

中国东部和北部地壳化学成分分异及其与花岗岩成矿作用的联系*

程素华^{1,2}, 汪洋²

(1 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

本研究提出揭示地壳化学成分分异程度的定量化指标——地壳分异指数: $D_1 = A_0/A_C = A_0H/(Q_S - Q_M)$, 即地壳分异指数等于表壳生热率(生热元素丰度)与地壳平均生热率的商。根据区域地球化学研究得到的中国大陆东部和北部主要构造-内生金属成矿单元的表壳生热元素丰度求出相应的表壳生热率(Wang, 2007), 由实测大地热流数据、地下流体氦同位素比值、地壳及岩石圈厚度资料求出相应构造单元的地壳热流值和地壳平均生热率(汪洋, 2006; Wang et al., 2010), 求得中国东部和北部主要构造-内生金属成矿单元的地壳分异指数值(D_1)。结果显示: 阿尔泰地区 D_1 等于 2, 准噶尔地区 1.3, 大兴安岭-内蒙造山带大于 1.4, 东北地区东部约 1.28, 辽东半岛 1.78, 阴山-燕山造山带大于 1.1, 华北克拉通西部为 1.2~1.3, 秦岭-大别造山带介于 1.2~1.8 之间, 扬子克拉通中部地区 1.3, 赣南闽西褶皱带 2.45, 东南沿海火山岩带 1.75。整体而言, 中国东部和北部地区的地壳分异指数(D_1)一般大于 1.2, 小于 2.5, 多数为 1.3~1.8 之间。与北美大陆相比, 中国东部和北部主要构造-内生金属成矿单元的地壳分异指数略高于北美 Trans-Hudson 造山带($D_1 = 1.1$)、Superior 地盾(1.2)和 Grenville 造山带(1.3), 低于 Slave 造山带(2.1)和 Appalachian 造山带(2.5)。

大陆地壳成分分异的主要机制是岩浆作用。地壳中下部岩石部分熔融作用形成花岗质岩浆, 同时形成亏损大离子亲石元素(含生热元素)的残余矿物相组成的麻粒岩相变质岩, 最终导致地壳化学成分的垂向变化(Vielzeuf et al., 1990)。大规模花岗质岩浆活动导致的大陆地壳垂向成分分异促使壳源成矿元素的活化和富集, 为内生稀有金属成矿作用提供了物质基础。本研究结果表明, 中国大陆北部的阿尔泰、大兴安岭-内蒙造山带和辽东半岛, 以及东部的华南造山系(赣南闽西褶皱带、东南沿海火山岩带)等地的地壳分异指数高, 与壳源花岗质岩浆活动相关的内生金属成矿作用发育; 而东北地区东部、华北克拉通西部、阴山-燕山造山带、秦岭-大别造山带等地的地壳分异指数相对较低, 内生金属成矿作用主要与壳-幔混源的花岗质岩浆活动相关。因此我们提出: 大陆地壳成分分异程度可以作为衡量造山带尺度与花岗岩相关的内生金属成矿作用强度和规模的估价指标。

同时, 本研究根据华南造山带 $1^\circ \times 1^\circ$ 经纬度网格的平均热流值和地表平均生热率统计得到的 $A_0 \sim Q_s$ 关系, 得到华南造山带整体的地壳表观生热率富集深度(D_{app})等于 15.6 km, 表观剩余热流值(Q_{rapp}) 33.6 mWm^{-2} , 表明地壳内亏损生热元素的麻粒岩层位的埋深至少在地表 16 km 以下(Vignerresse, 1990)。在垂向分异程度一定时, 如果地壳上部富集生热元素的地质体(如: 花岗岩体)的空间分布具有短波长的横向变化, 则 D_{app} 值小; 反之若地壳上部富集生热元素的地质体的空间分布具有长波长的横向变化, 则 D_{app}

*本文得到国家自然科学基金项目(批准号: 90814006, 40972125, 40572128, 40376013, 40104003)资助

值大。以华南造山带平均热流值 $Q_s = 72 \text{ mWm}^{-2}$ 和平均地表生热率 $A_0 = 2.27 \mu\text{Wm}^{-3}$ 为基准, 得到生热率富集深度 (D) 为 18 km; 进而依据横向热传导关系解析式 (Jaupart, 1983), 求得 $D_{\text{app}} = 15.6 \text{ km}$ 所对应的上地壳生热率横向变化波长为 400 km, 约等于该造山带的出露宽度, 表明其上地壳成分横向分异程度相对不明显, 而其地壳成分垂向分异程度较横向分异程度明显。暗示华南造山带中生代花岗质岩浆活动的强度在横向上变化不明显。由于大规模花岗质岩浆活动要求有充足的地壳物质 (Vielzeuf et al., 1990), 所以中生代时期华南造山带必然广泛发育大规模推覆构造, 以形成上地壳叠覆增厚。华南造山带与内生稀有金属及 Sn 成矿作用相关的中生代花岗岩属于壳源物质部分熔融形成的淡色花岗岩 (汪洋, 2008), 与推覆作用密切相关。但单纯依靠断裂带的剪切生热不足以充分导致地壳内的广泛熔融, 而先期的大规模花岗质岩浆活动导致地壳内地温的增高, 同时将生热元素富集于上地壳, 为后期上地壳叠覆导致的热毯效应提供了适宜的物理条件。华南造山带与内生稀有金属及 Sn 矿产是大陆地壳成分高度分异的产物。中国大陆北部阿尔泰、大兴安岭-内蒙古造山带等地壳成分高度分异地区的内生金属成矿作用也应是地壳叠覆相关的大规模壳源花岗质岩浆作用的结果。

参考文献

- 汪 洋. 2006. 华北和华南岩石圈热状态、流变学特征与地壳成分[M]. 北京: 地质出版社, 1-91.
- 汪 洋. 2008. 南岭燕山早期花岗岩成因类型的进一步探讨[J]. 地质论评, 54(2): 162-174.
- Jaupart C. 1983. Horizontal heat transfer due to radioactivity contrast: causes and consequences of the linear heat flow relation. *Geophys[J]*. *J. R. astron. Soc.*, 75: 411-435.
- Vielzeuf D, Clemens J D, Pin C and Moinet E. 1990. Granites, granulites, and crustal differentiation[A]. In: Vielzeuf D and Vidal Ph (eds). *Granulites and Crustal Evolution*. NATO ASI Series, No.C311. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 59-85.
- Vignerresse J L. 1990. Thermal data and crustal structure: Role of granites and the depleted lower crust[A]. In: Vielzeuf D and Vidal Ph (eds). *Granulites and Crustal Evolution*. NATO ASI Series, No.C311. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 551-568.
- Wang Y. 2007. Comparison of element abundance between the exposed crust of the continent of China and the global averaged upper continental crust: Constraints on crustal evolution and some speculations[J]. *Frontiers of Earth Science in China*, 1(1): 69-79.
- Wang Y and Sun Z M. 2010. Crustal composition of China continent constrained from heat flow data and helium isotope ratio of underground fluid[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 84(1): 178-184.