

西藏纳如松多隐爆角砾岩型铅锌矿床绢云母 Ar-Ar 定年及其地质意义

纪现华¹, 孟祥金², 杨竹森², 张 乾³, 田世洪², 李振清², 刘英超⁴, 于玉帅⁵

(1. 河北地质调查院, 河北石家庄 050081; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3. 河海大学, 江苏南京 210009; 4. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

5. 武汉地质矿产研究所, 湖北武汉 430205;)

[摘 要] 纳如松多铅锌矿床位于拉萨地块中部隆格尔-工布江达断隆带中段, 为冈底斯铜矿带北侧铅锌银多金属成矿带的典型矿床之一。纳如松多铅锌矿床以发育隐爆角砾岩型和矽卡岩型铅锌矿化为特征。利用⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素测年方法对纳如松多东矿段隐爆角砾岩型主矿体成矿阶段形成的绢云母进行了年龄测定, 获得绢云母 Ar-Ar 坪年龄为 (57.81 ± 0.66) Ma, 对应的正、反等时线年龄分别为 (57.90 ± 1.70) Ma、(57.70 ± 0.77) Ma。所测坪年龄与正反等时线年龄具有很好的一致性, 可以代表隐爆角砾岩型铅锌矿体的形成年龄。结合区域地质构造背景, 纳如松多隐爆角砾岩型铅锌矿床形成于印度-亚洲大陆主碰撞时期。

[关键词] ⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素定年 绢云母 隐爆角砾岩 纳如松多铅锌矿体 西藏

[中图分类号] P618 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2014)02-0281-10

Ji Xian-hua, Meng Xiang-jin, Yang Zhu-sen, Zhang Qian, Tian Shi-hong, Li Zhen-qing, Liu Ying-chao, Yu Yu-shuai. The Ar-Ar geochronology of sericite from the cryptoexplosive breccia type Pb-Zn deposit in Narusongduo, Tibet and its geological significance [J]. *Geology and Exploration*, 2014, 50(2): 0281-0290.

青藏高原以其丰富的矿产资源得到了国内外学者的广泛关注。继著名的冈底斯斑岩铜矿带被识别(侯增谦等, 2001)后, 在其北侧又识别出一条东西向展布的、以银铅锌为主的多金属成矿带(孟祥金等, 2007), 已探明的大型铅锌银多金属矿床有亚贵拉、洞中拉、洞中松多、蒙亚啊、勒青拉和纳如松多等。已有不少学者对该成矿带内典型的矽卡岩型矿床的成矿时代(唐菊兴等, 2009; 费光春等, 2010b; 高一鸣等, 2011b; 纪现华等, 2012)、成矿物理化学条件(张科, 2006; 费光春等, 2010a)、成矿物质来源(臧文栓等, 2007; 程文斌等, 2010; 费光春等, 2010a, 2011; 杨勇等, 2010a, 2010b)及成矿构造环境(郑有业等, 2002; 侯增谦等, 2006d; 孟祥金等 2007; 高一鸣等, 2011a)等方面进行了研究, 在成矿地质背景、

矿床成因模型等方面取得了较深入的认识, 但对于该带内隐爆角砾岩型矿床的研究程度较低, 特别是对该类型矿床成矿年代的研究迄未开展, 这不仅影响了对带内两种矿化类型发育时代及成因联系的认识, 也影响了对该带区域成矿特征与成矿规律的认识。

纳如松多铅锌矿床是拉萨地块中部铅锌银多金属成矿带中一个以隐爆角砾岩型矿化为主要特征的铅锌矿床, 矿区东矿段产出大型隐爆角砾岩型铅锌银主矿体, 西矿段产有小型矽卡岩型铅锌矿体, 是研究隐爆角砾岩型与矽卡岩型铅锌矿化的研究对象。杨勇等(2010a, 2010b)和纪现华(2012)等曾对矿区内与矽卡岩型铅锌矿化有关的两套岩浆岩的年代学、地球化学特征及成矿物质来源等进行了研究。

[收稿日期] 2013-07-22; **[修订日期]** 2013-12-16; **[责任编辑]** 郝情情。

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2011CB403104)、“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB01A04)和地质调查计划项目(1212010918014)资助。

[第一作者] 纪现华(1986年—), 女, 2013年毕业于中国地质大学(北京), 获硕士学位, 主要从事矿床学研究工作。E-mail: jixianhua1001@163.com。

[通讯作者] 杨竹森(1964年—), 男, 博士, 研究员, 从事矿床学和矿床地球化学研究。E-mail: yangzhusen@vip.sina.com。

本文通过对该矿床东矿段隐爆角砾岩型铅锌矿体进行绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究,以期获得隐爆角砾岩型铅锌矿体的成矿年龄,为进一步研究两种矿化类型的关系、矿床成因模型及成矿动力学背景提供年代学证据。

1 矿区地质概况

纳如松多铅锌矿床位于西藏日喀则地区谢通门县娘热乡东部,地处拉萨地块中部隆格尔-工布江达断隆带中段。矿区内出露地层有昂杰组(P_1a)、下拉组(P_2x)、典中组(E_1d)和第四系(Q)冲洪积物(图1a)。昂杰组零星出露于矿区西部,岩性主要为灰色变质粉砂岩、粉砂质板岩与灰黑色板岩互层,局部夹灰岩。下拉组分布于矿区西南,岩性为浅灰色厚层状结晶灰岩及生物碎屑结晶灰岩,是矽卡岩型矿体的赋矿围岩,与下伏昂杰组呈整合接触。典中组在矿区内广泛分布,由英安质晶屑凝灰岩、火山角

砾岩、凝灰质砂岩、复成分砾岩和少量英安岩、玄武安山岩等组成,与下伏地层呈角度不整合接触,为隐爆角砾岩型矿体的赋矿围岩。

矿区内出露的岩浆岩主要有粗斑和细斑两种花岗斑岩,呈岩株或岩枝状产出,总体东西向展布,连续性差(图1a)。早期的细斑花岗斑岩斑晶含量30%,由石英、正长石和少量斜长石组成,粒径小于2 mm,锆石的LA-ICP-MS U-Pb年龄为 $(62.47 \pm 0.91)\text{Ma}$ (纪现华等,2012);晚期的粗斑花岗斑岩斑晶含量35%,由石英和正长石组成,粒度为5~10 mm,锆石的LA-ICP-MS U-Pb和SHRIMP U-Pb年龄为 $(62.54 \pm 0.77)\text{Ma}$ 和 $(61.7 \pm 1.0)\text{Ma}$ (纪现华等,2012)。野外观察发现两者接触界线不明显,在接触带处见有宽度不等的混染带,相关研究表明两种斑岩为同源岩浆不同分异程度的产物(杨勇等,2010a,2010b),因此,两者呈涌动式侵入接触关系。

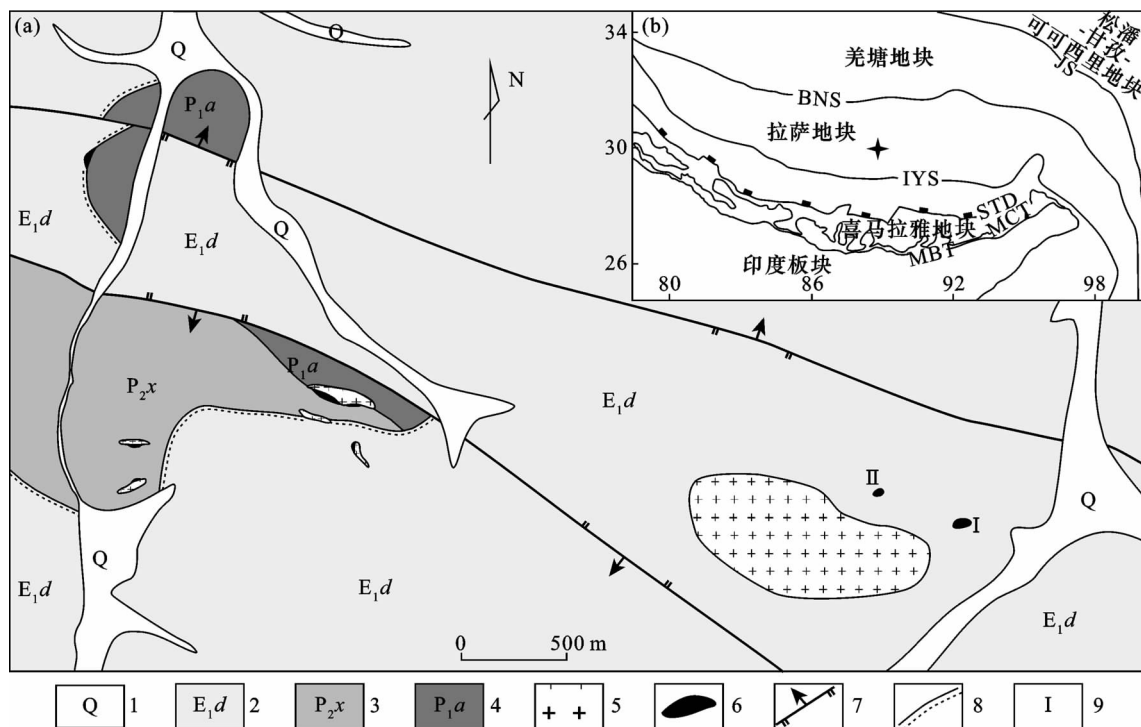


图1 纳如松多铅锌矿床地质简图

Fig. 1 Simplified geological map of Narusongduo Pb-Zn deposit

a - 纳如松多矿区图; b - 青藏高原碰撞造山带构造格架(STD - 藏南拆离系; MCT - 主中央逆冲断裂; MBT - 主边界逆冲断裂; JS - 金沙江缝合线; BNS - 班公湖 - 怒江缝合带; IYS - 雅鲁藏布江缝合带); 1 - 第四系; 2 - 典中组; 3 - 下拉组; 4 - 昂杰组; 5 - 花岗斑岩; 6 - 铅锌矿体; 7 - 逆断层; 8 - 不整合界线; 9 - I号矿体

a - Geological map of Narusongduo Pb-Zn deposit; b - Tectonic framework of the Tibetan collisional orogenic belt (STD - the South Tibetan Detachment System; MCT - Main Central Thrust; MBT - Main Boundary Thrust; JS - Jinsha River suture; BNS - Bangong - Nujiang River Suture; IYS - Yarlung - Zangbo River Suture); 1 - Quaternary; 2 - Dianzhong Formation; 3 - Xiala Formation; 4 - Angjie Formation; 5 - granite porphyry; 6 - lead-zinc deposit; 7 - reverse fault; 8 - unconformity boundary; 9 - orebody No. 1



图2 纳如松多隐爆角砾岩型矿体构造分带特征

Fig. 2 Tectonic zonation of the cryptoexplosive breccia type orebody in eastern Narusongduo Pb-Zn deposit

a - 崩落带; b - 震碎带; c - 裂隙带

a - caving zone; b - fractured zone; c - fissured zone

矿区内构造线总体呈 NWW 向,以发育逆冲断层为特色(图 1a)。北部逆断层主要切错典中组火山岩,倾向 NNE,倾角 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$,使北侧典中组下部凝灰质砂砾岩及下伏昂杰组砂板岩向南逆冲到南侧典中组中上部晶屑凝灰岩和安山岩之上,破碎带宽 5~12 m,由碎裂岩、断层泥和构造透镜体组成,其中见有被挤压挫碎的方铅矿碎块,并在西段见断层错断赋存于典中组底部不整合面部位的铅锌矿化体,说明该断层至少在铅锌矿化后发生大规模逆冲活动。南部逆断层切错典中组火山岩、下拉组灰岩和昂杰组砂板岩,倾向 SSW,倾角 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$,使南侧典中组下部凝灰质砂砾岩及下伏的下拉组灰岩和昂杰组砂板岩向北逆冲到北侧的典中组中下部晶屑凝灰岩和安山岩之上。两条逆断层呈对冲组合,使得中部典中组火山岩中赋存的隐爆角砾岩型铅锌矿化得以保存,并与断裂南侧下拉组灰岩中赋存的矽卡岩型铅锌矿化处于相同的海拔高度。

矿区内发育多种类型的铅锌矿化,以隐爆角砾岩型为主,矽卡岩型次之,沿不整合面分布的蚀变岩型及沿断裂裂隙充填的脉型再次之。隐爆角砾岩型铅锌矿化主要发生在东矿段,形成两个主要的大型矿体,产于向南陡倾的隐爆角砾岩筒中,分布于粗斑花岗斑岩岩株北东侧的典中组火山岩内(图 1a),粗斑花岗斑岩与隐爆角砾岩型矿体具有密切的相关性(杨勇等,2010b)。角砾岩筒中的角砾成分为典中组火山岩,大小混杂,呈棱角状产出,其边部常发育有 1~3 mm 的高岭土化、绢云母化和硅化蚀变边,被方铅矿、闪锌矿和少量黄铁矿、黄铜矿、银黝铜矿、石英、方解石和绢云母胶结,构成筒状矿体。矿体外围发育有窄的硅化带和大范围的高岭土化带,矿体及蚀变带被后期倾向 NNE 的缓角度小型逆断层切

错。矽卡岩型铅锌矿化主要发生在西矿段,形成多个小型矿体,产于向北陡倾的细斑花岗斑岩与下拉组灰岩接触带上(图 1a),带内矽卡岩主要由阳起石、蔷薇辉石和少量透闪石、硅灰石、石英、方解石等构成,方铅矿、闪锌矿和少量黄铜矿、黄铁矿等呈浸染状和团块状分布于矽卡岩中,构成不规则透镜状矿体,外围发育宽 0.5~2 m 的弱大理岩化带。

2 隐爆角砾岩型矿体地质特征

根据角砾岩筒角砾成分、形状、可拼性、大小等特征,将隐爆角砾岩型岩筒分为三个相带,即:崩落带-震碎带-裂隙带。各带地质特征(图 2)如下:

(1) 崩落带(图 2a):为热液内压大于外压引起的隐爆作用导致岩石破碎并崩落形成的角砾岩带,角砾大小混杂,直径 2~3 cm,多呈次棱角状,不具拼合性,角砾成分主要为晶屑安山岩、凝灰岩和凝灰质砂岩,角砾边缘由内向外发育粘土化、绿泥石-绿帘石化、绢云母化、硅化,角砾间充填方铅矿、闪锌矿和少量黄铁矿、石英、方解石等。该带为矿体内主要富矿地段。

(2) 震碎带(图 2b):为隐爆作用将岩石震碎形成的角砾岩带,平面上分布于崩落带外围,角砾为棱角状,大小多为 2~3 m,并常见大的构造角砾间含小角砾,整体可拼合性强,角砾成分主要为安山岩、晶屑凝灰岩和凝灰质砂岩,角砾之间被方铅矿、闪锌矿、黄铁矿及绿泥石、绿帘石、石英、方解石等充填,构成矿体外侧较低品位地段。

(3) 裂隙带(图 2c):为隐爆作用将岩石震裂但不形成角砾的裂隙发育带,分布于震碎带的外围,在安山岩和凝灰岩中发育大量石英-方解石-方铅矿-闪锌矿、紫红色蛋白石细脉,脉宽 1~5 cm,脉两侧

发育宽约 5~10mm 灰黄色褪色边。该带不具工业利用价值。

隐爆角砾岩型矿体矿石类型为角砾状、浸染状、块状、网脉状,矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿、毒砂等;脉石矿物包括石英、绢云母、方解石、白云石、绿泥石、绿帘石等。野外及镜下观察为一期成矿,即石英-方铅矿-闪锌矿-黄铜矿-黄铁矿-毒砂-方解石-白云石-绿帘石-绿泥石阶段。围岩蚀变包括高岭土化、碳酸盐化、绢云母化、硅化、绿泥石化、绿帘石化等。围岩蚀变在空间上具有分带性,自上而下为:绿帘石-绿泥石-硅化带、碳酸盐-绿帘石-绿泥石化带、碳酸盐-绢云母化带、绢云母-硅化带、硅化-绿帘石-绿泥石化带。其中,矿体主要赋存于碳酸盐-绢云母化带及绢云母-硅化带内,反应了绢云母化与成矿具有密切的成因联系。

3 样品特征与分析方法

样品采自纳如松多铅锌矿床东矿段 I 号隐爆角砾岩型矿体中部,由具有硅化、绢云母化蚀变边的晶屑凝灰岩角砾和方铅矿、闪锌矿、少量石英、绢云母胶结物构成。绢云母产于角砾边部 1 cm 宽蚀变边及沿蚀变边缘向角砾间隙生长的胶结物中,且自蚀变边缘向角砾内部和胶结物两个方向均逐渐减少,显示不同部位的绢云母系同一次成矿热液活动形成。蚀变边中的绢云母由成矿热液对长石晶屑交代蚀变形成,粒径 0.1~0.5 mm,呈斑点状集合体产出;胶结物中的绢云母由成矿热液中直接结晶形成,片径 0.3~1 mm,呈放射状集合体与石英、方铅矿、

闪锌矿共生(图 3a、3b),其中见有流体包裹体(图 3c)。

样品经粗碎选出含绢云母的碎块,再经过破碎并筛选至 60~80 目,之后在双目镜下挑选出纯的绢云母(纯度>99%),用于 Ar/Ar 同位素测年。将选出的绢云母用超声波清洗,清洗后的样品被封进石英瓶内送核反应堆中接受中子照射。照射工作在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行,使用 B4 孔道,中子流密度约为 $6.3 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$,照射总时间为 3000 min,积分中子通量为 $1.13 \times 10^{18} \text{ n cm}^{-2}$;同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样:ZBH-25 黑云母标样,其标准年龄为 $132.7 \pm 1.2 \text{ Ma}$,K 含量为 7.6%。

照射后样品的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 测年在中国地质科学院地质研究所国土资源部同位素地质重点实验室完成。样品的阶段升温加热使用电子轰击炉,每一个阶段加热 30 min,净化 30 min。质谱分析在 MM-1200B 质谱计上进行,每个峰值均采集 8 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。系统空白水平: $m/e = 40, 39, 37, 36$ 分别小于 $6 \times 10^{-15} \text{ mol}, 4 \times 10^{-16} \text{ mol}, 8 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 和 $2 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。 ^{37}Ar 经过放射性衰变校正, ^{40}K 衰变常数 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$,用 ISOPLOT 程序计算坪年龄及正、反等时线(Ludwig, v2.49, 2001)。坪年龄误差以 2σ 给出。详细实验

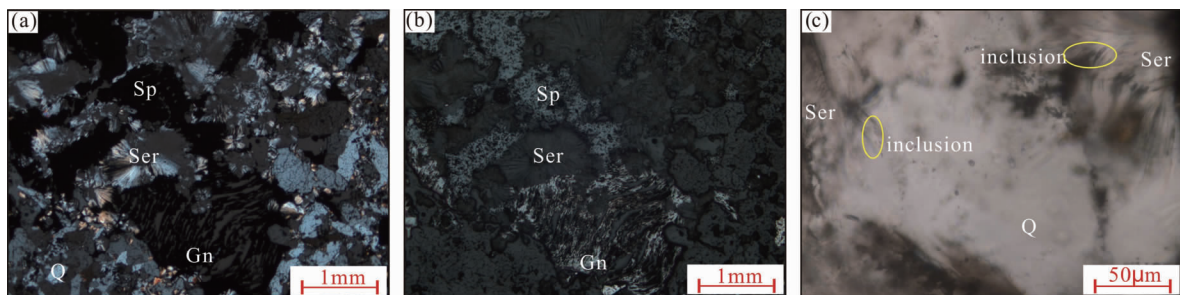


图 3 纳如松多东矿段隐爆角砾岩型铅锌矿体镜下照片特征

Fig. 3 Microphotographs of mineral paragenesis and inclusions in sericite from the cryptoexplosive breccia type orebody in eastern Narusongduo Pb-Zn deposit

a - 成矿阶段石英(Q)-绢云母(Ser)-方铅矿(Gn)-闪锌矿(Sp)共生组合(正交偏光); b - 成矿阶段石英-绢云母-方铅矿-闪锌矿共生组合(反射光); c - 绢云母中的流体包裹体

a - Paragenesis of quartz(Q) - sericite(Ser) - galena(Gn) - sphalerite(Sp) in polarized light microscope; b - Paragenesis of quartz - sericite - galena - sphalerite in reflection light microscope; c - Fluid inclusions in sericite

表1 纳如松多东矿段隐爆角砾岩型铅锌矿体成矿阶段绢云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄测定结果Table 1 ⁴⁰Ar-³⁹Ar data of sericite from the cryptoexplosive breccias Pb-Zn deposit in eastern of Narusongduo

温度(°C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	⁴⁰ Ar(%)	⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar	累计 ³⁹ Ar(%)	Age/(±1σ)(Ma)
400	6.5186	0.0049	0.0250	0.0155	77.73	5.0667	1.65	49.60 ± 1.00
500	5.5807	0.0010	0.0147	0.0140	94.65	5.2824	4.67	51.71 ± 0.57
600	7.1554	0.0006	0.0160	0.0141	97.28	6.9611	18.08	67.84 ± 0.74
700	6.7064	0.0005	0.0224	0.0141	97.70	6.5521	44.68	63.92 ± 0.80
800	6.0392	0.0005	0.0239	0.0139	97.46	5.8861	58.78	57.53 ± 0.69
900	6.0648	0.0007	0.0149	0.0134	96.72	5.8657	68.48	57.33 ± 0.67
1000	6.1615	0.0007	0.0053	0.0130	96.38	5.9386	90.45	58.03 ± 0.63
1100	6.3228	0.0011	0.0090	0.0135	94.78	5.9926	98.64	58.55 ± 0.76
1200	7.2119	0.0044	0.0163	0.0169	81.76	5.8964	100	57.60 ± 1.10

流程见有关文章(陈文等,2006;张彦等,2006)。

4 分析结果

挑选的绢云母样品在 400 ~ 1200℃ 温度范围内,进行了 9 个阶段的释热分析,其⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素分析结果见表 1,相应的坪年龄及正反等时线年龄如图 4 所示。在绢云母 Ar-Ar 坪年龄图(图 4a)上,后五个阶段具有较稳定的表观年龄,其坪年龄为 57.81 ± 0.66 Ma,对应于 55.3% 的³⁹Ar 释放量。对相应阶段的分析结果进行等时线和反等时线拟合,获得的等时线年龄为 57.90 ± 1.70 Ma,⁴⁰Ar/³⁶Ar 的初始值为 294 ± 98(图 4c);反等时线年龄为 57.70 ± 0.77 Ma,⁴⁰Ar/³⁶Ar 的初始值为 304 ± 50(图 4d)。

5 讨论

5.1 成矿年龄

矿床的精确定年是建立矿床模型和反演成矿地球动力学背景的基础,对理解矿床形成过程,确定矿床成因,探讨成矿事件与其他地质事件的耦合关系,以及确立成矿-找矿模型具有至关重要的意义(刘玉平等,2007)。本次研究的纳如松多东矿段隐爆角砾岩型铅锌矿体中的绢云母与铅锌矿化密切共生,共同作为胶结物胶结典中组火山岩角砾(图 3a、3b),表明其是主成矿期形成的脉石矿物,成为精确测定该矿体铅锌矿化时代的理想对象。

所测绢云母的年龄谱图整体上未呈现出平坦型(图 4a),低温区间表观年龄较小,在低-中温区间出现两个较大的表观年龄,且随加热温度升高呈阶梯状下降,到中-高温区间表观年龄趋于一致,构成一个坪。由于所测样品的⁴⁰Ar(包括放射成因⁴⁰Ar*和过剩氩⁴⁰Ar_e)和³⁹Ar 释气曲线形态(图 4b)与云母类矿物⁴⁰Ar 的释气曲线形态(王松山,1983)基本一

致,且两者呈同步增减,释气百分数基本相当,明显不同于含过剩氩和受扰动后样品的释气曲线,而类似于不含过剩氩样品的⁴⁰Ar 和³⁹Ar 释气曲线(李正华等,1995),表明所测绢云母中不含大量过剩氩,⁴⁰Ar 绝大部分由⁴⁰K 放射衰变形成,而³⁹Ar 由³⁹K 经中子照射形成,两者处于相同的矿物学结晶位置,使得获得的坪年龄仍具有地质意义。

在绢云母的年龄谱图(图 4a)上,低温区间(400 ~ 500℃)两个阶段的表观年龄较小,释放的气体量也较小,在释气曲线上⁴⁰Ar 的释气百分比略低于³⁹Ar(图 4b),系矿物边缘或晶格缺陷上的⁴⁰Ar 丢失所造成(邱华宁等,1997),可能与隐爆角砾岩型铅锌矿体形成后区域 NWW 向逆冲断层大规模活动诱发的构造-热事件的扰动有关。低-中温区间(600 ~ 700℃)两个阶段的表观年龄较大(67.84 ± 0.74 Ma 和 63.92 ± 0.80 Ma),分别大于和接近于赋存矿体的林子宗群典中组火山岩的最老年龄 64.47 ± 0.41 Ma(莫宣学等,2003;周肃等,2004)或 64.8 ± 1.6 Ma(梁银平等,2010),显然这两个表观年龄与地质事实不符,究其原因可能与绢云母中含少量⁴⁰Ar_e有关,造成释气曲线上⁴⁰Ar 的释气百分比略高于³⁹Ar(图 4b)。热液成因绢云母中的⁴⁰Ar_e即有来源于岩浆分异晚期富集在气液相中的⁴⁰Ar(王松山等,1997),也有来源于热液对围岩蚀变过程中围岩矿物分解释放到热液中的⁴⁰Ar,其在绢云母结晶过程中或者生长于晶格上,或者被捕获于流体包裹体中(王松山等,1997,1999)。生长于晶格上的⁴⁰Ar_e因与 K 离子地球化学性质的不同而占据不同的晶格位置,加热过程中释放⁴⁰Ar_e、⁴⁰Ar* 和³⁹Ar 所需的活化能不同,造成⁴⁰Ar 和³⁹Ar 具有不一致的释气曲线(李正华等,1995)。流体包裹体中的⁴⁰Ar_e随升温

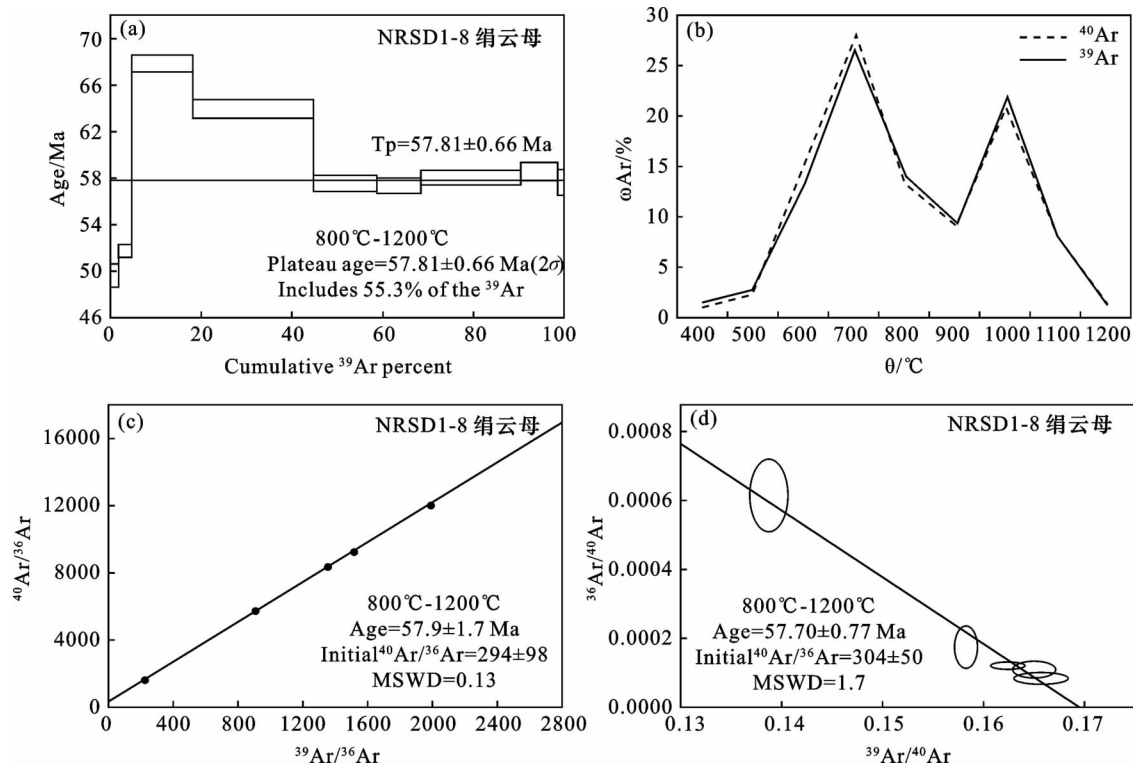


图4 纳如松多东矿段隐爆角砾岩型铅锌矿体成矿阶段绢云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄谱和正反等时线图
Fig.4 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ age spectra and isochronal diagrams for sericite from the cryptoexplosive breccia type orebody in eastern Narusongduo Pb-Zn deposit

a - 坪年龄; b - ^{40}Ar 、 ^{39}Ar 释气曲线; c - 正等时线; d - 反等时线

a - $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ plateau age; b - Gas release curve of ^{40}Ar and ^{39}Ar ; c - Positive isochronal age; d - Inverse isochronal age

过程中流体包裹体爆裂而向绢云母的结构层间转移,与层间的 $^{40}\text{Ar}^*$ 和 ^{39}Ar (^{39}K)处于相同的晶格位置,具有相同的活化能,使得 ^{40}Ar 和 ^{39}Ar 具有一致的释气曲线。由于所测绢云母的 ^{40}Ar 和 ^{39}Ar 释气曲线基本一致,且在显微镜下观测到绢云母中存在流体包裹体(图3c),因此样品中的少量 $^{40}\text{Ar}_e$ 主要储存于流体包裹体中。流体包裹体中的 $^{40}\text{Ar}_e$ 在600℃阶段,因包裹体大量爆裂而释放出较多的 $^{40}\text{Ar}_e$,产生最大的表观年龄;到700℃阶段,随着包裹体数量减少,爆裂释放的 $^{40}\text{Ar}_e$ 减少,产生的表观年龄减小,直至包裹体耗尽而层间储存的 $^{40}\text{Ar}^*$ 和 ^{39}Ar (^{39}K)大量释放(绢云母在660℃释放层间水),产生最大的释气量,因该阶段仍有少量 $^{40}\text{Ar}_e$ 的影响,使得表观年龄仍大于实际地质年龄。中-高温区间(800~1200℃)5个阶段随着绢云母结构水的释放(780℃)和硅氧四面体层的解体(1050℃),储存在晶体结构中的 $^{40}\text{Ar}^*$ 和 ^{39}Ar (^{39}K)被大量释放,期间因没有 $^{40}\text{Ar}_e$ 的影响,产生的表观年龄变化很小,形成了较为平坦的年龄坪(图4a),对应于55.3%的 ^{39}Ar 释放量。此外,相应阶段的正反等时线拟合结果(图4c,4d)给出的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 的初始值(分别为 294 ± 98 和 304

± 50)与现代大气氩比值(295.5)相比摆动范围小于5%,同样指示这5个阶段已无明显的 $^{40}\text{Ar}_e$ 存在(王松山,1983),得出的坪年龄($57.81 \pm 0.66 \text{ Ma}$)应可代表绢云母的实际冷却年龄。该坪年龄与等时线年龄($57.90 \pm 1.70 \text{ Ma}$)和反等时线年龄($57.70 \pm 0.77 \text{ Ma}$)完全吻合,显示测试结果具有较高的可靠性。

纳如松多东矿段隐爆角砾岩型铅锌矿体主成矿阶段形成的胶结物的矿物共生组合为方铅矿+闪锌矿+石英+绢云母,对其中的石英进行流体包裹体测温,原生包裹体均一温度变化范围主要集中于260~320℃,平均温度287℃,可代表与之共生的绢云母的结晶温度。由于绢云母对K-Ar体系的封闭温度为300℃左右(McDougall I, 1999; 王瑜等, 2007),与其结晶温度相近,因此绢云母的坪年龄($57.81 \pm 0.66 \text{ Ma}$)可代表绢云母的形成年龄,亦可代表隐爆角砾岩型矿体的成矿年龄。该年龄略晚于林子宗群典中组火山岩64.47~60 Ma(莫宣学等, 2003; 周肃等, 2004)的发育时限,与矿体赋存于典中组火山岩内的地质事实相符合。此外,与成矿密切相关的粗斑花岗斑岩(杨勇等, 2010b)的SHRIMP

年龄变化于 58.7 ~ 63.7 Ma 之间,平均年龄为 (61.7 ± 1.0) Ma (纪现华等, 2012), 其与绢云母坪年龄一致或相近, 因此, 隐爆角砾岩型矿体与成岩时代是一致的。

5.2 隐爆角砾岩型与矽卡岩型铅锌矿化的关系

纳如松多铅锌矿床东矿段发育两个大型隐爆角砾岩型铅锌矿体, 西矿段发育一个小型矽卡岩型铅锌铜矿体, 两类矿体具有密切的成因联系, 表现在:

(1) 成矿时代一致: 上文对隐爆角砾岩型铅锌矿体内绢云母 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ 年龄的讨论, 表明该类型矿体的形成年龄为 57.8 Ma 左右; 而与矽卡岩型铅锌矿体成矿相关的细斑花岗斑岩 (杨勇等, 2010b) 的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 62.54 ± 0.77 Ma (纪现华等, 2012), 表明该类型矿体的形成年龄应略晚于 62.5 Ma。显然, 两类矿体在成矿时代上十分接近, 属于同一个成矿时期。

(2) 成矿环境相同: 两类矿体空间上相近, 时代上相同, 受同一条 NW 向火山-岩浆岩带控制。隐爆角砾岩型矿体产于古新世典中组火山岩系中, 形成于超浅成环境。矽卡岩型矿体虽然产于中二叠统下拉组灰岩与细斑花岗斑岩接触带上, 但矽卡岩矿物以阳起石、蔷薇辉石和透闪石为主, 且围岩大理岩化带很窄, 也表明形成于浅成-超浅成环境。考虑到矿体形成后曾受到 NW 向对冲断层系改造, 使矽卡岩型矿体随中二叠统下拉组灰岩向北逆冲, 因此矽卡岩型矿体在形成时期所处的深度略大于隐爆角砾岩型矿体, 即矽卡岩型矿体在下, 隐爆角砾岩型矿体在上。

(3) 成矿过程相关: 两类矿体形成过程均与林子宗群典中组火山岩喷发时的岩浆活动相关, 为同一次超浅成斑岩岩浆侵位-结晶分异-成矿流体汇聚-成矿的演化过程形成 (杨勇等, 2010a, 2010b; 纪现华等, 2012)。汇聚的成矿流体在火山岩底部不整合面之下的灰岩中形成矽卡岩型矿体, 当流体的内压大于上部围岩压力时发生隐蔽爆破, 在不整合面之上的火山岩中形成隐爆角砾岩型矿体。

5.3 成矿地质背景

青藏高原造山带是中新生代大陆汇聚导致一系列地体不断拼贴增生直至印-亚大陆碰撞形成的巨型造山带 (Yin *et al.*, 1994; Maheo *et al.*, 1998; 侯增谦等, 2006d)。印-亚大陆碰撞造山始于 65 Ma (Rowley *et al.*, 1996; 莫宣学等, 2003; 王成善等, 2003; 侯增谦等, 2006a), 先后经历了主碰撞期 (65 ~ 41 Ma)、晚碰撞期 (40 ~ 26 Ma) 和后碰撞期 (< 25

Ma), 形成了全球最新和最典型的碰撞造山带 (侯增谦等, 2006a, 2006b, 2006c)。纳如松多铅锌矿床形成于 62.5 ~ 57.8 Ma, 处于印-亚大陆碰撞造山的主碰撞期, 成矿过程与主碰撞期大规模火山-岩浆活动密切相关。主碰撞期林子宗群火山岩记录了由新特提斯俯冲消减末期过渡到印度-亚洲大陆碰撞期的信息, 典中组 (64.47 ~ 60.00 Ma) 带有较多陆缘弧火山岩特征, 年波组 (56.51 Ma) 开始出现标志陆内岩浆活动的钾玄岩, 帕那组 (53.52 ~ 43.93 Ma) 更多地显示了加厚陆壳条件下火山岩的特点 (莫宣学等, 2003; 周肃等, 2004)。主碰撞期相继发育的壳源白云母花岗岩-钾质钙碱性花岗岩组合 (66 ~ 50 Ma)、壳幔混源 + ϵ_{Nd} 花岗岩-辉长岩组合 (52 ~ 47 Ma) 和幔源玄武质次火山岩-辉绿岩脉组合 (42 Ma), 反映了印-亚大陆碰撞起始后深部相继发生大陆板片随新特提斯大洋板片陡深俯冲 (65 ~ 52 Ma) → 板片断离 (52 ~ 42 Ma) → 大陆板片低角度俯冲 (< 40 Ma) 等重要过程 (侯增谦等, 2006a)。因此, 纳如松多铅锌矿床形成于印-亚大陆碰撞起始后印度大陆板片随新特提斯大洋板片向亚洲大陆之下俯冲的地球动力学背景, 与之相关的地幔楔部分熔融、幔源岩浆上侵、地壳部分熔融、壳幔岩浆混合等过程驱动着林子宗群火山岩的大规模喷发, 而成矿的花岗斑岩具有壳源岩浆高度结晶分异特征 (杨勇等, 2010b), 表明成矿受这一过程诱发的壳源岩浆上侵驱动。

6 结论

(1) 纳如松多东矿段隐爆角砾岩型铅锌矿体成矿期绢云母的 $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 (57.81 ± 0.66) Ma, 其与等时线年龄 (57.90 ± 1.70) Ma 和反等时线年龄 (57.70 ± 0.77) Ma 具有很好的一致性, 并且正反等时线拟合得出的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始值与大气氩的比值相似, 证明坪年龄的结果可靠, 可以代表隐爆角砾岩型矿体的成矿年龄。

(2) 纳如松多铅锌矿床隐爆角砾岩型矿体和矽卡岩型矿体的成矿年龄一致, 为同一个超浅成斑岩岩浆侵位-结晶分异-成矿流体汇聚-成矿的演化过程形成, 处于印-亚大陆主碰撞时期印度大陆板片随新特提斯大洋板片向亚洲大陆之下俯冲的地球动力学背景。

[References]

- Chen Wen, Zhang Yan, Zhang Yue-qiao, Jin Gui-shan, Wang Qing-li.
2006. Late Cenozoic episodic uplifting in southeastern part of the Ti-

- betan plateau-evidence from Ar-Ar thermochronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 867–872 (in Chinese with English abstract)
- Cheng Wen-bin, Gu Xue-xiang, Tang Ju-xing, Wang Li-qiang, Lv Peng-rui, Zhong Kang-hui, Liu Xiao-ji, Gao Yi-ming. 2010. Lead isotope characteristics of ore sulfides from typical deposits in the Gangdese-Nyainqentanglha metallogenic belt: Implications for the zonation of ore-forming elements[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(11): 3350–3362 (in Chinese with English abstract)
- Fei Guang-chun, Wen Chun-qi, Zhou Xiong, Wu Peng-yu, Huo Yan, Li Bao-hua, Long Xun-rong. 2010a. Research of mineralization fluids in the Dongzhongla lead-zinc deposit, Tibet[J]. *Geology and Exploration*, 46(4): 0576–0582 (in Chinese with English abstract)
- Fei Guang-chun, Wen Chun-qi, Zhou Xiong, Wu Peng-yu, Wen Quan. 2010b. Laser microprobe $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ geochronology of quartz from Dongzhongla lead-zinc deposit in Tibet and its significance [J]. *Mineralogy and Petrology*, 30(3): 38–43 (in Chinese with English abstract)
- Fei Guang-chun, Duo Ji, Wen Chun-qi, Yang Zheng-xi, Long Xun-rong, Zhou Xiong. 2011. S, Pb and Sr isotopic compositions for tracing sources of ore-forming materials in Dongzhongla lead-zinc deposit in Tibet [J]. *Mineralogy and Petrology*, 31(4): 52–57 (in Chinese with English abstract)
- Gao Yi-ming, Chen Yu-chuan, Wang Cheng-hui, Hou Ke-jun. 2011a. Zircon Hf isotopic characteristics and constraints on petrogenesis of Mesozoic-Cenozoic magmatic rocks in Nyainqentanglha, Tibet [J]. *Mineral Deposits*, 30(2): 279–291 (in Chinese with English abstract)
- Gao Yi-ming, Chen Yu-chuan, Tang Ju-xing, Li Chao, Li Xin-fa, Gao Ming, Cai Zhi-chao. 2011b. Re-Os dating of molybdenite from the Yaguila porphyry molybdenum deposit in Gongbo gyamda area, Tibet, and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(7): 1027–1036 (in Chinese with English abstract)
- Hou Zeng-qian, Qu Xiao-ming, Huang Wei, Gao Yong-feng. 2001. Modes of occurrence of gold in supergene medium in arid areas of northern China[J]. *Chinese Geology*, 28(10): 27–30 (in Chinese with English abstract)
- Hou Zeng-qian, Yang Zhu-sen, Xu Wen-yi, Mo Xuan-xue, Ding Lin, Gao Yong-feng, Dong Fang-liu, Li Guang-ming, Qu Xiao-ming, Li Guang-ming, Zhao Zhi-dan, Wang Si-hong, Meng Xiang-jin, Li Zhen-qing, Qin Ke-zhang, Yang Zhi-ming. 2006a. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: I. Mineralization in main collisional orogenic setting[J]. *Mineral Deposits*, 25(4): 337–358 (in Chinese with English abstract)
- Hou Zeng-qian, Pan Gui-tang, Wang An-jian, Mo Xuan-xue, Tian Shihong, Sun Xiao-ming, Ding Lin, Wang Er-qi, Gao Yong-feng, Xie Yu-ling, Zeng Pu-sheng, Qin Ke-zhang, Xu Ji-feng, Qu Xiao-ming, Yang Zhi-ming, Yang Zhu-sen, Fei Hong-cai, Meng Xiang-jin, Li Zhen-qing. 2006b. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II. Mineralization in late-collisional transformation setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(5): 521–533 (in Chinese with English abstract)
- Hou Zeng-qian, Qu Xiao-ming, Yang Zhu-sen, Meng Xiang-jin, Li Zhen-qing, Yang Zhi-ming, Zheng Mian-ping, Zheng You-ye, Nie Feng-jun, Gao Yong-feng, Wang Si-hong, Li Guang-ming. 2006c. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III. Mineralization in post-collisional extension setting[J]. *Mineral Deposits*, 25(6): 629–651 (in Chinese with English abstract)
- Hou Zeng-qian, Zhao Zhi-dan, Gao Yong-feng, Yang Zhi-ming, Jiang Wan. 2006d. Tearing and dischronal subduction of the Indian continental slab: Evidence from Cenozoic Gangdese volcano-magmatic rocks in south Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 761–774 (in Chinese with English abstract)
- Ji Xian-hua, Yang Zhu-sen, Yu Yu-shuai, Shen Jun-feng, Tian Shihong, Meng Xiang-jin, Li Zhen-qing, Liu Ying-chao. 2012. Formation mechanism of magmatic rocks in Narusongduo lead-zinc deposit of Tibet: Evidence from magmatic zircon[J]. *Mineral Deposits*, 31(4): 758–774 (in Chinese with English abstract)
- Li Zheng-hua, Dai Dong, Qiu Hua-ning. 1995. The release of ^{40}Ar ($^{40}\text{Ar} * + ^{40}\text{ArE}$) and ^{39}Ar in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ samples and its chronological significance[J]. *scientia geologica sinica*, 30(1): 40–46 (in Chinese with English abstract)
- Liang Yin-ping, Zhu Jie, Ci Qiong, He Wei-hong, Zhang Ke-xin. 2010. Zircon U–Pb ages and geochemistry of volcanic rock from Linzizong group in Zhunuo area in middle gangdise belt, Tibet plateau [J]. *Geosciences*, 35(2): 211–223 (in Chinese with English abstract)
- Liu Yu-ping, Li Zheng-xiang, Li Hui-min, Guo Li-guo, Xu Wei, Ye Lin, Li Chao-yang, Pi Dao-hui. 2007. U–Pb geochronology of cassiterite and zircon from the Dulong Sn-Zn deposit: Evidence for Cretaceous large-scale granitic magmatism and mineralization events in southeastern Yunnan province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(05): 0967–0976 (in Chinese with English abstract)
- Ludwig K R. 2001. Isoplot/Ex, rev. 2.49: A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronological Center, Special Publication: 1–58
- Maheo G., Guillot S. Blichert-Toft J. Rolland Y, Pecher A. 2002. A slab breakoff model for the Neogene thermal evolution of South Karakorum and South Tibet [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 195(1–2): 45–58
- McDougall I, Harrison T M. 1999. Geochronology and thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method (2nd ed) [M]. New York: Oxford University Press: 1–269
- Meng Xiang-jin, Hou Zeng-qian, Ye Pei-sheng, Yang Zhu-sen, Li Zhen-qing, Gao Yong-feng. 2007. Characteristic sandore potentiality of Gangdese silver-polymetallic mineralization belt in Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 26(2): 153–162 (in Chinese with English abstract)
- Mo Xuan-xue, Zhao Zhi-dan, Deng Jin-fu, Dong Guo-chen, Zhou Su, Guo Tie-ying, Zhang Shuang-quan, Wang Liang-liang. 2003. Response of volcanism to the India-Asia collision[J]. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 135–148 (in Chinese with English abstract)
- Rowley D B. 1996. Age of initiation of collision between India and Asia: a review of stratigraphic data [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 145(1–4): 1–13
- Qiu Hua-ning, Sun Da-zhong, Zhu Bing-quan, Chang Xiang-yang. 1997. Isotope geochemistry study of Dongchuan copper deposits in

- middle Yunnan province, SW China: II. Dating the ages of mineralizations by Pb-Pb and $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ methods[J]. *Geochimica*, 26(2):39-45 (in Chinese with English abstract)
- Tang Ju-xing, Chen Yu-chuan, Wang Deng-hong, Wang Cheng-hui, Xu Yuan-ping, Qu Wen-jun, Huang Wei, Huang Yong. 2009. Re-Os dating of molybdenite from the Sharang porphyry molybdenum deposit in Gongbo'gyamda county, Tibet and its geological significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(5):698-704 (in Chinese with English abstract)
- Wang Cheng-shan, Li Xiang-hui, Hu Xiu-mian. 2003. Age of initial collision of India with Asia: review and constraints from sediments in southern Tibet[J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(1):16-24 (in Chinese with English abstract)
- Wang Song-shan. 1983. Age determinations of $^{40}\text{Ar}-^{40}\text{K}$, $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ and radiogenic ^{40}Ar released characteristics on K-Ar geostandards of China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 4: 315-323 (in Chinese with English abstract)
- Wang Song-shan, Sang Hai-qing, Qiu Ji. 1997. [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(Sup): 272-274 (in Chinese with English abstract)
- Wang Song-shan, Ge Ning-jie, Sang Hai-qing, Qiu Ji. 1999. The cause of excess Argon in phengite and the significance of Ar Isotope chronology: example from ultrahigh-pressure eclogites in the southern Dabie mountains[J]. *Chinese Science Bulletin*, 44(24):2607-2613 (in Chinese)
- Wang Yu, Li Jin-tie. 2007. Thermochronological constraints on the formation of ESE110°~120° stretching lineations at Nanjiao area, West Hills of Beijing[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(03):0617-0624 (in Chinese with English abstract)
- Yang Yong, Luo Tai-yi, Huang Zhi-long, Yang Zhu-sen, Tian Shi-hong, Qian Zhi-kuan. 2010a. Sulfur and lead isotope compositions of the Narusongduo silver zinc-lead deposit in Tibet: Implications for the sources of plutons and metals in the deposit[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 30(3):0311-0318 (in Chinese with English abstract)
- Yang Yong, Luo Tai-yi, Yang Zhu-sen, Huang Zhi-long, Tian Shi-hong, Qian Zhi-kuan. 2010b. A comparison of porphyries between Pb-Zn-Ag metallogenic system and Cu-Mo-Au metallogenic system in Gangdese orogen, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 29(2):195-206 (in Chinese with English abstract)
- Yin A., Harrison, T. M., Ryerson, F. J., Chen, W. J., Kidd, W. S. F., Copeland, P., 1994. Tertiary structural evolution of the Gangdese thrust system, southeastern Tibet [J]. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 99(B9): 18175-18201
- Zang Wen-shuan, Meng Xiang-jin, Yang Zhu-sen, Ye Pei-sheng. 2007. Sulfur and lead isotopic compositions of lead-zinc-silver deposits in the Gangdise metallogenic belt, Tibet, China, and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(10): 1393-1397 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Ke. 2006. REE Geochemistry of Leqingla Pb-Zn deposit in Tibet [J]. *Geology and Prospecting*, 42(6):26-31 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Yan, Chen Wen, Chen Ke-long, Liu Xin-yu. 2006. Study on the Ar-Ar age spectrum of diagenetic I/S and the mechanism of ^{39}Ar recoil loss—example from the clay minerals of P-T boundary in Changxing, Zhejiang Province[J]. *Geological Review*, 52(4):556-561 (in Chinese with English abstract)
- Zheng You-ye, Wang Bao-sheng, Pan Zi-hui, Zhang Hua-ping. 2002. Analysis of tectonic evolution in the eastern section of the Gangdise mountains, Tibet and the metallogenic potentialities of copper gold polymetal[J]. *Geological Science and Technology Information*, 21(2):55-60 (in Chinese with English abstract)
- Zhou Su, Mo Xuan-xue, Dong Guo-chen, Zhao Zhi-dan, Qiu Rui-zhao, Wang Liang-liang, Guo Tie-ying. 2004. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ geochronology of Cenozoic Linzong volcanic rocks from Linzhou basin, Tibet, China, and their geological implications[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(18):1970-1979.

[附中文参考文献]

- 陈文, 张彦, 金贵善, 张岳桥. 2006. 青藏高原东南缘晚新生代幕式抬升作用的 Ar-Ar 热年代学证据[J]. *岩石学报*, 22(4): 867-872
- 程文斌, 顾雪祥, 唐菊兴, 王立强, 吕鹏瑞, 钟康惠, 刘晓吉, 高一鸣. 2010. 西藏冈底斯-念青唐古拉成矿带典型矿床硫化物 Pb 同位素特征一对成矿元素组合分带性的指示[J]. *岩石学报*, 26(11):3350-3362
- 费光春, 温春齐, 周雄, 吴鹏宇, 霍艳, 李葆华, 龙训荣. 2010a. 西藏洞中拉铅锌矿床成矿流体研究[J]. *地质与勘探*, 46(4):0576-0582
- 费光春, 温春齐, 周雄, 吴鹏宇, 温泉. 2010b. 西藏洞中拉铅锌矿床石英激光探针 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 定年及地质意义[J]. *矿物岩石*, 30(3):38-43
- 费光春, 多吉, 温春齐, 阳正熙, 龙训荣, 周雄. 2011. 西藏洞中拉铅锌矿床 S、Pb、Sr 同位素组成对成矿物质来源的示踪[J]. *矿物岩石*, 31(4):52-57
- 高一鸣, 陈毓川, 王成辉, 侯可军. 2011a. 亚贵拉-沙让-洞中拉矿集区中新世代岩浆岩 Hf 同位素特征与岩浆源区示踪[J]. *矿床地质*, 30(2):279-291
- 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 李超, 李新法, 高明, 蔡志超. 2011b. 西藏工布江达地区亚贵拉铅锌铜矿床辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义[J]. *地质通报*, 30(7):1027-1036
- 侯增谦, 曲晓明, 黄卫, 高永丰. 2001. 冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条“玉龙”铜矿带[J]. *中国地质*, 28(10): 27-30
- 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 莫宣学, 丁林, 高永丰, 董方浏, 李光明, 曲晓明, 李光明, 赵志丹, 汪思宏, 孟祥金, 李振清, 秦克章, 杨志明. 2006a. 青藏高原碰撞造山带:I. 主碰撞造山成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(4): 337-358
- 侯增谦, 潘桂棠, 王建安, 莫宣学, 田世红, 孙晓明, 丁林, 王二七, 高永丰, 谢玉玲, 增普胜, 秦克章, 徐继峰, 曲晓明, 杨志明, 杨竹森, 费红彩, 孟祥金, 李振清. 2006b. 青藏高原碰撞造山带:II. 晚碰撞转换成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(5): 521-533
- 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 孟祥金, 李振清, 杨志明, 郑绵平, 郑有业, 聂凤军, 高永丰, 王思宏, 李光明. 2006c. 青藏高原碰撞造山带:III. 后碰撞伸展成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(6): 629-651
- 侯增谦, 赵志丹, 高永丰, 杨志明, 江万. 2006d. 印度大陆板片前缘撕裂与分段俯冲: 来自冈底斯新生代火山-岩浆作用证据

- [J]. 岩石学报, 22(4): 761–774
- 纪现华, 杨竹森, 于玉帅, 申俊峰, 田世洪, 孟祥金, 李振清, 刘英超. 2012. 西藏纳如松多铅锌矿床成矿岩体形成机制: 岩浆锆石证据[J]. 矿床地质, 31(4): 758–774
- 李正华, 戴樟谟, 邱华宁. 1995. ^{40}Ar ($^{40}\text{Ar}^* + ^{40}\text{Ar}_{\text{E}}$)、 ^{39}Ar 释气特征与过剩氩的甄别及年代学意义[J]. 地质科学, 30(1): 40–46
- 梁银平, 朱杰, 次邛, 何卫红, 张克信. 2010. 青藏高原冈底斯带中部朱诺地区林子宗群火山岩锆石 U–Pb 年龄和地球化学特征[J]. 地球科学, 35(2): 211–223
- 刘玉平, 李正祥, 李惠民, 郭利果, 徐伟, 叶霖, 李朝阳, 皮道会. 2007. 都龙锡铅矿床锡石和锆石 U–Pb 年代学: 滇东南白垩纪大规模花岗岩成岩–成矿事件[J]. 岩石学报, 23(05): 0967–0976
- 孟祥金, 侯增谦, 叶培盛, 杨竹森, 李振清, 高永丰. 2007. 西藏冈底斯银多金属矿化带的基本特征与成矿远景分析[J]. 矿床地质, 26(2): 153–162
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 董国臣, 周肃, 郭铁鹰, 张双全, 王亮亮. 2003. 印度–亚洲大陆碰撞过程的火山响应[J]. 地学前缘, 10(3): 135–148
- 邱华宁, 孙大中, 朱炳泉, 常向阳. 1997. 东川铜矿床同位素地球化学研究: II. Pb–Pb、 ^{40}Ar – ^{39}Ar 法成矿年龄测定[J]. 地球化学, 26(2): 39–45
- 唐菊兴, 陈毓川, 王登红, 王成辉, 许远平, 屈文俊, 黄卫, 黄勇. 2009. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿–钼同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 83(5): 698–704
- 王成善, 李祥辉, 胡修棉. 2003. 再论印度–亚洲大陆碰撞的启动时间[J]. 地质学报, 77(1): 16–24
- 王松山. 1983. 我国 K–Ar 法标准样 ^{40}Ar – ^{40}K 和 ^{40}Ar – ^{39}Ar 年龄测定及放射成因 ^{40}Ar 的析出特征[J]. 地质科学, 4: 315–323
- 王松山, 桑海清, 裘冀. 1997. Ar–Ar 等时线的局限及 Cl–Ar 等时线的潜力[J]. 地球学报, 18(Sup): 272–274
- 王松山, 葛宁洁, 桑海清, 裘冀. 1999. 多硅白云母过剩 Ar 成因及绿辉石 Ar–Ar 年龄谱意义: 以南大别超高压榴辉岩为例[J]. 科学通报, 44(24): 2607–2613
- 王瑜, 李锦轶. 2007. 北京西山南窖地区南东东 $110^\circ \sim 120^\circ$ 拉伸线理形成时间的年代学制约[J]. 岩石学报, 23(03): 0617–0624
- 杨勇, 罗泰义, 黄智龙, 杨竹森, 田世洪, 钱志宽. 2010a. 西藏纳如松多银铅矿 S、Pb 同位素组成: 对成矿物质来源的指示[J]. 矿物学报, 30(3): 0311–0318
- 杨勇, 罗泰义, 杨竹森, 黄智龙, 田世洪, 钱志宽. 2010b. 冈底斯造山带两套不同成矿体系的含矿斑岩对比研究[J]. 矿床地质, 29(2): 195–206
- 臧文栓, 孟祥金, 杨竹森, 叶培胜. 2007. 西藏冈底斯成矿带铅锌银矿床的 S、Pb 同位素组成及其地质意义[J]. 地质通报, 26(10): 1393–1397
- 张科. 2006. 西藏勒青拉铅锌矿床稀土元素地球化学特征[J]. 地质与勘探, 42(6): 26–31
- 张彦, 陈文, 陈克龙, 刘新宇. 2006. 成岩混层(I/S) Ar–Ar 年龄谱型及 ^{39}Ar 核反冲丢失机理研究—以浙江长兴地区 P–T 界线粘土岩为例[J]. 地质论评, 52(4): 556–561
- 郑有业, 王保生, 樊子辉, 张华平. 2002. 西藏冈底斯东段构造演化及铜金多金属成矿潜力分析[J]. 地质科技情报, 21(2): 55–60
- 周肃, 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 邱瑞照, 王亮亮, 郭铁鹰. 2004. 西藏林周盆地林子宗火山岩 ^{40}Ar – ^{39}Ar 年代格架[J]. 科学通报, 49: 2095–2103

The Ar–Ar Geochronology of Sericite from the Cryptoexplosive Breccia Type Pb–Zn Deposit in Narusongduo, Tibet and its Geological Significance

JI Xian-hua¹, MENG Xiang-jin², YANG Zhu-sen², ZHANG Qian³, TIAN Shi-hong², LI Zhen-qing², LIU Ying-chao⁴, YU Yu-shuai⁵

(1. Geological Survey of Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei 050081;

2. Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037;

3. Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210009; 4. Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037;

5. Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, Wuhan, Hubei 430205)

Abstract: The Narusongduo Pb–Zn deposit, located in the Longgeer–Gongbujiangda fault-block uplift belt in the center of Lhasa Terrane, Tibet, is one of the representative ore deposits in the Pb–Zn–Ag polymetallic ore belt in the northern side of the Gandese copper ore zone. This deposit is characterized by two types of mineralization, namely cryptoexplosive breccia type in the eastern part and skarn type in the western part. Sericite from the Pb–Zn main orebody of the cryptoexplosive breccia type in Narusongduo was measured by ^{40}Ar – ^{39}Ar dating. The results show the ^{40}Ar – ^{39}Ar plateau age of $57.81 \pm 0.66\text{Ma}$, while the isochronal age of $57.90 \pm 1.70\text{Ma}$ and the inverse isochronal age of $57.70 \pm 0.77\text{Ma}$. The ^{40}Ar – ^{39}Ar plateau age is in agreement with the isochronal age and the inverse isochronal age within a reasonable error range, which can be regarded as the ore-forming age of the cryptoexplosive breccia type Pb–Zn orebody. Considering the regional geological background, this study suggests that the cryptoexplosive breccia type Pb–Zn deposit in Narusongduo formed during the main Indian–Asian collisional period.

Key words: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic age, Sericite, cryptoexplosive breccia, Narusongduo Pb–Zn deposit, Tibet