

# 电工研究所 “九五”期间重大科研成果

齐智平\*

( 电工研究所 北京 100080)

**摘要** 全面介绍了中国科学院电工研究所“九五”期间承担的国家和中国科学院的重大科技攻关项目所取得的一系列高水平科研成果。

**关键词** 电工领域, 科技攻关项目, 成果

电工研究所是以高技术研究发展为主的电工专业科研基地型研究所, 是以发展电工电能新技术为主要方向的国家科研机构, 在全国电工科技布局中有着独特的地位。建所近 40 年来, 承担着电工学科重大前沿基础研究和战略高技术发展的任务, 对电力系统稳定、大电机、电高压、电力系统自动化以及电气测量等关键技术问题进行过深入研究。同时, 在国内最早开展了电火花加工技术和磁流体发电的研究, 为我国电力系统的发展和电加工产业的建立、为提升我国电力生产和电工装备制造业的技术水平和国际竞争力做出了重要贡献。我所注重电工学科的知识创新, 不断拓展电工学前沿领域, 促进电工学科内涵的更新和发展。

“九五”期间, 我所瞄准国家能源、电力、交通和国防发展的需求, 开展了新型发电技术、先进电力技术、现代驱动及其控制、永磁技术、纳米加工和特种电工装备等领域的研究工作, 承担了多项国家重大攻关项目并取得了显著成绩。

## 1 大型电机蒸发冷却技术

蒸发冷却技术是一种高效的冷却技术, 可以扩展大型发电机的极限容量, 成为发电技术新的发展

方向。在这一方向上, 我所开创性地发展了常温及自循环蒸发冷却的概念, 掌握了一系列关键技术, 形成了自主知识产权, 并且在工业应用方面取得了突破性的进展。国家“九五”科技攻关项目“李家峡 400 兆瓦蒸发冷却水轮发电机”在 1999 年底并网发电成功, 机组运行情况良好, 于 2000 年 12 月 27 日通过科技部验收。李家峡 400 兆瓦蒸发冷却水轮发电机的研制确立了我国在电机新型冷却技术领域的国际领先地位。

中国科学院“九五”重大项目“李家峡 400 兆瓦蒸发冷却水轮发电机新型冷却介质及模型实验研究”完成了新型绿色蒸发介质的确定和特性测试, 为蒸发冷却技术在汽轮发电机领域的应用提供了强劲的动力, 将为蒸发冷却技术的深入研究和继续发展产生持续的促进作用。于 2001 年 11 月 18 日通过中国科学院的验收。

目前, 以三峡、小湾等大型水电站的需求为目标, 正在进行 700 兆瓦蒸发冷却水轮发电机的电磁设计、结构设计及其优化研究。同时开展蒸发冷却汽轮发电机和水轮发电机技术平台的研究与开发, 为蒸发冷却技术在更大容量发电机上的应用奠定基础。

\* 电工研究所所长助理, 研究员  
收稿日期: 2002 年 2 月 21 日

## 2 电动汽车驱动控制系统

电动汽车是一种切实可行、清洁而高效的城市替代交通工具, 21 世纪将是电动汽车全面发展的世纪, 它对环境保护和解决石油资源匮乏问题具有特殊重要的意义, 是世界各国竞相发展的方向性、战略性项目。“九五”期间, 在电动汽车的研究方面, 我所承担了“电动汽车电气系统研究”、“电动汽车概念车驱动系统研制”、“燃料电池轻型客车研制”等国家和中国科学院的攻关项目, 并通过了国家科技部和中国科学院的验收。驱动控制是电动汽车的关键技术之一, 在这方面已开展了一系列研究工作并取得可喜成绩。我所研制的车用全数字交流异步电机矢量控制系统, 外力矩环模拟了 ICE 汽车的驾驶特性, 实现了基速区恒转矩、基速外恒功率的控制, 系统过载 2.78 倍, 具有能量回馈等性能要求。该系统在主回路采用了智能模块、迭层结构以及水冷方式, 降低了损耗, 提高了性能和可靠性。此外, 还研制成功了基于 RS-485 的串行通讯系统, 实现了控制系统作为整车的一部分与车辆管理单元、电池管理单元的串行通讯。我所与中国科学院大连化学物理研究所和东风汽车工程研究院合作研制成功了我国第一辆具有自主知识产权的燃料电池轻型客车, 该车最高时速 60.6 km/h、最大爬坡度 18%、0—40 km/h 加速时间为 22.1 秒。控制系统技术方案达到了 90 年代末国际先进水平, 填补了国内电动汽车用交流异步电机全数字矢量控制驱动空白。该项技术可以发展成为系列化的电动汽车驱动系统, 为燃料电池电动汽车以及混合动力电动汽车的发展打下了基础, 社会效益大, 经济前景良好。

## 3 燃料电池系统

燃料电池是 21 世纪最有竞争力的高效、清洁发电方式。在燃料电池电站、区域供电、移动电源、不间断电源、电动汽车等方面有着广泛的应用前景。燃料电池也作为一种重要的候选动力电源被各个国家加紧进行研制和开发。“九五”期间, 我所瞄准移动式与便携式电源的需求, 开展了燃料电池控制系统和燃料电池电动汽车的研究。承担了中

国科学院“九五”科技攻关项目“百瓦至千瓦级质子交换膜燃料电池系统”的课题研究, 完成了燃料电池电源系统的关键材料、部件的设计、制备工艺和电池组关键技术研究 and 开发。在电池系统技术方面进行了氢源系统、空气供应系统、电池系统阀件、电输出管理、热量管理等相关技术的研究与开发和低直流输入电压、高效率功率变换器的设计与实验, 研制成功了 100 瓦和 500 瓦燃料电池电源, 并交付用户试用, 性能稳定, 已经初步形成了百瓦至千瓦级电池组的小批量生产能力。该项目已于 2001 年 10 月 18 日通过中国科学院的验收。燃料电池技术是当今世界高科技发展的重要领域, 也是电工学科新的发展方向。我所将在已取得的研究成果基础上, 不断发展燃料电池技术在电动汽车、分布式储能电力系统和移动电源等领域的应用。

## 4 高效点聚焦太阳能发电系统

20 世纪 90 年代以来, 全球环保意识日益强化。太阳能发电技术作为洁净能源技术的主要发展方向, 迎来了以产业化为目标的新发展时期。点聚焦太阳能发电系统以低成本、高效率为主要特征, 电站容量可大可小, 可以独立运行, 也可以并网运行, 特别适合于我国西部使用。我国的西藏和新疆阳光资源特别丰富, 且地广人稀, 大部分农牧民没有用上电, 适宜发展碟式太阳热发电技术。我所近年来开展了碱金属热电直接转换发电器件关键技术和碟式聚光镜选材、工艺、性能等方面的研究, 并取得了重要进展。成功研制了直径 1.8 米、2.5 米、3.7 米等系列的试验聚光集热系统及斯特林发动机演示机等装置。目前承担了国家“十五”“863”项目和国家自然科学基金项目, 正在进行碟式聚焦太阳热斯特林发电系统的研究以及碱金属材料实用化、多管组件的设计和工艺研究。

## 5 太阳光伏发电系统

太阳光伏发电系统适用于各种电力应用场合, 是洁净能源技术的重要发展方向。我所在此领域开展了大量研究及应用工作, 为解决我国边远地区的用电问题做出了重要贡献。1995—1998 年先后建成了西藏双湖 25 千瓦、安多 100 千瓦、班戈 70 千

瓦和尼玛 40 千瓦光伏电站, 解决了国家无电县的供电问题。双湖 25 千瓦光伏电站是世界上海拔最高的大中型光伏发电系统, 被誉为“世界屋脊上的科技之光”。西藏双湖县 25 千瓦光伏电站和西藏安多县 100 千瓦光伏电站均获得中国科学院科技进步奖二等奖。2000 年 10 月, 随着班戈、尼玛、措勤、革吉 4 座光伏电站的建成发电, 西藏自治区的 7 个无水力资源的无电县从此结束无电历史, 为当地藏族同胞送去了光明, 基本解决了干部群众工作、生活用电问题, 改善了各县的生活和办公条件, 增进了民族团结, 对推动各县经济发展起到了积极的作用, 为实现我国政府提出的“在 2000 年以前消灭无电县”的目标做出了重要贡献。同时, 这也标志着西藏光伏发电的应用已经由实验阶段走向成熟和发展阶段。尤其是安多光伏电站的建成为今后大型光伏电站的设计、建设打下了理论基础, 积累了实践经验, 也为高原光伏电站的设计、建设积累了宝贵经验, 对我国太阳光伏发电事业的发展起到积极的促进作用。目前, 正结合西部大开发和国家光明工程等计划, 进行风光互补发电、乡级和户用光伏发电系统的应用开发。

## 6 超导电力及其应用技术

随着实用高温超导材料的研究取得重大进展, 作为应用超导技术最重要的组成部分, 高温超导电力技术的实用化已成为现实。超导电力设备的应用对提高电网容量、电能质量、供电可靠性和安全性具有重要意义。高温超导电力技术将是 21 世纪具有经济战略意义的高新技术。利用高温超导输电电缆, 可以实现低损耗、大容量输电, 是当今世界各国在高温超导技术强电应用研究领域的首选项目之一。1998 年我所研制的  $1\text{m}/1\,200\text{A}$  高温超导电缆, 被两院院士评为 1998 年国内十大科技进展之一。2001 年 12 月又研制成功  $6\text{m}/2\,000\text{A}$  直流高温超导输电电缆, 极大地推进了我国超导技术实用化进程, 1—2 年内可在短距离、大电流的场合进行示范应用。 $6\text{m}/2\,000\text{A}$  直流高温超导输电电缆的研制成功表明, 我国已掌握了研制高温超导输电电缆的重要关键技术, 预示着高温超导技术实用化前景的重大突破, 使我国跻身于该项技术的国际先进行

列, 继美、日、德之后, 成为世界上少数几个掌握这一关键技术国家。该成果填补了国内空白, 达到世界先进水平。目前, 已完成  $8.7\text{kV}/1.5\text{kA}$  三相交流高温超导电缆的设计工作和  $400\text{V}/25\text{A}$  新型高温超导限流器的研制。在近期内, 我们将与国内电力工业制造部门和应用部门一道完成 75 米长、 $8.7\text{kV}/1.5\text{kA}$  三相交流高温超导电缆、 $2\text{MJ}/1\text{MW}$  超导储能系统、 $10\text{kV}/1.5\text{kA}$  高温超导限流器以及  $630\text{kVA}$  高温超导变压器的研制和示范运行实验, 为全面挺进超导电力技术产业化作准备。

## 7 电子束缩小投影曝光系统

电子束曝光技术是研究和生产大规模集成电路的先导和基础, 尤其是制作高分辨率、高精度掩膜版必不可少的设备。2000 年 4 月, 我所研制成功国内首台  $0.1$  微米电子束曝光试验样机。该样机能制作的最细线宽为  $80$  纳米, 可满足深亚微米乃至纳米器件科学研究的需求。该样机的研制成功标志着我国在微纳米加工技术的高亮度阴极、电子光学、定位对准、曝光控制及校正等方面有了很大提高, 已经具备了研究这种国际公认的高技术大型设备的能力。目前, 我所正在进行  $0.13\text{—}0.05$  微米电子束缩小投影曝光系统的关键技术及其工程化研究。电子束缩小投影曝光系统可以完成  $0.1$  微米以下的纳米级超微细加工, 是尖端科研和超大规模集成电路生产的理想曝光设备。

## 8 阿尔法磁谱仪(AMS)永磁体系统

阿尔法磁谱仪(AMS)是丁肇中教授领导的人类跨世纪大型国际合作科学实验项目, AMS 的科学使命是寻找宇宙中的反物质和暗物质, 并对宇宙中各种同位素的相对丰度和高能  $\gamma$  光子进行精确的测量。磁谱仪测量带电粒子在磁场中的偏转得到带电粒子的电荷和能谱, 是粒子物理、核物理研究的关键设备。我所研制成功用于精确测量空间带电粒子的阿尔法磁谱仪(AMS)的最关键部件——永磁体系统, 它是人类进入宇宙的第一个大型磁体, 于 1998 年 6 月 2—12 日搭乘“发现号”航天飞机进行了首航飞行。它对宇宙带电粒子进行的直接观测, 能开创一个全新的科学领域, 带来粒子物理学

的新突破。该项目是国家自然科学基金委员会主任基金重点项目,获中国科学院科技进步奖一等奖,国家科技进步奖二等奖,并被两院院士评为1998年国内十大科技进展之一。

AMS 永磁体系统研制成功及首次安全飞行,表明中国在永磁磁体、航天器结构件研制以及高能物理研究等方面处于国际领先水平,有力地推动了我国永磁体制造技术、钕铁硼材料研制技术、航天器设计与制造技术和粒子物理探测技术的发展。

## 9 大型风力发电机组控制系统

风能是取之不尽、用之不竭的清洁能源,我国风能资源十分丰富,可供开发利用的风能资源约为2.53亿千瓦。“600千瓦风力发电机组单机电气控制技术及其装备的研制”以及“风电场集中和远程控制”项目是我所承担的“九五”科技攻关项目“大型风力发电系统关键技术的研究”项目中的两个专题,于2001年1月16日通过国家验收。此控制系统是在研究、分析国外多种机型电控系统的基础上,自行设计、开发的一套装置。该装置将先进的控制技术和网络技术渗透到风电领域,具有更强的通用性和可拓展性。该装置的研制完成,结束了我国在风电机组电控和监控技术上长期依赖国外的历史,标志着我国在大型风电机组电控系统国产化道路上迈出了可喜的一步,将大大推动我国风电事业健康、快速发展。

## 10 超导磁流体船舶推进

磁流体推进是把电能直接转化成海水动能、喷射推进取代螺旋桨的新技术,它的低噪音和安静性在军事应用中具有重大价值。“九五”期间,我所在

国家“863”计划的支持下,开展了超导磁流体船舶推进技术的研究。经过三年努力,建成了实验室,研制成功了世界上第一艘由超导螺旋式磁流体推进器驱动的实验船(HEMS-1,北京)。1999年又与日本合作进行了更大口径和高场强(15万高斯)的推进器性能试验,取得了进一步发展所需的关键数据,这是世界上首次进行实用化高场条件下的推进器试验。超导螺旋式磁流体推进实验船的研制成功标志着我国已跻身于该项高技术的国际先进行列。该技术的实用化将有可能引起船舶推进技术的重大变革,是一项具有创新意义的科研成果,获2000年度中国科学院科技进步奖二等奖。

## 11 SMD-1 普及型机床主轴驱动系统

SMD-1 普及型机床主轴驱动系统是我所承担的国家“九五”重点科技攻关项目“普及型主轴驱动及内装式电主轴单元的工程化开发研究”的成果,它采用转子磁场定向控制技术控制异步主轴电机,使其动静态性能满足现代数控机床对主轴驱动单元的性能要求,并具有良好的调速、定位精度及动态响应和过载能力,可广泛应用于先进制造行业的数控机床、机器人、冶金、石油、化工、交通运输等要求高精度调速控制的场合。该成果包括3.7—22千瓦共7种规格的主轴驱动单元系列产品工程化样机。为推进此项技术的产业化,我所以技术入股的方式与宁波电子信息集团合资成立了宁波甬科机电有限公司,使该项技术在新的机制下尽快为国民经济发展做出贡献。

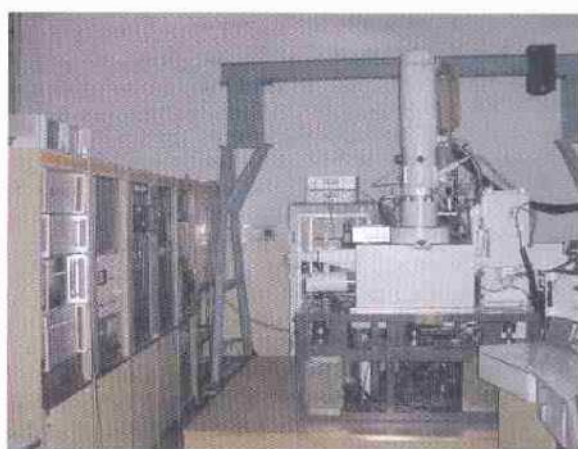
今天的电工研究所,正继往开来,面向新世纪,走向国际一流现代化研究所,为实现21世纪我国社会和经济持续发展的战略目标做出新的贡献!



# 电工研究所“九五”期间重大科研成果



▲研制实验成功6米/2000安培直流高温超导电缆



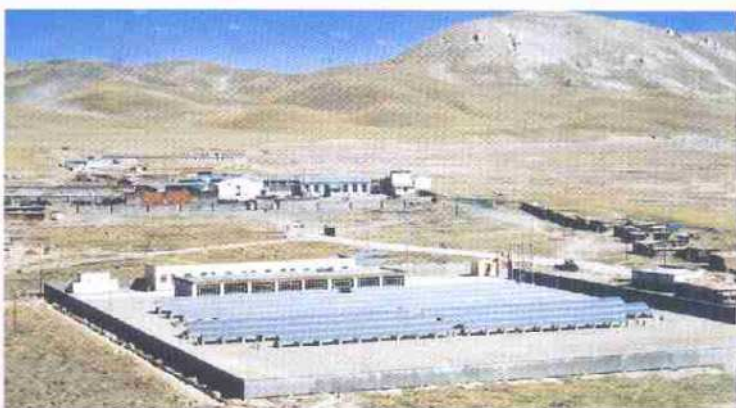
▲电子束缩小曝光系统



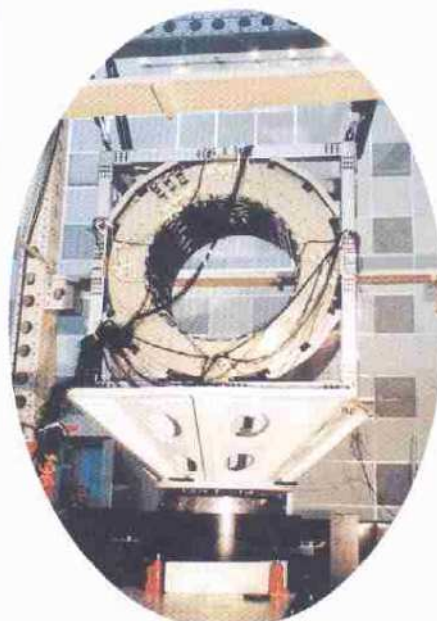
▲400兆瓦蒸发冷却水轮发电机



▲螺旋式超导磁流体推进实验船 HEMS-1



▲在西藏安多县建成100千瓦光伏电站



▲AMS磁体系统



▲与二汽共同开发研制的27千瓦/60千瓦的中巴电动汽车



▲使用600kW风力发电机组单机电气控制系统的新疆达板城风电场

(详细内容请见本期118页)