

# 藏南松多地区板多铅锌矿床流体包裹体特征及矿床成因

李麟瀚<sup>1</sup>, 解超明<sup>1</sup>, 闵志兵<sup>2</sup>, 任云生<sup>1</sup>, 高忠维<sup>1</sup>, 刘金恒<sup>1</sup>, 于云鹏<sup>1</sup>  
LI Linhan<sup>1</sup>, XIE Chaoming<sup>1</sup>, MIN Zhibing<sup>2</sup>, REN Yunsheng<sup>1</sup>, GAO Zhongwei<sup>1</sup>,  
LIU Jinheng<sup>1</sup>, YU Yunpeng<sup>1</sup>

1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061;  
2. 辽宁省有色地质局103队, 辽宁丹东 118008

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China;  
2. No. 103 Geological Party, Bureau of Non-ferrous Geology of Liaoning Province, Dandong 118008, Liaoning, China

**摘要:**藏南松多地区板多铅锌矿床位于冈底斯成矿带东段, 矿床产于松多岩组、花岗闪长岩与隐伏似斑状花岗岩的接触带及其附近, 迄今共圈定3个矿体, 矿体呈脉状、透镜状, 受北东向断裂控制。矿石中主要金属矿物为方铅矿、闪锌矿与黄铜矿, 其次为毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿等; 非金属矿物以石英、绢云母为主, 其次为白云母与方解石。矿床可划分为3个成矿阶段: I. 石英-毒砂-黄铁矿-磁黄铁矿阶段; II. 石英-黄铁矿-闪锌矿-黄铜矿-方铅矿阶段; III. 石英-方解石阶段。其中, 第II阶段为主成矿阶段。为查明成矿物理化学条件和成矿流体特征, 选取主要成矿阶段的石英开展流体包裹体岩相学和显微测温研究。结果表明, 石英主要发育气液两相包裹体, 并含有少量纯液相与纯气相包裹体; 成矿流体属中温、低盐度、低密度的NaCl-H<sub>2</sub>O体系; 成矿早期存在沸腾现象, 之后, 流体的减压降温应是铅锌富集成矿的主要因素。综合成矿地质条件、矿床地质特征及流体包裹体研究, 初步认为, 板多铅锌矿属中温热液脉型铅锌矿床。

**关键词:**流体包裹体; 矿床成因; 中温热液脉型铅锌矿床; 板多矿床; 松多地区

**中图分类号:** P618.42; P618.43      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-2552(2018)08-1519-10

**Li L H, Xie C M, Min Z B, Ren Y S, Gao Z W, Liu J H, Yu Y P. Fluid inclusion characteristics and ore genesis of the Banduo Pb-Zn deposit in Songduo area, southern Tibet. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(8):1519-1528**

**Abstract:** The Banduo Pb-Zn deposit in Songduo area of southern Tibet is located along east Gangdise metallogenic belt. Three orebodies have been delineated so far, which are veined and lentoid in form and are controlled by NE-trending faults. The major metallic minerals are galena, sphalerite and chalcopyrite, together with some other metallic minerals such as arsenopyrite, pyrite and pyrrhotite. The major nonmetallic minerals are quartz and sericite, and other nonmetallic minerals are muscovite and calcite. The deposit can be divided into three metallogenic stages: I. quartz-arsenopyrite-pyrite-pyrrhotite stage; II. quartz-pyrite-sphalerite-chalcopyrite-galena stage; III. quartz-calcite stage, with the major metallogenic stage being the second stage. In order to determine the ore-forming physical and chemical conditions and characteristics of ore-forming fluids, the authors selected the quartz grains formed at the major metallogenic stage to study the petrography and micro-thermometry of fluid inclusions. The results show that fluid inclusions in quartz are mainly composed of vapor-liquid two-phase inclusions, with a small amount of pure gas and pure liquid inclusions. The main ore-

**收稿日期:** 2018-03-10; **修订日期:** 2018-05-20

**资助项目:** 国家自然科学基金项目《青藏高原羌塘南部埃迪卡拉纪地层研究》(批准号: 41602230)、《班公湖-怒江洋早白垩世构造演化: 来自复理石沉积的制约》(批准号: 41702227)和中国地质调查局项目《冈底斯-喜马拉雅铜矿资源基地调查》(编号: DD20160015)

**作者简介:** 李麟瀚(1994-), 男, 在读硕士生, 矿物学、矿床学、岩石学专业。E-mail: 604514505@qq.com

**通讯作者:** 解超明(1983-), 男, 博士, 副教授, 从事地质构造学研究。E-mail: xcmxcm1983@126.com

forming fluid is NaCl-H<sub>2</sub>O characterized by medium temperature (163.5~344.5°C, 266.3°C average), low salinity (0.70%~7.15% NaCl eqv, 3.39% NaCl eqv averagely) and low density (0.65~0.95g/cm<sup>3</sup>, 0.79g/cm<sup>3</sup> averagely). The fluid inclusion study indicates that boiling occurred at the early stage of mineralization, then decrease of temperature and pressure of the fluids should be the main factor for Pb and Zn concentration and mineralization. Based on comprehensive ore-formation geological conditions, geological characteristics of the deposit, and fluid inclusions studies, the authors tentatively hold that the deposit is a mesothermal vein type Pb-Zn deposit.

**Key words:** fluid inclusion; ore genesis; mesothermal vein type Pb-Zn deposit; Banduo deposit; Songduo area

工布江达县松多地区的板多铅锌矿床位于工布江达县城北西约72km,属加兴乡管辖,为近期发现的中型矿床。松多地区处于西藏冈底斯火山岩浆弧带东段南缘的北西西向陆缘走滑断裂带与北东东向陆缘走滑断裂带的复合地段,属于冈底斯-喜马拉雅成矿带东段(图1)。经历了元古宙结晶基底形成、古生代-中生代离散-聚合、新生代印度-亚洲大陆碰撞作用等重要演化阶段,形成了较丰富的黑色金属、有色金属、贵金属和稀有稀散金属矿产资源,特别是燕山晚期-新生代的构造挤压、走滑、伸展对本区的构造特征和成矿作用影响巨大<sup>①②</sup>。冈底斯成矿带内的矿产勘查工作起步较晚,原有矿产工作程度很低<sup>①</sup>。进入21世纪以来,取得了令人瞩目的重大成果,发现和评价了一系列大型-超大型铜多金属矿床,特别是驱龙、雄村等斑岩型铜矿床,在很大程度上改变了中国铜矿产资源的分布格局,已成为中国十分重要的斑岩成矿带。同时成矿带东段存在大量以铅锌多金属为主的矿床(矿点),但是对于此类矿床的成矿条件及成矿作用研究较少,目前以扎西康、吉松、洞中拉等大型铅锌

矿床的研究为主。

板多铅锌矿床是该地区少有的可供开采的矿床,具有良好的找矿前景。但由于该矿床控矿因素、矿床地质特征、成矿流体、成矿物质等缺乏系统性研究,制约着对矿床成因的认识和进一步找矿方向的确定。为此,本文以流体包裹体特征为研究方向,初步探讨其成矿流体特征及矿床成因。

### 1 成矿地质背景

大地构造位置上,松多地区位于冈瓦纳大陆北缘,南北拉萨陆块松多碰撞带挟持的中间地带,冈底斯成矿带东段<sup>②</sup>(图1)。

区域内出露地层主要为石炭系-二叠系松多岩组(CPs)白云母石英片岩、变质石英砂岩、变质石英岩、变质粉砂岩等,松多岩组是铅锌矿化的主要赋存层位。

受米拉山口逆冲推覆的影响,区内发育近东西向背斜、向斜等褶皱,以及次一级断裂和小褶曲,次级裂隙以北西向和北东向为主,同时构造破碎带发育,可见大量角砾岩,为矿床的形成提供了较好的

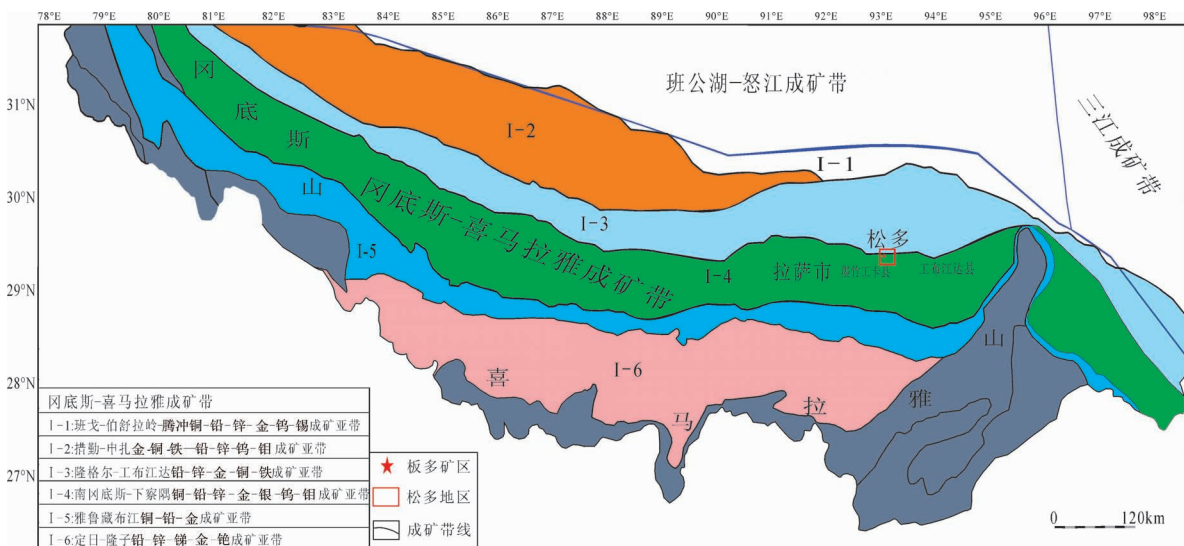


图1 松多地区大地构造位置

Fig. 1 Tectonic location map of Songduo area

条件。其中花岗闪长岩与松多岩组北西向断裂控制着矿床的形成,其破碎带控制着矿脉展布。

区域岩浆活动强烈,具有多期次且分布广泛的特点<sup>①</sup>。研究区主要发育早白垩世花岗闪长岩、晚白垩世二长花岗与隐伏似斑状花岗岩。其中,似斑状花岗岩未在地表出露且均发生强烈蚀变,与铅锌矿化具有紧密的时间和空间关系,是矿体的主要赋存岩体(图2、图3),岩浆侵入作用提供的热源是成矿流体形成的关键<sup>[4]</sup>。

## 2 矿床地质特征

### 2.1 矿体特征

目前,矿区范围内已发现3组矿体且均未在地表出露,总体沿构造破碎带呈北东向和北西向展布。

I号铜多金属矿体:位于工作区北部,产于片理化构造角砾岩、松多岩组岩石与似斑状花岗岩接触带,呈脉状、透镜状产出,矿体产状为 $55^{\circ}\angle 84^{\circ}$ ,矿体真厚度为2.6~3.85m,围岩蚀变为黄铁矿化、褐

铁矿化、绢云母化、绿泥石化。 $Pb$ 最高品位为35.35%, $Zn$ 最高品位为12.78%, $Cu$ 最高品位为0.83%。

II号铅锌低品位矿体:位于I号铅锌矿体西侧,产于花岗闪长岩与似斑状花岗岩接触部位,呈脉状、透镜状产出,黄铁矿呈细脉浸染状,矿体产状为 $70^{\circ}\sim 140^{\circ}\angle 60^{\circ}$ ,真厚度为1.3m,围岩蚀变为硅化、绿泥石化、绿帘石化、钾化、黄铁矿化、褐铁矿化和方解石化。 $Pb$ 最高品位为9.55%, $Zn$ 最高品位为6.11%。

III号铜矿体:位于矿区东南部,产于松多岩组构造形成的破碎带和裂隙中,呈似脉状、透镜状产出,具有热液充填成矿特征,黄铁矿呈浸染状,产状为 $45^{\circ}\angle 60^{\circ}$ ,矿体真厚度为1.97m,围岩蚀变为黄铁矿化、硅化、褐铁矿化。 $Cu$ 最高品位为1.65%。

### 2.2 矿石特征

区内矿石以原生矿石为主,属硫化矿石,且矿石矿物多分布于石英脉周围,为典型的石英脉型矿石。矿石中的金属矿物主要为自形、半自形-他形晶粒状结构、压碎结构、交代结构、固溶体分离结构、包含结构,矿石构造主要为浸染状、细脉状、细脉浸染状、层状、块状等构造。矿石中的主要金属矿物为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、毒砂等(图版I),脉石矿物主要为石英、绢云母、绿泥石、阳起石、透闪石和少量方解石与白云母等,花岗闪长岩侵入边界可见角岩化形成的红柱石。

### 2.3 成矿期与成矿阶段划分

根据矿石组构、矿物组合及其交代关系,可将板多铅锌矿床的原生矿化划分为以下3个成矿阶段(表1)。

I. 石英-毒砂-黄铁矿-磁黄铁矿阶段:该阶段以石英脉中的块状及角砾状黄铁矿、毒砂和磁黄铁矿为特征,镜下可见毒砂被黄铁矿包含形成包含结构,毒砂及黄铁矿受后期闪锌矿、方铅矿、黄铜矿交代形成大量交代结构。

II. 石英-黄铁矿-闪锌矿-黄铜矿-方铅矿阶段:该阶段黄铁矿随石英脉继续生成,并产生压碎结构,表明受到后期的应力作用,随后闪锌矿与黄铜矿形成,在闪锌矿中可见少量乳滴状黄铜矿形成固溶体分离结构,黄铜矿在该阶段末期单独呈大面积片状生成,最后方铅矿交代先前所有矿物。

III. 石英-方解石阶段:该阶段为热液成矿阶段

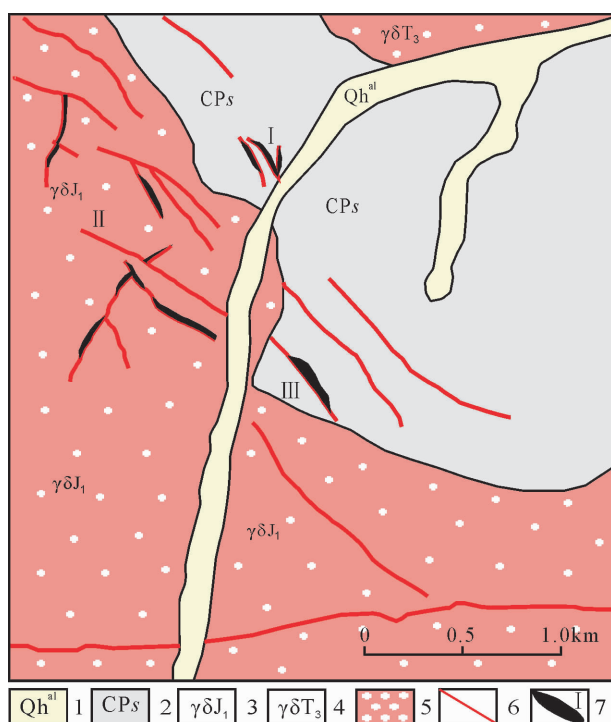


图2 板多铅锌矿床矿区地质图(据参考文献[3]修改)

Fig. 2 Geological map of the Banduo Pb-Zn deposit  
1—全新统冲积物;2—松多岩组;3—早侏罗世花岗闪长岩;  
4—晚三叠世花岗闪长岩;5—花岗闪长岩;  
6—断层;7—矿体及编号

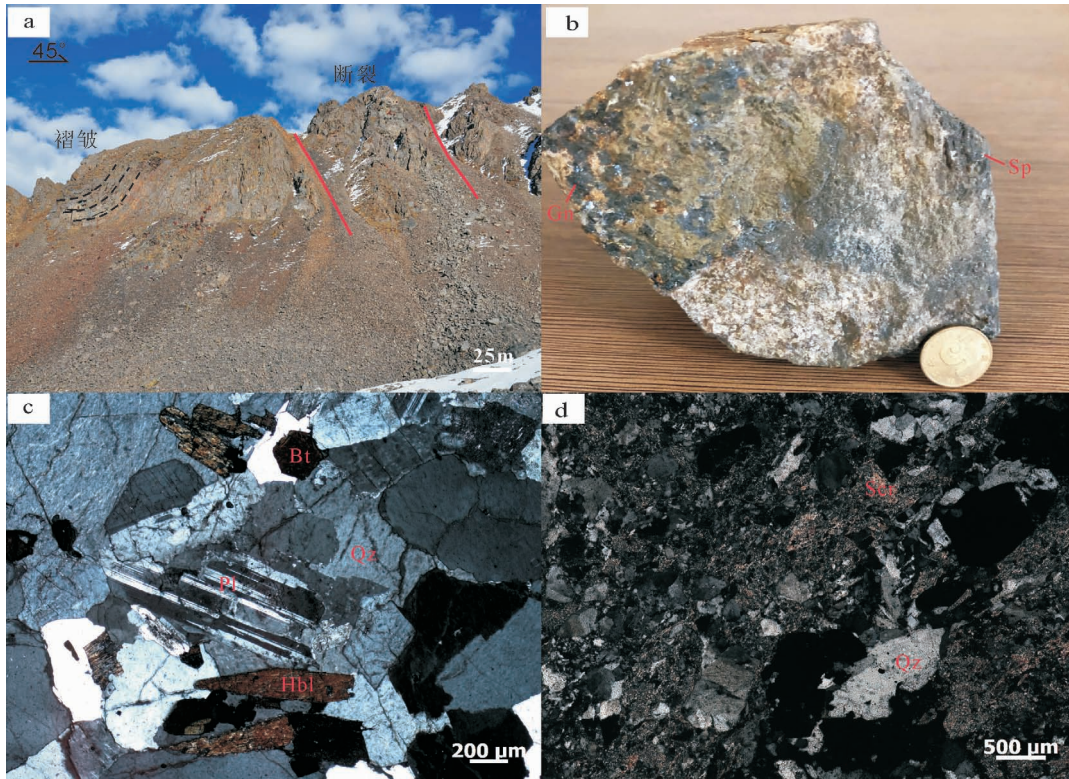


图3 板多铅锌矿床花岗闪长岩野外露头 and 岩矿石显微特征

Fig. 3 Outcrop of granodiorite and rock ore microscopic characteristics of the Banduo Pb-Zn deposit

a—花岗闪长岩露头与构造;b—似斑状花岗岩石;c—花岗闪长岩;d—蚀变似斑状花岗岩(绢云母化);

Qz—石英;Scz—绢云母;Pl—斜长石;Hbl—角闪石;Bt—黑云母

晚期,石英脉继续生成,且随着温度的下降,开始形成少量方解石脉。

### 3 样品采集与分析方法

在矿床地质特征研究的基础上,采集不同矿体的矿石样品20件,对主要成矿金属元素含量进行了分析测试;并采集12件石英脉发育较好的矿石,对石英中的流体包裹体开展岩相学及显微测温研究。

#### 3.1 成矿元素分析

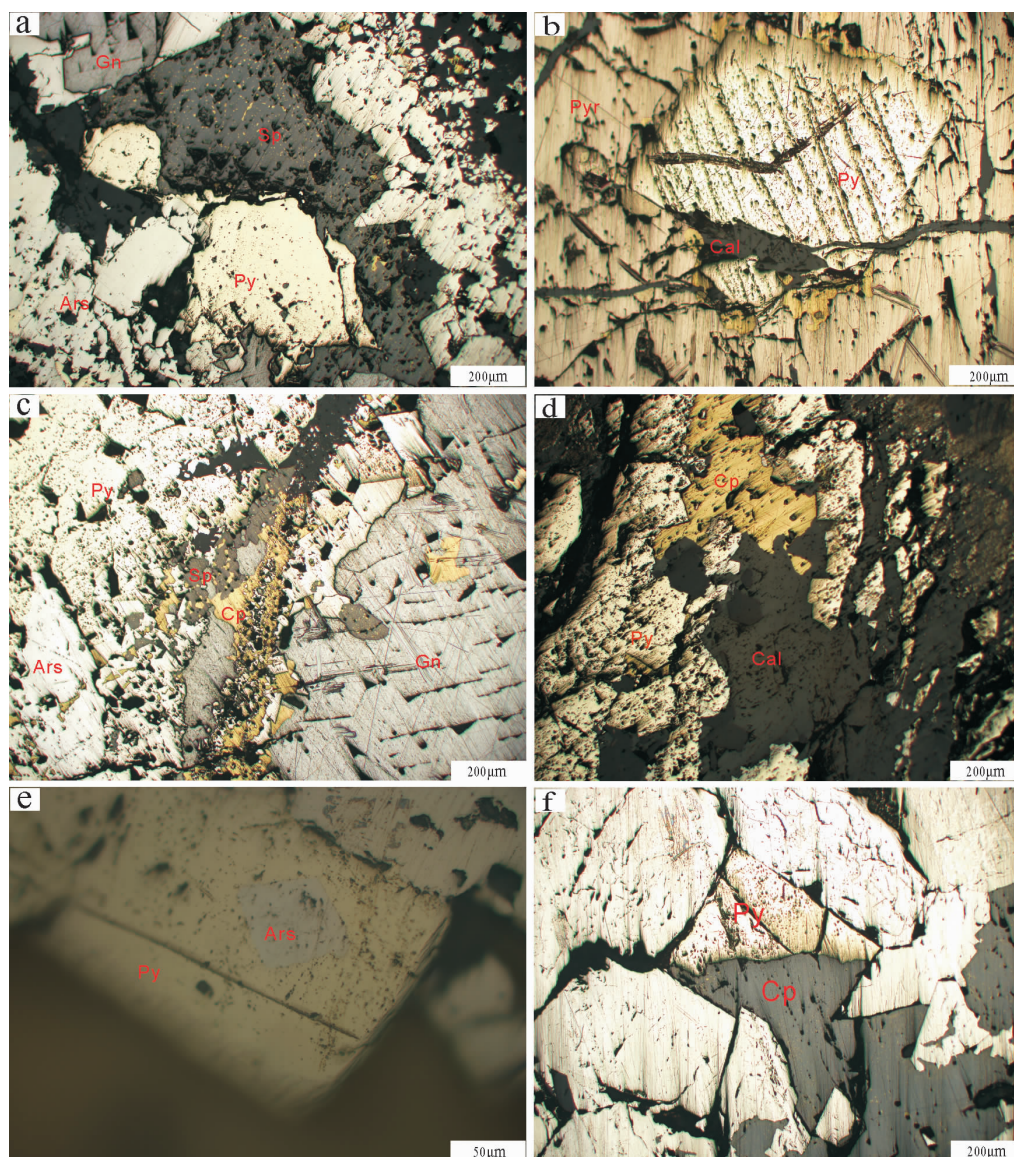
成矿元素分析在广州澳实矿物实验室完成:首先对高含量金属矿物进行低温烘干,破碎至2mm以下,缩分200~300g作正样,无污染钵碾磨至约200目,余样装回原样袋作“粗副样”;随后采用低火试法单独对矿物中的Au进行含量检测;采用四酸消解和等离子光谱分析对矿石中34种微量元素进行分析,其中Ag含量检出上限为 $200 \times 10^{-6}$ ,Cu、Pb、

Zn、Mo等上限为5%。最后对分析后部分Ag、Pb、Zn含量高于检出上限的矿石进行高含量分析,其中Ag采用火试法,Pb和Zn采用酸消解和EDTA滴定法完成成矿元素的分析工作。

#### 3.2 流体包裹体测温研究

流体包裹体显微测温在吉林大学地质流体测试实验室完成,所用仪器为英国生产的Linkam THMS-600型冷热台。当温度低于 $31^{\circ}\text{C}$ 时,误差约为 $0.2^{\circ}\text{C}$ ;温度介于 $31\sim 300^{\circ}\text{C}$ 之间时,误差约为 $1^{\circ}\text{C}$ ;温度高于 $300^{\circ}\text{C}$ 时,误差约为 $2^{\circ}\text{C}$ 。选取高品位矿石中石英脉磨制成 $0.03\text{mm}$ 厚的光薄片进行镜下观测,并选择代表性的包裹体进行升降温观察,在包裹体测温过程中,首先降到 $-80^{\circ}\text{C}$ ,使包裹体全部冻结之后升温到 $-10^{\circ}\text{C}$ ,随后以 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 提升至 $0^{\circ}\text{C}$ 以保证冰点温度精准;随后以 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速率升温至气泡开始缩小,将升温速率调整至 $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 以观测均一温度。

图版 I Plate I



a.闪锌矿交代黄铁矿与毒砂,方铅矿交代毒砂与闪锌矿;b.黄铜矿与方解石交代黄铁矿与磁黄铁矿;c.方铅矿交代毒砂、黄铜矿与闪锌矿;d.黄铜矿交代黄铁矿;e.黄铁矿包含毒砂形成包含结构;f.闪锌矿交代黄铁矿形成骸晶结构。

Py—黄铁矿;Ars—毒砂;Sp—闪锌矿;Sp—黄铜矿;Gn—方铅矿;Cal—方解石;Pyr—磁黄铁矿

## 4 成矿元素与流体包裹体特征

### 4.1 成矿元素

由表 2 中成矿元素含量可知,Ag 最高含量 684g/t,最低含量 5g/t,9 个样品含量达到边界品位(40g/t);Au 最高含量 3.7g/t,最低含量 0.014g/t,3 个样品含量达到边界品位(1g/t);Pb 最高含量 35.35%,最低含量 0.53%,全部达到边界品位

(0.3%);Zn 最高含量 12.79%,最低含量 0.18%,19 个样品含量达到边界品位(0.5%);Cu 最高含量 0.83%,最低含量 0.19%,全部达到边界品位(0.1%);Mo 最高含量 0.34%,最低未达到检出限,7 个样品含量达到边界品位(0.03%)。故该矿床 Pb 与 Zn 是矿石的主要组分,Cu、Mo、Au、Ag 含量较低但较多样品达到边界品位,仍具有开采与找矿的价值。

表1 板多铅锌矿成矿阶段划分

Table 1 Mineralization stages of the Banduo Pb-Zn deposit

矿物	I.石英-毒砂-黄铁矿- 磁黄铁矿阶段	II.石英-黄铁矿-闪锌矿-黄铜矿- 方铅矿阶段	III.石英-方解石阶段
石英	●	●	●
毒砂	●		
黄铁矿	●	●	
磁黄铁矿	●		
闪锌矿		●	
黄铜矿		●	
方铅矿		●	
方解石			●

## 4.2 流体包裹体岩相学特征

不同阶段石英脉中的流体包裹体分布不规则,主要呈星点状或成群分布。多数为富液相气液两相包裹体,同时存在纯气相和纯液相包裹体。富液相气液两相包裹体长轴在3~20 $\mu\text{m}$ 之间,多集中在5~9 $\mu\text{m}$ ;气液比为15%~45%,主要为椭圆状、长条状和不规则状,其中部分包裹体存在

“卡脖子”现象。此种包裹体在各个阶段大小不一,部分阶段气泡较暗,表明存在少量杂质。纯液相包裹体由单一的纯液相水组成,包裹体一般较小,长径平均为1~8 $\mu\text{m}$ ,形态多为椭圆状、长条状等。纯气相包裹体数量较少,只在第I阶段出现,长轴长度为4~10 $\mu\text{m}$ ,形状为椭圆状及不规则状(图4)。

表2 板多铅锌矿主要成矿元素含量

Table 2 The content of major ore elements of the Banduo Pb-Zn deposit

编号	检测项目	10 <sup>-6</sup>													
		Ag	As	Cd	Cu	Fe	Mo	Pb	S	Sb	Sr	V	Zn	Au	
	检出限	1	50	10	10	0.05	10	20	0.05	50	10	10	20	0.005	
1	P1010g2	30	90	130	1120	4.9		1800	6.31			150	15400	0.066	
2	P1010g3	22	100	280	570	10.6	10	3890	>10.0		10	120	39900	0.014	
3	P1017g7	11	290	110	550	5.8	10	8610	7.41		10	70	22600	0.141	
4	P1017g8	20	880	30	310	14.8	130	22100	>10.0		10	60	5860	0.31	
5	P1017g9	8	630	60	450	11.15	340	3230	>10.0		90	70	12500	1.54	
6	P1023g1	76	740	240	1140	10.4	60	95500	>10.0	180	10		61100	0.096	
7	P1023g3	5	1150	10	190	11.25	70	1850	>10.0	70	10	10	1660	0.129	
8	P1023g4	40	280	180	1230	9.85	10	57400	>10.0	240	10		44800	0.058	
9	P1023g5	46	1110	20	400	21.4	230	45900	>10.0	70	10	10	4040	0.219	
10	P1023g6	34	380	230	1100	14.8	10	49100	>10.0	80	10		59000	0.11	
11	P1028g2	25	440	200	900	18.8	10	43800	>10.0	50	10	10	48700	0.081	
12	P1028g4	18	200	90	550	6.19	30	26000	8.47	50	70		20400	0.067	
13	P1028g5	5	910	140	270	8.16	10	6020	9.74		160	30	35600	0.048	
14	P1028g6	13	1650	40	420	6.81		20700	8.26	70	170	50	10600	0.116	
15	P1037g2	45	3590		2340	45.8		530	>10.0		10		180	0.117	
16	P1037g3	48	94100	130	1600	9.42		9150	7.75	100		30	22200	0.913	
17	P1037g4	684	>100000	240	8250	15.25		35.35%	>10.0	680		10	51600	1.325	
18	P1037g5	452	58000	600	7230	15.1		27.03%	>10.0	430		10	12.78%	0.646	
19	P1037g6	148	6670	150	850	16.55	80	15.96%	>10.0	260	40	10	32200	0.286	
20	P1037g7	118	2150	690	3490	46.2		19850	>10.0	50			12.79%	3.7	

注:百分数为高于检出上限后进行高含量滴定所得数据,空白为低于检出限数据

#### 4.3 包裹体显微测温

根据成矿阶段划分,本文对样品中的富液相气液两相包裹体进行了均一温度及冰点的测定,并经过计算获得了不同成矿阶段流体的物理化学条件。虽然成矿流体成分复杂,但绝大多数为含 NaCl 的水溶液,在未见 CO<sub>2</sub> 及子矿物包裹体的情况下,将其视为 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系<sup>[4-5]</sup>。本文采用 Potter 等推导的公式<sup>[6]</sup>,依据冰点对盐度进行计算,并使用刘斌等推导的密度公式通过均一温度与冰点对流体密度进行了计算<sup>[6-9]</sup>。依据邵洁涟的经验公式<sup>[10]</sup>,对成矿压力进行了估算。取压力梯度为 30MPa/km,可以计算出流体均一温度分布范围为 140~360℃,盐度分布在 0.5%~7.5%NaCl eqv 之间(图 5),各阶段流体特征如下(表 3)。

I. 石英-毒砂-黄铁矿-磁黄铁矿阶段:该阶段存在气液两相包裹体、纯气相包裹体与纯液相包裹体,其中气液两相包裹体均一温度为 180~360℃,峰

值温度为 280~360℃,平均值为 308.4℃;盐度分布范围为 1%~6% NaCl eqv,峰值为 2%~6% NaCl eqv,平均值为 3.59%;对应的流体密度范围为 0.63~0.82g/cm<sup>3</sup>,平均值为 0.73g/cm<sup>3</sup>。

II. 石英-黄铁矿-闪锌矿-黄铜矿-方铅矿阶段:该阶段气液两相包裹体长轴长度多为 4~12μm,均一温度为 160~340℃,峰值温度为 220~300℃,平均值为 266.3℃;盐度分布范围为 0.5%~7.5% NaCl eqv,峰值为 2.5%~6% NaCl eqv,平均值为 3.39% NaCl eqv;流体密度为 0.65~0.95g/cm<sup>3</sup>,平均值为 0.90g/cm<sup>3</sup>。

III. 石英-方解石阶段:该阶段气液两相包裹体长轴较短,多为 2~8μm,均一温度为 140~360℃,峰值温度为 140~220℃,平均值为 209.9℃;盐度分布范围为 0.5%~5.5% NaCl eqv,峰值为 0.5%~4.5% NaCl eqv,平均值为 2.52% NaCl eqv;对应密度为 0.62~0.94g/cm<sup>3</sup>,平均值为 0.87g/cm<sup>3</sup>。

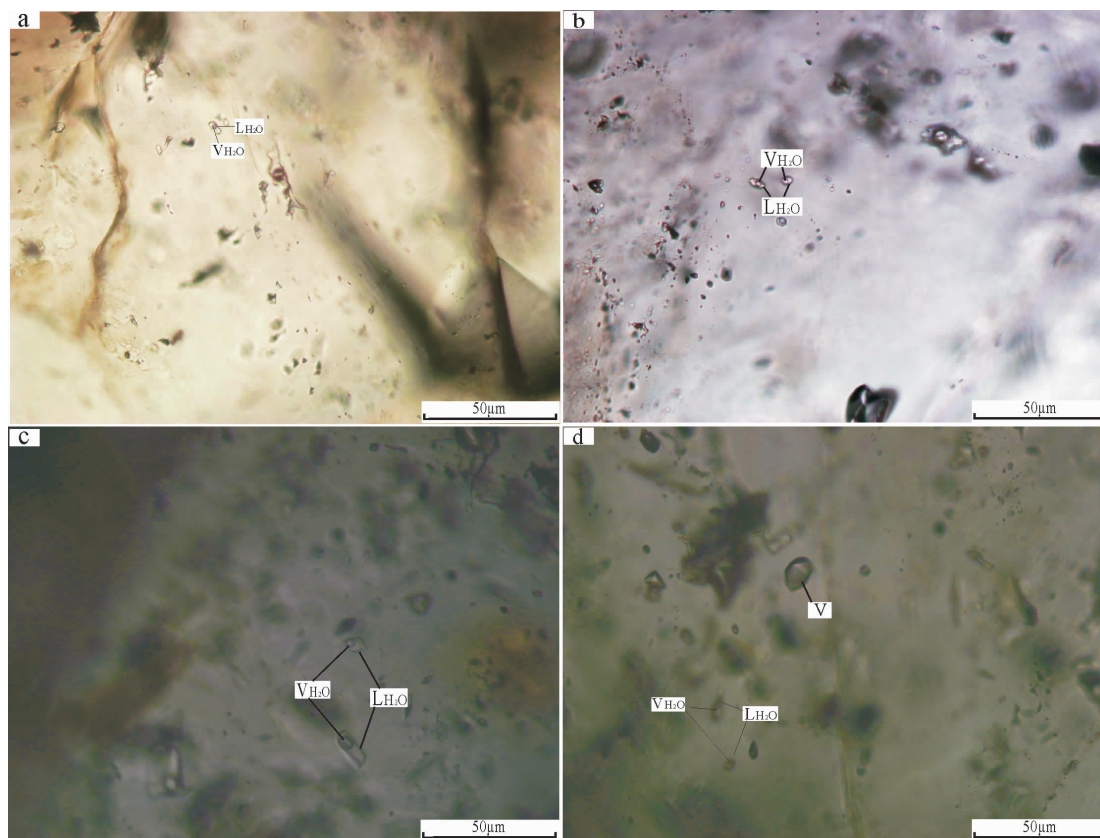


图 4 板多铅锌矿流体包裹体显微照片

Fig. 4 Fluid inclusion microphotographs of the Banduo Pb-Zn deposit

a— I 阶段中气液两相包裹体; b— II 阶段中气液两相包裹体; c— III 阶段中气液两相包裹体;  
d— III 阶段中气液两相包裹体与纯气相包裹体

表3 板多铅锌矿床包裹体均一温度和盐度测定结果及流体数据

Table 3 Microthermometric and salinity data of fluid inclusions and fluid data from Banduo Pb-Zn deposit

成矿阶段	包裹体数	均一温度/°C		冰点/°C		盐度/%NaCl eqv		密度/(g·cm <sup>-3</sup> )		压力/MPa		深度/km	
		范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
第 I 阶段	37	193.3~359.4	308.4	-0.7~-3.7	-2.1	1.22~5.99	3.59	0.65~0.90	0.72	51.2~96.2	80.1	1.71~3.21	2.67
第 II 阶段	58	163.5~344.5	266.3	-0.4~-4.5	-2.0	0.70~7.15	3.39	0.65~0.95	0.79	34.5~92.4	68.6	1.15~3.08	2.29
第 III 阶段	38	146.3~359.8	209.9	-0.3~-3.2	-1.5	0.53~5.32	2.52	0.62~0.94	0.87	34.1~94.4	51.4	1.13~3.15	1.71

## 5 讨论

### 5.1 成矿流体的沸腾作用

第 I 成矿阶段石英中的包裹体发育良好,在同一矿物颗粒甚至同一观察视域中,存在不同大小、充填度不同的气液两相、气相与液相包裹体,气液

比分布范围为 20%~50%,变化较大;流体包裹体测温结果表明,该阶段均一温度分布范围较大,但峰值分布于 300°C 左右;第 I 阶段与第 II 阶段成矿压力与深度变化较大。这些测温结果表明,成矿的最初阶段发生了流体沸腾作用,导致物理化学条件改变,从而使成矿物质富集成矿<sup>[11-14]</sup>。在成矿的第 II

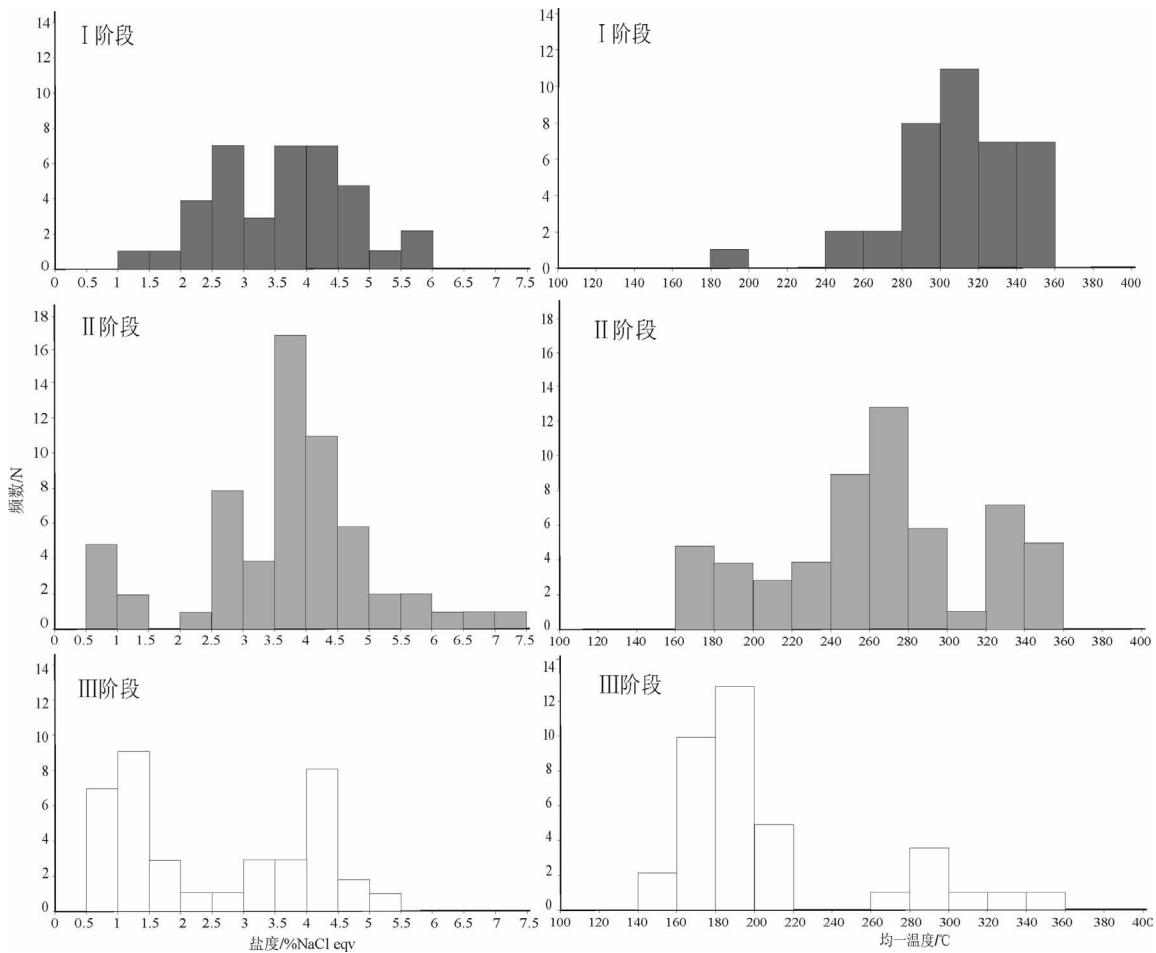


图5 板多铅锌矿包裹体盐度与均一温度直方图

Fig. 5 Histogram showing salinity and homogenization temperature of fluid inclusions from the Banduo Pb-Zn deposit



阶段与第Ⅲ阶段,包裹体类型变为气液两相包裹体,气液比变化较小。因此,在第Ⅱ阶段与第Ⅲ阶段,温度和压力的正常降低是矿物产生富集的主要因素<sup>[15-16]</sup>。

### 5.2 成矿流体的物理化学条件

根据均一温度-盐度散点图(图6)可知,不同成矿阶段盐度均由高到低变化,表明该矿床成矿经历了3个阶段的流体演化。由于各阶段流体盐度离散度较大,因此认为,流体运移过程中可能存在部分外源流体的混入,导致流体盐度下降<sup>[12,17]</sup>。

根据矿相学研究,板多矿床的第Ⅱ阶段为铅锌的主成矿阶段,对应的流体包裹体的均一温度均值为266.3℃,盐度均值为3.39% NaCl eqv,密度均值为0.90g/cm<sup>3</sup>,主要呈现中温、低盐度与低密度的特征;依据成矿压力计算成矿深度为1.15~3.08km,平均值为2.29km,属中浅成范围。总体符合热液型铅锌矿的流体特征<sup>[18]</sup>。

### 5.3 矿床成因及意义

矿床主要位于近北西向的构造破碎带中,矿体形态、产状与规模受构造控制明显。矿体与隐伏似斑状花岗岩关系密切,成矿部位位于岩体或岩体与围岩接触部位,岩体蚀变强烈,表明成矿第Ⅰ阶段,似斑状花岗岩的侵入为矿床的形成带来了流体、物质与热源,故花岗岩的侵入与构造作用是矿床形成的主要因素。该阶段成矿温度较高并发生沸腾作用,形成毒砂、磁黄铁矿等高温矿物。第Ⅱ阶段,随着流体演化,温度、压力下降,富集形成闪锌矿、方

铅矿等主要矿物,该阶段为矿床最主要的成矿阶段。随后,热液温度和压力进一步下降,进入第Ⅲ阶段:该阶段温度较低,矿物组合以石英和方解石为主,不再形成金属矿物,至此成矿作用结束。综上所述,矿床的成因为受断裂控制的中温热液脉型铅锌矿床。

该矿床地处冈底斯成矿带东段,是铜钼、铅锌、金、铬等重要矿产资源的富集区和重要科学问题研究的焦点地区,具有良好的找矿前景,但由于矿床(点)等矿化线索的勘查程度低,研究薄弱,区域成矿规律和找矿方向不明,制约着区域找矿工作部署。本次研究的松多地区已发现较多的铅锌矿床与矿(化)点,表明该区域具有良好的铅锌矿成矿条件及成矿潜力。本文通过野外调查及流体包裹体研究,对松多矿床的地质条件及矿床成因进行总结,可为该矿床的进一步找矿提供思路和方向,为松多区域铅锌矿床的勘探提供理论依据。

## 6 结 论

(1)板多铅锌矿床的形成经历了石英-毒砂-黄铁矿-磁黄铁矿阶段、石英-黄铁矿-闪锌矿-黄铜矿-方铅矿阶段、石英-方解石阶段3个成矿阶段,其中第Ⅱ阶段是铅锌的主要成矿阶段。根据成矿元素分析:Pb与Zn是矿石矿物的主要组成元素,含量较高;Cu、Mo、Ag、Au是矿石矿物的次要组成元素,含量较少,但较多样品达到工业品位,具有开采与找矿的价值。

(2)板多铅锌矿床成矿流体为简单的NaCl-H<sub>2</sub>O体系,早期发育气液两相与纯气相包裹体,中后期发育气液两相包裹体,同时存在纯液相包裹体。主要成矿阶段均一温度均值为266.3℃,盐度均值为3.39% NaCl eqv,密度均值为0.79g/cm<sup>3</sup>,成矿压力平均值为68.6MPa,成矿深度均值为2.29km,成矿流体总体具中温、低盐度与低密度的特点,总体符合热液脉型铅锌矿的流体特征。

(3)板多矿床的早期成矿阶段流体存在沸腾现象,形成毒砂等高温矿物;第Ⅱ成矿阶段沸腾作用结束,温度和压力降低是铅锌富集的主要机制。该矿床属受断裂构造控制的中温热液脉型铅锌矿床。

**致谢:**野外工作得到吉林大学地球科学学院青藏高原地学研究中心王伟、张天羽师兄及曾孝文师弟的帮助;流体包裹体测试工作得到吉林大学王可

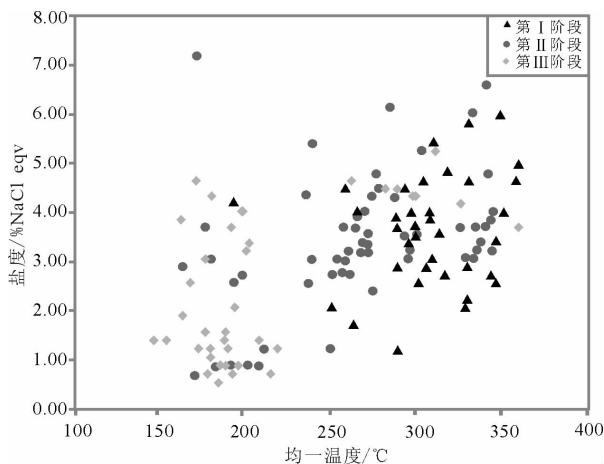


图6 板多铅锌矿包裹体均一温度-盐度散点图

Fig. 6 Scatter plot showing homogenization temperature and salinity of fluid inclusions from the Banduo Pb-Zn deposit

勇、王力与王琳琳老师和商青青师姐的指导;文章撰写中得到吉林大学杨群、郝宇杰师兄的指导,在此表示衷心的感谢。

## 参考文献

- [1] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [2] 高忠维,解超明,任云生,等. 藏南色如朗金红石矿床地质特征及控矿条件[J]. 地质通报, 2017, 36(11):2181-2187.
- [3] 刘大明,刘仪中,袁诗魁. 西藏工布江达县板多铅锌矿地质特征及成矿规律[J]. 四川地质学报, 2017, (2):218-222.
- [4] 卢焕章,范宏瑞,倪培,等. 流体包裹体[M]. 北京:地质出版社, 2004.
- [5] Potter R W I, Clynne M, Brown D L. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solution[J]. Economic Geology,1978,73: 284-285.
- [6] Bodnar R J. Revised equation and table for determining the freezing point depression of  $H_2O-NaCl$  solutions[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57(3):683-684.
- [7] 刘斌,段光贤.  $NaCl-H_2O$  溶液包裹体密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报, 1987, 7(4):345-352.
- [8] 刘斌,沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社,1999.
- [9] 刘斌. 利用流体包裹体及其主矿物共生平衡的热力学方程计算形成温度和压力[J]. 中国科学(B辑), 1987, (3):81-88.
- [10] 邵洁涟. 金矿找矿矿物学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1990.
- [11] 孙振明,任云生,李才,等. 西藏班-怒带西段荣那铜(金)矿床流体包裹体特征及矿床成因[J]. 地质学报, 2015, 89(3):608-617.
- [12] 尹远,梁维,谢锦程,等. 藏南吉松铅锌矿流体包裹体特征及其地质意义[J]. 现代地质, 2015, 29(3):553-562.
- [13] 费光春,温春齐,周雄,等. 西藏洞中拉铅锌矿床成矿流体研究[J]. 地质与勘探, 2010, 46(4):576-582.
- [14] 邹公明,李世金,李良,等. 青海省沱沱河地区楚多曲铅锌矿床流体包裹体特征及矿床成因探讨[J]. 西北地质, 2014, 47(4): 256-263.
- [15] 王方国,李光明,林方成. 西藏冈底斯地区矽卡岩型矿床资源潜力初析[J]. 地质通报, 2005, 24(4):378-385.
- [16] 张德会. 流体的沸腾和混合在热液成矿中的意义[J]. 地球科学进展, 1997, 12(6):546-552.
- [17] 魏振声. 对矿物沸腾包裹体若干问题的探讨[J]. 国土资源导刊, 1989, (1):60-65.
- [18] 芮宗瑶,李荫清,王龙生,等. 从流体包裹体研究探讨金属矿床成矿条件[J]. 矿床地质, 2003, 22(1):13-23.
- ① 福建省地质调查研究院. 西藏自治区松多地区1:5万3幅地质矿产调查报告. 2011.
- ② 青海省地质矿产局区调综合地质大队. 1:20万下巴淌(沃卡)幅区域地质调查报告(矿产部分).1994.