

神奇的超导体，奇在哪里

□ 陈仙辉



陈仙辉，中国科学院院士，深耕超导领域30余年。长期以来他一直坚持新型非常规超导体的探索及超导和强关联物理的研究，在非常规超导体和功能材料的探索及其物理研究方面，取得了一系列有国际影响力的重要成果，发现了铁基超导体、有机超导体等一系列新型超导体，取得了系统性和创新性成果，是国际上该领域有重要影响的科学家之一。

在电影《阿凡达》中，那一座又一座悬浮在云端的哈利路亚山，让人惊叹不已，究竟是什么神秘的力量能够悬空“托起”这一座座大山呢？是因为山中蕴藏着一种神奇的室温超导矿石，它借助强大磁场悬空托起了哈利路亚山。那么，究竟什么是超导材料？它为何拥有如此强大的磁悬浮力量？

超导有哪些特性

超导是一种特殊的物理现象。普通的导体可以导电，但是因为存在电阻，所以会发热，电流损耗比较大。然而，科学家发现，在极低的温度下，普通导体的电阻竟然会离奇消失，导电时不仅没有损耗，还拥有了一系列不可思议的特性，变成了一种神奇的材料——超导体。那么超导是怎么被发现的呢？它有哪些令人惊叹的特性呢？

1896年科学家詹姆斯·杜瓦液化了空气，空气的液化主要就是氮气的液化，氮从气态变成液态以后就达到了77K（开氏温度，即热力学温度），开氏温度（K）=摄氏温度（C）+273.15，77K接近于零下200摄氏度。在零下200摄氏度一个物质状态如何，这是我们一直想知道的。杜瓦把温度降到77K以后，他测量了水银的电阻，但是非常遗憾，他并没有看到电阻趋近于0，而是有一个有限值。13年以后荷兰科学家卡默林·昂内斯实现了最后一个气体的液化，也就是氮气，氮气的液化温度达到4.2K。非常神奇，在接近4.2K的时候，汞也就是水银的电阻突然消失了。卡默林·昂内斯敏锐地感觉到这是进入了一个新的物理状态，而这个物理状态他就把它称作超导态，这就有了超导的概念。

安德森和罗尼爾在1962年用超导体做了一个线圈通以电流，然后把电源切断，电流持续地在里面运行。然后测量它周围产生的磁场，发现它的电流没有任何衰减。这就证明超导电阻是零，这是超导的第一个特性。超导还有另外一个特性就是完全抗磁性。1933年两个科学家——迈斯纳和奥切森菲尔德在研究一个超导体锡（超导温度3.7K的超导体）的时候，发现它在磁场里面是不被穿透的。在超导体发现之前，人们对磁场的认识就是任何物体，包括人体在内的生命体都能被磁场穿透，但是超导体处在超导态的时候，它里面的磁感应强度始终为0。磁场是不穿透超导体的，这是它的第二个特性。从科学意义上讲，完全抗磁性比零电阻对于超导体来讲，是更基本的一个物理性质。

超导还有另外一个神奇的性质，就是磁通量子化。超导体的磁通量子化是实现磁悬浮的基础之一。这究竟是一种什么神奇的特性呢？简单来说，虽然超导体有完全抗磁性，但是，当超导体存在杂质等缺陷，而外界磁场大到一定程度时，少量磁场就会进入超导内部，出现

并被固定在缺陷附近，像被钉子钉住一样，这被称为“磁通钉扎”。在这种状态下，超导体就能与外界磁场形成一种稳定相互作用，悬浮起来。“钉扎效应”在超导磁悬浮的设计和应用中起到重要作用。通过控制外部磁场的强度和超导材料的特性，就可以使得超导磁悬浮具有很好的稳定性和抗扰动能力，从而实现更高性能和更可靠的磁悬浮系统。

超导里面有两个关键的因素，第一个就是要发生超导，需要两个电子形成一对库珀对；第二个就是库珀对之间要发生相干。1992年李政道和著名漫画家华君武有一次对话，华君武问李政道，你们讲的超导是怎么回事？李政道讲，超导就是要配对，还要相干。然后华君武就画了一幅画。两个蜜蜂配对以后，就在天上飞，而单个的蜜蜂就在碳60球上爬，因为它不超导，不超流（没有超导电流），但是相干怎么表现？两个蜜蜂的翅膀的朝向完全一样，表现它的相位相同，来实现相干。华君武还写了一句话：“双结生翅成超导，单行苦奔遇阻力。”准确地描绘了超导的这样一幅场景。

超导材料都有哪些神奇的应用

1度电，能让烧水壶连续工作1小时，能让音响连续工作30小时。城市中每1度电的传输都离不开电缆。但电缆有电阻，电力在传输过程中损耗非常大，损耗率在5%—10%之间，传输距离的增加，还会使损耗率增加。而随着史上最强35千伏超导电缆的横空出世，电力线路损耗的难题终于得到解决，在“超导技术”的加持下，它可以实现几乎零电阻。相比传统输电方式，在满负荷运行的情况下，它能够以35千伏“小”电缆，成功输送2160.12安培的电流，达到220千伏“大”电缆的输送能力，大幅减少高电

压等级变电站建设所需空间。超导材料还有哪些神奇的应用？

当今社会发展的三大关键技术就是能源技术、信息技术和生物技术，而超导材料跨界能源和信息两个技术，这就奠定了它广泛的应用前景。超导肯定是一个要取代现有输电技术的战略性技术。超导有两种应用：一种是强电应用，一种是弱电应用。强电应用第一和能源有关，第二和交通有关，第三和生物医学有关。还有一个弱电应用，就是超导量子干涉仪或者干涉仪，量子比特、量子计算等等。总之超导是可以在能源和信息等领域带来深刻变革的一个战略性的科学技术。

目前正在应用的超导材料分为高温超导和低温超导两类，都要处于极低的温度才能实现超导，临界温度为25K—30K，也就是零下248摄氏度至零下243摄氏度，低于这个温度的超导体为低温超导，高于这个温度的超导体为高温超导。低温超导对低温的要求更高，一般需要在昂贵的液氮环境中工作，虽然已经应用于许多领域，包括磁共振成像、粒子加速器、磁悬浮列车等，但昂贵的制冷剂限制了应用范围。相比之下，高温超导只需要在低价的液氮中，因此应用空间更加广阔。

室温超导技术会给世界带来哪些惊喜

如果盘点2023年科技领域引发全球吃瓜的大事，室温超导应该榜上有名。室温超导这把火是由美国科学家迪亚斯烧起来的，2023年3月8日，美国科学家迪亚斯在美国物理学会大会上宣布，在1万个大气压（1GPa）下实现了室温超导，语惊四座。要知道，最近5年科学家们研究超导材料，都是在200多万个大气压以上（200GPa）条件下进行的，这相当于地球核心承受的压力，难度可想而知。所以，当

迪亚斯团队宣称把压力降低至不到原来的1/200之后，引爆了全球科技界！一波未平一波又起，2023年7月22日，韩国室温超导团队连续发表了2篇论文，声称“首次”发现了室温常压超导材料LK-99，再度在全球掀起超导旋风。但仅仅过了3个多月，事件出现反转。11月，《自然》杂志撤掉了迪亚斯的“室温超导”论文，紧接着，韩国团队的惊天发现最终也无法被证实。热闹了大半年的室温超导大戏暂时告一段落。为什么全球科学家会对室温超导这么关注？室温超导技术又会给世界带来哪些惊喜？

之所以说“室温超导”是一项突破性的技术进展，是因为它与传统的超导现象有着很大的不同。传统的超导材料只有在极低的温度下才会表现出超导现象，这使得其应用范围受到了很大的限制。例如，铜氧化物超导体只有在零下135摄氏度左右，才能实现其超导特性，用液氮冷却（液氮的温度是零下196摄氏度），可达到超导特性所需的温度，目前其广泛应用还需大量研究。因此，传统的超导材料在使用时，需要特殊制冷设备支持。而室温超导则意味着，在室温下，也就是20到30摄氏度，就可以实现超导，无需特殊的制冷系统。室温超导技术如果能实现，将能提高能源利用效率、加速交通运输、实现更高的计算速度等方面带来前所未有的颠覆性突破。

室温超体会不会被发现？我的看法是，到目前为止，没有任何物理的理论能说明室温超导不可能实现，这是第一点。第二点实际上超导是一个宏观量子效应，它会有一个能量尺度，但是在宏观量子效应里面，在实现室温下观察宏观量子效应有没有先例？有！在石墨烯上我们看到了整数量子霍尔效应这样一个宏观量子效应，从这个角度来讲，室温并不是无法实现超导的。另外，从材料的角度来讲，铜基超导已经实现了135K（零

下138.15摄氏度）这样一个温度，如果从能量尺度来讲也就是翻一倍，到270K（零下3.15摄氏度），我觉得从能量尺度来讲也是可能的。但是我们还是要脚踏实地认真探索，有很多技术上的挑战要一步一步做。超导技术为什么比我们想象的应用场景要少，没有发挥那么大的作用？是由于它有很多的支撑技术、冷却技术、力学技术等成本问题。如果上升到室温超导，制冷的这个问题就不用考虑了，这样的话，它的应用场景肯定就多了。室温超导不用冷却，成本可以大大地降低，在很多场景都能应用。超导既是能源技术，也是信息技术，在材料领域能发挥巨大的作用。

超导研究从科学角度来讲有三大任务：一是包括铜氧和铁基高温超导体的非常规超导的微观机理的解释；二是要探索适用于应用或者高临界温度甚至是室温的超导体；三是超导体的广泛应用。比如超导计算机量子计算、超导芯片、强电、强磁场的应用，超导领域的科学家普遍认为这些挑战的解决，都是诺贝尔奖级的工作，关键还是新超导体材料的发现。人类的文明是可以材料来划分的，远古时期是石器时期，然后是青铜器时期，晶体管诞生以后，现在硅支撑起了信息技术。从这个角度来讲，室温超导体可能是推动下一次技术变革



的一个有力的候选材料。这就是为什么有关室温超导的信息极大地引起社会关注的原因所在，室温超导体可以作为能源信息材料在科学研究、信息计算、通信、生物医学、电力、交通、能源等领域广泛应用，被认为是能够支撑下一代人类文明的关键材料。室温超导体的发现和可控核聚变的实现将会永久性地解决人类面临的能源问题。

超导研究的展望

超导研究的一个展望是突破半导体的技术瓶颈。半导体技术发展到现在，集成电路已进入亚10纳米技术，但实际上半导体技术里面有几个瓶颈：一是计算机的速度瓶颈，二是功耗瓶颈，三是制造瓶颈。现在大家听到的、看到的主要是制造瓶颈。比如说荷兰阿斯麦公司的光刻机问题，因为我们没有光源，这是制造瓶颈。实际上还有另外一个很大的瓶颈，就是功耗的瓶颈，因为功耗太大，超级计算机应用的电费太高、成本太高。从可持续发展的角度来讲，功耗是限制超级计算机可持续发展的一个重要瓶颈。如何解决功耗问题，是半导体工业必须解决的问题。国内现在所有的大数据中心基本上都放在西北，那边有两个优势：一是平均温度，西北一年的平均温度比东部和南部要低很多；二是西北能源的价格比发达地区要低很多，这是一个很大的优势。能耗包括两部分，计算机芯片本身在运行过程中的损耗会产生热，怎么把热排出去，散热是一个很大的问题。大家知道，台式计算机只有一个小风扇，如果这个小风扇坏掉了，那机器就没法运行了，这就是环境温度、工作温度的问题。如果用超导的话，它本身功耗小了，散热可能也就便利了，或者说成本也就低了。现在我们讲人工智能和ChatGPT，就是利用机器学习，大量地在使用运算大功率、高速的超级计算机，但功耗很大。我们就渴望有一种技术能够克服或者改善，超导在这方面肯定是一个选择。超导集成电路具有显著的速度、功耗、制造和生态优势。实际上在这方面超导数字计算机已经开始尝试，比如美国的泰坦号。超导集成电路是后摩尔信息技术的一个重要方向，未来的能源工业、电力传输、交通、医疗等领域都会因超导技术的应用发生翻天覆地的变化。我们期待室温超导的实现，推动人类文明的发展。



更多精彩内容扫码看视频

科技信息资源赋能科技创新

□ 侯创华 李 昊

2024年《政府工作报告》提出，加快推动高水平科技自立自强。充分发挥新型举国体制优势，全面提升自主创新能力，就要“集成国家战略科技力量、社会创新资源”。科技信息资源是在科学研究、技术开发及创新活动中产生、应用和传播的多种信息资源，具备数字化、智能化和网络化的创新属性。通过提供丰富的科学数据、先进的分析工具和广泛的合作平台，科技信息资源显著提升了科研效率、创新质量与速度。因此，科技信息资源已然成为科技创新活动的重要基础资源。

“三驾马车”驱动颠覆性科技创新

充分发掘科技信息资源价值，深化新兴数智技术融合应用，打造科技信息资源建设与服务体系，是有效促进科技创新，乃至产出颠覆性创新成果的“三驾马车”。

科技信息资源助力培育科技创新新动能。科技信息资源是推动科研范式变革的战略性基础资源，其价值在于能够帮助科研人员与科技管理部门及时了解科技前沿新动

态，促成重大科学发现。大数据时代，科技创新活动越来越依赖于从大量信息资源中提取隐性知识，揭示事物间的隐含联系。通过对海量科技信息资源的深度挖掘和分析，有利于揭示科技前沿的最新态势与潜在生长点，从而更加高效、准确地识别与厘清科技发展新方向。

新兴数智技术塑造科学研究新优势。利用数字化、智能化与网络化的新工具和新方法实现科学数据处理和分析的自动化和智能化，能够大幅提高科研工作效率。在人工智能技术日新月异的今天，新兴数智技术引领着科学探索和技术发明的新浪潮，不仅显著提升了实验设计的精度，而且有助于优化研发流程，有效降低研发成本和风险，避免无效投资和资源浪费。使用模拟和预测技术还能够减少对实际物理实验的需求，从而进一步降低研发成本和时间消耗。

科技信息服务打通产业创新新路径。科技信息资源是连接科技创新和产业创新的桥梁纽带。科技信息资源蕴含着丰富的技术水平与行业发展的动态数据，使得科技成果与行业需求之间的对接变得更加高效，能够进一步推动科技创新成果转化。科技信息资源数据共享和开

放服务体系的建成，则有助于进一步促进跨学科与跨产业的合作，保障技术研发的针对性和时效性，为打通创新链、产业链、资金链与人才链一体部署提供了新思路、新路径。

五措并举加快科技信息资源开发利用

科技信息资源是深度融合科技创新与产业转型升级的物质基础。数据要素、数智技术、支撑载体等角色定位在促进科技创新发展中展现了重要价值。然而，当前我国数智化科技信息资源的建设、开发和利用仍存在较多制约因素。主要表现在：数智化基础设施建设相对落后，科学数据的开放共享机制尚不健全，资源开发利用的深度和精度明显不足，成果转化和产业化能力有待提升，高水平人才培养亟待加强。面对新质生产力快速发展的实践需求，应着力提升科技信息资源在信息服务、资源基础和管理决策等方面的支撑能力。

推进科技信息基础设施建设。其中义是需要加大智能网络、一体化大数据中心、高性能计算集群

等基础设施建设，提高科技信息资源的可获取性和传输效率，为科技创新发展提供强有力的信息通信支撑。此外，还需加快建立开放的科技信息元数据标准，形成标准化、协同化、智能化的科学数据开放共享服务平台。

优化科技信息资源开放共享服务。首要任务是打破信息孤岛，推进科学数据跨部门、跨层级、跨地区汇聚、整合和利用，构建统一的科技信息资源库，加快公共科研机构、高校的科学数据和研究成果的开放共享。在此基础上，通过构建有效的科技评价体系，建立对科技信息和数据成果的认可和贡献等有效的激励机制，鼓励科研人员开放共享科研数据和成果。

深化科技信息资源的开发利用。增强科学数据的复用、通用和共享是提升科技信息资源价值，支撑科技创新的重要手段。这需要支持关键技术研发和前沿技术创新，利用生成式人工智能等新兴技术提高科技信息资源开发的效率与精度；还需要鼓励技术和算法类的知识成果转化，增强科技信息资源的场景化和情景化开发与应用。

激活科技信息资源生产要素。以科技创新推动产业创新，关键在

于充分释放数据要素价值，加快形成科学大数据产业，提高科技信息资源要素生产率，从而赋能传统产业结构优化升级并跃迁至价值链的高端水平。在此基础上，还需要强化人工智能技术算法和算力，推动算网一体化进程，提高数据分析能力和科学数据资源的功能价值，有力支撑新兴产业和未来产业发展。

培养科技信息资源管理专业人才。培养满足数智化时代研究需求的综合型复合人才，从数据科学、计算机科学、管理科学等交叉学科视角大力培养科技信息资源管理专业人才。同时，依托产教融合平台，推动课程教育和工程实践紧密结合，提升学生的创新能力和实践技能。通过设立专业培训和继续教育课程，鼓励科技信息服务领域的在职人员通过多样化的培训和学习机会提升业务能力与管理服务水平。

