

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.834>



液态外核的化学演变是地磁场的关键引擎吗?

刘 锦¹, 巫 翔²

1. 北京高压科学研究中心, 北京 100193

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

地磁场的形成距今至少 35 亿年, 保护着地球上所有生命体免受太阳风和有害辐射的影响, 是宜居星球不可或缺的要素. 地磁场是由熔融金属状态的外核对流所引起, 其对流的驱动力可能来源于外核的化学演化, 即地球发电机模型. 古地磁记录显示, 地磁场的两极在地质历史时期曾不断发生倒转, 引发磁场强度阶段性变弱到消失再到产生反向磁场. 时至今日, 地球发电机模型在解释地磁场强度变化与倒转等问题上仍面临严峻挑战. 迫切需要以高温高压实验模拟, 特别是原位热导率测试和微区成分分析技术的提高, 获得液态地核的化学组成、演化与效应的新认识, 为解析地磁场形成与转变机制这一科学难题提供关键实验约束依据.

1 核心思想

地磁场是由合适的地核电导率与热输运性质所产生. 较高的电导率一般有助于电流和磁场产生, 然而较高的热导率将抑制地核热对流和地磁场运行. 最近 100 多年来地磁强度减弱高达 10%, 是否暗示新一轮地磁倒转即将发生? 地磁场变化不仅受控于地核结构, 同样依赖于液态外核的热流模式. 当液态外核的热流较高, 地磁倒转就相对频繁. 当前, 地核热输运性质主要通过理论模拟和实验测量获取, 结果相差高达 6 倍, 导致地核发电机能量来源和地球内核年龄的预估截然不同(图 1)(Pozzo *et al.*, 2012; Konôpková *et al.*, 2016; Ohta *et al.*, 2016). 另一方面, 对于液态外核的物质组成及其随

时间演变有待进一步制约(Lv and Liu, 2022). 轻元素(比地核主要元素铁原子序数小的元素)的种类及含量是影响液态外核电热输运性质的关键, 故亟需阐明液态外核的物质组成及其演变对其电导率和热导率的影响, 揭示地核发电机运行机制和地磁场演变机理.

2 科学价值

地球深部运行机制是当前深地科学研究的最前沿, 而地核演化更是深部动力学机制的引擎(Voosen, 2022). 在地球长期冷却过程中, 在核幔边界层发生物质与能量交换引起地幔对流; 在内外核边界处熔融态铁合金缓慢结晶, 释放出热量和轻元素(如氢、碳、氧、硅、硫等)(Hirose *et al.*, 2021), 则为外核对流提供了源源不断的驱动力. 目前基于铁合金在地球深部展现出全新的物理化学特性, 系统地探索外核温压环境下 Fe-L(L=轻元素)合金的元素配分行为与电热输运性质, 限定液态外核中轻元素的赋存及其效应, 为破解地磁场起源与变化提供新的研究思路, 最终回答“液态外核的化学演变是地磁场的关键引擎吗?”这一科学问题. 该科学问题的解答将极大地推动深地过程与宜居星球研究的发展, 为探索其他类地行星和天体的磁场演变开辟新技术手段.

作者简介: 刘锦(1984—), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 长期从事高温高压实验技术与深地科学研究. E-mail: jin.liu@hpstar.ac.cn

引用格式: 刘锦, 巫翔, 2022. 液态外核的化学演变是地磁场的关键引擎吗? 地球科学, 47(10): 3845–3846.

Citation: Liu Jin, Wu Xiang, 2022. Does the Compositional Evolution of Earth's Liquid Outer Core Hold the Key to the Geomagnetic Field? *Earth Science*, 47(10): 3845–3846.

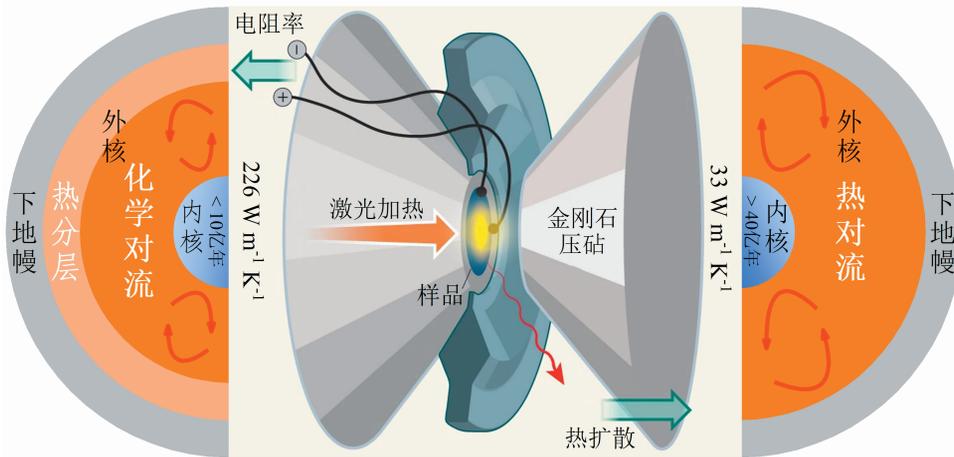


图1 地球核幔边界温压条件下铁的热导率及其对应的外核对流模式与内核年龄(修改自Dobson, 2016)

3 发展前景

地核温压环境下铁合金的热输运性质研究在国内外尚属空白,是具有高度挑战的科学与技术难题.技术创新是科学发展的源动力,在地核实验研究领域技术创新的重要性尤为突出.基于金刚石压腔的高温高压实验技术,是当前实现地核温压环境的有效途径.由于实验样品尺寸极其微小(直径约 $10\sim 20\ \mu\text{m}$),如何通过实验思路创新,建立高温高压热输运性质原位测量的新技术与方法,提高实验结果的精度、重复性等,是揭秘地磁场起源与演化的关键技术前提.根据地核科学问题的需求,进行关键技术的研发,开展外核化学演化及其效应研究,具有广阔的技术和基础研究前景,是中国学者在深地科学领域取得重要突破的机遇.

参考文献

- Dobson, D., 2016. Earth's Core Problem. *Nature*, 534(7605): 45. <https://doi.org/10.1038/534045a>
- Hirose, K., Wood, B., Vočadlo, L., 2021. Light Elements in the Earth's Core. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(9): 645–658. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00203-6>
- Konôpková, Z., McWilliams, R. S., Gómez-Pérez, N., et al., 2016. Direct Measurement of Thermal Conductivity in Solid Iron at Planetary Core Conditions. *Nature*, 534(7605): 99–101. <https://doi.org/10.1038/nature18009>
- Lv, C. J., Liu, J., 2022. Early Planetary Processes and Light Elements in Iron-Dominated Cores. *Acta Geochimica*, 41(4): 625–649. <https://doi.org/10.1007/s11631-021-00522-x>
- Ohta, K., Kuwayama, Y., Hirose, K., et al., 2016. Experimental Determination of the Electrical Resistivity of Iron at Earth's Core Conditions. *Nature*, 534(7605): 95–98. <https://doi.org/10.1038/nature17957>
- Pozzo, M., Davies, C., Gubbins, D., et al., 2012. Thermal and Electrical Conductivity of Iron at Earth's Core Conditions. *Nature*, 485(7398): 355–358. <https://doi.org/10.1038/nature11031>
- Voosen, P., 2022. The Planet Inside. *Science*, 376(6588): 18–22. <https://doi.org/10.1126/science.abq2090>