

JUNE 2023

中国纯电动重型车的实际行驶性能 能耗、续驶里程和充电模式

国际清洁交通委员会: 毛世越、张翌晨、Felipe Rodriguez

北京理工大学: 王硕

中国环境科学研究院机动车排污监控中心: 郝春晓



鸣谢:

作者在此诚挚感谢所有内部和外部审稿专家, 其中特别感谢国际清洁交通委员会的同事何卉、褚一丹、金伶芝、Aditya Mahalana、Jan Dornoff和Peter Slowik; 北京理工大学的张照生教授以及中国环境科学研究院机动车排污监控中心的倪红、窦广玉二位专家。另外, 感谢Jennifer Callahan为本报告提供编辑修改建议。报告内如存在任何错误疏忽, 皆由作者承担相应责任。

International Council on Clean Transportation
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

电动重型车辆具有非常大的温室气体减排潜力，预计将在中国履行脱碳承诺的过程中发挥重要作用，从而助力实现2030年碳达峰和2060年碳中和的双碳目标¹。目前，电动公交车已在新车销售中居主导地位，2021年中国电动公交的销量占比超过全球市场的90%²。不过，电动货车市场仍处于发展早期阶段，2022年中国电动货车销量约为2.5万辆，仅占总体货车市场份额的5%³。

图1展示了过去十年中国电动重型车的销量。中国政府自2013年开始提供了大量的财税激励措施，电动重型车市场迅速增长的势头一直持续到2016年。随后，政府减少了直接性财税支持，2017至2020年期间，电动重型车的销量有所下降。然而，市场在2021年出现了反弹，原因是电动清扫车和电动公交在各个城市的快速推广促生了车辆购置需求⁴。

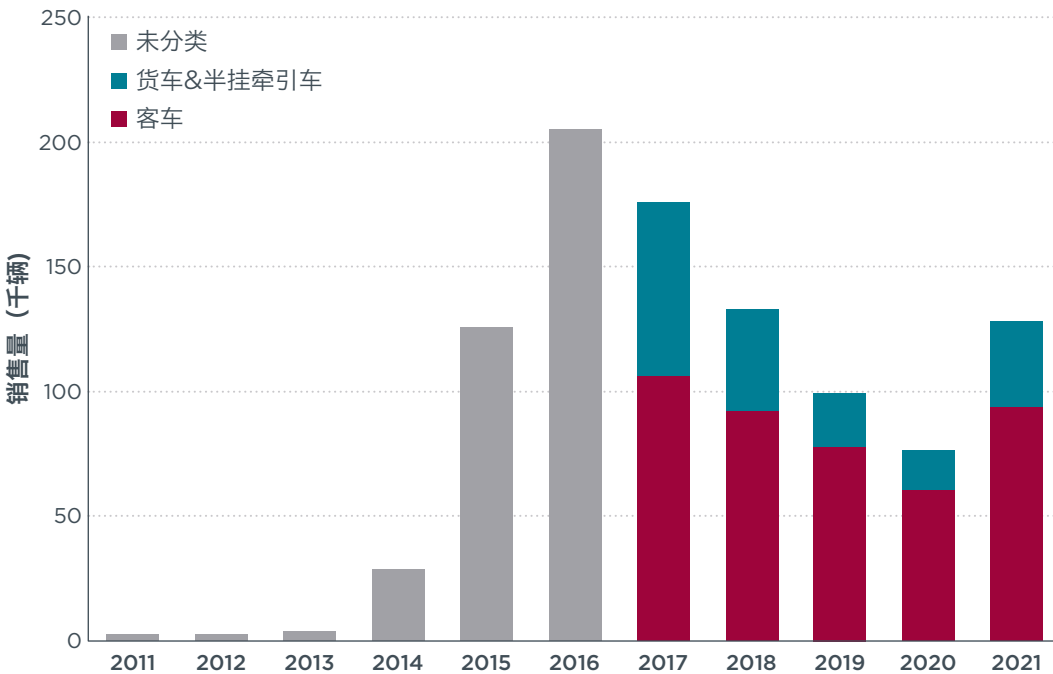


图1. 2011-2021年中国电动客车、货车和半挂牵引车销量

根据工业和信息化部（工信部）的车辆型式核准信息，2021年电动货车的平均标称续航里程为320 km。不过，本次研究显示，在实际行驶条件下，电动货车通常被用于200 km以下的短途运输。

1 Yao Wang等人, “Carbon Peak and Carbon Neutrality in China: Goals, Implementation Path, and Prospects,” *China Geology* 4, (2021): 720–746. 详见: <https://doi.org/10.31035/cg2021083>

2 崔洪阳、Dale Hall, “Annual Update on the Global Transition to Electric Vehicles: 2021,” (国际清洁交通委员会, 华盛顿, 2022), 详见: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/06/global-ev-update-2021-jun22.pdf>

3 尹欣驰等, “汽车行业电动重卡行业专题: 电动重卡方兴未艾 加速渗透奇点已至,” 新浪财经, (2023). 详见: https://stock.finance.sina.com.cn/stock/go.php/vReport_Show/stock/729724512698/index.phtml

4 毛世越等, “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, 华盛顿, 2023), 详见: <https://theicct.org/publication/china-hvs-ze-bus-truck-market-2021-cn-jan23/>

本报告基于大量实际行驶性能数据，意在为消费者、商业企业、政府部门和研究人士等各类受众群体提供纯电动重型车实际行驶性能和使用模式方面的分析。本次研究所使用的数据均来源于新能源汽车国家大数据联盟（NDANEV）开放实验室，该实验室于2017年成立，设立目的是更好地监测和管理新能源汽车（包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车和燃料电池汽车），中国的新能源汽车需要接入该实验室进行数据共享。截至2022年7月17日，开放实验室已接入新能源汽车超过920万辆，占中国新能源汽车保有量的90%，包含总运营里程超过3000亿公里的行驶数据⁵。接入车辆以每30秒一次的频率向实验室传输运行数据，原始数据包括车辆状态、速度、累计里程、电压、充电状态和电池温度等。

图2展示了本研究项目中的数据管理和共享流程。由于数据隐私方面的规定，国际清洁交通委员会（ICCT）仅负责根据工作需要设定调研数据的范围、度量指标和分析方法，由NDANEV开放实验室负责对原始数据进行处理并共享汇总数据。因无权访问原始数据，ICCT无法对数据进行独立验证。



图2. ICCT和NDANEV开放实验室在此次数据分析中的分工合作

⁵ 新浪财经，《占保有量9成 新能源汽车已接入国家数据平台927万辆》，2022年7月19日，详见：<https://finance.sina.com.cn/jjxw/2022-07-19/doc-imizmscv2502545.shtml?cref=cj>

数据范围和分析方法

我们本次研究重点分析九类常见的电动重型车（城市客车、长途客车、半挂牵引车、自卸汽车、普通货车、仓栅式货车、厢式货车、特种用途车和罐式货车）在2021年的最畅销车型。针对每一种车型，分别提取该车型销量排名前三的城市，并收集该畅销车型2021年全年的车辆活动数据，共收集汇总了11,993条数据样本。表1按车辆类型展示了数据样本的具体情况。

表1. 本次分析的车型数据详情

车辆类型	半挂牵引车	城市客车	长途客车	自卸汽车	普通货车	仓栅式货车	特种用途车	罐式货车	厢式货车
车型年	2021	2021	2021	2021	2018	2020	2021	2021	2018
样本规模	387	3,645	471	174	246	218	301	367	6,184
标称能耗 (kWh/100km)	148.4	52.7	53.3	117.5	30.0	54.5	86.1	85.7	30.0
标称续航里程 (km)	190	385	285	360	240	345	365	255	240

图3展示的18个城市为各入选车型销量排名前三位的城市，这些城市具有不同的气候特征和地理条件。其中，哈尔滨是东北地区黑龙江省的省会，气候条件极其寒冷，冬季气温有时可降至-30℃左右。毕节是位于贵州省的一个中型城市，以其多山的地形和崎岖不平的道路而闻名。

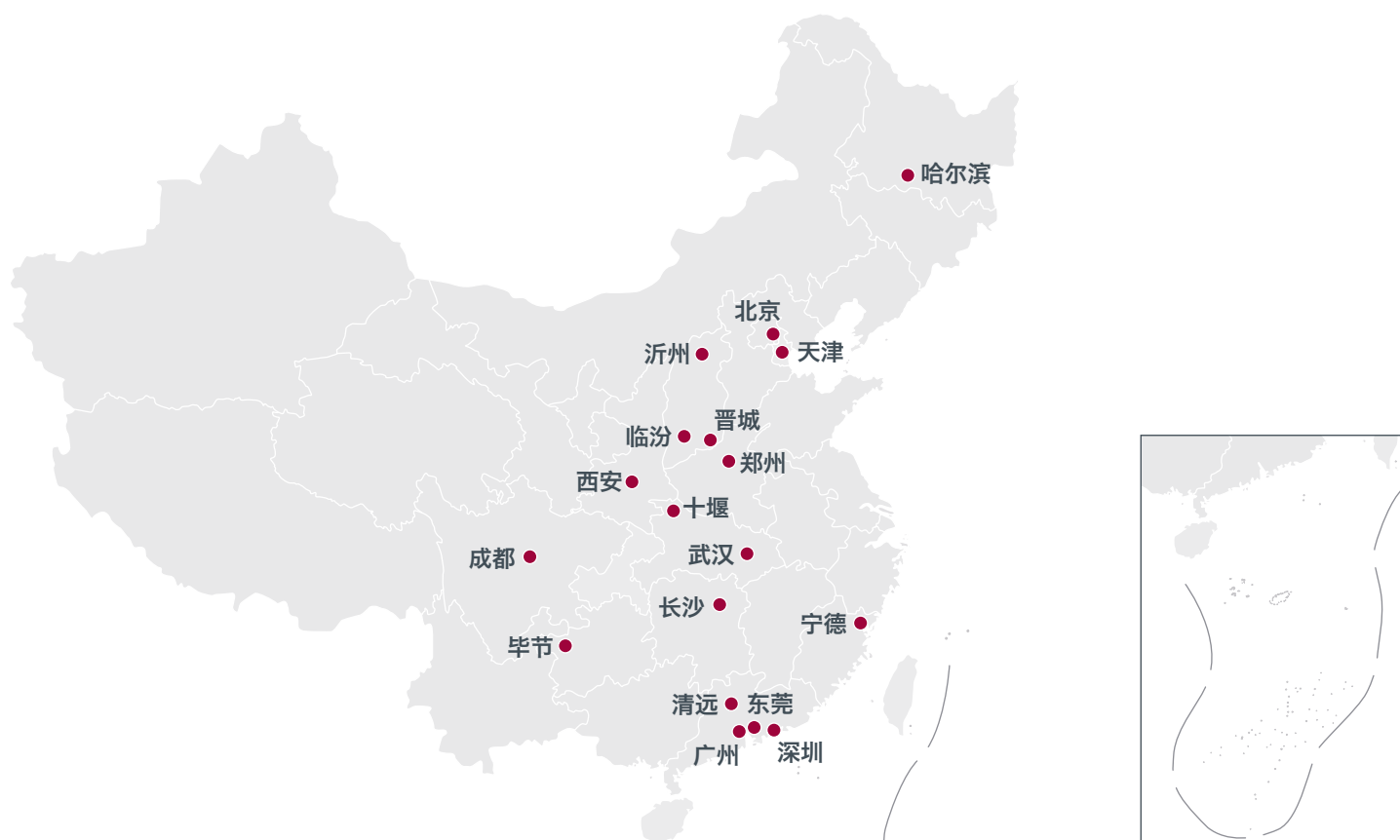


图 3. 本次分析数据来源城市

需要强调的是, 本次分析仅涵盖入选车型和城市。车辆的实际行驶性能还会受到地形、交通状况和驾驶方式等其他因素的影响。

我们将在附录中介绍基于单次出行活动数据中的各项参数来计算实际行驶性能度量指标的具体公式。本文图中展示的能耗值和续驶里程值均为样本中位值。

百公里能耗

在本报告中, 能源消耗量的表述单位为kWh/100 km, 即百公里能耗。图4展示了电动重型车在“低温” (<0 °C)、“高温” (>30 °C)和“高速” (>76 km/h)条件下的能耗。环境温度是日平均温度, 而不是每次出行行程发生时的温度。

对于大多数货车车型而言, 实际行驶能耗都要高于标称值。无论是在“低温”还是“高温”环境条件下, 特种用途车的能耗都接近标称值的150%。电动汽车无法像内燃机车辆那样利用发动机热能来为车厢供暖, 因此, 在冬天车辆通常会需要大约30%的额外能源用于车厢内部加热⁶。不过, 仓栅式货车的能效中位值优于标称值, 从我们观察的样本车型来看, 能耗要比标称值低10%-35%。

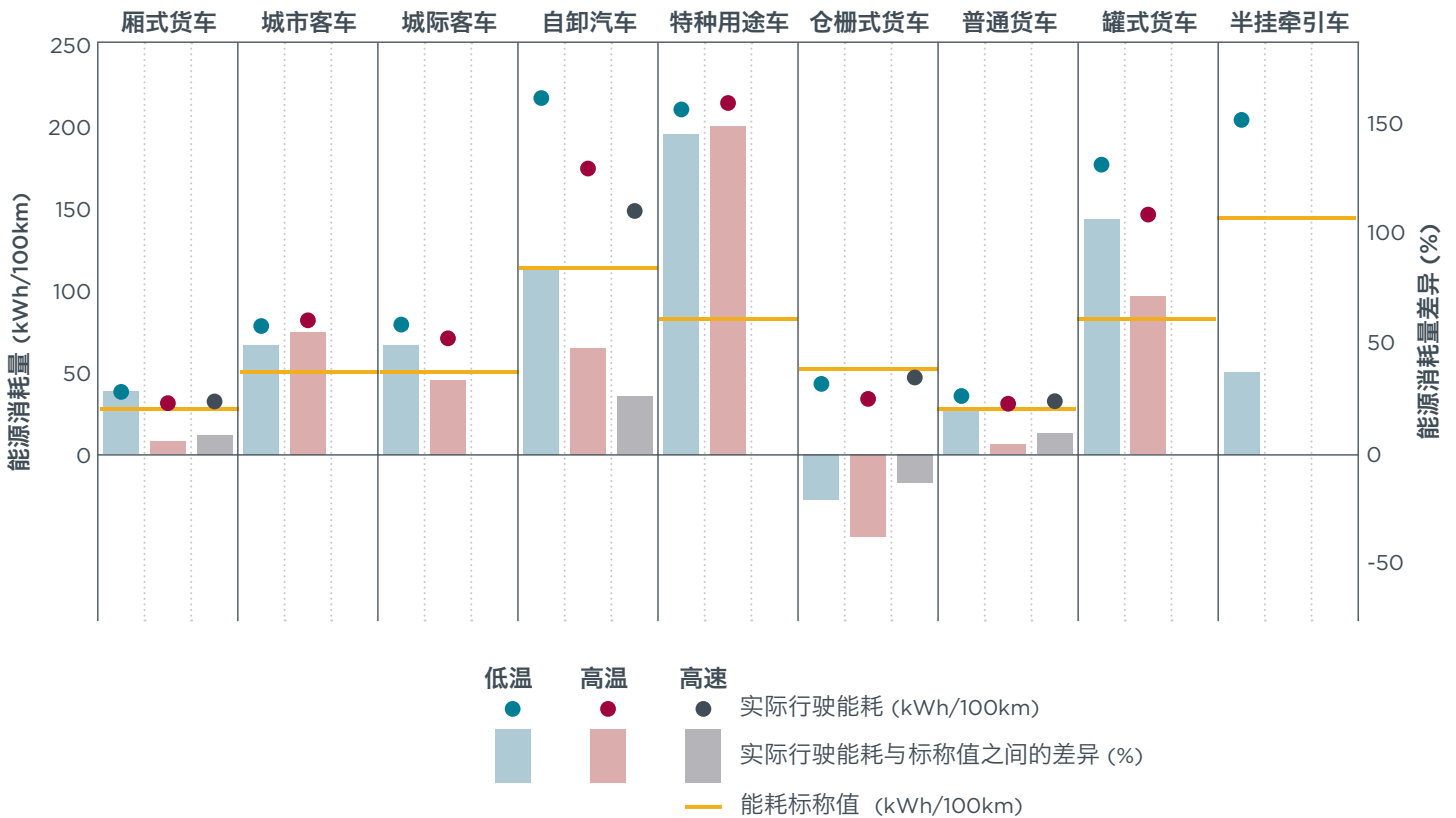


图 4. 各类车辆能耗中位值与标称值之间的差距。注: 城市客车、城际客车、特种用途车、罐式货车和半挂牵引车缺少高速实际行驶数据; 另外, 半挂牵引车还缺少“高温”条件实际行驶数据。

6 Chengguo Li等, “Reducing Mobile Air Conditioner (MAC) Power Consumption Using Active Cabin-Air-Recirculation in A Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV),” World Electric Vehicle Journal 9, no. 4 (2018): 51. 详见: <https://doi.org/10.3390/wevj9040051>.

电动续驶里程

图5展示了各类车辆在样本城市的电动续驶里程，这项数据是基于开放实验室提供的行程汇总数据计算得出的。需要说明的是，这种计算方法具有一定的不确定性，例如，不同工况条件下的数据可能分布不均，还可能会存在数据四舍五入导致的误差。从样本来看，货车车型似乎较适合300 km以下的运输作业。而根据调研，中国的半挂牵引车通常用于长途货运，2020年的日均行驶里程约为300 km⁷。本次数据中半挂牵引车畅销车型的标称续驶里程为190 km，实际续驶里程约在130-140 km之间。在这样的续驶里程水平下，该车型每天充电两次才可完成中等距离的货运行驶。

就单款车型而言，其实际续驶里程与标称续驶里程之间的差异是相对稳定的，在不同城市之间的最大波动幅度约为10%。这说明，气候和地形条件并不会对采购决策产生很大影响，而从收集的车辆实际行驶性能信息来看，标称续驶里程乘以0.6后的结果大体可反映出计划购买车型在大部分工况下的实际续驶里程。

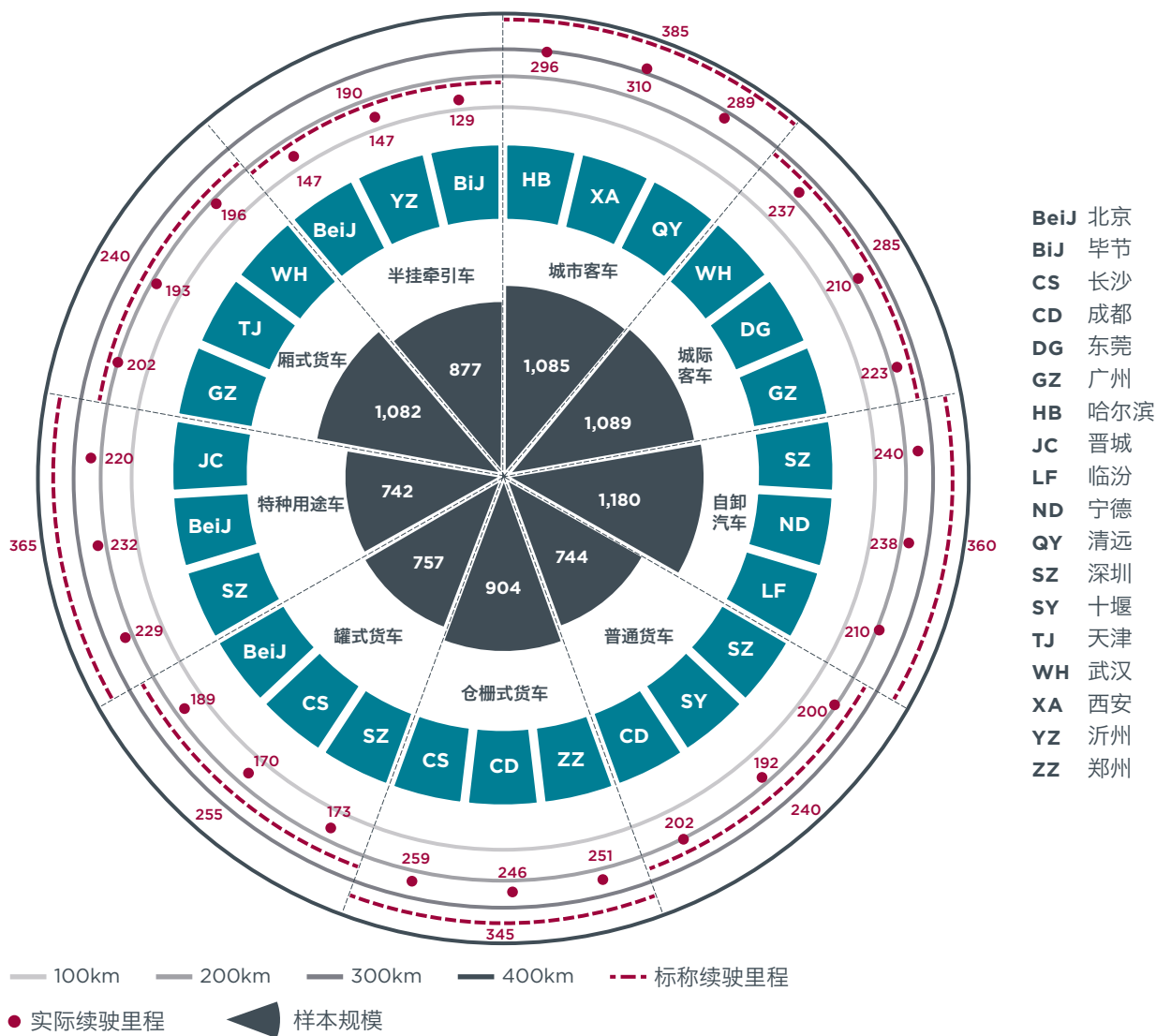


图5. 按车辆类型和选定城市划分的实际续驶里程计算值 (中位值)

7 中交兴路、交通运输部公路科学研究所, “基于大数据的中国公路货运行业运行分析报告 (2020)” 2021, 详见: <https://www.163.com/dy/article/GLSGJ67N05388W2A.html>.

充电模式

图6展示了电动重型车在日常运行时的实际充电速率和充电持续时间。其中一个关键发现是，车辆运营者似乎都在采用“随用随充”的策略，因为从分析结果来看，充电活动发生的非常频繁，而电池电量（SOC）增长幅度很小。在所有充电活动中，有70%发生在电池电量（SOC）40%-60%范围内。图中的红色线为电池充电状态0%-100%曲线，落在红色线上的数据点表示“0-100%的充电行为”。

在本次研究中，电动重型车的平均充电速率约为0.4C，这说明快充（通常超过1C，超快充通常超过2C）技术尚未普及。使用较慢的充电方式意味着更长的充电时间，这往往会增加车辆的运营成本。

充电模式还反映出车主和车辆运营者存在一定程度的续驶里程焦虑，所以会通过更频繁的充电来为计划外的运输任务提供保障。另一方面，充电模式数据也反映出电池没有充分有效利用，这降低了车辆的实际行驶效率。

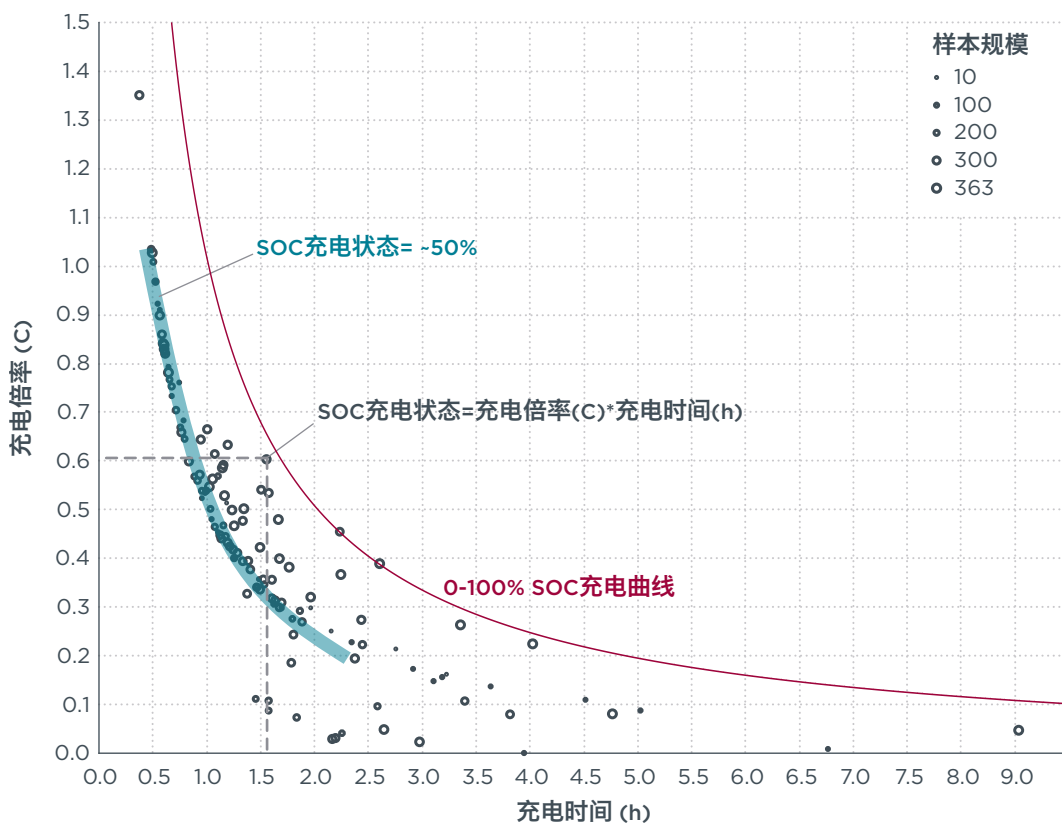


图 6. 电动重型车样本的充电倍率和充电持续时间

图7展示了电池的充电状态（SOC）范围，数据表明，六成以上的充电活动是在电池剩余电量30%-60%的状态下开始进行的；另一方面，七成以上的充电活动结束时电池充电量超过90%（由于数据颗粒度的限制，我们假设充电池电状态超过90%为充满）。

上述充电模式与图6所示的充电模式反映出了相同的现象。整体上, 车队运营者在电池电量60%-70%时会比较安心的让车辆行驶, 他们每天会为车辆充电若干次, 可能是为了在需要使用车辆时随时做好准备。

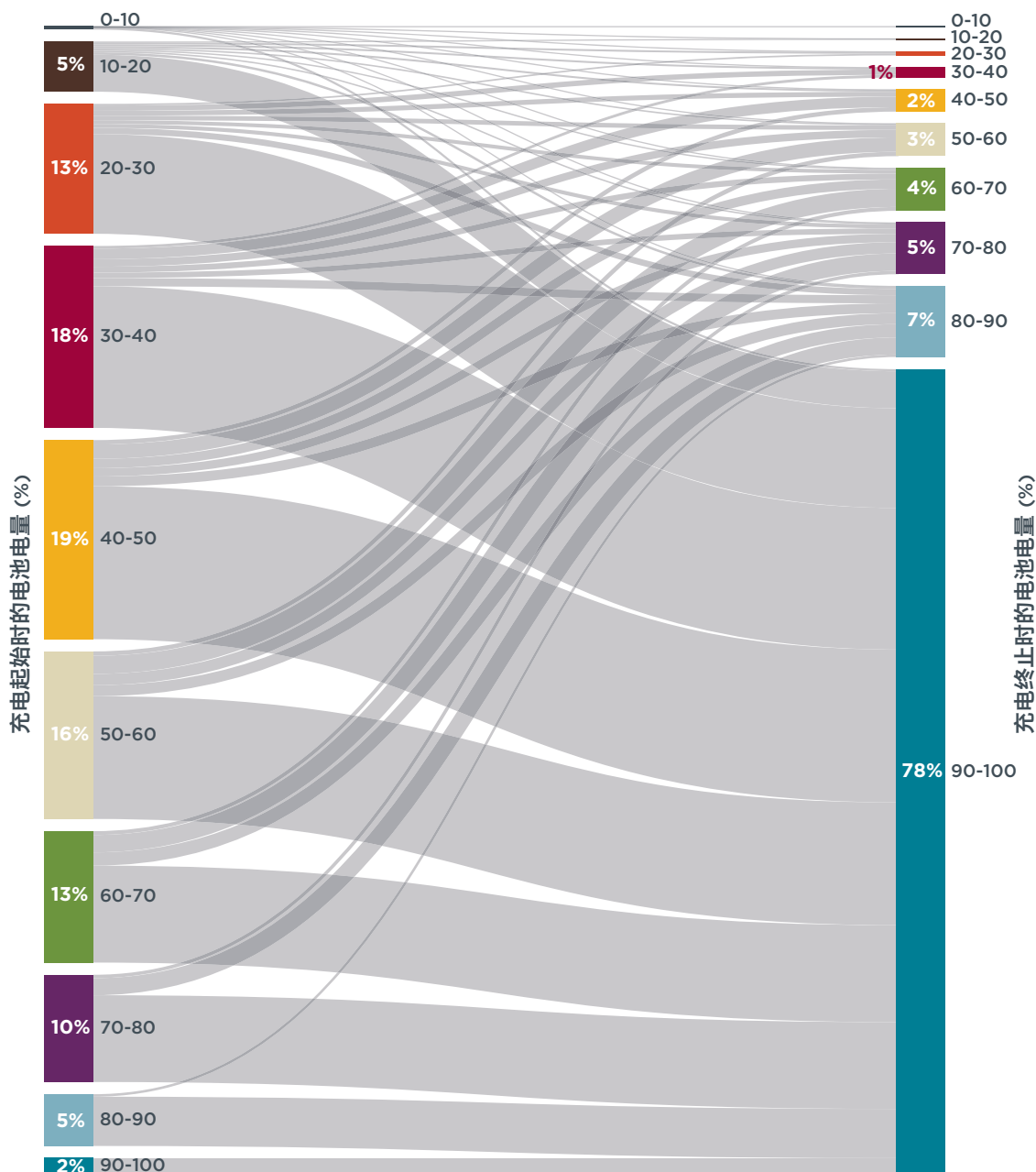


图7. 充电活动电池起始电量% (左) 和终止电量% (右) 桑基图。图两侧的柱状数据段分别展现了不同电量组别在充电起始和终止时的占比, 每侧加和结果为100%。数据段的长度表示对应充电活动次数的占比。

图8展示了电动重型车充电活动的开始和结束时间。大多数充电活动都发生在夜间和中午时段。具体而言, 充电最频繁的时段是22:00-23:00、0:00-1:00、0:00-2:00以及12:00-13:00 (图中的蓝色区域)。此外, 隔夜充电整体上会持续更长的时间; 充电活动通常在21:00至22:00之间开始, 在01:00至03:00之间结束, 总充电时间约为3-4小时 (图中的红色区域)。相比之下, 日间充电通常在1小时内结束。

这种充电习惯表明，在车辆场站配置充电设备是运行电动重型车车队的重要前提。“随用随充”的策略可以支持日常运行，在实际使用中，车队运营商仍倾向于多次充电的运行方式。

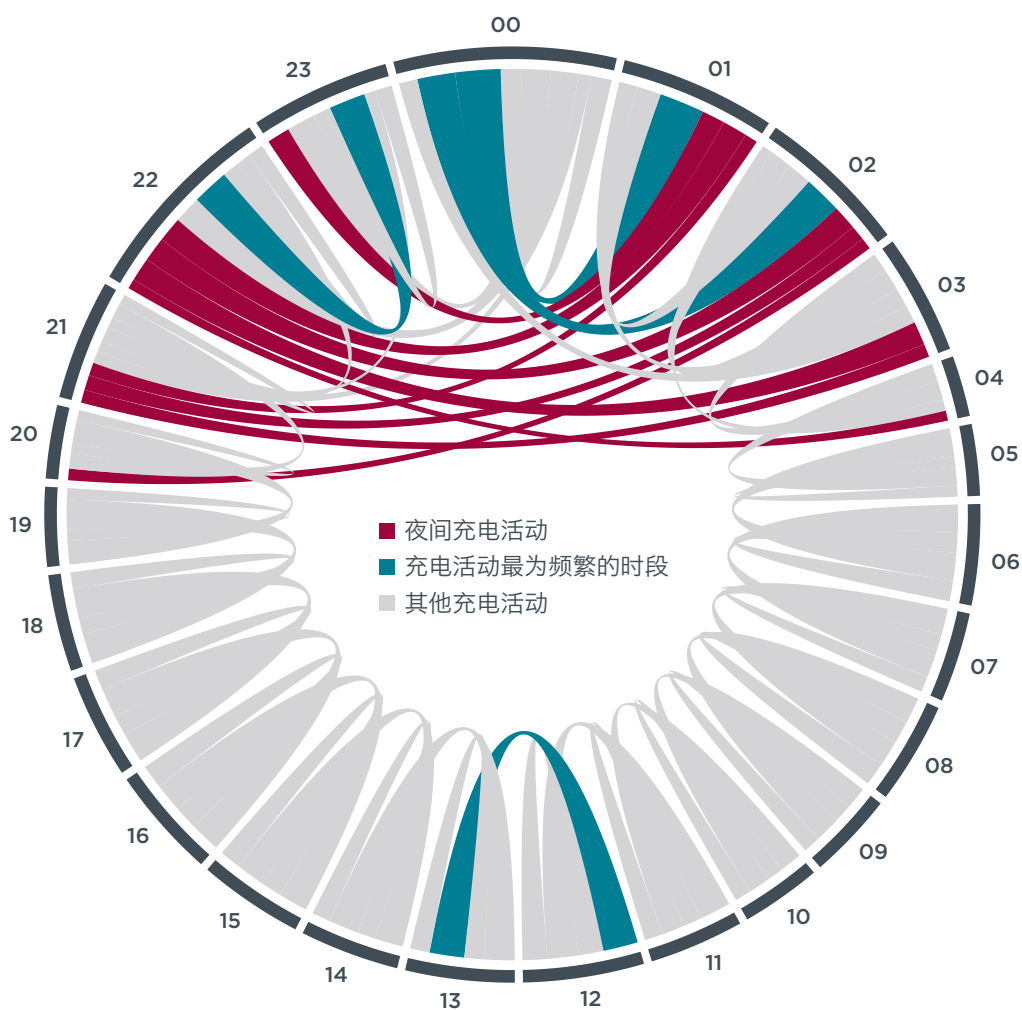


图8. 充电活动开始时间及持续时间。时间范围从00:00点开始，顺时针一直到23:00，圆弧刻度按小时划分。从12点到13点的弧线意味着充电活动在12:00:00到12:59:59之间开始，在13:00:00到13:59:59之间结束。隔夜充电被定义为跨越00:00的充电活动。最频繁充电时段定义为充电活动最为频繁四个数据窗口。充电结束指电池充满电或达到驾驶员设定的所需充电值。

主要结论及政策建议

本次研究对中国18个城市的9款电动重型车进行了评估，样本总量为11,993条。这些数据为2021年全年的汇总数据，本报告的主要目的是分析电动重型车的实际行驶能耗和了解电动重型车车队运营者的充电行为习惯。对于所有类型的电动重型车而言，车辆在日常运行中的实际电动续驶里程均低于标称值，在极端情况下，电动货车的续驶里程要比标称续驶里程低约40%。相同车型的实际续驶里程在不同城市之间基本保持一致，这说明气候和地理条件并不应当成为考虑车辆采购的首要关键因素。基于上述这些分析结果，我们在此谨向相关行业相关方和政策制定者提出以下建议：

对测定电动续驶里程的型式核准认证规程进行扩展，纳入低温和高温环境条件。在低温 (<0 °C) 和高温 (>30 °C) 环境下，绝大多数电动重型车的平均能耗会超过标称值50%以上。作为能耗标定的基础，型式核准规程中应考虑更多的工况条件，从而更好地反映实际行驶性能。

在认证电动续驶里程时，采用具有车辆使用代表性的行驶工况循环。目前标准中采用的重型车测试工况循环是不符合实际现状的。除了采用更具本地代表性的型式核准规程，政府部门还可以通过组织培训、会议或其他方式，让车队运营者了解实际续驶里程预期值。通过本次研究，我们发现大多数情况下，在标称续驶里程基础上乘以0.6能够较为有效地评估出电动重型车的实际续驶里程。

政策制定者可以通过分时电价来为电动重型车提供性价比方面的支持。本次研究显示，运营者通常在电池电量30%至60%之间开始充电，约80%的充电活动在电池几乎充满时（即电池充电状态超过超过90%）结束。从电量起点来看，里程焦虑问题仍然存在，车队运营者会采用“随用随充”的策略来应对里程焦虑，这通常意味着在一天内多次进行充电。

电动重型车的大部分充电活动都是在夜间进行的，但12:00至13:00的午休时段也是充电活动的高峰期。夜间充电通常会持续长达6个小时，但对于日间充电而言，大部分持续时间都在1小时以内。这再一次体现了运营者“随用随充”的运营策略。由于能源开支是当前电动重型车实际应用过程中的主要难点之一，所以通过降低特定时段和场景的能源费用将会使车辆运营商更乐于使用电动重型车辆进行作业。

需要再次说明的是，本次分析只涵盖了特定的车型及城市，且其中部分车型和城市缺少“高速”行驶工况数据。此外，车辆的实际行驶性能还会受到地形、交通状况和驾驶模式等其他因素的影响，尚需要进行更多的研究和分析，以涵盖更多类型的车型、环境温度和地理条件。

附录. 度量指标和方法论

本节介绍了我们用于计算主要性能度量指标的方法。本文中展示的百公里能耗和续驶里程值均基于数据样本中位值。

$$\text{能源消耗量 (kWh/100km)} = \frac{\sum(\text{SOC}_{\text{开始},i} - \text{SOC}_{\text{结束},i} \times \text{容量}_i)}{\sum(\text{里程}_{\text{结束},i} - \text{里程}_{\text{开始},i})/100}$$

其中:

i:	单次行程, 定义为一次驾驶出行活动
$\text{SOC}_{\text{开始}}$ (%):	行程开始时的电量状态
$\text{SOC}_{\text{结束}}$ (%):	行程结束时的电量状态
容量 (kWh):	工信部发布的电池标称容量
$\text{里程}_{\text{开始}}$ (km):	行程开始时的里程读数
$\text{里程}_{\text{结束}}$ (km):	行程结束时的里程读数

$$\text{续驶里程 (km)} = \frac{\sum(\text{里程}_{\text{结束},i} - \text{里程}_{\text{开始},i})}{\sum(\text{SOC}_{\text{开始},i} - \text{SOC}_{\text{结束},i})}$$

其中:

i:	单次行程, 定义为一次驾驶出行活动
$\text{SOC}_{\text{开始}}$ (%):	行程开始时的电量状态
$\text{SOC}_{\text{结束}}$ (%):	行程结束时的电量状态
$\text{mileage}_{\text{开始}}$ (km):	行程开始时的里程读数
$\text{mileage}_{\text{结束}}$ (km):	行程结束时的里程读数

$$\text{充电持续时间 (h)} = \frac{\sum \text{时间跨度}_i}{3600}$$

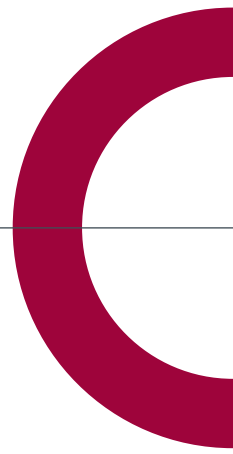
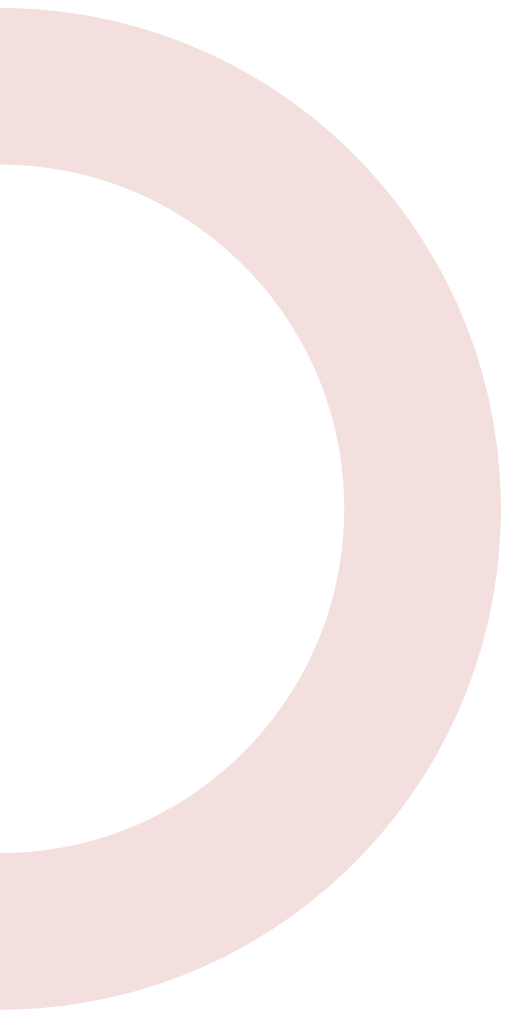
其中:

i:	一次充电活动
时间跨度 (s):	一次充电活动的持续时间

$$\text{充电倍率 (C)} = \frac{\sum \text{SOC}_{\text{结束},i} - \text{SOC}_{\text{开始},i}}{\sum \text{充电持续时间}_i}$$

其中:

i:	一次充电活动
$\text{SOC}_{\text{start}}$ (%):	充电活动开始时充电状态
SOC_{end} (%):	充电活动结束时的充电状态
充电持续时间 (h):	一次充电活动的持续时间



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