

# 基于双碳目标的港口场景下重型载货车零排放化总体拥有成本研究

高天放 朱青 吴松

(中汽信息科技(天津)有限公司,天津 300300)

【欢迎引用】高天放,朱青,吴松.基于双碳目标的港口场景下重型载货车零排放化总体拥有成本研究[J].汽车文摘,2024(12):46-50.

【Cite this paper】GAO T F, ZHU Q, WU S. Research on the Total Cost of Ownership for Zero Emission Heavy-duty Trucks in Port Scenarios Based on the Goal of Double Carbon[J]. Automotive Digest (Chinese), 2024(12): 46-50.

【摘要】目前,重型载货车电动化发展迎来重要机遇期,构建以电能为主的绿色能源货运体系,成为交通运输行业货运低碳转型发展的共识。其中,货运典型场景的选择、新能源货车性能的匹配至关重要。基于总体拥有成本分析方法,对天津港南疆港区典型应用场景下传统燃油式、充电式纯电动、换电式纯电动(自持或租赁)等不同技术路线下重型载货车的经济性开展研究。研究发现,南疆港区应用场景中纯电动重型载货车比传统燃油重型载货车更具有成本优势,其中换电式纯电动重型载货车TCO成本更低。

关键词:总体拥有成本;重型载货车;换电式电动汽车;应用场景

中图分类号:U461.8 文献标志码:A DOI: 10.19822/j.cnki.1671-6329.20240059

## Research on the Total Cost of Ownership for Zero Emission Heavy-duty Trucks in Port Scenarios Based on the Goal of Double Carbon

Gao Tianfang, Zhu Qing, Wu Song

(China Auto Information Technology (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin 300300)

【Abstract】At present, the development of electrification of heavy-duty trucks has ushered in an important development opportunity. Building a green energy freight transport system based on electricity has become a consensus for the low-carbon transformation and development of freight transport in the transportation industry. Among them, the selection of typical freight scenarios and the matching of the performance of new energy trucks are crucial. Based on the overall cost analysis method, this article studies the economy of heavy-duty trucks under different technical routes such as traditional fuel, rechargeable pure electric, and exchangeable pure electric (self-owned or leased) in typical application scenarios in the Nangang Port area of Tianjin. This study finds that pure electric heavy-duty trucks in the Nangang Port area application scenario have cost advantages over traditional fuel heavy-duty trucks, with the exchangeable pure electric heavy-duty trucks having lower TCO costs.

Key words: Total Cost of Ownership(TCO), Heavy-duty trucks, Power-changing electric vehicle, Application scenarios

## 0 引言

在双碳目标和政策驱动下,新能源重型载货车取代传统燃油重型载货车成为趋势<sup>[1]</sup>。在交通运输领域中,货车总体保有量虽然较乘用车相对较低,但氮氧化物( $\text{NO}_x$ )和颗粒物(PM)排放量分担率均达到80%以上。其中重型载货车由于排量大、运输时间长等特

点,成为机动车尾气污染排放的最主要来源。目前,我国新能源重型载货车产业以纯电动(含充电式和换电式)、混合动力、燃料电池“三纵”技术路线全面布局。其中,纯电动重型载货车技术相对于其他两种技术路线发展较为成熟,主要有充电和换电2种类型。很多学者对不同技术路线的新能源重型载货车进行了深入研究。其中,齐涛<sup>[2]</sup>对比分析了煤炭矿产短驳、

钢厂短倒、市政工程和港口等场景下换电重型载货车与燃油重型载货车的全生命周期内的经济性。

港口短途运输与其他场景相比,运距较短、线路相对固定、重载低速工况较多、港内及港区周边充换电基础设施建设条件便利,是新能源重型载货车典型应用场景之一。因此,本文对港口短途运输场景下传统燃油式、充电式纯电动、换电式纯电动(自持或租赁)等不同技术路线下重型载货车的经济性进行对比分析,结合运输特征,选取最适合推广的重型载货车技术路线。

## 1 重型载货车行业发展概况

### 1.1 发展现状

1.1.1 国家宏观导向明确,加快新能源重型载货车在特定场景应用推广

为稳步提高新能源货车的市场渗透率,近年来国家部委密集出台了《节能与新能源汽车产业发展规划》《汽车产业中长期发展规划》《打赢蓝天保卫战三年行动计划》《关于推动物流高质量发展促进形成强大国内市场的意见》《中共中央国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》及《关于组织开展公共领域车辆全面电动化先行区试点工作的通知》等“一揽子”宏观导向政策,其中着重提出了要加快新能源重型载货车在港口作业、物流配送、邮政工程等特定领域推广应用,引导构建绿色物流体系,同时带动上下游关联产业发展绿色供应链。河北、山东、河南等多省市已出台具体的新能源重型载货车支持政策,政策工具以资金补贴、路权开放、渗透率强制要求等为主。重型载货车降低排放、向新能源化转型是环境保护和政策要求下的必然趋势。天津港南疆港区作为典型应用场景,重型载货车电动化发展迎来重要发展机遇期。

1.1.2 我国新能源重型载货车处于快速增长期,区域效应依旧明显

2023年,新能源重型载货车的销量共计3.5万辆,同比增长约40%。从区域需求结构来看,不同于传统燃油车“销全国”的特征,新能源重型载货车销售区域非常集中,环保要求严格的华北地区是其主销区域,河北新能源重型载货车累计销量7 844辆,市占率22.7%。其中,唐山市新能源重型载货车销量排名第一,达3 583辆。随着“蓝天保卫战”“城建渣土新能源化”“双碳”战略等一系列政策的推进与地方经济政策的调整,唐山正在以建设京津冀燃料电池汽车示范城

市和全国重型载货车特色类新能源汽车换电模式应用试点城市为契机,积极进行商用车新能源化的转型,并已经成为华北地区最大的新能源重型载货车市场<sup>[3]</sup>,2030年新能源重型载货车全国销量预计达到24.1万辆<sup>[4]</sup>。

1.1.3 新能源重型载货车领域市场格局尚未形成

传统重型载货车市场集中度较高且格局较为稳定,龙头企业包括一汽集团、中国重汽、东风集团、陕汽集团和福田汽车等,2023年销量前5企业集中度达到89%。相比之下,电动重型载货车行业市场集中度较低,2023年销量前5企业分别为徐工集团、三一重工、远程新能源商用车、宇通集团和中国重汽,销量分别为5 292辆、5 282辆、3 450辆、3 356辆、1 835辆,市场集中度为55%。

### 1.2 存在的问题

在双碳目标和政策驱动下,新能源重型载货车取代传统燃油重型载货车已成为趋势<sup>[5]</sup>。但是新能源重型载货车全面普及仍存在5个难点:

(1)车辆购置成本高,用户一次性投资压力大。受生产规模和原材料成本等综合因素影响,当前新能源重型载货车成本较传统车辆依然偏高。

(2)电池性能有待提升,技术仍需进一步发展。近年来电池能量密度不断提升,可满足短倒、港口、城市渣土等典型场景运输,但仍无法满足高寒环境、长距离运输要求。

(3)电池标准不统一,存在换电模式兼容性问题。目前不同车型所使用的电池外观、安装位置、接口等均不一致,导致电池通用性不足,互换困难,难以形成换电设施市场化运营机制。

(4)配套基础设施建设不足,新能源重型载货车补能还存在困难。受土地审批难度大、建设运营成本较高等因素,目前已建成的充换电站、加氢站仍然比较少,难以支撑未来新能源重型载货车发展。

(5)路权优先政策尚不完善,激励引导效果有限。目前各地路权政策不一,大多地区政策差异化不高,对于新能源重型载货车的激励、引导作用有限。

## 2 天津港南疆港区调研报告

天津港南疆港区是天津港的一个重要组成部分,是中国北方地区最大的港口之一。据统计,天津港南疆港区货物吞吐量较大,全年船舶进出港艘次、货物吞吐量分别占全天津港的50%、20%。港区周边有多个工业园区和物流园区,为港口的发展提供了良好的

支持和保障。天津港散货物流中心(以下简称“散货物流中心”)是天津南疆港区的有机组成部分,由天津港新建设投资有限公司实体运营。散货物流中心现有面积为10.6万m<sup>2</sup>,四至范围:北至金岸六道、南至珠江道、西至中央大道、东至海滨大道;设置停车、手续办理、配送中心及生活服务等4个功能区,可辐射天津港南疆港区、大沽口港区、高沙岭港区等多个港区,具有港口南北分流的区位优势,是车辆进入天津港装卸货的专设前置等候区。散货物流中心主要承担运输车辆进港业务手续办理以及临时停放,有助于缓解集港、疏港带来集力不足的压力。

散货物流中心现有500个停车位,日流量约3 500辆,高峰期(每年12月底)可达每日4 000辆以上,货车平均停留等候时长约10 min。从运输车辆类型来看,货车持有方多为物流运输公司,现有100万车次中约有5%的车辆置换为新能源车(均为纯电重型载货车)。燃油货车主要品牌集中在解放、中国重汽、东风、江淮等;纯电重型载货车主要品牌为三一重工、徐工重型载货车。其中,三一重工的车型主要为EV490,电池容量282 kW·h。从运输货品类型来看,主要包括煤炭、焦炭、矿石等货品。从行驶路线来看,主要有河北、山西、内蒙、宁夏等4个流向,其中河北、山西为主要流向,单次运距约120~180 km。

### 3 南疆港区短途重型载货车TCO成本测算

总体拥有成本(Total Cost of Ownership, TCO)是一项衡量产品生命周期内各个阶段累计成本的财务分析方法<sup>[6]</sup>,大体包括购置成本、使用成本、维护成本和残余价值,其计算公式为:

$$TCO=CP+CU+CM-CS \quad (1)$$

式中:CP为购置成本,CU为使用成本,CM为维护成本,CS为残余价值。

以港区外短途运输应用场景为例,通过调研、文献整理等方式获取重型载货车相关参数,分析对比传统燃油式、充电式纯电动、换电式纯电动(自持或租赁)等不同技术路线下重型载货车的经济性,为南疆港区构建零排放货运体系提供数据支持。其中,典型载货车选取6×4牵引车。

#### 3.1 购置成本对比

购置成本主要考虑车辆价格以及车辆购置税两方面因素,其中车辆价格因素是购置成本的决定因素。参考卡车之家各类重型载货车报价,假设业主购置换电重型载货车裸车成本与传统燃油车基本持平,

含电池版的换电重型载货车价格较高。不同技术路线重型载货车购置成本对比如表1所示。

表1 不同技术路线重型载货车购置成本对比

成本构成	燃油重型载货车	充电式纯电动	换电式纯电动(自购电池)	换电式纯电动(电池租赁)
车辆指导价/万元	36	72	36	36
电池购置成本/万元(按照配备282 kW·h电池)		0	36.6	0
车辆购置税/万元	3.6	0	0	0
购置成本/万元	39.6	72	72.6	36

#### 3.2 使用成本对比

使用成本仅指车辆行驶过程中能源消耗产生的成本。使用成本是整车TCO成本最为核心的影响因素,与生命周期内货车行驶距离呈现密切正相关。不同技术路线重型载货车使用成本对比如表2所示。

表2 不同技术路线重型载货车使用成本对比

成本构成	燃油重型载货车	充电式纯电动	换电式纯电动(自购电池)	换电式纯电动(电池租赁)
日行驶里程/km	400	400	400	400
使用年限/年	5	5	5	5
年运行天数/天	330	330	330	330
5年总里程/km	660 000	660 000	660 000	660 000
能源单价/元·L <sup>-1</sup> ,元·kW·h <sup>-1</sup>	7.5	1.4	1.4	1.4
100 km能耗/L·kW·h <sup>-1</sup>	40	150	150	150
100 km尿素消耗/L	2			

详细假设及测算如下:

(1)运行里程:通过调研发现,南疆港口运输重型载货车多以干散货运输为主,工作负荷较大,单程平均120~180 km,日均行驶里程400 km,年工作天数330天,对应年运行里程13.2万 km。

(2)能源费用:参考最新电价水平,充电重型载货车方面,假设电费成本(含服务费)1.4元/kW·h;换电重型载货车方面,假设电费成本(含服务费)1.4元/kW·h,配备标准282 kW·h电池的重型载货车官方续航里程为190~200 km,考虑日常用电损耗及每次换电前必需的剩余电量,估计电耗约为1.5 kW·h/km。燃油重型载货车方面,参考最新柴油市场价格,设定为7.5元/L,100 km油耗约40 L。

(3)柴油车尿素消耗量为柴油的5%,尿素价格4元/L,柴油车尿素费用计入能源费用,其他运营费用参照市场价估算。

(4)电池租赁费用:假设电池租金5000元/月。

### 3.3 维护成本对比

维护成本主要包括维修费用和保养费用。由于货车用途和动力技术不同,养护成本存在较为明显的差异。不同技术路线重型载货车维护成本对比如表3所示。

表3 不同技术路线重型载货车维护成本对比 万元

成本构成	燃油重型载货车	充电式纯电动	换电式纯电动(自购电池)	换电式纯电动(电池租赁)
5年维保及人工费用	5	3	2.5	2.5
5年驾驶员工资(三班)	150	150	150	150

详细假设及测算如下:

(1)维保费用:与燃油重型载货车相比,新能源重型载货车易损、易耗的零部件数量较少,能够降低用户的维保成本。基于此,燃油重型载货车、充电式纯电动重型载货车、换电式纯电动重型载货车(自购电池)、换电式纯电动重型载货车(电池租赁)分别假设5年维保及人工费用为5万元、3万元、2.5万元、2.5万元。

(2)驾驶员工资:假设实行三班倒,5年总费用假设为150万元。

### 3.4 残余价值对比

根据《节能与新能源汽车技术路线图2.0》对不同类型车辆的残值评价结果,货车运营前五年剩余残值将逐年大幅下降,通常新能源汽车残值率下降得更快<sup>[7]</sup>。考虑到充电式纯电动重型载货车在长时间处于快充模式下,会对电池的使用寿命以及性能造成较大损失。结合二手货车市场调研结果,假设购买五年后传统燃油式重型载货车、充电式纯电动重型载货车、换电式纯电动重型载货车(电池自购)和换电式纯电动(电池租赁)重型载货车的残值率分别保持在30%、15%、20%、20%。不同技术路线重型载货车残余价值对比如表4所示。

表4 不同技术路线重型载货车残余价值对比

成本构成	燃油重型载货车	充电式纯电动	换电式纯电动(自购电池)	换电式纯电动(电池租赁)
残值率/%	30	15	20	20
残值/万元	10.8	10.8	14.52	7.2

### 3.5 TCO结果分析

综上所述,假设日均行驶里程为400 km情况下,5年全生命周期内传统燃油式重型载货车、充电式纯电动

动重型载货车、换电式纯电动重型载货车(自购电池)、换电式纯电动重型载货车(电池租赁)TCO成本分别为387.08万元、352.8万元、349.18万元、349.9万元。根据结果可得,在现有运输特征下,南疆港区应用场景中纯电动重型载货车比传统燃油重型载货车更加具有成本优势,其中换电式纯电动重型载货车TCO成本更低。不同技术路线重型载货车TCO对比如表5所示。

表5 不同技术路线重型载货车TCO对比 万元

成本构成	燃油重型载货车	充电式纯电动	换电式纯电动(自购电池)	换电式纯电动(电池租赁)
购置成本	39.6	72	72.6	36
使用成本	203.28	138.6	138.6	168.6
维护成本	155	153	152.5	152.5
残余价值	10.8	10.8	14.52	7.2
总体拥有成本	387.08	352.8	349.18	349.9

具体分析如下:

(1)从购置成本来看,换电式纯电动重型载货车(电池租赁)与传统燃油重型载货车基本持平,但是在现有政策下,新能源货车不需要缴纳车辆购置税。由于电池成本较为昂贵,因此充电式纯电动重型载货车费用较高。换电重型载货车可以实现“车电分离”,电池可以选择租赁,不需要购买。

(2)从使用成本来看,充电式纯电动重型载货车与换电式纯电动(自购电池)最具有经济性,主要原因是柴油价格和电池租赁费用较高。在研究过程中,为了便于研究,我们将不同技术路线的日均行驶里程、使用年限、年运行天数假设均相同。但是在实际使用中,充电式纯电动重型载货车补能时间长(快充2 h左右)、燃油重型载货车相对于新能源重型载货车不具备路权优势等影响因素,使用成本会进一步提高。

(3)从养护成本来看,新能源重型载货车相对于燃油重型载货车成本较低。但是考虑到电池损耗,充电式纯电动重型载货车略高于换电式纯电动重型载货车。

(4)从残值来看,传统燃油式重型载货车、充电式纯电动重型载货车、换电式纯电动重型载货车(自购电池)、换电式纯电动重型载货车(电池租赁)分别为10.8万元、10.8万元、14.52万元和7.2万元。

## 4 推动南疆港区短途重型载货车零排放化政策建议

### 4.1 制定分阶段、差异化的补贴政策,促进新能源货车推广应用

货车的运营场景具有多元化、复杂化的特征,不

同车型、不同应用场景适用的技术路线不同,所需要的政策支持差别也很大<sup>[8]</sup>。因此,推动重型载货车零碳发展,不仅需要顶层设计的支撑,还需要根据不同场景、不同的技术路线及不同的发展阶段分类施策,有针对性地制定差异化、精细化、精准化政策。建议针对充电式纯电动重型载货车、换电式纯电动重型载货车(自持或租赁)、氢燃料电池重型载货车等不同技术路线的新能源货车出台分阶段、差异化的补贴政策,全面降低零排放中重型载货车的推广成本。现阶段重点对技术较为成熟的充电式纯电动重型载货车、换电式纯电动重型载货车进行补贴购车环节,待时机成熟可逐渐调整补贴比例,同时增加运营环节补贴(包括车辆运营补贴、充换电服务费、氢燃料补贴等),以此来平衡零排放重型载货车和传统燃油重型载货车的总体使用成本差。

#### 4.2 将补能基础设施建设纳入发展规划,加大基础设施建设力度

目前,南疆港区内补能基础设施严重匮乏,直接影响新能源货车的推广应用。建议将重型载货车补能基础设施建设纳入南疆港区自身发展规划,围绕公共运输领域补能需求、综合场景需求等因素,对南疆港区补能基础设施布局进行统筹规划,加速构建慢充、(超)快充、换电、加氢站、配套电网等为一体的多层次补能网络,适度加大对超快充和换电等领域的支持力度。同时,为新能源重型载货车补能基础设施预留土地空间和电力资源,进一步明确换电站、加氢站等设施的用地类型、设备属性和管理模式,简化基础设施建设用地、用能审批手续,为符合要求的企业提供政策保障<sup>[9]</sup>。

#### 4.3 鼓励发展新能源货车后市场服务体系,打造多位一体服务平台

以新能源货车推广应用、补能基础设施建设为契

机,围绕货车客户价值和需求,通过政策引导产业价值链向后市场服务转移,重点支持金融服务、汽车维修、保养与保险等,通过产业逐步培育并聚集具备专业能力的人才。在金融政策方面,充分发挥政府引导作用,支持银行保险机构针对新能源轻型货车制定金融服务方案。一方面,为消费者购置新能源货车提供银行借贷服务,考虑由政府承担息金的可行性,降低消费者一次性购买成本压力;另一方面,在产业布局方面给予一定的金融优惠,保证新能源货车产业链和供应链安全稳定。

#### 参 考 文 献

- [1] 柴瑞松,刘翀,吕一凝. 新能源货车全生命周期总成本的优势分析[J]. 中国储运, 2022(12): 112-113.
- [2] 齐涛. 重型载货车换电模式经济性分析[J]. 商用汽车, 2022(5): 46-48.
- [3] 易钊,廖颖慧. 我国换电重卡市场现状及前景分析[J]. 专用汽车, 2022(8): 5-7.
- [4] 科尔尼管理咨询公司. 中国电动重卡产业发展白皮书 [EB/OL]. (2022-10-28) [2024-03-01]. [https://www.xdyanbao.com/doc/991u5hx5z1?userid=60000958&bd\\_vid=11056472318068385982](https://www.xdyanbao.com/doc/991u5hx5z1?userid=60000958&bd_vid=11056472318068385982).
- [5] 赵世佳,刘辰璞,伍晨波. “双碳”目标下我国重型货车电动化转型路径及建议[J]. 科学管理研究, 2023, 41(2): 66-72.
- [6] 刘焕然,张妍,孙铎,等. 中国重型货车全生命周期碳排放及减排潜力研究[J]. 中国汽车, 2022(7): 47-52.
- [7] 中国汽车工程学会. 节能与新能源汽车技术路线图2.0[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.
- [8] 杨道源,张宇杰,李娜,等. 内蒙古自治区新能源重型货车推广路径研究[J]. 交通节能与环保, 2022(4):28-33.
- [9] 徐小云,李欢欢,王红蕾. 新能源货车充电站规划选址方法研究[J]. 电力设备管理, 2022(8): 130-134.

(责任编辑 明慧)