

住宅小区电气工程中智能配电系统设计与用电负荷动态管理技术研究

谭浩

4210221994****3917

摘要: 随着我国城镇化进程的加快以及居民生活水平的提升,住宅小区的用电需求呈现出多元化、高增长的特点,传统配电系统已难以满足现代小区对供电可靠性、经济性及智能化的要求。本文聚焦住宅小区电气工程,深入研究智能配电系统的设计要点与用电负荷动态管理技术。首先分析智能配电系统的设计原则,明确其在安全性、可靠性、经济性及可扩展性方面的核心要求;随后探讨智能配电系统的关键技术,包括智能终端设备选型、网络架构搭建及监控平台开发;进而构建用电负荷动态管理体系,从负荷预测、分级管控到优化调度,形成全流程管理机制;最后结合实际应用场景,验证智能配电系统与动态负荷管理技术在提升供电效率、降低能耗及保障用电安全方面的有效性,为住宅小区电气工程的智能化升级提供理论参考与实践借鉴。

关键词: 住宅小区; 电气工程; 智能配电系统; 用电负荷; 动态管理

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 10. 068

引言

在“双碳”目标与新型城镇化建设的双重驱动下,住宅小区作为居民生活的核心载体,其电气工程的智能化水平成为衡量居住品质的重要指标。传统住宅小区配电系统普遍存在设备老化、监控滞后、负荷管理粗放等问题,不仅导致供电可靠性降低,还造成能源浪费与运维成本上升。随着电动汽车充电桩、智能家居、分布式光伏等新型用电设备在小区内的普及,用电负荷的波动性与复杂性显著增加,对配电系统的灵活调控能力提出更高要求。

智能配电系统通过融合物联网、大数据、人工智能等先进技术,实现对配电网络的实时监测、精准控制与智能决策,而用电负荷动态管理技术则能够根据负荷变化规律与供电条件,优化资源配置,平衡供需关系。因此,开展住宅小区智能配电系统设计与用电负荷动态管理技术研究,对于提升小区供电质量、促进能源高效利用、推动建筑领域绿色低碳发展具有重要意义。

1 住宅小区智能配电系统设计

1.1 设计原则

住宅小区智能配电系统设计需以满足居民用电需求为核心,遵循安全性、可靠性、经济性与可扩展性四大原则。安全性方面,需通过完善的接地保护、过流保

护及防漏电设计,确保配电系统在正常运行与故障状态下均能保障人身与设备安全;可靠性方面,采用冗余设计与分布式架构,减少单点故障对整体系统的影响,提升供电连续性;经济性方面,在满足功能需求的前提下,优化设备选型与网络布局,降低初期投资与后期运维成本;可扩展性方面,预留接口与通信协议,便于后续接入新型用电设备与升级系统功能,适应未来用电需求变化。

1.2 关键技术设计

1.2.1 智能终端设备选型

智能终端设备是智能配电系统的“感知神经”,主要包括智能电表、智能断路器、电力传感器及无功补偿装置等。智能电表需具备双向计量、远程通信与数据存储功能,支持实时采集用户用电信息;智能断路器应具备过载保护、短路保护及远程分合闸能力,可根据系统指令快速响应故障;电力传感器需实时监测配电线路的电压、电流、功率因数等参数,为系统调控提供数据支撑;无功补偿装置则通过动态补偿无功功率,改善电能质量,降低线路损耗。在设备选型过程中,需注重设备的兼容性与稳定性,确保不同厂家设备能够实现互联互通,同时满足住宅小区长期运行的环境适应性要求。

1.2.2 网络架构搭建

智能配电系统的网络架构采用分层设计,分为感知层、网络层与应用层。感知层通过智能终端设备采集配电网的运行数据与用户用电数据,采用有线通信(如RS485、以太网)与无线通信(如LoRa、NB-IoT)相结合的方式,兼顾数据传输的稳定性与灵活性;网络层负责数据的传输与转发,通过边缘计算网关对采集到的数据进行预处理,过滤冗余信息,减少数据传输量,同时采用加密技术保障数据传输安全;应用层则基于云平台构建监控与管理系统,实现数据存储、分析、可视化展示及决策支持,为运维人员提供远程监控、故障预警与调度管理功能。

1.2.3 监控平台开发

监控平台是智能配电系统的“大脑中枢”,需具备数据采集与处理、实时监控、故障预警、报表生成及远程控制等功能。平台采用模块化设计,分为数据采集模块、数据分析模块、监控展示模块与控制执行模块。数据采集模块通过标准化接口接入各智能终端设备,实现数据的实时采集与统一存储;数据分析模块运用大数据算法对用电数据与系统运行数据进行分析,识别负荷变化规律与系统异常状态;监控展示模块采用可视化界面,直观呈现配电网络拓扑结构、设备运行状态及用电负荷曲线,便于运维人员实时掌握系统运行情况;控制执行模块根据分析结果生成调控指令,远程控制智能断路器、无功补偿装置等设备,实现配电系统的动态优化。

2 住宅小区用电负荷动态管理技术

2.1 负荷预测技术

负荷预测是用电负荷动态管理的前提,通过分析历史用电数据、气象条件、居民生活习惯及节假日等因素,预测未来一段时间内的用电负荷变化趋势。住宅小区用电负荷具有明显的时间规律性,如工作日与周末负荷差异、日内峰谷时段分布等,同时受气温、降水等气象因素影响较大。基于此,负荷预测可采用短期预测与超短期预测相结合的方式:短期预测(如日预测、周预测)采用回归分析、时间序列分析等传统算法,结合历史数据与气象预报,预测整体负荷变化;超短期预测(如小时级预测)则运用机器学习算法(如LSTM、BP神经网络),实时更新数据,提高预测精度,为实时调度提供支持。通过精准的负荷预测,可提前规划供电方案,避

免负荷高峰时段出现供电不足或过载问题。

2.2 负荷分级管控

根据用电负荷的重要性与敏感性,将住宅小区用电负荷分为一级负荷、二级负荷与三级负荷,实施分级管控。一级负荷包括应急照明、电梯、消防设备等保障居民基本生活与安全的负荷,需采用双电源供电方式,确保在任何情况下均不中断供电;二级负荷包括居民日常生活用电(如冰箱、空调)、充电桩等重要负荷,在系统出现供电紧张时,可通过错峰用电、限负荷等方式进行调控,但需保障基本用电需求;三级负荷包括大功率娱乐设备、临时用电等非必要负荷,在负荷高峰时段可优先切断供电,以缓解系统压力。通过负荷分级管控,能够在保障关键负荷供电的前提下,实现负荷的灵活调控,提升系统运行稳定性。

2.3 优化调度策略

基于负荷预测结果与分级管控原则,制定多维度的优化调度策略,实现用电负荷与供电资源的动态平衡。一方面,结合分布式能源(如小区内的光伏电站)的出力情况,优先利用清洁能源供电,减少对电网的依赖,降低碳排放;另一方面,通过需求响应机制,引导用户调整用电行为,如在负荷高峰时段对参与需求响应的用户给予电价优惠,鼓励其减少大功率设备使用,在负荷低谷时段则鼓励用户进行储能或充电,实现“削峰填谷”。此外,针对电动汽车充电桩等波动性较大的负荷,采用有序充电策略,根据电网负荷状态与用户充电需求,合理安排充电时间与功率,避免集中充电导致的负荷过载。

3 应用效果分析

以国内某新建中高端住宅小区为案例,该小区规模符合常规中型住宅小区标准,配套地下停车场、社区服务中心等设施,预留电动汽车充电桩与分布式光伏接入接口,具备现代住宅小区典型用电场景特征。项目建设阶段,小区摒弃传统配电模式,依据前文设计原则与关键技术,搭建智能配电系统并部署用电负荷动态管理体系,形成“设备感知-网络传输-平台管控-负荷调度”全链条智能化运行模式,为居民入住后的用电保障与能源优化奠定基础。

从系统部署来看,小区实现智能终端设备全域覆盖:居民楼每层配电箱安装智能断路器与电力传感器,入户处配置智能电表,停车场充电桩旁设专用监测模块,配电房增设无功补偿装置;同时搭建分层通信网络,以以太网连接核心设备与监控中心,通过 LoRa 技术实现分散终端数据传输,确保用电数据与设备状态稳定上传至云端平台,平台融合负荷预测、分级管控与优化调度功能,形成自动化与人工干预结合的管控模式。

运行中,智能配电系统的实时监测与故障预警能力显著。传统配电系统需居民报修或人工巡检发现线路过载、设备故障,易延误处置且存在安全隐患;而智能系统通过电力传感器实时捕捉电压波动、电流异常等问题,数据上传后经平台分析快速识别异常,通过告警与短信通知运维人员,运维人员可远程下达初步处置指令(如断开故障线路断路器),再现场维修,大幅缩短响应时间,减少故障对居民用电的影响,降低巡检工作量。

用电负荷动态管理方面,系统通过负荷预测与优化调度缓解时段性供电压力。工作日早晚用电高峰时,平台依托短期预测掌握高峰时段与区域,对三级负荷(如大功率娱乐设备、临时用电)柔性调控,对充电桩等二级负荷采用有序充电策略;夜间低谷时段则鼓励储能与集中充电,实现“削峰填谷”,避免供电紧张,均衡负荷分布,减少线路与设备损耗。

居民体验与能源效益层面,供电可靠性提升让用电更稳定,解决夏季空调集中使用时的电压不稳问题;智能电表实现远程抄表,居民可通过 APP 查询用电明细。需求响应机制下,参与错峰用电居民享电价优惠,分布式光伏优先供应公共设施用电,降低公共区域能耗成本与物业费中能源支出占比,同时减少碳排放,营造低碳居住环境,契合“双碳”目标。

此外,该案例为同类小区提供借鉴:物业与电力公司建立联动机制,定期复盘数据优化策略;针对老年居民开展智能用电科普,实现技术与人文结合。案例表明,智能配电与负荷动态管理技术通过整合与优化,构建了适配现代需求的配电模式,解决传统系统弊端,提升供

电质量与能效,可为新建与老旧小区智能化改造提供参考,助力建筑领域绿色低碳转型。

4 结论与展望

本文通过对住宅小区电气工程中智能配电系统设计与用电负荷动态管理技术的研究,得出以下结论:智能配电系统需遵循安全性、可靠性、经济性与可扩展性原则,通过智能终端设备选型、分层网络架构搭建与多功能监控平台开发,实现配电网络的智能化运行;用电负荷动态管理技术通过负荷预测、分级管控与优化调度,能够平衡供需关系,提升能源利用效率。两者的结合应用,可显著提升住宅小区的供电质量与经济性,推动电气工程的智能化升级。

未来,随着数字孪生、5G 等技术的发展,住宅小区智能配电系统将向“数字孪生配电网络”方向发展,实现物理系统与虚拟系统的实时映射,进一步提升系统的仿真分析与预测预警能力;同时,用电负荷动态管理将更加注重多能源协同优化,融合电、热、冷等多种能源形式,构建综合能源管理系统,为住宅小区打造更加高效、低碳、智能的能源供应体系。此外,还需加强相关标准与规范的制定,推动智能配电设备与管理技术的标准化发展,为行业应用提供统一指导。

参考文献

- [1] 麦志元. 智能小区建筑电气工程设计与实践研究[J]. 中国房地产业:理论版,2013(4):1.
- [2] 孙加加. 智能建筑电气供配电系统的负荷设计及优化研究[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2023.
- [3] 张宏伟. 民用建筑电气工程配电系统设计研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2022.
- [4] 文洪斌. 智能化供配电系统工程设计研究[J]. 2020. DOI:10.12268/j.issn.2095-7181.2020.12.144.
- [5] 张馨,李国栋,于建成,等. 智能配用电园区综合能量管理技术研究及应用[J]. 供用电,2017,34(7):7. DOI:10.19421/j.cnki.1006-6357.2017.07.006.