

楼宇智慧用能与综合能源服务

文/南京南瑞信息通信科技有限公司 吕 辉

综合能源已经成为未来终端用能的主要方式。电网公司根据综合能源服务业务发展需要，正在建设省级智慧能源服务平台，实现全社会用能信息广泛采集、客户能效数据在线分析、用能优化科学决策、需求响应、源网荷储协调互动等目的，有效提升客户综合能效，降低社会用能成本，促进新能源消纳。

针对综合能源服务发展需要，国家电网公司正在规划建设绿色国网、省级智慧能源服务平台，建设目标包括全社会用能监测、智慧高效用能、柔性负荷可调可控和源网荷储协调互动等。作为上述系统的末端组织结构，也是上述系统的重要组成部分，需要建设企业级用能优化控制系统，用于实现业务闭环与信息交互。楼宇智慧用能系统（CPS）是典型企业级用能优化控制系统之一，用户可以通过该系统，在线实现与省级智慧能源服务平台互动，参与电网综合能源服务公司的节能管理和其他综合能源服务业务，提升用能管理水平。

CPS系统整体架构设计

楼宇智慧用能系统（CPS）的主要需求包括两个方面：一是满足电网公司开展综合能源服务的业务需要；二是满足企业内部用能管理的需要。基于上述需要，该系统在技术上、推广应用层面上就有了一些特殊需求：

业务互动层面：实现设备运行工况数据采集与控制策略执

行，与电网公司省级智慧能源服务平台互动完成能效优化管理、智能运维以及需求响应等业务流程。

用户能源管理层面：立足用能用户内部能源管理，提供全面的信息化支撑手段。

技术要求：满足多种部署方式需要。在断网情况下，能够自治独立运行。

推广应用要求：通过功能组合适配用户个性化用能特征和服务需求，解决系统整体推广建设周期长、成本高等问题。

CPS系统是一个跨用户的协同应用系统，同时也是一个物联网系统。因此，有两个基本问题需要解决：

一是跨公司的业务流程如何设计实现闭环，也就是一半业务流程在综合能源公司，一半在企业内部，如何在保证信息安全、满足企业管理需求的前提下，让业务开展下去；比如，在需求侧管理、电力交易等电力涉及客户侧交互较多的业务，特别是需求侧实时响应、现货交易等时效性很强的业务，业务执行层难以开

展、难以落地，没有较好的客户支撑。需要解决跨公司的业务闭环问题。

二是如何让企业通过物联网采集的用能过程数据产生更大价值，或者说产生集聚效应，是建设系统未来最大价值的地方。CPS系统在楼宇内部署了大量的物联网，用于采集用能需求、用能过程和用能结果数据，这些数据收集后，就能了解楼宇用能规律、用能特性，作为用能服务开展的宝贵资源。但如果CPS系统应用形成规模，必然会形成客户物联数据的爆炸性增长，如何扶植CPS系统良性发展，打通数据孤岛，并管理好、应用好数据，服务好客户，是个严峻课题。需要解决云边协同等技术问题。

因此，CPS系统在综合能源管理方面是个关键，通过加强产品导向、项目扶持，形成产品化。通过构建独立的可服务于用户侧的大数据中心，同步形成云平台计算能力，实现用户双向互动，打造综合能源生态圈（客户、用能企业、政府、设备及系统厂商），形成业务延伸，形成服务

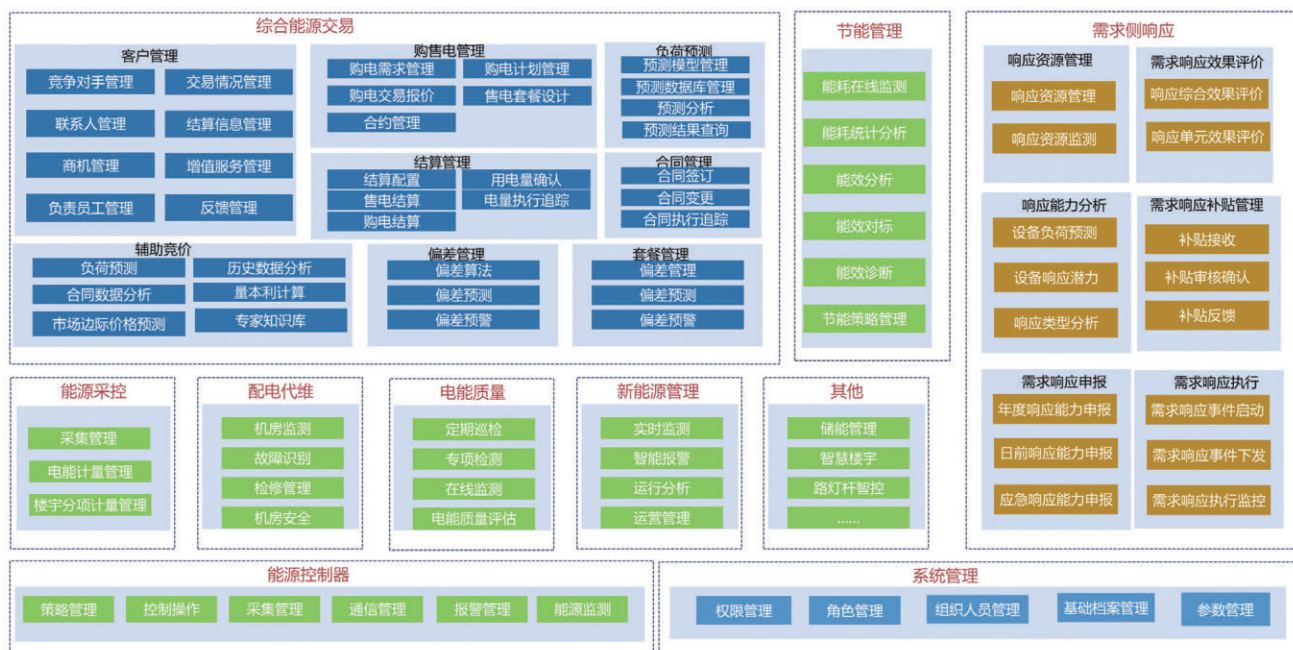


图1 CPS系统业务功能设计

多样化。

1. CPS系统业务功能设计

包含了一般现有能源管理系统的基本功能。设计功能全面满足省级智慧能源服务平台业务需求和综合能源服务业务开展需要：能源采控、节能管理、需求侧响应、综合能源交易、配电代维、电能质量、新能源管理、储能管理、智慧楼宇、路灯杆智控、系统管理及外部接口等模块。

同时，增加了两部分新内容：一是需求侧响应，二是综合能源交易。需求侧响应模块的功能主要是实现自动化地挖掘需求响应资源，配合可调节负荷检测，作为用户操作终端完成需求响应执行过程。综合能源交易模块考虑到建筑群场景，涉及到多栋楼宇中租户的管理。如图1所示。

2. CPS系统技术架构设计

系统吸收了最新的“运—管—边—端”物联网架构，保证系统开放特征的同时，与用能管理业务特点充分融合匹配，充分发挥物联网功能层级技术优势。设计

团队是由电力营销专家、节能服务专家、信息系统建设专家、高校和研究机构共同组成，业务和技术都相对比较突出，可以解决综合能源业务多学科、多专业知识综合运用难题。

需求侧响应

“十三五”以来，随着新能源发电和省外来电的大幅增长，煤电比重持续降低，各省电力供应结构逐步向清洁化、受入型转变，城镇化的快速发展加大了电网峰谷差，电网调峰、新能源消纳和冬季民生供热保障矛盾凸显。

需求响应是指电力市场价格明显升高（降低）或系统安全可靠存在风险时，电力用户根据价格信号或激励措施，暂时改变其固有的习惯用电模式，从而促进电力供需平衡、保障系统稳定运行的行为。实施需求响应可以有效调节峰谷负荷，缓解供需矛盾，引导电力用户提高负荷管理水平，为今后参与辅助服务市场和电力现货市场做好人才和技术储备。

根据响应时间，电力需求响应分为约定需求响应和实时需求响应。约定需求响应是指在响应日前发出邀约的需求响应；实时需求响应是指接收平台指令并在5 min内开始执行的需求响应。根据电网运行需要，电力需求响应又分为削峰需求响应和填谷需求响应。其中，削峰需求响应是指需要用户在规定时间内减少用电负荷；填谷需求响应是指需要用户在规定时间内增加用电负荷。通过需求侧管理措施，实现整个电网的源网荷储联合调度，是增加电网资产利用效率重要措施，也是电网公司开展综合能源服务的重要意义之一。

需求侧响应存在几个主要问题，如存在一定的计划性因素、互动性不强、参与主体范围小等。在企业建设有CPS系统后，可以通过将业务流程固化在系统中，在线与云端系统互动完成业务开展过程，降低企业参与门槛和投入，参与能力极大增强。

解决上述问题的大致思路如

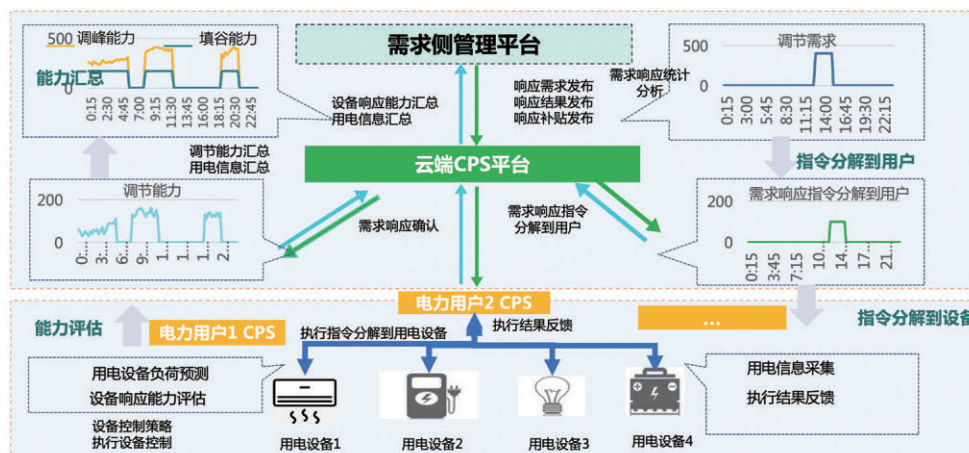


图2 CPS系统设计的云边业务逻辑分工

图2所示。CPS在本地监测设备运行，分析柔性负荷数量。在评估具有参与需求响应能力的情下，提示用户参与。在用户参与后，CPS持续开展评估，将评估结果上报给云端系统，完成对区域参与需求响应能力的汇总监测。在开展一次需求响应时，云端按照一定策略完成企业本次参与能力参与后，CPS进行二次分解，提示用户确定参与设备的控制策略，用户确认后，自动生成一条控制策略，在需求响应启动后，自动控制设备执行。这样一个过程实现了，挖掘用户参与潜力，实时监测评估，参与时自动调度匹配生成分解和控制策略，与用户活动互动完成业务过程。

设备运行节能控制

设备运行节能控制主要解决规

划与实际运行参数不匹配导致的能耗浪费问题。节能管理将采集的能耗数据进行分类、分项、分户统计和分析，对用能单元的运行状态、效率和能源的利用效率进行能效分析。与国际国内同行业先进能效指标进行对比分析，充分挖掘节能潜力。通过能效对标后，对与标准库指标偏差较大的数据进行分析，为用户提出节能优化建议或节能优化策略方案。

以空调为例，目前需要解决的核心问题是，系统通过自学习进入优化控制过程，尽量减少专家的参与，并解决企业专业人员配置不足导致的系统无法使用问题。因为经过大量调研发现，传统的控制方法主要进行单变量、单控制回路的控制，无法反应真实的负荷需求；控制逻辑过多依

赖人工设计，涉及人员的业务水平和工作态度给后期的扩展和维护造成一定的影响；对使用人员的业务水平要求非常高。

解决思路是建立多维度的自学习模型，自动识别变化，自动按控制目标调整控制策略：一是在云端存储大量历史优化结果；二是设置一些指标，在指标监测结果报警后，由远程专家手动调节参数，控制干预，做到人工修正。

设备全寿命评价

关注能源使用过程，最终就是要解决设备在什么时间以什么规律用能，是实现负荷有效管理的终极解决途径。同时，设备能耗水平是设备型号选择采购、更换时机选择等投资行为重要指标。设备全寿命评价能实现企业安全、高效用能，如图3所示。

一种解决思路是：围绕设备全寿命核心价值链，建立设备全寿命的评价体系。在建立设备初始模型的基础上，通过性能测评、故障诊断、能效对比及综合评价等模块，跟踪设备的瞬息变化，捕捉故障形态，修正数学模型，及时提供运行报告，帮助用户挖掘在运行维护

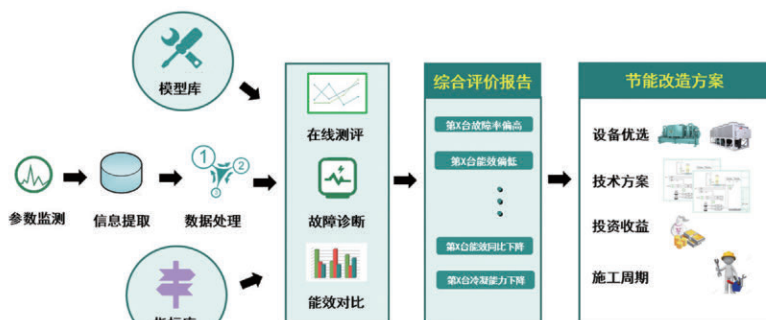


图3 设备全寿命评价流程

过程中的缺项漏项, 提出策略运行建议和节能改造方案, 总结经验, 从源头提升设备质量和运营能力。

1. 性能测评

通过长期监测, 发现偏差变化趋势, 判定性能衰减问题, 提示设备更换。创建测评模型, 完善评价指标模板库, 构画“参数—指标—性能”的映射关系, 针对名义工况及非名义工况下的实时运行数据, 实现评价系统的自动跟踪、智能测试, 并将测试结果与专家诊断数据集成共享, 提升系统智能研判能力。

2. 故障诊断

在长期的运行过程中, 系统的故障运行不仅会增加设备的损耗, 同时还会减少出力, 如新风系统故障导致空气质量降低。传统故障识别与诊断依赖人工经验, 耗时耗力。CPS系统局域网运行, 可以实现细时间粒度数据采集分析, 能够捕捉表征设备故障敏感特征的测点, 匹配适合的人工智能算法, 实现单点故障和并发故障的诊断, 极大地减少对人工经验的依赖。

3. 能效对比

以空调为例, 根据最新国家标准, 采用名义制冷工况下的制冷机组的性能系数COP和综合部分负荷性能系数IPLV作为能效评价指标, 同时参考非标准工况下的性能系数NPLV, 实现多台机组间能效指标的横向对比, 机组自身的纵向同比和环比, 并分析各种因素对能效的影响, 找到综合能效系数的最优组合。

4. 综合评价

通过月度向用户推送综合评价结果, 提示用户淘汰高耗能老旧设备, 通过这种方式挖掘节能项目。同时, 数据支撑节能改造技



图4 智慧楼宇用能系统

术方案的规划设计, 让投资针对性更强。

烟台某商业综合体项目

烟台某综合体是山东省内在建体量最大的“互联网+”主题项目, 该项目由16栋单体建筑及配套商业用房构成。综合体规划有4条10 kV进线、6个配电室和15台变压器, 总容量26 500 kV·A。

目前在用的有4栋楼, 涉及两座配电室, 专供两座空调能源站使用, 容量12 000 kV·A。综合体建有两座分布式空调能源站, 能源站汇聚了多样化的供冷/热设备, 在综合体总体用能中占据主要的地位。

项目工程实施部分对综合体中央空调、空气源热泵以及配电室等综合体供、配、用能系统进行改造, 为综合体建设用能优化控制系统软件。通过对空调能源站的改造, 优化空调能源站内水冷主机、水泵、空气源热泵和风机等设备的协调运行, 提升设备及空调能源站的能效。

项目建设的楼宇智慧用能系统使供用能设备或系统具有计算、通信、精确控制、远程协作和自治功能, 构建协调优化、友好互动与灵活交易的用能管控体系, 为园区用能的精益化管理提供支撑, 降低企业能耗, 提升经济效益。如图4所示, 该项目降低企业

的综合能耗15%左右。

1. 空调机组实时优化策略库

该策略通过机组的连锁控制、冷冻水系统压力控制等工业控制手段, 结合用户用能习惯, 针对不同区域和时段, 提高设备的利用率, 实现空调机组更加合理的运行, 在不影响空调正常使用的前提下最大程度降低能耗。

2. 空调柔性调峰策略库

该策略库包含整体建筑策略、办公区域策略、能源站策略以及大空间商业策略四个不同的柔性控制策略。具体策略为: 对整体建筑进行强制预冷; 对办公区域提高房间温度设定值; 对能源站提高冷水供水温度, 限制机组的负载电流; 对大空间商业降低风道静压, 限制变频风机转速, 限制冷水流量。

3. 多能协同策略库

为应对商业综合体不同季节的冷热需求, 系统实现对综合体中的制冷(冷机、热泵)、制热设备(热泵、电蓄热)的协同运行, 将两种状态的设备耗电情况和峰谷电价(日前电价)结合, 进行经济性的分析对比, 给出合理的运行策略。

4. 电力现货市场交易策略

根据日前电价, 调整园区用电曲线, 控制源、荷两端设备运行, 匹配最佳园区用能策略, 降低园区用能成本。EA