

DOI: 10.12361/2661-3263-06-08-148285

双碳目标下基于绿色供应链视角的氢能源公交车 碳减排效益研究

余乐盈 谭 晖 彭安琪 唐 潮

广州城市理工学院经济学院, 中国·广东 广州 510800

【摘要】本文首先将对国内外氢能源在公共交通领域的应用展开调研, 通过对比分析, 研究我国氢能源公交系统在不同地区的应用情况, 预测未来氢能源公交系统在碳中和目标下的贡献度; 从绿色供应链视角对我国氢能源公交系统全生命周期的各环节进行分析, 开展氢能源公交系统全生命周期碳排放问题研究, 并对经济和社会效益进行评估, 得出结论。

【关键词】双碳目标; 绿色供应链; 氢能源公交车; 碳减排效益

Research on the Carbon Emission Reduction Efficiency of Hydrogen Energy Bus Based on the Perspective of Green Supply Chain Under the Dual Carbon Target

Leying Yu, Hui Tan, Anqi Peng, Chao Tang

School of Economics, Guangzhou City Institute of Technology, Guangzhou 50800, China

[Abstract] The Research will first investigate the application of hydrogen energy in the field of public transportation at home and abroad, and study the application of hydrogen energy bus system in different regions in China through comparative analysis, so as to predict the contribution of hydrogen energy bus system under the goal of carbon neutrality in the future. From the perspective of green supply chain, this paper analyzes all aspects of the whole life cycle of China's hydrogen energy public transport system, carries out research on the carbon emission of the whole life cycle of hydrogen energy public transport system, evaluates the economic and social benefits, and draws conclusions.

[Keywords] Dual carbon goals; Green supply chains; Hydrogen buses; Carbon reduction benefits

【基金项目】广东省科技创新战略专项资金立项项目“双碳目标下基于绿色供应链视角的氢能源公交车碳减排效益研究”(pdjh2022b0762)

引言

能源是支撑人类社会生存和发展之基, 作为社会可持续发展中重要的一环, 交通运输低碳化行动迫在眉睫。氢作为替代能源, 在传统高碳场景都具备较广应用, 被广泛认为是新能源汽车应用中理想的清洁能源, 而交通领域作为氢能源应用先导领域, 相关推广应用方面仍存在一定问题。虽然杨凡^[1]和曹红斌^[2]分别研究氢能源公交车环境及成本效益, 但是已有研究中对于氢能源公交车减排量核算方法学尚不成熟、角度较为单一, 且成本效益评估尚未充分展开。

同时, 关于绿色供应链在制造业领域研究不断深入, 李思怡^[3]和张宇俊^[4]等人通过研究我国家具行业、棉纺织行业绿色供应链发展路径, 构建合理的发展模式并提出该行业发展绿色供应链的策略建议。随着氢能源在交通领域不断发展, 相关企业供应链各环节联系日趋紧密, 因此, 本研究将借鉴绿色供应链视角下针对氢能源公交车在减排量与成本效益方面进行探索。

1 碳减排效益评估方法

1.1 氢能源公交车全生命周期排放评估

生命周期评价法 (Life Cycle Assessment, LCA) 常被用于分析清洁能源汽车系统有关投入与产出的存量数据及潜在环境影响。

为评估绿色供应链下的氢能源公交车产生的碳减排效益, 本文基于生命周期评价法, 根据排放系数计算碳排放量, 单位为kg, 当量二氧化碳每千克物质 ($O_2 - q$ /kg)。公交车生命周期各阶段计算公式如下所示:

(1) 燃料生产加工阶段碳排放:

$$I_a = C_e \times M \times T \quad (1-1)$$

式(1-1)中, I_a 表示燃料生产加工运输过程中碳排放量; C_e 表示单位燃料排碳量; M 表示终端燃料的质量; T 表示运行里程。

(2) 公交车原材料生产与加工碳排放计算公式:

$$I_b = \sum_{i=1}^n \frac{M_i \times C_i}{Y} \quad (1-2)$$

式(1-2)中, I_b 表示公交车原材料生产与加工碳排放量; M_i 表示材料生产质量; C_i 表示材料碳排放系数; Y 表示材料生产率。

(3) 公交车运行阶段碳排放计算公式:

$$I_c = M_u \times C_u \times T \quad (1-3)$$

式(1-3)中, I_c 表示公交车运行阶段碳排放量; M_u 表示公交车百公里耗油/氢量; C_u 表示单位电力或柴油碳排放量; T 为公交车行驶里程。

(4) 氢能源公交车全生命周期碳排放计算公式:

$$I \equiv I_a + I_b + I_c \quad (1-4)$$

1.2 氢能源公交车全生命周期成本评估

全生命周期拥有成本评估方法 (Total Cost of Ownership, TCO) 作为物流行业现代化管理中优化采购决策与提升运营效率的经典工具, 主要用于车辆购买、运维直到报废的总成本与隐性成本分析,

基于绿色供应链角度, 根据TCO评估方法, 氢能源公交车全生命周期拥有成本是指从购买、运营到报废的全部成本, 其计算公式可定义为:

$$TCO = [(T_a + T_b) - (T_c + T_d)] / (T_e - T_f) \quad (1-5)$$

式(1-5)中, T_a 是氢能源公交车投资成本, T_b 是氢能源公交车运营期间成本, T_c 是传统公交车投资成本, T_d 是传统公交车运营期间成本, T_e 是氢能源公交车运行期间减排量, T_f 是传统公交车运行期间减排量, $T_f = 0$ 。

2 碳减排效益评估结果分析

2.1 碳排放核算结果

参考中国石化大连研究院、吴东平及田涛等的研究, 分别以0.462、0.747、10.063和24.328作为原油生产柴

油、煤制电、天然气制氢、煤制氢过程的碳排放系数, 以49.97L/100km、116.49kWh/100km与3kg/100km作为纯电动公交车与氢能源公交终端燃料消耗, 以机动车强制报废数据40万km作为行驶里程, 原油生产柴油、煤制电、天然气制氢、煤制氢的转换率分别为0.450、3.270、0.750和0.595。

经公式(1-1)计算原油生产柴油、煤电过程, 并对两种制氢方式的碳排放进行均一化加权处理后, 得出: (1) 一辆柴油公交车在燃料阶段碳排放为306,133kg; (2) 一辆纯电动公交车在燃料阶段碳排放为358,323.24kg; (3) 一辆氢能源公交车燃料阶段碳排放为249,141kg。

依据公开数据, 计算一辆10.5m长的标准城市公交客车所需要的钢材质量为2吨。制造产率和碳排放系数分别为0.700和2.279。计算得一辆公交客车生产加工阶段碳排放为6.51t。

一辆柴油公交车百公里能耗按照49.97L计算, 里程按照40万km计算, 运行阶段碳排放为11760kg。一辆纯电动公交车运行阶段碳排放为0。一辆纯氢公交车运行阶段碳排放为0。

表2-1 全生命周期碳排放数据, 单位: 千克 (kg)

	柴油公交车	纯电动公交车	氢能源公交车
燃料上游阶段	306133	358323.24	249141
生产加工阶段	4558	4558	4558
燃料下游阶段	117600	0	0
总排放	428291	362881	253699

2.2 全生命周期成本分析

以佛山市为例, 根据广东省统计年鉴, 2021年佛山市共有6922辆运营车辆, 其中氢能源公交车约为1000辆, 新能源公交车规模为4766辆。若佛山市剩余的2156辆公交车能够替换成电车, 那么将减少37730t的碳排放。

表2-2 全生命周期成本表

车型	12米城市公交车		
	氢车	柴油	电车
燃料类型			
补贴前TCO/万元	301.2	77.7	205.9
补贴前每百公里TCO/元	11.47	6.77	7.84
运行周期内成本/千元	45.88	27.08	31.36
运行周期内碳排放成本 (元/千克)	0.18	0.06	0.08

2.3 基于绿色供应链角度的氢能源公交车的碳减排潜力分析

结合所获得的二氧化碳排放量数据,对绿色供应链下的氢能源公交车全供应链技术路径及碳减排潜力进行估算得出:

非可再生能源制氢(如天然气制氢与煤制氢)下的氢能源公交车全生命周期二氧化碳排放可达到249141kg。而根据中国氢能联盟的数据,预测到2050年,大约70%的氢将由可再生能源(绿氢)生产。由此假设到2050年,非可再生能源制氢(如天然气制氢与煤制氢)占氢能源生产的比重下降至30%,此时氢能源公交车全生命周期二氧化碳排放降至74742.30kg。

2.4 不确定性分析

由于部分数据缺乏和涉及核算条目繁琐等原因,生命周期评估中部分非核心过程,如柴油输送过程中的漏油和车辆加油过程中的挥发等损耗量等忽略不计。部分参数采用相关参数的平均值,如计算柴油生产过程的碳排放时采用的是我国各项制备柴油方法的碳排放量平均值。

此外,我国的制氢量约为1,900万吨,62%左右的制氢量来自煤或焦炉生产,电解水制氢占比不足4%,考虑到电解水制氢占比较小,且电力来源多种多样,本文暂不考虑电解水制氢产生的碳排放。

因此,本文全生命周期碳排放核算结果存在不确定性。且因这部分核算产生的碳排放量相比生命周期内其他排量占比非常小,所以这种不确定性不足以影响研究的结论。

3 经济和社会效益评估

3.1 经济效益

结合上述分析结果,假设考虑购车补贴,12米氢能源公交单位TCO也降至8.7元,仅为同等柴油车的1.28倍、纯电动的1.1倍。考虑可再生能源制氢的发展情况,预测到2025,氢能源公交单位TCO降至8.3元,仅为同等电力公交车的1.07倍。氢气、柴油、电力公交车成本均有下降,其中氢能源公交下降程度最大,为27.6%。

表3-1 预测/补贴后TCO价格

	氢能源公交车	柴油公交车	纯电公交车
基准情况每公里TCO/元	11.47	6.77	7.84
考虑补贴后每公里TCO/元	8.7	6.77	7.84
预测2025年每公里TCO/元	8.3	6.46	7.74

3.2 社会效益

首先,改变社会成本。参考Wang T等(2022)的研究,采用36美元/吨二氧化碳作为碳社会成本(Social cost of carbon, SCC),假设采用氢能源公交车可以每年减少1000吨二氧化碳排放,则使用SCC计算,每年减排1000吨二氧化碳所能够带来的社会成本改变 = 减排量 × SCC,得出值约为3.6万美元/年。可以认为,使用氢能源公交车是对减少碳排放和节约社会成本的有效措施。

同时,减缓气候变化。氢能源公交车的使用可以显著减少尾气排放,从而减缓气候变化的进程。据估算,如果1000辆氢能源公交车取代传统的燃油公交车,每年可以减少约1万吨的二氧化碳排放,这将有助于减少全球变暖和气候变化的影响。

4 结论

单辆氢能源公交车相比柴油公交车和电动公交车在全生命周期尺度碳减排有明显优势,其产生的巨大碳排放差距主要来自燃料周期(氢能源和电力与柴油生产到消耗过程差异),氢能源公交车生命周期碳减排效益与绿色制氢技术运用紧密相关,清洁绿氢将使未来车辆碳排放量显著减少。优化以煤制氢、天然气制氢为主的制氢结构将对我国公共交通领域产生显著碳减排效益。

参考文献:

- [1] 杨凡. 中国氢能发展路径的成本收益分析[D]. 中国石油大学(北京), 2020.
- [2] 曹红斌. 基于运营商视角的燃料电池插电式混合动力电动客车成本研究[D]. 长安大学, 2020.
- [3] 李思怡, 许向阳. 双碳目标下家具行业绿色供应链的发展策略研究[J]. 物流工程与管理, 2022, 44(07): 100-102.
- [4] 张宇俊. 棉纺织品绿色供应链的绿色度评价及应用研究[D]. 东华大学, 2022.