



中国科学院昆明分院
Kunming Branch Chinese Academy of Sciences



公告: 昆明分院拟提名申报2020年度云南省科学技术奖励项目(版纳植物园)相关信息公告 (../zylz/202007/t2020070...)

Q 请输入关键词

搜索

首页 (../..) > 科研进展 (../)

科研进展 (../)



地化所: 地磁场驱动地球内核各向异性新机理

地球化学研究所 2023-03-28 小中大



地震学观测结果显示，地球内核结构复杂，表现出地震波沿南北极方向速度快，沿赤道面方向速度慢；地震波速的各向异性随着深度也发生变化，内核外层存在着各向同性的区域，特别是在内核最深处，慢轴方向与极轴方向呈现约 50° 的偏转；地球内核各向异性还存在东西差异，西半球的各向异性更强。内核各向异性一般认为是由晶格定向排列导致，但是对于形成定向排列的驱动力目前尚无定论，对各向异性结构的形成机理也缺乏系统认知。

2022年，中国科学院地球化学研究所李和平、何宇和孙士川等人组成的团队与北京高压科学研究中心毛河光院士团队合作在*Nature*（《自然》）发文，揭示了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（碳、氢、氧）组成的超离子态，从而解释了地球内核的低横波波速之谜。最近，他们再与北京高压科学研究中心毛河光院士、Duck Young Kim研究员以及南方科学技术大学林玉峰教授团队合作，利用深度势能分子动力学对六方相（hcp）超离子态铁-氢合金进行了深入研究，人工智能驱动的科学新研究方法（AI for Science）实现了外电场下大规模分子动力学模拟，发现了超离子态铁-氢合金可以与地磁场发生相互作用，并在偶极磁场的作用下形成了各向异性结构，为内核复杂的各向异性和不均一结构成因提供了全新解释。

地震波速各向异性

研究团队前期工作表明，铁-氢合金在内核温压下转变为超离子态，氢离子可以如液体一般在固态铁晶格中快速扩散。超离子态物质表现出特殊的弹性性质，铁-氢合金 (FeH_{0.25}) 的纵波各向异性随着温度从0 K增长到6000 K发生了极不寻常的变化，沿着晶体c轴方向的纵波波速逐渐降低，波速各向异性先减弱后增强。4000 K时，c轴波速相对减小至接近a轴方向波速，其各向异性达到最小值。随着温度继续升高至6000 K, c轴方向波速继续减小，a轴成为最快波速方向，此时各向异性值增加至5.3%。除了温度影响外，氢离子浓度增加，也会导致波速各向异性的转变。

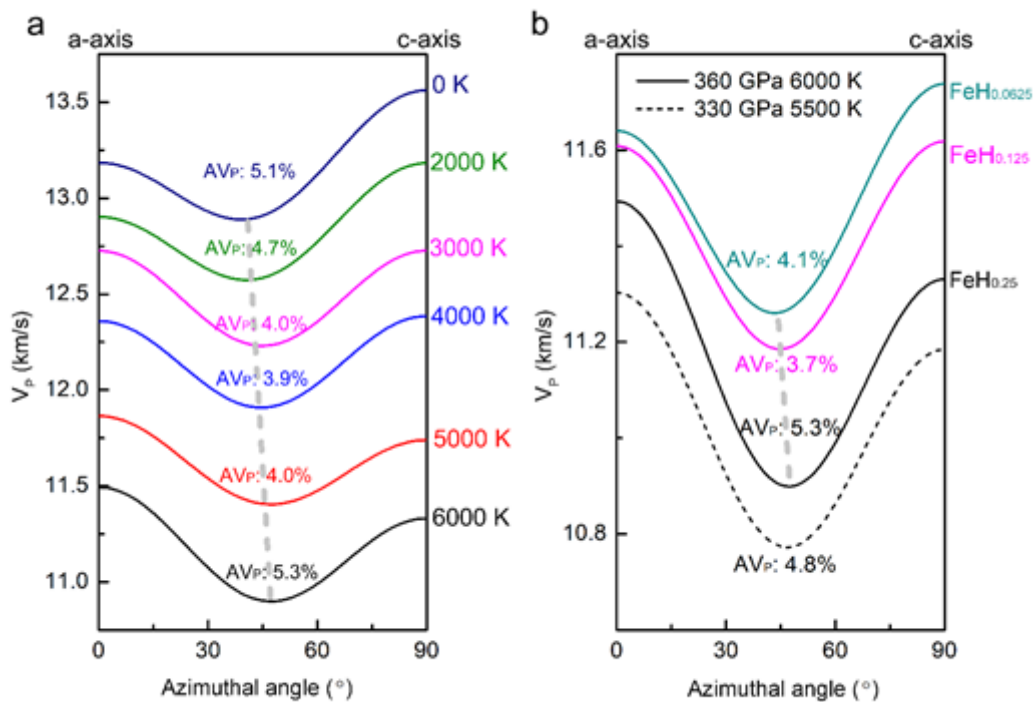


图 1. 六方相铁-氢合金中地震纵波波速各向异性随温度、压力和氢含量的变化

氢离子扩散各向异性

氢在hcp铁-氢合金中的扩散表现出明显的各向异性，其沿着c轴方向扩散时有着更低的迁移能垒，表现为扩散时离子沿该方向与晶格的相互作用力更弱。通过深度势能分子动力学模拟，发现在外加电场的条件下，当c轴方向与电场方向平行时体系能量上更为有利（图2）。研究表明超离子态物质能够在外电场的作用下产生定向排布。

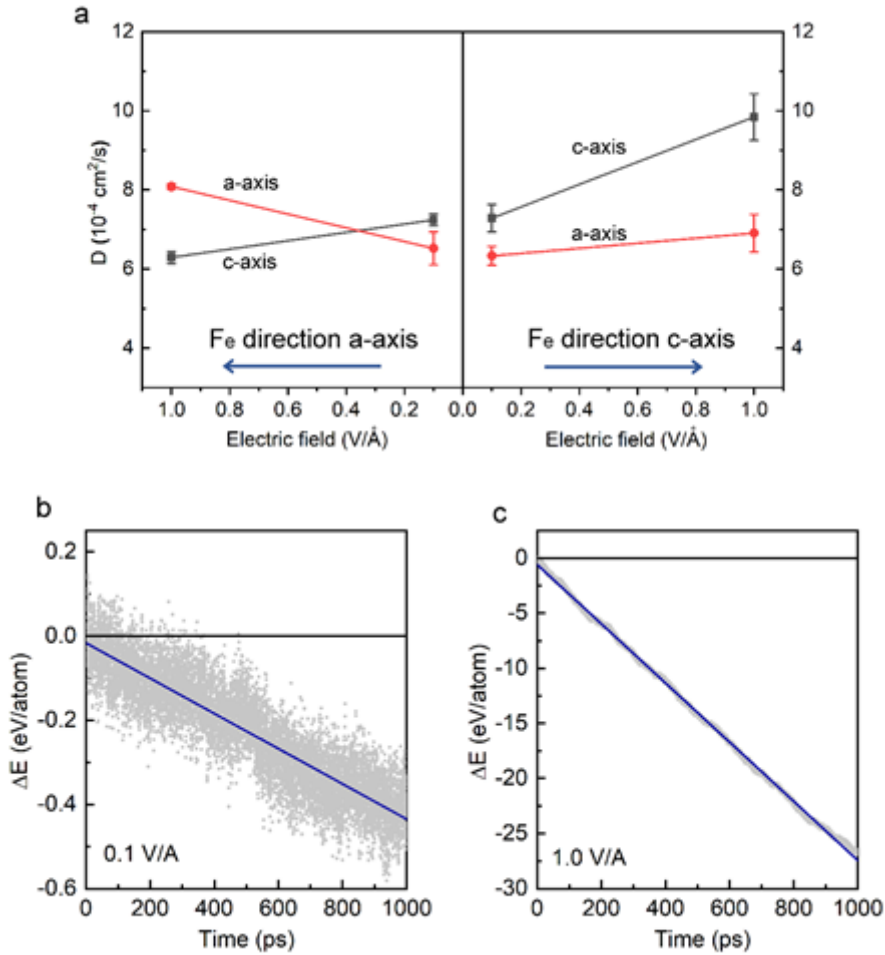


图 3. 氢离子各向异性扩散以及六方相铁-氢合金FeH_{0.25}在外加电场下的自由能差

超离子态各向异性内核模型

基于地球发电机数值模拟结果，外核动力学过程产生的磁场将在内核边界 (ICB) 处分解为环向地磁场 B_T 和极向地磁场 B_p 两个分量。偶极地磁中极向磁场 B_p 能够穿透整个内核，而环向磁场由于趋肤效应的存在，只能扩散到内核顶部较浅的区域（图3a黄色区域）。在内核顶部处，由 B_T 和 B_p 的共同作用下，将不会形成显著的各向异性构造，从而解释了内核顶部的各向同性层。而在深处， B_p 将起到主导作用，根据安培定律，相应的电流方向将垂直于 B_p 方向。如上所述，超离子态铁-氢合金c轴平行于电流方向排布对体系能量最为有利。根据此全新机理，可以构建地磁场驱动下的超离子态内核模型，其c轴将与赤道面平行，从而导致与地震学观测结果一致的各向异性的地震波速（图3b）。若进一步考虑c轴在赤道面的各向异性排布，还可以解释最内核的各向异性结构变化(图3c)。

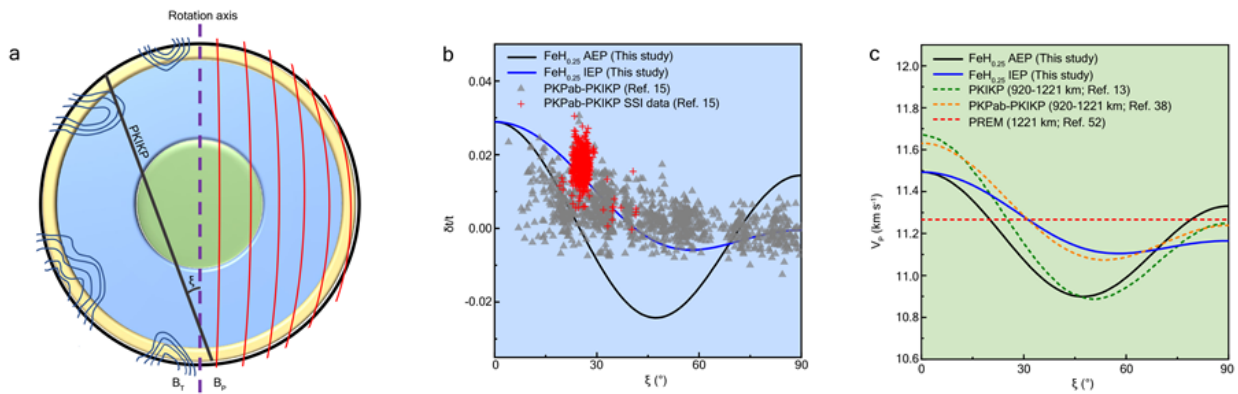


图 3. 内核中地磁场示意图以及随深度变化各向异性构造变化，以及超离子态内核模型与不同深度地震学观测对比。

“水滴石穿”，在内核电场的作用下，流体一样的氢离子就像滴水一样，塑造了内核的各向异性结构。然而，内核的电场分布将更为复杂，并且会随时间发生变化，这将为认知内核结构的不均一性和时变特征带来新的思路。更重要的是，该项研究首次建立起了地球内核结构与地磁场之间的耦合关系，为研究地磁场的运行机制与演化提供了全新的关键线索。

该项研究成果在线发表在国际顶级权威期刊 *Nature Communications*（《自然-通讯》）上，中国科学院地球化学研究所特别研究助理孙士川博士（现已入职新加坡南洋理工大学 Research Fellow）为文章的第一作者，何宇研究员为文章的通讯作者。该工作得到国家自然科学基金（42074104、U1930401）、中科院青年交叉团队项目（JCTD-2022-16）、中科院青年创新促进会（2020394）、中科院先导B计划（XDB 18010401）以及贵州省2020年科技专项补助（No. GZ2020SIG）等项目的经费支持。

论文信息1：Yu He*, Shichuan Sun, Duck Young Kim, Bo Gyu Jiang, Heping Li & Ho-kwang Mao. Superionic iron alloys and their seismic velocities in Earth's inner core. *Nature* 602, 258-262 (2022).

论文信息2； Shichuan Sun, Yu He*, Junyi Yang, Yufeng Lin, Jinfeng Li, Duck Young Kim, Heping Li, Ho-kwang Mao. Superionic effect and anisotropic texture in Earth's inner core driven by geomagnetic field. *Nature Communications* 14, 1656 (2023)

论文连接 1 : <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04361-x>
(<https://doi.org/10.1038/s41586-021-04361-x>)

论文连接 2 : <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37376-1>
(<https://doi.org/10.1038/s41467-023-37376-1>)

(高压室 何宇/供稿)

-----相关链接-----



-----院属机构-----



-----友情链接-----



中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

单位邮编：650204 电话：0871-65223106 传真：0871-65223217

单位地址：云南省昆明市茨坝青松路19号 电子邮件：office@mail.kmb.ac.cn

中国科学院昆明分院版权所有

滇ICP备05000233号 滇公网安备53010302001225号 网站标识码:bm48000015

