义 [J]. 黄金, 2000,21(12):1-5.

[14] 张江华, 王葵颖, 赵阿宁, 等. 小秦岭金矿区水系沉积物重金属特征研究 [J]. 中国地质, 2013,40(2): 602-611.

[15] 杨隆勃, 刘家军, 王建平, 等. 陕西略阳铍厂沟金矿床金的赋存状态研究 [J]. 现代地质, 2013,27(2):303-313.

[16] 孟繁聪, 孙岱生, 寸珪. 胶东金矿成色及其指示意义 [J]. 黄金地质, 1998,4(4):31-33.

[17] 张振儒, 杨思学. 金的成色研究 [J]. 地质与勘探, 1986,22(11):36-37.

## Gold Occurrence of the Sandiao Gold Deposit in Kangding

He Yangyang<sup>1,2</sup>, Zhou Yu<sup>3</sup>, Zhao Lin<sup>2</sup>, Zhang Rui<sup>2</sup>

(1. School of Geography & Resource Science, Neijiang Normal University, Neijiang, Sichuan, China;

2. No.402 Geological Team, Sichuan Bureau of Geology & Mineral Resources, Chengdu, Sichuan, China;

3. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Chengdu, Sichuan, China)

**Abstract:** The occurrence of gold in the sandiao gold deposit is discussed. Through the analysis of field investigation, laboratory test and indoor comprehensive study, The mineral composition, chemical composition, ore structure, ore size, mineralogy, mineral composition and the type of gold mineral are identified. The results show that the gold minerals in the ore are mainly in the form of granulite, accounting for 47.50%; the proportion of fine gold is 52%, indicating that the gold deposit of sandiao is mainly metasomatic (94.46%), indicating that the formation temperature of sandiao gold deposit is higher and the depth is deeper; gold is mainly in the free form, the share is 79.3% ~ 91.2%, the fine grinding of ore can improve the gold Selection of indicators.

**Keywords:** Occurrence state; The Sandiao gold deposit; Kangding

//////////  
(上接 136 页)

## Rheological Properties of Filling Slurry in Pipeline Transportation for the Total Tailings Angang Mine

Qu Liang<sup>1</sup>, Yang Xiaobing<sup>1</sup>, Wang Zhonghong<sup>2</sup>, Gao Qian<sup>1</sup>

(1. University of Science and Technology of Beijing, Beijing, China;

2. Institute of design and Research of Angang Mine. Anshan, Liaoning, China)

**Abstract:** Based on the principle of Bingham fluids hydrodynamics, tests with gravity filling slurry flow of Angang Mine through an L-shaped pipe were carried out, so as to study the rheological properties of filling slurry and the pipeline transportation ability. The experiments measured the rheological properties of filling slurry with cement-to-sand ratio of 1:6, 1:8, 1:10 and the concentration of 66%, 68%, 70%, and 72%. The results indicated that cement-to-sand ratio and concentration have greater influence on the yield stress, viscosity coefficient and the pipeline resistance than concentration. The better parameter for the Angang Mine is concentration 70%, binder consumption is 11%, stowing gradient 3.29 at most and pipeline resistance 7.02kPa/m. the research results not only provide basis for the design for filling system of Angang Mine, but also provide a reference for other Mine which has similar circumstances.

**Keywords:** Total tailings; Filling slurry; Bingham fluids; Pipeline transportation; Rheological properties