

老旧小区的新型绿色智慧社区智能化改造标准研究

张 瑶¹, 刘 冲²

¹河北金融学院管理学院, 河北 保定

²河北金融学院金融科技学院, 河北 保定

收稿日期: 2025年10月2日; 录用日期: 2025年11月4日; 发布日期: 2025年11月12日

摘 要

随着城市化推进, 老旧小区普遍存在基础设施老化、公共服务资源短缺、生态环境退化等诸多困境, 这些状况严重影响了城市的可持续发展水平和居民的生活品质, 在绿色发展理念同信息技术紧密结合的当下, 促使老旧小区朝着新型绿色智慧社区方向转型有着十分重大的战略意义, 由于没有统一的改造标准, 所以改造效果存在明显的差异性, 本研究主要针对老旧小区智慧社区创建的核心价值以及在主体界定、目标规划、资源调配等方面所遇到的难题展开探讨, 形成包含基础设施更新、环境改善、安全保障加强在内的智能化改造技术规范体系, 通过典型案例剖析其实际应用前景, 从而给老旧小区绿色智慧转型给予理论依据和操作指引, 助力居民福利提升和城市高质量发展。

关键词

老旧小区, 绿色, 智慧社区, 改造

Research on Intelligent Transformation Standard of New Green Smart Community in Old Residential Areas

Yao Zhang¹, Chong Liu²

¹School of Management, Hebei Finance University, Baoding Hebei

²School of Financial Technology, Hebei Finance University, Baoding Hebei

Received: October 2, 2025; accepted: November 4, 2025; published: November 12, 2025

Abstract

With the promotion of urbanization, there are many difficulties in old residential areas, such as

文章引用: 张瑶, 刘冲. 老旧小区的新型绿色智慧社区智能化改造标准研究[J]. 计算机科学与应用, 2025, 15(11): 94-101. DOI: 10.12677/csa.2025.1511287

aging infrastructure, shortage of public service resources, and degradation of the ecological environment. These conditions have seriously affected the sustainable development level of the city and the quality of life of residents. At the moment when the concept of green development is closely combined with information technology, it is of great strategic significance to promote the transformation of old residential areas towards new green smart communities. Because there is no unified transformation standard, there are obvious differences in the transformation effect. This study mainly discusses the core value of the creation of smart communities in old residential areas and the problems encountered in the subject definition, target planning, and resource allocation, and forms an intelligent transformation technology specification system including infrastructure renewal, environmental improvement, and security enhancement. By analyzing its practical application prospects through typical cases, it can provide theoretical basis and operational guidance for the green wisdom transformation of old residential areas, and help improve residents' welfare and high-quality urban development.

Keywords

Old Community, Green, Smart Community, Reform

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

据住建部统计数据表示,到2000年底为止,我国已完成了大约有22万个老旧小区改造工作,其中涉及的住户数量约为3900万户,传统的更新改造手段在解决当下诸如精细化运作、个性化服务等问题上显得存在不足之处,由此使得不少老旧小区的功能有所衰退,在面对人们生活水准不断上升的需求时,这些小区很难符合居民们更高层次的生活质量诉求,并且还会造成一定的影响作用给城市的可持续发展趋势。在此背景下,伴随着新型城镇化的进程推进,我国政府提出了应当去推进行政区域内部各个领域范围之间相互联系起来,并提倡智慧社区理念的应用与适老设施的改造工程等做法,目的在于使整体公共事业方面服务品质能够得到大幅度改善,并进而提升其居民生活水平的情况发生[1],而当前所走的道路已然不太适合现今众多的复杂治理要求,亟须通过新技术力量来进行智能化,一体化等转型升级以突破既有困境。

随着数字孪生、物联网、建筑信息模型与地理信息系统集成、人工智能等技术发展,老旧小区智能化改造迎来新的技术契机,数字孪生技术凭借构建物理世界与数字空间的高精度映射,在建筑设计、施工、运维等全生命周期中扮演重要角色,其作为集成性较强的系统平台,具有整合多源技术的潜力,能够对社区空间结构、基础设施运行状态及环境动态进行全面建模并实现实时反馈[2]。

2. 老旧小区智能化改造的技术趋势

2.1. 数字孪生技术的核心潜力

数字孪生(Digital Twin)作为一种以数据驱动为核心的创新技术范式,它经由创建虚拟模型来达成对物理实体状态及其运行特征的即时映射,从而给复杂情形下的动态监管与改良调控赋予了高效的协同支撑,在老旧小区更新改造这样一种典型的空间重塑与功能升级的实际操作范畴当中,数字孪生技术被看作是冲破传统分散化管理方式的重要突破口。

老旧城区空间结构复杂、功能混杂的改造场景里, 数字孪生技术已冲破传统建模、可视化工具的局限, 慢慢变成整合多种智能技术、做到高效协同的关键平台, 它的重要价值在于依靠高精度模型和实时数据推动机制, 创建起一个可以跨系统互通互联、动态协同运作的开放性运作环境。

2.2. 物联网(IoT)技术

作为推动数字化转型的重要支撑技术, 物联网架构主要包括感知层、传输层和应用层三个层次, 三者共同搭建起覆盖居民生活、设备运维、环境监测等领域的实时信息互动网络, 在感知层面, 对供水管网、电梯系统、门禁设施以及空气质量检测等关键节点布置 RFID 标签、环境传感器及视频采集装置, 以达成多源异构数据的有效采集; 在传输层面, 借助 5G 通信技术、低功耗广域网(LPWAN)、边缘计算平台来创建低延迟、高带宽的数据传递路径, 凭借云计算服务把跨域数据加以融合并处理; 在应用层面, 则是依照底层数据来给各个场景给予个性化智能化的解决方法和服务。

2.3. BIM + GIS 技术

建筑信息建模(BIM)和地理信息系统(GIS)的深度融合, 给老旧小区改造赋予了精确的空间要素与构件信息支撑, BIM 技术依靠三维建模手段, 达成建筑结构, 设备系统以及功能布局的精细展现, 从而给规划设计给予科学依照, GIS 凭借空间数据库创建和地理分析算法, 对路网分布, 绿化体系以及公共服务设施等要素展开综合评判并加以改良设计, 依靠模型联动, 数据关联以及时空分析功能, 两者合作冲破传统信息孤岛限制, 在同一空间框架之下, 达成对改造全过程的可视化管理和动态监控。

2.4. 人工智能(AI)

在老旧小区运维领域里, 人工智能渐渐成了包含数据分析以及决策支撑在内的核心职能主体, 它依靠着对于大量历史和即时数据的模式识别以及走向预估能力, 利用算法模型来达成对设备状态的判定并生成策略的任务, 促使社区设施管理朝着从“事后修理”到“事先警示”的转变方向前进。

3. 老旧小区的智慧社区建设困境

老旧小区智慧化转型碰上瓶颈的主要原因就是其基础设施先天就存在缺陷, 再加上居民群体大多由老年人以及低收入群体组成, 整体的信息技术应用水平并不高, 而且这些社区大多位于城市的老城区, 在城镇化发展进程中经常处于被边缘化的状态, 周边的公共服务设施比较少, 很难依靠外界的力量促使自身进行升级, 种种不利因素相互叠加, 使得老旧小区在智慧社区创建过程中遇到不少实际问题[3]。

3.1. 智慧社区建设客体困境

20 世纪七八十年代以前建造的老式社区, 大多存在产权结构繁杂, 缺少配套, 功能布局不佳的现象, 这些社区早期多由国有企业负责开发, 运营初期的物业和水电依靠企业来维持, 受历史条件和规划观念所限, 多数小区还是以低层建筑为主, 没有电梯, 楼间距小而杂乱, 公共活动空间极其有限, 市场经济加深, 商品房市场扩展, 这类传统社区经过几十年发展之后, 基础设施慢慢陈旧, 居住品质不断下滑, 公共服务空间越来越紧张, 很难符合现代化智慧化改造的要求, 特别缺乏专业物业管理或者业主自治组织支撑的时候, 其智能化转型会遭遇更多实际阻碍。

3.2. 智慧社区建设受众困境

老旧小区居民群体主要包括高龄老人、低收入家庭和流动人口, 他们的数字技能普遍较低, 缺乏智能终端的操作能力, 呈现出明显的“数字鸿沟”特征。“数字鸿沟”是信息化进程中普遍存在的一个全

球性问题, 它充分体现了区域发展不平衡所带来的技术应用差异, 欠发达地区的居民由于经济条件、年龄、性别比例和教育背景等因素的限制, 在信息技术的获取和使用上与发达地区的居民存在着很大的差距。数字转型期间, 有些群体无法完全享受到智能化发展带来的成果, 甚至可能因为信息技术的广泛使用而遇到实际阻碍, 如今, 不少地方经常出现商户拒收现金的情况, 疫情期间, 很多老人因为没有健康码而被限制出行, 那些长久居住在老社区的人, 早已对现有的生活环境形成了很强的适应性, 再加上智慧社区创建的技术难度比较高, 一些居民也许会因为操作起来比较困难或者步骤繁杂而产生抗拒情绪。

3.3. 智慧社区建设资源困境

由上述分析可知老旧小区产生于计划经济时期单位制留下的历史背景, 随着单位制逐渐解体其原本承担的公共服务功能也随之被弱化, 这种以离退休人员为主的社区, 部分以出租方式招揽外来务工人员入住, 具有明显功能异质性, 这也就注定了这类社区很难拥有整合社会资源的能力, 无法引入专业的物业服务机构也无法培育成立业主自治组织, 在此情势之下, 公共事务始终处于被搁置状态[4]。智慧化改造期间因缺乏完整的社区治理体系和相关社会组织作为支撑, 外界优质资源的高效配置就出现了难题, 从而限制了智慧化设施和智能化服务系统的相互配合协同发展。表 1 为老旧小区智慧社区建设核心困境量化统计, 数据来源于《住房和城乡建设部》中所收录的多个北方地区老旧小区案例的调研平均值, 以及对保定市主城区 2010 年前建成的住宅小区的抽样调查统计结果。

Table 1. Quantitative statistics on the core dilemma of smart community construction in old residential areas
表 1. 老旧小区智慧社区建设核心困境量化统计

困境类型	关键指标	数据表现	影响程度(1~5 分, 5 分为最重)
客体困境	无电梯楼栋占比	78%	4.5
	公共活动空间人均面积	$\leq 1.2 \text{ m}^2/\text{人}$	4.2
受众困境	60 岁以上居民智能终端操作熟练度	32% (熟练)	4.8
	低收入家庭智能设备配备率	72% (未配备)	4.1
资源困境	专业物业覆盖率	15% (有)	5.0
	外部资源引入率	$\leq 30\%$	4.7

4. 智能化改造标准体系构建

4.1. 绿色节能标准：构建低碳能源体系

绿色节能是改造的核心基础, 重点关注建筑能耗优化、可再生能源利用、水资源循环三大指标[5], 通过量化公式明确技术要求:

4.1.1. 建筑能耗优化标准

建筑节能率: 改造后建筑能耗需满足现行节能标准, 节能率计算公式为:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{改后}}}{Q_{\text{改前}}} \quad (1)$$

其中, η 为建筑节能率(要求 $\eta \geq 65\%$), $Q_{\text{改前}}$ 为改造前建筑单位面积年能耗(单位: kWh/m^2), $Q_{\text{改后}}$ 为改造

后单位面积年能耗。改造措施包括外墙保温层加装(传热系数 $K \leq 0.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)、门窗节能改造(气密性等级 ≥ 6 级)。

管网漏损率：供水、供热管网漏损率需控制在合理范围，公式为：

$$\delta = \frac{V_{\text{总}} - V_{\text{用}}}{V_{\text{总}}} \times 100\% \quad (2)$$

其中， δ 为管网漏损率(要求 $\delta \leq 8\%$)， $V_{\text{总}}$ 为管网总供水量/供热量， $V_{\text{用}}$ 为用户实际用量。改造措施包括管网更换(采用 PE 防腐管材)、智能漏损监测设备安装(漏损定位精度 ≤ 5 米)。

4.1.2. 可再生能源利用标准

光伏覆盖率：小区公共区域光伏装机容量需满足公共用电需求，计算公式为：

$$\gamma = \frac{P_{\text{光伏}} \times T_{\text{年有效}}}{E_{\text{公共年耗}}} \quad (3)$$

其中， γ 为光伏供电覆盖率(要求 $\gamma \geq 30\%$)， $P_{\text{光伏}}$ 为光伏装机功率(单位：kW)， $T_{\text{年有效}}$ 为年均有效发电时间(取 1200 h)， $E_{\text{公共年耗}}$ 为小区公共区域年耗电量(单位：kWh)。光伏板安装优先利用屋顶、停车场遮阳棚等区域，转换效率 $\geq 22\%$ 。

雨水回收利用率：雨水用于绿化灌溉、道路清洗，利用率公式为：

$$\lambda = \frac{V_{\text{回收利用}}}{V_{\text{年降雨总量}} \times \alpha} \quad (4)$$

其中， λ 为雨水回收利用率(要求 $\lambda \geq 40\%$)， $V_{\text{年降雨总量}}$ 为小区年均降雨量(单位： m^3)， α 为雨水收集面积占小区总面积比例(要求 $\alpha \geq 50\%$)， $V_{\text{回收利用}}$ 为实际回收利用雨水量。

4.2. 智能运维标准：搭建高效管理体系

智能运维通过物联网、大数据技术实现小区设备、安防、交通的自动化管理，核心标准包括设备智能化率、安防响应时效、交通管理效率[6]：

4.2.1. 设备智能化率

小区公共设备(照明、电梯、水泵等)需加装智能传感器与控制模块，智能化率公式为：

$$\xi = \frac{N_{\text{智能设备}}}{N_{\text{总设备}}} \times 100\% \quad (5)$$

其中， ξ 为设备智能化率(要求 $\xi \geq 80\%$)， $N_{\text{智能设备}}$ 为具备远程监控、自动调节功能的设备数量， $N_{\text{总设备}}$ 为小区公共设备总数。例如，智能照明需实现“人体感应 + 光感控制”，无人时功率降低至 5% 以下；电梯需加装故障预警系统，预警准确率 $\geq 95\%$ 。

4.2.2. 安防响应时效

构建“视频监控 + 智能识别 + 联动报警”安防体系，响应时效公式为：

$$t_{\text{响应}} = t_{\text{识别}} + t_{\text{派单}} + t_{\text{处置}} \quad (6)$$

其中， $t_{\text{响应}}$ 为安防事件总响应时间(要求 $t_{\text{响应}} \leq 5$ 分钟)， $t_{\text{识别}}$ 为智能系统识别异常事件时间(要求 $t_{\text{识别}} \leq 10$

秒, 如高空抛物识别、陌生人徘徊识别), $t_{\text{派单}}$ 为平台派单时间(要求 $t_{\text{派单}} \leq 1$ 分钟), $t_{\text{处置}}$ 为物业人员现场处置时间(要求 $t_{\text{处置}} \leq 3$ 分钟)。

4.2.3. 交通管理效率

针对小区停车难、车辆乱停问题, 智能交通管理需满足:

车位利用率:

$$\mu = \frac{T_{\text{车位使用时长}}}{T_{\text{总时长}} \times N_{\text{车位}}} \times 100\% \quad (7)$$

(要求 $\mu \geq 70\%$), 通过车位引导系统(引导精度 ≤ 1 米)、共享停车平台提升利用率; 车辆进出效率: 车辆进出小区平均时间 ≤ 30 秒, 采用车牌识别(识别准确率 $\geq 99.5\%$)、无人值守闸机实现快速通行。

4.3. 民生服务标准: 提升居民生活品质

民生服务聚焦“一老一小”需求, 通过智能平台整合服务资源, 核心标准包括服务覆盖率、响应满意度[7]:

4.3.1. 服务覆盖率

智能服务平台需覆盖社区医疗、养老、教育等核心需求, 覆盖率公式为:

$$\sigma = \frac{N_{\text{享受服务居民}}}{N_{\text{总居民}}} \times 100\% \quad (8)$$

其中, σ 为服务覆盖率(要求 $\sigma \geq 90\%$)。例如, 社区医疗服务需实现“在线问诊(响应时间 ≤ 30 分钟) + 健康监测(数据同步至社区医院)”; 养老服务需提供“紧急呼叫(响应时间 ≤ 3 分钟) + 上门护理(预约满足率 $\geq 85\%$)”。

4.3.2. 响应满意度

通过居民满意度调查评估服务质量, 满意度公式为:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n \times S_{\text{满分}}} \quad (9)$$

其中, S 为服务满意度(要求 $S \geq 85$ 分, 满分 100 分), s_i 为第 i 位居民评分, n 为调查样本量(要求 $n \geq$ 小区居民总数的 20%)。

5. 工程实例

为验证本文所构建的智能化改造标准体系的可行性与实效性, 本研究选取河北省保定市“园南小区”作为典型案例进行实证分析。该小区建于 1995 年, 占地面积约 5.2 万平方米, 共有居民楼栋 25 栋, 住户 812 户, 常住居民中 60 岁以上老人占比高达 41%, 是典型的基础设施老化、公共服务短缺的老旧小区。其于 2023 年 10 月启动绿色智慧化改造, 并于 2024 年 12 月完成全部工程, 改造过程全面应用了第四章所述的标准体系。

5.1. 改造内容与标准符合度评估

本次改造严格遵循前述标准, 具体实施内容与评估结果如表 2 所示:

Table 2. Evaluation of the compliance of the transformation content of Yuannan Community with the standard system
表 2. 园南小区改造内容与标准体系符合度评估

标准类别	评估指标	公式编号	标准要求	改造前数据	改造后数据	计算结果	是否达标
绿色节能	建筑节能率(η)	(1)	$\eta \geq 65\%$	$E_{\text{前}} = 128 \text{ kWh/m}^2$	$E_{\text{后}} = 42 \text{ kWh/m}^2$	$\eta = 67.2\%$	是
	管网漏损率(δ)	(2)	$\delta \leq 8\%$	$\delta \approx 11.9\%$	估算年化 δ	$\delta \approx 6.5\%$	是
	光伏覆盖率(γ)	(3)	$\gamma \geq 30\%$	0	$P_{\text{装}} = 215 \text{ kW},$ $E_{\text{公}} = 68.3 \text{ 万 kWh}$	$\gamma = 37.8\%$	是
	雨水利用率(λ)	(4)	$\lambda \geq 40\%$	0	$R = 550 \text{ mm},$ $S = 52\%,$ $U = 1850 \text{ m}^3$	$\lambda = 44.1\%$	是
智能运维	设备智能化率(ζ)	(5)	$\zeta \geq 80\%$	$N_{\text{总}} = 285, N_{\text{智}} = 35$	$N_{\text{智}} = 247$	$\zeta = 86.7\%$	是
	安防响应时效($t_{\text{响应}}$)	(6)	$t_{\text{响应}} \leq 5 \text{ min}$	$t_{\text{响应}} > 15 \text{ min}$	$t_{\text{识}} = 8 \text{ s}, t_{\text{派}} = 45 \text{ s},$ $t_{\text{处}} = 170 \text{ s}$	$t_{\text{响应}} = 3.7 \text{ min}$	是
	车位利用率(σ)	(7)	$\sigma \geq 70\%$	$C_{\text{总}} = 320, C_{\text{用}} = 185$	$C_{\text{用}} = 238$	$\sigma = 74.4\%$	是
民生服务	服务覆盖率(ρ)	(8)	$\rho \geq 90\%$	$N_{\text{覆}} \approx 300 \text{ 户}$	$N_{\text{覆}} = 752 \text{ 户}$	$\rho = 92.6\%$	是
	响应满意度(ω)	(9)	$\omega \geq 85 \text{ 分}$	$\omega \approx 65 \text{ 分}$	$\sum Si/162$	$\omega = 88.3 \text{ 分}$	是

5.2. 成本效益分析

本项目总投资为 2850 万元，其构成与效益分析如表 3 所示：

Table 3. Cost-benefit analysis of the intelligent transformation project in Yuannan Community
表 3. 园南小区智能化改造项目成本效益分析

项目	金额(万元)	占比/说明
总投资	2850	100%
1) 硬件设施更新(外墙、管网、光伏等)	1852.5	65%
2) 智能化系统部署(感知设备、平台、集成)	997.5	35%
年化效益	133	
1) 直接经济效益(节能降耗)	98	电费、水费节省
2) 直接经济效益(增收)	35	停车费、服务费提升
静态投资回收期(仅直接经济效益)	21.4 年	$2850/133 \approx 21.4$
间接效益	难以量化但显著	
1) 物业缴费率提升		从 78%提升至 95%
2) 社区安全事件下降		下降 60%
3) 居民幸福感与获得感		显著提升

分析表明, 尽管直接经济回报周期较长, 但考虑到政府补贴、避免的未来大修成本, 以及巨大的社会效益, 该项目具有良好的综合效益和推广价值。

5.3. 典型性与局限性讨论

5.3.1. 典型性

“园南小区”案例在人口结构、基础设施现状、产权复杂性等方面是我国北方地区上世纪建成的大批老旧小区的典型代表。其成功的改造实践验证了本标准体系在解决高老龄化率、高基础设施缺损率、低物业覆盖率等共性痛点问题上的有效性, 为类似小区的改造提供了可复制、可推广的完整技术路径和量化评估范式。

5.3.2. 局限性

本案例的实施也反映出标准体系在推广应用时可能面临的挑战:

(1) 初始投资门槛高: 高达 2850 万元的初始投资对许多地方政府和居民来说是一个巨大负担, 严重依赖中央财政专项资金支持, 资金筹措模式的可持续性 is 广泛推广的核心挑战。

(2) 技术集成复杂度高: 改造涉及多系统、多厂商、多技术领域的深度融合, 对项目规划和系统集成能力要求极高, 需要强有力的技术总包方统筹协调。

(3) 居民数字鸿沟: 尽管满意度提升, 但仍有部分高龄、低收入居民对智能终端的使用存在困难, 需要配套持续的人员帮扶和传统的服务通道, 确保服务的普惠性。

综上所述, 本案例实证表明, 第四章所构建的智能化改造标准体系具备技术上的先进性、实践中的可行性和良好的综合效益。其价值不仅在于改造本身, 更在于提供了一套科学的、量化的评估方法, 为老旧小区的绿色智慧转型树立了标杆。然而, 其推广仍需在创新投融资模式、降低改造成本、简化技术操作层面做出进一步探索。

6. 总结

本研究关注老旧小区向绿色智慧社区转型时智能化改造的关键议题, 探究它怎样改善居民的生活品质, 改良社区治理的效果并推动资源的高效利用。文章全面整理出改造过程中碰到的各种难题, 技术适应性差, 民众参与度低, 资金筹集麻烦等等, 进而创建起包含基础设施, 环境调节, 安全保障这三个方面的智能化改造评价指标体系, 通过典型事例的实证剖析显示, 这个标准化方案在节能减耗, 设施运作效率提升, 居民满意程度改善等多方面都收获了明显的成果, 给类似项目的发展给予了可供模仿的经验参照, 而且为城市的持续发展给予了理论支撑和实际引导。

参考文献

- [1] 汝鹏, 沈娅云, 苏竣. 智慧社区如何影响社区依恋?——基于北京老旧小区智慧化改造的案例研究[J]. 中国软科学, 2023(4): 66-75.
- [2] 张柳. 基于智慧社区的老旧小区户外公共空间适老化改造设计研究[J]. 建筑科学, 2023, 39(11): 187.
- [3] 张亮. 智慧社区导向下老旧小区数字化改造的应用路径——以武汉市武昌区中华路街道户部巷社区为例[J]. 美化生活, 2023(10): 3.
- [4] 丁兰, 刘茜, 龙珍华. 老旧小区适老化改造措施研究——以广州市三眼井社区微改造为例[J]. 住宅产业, 2023(8): 46-49.
- [5] 刘敏. 城市老旧小区现代化规划改造建议与思考[J]. 住宅与房地产, 2024(25): 95-97.
- [6] 王秋蒲. 面向老旧社区楼道的低功耗物联网火灾预警系统设计与实现[J]. 传感器技术与应用, 2025, 13(4): 593-603.
- [7] 郑家宜. 福州苍霞新城老旧小区改造中的智慧社区建设与实践[J]. 建设科技, 2025(10): 48-50.