

超导，一般人是并不怎么熟悉的，可是从1987年初以来国内外的许多报纸和广告，几乎每天都有超导的消息。为什么超导如此热门？超导的魅力在何处？回答这个奥妙，还要从七十九年前说起。

一、超导的发现及其性能和改进。

1908年，荷兰物理学家翁纳斯液化了大自然中最后一种“永久气体”——氦气，并经过减压液氮，获得温度为1K的低温（零下272°C）。

技术的进步，为新现象的发现创造了条件。超导的发现就是一个很好的例子。

当翁纳斯获得液氦后，立刻进行低温下电阻的研究。因为产生金属电阻的原因有两个：第一，是构成金属的原子，在周期性的晶体结构排列中，有不完整的地方。例如杂质、位错、缺陷和晶界等。这些不完整性，造成电子在金属中运动时发生散射，产生电阻。第二是金属中的原子总是在不停地进行热振动。温度越高，振动越厉害；振动越厉害，电子在晶格中运动时散射也就越大。所以温度越高，电阻越大。在低温下，晶格（原子）热振动变得很小，此时电阻主要是由晶格的不完整造成的。金属中杂质越多，低温下的剩余电阻也就越大；杂质越少，金属越纯，它的剩余电阻就越小。在七十九年前，水银是当时可以获得的最纯的金属。所以翁纳斯测量水银的电阻，想研究一下很纯金属低温下的电阻。结果奇迹出现了，在温度为4K时，水银的电阻不是缓慢的减少，而是突然降为零。对很不纯的水银也有同样现象。金属进入了新的状态——超导态。由于发现了超导现象，翁纳斯获得了1913年诺贝尔奖。

新现象的发现，使人类对大自然的认识又加深了一步，也为人类利用自然、改造自然提供了新的可能。超导体的电阻为零，通过超导体的电流是完全没有损耗的，这使人们立刻想到用超导体输送电流是有效的节能措施。但是这一努力，早期没有获得成功。因为超导体除了要低于一定的温度以外，还必须不能超过一定的磁场、不能超过一定的电流。也就是说，超导体除了有临界温度以外，还有临界电流和临界磁场。而早期发现的超导体的临界电流和临界磁场都是很低的，所以翁纳斯想用超导线来绕制超导磁体的努力失败了。经过多年努力以后，人们找到了提高临界电流和临界磁场的方法。发现超导合金的临界磁场要比超导纯金属的高得多，并且通过冷加工，掺杂等手段，可以使合金中产生许多缺陷。晶界等不均匀的区域，在通过电流时，这些不均匀小区域形成了钉扎中心，可以阻止磁通线运动，从而大大提高超导体承载超导电流的能力。到了六十年代，研制出的NbTi, Nb₃Sn等

超导的魅力

郭树权

超导材料的性能已经相当不错了，临界磁场可高达几十万高斯，临界电流密度在没有外磁场时可以高达每平方厘米几百万安培。它承载电流的能力达到铜线的近千倍。这样好的性能就很有用处了。

二、超导的应用

液氦的获得，为超导的发现创造了条件。超导在高能物理，在强磁场技术和在电子器件中的应用，又将大大促进技术的发展和进步。

各种中小型超导磁体早在六十年代就已经商品化，它广泛地用于实验室和各种仪器中，例如核磁共振仪、穆斯堡尔谱仪，也可以做成具有高分辨率的电子显微镜的透镜。它的优点是磁场强、体积小、重量轻、造价低，运动费用更低（大约为常规磁体的百分之一）。另外在核磁共振仪中，磁场强度要求高度地稳定，这一点用超导磁体很容易做到，当达到所要求的磁场强度以后，只要将超导磁体的两个电极用超导体短接，这样通过超导磁体的电流就永远不会衰减，从而获得磁场的高度稳定。

超导磁体在七十年代已成功地用于研究高能物理所需的各种大型磁体，例如加速器，分析器等等。美国费米实验室建造一个500GeV的质子迴旋加速器，它的直径有两公里，共使用了一千多个超导磁体，冷却这些超导磁体所需的冷量为每小时二千升液氮，耗电为2MW。如果使用常规磁体，那么耗电将高达100MW，并且需要流量约每秒1立方米的冷却水。相比之下，超导磁体的运行费用要比常规磁体低得多。德国布鲁克海汶实验室的加速器也使用了超导磁体。

带电高能粒子相互碰撞后的特性可以在气泡室中进行观察，整个气泡室需要置于磁场中。欧洲CERN建造了一个巨大的气泡室，它使用的是超导磁体，耗电仅仅1MW。如果使用常规磁体，那么需要耗电60MW，当然还需要大量的冷却水。

超导磁体在下述领域也有很大的应用前景。

研究受控热核反应的磁约束装置，只有使用超导磁体，才有可能使受控热核反应获得经济效益。如果用常规磁体，那么实现热核反应所需要的能量要大于热核反应所放出的能量。热核反应也叫聚合反应，两个小的原子在特别高的温度下，发生聚合反应，放出大量的能量。例如一克的氘，在温度为10⁹度时，发生聚合反应，形成氦，并放出 3.5×10^{11} 焦耳的能量。也就是说，如果每秒钟有一克氘发生热核反应，那么它放出的能量是全北京市电能消耗的40倍。如果解决了受控热核反应，使这一反应能产生经济效益，那么可以从根本上解决能源问题。

磁流体发电也具有节省能源的前途，要实现它，也

象受控热核反应一样，必须使用超导磁体，才有可能达到节省能源的目的。如果用常规磁体，消耗的能量比发出的电还要多。磁流体发电是把热能直接转换成电能的一种技术，用高温的带电气体，流过一个置于强磁场中的管子，磁场方向垂直于带电气体流动的方向，这样在管子上产生电动势，在管子上装两个电极，就会有电能输出。这样发电的效率当然要比从热能先变成机械能，再从机械能变成电能的效率要高得多，所以它的实现，是可以节省燃料的。

用超导体制做电动机、发电机也有很多优点，例如重量轻、体积小，没有热损耗，特别是对大型电机，它的优点就更为突出。

对于 10 万高斯的超导磁体，它的能量密度可达 4×10^7 焦耳/ m^3 。所以做个大体积的超导体储存电能，供高峰时使用，可以减少所需的发电能力。

利用超导磁体进行磁分离，由于它的磁场强，梯度大，可用于矿山选矿、污水处理、催化剂回收、生物上的血液分离等。

日本在 1979 年做出了超导悬浮列车的样机，时速为 577 公里，除速度之外，还有无噪声、行驶平稳、没有起伏等优点。

超导体的应用还有一个很重要的方面，那就是利用超导隧道效应做出的器件，称为超导量子干涉器件。它的主要优点是速度快，不发热，噪声小，灵敏度高，线性好。这些优点是其他任何器件所不能相比的。例如它的电压灵敏度为 10^{-12} V（其他器件最好的只有 10^{-10} V），它的磁场灵敏度为 10^{-11} 高斯，（其他器件最好只有 10^{-9} 高斯）所以它一出现就显示了强大的生命力，构成超导应用的极其广泛、极其有价值方面的。它提供了很多过去无法测量的手段，（例如，利用它可以测量微弱磁信号这一特性，使得可以观察人脑神经分布异常情况的医疗仪器已经商品化）。开辟了诸如空间、生物、医学、地球物理、探矿、超高速计算机等方面极其吸引人的新应用。但是，上述这些应用都必须要有用液氮冷却这一苛刻条件，技术复杂，代价昂贵，使得这些应用受到极大的限制。

三、寻求高温超导体的漫长历程

从 1911 年发现超导体以来，人们对各种元素、合金、化合物等的超导电性进行了研究发现了上千种超导体。开始时，超导转变温度以每十年大约三度的速度令人高兴地提高，可是从 1973 年发现 Nb_3Ge 的超导转变温度为 23K 以后的 13 年中，没有人能突破这一指标。越来越多的人认为寻找液氮温区超导体仅仅是梦想。很多搞超导的实验室改行，超导研究进入低潮。

然而还有许多不畏艰苦的研究小组仍在那里努力拼搏。1975 年有人研究了 $Ba-Pb-Bi-O$ 系列的超导电性。因为它的电子态密度很低，按照超导理论，它的

超导转变温度应该是低的，可是实验结果却相当高，有 13K。这是人们在寻求高温超导体的漫长历程中，在那最黑暗，最困难期出现的一点闪光！国际商业机器公司设在苏黎士实验室的谬勒，紧紧抓住了这一闪光，对氧化物的超导电性进行了一系列的研究。经过三年努力，终于在 1984 年获得成功，于 1986 年 4 月向德国物理杂志提交了高质量的论文，公布了 $Ba-La-Cu-O$ 的超导转变温度为 35K。由于历史上有两次报道过 50K 以上的超导体，后来验证都不是超导。所以这次对 $Ba-La-Cu-O$ 是否是真的超导，开始有不少人是持怀疑态度的，只有几个实验室动手重复一下这一工作。到了 1986 年底，日本人观察到 $Sr-La-Cu-O$ 中的抗磁性，证实了在此类系统中超导电性的存在；自中国报道了发现 70K 的超导体后，全世界有几百个研究室立刻组织起最强阵容，投入这项研究，形成了一股强大的超导热潮。不到两个月的时间，中、日、美三国几乎同时获得了液氮温区超导体，中国物理所赵忠贤等人首先公布了它的成份是 $Ba-Y-Cu-O$ ，它的超导转变温度是 93 K，从而把超导推向液氮温区这一梦想变成了现实。这一事件也引起了社会的极大关注，使物理界象发狂一样活跃，使物理学家们久久不能平静。

四、液氮温区超导体简介。

$Ba-Y-Cu-O$ 系统液氮温区超导体的制备是比较简单的，用相应元素的硝酸盐或碳酸盐或氧化物为原料，用物理的或化学的方法将其混合均匀后，先是在较低温度下，在空气中进行焙烧，使其脱水；然后加压成型；最后在较高温度下，在空气中，进行较长时间的烧结。

成份和工艺不同，结构和性能也就不相同，得到单相是困难的，通常是含有二、三个相的层状钙钛矿结构， K_2NiF_4 相可引起 30—40K 的超导转变，而液氮温区的超导转变是由四方相引起的。 $Cu-9$ 层中 Cu^{++} 和 Cu^{+++} 离子可能导致极化子的形成，使该系统中存在强电声子相互作用。

按照超导理论，超导转变的极限温度为 40K，所以液氮温区超导体超过了理论极限值的一倍。许多理论家坚信要一定存在与原来理论完全不同的机制，而更多的人还是在原来理论的基础上进行修改。

如果说，力学和热力学的创立和应用带来了工业革命，极大地解放了人类的“体力”；电子学和半导体的发现和应用，大大地解放了人类的“智力”，进入了信息时代。这些发明和应用，结束了人类社会缓慢发展的历史进程，出现了一个突飞猛进接着另一个突飞猛进的时代。那末如果液氮温区超导体的性能可以达到或超过现在液氮温区使用的超导材料的性能，那么整个社会还会再一次突飞猛进，使人类“体力”和“智力”获得更大的解放。