

从三叶虫的体型演化看

生物体型为啥会变

□ 冯伟民



进化杂谈

体型一直是人类了解生物的重要特征,它的大小演化有着怎样的奥秘?近日,由中国科学院南京地质古生物研究所领衔的中美联合研究团队在《科学进展》发表最新研究成果,首次揭示了三叶虫的体型演化与古海洋氧化程度存在显著关联,为理解生物体型变化的驱动机制提供了新的关键证据。

氧含量影响三叶虫体型演化

作为古生代早期海洋中的代表性无脊椎动物,三叶虫因演化速度快、物种多样性高、体型差异也大,是开展无脊椎动物化石体型演化研究的绝佳对象。此次中美研究团队历时5年,通过收集1091个三叶虫属的4732标本,建立了全球最完整的寒武纪-奥陶纪三叶虫体型数据库。

他们发现:在海洋缺氧时期,三叶虫体型较小,而氧气较为充分时期,三叶虫的体型也较大。这种相关性揭示了氧含量对生物体型的深远影响,为古环境与生物协同演化研究提供了重要借鉴。

同时,特别值得注意的是,三叶虫体型衰退较生物多样性崩溃提前数百万年,表明顶级捕食者可作为环境恶化的早期预警指标,反映古生态系统的崩溃存在“自上而下”的级联效应。

二叠纪出现有趣转折

时间来到泥盆纪晚期,那时大气中氧含量升至现代水平的20%左右,却引发了大灭绝事件:盾皮鱼纲灭绝、三叶虫衰退、珊瑚礁崩坏,海洋生态系统结构性解体。之后,在石炭纪时期,虽已形成35%的高氧环境,但顶级捕食者——离片椎类两栖动物(如蛙类、蝶螈、蚓螈等)的体型最大仅2-3米,远小于后世恐龙。

在脊椎动物“征服”陆地过程中,诞生了以羊膜卵为繁殖器官的羊膜动物,合弓纲和双孔类是其下两大分支。合弓纲为后来哺乳动物的崛起奠定了基础,而双孔类则包含了爬行动物、鸟类等类群。到了二叠纪时期,尽管大气中氧含量降至15%,合弓纲和双孔类却实现体型突破。这得益于羊膜动物呼吸系统革新(完善肺结构)和以种子植物大范围传播“辐射”带来的陆地生态系统复杂化。

从以上案例,我们可以找到共同

点:氧含量虽是体型演化的重要参数,但生理适应性和生态压力同样起着关键调控作用。

多重因素作用的结果

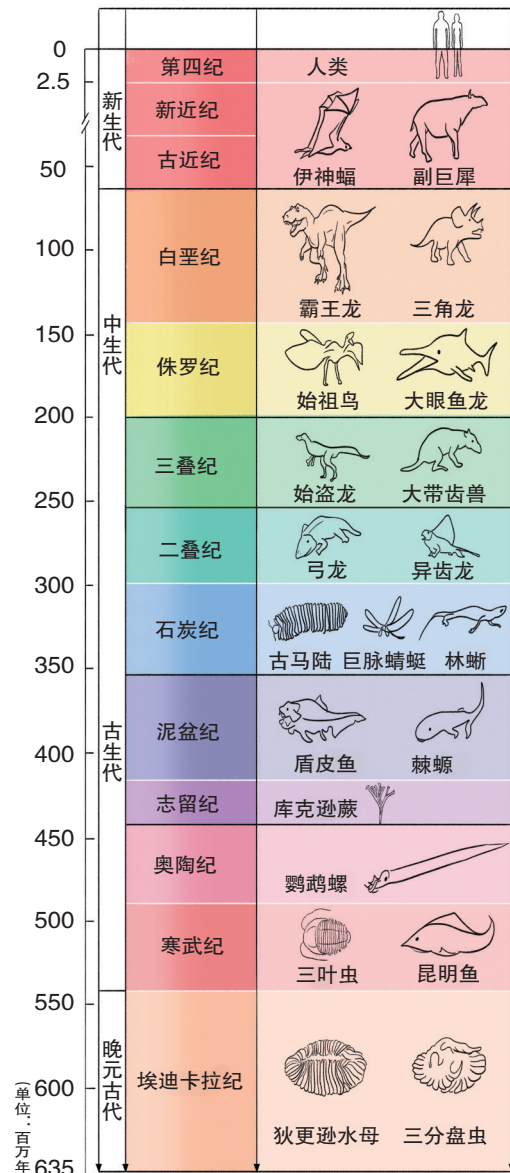
科学家把动物巨型化特征归结为:高效的呼吸系统、充足的食物供给和适应巨大体型的骨骼构造。这些特征在三叠纪晚期也尚未完全成熟。

直到进入中生代中后期,此时的大气中氧含量已与现代相近,出现了诸如体长超30米的梁龙等蜥脚类恐龙、体重达8吨的暴龙等兽脚类恐龙、翼展超10米的风神翼龙。

为什么这一时期会出现动物的巨型化?这是由于主龙类通过肺结构的完善等提高了氧的利用效率,而且这一时期植物的繁盛丰富了动物营养来源,进而对体型演化产生影响,再加上中生代的温暖气候(较现代高6-8℃)可能提升了动物的代谢率。

总之,从无脊椎动物三叶虫到恐龙等巨型脊椎动物,它们的演化历程展现了动物体型演化是多种因素复杂“互动”的结果,也为预测当代气候变化下的生物响应提供了关键参照。

(作者系中国科学院南京地质古生物研究所研究员)



地球生命演化时间表(作者供图)

另辟蹊径,探索极低温固态制冷新方案

□ 孙培杰

“十大进展”系列解读⑤

作为一种惰性气体,氦气具有重要的工业用途。1908年,荷兰物理学家卡末林·昂内斯首次将氦液化。由此,利用液氦的极低温制冷技术被广泛应用,特别是大科学装置、空间探测、量子科技等前沿领域,离不开极低温环境的支撑。

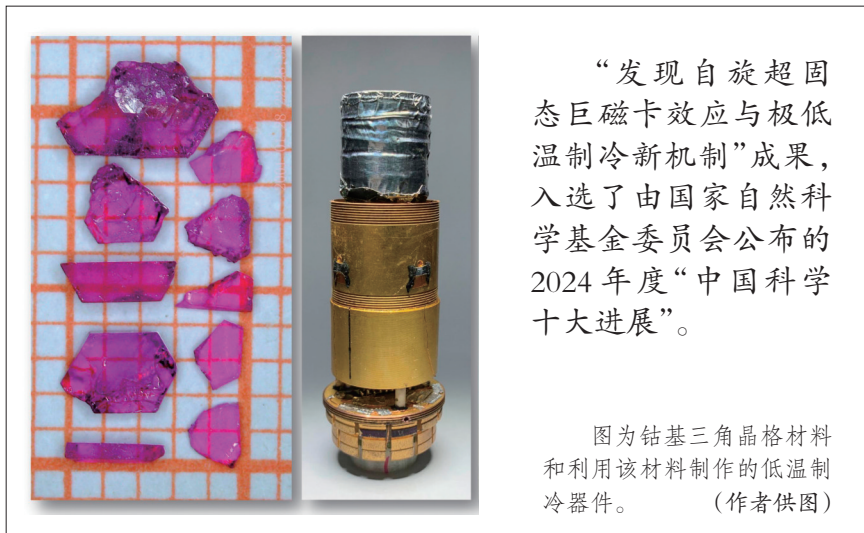
然而,氦气是全球性稀缺资源,其中同位素氦3尤其稀少,我国的氦3更是几乎全部依赖进口。探索不依赖氦资源的极低温固态制冷新方案,一直是科学家着力破解的难题。

超固态是否存在

目前,极低温制冷主要有两种方式:第一种是氦制冷,它依赖氦这种稀缺元素的量子涨落强、相互作用弱带来的特殊低温特性;第二种是磁制冷,它主要依赖水合顺磁盐晶质的磁卡效应,是典型的固态制冷。

这里的磁卡效应是指磁性材料在磁场作用下产生显著温度变化的现象。之前,美国科学家吉奥克通过水合顺磁盐的绝热去磁已实现低于1K(相当于-273.15℃)的极低温。然而,水合顺磁盐中磁性离子分布稀疏,同时具有磁熵变密度小、稳定性差、热导低等固有缺点。

近年来,量子磁性材料的相关研究进展为极低温固态制冷的性能提升带来



“发现自旋超固态巨磁卡效应与极低温制冷新机制”成果,入选了由国家自然科学基金委员会公布的2024年度“中国科学十大进展”。

图为钴基三角晶格材料
和利用该材料制作的低温制
冷器件。(作者供图)

新思路。超固态是兼具固体和超流体特征的新奇量子物态。超固态能否在固态材料中存在是凝聚态物理的重要前沿问题,也是《科学》杂志2005年公布的125个最具挑战性的科学问题之一。

自20世纪70年代初,超固态作为理论猜测提出以来,除了冷原子气的模拟超固态实验外,人们尚未在固体物质中找到超固态存在的可靠实验证据。如果固体磁性材料中存在自旋超固态,科学家将有望实现高效的极低温固态制冷。

从预言到验证

钴基三角晶格材料是一种新合成

的反铁磁材料。在早期研究中,人们观察到此材料中存在着很强的低能自旋涨落,于是,科学家提出其是量子自旋液体态的候选材料。我们团队基于多年的研究经验,发展出一系列精确、高效的量子计算方法,从理论上预言该材料的基态并非量子自旋液体,而可能是长期寻找的自旋超固态。

由于材料中自旋相互作用很小,相关实验研究需要在极低温下对其中的自旋物态进行观测,极具挑战性。我们团队制备了高质量的钴基三角晶格材料单晶体,通过多个版本实验器件的迭代优化,攻克了低温绝热与变场测温等关键技术瓶颈,成功测量了该材料的极

低温磁卡效应。

我们团队通过精密的实验发现,自旋超固态既能在量子临界点附近发生温度的急剧下降,同时由于超流引起的量子涨落使得材料在绝热退磁过程中保持比较恒定的低温,具有完美的磁卡制冷效应。

同时,我们团队还开展了低温中子衍射实验。由于材料中的钴离子磁矩较小,需要基于国际先进的中子源实验站开展0.1K以下信号测量。经过多次尝试,我们团队首次从微观角度揭示了钴基三角晶格材料中的自旋超固态。这是首次在实际量子磁体中发现自旋超固态存在的有力证据,为探索极低温量子制冷材料提供了崭新的思路。

在以上研究成果的基础上,我们团队还研制了基于量子磁性材料的实际固态制冷器件,且已应用到前沿研究的工作中。目前,基于该制冷器件的更多极低温测量功能正在开发中。

我们期待未来在量子磁性材料的研究进展中可以实现更低温、更高冷量的极低温制冷技术,通过基础研究的不断突破来推动工程技术的提升,将实验室的研究成果转化成新型应用器件和极低温制冷机,缓解极低温领域对氦资源的依赖,同时拓展我国相关大科学装置的测试温度区间,并助力物质科学、量子科技、空间探测等前沿领域的发展。

(作者系中国科学院物理研究所研究员)