



您现在的位置: 首页 > 新闻动态 > 学术前沿

新闻动态

- 图片新闻
- 头条新闻
- 通知公告
- 学术活动
- 综合新闻
- 科研动态
- 研究亮点
- 学术前沿

【前沿报道】Nature: 从变质作用演化看板块构造体制转型

2019-09-16 | 【大 中 小】 【打印】 【关闭】

变质作用是指岩石在基本保持固态条件下由于温度 (T) 和压力 (P) 的改变, 发生矿物转变的地质过程。变质作用发生的 P - T 条件和经历的 P - T 轨迹一般反映了当时的构造环境和动力学过程。早在板块构造理论提出之前, 变质岩石学家已经在探索变质作用与构造环境的关系, 其中最具代表性的成果是都城秋穗提出按照地热梯度把区域变质作用划分为三种压力类型的方案 (Miyashiro, 1961), 即: 低地温梯度 ($\leq 10^\circ\text{C}/\text{km}$) 的高压型变质作用、中等地温梯度 ($20\text{--}30^\circ\text{C}/\text{km}$) 的中压型变质作用和高地温梯度 ($\geq 40^\circ\text{C}/\text{km}$) 的低压型变质作用。在此基础上, 都城秋穗进一步提出了双变质带的概念, 认为在环太平洋地区高压型和低压型变质带是成对出现的, 空间上平行延伸: 在大洋侧通常是高压型变质带 (具有低 T/P 特点), 代表古海沟, 在那里洋壳曾俯冲到陆壳之下; 而低压型变质带 (具有高 T/P 特点) 位于花岗岩-火山弧带。因此, 在板块构造理论发展的初期, 双变质带的识别和建立成为其地质基础的一部分 (Dewey and Bird, 1970)。随后, Ernst (1971, 1972) 的研究进一步明确了高压型变质作用与板块俯冲作用的联系, 这方面的研究也迅速成为变质地质学最重要的主题。到80年代中期, 变质陆壳岩石中柯石英的发现 (Chopin, 1984; Smith, 1984) 开启了超高压变质作用研究的序章, 通过对大陆深俯冲过程的细致刻画, 极大地丰富了板块构造动力学过程的科学内涵。

近年来, 板块构造在地质历史上何时启动和如何演化, 逐渐成为地球科学的重大前沿科学问题。全球范围内陆壳岩石变质条件的变化有可能反映了板块构造长期演化的过程。传统观点认为, “冷俯冲”是现代板块构造体制的典型特征。低温蓝片岩最早广泛出现在新元古代时期 (Stern, 2005), 可能标志着现代板块构造体制的开端; 最近, 随着一些古老的冷榴辉岩的发现 (Weller and St-Onge, 2017; Xu et al., 2018), 将这一起始时间提前到古元古代。然而, 美国马里兰大学的变质岩石学家 Michael Brown 的系列研究成果 (Brown, 2006, 2007, 2008, 2009, 2014; Brown and Johnson, 2018, 2019) 指出, 板块汇聚边缘双变质带的出现标志着现代板块构造体制的起始。麻粒岩-超高温变质作用 (高 T/P) 和榴辉岩-高压麻粒岩变质作用 (低 T/P) 在中-新太古代开始广泛出现, 因此, 他们提出全球规模的板块构造运动可能开始于中-新太古代, 主体在古元古代, 称之为“元古代型”板块构造, 并在新元古代转化为“现代型”、以冷俯冲为代表的板块构造体制。

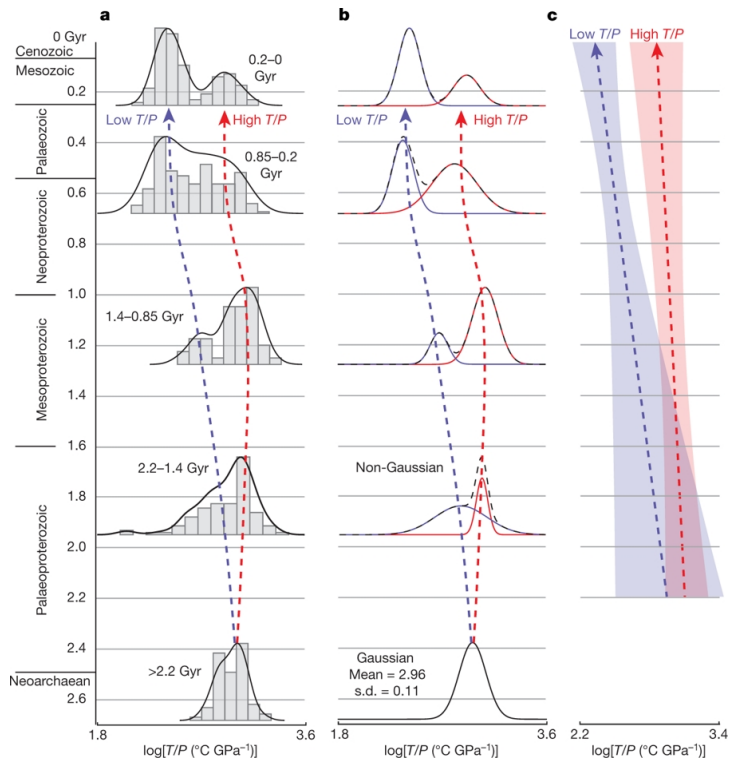


图1 “双峰式”变质作用随时间演化的规律 (Holder et al., 2019)

近日, 美国约翰霍普金斯大学和密歇根大学的Robert M. Holder博士和其合作者在*Nature*上撰文, 发表他们对变质作用与板块构造演化的新认识。他们采用统计学方法重新甄选了Brown and Johnson (2019) 搜集的全球564个变质岩露头的 T/P 和年龄数据。他们将这组数据按变质时代分为五组, 进行 T/P 核密度估计和柱状投图, 对非高斯分布的数据组采用混合-高斯分布的方法将其分为两类(高 T/P 和低 T/P ; 图1)。他们发现“双峰式”变质作用的趋势自新太古代开始初现端倪, 随后双峰距离变得更宽、更明显(图1), 因此提出“现代型”板块构造机制自新太古代起始并不断演化的观点。他们认为新太古代开始出现的“双峰式”变质作用和新元古代出现的蓝片岩和超高压变质作用都是地幔长期冷却的结果(图2)。地幔长期冷却引起了大洋岩石圈厚度、浮力和流变学性质的改变, 从而导致了板块俯冲和碰撞样式的改变。该观点与其他学者认为的“现代型”板块构造自新元古代(Stern, 2005)或古元古代(Weller and St-Onge, 2017; Xu et al., 2018)的观点不同。

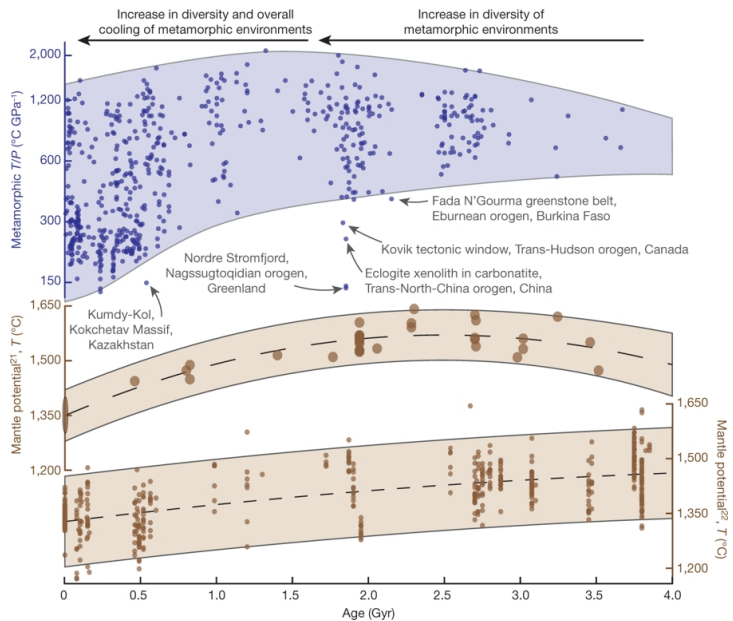


图2 变质作用 T/P 随时间的变化和地幔潜能温度的长期冷却过程 (Holder et al., 2019)

变质地质学在限定地球早期动力学演化过程和完善板块构造理论中发挥了举足轻重的作用。科学家们广泛认同板块构造早在10亿年前的地球已存在并起主导作用, 但越来越多的证据表明全球规模的持续性板块俯冲作用最早可以追溯到新太古代或古元古代。尽管如此, 科学家们对板块构造起始和转型的具体时间仍未达成共识。Holder et al. (2019) 的研究仅从时间尺度来看“双峰式”变质作用, 但忽略了空间尺度, 同一时间尺度的“双峰”可能并不一定是同一俯冲带的产物,

并非代表真正意义上的双变质带。深入认识板块构造体制转型，仍需要我们综合多学科的研究成果，其中变质地质学研究的重要作用不可或缺！

主要参考文献

Brown M. Duality of thermal regimes is the distinctive characteristic of plate tectonics since the Neoproterozoic [J]. *Geology*, 2006, 34(11): 961-964. (链接)

Brown M. Metamorphic conditions in orogenic belts: A record of secular change [J]. *International Geology Review*, 2007, 49(3) : 193-234. (链接)

Brown M. Characteristic thermal regimes of plate tectonics and their metamorphic imprint throughout Earth history: When did Earth first adopt a plate tectonics mode of behavior [J] *The Geological Society of America, Special Paper*, 2008, 440: 97-128. (链接)

Brown M. Metamorphic patterns in orogenic systems and the geological record [J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 2009, 318(1): 37-74. (链接)

Brown M. The contribution of metamorphic petrology to understanding lithosphere evolution and geodynamics [J]. *Geoscience Frontiers*, 2014, 5(4): 553-569. (链接)

Brown M and Johnson T. Secular change in metamorphism and the onset of global plate tectonics [J]. *American Mineralogist*, 2018, 103(2): 181-196. (链接)

Brown M and Johnson T. Time's arrow, time's cycle: Granulite metamorphism and geodynamics [J]. *Mineralogical Magazine*, 2019, 83(3): 323-338. (链接)

Chopin C. Coesite and pure pyrope in high-grade blueschists of the Western Alps - a 1st record and some consequences [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1984, 86(2): 107-118. (链接)

Dewey J F and Bird J M. Mountain belts and the new global tectonics [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1970, 75(14): 2625-2647. (链接)

Ernst W G. Metamorphic zonation on presumably subducted lithospheric plates from Japan, California and the Alps [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1971, 34(1): 43-59. (链接)

Ernst W G. Possible Permian oceanic crust and plate junction in central Shikoku, Japan [J]. *Tectonophysics*, 1972, 15(3): 233-239. (链接)

Holder R M, Viete D R, Brown M, et al. Metamorphism and the evolution of plate tectonics [J]. *Nature*, 2019, 572(7769): 378-381. (链接)

Miyashiro A. Evolution of metamorphic belts [J]. *Journal of Petrology*, 1961, 2(3): 277-311. (链接)

Smith D C. Coesite in clinopyroxene in the Caledonides and its implications for geodynamics [J]. *Nature*, 1984, 310(5979): 641-644. (链接)

Stern R J. Evidence from ophiolites, blueschists, and ultrahigh-pressure metamorphic terranes that the modern episode of subduction tectonics began in Neoproterozoic time [J]. *Geology*, 2005, 33(7): 557-560. (链接)

Weller O M and St-Onge M R. Record of modern-style plate tectonics in the Palaeoproterozoic Trans-Hudson orogen [J]. *Nature Geoscience*, 2017, 10: 305-311. (链接)

Xu C, Kynicky J, Song W, et al. Cold deep subduction recorded by remnants of a Paleoproterozoic carbonated slab [J]. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 2790. (链接)

(撰稿: 焦淑娟, 陈意, 郭敬辉/岩石圈室)