

doi:10.3799/dqkx.2012.00

西藏查个勒铜铅锌矿成岩成矿时代及意义

高顺宝^{1,2}, 郑有业^{3,4*}, 田立明², 张众², 屈文俊⁵, 刘敏院⁶, 郑海涛², 郑磊², 朱继华²

1. 中国地质大学地质调查研究院, 湖北武汉 430074
2. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074
3. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083
4. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074
5. 国家地质实验测试中心, 北京 100037
6. 西藏华钰矿业有限公司, 西藏拉萨 850000

摘要: 西藏查个勒铜铅锌矿在念青唐古拉铜铅锌银成矿带已发现的铜多金属矿床中处于最西端, 矿区同时存在接触交代一充填型铜铅锌矿化和斑岩型铜钼矿化. 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 测试表明, 矿区两种类型矿化近乎同时形成, 北部与铜铅锌矿化相关的花岗斑岩成岩时代为 62.1 ± 1.1 Ma (MSWD=2.7), 南部与铜钼矿化相关的花岗斑岩成岩时代为 63.28 ± 0.62 Ma (MSWD=3.2), 南部辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 61.49 ± 0.60 Ma (MSWD=1.5), 是在雅鲁藏布江洋盆北向俯冲后的同碰撞期形成的. 该成果完善和充实了念青唐古拉铜铅锌银成矿带碰撞期成矿的时间演化序列, 且使该带规模在原有基础之上向西延伸了 200 km (谢通门县青都一昂仁县查个勒), 显示该带为一条贯穿东西、以碰撞期成矿为主、长大于 800 km 的巨型铜铅锌银成矿带, 并为继续在此带向西寻找该类型矿床提供了重要依据.

关键词: 念青唐古拉; 查个勒矿床; 碰撞期; 成岩成矿.

中图分类号: 文章编号: 1000-2383(2012)03-0000-08 收稿日期: 2011-00-00

Geochronology of Magmatic Intrusions and Mineralization of Chagele Copper-Lead-Zinc Deposit in Tibet and Its Implications

GAO Shun-bao^{1,2}, ZHENG You-ye^{3,4*}, TIAN Li-ming², ZHANG Zhong², QU Wen-jun⁵,
LIU Min-yuan⁶, ZHENG Hai-tao², ZHENG Lei², ZHU Ji-hua²

1. Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
3. Faculty of Earth Science and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
4. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
5. National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China
6. Tibet Huayu Mining Industry Company Limited, Lhasa 850000, China

Abstract: Tibet Chagele Copper-lead-zinc deposit is in the west end of those copper-polymetallic deposits found in Nyainqentanglha copper-lead-zinc-silver metallogenic belt, and there are two types of mineralization in the mining area, namely, copper-lead-zinc mineralization of the contact metasomatic filling and copper-molybdenum mineralization of porphyry. The zircon LA-ICP-MS U-Pb age and molybdenite Re-Os age show that two types of mineralization almost formed at the same time. The petrogenic age of the northern granite-porphyry related to copper-lead-zinc-silver mineralization is 62.1 ± 1.1 Ma (MSWD=2.7), the southern granite-porphyry which is related to copper-molybdenum mineralization is 63.28 ± 0.62 Ma (MSWD=3.2), and the molybdenite Re-Os age of the south is 61.49 ± 0.60 Ma (MSWD=1.5), which formed at syn-collision stage after northward subduction of the Yarlung Zangbo oceanic basin. This study improves and enriches the time evolvement sequence and genesis of the collision metallogenic stage in Nyainqentanglha copper-lead-zinc-silver mineralization belt, and it also extends west-

wards its length by 200 km (Qingdu in Xietongmen—Chagele in Angren). As a result, it is found to be a huge copper-lead-zinc-silver metallogenic belt, extending in the direction of east-west more than 800 km, with deposits mainly formed in collection stage. In addition, this study provides important basis to the prospecting of the same deposits in the west of the belt.

Key words: Nyainqentanglha; Chagele deposit; Collision Period; magmatism and mineralization.

西藏查个勒铜铅锌矿位于日喀则地区昂仁县境内,现有勘查工作显示该矿床规模大、矿石质量较好,已成为念青唐古拉铜铅锌银成矿带向西延伸的重要支撑点。念青唐古拉铜铅锌银成矿带位于冈底斯带中部,东西延伸超过 600 km,大地构造位置属隆格尔—工布江达弧背断隆带内及其边部,区域上主体由念青唐古拉岩群及石炭—二叠纪浅海陆棚沉积构成基底岩系,以白垩纪为主,局部晚三叠世、古新世—始新世时期的侵入岩侵位其中,古近纪林子宗群火山岩覆盖其上,区域性逆冲推覆构造及脆韧性断层极为发育(潘桂棠等,2006)。

近几年的找矿突破已使念青唐古拉成矿带成为了一条巨型的铜铅锌银成矿带,自东向西发现有亚贵拉、洞中松多、洞中拉、蒙亚啊、拉屋、勒青拉、纳如松多、德新等一大批中大型或具有中大型前景规模的多金属矿床。虽然目前已有一些学者也对这些矿床开展较多的研究工作(臧文栓等,2007;郑有业等,2008;唐菊兴等,2009;杨勇等,2010;高一鸣等,2010,2011),但是在许多方面还是存在较大争议,尤其集中在成矿时代、矿床成因等这几个关键性问题上,其研究程度远远低于南侧的冈底斯斑岩铜矿带(郑有业等,2004a,2004b,2006)。同时,念青唐古拉铜铅锌银成矿带以羊八井—大竹卡断裂带为界,其东西在地质背景、成矿特征等存在较大差异,西段现有矿床规模也远不及东段巨大,那么西段铜铅锌银矿成矿作用、成矿时代是否与东段相同?找矿目标是否一致?因此,查明这一问题对促进念青唐古拉铜铅锌银成矿带继续向西部找矿、扩大成矿带规模等具有重要的理论及现实意义。

本文在详细的野外工作和室内镜下岩相学研究的基础上,对查个勒矿床中含矿岩体和矿石分别开展了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析、辉钼矿 Re-Os 分析,限定了查个勒矿床的成岩成矿时代,进而为探讨念青唐古拉铜铅锌银成矿带西段成矿演化规律提供了新的资料及制约。

1 地质概况及矿化特征

查个勒矿区出露地层主要为中二叠统下拉组

(图 1),岩性主要为千枚岩、石英砂岩、板岩、灰岩等,其次在矿区西南部发育有始新统帕那组流纹质含火山角砾凝灰质熔岩,不整合于下拉组之上。矿区断层走向有北东向、北西向、近南北向,多为逆断层或性质不明,矿区南侧局部发育有脆韧性剪切带。侵入岩较为发育,主要为浅成侵位的花岗斑岩,呈岩株及岩脉状,出露面积最大不超过 0.15 km²,岩体中褐铁矿化普遍发育。

根据野外观察和西藏区调队、西藏华钰矿业有限公司勘查成果,查个勒矿区存在铜铅锌和铜钼两种矿化类型:(1)铜铅锌矿体主要集中于中部偏北,分布相对较为集中,成因类型属接触交代—充填型,各矿体主要呈脉状产于花岗斑岩与围岩的接触带、构造破碎带及其旁侧、层间裂隙中,其展布方向明显受构造及侵入岩体控制,一般呈北东向、北西向,近东西向或近南北向展布;矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿,局部可见少量的黄铜矿、次生孔雀石、蓝铜矿,脉石矿物主要是透辉石、绿帘石、黝帘石、长石、石英、方解石等。(2)铜钼矿(化)体与北侧的铜铅锌矿体分布区相距较远,产于矿区南西侧的花岗斑岩中,成因类型属斑岩型,矿石矿物不均匀分布于岩石裂隙之中,主要为辉钼矿,局部见黄铜矿、黄铁矿;脉石矿物主要为石英。

2 样品及测试方法

查个勒矿区 2 件锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年样品岩性均为花岗斑岩,CGLD1-B4 样品采自北部的Ⅲ号与Ⅳ号之间的花岗斑岩脉内,CGLD3-B4 样品采自南部铜钼矿化体的花岗斑岩体内,采样时尽量采集了新鲜蚀变弱的样品。锆石分选在河北省区域地质矿产研究所完成。锆石制靶后,先在中国地质科学院国家离子探针中心进行锆石阴极发光(CL)照相。

锆石微量元素含量和 U-Pb 同位素定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)利用 LA-ICP-MS 同时分析完成,激光剥蚀系统为 GeoLas 2005,ICP-MS 为 Agilent 7500a,激光剥蚀过程中采用氦气作载气,实验所采用的激光束

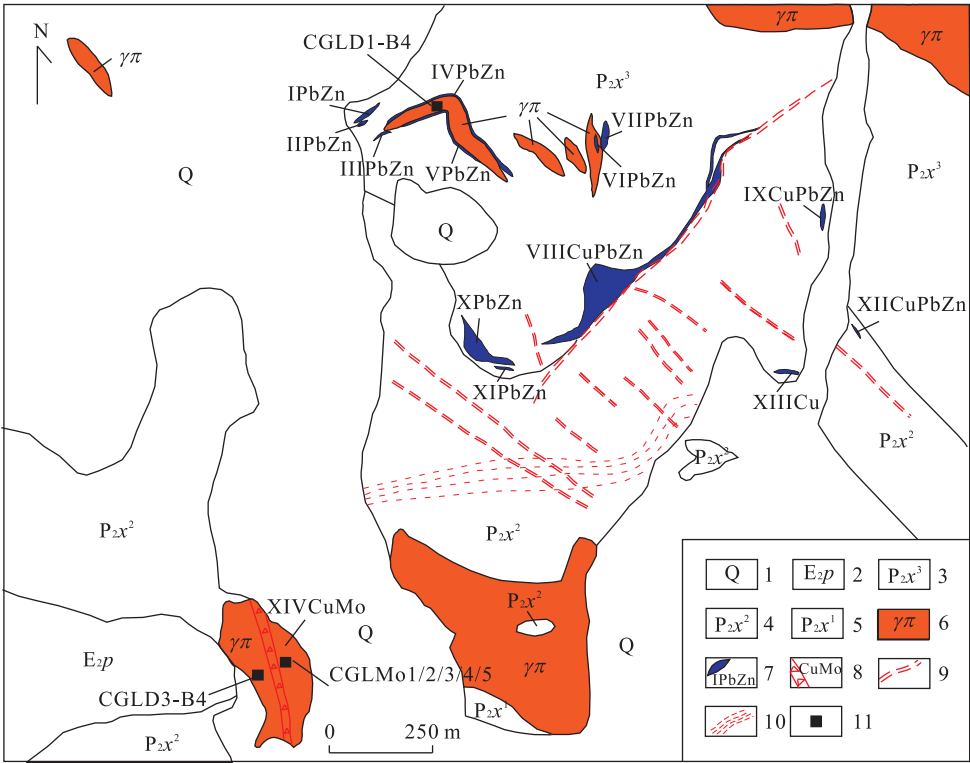


图 1 查个勒矿区地质简图

Fig. 1 Geological map of Chagele deposit

1. 冰碛、冲洪积、残破积;2. 始新统帕那组流纹质含火山角砾凝灰质熔岩;3. 中二叠统下拉组三段灰岩、钙质板岩;4. 中二叠统下拉组二段石英(杂)砂岩、板岩;5. 中二叠统下拉组一段千枚岩;6. 花岗斑岩;7. 铜铅锌矿体;8. 断层破碎带及铜钼矿体;9. 断层;10. 脆—韧性剪切带;11. 采样位置

斑直径 32 μm ,每个时间分辨分析数据包括大约 20~30 s 的空白信号和 50 s 的样品信号. 对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICP-MSDataCal(Liu *et al.*, 2010)完成. 实验获得的数据采用 Andersen(2002)的方法进行同位素比值的校正,采用年龄为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄,其加权平均值的误差为 2σ .

矿区 5 件辉钼矿样品(CGLMo1/2/3/4/5)采自南部花岗斑岩中的铜钼矿化体中,采样对象均为含辉钼矿石英脉,并分多点间隔采样. 辉钼矿单矿物样品挑选由笔者在双目镜下完成,纯度达 98%以上. 辉钼矿 Re-Os 同位素年龄测试在中国地质科学院国家地质实验测试中心进行,测试仪器为电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS,Re-Os 同位素分析的化学分离过程和分析方法见杜安道等(1994, 2001). 本次实验全流程空白水平 Re: $0.0157 \pm 0.0008 \text{ ng}$; 普通 Os: $0.0001 \pm 0.0002 \text{ ng}$; ^{187}Os : $0.0000 \pm 0.0001 \text{ ng}$. 模式年龄 t 按下式计算:

$$t = \frac{1}{\lambda} \left[\ln \left(1 + \frac{^{187}\text{Os}}{^{187}\text{Re}} \right) \right],$$

其中 $\lambda(^{187}\text{Re} \text{ 衰变常数}) = 1.666 \times 10^{-11} \text{ yr}^{-1}$.

3 测试结果

3.1 花岗斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄

查个勒矿区两件花岗斑岩样品中的锆石阴极发光照片显示(图 2),两件样品锆石极相似,锆石形态均呈现自形短柱状、长柱状,晶体长度一般在 120~320 μm ,长宽比约为 2:1~4:1,锆石晶体中的生长环带非常发育且清晰可见,均为典型的岩浆成因锆石(Crofu *et al.*, 2003; 吴元保和郑永飞, 2004). 部分锆石中可见暗色残留核,大小一般小于 40 μm .

分析结果显示(表 1),北部与铅锌成矿相关的花岗斑岩(CGLD1-B4)锆石 U 含量为 $190 \times 10^{-6} \sim 6372 \times 10^{-6}$,Th 含量为 $108 \times 10^{-6} \sim 3893 \times 10^{-6}$,Th/U 比值均大于 0.40,平均为 0.60;同位素比值校正后获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值较分散,其中测点 1、9、11、15、16、19 的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄偏大,介于

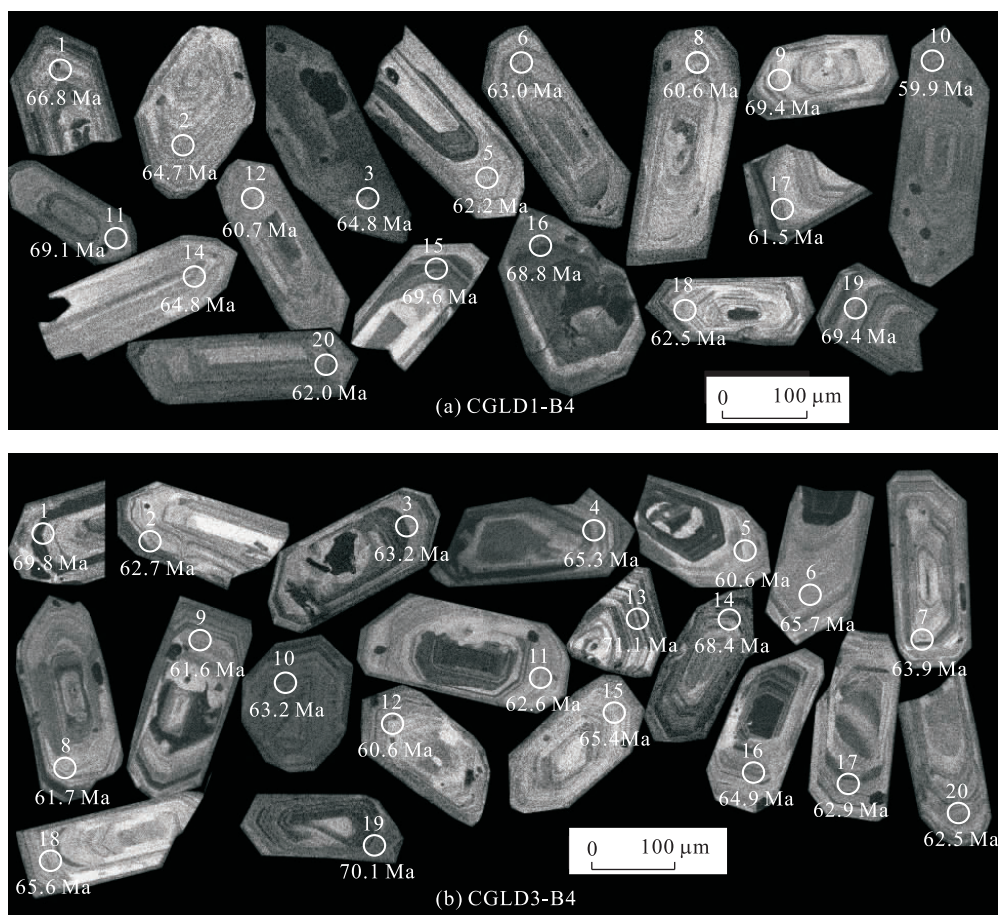


图 2 查个勒矿区花岗斑岩锆石阴极发光照片

Fig. 2 CL images of zircons for porphyry granite in Chagele deposit

66.8~69.6 Ma; 测点 2、3、5、6、7、10、12、14、17、18、20 的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄略小, 介于 59.9~64.8 Ma, 其加权平均年龄为 62.1 ± 1.1 Ma (MSWD=2.7) (图 3a). 查个勒矿区南部与铜钼成矿相关的花岗斑岩 (CGLD3-B4) 锆石 U 含量为 $101 \times 10^{-6} \sim 1752 \times 10^{-6}$, Th 含量为 $74.4 \times 10^{-6} \sim 1139 \times 10^{-6}$, Th/U 比值绝大多数大于 0.70, 平均为 0.81; 同位素比值校正后获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄集中在 60.6~71.1 Ma, 年龄数据在 U-Pb 一致曲线上均位于谐和线上 (图 3b), 其加权平均值为 63.28 ± 0.62 Ma (MSWD=3.2), 代表了矿区南部花岗斑岩的结晶年龄。

3.2 辉钼矿 Re-Os 年龄

查个勒矿区 5 件辉钼矿样品的 ^{187}Re 的含量为 $0.4977 \times 10^{-6} \sim 3.277 \times 10^{-6}$, ^{187}Os 的含量为 $0.5196 \times 10^{-9} \sim 3.395 \times 10^{-9}$; 模式年龄值非常接近, 变化于 61.54~62.63 Ma (表 2、图 4), 加权平均年龄为 61.91 ± 0.40 Ma (MSWD=1.2), 5 件样品在 ^{187}Re - ^{187}Os 图解上构成了一条良好的线性等时

线, 等时线年龄为 61.49 ± 0.60 Ma (MSWD=1.5), 代表了南部铜钼矿化的年龄。

4 讨论与结论

查个勒矿区北部与铅锌矿化相关花岗斑岩的年龄较分散, 晚期集中的一组年龄加权平均值为 62.1 ± 1.1 Ma, 代表了查个勒矿区北部花岗斑岩的结晶年龄, 整体数据较分散、且存在 66.8~69.6 Ma 的年龄值, 可能显示查个勒矿区北部花岗斑岩岩浆侵位、结晶经历了一个相对较长的过程; 矿区南部与铜钼矿化相关花岗斑岩的年龄加权平均值为 63.28 ± 0.62 Ma, 南部铜钼矿体辉钼矿 Re-Os 年龄加权平均值为 61.91 ± 0.40 Ma, 显示矿区成岩成矿时间相近, 北部铅锌矿化与南部铜钼矿化时间也较接近, 均在 61~64 Ma 左右。同时, 矿区南北两处花岗斑岩在岩石地球化学上均富 K_2O (3.55%~7.00%)、LREE 及大离子亲石元素, 贫 Na_2O

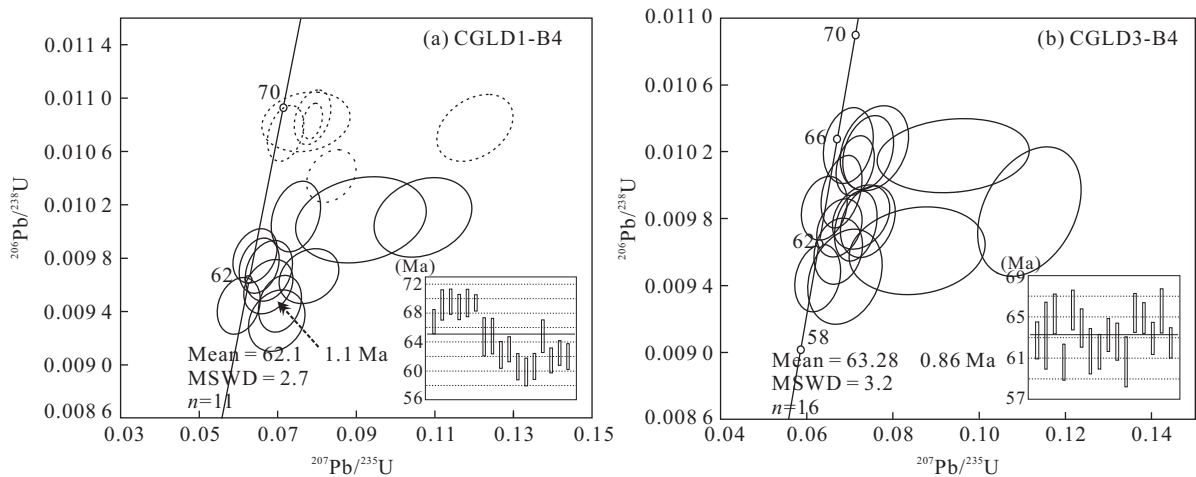


图 3 查个勒矿区花岗斑岩锆石 U-Pb 谐和图
Fig. 3 U-Pb Concordia diagrams of zircons for porphyry granite in Chagele deposit

表 2 查个勒矿床辉钼矿 Re-Os 同位素分析数据

Table 2 Results of Re-Os isotopic dating of molybdenite from Chagele deposit

样名	样重(g)	Re(10^{-6})		普 Os(10^{-9})		^{187}Re (10^{-6})		^{187}Os (10^{-9})		模式年龄(Ma)	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
CGLMo1	0.102 16	3.366	0.027	0.010 3	0.005 2	2.116	0.017	2.164	0.020	61.37	0.90
CGLMo2	0.101 18	5.213	0.038	0.001 3	0.004 5	3.277	0.024	3.395	0.031	62.15	0.88
CGLMo3	0.100 11	1.391	0.012	0.001 3	0.003 0	0.874 3	0.007 6	0.901 2	0.007 6	61.84	0.90
CGLMo4	0.100 56	0.791 9	0.006 9	0.007 3	0.001 5	0.497 7	0.004 3	0.519 6	0.004 4	62.63	0.91
CGLMo5	0.101 88	1.636	0.016	0.008 7	0.004 4	1.028	0.010	1.054	0.009	61.54	0.95

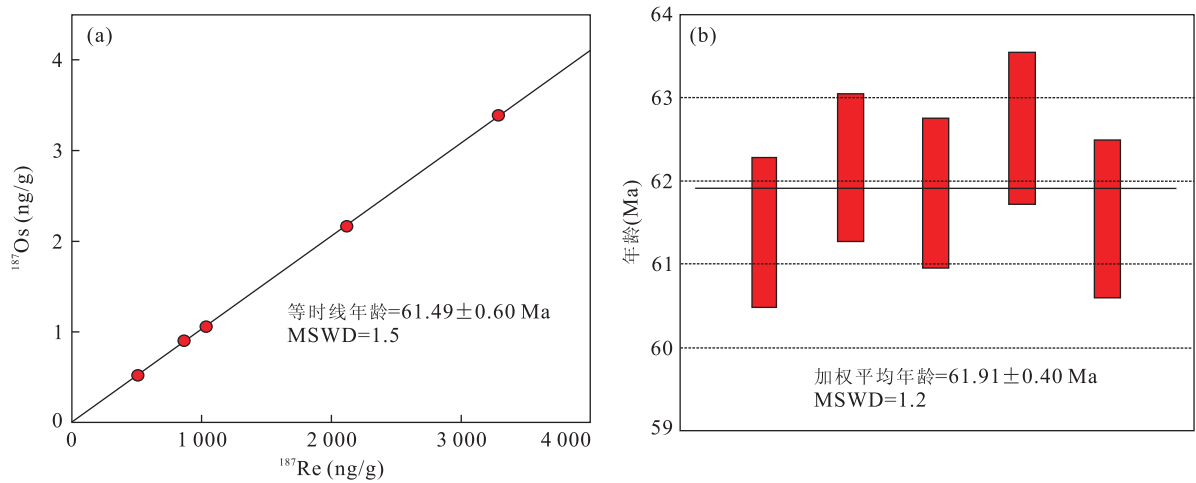


图 4 查个勒矿区辉钼矿 Re-Os 等值线年龄(a)和加权平均年龄(b)
Fig. 4 Re-Os isotopic isochron diagram (a) and weighted mean model age diagram (b) of molybdenite in Chagele deposit

(0.23%~1.28%)、HREE、高场强元素和 $\text{Mg}^\#$ 指数(0.19~0.33), 铝过饱和 (ANCK 为 1.08~2.54), CIPW 标准矿物中出现了刚玉分子, 具明显的负 Eu 异常(0.17~0.28), 稀土配分曲线呈右倾型(LREE/HREE=5.53~7.62)(未刊数据), 显示岩体形成于同碰撞环境. 查个勒矿床所处的构造位

置及区域构造演化历程显示, 冈底斯带在 61~64 Ma, 北部的班公湖—怒江洋盆早已闭合, 完全处于碰撞后环境, 而南侧雅鲁藏布江洋盆在 65 Ma 左右刚刚闭合, 从 65~40/45 Ma 正处于印度—欧亚大陆的碰撞阶段, 整个过程持续了约 20 Ma(莫宣学和潘桂堂, 2006). 由此可见, 查个勒矿床应该完全与

南侧雅鲁藏布江洋盆闭合后、印—亚大陆同碰撞期的岩浆活动相关。

已有研究资料显示,念青唐古拉铜铅锌银成矿带东部的亚贵拉矿区辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 65.0 ± 1.9 Ma(高一鸣等,2011),中部谢通门县恰功矿区成矿岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 66.83 ± 0.72 Ma 和 67.42 ± 0.80 Ma(李应栩等,2011)、谢通门县纳如松多矿区成矿岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 64.28 ± 0.97 Ma(未刊数据),这些年龄与查个勒矿床年龄相接近。同时,已有研究也对这些矿床的形成环境进行了探讨,其中亚贵拉、纳如松多等矿床均被认为是同碰撞期成矿作用的产物(杨勇等,2010;高一鸣等,2011),而恰功被认为是俯冲末期一同碰撞成矿作用的产物(李应栩等,2011),均是雅鲁藏布江洋盆北向俯冲、印—亚大陆同碰撞期的产物。这些矿床规模均以大型为主,显示同碰撞期铜铅锌银成矿作用在西藏念青唐古拉铜铅锌银成矿带是普遍存在,是该带一个非常重要的成矿阶段。查个勒矿床同碰撞期成岩成矿时代的确定,进一步完善和充实了念青唐古拉铜铅锌银成矿带同碰撞期成矿的时间演化序列。

查个勒矿床在念青唐古拉铜铅锌银成矿带已发现多金属矿床中处于最西端,其成矿特征与带内的其它矿床非常相似,尤其与最东部的亚贵拉矿床相似,均表现为矿区北部存在接触交代—充填型铅锌矿化,南部存在斑岩型钼矿化,成矿地质背景及成矿时代也基本一致,显示出念青唐古拉铜铅锌银成矿带东西成矿作用的相似性。另一方面,原有勘查及研究资料显示念青唐古拉铜铅锌银成矿带从东向西(工布江达县亚贵拉→谢通门县青都)延伸约 600 km,已发现有大中型铜铅锌矿十余处。而查个勒矿床的勘查成果及同碰撞期成矿时代的确定,可以使该带在原有基础上继续向西延伸 200 km(谢通门县青都→昂仁县查个勒),显示出念青唐古拉铜铅锌银成矿带为一条贯穿东西、以碰撞期成矿为主、长大于 800 km 的巨型铜铅锌银成矿带,为念青唐古拉铜铅锌银成矿带向西延伸和扩大规模提供了依据,并增加了进一步向西寻找同类型矿床的信心。

References

Andersen, T., 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192(1–2): 59–79. doi:10.1016/S0009-2541(02)00195-X

Crofu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W., et al., 2003. Atlas

of zircon textures. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1): 469–500. doi: 10.2113/0530469

Du, A. D., He, H. L., Yin, N. W., et al., 1994. A study on the rhenium-Osmium geochronometry of molybdenites. *Acta Geologica Sinica*, 68(4): 339–347 (in Chinese with English abstract).

Du, A. D., Zhao, D. M., Wang, S. X., et al., 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with carius tube sample preparation. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247–252 (in Chinese with English abstract).

Gao, Y. M., Chen, Y. C., Tang, J. X., 2010. SHRIMP zircon U-Pb and amphibole ^{40}Ar – ^{39}Ar dating of amphibole diorite from Sharang porphyry molybdenum deposit in Gongbo'gyamda county, Tibet, and its geological implication. *Mineral Deposits*, 29(2): 323–331 (in Chinese with English abstract).

Gao, Y. M., Chen, Y. C., Tang, J. X., et al., 2011. Re-Os dating of molybdenite from the Yagula porphyry molybdenum deposit in Gongbo'gyamda area, Tibet, and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 30(7): 1027–1036 (in Chinese with English abstract).

Li, Y. X., Xie, Y. L., Chen, W., et al., 2011. U-Pb age and geochemical characteristics of zircon in monzogranite porphyry from Qiaogong deposit, Tibet, and geological implication. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7): 2023–2033 (in Chinese with English abstract).

Liu, Y. S., Gao, S., Hu, Z. C., et al., 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths. *Journal of Petrology*, 51(1–2): 537–571. doi: 10.1093/petrology/egp082

Mo, X. X., Pan, G. T., 2006. From the Tethys to the formation of the Qinghai-Tibet Plateau: constrained by tectonic-magmatic events. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 43–51 (in Chinese with English abstract).

Pan, G. T., Mo, X. X., Hou, Z. Q., et al., 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic belt and its evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521–533 (in Chinese with English abstract).

Tang, J. X., Chen, Y. C., Wang, D. H., et al., 2009. Re-Os dating of molybdenite from the Sharang Porphyry Molybdenum deposit in Gongbo'gyamda county, Tibet and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 83(5): 698–704 (in Chinese with English abstract).

Wu, Y. B., Zheng, Y. F., 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(15): 1554–1569 (in Chinese with English

abstract). doi: 10.1360/04wd0130

- Yang, Y., Luo, T. Y., Huang, Z. L., et al., 2010. 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. *Acta Mineralogica Sinica*, 30(3): 311—318 (in Chinese with English abstract).
- Zang, W. S., Meng, X. J., Yang, Z. S., et al., 2007. Sulfur and lead isotopic compositions of lead-zinc-silver deposits in the Gangdise metallogenic belt, Tibet, China, and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 26(10): 1393—1397 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y. Y., Xue, Y. X., Cheng, L. J., et al., 2004a. Finding, characteristics and significance of Qulong super-large porphyry copper (molybdenum) deposit, Tibet. *Earth Science—Journal of China University Geosciences*, 29(1): 103—108 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y. Y., Gao, S. B., Cheng, L. J., et al., 2004b. Finding and significances of Chongjiang porphyry copper (molybdenum, gold) deposit, Tibet. *Earth Science—Journal of China University Geosciences*, 29(3): 333—339 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y. Y., Gao, S. B., Zhang, D. Q., et al., 2006. Ore-forming fluid controlling mineralization in Qulong super-large porphyry copper deposit, Tibet. *Earth Science—Journal of China University Geosciences*, 31(3): 349—354 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y. Y., Zhang, Y. G., Gao, S. B., et al., 2008. The discovery and significance of the Sharang porphyry molybdenum deposit and its rock-forming and ore-forming age restriction. In: Chen, Y. C., ed., *The proceeding of the 9th national conference of mineral deposits, China*. Geol. Pub. House, Beijing, 674—676 (in Chinese).
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等, 2001. Carius 管溶样—负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼—钼同位素地质年龄. *岩矿测试*, 20(4): 247—252.
- 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 2010. 西藏沙让斑岩钼矿床锆石 SHRIMP 定年和角闪石 Ar-Ar 定年及其地质意义. *矿床地质*, 29(2): 323—331.
- 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 等, 2011. 西藏工布江达地区亚贵拉铅锌钼矿床辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义. *地质通报*, 30(7): 1027—1036.
- 李应栩, 谢玉玲, 陈伟, 等, 2011. 西藏恰功铁矿二长花岗斑岩锆石的 U-Pb 年代学与地球化学特征及意义. *岩石学报*, 27(7): 2023—2033.
- 莫宣学, 潘桂棠, 2006. 从提提斯到青藏高原形成: 构造—岩浆事件的约束. *地学前缘*, 13(6): 43—51.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等, 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化. *岩石学报*, 22(3): 521—533.
- 唐菊兴, 陈毓川, 王登红, 等, 2009. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿铼—钼同位素年龄及其地质意义. *地质学报*, 83(5): 698—704.
- 吴元保, 郑永飞, 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. *科学通报*, 49(16): 1589—1604.
- 杨勇, 罗泰义, 黄智龙, 等, 2010. 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. *矿物学报*, 30(3): 311—318.
- 臧文栓, 孟祥金, 杨竹森, 等, 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. *地质通报*, 26(10): 1393—1397.
- 郑有业, 薛迎喜, 程力军, 等, 2004a. 西藏驱龙超大型斑岩铜(钼)矿床: 发现、特征及意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(1): 103—108.
- 郑有业, 高顺宝, 程力军, 等, 2004b. 西藏冲江大型斑岩铜(钼金)矿床的发现及意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(3): 333—339.
- 郑有业, 高顺宝, 张大权, 等, 2006. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床成矿流体对成矿的控制. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(3): 349—354.
- 郑有业, 张刚阳, 高顺宝, 等, 2008. 西藏沙让斑岩型钼矿床的发现意义及成岩成矿时代约束. 见: 陈毓川著. 第九届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 674—676.

附中文参考文献

杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等, 1994. 辉钼矿的铼—钼同位素地质年龄测定方法研究. *地质学报*, 68(4): 339—347.