

doi: 10.3969/j.issn.1673-6478.2023.02.013

基于 LCA 的高速公路服务区碳排放核算研究

吴 昊^{1,2}, 段志宏³, 方留杨^{1,2}, 文元勇³

(1. 云南省交通规划设计研究院有限公司, 云南 昆明 650200; 2. 云南省数字交通重点实验室(筹), 云南 昆明 650000; 3. 云南宣会高速公路有限公司, 云南 曲靖 654200)

摘要: 本研究基于全生命周期评价理论 (Life Cycle Assessment, LCA), 明确了高速公路服务区全生命周期碳排放核算边界, 提出了碳排放核算模型, 并以云南省某服务区为例, 进行全生命周期碳排放核算。核算结果表明该服务区全生命周期碳排放量为 25480.63tCO₂e, 其中运营阶段为 13365.62tCO₂e, 占比 52.45%; 建设阶段为 11013.64tCO₂e, 占比 43.22%; 拆除阶段为 1101.37tCO₂e, 占比 4.33%。可见运营期是高速公路服务区碳减排的关键阶段, 由此提出了各阶段具体降碳措施, 为低碳服务区建设提供了可参考思路。

关键词: 交通碳排放; 全生命周期评价; 高速公路; 服务区

中图分类号: U412.36+6

文献标识码: A

文章编号: 1673-6478 (2023) 02-0063-04

Research on Carbon Emission Calculation of Expressway Service Area Based on LCA Theory

WU Hao^{1,2}, DUAN Zhihong³, FANG Liuyang^{1,2}, WEN Yuanyong³

(1. Broadvision Engineering Consultants, Kunming Yunnan 650200, China;

2. Yunnan Key Laboratory of Digital Communications, Kunming Yunnan 650000, China;

3. Yunnan Xuanhui Expressway Co., Ltd., Qujing Yunnan 654200, China)

Abstract: Based on Life Cycle Assessment Theory (LCA), the carbon emission accounting boundary of expressway service area was defined, and this study proposed a carbon emission calculation model. Meanwhile, an expressway service area in Yunnan Province was selected for carbon emission calculation. The research results showed the total carbon emissions of this expressway service area were 25480.63 tCO₂e, including 13365.62 tCO₂e of the operation stage, 11013.64 tCO₂e of the construction stage, and 1101.37 tCO₂e of the demolition stage. The proportion of carbon emissions were 52.45% of the operation stage, 43.22% of the construction stage, and 4.33% of the demolition stage. So the operation stage was a key phase for carbon emission reduction of expressway service area, and the carbon emission reduction measures were proposed. That would offer the thought and lessons for the construction of low-carbon expressway service area.

Key words: transportation carbon emissions; LCA; expressway; service area

0 引言

服务区作为高速公路上的重要节点设施, 是高速

公路运营期能源消耗的主要单位, 也是碳排放的重点区域。近年来, 随着高速公路建设的飞速发展, 服务区的数量和规模逐年增加, 同时服务区被赋予的经营

收稿日期: 2023-03-03

基金项目: 云南省交通投资建设集团有限公司科技创新项目 (YCIC-YF-2021-04); 云南省交通运输厅科技创新示范项目 (SZKM202236023)

作者简介: 吴昊 (1984-), 男, 河南南阳人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为交通环境保护与低碳节能。 (38869581@qq.com)

通信作者: 段志宏 (1975-), 男, 云南昆明人, 学士, 高级工程师, 研究方向为交通建设项目管理。 (602325459@qq.com)

业态也更加多样,随之而来产生的碳排放也日益增多。因此要减少服务区碳排放,实现高速公路行业的低碳发展,服务区建设也要向近零碳或零碳服务区方向去努力。

目前,针对整个高速公路建设期的碳排放核算,国内学者进行了大量研究,但对于高速公路服务区的碳排放核算,相关研究较少且尚未形成统一的核算标准。例如黄萍等^[1]对高速公路服务区碳足迹进行了分析,并提出了运营期碳足迹计算方法;王新等^[2]基于碳排放测算,对高速公路服务区低碳建设策略进行了分析。上述研究为高速公路服务区的碳排放核算提供了借鉴思路,本研究基于全生命周期评价理论(Life Cycle Assessment, LCA)对高速公路服务区进行全生命周期碳排放核算,以期构建适合高速公路服务区的碳排放核算模型,为今后形成统一的高速公路服务区碳排放核算标准提供可参考的理论支撑。

1 碳排放核算方法

1.1 理论框架

LCA 被定义为“一种汇总和评估某一产品、活动、技术或服务系统在其整个生命周期过程中的所有投入及产出对环境造成潜在影响的方法”,常用来分析某一产品、工艺、活动或服务系统从原材料开采到产品加工生产、使用、维护和最终处置整个生命周期内有关的环境负荷。LCA 评价流程遵循国际标准化组织提出的指导原则(ISO14040 和 14044),分四个阶段进行:目标和范围的定义、清单分析、影响评价和结果解释^[3]。

LCA 方法用于高速公路服务区碳排放研究是以过程分析为基本出发点,通过研究服务区建设全过程中物质的输入和输出数据清单^[4],计算高速公路服务区的全生命周期的碳排放。具体过程如下:

- (1) 明确服务区全生命周期阶段划分和边界;
- (2) 对构成服务区全生命周期各阶段的相关活动数据进行采集分析;
- (3) 建立各阶段碳排放清单,并进行碳排放计算;
- (4) 对碳排放结果进行汇总分析。

1.2 核算范围及边界

根据 LCA 方法,高速公路服务区全生命周期可

以划分为前期准备阶段、建设阶段、运营阶段、拆除阶段四个阶段。上述四个阶段的碳排放边界如图1所示:

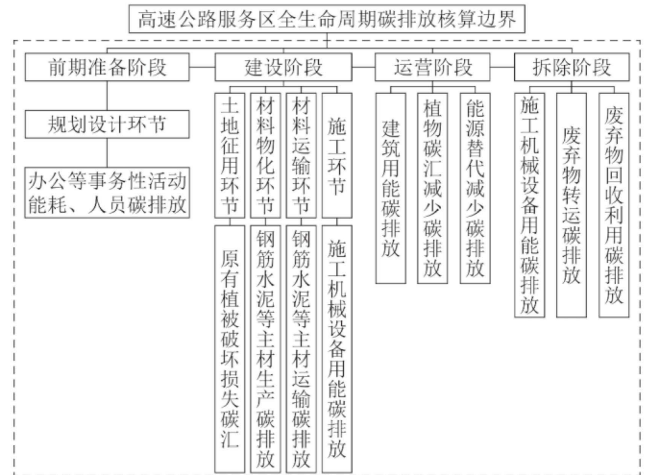


图 1 高速公路服务区全生命周期碳排放核算边界

Fig.1 Carbon emission accounting boundary of expressway service area

1.3 核算模型

由核算边界可知服务区全寿命周期碳排放核算模型如式(1)所示:

$$E_{\text{全}} = E_{\text{前}} + E_{\text{建}} + E_{\text{营}} + E_{\text{拆}} \quad (1)$$

式中, $E_{\text{全}}$ 为全生命周期碳排放量, tCO_2e ; $E_{\text{前}}$ 、 $E_{\text{建}}$ 、 $E_{\text{营}}$ 、 $E_{\text{拆}}$ 分别为前期准备阶段、建设阶段、运营阶段、拆除阶段四个阶段的碳排放量, tCO_2e 。

(1) 前期准备阶段

由于规划设计阶段周期较短,前期准备阶段主要是一些办公室事务和人员活动,此过程中产生的碳排放难以估计,并且相关学者研究^[5]表明此部分碳排放量较小,因此高速公路服务区核算可简化为只计算建设阶段、运营阶段、拆除阶段三个阶段。即 $E_{\text{前}} \approx 0$ 。

(2) 建设阶段

建设阶段碳排放主要来源一方面是由建设材料生产、运输及施工过程中机械设备使用而产生的碳排放;另一方面是因土地征用而带来原有植被破坏而损失的碳汇量,计算公式如式(2)所示:

$$E_{\text{建}} = E_{\text{材}} + E_{\text{运}} + E_{\text{机}} + E_{\text{土}} \quad (2)$$

式中, $E_{\text{材}}$ 为建设材料生产阶段碳排放量, tCO_2e ; $E_{\text{运}}$ 为建设材料运输阶段碳排放量, tCO_2e ; $E_{\text{机}}$ 为施工过程中机械设备使用而产生的碳排放量, tCO_2e ; $E_{\text{土}}$ 为土地征用阶段原有植被破坏而损失的碳汇量,

tCO₂e。

$$E_{\text{材}} = \sum_{i=1}^n M_i \cdot \lambda_i \tag{3}$$

式中, i 为建设材料种类; M_i 为建设材料 i 的使用量; λ_i 为施工材料 i 的碳排放因子。

$$E_{\text{运}} = \sum_{i=1}^n 0.01 C_i \cdot L_i \cdot F_i \cdot H_i \tag{4}$$

式中, i 为某一运载车型; C_i 为 i 车型的排班次数; L_i 为平均行驶距离; H_i 为该车型百公里油耗数; F_i 为燃料碳排放因子。

$$E_{\text{机}} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \sum_{j=1}^n (U_{j,i} \cdot R_{j,i}) \tag{5}$$

式中, Q_i 为第 i 种能源的碳排放因子; $U_{j,i}$ 为使用第 i 种能源的第 j 种设备的班台量; $R_{j,i}$ 为使用第 i 种能源的第 j 种施工机械设备的耗能定额。

(3) 运营阶段

运营阶段碳排放主要包括暖通空调、生活热水、照明及电梯等建筑用能产生的碳排放, 以及可再生能源替代和植物碳汇而减少的碳排放。

$$E_{\text{营}} = E_{\text{能}} - E_{\text{汇}} - E_{\text{替}} \tag{6}$$

式中, $E_{\text{能}}$ 为建筑用能碳排放量, tCO₂e; $E_{\text{汇}}$ 为植物碳汇量, tCO₂e; $E_{\text{替}}$ 为可再生能源替代用能的碳排放量, tCO₂e。

(4) 拆除阶段

拆除阶段碳排放公式如式 (7) 所示:

$$E_{\text{拆}} = E_{\text{机'}} + E_{\text{运'}} + E_{\text{材'}} \tag{7}$$

式中, $E_{\text{材'}}$ 为拆解过程施工机械用能产生的碳排放量, tCO₂e; $E_{\text{运'}}$ 为废弃物转运产生的碳排放量, tCO₂e; $E_{\text{机'}}$ 为废弃物回收利用过程中产生的碳排放量, tCO₂e; 具体计算方法同建设阶段。

1.4 参数选取

建材碳排放因子、建材运输碳排放因子、主要能源碳排放因子根据《建筑碳排放计算标准》(GB/T 513266—2019) [6] 中附录相关参数取值选取。电力碳排放因子按照生态环境部最新公布数据选取, 2022 年度全国电网平均排放因子为 0.570 3tCO₂/MW·h [7]。

2 碳排放核算实例

2.1 项目概况

本研究以云南省某在建服务区为例, 服务区总占

地面积 65 333.33m², 总建筑面积 7 243.49m², 建设内容主要包括综合服务楼、公厕、加油站、修理库、宿舍楼、垃圾房、水泵房、配电房、公共绿地、停车位等。具体经济技术指标如表 1 所示。服务区全寿命周期按照建筑使用年限 50 年计。

表 1 服务区主要经济技术指标 (m²)

Tab.1 Main econo-technical indicators of expressway service area (m²)

序号	项目	数量
1	净用地	65 333.33
2	总建筑面积	7 243.49
其中	综合服务楼、公厕等	4 307.69
	加油站	1 584
	修理库	395.8
	宿舍楼	831.6
	水泵房	76.3
	配电房	48.1
	建筑密度	19.52
3	建筑密度	19.52
4	绿地面积	22 939.72
5	绿地率	35%
6	车位	402 个

2.2 碳排放核算结果

根据核算模型, 可计算出该服务区全生命周期碳排放量, 如表 2 所示。

表 2 服务区碳排放量统计表 (tCO₂e)

Tab.2 Carbon emissions of expressway service area (tCO₂e)

序号	项目	阶段			合计碳排放量
		建设阶段	运营阶段	拆除阶段	
1	综合服务楼、公厕等	1 618.84	5 726.58	161.88	7 507.3
2	加油站	918.08	731.52	91.81	1 741.41
3	修理库	246.31	328.44	24.63	599.38
4	宿舍楼	620.88	4 226.11	62.09	4 909.08
5	配电房	31.89	43.94	3.19	79.02
6	水泵房	46.97	58.51	4.7	110.18
7	场地	7 530.67	2 250.52	753.07	10 534.26
总计碳排放量		11 013.64	13 365.62	1 101.37	25 480.63

该服务区全寿命周期各阶段碳排放占比如图 2 所示, 各单项工程碳排放占比如图 3 所示。

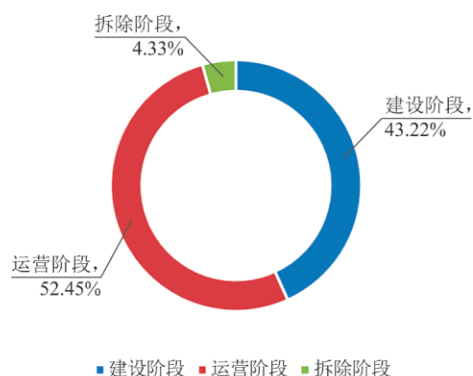


图2 高速公路服务区全生命周期各阶段碳排放占比
Fig.2 Proportion of carbon emissions in each stage of expressway service area

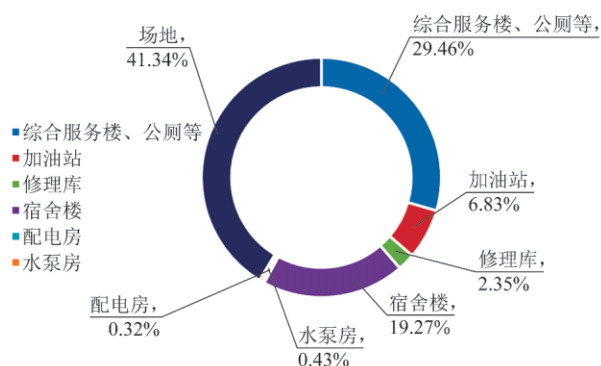


图3 高速公路服务区全生命周期各单项工程碳排放占比
Fig.3 Proportion of carbon emissions in each individual project of expressway service area

2.3 碳排放核算结果分析

由表 2 和图 2 可知,该服务区全生命周期碳排放量为 25 480.63tCO₂e,其中运营阶段排放量最大,为 13 365.62tCO₂e,占比 52.45%;建设阶段次之,为 11 013.64tCO₂e,占比 43.22%;拆除阶段最少,为 1 101.37tCO₂e,占比 4.33%。运营阶段碳排放量较大的主要原因是在服务区日常经营活动中,暖通空调、照明、生活热水、电梯、充电桩等设备用能较高,从而造成服务区用电量较大,随之而来的碳排放量也较大。在建设阶段,由于要消耗大量建筑材料和机械台班,也使得碳排放量比较大。

由图 3 可知,该服务区各单项工程中,场地工程碳排放量最大,为 10 534.26tCO₂e,占比 41.34%,由于场地工程占地面积较大,建设阶段在场地平整、硬化、路面摊铺等过程中消耗建筑材料和机械台班较多。同时,运营阶段场地外照明、充电等设备能耗较

大,从而造成场地工程在服务区全生命周期碳排放中占比较高。综合服务楼碳排放量为 7 507.3tCO₂e,占比 29.46%,其作为主要服务功能载体,建筑规模较大和日常耗能较高,因此碳排放量也较大。

3 服务区全寿命周期降碳措施

3.1 前期准备阶段

在前期规划设计中,应结合高速公路主线、服务区场址周边自然地形条件合理进行竖向设计,减少土石方开挖,保护周边自然生态环境^[8]。并且重视气候响应设计,以气候特征为引导进行建筑方案设计,围绕能耗目标,综合考虑建筑本体、围护结构、机电设备及可再生能源利用等设计内容^[9]。同时增加场地立体绿化设计^[10],以改善场地微气候,提高碳汇水平。

3.2 建设阶段

在建设阶段,应从建设源头减少碳排放。加大节能保温材料、新型涂料及防水材料等绿色建材的使用,减少建材生产环节的碳排放。优化施工方式,合理分配机械台班,减少化石能源的使用,进一步推广装配式建筑的应用^[11]。

3.3 运营阶段

在运营阶段,应充分利用自然通风、天然采光、遮阳与隔热措施,采用低能耗及智能照明设备、高性能制冷制热设备,加大地源热泵、分布式光伏发电等可再生能源技术的利用,提高清洁能源的使用率。建立服务区能耗监测系统,对重点用能设备进行实时数据采集与反馈,提高节能降碳管理水平。

3.4 拆除阶段

在拆除阶段,通常的拆毁方式使大部分建筑材料破碎、混合,变为难以回收利用的建筑垃圾。因此,建议使用拆解方式替代拆除方式,尽可能采用小型机械将构件从主体结构中分离,以提高废旧材料回收率,减少建筑垃圾的产生,从而减少碳排放量。

4 结语

本文基于全生命周期评价理论,提出了高速公路服务区全生命周期碳排放核算模型,通过实例进行碳排放核算,并分析了高速公路服务区全生命周期碳排

(下转第 74 页)

