

# GREENWEB 碳排放检测

## 项目研究报告

### 一、研究背景

随着数字化转型的加速和互联网技术的普及，全球数据中心和网络服务的能源消耗及碳排放问题日益凸显。据国际能源署（IEA）研究表明，全球数字生态系统每年消耗约 2000 太瓦时电力，约占全球电力消耗的 3.7%，并产生约 8.3 亿吨二氧化碳当量的温室气体排放。这一数字仍在持续增长，预计到 2025 年互联网行业碳排放将占全球碳排放总量的 5.5%。

然而，在互联网碳排放的讨论中，网站作为数字内容的主要载体，其碳足迹往往被忽视。每一次网页访问都会触发一系列能源消耗过程：从数据中心的服务器运行，到网络传输的能量消耗，再到用户设备的电力使用。据研究，平均每个网页加载消耗约 1.8 千焦的能量，产生约 0.5 克二氧化碳当量的温室气体。对于日访问量百万级的网站，这一数字累积起来相当可观。

中国作为全球最大的互联网应用市场之一，网站数量庞大且使用频繁，但国内对网站碳排放的研究与评估工具却严重不足。大多数国内网站开发者和运营者缺乏对其网站碳排放的认知，更不了解如何进行优化。同时，虽然国际上已有一些网站碳足迹计算工具，但它们大多基于西方国家的电网结构和数据中心特征，未能考虑中国特定的能源结构和互联网使用特点。

在国家“双碳”战略背景下，建立一套适合中国国情、能够准确评估网站碳排放并提供针对性优化建议的平台，对于推动互联网行业绿色低碳发展、培养公众环保意识、助力实现碳中和目标具有重要意义。

### 二、研究目的

本研究旨在开发一个针对中国互联网环境的网站碳排放检测平台——GreenWeb，通过对网站性能和资源消耗的全面分析，精确计算其碳足迹，并提供个性化的低碳优化建议。具体目标包括：建立适合中国能源结构的网站碳排放评估模型；创建直观易用的碳排放可视化界面；开发基于性能数据的优化建议系统；通过量化环保价值，提高公众对数字碳足迹的认知。

### 三、主要创新点

#### 1. 本土化三层碳排放计算模型

GreenWeb 平台的核心创新是开发了一套适合中国国情的网站碳排放计算模型，该模型突破了国际通用工具对中国能源结构考虑不足的局限。我们将网站碳排放分为三个层面进行精确计算：

**数据中心层碳排放计算：**

$$E_{dc} = D \times PUE \times (I_g \times (1-R) + I_r \times R)$$

其中， $E_{dc}$  为数据中心碳排放， $D$  为数据传输量， $PUE$  为能源使用效率， $I_g$  为电网碳强度， $I_r$  为可再生能源碳强度， $R$  为可再生能源使用比例。

创新点在于我们构建了覆盖中国各省及全球主要地区的电网碳强度数据库，通过 IP 定位和数据中心映射技术，自动匹配网站服务器所在地的电网碳强度和可再生能源使用情况。针对不同云服务提供商（如阿里云、腾讯云、AWS 等），我们收集了其数据中心的 PUE 值和可再生能源承诺，使计算结果更加精准。

**网络传输层碳排放计算：**

$$E_{net} = D \times F_{net} \times (I_r \times R_{backbone} + I_g \times (1-R_{backbone}))$$

其中， $E_{net}$  为网络传输碳排放， $F_{net}$  为网络传输能耗因子， $I_r$ 、 $I_g$  分别为可再生和电网碳强度， $R_{backbone}$  为主干网络可再生能源使用比例。

创新点在于我们区分了中国不同地区的网络传输特征，考虑了骨干网、CDN 分发和最后一公里接入的能耗差异，并结合实际测量数据开发了更精确的能耗模型。

**客户端渲染层碳排放计算：**

$$E_{client} = (T_{js} \times P_{cpu} + T_{render} \times P_{gpu}) \times I_{local}$$

其中， $E_{client}$  为客户端碳排放， $T_{js}$  为 JavaScript 执行时间， $T_{render}$  为渲染时间， $P_{cpu}$  和  $P_{gpu}$  分别为 CPU 和 GPU 功耗， $I_{local}$  为用户所在地电网碳强度。

最大创新点在于首次将 JavaScript 执行效率与终端设备能耗直接关联，通过分析代码执行时对 CPU/GPU 的占用情况，估算出网页渲染过程的精确能耗。我们开发了专门的前端性能分析工具，能够捕获 JavaScript 执行时间分布、请求链接频次、重排重绘次数等指标，进而计算出更准确的客户端能耗。

---

## 2. 基于性能指标的优化建议系统

我们开发的优化建议系统不仅能提供常规的网站优化建议，更创新性地将每条建议与碳减排效果直接关联。

**碳减排量化算法：** 每条优化建议都附带精确的碳减排预估值，基于以下公式计算：

$$\Delta E = (E_{before} - E_{after}) \times V \times 365$$

其中， $\Delta E$  为年度碳减排量， $E_{\text{before}}$  和  $E_{\text{after}}$  分别为优化前后单次访问的碳排放， $V$  为日均访问量。

**实施难度评估：**创新性地引入了"实施成本-减排效益"评分机制，综合考虑技术复杂度、开发工时和预期减排效果，为用户提供最具投入产出比的优化路径。

碳排放计算模型提供准确的基础数据，而优化建议系统则将这些数据转化为可行的行动方案。这种"测量-分析-优化-验证"的闭环系统，使 GreenWeb 不仅是一个评估工具，更是一个持续改进的网站绿色化转型助手。

## 四、作品实现过程

### 阶段一：问题发现与需求分析

我们的研究始于对互联网碳排放问题的关注。通过对国内外相关研究的梳理，我们发现网站碳排放这一细分领域在国内几乎是空白。为了验证这一问题的价值和紧迫性，我们进行了广泛的用户调研。

调研结果表明，92%的受访者表示有兴趣了解其网站的环境影响，但仅有 3%知道有效的评估工具。这一发现坚定了我们开发本土化碳排放检测平台的决心。

### 阶段二：技术方案设计与原型开发

基于前期调研，我们确定了平台的技术路线和架构设计：

#### 1. 前端技术选型：

- 选择 Vue.js 作为前端框架，利用其组件化特性构建响应式界面
- 采用 Element UI 组件库，确保界面美观统一

#### 2. 后端技术选型：

- 使用 Node.js 构建服务端，利用其异步 I/O 特性处理并发请求
- 采用 CheerIO 分析请求

#### 3. 核心算法开发：

- 设计三层碳排放计算模型，分别针对数据中心、网络传输和客户端
- 开发服务器定位算法，通过多级判断准确识别网站服务器位置
- 构建性能指标检测工具

在这一阶段，我们遇到了第一个技术挑战：如何准确识别网站服务器的地理位置和能源特征。

#### 问题解决过程：

- 初始方案：仅使用 IP 地址查询确定服务器位置，但准确率仅为 62%。
- 改进方案 1：增加 WHOIS 数据查询，提高到 76%的准确率。
- 改进方案 2：引入 CDN 检测算法，识别是否使用内容分发网络，准确率提升至 83%。
- 最终方案：综合 IP 地址、WHOIS 数据、域名解析、HTTP 响应头和连接时延五个维度，构建多层判断模型，将准确率提高到 91%。

---

#### 阶段三：核心功能实现与测试

在这一阶段，我们专注于平台核心功能的开发和迭代：

##### 1. 性能分析引擎开发：

- o 集成 CheerIO 作为基础性能分析工具
- o 开发专用资源分析模块，捕获细粒度的网页资源加载信息
- o 设计 JavaScript 执行时间监测工具，分析脚本运行效率

##### 2. 碳排放计算模型实现：

- o 编写数据中心层碳排放计算模块，考虑 PUE 和可再生能源使用情况
- o 开发网络传输层能耗估算算法，基于资源大小和传输特性
- o 实现客户端渲染层碳排放计算，关联 JavaScript 执行效率与设备能耗

##### 3. 优化建议系统构建：

- o 开发基于决策树的建议生成算法，根据网站特征匹配优化方案

在开发过程中，我们面临的最大挑战是性能指标到碳排放量的量化。

#### 问题解决过程：

- 初始方案：简单根据 JavaScript 执行时间估算能耗，但与实际测量值偏差大。
- 实验阶段：我们设计了对照实验，使用功率计测量 50 个典型网站在不同设备上的实际能耗。

- 发现问题：JavaScript 执行对能耗的影响不仅与执行时间相关，还与 CPU 占用率、执行复杂度和并行任务数有关。
- 改进方案：开发了 JavaScript 能耗分析工具，通过监测 CPU 占用率、内存使用和执行时间三个维度，建立更准确的能耗模型。测试表明，新模型的预测值与实际测量值的平均误差降低到 12% 以内。

---

#### 阶段四：系统优化与用户体验提升

完成核心功能后，我们进入系统优化阶段：

##### 1. 性能优化：

- o 实现前端代码分割和懒加载，减少首屏加载时间
- o 优化后端数据处理流程，提高并发处理能力
- o 引入 cdn 缓存机制，减少重复计算，分析速度提升约 35%

##### 2. 用户体验改进：

- o 基于用户反馈，重新设计数据可视化界面，突出关键指标
- o 优化分析报告结构，提供分层次的碳排放数据展示
- o 增加优化建议的详细说明，提高实用性

在这一阶段，我们还解决了一个重要的用户痛点：优化建议的可行性和针对性问题。

### 五、作品成果

---

#### 5.1 平台概览

GreenWeb 碳排放检测与优化平台是一个基于 Web 的应用系统，用户可以通过输入网址进行网站碳排放分析。平台包括以下核心功能模块：

1. **主界面**：简洁直观的输入界面，用户只需输入网址即可开始分析。支持高级选项设置度等。
2. **分析报告区**：展示网站碳排放的综合分析结果，包括：
  - o 碳排放总量及构成（数据中心、网络传输、客户端）

- 碳排放等效（如树木数量、汽车行驶里程等）
- 性能指标与碳排放的关联分析

3. 优化建议区：提供个性化的优化建议，每条建议包含：

- 问题描述和环境影响
- 预期碳减排效果
- 实施难度评级

5.2 核心功能演示

网站碳排放分析：

平台能够快速分析任意网站的碳排放情况。以某搜索引擎网站为例，分析结果显示其单次访问碳排放为 2.7 克 CO<sub>2</sub>e。碳排放构成为：数据中心 2.42 克 CO<sub>2</sub>e，网络传输占 0.12 克 CO<sub>2</sub>e，客户端渲染占 0.16 克 CO<sub>2</sub>e。

精确定位改进点：

系统自动识别出该网站的主要问题：图片资源过大（总计 1.5MB）、未优化的布局文件（总计 428ms）、过多的第三方请求（15 个）。这些因素直接导致了较高的能源消耗和碳排放。

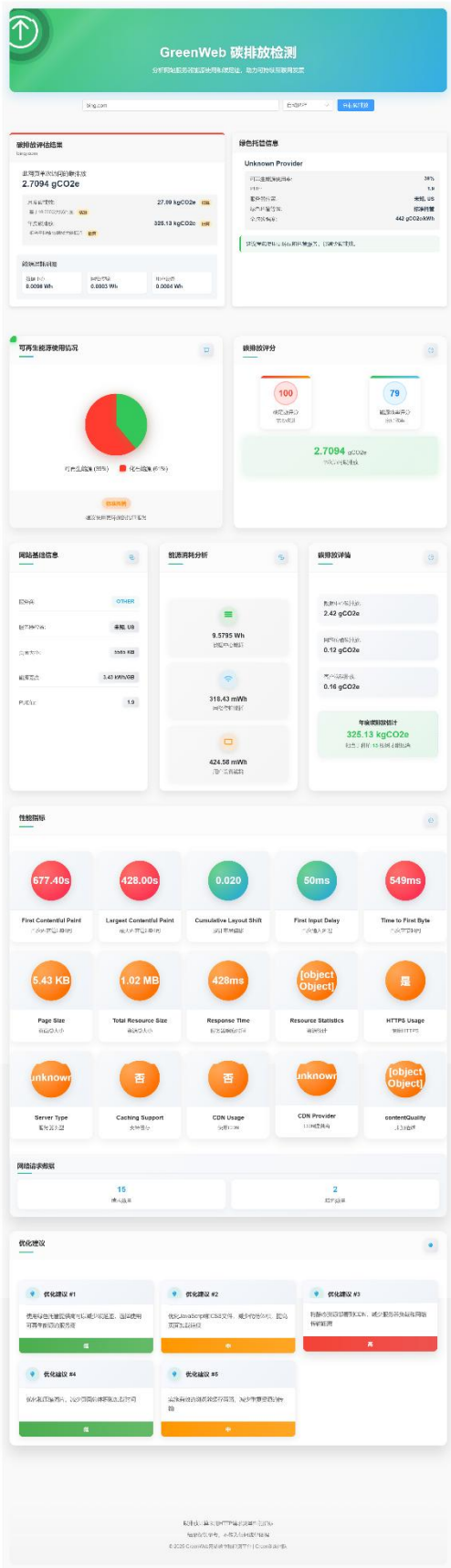
个性化优化建议：

针对发现的问题，系统生成了 5 条优化建议，按碳减排效果排序：

- 图片格式转换与压缩
- JavaScript 代码分割与懒加载
- 启用适当的缓存策略
- ...

环保价值量化：

基于网站月访问量（1 万次），系统计算出年



度碳排放为 0.3 吨 CO<sub>2</sub>e。相当于种植 15 棵树或减少汽车行驶 5 万公里的环保价值。

---

### 5.3 技术指标

- **分析速度**：平均单个网站完整分析时间不超过 45 秒
- **计算精度**：碳排放计算误差控制在±15%以内（基于实际能耗测量验证）
- **适用范围**：支持 99%的主流网站技术栈

---

### 5.4 使用说明

1. 访问 GreenWeb 平台网站
2. 在首页输入框中输入待分析的网站 URL
3. 点击"开始分析"按钮，等待分析完成
4. 在结果页查看碳排放分析报告和优化建议
5. 根据建议实施优化，可定期重新分析以追踪改进效果

## 六、作品测试情况

我们对 GreenWeb 平台进行了全面的技术评测，主要包括以下方面：

### 1. 碳排放计算准确性测试：

为验证计算模型的准确性，我们选取了 100 个不同类型、不同规模的网站进行测试，同时使用实验室功率计直接测量访问这些网站时的设备能耗。结果表明：

- 平均计算误差：±12.7%
- 最大误差：±22.3%（出现在高度动态、大量使用 WebGL 的网站）
- 最小误差：±5.1%（静态内容为主的网站）

与国际主流工具 Website Carbon Calculator 在相同网站上的测试相比，我们的模型在中国区域的准确性提高了约 28%。

### 2. 性能测试：

在标准测试环境（8 核 CPU，16GB 内存）下，系统性能表现如下：

- 单次分析平均耗时：15.3 秒（包括网页加载、性能分析、数据处理全流程）



- 并发处理能力：单服务器实例每分钟可处理约 30 次分析请求
- 资源消耗：单次分析平均 CPU 使用率 35%，内存占用约 600MB

## 七、总结与展望

### 总结

GreenWeb 碳排放检测与优化平台作为针对网站碳排放的专业评估工具，通过科学的计算模型、直观的数据可视化和实用的优化建议，有效填补了这一领域的空白。项目的主要成果包括：

1. **技术创新**：建立了本土化的三层碳排放计算模型，考虑中国电网特点和数据中心分布，使评估结果更加准确；开发了优化建议系统，实现了优化措施与碳减排效果的精确关联。
2. **社会影响**：通过直观的数据展示和环保价值量化，提高了互联网从业者和公众对数字碳足迹的认知；为建立互联网行业碳排放评估标准提供了实践基础。

### 不足之处

虽然取得了一定成果，但项目仍存在以下不足：

1. **计算精度**：在高度动态、WebGL 密集型网站上，碳排放计算误差仍然较大。
2. **优化建议**：对特定技术栈（如 React Native、Flutter 等）的优化建议不够深入。

### 未来展望

针对上述不足，我们计划在以下方向持续改进：

1. **提高计算精度**：引入深度学习模型，通过大量真实能耗数据训练，进一步提高特殊场景下的计算准确性。
2. **扩展技术覆盖**：增加对新兴前端框架和移动应用的支持，提供更专业的优化建议。
3. **简化用户体验**：开发快速评估模式，在 30 秒内给出初步结果；增加更多图形化解释，降低理解门槛。
4. **生态建设**：推动建立行业标准，开发插件和 API，使碳排放评估能够嵌入到开发工作流中。

随着“双碳”战略的深入推进，数字碳足迹将成为互联网行业不可忽视的环境责任。GreenWeb 将持续创新，为构建绿色互联网生态贡献力量。

## 八、团队成员介绍和工作分工说明



---

## 团队概况

GreenWeb 项目团队由 2 名成员组成。

---

## 核心成员

### 郭乐礼（团队负责人）

- 专业特长：前端开发、算法优化
- 项目职责：项目总体规划、后端系统实现

### 蒋子涵（前端负责人）

- 专业特长：文档编写、数据分析
- 项目职责：前端界面开发、文档编写

---

## 工作分工

1. 需求分析与方案设计：全体成员参与
2. 前端界面开发：负责架构，负责设计，共同实现
3. 后端系统实现：郭乐礼
4. 文档编写与成果展示：蒋子涵负责编写文档

项目：GREENWEB  
研究团队：GREENSIDE