

青海省纳日贡玛斑岩钼铜矿床成矿花岗斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及地质意义

郝金华^{1,2}, 陈建平², 董庆吉², 田永革³, 李玉龙³, 陈冬⁴

(1. 中国地质大学 科学研究院, 北京 100083; 2. 中国地质大学 北京市国土资源信息开发研究重点实验室, 北京 100083;
3. 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012; 4. 中国黄金集团公司, 北京 100011)

摘要: 对青海省纳日贡玛斑岩钼铜矿床开展了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素定年研究, 结果表明, 纳日贡玛矿区 2 个黑云母花岗斑岩样品的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 同位素加权平均年龄分别为 $(43.4 \pm 0.4) \text{ Ma}$ 和 $(42.9 \pm 0.3) \text{ Ma}$, 锆石形态、结晶振荡环带结构及元素含量均显示出岩浆成因特点; 因此, 锆石 U-Pb 年龄可代表斑岩的岩浆结晶年龄, 纳日贡玛含矿斑岩岩浆的侵位年代可精确地限定于新生代喜马拉雅期, 相当于中始新世。1 件辉钼矿样品 Re-Os 同位素模式年龄为 $(40.8 \pm 0.4) \text{ Ma}$, 结合前人的辉钼矿测试结果, 认为在纳日贡玛岩浆活动约 2.6 Ma 后, 岩浆热液成矿流体开始产生成矿作用。三江走滑断裂构造系统控制斑岩矿床的分布, 青海三江北段斑岩钼铜矿具有很大的找矿潜力。

关键词: LA-ICP-MS U-Pb 定年; 黑云母花岗斑岩; 斑岩矿床; 纳日贡玛; 青海省南部

中图分类号: P618.41; P588.13

文献标志码: A

文章编号: 1000-8527(2012)01-0045-09

Zircon LA-ICP-MS U-Pb Dating for Narigongma Porphyry Molybdenite-copper Deposit in Southern Qinghai Province and Its Geological Implication

HAO Jin-hua^{1,2}, CHEN Jian-ping², DONG Qing-ji², TIAN Yong-ge³, LI Yu-long³, CHEN Dong⁴

(1. Institute of Earth Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Beijing Land Resources Information Development, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Qinghai Geological Survey Institute, Xining, Qinghai 810012, China; 4. China National Gold Group Corporation, Beijing 100011, China)

Abstract: Narigongma deposit, located in the northern section of the Sanjiang polymetallic ore belt, southern Qinghai Province, is a large reserve porphyry molybdenite-copper deposit. This study provides highly precise dating of the mineralization in Narigongma deposit. According to the results of LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic data, the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted mean age of 33 analytical data from ZK004 is $(43.4 \pm 0.4) \text{ Ma}$, with MSWD being 1.9, and the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted mean age of 24 analytical data from ZK805 is $(42.9 \pm 0.3) \text{ Ma}$, with MSWD being 0.6. These zircons have characteristics of magmatic origin, thus the zircon U-Pb isotopic dating can represent the ore-bearing rocks forming age. One piece of molybdenite sample from Narigongma deposit determined by ICP-MS shows that the Re-Os model age is $(40.8 \pm 0.4) \text{ Ma}$. It can indicate that the mineralization was developed 2.6 Ma later than the intrusion of the porphyries. Strike-slip fault systems control the distribution of Sanjiang porphyry deposits, and the northern section of Sanjiang porphyries belt have great prospecting potential.

Key words: LA-ICP-MS U-Pb dating; biotite granitic porphyry; porphyry deposit; Narigongma; southern Qinghai Province

收稿日期: 2011-05-24; 改回日期: 2011-09-28; 责任编辑: 戚开静。

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(1212010630804, 1212011121215)。

作者简介: 郝金华, 男, 讲师, 博士, 1978 年出生, 矿产普查与勘探专业, 主要从事金属矿床学研究。

Email: haojh@cugb.edu.cn。

0 引言

西南三江地区为中国乃至世界上具有重要地位的新生代多金属成矿带,跨越滇、川西、藏东并延伸至青海南部,发育一系列大型、超大型的铜、钼、金、铅锌等多金属矿床,也为我国青藏高原3条巨型斑岩铜矿带之一。因此,三江构造成矿带备受国内外地质工作者的关注,特别是在青藏高原碰撞理论的指导下,对三江地区中南段斑岩铜钼金矿带特别是玉龙斑岩铜矿带的成岩成矿年代学进行了大量的研究,并对其构造背景、岩浆演化、成矿模式等方面进行了广泛深入的探讨^[1-3]。

随着地质矿产工作的深入,在青海南部三江成矿带北段发现了大量呈岩株状产出的斑岩体,并均具有较明显的铜钼多金属矿化,区域内的找矿工作取得了较大进展,其中纳日贡玛已具大型斑岩铜钼矿规模。目前对纳日贡玛矿床及斑岩研究已取得了不少成果^[4-9]。本次研究利用锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法和辉钼矿 Re-Os 同位素定年方法,对矿床的岩浆成岩成矿年龄进行了精确厘定,为探讨矿床岩浆-构造-成矿作用研究提供了可靠的年代学依据。

1 矿区地质概况

纳日贡玛铜钼矿床地处三江断裂带西侧北西西向格尼涌大断裂与北北东向纳日贡玛断裂交切部位、杂多复式背斜的北翼(图1(a))。矿区内断裂构造相当发育,按其展布方向可分为北西向、北东向和近南北向3组断裂。出露地层主要为下二叠统杂多组中基性火山岩,岩性为紫红-灰绿色强蚀玄武岩、杏仁状玄武安山岩等,顶底为杂色玄武质凝灰集块岩、凝灰岩、玄武岩,为晚古生代古特提斯洋盆扩张期间海底岩浆喷发的产物^[10]。

矿区侵入岩主要以黑云母花岗斑岩、浅色细粒花岗斑岩及石英闪长玢岩为主,其中黑云母花岗斑岩在矿区内出露范围最大,约0.7 km²,主体呈NE向展布,受NE向纳日贡玛断裂控制,长约1.2 km;宽度变化较大,东北部约为0.4 km,西南部约为0.8 km,为一套复式岩体,其岩性可从花岗斑岩局部相变为花岗闪长斑岩。浅色细粒花岗斑岩在矿区出露范围较小,除局部以小的岩枝

产出外,多以走向NE的岩脉侵位于下二叠统玄武岩及略早侵位的黑云母花岗斑岩中,尤其以矿区西部地区出露密集。石英闪长玢岩在矿区出露面积最小,在矿区东部主体以小体积的岩枝产出,而在矿区西侧主要以NE、NNE向及少量近NS向的岩脉产出,且侵位于玄武岩及黑云母花岗斑岩中(图1(b))。

目前纳日贡玛斑岩铜钼矿区内共圈出26个铜矿体,铜钼矿带8个。铜矿体主要产于斑岩体内的黑云母花岗斑岩及斑岩体外接触带的蚀变玄武岩中,形态比较复杂,一般长75.5~400.0 m,平均宽27.0~91.1 m,铜平均品位0.43%~0.65%。钼矿体产于斑岩体内轻微蚀变的黑云母花岗斑岩、细粒花岗斑岩中,少量产于斑岩体外接触带的青磐岩化的玄武岩中,主要呈现为透镜状、条带状,矿体与围岩呈渐变关系,其中IV号矿体最大,长912 m,宽75~170 m,总体走向10°~20°,钼平均品位0.047%~0.229%^①。纳日贡玛铜钼矿床矿石类型具网脉状/脉状矿化、细脉浸染状、稀疏浸染状矿化,矿石矿物主要有辉钼矿、黄铜矿、黝铜矿、斑铜矿以及孔雀石、蓝铜矿等。矿床主要蚀变类型有硅化、绢云母化、粘土化、碳酸盐化及矽卡岩化等,地表从岩体到围岩依次发育绢英岩化带和青磐岩化带,斑岩体钻孔表明其深部发育有钾化带,表现为钾长石化和次生黑云母化。

2 样品采集及分析方法

2.1 样品采集

测试斑岩样品采于矿区内 ZK004 孔深 536 m 处及 ZK805 孔深 348 m 处的黑云母二长花岗斑岩,采样位置坐标分别为 94°46′56.764″ E、33°32′00.691″ N, 94°46′50.57″ E、33°31′48.423″ N。斑岩呈灰色、浅灰色,具典型斑状结构。斑晶含量大于 30%,主要由石英(30%)、斜长石(35%)、钾长石(20%)和黑云母(15%)组成(图2)。基质具有微粒-不等粒结构,由石英、斜长石、正长石、黑云母以及少量黄铁矿组成。斑岩含有磷灰石、金红石、钛铁矿、榍石等副矿物。钾长石斑晶大小一般为 0.5~2.0 cm,并可见有大于 5.0 cm 的巨斑晶存在;石英斑晶颗粒一般变化为 0.1~1.0 cm。两组样品均可见较强的硅化、钾化、黄铁矿化等蚀变。

① 青海省国土资源厅. 青海省地质矿产勘查成果交流材料汇编. 2009.

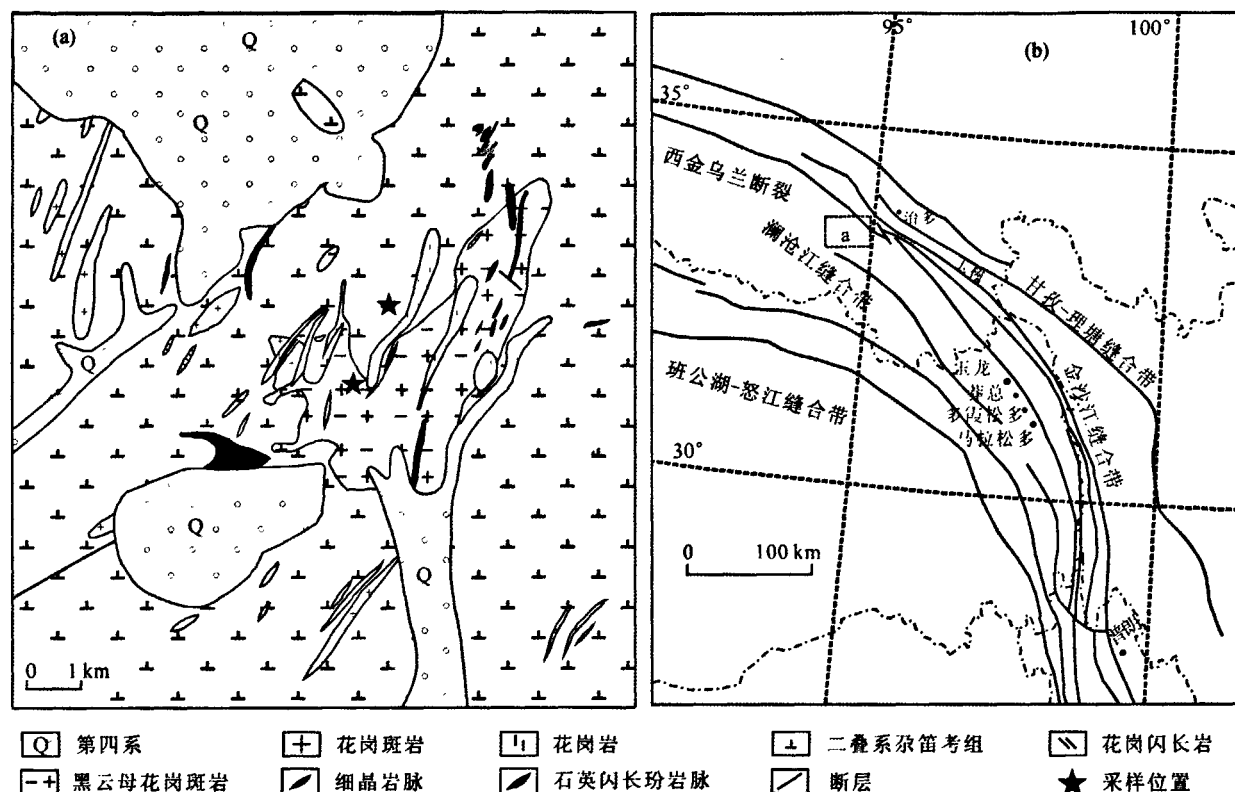


图1 纳日贡玛斑岩钼铜矿床(a)和区域(b)地质简图(据青海省地质调查院^①, 2006, 有修改)

Fig. 1 Sketch map of Narigongma porphyry molybdenite-copper deposit (a) and regional geology (b)

(revised after Qinghai Geological Survey Institute^①, 2006)

2.2 锆石 U-Pb 分析方法

锆石的分选在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所完成, 分离采用常规方法: 先将岩石样品粉碎至 300 μm , 再用浮选和电磁选方法进行分离, 最后进行双目镜下单颗粒锆石挑选。靶样由中国地质科学院北京离子探针中心制作。锆石透射光、反射光显微照相在中国地质大学(北京)电子探针实验室完成, 锆石阴极发光(CL)显微照相在北京大学电子显微镜室完成。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测试工作在中国地质大学(北京)激光等离子体质谱实验室完成, 分析仪器为由美国 New Wave Research Inc. 公司生产的 193 nm 激光剥蚀进样系统(UP 193SS)和美国 AGILENT 科技有限公司生产的 Agilent 7500 a 型四级杆等离子体质谱仪联合构成的激光等离子体质谱仪(LA ICP-MS)。测试点束斑直径为 36 μm , 预剥蚀时间为 5 s, 剥蚀采样时间为 45 s, 普通铅校正依据 Andersen 等^[11]。详细的仪器操作条件和数据处理方法见参考文献 [12-13]。

3 分析结果

光学显微镜及 CL 图像(图 3)表明, 所挑选锆石晶形较完好, 主要呈四方双锥状、长柱状、板柱状, 个别为短柱状。透射光下为无色或浅黄色, 晶体轮廓清晰, 晶面多数光滑, 部分锆石颗粒发育裂隙。锆石多具典型的岩浆振荡环带结构, 但少数锆石颗粒中见有不规则的内核, 应为继承的锆石核。

本次研究对 ZK004 锆石样品共进行了 33 个样品、34 个点的分析(表 1), 锆石的 U 含量为 $517.09 \times 10^{-6} \sim 2311.64 \times 10^{-6}$, Th 含量为 $226.15 \times 10^{-6} \sim 1528.2 \times 10^{-6}$, 铀、钍含量存在一定的正相关关系; 除 1、26、28 点 Th/U 比值为 0.36 ~ 0.46 外, 其余锆石的 Th/U 值均大于 0.5, 根据前人研究, 锆石应为岩浆成因, 少部分颗粒可能遭受后期热液流体活动的影响^[14-15]。第 29 点锆石边部要比其他锆石年轻(为 38.8 Ma), 其略低的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值可能与锆石边缘部位 U、Pb 含量

① 青海省地质调查院. 青海省杂多县纳日贡玛铜钼普查报告. 2006: 1-99.

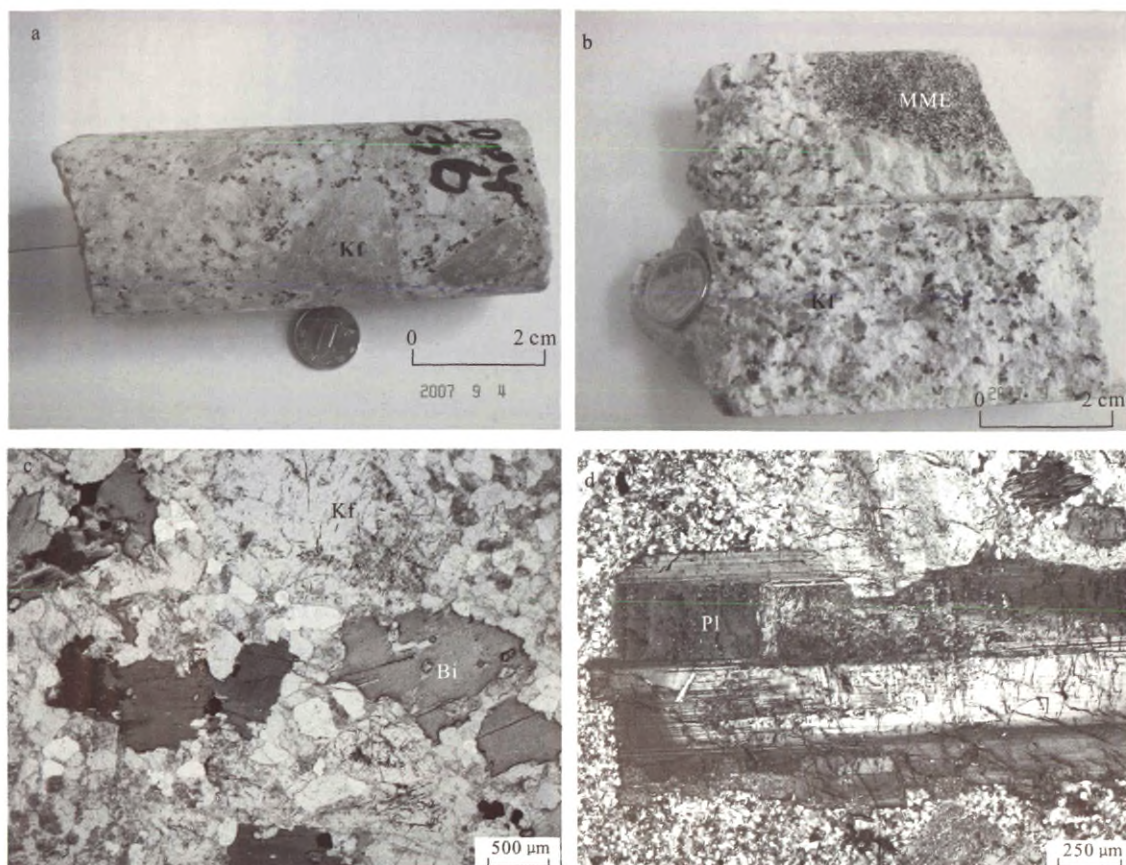


图2 纳日贡玛斑岩矿床侵入岩及显微镜照片

Fig. 2 Intrusive rocks and microscopic photos of Narigongma porphyry deposit

a. 粗粒黑云母花岗斑岩; b. 黑云母花岗斑岩; c. 斑岩中熔蚀黑云母斑晶; d. 斑晶斜长石环带及双晶

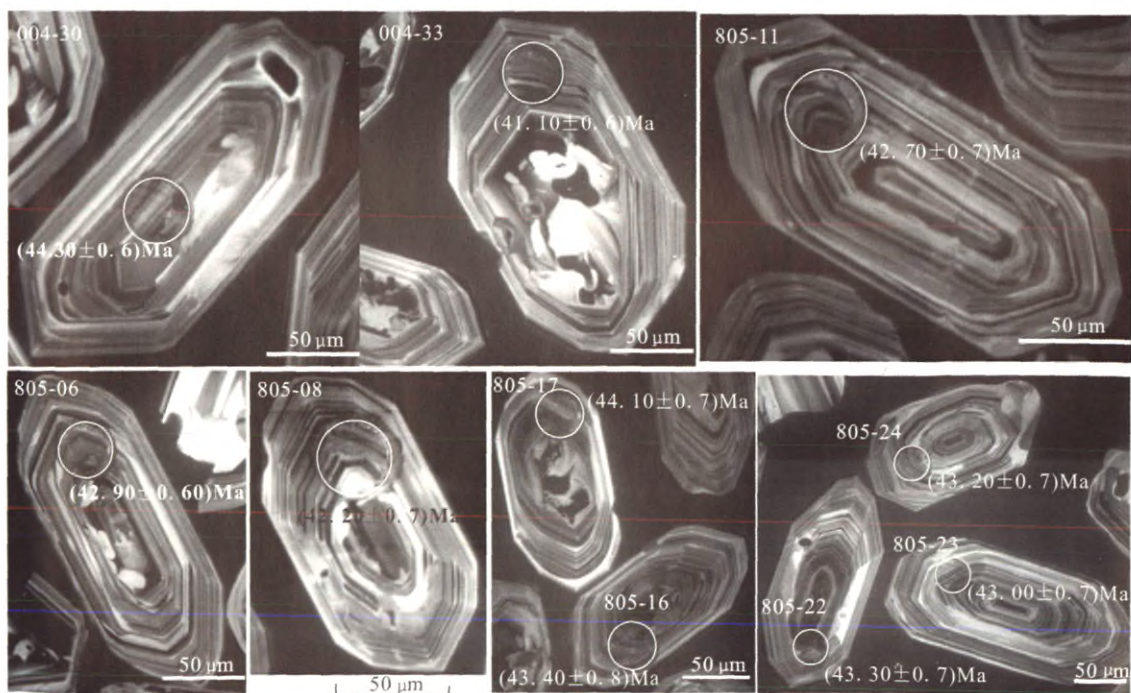


图3 锆石(部分)阴极发光图像及测点

Fig. 3 CL images for zircons and analytic spots with ages

表 1 纳日贡玛斑岩矿床锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测试结果

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb dating results of zircons from Narigongma porphyries molybdenite-copper deposit

测试点号	含量/ 10^{-6}		Th/U	同位素比值								年龄/Ma				
	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1 σ	$^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
004-01	226.15	632.52	0.36	0.046 75	0.003 52	0.043 71	0.003 28	0.006 78	0.000 12	0.002 13	0.000 09	2.796 905	43	3	43.6	1.1
004-02	903.59	1 568.79	0.58	0.046 93	0.001 96	0.046 04	0.001 94	0.007 11	0.000 11	0.001 96	0.000 04	1.736 175	46	2	45.7	0.9
004-03	549.85	1 019.06	0.54	0.047 34	0.003 97	0.046 33	0.003 88	0.007 10	0.000 11	0.001 97	0.000 06	1.853 342	46	4	45.6	0.9
004-04	670.44	1 221.32	0.55	0.047 29	0.002 18	0.046 48	0.002 15	0.007 13	0.000 11	0.002 05	0.000 05	1.821 669	46	2	45.8	0.9
004-05	1 488.95	1 803.37	0.83	0.046 94	0.001 86	0.043 86	0.001 76	0.006 78	0.000 10	0.001 92	0.000 03	1.211 169	44	2	43.6	0.8
004-06	696.53	1 334.29	0.52	0.046 75	0.002 16	0.044 60	0.002 07	0.006 92	0.000 10	0.002 00	0.000 05	1.915 625	44	2	44.5	0.8
004-07	435.31	615.46	0.71	0.047 11	0.004 21	0.044 24	0.003 95	0.006 81	0.000 11	0.001 98	0.000 06	1.413 843	44	4	43.8	0.9
004-08	1 300.45	2 104.93	0.62	0.046 92	0.001 55	0.043 63	0.001 47	0.006 74	0.000 10	0.001 94	0.000 03	1.618 617	43	1	43.3	0.8
004-09	1 051.07	1 948.71	0.54	0.046 91	0.001 87	0.045 12	0.001 82	0.006 97	0.000 10	0.001 93	0.000 04	1.854 025	45	2	44.8	0.8
004-10	995.43	1 271.62	0.78	0.046 99	0.002 46	0.043 78	0.002 30	0.006 76	0.000 10	0.001 94	0.000 04	1.277 458	44	2	43.4	0.8
004-11	593.05	887.18	0.67	0.047 01	0.003 27	0.043 63	0.003 03	0.006 73	0.000 11	0.001 97	0.000 05	1.495 962	43	3	43.2	0.9
004-12	479.58	956.04	0.50	0.047 15	0.003 29	0.043 62	0.003 04	0.006 71	0.000 11	0.001 96	0.000 06	1.993 494	43	3	43.1	0.9
004-13	1 307.27	1 444.59	0.90	0.047 01	0.001 95	0.043 33	0.001 81	0.006 68	0.000 10	0.001 98	0.000 04	1.105 043	43	2	42.9	0.8
004-14	1 256.92	1 254.93	1.00	0.046 91	0.002 07	0.044 29	0.001 97	0.006 85	0.000 11	0.001 98	0.000 04	0.998 417	44	2	44.0	0.9
004-15	582.75	879.48	0.66	0.047 06	0.005 91	0.044 13	0.005 54	0.006 80	0.000 11	0.001 99	0.000 06	1.509 189	44	5	43.7	0.9
004-16	602.85	1 169.18	0.52	0.047 21	0.002 82	0.044 98	0.002 69	0.006 91	0.000 11	0.002 01	0.000 05	1.939 421	45	3	44.4	0.9
004-17	395.14	609.74	0.65	0.047 51	0.006 39	0.044 29	0.005 95	0.006 76	0.000 12	0.002 11	0.000 08	1.543 099	44	6	43.4	1.1
004-18	1 189.13	1 478.30	0.80	0.046 83	0.002 07	0.041 92	0.001 87	0.006 49	0.000 10	0.001 97	0.000 04	1.243 178	42	2	41.7	0.8
004-19	866.42	902.96	0.96	0.046 67	0.003 76	0.043 31	0.003 49	0.006 73	0.000 11	0.002 00	0.000 04	1.042 174	43	3	43.2	0.9
004-20	856.17	1 390.44	0.62	0.046 88	0.002 32	0.042 37	0.002 11	0.006 55	0.000 10	0.001 96	0.000 04	1.624 023	42	2	42.1	0.8
004-21	525.53	1 042.72	0.50	0.046 91	0.002 34	0.043 55	0.002 18	0.006 73	0.000 10	0.002 01	0.000 05	1.984 130	43	2	43.2	0.8
004-22	632.73	1 130.57	0.56	0.047 15	0.002 47	0.045 71	0.002 41	0.007 03	0.000 11	0.001 96	0.000 06	1.786 813	45	2	45.2	0.9
004-23	505.85	714.83	0.71	0.046 90	0.002 73	0.042 65	0.002 48	0.006 59	0.000 11	0.001 98	0.000 05	1.413 126	42	2	42.3	0.9
004-24	1 370.06	1 418.25	0.97	0.047 17	0.002 57	0.045 01	0.002 46	0.006 92	0.000 10	0.001 95	0.000 03	1.035 174	45	2	44.5	0.8
004-25	794.74	950.17	0.84	0.047 02	0.002 63	0.044 36	0.002 48	0.006 84	0.000 11	0.001 95	0.000 04	1.195 573	44	2	43.9	0.9
004-26	763.62	1661.15	0.46	0.046 95	0.002 22	0.043 42	0.002 06	0.006 71	0.000 10	0.001 90	0.000 04	2.175 362	43	2	43.1	0.8
004-27	1 111.75	1 348.63	0.82	0.046 69	0.002 33	0.042 80	0.002 14	0.006 65	0.000 10	0.001 93	0.000 04	1.213 069	43	2	42.7	0.8
004-28	232.48	517.09	0.45	0.047 34	0.004 51	0.041 14	0.003 90	0.006 30	0.000 12	0.001 90	0.000 09	2.224 234	41	4	40.5	1.1
004-29	471.81	548.20	0.86	0.047 79	0.005 52	0.039 79	0.004 57	0.006 04	0.000 12	0.001 93	0.000 06	1.161 908	40	4	38.8	1.1
004-30	1 528.20	2 311.64	0.66	0.047 18	0.001 98	0.044 85	0.001 90	0.006 89	0.000 10	0.001 93	0.000 04	1.512 655	45	2	44.3	0.8
004-31	898.78	946.18	0.95	0.046 48	0.004 04	0.042 68	0.003 71	0.006 66	0.000 11	0.002 03	0.000 05	1.052 738	42	4	42.8	0.9
004-32	998.45	1 559.61	0.64	0.047 08	0.002 95	0.042 48	0.002 67	0.006 54	0.000 10	0.001 92	0.000 05	1.562 031	42	3	42.0	0.8

(续)表1 纳日贡玛斑岩矿床锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测试结果

(continued) Table 1 LA-ICP-MS U-Pb dating results of zircons from Narigongma porphyries molybdenite-copper deposit

测试点号	含量/ 10^{-6}		Th/U	同位素比值								年龄/Ma				
	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
004-33	1 146.57	1 400.42	0.82	0.046 84	0.002 39	0.041 32	0.002 12	0.006 40	0.000 10	0.001 89	0.000 04	1.221 399	41	2	41.1	0.8
004-34	507.44	839.85	0.60	0.047 00	0.003 14	0.042 72	0.002 85	0.006 59	0.000 11	0.002 00	0.000 06	1.655 073	42	3	42.3	0.9
805-01	1 252.69	2 027.92	0.62	0.047 02	0.001 83	0.043 35	0.001 71	0.006 68	0.000 10	0.002 05	0.000 05	1.618 852	43	2	42.9	0.6
805-02	104.31	626.61	0.17	0.047 20	0.003 79	0.068 38	0.005 48	0.010 50	0.000 18	0.005 55	0.000 24	6.007 190	67	5	67.0	1.0
805-03	559.73	949.63	0.59	0.046 97	0.002 50	0.042 90	0.002 29	0.006 62	0.000 11	0.001 97	0.000 06	1.696 586	43	2	42.5	0.7
805-04	778.99	1 452.58	0.54	0.046 97	0.002 15	0.042 28	0.001 95	0.006 53	0.000 10	0.001 94	0.000 05	1.864 697	42	2	42.0	0.6
805-05	916.16	1 428.35	0.64	0.047 32	0.002 51	0.043 99	0.002 34	0.006 74	0.000 11	0.002 00	0.000 05	1.559 062	44	2	43.3	0.7
805-06	1 017.52	1 958.28	0.52	0.046 99	0.001 90	0.043 22	0.001 77	0.006 67	0.000 10	0.001 99	0.000 05	1.924 562	43	2	42.9	0.6
805-07	386.10	514.71	0.75	0.054 37	0.009 55	0.049 85	0.008 73	0.006 65	0.000 14	0.002 26	0.000 11	1.333 100	49	8	42.7	0.9
805-08	776.43	1 203.03	0.65	0.046 79	0.002 66	0.042 37	0.002 42	0.006 57	0.000 11	0.001 93	0.000 05	1.549 438	42	2	42.2	0.7
805-09	781.31	1 774.57	0.44	0.050 92	0.001 50	0.227 50	0.006 93	0.032 39	0.000 48	0.008 46	0.000 19	2.271 275	208	6	205.0	3.0
805-10	441.64	852.50	0.52	0.046 99	0.003 17	0.042 58	0.002 87	0.006 57	0.000 11	0.001 98	0.000 07	1.930 305	42	3	42.2	0.7
805-11	560.35	1 211.84	0.46	0.046 95	0.003 25	0.043 01	0.002 98	0.006 64	0.000 11	0.001 97	0.000 07	2.162 648	43	3	42.7	0.7
805-12	602.20	842.86	0.71	0.046 76	0.003 12	0.042 60	0.002 83	0.006 61	0.000 12	0.001 90	0.000 06	1.399 635	42	3	42.5	0.8
805-13	1 248.96	1 602.01	0.78	0.047 07	0.004 49	0.043 32	0.004 13	0.006 67	0.000 12	0.001 85	0.000 06	1.282 675	43	4	42.9	0.8
805-14	958.11	1 664.97	0.58	0.046 85	0.002 64	0.043 26	0.002 45	0.006 70	0.000 11	0.002 03	0.000 06	1.737 765	43	2	43.0	0.7
805-15	705.59	1 206.62	0.58	0.047 00	0.003 54	0.042 25	0.003 18	0.006 52	0.000 11	0.002 03	0.000 07	1.710 087	42	3	41.9	0.7
805-16	859.00	1 158.10	0.74	0.048 73	0.005 48	0.045 41	0.005 10	0.006 76	0.000 12	0.001 54	0.000 06	1.348 196	45	5	43.4	0.8
805-17	1 018.22	1 800.27	0.57	0.046 87	0.002 21	0.044 36	0.002 10	0.006 86	0.000 11	0.001 96	0.000 05	1.768 056	44	2	44.1	0.7
805-18	608.89	1 133.66	0.54	0.046 87	0.003 09	0.043 26	0.002 85	0.006 69	0.000 11	0.001 96	0.000 06	1.861 847	43	3	43.0	0.7
805-19	976.31	1 370.51	0.71	0.047 03	0.002 65	0.042 94	0.002 43	0.006 62	0.000 11	0.001 95	0.000 05	1.403 765	43	2	42.5	0.7
805-20	612.76	927.12	0.66	0.047 27	0.003 63	0.044 26	0.003 40	0.006 79	0.000 12	0.002 02	0.000 07	1.513 023	44	3	43.6	0.8
805-21	615.26	1 177.64	0.52	0.047 11	0.002 73	0.043 89	0.002 55	0.006 76	0.000 12	0.001 94	0.000 07	1.914 053	44	2	43.4	0.8
805-22	853.80	1 233.69	0.69	0.046 75	0.003 22	0.043 45	0.003 00	0.006 74	0.000 11	0.002 02	0.000 06	1.444 940	43	3	43.3	0.7
805-23	550.71	1 075.46	0.51	0.047 29	0.002 93	0.043 62	0.002 70	0.006 69	0.000 11	0.001 90	0.000 07	1.952 861	43	3	43.0	0.7
805-24	460.12	1 003.79	0.46	0.047 15	0.003 25	0.043 73	0.003 01	0.006 73	0.000 11	0.001 96	0.000 07	2.181 583	43	3	43.2	0.7
805-25	442.25	828.16	0.53	0.046 73	0.003 43	0.043 54	0.003 19	0.006 76	0.000 12	0.002 00	0.000 07	1.872 606	43	3	43.4	0.8
805-26	201.35	245.77	0.82	0.047 52	0.008 26	0.044 20	0.007 65	0.006 74	0.000 16	0.002 01	0.000 12	1.220 611	44	7	43.0	1.0

受到后期地质作用调整有关。其余所测试的 33 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄较为相近 ($40.5 \sim 45.8$ Ma), 并且在 U-Pb 谐和线上构成较为一致的年龄组, 给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (43.4 ± 0.4) Ma, MSWD = 1.9 (图 4)。

ZK805 共测试 26 个颗粒、26 个点 (表 1), 锆石 U 含量为 $245.77 \times 10^{-6} \sim 2\,027.92 \times 10^{-6}$ 、Th 含量为 $104.31 \times 10^{-6} \sim 1\,252.69 \times 10^{-6}$, 同样 ZK805 锆石的铀、钍含量也基本存在正相关关系, 多数锆石 Th/U 比值也大于 0.5。除第 2、9 点外, 24 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄较为相近 ($41.9 \sim 44.1$ Ma), 而且均位于 U-Pb 谐和线上, 获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (42.9 ± 0.3) Ma, MSWD = 0.6 (图 5)。第 2、9 点锆石 U-Pb 表面年龄要明显老于其他 24 个点, 并且也不落在谐和线上, 因此可能是岩石捕获的锆石或继承的锆石, 其中第 9 点的 205.0 Ma 年龄与区域上巴塘群 (T_3b) 火山岩

相近; 而第 2 点的 67.0 Ma 年龄则与相邻的陆日格含矿斑岩相近 ($(62.1 \pm 0.4) \sim (61.7 \pm 0.3)$ Ma, 未刊资料), 说明斑岩岩浆上升过程中受到上地壳物质的混染。

4 讨论

4.1 岩浆成岩-成矿演化

本次研究表明, 纳日贡玛黑云母花岗斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素加权平均年龄分别为 (43.4 ± 0.4) Ma、(42.9 ± 0.3) Ma, 锆石形态、岩浆结晶振荡环带结构及元素含量特征均显示锆石的岩浆成因特点, 因此锆石 U-Pb 年龄可代表斑岩的岩浆结晶年龄。对于纳日贡玛铜矿的斑岩成岩年代学相关学者也进行了研究, 杨志明等 2008 年利用锆石 SHRIMP 法测试粗粒黑云母花岗斑岩年龄为 (43.3 ± 0.5) Ma^[8], 宋忠宝等 2011 年利用 LA-ICP-MS 测试的花岗闪长斑岩的年龄为

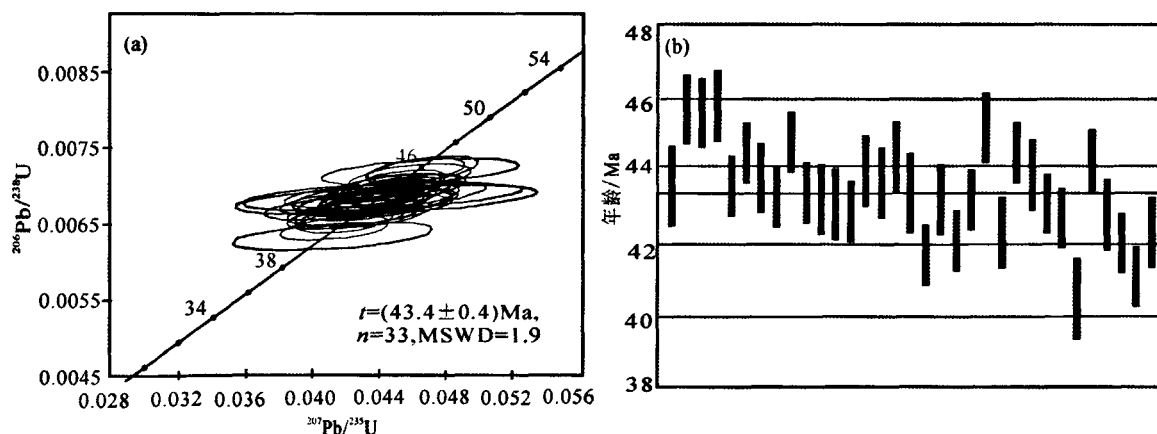


图 4 ZK004-536 锆石 U-Pb 谐和曲线图(a)和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄图(b)

Fig. 4 Diagrams of concordia (a) and weighted average age (b) for zircons from ZK004-536

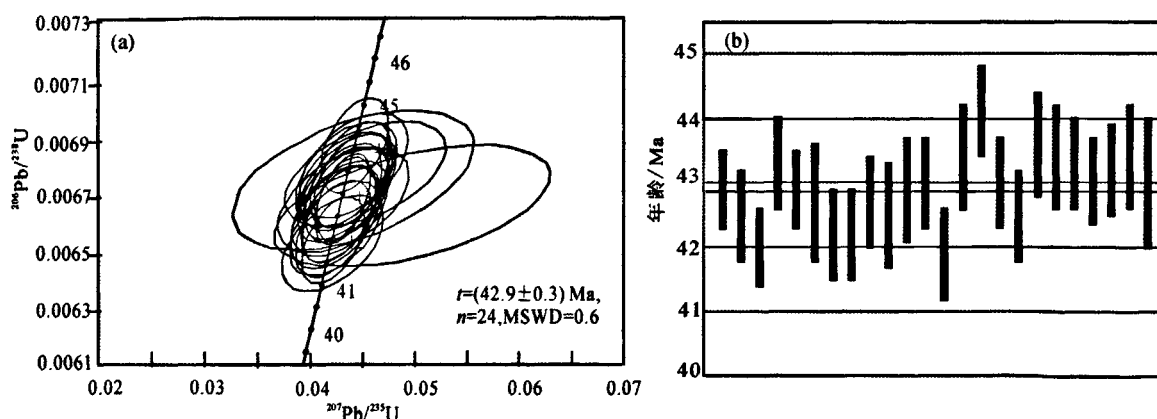


图 5 ZK805-348 锆石 U-Pb 谐和曲线图(a)和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄图(b)

Fig. 5 Diagrams of concordia (a) and weighted average age (b) for zircons from ZK805-348

(41.4 ± 0.2) Ma^[9], 与本次研究结果相一致, 因此纳日贡玛含矿斑岩体的侵位年代可精确地限定为新生代喜马拉雅期, 相当于中始新世。

同时, 本次工作也选取辉钼矿进行了 Re-Os 同位素定年工作, 1 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素模式年龄为 (40.8 ± 0.4) Ma, 与王召林等 2008 年的测试结果 (40.86 ± 0.85) Ma 是相同的^[7], 表明纳日贡玛岩浆活动约 2.6 Ma 后, 岩浆热液成矿流体开始产生成矿作用。在斑岩铜钼矿床的成矿系统中, 复杂的岩浆-热液活动可维持 1~10 Ma, 而多期次的岩浆活动可使其时限延长。成矿事件是较短时间内瞬时完成, 研究表明, 其成矿时限一般小于 1 Ma^[16-17], 但也有学者认为随着成矿时限的拉长反而更有利于生成大型/超大型的矿床^[18]。

4.2 构造背景

随着印度与欧亚板块的强烈碰撞, 导致三江北段始新世区域构造以陆内俯冲和逆冲-推覆-走滑活动为主, 以此来吸纳和调节印度与欧亚板块的碰撞应力应变的构造转换。青海三江北段大型走滑断裂包括车所右行走滑断裂、温泉右行走滑断裂、妥坝左行走滑断裂和囊谦左行走滑断裂带^[1, 19], 伴随上述走滑断裂系统, 形成贡觉、芒总、拉羌和囊谦等走滑拉分盆地, 侯增谦等 2003 年认识到印度与欧亚板块碰撞所诱发的走滑拉分系统控制了三江新生代含矿斑岩的分布^[20]。

越来越多的资料表明三江斑岩矿床的形成可能更与区域内构造机制的转换息息相关。Spurlin 等 2005 年通过玉树地区野外地质填图认为, 区域内经历了多次的走滑断裂构造机制的转换, 并识别出 51~37 Ma 经历了 2 次走滑断裂构造活动的转换, 第一次为 NW—SE 向的右行走滑断裂, 第二次则为 NW—SE 向的左行走滑断裂, 对应发育囊谦盆地和贡觉盆地内 51~49 Ma 和 42~37 Ma 两期火山岩^[21]; 后一年龄与 Hou 等 2003 年认为的 41 Ma 左右青藏高原东缘存在着一个应力集中释放, 发育走滑断裂并伴随一系列火成岩相一致^[1]。

因此, 在古新世—始新世期间因走滑断裂构造机制的转换, 区域地壳深大尺度的断裂引起经俯冲板块流体交代的壳幔过渡带的岩浆源区发生部分熔融, 形成含矿岩浆, 含矿岩浆在上升过程中混入了部分上地壳物质, 最终就位于断裂控制部位而成矿。

4.3 找矿意义

自青海到云南沿金沙江—红河断裂带近 3 000 km 范围内发育众多新生代斑岩型铜(钼)矿床, 其成岩年代集中于 43.3~34.6 Ma, 成矿年代集中于 40.8~33.9 Ma^[1, 7, 18, 22-24], 单一矿床成岩成矿年龄具有很好的吻合规律, 成岩-成矿年龄差基本在 2 Ma 左右; 同时三江成矿带钾质斑岩体的侵位及成矿年龄也表现出由北向南逐渐变新的规律^[7, 25], 其构造动力学背景被认为与三江成矿带走滑断裂的年龄由北向南逐渐变新有关^[26-28]。

在斑岩岩石学、矿物学、岩石地球化学等方面, 纳日贡玛与玉龙矿带含矿斑岩具有相似性^[5, 8], 从而认为纳日贡玛与玉龙矿带具有统一的源区, 受控于统一的动力学机制^[8]。因此可认为青海南部纳日贡玛与玉龙斑岩铜矿带具有明显的时空与构造成因关系, 为同一期构造作用的产物。通过深入的地质勘探工作, 三江北段斑岩铜钼矿还具有很大的找矿潜力。

5 结 论

纳日贡玛黑云母花岗斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素加权平均年龄分别为 (43.4 ± 0.4) Ma、(42.9 ± 0.3) Ma, 锆石形态、岩浆结晶振荡环带结构及元素含量特征均显示岩浆成因特点, 因此锆石 U-Pb 年龄可代表斑岩的侵位结晶年龄。纳日贡玛含矿斑岩体的侵位年代可精确地限定于新生代喜马拉雅期, 相当于中始新世。

1 件辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄为 (40.8 ± 0.4) Ma, 结合他人资料, 本文认为纳日贡玛岩浆开始侵位约 2.6 Ma 后, 岩浆热液成矿流体产生成矿作用。三江走滑断裂构造系统控制着斑岩矿床的分布, 青海三江北段斑岩铜钼矿还具有很大的找矿潜力。

致谢: 本次研究工作得到了中国地质大学(北京)同位素实验室苏犁副教授、于红硕士以及北京大学电子显微镜室陈莉老师的指导和帮助; 野外工作得到了青海省地质调查院王富春、王贵仁等高级工程师及其同仁的支持; 审稿人提出了宝贵的意见, 在此一并致以诚挚的谢意。

参考文献:

- [1] Hou Zengqian, Ma Hongwen, Zaw K, et al. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: produced by large-scale strike-slip faulting at Eastern Tibet [J]. *Economic Geology*, 2003, 98:

- 125–145.
- [2] Wang J H, Yin A, Harrison T, et al. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, 199: 123–133.
- [3] 姜耀辉, 蒋少涌, 戴宝章, 等. 玉龙斑岩铜矿含矿与非含矿斑岩元素和同位素地球化学对比研究 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(10): 2561–2566.
- [4] 陈建平, 唐菊兴, 陈勇, 等. 西南三江北段纳日贡玛铜铅矿床地质特征与成矿模式 [J]. *现代地质*, 2008, 22(1): 9–18.
- [5] 郝金华, 陈建平, 董庆吉, 等. 青海三江北段斑岩铜铅矿带含矿斑岩地球化学、Sr-Nd-Pb 同位素特征及地质意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2011, 30(3): 427–437.
- [6] 郝金华, 陈建平, 田永革, 等. 青海纳日贡玛斑岩铜(铅)矿含矿斑岩矿物学特征及成矿意义 [J]. *地质与勘探*, 2010, 46(3): 367–376.
- [7] 王召林, 杨志明, 杨竹森, 等. 纳日贡玛斑岩铜铅矿床: 玉龙铜矿带的北延: 来自辉钼矿 Re-Os 同位素年龄的证据 [J]. *岩石学报*, 2008, 24(3): 503–510.
- [8] 杨志明, 侯增谦, 杨竹森, 等. 青海纳日贡玛斑岩铜(铅)矿床: 岩石成因及构造控制 [J]. *岩石学报*, 2008, 24(3): 489–502.
- [9] 宋忠宝, 贾群子, 陈向阳, 等. 三江北段纳日贡玛花岗岩闪长斑岩成岩时代的确定及地质意义 [J]. *地球学报*, 2011, 32(2): 154–162.
- [10] 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等. 三江特提斯火山作用与成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1–267.
- [11] Andersen T. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192: 59–79.
- [12] Ludwig K R. Isoplot/Ex version 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel 2003 [M]. Berkely: Berkeley Geochronology Center, 2003: 1–70.
- [13] 胡培远, 李才, 苏犁, 等. 青藏高原羌塘中部蜈蚣山花岗岩片麻岩锆石 U-Pb 定年: 泛非与印支事件的年代学记录 [J]. *中国地质*, 2010, 37(4): 1050–1061.
- [14] Claesson S, Vetrin V, Bayanova T. U-Pb zircon ages from a Devonian carbonatite dyke, Kola Peninsula, Russia: a record of geological evolution from the Archean to the Paleozoic [J]. *Lithos*, 2000, 51: 95–108.
- [15] Hoskin P, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2000, 18: 423–439.
- [16] Sillitoe R H. Porphyry copper systems [J]. *Economic Geology*, 2010, 105: 3–41.
- [17] Sillitoe R H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum Pacific region [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1997, 44: 373–388.
- [18] 王登红, 应汉龙, 梁华英. 西南三江地区新生代大陆动力学过程与大规模成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1–208.
- [19] 刘增乾, 李兴振, 叶庆同, 等. 三江地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律 [M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1–248.
- [20] 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 等. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄: 成矿作用时限与动力学背景应用 [J]. *中国科学: D 辑*, 2003, 33(7): 609–618.
- [21] Spurlin M S, Yin A, Horton B K, et al. Structural evolution of the Yushu-Nangqian region and its relationship to syncollisional igneous activity, east-central Tibet [J]. *GSA Bulletin*, 2005, 117: 1293–1317.
- [22] 梁华英, 莫济海, 孙卫东, 等. 藏东玉龙超大型斑岩铜矿床成矿系统时间跨度分析 [J]. *岩石学报*, 2008, 24(10): 2352–2358.
- [23] 王成辉, 唐菊兴, 陈建平, 等. 西藏玉龙铜铅矿同位素年代学研究 [J]. *地质学报*, 2009, 83(10): 1445–1455.
- [24] 王登红, 屈文俊, 李志伟, 等. 金沙江—红河成矿带斑岩铜铅矿的成矿集中期: Re-Os 同位素定年 [J]. *中国科学: D 辑*, 2004, 34(4): 345–349.
- [25] Liang H Y, Campbell I H, Allen C, et al. $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ ratios and ages for Yulong ore-bearing porphyries in eastern Tibet [J]. *Mineralium Deposita*, 2006, 41: 152–159.
- [26] James D E, Sacks I S. Cenozoic formation of the Central Andes: a geophysical perspective [M] // Skinner B J. *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*. Special publication, Society of Economic Geologists, 1999: 1–25.
- [27] Leloup P H, Arnaud N, Lacassin R, et al. New constraints on the structure, thermochronology, and timing of the Ailao Shan-Red river shear zone, SE Asia [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106: 6683–6732.
- [28] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2000, 28: 211–280.