

西藏亚贵拉含钼岩体 锆石 LA-ICP-MS 年龄和地质意义

李奋其¹ 高明² 唐文清¹ 梁婷³

(1. 中国地质调查局成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 2. 河南省地质调查院, 河南 郑州 410059; 3. 地质过程与矿产资源国家地质重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要:冈底斯带东段的念青唐古拉地区除了发育许多大中型铅锌矿床外,还发育大型钼矿床,前者被认为是始新世成矿作用的产物,后者则被认为是古新世斑岩型钼矿床。在该区规模最大的亚贵拉铅锌矿床评价过程中,不仅发现铅锌矿化与石英斑岩体关系密切,而且在岩体内发现了规模较大的辉钼矿脉。应用 LA-ICP-MS 对石英斑岩锆石微区 U-Pb 年龄和微量元素进行了测定,90%的测点 Th/U 比值较高,阴极发光图像显示锆石内部发育明显的环带构造,具岩浆成因特点。2 件石英斑岩样品的锆石 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄分别为 (65.8±1.3)Ma (MSWD=3.0)、(68.6±1.7)Ma (MSWD=1.8),表明岩体形成于晚白垩世。在野外实地调研的基础上,结合石英斑岩体微量元素含量以及前人对钼矿体的辉钼矿 Re-Os 年龄测定,认为辉钼矿化、铅锌矿化均与石英斑岩岩浆热液密切相关,但亚贵拉钼矿化与沙让斑岩钼矿化有别。念青唐古拉地区在晚白垩世可能发生铅锌成矿作用以及钼成矿作用。

关键词:亚贵拉;钼矿化;LA-ICP-MS 定年;石英斑岩;晚白垩世

中图分类号:P597+.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)06-1566-09

亚贵拉含钼岩体位于著名的冈底斯成矿带东部。该区自南而北分为南冈底斯岩浆弧带(南带)、隆格尔—念青唐古拉火山岩浆弧带(中带)和班戈—伯舒拉岭岩浆弧带(北带)等 3 个构造单元^[1]。受班公湖—怒江大洋、雅鲁藏布江大洋的打开、聚合作用影响,冈底斯带于三叠纪、侏罗纪、白垩纪、古近纪和新近纪表现为多期次、幕式岩浆侵入活动。这种多期次构造—岩浆活动对冈底斯地区成矿作用产生了深刻的影响,南带主要表现为以驱龙、甲马、冲江、白容等一系列超大型、大型矿床为代表的中新世斑岩铜矿成矿作用,以及以克鲁、冲木达等大中型铜矿床为代表的古近纪大陆边缘层砂卡岩型铜矿成矿作用^[2-3];中带亦即念青唐古拉地区,近年来不仅发现了以拉屋、勒青拉、龙马拉、蒙亚阿、亚贵拉等超大型—大型

铅锌矿床为代表的、与始新世岩浆活动有关的叠合改造型铅锌成矿作用(图 1)^[4],还发现了以沙让大型矿床为代表的始新世斑岩型钼成矿作用^[5];而北带工作程度较低,目前仅发现几座中小型铅锌矿床。冈底斯东段内生金属矿产的成矿时代和矿种值得进一步研究。

近年来,河南地质调查院在该区规模最大的亚贵拉铅锌矿床普查评价过程中,不仅发现铅锌矿化与石英斑岩体关系密切,而且在岩体内部 10 余米宽的范围内,发现一系列辉钼矿细脉,但此种钼矿化与沙让钼矿化有别。笔者在对亚贵拉铅锌钼矿床进行实地调研的过程中,对石英斑岩体进行了高精度锆石 LA-ICP-MS 测年工作,认为该岩体形成于晚白垩世。结合前人资料,认为亚贵拉的钼矿化与石英斑

收稿日期:2010-07-11;改回日期:2010-11-05

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目“雅鲁藏布江成矿带基础地质综合研究”(1212010818016)资助。

作者简介:李奋其,男,1966 年生,博士,副研究员,从事矿产地质研究;E-mail:lifenqi2009@sina.com。

①成都地质矿产研究所,西藏冈底斯成矿带铜多金属成矿规律综合研究报告,2008。

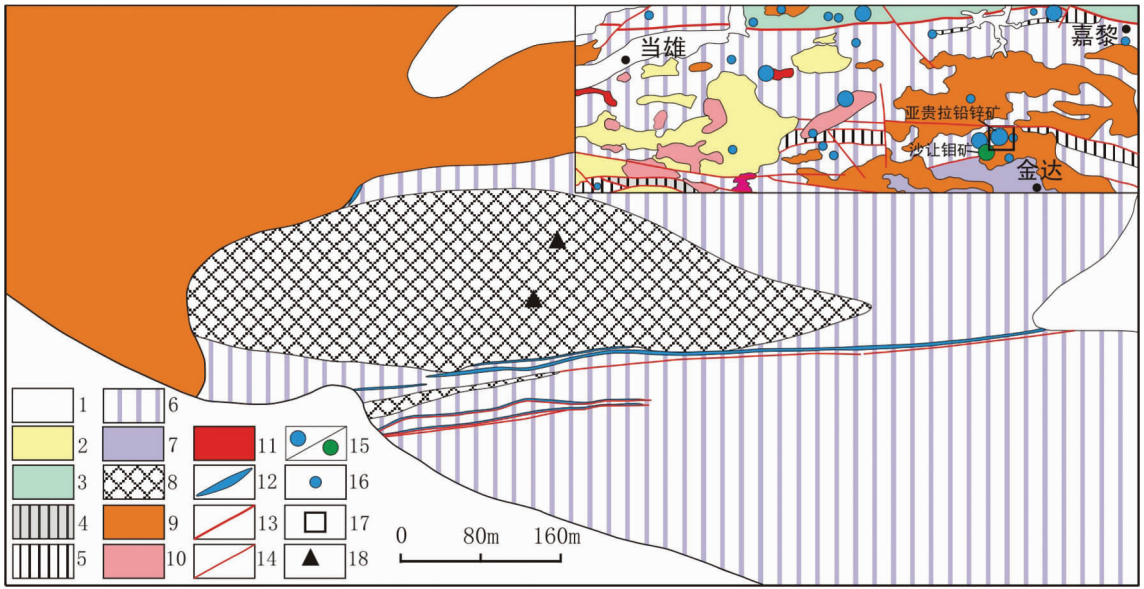


图 1 亚贵拉地区地质简图(据河南省地质调查院 2009 年资料编)

1—第四系;2—古近纪火山岩;3—中侏罗世砂岩;4—早中三叠世碎屑岩和碳酸盐岩;5—中二叠世碳酸盐岩;6—石炭纪砂板岩;7—前奥陶纪中浅变质岩;8—石英斑岩;9—白垩纪花岗岩;10—古近纪花岗岩;11—侏罗纪花岗岩;12—铅锌矿体;13—区域性断层;14—一般断层;15—大中型铅锌矿床或钼矿床;16—铅锌矿点;17—研究区;18—采样位置

Fig.1 Geological sketch map of Yaguila area

1-Quaternary; 2-Palaeogenic volcanic rocks; 3-Middle Jurassic sandstone; 4-Early-middle Triassic clastic and carbonate rocks; 5-Middle Permian carbonate rocks; 6-Carboniferous sand and slate rocks; 7-Ordovician low-grade metamorphic rock; 8-Quartz porphyry; 9-Cretaceous granite; 10-Jurassic granite; 11- Jurassic granite; 12-Pb-Zn ore body; 13-Regional fault; 14-General fault; 15-Large and medium-sized Pb-Zn or large-sized Mo deposit; 16- Pb-Zn ore spot; 17-Study area; 18-Site of sampling

岩有关,应早于辉钼矿化,铅锌矿化时代可能为晚白垩世末期—古新世早期。

1 地质背景和含钼岩体特征

1.1 地质背景

亚贵拉石英斑岩体发育于隆格尔—念青唐古拉火山岩浆弧带东部。研究区出露的地层主要为一套浅变质的石炭纪半海相—深海相碎屑岩建造,其次为以前奥陶纪松多岩群为代表的中浅变质岩系,局部地段还发育以古近纪林子宗群为代表的陆相火山岩系(图 1)。

区内岩浆活动频繁,侏罗纪、白垩纪花岗岩体大规模出露,多呈岩基状产出,其可能与拉萨地块与羌塘—昌都地块的碰撞有关;在隆格尔—念青唐古拉火山岩浆弧带的南部地区,尚出露规模较为宏大的晚三

叠世花岗岩体,被认为是岛弧背景下形成的^①。

研究区断层较为发育,近 EW 向断层是主干断层,多属逆断层性质,一般具有较宽的断层破碎带;NW 向、NE 向和近 SN 向断层规模相对较小,前两者多具有走滑性质,后者通常表现为正断层的特征。这些断层具有后期复活的特征。

1.2 含钼岩体特征

亚贵拉含钼岩体岩性为石英斑岩,侵位于石炭纪石英砂岩、板岩和大理岩中,平面形态呈近 EW 向椭圆状,长约 1.0 km,宽 400 m。围岩蚀变以矽卡岩化为主,且表现为愈靠近岩体矽卡岩化愈强烈的特征。铅锌矿体发育于石英斑岩体外接触带的构造裂隙或近 EW 向断层破碎带内,其顶、底板主要为矽卡岩、矽卡岩化大理岩和石英砂岩,且具有铅锌矿化随矽卡岩化愈强而品位愈高的特征^②。

① 吉林大学地质调查院.1:25 万 H46C002002(门巴区幅)区域地质调查报告, 2006.

② 河南省地质调查院.西藏亚贵拉铅锌矿普查报告, 2008.

石英斑岩呈白色,斑状结构,块状构造。斑晶矿物主要有石英(22%±)、钾长石(10%±)、斜长石(3%±)等组成;石英斑晶呈他形粒状,粒径0.1~1.82 mm,斑晶形状不规则,零散分布;钾长石斑晶呈短柱状,绢云母化,具卡氏双晶,粒径0.15~1.42 mm,多数大于0.31 mm,零散分布;斜长石斑晶呈板柱状、柱状和不规则状,粒径0.12 mm×0.31 mm~0.92 mm×1.72 mm,绢云母化非常强烈。基质矿物主要由隐晶长英质(58%±)矿物组成,沿裂隙有绿帘石、绢云母等充填。副矿物主要为磁铁矿、锆石等。石英斑岩SiO₂含量大多为72.58%~76.66%,里特曼指数 δ 多为1.08~1.87,为钙性花岗岩;(K₂O+Na₂O)均值为7.39%,K₂O/Na₂O值为27.62~314.29,均值99.82。在SiO₂-K₂O图解上,所有样品都落入“低钾拉斑系列”区。石英斑岩体 \sum REE为82.24×10⁻⁶, \sum LREE/ \sum HREE为5.30, δ Eu为0.45,稀土配分曲线向右倾斜,为轻稀土富集型^①。

钼矿化发育于石英斑岩体内部,主要由辉钼矿构成。钼矿脉发育于岩体边部约10余米宽的范围内,宽度多在5~15 cm,最大可达30 cm。大多数矿脉沿次级裂隙充填,一般向北陡倾,倾角一般为80°~85°,少数产状近于水平;这些辉钼矿脉具有分枝、交叉、复合归并的特点,也有些矿脉无论在平面上、还是在垂向上均表现出“无根”的特征(图2),围岩蚀变极其微弱。

2 样品与测试方法

2件石英斑岩样品均采自西藏工布江达县金达区北50 km处的亚贵拉铅锌矿床402平硐中石英斑岩体中部(图1),地理坐标分别为:30°12′51.6″N、92°41′54″E,30°12′54.9″N、92°41′59.4″E。样品较为新鲜,采样点周围基本上无辉钼矿化,也无同化混染和围岩蚀变等现象,构造裂隙不发育,未发现后期岩脉。

用于定年的样品在成都地质矿产研究所采用常规方法粉碎至80~100目,经分选后在双目镜下挑出,>200粒锆石晶形和透明度较好的锆石颗粒作为测定对象。将锆石颗粒粘在双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后,对其表面进行抛光至锆石内部暴露,然后进行锆石显微(反射光和投射光)照相、阴极发光(CL)显微图像研究及



图2 亚贵拉石英斑岩内的辉钼矿脉露头
Fig.2 Structural characteristics of Yaguila quartz porphyry intrusion

LA-ICP-MS分析。锆石的阴极发光(CL)显微照相在中国地质大学(武汉)的Cameca电子探针仪器上完成,分析电压15 kV,电流为19 nA。

LA-ICP-MS锆石原位微区U-Pb定年及微量元素分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。ICP-MS为Agilent 7500 a,激光剥蚀系统为配备有193 nm ArF准分子(Excimer)激光器的GeoLas 2005。分析中采用的激光斑束直径为30 μm,以氦气作为剥蚀物质的载气,同位素组成用标准锆石91500作为外标进行校正,元素含量用NIST610作外标、Zr作内标进行校正。锆石测定点的Pb同位素比值、U-Pb表面年龄和微量元素含量采用ICPMS DataCal 3.5程序计算^②。锆石加权平均年龄的计算及谐和图的绘制采用ISOPLOT 3.0程序^③。

3 测试结果

3.1 锆石 CL 图像特征

石英斑岩样品中部分测定锆石的阴极发光(CL)图像(图3)显示。阴极发光(CL)图像是揭示锆石内部结构的有效手段,对锆石内部结构分析是合理解释所测年龄的重要依据^[10-12]。

从石英斑岩中选取的锆石颗粒大多数晶形较好,为浅黄褐色-浅红褐色粒状、柱状晶体,金刚石光泽。锆石粒度多为0.05~0.2 mm,晶体长宽比为2:1~

①河南省地质调查院. 西藏当雄-嘉黎铅锌银矿产资源评价报告,2006.

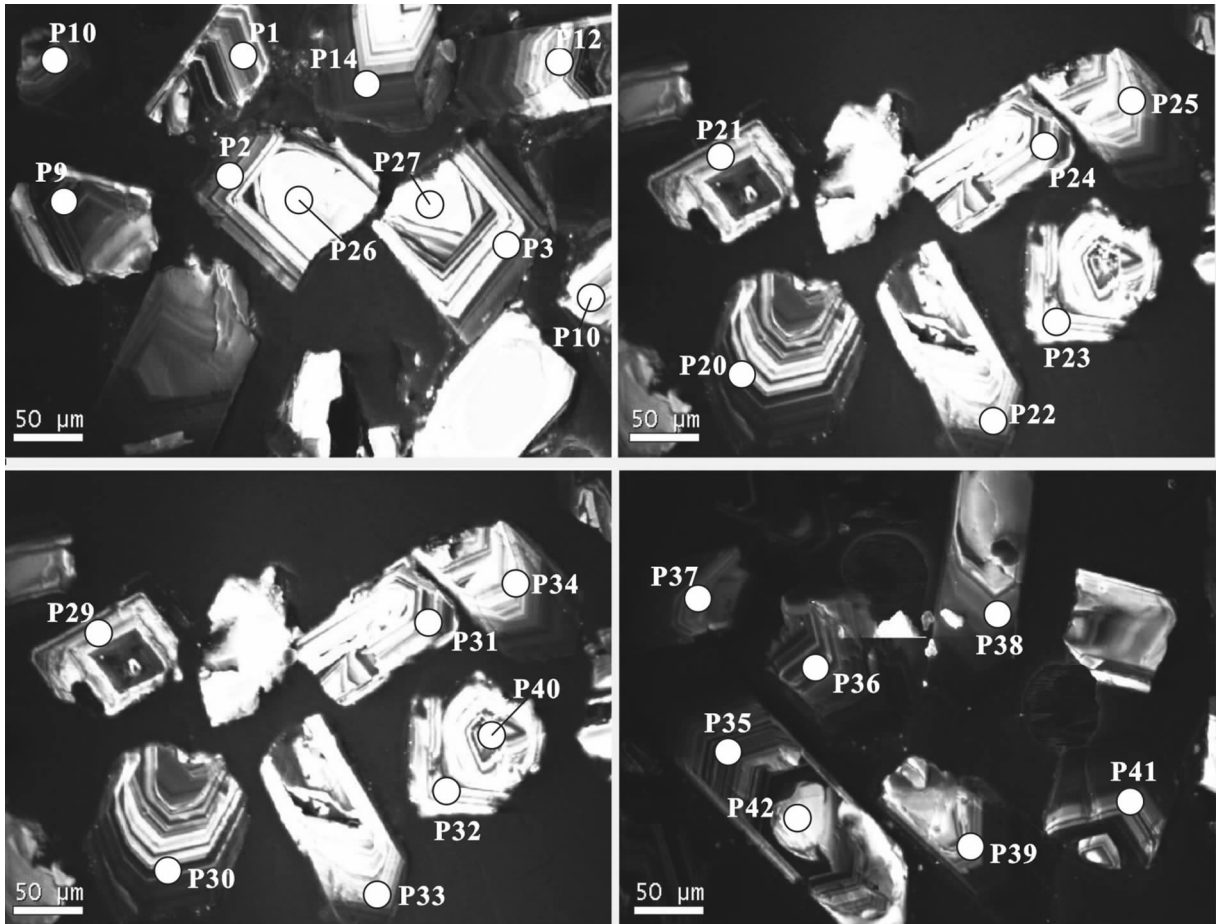


图 3 亚贵拉石英斑岩中代表性单颗粒锆石阴极发光(CL)图像
(圈和数字分别代表测点位置、测点编号)

Fig.3 CL images of representative analyzed zircons in the Yaguila quartz porphyry
(Circle and number are analysis location and serial number of samples respectively)

3:1,有的可达 5:1。锆石内部结构清楚,表现出典型的岩浆生长振荡环带和韵律性结构,属于岩浆结晶产物^[12,13];多数锆石边缘呈港湾状,表明其形成后曾受到一定程度的溶蚀。有的锆石内部包含有早期残留锆石,形态呈浑圆状。

3.2 锆石 Th、U 含量和 Th/U 比值

代表性锆石颗粒的 U-Th-Pb 同位素分析结果见表 1,依据这些数据所做的 U-Pb 谐和图以及采用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄进行加权平均值计算的年龄见图 4。

大量研究表明,不同成因的锆石有不同的 Th、U 含量与 Th/U 比值。一般情况下,岩浆锆石的 Th、U 含量高,Th/U 比值大(一般>0.4);而变质成因锆石的 Th、U 含量低,Th/U 比值小(一般<0.1)^[12-14]。岩浆成因锆石的典型 Th/U 比值为 0.1~1.0^[15],Th/U

比值变化较大,说明锆石形成于化学成分相对不均匀的岩浆结晶条件下^[16]。

总共对亚贵拉含铂石英斑岩样品中锆石颗粒的 42 个点进行了测定(表 1),其中 39 个测点锆石 Th 含量为 $270 \times 10^{-6} \sim 4073 \times 10^{-6}$,U 含量为 $484 \times 10^{-6} \sim 4633 \times 10^{-6}$,Th/U 比值变化为 0.4123~1.0484,这些分析点多位于岩浆环带明显或显示微弱重结晶作用的部位,晶形良好,保存了岩浆成因锆石的特点;3 个测点锆石 Th 含量变化为 $307 \times 10^{-6} \sim 1609 \times 10^{-6}$,U 含量变化范围为 $812 \times 10^{-6} \sim 6007 \times 10^{-6}$,锆石的 Th/U 比值为 0.1605~0.3380,测点位于浑圆状锆石核部,为早期残留锆石,其成因尚不清楚。

3.3 锆石 U-Pb 年龄

本次研究共采集了 2 件样品。第一件样品获得 2 组年龄:第一组包括 25 个测点,²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄变

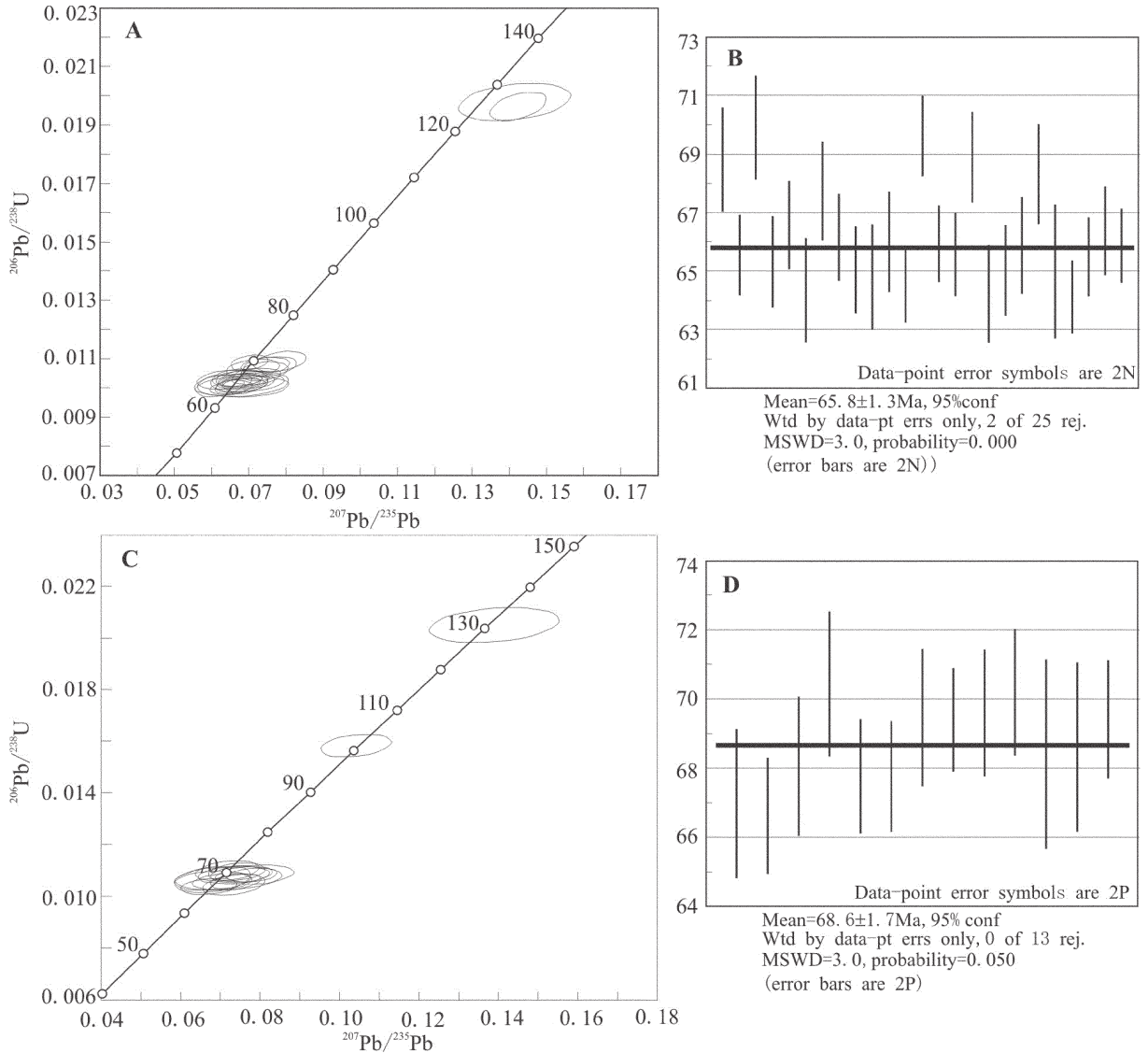


图4 亚贵拉含锆石英斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分析结果
(A、B 为第一件样品, C、D 为第二件样品)

Fig.4 Zircon LA-ICPMS U-Pb dating results of Yaguila quartz porphyry intrusion

化于 $(64.1 \pm 1.2) \text{Ma} \sim (69.6 \pm 1.4) \text{Ma}$, 其加权平均年龄为 $(65.8 \pm 1.3) \text{Ma}$ ($\text{MSWD}=3.0$), 代表了石英斑岩的成岩年龄 (图 3-a, b); 第二组 2 个测点, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 $(126 \pm 2) \text{Ma}$ 、 $(125 \pm 1) \text{Ma}$, 为岩浆捕获锆石或残留锆石的年龄, 也可能是捕获的早期花岗岩的年龄。

第二件样品也测得 2 组年龄: 第一组共 13 个测点, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化于 $(66.6 \pm 1.6) \text{Ma} \sim (70.4 \pm 2.0) \text{Ma}$, 加权平均年龄 $(68.6 \pm 1.7) \text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.8$), 代表了石英斑岩的成岩年龄; 第二组 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 $(131 \pm 2) \text{Ma}$ 、 $(101 \pm 1) \text{Ma}$, 可能为岩浆捕获或残

留锆石的年龄, 也可能是捕获的早期花岗岩的年龄 (图 3-c, d)。由上分析看来, 该石英斑岩成岩年龄大致为 65~69 Ma, 为晚白垩世岩浆活动的产物。

4 讨论

4.1 钼矿化与石英斑岩的关系

据前人研究, 亚贵拉辉钼矿化 Re-Os 年龄为 60 Ma^[17], 与本次研究获得的石英斑岩锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄接近。就空间关系来看, 亚贵拉地区的一系列辉钼矿脉沿石英斑岩体内部次级裂隙充填 (图 2), 产状一般在 $80^\circ \sim 85^\circ$, 表明辉钼矿化可能晚于石英斑

表 1 亚贵拉含钼石英斑岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测量结果
Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating results of Yagula quartz porphyry

点号	含量(10 ⁻⁶)				同位素比值												表面年龄/Ma			
	²⁰⁶ Pb	²³² Th	²³⁸ U	²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³² Th	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³² Th	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³² Th			
P1	1.45	1082	1744	0.5703	0.0508	0.0019	0.0756	0.003	0.0107	0.0001	0.0037	0.0001	232	88	74	2.8	68.8	74.2	1.71	
P2	0.26	881	1110	0.7315	0.0498	0.0021	0.07	0.0029	0.0102	0.0001	0.0033	0.0001	187	96.3	68.7	2.71	65.5	68.7	1.63	
P3	0	896	1347	0.616	0.0523	0.0019	0.0784	0.0029	0.0109	0.0001	0.0038	0.0001	298	89.8	76.6	2.72	69.9	88.8	2.07	
P4	0.77	620	1188	0.4863	0.051	0.0024	0.0712	0.0033	0.0102	0.0001	0.0033	0.0001	239	109	69.9	3.17	65.3	66.4	2.05	
P5	0	1389	2000	0.6348	0.0501	0.0018	0.072	0.0027	0.0104	0.0001	0.0035	0.0001	211	80.5	70.6	2.54	66.6	71.3	1.69	
P6	0	270	484	0.5148	0.0515	0.0029	0.0708	0.004	0.01	0.0001	0.0034	0.0001	261	131	69.5	3.83	64.3	69.1	2.16	
P7	0	544	1134	0.4379	0.0508	0.002	0.0737	0.0028	0.0106	0.0001	0.0036	0.0001	232	60.2	72.2	2.66	67.7	88.4	1.88	
P8	0.58	1072	1414	0.7164	0.0476	0.0019	0.0676	0.0026	0.0103	0.0001	0.0036	0.0001	76	92.6	66.4	2.44	66.1	71.7	1.74	
P9	1.51	987	1601	0.5441	0.049	0.0018	0.0692	0.0025	0.0101	0.0001	0.0034	0.0001	165	87.2	67.9	2.4	65	67	1.7	
P10	0.92	518	875	0.5353	0.0452	0.0022	0.0626	0.0029	0.0101	0.0001	0.0036	0.0001	111	104	66.7	2.79	64.8	89	2.21	
P11	0	478	874	0.5013	0.0477	0.0021	0.0679	0.0031	0.0103	0.0001	0.0037	0.0001	87.1	104	66.7	2.93	66	88.5	2.11	
P12	0	1416	2682	0.4773	0.0499	0.0014	0.0696	0.002	0.0101	0.0001	0.0035	0.0001	191	66.7	68.4	1.9	64.5	66.5	1.58	
P13	0.43	2249	3099	0.6623	0.0468	0.0014	0.0702	0.002	0.0109	0.0001	0.0036	0.0001	39	66.7	68.9	1.92	69.6	68.8	1.62	
P14	2.33	2763	4321	0.6027	0.0503	0.0013	0.0714	0.0019	0.0103	0.0001	0.0036	0.0001	209	95.5	70.1	1.76	65.9	65	1.49	
P15	0	806	1601	0.4515	0.0504	0.0019	0.0744	0.0027	0.0107	0.0001	0.0042	0.0001	217	88.9	72.8	2.55	68.9	77.7	2.31	
P17	0	1125	2029	0.5137	0.0449	0.0019	0.0622	0.0027	0.01	0.0001	0.0031	0.0001	76.8	61.3	2.56	64.2	83	62.7	1.76	
P18	0.9	1668	1443	0.9105	0.0487	0.002	0.068	0.0029	0.0101	0.0001	0.0036	0.0001	132	98.1	66.8	2.74	65	77.7	1.64	
P19	0	542	793	0.625	0.045	0.0021	0.0631	0.0028	0.0103	0.0001	0	0.0	62.1	2.7	65.9	1.9	62.1	73	1.64	
P20	0	985	1469	0.6109	0.0487	0.002	0.0711	0.0029	0.0107	0.0001	0.0038	0.0001	132	99.1	69.7	2.75	68.3	88.5	77	2.03
P21	0	402	676	0.5418	0.0493	0.0036	0.0685	0.005	0.0101	0.0002	0.0039	0.0002	161	162.935	67.2	4.77	65	1.15	3.67	
P22	0	781	1662	0.4279	0.0476	0.0018	0.0654	0.0024	0.01	0.0001	0.0034	0.0001	79.7	88.9	64.3	2.24	64.1	66.2	1.73	
P23	1.07	1045	1779	0.5336	0.0465	0.0016	0.0654	0.0023	0.0102	0.0001	0.0033	0.0001	20.5	81.5	64.3	2.17	65.5	68.2	1.63	
P24	0	692	1354	0.4624	0.0463	0.0017	0.0661	0.0024	0.0104	0.0001	0.0037	0.0001	13.1	85.2	65	2.29	66.4	75.9	1.93	
P25	0.019	1753	2392	0.6716	0.0468	0.0013	0.0665	0.0019	0.0103	0.0001	0.0033	0.0001	39	66.7	65.3	1.8	65.9	66.2	1.31	
P26	0.12	270	395	0.6113	0.0521	0.0024	0.1414	0.0061	0.0198	0.0003	0.0072	0.0002	300	101	134	5.45	126	1.67	3.98	
P27	2.7	1069	6007	0.1605	0.0523	0.0011	0.1424	0.0031	0.0196	0.0002	0.0068	0.0002	298	48.1	135	2.77	125	1.27	3.77	
P28	1.3	1258	1516	0.7435	0.051	0.0024	0.0733	0.0032	0.0104	0.0002	0.0033	0.0001	243	107	71.9	3.04	67	1.06	2.24	
P29	0.08	812	1351	0.5511	0.047	0.0021	0.0672	0.0029	0.0104	0.0001	0.0033	0.0001	50	104	66	2.78	66.6	0.82	1.89	
P30	0	596	1274	0.4176	0.0466	0.0026	0.0679	0.0039	0.0106	0.0002	0.0035	0.0001	27.9	139	66.7	3.68	68	0.99	2.75	
P31	3.12	901	1556	0.5144	0.0482	0.0024	0.0717	0.0033	0.011	0.0002	0.0035	0.0001	109	111	70.3	3.1	70.4	1.03	2.01	
P32	0	812	1660	0.4331	0.0486	0.0022	0.0705	0.0031	0.0106	0.0001	0.0034	0.0001	128	106	69.2	2.93	67.8	0.81	2.08	
P33	0.62	1835	2808	1.0484	0.0526	0.0027	0.0785	0.004	0.0108	0.0002	0.0042	0.0001	323	121	76.8	3.8	69.5	0.98	84.8	2.25
P34	2.43	1898	1638	0.7824	0.052	0.0017	0.0779	0.0026	0.0108	0.0001	0.0038	0.0001	287	75.9	76.2	2.43	69.4	0.73	1.74	
P35	0	4073	4633	0.7824	0.052	0.0017	0.0779	0.0026	0.0108	0.0001	0.0038	0.0001	209	98.1	73.7	2.98	69.6	0.9	75.7	1.83
P36	2.32	1641	2861	0.5085	0.0503	0.0021	0.0753	0.0032	0.0109	0.0001	0.0038	0.0001	150	93.5	72.6	2.8	70.2	0.9	2.24	
P37	1.2	1406	2231	0.5523	0.049	0.002	0.0741	0.003	0.0109	0.0001	0.0038	0.0001	146	94.4	66.8	3.71	68.4	1.35	69.2	3.16
P38	2.01	521	1075	0.4123	0.046	0.0025	0.068	0.0039	0.0107	0.0002	0.0034	0.0002	94.4	170	70.6	5.23	68.6	1.21	70.8	2.73
P39	0.55	394	652	0.553	0.049	0.0037	0.072	0.0055	0.0107	0.0002	0.0035	0.0001	146	170	70.6	5.23	68.6	1.21	70.8	2.73
P40	2.37	703	1282	0.4923	0.0499	0.0028	0.0733	0.0037	0.0108	0.0001	0.0038	0.0001	187	134	71.8	3.48	69.4	0.84	76.5	2.39
P41	1.46	307	812	0.338	0.0493	0.0024	0.139	0.0067	0.0205	0.0003	0.0067	0.0003	167	145	132	5.95	131	1.75	141	5.36
P42	0	354	1108	0.2769	0.0475	0.0017	0.1041	0.0036	0.0158	0.0002	0.0063	0.0002	72.3	81.5	100.6	3.35	101	1.13	128	4.05

注: p1-p27 为第一件样品数据, p28-p42 为第二件样品数据。

表 2 亚贵拉石英斑岩体微量元素分析结果

Table 2 Average content of trace elements from the rocks of Yaguila quartz porphyry

序号	样品号	W/10 ⁻²	Mo/10 ⁻²	序号	样品号	W/10 ⁻²	Mo/10 ⁻²
1	D001B1	0.0038	0.030	9	D402-3-4	0.0006	0.0086
2	D1001-3	0.0014	0.0090	10	D402-3-5	0.0004	0.065
3	D402-1	0.0012	0.0021	11	D402-3-6	0.0006	0.023
4	D1001-2	0.0016	0.0041	12	D1001-1	0.0005	0.0032
5	D402-2	0.0012	0.0020	13	D402-3-7	0.0004	0.016
6	D402-3-1	0.0004	0.0064	14	D402-3-8	0.0004	0.0095
7	D402-3-2	0.0005	0.038	15	D003B1	0	0.0002
8	D402-3-3	0.0005	0.0087	15	D003B2	0	0
维氏花岗岩丰度		W(10 ⁻²)0.000015、Mo(10 ⁻²)0.00001					
维氏地壳丰度		W(10 ⁻²)0.00013、Mo(10 ⁻²)0.00011					

岩的时代;而从局部发育辉钼矿化与石英斑岩呈渐变过渡关系,以及辉钼矿脉无根这一特征来看,二者的形成时代相近。本次研究采集了 16 件石英斑岩微量元素样品,由成都地质矿产研究所测试分析中心测试,分析结果见表 2;其中 15 件样品 W、Mo 元素含量明显较维氏花岗岩平均丰度高^[18],一般是其 10~40 倍(未刊资料)。综上分析看来,亚贵拉地区的钼矿化很可能与石英斑岩岩浆热液密切相关。

4.2 地质意义

印度板块与亚洲大陆碰撞的起始时间是国际地质学界争论的热点,至今尚无一致的认识。一种观点认为主碰撞带时限为 65~41 Ma^[19],另一种观点是两者起始碰撞于晚白垩世^[20-21],还有一种观点认为起始于 70 Ma^[22-23]。亚贵拉含钼石英斑岩的时限与北部的桑巴花岗岩(黑云母 K-Ar 年龄 65.13 Ma),以及南部的金达含斑花岗岩闪长岩(锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年龄 68.8 Ma)接近,一定程度上带有弧火山岩的地球化学特征与构造环境的“烙印”,既与林子宗典中组有异,又与冈底斯中新世含矿花岗斑岩明显不同,代表了地壳加厚背景下地壳部分熔融诱发的成岩成矿作用^①。

亚贵拉含钼石英斑岩体南侧的沙让大型钼矿床被认为是主碰撞阶段形成的独立型斑岩型钼矿床^[7];含矿母岩为花岗斑岩,基本上为全岩矿化,蚀变作用具有明显的分带性,与亚贵拉裂隙充填型钼矿化明显不同。沙让含矿斑岩锆石 U-Pb 年龄为 (53.1±1.0)Ma,辉钼矿 Re-Os 年龄为 (50.0±2.5)Ma^[7]。前

人未对亚贵拉含钼石英斑岩进行过年代学研究,本次研究获得的 2 件石英斑岩锆石 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 同位素加权平均年龄分别为 (65.8±1.3)Ma、(68.6±1.7)Ma,与唐菊兴获得的辉钼矿化时代相近^[17],明显的较沙让含矿花岗斑岩的形成时代要早。此外,在西到当雄,东抵嘉黎的广大地区,晚白垩世石英斑岩体广泛出露。因此,亚贵拉含钼石英斑岩的发现,对区域找钼具有重要的意义。

长期以来,念青唐古拉地区的亚贵拉、拉屋、昂张、龙马拉、尤卡朗等一系列大中型铅锌矿床成矿作用被认为与始新世大陆碰撞作用有关。但从“愈靠近石英斑岩体矽卡岩化愈强,矽卡岩化愈强烈铅锌矿化愈强”这些特征来看,同时考虑到岩浆热液活动时间较长等因素,亚贵拉铅锌成矿作用的时代也可能为晚白垩世,或古新世早期;因此,念青唐古拉地区铅锌成矿作用的年代值得进一步商榷。

另外,亚贵拉石英斑岩样品中有 4 个早期锆石也具有环带构造,²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄分别为 (126±2)Ma、(125±1)Ma、(131±2)Ma 和 (101±1)Ma,上述年龄是否能代表该区晚侏罗世、早白垩世深成岩浆活动^②,值得进一步研究,但无论如何也暗示着该区在晚侏罗—早白垩世时期有重要的地质事件发生。依据区域资料,这些年龄很可能与印度板块的向北俯冲作用所诱发的深成岩浆活动有关。

致谢:本文的研究工作得到了河南省地质调查院蔡志超高级工程师、中国地质大学(武汉)胡兆初老师,以及成都地质矿产研究所耿全如研究员、王冬

① 河南省地质调查院,西藏亚贵拉铅锌矿普查报告,2008。

② 吉林大学地质调查院,1:25 万 H46C002002(门巴区幅)区域地质调查报告,2006。

兵、关俊雷和刘伟工程师的大力帮助,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献 (References):

- [1] 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 2006, 22(03): 521-533.
Pan Guitang, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, et al. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(03):521-533(in Chinese with English abstract).
- [2] 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 等. 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带: 埃达克质斑岩成因和构造环境[J]. 岩石学报, 2004, 20(2):239-248.
Hou Zengqian, Gao Yongfeng, Meng Xiangjin, et al. Genesis of adakitic porphyry and tectonic controls on the Gangdese Miocene porphyry copper belts in the Tibetan orogen [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(2):239-248(in Chinese with English abstract).
- [3] 郑有业, 多吉, 王瑞江, 等. 西藏冈底斯巨型斑岩铜矿带勘查研究最新进展[J]. 中国地质, 2007, 34(2):324-334.
Zheng Youye, Duo Ji, Wang Ruijiang, et al. New advances in the study of the gigantic Gangdise porphyry copper metallogenic zone, Tibet[J]. Geology in China, 2007, 34(2):324-334(in Chinese with English abstract).
- [4] 谢玉玲, 衣龙升, 徐九华, 等. 冈底斯斑岩铜矿带冲江铜矿含矿流体的形成和演化来自流体包裹体的证据 [J]. 岩石学报, 2006, 22(04):23-30.
Xie Yuling, Yi Longsheng, Xu Jiuhua, et al. Characteristics of ore-forming fluids and their evolution for Chongjiang copper deposit in Gangdise porphyry copper belt, Tibet: Evidence from fluid inclusions [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(04):23-30 (in Chinese with English abstract).
- [5] 余宏全, 丰成友, 张德全, 等. 西藏冈底斯铜矿带甲马夕卡岩型铜多金属矿床与驱龙斑岩型铜矿流体包裹体特征对比研究 [J]. 岩石学报, 2006, 22(3):689-696.
She Hongquan, Feng Chengyou, Zhang Dequan, et al. Study on the fluid inclusions from Jiama skarn copper polymetallic deposit and Qulong porphyry copper deposit in Gangdese copper belt, Tibet[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(3):689-696 (in Chinese with English abstract).
- [6] 李光明, 潘桂棠, 王高明, 等. 西藏冈底斯成矿带矿产资源远景评价与展望[J]. 成都理工大学学报(自然科学版). 2004, 31(1):21-27.
Li Guangming, Pan Guitang, Wang Gaoming, et al. Evaluation and prospecting value of mineral resources in Gangdise metallogenic belt, Tibet, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2004, 31(1):21-27 (in Chinese with English abstract).
- [7] 秦克章, 李光明, 赵俊兴, 等. 西藏首例独立钼矿—冈底斯沙让大型斑岩钼矿的发现及其意义 [J]. 中国地质, 2008, 35(6):1102-1112.
Qin Kezhang, Li Guangming, Zhao Junxing, et al. Discovery of Sharang large-scale porphyry molybdenum deposit, the first single Mo deposit in Tibet and its significance[J]. Geology in China, 2008, 35(6):1102-1112(in Chinese with English abstract).
- [8] Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan. In-situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 2008, 257:34-43.
- [9] Ludwig K R. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003, 4:1-70.
- [10] Vavra G, Gebauer D, Schmid R. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): An ion microprobe (SHRIMP) study [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1996, 122:337-358.
- [11] Vavra G, Schmid R, Gebauer D. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibole to granulite facies zircon: Geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps) [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1999, 134:380-404.
- [12] 吴元保, 陈道公, 夏群科, 等. 大别山黄土岭麻粒岩中锆石 LA-ICP-MS 微区微量元素分析和 Pb-Pb 定年[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(1):20-28.
Wu Yuanbao, Chen Daogong, Xia Qunke et al. In-situ trace element analyses and Pb-Pb dating of zircons in granulite from Huangtuling, Dabieshan by LA-ICP-MS [J]. Science in China (Series D), 2003, 33(1):20-28(in Chinese with English abstract).
- [13] 简平, 程裕淇, 刘敦一. 变质锆石成因的岩相学研究—高级变质岩 U-Pb 年龄解释的基本依据 [J]. 地学前缘, 2001, 8(3):183-191.
Jian Ping, Cheng Yuqi, Liu Dunyi. Petrographical study of metamorphic zircon: Basic roles in interpretation of U-Pb age of high grade metamorphic rocks [J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(3):183-191(in Chinese with English abstract).
- [14] Siebel W, Blaha U, Chen F, et al. Geochronology and geochemistry of a dyke-host rock association and implications for the formation of the Bavarian Pfahl shear zone, Bohemian Massif[J]. Int. J. Earth Sci.(Geol. Rundsch), 2005, 94:8-23.
- [15] Belousova E A, Griffin W L, Y O'Reilly S, et al. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 2002, 143:602-622.
- [16] 陈志宏, 陆松年, 李怀坤, 等. 北秦岭德河黑云二长花岗片麻岩体的成岩时代—TIMS 和 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素年代学 [J]. 地质通报, 2004, 23(2):136-142.
Chen Zhihong, Lu Songnian, Li Huikun, et al. The age of Dehe biotite monzogranite gneiss in the north Qingling: TIMS and SHRIMP U-Pb zircon dating [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(2):136-142(in Chinese with English abstract).
- [17] 唐菊兴, 高一鸣, 燕长海, 等. 西藏念青唐古拉地区亚贵拉-沙让成矿带成矿时代及矿床成因探讨[C]//中国地质调查局, 成都地质调查中心编. 青藏高原地质学术讨论会论文摘要集. 2009:

- 108–109.
Tang Juxing, Gao Yiming, Yan Changhai, et al. Study on the metallogenic epoch and deposit type of Yaguila –Sharang metallogenic belt [C]//Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geology Survey. The Abstract Book of Symposium on Qinghai–Tibet Geology. 2009:108–109(in Chinese).
- [18] 武汉地质学院地球化学教研室. 地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1979:1–380.
The Teaching and Research section of China University(Wuhan). Geochemistry[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979:1–380(in Chinese).
- [19] 侯增谦, 王二七. 印度—亚洲大陆碰撞成矿作用主要研究进展[J]. 地球学报, 2008, 29(3): 275–292.
Hou Zengqian, Wang Erqi. Metallogenesis of the Indo–Asian collisional orogen:new advances[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2008, 29(3):275–292(in Chinese with English abstract).
- [20] Jaeger J J, Courtillot V, Tapponnier P. Paleontological view of the ages of the Deccan Traps, the Cretaceous/Tertiary boundary, and the India–Asia collision[J]. Geology, 1989, 17:316–319.
- [21] Rage J C, Cappetta H, Hartenberger J L. Collision ages[J]. Nature, 1995, 375:6529.
- [22] Yin An, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan–Tibet. Orogen Annual[J]. Rev. Earth Planet. Sci., 2000, 28:211–80.
- [23] 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等. 印度大陆和欧亚大陆的碰撞时代[J]. 地球科学进展, 2004, 19(4):564–571.
Zhu Dicheng, Pan Guitang, Mo Xuanxue, et al. The age of collision between India and Eurasia [J]. Advances in Earth Science, 2004, 19(4):564–571(in Chinese with English abstract).

U–Pb zircon LA–ICP–MS age of the Yaguila molybdenum–bearing intrusion in Tibet and its geological significance

LI Fen–qi¹, GAO Ming², TANG Wen–qing¹, LIANG Ting³

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China;

2. Geological Survey of Henan Province, Zhengzhou 410059, Henan, China; 3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: There exist a large number of large and medium–sized lead–zinc deposits as well as a large–sized molybdenum deposit in Nyainqentanglha region of eastern Gangdise. The former deposits are considered to be products of Eocene mineralization, whereas the latter deposit is regarded as a Paleocene porphyry deposit. In the process of the evaluation of the Yaguila ore deposit, which is the largest lead–zinc deposit in the Gangdise metallogenic belt, the authors found that lead–zinc mineralization is closely related to the quartz porphyry body, and that a large–sized molybdenum vein occurs inside the intrusion body. U–Pb isotopic ages and trace element content of zircon crystals from the intrusion were measured by using LA–ICP–MS techniques. About 90% of the zircons have relatively high Th/U ratios and clear oscillatory zoning, indicating that they are of igneous origin. The acquired ²⁰⁶Pb/²³⁸U weighed average ages of LA–ICP–MS zircon U–Pb isotopes are 65.8±1.3 Ma (MSWD=3.0) and 68.6±1.7 Ma (MSWD=1.8), indicating that the quartz porphyry body was formed in the late Cretaceous period. Based on field investigation and an analysis of trace elements content of the quartz porphyry in combination with the Re–Os ages of the molybdenum vein obtained by previous researchers, the authors point out that both molybdenum and lead–zinc mineralizations are associated with the quartz porphyry, but Yaguila’s molybdenum was formed earlier than Sharang’s. It is concluded that not only lead–zinc mineralization but also molybdenum mineralization occurred in late Cretaceous in Nyainqentanglha region.

Key words: Yaguila; molybdenum mineralization; dating of LA–ICP–MS; quartz porphyry; late Cretaceous

About the first author: LI Fen–qi, male, born in 1966, doctor, associate researcher, engages in the study of geology and mineral resources; E–mail: lifenqi2009@sina.com.