



罗河烈

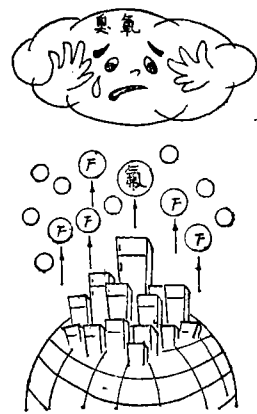
等熵冷却

由于在恒定体积或恒定压强下，一个系统的熵或无序程度是温度单调增加的函数，所以任何一冷却过程都可看作有序度增加或熵减少的过程。现代的冷冻

魏斯 (Weiss) 早在 1918 年发现铁磁体绝热磁化时会伴随着可逆的温度改变，他把这种现象称为磁热卡洛利效应 (Magneto Caloric Effect)。磁致冷就是利用这个效应来获得低温的。近来由于环境保护和它的考虑，研究室温至 50K 温区应用磁致冷技术受到了重视。

系统就是利用液体蒸发时会吸收外界热量，压缩气体时会放出热量的原理。例如在压缩式冰箱中，电力供给压缩机产生压力，作用在冷凝器之内的二氯二氟代甲烷 (Freon) 或氨的挥发性冷媒上，这个压力引起蒸汽温度的上升，而这些热经由管路送到大气中，经过这种过程后，冷媒会凝结或液化，然后经由管路被抽送到冰箱内部，在那里转为蒸汽。在这个过程中，冷媒在冷冻室中吸收热量，降低冷冻室的温度。当冷媒由吸热阶段挥发后，再一次流回冷凝器，过程又重新开始。这种冰箱已广泛地在商业和家庭中使用。

利用等温压缩和绝热膨胀来冷却气体而获得低温受到气体在低温下液化的限制。例如液氮的温度为 4K，因此用这种方法很难得到比 1K 更低的温度。此外，目前绝大部分冷冻系统，如冷冻机、冰箱、汽车和建筑物的冷气装置等使用的制冷剂都是氯氟化碳，它不仅是造成大气污染，形成“温室效应”起主要作用的化合物之一，而且会破坏地球高空的臭氧层，造成南北极上空臭氧层的空洞。大家知道，臭氧层可以过滤波长短于 290 nm 的紫外线，保护地球上的生物。因此 1987 年有



24 个国家在加拿大蒙特利尔签订条约，规定到 1998 年底，签约国把现在的氯氟化碳产量减少一半。限制或取消它的生产，就要研制其代用品或利用新的致冷技术。由于这个原因和下面所讲的一些理由，磁致冷技

蟹状星云脉冲星是 70 年代前后的著名天体，它同时有射电、光学、X 和 γ 射线 ($\sim 100\text{MeV}$) 周期发射，因此自然成为 VHE γ 天文的观测对象。早在 73 年便获得了它有 33 毫秒周期的 VHE γ 发射，但在周期结构的细节上存在着很不一致的报导。例如英国达拉姆组报导：蟹状星云脉冲星的 VHE γ 射线的周期结构是：有个较窄的主峰和一个简直分辨不出来的次峰。这结果对下述模型有利：脉冲星的 VHE γ 射线是从恰在光速圆柱内的外磁层产生的，低能脉冲应与 VHE γ 在时间上一致，VHE 的主脉冲窄、无次脉冲出现。而另一小组在夏威夷的观测认为蟹状星云脉冲星的 VHE γ 射线具有双峰结构。近年发现该天体的 VHE γ 射线存在着从分钟直到日、月的变化。

船帆座 X-1 是南天区的双星 X 射线源，南非的一个小组报导了对此天体的观测结果：有 283 秒周期的 VHE γ 射线发射，并具有宽的非对称的光变曲线。还发现在 X 射线被掩蚀期间，它的 VHE γ 发射反倒增

强，以及船帆座脉冲星的 89 毫秒周期的 VHE γ 发射。

另外像武仙座 X-1，脉冲星 PSR1937 + 21，半人马座 A 以及超新星遗迹 SN1987 A 等均有存在 VHE γ 射线发射的报导。

甚高能宇宙线和 γ 射线观测是人类认识宇宙的重要窗口；在我国，它是一个急待开发的研究领域。它的观测仪器——大气契伦科夫望远镜是一个相对来说简单、廉价的设备。而且，我国现有的光学观测台站均具备这一观测所需要的环境条件。例如北京天文台的兴隆站、南京紫金山天文台的青海德令哈站，云南天文台的昆明站均是很好的观测地点。宇宙线工作者若能与天文界合作开展该领域的研究，可节省开支和人力，取得事半功倍的效果。目前，高能所宇宙线研究室的 VHE γ 射线观测组正在与北京天文台的有关单位密切合作，为在北京天文台的兴隆站建造起我国第一个甚高能 γ 射线望远镜系统而努力。

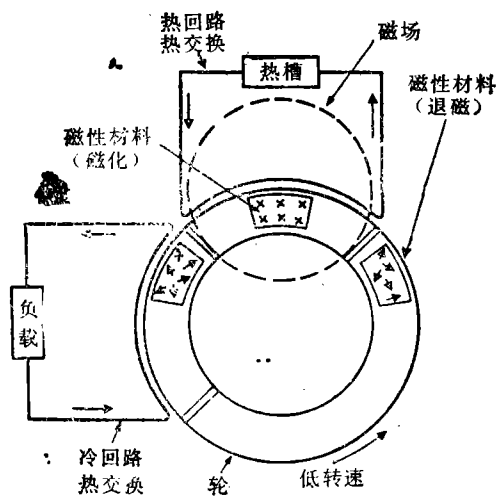


图 磁致冷原理简图

术近来受到世界许多发达国家的普遍重视。

磁致冷的基本原理

早在 1933 年焦克 (Giangué) 等人就用等温磁化和绝热去磁顺磁盐类如硫酸钆等的方法得到 1K 以下的低温, 我们不在这里讨论这方面的问题, 而着重介绍 20K—300K 附近的磁致冷的基本要求。由于顺磁盐的磁化率随温度的变化遵从居里定律: 与温度成反比、在较高温度下, 磁化率很小, 不适宜用作磁致冷的冷却剂, 而应选用铁磁(或亚铁磁)体。在居里温度以下它们的原子或离子的磁矩受到内部分子场的作用已全部或大部份取向。因此, 用作磁致冷的这种制冷剂所要求的外加磁场可以比用顺磁盐所要求的磁场小得多。

磁致冷原理如图所示。磁性材料镶在每分钟转 10 次左右的轮盘上, 当它转入磁场范围内被磁化而发热, 热盘与热槽交换而散发, 磁性材料(绝热)转离磁场范围后则处于退磁状态, 温度降低, 与“负载”进行热交换, 使其温度降低。如此反复循环, 不断将“负载”的热带走, 在热槽处散发, 使负载处的温度下降而得到低温。

磁致冷的现状及其前景

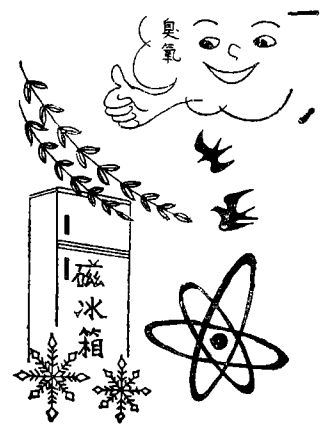
从上面所介绍的磁致冷原理可知, 磁致冷可以在较宽的温度范围内应用。布朗 (Brown) 于 1976 年发表了室温附近磁致冷的实验结果: 他用 Gd 做致冷剂, 外加磁场 7T (特斯拉), 在 Gd 的居里点 293K 附近得到 4kJ/kg (或 14K) 的变化, 获得接近卡诺 (Carnot) 循环的效率。根据这些数据, 制成室温磁致冷机是可能的。但这种致冷机是否能实际应用, 还要与压缩-循环致冷机相比, 尤其要考虑成本和效率等问题。关于室温磁致冷机的现状目前有两种不同的报导:

(1) 认为不久的将来, 磁致冷机即要进入市场, 有文章报导, 1982 年美国已制成 248—328K, ΔT 为 80K 的磁致冷机, 法国 Grenoble 中心, 日本东芝和日立公

司都有了磁致冷样机。1989 年 3 月 20 日人民日报转载英“金融时报”消息: 国外在 1990 年前将有磁冰箱上市, 其价格比常规冰箱便宜 1/4; 效率高 40%, 并有可能制成磁空调机。美航空公司 1987 年宣称, 90 年代将有家用磁冰箱投放市场, 预计市场均为 50 亿美元/年。

(2) 目前实际应用磁致冷的地方有: (a) 低于 20K 温度(或接近绝对零度)范围, 此时压缩-循环的效率很低, 不能单独使用; (b) 在没有液氮或液氩但又使用低温的地方, 如磁共振成像或宇航空间, 战略防御计划中的轨道人造卫星和地球轨道卫星中, 要求冷到接近绝对零度, 以便获得十分高的讯/噪比来提高灵敏度。广泛使用的磁致冷机要代替已存在 70 年之久的压缩-循环致冷系统是长期, 最少是中期的研制项目。

由磁热卡罗利效应公式可知: 外加磁场愈大, 磁热温度变化愈大。布朗做室温磁致冷实验时, 外加磁场 7T。这样高的磁场只能用超导体来产生, 因为用电磁铁要消耗较大的能量, 是不经济的。近年来出现了第三代永磁-钕铁硼永磁, 它在较小的空间内产生 1T 左右的磁场是完全可能的。如果目前能制造出由永磁产生磁场(1T 左右)而效率足够高的磁致冷机, 则前面第一种报导将会是其实的。否则, 磁冰箱不易进入民用市场。



在特定条件下, 磁致冷机的效率为压缩-循环致冷机的 2—4 倍; 由于使用固体致冷剂, 所以体积小, 质量轻; 无需气体压缩机, 运动部件转速缓慢, 故省电、便于维护, 寿命长, 无振动噪音和氟氯化碳对环境污染等优点。故磁致冷的潜在前景是很吸引人的。因此一些发达国家早就开展了室温附近磁致冷机的研究。例如, 美国就有不少从事磁致冷研究的小组: 麦迪逊的宇航技术中心 (Astronautics Technology Center in Madison, Wis.) 研制磁致冷用的超导体, 空间系统和其它先进技术; 坎布里奇的麻省理工技术研究所 (MIT) 和美国航空及日本的苏米托摩重工业集团签订发展磁致冷技术合同; 在加州色官都的洪高斯航空公司的电光和数据系统研究组完成了每台价值 250 万美元的先进磁致冷机的设计, 发展和试验合同, 这种致冷机是用于战略防御计划的。它们已制出了磁致冷样机, 安纳波利斯的海军 R&D 中心研究磁致冷已有 15 年之久, 有些阶段成果已开始走出实验室, 现正按计划进行室温磁致冷的研制工作。 (下转第 24 页)

高能加速器与工业技术

章 炎

北京正负电子对撞机 (BEPC) 于 1988 年 10 月建成, 这是我国高科技领域里的一项新成就。它不但标志着我国高能物理事业有了自己的实验基地, 也表明我国的工业技术达到了一个新水平。

电子对撞机是多种高技术产品的综合性大型科研装置, 庞大而又精细。它的建造, 不仅依赖于强有力的工业技术力量, 而且也促进工业水平的提高。在国际上如此, 在我国也同样如此。

对撞机和探测器涉及到多种高技术, 如: 核技术 (包括电物理、核电子学等)、雷达技术广播电视技术、高真空技术、特种电机技术、精密加工与特种加工技术、计算机技术、自动控制技术、精密工程测量技术等。在 BEPC 专用设备的研制和生产中, 这些技术都有了不同程度的提高, 例如,

S 波段高功率速调管, 国内原有水平为输出功率 15—20 MW, 工作寿命平均低于 1 千小时。当时国外同类型速调管的输出功率为 34 MW, 工作寿命为 2 万小时, 差距很大。中科院高能所实行了厂所合作、紧密配合。消化吸收了国际先进技术, 借鉴了先进的生产工艺和质量保证措施, 逐步改造了原来的生产线, 共生产了 BEPC 需要的 16 套速调管, 输出功率为 34 兆瓦, 满足了工程要求又形成了该厂的生产能力。10 年前, 这批速调管在低于额定功率状态下工作了近 5—6 千小时, 比原有水平大大地提高了。此类速调管可用于微波发射技术和国防工业。有关工厂已利用新技术生产宽频带连续波 30 kW 彩电发射台用的速调管。

盘荷波导加速管是电子直线加速器的主要部件, 我国从六十年代开始研制, 用于医疗加速器, 大约四个月加工一根加速管, 而且性能不稳定。我们在此基础上改进了关键工艺设备, 扩大加工能力, 完善了测试手段, 达到了每月稳定生产四根加速管而且质量稳定, 性能达到国际水平。现已承接国际定货。此项技术可用于各类电子直线加速器的研制和生产。

在 BEPC 贮存环上 240 m 长的大容积超高真空铝真空盒系统, 要求静态真空度达 10^{-10} 托, 比原有国

内水平高三个数量级。同此相应的大流速高真空溅射离子泵和分布式离子泵不但达到了技术要求, 而且形成了系列批量生产, 把我国高真空技术提高了一大步。

对撞机上几百块大型磁铁要求达到强磁场和高精度。在生产中, 突破了高精度冲模的制造技术, 叠装技术, 焊接技术和绝缘技术, 批量产品达到了国际水平。相应的上百台大电流高稳定度电源在原来几百安培, 稳定度为 10^{-4} 的基础上提高到了几百—几千安培, 稳定度达 10^{-5} , 并形成系列产品。其中探测器磁铁线圈用电源达到 4000 多安培, 输出功率为 1.2 兆瓦的稳流电源, 这是国内第一台大功率高稳定度稳流电源。

双间隙充气脉冲闸流管是速调管调制器上的关键配套元件。以前一直靠进口。为 BEPC 试制的闸流管吸收了国际技术, 使阳极最大峰值电压和电流提高到了 50 kV, [5 kA, 性能指标可与国际八十年代同类产品相比, 工作寿命有待检验。用于高能物理实验的大型通用探测器是多种探测器的组合体, 体积大, 结构复杂, 技术难度大, 其加工技术在国内工业界是第一次涉及。由于承制厂和研究所的密切配合, 吸取了国外技术和经验, 进行了模拟实验, 采取了有效的攻关措施, 经过了反复试验, 多项创新, 不断提高, 终于出色地完成了任务, 使探测器整体性能符合要求。

BEPC 刚刚建成, 其专用部件的性能仍在经受着实践考验。在一年多的整机运行中, 已经说明这些部件的研制和生产是成功的。工业部门相应技术有待推广应用和转移。在我国目前情况下, 高技术应用和转移一般比较慢, 而在国外, 企业界十分重视这个问题。如西欧核子中心 (CERN) 在三十年内建造了一代又一代高能加速器, 拥有世界上最大的对撞机, 它对西欧的工业发展影响很大。因为承制 CERN 专用部件任务的企业有很高信誉, 合同额自然就高。这些企业, 在产品质量、产量、产品换代、降低成本、内部合作、企业改造等方面也都是积极的。CERN 本身也很重视建立与企业的高层次技术交流合作, 共同研讨技术转移问题。这些很值得我们借鉴。

(上接第 28 页)

我国磁致冷只在接近绝对零度温度区域进行了许多工作。比这个温度高些或室温附近的磁致冷工作还属空白。开展室温附近磁致冷的研制工作, 无论对发

展我国的致冷技术和物理学科, 还是为我国寻找新的致冷机途径都是很有意义的。随着这方面工作的开展, 预计它还会带动较高温度超导材料的研究以及效率更高的室温磁致冷材料的探索和发展。