

金川超镁铁侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义

李献华 苏 犁 宋 彪 刘敦一

(中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; 北京离子探针中心, 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 西北大学大陆动力学教育部重点实验室和地质学系, 西安 710069. E-mail: lixh@gig.ac.cn)

金川超镁铁岩体位于阿拉善地块西南缘的龙首山隆起, 南邻北祁连造山带(图 1). 岩体呈岩墙状侵位于龙首山群白家嘴子组混合岩、片麻岩和大理岩中, 长约 6500 m, 宽 20~527 m, 走向 NW50°, 出露面积约 1.34 km²[1]. 金川岩体已探明的 Ni-Cu 硫化物(含 Pt) 矿石储量超过 5 亿吨, Ni 和 Cu 的平均品位分别为 1.2% 和 0.7% [2], Ni 金属量仅次于加拿大的 Sudbury 矿床和西伯利亚的 Noril'sk 矿床, 列世界第三位 [3]. 金川超镁铁岩体及其赋存的 Ni-Cu 硫化物矿床的形成时代和成因一直受到广泛的关注. 汤中立等人 [4] 报道了金川岩体的 Sm-Nd 等时线年龄为 1508±31 Ma, 但所分析样品的 ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd 比值变化范围很小(0.1366~0.1598), 而且 ε Nd(t) 为负值, 表明该 Sm-Nd “等时线” 有可能是“误差线” 或“混合线”. 本文报道我们用 SHRIMP 锆石 U-Pb 方法测定的金川岩体年龄结果.

本文分析的样品 03JC-04 采自岩体东段的 矿体西支脉(1400 中段, 36 行), 岩性为含硫化物橄长岩(浸染状矿石). 岩石具中粗粒粒状结构, 原生造岩硅酸盐矿物有约 70% 橄榄石(Fo=85)和约 20% 斜长石(An=57), 其次含约 10% 的硫化物. 样品没有发生任何蚀变、变形和变质. 在严格避免污染的条件下, 用重选和磁选的方法在约 30 kg 样品中分选出锆石 120 余粒. 将具代表性的锆石颗粒和标准锆石一起粘贴在环氧树脂表面, 抛光后将待测锆石做透射光、反射光显微照相和阴极发光

(CL) 图像. 该样品的锆石粒度普遍较小(50~100 μm), 大多数锆石为短柱状自形晶(长/宽 ≤ 2), 多数颗粒内部具有与晶体边界基本一致、宽的岩浆结晶振荡 CL 环带(见图 2(a), (b)), 而有个别颗粒内部具有较细密的结晶 CL 环带, 这些颗粒或独立产出或有具较宽结晶环带的锆石增长边(图 2(c)). 另有数粒浑圆状锆石, 其内部均具有变质锆石所特有的扇形 CL 结构(图 2(d)).

锆石 U, Th, Pb 同位素分析在北京离子探针中心的 SHRIMP 上用标准测定程序条件进行. U-Th-Pb 比值相对于标准锆石 TEMROA [5], U 和 Th 含量相对标准锆石 SL13 (年龄为 572 Ma, ²³⁸U = 238 μg/g), 普通 Pb 校正采用测定的 ²⁰⁴Pb 进行, 其组成用 Stacey-Kramers 模式给出的 827 Ma 的地壳平均 Pb 同位素组成 [6]. 我们对样品 03JC-04 的 20 个锆石颗粒进行了 21 个分析点的 U-Pb 同位素年龄分析, 分析结果示于图 3. 除 3 个残留核和浑圆状锆石(如图 2(d)所示)为古元古代(²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄分别为 1791, 1929 和 2415 Ma) 外, 其余 18 个分析点均为自形程度高、显示结晶环带的锆石, 它们具有一致的 U-Pb 和 Pb-Pb 年龄. 在这 18 个分析点中, 有 3 个锆石的 Th/U 为 1.1~3.3, ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄集中在约 880 Ma, 其中 2 个锆石显示有较细密的结晶 CL 环带. 图 2(c) 显示了 13 号分析点的锆石 CL 图像, 可以看出这个约 880 Ma 的锆石显示较细密的结晶 CL 环带, 而其外围有和内部结构不协调的

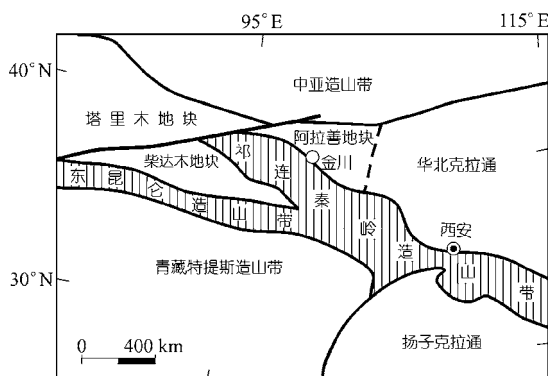


图 1 祁连-秦岭造山带及周边地区构造简图以及金川矿床所在的位置

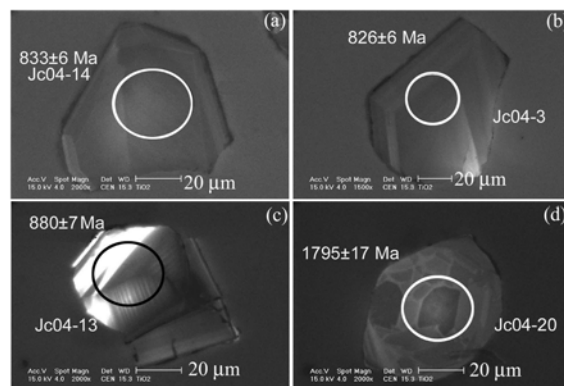


图 2 金川超镁铁侵入岩中代表性锆石的 CL 图像 圆圈示意分析点的位置, 分析点旁边是分析点和测定年龄

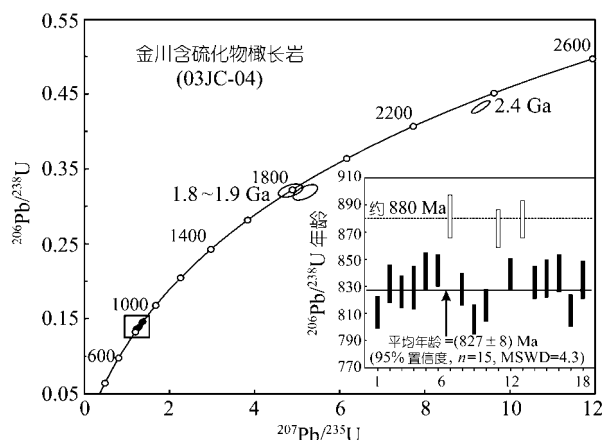


图3 金川超镁铁侵入岩锆石 U-Pb 年龄分析结果

锆石增长边。由于该增长边太窄而无法进行分析,但其CL特征类似于图2(a)和(b)的锆石,表明13号分析点是一个继承核(由于破碎损失了大部分增生边)。其余15个分析点均为自形、具有宽的岩浆结晶振荡CL环带的锆石,它们的Th/U比高而且变化范围大(1.9~15.9),是典型的镁铁-超镁铁岩浆结晶锆石。这15个锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 2σ 误差范围内基本一致,平均值为 827 ± 8 Ma。根据该橄长岩的岩相学以及锆石的形态、Th/U比值和CL图像特征,我们将 827 ± 8 Ma解释为橄长岩的结晶年龄,而约880 Ma, 1.8~1.9 Ga和2.4 Ga则代表了岩浆捕获或继承的锆石年龄。

以上锆石U-Pb定年结果表明,金川超镁铁岩体的形成年龄(即Ni-Cu硫化物成矿年龄)为新元古代 827 ± 8 Ma,而不是中元古代。这个新的锆石U-Pb年龄对深入认识金川含Ni-Cu超镁铁岩体的成因与形成的构造背景有重要的意义。大多数世界级岩浆型Ni-Cu硫化物矿床主要与地幔柱成因的溢流玄武岩(如Noril'sk-Talnakh, Duluth)、科马提岩(如Kambalda, Thompson)和大型的层状镁铁-超镁铁杂岩(如Bushveld, Great Dyke)有关^[2]。岩石地球化学研究表明,金川超镁铁岩体的母岩浆是地幔在高温(>1400)条件下高度部分熔融形成的高Mg苦橄质拉斑玄武岩浆^[1,8-11],而这样异常高的地幔温度通常和地幔柱有关。金川岩体的铬铁矿富Ti,非常类似于许多和溢流玄武岩共生的层状侵入体(如Karoo)^[2]。这些岩石和矿物地球化学特征都一致地显示金川岩体很可能与地幔柱活动有关。

已有一些研究指出新元古代地幔柱(或超级地幔柱)是Rodinia超级大陆裂解的主要动力学机制^[12-15],其中最早和最主要的一次地幔柱活动很可能发生在约825 Ma,在澳大利亚和华南已有一些该期地幔柱

活动的地质记录报道^[12,16,17]。我们初步认为,和大多数世界级岩浆型Ni-Cu硫化物矿床类似,金川含Ni-Cu超镁铁岩体很可能与Rodinia裂解时期的约825 Ma地幔柱活动有关。

致谢 野外考察期间得到张新虎、江荣伏的大力支持与帮助。在本文工作和写作过程中得到孙贤铄博士的热情指教。两位匿名评审人的评审意见对本文的修改有很大帮助。本工作受国家自然科学基金(批准号:40273012)资助。

参 考 文 献

- 1 汤中立,李文渊. 金川铜镍硫化物(含铂)矿床成矿模式及地质对比. 北京:地质出版社,1995. 209
- 2 Barnes S J, Tang Z L. Chrome spinel from the Jinchuan Ni-Cu sulfide deposit, Gansu Province, People's Republic of China. *Econ Geol*, 1999, 94: 343~356
- 3 Naldrett A J. World-class Ni-Cu-PGE deposits: Key factors in their genesis. *Min Dep*, 1999, 34: 227~240 [DOI]
- 4 汤中立,杨杰东,徐士进,等. 金川含矿超镁铁岩的 Sm-Nd 法定年. *科学通报*, 1992, 37: 918~920
- 5 Black L P, Kamo S L, Allen C M, et al. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology. *Chem Geol*, 2003, 200: 155~170 [DOI]
- 6 Stacey J S, Kramers J D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by two-stage model. *Earth Planet Sci Lett*, 1975, 26: 207~221
- 7 Naldrett A J. Key factors in the genesis of Noril'sk, Subdury, Jinchuan, Voisey's Bay and other world-class Ni-Cu-PGE deposits: Implications for exploration. *Aust J Earth Sci*, 1997, 44: 283~316
- 8 汤中立. 金川硫化铜镍矿床成矿模式. *现代地质*, 1990, (4): 55~64
- 9 Chai G, Naldrett A J. The Jinchuan ultramafic intrusion: Cumulate of a high-Mg basaltic magma. *J Petrol*, 1992, 33: 277~304
- 10 Chai G, Naldrett A J. Characteristics of Ni-Cu-PGE mineralization and genesis of the Jinchuan deposit, northwest China. *Econ Geol*, 1992, 87: 1475~1495
- 11 解广轰,汪云亮,范彩云,等. 金川超镁铁岩侵入体及超大型硫化物矿床的成岩成矿机制. *中国科学, D 辑*, 1998, 28(增刊): 31~36
- 12 Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China? *Earth Planet Sci Lett*, 1999, 173: 171~181 [DOI]
- 13 Frimmel H E, Zartman R E, Späth A. The Richtersveld Igneous Complex, South Africa: U-Pb zircon and geochemical evidence for the beginning of neoproterozoic continental breakup. *J Geol*, 2001, 109: 493~508 [DOI]
- 14 Li X H, Li Z X, Zhou H, et al. U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangdian Rift of South China: Implications for the initial rifting of Rodinia. *Precam Res*, 2002, 113: 135~154 [DOI]
- 15 Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. *Precam Res*, 2003, 122: 85~109 [DOI]
- 16 Wingate M T D, Campbell I H, Compston W, et al. Ion microprobe U-Pb ages for Neoproterozoic-basaltic magmatism in south-central Australia and implications for the breakup of Rodinia. *Precam Res*, 1998, 87: 135~159 [DOI]
- 17 Ling W, Gao S, Zhang B, et al. Neoproterozoic tectonic evolution of Yangtze craton, South China: Implications for amalgamation and break-up of Rodinia Supercontinent. *Precam Res*, 2003, 122: 111~140 [DOI]

(2004-02-02 收稿, 2004-02-10 收修改稿)