

智能微网在分布式能源接入中的作用与挑战*



王成山 王守相

天津大学智能电网教育部重点实验室 天津 300072

摘要 分布式可再生能源发电由于靠近用户侧直接供能且便于实现多能互补而受到越来越多的重视。而将分布式能源发电以智能微网形式接入到电网中并网运行，与电网互为支撑，是发挥分布式能源效能的最有效方式。文章介绍了智能微网的概念，阐述了智能微网在分布式能源接入中的作用，分析了智能微网的研究现状与发展趋势，提出了基于分布式能源接入的智能微网关键技术及挑战，绘制了智能微网的技术成熟度蛛网图和产业化发展路线图。

关键词 微网，智能配电网，分布式能源

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.02.010

1 智能微网的概念及其在分布式能源接入中的作用

随着经济和社会发展对能源需求的不断增长，分布式可再生能源发电由于靠近用户侧直接供能且便于实现多种能源形式的互补而越来越受到重视。但一方面，分布式可再生能源大量接入产生的间歇性和波动性会对电网运行和电力交易造成直接的冲击，影响电力系统的安全性和稳定性；另一方面大量不受控的分布式能源发电并网会造成电力系统不可控制和缺乏管理的局面。这些因素都限制了分布式可再生能源在电力系统的接入规模和运行效率。

为整合分布式发电优势，降低分布式可再生能源对电网的冲击和负面影响，美国电力可靠性技术协会（CERTS）提出了微网（MicroGrid）的概念。微网是指由分布式能源、能量变换装置、负荷、监控和保护装置等汇集而成的小型发电系统，是一个能够实现自我控制和管理的自治系统。微网的构成如图1所示。既有的仅利用光伏、储能和负荷一起构成的简单微网；也有由风力、光伏、储能、冷/热/电联供系统等构成的多种类设备微网；还有由

*资助项目：中科院学部咨询项目“大力发展分布式可再生能源应用和智能微网”

修改稿收到日期：2016年1月13日

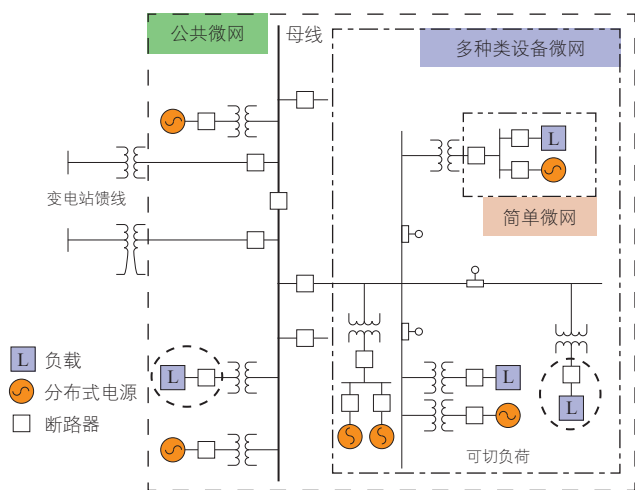


图1 微网结构示意图

满足一定技术条件的分布式电源和微网广泛接入构成的公共微网。微网可以看作是小型的电力系统，它具备完整的发电和配电功能，可以有效实现网内的能量优化。随着智能电网的建设和发展，相应提出了具备灵活性、高效性和智能化等特征的智能微网的概念。智能微网的提出旨在实现中低压配电系统层面上分布式能源的灵活、高效应用，解决数量庞大、形式多样的分布式能源无缝接入和并网运行时的主要问题，同时具备一定的能量管理功能，有效降低系统运行人员的调度难度，并提升可再生能源的接入能力。

按照是否与常规电网联结，微网可分为联网型微网和独立型微网。

(1) 联网型微网具有并网和独立两种运行模式。在并网工作模式下，一般与中、低压配电网并网运行，互为支撑，实现能量的双向交换。通过网内储能系统的充放电控制和分布式电源出力的协调控制，可以实现微网的经济运行；也可实现微网和常规电网间交换功率的定值或定范围控制，减少由于分布式可再生能源发电功率的波动对电网的影响。在外部电网故障情况下，可转为独立运行模式，继续为微网内重要负荷供电，提高重要负荷的供电可靠性，并提供优良的电能质量和其他辅助性服务，如电压支撑、向外馈送电能甚至提供黑启动能力。

(2) 独立型微网不与常规电网相连接，利用自身的分布式电源满足微网内负荷的需求。当网内存在可再生能源分布式电源时，常常需要配置储能系统以抑制这类电源的功率波动，同时在充分利用可再生能源的基础上，满足不同时段负荷的需求。这类微网更加适合在海岛、边远地区等地为用户供电。

总体来看，微网的出现将完全改变配电系统的结构和运行特性，在微观上，微网可以看做是小型的电力系统，具备完整的发、输、配电功能，可以实现局部的功率平衡与能量优化；在宏观上，微网又可以认为是配电系统中的一个“虚拟”的电源或负荷。这使得现在的电力系统有了更大的柔性和可控性，同时也具有了更多的商业模式。现有研究和实践表明，将分布式电源以微网形式接入到电网中并网运行，与电网互为支撑，是发挥分布式能源效能的最有效方式，具有巨大的社会与经济意义。

2 智能微网现状与发展趋势

国内外针对微网技术已开展了较为广泛深入的研究，在取得理论和技术研究成果的同时，建设了一批微网实验系统和试点工程，对微网的关键技术和关键装备进行验证。

2.1 北美地区微网发展现状

美国是最早提出并建设微网的国家，拥有全球最多的微电网示范工程，数量超过200个，约占全球微电网数量的50%。1999年，美国电力可靠性技术协会（CERTS）最早对微网的思想进行了描述和总结，并于2002年系统地提出了微网的定义。美国能源部将微网视为未来电力系统的三大基石技术之一，将其列入了美国“Grid 2030”计划。美国微网示范工程地域分布广泛、投资主体多元、结构组成多样、应用场景丰富，主要用于集成可再生分布式能源、提高供电可靠性及作为一个可控单元为电网提供支持服务。

美国对微网的研究主要着重于利用微网提高重要负

荷的供电可靠性，同时满足用户定制的多种电能质量需求、降低成本、实现智能化等。

加拿大政府针对微网研究启动了综合社区能源管理（ICES）研究计划。重点关注微网技术在各类社区供能环节的应用，特别强调各类分布式能源的集成利用和与社区公共设施（交通、医疗、通讯等）的相互支撑。在ICES项目资助下，加拿大先后建立了一系列微电网示范工程，并计划在2020年前，在全国构建2000余个ICES系统。

2.2 欧洲的微网发展现状

欧洲重视可再生清洁能源的发展，是开展微网研究和示范工程较早的地区，1998年就开始了有关微网的研究工作。2005年，欧洲提出“Smart Power Networks”概念，并在2006年出台该计划的技术实现方略。

欧盟在第五、第六和第七框架下支持了一系列关于发展分布式发电和微网技术的研究项目，组织众多高校和企业，针对分布式能源集成、微网接入配电网的协调控制策略、经济调度措施、能量管理方案、继电保护技术，以及微网对电网的影响等内容开展重点研究，目前已形成包含分布式发电和微网控制、运行、保护、安全及通信等基本理论体系。同时，欧洲相继建设了一批微网示范工程，例如希腊基斯诺斯岛微网示范工程、德国曼海姆微网示范工程、丹麦法罗群岛微网示范工程、英国埃格岛微网示范工程等。

欧洲对微网的发展和研究主要围绕着可靠性、可接入性、灵活性3个方面展开，实现电网的智能化、能量利用的多元化，满足能源用户对电能质量的多种要求、满足电力市场的需求以及欧洲电网的稳定和环保要求等。

2.3 日本的微网发展现状

日本是亚洲研究和建设微网较早的国家，由于日本本土资源匮乏，能源紧缺，其对可再生能源的重视程度高于其他国家。自2003年开始，日本新能源与工业技术发展组织（NEDO）就协调高校、科研机构和企业先后

在八门市、爱知县、京都市和仙台市等地区建设了微网示范工程，研究、验证了一批微网关键技术，为后续微网发展和建设奠定了良好的基础。

日本拥有全球最多的海岛独立电网，因此发展集成可再生能源的海岛微网，替代成本高昂、污染严重的内燃机发电是日本微网发展的重要方向和特点。日本经济产业省资源能源厅于2009年启动了岛屿新能源独立电网实证项目，通过提供政府财政补贴，委托九州电力公司和冲绳电力公司在鹿儿岛县和冲绳县地区的10个海岛上完成了海岛独立电网示范工程的建设，包括由东芝集团负责建设的宫古岛大型海岛电网和由富士电机株式会社负责建设的9个中小型海岛微网。

日本在微网方面的研究更注重可再生能源的控制与电储能，主要着眼于能源供给多样化、满足用户的个性化电力需求和减少对环境的污染，同时注重微网与传统配电网的融合，为微网的大规模发展提供了广阔的空间。

2.4 我国微网的发展现状

结合目前我国正处在工业化和城镇化的进程中，能源需求持续增长，能源对外依存度高，环境治理压力大的国情，大力发展可再生能源和微网有利于解决资源和环境的双重压力。在《中华人民共和国可再生能源法》等一系列国家政策法规的鼓励引导下，在国家科技部“973”项目、“863”项目及国家自然科学基金等资金支持下，国内众多高校、科研机构和企业投入到可再生能源和微电网的研究开发和应用实践中，在理论研究、实验室建设和示范工程建设方面取得了一系列的成果，建成了一批微网示范工程。我国的微网研究以提高分布式能源利用效率和电网接纳能力为目标，充分利用分散型能源，结合终端用户电能质量管理和能源梯级利用技术形成的小型模块化、分散式的供能系统。我国微网示范工程大致可分为三类：边远地区微网、海岛微网和城市微网。

（1）边远地区微网。我国边远地区人口密度低、

生态环境脆弱,扩展传统电网成本高,采用化石燃料发电对环境的损害大。但边远地区风、光等可再生能源丰富,因此利用本地可再生分布式能源的独立微网是解决我国边远地区供电问题的合适方案。目前我国已在西藏、青海、新疆、内蒙古等省的边远地区建设了一批微网工程,解决当地的供电困难。

(2) **海岛微网**。考虑到向海岛运输柴油的高成本和困难性以及海岛所具有的丰富可再生能源,利用海岛可再生分布式能源、建设海岛微网是解决我国海岛供电问题的优选方案。从更大的视角看,建设海岛微网符合我国的海洋大国战略,是我国研究海洋、开发海洋、走向海洋的重要一步。

(3) **城市微网**。我国还有许多城市微网示范工程,重点示范目标包括集成可再生分布式能源、提供高质量及多样性的供电可靠性服务、冷热电综合利用等。另外还有一些发挥特殊作用的微网示范工程,例如江苏大丰的海水淡化微网项目。

值得指出的是,我国目前的微网发展重点关注新技术的探索和应用,对于微网的运营模式、市场推广机制、引导推动政策等方面的研究还比较少,而这些正在成为微网技术获得广泛推广应用的瓶颈。

3 基于分布式可再生能源接入的智能微网关键技术及挑战

微网的最终目标是实现各种分布式能源的无缝接入并发挥其最大潜力。要实现这一目标需要很好地解决与微网相关的一系列关键技术,包括:规划设计、控制与保护、电能质量监测与治理、能量优化管理、能源系统信息-物理融合、智能化接入与需求互动响应、直流微网及多微网间直流互联等各个方面。

3.1 微网规划设计

微网规划的目标是在满足用户对电、热、冷用能需求的前提下,合理地利用能源,特别是尽可能利用风、光等可再生能源,获得最佳的投资效益,保证微

网安全、可靠、经济运行等。要实现含分布式可再生能源的微网优化规划设计,需要综合考虑多方面因素,尤其是:

(1) 需要考虑微网中能源结构和运行方式,包括分布式可再生能源的电、热、冷生产灵活匹配与协调运行。

(2) 需要考虑可再生能源波动性和间歇性,合理预测可再生能源生产,并规划能源互补能力及微网独立运行能力的保障等问题。

3.2 微网运行控制与保护

实现微网与大电网的协调运行控制以及对大电网安全稳定的支撑,是微网区别于一般分布式可再生能源并网的重要技术特征。相对于常规电力系统而言,一方面,分布式可再生能源容量一般不大,采用电力电子装置的逆变方式并网,自身运行亦不稳定;另一方面,微网内的设备种类繁多,各类可再生能源运行特性不一、控制方式不同,导致微网的运行控制与保护问题比较复杂。

(1) **电压和频率的稳定控制**。可再生能源的并/离网、波动等都会造成微网电压波动,同时可再生能源大多为电力电子装置并网,导致系统惯性小,离网独立运行模式下频率变化迅速,因此如何保证系统在不同运行模式下电压和频率的稳定控制是微网内分布式电源协调运行控制的首要关键技术。

(2) **故障下的运行模式无缝切换**。部分微网具有联网运行和独立运行两种模式,需要重点解决在多类型分布式可再生能源接入下微网的故障快速检测、基于内外部故障信息的微网自动解列和无缝切换、微网再并网自同期技术。

(3) **控制保护架构**。目前国内外针对微网的控制保护架构提出了三种模式:对等控制模式、主从控制模式和基于多Agent代理的分层控制模式。现有的分布式可再生能源如光伏、风电等并网逆变器产品及相关技术尚不足以满足微网可靠灵活运行的要求,还需要更加具有针

对性的研究和开发工作。

3.3 微网的电能质量监测与治理

在微网中，间歇式电源的频繁启停和功率输出的变化，会给用户带来电压波动、闪变等电能质量问题；微网内的电源往往采用电力电子技术，会产生谐波污染；单相分布式电源和单相负荷的存在，增加了系统的三相不平衡水平。

目前用于治理微网电能质量的技术包括无源滤波器、静止无功补偿装置（SVC）等，随着高性能电力电子元件的出现以及微处理技术、信息技术、控制技术的发展，满足用户定制电力需求的电能质量治理技术还需要进一步发展。

3.4 微网能量优化管理

微网集成了多种能源输入（太阳能、风能、生物质能等）、多种产品输出（冷、热、电等）、多种能源转换单元（燃料电池、微型燃气轮机、储能系统等），微网内能量的不确定性和时变性更强，需要全面利用各种控制和调节手段，实现对微网内能量管理与经济调度，提高微网整体运行效率。

微网能量管理系统主要有集中调度和分散控制两种模式。集中调度模式由上层中央能量管理系统和底层分布式电源、负荷等就地设备控制器组成，两层之间要求双向通讯。分散控制模式中，微网内能量优化的任务主要由分散的设备层控制器完成，每个设备层控制器的主要功能并不是最大化该设备的使用效率，而是与微网内其他设备协同工作，以提高整个微网的效能。集中调度模式技术上相对成熟，目前应用得也较为广泛，但距离真正实现微网运行的优化还有很大的挖掘潜力。

3.5 微网能源系统的信息-物理融合

目前的分布式能源系统只是一个单一的能源生产系统，远远不能满足当下对物理设备可控制、可交互、可通信、可扩展等众多应用需求。尤其是微网中包含大量的太阳能发电、风力发电等可再生能源，使得其在电源侧和负荷侧的随机性、间歇性、波动性都远远大于传

统配电网，传统的监测系统缺乏系统的感知能力且信息共享能力差，运行控制实时性也很难满足需要。因此，在环境感知基础上，将信息与计算嵌入微网能源，实现人、机、物互联互通与深度融合是微网能源系统的发展方向，而信息-物理融合系统（Cyber-Physical System, CPS）是其中最为关键的技术体系。信息-物理融合系统是一个综合计算、网络和物理环境的多维复杂系统，核心概念是“3C”（Computation、Communication、Control），即将计算进程与物理进程良好地结合到一起，通过人机交互接口来实现与物理进程的交互，使用传感器网络以实时、可靠、远程、安全的方式监控一个物理实体的具体动作行为。

在信息物理融合系统的带动下，未来的微网将是一个综合计算、网络、能源和物理环境的多维复杂系统，通过计算、通信、控制技术的有机融合与深度协作，实现用户侧分布式能源系统及微网的实时感知、动态控制和信息服务。

3.6 微网智能化接入电网及需求互动响应

开放互动是智能电网的重要特征之一，通过构建开放统一、竞争有序的电力市场体系，实现信息和电能双向互动，可以为用户提供参与多种类型互动的供用电新模式。智能电网与用户之间的互动主要方式之一是通过部署各类需求响应（Demand Response, DR）项目来实现。需求侧响应作为用电环节与其他各环节实现协调发展、友好交互的关键支撑手段和重要方式，一方面能够使用户参与电网优化运行和优化能源配置，另一方面可以满足用户多样化的电力需求，提高用户体验。微网具有单独的能量管理系统，可以作为一个整体组织内部电力生产、传输、交易，因此微网的能力并不仅仅限于成分布式能源和并网等功能，其一方面能够更好地自动化和智能化组织分布式能源以微网形式参与需求互动，另一方面能够为用户提供更加智能化的能源-用户服务。

3.7 直流微网及多微网间直流互联

为与目前交流电网相适应，目前微网主要是交流供

电方式，但是光伏等分布式能源大部分为直流形式，需要通过 DC/AC 变换环节接入交流微网，同时配电网中的电动汽车、LED 照明、大量各类电子设备等直流负荷也逐渐占越来越大的比重。当采用直流微网集成可再生能源等分布式发电系统时，能够通过 AC/DC 或者 DC/DC 接入直流母线，与交流微网相比使得分布式发电单元更易于接入系统，不仅能够减小能量转换次数，而且降低了成本、提高效率。

除此之外，采用直流微网集成可再生能源分布式发电单元具有无需考虑频率、相位、集肤效应以及无功补偿设备等优势，而且控制结构更加简单。因此直流微网集成可再生能源的新型解决方案具有着重要的现实意义和广泛应用前景。

其关键技术主要包括：（1）可再生能源及储能系统直流并网变换器技术；（2）直流微网的运行控制和能量管理技术；（3）直流微网的故障保护技术；（4）微网多端直流互联技术。

4 智能微网的技术成熟度和产业化发展路线图

微网是分布式可再生能源接入设计、运行、控制、保护的整体集成技术，为可再生能源接入提供服务。微网技术的成熟将直接影响分布式可再生能源接入能力及其与电网间互利能力，由此带动分布式可再生能源产业

扩大发展，而在此过程中微网产业也将逐步成型和规模化发展。

从技术上看，至 2020 年微网关键技术能够基本支撑分布式可再生能源大规模推广，至 2030 年微网技术能够基本成熟，走向商业化，具体各技术方面发展预测如图 2 所示。

我国已逐渐开始推广微网等相关技术及系统集成，在“太阳能光电建筑应用一体化示范”和“金太阳示范”中，都提出应优先考虑利用智能电网和微电网技术建设的用户侧光伏发电项目，并在具备条件地区应加快推进微电网并网技术示范，完善相关技术标准和管理制度，提高光伏发电对现有电网条件的适应能力。但总体上，截至目前为止，微电网相关政策仍属于缺失阶段，微电网技术主要被部分核心研究所或者企业掌握。

同时由于分布式可再生能源成本变化较大，政府一方面要根据分布式可再生能源成本变化及时调整微网相关政策，另一方面也需要进一步引导放开电网管制，为更加合理的分布式可再生能源和微网运营模式创造宽松的政策环境，以使通过微网能够更好地服务于用户、运营商、电网等多方参与者，让投资者决定投资收益问题，鼓励可再生能源在电力交易市场中实现自身价值，才能够激发投资者和用户对分布式可再生能源和微网的接受度和热情，让微网产业走向良性循环和发展。

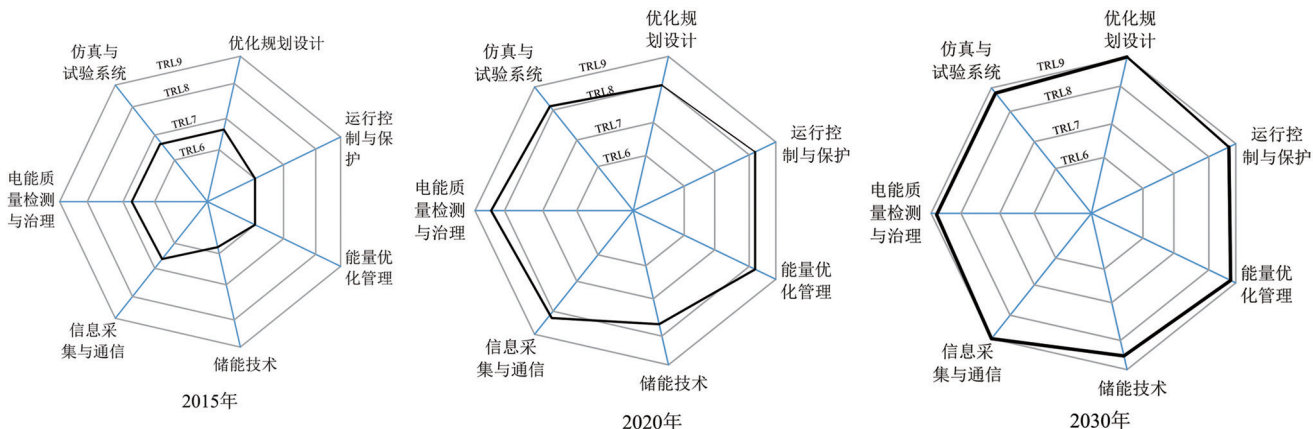


图 2 2015—2030 年我国微电网关键技术及成熟度预测

从乐观角度看，未来 20 年将是微网产业政策完善阶段，也是市场化蓬勃发展的阶段。微网发展大幅向企业及独立经营型转变的阶段，且不需要政府补贴，市场相对开放，竞价策略将会大幅推广。对微网产业化发展路线详细预测如图 3 和图 4 所示。

目前来看，微网示范工程大部分由科技项目和示范工程推动，另外也有相当数量的企业也开始自行投资建设微网。随着政策引导和相关示范项目的带动，预期将会产

生大量从事微网系统设计、建设、集成和运营管理的相关企业，并带动一系列相关产业共同快速发展，包括：

(1) 分布式可再生能源关键设备产业。微网是一个综合的网络，带来的也将是一个综合的设备市场，首先微网将能够大力推动达到用户和投资者投资期望回报的分布式可再生能源系统，包括各类型光伏电池、风机及其发电系统等。

(2) 微网关键设备产业。为达到微网运行控制的高

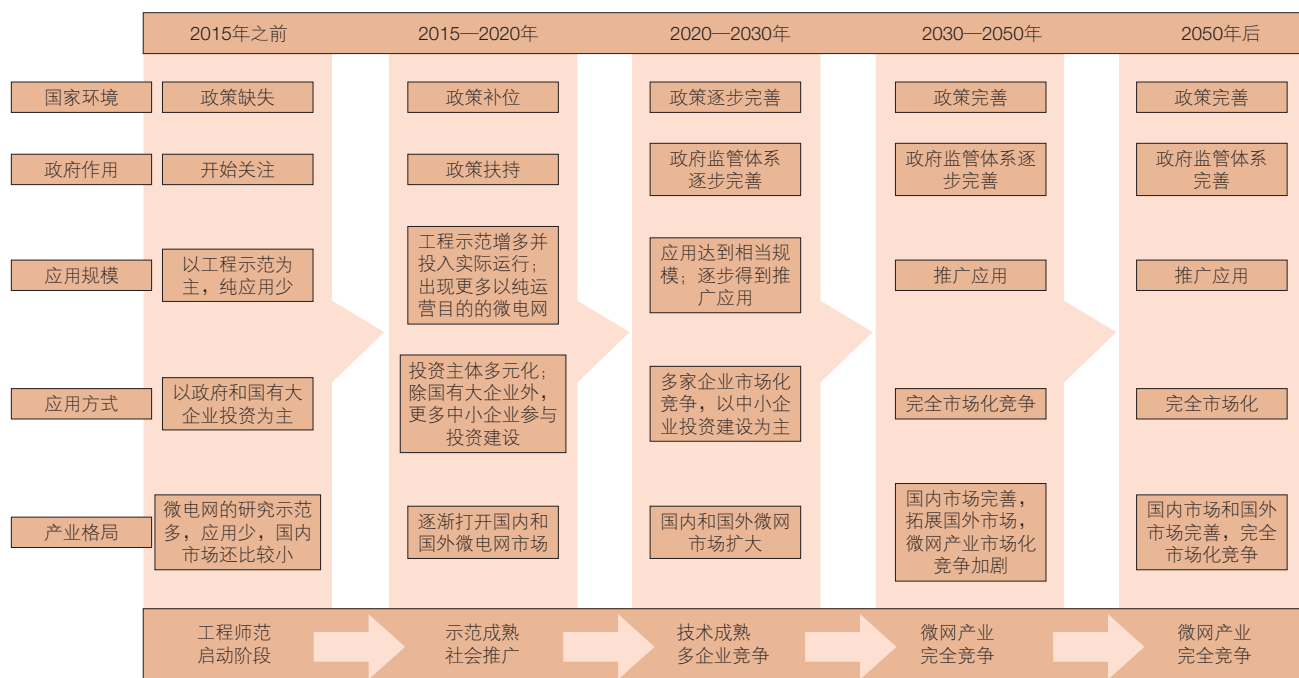


图 3 我国微电网产业化发展路线图



图 4 2015—2050 年我国微电网产业成熟程度预测

(注：TRL6：模拟环境下验证的系统模型或原型；TRL7：实际运行环境下验证的系统原型；TRL8：完全通过测试和验证的实际系统；TRL9：通过实际应用的系统)

级应用需求,需要增加具备如无缝切换、即插即用、电压频率调节等新功能的一系列新型智能控制设备;总体来看,作为投资中占比最大的关键设备制造,尤其是新型智能设备,是未来微网系统发展的重要增长产业方向。

(3) **微网系统运营服务产业**。在未来电力管制放松的预期下,微网系统能够以一个整体组织内部电力生产、传输、交易及使用来深度参与需求侧响应等市场运营,既可以向电网购电,也可以向电网售电,在配电和用户侧将能够形成新的运营模式。

(4) **变配电自动化产业**。未来配电网将融合先进的传感测量技术、自动控制技术、高级分析技术以及通信技术等,从而能够与用户侧微网智能化相适应,进而带来巨大的设备(产品)技术革新与市场需求,智能用电管理终端、配电自动化装置、遥控遥测装置、故障诊断装置、一体化测控保护终端等配电自动化设备的市场前景广阔。

(5) **节能产业**。微网不仅涉及分布式可再生能源,也涉及用户侧提高能效、节能等重要的环节,微网的发展同样会在一定程度上带动节能领域产业发展。

5 结语

(1) 大量分布式能源并网会对电力系统产生冲击和影响,从而限制了其接入规模和运行效率。

(2) 智能微网是分布式能源发电并网的有效方式,可实现分布式能源的灵活、高效应用,解决数量庞大、形式多样的分布式能源并网运行问题,可有效降低系统运行人员的调度难度,并提升分布式能源的接入能力。微网的最终目标是实现各种分布式能源的无缝接入并发挥其最大潜力。

(3) 未来的微网及能源和信息技术的融合包含三个方面:信息与计算嵌入微网能源、微网能源融入广域信息网络、基于信息的微网智能化。通过借助物联网、云计算、数据挖掘等新兴技术,为灵活地整合、管理、调度分布式资源奠定了基础,可以推动电网与用户的互动,将能大大提高系统运行能力和接纳可再生能源能力,进一步解

决大规模分布式可再生能源的接入和消纳问题。

(4) 随着电力电子技术和半导体器件成本的下降,基于直流的新型供电方式也逐渐成为可能,相对目前交流微网供电模式,其具有灵活、高效、可靠等优点,多端直流系统、交-直流混合系统等也将是未来微网重要的创新模式。

(5) 未来微网将从信息和电气两个方面向前发展,逐步形成一个微网为核心的开放对等的信息-能源互联系统架构,实现多种能源安全最优传输和配送、相互转换(效率)、高效利用和动态灵活供需平衡,并提供双向互动能源服务,将一个集中、单向、生产者控制的电网,转变成更加分布、更多消费者互动的电网。

参考文献

- Guerrero J M, Blaabjerg F, Zhelev T, et al. Distributed generation: toward a new energy paradigm. IEEE Industrial Electronics Magazine, 2010, 4 (1): 52-64.
- Lasseter R, Akhil A, Marnay C, et al. The certs microgrid concept – white paper on integration of distributed energy resources: report of the department of energy. US: CERTS, 2002.
- 王成山. 微电网分析与仿真实论. 北京: 科学出版社, 2013.
- 王成山, 王守相. 分布式发电供能系统若干问题研究. 电力系统自动化, 2009, 32 (20): 1-4, 31.
- Guerrero J M, Vasquez J C, Matas J, et al. Control strategy for flexible microgrid based on parallel line-interactive UPS systems. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, 56 (3): 726-736.
- 王成山, 李鹏. 分布式发电、微网与智能配电网的发展与挑战. 电力系统自动化, 2010, 34 (2): 10-14.
- 刘梦璇, 王成山, 郭力, 等. 基于多目标的独立微电网优化设计方法. 电力系统自动化, 2010, 36 (17): 34-39.
- Balaguer I J, Lei Q, Yang S, et al. Control for grid-connected and intentional islanding operations of distributed power generation. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58 (1): 147-157.

- 9 Wang S, Li Z, Wu L, et al. New Metrics for assessing the reliability and economics of microgrids in distribution system. IEEE Transactions on Power Systems, 2013, 28 (3) : 2852-2861.
- 10 Radwan A A A, Mohamed Y A I. Linear active stabilization of converter-dominated DC microgrids. IEEE Trans. on Smart Grid, 2012, 3 (1) : 203-216.
- 11 Anand S, Fernandes B G, Guerrero J M. Distributed control to ensure proportional load sharing and improve voltage regulation in low voltage DC microgrids. IEEE Transactions on Power Electronics, 2013, 28 (4) : 1900-1913.
- 12 Loh P C, Li D, Chai Y K, et al. Autonomous operation of Hybrid Microgrid with Ac And Dc subgrids. IEEE Transactions on Power Electronics, 2013, 28 (5) : 2214-2223.

The Role and Challenge of Smart Microgrid in the Integration of Distributed Energy Resources

Wang Chengshan Wang Shouxiang

(Key Laboratory of Smart Grid of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract Due to the energy supply near user side and reliable to multi-energy utilization, distributed energy is paid more and more attention. It is one of the most efficient methods to integrate distributed energy resources into power grid in the form of smart microgrid since they can support with each other. First, the concept of smart microgrid is introduced and the role of smart microgrid on distributed energy integration is presented. Then, the research status and the tendency of smart microgrid are described. Next, the key technology and the challenge of smart microgrid are proposed. Finally, the spider net model of technology mature status and the road map of industrial development of smart microgrid are drawn.

Keywords smart microgrid, smart distribution system, distributed energy

王成山 天津大学教授，博士生导师。国家重点基础研究项目（“973”计划项目）首席科学家；教育部长江学者奖励计划特聘教授；国家杰出青年基金获得者。中国电机工程学会常务理事、学术委员会委员，天津市电力学会副理事长，教育部电气工程及其自动化专业教学指导委员会委员，《电力系统及其自动化学报》编辑委员会主任委员，“十一五”国家“863”计划“MW级并网光伏电站系统”重点项目总体专家组成员，国家自然科学基金委员会第十、十一、十三届工程与材料科学部专家评审组成员、副组长，国际大电网会议（CIGRE）和国际供电会议（CIRED）中国国家委员会委员。E-mail: cswang@tju.edu.cn

Wang Chengshan Professor of Tianjin University, Ph.D. supervisor, national key basic research project (973 project) chief scientist, the Ministry of Education Changjiang Scholars Program Professor, a winner of National Outstanding Youth Fund. Executive director of the China Institute of Electrical Engineering and academic committee member, vice chairman of Tianjin Electric Power Association, member of the Teaching Steering Committee of Electrical Engineering and Automation of the Ministry of Education, chairman of the editorial board of *Proceeding of the Chinese Society of Universities*, member of expert commission of key project of national “863” plan “MW-level grid integration photovoltaic stations” during the Eleventh Five-Year Plan, vice chairman or member of 10th, 11th and 13th expert review team at department of engineering and Materials Science of National Natural Science Foundation of China, member of china National Commission of CIGRE and CIRED. E-mail: cswang@tju.edu.cn.