

华北克拉通东部岩石圈地幔在其破坏过程中的密度演化

叶之琳^{1,2*} 范大伟¹ 唐琦哲^{1,2} 许金贵^{1,3} 张东舟³ 周文戈¹

1 中国科学院地球化学研究所 贵阳 550081; 2 中国科学院大学 北京 100049; 3 夏威夷大学马诺阿分校 夏威夷 96822

华北克拉通 (NCC) 是世界上古老而稳定的克拉通之一, 其东部自中生代以来被认为经历了大规模的减薄和破坏。NCC 东部岩石圈的密度结构是了解岩石圈地幔物质组成和构造变形的基础, 也是了解克拉通的演化、动力学以及 NCC 破坏机制的关键。过去对 NCC 东部岩石圈地幔密度的研究多是基于有限的地震数据, 而缺乏从矿物物理角度直接获取 NCC 东部岩石圈地幔密度。因此, NCC 东部的密度分布特征无法得到充分的约束。

本文利用同步辐射单晶 X 射线衍射实验技术, 并结合外加温金刚石压腔实验装置, 获得了华北克拉通东部岩石圈地幔中橄榄岩的主要组成矿物 (橄榄石、斜方辉石、单斜辉石、尖晶石和石榴子石) 在高温高压下的热状态方程。利用三阶 Birch-Murnaghan 方程拟合获得了上述矿物的体弹模量及其温度与压力导数、热膨胀系数等热状态方程参数。本文采用在同一样品腔内对所有橄榄岩主要组成矿物 (橄榄石、斜方辉石、单斜辉石、尖晶石和石榴子石) 进行系统研究, 有效的消除了不同实验之间的系统误差, 大大的提高了高温高压实验精度。结合地幔岩石圈的热状态和 NCC 东部岩石圈地幔的矿物组成, 利用本文获得的橄榄岩主要组成矿物的热状态方程参数, 可以进一步计算橄榄岩的密度值。因此, 建立了 NCC 东部岩石圈地幔在其破坏过程中随时间和空间的密度演化模型。

根据 NCC 东部热演化历史模式, 本文绘制了中生代至今各个不同时期的密度随深度的分布图。在中生代早期, 尖晶石相橄榄石岩石圈的密度随深度增加略有下降, 直到尖晶石到石榴子石相变为止, 密度突然增加, 随后随深度变化逐渐增加。白垩纪早期, NCC 东部的构造变形转变为伸展构造, 软流圈上涌对岩石圈贡献了更多的热能, 在逐渐增加的热流达到白垩纪早期第一个峰值后, 地幔岩石圈厚度显著减小, 密度也随之下降。在破坏的初始阶段, 岩石圈地幔成分仍为方辉橄榄岩, 在破坏后被二辉橄榄岩取代, 密度下降。因此, 可能存在一种模式, 如果向上的热源位于岩石圈的底部, 由于热侵蚀, 上部难熔岩石圈地幔密度比底部大约高 2.5%, 密度较大的上部岩石圈地幔同致密的榴辉岩化的下地壳可能会引起拆沉, 这些因素能够为破坏过程中的拆沉作用提供驱动力。在第一次破坏后的中晚白垩世, 上升软流圈的冷却使岩石圈在短时间内略有增厚, 密度略微增加。在新生代早期, 出现另一个热流峰值, 岩石圈地幔厚度和密度有相应减小, 太平洋板块俯冲到地幔过渡带形成大的地幔楔并伴随软流圈上升被认为是岩石圈进一步变薄的原因。直到现在, 由于热沉降, 岩石圈密度略有增加, 随着深度的下降趋势变缓。自中生代以来, 岩石圈地幔平均密度的变化与岩石圈厚度的演化一致, 呈现正相关的关系。

对 NCC 东部的热状态研究表明, 地表热流值表现出明显的横向非均质性, 可分为三个典型区域: 以渤海湾盆地为代表的高热流区域, 以河北和北京为代表的低热流区域和介于以上两者之间的中热流区域。根据不同的地表热流值得出岩石圈地幔在不同区域的密度分布, 发现: 1. 密度随深度的增加而降低, 热区域的密度远低于冷区域的密度。2. 热流异常区域的密度变化结果在 60–80km 与地球物理结果是一致的。3. NCC 东部密度异常的空间分布表明该区域可能经历了不同程度的破坏。就渤海湾盆地而言, 表现出较高的热流与相对较低的密度特征, 暗示着在新生代出现一次高热流值破坏后, 仍继续保持着热衰减, 表明 NCC 东部可能保留了最后一个破坏期的状态。4. 现今密度表现出的横向非均质性可能是由热构造活动引起的, 也可能反映了破坏时期的非均质性。