

编号: 0258-7106 (2011) 03-0469-08

西藏尤卡朗铅银矿床成矿作用初步研究*

冯志兴^{1,2}, 吕新彪¹, 王涛^{2,3}

(1 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2 青海西部矿业地勘公司, 青海 西宁 810016; 3 中南大学, 湖南 长沙 410083)

摘要 西藏尤卡朗铅银矿床产于中侏罗统拉贡塘组受岩浆热变质的砂泥质岩中,与矿区北部出露的燕山期至喜马拉雅期中酸性侵入岩体有关。矿体的产出和分布受到北北东向断裂构造的控制,尤其是多期活动的节理造成局部矿化富集。成矿作用可划分为5个阶段,包括石英菱铁矿阶段、铅锌(银)矿化阶段、细粒铅银矿化阶段、黄铁矿化阶段和石英脉阶段。矿石中硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-3.62\text{‰} \sim -9.47\text{‰}$ 。闪锌矿和方铅矿平衡硫同位素温度值为 214°C 。单矿物的铅同位素 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 分布于 $18.683 \sim 18.923$ 之间, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 分布于 $15.684 \sim 15.800$ 之间, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $39.090 \sim 39.581$, μ 值在 9.60 和 9.82 之间,Th/U比值在 3.88 和 4.05 之间,在构造环境图解中位于上地壳附近,可能与俯冲带中海底沉积物随洋壳板片俯冲进入地幔的重熔岩浆作用有关。流体包裹体研究表明,成矿温度为中温,流体盐度不高且有降低的趋势,成矿热液主要来源于岩浆期后热液,推测地下水混入成矿热液导致铅银矿的形成。

关键词 地质学 成矿作用 流体包裹体 稳定同位素 铅银矿 尤卡朗 西藏

中图分类号: P618.42; P618.52

文献标志码: A

A preliminary study of metallogenesis of Youqialang lead-silver deposit, Tibet

FENG ZhiXing^{1,2}, LÜ XinBiao¹ and WANG Tao^{2,3}

(1 China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2 Qinghai Western Mining and Geological Prospecting Co. Ltd., Xining 810016, Qinghai, China; 3 Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

Abstract

The Youqialang lead-silver deposit is hosted in thermal metamorphosed arenaceous or argillaceous rocks in Middle Jurassic Lagongtang Formation, related to the Yanshanian-Himalayan intermediate-acidic intrusive bodies outcropped in the north of the orefield. Modes of occurrence and distribution of ore bodies are controlled by NNE-trending faulted structures, especially by multiperiodic active metallogenic joints, which resulted in local mineralization concentration. The ore-forming processes of the lead-silver deposit can be divided into five stages, i. e., quartz-siderite stage, lead-zinc (silver) mineralizing stage, finely granular lead-silver mineralizing stage, pyrite stage, and quartz vein stage. $\delta^{34}\text{S}$ values ($-3.62\text{‰} \sim -9.47\text{‰}$) of ore sulfide minerals are slightly lower than those of meteorolite, with the equilibrium temperature of sphalerite-galena being 214°C . Lead isotope ratios of single minerals are $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $18.683 \sim 18.923$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $15.684 \sim 15.800$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $39.090 \sim 39.581$, and μ values $9.60 \sim 9.82$, with Th/U ratios being $3.88 \sim 4.05$. These values are close to the values of

* 本文得到西部矿业公司“西藏尤卡朗铅银矿综合找矿研究项目”资助

第一作者简介 冯志兴,男,1968年生,高级工程师,在读博士研究生,主要从事矿产勘查和找矿预测研究工作。Email: fzx-829@163.com。

the upper-crust area in the structural environment scheme, probably related to remelting magmatism of submarine sediments in the subduction zone with the subduction of the oceanic crust into the mantle. Research on fluid inclusions indicates that the mineralizing temperatures were intermediate, salinities of fluids showed declining trend, the mineralizing hydrothermal fluids were derived mainly from post-magmatic fluids with the mixture of groundwater, and their actions resulted in lead-silver mineralization.

Key words: geology, metallogenesis, fluid inclusion, stable isotope, lead-silver deposit, Youqialang, Tibet

尤卡朗铅银矿位于西藏那曲县境内,大地构造位置处于冈底斯-喜马拉雅构造区中段北部(付少英等,2008)。尤卡朗铅银矿床是近年来新发现的岩浆期后热液型矿床,明显受构造控制,主要产于断裂破碎带中。该矿床地处青藏高原,地质工作程度相对较低。本文主要通过该矿床的地质、地球化学特征及硫、铅同位素组成、流体包裹体的测温结果,探讨了矿床的成因及成矿作用,为进一步找矿提供地质依据。

1 矿区地质背景

尤卡朗铅银矿床的主要含矿地层为中侏罗统拉贡塘组($J_{23}l$)石英岩、斑点板岩、角岩及蚀变岩,原岩主要为泥质岩、碎屑岩和泥灰岩类(黄敏等,2008)。含矿层位为靠近顶部的石英岩层,系由砂岩变质而成。其上、下层位的岩石均为致密状、含泥质高、有效孔隙度低的岩性,是很好的隔挡层(图1)。

矿区除了地表和钻孔中见到小型的脉岩外,未见大规模的岩体侵入。但其北部外围约3 km处即有大面积的酸性侵入岩体出露。根据西藏1:25万门巴区幅区调报告(杨德明等,2005),矿区外围的岩体主要包括2个时期,即燕山晚期(K_1)黑云母花岗岩和喜马拉雅晚期(N_1)斜长花岗岩。矿区内所见脉岩为时代不明的闪长玢岩,规模较小,绢云母化蚀变强烈。

矿区构造简单,总体上为一单斜构造,层面向南南东方向倾,倾角大多在 $50\sim 60^\circ$,局部有揉皱现象。断裂构造较为发育,主要为北西向、北东向和近东西向断裂。其中北东向断裂构造是矿区的主要含矿构造,控制了铅锌银矿体的形成、分布和产状。该组断层经历了多期活动,成矿后活动强烈,矿体遭受强烈的破坏和改造。

北东向断裂组共有7条逆断层,矿区北部3条倾向北西,中南部4条倾向南东,形成的断层破碎带走向 15° ,向东倾,倾角一般 $60\sim 70^\circ$,长约200~1 800

m,宽5~80 m,为矿区的重要控矿构造。I号矿体群即产于断层带中。断层破碎带由含矿角砾岩、碎裂岩和石英脉组成。方铅矿等金属硫化物多分布在角砾岩的胶结物中,带内产出数条平行分布的透镜状铅银工业矿体。该组断层是矿区最主要的含矿构造,成矿前、成矿期均有明显的活动。

北西向断裂组共有2条断裂,位于矿区北部和中部,均为平移断层,切断了北东向断裂组,属于后期形成,对矿体有破坏作用。

近东西向断裂组也有2条,位于矿区中部及南部,走向 $70\sim 90^\circ$,倾向南,倾角 62° 。该组断层与成矿作用未见直接关系,可能是成矿后断裂。

尤卡朗铅银矿床成矿地质背景较好,主要控矿因素是断裂构造及酸性岩浆岩。

2 矿床地质特征

2.1 矿体形态产状

铅银矿体产于石英岩中,受北东向破碎带的控制,破碎带内形成的铅银矿体近平行分布,其相间距离40~50 m,长可达30~80 m,宽10~20 m,产状与整个破碎带小角度斜交,交角为 $10\sim 15^\circ$ 。多组构造交汇处往往为矿体的分叉处,而在构造集中部位又形成富矿包。已知的4个主要矿体在平面上呈短轴状,向北北东方向延伸。矿体向东倾斜,倾角达 $60\sim 70^\circ$,向下延伸长度超过水平长度。矿体的分布具有斜列式的规律,平面上呈右行特征(图2)。

2.2 矿石组分及结构构造

矿石的主要金属矿物为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、菱铁矿,可见少量硫锑铜银矿、硫银锡矿、银黝铜矿、金银矿、辉铋铅矿等。主要脉石矿物包括石英、绢云母、方解石等。原生矿石可分为3种主要工业类型,即铅银矿石、锌铅矿石和铜铋矿石。多元素分析结果表明铅锌、银具有工业价值,原矿中平均品位: $w(\text{Pb})$ 18.47%、 $w(\text{Zn})$ 2.93%、 $w(\text{Ag})$ 434 g/t;此外,矿石中还含有一定量的金、铜、铋、锡

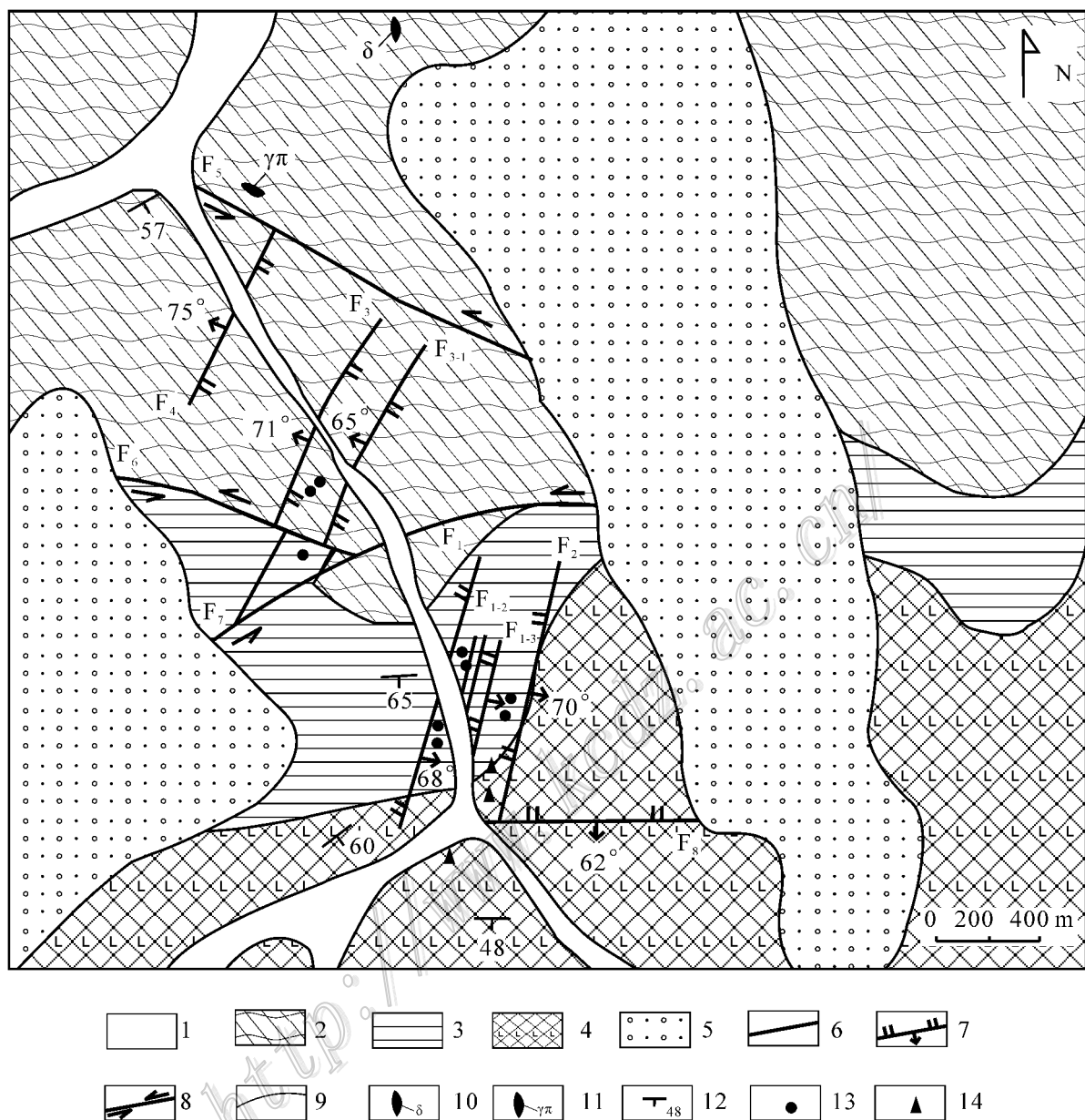


图 1 尤卡朗矿区地质简图

1—第四系砂砾沉积物;2—中-上侏罗统拉贡塘组第三段条带状钙质角岩;3—中-上侏罗统拉贡塘组第二段石英岩;4—中-上侏罗统拉贡塘组第一段云母角岩、钙质角岩、斑点板岩;5—碎石堆积物(冰川堆积);6—性质不明断层;7—逆断层;8—平移断层;9—地层界线和推测地层界线;10—闪长岩脉;11—花岗斑岩脉;12—地层产状;13—矿体和矿化体露头;14—矿石转石

Fig. 1 Simplified geological map of the Youqialang ore district

1—Quaternary gravel sediments ; 2—Banded calc hornstone of 3rd Member of Middle-Upper Jurassic Lagongtang Formation ; 3—Quartzite of 2nd Member of Middle-Upper Jurassic Lagongtang Formation ; 4—Mica hornstone, calc hornstone and spotted slate of 1st Member of Middle-Upper Jurassic Lagongtang Formation ; 5—Gravel cumulate (glacier cumulate) ; 6—Unclear fault ; 7—Reverse fault ; 8—Strike-slip fault ; 9—Stratigraphic boundary and inferred stratigraphic boundary ; 10— Diorite dyke ; 11— Granite porphyry dyke ; 12—Attitude of strata ; 13—Ore body and mineralized body ; 14—Rolling stone of ore

等,平均品位为: $w(\text{Au})$ 0.64 g/t、 $w(\text{Cu})$ 0.55%、 $w(\text{Bi})$ 0.09%、 $w(\text{Sn})$ 0.3%,具有综合利用前景。矿石中的有害组分砷、镉均相对较低, $w(\text{As})$

0.29%、 $w(\text{Cd})$ 0.038‰。

常见矿石结构包括中细粒自形-半自形粒状结构、碎裂结构和交代溶蚀结构等。矿石构造包括角砾

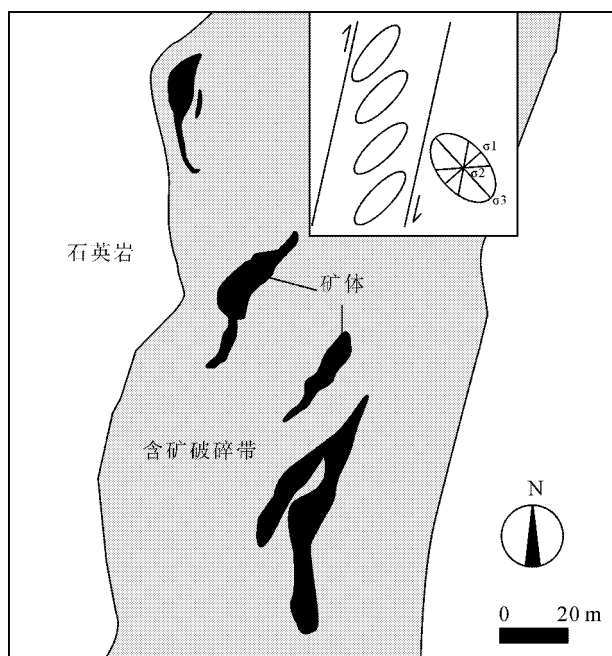


图2 尤卡朗矿区4881中段矿体分布及构造分析图
(插图表示矿体右行排列的应力场方向)

Fig. 2 Ore body distribution and structural analysis diagram of the 4881 level in the Youqialang ore district

状构造、浸染状构造、网脉状构造等。矿体的围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、高岭土化、绿泥石化、碳酸盐化等。

2.3 矿物生成顺序及成矿阶段

在矿化破碎带的顶端近地表地段,由于表生作用的存在,使铅-锌-银-铜-铋矿物风化淋滤形成硫酸铅矿、白铅矿、褐铁矿等。表生作用的范围从地表向深部减弱,未出现次生富集带。矿物生成顺序见表1。

根据矿脉穿插关系,结合物相分析结果,将原生成矿作用初步划分为5个成矿阶段,依次为:

第1阶段:石英菱铁矿阶段,有铜铋矿化,伴有轻微铅锌矿化,矿化强度很弱,仅局部出现团块状、角砾状铜铋-菱铁矿石;该阶段出现的石英属于成矿早期阶段,形成温度相对较低;

第2阶段:铅锌(银)矿化阶段,为铅锌主成矿阶段,形成较富的铅(锌)银矿,脉石矿物以石英及方解石为主,该阶段方铅矿粒度略粗,结晶较好,石英、方解石与矿化关系密切,形成温度相对略高;

第3阶段:细粒铅银矿化阶段,以细粒方铅矿为特征,其中含银最高;

第4阶段:黄铁矿化阶段,少量黄铁矿细脉穿插早期矿物,局部有浅色闪锌矿;

第5阶段:石英脉阶段。该阶段石英属于成矿期后变质热液形成,与成矿关系不大。

3 稳定同位素及流体特征

3.1 硫同位素特征

选择主要矿体中的方铅矿(12个样品)及闪锌矿(1个样品)单矿物做硫同位素测试。其中YQ4样品中的方铅矿及闪锌矿为共生矿物。硫同位素测试结果见表2。方铅矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 分布于 -5.92‰ ~ -9.47‰ 之间,闪锌矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -3.62‰ ,其分布直方图见(图3)。所有测试结果分布在一个很狭窄的范围内,但值偏低,与传统的认识相悖。

成矿流体在其演化和成矿的过程中,硫同位素也在不断分馏,造成 $\delta^{34}\text{S}$ 随温度降低的趋势。一般来说, $\delta^{34}\text{S}$ 值从黄铁矿—闪锌矿—黄铜矿—方铅矿不断降低(魏菊英,1988)。根据共生矿物对的同位素值可推断成矿作用发生的温度。根据J. R. Hulston的公式(佐岐秋良等,1979),对于闪锌矿和方铅矿矿物对, $1000\ln\alpha = 7.8 \times 10^5 T^{-2}$ (适用条件为 $0 \sim 1000^\circ\text{C}$)。YQ4样品中共生的闪锌矿和方铅矿的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 值分别为 -3.62‰ 和 -6.89‰ ,计算出 $\alpha = 1.003293$,由此计算出平衡温度为 214°C (魏菊英,1988)。

3.2 铅同位素特征

对上述的13个硫化物单矿物样品测试了铅同位素组成,测试结果和有关参数见表3。从表3可见,硫化物单矿物的铅同位素分布范围较窄, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 分布于 $18.683 \sim 18.923$ 之间, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 分布于 $15.684 \sim 15.800$ 之间, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $39.090 \sim 39.581$, μ 值在 9.60 和 9.82 之间, Th/U 比值在 3.88 和 4.05 之间。

铅同位素值投影在朱炳泉(1998)的构造图解(图4,路远发,2004)中,本区落于上地壳铅的范围内。在Zartman等(1981)的构造模式图中也有类似的解释。由此看来,尤卡朗铅银矿区矿石中铅为地壳来源,并且可能主要是上地壳来源。

3.3 流体包裹体特征

通过光薄片制作和显微镜鉴定,发现矿区采集的矿石样品中的石英含有流体包裹体。在50倍物镜的普通显微镜下观察光薄片,选出9件样品,代表了5个不同的成矿阶段。流体包裹体主要包括2

表 1 矿物生成顺序及成矿作用阶段表

Table 1 Mineral-forming sequence and stages of mineralization

成矿期	岩浆热液成矿期					表生成矿期
成矿阶段	石英-菱铁矿	铅锌矿化	铅银矿化	黄铁矿化	石英脉	表生阶段
石英						
菱铁矿	_____	_____	_____			
铁白云石	_____	_____	_____			
方解石	_____	_____	_____	_____		
黄铜矿	_____					
辉铋铅矿	_____					
黄铁矿	_____	_____		_____		
磁黄铁矿	—	—				
闪锌矿		_____	_____			
方铅矿	_____	_____	_____			
硫锑铜银矿		_____	_____			
硫银锡矿		_____	_____			
银黝铜矿		_____	_____			
金银矿		_____	_____			
铅矾						_____
褐铁矿						_____
白铅矿						_____
蓝铜矿						_____

表 2 单矿物硫同位素测试结果

Table 2 Sulfur isotope analytical results of single minerals

	样品号												
	YE1	YN4	YN6	YQ4	YQ5	YQ7	YQ11	YQ12	YQ13	YQ20	YQ22	YQ25	YQ4
	Gn	Gn	Gn	Gn	Gn	Gn	Gn	Gn	Gn	Gn	Gn	Gn	Sp
$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}/\text{‰}$	-6.5	-9.47	-5.98	-6.89	-6.79	-7.53	-9.27	-7.61	-5.92	-7.36	-7.13	-6.92	-3.62

Gn—方铅矿；Sp—闪锌矿；测试单位 宜昌地质矿产研究所同位素室。

种类型：Ⅰ型为水溶液气液两相包裹体，一般为孤立状或成簇状分布，为原生成因；Ⅱ型发育较少，为H₂O-CO₂包裹体，部分可见两相CO₂，但有些只能通过笼合物的温度来推断（Ⅱ型）。
研究采用 Linkam 公司出产的 USGS-600 型地质用冷热台，温度范围在 -196~600℃ 之间。显微

冷热台测定了包裹体的均一温度，并通过水溶液包裹体的冰点温度（水溶液包裹体）或二氧化碳笼合物的温度（含二氧化碳包裹体）的测定，根据 Brown（1989）的 FLINCOR 计算机程序，采用 Brown 等（1989）的公式计算了水溶液的盐度。
流体包裹体测温结果总结如表 4。均一温度

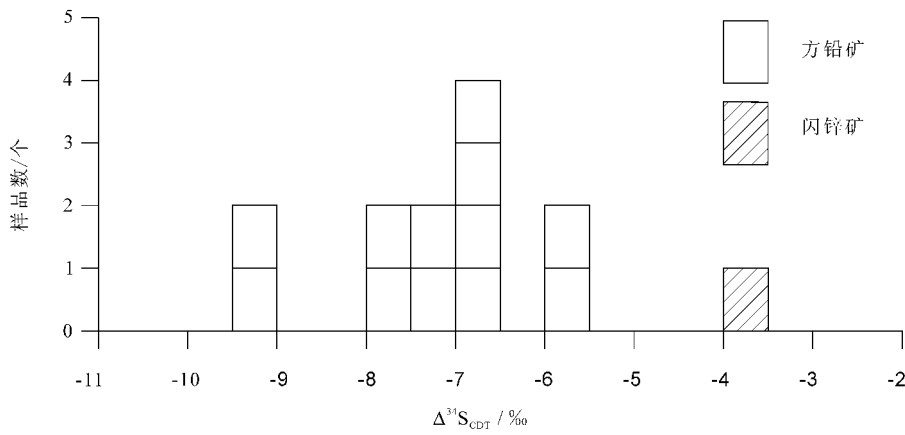


图 3 尤卡朗矿石中硫化物单矿物硫同位素统计(样品数 13)

Fig. 3 Sulfur isotope statistics of sulfide single minerals in Youqialang ores(13 samples)

表 3 尤卡朗矿区硫化物单矿物铅同位素比值

Table 3 Lead isotope ratios of sulfide single minerals in the Youqialang ore district

序号	样号	单矿物	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	表面年龄/Ma	φ 值	μ 值	Th/U	△β	△γ
1	YE1	方铅矿	18.692	15.689	39.196	73.9	0.575	9.61	3.92	23.46	49.28
2	N4	方铅矿	18.762	15.707	39.317	45.9	0.573	9.64	3.93	24.52	51.28
3	YN6	方铅矿	18.792	15.720	39.369	40.6	0.572	9.66	3.94	25.35	52.44
4	YQ4	方铅矿	18.733	15.736	39.313	103	0.577	9.7	3.95	26.64	53.70
5	YQ5	方铅矿	18.725	15.688	39.202	48.7	0.573	9.6	3.9	23.29	48.33
6	YQ7	方铅矿	18.786	15.705	39.317	25.9	0.571	9.63	3.92	24.31	50.41
7	YQ11	方铅矿	18.923	15.713	39.526	-63.7	0.564	9.64	3.93	24.74	54.85
8	YQ12	方铅矿	18.768	15.719	39.318	56.7	0.573	9.66	3.93	25.35	51.79
9	YQ13	方铅矿	18.718	15.728	39.312	1.04	0.577	9.68	3.96	26.12	53.71
10	YQ20	方铅矿	18.683	15.684	39.090	74.1	0.575	9.6	3.88	23.13	46.45
11	YQ22	方铅矿	18.787	15.709	39.345	30.3	0.571	9.64	3.93	24.59	51.35
12	YQ25	方铅矿	18.712	15.691	39.178	61.9	0.574	9.61	3.9	23.54	48.27
13	YQ4Sp	闪锌矿	18.776	15.800	39.581	151	0.581	9.82	4.05	31.02	63.03

测试单位:宜昌地质矿产研究所同位素室。有关参数根据路远发(2004)开发的 GeoKit 软件计算。

的分布范围较广(152~250℃),多数样品内部的变化范围较集中,说明包裹体后期变化不大,可以代表原始的均一温度。各个成矿阶段的包裹体均一温度从早到晚是不断降低的,本次研究测定的均一温度的平均值较接近,均在 200~212℃ 的范围内,与方铅矿-闪锌矿平衡硫同位素温度值(214℃)相近。

包裹体盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 在 0.50%~12.29% 之间,峰值在 3%~5% 之间,平均 4.94% (106 个数据)。值得注意的是,部分流体包裹体盐度值较高, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 达到 7%~13.69%,集中分布于 8%~10% 之间。不同阶段的包裹体盐度平均值从早到晚有降低的趋势(表 4)。

4 成矿作用分析

4.1 成矿物质来源

矿区内虽未见大规模的岩体出露,仅见小型不规则酸性岩脉,但在矿区北部及西北部外围 3 000 m 处有酸性岩体出露。岩体特征如下:

(1) 早白垩世(燕山晚期第一次)黑云母花岗岩
岩石呈浅灰白色,中粒-中粗粒结构,块状构造,由斜长石,条纹长石+微斜长石,石英、黑云母、白云母组成。属钠铝过饱和钙碱岩系。岩石化学上富 SiO_2 和 K_2O 、 Na_2O 、 Al_2O_3 , $w(\text{SiO}_2)$ 均在 71.86% 以

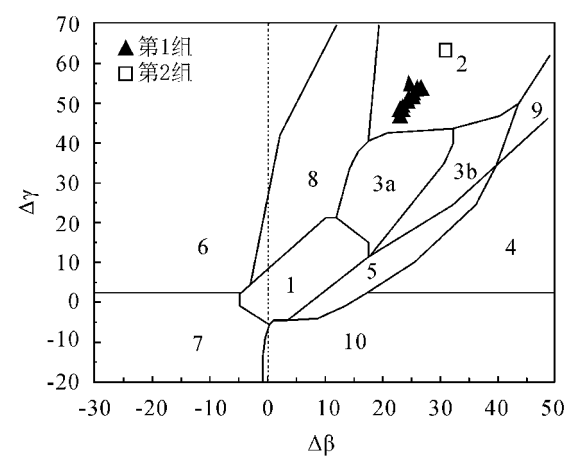


图 4 铅同位素形成的构造环境图解
图中数字含义：1—地幔源铅；2—上地壳铅；3—上地壳与地幔混合的俯冲带铅（3a—岩浆作用；3b—沉积作用）；4—化学沉积型铅；5—海底热水作用铅；6—中深变质作用铅；7—深变质下地壳铅；8—造山带铅；9—古老页岩上地壳铅；10—退变质铅（据朱炳泉,1998）。样品点第一组为方铅矿，第二组为闪锌矿

Fig. 4 Lead isotope diagram for tectonic environment
1—Mantle derived lead ;2—Upper crust derived lead ;3—Mixed lead of upper crust and mantle derived from subduction zone (3a—Magma-tism ;3b—Deposition) ;4—Lead from chemical sedimentation ;5—Lead from submarine hydrothermal ;6—Lead from medium-high metamorphosed rocks ;7—Lead from high metamorphosed rocks of Lower crust ;8—lead from orogenic belt ;9—Lead from ancient shale of upper crust ;10—Lead from retrometamorphosed rock (from Zhu, 1998). The first set of sample points is galena, the second one is sphalerite

表 4 流体包裹体测温结果

成矿阶段 测量数		t _h /℃		w(NaCl _{eq})/%	
		范围	平均	范围	平均
1	16	152~241	202	1.65~12.02	5.58
2	55	169~>250	212	0.50~12.29	5.26
3	12	158~>230	200	3.28~4.23	4.52
4	13	165~233	200	3.44~4.70	4.13
5	10	174~235	211	1.65~4.70	3.71

上, $w(K_2O) + w(Na_2O)$ 在 7.4% 以上, $w(Al_2O_3)$ 均在 12.75% 以上 而贫铁、镁、钙, 它们的质量分数均在 2.16% 以下。区域的早白垩世花岗岩主要分布于嘉黎深大断裂带的两侧, 与断裂带一样呈近东西向分布, 其形成环境可能受其影响较大。

(2) 中新世(喜马拉雅中期)花岗岩
岩石呈灰白色, 半自形细粒结构, 块状构造。主要矿物成分为石英、钾长石、斜长石和黑云母, 其中含有不均匀分布的石榴子石。见于矿区西北部建多

沟中, 还见有石榴子石斜长花岗岩, 该岩石几乎不含钾长石, 而以斜长石为主。中新世花岗岩在区内主要沿拉萨—当雄北东向断裂带两侧分布, 与该断裂的活动有关。该期岩体位于尤卡朗矿区的西北侧, 可能出于于矿区深部, 与铅锌银的成矿作用关系密切。

据遥感图像解译, 矿区位于西北部多重环形构造的边缘部位, 推测深部存在隐伏岩体。矿区地层出现岩浆接触热变质, 泥灰岩变成斑点板岩、石英砂岩变成石英岩、泥质岩普遍角岩化。矿体呈斜列式分布, 受北北东向剪切应力场的控制。

硫和铅稳定同位素特征表明, 成矿物质主要来源于上地壳岩浆, 或有下地壳物质的混入。岩浆的形成可能与带入俯冲带的海底沉积物的重熔有关, 其中富含成矿物质, 成为矿床成矿物质的主要来源。

4.2 成矿温度

矿体主要受裂隙控制, 闪锌矿颜色深, 其中含有黄铜矿的固溶体分离乳滴, 表明形成温度较高。流体包裹体测温资料表明, 不同阶段主矿物的包裹体均一温度没有明显的差异, 温度范围多数在 160~240℃ 之间, 处于中低温的范围。考虑到石英多数是偏于晚期的矿物, 形成温度略低于主要硫化物, 且均一温度反映的是成矿温度的下限, 所以铅锌成矿温度是在 200℃ 以上, 属中温。这一测量值与通过硫同位素计算的成矿温度相近。

4.3 成矿流体特征

矿物流体包裹体研究表明, 成矿流体中除了水溶液外, 还含有一定的 CO_2 。但总体上说, CO_2 的量不大, 形成 CO_2 独立相的包裹体较少, 大部分 CO_2 出现于水溶液包裹体的气相中。水溶液盐度不高, $w(NaCl_{eq})$ 平均 4.94%, 属于中低盐度的范围。从少量较高盐度值 [$w(NaCl_{eq})$ 最高达到 13.69%] 推断, 成矿流体来源与岩浆热液有关, 而不同阶段的包裹体盐度平均值从早到晚有降低的趋势, 反映岩浆期后有不同比例的低盐度水体混入, 这种低盐度水体很可能就是地下水。

5 结 论

综上所述, 得出以下结论：
(1) 尤卡朗矿区深部存在与成矿作用密切相关的中酸性岩体, 可能与矿区西北部地表出露的中新世(喜马拉雅期)斜长花岗岩相连。成矿物质主要来

源于岩体,可能与俯冲带中海底沉积物随洋壳板片俯冲进入地幔的重熔岩浆作用有关,具有上地壳S型花岗岩的特征。

(2) 矿床属岩浆期后热液充填交代型矿床,经历了5个成矿作用阶段,其中第2阶段铅锌(银)矿化阶段为铅锌主成矿阶段,第3阶段细粒铅银矿化阶段是银的富集阶段。

(3) 成矿流体为含有少量二氧化碳的水溶液,石英包裹体的均一温度在160~240℃之间,与闪锌矿-方铅矿的硫同位素平衡温度反映成矿温度214℃相近。

志 谢 本文得到青海西部矿业地勘公司、尤卡朗铅银矿山的大力支持,室内工作得到中南大学地学院、宜昌地质矿产研究所同位素室的协助,在此谨表谢意!

References

- Brown P E. 1989. FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data [J]. *American Mineralogist*, 74: 1390-1393.
- Brown P E and Lamb W M. 1989. P-V-T properties of fluids in the system H_2O-CO_2-NaCl : New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53: 1209-1221.
- Fu S Y, Jin Y H, Zhang S and Wang F Q. 2008. Geological characteristics of the Youqialang Pb-Ag deposit with its genesis research, Naqu County in Tibet [J]. *Mineral Resources and Geology*, 22(5): 412-417 (in Chinese with English abstract).
- Huang M, Lai J Q, Fan J C, Hu R G, Wang T, Wen L C and Wang Z D. 2008. Geological characteristics and prospecting potential in the Youqialang Pb-Ag deposit, Naqu County in Tibet [A]. The 9th Na-

tional Conference on Mineral Resources of China [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 257-258 (in Chinese with English abstract).

Lu Y F. 2004. GeoKit: A Geochemical toolkit for Microsoft Excel [J]. *Geochimica*, 33(5): 459-464 (in Chinese with English abstract).

R E Zartman and B R Doe. 1981. Plumbotectonics - the model [J]. *Tectonophysics*, 75: 135-162.

Sasaki A and Ishihara S. 1979. Sulfur isotopic composition of the magnetite-series and ilmenite-series granitoids in Japan [M]. Translated by Ma D Q, Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Granite Genesis. 1981. 81-90.

Wei J Y. 1988. Isotope Geochemistry [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 153-163 (in Chinese).

Yang D M and He Z H. 2005. Republic of China 1:250 000 Regional geological survey of the Mamba district sheet in Tibet (H46C002002) [R]. Geological Survey of Jilin University.

Zhu B Q. 1998. Theory and application of the isotopic systematics in the earth sciences: Discussion on the crust-mantle evolution for China Continent [M]. Beijing: Science Press. 5-230 (in Chinese).

附中文参考文献

- 付少英, 靳拥护, 张哨波, 王福全. 2008. 西藏那曲县尤卡朗铅银矿床地质特征及成因分析 [J]. *矿产与地质*, 22(5): 412-417.
- 黄敏, 赖健清, 樊俊昌, 胡荣国, 王涛, 文力才, 王振东. 2008. 西藏那曲尤卡朗铅银矿床特征及其找矿前景 [A]. 第九届全国矿床会议论文集 [C]. 北京: 地质出版社. 257-258.
- 路远发. 2004. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包 [J]. *地球化学*, 33(5): 459-464.
- 魏菊英. 1988. 同位素地球化学 [M]. 北京: 地质出版社. 153-163.
- 杨德明, 和仲华. 2005. 西藏 1:25 万门巴区幅区调 (H46C002002) [R]. 吉林大学地调院.
- 朱炳泉. 1998. 地球科学中同位素体系理论与应用——兼论中国大陆壳幔演化 [M]. 北京: 科学出版社. 5-230.
- 佐岐秋良, 石原舜三. 1979. 马大铨译. 日本磁铁矿系列和钛铁矿系列花岗岩类岩石的硫同位素成分 [M]. 见: 地质部宜昌地质矿产研究所. 花岗岩的成因. 1981, 81-90.