

# 智能电网的推动因素、研发路线和难点问题

王明俊

(中国电力科学研究院,北京 100192)

**摘要:**抓住智能电网的主要方面,研究我国建设智能电网的实施策略。在阐述智能电网几个主要特征的基础上,分析了国内外推动智能电网的几个主要因素,以及两条异途同归的研发路线,讨论了当代电网研发多年未果、智能电网尤需解决的事件启动快速仿真决策和控制系统协调自适应难点问题。

**关键词:**智能电网;智能电表;节能减排;分布式发电;分布储能;需求响应

**中图分类号:**TM76 **文献标识码:**B **文章编号:**1006-6357(2009)04-7

## Promotion Factors, Research and Development Routes and Difficult Problems of Smart Grid

WANG Mingjun

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

**Abstract:**In the key respects of Smart Grid, the implementing strategy of the Smart Grid construction in China is investigated. Based on the foundation of several key features of Smart Grid, this paper analyzes several key factors to promote Smart Grid construction home and abroad, two different R&D methods with the same target, discusses the difficult self-adaptation problems in the control system coordination, the quickly event-started simulation decision-making, which has been researched for many years but failed to achieve any progress in present network, and is needed to resolve in Smart Grid particularly.

**Key words:**Smart Grid; intelligent meter; saving energy and reducing emission; distributed generation; distributed energy storage; demand response

## 1 智能电网的主要特征

智能电网全面覆盖发电、输电、配电、用电和电力市场,含括一、二次系统,很难用一个简明的统一定义来表述。但智能电网有别于常规电网的几个主要特征,已逐步形成共识。

1) 自愈。电网故障时,事件启动快速仿真决策来实现故障隔离,避免或缩小停电范围。智能电网在故障区内,通过由分布式发电、分布储能和需求响应(DR)资源组成的分布能源提供辅助服务,而不是被动地坐视“离线整定、实时动作”的继电保护和(或)稳定补救装置自行发展。

2) 供需互动。智能电网通过供需关口、上下双向通信提供用电和市场信息,并与用户住宅内的室内网络相连的智能电表,实现供需双方互动。智能电网促使所有大、中、小用户通过需求响应来改变自己的用电方式、主动参与电网管理和市场竞争,并可获取相应的经济利益,而不是象以前那样被动地仅执行所定的电价。

3) 推动节能减排发展。为了应对能源和环境的挑战,配电领域的风能、太阳能、地热能等可再生能源,相应的分布储能和插入式电动汽车等都发展很快,电网结点和不定因素大幅度增加。智能电网的研发,将节能减排积极地纳入电网和市场的监控管理中,而不是作为单向的负荷效应和负荷控制处理。

4) 协调与自适应控制。智能电网环境下,分属于发电、输电、配电、用电各个环节,无论是正常状态下的高压/低压发电优化、市场运作,还是紧急状态下的灵活分区网络重构,都涉及到集中控制系统(能源管理系统 EMS/需求侧管理 DMS 等)的相互协调和分布控制系统(继电保护/就地无功补偿/稳定补救装置等)的自适应问题,而不仅是集中控制系统各司其职、分布控制系统“离线整定、实时动作”。

5) 资产优化管理。智能电网实现对电网资产规划、建设、运行维护等的全生命周期优化管理,并运用市场机制,通过供需互动、推动节能减

排等,提高发电效率、降低电网损耗,解决负荷率不高、设备闲置等问题,有效提高资产利用率,降低运行成本,减少或推迟投资,而不是单纯的设备管理。

本文在描述智能电网主要特征的基础上,就智能电网的推动因素、研发路线和难点问题进行分析和讨论,试图得出一些有益于我国研发智能电网的启示和借鉴。

## 2 推动智能电网研发的主要因素

当代,由于以下几个主要因素的推动,智能电网的研发已不是一个需不需要的问题,而是何时研发、如何研发的问题。

### 2.1 全球性环境和能源的挑战<sup>[1]</sup>

能耗和 CO<sub>2</sub> 排放导致全球气候变暖,已是一个不争的事实。《联合国气候变化框架公约》提出的最终目标是:“将大气中温室气体的浓度,稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上”。

1) 等效 CO<sub>2</sub> 的排放,主要来自发电厂、交通、工业、商业和住户。其中发电厂和交通的等效 CO<sub>2</sub> 排放所占比例最大,且因国情而异,如美国发电厂和交通的等效 CO<sub>2</sub> 排放所占比例均为 33%。这也是风能、太阳能、地热能等可再生能源和插入式电动汽车得以重视发展的一个重要原因。

2) 能源方面。根据预测 2050 年全球能源消耗将翻 3 倍,这除了导致发电燃料价格的上涨外还将迫使电价上扬。因此,各国更加重视、直至立法来推动各种可再生能源的发展。如美国加州领先要求可在再生能源的比例,从当前的 2% 提高到 2010 年的 20%、2020 年达 33% 的目标。目前,插入式电动汽车的大规模采用尚有待时日,但据美国太平洋西北国家实验室研究,美国现有的发、输、配电系统如每天 24 h 得到优化使用,可足够支持插入式电动汽车替代高达 73% 的燃油汽车,减少 52% 的石油进口量。

可见,全球性环境和能源的挑战,推动了智能电网的研发,以解决含可再生能源在内的各种类型分布式发电以及插入式电动汽车进入电网和市场后所引发的各种问题。

### 2.2 电网的安全、高效运行

据美国国家工程技术研究中心(NERC)对美

国 1984~1997 年(包括 1996 年“8.10”大停电)的电网停电事故统计可知,美国每年影响 1~10 万用户的停电次数为 5~10 次,影响 10~100 万用户的停电次数为 1~5 次,影响 100~1000 万用户的停电次数为 0.1~1 次。其中,40% 的大停电是由级联事件演变而成<sup>[2]</sup>。当代电网的安全控制中,紧急状态下的紧急控制主要由“离线整定、实时动作”的继电保护和(或)稳定补救装置来实现。这些自动装置除了不具备事态发展的评估能力外,当离线模拟和在线实际出入较大时,还可能发生诸如保护动作过慢导致震荡,或发生不必要的解列等问题。因此,必须通过加强正常状态下动态安全评估的预防性控制,及时予以修正。

突出自愈功能的智能电网,能够采用在线的快速仿真、评估事态发展、决定是否隔离、如何分区等。自愈功能除了能制止或缩小事态的扩大外,并能够在故障区内,通过分布能源提供的辅助服务,至少保证用户的基本用电。

智能电网主动灵活分区实现故障隔离,具有潜在的巨大效益。经对 WECC 179 母线电网(发电 61 410 MW、负荷 60 785 MW)仿真验算可知,该电网某线路故障相继越限跳闸,可能导致系统崩溃。如告警后分为两个区,其中 1 区供电 35 685 MW、无线路越限;2 区卸负荷 312 MW、供电 1 786 MW,总卸负荷率仅为 0.51%。

传统电网存在的另一个问题是运行效率不高。如美国,2001 年的平均发电热效率为 33%、输电损失达 9.5%、负荷率为 55%,相当于 45% 的电力设备在非峰荷期间闲置未用。

智能电网除通过优化运行和资产管理、提高设备使用率、降低运行成本外,主要是推广位置处于负荷点、高效环保的可再生分布能源,支持诸如插入式电动汽车的储能应用。此外,还采用高性价比的新技术,如高温超导、储能、和电力电子技术等,对传统电网进行改造或适应电网的发展。其中,高温超导(HTS)技术,可以通过狭窄通道向远方传输大量电力,而电网损耗及电压降几乎为零。美国能源部与 Southwire 公司合作的 HTS 示范工程,已于 2000 年 2 月在亚特兰大投入运行。

### 2.3 供需互动的需求响应双向服务

传统电网、特别是电力垄断经营时期的发、

输、配、用电,是从上而下的单向供需关系。那些由用户控制启停的自备电厂或量大面广的可再生能源发电的电源,都被视为是虚拟负荷,即使接入配电系统,也不参与自动发电控制,甚至在配电网侧安装逆功率继电器,正常时不向电网注入功率。随着电网的发展,这些分布式发电直接或间接纳入需求侧管理,在开源节流、改善负荷曲线方面发挥了积极作用,但单向的供需关系基本未变。

对电网而言,分布式发电的启停可以看成是虚拟负荷的减少和增加。同样,负荷的减少和增加也可等效于虚拟发电的增减。随着电力市场的深入发展,负荷相当于是潜在功率产品的价值正日益凸现。智能电网下需求侧管理将向需求侧竞价发展,单向的供需关系将形成双向的供需互动。

实际上,需求侧竞价(DSB)是需求侧管理的一种实施机制,它使用户能够通过改变自己的用电方式主动参与市场竞争,获得相应的经济利益,而不象以前那样被动地执行所定的电价。也可以说,DSM是长期改变负荷特性的行为和机制,大多是政府驱动。而DSB是基于市场的短期负荷响应行为和市场机制,主要由市场驱动。

参与需求改变量的竞争,既可以竞价增负荷,也可以竞价减负荷。但为了实现DSB产品的规模效应,一般只有兆瓦级以上的大用户、或是多个同行企业通过集总代理才直接参与需求竞价,小用户则是通过其供电商作为代理间接参与需求竞争。

DSB产品的用途,除与发电商之间的双边合同外,还包括各种形式的辅助服务(频率控制、电压控制、备用和黑启动)、参与可中断供电合同或峰谷电价计划、在平衡市场中竞价增减出力,以及缓解输配电阻塞等。值得注意的是,需求侧响应的瞬时性明显优于发电机,而其价格却仅为新建峰荷时发电厂的 $1/4\sim 1/3$ 。

可见,供需互动的需求响应资源,通过双向服务,达到供需双赢,已成为推动智能电网研发实施的一个重要因素。但供需互动的效益,必须以开放供用电市场为前提。否则,供需关口、上下双向通信的智能电表将无用武之地。

#### 2.4 高性价比的经济效益和社会效益

推动智能电网研发实施的又一个重要因素,是投入产出的高性价比,这也是智能电网所追求

的一个主要目标。智能电网的几乎每个环节都具有巨大的经济效益和社会效益。

1) 据美国电科院EPRI估计,美国未来20a需投资1650亿美元的智能电网,实现后的综合效益可达6280~8020亿美元。奥巴马的顾问在一份科技投资对就业影响的报告中分析,投资100亿美元建设智能电网,可创造23.9万个就业岗位。

2) 据称,智能电网使美国电网的效率每提高5%,相当于减少5300万辆汽车的燃料消耗和CO<sub>2</sub>排放。

3) 可再生能源发电方面。以美国加州2020年要求可再生能源比例达33%为例,将减少11%的碳排放。

4) 插入式电动汽车的发展。美国现有的发、输、配电系统,如可24h优化使用支持插入式汽车的电动用电,则可替代73%的燃油汽车,将减少约24%的碳排放和52%的石油进口。

5) 输电方面。美国计划使用超导输电技术,跨越4个时区传送电力。第一条高温超导电缆,已于2008年4月投入运行。与同样直径的铜导线相比,其输电能力提高150倍。

6) 配电方面。美国和墨西哥的电力公司和终端用户,每年将安装100多万台配电变压器,如采用高效非晶质铁芯技术,每年可节约7.5亿kW·h,相当于减少46.5万t的CO<sub>2</sub>排放或将9万辆汽车从公路上移去。

7) 供需互动支持的需求响应双向服务,潜在效益更大。如美国通过DR进行调峰,可减少发电47000MW,相当于每年减少1.06亿t的CO<sub>2</sub>排放。同时,用户方面也可减少15%以上的高峰负荷和10%以上的用电总需求。

8) 需求响应资源辅助服务,效益十分显著。如应对突然的频率下降,除发电机提供功率支持外,需求侧也可响应频率的变化。而且实践表明,需求侧响应的瞬时性,明显优于发电机。英国的电力市场,就有13个水泥制造企业通过集总代理与输电系统运行人员签订双边合同,减少最大瞬时负荷达110MW。此外,需求响应资源辅助服务的性价比较高,也是其取得快速发展的另一个重要原因。据美国Baltimore煤气电力公司BGE实算,需求响应资源的价格为每千瓦165美元,为

新建峰荷时发电厂的 1/4~1/3。并预言今后若干年内,需求响应资源将是保证供电可靠性性价比最高的一个有力措施。

### 3 智能电网的研发路线

智能电网研究的几个特征和推动因素,基本上也是当代电网所寻求改进的发展方向。其次,智能电网的研发和实施与当代电网的改进和发展,同样都必须依靠监管法规的推动和市场机制的激励。此外,智能电网的研发实施和当代电网的改进发展在发电、输电、配电、用电之间也没有必然的先后顺序联系,甚至可以从供用电领域入手,先行建设城市智能电网,如美国科罗拉多州的 Boulder,于 2008 年 3 月即建成为全美的第一个智能电网城市。

因此,智能电网的研发实施和当代电网的改进发展,代表两条异途同归的研发路线。但由于各国资源配置、监管决策取向、电力市场进展以及用户认知程度不同,切入点、重点和先后顺序必然有所差异。

#### 3.1 国外智能电网的研发

国外智能电网的研发,比较有代表性的是欧洲的 20/20/20 计划,和美国的 Grid2030。

##### 3.1.1 欧洲的 20/20/20 计划

2006 年,欧洲未来电网技术平台咨询理事会发布《智能电网——战略规划文件》,要求在 2020 年前可再生能源增加 20%、碳排放减少 20%和能源效率提高 20%,故简称 20/20/20 计划。为了实现 20/20/20 目标,采取了优化电网的基础设施、接入大量的断续的发电设施、推广信息与通信技术、主动的配电网、推广和改善新型的电力市场和提高用户的用电效率等 6 项措施。

##### 3.1.2 美国的 Grid2030

Grid2030 是一个完全自动化的发、输、配、用电网络,它监控每一个用户和电网节点,保证电力和信息在所有节点的双向流动。美国的 Grid2030 是美国能源部于 2003 年 7 月所发布。紧接着发生了震惊全球的“8.14”美国、加拿大大停电,Grid2030 随即纳入美国 EPRI 发起、突出自愈功能的智能电网研发。2009 年,奥巴马政权将智能电网改造列入美国经济复苏计划,更加引发对智能电网的广泛关注。

Grid2030 具有三层结构。

1) 上层的全国电网骨架,通过低阻超导电缆和变压器组成的输电走廊,与包括加拿大和墨西哥的区域互联网相连。

2) 中层区域电网内,长距离输电由升级的交流或扩充的直流线路构成,并大量应用先进的储能设备以解决由于气候或其他原因所造成的供需失衡。

3) 基层的地方配电网、小型网和微电网,通过区域网与国家电网骨架网相连,可从任何地方的发电商购买电源,而向用户提供服务。用户可以根据需要挑选电力供应,包括电价,环境的影响,可靠性和电能质量。用户的分布式电源也可与区域网相连,参与市场交易和竞争。

突出自愈功能的 IntelliGrid<sup>[4]</sup>,进一步将智能电网的结构概括为市场、输电、配电、高压发电、分布能源(包括分布式发电、分布储能和需求响应资源)、用户服务、IT 服务等 7 个领域,当前共列出 400 多项应用功能(今后随技术进步和最佳实践可能有所增减),被称为是走向下一代电力系统的交通图。

2009 年 1 月 25 日,美国白宫发布《复苏计划尺度报告》,宣布将铺设 3 000 mile 输电线路,为全国近 1/3 的 4 000 万家庭安装智能电表。此外,还将集中对落后的电网系统进行更新换代,建立跨越 4 个时区的统一电网,实现太阳能、风能、地热能的统一入网管理。

#### 3.2 我国向智能电网的发展

我国虽然尚未制定智能电网的研发具体实施规划,但已根据国情开展有关基础工作,向智能电网方向发展。

1) 2007 年 9 月 4 日,国家发改委发布的《可再生能源中长期计划》,制定了可再生能源发展目标为 2010 年可再生能源所占比例为 10%、2020 年达 15%。2007 年 8 月,国务院发改委、环保总局、电监会和能源办颁发的《节能发电调度办法(试行)》明确规定:“优先调度可再生发电资源,按机组能耗和污染物排放水平由低到高排序,依次调用化石类发电资源,最大限度地减少能源、资源消耗和污染物排放”。输、配、用电领域大力推动节能降耗,如制定电器能效标准、综合线损率要求 2010 年降至 6.3% 等。

2) 新技术的研发与应用方面,基于电力电子的灵活交流输电技术(FACTS)研制和装备已达到国际领先水平。此外,根据我国资源配置的特点,正在推广高效低排的煤气化联合循环(IGCC)发电技术和加强高温超导输电技术的研发。烟台 300~400 MW 和华能 250 MW IGCC 示范工程均将于 2010 年建成。输电领域,清华大学研究的铋系高温超导,已在北京英纳超导技术公司投入生产。

3) 供需互动方面,正在结合拉动内需,积极筹建包括智能电表在内的新一代电力用户信息系统,用以支持电力市场的发展,并计及智能电网的研发和实施。

4) 国家电网公司现已建成并推广的 SG186 一体化企业级信息平台,包括安全生产、项目管理、物资管理、财务资金、营销管理、协同办公和人力资源 8 大应用,以及信息安全防护、标准制度、评价考核等 6 项保障体系。SG186 与新一代电力用户信息系统相结合,将为智能电网的信息化奠定良好基础。

5) 对节能减排和配电市场影响较大的插入式电动汽车发展较快。2008 年 12 月 15 日,世界第一款续航里程达 100 km 以上、时间上领先国外 2~3 a 的比亚迪 F3DM 双模电动汽车在深圳上市,2010 年可望进入北美市场。

#### 4 研发智能电网的某些难点问题

可以说,实现智能电网的几个主要特征,同时也包含了智能电网研发的若干难点。本文仅就当代电网研发多年未果、智能电网尤需解决的两个难点问题加以分析讨论。

##### 4.1 事件启动的快速仿真决策

电网是一个快速反应的联动系统,为了评估事件可能引发的联动效应,需及时提供决策支持,但电网长期存在精确模型计算时间过长、简化模型精度不够的难题。因此,事件启动的快速仿真成为当前的一个研发热点和难点。

实现快速仿真的预测方法具有两个研发方向,一是静态模型和动态特性相结合的分析计算,二是基于信号分析的实时直接测量推算。不管是模型分析计算或是信号分析推算,都对量测信号精度、数据交换速度和分析计算方法提出较高要求。许多研究课题,如模型分析应能实现并行计

算、信号分析要求 PMU 的精度达到 0.001 Hz 等。

诸多研发项目中,美国 OSIsoft 公司提供快速仿真决策的集成系统模型(ISM)<sup>[5]</sup>和实时性能管理(RtPM),值得注意。

ISM 是将现有自动化系统、数据和算法集成,对分析决策提供基础或对上百万个对象进行实时管理。ISM 比常规的矩阵算法快上近百倍,并可对现有安全监控和数据采集系统(SCADA)、地理信息系统(GIS)的量测误差予以修正。ISM 现在已经在美国得到推广应用,如应用在 Detroit Edison 三百万个元件、3125 个回路、500 MW 分布式发电的配电系统,为实现低压和过载的监视控制而对分布式发电水平进行分析计算。Ameren 用以解决实时网络重构和负荷转移时的运行问题,包括 50 个配电回路和变电站的变压器峰期过热等。

电力系统的各种故障和扰动信息中,蕴涵有各种特征信息。通过快速傅立叶变换/小波变换,可以获得任意时段内这些涉及时、频两域的有关数据。特征信息和经典控制论的结合,即可对电力系统的动态行为进行实时分析和趋势预测。2005 年 10 月 12 日,美国 OSIsoft 公司的 PMU 实时性能管理,在几百公里外预测出洛杉矶随后发生的大停电。

##### 4.2 协调和自适应控制

智能电网本身是一个分布式的自适应系统,但精确反映其工况的集中控制系统(EMS/DMS 等)不分布、而“离线整定、实时动作”的分布控制系统(继电保护/就地无功补偿/稳定补救装置等)不能自适应。发电、输电、配电、用电一体化的智能电网,集中控制系统之间的协调和分布控制系统的自适应尤为重要,因而成为当前的又一个研发热点和难点。

由于协调自适应控制突破静态模型与动态数据相结合的精确解,必须与知识工程的智能解相结合,当前大多采用 Multi-Agent 多智能主体技术。面向 Agent(AO)是继面向过程和面向对象(OO)之后,新一代的软件系统工程技术。

Agent 有主动的对象之称,知识工程界均将其意译为主体或智能主体,而不是概念易于混淆的“代理”。Agent 是将知识和使用它的一组操作或过程封装在一起得到的一个实体,具有结构和属性,并可通过消息互相通信。Agent 特有的自

活性和主动性,可独立地完成其目标而不需要外界的命令或感知环境变化时通过规划实现其目标。因此,单个的 Agent 拥有解决问题的不完全的信息或能力,没有系统全局控制。但可通过相关 Agent 间的协调和协作组成 Multi-Agent 系统,来解决复杂的全局性问题。

诸多研发项目中,美国国防部牵头、EPRI 和华盛顿大学等单位参与,投资 3 000 万美元,历时 5 a 完成的电力基础设施战略防护系统 (SPID) 最具代表性<sup>[6]</sup>。SPID 的 3 层 Multi-Agent 结构图如图 1 所示。该系统采用面向 Agent (AO) 技术的 3 层 Multi-Agent 结构:①底层为反应层(包括发电、保护);②中层为协作层(包括事件/警报过滤、模型更新、故障隔离、频率稳定、命令翻译);③高层为认知层(事件预测、脆弱性评估、隐藏故障监视、网络重构、恢复、规划、通信)。其主要功能有脆弱性评估(电力和通信系统的快速在线评估),故障分析(隐藏故障监视),自愈战略(自适应卸负荷、发电、解列和保护),信息和传感(卫星、因特网、通信系统监视和控制)等。用以防护来自自然灾害、人为错误、电力市场竞争、信息和通信系统故障、蓄意破坏等对电力设施的威胁。

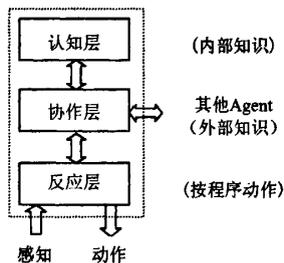


图 1 SPID 的 3 层 Multi-Agent 结构图

图 1 中无通信能力的反应式 Agent,相当于传统上“事先整定、实时动作”的继电保护、稳定补救和无功补偿装置,根据程序安排自主作出反应,而无须外部指令控制。但保护定值或稳定补救方案的设定和修改只能离线进行。

加上具有通信能力的协作层后,当事件响应的快速仿真决策需对有关保护定值或稳定补救方案进行修改和调整时,就可依靠外部知识协作,对反应参数或程序进行修改和调整,以提高装置的适应性水平。这种通过不断修改系统控制参数来改进系统执行能力的感知型学习,不涉及与具体

任务有关的知识,但对外部知识依赖性强,在通信中断的情况下难于达到自适应的水平。如进一步加上具有与具体任务有关的内部知识组成认知式 Agent,即使通信中断或情况紧急来不及协调时,也可根据内部积累的知识作出自适应反应,充分体现 Agent 的自主性。

Multi-Agent 的智能主体理念,除可用于各个集中控制系统之间的分布协调控制外,还将在智能电网量大面广的分布智能控制中得到应用。

## 5 结语

1) 迎接全球性的环境和能源挑战,电网安全高效运行的压力,供需互动的需求响应双向服务,以及高性价比的巨大经济和社会效益,推动了智能电网的研发和实施。

2) 智能电网的研发实施和当代电网的改进发展,代表两条异途同归的研发路线。但由于各国资源配置、监管决策取向、电力市场进展以及用户认知程度不同,切入点、重点和先后顺序必然有所差异。

3) 智能电网研发的诸多难点中,自愈功能中的快速仿真决策和网络重构时控制系统的协调自适应,是当代电网研发多年未果、智能电网急需解决的两个难点问题。

4) 本文所分析讨论的智能电网理念、技术发展和国外建设实践,对我国电网通过改进和发展走向智能电网或是进一步制定智能电网的研发实施规划,都有启示和借鉴作用。

## 参考文献

- [1] Saifur Rahman. Global Energy Use, Climate Change, Distributed Generation and Energy Efficiency [R]. China Electric Power Research Institute, 2006.
- [2] Massoud Amin. Toward self-healing energy infrastructure systems[J]. IEEE Computer Applications in Power, 2001, 14(1): 20-28.
- [3] John D. McDonald. The next generation grid-energy infrastructure of the future. IEEE power & energy magazine, 2009.
- [4] 王明俊. 突出自愈功能的智能电网[J]. 动力与电气工程, 2007(2): 12-16.

(下转第 21 页)

本身的可靠性对供电可靠性的影响比较大,所以应选用性能优良的设备,如环网开关柜、中间互联箱、分段断路器、重合器、负荷开关等,提高系统本身的可靠性,同时这些设备的自动化程度高,具有错相保护、自动分合闸等功能,使供电可靠性得到提高。另外,要开展电力设备的标准化建设,不断提高整个电力系统的设备健康水平。

(2) 提高电力设备的初始状态。电力设备的初始状态对设备运行后的状态有很大影响。初始状态好的设备在运行中出现问题而造成维修的几率会小很多,所以应切实抓好设备前期管理,包括设计施工方案、设备的选型招标及施工的验收送电等,努力提高设备的初始状态。

#### 4 实例效果分析

2007~2008年上海市南供电公司及下属5个分公司运用了失效模式对供电可靠性进行评估,并利用改善措施对薄弱的指标进行了改善,取得了一定的效果。2008年与2007年相比,故障处理水平、作业科技运用水平的指标;平均故障时间、计划停电单次作业发生的停电时户数都相应减少。

如闵行供电分公司的每次故障停电的平均持续时间由3.29 h减少到2.87 h,共减少了0.42 h;每次计划停电的时户数也由49.91减少到34.87。外力破坏发生次数占所有故障的比例也由9.6%降低到8.3%。

#### 5 结语

##### 1) 运用失效模式分析方法分析可靠性流程

中关键输入的失效模式,总结引起关键输入失效的潜在原因,从而评价出这些潜在原因的风险系数,可以对风险系数高的潜在原因或者模式提出一些相应的改善建议。

2) 应用失效模式分析方法进行供电可靠性风险分析,可以在与供电可靠性相关的繁多因素中,比较有效地抓住了其中的关键因素,有利于提高供电企业可靠性管理水平。

3) 本文利用失效模式分析了上海市南供电公司的供电可靠性,并利用改善措施对风险系数高的指标进行了改善,取得了良好的效果。

#### 参考文献

- [1] 裴长生,郭若颖,郭秀玲,等. 2000~2002年太原电网供电可靠性分析[J]. 电力学报,2003(2):152-155.
- [2] 白谊春. 基于电力终端用户的供电可靠性评价[J]. 供用电,2007(5):15-17.
- [3] 戴云徽,韩之俊,朱海荣. 故障模式及影响分析(FMEA)研究进展[J]. 中国质量,2007(10):25-28.
- [4] 赵傲,康重庆,夏清,等. 电力市场中可靠性问题的研究现状与发展前景[J]. 电力系统自动化,2004(5):6-9.
- [5] 吴工文. 电力指标管理的启示[J]. 华东电力,2004(1):58-60.
- [6] 郑楚韬. 广东南海电网10 kV配电系统可靠性分析[J]. 电力设备,2006(2):86-88.
- [7] 邓立华,陈星莺. 配电系统可靠性分析综述[J]. 电力自动化设备,2004(4):74-77.

收稿日期:2009年6月

李树青 闵行供电分公司可靠性专职

周敏 闵行供电分公司总工程师

许卫卫 上海久隆企业管理咨询有限公司咨询师

(上接第6页)

- [5] Charles H. Wells. Overview of ISM Technology and Applications for Large Electric Networks[C]. US-China Green Energy Conference. Beijing China, 2008.
- [6] Chen-Ching Liu. Strategic Power Infrastructure De-

fense[J]. IEEE Power Engineering Society General Meeting, USA, 2004.

收稿日期:2009年7月

王明俊 教授级高级工程师,中国电力科学研究院咨询委员,原副总工程师,长期从事电力系统自动化研究工作