

面向双碳的多场景碳排放计算与分析系统设计

侯慧敏¹, 李明辉¹, 刘静超^{1*}, 闻丽芬²

¹西京学院计算机学院, 陕西 西安

²西京学院医学院, 陕西 西安

收稿日期: 2026年3月13日; 录用日期: 2026年4月12日; 发布日期: 2026年4月23日

摘要

在“双碳”战略背景下, 碳排放精细化核算已成为推动节能减排与绿色转型的重要基础工作。然而, 现有碳排放核算方法多依赖复杂的统计口径与专业工具, 普通个人及高校等中小组织在实际应用中存在使用门槛高、计算过程不透明等问题。针对上述问题, 本文设计并实现了一种面向个人、高校及社区等多应用场景的碳排放计算器系统。该系统基于权威碳排放因子, 对用电、用气及出行等典型活动产生的碳排放进行快速核算, 并以可视化方式展示碳排放结果及减排潜力。实验结果表明, 该系统计算过程清晰、结果直观, 可为个人低碳行为引导和高校碳管理提供有效支撑。研究成果对推动双碳目标下的碳排放认知与管理实践具有一定的参考价值。

关键词

双碳目标, 碳排放计算, 碳足迹, 系统设计, 低碳管理

Design of a Multi-Scenario Carbon Emission Calculation and Analysis System for Carbon Neutrality

Huimin Hou¹, Minghui Li¹, Jingchao Liu^{1*}, Lifen Wen²

¹School of Computer Science, Xijing University, Xi'an Shaanxi

²School of Medicine, Xijing University, Xi'an Shaanxi

Received: March 13, 2026; accepted: April 12, 2026; published: April 23, 2026

Abstract

Under the background of the “carbon peaking and carbon neutrality” goals, refined carbon emission

*通讯作者。

文章引用: 侯慧敏, 李明辉, 刘静超, 闻丽芬. 面向双碳的多场景碳排放计算与分析系统设计[J]. 计算机科学与应用, 2026, 16(4): 236-248. DOI: 10.12677/csa.2026.164126

accounting has become a crucial foundation for promoting energy conservation and green transformation. However, existing carbon accounting methods often rely on complex statistical standards and professional tools, which pose high barriers for individuals and small organizations such as universities. To address this issue, this paper designs and implements a multi-scenario carbon emission calculator applicable to individuals, universities, and communities. Based on authoritative emission factors, the system calculates carbon emissions generated from electricity consumption, gas usage, and transportation activities, and visualizes the results and potential emission reduction effects. Experimental results show that the proposed system provides clear calculation logic and intuitive outputs, offering practical support for low-carbon behavior guidance and carbon management in universities. This study provides a useful reference for carbon emission awareness and management practices under the dual-carbon goals.

Keywords

Carbon Neutrality, Carbon Emission Calculation, Carbon Footprint, System Design, Low-Carbon Management

Copyright © 2026 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

近年来,全球气候变化问题持续加剧,温室气体排放引发的生态系统破坏、极端天气频发以及海平面上升等问题已成为国际社会共同关注的焦点[1]。为应对气候变化带来的一系列环境风险,世界各国纷纷提出碳减排目标,加快推进能源结构调整与绿色低碳技术创新。我国于2020年在联合国大会上郑重提出“碳达峰”和“碳中和”目标,即力争于2030年前实现二氧化碳排放达到峰值,并在2060年前实现碳中和。这一战略目标不仅体现了我国积极应对气候变化、推动构建人类命运共同体的责任担当,也对经济体系、能源结构和社会发展模式提出了系统性变革要求[2]。

在“双碳”目标提出后,国家相继出台了一系列政策措施推动碳减排工作落地实施,包括全国碳排放权交易市场建设、重点行业节能减排约束性指标设定以及绿色低碳产业扶持政策等[3]。然而,在实际推进过程中,碳排放计算与核算能力不足逐渐成为制约碳减排政策落实的重要问题。目前,我国碳排放核算体系主要服务于工业企业、电力行业及大型用能单位,其核算流程在数据采集、排放因子选取和模型计算等方面具有较高的专业性和复杂性。相较而言,个人、小型组织及基层社区等主体普遍缺乏操作简便、结果直观的碳排放核算工具,难以有效参与碳管理实践。

为提升碳排放治理的覆盖广度和参与深度,部分研究开始关注碳排放管理信息系统的构建与应用。通过信息化手段实现排放数据管理、核算与分析,可在一定程度上降低碳排放管理的技术门槛,提高碳管理效率。然而,现有系统多聚焦于企业或单一应用场景,在系统通用性和多场景适配能力方面仍存在不足。

与此同时,宏观层面的研究表明,实现“双碳”目标不仅依赖于产业结构调整和技术进步,还需要社会公众广泛参与低碳转型过程,推动生产生活方式的绿色转变。个人、家庭、高校和社区等基层单元作为重要的能源消费主体,其用能行为的改变能够在社会层面产生显著的减排效应。因此,构建面向多主体、多场景的碳排放计算工具,对于推动碳减排从政策层面向社会生活层面延伸具有重要意义。

从国际研究视角来看,气候变化问题已被广泛证实与人类活动产生的温室气体排放密切相关,科学、

透明的碳排放核算方法是开展气候变化治理的重要基础。在众多核算方法中,基于排放因子模型(Emission Factor-Based Model)的碳排放计算方法因其计算过程清晰、数据需求相对较低、结果易于理解而被广泛应用于中小尺度碳排放估算研究。该方法通过将能源消耗、交通出行等活动数据与标准排放因子进行映射,可实现碳排放的快速计算,尤其适用于个人、家庭和中小型组织的碳排放核算需求。

目前,碳排放计算工具主要可分为三类。第一类是面向个人或家庭的碳足迹计算器,其特点是交互简洁、便于公众使用,但通常更关注生活方式层面的年度估算,场景颗粒度和本地化因子适配能力有限。美国环境保护署(EPA)提供的 Household Carbon Footprint Calculator 就属于此类工具,可用于估算家庭年度温室气体排放量[4]。第二类是面向组织或行业的碳排放核算系统,这类系统通常依据行业核算指南开展较规范的碳排放统计与报告,适合企业、公共建筑或公共机构等特定主体[5],但在普通个人、社区、高校等跨主体场景下往往存在操作门槛较高、通用性不足的问题。我国已发布公共建筑运营单位、陆上交通运输企业等温室气体排放核算与报告指南,为相关领域碳核算提供了方法依据。第三类是面向特定区域或典型场景的碳核算研究,如高校校园碳排放核算研究、社区碳排放核算方法研究等。这类研究在核算边界界定、活动数据采集和减碳策略分析方面具有较强针对性,但多数聚焦单一场景,尚未形成兼顾个人、高校与社区的统一化、轻量化交互系统。已有高校碳排放研究通常依托校园能源监测平台和校园碳排放核算方法开展分析,并进一步服务于零碳校园规划路径研究[6]。

见表 1 与上述研究和工具相比,本文设计的多场景碳排放计算与分析系统具有以下特点:一是面向个人、高校、社区等多主体统一建模,在同一系统框架下实现活动数据录入、因子匹配、排放计算与结果分析;二是构建了“场景-排放源-排放因子”三级映射机制,提升了系统的可扩展性与可维护性;三是在给出排放结果的同时,进一步提供排放构成可视化和减排建议输出,增强了系统的解释性与应用价值。因而,本文的创新点不在于提出全新的碳核算理论,而在于面向基层低碳治理需求,构建了一种多场景适配、低门槛交互、可追溯更新的碳排放计算与分析系统。

Table 1. Existing carbon emission calculation tools
表 1. 现有碳排放计算工具

工具/研究	适用对象	主要场景	数据来源/ 因子特点	输出形式	局限性	本文系统优势
EPA Household Carbon Footprint Calculator	家庭/个人	家庭能源、交通、消费	偏向家庭年度估算,适合公众科普	年度排放结果、行为建议	本地化不足,难覆盖高校与社区场景	支持中国本地化因子,可扩展到高校和社区
公共建筑/行业碳核算系统	企业、公共建筑	建筑能耗、运营排放	依据行业核算指南,规范性强	核算报表、统计结果	专业门槛较高,公众使用不便	面向非专业用户,界面友好,计算过程更直观
高校校园碳排放核算研究	高校	校园能耗、后勤、餐饮等	依赖校园监测平台和统计数据	校园总量核算、减碳分析	偏研究型,通用系统性不足	可兼容高校场景,并能迁移到其他主体
社区碳排放核算方法研究	社区	居民生活、社区公共服务	强调社区边界和人均排放	总量分析、结构分析	多用于方法研究,交互系统较少	形成可直接使用的交互式计算与分析平台
本文系统	个人、高校、社区	用电、燃气、交通等典型活动	采用权威排放因子并支持地区/场景映射	分项结果、总量结果、构成图、减排建议	当前场景仍可继续扩展	多场景统一建模、低门槛、可视化、可维护

本文的主要研究内容包括：(1) 基于标准排放因子模型构建碳排放核算方法，实现能源与交通等主要排放源的快速计算；(2) 设计支持多场景应用的数据输入结构与算法映射机制，使不同主体能够在统一系统框架下完成碳排放核算；(3) 构建碳排放可视化分析模块，通过图表形式展示排放趋势、来源构成及减排潜力，并生成低碳行为建议；(4) 通过系统运行实例和功能验证分析，评估系统的实用性、准确性及推广价值。本文提出的多场景碳排放计算与分析系统，旨在降低碳排放核算技术门槛，为基层主体提供可获得、可理解、可参与的低碳管理工具，对推动“双碳”政策在社会生活层面的深入落实具有重要现实意义。

2. 碳排放计算方法与模型

在“碳达峰、碳中和”战略背景下，碳排放核算的目的在于将现实生活或生产过程中的能源消耗、交通出行与资源利用行为量化为可比较的温室气体排放量。为实现面向个人、高校、社区、企业等多主体、多场景的碳排放计算与分析，本文构建统一的排放模型，并提出可扩展的排放因子映射机制。本章主要介绍碳排放计算的理论基础与模型构建方法。

2.1. 排放因子法计算原理

碳排放计算通常采用排放因子法(Emission Factor Method)，该方法通过量化能源活动与排放因子之间的关系，实现碳排放量的快速估计[7]。排放因子法具有计算过程透明、参数获取便利、可扩展性强等特点，被广泛应用于生命周期碳核算、单位碳排放监测以及政策评估分析。其核心思想是将能源消耗量与相应排放系数进行线性映射，从而得到对应的碳排放量。

排放因子法的基本计算公式如下：

$$C = A \times EF \quad (1)$$

其中 C 表示碳排放量(kg CO₂)， A 表示活动量，如耗电(kWh)、燃气用量(m³)、车辆行驶距离(km)等； EF 表示排放因子，用于描述单位活动量产生的 CO₂ 排放量，其数值由国家标准或行业规范确定。由于活动特征与排放因子在不同场景中的取值存在差异，因此本研究通过配置映射方式实现多场景排放参数复用，以保证模型适用于个人、高校、社区与企业等多类使用场景。

2.2. 能源消耗碳排放模型

能源消耗是最为普遍的碳排放来源之一，在多场景下均具有普适性，包括居民日常用电、校园建筑用能以及企事业单位办公能耗等。本研究将能源消耗排放分为电力排放与燃气排放两类，通过子模型构建碳排放核算方法。

2.2.1. 电力使用碳排放模型

电力消耗产生的碳排放主要来源于火电能源结构中化石燃料燃烧所产生的 CO₂ 排放量，其排放量可由下式计算：

$$C_{ele} = E_{ele} \times EF_{ele} \quad (2)$$

其中 E_{ele} 为电能消耗量(kWh)； EF_{ele} 为电力排放因子(kg CO₂/kWh)，反映区域电网电力供应体系中的平均排放水平。实际排放因子随区域能源结构以及时间周期变化而变化，本研究采用国家区域电网碳排放因子作为基础参数，并支持自定义调整，以构建适应不同地区的排放计算方式。

进一步地，将时间维度引入电力排放模型，可获得分段排放量表示：

$$C_{ele}^{(t)} = E_{ele}^{(t)} \times EF_{ele} \quad (3)$$

式中, $E_{ele}^{(t)}$ 表示在时间段 t 内的电能消耗量, 可以按日、按周或按月进行统计, 便于系统实现时间序列排放趋势可视化。

2.2.2. 燃气消耗碳排放模型

居民生活与高校食堂、企业锅炉等用能场景均存在天然气燃烧排放, 其碳排放量可通过排放因子模型进行计算:

$$C_{gas} = V_{gas} \times EF_{gas} \quad (4)$$

其中: V_{gas} 为燃气消耗量(m^3); EF_{gas} 为燃气排放因子($kg CO_2/m^3$), 反映单位燃气消耗所对应的排放水平。考虑到燃气燃烧过程存在不同燃料成分且排放系数会因热值差异产生偏移, 为提高计算通用性, 本系统将燃气排放因子模块化, 可按燃料成分或来源调整参考值。

2.3. 交通出行碳排放模型

交通出行是居民生活及校园通勤的重要排放来源, 不同交通方式对应不同排放水平。为了实现交通方式差异映射, 本研究基于行程距离构建车辆/交通方式碳排放模型, 表达式如下:

$$C_{trans} = D \times EF_{trans} \quad (5)$$

式中: D 代表出行距离(km), 可为单次出行距离或累计行驶距离; EF_{trans} 表示对应交通方式排放因子($kg CO_2/km$), 反映单位行驶距离产生的排放水平。由此可得, 不同交通方式存在不同的碳排放强度, 例如燃油私家车通常高于公交, 而电力轨道交通则排放最低。为了增强系统通用性, 本研究设置交通排放因子映射表, 并支持以人均排放方式计算集约型交通碳排放量。

进一步考虑不同交通方式的组合行为, 可得到多行程出行碳排放计算公式:

$$C_{total}^{total} = \sum_{i=1}^n D_i \times EF_{trans}^{(i)} \quad (6)$$

其中: n 表示交通方式数量或出行次数; D_i 为第 i 次出行距离; $EF_{trans}^{(i)}$ 为第 i 种交通方式对应排放因子。该累加形式可实现个人、部门或单位周期性出行排放趋势分析, 支持对不同交通结构的减排潜力进行量化比较。

2.4. 综合碳排放模型

为适用于多场景碳排放核算需求, 在上述子模型基础上可构建综合排放核算体系, 实现对多个排放源的统一计算。综合排放量计算模型如下:

$$C_{total} = \sum_{i=1}^n C_{ele}^{(i)} + \sum_{j=1}^n C_{gas}^{(j)} + \sum_{k=1}^p C_{trans}^{(k)} + C_{other} \quad (7)$$

式中: C_{total} : 总碳排放量; $C_{ele}^{(i)}$: 第 i 处电力排放量; $C_{gas}^{(j)}$: 第 j 处燃气排放量; $C_{trans}^{(k)}$: 第 k 次出行排放量; C_{other} : 其它排放源排放量, 如制冷剂泄漏排放、废弃物处理排放等。

该模型实现了多活动来源碳排放量融合, 为多场景排放核算系统提供了统一框架基础。综合核算结果将用于排放结构分析、排放趋势可视化展示以及减排效果模拟。

3. 系统设计

本系统针对多场景碳排放核算需求, 设计了基于排放因子法的计算体系, 并构建输入、管理、计算与展示四类核心功能模块, 采用分层式架构以提高系统可扩展性与可维护性。

3.1. 系统架构设计

系统采用三层架构, 包括: 数据输入层, 计算与服务层, 展示与交互层, 系统层级结构如图 1 所示,

用于明确各层功能边界与调用流程。

图 1 展示了系统整体架构的分层结构，包括数据输入层、计算与服务层以及展示与交互层三部分。系统运行流程自底向上逐层完成，其中数据输入层负责采集不同场景下用户产生的活动量数据，具体包括用电量、燃气用量以及交通出行里程等。

计算与服务层是整个系统的核心功能所在，该层接收输入数据并调用排放因子库，实现排放因子匹配与排放计算，同时负责维护因子参数的可追溯性与可更新性。展示与交互层主要面向用户，通过可视化方式展示排放构成、趋势变化及减排建议。

该架构实现了计算流程与用户界面分离，使系统具备良好的可维护性和可扩展性：当政策发生变化或新增排放场景时，仅需修改计算层与因子库配置，而不影响用户界面层；同样，新增碳排放可视化方式也无需修改计算逻辑。

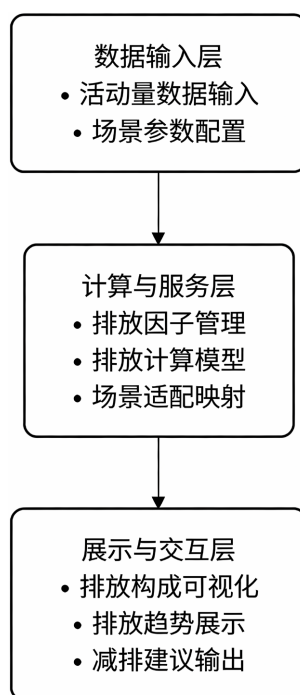


Figure 1. System hierarchy diagram

图 1. 系统层级结构图

3.2. 系统功能模块设计

为保证计算过程可解释、可拓展，如图 2 所示本系统将排放计算过程拆分为四个功能模块：数据输入模块用于接收输入活动量，包括电能消耗量、燃气消耗量及交通出行距离等。排放因子管理模块用于维护排放因子库，实现地区排放差异匹配及因子更新。排放计算模块根据排放模型完成分项排放量计算及总排放汇总。可视化与分析模块展示分项排放构成、时间趋势分析并生成减排建议。

3.3. 系统流程设计

如图 3 所示，系统运行按顺序完成输入、识别、匹配、计算、展示，全流程如下：用户输入活动量，系统完成格式检查与单位规范化，识别具体使用场景(个人/高校/企业等)，匹配对应排放因子，调用排放模型计算分项及总排放量，输出排放构成与趋势可视化结果，推荐可行低碳行为方案。

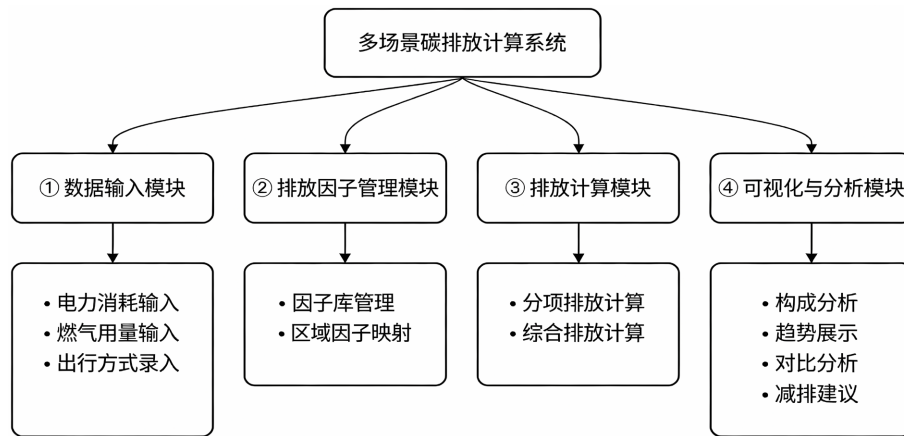


Figure 2. Functional module diagram
图 2. 功能模块图

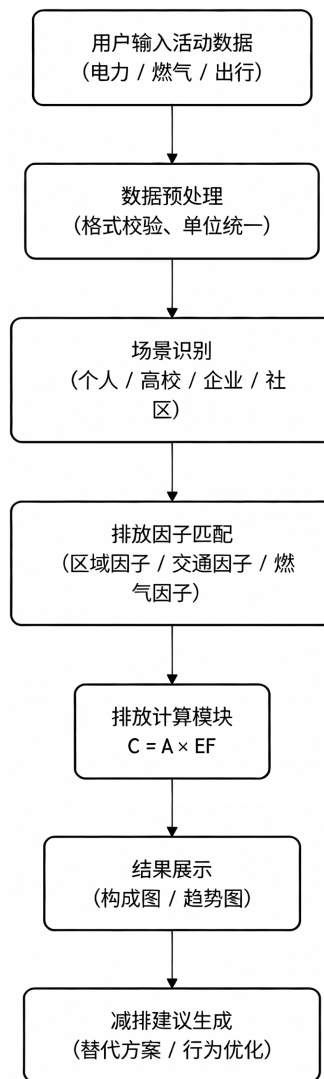


Figure 3. System flow diagram
图 3. 系统流程设计图

3.4. 系统技术实现

为提升系统的可部署性、可扩展性与交互便捷性，本文在实现层面采用前后端一体化的轻量级技术方案。系统前端界面基于 Streamlit 框架实现，用于完成活动数据录入、地区选择、排放结果展示、图表绘制及减排建议交互；业务逻辑层采用 Python 语言进行开发，负责活动数据校验、场景识别、排放因子匹配、碳排放计算及分析结果生成；数据存储层采用结构化因子表与活动记录表相结合的方式，对排放因子、场景配置和用户历史输入进行统一管理。该实现方案具有开发效率高、可读性强、便于功能迭代等特点，适合本文所面向的教学研究和原型验证需求。

在系统运行过程中，用户首先在交互界面录入用电量、燃气消耗量和交通出行距离等活动数据，系统随后对输入值进行格式检查、缺失值判断与单位规范化处理；之后根据用户选择的场景类型和地区信息，从排放因子库中读取相应参数并完成分项排放计算；最后将计算结果传递至可视化模块，生成排放构成图、结果摘要及减排建议。通过将界面展示、业务计算与因子管理进行分层设计，系统不仅能够保证计算逻辑清晰，还便于后续扩展新的排放源类别和新的应用场景。

3.5. 面向多场景适配的关键数据结构与映射机制

本文系统的核心不只是排放公式本身，更在于多场景适配下的因子组织与映射机制。为此，系统构建了“场景类型 - 排放源类别 - 排放因子”三级映射结构。其中，场景类型包括个人、高校、社区等；排放源类别包括电力、燃气和交通；排放因子则按照地区、年份、能源类型和交通方式进一步细分。该结构能够在保持统一计算框架的同时，实现不同主体与不同地区的参数差异化管理。

在数据库或配置表设计上，排放因子表可包含以下字段：`factor_id`、`scene_type`、`region`、`year`、`source_type`、`sub_type`、`unit`、`factor_value`、`source_reference`、`version`、`status`。其中，`source_reference` 用于记录因子出处，`version` 用于支持因子更新与历史追溯，`status` 用于标识当前启用版本。活动数据表则可设置 `record_id`、`user_type`、`region`、`electricity_usage`、`gas_usage`、`transport_mode`、`transport_distance`、`record_time` 等字段，以支撑后续趋势分析和历史结果查询。

系统因子匹配的基本流程如下：首先依据用户输入识别当前场景；其次根据排放源类别检索因子表中的候选记录；再次结合地区、年份及活动子类型完成最优匹配；若目标地区缺少局部因子，则回退至全国默认因子；最后返回匹配结果并计算分项及总排放量。该机制既保证了系统计算的一致性，又增强了不同地区、不同主体场景下的适用能力。

4. 总结系统界面设计与实现

为了验证系统在多场景碳排放计算与可视化分析任务中的可用性，本章基于前述系统功能模块实现了交互式界面。系统采用多页面导航结构，各模块对应不同界面功能，使用户能够完成活动数据录入、排放因子选择、排放量计算、排放构成分析及减排建议获取等完整流程，界面运行效果截图如下所示。

4.1. 活动数据录入界面

图 4 展示了活动数据录入模块界面。该界面提供了用电量、燃气用量及通勤距离等排放相关活动量输入控件，并支持出行方式及所在地区选择，便于根据不同场景计算碳排放。用户输入数据后点击“保存活动数据”即可写入系统历史记录，为后续趋势分析提供基础数据支持。

该界面交互逻辑简单，用户无需理解排放因子和计算模型即可完成必要数据输入，提高了系统使用的便捷性和普适性。



Figure 4. Activity data entry module

图 4. 活动数据录入模块

4.2. 排放因子管理界面

图 5 为排放因子管理界面。该模块通过列表展示不同地区和不同场景下对应的电力、燃气与交通排放因子，并支持地区切换与参数更新，实现区域场景适配功能。为保证碳排放计算结果的科学性、可验证性和可追溯性，系统中的排放因子遵循“权威公告优先、行业指南补充、地方方法学细化”的选取原则。电力排放因子优先采用生态环境部、国家统计局联合发布的全国、区域或省级电力平均二氧化碳碳排放因子[8]；燃气排放因子主要参考国家发展改革委发布的公共建筑运营单位温室气体排放核算与报告指南等规范性文件；交通排放因子参考陆上交通运输企业温室气体排放核算方法与报告指南，并可根据地方碳普惠方法学或城市交通公开数据进行细化。



注：图中因子数值为系统示例参数，实际应用中可根据地区和年份进行更新。

Figure 5. Emission factor management module

图 5. 排放因子管理模块

为提高因子库管理的规范性，系统为每一条排放因子记录保存因子类别、适用场景、适用地区、适用年份、单位、数值、数据来源、版本号 and 启用状态等信息。当国家主管部门发布新的电力排放因子公告，或行业指南对参数推荐值进行更新时，系统管理员仅需在因子库中完成参数替换和版本维护，无需修改前端界面和核心计算代码。该设计增强了系统的可维护性，也使图中所示因子数值具备明确出处和可追溯依据。

系统中的排放因子遵循“权威公告优先、行业指南补充、地方方法学细化”的选取原则。其中，电力排放因子主要参考生态环境部、国家统计局发布的年度电力二氧化碳排放因子公告，燃气排放因子参考《公共建筑运营企业温室气体排放核算方法和报告指南(试行)》，交通排放因子参考《陆上交通运输企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》及相关地方方法学。

Table 2. Main emission factor categories and their sources in the system
表 2. 系统主要排放因子类别及其来源说明

因子类别	适用活动	单位	来源优先级	推荐来源
电力排放因子	用电行为	kgCO ₂ /kWh	高	生态环境部、国家统计局联合发布的全国/区域/省级电力二氧化碳排放因子公告
天然气排放因子	燃气消耗	kgCO ₂ /m ³	高	《公共建筑运营单位(企业)温室气体排放核算方法和报告指南(试行)》及相关燃料参数规范
私家车出行因子	小汽车出行	kgCO ₂ /km	中	《陆上交通运输企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》、地方交通碳普惠方法学
公交出行因子	公交车出行	kgCO ₂ /km 或 kgCO ₂ /人·km	中	陆上交通运输核算指南、地方公共交通碳核算方法
轨道交通因子	地铁/城轨出行	kgCO ₂ /km 或 kgCO ₂ /人·km	中	地方交通部门公开方法学或碳普惠标准
默认因子	数据缺失场景	对应单位	兜底	国家级或区域级公开因子

如表 2 所示，需要说明的是，考虑到不同地区、不同年份的电网结构差异以及不同城市交通系统的统计口径差异，本文系统采用“统一模型、分层因子”的设计策略。即在计算公式保持统一的前提下，通过外部因子库对地区参数和年份参数进行配置，以提高系统在多场景应用中的灵活性与可扩展性。

4.3. 排放计算界面

③ 排放计算模块

请选择地区和活动数据进行排放核算：

选择地区
北京

用电量 (kWh)
0.12

燃气体积 (m³)
0.11

通勤距离 (km)
12.00

开始计算碳排放

计算完成

排放结果

用电排放: 0.08 kgCO₂
燃气排放: 0.24 kgCO₂
交通排放: 2.64 kgCO₂
总排放量: 2.96 kgCO₂

Figure 6. Emission calculation module
图 6. 排放计算模块

图 6 展示排放计算模块界面。用户选择地区并录入活动量后，系统根据排放因子模型自动计算用电排放、燃气排放、交通排放及总排放量，并提供即时反馈信息。计算完成后系统显示排放结果，并以结构化文本呈现分项排放量，便于用户识别主要排放来源。

该模块为系统核心功能，完成计算逻辑验证并支持可视化模块调用，为后续排放构成分析提供输入。

4.4. 排放构成分析界面

图 7 为排放构成模块，图 8 为排放构成可视化模块界面，通过输入各排放源排放量生成饼图展示不同排放来源占比情况。可视化展示能够直观反映排放结构差异，为用户识别高排放项和制定减排措施提供依据。系统可根据用户输入实时生成构成图，提高交互性与展示效率。

④ 排放构成分析模块

输入用电排放量

2.00 - +

输入燃气排放量

1.00 - +

输入交通排放量

13.00 - +

生成排放构成图

Figure 7. Emission composition module

图 7. 排放构成模块

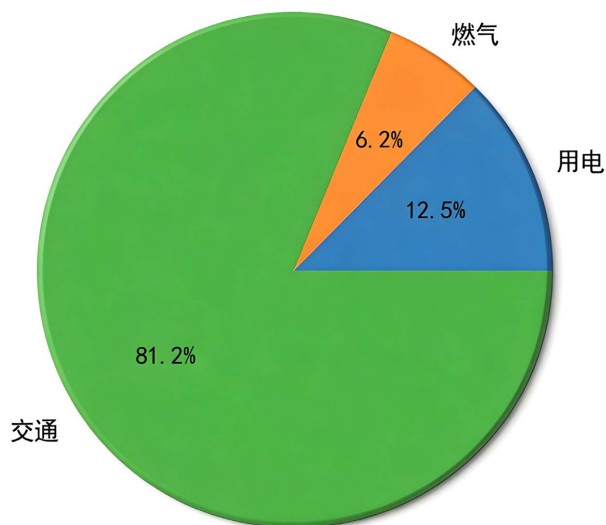


Figure 8. Emission composition visualization chart

图 8. 排放构成可视化图

4.5. 减排建议界面

图 9 展示了减排建议生成模块。系统根据排放来源特点提供具有普适性的行为优化建议，包括选择公共交通替代私家车、提高设备能效、减少待机损耗等。该功能可提升系统的可指导性，促使用户采取更低碳行为。

⑥ 减排建议模块

系统根据排放来源构成，提供行为优化与节能建议示例：

- 选择公共交通替代私家车
- 优化空调控制，提高电器能效
- 使用清洁燃气或新能源
- 减少待机功耗
- 选择低碳出行方式

Figure 9. Emission reduction recommendation module
图 9. 减排建议模块

4.6. 系统实现中的技术挑战与解决方案

在系统实现过程中，主要面临以下三方面技术挑战。

首先是多场景输入数据的异构性问题。个人、高校与社区在碳排放核算中的数据粒度差异较大，例如个人场景通常以单次活动或月度用量为主，而高校或社区场景可能更依赖周期性统计数据。针对这一问题，系统采用统一字段抽象与单位规范化策略，将不同场景的活动量统一映射为“活动数据 + 单位 + 场景标签”的标准输入结构，从而保证后续计算过程的一致性。

其次是排放因子管理的动态更新问题。电力排放因子具有明显的地区性和年份性，交通与燃气因子也可能随政策文件或地方方法学调整而变化。为解决因子更新带来的系统维护困难，本文将排放因子设计为独立管理模块，并在因子表中增加来源标识、版本号和生效状态字段，使系统能够在不修改核心计算逻辑的前提下完成参数替换和版本追溯。

再次是结果可解释性与用户理解门槛之间的平衡问题。对于非专业用户而言，单纯输出一个总排放量数值难以形成直观认知。为提高系统可解释性，本文在输出层增加了分项排放展示、排放构成图和减排建议模块，将抽象的计算结果转化为更直观的图形和文字说明，从而增强系统的可读性与引导性。

综上，本文通过输入标准化、因子模块化与结果可视化三类技术策略，有效解决了多场景碳排放计算系统在实现层面的关键问题，为后续系统扩展和实际应用奠定了基础。

5. 总结与展望

本论文围绕国家“双碳”战略目标背景下的多场景碳排放管理需求，构建了面向个人、企业、高校及社区等典型使用场景的多场景碳排放计算与分析系统。系统基于排放因子法，通过活动量输入、排放因子匹配、分项排放计算、结果可视化与减排建议生成，实现了碳排放数据获取到决策引导的完整业务链路。

系统设计方面，论文构建了三层架构体系，并根据排放业务流程划分数据输入、排放因子管理、排放计算、可视化与分析以及减排建议生成五个核心模块。模型层基于排放因子法建立通用计算公式，并支持地区因子切换以适应不同政策环境。界面层通过 Streamlit 实现交互式展示，使非专业用户也能快速完成碳排放核算。系统整体运行效果表明，本系统能够对三类排放源(用电、燃气、交通)实现准确计算，并完成排放构成、趋势与对比分析，具备一定应用价值与推广意义。

论文研究贡献主要体现在以下三个方面：

- (1) 提出面向多场景的碳排放核算系统架构，提高计算方法的通用性和可扩展性；
- (2) 构建排放因子管理与动态映射机制，使系统能够适应区域差异与政策变化；
- (3) 实现可交互的排放可视化分析与决策建议输出，为用户理解排放行为和制定减排策略提供依据。

尽管系统已实现核心功能，但仍存在一定局限性。首先，系统当前排放因子数据来源范围有限，未来可结合权威数据库扩大覆盖区域并支持自动更新。其次，排放计算模型仍基于静态排放因子，其预测能力有限，可在后续研究中引入时间序列模型或机器学习方法实现排放趋势预测。此外，系统数据输入依赖用户主动录入，后续可引入物联网设备与数据自动采集机制，提高系统使用便利性与数据可靠性。

总体而言，本论文所构建的系统可为碳排放行为感知、排放数据管理及低碳行为引导提供技术支撑，对推进“双碳”目标下的数字化碳排放管理具有积极意义。未来将进一步完善排放模型、扩展系统功能并提升智能化水平，以适应更复杂、更多场景的碳排放分析需求。

基金项目

本研究得到陕西省大学生创新创业训练计划项目(项目编号: S202512715008): “双碳”战略下的校园碳足迹智慧感知与减排激励平台的支持。

参考文献

- [1] IPCC (2023) Climate Change 2023: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- [2] <https://language.chinadaily.com.cn/a/202110/25/WS61760bf2a310cdd39bc70f9c.html>, 2026-04-02.
- [3] https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm, 2026-04-02.
- [4] U.S. Environmental Protection Agency (2026) Carbon Footprint Calculator. <https://www.epa.gov/carbon-footprint-calculator>
- [5] 蔡鑫, 孟凡鑫, 孙宇彤, 等. 高校校园碳足迹核算及零碳校园规划路径分析——以北京师范大学海淀校园为例[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2025, 61(2): 170-177.
- [6] IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- [7] Zhang, L., Zhang, R., Ma, Y. and Bai, Y. (2024) Exploring Carbon Emission Accounting Methods for Typical Public Institutions: A Case Study of Hospitals. *Energy Informatics*, 7, Article No. 35. <https://doi.org/10.1186/s42162-024-00337-z>
- [8] https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202412/t20241226_1099413.html, 2026-04-02.