

基于低代码云平台的低碳园区负荷聚集商系统的研究及实现

郑茂然¹, 李俭伦², 王楠方², 林国武², 温乔木², 钟锦浩²

(1. 中国南方电网电力调度控制中心, 广东 广州 510663;

2. 广州城市理工学院电气工程学院, 广东 广州 510800)

摘要: 中小型负荷分布不集中, 弹性水平低是造成负荷侧能源利用效率低、调度困难及需求侧响应难以有效开展的因素之一。针对上述问题, 将新兴 IT 技术与智能电网、虚拟电厂建设等电力行业的需求结合起来, 梳理并完成负荷聚集商业务主线逻辑设计, 并充分利用低代码云平台上开发效率高、开发周期短、架构灵活、扩展性强和运营维护成本低的特点, 基于低代码云平台, 设计出一套完整的负荷聚集商系统并加以实现。该系统完整实现了负荷聚集商的业务逻辑, 验证了基于低代码云平台系统研发的技术可行性, 为负荷聚集商技术支持系统的建设提供了有价值的参考方案。

关键词: 负荷聚集商; 低代码平台; 系统设计; 需求响应

Research and implementation of low-carbon park load aggregator system based on low code cloud platform

ZHENG Maoran¹, LI Jianlun², WANG Nanfang², LIN Guowu², WEN Qiaomu², ZHONG Jinhao²

(1. Power Dispatching Control Center of China Southern Power Grid Company Limited, Guangzhou 510663, China; 2. Guangzhou City University of Technology, Guangzhou 510800, China)

Abstract: The characteristics of uncentralized distribution of small and medium-sized load and low level of elasticity have become one of the pain points of low energy utilization efficiency, difficult load scheduling and high cost of power construction. The traditional Internet development model has been unable to meet the needs of digital grid for its technical characteristics of agile response, rapid iteration and flexible trial and error, and rapid business transformation. This paper focuses on the business concept of load aggregation in the park, studies the technical characteristics of low code platform with low cost, high business flexibility, high development efficiency and cloud server computing, realizes the design of load aggregation provider system through low code platform, verifies its technical feasibility, and can also realize the rapid response to market demand in business change.

Key words: load aggregator; low code platform; system design; demand response

0 引言

国际上部分国家为应对电力负荷的迅速增长和电力资源分配的矛盾, 逐渐形成需求响应, 以负荷聚集商 (LA) 这一全新的商业模式实现电

力市场更加灵活的资源整合。近年来, 在可再生能源程度高的产业和市场, LA能极大满足其市场所需要的运行策略, 并且该模式逐渐扩展到包括照明、空调、新能源汽车、蓄电池和分布式电

源等在内的各种小负荷^[1]。

参考国外发展经验，国内也启动了以园区内中小型负荷的资源调度为主要方向的LA研究，如通过LA的协调手段建立调度模型，实现负荷集群控制，优化模型，通过建立实时、日前的电力市场策略模型或者分析运营机制中电网、LA、用户的成本效益分析计算模型，达到对不确定性的预测等目的。

园区管理者作为负荷聚集商，在为用户调度负荷资源的过程中，面对庞大的用户群体和负荷资源数据，亟需一套高效、智能和低成本的管理工具，满足数据统计、资源调度等技术高速迭代需求，确保在电力市场特定时段实现邀约响应。本文将新兴IT技术与智能电网、虚拟电厂建设等电力行业的需求结合起来，分析了LA在电网邀约时对用户负荷资源分配的业务特点，在完成低碳园区LA业务逻辑设计的基础上，基于低代码云平台，设计并开发出低碳园区LA系统。本文采用的业务逻辑及所开发的系统具有开发效率高、开发周期短、架构灵活、扩展性强和运营维护成本低的特点，对LA业务实现及技术支持系统研发提供了具有价值的研究及研发方案。

1 负荷聚集与低代码开发业务分析

1.1 负荷聚集的基本原理及业务逻辑

1.1.1 负荷聚集商的定义及其作用

当前可再生能源及智能电网的迅速发展和电力体系中利益主体逐步泛化，需求侧资源扩展至具有弹性响应特性的分布式电源、储能系统等可控负荷，需求响应技术也成为核心技术之一，即通过技术的运用将负荷资源达到最优化调配。为了更好地利用电网的可控负荷资源，发挥需求侧中小负荷资源的作用，LA作为电力发电侧与用电用户侧之间的中间人，通过专业的市场运营手段和专业技术发掘中小负荷用户资源的可利用潜力，使符合条件用户参与到需求响应的市场当中，发挥其最大作用。LA具体作用有：

1) 在电网层面，LA由于掌握电网供应侧一定的资源，可为电网提供一系列帮助其降低运营

成本且保证电网安稳运行的辅助服务^[2]。

2) 在用户层面，在国家政策的支持下，LA不仅为中小型负荷用户提供了参与电力市场的途径，还为用户带来补贴收益。

3) 在社会层面，LA通过技术的应用和科学的运营模式，聚集闲置分散的中小型用户资源，挖掘其市场价值和能源潜力，提高了整体能源的利用效率以及企业收益，有利于社会可持续发展。

1.1.2 园区负荷聚集的业务逻辑

目前国内由中小型负荷用户组成的园区较多，能源有效利用化的潜力很大，因此近年来大部分聚集商开始着手参与园区内中小型负荷能源的响应业务，积极推动园区资源效益最大化。本文梳理了LA两个核心业务逻辑及流程。

(1) 用户准入业务流程

该流程主要实现对进入电力市场相关用户的审核批准功能，如图1所示。

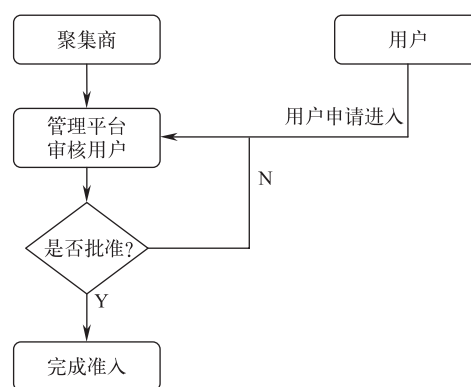


图1 用户准入流程

Fig.1 User access process

(2) 主业务流程

该流程主要包括响应电网邀约、容量出清及响应评价，流程如图2所示。

1) 响应电网邀约。聚集商在平台上向用户转发电网发布的负荷需求，并将接受邀约的用户所申报的容量汇总上报至电网。

2) 容量出清。电网批复计划响应容量，聚集商分配出清配额，用户执行响应。

3) 响应评价。聚集商对用户使用能源过程进行监测和评价。

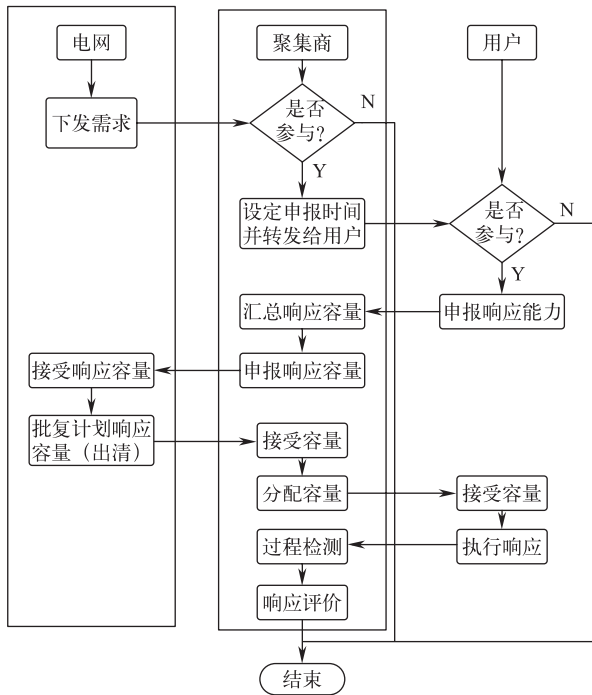


图2 负荷聚集商业务逻辑

Fig. 2 Service logic of load aggregator

1.2 低代码开发平台技术分析

1.2.1 低代码开发平台原理

为化解企业对应用程序迫切的个性化需求与传统开发手段速度之间的矛盾，低代码开发应运而生，简称应用程序平台即服务（Application Platform as a Service, APaaS），可为开发人员或其他业务人员提供可视化的开发环境，降低对传统开发应用时的编码要求，简化开发流程，减少应用程序交付时间，满足企业对于数字化系统中快速开发迭代、灵活性高以及减少开发成本和开发周期的建设要求^[3]。

在微服务和云计算技术的支持下，业务整合的服务功能分离为各个不同的独立服务单元，保证每个服务单元唯一的功能。专业人员开发时，将服务单元组件表单化，并且每个组件都可以用，组件在使用时可自行调解参数，实现功能个性化的特点。通过APaaS开发应用时，企业除了能够整合自身的数据和逻辑外，还可以利用微服务技术，通过应用程序UI界面轻松整合外部的数据和逻辑，整合多个跨系统和部门相关功能和数据。因此低代码平台在保证现有系统数据的有

效性同时，也保证了业务逻辑和信息系统的完整性^[4]。低代码平台层级逻辑架构如图3所示。

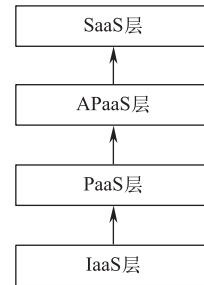


图3 低代码平台层级逻辑架构

Fig. 3 Platform-level logic architecture of low code

1.2.2 低代码开发平台的优势和特点

低代码平台降低使用者的技术门槛，使业务人员也可以参与到软件开发中，大幅降低了时间和人力的成本。低代码平台将交互、流程、权限、数据和报表等信息抽象出来，实现各项功能的底层封装，更加直观且有效地控制沟通成本和开发周期，可完整监控整个软件的生命周期，在后期的运维上可减少因代码质量低而二次产生的成本。用户通过低代码开发平台购买服务，可以实现线上部署和本地部署，降低运营成本^[5]。传统开发和低代码开发比较见下表。

表 传统开发和低代码开发比较

Tab. Comparison table of traditional development and low-code development

	传统软件开发	低代码软件开发
成本	沟通成本和开发投入成本高	沟通成本和开发投入成本低
效率	代码复用率低，需要重新编写代码	经过封装的功能代码的复用率高，开发效率高
生命周期	开发周期长，上线速度慢，生命周期管理复杂	开发周期短，上线速度快，便于管理整个软件的生命周期
技术要求	需要专业开发人员重新架构开发	业务人员需要少量编程就可以完成应用开发
开发环境	需要开发人员本地部署开发环境	低代码的最终用户无须开发环境安装
整合系统	系统整合麻烦，需要不同系统重新开发 API	低代码可以跨系统打通数据，实现共享
服务器	本地具有独立服务器，对于中小企业成本高，在应用方面有局限性	基于云端服务器，具有简单高效、安全可靠、处理能力弹性伸缩且成本低的特点

1.2.3 阿里云Mobi低代码平台简介

Mobi低代码平台是面向各种端场景、模型驱动的低代码开发平台，提供一站式开发流程和管理监控；提供基于云原生架构的弹性扩展和零成本运维服务，能帮助用户高效解决开发中遇到的问题，其优势包括：支持多种应用端场景；自研的模型驱动和元数据引擎，能够支持灵活建

模并高效运行；集成多领域和多层次的数据、能力与资源，可自定义物料模型并支持重构复用；基于标准的DevOps体系实现应用高频交付；基于Serverless基础设施构建稳固、弹性的后端服务；支持公共云、专有云和混合云多种部署模式，并支持跨云部署，以及平台和产物应用分离的混合部署形态，其架构如图4所示。

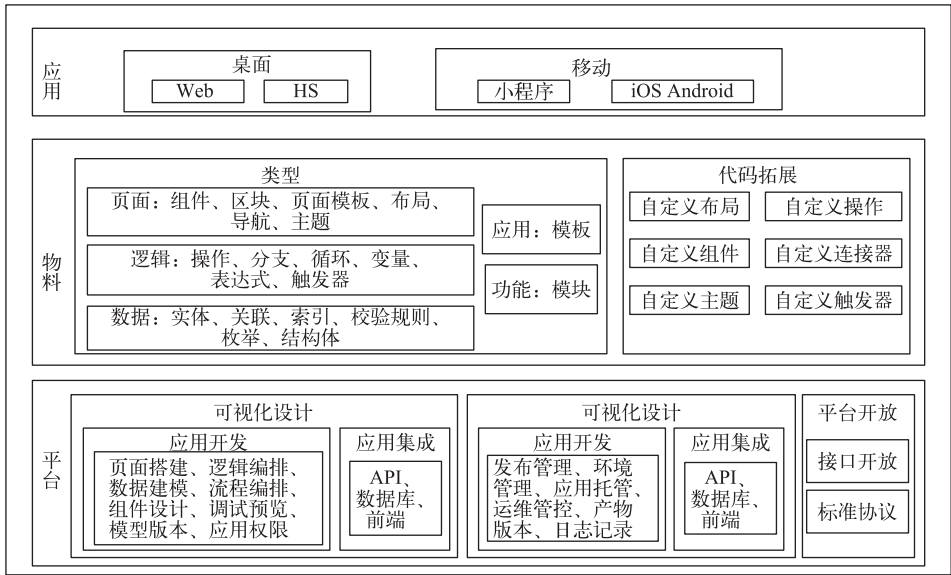


图 4 Mobi 低代码平台架构
Fig. 4 Mobi low-code platform architecture

2 负荷聚集系统的设计和开发

2.1 系统设计

整体设计主要通过Mobi低代码平台，以零代码的方式实现。在其提供的可视化设计中，对业务系统界面实现设计布局，实现过程主要基于平台页面管理模块提供的基础组件、数据容器和图表等组件共同设计。

(1) 系统首页

首页界面模块包括用户接入情况、通告信息和需求响应情况。

1) 用户接入情况。统计系统开放以来总用户量、本月新增用户、待准入审核用户和本月退出平台用户的数量。

2) 通告信息。用于通知LA新增了哪些对应单号等相关信息。

3) 需求响应情况。统计年月日实时响应、邀约响应和总体情况数量，并用可视化图形展示响应占比和日用电负荷对应不同时间段的数据。

(2) 用户管理

主要包括用户准入和用户管理两个功能。用户准入展示用户待审核的列表，实现用户申请准入管理，包括基本信息、资源接入信息、附件信息等申请准入内容并提供用户是否满足准入的交互。

(3) 邀约响应

主要包括需求响应信息和需求响应管理。需求响应信息的界面列表是展示聚集商已接受电网发布的需求后，展示申报期限和响应状态相关信息的响应需求列表，并提供搜索功能。需求响应管理是当聚集商参与电网发布的需求后，可以管理相关的响应需求，并转发给用户的管理界面。

(4) 数据分析

主要展示详细的用户响应情况的数据，使用统计数表和图表布局，供聚集商更直观地分析用户的需求邀约情况统计、响应情况统计和设备响应情况统计。

1) 邀约情况统计。包括受邀次数、应邀次数、邀约响应、实时邀约响应和占比响应。

2) 响应情况统计。包括响应收益、计划响应容量、实际响应量、响应完成率和柱状图。

3) 设备响应情况统计。包括资源月响应量、电化学储能、冰蓄冷、充电桩、空调柔性负荷、其他负荷、饼状图和折线图。

2.2 数据模型关联

数据模型是业务数据的抽象模型，它由实体互相关联形成的关系网表征模型之间的关系。每个实体代表一个业务抽象体，不同实体之间的联系可建立关联连接，这种联系可以是一对一、一对多或多对多的联系。

通过平台提供的数据模型功能，创建数据实体关联，绑定主要的图形和列表，实现图表聚集商平台的数据分析可视化和列表展示。

2.3 逻辑流编排

低代码开发平台可以实现灵活的逻辑流编排。逻辑流串联了应用内的页面模型和数据模型，能够实现应用内的逻辑交互功能。系统目前的主要逻辑流编排为前端逻辑流，主要通过逻辑流实现新建用户数据、删除用户数据、展示前端页面和提示窗口的逻辑。同意用户申请准入的逻辑流程如图5所示。

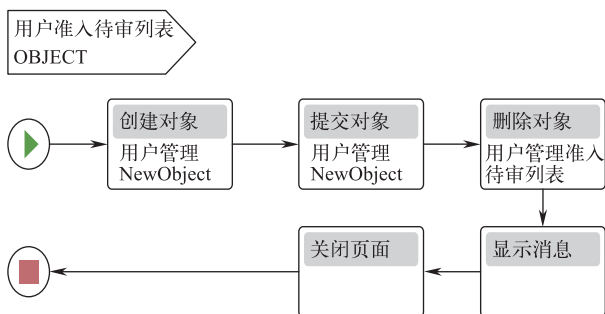


图5 同意用户申请准入逻辑流程

Fig. 5 Agree-user-request-admission logic process

3 系统测试

测试环境：Mobi平台预览环境。

针对全部业务流程点，在完成对全部界面、选项卡及按钮的界面响应测试之后，详细对数据关联性进行测试。

3.1 数据与图形关联

系统界面的数据可视化图形主要以多种图形构成，通过与数据模型建立的实体关联实现数据的可视化。系统的可视化图形主要包括首页的关联响应比例图和日用电负荷曲线、数据分析的月度响应分析图、月度响应收益分析图、设备资源响应情况占比图和设备资源响应情况折线图。

通过Mobi平台的应用后台管理模拟数据，测试实体字段和图形关联是否正确。数据模型实体对应的可视化图形分别为占比响应柱状图实体（响应比例图）、首页日用电负荷折线图实体（日用电负荷折线图）、响应情况统计实体（月度响应分析图和月度响应收益分析图）、设备资源响应情况占比图实体（设备资源响应情况占比图）、设备响应情况统计实体（设备资源响应情况折线图）。

根据上述对应的实体，在应用管理后台创建测试数据，测试结果为各种可视化图形，均对应展示相应符合的数据。

3.2 用户准入和用户管理数据关联

(1) 用户准入

用户准入审核列表要通过应用管理后台创建模拟数据，在详情中可以查看用户的基本信息、资源接入信息和审核意见。用户准入审核列表主要有驳回和同意两个操作，驳回会直接删除当前查看详情用户的审核资料，同意则将当前用户资料关联保存到用户管理列表中，并删除审核列表对应的信息。通过关联两者的数据实体，实现数据互联，数据模型实体和管理列表对应的关联关系为：用户准入审核列表实体（用户准入审核列表）、用户管理实体（用户管理）。

根据功能性交互验证中用户准入审核交互界面和驳回二次确认case的操作流程，测试验证删除数据和保存数据成功。

(2) 用户管理

用户管理可对现有的准入用户进行一系列增删改操作。编辑操作通过调用新增用户界面进行数据的修改，可对管理列表现有的数据进行修改，删除则将数据移除数据库。新增用户是通过新增用户界面交互case的保存流程新增一条用户信息。测试验证数据的关联成功。

4 结束语

本文主要验证了发电侧与用电侧用户之间使用低代码平台如何构建一个符合当前电力背景快速发展趋势的负荷聚集商管理系统界面，针对国内小园区用户的负荷资源调配，可以很大程度上解决建设项目时所需要的成本和时间问题。

低代码平台针对国内对管理系统有需求的中小型园区负荷聚集商有很大的发展潜力，对于一般的需求，并不需要投入大量精力，具有低成本且高效的优点，能够免去复杂的技术问题且降低对专业开发人员的需求，而且在部署上通过云计算平台可以减少用户对服务器的需求压力，均交给供应商提供服务即可。但低代码平台在对自定义开发这方面有更高的技术，对开发人员的水平有一定的要求，可扩展性强，同时也能开发设计

更复杂的系统，因此对于低代码平台在电力行业运用的场景具有研究价值。

参考文献

- [1] 钱佳慧. 电力市场背景下负荷聚集商优化调度及竞标策略研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2019.
- [2] 高赐威, 李倩玉, 李慧星, 等. 基于负荷聚合商业务的需求响应资源整合方法与运营机制[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(17): 78-86.
- [3] 沈文娟. 基于业务中台技术的低代码开发平台的研究[J]. 信息系统工程, 2022(7): 60-63.
- [4] 辛海燕, 申端明. 基于低代码平台的技术分析[J]. 信息系统工程, 2022(11): 127-130.
- [5] 张鹏, 蒯圣宇, 刘维, 等. 考虑双侧不确定性的负荷聚集商需求响应资源规划[J]. 电力需求侧管理, 2021, 23(1): 49-54.

作者简介

郑茂然(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护、调度大数据应用分析等。

(收稿日期: 2023-11-23)