



北京绿色金融与可持续发展研究院
INSTITUTE OF FINANCE AND SUSTAINABILITY

城市更新既有建筑可持续改造 路径与金融支持方案研究

北京绿色金融与可持续发展研究院

2026年1月

版权声明

本报告版权归北京绿色金融与可持续发展研究院（北京绿金院）所有。本报告用于在特定领域的研究与交流，未经北京绿金院授权，请勿转载、摘编或以其他方式使用其内容。如引用报告内容，应清晰注明来源。如有内容或合作等问题，请通过如下电邮联系我们：info@ifs.net.cn

北京绿色金融与可持续发展研究院（北京绿金院）是一家注册于北京的非营利研究机构。我们聚焦 ESG 投融资、低碳与能源转型、自然资本、绿色科技与建筑投融资等领域，致力于为中国与全球绿色金融与可持续发展提供政策、市场与产品的研究，并推动绿色金融的国际合作。北京绿金院旨在发展成为具有国际影响力的智库，为改善全球环境与应对气候变化做出实质贡献。

研究指导

马骏 北京绿色金融与可持续发展研究院 院长

课题组组长

张青林 北京绿色金融与可持续发展研究院 绿色建筑与可持续规划中心 主任

课题组成员

肖明智 北京绿色金融与可持续发展研究院 研究员

陆春华 北京绿色金融与可持续发展研究院 研究员

祝子翀 北京绿色金融与可持续发展研究院 助理研究员



致 谢

本课题立项及研究过程中，有幸得到了以下专家的指导与支持（按姓氏拼音排序），在此我们致以诚挚感谢。

| | | |
|-----|--------------|--------------|
| 梁 浩 | 住建部科技中心绿色建筑处 | 处长 |
| 宋晔皓 | 清华大学建筑与技术研究所 | 所长、教授 |
| 李晓峰 | 中国建筑标准设计研究院 | 副总工程师、正高级工程师 |
| 王益锋 | 兴业银行总行 | 绿色金融处处长 |
| 苏 楠 | 华夏银行总行 | 绿色金融中心处长 |
| 刘小兵 | 交通银行北京市分行 | 绿色金融中心总经理 |
| 李丛笑 | 中建集团双碳办公室 | 副主任 |
| 薛世伟 | 中建碳科技有限公司 | 执行总经理 |
| 李霖道 | 中海商业发展有限公司 | 副总经理 |
| 张 帆 | 施耐德电气有限公司 | 高级总监 |
| 陈 洁 | 溪山天使汇 | 执行委员 |



目 录

| | |
|------------------------------|-----------|
| 一、引言 | 2 |
| 1.1 研究背景 | 2 |
| 1.2 研究意义 | 3 |
| 1.3 研究内容 | 4 |
| 二、既有建筑改造的技术路径 | 6 |
| 2.1 绿色能源使用 | 6 |
| 2.2 用能系统优化 | 9 |
| 2.3 建筑本体节能单元改造 | 12 |
| 2.4 智慧能源管理体系构建 | 17 |
| 三、既有建筑改造的项目经济效益分析 | 24 |
| 3.1 经济效益核心维度与测算逻辑 | 24 |
| 3.2 不同技术路径的经济效益测算 | 25 |
| 3.3 不同建筑类型的经济效益对比分析 | 27 |
| 3.4 小结 | 29 |
| 四、支持既有建筑改造的商业模式与金融工具 | 31 |
| 4.1 核心商业模式 | 31 |
| 4.2 全周期金融工具 | 35 |
| 4.3 创新组合模式案例参考 | 41 |
| 五、中外既有建筑可持续改造典型案例分析 | 46 |
| 5.1 案例一：某市级文化中心 EMC 模式节能改造案例 | 46 |
| 5.2 案例二：某公园综合能源站项目案例 | 48 |
| 5.3 案例三：某省级三甲医院节能改造案例 | 51 |
| 5.4 案例四：某国际大酒店节能改造项目案例 | 55 |
| 5.5 案例五：某连锁酒店节能改造案例 | 57 |
| 5.6 案例六：某省级工业园区改造案例 | 60 |
| 5.7 案例七：海外某钢铁厂节能改造案例 | 64 |
| 5.8 案例八：某钢铁公司分布式光伏一体化改造案例 | 68 |



| | |
|-----------------------------------|-----------|
| 5.9 案例九：某产业园区节能改造案例 | 71 |
| 5.10 案例十：某产业园区综合能源微电网节能改造案例 | 75 |
| 六、结语 | 81 |
| 【参考文献】 | 82 |



第一章

引言

一、引言

1.1 研究背景

在全球气候治理不断向纵深推进、我国“双碳”战略加速落地的时代背景下，建筑行业作为能源消耗与碳排放的关键领域，其绿色转型进程直接关乎国家生态安全与可持续发展大局。与此同时，我国城市更新行动全面开展，推动城市发展从“增量扩张”向“存量提质”转变，既有建筑作为城市空间的核心载体，其可持续改造已成为破解资源环境约束、提升城市功能品质的关键举措。既有建筑可持续改造不仅是建筑行业实现碳减排目标的必要选择，更是推动城市绿色低碳发展、满足人民群众对高品质人居环境需求的重要途径，具有深刻的时代意义和现实价值。

我国拥有全球规模最大的建筑存量。根据第一次全国自然灾害综合风险普查数据，截至 2023 年底，全国既有建筑面积已超 1000 亿平方米¹。其中，大量 2000 年以前建成的建筑，对照当前建筑节能与能效管控要求，普遍存在围护结构保温性能不佳、用能设备能效较低、能源管理方式落后等问题。数据显示，我国建筑与建筑业建造（全过程）能耗占全国能源消费总量 44.8%，碳排放占全国能源相关碳排放 48.3%；其中建筑运行能耗占全国能源消费总量 22.0%，既有建筑能耗占建筑运行能耗 70% 以上，建筑运行碳排放占全国能源相关碳排放 21.7%，建筑领域是实现“双碳”目标的核心攻坚领域²。随着城镇化进程持续推进以及人民生活水平提高，建筑用能需求仍将保持刚性增长。若不及时开展可持续改造，既有建筑的高能耗、高碳排放问题将进一步加大资源环境压力，与绿色发展理念形成突出矛盾。

从行业发展趋势来看，既有建筑可持续改造已进入政策红利与市场需求双轮驱动的加速阶段。国家层面相继出台《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》《关于持续推进城市更新行动的意见》等一系列政策文件，明确提出到 2025 年，完成既有建筑节能改造面积 3.5 亿平方米以上，建设超低能耗、近零能耗建筑 0.5 亿平方米以上，为行业发展明确了清晰的目标导向^{3 4}。此外，从住建部发布的四批城市更新可复制经验做法清单中可以清晰看出，地方政府也在积极响应政策导向，通过财政补贴、税收优惠、简化审批等方式，推动本地既有建筑改造工作，形成了中央政策引领、地方细化落实的上下联动政策支持体系⁵。同时，随着绿色消费理念普及，市场对绿色建筑的需求持续增长。商业建筑、工业建筑通过可持续改造可实现资产增值、招商溢价，老旧小区改造可显著提升居民居住舒适度与幸福感，这些市场需求成为推动改造工作规模化开展的内在动力。

既有建筑可持续改造的核心内涵，是通过技术创新、模式创新与金融创新的深度融合，实现建筑全生命周期的节能降碳、功能提升与价值增值。其改造并非单一维度的节能技术应用，而是涵盖技术路径优化、经济效益提升、商业模式适配、金融支持保障的系统工程。从技术层面而言，改造以“低碳化、高效化、智能化”为核心，需结合能效诊断，推进建筑本体节能、用能系统优化、可再生能源替代及智

¹ 中华人民共和国住房和城乡建设部. 第一次全国自然灾害综合风险普查公报 [R]. 北京, 2024.

² 中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专业委员会, 重庆大学城乡建设发展与研究院. 中国城乡建设领域碳排放研究报告 (2024 年版)[R]. 重庆, 2024.

³ 中华人民共和国住房和城乡建设部. “十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划 [R]. 建标 [2022] 24 号. 2022.

⁴ 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于持续推进城市更新行动的意见 [R]. 2025.

⁵ 中华人民共和国住房和城乡建设部 (办公厅). 实施城市更新行动可复制经验做法清单 (第一至四批) [R]. 2022-2025.

慧能源管控，要求因地制宜制定改造计划⁶。从价值层面来看，改造的经济效益不仅包括直接的节能费用节约、可再生能源销售收入，还涵盖资产增值、运营效率提升、招商竞争力增强等间接收益，同时兼具碳减排、公共服务承载力提升等环境与社会效益，形成多元价值共生的格局⁷。

1.2 研究意义

尽管既有建筑可持续改造前景广阔，但在规模化推进过程中，行业仍面临多重系统性挑战，这些挑战相互交织、相互制约，成为制约行业高质量发展的核心瓶颈。资金缺口巨大是首要难题，既有建筑改造前期投资规模大，单项目投资从数百万元到数亿元不等，且投资回收期普遍在 3 - 12 年，部分大型项目甚至超过 10 年。传统模式下，投资主要由业主承担，不仅给业主带来沉重的资金压力，还面临能源价格波动、技术迭代等潜在风险，导致市场主体参与积极性不足。尤其对于公共建筑、老旧小区等公益属性较强的项目，政府财政资金有限，社会资本参与意愿不强，资金短缺成为制约改造推进的核心障碍。

商业模式不清晰进一步加剧了推广难度。不同类型建筑的产权性质、运营目标、用能特征差异极为显著，单一改造模式难以契合多元需求。居住建筑产权呈分散状态，改造意愿难以达成统一，产权主体间利益协调难度大⁸；商业性公共建筑以投资回报最大化为目标，对改造的经济性以及施工周期有着严格要求；长期以来，非商业性公共建筑（非经营性城市更新项目）受政策引导与财政预算的约束，相比经济回报更为注重环境社会效益⁹。目前，行业内缺少针对不同建筑类型的标准化商业模式，部分创新模式的应用场景存在局限性，尚未形成能够大规模复制的成熟范式。

技术集成难度高同样是一项重要挑战。既有建筑改造属于兼顾节能效果、功能适配、文化保护、运营安全等多重目标的系统工程，需要协调建筑本体节能、能源系统重构、数字化管控等多个技术维度，避免出现技术适配性欠佳、系统协同效率低下等问题。在历史建筑与工业遗产改造过程中，技术应用需严格保护建筑风貌与文化价值¹⁰；在医院、数据中心等复杂场景中，改造需保障运营的连续性与核心功能的稳定性，对施工工艺、设备可靠性提出了极高要求¹¹。此外，我国既有建筑改造技术体系仍不够健全，部分关键技术成本较高，成熟的技术集成方案较少，这进一步增加了改造的难度。

政策与市场环境不完善同样对行业发展起到了制约作用。现有政策存在标准不统一、审批流程繁琐等问题，不同地区的改造标准、补贴政策差异较大，缺乏全国统一的技术规范与评价体系。审批环节涉及多个部门，流程复杂、周期较长，增加了项目落地的成本。从市场维度来看，建筑能效量化与碳足迹管理制度体系尚未完善¹²；企业碳排放等环境相关量化信息披露存在显著缺口¹³；绿色建筑的市场溢价效应难以有效释放¹⁴；市场化配套激励机制亦存在明显不足¹⁵。同时，行业内专业化的节能服务公司、金

⁶ 中华人民共和国国务院办公厅。国务院办公厅关于转发国家发展改革委、住房城乡建设部《加快推动建筑领域节能降碳工作方案》的通知 [R]. 国办函〔2024〕20 号。北京，2024-03-12.

⁷ 秦虹，苏鑫。城市更新的目标及关键路径 [M]. 北京：中国社会科学出版社，2020.

⁸ 杨帆，郭汉丁。既有住区绿色改造项目政府与业主决策协同机制理论研究综述[J]. 项目管理技术，2024，22(11): 54-60.

⁹ 尹利君，郭思佳，赵宇。城市更新的回报机制及产出效益分析[J]. 科技促进发展，2023，19(11): 700-709.

¹⁰ 中华人民共和国住房和城乡建设部。2023.《城乡历史文化保护利用项目规范》GB 55035-2023. 北京：中国建筑出版传媒有限公司

¹¹ SANTAK：数据中心供电系统“0”秒切换解决方案[EB/OL]. 山特电子（深圳）有限公司，2022-08-18[2026-01-18].

¹² 蔡伟光。完善建筑领域碳排放核算体系 助力城乡建设绿色低碳发展 [EB/OL]. 北京：中国建设报，2021-11-22.

¹³ 罗崇佳，段茂盛。中小企业环境信息披露：现状、难点及对策[J]. 能源经济评论，2025(3): 178-198.

¹⁴ Li S L, Zheng X Z, Zeng Q. Can green finance drive the development of the green building industry?—Based on the evolutionary game theory[J]. Sustainability, 2023,

融服务机构数量有限，服务能力参差不齐，难以满足大规模改造的需求。

在此背景下，开展既有建筑可持续改造路径与金融支持方案研究，具有重要的理论与实践意义。在理论层面，本研究构建“技术路径 - 经济效益 - 金融支持”的三维分析框架，系统梳理不同建筑类型的改造需求与技术适配规律，探索经济效益的多元测算方法，整合各类金融工具的应用场景与适配条件，填补了既有建筑改造领域技术与金融协同研究的空白。通过对中外典型案例的深度剖析，提炼改造成功的核心要素与关键逻辑，为行业理论体系的完善提供实践支撑，也为相关学术研究提供新的视角与思路。

在实践层面，本研究通过整合技术方案、经济效益测算方法、金融工具应用模式，形成覆盖不同建筑类型、不同改造场景的可落地行动指南。对于政府部门而言，本研究提出的政策优化建议可为完善行业监管、制定激励政策提供参考，推动形成更有利于改造推进的制度环境；对于金融机构而言，本研究梳理的金融工具适配逻辑与创新模式，可为其开发针对性金融产品、控制信贷风险提供依据，促进金融资源向改造项目倾斜；对于项目业主而言，本研究总结的技术组合方案、经济效益测算方法、融资路径选择，可帮助其降低改造风险、提升项目收益，并通过多元化的绿色金融工具减少对自身的财务压力，推动既有建筑改造从政策驱动向市场驱动转型。最终，我们希望通过本研究的推动，助力建筑领域碳减排目标的实现与城市更新高质量推进，为我国“双碳”战略落地做出贡献。

1.3 研究内容

本报告围绕既有建筑可持续改造的全链条展开，以“问题导向 - 解决方案 - 实践验证”为核心逻辑主线，系统梳理改造的技术路径、经济效益、金融支持方案，并通过中外典型案例验证其可行性，形成完整的研究体系。报告共分为六个部分：第一部分为引言，阐述研究背景、意义、核心挑战与报告结构；第二部分详细分析既有建筑改造的技术路径，包括可再生能源系统改造、用能系统优化、建筑本体节能、智慧能源管理四大方向；第三部分从全生命周期视角，分析改造项目的经济效益核心维度、测算逻辑及不同技术路径与建筑类型的效益差异；第四部分梳理适配不同项目需求的商业模式与全周期金融工具，介绍了多种融资模式，尤其是对绿色金融与转型金融工具的创新使用；第五部分选取中外典型案例，深入分析改造案例、实施流程与成效，提炼具有可复制性的经验；第六部分为结论，归纳研究的核心观点，展望该行业未来的发展方向。

15(17): 13134. DOI:10.3390/su151713134.

¹⁵ 北京市人民政府. 北京市城市更新专项规划 (北京市“十四五”时期城市更新规划) [R/OL]. 北京市人民政府公报, 2022-01(期号): 1-85[2026-01-18].



第二章

既有建筑改造的技术路径

二、既有建筑改造的技术路径

既有建筑改造的技术路径以“低碳化、高效化、智能化”为核心，形成“可再生能源替代 + 用能系统优化 + 建筑本体节能 + 智慧能源管控”的协同体系。需结合建筑类型、气候条件、资源禀赋精准组合技术，通过光伏 / 光热等清洁能源替代化石能源，以高效设备与智能调控降低终端能耗，依托围护结构升级与被动式技术筑牢节能基底，再经 EMS 与微电网系统实现全流程智慧管控，既保障改造效果适配多元场景，又兼顾节能、功能多重目标。本章主要聚焦于绿色能源使用和各类节能改造技术路径的讨论。当然，既有建筑改造还涉及其他提升方向，如：建筑质量层面可通过抗震加固、防洪防涝设施升级等提升气候韧性；效益层面包含雨水回收、节水器具更换等节水改造及建筑废弃物再生利用；美观性可通过立体绿化、屋顶花园等优化；舒适度则能通过改善通风采光、隔音降噪、精准温控等实现。对这些内容感兴趣的读者，可参考《绿色建筑评价标准》（GB/T 50378-2019）、《既有建筑维护与改造通用规范》（GB 55022-2021）等相关标准文献。

2.1 绿色能源使用

可再生能源系统改造是既有建筑能源系统重构的核心抓手，通过整合光伏、光热、分散式风电等清洁能源技术，替代传统化石能源消耗，从源头降低建筑碳排放。不同可再生能源技术的资源依赖、适配场景、经济性能差异显著，需结合建筑类型、空间条件、区域资源禀赋精准选型，实现能源供给低碳化与稳定性的平衡。

2.1.1 建筑光伏技术

建筑光伏技术分为后置加装式（BAPV）与建筑构件集成式（BIPV）两类，核心功能是将太阳能转化为电能，满足建筑自用或余电上网需求，其中 BIPV 兼具发电与围护/装饰双重属性，是当前既有建筑光伏改造的主流方向¹⁶。

表 2.1-1: BAPV 与 BIPV 应用介绍

¹⁶ 刘玉军，徐力. 绿色低碳城市更新技术指南 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2024.

| 技术类型 | 核心原理 ¹⁷ | 适用场景 |
|--------------|---|--|
| BAPV (后置加装) | 在建筑既有屋面、墙面、车棚等部位加装光伏组件，通过逆变器将直流电转化为交流电，优先自用、余电上网或储能 | 工业厂房（开间屋顶）、办公建筑（屋面/幕墙）、公共园区（车棚/连廊）、老旧小区（屋面/闲置场地） |
| BIPV (一体化集成) | 将光伏组件与屋面瓦、幕墙板、遮阳构件等融合，替代传统建材，同步实现光伏发电与建筑围护功能 | 商业综合体（幕墙/屋顶）、高端写字楼（外立面）、标志性公共建筑（装饰性屋面）、历史建筑附属建筑 |

BAPV 与 BIPV 分别对应不同改造条件与需求，共同覆盖建筑光伏的多元应用场景。BAPV 的优势在于改造灵活、成本低，无需改动建筑主体，可快速外挂于既有建筑表面，适配荷载有限、预算紧张的存量建筑，低门槛实现能源补给；BIPV 则以建材与发电功能的合一为核心优势，组件可替代传统建材，减少耗材与综合造价，能最大化利用建筑空间发电，兼顾绿色评级、长期节能与建筑美学，适配新建项目或大规模改造需求¹⁸。

2.1.2 太阳能光热技术

太阳能光热技术以热水供应为核心，与空气源热泵耦合形成互补系统，可覆盖建筑供暖、制冷及热水全场景需求，适配不同气候区域与建筑类型的用能特点，提升能源利用稳定性与效率。

表 2.1-2: 光热 - 热泵耦合系统技术介绍^{19 20}

¹⁷ 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑光伏系统应用技术标准: GB/T 51368-2019 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.

¹⁸ 刘玉军, 徐力. 绿色低碳城市更新技术指南 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2024.

¹⁹ 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑太阳能热水系统应用技术标准: GB 50364-2018 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.

²⁰ 中华人民共和国住房和城乡建设部. 太阳能供热采暖工程技术标准: GB 50495-2018 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.

| 耦合模式 | 核心配置 | 适用场景 |
|---------------|---|------------------------------------|
| 光热+热泵 热水系统 | 太阳能集热器、空气源热泵主机、保温储水罐、循环泵、防冻管路、智能联动控制系统（优先 / 辅助热源定温切换） | 民用居住建筑（公寓、老旧小区）、公共建筑（酒店、医院、学校、养老院） |
| 光热+热泵 供暖系统 | 太阳能集热器、低温型空气源热泵、地暖 / 散热片、储能水箱、防冻循环管路、水力平衡装置、智能温控系统 | 北方严寒 / 寒冷地区民用居住建筑、公共建筑、农村集中供暖项目 |

该技术组合的核心优势在于能源互补，太阳能光热降低热泵运行负荷，热泵则弥补阴雨天太阳能供应不足的短板，尤其适合对热水、供暖有稳定需求的建筑。实际改造建议优先结合建筑所在地能源条件，改造前需校核既有建筑的荷载与管路适配性，优先选用带智能联动控制的系统以简化运维²¹。

2.1.3 分散式风电技术

分散式风电技术通过小型风力发电机组将风能转化为电能，系统规模较小且靠近负荷中心，多点接入配电网，能源利用率高，具备灵活、绿色的特点²²。分散式风电技术可作为光伏技术的补充，提升建筑能源供应的多样性与稳定性，适用于场地开阔、风能资源丰富的建筑或园区场景。

²¹ 刘玉军, 徐力. 绿色低碳城市更新技术指南 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2024.

²² 许崇伟. 分散式风电发展技术分析 [J]. 生态环境与保护, 2019, 2 (7): 48-49. DOI:10.32629/eep.v2i7.352.

表 2.1-3：分散式风电技术参数介绍^{23 24 25}

| 技术参数类别 | 具体指标 | 适用条件 |
|--------|--|--|
| 机组规格 | 单机容量 ≤5 MW (10 kV 配网 ≤2.5 MW、35 kV 配网 ≤5 MW) | 10 kV / 35 kV 配网接入项目；场地 受限的工业园区、农村、山区 |
| 运行特性 | 切入风速 3 m/s、切出风速 21 m/s、设备可利用率 ≥95 %、年 利用小时数 ≥1800 h (低风速 区) | 低风速场址 (年平均风速 ≥5.0 m/s)；配网末端、用电负荷密集区； 就地消纳场景 |
| 环境适应性 | 温度 -20 °C ~ +45 °C、噪声敏 感区需低噪声设计、设防火 / 防 冰 / 防泄漏装置、I 类防雷措施 | 温带 / 亚热带地区；居民区 / 工业 区周边；高湿度 / 结冰 / 多雷 / 生态敏感区域 |

分散式风电技术的核心价值在于与光伏形成“风光互补”，缓解太阳能昼夜间歇性供应的问题，但受场地与资源条件限制较大。实际应用中需先开展风能资源普查，结合建筑周边环境规划安装位置，避开生态保护区、空域管制区等敏感区域，同时做好噪音控制与安全防护设计。

2.2 用能系统优化

用能系统是既有建筑能耗消耗的核心终端，其优化以“高效设备替代+智能精准调控”为双核心，聚焦空调、照明、动力设施等高耗能环节，通过技术升级与管理优化，在保障使用功能与舒适度的前提下，降低单位面积用能强度，提升能源利用效率。改造需结合建筑用能负荷特征、运营模式与经济预算，优先选择成熟度高、节能效果显著、投资回收期短的技术方案。

2.2.1 高效空调与热泵系统

城市有机更新阶段，既有建筑空调系统普遍存在设备老旧、能效不足、管网漏热等问题，既影响舒适度又造成能源浪费，其高耗能特性制约建筑节能降碳。优化需结合建筑功能与气候条件精准选型，聚焦主机能效提升、系统循环优化、余热回收利用三方面²⁶。以下为主流改造技术的核心参数与应用场景

²³ 全国风力机械标准化技术委员会. GB/T 18451.1-2022 风力发电机组 设计要求 [S]. 北京：中国标准出版社，2022.

²⁴ 全国风力机械标准化技术委员会. GB/T 41512-2022 分散式风力发电机组 [S]. 北京：中国标准出版社，2022.

²⁵ 全国电力系统管理及其信息交换标准化技术委员会. NB/T 31003.3-2022 风电场接入电力系统设计技术规范 第 3 部分：分散式风电 [S]. 北京：中国电力出版社，2022.

²⁶ 刘玉军，徐力. 绿色低碳城市更新技术指南 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2024.

对比：

表 2.2-1：空调优化技术参数配置与场景²⁷

| 改造方向 | 核心技术配置 | 适用场景 |
|------|-----------------------------|-----------------------|
| 主机替代 | 磁悬浮离心式冷水机组（制冷量 1000-2000RT） | 大型商场、酒店、医院、工业厂房（工艺冷却） |
| | 空气源热泵机组（制热量 50-300kW） | 北方寒冷地区居住建筑、公共建筑供暖 |
| 余热回收 | 地源热泵系统（埋管深度 80-120m） | 有地下空间资源的办公楼、高端住宅 |
| | 空调冷凝热回收模块（回收效率≥85%） | 酒店、医院（生活热水供应） |
| | 烟气余热回收装置（换热效率≥90%） | 燃煤/燃气锅炉配套的公共建筑、工业建筑 |
| 系统优化 | 变流量控制系统（水泵/风机变频范围 20%-100%） | 办公建筑、商业建筑、公共建筑 |
| | 新风热回收装置（热回收效率≥70%） | 人员密集的商场、写字楼、学校 |
| | 分区温控系统（温控精度±0.5℃） | 大型综合体、多区域办公建筑 |

实际改造中，需注重系统协同适配。例如大型公共建筑可优先采用“磁悬浮机组+变流量控制+冷凝热回收”组合方案，兼顾节能与热水供应需求；北方地区可选择“空气源热泵+太阳能光热”互补系统，提升低温工况稳定性；工业建筑需结合工艺冷却需求，定制机组参数，避免过度设计。同时，施工阶段需同步清理空调管道污垢、优化气流组织，确保设备性能充分发挥。

2.2.2 智慧照明与控制技术

照明系统的优化核心是“高效光源替代+智能化按需控制”，在降低能耗的同时提升照明舒适度与使用便捷性。例如，淘汰白炽灯、改用 LED 等高效光源，比紧凑型荧光灯再节电 40%-50%，再辅以按

²⁷ 中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家市场监督管理总局。建筑节能与可再生能源利用通用规范：GB 55015-2021 [S]。北京：中国建筑工业出版社，2021。

需控制，即可实现照明全流程节能²⁸。以下为核心改造技术的详细适配方案：

表 2.2-2：建筑照明系统节能改造技术适配方案²⁹

| 改造内容 | 技术方案细节 | 适用场景 |
|------|---------------------|------------------|
| 灯具替代 | LED 平板灯（功率 10-40W） | 办公室、走廊、地下车库 |
| | LED 防爆灯（功率 30-100W） | 工业厂房、仓库 |
| | LED 洗墙灯（功率 15-30W） | 建筑外立面、展厅、大堂 |
| 智能控制 | 人体感应+光感双控模块 | 居住建筑走廊、楼梯间、公共卫生间 |
| | 分区定时控制系统 | 办公建筑、学校、医院 |
| | 调光控制系统（0-10V 调光） | 会议室、展厅、多功能厅 |
| 系统集成 | 照明与 EMS 联动控制 | 大型商业建筑、产业园区 |

用能系统优化的关键在于“精准匹配”，需结合建筑用能特征与运营规律，避免盲目追求高端设备。例如，办公区可以采用分区定时调控与 LED 平板灯，公共走道搭配人体感应与光感双控模块与低功率 LED 光源，地下空间优先用导光管采光技术。这种按需适配的方式，通过“高效光源 + 场景化调控 + 自然光利用”的协同，实现能源消耗与用能需求的精准契合，达成系统低碳高效运行的目标³⁰。

2.2.3 电梯节能技术

我国既有建筑存量电梯数量超过千万台，其中使用年限在 15 年以上的老旧电梯约 80 万台。单台老旧电梯每年耗电量普遍达到 8000 度以上，占建筑总用电量的 10% - 15%，具有显著的节能改造潜力³¹。通过技术升级与智能优化，电梯能耗可降低 30% - 45%³²。同时，节能电梯技术契合超长期特别国债支持老旧设备更新的政策导向，兼具环境效益与经济效益。

核心节能技术路径如下表所示，主要涵盖三大类别：高效驱动系统升级、能量回收系统加装以及智能控制系统优化。

²⁸ 刘玉军, 徐力. 绿色低碳城市更新技术指南 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2024.

²⁹ 中国建筑科学研究院. 建筑照明设计标准: GB 50034-2013 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.

³⁰ 刘大君, 韩颖, 刘运清, 等. 绿色建筑智能化技术 (第 2 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2024. ISBN: 9787302656500.

³¹ 方超, 张家振. 行业龙头竞速“老龄化”电梯更新市场[J/OL]. 中国经营报, 2023. [2024-01-20].

³² 深圳市合兴加能科技有限公司. 电梯节能实用性综合分析报告[EB/OL]. (2025-08-08)[2026-01-20].

表 2.2 - 3: 主流电梯节能技术参数对比表^{33 34}

| 技术类型 | 核心原理 | 适用场景 |
|-----------|----------------|-------------|
| 永磁同步曳引机升级 | 无齿轮直接驱动, 无励磁损耗 | 老旧电梯整机更新 |
| 储能式能量回馈系统 | 回收再生电能储存并反馈电网 | 中高层住宅、办公楼 |
| 智能群控与休眠系统 | AI 调度+闲置节能模式 | 写字楼、医院、交通枢纽 |

其中, 高效驱动系统升级是采用永磁同步无齿轮曳引机替换传统交流异步电机, 依托永磁材料实现无励磁电流损耗, 功率因数高 (近于 1), 可大幅提升传动效率。搭配 VVVF 变频调压调速系统后, 能动态调节电压和频率, 实现电梯运行速度的精准控制, 从而有效避免无效能耗的产生³⁵。

能量回收系统加装是借助储能式能量回馈装置, 回收电梯轻载上行、重载下行时产生的再生电能, 可实现节电 30% 以上³⁶。河南省某大型综合社区, 实施了电梯能量回馈改造工程, 改造后单台电梯平均节电率达到 25% 以上, 整个社区年节电量超过 8 万千瓦时, 相当于减少二氧化碳排放约 64 吨³⁷。回收的电能可反馈至建筑低压电网, 供照明、空调等设备使用, 形成能源循环。

智能控制系统优化是采用成熟的智能控制技术, 通过群控楼宇智能管理、驱动器休眠、轿厢无人自动关灯等方式, 减少空载运行与无效能耗。配套待机休眠相关功能, 在电梯无人使用时自动关闭轿厢照明, 切断驱动设备非必要动力供应; 在非高峰时段, 通过优化派梯与运行逻辑, 进一步降低能耗。江苏某示范工程通过智能电梯群控制器优化交通管理系统, 将 6 部电梯的年耗电量降至 4,380 至 5,100 千瓦时, 节能潜力高达 70%, 并进一步通过智能群组控制器减少电梯群组能耗 30%³⁸。

2.3 建筑本体节能单元改造

建筑本体是建筑能耗损失的核心载体, 其节能改造聚焦“降低热交换、优化物理性能”核心目标, 通过围护结构升级、门窗与遮阳系统迭代、被动式技术应用三大路径, 从源头减少建筑与外界的热量传递, 为后续能源系统优化奠定基础。改造需兼顾结构安全、施工可行性与成本效益, 根据建筑类型、气候区域、使用功能精准匹配技术方案, 避免盲目堆砌技术。

³³ 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 10058-2023 电梯技术条件 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.

³⁴ 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 32271-2015 电梯能量回馈装置 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.

³⁵ 王龙腾. 浅谈永磁同步无齿轮电梯之原理及特点[J]. 福建农机, 2007 (3):62-63.

³⁶ 刘大君, 韩颖, 刘运清, 等. 绿色建筑智能化技术(第 2 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2024. ISBN: 9787302656500.

³⁷ 河南锦轩电梯有限公司. 国家节能中心推广新密电梯能量回收案例[EB/OL]. (2025-11-05)[2026-01-26]. 河南锦轩电梯有限公司官方网站.

³⁸ 中瑞零碳建筑项目瑞方实施团队 intep-Skat. 报告发布: 《智能化高效电梯》[EB/OL]. 绿色建筑研习社, 2025-03-20[2026-01-26].

2.3.1 围护结构节能改造技术

围护结构包括外墙、屋面、地面、门窗等核心部位，其节能改造以提升保温隔热性能为核心，通过材料升级、构造优化、节点处理实现能耗基底降低³⁹。不同部位的改造技术需适配建筑现状与使用场景，以下为主流技术方案对比：

表 2.3-1：主流建筑围护结构节能改造技术方案对比⁴⁰

| 改造部位 | 核心技术类型 | 核心措施 | 适用建筑类型 |
|------|---------|--|------------------|
| 外墙 | 外保温系统 | 基层处理+保温层（挤塑板/XPS 40-60mm）+抹面层+饰面层；采用锚栓固定+粘结剂双重加固 | 老旧小区、多层住宅、普通办公楼 |
| | 内保温系统 | 结构基层+防潮层+保温层（岩棉板 30-50mm）+石膏板饰面；重点处理与门窗、梁柱交接节点 | 历史建筑、无法外保温的公共建筑 |
| | 夹心保温系统 | 外墙内侧板+保温芯材（聚氨酯硬泡 50-70mm）+外墙外侧板；工厂预制+现场拼装 | 新建改造结合项目、工业厂房 |
| | 倒置式保温 | 结构层+保温层（挤塑板/XPS 60-80mm）+防水层+保护层；保温层位于防水层上方，延长使用寿命 | 平屋顶建筑、公共建筑、工业厂房 |
| 屋面 | 种植屋面 | 结构层+排水层+过滤层+种植基质（150-300mm）+植被层；搭配蓄排水板提升雨水利用效率 | 公共建筑、园区配套建筑、高端住宅 |
| | 保温隔热一体化 | 彩钢夹芯板（岩棉/聚氨酯芯材 80-100mm）替代传统屋面；适用于轻钢结构建筑 | 工业厂房、仓库、临时建筑 |
| 地面 | 地下室外墙保 | 外墙外侧敷设保温层（挤塑板/XPS | 地下车库、地下室、 |

³⁹ 王晓楠. 建筑节能改造项目中的碳减排潜力与实施路径[J]. 建筑技术与创新, 2025, 2(1): 92-94. DOI: 10.69979/3029-2727.25.01.029

⁴⁰ 中国建筑科学研究院有限公司. 建筑节能工程施工质量验收标准: GB 50411-2019 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.

| 改造部位 | 核心技术类型 | 核心措施 | 适用建筑类型 |
|------|--------|--|-------------|
| | 温 | 50-70mm) +防潮层+保护层; 重点处理与土壤接触部位 | 底层住宅 |
| | 地面辐射保温 | 楼板基层+保温层(挤塑板 20-30mm) +反射膜+加热管+保护层; 适配低温辐射供暖系统 | 住宅、办公楼、医院病房 |

围护结构改造的关键在于提高保温性能,需把屋顶、外墙、门窗、架空楼板、分户隔墙及地面等所有部位的传热系数控制在节能标准限值以内,并保证窗墙比符合朝向要求。同时应对节点、热桥等特殊部位加厚保温,阻断热量泄漏和表面结露⁴¹。同时,改造需符合建筑结构安全要求,外保温系统需进行抗风压、抗老化检测,避免出现裂缝、渗水、空鼓、脱落等问题⁴²;历史建筑需在保护风貌前提下,优先选择内保温等可逆性强、可识别的保温技术,不得破坏原有建筑构件⁴³。

2.3.2 门窗与遮阳系统升级技术

在建筑物的外围护构造中,门窗系统作为关键的可开启组件,其密封特性和保温效能对建筑能源消耗产生直接且深远的影响。门窗优化的核心在于提升密封性能、优化传热系数,以及采用先进的玻璃结构和材料来提升隔热性能⁴⁴;遮阳系统则通过通过设置遮蔽不透明或透明表面的设施来限制投射在建筑上的太阳辐射⁴⁵。

表 2.3-2: 建筑门窗与遮阳系统节能升级技术介绍⁴⁶

| 系统类型 | 技术升级方向 | 核心配置 | 适用场景 |
|------|--------|---|-------------|
| 门窗系统 | 材料升级 | 断桥铝合金型材+ Low-E 中空夹胶玻璃; 玻璃遮阳系数 $S_c \leq 0.5$, 传热系数 $K \leq 2.8W/(m^2 \cdot K)$ | 住宅、办公楼、商业建筑 |

⁴¹ 张丽丽. 绿色建筑 [M]. 重庆大学出版社, 2021.

⁴² 中华人民共和国住房和城乡建设部. 既有建筑维护与改造通用规范: GB 55022-2021[S]. 2021.

⁴³ 北京市住房和城乡建设委员会. 北京市居住小区类历史建筑修缮技术导则(试行) [S]. 北京: 北京市住房和城乡建设委员会, 2025.

⁴⁴ 王晓楠. 建筑节能改造项目中的碳减排潜力与实施路径[J]. 建筑技术与创新, 2025, 2(1): 92-94. DOI: 10.69979/3029-2727.25.01.029

⁴⁵ 刘大君, 韩颖, 刘运清, 等. 绿色建筑智能化技术(第2版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2024. ISBN: 9787302656500.

⁴⁶ 中国建筑科学研究院有限公司. 建筑节能工程施工质量验收标准: GB 50411-2019 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.

| 系统类型 | 技术升级方向 | 核心配置 | 适用场景 |
|------|--------|---|---------------------|
| 遮阳系统 | 密封优化 | 框与洞口间弹性闭孔材料满填并防水密封胶封边；密封条接头严密、无脱槽 | 老旧小区、北方寒冷地区建筑 |
| | 五金配件升级 | 同厂家同系列配套五金，启闭力矩符合产品标准，保证关闭后密封条均匀压缩 | 所有建筑类型，尤其高层住宅 |
| | 外遮阳技术 | 外置活动遮阳，安装位置、尺寸、抗风性能符合设计，调节机构 10 次以上全程试调无失效 | 南方炎热地区、西向窗户、商业建筑幕墙 |
| | 内遮阳技术 | 玻璃系统自带高反射遮阳帘，可见光反射比 ≥ 0.4 ，遮阳系数 $S_c \leq 0.5$ | 住宅、办公建筑、对外观有要求的历史建筑 |
| | 中置遮阳技术 | 中空玻璃内置百叶，百叶翻转及升降功能正常，中空层密封性能经负压法检验合格 | 酒店、写字楼、高端住宅 |

门窗与遮阳系统升级需结合气候区域精准选型：北方寒冷地区优先选择高保温性能门窗（ $K \leq 1.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ），无需强制遮阳；南方炎热地区采用 $\text{SHGC} \leq 0.25$ 的玻璃并加设外遮阳，降低制冷能耗；夏热冬冷地区选用 $K \leq 2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 的断桥铝外窗，并配可调节外遮阳（冬季收起、夏季放下），可同时满足夏季 $\text{SHGC} \leq 0.25$ 与冬季 $\text{SHGC} \geq 0.50$ 的强制限值⁴⁷。对于老旧建筑，若原窗框结构完好且整窗更换成本过高，门窗节能改造可优先采用“原框修复+玻璃更换+密封升级”的低成本方案，在满足相关标准限值的同时显著降低改造门槛；公共建筑则可选择可调节的外遮阳（活动遮阳或等效动态遮阳），与空调、照明系统联动，实现动态节能⁴⁸。

2.3.3 被动式节能技术

被动式节能技术是以控制建筑能耗指标为导向，采用性能化设计方法进行设计，以更少的能源消耗提供更加舒适室内环境。建筑物全年供暖供冷需求及一次能源消耗显著降低，建筑节能率达到 90% 以上⁴⁹。其核心逻辑是“顺势而为”，利用自然能源替代人工能源消耗，需与建筑布局、空间设计深度融合。

⁴⁷ 中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家市场监督管理总局. 建筑节能与可再生能源利用通用规范: GB 55015-2021 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.

⁴⁸ 中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 公共建筑节能设计标准: GB 50189—2015[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

⁴⁹ 河北省住房和城乡建设厅. 被动式超低能耗居住建筑节能设计标准: DB13 (J)/T8359-2020 (2021 年版)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.

表 2.3-3: 被动式节能技术路径与应用场景⁵⁰

| 技术方向 | 核心实现方式 | 适配气候区域 | 适用建筑类型 |
|--------|---|-------------|-------------|
| 自然通风 | 穿堂风设计（建筑长轴与主导风向夹角 $\leq 30^\circ$ ）、通风天窗、热压通风井；搭配可调节百叶控制风量 | 夏热冬暖、夏热冬冷地区 | 住宅、办公楼、学校 |
| | 夜间通风降温（夜间开窗引入冷空气，降低室内蓄热） | 夏季昼夜温差大的地区 | 商业建筑、工业厂房 |
| 自然采光 | 中庭采光、侧窗扩大（窗地比 $\geq 1:5$ ）、反光板导光；采用高透光 Low-E 玻璃（可见光透射比 ≥ 0.7 ） | 所有气候区域 | 公共建筑、办公楼、学校 |
| | 导光管技术（通过反射管将室外自然光导入室内深处） | 地下空间、无侧窗房间 | 地下车库、地下室、走廊 |
| 热惰性优化 | 采用重质建材（混凝土、砖石）作为围护结构主体，利用其蓄热特性平衡室内温度波动 | 夏热冬冷、温和地区 | 住宅、公共建筑 |
| | 相变储能材料应用（将相变材料融入墙体、地板，提升蓄热/释热能力） | 所有气候区域 | 高端住宅、办公楼 |
| 绿色建材应用 | 采用低能耗、低碳排放建材（如蒸压加气混凝土砌块、再生骨料混凝土、绿色涂料） | 所有气候区域 | 各类建筑 |

被动式节能技术需贯穿改造全流程：前期通过气候诊断与能耗模拟确定保温、遮阳、通风三大策略；施工通过连续保温壳、无热桥节点及可调遮阳的精细化实施；运营通过自然通风优先、热回收新风与可再生能源补热的智能联动，实现全生命周期近零能耗⁵¹。对于历史建筑与工业遗产，被动式技术是优选方案，可在不改变建筑结构与风貌的前提下，通过通风优化、采光改善、保温升级实现节能目标，兼顾文化保护与低碳转型⁵²。

被动式技术为节能提供“第一道防线”，但单一被动式改造难以完全适配复杂用能场景，如与主动

⁵⁰ 中国建筑科学研究院有限公司，河北省建筑科学研究院。近零能耗建筑技术标准：GB/T 51350-2019 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2019.

⁵¹ 刘立锋. 被动式建筑设计与技术研究[J]. 工程研究与实用, 2025, 6(6): 67-70.

⁵² Patriquin Architects. How to use Passive House principles successfully in historic buildings[EB/OL]. [2026-01-26].

式技术协同形成“被动优先、主动优化”的系统解决方案，则可实现综合节能率 75% 以上的深度降碳目标⁵³。其核心协同逻辑在于通过被动式技术减少能源需求基数，再以高效主动式系统精准匹配负荷，辅以智能调控实现能源最优利用。

核心协同路径包括三类：一是围护结构强化与可再生能源耦合，如高性能保温外墙搭配太阳能发电系统，被动式保温减少用能需求，太阳能发电系统提供清洁电力，嘉兴某幼儿园通过该组合实现可再生能源利用率达 108.72%⁵⁴；二是自然通风与机械通风联动，被动式通风满足基础换气需求，当室内 CO₂ 浓度超标时，主动式全热回收新风系统自动启动，相比传统纯机械通风系统 450 kWh/m² 的全年通风 - 空调综合能耗，主被动协同控制的方案能耗可降至 320 kWh/m²，降幅超 28%，实现了空气质量保障与能耗降低的双重目标⁵⁵；三是被动式遮阳与智能调控结合，利用被动式形态遮阳，结合光照感应的智能控制实时调整遮阳角度，实现节能与舒适的平衡。杭州某场馆综合运用自遮阳与智能遮阳协同方案，以建筑形态形成自遮阳效果，协同东、西、南立面设置的电动遮阳百叶，结合室内外光照度计与 DDC 编程控制，可根据日照强度、时段自动调节百叶角度，实现智能化遮阳调控，兼顾节能与使用舒适性⁵⁶。

2.4 智慧能源管理体系构建

智慧能源管理体系以“多能源协同、灵活适配、高效可控”为核心，依托智慧能源管理系统 (EMS) 的全流程智能管控为核心中枢，以智慧微电网系统与“光储直柔”系统为两大关键实施路径，形成“中枢管控 - 双路径落地”的完整架构。其中，EMS 通过“数据采集 - 智能分析 - 动态调度 - 反馈优化”的闭环运行，破解可再生能源间歇性、波动性难题，为全体系提供精准决策与协同支撑；智慧微电网系统以“源网荷储”协同为核心，通过并网 / 离网灵活切换，适配产业园区、大型商业综合体等规模化场景；“光储直柔”系统则凭借“直流发电 - 储能 - 配电 - 柔性用能”的全直流链路，降低转换损耗，适配高端住宅、数据中心等高效低碳场景。三者协同发力，推动建筑能源系统从“被动供给”向“主动响应”转型，为既有建筑实现深度节能降碳、提升能源利用效率、保障供应稳定性提供全方位技术支撑。

2.4.1 智慧能源管理系统 (EMS)

智慧能源管理系统 (EMS) 是依托物联网技术构建的智能建筑能源管理平台，借助智能传感器、数据采集与分析平台，形成全流程闭环管理，有效解决传统能源管理效率低下、响应迟缓、调度不精准等问题，达成多能源协同供应与建筑用能需求的精准契合。作为可再生能源系统与建筑用能终端的“桥梁”，EMS 不仅能提升清洁能源消纳率，还能降低能源系统运维成本，是既有建筑可再生能源改造的关键支撑技术，契合《加快推动建筑领域节能降碳工作方案》⁵⁷中“智能化管控”的要求。

⁵³ 龙泉驿区融媒体中心. 建筑综合节能率 75% 以上，全区首个超低能耗公共建筑揭秘[EB/OL]. (2025-06-27) [2026-01-20].

⁵⁴ 绿色建筑集成网. 万科打造华东首个零能耗建筑[EB/OL]. 绿色建筑集成网. 2022-06-09[2024-01-26].

⁵⁵ 张露兮. 绿色低碳节能建筑中自然通风与机械通风协同控制策略对室内热舒适及能耗影响研究[J]. 工程技术, 2025, DOI:10.61369/ETQM.2025110042.

⁵⁶ 刘大君, 韩颖, 刘运清, 等. 绿色建筑智能化技术 (第 2 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2024. ISBN: 9787302656500.

⁵⁷ 国家发展改革委, 住房城乡建设部. 加快推动建筑领域节能降碳工作方案 [R]. 2024.

EMS 的核心价值在于打破单一能源设备的独立运行壁垒，通过一体化管控实现能源系统整体效率最优，其核心功能与技术架构需适配既有建筑可再生能源改造的多元场景。

表 2.4-1：智慧能源管理系统（EMS）核心功能与技术架构⁵⁸

| 核心功能模块 | 技术实现路径 | 核心作用 |
|-----------|--|------------------|
| 多源数据采集 | 识别影响能源绩效的关键特性，部署计量终端 / 监测设施，采集能源消耗、主要能源使用相关数据；制定数据采集计划，明确采集类型与频次，保留数据记录。 | 为智能调度提供精准数据支撑 |
| 负荷预测与能源规划 | 基于能源使用历史数据、相关变量（如生产 / 运行规律），分析未来能源需求；结合能源绩效改进方向，制定用能与能源利用计划。 | 降低能源供需失衡风险 |
| 多能源协同调度 | 建立能源优化调度模型，按节能优化原则分配能源出力；将能源绩效纳入相关过程的管理要求。 | 提升清洁能源利用率，减少弃光弃风 |
| 故障预警与运维管理 | 监视主要能源使用相关设备的运行状态，识别绩效异常；按要求实施设备维护，对异常问题启动纠正措施并跟踪闭环，留存记录。 | 降低设备故障率，延长使用寿命 |

EMS 的技术架构分为三层：感知层负责数据采集，覆盖可再生能源设备、储能系统、建筑用能终端等全环节；平台层通过数据采集模块将数据传输到中央控制平台，平台利用物联网技术和大数据分析进行负荷预测与调度优化；应用层面向用户提供能源监控、调度指令下发、运维管理等功能，支持 PC 端与移动端远程操作，适配既有建筑改造后无人值守或轻量化运维的需求⁵⁹。

EMS 的成功落地需遵循“因地制宜、分步实施”原则。前期应按标准要求开展能源评审，结合组织内外部因素及主要能源使用识别结果，明确能源绩效改进目标；施工阶段需确保相关设施、设备的通信兼容与数据互通，保障能源数据收集的准确性、可重现性，避免形成数据孤岛；运营阶段应依据标准“持续改进”要求，定期更新能源评审结果，对设备进行维护与更新，同时优化相关算法，以适配建筑用能规律的动态变化，确保能源绩效参数持续贴合实际运行场景⁶⁰。

⁵⁸ 国家市场监督管理总局，国家标准化管理委员会. 能源管理体系 要求及使用指南: GB/T 23331-2020/ISO 50001:2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.

⁵⁹ 曹俊康. 智能建筑能源管理系统设计与实现[J]. 建筑工程进展, 2025, 5(2): 99-102. DOI: 10.12208/j.ace.202500070

⁶⁰ 国家市场监督管理总局，国家标准化管理委员会. 能源管理体系 要求及使用指南: GB/T 23331-2020/ISO 50001:2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.

EMS 的经济效益往往具有协同增效性，通过与其他清洁能源技术或系统的协同作用，提供更广泛的经济效益和环境效益。其经济效益主要体现在三方面：首先，EMS 能有效提高能源效率，通过智能调度与优化算法充分利用可再生能源、优化能源存储充放电，减少传统能源依赖与能源浪费，提升系统整体能效；第二，可显著降低运营成本，通过精准预测与管理能源需求，减少备用能源系统的使用及维护成本，同时依托需求响应管理引导用户错峰用能，降低整体能源支出；第三，能够延长设施及设备寿命，通过优化电池、电容器等储能设备的充放电过程，避免过度损耗，减少设备更换与维护成本⁶¹。

2.4.2 智慧微电网系统

智慧微电网系统是集“分布式电源、储能系统、负荷管理和控制中心”为一体的区域能源自治单元。它整合了多种分布式能源资源，通过本地化的能源生产和消费，减少对传统大电网的依赖。此外，智慧微电网通过优化能源管理和灵活调整负荷，有效提高了可再生能源的利用效率，促进了清洁能源的整合与消纳⁶²。该系统能够依据建筑用能规模、电网接入条件，灵活转换并网或离网运行模式，适用于产业园区、大型商业综合体、偏远区域建筑等多种既有建筑改造场景，是规模化推进既有建筑节能降碳的重要技术途径。

智慧微电网系统的核心逻辑是“源网荷储”协同优化，其构成需兼顾能源供给的多样性、储能的调峰能力、负荷的柔性响应以及控制的精准性，运行模式需契合不同场景的用能需求。

表 2.4 - 2：智慧微电网系统核心构成与技术选型^{63 64}

| 核心构成部分 | 技术选型要点 | 核心作用 |
|--------|--|------------------|
| 分布式电源 | 以光伏、分散式风电为主，搭配光热+热泵系统，根据资源禀赋确定装机容量，通常占建筑总用能负荷的30%-60% | 提供清洁本地能源供给 |
| 储能系统 | 优先选用磷酸铁锂储能电池，储能容量按“1-2 小时最大负荷”配置，充放电效率 $\geq 92\%$ ，循环寿命 ≥ 3500 次 | 平抑可再生能源波动，实现峰谷套利 |
| 柔性负荷 | 改造空调、照明、电梯等用能设备为可调节负荷，通过 EMS 下达负荷转移、降负荷指令，响应时间 ≤ 5 分钟 | 增强能源系统灵活性，适配供需变化 |

⁶¹ Shaier AA, Elymany M M, Enany M A, et al. Multi-objective optimization and algorithmic evaluation for EMS in a HRES integrating PV, wind, and backup storage[J]. Scientific Reports, 2025, 15: 1147.

⁶² Amanda McGrath, Alice Gomstyn. What is a microgrid? [EB/OL]. IBM Think. 2025. <https://www.ibm.com/think/microgrid>.

⁶³ 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 42731-2023 微电网技术要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.

⁶⁴ 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 36274-2018 微电网能量管理系统技术规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.

| 核心构成部分 | 技术选型要点 | 核心作用 |
|--------|--|-----------------|
| 控制中心 | 集成 EMS 核心功能，部署微电网优化调度算法，支持与 大电网调度平台对接 | 实现系统整体运行优化与模式切换 |

运行模式分为并网型与离网型两类：

并网型微电网是指由分布式电源、用电负荷、配电设施、监控和保护装置等组成的小型发配用电系统。并网型微电网通常与外部电网联网运行，且具备并离网切换与独立运行能力⁶⁵。该类型适用于电网接入稳定的城市建筑（如商业综合体、产业园区），在正常运行时采用“自发自用、余电上网”模式，通过峰谷电价差获取收益；当电网出现故障时，切换至孤岛运行模式，可由储能与分布式电源保障关键负荷的供电。

离网型微电网是整合多种分布式电源、辅助发电设备、储能系统及用电负荷形成的小型供电体系，具备区域自主管控能力⁶⁶。它适用于电网薄弱或偏远区域建筑（如乡村住宅、山区公共建筑），可依靠“多能源互补 + 大容量储能”保障供电的连续性。

智慧微电网改造需遵循“规划先行 - 分步实施 - 动态优化”的原则：在前期，需开展电网接入评估、资源普查与用能负荷诊断，制定差异化的改造方案；在施工阶段，需重点保障储能系统的安全（如消防设计、电池热管理）、控制中心与各设备的通信兼容性；在运营阶段，需通过 EMS 持续优化调度策略，以适应用能负荷与可再生能源出力的变化。

在经济效益方面，并网型微电网的静态投资回收期通常为 5 - 8 年，收益来源包括节能费用的节约、余电上网的收益、峰谷套利的收益；离网型微电网虽初始投资较高，但可避免电网扩容成本与偏远地区供电不足所造成的损失。在环境效益方面，依照过往项目的测算情况，1 万 m²建筑配套的智慧微电网，每年可减少二氧化碳排放 250 - 350 吨，可再生能源利用率较传统分散式改造提高 30% 以上。

2.4.3 “光储直柔”系统

“光储直柔”系统是智慧能源管理的高阶形式。其核心在于通过“直流发电 - 直流储能 - 直流配电 - 柔性用能”的全直流链路，减少交直流转换过程中的能源损耗，实现光伏、储能与建筑用能终端的深度融合⁶⁷。该系统以“低碳化、高效化、柔性化”为核心特征，适用于办公商业建筑、居住建筑、科教文卫建筑以及其他有分布式能源接入需求和柔性用电需求的场景⁶⁸，是既有建筑向零碳建筑转型的前沿技术途径。

⁶⁵ 中华人民共和国国家发展和改革委员会、中华人民共和国国家能源局. 推进并网型微电网建设试行办法[EB/OL]. 2017-07-10

⁶⁶ 何瑞东, 周文, 路艳巧, 等. 离网型微电网优化运行策略研究 [J]. 电气传动, 2021, 51 (12): 59-65. DOI:10.19457/j.1001-2095.dqcd21309

⁶⁷ 中国电源学会. 中国电源行业年鉴 2024 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2024.

⁶⁸ 康靖, 李婉溢. 中国光储直柔工程应用案例调研: Surveys of China's PEDF Building Engineering Application [R]. 深圳市建筑科学研究院股份有限公司, 2023.

“光储直柔”系统的核心创新在于打破传统交流配电的能量转换壁垒，通过直流化架构简化能源传输链路，同时依托柔性负荷的可调节性，实现能源供需的动态平衡，其系统构成需精确匹配建筑用能特征。

表 2.4 - 3: “光储直柔”系统核心构成与技术参数⁶⁹

| 系统构成部分 | 技术选型与参数要求 | 核心作用 |
|--------|--|-----------------------------|
| 直流光伏组件 | 直流输出电压 24/48/110V DC, MPPT 效率 $\geq 99\%$, 光电转换效率 $\geq 23\%$, 适配屋面/幕墙安装 | 直接输出直流电, 减少逆变器转换损耗 |
| 直流储能单元 | 储能电压与配电系统一致 (24/48/380V DC), 充放电效率 $\geq 92\%$, 循环寿命 ≥ 3500 次, 支持 1C 充放 | 储存光伏直流电, 平抑出力波动, 提供应急供电 |
| 直流配电网络 | 配电电压等级 24/48/110/380V DC, 线路损耗 $\leq 3\%$, 短路保护响应 $\leq 10\text{ms}$, 配置直流断路器、防雷模块 | 保障直流电安全稳定传输 |
| 柔性直流负荷 | 直流空调 (COP ≥ 4.5)、直流照明 (光效 $\geq 130\text{lm/W}$)、直流插座 (带过载保护) | 直接使用直流电, 避免交流转换损耗, 支持负荷柔性调节 |

“光储直柔”系统的核心逻辑可概括为“三直一柔”：直流发电（光伏组件直接输出直流电）、直流储能（储能单元与直流母线直接连接）、直流配电（电力以直流形式传输至终端）、柔性用能（负荷根据光伏出力动态调节运行状态）⁷⁰。例如，江苏某高校学生公寓采用光储直柔技术，通过铺设太阳能光伏发电板和配备储能系统及智能调控设备，每年节省电费约 4.6 万元，减少碳排放近 50 吨⁷¹。

既有建筑改造实施过程中需重点关注三方面：一是遵循改造原则与标准适配，避免大规模拆建，同时全程对标相关标准，保障改造合规性与降碳目标达成；二是优化系统硬件布局与适配，依托建筑外表面空间资源规划光伏单元，选用安全性、能量密度及成本适配的分布式电化学储能设备，且适配内部照明、电梯等用电终端向直流驱动的发展趋势，构建高效全直流配电链路；三是强化智能能源调控能力，引入智能技术开发负荷预测与联动控制策略，实现市电、光伏、储能与建筑用能的精准协同，消纳可再

⁶⁹ 深圳市建筑科学研究院股份有限公司. 建筑光储直柔工程技术规程: SJG 194-2025 [S]. 深圳: 深圳市住房和城乡建设局, 2025.

⁷⁰ 中国电源学会. 中国电源行业年鉴 2024 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2024.

⁷¹ 环球投资阶梯. 项目案例 | 绿色建筑、光储直柔双三星: 南京工业大学北苑学生公寓光储直柔项目[EB/OL]. (2025-07-25).

生能源不稳定性，提升能源利用效率⁷²。

光储直柔的经济效益核心在于通过“削峰填谷”降低运行能耗费用。以 10000 平方米办公建筑为例，采用光储直柔完整技术配置的工程年运行电费仅 34 万元，较未采用光储直柔技术的方案降低 42%，验证了光储直柔技术在经济性上的优越性⁷³。

未来，“光储直柔”系统将朝着“标准化、低成本、多电压等级适配”的方向发展：直流设备成本将逐步降低，从而推动技术的规模化应用；标准化设计能够实现按需扩容，以适配既有建筑分阶段改造的需求；多电压等级直流母线技术将进一步成熟，可兼容更多用能终端，成为既有建筑零碳改造的核心技术路径之一⁷⁴。

⁷² 刘玉军，徐力. 绿色低碳城市更新技术指南 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2024.

⁷³ 深圳市住房和建设局. 建筑光储直柔工程技术规程：SJG 194-2025 [S]. 深圳：深圳市建筑科学研究院股份有限公司，2025.

⁷⁴ 康靖，李婉溢. 中国光储直柔工程应用案例调研：Surveys of China's PEDF Building Engineering Application [R]. 深圳市建筑科学研究院股份有限公司，2023.



第三章

既有建筑改造的 项目经济效益分析

三、既有建筑改造的项目经济效益分析

既有建筑改造的经济效益是涵盖直接节能收益、间接资产增值与环境社会效益的综合价值体现，需基于全生命周期视角，结合技术选型、建筑类型与运营模式精准测算。不同技术路径的投资回收期与收益潜力差异显著，建筑本体节能与用能系统优化短期回报突出，可再生能源与智慧管控长期效益显著；商业建筑与工业建筑因收益来源多元，经济效益更优，公共建筑与老旧小区需依托政策支持平衡收益，通过优化技术组合、控制成本与强化运营，可有效提升综合效益，缩短回报周期。

3.1 经济效益核心维度与测算逻辑

既有建筑改造的经济效益并非单一维度的节能收益，而是涵盖直接经济回报、间接价值增值、环境外部效益的综合价值体系。其测算需依托第二部分技术路径的实际应用场景，结合改造项目的投资规模、技术选型、建筑类型、运营周期等核心变量，构建“投资-成本-收益”三维测算框架，确保数据贴合实际落地场景。

3.1.1 经济效益核心维度

既有建筑改造的经济效益可划分为直接经济效益、间接经济效益、环境与社会效益三大核心维度，各维度与第二部分技术路径形成精准对应，具体内涵如下：

表 3.1-1: 建筑改造效益分类与核心测算参数

| 效益维度 | 核心内涵 | 测算核心指标 |
|--------|----------------------------|--|
| 直接经济效益 | 改造后直接产生的现金流收益，涵盖节能降耗、能源销售等 | 节能量 (kWh)、节约能源费用 (万元)、可再生能源销售收入 (万元)、投资回收期 (年) |
| 间接经济效益 | 改造带来的资产增值、运营效率提升等衍生收益 | 资产增值率 (%)、运营成本降低额 (万元)、招商溢价 (%) |

3.1.2 核心测算逻辑与公式

经济效益测算需遵循“全生命周期成本法”，覆盖改造项目从投资建设到运营维护的全流程，核心测算公式与逻辑如下：

(1) 直接经济效益测算

$$\text{年节能费用} = \text{改造前年能耗量} \times \text{单位能源价格} - \text{改造后年能耗量} \times \text{单位能源价格}$$

$$\text{年可再生能源销售收入} = \text{可再生能源年发电量} \times \text{上网电价 (余电上网场景)} + \text{可再生能源年发电量} \times \text{自用电价 (自发自用场景)}$$

$$\text{投资回收期 (静态)} = \text{总投资额} \div \text{年均净收益 (年均节能费用} + \text{年均可再生能源销售收入)}$$

(2) 间接经济效益测算

$$\text{资产增值额} = \text{改造前资产估值} \times \text{资产增值率}$$

$$\text{年运营成本降低额} = \text{改造前年运维成本} - \text{改造后年运维成本 (含人工、设备维修、管理费用等)}$$

$$\text{招商溢价收益} = \text{改造后租金 (或服务收费)} \times \text{出租率 (或使用率)} - \text{改造前租金 (或服务收费)} \times \text{出租率 (或使用率)}$$

3.2 不同技术路径的经济效益测算

本文结合“可再生能源系统改造、用能系统优化、建筑本体节能、智慧能源管理”四大技术路径，针对各路径下的核心细分技术，基于行业基准数据与部分典型项目（或场景下）的案例参数，进行了各种技术路径的经济效益初略估算。需要注意的是，不同场景下的项目改造经济效益在很大程度上取决于特定设备的成本与性能、外部条件（如日照和气候情况）、新能源的消纳比率、安装与运营维护的质量等因素。因此，下文所提供的估算数据仅供参考。

3.2.1 可再生能源系统改造经济效益测算

可再生能源系统改造的经济效益核心在于能源替代收益与可再生能源销售收益，不同细分技术的投资、收益与回报周期差异显著，具体测算如下表所示：

表 3.2-1：可再生能源投资成本与适用场景

| 技术类型 | 单位投资成本 | 全投资回收期 ⁷⁵ | 适用场景 |
|----------------|------------------|-----------------------|---------------------|
| BAPV (后置加装光伏) | 大多位于 1.8-3.0 元/W | 3-10+年，主要取决于销纳率、电价水平 | 工业厂房、公共建筑屋顶、农村建筑屋顶等 |
| BIPV (一体化集成光伏) | 4-7+元/W | 4-7+年，假定全销纳、1 元每度以上电费 | 商业综合体、高端写字楼 |

⁷⁵ 区别于资本金回收期，即不考虑融资，全额出资情况下，现金流回正周期。

| 技术类型 | 单位投资成本 | 全投资回收期 ⁷⁵ | 适用场景 |
|------------|--|---------------------------|---------|
| 太阳能光热+热泵系统 | 150-200 元/m ² (集热器) + 1000-1400 元/kW (热泵) | 5-12 年, 主要取决于每年使用时间, 能源价格 | 酒店、医院 |
| 小型分布式风电 | 5.5-7+元/W | 6-10+年, 主要取决于风资源条件、电价水平 | 园区、郊区建筑 |

数据来源: 作者整理 2024-2025 年实际案例进行估算

3.2.2 用能系统优化经济效益测算

用能系统优化聚焦空调、照明等高耗能环节, 经济效益体现为能耗降低与运维成本节约, 具体测算如下:

表 3.2-2: 建筑用能系统优化经济效益测算

| 技术类型 | 单位改造成本 (元/m ²) | 静态投资回收期 (年) | 适用建筑类型 |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|------------|
| 高效空调系统 (磁悬浮机组+变流量控制) | 280-350 | 既有建筑改造: 3-8 新建建筑配套: 5-8 | 大型商场、酒店、医院 |
| 余热回收系统 | 120-180 | 模块化改造: 3-5 传统系统改造: 5-8 | 酒店、医院、工业建筑 |
| 智慧照明系统 (LED+智能控制) | 80-120 | 普通建筑: 2-6 高端智能改造: 4-7 | 所有建筑类型 |
| 动力设施节能改造 (变频升级) | 150-200 | 工业建筑: 1-3 公共建筑: 3-5 | 工业建筑、公共建筑 |

数据来源: 作者整理 2024-2025 年实际案例进行估算

3.2.3 建筑本体节能改造经济效益测算

建筑本体节能通过降低能耗基底实现长期收益，改造成本与节能效果受气候区域、建筑类型影响较大，具体测算如下：

表 3.2-3：建筑本体节能改造成本与回收期测算

| 技术类型 | 单位改造成 本 (元/m ²) | 北方寒冷地区静态投资回收期 (年) | 南方炎热地区静态投资回收期 (年) |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|
| 外墙外保温系统 | 80-300 | 12-20 | 10-16 |
| 门窗升级（断桥铝 +Low-E 玻璃） | 700-1200 | 16-30 | 15-20 |
| 屋面保温（倒置式） | 150-200 | 12-20 | 10-15 |
| 被动式节能技术（自 然通风+采光） | 50-80 | 8-16 | 6-12 |

数据来源：作者整理 2024-2025 年实际案例进行估算

3.3 不同建筑类型的经济效益对比分析

结合既有建筑的核心类型（公共建筑、商业建筑、工业建筑、老旧小区），基于前文技术路径的经济效益测算，整合案例数据，形成不同建筑类型的综合经济效益对比，为项目决策提供参考。

3.3.1 不同建筑类型经济效益核心指标对比

表 3.3-1：分类型建筑改造投资回收期对比

| 建筑类型 | 改造核心技术组合 | 总投资额 (万元/万 m ²) | 静态投资回收期 (年) |
|------|----------|--------------------------------|----------------|
|------|----------|--------------------------------|----------------|

| 建筑类型 | 改造核心技术组合 | 总投资额 (万元/万㎡) | 静态投资回收期 (年) |
|---------------|---------------------|-----------------|----------------|
| 公共建筑（文化中心/医院） | EMC 模式+空调优化+光伏+智慧管控 | 450-600 | 5-8 |
| 商业建筑（酒店/综合体） | “光储充”+BIPV+空调余热回收 | 700-1200 | 4.5-8 |
| 工业建筑（厂房/园区） | 屋顶光伏+储能+动力系统变频 | 600-900 | 3-6 |
| 老旧小区 | BAPV+外墙保温+门窗升级 | 300-450 | 4-8 |

数据来源：作者整理 2024-2025 年实际案例进行估算

3.3.2 不同建筑类型经济效益特征分析

（一）公共建筑：公益属性与市场回报平衡

公共建筑（如文化中心、医院）改造以 EMC 模式为主，核心经济效益来自节能费用节约与政策补贴。因需保障运营连续性，技术选择侧重低扰动、高稳定性，投资回收期相对较长（9-17.1 年），但收益稳定且无前期资金压力。某市级文化中心改造后，年节约电费 148 万元，10 年累计获得节能收益 666 万元，同时提升了公共服务承载力。

（二）商业建筑：收益多元化与资产增值显著

商业建筑（如酒店、综合体）改造聚焦“光储充”一体化、BIPV 等技术，经济效益涵盖节能收益、充电服务费、资产增值等多元来源。因用户付费意愿强，投资回收期较短（6.7-15 年），资产增值率可达 10%-13%。某国际大酒店“光储充”项目，年均充电服务费收益 115 万元，光伏发电节约电费 44 万元，同时提升了酒店招商竞争力。

（三）工业建筑：规模效应与降本导向突出

工业建筑（如厂房、园区）改造以屋顶光伏、储能、动力系统优化为核心，依托规模化改造降低单位成本，年均净收益较高（60-90 万元/万㎡），年碳减排量显著（250-350 吨/万㎡）。海外某钢铁厂 37MW 光伏项目，15 年净收益超 3.3 亿元，每年节约外购电费超 2300 万元，并有效应对了碳关税压力。

（四）老旧小区：政策依赖与民生效益优先

老旧小区改造以 BAPV、外墙保温、门窗升级为主，经济效益依赖节能费用节约与政府补贴，因产权分散、改造意愿统一难度大，投资回收期相对较长（10-22.5 年），但民生效益显著。某老旧小区集



群改造后，居民居住舒适度提升，建筑资产增值 6%-8%，同时年节约电费超 20 万元/万 m²。

3.4 小结

既有建筑改造的经济效益呈现“技术适配为核心、成本控制为基础、政策市场为助力、运营优化为保障”的特征。不同技术路径的经济效益差异显著，建筑本体节能与用能系统优化技术投资回收期较短，可再生能源与智慧能源管理技术长期收益突出；不同建筑类型中，商业建筑与工业建筑的经济效益相对更优，公共建筑与老旧小区需依托政策支持与创新模式平衡收益。

通过优化技术组合、控制投资成本、充分利用政策市场工具、加强运营管理，可有效提升既有建筑改造的经济效益。未来，随着技术迭代、政策完善与碳市场逐步成熟，既有建筑改造的经济效益有望进一步提升。

第四章

支持既有建筑改造的 商业模式与金融工具

四、支持既有建筑改造的商业模式与金融工具

既有建筑改造已形成适配多元需求的商业模式与全周期金融支持体系，商业模式以 EMC 模式为核心，搭配 EPC+O 等模式，覆盖公益类、商业类、民生类等不同项目；金融工具则构建“债权 + 股权 + 增信 + 退出”的全链条支撑，绿色贷款、转型贷款、融资租赁等满足融资需求，绿色产业基金、私募基金提供股权支持，绿色保险与政府风险分担缓释风险，REITs 与 ABS 实现资本退出。通过“模式 + 工具”的创新组合，可有效破解资金缺口、模式不清等瓶颈，推动项目规模化落地。本章详细介绍了合同能源管理和 EPC+O 等商业模式的具体做法，并讨论各类绿色金融与转型金融工具在这些模式中的运用。

4.1 核心商业模式

4.1.1 合同能源管理（EMC）模式

合同能源管理（EMC）是一种市场化的节能投资与服务机制。EMC 模式下，专业的节能服务公司对既有建筑能源使用过程中的全部或某些使用情况进行检测、诊断和分析，找出存在的缺陷和问题，提出经济适用的改造方案，并经建筑业主/管理者同意后组织实施节能改造方案，从而实现节能降耗和节省能源开支的目的。EMC 模式下，项目的改造费用及融资压力全部或部分由节能服务公司承担，节能服务公司从项目实施后产生的节能效益中收回投资、获取利润；建筑业主/管理者无需或仅需少量前期投入，即可获得节能设备和长期节能收益。

EMC 模式为建筑的绿色节能改造提供了一套“技术+金融+服务”的完整解决方案。它将业主、节能服务公司、金融机构的利益绑定在一起，通过分享未来节能收益的方式，实现了“让专业的人做专业的事”和“花未来的钱办现在的事”。对于寻求绿色升级改造而又不愿承担前期成本和额外风险的建筑业主/管理者而言，EMC 都是首选模式。

EMC 商业模式主要分为三种，分别是节能效益分享型、节能量保证型和能源费用托管型。三种模式均遵循“用能单位以未来的节能效益支付节能项目成本”的核心原则，且都适用于建筑的绿色节能改造，但不同模式在收益分配、风险分担和合作关系方面有所差异。³⁹

（1）节能效益分享型

运作机制：节能服务公司负责项目投融资、设计、施工及运营管理，建筑业主/管理者无需初始投入。在合同期内，节能服务公司与建筑业主/管理者按约定比例分享节能效益。合同期满后，设备所有权无偿移交给建筑业主/管理者，此后所有节能收益归建筑业主/管理者。

特点：该模式能有效降低建筑业主/管理者前期投入风险，合同期间双方利益绑定，促使服务公司持续优化运维管理，保障节能效益稳定实现。对项目改造后节能量的测量与验证（M&V）要求高，准确的 M&V 是双方分享收益的基础。

适用场景：非常适合启动资金有限、希望零风险改造的建筑业主/管理者，通常适用于照明系统改造、

中央空调系统改造等节能量相对容易测量和验证的独立项目。

(2) 节能量保证型

运作机制：客户可自行融资或与节能服务公司共同融资。节能服务公司负责项目实施，并向客户担保一个最低的节能量。如果实际节能量未达到承诺值，节能服务公司须按合同约定赔付客户损失；如果超过承诺值，超额部分通常按约定比例由双方分享。

特点：业主通常会深度参与方案设计与设备选型。节能服务公司的核心价值在于提供效果担保和专业技术服务，如果节能量未达约定，需对业主进行赔付。这促使节能服务公司必须进行精确的能源审计和严谨的方案设计。

适用场景：适合那些拥有一定资金实力，希望主导项目并拥有最终资产所有权，但需要专业公司来确保技术效果的业主。常见于大型商业地产、企业总部大楼或由单一业主持有的综合性建筑。

(3) 能源费用托管型

运作机制：客户将整个能源系统的运营、管理和节能改造委托给节能服务公司。双方约定一个基准能源费用，由客户向节能服务公司定期支付。节能服务公司通过自身的技术和管理，在保证能源服务质量的前提下，负责支付所有能源费用（如电费、燃气费、热费等）和系统运维成本。托管期内，实际能源费用与基准能源费用之间的差额（即节约的部分），成为节能服务公司的收入来源。合同期满后，节能设备及系统通常移交客户。

特点：节能服务公司不仅负责节能改造，更负责长期运营，有持续优化的动力。业主则可以将精力集中于主营业务，能源管理和成本变为固定支出。

适用场景：适用于用能系统复杂、老旧，且希望实现专业化、精细化能源管理的大型建筑或建筑群（如政务中心、医院、园区）的综合改造项目。例如对市民服务中心的空调、照明等多个系统进行一体化智慧改造。在光伏领域，“能源费用托管型”合同能源管理的一种代表性模式为：节能服务公司使用客户屋顶等场地资源，筹措资金建设光伏储用一体化设备，并为客户提供较市电成本更低的电力；客户则按约定电价，向节能服务公司定期支付电费。

(4) 不同模式特点比较

表 4.2-1 三种模式进行了分析比较。在建筑节能改造中，三种主要的 EMC 模式各有侧重：节能效益分享型模式由节能服务公司投资并分享节能收益，节能量保证型模式由业主投资，节能服务公司保证节能量，而能源费用托管型模式则是由节能服务公司对能源系统进行全面的长期运营管理。

表 4.2-1：能源合同管理三种主要模式比较

| 模式维度 | 节能效益分享型 | 节能量保证型 | 能源费用托管型 |
|--------|------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 核心改造特点 | 节能服务公司负责全额投资与改造，客户零投入。 | 客户或双方融资，节能服务公司实施改造并担保效果。 | 节能服务公司负责投资改造，并负责全面、长期的运营、维护和管理。 |

| 模式维度 | 节能效益分享型 | 节能量保证型 | 能源费用托管型 |
|--------|-----------------------------|-------------------------------------|---|
| 风险与收益 | 客户风险低；收益与节能服务公司按约定比例分享节能效益。 | 客户拥有资产；节能服务公司承担技术效果风险；客户获得有保证的节能收益。 | 客户支付固定托管费；节能服务公司承担综合运营风险，并通过降低总成本获利。 |
| 典型适用建筑 | 资金有限的政府办公楼、学校、医院等公共机构。 | 资金较充足，且希望对项目和资产有更强控制力的商业楼宇或大型企业。 | 用能系统复杂、老旧，且希望实现专业化、精细化能源管理的大型建筑或建筑群（如政务中心、医院、园区）。 |

数据来源：作者根据公开资料整理

总体上，如果想“零投资”启动改造，化解资金压力，可优先考虑节能效益分享型；如果资金充裕，希望主导项目并拥有资产，同时需要节能效果保障，可选择节能量保证型。如果建筑能耗高、用能系统复杂，业主希望获得长期、专业、系统化的能源管理服务，实现“一劳永逸”，可选择能源费用托管型。

4.1.2 业主自筹+EPC+O 模式

(1) “业主自筹+EPC+O”模式概述

若建筑物绿色改造的目标是显著降低运行能耗、节省电费支出，同时业主又不愿承担初期投资压力与技术风险，那么 EMC 模式无疑是更专业、更省心的选择。但在部分老旧小区与城中村的改造项目里，改造目标往往是彻底改善居住条件、提升房屋结构安全性与综合品质，业主则希望掌握项目的绝对主导权，此时，业主自筹模式成为更根本的解决方案。

业主自筹模式最大的实施难点在于统一所有业主的意见、筹集足额资金/公共资源，以及业主自身需要承担项目管理责任。在实践中，业主通常在筹集资金/公共资源后，将项目的设计、采购、施工和运营交由专业公司打包实施，即采用“业主自筹+EPC+O”模式（设计、采购、施工+运营一体化模式）。根据业主出资方式和资源条件不同，主要衍生出两种路径：分别是“业主资金自筹⁷⁶+EPC+O 专业外包”和“业主资源/权益自筹 + EPC+O 投资运营”。总体上，若业主资金筹集实力强、改造意愿高度统一，且目标是对房屋进行彻底（如重建）或全面的绿色升级，自筹更能实现根本性改变。若小区有可盘活公共资源（如屋顶、闲置公房、广告位、停车场），但居民现金筹集困难，权益自筹是更可行的启动方式。

⁷⁶ 业主既可以使用自有资金，也可以从银行等金融机构融资。

表 4.2-2: 两种业主自筹主要模式的比较

| 对比维度 | 路径一：业主资金自筹 + EPC+O 专业外包 | 路径二：业主“资源/权益”自筹 + EPC+O 投资运营 |
|--------|--|---|
| 核心逻辑 | 业主承担全部或大部分改造现金出资，通过招标聘请专业公司提供“交钥匙”工程及长期运营服务。 | 业主不出或少出现金，而是让渡小区部分公共空间或未来收益的长期经营权，吸引社会资本投资改造并负责运营。 |
| 资金来源 | 以业主自筹资金（业务自有资金、银行贷款等）为主，可能辅以政府奖补、维修基金等。 | 由中标的 EPC+O 企业进行主要投资。资金实质来源于小区未来的停车、广告、光伏发电等运营收益。 |
| 业主核心回报 | 房屋本体价值的根本性提升（如原拆原建获得新房）、居住品质改善。 | 近乎零现金支出获得改造，提升居住环境，并可能从集体收益中获得分红。 |
| 风险与责任 | 业主需承担主要的资金筹集压力、复杂的内部协调以及监督工程的责任。 | 业主需让渡部分公共权益，对运营方的选择、合同条款的设定要求极高。内部协调的重点从“筹钱”转向“是否同意让渡权益”。 |
| 典型案例 | 杭州浙工新村、广州花都区集群街 2 号、包头工业路项目等居民自筹重建项目。 | 洛阳龙瑞 B 区（以公共空间经营权换取电梯和光伏改造）、广州黄石花园（企业盘活公房运营反哺改造）。 |

数据来源：作者根据公开资料整理

根据运营服务内容与责任划分，EPC+O 模式又可分为两种细分形态：一是全流程运营托管型，总承包单位承担全部运营维护工作，包括设备检修、系统调试、能耗监测、人员配备等，业主仅需监督运营效果，按年度支付运营服务费，服务费通常与运营质量、节能效果挂钩；二是运维技术支持型，总承包单位提供设备维护、技术指导、故障排查等核心服务，业主配备基础运维人员，双方协同开展运营工作，运营服务费按服务内容分项结算，适用于业主具备一定运维基础、希望控制人力成本的场景。

(2) “业主自筹+EPC+O”模式的优势和风险管控

总体上，“业主自筹+EPC+O”模式具有以下优势：

一是资金或资源压力与专业能力的平衡。业主解决核心的“钱从哪里来、资源哪里来”的问题，而专业的 EPC+O 企业则提供“事怎么干得好、管得久”的一揽子技术和管理方案，弥补了业主缺乏专业

知识和精力的短板。

二是绿色目标与长效运营的绑定：在合同中可以明确设定建筑能耗、光伏发电量等绿色低碳目标，并由运营方负责长期达成，将改造效果与运营方的长期收益挂钩，避免了“重建设、轻管理”导致节能设备闲置的弊端。

三是资产增值与持续收益的结合。业主不仅能直接获得房屋质量、居住舒适度的根本性提升和资产增值，还能通过运营期内的合理收益分享机制，从社区公共收益（如光伏发电、停车管理等）中获得长期回报。

“业主自筹+EPC+O”模式的风险主要集中在工程质量、运营效果与成本控制三个方面，为此需建立完善的风险管控机制：一是在合同中明确工程质量标准、运营考核指标与违约责任，强化对总承包单位的约束，设置质保金与绩效保证金；二是引入第三方监理机构与运营评估机构，全程监督工程建设与运营服务质量，确保项目达标；三是总承包单位通过技术创新、精细化管理优化成本结构，应对原材料价格波动、能源价格变化等风险，同时建立设备全生命周期管理体系，降低设备老化风险。

4.2 全周期金融工具

既有建筑改造项目面临着业主财务状况、投资规模、回收周期和风险类型等方面的多种差异，单一金融工具难以覆盖不同类型项目的全生命周期资金需求与风险管控诉求。全周期金融工具体系围绕“融资-增信-退出”核心链条，构建“债权+股权+增信+退出”的全方位支持框架，既为项目前期建设提供低成本、中长期资金，又通过风险缓释工具降低参与方顾虑，最终借助退出渠道实现资本循环，为既有建筑改造规模化推进注入持续动力。

4.2.1 债权类融资工具

债权类金融工具凭借“期限灵活、成本可控、不稀释股权”的优势，成为既有建筑改造项目的主流融资选择，涵盖绿色贷款、转型贷款、可持续挂钩贷款、绿色债券、融资租赁等多元品类，分别适配绿色低碳项目、高碳转型项目、设备采购类项目等不同场景，形成覆盖项目建设、运营全阶段的债权融资网络。

(1) 绿色贷款

绿色贷款是指金融机构向符合《绿色金融支持项目目录（2025年版）》投放要求贷款。《绿色金融支持项目目录（2025年版）》专门设置了“6.1.3 既有建筑绿色化改造和运营”章节，积极支持光伏组件安装、光储充一体化建设、地热能利用、围护结构节能升级、智慧能源管理系统搭建等既有建筑改造领域的绿色低碳场景。

绿色贷款的落地需重点关注两方面：一是项目合规性，需确保改造内容严格契合绿色项目目录要求，提供完整的节能技术方案、环境效益测算报告等材料；二是风险管控，金融机构会持续跟踪项目施工进度、节能效果实现情况，定期开展贷后检查，确保资金专款专用，同时防范技术迭代、能源价格波动等潜在风险。

(2) EMC 贷款

合同能源管理 (EMC) 贷款是专为 EMC 模式设计的绿色金融产品。其核心是节能服务公司 (ESCO) 以合同项下的“未来收益权”或已形成的“应收账款”作为质押或还款来源，向银行申请项目融资。表 4.2-2 是目前市场上主要银行提供的此类贷款产品对比。

表 4.2-2: 市场上部分 EMC 贷款产品

| 银行名称 | 产品名称 | 核心担保/还款方式 | 贷款期限 | 适用客户与特点 |
|------|-------------------------|----------------------------|--------------|--|
| 浦发银行 | 合同能源管理应收账款 (未来收益权) 质押融资 | 已完工项目的应收账款或合同未来收益权质押 | 3-5 年 | 面向各类节能服务公司, 覆盖效益分享型、节能量保证型、能源费用托管型等多种合同。 |
| 南京银行 | 合同能源管理贷款 | 项目未来收益权质押, 以分享的节能效益为主要还款来源 | 最长 5 年 | 面向有经验的备案节能服务公司, 融资专用于项目建设和运营。 |
| 江苏银行 | 合同能源管理贷款 | 项目未来收益权质押为主, 可结合其他担保方式 | 未明确, 需匹配项目周期 | 面向节能服务公司或采用 EMC 模式销售的厂商, 解决前期投入大问题。 |
| 日照银行 | 合同能源管理贷款 | 项目未来收益权质押, 以分享的节能效益为主要还款来源 | 原则上不超过 5 年 | 面向节能服务公司, 支持高效锅炉、余热利用、绿色建筑等具体项目。 |

数据来源: 作者根据公开资料整理

(3) 可持续挂钩贷款

可持续挂钩贷款是一种创新性债权金融工具, 其核心逻辑是将贷款条款与借款人的可持续发展目标直接挂钩, 通过市场化激励机制引导借款人积极推进既有建筑改造, 实现节能降碳与可持续发展目标。与绿色贷款、转型贷款相比, 可持续挂钩贷款的适用范围更广泛, 不仅局限于绿色项目或转型项目, 还可覆盖所有具备明确可持续发展目标的既有建筑改造项目, 且挂钩目标更灵活多元。

在挂钩目标设定上, 可根据项目特点定制个性化指标, 包括碳减排量、节能率提升、绿色建筑标识认证、水资源利用效率提升、室内空气质量改善等。例如, 中信银行某分行为江苏某绿色建筑公司发放的 3.35 亿元可持续发展 (ESG) 双向挂钩银团贷款, 将贷款利率与项目绿色建筑面积占比、碳减排目标完成情况双向挂钩; 邮储银行某分行为某建筑改造项目发放的 1 亿元可持续挂钩贷款, 挂钩目标设定为绿色建筑工艺技法升级, 若项目成功通过绿色建筑二星级认证, 借款人可享受利率下浮 0.5 个百分点的优惠, 整体可节约融资成本 4 万元; 中国银行某分行的绿色建筑与 ESG 可持续发展双挂钩贷款, 则将贷款利率与绿色建筑面积、节能技术人才数量等关键绩效指标挂钩, 贷款存续期内持续监测绩效目标实现情况, 动态调整利率水平。

可持续挂钩贷款的核心优势体现在三方面：一是灵活性强，可根据不同建筑类型、改造场景的特点，定制差异化的挂钩目标与贷款条款，适配复杂多样的改造需求；二是激励效果显著，通过利率下浮、期限延长等优惠政策，有效激发借款人推进可持续改造的积极性；三是风险管控精准，金融机构通过持续监测可持续发展目标实现情况，及时掌握项目进展与风险状况，为贷款风险管控提供有效支撑。

这类贷款的落地需重点把握两项关键：一是挂钩目标的科学性与可操作性，目标设定需符合项目实际情况，既要有一定挑战性，又要确保能够通过合理努力实现，同时明确目标的监测方法与数据来源；二是信息披露的充分性，借款人需建立完善的信息披露机制，定期向金融机构、投资者披露可持续发展目标实现情况、项目改造进展等信息，确保贷款条款的有效执行。

(4) 绿色债券

绿色债券作为绿色金融的重要工具，募集的资金具有高度专项性，资金用途通常严格限定用于高耗能项目节能降碳改造、清洁能源替代项目的建设、低碳关键技术的研发及产业化应用等，在既有建筑改造领域发挥着越来越重要的作用。对规模较大、信用评级较高的企业，可以考虑通过发行绿色债券来为既有建筑改造项目融资。例如，2023年，某企业成功发行30亿元绿色中期票据，募集资金专项用于超低能耗建筑与既有建筑节能改造项目，融资成本较普通债券45个基点；北京市发行50亿元人民币的绿色债券，专门用于支持老旧小区的节能改造和基础设施升级，债券利率低于同期市场平均水平0.5个百分点。

绿色债券在既有建筑改造中的应用呈现出以下特点：一是资金用途的专门化：募集资金必须专项用于既有建筑的节能改造项目，不得挪用；二是环境效益的可量化：要求发行主体对项目的节能效果、碳减排量等环境效益进行量化评估，并定期披露相关信息。

(5) 转型贷款

转型贷款通常提供中长期、低利率的资金支持，在发放过程中需参考既定的转型金融标准，这些标准通常由监管机构或国际组织制定，涵盖环境效益、碳排放强度、产业转型路径等多个维度。转型金融与之前提到的绿色贷款侧重点不同，主要体现在：绿色贷款主要支持本身已是绿色的项目（如获得绿色建筑标识的建筑），转型金融专门支持从高碳向低碳转型的过程和活动（如对高耗能既有建筑进行节能改造）。

目前，国家层面在国家层面，中国人民银行已牵头制定并在部分地区试用建材等4个重点行业转型金融标准，明确了涵盖转型主体认定、技术路径规范到信息披露要求的全链条制度设计，积极满足高碳行业低碳转型过程中合理资金需求。在地方层面，已有广东、北京多地已经出台或正在制定建筑、建材领域的转型金融目录。相关政策实施以来已取得阶段性显著成效，推动了建筑、建材等重点行业加快技术升级和绿色低碳转型。

(6) 融资租赁

融资租赁作为债权类金融工具的重要补充，凭借“以租代购、租期灵活、资产轻量化”的独特优势，在既有建筑新能源改造项目中应用广泛，尤其适配光伏组件、储能设备、智能节能设备等大型设备采购类项目。融资租赁比较适合于资产负债率较高的企业（这些企业在信贷市场或债券市场上融资受到限制），

企业通过融资租赁，可以在不增加负债率的前提下获得改造设备的使用权。

其核心运作逻辑是：融资租赁公司根据项目需求，向设备供应商采购光伏组件、储能电池、高效空调等核心设备，再将设备出租给业主或 ESCO 使用，承租方按照合同约定的期限和金额按期支付租金，租赁期满后可选择续租、留购（以名义价格获取设备所有权）或退还设备。这种模式实现了设备使用权与所有权的分离，承租方无需一次性支付大额设备采购资金，即可获得设备的使用权，有效优化了现金流结构，降低了前期资金压力。

融资租赁的主要模式包括直租、回租两种，适配不同场景需求。直租模式适用于新项目设备采购，融资租赁公司直接向供应商采购设备并出租给承租方，例如某商业综合体开展“光储充”一体化改造，通过直租模式由融资租赁公司采购 1000 万元的光伏组件与储能设备，租赁期限 5 年，承租方每月支付租金约 20 万元，租赁期满后以 10 万元的名义价格获得设备所有权；回租模式则适用于承租方已拥有设备所有权的场景，承租方将自有设备出售给融资租赁公司，再从融资租赁公司租回使用，实现资产盘活与资金回笼，例如某工业企业将已使用 3 年的中央空调系统出售给融资租赁公司，获得 800 万元资金用于其他节能改造项目，同时以租赁方式继续使用该设备，每月支付租金 15 万元，租赁期限 4 年。

融资租赁的核心优势体现在四方面：一是融资门槛低，相较于银行贷款，融资租赁对承租方的信用要求相对宽松，更注重设备的变现能力与项目的未来收益，适合轻资产的 ESCO 或资金紧张的中小业主；二是租期灵活，租赁期限可根据项目收益周期定制，通常为 3-8 年，部分大型设备可延长至 10 年，与设备使用寿命、项目投资回收期高度匹配；三是手续简便，审批流程相对简单，无需复杂的资产抵押评估，放款速度快，通常 1-2 个月即可完成审批与放款；四是税务优化，承租方支付的租金可在企业所得税前扣除，有效降低了税负成本。

在既有建筑改造领域，融资租赁的应用场景不断拓展，除了传统的设备采购融资，还创新推出“融资租赁+运维服务”的组合模式，融资租赁公司不仅提供设备融资，还联合专业运维机构为承租方提供设备维护、故障维修、能效优化等全周期运维服务，确保设备长期稳定运行，提升项目节能效果与收益水平。

4.2.2 股权类融资工具

上文介绍了贷款、债券等债券类融资工具，这些工具一般可为项目提供近 70% 的所需资金。但是，多数项目还是需要业主利用自有资金或通过寻求外部股权投资，来满足项目对资本金的要求（如银行贷款项目对项目资本金的要求）。下文介绍多种筹集股权资金的渠道。

(1) 绿色产业基金

绿色产业基金主要由政府部门、国有资本或专业金融机构发起设立，聚焦区域性、综合性既有建筑改造项目，资金规模大、投资周期长（通常 7-10 年），可有效带动社会资本跟进投入。基金运作采用“政府引导、市场化运作”模式，通过股权投资、债权投资等方式支持项目落地，同时发挥政策引导作用，推动技术集成应用与区域协同改造。例如，国家绿色发展基金投资上海嘉兴路街道“低碳生活新时尚实践区”项目，总投资 5 亿元，覆盖 30 多个子项目，包括老旧小区光伏改造、公共建筑储能配套、智能

充电桩建设、绿色步道打造等，通过基金引导，带动社会资本配套投入 10 亿元，实现各类改造项目的协同推进，打造区域性低碳改造示范标杆；某省级绿色产业基金出资 3 亿元，联合社会资本共同开展地级市老旧小区集群改造，覆盖 50 个老旧小区，通过光伏入户、外墙保温、智能安防与能耗管控系统集成等措施，实现区域建筑综合节能率提升至 40% 以上，同时带动物业增值，提升居民居住体验。绿色产业基金的核心价值在于整合资源、放大资金杠杆效应，推动既有建筑改造从单体项目向区域化、规模化推进。

(2) 私募基金

私募基金聚焦单体优质建筑或建筑资产包的改造项目，侧重股权投资与专业能力赋能，通常引入前沿节能技术、国际绿色建筑认证标准（如 LEED、BREEAM），提升项目品质与运营效率，核心投资逻辑为“改造升级-提质增效-增值退出”。私募基金的资金来源以市场化资本为主，对项目收益性要求较高，适合商业楼宇、高端产业园等具备增值潜力的改造项目。例如，某私募基金以股权投资方式参与某高端商业楼宇绿色改造，投资金额 2.5 亿元，引入光伏光储一体化系统、智能能耗管控平台及绿色建材翻新，推动项目获得 LEED 白金级认证。改造后，楼宇租金收益率提升 15%，空置率下降 8%，资产估值增长 20%。

私募基金通过优化建筑能耗结构、提升运营管理水平，实现资产价值增值，后续通过转让项目股权给大型商业地产集团实现投资回报，同时与项目方共担改造过程中的技术风险与市场风险。此外，部分私募基金聚焦技术前沿型改造项目，如低碳建筑材料应用、被动式改造技术示范等，通过技术赋能与资本支持，推动行业技术创新。

4.2.3 增信与风险缓释工具

除了上文介绍的债权类和股权类融资工具，绿色保险和其他增信工具也是支持既有建筑低碳节能改造的重要金融工具。保险工具可以帮助项目规避改造过程中常见的能效及其他绿色性能达标风险，进而提升客户认可度与项目可融资性。此外，政府及担保机构为项目主体提供的信用担保，同样是缓释风险、降低融资成本的重要手段。

(1) 绿色保险

绿色保险针对既有建筑改造项目的风险特点，提供专项保障，核心产品包括能效保险、绿色建筑性能保险，同时可配套设备财产险、工程意外险等险种，形成全方位风险保障体系。

能效保险主要保障 EMC 项目或改造项目未达到约定节能量的风险，投保方为 ESCO 或项目公司，保险金额根据约定节能量对应的收益确定，若实际节能量未达标，保险公司按约定赔付差额损失。例如，某 EMC 项目投保能效保险，约定年节能量 120 万元，保险金额 1200 万元（覆盖 10 年收益），若未达标，保险公司按差额的 80% 赔付，有效降低了 ESCO 的收益风险。

绿色建筑性能保险主要保障改造项目未达成预定绿色建筑标识（如 LEED、绿色建筑评价标准）的风险，若项目未通过标识认证，保险公司赔付项目改造增量成本。例如，某商业楼宇改造项目投保该险种，约定目标为绿色建筑二星级标识，若未达标，保险公司赔付增量成本的 90%。

(2) 第三方担保与政府风险分担

第三方担保通过专业担保机构为项目提供增信，降低金融机构信贷风险，适配中小 ESCO、中小业主的融资需求。担保机构通过评估项目可行性、ESCO 技术实力与履约能力，提供连带责任担保，担保费率通常为贷款金额的 1%-3%，同时要求 ESCO 提供反担保（如设备抵押、应收账款质押）。例如，某中小 ESCO 承接老旧小区光伏改造项目，通过第三方担保机构增信，成功获得银行贷款 800 万元，担保机构按贷款金额 2%收取担保费，ESCO 以项目未来节能收益权作为反担保，实现了融资落地。

政府风险分担机制通过“政银担”模式、风险补偿资金池等方式，降低金融机构与担保机构的风险。地方政府设立既有建筑改造风险补偿资金池，对符合条件的项目，若发生违约，资金池按一定比例（通常 20%-50%）给予补偿；“政银担”模式下，政府、银行、担保机构按约定比例共担风险，通常政府承担 20%-30%、担保机构承担 40%-50%、银行承担 20%-30%，有效分散单一主体的风险。例如，某省建立既有建筑改造风险补偿资金池，规模 5 亿元，对绿色贷款项目给予 30%的风险补偿，推动银行加大对中小项目的信贷投放，2025 年该省建筑改造绿色贷款余额同比增长 40%。

4.2.4 退出类金融工具

在建筑项目完成改造并进入成熟运行阶段后，部分业主有兴趣将这些资产进行证券化操作，以回笼部分资金，再将回笼的资金投入到新项目中。用于“退出”成熟资产的金融工具包括不动产投资信托基金（REITS）、资产支持证券（ABS）等。

（1）不动产投资信托基金（REITs）

REITs 通过将运营成熟、现金流稳定的既有建筑改造项目证券化，实现存量资产盘活，为前期投资方提供便捷退出渠道，同时吸引社会公众资本参与，形成“投资-改造-上市-再投资”的资金循环机制，是完善既有建筑改造“投融管退”全链条的核心工具。2023 年以来，国家发改委明确将城市更新设施、绿色建筑改造项目纳入 REITs 发行范围，支持符合条件的光伏电站、储能配套、节能改造后的商业楼宇、园区等项目申报发行 REITs。

目前，我国建筑领域 REITs 发行规模逐步扩大，已发行项目涵盖产业园区、商业楼宇、光伏电站等多种类型，平均年化收益率达 4%-6%，吸引了保险资金、社保基金、公募基金等各类资本参与。REITs 的推广应用，有效提升了既有建筑改造项目的资本流动性，激发了社会资本的投资积极性，为行业规模化发展提供了资本支撑。

（2）资产支持证券（ABS）

资产支持证券（ABS）是指以既有建筑改造项目产生的未来稳定现金流为基础资产，通过结构化设计发行的证券化产品，核心包括节能收益权 ABS、租金收益权 ABS、充电服务费 ABS 等，为项目投资者提供灵活的退出渠道。

节能收益权 ABS 是既有建筑改造领域最具代表性的 ABS 产品，其基础资产为改造项目未来产生的节能收益权，包括节能费用节约额、可再生能源销售收入、节能服务收费等。发行流程通常为：项目方（原始权益人）将未来一定期限内的节能收益权转让给特殊目的载体（SPV），SPV 通过结构化设计（如优先级、次级分层）提升产品信用等级，再向投资者发行 ABS 产品，募集资金用于原始权益人的项目再

投资或债务偿还。

例如，某 ESCO 开展的多个 EMC 项目形成了稳定的节能收益流，未来 5 年预计节能收益总额达 3 亿元，该 ESCO 将这些节能收益权打包作为基础资产，发行节能收益权 ABS，募集资金 2 亿元，用于新的 EMC 项目投资。该 ABS 产品分为优先级和次级，优先级规模 1.8 亿元，信用评级为 AAA 级，票面利率 3.8%，面向机构投资者发行；次级规模 0.2 亿元，由 ESCO 自行持有，承担项目风险。产品到期后，通过节能收益权产生的现金流兑付投资者本息，实现了原始权益人的资本退出。

租金收益权 ABS 适用于节能改造后的商业楼宇、产业园区等资产，基础资产为改造后资产的未来租金收益。例如，某商业综合体通过绿色改造提升了资产品质与租金水平，未来 8 年预计租金收益总额达 10 亿元，通过发行租金收益权 ABS 募集资金 6 亿元，用于偿还项目改造贷款与新项目投资。该产品通过设置租金收入监管账户、超额覆盖倍数等增信措施，提升了产品信用等级，获得了市场投资者的认可。

充电服务费 ABS 则适用于“光储充”一体化改造项目，基础资产为项目未来的充电服务费收入。例如，某公园“光储充”一体化示范站项目，未来 6 年预计充电服务费收入达 3 亿元，发行充电服务费 ABS 募集资金 1.8 亿元，用于项目扩容与新站点建设。该产品通过与电网公司签订长期供电协议、设置最低充电量保障等方式，确保基础资产现金流的稳定性，提升了产品的投资价值。

ABS 产品的核心优势在于灵活性强，可根据基础资产的现金流特点设计产品期限、票面利率等条款，适配不同项目的退出需求；同时，通过结构化设计与增信措施，能够提升产品信用等级，降低融资成本，吸引更多类型的投资者参与。其发行周期通常为 3-6 个月，退出效率较高，是既有建筑改造项目资本退出的重要补充渠道。

4.3 创新组合模式案例参考

在项目的实际操作过程中，通常可通过组合运用上述多种金融工具，来达到提升融资可得性、降低融资成本、适时退出等目的。以下将呈现若干金融工具创新组合的案例及其适用场景。

4.3.1 “EMC + 收益权质押 + 绿色保险” 组合

该组合以合同能源管理（EMC）为核心运营模式，通过“收益权质押”破解融资增信难题，再以“绿色保险”对冲项目风险，形成“运营模式+融资增信+风险保障”的闭环体系。其核心优势在于无需业主前期投入，同时通过金融工具降低资金成本与履约风险，特别适配公共建筑、老旧小区等公益属性强、资金约束紧的改造项目。

(1) 典型案例：某省级三甲医院节能改造项目

表 4.3-1: EMC 模式 + 融资增信 + 风险保障组合方案

| 组合模块 | 核心操作 | 实施主体 | 核心价值 |
|--------|---|----------------------|--------------------------------|
| EMC 模式 | 签订 12 年节能效益分享型合同，前 5 年 ESCO 分 70% 收益，后 7 年分 40% | 医院（业主）+ 节能服务公司（ESCO） | 业主零投资，ESCO 全程负责投资、建设、运维 |
| 收益权质押 | 以 12 年节能收益权为质押，申请银行专项贷款 | ESCO + 合作银行 | 解决 ESCO 前期资金缺口，以未来收益保障还款 |
| 绿色保险 | 投保节能量保证保险+医疗场所专项责任险 | ESCO + 保险公司 | 若节能率未达标，保险公司赔付差额；保障施工与运营期间医疗安全 |

数据来源：作者根据公开资料整理

（2）实施成效

经济效益：改造后综合节能率达 30%，年节约能源费用 240 万元，医院 12 年累计获得节能收益 1550 万元，ESCO 通过收益分成回收投资并实现盈利。

风险控制：节能量保险覆盖技术效果风险，收益权质押降低银行信贷风险，项目全周期无违约或赔付情况。

可复制性：该组合无需依赖政府财政补贴，通过市场化机制实现多方共赢，已被多地公立医院、文化中心等公共建筑改造借鉴。

（3）组合适用场景与关键点

适用场景：公益类公共建筑（医院、学校、文化中心）、产权分散的老旧小区、节能效果易量化的单一系统改造（空调、照明）。

关键点：需明确节能量测量与验证（M&V）标准，确保收益权可量化；选择具备医疗、公共服务场景适配经验的保险公司，定制专属保险条款。

4.3.2 “EPC+O + 绿色债券 + REITs” 全周期组合

该组合以“EPC+O”模式保障项目全生命周期的工程质量与运营效率，通过“绿色债券”获取中长期低成本建设资金，最终以“REITs”实现资产证券化退出，形成“投资-建设-运营-退出”的完整资本循环。其核心优势在于兼顾项目长期收益与资本流动性，适配大型产业园区、商业综合体等投资规模大、现金流稳定的改造项目。

典型案例：某省级工业园区整体绿色化改造项目

表 4.3-2: EPC+O + 绿色债券 + REITs 组合方案

| 组合模块 | 核心操作 | 实施主体 | 核心价值 |
|----------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| EPC+O 模式 | 采用全流程运营托管型，总承包单位负责设计、建设及 10 年运维 | 园区管委会 (业主) + 总承包单位 | 一体化协同设计，避免施工与运营脱节，保障节能效果 |
| 绿色债券 | 发行城市更新专项绿色债券，资金专项用于光伏、储能系统建设 | 园区管委会 + 地方政府 | 获得长期低成本资金，降低初始投资压力 |
| REITs 退出 | 项目运营 3 年后，将光伏电站、储能设施等优质资产打包发行 REITs | 园区管委会 + 券商 + 投资者 | 盘活存量资产，回收资金用于新改造项目，形成资本循环 |

数据来源：作者根据公开资料整理

4.3.3 “政银担 + 融资租赁 + 运营分成” 民生类项目组合

该组合以“政银担”模式降低融资门槛与信贷风险，通过“融资租赁”缓解设备采购资金压力，再以“运营分成”保障各方收益，形成“政策赋能+资金支持+长效运营”的协同机制。其核心优势在于借助政府信用背书撬动社会资本，同时通过融资租赁实现资产轻量化，适配老旧小区、农村集中供暖等民生类改造项目。

典型案例：某地级市老旧小区集群改造项目

表 4.3-3: “政银担 - 融资租赁 - 运营分成” 三方协同方案

| 组合模块 | 核心操作 | 实施主体 | 核心价值 |
|-------|---|--------------------|------------------------|
| 政银担模式 | 政府设立 5 亿元风险补偿资金池，银行提供绿色信贷，担保机构承担 40% 风险 | 地方政府 + 合作银行 + 担保机构 | 降低融资利率与担保门槛，撬动社会资本参与 |
| 融资租赁 | 采用直租模式，租赁公司采购光伏组件、保温材料等设备， | 租赁公司 + 小区业主委员会 | 业主无需一次性支付设备采购费用，降低改造门槛 |

| 组合模块 | 核心操作 | 实施主体 | 核心价值 |
|------|--|---------------------|-----------------------------------|
| | 小区业主分期支付租金 | | |
| 运营分成 | 光伏发电收益按“业主 60%+ 运维方 30%+街道 10%”分成， 运维方负责设备日常维护 | 业主 + 运维公 司 + 街道办 | 保障设备长期稳定运行，街 道分成用于小区公共设施维 护 |

数据来源：作者根据公开资料整理

第五章

中外既有建筑可持续改造

典型案例分析

五、中外既有建筑可持续改造典型案例分析

本章选取的中外既有建筑可持续改造典型案例，均以真实项目实践为基础进行整理编制。为保护相关主体商业秘密与隐私安全，案例中涉及的项目名称、主体信息、敏感数据等已做匿名化与脱敏处理。同时，案例中的核心量化指标均为基于真实项目技术参数、行业基准水平及市场合理区间模拟测算得出的参考值。

5.1 案例一：某市级文化中心 EMC 模式节能改造案例

5.1.1 项目背景与核心挑战

某市级文化中心总建筑面积 5.8 万平方米，涵盖剧场、展厅、图书馆、行政办公四大功能区，该文化中心年耗电量达 680 万度，其中空调系统能耗占比 62%、照明系统占比 23%，综合能耗较同类新建绿色公共建筑高出 1.8 倍，节能改造需求迫切。

图 5.1-1：某市级文化中心建筑效果图



项目核心挑战聚焦三点：

（一）运营连续性要求高：文化中心需全年无休开放，改造施工需避开演出、展览、借阅等核心活动，仅能在夜间及法定节假日推进，施工窗口期紧张；

（二）老建筑改造限制：建筑外立面为城市地标性设计，屋顶承重有限，且部分区域涉及消防规范限制，无法进行大规模结构改动；

（三）资金与风险约束：作为公益类事业单位，年度运维经费固定，无力承担大额前期改造投资，同时对施工安全、节能效果存在严格要求。

5.1.2 改造方案：节能效益分享型 EMC 模式落地

文化中心与专业节能服务公司 (ESCO) 签订 10 年节能效益分享型 EMC 合同，由 ESCO 全额承担投资、设计、施工、运维全流程责任，核心方案围绕“低扰动、高适配、精准节能”展

开：

(一) 核心系统配置与技术参数

表 5.1-2: 项目配置与技术参数清单

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|---------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 空调系统 | 磁悬浮离心式冷水机组 + 智能变频控制系统 | 制冷量 1,200 RT, COP 值达 6.8 | 替代传统螺杆机组, 根据人流密度动态调节冷量输出, 显著提升能效 |
| 照明系统 | LED 节能灯具 + 人体感应 + 光感双控模块 | 共更换 18,000 盏, 功率较传统灯具降低 60% | 剧场、展厅实现“按需照明”, 公共区域自动启停, 减少无效照明 |
| 可再生能源系统 | 分布式光伏组件 | 总装机容量 450 kW, 铺设于附属用房屋顶及停车场雨棚 | 年发电量约 48 万 kWh, 优先供给照明及办公设备, 降低外购电依赖 |
| 智慧管控系统 | 能源管理云平台 + 分项计量装置 | 集成空调、照明、光伏等系统数据 | 实时监测能耗, 精准定位浪费点, 支持远程调控与能效优化策略 |

数据来源：作者整理实际案例

(二) 收益分配与风险保障机制

1. 收益分配：合同期 10 年，前 4 年按“ESCO 75%、文化中心 25%”分享节能收益，后 6 年调整为“ESCO 50%、文化中心 50%”；合同期满后，所有节能设备及智慧管控系统无偿移交文化中心，后续节能收益 100% 归属业主。
2. 风险保障：ESCO 预留合同总额 12% 作为履约保证金，投保节能量保证保险，若实际节能率未达承诺值（32%），由保险公司赔付差额能源费用；施工期间购买建筑工程一切险及公众责任险，确保建筑结构安全与市民活动不受影响。

(三) 投资概算明细

表 5.1-3: 投资概算明细

| 分部分项工程 | 具体内容 | 概算价格 (万元) | 占总投资比例 |
|--------|------|-----------|--------|
|--------|------|-----------|--------|

| 分部分项工程 | 具体内容 | 概算价格（万元） | 占总投资比例 |
|--------|-----------------------------|----------|--------|
| 核心设备采购 | 磁悬浮冷水机组、LED 灯具、光伏组件、智慧管控平台等 | 1,860 | 65% |
| 建安工程 | 设备拆除、安装施工、屋顶防水加固、线缆铺设 | 620 | 22% |
| 其他费用 | 能耗审计、方案设计、审批备案、运输管理等 | 380 | 13% |
| 合计 | — | 2,860 | 100.0% |

数据来源：作者整理实际案例

5.1.3 核心成效量化分析

（一）经济效益：改造后年耗电量降至约 462 万度，年节电量近 220 万度，节能率约 32%，超额完成承诺目标；按当地工商业电价 0.68 元 / 度计算，年节约电费 148 万元，10 年合同期内文化中心累计获得节能收益 666 万元，实现“零投资、稳收益”。

（二）环境效益：年减少二氧化碳排放约 187 吨，可再生能源利用率约 8%，助力城市“双碳”目标落地；空调系统能效提升后，室内温湿度控制精度优化，展厅文物保存环境更稳定。

（三）社会效益：改造后文化中心活动承接能力提升，接待市民量同比增长 20%，成为市级公共建筑节能改造示范标杆。

5.1.4 绿色金融支持方面

节能服务公司（ESCO）通过银行推出的 EMC 项目贷款获得全额融资，贷款以未来节能收益为核心还款来源，搭配合同能源管理收益权质押作为增信措施，贷款额度按项目预计未来收益的 70% 核定。同时，项目投保了绿色建筑保险中的节能量保证保险与公众责任险，其中节能量保证保险由保险公司对未达 32% 节能率的差额部分进行赔付，降低了银行信贷风险与业主方顾虑。地方政府绿色产业基金还为项目提供了 5% 的投资补贴，进一步降低了 ESCO 的融资成本。

5.2 案例二：某公园综合能源站项目案例

5.2.1 项目背景与核心挑战

某公园停车场地处城市核心区域，紧邻主干道，地理区位优势明显。停车场占地面积约

20000 平方米，原有 314 个车位，随着区域新能源汽车保有量持续攀升，市民充电需求愈发迫切。为响应“双碳”战略、完善公共服务配套、提升停车场综合利用价值，该公园启动“光储充”一体化示范站建设项目，采用“总体规划、分步实施”模式，打造集充电、光伏发电、储能调峰于一体的多功能综合能源服务场景，成为城市公共空间新能源改造的典型范例。

图 5.2-1：某公园停车场部分俯视图



此次改造需兼顾公共服务属性、技术适配性与运营可行性，核心挑战集中在四个方面：

（一）空间利用与功能协调难题：停车场需在保留停车功能的基础上，实现光伏覆盖、充电设施安装与储能系统布置，需合理规划空间布局，避免功能冲突，同时保障场地通行顺畅。

（二）电网接入与负荷平衡难题：项目充电功率大、设备数量多，集中接入电网可能造成负荷压力，需通过储能系统削峰填谷，协调电网容量分配，确保供电稳定。

（三）多系统协同与技术适配难题：项目涉及光伏、储能、充电三大核心系统，且充电设备类型多样（超充、快充），需实现各系统高效协同，保障光伏优先消纳、储能灵活调度，同时适配不同车型的充电需求。

（四）运营与服务适配难题：作为公共场景，需平衡充电服务、停车管理与市民体验，避免燃油车占用充电车位，同时规划配套服务功能，提升综合服务价值，保障项目长期可持续运营。

5.2.2 改造方案

项目围绕“光伏全覆盖、充电多元化、储能调峰化、服务综合化”四大核心目标，打造集光伏发电、储能调节、智能充电、配套服务于一体的综合能源解决方案，精准适配公共停车场场景需求。

（一）核心系统配置与技术参数

项目采用分步实施的模块化设计，各系统独立运行且协同联动，核心设备配置与功能如下：

表 5.2-2：项目配置与技术参数清单

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 |
|--------|--------------|----------------------------------|
| 光伏发电系统 | 550Wp 高效光伏组件 | 总装机容量 1,000 kW，覆盖 310 个车位，建设光伏车棚 |

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 |
|-------------|-------------------|---|
| 储能调节系统 | 分布式储能系统 | 总配置 200 kW / 400 kWh |
| 智能充电系统 | 600 kW 液冷超充电桩（单枪） | 4 台，最大电压 1,000 V、最大电流 600 A |
| | 250 kW 直流充电桩（双枪） | 18 台 |
| | 240 kW 直流充电桩（双枪） | 40 台 |
| | 120 kW 直流充电桩（双枪） | 50 台 |
| 配套设施 | 箱式变压器 | 含 1,000 kVA、1,250 kVA、1,600 kVA、2,500 kVA、3,000 kVA 各 2 台（共 10 台） |
| 智能管理平台（EMS） | 含能量调度、设备监控、计费管理功能 | 集成光、储、充多系统数据 |

数据来源：作者整理实际案例

（二）关键技术创新与配合逻辑

1. 能源智能调度协同：通过 EMS 能量管理系统，实现“光伏优先、储能补峰、电网兜底”的运行模式。光伏电力优先供给充电设备，剩余电量储存至储能系统；电网高峰时段优先使用储能供电，低谷时段储能充电，最大化绿色能源消纳与峰谷套利收益。
2. 充电设备多元适配：配置超充、快充等多类型充电终端，覆盖不同车型的补能需求，超充电桩满足快速补能场景，常规快充桩保障日常充电需求，提升项目服务覆盖面。
3. 空间与功能集成：光伏车棚实现“发电 + 遮阳防雨 + 停车”三重功能，不额外占用场地；同时规划自助洗车、便利店等配套服务区域，通过招商引入商家，提升项目综合收益。
4. 虚拟电厂接入能力：具备接入区域虚拟电厂平台的条件，光伏、储能作为分布式能源，充电设备作为可控负荷，可参与需求侧响应，获取额外收益。

5.2.3 核心成效量化分析

（一）经济效益

充电服务按 11% 综合利用率、2.64 小时有效充电时长及 0.32 元 / KWh 服务费标准测算, 年均充电量可达约 1568 万 KWh, 对应年均服务费收入约 502 万元 (不含客户分成收益); 同时, 依托虚拟电厂需求响应可实现年均约 20 万元额外收益, 配套服务招商亦能带来年均约 80 万元收益, 为项目筑牢长期盈利基础。

（二）能源效益

光伏系统年发电量约 175 万 KWh, 所产生电力全部优先供给充电服务, 每年可减少二氧化碳排放约 151 吨

（三）服务效益

298 个充电车位、138 台设备, 日均满足 2640 辆次充电需求, 破解区域 “充电难”; 超充 + 快充适配多车型, 缩短市民等待时间; 光伏车棚搭配洗车、便利店等设施, 打造 “充电 + 生活” 场景; 储能系统年降电网高峰负荷 73 万 KWh, 提升电网效率, 保障能源系统稳定。

5.2.4 绿色金融支持方面

该项目的绿色金融支持体系涵盖三方面: 一是通过某银行 “建筑能效提升贷” 获得 3000 万元绿色信贷, 因项目节能率超 30% 享受 15% 的利率优惠, 且贷款额度随光伏消纳效率动态调整; 二是纳入政府绿色债券支持范围, 获得 500 万元专项资金用于储能系统建设, 债券融资成本较普通贷款低 45 个基点; 三是投保了设备故障保险与储能收益损失保险, 由保险公司覆盖设备维修及峰谷套利不及预期的损失, 同时通过 “政银担” 模式由政府、银行、担保机构按 4:4:2 比例分担信贷风险, 提升了项目融资成功率。

5.3 案例三：某省级三甲医院节能改造案例

5.3.1 项目背景与核心挑战

某省级三甲医院建成于 2012 年, 总建筑面积约 13 万平方米, 开放床位 1800 张, 年均门诊量超 80 万人次、住院量 4.5 万人次。医院核心用能系统包括中央空调、医用热水、照明、医疗设备等, 其中中央空调占总能耗的约 50%、医用热水占约 20%, 年耗电量达 980 万度、耗气量 120 万立方米, 综合能耗是同类绿色医院的 2 倍。随着医疗设备更新与就诊量增长, 能耗持续攀升, 且部分用能设备已运行 11 年, 存在能效衰减、故障频发等问题, 节能改造需求迫切。

图 5.3-1: 医院建筑效果图



项目核心挑战聚焦三点：

（一）医疗运营不可中断：医院需 24 小时提供诊疗服务，手术室、ICU、检验科等关键区域对温湿度、供电稳定性要求极高，改造施工需避开诊疗高峰，不得影响医疗流程；

（二）环境与安全风险严苛：改造过程需控制噪音、粉尘污染，避免破坏无菌环境，同时节能设备需满足医疗用电安全标准，杜绝电磁干扰等风险；

（三）资金与风险约束：作为公益二类事业单位，财政拨款优先保障医疗业务，无力承担大额前期改造投资，且对节能效果、施工安全有严格考核要求。

5.3.2 改造方案：节能效益分享型 EMC 模式落地

医院与专业节能服务公司 (ESCO) 签订 12 年节能效益分享型 EMC 合同，由 ESCO 全额承担投资、设计、施工、运维全流程责任，核心方案围绕“医疗适配、低扰施工、精准节能”展开：

（一）核心系统配置与技术参数

表 5.3-2：项目配置与技术参数清单

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|--------|--------------------|--|--|
| 中央空调系统 | 磁悬浮变频冷水机组 + 余热回收模块 | 制冷量 1,800 RT, COP 值 7.2; 余热回收效率 $\geq 85\%$ | 替代传统螺杆机组，利用医疗废水余热制备生活热水，显著降低空调与热水系统综合能耗 |
| 医用热水系统 | 空气源热泵 + 保温储水罐 | 制热量 240 kW, COP ≥ 4.5 ; 储水罐容量 $50 \text{ m}^3 \times 4$ (共 200 m^3) | 替代燃气锅炉，满足 24 小时医用热水需求，并与余热回收系统协同运行，提升能源复用率 |

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|---------|----------------------|--|--|
| 照明系统 | 医用 LED 洁净灯具 + 智能感应控制 | 共更换 23,000 盏，功率较传统灯具降低 65%，具备防眩光、无电磁干扰特性 | 诊室、病房实现“人来灯亮、人走灯灭”；手术室维持恒定照度，兼顾节能与医疗安全 |
| 可再生能源系统 | 分布式光伏组件 | 总装机容量 600 kW，铺设于门诊楼附属屋顶(非核心区域) | 年发电量约 65 万 kWh，优先供给照明及办公设备，不接入医疗设备主电路，确保医疗用电安全 |
| 智慧管控系统 | 医疗能源管理平台 + 分项计量装置 | 集成空调、热水、光伏等系统数据，支持医疗负荷优先级设置 | 实时监测能耗，精准调控设备运行，在保障 ICU、手术室等关键区域用能稳定的前提下优化整体能效 |

数据来源：作者整理实际案例

(二) 收益分配与风险保障机制

1. 收益分配：合同期 12 年，前 5 年按“ESCO 70%、医院 30%”分享节能收益，后 7 年调整为“ESCO 40%、医院 60%”；合同期满后，所有节能设备及智慧管控系统无偿移交医院，后续节能收益 100% 归属业主。
2. 风险保障：ESCO 预留合同总额 15% 作为履约保证金，投保节能量保证保险，若实际综合节能率未达承诺值（28%），由保险公司赔付差额能源费用；施工期间购买医疗场所专项责任险、建筑工程一切险，确保医疗环境安全与建筑结构不受影响。

(二) 投资概算明细

表 5.3-3: 投资概算明细

| 分部分项工程 | 具体内容 | 概算价格 (万元) | 总投资比例 |
|--------|--------------------------------|-----------|-------|
| 核心设备采购 | 磁悬浮冷水机组、空气源热泵、LED 灯具、光伏组件、智慧管控 | 3,277 | 69% |

| 分部分项工程 | 具体内容 | 概算价格 (万元) | 占总投资比例 |
|--------|--------------------------------|-----------|--------|
| | 平台等 | | |
| 建安工程 | 设备拆除、安装施工、管道改造、 屋顶防水加固、线缆铺设 | 903 | 19% |
| 其他费用 | 能耗审计、医疗场景适配设计、审 批备案、医疗安全培训等 | 570 | 12% |
| 合计 | — | 4,750 | 100.0% |

数据来源：作者整理实际案例

5.3.3 核心成效量化分析

1. 经济效益：改造后年耗电量降至约 700 万度、耗气量降至 76 万立方米，综合节能率近 30%，超额完成承诺目标；按当地工商业电价 0.72 元 / 度、气价 3.8 元 / 立方米计算，年节约能源费用约 240 万元，12 年合同期内医院累计获得节能收益约 1550 万元，实现“零投资、稳收益”。
2. 环境效益：年减少二氧化碳排放约 220 吨，可再生能源利用率达近 7%，助力医院获评“国家级绿色医院”；中央空调与热水系统协同优化后，关键区域温湿度控制精度提升至 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，医疗环境稳定性显著增强。
3. 社会效益：设备故障停机时间较改造前减少 85%，医疗服务保障能力提升；节能改造后医院运营成本降低，间接支持医疗收费惠民政策落地，患者满意度同比提高 10%。

5.3.4 绿色金融支持方面

项目绿色金融支持聚焦医疗场景适配性：ESCO 凭借与医院签订的 12 年节能服务合同，通过某银行办理合同能源管理收益权质押贷款 3800 万元，贷款期限与合同周期匹配，利率较基准利率下浮 10%。同时，项目入选省级绿色产业基金重点支持名录，获得 800 万元引导资金注入，用于医疗专用节能设备采购。此外，投保的医疗场所专项绿色建筑保险，将节能设备故障对医疗服务的影响纳入赔付范围，既满足了医院安全要求，也为金融机构信贷提供了风险缓释保障。

5.4 案例四：某国际大酒店节能改造项目案例

5.4.1 项目背景与核心挑战

湖南某国际大酒店作为区域内高端商务酒店，日常接待大量商务旅客与会议团队，配套停车场需求旺盛。随着新能源汽车保有量持续增长，住客及周边用户的充电需求快速攀升，原有停车场缺乏专业充电设施，难以满足市场需求。为响应“双碳”战略、完善酒店配套服务、提升品牌绿色形象，酒店利用东侧空地停车场启动“光储充”一体化改造项目，打造集绿色发电、智能充电、储能调峰于一体的综合能源服务场景，成为酒店行业新能源升级的典型范例。

图 5.4-1：酒店建筑效果图



此次改造需兼顾酒店高端服务属性、空间利用效率与技术可行性，核心挑战集中在四个方面：

（一）空间规划与功能协调难题：酒店停车场空间有限，需在保障停车功能的基础上，集成光伏车棚、充电设备与储能系统，需合理规划布局，避免占用核心经营区域，同时保障场地通行顺畅。

（二）电网负荷与供电稳定难题：项目充电设备功率大、数量多，集中接入电网可能造成高峰负荷压力，需通过储能系统削峰填谷，降低对电网的冲击，确保酒店自身运营用电与充电服务互不干扰。

（三）多系统协同与技术适配难题：项目涉及光伏、储能、充电三大核心系统，且包含超充、快充多种设备类型，需实现各系统高效协同，保障光伏优先消纳、储能灵活调度，同时适配不同车型的充电需求。

（四）改造与运营协同难题：酒店为营业性场所，施工需避开宾客入住与会议举办高峰，控制噪音、粉尘污染，避免影响服务体验，对施工时间、流程与安全管控提出严格要求。

5.4.2 改造方案

项目围绕“绿色发电自给、充电服务多元、储能调峰稳网、运营收益可持续”四大核心目标，打造集光伏发电、储能调节、智能充电于一体的综合能源解决方案，精准适配酒店停车场场景需求。

（一）核心系统配置与技术参数

项目采用模块化设计，各系统独立运行且协同联动，核心设备配置与功能如下：

表 5.4-2：项目配置与技术参数清单

| 系统类别 | 设备/设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|---------------|--------------------|--|--|
| 光伏发电系统 | 高效单晶硅组件 (600Wp 以上) | 总装机容量约 79 kWp，建设光伏车棚 | 优先为充电设备供电，剩余电量储存至储能系统，实现绿色能源自给 |
| 储能调节系统 | 智能分布式储能系统 | 总配置 200 kW / 400 kWh | 削峰填谷、峰谷套利，平衡电网负荷；电网故障时保障充电服务短时运营 |
| 智能充电系统 | 600 kW 液冷超充堆 | 4 台，配套 4 台单枪超充桩 (600 A) | 覆盖 8 个充电车位，实现“10 分钟续航 500 公里”，满足高端车型快速补能需求 |
| | 480 kW 直流快充堆 | 14 台，配套 66 台双枪快充桩 (250 A) | 覆盖 132 个充电车位，适配主流新能源车型，保障日常高效充电需求 |
| 配套设施 | 干式变压器 | 1,000 kVA × 4 套、 1,250 kVA × 2 套、 1,500 kVA × 2 套 (共 8 台) | 保障各系统电力稳定转换与传输，适配不同功率等级设备的用电需求 |
| 综合能源云平台 (EMS) | 含远程监控、智能调度、故障告警功能 | 集成光伏发电、储能运行、充电桩状态等多源数据 | 实现光-储-充协同优化调度，实时监测设备运行状态，提升能源利用效率与运维智能化水平 |

数据来源：作者整理实际案例

(二) 关键技术创新与配合逻辑

1. 能源智能协同调度：通过 EMS 综合能源云平台，实现“光伏优先、储能补峰、电网兜底”

的运行模式。充电高峰时，电网、光伏与储能协同供电；充电间隙及夜间低谷时段，电网与光伏为储能充电；电网异常时，储能可独立保障充电服务短时运营，实现 V2G/V2L 功能。

2. 充电设备多元适配：配置超充、快充两类终端，超充电桩满足商务旅客快速补能需求，快充桩覆盖日常充电场景，适配不同车型的充电需求，提升服务覆盖面与用户体验。
3. 空间功能高效集成：光伏车棚实现“发电 + 遮阳防雨 + 停车”三重功能，不额外占用酒店场地；储能系统与变压器集中布置，优化空间利用效率，避免影响停车场通行与酒店整体美观。
4. 配电扩容低成本解决方案：通过储能系统平滑冲击负荷，降低交流配电容量需求，相比传统变压器扩容，成本更低、手续更简便，可分期建设，减少初始投资压力。

5.4.3 核心成效量化分析

（一）经济效益

收益来源分为核心收益与多元补充收益两类：参照行业平均服务费标准及设备利用率测算，核心的充电服务实现年均充电量约 360 万 KWh，对应年均服务费收入约 115 万元；多元收益补充方面，光伏发电替代外购电每年可节约电费约 44 万元，储能系统通过峰谷电价套利实现年均收益约 14 万元。

（二）环境效益

光伏系统年发电量约 95 万 KWh，所产生电力全部优先供给充电服务使用，按火电排放系数 0.86 kg/KWh 测算，每年可减少二氧化碳排放约 80 吨；储能系统通过峰谷电能调节，每年可降低电网高峰负荷压力约 70 万 KWh，有效平抑供电波动风险，同时依托峰谷电价差实现套利，为项目带来额外收益。

（三）服务效益

布局 140 个充电车位（8 个超充 + 132 个快充）、70 台充电设备，日均满足约 560 辆次充电需求，解决“充电难”问题；超充 + 快充组合适配多车型，优化补能体验，增强酒店服务竞争力；以绿色转型契合“双碳”战略，凸显品牌形象，提升商务接待吸引力。

5.4.4 绿色金融支持方面

酒店改造的绿色金融支持体现为“信贷 + 债券 + 保险”组合：一是通过某银行绿色金融中心申请能效关联定价贷款 1200 万元，贷款利息与项目年节电率挂钩，节能率每提升 1 个百分点，利率下浮 0.5 个基点；二是依托酒店绿色转型规划，发行 5000 万元绿色中期票据，募集资金专项用于光伏车棚与储能系统建设，融资成本较普通债券低 38 个基点；三是投保储能设备故障保险与充电收益损失保险，覆盖电网故障、设备维修等导致的收益中断风险，同时通过虚拟电厂需求响应获得金融机构提供的辅助服务收益分成。

5.5 案例五：某连锁酒店节能改造案例

5.5.1 项目背景与核心挑战

某全国性中端连锁酒店品牌，在全国 32 个城市布局 45 家门店，单门店建筑面积约 7000-9000 平方米，年均入住率维持在 78% 左右。受能源价格上涨及绿色消费趋势影响，酒店运营成本压力持续增大，45 家门店年均总耗电量达 2250 万度，空调、热水系统能耗占比超 75%，部分门店设备已运行 12 年以上，故障频发。

项目核心挑战如下：

（一）酒店集团核心诉求：改造后设备产权完全归属集团，避免垫资违规风险，同时保障运营不受影响。

（二）多门店协同改造：门店分布于南北方不同气候区域，建筑结构、用能特点差异大，需制定标准化改造方案并兼顾本地化适配；

（三）资金与合规平衡：集团希望控制初始资金投入，同时需符合《政府投资条例》，规避 F+EPC 模式的垫资合规风险；

（四）运营与改造冲突：酒店旺季（节假日、旅游旺季）无法停工，施工需避开客流高峰，且不能影响客人居住体验；

（五）产权与资产增值需求：集团重视资产完整性，要求节能设备从改造之初即计入资产负债表，实现资产增值。

5.5.2 改造方案：业主直投 + 产权保留型 EPC 模式

酒店集团与具备绿色建筑 EPC 资质的企业签订战略合作协议，采用“业主直投 + 总承包商融资支持 + 节能收益分期支付”模式，核心方案如下：

（一）核心合作机制

1. 投资主体：酒店集团为名义投资方，总承包商提供全额融资支持（含设备采购、施工、5 年运维资金），集团无需额外投入初始资金；
2. 产权归属：从项目启动之日起，所有节能设备（热泵、光伏组件、智能控制系统等）产权完全归属酒店集团，纳入集团资产负债表；
3. 支付方式：以改造后产生的节能收益为资金来源，按季度分期支付 EPC 合同费用，支付周期 8 年；若实际节能收益未达预期，可协商调整支付节奏，无需集团额外垫资。

（二）核心系统配置与技术参数（单门店标准方案）

表 5.5-1: 项目配置与技术参数清单

| 系统类别 | 核心设备 / 设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|---------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 热水系统 | 空气源热泵热水机组 + 保温储水箱 | 制热量 120 kW, COP \geq 4.2 | 替代传统电锅炉, 高效满足客房 24 小时热水需求, 显著降低运行成本 |
| 空调系统 | 变频多联机 + 房间智能温控器 | 能效等级 1 级, IPLV \geq 4.5 | 根据客房入住状态动态调节制冷/制热负荷, 避免空置房间能源浪费 |
| 可再生能源系统 | 分布式光伏组件 | 总装机容量 30 kW, 铺设于停车场雨棚 | 年发电量约 3.2 万 kWh, 优先供应用于公共区域照明及插座用电 |
| 智能管控系统 | 酒店能源管理平台 | 集成空调、热水、光伏等系统数据 | 实时监测能耗、远程故障告警, 并基于运营数据优化设备启停与运行策略 |

数据来源: 作者整理实际案例

(三) 投资概算明细 (单门店)

表 5.5-2: 投资概算明细

| 分部分项工程 | 具体内容 | 概算价格 (万元) | 占总投资比例 |
|--------|--------------------------|-----------|--------|
| 核心设备采购 | 空气源热泵、变频多联机、光伏组件、智能管控平台等 | 199 | 69% |
| 建安工程 | 设备拆除、安装施工、管线改造、光伏支架搭建 | 65 | 23% |
| 其他费用 | 能耗诊断、方案设计、审批备案、人员培训等 | 24 | 8% |
| 合计 | — | 288 | 100.0% |

数据来源：作者整理实际案例

5.5.3 核心成效量化分析

(一) 经济效益：单门店年均节电量约 22 万度，45 家门店年总节电量约 990 万度，年节约电费约 670 万元（按 0.68 元 / 度计算）；8 年支付期内，集团累计支付 EPC 合同费用约 1.3 亿元，支付完成后每年净节约电费 670 万元，投资回收期 7.5 年；节能设备总价值 1.3 亿元，全部计入集团资产负债表，实现资产增值。

(二) 环境效益：45 家门店年减少二氧化碳排放约 850 吨，25 年运营周期内累计减排二氧化碳 21300 吨，节约标准煤 7 万吨，集团绿色品牌形象显著提升。

(三) 服务效益：改造后客房温度控制精度提升，热水供应稳定性增强，客人满意度同比提高 12%；光伏车棚兼具充电、遮阳功能，新增新能源汽车充电服务，门店竞争力进一步提升。

5.5.4 绿色金融支持方面

绿色金融支持围绕规模化改造需求展开：总承包商通过“政银担”模式获得某银行 1.8 亿元绿色信贷，政府绿色产业基金提供 20% 风险补偿，贷款期限 8 年，与节能收益分期支付周期同步。同时，项目采用合同能源管理收益权质押作为补充增信，将 45 家门店的未来节能收益打包质押给银行。此外，银行针对连锁酒店资产特性，设计了“资产入账 + 分期还款”产品，节能设备产权计入酒店资产负债表后，可通过绿色资产证券化进一步盘活资金，降低综合融资成本。

5.6 案例六：某省级工业园区改造案例

5.6.1 项目背景与核心挑战

某省级工业园区规划面积 28 平方公里，入驻企业 86 家，涵盖电子制造、精密机械、新材料等行业，园区总建筑面积 45 万平方米，年均总耗电量近 2 亿度、耗水量 320 万立方米。园区既有能源系统存在设备老化、能效低下、管控分散等问题，多数企业独立用能、重复投资，能源利用效率低，且部分企业面临碳减排考核压力。园区管委会核心诉求是改造后能源设施产权完全归属园区，统一管理调度。此外，需要避免垫资违规风险，保障企业生产不受影响，并且实现园区整体节能降碳与资产增值。

项目核心挑战如下：

(一) 多企业协同改造：企业生产节奏、用能需求差异大，需制定标准化改造方案同时兼顾企业个性化适配，避免影响企业正常生产；

(二) 电网与负荷平衡：改造后集中光伏、储能系统总功率大，需通过科学规划避免对区域电网造成冲击，同时满足园区峰谷负荷波动需求；

(三) 产权与合规要求：园区作为政府平台下属机构，需符合《政府投资条例》，要求能

源设施产权清晰，避免产权纠纷；

（四）资金压力与回报预期：改造投资规模大，园区希望控制初始资金投入，通过节能收益分期支付，实现“以能养能”。

5.6.2 改造方案：业主直投 + 产权保留型 EPC 模式

园区管委会与具备绿色能源 EPC 资质的企业签订战略合作协议，采用“业主直投 + 总承包商融资支持 + 节能收益分期支付”模式，核心方案如下：

（一）核心合作机制

1. 投资主体：园区管委会为名义投资方，总承包商提供全额融资支持（含设备采购、施工、5 年运维资金），园区无需额外投入初始资金；
2. 产权归属：从项目启动之日起，集中光伏、储能、智能配电等所有能源设施产权完全归属园区管委会，纳入园区资产负债表；
3. 支付方式：以园区整体节能收益（含企业能源费用节约分成、光伏余电上网收益）为资金来源，按季度分期支付 EPC 合同费用，支付周期 10 年；若实际节能收益未达预期，可协商调整支付节奏，无需园区额外垫资。

（二）核心系统配置与技术参数

表 5.6-1: 项目配置与技术参数清单

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|--------|--------------------|--|-----------------------------------|
| 集中光伏系统 | 高效单晶硅组件 | 总装机容量约 2 MW，铺设于园区标准厂房屋顶及停车场雨棚，总面积近 2 万平方米 | 年发电量约 230 万 kWh，优先供给园区企业生产用电，余电上网 |
| 储能调峰系统 | 磷酸铁锂储能集成柜 | 总容量 800 kW / 1,600 kWh，含 8 个储能单元 | 削峰填谷、峰谷套利，平衡电网负荷，保障企业生产用电稳定 |
| 智能配电系统 | 10 kV 高压箱变 + 智能配电柜 | 含 6 套箱变、32 套配电柜，适配多企业并网点需求 | 实现能源统一调度与分项计量，精准核算各企业用能及节能收益 |
| 智慧管控系统 | 园区综合能源管理平台 | 集成光伏、储能、配电及企业用能数据，具备负荷预测、远程调控功能 | 实现“源-网-荷-储”协同优化调度，提升能源利用效率，降低运维成本 |
| 节水配套系统 | 中水回用装置 + 智能节水器具 | 中水处理能力 500 m ³ /天，更换节水器具 1.2 万套 | 年节约自来水约 80 万立方米，提升园区水资源循环利用效率 |

数据来源：作者整理实际案例

(三) 投资概算明细

表 5.6-2: 投资概算明细

| 分部分项工程 | 具体内容 | 概算价格 (万元) | 占总投资比例 |
|--------|--------------------------------|-----------|--------|
| 核心设备采购 | 光伏组件、储能集成柜、高压箱变、智慧管控平台、中水回用装置等 | 8,626 | 71% |
| 建安工程 | 设备安装、屋顶加固防水、线缆铺设、管道改造、基础施工 | 2,430 | 20% |
| 其他费用 | 能耗诊断、方案设计、并网审批、企业协调、人员培训等 | 1,094 | 9% |
| 合计 | — | 12,150 | 100.0% |

数据来源：作者整理实际案例

5.6.3 核心成效量化分析

(一) 经济效益：改造后园区年总耗电量降至约 1.5 亿度、耗水量降至约 242 万立方米，综合节能率近 18%、节水率近 25%；年节约能源与水资源费用合计近 2000 万元，其中园区获得分成收益约 1000 万元；10 年支付期内，园区累计支付 EPC 合同费用约 12200 万元，支付完成后每年净获收益约 1000 万元，投资回收期约 12 年；能源设施总价值 12200 万元，全部计入园区资产负债表，实现资产增值。

(二) 环境效益：年减少二氧化碳排放 3000 吨，25 年运营周期内累计减排二氧化碳 74200 吨、节约标准煤 10 万吨、节约自来水 2000 万立方米，助力园区获评“国家级绿色工业园区”。

(三) 服务效益：园区能源自给率提升至约 12%，企业平均用电成本降低 11%，生产用电稳定性提升，设备故障停机时间减少 70%；统一能源管理降低企业单独改造成本，园区招商引资竞争力显著增强，改造后年均新增入驻企业 6 家。

5.6.4 绿色金融支持方面

园区改造的绿色金融支持凸显规模化与多元化：一是获得地方政府发行的城市更新专项绿色债券资金 3 亿元，专项用于集中光伏、储能及智能配电系统建设，债券利率低于同期市场平均水平 0.6 个百分点；二是引入绿色产业基金牵头的 2 亿元股权投资，带动银行绿色信贷 7.2 亿元，形成“股债联动”融资结构；三是园区企业的用能节约分成与光伏余电上网收益，作为绿

色信贷的专项还款来源，同时投保绿色建筑性能保险，为能源设施 10 年运营期提供节能效果与设备安全保障，提升了金融机构的信贷信心。

5.7 案例七：海外某钢铁厂节能改造案例

5.7.1 项目背景与核心挑战

海外某钢铁企业作为当地工业园区核心制造企业，随着产能持续扩张，各产线用电需求大幅增长，现有电力供应已难以满足全额自用，需从园区外购电力，用电成本居高不下。同时，全球“双碳”浪潮下，欧盟 CBAM 碳关税政策正式落地，钢铁行业作为高碳排放领域，面临严峻的出口压力与环保考核挑战。

项目所在地光照资源极为丰富，年水平面辐射量达 1965kWh/m^2 ，且企业拥有大面积闲置厂房屋顶，具备分布式光伏建设的先天条件。为响应绿色低碳发展要求、降低用电成本、应对碳关税冲击，该钢铁企业联合专业新能源服务商启动“光伏 + 储能”一体化改造项目，实现新能源与钢铁产业的深度融合，成为工业领域绿色转型的标杆案例。

此次改造并非简单加装光伏组件，需兼顾工业生产的连续性、技术适配性与投资收益，核心挑战集中在四个方面：

（一）场地与生产协同难题：钢铁厂区建筑功能复杂，屋顶类型多样且部分存在破损锈蚀，需在不影响生产作业、不占用核心生产区域的前提下，合理规划光伏组件布局，同时解决屋顶加固与防水问题。

（二）电网接入与负荷平衡难题：项目装机容量大，若直接并网可能对园区电网造成冲击，且钢铁生产用电负荷波动大，需通过储能系统平滑光伏出力，保障电力供应稳定，避免影响生产连续性。

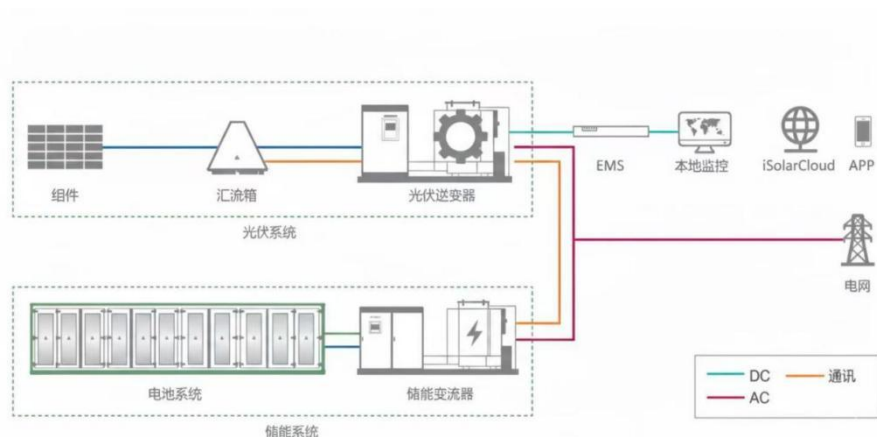
（三）技术适配与集成难题：项目涉及光伏发电、储能调节、高压并网、智能监控等多个子系统，需结合钢铁厂高负荷、连续运行的特性，实现各系统高效协同，同时应对东南亚当地气候条件对设备运行的影响。

（四）改造与运营协调难题：钢铁厂为连续生产型企业，施工期间需避开生产高峰，控制施工噪音、灰尘污染，避免影响产线正常运转，对施工周期、流程与安全管控提出极高要求。

5.7.2 改造方案：“光伏 + 储能”一站式协同设计

项目围绕“自发自用降成本、储能调峰稳电网、绿色低碳抗风险”三大核心目标，打造集光伏发电、储能调节、智能监控、高压并网于一体的综合能源解决方案，精准匹配钢铁企业生产场景需求。

图 5.7-1：“光伏+储能”方案原理示意图



（一）核心系统配置与技术参数

项目采用模块化设计，光伏与储能系统既独立运行又协同联动，核心设备配置与功能如下：

表 5.7-2：项目配置与技术参数清单

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|--------|---------------|--------------------------|-----------------------------|
| 光伏发电系统 | 高效单晶硅组件 | 单块 550Wp，总装机容量约 33MW | 利用厂房屋顶发电，优先供给生产产线，减少外购电 |
| | 组串式逆变器 | 适配屋顶分布式场景 | 多路 MPPT 跟踪，降低组件不匹配损失，提升发电效率 |
| 储能调节系统 | 储能电池预制舱 | 总容量 15MW/15MWh，含 5 个储能单元 | 平抑光伏出力波动，保障电网稳定，应对生产负荷变化 |
| 智能并网系统 | 10kV 高压箱变、并网柜 | 适配多个并网点接入需求 | 实现就近并网、就近消纳，符合电网接入标准 |
| 配套设施 | 光伏支架 + 屋顶加固 | 适配彩钢瓦屋顶类型 | 保障组件安装稳固，延长屋顶使用寿命 |

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|--------|---------------|---------------------|------------------------------|
| 智能监控平台 | 含本地监控与移动端管理功能 | 实时监测设备运行状态，智能调度能源分配 | 提供可视化运维界面，支持远程告警、数据分析与能源优化策略 |

数据来源：作者整理实际案例

（二）投资概算明细

项目总投资概算约 1.46 亿元，各部分投资分布如下：

表 5.7-3：投资概算明细

| 分部分项工程 | 具体内容 | 概算价格（万元） | 占总投资比例 |
|-----------|----------------------|---------------|---------------|
| 核心设备采购 | 光伏组件、逆变器、储能预制舱、并网柜等 | 8,906 | 61% |
| 建安工程 | 光伏电站安装、屋顶防水加固、设备基础施工 | 2,522 | 17% |
| 其他费用 | 可研设计、接入审批、运输管理等 | 2,253 | 16% |
| 预备费与建设期利息 | 含风险准备金、相关融资成本 | 819 | 6% |
| 合计 | — | 14,600 | 100.0% |

数据来源：作者整理实际案例

（三）关键技术创新与配合逻辑

1. 智能能源调度精准适配生产需求：搭建智能能源管理平台，光伏所发电量优先供给钢铁产线自用，多余电力存储至储能系统；当生产负荷高峰或光伏出力不足时，储能系统实时放电补能，确保生产用电连续稳定，最大化自用消纳比例。
2. 设备选型贴合工业场景：光伏组件选用高效单晶硅类型，转换效率达 19%-21%，适配东南亚高温高辐射环境；逆变器采用组串式设计，无需单独建设逆变箱房，减少场地占用，且

具备智能诊断功能，降低运维难度；储能系统采用预制舱式布局，集成消防、空调等辅助设施，安装便捷且安全可靠。

- 空间利用与生产需求兼顾：充分利用贮煤场、原料场、废钢堆场等 6 处厂房屋顶，总面积达 27.35 万平方米，不额外占用生产用地；光伏组件安装同时完成屋顶防水加固，既实现发电功能，又延长屋面使用寿命，降低企业运维成本。

5.7.3 核心成效量化分析

（一）经济效益

项目采用合同能源管理模式，运营期 25 年，前 15 年由投资方运营，后 10 年产权归属该钢铁企业。按 15 年运营周期测算，核心收益如下：

表 5.7-4：经济效益测算

| 收益类别 | 测算依据 | 年收益（万元） | 15 年总收益（万元） | 占总收益比例 |
|-----------|--|----------------|-----------------|---------------|
| 自用发电收益 | 年均发电量 0.535 亿 kWh，95% 自用，折扣电价 0.47 元/kWh | 2,383 | 35,745 | 99% |
| 余电上网收益 | 5% 余电上网，上网电价 0.25 元/kWh | 18.5 | 277.5 | 1% |
| 合计 | — | 2,338.5 | 36,022.5 | 100.0% |

数据来源：作者整理实际案例

项目总投资约 1.46 亿元，全投资回收期 8.3 年，内部收益率达 7.8%，15 年总收益超 3.6 亿元，同时每年为企业节约外购电费超 2300 万元，降本成效显著。

（二）环境效益

该项目通过清洁能源替代，环保效益显著。光伏首年发电量近 0.5 亿 kWh，15 年累计发电量超 7.3 亿 kWh。按火电每度电排放 0.86kg 二氧化碳计算，年均减排二氧化碳近 0.5 万吨；结合储能系统间接减碳效应，实际减排效益更突出。15 年运营周期内，累计节约标准煤近 24 万吨，减排二氧化碳超 73 万吨、烟尘 20 万吨、二氧化硫约 2 万吨、氮氧化物约 1 万吨，同时节约净水近 293 万吨，有效助力企业应对碳关税，践行绿色发展责任。

表 5.7-5: 发电及节能减排效益测算

| 序号 | 发电数据 | | | |
|----|---------------|--------|-------------------|-------|
| 1 | 首年发电量 (万 kWh) | 5075 | 15 年累计发电量 (万 kWh) | 73140 |
| 2 | 年均发电量 (万 kWh) | 4876 | | |
| | 年均节能数据 | | 累计节能数据 | |
| 1 | 节约标准煤 (t) | 15505 | 节约标准煤 (万吨) | 24 |
| 2 | 减排二氧化碳 (t) | 48613 | 减排二氧化碳 (万吨) | 73 |
| 3 | 减排烟尘 (t) | 13262 | 减排烟尘 (万吨) | 20 |
| 4 | 减排二氧化硫 (t) | 1463 | 减排二氧化硫 (万吨) | 2 |
| 5 | 减排氮氧化物 (t) | 731 | 减排氮氧化物 (万吨) | 1 |
| 6 | 节约纯净水 (t) | 195039 | 节约纯净水 (万吨) | 293 |

数据来源：作者整理实际案例

5.7.4 绿色金融支持方面

项目绿色金融支持结合跨境特性与工业场景：一是通过跨境绿色信贷获得某国内银行与当地银行联合授信 1.2 亿元，贷款条款与项目碳减排量挂钩，年减排二氧化碳每超目标 1 万吨，利率下浮 0.3 个基点；二是利用欧盟 CBAM 政策配套金融产品，将碳减排量转化为融资增信依据，获得基于碳资产的质押贷款 3000 万元；三是投保收益损失保险与跨境设备运输保险，覆盖生产中断、设备运输损坏等风险，同时绿色产业基金提供 10% 的投资补贴，用于适配当地气候的设备技术升级。

5.8 案例八：某钢铁公司分布式光伏一体化改造案例

5.8.1 项目背景与核心挑战

该公司作为国内大型钢铁制造企业，生产规模庞大，年用电量需求极高，长期依赖传统电网供电，用电成本居高不下。同时，在国家“3060 双碳”战略引领下，钢铁行业作为高耗能、高排放领域，面临严格的环保考核与碳减排压力。

项目所在地具备良好的光照资源，且企业拥有主厂区、电炉院、焦化院等多个区域的大面积闲置屋顶、地面空地及水面资源，具备分布式光伏建设的充足条件。为响应绿色低碳发展要求、

降低用电成本、提升能源自给率，天津钢铁联合专业新能源服务商启动三期分布式光伏项目，创新采用“屋顶 + 地面 + 水面”多场景布局，成为钢铁行业分布式能源改造的典型案列。

此次改造覆盖场景多样、规模庞大，需兼顾生产连续性与项目可行性，核心挑战集中在四个方面：

（一）场地布局复杂难题：项目涉及 39 个主厂区单体、19 个电炉院单体、22 个焦化院单体，可利用空间包括屋顶、地面、水面等多种类型，部分屋面面积小、分布分散，且存在遮挡严重、彩钢瓦锈蚀等问题，合理规划布局难度大。

（二）并网与负荷适配难题：项目装机容量大，需采用 10KV 高压并网模式，多个并网点规划需适配园区现有配电系统，同时钢铁生产用电负荷波动大，需确保光伏供电与生产需求稳定匹配，避免影响产线运行。

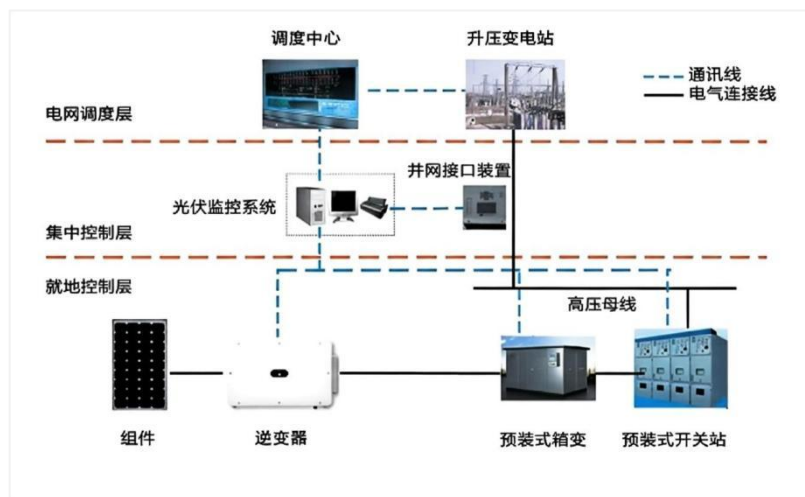
（三）技术适配多元难题：不同场景（水泥屋顶、彩钢瓦屋顶、地面、水面）对光伏安装工艺、固定方式要求不同，部分屋面需规避通风口、采光带等设施，需针对性设计技术方案，确保安装不破坏原有设施功能。

（四）施工与运营协同难题：钢铁厂为连续生产型企业，施工需避开生产高峰，控制噪音、粉尘污染，同时需应对多区域、多类型场景的施工协调，保障施工安全与效率，避免影响企业正常运营。

5.8.2 改造方案

项目围绕“全域利用提效率、自发自用降成本、绿色低碳达标准”三大核心目标，打造集屋顶光伏、地面光伏、水面光伏于一体的综合能源解决方案，精准适配钢铁企业多元场景需求。

图 5.8-1：改造方案原理示意图



（一）核心系统配置与技术参数

项目采用分区域、分场景模块化设计，各系统独立运行且并网协同，核心设备配置与功能如下：

表 5.8-2：项目配置与技术参数清单

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|--------|---------------------|---|-----------------------------------|
| 光伏发电系统 | 高效单晶硅组件（常规 + 柔性） | 总装机容量 51.4MW （主厂区 10.52MW、电炉院 21.44MW、焦化院 19.44MW） | 多场景发电，优先供给生产产线，实现“自发自用，余电不上网” |
| | 组串式逆变器 | 适配不同场景安装需求 | 提升发电效率，降低组件不匹配损失，适应负荷波动 |
| 安装系统 | 铝合金夹具 + 锌铝镁支架 + 钢支架 | 适配彩钢瓦屋顶、水泥屋顶、地面、水面等场景 | 确保不同场景下安装稳固，不破坏原有设施 |
| 配套设施 | 光伏车棚、浮体装置 | 车棚架高 2.5-3 米；水面采用浮导式设计 | 拓展空间利用，兼具停车、护顶、防水等附加功能 |
| 智能监控系统 | 集中监控平台 + 就地控制终端 | 含发电量监测、设备诊断、运维调度功能 | 实时监控系统运行状态，优化能源调度策略，提升运维效率，降低运维成本 |

数据来源：作者整理实际案例

（二）关键技术创新与配合逻辑

1. 多场景精准适配设计：针对不同场景定制专属技术方案 —— 彩钢瓦屋顶采用平铺安装 + 轻质夹具固定，避免打孔焊接；水泥屋顶采用混凝土配重 + 导轨安装，保护原有防水层；地面采用 4 米棚架 + 平铺设计；水面采用浮导式光伏装置，实现全域空间高效利用。
2. 灵活并网与负荷匹配：规划多回 10KV 线路并网，就近接入园区配电室，精准适配生产负荷波动；通过智能监控系统实时调整供电分配，确保光伏电力优先满足生产需求，最大化提升自用消纳比例。
3. 功能集成提升附加值：光伏车棚兼顾发电与停车功能，预留新能源汽车充电接口；屋顶光伏组件兼具隔热降温、延缓屋面老化作用，减少企业屋顶维护成本与厂房空调能耗，实现“发电 + 护顶 + 节能”多重价值叠加。

5.8.3 核心成效量化分析

（一）经济效益

项目采用合同能源管理（EMC）模式，运营期 25 年，由投资方负责投资、建设与运维服务。年均发电量约 5025 万 kWh，全额满足企业生产自用，每年可为企业节约外购电费超 2200 万元，长期收益稳定。

（二）环境效益

年减排二氧化碳超过 125 万吨；25 年运营周期内，累计节约标准煤约 40 万吨，减排二氧化碳 125 万吨、烟尘 34 万吨、二氧化硫 3.8 万吨、氮氧化物 1.9 万吨，助力企业顺利完成环保考核与碳减排目标。

（三）服务效益

服务效益方面成效显著。项目年发电量可满足企业约 15% 的用电需求，显著提升能源自给率，降低对外部电网的依赖，缓解用电紧张压力，保障产线连续稳定运行；光伏组件覆盖不仅减少屋顶维护费用，其隔热功能还能降低厂房空调能耗，实现运营成本持续优化。

5.8.4 绿色金融支持方面

绿色金融支持聚焦工业 EMC 模式适配：ESCO 通过某行业协会备案，获得某银行专项 EMC 项目贷款 4.2 亿元，贷款以企业未来 25 年的用电节约费用为还款来源，采用“按季付息、按年还本”方式减轻企业现金流压力。同时，项目纳入国家级绿色产业基金支持范围，获得 6000 万元股权投资，用于多场景光伏组件采购与安装。此外，投保的设备故障保险与节能收益损失保险，覆盖组件衰减、并网故障等风险，且银行通过智慧能源管理平台实时监测能耗数据，实现信贷风险动态管控。

5.9 案例九：某产业园区节能改造案例

5.9.1 项目背景与核心挑战

某产业园作为区域内重点电商产业载体，聚集大量企业及物流配套，日常有大量货运车辆、环卫车辆及社会小型汽车往来，充电需求旺盛。同时，园区办公楼、停车场存在能源利用效率不高的问题，原有能源系统难以满足绿色低碳运营需求。在国家“双碳”战略及地方新能源政策支持下，园区依托既有建筑屋顶与停车场空间，启动“光储充换”一体化节能改造项目，打造集绿色发电、智能充电、储能调峰、快速换电于一体的综合能源服务场景，成为既有园区节能转型的典型范例。

此次改造需兼顾园区运营连续性、空间利用效率与多系统协同性，核心挑战集中在四个方面：

（一）空间整合难题：园区既有屋顶与停车场空间有限，需同时集成光伏、储能、充电、换电四类系统，需合理规划布局，避免占用核心生产经营区域，保障场地通行与运营秩序。

（二）电网负荷平衡难题：项目充电、换电设备总功率大，集中接入电网易造成高峰负荷

冲击，需通过储能系统削峰填谷，降低对电网的依赖，确保园区自身办公用电与新能源服务互不干扰。

(三) 多系统协同难题：项目涉及光伏、储能、充电、换电四大核心系统，各系统技术标准与运行逻辑不同，需实现能源智能调度，保障光伏优先消纳、储能灵活充放，同时适配不同车型的充电与换电需求。

(四) 改造与运营协同难题：园区为持续运营的产业载体，施工需避开企业办公与物流运输高峰，控制噪音、粉尘污染，减少对园区正常运营的影响，对施工流程与安全管控提出严格要求。

5.9.2 改造方案

项目围绕“绿色发电自给、能源高效调度、补能服务多元、运营收益可持续”四大核心目标，打造集光伏发电、储能调节、智能充电、快速换电于一体的综合能源解决方案，精准适配既有园区场景需求。

(一) 核心系统配置与技术参数

项目采用模块化设计，各系统独立运行且协同联动，核心设备配置与功能如下：

表 5.9-1：项目配置与技术参数清单

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|--------|-----------------|---|------------------------------------|
| 光伏发电系统 | 580Wp 高效单晶硅组件 | 总装机容量 1,474kW，共 2,542 块（含办公楼屋顶与停车雨棚），20° 倾角固定安装 | 优先为充电、换电及储能系统供电，余电通过低压侧并网，实现绿色能源自给 |
| | 200 kW 并网逆变器 | 4 台 | 将光伏直流电转换为交流电，保障电力稳定输出 |
| 储能系统 | 215 kW 工商业储能集成柜 | 8 台，总功率 1,720 kW，总容量 1,720 kWh（即 1C 充放） | 削峰填谷、峰谷套利，平衡电网负荷，提供应急备用供电 |
| 智能充电系统 | 600 kW 直流超级充电桩 | 2 台，支持柔性充电 | 满足大型电动车辆（如重卡、大巴）快速补能需求 |

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|--------------|--------------------|--------------------------------|---|
| | 240 kW 直流快充桩 | 4 台, 支持柔性充电 | 适配中型车辆 (如物流车、中巴) 充电需求 |
| | 120 kW 直流快充桩 | 20 台, 支持柔性充电 | 满足小型乘用车日常充电需求 |
| 换电系统 | 乘用车换电站 (单通道 / 双通道) | 预留模块化安装空间, 支持底盘式换电, 换电时间约 3 分钟 | 适配家用车、出租车、网约车等高频运营车辆的快速补能需求 |
| 配套设施 | 1,250 kVA 箱式变压器 | 2 套 | 保障光伏、储能、充电、换电等各子系统电力稳定转换与传输 |
| 能源管理系统 (EMS) | 含远程监控、智能调度、故障告警功能 | 集成光伏发电、储能状态、充电桩运行、换电站工况等多源数据 | 实现“光-储-充-换”一体化协同调度, 优化能源利用效率, 提升系统可靠性与智能化运维水平 |

数据来源：作者整理实际案例

(二) 投资概算明细

项目总投资概算约为 702 万元，各部分投资分布如下表所示。

表 5.9-2：项目投资概算明细表

| 序号 | 类别 | 内容说明 | 金额 (元) |
|----|------|----------------------------------|-----------|
| 1 | 光伏系统 | 包含组件、逆变器、支架、电缆、桥架、并网箱、接地等全部设备与安装 | 2,484,200 |
| 2 | 储能系统 | 含电池组、PCS、BMS、安装调试、配套电力接入、前期咨询等 | 1,720,000 |

| 序号 | 类别 | 内容说明 | 金额（元） |
|----|------|--------------------------|-----------|
| 3 | 充电设施 | 含超充堆、直流充电桩、变压器、高低压施工、电缆等 | 2,815,800 |
| 合计 | | 7,020,000 | |

数据来源：作者整理实际案例

（三）关键技术创新与配合逻辑

1.多能智能协同调度：通过 EMS 能源管理系统，构建“光伏优先、储能补峰、电网兜底”的运行模式。光伏电力优先供给充电、换电系统，剩余电量储存至储能设备；电网低谷时段储能充电，高峰时段放电供能，通过峰谷套利降低能源成本；支持低压侧并网与离网切换，提升供电可靠性。

2.补能服务多元适配：配置“超充 + 快充 + 换电”全场景补能终端，超充桩满足大型物流车快速补能，快充桩覆盖中小型车辆日常需求，换电站适配高频补能场景，全方位满足园区及周边车辆补能需求。

3.空间高效集成利用：光伏系统整合办公楼屋顶与停车雨棚空间，实现“发电 + 遮阳防雨 + 停车”多功能复用；储能、充电、换电设备集中布局于停车场专用区域，优化空间利用效率，不占用园区核心经营空间。

4.节能与收益双赢设计：通过光伏发自自用替代外购电，储能削峰填谷降低电费支出，同时依托广东省新能源政策支持，获取节能减排补助，形成“节能 + 收益”双重价值。

5.9.3 核心成效量化分析

（一）经济效益

光伏收益按峰平综合电价 1.2 元 /kWh 测算，年均收益 170 万元；储能系统依托峰谷电价套利，实现年均收益超过 60 万元；充电服务按年均放电量约 940 万 kWh、服务费 0.45 元 /kWh 测算，年均服务费收益超过 420 万元；叠加新能源政策补助及园区自身用电成本降低的多元补充收益，项目动态回报周期约 1.9 年，静态回报周期约 1.8 年，盈利空间充足。

（二）环境效益

项目节能减碳成效突出，光伏系统年发电量达约 140 万 kWh，25 年总发电量累计约 3600 万 kWh，所发电力全部优先用于园区补能服务与办公用电，每年可减少外购电超过 140 万 kWh；在 25 年运营周期内，累计节约标准煤 11000 吨，减排二氧化碳 29200 吨、硫氧化物 220 吨、氮氧化物 75 吨。

（三）服务效益

布局 44 个专用充电车位、26 台充电设备并预留换电模块，可满足日均约 940 辆次车辆

补能需求，彻底破解园区及周边“充电难”问题；提供超充、快充、换电多模式补能选择，兼具充电效率高、换电时间短的优势，适配物流车、家用车等多车型使用场景，大幅提升园区配套服务竞争力。

5.9.4 绿色金融支持方面

园区“光储充换”项目的绿色金融支持突出场景集成：一是获得某银行绿色信贷 5000 万元，采用能效关联定价机制，因项目综合节能率达 47% 享受 20% 的额度上浮；二是对接广东省节能减排补助资金，获得 800 万元专项补贴，资金来源于地方政府绿色债券募集资金；三是通过绿色保险构建风险防护网，投保储能设备故障保险、充电服务责任保险及节能量保证保险，同时金融机构为项目设计“峰谷套利 + 需求响应”金融产品，将储能收益纳入贷款还款来源，缩短投资回报周期。

5.10 案例十：某产业园区综合能源微电网节能改造案例

5.10.1 项目背景与核心挑战

杭州市某产业园区作为区域重点产业载体，园区内既有建筑（厂房、办公楼）及停车场存在能源利用效率不足的问题，随着入驻企业规模扩大，用电需求持续增长，峰谷负荷差距明显，且园区内车辆往来频繁，充电配套亟待完善。为响应国家“双碳”战略及浙江省工商业峰谷电价政策，园区依托既有建筑屋顶与闲置场地，启动“光储充 + 智慧管控”一体化节能改造项目，打造集绿色发电、储能调峰、智能充电、智慧调度于一体的综合能源系统，成为既有产业园区节能转型的典型范例。

此次改造需兼顾园区持续运营、空间高效利用与多系统协同稳定，核心挑战集中在四个方面：

（一）空间整合难题：园区既有建筑屋顶与场地资源有限，需同步集成光伏、储能、充电桩及智慧管控平台，需合理规划布局，避免占用核心生产经营区域，保障场地通行与运营秩序。

（二）电网负荷平衡难题：改造后充电、储能系统总功率大，集中接入电网易造成高峰负荷冲击，需通过储能削峰填谷，降低对电网的依赖，确保园区办公、生产用电与新能源服务互不干扰。

（三）多系统协同难题：项目涉及光伏、储能、充电、智慧管控四大核心系统，各系统技术标准与运行逻辑不同，需实现能源智能调度，保障光伏优先消纳、储能灵活充放，同时适配不同车辆的充电需求。

（四）改造与运营协同难题：园区为持续运营的产业载体，施工需避开企业办公与生产高峰，控制噪音、粉尘污染，减少对园区正常运营的影响，对施工流程与安全管控提出严格要求。

5.10.2 改造方案

项目围绕“绿色自给、高效调度、补能便捷、运营可持续”四大核心目标，打造集光伏发电、储能调节、智能充电、智慧管控于一体的综合能源解决方案，精准适配既有产业园区场景需

求。

(一) 核心系统配置与技术参数

项目采用模块化设计，各系统独立运行且协同联动，核心设备配置与功能如下：

表 5.10-1：项目配置与技术参数清单

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|--------|--------------------|--|---------------------------------------|
| 光伏发电系统 | 580Wp 高效单晶硅组件 | 总装机容量 3.6MWp，共 6,000 块；覆盖园区既有建筑屋顶（彩钢瓦 + 混凝土），总面积 31,322 m ² ，20° 固定倾角安装 | 优先为充电、储能及园区负荷供电，余电上网，实现绿色能源自给 |
| | 100kW 组串式逆变器 | 共 36 台，集成多路 MPPT | 提高光伏利用效率，支持功率调控与远程监控 |
| 储能系统 | 磷酸铁锂储能集成柜 | 总容量 500kW / 1,070kWh，含 4 簇电池簇（每簇 300 个电芯） | 削峰填谷、峰谷套利；电网故障时作为备用电源，保障重要负荷持续供电 |
| | 250kW 储能双向逆变器（PCS） | 共 2 台，支持并网/离网无缝切换 | 实现交直流双向能量转换，配合 BMS 保障系统安全稳定运行 |
| 智能充电系统 | 60kW 直流快充桩 | 共 60 套，覆盖 60 个充电车位 | 满足大巴、物流车等大型车辆快速补能需求 |
| | 7kW 交流慢充桩 | 共 108 套，覆盖 108 个充电车位 | 满足私家车、小型车辆日常夜间或长时间停放充电需求 |
| 智慧管控系统 | 智慧能源管控平台 | 1 套，集成数据采集、协同控制、能效分析、告警管理等功能 | 实现“源-网-荷-储”一体化协同调度，实时监控、优化各子系统运行状态与能效 |
| 配套设施 | 1250kVA 箱式变 | 按系统扩容后容量配置 | 保障光伏、储能、充电等系统 |

| 系统类别 | 核心设备/设施 | 规格参数 | 核心功能 |
|------|-----------|-------------------------------|-------------------------|
| 施 | 压器 | | 电力稳定接入与高效传输 |
| | 防雷接地与消防系统 | 含气溶胶自动灭火装置、烟雾/温度传感器、SPD 防雷模块等 | 全方位保障电气与储能系统安全，满足消防规范要求 |

数据来源：作者整理实际案例

(二) 投资概算明细

项目总投资概算 1880 万元，各部分投资分布如下：

表 5.10-2：投资概算明细表

| 分部分项工程 | 具体内容 | 概算价格 (万元) | 占总投资比例 |
|-----------|---|--------------|----------------|
| 光伏系统 | 高效单晶硅组件、组串式逆变器、支架、线缆、桥架、防雷接地及安装施工 | 1,147 | 61% |
| 储能系统 | 磷酸铁锂储能集成柜、双向逆变器 (PCS)、BMS 电池管理系统、消防及安装调试 | 150 | 8% |
| 充电桩系统 | 60kW 直流快充桩 (60 套)、7kW 交流慢充桩 (108 套)、电缆及安装施工 | 473 | 25% |
| 智慧管控平台 | 智慧能源管控平台软硬件、数据采集终端、调试及运维服务 | 110 | 6% |
| 合计 | — | 1,880 | 100.00% |

数据来源：作者整理实际案例

(三) 关键技术创新与配合逻辑

1. 多能智能协同调度：采用“自发自用，余电上网”运行模式，光伏电力优先供给园区负荷与充电系统，剩余电量存储至储能设备；储能系统在电网低谷时段充电，高峰 / 尖峰时段放电，利用浙江省峰谷电价差套利，每日执行两充两放策略，最大化收益。
2. 备用电源保障：储能系统配置并离网无缝切换装置（STS），电网故障或限电时，自动切换至离网模式，为园区重要负荷供电，提升供电可靠性。
3. 空间高效复用：光伏系统整合既有建筑屋顶（彩钢瓦屋顶平铺、混凝土屋顶架高布置），充电与储能系统布置于园区地面空余场地或绿化带，不额外占用核心经营空间，实现“一空间多用途”。
4. 智慧精准管控：通过智慧能源管控平台，实时采集光伏、储能、充电桩及园区负荷数据，实现光伏发电预测、负荷预测与动态调度，减少运维工作量，提升能源利用效率。

图 5.10-3：项目能源体系结构图



5.10.3 核心成效量化分析

(一) 经济效益

项目具备多元化的盈利模式和良好的经济回报能力。经测算，光伏系统年均收入约 200 万元，储能系统年均贡献超过 36 万元，充电桩系统年均收入达 135 万元。整体项目全投资内部收益率（IRR）为 12%，静态投资回收期约 7 年，盈利空间充足，现金流稳健，具备长期可持续的运营价值。

(二) 环境效益

项目年均可实现光伏发电 330 万 kWh，25 年生命周期总发电量达 8,170 万 kWh，所发电量优先供园区自用，每年可减少外购电量约 330 万 kWh。按标准煤当量折算，年节约标煤超过 1,000 吨，减少二氧化碳排放 3,260 吨，同时节约纯净水约 13,000 吨。项目的实施大幅提升了



园区清洁能源使用比例，有力支撑“双碳”目标落地。

（三）服务效益

项目新建 168 个充电车位，配置 168 台充电设备（含 60kW 直流快充与 7kW 交流慢充），可满足日均约 1,920 辆次的车辆补能需求，有效缓解园区及周边区域“充电难”问题。同时，作为既有产业园区绿色低碳改造的示范工程，项目高度契合国家“双碳”战略导向，显著提升园区的现代化、智能化与绿色化形象，增强对优质企业的吸引力和综合竞争力。

5.10.4 绿色金融支持方面

绿色金融支持围绕“光储充 + 智慧管控”一体化设计：一是获得某银行 1.5 亿元绿色信贷，贷款期限 10 年，利率按该省工商业峰谷电价差动态调整，低谷时段还款压力降低 30%；二是引入绿色产业基金 3000 万元引导资金，带动社会资本 8820 万元，形成“政投银”协同融资模式；三是投保绿色建筑性能保险，为光伏、储能、充电系统提供 10 年节能效果保证，同时项目未来的节能收益与碳减排量可通过资产证券化实现资本退出，进一步拓宽了后续融资渠道。



第六章

结论

六、结语

在全球“双碳”战略与我国城市更新行动的双重驱动下，既有建筑可持续改造已成为建筑行业绿色转型、破解资源环境约束的关键路径。我国庞大的建筑存量为改造提供了广阔空间，而政策红利的持续释放，进一步为行业发展奠定了良好制度基础，但资金缺口大、商业模式不清晰、技术集成难度高、政策市场环境不完善等系统性挑战，仍制约着行业规模化推进。

既有建筑改造的技术路径已初步形成体系：可再生能源替代从源头降低碳排放，用能系统优化精准削减终端能耗，建筑本体节能筑牢能耗控制基底，智慧能源管控实现全流程效率提升。这四大技术方向的组合应用，需紧密贴合建筑类型、气候条件与场景需求，才能最大化节能效果与综合价值。从经济效益来看，改造并非单一维度的节能收益，而是涵盖直接经济回报、间接资产增值与环境社会效益的综合价值体系，不同技术路径与建筑类型的效益差异显著，通过优化技术组合、控制投资成本、强化运营管理，可有效提升项目盈利性与可持续性。

商业模式与金融工具的创新适配，是破解行业发展瓶颈的核心支撑。EMC、EPC+O 等多元商业模式，可满足不同产权性质、运营目标的项目需求；而覆盖“融资 - 增信 - 退出”全周期的金融工具，从绿色贷款、转型债券到绿色产业基金、REITs，形成了多层次资金支持体系，通过“模式 + 工具”的组合创新，能够有效缓解资金压力、分散项目风险，推动改造项目从政策驱动向市场驱动转型。中外典型案例的实践表明，改造项目的成功落地，关键在于技术方案的场景化适配、施工组织的精细化管理、收益模式的多元化构建，以及金融支持的精准化赋能，这些经验为行业规模化复制提供了重要借鉴。

展望未来，既有建筑可持续改造行业需进一步完善政策与市场环境，建立全国统一的技术规范与评价体系，简化审批流程，强化市场化激励机制；技术层面需推动关键技术迭代与集成创新，降低核心设备成本，提升技术适配性与可靠性；金融领域需持续丰富产品与服务，优化“投融资管退”全链条协同，吸引更多社会资本参与。随着技术、模式、金融的深度融合，既有建筑改造将逐步实现规模化、市场化推进，不仅为建筑领域碳减排目标的实现提供坚实支撑，更将助力城市功能品质提升与可持续发展，为我国“双碳”战略落地与城市更新高质量推进注入强劲动力。



【参考文献】

1. 中华人民共和国住房和城乡建设部. 第一次全国自然灾害综合风险普查公报 [R]. 北京, 2024.
2. 中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专业委员会, 重庆大学城乡建设发展与研究院. 中国城乡建设领域碳排放研究报告 (2024 年版) [R]. 重庆, 2024.
3. 中华人民共和国住房和城乡建设部. “十四五” 建筑节能与绿色建筑发展规划 [R]. 建标〔2022〕24号. 2022.
4. 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于持续推进城市更新行动的意见 [R]. 2025.
5. 中华人民共和国住房和城乡建设部 (办公厅). 实施城市更新行动可复制经验做法清单 (第一至四批) [R]. 2022-2025.
6. 中华人民共和国国务院办公厅. 国务院办公厅关于转发国家发展改革委、住房城乡建设部《加快推动建筑领域节能降碳工作方案》的通知 [R]. 国办函〔2024〕20号. 北京, 2024-03-12.
7. 秦虹, 苏鑫. 城市更新的目标及关键路径 [M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2020.
8. 杨帆, 郭汉丁. 既有住区绿色改造项目政府与业主决策协同机制理论研究综述 [J]. 项目管理技术, 2024, 22(11): 54-60.
9. 尹利君, 郭思佳, 赵宇. 城市更新的回报机制及产出效益分析 [J]. 科技促进发展, 2023, 19(11): 700-709.
10. 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2023. 《城乡历史文化保护利用项目规范》GB 55035-2023. 北京: 中国建筑出版传媒有限公司
11. SANTAK. 数据中心供电系统“0”秒切换解决方案 [EB/OL]. 山特电子(深圳)有限公司, 2022-08-18[2026-01-18]. <https://www.santak.com.cn/news/68c0e903e4b01989ad13aa11>
12. 蔡伟光. 完善建筑领域碳排放核算体系 助力城乡建设绿色低碳发展 [EB/OL]. 北京: 中国建设报, 2021-11-22. <https://ccstc.cscec.com/xwzx66/hydt66/202111/3433722.html>.
13. 罗崇佳, 段茂盛. 中小企业环境信息披露: 现状、难点及对策 [J]. 能源经济评论, 2025(3): 178-198.
14. Li S L, Zheng X Z, Zeng Q. Can green finance drive the development of the green building industry?—Based on the evolutionary game theory[J]. Sustainability, 2023, 15(17): 13134. DOI:10.3390/su151713134.
15. 北京市人民政府. 北京市城市更新专项规划 (北京市“十四五”时期城市更新规划) [R/OL]. 北京市人民政府公报, 2022-01(期号): 1-85[2026-01-18]. https://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefaGui/202205/t20220518_2715630.html
16. 刘玉军, 徐力. 绿色低碳城市更新技术指南 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2024.
17. 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑光伏系统应用技术标准: GB/T 51368-2019 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
19. 中华人民共和国住房和城乡建设部. 民用建筑太阳能热水系统应用技术标准: GB 50364-2018 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.



20. 中华人民共和国住房和城乡建设部. 太阳能供热采暖工程技术标准: GB 50495-2018 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
22. 许崇伟. 分散式风电发展技术分析 [J]. 生态环境与保护, 2019, 2 (7): 48-49.
DOI:10.32629/eep.v2i7.352.
23. 全国风力机械标准化技术委员会. GB/T 18451.1-2022 风力发电机组 设计要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
24. 全国风力机械标准化技术委员会. GB/T 41512-2022 分散式风力发电机组 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
25. 全国电力系统管理及其信息交换标准化技术委员会. NB/T 31003.3-2022 风电场接入电力系统设计技术规范 第 3 部分: 分散式风电 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2022.
27. 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家市场监督管理总局. 建筑节能与可再生能源利用通用规范: GB 55015-2021 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
29. 中国建筑科学研究院. 建筑照明设计标准: GB 50034-2013 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
30. 刘大君, 韩颖, 刘运清, 等. 绿色建筑智能化技术 (第 2 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2024. ISBN: 9787302656500.
31. 方超, 张家振. 行业龙头竞逐“老龄化”电梯更新市场 [J/OL]. 中国经营报, 2023. [2024 - 01 - 20].
<https://finance.sina.com.cn/chanjing/2023 - 07 - 25/doc - iymnqzqy8367763.shtml>.
32. 深圳市合兴加能科技有限公司. 电梯节能实用性综合分析报告[EB/OL]. (2025-08-08)[2026-01-20].
http://www.ipc88.com/NewsStd_927.html.
33. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 10058-2023 电梯技术条件 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
34. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 32271-2015 电梯能量回馈装置 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
35. 王龙腾. 浅谈永磁同步无齿轮电梯之原理及特点 [J]. 福建农机, 2007 (3):62-63.
37. 河南锦轩电梯有限公司. 国家节能中心推广新密电梯能量回收案例[EB/OL]. (2025-11-05)[2026-01-26]. 河南锦轩电梯有限公司官方网站.
<https://xinmidianti.com/content/17968.html>
38. 中瑞零碳建筑项目瑞方实施团队 intep-Skat. 报告发布: 《智能化高能效电梯》[EB/OL]. 绿色建筑研习社, 2025-03-20[2026-01-26]. <https://www.gba.org.cn/h-nd-3212.html>.
39. 王晓楠. 建筑节能改造项目中的碳减排潜力与实施路径 [J]. 建筑技术与创新, 2025, 2(1): 92-94.
DOI: 10.69979/3029-2727.25.01.029
40. 中国建筑科学研究院有限公司. 建筑节能工程施工质量验收标准: GB 50411-2019 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
41. 张丽丽. 绿色建筑设计 [M]. 重庆大学出版社, 2021.



42. 中华人民共和国住房和城乡建设部. 既有建筑维护与改造通用规范: GB 55022-2021[S]. 2021.
43. 北京市住房和城乡建设委员会. 北京市居住小区类历史建筑修缮技术导则(试行)[S]. 北京: 北京市住房和城乡建设委员会, 2025.
48. 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 公共建筑节能设计标准: GB 50189—2015 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
49. 河北省住房和城乡建设厅. 被动式超低能耗居住建筑节能设计标准: DB13 (J)/T8359-2020 (2021 年版) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
50. 中国建筑科学研究院有限公司, 河北省建筑科学研究院. 近零能耗建筑技术标准: GB/T 51350-2019 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
51. 刘立锋. 被动式建筑设计与技术研究[J]. 工程研究与实用, 2025, 6(6): 67-70.
52. Patriquin Architects. How to use Passive House principles successfully in historic buildings [EB/OL]. [2026-01-26].
<https://www.patriquinarchitects.com/how-to-use-passive-house-principles-successfully-in-historic-buildings/>.
53. 龙泉驿区融媒体中心. 建筑综合节能率 75%以上, 全区首个超低能耗公共建筑揭秘 [EB/OL]. (2025-06-27) [2026-01-20]. https://cdslqyq.sczfw.gov.cn/art/2025/6/27/art_21524_289685.html
54. 绿色建筑集成网. 万科打造华东首个零能耗建筑[EB/OL]. 绿色建筑集成网, 2022-06-09[2024-01-26]. <https://www.gbwindows.net/news/1921.html>
55. 张露兮. 绿色低碳节能建筑中自然通风与机械通风协同控制策略对室内热舒适及能耗影响研究[J]. 工程技术, 2025, DOI:10.61369/ETQM.2025110042.
57. 国家发展改革委, 住房和城乡建设部. 加快推动建筑领域节能降碳工作方案 [R]. 2024.
58. 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 能源管理体系 要求及使用指南: GB/T 23331-2020/ISO 50001:2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
59. 曹俊康. 智能建筑能源管理系统设计与实现 [J]. 建筑工程进展, 2025, 5(2): 99-102. DOI: 10.12208/j.ace.202500070
61. Shaier AA, Elymany M M, Enany M A, et al. Multi-objective optimization and algorithmic evaluation for EMS in a HRES integrating PV, wind, and backup storage[J]. Scientific Reports, 2025, 15: 1147.
62. Amanda McGrath, Alice Gomstyn. What is a microgrid? [EB/OL]. IBM Think. 2025.
<https://www.ibm.com/think/microgrid>.
63. 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 42731-2023 微电网技术要求 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
64. 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 36274-2018 微电网能量管理系统技术规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
65. 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 中华人民共和国国家能源局. 推进并网型微电网建设试行



办法[EB/OL]. 2017-07-10

66. 何瑞东, 周文, 路艳巧, 等. 离网型微电网优化运行策略研究 [J]. 电气传动, 2021, 51 (12): 59-65.

DOI:10.19457/j.1001-2095.dqcd21309

67. 中国电源学会. 中国电源行业年鉴 2024 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2024.

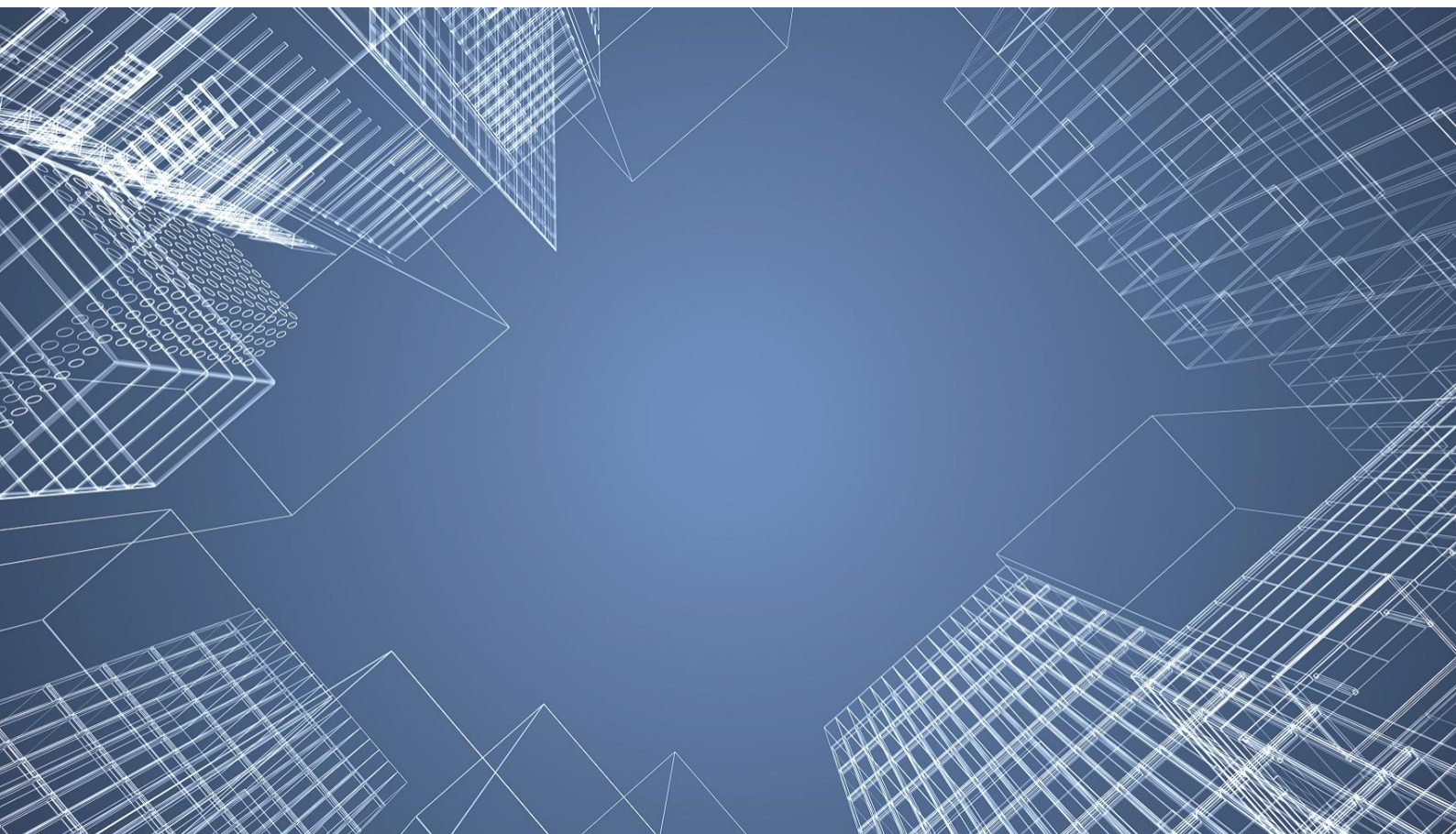
68. 康靖, 李婉溢. 中国光储直柔工程应用案例调研: Surveys of China's PEDF Building Engineering Application [R]. 深圳市建筑科学研究院股份有限公司, 2023.

69. 深圳市建筑科学研究院股份有限公司. 建筑光储直柔工程技术规程: SJG 194-2025 [S]. 深圳: 深圳市住房和建设局, 2025.

71. 环球投资阶梯. 项目案例 | 绿色建筑、光储直柔双三星: 南京工业大学北苑学生公寓光储直柔项目 [EB/OL].(2025-07-25). https://www.sohu.com/a/917538771_121123910.



北京绿色金融与可持续发展研究院
INSTITUTE OF FINANCE AND SUSTAINABILITY



联系我们：

地址：北京市通州区世界侨商中心 3 号楼 16 层 1604

邮编：101100

电话：+86 (010) - 69553526

网址：www.ifs.net.cn