

工业园区生态化设计：低碳技术在厂房集群布局与环境协同中的实践

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

摘要：工业园区生态化设计对推动产业绿色转型意义重大。本文首先阐释工业园区生态化设计的核心概念与理论基础，构建厂房集群布局低碳优化体系，明确优化目标、约束条件、布局模式及关键低碳技术支撑。同时介绍环境协同低碳技术体系，涵盖核心维度、关键技术分类及应用。通过新能源产业园区和化工产业园区两个实际案例，说明低碳技术在厂房集群布局与环境协同中的应用。最后总结收获、体会与参考价值，为工业园区低碳发展提供思路。

关键词：工业园区；生态化设计；低碳技术

引言：在全球气候变化与资源环境约束趋紧的背景下，工业园区作为产业集聚发展的核心载体，其低碳转型已成为推动产业绿色升级的关键抓手。传统工业园区高能耗、高排放的发展模式已难以适应可持续发展要求，亟需通过生态化设计重构产业空间与资源循环体系。本文以工业园区生态化设计为研究对象，系统探讨低碳技术在厂房集群布局优化与环境协同治理中的创新应用，通过理论构建与实践案例分析，为破解工业园区低碳发展难题提供科学路径与实践参考。

1 工业园区生态化设计核心理论

1.1 核心概念界定

工业园区生态化设计是基于生态系统原理与循环经济理念的系统规划方式。它通过优化园区空间、产业、资源利用及环境治理，达成产业与生态协调共生。核心目标是构建空间合理、产业物质循环、资源高效集约、环境影响小的工业生态系统。与传统模式不同，它强调整体性，将厂房等视为有机整体，注重物质等流优化配置，涉及产业链协同、低碳技术集成、环境风险防控等，推动园区从线性经济向循环经济转型，为可持续发展筑牢根基。

1.2 理论基础支撑

工业园区生态化设计以多学科理论为支撑，构建科学系统框架。循环经济“减量化、再利用、资源化”原则贯穿全程，指导产业流程与资源循环体系构建。工业生态学将园区当人工生态系统，强调产业共生，模拟自然循环形成共生网络，实现资源能源梯级利用。低碳经济提供碳减排导向，明确碳足迹核算等方向，推动能源结构优化与低碳技术应用。空间布局理论指导厂房规划，环境承载力理论明确生态阈值，多理论协同保障设

计科学可行^[1]。

2 厂房集群布局低碳优化体系

2.1 优化目标与约束条件

厂房集群布局优化以低碳发展为核心，兼顾资源利用效率提升、产业协同发展和环境质量改善。低碳目标聚焦降低能源消耗与碳排放，通过优化布局减少运输能耗、提升能源利用效率，实现碳排放量持续下降。资源利用目标强调土地集约利用，提高单位土地面积投资强度与产出效率，推动水资源、能源等循环利用。产业协同目标注重构建上下游紧密联系的产业集群，缩短产业链条，提升产业竞争力。环境质量目标要求布局优化减少对周边大气、水体、土壤等环境要素的影响，保障区域生态环境安全。约束条件包括生态环境、土地资源、技术与产业政策约束，确保布局优化符合生态阈值、土地规划、技术水平与政策导向。

2.2 基于产业链的低碳布局模式

基于产业链的厂房集群低碳布局模式以产业链上下游企业协同关系为核心，按“资源输入 - 生产加工 - 废弃物回收利用”逻辑规划空间布局。核心生产企业居集群中心，上下游配套企业围绕布局，缩短原材料与产品运输距离，减少运输碳排放。对于有物质循环关系的企业，采用近距离布局模式，如废水产生企业与污水处理企业相邻，实现废水就近处理与循环利用；废渣产生企业与建材生产企业靠近，推动废渣资源化利用。集群内设置共享物流、能源供应与废弃物处理中心，实现资源集中调配与废弃物集中处理，提升资源利用效率。

2.3 关键低碳技术支撑

布局优化关键低碳技术涵盖多领域。空间规划领域，数字孪生技术构建虚拟仿真模型，模拟不同布局方

案的碳排放与能源消耗指标,为最优方案选择提供数据支持;地理信息系统技术精准分析工业园区地形、地貌、交通等空间信息,提升布局规划科学性。能源利用领域,分布式能源技术在集群内建设分布式光伏电站、天然气分布式能源系统等,提供清洁高效能源供应;余热余压回收技术收集生产过程中的余热余压用于发电或供暖,提升能源利用效率。物流运输领域,智能物流调度技术优化运输路线与方式,减少空驶率;电动货运车辆与氢能物流车降低运输碳排放。绿色建筑技术应用于厂房建设,采用保温节能材料、自然通风采光设计等降低运营能耗^[2]。

3 环境协同低碳技术体系

3.1 核心维度与低碳需求

工业园区环境协同核心维度涵盖大气、水、土壤环境及生态系统协同,各维度紧密相连且低碳需求明确。大气环境协同重点管控废气排放、提升区域大气质量,要减少废气中碳氧化物等污染物排放,降低废气处理能耗,达成“减排降碳”协同。水环境协同以水资源循环利用为核心,通过污水净化、中水回用等减少新鲜水消耗,降低水处理能耗与碳排放,实现“节水低碳”协同。土壤环境协同注重修复污染土壤、高效利用土地资源,采用低碳修复技术减少能源投入与二次污染碳排放。生态系统协同强调园区与周边生态融合,通过生态修复提升区域碳汇能力。各维度低碳需求围绕“减源增汇”,构建协同的技术需求体系。

3.2 关键低碳技术分类及应用

环境协同关键低碳技术分大气污染治理、水污染治理、土壤修复及生态碳汇提升四大类。大气污染治理方面,低能耗脱硫脱硝技术用新型催化剂降低反应温度以节能;碳捕集、利用与封存技术收集二氧化碳用于驱油等实现资源化。水污染治理中,厌氧生物处理技术降解有机物并利用沼气;膜生物反应器技术提升效率,中水用于绿化等。土壤修复领域,植物修复利用超富集植物吸收污染物,成本低能耗少;微生物修复降解污染物,避免二次污染与高能耗。生态碳汇提升技术通过建设人工湿地等提升植被覆盖率,增强碳汇能力。

3.3 低碳技术与厂房集群布局的协同适配

低碳技术与厂房集群布局协同适配对园区整体低碳效益至关重要。集中式厂房集群适合配套集中式低碳技术设施,如污水处理厂、能源站,实现共享利用,降低成本。产业链上下游紧密的集群布局需适配物质循环技术,如余热余压回收与能源需求结合,废弃物资源化技术与产生厂房近距离布局,减少运输能耗^[3]。高耗能厂房

集中区域适配高效节能与碳捕集技术,厂房设计融入绿色建筑理念,结合采光通风优化设计。智能监控技术与布局优化结合,在集群设监测点,实时监控碳排放与环境质量,为技术与布局动态适配提供数据支撑。

4 低碳技术在厂房集群布局与环境协同中的实践案例

4.1 案例一:云南中烟红河卷烟厂易地技术改造项目

云南中烟红河卷烟厂易地技术改造项目位于云南蒙自经济技术开发区,总投资48亿元、占地1200亩,是烟草行业低碳转型标杆。项目以“产业链紧凑布局+全流程低碳技术集成”为核心,构建卷烟生产全链条低碳体系(项目布局示意图见图1,核心生产区居中,配套区环绕)。



云南中烟红河卷烟厂易地技术改造项目布局示意图

厂房集群采用“核心生产区-配套功能区-循环处理区”圈层布局:核心区设制丝、卷包主厂房,经数字孪生技术优化间距与朝向,90%以上厂房实现自然通风,夏季空调负荷降低40%;紧邻的配套区布置辅料库、成品库及智能物流中心,AGV系统与路径优化算法使厂区运输能耗降35%;外侧循环处理区集中建设污水、固废处理及能源站,实现废弃物就近处置,大幅减少转运成本与碳排放。

环境协同技术成效突出:大气治理采用低能耗静电除尘+活性炭再生技术,VOCs回收率92%,处理能耗降25%,回收气体用于能源站助燃;5000立方米/日的厌氧+MBR污水处理系统,使新鲜水消耗降60%,年节水120万立方米;联合厂房及停车场顶棚铺设10MW分布式光伏,年发电1100万kWh,占用电18%,制丝车间余热回收系统年减碳8600吨。项目投产后,单位卷烟碳排放较原厂区下降42%,成为行业典范。

4.2 案例二:中国石油化工股份有限公司茂名分公司炼油化工一体化园区

中国石油化工茂名分公司炼油化工一体化园区位于广东茂名,面积15平方公里,是华南重要石化基地,涵

盖炼油、化工、化纤全产业链。项目以“产业链耦合布局+多污染物协同降碳”为路径，实现高耗能园区低碳转型（园区产业链布局与碳流图见图2，箭头标注物质能源流向）。



中国石油化工茂名分公司炼油化工一体化园区产业链布局与碳流图

厂房布局遵循“原料-加工-循环”逻辑：1200万吨/年常减压炼油装置居核心，周边500米内布局乙烯、芳烃等装置，年减少管输能耗相当于1.2万吨标煤；下游化纤企业紧邻化工区，管廊直供原料规避公路运输碳排放。针对“三废”特点，距核心区1公里设集中污水处理厂与固废焚烧发电中心，实现污染物集中管控，提升处理效率并降低分散治理的能耗与成本。

低碳技术体系针对性强：催化裂化装置配套国内首套10万吨/年CCUS装置，捕集CO₂用于油田驱油，年减碳10万吨，新型SCR脱硝技术使能耗降22%；“厌氧氨氧化+MBR”工艺处理化工废水，能耗降30%，沼气年发电200万kWh，雨水收集与中水回用系统年节水50万立方米，回用率95%。历史污染土壤采用微生物修复，能耗较化学法降60%，50米宽生态缓冲带年增碳汇800吨。园区单位产值碳排放量较2018年降28%，污水处理成本降15%，实现双赢。

5 工业园区生态化设计与低碳技术应用的收获、体会与参考价值

5.1 收获

深入探究工业园区生态化设计及低碳技术在厂房布局与环境协同中的应用后，深知多学科理论融合对园区设计意义重大。循环经济等理论为设计提供科学指引，助力园区平衡产业与生态。厂房集群布局低碳优化与环境协同技术体系构建是系统工程，涉及多方面且环节紧密相

连。实践案例验证了低碳技术可行有效，为其他园区低碳发展提供借鉴，增强了我们对园区低碳转型的信心。

5.2 体会

工业园区生态化设计时，因地制宜选布局模式与技术应用至关重要。不同产业园区特点需求各异，不能照搬现有模式技术。如新能源与化工园区，布局与协同重点不同。低碳技术集成应用是关键，单一技术难达最佳效果，需多种技术结合。同时，技术与管理协同不可或缺，二者结合才能确保低碳目标实现，推动园区可持续发展^[4]。

5.3 参考价值

本文成果对其他园区生态化设计与低碳发展有重要参考价值。理论层面，丰富园区生态化设计理论体系，为后续研究奠基，推动理论创新。实践层面，构建的布局优化与技术体系及案例经验，可为其他园区规划、建设、运营提供指导。借鉴本文成果，其他园区能更好实现产业绿色转型，降低碳排放，提高资源利用率，实现产业与生态共赢，为应对气候变化贡献力量。

结束语

工业园区生态化设计与低碳技术应用是实现产业绿色转型、应对气候变化的关键路径。本文通过理论阐述、体系构建与案例分析，系统揭示了多学科理论融合、布局优化及低碳技术集成的重要性。实践表明，因地制宜的布局模式、全方位的技术支撑与科学管理协同，可显著提升园区低碳效益与资源利用效率。未来，需持续探索创新设计理念与技术应用，推动工业园区向循环经济与碳中和目标迈进，为全球可持续发展提供中国方案与智慧。

参考文献

- [1]陈波,石磊,邓文靖.工业园区绿色低碳发展国际经验及其对中国的启示[J].中国环境管理,2021,13(06):40-49.
- [2]汤敏浩.低碳生态策略在现代工业园区规划与建筑设计中的应用[J].中国高科技,2021(21):43-44.
- [3]柯西燕,孟骏君.基于低碳生态导向的产业园区规划建设研讨[J].智能建筑与智慧城市,2023(11):111-113.
- [4]李鸿雁.基于低碳生态理念的产业园区规划设计研究:以中关村集成电路设计园项目为例[J].广东建材,2023(10):66-69.