 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i1.8964

Carbon Emission Calculation and Energy Saving and Carbon Reduction Transformation Strategy Analysis of an Existing Public Building in Xi'an

Dongjin Zhang

Western Architectural Seismic Investigation and Design Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710054, China

Abstract

Under the guidance of the "dual carbon" goals, existing public buildings, as major contributors to societal energy consumption and carbon emissions, have become a critical focus for green transformation in the construction sector through energy-saving and carbon-reduction retrofits. Xi 'an, characterized by northern heating demands and a hot summer-warm winter climate, faces widespread challenges in energy-intensive and high-carbon public buildings, necessitating targeted emission reduction strategies. This study conducts a carbon emission analysis of a Xi' an public building during its operational phase and proposes energy-saving measures to reduce its carbon footprint. The findings aim to provide theoretical references for similar building retrofits, enhance carbon emission control during the design phase, and ultimately achieve truly low-carbon architectural design.

Keywords

Xi'an region; existing public buildings; carbon emission calculation; energy-saving and carbon reduction retrofitting strategies

西安地区某既有公共建筑碳排放计算及节能减碳改造策略分析

张冬瑾

西部建筑抗震勘察设计研究院有限公司，中国 · 陕西 西安 710054

摘　要

在“双碳”目标引领下，既有公共建筑作为全社会能耗与碳排放的重要载体，其节能减碳改造已成为建筑领域绿色转型的关键任务。西安市兼具北方供暖需求与夏热冬冷气候特征，既有公共建筑普遍存在能耗强度高、碳排放量大的问题，亟待针对性减排方案。本文以西安地区某既有公共建筑为研究对象进行建筑运行阶段碳排放计算分析，并提出相应节能减碳措施降低案例建筑碳排放量，旨在为同类建筑节能减碳改造提供理论参考，并提升对设计阶段碳排放控制的关注度，实现真正的低碳化建筑设计。

关键词

西安地区；既有公共建筑；碳排放计算；节能减碳改造策略

1 引言

2025 年 1 月，住建部发布《全国建筑存量调查报告》显示，截至 2024 年末，我国城乡建筑总量达到 6.02 亿栋，总面积达 1070 亿平方米。公共建筑 0.46 亿栋，占 7.6%。2022 年，建筑与建筑业建造的碳排放总量为 51.3 亿 tCO_2，占到全国能源相关碳排放的 48.3%；建筑运行碳排放 23.1 亿 tCO_2，在公共建筑、城镇居住建筑和农村居住建筑三种建筑类型中，公共建筑消耗了 41% 的能源（4.9 亿 tce）并贡献了 41% 的碳排放（9.4 亿 tCO_2），是建筑运行能耗和碳排放的最主要来源，可见公共建筑用能及排放之甚。

据此，2024 年，国家发展改革委、住房城乡建设部颁布了《加快推动建筑领域节能降碳工作方案》，重点任务中提到要推进城镇既有建筑改造升级，推动建筑用能低碳转型等。作为北方供暖地区，西安市兼具供暖需求与夏热冬冷气候特征，同时因节能绿色建造起步较晚，地方规定约束较弱，建筑运行带来的能耗与碳排放不容小觑，亟待开展广泛深入变革。

2 建筑碳排放概述

2.1 建筑物全生命周期碳排放概念

根据《建筑碳排放计算标准》（GB/T51366-2019）释义，建筑碳排放指建筑物在与其有关的建材生产及运输、建造及

【作者简介】张冬瑾（1992–），女，中国山东淄博人，本科，工程师，从事暖通设计研究。

拆除、运行阶段产生的温室气体排放的总和，以二氧化碳当量表示。建材生产及运输阶段主要由生产建材过程中消耗的煤炭、天然气、石油、电力等能源组成，涵盖建筑材料上游原材料开采、能源供给，贯穿建材生产全流程，直至材料出厂并运输至建筑施工场地；运行阶段碳排放主要由室内暖通空调、生活热水、照明及电梯、可再生能源、建筑碳汇系统所消耗的上述能源产生的碳排放组成，其中前三项因能源消耗产生碳排放，后两项为产能及建筑红线内绿化种植对二氧化碳的吸收而减少碳排放，二者之差即为建筑物运行阶段的最终碳排放量；建造碳排放为施工及工程中各分部分项工程及现场各项措施产生的碳排放总和，以项目开工为起始点，以项目竣工验收为终止点；拆除碳排放为人工和机具机械使用时，设备消耗的各种能源动力产生的碳排放的总和，以拆除作业启动为起始点，以建筑拆除肢解及拆解物楼层外运完毕为终止点。

2.2 建筑物全生命周期碳排放计算

目前全生命周期碳排放计算多采用碳排放因子法，建筑碳排放 =∑ 分类能源消费量 * 能源碳排放因子。在具体计算过程中，建材生产及运输、建造及拆除阶段碳排放计算公式与数据收集较为复杂，或是广泛处于建筑寿命期内，鲜有拆除项目，故在设计阶段难以精确计算。在实际项目中多以估算法代替，通过工程造价清单、各专业施工图、建材采购合同来估算各类建筑材料的用量参数，再结合对应能源类型的碳排放因子，初步核算该阶段碳排放量。有学者研究表明建材生产及运输、建造及拆除阶段碳排放约占全生命周期碳排放的 20-30%，但就《2024 中国城乡建设领域碳排放研究报告》中的数据表明，2022 年国内建材生产运输及建造阶段的碳排放量已然接近了建筑运行碳排放量，这一现象表明建筑运行能源相关的碳排放量在下降，能源结构持续优化中。

建筑运行阶段碳排放量因具备建筑模型及设计图纸，能从各专业角度清晰列出诸多设计参数，如建筑区位、面积、功能及使用时间；围护结构材料构成；机电专业设置的不同系统的主机及末端参数；建筑景观设计中的绿化面积及树种等。将以上参数输入计算软件中即可快速得出建筑物运行碳排放量。

3 西安地区某既有公共建筑运行阶段碳排放计算

3.1 西安地区公共建筑设计原则

西安市地处寒冷 B 区，根据（GB 50176-2016）《民用建筑热工设计规范》要求，寒冷 B 区建筑热工设计在满足冬季保温要求的同时，部分地区需兼顾夏季防热。在自然地理与气候因素共同作用下，西安四季分明，冬季寒冷干燥，夏季炎热多雨，供冷的能耗在使用过程中，就此引起的碳排放更是不可忽视。而公共建筑由于空间开阔，进深大的特点，为了维持舒适使用环境，暖通空调系统设备机组选型更大，照明系统开启时间更长，运行能耗显著高于住宅建筑。为了尽可能降低建筑物运行期间的能耗，公共建筑需围绕“降低供暖制冷能耗、减少太阳辐射影响、提升能源利用效率”三大核心目标进行设计。多采用控制建筑朝向、控制建筑体型系数、利用遮阳减少太阳辐射、优化围护结构保温性能、过渡季节充分利用自然通风、采用集中式供暖供冷等方式来降低能耗。

3.2 西安地区某既有公共建筑运行阶段碳排放计算

现就某既有公共建筑运行阶段进行碳排放计算。该项目位于陕西省西安市，设计于 2016 年，总建筑面积约 19900 ㎡，地上四层，建筑高度 21m，为学校图书信息大楼建筑，建筑设计寿命 50 年。冬季按照连续供暖考虑，夏季空调系统工作时间设定为工作日 7：00~18：00，因兼作学校行政办公大楼，寒暑假时长各调整为 40、50 天，冬夏季供暖供冷天数在西安市标准上对应扣减。照明功率密度按《建筑照明设计标准》(GB/T50034-2024) 中相关规定确定。围护结构基本参数：外墙采用加气混凝土砌块 +60 厚 FL 聚合聚苯板；外窗采用 6mm 高透光 Low-E+12mm 空气 +6mm 高透光 Low-E 中空玻璃；屋顶保温层采用 70 厚 XPS 保温板。设置两台螺杆式冷水机组作为冷源，采用市政供热热网 + 空调换热机组作为热源，末端为风机盘管加新风系统；设有五部电梯；不设置生活热水；无各类可再生能源利用；设置了约 5000 平方室外景观绿化作为碳汇。完成建筑三维建模后将上述参数导入碳排放计算软件，得到结果如下：

图书信息大楼建筑运行阶段碳排放计算结果汇总

项目		能源种类	碳排放总量 (kgCO2e)	单位面积年平均碳排放量（碳排放强度）(kgCO2e/a)
碳排放项	供暖系统	市政热力	20559607.04	34.29
	供冷系统	电力	11514533.52	19.21
	输配系统	电力	8802959.92	14.68
	照明系统	电力	19838368.72	33.09
	电梯系统	电力	2955032.24	4.93
减碳项	建筑碳汇	---	-5083431.00	-8.48
合计		---	58587070.44	97.73

注：市政热力供暖碳排放因子采用 0.06tCO_2/(GJ)（燃料为天然气），电力碳排放因子选用生态环境部、国家统计局颁布的 2022 年省级电力平均二氧化碳排放因子，陕西地区为 0.6558 kgCO_2/kWh。

3.3 案例建筑运行阶段碳排放数据分析

经过计算，图书信息大楼使用阶段碳排放强度为 97.73kgCO_2e/a，这一数值与 2022 年西安地区公共建筑平均碳排放强度 92kgCO_2e/a 较为接近。从表中可以看出，供暖供冷系统系统碳排放量占比在 54.7% 左右，照明系统略低于前者，达到了 33.9%，输配系统碳排放量占比 15%，电梯的碳排放量为 5%。图书馆项目不同于其他公共建筑，其能耗特点既贴合公共建筑共性，又因使用场景（师生集中借阅、

自习）、时间规律（学期制运行）呈现独特性，表现为教学时段所有设备满功率运行，寒暑假内仅存在值班及待机运行能耗，总量波动极大；阅览室、报告厅等大空间人员密度大，新风处理带来的能耗显著提升；且由于阅读区域照度要求高，照明能耗显著高于办公建筑，基于以上各项因素，若不对用能方式做精细化管理和优化，能耗会造成极大浪费，带来的额外碳排放也可见一斑，故该案例建筑暖通空调及照明系统仍存在较大节能减碳改造潜力。

4 案例项目节能减碳改造策略分析

4.1 暖通节能减碳改造策略

在上一章节中，案例建筑暖通空调系统占据了 50% 以上的碳排放量，因此降低暖通空调系统能耗是节能减碳改造的首要任务。该建筑为校内图书馆建筑，大空间开架阅览室较多，现有直流新风系统无热回收，新风温度与室外一致，增加了空调和供暖系统负荷，长期运行能耗较高；可改造为全热新风交换器，利用排风与新风的冷热量进行交换，经换热后的新风再进入空调系统进行二次调节，可减少空调机组的负荷，通常能降低 20%~40% 的新风处理能耗，对于图书馆这类大空间、长时间运行的建筑，长期下来能节省可观的电力能耗和因此带来的碳排放；

优化冷热水输配管网系统阻力。传统空调水系统设计中通常在管网各分支上装设大量平衡阀来调配管网平衡，但平衡阀阻力大，对于管网阻力的控制有不利影响，增大了水系统输送能耗，不利于节能。目前在部分项目中采用恒定管径供水环状管网代替平衡阀来降低主干管管网的阻力，得到了良好反馈，降低了水泵能耗。

供热热源电气化，采用空气源热泵替代部分市政热网供热，室外温度较高时优先采用空气源热泵向室内供热；室外温度较低，空气源热泵 COP 显著下降时优先采用市政热网供热；增加屋面光伏板架设，可利用太阳能发电直接为空气源热泵系统供应电力；

针对不同功能区域（如图书馆的阅览室、办公区）设置分时段、分区域的温控策略，办公区按需调节，避免无效能耗。

4.2 电气节能减碳改造策略

建筑用电高峰通常与日照高峰重合，可采用光伏发电系统，在屋面架设光伏板，利用太阳能直接发电，自发自用，就地消纳，减少电网输电过程中的线损，相当于间接提升了能源利用效率；若结合储能系统，可将白天多余的光伏电力储存起来，夜间用于建筑照明、暖通设备运行，进一步降低对电网高峰电力的依赖。

采用智能照明控制系统。照明控制方式往往采用手动控制，在以往的使用习惯下，人员走入室内会立刻开启全部的灯光照明，离开时也没有养成随手关灯的习惯，这种粗放的控制方法带来了大量的能源浪费。采用智能照明控制系统，运用传感器和网络监测，对照度和房间使用时间进行精细量化，减少照明设备空转带来的能源消耗。

5 结语

本文介绍了建筑物全生命周期碳排放的概念，并针对西安地区某既有公共建筑进行了运行阶段碳排放计算，并通过碳排放数据比重，有目的地选择了占比较高的暖通空调及照明系统进行节能减碳改造策略分析，结论如下：通过对图书信息大楼运行阶段进行碳排放计算，得出暖通空调系统及建筑照明系统耗能处于主导地位，占据了总能耗的 88.6%，因此在后续改造时，节能减碳应首先着力于削减此二者的能耗上。对于图书信息大楼的节能减碳改造策略，本文分别从采用全热交换器降低新风能耗，降低空调管网输配阻力，采用可再生能源与光伏发电结合供热，运用照明智能控制系统等方面提出建议，如配合宣传手段加强师生节能减碳意识，可进一步提升节能减碳效果。

参考文献

[1] 中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专委会. 中国城乡建设领域碳排放研究报告（2024 年版）[R]. 重庆, 2024.

[2] 陈业伟 . 公共建筑节能减碳技术措施分析[J]. 施工技术（中英文）, 2023, 52(16): 144-148.

[3] 韩丽, 宋飞, 王龙, 等. 高校公共建筑减碳及碳中和措施的研究[J]. 建筑经济, 2023, 44(S2): 359-363.

[4] 陈刚 . 公共建筑节能减碳技术路径与实践[J]. 暖通空调, 2024, 54(增刊2): 178-179.

[5] 杨夏冰 . 西安地区高层办公建筑节能减碳设计策略研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2023.

[6] 马康维 . 寒冷地区办公建筑全生命周期碳排放测算及减碳策略研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2019.