

绿色工业建筑碳排放控制：设计阶段新材料与节能技术融合实践

程浩 刘丽 严佳敏 莫晶晶
中国五洲工程设计集团有限公司 北京 100053

摘要：工业建筑是碳排放重点领域，设计阶段是碳排放控制源头，对降低建筑碳足迹至关重要。本文聚焦绿色工业建筑设计阶段，系统剖析碳排放控制核心理论，梳理新型低碳材料与先进节能技术应用特性，构建“材料选型-技术适配-系统融合”一体化设计框架。探讨高性能混凝土等新材料与被动式节能等技术的融合策略，结合工程案例验证。结果显示，设计阶段实现二者深度融合，能有效降低工业建筑全生命周期碳排放，为碳排放控制提供可行路径，推动工业“双碳”目标落地。

关键词：绿色工业建筑；碳排放控制；设计阶段；新材料；节能技术融合

引言：在工业领域积极践行“双碳”目标的当下，工业建筑碳排放问题备受关注。作为碳排放的重点领域，工业建筑全生命周期碳排放量大，而设计阶段作为碳排放控制的源头，对降低建筑碳足迹起着决定性作用。在此背景下，新材料与节能技术的融合应用成为关键突破口。本文聚焦绿色工业建筑设计阶段，深入剖析相关理论，梳理适配材料与技术，探索融合策略，为工业建筑碳排放控制提供新思路。

1 绿色工业建筑碳排放相关理论与分析

1.1 绿色工业建筑碳排放的概念

绿色工业建筑碳排放指其在全生命周期内，从建材生产到拆除回收各阶段，因能源消耗和物质代谢产生的温室气体排放总量，核算含直接与间接碳排放。直接碳排放源于运营中化石燃料燃烧、生产工艺能耗；间接碳排放来自建材生产运输、电力热力消耗等。与民用建筑比，其碳排放总量大、强度高、来源复杂，生产车间通风空调系统碳排放占运营阶段总排放的52%。控制以“源头减量、过程优化、末端治理”为核心，通过创新与管理，在保障生产功能下，降低碳排放强度与总量，是工业实现“双碳”目标关键载体。

1.2 设计阶段对碳排放控制的重要性

设计阶段是绿色工业建筑碳排放控制的“源头关口”，决策决定全生命周期超80%碳排放潜力。工业建筑设计含总平面布局等关键环节，各环节方案对碳排放有连锁影响。总平面设计不合理，会使自然通风利用率降超30%，增机械通风能耗；结构设计选传统框架，碳排放比钢结构高25%。设计阶段提前规划可规避高碳缺陷，施工阶段调整仅降10%-15%碳排放。且设计技术方案指导

后续建设运营，其科学性决定碳减排目标实现性，是核心环节。

1.3 新材料与节能技术对碳排放控制的作用机理

新材料与节能技术通过“替代减量、效率提升、循环利用”控制碳排放。替代减量上，新型低碳建材优化成分工艺降隐含碳，如高性能低碳混凝土用废渣替40%水泥，生产碳排放降35%；光伏建筑一体化组件替代传统材料，减建材生产碳排放且产清洁能源。效率提升方面，被动式节能技术利用自然通风采光，降空调照明能耗超40%；主动式智能控制系统调节设备，避免能源浪费^[1]。循环利用通过材料可回收设计，如模块化钢结构拆除钢材回收率95%，较传统结构减60%废弃材料碳排放，三重机理协同控碳。

2 设计阶段可应用的新材料与节能技术梳理

2.1 新型建筑材料

设计阶段可应用的新型建筑材料聚焦低碳化、高性能化与功能集成化三大特征。低碳结构材料中，高性能复合混凝土掺加超细矿渣粉与粉煤灰等工业废料，不仅抗压强度提升至C80级别，且单位体积碳排放量较普通混凝土降低32%；冷弯薄壁型钢采用高强度钢材，构件截面优化后用钢量减少25%，同时具备良好的抗震性能。保温隔热材料方面，真空绝热板导热系数低至0.008W/(m·K)，较传统挤塑板节能效率提升60%，且使用寿命延长至25年；气凝胶复合保温毡兼具防火与保温功能，适用于工业建筑高温车间墙体保温。功能集成材料包括光伏建筑一体化组件，其光电转换效率达23%，可满足车间15%的用电需求；透水混凝土则通过多孔结构实现雨水渗透，降低场地排水系统能耗，助力低碳设计落地。

2.2 节能技术

设计阶段应用的节能技术涵盖被动式与主动式两大体系,形成全系统节能网络。被动式节能技术以自然能源利用为核心,厂房采用大跨度门式钢架配合高侧窗设计,结合导风板优化气流组织,夏季自然通风降温可使室内温度降低4~6℃,减少空调系统运行时间30%;采光方面采用导光管与高透光Low-E玻璃组合,车间白天自然光照度达300lux以上,照明能耗降低55%。主动式节能技术侧重智能调控与能源高效利用,空调系统采用变频螺杆式冷水机组,COP值提升至6.2,较传统机组节能28%;余热回收系统收集生产设备与空调排风余热,用于车间冬季供暖,可替代20%的供暖能源消耗。智能控制系统通过物联网实时监测建筑能耗与环境参数,自动调节设备运行状态,实现能源供需精准匹配,进一步降低无效能耗^[2]。

3 新材料与节能技术融合策略与设计方法

3.1 融合策略制定原则

新材料与节能技术融合策略的制定,需紧紧围绕系统性、适配性、经济性与前瞻性这四大核心原则展开。系统性原则是基础,它要求融合设计必须全面覆盖建筑的结构、围护、机电等各个系统。在建筑这个复杂的整体中,各个系统相互关联、相互影响,若仅对单一环节进行优化,很可能导致整体能效的失衡。例如,在保温材料的选择上,不能孤立地考虑其保温性能,还需与空调系统的节能技术协同配合。要确保所选保温材料的传热系数与空调系统的制冷量相互匹配,这样才能实现整个建筑能源利用的最优化,避免出现局部节能而整体能耗增加的情况。适配性原则强调技术材料要与工业建筑的生产特性高度匹配。不同的工业生产对环境条件有着不同的要求,像高温车间,就必须优先选用耐高温的光伏组件和防火保温材料。只有这样,才能避免环境因素对技术效能产生不利影响,确保新材料与节能技术在工业建筑中能够稳定、高效地运行。经济性原则要求在满足碳排放控制目标的前提下,综合考量材料设备的成本以及全生命周期的收益。低碳材料往往在初期投入上会增加一定成本,但这些增量成本需要通过运营阶段的节能效益在合理时间内回收,一般要求在5年内实现。前瞻性原则则着眼于未来,需为技术升级预留充足的空间。在设计时采用模块化接口,这样便于后续引入新型节能技术与碳捕捉设备,使建筑能够适应未来日益严格的碳排放管控要求,保持长期的低碳竞争力。

3.2 具体融合策略

具体融合策略着重围绕“结构-围护-机电”这三大核心系统来构建协同体系。在结构系统方面,采用“低

碳钢材+光伏建材”的融合模式。对于厂房屋面,选用冷弯薄壁型钢檩条配合光伏一体化屋面板。冷弯薄壁型钢檩条具有强度高、重量轻的特点,能够减少钢材的用量,从而降低建筑隐含碳。而光伏一体化屋面板则可以将太阳能转化为电能,实现能源的自给自足。在檩条间距优化与光伏组件排列的协同设计上,通过精确计算和模拟,使屋面在满足承重要求的同时,最大化地提升发电效率。围护系统实施“保温材料+被动通风”的融合策略。外墙采用真空绝热板与气凝胶复合保温层,这两种材料都具有优异的保温性能,能够有效地阻止热量的传递。配合可开启式通风百叶,在冬季可以关闭百叶,起到良好的保温作用;在夏季则可以打开百叶,实现自然通风,将冬季保温与夏季通风功能叠加在一起,使围护结构的热损失降低50%。机电系统推行“余热回收+智能控制”的融合方案。利用生产过程中产生的余热来加热新风,提高能源的利用效率。同时,通过智能系统联动调节空调、照明与光伏系统的运行,根据不同的生产工况和环境条件,实现能源产生、消耗与回收的闭环管理,进一步提升整体的节能效益。

3.3 设计方法与流程

新材料与节能技术融合设计采用“目标导向-系统集成-模拟优化”的方法与流程。在设计初期,明确碳排放控制目标是首要任务。依据工业建筑的生产工艺要求,详细核算各系统的基准碳排放量,以此为基础确定合理的减排比例。这个目标就像灯塔,为整个设计过程指引方向。随后开展系统集成设计,各个专业紧密配合。结构专业要选用低碳建材,并预留好设备安装的空间,为后续的节能设备安装和使用提供便利;围护专业需要结合保温材料的性能,优化门窗与墙体的构造,提高围护结构的保温隔热性能;机电专业则要制定节能设备与控制系统的融合方案,确保各个设备之间能够协同工作,实现能源的高效利用。在设计过程中,充分运用BIM与能耗模拟软件,建立建筑全专业模型。通过这个模型,可以模拟不同材料与技术组合下的碳排放情况^[3]。例如,利用EnergyPlus软件分析光伏组件覆盖率对能耗的影响,根据模拟结果优化组件的布置方案,使光伏发电效率达到最佳。最后通过多方案比选,从多个设计方案中挑选出碳排放最低、经济性最优的融合设计方案。并形成详细的施工技术交底文件,将设计意图准确地传达给施工人员,确保设计能够顺利落地实施。

4 工程案例实践与分析

4.1 案例项目概况

该案例项目是一座汽车零部件生产厂房,地处长三

角区域,总建筑面积达28000平方米,涵盖生产车间、研发中心以及辅助用房三大功能板块,设计使用年限设定为50年,目标打造成为国家三星级绿色工业建筑。厂房生产流程包含精密加工与装配环节,对车间温湿度把控极为严格,夏季室内温度需稳定在24-26℃,冬季则要保持在18-20℃,年生产时长为300天。设计之初便明确碳排放控制目标:相较于传统工业建筑,全生命周期碳排放量要降低35%,其中建材生产阶段减排20%,运营阶段减排40%。项目运用“BIM+碳排放核算”一体化设计平台,全程追踪新材料与节能技术融合时碳排放的动态变化,为设计方案的优化提供有力的数据依据。

4.2 新材料与节能技术融合应用实践

项目设计阶段实现新材料与节能技术的深度融合应用。结构系统采用Q355低碳钢材替代传统钢材,用量达1200吨,配合高性能复合混凝土基础,建材隐含碳排放量降低22%;屋面铺设3000m²光伏一体化组件,光电转换效率23%,与车间配电系统联动。围护系统外墙采用真空绝热板与加气混凝土砌块复合构造,传热系数0.35W/(m·K),门窗选用断桥铝型材配合Low-E中空玻璃,气密性达8级;车间设置24组可调节通风百叶,结合屋顶通风器实现自然通风。机电系统采用变频冷水机组与余热回收装置,收集设备余热用于冬季供暖与生活热水;智能控制系统实时监测120个监测点的能耗与环境参数,自动调节设备运行状态,实现能源精准供给^[4]。

4.3 碳排放控制效果评估

项目通过第三方机构进行碳排放控制效果评估,结果显示全生命周期碳排放量较基准值降低38%,超额完成设计目标。建材生产阶段,低碳钢材与复合混凝土的应用使隐含碳排放量减少860吨,降幅达24%;施工阶段

采用模块化构件安装,减少现场作业能耗,碳排放降低15%。运营阶段成效更为显著,光伏系统年发电量达45万kWh,替代电网电力减少碳排放360吨;节能技术组合使空调与照明系统年能耗降低42%,减少碳排放520吨。从经济性分析,新材料与节能技术的增量投资820万元,通过节能收益与光伏发电收益,预计6.8年可回收成本。评估同时表明,围护系统与机电系统的融合应用对碳排放控制的贡献度达65%,是减排核心环节。

结束语

设计阶段作为绿色工业建筑碳排放控制的关键源头,新材料与节能技术的融合应用为碳减排提供了高效路径。本文通过理论分析明确了设计阶段的核心作用与技术融合机理,梳理了适配的材料与技术体系,构建了科学的融合策略与设计方法,结合实际工程案例验证了技术融合的减排成效。未来绿色工业建筑设计需进一步强化数字化技术支撑,推动新材料与节能技术的迭代融合,同时完善碳排放核算与评价体系,为工业领域“双碳”目标落地提供更坚实的技术保障,助力绿色低碳工业体系构建。

参考文献

- [1]张恩重,李民.绿色建筑碳排放研究综述[J].居舍,2023,(34):177-180.
- [2]陈晓卫,时祥龙,孙鹏宇."双碳"背景下旧工业建筑绿色再生策略研究:[J].湖南城市学院学报(自然科学版),2024,33(2):32-39.
- [3]王婷,冯柯."双碳"背景下既有工业建筑绿色节能改造策略研究[J].中国建筑装饰装修,2025(3):97-99.
- [4]李子乔,徐磊,陈遼浩,等.工业建筑碳排放核算及低碳技术应用[J].建筑施工,2024,46(1):143-146.