

文章编号 10258-7106 (2006) 01-0060-11

云南巍山—永平碰撞造山带走滑拉分盆地铜金多金属矿成矿流体系统 稳定同位素特征及热液来源*

王 勇^{1,2}, 侯增谦¹, 莫宣学³, 董方浏¹, 毕先梅³, 曾普胜¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 东华理工学院, 江西 抚州 344000; 3 中国地质大学, 北京 100083)

摘 要 云南巍山—永平矿集区位于兰坪走滑拉分盆地南段,有铜金多金属中、小型矿床及矿化点 140 余处,盆地发育和成矿作用与印度—亚洲板块碰撞密切相关。为了探索该矿集区成矿热液的来源,研究了该区成矿流体的稳定同位素特征。区内成矿流体系统可分为紫金山子系统与公郎弧子系统。公郎弧系统内铜钴矿床成矿流体的 δD 为 $-83.8\text{‰} \sim -69\text{‰}$, $\delta^{18}O$ 为 $4.17\text{‰} \sim 10.45\text{‰}$, $\delta^{13}C$ 为 $-13.6\text{‰} \sim 3.7\text{‰}$, 成矿流体主要来源于岩浆水及地层水。紫金山子系统内金、铅锌、铁矿床成矿流体的 δD 为 $-117.4\text{‰} \sim -76\text{‰}$, $\delta^{18}O$ 为 $5.32\text{‰} \sim 9.56\text{‰}$, $\delta^{13}C$ 为 $-10.07\text{‰} \sim -1.5\text{‰}$ 。锑矿成矿流体的 δD 为 $-95\text{‰} \sim -78\text{‰}$, $\delta^{18}O$ 为 $4.5\text{‰} \sim 32.3\text{‰}$, $\delta^{13}C$ 为 $-26.4\text{‰} \sim -1.9\text{‰}$, 成矿流体来源于地层水以及岩浆水。受印度板块与亚洲板块碰撞造山作用的影响,在该盆地内,成矿流体自南西向东北大规模迁移过程中,先形成温度、盐度较高的公郎弧子系统,随着流体向东北推进,温度、盐度逐渐降低,流体成分发生变化,演变为紫金山子系统。

关键词 地球化学 成矿流体系统 流体包裹体 稳定同位素 碰撞造山 巍山-永平矿集区 云南省

中图分类号 : P618.41; P618.51

文献标识码 : A

Stable isotope characteristics and origin of ore-forming fluids in copper-gold polymetallic deposits within strike-slip pull-apart basin of Weishan-Yongping continental collision orogenic belt, Yunnan Province, China

WANG Yong^{1,2}, HOU ZengQian¹, MO XuanXue³, DONG FangLiu¹, BI XianMei³ and ZENG PuSheng¹

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, Jiangxi, China; 3 China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract

More than 140 middle-small size deposits or mineral occurrences occur in the Weishan-Yongping ore concentration area located in the southern part of the typical Lanping strike-slip and pull-apart basin which has plenty of mineral resources derived from the collision between Indian plate and Asian plate. The ore-forming fluid system in Weishan-Yongping ore concentration area can be divided into two subsystems, namely, Zijinshan subsystem and Gonglang arc subsystem. The ore-forming fluids of Cu, Co deposits in Gonglang arc fluid subsystem have δD values between -83.8‰ and -69‰ , $\delta^{18}O$ between 4.17‰ and 10.45‰ , and $\delta^{13}C$ between -13.6‰ and 3.7‰ , suggesting that the ore-forming fluids of Cu, Co deposits were derived mainly from magmatic water and partly from formation water. The ore-forming fluids of Au, Pb, Zn, Fe deposits in Zijinshan subsystem have δD values between -117.4‰ and -76‰ , $\delta^{18}O$ between 5.32‰ and 9.56‰ , and $\delta^{13}C$ between -10.07‰ and -1.5‰ . The ore-forming fluids of Sb deposits in Zijinshan ore-forming fluid subsystem have δD values between

* 本文得到中国地质调查局国土资源大调查综合研究项目(20001020026003)资助

第一作者简介 王 勇,男,1962 年生,博士,副教授,主要从事矿床学与岩石学研究。E-mail: ywang@vip.163.com

收稿日期 2004-09-24; 改回日期 2005-09-14。

−95‰ and −78‰, $\delta^{18}\text{O}$ between 4.5‰ and 32.3‰, and $\delta^{13}\text{C}$ between −26.4‰ and −1.9‰. Hence, the ore-forming fluids in Zijinshan subsystem must have been derived mainly from formation water and partly from magmatic water. Affected by the collision between Indian plate and Asian plate, ore-forming fluids in Weishan-Yongping basin migrated considerably from southwest to northeast. At first, the Gonglang arc subsystem with high temperature and high salinity was formed. With the development of the ore-forming fluids, the Zijinshan subsystem with lower temperature and salinity was subsequently formed.

Key words: geochemistry, ore-forming fluid system, fluid inclusion, stable isotope, collisional orogenesis, Weishan-Yongping ore concentration area, Yunnan Province

印度—亚洲板块碰撞引发了青藏主碰撞带大规模的成矿作用,其中最引人注目的是藏东—滇西大型走滑拉分盆地群中的昌都—兰坪—思茅大型多金属与贵金属成矿带(图 1)、滇西腾冲大型锡矿带、藏南冈底斯和藏东玉龙的大型斑岩铜矿成矿带。昌都—兰坪—思茅盆地,特别是其中的兰坪盆地是三江

地区著名的有色金属与贵金属“聚宝盆”,其中含有金顶超大型 Pb-Zn-Ag 矿床、白秧坪大型 Ag 多金属矿床。巍山-永平铜金多金属矿集区位于兰坪盆地南段,是兰坪—思茅 Pb-Zn-Ag-Cu-Sb-钾盐成矿带的一部分(陈毓川,1999),已发现金、铜、钴、锑、汞、砷、铅、锌等矿床及矿化点140余处(图2),有4处达中

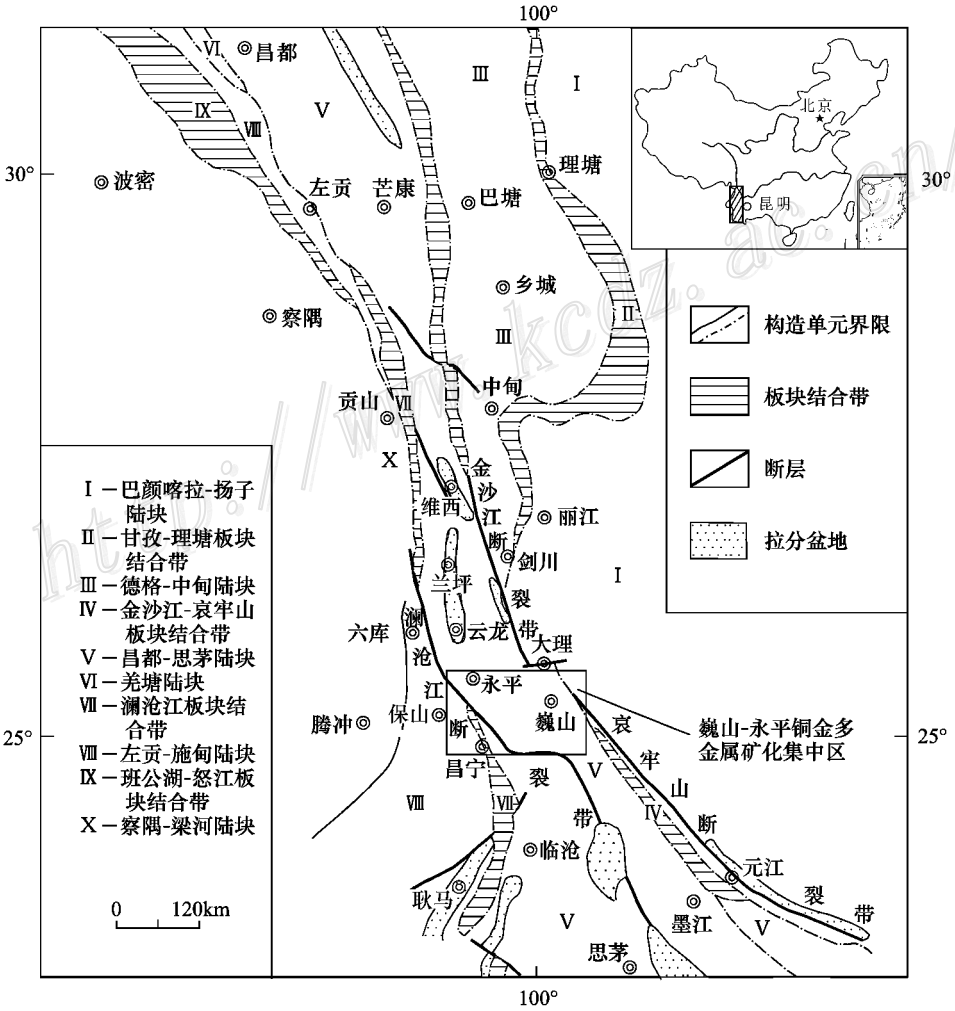


图 1 三江地区大地构造分区略图(据李兴振等,1999)

Fig. 1 Sketch map showing tectonic divisions of Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang area(after Li et al. , 1999)

型规模。此外,区域化探显示,该矿集区内还有多条 NW 向、NNW 向的 Au, Sb, Hg, As, Co, Cu, Pb, Zn 等元素异常带,预示找矿潜力较大。为了寻找新的成矿远景区,王勇等(2002 2003)及董方洲(2002)在兰坪盆地南部的巍山—永平地区进行了铜金多金属远景评价及流体包裹体研究。矿床的形成是在成矿作用的‘源-运-储’统一的时空框架中实现的,稳定同位素是当前研究成矿流体来源的重要手段。因此,进行成矿流体系统稳定同位素特征及热液来源和演化的研究,对巍山-永平铜金多金属矿集区成矿作用的研究和成矿潜力的评价具有重要的意义。

1 区域地质

云南巍山-永平铜金多金属矿集区出露的地层

主要有三叠系、侏罗系、白垩系、古近系,以及分布于山间盆地之中的第四系(图 2)。三叠系、侏罗系主要为海相台地相、陆棚相、潮汐三角洲相、潮坪相沉积,白垩系、古近系为陆相沉积(云南省地质矿产局,1990)。

区域构造主要受西部澜沧江断裂带、东部金沙江—哀牢山断裂带及盆地中轴断裂的控制(图 1)(云南省地质矿产局,1990;李兴振等,1999;杨嘉文等,1991;汪宝禄等,2001;林舸等,1991)。中轴断裂为根据地球物理资料推测的隐伏断裂(林舸等,2000),在矿集区中部自 SE 至 NW 呈弧形通过该区。区内主要构造呈 NW 向展布,晚期发育的 NE 向断裂切穿了早期 NW 向断裂(图 2)。该矿集区内重要的褶皱自东向西主要有:朵谷向斜、紫金山复式背斜、龙街向斜、光山梁子倒转背斜及无量山复背斜(图 3)。

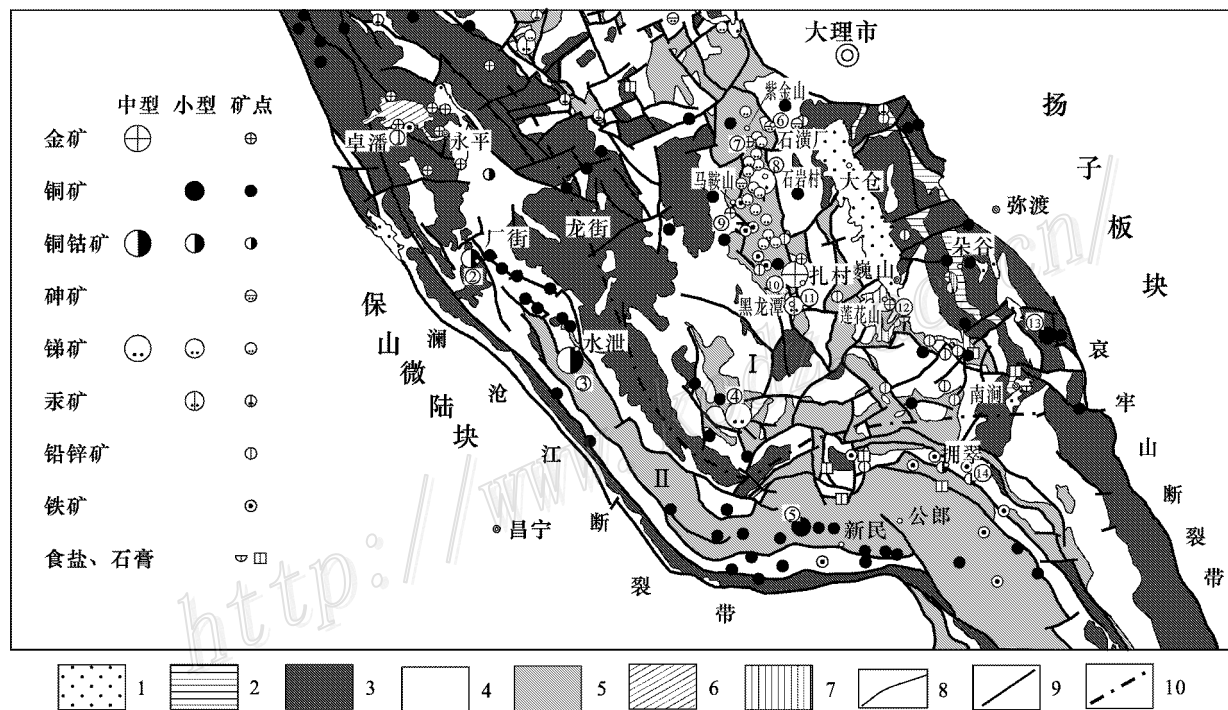


图 2 巍山-永平矿集区区域矿产分布略图(据云南省地质调查院,1999^①)

1—第四系 2—古近系 3—白垩系 4—侏罗系 5—三叠系 6—碱性岩 7—石英二长斑岩 8—地层界线 9—断裂 10—流体系统界线。
①—卓潘金矿点 ②—厂街铜钴矿床 ③—水泄铜钴矿床 ④—笔架山锑矿床 ⑤—新民铜矿床 ⑥—石磺厂砷矿点 ⑦—紫金山金矿点;
⑧—石岩村锑矿床 ⑨—田口村金矿点 ⑩—扎村金矿床 ⑪—黑龙潭汞矿床 ⑫—莲花山金矿点 ⑬—二郎铜矿床 ⑭—拥翠铜钴矿点。
I—紫金山子系统;II—公郎弧子系统

Fig. 2 Sketch map showing distribution of mineral resources in Weishan-Yongping ore concentration area (after Yunnan Institute of Geological Survey, 1999)

1—Quaternary; 2—Paleogene; 3—Cretaceous; 4—Jurassic; 5—Triassic; 6—Alkali rock; 7—Quartz vein; 8—Stratigraphic boundary; 9—Fault; 10—Boundary of fluid system; ①—Zhuopan gold ore spot; ②—Changjie copper-cobalt deposit; ③—Shuixie copper-cobalt deposit; ④—Bijiashan antimony deposit; ⑤—Xinmin copper deposit; ⑥—Shihuangchang arsenic ore spot; ⑦—Zijinshan gold ore spot; ⑧—Shiyancun antimony deposit; ⑨—Tiankoucun gold ore spot; ⑩—Zacun gold deposit; ⑪—Heilongtan mercury deposit; ⑫—Lianhuashan gold ore spot; ⑬—Erlang copper deposit; ⑭—Yongcui copper-cobalt ore spot. I—Zijinshan subsystem; II—Gonglang arc subsystem

① 云南省地质调查院, 1999. 西南三江南段 1:50 万矿产图.(内部资料).

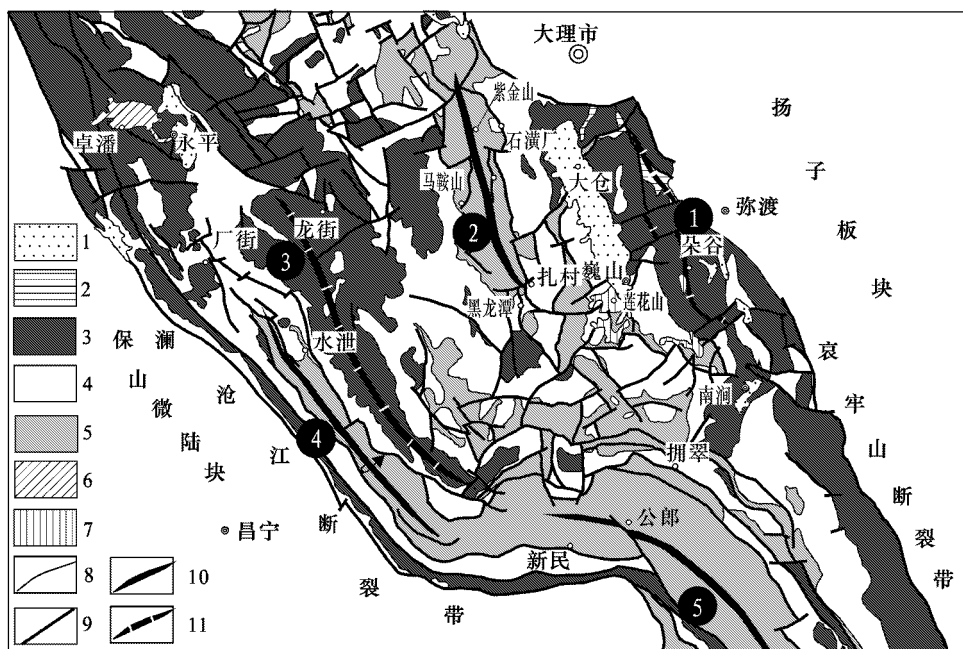


图3 巍山-永平矿集区主要构造分布略图(据云南省地质调查院,1999^①)

1—第四系 2—古近系 3—白垩系 4—侏罗系 5—三叠系 6—碱性岩 7—石英二长斑岩 8—地层界线 9—断裂 10—背斜 11—向斜;
①—朵谷向斜 ②—紫金山复式背斜 ③—龙街向斜 ④—光山梁子倒转背斜 ⑤—无量山复背斜

Fig.3 Sketch map showing distribution of structures in Weishan-Yongping area
(after Yunnan Institute of Geological Survey, 1999)

1—Quaternary 2—Paleogene 3—Cretaceous 4—Jurassic 5—Triassic 6—Alkali rock 7—Quartz ivernite 8—Stratigraphic boundary;
9—Fault 10—Anticline 11—Syncline ①—Duogu syncline ②—Zijinshan duplex anticline ③—Longjie syncline ④—Guangshanliangzi
reverse anticline ⑤—Wuliangshan duplex anticline

在新民、公郎一带发育有弧状构造,常称之为公郎弧构造。紫金山背斜和公郎弧形构造与成矿关系较为密切(图2)。

晚古生代晚期,金沙江洋向西俯冲,而澜沧江洋向东俯冲,形成了兰坪弧后盆地(莫宣学等,1993),近NE向与近SN向的构造挤压应力造就了盆地内近SN向的紫金山复式背斜、光山梁子背斜等褶皱构造,以及盆地内的推覆构造与NW、NEE向断裂系统和公郎弧形构造。

研究区内的岩浆岩主要有喜马拉雅期莲花山斑岩带和卓潘碱性岩体。前者主要沿莲花山—大佛山背斜核部断裂贯入,岩性以正长斑岩和二长斑岩类为主。其中,莲花山岩体最大,并有金矿化,其二长斑岩的形成年龄为 (38.6 ± 2.5) Ma(董方浏等,2005)。卓潘碱性岩体出露于永平弧形断裂的SW侧,沿大卓潘背斜侵入于白垩系砂页岩中,呈近EW向产出,出露面积约40 km²,为一浅成碱性杂岩体,

岩脉发育,保留有较多的围岩捕虏体。其岩性主要为黑云霓辉碱长正长岩、霞石正长岩、碱性正长岩及正长岩脉、花岗斑岩脉、糖粒状石英脉和碳酸岩脉等。岩体周围有大范围的Au、U异常,形成了卓潘等一系列砂金矿点。卓潘碱性岩体中辉石正长岩的形成年龄为 (36.49 ± 0.43) Ma(董方浏等,2005)。

在该矿集区内,已发现金、铜(钴)、锑、汞、铅锌、铁等金属矿床(点)140余处,有中型矿床4个,石盐、石膏、水晶等非金属矿床10余处(图2)。表1列出了该区主要矿床(点)的地质特征。其中,金矿床(点)主要分布于紫金山背斜两翼、莲花山二长斑岩体及卓潘碱性岩体等地,矿床类型以独立型金矿为主,如位于蚀变破碎带中的扎村金矿,其规模已达中型,其他为伴生金矿,如田口村砷金矿点。区内铜及铜多金属矿床(点)较多,但只有厂街、水泄和二郎等地的矿点具有规模,成因类型主要为构造蚀变岩型。砷锑汞等矿床(点)主要分布于紫金山背斜地区,达

① 云南省地质调查院. 1999. 西南三江南段 1:50 万矿产图. (内部资料).

表 1 巍山-永平地区铜金多金属矿床地质特征

Table 1 Geological characteristics of copper-gold-polymetallic deposits in Weishan-Yongping area

矿床	地区	储量/t	品位/%	类型	构造位置 and /或控矿构造	赋矿建造及时代	矿体形态	矿物组合	主要蚀变
厂街铜钴矿床 ^①	永平	小型	1.32	构造蚀变岩型	受层间破碎带及断裂控制	侏罗纪坝注路组、花开左组紫红色砂岩、泥岩	似层状、脉状、透镜状、囊状	砷铜矿、黄铜矿、黄铁矿、含钴黄铁矿、毒砂、含钴毒砂、辉砷镍矿、辉钴矿、铁硫砷矿、辉砷银矿、辉钴矿	硅化、黄铁矿化、菱铁矿化、重晶石化、镜铁矿化
水泄铜钴矿床 ^①	永平	中型	0.9~2.96	构造蚀变岩型	受层间断裂构造控制	三叠纪麦初普组、侏罗纪花开左组浅灰色砂岩	似层状、脉状、囊状	砷铜矿、黄铜矿、黄铁矿、含钴黄铁矿、毒砂、含钴毒砂、方铅矿、闪锌矿、辉钴矿	重晶石化、硅化、菱铁矿化及黄铁矿化
卓潘砂金矿点 ^①	永平	矿点	0.15~0.2	砂金型	围绕卓潘碱性岩体(Ar-Ar 年龄 36.7 Ma)分布	第四纪河湖相沉积	层状		
新民铜矿床 ^②	南涧	小型	0.93~2.25	红层型铜矿	受变质石英砂岩层位控制	三叠纪至古村组下段变质石英砂岩	似层状、脉状	黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、黄铁矿、磁铁矿、赤(镜)铁矿、方铅矿、蓝铜矿、辉钼矿	硅化、碳酸盐化、绢云母化、孔雀石化、褐铁矿化
拥翠铜钴矿点 ^②	南涧	矿点	0.4~5	构造蚀变岩型	长虫街弧形逆掩断层转折部位	三叠纪麦初普组灰黑色页岩、砂岩和绢云板岩	似层状、脉状	黄铜矿、黄铁矿、镜铁矿、蓝铜矿	硅化、碳酸盐化、绢云母化、孔雀石化、褐铁矿化、重晶石化
扎村金矿床(杨嘉文等, 1991)	巍山	11.7	1~4 g/t	层间蚀变破碎带型	紫金山复式背斜南端倾没部位	三叠纪麦初普组灰绿、灰黑、彩紫红色泥岩、粉砂岩及石英杂砂岩	透镜状、似层状	金、黄铁矿	硅化、黄铁矿化、水云母化
田口村金矿点 ^②	巍山	矿点	1~3.33 g/t	层间蚀变破碎带型	NNE 向断裂	侏罗纪花开左组、漾江组紫红色砂岩、泥岩	透镜状、似层状	金、黄铁矿	碳酸盐化、黄铁矿化、褐铁矿化、石膏化
紫金山金矿点 ^②	巍山	矿点	1~9.4	层间蚀变破碎带型	紫金山复式背斜的轴部	三叠纪至古村组灰绿色绢云板岩、变质石英砂岩、三合洞组灰岩	透镜状、似层状	金、黄铁矿	硅化、黄铁矿化、碳酸盐化
莲花山金矿点 ^②	巍山	矿点	1.5~9.8 g/t	斑岩型	莲花山二长斑岩(Ar-Ar 年龄 38.6 Ma)内、外接触带	石英二长斑岩	似层状、透镜状	金、黄铁矿	硅化、黄铁矿化、褐铁矿化
大佛山铅锌矿点 ^③	巍山	矿点	0.3~10.35	构造蚀变岩型	巍山河断裂带东侧, 斑岩带(Ar-Ar 年龄 38.6 Ma)外围	三叠纪麦初普组灰黑色泥质灰岩、页岩、粉砂岩及石英杂砂岩	似层状、透镜状	方铅矿、闪锌矿	碳酸盐化、硅化
石岩村锦矿床 ^③	巍山	25000/中型	1.35~3.95	层间蚀变破碎带型	紫金山复式背斜的中部东翼	三叠纪三合洞组灰岩、挖鲁八组页岩	似层状、透镜状	辉钴矿、黄铁矿、褐铁矿及辰砂	硅化、碳酸盐化、萤石化
笔架山锦矿床 ^③	巍山	67000/中型	1.69~11.77	层间蚀变破碎带型	笔架山背斜近轴部、层间构造破碎带	三叠纪三合洞组灰岩、挖鲁八组泥岩及板岩等	似层状、薄层状和透镜状	辉钴矿、黄铁矿、辰砂	硅化、萤石化、碳酸盐化、石膏化、高岭土化、重晶石化

① 云南省地质局第一区域地质调查队, 1980. 区域地质调查报告(1:200000 保山幅, 矿产部分), 1~97. (内部资料).

② 云南省地质局第一区域地质调查队, 1975. 区域地质调查报告(1:200000 巍山幅, 矿产部分), 1~103. (内部资料).

③ 云南地质矿产局第三地质大队, 1988. 石岩村锦矿勘探报告, 2~69. (内部资料).

④ 云南地质矿产局第三地质大队, 1989. 笔架山锦矿勘探报告, 4~104. (内部资料).

中型规模的有石岩村锑矿床和笔架山锑矿床等,成因类型为层间蚀变破碎带型及构造蚀变岩型。石盐、石膏等沉积矿产主要分布于云龙等地的新生代盆地内。厂街铜钴矿床、水泄铜钴矿床、卓潘砂金矿点、新民铜矿床、拥翠铜钴矿点属于公郎弧成矿系统,扎村金矿床、田口村金矿点、紫金山金矿点、莲花山金矿点、大佛山铅锌矿点、石岩村锑矿床、笔架山锑矿床属于紫金山成矿系统。所有矿床均形成于喜马拉雅期,其中,莲花山金矿点蚀变围岩内伊利石的 K-Ar 年龄为 38.67 Ma(董方浏,2002),扎村金矿床内蚀变水云母的 Rb-Sr 等时线年龄为 46.5 Ma(杨嘉文等,1991)。

2 样品分析

本次研究系统采集了矿集区内各类多金属矿床(点)中的流体包裹体样品。采样时,选择了具有代表性的新鲜样品,质量一般为 1~2 kg,记录了采样地质体产出的地层与位置,以及围岩岩性、层位与蚀变情况。流体包裹体样品的 δD 、 $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{18}O$ 同位素成分分析在中国地质科学院矿产资源研究所用 MAT251 EM 质谱仪进行,结果见表 2。石英的氧同位素组成($\delta^{18}O_{\text{石英}}$),用 BrF_5 法制备 CO_2 ,石英内包

裹体水的氢同位素组成($\delta D_{\text{水}}$),用爆裂法获取包裹体内的水,再用金属锌制备 H_2 ;石英内包裹体 CO_2 的碳同位素组成($\delta^{13}C_{CO_2}$),用爆裂法获取包裹体内的 CO_2 。方解石的氧同位素组成($\delta^{18}O_{\text{方解石}}$),用 100% 磷酸法制备 CO_2 ,方解石内包裹体水的氢同位素组成($\delta D_{\text{水}}$),用爆裂法获取包裹体内的水,再用金属锌制备 H_2 ,方解石内包裹体 CO_2 的碳同位素组成($\delta^{13}C_{CO_2}$),用爆裂法获取包裹体内的 CO_2 。萤石、重晶石内包裹体的 δD 、 $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{18}O$,用爆裂法获取包裹体内的水和 CO_2 ,用金属锌制备 H_2 。

3 氢、氧同位素组成及演化

氢、氧同位素组成是流体性质和来源的有效指示剂。表 2 中,石英的 $\delta^{18}O_{\text{水}}$ 值是根据张理刚(1985)提出的石英-水氧同位素平衡交换的经验分馏方程: $1000 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.42 \times 10^6 T^{-2} - 2.86$,将矿物中石英的 $\delta^{18}O_{\text{石英}}$ 换算成与之平衡的流体包裹体水的 $\delta^{18}O_{\text{水}}$ 值;方解石的 $\delta^{18}O_{\text{水}}$ 值是根据 O'Neil 等(1969)提出的方解石-水氧同位素平衡交换的经验分馏方程: $1000 \ln \alpha_{\text{方解石-水}} = 2.8 \times 10^6 T^{-2} - 3.39$,将矿物中方解石的 $\delta^{18}O_{\text{方解石}}$ 换算成与之平

表 2 巍山-永平铜金多金属矿集区成矿流体包裹体碳、氢、氧稳定同位素分析结果
Table 2 Stable isotopes analyses of ore-forming fluid in Weishan-Yongping area

原样号	采样地点	样品名称	$\delta^{13}C_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	$\delta D_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{\text{水-SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{13}C_{\text{CO}_2\text{-PDB}}/\text{‰}$
紫金山子系统								
ZCPD12-26-2	扎村金矿床	方解石	-4	-11.1	18.55	-76	5.33	-2.43
W440-9*	扎村金矿床	石英				-117.4	9.56	
W440-10*	扎村金矿床	石英				-85.8	8.35	
ZJ1-2	紫金山金矿点	石英			17	-86	5.45	-1.5
DF1-3	大佛山铅锌矿点	方解石	-10.6	-10.7	19.8	-88	8.71	-10.07
MA6-2	马鞍山铁矿床	方解石	-8.6	-12.9	17.6	-92	5.32	-7.5
LJ3	罗旧村锑矿床	石英			18.7	-95	5.75	-1.9
LJ5-1	罗旧村锑矿床	萤石				-93	21.2	-26.4
SY1-3	石岩村锑矿床	萤石				-92	21.8	-20.5
SY16-1	石岩村锑矿床	萤石				-93	4.5	-21
BJ7-1	笔架山锑矿床	萤石				-78	32.3	
BJ9	笔架山锑矿床	萤石				-81	25.2	-2.7
公郎弧子系统								
XM8-2	新民铜矿床	石英			17.4	-78	9.99	3.7
YC2-6	拥翠铜钴矿点	石英			18	-69	10.45	-1.3
YC2-4	拥翠铜钴矿点	石英			17.3	-71	9.82	-3.9
SX5	水泄铜钴矿床	重晶石				-73		-13.6
SC-4**	水泄铜钴矿床	石英			18.43	-83.8	8.79	
SC-25**	水泄铜钴矿床	石英			14.9	-78.8	5.26	
S-1**	水泄铜钴矿床	重晶石			8.43	-74.4	4.17	

测试单位 中国地质科学院矿产资源研究所。* 引自杨嘉文等,1991;** 引自李峰,1994。

衡的流体包裹体水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值,而重晶石的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值是根据 Friedman 等(1977)提出的重晶石-水氧同位素平衡交换的经验分馏方程: $1000 \ln \alpha_{\text{重晶石-水}} = 3.00 \times 10^6 T^{-2} - 6.79$,将矿物中重晶石的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{重晶石}}$ 换算成与之平衡的流体包裹体水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值,萤石的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 、 $\delta\text{D}_{\text{水}}$ 值则是直接测定其流体包裹体水而获得。

在紫金山子系统内,扎村金矿床成矿流体的 δD 为 $-117.4\text{‰} \sim -76\text{‰}$,平均为 -93.07‰ ,其分布范围略宽于滇西中-新生代大气降水的 δD 值($-110\text{‰} \sim -90\text{‰}$)(徐启东,2000),而相当于滇西现代温泉的 δD 值($-113\text{‰} \sim -81\text{‰}$)(上官志冠等,1991);其 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $5.33\text{‰} \sim 9.56\text{‰}$,平均为 7.75‰ 。由于受该区内中生代雨水 δD 值的影响,因而,在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 关系图(图 4)上,该矿床成矿流体的投影点落在原生岩浆水下方靠近原生岩浆水的区域内,表明其热液来源于岩浆水与地层水的混合。

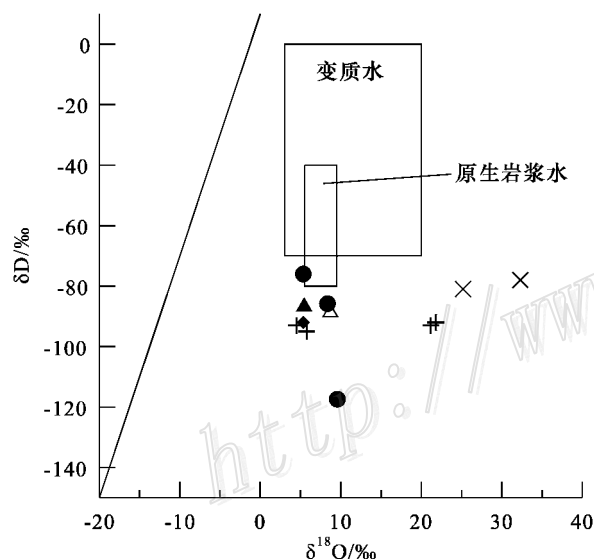


图 4 紫金山成矿流体子系统 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 关系图
(底图据卢焕章,1997)

●—扎村金矿床成矿流体;△—大佛山铅锌矿点成矿流体;▲—紫金山金矿点成矿流体;◆—马鞍山铁矿床成矿流体;卄—石岩村、罗旧村锑矿床成矿流体;×—笔架山锑矿床成矿流体

Fig. 4 δD versus $\delta^{18}\text{O}$ diagram for Zijinshan ore-forming fluid subsystem (based on map by Lu, 1997)

●—Ore-forming fluid of the Zacun gold deposit; △—Ore-forming fluid of the Dafoshan lead-zinc ore spot; ▲—Ore-forming fluid of the Zijinshan gold ore spot; ◆—Ore-forming fluid of the Maanshan iron deposit; 卄—Ore-forming fluid of the Shiyancun, Luojiucun antimony deposit; ×—Ore-forming fluid of the Bijashan antimony deposit

紫金山金矿点成矿流体的 δD 为 -86‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 为 5.45‰ 。马鞍山铁矿床成矿流体的 δD 为 -92‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 为 5.32‰ 。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 关系图(图 4)上,它们的投影点落在原生岩浆水下方靠近原生岩浆水的区域内,表明其热液来源于岩浆水与地层水的混合。

大佛山铅锌矿点产于莲花山二长斑岩体外接触带的三叠系麦初箐组碳质板岩中,其成矿流体的 δD 为 -88‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 为 8.71‰ ,在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 关系图上(图 4),其投影点落在原生岩浆水下方靠近原生岩浆水的区域内,表明其热液来源于岩浆水与大气降水、地层水的混合。

石岩村(含罗旧村)锑矿床成矿流体的 δD 为 $-95\text{‰} \sim -92\text{‰}$,平均为 -93.25‰ ;其 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $4.5\text{‰} \sim 21.8\text{‰}$,平均为 13.31‰ 。笔架山锑矿床成矿流体的 δD 为 -81‰ 和 -78‰ ,平均为 -79.5‰ ;其 $\delta^{18}\text{O}$ 为 25.2‰ 和 32.3‰ ,平均为 28.75‰ 。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 关系图(图 4)上,它们的投影点都落在原生岩浆水下方靠近原生岩浆水的区域内,同样受到该区内中生代雨水 δD 值的影响,表明其热液来源于岩浆水与地层水的混合。 $\delta^{18}\text{O}$ 的增大说明部分成矿流体发生了强烈的氧漂移,暗示成矿流体随着成矿作用的进行,与围岩发生了氧同位素交换且建立了平衡。

在公郎弧成矿流体子系统内,新民铜矿床成矿流体的 δD 为 -78‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 为 9.99‰ 。拥翠铜钴矿点成矿流体的 δD 为 $-71\text{‰} \sim -69\text{‰}$,平均为 -70‰ ; $\delta^{18}\text{O}$ 为 $9.82\text{‰} \sim 10.45\text{‰}$,平均为 10.14‰ 。水泄铜矿床成矿流体的 δD 为 $-83.8\text{‰} \sim -73\text{‰}$,平均为 -77.5‰ ; $\delta^{18}\text{O}$ 为 $4.17\text{‰} \sim 8.79\text{‰}$,平均为 6.07‰ 。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 关系图(图 5)上,这些成矿流体的投影点均落在变质水下方、原生岩浆水区域的附近,因受地层水的影响而偏离岩浆水区域,表明这些成矿流体受到地层水的混合。

由上可知,公郎弧子系统的成矿流体主要来源于岩浆热液,受到地层水的混合。而紫金山子系统的成矿流体则来源于岩浆水与地层水的混合,随着成矿作用的进行,与大气降水、地层水的混合作用不断加强,并发生了较强烈的氧漂移现象。

4 碳同位素组成及演化

流体中的碳元素有多种存在形式。成矿流体的 $\delta^{13}\text{C}$ 取决于流体来源和流体中碳的存在形式,不同的存在形式具有不同的 $\delta^{13}\text{C}$,一般而言, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} >$

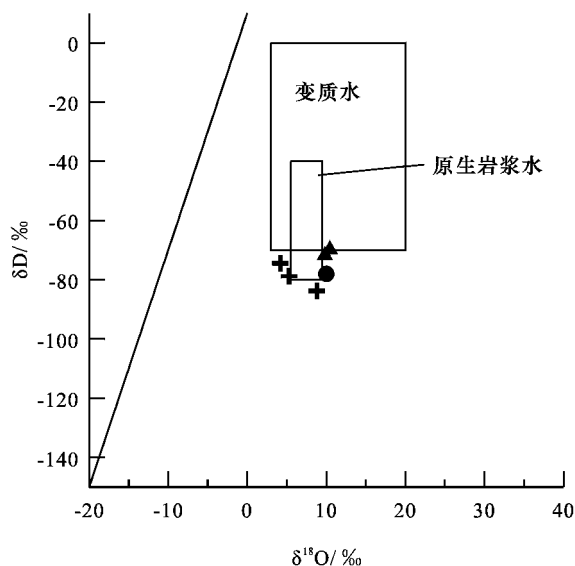


图 5 公郎弧成矿流体子系统 δD - $\delta^{18}O$ 关系图
(底图据卢焕章, 1997)

●—新民铜矿床成矿流体；▲—拥翠铜钴矿点成矿流体；
+—水泄铜钴矿床成矿流体

Fig. 5 δD versus $\delta^{18}O$ diagram for Gonglang arc ore-forming fluid subsystem (based on map by Lu, 1997)

●—Ore-forming fluid of the Xinmin copper deposit；▲—Ore-forming fluid of the Yongchui copper-cobalt ore spot；+—Ore-forming fluid of the Shuixie copper-cobalt deposit

$\delta^{13}C_{CO} > \delta^{13}C_{CH_4}$ 。 CH_4 富集 ^{12}C ，其 $\delta^{13}C$ 低至 -40% (Hoefs, 1997)。应用四级质谱进行测试时，在高温条件下， CH_4 会与 H_2O 反应而生成 CO 与 H_2 。该区各种流体包裹体样品中的 CO_2 含量远大于 CO 和 CH_4 含量，即在热液系统中， CO_2 为主要含碳组分， CH_4 和 CO 对整个流体系统 $\delta^{13}C$ 的影响较小，对 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 的影响也较小，故 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 可以近似代表整个体系的 $\delta^{13}C$ 。地壳流体中的 CO_2 有三大主要来源：海相碳酸盐岩、地幔源和地层内有机质的分解 (Rollinson, 1993)。地幔源 $\delta^{13}C$ 为 -8% ~ -3% ，平均 -6% ；生物成因的碳在同位素上以亏损 $\delta^{13}C$ 特征，其 $\delta^{13}C$ 为 -20% ~ -30% ，平均为 $-26 \pm 7\%$ ；海水及海相碳酸盐则富集 $\delta^{13}C$ ，其 $\delta^{13}C$ 约为 0 (Rollinson, 1993)。

巍山-永平铜金多金属矿集区内石英、方解石、萤石及重晶石内包裹体中 CO_2 的碳同位素组成列于表 2。

在紫金山子系统中，扎村金矿床成矿流体的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 为 -2.43% ，紫金山金矿点成矿流体的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 为 -1.5% ，其 CO_2 可能源自海相碳酸盐。石

岩村(含罗旧村)锑矿床成矿流体的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 为 -26.4% ~ -1.9% ，分布范围较宽，平均为 -17.45% ，多数小于 -20% ，其 CO_2 可能主要源于地层内有机质的分解，有少量源自海相碳酸盐。笔架山锑矿床成矿流体的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 为 -2.7% ，其 CO_2 可能源自海相碳酸盐。马鞍山铁矿床成矿流体的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 为 -7.5% ，其 CO_2 可能与地幔有关。大佛山铅锌矿点成矿流体的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 为 -10.07% ，其 CO_2 可能来自地层内有机质的分解。

在紫金山成矿流体系统中，金、铅锌及铁矿床的成矿流体包裹体在 $\delta^{13}C$ - $\delta^{18}O$ 图解(图 6)上，主要落在岩浆-地幔源区及其附近，显示出矿床中 CO_2 的岩浆-地幔源特征。而锑矿床的流体包裹体则主要落在沉积有机物氧化作用趋势线上，部分点落在岩浆-地幔源区及海相碳酸盐岩区(图 6)，显示出矿床中 CO_2 的多来源特征，但以地层内有机质分解来源为主。

在公郎弧子系统中，新民铜矿床成矿流体 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 为 3.7% ，其 CO_2 可能来自海相碳酸盐。拥翠铜钴矿点成矿流体的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 为 -1.3% ~ -3.9% ，平均为 -2.6% ，其 CO_2 可能源自地幔和海

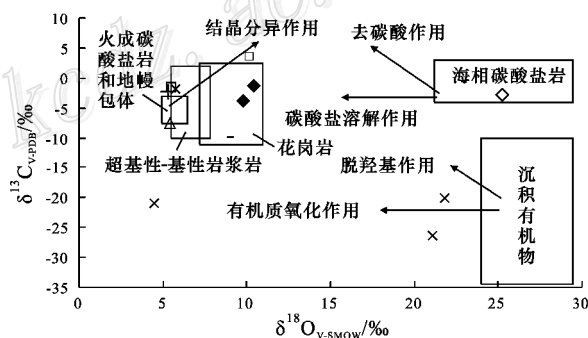


图 6 巍山-永平铜金多金属矿集区流体包裹体 $\delta^{13}C$ - $\delta^{18}O$ 图解(底图据刘建明等, 1997)

□—新民铜矿床成矿流体；◆—拥翠铜钴矿点成矿流体；+—扎村金矿床成矿流体；-—大佛山铅锌矿点成矿流体；△—马鞍山铁矿床成矿流体；×—石岩村锑矿床成矿流体；◇—笔架山锑矿床成矿流体

Fig. 6 Carbon-oxygen isotope diagram for fluid inclusions in Weshan-Yongping copper-gold-polymetallic ore concentration area (based on map by Liu et al., 1997)

□—Ore-forming fluid of the Xinmin copper deposit；◆—Ore-forming fluid of the Yongchui copper-cobalt ore spot；+—Ore-forming fluid of the Zacun gold deposit；-—Ore-forming fluid of the Dafoshan lead-zinc ore spot；△—Ore-forming fluid of the Maanshan iron deposit；×—Ore-forming fluid of the Shiyancun, Luojiucun antimony deposit；◇—Ore-forming fluid of the Bijiaoshan antimony deposit

相碳酸盐。水泄铜钴矿床成矿流体的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 为 -13.6‰ ,其 CO_2 可能为生物成因。公郎弧子系统内诸矿床的流体包裹体在 $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}$ 图解(图 6)上,落在岩浆-地幔源区及其附近,显示出矿床中 CO_2 的岩浆-地幔及海相碳酸盐源特征。

由上可见,紫金山子系统内流体包裹体中的 CO_2 可能主要源自沉积地层及地层内有机质的分解,有少量来自地幔,而公郎弧子系统中流体包裹体内的 CO_2 则显示出多来源特征,主要为沉积地层及地幔源,少量来自地层内有机质的分解。

5 讨论

巍山-永平铜金多金属矿集区成矿流体系统紫金山子系统与公郎弧子系统特征对比见表 3。由表

3 可知,它们在流体包裹体类型、均一温度、盐度、气液相成分、成矿元素组合、稳定同位素特征等方面,都有较显著的差别。紫金山子系统成矿流体的包裹体类型主要为富液相包裹体(Ⅰa)、富 H_2O 相包裹体(Ⅱa)及少量富气相包裹体(Ⅰc),均一温度为 $130\sim 280^\circ\text{C}$,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 $0.1\%\sim 18\%$,其气相成分以 H_2O 、 CO_2 为主,液相成分中阴离子以 Cl^- 、 F^- 、 SO_4^{2-} 为主,阳离子以 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 为主,属 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 体系;成矿元素组合为 $\text{Au}-\text{As}-\text{Sb}-\text{Cu}-\text{Ni}-\text{U}$ (表 3),其稳定同位素特征表明,成矿溶液主要来自封存于地层中的岩浆水及地层水。

随着印度与亚洲大陆的碰撞造山,青藏高原隆升,形成了兰坪走滑拉分盆地。受自 SW 朝 NE 方向作用力的影响,形成了盆地西岸和南侧的逆冲推覆构造,受此影响,封存于盆地内的岩浆水及地层水自

表 3 巍山—永平矿集区紫金山成矿流体子系统与公郎弧成矿流体子系统特征对比
Table 3 Comparison of characteristics between Zijinshan and Gonglang arc ore-forming fluid subsystems

	紫金山成矿流体子系统	公郎弧成矿流体子系统
包裹体类型	富液相包裹体(Ⅰa)、富 H_2O 相包裹体(Ⅱa)及少量富气相包裹体(Ⅰc)	富液相包裹体(Ⅰa)、富 H_2O 相包裹体(Ⅱa)、富 CO_2 包裹体(Ⅱb),和含子矿物的多相包裹体(Ⅲ)
$t_{\text{h}}/^\circ\text{C}$	130~280	190~340
盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$	0.1~18	22~26,30~35
液相成分	Cl^- 、 F^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+}	Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+
F^-/Cl^-	0.0006~0.33	0.0001~0.24
$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$	0.4~424	0.54~26.88
Na^+/K^+	1.2~44.3	4.24~17.45
气相成分	H_2O 、 CO_2 为主,含微量 CH_4 、 CO 、 N_2 、 C_2H_6 、 O_2 、 H_2S 、 Ar	H_2O 、 CO_2 为主,含微量 CH_4 、 CO 、 N_2 、 C_2H_6 、 O_2 、 H_2S 、 Ar
$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$	0.01~0.29	0.03~0.14
$(\text{CH}_4+\text{CO})/\text{CO}_2$	0.004~0.49	0.008~0.041
体系	$\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$	$\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$
$\Sigma\text{REE}/10^{-12}$	219~3581	211~9134
ΔCe	0.26~0.93	0.07~0.92
ΔEu	0.74~1.37,多为负异常	0.4~214,多为正异常
$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$	3.2~44.45	3.28~126
流体成矿元素组合	$\text{Au}-\text{As}-\text{Sb}-\text{Cu}-\text{Ni}-\text{U}$	$\text{Cu}-\text{Co}-\text{As}-\text{Ni}-\text{Ag}$
$\text{Sb}/10^{-9}$	0.31~2674	4.15~25.77
$\text{Co}/10^{-9}$	0.07~8.01	0.48~123
$\text{Cu}/10^{-9}$	1.31~116	64~447
$\text{As}/10^{-9}$	33.3~405	216~779
Co/Ni	<0.1	>0.5
$\delta\text{D}/\text{‰}$	-117.4~-78	-83.8~-71
$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$	4.15~32.3	4.17~9.99
$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	-26.4~-1.5	-3.9~4.4
pH	5.29~7.09	6.67~7.93
E_{h}/V	-0.11~2.84	-0.83~0.12
成矿压力/MPa	30~130	100~225
成矿温度/ $^\circ\text{C}$	228~255	317~346
成矿深度/km	1.05~6.67	3.51~7.89

测试单位 中国地质科学院矿产资源研究所(均一温度、盐度、 δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$) 中国科学院矿物资源探查中心(气液相成分、微量元素)。

SW 朝 NE 方向流动,并萃取地层中的成矿元素,最后演变为成矿流体。在成矿流体流动过程中,先形成温度、盐度较高的公郎弧子系统,随着流体向北推进,其温度、盐度逐渐降低,流体成分发生变化,演变为紫金山子系统。在该区地层中,麦初箐组(T_3m)为一套含碳质深灰色至黑色的粉砂岩、页岩、泥岩,花开左组(J_2h)则为一套紫红色的粉砂岩、粉砂质泥岩、页岩,这两套地层的接触部位显然是一个氧化-还原界面。而在歪古村组(T_3w)砂板岩、挖鲁八组(T_3wl)页岩与三合洞组(T_3s)灰岩间,显然存在一个粘土质的不透水的阻挡层。

公郎弧子系统内成矿流体的包裹体类型主要有富液相包裹体(I_a)、富 H_2O 相包裹体(II_a)、富 CO_2 包裹体(II_b)和含子矿物的多相包裹体(III);均一温度为 $190\sim 340^\circ C$ 及 $370\sim 410^\circ C$ 盐度 $w(NaCl_{eq})$ 为 $22\%\sim 26\%$ 及 $30\%\sim 35\%$ 其气相成分以 H_2O 、 CO_2 为主,液相成分中阴离子以 Cl^- 、 SO_4^{2-} 为主,阳离子以 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 为主,属 $NaCl-H_2O-CO_2$ 体系;成矿元素组合为 Cu-Co-As-Ni-Ag(表 3)其稳定同位素特征表明,成矿溶液来源于岩浆水及地层水。

公郎弧系统中的厂街铜钴矿床产于花开左组(J_2h)与坝注路组(J_3b)界面或其附近的层间破碎带及断裂破碎带中,冰泄铜钴矿床则产于光山梁子背斜核部,受麦初箐组(T_3m)与花开左组(J_2h)界面附近的层间断裂控制,新民铜矿床及拥翠铜钴矿点就位于公郎弧形构造、推覆构造中,其赋矿地层分别为歪古村组(T_3w)与麦初箐组(T_3m)。成矿流体在盆地中朝 NE 方向流动,沿途萃取地层中的成矿元素,在上述适合矿体沉淀与就位的场所,当流体的 pH 值为 $6.7\sim 7.9$ 、 E_h 值为 $-0.83\sim -0.11V$ 、成矿压力为 $100\sim 225 MPa$ 、成矿温度为 $317\sim 346^\circ C$ 、成矿深度为 $3.51\sim 7.89 km$ 时,富含 Cu-Co-As-Ni-Ag 的成矿流体发生流体混合、沸腾或相分离作用,从而导致 Cu、Co 等重金属成矿作用的发生。

紫金山复式背斜可提供矿床就位空间。当成矿流体运动到紫金山复式背斜南倾伏端——麦初箐组(T_3m)与花开左组(J_2h)之间的破碎带并遭遇来自深部的岩浆热液时,或运动到歪古村组(T_3w)砂板岩与三合洞组(T_3s)灰岩间的层间破碎带、花开左组(J_2h)与(J_{1y})之间的破碎带、三合洞组(T_3s)灰岩与挖鲁八组(T_3wl)页岩之间的层间破碎带,当其成矿流体的 pH 值为 $5.3\sim 7.1$ 、 E_h 值为 $-0.11\sim -2.84V$ 、成矿压力为 $30\sim 130 MPa$ 、成矿温度为 228

$\sim 255^\circ C$ 、成矿深度为 $1.05\sim 6.67 km$ 时,富含 Au-As-Sb-Cu-Ni-U 的成矿流体发生流体混合、沸腾或相分离作用,从而导致 Au、Sb、Hg、As、Pb、Zn 等重金属成矿作用的发生。

致 谢 野外工作得到云南省地质调查院李文昌副院长、云南地矿资源股份公司和中华总工、赵维军工程师的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1990. Regional geology of Yunnan Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Chen Y C. 1999. Mineral resources prospect evaluation of the major metallogenic belts in China [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Dong F L. 2002. Study on metallogenic condition and potentiality of copper-gold-polymetallic deposits in Weishan-Yongping mineralization district, Yunnan [D]. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Dong F L, Mo X X, Hou Z Q, Wang Y, Bi X M and Zhou S. 2005. $^{40}Ar/^{39}Ar$ ages of Himalayan alkaline rocks in Lanping basin, Yunnan Province, and their geological implications [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 24 (2): 103~109 (in Chinese with English abstract).
- Friedman I and O'Neil J R. 1977. Data of geochemistry (sixth edition) [M]. Washington: U.S. Geological Survey Professional Paper.
- Hoefs J. 1997. Stable isotope geochemistry (4th ed) [M]. Berlin: Springer Verlag. 65~185.
- Li F, Huang D Y and Fu W M. 1994. Geological characteristics of Shuixie copper deposit and its origin in Yongping [J]. Yunnan Geology, 12(4): 341~349 (in Chinese with English abstract).
- Li X Z, Liu W J, Wang Y Z, Zhu Q W, Du D X, Shen G F, Liu C J, Que M Y, Yang S H, Li D M and Feng Q L. 1999. The tectonic evolution and metallogenesis in the Tethys of the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang area, southwestern China [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Lin G, Fan W M and Yin H H. 1991. Primary study on the longitudinal axial fracture zone in the Lanping-Simaobasin of Diwa type, western Yunnan Province, China [J]. Geotectonica et Metallogenia, 15(1): 15~21 (in Chinese with English abstract).
- Liu J M and Liu J J. 1997. Basin fluid genetic model of sediment-hosted micro-disseminated gold deposits in the gold-triangle area between Guizhou, Guangxi and Yunnan [J]. Acta Mineralogica Sinica, 17 (4): 448~456 (in Chinese with English abstract).
- Lu H Z. 1997. The ore forming fluids [M]. Beijing: Beijing Sci. and Tech. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Mo X X, Lu F X, Shen S Y, Zhu Q W, Hou Z Q, Yang K H, Deng J

- F, Liu X P, He C X, Lin P Y, Zhang B M, Tai D Q, Chen M H, Hu X S, Ye S, Xue Y X, Tan J, Wei Q R and Fan L. 1993. Sanjiang Tethyan volcanism and related mineralization [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- O'Neil J R and Mayeda T K. 1969. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates [J]. J. Chem. Phys., 51: 5547~5558.
- Rollinson H R. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation [M]. New York: John Wiley & Sons.
- Shangguan Z G and Zhang Z L. 1991. The stable isotopic research on spring in experiment area, western Yunnan [A]. In: Research on modern crust movement (5) [C]. Beijing: Seismological Press. 87~95 (in Chinese).
- Wang B L and Li W C. 2001. Preliminary study of Weixi-Jinghong rift belt [J]. Yunnan Geology, 20(1): 39~45 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y. 2002. Study on the characteristics of metallogenic fluids and fluid-geological mapping in the Weishan-Yongping copper-gold-poly-metallic mineralization district, Yunnan [D]. Tutor: Mo X X. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Wang Y, Mo X X, Dong F L, Bi X M, Yu X H, Yang W G and Zeng P S. 2003. Fluid-geological mapping in Weishan-Yongping mineralization district, Yunnan [J]. Geology in China, 30(1): 73~83 (in Chinese with English abstract).
- Xu Q D and Mo X X. 2000. Characteristics and state of regional fluids in middle portion of Sanjiang region during the Neo-Tethyan stage [J]. Acta Petrologica Sinica, 16(4): 639~648 (in Chinese with English abstract).
- Yang J W, Li Y B and Yu L W. 1991. Geological characteristics of Zacun gold deposit [J]. Yunnan Geology, 10(1): 71~104 (in Chinese with English abstract).
- Zhang L G. 1985. The application of the stable isotope to geology [M]. Xi'an: Shaanxi Sci. & Tech. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Zhang T S and He L T. 2000. Regional gold mineralization controlled by the Lanping-Simao depression middle axis fault [J]. Geotectonica et Metallogenia, 24 (Supp.): 63~66 (in Chinese with English abstract).
- 质出版社.
- 董方浏. 2002. 云南巍山-永平矿化集中区铜金多金属矿床成矿条件及成矿潜力研究 [D]. 导师: 莫宣学. 北京: 中国地质大学.
- 董方浏, 莫宣学, 侯增谦, 王 勇, 毕先梅, 周 肃. 2005. 云南兰坪盆地喜马拉雅期碱性岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及地质意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 24(2): 103~109.
- 李 峰, 黄敦义, 甫为民. 1994. 永平水泄铜矿床地质特征及其成因 [J]. 云南地质, 12(4): 341~349.
- 李兴振, 刘文均, 王义昭, 朱勤文, 杜德勋, 沈敢富, 刘朝基, 阙梅英, 杨时惠, 李定谋, 冯庆来. 1999. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿(总论) [M]. 北京: 地质出版社.
- 林 舸, 范蔚茗, 尹汉辉. 1991. 中国滇西兰坪-思茅地洼盆地中轴断裂带的初步研究 [J]. 大地构造与成矿学, 15(1): 15~21.
- 刘建明, 刘家军. 1997. 滇黔桂金三角区微细浸染型金矿床的盆地流体成因模式 [J]. 矿物学报, 17(4): 448~456.
- 卢焕章. 1997. 成矿流体 [M]. 北京: 北京科学技术出版社.
- 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 朱勤文, 侯增谦, 杨开辉, 邓晋福, 刘祥品, 何昌祥, 林培英, 张保民, 邵道乾, 陈美华, 胡享生, 叶 松, 薛迎喜, 谭 动, 魏启荣, 范 例. 1993. 三江特提斯火山作用与成矿 [M]. 北京: 地质出版社.
- 上官志冠, 张仲禄. 1991. 滇西实验场区温泉的稳定同位素地球化学研究 [A]. 见: 现代地壳运动研究 (5) [C]. 北京: 地震出版社. 87~95.
- 王宝禄, 李文昌. 2001. 维西-景洪裂陷带初步研究 [J]. 云南地质, 20(1): 39~45.
- 王 勇. 2002. 云南巍山-永平铜金多金属矿化集中区成矿流体特征及流体地质填图研究 [D]. 导师: 莫宣学. 北京: 中国地质大学.
- 王 勇, 莫宣学, 董方浏, 毕先梅, 喻学惠, 杨伟光, 曾普胜. 2003. 云南巍山-永平矿集区流体地质填图的理论与实践 [J]. 中国地质, 30(1): 73~83.
- 徐启东, 莫宣学. 2000. 三江中段新特提斯阶段区域流体的性质与状态 [J]. 岩石学报, 16(4): 639~648.
- 杨嘉文, 李有本, 余莉雯. 1991. 扎村金矿床地质特征 [J]. 云南地质, 10(1): 71~104.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社.
- 张理刚. 1985. 稳定同位素在地质科学中的应用 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社.
- 张泰身, 和浪涛. 2000. 兰平-思茅盆地“中轴断裂”及其对金矿区域成矿的控制 [J]. 大地构造与成矿学, 24(增刊): 63~66.

附中文参考文献

- 陈毓川. 1999. 中国主要成矿区带矿产资源远景评价 [M]. 北京: 地