地幔矿物可能另有其“型”

作者：倪思洁 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/620.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！

地球内部是什么样子?这是人们早就有的好奇。

长期以来，科学家通过测量深部地震波波速、高温高压实验模拟等手段，试图看清地球内部构成。很快，他们发现，在地球某些深处，地震波波速会突然跃增。就像声音在不同介质中的传播速度不同，科学家推测，这或许与矿物相的改变有关。于是，凭借脑洞和科学数据，地学界逐渐形成了现有的地幔矿物学模型。

然而，最近中国科学家的一项叛逆推测，可能会让学界重新分析地震波波速突然跃增的成因，并重新考量地幔矿物学模型。(论文链接)

一个不像问题的问题

20世纪，澳大利亚学者泰德·林伍德(1930—1993)在解释地震波波速突然跃增时提出，高温高压条件下橄榄石会发生改变，并在地幔过渡带下部520公里至660公里处转变为一种特殊矿物，从而影响地震波波速。后来，人们将这种特殊矿物称为林伍德石。

科学家认为，研究林伍德石结构及物理化学性质等问题，会有助于完善地球地幔矿物学模型，了解地球内部520公里至660公里处地震波波速突然跃增的成因。

同时，林伍德石是强冲击变质作用的标志性矿物，广泛出现在各种陨石中，研究其性质，可以有效指示冲击的温压条件、持续时间、冲击规模等，结合宇宙年代学等资料，可以揭示太阳系的早期演化历史。

在诸多科学问题中，有一个看起来不是问题的问题，即林伍德石中阳离子占位的无序性。

林伍德石具有典型的尖晶石型结构，这一结构包含氧原子和另外两种阳离子。氧原子形成晶体的储物架，原子间的缝隙为两种阳离子提供了四面体、八面体两种空间。

常温常压下，两种阳离子会各自乖乖、有序地待在自己的空间，但遇到高温高压，离子们就会不安分起来，部分原本在四面体里的离子会趁机跑进八面体，同时，部分原本在八面体里的离子会跑到四面体中，由此，无序状态出现，晶体的物理化学性能也随之变化。

过去半个多世纪里，就像大家公认1+1=2一样，科学界认为林伍德石里的硅离子和镁离子一直会很乖。在此基础之上，现有的地幔矿物学模型建立起来。

一方面囿于思维定式，另一方面，与镁铝尖晶石不同，林伍德石无序状态更不易保存，温度、压强一旦下降，离子占位会迅速回归有序，所以也的确很难直接观察到无序现象。于是，林伍德石的硅镁无序不大受关注。北京大学地球与空间学院研究员刘曦说。

意外!硅离子去哪了?

最开始，刘曦和他的团队并没有打算研究林伍德石的无序问题。当时，他们在中科院战略性先导科技专项(B类)、科技部国家重点研发计划项目等的支持下，研究含碳地幔橄榄岩、榴辉岩等在地球内部的熔化过程。

为了完成研究，项目设计了一系列高温高压实验，很偶然地在不同温压条件下合成出了一批硅含量不同的镁铝尖晶石。

看着这些含硅镁铝尖晶石，刘曦突发奇想地跟硕士研究生刘丽萍说：既然含硅，不如我们测一下吧，看看硅到底在什么位置上。

当初，刘丽萍的第一反应和大多数专业人士一样：肯定是在四面体里啊!

可是，当刘丽萍用拉曼光谱测试了样品，并与天然的无硅镁铝尖晶石、石英、合成的无硅镁铝尖晶石、柯石英、斯石英和镁橄榄石等对照时发现，在较低的温压条件下，尖晶石中的硅离子处在四面体位置。但是，随着温压条件的升高，样品中硅氧四面体的拉曼谱峰竟明显变弱。

硅离子去哪了?如果不在四面体里，只能说明在更高的温度压力条件下，它们去了八面体，也就是说，硅离子占位变得无序了。刘丽萍说。

经过他们计算，高温高压下，尖晶石中硅的占位已经达到了完全无序的状态，无序程度达到了66.7%。就这样，硅的群体叛逃行为，被刘曦、刘丽萍等人逮住了。

由此，他们推测，同为尖晶石结构的林伍德石中，硅离子占位很有可能也存在高度无序的情况，只是人类至今还没有直接测到而已。

在假设林伍德石中存在无序现象的基础上，已有理论研究表明，若无序程度为12.5%，地震波波速将减少3%至5%。所以，如果高温高压下的林伍德石会出现高度无序状态，如66.7%，那么，地幔矿物学模型就需要被重新考量。刘曦说。

叛逆成果背后的波澜

不出刘曦预料，论文一发表，就引起了广泛关注。5月12日，论文正式发表在国际矿物学杂志Minerals上。截至5月18日，该成果在Minerals杂志官网上的浏览次数已达225次，下载量126次，杂志的官方推特还专门推送了此篇论文。

其实，由于研究结果太过叛逆，这篇论文的投稿过程颇为坎坷。之前投了三四家期刊，基本都被编辑一棒打死，连被送给同行科学家评审的机会都没有，令人非常沮丧。刘丽萍说。

直到今年4月，他们把论文发给了Minerals，很快他们就收到了四位匿名同行专家的评审建议。

四位匿名评审的意见以正面评价为主。其中一位匿名评审专家在评审意见中如是写道：这篇论文提高了学界对林伍德石中硅镁无序的认识，其研究方法属于历史首次，且研究采用的多元方法很好地说明了林伍德石的结构无序以及类似矿物的化学差异。

论文评审专家提出的质疑，得到了来自刘曦团队的回应。例如，一位评审专家建议他们从论文标题中删去推理性描述，认为林伍德石和镁铝尖晶石的稳定条件有差异，推理时应尤为谨慎。刘曦回应称，广泛坚实的数据和严密的推理都是科学研究非常重要的组成部分，有助于进一步推动相关研究。

我国科研条件尚无法支撑我们在林伍德石稳定的温度压力条件下直接做相关实验，但这篇论文发出来之后，一定很快会有国外研究团队对这一推论进行验证。刘曦说。

刘曦告诉记者，这项研究成果，一方面要求学界重新审视过去的很多实验数据及其解读，另一方面也指明了未来还有很多可以尝试的方向。接下来，科研团队还会进一步研究林伍德石离子占位无序程度与温度、压强间的函数关系。

我们目前的研究成果只是播下了第一粒种子。刘曦说。(来源：科学网 倪思洁)

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