

严寒地区高校校园碳排放核算及减碳策略研究

——以吉林建筑科技学院为例

游相樊, 陈维雅, 陈维佳, 刘凯, 郭振豪, 王杨洋*

吉林建筑科技学院能源与环境工程学院, 吉林 长春

收稿日期: 2024年9月9日; 录用日期: 2024年10月18日; 发布日期: 2024年11月20日

摘要

本文以吉林建筑科技学院为例, 通过学校能源监测平台、学校后勤处、餐饮中心等获得数据, 依据《高等学校校园碳排放核算指南》进行校园碳排放核算。核算结果显示, 吉林建筑科技学院2023年校园总碳排放量为13,554.12吨, 人均碳排放量为0.93吨。其中校园建筑设施及维护占比为78.77%, 校园生活占比为20.93%。由于地处严寒地区, 采暖碳排放量达到总碳排放量的39%, 是重要影响因素之一。进一步可提出优化建筑结构, 推广绿色出行, 提高节约意识等对策建议, 以保障高校“双碳”目标的实施能有效持续的推进。

关键词

高校校园, 碳排放核算, 减碳策略

Research on Carbon Emission Accounting and Carbon Reduction Strategy of University Campus in Severe Cold Area

—Taking Jilin University of Architecture and Technology as an Example

Xiangfan You, Weiya Chen, Weijia Chen, Kai Liu, Zhenhao Guo, Yangyang Wang*

School of Energy and Environmental Engineering, Jilin University of Architecture and Technology, Changchun Jilin

*通讯作者。

文章引用: 游相樊, 陈维雅, 陈维佳, 刘凯, 郭振豪, 王杨洋. 严寒地区高校校园碳排放核算及减碳策略研究[J]. 低碳经济, 2024, 13(4): 256-263. DOI: 10.12677/jlce.2024.134025

Abstract

Taking Jilin University of Architecture and Technology as an example, this paper obtains data through the school energy monitoring platform, school logistics office, catering center, etc., and conducts campus carbon emission accounting according to the “Guidelines for Carbon Emission Accounting in Colleges and Universities”. The accounting results show that the total carbon emissions of the campus of Jilin University of Architecture and Technology in 2023 are 13,554.12 tons, and the per capita carbon emissions are 0.93 tons. Among them, campus building facilities and maintenance accounted for 78.77%, and campus life accounted for 20.93%. Due to its location in the cold region, heating carbon emissions reached 39.06% of the total carbon emissions, which is one of the important influencing factors. Further, we can put forward some countermeasures and suggestions, such as optimizing the building structure, promoting green travel, and improving the awareness of saving, so as to ensure the effective and sustainable implementation of the “double carbon” goal in colleges and universities.

Keywords

College Campus, Carbon Emission Accounting, Carbon Reduction Strategy

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

人类活动导致的碳排放是全球变暖的主要原因[1],引起各国关注。我国作为世界上最大的碳排放国,正在气候变化的治理中发挥着积极作用,其目标是在2030年实现碳达峰,在2060年实现碳中和[2]。碳排放的来源非常广泛。包括化石燃料燃烧、森林砍伐和工业加工。高校是碳排放的一个重要来源,为了实现整体社会的低碳发展,高校减碳也被纳入国家减碳目标[3]。截至2023年6月15日,我国有3072所高校[4]。我国高校的碳排放存在巨大的节能减排潜力。有研究表明,我国高校消耗了大约40%的公共部门能源,学生的人均能耗是中国普通居民的两倍多[5]。并发现高校生的公共活动,如在食堂就餐、在公共淋浴间洗澡和在图书馆学习,都有减少碳排放的潜力[6]。

二十一世纪初,国内学者基于生态足迹、生态效率理论,利用定量评估方法展开相关研究。顾晓薇等人[7]于2005年6月进行国内早期的生态足迹研究,介绍了生态足迹成分法的基本原理和计算模型,首次以东北大学和沈阳大学为例将该方法应用于高校的生态足迹研究。同年11月,李广军等人[8]将生态足迹成分法用于计算和对比,分析了沈阳市四所大学的生态足迹和生态效率,认为能源消费的足迹占比最高,超过50%。随后三年,黑龙江科技大学、福州大学、河南大学陆续开展了生态足迹和生态效率研究[9]-[11],先后公布了各自学校的生态足迹核算结果,指出降低生态足迹的措施应主要针对能源、食物和垃圾这三个类别。2009年,在同济大学谭洪卫教授的带领下,浙江大学、山东建筑大学等五所学校[12]-[16]率先开展全国首批“节约型校园建设”创建工作,成立节能管理委员会,开始倡导低碳高校。谭洪卫教授提倡高校引入低碳技术,并逐步推广碳足迹计算器的使用,测算学生公寓、教职公寓、办公楼、教学楼等校内建筑的水、电能消耗量,在校园内定期公布碳排放信息[17]。自此,国内在探索建设低碳高校的

道路上,开展了对高校碳排放的研究。

高校碳排放研究与高校生态足迹、碳足迹研究类似,从定量评估方法、节能减排策略展开研究,而高校碳排放定量评估方法尚未统一[18]。从高校所处气候区角度来说,地处不同气候区数据差异较大。有必要针对不同气候类型区进行高校校园的碳排放核算研究。若从高校层面进行碳排放核算,这需要依靠核算清单,但目前国内只有少数学校编制了核算清单。这些清单存在较大的差异,导致国内高校之间的碳排放评价结果无法进行对比分析,只能局限在个别城市、省份或地区,且对碳排放影响因素的系统研究相对较少。在2024年1月1日实施《普通高等学校校园碳排放核算指南》后,高校校园进行碳排放核算是大势所趋,也迫切需要相关研究为后续低碳校园、零碳校园建设提供重要数据积累。

2. 校园碳排放研究方法 with 数据统计

2.1. 研究方法

本研究主要基于中国建筑节能协会2023年11月6日颁布,2024年1月1日实施的《高等学校校园碳排放核算指南》作为主要的计算方法。校园碳排放核算以年度碳排放量核算为对象,时间跨度为一个完整年度。校园全范围碳排放核算范围包括建筑设施运行维护、校园生活设施、校园交通及教学科研差旅碳排放、可再生能源减排量[19]。核算清单及分类方法,见表1。

Table 1. Campus carbon emission accounting scope and list

表 1. 校园全范围碳排放核算范围及清单

核算类别	按校园场景分类	核算清单内容
碳排放核算	校园建筑设施运行维护(主要指校园设施能源消耗,包括一次能源和二次能源)	直接能源消耗 建筑供热用燃气、燃油、燃煤 间接的能耗消耗电力、热力
	校园生活设施(主要指校园生活设施消耗的能源、水资源、纸张、包括废弃物)	食堂燃气 自来水消耗 纸张 校园废弃物(餐厨垃圾、干垃圾等)
	校园交通 (包括三类交通)	校园间班车交通 校园内机动车进出 学校公务车
	学校科研教学业务 (指校园外活动)	校外科研基地能源消耗 教职工差旅
碳减排核算	可再生能源利用、废物回收利用	光伏发电、纸张回收利用

选取排放因子法作为校园碳排放计算方法,其计算公式见式(1):

$$\text{碳排放量} = \text{活动数据(AD)} \times \text{排放因子(EF)} \quad (1)$$

式中:AD——导致碳排放的生产或消费活动的活动量;EF——单位生产或消费活动量的碳排放系数。

2.2. 数据统计

吉林建筑科技学院新校区占地80余万平方米,总建筑面积34.1万平方米,其中:教学行政用房21.5455万平方米,学生宿舍及生活配套设施11.7129万平方米。本次研究主要调查校园碳排放核算,以二氧化碳作为标准来计算,以2023年为主要计算年份,把研究的地理边界选为红线内,见图1。

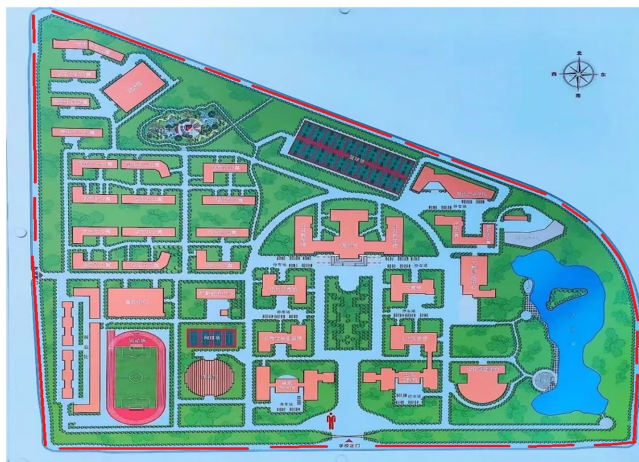


Figure 1. Calculate geographical boundaries
图 1. 计算地理边界图

具体数据来源如下，学校按照《高等学校校园建筑节能监管系统建设技术导则》设置了校园能源监管平台，实现全校的能耗数据化、管理动态化、节能指标化，达到科学用能管理目标，可对用电量、用水量数据进行采集。于学校餐饮中心获得食物消耗量、不同种类垃圾处理量等。

3. 校园碳排放核算结果及构成分析

3.1. 碳排放核算结果

3.1.1. 校园建筑设施运行维护碳排放量

校园采用无水直热式电供暖，即供暖系统仅为电缆、末端散热装置和自动控制系统，无任何水介质。所有建筑物的各个房间均设置壁挂直热式碳晶电暖器，图书馆等局部大空间设置了地埋式碳纤维地热电暖器。在各建筑物的供暖区域设置了 11320 个壁挂直热式全铝翅片碳晶电暖器，6683 个温控箱，向控制中心远传各供暖区域的室温，由自控系统进行控制，功率可在 50~100%之间调节。全校电采暖系统由 4 台电脑集中控制，按室外气温变化、房间温度设定和使用需要启停采暖设备，变频调节供电量，以达到既满足采暖需求又节能运行的目的。

对学校能源监管平台的校园耗电量进行统计，计算得出校园电采暖 2023 年总耗电量为 9,111,208.42 kWh，校园照明及其他用电 2023 年总耗电量 8,059,258.19 kWh。通过学校后勤部门提供数据计算出校园园林绿化工程 2023 年总耗资 100 万元，修缮总费用年总耗资 600 万元。各项消耗量乘以《高等学校校园碳排放核算指南》附录中对应的碳排放因子，可得到相应的碳排放量，结果见表 2。

Table 2. Carbon emission accounting data table of campus building facilities and maintenance
表 2. 校园建筑设施及维护碳排放核算数据表

基于校园场景的碳源分类	碳排放核算清单	物量单位	数量	对应的碳排放因子	因子量纲	碳排放量(t)
校园建筑设施运行	电采暖耗电量	kWh	9,111,208.42	0.000581	tCO ₂ /kWh	5293.61
	校园照明及其他用电	kWh	8,059,258.19	0.000581	tCO ₂ /kWh	4682.43
	柴油(备用发电机)	t	4.488	3.0095	tCO ₂ /t	13.51
校园建筑设施维护	校园园林绿化工程	万元	100	1.0009	tCO ₂ /万元	100.09
	修缮总费用	万元	600	1.0009	tCO ₂ /万元	600.54

3.1.2. 校园生活碳排放量

根据后勤部门、学校餐饮中心以及学校内的智慧监管平台提供的数据汇总计算出 2023 年全年校园耗水量为 377,738 吨, 生活垃圾总量为 4770 吨, 废水处理总量 16,263 吨, 消耗办公用纸 0.909713 吨, 餐厨垃圾总量 157.277 吨, 消耗网购瓦楞纸箱约 14.611 吨, 食堂消耗轻质白油 83.28 吨, 结果见表 3。

Table 3. System resulting data of standard experiment
表 3. 校园生活碳排放核算数据表

基于校园场景的碳源分类	碳排放核算清单	物量单位	数量	对应的碳排放因子	因子量纲	碳排放量(吨)
校园生活	校园耗水量	t	377,738	0.000168	tCO ₂ /t	63.46
	生活垃圾总量	t	4770	0.549	tCO ₂ /t	2618.73
	废水处理	t	16,263	0.00092	tCO ₂ /t	14.96
	办公用纸	t	0.909713	2.75	tCO ₂ /t	2.5
	餐厨垃圾总量	t	157.277	0.258	tCO ₂ /t	40.58
	网购包装(瓦楞纸箱)	t	14.611	1.137	tCO ₂ /t	16.61
	食堂轻质白油	t	83.28	1	tCO ₂ /t	83.28

3.1.3. 校园交通和教科研差旅碳排放

校内机动车数量进行统计记录, 全年的机动车出入频次为 49,894 次, 学校公务车(办公时校内外总路程)2023 年里程 346,500 km, 学校校园班车 2023 年里程 90,000 km。对搭载不同交通工具出行的差旅总公里数据以及人数进行统计整理, 计算出 2023 年全年搭载不同交通工具各消耗总公里数, 结果见表 4。

Table 4. Campus traffic and teaching and research activities travel carbon emissions accounting data table
表 4. 校园交通及教学科研活动差旅碳排放核算数据表

基于校园场景的碳源分类	碳排放核算清单	物量单位	数量	对应的碳排放因子	因子量纲	碳排放量(t)
校园交通	校园内机动车	次	49,894	$0.5 \times \text{出入频次} \times 0.000203$	tCO ₂ /次	5.06
	学校公务车(办公时校内外总路程)	km	346,500	0.000043	tCO ₂ /km	14.9
	学校校园班车(校外总路程)	km	90,000	0.000016	tCO ₂ /km	1.44
教学科研活动差旅	教工差旅(航空)	km	169,707	9.52E-05	tCO ₂ /km	16.16
	教工差旅(高铁)	km	80,826	0.000048	tCO ₂ /km	3.88
	教工差旅(大巴)	km	2562	0.000043	tCO ₂ /km	0.11

3.1.4. 校园碳减排

Table 5. Campus carbon emission reduction data table
表 5. 校园碳减排数据表

基于校园场景的碳源分类	碳排放核算清单	物量单位	数量	对应的碳排放因子	因子量纲	碳排放量(t)
光伏发电减排量	光伏发电	kWh	30,000	0.000581	tCO ₂ /kWh	17.43
废弃物回收利用	纸张	万张	2.172	0.13695	tCO ₂ /万张	0.29746

学校科研楼采用风光互补发电及与建筑一体化技术，风光互补发电系统由 17 组(205 m²) 112 块光伏组件 28 KW 与四台微风力发电机(2.4 KW)构成，通过逆变器直接并网。通过学校科研楼能源监测平台提供数据得出光伏发电 2023 年总量为 30,000 kWh。废弃物回收利用主要考虑纸张回收，2023 年总回收量 2.172 万张。计算结果见表 5。

3.2. 碳排放构成分析

根据上述各项计算，校园全范围碳排放量为 13,554.12 吨，学校现有全日制在校生 13,575 人，教职工近 1000 人，经计算人均碳排放量为 0.93 吨/人。各项占比见表 6，从中可以看出，校园建筑设施及维护占比为 78.77%，校园生活占比为 20.93%，结果见表 6。

Table 6. Campus carbon emissions accounting data table

表 6. 校园碳排放核算数据表

项目	基于校园场景的碳源分类	碳排放量(吨)	占比
碳排放核算	校园建筑设施及维护	10,690.18	78.77%
	校园生活	2840.12	20.93%
	校园交通及差旅	41.55	0.31%
	合计	13,571.85	100%
碳减排核算	光伏发电	-17.43	
	纸张	-0.30	
净碳排放量		13,554.12	

下面将碳排放核算结果中占比在 5%以上的核算清单做下对比分析，见图 2。

■ 校园照明及其他用电 ■ 电采暖耗电量 ■ 生活垃圾总量 ■ 其他

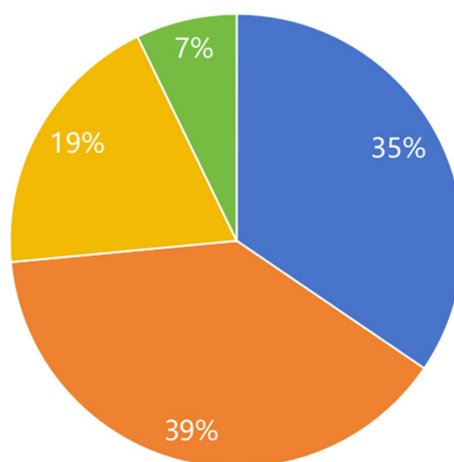


Figure 2. Chart of carbon emissions proportion

图 2. 碳排放量占比图

校园建筑设施中电采暖耗电量为 39%，校园照明及其他用电占比为 35%，校园生活中生活垃圾占比为 19%。对于严寒地区来说，采暖期较长，校园采暖能耗及其引起的碳排放量占比最大，也是校园减碳的重要途径，其次是节约型用电、资源垃圾分类回收减碳策略中重要内容。

4. 校园减碳策略分析

4.1. 校园建筑减碳策略

减碳策略中，绿色建筑是一项重要的举措，它关乎到校园建设和日常运营的方方面面，旨在通过采用可持续的设计、建造和运营方法，减少碳排放，改善能源效率，同时提供健康舒适的学习和生活环境。

1) 融入可持续设计理念，在建筑设计阶段，采用绿色建筑标准，考虑建筑方位、自然采光、自然通风和建筑外形的优化，减少能耗需求。

2) 新建建筑使用节能环保材料，提高围护结构保温效果，减少建筑外围护结构的能量损失。

3) 提高能源效率，采用高效能源系统，包括高效照明、制冷制热系统和设备，利用智能控制系统优化能源使用，减少不必要的能耗。

4) 增加生态景观和绿化，在校园中增加生态元素，如绿化屋顶、垂直绿化和生态湿地，增加校园的生物多样性，提供自然的冷却效应，同时也增强校园的碳吸收能力。

4.2. 校园交通减碳策略

高校校园作为教育和研究的重要场所，其交通出行模式直接影响碳排放水平。为了构建低碳校园环境，必须完善并优化交通系统，减少温室气体排放。以下措施是根据目前的研究和实践成果得出的，旨在降低高校因交通产生的碳排放量。

1) 推广无碳出行方式、鼓励师生使用环保交通工具如自行车、步行等出行方式。

2) 采用低排放或电动班车，减少私家车在校园内的使用频次和碳排放。

3) 推动电动交通工具的使用、在校园范围内建立充电桩基础设施，鼓励使用电动汽车、电动摩托车等清洁能源车辆。

4) 政策引导和激励措施、制定和实施低碳出行相关政策，如对采用环保交通方式的师生提供一定的经济补贴或奖励，降低私家车通行频次，设立限行区域等管理措施。

4.3. 校园生活减碳策略

在高校校园中推广和实践低碳生活是实现可持续发展目标和响应全球气候变化挑战的重要途径。低碳生活方式的推行，不仅能够显著降低校园的碳排放，还能够培养学生的环保意识和行为习惯，为他们将来进入社会作出贡献奠定基础。以下为实现低碳生活的关键策略及其具体实施内容。

1) 推广节约型用水用电习惯、提高水资源的利用效率。同时，在校园内开展节能减排教育活动，引导师生节约用水用电。

2) 实施低碳餐饮服务、鼓励校园内餐饮服务采用本地及季节性食材，减少食物的碳排放。通过提供健康、低碳的餐饮选择，倡导平衡的饮食习惯。

3) 推动绿色消费、引导师生选择环保、低碳的日用品和消费品，开展循环利用和二手物品交换活动，减少资源浪费。鼓励使用可降解和再生材料，提升校园内绿色产品的使用率。

4) 垃圾分类与资源回收、建立完善的垃圾分类回收系统，定期举办相关活动，提高师生的垃圾分类意识，促进资源的有效回收和利用。

5) 低碳教育和文化建设、将低碳生活融入教学与研究中，开发与低碳生活相关的课程和项目，鼓励学生参与低碳科研活动。通过举办低碳生活主题活动、竞赛等形式，营造低碳生活的校园文化。

基金项目

国家级大学生创新创业计划项目 2023 年创新项目“吉林省高校校园碳排放核算及减碳策略研究”

(基金编号: 202313604014)。

参考文献

- [1] Li, X., Ni, G. and Dewancker, B. (2019) Improving the Attractiveness and Accessibility of Campus Green Space for Developing a Sustainable University Environment. *Environmental Science and Pollution Research*, **26**, 33399-33415. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06319-z>
- [2] Xiong, W. and Mok, K.H. (2020) Sustainability Practices of Higher Education Institutions in Hong Kong: A Case Study of a Sustainable Campus Consortium. *Sustainability*, **12**, Article No. 452. <https://doi.org/10.3390/su12020452>
- [3] 王焰新, 徐绍红, 齐睿. 论高校碳中和规划的架构[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2021, 21(6): 1-9.
- [4] 国家统计局. 中国统计年鉴 2023 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- [5] Yuan, X., Zuo, J. and Huisingh, D. (2013) Green Universities in China—What Matters? *Journal of Cleaner Production*, **61**, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.030>
- [6] 曹睿, 封莉, 张立秋. 高校碳排放核算与分析: 以北京 A 高校为例[J]. 环境科学, 2024, 45(4): 1907-1916.
- [7] 顾晓薇, 李广军, 王青, 等. 高等教育的生态效率——大学校园生态足迹[J]. 冰川冻土, 2005(3): 418-425.
- [8] 李广军, 顾晓薇, 王青, 等. 沈阳市高校生态足迹和生态效率研究[J]. 资源科学, 2005, 27(6): 140-145.
- [9] 姜倩倩, 迟美玲, 周燕, 等. 大学校园的生态足迹探究[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(8): 138-141, 146.
- [10] 王菲凤, 陈妃. 福州大学城校园生态足迹和生态效率实证研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2008, 24(5): 84-89.
- [11] 鲁丰先, 秦耀辰, 刘姗姗. 校园生态足迹与节能减排学校行动——以河南大学为例[J]. 安徽 农业科学, 2008, 36(15): 6503-6505, 6512.
- [12] 谭洪卫. 首批“节约型校园建设”示范高校——同济大学节约型校园建设示范[J]. 建设科技, 2009(10): 20-23.
- [13] 屈利娟. 首批“节约型校园建设”示范高校——浙江大学建筑节能监管体系建设[J]. 建设科技, 2009(10): 28-31.
- [14] 张强. 首批“节约型校园建设”示范高校——北京师范大学节水型校园建设[J]. 建设科技, 2009(10): 32-35.
- [15] 王崇杰. 首批“节约型校园建设”示范高校——山东建筑大学节能节水技术应用[J]. 建设科技, 2009(10): 36-38.
- [16] 田备. 首批“节约型校园建设”示范高校——江南大学数字化节约型校园建设[J]. 建设科技, 2009(10): 39-41.
- [17] 徐进. 绿色校园——同济大学的低碳之路[J]. 园林, 2010(10): 44-46.
- [18] Helmers, E., Chang, C.C. and Dauwels, J. (2021) Carbon Footprinting of Universities Worldwide: Part I—Objective Comparison by Standardized Metrics. *Environmental Sciences Europe*, **33**, Article No. 30. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00454-6>
- [19] 中国建筑节能协会. 普通高等学校校园碳排放核算指南: T/CABEE 053-2023 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023.