

2023年10月

道路货运电动化之路

唐山地区电动与柴油牵引车使用情况

主要作者: 毛世越、牛天林、 Felipe Rodríguez (国际清洁交通委员会)

联合作者: 郝春晓 (中国环境科学研究院机动车排污监控中心), 王硕、 张照生 (北京理工大学)



鸣谢

本次研究工作得到了北京理工大学和中国环境科学研究院机动车排污监控中心的大力支持,感谢他们帮助进行研究工作协调并分享相关信息。作者在此特向国际清洁交通委员会的同事金伶芝、何卉、Hussein Basma和褚一丹致以诚挚谢意,感谢他们为本报告提供宝贵的建议和贡献。最后感谢本报告的责任编辑Amy Smorodin为本报告提供编辑支持。

责任编辑: Amy Smorodin

国际清洁交通委员会

1500 K Street NW, Suite 650

Washington, DC 20005

communications@theicct.org | www.theicct.org | [@TheICCT](https://twitter.com/TheICCT)

© 2023 International Council on Clean Transportation

介绍及方法论

唐山地处京津冀地区，位于北京东南方向200km，是一座典型的中等规模城市，因其重要的地理位置和丰富的矿产资源而成为中国主要的钢铁生产中心。唐山市的带钢产量占全国总产量的58%，型钢产量占全国总产量的49% (Yin, 2022)。近年来，由于工业燃煤和产区周边的重型货车尾气排放，唐山经历了非常严重的空气污染，成为中国污染最严重的城市之一 (Guo, Wang, He, Li, Meng, Hou, & Yang, 2021)。

2021年，唐山的颗粒物 (PM_{2.5}) 监测浓度为102.7mg/m³，达到了国家环境空气质量标准 (35mg/m³) 的近三倍，是世界卫生组织推荐限值的10倍以上 (Guo, Wang, He, Li, Meng, Hou, & Yang, 2021)。PM_{2.5} 浓度超标会增高肺癌、心肺疾病以及急性呼吸道感染造成的死亡率。为了降低空气污染给唐山及京津冀地区带来的健康影响，中国国务院开展了多项行动，来推动解决唐山及其周边地区的空气污染问题。

中国自2018年启动了“蓝天保卫战”三年行动计划，要求唐山开展货运结构调整，将采用铁路运输铁矿石作为京津冀地区空气污染治理的重点之一 (IEA, 2021)。2021年，唐山还入选了新能源汽车换电模式应用试点城市，此次试点主要旨在推动换电重卡在当地工业领域的应用 (工业和信息化部, 2021)。此外，唐山港作为唐山的工业交通枢纽，也被特别强调要向更绿色、更清洁的交通模式过渡转型。

2022年，唐山地区的大宗货物吞吐量为7.69亿吨，位居全球第二 (河北省人民政府, 2023)。在采用电动货车之前，柴油机是码头接驳车采用的主流技术。根据2018年的港口车队数据，车队中有20%的车辆符合国 III 标准，30%符合国 IV 标准，40%符合国V标准，10%使用压缩天然气 (CNG) (邵臻颖, 2020)。自2021年以来，唐山港已投入应用了超过4400辆换电半挂牵引车 (毛世越、张翌晨、Bieker 和 Rodríguez, 2023)，而电动半挂牵引车的成本效益是车队运营商最为关注的问题。根据国际清洁交通委员会 (ICCT) 针对中国电动半挂牵引车开展的车辆拥有总成本 (TCO) 研究，常规的电动半挂牵引车很难在2027年前实现与柴油半挂牵引车之间的成本平价 (毛世越、Basma、Ragon、周圆融、Rodríguez, 2021)。不过，对于换电半挂牵引车而言，可以在电池租赁和电池服务领域应用一些财税激励措施，从而进一步降低车辆拥有总成本。

近年来，唐山已成为中国“清洁柴油机行动计划”下的成功典范，在推动重污染行业绿色货运方面取得了卓越成果。自2021年以来，唐山已发展为中国最大的电动半挂牵引车城市市场，成功投入应用了约2200辆电动半挂牵引车，市场渗透率高达18% (褚一丹 & 何卉, 2022)。

在本次研究中，我们分析了徐工集团生产的一款电动半挂牵引车的适用性和经济性 (车辆信息详见表1和图1)。这款半挂牵引车在设计上同时具备充电和换电功能，但在本次研究中，我们假设车队运营商在日常运营中仅可使用充电桩为电动半挂牵引

车进行充电。这款半挂牵引车在一家钢铁厂的车队中运营使用, 负责承担铁矿石和钢铁产品在厂区与附近两个港口(天津港和曹妃甸港)之间的运送, 即图2中标注的行程A和行程B。车辆进行货品运输的典型路线为: 半挂牵引车将铁矿石从港口运送至工厂(假设满载), 然后再空载前往港口, AB两条线路的往返距离均为 110 km。

在本次研究中, 半挂牵引车的实际运营信息来源于新能源汽车国家大数据联盟开放实验室(NDANEV), 该实验室由多家研究机构和车辆企业于2017年共同设立(NDANEV, 2021), 2022年共收集了该地区117辆电动半挂牵引车的实际运营数据。

表1. 本次研究分析车型的规格

车辆类型	半挂牵引车	燃料类型	纯电动
长 × 宽 × 高	7470×2550×3750(mm)	最高时速	84 km/h
总质量	25,000 kg	电池化学成分	磷酸铁锂
整备质量	12,500 kg	发动机功率	360/489 kW
最大载重质量	36,370 kg	驱动电机额定功率/最大功率	240/360 kW
电池容量	281 kWh	车型年	2020 年



图1. 本次研究分析的徐工集团电动半挂牵引车



图2. 本次案例研究中往返唐山市的两条货运线路

电动和柴油半挂牵引车的综合运营性能对比

要想推动车队运营商向更清洁的运输方式转型，电动半挂牵引车必须要在性能上具备与同级柴油车型竞争的能力。对于唐山而言，得益于2021年启动的新能源汽车换电模式应用试点（工信部，2021），唐山采购并投入应用了5000多辆换电半挂牵引车（China trucks, 2022；Lu, 2023）。下文将在相同的行程下，对电动与柴油半挂牵引车的日常行驶性能进行对比。其中，柴油半挂牵引车的运营信息是由车队运营商提供的。

日行驶里程和运营时长

续驶里程是衡量电动汽车日常性能的重要指标。如图3左侧部分所示，在本次的分析案例中，电动半挂牵引车的日均行驶里程（中位值）约为140km，相比之下，柴油半挂牵引车的日均行驶里程（中位值）为220km，要比电动半挂牵引车长80km。另外，柴油半挂牵引车在长途货运（日行驶里程超过450km，即每天往返运输路线四趟以上）方面也较电动车型更具竞争力。

运营时长方面则是电动半挂牵引车的运营时间普遍较柴油车型更长。如图3右侧部分所示，电动半挂牵引车每天中位数运营时长为17个小时，比柴油半挂牵引车高出50%（11个小时）。电动半挂牵引车最普遍的运营时长为每天19小时，但也有少数（5.2%）柴油半挂牵引车会采用日夜交班的形式24小时全天运行。需要注意的是，本次研究中的运营时长是指车辆与NDANEV数据实验室联网的总时长，不包含充电活动。因此，可能存在车辆在联网状态下闲置或网络连接问题而导致电动半挂牵引车运营时长被高估的现象。

尽管电池技术正在迅速发展成熟，但在对电动货车与柴油货车的技术规格（例如：续驶里程）进行比较时，会发现二者之间仍存在明显的性能差距。

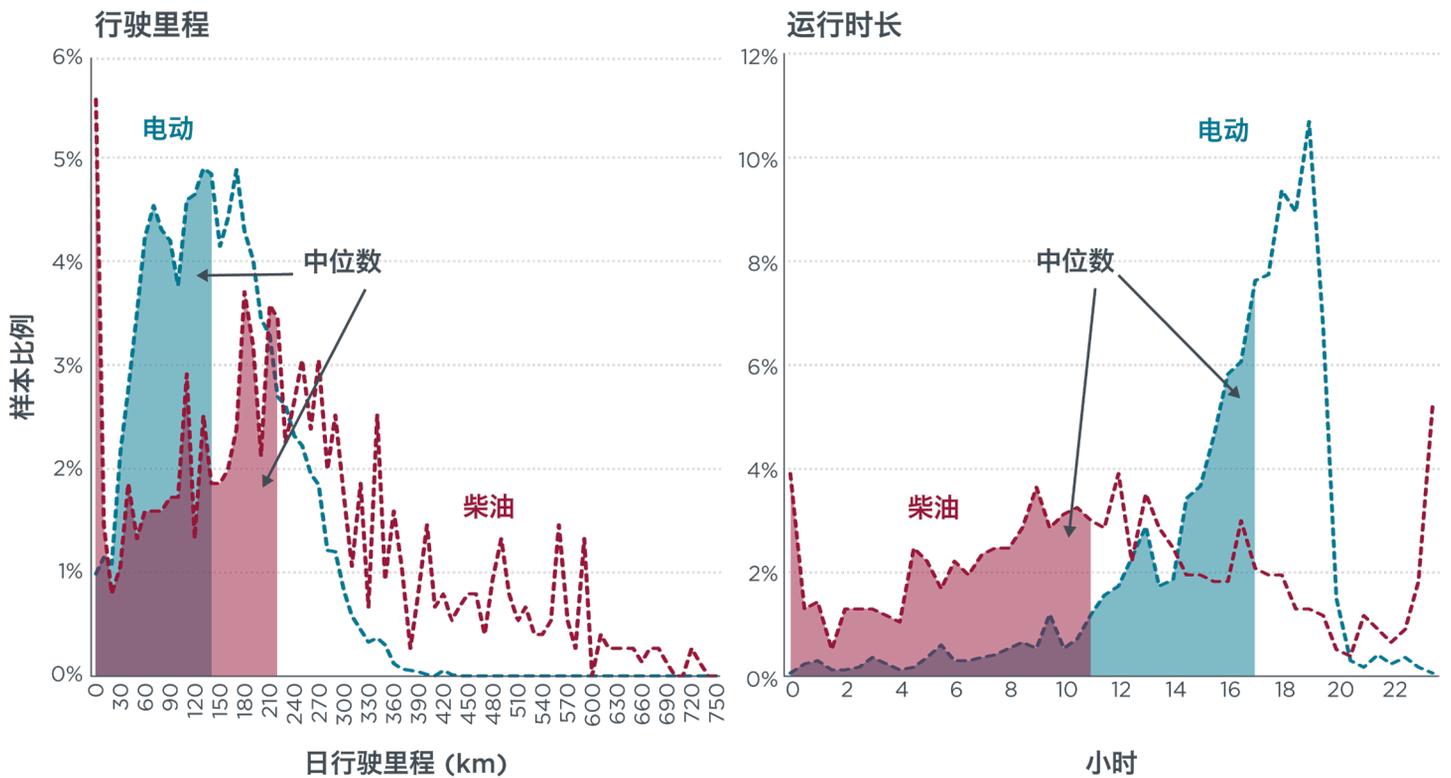


图 3. 电动和柴油半挂牵引车的日行驶里程（左侧，数据精确至10km）和运营时长（右侧），其中实色填充部分代表中位值。

电动半挂牵引车的充电模式

对于电动半挂牵引车，充电的难易直接影响实际使用。如图4所示，55%的电动半挂牵引车需要耗时2小时以上才能充满电，每天通常需要充电两到三次。归根结底，充电时间较长和充电操作频繁都是由于充电设施的充电速率较低。在本次研究中，车辆的平均充电速率为0.7C，这表示电动半挂牵引车需要充电1个小时才能从30%电量充电至满电状态。而根据ICCT此前的相关研究（毛世越，张翌晨，Rodríguez，王硕和郝春晓，2023），唐山车辆的充电速率在全国电动重型车领域中位居前列，充电速率优于中国85%的电动重型车。

采用换电技术可以减少半挂牵引车车队的充电时间。在实践当中，电动重卡可以在两分钟内完成电池换装，总充电时间可减少95%以上（三一集团，2022）。这样一来，电动重卡每天就可以有更多的时间投入运行。不过，在本次研究中，我们发现本车队车辆并不能选择通过换电站来更换电池。

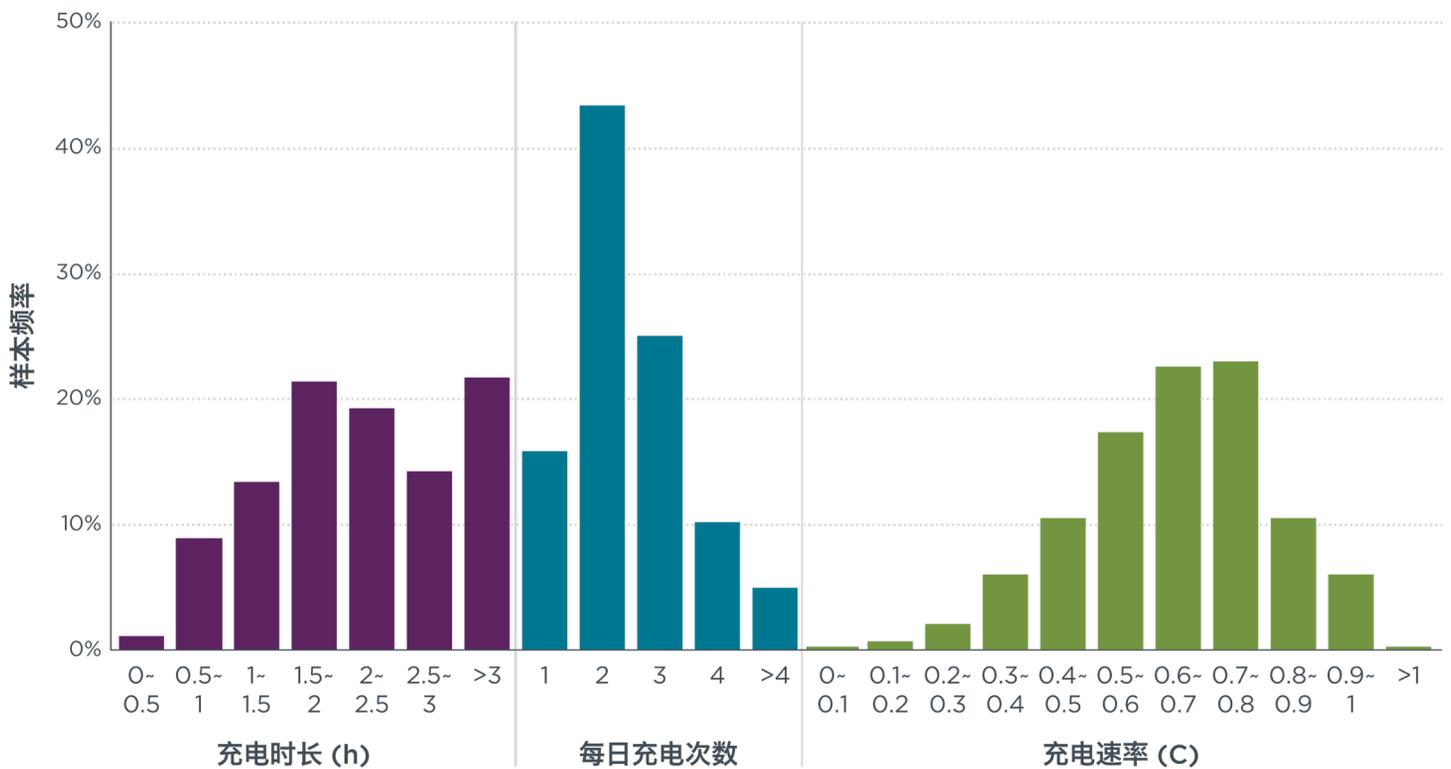


图 4. 本次研究中电动半挂牵引车的充电模式

经济性对比

在这一节中，我们将对电动和柴油半挂牵引车的经济性进行比较，相关结果是根据从车队运营商处收集到的一手信息计算得出的（表2）。本次研究应用了ICCT此前开发的车辆拥有总成本（TCO）模拟模型，该模型基于中国国情输入了定制参数（毛世越、Basma、Ragon、周圆融、Rodríguez, 2021）。此次经济性分析已将电动半挂牵引车财税补贴退坡和补贴准入要求的加严纳入了考虑范畴（毛世越、张翌晨、Bieker、Rodríguez, 2023），此外我们还考虑了针对传统柴油车辆征收的10%购置税（毛世越、Basma、Ragon、周圆融、Rodríguez, 2021），基于上述前提，车队运营商总计可获得单车4.95万人民币的补贴。

此外，此次研究还收集了两种车辆技术的实际行驶能耗/油耗信息。由于半挂牵引车的负载很重且运行工况复杂，根据车队运营商提供的信息，电动和柴油半挂牵引车的平均能耗分别为230kWh/100km和61L/100km。从历史数据来看（Eastmoney.com, 2023），柴油燃料的价格波动很大，在每升人民币5.0元-9.0元之间波动。在本研究中，我们将柴油的五年平均价格设定为每升7.5元。相比之下，电价是较为稳定的，但在一天的不同时段会出现小幅波动，按照我们从车队运营商处了解到的信息，将电价设定为人民币1.00元/kWh。我们还从运营商处收集了车辆的五年周期运营信息，例如车辆行驶里程和维修保养费用。车辆残值方面，我们使用TCO模型中的残值曲线对车辆使用5年后的回收价值进行了判定。对于电动半挂牵引车，电池和车身的残值是分别进行测评的。在使用5年之后，电动和柴油半挂牵引车的残值均为原价的27%（毛世越、Basma、Ragon、周圆融、Rodríguez, 2021）。由于货币

价值会随着时间的推移而贬值，我们应用了10%的贴现率来更保守地计算未来的车辆净残值。

为电动半挂牵引车安装充电设施也会产生额外的费用。参与本次调研的车队运营商表示，钢铁厂内共计安装了57个充电桩，每个充电桩价值人民币8万元。另外，在整个厂区内安装配电系统来为充电桩提供电力又额外花费了650万元人民币。尽管充电基础设施属于一次性投资，但确实会增加电动半挂牵引车的全生命周期管理成本。

从上述这些因素来看，电动半挂牵引车是具有一定的经济优势的。在本次研究中，电动半挂牵引车的购置加运营成本约比同级柴油车型低35%。尽管前期成本和充电基础设施初始化投资较高，但电动半挂牵引车在五年使用周期内可实现较低的能源成本和维修保养支出。而随着规模经济的发展，单车平摊的充电基础设施投资额会不断下降，电动半挂牵引车的TCO还能够进一步降低。对于车队运营商来说，这将会进一步扩大电动半挂牵引车与柴油车型相比的优势。

表 2. 电动和柴油半挂牵引车五年使用周期经济性比较 (单车成本)

阶段	项目	电动汽车成本 (¥)	柴油车成本 (¥)	备注
购置	购置成本	720,000	300,000	信息来源：调研
	财税补贴	49,500	0	信息来源：毛世越, 张翌晨, Bieker等 (2023)
	购置税	0	30,000	10%购置税仅适用于柴油半挂牵引车
	配置充电基础设施	36,867	0	每个充电桩8万元人民币，共计57个充电桩投入使用；配电系统投资650万元人民币；车队共计300辆半挂牵引车。
使用	能源支出	480,355	1,305,436	电动车型：车辆行驶总里程255,000km,能耗230 kWh/100km, 电费人民币1.00元/kWh, 信息来源：调研。 柴油车型：车辆行驶总里程330,000km,油耗64.4 L/100km, 平均燃油成本人民币7.5元/L, 信息来源：调研。
	维修保养支出	81,902	122,853	信息来源：调研
淘汰和转售	残余净值	194,400	81,000	信息来源：毛世越等 (2021)
合计		1,075,224	1,677,289	

电动和柴油半挂牵引车的综合对比

图5展示了电动和柴油半挂牵引车的车辆性能评估。图中绘制出了一些关键的车辆性能衡量指标，如日行驶里程、运营时长和成本效益。其中，柴油半挂牵引车的性能被定义为100%基准值（红色虚线），电动半挂牵引车的性能则由蓝色线条表示。

在本次研究中，我们发现电动半挂牵引车的单日运营时长要高于柴油半挂牵引车，但单日行驶里程却相对较短，这主要是由于车队运营商采取了较为保守的运营日

程安排。从本次分析的车队来看，与柴油车型相比，电动半挂牵引车在成本方面具有一定的竞争力。从货运成本效益的角度来看（定义为吨*公里/元），与柴油车型相比，电动半挂牵引车在五年使用周期内也具有10%的成本效益优势。

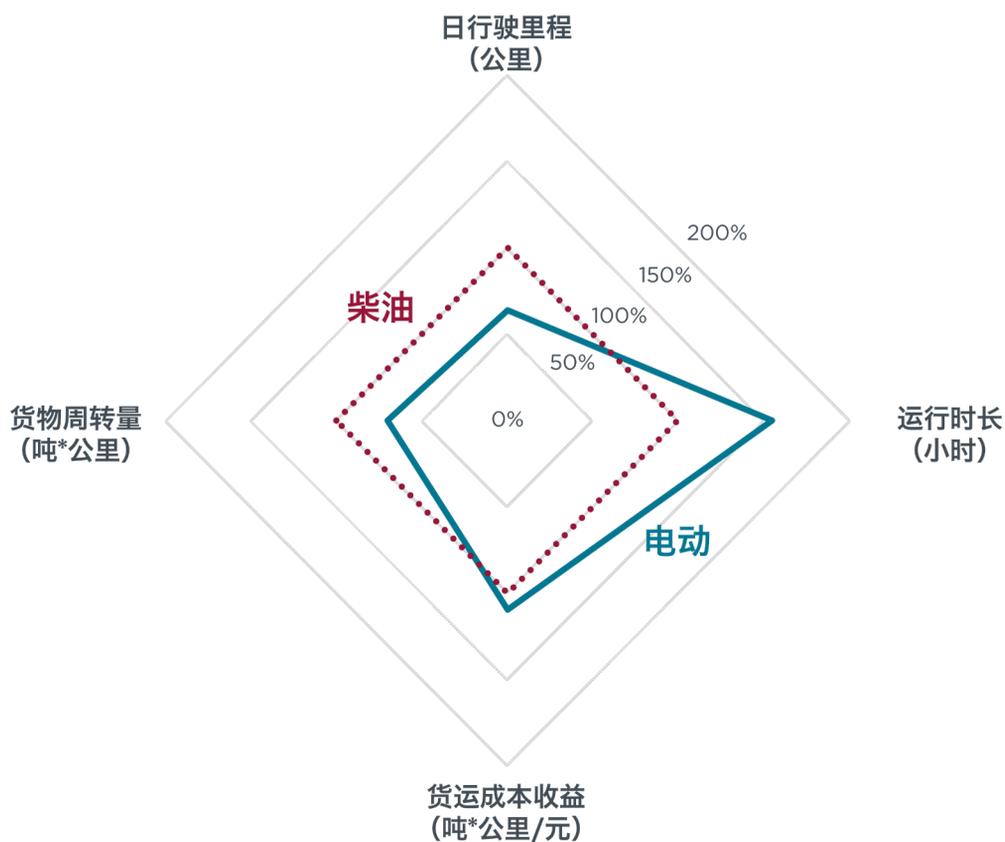


图5. 电动半挂牵引车与柴油车型的运输能力对比

主要结论和建议

本次研究针对几项车辆运行指标，从多个维度对电动和柴油半挂牵引车进行了对比。结果表明，实施更多的政策措施将有助于电动半挂牵引车的推广应用：

- 1. 由于运行成本较低，唐山的电动半挂牵引车已经开始展现出比柴油半挂牵引车更优的经济效益。为了帮助降低前期购置成本，地方政府可以考虑在国家补贴终止后继续提供财税激励。**本次研究显示，从成本效益的角度来看，电动半挂牵引车正在超越柴油车队，变得更具竞争优势，但随着国家补贴于2022年底结束，运营商购置电动半挂牵引车的前期成本会有所增加。地方政府可以考虑提供一些财税激励措施，以帮助抵消国家补贴终止所带来的影响。
- 2. 政府部门可以为换电站的建设和运营提供激励，例如财税激励、土地租赁费用减免、以及其他一些激励措施。**此外，政府可以鼓励发展创新型商业模式，如发展电池服务产业、公私合营、融资租赁等，以降低车队应用电动半挂牵引车的负担。充电基础设施可能会成为推广电动半挂牵引车的瓶颈之一，特别是对于换电车型。政府部门应鼓励在充电基础设施建设和运营方面拓展新的商业模式。由于能够大幅提升充电速度且充电模式不会给电网造成过大压力，换电技术在中国得以迅速发展。然而，当前充电基础设施，特别是换电站的建设力度不足，可能会令车队运营商无法充分享有换电技术带来的优势。在本次研究中，车队运营商并没有换电站可使用，电动半挂牵引车只能通过充电桩进行充电。
- 3. 地方管理部门可整合电动半挂牵引车的供求资源，从而以大宗购买的方式降低前端购置价格。**前端成本是车队运营商购买电动半挂牵引车的阻碍之一，为了降低前端成本，地方管理部门可以对车辆采购订单进行整合，并向车辆制造商协商进行大宗批量采购。这项举措能够为电动半挂牵引车制造商提供确定性信号，支持制造商在本地区更好地开展维修保养服务。在本次研究中，我们发现电动半挂牵引车的前端购置价格约占五年使用周期总成本的70%，与柴油半挂牵引车相比，电动半挂牵引车的经济优势仍不明显，尚未形成压倒性竞争优势。整合购置需求或将是一种额外的支持手段，能够令电动半挂牵引车在唐山地区具有更好的成本效益。
- 4. 地方管理部门可以开展相关活动或驾驶员培训，帮助公众和车辆驾驶员更好地了解电动与柴油半挂牵引车的差别。**在本次研究中，车队运营者在为电动半挂牵引车分配配送任务时会存有顾虑，研究数据中反馈出的充电模式能够反映出运营商对电动半挂牵引车性能的担心。车队运营商采取较为保守的运营方案是可以理解的，但应对车辆驾驶员进行定向培训，帮助其了解电动汽车的驾驶操作和节能技巧，从而更好地理解电动与柴油半挂牵引车之间的差别。

参考文献

- China trucks. (2022). Over 5000 Swappable Battery Heavy Trucks Were in Operation in Tangshan_Trucks News_chinatrucks.com. <https://m.chinatrucks.com/news/10304.html>
- 褚一丹&何卉(2022). Leading new energy vehicle city markets in China: A 2021 update. 国际清洁交通委员会. <https://theicct.org/publication/ev-china-city-markets-2021-update-nov22/>
- Eastmoney.com. (2023). 河北油价数据. https://data.eastmoney.com/cjsj/oil_city.html?city=%E6%B2%B3%E5%8C%97
- Guo, Q., Wang, Z., He, Z., Li, X., Meng, J., Hou, Z., & Yang, J. (2021). Changes in Air Quality from the COVID to the Post-COVID Era in the Beijing-Tianjin-Tangshan Region in China. Aerosol and Air Quality Research, 21(12), 210270. <https://doi.org/10.4209/aaqr.210270>
- 国际能源署. (2021). Three-year action plan for cleaner air (also called the Blue Sky War) – Policies. IEA. <https://www.iea.org/policies/8508-three-year-action-plan-for-cleaner-air-also-called-the-blue-sky-war>
- Lu, Y. (2023). Battery swapping key for heavy-duty trucks. China Daily. <https://www.chinadaily.com.cn/a/202301/18/WS63c74916a31057c47ebaa452.html>
- 毛世越, Basma, H., Ragon, P.-L., 周圆融 & Rodríguez, F. (2021). 《中国重型货运卡车的拥有总成本对比分析: 纯电动、燃料电池和柴油货运卡车》. 国际清洁交通委员会. <https://theicct.org/publication/total-cost-of-ownership-for-heavy-trucks-in-china-battery-electric-fuel-cell-and-diesel-trucks/>
- 毛世越, 张翌晨, Bieker, G., & Rodríguez, F. (2023). 《中国零排放客车和货车市场: 2021年进展》. 国际清洁交通委员会. <https://theicct.org/publication/china-hvs-ze-bus-truck-market-2021-jan23/>
- 毛世越, 张翌晨, Rodriguez, F., 王硕, & 郝春晓 (2023). Real-world performance of battery electric heavy-duty vehicles in China. ICCT. <https://theicct.org/publication/hdv-china-real-world-performance-apr23/>
- 工信部. (2021). 《工信部启动新能源汽车换电模式应用试点工作》. http://www.gov.cn/xinwen/2021-10/28/content_5647458.htm
- 新能源汽车国家大数据联盟. (2021). 联盟介绍. <http://www.ndanev.com/%e8%81%94%e7%9b%9f%e4%bb%8b%e7%bb%8d/>
- 三一集团. (2022). 换电1.9分钟! 三一换电站三城同启!. <https://www.sanygroup.com/news/10629.html>
- 邵臻颖. (2020). Environmental impacts of modal shift to rail in Tangshan. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/environmental-impacts-of-modal-shift-to-rail-in-tangshan/>
- 河北省人民政府. (2023). Tangshan's cargo throughput in 2022 ranks second in world. <http://www.hebei.gov.cn/english/10718809/10719837/15440052/index.html>
- Yin, Y. (2022). Tangshan, a main steel production hub in China, affected by COVID-19 outbreak—Global Times. <https://www.globaltimes.cn/page/202203/1255353.shtml>



www.theicct.org
communications@theicct.org
[twitter @theicct](https://twitter.com/theicct)

BEIJING | BERLIN | SAN FRANCISCO | SÃO PAULO | WASHINGTON

icct
国际清洁交通委员会