A-PDF Split DEMO : Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

节能减排背景下智能电网的建设*

邓　辉[1]，李　健[2]

（1. 浙江大学 电气工程学院，浙江 杭州 310027；2. 平阳电力有限责任公司，浙江 平阳 325401）

摘要：针对节能减排问题，将智能电网技术应用到节能减排中。分析了智能电网的研究开发背景、概念及关键技术等，建立了智能电网与节能减排之间的关系。研究结果表明，智能电网的建设促进了能源利用多元化，提高了能量输送和利用效率，加强了需求响应/负荷控制，优化客户服务，改善了用户电能消耗。

关键词：智能电网；分布式电源；节能减排；需求响应

中图分类号：TM73　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1001－4551(2011)08－1019－06

Smart grid from perspevtive of energy conservation

DENG Hui[1], LI Jian[2]

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;
2. Pingyang Electric Power Co., Ltd., Pingyang 325401, China)

Abstract: Aiming at the problems of energy conservation, the smart grid was investigated. The research and development background, the concept and key technologies of smart grid were analyzed. The internal relationship between smart grid and energy reservation was established. The results indicate that developing smart grid promotes energy diversification, improves energy efficiency, strengthens demand response and load control, and improves customers' service.

Key words: smart grid; distributed energy resource; energy conservation; demand response

0　引　言

随着全球资源危机日趋严重，社会对环境保护要求提高，电力市场化不断推进，用户对电力服务要求不断提升，对更可靠、更鲁棒、更经济、更高效、更环保的电网的需求日益迫切。在这样的背景下，智能电网的概念应运而生，并且在近几年成为关于未来电网的研发热点。

美国最早提出智能电网，美国电科院于 2000 年前后将未来电网定义为 Intelli-Grid。美国 Battelle 研究所和 IBM 公司也先后分别提出 GridWise 和 Intelligent Power Grid 的概念。2003 年 6 月 DOE 发布“Grid 2030”。2004 年 DOE 启动电网智能化（Grid Wise）项目并与 NETL 合作发起了“现代电网（MGI）”研究。2009 年奥巴马将智能电网提升为美国国家战略。欧洲于 2005 年成立“智能电网（Smart Grids）欧洲技术论坛”，提出了 Smart Grid 的概念，并且在 2006 年制定“欧洲未来电网的远景和策略”、“战略性研究议程”、“战略部署文件”，构想了欧洲智能电网的远景和发展策略[1]。

国内电力行业在上世纪 90 年代末提出了“数字电力”的概念，比较有影响的是清华大学卢强院士在 2000 年提出的“数字电力系统”（digital power systems, DPS）[2]。2009 年 5 月 21 日，国家电网公司在 2009 年特高压输电技术国际会议上宣布建设中国坚强智能电网，论述了坚强智能电网的内涵。“坚强”和“智能”是坚强智能电网的基本内涵。本研究简述智能电网的概

收稿日期：2010－12－22

基金项目：国家自然科学基金资助项目（50677062）；国家高技术研究发展计划（“863”计划）资助项目（2008AA05Z210）；教育部博士点基金资助项目（20090101110058）；新世纪优秀人才支持计划资助项目（NCET-07-0745）；浙江省自然科学基金资助项目（R107062）

作者简介：邓　辉（1985－），男，湖北孝感人，主要从事智能电网和分布式能源并网方面的研究. E-mail：ceeedenghui@163.com

念,介绍智能电网的五大支撑技术,分析智能电网与节能减排的内在联系,论述在当前加强节能减排工作的背景下要大力建设中国特色智能电网。

1　智能电网的概念

智能电网正处于研究、开发的初始阶段,各个国家、电网公司、科研机构、制造厂商在智能电网的准确定义、功能作用、技术开发侧重点等方面并没有达成一致的认识和协议,结合各个国家的具体情况,对于智能电网提出了许多不同但是意义接近的定义。

从广义上讲,智能电网包括优先使用清洁能源的智能调度系统、动态定价的智能计量系统以及通过调整发电、用电设备功率优化负荷平衡的智能技术系统[3]。智能电网的智能性体现为:可观测—量测、传感技术;可控制—对观测状态进行控制;分布智能—嵌入式处理技术;高级分析—数据到信息的转换,自适应,自愈。作为未来世界电力工业的构想,智能电网将极大地推动电力市场化改革,满足社会对资源、环境、电力服务等方面的要求,将更可靠、更鲁棒、更经济、更高效、更环保,其特征如图 1 所示。

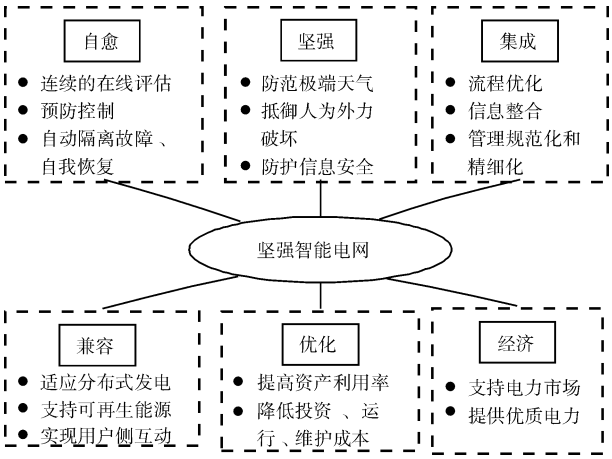

图 1　坚强智能电网的特征

2　智能电网的技术支撑

智能电网涉及到发电、输电、变电、配电、用电和调度各个环节,为了实现其智能性,设备、采集、通信、决策、控制各个方面的技术需要加以解决,关键技术主要包括集成通信、传感与测量、高级电力设施、高级控制方法、决策支持[4]。

2.1　集成通信

智能电网的概念决定了智能电网需要建立一个高速的、集成的双向通信技术架构,成为一个动态的、互动的、实时信息和电力交换互动的超级架构网络。集成通信技术是智能电网必需的也是最基础的关键技术。现阶段已经成熟的或者在研究的各种通信技术如下:

(1)电力宽频通信技术[5]。电力宽频通信技术网络覆盖面广、安全性高,主要部署在中低压配电场所,满足配电侧某些要求,如 AMR、DER、DR、用户入口应用、DA、视频监视及其他高速应用。但是,其无线电频率和 HAN 频率在某些情况下会出现干扰。本研究利用 BPL 技术,结合现有电网和无线通信技术,还能够为偏远地区提供可靠、成本相对较低的宽带服务,完成“最后一公里的”网络接入,扩展智能电网的应用范围。台湾盛达电业股份有限公司在 2010 年 4 月发表台湾第一套宽频电力线通信(BPL)AMI 智能电网系列方案,用于变电所和电力输配过程的电力资讯的传输与控制,进而有效管理电力能源,达到节能、节费、增效的目的。目前这类技术产品处于概念验证阶段,没有进入通信市场作为支持智能电网通信体系的主导候选方案。

(2)无线通信技术。无线通信技术以公共电磁波为通信信道,不依赖于电网,抗自然灾害能力较强,同时具有安装维护简单、建设周期短、组网灵活、带宽大、非视距传输等优点,能够弥补现有通信方式单一、覆盖面不全的缺陷。常见的无线通信技术有多地址系统广播、扩频无线电通信、WiFi 无线上网网络、WiMax 全球微波接入通信、3G 移动通信、TDMA 时分多址、CDMA 码分多址等等。现有无线通信技术的技术特点、接入速率、覆盖范围、适用区域各不相同,并且呈现出功能互补的趋势,而且越来越多地应用到电网灾难应急、基站故障远动、配网自动化、办公智能化,作为智能电网通信的重要补充手段。

(3)其他通信技术。还有一些可用的通信技术,可能在某方面支撑智能电网,如下一代以太网、电力线载波、光纤到户、混合光纤同轴架构、无线射频识别技术等等。

各种现代通信技术的特性、应用范围、优缺点各不相同,何种通信技术会成为智能电网的主流通信技术,依赖于技术发展和智能电网设计者的规划和实际需要。集成通信技术作为智能电网的基础支撑技术,在智能电网中应用前景广阔,但仍有一些问题有待解决。首先要制定和实施电网公司、科研机构、制造厂商及其他主体广泛接受的通信标准。其次智能电网集成通信网络的建设要兼顾电网公司管理业务的要求,选择合适的建设方式。最后,要充分考虑未来资源和数据量的增加,为未来网络扩展和维护更新做好冗余配置。

2.2　传感与测量

智能电网各环节功能的实现离不开数据和信息的采集。遍布全网的先进的传感器、双向通信的智能表计与监视系统能够获取智能电网的各种数据并转换成图形、表格、动画等有效信息,提供给智能电网各环节

使用,用于监测和评估电网设备的状态与电网安全状态,防止输电网阻塞,沟通用户。

在输电环节,广域测量系统(wide area measurement system,WAMS)、输变电设备状态监测等技术在智能电网中发挥越来越重要的作用。广域测量系统以同步向量测量技术为基础,以电力系统动态监测、分析和控制为目标,具有异地同步测量向量精度高、反应快速、高速通信的优点,适用于大跨度联网,在以特高压电网为骨干的我国坚强智能电网中有着重要的现实意义,其发展方向包括状态估计、动态安全监测、暂态稳定分析、稳定保护/广域控制,优化电网运行控制[6]。通过状态监测,智能电网能够获取和共享全网各类实时状态信息,构建全网全寿命周期的综合优化体系,优化电网设备运行和检修方式,提高设备利用效益[7-8]。目前,状态监测技术发展较快,已经产生了一些实用化在线监测技术,并且得到一定的应用,但是一般局限于某一类设备、某一种具体应用,而且状态监测和状态检修标准有待制定。

在配电环节,能够进行电力公司和用户双向通信的智能表计取代了传统的电磁表计和读取系统,用于测量和记录电力参数,联络中心控制服务器以及分布式负荷,为用户以及供应商提供能耗数据,用于用电方案决策,实现需求侧响应。在某些情况下,智能电表能够切断或接通负荷,提高电力供应可靠性、安全性。目前国网有关智能电表的一系列标准已出台,智能电表批量化生产为期不远,但费用、信号衰减等问题需要解决。

2.3　高级电力设施

高级电力设施是智能电网的重要组成部分,既可以单独使用,又可以连接在一起作为一个复杂系统,如微网。高级电力设施将充分应用超导、储能、电力电子、微电子技术等的最新研究成果,为智能电网提供更优的系统稳定性、更好的安全性、更高的电能使用效率以及实时、在线、连续的系统监测和诊断。

2.3.1　特高压输电

特高压输电指的是比交流 500 kV 输电能量更大、输电距离更远的输电方式,包括交流特高压(UHC),高压直流(HVDC),具有低成本、电网结构简化、短路电流小、占用空间小及改善电能质量等优点[9-10]。中国坚强智能电网以特高压电网为骨干网架,各级电网协调发展,是由中国经济发展阶段、能源集中分布特点决定的。目前我国在远距离、大容量、低损耗的特高压核心输电技术、设备国产化、标准体系上获得了大量经验和成果,为今后建设智能电网奠定了良好基础。

2.3.2　电力电子装置

电力电子学技术是高级电力设施的基础,统一潮流控制器(UPFC)、动态静止同步器(D - VAR)、动态同步并联补偿器(D - STATCOM)、静止无功补偿器(SVC)、固态电源切换开关(SSTS)、交流直流交换器(AC/DC inverter)等电力电子装置在智能电网中能够解决输电阻塞、电压波动和闪变、换流等问题。以柔性交流输电系统(FACTS,包含 UPFC,SVC,DVAR 等)为例,其能够提高远距离输电稳定性、改善电能质量。

2.3.3　超导装置

超导输电能量损耗低,输电容量大,电磁污染少,占用走廊宽度低,能够提高电网可靠性、安全性,杜绝火灾隐患。

第一代导线已经投入生产,可用作拥挤变电站或城区的出口、故障电流限制器以及繁忙的平行线路,提高电力系统可靠性。高温超导电缆传输容量大,可以实现低电压、大电流传输,降低成本,减少城市输电阻塞,目前处于小批量生产阶段,需要进一步研发。第二代超导导线的价格将比第一代导线低 3 ~ 10 倍,损耗低 10 倍,性价比显著提高,为电压闪变和暂态稳定性提供更优可控性。但客户和电厂辅助负载动态变化特性、故障电流不断增加等问题还要研究和解决,目前处于小批量生产阶段。

2.3.4　分布式发电和储能

分布式电源是小容量的发电和电能存储技术,特别是指容量在 3 kW ~ 10 000 kW 分布在负荷附近满足特殊用户需求并且支持已有配电网经济运行能量利用率较高或者利用可再生能源发电且一般利用太阳能、小型风能、小型水能、生物质能等可再生能源或以天然气为主的化石类燃料发电。能源存储系统一般采用化学储能方式,寿命较长,能够调节电压、频率和暂态稳定性,改善电能质量,在电力中断时能够给用户提供 15 min ~ 60 min 的电力。分布式储能设备有钠硫电池、钒电池、超级电容器、超导磁储能等等,大多处于研发试用阶段。

分布式发电供能微网系统简称微网,是指由分布式电源、储能装置、能量变换装置、相关负荷和监控、保护装置汇集而成的小型发配电系统,是一个能够实现自我控制、保护和管理的自治系统,既可以与大电网并网运行,也可以孤立运行。智能电网能够通过微网有效管理分布式电源,能够实现大量分布式电源接入,充分利用各种可再生能源和清洁能源,并且尽量减少对配电网安全运行的影响[11]。目前分布式电源发展还存在与配电网互联、电能质量、规范与标准等方面的问题,要大力推进分布式发电系统规划与运行、数学模型和仿真、并网规程和导则等方面的研究,促进分布式发电技术在智能电网中大规模应用。

2.3.5　复合导线

本研究使用新材料制作的负荷导线能够提高输电能力,降低输电损失。铝传导复合材料芯电缆

(ACCC)导线传送电量两倍于普通电缆,安装方便;加强型复合陶瓷纤维芯架空导线(ACCR)能够提高传输热容量 150% ~300%,自 2001 年开始美国已在超过 12 个公用事业中使用;退火铝钢支撑的不规则截面导线(ACSS/TW)像普通电缆一样安装,可以在高压上运行,实现 2 倍以上电流。

2.3.6　电网友好型装置

由于微电子、电力电子等技术的发展,电网友好型装置可用于平衡电力供应和需求,提高电力系统运行稳定性和对干扰的反应能力[12]。例如在居民家庭电器上安装本地控制器,系统受到干扰时,可自动切换家庭电器的开关,调节系统负荷,指导用户用电,实现需求侧响应。但是,由于配电网中电网友好型装置不受电网运营商控制,某些情况下也会导致干扰恶化,电网友好型装置的控制模式、对电网影响方式有待进一步研究。

2.4　高级控制方法

高级控制方法技术用于分析、诊断和预测智能电网状况的装置和算法,指导电网相关人员决策和动作,解决电力系统中出现的电能质量、设备故障等问题。高级控制方法将用于支持分布式智能体、分析工具和操作应用软件。分布式智能体是自适应、自我学习、自我修复以及半自动控制的系统,能够在本地层快速响应,以减轻中心控制系统和操作人员的负担。多个分布式智能体也可以组成多智能体,实现更复杂的功能[13]。常用的分析工具有系统性能监控、仿真和预测、向量测量分析、天气预测和集成、快速负荷潮流分析、市场系统模拟、配电网故障定位、高速计算等等。智能电网的应用依托于本地智能化、自动化和分布控制,特别是首要的本地作用,如 SCADA、变电站自动化、配网自动化、状态维修、资产优化等等。

2.5　决策支持

智能电网需要使用广阔的、无缝的、实时的电力设备信息和工具,帮助管理人员快速做出决定,还需要先进的可视化展示将系统状态清楚地展示给运行人员,通过高级系统仿真与培训过程,增强各级运行人员的决策能力,及时解决电力系统中各种问题。

IIDS 技术将复杂的电力系统数据转换为让运行人员一看即懂的信息,如动画、色彩调整、虚拟现实等等等,帮助运行人员识别、分析、应对所出现的问题[14]。IIDS 技术应用于智能电网,能够实现可视化、辅助决策、系统运行人员培训、顾客决策的制定以及运营的增强。当前的 IIDS 技术还不能完成这些任务,需要作进一步的研究。

3　智能电网与节能减排

智能电网能够利用清洁能源或可再生能源发电,提高能源利用率和传输效率,有效促进节能减排,实现智能电网的同时也意味着我国工业从高能耗向高效节能的转变。智能电网与节能减排之间的内在联系如图 2 所示。

3.1　促进能源利用多元化

坚强智能电网能够消纳各种随机性和间歇性清洁电源,允许多种清洁能源发电并网接入,在提高电网统一性和可靠性的同时,优化电源装机结构,促进电力供应结构多元化发展,提高能源结构中低碳能源比重:

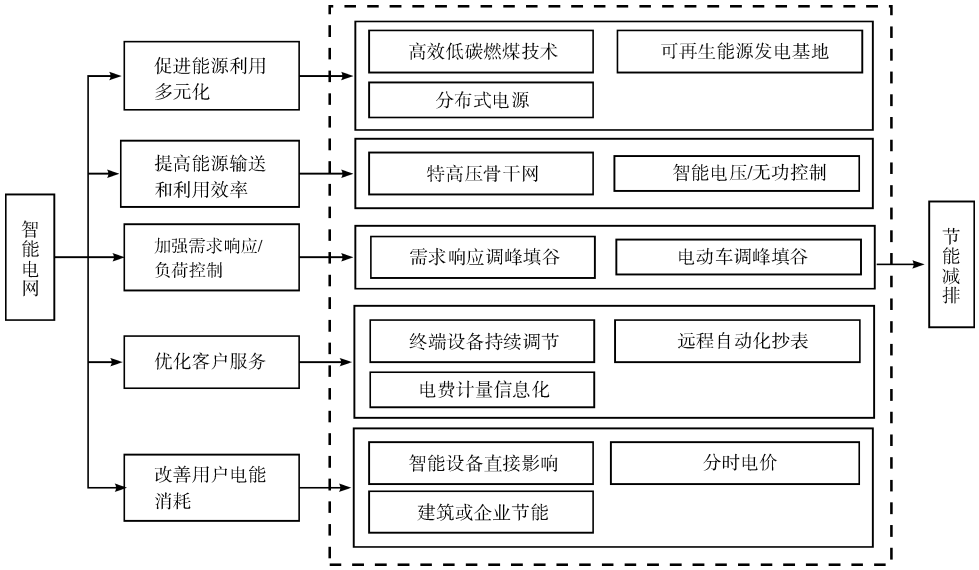

图 2　智能电网与节能减排

(1)高效低碳的清洁燃煤发电。IGCC 技术把高效的燃气 - 蒸汽联合循环发电系统与洁净的煤气化技

术结合起来,既有高发电效率,又有极好的环保性能,发展前景广阔[15]。目前技术水平下发电净效率可达43% ~45%,今后可望达到更高。CCS 技术既能够减少 CO_2 排放,又能够用于开采煤矿,提高煤层气采收率[16-17]。随着 IGCC、CCS 等高效低碳的清洁燃煤发电的发展与应用,将极大地提高发电效率和能源利用效率,减少温室气体排放。

(2)特高压电网实现风电、光电基地的调峰调频。在风力、光伏发电出力间断的情况下,必须要有相当规模容量的水电、火电等常规发电厂参与电力系统的调峰、调频和调压,才能保持电网连续供电。坚强智能电网能够实现跨区互联,有效扩大大型风电、光伏发电基地的消纳范围,提高局部系统的清洁能源开发规模。研究表明,到 2020 年,通过特高压电网互联,全国发电开发规模可增加近一倍,超过 1 亿 kW,节省原煤 1.9 亿 t。

(3)智能配网实现高渗透率的分布式电源接入。分布式电源作为小型模块式、与环境兼容的独立电源,允许用户与电网互动,也能够与大电网并网。分布式电源的接入能够扩大电网运行和可选资源范围,系统故障时进行局部供电,提高电力系统可靠性和灵活性。对于偏远地区,能够实现电能供需平衡和需求侧响应,节省投资,降低能耗。

3.2　提高能源输送和利用效率

利用智能电网重点发展的特高压输电技术,能够实现输煤向输电转化,从根本上降低输配电环节损耗,是提高电网传输效率的直接方法,而且极大地减少了煤炭的大规模、远距离运输造成的能源消耗和环境污染,缓解交通运输压力,节省占地面积。由于智能电网采用先进的量测和通讯技术,可以实时地获知线路运行情况,对输配线路进行及时的无功补偿和电压调节,治理谐波、电压波动、三相不平衡等电能质量问题,还能对非正常运行负荷进行有目的的关停,保证线路的最高效传输,降低输电损耗,提高电能质量。

3.3　加强需求响应/负荷控制

智能电网对负荷的监测更加准确连续,通过部署需求响应,运用市场价格机制影响负荷曲线,面向用户使用动态计价方式,让电价更精确地反映实时发电成本,用经济利益去驱使用户通过调整生产计划、使用清洁能源或分布式电源等手段主动减少峰期的用电需求。插电式汽车的发展则提供了一种新的调峰填谷手段。插电式汽车电力负荷低谷时充电,高峰时为用电设备提供电能,能够很好地调节电力负荷曲线,还是真正意义上的零排放汽车。但是,插电式汽车特殊的充电模式、充电时间和区域的不确定性,会给电网带来大量谐波电流,可能造成电压失衡。因此,插电式汽车的推广应用离不开智能电网的发展。目前福特汽车公布了“汽车到电网”及其控制系统,使得电动汽车能够与电网协调连接,实现最优化的充电模式。

3.4　优化客户服务

智能电网由于改进了信息交流系统,电网与用户能够双向通信,改善了电力服务部门对断电、电能质量和其他扰动等信息的知情能力和响应能力,提高服务质量。智能电网能够保证终端设备的持续调节,使设备能够实时满足使用要求,达到设备使用效率的最大化。同时,这也就在客观上增强了设备的适用性,增加了设备的服务年限,降低了设备更新成本。智能电表与智能电器配套运用,监测用户用电情况,用户也能够查询用电情况甚至是冰箱、热水器各自的电量电费,通过智能插座实现对空调、热水器、电饭煲等家庭敏感负荷的用电信息采集和控制,不仅能够实现远程自动化抄表,而且实现了电费计量和账目显示信息化,减少人力成本、材料损耗以及交通能耗,实现高效、自动的电力计量。

3.5　改善用户电能消耗

用户对电费的使用情况和环境的变化了解得越详细,越能激发用户采取节能行动。智能电网通过部署 AMI 为用户提供各种必要信息,如当前和历史电能消费、消耗的电能所产生的 CO_2 排放量、即时需求、同期电价、环境温度、湿度和光照度等等,通过视觉指示器以数据表格、曲线或彩色码的形式显示,或在发生价格未决或能源使用极限事件时,通过音频指示器发出报警通知用户。用户重新制定用电计划,减少电能消耗。智能电表还可以向用户提供分时电价信息,鼓励家庭和企业在非高峰时段运行高耗电设备或机器,减少电力需求高峰的出现。对于高能耗建筑或企业,通过建立相应的能量监测和管理系统,使决策者能够随时掌握建筑或企业的生产、运营状态,实时监控各种能源的详细使用情况,为节能降耗提供直观科学的依据,提高能源管理水平,降低能耗。

4　结束语

智能电网作为未来电网的设想,还处于研究和建设的初始阶段,由于各国基本国情、经济发展水平、人民生活水平不同,各国发展智能电网的驱动力和侧重点不同,但是大力研究发展智能电网已经成为共识。我国智能电网工作要全面推进发电、输电、变电、配电、用电、调度 6 个环节和通信信息平台建设,统筹兼顾建设速度、质量和效益,注重在专业融合中提升研究内涵,注重在智能电网实践中推进体制机制创新,建设中国特色的智能电网,为节能减排做贡献。

参考文献(References):

[1]　European smart-grids technology platform: Vision and strate-

gy for Europe's electricity networks of the future[R]. Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems, 2006.

[2] 卢　强. 数字电力系统(DPS)[J]. 电力系统自动化, 2000,24 (9):124.

[3] 张文亮,刘壮志,王明俊,等. 智能电网的研究进展及发展趋势[J]. 电网技术,2009,33(13):1-11.

[4] 许晓慧. 智能电网导论[M]. 北京:中国电力出版社, 2009.

[5] 李　炎. 现代通信技术在智能电网中的应用前景[J]. 科技创新导报,2009,24(1):246-247.

[6] 常乃超,兰　洲,甘德强,等. 广域测量系统在电力系统分析及控制中的应用综述[J]. 电网技术,2005,29(10):46-52.

[7] 苏鹏声,王　欢. 电力系统设备状态监测与故障诊断技术分析[J]. 电力系统自动化,2003,27(1):61-65,85.

[8] 幸晋渝,刘　念,郝江涛,等. 电力设备状态监测技术的研究现状及发展[J]. 继电器,2005,33(1):80-84.

[9] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京:中国电力出版社,2005.

[10] 舒印彪. 1 000 kV 交流特高压输电技术的研究与应用[J]. 电网技术, 2005,29(19):1-6.

[11] 王成山,王守相. 分布式发电供能系统若干问题研究[J]. 电力系统自动化,2008,32(20):1-5.

[12] DONNELLY M, BOYD P A, LU N, et al. Grid Friendly Appliance™ (GFA) Controller Develop. ment[C]//Electric Distribution Transformation Program Review FY. Coronado:[s. n.],2003:[s. n.].

[13] 郭创新,单业才,曹一家,等. 基于多智能体技术的电力企业开放信息集成体系结构研究[J]. 中国电机工程学报,2005, 25(4):64-70.

[14] EID M. A New Mobile Agent-Based Intrusion detection System Using distributed Sensors [C]//Proceeding of FEASC, 2004. New York:[s. n.],2004:[s. n.].

[15] CHRISTOPHER F H, ZHU Yun-hua. Improved system integration for integrated gasification combined cycle(IGCC) systems[J]. **Environ-mental Science and Technology**, 2006,40(5):693-1699.

[16] IPCC. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage,[R]. Intergovernmental Panel on Climate Change (Working Group III), 2005.

[17] STEPHENS J C, ZWAAN B V D. The case for carbon capture and storage[J]. **Issues in Science and Technology**, 2005,XXII(1):69-76.

[编辑:李　辉]

(上接第 943 页)

证该方法可行,效果良好。此外,本研究通过 PAC Motion 运动控制模块 PMM335 可控制 4 排座椅的自动转向,结合 RX3i 控制器的可扩展性,最多可实现 40 排座椅的实时同步控制,轻松实现整个车厢座椅转向的控制。继而,本研究利用多台 PAC RX3i 控制器联网通讯,实现对整列列车的所有节车厢采用并行控制,能有效提高效率,节约人力资源。该系统具有的集成性、扩展性对今后的工程应用具有很强的实践指导意义。

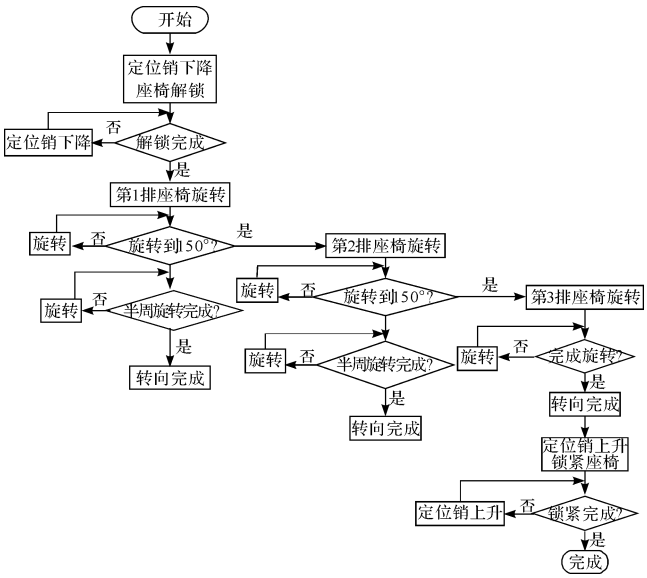

图 10 三排座椅自动转向程序流程图

参考文献(References):

[1] GE 智能平台公司. 控制系统解决方案[K]. GE 智能平台公司, 2010.

[2] GE 智能平台公司. 运动控制解决方案[K]. GE 智能平台公司, 2010.

[3] 蔡　挺,张立炜. 列车座椅骨架旋转装置:中国,20062004 3579.0[P]. 2006-07-03.

[4] 肖艳荣. 引进的高速列车座椅的结构及技术特点[J]. 铁道车辆,2008,46(9):16-19.

[5] GE Fanue Automation North America, Inc. PAC System Rx3i 系统手册: GFK-2314[K]. GE Fanue Automation North America, Inc., 2004.

[6] GE Fanuc Intelligent Platforms. PACMotion™ Multi-Axis Motion Controller User's Manual, GFK-2448[K]. GE Fanuc Intelligent Platforms,2008.

[7] 程子华,PLC 原理与编程实例分析[M]. 北京:国防工业出版社,2007.

[8] GE 智能平台公司. Serv Products Specification Guide, GFH-001F[K]. GE 智能平台公司,2010.

[9] 吴　平,张新超,PAC 技术的发展现状及其应用前景[J]. 电气传动,2006,36(3):44-47.

[编辑:李　辉]