2年审稿，《自然》刊文指出地球内核是超离子态

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/17421.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

2年审稿，《自然》刊文指出地球内核是超离子态。波涛汹涌的大海，耀眼的电闪雷鸣，摄人心魄的岩浆崩裂，巨大的蘑菇林……在法国作家凡尔纳笔下的《地心游记》中，地球内部是一个丰富多彩的奇幻世界。

事实上，科学研究表明，地球内核并不是凡尔纳所说的空心结构，而是一个由压缩铁合金组成的固体球。2月10日，中国科学院地球化学研究所地球内部物质高温高压重点实验室研究员李和平、何宇与北京高压科学中心毛和光院士等团队在《自然》刊发的论文再次刷新了目前认知。

在地球核心的温度和压力下，研究团队对多种铁合金的性质进行了计算模拟，结果表明地球内核并非传统认知的固态，而是由固态铁和流动的轻元素组成的超离子态。



地球内核位于地球最深处的神秘区域 （中科院地化所供图）

模拟新世界

地球自形成以来，距今已有大概44～46亿年。作为地球深处最神秘的地方，人类对地核的探索一直从未停止。

1936年，通过观测分析地震纵波穿过地核时形成的影区，科学家首次发现了地球内核的存在。根据纵波和横波数据的分析，确立了地球液态外核和固态内核的基本认知。

但地核处于极端高温高压环境下，由于观测数据的匮乏，人类对地核结构和性质的认知非常有限

。随着科学的进步，现在科研人员可以在计算机中模拟高温高压的地球内核环境，获取相应的研究成果。

论文第一作者何宇指出，以往研究表明地球内核的密度比纯铁要低，有科研人员推测地球内核中存在某些轻元素。然而，这些轻元素在地球内核中的存在状态却很少被关注到。

何宇说：超离子态介于固态和液态之间，被认为广泛存在于地球和行星内部。在超离子态物质中，一部分离子如液体一般快速运动，而另一部分离子如‘骨架’一般固定在物质结构中。地球科学中研究超离子态转变的工作不多，基于多年的经验，毛和光院士提出了一个大胆的想法，他认为地球内核可能会存在超离子态。

为了验证这个想法，2017年开始，中科院地球化学所和北京高压科学中心团队合作，构建了一个地球内核的计算模拟世界。

轻元素在地球内核对流

在研究人员构建的这个模拟世界中，他们选取了地球内核中最稳定的六方相（hcp）铁-氢、铁-碳和铁-氧合金作为计算模型，在地核温压下，这些合金转变成了超离子态。

但在整个过程中，研究团队发现，计算模型在熔点之上仍然保持固态，存在过热态现象。在过热态下的计算结果将与实际情况不符，从而导致错误的结论。为了解决这个问题，团队利用固－液共存法对合金的熔点进行了约束，获得了固态-超离子态-
液态转变相图，证实了超离子态合金在内核温压下的稳定性。

他们还观察到，在超离子态合金中，碳、氢、氧离子在铁骨架结构的间隙中快速扩散，表现出流体的特征。

在内核温度下，轻元素离子在超离子态铁合金中的扩散系数与其在铁熔体中相当，这表明轻元素的扩散性质在内外核并没有显著改变，因此轻元素的对流可能在内核中广泛存在。何宇表示。

此外，团队还利用第一性原理分子动力学方法，对超离子态合金的弹性性质和地震波速进行了模拟计算。

地球内核软化之谜一直存在，地震学观察到，地震横波波速通过地球内核时会显著降低。我们的模拟结果表明，流动的轻元素杂质可以引起铁合金的软化，引起地震波速显著降低，数值能够与地震学的观测结果恰好符合。何宇表示。

2年审稿长跑终获录用

高温高压学科的发展、超算平台的建立，让我们的研究能够领先一步。比起较为顺当的研究过程，更加一波三折的是论文的投稿和审稿经历。何宇说。

2020年7月6日凌晨2点40，经历了长达几个月的审稿后，何宇收到了编辑的第一次拒稿意见。

我早上起来看到了邮件，内心有些沮丧。但编辑并没有‘一杆子打死’。审稿人认为地球内核有超离子态是一个新的概念，需要足够强、足够充分的证据来证明。我们计算合金熔点的方法并不适用于超离子态体系，应该加以改进。何宇说。

经过反复的讨论和修改，他们采用固-液共存法约束合金熔点，在超算平台模拟了将近2个月时间，结合文献的报道，最终推断计算模型和实际合金熔点相吻合。

他们再次完善论文，向编辑部发出了邮件。在此期间，论文预印版于2020年12月在线发布于Research
Square，引起了相关研究领域的关注，同行的关注和反馈，也让我们对自己的工作更有信心。

坏消息在2021年2月25日传来，何宇收到了第二次拒稿邮件。审稿人认为铁-碳合金的热力学计算没有说清楚，我们附上了计算过程，恰巧又有新的文献佐证，最终编辑同意了新修改的文章内容。何宇说。

7个月的等待之后，2021年10月22日，他们收到了文章确定接收的邮件，那一刻真的很开心，好事多磨，团队将近5年的工作终于得到了认可。

在审稿意见中，一位审稿人认为本工作非常有趣和重要，并亲自重复验证了计算结果；而另一个审稿人指出，这里的计算方法为后人的计算研究建立了新的标准，如果要模拟固态相，必须要排除过热态的影响。

超离子态内核更新了我们对地球内核状态的认知，流体一般运动的轻元素为认识内核对流，各向异性结构的形成和地震波的衰减提供了新的线索，将成为地球内核研究的新基石。何宇表示。（来源：中国科学报高雅丽）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41586-021-04361-x

版权声明：凡本网注明来源：中国科学报、科学网、科学新闻杂志的所有作品，网站转载，请在正文上方注明来源和作者，且不得对内容作实质性改动；微信公众号、头条号等新媒体平台，转载请联系授权。邮箱：shouquan@stimes.cn。

作者：李和平等 来源：《自然》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发