

智能微网在分布式能源系统中的应用研究

王 岳

乌鲁木齐鸿电智联电力设计有限公司 新疆乌鲁木齐 830000

摘 要：智能微网（Smart Microgrid）作为一种创新的电力系统框架，其核心目标是利用信息技术、通讯技术和前沿的控制技术，来达到分布式能源资源的最佳配置和高效使用。智能微网具有较高的灵活性和自适应能力，能够有效整合分布式发电（例如，光伏发电、风力发电等）、储能系统、电动汽车充电站等多种能源资源，构建稳定、高效、低碳的能源供应体系。随着世界能源结构的变化以及可再生能源的迅猛发展，智能微网应用于分布式能源系统的研究逐渐成为学术界以及工业界关注的焦点，文章就此展开了探讨。

关键词：智能微网；分布式能源系统；应用

引言

在传统化石能源逐渐耗竭、环境问题日益凸显的今天，全球都在努力调整能源结构、开发可再生能源。作为一个主要的能源消费者，我国也设定了“碳达峰、碳中和”的战略目标，这无疑为电力系统的适应性和稳定性设定了更高的标准。智能微网对分布式能源进行接入与协调控制能够有效增强电力系统灵活性与可再生能源消纳能力，对能源结构转型具有重要技术支持作用。分布式能源以其距离负荷中心近、灵活性强、建设周期短等特点，已成为未来电力系统中的一个重要环节。但是分布式能源具有间歇性、波动性等特点，给电力系统平稳运行提出了挑战。智能微网采用先进控制策略及优化调度可实现分布式能源高效集成与稳定运行，促进电力系统可靠与经济。

一、智能微网概述

（一）智能微网的定义和特点

智能微网是一种先进的电力系统架构，结合了信息技术、通信技术和先进控制技术，旨在实现分布式能源的高效整合和优化利用。其定义为一种可以自我管理、自我控制、自我保护的小型电力系统，能够在并网和孤岛模式之间灵活切换。智能微网最大的特点是高可靠性、灵活性强，能在电网发生故障或者波动的情况下快速做出反应，维持电力供应；高度集成，可将太阳能、风能等可再生能源与储能系统进行高效集成，提高能源利用效率；实现了智能化控制并通过实时监测与数据分析实现优化调度，增强了系统经济性与稳定性；环境友好性方面，通过提高可再生能源使用比重，降低碳排放

来推动多增经济。智能微网在增强电力系统可靠性与弹性的同时，也为可再生能源大范围推广应用提供强有力的支撑。

（二）智能微网的组成部分

智能微网包含了许多关键的组成部分，它们之间的协同作用保证了系统的高效运行与优化管理。以分布式发电系统为核心的可再生能源形式有太阳能光伏，风力发电和生物质能。储能系统的主要功能是确保电力供应的平衡，它利用电池或其他储能技术在电力需求较低的时段进行储存，而在需求较高的时段进行放电，从而保障电力的持续稳定。能源管理系统（EMS）的主要职责是进行整体的调整和优化，通过实时的数据分析和控制策略，确保能源资源得到高效的调度和应用。通信网络作为智能微网神经系统，利用物联网技术进行部件间高效通信及信息交换以保证系统实时监控及智能决策。负荷管理系统的主要职责是依据电力需求和供应状况进行智能化的调整，以确保电力供应和需求之间的平衡以及能源效率的最大化。保护与安全系统采用先进的保护装置及安全措施，来确保智能微网稳定工作及抵抗外部攻击。

（三）智能微网的工作原理

智能微网原理是以分布式发电、储能系统为核心，以先进控制策略为手段，采用实时监控与动态调度相结合的方式，实现有效可靠供电。当系统处于并网模式时，太阳能光伏、风力发电机等分布式发电设备将直流电经逆变器转换成交流电进入主电网以保证电压、频率的稳定。储能系统处于电力过剩状态下充电和电力短缺状态下放电来保持供需平衡。能源管理系统（EMS）通过实

时收集和分析各个节点的数据，并运用优化算法来进行负荷预测和能量调度，从而提高了能源的使用效率。该通信网络采用了低延时高带宽通信协议来保证各个部件之间数据传输的快速性和准确性。负荷管理系统根据实时用电情况及优先级分配电量，以免过载浪费。保护与安全系统利用快速故障检测与隔离技术可实现毫秒级的反应，阻止故障扩散，保证系统的安全性。孤岛模式时，智能微网可实现自主运行、发电与负荷自动调整、维持稳定的独立电力供应。各个系统共同工作使得智能微网可以有效地集成可再生能源资源并提供可靠和绿色电力服务。

二、分布式能源系统概述

(一) 分布式能源的定义和类型

分布式能源指的是安装在用户侧或靠近负荷中心的小型发电系统，这些系统包括但不仅限于太阳能光伏、风力发电、生物质能、小型燃气轮机和燃料电池等。区别于传统集中式发电，分布式能源采用分散部署的方式，能够降低输电损耗并提高系统灵活性及可靠性。它们往往拥有相对较高的可再生能源占比，这对于达成低碳经济的目标大有裨益。分布式能源系统既可独立工作又可并入主电网提供辅助服务及备用电源。

(二) 分布式能源系统的优点和挑战

分布式能源系统有很多优势。一是它们能显著地减少输电损耗和提高能源利用效率。二是通过就地发电与利用，降低对集中式电网依赖性，增强电力供应可靠性与弹性。三是分布式能源系统还可以灵活应对负荷需求、降低峰谷差异、实现电力调度的最优化。但分布式能源系统同样面临着发电不稳定且间歇性大，初期投资费用高、技术要求高及需复杂管理与协调策略的难题。这些难题都需要借助先进控制技术与政策支持来应对。

(三) 分布式能源在现代电力系统中的地位

分布式能源越来越多地应用于现代电力系统。在全球能源结构转型及可再生能源蓬勃发展的背景下，分布式能源已成为绿色、高电量供电的主要内容。它们在弥补传统集中式发电缺陷的同时，通过微网、智能电网等技术应用促进电力系统智能化、灵活性发展，政策与市场机制的驱动使分布式能源在电力市场中所占比重不断增加且起到了至关重要的作用。

三、智能微网在分布式能源系统中的应用

(一) 智能微网对分布式能源接入的支持

智能微网对分布式能源接入具有至关重要的支撑作用，它以高度融合的控制与管理机制显著提高分布式能

源利用效率与可靠性。该系统的核心是一个智能化的能源管理系统（EMS），该系统能够实时监控和调度各种分布式能源资源，例如光伏发电、风力发电和生物质能等，以确保系统内的供需平衡和优化运行。智能微网采用先进预测算法与优化调度策略实现分布式能源间歇性与波动性的有效治理，并采用电池储能装置等储能系统，当能源过剩的时候储存电能，当需求高峰的时候将电能释放出来，平滑功率输出曲线以增强系统的稳定性。

高效通信网络对智能微网起着关键作用，利用低延时高带宽通信协议实现各个分布式能源单元和中央控制系统间快速数据交换及协调控制以保证系统实时响应能力。智能微网也采用分布式发电预测技术并将大数据分析 with 人工智能算法相结合，准确预测气象条件，负荷需求等信息，以实现发电与储能计划的预先调整，降低不确定性给系统带来的冲击。保护与安全系统采用快速故障检测与隔离技术来确保分布式能源访问的安全性与可靠性，并在故障情况下快速切断故障源，避免了故障扩散，通过冗余设计增强了系统容错能力。

负荷管理系统对于智能微网同样起着至关重要的作用，它通过智能电表、负荷控制器等设备来实现用户侧用电设备的精细化管理，依据实时电价及用电需求进行负荷分配调整，以实现能源利用效率的最优化。智能微网同时支持双向互动能源交易机制，使分布式能源既可以满足本地需求又可以通过电网交易平台和其他用户或者电网交换电力产生经济效益。

(二) 智能微网的优化调度与控制

智能微网优化调度控制对增强系统效率及稳定性具有重要意义，并通过多层次协调机制实现能源资源优化配置。能源管理系统（EMS）构成了智能微网的关键部分，它依赖于实时的数据收集和大数据的深入分析，并采用先进的优化技术来对各种分布式能源和负载进行实时调度。EMS利用时间序列分析，机器学习模型等预测算法对光伏发电，风力发电等出力以及用户负荷需求进行精确预测，并对发电与储能计划进行事前规划以降低不确定性影响。

在优化调度策略的过程中，EMS结合了储能系统的当前状态和负荷特性，采用了多目标优化方法，旨在确保电力供应的可靠性的同时，最大限度地减少运行成本和碳排放。当电池储能系统峰谷电价相差明显时，可以达到削峰填谷和降低电力成本的目的。智能微网也采用需求响应技术通过价格信号与激励机制来调整用户的用电行为、均衡系统负荷、提高系统的整体能效。

在控制层面，智能微网使用分布式的控制架构，每个分布式能源单元都安装本地控制器以达到自主调节与局部优化的目的。通信网络使用了如5G和物联网这样的高可靠性和低延时协议，以确保控制命令能够迅速地传达和执行。保护与安全系统利用快速的故障检测和隔离技术来确保系统的稳定和安全运行，从而避免故障的进一步扩散。

（三）智能微网中的储能系统应用

智能微网储能系统的应用对提高能源利用效率及系统稳定性起着至关重要的作用，并通过储能技术灵活调度与高效管理来达到能源优化配置与可靠供给。储能系统有电池储能，飞轮储能，超级电容等多种形式，其中电池储能系统由于具有高能量密度，快速响应的特点而在智能微网得到了广泛的应用。储能系统可以作为可再生能源发电波动较大时的电力缓冲器来储存光伏发电与风力发电富余时的电能并将其放出以平衡供求。

通过优化能源管理系统（EMS）的调度，储能系统能够根据实时的负荷需求和电价信号，灵活地调整充放电策略。以电力需求高峰期为例，储能系统以放电的方式来降低电网负荷和峰值电力成本；通过充电储备能量来消减电力需求低谷期电网多余电力。储能系统也为微网孤岛运行方式提供了关键电力支持以保证系统与主电网分离后仍然能够稳定工作并保证重要负荷连续供电。

智能微网内储能系统不但对能源调度起着至关重要的作用，而且通过频率调节、电压支撑等手段增强了系统动态响应能力。借助快速频率响应（FFR）和自动电压控制（AVC）技术，储能系统有能力在毫秒级的时间范围内对电力的波动进行精准调整，从而确保系统电能的高质量，另外，储能系统还能在应急情况下以快速故障隔离与恢复功能确保系统安全可靠。经过对储能系统进行了经济性分析表明，储能系统可以在参与电力市场交易、提供辅助服务等方面创造明显经济效益。

（四）智能微网在电动汽车充电中的应用

智能微网应用于电动汽车充电表现出显著优势，以智能化调度与优化控制实现了高效可靠充电服务并提高了能源总体利用效率。作为移动储能单元的电动汽车充电需求的不确定性及其高峰特性对电网提出了挑战。智能微网将分布式能源与储能系统有机地结合在一起，并提供了一种柔性充电方案，当光伏发电与风力发电足够大时利用过剩的电能给电动汽车进行充电，从而降低了对

主网的依赖性。在此过程中，能源管理系统（EMS）起到了至关重要的角色，它能够实时监控电动汽车的充电状况和电网的负荷，从而动态地调整充电策略，确保电网不会过度负荷或出现频繁的波动。

采用智能微网优化调度功能可将电动汽车充电和电价信号结合起来，实现电价低谷时段充电以减少充电成本，以及降低电价高峰时段的充电负荷以减轻电网压力。智能微网同时支持双向充电，使电动汽车能够在电网需求峰值时向电网回馈所存储电能并参与电力调峰和能源双向流动。将储能系统应用于电动汽车充电也非常关键，利用储能装置储电于需求低谷，放电于高峰，从而进一步使充电负荷平滑，增强电网运行可靠性与稳定性。智能微网内通信网络与智能控制技术，保证对电动汽车充电过程进行有效管理与优化控制。智能微网借助物联网与大数据分析技术能够对电动汽车充电需求，充电地点、充电状态等信息进行实时采集与分析，为用户提供个性化充电服务并改善用户体验。

结束语

综上所述，将智能微网应用于分布式能源系统的研究，既是能源领域一场深刻的变革，又是能源可持续发展和环境友好的重要手段。智能微网通过融合可再生能源，储能技术以及先进信息通讯技术等，可以有效地增强能源系统运行的灵活性、可靠性以及效率，在减少对传统集中式电网依赖的前提下，提高了局部地区能源自给自足能力。

参考文献

- [1] 欧清海, 王盛鑫, 余蕊, 等. 面向新型电力系统的电力通信网需求及应用场景探索[J]. 供用电, 2022, 39(2): 8.
- [2] 谭建, 王卓, 邹俊. 储能技术在电力系统智能微网中的应用[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2024(003): 000.
- [3] 袁航航, 张自雷, 张继红, 等. 含热泵的多时间尺度微能源网优化调度设计[J]. 电气应用, 2023, 42(8): 114-120.
- [4] 王润, 杨肖年, 杨卓锦, 等. 智能微网在分布式能源接入中的作用及挑战[J]. 中国科技期刊数据库 工业A, 2021.