

工业建筑结构设计中的绿色节能技术研究

崔丽娜

河北天艺建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050071

[摘要]工业建筑是能源消耗与碳排放的重要来源,其结构设计环节的绿色节能转型对实现双碳目标具有重要意义。基于绿色建筑理念,从节能降耗、资源高效利用、全生命周期设计等原则出发,系统探讨高性能绿色建筑材料、结构优化设计、围护结构节能及可再生能源融合等技术在工业建筑结构设计中的具体应用。工业建筑单位面积能耗是民用建筑的 3-5 倍,其绿色化改造潜力巨大。针对当前设计体系不完善、技术集成度不足等问题,提出完善标准体系、强化数字化智能化设计、加强材料全过程管理及推动技术协同集成等提升策略,为工业建筑结构绿色节能设计提供系统参考。

[关键词]工业建筑;结构设计;绿色节能

DOI: 10.33142/ec.v9i9.20420

中图分类号: TU318.4

文献标识码: A

Research on Green and Energy-saving Technologies in Industrial Building Structure Design

CUI Lina

Hebei Tianyi Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050071, China

Abstract: Industrial buildings are an important source of energy consumption and carbon emissions, and the green and energy-saving transformation of their structural design is of great significance for achieving the dual carbon goals. Based on the concept of green building, starting from the principles of energy conservation and consumption reduction, efficient utilization of resources, and full life cycle design, this paper systematically explores the specific applications of high-performance green building materials, structural optimization design, energy-saving of enclosure structures, and integration of renewable energy in industrial building structural design. The energy consumption per unit area of industrial buildings is 3-5 times that of civil buildings, and their potential for green transformation is enormous. In response to the current problems of incomplete design system and insufficient technological integration, strategies are proposed to improve the standard system, strengthen digital intelligent design, enhance material management throughout the entire process, and promote technological collaborative integration, providing a systematic reference for green and energy-saving design of industrial building structures.

Keywords: industrial architecture; structural design; green energy-saving

引言

伴随着工业化的发展,我国的工业建筑规模不断增大,能源消耗和环境影响也越来越大。有关统计数据显示,2025 年我国制造业综合能源消费量占规模以上工业消费总量的比重大于 80%。在碳达峰、碳中和的大背景下,工业建筑的绿色化转型已经成了行业发展的必然选择。传统的工业建筑结构设计重安全、经济,轻视了能源利用率和环境影响。怎样把绿色节能理念系统地融入结构设计的全过程当中,使工业建筑由耗能型向节能型甚至产能型转变,这是目前急需解决的重要问题。对工业建筑结构设计绿色节能技术的应用现状及发展路径进行系统的梳理,可以给相关工程实践提供理论依据。

1 工业建筑结构设计中的绿色节能技术概述

绿色节能技术在工业建筑结构设计中的应用,就是指根据科学的材料选择、结构体系优化、构造措施改进、可再生能源整合等手段,在保证建筑安全适用的基础上,最大程度地减少建筑全生命周期的能源消耗和环境负荷。与民用建筑相比,工业建筑跨度大、层高、能耗强度大,部分高能耗行业的生产车间能耗是普通办公建筑的 5~8 倍。伴随着绿色建筑理念的深入推广,工业建筑绿色设计也由原来的被动式节能发展为现在的主动式产能、智慧化管控。目前的研究和实践也扩展到结构体系的优化、高性能材料的应用、可再生能源建筑一体化等方向。极电光能全球研发中心使用钙钛矿光伏组件代替传统的幕墙,年发电量为

16.8 万 kW h，每年减排 14 吨 CO₂，结构设计和能源技术的深度融合成为工业建筑绿色化的方向之一。

2 工业建筑结构设计中的绿色节能原则

2.1 节能降耗与资源高效利用原则

节能降耗是工业建筑绿色设计的第一个目的。从结构设计角度来讲，节能降耗表现为改良结构体系以削减材料耗资，缩减施工能耗，并且经由恰当的热工规划来减小运营期间的采暖及制冷能耗。资源高效利用就要优先选用可再生、可循环材料，提高工业固废的资源化利用率。研究发现，对梁柱连接节点进行改进可以明显提高结构的抗震性以及整体稳定性，并且还可以减少钢材的使用量。采用高强度钢材、高性能混凝土，在保证结构安全的前提下减小构件截面尺寸，节约材料。江苏博拓公司用工业废渣协同制备节能墙材，固废利用率大于 65%，累计消纳 10 多万吨工业废渣，生产近 100 万 m³ 绿色建材产品。该案例很好地体现出了资源循环利用在工业建筑绿色设计中所具有的实践意义。

2.2 绿色环保与全生命周期设计原则

绿色环保原则就是选择低环境影响材料作为结构选材和构造设计的主要方式，对有害物质的释放进行控制。建筑材料中不得含有有害物质，应符合《室内装饰装修材料有害物质限量》系列标准以及《建筑材料放射性核素限量》GB6566 等标准。全生命周期设计原则就是指建筑材料生产、运输、施工、运营维护、拆除处置等各个环节都要考虑环境负荷。这就意味着结构设计不能只考虑初始建设成本，还要考虑长期运营能耗和维护成本。绿色工业建筑设计要在全寿命周期内综合考虑节能、节地、节水、节材和环境保护等各方面的要求，根据当地的实际情况选择绿色低碳技术。使用耐久性更好的结构材料可以延长建筑使用寿命，减少维护次数，选择可拆卸、可回收的结构连接方式，方便以后建筑拆除时材料的循环利用。

3 工业建筑结构设计中绿色节能技术的具体应用

3.1 高性能绿色建筑材料应用技术

材料是结构设计的基础，选择高性能的绿色建材可以

达到工业建筑节能降耗的目的。高性能绿色建筑材料主要是高强度钢材、高性能混凝土、工业固废再生建材、复合功能材料。复合功能材料是由多种功能复合而成的建筑材料，建筑制品的工厂化是建筑业的发展方向，具有减少资源浪费、利于环境保护的优点。工业建筑结构设计中合理使用高强度钢材（Q420、Q460 及以上等级），可以大幅度减小结构自重，节约钢材 10%~20%。C50 及以上高性能混凝土用作高层工业建筑竖向承重构件，可以减小构件截面尺寸，增加使用空间。采用冷弯薄壁型钢等新型材料，在保证结构性能的基础上可以减少材料的使用量以及施工成本。工业固废再生建材利用粉煤灰、尾矿砂、脱硫石膏等工业废弃物生产墙体材料、砌块、板材等，成本低，保温隔热性好。使用以废弃物为原料生产的建筑材料的总量所占同类建筑材料总量的比例不得少于 30%。用工业副产物石膏制石膏砌块代替天然石膏制品，减少工业废渣处理压力的同时，也节约了天然资源。

3.2 结构优化设计节能技术

结构优化设计是从源头上实现节材节能的重要手段，其主要目的是在保证安全的基础上，用精确的结构计算、合理的方案比选来达到材料用量最小的目的。使用有限元分析等先进的计算方法，设计师可以对结构在各种荷载作用下做出更加准确的预测，进而达到结构尺寸合理化、材料节约的目的^[1]。在钢结构工业厂房的设计中，改进梁柱连接节点设计可以大大提高抗震性能以及整体稳定性。在混凝土结构设计中，合理布置柱网、优化楼盖体系可以减小楼板厚度、减少配筋量。大跨度工业建筑可以采用预应力结构、空间网架结构等轻型结构体系，与传统的实腹式梁柱结构相比，用钢量可以减少 20%~30%。结构模数化、标准化设计也可以提高材料利用率。采用统一模数尺寸、标准化构件可以减少构件种类、提高模具周转率、降低材料损耗。工厂化生产建筑制品是建筑业的发展趋势，用作业程序化来保证构件质量的规范化。预制装配式结构体系在工业建筑中应用越来越广，其构件工厂预制、现场装配的建造方式可以大大减少现场湿作业和材料浪费。

表 1 常用高性能绿色建筑材料的性能及应用对比

材料类别	代表产品	主要性能优势	适用部位	节材/节能效果
高强度钢材	Q420、Q460 高强钢	强度高、塑性好、可焊接	钢结构厂房梁柱、大跨度屋架	节约钢材用量 10%~20%
高性能混凝土	C50-C100 高强混凝土	强度高、耐久性好、截面小	高层工业建筑竖向承重构件	减小构件截面 30%以上
工业固废再生建材	粉煤灰砌块、石膏砌块	轻质、保温、成本低、固废利用	填充墙、内隔墙、保温层	固废利用率≥30%~65%
高效保温材料	岩棉板、聚苯乙烯板	导热系数低、防火性能好	墙体保温、屋面保温	降低传热系数 50%以上
复合功能材料	结构保温一体化板材	承重保温一体化、施工便捷	外墙围护结构	减少施工工序、缩短工期

3.3 建筑围护结构节能设计技术

围护结构是工业建筑与外界环境热交换的界面,保温隔热性能直接影响到建筑的采暖、制冷能耗。工业建筑围护结构节能设计主要是对外墙、屋面、门窗和透光围护结构进行节能构造设计。高效保温隔热材料是提高建筑围护结构热工性能的重要手段,常用的有聚苯乙烯板、岩棉板、硅酸盐板等,它们具有较低的导热系数和较好的保温隔热效果。在外墙设计中可以采用复合保温墙体结构,即在外叶墙和内叶墙之间设置保温层形成夹芯保温墙体,或者在外墙外侧粘贴保温板材形成外保温系统。对有特殊温度要求的工业厂房,如精密制造、食品加工车间等的围护结构传热系数要加以严格控制^[2]。屋面为能耗重点部位,采用倒置式屋面,即保温层设在防水层之上,可保护防水层、延长使用寿命;种植屋面具有保温隔热、雨水滞蓄、改善微气候等多重功能。门窗设计时应选用气密性、水密性、保温性好的门窗产品,采用双层玻璃、中空玻璃等节能型玻璃。低辐射中空玻璃能有效地降低传热系数、太阳辐射得热,又具有较好的采光性能。对于有采光要求的工业建筑,合理设置采光天窗、光导管等自然采光设施,在保证减少人工照明能耗的同时改善室内光环境质量。

3.4 可再生能源与绿色建筑技术融合应用

把可再生能源系统同工业建筑结构结合起来,是达成建筑零碳运行的关键途径。目前应用最广的是太阳能光伏建筑一体化技术(BIPV),即把光伏组件当作建筑围护结构的一部分,代替传统的屋面瓦、幕墙玻璃、遮阳构件等。在工业厂房屋顶安装太阳能光伏系统,可以满足自己全部或大部分的电力需求,大大减少对传统能源的依赖。极电光能全球研发中心把钙钛矿光伏组件镶嵌在研发主楼的立面、光伏连廊和园区围栏上,整个园区形成发电、储电、用电闭环的能源系统,研发中心大楼光伏发电量可以完全满足照明用电。该实例体现出光伏技术和工业建筑结构相结合具有很大的潜能^[3]。除光伏外,太阳能热水系统、空气源热泵、地源热泵等技术也可以同工业建筑设计相结合。厂房一体化可再生能源利用增效技术依靠多能适配来削减工业建筑的能耗和碳排放,这些成果被收录到国际室内空气质量手册以及工业通风设计手册当中。结构设计时预留出可再生能源设备安装位置、荷载条件、管线通道,可以减少后期加装成本。对于高大空间的工业厂房来说,自然通风属于重要的被动式节能技术。采用合理设置高低侧窗、通风屋脊、导风板等构造措施,依靠热压和风压推动自然通风,可以降低机械通风能耗。

4 提升工业建筑结构绿色节能设计水平的措施

4.1 完善绿色节能设计体系与标准

目前我国工业建筑绿色节能设计标准体系不健全,各个行业之间标准差别大。提高设计水平首先要建立标准规范体系,参照重庆市工业建筑节能(绿色建筑)设计标准,设计文件应编制绿色设计专篇。各地区要根据气候状况和产业构成情况来制订地方性的技术准则,行业协会也要加快形成典型行业绿色设计的指导文件,给出能耗的最低标准以及适合的技术路线。另外,还要创建起绿色设计评价和激励机制,把绿色节能指标加入到设计招投标评审体系当中。

4.2 强化数字化与智能化设计技术应用

数字化技术属于提高绿色设计精确度和效率的工具。建筑信息模型(BIM)技术依靠对建筑性能展开数字化模拟与优化,可以对能耗、采光、通风这些指标展开定量分析,从而在设计阶段给设计师提供科学的选择。智能化管理系统的运用是达成工业厂房高效运作的关键途径,借助物联网以及大数据技术,能够达成对厂房内部环境、设备状况和能耗实施实时监测并加以智能调节的目的。将BIM模型同能耗模拟软件、结构分析软件等数据互通,可以达到多专业协同优化的目的。智能环境感知调控技术、柔性通风设备可以实现对目标的实时跟踪、环境的动态调节。设计阶段应预留智能化系统传感器点位、控制管线和集成平台接口,为以后的智慧运维打下基础。数字孪生技术把实体建筑和虚拟模型实时匹配起来,利用大数据分析找到节能的潜力点,并加以优化改善。

4.3 加强绿色建筑材料全过程管理

绿色建材选择和应用在设计、采购、施工、运维全过程中都有所体现。设计阶段要编制绿色建材应用清单,确定材料性能和环保要求,采用高性能、长寿命的材料。采购阶段优先选择有绿色认证的产品,施工阶段加强进场验收、减少材料损耗,运维阶段建立材料使用档案。采用本地化的建筑材料来减少运输能耗。对改扩建项目来说,应该先利用已有的建筑材料、构件等,防止出现资源浪费的情况发生。

4.4 推动绿色节能技术协同集成与创新发展

绿色节能技术单个应用效果不大,技术集成、协同优化才是设计水平提高的重要途径。应该把围护结构保温、自然通风、光伏发电、智能控制等技术系统集成起来,在结构设计阶段就考虑到各项技术的物理接口和系统兼容性。加大研发投入,推进新材料、新结构、新工艺的工程

转化,创建产学研协同创新体系,加快科技成果到工程实践的转化。

5 结语

工业建筑结构设计中的绿色节能技术应用,是达成工业领域碳达峰碳中和目的的主要途径。高性能绿色建材、结构优化、围护结构节能、可再生能源融合等各方面技术各有侧重,但又相互联系。目前技术发展已经由单一节能措施向系统集成、智慧协同方向发展,BIM 技术、智能感知和调控技术的应用给绿色设计赋予了更强有力的工具。但是设计标准体系不健全、技术集成度不高、创新能力不足等都影响着绿色节能设计的推广。未来还要完善标准体系、加大数字化技术应用、做好材料全过程管理、促

进技术协同创新,使工业建筑由耗能型向节能型、产能型转变,实现经济效益、社会效益和环境效益三者相统一。

[参考文献]

- [1]王雪婷.绿色建筑理念下的工业建筑设计研究[J].中国房地产业,2026(8):114-117.
- [2]万方.工业建筑装配式立面多样化设计方法及集成策略[J].有色冶金设计与研究,2026,47(2):54-57.
- [3]李永忠.建筑节能设计在工业建筑设计中的运用分析[J].工程建设与设计,2024(1):46-48.

作者简介:崔丽娜(1981—),女,汉族,河北邢台人,高级工程师,河北工程学院毕业,现就职于河北天艺建筑设计有限公司,从事结构设计工作。