

专题报告

# 21世纪电力工业的一个重要发展方向 ——超导电力技术

唐跃进, 李敬东, 段献忠, 程时杰, 潘 垣

(华中理工大学电力工程系超导电力科学研究与发展中心, 武汉 430074)

**[摘要]** 随着人们对环境与资源保护意识的增强, 对生活方式的改善以及信息化社会的发展, 对电力系统的经济性、供电可靠性、供电质量、供电容量和密度将提出更高的要求。对于这些要求, 仅用常规技术是很难适应社会的进步对电力系统的需求的。在21世纪, 迫切希望电力工业开展重大的技术革新, 超导技术的应用, 将是电力工业在21世纪的重要发展方向。文章系统地分析了未来电力工业所面临的困难和课题, 论述了超导应用技术在未来电力系统中的地位, 并简要地介绍了超导电力技术的发展现状。

**[关键词]** 超导应用; 电力系统; 环境与资源

## 1 引言

在现代工业化社会, 电力是社会生产、生活的重要支柱。在以计算机为基础的信息化社会, 电力是保证社会正常运转的根本能源。电力系统由小到大, 经过低压输电到高压输电, 直流输电与交流输电等若干技术变革, 发展为现代的多机、大容量、交直流结合的复杂系统。但是, 随着系统的扩大, 重要性的增加, 电力系统在若干方面正面临着难以克服的困难。

在我国, 由于能源资源和能源消费分布的不一致, 高电压、长距离的西电东送不可避免, 这使得系统的稳定性问题变得十分突出。在大城市, 电能消费密度不断增长, 但送电通道越来越紧张, 用常规技术已经难以解决大城市高密度大容量送电问题。而且, 随着电力消费的增长, 电力系统越来越大, 断路器的断流容量已经很难满足系统短路容量增长的要求; 过大的短路电流又对电力装置提出了更高的电磁、电动以及热的技术指标。由于用具有电阻的铜、铝作为导电物质, 网损巨大。我国的网

损高达8.1%, 依此计算, 到2010年, 按预测的装机容量, 我国每年在输配电网路上将损失近两个三峡电站的电能。

只有在电力系统中解决上述难题, 才能满足社会进一步发展的需要。而要解决上述困难, 急需在电力系统进行重大的技术革新。由于超导具有电阻为零以及其他一些优越特性, 应用超导技术, 正是解决电力系统中上述困难的有效途径。超导技术经过几十年的进步和成长, 已经达到可以实际应用到电力系统的水平。在电力系统中引入超导技术是今后, 也就是21世纪电力工业的重要发展方向。

## 2 21世纪对电力系统的要求

在21世纪, 社会发展将对电力系统提出若干新的要求。从社会背景变化来说, 环境问题、产业结构的变化、能源消费结构的变化、信息化社会、生活方式的变化、能源资源、分散电源、能源产业间的竞争等问题可以认为将对电力工业的发展产生深刻的影响(表1)。

表1 21世纪对电力工业的要求

Table 1 Requirements to the electric power industry in the 21st century

社会背景	基本要求				具体内容
	经济性	长期可靠性	短期可靠性	环境与资源	
环境问题	○			◎	削减 CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> 排放量是主要制约因素
产业结构的变化	○	○	○		电力机车及第三产业用电量/产值比、负荷特性等变化
能源结构的变化	◎	○			能源消耗中电力消耗比, 发电量中非火力发电的比例发生变化
信息化社会		○	◎		对供电的稳定性、可靠性、供电质量的要求提高
生活方式的变化		○	◎		对电力的依赖程度增强, 负荷特性变化, 对供电质量要求提高
能源资源	◎			◎	节能、节省资源更为重要, 可再生能源、清洁能源利用率提高
分散电源	○		◎	○	太阳能、风力、燃料电池、复合式电热联供等新的能源供给形式
能源产业间的竞争	◎			○	要求降低成本、节省资源、改善环境

○—具有一定的相关性; ◎—紧密相关

环境问题主要体现在防止地球变暖, 抑制和削减排放 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 等公害气体。其主要对策除了大力发展脱硝、脱硫技术外, 节能和使用清洁能源才能从根本上解决问题。其他与电力工业相关的环境问题还有输电线路所带来的电磁污染和破坏自然景观等问题。

产业结构的变化, 第三产业的扩大等, 不但会影响电力工业在整个工业生产中的比重, 也会在电力负荷特性(如负荷曲线、负荷的功率因素等), 电力的重要性等方面发生变化。

在我国, 一次能源以煤为主, 二次能源以电为主的基本格局在今后相当长的时期内不会改变。而且, 由于电力在传输、转换等方面的优越性能, 以及计算机为主体的信息化社会的进步, 与世界各国的发展趋势相同, 电力的重要性会越来越突出, 在最终能源消费中电力消费的比重将越来越大。同时, 电力本身的结构也会逐步发生变化, 核能发电以及太阳能、风能等新型发电方式的比重将会逐渐增大。

以计算机网络为主要特征的信息化社会的到来, 将对电力供给的稳定、可靠性提出更高的要求; 不可靠的电力供给, 将会给社会直接带来巨大的损失和混乱。

随着社会的发展, 人们的生活、消费方式正在逐渐发生变化。空调的普及, 家用电器负荷的增多, 高龄化社会所要求的用于老人和病人的医疗护理设备的普及等等, 将会改变电力需要的负荷特性和增加对电力供给可靠性的要求。城市化的发展以及城市经济的发展, 在21世纪我国电力系统将不

可避免地会碰到向大城市高密度地提供大容量电力的问题。

能源资源的短缺是一个世界性的课题, 由此而带来的燃料价格的上升必将冲击电力工业。因此而发展起来的各种新的发电方式, 如太阳能发电、风力发电、地热发电、垃圾发电(燃烧或沼气化)等又将改变电力工业的结构。能源产业间的竞争, 如天然气、液化气应用的普及, 电力的市场化等也将对电力工业提出新的课题。

上述社会背景的变化, 对电力工业提出了一系列新的要求, 但集中起来主要在以下三点上要有更大的技术进步和革新, 即提高经济性; 提高供电可靠性; 增强节省资源、保护环境意识。

对于供电可靠性, 可分为长期可靠性和短期可靠性。长期可靠性主要体现在提高系统输送能力, 保障电力供给等方面。短期可靠性主要包括提高系统的稳定性, 改善供电质量等技术指标方面。

社会背景对电力工业的要求与以上三个技术指标的关系可用表1更加清楚地予以说明。

### 3 电力工业面临的关键科学技术课题

为满足21世纪对电力系统的基本要求, 电力工业存在着若干基本科学技术问题有待进一步地改进和革新。电源方面主要是提高效率和探索新的发电方式; 输送电方面主要是提高输送电力的容量、确保系统稳定运行和提高效率; 在大城市以及配电网, 主要是提高效率, 提高送电密度, 改善供电质量; 在负荷侧, 则重点在于节能; 在各个环节上的共同目标是要降低成本、提高效率、保护环境与

节省资源。表 2 列出了在以上几个方面的主要问题和对策。对于每一个课题，虽然可以从表 2 找出一

种甚至几种相应的常规技术，但是更应该看到，超导技术和每一个课题都会产生影响。而且，常规技

表 2 21 世纪电力工业所面临的关键科学技术课题

Table 2 Important problems of electric power industry in the 21st century

社会背景	基本要求				主要对应策略及常规技术 (备考)	相关性 与 超导技术的	
	经济性	长期可靠性	短期可靠性	环境与资源			
电 源	1 电场选址优化		◎		从成本、系统性能、资源、环境等多方面考虑	○	
	2 电力市场	◎		○	导入竞争机制	○	
	3 应用分散电力系统	◎	○		◎	可再生能源、清洁能源、热电联供；储能技术、系统运行管理理论	◎
	4 提高发电效率	◎			○	高温高效燃烧技术、新发电方式	◎
	5 燃料的多样化	○	○		◎	煤、油、气、废弃物、降低矿物燃料使用比	○
	6 提高设备利用率	◎				调节负荷峰值、改善负荷曲线特性	◎
	7 促进新电源开发		○		◎	快中子增殖堆、磁流体发电、再生能源发电、核聚变、燃料电池	◎
	8 提高维修保护效率	○	○			预防诊断	○
	9 综合规划资源消费	◎			○	决策系统	○
主 干 线 系 统	10 提高现有设备输送能力	◎	○			提高热容量极限、改善系统稳定性、监控系统	◎
	11 远距离高效大容量输电	○	◎		○	系统稳定性、直流输电、FACTS 技术	◎
	12 加强各大电网间联网	○	◎		○	直流输电、系统稳定性、短路电流的抑制	◎
	13 电网投资的合理化	◎				保证可靠性基础上的电网合理化、评估机制	◎
区 域 输 配 电 系 统	14 提高对大城市的输电能力		◎			大容量输电电缆、地下输配电	◎
	15 高密度送电	○	◎		○	绝缘技术、紧凑的结构、小型化	◎
	16 分散电源的有效利用	○		○	◎	监视控制系统、储能技术	◎
	17 高质量供电			◎		补偿滤波技术、储能技术、新电力变换技术	◎
负 荷	18 提高电网效率	◎				高电压输电	◎
	19 改善负荷率	○			○	DSM 技术、储能技术	◎
	20 提高用电设施的效率	◎			○	节能新技术	◎
一 般	21 改善服务	○		○		信息技术、竞争机制	○
	22 降低成本、提高效率	○				大力推广新技术、技术标准的合理化	◎
	23 改善供电质量			◎		系统稳定性、优化系统结构	◎
	24 节省资源、保护环境				◎	大力推广新技术、利用新能源、可再生能源	◎

○—具有一定的相关性；◎—紧密相关

#### 4 超导电力的优越性

应用超导技术，是解决上述电力工业科学技术课题的技术手段<sup>[1~4]</sup>。与常规技术相比较，应用超导技术具有表 3 所示的优越性能，可以解决若干现有的常规技术难以解决的电力系统中的重大难题。超导发电机可以使发电机的同步电抗减小到常规发电机的 1/3，从而提高发电机的稳定送电极

限。超导电缆可以降低电网损耗，减少输电线路占地面积，并以较低电压输送巨大容量的电能，为大城市的高密度送电提供保证；电压等级的降低，还会使系统绝缘水平下降，电网结构得到改善，从而带来巨大的经济效益；超导限流器可以限制系统短路电流，从而降低系统中电气设备的电磁、电动、热的技术指标。

表 3 超导电力的优越性

Table 3 Advantages of superconducting electric power system

超导电力装置	与之紧密相关的 表 2 中的课题	与常规电力装置相比的优越性	技术难度
超导电机	3, 4, 7, 10, 11, 20, 22, 23, 24	体积减小和重量减轻使占据空间减小, 本身及相关设备的成本降低, 使用资源减少; 同步电抗减小而使稳定送电极限提高; 电阻减小使效率提高, 使一次能源消费量减少; 超导电动机改善负荷特性和效率	难
超导变压器	10, 11, 12, 14, 15, 22, 23, 24	体积减小和重量减轻使占据空间减小, 相关成本下降, 大城市中的变电站建设成本下降; 因零电阻而使效率提高; 冷却媒体的不可燃特性提高了安全性	易
超导输电电缆	10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 22, 23, 24	可输送大容量、高密度的电力, 使大城市的高密度供电及跨海大容量送电成为可能, 也使电厂选址自由度增大; 较低的送电电压使系统对绝缘的要求减轻, 集中输送大容量使电网结构简化, 系统整体成本及损耗降低	易
超导限流器	10, 11, 12, 13, 14, 15, 22, 23, 24	是现在电力系统中所没有的新概念电力设备; 限制短路电流使得系统电气设备对电磁、热的技术指标降低、成本下降; 提高系统稳定性, 改善系统动态特性	中
超导磁储能系统	3, 6, 7, 10, 11, 12, 17, 19,	大中型的可以调节负荷峰值; 中小容量的可以为系统提供快速响应容量, 提高稳定性, 改善电网品质; 也可提高分散电力系统的性能和作为重要用户的紧急备用电源	小型易
超导磁悬浮飞轮储能	22, 23, 24		大型难

技术经济效益更为明显的是, 超导储能系统可以显著地改善电力系统稳定性。超导储能系统不仅是储能方式中效率最高的一种, 它还可以通过电力电子变流器与系统接口, 快速存取电能, 成为能为系统快速提供有功、无功功率的快速响应器件, 从而改变现在的电力系统没有大容量快速存取电能的器件, 电能的生产和消费必须保持在机—电功率平衡状态的局限性。在系统的适当部位设置超导储能装置为系统快速提供有功、无功功率, 补偿系统因扰动而引发的机—电功率失衡, 可以提高系统的稳定性, 变现在电力系统的被动致稳为主动致稳。同时, 超导储能系统还可以改善系统供电品质, 增强分散电力系统的技术、经济性能。

## 5 超导电力的现状

由于 20 世纪 80 年代以来, 在交流用极细丝多芯超导线材的开发成功, 以及高温超导材料的发现和 90 年代高温超导线材技术的进步, 使得超导技术在电力工业的应用有了更加现实的意义。目前, 国外的超导应用研究正处在一个新的发展阶段。表 4 列出了部分超导电力应用技术的发展状况。所列各例是基于早期的 (如 MIT 开发的 8 kW 的超导发电机)、最新的 (如高温超导变压器)、有特色的 (如名古屋大学开发的可用于连接超导系统与常规系统的低压侧用超导线、高压侧用常规铜线的复合式超导变压器) 等原则而选列的。从表 4 可以看到, 目前超导发电机, 超导变压器, 超导限流器,

超导电缆, 超导磁储能系统 (SMES) 等超导电力装置的实验样机相继试制成功, 有的已经开始联网试运行, 达到或接近实用水平。部分超导电力装置已经进入市场<sup>[31]</sup>。专家估计再经过 10~15 年的努力, 超导电力的广泛应用将成为现实<sup>[2]</sup>。在 21 世纪, 超导电力应用技术将系统地进入电力系统, 并形成—个庞大的市场。

超导电力系统的系统性能必将不同于传统电力系统, 而这种独特的系统特性又必将对超导电力装置提出与非电力应用超导装置不同的特性要求, 由此, 在系统和装置级都会面临一些从未有过的科学技术问题需要我们去研究解决, 一个新兴的超导电力科学领域正在形成。为了发展我国自主的超导应用知识产权, 在 21 世纪的先进电工技术领域争得一席之地, 我们有必要立即着手进行超导电力应用研究工作。

## 6 结论

超导电力应用技术还处在发展过程中, 有若干问题需要解决。除了进一步发展具有更高临界温度的超导体, 开发出具有更高的临界电流值和更好的机械性能的超导线材等超导科学本身的课题外, 就超导电力应用而言, 以下课题是应该得到充分重视的: 超导电力系统的动态特性和控制理论; 超导电力装置与系统的失超保护; 低温、电力电子、绝缘等相关技术。

表 4 超导电力应用技术现状

Table 4 Current states of applying superconducting technology into the electric power system

装置名称	主要研究单位	基本特性	报导时间 (年)	参考文献
电机	MIT (美国)	8 kW, Nb Zr 超导转子绕组	1966	[5]
	Electrosila (苏联)	20 MVA, 300 MVA	1982	[6]
	Alsthom (法国)	20 MVA	1982	[7]
	Siemens (德国)	120/400 MVA	1991 -	[8]
	Super-GM (日本)	70 MW, 1500 h 连续试运行成功	1988 -	[9]
	Alsthom (法国)	150 kW 超导电动机	1997	[10]
变压器	Alsthom (法国)	660/4 000 V, 220 kVA, 50 Hz, NbTi	1985	[11]
	九州大学 (日本)	1057/218 V, 72 kVA, 60 Hz, NbTi	1987	[12]
	名古屋大学 (日本)	6 600/210 V, 100 kVA, 50 Hz, 高压侧 Cu, 低压侧 NbTi	1990	[13]
	ABB (瑞典/德国)	6 000/400 V, 330 kVA, 50 Hz, Nb <sub>3</sub> Sn	1993	[14]
	九州大学 (日本)	6 600/3 300 V, 76/152 A, 500 kVA, Bi-2 223	1998	[15]
	IGC (美国)	13.8/6.9 kV, 1 MVA, Bi-2 223	1997	[16]
送电电缆	Arnstein (奥地利)	60 kV, 1 000 A, 50 m, Nb	1980	[17]
	Brookhaven (美国)	80 kV, 326 MVA, 115 m, 单相, Nb <sub>3</sub> Sn	1986	[18]
	丰桥科技大 (日本)	20 kV, 2 kA, 15 m, 单相, Nb, 挤压成型绝缘层	1988	[19]
	东京电力, 住友 (日本)	66 kV, 1 kA, 30 m, 三相, Bi-2 223, 40 kV/1 kA 10 min 通电试验	1996	[20]
	EPRI, Pirelli, ASC (美国)	115 kV, 50 m (试验), 24 kV, 100 MVA, 130 m (进行中)	1999	[2]
限流器	Alsthom (法国)	7.2 kV, 1 kA, 无感超导线圈失超限流式	1993	[21]
	东京电力 (日本)	6.6 kV, 1 500 A, 无感线圈失超换流限流式	1993	[22]
	ABB (瑞士)	100 kW, Bi-2 223 磁屏蔽式	1995	[23]
	Alsthom (法国)	3 kV, 556 A, 变压器式	1995	[24]
	ABB (瑞士)	1.2 MVA, Bi-2 212 磁屏蔽式, 三相, 将 60 kA 电流限流到 700 A	1997	[25]
磁储能系统	BPA (美国)	30 MJ, 10MW, 4.9 kA, 2.1 kV	1983	[26]
	ISTEC (日本)	480 MJ, 20 MW, 20kA, 3 kV	1991 -	[27]
	九州电力 (日本)	30 kJ, 100 A, 水电站联网试运行	1992	[28]
	关西电力 (日本)	400 kJ, 350 A, 6 组超导磁体组成	1995	[29]
	九州电力 (日本)	3.6 MW, 1 MW, 3 组超导磁体模块结构, 变电站联网试运行	1997	[30]
	ASC, IGC (美国)	小型超导磁储能系统商业化, 可接受小型高温超导储能系统订货	1999	[31]
其他	名古屋大学 (日本)	3/6 kV, 1000 kVA 全封闭超导一体化送电模型系统 (变压器 3/6 kV, 1 500 kVA, 限流器 3 (6) kV, 500 (250) A, 电缆 6 kV, 500 A, 5 m), 送电试验	1995	[32]
	中部电力 (日本)	1 kWh 超导磁悬浮飞轮储能系统	1998	[33]
	东芝 (日本)	3 kA 永久电流开关	1997	[34]

在超导电力应用技术上虽然尚存在以上重要课题需要研究解决, 但超导技术是解决 21 世纪人类社会对电力系统所提出的若干经济、技术要求的最有效途径之一。在 21 世纪, 超导电力应用技术将在电力工业中获得实际应用, 将在电力工业中引发一场意义深远的技术革命。日本新能源开发机构认

为, 开展超导电力应用的研究, 是 21 世纪国家间技术竞争的关键。由此可见, 大力发展我国的超导电力应用技术, 不仅是为了满足未来社会对电力工业的要求, 也是为了使我国在超导科学领域拥有独立的知识产权的重要步骤。超导电力应用技术是未来电力工业的重要发展方向。

## 参考文献

- [1] Hlasnik I, Ito D. AC Application of Super-conductors at 50/60 Hz Frequency [J], *Cryogenic Engineering*, 1992, 28 (8): 404~426
- [2] 国际超导产业技术研究中心. 超导电力应用技术开发调查研究 [R], 1998
- [3] Klaus-Peter Juengst. SMES Progrees [C]. Proc. of MT 15 Beijing, 1997, Part 1, 18~23
- [4] Luongo C A. Superconducting storage system: An overview [J], *IEEE Trans. on MAG*, 1996, 32 (4): 2214~2222
- [5] Stekly Z J, Woodson H H, Hatch A M, et al. A study of altrernators with superconducting field windings: II—Experiment [J], *IEEE Trans. On PAS*, 1996, 85 (3): 274~280
- [6] Fomin B I, Kurilovich L V, Khutoretsky G M, et al. Main stages of manufacturing a 300 MW superconducting generator [J], *Cryogenics*, 1987, 27: 243
- [7] Tixador P, Brunet Y, Wedrine P, et al. Electrical tests on a fully superconducting synchronous machine [J], *IEEE Trans. on MAG*, 1991, 27 (2): 2256~2259
- [8] Liese M. Proc. Int. Conf. on large high voltage electric sytem [C], 1988, 32: 11
- [9] Ohara T, Fukuda H, Ogawa T, et al. Development of 70 MW class superconducting generators [J], *IEEE Trans. on MAG*, 1991, 27 (3): 2232~2239
- [10] Daffix H, Tixador P. Design of a fully superconducting synchronous motor [J], *Electric Machines and Power Systems*, 1997, 25: 227~245
- [11] Fevier A, Tavergnier J P, Laumond Y, et al. Preliminary test on a superconducting power transformer [J], *IEEE Trans. On MAG*, 1988, 24 (2): 1477~1480
- [12] Iwakuma M, Funaki K, Takeo M, et al. Fabrication and preliminary test of a 72 kVA superconducting fourwinding power transformer [J], *Cryogenic Engineering*, 1987, 22 (6): 354~361
- [13] Kito Y, Okubo H, Hayakawa N, et al. Development of a 6 600 V/210 V 100 kVA hybrid-type superconducting transformer [J], *IEEE Trans. On Power Deliver*, 1991, 6 (2): 816~823
- [14] Hornfeldt S, Albertssonm O, Bonmann D, et al. Power transformer with superconducting wings [J], *IEEE Trans. on MAG*, 1993, 29 (6): 3556~3558
- [15] Funaki F, Iwakuma M, Kajikawa K, et al. Development of a 500 kVA-class oxide-superconducting power transformer operated at liquid-nitrogen temperature [J], *Cryogenics*, 1998, 38 (2): 211~220
- [16] Walker M S, Hazelton D W, Murray F S, et al. Preliminary test of a cryocooled 1 MVA HTS transformer [C], Proc. Int. Workshop on Superconductivity. 1997, 29~33
- [17] Klaudy P A, Gerhold J. Practical conclusions from field trials of a superconducting cable [J], *IEEE Trans. on MAG*, 1983, 19 (3): 656~661
- [18] Forsyth E B, Thoms R A. Performance summy of the brookhaven superconducting power transmission system [J], *Cryogenics*, 1986, 26: 599~614
- [19] Kosaki M, Nagao M, Mizuno Y, et al. Development of extruded polyethylene insulated superconducting cable [J], *Trans. IEE of Japan*, 1998, 108 (11): 977~983
- [20] Iwata Y, Honjio S, Hobara. Development of 66 kV compact high-Tc superconducting cable [C], Proc. Inter Workshop on Superconductivity. 1997, 17~20
- [21] Verhaege T, Tavergnier J P, Laumond Y, et al. Experimental 7.2 kV/1 kA/3 kA current limiter system [J], *IEEE Trans. On APS*, 1993, 3 (1): 574~577
- [22] Hara T, Okuma T, Yamamoto T, et al. Development of a new 6.6 kV/1 500 kVA class superconducting fault current limiter for electric power system [J], *IEEE Trans. On MAG*, 1993, 8 (1): 182~192
- [23] Paul W, Baumann T, Rhyner J, et al. Tets of 100 kW high-Tc superconducting fault current limiter [J], *IEEE Trans. On APS*, 1995, 5 (2): 1059~1062
- [24] Tixador P. Experimental results on an hybrid superconducting current limiter [J], *IEEE Trans. On ASC*, 1995, 5 (2): 1055~1058
- [25] Paul W. Proc. of 10th Int. Conf. On advance in superconductivity (ISS' 97).
- [26] Rogers J D, Schermer R I, Miller B L, et al. 30 MJ superconducting magnetic ewnergy storage system for electric utility transmission stabilization [C], Proc. of the IEEE, 1985, 71: 1099~1107
- [27] Harai S, Nakamoto K, Takahashi N, et al. The SMES model coil-fabrication [J], *Cryogenic Engineering*, 1998, 33 (7): 460~466
- [28] Irie F, Takeo M, Sato S, et al. A field experiment on power line stabilization by a SMES system [J], *IEEE Trans. on MAG*, 1992, 28 (1): 426~429

- [29] Harada N, Toyoda K, Minato T, et al. Development of 400 kJ Nb<sub>3</sub>Sn superconducting magnet for SMES System [J], Trans. IEE Japan, 1996, 116 (7): 770~775
- [30] Imayoshi T, Kanetaka H, Hayashi H, et al. Development of 1 kWh-class module-type SMES-design study [J], IEEE Trans. On ASC, 1997, 7 (2): 844~848
- [31] 东京大学. 奥地利电力公司购入超导磁储能 (SMES) 设备 [J], 超电导通讯, 1999, 8 (2): 5
- [32] Tang Y J, Kato T, Hayakawa N, et al. Development of the prospective power transmission model system integrated under superconducting environment promise [J], IEEE Trans. On ASC, 1994, 5 (2): 945~948
- [33] Nagaya S, Minami M, Kawashiwa H, et al. Development of 1 kWh superconducting bearing flywheel energy storage [C], Proc. Int. Workshop on Superconductivity, 1998, 34~37
- [34] Nemoto K, Tomita M, Koyanaga K, et al. Nb<sub>3</sub>Sn persistent current switch with a current capacity of 3 kA [C], Proc. of MT-15, Beijing: 1997, 613~616

## A Promising Topic in the Development of Electrical

### Engineering in the 21st Century

#### ——Superconducting Technology in Electric Power System

Tang Yuejin, Li Jingdong, Duan Xianzhong, Cheng Shijie, Pan Yuan

(R & D Center of Applied Superconductivity, HUST, 430074)

**[Abstract]** In the new century, people will extensively concern themselves with environment protection and natural resource saving. Their life style will be changed rapidly. Information system will become the most important part of our society. All of these will put forward the following challenging requirements to the electric power system for high economic characteristics, high reliability, high quality, high quantity and high density of power supply. As the conventional technology used in current power system is difficult to meet these requirements, breakthroughs of revolution in electrical technology is in urgent need. Superconducting technology is one of those breakthroughs. It is commonly recognized that superconducting technology will be widely used in the electric power system in the 21st century. This paper systematically analyzes the problems facing the electrical power industry in the 21st century and the potential of using superconducting technology in the future power system. The current states of applying superconducting technology to the electric power system are also overviewed.

**[Key words]** applied superconductivity; electric power system; environment and resources

\*

\*

\*