

基于物联网和改进遗传算法的近零能耗建筑电力能耗控制方法

Power Consumption Control Method of Near Zero Energy Building based on Internet of Things and Improved Genetic Algorithm

王磊¹, 王珂²

- (1. 西安市安居建设管理集团有限公司, 西安 710000;
2. 陕西航空产业技术研究中心有限责任公司, 西安 710100)

摘要: 在近零能耗建筑的电力能耗控制中, 控制内容若过于单一, 在复杂环境下则数据不能稳定传输、节能控制效果不理想。针对这一情况, 提出基于物联网和改进遗传算法的近零能耗建筑电气能耗控制方法。采用物联网技术设计数据采集器, 对近零能耗建筑电力能耗数据进行实时监测, 将监测数据上传到数据中心, 引入自配置采集器对网络环境进行检测, 避免出现故障导致监测数据丢失; 利用改进遗传算法构建建筑电力能耗优化模型, 将监测数据作为输入进行求解, 根据求解结果确定建筑电力能耗水平, 调用相应的控制程序并执行, 实现对近零能耗建筑的控制。结果表明: 提出的基于物联网和改进遗传算法的建筑电力能耗控制方法数据传输稳定、节能控制效果好, 在电力能耗控制上有较好的应用前景。

关键词: 物联网; 改进遗传算法; 近零能耗; 电力能耗控制

中图分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1005-8249 (2025) 01-0133-05

DOI:10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2025.01.025

WANG Lei¹, WANG Ke²

(1. Xi'an Anju Construction Management Group Co., Ltd., Xi'an 710000, China;

2. Shaanxi Aviation Industry Technology Research Center Co., Ltd., Xi'an 710100, China)

Abstract: The construction of subway tunnel adversely affects the safety of existing buildings, urban road traffic facilities and other structures on the surface. It is necessary to evaluate the state of existing road facilities before subway tunnel construction. At present, if there is a structural safety hazard in the structure of the influence range before the subway construction, the structural treatment measures are often carried out without analysis, resulting in increasing cost and extension of construction period, even a bad social impact. Taking an interval project of Beijing Metro Line 12 as an example, FLAC 30 numerical simulation is used to analyze the influence of subway shield tunneling on the existing assembled retaining wall with serious inclination. The results show that although the existing retaining wall has partially inclined before shield crossing construction, the simulation results show that it is safe. After the construction, it is verified that there is no new inclination and other deformation of the retaining wall. Therefore, in the actual project, whether to carry out pre-reinforcement treatment can be

作者简介: 王磊 (1984—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 项目管理数字化应用, 建筑工程实用新技术, 建筑新能源应用, 装配式绿色建造和智能建造技术等。

通信作者: 王珂 (1984—), 女, 本科, 高级工程师, 研究方向: 智慧建造技术, 建筑绿色能源应用技术, 装配式厂房建造技术和智能建造新技术应用等。

收稿日期: 2023-08-23

建筑节能

comprehensively determined according to the form and pouring method of the retaining wall.

Key words: internet of things; improved genetic algorithm; near zero energy consumption buildings; power consumption control

0 引言

当前在近零能耗建筑电力能耗控制中, 由于可控制的内容过于单一, 在复杂环境下控制效果不理想, 人们对建筑能源消耗也提出了更高的要求。褚于颢等^[1]探讨了太阳能驱动转轮空调技术在近零能耗建筑中的应用, 展示了如何使用该技术对太阳能进行有效利用, 指出该技术能有效利用可再生能源; 陈淑琴等^[2]研究了近零能耗住宅中可再生能源的设计与应用; 王智刚等^[3]则专注于关中地区公共建筑的近零能耗关键技术研究, 为该地区 and 类似气候条件下的建筑设计提供了参考; 沈泽南^[4]在“双碳”目标背景下分析了实现节能目标的多种技术路径, 并对不同技术方案的节能效果进行了评估; 张城瑀等^[5]提出了一种异常数据修复方法, 提高了能耗数据的准确性和监管效率; 程程等^[6]研究了新型太阳能-污水源热泵系统在近零能耗建筑中的应用潜力, 并分析了其运行特性; 金沙等^[7]对近零能耗建筑的检测与评价方法进行了系统研究, 建立了一套评价体系, 为近零能耗建筑的性能评估和质量控制提供了标准化工具; 王旭等^[8]从控制方法的角度出发, 研究了基于改进遗传算法的故障电液伺服系统控制方法; 冯国会等^[9]对近零能耗建筑的碳排放及其影响因素进行了分析; 张思思等^[10]则专注于解读《近零能耗建筑外墙保温工程技术规程》的编制思路 and 要点; 冯国会等^[11]利用 DeSt 仿真和 GS-SVR 算法对严寒气候区近零能耗公共建筑的逐时负荷进行了预测研究; 康一亭等^[12]在 LEED 体系下, 研究了基于近零能耗关键技术的建筑节能潜力。

为提升近零能耗建筑在复杂情况下的电力能耗控制效果, 提出了一种基于物联网和改进遗传算法的建筑物能源管理方法, 以最小化建筑物综合能耗为目标对建筑内设备运行效率进行优化。

1 基于物联网和改进遗传算法的近零能耗建筑电力能耗控制方法设计

1.1 基于物联网的建筑电力能耗监测

基于物联网的建筑电力能耗监测, 需要在不影响建筑物内各设备运行效率的前提下, 对建筑内的

电力能耗数据进行采集。设计一个系统来监测建筑物的电力使用情况, 该系统包括三个主要部分: 信息采集终端、网络通信终端和集中管理单元。

信息采集终端通过 Zigbee 技术对现场设备的状态进行实时监测, 网络通信单元采集到各设备的状态信息, 发送给网络通信单元并进行处理, 获取建筑内各设备的运行时间、电流、电压、功率等数据再传送给集中管理单元, 由集中管理单元对数据进行分析处理, 获取建筑物内各设备的综合能耗, 并将能耗数据传送给能源管理系统^[13]。设计建筑电力能耗数据采集器, 如图 1 所示。

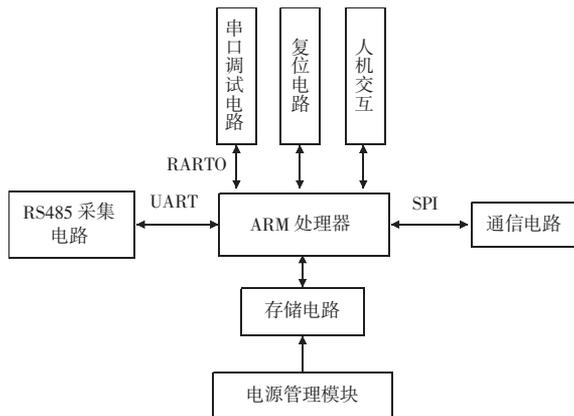


图 1 信息采集器结构图

Fig. 1 Structure diagram of information collector

在信息采集器的支持下, 采集模块将监测数据上传到数据中心, 以便进一步分析。为保证通信安全, 在采集器和数据中心之间产生的数据仅以 XML 格式传输, 每次通信过程只配置一次身份认证信息。正常情况下, 采集器与数据中心一直保持稳定连接, 当遇到网络故障等突发情况时, 采集器启动自配置功能, 进行重启、自检。具体流程如图 2 所示。通过自配置功能实现采集器的自动配置, 在监测建筑电力能耗过程中, 避免了因为网络异常导致监测数据丢失。在获得监测数据后, 利用改进遗传算法建立近零能耗建筑优化模型, 将监测数据作为输入进行求解, 用于评价建筑电力能耗水平以及节能控制。

1.2 基于改进遗传算法的电力能耗优化模型构建

近零能耗建筑前期的节能投入会影响后期的能耗情况, 在构建近零能耗建筑优化模型时, 假设前期

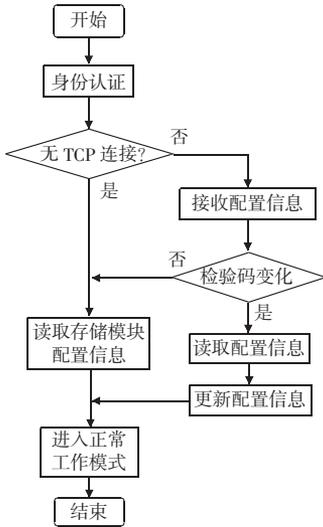


图2 采集器自配置流程示意图

Fig.2 Schematic diagram of self configuration process of collector

采用的节能技术能够达到最大效果。以 Z_1 表示建筑节能增量效益, Z_2 表示能源消耗的成本, 以增量效益最大、能源成本最小为目的, 确定目标函数。表示如下:

$$\max Z_1 = \sum_i^m \sum_j^n \Delta W_{ij} x_i x_{ij} (p_1 + \alpha \xi) P \Delta S \quad (1)$$

$$\min Z_2 = \sum_i^m \sum_j^n \Delta D_{ij} x_i x_{ij} \quad (2)$$

式中: ΔW_{ij} 为节能量; $i=1, 2, 3, \dots, m$ 表示节能方案的所用技术类型数量, $j=1, 2, 3, \dots, n$ 表示节能方案数量, x_i 为节能技术措施; x_{ij} 为具体的节能方案; p_1 为建筑所在地的用电价格; α 为能源转化系数; ξ 为节能减排的价值; P 为折现系数; ΔS 为目标建筑每一年的增量效益; ΔD_{ij} 为第 i 种技术第 j 节能方案下能源消耗成本。

利用改进遗传算法, 采用排列编码, 将 x_{ij} 视为一个染色体, 一个染色体由多个基因组成, 初始化种群, 采用选择排序法, 计算染色体的适应值。公式如下:

$$E(y) = \kappa (1 - \kappa)^{i-1} \quad (3)$$

式中: κ 为随机参数。在计算过程中, 确定 κ 值, κ 取值范围为 $0 \sim 1$; 在完成每一个染色体适应值的计算后, 根据计算结果进行排序, 直到染色体编号达到种群大小。由于各个节能技术之间有互斥和并列两种情况, 在计算过程中, 染色体适应值排序过程中, 节能方案 x_{ij} 只能取 1。

基于每个染色体的适应值, 计算每个染色体的繁殖概率, 确定其被选概率的大小。计算公式为:

$$c_i = Z(x_{ij}) \left(\sum_{v=1}^u Z_v \right)^{-1} \quad (4)$$

式中: $Z(x_{ij})$ 为染色体 y 目标函数求出的解之一; c_i 为 x_i 染色体的繁殖概率; u 为所有染色体目标量。由所有染色体的繁殖概率随机产生一个概率 Z_v , 选择该概率对应的染色体作为父代染色体, 对所有染色体进行交叉工作, 直到产生替代父代的子代, 进而获得新的种群, 对新的种群进行求解, 得到增量效益最大、能源成本最小的优化结果, 完成电力能耗优化模型的构建。

1.3 建筑电力能耗控制

在具体实现过程中, 将物联网与 HVAC 融合, 控制建筑能耗, 在建筑电力能耗数据的实时监测上, 存储和分析电力能耗历史数据, 以便及时掌握建筑电力能耗情况。HVAC 可以在物联网的支持下, 将现场模拟信号转变为数字双向通道信号, 此时, 上位机通过数据采集器传输的监测数据, 执行预设的算法得到建筑电力能耗的评定结果, 并将结果转换为逻辑信号, 传输到相应的控制器, 控制器根据传递的逻辑信号调用相应的子程序, 由上位机执行相应的操作, 实现电力能耗的控制。至此, 基于物联网和改进遗传算法的电力能耗控制方法设计完成。

2 试验

2.1 试验准备

在 near 零能耗建筑电力能耗控制方法设计完成后, 为了验证该方法的性能, 依据历史资料和相关参考文献设计试验方案。在试验前期准备中, 使用比较常见的仿真软件模拟建筑电力能耗, 引入比较常见的基于数据挖掘的电力能耗控制方法和基于数据融合的电力能耗控制方法作为对比, 在相同的试验条件下展开试验研究。

试验中, 对 near 零能耗建筑电力能耗进行建模, 确定 near 零能耗建筑以及相关参数, 包括围护结构、空调系统、照明系统以及热水系统。具体内容如图 3 所示。

建筑节能

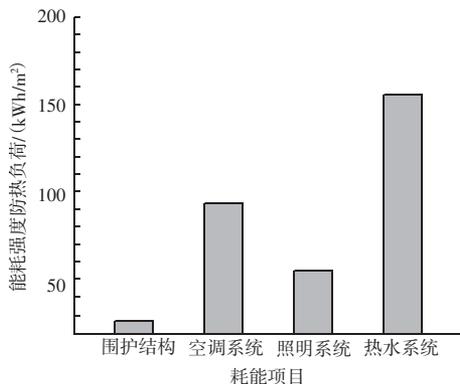


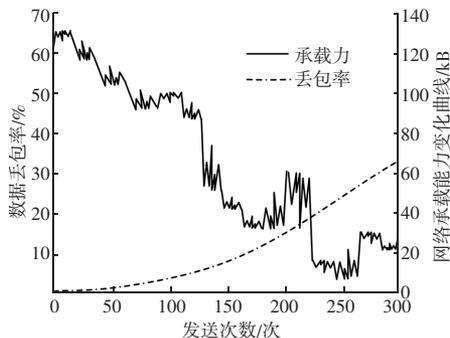
图3 试验近零能耗建筑能耗强度

Fig. 3 Experimental reference building energy consumption intensity

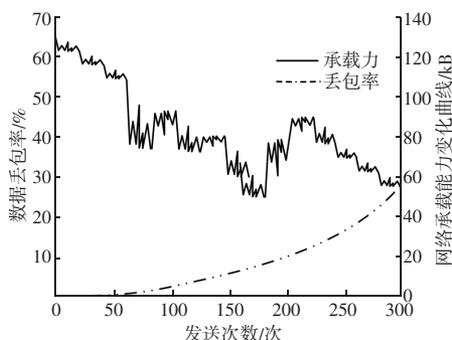
2.2 电力能耗监测数据传输控制丢包率试验结果及分析

在电力能耗监测数据传输控制丢包率试验中,考虑真实工况下的电力监测数据的监测网络波动,设定网络时延波动范围在 30 ~ 180 ms,网络传输速率为 2 kb/ms。为各个电力能耗控制方法构建一个存储深度相同的传输队列,并限制试验时间,待传输完成后,观察各个电力能耗控制方法的监测数据丢包率情况。在 0-1 000 ms 时间范围内,发送的数据包大小稳定在 2 kB,模拟的电力能耗监测数据传输情况稳定,未出现异常情况。

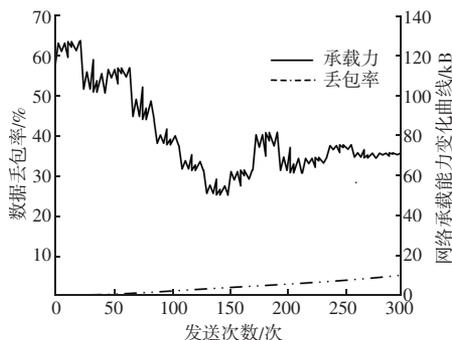
各个控制方法的监测数据丢包率试验结果如图 4 所示。基于数据挖掘的控制方法中,网络承载能力不断下降,当监测数据发送超过一定次数数据丢包率出现了明显的上升,在有效的试验次数内,数据丢包率达到了 33%。基于数据融合的控制方法与上述结果相同,随着网路承载能力的下降,数据丢包率上升趋势逐渐加快,最高达到了 27%。相比之下,提出的电力能耗控制方法,网络承载能力虽然有下降趋势,但是比较小,后续趋于稳定,监测数据丢



(a) 数据挖掘法



(b) 数据融合法



(c) 本文方法

图4 电力能耗监测数据丢包率试验结果

Fig. 4 Test results of packet loss rate for power energy consumption monitoring data

包率比较低,最高在 5% 左右。综上所述,提出的基于物联网和改进遗传算法的电力能耗控制方法能耗监测更稳定。

2.3 节能控制效果试验结果及分析

在节能控制效果试验中,主要从近零能耗建筑的节能量、节能设计效率以及节能效益三个方面分析各个电力能耗控制方法的节能控制情况。使用 AutoCAD 模拟近零能耗建筑的电力能耗情况,采用控制变量法对近零能耗建筑的具体建筑能耗、初始投资等方面进行分析,得到各个控制方法的节能量和节能效益。试验结果见表 1。

在三组试验中,数据均为正数,说明各个控制方法在实际应用上均有效果。对比分析各组数据,各个控制方法在应用上存在一定差距,其中提出的电力能耗控制方法在各个耗能项目下节能量最多、节能设计效率高,产生的节能效益也是三组结果中最高的,说明提出的电力能耗控制方法效果较前两者好。结合监测数据丢包率试验结果共同分析可得出,提出的基于物联网与改进遗传算法的近零能耗建筑电力能耗控制方法在能耗数据监测控制和节能

控制上均有良好地表现，整体控制性能优于常见的电力能耗控制方法。

表 1 不同电力能耗控制方法的节能控制效果试验结果
Table 1 Energy saving control effect test results of different power energy consumption control methods

控制方法	耗能项目	节能量 / (kWh/m ²)	节能设计 效率/%	节能效益 /%
数据挖掘 方法	围护结构	1.09	7.36	2.11
	空调系统	11.43	6.62	3.91
	照明系统	4.41	3.81	1.63
	热水系统	0.49	6.49	4.89
数据融合 方法	围护结构	2.03	8.17	0.88
	空调系统	10.32	6.02	2.36
	照明系统	5.58	2.14	2.03
	热水系统	1.22	7.48	3.63
本文方法	围护结构	6.65	17.19	5.94
	空调系统	24.59	18.75	8.04
	照明系统	18.44	17.96	6.61
	热水系统	5.53	19.37	8.45

3 结束语

基于物联网技术和改进遗传算法的近零能耗建筑电力能耗控制方法，利用物联网技术对建筑物内的各种设备进行监控，通过获取建筑内各个设备的实时运行状态，采用改进遗传算法对建筑内设备的能耗进行优化控制，该方法能够实现对建筑物内各设备运行状态的实时监控，并在此基础上进行优化控制，从而成功降低了建筑物在复杂情况下的综合能耗。

参 考 文 献

[1] 褚于颀, 陈柳, 邓文杰, 等. 太阳能驱动转轮空调在近零能耗

建筑中的应用 [J]. 太阳能学报, 2023, 44 (4): 464-471.

- [2] 陈淑琴, 虞昂, 明焱, 等. 夏热冬冷地区近零能耗住宅可再生能源设计 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2023, 57 (4): 795-804.
- [3] 王智刚, 李立, 赵峰, 等. 关中地区公共建筑近零能耗关键技术研究 [J]. 西安建筑科技大学学报 (自然科学版), 2022, 54 (5): 718-727.
- [4] 沈泽南. “双碳”目标下近零能耗建筑的节能性探索 [J]. 新型建筑材料, 2022, 49 (8): 14-18.
- [5] 张城瑀, 赵天怡, 特日格乐, 等. 基于数据挖掘的公共建筑能耗监管平台异常数据修复研究 [J]. 暖通空调, 2022, 52 (8): 73-82.
- [6] 程程, 姜益强, 王菲. 适用于近零能耗建筑的新型太阳能-污水源热泵系统运行特性 [J]. 制冷学报, 2022, 43 (3): 142-149.
- [7] 金沙, 孙峙峰, 王东旭. 近零能耗建筑检测与评价方法研究 [J]. 建筑科学, 2022, 38 (4): 1-10.
- [8] 王旭, 蒋奇. 基于改进遗传算法的故障电液伺服系统控制方法研究 [J]. 机床与液压, 2022, 50 (4): 167-172.
- [9] 冯国会, 崔航, 常莎莎, 等. 近零能耗建筑碳排放及影响因素分析 [J]. 气候变化研究进展, 2022, 18 (2): 205-214.
- [10] 张思思, 叶少华, 杨玉忠. 《近零能耗建筑外墙保温工程技术规程》标准编制思路和要点解读 [J]. 建筑技术, 2022, 53 (1): 76-79.
- [11] 冯国会, 李奇岩, 王刚, 等. 基于 DeST 仿真和 GS-SVR 算法对严寒气候区近零能耗公共建筑逐时负荷预测 [J]. 沈阳建筑大学学报 (自然科学版), 2022, 38 (1): 149-155.
- [12] 康一亭, 徐伟, 何凌昊, 等. LEED 体系下基于近零能耗关键技术的建筑节能潜力应用研究 [J]. 建筑科学, 2021, 37 (10): 179-185.
- [13] 于军琪, 段佳音, 赵安军, 等. 办公建筑运行能耗的混沌时间序列复合预测 [J]. 重庆大学学报, 2021, 44 (9): 77-87.