

---

# 信息技术

## 在智能电网（smart power grids）中的应用

王立

**摘要：**介绍了智能电网的相关概念，分析了信息技术在智能电网中的相关应用，并指出其使用范围及优势。在此基础上，对其研究前景进行了展望。

**关键词：**信息系统 智能电网 应用

### 1 前言

现代社会国民经济的发展对电力供应的依赖性越来越强，有效解决电力系统中的各项问题已经成为一个极重要的课题，智能电网技术应运而生。

智能电网是一个由众多自动化的输电和配电系统构成的电力系统，以协调、有效和可靠的方式实现所有的电网运作，具有自愈功能并能快速响应电力市场和企业业务需求。智能电网具有智能化的通信架构，实现实时、安全和灵活的信息流，为用户提供可靠、经济的电力服务。智能电网的基本特征是在技术上要实现信息化、自动化、互动化。

智能电网是实现可靠的电力供应的必由之路，但由于智能电网的结构与组件的复杂性，以及电网操作所要求的适时性，信息技术成为智能电网技术的重要支撑保障部分。

本文通过对信息技术在智能电网技术中的运用的介绍与分析，展现了其应用方向与使用价值。

---

## 2 智能电网技术

### 2.1 智能电网技术简介

智能电网 (smart power grids)，就是电网的智能化，也被称为“电网 2.0”，它是建立在集成的、高速双向通信网络的基础上，通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用，实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标，其主要特征包括自愈、抵御攻击、提供满足 21 世纪用户需求的电能质量、容许各种不同发电形式的接入、启动电力市场以及资产的优化高效运行。

### 2.2 智能电网的发展历程

#### 2.2.1 智能电网技术的诞生

2005 年坎贝尔发明了一种技术，利用的是 Swarm 原理，让大楼里的电器互相协调，减少大楼在用电高峰期的用电量。坎贝尔发明了一种无线控制器，与大楼的各个电器相连，并实现有效控制。比如，一台空调运转 15 分钟，以把室内温度维持在 24°C；而另外两台空调可能会在保证室内温度的前提下，停运 15 分钟。这样，在不牺牲每个个体的前提下，整个大楼的节能目标便可以实现。这个技术赋予电器于智能，提高能源的利用效率。

2006 年欧盟理事会的能源绿皮书《欧洲可持续的、竞争的和安全的电能策略》(A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy)，强调智能电网技术是保证欧盟电网电能质量的一个关键技术和发展方向。这时候的智能电网应该是指输配电过程中的自动化技术。

---

2006 年中期，一家名叫“网点”(Grid Point)的公司开始出售一种可用于监测家用电路耗电量的电子产品，可以通过互联网通信技术调整家用电器的用电量。这个电子产品具有了一部分交互能力，可以看作智能电网中的一个基础设施。

2006 年，美国 IBM 公司与全球电力专业研究机构、电力企业合作开发了“智能电网”解决方案。这一方案被形象比喻为电力系统的“中枢神经系统”，电力公司可以通过使用传感器、计量表、数字控件和分析工具，自动监控电网，优化电网性能、防止断电、更快地恢复供电，消费者对电力使用的管理也可细化到每个联网的装置。

这个可以看作智能电网最完整的一个解决方案，标志着智能电网概念的正式诞生。

### 2.2.2 智能电网技术的小范围应用

2008 年美国科罗拉多州的波尔得(Boulder)已经成为了全美第一个智能电网城市，每户家庭都安装了智能电表，人们可以很直观地了解当时的电价，从而把一些事情，比如洗衣服、烫衣服等安排在电价低的时间段。电表还可以帮助人们优先使用风电和太阳能等清洁能源。同时，变电站可以收集到每家每户的用电情况。一旦有问题出现，可以重新配备电力。

2009 年 2 月 4 日，地中海岛国马耳他在周三公布了和 IBM 达成的协议，双方同意建立一个“智能公用系统”，实现该国电网和供水系统数字化。IBM 及其合作伙伴将会把马耳他 2 万个普通电表替换成互动式电表，这样马耳他的电厂就能实时监控用电，并制定不同的电价来奖励节约用电的用户。这个

---

工程价值高达 9100 万美元（合 7000 万欧元），其中包括在电网中建立一个传感器网络。这种传感器网络和输电线、各发电站以及其他的基础设施一起提供相关数据，让电厂能更有效地进行电力分配并检测到潜在问题。IBM 将会提供搜集分析数据的软件，帮助电厂发现机会，降低成本以及该国碳密集型发电厂的排放量。

### 2.2.3 智能电网技术的全面推广

奥巴马上任后提出了一个能源计划，除了已公布的计划，美国还将着重集中对每年要耗费 1200 亿美元的电路损耗和故障维修的电网系统进行升级换代，建立美国横跨四个时区的统一电网；发展智能电网产业，最大限度发挥美国国家电网的价值和效率，将逐步实现美国太阳能、风能、地热能的统一入网管理，全面推进分布式能源管理，创造世界上最高的能源使用效率。

由此可以看出美国政府的智能电网有三个目的，一个是由于美国电网设备比较落后，急需进行更新改造，提高电网运营的可靠性；二是通过智能电网建设将美国拉出金融危机的泥潭；三是提高能源利用效率。

09 年 2 月，作为华北公司智能化电网建设的一部分——华北电网稳态、动态、暂态三位一体安全防御及全过程发电控制系统在京通过专家组的验收。这套系统首次将以往分散的能量管理系统、电网广域动态监测系统、在线稳定分析预警系统高度集成，调度人员无需在不同系统和平台间频繁切换，便可实现对电网综合运行情况的全景监视并获取辅助决策支持。此外，该系统通过搭建并网电厂管理考核和辅助服务市场品质分析平台，能有效提升调度部门对并网电厂管理的标准化和流程化水平。

---

## 2.2.4 智能电网技术在中国

中国能源专家武建东提出了“互动电网”的概念。互动电网，英文为 Interactive Smart Grid，它将智能电网的含义涵盖其中。

互动电网定义为：在开放和互联的信息模式基础上，通过加载系统数字设备和升级电网网络管理系统，实现发电、输电、供电、用电、客户售电、电网分级调度、综合服务等电力产业全流程的智能化、信息化、分级化互动管理，是集合了产业革命、技术革命和管理革命的综合性的效率变革。它将再造电网的信息回路，构建用户新型的反馈方式，推动电网整体转型为节能基础设施，提高能源效率，降低客户成本，减少温室气体排放，创造电网价值的最大化。

互动电网还可以通过电子终端将用户之间、用户和电网公司之间形成网络互动和即时连接，实现电力数据读取的实时、高速、双向的总体效果，实现电力、电讯、电视、智能家电控制和电池集成充电等的多用途开发，实现用户富裕电能的回售；可以整合系统中的数据，完善中央电力体系的集成作用，实现有效的临界负荷保护，实现各种电源和客户终端与电网的无缝互连，由此可以优化电网的管理，将电网提升为互动运转的全新模式，形成电网全新的服务功能，提高整个电网的可靠性、可用性和综合效率。

## 3 信息技术在智能电网中的应用

### 3.1 建立高速双向通信系统

建立高速、双向、实时、集成的通信系统是实现智能电网的基础，没有这样的通信系统，任何智能电网的特征都无法实现，因为智能电网的数据

---

获取、保护和控制都需要这样的通信系统的支持，因此建立这样的通信系统是迈向智能电网的第一步。

同时通信系统要和电网一样深入到千家万户，这样就形成了两张紧密联系的网络——电网和通信网络，只有这样才能实现智能电网的目标和主要特征。高速、双向、实时、集成的通信系统使智能电网成为一个动态的、实时信息和电力交换互动的大型的基础设施。当这样的通信系统建成后，它可以提高电网的供电可靠性和资产的利用率，繁荣电力市场，抵御电网受到的攻击，从而提高电网价值。

高速双向通信系统的建成，智能电网通过连续不断地自我监测和校正，应用先进的信息技术，实现其最重要的特征——自愈特征。它还可以监测各种扰动，进行补偿，重新分配潮流，避免事故的扩大。高速双向通信系统使得各种不同的智能电子设备（IEDs）、智能表计、控制中心、电力电子控制器、保护系统以及用户进行网络化的通信，提高对电网的驾驭能力和优质服务的水平。

在这一技术领域主要有两个方面的技术需要重点关注，其一就是开放的通信架构，它形成一个“即插即用”的环境，使电网元件之间能够进行网络化的通信；其二是统一的技术标准，它能使所有的传感器、智能电子设备（IEDs）以及应用系统之间实现无缝的通信，也就是信息在所有这些设备和系统之间能够得到完全的理解，实现设备和设备之间、设备和系统之间、系统和系统之间的互操作功能。这就需要电力公司、设备制造企业以及标准制定机构进行通力合作，才能实现通信系统的互联互通。

---

## 3.2 建立数字化的量测技术

参数量测技术是智能电网基本的组成部件，先进的参数量测技术获得数据并将其转换成数据信息，以供智能电网的各个方面使用。它们评估电网设备的健康状况和电网的完整性，进行表计的读取、消除电费估计以及防止窃电、缓减电网阻塞以及与用户的沟通。

未来的智能电网将取消所有的电磁表计及其读取系统，取而代之的是可以使电力公司与用户进行双向通信的智能固态表计。基于微处理器的智能表计将有更多的功能，除了可以计量每天不同时段电力的使用和电费外，还有储存电力公司下达的高峰电力价格信号及电费费率，并通知用户实施什么样的费率政策。更高级的功能有用户自行根据费率政策，编制时间表，自动控制用户内部电力使用的策略。

对于电力公司来说，参数量测技术给电力系统运行人员和规划人员提供更多的数据支持，包括功率因数、电能质量、相位关系（WAMS）、设备健康状况和能力、表计的损坏、故障定位、变压器和线路负荷、关键元件的温度、停电确认、电能消费和预测等数据。新的软件系统将收集、储存、分析和处理这些数据，为电力公司的其他业务所用。

未来的数字保护将嵌入计算机代理程序，极大地提高可靠性。计算机代理程序是一个自治和交互的自适应的软件模块。广域监测系统、保护和控制方案将集成数字保护、先进的通信技术以及计算机代理程序。在这样一个集成的分布式的保护系统中，保护元件能够自适应地相互通信，这样的灵活性和自适应能力将极大地提高可靠性，因为即使部分系统出现了故障，其他的带有计算机代理程序的保护元件仍然能够保护系统。

---

### 3.3 形成先进的控制技术

先进的控制技术是指智能电网中分析、诊断和预测状态并确定和采取适当的措施以消除、减轻和防止供电中断和电能质量扰动的装置和算法。这些技术将提供对输电、配电和用户侧的控制方法并且可以管理整个电网的有功和无功。从某种程度上说，先进控制技术紧密依靠并服务于其他四个关键技术领域，如先进控制技术监测基本的元件（参数量测技术），提供及时和适当的响应（集成通信技术；先进设备技术）并且对任何事件进行快速的诊断（先进决策技术）。另外，先进控制技术支持市场报价技术以及提高资产的管理水平。

未来先进控制技术的分析和诊断功能将引进预设的专家系统，在专家系统允许的范围内，采取自动的控制行动。这样所执行的行动将在秒一级水平上，这一自愈电网的特性将极大地提高电网的可靠性。当然先进控制技术需要一个集成的高速通信系统以及对应的通信标准，以处理大量的数据。先进控制技术将支持分布式智能代理软件、分析工具以及其它应用软件。

#### 3.3.1 收集数据和监测电网元件

先进控制技术将使用智能传感器、智能电子设备以及其他分析工具测量的系统和用户参数以及电网元件的状态情况，对整个系统的状态进行评估，这些数据都是准实时数据，对掌握电网整体的运行状况具有重要的意义，同时还要利用向量测量单元以及全球卫星定位系统的时间信号，来实现电网早期的预警。

---

### 3.3.2 分析数据

准实时数据以及强大的计算机处理能力为软件分析工具提供了快速扩展和进步的能力。状态估计和应急分析将在秒级而不是分钟级水平上完成分析，这给先进控制技术和系统运行人员足够的时间来响应紧急问题；专家系统将数据转化成信息用于快速决策；负荷预测将应用这些准实时数据以及改进的天气预报技术来准确预测负荷；概率风险分析将成为例行工作，确定电网在设备检修期间、系统压力较大期间以及不希望的供电中断时的风险的水平；电网建模和仿真使运行人员认识准确的电网可能的场景。

### 3.3.3 诊断和解决问题

由高速计算机处理的准实时数据使得专家诊断来确定现有的、正在发展的和潜在的问题的解决方案，并提交给系统运行人员进行判断。

### 3.3.4 执行自动控制的行动

智能电网通过实时通信系统和高级分析技术的结合使得执行问题检测和响应的自动控制行动成为可能，它还可以降低已经存在问题的扩展，防止紧急问题的发生，修改系统设置、状态和潮流以防止预测问题的发生。

### 3.3.5 为运行人员提供信息和选择

先进控制技术不仅给控制装置提供动作信号，而且也为运行人员提供信息。控制系统收集的大量数据不仅对自身有用，而且对系统运行人员也有很大的应用价值，而且这些数据辅助运行人员进行决策。

---

### 3.4 形成先进的支持技术

决策支持技术将复杂的电力系统数据转化为系统运行人员一目了然的可理解的信息，因此动画技术、动态着色技术、虚拟现实技术以及其他数据展示技术用来帮助系统运行人员认识、分析和处理紧急问题。

在许多情况下，系统运行人员做出决策的时间从小时缩短到分钟，甚至到秒，这样智能电网需要一个广阔的、无缝的、实时的应用系统、工具和培训，以使电网运行人员和管理者能够快速的做出决策。

- 可视化——决策支持技术利用大量的数据并将其裁剪成格式化的、时间段和按技术分类的最关键的数据给电网运行人员，可视化技术将这些数据展示为运行人员可以迅速掌握的可视的格式，以便运行人员分析和决策。
- 决策支持——决策支持技术确定了现有的、正在发展的以及预测的问题，提供决策支持的分析，并展示系统运行人员需要的各种情况、多种的选择以及每一种选择成功和失败的可能性。
- 调度员培训——利用决策支持技术工具以及行业内认证的软件的动态仿真器将显著的提高系统调度员的技能和水平。
- 用户决策——需求响应（DR）系统以很容易理解的方式为用户提供信息，使他们能够决定如何以及何时购买、储存或生产电力。
- 提高运行效率——当决策支持技术与现有的资产管理过程集成后，管理者和用户就能够提高电网运行、维修和规划的效率和有效性。

---

## 4 结论

本文详细地介绍了智能电网的基本信息，以及信息技术在智能电网技术中的应用，针对应用的相关领域都做了说明，通过本文可以对信息技术在智能电网技术的应用有基本的了解，并对其相关相关问题的解决有所促进。

### 参考文献：

- 【1】 谢开，刘永奇，等. 面向未来的智能电网. 中国电力，2008，6： 19-22.
- 【2】 王明俊. 突出自愈功能的智能电网. 动力与电气工程师，2007，2： 12-16.
- 【3】 陈树勇，宋书芳，等. 智能电网技术综述. 电网技术，2009，4： 13-19.