

云南北衙铅矿氧化带含金性研究

赵晓鸥

(桂林冶金地质学院矿床室)

北衙铅矿位于云南省大理白族自治州。矿床氧化带发育,其中发现了自然金,构成氧化带型金矿。本文对氧化带中金的赋存状态及其矿化特点进行了研究,并探讨了金的次生富集机理。

关键词: 北衙铅矿; 氧化带含金性; 残留原生矿物; 自然金



氧化带的含金性,历来受到人们的重视。在当前找金的热潮中,研究氧化带的特征,查明它的含金性,更有其现实意义。

工程揭露的矿体均位于氧化带内。铅锌氧化矿体基本上就地氧化形成的,其形态受岩体、地层及构造控制。例如红泥塘7号和5号矿体,产于石英正长斑岩与碳酸盐岩的接触部位,呈狭长透镜状(图1)。7号矿体

矿区地质概况

矿区位于藏东—滇西成矿带中部,原生铅锌矿床的形成与喜山期中酸性斑岩有关。矿区出露地层为中三叠统碳酸盐岩,岩性简单。构造主要呈南北向展布,地貌上为一南北向盆地。矿区划分为东、西两带,本文研究的是西带的红泥塘和万礅山矿床。

本区属横断山脉纵谷区之中山盆地,气候属北亚热带与暖温带之间的过渡类型。

由于适宜的气候、围岩、构造、地形等条件,矿床发育了厚大的氧化带,氧化深度最大超过400m。由于氧化程度高,原生硫化矿物多遭破坏。原生载体矿物中的金被释放出来,在氧化矿体的适当部位,构成次生富集体。银也发生了一定程度的富集。

氧化带的形态及分带特征

1. 氧化带的形态

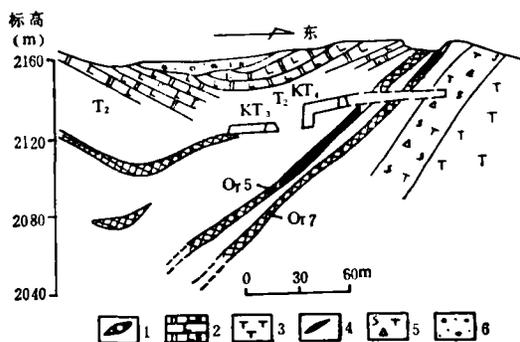


图1 红泥塘7、5号氧化矿剖面图

- 1—氧化矿体; 2—铁化白云岩;
- 3—斑岩; 4—含金矿体;
- 5—破碎带; 6—浮土

西倾,倾角 $32\sim 68^\circ$,走向延长300m左右,倾斜延长390m左右,平均厚8.6m,最大厚度可达33m; 5号矿体向北西倾斜,倾角 $30\sim 35^\circ$,走向延长300m,倾斜延长340m,平均厚度近5m,最厚28m。在万礅山可见到与地层产状一致的氧化矿体(图2)。此外,几个大的氧化矿体常沿北西和北北西向断裂分布,呈脉状和柱状产出。由于氧化条件的

不均匀性,导致局部有次生膨大或缩小现象,使氧化带形态变得复杂。至于氧化带的地表部分,则多呈零星分布的铁帽,形态不

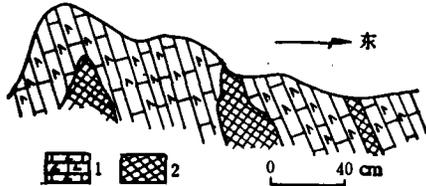


图2 万砾山探槽素描图
1—铁化灰岩; 2—氧化矿

规则,与围岩接触关系不清楚,矿石淋滤构造发育,沿岩石节理充填有褐铁矿脉。

2. 矿物分带特征

氧化带矿物分带不明显,现有工程未发现原生硫化矿物,也未发现明显的次生硫化

物富集带(矿山开采的均为氧化矿)。在红泥塘矿床10个中段,采样分析,结合野外工作,将氧化带划分为两个亚带:

(1) 表层亚带 即氧化带的地表部分,由疏松多孔的褐铁矿、土状软锰矿、硬锰矿组成。淋滤作用强烈,形成皮壳状、孔洞状、炉渣状构造。景观颜色多呈黑褐色、黄褐色。铁帽零星分布,厚度十至几十cm。

(2) 氧化亚带 指近地表及地下深处的氧化带。矿物分带如表1。矿石组构复杂多样,块状、土状、粉状矿石居多。几乎整个氧化带的矿石都残留有原生硫化物。寻找残留原生矿物是评价氧化带的重要手段之一。

(3) 氧化带元素地球化学特征 主要

氧化带不同标高矿物分带

表 1

工程	标高(m)	矿 物 组 成		
		大 量	中 等	少 量
KT ₁	2231	针铁矿、硬锰矿、软锰矿、铅铁矾、菱锌矿、赤铁矿	方解石、石英、赤铁矿	黄铜矿、黄铁矿、自然金、方铅矿
KT ₂	2220	针铁矿、铅铁矾	方解石、软锰矿、硬锰矿、石英、赤铁矿	黄铁矿、自然金
KT ₃	2214	针铁矿、铅铁矾	软锰矿、硬锰矿、方解石、石英	黄铁矿、方铅矿、自然金、自然银
KT ₄	2174	针铁矿、赤铁矿	软锰矿、硬锰矿、方解石、石英、铅铁矾	黄铁矿
KT ₅	2131	针铁矿	方解石、石英、赤铁矿	黄铁矿、自然金
KT ₆	2126	针铁矿、磁铁矿	软锰矿、石英、硬锰矿、赤铁矿、方解石	孔雀石、赤铜矿、蓝铜矿、自然银、砷铅矿、黄铜矿、磁赤铁矿
KT ₇	2124	针铁矿	方解石、石英、赤铁矿	黄铁矿、黄铜矿
KT ₈	2119	褐铁矿	方解石、石英	黄铁矿、白云石
KT ₉	2109	针铁矿、铅铁矾、赤铁矿、褐铁矿	方解石、方铅矿、石英、软锰矿	黄铁矿、黄铜矿、孔雀石、白铅矿、铅矾、自然金、自然银
KT ₁₀	2047	针铁矿、铅铁矾	软锰矿、硬锰矿、石英、方解石	白铅矿、铅矾、锡石、异极矿、菱锌矿、自然金、自然银、黄铁矿、砷铅矿、磁铁矿

元素有Fe、Mn、Pb、Zn,其次有Cu、As、Au、Ag、Cd、Be、Ti、Co、Ni、Cr、V等。Pb最高可达7.04%, Zn最高可达5.31%, Au可达6.49g/t。

氧化带的含金性

前已述及, 矿区氧化带中发生了明显的金矿化, 有的部位达到数g/t, 个别样品达数十g/t。金矿化在红泥塘和万洞山均有出现, 以前者范围较大。金赋存于氧化矿石中, 具次生金特点。

1. 金的分布和分配特点

(1) 自然金的形态、成分、嵌布特征
经探针及矿相分析, 氧化矿石中金以自然金形式产出, 成色高, Au平均纯度87.24%、Ag12.76%。自然金常呈米粒状、圆粒状、小片状、蝌蚪状等。

通过20多块光片的鉴定, 金粒最大者可达0.112mm, 最小0.001mm, 一般在0.009~0.018mm。自然金主要是显微金, 极少数属超显微金。自然金反射率41~83% (光波长470~650nm, MPV—Ⅰ测定), 硬度83~88kg/mm²。同一金粒成分均匀。

自然金在矿石中的主要赋存部位是:

① 褐铁矿: 主要载金矿物, 自然金呈

各种形态出现在褐铁矿中。褐铁矿有细粒的、胶状的和粗粒的, 其中均见到自然金。

② 铅铁矾: 自然金存在于土状铅铁矾中, 呈多角片状, 金粒内部有空洞, 表面富擦痕。

③ 石英: 在次生石英中见到自然金, 他形石英的空洞中有金, 其外形受制于石英孔洞, 金粒内部同样具孔缝。

④ 细粒方解石脉: 在穿插到褐铁矿中的次生细粒方解石脉中, 常能见到自然金。

⑤ 褐铁矿裂缝: 许多自然金出现在褐铁矿裂缝中。

除上述外, 尚见自然金呈骸晶状, 与自然银一起分布在细粒褐铁矿及白铅矿集合体中; 在各种矿物的交界处也见有自然金。

自然金是氧化矿中金的主要存在形式。

(2) 自然金的工艺性质 研究结果如下:

① 取各种氧化矿石光片18块, 在矿相镜下测量出其中自然金颗粒面积与光片总面积。其公式如下:

$$\text{自然金含量} = \frac{\sum \text{自然金面积}}{\sum \text{光片面积}} \times \frac{\text{自然金比重}}{\text{光片中矿物平均比重}} \times 100\%$$

自然金粒度分析表

表 2

粒 度 (mm)	各粒级自然金重量百分比			各粒级自然金颗粒数百分比		
	Σ面积 (mm ²)	粒级 (%)	累计 (%)	粒 数	粒级 (%)	累计 (%)
>0.5	0	—	—	0	—	—
0.5~0.2	0	—	—	0	—	—
0.2~0.074	0.0125	31.22	31.22	1	0.86	0.86
0.074~0.037	0.01005	24.92	56.14	5	4.31	5.17
0.037~0.018	0.01170	29.04	85.15	19	16.38	21.55
0.018~0.009	0.004372	10.84	95.99	29	25.00	46.55
<0.009	0.001614	4.00	99.99	62	53.45	100
总 计	0.040326	99.99	99.99	116	100	100

$$\text{自然金平均粒度} = \sqrt{\frac{\text{自然金总面积}}{\text{颗粒数}}} = \sqrt{\frac{0.0403266}{116}} \approx 0.018\text{mm}$$

将测量结果代入上式得:

$$\begin{aligned} \text{自然金含量} &= \frac{0.0403266}{12883} \times \frac{16}{6} \\ &\times 100 \approx 0.0008347\% \\ &= 8.347\text{g/t}。 \end{aligned}$$

(2) 自然金粒度 用自然金在各粒级中的面积比,代表重量百分比及颗粒数百分比,计算结果列于表2。

按照B.И.捷别诺夫分类(即 $>0.074\text{mm}$ 者为粗粒金, $0.074\sim 0.001\text{mm}$ 者为细粒金, $<0.001\text{mm}$ 者为细分散金)及国内通用的显微金与次显微金分类,本区自然金以显微晶金占绝大多数,按面积计算占68.78%,按颗粒计算占99.14%。

2. 氧化带金矿化特点

目前全矿区共圈定出12个含金较明显的氧化矿体,其中以红泥塘和万洞山为主。

(1) 红泥塘氧化带金矿化特点 坑道揭露的氧化带,在不同标高的分布形态如图3至图6所示。金矿化特点是:

① 2124中段: 7号氧化矿体中, Au、Ag呈现明显的正相关关系, Pb与Au也呈现一定程度的正相关。在风化斑岩与褐铁矿混杂的破碎带中,偶尔出现Au的异常高值,

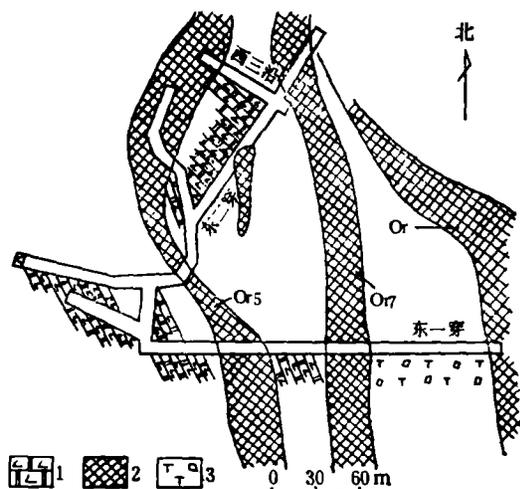


图3 2124中段平面图

1—铁化白云岩; 2—氧化矿体;
3—角砾破碎带

但这些段落 Au、Ag、Pb值普遍低于褐铁矿带的。样品(31个,连续刻槽取样)算术平均值: Au0.4ppm, Ag19.82ppm, Pb0.7%; Zn1.10%。

图7是5号氧化矿体在东1穿中元素含量变化曲线,在氧化矿中,元素含量均显著升高。矿化明显处含 Au0.37ppm, Ag10.8ppm, Pb1.086%, Zn0.55%。在东2穿中, Au达到0.667ppm, Ag48.07ppm,

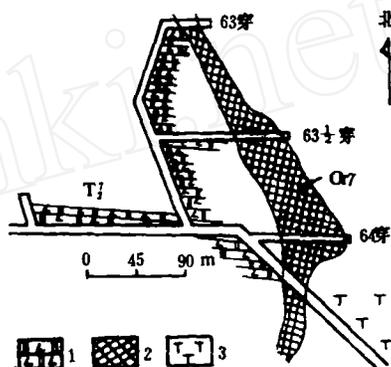


图4 2020中段平面图

1—铁化白云岩; 2—氧化矿体; 3—斑岩

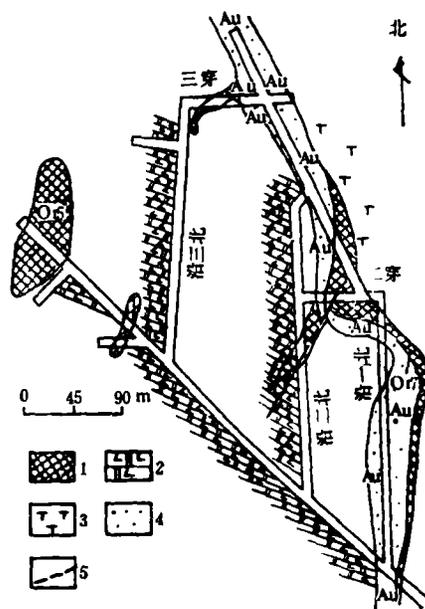


图5 2045中段平面图

1—氧化矿体; 2—铁化白云岩;
3—斑岩; 4—金矿化; 5—断裂

Pb1.88%, Zn1.40%。

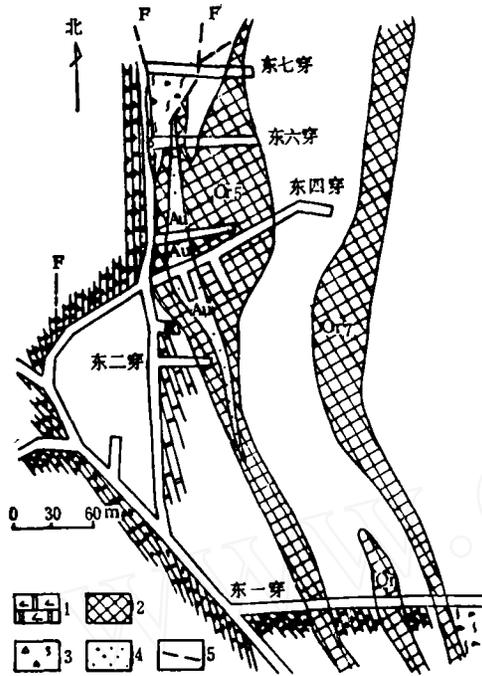


图6 2109中段平面图

1—铁化白云岩；2—氧化矿体；
3—破碎带；4—金矿化；5—断裂

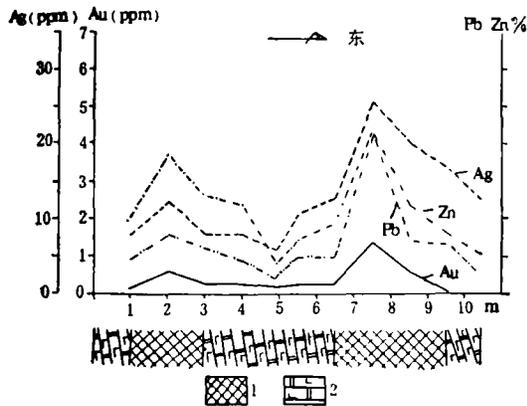


图7 5号矿体在2124中段东1穿
中元素变化曲线图

1—褐铁矿；2—铁化灰质白云岩

整个中段7号矿体含金平均达0.557 ppm, Ag25.52ppm; 5号矿体含金平均0.56ppm, Ag25.18ppm。从Au、Ag含量频率直方图上可看出样品分布情况(图8)。

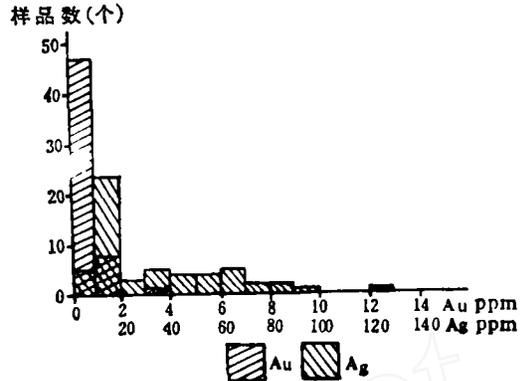


图8 2124中段Au、Ag含量频率直方图

② 2109中段: Au、Ag、Pb之间仍呈明显正相关(某些地段无此规律)。整个中段7号矿体含金基本为零, 含Ag仅4.85ppm, 而5号矿体含金平均(用各穿脉中含量的算术平均值加权平均)为1.377ppm(76个样)。图9为平面上氧化矿中元素南北向变化趋势。

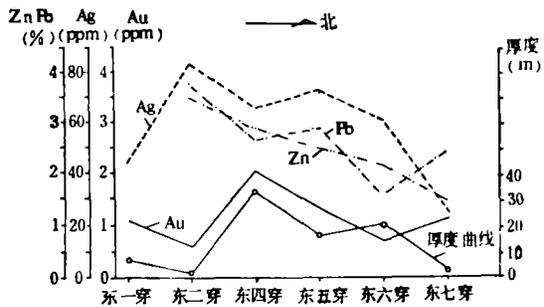


图9 5号矿体在2109中段各穿脉中
元素含量变化曲线图

在东4穿中, Au含量最高(达2ppm), 且氧化矿厚度也最大。从剖面上看, 有氧化矿厚度大时, Au含量也高的趋势。

③ 2045中段: 控制7号矿体。在西2穿, Ag含量普遍较高, 最高可达426.92ppm, Au普遍低。算术平均值Au1.758ppm, Ag225.22ppm。西3穿与西2穿的情况相反, Au平均9.077ppm, Ag18.167ppm。整个中段平均(西2,3穿的算术平均值加权平

均求得) 含Au5.28ppm, Ag125.53ppm。西2、3穿反映的趋势是, 由南向北Ag减少, Au增加。

④ 2020中段: 整个中段内, 7号氧化矿体出露小, 16个样品平均含Au2.21ppm, Ag10.49ppm。

⑤ 地表露头: 5号和7号矿体在地表均有零星露头, 经几个样品计算, 7号矿体平均含Au0.645ppm, Ag29.87ppm; 5号矿体平均含Au0.71ppm, Ag32.17ppm。

通过上述分析可见, 红泥塘氧化带下部金产生一定程度富集, 达2~5ppm, 银也是靠下部增高。样品统计发现, 破碎带的样品(例如粘土化破碎斑岩, 土状和粉末状的褐铁矿等) Au和Ag含量常有所提高, 说明这些部位有利于金的次生富集。

(2) 万硐山氧化带金矿化特点 万硐山出露的含金褐铁矿, 均呈较小的脉状、囊状, 多位于斑岩与铁化白云岩接触带, 含金量较高的有5个, 分别称为1、2、3、4、5号氧化矿体。

① 1号矿体的53个样品算术平均值为: Au1.29ppm, Ag41.45ppm, 变化范围大。在氧化矿的不同部位, Au、Ag含量极不均匀, 矿体厚薄与Au、Ag含量的变化关

系也无规律, 即使是相邻样品, 其含量变化也很大。金矿化在地表形态为细长条, 且是弯曲的, 向下延深数十m。

② 2号矿体31个样品平均含Au2.03ppm, Ag92.95ppm, 变化范围Au0.00~14.00ppm, Ag1.78~240.10ppm。地表部分含Au1.58ppm(19个样), Ag86.29ppm; 坑道12个样品, 平均含金2.75ppm, Ag103.4ppm。显示向下增高的趋势。Au分布零散, Ag也类似。

③ 矿化范围内46个样品平均含Au1.58ppm, Ag30.99ppm。地表部分含Au平均2.07ppm, Ag77.18ppm。钻孔中褐铁矿(地表以下31~72m)含Au平均1.28ppm, Ag9.9ppm。与褐铁矿混杂的铁化白云岩含Au也可达1.76ppm。Au的分布极不均匀。

④ 5号矿的地表露头为一断续狭长条状, 延长近200m, 宽度0.5~2.5m, 向下延深20~30m左右, 大致南北向延长。据58个样品分析, 含Au平均1.71ppm, Ag57.04ppm。Au品位变化于0.00~9.67ppm, Ag0.52~425.83ppm。在褐铁矿厚度较大的地方, 品位相对稳定。

(3) 原生硫化矿物的含金性 为了查明金的来源, 笔者仔细找寻出氧化矿中残余

黄铁矿激光光谱分析结果(%)

表3

元素	Ag	Al	As	Ca	Co	Cu	Fe	Ga	Ge	Mg	Mn	Ni	Pb	Si	Sn	Ti	Zn	Bi	Au	Sb
含量	0.013*	0.05	0.79	0.06	0.013	0.08	44.70	0.05	0.04	0.02	0.005	0.04	0.39	0.08	0.001	0.26	0.013	0.025	7810*	0.42

*Au含量以ppb计, Ag以ppm计, 成都地院三系测定(中子活化法); 其余元素为西南有色地质勘探公司地研所测定。

方铅矿微量元素分析结果(%)

表4

元素	Ag	Au	Cu	Sn	Fe	Pb	Zn	Al	Ga	Ge	In	Si	V	Bi	Cd
含量	1124*	230*	0.026	0.022	0.292	81.57	0.01	0.005	0.005	0.10	0.03	0.01	0.005	0.01	0.005

*Au含量以ppb计, Ag以ppm计。Ag、Cu、Sn、Fe、Pb、Zn为5件单矿物分析平均值, 由云南省地矿局测试中心测定。Au为一个单矿物样品, 以中子活化法测定(成都地院三系测定)。其余元素为激光光谱分析(西南有色地质勘探公司地研所测定)。

原生矿物, 对此进行了分析, 查明了若干主要金属硫化物的含金性。

① 黄铁矿中的含金性: 在氧化带中普遍残留, 其微量元素分析结果见表3 (据两个单矿物样平均)。

② 方铅矿中的含金性: 残留普遍, 表面常被白铅矿包裹, 方铅矿含银很高, 最高可达1633g/t。微量元素分析结果见表4。

可见黄铁矿和方铅矿均含Au、Ag, 为氧化带中Au、Ag的主要来源, 对矿区出露的斑岩及煌斑岩脉组份的分析也证明了这一点 (斑岩含Au5ppb、Ag16ppb; 煌斑岩含Au2ppb、Ag12ppb, 均由中子活化法测定)。

对该区氧化带金矿化特征可概括为:

① 原生硫化物是氧化带金的主要来源。

② 金在氧化带以高成色自然金产在褐铁矿 (或铅铁矾) 中, 并在氧化带下部富集, 其范围视氧化矿范围而定。氧化矿厚度大的地带, 如果出现高品位的金, 则可能是较大的次生富集带。

③ 氧化带含金极不均匀, 造成这种情况的因素是多方面的, 即影响氧化带形成的因素, 同样影响金的表生地球化学行为。

④ 对本区来说, Ag、Pb与Au关系密切, 前两者可作为找金的指示元素。

3. 金在氧化带次生富集机理的探讨

金在表生地球化学环境中的地球化学行为, 已为许多学者所研究。有人总结出自然水体中Au可以17种赋存形态存在^①, 表明Au在表生带能够溶解、迁移、再沉淀。在硫化矿床氧化带, 下述几种形式受到重视: ①呈可溶的卤盐和卤化络合物存在, 如 $[AuCl]^-$, $HAuCl_4$, $[AuCl_3OH]^-$ 等; ②呈硫代硫酸盐 $[Au(S_2O_3)_2]^{3-}$ 类型的络合物形式存在, 这种络合物在弱酸性、中性和碱性溶液(pH=4~9)中相当稳定。硫化物氧化的中间产物 $S^{2-} \rightarrow [S_2O_3]^{2-} \rightarrow [SO_3]^{2-} \rightarrow [S_2O_6]^{2-} \rightarrow [S-$

$O_4]^{2-}$ 可与Au形成可溶性络合物, 使Au有很大的活动性。能形成这种溶液的环境, 是碳酸盐围岩和脉石的含金硫化物矿床氧化带; ③呈可溶性硫酸盐, 在有氧化剂如二氧化锰、氧、氧化铁等存在的硫酸溶液中, Au可以溶解。氧化带中 $Fe_2(SO_4)_3$ 是促进金溶解的营力; ④呈硫化物、多硫化物络合物形式, 如 $[AuS]^-$; ⑤呈各种胶体形式和溶液形式以及悬浮物或吸附在悬浮物上; ⑥呈有机可溶络合物形式。

可见Au在表生带的迁移形式是极其复杂的, 笔者认为, 本区氧化带中, Au由于三方面的主要原因而可能有几种不同的迁移方式。这三方面的原因是: 原生矿物的化学成分、矿物成分及矿石组构; 溶液的pH值、Eh值; Au的原始赋存状态。可能的迁移方式是:

1. 呈硫代硫酸盐络合物。本区的气候、围岩条件及原生矿体性质都有利于这种迁移形式。氧化带残留较多的黄铁矿和方铅矿, 可能有两个原因: 一是原来含量就多, 二是氧化速度相对于其他硫化物要慢。从实地看, 氧化带已属晚期, 硫化物基本氧化殆尽, 故可能是原生矿体含黄铁矿、方铅矿较多。黄铁矿氧化产生大量硫酸, 为金呈硫代硫酸盐络合物迁移提供了条件。碳酸盐岩围岩产生弱酸性到碱性环境, 也利于硫代硫酸盐络离子形成。H. A. Росляков等(1977)指出, 当Au同具有大电极电位的矿物接触, 电化学作用会促进其溶解, 形成络合离子迁移。

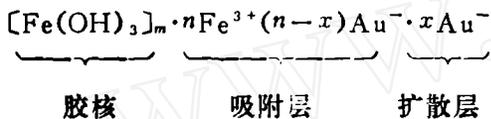
2. 残余硫化物在电子探针成分相观察中, 没有发现金, 证明金在其中呈极细小的状态存在。按照一般的观点, 金在硫化物中或是呈极细小的不均匀分散金 (超显微或次显微金), 或呈固溶体、类质同象。因此, 金的初期析出就可能具有不同形式, 较大的微粒金, 倾向于形成胶体或细颗粒金, 进行

^① 中国有色总公司北京矿产地质研究所等编译, 《金矿床地球化学勘查理论和方法文集》, 1984年。

重力迁移, 而离子态金, 倾向于形成络离子迁移。

金发生沉淀的原因同样是复杂的, 那些导致金活化迁移的因素也是导致金沉淀的因素, 即当诸因素组合中使金沉淀的倾向为主时, 金即发生沉淀, 例如, pH值变化, 胶体凝聚作用, 吸附作用, 等等。

按照A.И.佩雷尔曼(1965)的意见, 发生金次生富集的地段是金的地球化学垒。笔者认为, 对于氧化带的金, 吸附垒的存在是极为重要的。本区大量发育的褐铁矿, 是金的良好吸附剂。研究证明(温世达、张振儒等, 1982)褐铁矿胶体对金有较强的吸附力, 吸附机理是:



铁锰氧化物、氢氧化物胶体, 均是带电胶体, 能吸附带异性电荷的金络离子, 胶体发生沉淀时, 金就随之固定下来。在胶体脱胶老化过程中, 金还原并以自然金形式离析出来。本区普遍发育的胶体现象以及金的赋存部位, 都表明了吸附作用可能是金沉淀的最主要的方式。

本文得到黄佑文教授的指导, 以及00533部队和生产矿山有关同志们的大力帮助, 并引用了他们的资料, 谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] Росляков, Н.А., 国外地质, 1978, 第5期。
- [2] Плюсин, А. М. 等, 地质地球化学, 1982, 第4期。
- [3] 佩雷尔曼, А. И., 《后生地球化学》, 科学出版社, 1965年。

Ore-bearing Property Study of Oxidation Zone of the Beiya Lead Deposit, Yunnan

Zhao Xiao-ou

The Beiya lead deposit is located in the Bai Autonomous Prefecture of Dali, Yunnan Province. The oxidation zone of the deposit is well developed and in which native gold was discovered. The gold content in the oxidation zone, reaching a few tens grams per ton, is higher enough to form a commercial gold deposit of 'oxidation zone type'. The mode of occurrence of the gold in the oxidation zone, mineralization features and the secondary enrichment mechanism of the gold are systematically dealt with in this paper.

(上接第21页)

到斑岩型矿床的分带性(Mo-Cu-Pb、Zn), 其深部有可能存在斑岩型铜钼矿体。

(4) 黄花菜沟和哈拉胜岩体: 包裹体特征与乌山本区有相以之处, 具有成矿的可

能性, 应进一步划分蚀变带, 深入进行工作。

(5) 头道井1号和长岭1号岩体: 与乌山本区相比, 缺少某些必要的条件, 故推测其成矿可能性较小。

A Study on Fluid Inclusion and Metallogenesis of a Porphyry Cu-Mo Deposit, Urugetu Hill, Inner Mongolia, China

Ye Xin Wang Lijuan

In the light of fluid inclusion studies of the Cu-Mo deposit in Urugetu Hill, Internal Mongolia and intrusives and mineralization occurrences in its peripheral areas, the evolution of mineralizing solution and its relation with the alteration and mineralization have been inferred. A preliminary discussion on the ore potentiality of some ore occurrences in outer areas is also given.