 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i1.8975

Optimization design and energy saving of natural lighting in industrial plants

Wen Li

China Municipal Engineering North China Design & Research Institute Co., Ltd., Xi'an , Shaanxi, 710018, China

Abstract

As the core carrier of the manufacturing industry, the lighting layout of industrial plants is directly related to production efficiency, product quality, and energy consumption. Under the guidance of the "dual carbon" goals, promoting the optimization of natural lighting has become the core path for energy-saving transformation of industrial buildings. Based on the "Standard for Daylighting Design of Buildings," this article comprehensively reviews the core theories and design principles of natural lighting in industrial plants, and conducts in-depth analysis around three aspects: selection of lighting systems, material technology innovation, and intelligent control optimization. By verifying the energy-saving effectiveness and implementation pathways of optimized designs through real-life cases, scientific optimization of natural lighting design can reduce the lighting energy consumption of industrial plants by 30% or more, while optimizing lighting uniformity and enhancing work comfort experience.

Keywords

Industrial plant; Natural lighting; Optimal design Author's introduction

工业厂房的天然采光优化设计与节能

李稳

中国市政工程华北设计研究总院有限公司，中国·陕西 西安 710018

摘　要

作为制造业核心载体的工业厂房，其采光布局直接关乎生产效率、产品质量与能源消耗，在“双碳”目标引领下，推动天然采光优化已成为工业建筑节能转型的核心路径。本文基于《建筑采光设计标准》，全面梳理工业厂房天然采光的核心理论及设计准则，围绕采光系统选型、材料技术创新、智能控制优化三方面开展深度分析。借助真实案例验证优化设计的节能成效及落地途径，科学的天然采光设计优化，能让工业厂房的照明能耗减少30%及以上，同时优化采光均匀性及作业舒适体验。

关键词

工业厂房；天然采光；优化设计

1 引言

全国建筑总能耗中工业建筑能耗占比突出，其中照明领域的能源消耗占有突出比重。伴随制造业升级转型及绿色发展理念的深化，秉持“重生产、轻节能”设计理念的传统工业厂房，现已无法契合时代的实际需要。天然光作为清洁、可再生能源，若能高效利用天然光，可显著降低人工照明的能耗，也能提升厂房内光照环境的质量，减轻眩光、光线不均匀等问题对生产产生的消极作用。中国工业厂房普遍采用科学合理的天然采光规划方案，能明显压缩照明方面的能耗支出，实现突出的节能效果。

【作者简介】李稳（1987–），男，中国安徽萧县人，本科，工程师，从事建筑设计研究。

2 工业厂房天然采光的理论基础与设计原则

2.1 天然采光的核心理论体系

光气候学与建筑光学等理论支撑着工业厂房天然采光设计的开展，其核心目标是在满足生产所需照度要求的基础上，最大化天然光的利用程度同时抑制光热引发的负面效果，光气候学可清晰界定不同区域的光气候系数、太阳辐射强度等基础参数，给采光系统选型提供关键依据——比如高纬度地区需提升冬季采光集热能力，低纬度地区需兼顾采光与遮阳两者，建筑光学则聚焦光线传播规律，借助调控采光系数、均匀度、眩光值这类核心参数，保障光照环境质量。

根据《建筑采光设计标准》，工业厂房的采光系数应依据工艺类型进行分级，精密加工、普通生产、仓储等不同车间类型，采光系数要求存在明显差异，此外还应满足采光均匀度及眩光控制的相关规范要求 [1]。该标准为设计实践提供了数据化的依据，有效消除了“重亮度、轻均匀度”的错

误认知，天然采光的节能核心机制体现为替代人工照明的能耗，该节能量可借助专业公式实现精准核算，结合相关参数预测全年的节能效益，为设计优化提供数据支撑。

2.2 工业厂房的采光需求差异化分析

分属不同行业、具备不同工艺的工业厂房，采光需求存在明显不同，这是采光优化设计的前提，机械加工车间需杜绝光线直射引起的金属表面反光眩光状况，且需维持照度充足以维护加工精度；电子元件车间对光线均匀分布状况的要求极高，必须严格管控光照强度的波动现象，并需杜绝紫外线对精密元件的伤害；食品加工车间需兼顾照度水平及卫生相关要求，采光材料须具备易清洁及抗霉菌两方面特性；仓储车间对光照强度的要求处于相对偏低的水平，但需保证光线照射范围无任何盲区，杜绝货物分拣过程中的差错。

除工艺差异外，厂房结构形态同样能影响采光的需求，对于大跨度、深进深的厂房而言，单纯借助侧窗采光无法满足其纵深区域的照度要求，需增设顶部采光系统；针对多跨连续厂房，跨间遮挡问题是必须解决的关键要点，宜采用分层采光设计；高大厂房需将光线衰减作为考量要点，可借助反射设备达成底层照度提升的效果，差异化需求的存在决定采光设计不能采用“一刀切”模式，需结合厂房实际条件规划针对性方案。

2.3 采光与节能协同的设计原则

工业厂房天然采光优化需遵循“采光优先、光热协同、节能高效”的核心原则，坚持天然采光优先原则，在方案设计阶段需优先选择侧窗、天窗等被动式采光方法，仅当天然采光无法满足需求时，辅以人工照明方式组成混合采光系统，还需借助经济性论证验证其合理性，注重光热协同设计，需规避仅聚焦采光效果而引发的空调能耗大幅上升——例如夏季强光照射或会提升制冷负荷，冬季可借助采光系统达成太阳能集热，降低采暖能耗。

需坚持经济性与实用性原则，开展设计工作时，应兼顾前期投入与长期节能效益，应优先选择成熟稳定、运维成本较低的技术及材料；另外同步预留了技术升级的接口，比如提前铺设智能控制系统的相关线路，便于后续加装调光及遮阳相关装置，安全性原则也不可忽视，采光构件必须符合工业厂房在防火、抗风及防爆方面的要求，尤其在有高温、粉尘的车间，宜选用兼具耐高温与防腐蚀效果的采光材料。

3 工业厂房天然采光的优化技术路径

3.1 采光系统的选型与布局优化

侧窗采光系统适配中小型浅进深厂房，其优化重点聚焦于窗口布局及尺寸的设计，采用“高低窗组合”布局，利用高窗引入高空光线以覆盖纵深区域，低窗可维持近窗区域的照度稳定，窗口宽度与窗台高度的调整需结合开间长度和厂房层高做到科学合理，避免光线被设备遮挡 [2]。对于朝向优化，南向侧窗能最大化汲取冬季日照的能量，北向侧窗凭借柔和光线可降低眩光程度，东西向侧窗需采用遮阳相关装置，防止太阳直射引发的照度起伏。顶部采光系统是大跨度与深进深厂房的核心采光方案，常用结构形式包含矩形天窗、锯齿形天窗及导光管系统等，矩形天窗采光效率高，可适配通用机械厂房，要结合天窗高度对其间距做合理设置，避免跨间遮挡；倾斜屋面赋予锯齿形天窗控制眩光的有效作用，且便于配置遮阳与通风设备，适合精密加工车间，其倾斜角度应结合当地纬度实际开展适配调节，确保冬季采光效果，导光管系统无需开窗，适合屋面结构不易受破坏的厂房，其集光器需朝向合适方向，导光管及漫射器需采用高反射率且高透射比的产品，可实现无眩光、均匀采光，在地下厂房及厂房核心区域的应用成效突出。

3.2 采光材料的创新应用

工业厂房采光所采用的主流材料为低辐射镀膜（Low-E）玻璃，该玻璃借助镀膜工艺减少红外辐射的透过比例，实现“高透光、低导热”效果，在寒冷地区，选用 Low-E 中空玻璃，夹层填充惰性气体，既保证采光需求，又减少冬季热损失；在炎热地区，采用 Low-E 夹胶玻璃，搭配遮阳涂层，可显著反射太阳辐射所带的热量，降低空调负荷。新型功能采光材料进一步强化了采光与节能的综合性能，棱镜玻璃借助光学棱镜结构实现光线向厂房纵深区域的折射，缓解了侧窗采光“近窗过亮、远窗过暗”的采光缺陷问题，其在深进深厂房场景的应用成效十分突出，自清洁玻璃借助表面纳米涂层实现“疏水、自洁”功能，可缓解粉尘、油污附着引起的透光率降低问题，适合部署于粉尘密集的冶金、化工厂房环境，导光膜材料则适用于精密电子车间，可实现光线到面光源的转化，可减少点光源造成的眩光现象，可灵活敷设在墙面及吊顶部位。

3.3 智能控制与遮阳系统的协同优化

智能采光控制系统借助传感器同执行机构的协同运作，实现光照强度的动态调控，关键构成部分涉及光纤传感器、智能控制器、调光装置与人工照明联动模块，室内照度的实时监测工作由光照传感器承担，当照度低于设计值时，控制器将自动开启人工照明以作补充；当照度高于设计值时，启用遮阳设备或调光玻璃，把照度调节至合理区间，该系统可兼容多种不同的运行模式：天气自适应模式的核心是依据实时天气信息优化自身的调整策略，车间作业时间是生产时段模式的匹配对象，应急照明联动模式满足突发状况下的光照需求。要实现遮阳系统优化需结合采光需求与节能目标，其常用类型涵盖外遮阳百叶、内遮阳卷帘、智能调光玻璃等，侧窗及天窗外侧均有外遮阳百叶安装，其角度可由智能控制器完成动态调整——当夏季太阳高度角较大的时候，调节百叶角度实现直射光线的遮挡；冬季太阳高度角小时，将百叶完全打开以保障室内采光。需灵活控制光照的车间可采用内遮阳卷帘，采用透光率可调的面料，可结合生产需求对光照强度实施精准调节，智能调光玻璃借助电场变化调整自身透

光率，无需机械结构，能匹配电子、医药领域的洁净车间需求，能实现快速切换透光状态的功能。该智能系统的节能效益十分明显，通过“天然光优先+人工照明补充”的联动控制，可有效压缩人工照明的运行时长，某汽车零部件工厂应用智能采光控制系统以后，照明能耗显著下降，实现了电费节约的可观收益，系统依托物联网可完成远程监控与数据分析的实现，即时反馈采光效率及能源节约的相关数据，为后期维护与优化提供依据。

4 采光优化设计的节能效益与实践保障

4.1 节能效益的量化评估与验证

天然采光优化所带来的节能收益，核心体现在照明能耗减少与空调能耗改善这两个维度，照明能耗节省的精准计算可依托规范公式实现，综合照明面积、安装功率、天然光利用时长等相关参数，预估全年节电量及相关环保成效，某电子厂房采用优化采光方案后，全年节电量显著，大幅减少了标准煤的消耗量及碳排放。

空调能耗优化的效益可借助光热协同设计达成，在寒冷地区，南向采光系统与 Low-E 中空玻璃的协同结合，可显著降低冬季采暖负荷；在炎热地区，智能遮阳与高透光率低辐射玻璃组合，可切实降低夏季空调制冷的负荷量，某长三角地区的机械厂房，采用“锯齿形天窗 + 智能遮阳 +Low-E 玻璃”方案后，空调运行能耗出现明显下滑，节能效果显著，良好的采光条件可提升员工的工作效率水平，减少因光照缺失造成的产品不合格率，间接创造经济效益。

要验证节能效益，离不开实际监测数据的支撑，采用在厂房不同区域布设照度传感器及能耗监测仪表的方式，实时采集光照强度、照明功率、空调能耗这类数据，与设计值对比分析，不妨借助生命周期成本分析（LCCA）方法，综合考量采光系统的前期投资、日常运行成本、维保支出及节能收益，为设计方案优化提供经济支撑——像导光管系统初期投入较高，但维护成本低，就长期趋势而言，总成本表现出更优越的性价比。

4.2 不同类型厂房的设计实践案例

精密电子车间采光优化案例：某芯片制造车间对光照均匀度及防眩光的要求极为严苛，设计方案采用“导光管系统 + 智能调光玻璃”这一组合方案，在屋面设置导光管系统，在侧窗配置了棱镜 Low-E 玻璃，并配备智能遮阳百叶与光照调节系统，优化后车间的光照相关指标，完全契合芯片封装工艺的具体要求，车间照明的能耗出现明显下降，投资回收期合理 [3]。冶金厂房采光优化案例：某钢铁厂的冲压车间存在高温、粉尘这类作业环境问题，传统采光系统的透光率衰减问题十分突出，优化方案采用“矩形天窗 + 自清洁耐高温玻璃 + 反射吊顶”，天窗采用的是耐高温自清洁玻璃，车间顶部配置反射吊顶结构，侧窗搭配防腐蚀遮阳板，改造完成的车间，其照度水平出现明显提高，缓解了粉尘造成的透光率下降现象；照明领域的能源消耗得到明显削减，反射吊顶还减少了热量的积聚，可实现夏季空调负荷的降低，年综合节能效益可观。仓储厂房采光优化案例：某物流仓储中心需维持货物分拣区域的均匀光照条件，设计采用“锯齿形天窗 +LED 混合照明”方案，合理设置天窗面积，选用高透光率中空玻璃，部署光感应联动系统——白天天然光充足时段自动关闭 LED 照明，在光线不足的状态下开启补充照明，优化后仓储区光照条件满足分拣需求，照明能耗显著下降，且同步提升了货物分拣的作业效率，货物错发的比例出现下降。

4.3 设计实施的保障措施与行业趋势

需完善技术标准与政策保障以保障采光优化设计的有效实施，企业应严格遵循国家现行规范，在厂房设计阶段委托专业机构实施采光模拟与节能核算工作，保障方案达到《建筑采光设计标准》以及《工业建筑节能设计统一标准》的相关要求，政府可加大政策支持力度，针对使用先进采光节能技术的企业发放财政补贴，把采光节能指标归入绿色工厂评级体系，推动企业自主实施优化升级改造。

5 结语

综上所述，依托 AI 构建的动态采光算法能结合历史光照数据与实时天气条件，自主调整遮阳与照明的策略安排，提升系统智能化水平。构建采光系统全生命周期的维护管理机制，定期针对采光构件与智能设备开展检修校准工作，确保系统长期稳定运行，从行业趋势来看，未来工业厂房采光设计将更聚焦于被动式技术同主动式控制的有机融合，搭配绿色建材与数字化技术，实现采光成效、节能效益与生产需求的深度匹配，为工业建筑低碳发展注入更强动力。

参考文献

[1] 吴蔚,陈启宁.基于视觉与非视觉效应的旧工业厂房改造采光设计研究[J].照明工程学报,2022,33(05):205-213.

[2] 李伟,那艳玲.数值模拟在工业建筑采光优化设计中的应用研究[J].山西建筑,2017,43(23):9-10.

[3] 严永红,周治宏,王宁.重庆地区单层厂房适用天窗类型分析及优化设计初探[J].照明工程学报,2012,23(03):78-85.