

# 中国智能电网发展建议

傅书邈

(中国电力科学研究院, 北京市 100192)

**摘要:**介绍了智能电网的简单定义及其目标和功能。根据智能电网的有关资料并结合中国电网的具体情况,提出了在发电、输电、配电方面实施先进的智能电网技术的建议,包括预防大面积停电、推进电力市场化、实施节能减排、发展和应用超导技术、研究大容量储能技术,以及配电网需增加停电管理功能、高级量测体系、开放式设计和可再生能源接入等。

**关键词:**智能电网; 输电网; 配电网; 可再生能源接入

**中图分类号:** TM73

## 0 引言

智能电网在电能从发电厂送到用户的整个过程中(包括发电—输电—配电—用电),充分利用现代数字技术,达到节能和降低成本、增强运行的可靠性和改善环境质量<sup>[1]</sup>的目标。简言之,智能电网就是电网的现代化。

智能电网代表一种对长距离输电网和配电网的数字化升级,从而优化电网的运行状态,并便于各种清洁能源的接入。利用可靠的双向通信技术、先进的传感器和分布式计算技术,智能电网将改善电力传输和用电的效率,提高电网的可靠性和安全性,降低故障停电损失。

智能电网是一系列有关技术的总称,而不是一种具有广泛接受的规范的特定名词。智能电网的优越性包括:高峰负荷时能在用户侧减少电能消耗,即需求侧管理(DSM);允许分布式电源(光伏阵列、小型风力电机、小水电,甚至装在建筑内部的热电联合循环发电机)的接入;为平衡新能源功率变化配置所需的储能装置;能消除或抑制大面积停电故障。由于智能电网提高了电网运行效率和可靠性,将为用户节省电费并减少污染的排放。

当前,智能电网建设才刚刚开始,各国均按照自身的需求而建设,没有公认的模式。本文根据中国电网发展和电力工业的具体情况,阐述对智能电网建设的思考。

## 1 智能电网的目标

智能电网建设的目标可归纳如下:

1)增强电网的可靠性,提高效率和安全性,预防

事故,减少碳排放,降低电价。

2)允许用户自由选择供电方,允许分布式发电,或者太阳能、风能、生物能等大型新能源对大用户直接供电。

3)实现分布式发电的即插即用,为用户提供交互式工具,方便能源的管理和使用,使家庭用户既是用电方又是供电方。

4)由于可再生能源相关制造产业的发展,如插入式电动车、太阳能板、风力电机、能源存储装置的制造等,将会创造出更多新的就业岗位。

## 2 智能电网的功能

未来中国智能电网应具备以下功能:

- 1)自愈功能,减少因事故跳闸而引起的损失。
- 2)抵抗各种袭击(事故、天灾)。
- 3)提供高质量的电能。
- 4)适应各种发电设备和储能设备。
- 5)鼓励用户积极参与电网的运行。
- 6)促进电力市场的发展。
- 7)提高电网运行效率。

## 3 建设智能输电网的几点建议

### 3.1 预防大面积停电

电网安全运行的最大威胁是大面积停电。中国已实现全国联网,曾经发生过局部的大面积停电,也曾进行过防止大停电的故障解列与恢复控制的研究<sup>[2]</sup>。但由于当时还没有相量测量装置(PMU),仅能依靠监控与数据采集(SCADA)系统送来的数据,响应速度难以满足要求。如今 PMU 技术已经普及,建议在 500 kV 及以上电压等级母线及重要发电厂都安装 PMU,并积极研发新型的防止大停电

事故的故障检测、最优解列点、自动切负荷、智能恢复控制等软件,在各大区电网和国家电网实施应用。这对于提高电网的运行可靠性、防止大面积停电事故是非常重要的。

### 3.2 推进电力市场化

国外经验证明,实现电力市场可以提高电网运行效率,降低电网总的燃料消耗,节约购电费用。中国过去几年因为缺电,电力市场改革虽然取得了一些经验,但由于备用容量不足,难以真正取得实效。如今,由于国际金融危机影响,中国电网的供需矛盾全面缓解,正是实现电力市场改革的大好时机。建议尽量采用国外电力市场的一些新技术,例如混合整数规划法的安全约束机组组合算法等技术<sup>[3]</sup>,可节约煤耗、减少 CO<sub>2</sub> 排放,实现节能减排。

根据过去的经验,中国电力需求总是经历缺电—丰电—再缺电的周期波动。目前正处于丰电时期,要警惕经济复苏后,再进入缺电周期,给国民经济造成损失。建议学习巴西的经验,在发电公司与用电单位间订立双边期货合同,对双方都有约束<sup>[4]</sup>。

### 3.3 实施节能减排

中国有较为丰富的煤炭资源,而其他能源资源有限,如水电资源到 2030 年即将开发完毕、石油和天然气需要进口、铀资源较少等。因此,在未来 20 年~30 年以内仍将继续以煤电为主(约占总发电量的 60%~70%),但是煤电的效率不高,且会造成环境污染。解决这个问题的最好方法是积极推广整体煤气化联合循环(integrated gasification combined cycle, IGCC)发电技术。这种技术的优点是:提高燃煤效率;减少 CO<sub>2</sub> 的排放(还可以回收),有利于环保;用水量约比同容量的机组少 1/3;可以用于现有燃煤发电厂的增容和优化改造<sup>[5]</sup>。IGCC 电厂的缺点是投资成本比同容量的燃煤电厂高 20%左右,而且技术比较复杂。

目前,世界上已建和在建 IGCC 电厂有 33 个。其中中国有:烟台 IGCC 示范工程,300 MW~400 MW,2010 年建成;华能 GreenGen IGCC 示范工程,第 1 阶段 250 MW,第 2 阶段 300 MW~400 MW,计划分别于 2010 年、2015 年建成,造价估计为 1 000 美元/kW,比国外造价低 20%~30%<sup>[6]</sup>。

建议在 2 个 IGCC 示范工程完成后,新建设的燃煤电厂尽量采用 IGCC 发电技术,原有的没有装设脱硫装置的老电厂尽量实现 IGCC 的增容改造。争取在中国的自然环境中永远是蓝天白云和碧水青山,酸雨永远消失。

### 3.4 发展和应用超导技术

目前,中国的高温超导技术研究进展迅速。中国科学院和清华大学等单位的高温超导研究不断打破世界纪录,其中清华大学研究的铋系高温超导(已达 -196 °C)线材已在北京英纳超导技术有限公司投产<sup>[7]</sup>。建议充分利用科学家在高温超导研究中取得突破的成果,建立类似美国的高温超导试验工程并进行应用研究,对于未来的输电技术必然有重要作用。

### 3.5 研究大容量储能技术

中国正在大力发展风能、太阳能等清洁能源,但是这些新能源都是不连续或间歇式的,小水电也受气候的影响,雨天大发而旱天不发。这些电源都需要有储能装置与其配套。对于容量小的间歇式电源可以用蓄电池等装置来存储,但对于大的间歇式电源就需要研制大型的储能装置。

一种可能的方案是利用富余电能电解水产生氢和氧,当需要能量时再通过燃料电池把氢和氧转变成电能。目前,工业用的水电解器的效率在 60%~80%之间,通过燃料电池产生电能的效率约在 45%~65%之间,燃料电池的技术目前还处于试验阶段,所以还需要对这种方案作大量研究。

新型蓄电池的研究近年来发展很快。例如英国 Regenesys Technologies 公司正在采用多硫化钠/溴液流电池(polysulfide/bromide flow battery, PSB)建设一座 15 MW/120 MW·h 的储能电站,其净效率约为 75%。钠硫(NaS)电池具有较高的储能效率(约 89%),同时还具有输出脉冲功率的能力,输出的脉冲功率可在 30 s 内达到连续额定功率值的 6 倍,这一特性使 NaS 电池可以同时用于电能质量调节和负荷的削峰填谷调节,从而提高整体设备的经济性。日本目前采用 NaS 电池技术的储能示范工程有 30 多处,总储能容量超过 20 MW,可用于 8 h 的日负荷峰谷调节。这些技术都可以用于存储风能、太阳能等间歇式供电的电源<sup>[8]</sup>。

压缩空气储能也在研究中。在电网负荷低谷时利用电能压缩空气,当需要电能时利用压缩空气加上一些燃气驱动燃气轮机发电。这种方式需要大容量的储气设备,国外通常利用废矿井或天然溶洞存放压缩空气。美国与德国已建成 3 处这样的工程,发电容量分别为 110 MW,290 MW,2 700 MW。其中 110 MW 的电站于 1991 年投产,建设周期为 30 个月,耗资 6 500 万美元。这种储能技术的缺点是必须靠近废矿井或天然溶洞。中国可以研究较小型的压缩空气储能装置(利用储气罐来存储压缩空气

气),与新能源配套使用。

#### 4 建设智能配电网的几点建议

中国建设智能配电网应从建设配电管理系统(DMS)开始。DMS的功能应包括:故障检测隔离与恢复系统(FDIR)、电压与无功控制、网络拓扑、三相潮流、安全分析、负荷建模与预计、操作顺序管理以及其他离线功能等。在DMS的基础上还应增加以下功能:

##### 1) 停电管理系统

停电管理系统(OMS)就是在城市的地理信息系统基础上显示配电网的接线和实时信息,有助于迅速确定故障地点,缩短检修时间。过去国内有科研单位曾进行过研究,有些运行单位也曾从国外引进过一些OMS,并在局部试运行。困难在于配电网的实时信息量太少,特别是缺乏及时、有效的通信手段,难以取得实效。如今有了先进的无线通信网技术,如家庭局域网(HAN)、WiFi等,以及高级量测设施(AMI)<sup>[10]</sup>,包括智能电表、智能传感器、智能开关和控制系统,使得上述困难比较容易解决,只是需要配套设计和投资。国外已有不少配电网OMS实现了实时运行<sup>[9]</sup>,并可在因特网上公示,人们可以在因特网上非常方便地查看相关的实时信息。

##### 2) AMI

AMI包括各种智能元件,如智能电表,智能温度、电流、电压、开关位置等传感器,以及通信和量测数据管理系统、用户信息系统,能够按主站请求或定时从智能电表通过双向通信网读取、采集和分析智能电表的读数。主站也可以向各类用户发送信息,例如不同时间的实时电价,这样可以鼓励用户降低在高峰负荷时的用电量,达到用户侧负荷管理的目的。

在国外,由于多数家庭往往住在一个个独立的房屋里,所以AMI是为家庭的负荷管理而设计的。在中国的城市中,往往许多家庭住在同一栋大楼里,所以AMI用于每个家庭并不现实,建议首先可用在工业用户、商业用户、公司办公大楼和小区中,以实现削峰荷和节电的目的。由于配电用户量大面广,推广这项技术需要大量的投资和工作量,但是因为可以节电,投资的成本几年后就可回收。

##### 3) HAN

HAN是一种在用户家庭内可以连接各种数字设备的局域网,如智能电表、家用显示设备、智能温度控制器、开关、家用电器和管理软件等。通信方式可以是电话线、电力线载波、光纤、高频无线,但主要

是无线宽带,经过路由器与因特网连接。这种技术对推广AMI的应用很重要,中国应当抓紧研究,制定通信标准(关于采用什么通信标准,目前在热议中,欧洲可能倾向于通用分组无线电业务(GPRS),美国可能倾向于WiMax<sup>[11]</sup>),以便取得经验后推广应用。

##### 4) 开放式设计

由于一个智能电网从计划到投入运行往往需要几年时间,各种新的功能只能逐步投入,不可能一次建成,所以智能电网的结构设计必须是开放式的,必须容易接入新的功能。因此,必须采用标准化的开放式数据库和数据交换接口,例如公共信息模型(CIM)、面向服务的架构(SOA)、简单对象访问协议(SOAP)以及电力公司的服务总线等,通过一个标准接口实现信息交换,利用标准化的基于Web的用户接口可以在不同平台上显示所需的信息,实现信息共享<sup>[12]</sup>。

##### 5) 可再生能源的接入

根据国家发改委计划<sup>[13]</sup>,中国可再生能源(包括风能、太阳能、小水电等)到2010年将达到全国装机容量的10%,2020年将达到15%。其中水能为300GW,风能为100GW~150GW,太阳能为1800MW。目前风电装机容量已达到1200MW,居世界第4位。所有这些可再生能源都是间歇性的,会对智能电网的运行造成一定冲击。此外,混合动力汽车已经在中国成批生产,预计未来会越来越多,也会对电网运行造成影响。在建设智能电网时,必须考虑这些不确定因素的影响。

不同的可再生能源其发电出力的特性也不同,例如:风电出力的特性受风速的影响;太阳能受阳光照度的影响;小水电往往没有遥测也没有遥控,水来了则大发,天旱则不发,也是一种不确定电源。但这些电源的特性都与气象有关。因此,需重点加强风力预报以及风力发电功率的预报;必须有备用容量维持系统出力与负荷的平衡,且必须能快速调整,跟上风力的变化。水电、抽水蓄能电站、燃气轮机和快速调峰火电站可用来实现系统的平衡。

## 5 结语

纵观当今世界,发达国家竞相建设智能电网。在输电网方面,主要是推广应用灵活交流输电系统(FACTS),广域量测、预警和分析技术,故障解列与恢复策略,以及电力市场等。目前还没有一个大的输电网宣称已经建成了智能电网。而在配电网方面则比较活跃,国外已有至少2个城市的配电网宣

称建成了智能电网,其他有几十个智能配电网正在建设中。但是这2个已经建成的智能电网主要是把大量旧的电能表换成了智能电表,其他功能也还在规划中。中国是发展中国家,国情与发达国家不同。为此建议:

1)讨论和研究一个适合中国国情的智能电网发展目标,供有关单位参考,以便少走弯路,尽快实现安全、节能、环保的智能电网目标。

2)在建设智能输电网方面,目前主要是尽量采用已成熟的新技术并抓紧进行新的发电、输电和储能技术的研究。

3)在建设智能配电网方面,应当先选一两个城市试点,成功后再推广。配套的智能设备、接口与通道必须先做好规划,一次配齐,否则无法取得实际效果。

### 参考文献

- [1] Smart grid [EB/OL]. [2009-03-01]. [http://en.wikipedia.org/wiki/smart\\_grid](http://en.wikipedia.org/wiki/smart_grid).
- [2] FU Shutu, CHEN Jingcheng, CHEN Kaiyong, et al. Implementation of an on-line intelligent system to prevent a system blackout //Proceedings of International Conference on Power System Technology, August 18-21, 1998, Beijing, China.
- [3] 李晓磊,周京阳,于尔铿,等.基于动态搜索线性混合整数法的机组组合新算法.电力系统自动化,2008,32(21):18-21.  
LI Xiaolei, ZHOU Jingyang, YU Erkeng, et al. Linear mixed integer programming algorithm for unit commitment based on dynamic search. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(21): 18-21.
- [4] 傅书通,王海宁.关于停电问题的研究与对策.电网技术,2005, 29(3):5-8.

- FU Shutu, WANG Haining. A study on energy shortage problems and proposed counter measures. Power System Technology, 2005, 29(3): 5-8.
- [5] 赖坚.积极推广煤气化联合循环(IGCC)发电技术.燃气轮机技术,2004,17(2):1-3.  
LAI Jian. Promoting application of integrated gasification combined cycle (IGCC) power generating technology. Gas Turbine Technology, 2004, 17(2): 1-3.
- [6] 许世森. IGCC 现状与发展 [EB/OL]. [2009-05-01]. <http://www.tpri.com.cn/3kyjg/wangye2/news/2006112102.pdf>.
- [7] 我国高温超导研究取得重大突破 [EB/OL]. [2009-05-01]. <http://news.tsinghua.edu.cn/new/news.php?id=513>.
- [8] 程时杰,文劲宇,孙海顺.储能技术及其在现代电力系统中的应用 [EB/OL]. [2009-03-11]. <http://www.gongkong.com/webpage/paper/200606/4-B718-F3627D742E37.htm>.
- [9] Outage management system [EB/OL]. [2009-03-12]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Outage\\_Management\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Outage_Management_System).
- [10] Advanced metering infrastructure [EB/OL]. [2009-07-12]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_Metering\\_Infrastructure](http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Metering_Infrastructure).
- [11] TAI H, HOGAIN E O. Behind the buzz: eight smart-grid trends shaping the industry. IEEE Power and Energy Magazine, 2009, 7(2): 96-97.
- [12] FAN J, BORLASE S. The evolution of distribution: to meet new challenges, smart grids need advanced distribution management systems. IEEE Power and Energy Magazine, 2009, 7(2): 63-68.
- [13] 陈德铭.《可再生能源法》一周年座谈会上讲话 [EB/OL]. [2009-07-12]. [http://www.ndrc.gov.cn/nyjt/nyzywx/t20070424\\_131310.htm](http://www.ndrc.gov.cn/nyjt/nyzywx/t20070424_131310.htm).

傅书通(1924—),男,通信作者,教授级高级工程师, CSEE 高级会员, IEEE 终身高级会员,主要研究方向:电力系统自动化与电力市场。E-mail: fushutu@epri.ac.cn

### Proposed Development of Smart Grid in China

FU Shutu

(China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

**Abstract:** This paper gives a short description of smart grid (SG) technology, its goal and functions. Based on the relevant references on SG and the conditions of power grid development in China, how to implement advanced SG technology for generation, transmission and distribution in China are proposed, including preventing wide-area blackout, promoting electricity marketization, implementing energy-saving emission reduction, developing and applying superconducting technology, and studying large capacity storage technology, as well as adding outage management function, advanced metering infrastructure, open design and renewable energy connection and so on in distribution grid.

**Key words:** smart grid; transmission power grid; distribution grid; renewable energy access connection

作者: 傅书邈, FU Shutu  
作者单位: 中国电力科学研究院, 北京市, 100192  
刊名: 电力系统自动化   
英文刊名: AUTOMATION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS  
年, 卷(期): 2009, 33(20)  
被引用次数: 8次

## 参考文献(13条)

1. Smart grid[期刊论文]-[http://en.wikipedia.org/wiki/smart\\_grid](http://en.wikipedia.org/wiki/smart_grid) 2009
2. FU Shutu;CHEN Jingcheng;CHEN Kaiyong Implementation of an on-line intelligent system to prevent a system blackout[期刊论文]-北京 1998
3. 李晓磊;周京阳;于尔铿 基于动态搜索线性混合整数法的机组组合新算法[期刊论文]-电力系统自动化 2008(21)
4. 傅书邈;王海宁 关于缺电问题的研究与对策[期刊论文]-电网技术 2005(03)
5. 赖坚 积极推广煤气化联合循环(IGCC)发电技术[期刊论文]-燃气轮机技术 2004(02)
6. 许世森 IGCC现状与发展[期刊论文]-<http://www.tpri.com.cn/3kyjg/wangye2/news/2006112102.pdf> 2009
7. 我国高温超导研究取得重大突破[期刊论文]-<http://news.tsinghua.edu.cn/new/news.php?id=513> 2009
8. 程时杰;文劲宇;孙海顺 储能技术及其在现代电力系统中的应用[期刊论文]-  
<http://www.gongkong.com/webpage/paper/200606/4-B718-F3627D742E37.htm> 2009
9. Outage management system[期刊论文]-[http://en.wikipedia.org/wiki/Outage\\_Management\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Outage_Management_System) 2009
10. Advanced metering infrastructure[期刊论文]-  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_Metering\\_Infrastructure](http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Metering_Infrastructure) 2009
11. TAI H;HOGAIN E O Behind the buzz:eight smart-grid trends shaping the industry[期刊论文]-IEEE Power and Energy Magazine 2009(02)
12. FAN J;BORLASE S The evolution of distribution:to meet new challenges,smart grids need advanced distribution management systems[外文期刊] 2009(02)
13. 陈德铭 《可再生能源法》一周年座谈会上讲话[期刊论文]-  
[http://www.ndrc.gov.cn/nyjt/nyzywx/t20070424\\_131310.htm](http://www.ndrc.gov.cn/nyjt/nyzywx/t20070424_131310.htm) 2009

## 引证文献(9条)

1. 孙家南,赵洋,韦莉,张逸成 基于系统辨识的电化学超级电容器建模[期刊论文]-高压电器 2012(9)
2. 薛晨,黎灿兵,黄小庆,唐升卫,刘琦 智能变电站信息一体化应用[期刊论文]-电力自动化设备 2011(7)
3. 王康,葛晓慧,辛焕海,甘德强 基于牛顿-拉夫逊法的光伏面板模型参数计算[期刊论文]-电力系统自动化 2010(20)
4. 韩冬,严正,宋依群,孙强,张义斌 基于系统动力学的智能电网动态评价方法[期刊论文]-电力系统自动化 2012(3)
5. 吴红斌,孙辉 蓄电池荷电状态预测的改进新算法[期刊论文]-电子测量与仪器学报 2010(11)
6. 唐巍,赵云军 农村电网智能化建设的思考[期刊论文]-电力科学与技术学报 2010(4)
7. 陈庆彬 智能电网岛屿试验分析及方案设计[期刊论文]-中国电力 2011(6)
8. 薛晨,黎灿兵,曹一家,李俊雄,谭益,刘屿 智能电网中的电网友好技术概述及展望[期刊论文]-电力系统自动化 2011(15)

9. 徐宏雷. 郑伟. 王维洲. 李学仕. 姚天亮 基于各电网子公司职能的智能电网三层空间架构探讨[期刊论文]-电力系统保护与控制 2010(21)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_dlxtzdh200920005.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dlxtzdh200920005.aspx)