

doi:10.3799/dqkx.2013.024

吉林红旗岭镍矿田茶尖岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其意义

郝立波, 孙立吉, 赵玉岩*, 陆继龙

吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林长春 130021

摘要: 茶尖1号岩体是茶尖矿床主要成矿岩体,其岩相组合为辉石橄榄岩、橄榄辉石角闪岩、角闪辉岩、辉长岩和闪长伟晶岩。辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果表明,茶尖镁铁-超镁铁岩的形成时代为 239.6 ± 2.6 Ma,属于印支期。结合红旗岭矿田已有年代学数据显示,红旗岭矿田成矿岩体形成时代具有由西南至东北依次变新的趋势。茶尖1号岩体的形成年龄明显早于红旗岭成矿岩体,矿床形成年龄差最大可达 20 Ma,红旗岭矿区的镁铁-超镁铁岩浆的活动时间应开始于 240 Ma 之前且持续时间较长。茶尖矿床1号岩体中发现的捕获锆石核年龄为 1.7 Ga 和 0.6 Ga,为镁铁-超镁铁岩浆混入地壳物质提供了直接证据。捕获锆石年龄与华北地台新元古代和中元古代构造-热事件相对应,表明其来源为华北地台基底。

关键词: 辉长岩;地质年代学;镁铁-超镁铁岩;茶尖矿床。

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2013)02-0233-08

收稿日期: 2012-06-25

SHRIMP Zircon U-Pb Dating of Chajian Mafic-Ultramafic Rocks in Hongqiling Mine Field, Jilin Province, and Its Implications

HAO Li-bo, SUN Li-ji, ZHAO Yu-yan*, LU Ji-long

College of Geoeexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130021, China

Abstract: Chajian No. 1 rock mass is the main ore-forming rock mass in Chajian deposit, its lithofacies include pyroxene-peridotite, olivine-pyroxene-amphibolite, Hornblende-pyroxenite, gabbro and diorite-pegmatite. The results of gabbro zircon SHRIMP U-Pb dating show that mafic-ultramafic rock masses formed in the Late Triassic and the age is 239.6 ± 2.6 Ma. The existing age data of mafic-ultramafic rocks indicate that the formation age of the rock masses become new in turn from southwest to northeast. The formation age of Chajian No. 1 rock mass is earlier than that of Hongqiling rock mass significantly, age difference between them can reach 20 Ma. Mafic-ultramafic magmatism activities in Hongqiling district began before 240 Ma and lasted for a long time. The finding of 1.7 Ga and 0.6 Ga zircon cores is direct evidence of magma mixed with crustal material. The ages of captured zircons are corresponding with those of Neoproterozoic and Mesoproterozoic tectonic heat events in the North China Platform, suggesting that their origin is North China platform basement.

Key words: gabbro; geochronology; mafic-ultramafic rocks; Chajian deposit.

吉林红旗岭矿田是中国第二大铜镍硫化物矿集区,主要由红旗岭矿床、茶尖矿床和三道岗矿床三部分组成。虽然茶尖矿床是红旗岭矿田重要组成部分,但是其研究程度相对较低。目前,仅有少数学者对茶尖镁铁-超镁铁地质特征和地球化学特征方面进行了研究(周树亮等,2009,2010;曹希英等,2011),而

对镁铁-超镁铁岩的形成时代,前人认为其形成于华力西期(陈子诚,1991),但未见相关的年代学数据报道。这在一定程度上制约了对茶尖矿床乃至红旗岭矿田成岩成矿机理和构造演化的深入认识。本文对茶尖镁铁-超镁铁岩开展锆石 SHRIMP U-Pb 定年,确定了茶尖1号岩体的形成时代,旨在为研究

基金项目: 全国危机矿山接替资源找矿项目(No. 20089941);深部探测技术与实验研究专项(No. SinoProbe-04-05-02)。

作者简介: 郝立波(1961—),男,教授,博士生导师,主要从事地球化学研究工作。E-mail: aolb@tom.com

* **通讯作者:** 赵玉岩, E-mail: zhaoyuyan@jlu.edu.cn

红旗岭矿田镁铁—超镁铁岩浆时空演化规律及成矿机理提供高精度的年代学数据支持。

1 地质概况

茶尖矿床位于红旗岭铜镍矿床西南侧约10 km (图 1),地处兴安—蒙古造山带东部,中朝准地台与天山—兴安地槽区交汇处。茶尖矿区出露地层主要为下二叠统寿山沟组碎屑岩系。矿区现已发现 20 余个镁铁—超镁铁岩体,其形成和分布受控于辉发河断裂的次级 NW 向断裂,岩体规模均较小,大部分呈串珠状、岩墙状或透镜状产出。矿区自西南至东北划分为 3 个岩带:I 岩带分布有 8、9 号岩体;II 岩带

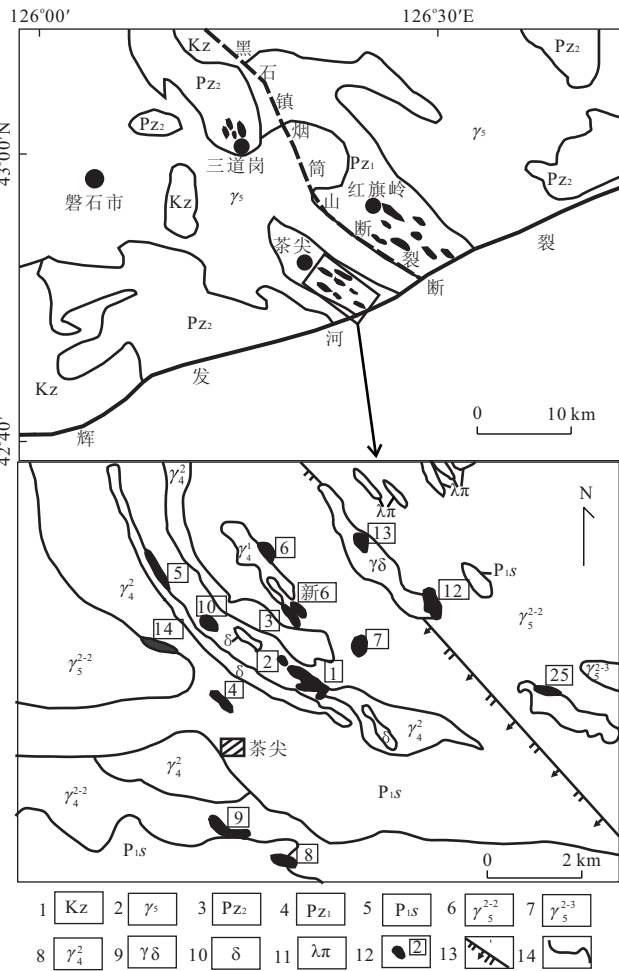


图 1 红旗岭矿田地质简图(据 Wu et al., 2004 修改)
Fig. 1 Simplified geological map of Hongqiling orefield
1. 中新世盖层;2. 中生代花岗岩;3. 晚古生代地层;4. 早古生代地层;5. 石榴石片岩、红柱石片岩;6. 燕山早期花岗岩、白岗质花岗岩;7. 燕山晚期花岗岩;8. 海西期花岗岩;9. 花岗闪长岩;10. 闪长岩;11. 石英斑岩;12. 镁铁—超镁铁质岩体及编号;13. 正断层;14. 不整合界线

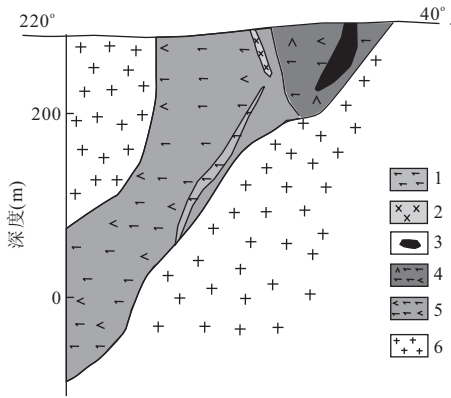


图 2 茶尖矿床 1 号岩体 22.5 线剖面
Fig. 2 Profile of No. 1 rock mass along exploration line 22.5 in the Chajian ore district
1. 辉长岩;2. 辉绿岩;3. 铜镍矿体;4. 橄榄辉石角闪岩;5. 角闪辉岩;6. 花岗岩

分布有 1、2、14、10、5 号等岩体;III 岩带分布有 3、6、7 号以及新 6 号等岩体。其中含矿性较好的岩体主要有 1、9、12 和新 6 号岩体。

1 号岩体是茶尖矿床的典型成矿岩体,位于茶尖矿区的后水—茶尖—南水对称向斜构造东翼。岩体地表出露的岩相为辉长岩和闪长伟晶岩,出露长度为 565 m,宽 150~250 m,长轴方向为 315°。平面上呈北窄南宽的被断层切割的不规则椭圆形,剖面上为上宽下窄,倾向 SW 的楔形体,纵向上自北向南延深增大,达到 250 余米(图 2)。长:宽:深的比例为 25:1:1。岩体具有明显的岩相分带,岩相组合为辉石橄榄岩、橄榄辉石角闪岩、角闪辉岩、辉长岩、闪长伟晶岩,各岩相间为渐变过渡的接触关系。岩相间自上而下,自中心至边缘,岩体的基性程度逐渐增高,具有明显的分异现象。铜镍矿体呈透镜状赋存于岩体中,主要在橄榄辉石角闪岩和角闪辉岩中,矿体产状与岩体一致,长度约 100 m,从矿体两端至中部厚度变化于 1~30 m。常见的矿石类型为海绵陨铁状矿石、浸染状矿石、脉状矿石以及斑点状矿石,其金属矿物主要为镍黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿。

2 岩石学特征

茶尖 1 号成矿岩体的岩相类型有辉石橄榄岩、橄榄辉石角闪岩、角闪辉岩、辉长岩和闪长伟晶岩,主要岩石类型的岩石学特征如下:(1)辉石橄榄岩。粒状变晶结构,块状构造。主要矿物为单斜辉石(25%~35%)、橄榄石(60%~70%)和硫化物(5%~10%)。单斜辉石

呈半自形柱状—他形粒状,轻微的次闪石化。(2)橄榄辉石角闪岩。粒状纤状变晶结构,交代蚕蚀结构,块状构造。主要矿物为单斜辉石(25%~30%)、角闪石(50%~60%)、橄榄石(15%~20%)。单斜辉石呈自形柱状—他形粒状,部分已经发生次闪石化。次闪石呈细粒纤状集合体,由辉石蚀变而成,可保留辉石晶形,吸收性明显。角闪石呈半自形柱状—他形粒状,部分发生黑云母化,两组斜交解理。橄榄石蚀变相对较弱,裂纹多。(3)角闪辉岩。粒状纤状变晶结构,交代蚕蚀结构,块状构造。主要矿物为单斜辉石(70%~80%)、斜方辉石(10%~15%)和角闪石(5%~10%)。单斜辉石呈半自形柱状—他形粒状,部分已经发生次闪石化,残留颗粒。斜方辉石呈他形粒状,多已蚀变,残留辉石解理完全。角闪石呈半自形柱状—他形粒状,见有黑云母化,黑云母沿角闪石晶体边缘或表面分布,多色性明显。(4)辉长岩。粒状变晶结构,块状构造。主要矿物为单斜辉石(15%~25%)、斜方辉石(15%~20%)、斜长石(55%~70%)。单斜辉石为半自形柱状—他形粒状,蚀变相对较弱。无色或浅褐色,吸收性明显,斜消光,负延性,干涉色二级蓝绿,可见简单双晶和复式双晶。斜方辉石为半自形柱状—他形粒状,多数已经发生蚀变,只有个别颗粒部分残留,解理完全,平行消光。斜长石为他形粒状,蚀变相对较弱,无色,低突起,可见聚片双晶。(5)闪长伟晶岩。粒状变晶结构,伟晶结构,块状构造。主要矿物为角闪石(60%~70%)、斜长石(30%~40%)。角闪石呈半自形柱状—他形粒状,粒度较大。斜长石呈粗粒半自形—他形晶体,见有轻微的绢云母化。

3 样品的采集与描述

测试样品 CJ01-1T 采自茶尖 1 号岩体中上部

的辉长岩(图 3a),采样量约为 15 kg。岩相学研究表明,辉长岩为粒状纤状变晶结构,块状构造。主要的矿物组成为单斜辉石(约 20%, $\text{Wo}_{41.1}\text{En}_{50.7}\text{Fs}_{8.2}$),半自形柱状—他形粒状;斜方辉石(约 15%, $\text{Wo}_{3.3}\text{En}_{84.5}\text{Fs}_{15.7}$),半自形柱状;斜长石(约 60%, $\text{An}=39$),分为粗粒半自形晶体和细粒他形晶体,可见聚片双晶;金属矿物约 5%,他形粒状或不规则状分布在其他矿物颗粒裂隙之间(图 3b)。样品 CJ01-1T(辉长岩)的锆石具金刚光泽,双锥柱状,无色或淡黄色,透明一半透明,粒度为 0.05~0.30 mm,多数在 0.30 mm 左右,锆石长宽比多为 1:2~1:3,少数为 1:1 或 4:1。部分锆石晶体内有暗色矿物或气、液包体,多具熔蚀坑,可见呈熔蚀状,但不强烈,主要表现为锥体两端和晶棱有少部分熔蚀。

4 测试过程

原岩经破碎→淘洗→磁选后选出锆石,再经双目镜下挑选表面干净、无裂隙且无包体的锆石制靶并抛光,然后进行镜下反射光、透射光照相和阴极发光(CL)分析,最后镀金以备测试。详细的 SHRIMP U-Pb 分析原理及流程参见 Compston *et al.* (1992) 或宋彪等(2006)的相关描述。在测定过程中,锆石样品和置于同一样品靶上的澳大利亚地调局标准锆石 TEM (417 Ma)的测定交替进行,每测定 3~4 个样品点,测定 1 次标准锆石。每次分析记录 5 次扫描的平均值。应用澳大利亚地调局标准锆石 TEMORA (417 Ma)进行元素之间的分馏校正。Pb/U 校正公式采用 $\text{Pb}/\text{U} = A(\text{UO}/\text{U})^2$ (Claoue-Long *et al.*, 1995)。应用置于调试靶上的另一标准锆石 SL13(年龄为 572 Ma, U 含量为 238×10^{-6})标定锆石的 U、

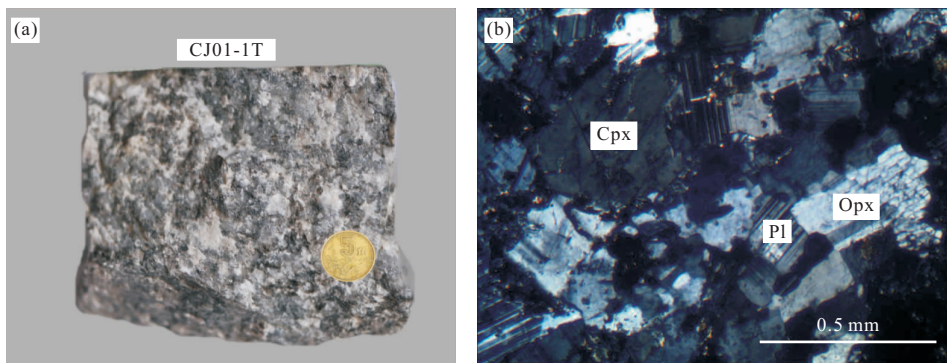


图 3 辉长岩图片和正交偏光镜下照片

Fig. 3 Photographs and under cross polarized light of gabbro

Cpx 单斜辉石, Opx 斜方辉石, Pl 斜长石

Th 和 Pb 含量. 应用澳大利亚国立大学 PRAWN 程序进行数据处理 (Williams *et al.*, 1996). 普通铅根据实测 ^{204}Pb 校正, 数据点的误差为 1σ . 采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄, 其加权平均值的误差为 2σ , 置信度为 95%. 上述过程均在北京离子探针中心完成.

5 测试结果

茶尖 1 号岩体辉长岩锆石阴极发光图像 (图 4) 显示, 锆石颜色从灰黑色至灰白色不一. 锆石主要分为两类: 第一类为强发光的长柱状和短柱状, 自形程度较高, 具有发育完好的岩浆生长环带 (1.1, 3.1, 4.1, 5.1 等); 第二类为发光较弱的椭圆状或短柱状颗粒, 具有明显的核幔或核边结构 (9.1, 12.1).

根据锆石阴极发光图像特征, 选出具有代表性的 14 颗锆石进行了 16 个测试点的 U-Pb 年龄测定. 结果显示 (表 1), 辉长岩锆石的 U、Th 质量分数均较低, U 含量变化于 $109 \times 10^{-6} \sim 930 \times 10^{-6}$, Th 含量变化于 $41 \times 10^{-6} \sim 588 \times 10^{-6}$. Th/U 比值变化范围在 0.13~0.92 之间, 平均值为 0.33, 且 Th/U 呈正相关, 锆石具有岩浆成因的特征. 大部分样品测试点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化于 $227.2 \pm 3.4 \text{ Ma} \sim 257.2 \pm 5.5 \text{ Ma}$ 之间, 其中有 10 个数据点集中于 $231.8 \pm 3.8 \text{ Ma} \sim 249.0 \pm 4.3 \text{ Ma}$, 这些年龄点密集成群分布于一致曲线或其附近 (图 5), 中心点多数落在谐和曲线上, 具有较高的可信度. 由此得到的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $239.6 \pm 2.6 \text{ Ma}$ (MSWD=0.84), 此年龄解释为辉长岩的结晶年龄. 未参与加权的测试点中, CJ2.1 锆石主要因为其误差较大, 其余点为普通铅丢失明显偏离谐和曲线. 另外在测试结果中, CJ9.1 和 CJ12.1 两颗锆石的核部年龄分别为 1 735 土

24 Ma、 $646.4 \pm 9.9 \text{ Ma}$, 时代相当于中元古代和新元古代, 在谐和曲线图上, 均不同程度地偏离于一致年龄曲线 (图 5a), 但是其 Th/U 比值和放射性 Pb* 的特点均与岩浆锆石较为相似.

6 讨论

锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果表明, 茶尖矿床 1 号岩体的形成时代为印支期 ($239.6 \pm 2.6 \text{ Ma}$), 并非前人认为的华力西期. 将红旗岭矿田现有的年龄数据整理后列于表 2, 结果显示, 茶尖矿床→三道岗矿床→红旗岭矿床的年龄数据具有由大到小的变化规律, 即红旗岭矿田各矿床的形成时代由西南至东北有逐渐变新的趋势. 同时, 红旗岭矿床成矿岩体的年龄数据在误差范围内一致, 而茶尖矿床 1 号岩体的形成年龄明显早于红旗岭矿床各成矿岩体, 岩体形成年龄差最大可达 20 Ma, 反映红旗岭矿区的镁铁—超镁铁岩浆的活动时间应开始于 240 Ma 之前且持续时间较长.

在锆石样品中, 捕获锆石 CJ9.1 和 CJ12.1 的锆石核的年龄分别为 $1735.0 \pm 24.0 \text{ Ma}$ 和 $646.4 \pm 9.9 \text{ Ma}$, 而其边部的年龄分别为 $231.8 \pm 3.8 \text{ Ma}$ (CJ9.2) 和 $244.9 \pm 3.7 \text{ Ma}$ (CJ12.2), 其核部与边部具有明显的年龄差距, 其年代学特征和形态特征明显不同于镁铁—超镁铁岩中的岩浆成因锆石, 此类锆石显然是幔源岩浆同化混染了 1.7 Ga 和 0.6 Ga 左右的地壳物质的结果. 另外, 茶尖 1 号岩体的微量元素中 (表 3), 原始地幔标准化 Th/Nb 比值介于 5.05~8.80, La/Nb 比值介于 1.43~3.84, 显示其具有非常高的原始地幔标准化 Th/Nb 比值 (>1) 和高的 La/Nb 比值 (>1), 也表明了地壳混染的存在.

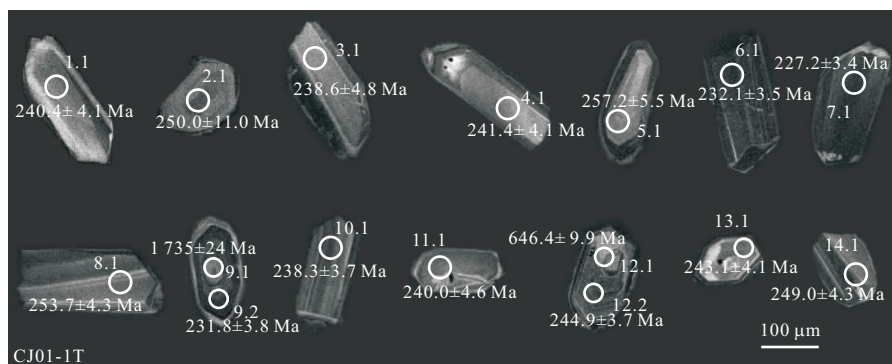


图 4 辉长岩中锆石的阴极发光照片 (CL)

Fig. 4 CL images of selected zircons from gabbro

表 1 茶尖 1 号岩体辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 分析结果
Table 1 SHRIMP U-Pb data on zircons for the gabbro of Chajian No. 1 rock mass

Spot	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	U (10^{-6})	Th (10^{-6})	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^* (10^{-6})$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 (Ma)	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	err corr
CJ1. 1	0. 90	317	93	0. 30	10. 40	240. 4 $\pm$ 4. 1	0. 051 5	5. 0	0. 265	7. 5	0. 038 00	1. 7	0. 229
CJ2. 1	2. 10	122	41	0. 35	4. 23	250. 4 $\pm$ 11. 4	0. 046 3	10. 0	0. 275	20. 0	0. 039 60	4. 6	0. 229
CJ3. 1	1. 85	174	65	0. 39	5. 75	238. 6 $\pm$ 4. 8	0. 051 3	5. 6	0. 261	9. 6	0. 037 70	2. 1	0. 215
CJ4. 1	1. 22	308	102	0. 34	10. 20	241. 4 $\pm$ 4. 1	0. 050 7	4. 2	0. 258	6. 8	0. 038 16	1. 7	0. 255
CJ5. 1	1. 19	109	22	0. 21	3. 84	257. 2 $\pm$ 5. 5	0. 052 6	9. 7	0. 370	9. 6	0. 040 71	2. 2	0. 228
CJ6. 1	0. 00	629	360	0. 59	19. 80	232. 1 $\pm$ 3. 5	0. 051 1	3. 8	0. 281	3. 8	0. 036 65	1. 6	0. 412
CJ7. 1	0. 40	663	588	0. 92	20. 50	227. 2 $\pm$ 3. 4	0. 050 4	2. 4	0. 228	3. 6	0. 035 88	1. 5	0. 428
CJ8. 1	0. 28	290	99	0. 35	10. 00	253. 7 $\pm$ 4. 3	0. 052 9	5. 3	0. 320	5. 7	0. 040 13	1. 7	0. 305
CJ9. 1	0. 12	325	56	0. 18	86. 30	1 735. 0 $\pm$ 24. 0	0. 113 0	0. 95	4. 755	1. 9	0. 308 80	1. 6	0. 858
CJ9. 2	0. 15	930	123	0. 14	29. 30	231. 8 $\pm$ 3. 8	0. 049 1	2. 1	0. 252	2. 7	0. 036 61	1. 7	0. 618
CJ10. 1	0. 34	519	181	0. 36	16. 80	238. 3 $\pm$ 3. 7	0. 048 9	3. 2	0. 281	4. 0	0. 037 66	1. 6	0. 402
CJ11. 1	2. 46	259	77	0. 31	8. 67	240. 0 $\pm$ 4. 6	0. 044 9	5. 2	0. 189	21. 0	0. 037 94	2. 0	0. 091
CJ12. 1	0. 46	357	67	0. 19	32. 50	646. 4 $\pm$ 9. 9	0. 101 5	1. 4	1. 393	2. 6	0. 105 50	1. 6	0. 618
CJ12. 2	0. 35	641	82	0. 13	21. 40	244. 9 $\pm$ 3. 7	0. 049 1	2. 8	0. 266	3. 4	0. 038 73	1. 6	0. 462
CJ13. 1	1. 83	298	68	0. 24	10. 00	243. 1 $\pm$ 4. 1	0. 048 0	4. 3	0. 230	8. 0	0. 038 43	1. 7	0. 216
CJ14. 1	0. 23	339	96	0. 29	11. 50	249. 0 $\pm$ 4. 3	0. 048 1	4. 1	0. 298	4. 5	0. 039 39	1. 8	0. 391

注: Pb_c 和 Pb^* 分别表示普通铅和放射性铅, 采用年龄为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄.

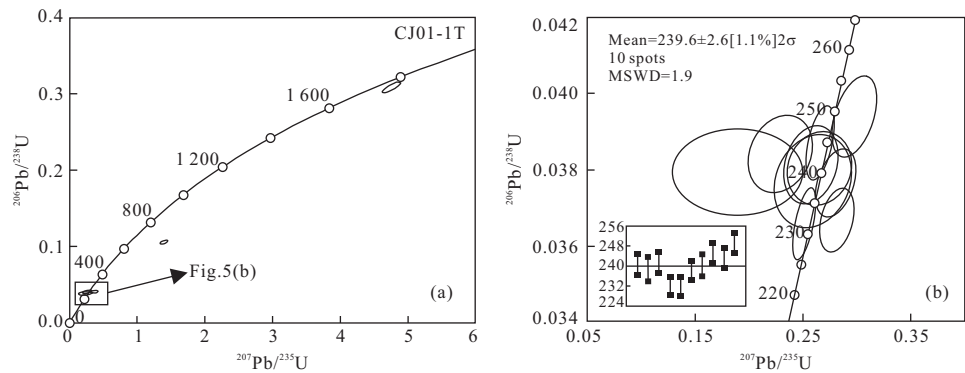


图 5 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图
Fig. 5 Zircons SHRIMP U-Pb concordia diagrams

表 2 红旗岭矿田主要成矿岩体年龄数据统计

Table 2 Statistics of mineralizing rock mass age data in Hongqiling mine field

矿床	岩体	测试对象	测试方法	年龄(Ma)	资料来源
红旗岭矿床	1 号岩体	辉长岩	SHRIMP	216±5 Ma	张广良和吴福元,2005
	1 号岩体	黑云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	225 Ma	郗爱华等,2005
	1 号岩体	橄榄辉石岩	U-Pb	220.6±2.0 Ma	冯光英等,2011
	2 号岩体	辉长岩	SHRIMP	212.5±2.8 Ma	
	7 号岩体	磁黄铁矿	Re-Os	208±21 Ma	Lü <i>et al.</i> , 2011
三道岗矿床	1 号岩体	辉石岩	U-Pb	232.75±0.95 Ma	汪志刚等,2011
茶尖矿床	1 号岩体	辉长岩	SHRIMP	239.6±2.6 Ma	本文

表 3 茶尖 1 号岩体微量元素 Nb、Th、La 分析结果

Table 3 Analysis results of trace elements Nb, Th, La in Chajian No. 1 rock mass

名称	闪长伟晶岩	辉长岩	角闪辉石岩	辉石橄榄岩	角闪橄榄岩
Nb	1.83	1.84	4.56	2.01	1.79
Th	1.41	1.37	4.79	1.29	1.08
La	6.07	5.59	17.54	4.39	2.57
La/Nb	3.31	3.04	3.84	2.18	1.43
(Th/Nb) _N	6.48	6.25	8.80	5.38	5.05

注:表中元素由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所测试中心测试完成;微量元素单位为 10⁻⁶; (Th/Nb)_N 为原始地幔标准化 Th/Nb 值。

两颗老锆石核的年龄为 1.7 Ga 和 0.6 Ga, 其中 1.7 Ga 也是整个红旗岭地区迄今发现的最老的锆石年龄. 对红旗岭矿田内出露最老的地层——呼兰群地层中黑云母片麻岩的锆石进行 SHRIMP U-Pb 年代学研究, 未发现与 1.7 Ga 和 0.6 Ga 相接近的老锆石年龄, 表明 1.7 Ga 和 0.6 Ga 的锆石核是从呼兰群地层捕获的可能性不大. 但是, 两颗老锆石核的年龄与华北地台岩石圈在 1.5~1.7 Ga 的构造—热事件 (彭澎等, 2002) 以及华北地台对 Rodinia 超大陆裂解事件的响应时间相吻合 (徐备, 2001). 因此, 此类锆石应来自华北地台的古老基底.

东北地区的构造演化存有较大争议的是古亚洲洋最后闭合的时间和地点 (冯光英等, 2011), 即兴蒙造山带诸多陆块拼合成一体的时空问题. 本文获得的茶尖矿床 1 号岩体的形成时代为 239.6±2.6 Ma, 这比大多数中国东北的镁铁质—超镁铁质杂岩与邻近的后碰撞 A 型花岗岩 (190~230 Ma) 的形成时间偏早 (Wu *et al.*, 2004; 孙德有等, 2005; 颜强等, 2007; 郗爱华等, 2008), 但比吉林大玉山花岗闪长岩 (248±3 Ma)、辽源安义二长花岗岩 (252±2 Ma)、清源猴石二长花岗岩体 (254 Ma) 以及红旗岭北部花岗岩 (246±4 Ma) 等同碰撞弧型花岗岩的形成时间又稍微偏晚 (Wu *et al.*, 2004; 孙德有等, 2005). 前人曾提出起源于地幔的镁铁—超镁铁岩浆活动主要发生在地壳拉张环境之中, 换言之, 幔源基性岩的形成表明造山带此时已完成碰撞而进入造山后的拉张阶段 (冉红彦和肖森宏, 1994; 冯光英等, 2010). 因此, 茶尖岩体的年代学数据表明, 在 240 Ma 之前华北板块与其邻近板块的碰撞拼合已经完成. 从时间上看, 茶尖岩体形成的构造背景可能是岩石圈由挤压向伸展转变的过渡阶段. 所以, 茶尖镁铁—超镁铁岩体的成岩机制可能是在碰撞后岩石圈由挤压向伸展拉张转变的背景下, 受到岩石圈拆沉作用的影响,

地幔部分熔融上涌,并在上升过程中经历了橄榄石和辉石等矿物的结晶分异作用,分异的镁铁—超镁铁岩浆沿深大断裂侵位继而在浅部岩浆房固结成岩。

7 结论

(1)锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果表明,茶尖矿床 1 号岩体的形成时代为印支期 (239.6 ± 2.6 Ma),并非前人认为的华力西期。结合已有的红旗岭地区年代学数据,显示了红旗岭地区各矿床的形成时代由西南至东北向有逐渐变新的趋势,而红旗岭矿区的镁铁—超镁铁岩浆的活动时间应开始于 240 Ma 之前且持续时间较长。(2)茶尖矿床 1 号岩体中发现的捕获锆石核年龄为 1.7 Ga 和 0.6 Ga,为镁铁—超镁铁岩浆混入地壳物质提供了直接证据。通过与华北地台的构造—热事件对比表明,此类捕获锆石应来自华北地台的古老基底。(3)茶尖岩体的年代学数据表明,在 240 Ma 之前华北板块与其邻近板块的碰撞拼合已经完成,茶尖岩体形成的构造背景可能是岩石圈由挤压向伸展转变的过渡阶段。茶尖成岩机制可能是岩石圈由挤压向伸展拉张转变的背景下,地幔部分熔融上涌,并在上升过程中经历了橄榄石和辉石等矿物的结晶分异作用,分异的镁铁—超镁铁岩浆沿深大断裂侵位继而在浅部岩浆房固结成岩。

References

- Cao, X. Y., Jing Z. G., Hou, C., 2011. Analysis of Copper and Silver Metal Ore Source Conditions of Wangjia Mineralization Points of Chajianlin Mining Area. *China Homes*, 11: 107—108 (in Chinese).
- Chen, Z. C., 1991. Geological Characteristics and Mineralogical Pattern of Magmatic Cu-Ni Sulphide Deposits in Jilin. *Geology and Prospecting*, 26(10): 1—10 (in Chinese with English abstract).
- Claoue-Long, J. C., Compston, W., Roberts, J., et al., 1995. Two Carboniferous Ages: A Comparison of SHRIMP Zircon Dating with Conventional Zircon Ages and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Analysis. *SEPM Special Publication*, 5: 3—31. doi: 10.2110/pec.95.04.0003
- Compston, W., Williams, I. S., Kirschvink, J. L., et al., 1992. Zircon U-Pb Ages from the Early Cambrian Time-Scale. *Journal of Geological Society of London*, 149: 171—184. doi: 10.1144/gsjgs.149.2.0171
- Feng, G. Y., Liu, S., Feng, C. X., et al., 2011. Zircon U-Pb Age, Sr-Nd-Hf Isotope Geochemistry and the Petrogenesis of the Ultramafic Pluton in Hongqiling, Jilin Province. *Acta Petrologica Sinica*, 27(6): 1594—1606 (in Chinese with English abstract).
- Feng, G. Y., Liu, S., Zhong, H., et al., 2010. Geochemical Characteristics and Petrogenesis of Late Paleozoic Mafic Rocks from Yumuchuan, Jilin Province. *Geochimica*, 39(5): 427—438 (in Chinese with English abstract).
- Lü, L. S., Mao, J. W., Li, H. B., et al., 2011. Pyrrhotite Re-Os and SHRIMP Zircon U-Pb Dating of the Hongqiling Ni-Cu Sulfide Deposits in Northeast China. *Ore Geology Reviews*, 43: 106—119. doi: 10.1016/j.oregeorev.2011.02.003
- Peng, P., Liu, W. J., Zhai, M. G., 2002. Response of North China Block to Rodinia Supercontinent and Its Characteristics. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(4): 343—355 (in Chinese with English abstract).
- Ran, H. Y., Xiao, S. H., 1994. Trace Element Abundances and Tectonic Environment of the Host Intrusion of Kalatongke Cu-Ni Deposit. *Geochimica*, 23(4): 392—401 (in Chinese with English abstract).
- Song, B., Zhang, S. H., Wang, Y. B., et al., 2006. Avoidance of Systematic Bias of SHRIMP Zircon U-Pb Dating: Necessity of Staged Calibrations. *Rock and Mineral Analysis*, 25(1): 9—14 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. Y., Wu, F. Y., Gao, S., et al., 2005. Confirmation of Two Episodes of A-Type Granite Emplacement during Late Triassic and Early Jurassic in the Central Jilin Province, and Their Constraints on the Structural Pattern of Eastern Jilin-Heilongjiang Area, China. *Earth Science Frontiers*, 12(2): 263—275 (in Chinese with English abstract).
- Williams, I. S., Buick, C. I., Cartwright, I., 1996. An Extended Episode of Early Mesoproterozoic Metamorphic Fluid Flow in the Reylolds Range, Central Australia. *Journal of Metamorphic Geology*, 14: 29—47. doi: 10.1111/j.1525-1314.1996.00029.x
- Wu, F. Y., Wilde, S. A., Zhang, G. L., et al., 2004. Geochronology and Petrogenesis of the Post-orogenic Cu-Ni Sulfide-bearing Mafic-Ultramafic Complexes in Jilin Province, NE China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(5): 781—797. doi: 10.1016/S1367-9120(03)00114-7
- Xi, A. H., Cai, Y. F., Ge, Y. H., et al., 2008. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age of Longwang Gabbro of Shanmen Silver Deposit in Siping City and Its Geological Significance. *Mineral Deposits*, 27(1): 57—63 (in Chinese).

- with English abstract).
- Xi, A. H., Gu, L. X., Li, X. J., et al., 2005. Discussion on Metallogenic Epoch of Hongqiling Cu-Ni Sulfide Deposits, Jilin Province. *Mineral Deposits*, 24(5): 521—526 (in Chinese with English abstract).
- Xie, H. Q., Zhang, F. Q., Miao, L. C., et al., 2007. Characteristics of the Piaohechuan Mafic-Ultramafic Complex, Central Jilin, Northeast China: Constrains on the Nature and Evolution of the Northeastern North China Marginal Tectonic Belt. *Geological Bulletin of China*, 26(7): 810—822 (in Chinese with English abstract).
- Xu, B., 2001. Recent Study of the Rodinia Supercontinent Evolution and Its Main Goal. *Geological Science and Technology Information*, 20(1): 15—19 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. L., Wu, F. Y., 2005. Geochronology Significances of the Postorogenic Mafic-Ultramafic Rocks in Hongqiling Area of Jilin Province, NE China. *Seismology and Geology*, 27(4): 600—608 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, S. L., Wan, W. Z., Sun, X. F., et al., 2010. Geochemistry and Prospecting Implication of the Mafic-Ultramafic Rocks in Chajian Ore District, Jilin Province. *Geology and Resources*, 19(2): 109—114 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, S. L., Zhang, X. D., Li, H. B., et al., 2009. Geologic Characteristics and Prospecting Guide of the Mafic-Ultramafic Intrusive Bodies in Chajian Ore District, Jilin Province. *Geology and Resources*, 18(3): 170—176 (in Chinese with English abstract).
- 冯光英, 刘桑, 钟宏, 等, 2010. 吉林晚古生代榆木川基性岩的地球化学特征及其岩石成因. *地球化学*, 39(5): 427—438.
- 颜炳强, 张福勤, 苗来成, 等, 2007. 吉林中部漂河川镁铁—超镁铁质杂岩带的特征: 对华北东北缘构造带性质和演化的约束. *地质通报*, 26(7): 810—822.
- 彭澎, 刘文军, 翟明国, 2002. 华北陆块对 Rodinia 超大陆的响应及其特征. *岩石矿物学杂志*, 21(4): 343—355.
- 冉红彦, 肖森宏, 1994. 喀拉通克含矿岩体的微量元素与成岩构造环境. *地球化学*, 23(4): 392—401.
- 宋彪, 张拴宏, 王彦斌, 等, 2006. 锆石 SHRIMP 年龄测定数据处理时系统偏差的避免: 标准锆石分段校正的必要性. *岩矿测试*, 25(1): 9—14.
- 孙德有, 吴福元, 高山, 等, 2005. 吉林中部晚三叠世和早侏罗世两期铝质 A 型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约. *地质前缘*, 12(2): 263—275.
- 汪志刚, 郝爱华, 葛玉辉, 等, 2011. 吉林磐石三道岗含铜镍硫化物矿床岩体群年代学意义. *吉林大学学报(地球科学版)*, 41(增刊 1): 126—132.
- 郝爱华, 蔡元峰, 葛玉辉, 等, 2008. 四平山门 Cu-Ni 矿化辉长岩体锆石 LA-ICP-MS 年龄及其地质意义. *矿床地质*, 27(1): 57—63.
- 郝爱华, 顾连兴, 李绪俊, 等, 2005. 吉林红旗岭铜镍硫化物矿床的成矿时代讨论. *矿床地质*, 24(5): 521—526.
- 颜炳强, 张福勤, 苗来成, 等, 2007. 吉林中部漂河川镁铁—超镁铁质杂岩带的特征: 对华北东北缘构造带性质和演化的约束. *地质通报*, 26(7): 810—822.
- 徐备, 2001. Rodinia 超大陆构造演化研究的新进展和主要目标. *地质科技情报*, 20(1): 15—19.
- 张广良, 吴福元, 2005. 吉林红旗岭地区造山后镁铁—超镁铁岩体的年代测定及其意义. *地震地质*, 27(4): 600—608.
- 周树亮, 万文周, 孙雪峰, 等, 2010. 吉林省红旗岭茶尖矿区镁铁—超镁铁岩体地球化学特征及找矿意义. *地质与资源*, 19(2): 109—114.
- 周树亮, 张向东, 李海斌, 等, 2009. 吉林省茶尖矿区镁铁—超镁铁质岩体地质特征及找矿方向. *地质与资源*, 18(3): 170—176.

附中文参考文献

- 曹希英, 荆振刚, 侯闯, 2011. 茶尖岭矿区上汪家矿化点铜银多金属矿源条件分析. *中华居民*, 11: 107—108.
- 陈子诚, 1991. 吉林省岩浆铜镍硫化物矿床地质特征及成矿模式. *地质与勘探*, 26(10): 1—10.
- 冯光英, 刘桑, 冯彩霞, 等, 2011. 吉林红旗岭超基性岩体的锆石 U-Pb 年龄、Sr-Nd-Hf 同位素特征及岩石成因. *岩石学报*, 27(6): 1594—1606.