

## 四川大渡河流域偏岩子金矿床地质特征及金的赋存状态

张燕<sup>1</sup>, 李引<sup>1</sup>, 尹鑫<sup>1</sup>, 陈翠华<sup>1</sup>, 王嘉欣<sup>1</sup>, 杨玉龙<sup>1</sup>, 邹发<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059; 2. 贵州省黔南州福泉市工业和信息化局, 贵州 福泉 550500)

**摘要:** 偏岩子金矿床位于康滇地轴北端的大渡河成矿带上, 是世界上稀有的氟镁石型金矿床。产于上震旦统灯影组中, 矿物的组成比较丰富, 已查明的矿物多达 50 多种。矿石类型以氟镁石-石英型为主, 矿体同时受到地层和构造的双重控制。通过电子探针 (EPMA)、扫描电镜 (SEM) 等测试, 发现载金矿物以氟镁石、黄铁矿、黝铜矿等矿物为主; 按照金的化学状态可将金的赋存状态分为独立矿物、络合物和晶格金这三大类, 按照金与载体矿物之间的嵌布关系可分为有包裹金、裂隙金和晶隙金这三大类, 金的粒度跨度较大, 主要集中在 2~10  $\mu\text{m}$ , 属于明金、显微金。

**关键词:** 大渡河流域; 偏岩子金矿床; 载金矿物; 赋存形式

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2022.01.006

中图分类号: TD952;P574.1; 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2022) 01-0042-06

大渡河成矿带地处康滇地轴北端, 印度板块、华北板块和扬子地台的接合部位之间, 研究程度高, 是我国重要的金成矿富集区。该地区形成了以偏岩子金矿床、一柱香金矿床、二里沟金矿床、灯盏窝金矿床、黄金坪碛金矿床、狮子岩金矿床、韭菜坪金矿床、水堆窝金矿床等典型矿床为代表的大小 60 余处矿床 (矿点), 组成了有名的康定大渡河“金谷”<sup>[1-3]</sup>。偏岩子金矿床的最主要特征为含有大量氟镁石和硫酸盐矿物, 这种规模大小的氟镁石型金矿床在国内外均属罕见。自发现以来不少学者该矿床进行了详细的研究, 如矿物学特征<sup>[4-5]</sup>、沉淀机制、构造特征<sup>[6]</sup>、成矿机理<sup>[7]</sup>等。金的赋存状态研究一直是金矿床学研究的热点, 其能够为成因矿物学提供重要的信息<sup>[8-9]</sup>, 为研究矿床的来源提供直接或间接的证据<sup>[10]</sup>。

## 1 矿床地质特征

偏岩子金矿床地理上位于四川省康定市城

南, 距离市区 4 km, 大地构造位置处于康滇地轴北缘。区域内构造复杂, 断层、褶皱广泛发育, 构造运动控制着岩浆活动与成矿。主要矿体均分布在郭达山断裂两侧, 在国内外均属罕见的氟镁石型金矿床<sup>[5-6]</sup>。

### 1.1 地层

矿区内主要出露前寒武系康定杂岩体和上三叠—下侏罗统地层。最主要的赋矿地层为震旦系灯影组 ( $Z\in d$ ), 此外有部分矿体产出于泥盆系、志留系和上三叠—下侏罗统的寒风垭组 ( $T_3h$ ) 等地层中。

灯影组 ( $Z\in d$ ): 为一套灰至灰白色的浅海—潮坪相碳酸盐地层, 主要由灰白色中—厚层状白云岩夹少量燧石层构成, 其细晶白云岩以及富藻白云岩是矿区主要的赋矿层位。

寒风垭组 ( $T_3h$ ): 分布在矿区南东侧, 为一套灰至灰黑色的浅海碎屑岩地层, 受到了较低程度的变质作用, 主要岩性为碳质绢云千枚岩与碳

收稿日期: 2020-03-12; 改回日期: 2020-04-18

基金项目: 四川省教育厅科技计划项目《大渡河流域战略资源碛的工艺矿物学研究》(2018JY0477); 国家自然科学基金项目《热流体作用及其铅锌成矿和油气成藏效应——以四川盆地震旦系富有机质碳酸盐岩型铅锌矿床为例》(41372093) 共同资助

作者简介: 张燕 (1987-), 女, 博士, 矿物学、岩石学、矿床学专业。

通信作者: 陈翠华 (1972-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事矿床学、矿相学、地球化学、工艺矿物学研究

质砂板岩互层<sup>[11]</sup>。

### 1.2 矿体特征

偏岩子金矿床受地层层位和断裂的双重控制，使得矿体在地表仅有少量出露，隐伏在地表之下的矿体占矿体总量的绝大部分。由于偏岩子金矿床独特的构造位置，矿体产状与地层产状基本一致，整体上呈带状近南北向分布。矿体走向约 5~10°，整体为 NNE-SSW 向，倾角约 35~65°。矿体宽度从北至南相差较大，北部矿体最大宽度大于 100 m，南部矿体宽度最窄仅有 15 m，南北之间的高度差为 380 m。矿体主要产于震旦系灯影组白云岩中，形态主要呈脉状、网脉状。金的品位约为 6.80~18.28 g/t<sup>[12]</sup>。区内发育了一系列断层和褶皱，主要矿体均分布在主大断裂和次级断裂的交汇部位，对成岩成矿起了主导性控制作用（图 1）<sup>[13]</sup>。

含金矿体与围岩白云岩在空间上界限不清楚，不易在野外圈定矿体，在矿体的周围发现有基性的辉绿岩侵入。

### 1.3 矿石特征

偏岩子金矿床的矿石种类有 5 种，分别为氟镁石型、褐铁矿型、矿化蚀变型、多金属硫化物—石英—氟镁石型以及石英—黄铁矿型，其中氟镁石型是最主要的矿石类型。矿床中矿物种类多且复杂，前人已鉴定出的矿物种类就多达五十多种<sup>[14]</sup>。其中金属硫化物矿物主要为黄铁矿，硫盐矿物包括方铅矿、达硫锑铅矿、黝铜矿、车轮矿等，脉石矿物有氟镁石、石英、白云石、萤石等<sup>[15]</sup>，氧化物主要为受后期风化作用而形成的次生褐铁矿。矿化围岩主要由白云石和少量黄铁矿组成，其中黄铁矿化与矿化关系最为密切。

## 2 金的赋存状态

### 2.1 测试方法

本次测试的样品主要为富集黄铁矿、黝铜矿等金属矿物的矿石，通过对样品手标本及高倍显微镜下光薄片的观察，划分出不同类型的矿石类型，结合电子探针（EPMA）、扫描电镜（SEM）等现代测试分析方法，从而进一步确定偏岩子金矿床中金元素的赋存状态。电子探针测试和扫描电镜测试均在成都理工大学地球科学学院电子探针实验室完成，测试仪器型号为 EPMA-1720 型电子探针和 Nova Nano SEM450 型扫描电镜，电子束

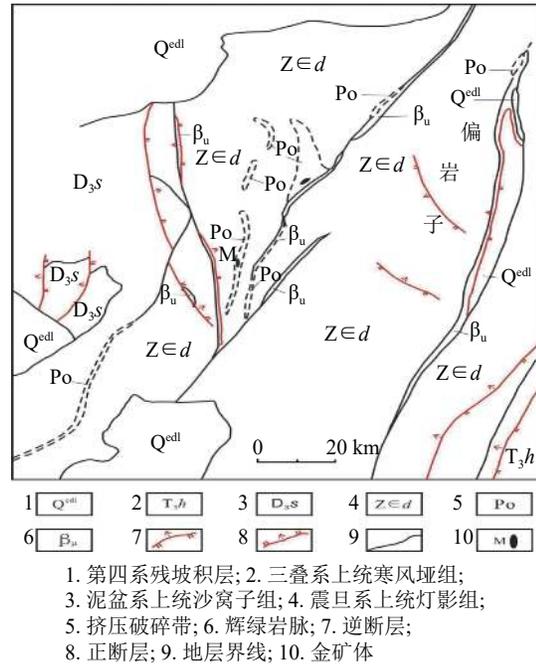


图 1 偏岩子金矿地质简图

Fig.1 Simplified geological map of Pianyanzi Au deposit

流范围 0.6 pA-200 nA，加速电压 50 V-30 kV，该仪器具有成像立体感强、空间分辨率高、测试精度高的特点。

### 2.2 金的赋存状态

金元素的化学性质虽然稳定，但在自然界中却能以不同形式存在，因此，金矿床的类型多且在自然界的赋存状态也十分多样。前人按照金的化学状态将金的赋存形式划分为独立矿物、胶体、络合物和晶格金四种形式<sup>[13,16]</sup>。通过对偏岩子矿床多块光片进行电子探针及扫描电子测试得出偏岩子金矿床中金的赋存形式主要呈独立矿物、络合物和晶格金存在。

**独立矿物形式：**对矿石进行 SEM 扫描观察后发现了以独立矿物形式存在的粒状明金颗粒。颗粒多呈它形不规则状、椭圆状，粒度较小，多在 5~20 μm 范围内，不均匀的分散于黄铁矿、黝铜矿的颗粒内、裂隙间以及矿物边缘（图 2）。

**络合物形式：**电子探针数据分析结果（表 1）表明 As 的范围为 0.469%~8.566%，Au 的变化区间为 0.029%~0.11%。将黄铁矿的电子探针数据投入 log As-log Au 关系图中，结果显示投点均位于溶解度曲线下方，表明黄铁矿中的金以固溶体络合物的形式存在<sup>[17]</sup>（图 3）。

**晶格金形式：**电子探针测试结果表明（表 1），矿物组成成分较复杂，除了 Au、Ag、Fe、Cu 等

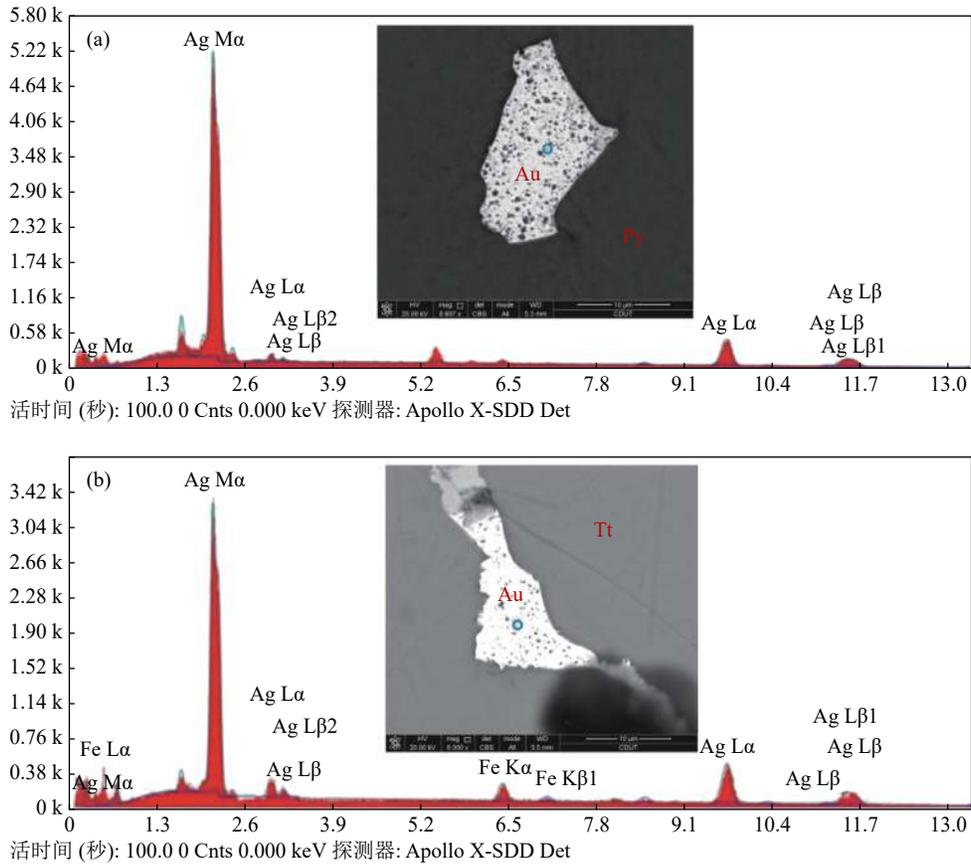


图2 黄铁矿 (a)、黝铜矿 (b) 中 Au 颗粒扫描电镜图像及能谱分析  
 Fig.2 SEM and energy spectrum analysis of Au particles in pyrite and tetrahedrite

金属元素以外，还有少量 Sb、As、S 等元素。其中黄铁矿中 Au 的平均含量为 0.050%，Ag 的含量较低；黝铜矿中 Au 的平均含量为 0.052%，Ag 的平均含量为 0.658%。与此同时偏岩子流体包裹体测试表明金的成矿温度主要为中低温（120~240℃）<sup>[18]</sup>。成矿热液在相对低温（<300℃）条件下，快速形成的黄铁矿其表面具较多的空穴和缺陷，可以使 Au 以 Au<sup>+</sup>形式进入到矿物中<sup>[19]</sup>，故推测晶格金的形成机理为黝铜矿中的部分 Sb 被 As 替代，然后 Au 通过类质同像形式取代 As 在黝铜矿晶格中的位置，从而形成晶格金。

### 2.3 金的嵌布形式

在扫描电镜下，对载金矿物及自然金的观察，发现金和载体矿物之间的嵌布形式有包裹金、裂隙金及晶隙金这三种形式。

**包裹金：**成矿早期，金被包裹在黄铁矿、黝铜矿内部（图 4a），多呈粒状规则的分布，颗粒较小。

**粒间金：**主要呈它形不规则或不连续脉状分布在黝铜矿、黄铁矿等载金矿物颗粒之间

（图 4b），也被称为晶隙金。粒间金的粒度是这三种自然金嵌布形式中最大的，最大粒度达 2 mm，肉眼明显可见。

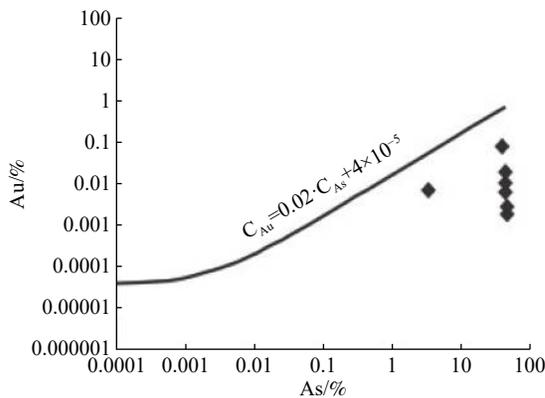
**裂隙晶：**在成矿中期，随着热液温度的降低开始出现黝铜矿，此时的金主要呈树枝状或脉状分布在结晶中的黝铜矿裂隙间，总体来说，裂隙金的粒径略大于包裹金的粒径（图 4c）。

### 2.4 金的形态及粒度

金的粒度在矿床中变化极大，根据金的颗粒粒度大小<sup>[20]</sup>划分出以下三种类别：明金（>2 μm）、显微金（0.2~2 μm）、次显微金（<0.2 μm）。在扫描电子显微镜下，针对载金矿物中金的状态、粒度进行了观察及统计（表 2），发现金的颗粒粒度变化区间较大，从 1.5~50 μm 不等，主要集中在 2~10 μm。其中黄铁矿中的金颗粒主要为粒状，大小 2~6 μm 为主，个别大于 10 μm；黝铜矿中的金颗粒呈不规则状，粒度主要在 7~15 μm 之间。粒度统计结果该金矿床金的形态属显微金、明金的结论一致<sup>[20]</sup>。

表1 电子探针分析结果/%  
Table 1 EPMA results

样品	As	Pb	S	Au	Fe	Se	Mo	Ni	Ag	Cu	Zn	Bi	Sb	Te	Total	分子式及矿物名称
1-1	0.79		47.55	0.11	48.923	0	0.458	0	0.01	0.054		0.161	0.002	0	98.057	Fe <sub>1.18</sub> As <sub>0.014</sub> S <sub>2</sub> (黄铁矿)
1-2	0.469		49.257	0.041	48.96	0.009	0.446	0	0	0		0.07	0	0.009	99.263	Fe <sub>1.14</sub> As <sub>0.008</sub> S <sub>2</sub> (黄铁矿)
2-1	0.868		48.784	0	45.981	0.005	0.478	0	0	0.055		0.238	0	0	96.41	Fe <sub>1.08</sub> As <sub>0.015</sub> S <sub>2</sub> (黄铁矿)
2-2	0.599		49.171	0.047	49.29	0	0.683	0	0	0.008		0.175	0	0.015	99.987	Fe <sub>1.14</sub> As <sub>0.010</sub> S <sub>2</sub> (黄铁矿)
4-1	2.527	41.081	17.308	0	0.021	0.032	0.274	0	0.181	12.687	0.06	1.249	19.603	0	95.022	Cu <sub>1.11</sub> Pb <sub>1.11</sub> (Sb <sub>0.90</sub> As <sub>0.18</sub> ) <sub>1.08</sub> S <sub>3</sub> (车轮矿)
4-2	3.033	41.657	17.452	0	0.044	0.074	0.244	0	0.055	12.067	0.055	0.727	19.204	0	94.613	Cu <sub>1.05</sub> Pb <sub>1.11</sub> (Sb <sub>0.87</sub> As <sub>0.21</sub> ) <sub>1.08</sub> S <sub>3</sub> (车轮矿)
4-3	2.487	39.696	17.329	0.161	0	0	0.2	0	0.12	12.651	0.013	1.169	19.956	0	93.782	Cu <sub>1.11</sub> Pb <sub>1.05</sub> (Sb <sub>0.90</sub> As <sub>0.18</sub> ) <sub>1.08</sub> S <sub>3</sub> (车轮矿)
4-4	5.885	0.038	22.861	0.029	0.284	0	0.269	0	0.713	37.506	6.663	0.075	20.197	0	94.519	(Cu <sub>10.76</sub> Zn <sub>1.86</sub> )(Sb <sub>3.02</sub> As <sub>1.43</sub> )S <sub>13</sub> (黝铜矿)
4-5	8.566	0	23.516	0.075	0.376	0.006	0.226	0	0.603	37.75	7.594	0	15.958	0	94.67	(Cu <sub>10.76</sub> Zn <sub>1.86</sub> )(Sb <sub>3.02</sub> As <sub>1.43</sub> )S <sub>13</sub> (黝铜矿)
5-1	0.696	33.679	17.311	0	0.017	0.057	0.186	0	0.427	2.292	0	12.084	26.984	0	93.734	Cu <sub>1.94</sub> Pb <sub>8.73</sub> Bi <sub>3.11</sub> (Sb <sub>11.9</sub> As <sub>0.5</sub> )S <sub>29</sub> (达硫锑铅矿)
5-2	0.803	33.812	17.542	0	0.032	0.034	0.305	0.049	0.423	2.852	0	12.139	27.374	0	95.366	Cu <sub>1.94</sub> Pb <sub>8.73</sub> Bi <sub>3.11</sub> (Sb <sub>11.9</sub> As <sub>0.5</sub> )S <sub>29</sub> (达硫锑铅矿)
5-3	1.029	32.67	17.953	0	0.034	0.018	0.212	0.022	0.691	2.485	0	10.72	29.203	0	95.037	Cu <sub>1.94</sub> Pb <sub>8.73</sub> Bi <sub>3.11</sub> (Sb <sub>11.9</sub> As <sub>0.5</sub> )S <sub>29</sub> (达硫锑铅矿)
5-4	2.411	41.349	16.975	0	0.008	0.001	0.291	0	0.273	12.875	0	1.004	19.895	0	95.083	Cu <sub>1.14</sub> Pb <sub>1.13</sub> (Sb <sub>0.92</sub> As <sub>0.18</sub> )S <sub>3</sub> (车轮矿)
5-5	2.619	41.601	17.282	0	0.018	0	0.233	0	0	12.417	0	0.528	20.242	0	94.941	Cu <sub>1.08</sub> Pb <sub>1.12</sub> (Sb <sub>0.92</sub> As <sub>0.19</sub> )S <sub>3</sub> (车轮矿)



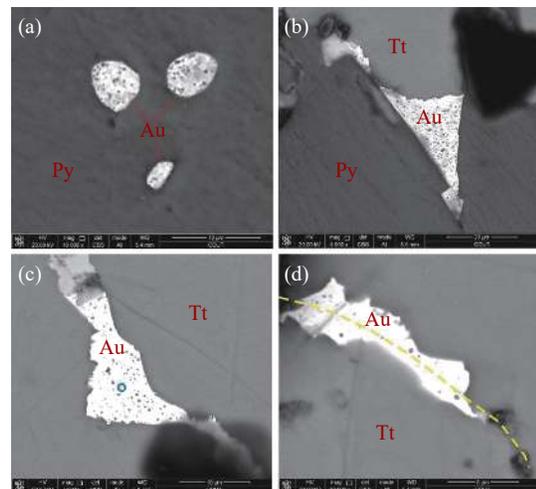
图中溶解度曲线根据 Au 在含砷黄铁矿中的溶解极限公式

$$C_{Au} = 0.02C_{As} + 4 \times 10^{-5} (\%) \text{ 计算得出}$$

图3 偏岩子金矿床黄铁矿的 logAs-logAu 关系<sup>[17]</sup>  
Fig.3 Relationship between logAs and logAu of pyrite

### 3 载金矿物的特征

偏岩子矿床中的金非常分散，通过磨制矿石样品的光薄片并对其进行显微镜下观察鉴定，发现最主要的金属载金矿物为黄铁矿、黝铜矿，此外还有车轮矿、达硫锑铅矿等；非金属载金矿物包括石英、萤石、氟镁石等，其中以氟镁石为



a. 黄铁矿 (Py) 内的包裹金;  
b. 黄铁矿 (Py) 与黝铜矿 (Tt) 间的晶隙金;  
c、d. 黝铜矿 (Tt) 中的裂隙金

图4 金的嵌布特征

Fig.4 Embedded characteristics of gold

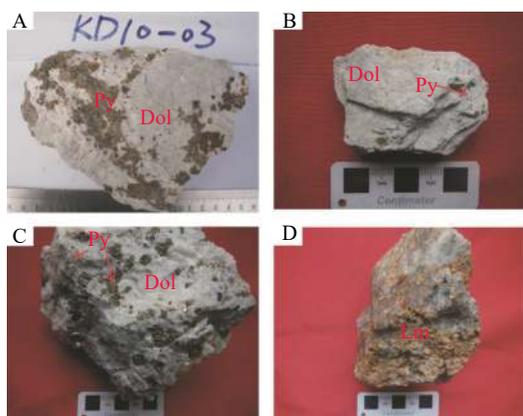
主；此外还有白铅矿、褐铁矿等氧化物载金矿物，但其金含量非常低。

黄铁矿：为该矿床中最主要的金属矿物，强金属光泽（受风化的黄铁矿金属光泽暗淡），多呈星散浸染状、团块状、星点状，多风化为褐铁

表 2 偏岩子矿床部分金的形态、粒度统计  
Table 2 Statistics of morphology and granularity of some gold in Pianyanzi Au deposit

赋矿矿物	形态	粒度
黄铁矿	椭圆粒状	4.8×3.2 μm
	圆粒状	6.2×1.5 μm
	圆粒状	6.5×4.9 μm
	短柱状	3.8×2.1 μm
	圆粒状	3.7×2.7 μm
	不规则粒状	7.0×6.8 μm
黝铜矿	不规则脉状	7.0×2.1 μm
	不规则脉状	14.9×3.8 μm
	树枝状	15.7×3.4 μm
	树枝状	9.9×2.2 μm

矿，风化严重的矿石可呈蜂窝状构造（图 5）。显微镜下反射色为亮黄色，粒径变化较大，主要集中在 0.1~10 mm，自形—半自形结构，晶型可见立方体与八面体。黄铁矿在整个成矿热液期均有产出，在矿床中的分布最为广泛，常与其他脉石矿物、金属硫化物及硫盐矿物共生。按照矿物的共生组合关系可将成矿过程划分为多个时期，不同时期的黄铁矿含金性大不相同。在成矿早期，由于成矿热液温度较高，形成的黄铁矿颗粒最大，其含金性最好，而到了成矿晚期，成矿热液温度降低，生成的黄铁矿颗粒较小，金含量最低。



A. 黄铁矿集合体浸染状分布于白云岩中;  
B. 黄铁矿在白云岩中呈星点状分布;  
C. 黄铁矿呈斑点状不均匀分布在白云岩中;  
D. 原生矿石强烈风化后形成蜂窝状构造

图 5 黄铁矿的构造特征

Fig.5 Structural characteristics of pyrite

黝铜矿：为偏岩子金矿床中最主要的硫盐矿物，手标本下多呈钢灰色，金属光泽弱，通常以集合体的形式呈团块状产出。在矿相显微镜单偏光下观察呈灰色，它形粒状结构，粒度通常较小，

最大粒度可达 0.5 mm，均质性，高倍镜正交偏光下可见极弱的红色内反射现象。主要产于中温、高温热液中，伴有石英、氟镁石等硫化物共生。

达硫锑铅矿：手标本中主要以块状集合体的形式呈脉状、团块状分布于白云石、石英等脉石矿物中。矿相显微镜单偏光下观察颜色呈灰绿色，非均性明显。

氟镁石：手标本下呈无色或白色，半透明，它形—半自形柱状，具玻璃光泽，硬度较低，解理发育<sup>[15]</sup>。在矿床中和金大量共生，是偏岩子金矿床中最主要的非金属载金矿物。

## 4 结 论

(1) 四川偏岩子金矿床中矿物由于多阶段的矿化作用，使其矿物种类多且复杂，已查明的就有 50 多种。矿石中主要的金属矿物为黄铁矿、达硫锑铅矿、方铅矿、黝铜矿等，主要的非金属矿物氟镁石、石英、萤石、白云石等。通过镜下鉴定表明，金的分布较为集中，氟镁石为该矿床的主要载金矿物，其次为黄铁矿、黝铜矿等。

(2) 通过电子探针 (EPMA)、扫描电镜 (SEM) 发现金的赋存形式主要为独立矿物、络合物和晶格金三种形式，金的赋存状态以单质和离子的形式存在；自然金主要以包裹金、裂隙金和晶隙金三种形式分布于不同矿物中，自然金的形态主要为粒状、不规则状、树枝状，粒度主要在 2~10 μm 范围内，属于明金、显微金。

## 参考文献:

[1] 闫升好, 杨建民, 王登红, 等. 大渡河金矿田喜马拉雅期成矿的 40Ar/39Ar 年龄依据及其意义 [J]. 地质学报, 2002, 76(3):384-388.  
YAN S H, YANG J M, WANG D H, et al. 40Ar/39Ar age basis and significance of Himalayan metallogenic metallogenesis in Daduhe gold ore field[J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(3):384-388.  
[2] 刘阳, 张成江. 四川大渡河金矿田辉绿岩的地质特征及意义 [J]. 矿物学报, 2015, s1:231-231.  
LIU Y, ZHANG C J. The Geological characteristics and significance of diabase in Daduhe gold field, Sichuan Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2015, s1:231-231.  
[3] 陈颖. 大渡河流域不同赋矿层位金矿床特征对比 [D]. 成都: 成都理工大学, 2015.  
CHEN Y. Characteristics comparison of gold deposits in different ore-bearing layers in Daduhe Basin [D]. Chengdu:

- Chengdu University of Technology, 2015.
- [4] 许红英, 张成江, 李俊国, 等. 四川康定偏岩子氟镁石金矿床的成矿机理[J]. 矿物学报, 2015(s1):637.
- XU H Y, ZHANG C J, LI J G, et al. Metallogenetic mechanism of pianyanzibrucite gold deposit in Kangding, Sichuan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2015(s1):637.
- [5] 罗鸿书等. 康定氟镁石金矿[M]. 成都, 四川科学技术出版社, 1987.
- LUO H S, et al. Kangding brucite gold deposit [M]. Chengdu, Sichuan Science and Technology Press, 1987.
- [6] 蔡建明. 四川偏岩子金矿床流体包裹体特点及其成矿意义[J]. 成都理工大学学报(自科版), 1988(3):12-19.
- CAI J M. A fluid inclusion study of the Pianyanzi gold deposit in Sichuan Province[J]. Journal of Chengdu University of Technology ( Natural Science Edition ), 1988(3):12-19.
- [7] 陈小婷. 四川大渡河金矿床成矿特征研究[J]. 世界有色金属, 2017(14):167-168.
- CHEN X T. Research on the met allogenic characteristics of a gold deposit in the Dadu River in Sichuan Province[J]. World nonferrous metals, 2017(14):167-168.
- [8] 王越, 王婧, 李潇雨, 等. 川西某金矿工艺矿物学研究及对选矿工艺的影响[J]. 矿产综合利用, 2021(4):206-210.
- WANG Y, WANG J, LI X Y, et al. Process mineralogy study of the gold deposit in Western Sichuan area and its influence on mineral processing technology[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(4):206-210.
- [9] 周利华, 陈晓芳, 苏好芸. 山西某斑岩型金矿工艺矿物学特性[J]. 矿产综合利用, 2020(3):143-147.
- ZHOU L H, CHEN X F. SU Y Y. Technological and mineralogical characteristics of a porphyry gold deposit in Shanxi Province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(3):143-147.
- [10] 魏旭, 李磊, 张青, 等. 安徽省蚌埠五河蓝天铜金矿床物质组分及赋存状态[J]. 矿产综合利用, 2021(4):188-192.
- WEI X, LI L, ZHANG Q, et al. Study on material composition and occurrence status of the copper-gold deposit in Lantian, Wuhe, Bengbu City, Anhui Province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(4):188-192.
- [11] LU Yan, Mao Y Y. Analysis of the characteristics of ore-controlling structures in KangdingPianyanzi golddeposit[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Natural Science Edition), 1988(2):14-22.
- [12] 李长山. 青海纳赤台金矿床和四川偏岩子金矿床地质特征及金的赋存状态研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- LI C S. A Study on Geological characteristics and occurrence state of au between nanchitai gold deposit in Sichuan and Pianyanzi gold deposit in Qinghai [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2015.
- [13] 杨元良. 四川康定偏岩子金矿床地质特征及成因初探[D]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- YANG Y L. Geological characteristics and genesis of Pianyanzi gold deposit in Kangding, Sichuan [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2016.
- [14] 刘英俊, 马东升. 金的地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1991.25-120.
- LIU Y J, MA D S. Geochemistry of gold [M]. The Science Publishing Company, 1991, 25-120
- [15] Reich M, Kealer S, Utsunomiya S, et al. Solubility of gold in arsenic pyrite[J]. Geochemicaet Cos-MochimicaActa, 2005, 69(11):2781-2796.
- [16] 邹发, 陈翠华, 黎洪秩, 等. 大渡河流域三碛金矿床矿石特征研究[J]. 矿物学报, 2015(s1): 192-193.
- ZOU F, CHEN C H, LI H Z, et al. Study on the ore characteristics of the Sandiao gold deposit in the Dadu River Basin[J]. Acta Mineralogica Sinica. 2015(s1): 192-193.
- [17] 张博, 李诺, 陈衍景. 热液矿床金的赋存状态及研究方法[J]. 地学前缘, 2018, 25(5): 251-265.
- ZHANG B, LI N, CHEN Y J. Occurrence state of gold in hydrothermal deposits and related research methods[J]. Earth Science Frontiers. 2018, 25(5): 251-265.
- [18] 卢晶, 王枫, 李磊, 等. 安徽省铜陵马山金硫矿床北段金矿物特征研究[J]. 矿产综合利用, 2020(5):115-119.
- LU J, WANG F, LI L, et al. Study on the characteristics of gold minerals in the northern segment of the Mashan gold-sulfur deposit in Tongling, Anhui Province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(5):115-119.
- [19] 郑大中. 金的若干迁移形式的探讨—兼论康定偏岩子氟镁石金矿床的成矿机理[J]. 四川地质学报, 1995(4):304-311.
- ZHENG D Z. A discussion into several migration forms of gold-on genetic mechanism of Pianyanzi sellaites-type gold deposit, Kangding[J]. Sichuan Geological Journal, 1995(4):304-311.
- [20] 张弘毅, 苏文超, 田建吉, 等. 贵州水银洞卡林型金矿床金的赋存状态初步研究[J]. 矿物学报, 2008, 28(1):17-24.
- ZHANG H T, SU W C, et al. The occurrence of gold at Shuiyindong carlin-type gold deposit in Guizhou[J]. Acta mineral alogicasinica, 2008, 28(1):17-24.
- [21] 马建秦, 李朝阳, 温汉捷. 不可见金赋存状态研究现状[J]. 矿物学报, 1999, 19(3):335-342.
- MA J Q, LI C Y, WEN H J. The status quo of research on the occurrence of invisible gold[J]. Acta mineral alogicasinica, 1999, 19(3):335-342.