

# 城轨交通碳排放计算研究

## ——以苏州地铁6号线为例

曹诗凡

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2025年2月19日; 录用日期: 2025年3月27日; 发布日期: 2025年4月8日

### 摘要

随着温室效应日益严重、极端天气频发,我国率先提出了“双碳”目标并顺势推出国家碳交易平台,而正确计算城轨交通项目的碳排放量是实现“双碳”目标的基础前提。因此,本文通过全生命周期研究方法,定量计算了城轨交通项目全过程的碳排放总量(在已有的研究基础上汇总分析了各阶段主要的碳排放来源并分析了来源产生能耗的重要影响因子)。全文通过结合具体实际案例苏州地铁6号线,将计算方法切实有效地运用在案例中,并最终计算出6号线项目在全生命周期的碳排放总量。计算结果为我国将来针对城轨项目建设和运营阶段的降碳措施落地以及实际减排项目进入碳交易平台进行碳交易打下了坚实基础。

### 关键词

城轨交通项目, 生命周期, 碳排放

# Research on Carbon Emission Calculation of Urban Rail Transit

## —Taking Suzhou Metro Line 6 as an Example

Shifan Cao

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Feb. 19<sup>th</sup>, 2025; accepted: Mar. 27<sup>th</sup>, 2025; published: Apr. 8<sup>th</sup>, 2025

### Abstract

With the increasingly serious greenhouse effect and the frequent occurrence of extreme weather, China took the lead in proposing the “double carbon” goal and launching a national carbon trading

文章引用: 曹诗凡. 城轨交通碳排放计算研究[J]. 运筹与模糊学, 2025, 15(2): 328-335.

DOI: 10.12677/orf.2025.152087

platform, and the correct calculation of carbon emissions from urban rail transit projects is the basic premise for achieving the “double carbon” goal. Therefore, this paper quantitatively calculates the total carbon emissions of the whole process of urban rail transit projects through the whole life cycle research method (on the basis of the existing research, the main carbon emission sources of each stage are summarized and analyzed, and the important influencing factors of energy consumption generated by the sources are analyzed). In this paper, the calculation method is effectively applied to the case by combining the specific case of Suzhou Metro Line 6, and finally calculates the total carbon emissions of the Line 6 project in the whole life cycle. The calculation results lay a solid foundation for the implementation of carbon reduction measures in the construction and operation stages of urban rail projects in China in the future, as well as the entry of actual emission reduction projects into carbon trading platforms.

## Keywords

Urban Rail Transit Project, Life Cycle, Carbon Emissions

Copyright © 2025 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

城市轨道交通作为公共交通的重要组成部分，是城市居民低碳出行快捷便利的交通工具。完善建设城轨交通网络体系迫在眉睫，是落实我国“双碳”目标、实现碳中和的重点项目，也是重要基础的民生工程。地铁作为城轨交通的代表，在人们日常出行中发挥着不可替代的作用。越来越多的大中型城市规划落地了地铁项目建设，从而完善了城市交通网络体系，强有力地加快了城市建设的脚步。文章[1]表明，未来我国将积极引导城市居民低碳出行，为此需要进一步批准建设和运营大容量的公共交通基础设施。2020年3月，《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》[2]顺势而出，绿色城轨交通发展路线方针被进一步明确。我国未来将布局智慧城轨与低碳交通发展方向，通过大数据等技术应用来实现能源高效利用、运营的精细化管理，从而有效降低交通领域碳排放。然而降碳减排的措施应用需要在明确实际工程项目每一步具体步骤的碳排放量上才能进行有效地推动，因此城轨交通项目的碳排放量计算研究日益被学界关注。

结合这一背景，目前学界针对城轨交通的碳排放量研究已经取得了诸多建设性成果，开展了大量关于城轨交通碳排放的计算工作，构建了多种碳排放模型。这些模型考虑了不同城市、不同线路的实际情况，来预测和评估城轨交通的碳排放量。整理现有研究，分析发现针对不同方向，各个研究的侧重点不同。在研究方法选择方面，文献[3]得出了碳排放强度的平均值，但无法反映出项目的特殊性，因为不同城市的地质条件、气候环境、能源结构、客流量等因素都会对碳排放产生显著影响。全国平均水平数据无法为具体项目提供精准的碳排放计算和减排建议，其方法值得借鉴，但是缺乏实际应用的条件。国外相关的城轨交通项目全生命周期碳排放研究[4][5]，对碳排放强度的评价方式方法与我国轨道交通碳排放的参考指标存在地域差异。由于与我国的国情不同，国外项目建设的标准以及参照执行政策存在差异，因此此研究方法不能完全适用，需要结合我国实际情况再对其研究方法进行选择以及创新。在全生命周期方面，目前现有的研究方法较简单，整体性思维不够，大多针对单一对象或单一阶段，缺乏对地铁全生命周期系统性的研究。各阶段之间的碳排放关联性也未被充分探讨，例如建设阶段材料选择所产生能耗对运营阶段能耗值的影响未被深入讨论。而部分研究则采用简化的计算方法，未能充分考虑实际项目

的复杂性和多样性。例如，地铁线路长度、客流量、能源结构等因素对碳排放的影响未被充分纳入模型。文献[6][7]对建设环节中项目涉及的地铁站台进行碳排放研究，却忽略了地铁建设中其他重要部分的碳排放。文献[8][9]分别系统性地定量分析了列车运行所需的能耗以及运营环节中车站部分的相关能耗，但未将两者结合起来，缺乏运营阶段碳排放的整体评估。文献[10]虽然将两者结合起来研究，但是使用模型较单一，且未涵盖建设阶段和其他运营环节的碳排放。

综上，目前针对轨道交通项目的碳排放量计算缺乏对项目全线、全生命周期的研究广度，各个研究多集中于某一阶段或某一对象。因此，对城轨交通全生命周期的碳排放进行系统性计算是本文的研究方向，结合实际案例计算碳排放使得计算方法切实可行，研究成果可以有效支持低碳减排技术的应用以及为减排政策的制定提供数据参考。

## 2. 全生命周期碳排放计算模型

### 2.1. 碳排放核算边界

碳排放核算边界的确定是计算碳排放的基础和前提，涉及范围有城市轨道交通项目的规划、建造、运营、维护和最终拆除等多个部分。核算范围确定结合文献[7]的研究成果，因此本文主要聚焦于项目的建造阶段和运营阶段碳排放研究，对部分阶段进行了简化处理。规划阶段的工作多涉及项目前期情况摸查和评估，这一阶段所产生的能耗、碳排放量极低。其排放量对比项目总碳排放量来说占比小，因此忽略不计。建造阶段是碳排放的主要来源，这一阶段的排放主要涉及所需材料的生产和运输，以及在施工过程中的能源消耗。运营阶段的碳排放量从项目长周期角度来看，对未来碳排放增量的产生起到决定性作用。运营阶段碳排放量范围包括车辆牵引以及车站运营所消耗能耗的碳排放量。根据文献[8]，维护阶段的碳排放量属于项目运营阶段，因此无需再进行单独计算。拆除阶段包括车辆和设施的拆除、回收和处理。由于目前我国轨道交通项目大多处于建设或运营阶段，拆除阶段的碳排放尚未成为主要关注点，且其碳排放量相对较低，因此本文在核算范围内忽略这一部分。列车制造、维护以及报废环节的碳排放在全生命周期中占比较小(通常合计小于5%)，且受数据精度、时间分摊效应等因素限制，在宏观模型(如城市交通碳规划)中可合理忽略。这一简化逻辑已通过国际标准、实证研究及行业实践验证，适用于以运营减排为核心的政策分析场景。国际标准参考 ISO 14040 生命周期评价标准建议，若某环节碳排放占比 < 5%，可归类为“其他”或合并计算。目前在具体案例中也采取合并或者简化的处理方式，欧洲高铁研究表明制造阶段碳排放占全生命周期的 9%，维护与报废合计 4%，模型简化后误差在可接受范围(总偏差 < 2%)。基于轨道交通领域碳排放研究，列车制造、维护及报废环节的碳排放占全生命周期比例较小，因此在本研究模型中简化处理。

本文的碳排放核算边界确定为项目的建造阶段和运营阶段，并由此展开研究和计算。

### 2.2. 建造阶段碳排放

城市轨道交通项目在建造阶段的碳排放涉及项目所使用材料在生产阶段、运输阶段的排放以及项目在物化环节所产生的排放，建造阶段碳排放总量为式(1)：

$$C_{jc} = C_{sc} + C_{ys} + C_{wh} \quad (1)$$

式中， $C_{jc}$  表示建造阶段所产生的碳排放总量； $C_{sc}$  表示所使用材料在生产阶段的碳排放量； $C_{ys}$  表示所使用材料在运输阶段的碳排放量； $C_{wh}$  表示在建造阶段中物化环节所产生的碳排放量。

材料生产阶段碳排放量为式(2)：

$$C_{sc} = \sum_{i=1}^n M_i F_i \quad (2)$$

式中,  $C_{sc}$  表示建造时所需材料在生产过程中的碳排放量;  $M_i$  表示第  $i$  种建设材料的消耗量;  $F_i$  表示第  $i$  种建设材料的碳排放因子数值;  $n$  表示建设材料的种类数量。

材料运输阶段碳排放量为式(3):

$$C_{ys} = \sum_{i=1, j=1}^{n, j} M_i L_{i,j} F_j \quad (3)$$

式中,  $C_{ys}$  表示建造时材料在运输过程中碳排放量;  $M_i$  表示第  $i$  种建设材料消耗量;  $L_{i,j}$  表示第  $i$  种建设材料采用第  $j$  种运输方式的运距;  $F_j$  表示第  $j$  种运输方式的碳排放因子;  $n$  表示主要建材种类数。

建造物化阶段碳排放量为式(4):

$$C_{wh} = \sum_{i=1}^n Q_i F_i \quad (4)$$

式中,  $C_{wh}$  表示建筑材料在物化过程中所涉及的碳排放量;  $Q_i$  表示第  $i$  种能源的消耗量;  $F_i$  表示第  $i$  种能源的排放因子数值;  $n$  表示主要建设材料的种类数量。

### 2.3. 运营阶段碳排放

轨道交通运营阶段的碳排放量计算界定范围包括两部分即车辆运行和车站运营, 运营阶段总碳排放量为式(5):

$$C_{yy} = C_{cl} + C_{cz} \quad (5)$$

式中,  $C_{yy}$  表示运营阶段的总碳排放量;  $C_{cl}$  表示车辆运行时所产生的碳排放量;  $C_{cz}$  表示车站运营时所产生的碳排放量。

(1) 《国家温室气体清单指南》指出车辆运行时的碳排放量主要由多部分组成, 涉及列车具体的运行数量、运行时间、运行线路长度等相关因素, 车辆运行所产生的碳排放为式(6):

$$C_{cl} = M \times N \times D \times T \times F \quad (6)$$

式中,  $C_{cl}$  代表车辆运行时所产生的碳排放量,  $M$  代表车辆每公里电力消耗的能量数, 单位为 kWh/km;  $N$  代表运营的车辆数量, 单位为列;  $D$  代表车辆运行线路的长度, 单位为 km;  $T$  代表车辆每天运营时间长度, 单位为 h;  $F$  代表车辆运行所消耗的电力对应的碳排放因子值, 单位为 kg/kWh, 这些参数共同决定了车辆运行的碳排放量。

(2) 车站运营所耗用的能源主要是电力形式的终端能源, 因此根据不同用能系统消耗的终端能量和其能源所对应的碳排放因子值来计算车站运营的碳排放量。车站运营所产生的主要碳排放包括通风空调系统碳排放、照明系统碳排放、电梯和自动扶梯系统碳排放, 其中空调与通风系统占比约 40%~50%, 由于地铁站需维持恒定温湿度, 空调能耗占比最高。照明系统占比 20%~30%, 包括基础照明与广告灯箱。电梯与扶梯占比 10%~15%, 且高峰时段电梯连续运行能耗显著。除以上三部分外地铁站运营阶段碳排放还涉及多个来源, 由于其余部分占比较小并且各部分数据收集困难, 结合已有研究数据结论, 其余部分的碳排放量忽略处理。

车站运营阶段碳排放为式(7):

$$C_{cz} = C_{ac} + C_l + C_{et} \quad (7)$$

式中,  $C_{ac}$  为通风空调系统碳排放量;  $C_l$  为照明系统碳排放量;  $C_{et}$  为电梯及自动扶梯系统碳排放量。

### 3. 案例分析

#### 3.1. 工程简介

苏州市经济体量大、人口密度高，城市居民对轨道交通的需求高，因此苏州地铁客流集中，客流量大。本文将苏州地铁作为具体工程研究对象，选取地铁 6 号线为目标来进行全生命周期的碳排放计算研究。苏州地铁 6 号线是苏州建成运营的第七条地铁线路，线路相关信息来自苏州市轨道交通运营官方以及江苏省交通运输局，6 号线线路全长 36.12 千米，共设置 31 座车站，配车数量为 30 辆，总建筑面积约 6.19 万平方米(不含车辆段)。针对苏州地铁 6 号线全生命周期碳排放的计算，将其分解为建造阶段和运营阶段两个部分。

#### 3.2. 建造阶段碳排放计算

本文依据苏州地铁 6 号线规划建设中各施工段(包含全程车站区间以及全部车站)的工料清单所示数值整理汇总得到全部建设所用施工材料耗材量。苏州地铁 6 号线项目中具体耗材选型参考《地下工程防水技术规范》(GB50108)、《混凝土结构设计规范》(GB50010)等标准。钢材类包含型钢与钢板(用于车站框架、隧道衬砌)，轨道钢(用于铺设地铁轨道)，特殊合金钢(用于地下潮湿环境)，不锈钢车体(用于地铁车辆制造)；水泥包含通用水泥以及特种水泥，混凝土包含 C30-C50 普通混凝土其中线路区间使用型号 C35 混凝土、车站建设中顶板使用 C40 混凝土；砂石包含细骨料(砂)和粗骨料(石子)。本文数据收集通过获取各施工段的施工时所使用的材料种类及其用量，包含了苏州地铁 6 号线所有的车站以及区间线路耗材的统计与计算、运输过程中运输材料的数量汇总和物化阶段所使用的各类燃料用量统计。

为了确保计算结果的准确性与可靠性，本文所使用的各类建筑材料生产、运输以及施工过程中的能耗数据均来自于《省级温室气体清单编制指南》及具体项目报告。运营阶段所涉及柴油、汽油以及电力所对应的碳排放因子值参照我国国家发改委于 2011 年首次发布编制指南取值。例如，钢材生产的碳排放因子 2712 kgco<sub>2</sub>eq/t 源自国家发改委发布的标准值。选择编制指南进行取值源于编制指南数值参考《IPCC2006 年国家温室气体清单指南》编制，排放因子法是 IPCC 提出的第一种碳排放估算方法，也是目前广泛应用的方法，以活动数据和排放因子的乘积作为该排放项目的碳排放量估算值。两者碳核算方法一致，最大的区别在于两者推荐的缺省碳排放因子不同，根据省级指南计算出的碳排放因子是针对我国国情进行修改过的，更加符合我国能源消耗具体情况。

##### 3.2.1. 材料生产阶段

通过收集整理工程量清单得到项目所用材料总量，计算得表 1。

**Table 1.** Material consumption and carbon emissions

**表 1.** 材料消耗量及碳排放量

	总量	碳排放因子	碳排放量
钢材	362,951 t	2712 kgco <sub>2</sub> eq/t	984323.11 t
混凝土	2,226,161 m <sup>3</sup>	327 kgco <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	727954.65 t
砂石	254681.08 t	2.35 kgco <sub>2</sub> eq/t	598.50 t
水泥	374,160 m <sup>3</sup>	939 kgco <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	351336.24 t
总计			2064212.5 t

##### 3.2.2. 材料运输阶段

项目中所使用的各类建筑材料在运输过程中的运距数据难以获取，结合本项目具体情况进行赋值(参

照《建筑碳排放计算标准》附录 E)，运输部门各材料平均运距及碳排放量如表 2。

**Table 2.** Carbon emission from material transportation department  
**表 2.** 材料运输部门碳排放量

	运输距离	碳排放量
钢材	10 km	89.23 t
混凝土	40 km	5789.78 t
砂石	30 km	739.23 t
水泥	20 km	256.57 t
总计		6874.81 t

### 3.2.3. 建造物化阶段

在建造阶段的物化过程中，能源消耗(如电力、柴油等)的碳排放计算需要结合能源消耗量和相应的碳排放因子，具体碳排放量如表 3。

**Table 3.** Carbon emissions of the construction materialization department  
**表 3.** 建造物化部门碳排放量

	能源消耗量	碳排放因子	碳排放量
柴油	37999477.48 kg	3.06kg CO <sub>2</sub> eq/kg	116278.401 t
汽油	2084533.07 kg	3.15kg CO <sub>2</sub> eq/kg	6566.279 t
电力	227605382.91 kwh	0.7035 kg/kwh	160120.387 t
总计			282965.067 t

## 3.3. 运营阶段碳排放计算

### 3.3.1. 车辆运行

根据中国城市轨道交通协会发布的《城市轨道交通年度统计分析报告》，城轨交通平均每车公里用电能耗为 3.73 kW/h (3.73 度/车公里)；根据苏州地铁 6 号线官网公示运营列车配车数量为 30 列；6 号线全线总长度为 36.12 km；每天运营时间为早上 6 点至晚上 11 点共计 17 个小时。电力碳排放因子数值依据《省级温室气体清单编制指南》华东地区的统一标准取值 0.7035 kg/kWh。

结合上文式(6)，计算得出苏州地铁 6 号线车辆运行碳排放量为 48.34 t/天。假设全年运行，则一整年碳排放量为 17644.1 t/年。

### 3.3.2. 车站运营

(1) 地铁站台空调部门的碳排放计算需要通过空调系统的能耗额度来确定，通过每平方米的空调能源消耗量和地铁车站的面积可计算得出地铁车站的空调能源消耗量，碳排放量为式(8)，能耗量为式(9)：

$$C_{ac} = E_{ac} \times EF_i \quad (8)$$

式中， $C_{ac}$  代表空调系统单位面积碳排放量； $E_{ac}$  代表空调系统的能耗量； $EF_i$  代表第  $i$  种系统能耗量所对应的电力碳排放因子(kg CO<sub>2</sub>/kWh)。

$$E_{ac} = E_i \times S \times 24 \quad (9)$$

式中， $E_{ac}$  代表空调系统的能耗量； $E_i$  为单位面积空调系统耗电量(kWh/m<sup>2</sup>)； $S$  代表地铁车站总面积(m<sup>2</sup>)。

苏州地铁 6 号线总建筑面积约 6.19 万平方米(不含车辆段), 根据现有研究[10], 室内 15 m<sup>2</sup> 面积每小时空调制冷平均需要消耗 160 W 电力, 每平方米的空调能源消耗量为 160 W/15 m<sup>2</sup>。

假设地铁线路全年无休正常运转, 运营阶段地铁空调部门能耗为 15846.4 kWh/天, 5783936 kWh/年, 碳排放量为 11.15 t/天, 4069.75 t/年。

(2) 站台照明部门能耗根据《建筑碳排放计算标准》中有关照明系统能耗的计算规定, 照明系统无光电控制系统时, 其碳排放计算方式如式(10):

$$C_l = E_l \times EF_i = \left( \sum \sum P_{i,j} \times A_i \times t_{i,j} + 24 \times P_p \times A \right) \times EF_i / 1000 \quad (10)$$

式中,  $C_l$  代表运营阶段地铁站台照明部门碳排放,  $E_l$  代表照明系统能耗(kWh),  $EF_i$  代表火力发电碳排放因子(kg/kWh),  $P_{i,j}$  代表第  $j$  日第  $i$  个房间照明功率密度值(W/m<sup>2</sup>),  $A_i$  代表第  $i$  个房间的照明面积(m<sup>2</sup>),  $t_{i,j}$  代表第  $j$  日第  $i$  个房间照明时间(h),  $P_p$  代表应急灯照明功率密度(W/m<sup>2</sup>),  $A$  代表建筑面积(m<sup>2</sup>)。

其中照明功率参数根据《城市轨道交通照明 GB/T 16275-2008》经调整后取算数平均值 10.3 W/m<sup>2</sup>。苏州地铁 6 号线总建筑面积约 6.19 万平方米(不含车辆段), 故车站照明面积取 6 号线总建筑面积。假设地铁线路全年无休正常运转, 一天时间取 24 小时。由于应急灯照明情况难以获得并且能耗较小, 故本文不考虑应急灯照明。因此, 运营阶段地铁照明部门的能耗为 15301.68 kWh/天, 5585113.2 kWh/年; 碳排放量为 10.76 t/天, 3927.4 t/年。

(3) 站台电梯部门由于项目中电梯各项数据难以获取, 故本文采用已有的研究成果对地铁站台电梯部门的碳排放进行测算。地铁站台每小时自动扶梯电功率计算公式: 地铁站台自动扶梯电功率(W) = 自动扶梯数 × 10000 [10]。

查阅苏州轨道交通 6 号线工程项目中标文件, 确定案例地铁线共涉及 394 台电、扶梯产品。假设地铁线路全年无休正常运转, 运营阶段地铁电梯部门的能耗为 94560 kWh/天, 34514400 kWh/年; 碳排放量为 66.52 t/天, 24280.88 t/年。

综上, 整个列车运营在一年中所产生的碳排放量为以上三部分之和, 共计 32278.03 t/年。

## 4. 结论与展望

### 4.1. 碳排放计算结果

本文基于全生命周期理论, 结合具体案例分析和建立了城市轨道交通全线、全生命周期的碳排放计算模型, 定量计算了地铁线路(苏州地铁 6 号线)一年时间的碳排放总量, 结果如表 4。

**Table 4.** Full-life metro carbon emission

**表 4.** 全生命周期地铁线路碳排放

	建造部门	运营部门	碳排放量
建造阶段	材料生产		2064212.5 t
	材料运输		6874.8 t
	建造物化		282965.1 t
运营阶段		列车运行	17644.1 t
		车站运营	32278.03 t

在建设阶段, 项目碳排放涉及项目所使用材料的生产、施工和运输环节, 统计材料的使用量并通过合理的参数选取来计算, 这一计算过程确保了结果的科学性和准确性。运营阶段的碳排放计算分为列车

部分和车站部分。列车运行的计算涉及项目的列车型号、运行线路以及运行时长等因素。车站运营与车站空调、照明以及扶梯系统的能耗有关,通过统计各个车站能耗总量,再结合不同能耗对应的碳排放因子值来计算排放量。为评估模型中关键参数取值变化对最终碳排放计算结果的影响,本文实施了敏感性分析。选取了几个重要变量,包括但不限于列车每公里耗电量、车站空调系统的单位面积能耗、不同建材的碳排放因子等,分别改变其 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 的数值,观察并记录对总碳排放量的影响程度。结果显示,尽管个别参数的变化会对局部计算产生影响,但整体来看,模型输出具有较高的稳定性。该模型通过科学的计算方法和合理的参数选取,实现了城轨交通全生命周期碳排放的定量计算,为地铁线路的低碳设计和车站运营提供了重要支持。

## 4.2. 展望

轨道交通项目碳排放量的计算结果为下一步具体降碳技术的应用提供了数据前提。建造阶段减排可以在建设阶段选择绿色建材并且优化施工工艺,例如采用建筑垃圾再生骨料替代天然砂石,北京地铁部分线路应用后减少天然资源消耗 30%,碳排放降低 15%。在施工环节可以进行管理优化例如采取 BIM 智能施工,北京地铁 19 号线应用 BIM 技术优化管线布局,减少返工率 50%,施工能耗降低 12%。针对运营阶段的列车运行可以采用节能列车设计来促进碳减排例如引进永磁同步牵引系统,青岛地铁 1 号线应用后牵引能耗降低 18%。针对运营阶段的车站部分,可以引入智能照明与空调和变频电扶梯来有效降低碳排放。目前,无锡地铁已经通过智能照明系统和变频空调技术,使得车站照明日均节能约 40%;通过变频节能技术的引入,让扶梯在无人状态下进入慢行节能模式,动态调整运行状态以节省电能。将轨道交通项目的碳排放量具体可视化的计算是目前学术界的研究热点,越来越多的实际工程项目在建设与管理的过程中考虑到了项目所产生的碳排放并开始关注如何切实有效的降低碳排放,这些都对促进能源的高效利用、运营的精细化管理提供了发展方向,推动了智慧城轨建设与低碳交通出行。

## 参考文献

- [1] 新华社. 中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见[EB/OL]. [https://www.gov.cn/xinwen/2021-10/24/content\\_5644613.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2021-10/24/content_5644613.htm), 2021-10-24.
- [2] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要[EB/OL]. <http://bim.crec.cn/zgztbimmh/10117447/10170593/10179887/2021091309240863852.pdf>, 2023-02-03.
- [3] 陈坤阳, 周鼎, 粟月欢, 等. 城市轨道交通生命周期碳排放强度与碳减排潜力研究[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(5): 1-7.
- [4] 李芾, 傅茂海. 铁路高速货车及其相关技术研究[J]. 交通运输工程学报, 2002(1): 6-12.
- [5] Morita, Y., Shimizu, K., Yamasaki, T., et al. (2011) A Study on Greenhouse Gas Emission of Urban Railway Projects in Tokyo Metropolitan Area. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 8, 1-14. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/eastpro/2011/0/2011\\_0\\_36/\\_pdf/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/eastpro/2011/0/2011_0_36/_pdf/-char/en)
- [6] 钱生泽. 基于 LCA 的轨道交通车站碳排放分析[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(5): 16-21.
- [7] 秦鹭, 袁艳平, 蒋福建. 地铁站建筑全生命周期碳排放研究: 以成都三号线某站为例[J]. 建筑经济, 2020, 41(S1): 329-334.
- [8] 谢鸿宇, 王习祥, 杨木壮, 等. 深圳地铁碳排放量[J]. 生态学报, 2011, 31(12): 3551-3558.
- [9] 曾雪兰, 徐伟嘉, 郭绍德, 等. 基于生命周期的轨道交通能耗与碳排放分析[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(6): 290-294.
- [10] 龙江英, 李焱, 马龙. 城市轨道交通运营期碳排放核算研究[J]. 贵阳学院学报(自然科学版), 2011, 6(2): 1-11.