

文章编号:0258-7106(2005)01-0061-10

云南白秧坪地区东矿带矿床地质地球化学特征及成因分析*

何龙清, 陈开旭, 魏君奇, 余凤鸣

(宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003)

摘要 东矿带是云南白秧坪矿集区的重要组成部分,矿体明显受逆冲推覆构造主推覆断层及反冲断层的控制,多产于上三叠统三合洞组碳酸盐岩地层中。矿床中发育一套典型的中低温热液成因的矿物组合,成矿流体性质主要为来源于深部的中低温热卤水。硫、铅、碳、氧同位素分析表明成矿物质的深源特征,矿石稀土元素组成显示均有明显的 δEu 异常,构造热流体活动是成矿的主导因素。矿床地质地球化学特征显示,东矿带的矿床成因类型为与推覆构造有关的中低温热卤水铜银多金属矿床。

关键词 地质学;铜银多金属矿床;地质地球化学特征;矿床成因;白秧坪地区;东矿带

中图分类号:P618.41

文献标识码:A

白秧坪地区位于云南省西部的特提斯构造域内兰坪-思茅前陆盆地北端,随着找矿工作的逐渐深入,除了金顶铅锌矿床外,近几年又获得找矿突破,并已显示出有望成为大型-超大型规模的银铜多金属成矿远景区(张乾等,2002;徐启东等,2003),进一步说明盆地内有着广阔的找矿前景。兰坪-思茅盆地北部内生金属矿床以金顶铅锌矿床及白秧坪地区银多金属矿床为代表,其中金顶铅锌矿已做了大量的研究工作(陈式房,1991;王国芝等,2001;等等),而白秧坪地区的工作近几年才得到广泛的重视(邵兆刚等,2001;朱大岗等,2002;杨伟光等,2003;刘家军等,2004)。兰坪-思茅盆地夹持于澜沧江-昌宁-孟连造山带和金沙江-哀牢山造山带之间。受造山作用的控制,盆地东、西两侧分别发育两套逆冲推覆构造系统,控制着白秧坪地区铜、银多金属矿的成矿作用。两套逆冲推覆构造系统在形成机制上的差异,导致该区东部与西部成矿作用上的不同,形成东、西两个分属不同体系的成矿带(陈开旭等,2000;魏君奇,2001),即三山-河西银多金属矿带(简称东矿带)和富隆厂-白秧坪铜多金属矿带(简称西矿带)。本文将系统讨论白秧坪地区东矿带矿床的地质、地球化学特征,并探讨矿床成因。

1 矿床地质特征

东矿带目前已控制的矿床(点)或矿段有黑山、灰山、华昌山、燕子洞、下区五、东至岩、麦地坡、河西、大三界、卡朵等,均分布在华昌山主断裂带及其旁侧以及水磨房断裂带中(图1)。

华昌山主断裂带及其旁侧共圈出15个矿体。矿体以透镜状、似层状为主,膨缩和分枝复合现象较普遍。矿体控制长度一般为135~3300m,控制最大斜深320m,平均厚度一般为2.31~16.91m。矿体产状与华昌山主断裂带基本一致,且矿体绝大多数赋存于主断裂带上盘(东盘)的三合洞组碳酸盐岩地层中,构造与岩性双重控制的特性非常明显。根据各矿体成矿元素及伴生元素的变化,矿带成矿元素自南向北存在 $\text{Pb-Zn-Ag} \rightarrow \text{Cu-Ag} \rightarrow \text{Ag}(\text{Cu}) \rightarrow \text{Pb-Zn-Sr} \rightarrow \text{Sr}$ 的演化趋势,这种特点可能反映了同一成矿流体演化系统在不同构造部位分异的结果,并与含矿层位密切相关,Pb、Zn、Ag与碳酸盐岩关系密切,而Cu主要与华昌山主断裂带下盘(西盘)的红色碎屑岩有关。

卡朵、大三界属于受水磨房断裂带控制的矿床

* 本文得到原地质矿产部定向基金项目(编号:地科定98-13)资助
第一作者简介 何龙清,男,1965年生,博士,研究员,主要从事构造地质和成矿预测研究。
收稿日期 2004-04-22; 改回日期 2004-08-10。

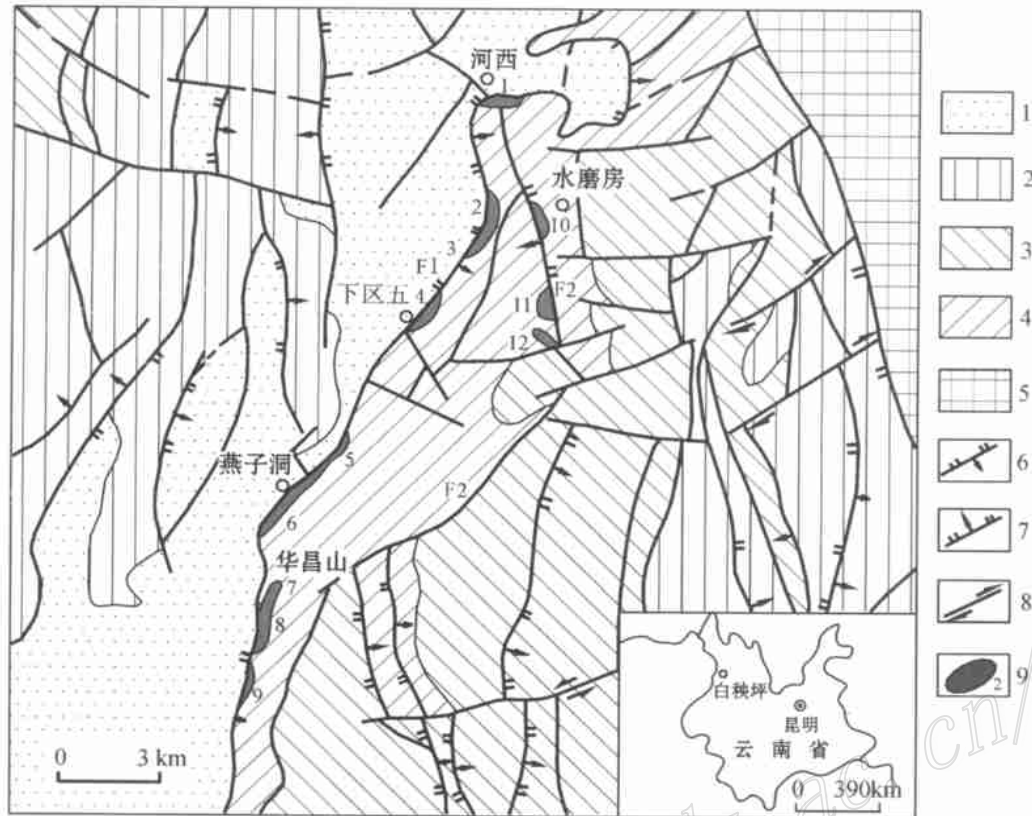


图1 白秧坪地区东矿带地质构造简图

- 1—下第三系;2—白垩系;3—侏罗系;4—上三叠统;5—中三叠统;6—逆断层(F1—华昌山断裂带,F2—水磨房断裂带);7—正断层;
8—平移断层;9—矿床(点)及其编号(1—河西,2—麦地坡,3—东至岩,4—下区五,5—新厂山,6—燕子洞,7—华昌山,8—灰山,
9—黑山,10—水磨房,11—卡朵,12—大三界)

Fig.1 Tectonic sketch map of eastern ore belt in Baiyangping area

- 1—Eocene; 2—Cretaceous; 3—Jurassic; 4—Upper Triassic; 5—Middle Triassic; 6—Reverse fault; 7—Normal fault; 8—Strike-slip fault;
9—Ore deposit (spot) and its serial number (1—Hexi, 2—Maidipo, 3—Dongzhiyan, 4—Xiaquwu, 5—Xinchangshan, 6—Yanzidong,
7—Huachangshan, 8—Huishan, 9—Heishan, 10—Shuimofang, 11—Kaduo, 12—Dasanjie)

(点),共圈出两个富铅锌矿体,呈层状、似层状,矿体长度为120~350 m,厚度1.0~6.5 m。

矿石组构比较复杂,以一套与构造热流体活动有关的结构构造为主要特色。主要矿石构造有角砾状构造、细(网)脉状构造、脉状构造、块状构造、浸染状构造、斑杂状构造;主要矿石结构有交代残余结构、自形-他形粒状结构、碎裂结构、重结晶结构、同溶结构、淀晶结构等。大三界、卡朵矿点发现有同生沉积特征的矿石组构,如细粒闪锌矿、方铅矿与碳酸盐岩构成的纹层状构造以及由同生角砾构成的角砾状构造;显微镜观察发现,纹层状矿石为方解石和菱锌矿胶结的团粒灰岩和鲕粒灰岩,其中碳酸盐胶结物同生沉积特征明显,可能是热水沉积期或者热水沉积成岩期的胶结物。上述迹象表明,东矿带可能

存在热水沉积改造或热泉沉积(点状)改造的矿(化)体。

矿石成分为一套中低温热液成因的矿物组合。铜矿物主要有黝铜矿系列、辉铜矿、黑铜矿、黄铜矿、斑铜矿、铜蓝、蓝辉铜矿等;铅矿物主要有方铅矿及车轮矿等硫酸盐矿物;锌矿物主要为闪锌矿和菱锌矿;其他常见的金属硫化物有黄铁矿和少量白铁矿。脉石矿物主要有方解石、天青石、菱铁矿、白云石、萤石、石英及粘土矿物。

2 控矿构造特征

东矿带以发育逆冲推覆构造为主要特点。推覆构造的外来系统以主推覆断层——华昌山断裂带为

界,其下盘(西盘)为原地系统(见图 1)。东矿带位于整个推覆构造系统的前锋,因其主干逆冲断层及其分支断层全部出露,可将其归入显露类前锋(Platt et al., 1986; Epard et al., 1996)。在前锋的后部,亦发育一系列同走向的断裂,总体构成分散的叠瓦扇状,按照莫尔莱提出的方案(朱志澄, 1995),又可将该前锋进一步划归为叠瓦扇式(I型)。在推覆构造中,华昌山断裂带及水磨房断裂带与成矿作用关系最为密切。

华昌山断裂带是推覆构造的前锋主干逆冲断层,总体走向 NE 20°, 倾向南东, 倾角 30~40°。断裂带西盘为原地系统, 主要出露第三系; 断裂带东盘为外来系统, 由上三叠统至白垩系组成, 推覆体内发育一系列叠瓦状逆冲断层及配套的正断层和横向平移断层。断裂带自南往北变化较大, 南部断面倾角 40~60°不等, 显示逆冲性质, 断面波状起伏; 自河西往北, 断裂带显示逆掩特点, 倾角变缓直至近水平, 断层线展布极不规则, 常圈闭构成飞来峰。断裂带中主要发育构造角砾岩, 据在麦地坡-东至岩一带观察, 角砾成分主要为上盘的三合洞组灰岩, 砾径 1~5 cm 不等, 多为次棱角状, 略具磨圆, 角砾被碳酸盐质胶结, 胶结程度不尽相同, 在断裂带的近下盘, 常见断层泥和构造透镜体, 但总体上断裂带内部变形强度分带不清晰。断裂带内方解石脉、石英脉发育, 脉体宏观上变形迹象不明显, 断裂带旁侧次级构造中褐铁矿化、铜矿化、铅锌矿化强烈。

水磨房断裂带位于华昌山断裂带之东, 呈北东走向, 略向东凸出, 全长约 20 km。地貌上表现为一负地形, 覆盖严重, 但标志清楚, 断面倾向西, 在水磨房一带倾角约 55°。其总体表现为西盘的上三叠统反冲于东盘的侏罗系之上, 断层迹象在北段较为清楚。断裂带宽约 5 km, 带内构造角砾岩发育, 一般呈次棱角状, 成分主要为灰岩, 具铜、铅、锌矿化。水磨房断裂为一条典型的反冲断层。

一般而言, 反冲断层主要发生于逆冲断层系的前峰部位和断坡后侧, 其中, 在许多褶皱造山带的前陆褶皱-冲断带的前峰部位, 常有反冲断层产出(吴运高等, 2000), 水磨房断裂即属此类。反冲断层是因逆冲滑动中受断坡或锋缘前侧阻抗而反向逆冲形成的, 在主干逆冲断层与反冲断层构成背冲式构造的会合部位, 被两条断裂限定的岩层因挤压而上冲, 即形成冲起构造, 冲起构造常表现为断层切割岩层而扭曲的背形或向形。

华昌山断裂与水磨房断裂一起构成推覆前锋的冲起构造, 两断裂限定的岩层表现为向形, 这是东矿带推覆构造前锋的一种特殊形式, 具有十分重要的控矿意义。其控矿作用主要表现在以下方面:

(1) 主推覆断层——华昌山断裂带 是主要的导矿构造, 深部循环的热卤水溶液以华昌山断裂带作为通道上升, 而后定位于其内以及不同级别的次级断层带中, 或者定位于岩石较破碎、孔隙较发育的地层和层间破碎带中。华昌山断裂带又是主要的容矿构造, 沿华昌山断裂分布有黑山、灰山、华昌山、燕子洞、下区五、东至岩、麦地坡、河西等一系列矿段, 矿体均产于断裂带内或其上盘的次级断裂、层间破碎带中。

(2) 构成冲起构造的反冲断层——水磨房断裂带 是另一条重要的导矿和容矿构造, 沿水磨房断裂带已发现大三界、卡朵等三个矿点, 进一步的工作有望构成该区一条次级成矿带。水磨房断裂除本身直接容矿形成矿体或有明显的矿化外, 因其逆冲而在上盘形成牵引背斜, 在背斜的转折端, 产生层间滑脱和虚脱, 在大三界矿点可见该构造空间被成矿溶液充填形成矿体。

3 流体包裹体特征及成矿流体性质

3.1 流体包裹体类型

矿体中矿物流体包裹体类型较多且复杂, 主要有(表 1):

类型 I 单一水溶液相包裹体(L_{H_2O}), 是最为发育的包裹体类型, 包裹体大小变化较大, 一般多为 1~15 μm , 最大可达 40 μm , 形态呈米粒状、椭圆状、多边形及不规则状, 一般分布杂乱无章, 部分沿矿物微裂隙展布。

类型 II 单相气体包裹体(V_{H_2O} 或 V_{CO_2} 或 V_{CH_4}), 属比较少见的包裹体类型, 仅见于闪锌矿、天青石中, 包裹体大小一般为 5~12 μm , 形态主要为多边形和负晶形, 部分呈串珠状分布, 部分沿矿物微裂隙发育。

类型 III 气液两相包裹体($L_{H_2O} + V_{H_2O}$), 亦是较常见的包裹体类型, 仅次于第一类。各类矿物中均可见, 大小不一, 一般为 3~20 μm , 形态以圆形、椭圆形为主, 其次是多边形及不规则状, 多为成群分布, 少数沿矿物微裂隙展布。根据包裹体中气液比

表1 白秧坪地区东矿带矿床(点)矿物流体包裹体特征

Table 1 Features of mineral fluid inclusions of the ore deposits in eastern ore belt of Baiyangping area

矿床(点)	样品号	测定矿物	包裹体类型					流体体系	初熔温度/℃
			I	II	III	IV	V		
卡朵	H91、H95	石英	+++	-	+++	-	-	NaCl-H ₂ O	-20.8
			NaCl-H ₂ O-CO ₂	-56.6					
			MgCl ₂ -NaCl-H ₂ O	-35.0					
东至岩	H10、H17	天青石	+++	+	+++	++	+	NaCl-H ₂ O	-20.8
			NaCl-H ₂ O-CO ₂	-56.6					
燕子洞	H53	方解石	+++	-	+++	-	-	NaCl-H ₂ O	-20.8
灰山	H138、H139	闪锌矿萤石	+++	+	+++	++	++	NaCl-H ₂ O-CO ₂	-20.8
			CaCl ₂ -NaCl-H ₂ O	-52.0					
			MgCl ₂ -NaCl-H ₂ O	-35.0					
黑山	H137	闪锌矿	+++	-	+++	-	-	NaCl-H ₂ O	-20.8
			MgCl ₂ -NaCl-H ₂ O	-35.0					

测试仪器:Leitz 1350 热台和 Chaix meca - 180 ~ +600℃显微冷热台;测试单位:宜昌地质矿产研究所矿产资源研究室。所有样品的测温均未统计次生包裹体的数据。-代表无;+代表少(占包裹体总量<5%);++代表较多(5%~20%);+++代表多(>20%)。

的不同,又可分为 $\alpha(V_{H_2O}) = 5\% \sim 10\%$ 和 $\alpha(V_{H_2O}) = 10\% \sim 15\%$ 两个亚类,相对而言前者分布更广。

类型IV 富CO₂的两相包裹体(L_{CO₂} ± V_{CO₂}),仅见于灰山矿点及东至岩锑矿脉中,包裹体大小在5~9 μm之间,形态主要为方形、负晶形和椭圆形,呈群状分布或混杂于其它类型中。

类型V 含CO₂的三相包裹体(L_{H₂O} + L_{CO₂} ± V_{CO₂}),亦仅见于灰山矿点及东至岩锑矿脉中,赋存于萤石和天青石内,包裹体大小变化大,在5~30 μm之间,以15~20 μm居多,形态为圆形、椭圆形、负晶形,多与其他包裹体类型混杂。

3.2 流体体系

通过对流体包裹体初熔温度的测定,发现流体体系主要有4种类型(表1)。由表1可以看出,成矿流体以NaCl-H₂O二元体系为主,次为NaCl-H₂O-CO₂和MgCl₂-NaCl-H₂O三元体系,少数为CaCl₂-NaCl-H₂O三元体系。

3.3 流体温度

矿物流体包裹体的均一温度变化范围相对集中(图2),主要分布于中低温范围(<200℃),只有石英中的流体包裹体有大于200℃者,如产于卡朵铅锌矿点石英中的包裹体,其最高温度可达290℃。闪锌矿、天青石内包裹体的均一温度具有明显的双峰分布,说明这些矿物存在两个以上的世代,反映了多期热液活动或热液脉动的结果;其他矿物均为单峰分布。总体上看,流体包裹体的均一温度集中在110

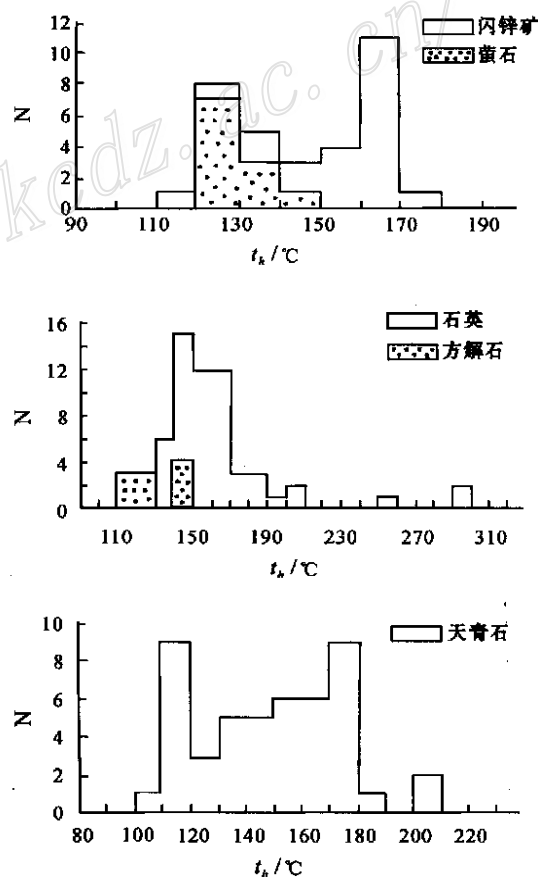


图2 白秧坪地区东矿带流体包裹体均一温度直方图
Fig.2 Histogram showing homogenization temperature of fluid inclusions in eastern ore belt of Baiyangping area

~180 °C 区间,呈三峰形态,即有 120 ~ 130 °C,140 ~ 150 °C,160 ~ 170 °C 三个峰值,说明可能存在 3 个时期的热液活动或脉动作用。

3.4 盐度和密度

东矿带流体的盐度明显较低且变化范围相对较小, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 一般为 < 20.0%,集中在 7% ~ 17% 之间(表 2)。根据各矿床(点)流体体系的性质,近似求得部分包裹体的密度(表 2),据其可见,成矿流体属中低密度的流体,其密度均低于 1.00 g/cm³,主要

为 0.717 ~ 0.967 g/cm³。

3.5 流体包裹体均一温度、盐度和密度的关系

将东矿带流体包裹体的均一温度、盐度和密度数据投于 $t_H-w-\rho$ 图中(图 3),可以发现,各矿床(点)的数据主要分布于 3 个区域内,均偏离石盐饱和曲线较远,表明属低盐度流体。3 个区的主矿物组合不一样,A 区为闪锌矿、石英及萤石中的流体包裹体,B 区为闪锌矿、石英、天青石、方解石中的流体包裹体,C 区为石英中的流体包裹体(数量少)。这一特征说

表 2 白秧坪地区东矿带流体包裹体的盐度和密度

Table 2 Salinity and density of fluid inclusions in eastern ore belt of Baiyangping area

矿床(点)及样品号	测试矿物	$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$	密度/(g·cm ⁻³)
卡朵			
H91	石英	7.0 ~ 7.6, 7.2 ~ 7.3	
H95	石英	16 ~ 17.5, 16.5 ~ 17.4, 17.4 ~ 17.7	
东至岩			
H10	天青石	6.2 ~ 7.6, 6.7 ~ 9.2	0.945 ~ 0.967, 0.767 ~ 0.776
H17	天青石	10.0 ~ 10.1, 6.4 ~ 6.7, 7.0 ~ 7.7	0.717 ~ 0.731, 0.898 ~ 0.981
燕子洞			
H53	方解石	5.7 ~ 6.2, 5.9 ~ 6.7	0.875 ~ 0.898
灰山			
H138	闪锌矿	19.6 ~ 20, 20 ~ 21.2	
	萤石	16.0 ~ 19.2, 16.0 ~ 19.6, 10.6 ~ 12	
H139	闪锌矿	17.5 ~ 19.6, 17.9 ~ 20	
黑山			
H137	闪锌矿	11.5 ~ 14.5, 10 ~ 10.5	0.786 ~ 0.804

测试单位:宜昌地质矿产研究所矿产资源研究室。

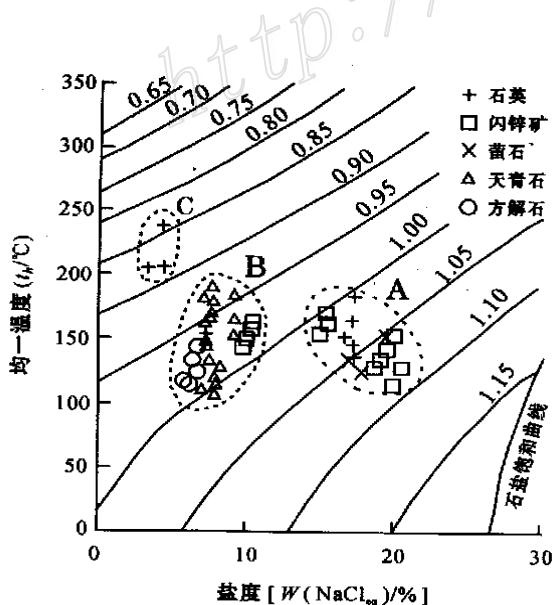


图 3 白秧坪地区东矿带流体包裹体 $t_H-S-\rho$ 图

Fig. 3 $t_H-w-\rho$ diagram of fluid inclusions in eastern ore belt of Baiyangping area

明,石英中的流体可能来源于 3 种流体,与成矿关系最密切的闪锌矿表现出有两种流体来源(A + B),而主要出现于北段的天青石显然具有单一流体来源的特点。由此推断,成矿流体存在 3 种流体源,即 A——中低温、相对较高盐度的流体,B——中低温、低盐度的流体,C——相对高温、极低盐度的流体。但与银多金属成矿作用有关的成矿流体可能主要为 A、B 两种不同性质的流体的混合。此外,主要出现于北段的天青石的投影点均位于 B 区,显示单一流体作用的特点,因此,北段的大型锑矿床及广泛发育的锑矿脉,可能代表了相对独立的一期(早期?)热液作用的结果。

4 碳、氧、硫、铅同位素特征

同位素样品由宜昌地质矿产研究所同位素室测定,其中碳、氧、硫同位素测试在 MAT-251 质谱仪上

进行,铅同位素测试在 MAT-261 质谱仪上进行,测试精度执行地质矿产行业标准《同位素地质样品分析方法》(DZ/T 0184.x-1997)。

4.1 碳、氧同位素特征

根据成岩过程中有机碳及热水沉积中无机碳的碳、氧同位素组分不同变化范围,可以区分不同来源碳、氧同位素组分的变化特征。杨振强等认为,通过 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 图解,可以解释各种沉积事件和热事件中碳、氧同位素组分的变化途径,并可辨别出 5 类来源的碳组分(杨振强等,1999)。将表 3 所列的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值投影到 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 图解(图 4)中,可以看出其分布集中在 3 个不同的范围内:

(1) 产于三叠系中的灰岩,其碳同位素为正值($\delta^{13}\text{C} = 2.7\text{‰} \sim 3.2\text{‰}$), $\delta^{18}\text{O}$ 值变化于 $-6.4\text{‰} \sim -7.9\text{‰}$ 之间。现代海相碳酸盐岩、海相浅水生物中的双壳类和有孔虫、绿藻、非骨骼成分的生物都具有正的碳同位素值,而且氧同位素值变化于 $\pm 3\text{‰}$ 之间,相比之下,H48 和 H66 号样品应代表海相生物碳酸盐岩在低温成岩条件下的产物,碳、氧同位素在图中表现为从海相碳酸盐岩(MCR)变为低温成岩的海相碳酸盐岩(MDL)。

(2) 采自燕子洞和热水塘的菱铁矿化或铅矿化灰岩、天青石和铅矿中的方解石,代表受到矿化作用影响的灰岩成分(样品号 H23, H54, H56, H60, H63)。这些样品的特点是碳同位素值 $\delta^{13}\text{C}$ 为正值,变化范围为 $0.17\text{‰} \sim 6.04\text{‰}$,比较靠近 0‰ ,而 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化于 $-14\text{‰} \sim -20.9\text{‰}$ 之间。与上述三叠系海相碳酸盐岩比较,矿化灰岩的碳、氧同位素值明显变

小,呈同步“漂移”的趋势。

(3) 采自东至岩、燕子洞矿段的样品为与矿石共生的碳酸盐胶结物(方解石、菱铁矿、白云石、铁方解石、菱锆矿、白铅矿等),其 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值皆为负值, $\delta^{13}\text{C} = -6.15\text{‰} \sim -2.3\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 为 -21.5‰

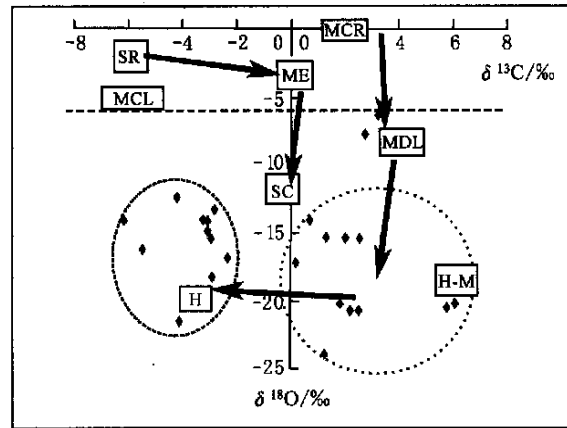


图 4 白秧坪地区东矿带碳酸盐岩的碳、氧同位素组成
MCR—海相碳酸盐岩; MDL—低温成岩的海相碳酸盐岩; H—深部热卤水中的二氧化碳; H-M—热卤水中的二氧化碳交代海洋碳酸盐岩; MCL—大气降水方解石线; SR-ME-SC—碳酸盐还原带至细菌发酵带至深埋胶结带

Fig. 4 Diagram showing carbon and oxygen isotope composition of carbonate rocks in eastern ore belt of Baiyangping area
MCR—Marine facies carbonate rock; MDL—Marine facies carbonate rock formed in low temperature environment; H—CO₂ in hot brines from the depth; H-M—CO₂ in hot brines replacing marine facies carbonate rock; MCL—Line of calcite from atmospheric water; SR-ME-SC—Carbonate reduction zone through bacteria fermentation zone to catagenetic cementation zone

表 3 白秧坪地区东矿带碳酸盐岩碳、氧同位素组成

Table 3 Carbon and oxygen isotope composition of carbonate rocks in eastern ore belt of Baiyangping area

样号	产地	样品名称	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V.PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V.PDB}}/\text{‰}$	碳来源
H48	燕子洞	蚀变灰岩	3.23	-6.37	海相碳酸盐(低温成岩)
H66	燕子洞付厂坡	深灰色泥晶灰岩	2.73	-7.9	
H56	燕子洞公路	菱铁矿化灰岩	1.26	-15.4	
H60	燕子洞公路	菱铁矿化细晶灰岩	1.78	-20.2	
H63	燕子洞新厂	矿化灰岩	2.14	-20.9	
H23	热水塘	铅矿石中的铁方解石(脉石矿物)	0.17	-17.3	
H54	燕子洞 PT12	铅矿石中的碳酸盐(脉石矿物)	0.67	-14	热卤水中 CO ₂ 交代海洋碳(中温)
H100	大三界	角砾状矿石中的方解石胶结物	1.21	-24	
H102	大三界	含矿泥晶灰岩	5.74	-20.6	
H105	大三界	矿化团粒灰岩	6.04	-20.28	
H106	大三界	纹层状矿化灰岩	2.41	-20.81	
H113	下区五.东至岩	天青石化白云质灰岩	2.49	-15.44	
H114	下区五.东至岩	团粒状灰岩	2.0	-15.5	

表 4 白秧坪地区东矿带硫、铅同位素数据

Table 4 Sulfur and lead isotope data of eastern ore belt in Baiyangping area

采样点	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	t/Ma	μ	Th/U
卡朵	闪锌矿	-1.24	18.460	15.598	38.638	128	9.45	3.79
	方铅矿	-3.54	18.462	15.611	38.671	143	9.48	3.81
灰山	闪锌矿	-4.14	18.702	15.710	39.063	93	9.65	3.86
黑山	方铅矿	-5.55	18.682	15.626	38.769	0.5	9.49	3.74

~ -12.3‰, 数值点集中在热水沉积的范围内, 显示热卤水对矿石中的胶结成分起主导控制作用。

由此可见, 东矿带存在 3 种不同类型的碳同位素, 即来自三叠纪海洋生物的碳、海相碳酸盐的碳与热卤水中碳的过渡类型、来自深部热卤水 CO_2 中的碳。笔者认为, 东矿带原生沉积灰岩中的碳表现为在低温成岩条件下的海洋碳同位素特征, 矿化灰岩和结晶灰岩则是热卤水中所携带的无机碳交代海洋碳的结果, 含矿碳酸盐胶结物完全是深部热卤水中所携带的无机碳沉淀的结果。无机碳主要来自地壳深部, 可能是地幔去气作用释放出来的地幔碳, 因此, 碳、氧同位素反映出成矿物质的深源特征。

4.2 硫、铅同位素特征

东矿带硫化物矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -5.55‰ ~ -1.24‰, 仅在 4‰ 左右的范围内变化(表 4), 说明矿石硫的来源相对单一。矿石矿物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值全为负值, 均值为 -3.62‰, 略富轻硫。硫同位素具低的负值及变化均一的特点也反映了深源硫的特征。卡朵脉状矿体中硫化物矿物对的 $\delta^{34}\text{S}$ 值表现为闪锌矿 > 方铅矿, 说明硫同位素分馏作用基本达到平衡。

矿石矿物和岩石的铅同位素组成(表 4) 比较集中, 其中 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的值为 18.460 ~ 18.702, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的值为 15.598 ~ 15.710, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.638 ~ 39.063。可见, 铅同位素组成相对均一, 总体显示出壳-幔混合铅的特征。

铅同位素的 μ 值为 9.45 ~ 9.65, 均值为 9.51。按 Doe 的标准, 上地壳铅的 μ 值大于 9.58, 上地幔铅的 μ 值小于 9.58; 东矿带样品的 μ 值小于 9.58, 说明其铅的来源主要为幔源铅。矿石铅同位素具有相对均一的 Th/U 值(3.74 ~ 3.86), 也反映出幔源铅的特征。

5 稀土元素组成

稀土元素分析在 ICP-AES 单道扫描仪上进行,

由宜昌地质矿产研究所化分室测定, 不同元素有不同的精度要求, 测试精度严格执行地质矿产行业标准《地质矿产实验室测试质量管理规范》(DZ/T 0130-2002)。

东矿带内原生铅锌矿石的稀土元素组成特征参数见表 5, 相应的稀土元素分布形式如图 5 所示, 据其可见以下特征:

(1) 黑山、灰山矿点的矿石, 其稀土元素总量变化范围相对较大, 为 $20.16 \times 10^{-6} \sim 108.5 \times 10^{-6}$ 。黑山矿点稀土元素表现为明显地富集轻稀土元素, 稀土元素分布形式为明显地右倾; 而灰山矿点的样品在分布形式上呈平坦状, 相对富集重稀土元素。两者均具有显著的 δEu 、 δCe 负异常, 但黑山矿点的 δEu 、 δCe 负异常更为明显。稀土元素组成变化较大, 显示了多期次热液活动的影响和不同成分物质的混合特征。

(2) 大三界矿点的矿石, 其稀土元素总量变化范围较窄, 为 $11.33 \times 10^{-6} \sim 35.38 \times 10^{-6}$, 富集轻稀土元素, 稀土元素分布形式表现为右倾, 具有极明显的 δEu 负异常。 δCe 值随矿石类型的不同, 显示出差异, 浸染状铅锌矿石与角砾状铅锌矿石均具显著 δCe 负异常, 而纹层状铅锌矿石表现为 δCe 正异常, 这种差异主要反映出该区几类矿石沉淀时氧化还原环境的不同。

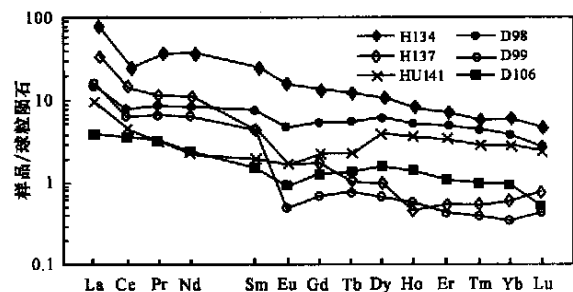


图 5 白秧坪地区东矿带矿石的稀土元素分布模式

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of ores from eastern ore belt in Baiyangping area

表5 白秧坪地区东矿带铅锌矿石的稀土元素组成 ($w_i/10^{-6}$)Table 5 Lead-zinc ore REE composition of eastern ore belt in Baiyangping area ($w_i/10^{-6}$)

元素	灰山(HU141)	黑山(HI37)	黑山(HI34)	大三界(DI06)	大三界(D99)	大三界(D98)
	角砾状矿石	块状矿石	角砾状矿石	纹层状矿石	浸染状矿石	角砾状矿石
La	2.73	10.9	24.7	1.28	5.18	4.7
Ce	3.96	13.5	23.4	3.42	6.07	7.31
Pr	0.37	1.4	4.39	0.4	0.83	1.09
Nd	1.37	6.77	22.8	1.45	3.74	5.04
Sm	0.4	0.87	5.03	0.3	0.9	1.57
Eu	0.13	0.13	1.1	0.067	0.036	0.34
Gd	0.74	0.57	4.26	0.4	0.22	1.71
Tb	0.12	0.057	0.62	0.068	0.039	0.28
Dy	1.24	0.31	3.51	0.49	0.21	1.96
Ho	0.27	0.037	0.61	0.1	0.041	0.38
Er	0.72	0.12	1.5	0.23	0.09	1.01
Tm	0.098	0.018	0.2	0.032	0.013	0.15
Yb	0.56	0.12	1.14	0.18	0.063	0.74
Lu	0.077	0.026	0.15	0.016	0.014	0.086
Y	7.37	1.18	15.1	2.9	0.71	9.21
Σ REE	20.16	36.01	108.5	11.33	18.16	35.58
LREE/HREE*	0.8	13.76	3	1.56	11.97	1.29
δ Eu*	0.72	0.53	0.71	0.59	0.18	0.64
δ Ce*	0.81	0.71	0.49	1.11	0.63	0.74

* 比值单位为1。

6 矿床成因分析

东矿带成矿的主导控制因素为构造作用,属构造热液型矿床的范畴。矿床的主要成因标志如下:

(1) 矿床中矿石矿物发育一套典型的中低温热液成因的矿物组合,如黝铜矿系列、方铅矿、浅色闪锌矿、黄铜矿、汞银矿及大量的铅铋砷硫盐矿物,脉石矿物主要是碳酸盐类矿物、萤石、重晶石、天青石等。矿石中广泛发育角砾状构造、细(网)脉状构造以及碎裂结构、交代结构等特征的矿石组构。围岩蚀变不强,主要发育弱硅化、较强的碳酸盐化、重晶石化、天青石化等低温蚀变组合,反映出成矿与中低温构造热液密切相关。

(2) 矿物内流体包裹体的均一温度表明,矿床的成矿温度应小于 180°C ,成矿热液为具有中偏低盐度 [$w(\text{NaCl}_{\text{eq}}) < 26.3\%$] 及中低密度 ($\rho < 1.156 \text{ g/cm}^3$) 的流体,流体性质主要为中低温热卤水。

(3) 硫、铅同位素数据反映出成矿物质的深源特征,矿石硫具有深部还原硫的特点,铅为地幔混合铅,也与深源物质有关。碳、氧同位素数据表明,灰岩和重结晶灰岩的碳是热卤水中所携带的无机碳交代海洋碳的结果,含矿碳酸盐胶结物则是深部热卤

水所携带的无机碳沉淀的结果,而这些无机碳可能是地幔去气作用所释放出来的地幔碳。

综上所述,笔者认为,白秧坪地区东矿带成矿流体总体为深部循环的热卤水,成矿物质主要来源于深部,矿床成因类型属于与推覆构造有关的中低温热卤水铜银多金属矿床。

致谢 本文是原地质矿产部定向基金项目“云南三山-白秧坪地区铜多金属找矿模式及找矿标志研究”的部分成果。项目执行过程中得到云南地质矿产勘查开发局周耀军、李文昌、赵劲,云南第三地质大队霍乡生、杨伟光、李航、杨爱平、周文光等的大力支持,在此谨致谢意。

References

- Chen K X, He L Q, Yang Z Q, et al. 2000. Oxygen and carbon isotope geochemistry in Sanshan-Baiyangping copper-silver poly metallogenic enrichment district, Lanping, Yunnan [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (4): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- Chen S F. 1991. Geology and metal source of Jingding stratabound Pb-Zn deposit, Lanping, Yunnan [A]. In: *Contribution to the geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) plateau (21)* [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~17 (in Chinese with English abstract).

- Epard J L and Escher A. 1996. Transition from basement to cover: a geometric model [J]. *Journal of Structural Geology*, 18(5) : 533 ~ 548 .
- Liu J J, He M Q, Li Z M, et al. 2004. Oxygen and carbon isotopic geochemistry of Baiyangping silver-copper polymetallic ore concentration area in Lanping basin of Yunnan Province and its significance [J]. *Mineral Deposits*, 23(1) : 1 ~ 10 (in Chinese with English abstract) .
- Platt J P, Coward M P, Derramond J, et al. (ed) . 2002. Thrusting and deformation [J]. *Journal of Structural Geology (special issue)*, 8(3/4) : 215 ~ 483 .
- Shao Z G, Meng X G, Feng X Y, et al. 2002. Analysis on the ore-forming geodynamics of the Baiyangping ore-concentrated field, Yunnan Province [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(3) : 201 ~ 206 (in Chinese with English abstract) .
- Wang G Z, Hu R Z, Wang C S, et al. 2001. Mineralization geological setting of Jinding superlarge Pb-Zn deposit, Yunnan [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4) : 571 ~ 577 (in Chinese with English abstract) .
- Wei J Q. 2001. S-Pb isotopic geochemistry of copper multi-metal deposits in Hexi, Yunnan Province [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (3) : 36 ~ 39 (in Chinese with English abstract) .
- Wu Y G, Li J L and Fan J L. 2000. The major progresses in the researches on the thrust and nappe tectonic belt [J]. *Advance in Earth Sciences*, 15(4) : 426 ~ 433 (in Chinese with English abstract) .
- Xu Q D and Li J W. 2003. Migration of ore-forming fluids and its relation to zoning of mineralization in northern Lanping Cu-poly-metallic area, Yunnan Province: evidence from fluid and stable isotopes [J]. *Mineral Deposits*, 22(4) : 365 ~ 376 (in Chinese with English abstract) .
- Yang W G, Yu X H, Li W C, et al. 2003. The characteristics of metallogenic fluid and metallogenic mechanism in Baiyangping silver and polymetallic mineralization concentration area in Yunnan Province [J]. *Geoscience*, 17(1) : 27 ~ 33 (in Chinese with English abstract) .
- Yang Z Q, Chen K X and Zhai L N. 1999. Isotope tracing of carbon sources for organic and hydrothermal mineralization [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (2) : 59 ~ 65 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang Q, Shao S X, Liu J J, et al. 2002. Lead isotopic composition and lead source of poly-metallic deposits in the large ore-assembly district in the Lanping basin [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 22(2) : 147 ~ 154 (in Chinese with English abstract) .
- Zhu D G, Meng X G, Feng X Y, et al. 2002. Characteristics of tectonic structures at Baiyangping, Yunnan and their control over the mineralogenesis of poly-metal deposits in the mining area [J]. *Geology-Geochemistry*, 30(1) : 28 ~ 33 (in Chinese with English abstract) .
- Zhu Z C. 1995. Progress and trends of researches on thrust-nappe tectonics [J]. *Earth Science Frontiers*, 2(1-2) : 51 ~ 58 (in Chinese with English abstract) .

附中文参考文献

- 陈开旭, 何龙清, 杨振强, 等. 2000. 云南兰坪三山-白秧坪银多金属成矿富集区的碳氧同位素地球化学 [J]. *华南地质与矿产*, (4) : 1 ~ 8 .
- 陈式房. 1991. 云南兰坪金顶层控铅锌矿床地质特征及成矿物质来源研究 [A]. 见: 青藏高原地质文集(21) [C]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 17 .
- 刘家军, 何明勤, 李志明, 等. 2004. 云南白秧坪铜银多金属矿集区碳氧同位素组成及其意义 [J]. *矿床地质*, 23(1) : 1 ~ 10 .
- 邵兆刚, 孟宪刚, 冯向阳, 等. 2002. 云南白秧坪矿化集中区成矿构造动力学分析 [J]. *地球学报*, 23(3) : 201 ~ 206 .
- 王国芝, 胡瑞忠, 王成善, 等. 2001. 云南金顶超大型铅锌矿床的成矿地质背景 [J]. *矿物学报*, 21(4) : 571 ~ 577 .
- 魏君奇. 2001. 云南河西铜多金属矿同位素地球化学 [J]. *华南地质与矿产*, (3) : 36 ~ 39 .
- 吴运高, 李继亮, 樊敬亮. 2000. 造山带逆冲推覆构造研究的主要新进展 [J]. *地球科学进展*, 15(4) : 426 ~ 433 .
- 徐启东, 李建成. 2003. 云南兰坪北部铜多金属矿化区成矿流体流动与矿化分带-流体包裹体和稳定同位素依据 [J]. *矿床地质*, 22(4) : 365 ~ 376 .
- 杨伟光, 喻学惠, 李文昌, 等. 2003. 云南白秧坪银多金属矿集区成矿流体特征及成矿机制 [J]. *现代地质*, 17(1) : 27 ~ 33 .
- 杨振强, 陈开旭, 翟丽娜. 1999. 生物成矿和热水成矿中碳来源的同位素示踪 [J]. *华南地质与矿产*, (2) : 59 ~ 65 .
- 张乾, 邵树勋, 刘家军, 等. 2002. 兰坪盆地大型矿集区多金属矿床的铅同位素组成及铅的来源 [J]. *矿物学报*, 22(2) : 147 ~ 154 .
- 朱大岗, 孟宪刚, 冯向阳, 等. 2002. 云南白秧坪多金属成矿区构造特征及其控矿作用 [J]. *地质地球化学*, 30(1) : 28 ~ 33 .
- 朱志澄. 1995. 逆冲推覆构造研究进展和今后探索趋势 [J]. *地学前缘*, 2(1-2) : 51 ~ 58 .

Geological and geochemical characteristics and genesis of ore deposits in eastern ore belt of Baiyangping area, Yunnan Province

HE Long-qing, CHEN Kai-xu, WEI Jun-qi and YU Feng-ming
(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, Hubei, China)

Abstract

The eastern ore belt is an important component part of Baiyangping ore concentration area in Yunnan Province. Obviously controlled by the main nappe faults and back thrusts of the thrust nappe, the orebodies occur mostly in carbonate strata of Upper Triassic Sanhedong Formation. The mineral assemblage of the ore deposit was formed by low to medium temperature hydrothermal fluids which, in turn, were low to medium temperature hot brines derived from the depth. The sulfur, lead, carbon, oxygen isotopic analyses indicate that the ore-forming substances came from the depth. There are obvious δEu anomalies indicated by ore REE composition. All this suggests that the main metallogenic factor seems to be the activity of tectonic hot fluids. Geological and geochemical characteristics indicate that the ore deposits in the eastern ore belt are genetically low to medium temperature hydrothermal Ag-poly metallic ore deposits related to the thrust nappe.

Key words: geology, Cu-Ag poly metallic ore deposits, geological and geochemical characteristics, ore genesis, thrust nappe, eastern ore belt, Baiyangping area

973 项目《印度与亚洲大陆主碰撞带成矿作用》2004 年度取得重要进展

2004 年 12 月 28 ~ 30 日, 国家基础研究规划 973 项目《印度与亚洲大陆主碰撞带成矿作用》年度汇报会在小汤山碧玉园召开。会上 10 个研究课题进行了年度工作汇报和重要成果介绍, 30 多位科研骨干做了精彩的学术报告。与会的院士、专家一致认为, 项目在 2004 年度取得了重要成果, 部分研究取得了重要突破。

该项目在 2004 年度取得的重要成果与重要发现如下:

1. 具有重大找矿意义的矿产新发现 ①提出并确立冈底斯北侧存在一条新的大型 Ag 矿带; ②在冈底斯带西段发现了则莫多拉大型铜-金矿床。现已圈定 3 个主矿体; ③在藏南拆离系首次发现了与超镁铁岩有关的 Pt-Pd 矿化体; ④首次发现当雄错钙华沉积具有 U、Au 异常; ⑤初步圈定了一批重要的多金属矿战略找矿靶区。

2. 区域成矿作用研究新认识 ①初步总结了青藏高原主碰撞带矿产分布特征和规律, 首次进行了系统的成矿区带划分; ②建立了重要成矿事件的时空坐标, 初步构筑了陆-陆碰撞成矿理论新框架; ③系统剖析了 3 个重要成矿带, 初步建立了 3 套成矿系统的成矿新模型和地球动力学模型或构造控制模型。

3. 岩浆作用与壳/幔交换研究取得新进展 ①首次发现了一批具有重大地球动力学意义的重要岩石; ②提出大陆主碰撞带经历幔源岩浆底侵-壳幔源岩浆混合、碰撞后大规模走滑诱发的地幔上隆及横向流动以及岩石圈拆沉和挤压/伸展转换等 3 种不同的岩浆作用及壳/幔过程, 初步提出了青藏高原岩浆作用的地球动力学演化新模型。③提出高原东缘出现岩石圈挤出与软流圈上涌的岩石学新证据。

4. 碰撞造山过程与成矿动力学背景研究取得新认识 ①重新厘定了大陆主碰撞带的大地构造格架, 初步建立了印-亚大陆碰撞前的多岛弧盆结构和基本构造单元; ②初步查明横跨高原腹地的南北向裂谷带的发育时限(23 ~ 8 Ma)、几何学和运动学特征以及构造-热历史; ③初步查明高原东缘高黎贡构造带的构造演化和动力机制; ④揭示了青藏高原内最大的含油盆地——柴达木盆地的物质来源, 提出第三纪沉积古物源区不是周边山系, 而是 2 000 km 远的大陆主碰撞带内的喀拉昆仑山。

(矿产资源研究所李振清 杨岳清 赵金花 供稿)