

美妙的超导应用

渠基雷 夏洪川 段春英

(衡水师范专科学校 河北 053000)

超导态是物质的一种独特状态,它的新奇性,立刻使人想到将它用到技术上.自20年代起,人们对超导应用的热情总比对超导机理研究要高;到80年代高温超导材料问世后,这种热情就更为炽烈.目前超导的应用正在许多领域里迅速发展,其景况十分美妙和诱人.

从所侧重的超导性质看,超导的应用可分三个方面:强电应用(大电流应用)、弱电应用(电子学应用)和抗磁性应用.

一、强电应用

由于超导体电阻为零,具有完全导电性,所以它可以承载大电流,产生强磁场,构成超导磁体,且无焦耳热损耗.例如 Nb_3Sn (铌三锡)在4.2K温度下和10T的磁场中,其电流密度可达 $4.5 \times 10^5 A/cm^2$ 以上,利用它制作绕组不需铁芯便可构成小而轻的超导磁体.超导磁体的磁场极其稳定、均匀,且强度也易改变.超导磁体或超导线圈有广泛的用途.

1. 核磁共振谱仪

目前生产的超导磁体约70%—80%用于核磁共振领域.核磁共振是一种利用原子核在磁场中的能量变化而获取核信息的技术,其技术关键在于如何检测共振信号.与电子自旋共振而言,核磁共振能级跃迁的能差远小于电子的自旋共振,故其产生的吸收信号微弱,检测困难.为了提高核磁共振谱仪的灵敏度和分辨率,一个重要途径就是利用超导磁体作为仪器的主要部件,以提高磁场的强度、均匀

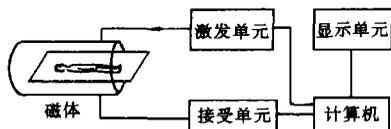


图1 核磁共振成像诊断仪结构简图

度和稳定性.例如,医疗卫生用的核磁共振成像诊断仪(见图1),当进入磁场中的人体接受电磁波照射时,通过改变射频和中心磁场强度,可使人体内的诸元素如氢、碳-13、磷-31等分别产生核磁共振信号.再经计算机处理,会得到人体组织的立体或断面图像.将病变组织的图像与正常组织的图像对比,就可做出正确的医疗诊断.

核磁共振技术已广泛用于物理、化学、医学、地质等方面,是当代很有发展前途的高精尖技术.

2. 超导储能

由电磁学知道,一个自感为 L 的线圈,当通过电流 I 时,线圈所储存的自感电磁能为 $LI^2/2$.若用超导闭合线圈作为储能器,电流能长期而无热损耗地保持下去.平时不断地逐步将电磁能量储存其中,一旦需要时,既可以让其缓慢释放,用作电网峰值负载补偿或发生故障时供电,又可以让它脉冲式地瞬间释放,如在激光武器中,瞬间需要10亿乃至100亿焦耳的能量,可用这种储能器为其能源.目前,许多国家已制作了超导储能模型装置,并成功地进行了实验.图2为超导储能结构示意图,该结构深埋在岩基之下.

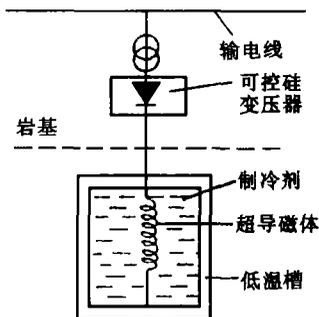


图2 超导储能结构示意图

3. 超导发电机和电动能

为了提高发电机的热电效率,就得设法减少中间过程,磁流发电就是其方法之一. 图3为磁流发电机原理示意图,先将燃料在燃烧室燃烧,产生3000K的高温气体,再把易电离的钾或铯原子作为种子混入高温气体中,使得高温气体成为含有一定数目的自由电子和正离子的混合气体. 由于正负电荷相反,总量相等,故称它为等离子气体. 把这种具有导电性能的等离子气体经过喷管加速到800—2000m/s的高速,通过发电导管,这些离子受到垂直于导管的磁场 B 的作用,正负离子分别偏向两侧电极. 如把电极和负载接成回路,即有电流输出. 由于磁流发电机的输出功率正比于 B^2 ,而且为了减少发电管的热损耗,管越短越好,这都要求磁场尽可能强. 超导磁体的问世,使得磁流体发电机有希望付诸实现.

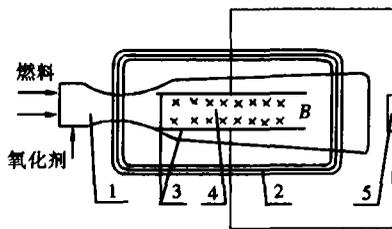


图3 磁流体发电机原理图

1—燃烧室; 2—磁场线圈; 3—电极;
4—发电导管; 5—负载

超导磁体也用于电机上,图4为超导单极电机示意图. 电枢由常规导体制成一圆盘状,其轴心与静止的超导磁体的绕组的轴线重合,圆盘边缘和轴分别与电刷接触. 当圆盘由动力带动旋转时,其半径切割磁力线,产生径向的电流和电压降,电流从电刷引出,这就是发电机.

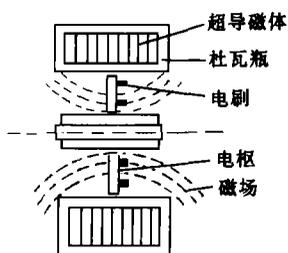


图4 超导单极电机示意图

由于电机的可逆性,如把外电源提供的电流从电刷引入,沿圆盘径向流动的电流将受磁场的作用,从而带动圆盘转动,就成为电动机. 这

种电机与常规电机比较,具有功率大、重量轻、体积小和效率高等优点.

4. 高能物理上的应用

60年代初,研制出了具有高临界磁场的实用超导材料铌三锡、铌钛之后,才正式出现超导强磁体,并很快被应用到高能物理实验装置中. 早在70年代初,就有用于氢泡室的超导磁体、同步加速器脉冲二极磁体和粒子输送用的二极、四极超导磁体. 利用同步加速器加速粒子可以产生人工核反应. 如果将加速器的交叉环超导化,由于磁场强度提高数倍,粒子的能量也提高数倍. 因此,核物理及高能物理的许多方面都要用超导磁体来协助加速. 在环形加速器里,粒子在磁场里绕圈,在电场的推动下,每绕一圈增加一些动能. 能量越大,就越难把粒子保持在圆形轨道上,所需的磁场就越强,于是加速器走向大型化. 如把超导磁体用于大型加速器,其装置的尺寸和建造费用都可大幅度降低.

在托卡马克装置中,用超导线圈形成一定强度和几何形状的磁场,可对粒子实行磁约束. 例如,高温等离子体在环形磁场约束下,不与器壁接触做螺旋状运动,并被加热、压缩,从而可实现受控热核反应.

二、弱电应用

这是在超导宏观量子效应——磁通量子化与约瑟夫森效应发现后,展现在人们面前的另一个新的应用领域,它包括超导电子器件及精密测量仪器等.

1. 超导开关

在计算机的各种复杂逻辑电路和存储电路中,最基本和最常见元件是开关. 为了提高开关速度,1966年有人利用约瑟夫森结作为超导开关. 当电流 $I < I_c$ 时,结两端电压为零,当 $I > I_c$ 时,结两端有电压. 这两种不同的稳定状态就可以表示“0”和“1”. 超导开关的结构示意图见图5. 由于这种开关依赖超导结出现的有阻与无阻状态,开关速度主要受结电容充放电影响,其速度的典型值为 10^{-11} 秒,比高速硅集成电路要快几百倍. 这种开关稳态电压较高(mv 数量级),有利于推动下一级运算元件,且

功耗低,体积小. 利用两个这样的开关还可组成双稳态触发器,用作储存或运算. 利用超导开关和存储器制成的超导计算机将比目前各种大型、巨型高速电子计算机优越得多.

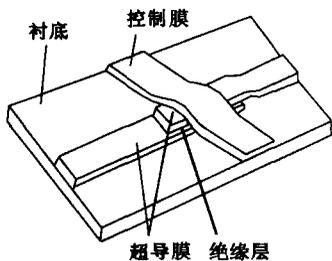


图5 利用约瑟夫森效应的隧道结开关元件

2. 超导磁强计

超导量子干涉器(SQUID)的基本元件是一只含有一个或两个约瑟夫森结的超导环. 它的特点是对磁通非常灵敏,能够分辨 10^{-15}T 的磁场变化. 因此可直接用它作为磁强计. 图6为超导磁强计原理图. 右边小环称为磁场线圈,它与SQUID相耦合,左边大环称为传感线圈,它放在被测磁场中. 根据磁通冻结原理,如在中空圆柱导体中施加磁场后,把它冷却到 T_c 以下,然后撤去磁场,这时孔洞中的磁通仍保留,其量值是磁通量子 ϕ_0 的整数倍,并恒定地保持下去,叫冻结磁通. 正因为如此,当穿过传感线圈的磁通随外磁场改变而增大(或减小)时,穿过磁场线圈的磁通必然同时减小(或增大),以保证超导回路中的磁通守恒. 由于磁场线圈与SQUID耦合,所以被测磁通的变化通过这种变换器耦合到SQUID回路中. 在实际操作时,让SQUID的工作电流 $I > I_c$, 以有阻方式运行,其两端有输出电压,且输出电压也是外磁通的周期函数,周期同样为 ϕ_0 . 用超导磁强计可以测

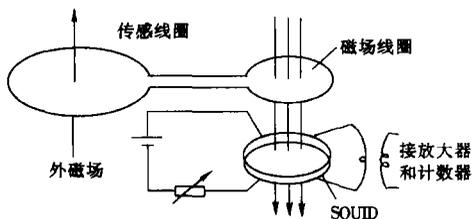


图6 超导磁强计原理图

量非常微弱的磁信号,例如,人的心磁和脑磁信号,地质探矿,地磁调查等.

3. 新的电压标准

由交流约瑟夫森效应知,当用能量为 $nh\omega_0$ 微波照射超导结时,结中会出现端电压为 $V_n = nh\omega_0/2e = nv/K_J$ 的直流电流,电压量子化,电流阶跃. $K_J = 2e/h (= 1/\phi_0)$ 称为约瑟夫森常数,是一个普适常数,它与超导结所用材料、照射频率、温度全无关系,又因微波频率 ν 可以准确测定,故利用 $V_n = nv/K_J$ 可以建立新的电压标准. 1990年,国际度量衡委员会采用约定值 $K_{J-90} = 483597.9\text{GHz/V}$, 以此定义新的电压标准(伏特). 当然,据此便可制作高精度的伏特计.

三、抗磁性应用

超导体的完全抗磁性——迈斯纳效应,它可以产生超导磁悬浮现象,在实际中也有十分诱人的应用.

1. 超导重力仪

超导重力仪是用来测量地球重力加速度的一种仪器,具有高灵敏度和高稳定性. 其结构如图7所示. 在一个超导载流线圈上方,放置一个超导球,球的中心与超导线圈的轴心重合. 当两超导体均处于超导态时,由于完全抗磁性,球与线圈互相排斥,当足够的排斥力与球重力平衡时,则超导球便悬浮起来. 若重力加速度发生微小变化,超导球就会偏离平衡位置一个很小的距离. 设法测出超导球的位置变化,则可以确定重力加速度的变化.

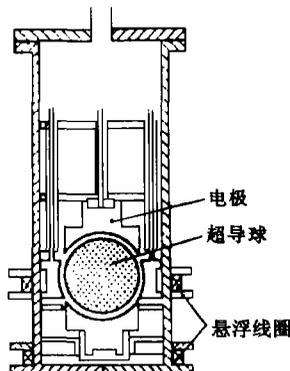


图7 超导重力仪结构图

维数与生命

厚宇德

马国芳

(佳木斯师范学院物理系 154600)

(佳木斯教育学院生物科 154600)

讨论生命存在的条件,最具权威性的应该是生物学家,的确,生物学有这方面比较成熟的见解.但是出乎他们意料的是物理学家们发现,生命的存在还受时空维数的制约.

物理学家将生命的存在与时空维数相联系,始于相对论诞生之后.闵可夫斯基将时间做为第四维,用四维时空形式清楚地表达了相对论新时空理论的精髓,也打破了人类三维是最大维数的观念.这种观念的改变又进一步使人们产生疑问:能否有小于四维的现实世界?四维是不是最大的维数?

对于第一个问题,物理学家们似乎是胸有成竹的:二维空间或三维时空不足以形成合理的结构,至于一维空间或二维时空,显然是不值得讨论的.但是有些著作中对这一问题的论述却没有足够的说服力.比如,一本非常优秀的相对论著作就是这样,对该问题的表述可能成了该书唯一的败笔.该书借助图1来说明.

图中有一个二维空间的小人.他的嘴无论张多大也吃不进那只梨.“光线”也永远射不到他的眼睛.因为都被“边界”挡住了.

这种表述至多只能说明在二维空间里不会存活与三维空间里结构相似的生命.但是如果二维空间里的“小人”结构适当变化,比如眼睛和嘴都长在“边界”上将如何呢?显然,这是应该考虑的,否则将没有足够的说服力.

2. 超导磁悬浮列车

在交通领域中,磁悬浮列车非常引人注目.这种列车打破了传统的轮、轨接触方式,在无轮的车厢上和轨道上安置线圈,使轨道上的电磁场与车厢上的超导电磁场互相排斥,能将车厢抬成悬浮状,然后再由线形电动机推动车厢前进.由于没有轮轨接触的滚动阻力,故车速可达

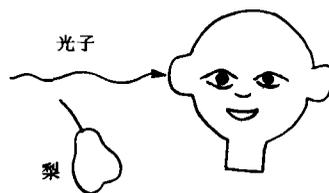


图 1

史蒂芬·霍金绘制的二维动物(见图2)比较成功地解决了这一问题.

如果二维动物吃东西时不能将之完全消化,则它必须将残渣从吞下食物的同样通道排出(新陈代谢是生物的普遍规律).这即要求必须有贯穿二维动物全身的通道.而如此一来,这通道就必将二维动物分割成相互独立的两个部分,二维动物必然解体.同样道理,在二维动物身上实现血液循环也是非常困难的.

现在考虑第二个问题.假如存在多于三维的空间,则两个物体之间的引力(万有引力和库仑引力)将随距离衰减得比三维空间中更快,即在三维空间 $F \propto 1/r^2$, 四维空间 $F \propto 1/r^3$, 一般在 n 维空间 $F \propto 1/r^{n-1}$. 从宏观看其结果,行星绕太阳的轨道将变得不稳定,极小的微扰都会使之落向太阳,同时,太阳内压力与引力的平衡也会被打破,太阳或分解或成为黑洞;从微观看,电子或从原子中逃逸飞出或坠入原子核,从而失去我们现实世界中原子的稳定性.因此高

500km/h以上.日、德、美和我国都进行了长时间的研究,日本在一条7km的试验线上载人试验,车速已达517km/h;我国和日本合作,将在上海和杭州之间建造一条全长为170km的超高速磁悬浮铁路,车速为500km/h.这种阻力小,速度快,平稳,舒服,且无噪声、废气污染的理想列车,将会在21世纪“飞黄腾达”.