

## 一、什么是“低温”？

“低温”，顾名思义，它是处于较冷状态下的温度。但是，工程上所指的“低温”，与人体所能感觉到的低气温，是完全不同的两回事。例如，北京地区最低气温约为摄氏零下二十到三十度。而低温超导工程上所指的“低温”，通常是指摄氏零下二百度以下的温度。

大家知道，水在高温下是气体，在较低的温度是液体，当温度降低到摄氏零度以下就结成冰，成了固体。那么，能不能把氧气、空气变成液体呢？当然可以的。只要把它们的温度在常压下降低至  $-183^{\circ}\text{C}$  和  $-186^{\circ}\text{C}$  以下，就可以获得液态氧或液态空气了。氮是最难液化的元素，在通常情况下，它以气态存在于空气和天然气中。它在空气中只占百万分之一的比例。要使氮气液化，就需把它的温度降至  $-268^{\circ}\text{C}$  的温度

以下！

那么“低温”又是怎样获得的呢？现在一般采用两种方法：一是绝热膨胀法；一是绝热节流法。绝热，就是使物体之间，不让有热量的传递。其主要致冷原理是：将工作气体压缩，使被压缩的高压气体，推动一个膨胀机或通过一个狭窄的通道（节流阀），压力降低，使温度改变。

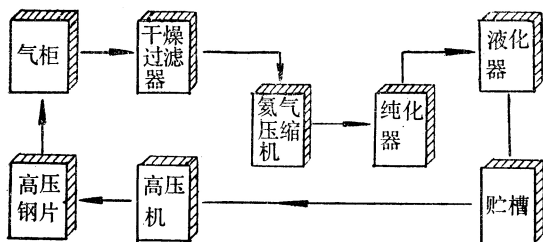


图 1

图 1 是氮气液化的流程示意图。从钢瓶来的氮气，经减压阀进入气柜，然后经干燥、过滤器除去气流中的机械杂质和水份，再经氮气压缩机升压（排出稳定的中压压力），进纯化器，最后由液化器进行液化。贮槽中液氮所蒸发出的氮气经高压机压回钢瓶，进行回收。

图 2 是一台活塞式膨胀机氮液化器流程系统图。

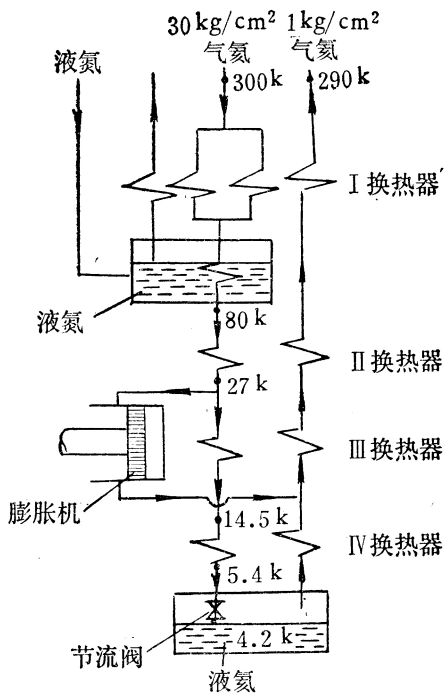


图 2

并标示了主要点的液化时的工作温度。

目前温度标准的表示方法有三种。一是摄氏温度（一种经验温标），用  $[^{\circ}\text{C}]$  来表示；二是凯氏温度（热力学温标），又称绝对温度，用  $[\text{K}]$  表示；三是华氏温度（也是一种经验温标，现欧美有些国家仍沿用），用  $[^{\circ}\text{F}]$  表示。它们有如下的关系式：

$$T[\text{K}] = t[^{\circ}\text{C}] + 273.15$$

$$t[^{\circ}\text{F}] = \frac{9}{5} t[^{\circ}\text{C}] + 32$$

那么，世界上最低的温度是多少度呢？理论上认为，存在绝对零度。当物体到这一温度时，它内部的分子运动就完全停止下来，这就是绝对零度。但按热力学第三定律，绝对零度在实际上是不能达到的。多少年来，不少科学工作者，不辞辛劳地在作向绝对零度进军的尝试，但都只能一步步地逼近它，而不能达到它。目前用氮绝热退磁的方法，已能获得  $10^{-6}\text{K}$  的超低温。

## 二、“超导”是怎么一回事？

在我们日常生活中，所接触的物体类型不外三种：导体、半导体、绝缘体。自从 1911 年荷兰科学家翁纳斯发现“超导性”后，才知道还存在一种“超导体”。但超导体的研究工作真正的开始，还是在五十年代后期和六十年代的事情。

那么超导是怎么一回事呢？简单的说，就是在一定的低温（或高压等）条件下，某些导体内的自由电子，在与周围离子的相互作用下，形成互相关联的超导电

子对。而这种超导电子对之间存在一种无损耗的声子交换,这样,当电流通过导体时,不产生任何能量的损耗,就称为“超导性”。具有“超导性”的导体,就称为“超导体”。超导体与导体有显著的不同:超导体内部的电阻值非常非常小,它近于零。这样,就使得超导体具有两大突出的特点:一是它允许有很大的电流密度(目前已能获得电流密度达  $1.5 \times 10^5$  安培/厘米<sup>2</sup>的实用超导体);二是它能产生比普通导体大得多的强磁场。

实验证明,具有超导性的金属不下三十种。还发现有化合物和合金材料也具有超导性。不同的超导材料,有不同的转变温度(导体转变成超导体时的温度)。但是现在发现的这些具有超导性的金属材料,转变温度都很低,这就直接影响了它们的实际使用和推广。目前世界各国有很多科学技术人员,在进行高温超导体(即转变温度较高的超导材料)的研究。高温超导体将能大大简化低温工程和技术问题,方便于推广应用,在国防、科研、工业等方面,都有重要的意义。金属氢是一种常温超导体,最近美国科技人员已初步试制出一种稳态的金属氢。但离实际应用还是差得很远很远。如果这种常温超导体,或者转变温度达到77°K左右的高温超导体能够发现,并能大量地制取和使用的話,那么,很可能会引起一次新的世界性的工业革命!

### 三、低温与超导体的应用

近代科学和技术的发展中,低温起了很重大的作用,随着科学和技术的进一步发展,低温还将起更重大的作用。

国防和科研中使用的很多工业气体和稀有气体,就是用低温装置将它们从空气或天然气中分离出来而获得的。由于成功地实现了对氢气、氧气的液化,并有成效地进行贮存和运输,这就大大地推动了宇宙飞行技术的研究和发展。

很多物体,如导体、半导体、电子学组件、有机体等,在恒低温下,具有良好的特性,因此低温已广泛应用在核物理研究、宇宙

通讯、潜艇导航、分子生物学、医学、电子学、真空技术等方面。特别是近十年来,迅速发展起来的新技术——低温超导技术,低温在其中起了重要的作用。

超导体具有优异的特性,因此它的用途极广。超导电缆线几乎没有损耗;高频超导技术的应用遍及于电子工程整个领域,包括极狭频带宽度和极弱讯号的接收,高频滤波器和低损耗的延迟线等。超导微波腔的品质因子极高,可用来测量场的微小变化、频率的微量漂移,用它作短期振荡器,可达  $10^{-16}$  的稳定度。它用在电子显微镜上,可将分辨率提高到1埃左右。由于超导体较之常温磁体能产生高出好几倍的强磁场,因此它已成功地用在兆瓦级以上的超导电机和近千马力的超导马达推进系统。可以说,凡是受常温磁体场强所限的一切方面,都可以用超导技术来取代。

在交通运输中,超导技术也有着很现实的意义。日本在近期的计划中,将完成包括有十多节车厢的磁悬浮超导列车,时速预计可达500公里!并于去年(77年)已进行了样机的初步运行。

### 四、低温超导与高能物理

随着加速器的不断发展,能量的不断提高,圆形加速器圆环的半径也不断增加。建立一台能量为10000亿电子伏的圆形加速器,用常规磁体,圆环周长就要有十公里!而如果采用铌-钽线绕制的超导脉冲磁体,由于它的磁场强度比常规磁体提高了2—3倍,它的圆环轨道的长度,可以缩短到二分之一或更短。如果选用更为理想的超导材料(如钒三镱等)则场强可提高到的

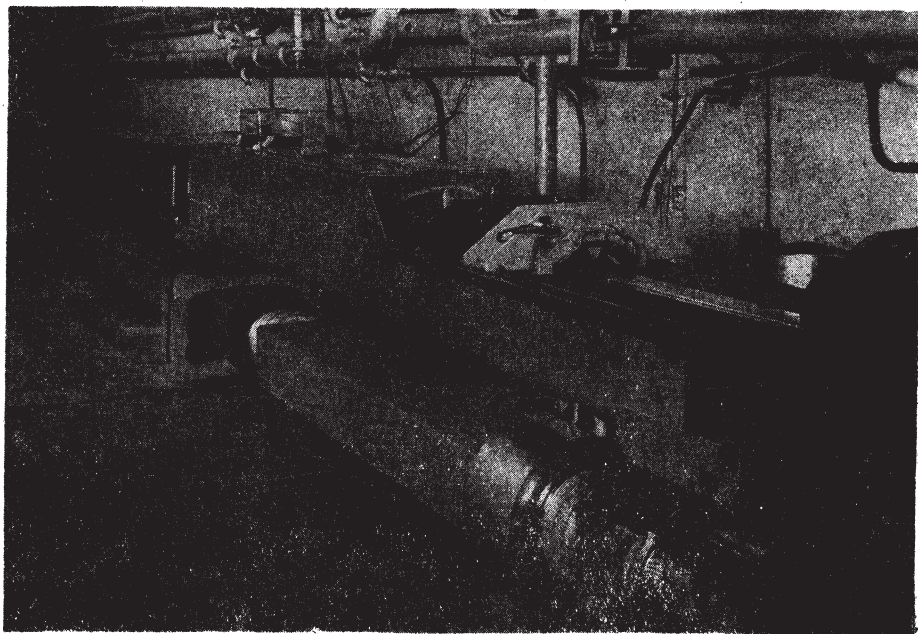


图3 超导磁体用于加速器。

近五倍或更高,那么圆环轨道的长度,可缩小到原来的五分之一或更短.而且用超导磁体还兼有节省大量电力和运行费用的优点.例如,美国费米实验室的超导磁体双倍能量计划,将质子从3000亿电子伏加速到10000亿电子伏,用电只需15兆瓦,若用常规磁体,则需100兆瓦以上;运行费用可节省 $1/3$ 到 $1/2$ .

在直线加速器中,谐振腔的功率损耗是最大的,如果采用低温超导谐振腔,则腔耗可降低到十万分之一到百万分之一.由于腔耗小,超导谐振腔不受腔表面功率损耗的限制,这就可以较大幅度地提高加速电场的强度,从而在同样能量情况下,大大缩短直线加速器的长度.还由于腔耗小,超导直线加速器的负载同期可以近于或等于100%.也就是说,可以连续运行.这种加速器在稳相、便于反馈、消除瞬间效应等方面,以及能散度、能稳度方面,都有明显的优点.

从大型加速器出来的粒子束,通过磁偏转进行动量分离后,还要经过谐振系统粒子分离器进行甄别分离,这样才能得到合乎实验需要的粒子.但常规分离器的谐振腔的微波功率损耗太大,使得腔的场强不可能太大,就不能把大能量的粒子甄别分离得很纯.为了甄别大能量粒子,如果场强不能增加,势必常规分离器愈造愈大,那就不仅设备本身的建造难以实现,而且在电力使用和运行费用方面也愈来愈不合算.采用超导分离器后,特别是用于高能量粒子的分离,由于场强可以增大,就能比较理想地解决这些矛盾.

从加速器引出的高能粒子,经过分离器后,送到实验区去,是靠束流输运系统来进行的.束流输运系统基本上是由直流磁体组成的(小的十几块,大的上百块).目前,已成功地使用超导磁体来做直流磁体,使从加速器引出到达实验区的粒子通道显著缩短,为测定寿命更短的粒子,提供了有利的条件和可能性.

高能物理实验的精确与否,还取决于探测器的本领.气泡室是一种重要的径迹探测器,它的磁场强度愈大,分辨本领就愈大(当然还有其他一些因素,如运动的距离等).超导磁体最大的特点之一,就是能提供较大的磁场强度.因此气泡室上采用超导磁体,就能较大地提高分辨本领,进一步提高实验的精确度.

此外,“低温”本身在高能物理工作方面,也还有着独到之处.例如气泡室内部的工作介质就是液氢或液氘(也可用液氙等)它本身就离不开低温液体.又如大型加速器的加速腔内的真空度要求很高,需要用极限真空度高、抽速相当大的真空泵来进行抽空,而液氦低温冷凝泵就是比较理想的.

另外,在高能物理实验中,直接采用低温恒温源,能改善某些实验条件,极大地降低噪音本底,使某些实验在不同的程度上提高其实验精度和稳定度.它还可直接用来进行精密的量子电动力学实验等等.