

市政道路碳排放计算及分析

余希帆

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司,广东 广州 510610)

摘要: 首先,基于城市道路全生命周期的评价方法,提出了市政道路及配套设施的碳排放计算原则和思路,构建了市政道路及配套工程“建造阶段、运行阶段和拆除阶段”3个阶段的碳排放计算模型;然后,通过分类统计不同阶段的能耗和碳排放因子,定量分析了市政道路全生命周期的碳排放量以及碳汇量;最后,通过实际案例,论述了所提出的碳排放计算模型在碳达峰、碳中和分析中的基本步骤以及所需要收集的资料,以为后续市政道路及其他市政基础设施建设项目参与碳排放交易、碳足迹等工作提供技术参考。

关键词: 市政道路;全生命周期;碳排放量;碳排放因子

中图分类号: U412.37

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)01-0027-03

0 引言

2022年9月,我国明确提出2030年“碳达峰”和2060年“碳中和”的目标,“双碳”目标正式成为我国重要发展战略。根据国际能源署发布的《2022年二氧化碳排放报告》^[1],2022年我国的二氧化碳排放量为1 147 700万t。全国建筑和建设工程碳排放总量约占全国碳排放量的50%,市政道路及配套设施属于其中分支,其在建设全生命周期内的碳排放量不可忽视。正确认识市政道路及配套设施在建造、运行和拆除3阶段中产生的碳排放量,是实现“双碳”目标的前提和必经之路。

目前已有许多学者对项目建设过程中所产生的能耗和影响进行分析研究,其研究的重点主要放在建筑工程中,如赵民等^[2]阐述了建筑领域碳排放核算的划分方式和核算方法,并指出了现有碳排放核算边界存在的问题;李磐等^[3]分析了民用建筑物施工期各个分项工程的碳排放量;张欢等^[4]对办公楼建筑进行了全周期碳排放计算。但针对市政基础设施和市政道路碳排放的研究仍较为欠缺。

本文基于城市道路全生命周期的评价方法,将建设工程分为建造、运行和拆除3个阶段考虑其碳排放量,并提出各个阶段的碳排放计算方法,对市政道路全生命周期的碳排放进行评估分析。

1 碳排放的计算方法及市政道路的特点

1.1 碳排放计算方法

我国于2019年颁布实施了《建筑碳排放计算标准》(GB/T 51366—2019)(以下简称《规范》)。《规范》对碳排放计算作了详细规定,具体步骤如下:(1)确定计算边界,建筑常以“独栋建筑”或“建筑群”作为计算对象,一般以“建筑面积”作为功能单位;(2)确定全生命周期的各个阶段,建筑全生命周期分为3个阶段:运行阶段、建筑及拆除阶段、建材生产及运输阶段;(3)确定碳排放因子,用于量化建筑物不同阶段相关活动的碳排放;(4)计算建筑设计方案全生命周期的碳排放量,以此来优化建筑方案、能源系统方案和低碳建材,为建筑物低碳建造和运行提供技术依据。

1.2 市政道路碳排放边界确定

市政道路的碳排放计算边界应按照道路红线,边坡及道路外的绿化不应计入道路碳汇。碳排放计算中采用的年限建议按照道路交通量达到饱和状态时的道路设计年限:快速路、主干路为20a,次干路为15a;支路宜为10~15a^[5]。桥梁、隧道等构筑物应根据设计年限单独核算碳排放量,其余如管线、照明等配套设施可与城市道路一起统一进行碳排放计算。

1.3 市政道路碳排放阶段划分

碳排放主要来源于燃料燃烧释放。市政道路直接碳排放量较少,主要为间接碳排放。从碳排放源来看,全生命周期的碳排放主要包括:(1)建筑材料和设备的生产,以及运输过程中的化石能源消耗;(2)建筑建

收稿日期:2023-07-07

作者简介:余希帆(1992—),男,学士,工程师,从事市政路桥设计工作。

造阶段的碳排放;(3)运行阶段的碳排放;(4)建筑拆除阶段的碳排放。其中建筑材料和设备的生产,以及运输过程也属于建造阶段的主要组成部分,因此本文合并建造阶段中统一计算。

1.4 市政道路碳排放特点

市政道路在建筑建造阶段的碳排放情况与建筑工程类似,其中的间接碳排放量在3个阶段中占比最大。在运行阶段和拆除阶段,市政道路的碳排放情况与建筑工程差异较大,主要表现为:在运行阶段,市政道路的碳排放量非常小,主要为路灯的电耗、清洗车和洒水车的油耗,不涉及暖通空调、热水供应等能耗;在拆除阶段,市政道路一般无需进行整体拆除处理,大部分道路只需进行路面修复即可,其碳排放也应计入下阶段改造工程中。因此市政道路在拆除阶段的碳排放量可不计入本阶段新建工程中,若是项目包含临时道路工程可单独考虑拆除阶段。

2 市政道路碳排放量计算方法

2.1 建造阶段碳排放量 C_{JZ} 核算

建造阶段的碳排放主要来自3个方面:一是部分建材加工能耗,包括混凝土加工、装配式建筑预制构件生产加工产生的碳排放;二是施工人员在场地工作生活产生的碳排放,包括工棚空调、照明等;三是施工能耗,包括施工设备的使用电耗、油耗等。建造阶段碳排放量计算的是将该阶段各种能耗折算成的碳排放量。这些能耗主要包括建造阶段消耗的电、气、油、煤等。建造阶段碳排放量 C_{JZ} 表达式为:

$$C_{JZ} = \sum_{i=1}^n (E_i \times Q_i) \quad (1)$$

式中: E_i 为第*i*种能源的耗用量; Q_i 为第*i*种能源的碳排放因子。

2.2 运行阶段碳排放量 C_M 核算

运行阶段的碳排放量核算以一个完整的自然年为时间单位,对于建筑整个使用周期的碳排放量核算,只需要将运行阶段每年的碳排放量求和即可。

运行阶段的碳排放量 C_M 为建筑使用阶段消耗的各类能源折算的碳排放量之和。运行阶段的碳排放量 C_M 表达式为:

$$C_M = \sum_{i=1}^n (E_i \times Q_i) \quad (2)$$

2.3 拆除阶段碳排放量 C_{cc} 核算

拆除阶段碳排放量计算的是将该阶段各种能耗折算成的碳排放量。这些能耗主要包括拆除阶段消耗的电、气、油、煤等。拆除阶段的碳排放量 C_{cc} 表达

式为:

$$C_{cc} = \sum_{i=1}^n (E_i \times Q_i) \quad (3)$$

2.4 建筑碳汇量 C_P 核算

建筑碳汇量 C_P 主要包括绿化、水体等碳汇措施的碳汇量,其表达式为:

$$C_P = \sum_{i=1}^n (C_i \times Q_i) \quad (4)$$

式中: C_i 为第*i*种碳汇的量。

2.5 碳排放因子

本文的碳排放因子参考广东省住房和城乡建设厅于2021年发布的《建筑碳排放计算导则》(试行)附录,其中列出的各类能源碳排放因子见表1。

表1 各类能源碳排放因子 单位:kgCO₂/kg

能源种类	排放因子值	备注
煤炭	2.660	国家机构数据平均值
石油	2.106	国家机构数据平均值
天然气	1.564	国家机构数据平均值
汽油	2.031	IPCC 国家温室气体排放清单指南
煤油	2.095	IPCC 国家温室气体排放清单指南
柴油	2.171	IPCC 国家温室气体排放清单指南
液化石油	1.849	IPCC 国家温室气体排放清单指南
燃料油	2.268	IPCC 国家温室气体排放清单指南
煤气	1.301	IPCC 国家温室气体排放清单指南
电能	0.374 8	广东省 2020 年电力平均碳排放因子参考值

3 市政道路碳排放计算案例

3.1 案例简介

本文以广东地区某城市支路新建工程为例,对其碳排放量进行计算。该城市支路全长320m,红线宽度为18m。道路采用单幅路形式,双向2车道,其中慢行道组成为1.25m树池带、1.5m非机动车道、2.25m人行道。建设内容包括:道路、管线、电力管沟、通信、交通、照明、绿化、海绵城市、安监工程。

3.2 建造阶段碳排放核算

由于市政工程相关建造阶段的能耗数据难以获取,因此本建造期采用造价管理软件得到的能耗来计算其碳排放量。根据本项目的预算文件,得到建造阶段各个单位工程的能耗,见表2。

因此建造阶段的总碳排放量为: $C_{JZ}=30\ 571 \times 0.374\ 8+22\ 822 \times 2.171+1\ 672 \times 2.031=644\ 00\ \text{kgCO}_2=64.4\ \text{tCO}_2$ 。

单位建设面积的碳排放量为: $644\ 00 \div (18 \times$

表2 建造阶段各专业能耗一览表

专业	电/(kW·h)	柴油/kg	汽油/kg
道路工程	5 336	9 198	297
管线工程	11 388	8 912	11
电力管沟	12 704	3 506	638
通信工程	330	37	151
交通工程	432	310	385
照明工程	312	126	14
绿化工程	0	612	147
海绵城市	53	112	0
安监工程	16	9	29
合计	30 571	22 822	1 672

320)=11.18 kgCO₂/m²。

3.3 运行阶段碳排放核算

运行阶段主要考虑路灯的耗电能、清洗车和洒水车的油耗,运行期按15 a考虑(城市支路)。本项目共设10盏高低双挑路灯和1盏投光灯,具体的道路照明年度耗电汇总表见表3。

表3 道路照明年度耗电汇总表

项目	年消耗量/(kW·h)
10 m 双挑路灯	5 256.0
12 m 3 头泛光灯	2 628.0
变压器损耗(设备用电5%)	394.2
线路损耗(设备用电5%)	394.2
年度合计	8 672.4
15 a 运行期合计	130 086

综合考虑车行道宽度和绿化带宽度,清洗车和洒水车按每天2次计,则清洗车和洒水车年度耗油量汇总表见表4。

表4 清洗车和洒水车年度耗油量汇总表

名称	次数/a	耗柴油量/(L·a ⁻¹)
清扫车	730	36.21
洒水车	730	39.71
合计		75.92
总计(按15 a计算)		1 138.80

因此运行阶段的碳排放量为: $C_M=130\ 086 \times 0.374\ 8+1\ 138.8 \times 2.171=51\ 229\ \text{kgCO}_2=51.2\ \text{tCO}_2$ 。

年度运行碳排放量=51.2÷15=3.41 tCO₂。

3.4 拆除阶段碳排放核算

由于本项目属于新建工程,无临时道路工程,故不考虑拆除阶段碳排放。

3.5 碳汇 C_p 核算

本项目的碳汇主要是道路的行道树。行道树采

用两侧布置,间距6 m,树种采用秋枫,全线共布置了96棵行道树。

项目碳汇计算明细表见表5。

表5 道路树池碳汇计算明细表

项目	道路树池
绿化面积/m ²	96
植物配置	秋枫
碳汇因子/(kgCO ₂ ·m ⁻²)	0.63
年度碳汇量/(tCO ₂ ·a ⁻¹)	0.06
15 a 使用年限碳汇量/tCO ₂	0.9

3.6 计算结果汇总

基于表2至表5,可计算出本案例的碳排放总量和各单位指标。

TCEL 建筑总体碳排放量= $C_{JZ}+C_M+C_{CC}-C_P=64.4+51.2+0-0.9=114.7\ \text{tCO}_2$ 。

ICEA 单位建设面积碳排放量=TCEL/面积=114 700/(18×320)=19.9 kgCO₂/m²。

使用年限为15 a时,ICEB 单位建设面积年度碳排放量=(C_M-C_P)/(年限×面积)=(51 200-900)/(15×18×320)=0.58 kgCO₂/m²。

4 结 语

(1)综合现有规范碳排放计算方法,构建城市道路“建造阶段、运行阶段、拆除阶段”3阶段碳排放计算模型。该模型根据市政道路的特点,较为全面地考虑了各阶段的碳排放情况,最终得出的结果直观明了。

(2)通过具体的工程案例确定了城市道路碳排放计算的基本步骤及所需要收集的资料,可为相关人员进行碳排放计算工作提供参考。

(3)目前的计算方法将建材生产和运输阶段的碳排放融入了建造阶段,通过预算文件得到建材生产和运输阶段的碳排放量,该方法与实际工程中存在一定差异。

(4)市政道路在设计使用年限内,因为超重车、地质差异等情况,会出现不同程度的维修加固内容,但是该工况在设计阶段难以考虑,因此无法计算该工况的碳排放情况。

参考文献:

- [1] International Energy Agency (IEA). CO₂ emissions in 2022[M]. Paris: International Energy Agency, 2023.
- [2] 赵民,王思雨,康维斌,等.建筑领域碳排放核算研究综述[J].暖通空调,2022,52(11):13-22.

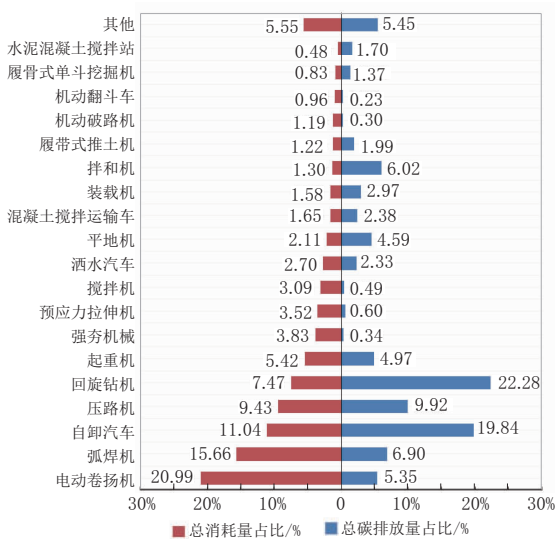


图5 机械碳排放量及台班量占比

单及低碳减排测算开展深入研究,基于公路建设工程计量单元过程划分标准,按照“分单位-分部-分项”的施工时序和层级对公路建设阶段进行划分和建模,得到了材料生产、材料场外加工、材料运输以及施工阶段的单元过程碳排放测算模型。针对公路工程,在确定公路建设碳源的基础上,利用国内外现有权威碳排放数据库及相关文献研究成果进行了理论分析,分别得出能源、筑路材料、机械与运输车辆等单位碳排放因子清单,依托津石高速公路天津西段项目,搜集工程建设阶段材料及机械使用情况,对其工程排放测算及排放特征规律进行研究,主要结论如下:

(1)公路建设项目碳排放存在一定客观规律。尽管不同区域发展特征不同,自然资源禀赋和发展特征不同,公路建设项目碳排放规律和影响因素存在显著差异,但是公路建设相关筑路材料、施工机械等排放源的排放因子仅在一定分范围内波动(除去运输过程的距离参数影响),同时公路建设的单位工程、分部分项工程类似,大型构造物结构特征相近,使用的材料、机械有一定的规律,因此本次核算结果

有一定的代表性。公路建设过程存在明显的2:8定律,即消耗量为20%的材料和施工机械贡献了80%的碳排放,这主要是由于钢铁、柴油等生产过程产生了较大的碳排放,因此少量的消耗能贡献较高的排放。

(2)津石高速天津西段工程原材料生产碳排放占比最高,并且减排潜力也最大,其碳排放主要来源为钢材、水泥和生石灰。而施工机械及运输产生的碳排放仅占总量的5.6%,主要来源为打桩钻孔机械、运输机械、土石方工程机械,其中运输车辆碳排放主要来源为15t以内的自卸汽车。因此,在平原微丘区公路建设的节能降耗管理中,需重点关注上述筑路材料和施工机械的节能减排技术措施,从材料节约、能源节约、工艺优化、施工管理和政策支持等层面提出了针对性的减排措施。

参考文献:

[1] 黄山倩,黄学文,高硕哈,等.基于LCA的高速公路建设全过程碳排放核算[J].交通运输研究,2022,8(6):72-80,89.
 [2] 任腾,成元海,于晓晓,等.全生命周期公路建养的碳排放及环境影响[J].交通节能与环保,2022,18(6):115-119.
 [3] 万杰.基于LCA的高速公路路面施工碳排放优化研究[D].合肥:合肥学院,2022.
 [4] 刘圆圆.基于ALCA的公路生命周期二氧化碳计量理论与方法研究[D].西安:长安大学,2019..
 [5] 谢萌,朱长征.中国公路运输业碳排放影响因素研究[J].中国储运,2022(5):197-198.
 [6] 周颖,秦双双.高速公路建设期碳排放计算与分析[J].价值工程,2022,41(8):156-158.
 [7] 孟祥晨.沥青路面建设期能耗及碳排放量化研究[D].北京:北京交通大学,2021.
 [8] 方海,曹子龙,凤振华,等.基于全生命周期理论的公路建设期碳排放核算方法及实证研究[J].公路工程,2021,46(1):92-97,124.
 [9] 张新洁,张鑫洁,张爱琳.内蒙古寒旱地区公路施工阶段碳排放因子测算研究[J].内蒙古科技大学学报,2023,42(2):170-175.
 [10] 吴雪妍,毛保华,周琪,等.交通运输业不同方式碳排放因子水平比较研究[J].华东交通大学学报,2022,39(4):41-47.

(上接第29页)

[3] 李馨,刘明辉,贾思毅,等.民用建筑工程施工期碳排放评估[J].建设科技(建设部),2018(13):67-71.
 [4] 张欢,贺延壮,赵晓宇.办公楼建筑碳排放计算与分析[J].智能建筑,

2022(10):40-46.
 [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市道路工程设计规范,CJJ-37-2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.