

“绿美广东”视域下零碳校园建设路径研究——以广东技术师范大学河源校区为例

黄海燕 洪琪琪 李逸淇

广东技术师范大学，广东广州，510665；

摘要：本研究聚焦于“绿美广东”背景下零碳校园的构建路径，以广东技术师范大学河源校区为例，运用 STIRPAT 模型对校园碳排放进行预测与模拟，旨在为零碳校园的建设提供数据支撑和实践指导。项目紧密结合国家“双碳”战略，致力于培育碳中和人才，从理论研究与实践应用两方面同步推进。在理论层面，团队依据 IPCC《2006 年国家温室气体清单指南》的自下而上方法，以碳核算为核心，系统计算校园碳排放数据。排放源统计严格遵循 WRI《温室气体核算体系》的范围一、二和范围三标准。实践应用方面，团队在校园绿色低碳转型与可持续发展领域取得突破，为零碳校园建设提供了切实可行的方案。同时，团队深入研究零碳校园碳排放核算标准化问题，建立绿色校园示范点，以实际行动助力生态文明建设，为“绿美广东”的可持续发展贡献力量。本研究不仅为零碳校园建设提供了理论依据和实践指导，更对推动校园乃至更广域的绿色低碳发展具有深远意义。

关键词：绿美广东；零碳校园；碳排放

DOI：10.69979/3029-2700.24.8.037

引言

中国高校数量庞大，拥有近 3000 所学校和超过 800 万在校生。作为城市的重要组成部分，高校的碳排放量据估算可达千万吨至亿吨级别。南开大学的于宏兵教授指出，高校的能源费用占总经费的 10% 至 15%，是能源消耗的重要部分，对推动绿色发展具有不可推卸的责任。

2021 年，国务院发布了《2030 年前碳达峰行动方案》，强调了绿色低碳科技创新的重要性，并提出将低碳技术创新成果纳入高等学校绩效考核，以促进低碳领域的学科建设和人才培养。随着技术的进步，数据收集和處理方法的优化，以及算法的升级，为碳核算平台提供了更准确和稳定的技术支持，为低碳校园建设的研究和实践提供了有利条件。

高校校园的节能减排不仅能够显著降低校园乃至城市的碳排放，还能作为标杆案例，为城市低碳节能行动和政策的制定提供实践指导，对城市整体的节能减排工作产生积极推动作用。本研究融合了物联网、人工智能、大数据和传感器等前沿技术，促进了碳管理领域的技术革新和实际应用，为低碳技术的发展注入了新的活力。

高校在低碳改造中的积极参与，不仅推动了社会经济系统的绿色转型，还激发了机构及社会群体的责任感，有助于高校塑造积极的社会形象，并培养未来公民的绿色健康理念。此外，高校校园低碳路径和实施方案评价体系的研究，为构建绿色低碳校园提供了重要的理论基

础和实践支撑。

1 文献综述

近年来，随着全球气候变化问题的日益严峻，高校作为人才培养和科学研究的重要基地，其在实现碳达峰和碳中和目标中的作用日益受到重视。国内外学者对此展开了广泛研究，旨在通过碳排放核算和碳中和路径优化，推动高校可持续发展。

在碳排放核算方面，研究者们采用了多种方法，如排放因子法、生命周期评价法等，以评估高校的碳足迹。例如，曹睿等（2024）采用排放因子法和理论计算法，对北京 A 高校 2021 年的碳排放量进行了核算，发现电力、通勤与差旅、热力、天然气和食物是主要的碳排放源。此外，郑煜缤等（2024）通过对广西某高校的碳排放核算研究，指出建筑设施是校园碳排放最主要的输出来源，占总碳排放量的 90%。

在碳中和路径探索方面，学者们提出了多种策略。谭洪卫（2022）强调了高校在碳中和目标下的绿色发展路径，包括节约型校园示范建设、绿色校园评价标准体系的构建，以及校园碳核算的实施。金德禄等（2022）则以潍坊理工学院为例，展示了通过使用可再生能源部分的碳减排量大于碳排放量，实现净碳排放量为负的案例，为其他高校提供了借鉴。

总体而言，高校校园碳排放核算与碳中和路径的研究呈现出多元化的趋势。研究不仅关注于碳排放量的准确核算，而且开始探索具体的减排措施和碳中和策略。

这些研究为高校实现碳中和提供了理论基础和实践指导，对于推动高校乃至全社会的可持续发展具有重要意义。未来研究需进一步深化核算方法的准确性，探索更多切实可行的碳减排技术，以及加强国际合作，共同应对全球气候变化挑战。

2 河源校区基本情况概述

2.1 固碳相关数据

截至 2023 年 4 月，广东技术师范大学河源校区绿化面积达 18.5 公顷，其中草坪面积达到 8.1 万平方米，种植乔木 3200 棵、灌木 9500 棵。依据科学数据，1 公顷的亚热带常绿阔叶林每年能吸收二氧化碳约 25 吨，并释放氧气约 18 吨。结合本校的绿化情况，我们可以粗略估算，河源校区绿化面积每年可吸收二氧化碳至少达到 46 万吨。

2.2 其他数据

截至 2024 年 5 月 7 日，河源校区共有学生 6835 人和教职工 415 名，其中常驻教职工 167 名，另有 248 名教职工往返于广州和河源。校区设有 83 间多媒体教室，分布在博学大讲堂、唯实楼等教学区。实验实训设施包括 58 间琴房、电钢琴房、理论课室、声乐室、器乐室、舞蹈室、合唱室、画室、书法室、绘图室、摄影实验室、电子电路实验室和物理实验室。学生住宿方面，校区有 14 栋宿舍楼（北苑 8 栋，南苑 6 栋），其中 13 栋提供住宿，均为上床下桌的四人间，配备电梯和独立卫浴。

3 研究方法与数据来源

3.1 核算框架

团队独创性地构建了方碳云算校园碳排放核算框架，以河源校区为核算边界。本框架采纳了 IPCC《2006 年国家温室气体清单指南》中的自下而上估算法，确保了核算的精确性。排放源的统计遵循 WRI 的《企业核算和报告标准》，涵盖范围一至三的温室气体。关键参数如发电量、碳氧化率和电网排放因子等，均基于 2020 年 6 月广东生态环境厅发布的《广东省市县（区）级温室气体清单编制指南》的最新数据。

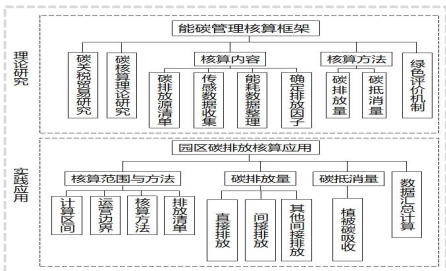


图 1 校园碳排放核算框架

团队识别和计算温室气体排放量的方法程序有：确定核算的基准年；确定高校的组织边界和运营边界；识别温室气体排放源；选择核算的基本方法，包括实测法、物料平衡法、排放因子法等；收集活动数据，确定排放因子；采用跨行业工具或特定行业工具计算温室气体排放量；用集中法和分散法将温室排放数据汇总到高校一级。

团队进行研究的核算准备包括：（1）规定计算时间区间；（2）梳理校园运营边界；（3）确认校园核算方法；（4）整理碳排放源清单。

$$I = aP^b A^c T^d e \tag{1}$$

模型基本公式为：

其中 a、b、c、d 为变量系数，e 为误差项。

对式（1）两边取自然对数，得到：

$$\ln I = \ln a + \beta_1 \ln P + \beta_2 \ln A + \beta_3 \ln T + \ln e \tag{2}$$

其中 β_1 、 β_2 、 β_3 为弹性系数，表示当 P、A、T 每变化 1% 时，引起 I 的变化。

下表是式 2 中各个符号分别所代表的含义：

表 1 各符号所代表含义

符号	指标	定义	单位
I	碳排放量	二氧化碳排放量	吨
P	人口规模	教职工数量	人
A	教育投入	人均教育经费	万元/人
T	技术水平	碳排放强度	吨/万元

碳总量的计算公式如下：

$$C_{\text{碳总量}} = C_{\text{排放量}} - C_{\text{吸收量}} \tag{3}$$

STIRPAT 模型 GHG 排放计算公式如下图。



图 2 GHG 排放计算公式

3.2 调研实例

以广东技术师范大学河源校区为例，团队基于校园碳排放发展现状，依据核算的透明性、准确性、科学性，进行广东技术师范大学校园碳排放核算的研究。

计算区间：2021 年 1 月-2021 年 12 月

运营范围：河源校区（1081 亩）建筑区，包括教学楼、实训楼、饭堂、宿舍楼、图书馆等等。

部分核算公式：

$$\text{电力 } CO_2(t) = \frac{\text{用电量}(kWh) \times \text{电网因子}(t/MWh)}{1000} \quad (4)$$

$$\text{燃气 } CO_2(t) = \frac{\text{使用量}(m^3) \times \text{电网因子}(t/104m^3)}{10000} \quad (5)$$

3.3 数据来源

表 2 碳排放源清单

分类	排放设施或活动	排放源
直接排放	空调与冷藏设备	氢氟碳化物
	除草设备	柴油
	开水房	电能
	食堂锅炉	天然气
	备用发电设备	石化燃料
	垃圾处理设施	电能

续表 2

分类	排放设施或活动	排放源
间接排放	污水处理设施	电能
	校区间公用车	柴油、压缩天然气
	校园内部车辆	汽油
	公共卫生间	电能、供水
	校内人员	人员呼吸
	外购用电	电能
其他间接排放	外购用水	电能
	外购蒸汽	石化燃料
	教学楼宿舍楼等建筑	建筑物
其他间接排放	校园师生车辆	汽油
	食堂厨余	厨余处理
	纸张等生活垃圾	废弃物
	实验室废弃物	废弃物
其他间接排放	报废教学器材	废弃物

本文所需数据涵盖了广东技术师范大学河源校区的用电、用水、用天然气、食品原材料消耗、垃圾产生量、跨境交通以及办公用纸消耗等多个方面。这些数据的获取主要依托于校区管委会下设的后勤及安保部，该部门不仅负责校园内能源的管理和监控，还涉及水资源管理与维护，以及所有能源供应和使用情况的记录。食品原材料消耗数据则由学校餐饮服务中心提供，负责原材料采购与消耗统计。垃圾产生量数据同样来源于后勤及安保部，负责垃圾的收集与处理。跨境交通数据通过调研问卷法收集，涉及学生和教师的日常通勤、返乡及出差活动，通过调查交通出行方式、距离、时长等数据，计算交通出行人均能源消耗量，并结合校园学生和教师人数估算校园跨境交通总耗能。办公用纸消耗数据也是通过调研问卷法获取，覆盖打印用纸、笔记本以及教辅材料的使用情况，通过分析抽样人员的用纸情况，实现对校园年办公用纸消耗量的粗略估算。这些数据的收集和分析为河源校区的低碳校园建设提供了重要的数据

支持和决策依据。

4 研究结果

4.1 河源校区碳排放数据分析

经过核算，2021 年广东技术师范大学河源校区碳排放量最高的是间接排放中的外购用电，占比 64.52%，河源校区年电力碳排放达 4013.67 吨，具体月度电力碳排放量如图 3 所示。

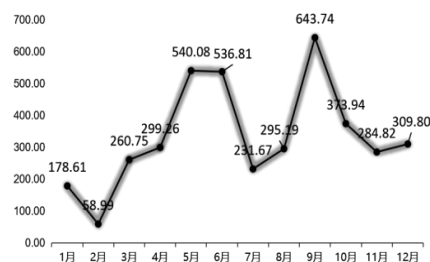


图 3. 2021 年河源校区月度电力碳排放量（吨 CO2）

河源校区月度电力碳排放量具有波动性，在夏秋季节能碳排放量有明显增长，进一步表明，电力碳排放量中主要消耗为空调使用频率的增加。

2021 年河源校区的水电气能耗占比如图 4 所示：

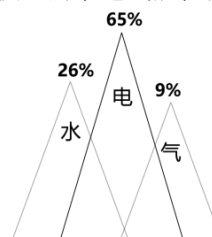


图 4 水电气能耗数据

2021 年河源校区电力能耗占比达 65%，水力能耗占比为 26%，水电的能耗是河源校区碳排放量的主要来源。

4.2 河源校区减碳数据分析

以河源校区往年碳排放数据为底，2022 年河源校区的节能减排措施包括：高效节能空调占总用电量 22%，节省电力资源；5000 平方米太阳能光伏发电系统减少外部电力依赖；雨水收集系统提升水资源效率；智能水控系统控制水资源浪费；绿色能源管理平台监控能源使用；厨余垃圾处理站转化垃圾为资源；30%以上垃圾可回收利用；教育活动提升环保意识。

河源校区过去五年的能源消耗数据显示，总能源用量逐年降低，特别是化石能源的使用量，已从 70%降至 40%，而可再生能源使用量稳步上升。碳排放量也随之减少，与能源消耗量的下降趋势相吻合。通过引入高效节能灯具和智能空调系统等先进技术设备，能源使用效率显著提升，单位面积能耗从 183.65 千瓦时/平方米下降 12%至 161.612 千瓦时/平方米。

在能源结构上,河源校区已实现多元化供应,包括太阳能、风能、水能等可再生能源和部分天然气等清洁能源,其中可再生能源占比已达 60%,且持续增长。

这些成果表明河源校区在节能减排和可再生能源推广方面取得了积极进展。未来,校区需持续强化能源管理和技术创新,以实现零碳排放目标。通过优化能源结构和提升使用效率,校区不仅减少了碳排放,改善了环境,还为学生创造了更舒适、更健康的学习环境。河源校区将继续增加对可再生和清洁能源的投资,推动零碳校园建设向纵深发展。

4.3 河源校区零碳校园情景规划分析

通过对模型的深入分析,我们提出了河源校区实现零碳目标的三条关键路径:

增加可再生能源使用:模型预测,扩大太阳能和风能等可再生能源的利用,可显著降低能源消耗和碳排放。预计太阳能光伏发电装机容量翻倍后,每年可减少至少 15% 的电力消耗。

提升建筑能效:对现有建筑进行节能改造,确保新建建筑达到绿色建筑标准,预计每年可节约 20% 的能源消耗,有效减少碳排放。

优化能源管理:完善能源管理系统,引入智能化监控和调节,提高能源使用效率,避免浪费。同时,加强环保政策宣传,提升师生环保意识,降低碳排放。

5 结论

本研究基于 STIRPAT 碳核算模型,以广东技术师范大学河源校区为案例,探究了零碳校园建设路径。本研究创新开发了方碳云算校园碳排放核算框架,开展了碳核算、数据收集、节能减排潜力评估和改良措施提出等工作,研究结果可为高校厘清碳足迹现状、推进零碳校园建设提供科学基础,具体建议和管理启示如下:

第一,提高资源利用率。河源校区碳排放量最高的是间接排放中的外购用电。且空调制冷与冷藏设备碳排放量较大,缺少智慧能源调控系统,导致教室与食堂的制冷设备无法实现智能管理。因此,校园建设热回收通风系统,提高热能回收及利用效率,搭建物联网能耗平台,实现空调制冷与冷藏设备的智能管控,降低直接碳排放。

第二,升级照明系统。河源校区的照明系统主要依赖人工照明,智能化水平不高,导致资源浪费和用电量

增加,间接增加了碳排放。因此,升级 HVAC 节能建筑系统,实现照明系统的智能化调控,减少资源浪费和用电量。同时,改进自然采光,降低人工照明比例,减少碳排放。

第三,加大低碳宣传力度。校园碳排放与高校人员的日常行为习惯及节能意识有着密切联系。河源校区尚未建立完善的碳排放管理机制,缺乏专项工作组和专职人员,同时在零碳校园建设人才培养方面存在明显不足,环保普及与培训进展缓慢。因此,通过宣传和教育,强化师生的环保节约意识。依托自身资源,对与节能减排的相关科研项目提供大力支持,增强学生的环保意识,营造有利于专业人才培养的环境,激发专业人才的涌现。

参考文献

- [1] 郑煜缤,谢小利,曾燕,等.“3060 双碳”目标下高校校园的碳排放核算研究[J]. 建筑节能(中英文),2024,52(08):127-132.
- [2] 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(04):1907-1916. DOI:10.13227/j.hj.kx.202305013.
- [3] 谭洪卫.碳中和目标下高校校园的绿色发展路径新探[J]. 能源环境保护,2022,36(05):1-12.
- [4] Islam M S, Liu G, Xu D, et al. University-campus-based zero-carbon action plans for accelerating the zero-carbon city transition[J]. Sustainability, 2023, 15(18): 13504.
- [5] 金德禄,朱晓利,徐攀.零碳排放校园建设[J]. 能源与节能,2022,(04):5-9. DOI:10.16643/j.cnki.14-1360/td.2022.04.021.
- [6] 郑德高,吴浩,林辰辉,翁婷婷.基于碳核算的城市减碳单元构建与规划技术集成研究[J]. 城市规划学刊,2021(04):43-50.

基金项目:广东省哲学社会科学规划项目(GD24CYJ45);

作者简介:黄海燕(1986-),女,重庆人,博士,研究方向为双碳管理、绿色发展、科技创新。洪琪琪(2004-),女,广东人,本科,研究方向双碳管理、数字经济;李逸淇(2004-),女,广东人,本科,研究方向:绿色金融,双碳管理。