

# 21 世纪电力新技术的若干重大基础研究

严陆光\*

(电工研究所 北京 100080)

**摘要** 文章简要介绍了处于基础研究阶段的意义重大的超导电力应用、先进储能技术、新型发电方式、高速节能电力驱动系统等电力新技术,指出我国开展此项研究和应用的意义尤其重大,呼吁有关部门予以重视和支持。

**关键词** 电力新技术,基础研究

## 1 引言

21 世纪人类对电力的需求将继续增长,21 世纪电力技术的主要特点是“高效、洁净、优质、可靠、灵活”,它要求大力发展高效、低污染、可持续发展的新型发电方式,先进的输变电技术,解决峰谷调节、改善电网品质和提高供电可靠性的先进灵活的储能手段,以及高性能和效率的用电设备,实现大幅度节能。我国电力工业发展迅速,它已成为国家的重要支柱产业,1997 年全国总装机容量达 2.5 亿千瓦,发电 1.15 万亿度。但其结构以煤电为主,技术比较落后。21 世纪我国电力工业仍需要持续高速发展,预期总装机容量 2010 年将达 5.8 亿千瓦,2020 年 9.2 亿千瓦,2050 年 16.3 亿千瓦,同时要积极致力于改变以煤电为主的结构和技术落后的状态,因而努力研究并采用电力新技术的意义特别重大。

电力新技术从其出现到在电力系统中得到实际应用,通常的顺序是:原理性研究、实验室研究、小试、中试与示范几个阶段,其中原理性研究与实验室研究属于基础性研究。根据国际电力新技术发展现状与趋势,当前和 21 世纪前期处于基础研究阶段的重大电力新技术主要有:超导电力应用、先进储能技术、新型发电方式和高速节能电力驱动系统。

## 2 超导电力应用

60 年代实用超导体的出现,80 年代初工频超导线的研制成功和 80 年代后期高临界温度超导体的发现,开辟了超导电力的新时代。随着低温超导技术的发展和高温超导材料的实用化,超导发、输、储、用电等电气设备将逐步代替传统电气设备,从而可大大提高电力系统运行的经济性和安全性。超导在电力方面的全面应用将使工业生产和人类生活发生革命性的变化。21 世纪前、中期最有希望得到实际应用的是:超导储能、工频应用(变压器、限流器)和高临界温度超导输电。超导储能的转换效率可高达 95%,响应时间快至几毫秒,可用于电力系统的峰

\* 中国科学院院士,电工研究所所长

收稿日期:1998 年 4 月 10 日

谷调节和能量的管理,可用于消除电力系统的低频功率振荡从而稳定系统的频率和电压,可用于无功功率控制和功率因数调节以提高输电系统的稳定性和功率传输能力。超导变压器在同容量下是常规变压器重量的40%,在大容量时超导变压器的投资比常规的低。超导故障限流器的动作时间快,可降低系统的短路电流,降低高压断路器的开断容量,降低回路的过电压,同时具有检测、转换和限流的功能。超导电缆的容量大、体积小且损耗低。

我国于70年代中期开展超导应用研究以来,结合各方面的需求,研制成多种大、中、小型直流超导磁体,最高磁场达14特,最大储能达8兆焦耳,开始了超导储能和高温超导在电力方面应用的初步研究。中科院电工所与物理所建立了一支较强的超导研究队伍,并与国际有着广泛的联系,很多人到国外长期进修和工作过。电工所有50升/时和150升/时的大型氮液化器,有各类电源,各种大小的液氮储槽和实验杜瓦及包括微机测量和控制的测控设备,正在筹建“超导电工开放研究实验室”,可作为超导电力应用的研究基地。

超导电力应用,国际上已进行了长期的努力,但由于电力应用对技术的成熟、设备的可靠性与寿命、以及经济性能有着特别严格的要求,要实现大规模应用还要做大量的工作。就储能、工频应用与超导输电而言,主要的研究内容包括:(1)高性能高临界温度超导体及工频与脉冲超导线的研究;(2)交流损耗的机制和降低交流损耗措施的研究;(3)电缆与磁体冷却方式、稳定性、屏蔽与保护研究;(4)高效变流装置及其控制的研究;(5)超导电气设备在电力系统中运行和控制的实验研究;(6)超导电力应用的技术经济论证和设计研究等。

### 3 先进储能技术

电能生产的特点在于发电机发出的功率要与用户消耗达到功率平衡。用户消耗的功率是变化的,完全依赖发电厂供电功率的调节来适应耗电的变化,在技术上有很大困难,在经济上也不合理,因而需要储能电源来进行调节,诸如做为电力系统季度与日的峰谷调节,工厂企业的日调峰,独立的风力与太阳能发电站的调节和各种事故备用电源。在现代电力系统中,储能电源的容量达到总装机容量的10%以上。目前采用的是蓄水储能发电机组和铅酸蓄电池组。近年来,一些先进储能技术取得了令人瞩目的进展,引起了世界各主要国家的重视,可望在21世纪中发挥重大作用,除前述超导储能外,还有高速磁浮飞轮储能系统和超级电容器。

高速磁浮飞轮储能系统采用高临界温度超导磁浮轴承,使高强度碳纤维飞轮在真空中高速旋转,具有一系列诱人的优越性,如:(1)周边速度可达1500米/秒,储能密度可高达500焦耳/克;(2)充放电循环效率高,可达90%以上;(3)系统响应快,调节方便;(4)占地面积小,可分散设置,维护简单。超级电容器又称电化学电容器,它利用电极和电解质界面的双电层电容和法拉弟准电容,其结构类似蓄电池,而储能原理却如静电电容器,其特点是电容量很大,而电压很低。超级电容器的主要优点是:(1)比电容高(1000法拉/克)、比功率大(2瓦/克)和储能密度高(30焦耳/克);(2)充电快(0.1—5分钟),循环效率高(90%—95%);(3)寿命长(大于 $10^5$ 循环)。

自90年代初美国阿贡实验室成功进行了磁浮高速(1000米/秒)、低损耗(0.1%/小时)的飞轮储能显示试验以来,美国、日本、瑞士、德国均认真组织了有关工作,提出了各种设计,建立了小型实验装置,进行了各种可能应用的论证,展示了美好前景。在曾宪林领导下中科院电工所与有关单位合作,也于1995年开始了高速飞轮储能系统的研究。小型超级电容器作为电脑

备用电源目前已有商品,美国、日本和俄罗斯正在进行电力储能用超级电容器的研究发展,我国刚开始小规模的基础研究。

先进储能技术有着美好的前景和十分重要的意义,然而它的发展尚须解决一系列多学科、综合的基础研究问题。在高速磁浮飞轮储能方面,要解决的重大问题包括:(1)高性能高临界温度超导块材和高强度碳纤维材料的研究发展;(2)超导磁浮系统的研究;(3)高速旋转动力学及其控制的研究;(4)高速、高效电机与变频电源及其控制的研究;(5)飞轮储能系统及其应用研究等。在超级电容器方面,主要研究内容为:(1)电极与电解质材料、电容器结构及其储能放电机理的研究;(2)电容器性能、寿命与可靠性研究;(3)抑制自放电方法的研究;(4)电容器组系统的优化及仿真研究;(5)做为储能电源的应用研究等。

#### 4 新型发电方式

高效、低污染燃煤发电新技术与新能源发电新技术的研究一直是电力新技术发展的主要方向。20 世纪后半叶发展起来的一些重大技术,如增压流化床联合循环(PFBC)、整体煤气化联合循环(IGCC)、磁流体发电联合循环(MHD-CC)、燃料电池(FC)、光伏发电、风力发电、太阳热发电等均已进入了中试、示范或实用阶段,将在 21 世纪前期电力建设中发挥重大作用。21 世纪的电力生产将更重视保护生态环境,在继续发展高效、低污染烧煤发电新技术的同时,利用各种替代能源的发电系统和全新概念的能量转换技术,将作为环境友好的新型发电方式而得到广泛应用。新型发电方式的发展,还将增大分散型电站的比重,导致合理使用能源资源的电力系统的新格局。目前仍处于实验室基础研究阶段的重大新技术有“交流光伏模块发电”、“碱金属热电直接转换”和“高效垃圾发电”。

交流光伏模块发电将改变现有光伏发电系统由光伏电池阵列-变流装置-控制单元等分系统组合的模式,而把光电转换、变流、功率调节、保护乃至通讯等功能集成在模块中,它能显著提高光伏发电的可靠性和灵活性,缩小系统尺寸,降低成本,免去高压直流部件和联线,每个模块都可以分别工作在最佳工作点。1997 年,美国 Advanced Energy Systems 公司和 Solarex 公司共同研制了峰值输出达 240 瓦(120 伏、2 安培、60 周),把功率调节模块和光伏器件结合在一起的大面积发电组件( $1.90 \times 1.12 \text{ 米}^2$ ),为完全集成化交流光伏模块发电梦想成真开辟了道路。

碱金属热电转换器利用  $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$  固体电解质作选择性渗透膜,靠膜两侧形成的压力梯度使电荷分离,实现热能直接转换,效率可达 30%。因为它是面积型发电器件,效率和容量无关,发电器件也是模块式,结构紧凑,无噪声,无运动部件,免维护,适用于温度在 650℃ 至 900℃ 的各种热源,价格上可与光伏器件或斯特林机组竞争。以  $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$  碱金属热电转换器件构成的直接发电装置可以与燃料电池系统组成联合循环,用于工业余热发电和热电联产,还可以和蝶型点聚焦装置结合,实现太阳热直接发电。美国和日本是积极研究碱金属热电转换技术的主要国家。美国福特汽车公司曾研制了功率 1 千瓦的实验装置;美国 AMPS 公司 1996 年研制的 4 瓦模块已经接近实用单元,模块为圆筒型,直径 30 毫米,高 100 毫米,底部为受热面,顶部是电输出端,内部用了 7 根直径 7 毫米的  $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$  管。国内中科院电工所已经建立了碱金属热电转换实验室,具备了开展基础研究的基本条件,并且已经和中科院上海硅酸盐研究所合作,开展实验研究。

人类生存的环境每天都在经受人类自身造成的各种废弃物的损害。垃圾发电既能改善人类的生存环境,又能作为新的电力生产手段为社会服务,因而受到许多国家的普遍关注,如日本,已建成 500 座垃圾发电厂。垃圾发电厂的发展,首先着眼于环境保护,目前成本较高,效率较低,因而发展高效的垃圾发电具有重要的意义。我国人口众多,随着经济的不断发展和人民生活水平的不断提高,相应的各种废弃物也急剧上升,发展垃圾发电具有巨大的潜力。国内有关垃圾发电的研究尚待起步。

## 5 高速节能电力驱动系统

电力驱动用电约占一个国家用电量的 60% 以上,而其中通用机械(风机、水泵、压缩机、机床等)又占有相当大的份额。对于通用机械来说,采用高转速可使机器具有体积小、重量轻、占地小、效率高、经济性好等一系列优点,但由于电网频率(50 赫兹)的限制,转速最高仅达 3 000 转/分。近年来,电力电子技术的迅猛发展,使采用高效、经济的静止变频电源成为现实,供电频率提高到 1 千—2 千周,转速增至 6 万—12 万转/分,通过控制频率实现调速,大幅度节能。研究发展高速节能的通用机械电力驱动系统已成为当今的一个重要的节能方向,对 21 世纪国民经济发展有着十分重要的意义。

高速发电机的研制,在国际上的航空、航海、交通等方面已有一定基础。发电机功率达到 120 千瓦,转速 24 000 转/分,正在向 70 000 转/分发展;天然气压缩机发电机已达到 3 000 千瓦、11 430 转/分;燃气轮发电机则达到 1 000 千瓦、15 000 转/分和 30 千瓦、86 000 转/分;高速金属切削机床达到 24 000 转/分。然而国际上高速电力驱动系统的研究处于实验室阶段,有多个小组在积极推进有关工作。我国在这方面的研究工作还几乎处于空白阶段。高速节能电力驱动系统的研究开发要解决一系列重大的基础性研究问题,主要有:(1)高速电机的选型与优化设计研究;(2)高速旋转支承方式的研究;(3)高速轴系动力学、稳定性与控制的研究;(4)高效低损耗磁性材料的研究;(5)高速通用机械(风机、泵与压机)的研究;(6)大功率变频电源及其软开关的研究;(7)系统集成、优先与示范应用研究等。

## 6 结束语

面对 21 世纪,人类期望着进入一个持续协调发展的新时代,我国将以无愧于我们这个伟大民族的新姿态屹立于世界民族之林。电力新技术对于我国电力事业的发展和科学技术的进步都具有重大的意义。一些重要技术从其出现到成熟、形成产业,常常需要半个世纪,经几代人的持续努力,需要有稳定的支持。诚恳希望,我国科学技术事业在把主要力量放在将已比较成熟的技术向着产业化的方向推进的同时,也能充分重视那些新生的、处于实验室研究阶段的新技术的发展,给予必要的支持,作出应有的部署。它们是新生的、前沿的,无论从科学技术的发展和科技人才的成长看,均有着深远的意义。