

强磁场的产生

赵汝文

强磁场通常指的是场强为几特斯拉(T)($1T=10^4$ 奥斯特)的磁场。强磁场是进行物性研究和应用研究的重要条件之一。在许多领域中有广泛的应用。许多发达国家都有强磁场实验室。本文简单扼要地介绍强磁场产生的方法及其在某些方面的重要应用。

一、强磁场的产生

强磁场有稳态式和脉冲式两种。产生稳态强磁场的磁体通常是用导体绕成的螺旋管,它可分为三种:普通导体磁体、超导体磁体、由普通导体和超导体结合绕成的混合磁体。普通导体的磁体所能达到的场强一般为 $20T$ 。这种磁体需要大量的软铁,例如场强为 $3T$ 的磁体需 10 吨软铁因而磁体体积庞大,需要消耗大量电能(例如在直径为 3 厘米左右的空间内产生 $23T$ 的磁场需要 10 兆瓦的功率)。由于导体的焦尔热,还需用大量循环冷却水。因而这种磁体造价和使用费用都很昂贵,经济上很不合算。

超导磁体目前能产生的最高场强为 $17T$ 。超导体绕制的磁体虽然具有使用材料少、能量消耗低等优点。但材料价格昂贵,还要使用液氮。尤其在制作大体积的磁体时,低温容器是相当复杂而较难解决的,故目前使用的超导磁体主要是供实验用的小磁体。若目前发现的在液氮温度使用的高温超导体有朝一日能用来绕制场强很高的磁体,超导磁体的前途将大大改观。

稳态磁体是连续运行的,由于面临以上的问题而难于进一步提高场强。但利用脉冲式的磁体却可以产生场强很高的脉冲强磁场。

脉冲强磁场大体可以分为三类:

1. 强场,场强在 $50T$ 以下,脉冲宽度为 1 毫秒至 1 秒。
2. 中强场,场强在 $50T$ 至 $100T$ 之间,脉冲宽度为 100 微秒左右。
3. 超强场,场强在 $100T$ 以上,脉冲宽度为几微秒。

$50T$ 以下的磁场相对来说较容易产生。只需利用一定数量的电容器通过放电开关(例如引燃管)对磁体(用普通导体绕成的螺旋管)放电即可(见图1)。如因

实验的特殊需要,将电流(也即磁场)波形整形在技术上也不难做到。中国科学院物理研究所已建成 $40T$ 的脉冲磁体,最近又建成了场强为 $51T$ 的脉冲磁体。显然,随着场强的提高,技术难度也在增加。

中强和超强场磁体是利用磁通压缩的方法产生的。磁通压缩的原理如下:先用外部线圈或磁体在金属片之间建立磁场,称之为初始磁场;在金属片外侧周围装上炸药,如图2所示。使炸药爆炸,金属片便高速向内运动。由于炸药爆炸的时间很短,在这样短时间内金属片之间的磁场来不及渗透到金属片到达外部。因而磁通被金属片压缩而通过槽。挤入金属圆筒内,这时金属圆筒内的磁通密度很高,可达 $100T$ 以上。

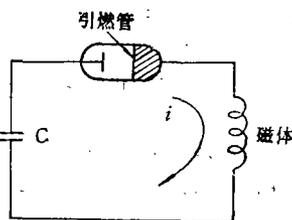


图1 脉冲强磁场产生的原理图。点燃引燃管,已充上电的电容器 C 便通过引燃管向螺旋管磁体放电,于是在螺旋管内建立起磁场

磁通压缩也可用下面的方法实现,即利用金属箔做成一个圆筒,称之为衬套。由另外的磁体在衬套内建立起初始磁场,然后驱动衬套使其快速向心压缩。此时衬套内的磁通密度迅速升高。驱动衬套快速向心压缩可以通过使衬套外部的炸药爆炸(见图3)来实现,也可以在衬套外面施加快速上升的磁场

来实现,或者两者结合起来。这种方法可使场强达到

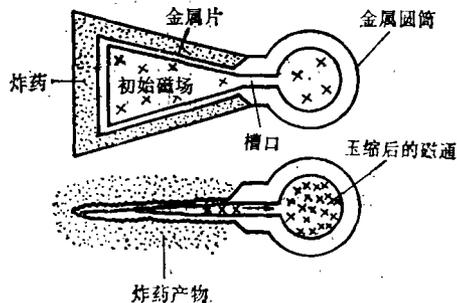


图2 磁通压缩原理图

来实现,或者两者结合起来。这种方法可使场强达到

千 T 量级。磁通压缩法的缺点是，磁通压缩的部件会被破坏，每次实验之后必须更换部件。

非破坏性的百 T 以上的磁场可以借助等离子体焦点来实现。在等离子体聚焦期间，捕获在等离子体中的磁通被快速压缩，从而得到很高的场强。日本学者曾原理性地演示了利用等离子体焦点产生的 14T 磁

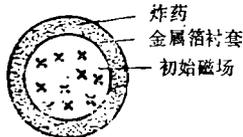


图 3 使金属箔衬套爆聚来实现的磁通压缩

场，并以此做了物性研究。下一代超强磁场可能利用等离子体焦点或激光压缩空心球等方法来实现。

二、强磁场的应用

1. 半导体研究：利用较强的磁场，能在适当的温度和浓度条件下通过冻结低朗道能级聚居中固有的动能来观察向较低维数的跃迁；研究磁性半导体的电子结构；试验有效质量近似；研究浅杂质态和深杂质态的 Zeeman 分裂等。

2. 材料研究：研究在通常的金属研究中很难进行的研究课题，例如由电子驱动的相变，钾中的电荷密度波，外来金属的电子结构以及浓缩的二元合金等。在强场条件下还可研究：强场超导性；冶金相变。在地球物理领域可研究由磁场引起材料的温度和压强的变化。借助核磁共振方法可研究与材料机械强度有关的各种成核现象。

3. 低温物理：在强磁场条件下，自旋排列的氢的玻色凝聚和液 He^3 A 相的铁磁矩的两个相变成可能，这在通常条件下是无法观察得到的。

4. 化学研究：强磁场有助于：理解在凝聚相中的复杂反应；确定分子中的原子动力学行为和分子形成期间原子的动力学因素；高激发态的电子结构。

5. 生物研究：较强磁场（例如 75T）有助于获得高分辨率的核磁共振，由此可研究：转移核糖核酸（RNA）的溶液结构；核糖核酸的热褶皱和热伸展；蛋白质抗原-抗体的相互作用；细胞膜类脂物相互作用；组织和核酸的相互作用；酶酪化物集合等等。

6. 磁量子电动力学：利用强磁场和高能电子，可比较精密地检验量子电动力学而无需计算许多其它非电动力学效应。

7. 原子分子光谱：可以研究蔡曼能量和库伦能量在可比较时高里德堡运动的斯塔克效应的线型，反交叉现象的观察以及碰撞动力学过程。

8. 金属氢的研究：利用 TNT 炸药作为磁通压缩的能量源，获得 1KT 的超强磁场，从而可获得极高的压强。实验报道，氢气在 200GPa (2M bar) 压强下密度约为 $1.06g/cm^3$ ，在此条件下氢气变成了导体。

固体离子学概述

薛荣坚

固体离子学是研究固体中离子行为及其相关应用的科学。它是在七十年代才兴起的新学科。内容包括快离子导体（又叫固体电解质），混合导体（又称电极材料）和它们的应用。它是物理、化学、材料、器件的交叉学科，因而引起广泛领域的科学家和工程师的兴趣和关注。自然界的固态材料依据其导电能力来分类可分为导体、半导体和绝缘体。在不特别指明电荷载流子的情况下，这种分类都是相对于电子（或空穴）的导电能力而言的。而本文涉及的这一类固态材料的电导是全部或者一部份是由离子传导决定的。前者是离子导体，后者是离子-电子混合导体。对离子传导溶液的研究已有很长的历史，化学家们把这类溶液叫做电解质溶液。他们给离子导电的固体材料也起了一个类似的名字叫做固体电解质。下面就其内容的三个主要方面作一简要叙述。

一、快离子导体

顾名思义，快离子导体指的是离子电导率较高的一类固体材料，确切地说其离子电导与溶液的最高电导接近，而电子电导比离子电导应小两个数量级以上。例如作者及同事们研究过的 $Rb_xCu_{1-x}F_3Cl_3$ ，其室温电

9. 受控热核聚变研究：在磁约束受控热核聚变装置（例如托卡马克、反场收缩等等）中的高温等离子体，都是通过由各种线圈产生的磁场组成所要求的磁场位形来约束的。

10. 工业应用：利用脉冲强磁场产生的巨大磁力，可将金属件压成各种形状，对金属工件进行加工。这是强磁场在工业上的典型应用。

11. 国防工业应用：利用电流和磁场的相互作用力，可使物体瞬间获得高速，其速度远远超过现有炮弹的速度，因而射程可以很远，这就是所谓的电磁炮或轨道炮。

由此可以清楚地看到，强磁场不仅是许多基础学科的重要实验条件，而且还与工业生产和国防工业密切相关。