

国外超导材料技术研究政策和方向

冯瑞华

(中国科学院国家科学图书馆武汉分馆, 武汉 430071)

摘要:超导材料技术是21世纪具有战略意义的高新技术,极具发展潜力和市场前景。世界各发达国家纷纷制定研发计划,给予高度重视和大力支持,加快超导材料技术的基础研究和产业化发展。主要从美国、日本、欧洲国家、韩国等国家的相关研发计划、政策以及主要科研机构的研发概况出发,阐明目前国外超导材料技术的研究政策和方向。

关键词:超导材料技术;超导计划;研发机构;研究方向

Research and development policies and priorities of superconducting materials and technologies abroad

Feng Ruihua

(Wuhan Branch of National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: Superconducting materials and technologies are strategically high-tech in the 21st century, and have highly potential and market prospects. Major countries in the world have launched R&D programs, and input fund heavily to support and inspire its basis research and industry development. This paper analyzed the R&D programs and policies of the United States, Japan, European countries, South Korea, as well as R&D priorities of major scientific research institutions, introduced the current progress of superconducting materials and technologies research policies and priorities abroad.

Keywords: Superconducting materials and technologies, Superconductivity projects, R&D institutes, Research priorities

1 引言

超导材料技术是二十一世纪具有战略意义的高新技术,极具发展潜力和市场前景。世界各发达国家政府纷纷制订相关计划和加大研发投入,积极开展超导材料技术开发和应用。美国、欧洲各国、日本、韩国和中国都竞相开展高温超导电缆、超导故障限流器、超导变压器、超导电机和超导储能装置等的研究,竞争十分激烈。超导材料技术的发展趋势是不断探求更高温度的超导体,实现高温超导材料产业化,使超导材料技术应用更加广泛,主要包括能源、交通运输、电子技术、医疗卫生、军事、重大科学装置等领域,也必将引起这些领域的重大变革。

2 美国

美国超导材料技术的研发已有多年的历史,早在1987年美国就成立了非营利公司超导体商

业应用联合会(CCAS),致力于超导技术产品商业化。美国能源部(DOE)在1988年创建了电力系统超导计划,将DOE国家实验室、大学和高科技公司联合起来进行高温超导技术的研究和应用开发。1993年底,制定了超导伙伴计划(Superconductivity Partnership Initiative, SPI), SPI作为整个超导计划的一部分,目的是加速高温超导(High Temperature Superconductors, HTS)电力设备的商业化发展。1998年,DOE制定了高温超导电力应用发展计划,第一期投资4000万美元,项目包括限流器、电机、磁选分离装置、电缆和变压器;第二期投资2000-3000万美元,项目包括10MVA变压器和3000A/24kW三相电缆等。2001年9月24日,DOE宣布了新一轮的高温超导计划——SPI二期,投入总资金达1.17亿美元,支持高温超导商业化示范电缆、100MVA高温超导发电机、1000英尺三相长距离高温超导输电电缆、高温超导变压器、高温超导核磁共振成像装置、超导飞轮

收稿日期:2008-06-24

作者简介:冯瑞华(1977-),女,助理研究员,研究方向为战略情报和新材料学科情报研究。

储能装置、高温超导磁分离器等 7 个项目的研发。DOE 电力传输与能源可靠性局于 2001 年设立了分布式能源项目,超导磁体能源存储技术是能源存储系统的关键技术之一。

2003 年 7 月,DOE 在公布的《“Grid 2030” A National Vision for Electricity's Second 100 Years》^[1] 报告中,把高温超导技术列为美国电力网络未来 30 年发展的关键技术之一。该报告制

订了 2010 年、2020 年和 2030 年美国在电力方面高温超导的发展目标(见表 1),2010 年前验证超导技术主干输电网络的可行性,实现 10 英里长多相超导电缆应用;2020 年前 HTS 发电机、变压器和电缆方面取得重要进展,并实现长距离超导输电电缆应用;2030 年前建成国家超导主干输电网络。

表 1 DOE 电力方面高温超导的发展目标

Tab. 1 DOE high T_c superconducting goals in electric power

2010 年	2020 年	2030 年
<ul style="list-style-type: none"> • 验证超导技术主干输电网络的可行性 • 开发 10 英里长多相超导电缆 • 为拥挤区域首先使用超导能量集线器 (“power-hubs”) 进行重点规划和部署 	<ul style="list-style-type: none"> • HTS 发电机、变压器和电缆取得重要进展 • 长距离超导电缆安装 • 能量集线器在几个大城市运行 	<ul style="list-style-type: none"> • 超导电缆和设备的广泛应用 • 建成国家超导主干输电网络

DOE 于 2005 年 1 月发布了 2005 - 2009 财年的超导电力系统项目计划^[2],主要涉及高性能、低成本高温超导电缆的研究,与工业界的超导合作以及战略研究三个方面,并实施电力传输稳定性计划 (Power Delivery Reliability Initiative,

PDRI)、电缆设计与工程计划 (Conductor Design & Engineering Initiative, CDEI)、低温学计划 (Cryogenics Initiative) 等。2005 - 2009 财年 HTS 电缆和器件的发展目标见表 2。

表 2 2005 - 2009 财年 HTS 电缆和器件发展目标

Tab. 2 FY 2005 - 2009 goals in HTS cables and devices

财年	HTS 电缆	HTS 能源设备原型
2005	<ul style="list-style-type: none"> • 300 A/cm - w (单位宽度临界电流), 20 m • 取向差 $< 5^\circ$ • 两侧涂层连续生产工艺 • 有效的普通焊接方法 • AC 电线推行策略 • 纵剪和层压 	<ul style="list-style-type: none"> • 美国电力变电站 (AEP) 40MW 三轴 HTS 电缆试验 • 安装和测试 350m, 48MW HTS 配电电缆 • 完成 100MW HTS 发电机设计 • 完成 HTS 磁共振成像示范
2006	<ul style="list-style-type: none"> • 500 A/cm - w, 100 m • 导电缓冲区和基板 • 随厚度增长 J_c 得到改善 • 单缓冲区结构 • 压纹基板大规模生产 	<ul style="list-style-type: none"> • 138 kV HTS 故障电流限制器在网试验 • 安装和测试 30 m 第二代 HTS 电缆 • 600 MW HTS 输电电缆系统测试 • 完成 35 kWh 飞轮储能系统测试
2007	<ul style="list-style-type: none"> • 试验设施以 1000 km/y 能力运行 • 500 A/cm - w, \$ 50/kA - m • 电介质 	<ul style="list-style-type: none"> • 选择 3 个新超导工业合作伙伴项目
2008	<ul style="list-style-type: none"> • 1000 km/y 第二代线材生产 • 800 A/cm - w, \$ 50/kA - m • 取向差 $< 2^\circ$ • 超导焊接技术 • 多芯导线: 芯丝面积 $> 10\mu\text{m}$, 基板厚度 25 - 50 μm 	<ul style="list-style-type: none"> • 容量配电电缆 2 倍输电能力验证 • 低温学技术 77 K 时达到 5 kW, 35 - 40K 时达到 200 - 300W • 大容量 HTS 变压器达到使用

财年	HTS 电缆	HTS 能源设备原型
2009	<ul style="list-style-type: none"> • 2000 km/y 第二代线材生产 • 900 A/cm - w • 圆丝纹理和结构 	<ul style="list-style-type: none"> • 现有市区管道装机容量配线电缆增加 3 - 5 倍
2010	<ul style="list-style-type: none"> • 1000 A/cm - w, 运行条件下 100 - 200 A, 1 km, \$ 10/kA - m • 10000 km/y, 10 cm 宽 	<ul style="list-style-type: none"> • HTS 电力设备达到商业应用, 损失减少一半, 是传统电力单元大小的一半

2006 年 6 月, DOE 发布了超导技术基础研究需求报告^[3], 指出超导技术及应用、涡旋物质 (vortex matter)、超导理论、新现象和超导材料 5 个方面的基础研究挑战, 明确了新超导体的探索与发现、原子级超导体的结构与性能控制、优化超导材料输电能力、理解和开发竞争电子相、超导性

能与超导体理论预测、揭示高 T_c 超导性的基本理论、发展涡旋物质科学等未来 7 个优先研究方向, 以及合成、表征、理论集成新工具和超导利用新材料 2 个交叉研究方向。表 3 为美国超导技术基础研究现状与挑战, 表 4 为 DOE 确定的未来优先研究方向和面临的挑战。

表 3 超导技术基础研究现状与挑战

Tab. 3 Current status and challenges of basic research of superconducting technology

基础研究	目前现状	挑战
超导应用	<ul style="list-style-type: none"> • 铜酸盐超导体 • 涂层导体制备 (IBAD、RABiTS 等方法) • YBCO 涂层 • MgB_2 	<ul style="list-style-type: none"> • 第二代导体研究与开发 • 更高的临界电流 • 交流电损失 • 沉积动力学与反应 • 低温学支撑技术研发: 冷藏系统、低温电介质、低能电子学
涡旋物质	<ul style="list-style-type: none"> • 钉扎涡旋和弱键连接 • 固态涡旋物质钉扎 • 输电能力限制 • 结构涡旋变换 • MgB_2 双超导能隙 • 涡旋中心微观理论 • 未来超导体的涡旋性能 	<ul style="list-style-type: none"> • 发展交流电磁场下涡旋玻璃态理论 • 发展涡旋钉扎微观理论 • 了解各界面和断层处涡旋钉扎行为 • 开发新方法增强涡旋钉扎, 提高临界电流密度达到理论极限 • 理清累积钉扎效应性能 • 了解极高超临界电流下涡旋的电气力学 • 自组装纳米周期阵列设计, 实现高密度一对一涡旋钉扎方案 • 利用铁磁缺陷设计磁性钉扎方案 • 开发新一代成像工具, 如洛伦兹显微镜、三维全息显微镜、可控环境扫描隧道显微镜、磁力显微镜等
超导理论		<ul style="list-style-type: none"> • 超导 BSC 理论 • 超导态: 电子对相干态 • 将电子结合成对的超导胶 • 提高 T_c: 寻找不同的超导胶 • 探索临界温度的基本限制 • 检测新型超导体的新工具, 如扫描隧道显微镜、光传导、角分辨光电子谱、非弹性中子散射光谱

基础研究	目前现状	挑战
新现象	<ul style="list-style-type: none"> • 新型超导体 • 高温超导体 	<ul style="list-style-type: none"> • 赝隙相性质 • 超导涡旋中心的电子态 • 平面隧道和 Andreev 反射光谱学 • 高临界场是否适于电子对分离 • 量子相转变作用 • 量子物质新兴形态 • 新兴实验技术 • 电磁磁化综合制图 • 原子尺度电磁结构成像 • 电子与电子对动力学过程与作用
超导材料	<ul style="list-style-type: none"> • 探索新型超导体 • 材料先进合成技术 • 纳米超导材料 	<ul style="list-style-type: none"> • 新型超导体探索中的理性设计 • 新型合成方法 • 纳米尺度超导结构

表 4 超导技术优先研究方向和挑战

Tab. 4 Priorities and challenges of superconducting technology

优先研究方向	具体研究方向	挑战
新超导体的探索与发现	<ul style="list-style-type: none"> • 探索新型超导体 • 创造稳定性人工超导体 	<ul style="list-style-type: none"> • 开发新型合成、表征、模拟、诊断方法
原子级超导体的结构与性能控制	<ul style="list-style-type: none"> • 扩大可用样品范围 • 从高品质到高缺陷微调材料性能 • 界面电荷传输和旋转 	<ul style="list-style-type: none"> • 为控制晶体和薄膜尺寸开发创新合成方法 • 晶界和界面控制
利用便宜的制造技术优化超导材料输电能力	<ul style="list-style-type: none"> • 钉扎研究模拟系统 • 钉扎排列定量检测 • 3D 缺陷成像 • 涡旋动态成像 • 钉扎纳米工程学 • 超导体结构 • 晶体生长基础科学和纳米结构开发 	<ul style="list-style-type: none"> • 涂层导线 • 数千米单晶质量薄膜生长技术 • 特种缺陷型的钉扎机制 • 理解基础涡旋钉扎的影响因素 • 理解多缺陷型的相互作用 • 多相生长控制 • 理想钉扎纳米结构生长控制机制 • 不同相生长和方向控制使导线结构改善和优化
理解和开发竞争电子相	<ul style="list-style-type: none"> • 探索新型物质量子相 • 超导相与竞争相间转变的压力和磁场调整 • 操纵竞争相改良涡旋钉扎和提高 J_c 	<p>其研究方向也是其面临的挑战,另外还包括:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 发展新型实验能力 • 开发理论模拟技术
超导性能与超导体理论预测		<ul style="list-style-type: none"> • 电子声子超导体 • 强相关材料理论 • 奇特配位机制和基态
揭示高 T_c 超导性的基本理论	<ul style="list-style-type: none"> • 应用新技术发现电子对结合力 • 电/磁磁化制图和原子尺度结构 • 理解动力学过程 	<ul style="list-style-type: none"> • 确定和表征电/磁磁化制图 • 综合发展各种实验技术和新理论工具

优先研究方向	具体研究方向	挑战
发展涡旋物质科学	<ul style="list-style-type: none"> • 涡旋物质(液体、玻璃)钉扎 • 多尺度钉扎模拟 • 非平衡态涡旋物质动力学 • 涡旋相图动力学 • 分散机制 • 利用先进方法研究涡旋物质 	<ul style="list-style-type: none"> • 新型静态和动态涡旋相的发现 • 涡旋钉扎微观理论 • 发展新方法提高各温度和磁场下的临界电流

美国在超导材料技术方面的研发经费主要来自政府机构,如 DOE、美国国防部、美国国家科学基金会、美国商业部、美国宇航局等。根据 DOE 财政预算,研发经费主要集中在电力传输与能源可靠性局的高温超导技术项目,2005 - 2007 每财年的经费约 5000 万美元,2008 - 2009 财年预算每年约为 2800 万美元。经费的减少并不代表国家不再重视超导材料的发展,而是反映出对第二

代线材的开发进行了重新考虑,第二代线材几种替代加工方法将会被停止,以集中精力于核心性能线材系统走向市场,将增加电介质和低温学等相关研究活动。美国拥有众多的研究机构和研究小组从事超导材料技术的研发工作,特别是 DOE 的一些国家实验室,表 5 简单列出了美国主要超导材料技术研发机构及其研究方向。

表 5 美国主要超导材料技术研发机构及其研究方向

Tab. 5 Institutions and priorities of superconducting materials and technologies in USA

研发机构	主要研究方向
布鲁克海文国家实验室超导磁体部	高温超导线圈、高温超导磁体、快循环磁体、螺旋磁体等
阿贡国家实验室材料科学部超导与磁性研究小组	液体、晶格、涡旋物质玻璃态的平衡相图,驱动涡旋动力学,高性能技术材料应用
橡树岭国家实验室高温超导技术中心	用于电力系统的超导技术,高温超导电缆和薄膜器件:超晶格、人工结构多层薄膜以及应用于能源储存、马达、发电机的线圈
劳伦斯伯克利国家实验室超导磁体研究小组	离线 NMR 显微镜超导磁体系统、介子对撞机、内部氧化物磁体研究等
洛斯阿拉莫斯国家实验室超导技术中心	HTS 带材、故障限流器、超导输电电缆、HTS 材料性能表征及物理研究
伊利诺大学香槟分校 DVH 研究小组	非常规超导体序参量对称性、超导体—铁磁体—超导体 Josephson 结、高 T_c 纳米结构、扫描超导量子干涉仪 (SQUID) 显微镜、基于超导体的量子计算机等
休斯顿大学 Texsa 超导中心	超导电性及相关材料、能源材料与应用、纳米材料与应用
俄亥俄州立大学 Lemberge 超导实验室	铜酸盐高温超导体、热和量子相波动物理、超导/绝缘转变、Abrikosov 涡旋、超导序参量对称性、高温超导薄膜和晶体制备等
费米实验室技术部	超导加速器磁体研发、超导无线频率技术
佛罗里达州立大学国家高磁场实验室应用超导中心	超导科学与技术、超导应用

3 日本

日本超导材料技术的发展一直在国际上处于先进地位,这与日本政府的重视是分不开的。早在 1987 年 9 月日本就建立了 Super - GM (Engineering Research Association for Superconductive

Generation Equipment and Materials) 计划,其长期目标是发展超导电动机及相关的电力应用。1988 年,日本成立了国际超导产业技术研究中心 (International Superconductivity Technology Center, ISTECH),致力于超导技术的调查研究和基础研究开发,并积极促进超导材料技术的国际交流。超

导研究开发预算均由日本新能源产业综合技术开发机构 NEDO 下的新能源技术发展部所控制,但其中大部分的预算均用于电力和电子应用的研究开发中。这表明日本政府在超导方面投入了相当

大的精力,NEDO 对超导技术研究项目进行大力支持,近年其开展的超导技术研究项目见表 6。NEDO 的支出很好地描绘出日本超导研究的进展过程、资金趋势和未来方向。

表 6 NEDO 超导技术研究项目

Tab. 6 Superconducting technology research projects in NEDO

超导技术研究项目	时间跨度
微重力环境下高温超导材料制作	1995 - 2004
基本超导应用技术研发	1998 - 2007
低功率超导网络设备开发	2002 - 2006
超导交流电源设备基本技术研发	2004 - 2005
飞轮储能系统超导轴承技术研发	2004 - 2005
超导电力网络控制技术开发	2004 - 2007
高温超导电缆实证项目	2007 - 2011

为推动日本产业进行持续和独立自主的技术创新,保持竞争优势,日本经济产业省 2005 年 3 月首次制定了国家层面的“战略技术路线图”,2006 和 2007 年分别进行了修订,对信息与通讯、生命科学、环境与能源、纳米技术与材料、制造业等 5 个领域 25 个重点技术进行重点开发,超导技术成为其战略技术路线图之一。超导技术的战略路线图^[4]提出了要在 2020 年实现超导技术为社会服务的前景。其进度预期为:2010 年大多数超导技术开始进入应用,而在 2020 年达到普及。由于超导技术牵涉面广,该路线图分为 4 个部分:①能源电力:包括能源储存技术(FW 装置、SMES 系统等)、输配电技术(电缆、变压器、限流器)、发电技术(风力用发电机);②工业交通:磁场应用技术(磁控溅射装置、磁分离装置)、计测仪器技术(高分辨 X 射线检测器、SQUID)、发动机技术(马

达)、列车用变压器技术;③医疗诊断:磁体应用技术(MRI、NMR)、加速器应用技术、高频器件技术、SQUID 应用技术;④信息通讯:计算机网络机器技术、无线存取访问机器技术、计测仪器技术。超导线材、块材、器件以及制冷与低温技术作为公共基础技术划分出来,在线材方面由 Nb 系线材向低成本 Bi 系和 Y 系线材发展,块材向低成本、高性能、大型化发展;器件由 Nb 系器件向氧化物系 SQUID 器件发展;低温制冷技术由小型制冷机向低成本、大型、高功率制冷机方向发展。日本超导技术战略路线图明确阐述了超导技术每一个领域所要发展的核心技术及其时间表。

表 7 为日本超导材料技术主要研发机构及其研发方向。从事超导装置开发的企业主要有杜邦(日本)公司、日立、东芝、NEC、FUJITSU、三菱重工及三洋电器等。

表 7 日本超导材料技术主要研发机构及其研发方向

Tab. 7 Institutions and priorities of superconducting materials and technologies in Japan

研发机构	主要研发方向
物质材料研究机构超导材料中心	新超导体探索、金属和氧化物超导体高品质导线开发、高品质超导材料制备与分析、新超导器件的开发、SQUID 的开发与应用、高场超导磁铁开发与应用等
产业综合技术研究所能源技术研究部超导技术研究小组	高温超导氧化物应用、大面积超导氧化物薄膜、故障限流元件、超导薄膜限流器
国际超导产业技术研究中心	超导块材、带材、线材、涂层导体、低温超导器件实验技术的研发,超导技术国际交流与合作,超导标准化等
理化学研究所	超级计算机、加速器等科学装置
电报电话公司基础研究实验室超导量子物理研究小组	超导磁通量子
高亮度光科学研究中心 Spring - 8 加速器部门	超导扭摆器(wiggler)

4 欧洲

欧洲为促进超导电力技术和超导材料技术的发展,欧洲国家应用超导联盟(The Consortium of European Companies Determined to Use Superconductivity, CONECTUS)成立于1994年,是一个非营利性的组织,领导欧洲公司全面超导技术商业化,促进欧洲经济和社会发展。欧盟于1997年开展了超导电性欧洲网(European Network of Superconductivity, SCENET),共分为2个阶段,第一阶段为1997-2001,第二阶段为2002-2006,研发基金由欧盟提供,共涉及14个欧洲国家的42个学术机构和21个工业卓越中心。目标是为欧洲超导研究区建立一个组织,收集和传播超导信息,进行研究和预测,为技术和科学讨论提供一个平台,促进科技转让,并提升产业界和学术界沟通水平。1998年12月开始了超导电力联接计划(Superconducting Power Link, SUPERPOLI)的实施,目的是设计出可限制电流故障的20 kV/1 GVA电网,开发适于电网的超导体,对实验室规模SUPERPOLI进行实证^[5]。

1998年,欧洲基金会(European Science Foundation, ESF)发布了极端尺度和条件下超导涡旋物质项目计划^[6](Vortex Matter in Superconductors at Extreme Scales and Conditions, VORTEX),时间跨度为5年(1999-2003年)。项目共分为5个

主题:①引入人工钉扎阵列(磁量子点和反量子点)稳定新涡旋相;②无序涡旋物质的不同形态;③研究由Josephson旋涡组成的涡旋物质;④单体连接超导体中涡旋动力学研究;⑤极端条件下的涡旋物质。

2007年,ESF又发布了2007-2012年的超导纳米科学与工程项目计划(Nanoscience and Engineering in Superconductivity, NES),项目共分为5个主题^[7]:①纳米尺度超导电性演变,纳米孔等有限区域超流态;②超导态-正常态(SN)和超导态-磁态(SM)混合纳米系统的超导性;③纳米结构超导体和SN/SM混合纳米系统的受限通量(Confined flux);④弱耦合超导冷凝物的Josephson效应和隧道效应;⑤磁通量子、超导器件基本原理研究。该计划涉及15个欧洲国家、68个研究团队。NES综合研究设施和技术包括5个层次,第一层为现代样品制备和纳米结构技术;第二层为涡旋可视化局部探针技术和纳米尺度冷凝物波动函数成像;第三层为下一代共享研究设施;第四层为新应用开发的实验平台;第五层为理论方法和技术。

欧盟虽然为超导技术研发提供了一些资金,但非常有限。大部分的超导研发资助还是来自欧盟各国家项目,主要是在德国、意大利、西班牙、荷兰和英国等。表8为欧洲主要研发机构及其研究方向。

表8 欧洲超导材料技术主要研发机构及其研究方向

Tab. 8 Institutions and priorities of superconducting materials and technologies in Europe

研发机构	国别	主要研究方向
杜伦大学	英国	主要进行超导基础和應用研究,如高磁场和低温临界电流密度、超导体制备、高磁场和低温条件下磁性和超导性的共存研究
剑桥大学超导多学科研究中心	英国	化学性质与新材料、物理性质与理论、临界电流和涡旋物理、块体导体开发、薄膜与器件、结构与缺陷等
奥格斯堡大学物理研究所	德国	涂层导体技术、开发新技术提高 J_c 。
莱布尼茨固态和材料研究所	德国	高温超导体电子结构和性能、相平衡和单晶生长、非传统超导体、高温超导材料、超导传输系统、YBCO带材和薄膜等
马普学会固体研究所	德国	超导氧化物、离子导体、超导材料性能
莱顿大学 Kamerlingh Onnes 实验室	荷兰	原子和分子导体、薄膜材料的超导和磁性性质、超导体的涡流栅动力学、低维分子磁体、纳米尺度金属团簇和金属胶体、磁性纳米线、导电聚合物、金属-非金属复合物、量子物理和超低温应用
意大利核物理研究院	意大利	异质结构、铜酸盐超导体、形状共振、微应变、硼化物等

研发机构	国别	主要研究方向
罗马大学 La Sapienza 高温超导研究	意大利	铜酸盐、富勒烯、 MgB_2 等超导体的高温超导现象, 超导非绝热 (nonadiabatic) 理论等
挪威超导研究实验室	挪威	单涡旋磁光学、通量湍流和不稳定性、涡旋雪崩、介观超导性和理论、通量钉扎应力与应变、 $J_c(B)$ 临界态理论、输电导线、石榴石铁氧体薄膜、磁悬浮、Bi222 带材磁光学研究、通量分布与磁化粒度效应研究等

5 韩国

韩国政府在启动“21 世纪前沿研发计划”(21C Frontier R&D Program) 中, 明确表示选择一些高新技术与产业, 加大力度开发, 以期望得到快速发展。2001 年 7 月, 韩国科技部成立了超导应用技术中心 (Center for Applied Superconductivity Technology, CAST), 主要任务就是发展、促进和利用商业化超导技术, 负责管理“应用超导技术发展先进能源系统”计划 (Development of Advanced Power System by Applied Superconductivity Technologies, DAPAS) 的实施。

DAPAS 计划在 2011 年前发展和商业化 HTS, 以及超导地下电缆、变压器、限流器、马达等超导能源设备, 为社会贡献一个环境良好、能源损

耗小且高等级信息社会的能源架构体系。DAPAS 计划确定了未来发展阶段目标: 2001 - 2003 年为核心技术开发阶段, 发展 HTS 电缆和系统技术; 2004 - 2006 年为预商业化阶段, 改进第一阶段技术, 发展原型设备; 2007 - 2010 年为商业化阶段, 进行现场测试, 发展商业化工业技术; 每年投资 1000 万美元。表 9 为 DAPAS 工作分工^[8], DAPAS 计划发展路线图^[9]见图 1。在 DAPAS 实施过程中, 韩国电工技术研究院 (KERI) 是领导实施的独立机构, 负责拟定研究目标和实施计划、挑选和评审各个项目, 包括对外商授权委托提供超导线材和招标引进国外超导技术。KERI 将以 10 年的时间完成韩国的商业化高温超导产品研制, 并实现超导线材的自供能力。

表 9 DAPAS 计划工作分工

Tab. 9 Projects and participations of DAPAS

种类	项目	参与单位
超导电力设备	电缆	KERI
	变压器	韩国理工学院
	限流器	韩国电力研究院 (KEPRI)
	马达	KERI
超导数码设备	数字逻辑器	韩国光技术院 (KOPII)
	HTS PLT 线材	KERI/韩国机械与材料院 (KIMM)
	HTC CC 线材	KERI/韩国原子能研究院 (KAERI)
超导通用技术	低温技术	Neuros 公司
	绝缘技术	Gyeongsang 大学
	HTS 线圈理论技术 (如连接、交流损耗等)	韩国基础科学研究院 (KBSI)
	电力系统应用技术	KERI

6 结束语

综上所述, 美国、日本、欧洲国家、韩国等国家都非常注重超导材料技术的研发, 制订相关研发

计划, 确定了未来发展目标和优先发展方向、制订了未来发展路线图, 为今后发展指明了道路、方向和措施。我国也非常重视超导材料技术的发展, 如“十·五”期间国家“863”计划设立“超导材料

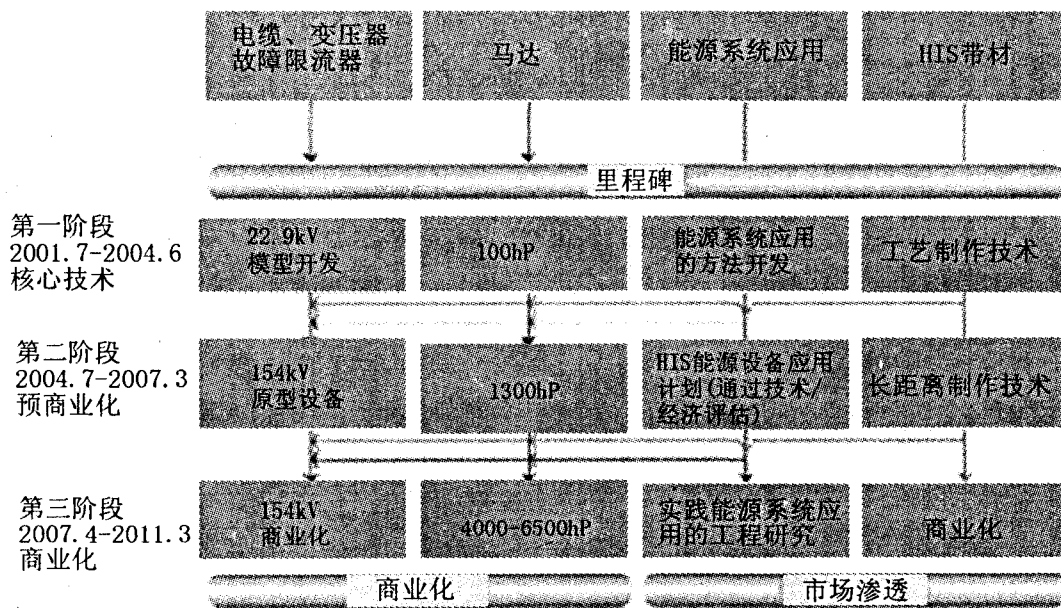


图 1 DAPAS 计划发展路线图

Fig. 1 Roadmap of DAPAS

与技术专项”，充分体现了国家对超导技术的高度重视。目前我国在超导技术领域的研发能力大大增强，在超导各主要研究领域均有涉足，与世界先进水平之间的差距正日益缩小，甚至在某些领域处于世界前沿地位，但还必须意识到我们在有些方面和国外发达国家还有一定差距。因此，我国应该明确未来 30 年至 50 年的超导材料技术发展思路、目标、重点，制订发展路线图，促进和引导超导材料技术的研发。

参考文献

- [1] United States Department of Energy Office of Electric Transmission and Distribution. "Grid 2030" A National Vision for Electricity's Second 100 Years [R]. Washington: United States Department of Energy Office of Electric Transmission and Distribution. 2003: 1-46.
- [2] William J., Joanna L., and James D. Superconductivity for Electric Systems Program Plan FY 2005-2009 [R]. Washington: Department of Energy. 2005: 1-13.
- [3] Office of Basic Energy Sciences. Basic Research Needs for Superconductivity [R]. Washington: Department of Energy. 2006: 1-232.
- [4] 日本经济产业省. 超電導技術分野の技術戦略マップ [EB/OL]. http://www.nedo.go.jp/roadmap/2007/data/manu_6.pdf, 2007-05-21/2008-04-09.
- [5] Paasia J, Herrmann P. F, Verhaege T, et al. Superconducting power link for power transmission and fault current limitation [J]. Physica C: Superconductivity. 2001; 354(1-4): 1-4.
- [6] European Science Foundation. Vortex Matter in Superconductors at Extreme Scales and Conditions (VORTEX) [R]. Strasbourg: European Science Foundation. 1999: 1-7.
- [7] European Science Foundation. Nanoscience and Engineering in Superconductivity (NES) [R]. Strasbourg: European Science Foundation. 2007: 1-13.
- [8] 刘雪松. 国外的超导研发计划 [J]. 新材料产业, 2004(7): 78-83.
- [9] Center for Applied Superconductivity Technology. DAPAS Roadmap [EB/OL]. [http://www.cast.re.kr/english/emain_3\(r\).htm](http://www.cast.re.kr/english/emain_3(r).htm), 2001-07/2008-04.