

智慧微网

——分布式能源系统级解决方案

文/特变电工西安电气科技有限公司

随着能源互联网的兴起，世界能源形势正呈现低碳化、数字化和去中心化趋势，分布式能源系统如光伏、风电受地理条件、天气环境和设备特性等诸多随机性因素的影响，其发电功率及发电量难以预测，从而使得电力系统调节能力不断下降、抗扰能力不断减弱且稳定风险不断增加。由此，分布式能源的系统级解决方案——“智慧微网”应运而生。

在智能微网领域，特变电工以系列化多端口电能路由器为技术引领核心，以能量管理系统、模块化储能系统两大关键产品为新业态市场驱动，针对工商业园区、数据中心、海岛和无电地区等多应用场景，提供交流、直流和交直流混合等多技术场景以及需求响应、调度响应、孤岛运行和低碳运行等多运行场景解决方案，形成了全生态链的智能微网解决方案。

特变电工智慧微网解决方案是基于能量转换设备、监控保护装置，由智能的能量管理系统通过优化协调分布式电源系统、储能系统和需求侧等促进可再生能源就近消纳，实现系统最优、局域自治的系统级解决方案。如图1所示，智慧微网可实现“经济、技术、能源、环境”4个维度的多目标优化，处理系统运行成本优化与不同利益体之间的经济冲突及“源—网—荷—储”的能量流优化与功率协调，并且可处理一次能源的协调配置、二次能源的优化运行以及能源与环境矛盾冲突，实现能源与环境之间的优化协调。

智慧微网关键设备

1. 微网能管系统TEMS[®]

特变电工秉承“微电网即服务”的理念，自主研发模块化、定制化能量管理系统TEMS[®]（如图2所示），满足不同客户需求。

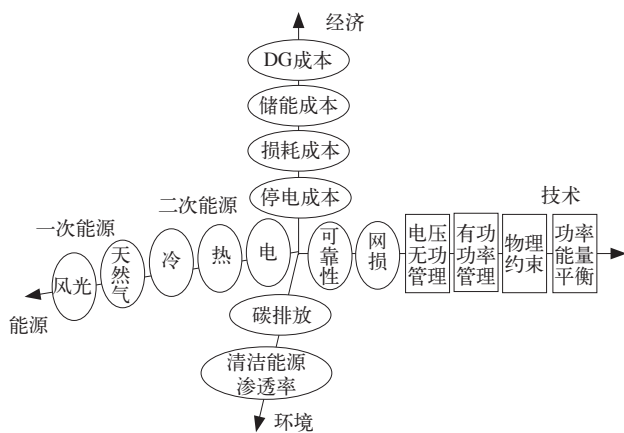


图1 智慧型微网四维度目标

TEMS[®]具备如下特点：

1) 全景感知，精准预知。①实时采集与在线监视（分辨率1 s）；②多算法自校正、混合模型多时间尺度发电预测（24 h/4 h/15 min，准确度>80%）。

2) 智能管理，精确控制。①多时间尺度智能调度（24 h/5 min）；②多目标在线实时寻优（节能>5%）；③多模式频率电压自适应调节（调频误差≤±0.05 Hz，调压误差≤3%）。

3) 模块软件，定制服务。①需求响应、调度响应、孤岛及低碳多运行模式定制；②分时电价管理、需量电费管理、辅助服务奖励以及柴油替代多盈利模式服务。



图2 TEMS[®]主界面图

TEMS[®]集成了“两大智能化软件+两大数字化平台”，即功率预测软件、优化调度软件、SCADA系统以及云平台。TEMS[®]功率预测软件使用粒子群优化SVM建立功率预测模型，支持微网中光伏发电、负荷功率预测。采用未来0~24 h短期预测与未来0~4 h滚动超短期预测相结合的预测技术，提升功率预测精度。时间分辨率15 min，预测精度>80%。光伏、负荷预测及其实时监测曲线如图3所示。

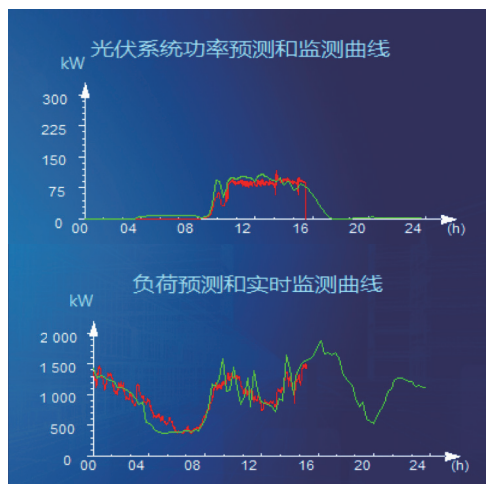


图3 光伏、负荷预测及其实时监测曲线

TEMS[®]优化调度软件按照“应用—决策—执行”的架构模块化、定制化设计，如图4所示。优化调度划分为日前及实时优化调度，其中日前优化调度应用分段线性化的处理方法，使用混合整数线性规划模型求解，提高计算的准确性和快速性。实时优化调度启发式算法，基于包络线原理对储能进行模糊控制，快速完成调度计划的控制实现。优化调度结合源荷功率预测，进行多时间尺度源荷储能能量管理与优化调度，从而实

现经济优化运行，提升微电网经济效益。并且TEMS[®]具备安全校核功能，可实现实时调度方案的潮流校验等功能，保证微电网的安全性。



图4 优化调度架构设计

TEMS[®]SCADA软件平台具备数据图表和报表分析功能，可直观地让客户了解系统运行情况，提升客户满意度。它集成了云平台以及手机APP的大数据分析和跨平台智能运维功能。云端智慧能源管理平台通过物联网、云计算及人工智能算法等实现以下功能：

- 1) 集团化运维：支持集团、区域和电站的多级运维管理，实现资源共享、优势互补，从而节约成本、提高效率。
- 2) 全生态链管理：将电站涉及到的所有建设单位、设计单位、施工单位、设备生产商、设备供应商和运营单位纳入管理体系，客观公正地评价其产品和服务，促进各参与方的产品改进和服务提升。
- 3) 全生命周期管理：关注电站的整个生命周期，从规划阶段、建设阶段再到运营阶段，提供全方位的管理服务。

2. 电能路由器

电能路由器是交直流混合微电网的核心设备，以先进电能变换装置为核心，集成了现代通信技术、电力电子变换技术、现代控制技术以及人工智能等技术，实现局域电网的能量智能路由、分布式能源的高效利用的一二次融合电力设备。其主要特点有：重量轻、体积小且无污染；实现多种形式电能变换与接口匹配——交/直流适配，高/低压适配；实现电能质量隔离与补偿——二次侧无功、谐波独立且动态可调，输出电压稳定可控且与负载独立；实现潮流多向

路由,具备快速保护功能。

特变电工电能路由器产品通过了科技成果鉴定,获得“居于国际领先水平”的最高评价,图5所示为特变电工研制的10 kV/1 MV·A电能路由器产品,整机采用6 m标准集装箱式设计,最高效率高达98.2%,交流侧可实现10 kV中压直接并网,低压侧可构造800 V直流母线。



图5 特变电工电能路由器成套设备

特变电工经过不断研究和开发,突破了很多世界级技术难题,其中一项关键技术为模块化低压侧并联高压侧串联拓扑结构及其均压均流技术。电能路由器整机采用模块化级联技术,该方案具备模块化、标准化设计,容量易扩展,方便维护等优点;同时系统采用高压侧模块化串联技术,具备多电平波形输出能力,谐波含量低,无需大量滤波装置,可节约成本和体积。另一方面,通过模块的在线智能冗余技术可保证系统在不停机的状态下,故障模块自动在线切除,大大提高了系统的可靠性。

另一项关键技术是双有源桥电路移相控制+占空比调制的多自由度软开关技术。从根本上解决了双有源桥电路轻载效率较低、峰值电流大及控制性能较差等技术难题。实现整机最大效率高达98.2%,轻载效率高于96%,中国效率达到97.4%,从而可以大大提高系统效率,减少微电网的投资回报周期。

此外,电能路由器采用特变电工自主研发的通用控制器,采用双DSP+FPGA多核处理器、分层分级控制架构、多环多自由度协调控制策略、快速准确故障检测方法以及友好人机交互界面,进而实现电能路由器的智能优化控制。

3. 储能系统

电力系统储能的本质是解决电源与负荷的功率/电量不平衡问题,主要有以下三种盈利模式:

1) 发电侧储能:主要有“火电机组+储能”联合调频和“光伏+储能”两种商业模式,其盈利点主要来自于提升火电机组 K_p 值获得补偿

收益、解决弃光获得电价收益。

2) 用户侧储能:工商业园区储能、孤岛及偏远地区储能两种商业模式,其盈利点主要来自于峰谷电价差套利、需量电费管理、动态扩容、需求响应、提高新能源自用率以及替代柴油发电机等。

3) 电网侧储能:电网调峰调频。

特变电工提供“储能电池+三级架构BMS+虚拟同步机PCS+集装箱=整套集装箱式储能系统柔性解决方案”,如图6所示。该解决方案可提供稳定性及经济性两方面的需求,稳定性方面可提供调频支撑、惯量响应,提高高渗透率光伏系统稳定性,具备离并网稳定切换功能,提高供电可靠性,降低停电成本;经济性方面,采用“削峰填谷+需求响应”技术赚取峰谷电价差、削减尖峰功率降低微网系统基准容量进而节省电度电费及容量电费,提升系统经济性。



图6 特变电工储能系统解决方案

其中,PCS采用特变电工自主研发的具备虚拟同步机技术的储能变流器,具备一次调频、惯量响应等特性,可多机并联,实现离/并网无缝切换,最大转换效率 $\geq 98.5\%$,集成多种充放电模式,适配多种主流电池系统。

智慧微网解决方案

特变电工秉承“微网即服务”的理念,提供“规划—设计—产品—施工—运维”的全生命周期微网服务。

规划设计方面,特变电工提供资源评估、负荷测评、容量配置、网架设计、稳定性分析和经济测算等多维度、多指标及多闭环的整套方案,真切地为客户多角度规避投资风险、全方位提升

经济效益，规划设计基本流程如图7所示。

通过快速安装部署无线数据采集装置，建立项目数据库，进行项目源荷数据透视化，从而对项目所在点进行能耗分析、负荷评测和资源评估。通过多时间尺度、多平台仿真工具进行微网运行策略设计，多种能源、多种储能的容量优化配置，实现技术型闭环规划设计。通过主设备选型设计与经济模型搭建，进行经济指标等测算与可靠性指标等综合指标评价，实现经济型闭环规划设计。

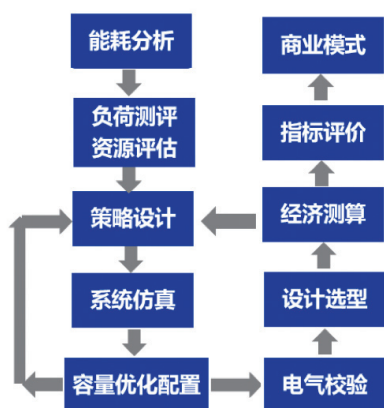


图7 规划设计流程

基于以上规划设计及服务，特变电工提供“1+2+X”的全生态链解决方案，为客户提供多场景、多产品定制化服务。其中“1”核——系列化多端口电能路由器TEER；“2”驱——能量管理系统TEMS[®]、储能系统TBESS；“X”场景——工商业园区、数据中心、海岛和无电地区等多应用场景；交流、直流和交直流混合等多技术场景；需求响应、调度响应、孤岛运行和低碳运行的多运行场景。

1. 工业园区交流微电网解决方案

特变电工提供三层、双端微网能量管理系统（TEMS[®]）交流微网解决方案，如图8所示。通过经济优化调度实现“基础+电度”双重降费，经济绿色双赢，降低园区综合用电成本；通过智能控制实现离并网稳定切换，提高供电可靠性，降低停电成本。同时，该解决方案可为电网提供调峰、调频等辅助服务，提升系统收益。

2. 交直流混合微电网解决方案

“网—源—荷—储”由电能路由器统一接入，替代传统逆变器、储能变流器、网关接口柜和中央控制器，采用交直流双路供电，具备并网离网切换功能，供电可靠性高。如图9所示，此外该解决方案中电能路由器高度集成了一、二次设

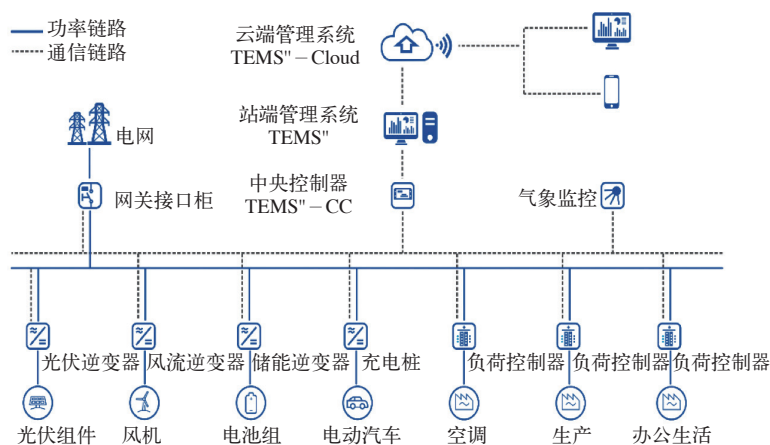


图8 工业园区交流微电网解决方案

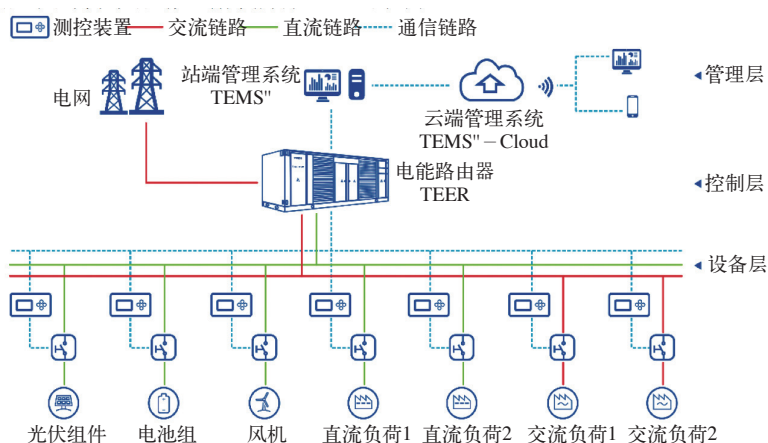


图9 交直流混合微电网解决方案

备，减少电能变换环节，降低损耗（最大降低5.0%，平均2.5%），提升系统效率；提高设备利用率，减少电缆使用，降低初期投资成本。由于系统高度集成，可大大缩短施工周期。据有效数据测算，该交直流混合微电网解决方案相对于传统交流微网解决方案IRR可提升1%。

智慧微网解决方案工程应用

特变电工西安电气科技有限公司是特变电工旗下专注于光伏发电、电能质量治理和智能微电网等核心装备研制及提供核心技术解决方案的高新技术企业，主要产品有光伏逆变器、高压静止无功发生器、智能微网产品及智慧能源管理平台，并以电力电子技术为支撑，致力于清洁能源发电、智能配电和灵活用电全生态链的能源互联网技术探索，加快引领能源行业技术进步，驱动能源技术革新。

特变电工以自己的智能微网关键设备为基础，为客户提供多场景、多产品定制化服务，并

成功在实际项目中应用。

1. 特变电工西安产业园微网示范工程

该示范工程依托于国家高技术研究发展计划（863计划）“光伏微电网双向变流器研制及关键技术研究”项目，建设2 MW源网荷储协调的微电网工程。其中，光伏组件配置 2 MW_p，储能配置 1 MW/1 MW·h锂电池，充电桩配置 960 kW，采用工业园区交流微电网解决方案，已于2018年底正式投入运行。

该示范工程盈利模式主要有三种：①降低系统容量，减少基本电费；②提升光伏自发自用电量，减少园区电度电费；降低光伏余电上网电量，提升光伏发电收益；③削峰填谷，减少园区电度电费。据统计，该微网可使得园区综合用电成本下降30%，其中降低基础容量

10%，减少基础电费6%，由于峰谷电价差减少电度电费6.5%，由于提升光伏自发自用比例12%而节约电费15%，用能精细化管理方面节约电费2.5%。图10所示为园区微网实际采集的用电功率曲线。

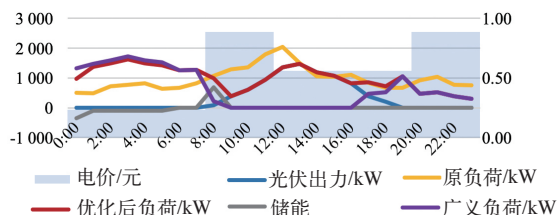


图10 特变电工西安产业园微网示范工程功率分配

2. 珠海直流微网

该工程是能源局“互联网+”智慧能源重点

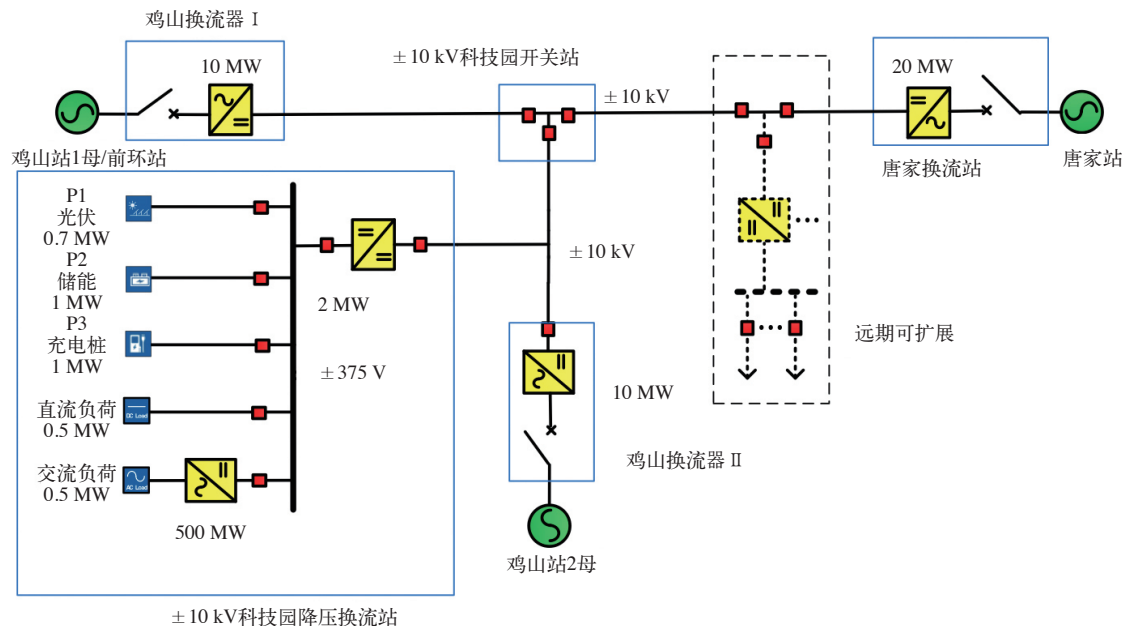


图11 珠海直流微网工程

项目，全世界规模最大的多端交直流混合柔性配网工程，利用直流变压器承接±10 kV电网，构建低压±110 V和±375 V直流网络。珠海直流微网工程如图11所示。

3. 东莞交直流混合微电网

该工程依托国家重点研发计划，旨在实现更高效的智能微电网构架，实现可再生能源的有效消纳。四个端口覆盖高低压，交直流，可以实现不同形式能量的高效传递，可广泛应用于工业园区、校园和数据中心等应用场景。

结束语

在产品及运维方面，特变电工基于自主开发的微网能量管理系统、中央控制器及运维云平台等核心产品，构建全生态链微网能量管理及运维系统。该系统基于机器学习、人工智能等技术，采用多时间尺度功率预测和多目标优化调度算法，基于大数据、云计算等技术，构建开放性、分布式和人性化的软件平台，可提供需求响应、调度响应、孤岛运行和低碳运行等多种运行模式，满足不同客户个性化需求，保障微电网安全、稳定和经济运行。EA