

四川省拉拉铜矿床有用伴生组分赋存状态研究

肖渊甫 孙 燕 赵志强 牛刚 张林 康丛轩

(成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘要:拉拉铜矿床位于康滇地轴西南缘,赋矿围岩是古元古界河口组变质火山岩,矿床为火山喷发沉积-变质层控型铜矿床^[1]。笔者通过野外地质调查、室内显微镜鉴定、电子探针成分分析等手段,研究了矿石组构、成分及主要有用伴生元素钼、钴、金、稀土、铂族元素等的赋存状态,有用伴生元素以独立矿物存在为主,类质同象为次。研究中发现了铂族矿物(铋碲镍钼矿、碲钼镍矿),得出矿床综合利用价值巨大的结论,并对进一步综合利用提出了建议。根据矿床野外产出及矿石组构特征,将成矿过程划分为火山喷发沉积成矿期、变质热液成矿期及表生期。

关键词:拉拉铜矿床;伴生组分;赋存状态;矿石组构;成矿期

中图分类号:P618.41 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)02-0463-07

康滇地轴铜矿带是中国著名的综合性铜矿床集中区,那里分布着古元古代拉拉-大红山式火山岩型铜矿、中元古代东川-易门式白云岩型铜矿、新元古代烂泥坪式砂砾白云岩型铜矿,特别是古、中元古界中的铜矿床具有分布集中、伴生元素多、储量及经济意义大的特点^[2]。拉拉铜矿床是四川省最大的铜矿生产基地,具有重要的战略意义。众多学者和单位对其进行了地球化学、成矿作用、成矿时代、矿床成因等方面的研究工作,取得了重要的成果并积累了大量相关方面的宝贵资料^[1-7]。由于矿床的形成时间久远,且经历了多次构造运动和地质作用,导致其矿石成分复杂,矿物种类繁多。矿石中除了铜以外还存在大量的有用伴生组分,其中主要有钼、钴、金、银、铁、铂族、稀土、铀等有用组分。目前除了铜、钼、钨、铁以外对其他有用组分还未专门回收利用,因此矿床综合利用前景广阔。笔者通过野外地质调查、室内显微镜鉴定、电子探针成分分析等手段,研究了矿石组构、成分及主要有用元素赋存状态,讨论了成矿作用及成因,其成果对同类型矿山生产综合利用及矿床研究有着重要的意义。

1 矿床地质特征

拉拉铜矿床位于康滇地轴中段西南缘,矿床由落幽、老羊汗滩、石龙 3 个矿段组成。区内出露地层主要有古元古界河口组、通安组,上三叠统白果湾组煤系岩层及第四系。地层走向北西-南东向,倾向南西,以单斜岩层为主。河口组为主要含矿层位,由各类片岩、大理岩及变质火山岩组成,工业铜矿体主要赋存在中上部变质火山岩中(图 1)。矿区构造以断裂为主,其方向与区域构造线方向一致,北西西向构造形成较早,并且与成矿关系密切。北东东向断裂形成较晚,破坏了北西西向构造并控制了中生代断陷盆地的形成和发展。区内经历了多次构造岩浆活动,与成矿有关的岩浆活动主要表现为会理期和晋宁—澄江期的岩浆活动。其中会理期火山岩是本区最为重要的岩浆活动,与矿床形成、产出关系密切,为赋矿层位,同时构成河口组地层的主体部分。变质火山岩经 Rb-Sr 同位素年龄测定为 1725 Ma^[6],含矿层(Pt₁h₄)中锆石 U-Pb 同位素年龄为 1712 Ma^[9],代表河口组地层形成的年龄。晋宁—澄江期岩浆活动以基

收稿日期:2009-07-01;改回日期:2009-09-12

基金项目:矿物学岩石学矿床学国家重点(培育)学科建设项目(SZD0407)资助。

作者简介:肖渊甫,男,1957 生,教授,主要从事岩石、矿床学教学与科研工作;E-mail:xyf@cdut.edu.cn。

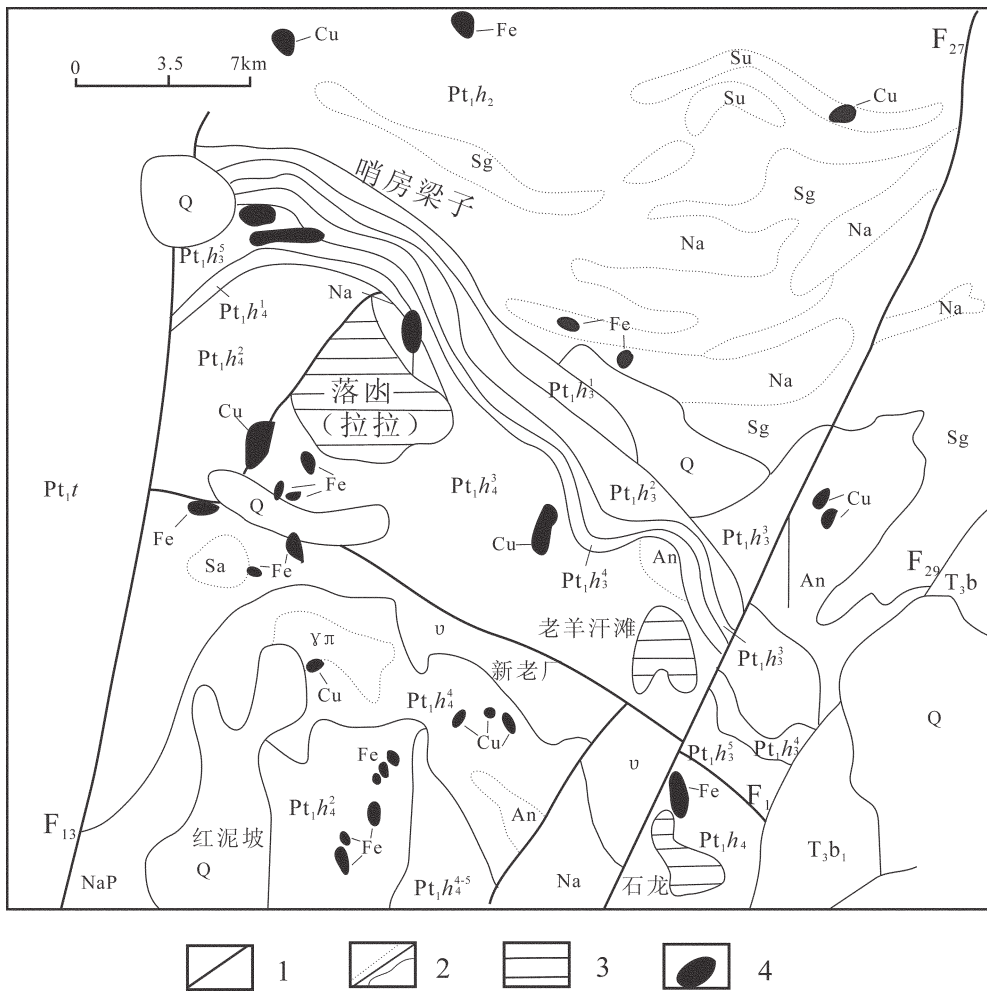


图1 拉拉铜矿矿区地质图(据[8]修编)

Q—第四系;T_{3b}—上三叠统白果湾组;Pt_t—通安组;Pt_h—河口组;Sa—云母石英岩;Su—黑云母片岩;Sg—白云母片岩;Na_p—变石英钠长斑岩;γπ—花岗岩岩;An—长岩;Na—英钠长岩;v—辉长岩;
 1—断层 2—岩相界线/地质界线 3—矿床 4—矿点

Fig.1 Geological map of the Lala copper ore district

Q—Quaternary;T_{3b}— Upper Triassic Baiguowan Formation; Pt_t—Tongan Formation;Pt_h—Hekou Formation;Sa—Mica-quartz schist;Su—Biotite schist;Sg—Muscovite schist;ap—Meta-quartzite albitophyre;γπ—Granite-porphyre;An—Albitite;Na—Quartz albitite;v— Gabbro; 1— Fault; 2— Lithofacies/geological boundary; 3— Ore deposit; 4— Ore spot;

性岩浆侵入为主,在矿区表现为辉长岩侵入体及辉绿岩脉发育,辉长岩体 K-Ar 同位素年龄为 680 Ma^[6],常见基性岩体(脉)对矿体产生穿插和破坏作用。

矿床由 32 个矿体组成,其中 1-5 号矿体规模大,占总储量的 97%。矿体与形态呈似层状、层状、透镜状,以重叠-叠瓦状产出,膨缩、分叉、复合、尖灭、再生等现象多见,其产状与围岩基本一致。矿体受地层层位及受岩性控制,主要赋存于黑云片岩和钠长岩中或两种岩性接触处,矿化较均匀,矿体稳定且连

续性好。后期热液活动迹象明显,表现为硅化、碳酸盐化形成的含矿石英脉、碳酸盐脉发育。

2 矿石成分及组构

2.1 矿石矿物成分

矿床矿石矿物成分较复杂,有用组分含量变化较大 Cu 4.55%~0.07%,Mo 0.18%~0.00%;Co 0.245%~0.024%;TFe 4%~25.21%;S 0.033%~15.44%;Au 0.00~2.609 g/t;Ag 0.00~5.02 g/t;P₂O₅ 0.55%~

17.03% ,Se 0.00 ~0.0033% ,Te 0.00 ~0.0006% ,Re 0.00 ~0.0000995% ,Ni 0.00 ~0.044% ,REE 0.04% ~1.82%^[8]。这也是成矿作用复杂性、物质来源多元性的表现。

矿石矿物种类繁多,其中硫化物有:黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉钼矿、磁黄铁矿、辉铜矿、铜蓝、辉钴矿、硫镍钴矿、辉砷钴矿、辉砷钴镍矿等;氧化物包括:磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿、镜铁矿、金红石等。自然元素及碲化物:自然金、自然银、自然铜、叶碲铋矿、碲银矿;稀土矿物:氟碳铈矿、磷钇矿、独居石、褐帘石等。文中矿物成分测定由中国地质科学院成都矿产综合利用研究所电子探针(日本 JXA-733 型)室完成。现将近期矿石中发现的碲化物、铂族元素矿物特征分述如下:

① 铋碲镍钨矿:反射色呈亮白色,非均质性,他形晶被黄铜矿包裹。电子探针成分: Ni 5.03%、Pd 13.08%、Bi 12.03%、Te 69.85%。晶体化学式: $(\text{Pd}_{0.59}\text{Ni}_{0.41})_{1.0}\text{Te}_{2.63}\text{Bi}_{0.27}\text{O}$

② 碲钨镍矿:反射色为白色,均质性,半自形晶被黄铜矿包裹。电子探针成分: Ni 8.40%、Pd 14.55%、Te 77.12%。晶体化学式: $(\text{Ni}_{0.48}\text{Pd}_{0.45})_{0.93}\text{Te}_{2.01}\text{O}$

以上两种矿物通常产于岩浆型铜镍硫化物矿床中,在火山沉积-变质矿床中很少见,国内与拉拉铜矿床类似的矿床也未曾见报道,此类矿物的发现为矿床成因、成矿物质来源及铂族元素找矿方向提供了新的思路。

③ 碲银矿:反射色呈灰白色,弱非均质性,呈他形粒状包裹于黄铜矿中。电子探针成分: Ag 61.87%、Te 35.82%。晶体化学式: $\text{Ag}_{2.039}\text{Te}$ 。

④ 叶碲铋矿:镜下为细粒他形晶粒状,主要分布在黄铜矿中呈亮白色,反射率高于黄铜矿,非均质性清楚,抗磨硬度小于黄铜矿。电子探针成分: Bi 60.10%、Te 39.44%。晶体化学式: $\text{Bi}_{0.93}\text{Te}$ 。

碲化物是重要的载金矿物,通常产于金银矿床中,由于拉拉铜矿床矿石中含金、银较高: Au 0.00~ 2.609×10^{-6} 、Ag 0.00~ 5.02×10^{-6} ^[9],这也是碲化物存在的必然。

2.2 矿石组构

矿石构造通常是成矿地质作用的直接记录,成矿作用的多样性、复杂性造成了拉拉铜矿床矿石构造的多样化。根据成矿地质作用不同矿石构造可分为:沉积作用形成的纹层状构造、条纹状构造、尘点

状构造;热液作用形成的浸染状构造、块状构造、团块状构造、脉状-网脉状构造;变质作用形成的片状构造、斑杂状构造;动力变质作用形成的角砾状构造等;风化表生作用形成的蜂窝状构造、土状构造、皮壳状构造、胶状构造等。矿石结构主要可分为结晶作用形成的自形、半自形、他形晶结构、共边结构等;交代作用形成的交代残余结构、反应边结构、骸晶结构等;构造应力作用形成的揉皱结构、压碎结构等;固溶体分离作用形成的格状结构、乳滴状结构等。

2.3 成矿期

根据野外观察和矿石组构特征反映出矿床形成经历了 3 次地质成矿作用,结合矿床的野外产出特征及矿物共生组合,将整个成矿过程划分为火山喷发沉积成矿期、变质热液成矿期及表生期。

火山喷发沉积期发生于古元古代 1725~1712 Ma^[3,6],形成矿源层。矿物组合:磁铁矿-黄铁矿-黄铜矿,典型矿石构造:纹层状构造、尘点状构造。

变质热液成矿期发生在新元古代晋宁期(845±2)Ma^[6],是矿床形成的主要成矿期。热液作用期间伴随强烈的构造应力,成矿热液在应力作用下以充填交代为主要成矿方式,致使成矿物质定向排列,形成具条纹状和条带状构造的铜矿石。变质热液成矿期早期形成磁铁矿和磷灰石,伴有稀土矿化;成矿晚期形成铜、钨、钴、金矿化与黄铁矿化,并发生磁铁矿和稀土矿物的改造再富集,同时伴随广泛的钠长石化、萤石化、黑云母化和碳酸盐化^[10]。矿物组合有磁铁矿(稀土矿化)-钨矿-辉钨矿-黄铁矿-黄铜矿-金-碲化物,典型矿石构造:浸染状构造、块状构造、脉状-网脉状构造、角砾状构造等。

表生期形成铁铜的次生氧化物。

3 伴生元素赋存状态

3.1 钼

该矿床钼的富集程度很高,储量超过 20 万 t,矿石中钼含量 0.18%~0.00%,平均品位 Mo 0.03%^[8],而且钼矿化与铜的富集有密切的关系,呈正相关。辉钼矿在矿床中分布不均匀,多在裂隙中呈细脉状、网脉状产出,显示出热液成因的特点。目前矿山钼精矿品位 49%,回收率 45%~50%,综合利用程度有待于进一步提高。

矿石中钼主要以独立矿物辉钼矿的形式存在,辉钼矿呈稀疏浸染状、条纹状、细脉状产出,一般呈

他形鳞片状,部分结晶完好时呈自形六方板状,粒度多在 0.01~0.1mm;集合体呈放射状、束状等,由于硬度低,受后期构造应力的作用常发生变形、揉皱,形成多种塑性变形结构。四川大学材料分析中心用 Philip X 射线衍射仪分析结果^[1]显示矿石中的辉钼矿有 2H+3R 型(前 3 个样)和 2H 型(最后一个样)两种(图 2),两种辉钼矿的晶体结构和形成温度不同(表 1),形成温度从 500°C 到 280°C。从辉钼矿电子探针成分分析结果可知(表 2),不同多型的辉钼矿微量元素含量有很大的不同:Se、Te、Cu 在 2H+3R 型辉钼矿含量较高,而在 2H 型中含量较低。2H+3R 型辉钼矿中铼较高,平均为 112×10^{-6} 。辉钼矿中的铼与成矿物质来源及形成温度有关,通常成矿物质来源于地幔的辉钼矿含铼较高^[2],这与矿源层中火山岩来源于上地幔有关。

3.2 钴

矿石中钴的赋存状态有两种:一为独立钴矿物:辉砷钴矿、硫镍钴矿;二呈类质同象赋存于硫化物:硫铁镍矿、黄铁矿中。经电子探针测定,辉砷钴矿含 Co 30.27%、As 45.01%、S 19.62%,晶体化学式: $\text{Co}_{0.84}\text{As}_{0.98}\text{S}$;硫镍钴矿成分 Co 36.15%、Ni 17.82%、Fe 1.99%、S

44.03%,晶体化学式: $(\text{Co}_{1.786}\text{Ni}_{0.886}\text{Fe}_{0.104})_{2.776}\text{S}_{4.0}$

在石英钠长岩型浸染状黄铁矿-黄铜矿矿石中,黄铁矿含量高达 4.96%,钴的分布率 93.66%,钴的品位 0.68%^[3];在黑云母片岩型条纹-浸染状黄铜矿矿石中,黄铁矿的矿物含量减少为 0.47%,钴品位降低至 0.0096%。故可见钴元素主要赋存于黄铁矿中,其品位与黄铁矿的含量呈正比。由于钴矿物和硫铁镍矿在矿石中的含量甚微,镜下达不到定量的程度,因此,黄铁矿在矿石中占绝对优势,化学分析含钴 0.68%~0.857%。电子探针测定表明钴在黄铁矿中的含量分布较均,由此说明,钴在黄铁矿中主要呈类质同象存在,目前矿山钴的回收率为 40%~45%,还有较大的综合利用潜力。

3.3 金

根据矿石组合样品含金性分析(表 3),各类矿石中的含金量为 0.21×10^{-6} ~ 2.91×10^{-6} ,金矿化显示出明显的不均匀性,表现出局部富集的特征。其中块状黄铜矿矿石、浸染状黄铜矿矿石、黑云母-石英-硫化物脉状矿石的金含量均大于 1×10^{-6} ,同时还可看出金矿化与成矿主元素铜的富集密切相关,黄铜矿含量高的矿石,金含量相应也高。

表 1 辉钼矿多型晶体结构特征^[1]

Table 1 Polytype crystal textural features of molybdenite

多 型	晶 系	空 间 群	单位晶胞棱长(U)		X-射线强谱线(U)	形成温度(°C)
			a ₀	c ₀		
2H 型	六方(二层型)	D _{6h} ⁴ -P6 _{3mm} C	3.612	12.251	6.10,2.27,1.101,1.034	500
2H+3R 型	六方+三方(三层型)	C _{3v} ⁵ -R3 _m	3.164	12.245 18.364	6.12,2.714,2.04,1.531	280

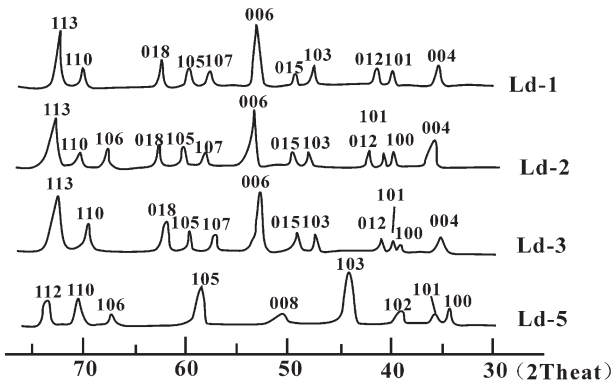


图 2 辉钼矿的 X 射线衍射图谱^[1]

Fig.2 X-ray diffraction pattern of molybdenite

表 2 辉钼矿电子探针成分分析结果^[1]

Table 2 Electron microprobe analyses of molybdenite

多形	S	Mo	Fe	Cu	Se	Te
2H+3R	39.36	58.57	0.09	0.65	0.19	0.08
	39.01	59.57	0.19	0.13	0.27	0.11
	39.81	59.22	0.11	0.12	0.09	0.06
	40.20	58.58	0.20	0.41	0.06	0.02
2H	39.58	59.24	0.15	0.54	0.14	0.22
	39.96	59.11	0.14	0.13	0.08	0.07
	39.99	59.48	0.06	0.14	0.04	0.01
	40.14	59.49	0.16	0.09	0.03	0.02

通过显微镜下观察主要的载金矿物有黄铁矿、黄铜矿、叶碲铋矿等。根据电子探针分析结果可知:拉拉铜矿床矿石中金的赋存状态以自然独立矿物为主(表 4),其次为类质同象形式存在,金主要赋存在黄铁矿、黄铜矿中(表 5~6)。细粒、他形粒状,晶形为立方体和五角十二面体的黄铁矿含金性较好。

矿床中独立矿物金主要以自然金或含银自然金形式产出,金的成色较高(表 4),这与经历了多期成矿作用有关^[3]。自然金在矿石中的赋存状态有 4 种:包裹体金、粒间金、裂隙金及类质同象,其中以包裹体金为主。其形态多样,粒度均较细小(2~34 μm),共生矿物组合为黄铜矿+黄铁矿+辉钼矿+自然金及黄铜矿+斑铜矿+辉铜矿+自然金。目前矿山还未对金、银单独回收,仅在精矿中按品位计价。目前矿山尾矿中金的平均含量 $0.2 \times 10^{-6} \sim 0.4 \times 10^{-6}$ ^[8],综合利用前景可观。

表 3 各类矿石含金性分析结果

Table 3 Gold content of various ores

样号	矿石类型	Au / 10 ⁻⁶
01	碳酸盐-石英-硫化物脉状矿石	0.41
02	碳酸盐-石英-硫化物脉状矿石	0.27
03	黑云母-石英-硫化物脉状矿石	0.27
04	黑云母-石英-硫化物脉状矿石	3.28
05	块状黄铁矿矿石	0.27
06	条带状硫化物矿石	0.41
07	浸染状黄铜矿矿石	1.44
08	块状黄铜矿矿石	2.06
09	浸染状黄铁矿-黄铜矿矿石	0.21
10	条带状硫化物矿石	0.34
11	条纹-浸染状黄铜矿矿石	0.21
12	条带状硫化物矿石	1.08
13	钠长石化硫化物矿石	1.54
14	钠长石化硫化物矿石	0.87
15	硅化浸染状黄铜矿矿石	2.91

注:由凉山矿业化实验室测试分析。

3.4 稀土

稀土元素在矿石中的赋存状态分两种:一为独立矿物,有独居石、磷钇矿、褐帘石、氟碳铈矿、氟碳钙铈矿及包裹于萤石中的针状磷钇矿;二呈类质同象,主要存在于磷灰石中,与磁铁矿伴生的磷灰石呈他形或半自形,常沿岩石片理方向定向分布,稀土元素含量高,总量可达 7%,X 荧光下呈桔红色;与碳酸盐、萤石脉共生的磷灰石呈半自形六方柱状,分布于热液矿脉中,与硫化物共生,稀土含量较低一般不超过 1%,X 荧光下呈灰蓝色,磷灰石常伴有稀土矿化。目前矿山还未对稀土资源加以利用,有待于开发利用回收。

4 研究意义

① 矿床形成经历了 3 次地质成矿作用,整个成

表 4 自然金电子探针分析

Table 4 Electron microprobe analyses of gold

序号	矿物	Au/%	Ag/%	成色/‰	晶体化学式
1	自然金	99.43	0.56	994.40	Au _{98.98} Ag _{1.02}
2	自然金	97.26	2.73	972.70	Au _{95.13} Ag _{4.87}
3	自然金	94.48	4.73	952.32	Au _{93.60} Ag _{6.40}
4	自然金	96.44	3.54	964.59	Au _{93.72} Ag _{6.28}
5	含银自然金	90.07	8.95	909.61	Au _{84.77} Ag _{15.23}
6	含银自然金	91.15	8.86	911.41	Au _{84.93} Ag _{15.06}
7	含银自然金	89.64	10.35	896.49	Au _{82.58} Ag _{17.42}
8	自然金	92.12	7.86	921.38	Au _{86.52} Ag _{13.48}
9	含银自然金	87.34	12.63	873.66	Au _{78.49} Ag _{21.51}
10	含银自然金	90.06	9.92	900.78	Au _{83.55} Ag _{16.46}
11	含银自然金	90.13	9.85	901.48	Au _{83.37} Ag _{16.63}
12	含银自然金	90.70	9.26	907.36	Au _{84.29} Ag _{15.71}

注:由中国地质科学院成都矿产综合利用研究所分析。

表 5 黄铁矿电子探针成分学分析/%

Table 5 Electronic microprobe analyses of pyrite

序号	Fe	Cu	Co	Ni	Au	Ag	S	晶体化学式
1	45.06	0.009	0.145	0.104	5.71	6.7	54.82	Fe _{0.94} S ₂
2	44.15	0.112	0.850	0.013	1.09	8.2	53.02	Fe _{0.95} S ₂
3	42.14	2.512	2.440	0.001	1.30	0.60	53.60	Fe _{0.90} S ₂
4	45.06	0.15	0.724	0.060	1.25	5.0	52.43	Fe _{0.98} S ₂
5	45.20	0.786	0.857	0.201	23.60	139	52.26	Fe _{0.99} S ₂

注:由中国地质科学院成都矿产综合利用研究所分析;Au、Ag 含量单位为 10⁻⁶。

表 6 黄铜矿电子探针成分分析/%

Table 6 Electron microprobe analyses of chalcopyrite

序号	Fe	Cu	Co	Ni	Au	Ag	S	晶体化学式
1	29.130	37.508	0.01	0.001	2.80	18.75	32.405	(Cu _{1.168} Fe _{1.033}) _{2.201} S ₂
2	28.320	35.716	0.13	0.058	8.00	17.60	33.770	(Cu _{1.067} Fe _{0.963}) _{2.030} S ₂
3	29.155	35.523	0.03	0.013	3.16	13.63	33.928	(Cu _{1.202} Fe _{0.987}) _{2.030} S ₂
4	28.541	36.244	0.13	0.040	0.93	9.38	34.209	(Cu _{1.068} Fe _{0.958}) _{2.026} S ₂
5	27.032	35.940	0.03	0.002	5.08	2.75	35.768	(Cu _{1.015} Fe _{0.877}) _{1.882} S ₂
6	29.461	36.139	0.22	0.032	0.70	22.25	33.551	(Cu _{1.088} Fe _{1.01}) _{2.098} S ₂
7	30.366	35.364	0.02	0.020	2.76	2.63	32.956	(Cu _{1.082} Fe _{1.058}) _{2.140} S ₂

注:由中国地质科学院成都矿产综合利用研究所分析;Au、Ag含量单位为10⁻⁶。

矿过程经历了火山喷发沉积成矿期、变质热液成矿期及表生期,不同的地质作用形成特有的矿石组构,其中火山喷发沉积期发生在古元古代1725~1712Ma^[36]。变质热液成矿期发生在新元古代晋宁期(845±2)Ma^[6]。

②拉拉铜矿床矿石中矿物成分复杂,可利用的组分较多,由于受到组分赋存状态研究程度、选矿技术的限制,目前矿石中除了铜、钴、钼、铁外,还有多种有用组分未得到利用或充分利用。

③矿石中有用伴生元素的赋存状态以独立矿物为主,其次为类质同象。金主要以自然金或含银自然金形式产出,由于经历了多次成矿作用,金的成色较高。从矿物微量元素的赋存特征反映出成矿物质来源于古元古界河口组中变质火山岩^[7]。矿石中的金、银主要在火山喷发-沉积中初步富集^[14]。

④矿石中铂族矿物的发现,进一步显示出成矿物质深部来源的特征^[15]。由于此类矿物通常与岩浆融离型铜镍硫化物共生^[16]。在火山沉积-变质改造型矿床中发现此类矿物,为矿床成因、成矿物质来源研究及铂族元素找矿方向提供了新的思路。

⑤目前矿山除铜的回收率可达到80%以上外,钴、钼、金、银等的回收率均在50%以下。稀土、铀、磷等还未利用。因此,矿床综合利用的潜在价值巨大。

参考文献(References):

- [1] 孙燕,李承德.四川省拉拉铜矿床成矿机制研究[J].成都地质学院学报,1990,17(4):1-9.
Sun Yan, Li Chengde. Mineralization mechanism of Lala copper deposit in Sichuan Province [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1990, 17(4):1-9(in Chinese with English abstract).
- [2] 冉崇英,刘卫华.康滇地轴铜矿床地球化学与矿床层楼结构机理

[M].北京:科学出版社,1993:19-39.

Ran Chongying, Liu Weihua. Geochemistry of Copper Deposits and Their Mechanism of Storeyed Texture in Kangdian Axis [M]. Beijing: Science Press, 1993: 19-39 (in Chinese).

- [3] 李复汉,覃嘉铭,申玉莲.康滇地区前震旦系[M].重庆:重庆出版社,1988:128-141.

Li Fuhuan, Qin Jiaming, Shen Yulian. The Presinan in the Kang-Dian Region [M]. Chongqing: Chongqing Publishing Group, 1988: 128-141 (in Chinese).

- [4] 杨应选,仇定茂,阙梅英,等.西昌-滇中前寒武系层控铜矿[M].重庆:重庆出版社,1988:153-183.

Yang Yingxuan, Chou Dinmao, Jue Meiyang, et al. Precambrian Stratabound Copper Deposits in Xichang-Central Yunnan Region [M]. Chongqing: Chongqing Publishing Group, 1988: 153-183 (in Chinese).

- [5] 孙燕,舒晓兰,肖渊甫.四川省拉拉铜矿床同位素地球化学特征及成矿意义[J].地球化学,2006,35(5):553-559.

Sun Yan, Shu Xiaolan, Xiao Yuanfu. Isotopic geochemistry and metallogenetic significance in the Lala copper deposit, Sichuan Province, China [J]. Geochimica, 2006, 35(5): 553-559 (in Chinese with English abstract).

- [6] 陈好寿,冉崇英.康滇地轴铜矿床同位素地球化学[M].北京:地质出版社,1992:7-31.

Chen Haoshou, Ran Chongying. Research for Isotopic Geochemistry [M]. Hangzhou: Zhejiang University Publishing House, 1994: 28-39 (in Chinese with English abstract).

- [7] 肖渊甫,孙燕.拉拉铜矿床含矿岩系岩石学特征及变质原岩[J].成都地质学院学报,1992,19(2):41-48.

Xiao Yuanfu, Sun Yan. The Petrologic characteristics and metamorphic preexisting rocks of the ore-bearing rocks formation in Lala copper deposits [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1992, 19(2): 41-48 (in Chinese with English abstract).

- [8] 攀西地质大队.四川省会理县拉拉铜矿床详细勘探地质报告[R].成都:四川省地质矿产局,1984:12-128.

Panxi Geological Team. The Geological Report for Detailed Prospecting of Lala Copper Deposits, Huili County, Sichuan [R].

- Chengdu: Sichuan Province Bureau of Geology and Minerals. 1984:14-128 (in Chinese).
- [9] 朱志全, 李云峰, 李庭学. 四川省拉拉铜矿潜力资源调查报告[R]. 会理: 凉山矿业股份有限公司. 2005:16-19.
- Zhu Zhiquan, Li Yunfeng, Li Tingxue. The Report for a potential of Lada Copper Deposits, Huili County, Sichuan [R]. Huili: Liangshan Mining Co. Ltd., 2005:16-19.
- [10] 李泽琴, 胡瑞忠, 王奖臻, 等. 中国首例铁氧化物铜金铀稀土型矿床的厘定及其成矿演化 [J]. 矿物岩石地球化通报, 2002, 21(4):258-260.
- Li Zequan, Hu Ruizhong, Wang Jiangzhen, et al. Lala Fe-Oxide-Cu-Au-U-REE ore deposit, Sichuan China—An example of superimposed mineralization[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2002, 21(4):258-260 (in Chinese with English abstract).
- [11] 王奖臻, 李泽琴, 刘家军, 等. 拉拉铁氧化物-铜-金-钼-钽-稀土矿床辉钼矿的多型及标型特征 [J]. 地质找矿论丛, 2004, 19(2):96-99.
- Wang Jiangzhen, Li Zheqin, Liu Jiajun, et al. Polytype and typomorphic characteristics of molybdenite from Lala Fe-Oxide-Cu-Au-Mo-Co-REE deposit in Sichuan Province, China [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2004, 19(2):96-99(in Chinese with English abstract).
- [12] 黄典豪. 东秦岭地区钼矿床中辉钼矿的铼含量及多型特征[J]. 岩石矿物学杂志, 1992, 11(1):74-83.
- Huang Dianhao. Rhenium content and polytype characteristics of molybdenite from molybdenum deposits in East Qinling [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1992, 11(1):74-83 (in Chinese with English abstract).
- [13] 彭渤, 刘升友, Piestrzynski Adam, 等. 湘西沃溪金矿床矿石矿物学特征及深部找矿意义[J]. 中国地质, 2008, 35(6):1286-1290.
- Peng Bo, Liu Shengyou, Piestrzynski Adam, et al. Mineralogical characteristics and their implications for deep prospecting of the Woxi gold deposit in western Hunan, China[J]. Geology in China, 2008, 35(6):1286-1290 (in Chinese with English abstract).
- [14] 朱维光, 李朝阳, 邓海呷, 等. 呷村银多金属块状硫化物矿床银的赋存状态[J]. 矿床地质, 2002, 21(4):339-407.
- Zhu Weiguang, Li Chaoyang, Deng Hailin, et al. Modes of occurrence of silver in Gacun silver-polymetallic massive sulfide deposit [J]. Mineral Deposits, 2002, 21(4):339-407 (in Chinese with English abstract).
- [15] 李晓峰, 毛景文, 张作衡. 斑岩铜矿中铂族元素的研究现状及展望[J]. 矿床地质, 2003, 21(1):96-98.
- Li Xiaofeng, Mao Jingwen, Zhang Zuoheng. Background and development of researches on platinum group elements in porphyry copper deposits[J]. Mineral Deposits, 2003, 21(1):96-98 (in Chinese with English abstract).
- [16] 孙燕, 肖渊甫, 冯伟, 等. 东天山香山铜镍硫化物矿床矿石矿物特征及成矿意义[J]. 中国地质, 2009, 36(4):871-877.
- Sun Yan, Xiao Yuanfu, Feng Wei, et al. Copper-nickel sulfide deposits ore minerals characteristics in Xiangshan, east Tianshan mountains, and its metallogenetic significance[J]. Geology in China, 2006, 36(4):871-877(in Chinese with English abstract).

Modes of occurrence of useful associated components in the Lala copper deposit, Sichuan Province

XIAO Yuan-fu, SUN Yan, ZHAO Zhi-qiang, NIU Gang, ZHANG Lin, KANG Cong-xuan

(College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The Lala copper deposit is located in the southwest margin of the Kangdian Axis in Sichuan Province, with the Paleoproterozoic metamorphic volcanic rocks as its ore-bearing country rocks. The ore deposit is a sedimentary-metamorphic copper deposit of volcanic eruptions. Through geological investigation, microscope identification, electron microprobe analysis and other means, the authors studied the modes of occurrence of ore fabric, the main useful components and associated elements of molybdenum, cobalt, gold, rare earth elements and platinum group elements. The useful associated elements occur mainly as independent minerals and subordinately as isomorphism. Minerals of platinum-group minerals, such as ore of bismuth-telluride-nickel-palladium and ore of telluride-palladium-nickel, were found, which shows the great comprehensive utilization value of this ore deposit. Suggestions for further utilization are also put forward in this paper. According to field characteristics of the ore deposit and fabric characteristics of the ore, the ore-forming process can be divided into sedimentary ore-forming stage of volcanic eruptions, hydrothermal metamorphism stage and supergene stage.

Key words: Lala copper deposit; associated components; mode of occurrence; ore fabric; ore-forming stage

About the first author: XIAO Yuan-fu, male, born in 1957, professor, engages in teaching and study of petrology and mineral deposits; E-mail: xyf@cdu.edu.cn.