

中国科学院强磁场科学中心

High Magnetic Field Laboratory of the Chinese Academy of Sciences

强磁场实验装置 2019 年度报告

(稳态, 合肥)

中国科学院强磁场科学中心

2020 年 2 月

目 录

综述及基本情况.....	3
装置概况.....	3
SHMFF 总体目标与研究方向.....	4
组织框架.....	5
研究进展与成果.....	5
承担项目情况.....	5
SHMFF 用户成果丰硕.....	5
代表性亮点成果.....	6
设施建设、运行与改造.....	13
SHMFF 运行与开放.....	14
实验技术发展.....	14
SHMFF 国际用户开放.....	14
维修改造项目进展.....	14
科技队伍与人才培养.....	15
合作与交流.....	15
科技合作交流.....	15
科普.....	16
大事记.....	21

综述及基本情况

装置概况

强磁场实验装置(HMFF)项目是由中国科学院和教育部联合申报并获批准的“十一五”国家重大科技基础设施建设项目。根据《国家发展改革委关于强磁场实验装置国家重大科技基础设施项目建议书的批复意见》(发改高技[2007]188号文件),强磁场实验装置采取“一个项目,两个法人,两地建设,共同管理”的建设模式。

稳态强磁场实验装置(Steady High Magnetic Field Facility, 简称 SHMFF)的法人单位是中国科学院合肥物质科学研究院,共建单位是中国科学技术大学。工程经理部负责 SHMFF 建设的组织实施,各项任务以中国科学院强磁场科学中心为依托完成。

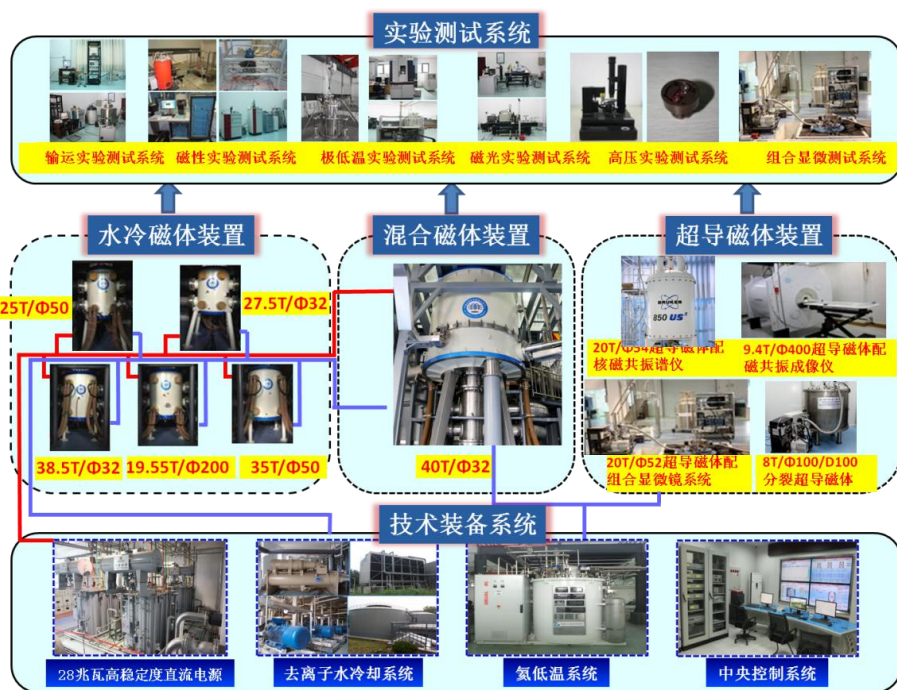
SHMFF 于 2008 年 5 月 19 日获批开工,2010 年 10 月 28 日转入“边建设,边运行”模式,2017 年 9 月 27 日通过国家验收。

SHMFF 建设过程取得了一系列成就,磁体技术和综合性能处于国际领先地位。成功研制了创世界纪录的系列水冷磁体、国际一流水平的混合磁体及其磁体支撑装备系统;成功研制了国际唯一的高场扫描隧道显微系统,国际独创的组合成像显微系统;国际领先的强磁场、超高压、低温综合极端实验条件。在国际上实现了强磁场实验条件从跟跑到领跑的跨越,使我国稳态强磁场科学研究条件跃升至世界一流水平,已成为国际五大稳态强磁场实验装置之一。

SHMFF 创新了大科学装置建设运行新模式,“边建设,边运行”期间对用户开放并取得一系列重要成果,使国家投资得以及早发挥效益。

截至 2019 年底 SHMFF 已累计运行 408401 个机时数、开展实验课题数 2390 个,用户论文总数 1512 篇(其中 I 区期刊文章 404 篇)。装置运行状态良好,为国内外用户开展强磁场下研究提供了支持,有效推动了我国稳态强磁场下前沿科学研究。

目前 SHMFF 不仅成为中科院合肥大科学中心核心基础,更是合肥综合性国家科学中心建设的关键基石,已成为国家科技创新体系的重要组成部分。



SHMFF 磁体、系统总图

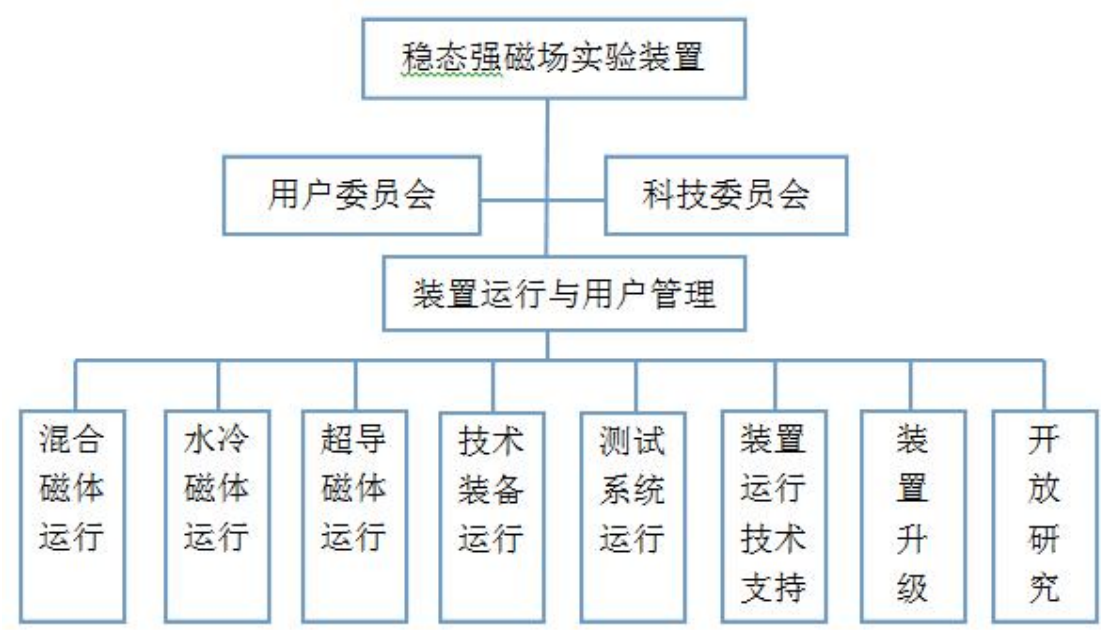
SHMFF 总体目标与研究方向

致力于提升装置性能，发展新的强磁场下的实验测试系统，积极培育国内外高水平用户。

围绕强磁场下新型量子功能材料的合成与调控生长、高温超导磁体及实用化超导材料的高场性能研究、高温超导机理、关联电子材料/拓扑超导体/低维体系的量子效应及输运研究、生物大分子在疾病中的分子机制研究、稳态磁场的生物学效应研究、肿瘤发病机理和小分子药物作用机制研究等方面开展前沿基础性研究。

作为合肥综合性国家科学中心和合肥大科学中心的重要组成部分，在保证 SHMFF 装置稳定运行、优质开放的基础上，力争不断产出原创性科技成果，在辐射带动发展、集聚高水平人才等方面取得成绩。

组织框架



研究进展与成果

SCI 收录论文数	论文引用数	国外发表论文数	用户相关论文数	获省部级以上奖数	发明专利授权	实用新型专利授权	软件著作权
225		240	251	1	5	3	7

承担项目情况

2019 年强磁场科学中心新增科研项目 63 项，纵向科研项目 52 项，横向科研项目 11 项。纵向项目包括了：（1）科技部项目 5 项，其中国家重点研发计划项目 1 项、课题 4 项；（2）基金委项目 16 项，其中基金项目 15 项（3 项大装置联合基金），国家重大科研仪器研制项目 1 项；（3）中科院项目 7 项，其中先导课题 3 项，仪器研制项目 1 项、STS 项目 1 项、功能开发项目 2 项；（4）安徽省科技计划项目 11 项，其中省重点研发计划和省重大专项各 1 项，省基金 6 项，高校协同创新项目 2 项，科研条件专项补助 1 项。

SHMFF 用户成果丰硕

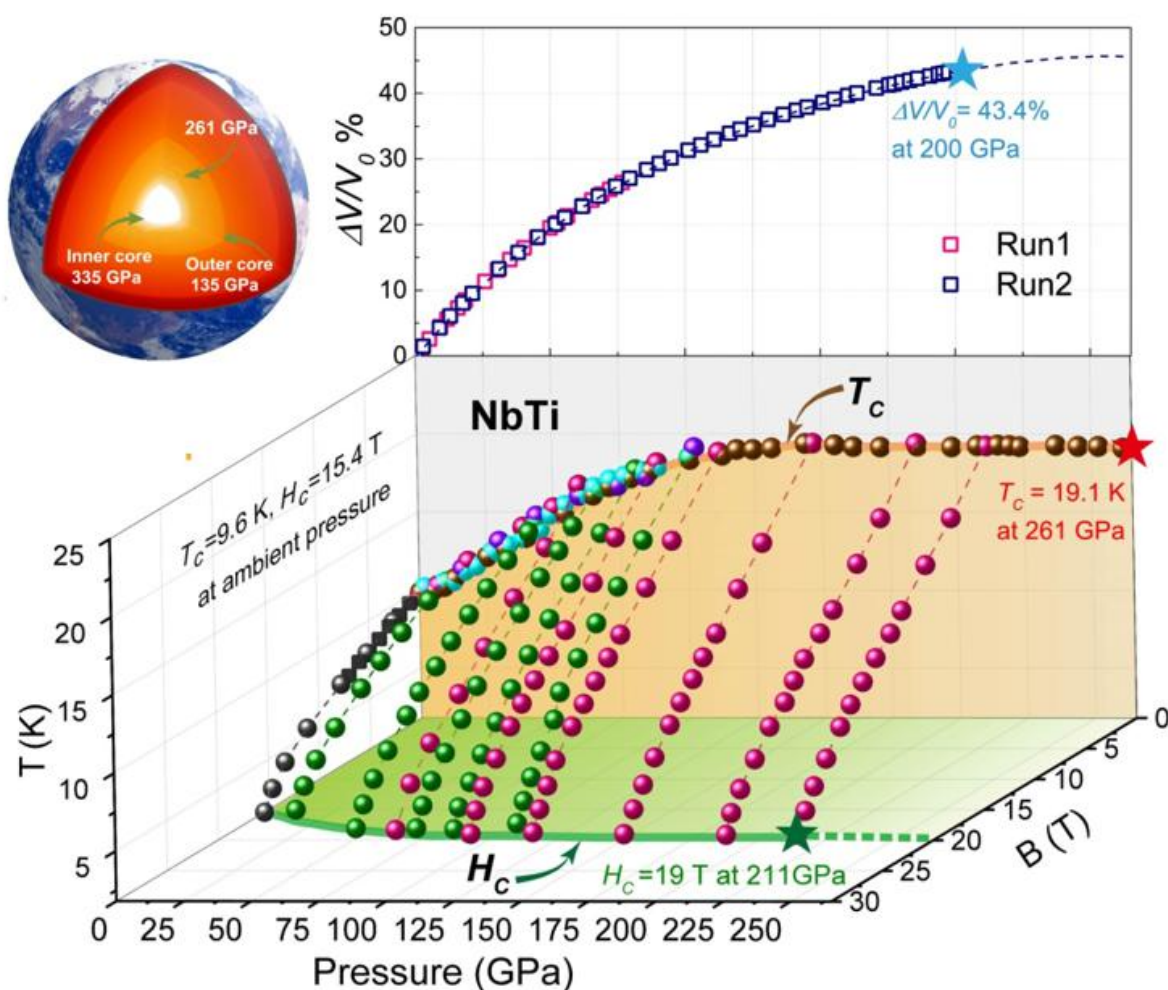
SHMFF 本年度产出期刊文章成果共计 251 篇，在支持生物、材料等学科的发展起到了重要作用，在支持材料科学研究特别是支持应用前景广阔的多类型材料研究中产出成果丰硕，在涉及环境、能源、信息领域的具有广泛应用潜力的材料研究中产出了优质成果，在低能耗电子器件材料、超导材料、热电材料、负热膨胀材料、环境降污材料等均表现不俗。

代表性亮点成果

● 强磁场超高压下合金超导电性研究取得重要进展

中科院物理所孙力玲研究员课题组在强磁场、超高压、低温综合极端条件下的超导电性研究中取得重要进展,发现铌钛合金在超高压下超导转变温度和上临界磁场的显著提升。相关研究成果发表于 *Advanced Materials*。

除了在科学上的重要意义,本工作在技术上实现了国际上在强磁场、超高压和低温综合极端条件下的压强最高指标,为今后探索综合极端条件下的物理性质提供了先进的平台。



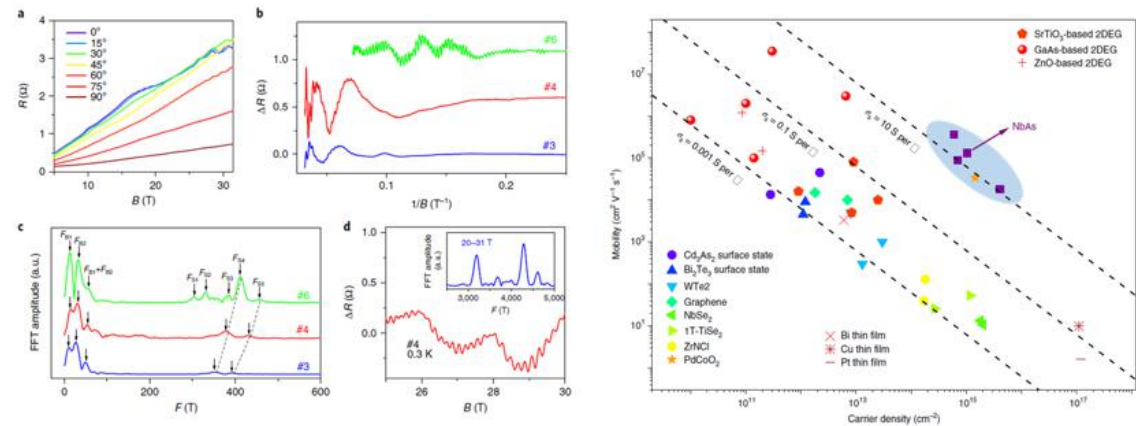
铌钛合金超导转变温度随压力、磁场和体积的变化

● 发现超高电导率材料

复旦大学物理系修发贤教授领衔的研究团队在砷化铌纳米带中观测到其表面态具有超高电导率,这也是目前二维非超导体系统中的最高电导率,其低电子散射几率的机制源自外尔半金属特有的费米弧结构。3月18日,相关研究论文以长文形式发表于 *Nature Materials*。

这一发现为材料科学寻找高性能导体提供了一个可行思路。利用这种特殊的电子结构,可以在提高电子数量的同时,降低电子散射,从而实现优异的导电特

性，这在降低电子器件能耗等方面有潜在应用。



图：左：砷化铌纳米带高磁场下的量子振荡、右：砷化铌纳米带与其它二维材料导电性的对比。

● 在人工斯格明子的规模合成与探测中取得重大进展

南京师范大学马付胜教授利用 SHMFF 磁力显微镜系统 (MFM)，在人工合成反铁磁多层膜中发现了一种可在几开尔文到 300 开尔文 (K) 宽温区稳定存在，能规则排列且尺寸连续可调的新型人工磁斯格明子 (Magnetic Skyrmion) 结构。相关研究结果发表于 Advanced Functional Materials。

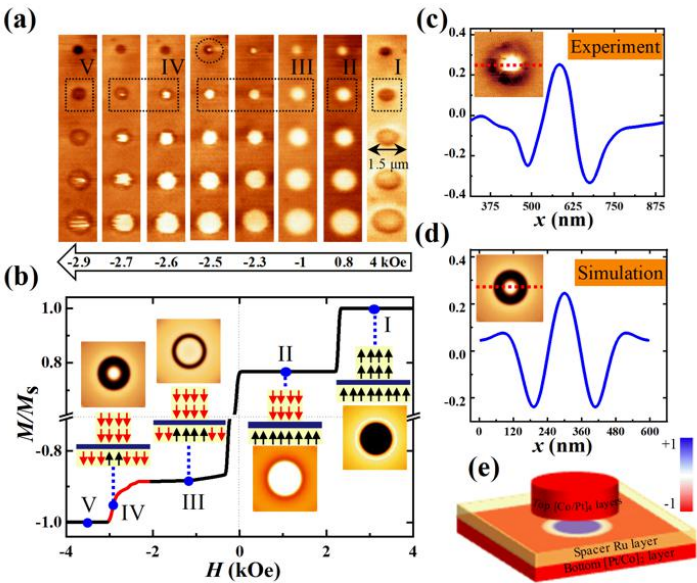
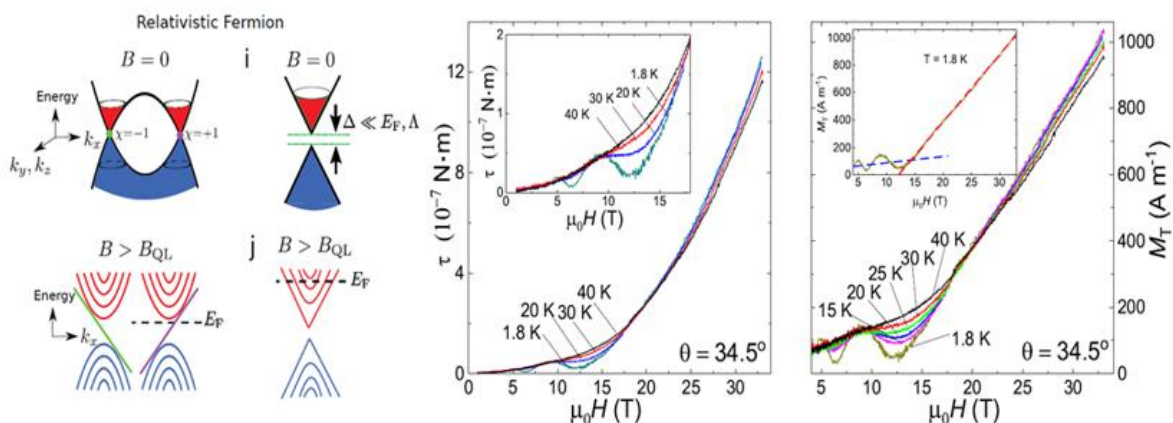


图 (a) 室温下 MFM 测量结果 (b) 样品磁化状态随磁场的演变 (c) -(d) 实验与微磁学模拟结果 (e) 样品结构示意图

● 揭示外尔半金属 TaAs 的不饱和量子磁性

北京大学贾爽研究员等人组成的研究团队利用稳态强磁场装置揭示了外尔半金属 TaAs 的不饱和量子磁性。相关成果发表于 Nature Communications。这一研究提出了一种更为直接的实验依据来探测这种相对论粒子。

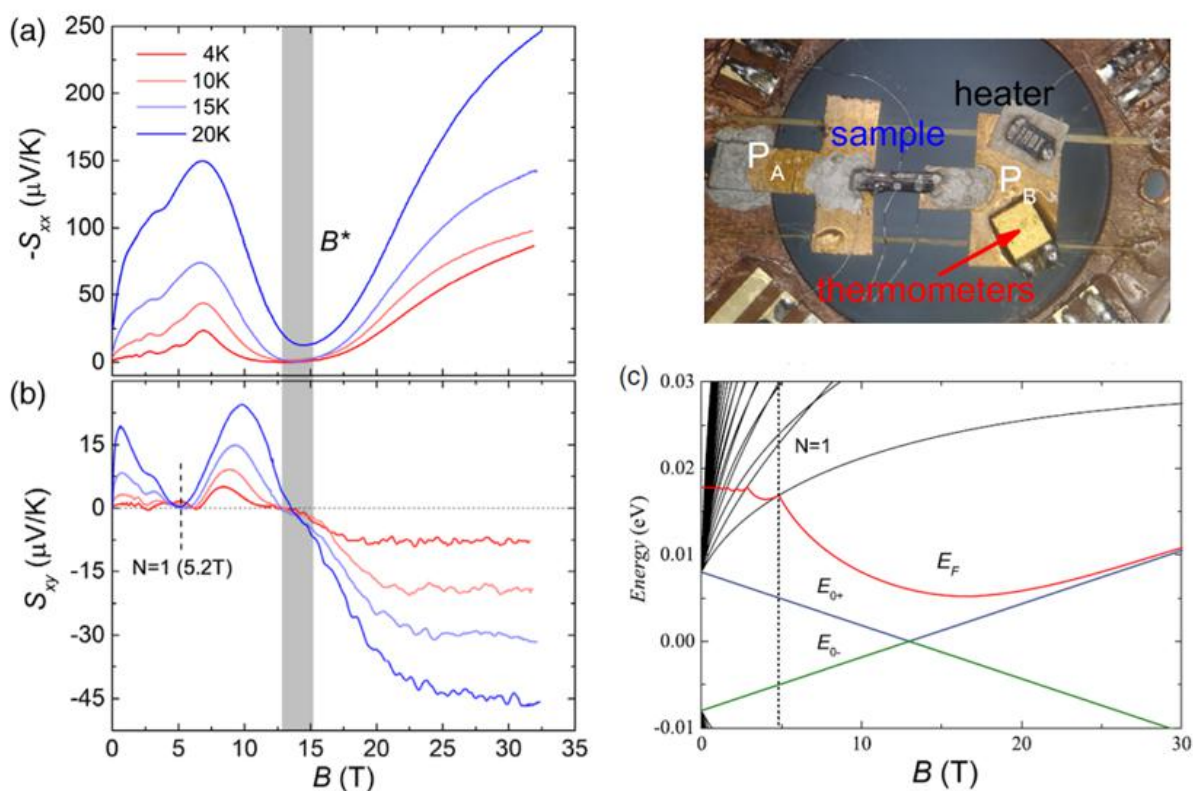


图：左：外尔半金属能带示意图。右：TaAs 磁扭矩、正交磁化率随磁场的变化。

● 强磁场下 ZrTe₅ 的反常热电效应研究取得新进展

中科院强磁场科学中心张警蕾副研究员、田明亮研究员，南方科技大学卢海舟教授，上海师范大学王春明教授组成的研究团队，利用稳态强磁场装置，研究了拓扑材料 ZrTe₅ 在强磁场下的反常热电效应，相关研究成果在 Physical Review Letters 上发表。

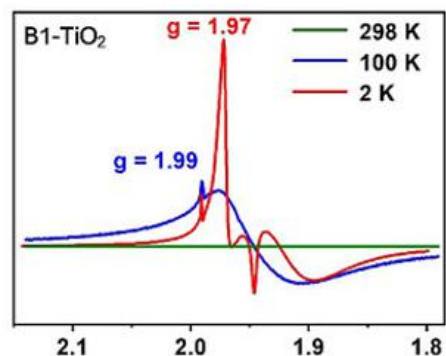
该项工作表明强磁场下热电效应的测量可作为探测拓扑材料能带反转的直接实验手段。



图：ZrTe₅ (a) 塞贝克系数以及 (b) 能斯特效应随磁场的变化关系。(c) 理论计算 ZrTe₅ 朗道能级随磁场的变化关系。右上：水冷磁体热电效应测试装置。

- 在太阳能材料研究中取得系列科研成果

北京大学莫凡洋研究团队近年来利用连续波电子顺磁共振（ESR）相关设备进行了系列研究,对半导体-有机界面上自旋特征的电子界面态进行了探索 and 表征,多项科研成果于本年度连续发表在 iScience、Langmuir、Solar RRL 等国际知名期刊上。



混合 TiO₂ 和 B₂pin₂ 得到蓝色粉末及其 EPR 数据

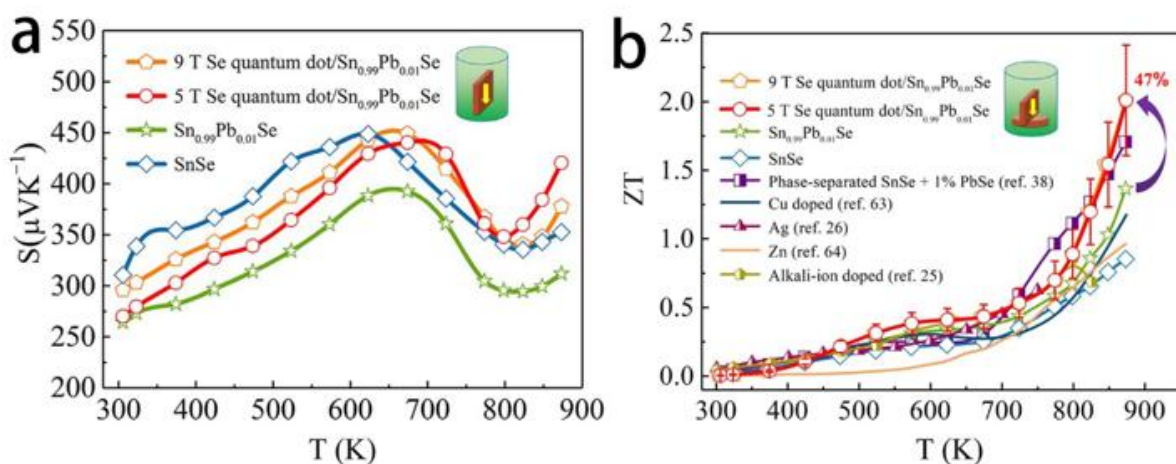
莫凡洋课题组将有机联硼分子引入到无机纳米材料表面态及能带结构调控研究中,表面态和表面能带结构的调控研究对以表面拓扑绝缘体、能源转化、催化化学等前沿物理和材料科学的研究至关重要。此外,界面化学在其他学科,比如生物领域、传感器领域亦十分重要。他们从新的角度和方向来对界面态进行调控,丰富了界面量子态的相关理论,给出了如何在半导体氧化物的表面引入自旋态的一种方法。

- 热电材料研究取得进展

热电材料是实现热能和电能直接相互转换的功能材料,用热电材料制成的温差发电装置和制冷装置具有无需传动部件、运行安静、尺寸小、无污染等诸多突出优点,在温差发电和便携式制冷等领域有重要应用前景。研发具有高热电性能材料进而实现高效能量转换是实现热电材料规模应用的关键。

南京理工大学唐国栋教授研究组利用强磁场原位水热合成 SnSe 热电材料,实现了对材料微结构的调控,显著提升其热电性能,说明利用强磁场调控热电材料微结构及其电子声子输运,对于优化热电材料性能十分有效。相关研究成果发表在国际著名期刊 Journal of Materials Chemistry A 上。

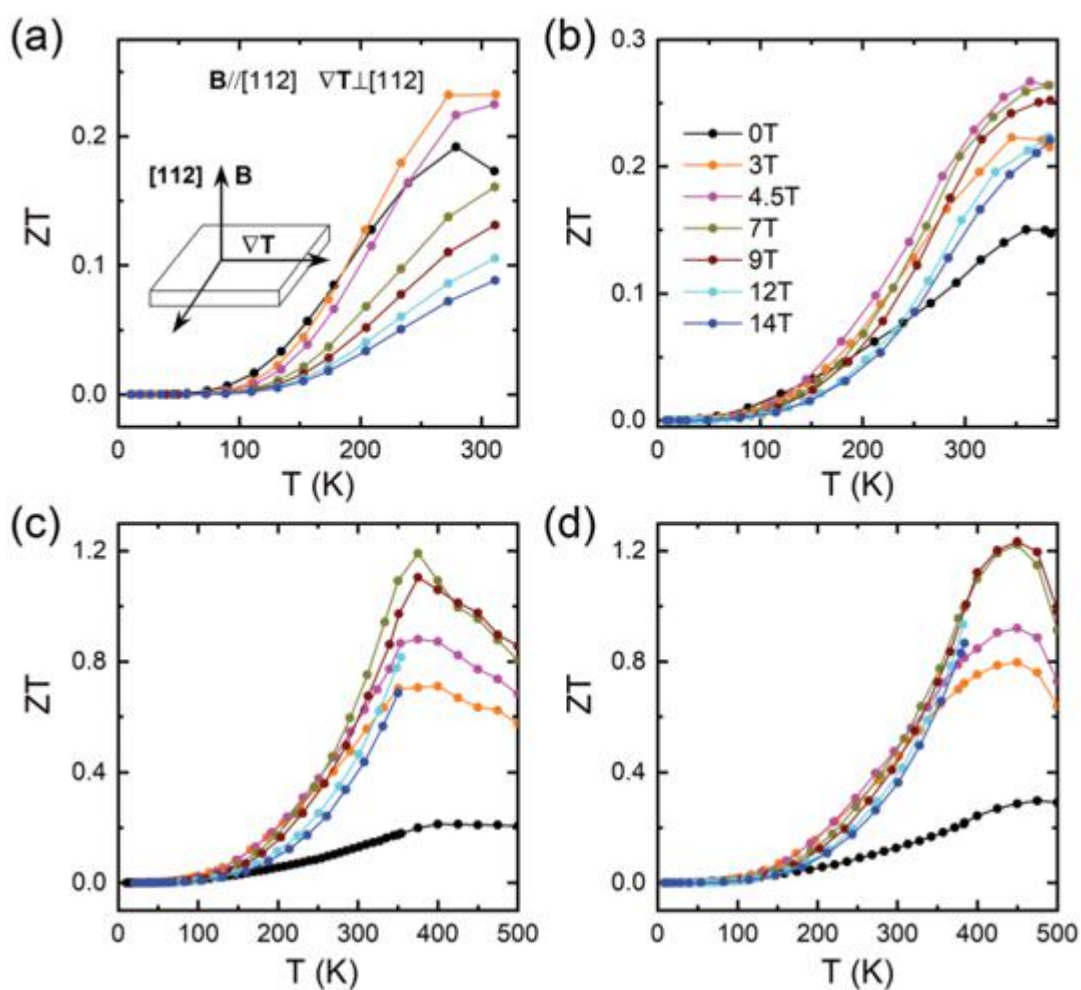
该方法为探索新型高性能热电材料提供了新思路,研究结果对相关材料领域具有重要的借鉴意义。



不同磁场下合成 $\text{Sn}_{0.99}\text{Pb}_{0.01}\text{Se}$ 样品的 Seebeck 系数(a)和热电优值 ZT (b)

中国科学技术大学陈仙辉院士课题组借助稳态强磁场实验装置 (SHMFF) 超导磁体 SM1, 在拓扑狄拉克半金属 Cd_3As_2 材料的热电性能方面取得了重要进展, 发现了其热电性能在磁场中的极大增强效应, 该研究成果发表在 *Advanced Functional Material* 上。

将磁场运用到拓扑材料以增强其热电性能, 使得热电研究开始进入了量子材料领域, 为寻找新的热电材料体系开拓了新的方向, 也为提升热电性能提供了新的思路。

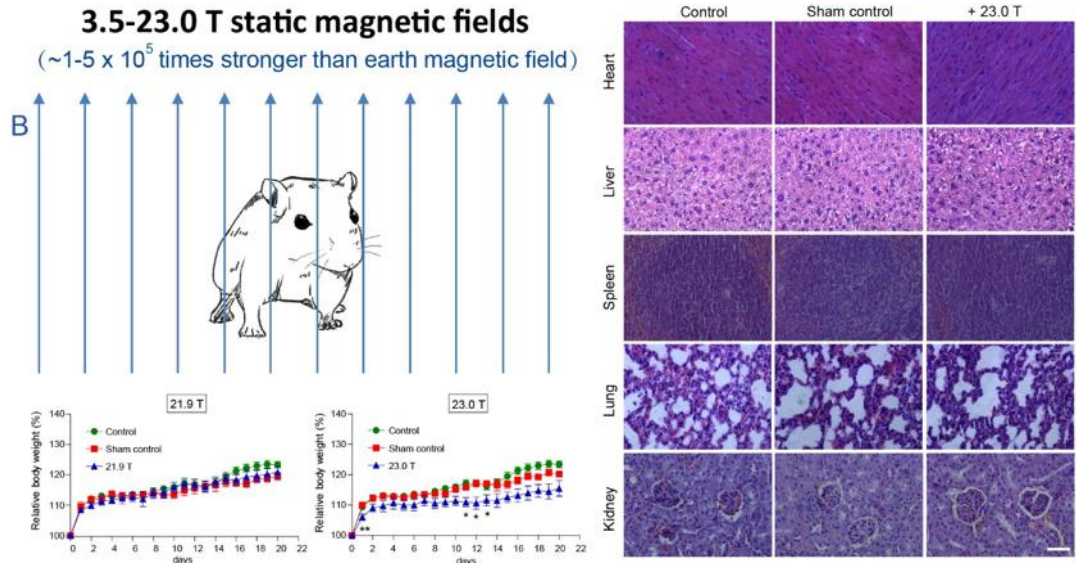


不同载流子浓度的 Cd_3As_2 单晶 ZT 在磁场的剧烈提升

● 稳态强磁场生物安全性研究取得新进展

中国科学院强磁场科学中心的张欣研究员课题组利用稳态强磁场大科学装置，在 20T 级强磁场生物安全性方面取得全新进展，首次报道了 20T 级以上强磁场对正常小鼠的主要生理生化指标等的影响，相关成果在线发表于国际神经成像领域期刊 *Neuroimage*。

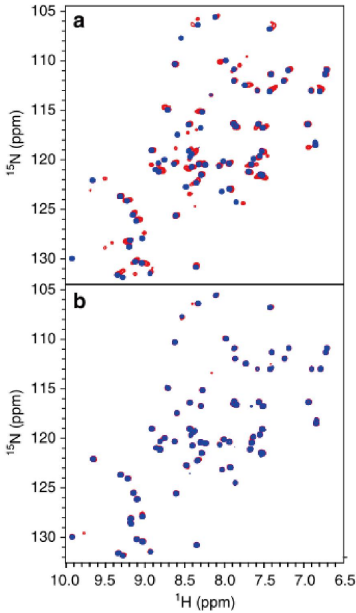
此项研究对界定强磁场生物安全界限，开拓强磁场在医疗和仪器设备等领域中的应用都具有积极的指导意义。



3.5-23T 稳态强磁场处理小鼠两小时总体来讲比较安全。虽然 23T 对其摄食和体重增长有一定影响，但 21.9T 及以下则无影响。

● 发现四硫代钼酸盐抑制 ATP 酶机制

中科大刘扬中教授研究团队发现四硫代钼酸盐通过形成钼硫簇诱导 ATP7B 的金属结合域二聚化，提出了四硫代钼酸盐抑制 ATP 酶的作用机制，揭示了四硫代钼酸盐减弱铜外排蛋白介导的顺铂抗性的分子机制。相关研究论文以长文形式发表于 Nature Communications。

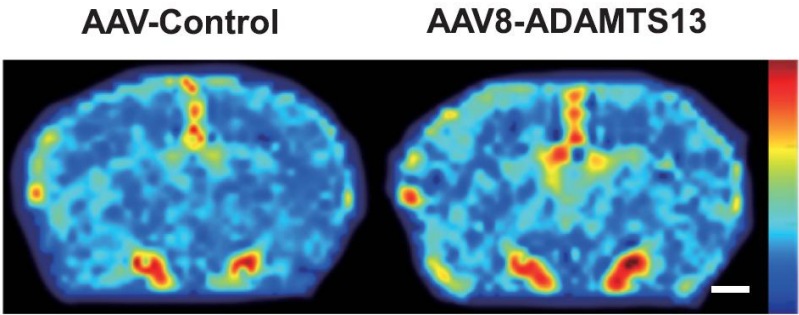


NMR 检测四硫代钼酸铵对蛋白质铂化的影响

● ADAMTS 13 缺陷可导致 AD 脑血管功能障碍

血管性血友病因子裂解酶（ADAMTS13）是调控脑缺血后血管重塑和神经再生的重要分子，血脑屏障（BBB）受损和脑血管功能障碍是促进β淀粉样蛋白

(Aβ)在脑内积聚并加重阿尔茨海默病(Alzheimer's disease, AD)病理进程的重要原因。复旦大学范文英、赵冰樵研究团队依托SHMFF磁共振成像系统,研究表明ADAMTS13是调控AD病程中BBB完整性和血管功能的重要分子,通过调节Aβ转运蛋白的表达量影响血脑屏障对Aβ的清除从而参与Aβ的病理进程。ADAMTS13的缺失导致脑内Aβ转运蛋白低表达,促进Aβ积聚,从而引起神经功能退化,最终表现为记忆认知能力下降。增加脑内ADAMTS13的表达可以提高Aβ的清除速率,减少Aβ积聚,改善认知。本课题的研究结果可能为AD的研究和治疗提供新的思路和治疗靶点。成果发表于Plos Biology上。



动态磁化率对比的灌注mri成像得到的rCBF图

设施建设、运行与改造

设施名称	实验束线数	实验站（终端数）	用户单位数	用户计划实验课题数	用户执行实验课题数	用户实验参加人数	用户实验涉及领域及比例	故障机时
稳态强磁场实验装置		23	75	323	296	418	物理：60 %； 化学：13%； 材料：9%； 生物医药：16%； 工程技术等其他：2%	595h

设施	用户总数	院内	院外		其中				
			国内	国外	大学	研究所	政府机构	企业	其他
稳态强磁场实验装置	75	17	51	7	50	19	0	0	6

SHMFF 运行与开放

2019 年度开展课题 296 项，为 75 家用户单位提供了实验条件。2019 年度计划运行总机时 46170 小时，实际运行总机时 47881 小时，完成了运行计划、实现了年度科学实验目标。

	HW/WM	SM3 及 NMR	SM4 及 MRI
计划运行机时	1000	7680	2670
实际运行研究	1218	8349	2649
完成率	122%	109%	99%

	SM1 及超快	SM2	PPMS	制冷机	MPMS	ESR	拉曼	红外	XRD	极低温	超高压	SMA	25T 核磁
计划运行机时	2904	4896	6600	1200	7440	1200	1100	790	1150	2000	912	3648	980
实际运行研究	2934	5208	6648	1088	7612	1306	1125	796	1155	1980	929	3840	1044
完成率	101%	106%	101%	91%	102%	109%	102%	101%	100%	99%	102%	105%	107%

实验技术发展

- 将高场水冷磁体搭配的 VSM 实验精度提升至 4×10^{-5} emu
- 强磁场凝聚态核磁共振测试系统实现高至 1GHz 频率下的凝聚态核磁共振测量
- 首次实现混合磁体下的 STM 测量，国际首次在 30 T 以上磁场中得到原子分辨图像。
- 完善了低温显微磁光测量系统，实现了变温、变场条件下的显微磁畴观测和近单原子层厚度下微米级小样品的磁光 Kerr 效应测量，成功应用于（准）二维 van der Waals 材料的磁性研究。

SHMFF 国际用户开放

2019 年度共为国外包括德州农工大学、美国肯塔基大学、美国田纳西大学、德国奥格斯堡大学、南丹麦大学、瑞士保罗谢勒研究所、首尔大学 7 家用户单位的 8 个课题提供了 2267 小时的机时服务。

维修改造项目进展

“SHMFF 去离子水冷却系统维修改造”、“HWM11 与 WM3 水冷磁体维修改造”、“35T 水冷磁体联合干式磁体原位原子成像平台”三个维修改造项目进展顺

利，完成了 2019 年度计划。

“SHMFF 去离子水冷却系统维修改造”项目中冷冻水系统及提纯系统维修改造已全部完成，总蓄冷量达到 6000m³，提纯量≥ 60 m³/h，均达到任务书验收指标。

“HWM11 与 WM3 水冷磁体维修改造”按任务书计划完成了 HWM11-A/B/C 线圈的改进设计，WM3N-C/D 新线圈的设计以及 WM3N-A1/A2/B 线圈的改进设计，完成了关键材料的铜银合金订购。

“35T 水冷磁体联合干式磁体原位原子成像平台”项目完成了 4 个测试低温杜瓦和 3 个 STM 镜体的设计与加工，完成 16T 磁体、30mK 稀释制冷机、1.5K 低温杜瓦的招标，测试了 STM 镜体与测试杜瓦结合在 77K 低温下在混合磁体中得到原子分辨图像。

科技队伍与人才培养

强磁场中心注重人才队伍建设，持续加强人才队伍建设。充分利用相关人才政策引进人才、培养人才，推动中心的科学发展。项目培养出了一支优秀的工程技术和科学研究队伍，吸引了大量海内外高层次人才加入，目前稳态强磁场实验装置的依托单位中国科学院强磁场科学中心拥有包括双聘研究员在内的高级职称研究人员98人，其中院士4人，杰青5人，百人计划17人，青年千人3人，万人计划2人。

2019年中国科学院强磁场科学中心新增的人才项目18项，总经费约800万元。

设施 人员 总数	按岗位分			按职称分			学生			在 站 博 士 后	引 进 人 才 *
	运行 维护 人员	实验研 究人员	其他	高级 职称 人数	中级职 称人数	其他	毕 业 博 士	毕 业 硕 士	在 读 研 究 生		
196	103	72	21	98	74	24	17	14	214	17	0

*指通过“百人计划”、“千人计划”等引进的人才。

合作与交流

科技合作交流

2019 年中心国际合作和对外交流持续平稳发展，召开两次国际会议，举办大量的学术交流活动；2019 年中心特邀来访海外专家 28 人次，其中学术交流及访问 8 人次，合作研究 10 人次，参加国际会议 10 人次；中心科研人员出国境共计 20 人次，其中参加学术会议 10 人次，开展合作研究 10 人次。

第八届国际磁科学会议（ICMS, International Conference of Magneto-science）成功举办。参加了在荷兰举办的全球强磁场论坛年会，并出席了荷兰强磁场-自由电子激光实验室（HFML-FELIX）新楼的揭牌仪式。参加了在加拿大召开的第 26 届国际磁体科学技术大会（MT26）。参加在北京召开的主题为“磁外科学机遇和挑战”的香山会议第 665 次学术讨论会，张欣做邀请报告。

2019 年中心共邀请举办 32 场学术报告，其中强磁场科学论坛讲座 16 场。

大量学术报告的开展活跃了学术气氛，促进了国内、国外学者之间的学术交流。



主办第八届国际磁科学会议



主办 2019 强磁场磁光研讨会



部分来访报告

科普

参加的大型科普活动有：经国家审核遴选参与《伟大历程辉煌成就——庆祝中华人民共和国成立 70 周年大型成就展》、第一届长三角一体化创新成果展（芜

湖)、在全国科普讲解大赛中获得一等奖和全国十佳科普使者称号、安徽省创新馆开馆相关展品布置、2019 年科技周暨“公众科学日”活动。激发了公众热爱科学、了解科学的热情，为中科院强磁场科学中心营造了良好的社会氛围。

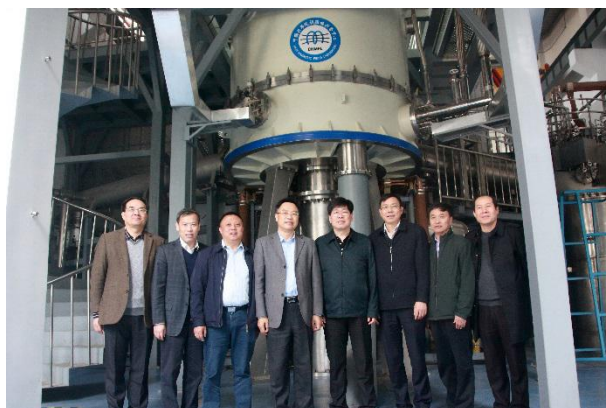
2018 年度 SHMFF 共接待来自不同国家、不同知识层次和年龄层次参观者共 150 余批次，超过四千人近距离感受了国家大科学装置。



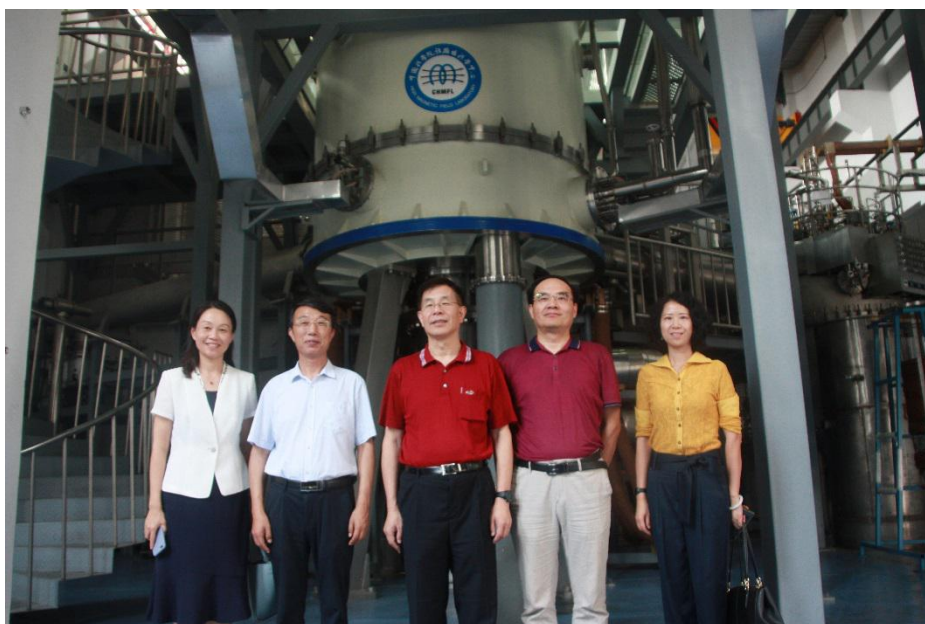
民进中央主席蔡达峰视察



安徽省李国英省长调研 SHMFF



国家发改委副秘书长任志武视察 SHMFF



中科院秘书长邓麦村视察 SHMFF



SHMFF 科技委员会/用户委员会第二次会议暨用户交流会召开



党外院士和海归考察服务团



SHMFF 参与《伟大历程辉煌成就——庆祝中华人民共和国成立 70 周年大型成就展》



方明以《中国强磁场》获得全国科普讲解大赛“十佳科普使者”称号



未来科学家夏令营活动



全国大学生夏令营

大事记

2月18日, 安徽省李国英省长调研 SHMFF

3月16日, SHMFF 科技委员会/用户委员会第二次会议暨用户交流会召开

4月12日, 国家发改委副秘书长任志武视察 SHMFF

9月10日, 中科院秘书长邓麦村视察 SHMFF

9月-12月, SHMFF 参与《伟大历程辉煌成就——庆祝中华人民共和国成立 70 周年大型成就展》

10月11日-14日, 第八届国际磁科学会议 (ICMS, International Conference of Magneto-science) 在合肥成功举办。

11月19日, 民进中央主席蔡达峰视察 SHMFF

12月14日, 强磁场安徽省实验室召开首届理事会和学术委员会第一次会议