

吉林长安堡钼铜矿床含矿岩体锆石 U - Pb 年龄和 Hf 同位素组成

周毅^{1,2} 松权衡³ 张勇^{4*} 王岩⁴ 于城⁵(1. 吉林大学地球科学学院; 2. 国土资源实物地质资料中心; 3. 吉林省地质矿产勘查开发局;
4. 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室; 5. 吉林省地质调查院)

摘要: 长安堡斑岩型钼铜矿床是吉林中部地区新发现的一座大型矿床, 钼铜矿化与二长花岗岩密切相关。在矿床地质特征研究的基础上, 对含矿二长花岗岩开展了锆石 LA - ICP - MS U - Pb 年代学和 Hf 同位素研究, 获得了二长花岗岩成岩年龄为 $170.2 \text{ Ma} \pm 0.6 \text{ Ma}$, 与已获得的辉钼矿 Re - Os 加权平均年龄 ($168.0 \text{ Ma} \pm 1.0 \text{ Ma}$) 在误差范围内基本一致, 表明长安堡钼铜矿床成岩成矿作用发生于中侏罗世。锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 $7.0 \sim 10.08$, Hf 单阶段模式年龄 (t_{DM1}) 为 $417 \sim 542 \text{ Ma}$, 二阶段模式年龄 (t_{DM2}) 为 $570 \sim 768 \text{ Ma}$, 揭示矿区二长花岗岩源自新元古代亏损地幔中增生的新生地壳。成岩成矿作用与古太平洋板块俯冲作用相关。

关键词: LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 测年; Hf 同位素测年; 长安堡钼铜矿床; 吉林中部

中图分类号: TD 11 P 618.4

文章编号: 1001 - 1277(2016)07 - 0025 - 05

文献标志码: A

doi: 10. 11792/hj20160707

吉林省中部地区位于中国东北部陆缘、兴蒙造山带的东段。近年来, 随着地质勘查工作的深入, 在该地区相继发现了大型、中型及小型以钼为主的斑岩型矿床 20 余座, 已成为中国重要的钼矿资源地和被关注与研究的热点地区。前人先后对该区已发现的矿床开展了矿床地质和成矿年代学等方面的研究, 取得了丰硕的成果^[1-10]。

长安堡钼铜矿床位于吉林省舒兰市, 是近年新发现的一座大型斑岩钼铜矿床。但目前该矿床进行的科学研究较少, 前人仅对矿床地质特征和地球物理特征等方面进行了研究^[11-12], 对该矿床成岩年代学和地球化学方面的研究匮乏, 该问题已经严重制约了地质找矿工作的进展。本文在对矿床地质特征研究基础上, 对矿区含矿二长花岗岩开展了锆石 U - Pb 年代学和 Lu - Hf 同位素研究, 以期探讨岩体侵位时代和岩浆来源, 为进一步讨论吉林地区钼成矿作用和成矿规律研究提供了科学依据。

1 区域地质及矿床地质概况

长安堡钼铜矿床位于吉林省舒兰市, 大地构造位于吉黑褶皱系, 依兰—伊通、敦化—密山两条北东向展布的深大断裂带之间^[11]。区域地层不发育, 仅出露二叠系杨家沟组、第三系舒兰组、曲柳组及第四系。

侵入岩有二长花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩、石英二长斑岩等。区内构造主要有北西向新安—额穆断裂和北东向火石顶子—长安堡断裂, 北西向新安—额穆断裂带为本区的主要控岩控矿构造^[11]。

长安堡钼铜矿区出露地层较少, 仅见第四系沉积物。出露的侵入岩主要有二长花岗岩、碱长花岗岩等(见图 1)。钼矿体赋存于二长花岗岩中, 平面形态呈条带状, 东西向展布, 矿体长度 2 300 m, 平均宽约 1 000 m, 垂直延深 8 ~ 730 m。矿体中部厚度大, 向边部变薄分支呈参差状产出, 钼最高品位 1.16%, 平均品位 0.09%, 已探获钼金属量 16 万 t^[11]。钼矿石的结构主要有似斑状结构、斑状结构、半自形粒状结构等。矿石构造主要为细脉状、稀疏浸染状、网脉状及块状构造。铜矿体主要呈厚大透镜体状及脉状, 矿体长度约 1 000 m, 宽度为 80 ~ 480 m, 平均宽约 200 m, 厚度在 2.00 ~ 83.20 m, 平均厚约 40 m, 矿体上、下盘赋存有厚大石英脉, 矿体走向近东西向。最高可达 5.07%, 平均品位 0.52%, 探明铜金属量 2.73 万 t^[11]。铜矿石的结构主要为半自形—他形粒状结构、压碎结构等。矿石构造主要块状构造、细脉状构造和浸染状构造等。金属矿物有辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿等。脉石矿物主要为石英、黑云母、斜长石、绢云母等。围岩

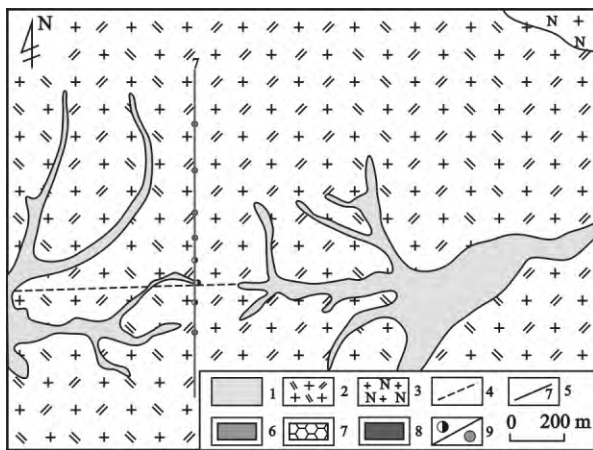
收稿日期: 2016 - 04 - 14

基金项目: 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室开放基金项目(ZS1404); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(K1503); 中国地质调查局项目(12120113092700, 12120114051401, 121201103000150003)

作者简介: 周毅(1984—), 男, 内蒙古包头人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事区域地质矿产研究; 河北省三河市燕郊开发区燕灵路 25 号, 国土资源实物地质资料中心, 065201; E-mail: Zhouboyixuan@163.com

* 通信作者, E-mail: yongzhangcc@163.com, 13810488811

蚀变主要有硅化、钾化、绢云母化、绿帘石化、高岭土化和碳酸盐化。



1—第四系沉积物 2—二长花岗岩 3—碱长花岗岩
4—推测断层 5—勘探线及编号 6—钨矿体 7—铜矿体
8—石英脉 9—铜钨矿钻孔/钨钨矿钻孔
图1 长安堡钨铜矿床地质简图

2 样品及分析方法

测试所需的样品采自矿区7号勘探线钻孔ZK7-3的二长花岗岩(14CAP-1)。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定在中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室完成, 锆石定年分析所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及 New wave UP213 激光剥蚀系统。锆石 U-

Pb 定年以锆石 GJ-1 为外标, 采样方式为单点剥蚀, 锆石年龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序获得。详细实验测试过程参见相关文献^[13]。锆石 Hf 同位素测试在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室利用 Neptune 接收器电感耦合等离子体质谱仪(MC-ICP-MS)和 New wave UP193FX 激光剥蚀系统完成, 实验以 He 作为载气, 激光束斑直径为 44 μm。仪器的运行条件及详细的分析过程可参见文献[14]。

3 测试结果

3.1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄

所分离的单颗粒锆石外形主要呈柱状和粒状, 部分锆石内部见细小包裹体, 阴极发光图像(CL)显示, 所有内部均具有明显的成分生长环带构造, 具岩浆结晶形成的锆石属性。

本次获得的实验数据结果见表1。由表1可知: 二长花岗岩20个分析点 $w(\text{Th})$ 和 $w(\text{U})$ 分别为 $91.9 \times 10^{-6} \sim 521.3 \times 10^{-6}$ 和 $125.5 \times 10^{-6} \sim 574.5 \times 10^{-6}$; 锆石 Th/U 值为 0.47 ~ 1.45, 介于 0.41 ~ 0.75, 指示岩浆锆石特征。14CAP-1 样品中 20 个分析测试点的测试年龄值为 167.05 ~ 172.75 Ma, 20 个点的谐和年龄为 $170.2 \text{ Ma} \pm 0.6 \text{ Ma}$ ($MSWD=0.02$) (见图2), 加权平均计算年龄为 $170.2 \text{ Ma} \pm 1.6 \text{ Ma}$ 。加权平均年龄与谐和年龄完全一致, 进一步说明了本次测定结果的可靠性。

表1 长安堡钨铜矿床锆石 LA-ICP-MS 法 U-Pb 测年结果

分析点	^{232}Th	^{238}U	$w(\text{Th}) / w(\text{U})$	$^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb} / ^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$	1σ
14CAP-1-1	141.4	298.7	0.47	0.049 80	0.005 2	0.179 25	0.019 2	0.026 25	0.000 7	167.05	4.39
14CAP-1-2	176.2	314.7	0.56	0.049 55	0.005 8	0.184 36	0.021 1	0.027 04	0.000 6	172.01	3.79
14CAP-1-3	192.5	216.7	0.89	0.051 83	0.005 1	0.180 96	0.017 3	0.026 44	0.000 6	168.20	3.71
14CAP-1-4	156.6	163.6	0.96	0.047 48	0.005 4	0.181 38	0.026 5	0.026 58	0.000 7	169.13	4.55
14CAP-1-5	512.3	354.2	1.45	0.051 29	0.011 4	0.182 41	0.037 7	0.026 78	0.001 1	170.34	6.84
14CAP-1-6	138.7	172.9	0.80	0.051 06	0.004 2	0.182 66	0.014 4	0.026 90	0.000 6	171.10	3.86
14CAP-1-7	181.5	377.6	0.48	0.050 76	0.004 0	0.182 64	0.013 4	0.026 75	0.000 5	170.16	3.26
14CAP-1-8	298.9	514.8	0.58	0.049 65	0.005 5	0.180 36	0.019 2	0.026 47	0.000 5	168.43	2.86
14CAP-1-9	410.1	565.2	0.73	0.049 65	0.004 3	0.182 57	0.015 3	0.026 79	0.000 5	170.43	2.83
14CAP-1-10	294.4	473.3	0.62	0.050 04	0.002 9	0.182 85	0.010 4	0.026 72	0.000 5	169.98	2.83
14CAP-1-11	232.9	211.3	1.10	0.048 43	0.005 7	0.182 41	0.022 0	0.026 98	0.000 6	171.63	3.61
14CAP-1-12	211.4	414.9	0.51	0.050 50	0.002 6	0.184 37	0.009 4	0.026 89	0.000 4	171.04	2.74
14CAP-1-13	358.3	574.5	0.62	0.049 94	0.002 9	0.183 63	0.010 3	0.026 82	0.000 5	170.60	3.06
14CAP-1-14	207.5	377.2	0.55	0.050 13	0.004 0	0.181 38	0.013 4	0.026 70	0.000 4	169.88	2.80
14CAP-1-15	179.5	226.4	0.79	0.049 25	0.003 5	0.180 99	0.013 3	0.026 67	0.000 5	169.70	3.10
14CAP-1-16	91.9	125.5	0.73	0.052 94	0.007 7	0.182 02	0.024 0	0.026 67	0.000 9	169.64	5.65
14CAP-1-17	327.6	530.8	0.62	0.049 75	0.004 2	0.182 63	0.014 6	0.026 79	0.000 6	170.41	3.47
14CAP-1-18	117.7	151.8	0.78	0.047 16	0.009 4	0.182 32	0.044 1	0.027 05	0.002 3	172.06	14.23
14CAP-1-19	240.8	469.5	0.51	0.049 37	0.013 9	0.182 78	0.047 9	0.027 16	0.000 6	172.75	3.50
14CAP-1-20	258.3	517.7	0.50	0.049 47	0.004 4	0.179 00	0.016 6	0.026 34	0.001 3	167.61	8.07

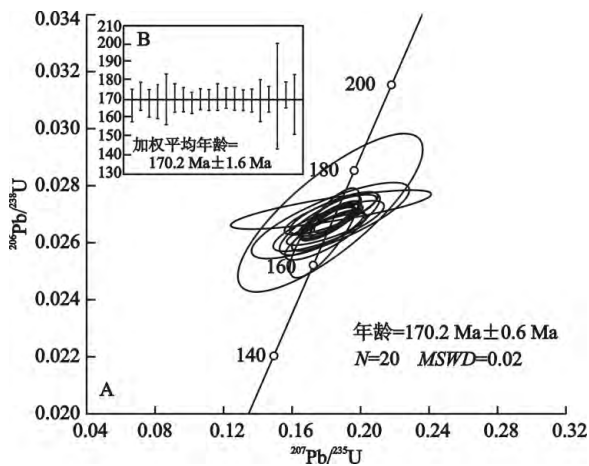


图2 长安堡钼铜矿床二长花岗岩中锆石 U - Pb 年龄

3.2 Hf 同位素特征

二长花岗岩锆石 Hf 同位素分析结果见表 2。表 2

数据显示, 锆石的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 值均小于 0.002 0, 说明锆石在形成以后具有很少的放射成因 Hf 的积累, 测定的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值可以代表其形成时 Hf 同位素组成^[15]。二长花岗岩 $f_{\text{Lu}/\text{Hf}}$ 值皆为 -0.98, 明显小于镁铁质地壳的 $f_{\text{Lu}/\text{Hf}}$ (-0.34)^[16] 和硅铝质地壳的 $f_{\text{Lu}/\text{Hf}}$ (-0.72)^[17], 故二阶段模式年龄更能反映其源区物质从亏损地幔被抽取的时间。

样品 14CAP - 1 共分析了 18 个点(见表 2)。从表 2 可见: 锆石 Hf 同位素成分比较均一, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值变化于 0.282 867 ~ 0.282 954, 锆石计算出来的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值变化于 7.0 ~ 10.1, 均值为 8.57; Hf 单阶段模式年龄 (t_{DM1}) 为 417 ~ 542 Ma, 二阶段模式年龄 (t_{DM2}) 变化于 570 ~ 768 Ma, 平均为 669 Ma。

表 2 二长花岗岩锆石 Hf 同位素组成

测点号	年龄/Ma	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\epsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	t_{DM1}/Ma	t_{DM2}/Ma	$f_{\text{Lu}/\text{Hf}}$
1	170.2	0.013 396	0.000 574	0.282 890	4.2	7.9	507	715	-0.98
2	170.2	0.016 217	0.000 666	0.282 937	5.8	9.5	442	609	-0.98
3	170.2	0.013 642	0.000 565	0.282 934	5.7	9.4	446	616	-0.98
4	170.2	0.014 292	0.000 586	0.282 954	6.4	10.1	417	570	-0.98
5	170.2	0.018 427	0.000 700	0.282 909	4.8	8.5	482	673	-0.98
6	170.2	0.020 631	0.000 810	0.282 942	6.0	9.7	437	599	-0.98
7	170.2	0.017 106	0.000 720	0.282 898	4.5	8.1	498	698	-0.98
8	170.2	0.014 642	0.000 560	0.282 898	4.4	8.1	497	698	-0.98
9	170.2	0.013 774	0.000 576	0.282 890	4.2	7.8	507	715	-0.98
10	170.2	0.018 599	0.000 751	0.282 920	5.2	8.9	467	648	-0.98
11	170.2	0.014 669	0.000 618	0.282 905	4.7	8.4	486	681	-0.98
12	170.2	0.018 081	0.000 661	0.282 870	3.5	7.1	537	761	-0.98
13	170.2	0.018 085	0.000 692	0.282 912	4.9	8.6	478	666	-0.98
14	170.2	0.017 425	0.000 672	0.282 918	5.2	8.8	469	652	-0.98
15	170.2	0.015 459	0.000 648	0.282 908	4.8	8.5	482	674	-0.98
16	170.2	0.019 104	0.000 757	0.282 937	5.8	9.5	444	611	-0.98
17	170.2	0.016 920	0.000 657	0.282 867	3.4	7.0	541	768	-0.98
18	170.2	0.018 572	0.000 741	0.282 903	4.6	8.3	491	687	-0.98

注: $\epsilon_{\text{Hf}}(0) = ((^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{s}} / (^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{CHUR}} - 1) \times 10\,000$; $f_{\text{Lu}/\text{Hf}} = (^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{s}} / (^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{CHUR}} - 1$; $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 计算采用的 ^{176}Lu 的衰变常数为 $1.865 \times 10^{-11} \text{ year}^{-1}$ ^[18]; $(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_{\text{s}}$ 和 $(^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf})_{\text{s}}$ 为样品测定值, 球粒陨石 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值为 0.282 772, $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 值为 0.033 2^[19]; 一阶段模式年龄 (t_{DM1}) 采用 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值为 0.283 25 和 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 值为 0.038 4 计算^[20], 二阶段 Hf 模式年龄 (t_{DM2}) 采用平均大陆壳 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 值为 0.015 计算^[21]。

4 讨论

4.1 长安堡钼铜矿床成矿时代

本文利用高精度的锆石 LA - ICP - MS U - Pb 进行定年研究, 获得与成矿密切相关的二长花岗岩谐和年龄为 170.2 Ma ± 0.6 Ma, 加权平均计算年龄为 170.2 Ma ± 1.6 Ma; 所测岩石中锆石的 CL 图像特征及 Th/U 值显示, 锆石均为岩浆锆石, 所测的年龄可以代表岩浆侵位结晶年龄。矿床辉钼矿加权平均值

为 168.0 Ma ± 1.0 Ma, 等时线年龄为 168.0 Ma ± 6.2 Ma(待刊), 与成岩年龄在误差范围内一致, 显示了成岩与成矿均发生在中侏罗世。

吉林省中部地区钼矿床在成岩成矿年代方面已取得了一定的进展。从获得大黑山斑岩型钼矿床 (168.7 Ma ± 3.1 Ma)^[7]、杏山斑岩型钼矿床 (167.3 Ma ± 2.5 Ma)^[9]、季德屯斑岩型钼矿床 (168 Ma ± 2.5 Ma)^[6]、福安堡斑岩型钼矿床 (166.9 Ma ± 6.7 Ma)^[1]、后倒木斑岩型钼矿床 (167.5 Ma ±

1.2 Ma)^[6]、刘生店斑岩型钼矿床 (168.7 Ma ± 1.4 Ma)^[7]、双山斑岩型钼矿床 (171.6 Ma ± 1.6 Ma)^[7]、三岔斑岩型钼矿床 (183.1 Ma ± 1.8 Ma)^[7]、大石河斑岩型钼矿床 (187 Ma ± 5 Ma)^[4]、大冰湖沟斑岩型钼矿床 (192 Ma ± 3 Ma)^[22]、石人沟石英脉型钼矿床 (169.5 Ma ± 1.1 Ma)^[5]、东风石英脉型钼矿床 (196.6 Ma ± 2.5 Ma)^[23] 的辉钼矿和锆石 U-Pb 年龄来看, 指示该区的钼矿床成矿主要发生在早—中侏罗世 (196 ~ 167 Ma)。Zhang Y 等^[6] 对东北地区已有的花岗岩年龄数据进行统计和分析, 显示研究区中生代存在 200 ~ 160 Ma、150 ~ 135 Ma 和 135 ~ 100 Ma 3 期岩浆活动, 同样中生代钼成矿作用可分为早—中侏罗世 (202 ~ 165 Ma)、晚侏罗世—早白垩世早期 (154 ~ 130 Ma)、早白垩世中期 (114 ~ 111 Ma) 3 期, 区域岩浆活动与成矿在时序上有很好的对应性^[6], 且通过研究确认吉林地区中生代大规模的成岩成矿作用与中生代太平洋板块俯冲有关^[3 5 8 24-27]。基于前人对花岗岩的研究和本次研究成果, 笔者认为长安堡钼铜矿床含矿二长花岗岩形成与太平洋板块俯冲欧亚大陆有关, 伴随着强烈的岩浆活动相伴, 发生了钼铜矿化作用。

4.2 岩浆源区及其指示意义

一般认为具有正 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值的花岗质岩石来自亏损地幔或从亏损地幔中新生的年轻地壳物质的部分熔融^[26]。本次实验获得二长花岗岩的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 7.0 ~ 10.1, 均值为 8.57; 二阶段模式年龄 (t_{DM2}) 变化于 570 ~ 768 Ma, 平均为 669 Ma。在 Hf 同位素图解上 (见图 3) 样品分布在亏损地幔和球粒陨石演化线之间的区域。所以, 长安堡钼铜矿床花岗质岩体的岩浆源区主要为新元古代从亏损地幔中增生的新生地壳, 这一认识与 Sr-Nd 同位素特征相一致^[8]。长安堡钼铜矿床二长花岗岩的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值与吉林地区杏山钼矿床和大黑山钼矿床花岗岩类似^[9-10]; 杏山钼矿床花岗质岩石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 6.2 ~ 11.6, 二阶段模式年龄为 473 ~ 826 Ma; 大黑山钼矿床侵入杂岩 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 4.4 ~ 10.9。以上研究表明, 吉林地区钼矿床成岩物质主要来源于中—新元古代的新生地壳。

5 结论

1) 长安堡钼铜矿床金属矿物主要为辉钼矿和黄铜矿, 围岩蚀变主要有硅化、钾化、绢云母化、绿帘石化、高岭土化和碳酸盐化。其中, 硅化、绢云母化与矿化关系密切, 矿化蚀变具有典型的斑岩型矿床的特征。

2) 长安堡钼铜矿床含矿二长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和年龄为 170.2 Ma ±

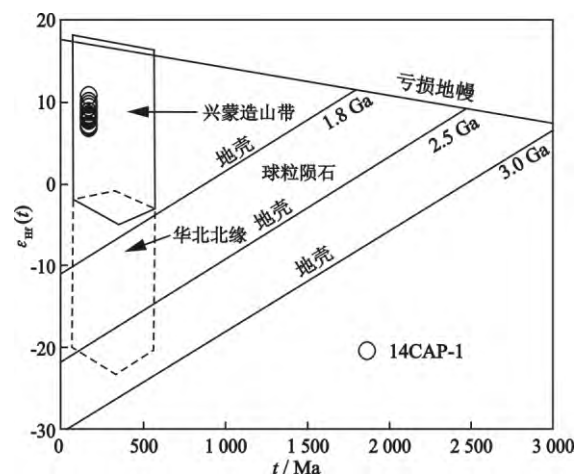


图3 长安堡钼铜矿床二长花岗岩 Hf 同位素图解^[24]

0.6 Ma, 加权平均年龄为 170.2 Ma ± 1.6 Ma, 表明长安堡钼铜矿床二长花岗岩的侵位时代为中侏罗世, 形成与中生代太平洋板块俯冲作用有关。

3) 二长花岗岩中锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为 7.0 ~ 10.1, 二阶段模式年龄 (t_{DM2}) 为 570 ~ 768 Ma, 表明长安堡钼铜矿床花岗质岩体的岩浆源区主要为新元古代从亏损地幔中增生的新生地壳。

[参考文献]

- [1] 李立兴, 松权衡, 王登红, 等. 吉林福安堡钼矿中辉钼矿铼-钨同位素定年及成矿作用探讨[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 283-287.
- [2] 王辉, 任云生, 赵华雷, 等. 吉林安图刘生店钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其地质意义[J]. 地球学报, 2011, 32(6): 707-715.
- [3] 孙景贵, 张勇, 邢树文, 等. 兴蒙造山带东缘内生钼矿床的成因类型、成矿年代及成矿动力学背景[J]. 岩石学报, 2012, 28(4): 1317-1332.
- [4] 鞠楠, 任云生, 王超, 等. 吉林敦化大石河钼矿床成因与辉钼矿 Re-Os 同位素测年[J]. 世界地质, 2012, 31(1): 68-76.
- [5] Zeng Q D, Liu J M, Chu S X, et al. Mesozoic molybdenum deposits in the East Xingmeng orogenic belt, northeast China: characteristics and tectonic setting[J]. International Geology Review, 2012, 54(16): 1843-1869.
- [6] Zhang Y, Sun J G, Chen Y J, et al. Re-Os and U-Pb geochronology of porphyry Mo deposits in central Jilin Province: Mo ore-forming stages in NE China[J]. International Geology Review, 2013, 55(14): 1763-1785.
- [7] Zhang Y, Sun J G, Xing S W, et al. Geochronology and metallogenesis of porphyry Mo deposits in east-central Jilin province, China: Constraints from molybdenite Re-Os isotope systematics[J]. Ore Geology Review, 2015, 71: 363-372.
- [8] Zhang Y, Sun J G, Xing S W, et al. Ore-forming granites from Jurassic porphyry Mo deposits, east-central Jilin Province, China: Geochemistry, geochronology and petrogenesis[J]. International Geology Review, 2016, 58(9): 1158-1174.
- [9] Zhou L L, Zeng Q D, Liu J M, et al. Geochronology of the Kingshan molybdenum deposit, Jilin Province, NE China, and its Hf isotope significance[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 75(8):

- 58-70.
- [10] Zhou L L, Zeng Q D, Liu J M, et al. Geochronology of magmatism and mineralization of the Daheishan giant porphyry molybdenum deposit, Jilin Province, Northeast China: constraints on ore genesis and implications for geodynamic setting [J]. *International Geology Review* 2014, 56(8): 929-953.
- [11] 王立群, 李明涛, 张旭, 等. 吉林省舒兰市长安堡大型铜钼矿床地质特征及物、化探异常查证效果 [J]. *吉林地质*, 2013, 32(2): 40-45.
- [12] 张剑, 杨言辰, 尹成伟. 吉林省舒兰市长安堡铜钼矿床地质特征及找矿意义 [J]. *吉林地质* 2013, 32(1): 63-66.
- [13] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术 [J]. *矿床地质* 2009, 28(4): 481-492.
- [14] Wu F Y, Yang Y H, Xie L W. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U-Pb geochronology [J]. *Chemical Geology* 2006, 231(1/2): 105-126.
- [15] 吴福元, 李献华, 郑永飞, 等. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用 [J]. *岩石学报* 2007, 23(2): 185-220.
- [16] Amelin Y, Lee D C, Halliday A N. Early-Middle Archaean crustal evolution deduced from Lu-Hf and U-Pb isotopic studies of single zircon grains [J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 2000, 64(24): 4205-4225.
- [17] Vervoort J D, Pachelts P J, Gehrels G E, et al. Constraints on early earth differentiation from hafnium and neodymium isotopes [J]. *Nature* 1996, 379: 624-627.
- [18] Scherer E E, Munker C, Mezger K. Calibration of the Lutetium-Hafnium clock [J]. *Science* 2001, 293: 683-687.
- [19] Blichert-Toft J, Albarède F. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle-crust system [J]. *Earth and Planetary Science Letters* 1997, 148(1/2): 243-258.
- [20] Vervoort J D, Blichert-Toft J. Evolution of the depleted mantle: Hf isotope evidence from juvenile rocks through time [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1999, 63(3/4): 533-556.
- [21] Griffin W L, Pearson N J, Belousova E, et al. The Hf isotope composition of cratonic mantle, LA-MC-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlites [J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 2000, 64(1): 133-147.
- [22] 邱新, 毕小刚, 贾海明, 等. 蛟河地区前进岩体锆石 U-Pb 年龄及其与吉中一延边地区钼矿成矿作用的关系 [J]. *吉林地质*, 2011, 30(4): 25-28.
- [23] 张勇, 孙景贵, 邢树文, 等. 延边天宝山多金属矿田辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义 [J]. *矿床地质*, 2013, 32(2): 427-435.
- [24] Yang J H, Wu F Y, Shao J A, et al. Constraints on the timing of uplift of the Yanshan fold and thrust belt, North China [J]. *Earth and Planetary Science Letters* 2006, 246(3/4): 336-352.
- [25] 张艳斌. 延边地区花岗岩岩浆活动的同位素地质年代学格架 [D]. 长春: 吉林大学, 2002.
- [26] 隋振民, 葛文春, 吴福元, 等. 大兴安岭东北部侏罗纪花岗岩岩体的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因 [J]. *岩石学报*, 2007, 23(2): 461-480.
- [27] Wu F Y, Sun D Y, Ge W C, et al. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences* 2011, 41(1): 1-30.

Zircon U-Pb ages and Hf isotope composition of the ore-bearing intrusion from the Chang'anpu Mo-Cu Deposit, Jilin Province

Zhou Yi^{1,2}, Song Quanheng³, Zhang Yong⁴, Wang Yan⁴, Yu Cheng⁵

(1. College of Earth Sciences, Jilin University; 2. Cores and Samples Center of Land Resources;

3. Jilin Bureau of Geology and Mineral Resources;

4. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS;

5. Institute of Geological Survey of Jilin Province)

Abstract: Chang'anpu Mo-Cu deposit is a large-scale porphyry deposit newly discovered in central Jilin Province. The mineralization of copper and molybdenum is closely related to monzogranite. On the basis of research on deposit geological features, the paper conducted a study of LA-ICP-MS zircon U-Pb dating combined with a Hf isotope analysis. The analysis results show that the zircon U-Pb ages of the monzogranite is $170.2 \text{ Ma} \pm 0.6 \text{ Ma}$, which is consistent with the previous molybdenite Re-Os weighted mean age ($168.0 \text{ Ma} \pm 1.0 \text{ Ma}$) within error. It is indicated that the Chang'anpu Mo-Cu deposit was formed in the Middle Jurassic. The $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ value of the zircon is 7.0 to 10.08. The Hf single and two stage mode ages are 417 Ma to 542 Ma and 570 Ma to 768 Ma respectively. These data imply that the monzogranite in the mineralization zone originated from the growing juvenile crust in the depleted mantle in Neoproterozoic. Considering the regional tectonic background, the paper thinks that the magmatism and mineralization are probably related to subduction of the paleo-Pacific Plate.

Keywords: zircon U-Pb dating of LA-ICP-MS; Hf isotopic dating; Chang'anpu Mo-Cu deposit; central Jilin Province

(编辑: 宿晓静)