

# 强磁场实验装置(稳态)\*

中国科学院合肥物质科学研究院 中国科学院基础科学局  
(合肥 230031) (北京 100864)

关键词 大科学工程,中国,强磁场,实验装置

## 1 强磁场的科学意义

磁现象是物质的基本现象之一。科学研究早已证实,当物质处在磁场中,其内部结构可能发生改变,磁场因而一直是实验物理等诸多学科的一种非常有用的工具。物质结构和状态在强磁场环境下都可能发生变化,呈现出多样的物理、化学现象和效应。强磁场与极低温、超高压一样,被列为现代科学实验最重要的极端条件之一,为物理、化学、材料和生物等学科研究提供了新途径,对于发现和认识新现象、揭示新规律具有重要作用。强磁场下的核磁共振又是生命科学、医学、脑科学研究的必要工具。例如,在与农业、人类健康密切相关的生物大分子研究中,相当多的样品其生物反应发生在液体状态,核磁共振是其最佳的研究手段。

强磁场科学研究涉及的学科十分广泛,具有众多原始创新的机遇,对科学和技术的发展具有非常重要的意义。

数十年来,世界各国学者在此领域的科学研究一直非常活跃,取得了大批原创性重大成果,并推动了相关新兴高技术产业的发展。自1913年以来,19项与强磁场有关的成果获得了诺贝尔奖,仅近20年就有8项,

如量子霍尔效应、分数量子霍尔效应、磁共振成像等。发达国家竞相将其作为重大科技基础设施建设的重点。我国若要在生命科学、医学、功能材料和器件研究方面赶上世界先进水平,迫切需要尽快建立世界水平的强磁场装置。

## 2 装置简介

强磁场可分为稳态强磁场和脉冲强磁场两大类,其对应的发生装置又分为稳态强磁场装置(SHMFF)和脉冲强磁场装置(PHMFF)。

国际上将20世纪的上半叶作为强磁场发展的初期。1960年美国在麻省理工学院建立了世界上第一个高场磁体实验室,作为强磁场发展的第一台阶;上世纪末美国和日本建立新的更高场的强磁场实验室、法国的格勒诺布尔强磁场实验室和荷兰奈密根强磁场实验室的电源功率的升级改造作为强磁场发展的第二台阶。

我国早在1964年就计划在陕西汉中建立强磁场实验室,后因故未能实施。1992年,中科院等离子体所建成了20T稳态强磁场实验装置,使我国成为当时世界上为数不多的拥有20T稳态强磁场装置的国家。但

\* 本文由中科院合肥物质科学研究院强磁场科学中心邱宁研究员(E-mail:qiun@ipp.ac.cn)、邵淑芳博士(E-mail:shfshao@aiofm.ac.cn),基础科学局彭子龙共同组织撰写  
修改稿收到日期:2009年9月8日

之后未能抓住机遇进一步发展强磁场技术和实验条件,使得我们与国际先进水平差距越来越大。

2007年1月25日,国家发改委正式批复由中科院和教育部联合申报的国家重大科技基础设施——强磁场实验装置(HMFF)建设项目,同意将此项目列入国家高技术产业发展项目计划。HMFF建设周期为5年,目标是建成具有国际先进水平、可为众多学科领域的科学研究提供强磁场极端实验环境和实验手段的大型综合科学实验装置,届时,我国将与美、法、荷、日并列成为世界5大稳态强磁场科学中心之一,对于提升我国相关前沿学科的基础研究水平、带动相关新兴高技术产业的发展具有重要意义。

目前,国际稳态强磁场的发展趋势是:

(1)更高的磁场。美国目前正努力将水冷磁体的磁场由33T/32mm、28T/50mm提高到35T/32mm、32T/50mm,并计划将混合磁体的磁场由45T提高到48T。

(2)更高场的NMR技术。美国和日本目前正努力将超导的NMR磁场由

21.1T/900MHz提高到25T/1.066GHz,美国还在努力将水冷的NMR磁场由25T/1.066GHz提高到27.5T/1.17GHz,并计划建造35T/1.49GHz的NMR。

(3)更大口径的磁体。法国正在建设14.8T/400mm混合磁体和23.5T/160mm/1GHz的NMR。

(4)系列的磁体。目前世界4大稳态强磁场实验室都有系列磁体装置,其中有最高场强的标志性磁体,也有满足其它不同实验特别需要的不同场强或不同孔径的磁体系列。表1列出了目前国际上主要稳态强磁场实验室的最高技术参数。

我国正在建设的HMFF项目,包括SHMFF和PHMFF两部分,其中SHMFF建在合肥科学岛,由中科院合肥物质科学研究院承建、中国科学技术大学参与共建;PHMFF建在武汉,由华中科技大学承建,北京大学、南京大学、复旦大学和东北大学协作建设。

SHMFF的总体目标是:建成指标参数、装置规模及综合实验技术水平国际先进的

表1 目前国际上主要稳态强磁场实验室的最高技术参数

实验室	电源	水冷磁体	混合磁体
美国国家强磁场实验室 @Tallahassee	40MW (1991)	33T/20MW/32mm	
		31T/20MW/50mm	
		20T/20MW/195mm	45T/32mm
法国强磁场实验室 @Grenoble	24MW (1990)	25T/52mm/ 高均匀度	
		29T/32mm/ 均匀度**	
荷兰强磁场实验室 @Nijmegen	20MW (2000)	30T/20MW/50mm	40T/34mm*
		20T/130mm	
日本筑波强磁场实验室 @ Tsukuba	15MW (1988)	33T/20MW/32mm	40T/32mm**
		28.8T/15MW/32mm	37.9T/32mm

注:\*为在建;\*\*为计划建设



中国科学院

稳态强磁场重大科学基础设施,为科学研究提供理想的稳态强磁场极端实验条件,最大程度地满足我国多学科前沿发展对于强磁场实验条件的需求。

SHMFF 建设的 4 大内容,如图 1。

(1)具有不同实验功能的 20—40T 多个稳态强磁场实验装置,包括:①不同室温孔径和磁场强度的高功率水冷磁体实验装置 4 台(26T/32mm/10MW、33T/32mm/20MW、25T/50mm/20MW、20T/200mm /20MW); ② 40T 级混合磁体实验装置 1 台,由内水冷磁体与外超导磁体组成。内水冷磁体 2 个(29T/32mm、26T/50mm),与外超导磁体(中心磁场贡献 11T、室温孔径大于 500 mm)组合产生最高稳态磁场(40T/32mm、37T/50mm); ③用于材料加工与制备、磁共振与磁成像和 SMA 组合显微镜的超导磁体装置 4 台(8—10T/100mm、18.8T/54mm、9.4T/310mm、18—20T/54mm)。

(2)运行上述稳态强磁场实验装置所需的 4 大技术装备系统: ①高稳定度电源系

统;②去离子水冷却系统;③氦低温系统;④中央控制系统。

(3)建设满足多功能科学实验需求的实验测试系统:①包括输运测量、磁化测量、磁光测量、超导电性测量、磁场与极低温组合和磁场与超高压组合条件下的测量及 SMA 组合显微镜等实验测试系统;②磁共振特性与磁共振成像的实验测试系统。

(4)基建与公共工程。

### 3 我国拟开展的主要研究工作及其强磁场需求概况

伴随着强磁场技术的发展,其在各个领域中也发挥着越来越重要的作用。我国科学家在强磁场下拟开展的主要研究工作集中在物理、化学、生命科学、材料科学和核磁共振技术等领域,拟开展的研究课题及对磁场的的需求见表 2。

### 4 发展与展望

根据国家重大战略需求和国际科学前沿发展的需求,争取早日建设完成强磁场实验装置并逐步完善,提升装置性能,逐步满

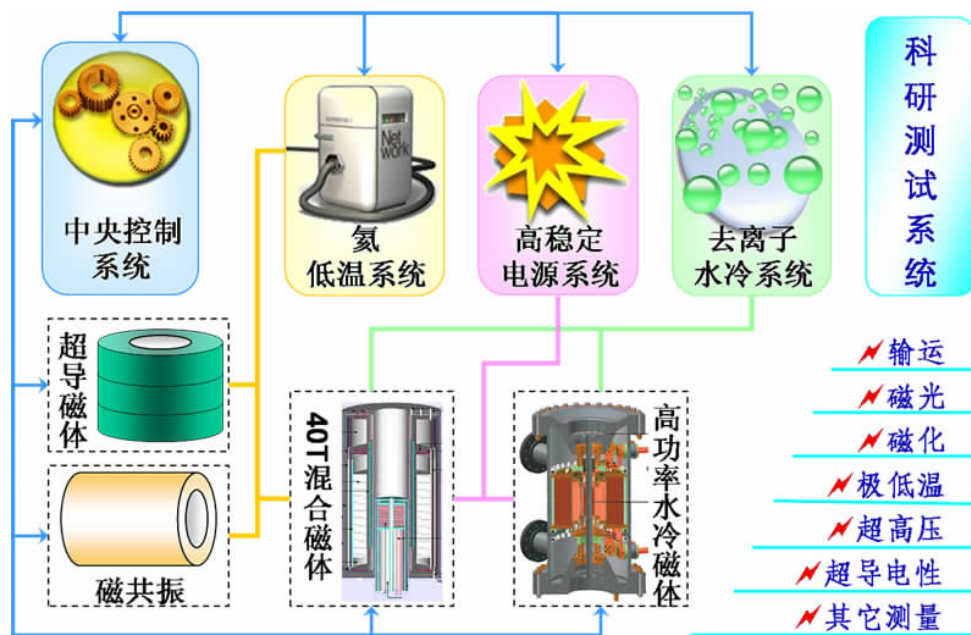


图 1 稳态强磁场实验装置建设系统示意图

表 2 我国拟开展的主要研究工作及其强磁场需求情况

学科	开展的研究课题	磁场
物理学	准二维半导体的回旋共振谱和磁输运性质	5—30T
	半导体 稀磁半导体量子阱、线、点的磁光性质	
	强磁场下稀磁半导体二维电子气中霍尔效应	
	强磁场下纳米材料体系的能带结构、光谱特征、相变及输运性质	
物理学	低维物理 组合费米子相干性质	25—40T
	基于分数量子霍尔效应区的边缘态的“分数电荷”的准粒子干涉仪	
	更高临界温度超导体的探索	
超导体	高温超导机制	20—37T
	超导磁通动力学和涡旋态相图	
化学	强磁场下的化学合成	20T
	探索新型有机超导体	(大口径)
生命科学	NMR研究生物大分子及其复合物结构、动力学与功能	18.8T
	核磁共振与活体分子成像技术	
	运用核磁共振成像进行医学和认知科学研究	
材料科学	强磁场下第二代高温超导带材制备	>10T
	强磁场诱导准一维纳米磁性半导体阵列生长	(大口径)
	强磁场下宽带隙半导体纳米量子点材料制备	20T
	强磁场下 SMA 微型组合显微镜制造	>20T
	新型自旋电子材料	
NMR 技术	强磁场和低温条件下的核自旋动力学研究	25T
	非均匀和不稳定强磁场的核磁共振研究	

足我国物理、化学、生物学等多学科发展的要求,促进学科发展和自主创新能力的提高,扩大和完善向国内外开放、资源共享的运行体制和公平竞争,积极开展国内外合作

交流,吸引和引进国内外优秀人才,培训青年人才,使他们迅速成为强磁场装置建设和运行的骨干力量。

(相关图片请见封二、封三)



中国科学院