

执行报告

EXECUTIVE REPORT

“十四五”城市公共领域电动汽车运营评价与经验分享

EVALUATION AND OPTIMIZATION OF THE OPERATION OF PUBLIC SECTOR VEHICLES DURING THE PERIOD OF CHINA'S 14th FIVE-YEAR-PLAN

交通与发展政策研究所

Institute for Transportation and Development Policy



中国石油消费总量控制和政策研究项目 (油控研究项目)

中国是世界第二大石油消费国和第一大石油进口国。石油是中国社会经济发展的重要动力，但石油的生产和消费对生态环境造成了严重破坏；同时，石油对外依存度上升也威胁着中国的能源供应安全。为应对气候变化和减少环境污染，自然资源保护协会（NRDC）和能源基金会中国（EF China）作为协调单位，与国内外政府研究智库、科研院所和行业协会等二十余家有影响力的单位合作，于2018年1月共同启动了“中国石油消费总量控制和政策研究”项目（简称油控研究项目），促进石油资源安全、高效、绿色、低碳的可持续开发和利用，助力中国跨越“石油时代”，早日进入新能源时代，为保障能源安全、节约资源、保护环境和公众健康以及应对气候变化等多重目标做出贡献。



自然资源保护协会（NRDC）是一家国际公益环保组织，拥有约300万会员及支持者。NRDC致力于保护地球环境，即保护人类、动植物以及所有生灵所倚赖的生态系统。自1970年成立以来，我们的环境律师、科学家和专家一直在为公众享有清洁的水和空气以及健康的社区而努力。通过在科学、经济和政策方面的专业知识，我们在亚洲、欧洲、拉美和北美等地区与当地合作伙伴一起共同推进环境的综合治理与改善。请登录网站了解更多详情 www.nrdc.cn

本报告是油控研究项目的子课题之一，由交通与发展政策研究所统筹撰写。



交通与发展政策研究所 Institute for Transportation & Development Policy (ITDP) 成立于1985年，总部位于纽约，是一个国际性的非营利机构，全球7个国家设有12个分部，在纽约、华盛顿、北京、广州、墨西哥城、圣保罗、钦奈、雅加达、以及内罗毕等都设有办公室。在全球尤其是发展中国家推广可持续以及合理的交通政策和项目。我们关注的政策和项目领域有：BRT、以人为本的街道、公共自行车、绿道、公交导向发展(TOD)、停车政策及管理、可持续交通设施投融资(PPP)、宣传培训及最佳实践的推广。

系列报告

- 《“十四五”公路交通领域石油消费达峰研究》
- 《“十四五”城市公共领域电动汽车运营评价与经验分享》
- 《“十四五”石化行业高质量发展研究》
- 《“十四五”财税手段支持油控路径的规划研究》
- 《“十四五”绿色金融支持油控路径的政策研究》
- 《中国石油消费总量控制对经济的影响分析》
- 《中国塑料的环境足迹评估》
- 《中国农村地区电动汽车出行研究(2.0版)》
- 《中国汽车全面电动化时间表的综合评估及推进建议(2.0版)》
- 《中国传统燃油汽车退出进度研究与环境效益评估》
- 《中国城市公共领域燃油汽车退出时间表与路径研究》
- 《中国重型货运部门减油路径评估》
- 《中国石油消费总量达峰与控制方案研究》
- 《中国石油消费情景研究(2015-2050)》
- 《国际石油消费趋势与政策回顾》
- 《中国石油消费总量控制的财税政策研究》
- 《中国石油消费总量控制体制机制改革研究》
- 《油控情景下杭州市碳减排路径研究》
- 《中国石油真实成本研究》
- 《石油开采利用的水资源外部成本研究》
- 《中国石油消费总量控制的健康效应分析》
- 《中国传统燃油汽车退出时间表研究》

下载以上报告请登录 NRDC 官方网站
www.nrdc.cn 或扫描右方二维码





油控研究项目系列报告

“十四五”城市公共领域电动汽车 运营评价与经验分享

EVALUATION AND OPTIMIZATION OF THE OPERATION OF PUBLIC SECTOR VEHICLES
DURING THE PERIOD OF CHINA'S 14th FIVE-YEAR-PLAN

执行报告

EXECUTIVE REPORT

刘闰辉 李珊珊
刘少坤 刘翔 叶艺林

交通与发展政策研究所
Institute for Transportation and Development Policy

2020年12月



目录

摘要	vi
Abstract	ix
1. 提升城市公共领域电动汽车运营效率的意义与必要性	1
2. 电动公交车及汽车共享系统运营情况及发展挑战	7
2.1 电动公交车	
2.2 电动网约车	
2.3 电动分时租赁	
3. 建立电动公交车系统评估体系	13
3.1 公交线网及充电基础设施规划与建设	
3.2 商业模式	
3.3 运营规划	
3.4 充电计划	
3.5 系统维护	
3.6 配套的交通管理措施	

3.7 公共交通系统、充电系统、智能交通与智慧能源的协同发展	
3.8 小结	
4. 提升城市公交系统运营效率的建议	34
4.1 层级一：数据驱动迎接城市出行新趋势，整合创新引领公交发展大未来	
4.2 层级二：整合数据实现购置运营一体化 创新保障支撑运行维护精细化	
4.3 层级三 / 四：政策引导明确公交电气化计划 多元创新奠定运维基础性保障	
5. 案例城市电动公交车运营优化绩效测算	47
5.1 广州市	
5.2 襄阳市	
6. 完善汽车共享运营服务管理体系	57
7. 公共领域车辆电动化发展的经验分享	61
7.1 一带一路国家公共领域车辆电动化发展概况	
7.2 中国公共领域车辆电动化发展经验的分享	
8. 小结	65



图目录

图 1-1 纯电动客车续航里程分布	2
图 1-2 运营优化后的同等规模燃油公交车节油量测算	4
图 1-3 电动公交车运营优化后的耗电量节约	4
图 1-4 电动公交车运营优化后的减碳量测算	5
图 3-1 电动公交项目规划及运营整体流程	14
图 3-2 电动公交车运营调度思路	18
图 3-3 不同电动公交车百公里耗电量	20
图 3-4 纯电动公交车充电桩系统架构	24
图 3-5 快速公交专用走廊极大提高了公交的运营效率	27
图 3-6 伦敦从 2003 年 2 月 17 日起开始征收交通拥堵费	28
图 3-7 低排放示范区标志	29
图 3-8 电动公交车智慧充电示意图	31
图 4-1 不同类型的充电桩的适用情况	38
图 4-2 未来公交智能平台核心数据资源，驱动并助力公交精细化运营	39

图 4-3 “车辆购置 - 规划 - 运营”一体化的发展思路	42
图 5-1 广州公交集团下属某单位纯电动车与传统车辆能耗对比	49
图 5-2 电动公交车的年减少燃料消耗折合 LNG 量	50
图 5-3 电动公交车的年度减碳量	51
图 5-4 电动公交车年度污染物减排量	52
图 5-5 电动公交车的年节油量	54
图 5-6 电动公交车的年度减碳量	55
图 5-7 电动公交车年度污染物减排量	56

表目录

表 3-1 电动公交车系统运营评估指标	32
表 4-1 全国重点城市燃油公交车退出时间表	35
表 4-2 不同电动公交车适合的城市公交线路类型	37
表 4-3 公交车运营数据搜集常态化机制	39
表 5-1 柴油公交车尾气排放因子	56
表 7-1 一带一路国家公共领域车辆电动化发展概况	62



摘要

自 2009 年启动“十城千辆”节能与新能源汽车示范推广应用工程后，我国正式拉开了新能源汽车推广的序幕，纯电动汽车推广数量逐年增加，特别是以公交车为首的公共领域车辆，成为目前新能源推广最深入的领域。随着公共领域电动公交车新能源车辆推广数量的日益增长，与燃油公交车相比，电动公交车自身的技术特性和能源补充方式导致其运营难度增大，传统的运营调度方法和数据分析模式已经过时，无法满足高品质、高效率、智能化的现代公交系统运营的需求。

为积极响应工业与信息化部对公共领域车辆电动化发展的要求和“后补贴”时代侧重对电动汽车运营阶段的政策扶持，本研究将延续油控二期子课题，聚焦公共交通，大力提升电动公交车的运营效率，建立电动公交系统的运营评估及监测体系，促进电动公交车系统、智能交通系统与智慧能源协同发展，引导电动公交系统由粗放式运营管理向高效、节能、智能化、精细化发展，不断提高电动公交车的运营水平，为城市提供更低碳、低排放、便捷的公共交通服务。课题组测算，全国电动公交车系统运营优化后，公交车日均运营里程有所增加，同时考虑“十四五”电动车的替换，2025 年对比 2019 年每年节约的燃油量超过 61 亿升，预计将节约 52 亿度电，减少 1100 万吨碳排放 / 年。同时，相较于目前国内电动公交运营效率，提升运营效率后在“十四五”期间（5 年），全国电动公交车将减少 10 万辆公交的配车数，节省购置资金约 800 亿元，节省公交运营费用超过 750 亿元。

大部分城市的电动公交车运营仍处于摸索和积累经验的阶段，在这个时期，运营数据的收集、分析与评估就显得异常重要，全面掌握电动公交车的技术特征及实际运营情况，对于改进运营中存在的问题，提升电动公交车的运营效率大有裨益；同时能为未来的电动公交车选型及运营方案制定提供完善的技术支撑；也能为后发城市提供全面的运营经验借鉴，推动行业的整体发展。

本研究旨在为城市提供一套全面及完善的电动公交车关键运营数据的收集、分析及评估方法，通过对关键数据的分析与评估，明确电动公交车运营的问题及挑战，进而寻找提升电动公交车运营效率的解决方案。本课题从电动公交车规划 - 实施 - 运营的 7 个方面提供建议及评价指标，旨在帮助各级城市能建立系统的电动公交车评估体系，为公交运营企业提供规划及运营的参考及运营效益评估方法。同时，在上一期课题对公共领

域电动化发展进行城市层级划分基础上，本研究主要聚焦于十四五期间城市电动公交车运营效率提升，根据不同层级城市电动公交车的发展水平，提出了有针对性、时效性及具体的发展建议和需要重点关注及解决的核心问题。

对于层级一城市：数据驱动迎接城市出行新趋势，整合创新引领公交发展大未来。电动公交车的保有量较高，提高电动公交车的智能化水平及增加充电基础设施的多样性有利于快速提升电动公交车的运营效率及服务水平。主要建议体现在：

1. 加强智能化建设，根据电动公交车的技术特性制定相匹配的运营调度计划；
2. 建设多样化的充电基础设施，以匹配不同特性的公交运营线路；
3. 加强智能化建设，数据与出行管理助力公交精细化运营；
4. 公交运营线路评估应采用常态化机制。

层级二城市：整合数据实现购置运营一体化，创新保障支撑运行维护精细化。

1. 创新充电设施建设，奠定充电基础保障；
2. 公交实行智能化运营及管理，提高运营的准确度及效率；
3. 完善技术维保体系，积极推进维保改革；
4. 减少财政支出，合理处置旧车。

层级三 / 四城市：政策引导明确公交电气化计划，多元创新奠定运维基础性保障。

1. 进一步完善政策体系，加快推动公交系统电动化进程；
2. 建立电动公交车数据搜集制度，为开展电动公交车推广的提供参考依据；
3. 加大充电桩基础设施支持与建设力度，奠定充电基础保障。

提高电动公交车的运营效率，旨在降低交通领域燃油消耗，从而减少碳排放及大气污染物的排放。课题组选取了2个典型城市（广州与襄阳）进行电动公交车的效益评估，从减油量、减碳量及减排量等3方面对这两个典型进行分析与计算。这两个城市分别代表了不同经济水平、电动公交车发展处于不同阶段的城市，其研究具有广泛的示范意义及代表性。

目前，汽车共享行业也走在了公共领域车辆电动化的前列，针对规模日益扩大的网约车及分时租赁的电动车车队，本课题分析了网约车及分时租赁的运营特性，总结了汽车共享电动化发展中存在的主要问题，并针对运营环境和规范管理两方面提出了有针对性的建议，改善共享电动汽车的运营环境，并充分发挥政府部门的监督管理作用，指导分时租赁和网约电动化的良性发展及有序高效运营。

历经十余年的发展，中国的电动化发展在全球已经处于明显的领先地位。在各国积



极应对气候变化及能源短缺的大背景下，中国有能力分享电动化发展的经验及技术，尤其是一带一路国家，与我国有较强的贸易往来及技术交流，通过电动化技术及经验分享，能帮助带路国家快速实现电动化的跨越。本研究以“一带一路”参与国家为重点对象，梳理其新能源汽车推广现状，分析可以借鉴的中国经验和改善策略，引导新能源汽车推广，并带动中国新能源汽车产业走出国门，积极引领全球电动汽车发展，走绿色可持续的城市发展道路。



Abstract

Since the "Ten Cities and Thousand Vehicles" demonstration and application project of energy-saving and new energy vehicles was launched in 2009, the promotion of new energy vehicles in China has officially kicked off, and the number of pure electric vehicles has increased year by year, especially the public sector vehicles led by buses, which has become the most in-depth field of new energy vehicle promotion at present. With the increasing number of new energy vehicles promoted by electric buses in public sector, compared with fuel buses, the operation of electric buses is more difficult due to the technical characteristics and energy supplement methods of electric buses. The traditional operation dispatching methods and data analysis modes are outdated and cannot meet the needs of high-quality, high-efficiency and intelligent modern bus system operation.

In order to actively respond to the requirements of the Ministry of Industry and Information Technology for the development of electric vehicles in the public sector and to focus on the policy support for the operation of electric vehicles in the "post-subsidy" era, this study will continue the second-phase sub-project of oil control, focus on public transportation, vigorously improve the operation efficiency of electric buses, establish an operation evaluation and monitoring system for electric bus systems, and promote the coordinated development of electric bus systems, intelligent transportation systems and smart energy. Guide the development of electric bus system from extensive operation management to high efficiency, energy saving, intelligence and refinement, continuously improve the operation level of electric bus, and provide lower carbon, low emission and convenient public transportation services for cities. According to the calculation, after the operation optimization of the electric bus systems, the average daily operating mileage of buses will increase, and considering the replacement of electric vehicles during the "14th Five-Year Plan", the annual fuel saving in 2025 will exceed 6.1 billion liters compared with that in 2019, and we also expect to save 5.2 billion kWh of electricity and reduce 11 million tons of carbon emissions per year.

The operation of electric buses in most cities is still in the stage of exploring and accumulating experience. In this period, the collection, analysis and evaluation of operation data is extremely important. It is of great benefit to master the technical

characteristics and actual operation of electric buses in an all-round way to solve the existing problems in operation and enhance the operational efficiency of electric buses. At the same time, it can provide perfect technical support for future electric bus procurement and operation plan formulation; it can also provide comprehensive operational experience for the late-developing cities and promote the overall development of the industry.

The purpose of this study is to provide a set of comprehensive and perfect methods for collecting, analyzing and evaluating the key operating data of electric buses for cities. By analyzing and evaluating the key data, the problems and challenges of the operation of electric buses are identified, and then the solutions to improve the operation efficiency of electric buses are sought. This study provides suggestions and evaluation indexes from seven aspects: planning, implementation and operation of electric buses, which helps cities at all levels to establish a systematic evaluation system of electric buses, and provides reference for planning and operation and evaluation methods of operational benefits for bus operators. At the same time, the research group continued the urban hierarchy division of electrification development in the public sector in the previous study. This study mainly focused on improving the operational efficiency of urban electric buses during the 14th Five-Year Plan period. According to the development level of urban electric buses at different levels, it put forward targeted, time-sensitive and specific development suggestions and core problems that need to be focused on and solved.

For the first-level city: we will focus on data-driven solutions to meet the new trend of urban travel, integration the innovation to lead the future of public transport development. For level 1 cities, the number of electric bus fleet is high, so improving the intelligent of electric buses operation and increasing the diversity of charging infrastructure are conducive to rapidly improving the operational efficiency and service level of electric buses. The main recommendations are as follows:

1. Strengthen the construction of ITS, and make a matching operation scheduling plan according to the technical characteristics of electric buses;
2. Build diversified charging infrastructure to match bus operation align with different characteristics;
3. Use big data and travel management data help the refined operation of public transportation;
4. Normalization mechanism should be adopted for bus operation evaluation.

Level 2 cities: use data to guide e-bus purchase and operation, and build innovative operation and maintenance.

1. Innovate the construction of charging facilities;
2. Intelligent operation and management of public transportation to improve the accuracy and efficiency of operation;



3. Improve the technical maintenance system and actively promote the maintenance reform;
4. Reduce fiscal expenditure and dispose of used cars reasonably.

Level 3/4 cities: The policy should guide the public transportation electrification plan clearly, and conduct innovative operation and maintenance.

1. Further improve the policy system and accelerate the process of electrification of public transport system;
2. Establish a data collection system for electric buses to provide guidance for the promotion of electric buses;
3. Provide more support on charging infrastructure construction.

Improving the operating efficiency of electric buses aims to reduce fuel consumption in transportation, thereby reducing carbon emissions and air pollutants. The research group selected two typical cities, Guangzhou and Xiangyang, to evaluate the benefits of electric buses, and analyzed and calculated these two typical cities from three aspects: oil reduction, carbon reduction and emission reduction. These two cities represent cities with different economic levels and different stages of electric bus development, and their research has extensive demonstration significance and representativeness.

The car sharing industry is also at the forefront of vehicle electrification in the public sector. Aiming at the ever-expanding fleet of electric vehicles with TNC vehicles and car sharing vehicles, this study analyzes the operating characteristics of TNC vehicles and car sharing vehicles, summarizes the main problems existing in the development of shared vehicle electrification, and puts forward targeted suggestions on the operating environment and standardized management to improve the operating environment of shared electric vehicles, and give full play to the supervision and management role of government departments to guide the sound development and orderly and efficient operation of TNC vehicles and car sharing vehicles electrification.

After more than ten years of development, China's electrification development has been in an obvious leading position in countries around the world. Under the background that countries around the world are actively responding to climate change and energy shortage, China has the ability to share its experience and technology of electrification development with other countries, especially the "Belt and Road Initiative" countries, which have strong trade and technical exchanges with China. By sharing the electrification technology and experience, it can help these countries to quickly realize the leap of electrification. This study focuses on the participating countries of " Belt and Road Initiative", sorts out the promotion status of new energy vehicles, analyzes the Chinese experience and improvement strategies that can be used for reference, guides the promotion of new energy vehicles, drives China's new energy vehicle industry to go abroad, and actively leads the development of global electric vehicles, taking a green and sustainable urban development path.



提升城市公共领域电动汽车运营效率的意义与必要性

中国大、中型城市已经有了数量可观的电动公交车与共享汽车车辆，对电动汽车的推广工作将由聚焦于车辆购置向车辆运营转移，由重视推广数量向运营效益的提升转移，切实发挥电动汽车的低能耗、低排放、高效的优点。我国已经提前完成了“十三五”对于新能源公交车的推广目标，“十四五”期间，课题组建议大、中型城市重点考虑制定提高车辆运营效益的策略与方案。国家层面应该研究建立公共领域电动汽车运营评估指标体系。

1. 成本节约

通过合理配置车辆运营方案和充电计划降低成本，实现包括前期车辆购置成本、运营成本及维修成本的节约。

纯电动公交规模化运营是一项复杂的系统工程，从全国城市看，目前电动公交车日均运营里程远低于传统燃油公交车，车辆利用率不高。因此通常需要配备更多的电动公交车才能满足日常的运营需求，造成高昂的前期车辆购置成本。目前纯电动公交车的技术已趋于成熟，基本上能满足公交日常运营需求。从工信部 2020 年 11 月发布《享受车船税减免优惠的节约能源 使用新能源汽车车型目录》（第二十一批）中车型目录来看，纯电动客车续航里程 600-700 公里以上车型 12 款，占比 16%；500-600 公里车型 19 款，占比 26%；400-500 公里车型 18 款，占比达 24%，300-400 公里车型有 17 款，占比达 23%。纯电动客车整体续航里程升级明显，超过 300 公里续航里程车型占比已达 89%。

《享受车船税减免优惠的节约能源 使用新能源汽车车型目录》
（第二十一批）纯电动客车续航里程分布



图 1-1 纯电动客车续航里程分布

在续航里程不再是制约公交运营的最大约束条件下，车辆购置成本的节约需要在同步配建充电设施前提下，从纯电动公交规模化运营可持续发展角度研究对策，充分发挥电动公交车的运输潜力，寻找经济性、节能性、实用性的平衡点，通过合理配置运营计



划及充电计划，实现电动公交车 1: 1 替换传统公交车，从而减少电动公交车的配车数，降低前期车辆购置成本。以深圳巴士集团为例，基于车身长度的变化以及日运行里程，集团适当地把配电量从 324 度调整为 292 度，有效地减少了车辆自重，对比早期试点车型，有效降低了能耗水平的同时，也降低了车辆制造成本，还大幅提升了车辆续航里程。

通过智能化、信息化为手段，合理规划电动公交车线路，实现营运调度、充电调度双匹配，建立电动公交车、充电桩、运营管理系统和电网的实时联动的运调理念和智能化调度平台，实时监测公交车运营与充电状态，动态调整运营及充电方案，减少公交车因日间补电的长距离空驶及充电排队情况，提高电动公交车运营效率。同时合理安排夜间及日间谷电充电，减少电能消耗，降低运营成本。

与传统燃油公交车相比，电动公交车的维修成本更低，主要是因为电动公交车没有发动机、缓速器、变速器等零部件，因此在运营过程中的维修保养成本较低。以广州为例，2019 年底，广州投放了 11394 辆电动公交车，据测算，每年可节约能源费用超过 4 亿元，节约维护保养费用达 0.8 亿元，大大降低了公交运营企业的运营总费用。

通过智能化、精细化管理，探索出一种全新、成熟的市场运作模式，是纯电动公交规模化运营的根本出路，随着技术的发展和管理的提升，通过全生命周期成本测算，纯电动公交车在能源成本和维保成本方面的节约完全可以覆盖较高的购置成本，实现纯电动车辆全生命周期成本低于传统燃油车辆。根据 燃油公交车退出时间表保守估算，相较于目前国内电动公交运营效率，提升运营效率后在十四五期间（5 年），全国电动公交车将减少 10 万辆公交的配车数，节省购置资金约 800 亿元，节省公交运营费用超过 750 亿元。

2. 减少碳排放和空气污染物排放

通过提高电动公交车的运营效益及能源利用效率，合理根据电动公交车的电池电量进行运营调度，将减少单位公里消耗的电能。对于运营里程高且耗能大的城市公交车，节能效果显著。同时，由于目前国内约 64% 的电能来源于火电，减少电能的使用还将能显著降低上游由于发电产生的碳排放和空气污染物的排放。

经过运营优化后，公交车日均运营里程有所增加，加上十四五期间燃油车替换，课题组测算 2025 年对比 2019 年每年节约的燃油量超过 61 亿升，如图 2-1。

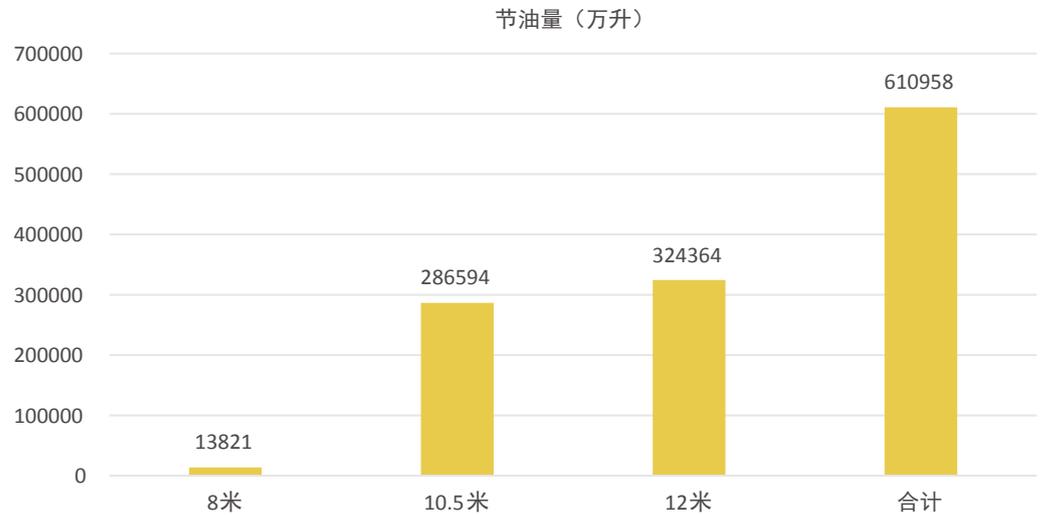


图 1- 2 运营优化后的同等规模燃油公交车节油量测算

基于单位公里电能消耗提升 20% 的假设，加上十四五期间燃油车替换，课题组测算了电动公交车由于运营效率优化后产生的节电量与减排量，2025 年较 2019 年预计将减少 1100 万吨碳排放 / 年。

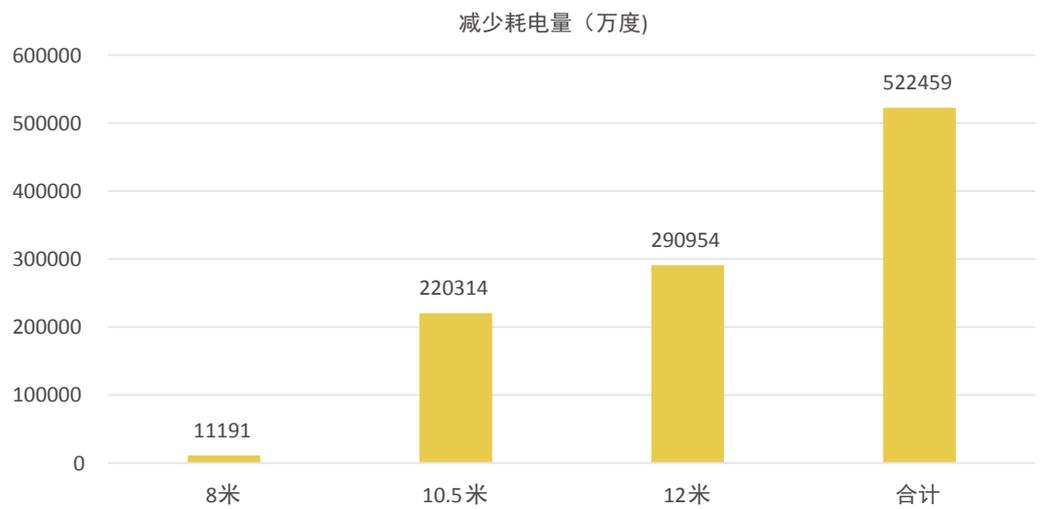


图 1- 3 电动公交车运营优化后的耗电量节约

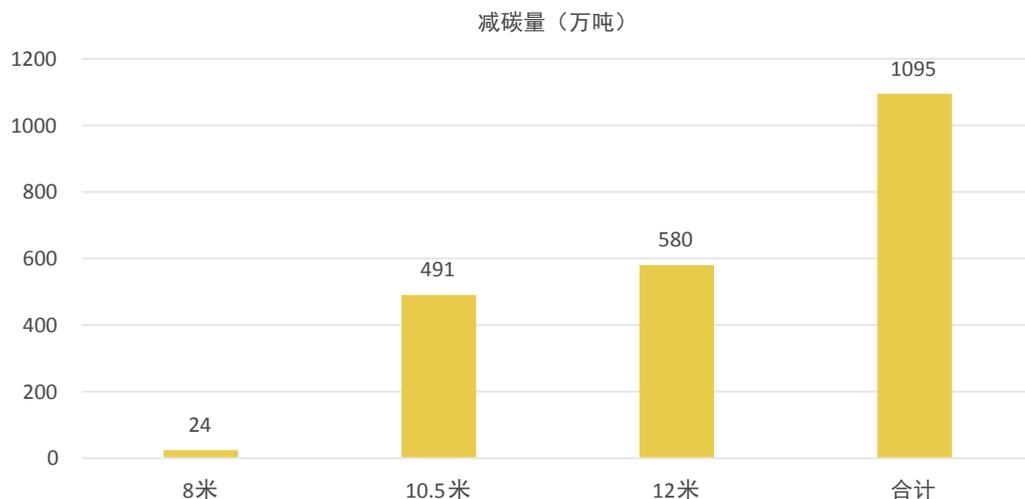


图 1- 4 电动公交车运营优化后的减碳量测算

3. 促进车辆技术进步和产业发展

作为产业终端用户，在纯电动公交车运营期间，可不断反馈用户体验和技术改进建议，为车辆制造商提供了绝佳的试验平台，以大数据反馈提升了车辆技术的性能提升。通过对电动公交车实际运营数据的监测与评估，获得车辆在不同温度、不同地理条件下的车辆运营特征及电池使用特征，以及车辆运营过程中的主要故障及电池衰减情况，及时发现车辆运营过程中存在的问题，建立城市新能源汽车的大数据管理平台，跟踪运营数据。同时建立公交运营企业、车辆生产企业与充电基础设施运营企业的联动机制，及时分享电动汽车在运营过程中的问题及车辆性能数据，有利于车企对电动公交车的技术研发与电动公交车的技术进步。通过更合理的补贴机制或市场激励机制让车企的技术研发力量转移到关注车辆的运营效率、安全性能、降低车辆成本等方面上来。

4. 促进电动公交车的行业监管

在交通运输部建立完善新能源公交车运营监测平台的基础上，从国家层面研究部门间数据共享机制，与工信部新能源监控平台、公安部机动车注册登记系统等实现数据共享应用，为动态实时监测和评估新能源公交车辆的运营使用建立支撑体系。为交通运输部、工信部等相关部门的政策制定及各项决策提供公开透明的数据支撑，同时便于交通、工信等管理部门对车企和车辆技术的质量监管、性能监管及安全监管。

研究建立电动公交车的运营评估体系，通过监测及评估各类电动公交车辆的实际运营数据，在全面了解电动公交车行驶速度、地理位置、累计里程、电池电量（SOC）、

充电状态、故障报警等动态信息的基础上，主动发现存在的安全隐患和可能出现的潜在问题。并从安全、绿色、效率等角度对各种车型的技术性能和企业的运营组织管理进行定期科学评估，并定期发布评估结果，帮助城市合理选购车辆，帮助运营企业用好车辆，帮助车辆生产企业提升技术水平。

5. 促进新能源运营数据公开，分享中国电动公交车成功经验

由于目前部分车企的电动公交车标称指标与实际运营情况存在较大差异，例如续航里程、能量密度和电池衰减率等电动公交车核心性能指标，而目前各城市公开的电动汽车运营数据较难获得，且公开的部分数据质量也良莠不齐，难以对电动公交车实际运营性能进行客观准确的判断。部分城市作为电动公交车先行先试的示范城市，其电动公交车的运营经验具有极其重要的借鉴意义，对其他后发城市选择和高效运营电动公交车具有显著的指导意义。通过本研究推动行业形成具有可操作性和可持续性的数据收集与分享的实践经验，依靠详实的运营数据指导运营调度方案和充电计划的调整，并为政府制定政策提供参考依据。中国作为全世界电动汽车销售量和保有量大比例领先的国家，电动汽车在不同城市形成的实践经验，可供全球其他国家和地区学习和借鉴。

6. 促进城市充电设施建设，为城市交通领域燃油车退出奠定充电基础保障

在推进公交电动化的过程中，配套充电设施的建设至关重要。随着公交体系充电设施的建设完善，在落实公交体系充电保障的基础上，同样带动全市充电设施建设工作取得突破进展，为城市交通领域燃油车退出奠定充电基础保障。在良好的运营管理下，纯电动公交充电可完全集中在夜间谷期时段，对于城市白天的用电没有造成太大的影响，反而为城市节约了能源，平衡电网峰谷差额。公交系统用电量均在谷期时段，意味着可以有效利用电网谷期富余电量，减少电网系统谷电浪费，又不对城市白天电网造成冲击。

2

电动公交车及汽车共享系统运营情况及发展挑战

2009年，我国开始了以公共领域新能源车辆推广为突破口的新能源汽车推广策略，全国城市积极响应，投入大量资金及人力推动完成传统公交车的更新换代。目前我国新能源公交车的规模远超全球其他国家，截至2019年，新能源公交车占全国公共汽车比例达59.1%。同时大量城市制定了新能源公交车替换的年度指标，到2020年底，将有更多城市拥有更大规模的电动公交车车队，电动公交车的运营问题也将会进一步凸显出来，成为大、中城市电动汽车发展亟需关注的重要问题。

电动公交车快速推广的同时，也暴露出了各种问题。关键问题之一是车辆技术性能差异巨大，尤其是电动化发展前期投入市场运营的电动公交车难以满足高效运营要求，且目前中国城市普遍采用单一的充电模式，无论线路及客流情况如何，基本都采用夜间充电的方式，导致无法充分发挥电动公交车的潜力，其运营效率明显低于传统公交车。

同时由于目前国家及城市缺乏对车辆实际技术性能及运营情况进行实时评估的方法和体系，针对电动公交车的运营问题，普遍采用“头痛医头、脚痛医脚”的片面解决方法，缺乏系统性的分析及总体效率提升的方案。而且对于电动公交车的实际运营数据，目前尚未建立合理的共享和披露机制，无法对实际运营问题进行科学的研判。中国虽然在电动公交车领域走在全世界的领先地位，其具体的运营经验却很难向其他国家分享。

2.1 电动公交车

在电动公交车的运营管理与调度中，大多数城市仍处于摸索与积累经验的阶段，在电动公交车运营过程中出现了一些突出的问题和挑战，现将主要问题总结如下：

1. 电动公交车的技术水平良莠不齐

目前，不同品牌的电动公交车车辆技术发展良莠不齐，主要包括续驶里程、电池能量密度、电池衰减率等。因此，在某些线路上，城市需配备更多的电动公交车来替换线路上的传统公交车辆，造成了高昂的前期车辆购置成本，且进一步增加了运营调度的难度。

2. 运营组织不优化导致运营效率低

从部分城市的运营数据来看，电动公交车并未充分实现其运输潜能，电动公交车的日均运营时间不到传统公交车的一半，从而导致车辆日均运营里程不足，无法满足部分



线路上的运营需求。部分城市依然使用传统公交车的人工运营调度方法，缺乏对电动公交车性能、充电桩、充电等特征的统筹考虑，缺乏科学合理的运营调度方案，且无法根据实际运营情况对运营调度方案进行及时的调配和优化，亟需使用智能化手段对运营组织管理进行优化。

3. 充电配套设施不完善

目前，国内城市充电站、充电桩等配套设施不完善或建设滞后，严重影响电动公交车的正常运营。另一方面，国内的电动公交车的充电方式过于单一，95%以上的电动公交车依靠场站的插入式充电桩夜间充电，严重限制了电动公交车运营的灵活性。

4. 维保能力不足

公交企业在传统燃油车上具有较强的维修力量及维修经验，但在电动公交车的维护保养方面仍处于人才培养和积累经验阶段，自身实力仍然相对欠缺，对电动公交车的维护保养过多的依赖车辆生产厂商，总体实力不足，存在服务缺位，维保不及时的情况。

5. 存在运营安全风险

保障运营安全是公交服务的第一要务，近年来，电动汽车造成的安全事故屡有发生，电动公交车也未能幸免。一方面体现在电池、电机和电控等车辆技术方面的安全事故（如电池等原因引起的起火事件）。另一方面体现在运营组织安全，如遇到极端气候，南方城市内涝，易造成大面积停驶。国内城市应建立全面完善的车辆的安全检测、跟踪记录、预警及防控体系，将极端的安全事故扼杀在萌芽阶段。

6. 缺乏电动公交车的运营评估机制

中国拥有世界上规模最大的电动公交车车队，与其他国家相比，中国城市更早地开始运营纯电动公交车，拥有更丰富且更成熟的经验和知识积累，但中国却鲜少分享运营电动公交车的经验，鲜少公开相对完善的车辆运营数据及对运营效益的评估。先行城市的经验未能及时的总结与分析，很难对后发城市提供参考借鉴，也就很难推动并形成优胜劣汰的正常市场机制，优秀的新能源产品和技术在行业内的推广应用阻力较大，也不利于中国电动汽车技术及电动汽车的运营经验走出去。

2.2 电动网约车

受益于当前政策的积极推动，且在纯电动汽车电池能量密度等关键技术日趋成熟的背景下，网约车成为了电动汽车的主要应用场景，并呈现出越来越快的推广趋势。以滴滴平台为例，2017年滴滴出行接入26万辆新能源汽车，而截至2019年底，滴滴平台纯电动汽车达到96.9万辆，年均增长193%，电动网约车订单量从2018年1月的3%提升到2019年6月的14.7%，已占到整体车辆规模的六分之一。曹操出行，一家采用B2C模式的专车平台已实现运营车辆100%新能源化。

1. 网约车电动化步伐将显著加速，但充电桩等配套设施的建设和管理相对滞后

尽管目前网约车的绝大部分车辆仍然以燃油车为主，但在政策的不断推动和要求下，网约车电动化步伐将显著加快，且在车辆技术日趋成熟的背景下，网约车的电动化的推动阻力将逐渐下降。在政策和技术的双重推动下，电动网约车在运营车辆规模上将迎来一个快速增长期。然而，目前充电桩等配套设施建设却相对滞后，充电难的问题已成为制约网约车电动化发展的主要障碍之一。具体而言，充电难主要体现在：

- 1) 充电桩基础设施总量不足；
- 2) 充电桩的运营及维护管理跟不上，带有充电桩的停车位被燃油车违规占用的现象明显；且存在充电桩损坏维修不及时的现象；
- 3) 空间布局不合理，由于主城区土地稀缺，停车场改造的复杂性，大量新的充电设备只能在商场地下停车场、郊区等偏远地区进行建设，无法适应网约车的实际充电需要，最终导致充电桩使用率极低，造成资源浪费。

2. 平台、司机、租赁公司管理机制不完善，责任主体不明晰

相较于巡游出租车，网约车行业以其对出租车领域的创新打车方式、较低的准入标准，灵活的工作模式受到了市场的青睐，但作为新兴行业，网约车的管理机制和责任主体间权责划分两项核心板块极不完善、不清晰，这将影响行业的长远发展和应对风险及不确定性的能力。网约车的电动化转型应该成为网约车行业优化管理能力的契机。



3. 网约车电动化仍停留在基础应用层面，智能化潜力仍待挖掘

需要明确的是，网约车电动化除了能实现节能减排，促进整体产业链的经济发展外，也是网约车运营管理走向网联化、智能化的基础。相较于私家车，网约车的使用率更高，功能服务多样化、资源利用集约化是电动汽车创新应用的绝佳场景。但从目前实际的应用来看，网约车在这方面仍待提高，并未真正发挥电动化的最大价值。

利用更智能的三电系统来优化能耗和续航里程，例如，平台根据电动汽车的余电情况进行智能派单，通过余电监测和与充电、维修保养联动等策略实现高效运营；设计更符合网约车不同用户使用的电动车车型，从上下车便利度、司乘乘坐感受、行程中功能需求等角度进行更有针对性的车辆设计等等。

2.3 电动分时租赁

受国家及地方的新能源汽车补贴政策，以及城市对分时租赁企业营运汽车的新能源要求等政策影响，国内大多数分时租赁平台投放的车辆以新能源汽车为主。2017 年交通运输部、住房城乡建设部联合发布的《关于促进小微型客车租赁健康发展的指导意见》文件中明确提出鼓励使用新能源车辆开展分时租赁，并按照新能源汽车发展有关政策在充电基础设施布局和建设方面给予扶持。所以相对于网约车，分时租赁在起步阶段的发展就以新能源特别是纯电动汽车为主，因此分时租赁的电动化程度相对较高。

分时租赁在一定程度上为城市出行提供了新的选择，可以减少个人购车意愿，降低城市私人小汽车保有量，但从近几年发展情况看，分时租赁电动化发展仍然存在着以下几个问题：

1. 配套设施不足

配套设施有两个方面：一是停车问题，租赁点必须要有足够的停车位，而我国目前各大城市普遍存在着停车难的问题；停车成本占企业运营成本的很大比例。二是由于大部分运营企业使用纯电动汽车作为营运车辆，因此，需要充足的充电桩。停车位和充电桩过少或者分布不均匀都会影响分时租赁汽车的使用，从而降低这些设施的使用率。而停车位和充电桩的建设涉及到城市政府的规划、城市管理、电力等不同部门间的协调，且大型城市可用于分时租赁汽车停放的土地资源有限，因此，当前城市普遍存在停车资源短缺，充电难等问题。



2. 车辆损毁理赔与违章处理成本较高

分时租赁汽车一旦投放到市场，就会面临违章扣分、续航充电、剐蹭纠纷、损毁理赔等问题的处理。而由于目前信用体系不健全，用户肇事逃逸、恶意用车、驾驶行为不当、交通违法违章等问题也比较突出。车辆在租赁使用过程中如果出现剐蹭及违规违章事件很难判别是谁的责任，部分外地用户使用车辆后离开本地也给违章处理带来困难，特别是涉及违章扣分时，无法找到真正的违章者，这给运营企业带来较大的违章处理成本。

3. 纯电动汽车分时租赁运营成本较高

分时租赁汽车普遍存在着充电难等问题。一是受电池技术影响，车辆续航里程有限，车辆需要及时充电续航，电动汽车慢充需要 6-7 个小时，快充也需要 2-3 小时，在充电时间内，汽车被闲置，使用率低。二是受充电桩不足及其分布限制，大量运维人员要将远离充电桩的电动车开往有充电设施的场地充电，然后再送往各租赁点，车辆里程利用率低，运维成本高。三是涉及电动汽车分时租赁的购车补贴、充电计费等问题具体执行的相关政策标准细则不明确。

4. 保险成本较高

保险公司对使用性质为“租赁”的车辆执行与出租车、网约车等配驾营运车辆一致的费率，抬高了汽车租赁经营者成本和车辆折旧率，严重制约了行业的健康有序发展。

5. 汽车分时租赁的法律支撑不足

中国暂未建立自上而下的政策法规体系，充分利用电动汽车分时租赁项目优势推广公务出行的模式未得到全国推广。

3

建立电动公交车系统
评估体系

电动公交车经历了 10 余年的发展，已经具有了相当大的规模，部分城市已经基本实现了公交车电动化，还有更多的城市在未来 3-5 年将实现公交全面电动化。由于电动公交车的车辆技术特点和能源补给形式，在目前传统的运营管理体系下，投入运营的电动公交车很难满足日常的公交运营需要，往往需要投入更多数量的电动公交车来完成传统燃油车的运输效能，电动公交车的运输潜能无法全面发挥，实际运营效益不高。本课题从电动公交车规划到实施的 7 个方面提供了建议及评价指标，旨在为公交运营企业提供规划及运营的参考意见及运营效益评估方法。

与传统燃油车相比，电动公交车的规划与运营是一项更复杂的系统工程，需要考虑的参数与指标也更多，电动公交车的车辆特性（如车辆类型、电池类型、容量、电池衰减情况等）、本地气候、充电设施、充电计划都将影响运营计划的制定及运营效益，因此需要全盘考虑所有因素。通常城市开展电动公交车项目时，可按如下顺序进行：

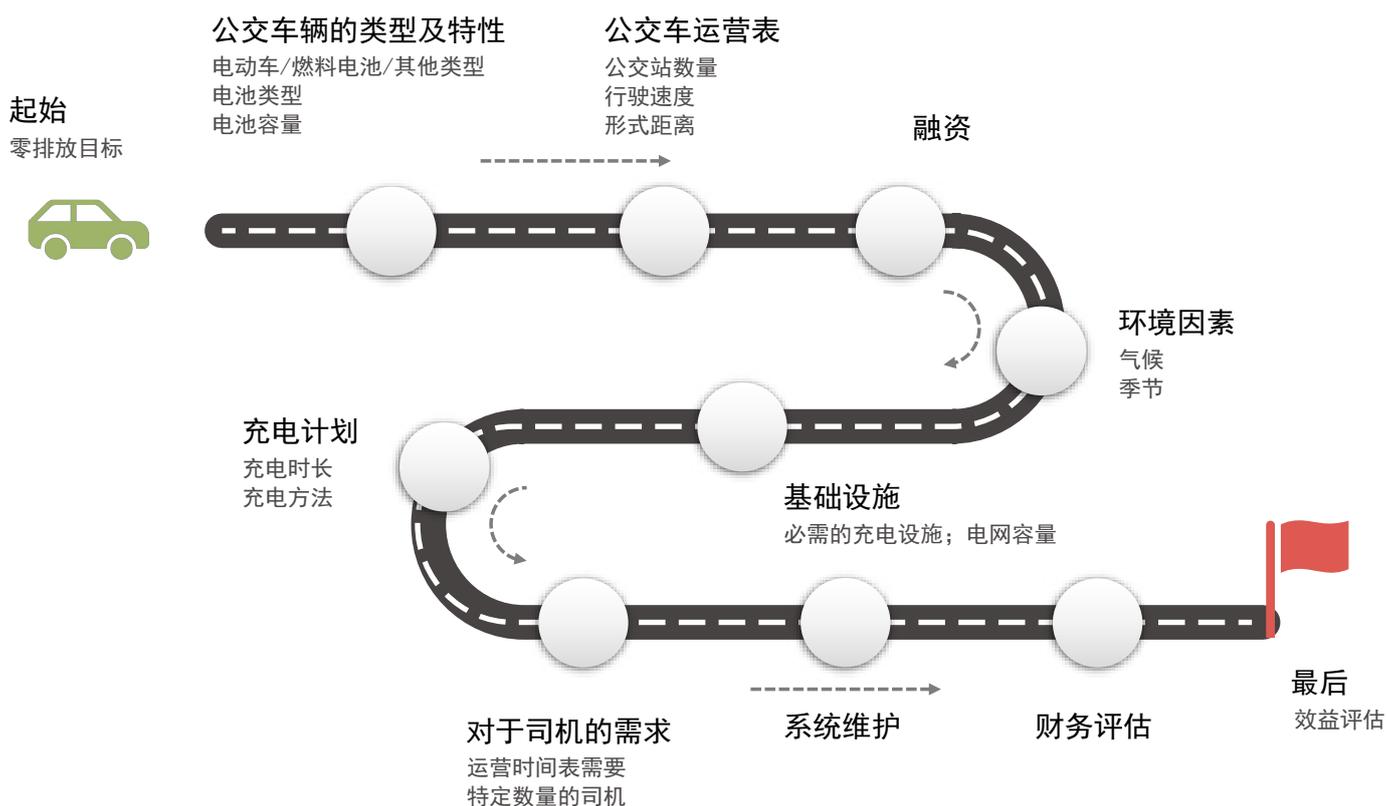


图 3-1 电动公交项目规划及运营整体流程

课题组搜集并分析了城市大量的电动公交车运营数据，采访了多个城市公交运营公司，查阅了交通部及相关部门的公开报告，并咨询了专业领域的专家，形成了以下电动



公交车规划到运营 7 个方面的建议及相关评估指标。但是由于全球的电动公交车运营仍处于探索阶段，尚未形成一套通用的评价指标体系，本报告希望能尽可能详尽地阐述对运营效率产生影响的各项指标，为电动公交车的规划与运营提供建议。课题组旨在为城市提供一套完善的电动公交车运营监测与评价指标体系，方便各城市根据下述 7 个方面的建议和主要指标的计算方法，评估电动公交车的主要运营特性，并与其他城市做横向对比分析，发现电动公交车运营的不足并积极寻求改进方法。

课题组从以下 7 个方面对电动公交车的规划 - 实施 - 运营等方面提供了建议及筛选出 17 项核心评估指标，对电动公交车运营情况进行数据收集、分析及评估。

- 1) 公交线网及充电基础设施规划与建设
- 2) 商业模式
- 3) 运营规划
- 4) 充电计划
- 5) 系统维护
- 6) 配套的交通管理措施
- 7) 公共交通系统、充电系统、智能交通与智慧能源的协同发展

3.1 公交线网及充电基础设施规划与建设

电动公交车由于受现有技术限制，车辆续驶里程和充电速度随季节、年份的波动起伏，需要经常性调整行车调度计划。电动公交车需要考虑除了传统燃油公交车运营时间外的出场时间、回场时间、调度空驶时间和终点站停站时间，还需要协调不同车辆在运营间隙补电时间；若首末站没有充电桩，更需统筹从首末站往返其他场站的调度时间。因此，与传统公交车运营相比，电动公交车的运营规划周期更短，是一个不断优化的过程，需要因地制宜，根据线路客流、周转时间、车辆续驶里程、充电时间进行实时调整，即便同一城市、同一条线路，其运营规划方案也需要不断优化，从低效率向高效率不断迭代。

无论是使用电动公交车与传统公交车共同运营，还是完全使用电动公交车运营的城

市，都必须满足基本的公交运营服务要求，提供与传统公交车同等或者更优化的服务，其基本评价指标包括：

1) 载客量

公交服务能力的基本指标之一是系统客运量，即平均每天运送的乘客人数。

中国城市传统燃油燃气公交车保有量中约 56% 为长度 10 米以上的大型车辆，但在我国纯电动公交车推广早期，由于车载电池容量续航里程、购车成本的限制，以及早期国家新能源公交车购置补贴金额的设置导致车辆大小与售车利润倒挂等原因，现状接近 50% 的新增纯电动公交车长度为 10 米以下。电动公交车单车承载能力低于传统燃油燃气公交车，意味线路上电动公交车需要更高的频次，才能承担同样的载客量。

2) 高峰小时发车频率

公交车发车频率，是指根据客流变化，某条公交线路上每小时发出的公交车趟数（辆/小时），是评估公交运营服务水平高低的决定性指标之一。课题组选取高峰小时作为评估指标，是因为在高峰时段客流最大，是公交运营最关键也最有挑战的时间段。对于全部采用电动公交车或者部分采用电动公交车的线路，由于车辆的技术性能原因，电动公交车的单车载客量不及传统燃油燃气公交车，要保证运输同样的客流，必须保证其发车频率比传统燃油车运营时更高。

3) 高峰小时满载率

满载率是指公交车内实际载客人数与最大载客人数的比率，是评价公交车运营效率和车内乘车环境的重要指标，如果满载率过高，说明车内过于拥挤，乘车体验差，线路上需要增加发车频率或者采用更大尺寸的公交车运营；而如果车内满载率过低，则可适当降低发车频率或者采用较小尺寸的公交车运营，降低能源消耗，提高运营效率。

3.2 商业模式

为推动新能源汽车的产业化，中国政府一方面启动新能源汽车技术创新的项目攻关，另一方面出台政策措施组织开展新能源公交车的推广和示范工作，探索新能源公交车商业运行模式。总的来看，中国新能源公交车商业模式还处于摸索阶段，尚未形成成熟的模式，但大体上包括两个发展路径：一是以政府企业紧密合作为主导，以财政补贴为支撑，以示范城市为依托，以示范运营为方式的运营思路；二是以企业（整车、核心零部件企业）为主导，以金融机构融资为支撑，以政府补贴为补充，以市场化运营为主要方



式的运营思路。

融资模式对电动公交车的推广非常重要。电动公交车的推广应用，不仅涉及汽车制造企业的生产能力和技术水平，还与电池生产企业、电力供给企业、售后服务和维保企业等产业链各环节的产品质量和服务水平息息相关。一个成功的商业模式，应该较好地解决产业链上的各个行为主体的角色定位、相互关系、权责界限、利益分配等一系列问题。尽管“深圳普天模式”、“比亚迪模式”各具特色，但其共同特点是都很好地解决了汽车生产企业、核心零部件企业、运营企业、维保企业之间的角色定位和收益分配等问题。

政府在电动公交车推广初期作用不可替代。这种作用体现在政府的支持、示范、引领和规范等方面，一是通过财政补贴、税收优惠等手段支持新能源汽车的技术研发、示范运行、市场销售等行为；二是通过建立健全的相关行业标准体系、检测检验体系、专利体系、法律法规体系，规范电动公交车的生产、销售、服务、运行等各个环节；三是通过组织实施技术研发、示范推广等攻关项目、发展规划、实施方案等，示范引领电动公交车发展方向。

充分发挥金融机构在新能源汽车推广中的作用。政府财政补贴对于电动公交车的推广作用明显，但也容易造成对财政补贴的过度依赖，增加政府财政负担。因此，随着初期示范运行的开展，相关企业的技术、资金和经验积累不断提升，应鼓励企业更多地运用金融手段，大力发展“融资租赁”等商业模式。同时鼓励公交企业开发创新的商业经营模式，提高自身的融资能力，尽量减少政府对公交企业的运营补贴。

评估指标：电动公交车规制成本

成功的商业和运营模式，能有效降低电动公交车的规制成本，从而减少政府对电动公交企业的补贴。同时，公交企业通过加强经营管理、提高劳动生产率等途径，减低实际运营成本，其实际成本低于标准成本的，所获差额利润应留企业发展；若实际成本超过成本标准要求的，其亏损由企业自负，从而激励公交企业努力提高其运营效率及开发创新的商业模式。同时，公交企业可通过成功的商业运营模式，打造公交综合服务，赋予城市公交新动能、新活力。以广州市公交为例，对现有公交站场进行升级改造，近期在珠江新城、东山龟岗等公交站内试点建成休闲文化咖啡图书馆、综合便利店和生鲜零售门店，打造了集出行、购物、休闲为一体的 BusBox 公共交通综合服务体，诸如此类的附加业务为公交公司带来了经济收益，有效补贴了公交车运营企业的成本，从而大大减少公交企业对政府补贴的依赖。

3.3 运营规划

中国城市正在经历着大规模的电动公交车的推广与运用，已经拥有了相当规模的电动公交车车辆，但电动公交车的运营还属于摸索和适应阶段。与传统燃油公交车相比，电动公交车的续航里程及能源补给方式是制约车辆运营效率和服务水平的两个关键因素。因此，城市在进行大规模电动公交车替换时，如何保持较高水平的公交服务质量和运营效率是至关重要的。电动公交车的运营规划将基于传统燃油公交车的运营规划上，根据线路、客流需求、电动公交车的特征及充电特性制定并优化公交车的运营调度方案。

与传统公交车相比，电动公交车运营时需要考虑的参数更加复杂，运营计划需随时间不断的动态变化及调整，常规的人工调度方式将无法满足电动公交车的运营需求，互联网技术、大数据及信息技术的应用将使运营方案更准确、高效且及时，人工分析将作为智能运营调度的辅助，主要负责审查及优化运营方案，最终确定的方案和指令将反馈至智能运营系统，并同时发送至公交车。最后，实际运营数据将自动分享给工具箱，并为之后的运营方式制定提供参考。智能运营规划体系考虑了运营方案的计算、规划、审查、执行及反馈的各个方面，全方位的分析将使运营方案的制定与执行更全面且科学。

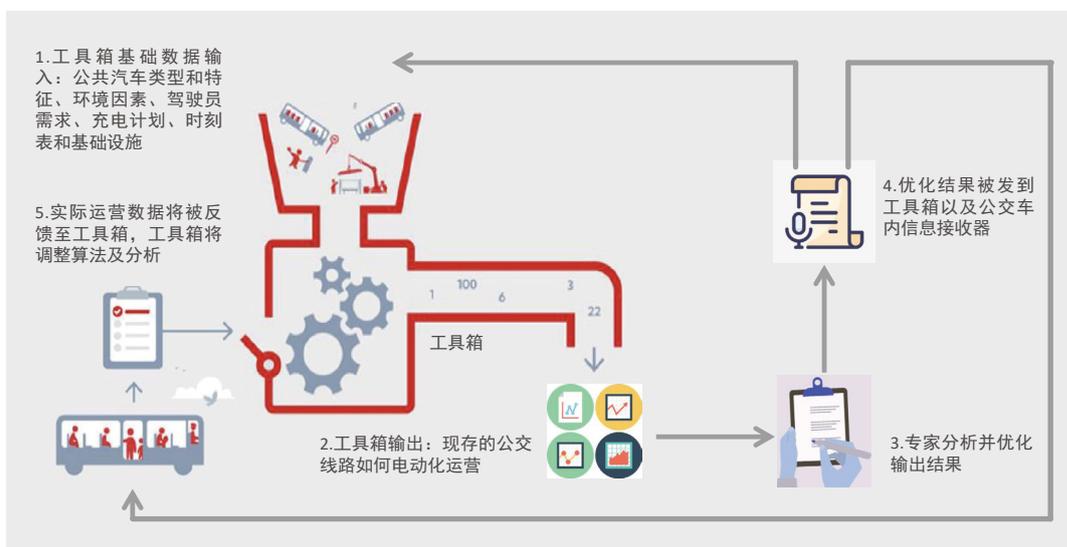


图 3-2 电动公交车运营调度思路



1. 规划原则

运营方案的制定应该在电动公交车采购时同步展开，根据实际运营需求采购相应的电动公交车。电动公交车的技术特性、电池类型及充电特性将对城市原有的公交车运营方案产生较大影响。优化电动公交车的运营方案，其主要目的在于提升电动公交车的运营效益，挖掘电动公交车的运输潜能，实现电动公交车与传统燃油公交车 1:1 的替换，同时提供与传统公交车同等或者更优的运营服务。因此，在制定电动公交车的采购计划时，应综合考虑城市现状公交线网、客流、线路里程及充电基础设施等因素，并满足以下原则：

1) 确保电动公交车的上线率

公交运营企业对电动公交车续驶里程的焦虑仍然存在，同时由于充电桩基础设施的配置不足或布局不合理，增加了运营调度上的难度，因而在运营排班中部分公交企业减少了对电动公交车的使用，出现“只买不用”的现象，导致电动公交车闲置，造成资源的浪费。引入电动公交车上线率指标，评估电动公交车在日常运营过程中的使用和闲置水平，上线率较低的公交运营企业需积极调整运营计划及线路上车辆的配置，确保电动公交车的使用率，提高公交车的利用水平。

2) 提供与燃油公交车同等或者更优的服务

与传统燃油车相比，电动公交车运营需要考虑的因素更多，如本地气候、续航里程、充电桩位置、充电时间、电池状态（SOC）等。对于依靠夜间充电的搭载大容量电池的电动公交车，其相同尺寸的车辆运载的乘客比传统公交车少，因此对于拥有大规模电动公交车的城市，公交车的运营调度难度更大，确保电动公交车提供与燃油公交车同等或更优质的运营服务至关重要。

3) 不同季节制定不同的运营及充电方案以满足服务需求

电动公交车在夏季开空调、冬季开暖气等时期的单位里程能源消耗量明显高于春秋季节，相比之下，冬季能源消耗量最高。除了早晚高峰需要制定不同的运营方案之外，为了保证运营服务水平，冬季与夏季需要根据能源消耗情况与续航里程的变化动态调整电动公交车运营方案以匹配冬、夏季节车辆续航里程的减少。

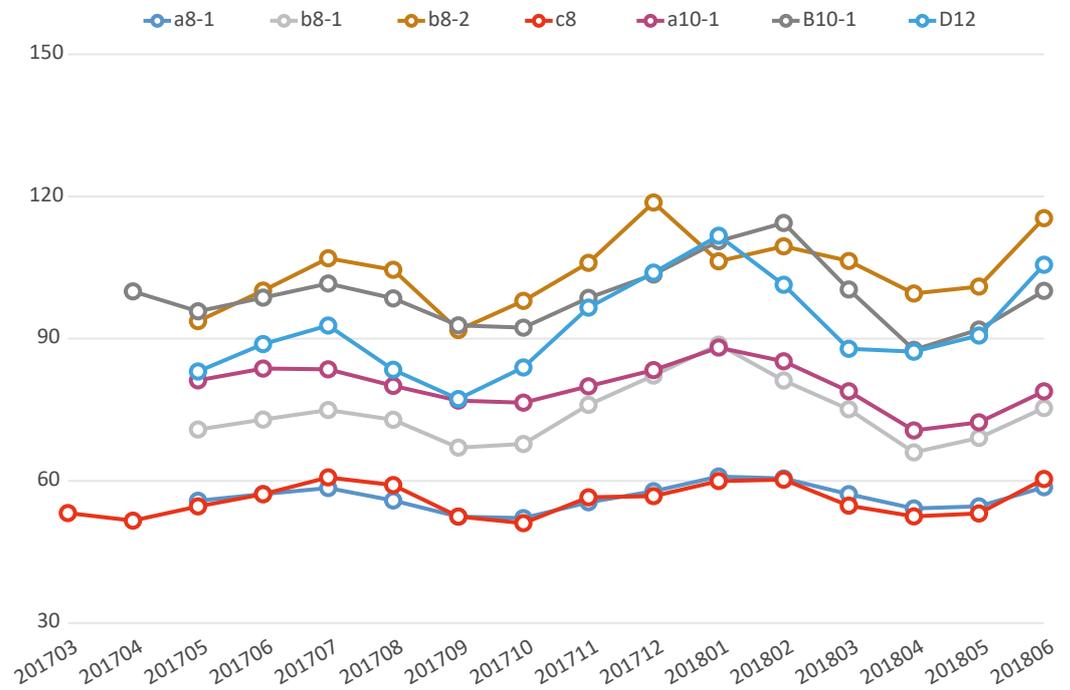


图 3-3 不同电动公交车百公里耗电量

从图 4-3 不同车辆的百公里耗电量数据来看，基本都遵循同样的趋势，即冬季与夏季耗电量高于春季与秋季。即使是同一尺寸不同生产厂家的车辆，其耗电量也存在较明显的差异，因此在大规模开展车辆采购之前，进行小规模的车辆试运营是非常必要的，搜集及分析不同厂家不同类型车辆在不同气候条件下单位公里耗电量数据，对于节约资源、降低公交企业的运营成本意义重大，同时对于后期制定大规模的采购方案及运营方案都是至关重要的参考数据。

4) 考虑电池的衰减，跟踪电池使用情况，并及时调整优化运营方案

在电动公交车运营的头 2-3 年，电池仍处于较好的状态，电动公交车的续航里程保持在较高的水平，但是随着运营时间的推进，电池不断衰减，续航里程逐年降低，需要及时根据电池衰减情况调整及优化运营及充电方案。

2. 评价指标

在电动公交车运营评估体系中，课题组主要选取了用于体现车辆实际使用性能及实际运营相关数据的指标。一方面，运营评估可以用于发现运营过程中存在的问题，及时调整运营方案及车辆配置方案；另一方面，城市积累的运营经验可以提供给其他后发城市借鉴，为其车辆采购及运营方案的制定提供参考意见。



由于电动公交车的续航里程与能源补给的特性，针对电动公交车，课题组将主要评估其运营情况、车辆实际使用性能指标，以及车辆在运营过程中的主要故障情况。主要指标包括：

1) 电动公交车上线率

每天可以参与运营的电动公交车占其总量的比例，即同时上线运营的公交车数量最大占比，此指标反应了公交车运营调度的水平及维修工作人员的工作效率。

传统燃油公交车的车辆上线率一般为 90% ~ 95%。根据新能源汽车国家监测与管理中心的不完全统计，15 个城市纯电动公交车的夏季工作日平均上线率仅为 66.4%，跨度从 24% 到 84% 不等。除去数据质量和准确性的因素，在不同城市或同一城市不同运营企业，纯电动公交车上线率存在着显著差异，也存在很多“有车不用”的城市或公交线路。

上线率用于分析电动公交车的日常使用状况，以 95% 作为电动公交车上线率标准，通过统计每月电动公交车上线率达标天数作为统计上线率达标的方法，如果上线率达标天数过低，则需要重新调整运营方案或者提高维修人员的工作效率，增加电动公交车上线率，减少电动公交车的空置时间。

2) 线路上电动公交车与传统公交车配车数比例

由于电动公交车的续航里程及充电特性，目前电动公交车无法在配车数上实现与传统公交车 1:1 的替换，因此逐条分析线路上电动公交车与传统公交车的配车数比例，对于超过 1.5:1 配比的线路，需要进行充电计划与车辆配置方案的优化调整，降低线路的配车数，减少购车成本及提高电动公交车的使用效率。

3) 日均运营里程

电动公交车的日均运营里程是判断其是否能满足线路日常运营需求的重要指标，对于电动公交车日均运营里程低于线路日均运营里程需求的车辆，分析车辆与线路需求无法匹配的原因，重新配置线路上的车辆及调整充电计划，使不同续驶里程的车辆尽量与线路相匹配，提高公交系统的整体利用效率。

运行合理的公交服务应达到约 210-260 公里 / 车 · 天。路线长度和每辆车每天往返运行的趟数也应进行监测。一般来说，长线公交更容易因交通拥堵而误时晚点，对于车辆运营调度是较大的挑战（因此城市需出台相匹配的交通管理手段以缓解电动公交车的拥堵延误问题）。中国城市 2018 年纯电动公交车单车日均运营里程为 123 公里，与 2017 年的 119 公里相比，略上升 3%，但仍仅为传统柴油公交车和插电混合动力公交车日均运营里程的一半。其中，不同城市、省份纯电动公交车日均运营里程也存在较大差异。例如，深圳、郑州等城市单车日均运营里程较高，其 170 公里的日运营里程已接近燃油车，能基本满足线路上日均运营里程数据的要求。但北京、天津等地的纯电动公交车单车日均运营里程仍不足 100 公里，线路上需要配备更多数量的电动公交车以完成日

常的运营需求。

4) 电动公交车日均有效运营里程

充电基础设施不足或充电桩布局不合理，通常会造成出场距离及回场距离过长，增加车辆的空驶里程，加大了电能的消耗。电动公交车的有效运营里程与日均运营里程的比值，是判断充电方案、充电桩建设布局及配备功率是否合理的有效指标，如果比值较小，表示车辆由于充电而空驶的距离过长，运营方案、充电桩布局及充电方案均有待优化。

5) 电动公交车日均运营时间

2018年，城市电动公交车的日均运营时间平均为8.36小时，远远低于传统燃油车的日均运营时间。此数据显示，电动公交车的利用率较低，闲置时间过长；或者由于充电桩基础设施不足，导致充电排队时间过长影响日常运营时间。各城市应分析车辆运营时间不足的原因，通过优化车辆配置、充电方案及优化维护管理等方面提高车辆的运营时间。

6) 电动公交车日均充电次数

记录电动公交车的日平均充电次数，掌握充电规律。尽量保证车辆在夜间及日间谷电时期充电，减少早晚用车高峰时期及用电高峰时期的充电频次，落实电动公交车对电网“削峰填谷”的能力，并通过减少波峰时的充电频次降低公交企业的运营成本。

7) 电动公交车日均充电时间

记录电动公交车日平均充电时间及充电时间段，充分利用波谷电能调整用电需求及充电方案，同时可根据充电需求考虑引入多种不同形式的充电桩，如柔性充电弓的使用等，多种充电方式匹配使用将使充电和运营方案更灵活。

8) 百公里实际耗电量

通常电动公交车的单位里程实际耗电量与车厂标称的耗电量有较大出入，记录并准确掌握不同车型、不同季节、不同地理环境及不同交通状况下车辆实际百公里耗电量，对于用电预估及车辆调度方案预判具有及其重要的指导意义，同时能为后期车辆购置及品牌选择提供数据支撑。

9) 电动公交车的故障率

公交车的故障率是反映车龄、维修和驾驶水平的指标。维保良好的车队中每天的车辆故障率不应超过8-10%。现代化、维护良好的车队可以达到更高的水平。随着车辆完全闲置的情况减少，车辆故障已成为纯电动公交车上线率低的首要原因。事实上，对比燃油公交车，纯电动公交车电子化程度高，车辆结构相对简单，理论上故障率应比燃油公交车低。但伴随着国内纯电动公交车快速发展，纯电动公交车质量问题所导致的故障



对公交企业提供正常服务造成很大影响，车辆故障已成为纯电动公交车上线率低的首要原因。

分析电动公交车的故障原因，有助于帮助车辆生产企业提升车辆技术，优化公交集团维保人员的配备与能力建设，加强维护意识，减少由于车辆故障造成的重大安全事故。

10) 电池衰减率

实时监测电动公交车的电池状态，掌握电池衰减的情况，与车企及电池生产企业分享电池使用数据及衰减数据，对于提升电池的技术水平，推动技术进步有较大助益。

3.4 充电计划

科学合理的充电计划是确保电动公交车有序高效运营的关键。目前城市的公交车普遍采用夜间场站充电及白天短时补电的模式，基本属于“无序充电”的方式，即当剩余电量不足以完成下一班次时进行充电。这种无序充电模式不能充分利用分时电价机制降低充电费用，在区域调度模式下容易造成充电需求过于集中，对配电网负荷产生负面影响。且电动公交车无序充电的方式同时也会造成公交车充电排队，严重影响公交车的日常运营排班计划的执行，严重影响电动公交车的整体运营效率。

目前大部分公交企业仍然在使用传统的人工方式制定充电计划，由于无法科学全面地将电动公交车运营特性与公交线路及基础设施合理匹配，导致公交车使用效率低且无法与电网实现协同。智能充电计划的引入将提高充电的智能化与自动化的程度，根据提前输入到系统的公交线路、电动公交车的运营特征及充电桩分布及功率等数据，与电网容量实时协同，计算所需充电时间、完成排班计划所需电量等数据，从而自动生成充电计划。智能充电计划的使用将大大提高能源的利用效率，大大缓解由于车辆无序充电而导致的运营效率低下的一系列问题。

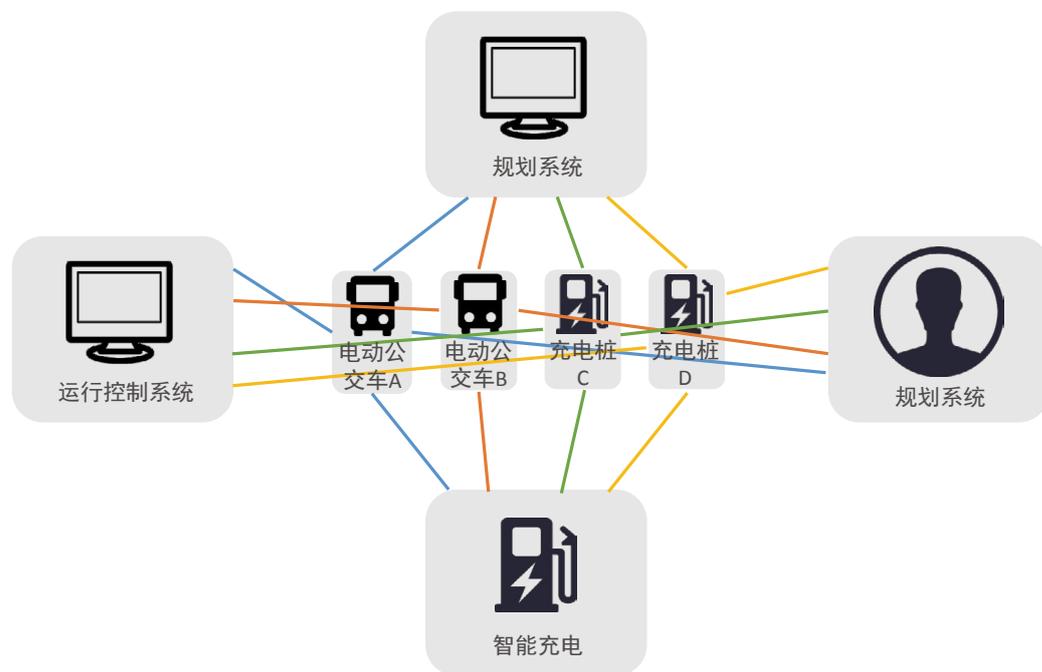


图 3-4 纯电动公交车充电桩系统架构

1. 充电计划制定的原则

制定充电计划需要考虑多方面的因素，主要包括：电动公交车的数量、电池容量、续航里程、运营线路、运营方案、电网容量等。而充电计划的制定，除了前期需要考虑充电桩功率、充电方式的选择（场站充电或者充电弓等形式）及充电桩位置等参数外，还需要根据车辆、运营方案等统筹考虑制定充电计划。充电计划应有助于充分发挥电动公交车及充电桩的最大潜能，能极大的提高电动公交车的日有效运营里程，提高车辆的利用率及运营效率。并通过合理配置充电计划，尽量减少公交车配车数及不必要的充电基础设施的数量，从而减少购置及运营成本。

充电计划应基于以下原则：

- 1) 最大限度的发挥电动公交车的运营潜能，提升电动公交车有效运营里程

充电站布设及充电安排是否合理，将极大的影响电动公交车的有效运营里程，充电桩布局不合理，且未能按照线路特性配置不同续驶里程的电动公交车，都将可能导致车辆充电时的空驶距离过长或者排队充电等候时间长，造成车辆和能源的浪费。

- 2) 实现有序充电，减少电动公交车充电等候时间



目前城市普遍采用场站插入式充电桩的方式为电动公交车充电，以慢充为主，且车桩比约 4:1，充电基础设施不足，极易造成电动公交车充电排队，这也是造成电动公交车日均运营时间较短且运营里程不足的另一原因。较短的续航里程使得电动车在运营周期内要多次往返充电站进行充电，更加剧了运营的难度，同时需考虑车辆往返于充电站的时间和成本，包括空驶里程和排队等待时间。

3) 削峰填谷，减少用电高峰时期充电

尽量安排电动公交车夜间或者用电波谷的时候充电，如白天需要补电，则安排车辆避开用电高峰及早晚高峰时期，减少电动公交车对电网及运营的影响，同时能充分利用波谷电价，降低电动公交车的运营成本。

2. 评估指标

衡量充电计划是否合理，主要通过评估公交车充电排队时长与充电桩充电时间占比两项指标：

1) 电动公交车充电排队时长

评估城市充电方案的合理性，能否满足日常运营需求，电动公交车充电排队时长是一个重要考量指标，合理安排充电桩布局及充电时间分配，能做到“应充尽充，及时充电”，降低电动公交车在场站充电的排队时长，对提高整体运营效益大有帮助。

2) 充电桩日均充电时间

由于城市公交场站空间普遍不足，且场站位置受限，因此电动公交车的充电桩布设受到较大制约。监测充电桩的日均使用时间，评估场地充电桩的利用水平，发现闲置时间较长或占用时间过长的充电桩及充电站，并制定优化充电桩的布设方案，同时可以考虑通过增设不同形式的充电桩来解决充电难题。

3.5 系统维护

公交企业在传统燃油车上具有成熟的维修团队和维修力量，但在电动公交车的维护保养上仍处于摸索和经验积累阶段，由于电动公交车涉及到电池、电机及电控等专业领域，目前公交集团的维护保养力量普遍不足，存在服务缺位，维保不及时的情况。同时，电动公交车的安全问题一直以来是社会关注的核心问题，对电动公交车的保养和日常维

护至关重要，培养维保人员，加强能力建设，及时发现问题，排除障碍，保障电动公交车的安全及正常运营。

电动公交车系统维护应该做到：

1. 及时发现电动公交车日常运营的故障，并进行跟踪。
2. 确保有足够的电动公交车维护保养人员，培养电动公交车的维护保养团队，并逐渐减少对电动公交车厂商的依赖。
3. 减少电动公交车运营安全重大事故率。

系统维护是否得当的评价指标：

1) 电动公交车故障持续时间

电动公交车发生故障时，其持续时间是评价运营企业维护保养能力的最直接指标，故障持续时间越短，说明公交企业的维护保养能力越强，反之，则需要加大维护保养团队的人员投入及能力建设，缩短故障响应时间。

2) 万公里故障频次

评价公交车的车辆品质及运营企业维保实力的另一重要指标是公交车万公里故障频次，公交企业应针对该指标及时与车企沟通，促进车辆技术研发并推动电动公交车的技术进步。

3) 三电系统故障占电动公交车总故障的比例

考虑到电动公交车的故障率应比传统燃油车低，且三电系统故障是电动公交车的主要故障来源，因此，分析三电系统故障占比数据，并与车企实时沟通，有利于对三电系统的改进及提升车辆品质。

3.6 配套的交通管理措施

为减少空气污染，增加公共空间，并且提高公交运营效率，越来越多城市正在通过优先保障公交、步行及自行车等绿色出行交通模式，来降低市内小汽车使用及缓解拥堵。优化道路使用功能和空间资源配置，实现城市交通由小汽车主导向公交等绿色交通转变，合理引导小汽车使用，实现道路资源的高效利用和使用公平，措施包括如下：



1. 推动快速公交及公交专用道建设

公交车速慢严重影响公交的运营效率，也是公共交通竞争力低的主要原因。全面落实公交优先政策与措施，加快建设快速公交与公交专用道并保障路权，提升公交运营车速切实体现公交优先发展理念。

以“公交提速”为主攻方向，对公交客流较大的走廊，研究论证实施公交专用道或快速公交系统的可行性。对交叉口信号相位进行调整，实施公共交通信号优先措施，给予公交车更多的绿灯通行时间，保障尽量多的公交车优先、快速通过交叉口，从而提升公交车的运行速度。



图 3-5 快速公交专用走廊极大提高了公交的运营效率

2. 优化道路使用功能和空间资源配置

重新调整分配城市道路空间资源，优先保障公交、步行及自行车功能，合理引导小型载客汽车使用；减少对小型载客汽车使用者道路空间的供应；设置公交专用道；拓宽

人行道宽度和设置自行车道，实现道路路权由小型载客汽车主导向公交及慢行为主导的转变。

在公交客流相对集中的道路上，将部分小汽车通行空间设置为公交专用道或者快速公交走廊，给予公交车优先的路权，通过道路功能和空间的重新划分，确保公交车的快速通行，同时提升公交乘客的出行体验。

3. 划定城市拥堵收费区

交通拥堵费是指在交通拥挤时段，对部分区域道路使用者收取一定的费用，其本质上是一种交通需求管理的经济手段，目的是利用价格机制来限制城市道路高峰期的车流密度，达到缓解城市交通拥挤的目的，提高整个城市交通系统的运营效率。

加强需求调控，实施分区差异化策略，建立以交通减碳为切入点的道路使用调节机制。综合空间布局、活动强度和交通可达性等因素，研究在城市拥堵严重、环保压力大的区域内划定交通拥堵收费区，减少进入城市的机动车总量。



图 3- 6 伦敦从 2003 年 2 月 17 日起开始征收交通拥堵费



4. 探索低排放区（LEZ）建设

建立低排放区（也被称为环保区），是一项用于优化城市交通车辆组成以及提高城市空气质量而被广为采用的有效措施。其基本理念是通过在特定城市区域划界，提高准入车辆的排放标准，限制高污染车辆驶入该地区。



图 3- 7 低排放示范区标志

5. 加强停车需求管理

推动停车收费市场化，逐步提高非居住地停车收费，使小型载客汽车使用者负担合理成本，减少小型载客汽车出行需求，“软”性调控车辆使用。

推进路内智能停车收费，优化停车收费结构，促进路内停车与路外停车的协调发展。同时，强化路内停车管理，保证停车收费对小型载客汽车使用的调控效果。

上述交通管理措施主要为电动公交车的运营增效提速，通过对道路资源的合理分配

和管理以保障公交车的路权，因此判断城市的交通管理措施是否有效的指标为：

高峰小时速度

公交车的运营速度是评估其服务水平的另一重要指标，同理，课题组选取了高峰小时速度作为评估对象，因为高峰时段的车速最为关键，单位时间内影响的出行群体人数最多。影响公交车运行车速的节点主要在公交站点上下客及交叉口处，因此实施必要的交通管理措施，通过交通规划与管理手段落实公交优先的交通发展策略，有助于提高公交车的运行效率。

3.7 公共交通系统、充电系统、智能交通与智慧能源的协同发展

与信息技术最新成果相结合，加快智能公交系统的发展是中国交通领域实现跨越式、节能减排、可持续发展的有效途径，是实现中国交通运输转型升级的关键。

1) 加强交通大数据挖掘及智能交通信息服务系统建设

车路协同是近年来智能交通科技的前沿技术领域，中国智能交通科技研究应积极介入、尽早布局，以占领智能交通科技领域的战略制高点。

由于通过对数据进行专业性分析所带来的价值是无限的，大数据成为世界各国政策层面鼎力推动的战略计划。智能公交，根据 GPS 定位技术、通信技术、GIS 地理信息系统技术等，结合对车辆的监控，实施公交车智能调度策略。预测群体出行行为，对其可能出行的时间、路线、方式等进行预测，从而为城市公交车辆调度提供决策帮助。

2) 深入开展无人驾驶电动公交车技术攻关

城市环境中的公交无人自动驾驶是下一阶段研究重点，在城市环境下，无人驾驶速度较慢，更安全可靠，应用前景更好，但城市环境更为复杂，对感知和控制算法有更高的要求。

3) 超前谋划车路智能协同系统及车联网

在大数据时代的背景下，车辆作为车联网的一个小分支，需要建立自己的云侧平台。云侧平台的目标是通过连接道路上的智能路侧设备以及移动车辆终端设备，实现车辆与



人、路、云的智能信息交换共享。车联网产业区如此大规模的行业发展，需要进行车联网标准与规范的相关建设，比如车载 OBD 终端技术要求及测试规范标准，车载网关技术要求及测试规范标准等。同时开放平台建立在行业公开标准之上，发布编程接口，从而为第三方程序及应用提供数据信息。开放式 SDK 接入开放平台，通过云端技术获得相关的车辆信息，同时为用户提供合理的应用内容和优质的服务体验。

4) 全面推广智能交通信息感知与服务

感知设备包括激光雷达、高清摄像头、毫米波雷达等，可以准确探测到行驶车辆的状态、道路的实时状况，为实现“聪明的车”和“智慧的路”提供数据基础。通过上述路侧设备，形成立体的信息探测、获知系统，可在交通场景中准确采集、获知车、路实时状态信息数据，供网络云平台分析和决策。

5) 启动智慧充电试点建设

依托智慧车联网、电力交易、用电信息采集等平台系统，实现调度中心、交易中心、充电交易代理商、充电桩运营商、电动公交车等市场主体之间信息智能交互、业务智慧联动，利用市场交易形成的峰谷电价，精准引导电动公交车“削峰填谷”，实现双赢。

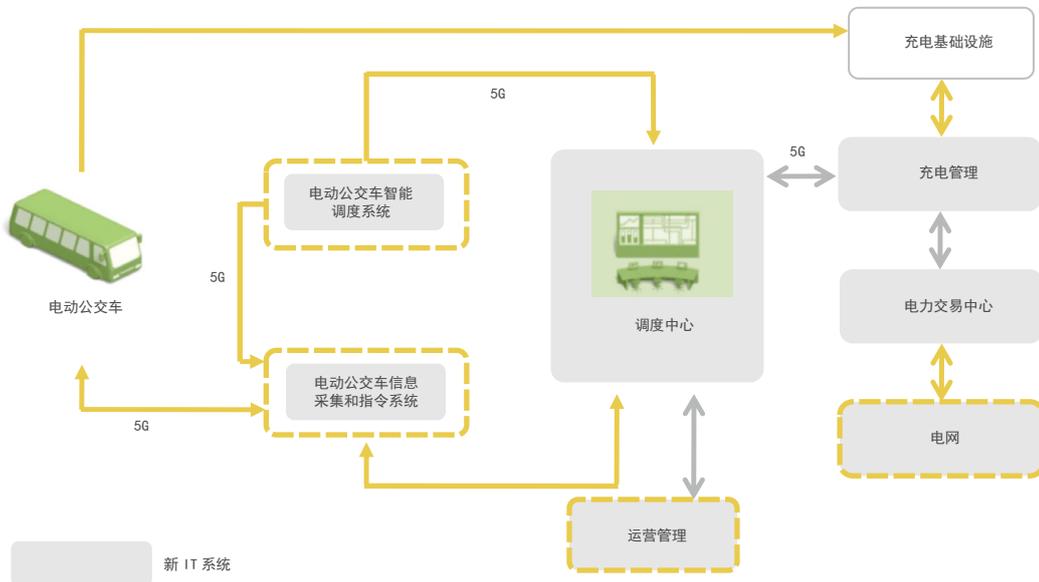


图 3- 8 电动公交车智慧充电示意图

评估指标：用电波峰时段充电时间占比

统计电动公交车在用电波峰时段充电时间占比指标，若占比较高，则需调整充电方案及运营方案以降低该指标，对该指标的监测及调整不仅有助于调节电动公交车充电对电网的冲击，同时可以有效减低运营费用。通过智能化的线路调度、充电计划与电网的协调，降低电动公交车在用电波峰时候充电，做到尽量不在波峰时间充电，大幅减少平峰时间充电，切实做到对电网的“削峰填谷”作用。

3.8 小结

课题组从上述 7 个方面对电动公交车的规划 - 实施 - 运营等方面提供了建议，并筛选出如下表 17 项核心评估指标，指导公交运营企业对电动公交车运营情况进行系统性的数据收集、分析及评估。

表 3-1 电动公交车系统运营评估指标

指标	评估目的	所需数据	计算方法
载客量	评估公交系统的载客能力	公交刷卡数据及现金数据	$= \sum \text{各线路客流量}$
高峰小时发车频率	评估公交系统的服务水平	公交公司排班计划表	数据来源于公交公司
高峰小时速度	评估公交系统的运行效率及服务水平	车载 GPS 数据	数据来源于公交公司
高峰小时满载率	评估公交系统的服务水平	高峰小时断面车辆载客人数	数据由实地调查所得
电动公交车规制成本	评估公交系统的商业模式及运营效益的经济性	各项运营费用、及已经发放的各项成本费用单向补贴等	数据来源于公交公司财务报表



电动公交车上线率	评估公交公司的运营效率、车辆性能及维保能力	电动公交车上线运营车辆数	$= \frac{\text{上线运营的电动公交车数量}}{\text{电动公交车总数量}} * 100\%$
线路上电动公交车与油车配车数比	评估电动公交车的运营效率	线路上电动公交车配车数与原油车配车数	$= \frac{\text{线路上电动公交车配车数}}{\text{原油车配车数}}$
日均运营里程	评估电动公交车的运营效率	总行驶里程	$= \frac{\text{总行程里程}}{\text{总运营天数}}$
有效运营里程	评估电动公交车的运营效率及充电桩基础设施的布局合理性	线路上的行驶里程和总行驶里程	$= \frac{\text{运营线路上的行驶里程}}{\text{总运营天数}}$
日均运营时间	评估电动公交车的运营效率	总运营时间	$= \frac{\text{总运营时间}}{\text{总运营天数}}$
日均充电次数	评估充电方案的合理性	总充电次数	$= \frac{\text{总充电次数}}{\text{总运营天数}}$
日均充电时间	评估充电方案的合理性	总充电时间	$= \frac{\text{总充电时间}}{\text{总运营天数}}$
百公里实际耗电量	评估电动公交车的经济性	总耗电量及总运营里程	$= \frac{\text{总耗电量}}{\text{总运营里程}} * 100$
故障率	评估电动公交车的运营安全及可靠性	总故障次数及总运营里程	$= \frac{\text{总故障次数}}{\text{总运营里程}}$
充电排队时长	评估充电方案的合理性	电动公交车充电排队时间总长	数据由公交公司调查所得
故障持续时间	评估公交公司的维保能力及运营安全性	故障持续时长	数据来源于公交公司
电池的衰减率	评估电动公交车的质量及电池的耐久性	标称续航里程、实际续航里程和总运营里程	$= \frac{\text{标称续航里程}-\text{实际续航里程}}{\text{标称续航里程} * \text{总行驶里程}} * 10000 * 100\%$

4

提升城市公交系统运营效率的建议



对于处于燃油车退出不同层级的城市，其电动公交系统的运营水平及运营效率不尽相同，如深圳、广州及郑州已经形成了具有本地特色的电动公交车运营方案；而其他中、小城市，电动公交车渗透率较低，其运营仍处于摸索与试验阶段，运营调度完全依靠手工操作，车辆使用效率与运营效率较低。

城市电动公交车运营存在着一些共性的问题，例如车辆技术原因导致的续航里程不足，充电桩基础设施建设滞后，公交车运营调度智能化水平较低等问题。本研究主要聚焦于十四五期间城市电动公交车运营效率提升的建议，针对电动化发展处于不同层级的城市，提升公交运营效率的措施的侧重点不同。

延续《中国城市公共领域燃油车退出时间表与路径研究》中对燃油公交车退出的4类不同层级的城市研究，本文引用其中对重点城市燃油公交车的退出时间表，提出了提升电动公交车运营的更多有针对性的、具体的建议。（注：由于在上一期《中国城市公共领域燃油车退出时间表与路径研究》中，已经针对城市经济、环境情况、地域特点及基础设施建设情况展开了城市层级及退出时间表的研究，因此本研究中不再对这两部分内容进行过多叙述。）

表 4- 1 全国重点城市燃油公交车退出时间表

	退出时间	城市列表
层级 I	2020	深圳*、广州、海口、南京、长沙、郑州、珠海、佛山
层级 II	2020-2022	北京、成都、大连、东莞、福州、杭州、合肥、呼和浩特、惠州、济南、兰州、宁波、青岛、厦门、上海、石家庄、苏州、太原、天津、武汉、西安、张家口、中山、重庆、保定、邯郸
层级 III	2022-2025	沧州、承德、贵阳、哈尔滨、昆明、拉萨、廊坊、南昌、南宁、南通、秦皇岛、绍兴、台州、沈阳、唐山、乌鲁木齐、无锡、西宁、徐州、盐城、扬州、银川、长春、舟山、宜昌
层级 IV	2025-2028	常州、衡水、湖州、淮安、嘉兴、江门、金华、丽水、连云港、衢州、泰州、温州、邢台、宿迁、肇庆、镇江

4.1 层级一：数据驱动迎接城市出行新趋势，整合创新引领公交发展大未来

对于层级一的各城市，已经基本完成了电动公交车的更新替换，并在日常的运营中积累了一定的经验，具备了管理大量电动公交车及运营多条电动公交车线路的能力。提升城市电动公交车运营效率的挑战，将聚焦在如何以数据驱动迎接城市出行新趋势，领先的未来公交系统出行城市源自公交体系相关发展要素的整合与创新，包括以下几个层面：

1. 加强智能化建设，根据电动公交车的技术特性制定相匹配的运营调度计划

加强智能化建设，为规模化应用保驾护航。以全面电动化为契机，积极协调车辆厂家和设备供应商，通过对各类车型实地调研勘测，研究设计了全覆盖的车载智能化设备，并将该方案列入新车标配，以信息化手段，提高纯电动公交的运营效率和技术安全，助推规模化应用。应用智能调度系统，提高车辆周转率。以智能调度平台为依托，实时获取纯电动车辆的运行位置、行车间隔等信息，掌握车辆运行状况，为运营调度、经营生产提供决策依据，减少低效运营的车辆班次。实施灵活运调，减少车辆调配盲目性，实现车辆运行间隔更加均匀，有效提高车辆周转效率。

层级一的城市普遍对电动公交车的技术特性及运营特性有了比较深入的了解，但是部分线路上仍然存在车辆特征与运营线路特征、充电计划与运营线路计划不相匹配的情况，部分线路上由原来“一人一车”调度表粗放的改成了“两人三车”的排班计划，电动公交车的效率得不到全面的发挥。在运营电动公交车时，需要考虑的因素增加，导致运营的难度增加，需要根据不同电动公交车的电池容量、续驶里程、充电模式及时间，将电动公交车分配至不同需求的线路上，从而使系统整体效率最大化。

表 4-2 不同电动公交车适合的城市公交线路类型

车辆类型	纯电动公交车 (快速充电)	纯电动公交车 (大容量)	纯电动公交车 (小容量)
电池容量 (KWH)	50-100	200-300	80-150
续航里程 (Km)	40-80	160-250	70-130
充电倍率 (c)	2-4c (10-20 分钟)	0.3-0.8c (3-6 小时)	0.5-1c
充电机功率 (kw)	120-250	50-100	30-60
充电方式	直流快速充电机	直流充电机	直流充电机
适合的城市 公交线路类 型	公交线路单程小于 20 公 里、发车间隔稍长、充电 首末站有足够空间设置快 速充电机	线路发车间隔短，运营距 离长的线路	公交线路较短、发车间隔 长、有足够时间中途充电 的公交线路
关注点	线路长度、发车间隔、首 末场站空间	停车场地面积、车辆数量	发车间隔、线路长度

2. 建设多样化的充电基础设施，以匹配不同特性的公交运营线路

充电桩不足也成为制约电动公交车效率提升的关键要素。国内城市充电桩普遍采用了插入式充电，尽管大部分城市逐渐安装了大功率的直流充电桩，但是其对场地要求及充电时间的要求仍然无法满足部分长距离、高频次线路的运营要求，充电灵活性仍然有欠缺。且现有的公交充电场站大多数依赖公交公司原有的公交场站，一些地区的公交车入场率不高，只有 50%-60%。对于公交场站空间有限、日均运营里程较长的线路，采用机会充电设施更能满足线路运营要求，如柔性充电弓或者闪充等形式。但是机会充电桩普遍需要大功率，对电网的要求较高。因此，应根据线路长度、周转时间、电网及场站条件因地制宜的布置充电桩基础设施，避免单一化，影响某些公交线路的正常运营。

	插入式充电桩	机会充电桩
日均运营里程	1km<L<250km	250km<L<400km
周转时间	1min<T<5min	5min<T<10min
场站电网功率	1kW<P<150kW	150kW<P<600kW
桩车比	1:1~R~1:2	1:5~R~1:7

图 4-1 不同类型的充电桩的适用情况

3. 加强智能化建设，数据与出行管理助力公交精细化运营

《2017年交通运输行业发展统计公报》显示，尽管城市的公交运营车辆、线路和里程不断增加，但公交系统普遍存在着站点布局不科学、等车时间不规律和候车时间长、车速慢、车内拥挤不堪等问题。其主要原因是由于交通管理部门及公交公司通常不了解不断变化的公交需求分布和出行规律，如哪个公交站点早高峰客流量最大，哪个公交线路高峰车内最拥挤，哪个大客流公交线路经过的路段最堵。这使得公交服务供给与市民需求脱节，也严重影响了公交运营效率。

大数据的涌现、新技术的革命与市场力量的助推为城市公交服务升级提供了巨大机遇，城市管理者对公共交通系统等情况将会有深入的了解。监管机构过去采用调查问卷和调研的形式分析用户需求。而如今的智慧公交运营平台运营方能够基于数据库提供更加精准的需求信息，且耗时更短，成本更低。目前出行领域的革新已经出现在出租、分时租赁等领域，但公交领域的进展有限。目前电动公交系统技术上已能够通过物联网、人工智能以及其他数字技术获取大量信息，支持制定人员、场所和产品方面的相关智能决策，全面提升公交服务水平，最终优化居民乘车体验，提升公交出行分担率，增强居民生活幸福感。借助大数据与创新技术的发展，未来的城市公交也会如同共享单车、互联网约车、自动驾驶一样，变得更加便捷，成为包容、智慧和绿色生活方式的“代名词”。

公交大数据应用两个方面：一是线路规划、班次调整。通过分析车载GPS、移动支付以及道路交通传感器的数据，指导线路优化、运营调度、战略设置，也能挖掘出全天候动态居民出行需求分布，用于政策制定，更可以带动传统的公交管理模式向精细化管理方向转型；二是大数据与乘客的联系越来越紧密，通过出行管理给乘客提供更精准的公交信息发布及出行指导，使乘坐公交更便捷且更有吸引力。



图 4-2 未来公交智能平台核心数据资源，驱动并助力公交精细化运营

4. 公交运营线路评估应采用常态化机制

延续以往对常规公交车的运营要求，层级一的城市在公交运营基础数据的搜集数据及处理上具有一定的经验，但是目前城市收集的数据类型过于单一、数据搜集随机性较强，且分析方法有待进一步加强，缺乏常态化的数据搜集及评估机制。

表 4-3 公交车运营数据搜集常态化机制

指标	评估目的	所需数据	计算方法
载客量	评估公交系统的载客能力	公交刷卡数据及现金数据	$= \sum \text{各线路客流量}$
高峰小时发车频率	评估公交系统的服务水平	公交公司排班计划表	数据来源于公交公司
高峰小时速度	评估公交系统的运行效率及服务水平	车载 GPS 数据	数据来源于公交公司
高峰小时满载率	评估公交系统的服务水平	高峰小时断面车辆载客人数	数据由实地调查所得

电动公交车规制成本	评估公交系统的商业模式及运营效益的经济性	各项运营费用、及已经发放的各项成本费用单向补贴等	数据来源于公交公司财务报表
电动公交车上线率	评估公交公司的运营效率、车辆性能及维保能力	电动公交车上线运营车辆数	$= \frac{\text{上线运营的电动公交车数量}}{\text{电动公交车总数量}} * 100\%$
线路上电动公交车与油车配车数比	评估电动公交车的运营效率	线路上电动公交车配车数与原油车配车数	$= \frac{\text{线路上电动公交车配车数}}{\text{原油车配车数}}$
日均运营里程	评估电动公交车的运营效率	总行驶里程	$= \frac{\text{总行程里程}}{\text{总运营天数}}$
有效运营里程	评估电动公交车的运营效率及充电桩基础设施的布局合理性	线路上的行驶里程和总行驶里程	$= \frac{\text{运营线路上的行驶里程}}{\text{总运营天数}}$
日均运营时间	评估电动公交车的运营效率	总运营时间	$= \frac{\text{总运营时间}}{\text{总运营天数}}$
日均充电次数	评估充电方案的合理性	总充电次数	$= \frac{\text{总充电次数}}{\text{总运营天数}}$
日均充电时间	评估充电方案的合理性	总充电时间	$= \frac{\text{总充电时间}}{\text{总运营天数}}$
百公里实际耗电量	评估电动公交车的经济性	总耗电量及总运营里程	$= \frac{\text{总耗电量}}{\text{总运营里程}} * 100$
故障率	评估电动公交车的运营安全及可靠性	总故障次数及总运营里程	$= \frac{\text{总故障次数}}{\text{总运营里程}} * 10000$
充电排队时长	评估充电方案的合理性	电动公交车充电排队时间总长	数据由公交公司调查所得
故障持续时间	评估公交公司的维保能力及运营安全性	故障持续时长	数据来源于公交公司



电池的 衰减率	评估电动公 交车的质量及电 池的耐久性	标称续航里 程、实际续 航里程和总 运营里程	$= \frac{\text{标称续航里程}-\text{实际续航里程}}{\text{标称续航里程} \times \text{总行驶里程}} * 10000 * 100 \%$
------------	---------------------------	---------------------------------	--

4.2 层级二：整合数据实现购置运营一体化 创新保障支撑运行维护精细化

目前层级二城市的电动公交车数量仍处于不断扩充中，建议在车辆购买前建立“车辆购置—规划—运营”一体化的电动公交车发展策略，按需购车。其次二级城市充电基础设施建设的势头稍显不足，落后于电动公交车的发展，大部分城市都面临着充电基础设施不足的问题。充电的问题导致电动公交车运营效率低下，部分电动公交车辆甚至陷入了被闲置的窘境。且由于层级二的城市普遍仍然采用人工调度的方法来制定线路运营方案，无法将电动公交车的特性与运营线路相匹配，造成电动公交车的利用率不高，影响其运营效率。

1. 构建“车辆购置—规划—运营”一体化的电动公交车发展策略

部分城市在电动公交车前期的推广过程中，车辆的采购与使用是脱节的，未根据实际需求进行车辆的购置，部分车辆无法满足使用需求，导致车辆闲置。因此在电动公交车购买前，城市就需要进行电动公交车线网及运营方案的构建。根据线路实际运营情况，如客流情况、线路里程、发车频次、周转时间、场站空间等选择电动公交车数量、尺寸、电池容量、续驶里程、能源消耗等参数，结合前期已采购纯电动客车的使用情况和工作经验，不断完善招标文件，从源头上出发，按需求选择并采购电动公交车。

为确保车质车况和按时完成公交电动化推广工作，各单位组织安排人员到相关客车厂，按照“驻厂监造、严格验车、过程监督、及时反馈”的工作思路，对新车生产制造全过程（尤其是底架、转向系、制动系、三电系统、车载电子信息化设备等部件的装配）进行监督，对发现的问题或其他异常情况及时向车厂和本单位技术部相关负责人反馈，并落实质量整改工作。

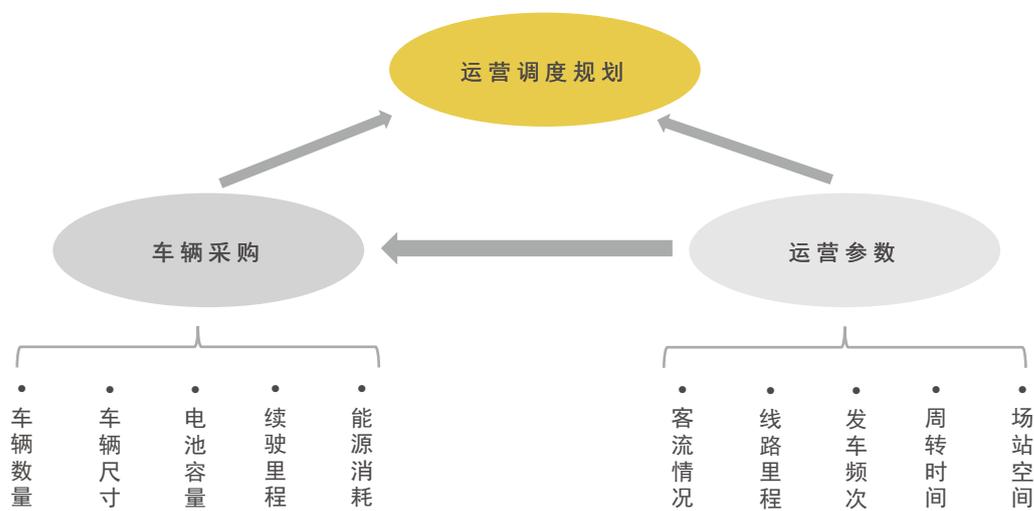


图 4-3 “车辆购置 - 规划 - 运营”一体化的发展思路

2. 创新充电设施建设，奠定充电基础保障

国内公共充电桩 70% 建设在一线城市，层级二的城市普遍面临充电桩建设不足的困境，电动公交车的车桩比更是高于 4:1，对于普遍采用夜间充电的插入式充电桩的二级城市来说，车桩比远远不能满足运营需求。对于完全采用夜间充电的线路来说，根据快、慢充电的不同，车桩比 1: 1 或者 2:1 是比较合适的比例，因此层级二的城市普遍需要加大充电桩基础设施的建设，以满足不断增加的电动公交车车辆的需求。

对于层级二的城市来说，不止土地资源，用地方式、建设规模、电力建设、用电价格、运营监管等各方面都影响着充电桩的建设问题。依靠公交公司很难协调诸多部门，并快速推动充电桩的建设，因此需要地方政府的大力支持，协调充电桩建设，给予充电桩建设及运营提供更多的财政补贴，并积极探索多元化建设模式和开发建设公交充电服务平台，有效实现了充电管理的一体化和智能化。

公交运营单位也充分发挥自身和外界力量，在自主投资建设和采购社会第三方充电服务的基础上，积极主动与供电局洽谈，促成双方合资成立专业化的项目公司。通过调动国有、民营和私人的土地、资金、资源和建设力量，打造多元化的充电桩建设和运营模式，有效解决了建设用地紧张、用电容量不足等突出问题。一方面，通过“融资+EPC”（设计、施工一体化招标）模式，大力推进公交立体充电停车场建设；另一方面，借助公交优先政策，充分利用符合条件的城市道路建设路边充电桩，实现资源效能最大化。如广州市已在 10 条路段共建设 101 支双枪直流快充路边桩。



3. 公交实行智能化运营及管理，提高运营的准确度及效率

电动公交车并非仅限于增加充电桩，而是从路线规划、充电管理、车辆和设备维护等都需要公交公司进行智能化转型。智能公交系统是运用系统工程理论将交通流诱导技术、车辆定位技术、地理信息系统技术、公交运营优化与评价技术、计算机网络技术、数据库技术、通信技术、电子技术、智能卡技术等先进技术科学集成，形成集智能化调度、智能充电、公交电子收费、信息服务、网络通信于一体的先进的公共交通管理系统。

对于电动公交车的智能化而言，可以配合后台软件，根据公交智能调度模型，通过调度管理服务器调度指令，能实现手动调度及无人职守自动化调度。系统将根据不同电动公交车的尺寸、电量情况、单位公里耗电量实时将车辆分配到相匹配的线路上，避免出现余电较多而空驶回场站充电或者由于电量不足造成车辆停驶的情况。同时智能调度系统可以根据运营情况统计交通拥堵情况、客流情况、电池损耗、能源消耗量、车辆故障率等数据，从而动态调整车辆至相匹配的线路上，同时给车辆配备优化的充电方案，挖掘每台电动公交车的运输潜能，实现整体效益的最大化及能源的节约利用。

当一台充电桩停留在人工服务、人工统计的状态时，通过充电环节能够获得到的数据信息是非常有限的。而当实现智能充电时，公交公司可以通过平台分析出每台车、每个充电桩的运营情况，包括充电电量、金额、车辆的电池损耗、充电桩的故障率、充电时间、车辆的定时充电等等。智能运营还可以通过充电历史数据的分析、充电桩使用效率分析、充电桩故障率统计分析、充电桩健康状态分析帮助公交企业优化充电桩 / 站建设方案、控制充电站运维成本以及提升充电站运行效能。

4. 完善技术维保体系，积极推进维保改革

随着纯电动公交的技术发展，早期试验推广阶段的充维结合维保模式已无法满足规模化运营的技术保障需求。随着纯电动公交的规模不断扩大，对于动力电池的维保效率受制于厂家，将会逐渐影响车辆正常运营。基于技术壁垒长期存在，公交企业无法掌握纯电动公交核心技术的现状，需要通过与厂家深入合作构建全新的维保体系，突破维保困境。

一是专业分工合作，建立全新维保模式。以专业化分工为原则，建立了纯电动公交核心三电零部件由车辆制造商全生命周期质保的维保模式，并以质保金方式确保车辆的技术安全，以此保证车辆运营技术稳定和安全性。

二是充分利用车辆制造商专业技术，结合自身公交运营经验优势，通过双方合作互补完成全面转型。在维保模式上，与车辆制造商签订技术合作框架协议，协商筹建授权维修服务站，通过合作逐步提升新能源技术自主维修能力。

三是以使用促改进，从源头控制质量。与车辆生产厂家、动力电池生产等关键零部件厂商、充维服务商等成立项目工作组，对车辆营运、充维服务等进行跟踪，对运行数

据进行掌握、分析，及时发现电动公交车辆在技术方面的缺陷和不足，向厂家提出技术整改建议。

四是成立联合监造小组。安排专业技术骨干驻厂监造，在技术配置与材料选用、生产工艺实施、部件布局组装等方面进行现场监督，提出改进意见或建议并力求付诸实施。

五是完善技术规范，维保作业有据可依。为满足全面电动化的技术保障需求，根据纯电动公交新工艺、新技术的特点，在行业内率先构建维保技术规范与标准体系，根据纯电动公交技术配置和维保作业需要，完善现行维保作业流程与制度，确保科学、专业、务实。

六是组织全面培训，有效推动人员转型。人员转型是维保模式转型成功的关键，以“请进来，走出去”的方式组织完成了新车技术培训、低压电工证培训、维修实操培训、驻厂专修培训等，对于车间内部难以消化、且培训转型难度大的员工，通过转岗的形式分流到其它岗位，打造了一批机电一体化的专业人才和技术骨干精英队伍。

七是建立应急机制，提高员工应变能力。纯电动公交车型陆续投放市场营运，需应对营运过程出现的问题，如车辆技术故障停运待检（待修）、充电设施瘫痪、车辆自燃、因台风暴雨恶劣天气等导致线路纯电动车辆短路停运等。制定了专门针对纯电动车辆营运管理的应急预案和公交安全事故应急处理规范，明确各种异常情况下的应急措施，提升各级管理人员处理营运应急的现场指挥、善后处理能力，确保发生营运应急事件时应急运力、应急救援能够得到迅速、及时开展，防止事故影响扩大，使其对社会的影响降到最低。

5. 减少财政支出，合理处置旧车

面对大批量旧车资产处置的问题上，为做好公交电动化后退出公交营运旧车的合理处置，确保公交电动化工作顺利推进，尽可能减少因车辆提前淘汰带来的固定资产账面净值损失和减少政府财政补贴的支出，可按照“依法依规、综合损失最低、加快推进旧车处置、最大限度减小社会舆论影响”的处置原则，制定了专项工作方案。主要可采取以下措施：一是针对8年及以上车龄车辆，按常规方式进行报废处理；二是针对8年以下车龄车辆，委托产权交易所挂牌竞拍，如出现流拍，则采取报废或转让的方式处理；三是采用旧车回购的资产处置模式，替代传统招拍挂方式，以车辆制造商的成熟营销网络和市场资源优势为基础，助推提前实现全面电动化。实现投放一辆，回购一辆，确保置换工作有序开展，既有利于车辆更新，又有利于运营服务正常开展。



4.3 层级三 / 四：政策引导明确公交电气化计划 多元创新奠定运维基础性保障

层级三 / 层级四的城市电动公交车占有率目前还较低，十四五期间应聚焦于大力推广电动公交车的应用，积极探索金融创新，加大政府对电动公交车的支持力度，尽快实现公交系统的燃油车全面退出。

对电动公交车的特性及充电计划仍处于摸索阶段，缺乏充足的运营经验。经过与城市公交公司的调研发现，2019年前采购的电动公交车由于电池的能量密度偏低，普遍无法满足日常营运的需求，尤其是2015年前后采购的电动公交车，2台电动公交车仅能满足1台传统公交车的运营需求，给运营调度造成了比较大的困扰。由于电动公交车的占比较小，公交公司未展开系统性的运营数据搜集，对实际运营情况的掌握有限，数据搜集与分析相对随机，无法形成规范化的数据收集及评估机制。

因此，建立规范化的数据搜集机制，并按时搜集分析运营数据，掌握电动公交车运营规律，积累运营经验，为后期大规模的电动公交车采购及运营做好充分的准备。

1. 进一步完善政策体系，加快推动公交系统电动化进程

在十四五期间，层级三 / 四城市的发展重点将聚焦于电动公交车的推广与应用。政府将对电动公交车的购置补贴转移至了运营补贴，因此相对高额的车辆前期成本仍然是三 / 四级城市公交企业在电动公交车推广进程中面临的主要问题。

加强政府对电动公交车推广应用的支持力度。对于三 / 四级的城市，政府的支持仍旧是其发展的首要推动力，制定明确的电动公交车近期的发展目标和推广应用计划，同时要加强对政府在电动公交车推广上的决策力，明确各部门的职责与义务，责任到人，并严格监督落实。

积极开拓创新的融资模式，借鉴深圳等其他城市在电动公交车推广上积累的融资模式，结合本地实际，充分发挥政府在融资模式里的引导及指导作用，发挥金融机构在融资模式里的重要主导作用，开拓适合于本地的融资模式。

2. 建立电动公交车数据采集制度，为开展电动公交车推广的提供参考依据

为降低新能源补贴退坡影响，需要建立电动公交车数据采集制度，深入解读国家和地方的新能源汽车补贴政策，从纯电动公交规模化运营可持续发展角度研究对策，在技术选择上找突破口，开展多方调研，通过收集相关车型信息、到部分主流客车厂、周边地区的同行公交企业调研，和对国内部分主流品牌纯电动公交车的使用情况及其生产基地进行调研等措施，寻找经济性、节能性、实用性的平衡点，对各品牌车型的质量进行了专题分析，确定城市纯电动公交规模化运营的主流车型，明确技术要求、服务保障要求、车辆配置要求等，为开展电动公交车推广提供参考依据。

3. 加大充电桩基础设施支持与建设力度，奠定充电基础保障

充电桩的建设普遍落后于电动公交车的推广，在中、小城市，为了节约运营成本，公交公司基本采用单一的夜间充电方式，车桩比应该达到 1:1 才能满足所有电动公交车的夜间充电需求，但是目前，城市已有的充电桩远远满足不了要求。其次，在中、小城市，公交公司自建充电桩的现象比较普遍，依靠公交公司的能力，协调电网的能力有限，导致充电站建设审批周期长，充电桩的建设严重滞后，影响电动公交车的日常营运。

政府需要加大对充电桩基础设施的支持和建设力度，积极引进充电桩运营企业在本地建设充电桩，并加大政府的统筹协调能力，特事特办，简化充电桩 / 站的建设审批手续，协调解决充电桩规划及建设过程中存在的问题，使充电桩能尽快跟上电动公交车推广应用的脚步。

5

案例城市电动公交车运营优化绩效测算

越来越多的层级一和层级二城市将陆续达到燃油公交车全面退出的目标，层级三及层级四的城市也将迎头赶上，未来将有大量的电动公交车被投入到日常的运营中，运营效率问题将成为继车辆采购之后的重点关注课题，也是所有城市关注的共性问题。提升城市电动公交车的运营效率，有利于节约运营成本及能源使用，降低碳排放，切实发挥电动汽车的经济及环境优势。交通主管部门应积极搭建城市公交车运营绩效评估机制，采取激励政策鼓励城市公交公司积极改善运营情况，而各城市应按照运营评估的要求予以配合，在评估过程中发现问题并及时整改，最大化实现电动公交车的节能效益与环境效益。

本研究选取了两个案例城市，进行电动公交车运营绩效测算，并希望通过本研究促进城市推动“数据收集与分析——运营评估——绩效测算——优化运营”的电动公交车运营效益提升机制，鼓励城市定时执行评估，并将绩效水平与运营补贴挂钩，帮助运营公司及时发现问题，并鼓励公交公司整改运营计划，使电动公交车实现最优化运营。

5.1 广州市

1. 广州市电动公交车发展概况

广州市为国家中心城市，人均 GDP157668 元，属经济发达地区。广州市高度重视国家战略部署，积极推进大气污染防治工作。2017 年 8 月，广州市政府提出要在 2018 年基本完成、2019 年全面完成公交电动化工作任务，拉开了广州市公交电动化工作的帷幕。截至 2019 年 11 月，广州市纯电动公交车达 11394 辆，基本实现公交电动化。2019 年 10 月广州市获得 C40 城市气候领导联盟市长峰会在丹麦哥本哈根颁发的城市“绿色技术”奖。

广州在推进公交电动化的伊始，配套充电桩的建设面临建设用地紧张、用电容量不足和施工审批困难等一系列挑战。广州通过积极探索多元化建设模式，调动国有、民营和私人的土地、资金、资源和建设力量，打造多元化的充电桩建设和运营模式，有效解决了建设用地紧张、用电容量不足等突出问题，充电设施的不足也被初步缓解。截至 2019 年 11 月，仅广州公交集团在广州地区就建成 145 个充电站（2018 年 93 个），4305 支充电桩（2018 年 2824 支），纯电动公交车的桩车比达到 1:1.90。

伴随着电动公交车的大规模应用和充电设施的完善，电动公交车带来的正面效益也越发显著，从经济效益角度来说，相比常规燃料公交车，纯电动公交车优化了车辆能源

结构，可以有效降低车辆能耗成本和维护保养成本，电动公交车全寿命周期成本显著降低，据广州测算，广州市应用1万多台纯电动公交车，每年节省能耗成本超过4亿元，节省维护保养成本0.8亿元，为公交企业节省了运营成本，这也让市场迅速接受并积极换装电动公交车，在广州，最先推广并大规模换装电动公交车的并非国企广州公交集团，而是民企广州市白马巴士有限公司，足以证明市场对电动公交车的认同。

车长	LNG 车		柴油车		电耗（度 / 百公里）	电价（元 / 度；含基本电价和充电服务费；充电服务费单价为 0.56-0.60 元 / 度）	纯电动车		
	油耗（公斤 / 百公里）	油耗成本（元 / 百公里）	油耗（升 / 百公里）	油耗成本（元 / 百公里）			电耗成本（元 / 百公里）	比 LNG 车	比柴油车
6 米	16.38	97.27	9.90	57.65	42.25	1.09	46.05	-52.66%	-20.12%
7 米	20.95	124.41	12.57	73.017	44.25		48.24	-61.23%	-34.07%
8 米	21.61	128.38	19.81	115.32	62.05		67.64	-47.31%	-41.35%
10 米	23.09	137.14	25.40	147.86	84.44		92.04	-32.88%	-37.75%
11 米	23.04	136.84	25.46	148.19	68.24		74.38	-45.65%	-49.81%
12 米	26.55	157.71	24.98	145.35	99.13		108.05	-31.49%	-25.66%
平均	22.55	133.95	23.84	138.77	76.81		83.72	-37.50%	-39.67%

图 5- 1 广州公交集团下属某单位纯电动车与传统车辆能耗对比

2. 广州市电动公交车运营优化绩效测算

鉴于广州市的电动公交车运营优化的绩效测算基于以下假设：

- 电动公交车的上线率将达到 95% 以上；
- 电动公交车与传统公交车的替换比例达到 1:1；
- 随着车桩匹配、线网布局和排班调度的逐步优化，通过合理匹配电动公交车的电池状态（SOC）与运营调度方案，电动公交车平均每公里耗电量降低 10%；

- 优化充电方案，90% 的充电将利用夜间波谷电价，10% 的充电利用日间，以降低电动公交车的运营费用及起到对电网“削峰填谷”的作用；

1) 节约燃料消耗量

百公里燃料消耗量基于广州公布的消耗量计算。广州市目前电动公交车取代常规燃料公交车，减少燃料消耗折合 LNG 约 18 万吨 / 年，随着建议的进一步落实，电动公交车进一步渗透率的提高，至 2022 年还可继续减少燃料消耗折合 LNG 约 1.1 万吨 / 年。

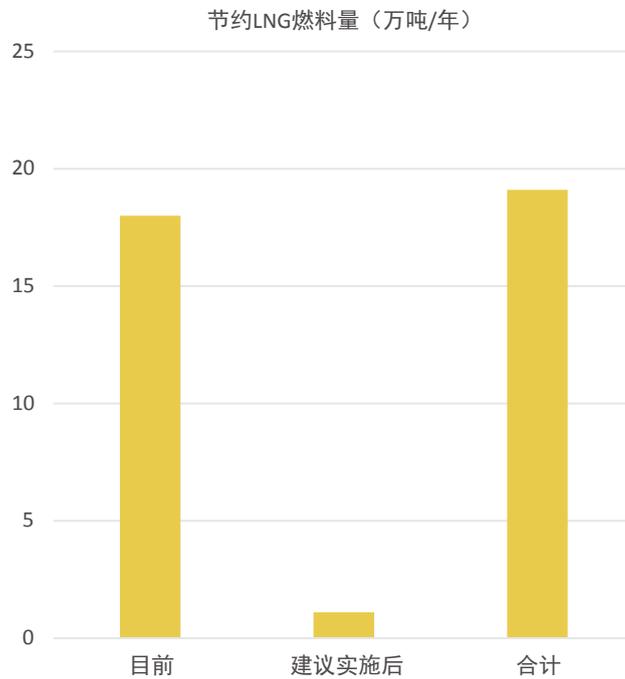


图 5- 2 电动公交车的年减少燃料消耗折合 LNG 量

2) 减碳量

根据《中国电力行业年度报告（2017 年）》中单位火电发电量的二氧化碳排放水平为 0.822kg/kwh, 其中非化石能源发电量占比 26%，以电动行业二氧化碳平均排放水平为 0.604kg/kwh 作为广州电动公交车二氧化碳排放计算标准。

因此，至 2022 年，广州市电动公交车整体减碳量为：

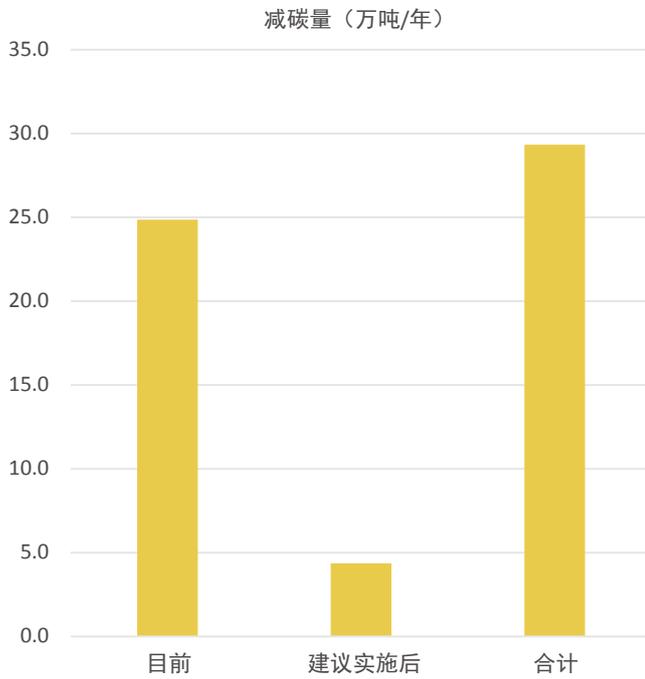


图 5- 3 电动公交车的年度减碳量

3) 污染物减排量

基于广州公布的污染物减排量计算，计算建议落实后可减排氮氧化物数量。目前广州市电动公交车取代常规燃料公交车，可减排氮氧化物超过 1.6 万吨 / 年，随着建议的落实，电动公交车进一步渗透率的提高，至 2022 年还可继续减排氮氧化物约 0.3 万吨 / 年。

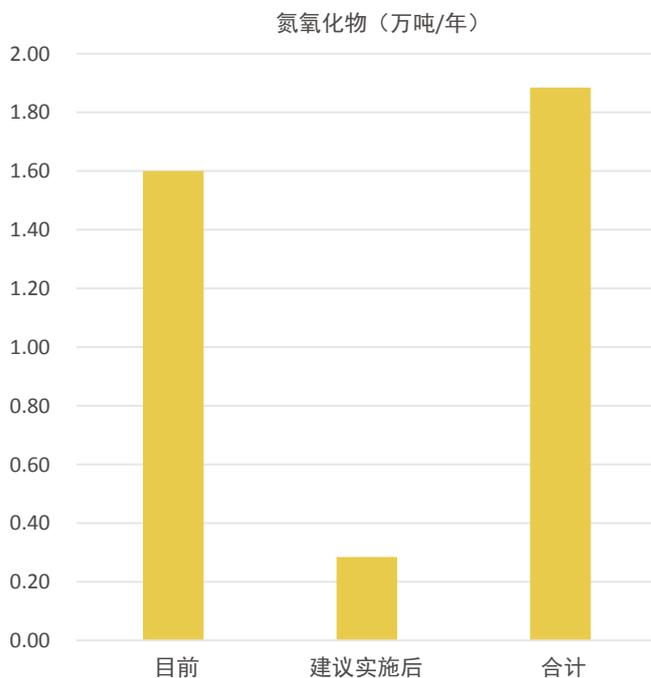


图 5-4 电动公交车年度污染物减排量

5.2 襄阳市

1. 襄阳市电动公交车的运营现状

襄阳，位于湖北省西北部，是第三批新能源汽车试点城市。得益于国家、省、市三级政府的大力支持和财政补贴，近 3 年，襄阳市电动公交车得到了快速的发展，目前全市共有 1400 台公交车，其中新能源公交车占比 75%。

根据调研，襄阳市分批次共采购了 650 台纯电动公交车，其中 10 米公交车数量约占 96% 左右。2018 年之前，襄阳市公交公司共购置了 185 辆纯电动公交车，18 年购置 400 辆纯电动公交车，而 2019 年新购入了 65 辆纯电动公交车。

目前襄阳市公交公司共有充电桩 100 个，均为公交公司自主建设，而电动公交车则



基本采取夜间充电的能源补充方式。建设新的充电桩面临着两大问题：

- 1) 市区公交车场站空间不足，缺乏建设充电桩的用地；而市郊电网负荷不够，协调电网难度较大等困难。
- 2) 充电桩建设投入较大，依靠公交公司的力量难以投入大额资金建设足够的充电桩。

据襄阳市公交公司运营部负责人介绍，2019年前采购的车辆由于车辆技术发展的限制，电动能量密度仍然较低，车身搭载的电池容量有限，加上采取单一夜间充电模式，电动公交车仍无法满足日常运营需求，部分电动公交车仅能达到传统公交车 1/2 的运输能力。仅 2019 年购入的 65 辆电动公交车，由于搭载了 300kWh 的电池，目前日均运营里程能达到 260km，基本达到襄阳市传统公交车的日均运营里程数。

目前襄阳市仍采用人工调度的方式，并按照传统公交车的运营调度机制制定电动公交车的日常运营计划。除了每年度按照交通部要求统计电动公交车年度运营里程数据，基本没有建立其他数据搜集及分析的机制，无法根据电动公交车的车辆运营特性及时调整方案以提高运营效率。

针对襄阳市的电动公交车运营现状，课题组有以下建议：

- 1) 根据电动公交车自身的特性，合理调整线路分配及充电计划，将 2018 年以前采购的电池容量小的电动公交车分配到运营里程短的线路上，而 2019 年以后采购的电动公交车可以分配到运营里程较长的线路上。
- 2) 现有充电桩无法满足所有电动公交车的日常充电需求，引入社会资本建设充电桩，或采用充电服务外包等方式，解决充电桩不足的问题。
- 3) 积极运用机会充电等方式，利用车辆运行周转时间进行日间补电，延长车辆日运营里程及运营时间。
- 4) 建立数据搜集与分析机制，使数据搜集规范化及常态化，随时掌握电动公交车的运营状态，调整运营方案。

2. 襄阳市电动公交车运营优化绩效测算

襄阳市电动公交车运营优化的绩效测算基于以下假设：

- 电动公交车的上线率将达到 95% 以上；
- 电动公交车与传统公交车的替换比例基本达到 1:1；
- 通过调整充电方案与运营调度计划，不同特性的电动公交车与线路相匹配，10.5 米的电动公交车日均运营里程约 160km，12 米的电动公交车日均运营里程达到

180km 以上;

- 通过合理匹配电动公交车的电池状态 (SOC) 与运营调度方案, 电动公交车平均每公里耗电量降低 20%;
- 调整充电方案, 80% 的充电将利用夜间波谷电价, 20% 的充电利用日间, 以降低电动公交车的运营费用及起到对电网“削峰填谷”的作用;
- 至 2022 年, 襄阳市公交车将实现 100% 电动化运营。

1) 节油量

百公里燃油消耗量按车长相近的柴油车百公里燃油消耗量计算。襄阳市主要有两类公交车车型, 10.5m 及 12m。本研究将采用如下百公里燃油消耗量来计算燃油的节约。10.5 米车型, 百公里耗油约为 28L。12 米车型, 百公里耗油约为 32L。经过运营优化后, 公交车日均运营里程有所增加, 加上十四五期间燃油车替换, 课题组测算 2025 年对比 2019 年每年节约的燃油量超过 1800 万升, 如图 7-5。

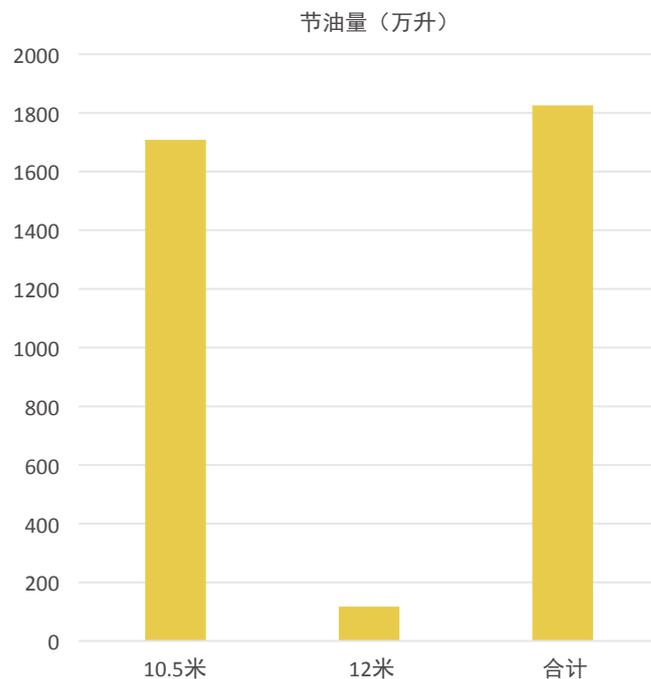


图 5- 5 电动公交车的年节油量

2) 减碳量

根据《中国电力行业年度报告 (2017 年)》中单位火电发电量的二氧化碳排放水平



为 0.822kg/kwh, 其中非化石能源发电量占比 26%, 以电动行业二氧化碳平均排放水平为 0.604kg/kwh 作为襄阳电动公交车二氧化碳排放计算标准。

基于单位公里电能消耗提升 20% 的假设, 加上十四五期间燃油车替换, 课题组测算了电动公交车由于运营效率优化后产生的节电量与减排量, 2025 年较 2019 年预计将减少 3.3 万吨碳排放 / 年。

因此, 至 2022 年, 襄阳市电动公交车整体减碳量为:

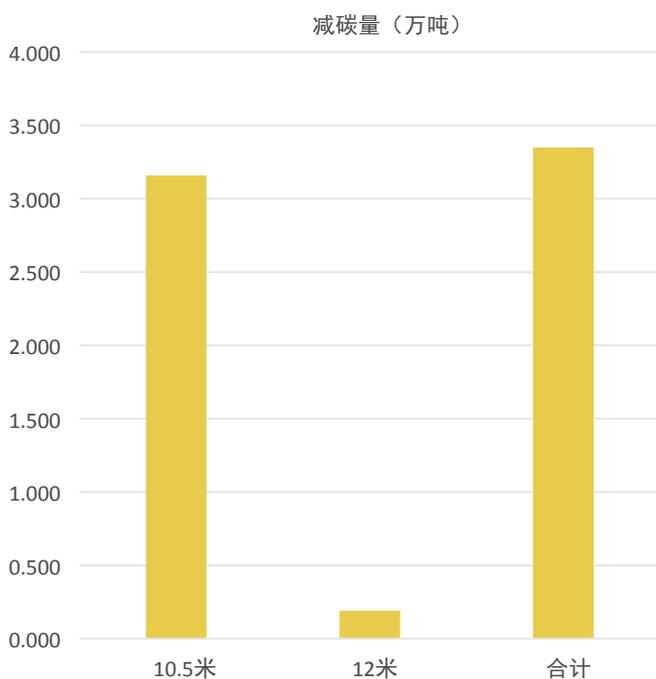


图 5- 6 电动公交车的年度减碳量

3) 污染物减排量

根据下表中国IV柴油公交车尾气排放因子, 计算襄阳市公交车电动化后减少的尾气排放量。

表 5-1 柴油公交车尾气排放因子

类型	CO(g/km)	HC(g/km)	NO _x (g/km)	PM(g/km)
排放量	1.434	0.079	6.773	0.055

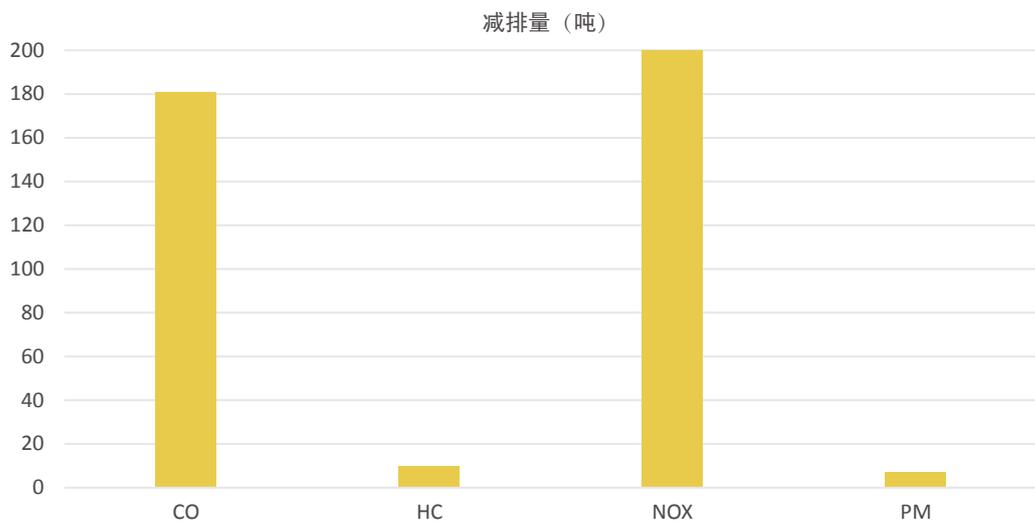


图 5-7 电动公交车年度污染物减排量

6

完善汽车共享运营服务
管理体系

随着汽车共享领域已经告别初期“疯狂”增长的初级阶段，市场格局已经基本确立，相关法律法规日趋完善。但总的来讲，汽车共享仍属于新兴事物，快速扩张的背景下暴露了许多运营的问题，对网约车及分时租赁的可持续发展形成了制约，亟需投入更多的精力对汽车共享领域进行有针对性的研究。本研究结合对网约车与汽车共享运营情况分析的结果与挑战，提出以下完善汽车共享运营服务管理体系的建议。

1. 明确汽车共享的城市交通定位

各地政府相关部门应重新确定网约车、分时租赁在城市交通运输体系中的合理定位，研究建立与公众出行需求、城市道路资源、停车资源等相适应的车辆投放机制，使其与城市公共交通、巡游出租车、私家车等出行方式协调发展，这样才能为汽车共享领域的规模控制、服务管理、安全保障提供参考依据。

同时给予汽车共享服务相关鼓励扶持政策。建议城市根据交通发展的实际情况，为电动汽车分时租赁行业出台相关鼓励扶持政策，如停车场地费用的减免优惠、充电桩建设与充电费用的优惠等。

2. 汽车共享服务品质的提升

网约车、分时租赁已走过初级发展阶段，开始向提升服务品质增强用户粘度转变。另一方面，作为电动汽车销量的重要领域，汽车生产企业也开始越来越多的向出行服务提供商进行战略转型。其服务品质的提升主要体现在：

1) 汽车共享的车辆走向定制化

目前，汽车生产企业开始越来越多的向出行服务提供商进行战略转型。上汽、吉利、北汽等汽车企业已在网约车、分时租赁领域进行了业务部署。滴滴旗下小桔车服宣布与北汽新能源合资成立京桔新能源汽车科技有限公司，开发定制网约车。

汽车共享可以成为整合汽车产业上下游资源的应用载体，促进共享出行和汽车产业联动发展，这样不仅可以对汽车的全生命周期进行协同管理，提高共享汽车使用的可靠性，还能够降低共享汽车的运营和维护成本，让新科技普惠出行者、共享平台与汽车制造商。

2) 电动网约车的司机迈向专职化

网约车最重要的人力资源是司机，乘客出行满意度绝大部分也与司机相关。网约车应当构建自己的专职司机体系，为高品质网约车服务提供人力基础。平台可以与网约车租赁公司合作，获取专职司机。一方面，租赁公司为司机提供合规车辆，免除司机运营网约车的车辆购置成本，避免不合规风险。同时，租赁公司对专职司机进行系统化、专业化的培训，向网约车平台批量输出合规的全职运力。



3) 创新保险机制

鼓励保险公司利用大数据、物联网、区块链等新技术降低征信等方面的成本、防范相关风险，通过线上线下相结合的方式，提供多样化的保险产品，延伸服务价值链，探讨创新保险模式，降低运营企业的保险成本。

3. 建立部门联合管理机制

实现全方位科技化管理，推动社会信用体系建设。分时租赁的整个生态涉及发改、交通运输、公安交通、市场监管、城市管理、经信、电力、金融、银监、中国人民银行等諸多部门，具有线上线下结合、点多面广、信息量大、发展速度快等特性，给行业传统监管带来较大难度。建议城市政府成立专门的工作小组，明确责任管理部门，建立协调机制和联合监管机制，研究建设市级层面的行业监管平台，形成部门间信息共享机制，实现对汽车分时租赁运营企业、车辆以及承租人信息的采集，并与公安机关实现数据互联，完善租赁车辆备案，落实租赁身份查验制度，规范租赁行业管理，建立完善的责任、监督体系，督促企业安全生产责任落实，形成“一处违法，处处受限”的信用体系，推动行业治理能力和治理体系现代化发展。

4. 加强充电桩及服务网点基础设施建设

从目前的运营情况来看，车辆技术已经不是制约纯电动网约车与分时租赁车辆发展的瓶颈，越来越多网约车的续航里程从 300km 向 400km 甚至更高提升。目前影响纯电动网约车发展的问题主要集中在公共充电桩的覆盖率和利用率较低等问题上。而对于分时租赁，主要挑战在于寻找满足市场需要且具备充电和停车条件的投放场地。这一问题一方面是源于共享汽车市场的迅速扩张与日渐紧张的公共资源之间的矛盾，另一方面也源于既有充电资源与停车空间低效使用的问题。对于未来汽车共享充电桩等基础设施建设，应遵从分类型、分区域制定具有差异性的规划，并分阶段实施的原则。

1) 优化充电基础设施布局

建议各地方政府在制定充电桩基础设施规划时，结合网约车和分时租赁使用空间特征，根据当地电网规划，提出适当的公共充电桩建设规划，对自用充电设施、专用充电设施和公用充电设施的建设区别对待。在注重车桩比的同时，更应该专注充电桩使用率的问题，充电桩建设布局应更好地识别和匹配消费者的充电诉求。为满足网约车、分时租赁等营运车辆相对较高的用电和时间需求，应该注重直流桩的建设。

2) 推进充电基础设施建设

将充电桩基础设施纳入城市建设与发展总体规划，实施专项用地规划审批管理办法，开辟绿色通道，减少审批环节，优化流程。建议规划部门联合停车场管理部门、电力部

门、物业部门共同制定有关停车场建设规划及实施方案。比如，电力部门和停车管理对既有潜在适合改造的停车场进行电力容量筛查，对于容量条件满足建设充电基础设施的，规定停车场应在一定期限内完成一定数量的充电基础设施建设。对积极提供充电场地的停车场给予一定的财税奖励或者优先申请停车场项目的权利。汽车共享平台可以通过自建或委托运营服务商的方式建设网约车服务站，为司机提供充电、休息、就餐等服务。

3) 促进充电运营服务盈利

建立新能源汽车专属充电价格体系。可探讨实施新能源汽车专用电价，在降低充电价格的基础上，进一步拉大峰谷差，尝试浮动电价机制，引导有序充电，在降低整体充电费用的同时，有利于电网削峰填谷，促进车网融合。鼓励地方政府前期增加充电桩运营补贴或财税扶持。此举不仅可以调动运营商的投建热情，还能鼓励运营商提升服务质量。开放运营商拓展增值业务，包括鼓励开展车位经营、车辆销售与租赁、维修保养、广告服务、电充汽车充放电等业务，以“充电服务站”的建设来增加运营收入。

4) 提高充电设备产品质量

健全充电设备产品认证与准入管理体系，建立充电基础设施认证机制、开展充电设施的检测，明确检测标准、抽查规定、标识管理等要求，形成面向行业服务的充电基础设施检测评价体系，搭建检测机构检测能力对比平台，加强第三方检测认证机构建设。严格产品准入和事中事后监督，提升充电设施产品质量和服务水平，强化企业社会责任和行业自律，以保障充电桩的安全性、可靠性和产品一致性，确保充电行业的健康发展。

5. 智能化、网联化赋能汽车共享运营优化

与燃油车相比，目前新能源网约车与分时租赁车辆的优势主要在于：不限购、不限行、有补贴等优势。对于司机而言，租赁新能源车可以降低能源成本、提升收入。对于运力企业，租金提升、牌照溢价、维保费用低是新能源汽车的吸引所在。但总体而言，新能源汽车的技术优势并未被完全激活。作为汽车智能化、网联化的重要载体，新能源汽车未来将能与 5G、大数据、人工智能、无人驾驶等新科技深度融合。而作为新能源主要应用场景的汽车共享领域，智能化、网联化的赋能可以会产生三种类型的变革：

1) 深度挖掘数据与车联网应用价值，大幅度降低司机成本和提高车队利用效率，重构车队运营；

2) 可以通过彻底改造车厢设计颠覆乘客体验感，譬如以大型车载显示屏作为卖点，或者通过个性化人机互动界面提供路线规划等数据驱动服务；

3) 自动驾驶汽车凭借交通流量控制和车联网通讯技术等新能源，并进一步推动城市“智慧化”发展。

7

公共领域车辆电动化
发展的经验分享

历经十余年的发展，中国的电动化发展在全球已经处于明显的领先地位。中国城市多年来形成的电动化发展经验及车辆技术，可帮助其他国家开展电动化的推广应用，尤其是一带一路国家，与我国有较强的贸易往来及技术交流，通过电动化技术及经验分享，能帮助带路国家快速实现电动化的跨越，快速实现节能减排的效益。

课题组通过搜集整理带路国家电动化发展的情况发现，部分一带一路国家的电动化发展还处于起步阶段，有些国家甚至还没有开始电动化的进程，中国的技术及经验将对其电动化发展助益颇大，帮助这些国家少走弯路，并大大加快其电动化发展的进程。

7.1 一带一路国家公共领域车辆电动化发展概况

课题组整理了一带一路国家电动化发展进程的现状情况，只有少部分国家开始了电动化的进程，处于规划或者试点阶段，而东亚、西亚及中亚国家均未开始任何电动化的推广与尝试。

表 7-1 一带一路国家公共领域车辆电动化发展概况

地区	国家	发展程度
东亚	蒙古	未起步
东南亚	新加坡，马来西亚，印度尼西亚，缅甸，泰国，老挝，柬埔寨，越南，文莱，菲律宾	新加坡、泰国已经启动电动化试点及制定规划，马来西亚、印度尼西亚及菲律宾有试点规划，其他国家处于未起步阶段
西亚	伊朗，伊拉克，土耳其，叙利亚，约旦，黎巴嫩，以色列，巴基斯坦，沙特阿拉伯，也门，阿曼，阿联酋，科塔尔，科威特，巴林，希腊，塞浦路斯，埃及的西奈半岛	以色列已经部分运营电动公交车，其余国家未起步
南亚	印度，巴基斯坦，孟加拉，阿富汗，斯里兰卡，马尔代夫，尼泊尔，不丹	印度有规划 其他国家未启动



中亚	哈萨克斯坦, 乌兹别克斯坦, 土库曼斯坦, 塔吉克斯坦, 吉尔吉斯斯坦	未启动
独联体	俄罗斯, 乌克兰, 白俄罗斯, 格鲁吉亚, 阿塞拜疆, 亚美尼亚, 摩尔多瓦	俄罗斯启动电动化试点 其他国家未启动
中东欧	波兰, 立陶宛, 爱沙尼亚, 拉脱维亚, 捷克, 斯洛伐克, 匈牙利, 斯洛文尼亚, 克罗地亚, 波黑, 黑山, 塞尔维亚, 罗马尼亚, 保加利亚, 马其顿, 阿尔巴尼亚	匈牙利、保加利亚启动电动化试点 其他国家未启动
非洲	塞内加尔、卢旺达、南非、毛里求斯、埃及、卢旺达	南非、埃及、卢旺达等国家开始启动

7.2 中国公共领域车辆电动化发展经验的分享

根据表 7-1 所示, 所有的一带一路国家基本都处于电动化发展的初级阶段, 总结与分享中国城市的电动化发展经验, 将极大的促进带路国家的电动化发展。

1. 国家及地方政策是推动电动化发展的第一驱动力

电动化的发展离不开国家及地方政策的大力支持, 尤其是公共领域的车辆。以电动公交车的发展为例, 国家及地方政府为推广和扶持电动公交车的发展提供了多维度的支持, 无论是从车辆研发、车辆购置、及基础设施建设, 还是运营方面, 都为地方车企及公交企业提供了大额的补贴资金支持, 目前电动公交车的车辆技术已经大幅提升, 能基本满足日常运营要求, 其电动公交车的销量更是占全球领先地位, 目前中国的电动公交车已经远销海外多个国家, 其车辆及技术可为带路国家所用, 将极大缩短带路国家公交电动化的推广进程。而公交企业也形成了成熟的运营管理机制, 越来越多的城市实现了全面电动化运营, 其运营上积累的丰富经验也将为带路国家带来助益。

课题组在多个带路国家有公交系统规划与实施的项目经验, 并多次强调国家及地方政策对电动公交车推广的重要性, 虽然中国经验不能完全照搬, 但是以政府为主导的推

广模式值得带路国家借鉴及参考。

2. 充电桩基础设施的建设应与电动汽车的发展同步进行

借鉴中国城市运营电动汽车的经验发现，充电桩基础设施建设在滞后将严重影响电动汽车的推广与应用，许多中国城市目前仍存在充电桩短缺的问题，充电难是电动汽车发展面临的普遍问题。因此，在带路国家发展电动汽车的进程中，应吸取中国城市的经验教训，将充电桩的规划与建设和电动汽车的发展放在同等重要的位置上，合理规划充电桩等基础设施的布局及数量，并严格监督充电桩的日常运营情况，并提高充电服务水平，切实为电动汽车的发展提供支撑。

3. 挖掘适合于本国公共领域车辆发展的商业模式

根据课题组参与带路国家公共交通项目的经验发现，带路国家政府财政对公共交通的支持力度有限，可能无法提供高额的补助资金支持电动公交车的应用推广，因此建议带路国家充分挖掘适合于本国国情的商业模式，积极利用融资租赁资金、绿色金融资金、国际金融组织低息贷款等积极推动电动公交车试点项目的开展。

4. 多部门协同合作，共同促进电动汽车的发展

借鉴中国城市推广电动公交车的经验，电动公交车的发展不仅仅是车辆的采购与使用，而是一个系统工程，包括电网扩容、充电桩基础设施的建设与运营及维护、电池的维护及回收等都涉及到多个部门的协同合作，而且要求政府部门发挥指导协调作用，组建电动化推广的领导小组，形成定期召集所有相关单位开会讨论并协调电动公交车购置与实施等关键问题，促进电动公交车项目快速推进。

5. 推动电动公交车运营数据的公开与共享

目前中国城市公开的电动公交车详细运营数据非常有限，不利于政府制定相应的政策措施、公交运营公司及时改善运营方案、车企提升车辆技术等等。因此建议带路城市在开展电动公交车推广运用初期建立完善的电动公交车运营数据搜集、分析及评估体系，将政府补贴与运营评估挂钩，敦促电动公交车运营公司及时调整运营方案以提升电动公交车的运营效率，车企有针对性的调整车辆技术性能，满足日常运营要求。

8

小结

随着越来越多的城市实现公交车运营全面电动化，运营效率问题成为广大城市关注的核心问题。与燃油公交车相比，电动公交车自身的技术特性和能源补充方式导致其运营难度增大，传统的运营调度方法和数据分析模式已经过时，无法满足高品质、高效率、智能化的现代公交系统运营的需求。

大部分城市的电动公交车运营仍处于摸索和积累经验的阶段，在这个时期，运营数据的收集、分析与评估就显得异常重要，全面掌握电动公交车的技术特征及实际运营情况，对于改进运营中存在的问题，提升电动公交车的运营效率大有裨益；同时能为未来的电动公交车选型及运营方案制定提供完善的技术支撑；也能为后发城市提供全面的运营经验借鉴，推动电动公交车的整体发展。

因此，本研究提供了全面及完善的电动公交车关键运营数据的收集、分析及评估方法，旨在通过对关键数据的分析与评估，发现电动公交车运营的问题，进而寻找提升电动公交车运营效率的解决方案。本课题从电动公交车规划 - 实施 - 运营的 7 个方面提供建议及评价指标，并希望各级城市能建立系统的电动公交车评估体系，为公交运营企业提供规划及运营的参考及运营效益评估方法。同时课题组根据不同层级城市电动公交车的发展水平，提出了有针对性、时效性及具体的发展建议：

1. 层级一城市：数据驱动迎接城市出行新趋势，整合创新引领公交发展大未来。电动公交车的保有量较高，提高电动公交车的智能化水平及增加充电基础设施的多样性有利于快速提升电动公交车的运营效率及服务水平。主要建议体现在：
 - (1) 加强智能化建设，根据电动公交车的技术特性制定相匹配的运营调度计划；
 - (2) 建设多样化的充电基础设施，以匹配不同特性的公交运营线路；
 - (3) 加强智能化建设，数据与出行管理助力公交精细化运营；
 - (4) 公交运营线路评估应采用常态化机制。
2. 层级二城市：整合数据实现购置运营一体化，创新保障支撑运行维护精细化。
 - (1) 创新充电设施建设，奠定充电基础保障；
 - (2) 公交实行智能化运营及管理，提高运营的准确度及效率；
 - (3) 完善技术维保体系，积极推进维保改革；
 - (4) 减少财政支出，合理处置旧车。
3. 层级三 / 四城市：政策引导明确公交电气化计划，多元创新奠定运维基础性保障。
 - (1) 进一步完善政策体系，加快推动公交系统电动化进程；
 - (2) 建立电动公交车数据搜集制度，为开展电动公交车推广的提供参考依据；



(3) 加大充电桩基础设施支持与建设力度，奠定充电基础保障。

分时租赁和网约车行业的电动化发展走在了全面电动化的前列，本课题分析了网约车及分时租赁的运营特性，总结了汽车共享电动化发展中存在的主要问题，并针对运营环境和规范管理两方面提出了有针对性的建议，改善共享电动汽车的运营环境，并充分发挥政府部门的监督管理作用，指导分时租赁和网约车电动化的进一步发展及有序高效运营。

在研究过程中，课题组发现目前公交企业鲜有公开电动公交车的详细运营数据，且公开发布的数据并不完整，较难对电动公交车实际运营数据进行详细且全面的分析，导致先行城市的经验未能及时的总结与分析，难以对后发城市提供参考。通过课题的研究，希望促进各城市电动公交车运营数据及经验的分享，使好的经验能被其他城市及国家借鉴，为推动行业转型升级、践行国家新能源战略发展做出应有贡献。

由于研究时间及收集到的数据有限，研究方法及结论有不准确或不周全之处，请各位专家或业内人士予以指正。

联系我们

地址：中国北京市朝阳区东三环北路 38 号泰康金融大厦 1706

邮编：100026

电话：+86 (10) 5927-0688

传真：+86 (10) 5927-0699

 再生纸印刷