

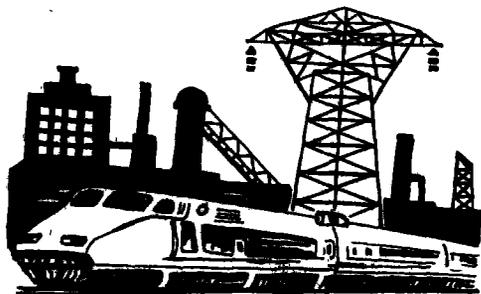
超导技术及其应用

王保成 杨恩智

(空军后勤学院 徐州 221000)

一、超导进展

随着科学技术的进步,低温技术取得了显著的发展,为超导现象的发现提供了环境条件. 1911年,荷兰科学家昂尼斯和他的助手在测量汞的低温电阻时发现,当温度降至4.2K附近,汞的电阻突然消失. 昂尼斯意识到汞在4.2K附近进入了一个新的物质态,并首次定名为“超导态”. 通常把开始进入超导态的温度称为转变温度或临界温度,用 T_c 表示. 自从发现超导以后,科学家通过多年努力,发现或制造出了上千种超导材料,其中包括元素、合金、化合物等. 但它们的临界转变温度都很低,超导转变温度最高的 Nb_3Ge 为23.2K. 直到1986年4月发现钡-镧-铜-氧化合物制成的陶瓷材料具有35K的转变温度,才使超导研究取得突破性进展. 从此在全世界掀起一场超导研究热潮. 1986年12月23日,日本宣布研制出37.5K的超导材料;25日,美国贝尔实验室获得40K的超导材料;26日,中国科学院发现转变温度为48.6K的超导体;1987年2月16日,在美国休斯顿大学作研究工作的美籍华裔朱经武宣布得到了 T_c 为98K的超导材料;2月14日,中国科学院宣布,中国物理学家赵忠贤等已发现 T_c 为110K的钡-铋-铜-氧超导材料;1987年3月9日,日本宣布获得175K的超导材料;随后,英、日分别用粒子束和中子束照射氧化物陶瓷材料,获得 T_c 为180K和270K性能稳定的超导材料. 后来又有超导转变温度超过300K的报道. C_{60} 分子的发现为有机物超导的研究揭开了新的序幕. 1991年4月



美国贝尔实验室的 Hebard 报道了掺 K 的 C_{60} 具有转变温度为 18K 的超导特性. 这一发现引起了科学界的高度重视. 随后出现了“ C_{60} 超导热”. 美国信号联盟公司的 Igbal 等合成了掺 Rb 和 Tl 的 C_{60} 化合物,

$Rb_{2.7}Tl_{2.2}C_{60}$ 的转变温度高达 45K, $Tl_2Rb_1C_{60}$ 的转变温度达 48K. 日本分子科学研究所也制出了转变温度高达 47K 的 $Rb_xTl_{3-x}C_{60}$ 的超导体. 日本金属材料所的前田弘和关根等人又合成 I_xC_{60} , 其超导转变温度高达 57K. C_{60} 的发现为实现室温超导提供了新的机遇和挑战. 如果能合成并分离出巨型的 C_{240} 或 C_{540} , 只要他们的能带不重叠,就有可能实现室温超导.

二、超导体的物理特性

1. 零电阻

零电阻是超导体的一个重要特性. 只要进入超导态,通过超导体内的电流就可看成是无阻尼流动,表现为零电阻现象. 实验表明,超导态中零电阻现象不仅与超导体温度有关,还与外磁场强度和通过超导体的电流有关. 即使超导体的温度低于临界温度,若外磁场很强超过了临界磁场或者通过导体的电流超过临界电流,超导态将被破坏. 零电阻现象可以用库珀电子对给出解释. 在超导态的基态,动量相反的电子形成库珀电子对,没有电流流动. 当超导体处于载流的超导态时,每个库珀对的总动量不再为零,但是,组成库珀对的电子在互相散射过程中总动量保持不变,所以电流没有变化. 只有使库珀对分裂的散射才有可能改变载流子的总动量,但在电流密度比较小的情形下,

无法提供库珀对分裂所需的最小能量,所以没有电流效应. 随着电流的增长,当附加的动能超过能隙的时候,引起总动量变化(即导致库珀对分裂)的散射就可以发生,这意味着存在临界电流,超过临界电流就会出现电阻.

2. 迈斯纳效应——完全抗磁性

零电阻是超导体的一个基本特性,超导体的另一个基本特性是完全抗磁性,即迈斯纳效应.

1933年迈斯纳等为了判断超导态的磁性是否完全由零电阻所决定,进行了一项实验,发现了迈斯纳效应. 大量实验表明,如果先降温,使超导体进入超导态,然后加上磁场,则它将把磁场排斥到体外;如果先加上磁场,然后降低温度,只要温度低于临界温度,磁场就会被排斥出去. 不管超导体内原来有无磁场,一旦进入超导态,超导体内的磁场一定等于零,即具有完全抗磁性. 超导体内的完全抗磁性根源于导体表面的屏蔽电流. 当超导体进入超导态时,在其表面将产生一定的永久电流. 该电流所产生的磁场在超导体内与外磁场方向相反,彼此恰好抵消. 从而使超导体内的总磁场强度为零,起到屏蔽外磁场的作用. 超导体的完全抗磁性会产生磁悬浮现象,磁悬浮现象在工程技术中有许多重要的应用. 如用来制造磁悬浮列车和超导无摩擦轴承等.

三、超导技术的应用

超导技术的应用十分广泛,涉及输电、电机、交通运输、微电子和电子计算机、生物工程、医疗、军事等领域. 这种新技术军民兼容,可研制出“双重产品”,社会效益和军事效益将获得巨大提高.

1. 超导技术在电力工程方面的应用

随着社会的进步,对电能的需要迅速增长,但输电过程中电能的损耗已成为日益严重的问题. 而超导输电,只要电流密度不超过临界电流,超导体无电阻,原则上可以做到完全没有焦耳热的损耗,因而可以节省大量能源. 用超导线圈绕制并构成闭合回路,对其励磁,超导线圈中储存的能量可以无损耗的长期保存,超导线圈

储能密度高(可达 $50\text{J}/\text{cm}^3$),可以瞬间输出巨大脉冲电能. 超导储能技术在军事上有着重要应用. 超导线圈用于发电机和电动机,则可以大大提高效率,降低损耗,提高功率密度,从而导致电工领域的巨大变革.

2. 超导技术在交通运输方面的应用

运用超导体产生的强磁场可以研制成磁悬浮列车. 列车运行时,超导磁体向地面轨道上的铝质线圈产生强大磁场,使铝环产生强大感应电流,由于超导体磁场和铝环中电磁场的交互作用,使车辆悬浮起来,因而车辆不受地面阻力的影响,可实现高速运行,车速高达 $500\text{km}/\text{h}$. 科学家预测,若使超导磁悬浮列车在真空隧道中运行,完全消除空气阻力的影响,车速可提高到 $1600\text{km}/\text{h}$. 利用超导体的完全抗磁性制成无摩擦轴承,用于发射火箭,可避免发射导轨与导轨直接接触的摩擦,将发射速度提高3倍以上.

3. 超导技术在电子工程方面的应用

自从超导结的奇异性质发现以来,人们利用约瑟夫逊效应制成许多精密的约瑟夫逊器件,为超导体在电子方面的应用开辟了广阔的前景.

利用约瑟夫逊器件可制成高灵敏度的磁传感器——超导量子干涉仪(SQUID),用SQUID为基本元件制成的磁强计、磁场梯度计、检流计、伏特计、温度计、重力仪及射频衰减测量仪等装置,具有灵敏度高,噪声低、响应快、损耗小等特点. 例如,用SQUID制成的磁强计可以测量微弱的磁场和磁场的变化,分辨率高达 10^{-15}T . SQUID可用于地球物理的勘测,通过测量不同深度的电导率,确定地热、石油及其他矿藏的位置和储量,并可用于地震预报.

用约瑟夫逊结作为计算机元件,开关速度可达到 10^{-12}s ,比半导体快1000倍左右,而功耗仅为微瓦级,比半导体元件小1000倍. 超导芯片制成的超导计算机,速度快、容量大、体积小、功耗低. 美国IBM公司研制的一台运速为8000万次的超导计算机,其体积只有一电话机那么大,且故障率低,可长时间高效率运行.

4. 超导技术在生物医疗方面的应用

超导磁体在医学上的重要应用是核磁共振成像技术,它可以分辨早期仅为 1.3mm 大小的肿瘤,可以早期检测心血管的发病预兆. 超导磁强计分辨率高,在医学上用来作出人体心电图、肺磁图、脑磁图等,用于临床诊断心血管病、矽肺病等;可用来研究人体特异功能、气功原理、针灸机理等. 超导医疗器械有精确率高、体积小、重量轻、耗电少等优良性质. 据预测,到下世纪,超导医疗会给整个生物医疗工程带来质的变革.

5. 超导技术在军事领域的应用

超导技术应用于国防军事,必将影响到作战方式和战略战术思想的变革. 导致一场新的军事革命.

超导技术在定向能武器方面的应用. 最有效的武器总是以最低的费用,在最有效的时间内把具有最有效形式的正确数量的能量释放到最有效的位置上. 从这个观点上看,定向能武器要比传统武器优越得多. 定向能武器要从远距离处彻底摧毁被加固的目标,就必须具有高功率的能源. 能源问题是制约定向能武器发展的致命性的障碍,超导电感储能装置可以长时间地无损耗储存大量电能,需用时可在瞬间产生巨大脉冲电能,使定向能武器获得足够能源. 超导储能装置在定向能武器上的应用使定向能武器发生飞跃的发展.

超导技术在军事航空中的应用. 未来战争中,制空权的争夺必将更加激烈,制空权已成为战争胜负的重要因素. 海湾战争中,以美国为首的多国联合部队大规模实施高技术空战,掌握了制空权. 迫使伊拉克部队在很短的时间内全线溃退. 现代化空战,对飞机的体积、重量,尤其是对作战效率和作战半径提出了更高更新的要求. 空中加油技术的应用可以大大增加飞机的作战半径,但具有费用高、易暴露等缺点. 现代化的预警机都安装大功率雷达和大量电子设备,而必须首先解决的则是电源供应问题. 超导机载发电机和超导动力推进器具有体积小、重量轻、容量大、能耗低、红外辐射弱、效率

高等优点. 他们在飞机上的应用可大大提高飞机的生存能力和作战效能. 若用于反导弹头,可使弹头以超过 10000 千米/时的高速摧毁目标.

超导技术在军事航海中的应用. 随着高技术群体的发展,海军装备不断改善,装备性能日益提高. 现代化战争,制海权的斗争更加激烈. “掌握了海洋就掌握了未来”. 现代海战,水下比水上更具有突袭性、隐蔽性,因而更具有战斗力. 随着超小型、微型潜艇的出现,航空母舰亦开始向水下发展. 然而最棘手的问题是海上作战工具动力装置噪音大,低频部分衰减小,可传至很远,不利于隐蔽航行. 利用超导电磁推进器代替常规发动机,就可大大减小,甚至没有噪音,推进速度快,效率高,大大提高了舰艇的生存能力和作战能力.

超导技术在自动化指挥系统的应用. 指挥自动化是用计算机将指挥、控制、通信、情报各分系统联在一起的综合系统,简称 C³I 系统. 它的核心部分是计算机中心,具有高速运算能力,一定的逻辑判断能力和惊人的信息储存能力. 现代战争是高度现代化的诸军兵种密切协同的立体战争,其突然性、破除性和作战范围都将空前增大. 因此,争取时间,提高指挥效能就成了指挥过程中的一个头等重要的问题. 提高计算功效是解决这一问题的关键. 超导计算机比电子计算机的运算速度可能提高 1 个至几个数量级,功耗降低 3 个数量级. 美、日等国都在积极研制每秒 5 亿次加法运算的超导计算机. 日本 NEC 公司研制的超导逻辑电路已能完成每秒 30 亿次的 0—15 之间两位数的乘法运算. 超导计算机应用于 C³I 指挥系统,使其自动指挥能力得到迅速改善提高,真正成为现代战争的“效率之神”.

随着超导技术的不断发展,高温氧化物超导材料和有机物超导材料将不断问世. 到 21 世纪,超导技术将广泛应用于国民经济、生物医疗和现代化国防建设之中,必将导致一场新的产业革命和军事革命.