

道路货运电动化之路： 河南省郑州市建筑工程渣土车案例

作者：刘欣然、牛天林

介绍

目前，中国政府已经设定了到2027年新能源汽车在新车销量中占比力争达到45%的目标，并将车辆电动化转型视为是实现“美丽中国”目标的重要举措（中共中央 国务院，2024年）¹。为实现交通领域脱碳和改善空气质量，包括四川、河北、广东、海南和陕西在内的多个省份都在积极发展新能源汽车市场，并推动在不同的作业场景下应用包括电动重卡在内的各类新能源汽车（毛世越等，2023、2024；牛天林，2024）。

河南省也在积极推动车辆电动化转型，并在2021年从省级大气污染防治资金中拨款2亿元用于支持省会郑州市的交通电动化转型工作²。郑州的车辆电动化工作主要覆盖了三类重型车（包括渣土车、混凝土搅拌车和重型柴油货车），以及两类轻型车（包括出租车和轻型城市配送物流车）³。截至2022年底，郑州已成为电动自卸车的领先市场之一，电动自卸车保有量超过1400辆（生态环境部，2023）。

为更好地了解郑州市电动自卸车的实际应用性能，国际清洁交通委员会（ICCT）与合作方协作，对15辆用于运输建筑废料的电动渣土车的实际运行情况进行了分析。该研究主要通过车队运营商和车辆驾驶员交流，了解一线使用体验，同时结合了15辆电动渣土车的运行数据，从运营效率和成本两个角度将电动渣土车与

www.theicct.org

communications@theicct.org

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

- 1 在中国，新能源汽车包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车和燃料电池汽车。
- 2 信息来自当地咨询机构的相关研究。
- 3 重型车定义为总质量大于等于4.5吨的车辆；轻型车定义为总质量小于4.5吨的车辆。

鸣谢：作者在此特别向国际清洁交通委员会（ICCT）内部同事Hussein Basma、褚一丹、杨柳含子和Felipe Rodríguez致以诚挚谢意，感谢他们对本文进行审阅并提供建设性意见。另外，感谢Amy Smorodin、Lori Sharn和Valerie Sheckler为本报告提供编辑和设计方面的支持。最后，作者在此要特别感谢来自中国环境科学研究院机动车排污监控中心的两位专家郝春晓和窦广玉，感谢她们提供的支持与帮助。

同级别柴油车型进行了比较。此外，本研究还基于“道路货运电动化之路”系列研究的成果，比较了电动渣土车在河南和广东两地建筑工地应用的异同。

政策背景

郑州市政府的多家部门联合推出了一系列政策措施，以促进内燃机渣土车向新能源渣土车转型，这些车辆主要用于运输建筑材料和废弃物。这些政策赋予了新能源渣土车一定的路权优待，包括在重污染天气时免受内燃机车辆所面临的出行限制和交通管制措施（郑州市人民政府，2021）。此外，郑州市政府还提供激励措施，支持淘汰天然气渣土车以及设计研发新款新能源商用车（郑州市工业和信息化局，2021；郑州市城市管理局，2021）。该政策假设用于建筑废料运输的天然气车辆的使用寿命为72个月（6年）。表1展示了包括新能源渣土车激励措施和路权优待在内的更多政策详情。

表1 郑州市的新能源渣土车推广政策

政策措施	政策详情
《郑州市新能源渣土车推广实施方案》 ^a	<ul style="list-style-type: none">新能源渣土车可免受对内燃机渣土车实施的交通管制（早6点至晚10点间禁行），新能源渣土车在运输建筑垃圾时，除公安机关交通管理部门规定的早晚高峰期时间外（早7点至9点，晚5点至7点），其他时间均可运行，相当于每日最多可比内燃机渣土车多运营12小时^e。新能源渣土车不受郑州市大气污染管控的限制（内燃机渣土车在重污染天气期间禁行），相当于每年最多可比内燃机渣土车多运营70天^f。各级财政及国有企业投资的建设工程项目招标文件中应明确优先使用新能源渣土车在新能源渣土车主要运输路线两侧规划建设一定数量和规模的充电桩和换电站。
《郑州市新能源渣土车减排奖励办法》 ^b	<ul style="list-style-type: none">对于自愿淘汰燃气渣土车，购置新能源渣土车，予以每台车5000元/月的奖励，奖励月数按燃气渣土车剩余运营月数计算，剩余运营月数为72个月减去已经运营月数。
《郑州市2022年新能源特种商用车研发资金奖励方案》 ^c	<ul style="list-style-type: none">对新能源渣土车、水泥罐车，按照10万元/辆的标准给予制造商研发奖励。
《河南省空气质量持续改善行动计划》 ^d	<ul style="list-style-type: none">2025年年底前，除应急车辆外，城市建成区的自卸车载货汽车（含渣土运输车、水泥罐车、物流车）基本实现新能源化。

^a 郑州市人民政府（2021）；

^b 郑州市城市管理局（2021）；

^c 郑州市工业与信息化局（2021）；

^d 河南省人民政府（2024）；

^e 郑州市生态环境局（2021）；

^f 本地咨询顾问机构的相关研究。

渣土车规格及运营情况

在本次研究过程中，我们委托项目合作伙伴走访了郑州的一家车队运营商，该车队目前共有15辆纯电动渣土车投入运营，已使用了一年半的时间，我们此次走访主要从投资成本、运营成本以及车辆的使用性能角度出发，来了解电动渣土车的整体购置和使用情况。另外，本次研究还对该车队2022年的运营数据、充电模式以及能耗情况进行了整理分析，从而了解车队的实际运行表现。图1展示了本次研究分析的纯电动渣土车款型，具体运行状况和车辆性能我们将在后文中进一步展开分析。

图1 本次研究走访的郑州车队所使用的电动渣土车



图片由本地咨询顾问拍摄

本次研究涉及的全部15辆纯电动渣土车均为车辆总质量31吨的宇通牌自卸车，车辆装备有422kWh的电池，表2展示了这款纯电动自卸车的具体规格，并将之与目前郑州销量最高的同级柴油车型进行了比较。

表2 本次研究分析的**建筑渣土运输车**的车辆规格

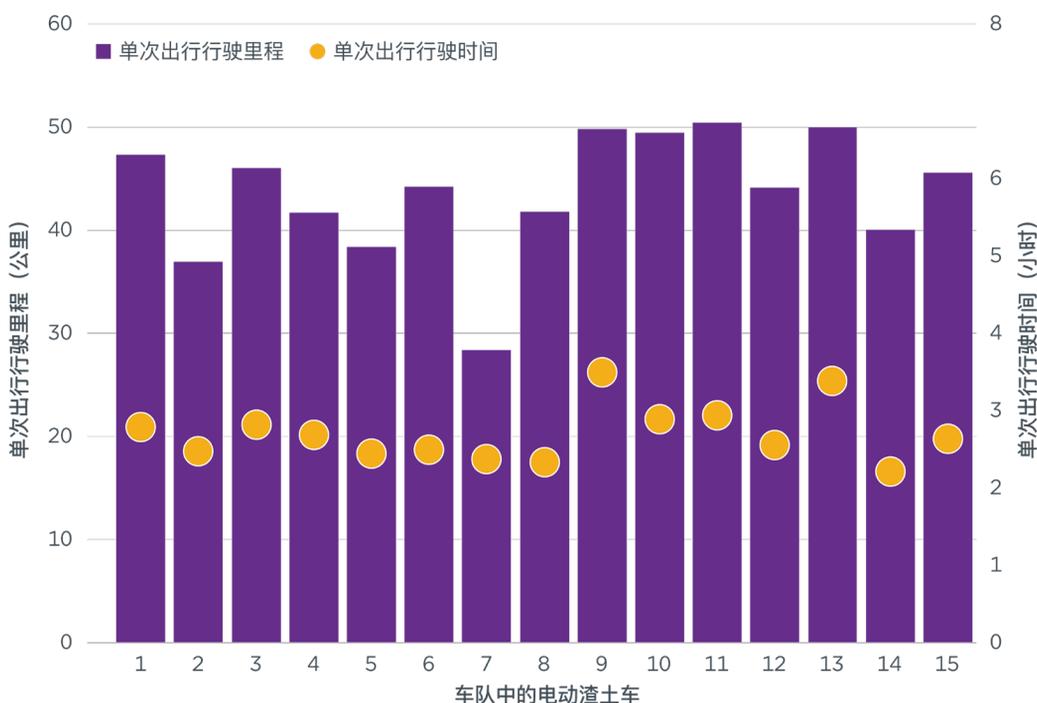
车辆规格	纯电动自卸车(渣土车)	柴油自卸车
车型型号	ZKH3310P6BEV	SX3319XD426
制造商	宇通	陕汽
车辆总质量(吨)	31	31
负载能力(吨)	12.87	15.37
车辆尺寸(毫米)	长: 9,730 宽: 2,550 高: 3,520	长: 10,950 宽: 2,550 高: 3,500
轴距(毫米)	1,950 + 3,050 + 1,350	1,950 + 4,025 + 1,400
发动机功率(千瓦)	额定: 280 最大: 430	最大: 405
发动机扭矩(牛·米)	额定: 1,400 最大: 2,800	最大: 2,550
发动机排量(升)		12.54
能量存储量	422kWh电池	400升柴油油箱
认证续驶里程(公里)	325 ^a	978 ^b

^a 该款纯电动自卸车的认证续驶里程是在40公里/小时匀速状态下测量的。

^b 该款车型的油耗为40.9升/百公里, 因此可计算出续驶里程为 400 升 / (40.9 升/100公里) = 978公里。

在本次分析的应用场景中, 纯电动渣土车要将建筑渣土从建筑工地运送至垃圾处理站, 但运行路线并不固定。图2详细展示了15辆纯电动渣土车每一次往返的平均行驶里程和驾驶时间。可以看出, 该车队的车辆单次平均行驶里程为43.6公里, 平均行驶时间为2小时40分钟, 平均行驶速度为15.37公里/小时。

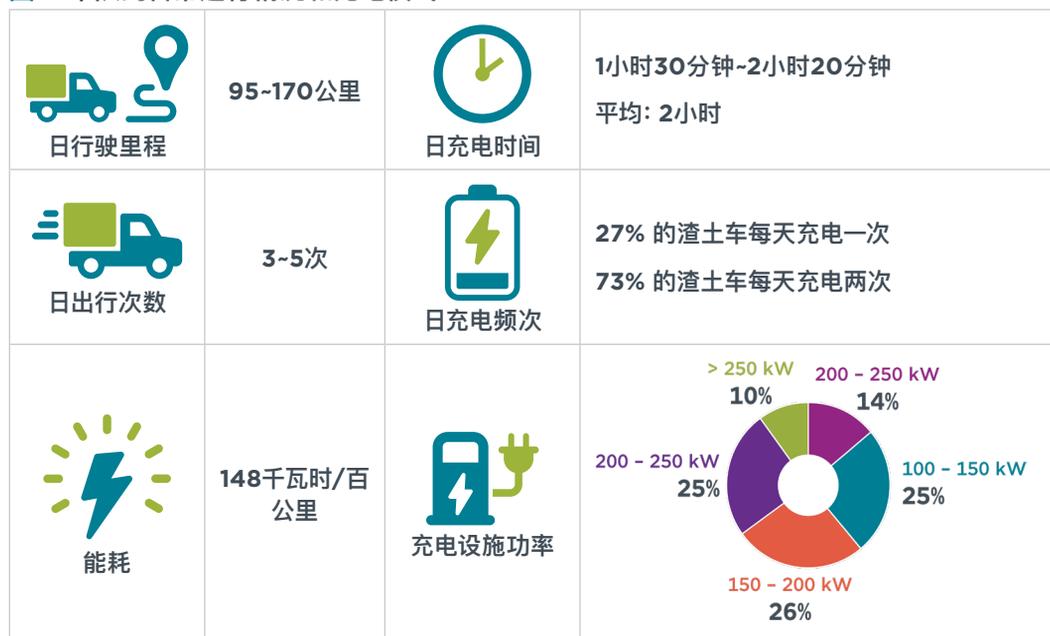
图2 每辆渣土车每次出行的行驶里程数和运营时长



国际清洁交通委员会 THEICT.ORG

这些电动渣土车每天会进行3至5次往返运输,平均运行时间为9小时,平均每
日行驶里程为143公里,车辆的平均能耗为148千瓦时/百公里,每辆车每天充电1到2
次,平均每天充电时间为2小时。由于车队不具备场站充电设施,这些车辆会使用功
率在50至250千瓦之间的公共充电桩进行充电。图3展示了该车队的日常运行情况和
充电模式。

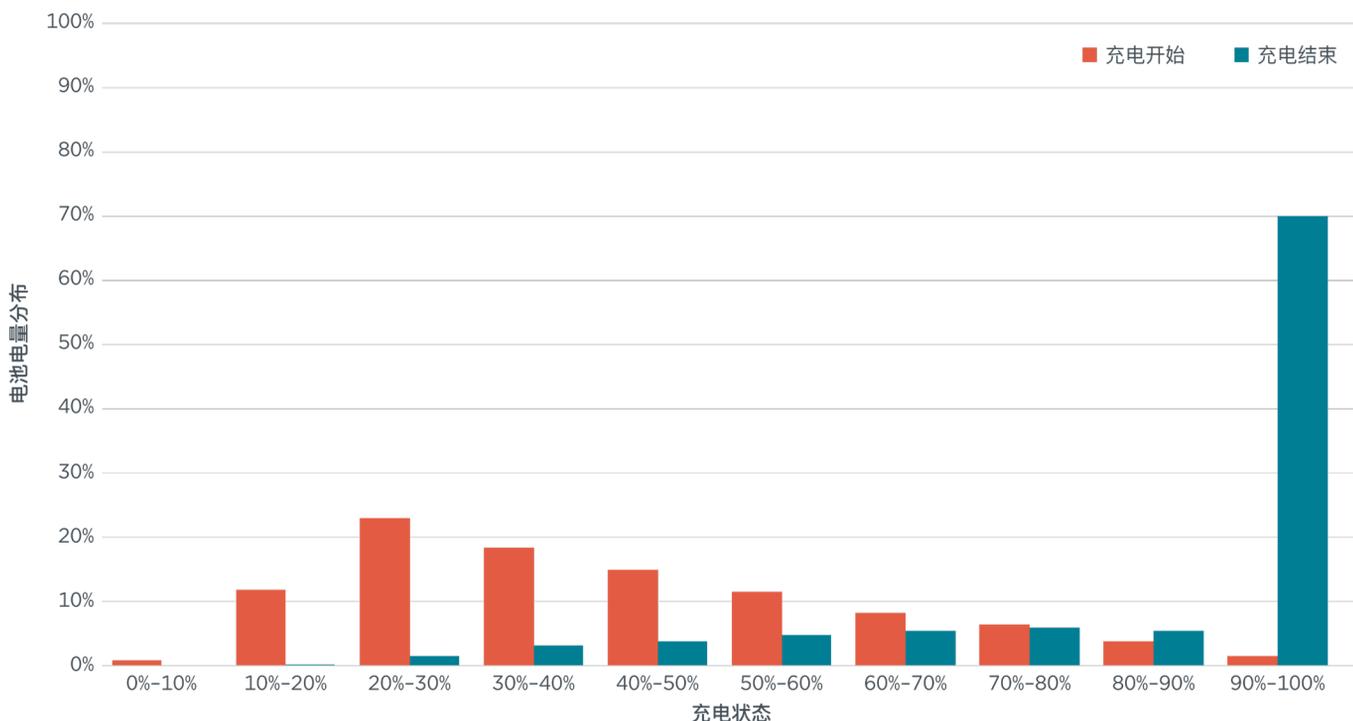
图3 车队的日常运行情况和充电模式



国际清洁交通委员会 THEICCT.ORG

图4展示了车辆在充电开始和结束时的电量分布。其中,最常见的充电起始电量为20%至30%,在大约半数(54%)的充电活动开始时,电量会处于低于40%的状态;在大多数(70%)的充电活动结束时,电量会处于90%至100%之间。通过走访车队运营商和驾驶员,我们了解到由于缺乏场站充电设施,所以这些渣土车只能在找到充电桩时进行充电。

图4 每次充电活动开始和结束时的电池电量分布

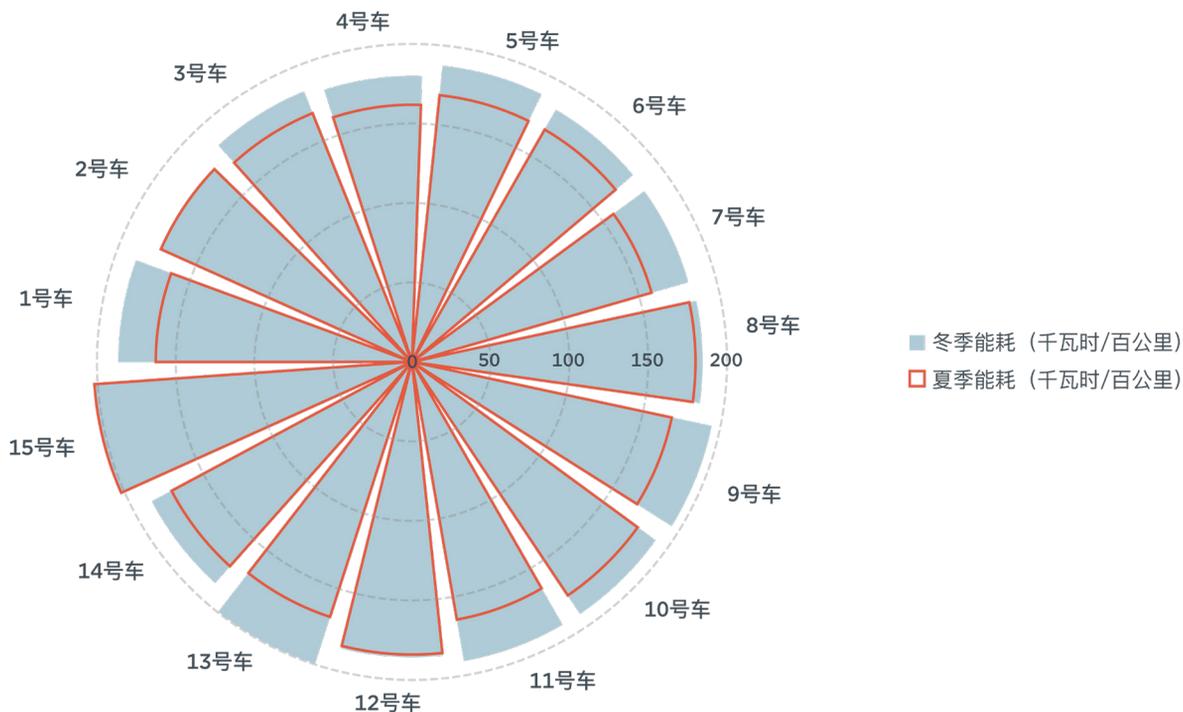


国际清洁交通委员会 THEICCT.ORG

在本次研究中，我们进一步对运营数据做了季节性分析，将2022年6月1日至2022年8月31日定义为夏季，将2022年11月1日至2023年1月31日定义为冬季。图5和图6分别展示了15辆纯电动渣土车在冬季和夏季的平均能耗与行驶里程。从图5可以看出，冬季的能耗会比夏季显著增加，增幅范围在0.41%至18.27%之间。整体来看，该车队冬季的平均能耗比夏季高8.7%，或表明冬季供暖的能耗高于夏季制冷的能耗。如图6所示，除15号车外，大多数车辆在夏季的行驶里程更长，整个车队夏季的平均行驶里程比冬季高40%，这主要是由于夏季施工活动更为频繁，对建筑垃圾运输的需求也更高。

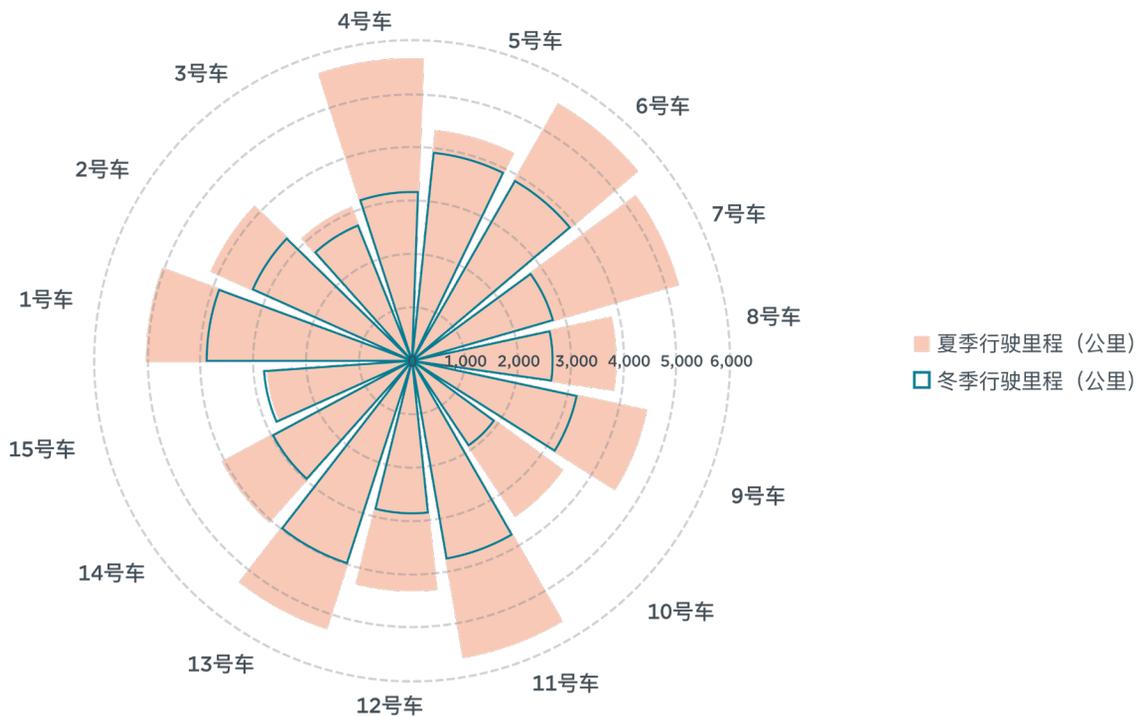
由于本研究中的车队不具备场站充电设施，因此这些电动渣土车必须从其运营路线行驶至充电站进行充电，不过现有数据中并未单独区分出这一部分行驶里程。

图5 15辆电动渣土车夏季和冬季的平均能耗



国际清洁交通委员会 THEICT.ORG

图6 15辆电动渣土车夏季和冬季的车辆行驶总里程



国际清洁交通委员会 THEICT.ORG

车辆拥有总成本 (TCO) 分析

在这一章中, 我们按照电动车和柴油车划分, 对在河南省建筑废料渣土车的车辆拥有总成本 (后文简称TCO) 进行了分析。分析采用了国际清洁交通委员会 (ICCT) 的零排放交通能源与成本分析模型 (AZTEC模型), 关于该模型的方法学细节, 敬请参见ICCT此前的相关研究报告 (Alvarez等, 2022; 牛天林等, 2023)。

下文对电动和柴油渣土车在6年生命周期内的投资成本、运营成本及其他成本进行了详细分解, 具体包括购置成本、能源成本、维护费用、保险及税费。电动自卸车的能耗和行驶里程数据来源于当地咨询顾问机构, 其他成本数据则来源于本研究走访的车队运营商和驾驶员 (该车队同时运营有柴油和电动渣土车)。所有成本均按10%的年贴现率计算。

投资成本

研究团队从车队运营商处了解到, 经过郑州市政府补贴后, 电动渣土车的购置价格为人民币93万元, 另外还需额外支付5万元的3年分期付款费用 (其中包括利息和其他融资成本)。柴油渣土车的零售价格为人民币45万元, 另需额外支付2.42万元的3年分期付款费用 (包括利息和其他融资成本)。此外, 柴油渣土车还需缴纳10%的购置税, 而电动渣土车可免征这项税费 (工业和信息化部, 2021)。

运营成本

车辆的运营成本是由车辆的年行驶里程、能源消耗量、补能成本、维修成本、车船税和保险费用共同决定的。表3总结了电动和柴油渣土车在郑州应用的年均行驶里程、能源消耗量和载重情况。根据《郑州市新能源渣土车推广实施方案》, 电动渣土车享有道路特权, 在重污染时段免受对内燃机渣土车实施的行驶限制和交通管控措施 (郑州市人民政府, 2021)。因此, 本文假设这些路权优待会导致柴油渣土车的年行驶里程比电动渣土车少约20%⁴, 即电动渣土车的年行驶里程为3万公里, 柴油渣土车的年行驶里程为2.4万公里。

表3 车队运营情况汇总

	纯电动渣土车	柴油渣土车
车队年均行驶里程	30,000	24,000
使用寿命周期	6年	6年
负载能力 (吨)	12.67	15.37
负载率	50% 行程满载 50% 行程空载	50% 行程满载 50% 行程空载
平均能耗	148千瓦时/百公里	40.9升/百公里

4 我们从本地咨询顾问的相关研究中了解到, 新能源渣土车不受郑州市大气污染管控的限制 (内燃机渣土车在重污染天气期间禁行), 相当于每天可比柴油车多运行约12个小时, 每年可比柴油车多运营70余天。不过, 现有数据尚不足以准备判断电动与柴油渣土车之间的实际运营差异。我们考虑70天约为一年365天的20%, 因此在本文中柴油渣土车的行驶里程假设为比电动渣土车低20%。

在本研究中, 电动渣土车的平均充电成本为人民币0.6元/千瓦时, 柴油渣土车的加油成本为人民币7.5元/升。维修成本根据动力系统类型和年行驶里程有所不同, 电动渣土车的维修成本为人民币0.22元/公里, 柴油渣土车的维修成本为人民币0.33元/公里。柴油车的年度车船税为每吨整备质量84元人民币; 对电动汽车免征车船税(河南省人民政府, 2012)。我们通过走访车队运营商了解到, 电动渣土车的平均年保险费为人民币4.5万元, 而柴油渣土车为2.3万元。

车辆残值

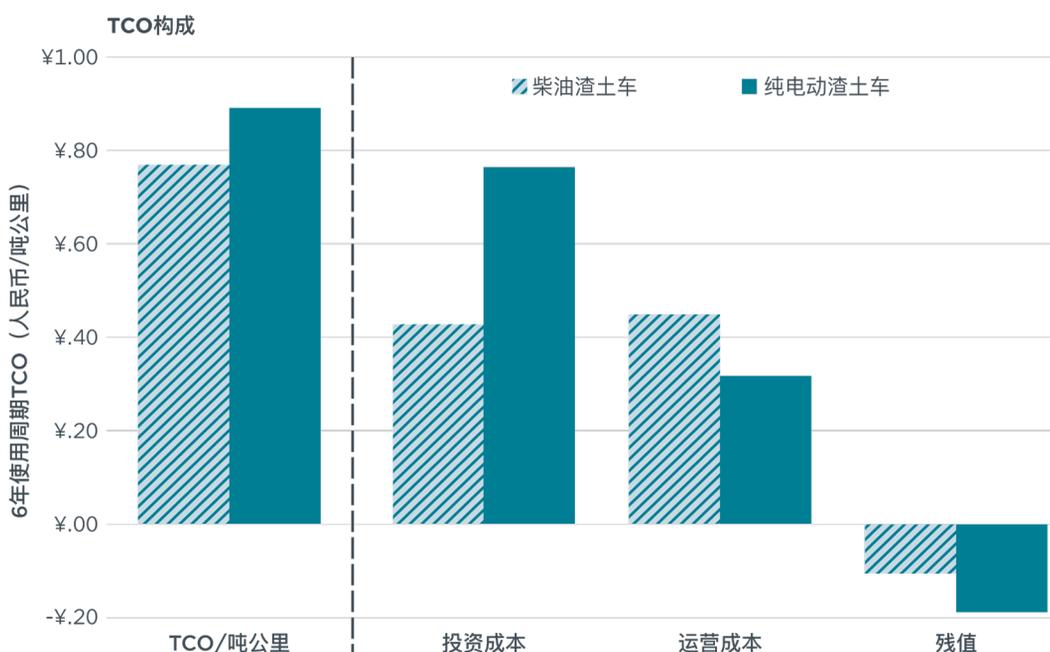
在本研究中, 电动和柴油渣土车的平均使用寿命均为6年(郑州市城市管理局, 2021)。根据中汽数据有限公司的相关报告, 柴油渣土车的年折旧率为8%, 而电动和燃料电池渣土车的年折旧率为12%(中汽数据有限公司, 2022年)。基于这一折旧率以及与车队运营商及驾驶员之间的交流, 我们假设柴油渣土车的残值约为人民币20万元, 电动渣土车的残值约为37.2万元。

分析结果与讨论

基于上述分析可以计算出, 电动渣土车6年使用寿命周期的TCO为人民币1032205元, 柴油渣土车为851195元。由于路权优待和电池重量因素, 电动渣土车的行驶里程和载重能力均与柴油车型存在一定的差异。因此, 我们将通过每吨公里TCO(即将1吨货物运输1公里所需的总成本)来分析比较两类车辆的经济性。

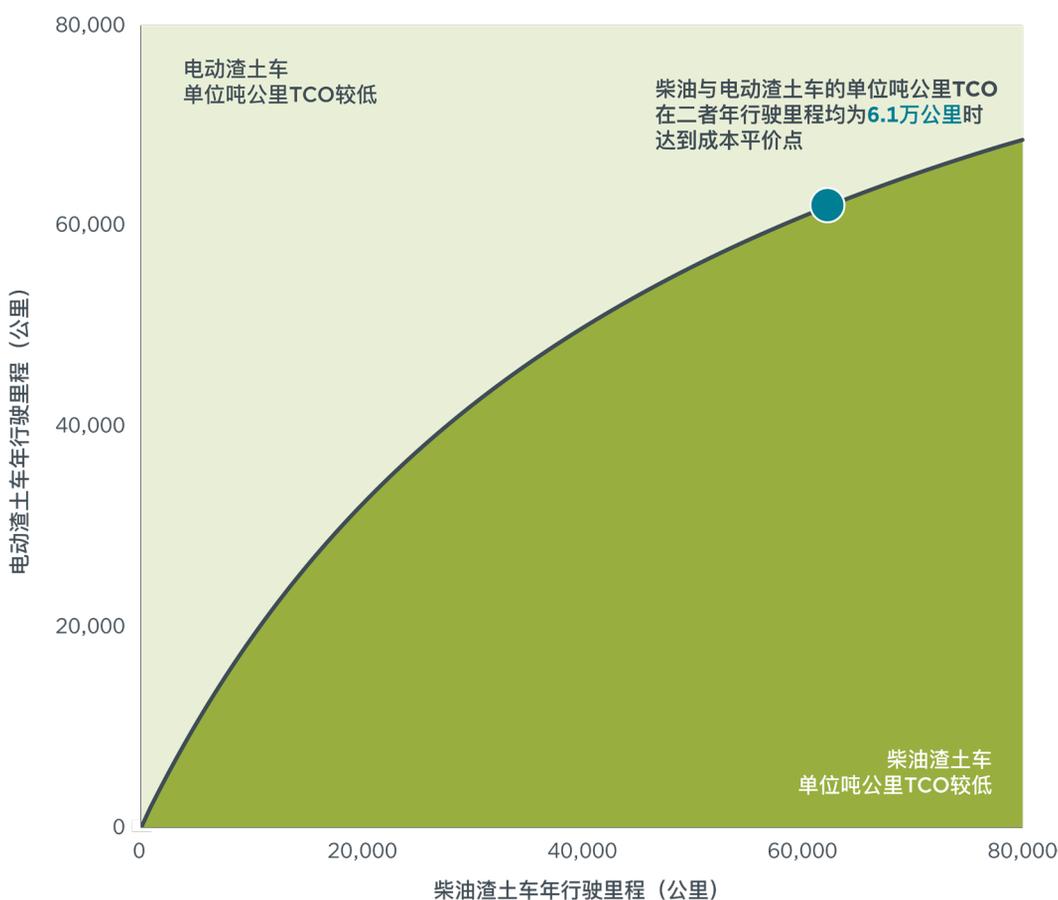
图7展示了本研究中电动渣土车与柴油渣土车的每吨公里TCO分析结果。电动渣土车的每吨公里TCO为人民币0.89元, 比柴油渣土车的0.77元高出16%。这一增幅主要来自于电动渣土车较高的购置和保险成本。然而, 较低的能源成本以及电动汽车免征购置税和车船税的优惠政策, 有助于缩小电动渣土车与柴油渣土车之间的TCO差距。

图7 河南省电动和柴油渣土车6年使用周期的单位吨公里TCO对比



较高的前期投资成本和相对较低的载重能力导致纯电动渣土车的单位吨公里TCO要高于柴油车型。但另一方面，电动渣土车的主要优势在于较低的能源成本，这就需要其行驶更长的距离才能在单位吨公里TCO方面具有经济竞争力。如图8所示，电动和柴油渣土车在年行驶里程约6.1万公里时可达到成本平衡点。一旦超过这一阈值，电动渣土车的TCO表现就会由于较低的能源成本而优于柴油渣土车。在本次分析中，给予电动汽车的路权优待和对柴油车实施的交通限制使得电动渣土车可以运行更长的时间，从而能够提升其经济性。

图8 电动和柴油渣土车达到单位吨公里TCO平价的年行驶里程



国际清洁交通委员会 THEICCT.ORG

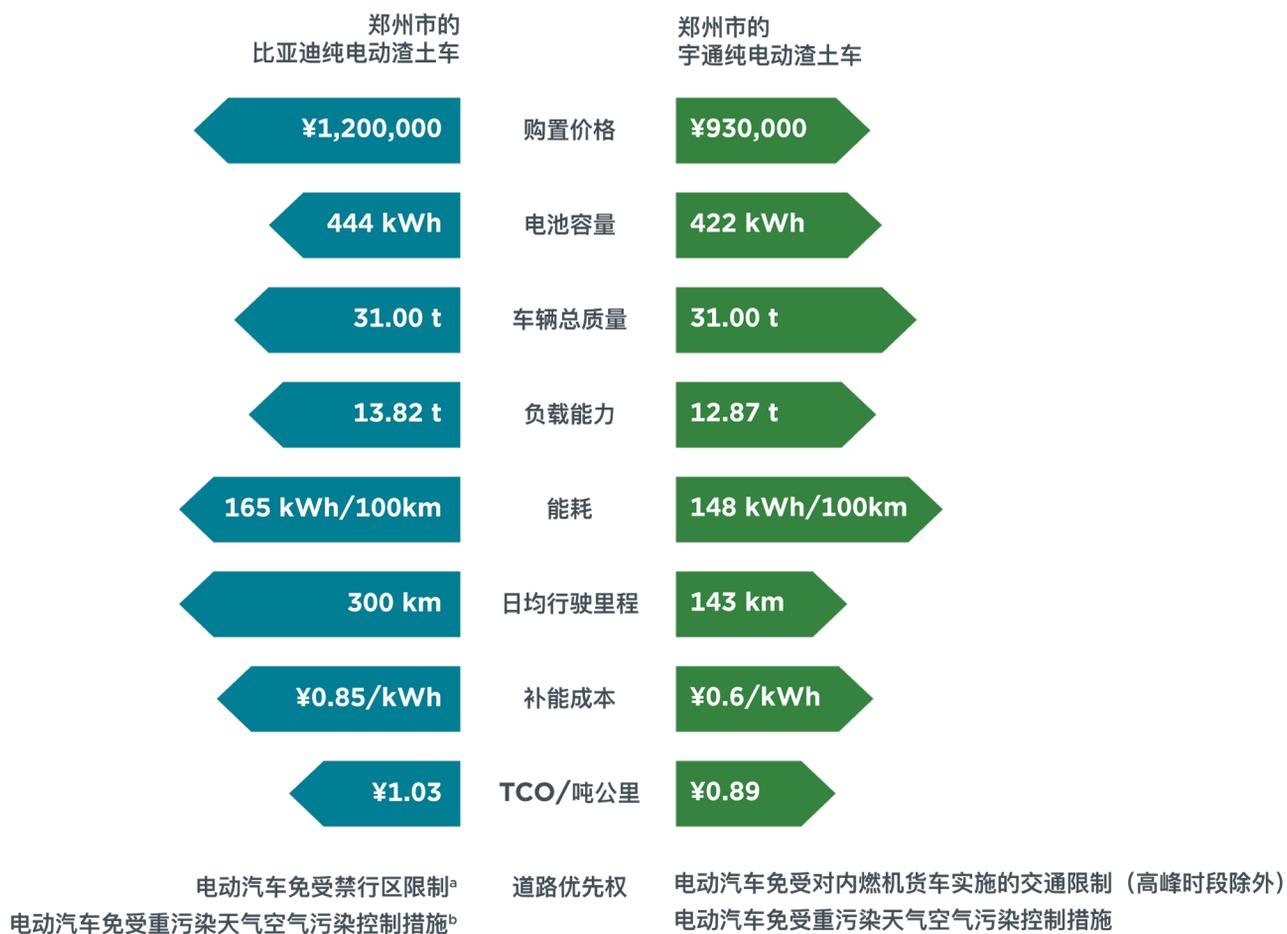
与广东省电动自卸车的应用案例进行比较

ICCT在“道路货运电动化之路”系列的另一份研究报告中评估了电动自卸车在广东省运输建筑材料和废料的应用情况(牛天林等, 2023), 该案例与本次的研究案例具有一定的相似性, 因此本章将对这两地的车辆规格、运营情况及车辆总拥有成本(TCO)进行比较和分析, 详见图9。

尽管两地的应用场景具有相似之处, 但所采用的电动渣土车的品牌和零售价格有所不同, 广东省采用的比亚迪生产的车辆, 郑州市采用的是宇通生产的车辆。两地采用的车辆的总质量均为31吨, 但广东电动渣土车的载重量要比河南的渣土车高出1.15吨。两款车最大的差异体现在平均日行驶里程方面, 广东渣土车的行驶里程是河

南渣土车的两倍多, 这可能与广东建筑市场更繁荣有关。在上述这些因素的共同作用下, 导致两地电动渣土车的TCO出现了一些差异。

图9 广东省和郑州市的电动渣土车对比



^a 广州市城市管理和综合执法局 (2020)

^b 广州市生态环境局 (2021)

结论

目前,郑州市正在大力发展新能源汽车,以减少传统内燃机车辆带来的空气污染物和温室气体排放,从而改善空气质量。郑州市政府多家部门出台了相关政策和措施,鼓励采用新能源渣土车替代传统内燃机车辆来完成建筑废料运输工作,从而推动了电动重卡的大范围应用。

基于地方咨询机构提供的数据和调研结果,本次研究评估了电动渣土车在建筑废料运输领域应用的性能和车辆拥有总成本(TCO)。分析表明,电动渣土车在6年使用寿命周期内的单位吨公里TCO为人民币0.89元,比柴油渣土车高出16%(0.77元)。尽管电动渣土车的零售价高于同级柴油车型,但较低的能源成本能够帮助其缩小与柴油车在TCO方面的差距。并且,因享电动渣土车享有路权优待,而针对柴油车有道路行驶限制,所以在行驶里程达到一定阈值后,电动渣土车可以在TCO上与柴油车型实现平价,甚至超越柴油车。

基于研究结果,我们就郑州市推广电动渣土车提出以下观察建议,谨供参考:

出台财务激励措施有助于缩小电动渣土车与柴油渣土车之间的TCO差距。分析表明,由于电动渣土车的零售价格较高,其投资成本要比同级别柴油车型高出80%。提供购置补贴和税收减免等财税激励措施,可能提高车队运营者购买电动渣土车的意愿。在电动车型的TCO与柴油车型实现平价之前,可以考虑保留此类激励政策。

为电动渣土车提供的路权优待政策,帮助其提高其与柴油车型之间的成本竞争力。总行驶里程是实现电动和柴油渣土车之间TCO平价的关键,在城市区域内对柴油渣土车实施交通限制,可以让电动渣土车增加行驶里程,从而提升其在单位吨公里TCO方面的成本竞争力。此外,这些政策还能带来城市空气质量改善方面的收益。

参考文献

- Alvarez, G. H., Pronk, E., Miller, J., & Sen, A. (2022). *Analyzer of zero-emission transportation energy and costs (AZTEC) model documentation v1.0* [Computer software]. 国际清洁交通委员会, 详见: <https://github.com/theicct/AZTEC-doc/blob/main/versions/AZTEC%20v1.0%20Model%20Documentation.pdf>。
- 中共中央&国务院,《关于全面推进美丽中国建设的意见》(2024年1月11日), 详见: https://www.gov.cn/zhengce/202401/content_6925405.htm。
- 广州市生态环境局 (2021年6月15日),《广州市重污染天气应急预案》, 详见: https://sthjj.gz.gov.cn/gkmlpt/content/7/7331/post_7331576.html#634。
- 广州市城市管理和综合执法局 (2020年12月2日),《广州市纯电动建筑废弃物运输车辆推广试点工作方案》, 详见: https://cg.gz.gov.cn/zwgk/tzgg/content/post_6950060.html。
- 毛世越、牛天林、Rodríguez, F、郝春晓、王硕、张照生 (2023年),《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》, 详见: <https://theicct.org/publication/中国电动半挂牵引车的实际行驶性能-nov23/>。
- 《中国移动源环境管理年报2023》(2023年), 详见: <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/ydyhjgl/202312/W020231211531753967096.pdf>。
- 中华人民共和国工业和信息化部 (2021年3月8日),《免征车辆购置税的新能源汽车车型目录》(第四十批), 详见: https://www.miit.gov.cn/jgsj/zbys/wjfb/art/2021/art_1358737c11dd4dcaa072667db2fd753f.html。
- 牛天林、朱格仪 (2024年),《道路货运电动化之路: 陕西省榆林市49吨纯电半挂牵引车案例》, 详见: <https://theicct.org/publication/ch-yulin-zet-jul24/>。
- 牛天林、崔洪阳、解奕豪 (2024年4月),《道路货运电动化之路: 海南省偏置码头牵引车和混凝土搅拌车案例》, 详见: <https://theicct.org/publication/rw-zet-port-tractor-trailers-and-concrete-mixer-trucks-in-hainan-province-china-ch-apr24/>。
- 牛天林、马云霄、张翌晨 (2023年),《道路货运电动化之路: 广东省零排放重型货车市场及泥头车案例》, 详见: <https://theicct.org/publication/零排放货车实际应用-nov23/>。
- 河南省人民政府 (2012年),《河南省车船税实施办法》, 详见: https://www.moj.gov.cn/pub/sfbgw/flfggz/flfggzdfzwgz/201204/t20120425_139265.html。
- 河南省人民政府 (2024年3月29日),《河南省空气质量持续改善行动计划》, 详见: <https://www.henan.gov.cn/2024/03-29/2967684.html>。
- 郑州市人民政府 (2021年12月8日),《郑州市新能源渣土车推广实施方案》, 详见: <https://public.zhengzhou.gov.cn/D0104X/6153007.jhtml>。



www.theicct.org

communications@theicct.org

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

icct
国际清洁交通委员会