

超导——

能源信息等领域的战略级科技

陈仙辉

开卷知新

今年以来,我国自主设计建造的“人造太阳”全超导托卡马克核聚变实验装置(EAST)取得重大成果,“祖冲之号”超导量子计算机也不断取得新的突破,标志着我国在能源、信息相关前沿研究领域占据了制高点。在这些重大科技突破的背后,都离不开超导材料与超导技术的发展。

超导是人类发现的第一种宏观量子现象,具有丰富科学内涵和广阔应用前景。超导表现出的零电阻和完全抗磁性等奇特性质,目前已在近万种材料中被发现。超导的研究历程已经跨越了一个多世纪,但人们的研究兴趣依然未减。超导研究一次次打破人们对微观物质世界的认知,推动了新物理概念的产生、新物理规律的发现和新方法的建立;超导材料也被广泛地应用于能源、信息、医疗、国防、交通等领域,在许多方面发挥着不可替代的作用。

零电阻和完全抗磁性是超导体的基本物理特征

对超导态的认识可以追溯到1911年,当荷兰物理学家卡末林·昂内斯把金属汞冷却到液氮温度4.2开尔文(约为零下269摄氏度)时,意外发现其电阻跳跃式地下降到了设备检测不到的数值。卡末林·昂内斯将这一当时物理学界无法理解的全新物态命名为“超导态”,进入超导态的物体被称为超导体。随后20多年时间里,物理学家又发现超导态的完全抗磁性:小磁场无法穿透到超导体的内部。换言之,磁场被超导体排斥,只能从超导体的表面附近“绕过去”。这些独特的电磁学性质与人们所熟知的金属特性完全不同,需要一套全新的物理理论进行描述。

对超导态的解释是20世纪前半叶物理学最重要的问题之一。许多顶尖物理学家提出过自己的见解,但都不能完全解释实验现象。上世纪50年代末,这个方向出现了重大突破——在理论和实验物理工作者的共同努力下,人们确认超导态的出现是由于固体中电子受到原子振动影响,两个电子之

间产生相互吸引作用,形成特殊的“电子对”。配成对的两个电子可以当作一个基本的单元来考虑,它们的行为与单个电子截然不同,能够相干在一起发生宏观凝聚现象,形成具有零电阻和完全抗磁性的超导态。这一超导微观理论是量子力学建立之后最重要的理论进展之一,其建立的概念也推动了宇宙学、粒子物理学、核物理学等学科的发展。

持续探索超导材料,高温超导家族不断壮大

建立超导态形成的微观理论的同时,人们也在寻找具有更高超导转变温度(即临界温度)的材料。遗憾的是,几十年时间里超导临界温度的提升并不明显,最高只能到20多开尔文,离最常用的制冷剂——液氮的沸点温度(77开尔文)还很遥远。1986年,超导材料探索终于实现巨大突破:瑞士科学家在一类铜氧化物体系中发现了超过30开尔文的超导电性。这是20世纪科学史上的标志性事件之一。很快,一系列突破液氮温度的高温铜氧化物超导体被发现,我国科学家和华人科学家在其中作出了重要贡献。目前铜氧化物高温超导体已经成为一个庞大的超导家族,一些材料也开始规模化应用。

2008年,超导材料的探索又迎来了重大进展:第二个高温超导家族——铁基超导体被发现。这些材料是含有铁元素的磁性金属,其超导态在元素替换或高压合成下演化出丰富的行为。我国科学家在发现铁基超导体材料以及对其超导体机理的研究中,处于国际领先的位置。高温超导的发现向理论研究提出新的挑战,其具体机制的探索仍在进行中。高温超导微观理论的构建是当代物理学界急需解决的重要科学问题,对这个问题的解答将标志着人类对物质世界认知水平的一次重大突破。

在能源、信息等领域带来深刻变革的战略级科技

超导体由于其独特的物理性质,在很多领域发挥着不可替代的作用。超导体的零电阻特性使其成为一种理想的低能耗材料,

在能源领域有广泛应用前景。它可以帮助我们显著降低电力工业中的传输损耗和能源、冶金工业中的碳排放,为实现“双碳”目标作出贡献。超导电缆的实用化是实现大功率、低损耗、高稳定性输电的重要方案之一。目前我国在这一技术领域已经有了明显进展:国内首个千米级超导电缆在上海投入使用,并取代了部分传统变电站的作用;深圳为满足平安大厦较大的供电需求,建设了一支长度为400米的超导电缆。这些是超导电缆应用方面里程碑式的成果。此外,能够保护电路免受大电流冲击的超导限流器也已经在南方电网进入应用阶段。

随着我国基础设施建设和制造业的高速发展,对有色金属及其合金的需求与日俱增。有色金属的传统加工手段是使用常规感应加热,即利用高频交流电场在金属表面的趋肤效应加热,以高热导特性实现整体熔融并进行加工。这种感应加热长期存在能耗高、效率低的问题。我国最新开发的超导电磁感应加热技术,兆瓦级的装置每年可以节省800万千瓦时电,加热效率从原来的40%—45%提高到80%—85%。

基于超导体的强载流特性,可以制造无损耗的超导磁体线圈,实现传统磁体不能提供的磁场强度和稳定性。超导磁体所提供的超强磁场将有助于实现可控核聚变——在聚变堆内部,温度高达上亿摄氏度,超过任何材料的熔点,因此热核反应工作物质只能通过强磁场约束在反应区内;巨型强磁场超导磁体线圈的应用将有力推动可控核聚变技术的实用化,为能源产业带来颠覆性变革。超导磁体的另一个重要应用场景是生物医学:多数医用核磁共振成像设备都要用到超导磁体,通过不断提升超导线圈提供的磁场,可以显著提高核磁共振成像的分辨率,实现更快速、更准确的临床医学诊断。

作为人类利用电磁相互作用的极限手段之一,超导体在电子学器件领域也具有显著优势。超导电子对穿过两个超导体之间的绝缘夹层时会发生强烈的干涉效应,即约瑟夫森效应。这种隧穿对外磁场的响应极为灵敏。基于约瑟夫森效应设计的超导量子干涉器件,能够探测地球磁场几十亿分之一的微弱磁场变化,被广泛应用于材料科学、地质勘探中的磁性测量以及临床医学中的生物磁成像。超导薄膜和约瑟夫森结组成器件单元和电路,可以形成传感器、探测器、数字电路、量子比特等多种超导电子有

源器件和滤波器、电磁超材料等无源器件,在灵敏度、噪声、速度、功耗、带宽等方面具有传统半导体器件无可比拟的优势。约瑟夫森效应也被用于设计超导量子比特,成为量子计算机的基本单元;超导量子计算在过去20多年发展迅速,已经从最初的展示宏观电路量子特性的基础研究,发展成有一个有可能孕育出变革性新技术的方向。

超导体在微电子技术中的应用会成为解决目前半导体集成电路功耗问题的关键。传统半导体晶体管器件随着集成度的不断提高,正面临功耗瓶颈、发热严重、能耗过高等挑战。由于未来制造业以数字化和智能化为主,需要处理的数据量随着产业升级而急剧增加,超级计算机所需的大空间、高功耗和高散热正制约着算力的进一步提升。相比于传统半导体,使用超导电子学元件的超级计算机能耗降低五个量级,速度可以提升两个量级,且工艺和设计上与半导体技术相互兼容。因此,超导计算机的开发将为应对能耗问题提供一个可行的出路。

自超导现象被发现以来,室温超导体就是人类的一个长期梦想。目前,并不存在可靠的理论证明室温超导不会存在,而超导材料探索中的多次惊喜也一步步打破对追求室温超导的限制。近年来,人们在高压下的富氢化合物中实现了转变温度接近零下20摄氏度的超导电性,看到了获得室温超导体的希望。随着人们对材料探索、设计、合成和控制能力的不断提升,超导材料的探索进程极大加速,室温超导之梦已非遥不可及。中国超导科研工作者将抓住这一领域蓬勃发展的历史机遇,再接再厉、勇攀高峰,争取更多科学突破,为我国经济社会发展贡献科技力量。

(作者为中国科学院院士、中国科学院技术大学物理系教授)

版式设计:沈亦伶

推荐读物

- 《d波超导体》:向涛著;科学出版社出版。
- 《铁基超导体物性基础研究》:赵忠贤、于渌主编;上海科学技术出版社出版。
- 《超导物理》:张裕恒编著;中国科学技术大学出版社出版。
- 《超导“小时代”》:罗会仟著;清华大学出版社出版。

防护林生态工程建设的思考与总结

姜凤歧

我国幅员辽阔,自然条件复杂多样。新中国成立以来,为了防御自然灾害、改善生态环境、保障国民经济,国家对防护林建设予以高度重视,陆续启动了以“三北”防护林工程为代表的国家防护林生态工程。经70余年持续营建,我国防护林规模已居世界首位,成为名副其实的防护林大国。

面对如此巨量且发挥防护效应、提供生态服务的防护林,我们以怎样的理论与技术,才能确保防护林实现功能高效、稳定、可持续的目标?“防护林学”三代学人赓续传承,针对不同历史时期国家对防护林生态工程建设的需要,围绕防护林相关理论与技术创新及其带动的学科发展,接力走出一条科学探索之路。

1960年,曹新孙率先于中国科学院林业土壤研究所(现中国科学院沈阳应用生态研究所)组建防护林研究课题组,针对当时国家的需要,将研究方向定为农田防护林营造原理与技术。我有幸从那时起就跟随曹先生从事相关研究。1978年,国家启动“三北”防护林体系建设工程,这项被联合国环境规划署授以“世界生态工程之最”的宏伟工程,标志着防护林建设与研究进入了一个崭新时期。1983年,曹先生主编的《农田防护林学》正式出版,这部专著是20多年来以农田防护林为对象的多学科综合研究成果,将农田防护林研究提升到一个独立学科的水平。

1983年以后,历史把我推到了学科带头人的位置,从国家“七五”至“九五”科技攻



《防护林生态学》:朱教君著;科学出版社出版。

关,到中国科学院重大创新研究项目,我和同事以及我指导的研究者们,根据我国防护林生态工程从规模建设转为内涵建设的营建需求,重点围绕防护林构建与经营、土地荒漠化防治等领域展开研究。除农田防护林外,我们还将视野拓展到防风固沙林、水土保持林等。经过又一个20年的积累,2003年我组织出版了《防护林经营学》,将防护林经营在学科层面上加以系统提炼总结。朱教君从1987年开始跟随我从事防护林学研究,他作为主要负责人全程参与了《防护林经营学》的写作。

进入21世纪,营建防护林并提升其生态功能,成为确保国家生态安全与生态文明建设的重要任务。应中国科学院知识创新工程的需要,朱教君扛起防护林科学研究的

责任,组建并带领团队倾力于防护林生态工程构建—经营—评价系统研究,特别是在防护林退化与恢复机理、防护林质量和功能维持与提升以及重大防护林工程“天—空—塔/地”一体化评估等方面,取得了可喜成果。新时期国家对防护林建设的需求更加注重从生态学视角,探索构建符合生态服务功能为主的防护林营建理论与技术体系。经历了又一个20年的积淀,朱教君主笔完成了《防护林生态学》。

本书包含了防护林生态工程的生态学基础、结构与功能、营建新理论与技术、效应评价新方法体系以及防护林生态学研究展望等内容。《防护林生态学》既是防护林生态工程建设中基础理论与方法创新、学科交叉与融合、技术集成与应用的系统总结,也是新时代防护林生态工程建设的全面思考和凝练,是三代防护林人精神的传承和记载,展示了防护林生态工程的强大生命力。

借由《防护林生态学》的出版,回首我国防护林生态工程发展历程,方知防护林建设工作之重要,更感从事防护林科研工作之光荣。“三北”防护林还要建设将近30年,其他防护林生态工程也在发挥着越来越重要的生态功能。衷心期盼朱教君和他的研究团队能够继往开来,为防护林生态学乃至应用生态学科体系的发展,为我国防护林生态工程建设事业作出更大贡献。

(作者为中国科学院沈阳应用生态研究所研究员)

决策作得对不对、事情办得好不好,思想方法和思维方式科学不科学是关键。

树立科学的思想方法和思维方式

杨煌

学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想主题教育在全党开展之际,《怎样想问题——学习新时代中国特色社会主义思想方法》一书正式出版。这部著作深入学习习近平总书记关于思想方法和思维方式的重要论述,研究领悟新时代中国特色社会主义思想方法和思维方式,梳理探寻其形成发展的过程及特点,对帮助党员干部学习领会习近平新时代中国特色社会主义思想具有重要意义。

科学的思想方法和思维方式是我们认识问题、分析问题、解决问题的有效途径。中国共产党人的思想方法和思维方式是在辩证唯物主义和历史唯物主义指导下的科学思想方法和思维方式,梳理探寻其形成发展的过程及特点,对帮助党员干部学习领会习近平新时代中国特色社会主义思想具有重要意义。科学的思想和思维方式是在辩证唯物主义和历史唯物主义指导下的科学思想方法和思维方式,梳理探寻其形成发展的过程及特点,对帮助党员干部学习领会习近平新时代中国特色社会主义思想具有重要意义。

本书从新时代中国特色社会主义思想的基本内容、形成与发展、学习必要性等方面进行了系统深入阐述。

立论准确,逻辑严密。学深悟透党的创新理论,就必须深刻领悟贯穿其中的科学思想方法和思维方式,全面系统深入地学习怎样想问题。全书对新时代中国特色社会主义思想方法进行了全面论述,在提炼和概括的过程中,力求做到忠实于原著、原文、原意,力求文出有源、论出有据。全书既追本溯源,对马克思主义经典著作关于思想方法和思维方式的概念使用作了回溯阐发,明确理论源头,又对中国共产党人不断解决并优化思想方法和思维方式的探索进行条分缕析的梳理,理清历史脉络,兼具历史纵深感 and 现实针对性。

观点结合,系统深入。在学习阐发新时代中国特色社会主义思想的基本内容时,本书从立场观点方法入手,坚持一切从人民利益出发想问题、一切从实际出发想问题,坚持运用战略思维、历史思维、辩证思维、系统思维、创新思维、法治思维、底线思维想问题,大处着眼,细处落笔,既有对整体观点的把握,又分别进行深入解读。这种观点结合、系统深刻的阐发,有助于读者更好地学习科学的思想方法和思维方式,深刻理解进入新时代以来党和国家事业取得历史性成就、发生历史性变革的深层逻辑。

论述精炼,文风朴实。本书是在讲稿的基础上修改形成的,对怎样学习新时代中国特色社会主义思想方法和思维方式,如何在想问题、作决策、办事情中确立和优化思想方法和思维方式,展开了娓娓道来的阐发。作者坚持理论和实践相结合,论述精到、深入浅出、行文简洁、文风质朴,是一本好读耐读的理论著作,对广大党员干部提升思维能力具有参考价值。

决策作得对不对、事情办得好不好,思想方法和思维方式科学不科学是关键。广大党员干部要把好学习习近平新时代中国特色社会主义思想这个关键,深刻领会党的创新理论的精髓要义,使自己的思想方法和思维方式更好适应事业发展需要。



《怎样想问题——学习新时代中国特色社会主义思想》:启蒙著;人民出版社出版。

读书