

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1026.2012.05.001

# 2011 年 IFAC 第 18 届世界大会电力系统方面学术动态

高宗和

(国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司, 江苏省南京市 210003)

**摘要:** 介绍了国际自动控制联合会(IFAC)2011 年第 18 届世界大会电力系统部分的讨论情况,并对会议内容进行了分类归纳和简单概括;综合叙述了智能电网调度与控制、新能源并网、微电网、风力发电技术等重点议题,并对其中的一些典型文章进行了简单总结。

**关键词:** 国际自动控制联合会; 智能电网; 新能源并网; 微电网; 风力发电

## 0 引言

国际自动控制联合会(International Federation of Automatic Control, IFAC)成立于 1957 年 9 月,是一个自动控制领域的国际性、非政府、非赢利的学术组织,其成员以国家为单位。每个国家由一个国家委员会来代表,委员会由各国自动控制工程和科学协会的代表组成,中国自动化学会是 IFAC 的创始成员。作为一个服务性机构,IFAC 向各国传递会议信息,并定期组织国际会议。IFAC 世界大会在控制领域“奥运会”之称。第 1 届 IFAC 世界大会于 1960 年 6 月在莫斯科召开;以后每 3 年召开 1 届,1999 年第 14 届世界大会在北京举办。2011 年的世界大会是第 18 届,于 2011 年 8 月 28 日至 9 月 2 日在意大利米兰举行。来自美国、德国、英国、意大利、法国、韩国、日本、中国、澳大利亚、西班牙、瑞典、俄罗斯等 73 个国家和地区的 2 000 多位代表参加了这次学术盛会。本次 IFAC 世界大会共收到投稿 3 629 篇,录用 2 475 篇,并在 6 d 内对 446 篇文章进行了展板张贴,对 2 027 篇文章进行了交流讨论。

IFAC 组织设有 9 个协调委员会(CC),每个 CC 中包含 3~6 个技术委员会(TC)。在今年的 IFAC 世界大会上,一共有 40 个 TC 组织了专题,其中 16 个专题与电力系统领域直接相关,涉及论文 115 篇,讨论的主题有:智能电网与微电网、新能源并网、风力发电技术、先进电力系统控制等。其中,与智能电网相关的热点问题有:智能电网本身的物理构架、检测与测量技术,智能电网的安全稳定和能量管理技术,智能电网与可再生能源的融合及控制技术。在新能源与风力发电方面,风电机组的故障检测、风电并网以及相关的电网调度与控制技术

等也引起了各方面的广泛关注。

结合本届 IFAC 世界大会中有关电力系统方面的论文和讨论情况,本文对会议内容进行了分类归纳,并对其中的热点问题和典型文章进行了简单总结。

## 1 智能电网调度与控制

### 1.1 安全稳定控制

德国 Tobias Heb 等学者对热电联产系统的电压和频率稳定性进行了研究,指出热电联产发电厂可以对电力生产进行安全控制和调节,可以帮助有限的可再生能源(如风电和光伏发电)的并网。美国 Christopher L. DeMarco 等学者提出通过使用分布式存储技术来对电网的频率进行调节。美国 Adirak Kanchanaharuthai 等学者探索了通过控制储能来提高系统小干扰稳定性的技术。美国 S. Massoud Amin 等学者探讨了智能电网的安全性问题,指出智能电网作为一个复杂的动态网络系统,必须增强其结构安全性。其文章指出,虽然近期智能电网安全的主要目标是避免大范围的网络故障,但长期的目标则应是构建一个自适应的、鲁棒的电网。这一方面应该通过安装现代化的通信和控制设备实现,另一方面也必须在系统设计阶段就考虑电网的安全性。英国的 Xuejiao Yang 等学者认为现在的电力系统稳定器(PSS)控制器仅考虑本地的机电振荡模态,无法有效抑制区域间的机电振荡模态。为此,其文章设计了一种多机电力系统广域控制器,可应对不确定性通信时滞带来的问题。

针对大干扰下的电力系统控制问题,美国的 Miloš Cvetkovic 等学者提出了一种非线性控制方法。该方法通过控制储存在柔性交流输电系统(FACTS)中的能量来平抑发电机的振荡。与其他方法相比,该方法可以改善故障极限切除时间。为

同时提高电力系统的暂态稳定性和电压调节效果,澳大利亚的 M. J. Hossain 等学者针对包含动态负荷的电力系统,设计了一种新的鲁棒控制方法。

### 1.2 广域测量和保护

广域测量技术已经成为一种升级传统电网的重要技术。美国 M. M. Amin 等学者在其文章中阐述了广域测量技术在智能电网中的应用,指出利用相量测量单元(PMU)的广域测量系统,可有效提高电力系统整体的可靠性,避免连锁故障的发生。俄罗斯 N. I. Voropai 等学者的文章重点讨论了广域测量技术对于电力系统紧急控制的作用。该文章认为,新的测量、通信和控制工具的应用,以及信息和计算机技术的使用,可以大大提高电力系统的可控性,从而为建设现代电力系统紧急控制系统提供了条件。美国 Anthony M. Giacomoni 等学者提出了一种智能分布式安全控制架构,为配电系统提供了更具有自适应性的保护,可以对于干扰做出更为迅速的反应。所建立的模型考虑了诸如信息物理安全、动态价格和需求响应、传感与通信、动态优化等多种因素。塞尔维亚 Zoran M. Radojevic 和英国 Gary Preston 等学者提出了基于广域测量技术的输电线路故障定位方法,该方法的最大特色在于不需要知道线路参数。

### 1.3 电网调度与运行

大多数学者认为未来智能电网的运行会包括许多参与者,应该使每一个参与者都能参与到市场环境中来。葡萄牙 Zita Vale 等学者的文章认为,智能电网中较大的参与者由于具备足够的经济能力,可以获得合适的决策支持工具来参与市场,但是较小的参与者则难以获得这样的工具。针对此情况,该文章基于人工神经网络方法,为较小的市场参与者提供了一种资源调度工具。美国 Peizhong Yi 等学者提出了一种分布式机会调度方法,用于负荷侧管理。其文章的研究认为,最优的调度策略就是一种纯粹的阈值策略:当电价低于某一设定值时,所有用户均需合闸用电;否则就处于空闲状态。希腊的 John G. Vlachogiannis 和美国的 Kwang Y. Lee 等学者针对开放能源市场环境,研究了智能电网的最优运行问题。在其文章建立的市场模型中,计及了交易者、生产者、中间商和最终用户的行为,同时该文章还提出了近乎实时的有功调度和无功调度策略。韩国 Jinho Kim 等学者在需求侧管理程序方面有所创新,并在韩国实施了相应试点工程,以解决和改善传统的负荷管理问题。

## 2 新能源并网与微电网

### 2.1 新能源并网

德国 C. Ziems 等学者结合德国的情况,讨论了大规模可再生能源并网对电力系统的影响。其文章特别指出,光伏发电独特的时序出力特征将会对化石燃料发电厂的启停周期产生巨大的影响。美国 Anthony Papavasiliou 等学者提出了通过在并网可再生能源和电力现货市场方面订立契约,来给弹性负荷供电,以消减可再生能源的波动。其文章将契约描述为一个随机最优控制问题,目标是使得供电费用最小。香港 Yunhe Hou 等学者指出了风电并网后需解决的一些问题,包括备用计划、稳定评估、电压控制、优化运行等。日本 K. Yamashita 等学者讨论了风电并网的问题,介绍了将风电并入一个小岛电网(日本冲绳)后在频率稳定方面做的工作。意大利 G. Migliavacca、澳大利亚 H. Auer 和法国 S. Galant 等学者指出,随着接入电网的可再生能源越来越多,最初在配电网方面的关注已经或将要转移到对输电网的关注。其文章以欧洲智能输电网络为例,具体阐述了上述观点。

随着风电等新能源发电的并网规模不断扩大,电力系统网络面临着许多新的困难和挑战。在规划方面,清华大学胡泽春等学者改进了传统的输电网络规划方法,采用 Bender's 分解法对移相器和新增支路的选址进行优化,同时也计及了风电场弃风等因素。由于风电并入电网后,电网可靠性的评估也会变得更为复杂,韩国 Jaeseok Choi 等学者提出了一种新的计及风电不确定性的电网规划方法,该方法不仅考虑了线路和传统发电机的不确定性,还考虑了风电机组输出功率的不确定性。

受本届 IFAC 世界大会组委会邀请,国网电力科学研究院与东南大学共同做了“大规模风电接入下中国电网的调度与控制”特邀专题报告。专题报告以 6 篇会议学术论文为主线,全面介绍了中国近 2 年来在风电采集、监视、控制,以及风电接纳能力的优化与评估、风光储联合发电控制等方面的最新研究成果和试点应用工程,受到国外同行的广泛关注,并引发了深入的讨论与交流。针对中国风电发展和电力系统调度方面的问题,西北电网公司白兴忠等学者指出,应通过增强主干电网建设、研发风电能量管理系统、改善风电预测水平、进行风电和火电等统一协调调度以及引入新的市场机制等手段解决目前的风电接入问题。国网电力科学研究院高宗和等学者指出,中国目前采用的省级电网有功功率就地平衡控制模式不利于抵御大规模风电功率波动对

互联网造成的冲击,提出了在更大范围内消纳风电的区域电网集中控制模式,并从平衡方式、控制主体、资源调配、省际交换、安全约束和通信传输等几方面分析了这种控制模式的特点。东南大学张凯锋等学者指出,大规模风电接入后,在频率控制方面,应当按照3次、2次、1次频率控制的顺序应对相关问题,而在电压控制方面则按照1次、2次、3次电压控制的顺序。

## 2.2 微电网

由于可再生能源并网给电力系统带来很多目前难以克服的问题,众多学者将目光投向微电网。微电网作为既可以并网运行又可以独立运行的系统,对于提高电力系统运行的可靠性提供了较大的帮助。巴西 Carmen L. T. Borges 等学者提出了一种微电网的可靠性评估模型。在该模型中,各种分布式电源被视为网络协调运行中的一个代理,而非传统的分散电源。其文章采用随机模型来表示风电、光伏发电等的不确定性;通过建立储能充放电状态的特殊模型,将储能作为降低供电间歇性的有效手段。该文章认为,能否在并网和孤立运行2种模式下进行有效切换,是评价微电网可靠性的挑战性课题。对此,该文章通过建立混合模型,并基于蒙特卡洛仿真方法来进行处理。美国 C. M. Colson 等学者基于多代理技术研究了微电网的能量管理问题。其文章的重点在于探讨微电网能量管理问题的目标和约束,以及多代理的自组织和协调配合问题。

在微电网的控制和优化研究方面,意大利 Bruno Belvedere 等学者针对一个低压孤立运行的微电网(包括一个千瓦级的燃料电池、一个光伏模块和一个 100 A·h 的电池储能系统),研究了其内部器件之间的协调配合原则和具体控制策略。

## 3 风力发电技术

### 3.1 风电机组的控制

风电机组的控制主要涉及前馈控制、速度控制、故障穿越、最大功率点跟踪等。

前馈控制使得风电机组能够减少由于干扰和负荷变化所导致的影响。丹麦 Peter Fogh Odgaard 等学者的文章认为,虽然上游风电机组的风速等数据对于下游风电机组控制的优化具有明显的意义,但是由于紊流等因素,直接使用这些数据是有问题的。为此,该文章基于正交分解方法来提取信息,并将此用于下游风电机组的控制器设计。墨西哥 Miguel E. González 和西班牙 Juan Garrido 等学者则讨论了民用风电机组的多变量集中控制方法。通

过解耦和前馈补偿环节,所提出的控制方法可以有效克服湍流和负荷变化对风电机组运行造成的影响。

日本 Teruhisa Kumano 等学者讨论了利用静止同步串联补偿器(SSSC)和储能装置来提高风电场的故障穿越能力。其文章指出,在提高故障穿越能力方面,容抗比电阻效果好,SSSC 比静止同步补偿器(STATCOM)效果好,所需的 SSSC 的容量仅为 STATCOM 容量的一半。该文章同时指出,SSSC 不仅可以改善风电场的故障穿越能力,还可以改善风电场的电能质量,这是其他装置难以做到的。加拿大 M. Soliman 等学者则针对双馈风电机组,通过使用动态串联电阻,并基于多变量模型预测控制方法,来提高风电场的故障穿越能力。

法国 Jean-Yves Dieulot 等学者的文章指出,风电机组运行时往往会遭受到难以抑制的机电振荡。为此,该文章设计了一种新的最大功率点跟踪方法,它使用延迟的转矩反馈量,通过对延迟时间进行适当设计,可以补偿原来没有被抑制的振荡模态,兼顾到了振荡抑制问题。

克罗地亚 Vedrana Spudic 等学者的文章指出,风电场运行时一方面需要跟踪调度指令,另一方面要尽量减少由于湍流等造成的风电机组机械损耗。该文章基于参数规划方法给出了一种满足上述2个方面要求的风电场控制策略。针对风电机组的控制问题,罗马尼亚 A. Pintea 和法国 N. Christov 等学者提出了一种线性二次高斯(LQG)控制器,该控制器可以实现风电机组的最优运行,同时能够在减低叶片振荡和杆塔弯曲变形2个方面达到折中的效果。

### 3.2 风电机组的故障检测

风电机组的故障检测是风电发展中一个亟待解决的重要问题。风电机组故障检测是通过振动信号分析而得出的,而振动信号非常复杂,包含的噪声较多,同时还受到各种激励和干扰信号的影响。如何从这些信号中提取到反映风电机组运行的状态参数,并且避免误报和漏报,成为众多学者重点关注的问题。

对于风电机组故障的诊断,目前主要有2种方法:一种是基于数据的,一种是基于模型的。基于数据的方法主要参考历史数据,需要风电场具有较完善的数据记录,并采用统计学相关方法进行特征量的识别。在这一思路下,法国 Nassim Laouti 等学者使用支持向量机(SVM)来对故障进行检测和隔

离。SVM 以数据为基础,对具体的过程知识具有鲁棒性。更多学者则关注基于模型的故障检测方法,普遍采用了 Odgaard 提出的风电机组基准模型,并在此基础上提出了相关的故障检测和隔离方法。

美国 Pierluigi Pisu 等学者基于 H 无穷优化方法研究了风电机组的故障检测与隔离。美国 Ahmet Arda Ozdemir 等学者将航空工业中用于故障检测设定阈值的加减计数器方法用于风电机组的故障检测。而对于如何提高故障检测与隔离系统的可靠性,瑞典 Carl Svård 等学者针对一个典型的风电机组,提出了一种可自动设计故障检测与隔离系统参数的方法,可以较大程度避免人为选择参数对结果的影响。法国 Florin Stoican 等学者则基于集论方法研究了风电机组的故障检测。来自美国、英国和意大利的 Xiaodong Zhang, Riccardo Ferrari, Marios M. Polycarpou 等学者则针对相应的故障场景设计了不同的故障估计器。

#### 4 结语

本次 IFAC 世界大会延续了近年来世界范围内

关于智能电网、新能源并网与微电网、风力发电等热点问题的讨论,表明了全球控制领域和电力系统领域对于智能电网建设和新能源发展的高度关注。电力系统的安全稳定和经济运行,依然是所有学者孜孜不倦追求的目标。而在如今全球大规模风电、光伏发电等可再生能源的发展下,电力系统也面临着新的挑战。间歇性电源接入后,如何控制才能使电网运行更安全和经济;多种电源接入以及电动汽车等负荷侧的灵活参与,如何控制使电网运行更经济;先进电力系统控制技术的发展,又会给电网控制带来怎样的新变革。相信以上问题在世界范围内经受的反复讨论和研究,同样会给国内电力系统领域的研究带来启示。

---

高宗和(1962—),男,研究员级高级工程师,主要研究方向:电力系统自动化、新能源调度与控制。E-mail: gaozonghe@sgepri.sgcc.com.cn

### The 18th World Congress of IFAC in 2011 on Academic Trends of Power Systems

GAO Zonghe

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** A general description of the 18th International Federation of Automatic Control (IFAC) world congress on power systems is made, and the contents of the panel sessions are classified and summarized. The key subjects are reviewed, including control and dispatch of the smart grid, integration of renewable energy, microgrid and wind power generation technologies. Meanwhile, some representative papers are abstracted and reviewed.

**Key words:** International Federation of Automatic Control (IFAC); smart grid; integration of renewable energy; microgrid; wind power generation

## 国家能源局等三部门联合启动 2012 年金太阳示范工作

国家能源局、财政部、科技部日前联合下发通知,启动 2012 年金太阳示范工作,加快国内光伏发电规模化应用。2012 年金太阳示范工作支持范围包括:在经济技术开发区、高新技术开发区、工业园区、产业园区、商业区进行集中建设的用户侧光伏发电项目,优先支持建设规模较大的集中成片示范项目和已批准的集中应用示范区扩大建设规模;利用工矿、商业企业既有建筑等条件分散建设的用户侧光伏发电项目;开展与智能电网和微电网技术相结合的集中成片用户侧光伏发电示范项目;解决偏远无电地区居民用电问题的独立光伏、风光互补发电项目等。对于补助标准,2012 年用户侧光伏发电项目补助标准原则上为 7 元/W,对确实不能实现合理收益的项目,可由项目单位申请调整或取消。独立光伏、风光互补发电等项目的补助标准另行确定。与智能电网和微电网技术相结合的集中成片用户侧光伏发电项目补助标准在 7 元/W 基础上,考虑储能装置配备等因素适当增加。