



# 中国纯电动公交车运营现状分析与改善对策

OVERCOMING THE OPERATIONAL CHALLENGES OF ELECTRIC BUSES: LESSONS LEARNT FROM CHINA

薛露露 韦围 刘鹏 刘岱宗 著

## 执行摘要

公共交通行业以固定路线、公共服务的特点，成为纯电动公交车推广应用的突破口。自2009年启动的“十城千辆”节能与新能源汽车示范推广应用工程正式拉开新能源公交车推广的序幕以来，中国纯电动公交车数量高速增长。2018年全国营运公交车中纯电动公交车数量已超越柴油公交车和天然气公交车，成为规模最大的车辆类型。根据2018年“交通运输部八项重点任务攻坚污染防治”的要求，2020年底中国新能源公交车目标数量要超过40万辆，纯电动公交车将成为完成该目标的重要推手。

随着纯电动公交车队的日益增长，已推广的纯电动公交车在运营中遇到的挑战也亟待解决，包括纯电动公交车仍然地理分布不均、运营效率不高，具体表现为纯电动公交车上线率低，日均运营里程远低于传统燃油车，通常需要多于1辆的纯电动公交车才能替换1辆传统燃油公交车。

本文揭示，提升纯电动公交车运营效率对纯电动公交车8年生命周期成本的降幅贡献度最大。在2018年，最大化纯电动公交车的使用率，实现纯电动公交车与燃油公交车1:1替换效率，可节约约110万元的纯电动公交车生命周期成本。在该条件下，即使没有政府购置和运营补贴，纯电动公交车8年生命周期成本已低于燃油公交车。因此，在政府补贴退坡的背景下，公交企业完全可以通过提高纯电动公交车运营效率实现成本的节约。

基于大数据分析和问卷调查，本文揭示目前影响纯电动公交车运营的主要因素有：车辆性能与运营要求不匹配、充电桩规划建设不到位、运营组织优化不及时等。其原因有以下几点：一是车辆前期购置中没能妥善处理的问题在运营中浮现，包括车辆性能不满足运营要求、充电桩配套不到位等；二是纯电动公交车引入运营后的必然要求，包括行车计划的调整、运维人力和技术的提升等。

## 目录

背景 .....	2
研究方法 .....	6
中国纯电动公交车应用推广现状 .....	8
中国纯电动公交车运营效率现状 .....	14
影响纯电动公交车运营效率的因素 .....	20
车辆性能与实际运营需求的匹配度 .....	23
充电桩规划与建设实施情况 .....	26
运营组织调度与充电协同 .....	28
车辆质量情况 .....	33
改善纯电动公交车运营效率的建议 .....	34
注释 .....	39
引用 .....	39
致谢 .....	40

“工作论文”包括初步的研究、分析、结果和意见。“工作论文”用于促进讨论，征求反馈，对新事物的争论施加影响。工作论文最终可能以其他形式进行发表，内容可能会修改。

**引用建议：**薛露露（世界资源研究所）、韦围（北京理工大学）、刘鹏（北京理工大学）、刘岱宗（世界资源研究所）著. 中国纯电动公交车运营现状分析与改善对策. 2019. 工作报告，北京：世界资源研究所. <http://www.wri.org.cn/publications>.

图 0 | 各类改善纯电动公交车运营效率的措施所对应的车辆购置和运维阶段

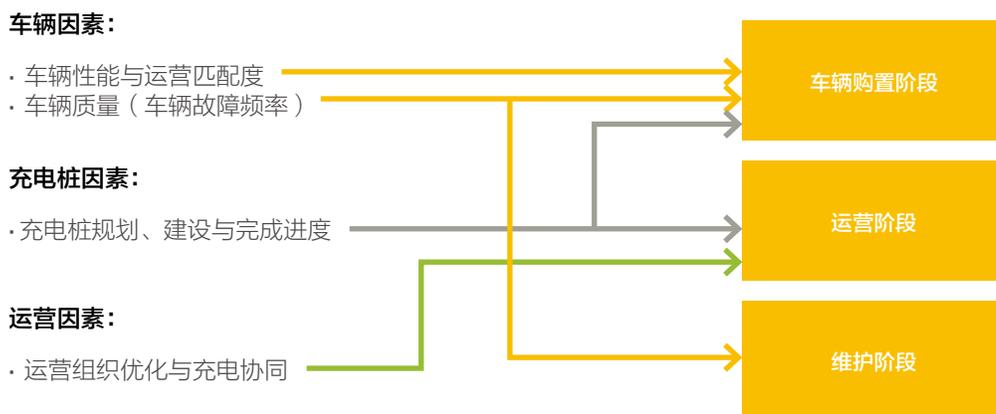


表 1 | 2017年新能源汽车在公共领域销量分布

	年销量（辆）	公共领域销量占比
城市公交	89075	29%
物流货运	84196	28%
企事业单位	79449	26%
出租租赁	46672	15%
其他（如公路客运）	7599	2%

来源：中国汽车技术研究中心有限公司 2018

最后，提升纯电动公交车运营效率，促进纯电动公交车推广，需要国家相关部委、行业协会组织、地方行业管理部门、公交企业和车辆生产企业形成合力：

- 建立纯电动公交车性能测试、打分、抽查与公告机制。
- 搭建国家—城市—企业三级新能源公交车运营监测平台，根据新能源公交车推广地域与车型差异，提供精细化决策依据。
- 提供充电桩建设、电网扩容相关补贴；充电桩规划和建设提前到购车环节（即招投标之前）。
- 公交企业购置车辆时，根据公交线路实际运营需要购置车辆；购车招标时，在招标技术需求和购车合同中增加保障性条款。
- 编制纯电动公交车行车计划时，应针对快充型运营和慢充型运营做出区分；国家相关部委、行业协会与公交企业加强运营优化相关的经验交流和技术工具研发，鼓励更高效的行车计划安排。

## 背景

发展新能源汽车（包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车和氢燃料电池汽车等）对中国减轻石油依赖、减少碳排放、推动汽车产业转型升级具有重要的积极意义，对城市防治雾霾、改善空气质量更具有显著作用（见专栏一）。

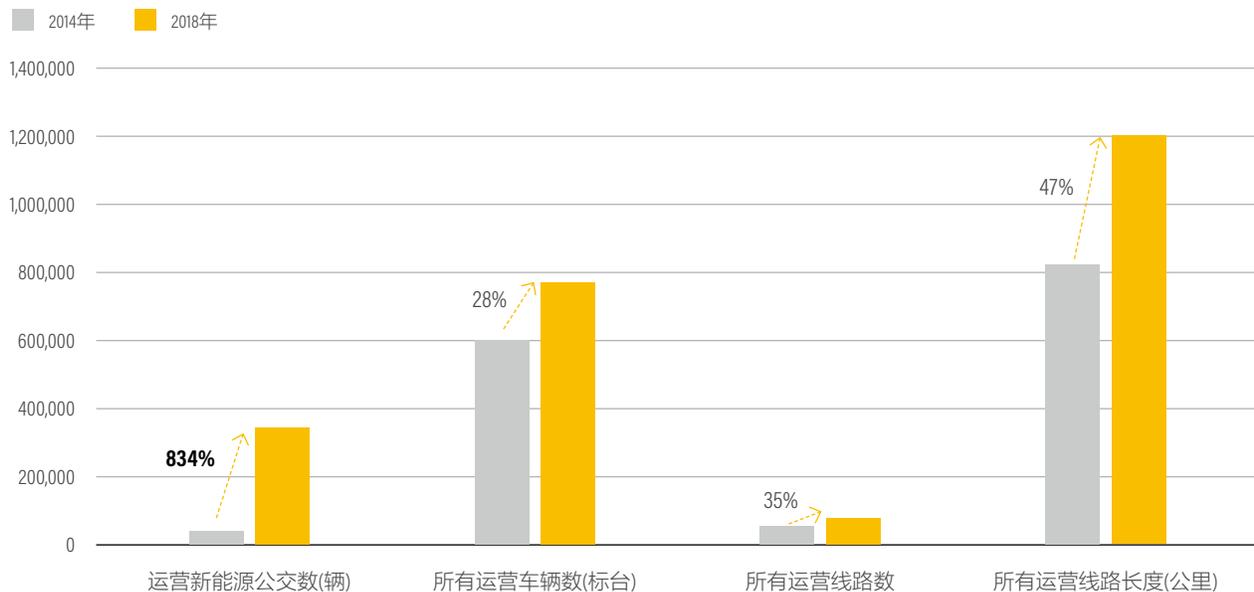
公共交通行业以固定路线、公共服务的特点，成为新能源汽车推广应用的突破口与前沿（见表1）。自2009年启动的“十城千辆”节能与新能源汽车示范推广应用工程正式拉开中国城市新能源公交车10年推广的序幕以来，推广目标、购置和运营补贴为中国新能源公交车的数量爆发提供了必不可少的政策助推（见表2）。

与此同时，随着中国城市扩张，公交行业自身也在经历快速发展阶段，运营车辆数量、线路数量均经历稳步增长。较之2014年，2018年运营车辆数量、运营线路数量和运营线路长度分别增长了28%、35%和47%。然而，同一时期，新能源运营车辆数量增长最快，2014—2018年间爆发式增长了834%（交通运输部2014、2018，见图1）。

表 2 | 中国新能源公交车推广国家层面主要政策汇总

年份	政策	内容
2009	“十城千辆”节能与新能源汽车示范推广应用工程	试点推广
2013	《关于继续开展新能源汽车推广应用工作的通知》	新能源汽车推广购置补助标准
2015	《关于加快推进新能源汽车在交通运输行业推广应用的实施意见》	目标设置：2020 年全国新能源公交车将达到 20 万辆
2015	《关于完善城市公交车成品油价格补助政策 加快新能源汽车推广应用的通知》及《新能源公交车推广应用考核办法》	降低城市公交车成品油价格补助，增加新能源公交车运营补助
2016	《关于调整新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》	新能源汽车推广购置补助标准更新
2018	交通运输部八项重点任务攻坚污染防治	目标设置：2020 年全国新能源公交车将达到 40 万辆

图 1 | 中国全部运营公交车辆、运营线路数、运营线路长度和新能源公交车数量增长情况（2014年和2018年）



来源：交通运输部中国城市客运发展报告（2014）和中国城市客运发展报告（2018）

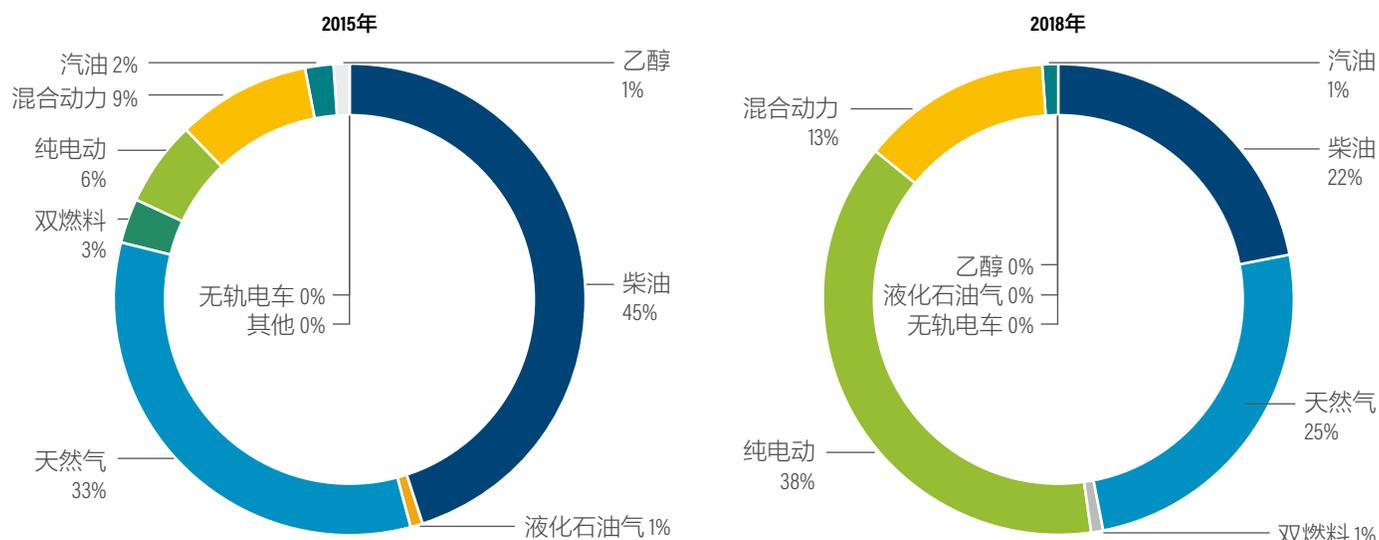
在政府补贴政策 and 城市公交行业自身购车需求的双重加持下，中国新能源公交车保有量快速增长。截至2018年年底，中国新能源公交车总保有量超过34万辆，占运营公交车辆总数的51%（见图3），超额完成“十三五”目标，即2020年城市公交领域新能源公交车达到20万辆。

值得注意的是，根据交通运输部《中国城市客运发展报告》对新能源公交车的统计口径，新能源公交车实际指代“节能和新能源”公交车，包括混合动力（含插电式和非插电式）公交车、纯电动公交车和燃料电池公交车三类。严格意义上，非插电式混合动力

汽车作为“节能与新能源车”，已不属于目前国家新能源车推广范畴。所以，这一统计口径会比正常意义上的新能源公交车范围大。

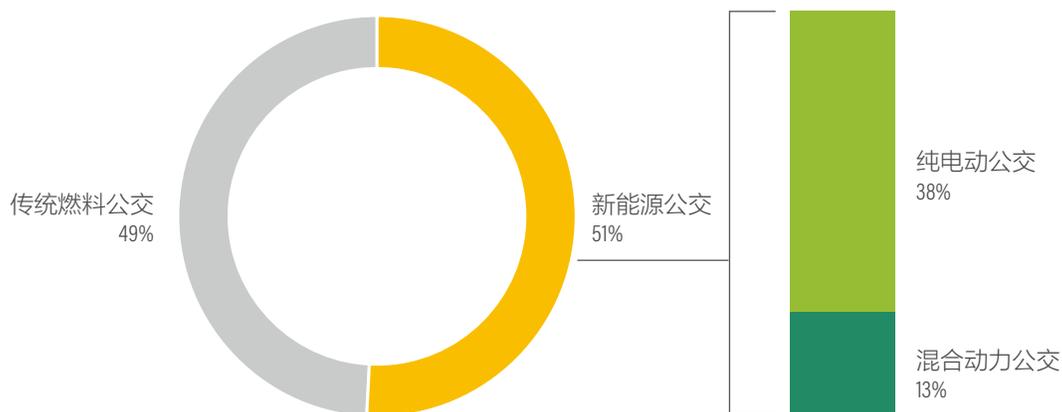
在新能源公交车的快速普及下，中国城市公交车队的结构发生了巨变：其中，新能源公交车（如纯电动公交车和混合动力公交车）的增幅最大，传统燃油公交车（如柴油公交车和天然气公交车）降幅最大。具体而言，2015年，中国营运公交车中，78%的车辆还是柴油公交车和天然气公交车；但2018年底，公交车队结构已经呈现新能源公交车、传统燃料公交车“二分天下”的局面（交通运输部2015、2018，见图2和图3）。

图 2 | 中国全部营运公交车队燃料构成（2015年和2018年）对比（%）



来源：交通运输部中国城市客运发展报告（2015）和中国城市客运发展报告（2018）

图 3 | 2018年中国新能源公交车队燃料结构（%）



说明：1.数据来源于中国城市客运发展报告（2018）

2.为便于简洁说明，占比为0.04%的燃料电池公交车没有单独列出，在数量上并入混合动力公交车。

中国的新能源公交车队中，纯电动公交车规模占比最大、增幅最快。2018年年底，中国纯电动公交车总量约25.5万辆，占新能源公交车总量的75%，全部公交车总量的38%（中国城市客运发展报告2018，见图3）。纯电动车型的强劲增势主要得益于国务院2012年发布的《节能与新能源汽车产业发展规划（2012—2020年）》，该规划“以纯电驱动为新能源汽车发展和汽车工业转型的主要战略方向”。纯电动车型的增势还得益于国家和地方对纯电动公交车的大力推广。截至2017年年底，中国纯电动公交车保有量占全球总保有量的99%（布隆伯格新能源财经 2018）；深圳市甚至实现了全市公交车队几乎100%纯电动化。根据2018年“交通运输部八项重点任务攻坚污染防治”的要求，2020年年底，中国节能和新能源公交车数量将有望超过40万辆，其中纯电动公交车将是主要推动力。

然而，虽然目前中国投入日常运营的纯电动公交车数量大，但遇到的常见问题除了购置成本高外，车辆运营效率低等问题也日益凸显。对率先规模化推广纯电动公交车的中国城市而言，纯电动公交车运营中的问题影响到公交企业的日常运营质量与效率，加剧企业、地方财政负担；对尚未普及纯电动公交车的城市，这些问题也会造成它们对纯电动公交车认识上的误区，阻碍纯电动公交车的广泛推广。

因此，本文基于数据分析和实地调研，深入了解国内城市已推广的纯电动公交车在运营效率上面临的挑战，并将对策和建议反馈到纯电动公交车购置、运营和维护等环节，形成闭环，以期改进存量纯电动公交车运营现状，并帮助城市与公交企业购置更为符合运营需求的新纯电动车。

### 专栏 1 | 纯电动公交车的环境效益

- **温室气体排放：**在目前全国平均71%的火力发电水平下，纯电动公交车的油井到车轮二氧化碳排放<sup>1</sup>在所有车型中最低，比传统柴油公交车少31%~38%，比天然气公交车少42%~45%，也低于各类混合动力车型（亚洲开发银行 2018）。随着电动车百公里电耗的降低与我国电力发电结构的优化，纯电动公交车的温室气体排放有望进一步降低。

专栏图 1 | 传统燃料公交车、混合动力公交车、纯电动公交车年均油井到车轮二氧化碳排放比较（tCO<sub>2</sub>e）

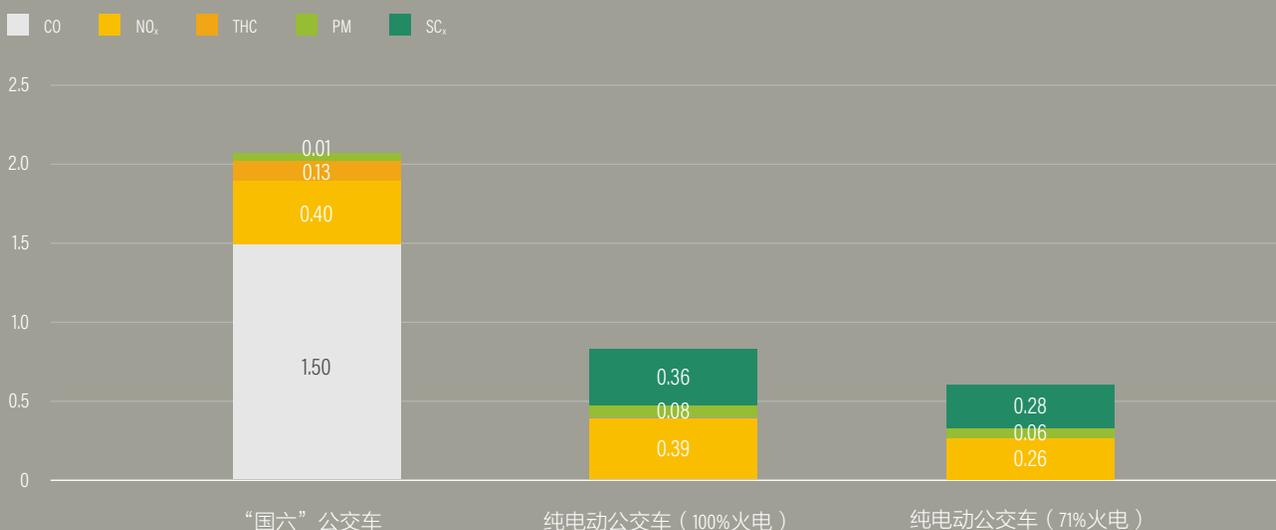


来源：亚洲开发银行（2018）

说明：据统计，中国纯电动乘用车在车辆生产阶段和运行中全生命周期的排放分别占总排放量的28%和72%（沈万霞等，2017）。由于对公交车没有相关研究，本文暂不计车辆生产侧的排放。

- 污染物排放:** 对比温室气体减排, 纯电动公交车比符合国家第六阶段机动车污染物排放标准(以下简称“国六”)的公交车对空气污染物的控制效果更显著。在“国六”情景下, 重型柴油车污染物总量的排放限值为2.04g/kWh。纯电动公交车在100%和71%火电情景下, 污染物排放总量(主要为发电侧排放)分别为0.83g/kWh和0.6g/kWh, 远低于“国六”的排放限值。如果不计非尾气排放(如发电环节排放、轮胎摩擦排放等), 纯电动公交车本地污染物排放甚至为零。无论以哪一种排放边界计算, 纯电动公交车都是控制城市空气污染的有效措施。

专栏图 2 | “国六”公交车和电动公交车单车每年污染物排放比较 (g/kWh)



来源: 根据中国电动汽车百人会 (2018) 修改

## 研究方法

本文主要读者对象为国家相关部委、行业协会、城市公交行业管理部门和公交企业的相关人员。

为从主观与客观两个视角分析纯电动公交车推广与运营现状, 本研究采用大数据分析结合问卷调查两种方式。利用大数据, 本文力图了解已推广的纯电动车辆运营现状; 此外, 为与大数据分析互为补充, 本文也基于问卷调查和实地调研, 着重收集公交企业、行业主管部门反映的纯电动公交车运营挑战, 识别问题根源。在定量、定性分析的基础上, 探讨针对存量、增量纯电动公交车运营效率提升应采取的途径与措施。补贴机制不是本文主要讨论内容。

### ■ 样本城市选取

虽然中国纯电动公交车的规模居全球第一, 但纯电动公交车在中国各个城市的发展情况各异。为体现代表性, 本文在36个中心城市中选取了12个城市(含北京、深圳、南京、济南、贵阳等), 以及3个中小城市(宜昌、株洲和襄阳), 共同作为研究对

象(见图4)。所选城市的纯电动公交车普及率和经济发展水平、地理位置不同, 分属一线、二线和三四线城市, 具有相当数量的纯电动公交车队(大于100辆), 能较全面地反应全国不同地区、不同类型城市、不同纯电动公交车普及率(见图5)的公交企业运营情况。纯电动公交车普及率偏低的西北和东北城市, 由于调研数据量偏低, 易受个别、非典型车辆运营数据的影响, 且受气候因素影响大, 因此没有选为研究样本城市。

### ■ 运营大数据分析

本研究基于新能源汽车国家监测与管理中心2018年8月工作日的纯电动公交车运营数据, 以城市为单位, 分析城市层面纯电动公交车总体运营情况, 如上线率、日行驶里程, 以及车辆平均充电行为特征, 包括充电方式(快充、慢充)、日充电次数、充电时长等。

### ■ 问卷调查分析

在定量数据分析的基础上, 本研究结合问卷调查方式, 在上述15个城市中选取10个城市的交通管理部门和公交企业开展调

查。问卷除涉及各城市纯电动公交车运营和充电特征外，还涉及纯电动公交车运营中最需解决的问题、影响运营车辆性能指标的因素，以及一线公交运营者对纯电动公交技术的期望等。

问卷调查于2018年8月开展，以在线方式，通过立意抽样方法（purposive sampling），面向10个城市73位在纯电动公交车购置、运营方面具有资深经验的从业者，定向发放问卷，收到有效问卷61

份——结果前后矛盾或明显不符合事实的问卷被排除在外。由于不同城市的样本数量差别较大——例如某城市样本量达到10份，而另一个城市样本量仅有2份，若不做任何统计处理，会导致样本量大的城市过度代表全体，造成样本变差。因而，本研究进而采用自助抽样法（Bootstrap），对每个城市的样本循环进行2400次随机抽样，得到每个城市相同的2400个样本数量，进行比较和分析汇总。

图 4 | 本研究样本城市选取

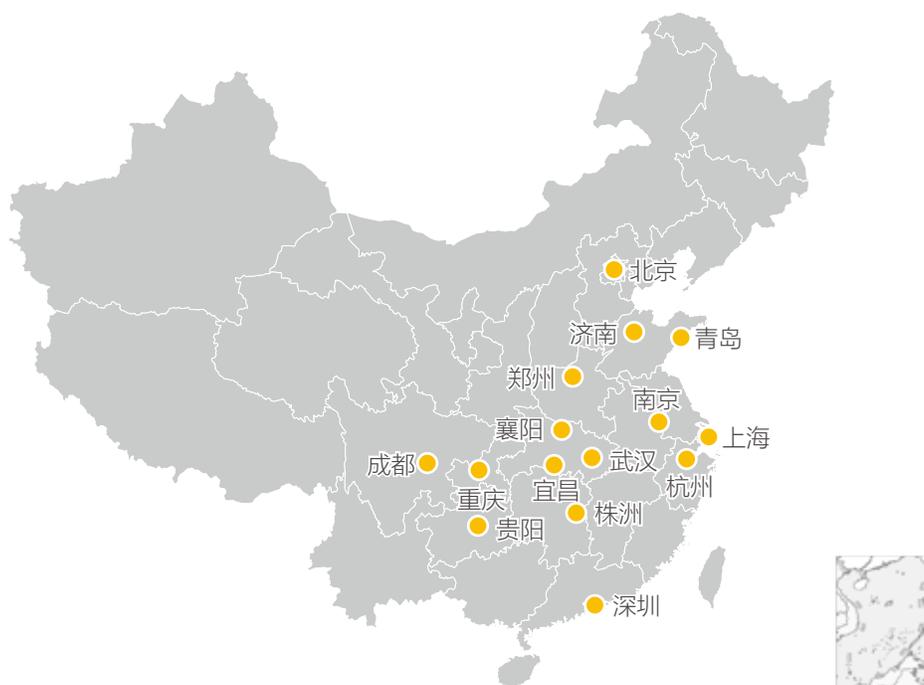
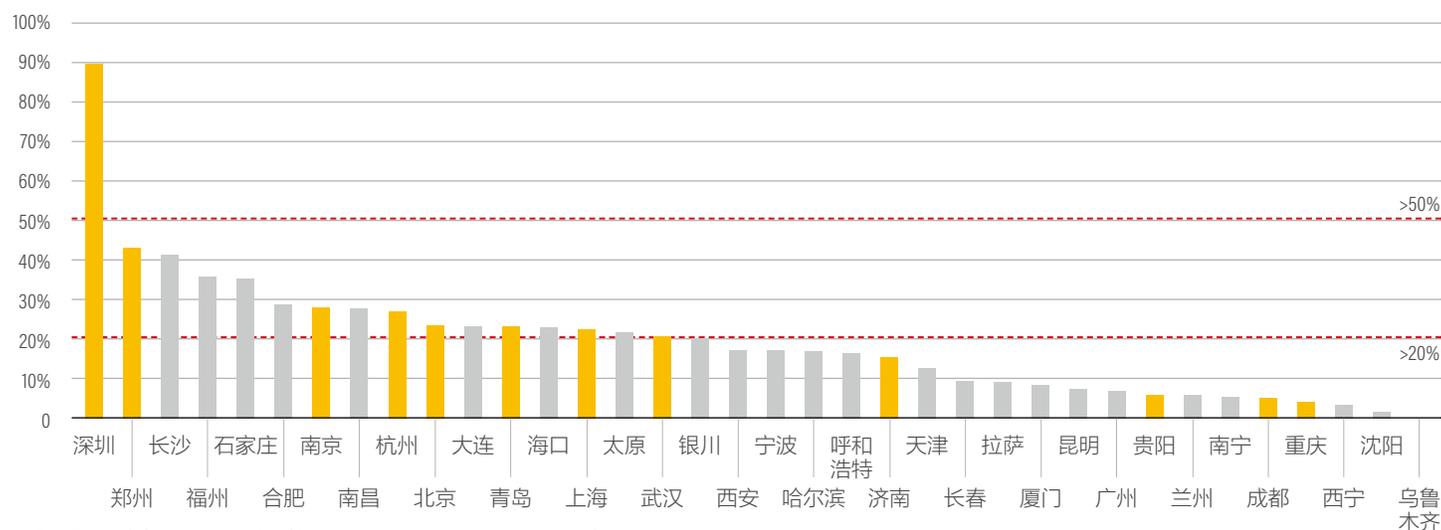


图 5 | 2017年36个中心城市纯电动公交车普及率（%）及研究样本城市



说明：图中标黄色的城市为本文选择的一部分研究城市；除这部分城市外，研究城市还包括少数非中心城市。  
来源：交通运输部科学研究院《2017中国新能源公交车推广应用研究报告》

# 中国纯电动公交车应用推广现状

## 纯电动公交车集中于中心城市和东部地区

虽然近年来中国纯电动公交车规模一直在增长，到2018年年底时达25.5万辆，超越柴油公交车和天然气公交车，成为运营公交车数量最大的车型，但目前纯电动公交车推广在城市和区域层面十分异质化。受气候、财政等因素影响，纯电动公交车主要集中于中心城市和东部地区。

■ 纯电动公交车在中心城市与非中心城市的分布：根据新能源汽车国家监测与管理中心的不完全统计，全国36个中心城市平均每个城市纯电动公交车保有量为1419辆（每个城市新能源运营车辆平均保有量为2754辆），而非中心城市（含中小城市）纯电动公交车平均保有量仅为233辆。此外，虽然全国36个中心城市公交车总数仅占全国公交车总数的40%，但2014—2018年间51%的新增纯电动公交车集中于中心城市。因此，中心城市纯电动公交车的数量与比例均高于非中心城市。由于三四线

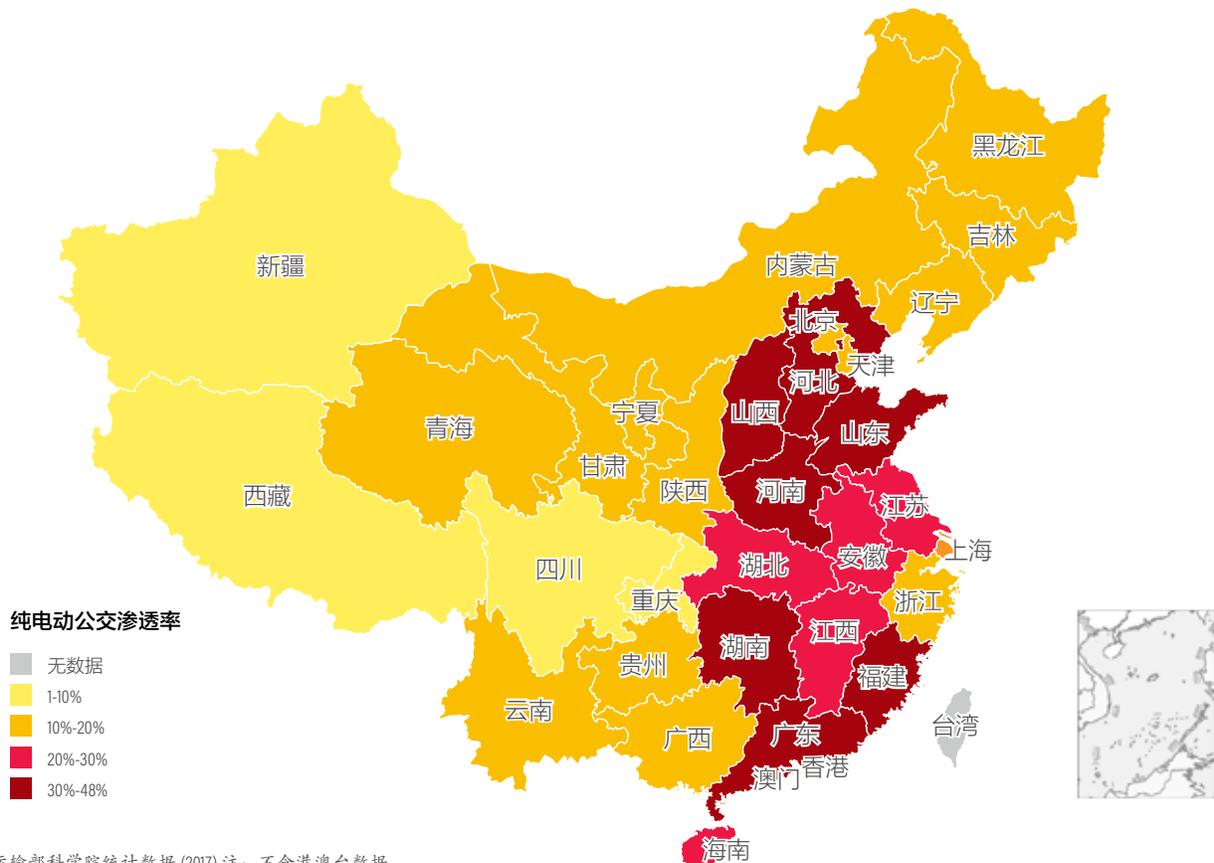
城市与地方县市对于购车成本相对敏感，纯电动公交车推广考虑应因地制宜。

即便在中心城市中，纯电动公交车推广情况也呈现较大分化：一些城市（如深圳、郑州、长沙等）的纯电动公交车普及率已经超过40%，纯电动公交购买与运营已经形成相对成熟的体系。然而，也有一些中心城市（如贵阳、兰州、重庆等）的纯电动公交普及率不到10%，仍在纯电动公交车购买与运营的初期“摸索”阶段（见图5）。

■ 纯电动公交车在地理空间上的分布：根据交通运输部科学研究院的统计，纯电动公交车主要集中于蓝天保卫战重点区域京津冀地区（除北京）、珠三角地区，以及湖南省等东部省份。而受财政、海拔与温度适应性的制约，西北、东北、西南地区纯电动公交车的推广数量明显偏少（见图6）。

随着纯电动公交车在中心城市和东部地区的渗透率逐渐趋于成熟，加之纯电动公交技术在温度适应性方面的改善，其在非中心城市和其他地区推广的可行性与必要性也将提上日程。

图 6 | 2018年分省（自治区、直辖市）纯电动公交占营运公交总量的比例分布



来源：交通运输部科学院统计数据(2017)注：不含港澳台数据

## 专栏 2 | 国家层面新能源公交车购置补贴“退补”趋势

为推广新能源汽车,中国从国家到地方层面均推出车辆购置补贴政策。由于地方补贴不能超过国家补贴额度,因此国家车辆购置补贴额度最大,地方一般以1:1、1:2等比例与国家车辆购置补贴进行配套。

近年来,随着新能源汽车技术发展和规模扩大(如专栏图3电池系统成本价格在2013-2016年的迅速下降),中国已经正式将2020年定为新能源公交车国家和地方购置补贴退出的时间。为了推动高技术附加值、低排放的车辆普及,国家针对不同车辆技术、电池能量密度、续航里程,提出不同档的补贴额度。其中,纯电动公交车的国家补贴在2017年前一直处于较高水平,加之退补预期、电池系统单价下降带来车辆价格下降等因素,在一定程度上促进了纯电动公交车销量增长。新能源公交国家购置补贴将于2021年正式退出,新能源公交的推广也将从“政策为导向”向“市场为导向”转移。

专栏图 3 | 8~10米非快充类纯电动公交国家补贴上限(元/辆)与电池系统价格变化(元/kWh)(2012-2020年)



数据来源: 1. 关于扩大混合动力城市公交客车示范推广范围有关工作的通知  
 2. 关于继续开展新能源汽车推广应用工作的通知(财建〔2013〕551号)  
 3. 《关于2016—2020年新能源汽车推广应用财政支持政策的通知》(财建〔2015〕134号)  
 4. 《关于调整新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》(财建〔2016〕877号)  
 5. 《关于调整完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》(财建〔2018〕18号)

## 产品技术选择多，但仍以慢充公交车为主，车身长度小于10米

国内纯电动公交车市场发展成熟，不乏换电、无线充电、超级电容等新国产技术涌现（值得注意，双源有轨/无轨车辆不属于国家和地方补贴范畴，本文中未计入）（见表3）。

在“尝鲜”各种新技术（如换电等）后，纯电动公交市场正逐渐向快充、慢充两种技术收敛。其中，充电倍率小于3C的慢充方式是当前纯电动公交推广的主流：2017年我国快充客车产量中仅6%为快充（3C及以上）。然而，随着电池技术逐步兼具能量、功率特征，慢充类纯电动公交车的充电倍率在提升，甚至一些整

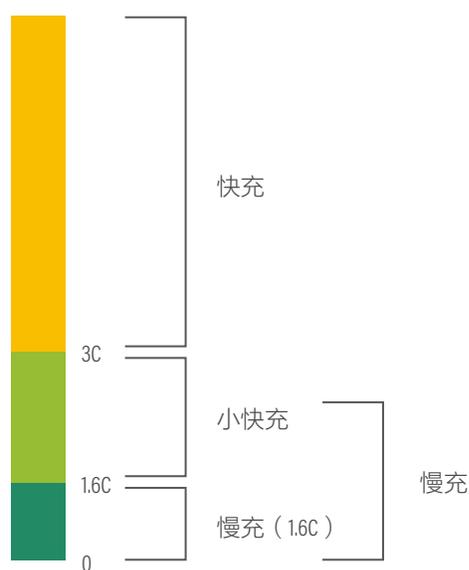
表 3 | 不同类型电动公交车技术比较

技术类型	城市覆盖度	技术完善度	资金投入	政策支持
 <p>慢充</p>	多数城市	高	电池电量大，单车价格更高	力度大
 <p>快充</p>	少数城市	快充电池充电倍率、能量密度等有待提高	快充功率大、充电桩投资更高，一些情况下需要对电网进行扩容	力度大
 <p>换电</p>	个别城市如北京、青岛、天津	换电容易造成电池的损耗	平均每辆车需要配备多块电池，才能满足换电需求；和土地占地面积大，导致充电站建设投入大	力度大
 <p>在线充电</p>	个别城市如北京、上海、济南	高	基础设施投入高，可能有碍景观。可利用现有城市无轨电车基础设施，降低投入，减少电池容量和车辆成本	双源有轨/无轨车辆不属于国家和地方购车补贴范畴
 <p>无线充电</p>	无	充电过程中损耗多、能量传输效率低，充电功率不宜过高，且存在安全隐患	无线充电设备成本仍较高，无商业模式；国内无相关标准	力度大

车生产企业或电池生产企业将充电倍率在1.6C以上的纯电动公交车也称为“快充”（图7）。

从纯电动公交车长度看，虽然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（亚洲开发银行2018），但在我国纯电动公交车推广早期，由于车载电池容量、

图7 | 纯电动公交车基于充电倍率的分类



续驶里程、购车成本的限制，以及早期国家购置补贴金额设置不合理导致车辆大小与售车利润倒挂<sup>2</sup>等原因，接近50%的新增纯电动公交车长度为10米以下（见表4）。这一特征与同样引入纯电动公交车的拉美城市（如波哥大、圣地亚哥）大相径庭，后者通常率先选择在中大运量BRT系统中引入长度为12米、18米甚至24米的纯电动公交车。

近年来，随着纯电动公交车电池能量密度增加、价格下降、补贴结构改善，这一趋势正在扭转，10米以上纯电动公交车销量占比正逐年提升，从2015年的占年销量的30%提升到2018年的54%；主干线路的10~12米公交车也逐渐迈入电动化时代。然而与拉美国家不同，18米、24米纯电动公交车技术本身仍有待完善，纯电动铰链式公交车在中国BRT走廊中的推广仍有待时日。

### 纯电动公交市场竞争激励、品牌区域化特征明显

中国新能源汽车的优惠政策也引导纯电动公交车生产企业快速研发产品、提高产量，以应对快速增长的市场规模，这导致大规模产量各异的客车生产企业加入竞争。对比中国，美国纯电动公交车市场份额几乎是“二分天下”的格局：美国本土客车企业Proterra占据绝对的市场份额，约占全美市场的60%，比亚迪约占30%的市场份额。而在中国市场，纯电动公交车以自有品牌为主，竞争局面更激烈与多元化，市场产品选择丰富多样。2017中国纯电动公交车市场销量前十名的企业约占市场份额的80%，其中，除了宇通和比亚迪，另外8家企业的市场份额都不超过8%（见图8）。

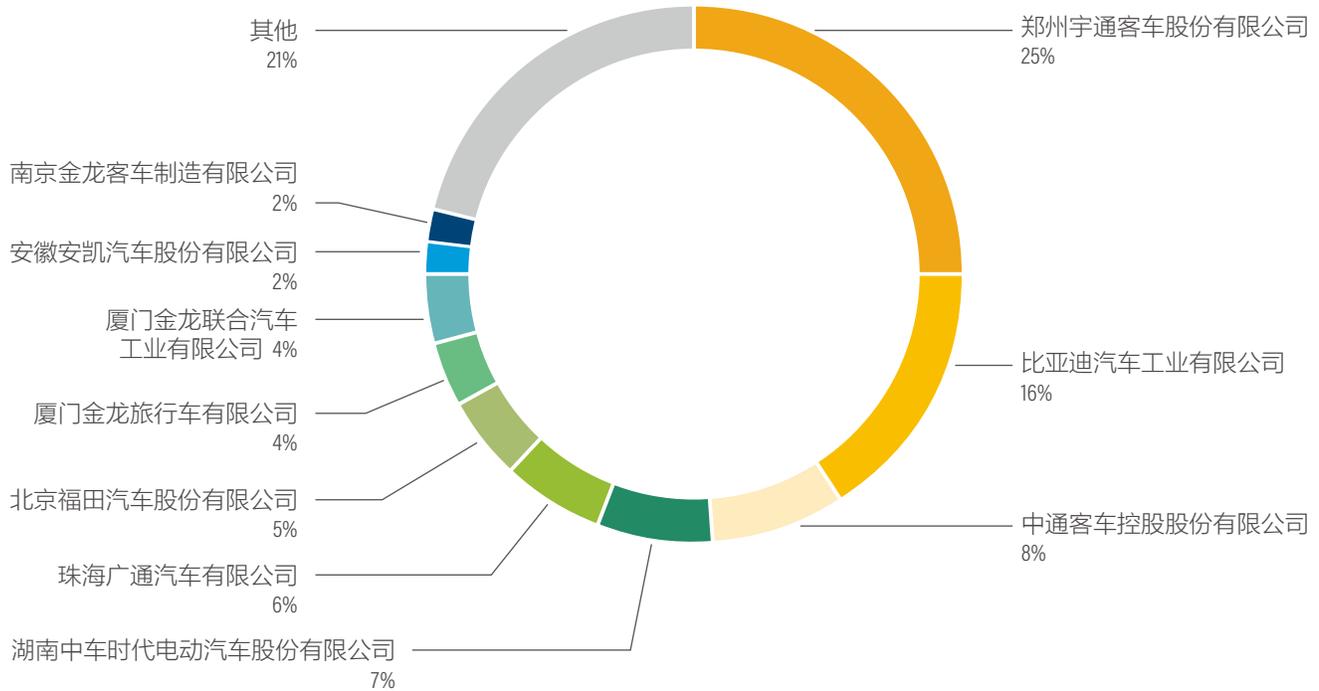
表4 | 2015和2018年度不同类型公交车新增及更换车型尺寸结构（%）

公交车类型	2015年			2018年		
	6~8米	8~10米	10米以上	6~8米	8~10米	10米以上
燃油公交车	27%	27%	46%	--	--	--
混合动力公交车	0	0	100%	0%	23%	77%
纯电动公交车	44%	26%	30%	4%	42%	54%

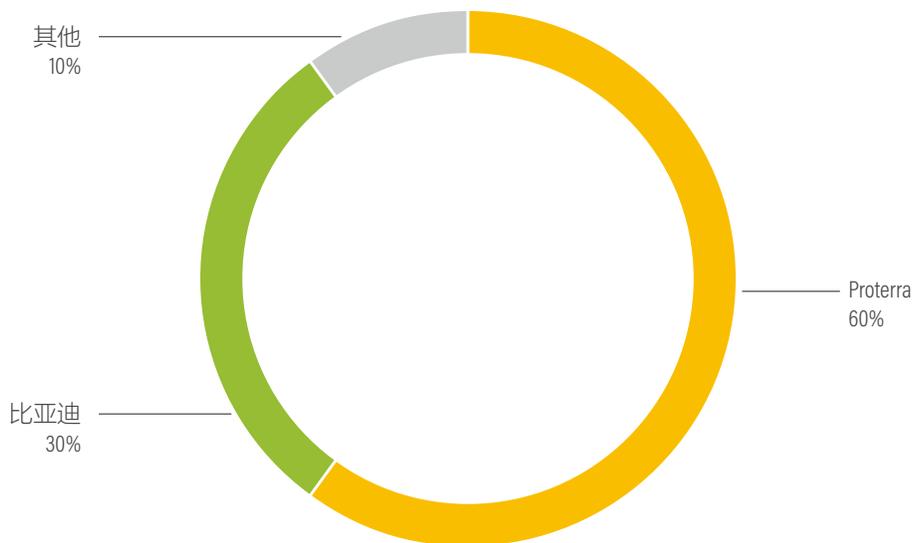
来源：交通运输部科学研究院 2019

图 8 | 中美纯电动公交车各类品牌市场占有率比较 (%)

a. 中国市场各纯电动公交车品牌市场占有率(2017年)



b. 美国市场各纯电动公交车品牌市场占有率(2017年)



说明：中国数据来源于交通运输部科学研究院 2017 年统计数据

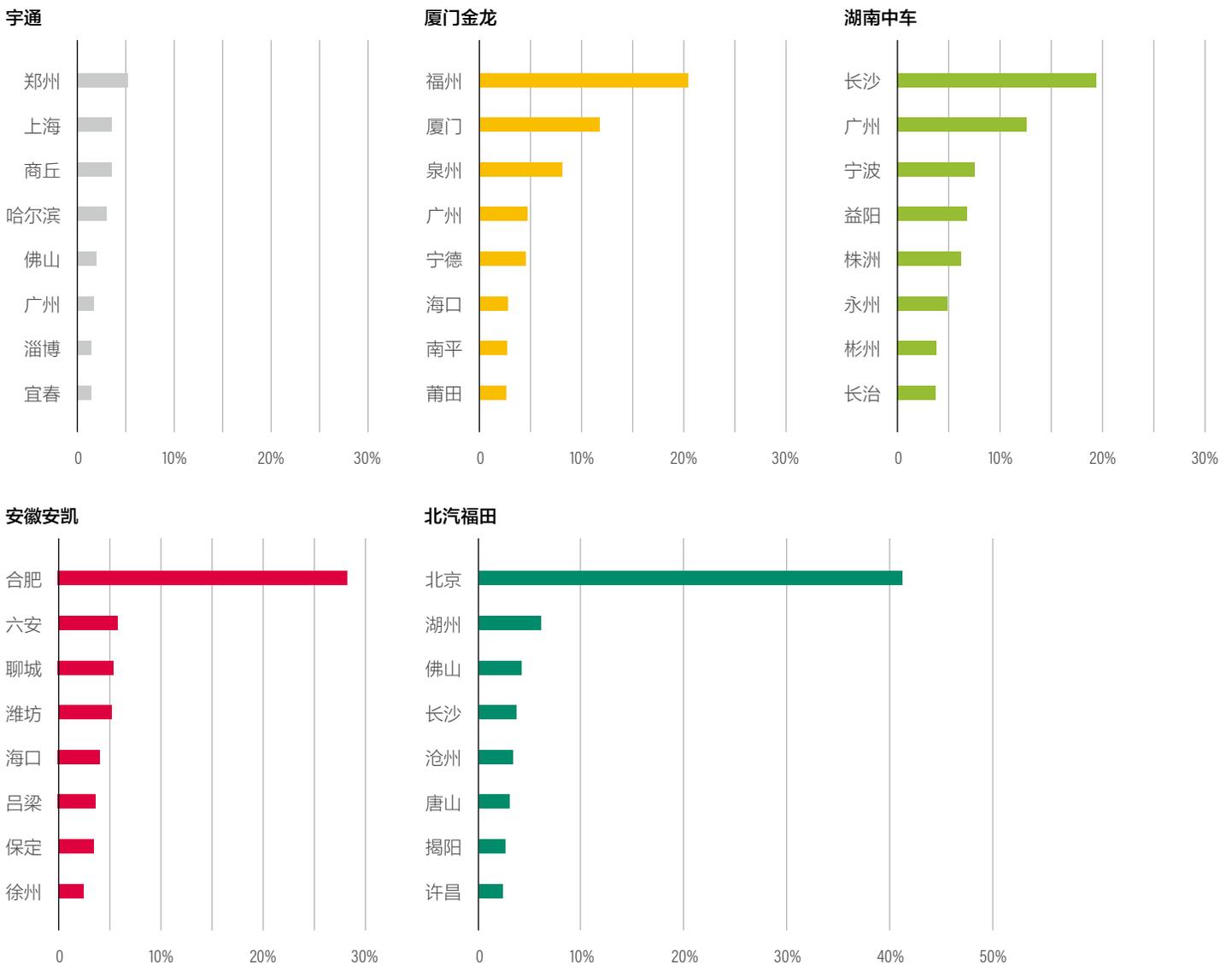
美国数据来源于 <https://insideevs.com/proterra-delivers-100th-us-e-bus-says-it-now-owns-60-of-the-market/>

[http://www.chinadaily.com.cn/business/motoring/2017-10/12/content\\_33147194.htm](http://www.chinadaily.com.cn/business/motoring/2017-10/12/content_33147194.htm)

受地方补贴等倾向性购车优惠政策影响，国内电动公交车品牌的地域性较明显。基于新能源汽车国家监测与管理中心对电动公交车各品牌在全国各地销量的不完全统计显示（见图9），宇通等占有率较高品牌的地域性较弱、市场覆盖城市多，且各个城市销量差别不大。北汽福田、安徽安凯等品牌的地域特征较明显。例如，北汽福田在北京的销量占比超过40%，远大于销量排名第二的湖州。

中国新能源公交车生产企业与产品众多，在丰富了市场选择的同时，也在某些程度上增加公交企业购车时信息搜集与比较的成本。一方面，由于地方购置补贴等政策多针对本地品牌，抑制了市场的公平竞争，弱化了正常“正向”淘汰机制；另一方面，由于缺乏车辆测试条件和相关标准，加之公交企业和车辆生产企业之间信息不对称，公交企业会轻信车辆生产企业所标称的车辆性能，付出较大的“试错”成本。

图 9 | 不同品牌2015-2018年纯电动公交车销量前八位的城市与销量占比



数据来源：新能源汽车国家监测与管理中心 2018 年统计数据

## 中国纯电动公交车运营效率现状

中国城市在纯电动公交车推广数量方面取得举世瞩目的成就。得益于大规模车辆推广，公交企业积累了很多成熟的运营经验，也面临运营效率的挑战。

较之传统燃油公交车，质量合格的纯电动公交车在运营和维护上具有先天优势，具体表现在以下几个方面：

- 在运营成本方面，纯电动公交车每辆车每天用电成本仅为柴油公交车燃料成本的1/3~1/2，单车运营成本优势明显。
- 在维护方面，纯电动公交车结构简单，如果质量有保证，则单车的定期维护次数和费用都低于燃油公交车和天然气公交车。
- 在客流方面，如果运营计划不做大幅调整、服务质量不降低，纯电动公交车和燃油公交车相比，基本不存在客流差别。

尽管如此，中国纯电动公交车在实际运营中仍存在可改进空间，特别是调研中城市普遍反映纯电动车公交运营效率低的情况。为客观地描述中国城市纯电动公交车的运营效率，本文采用车辆上线率、单车日均运营里程、线路配车数三个指标进行定量反映（见表5）。值得说明的是，车辆上线率、单车日均运营里程，线路配车数仅是运营效率问题的表象，问题成因及具体改善途径将在第5章中详细阐述。

### 车辆上线率

根据纯电动公交车日运营趟次信息，公交车的车辆上线率指参与运营的公交车占公交车总量的比例，即同时上线运营

的公交车数量最大占比。传统燃油公交车的车辆上线率一般为90%~95%。而对纯电动公交车而言，其上线率普遍低于传统燃油公交车。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<sup>3</sup>仅为66.4%，跨度从24%到84%不等（见图10）。

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显著差异。部分城市纯电动公交车的出车使用情况与燃油公交车接近，但也存在很多“有车不用”的城市或公交线路（原因分析见第5.4节）。

### 单车日均运营里程

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（见图11）。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。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。

但是，对单车日均运营里程的解读需谨慎：

本研究问卷调查显示（见图12），公交企业最初更愿意将纯电动公交车投入到线路长度为3~5公里的社区线路、微循环线路或客流量小、发车频率低的线路上，客流量大、发车频率高的线路不是纯电动公交车投入的首选。由于微循环线路、社区线路或客流量小、发车频率低的线路日运营里程为100~180公里，与纯电动公交车续驶里程大致相当，基本可以与燃油公交车实现1:1的替代。

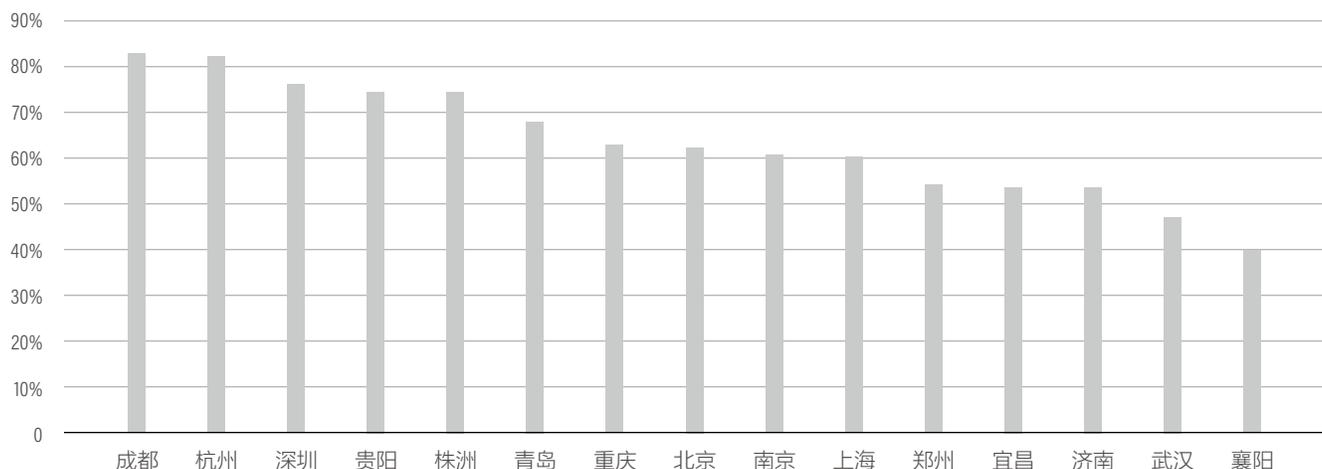
事实上，当纯电动公交车在城市公交车队中占比不高时（如低于20%），城市在日均运营里程本身就低的线路上（如社区公交

表5 | 纯电动公交车与燃油公交车运营效率比较

指标	燃油公交车	纯电动公交车
车辆上线率（%）	90%	66%
单车日均运营里程（公里）	203	123
线路配车数	1 : 1 燃油公交车和纯电动公交车替代	1 : 2 或 2 : 3 燃油公交车和纯电动公交车替代

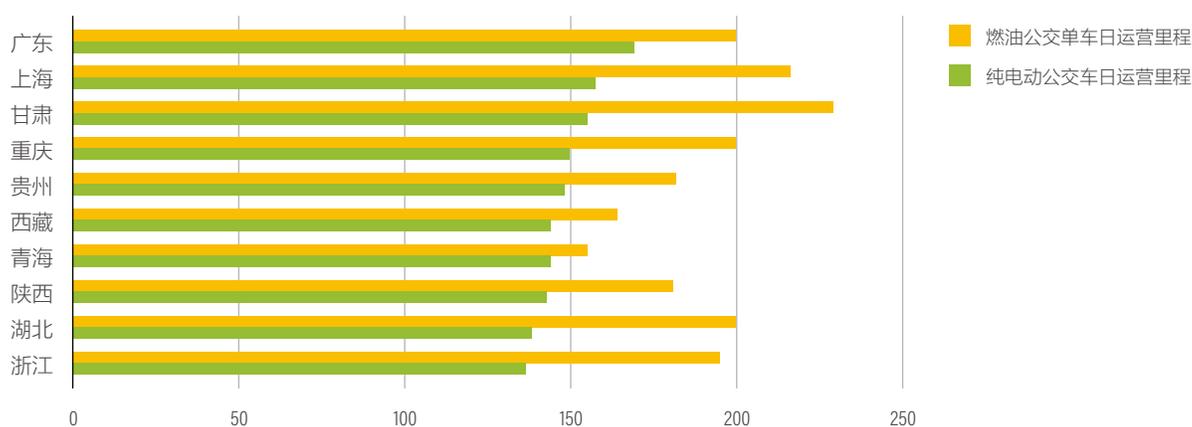
数据来源：车辆上线率来自新能源汽车国家监测与管理中心、日运营里程来自于交通运输部科学研究院统计，线路配车数来自实地调研。

图 10 | 15个国内城市纯电动公交车夏季工作日平均上线率不完全统计 (%)



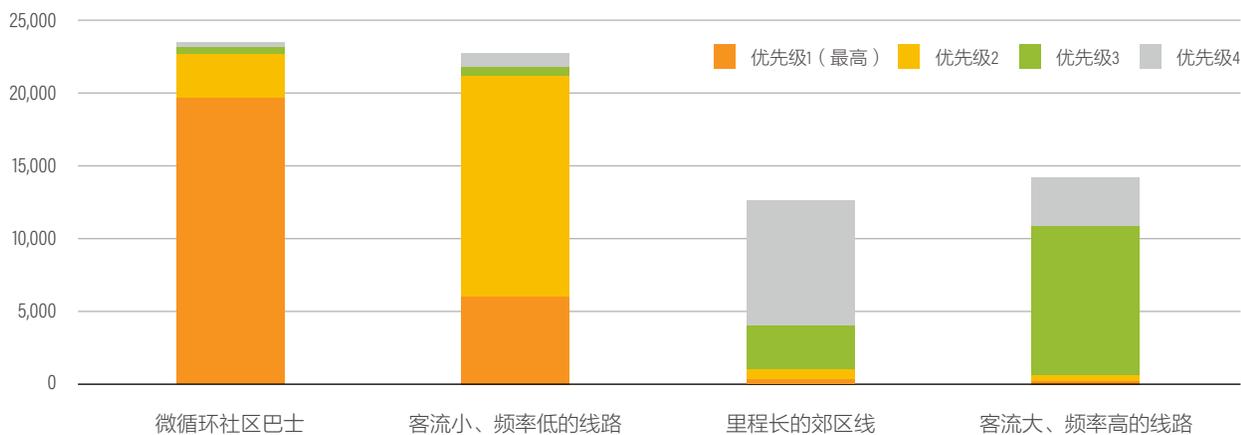
来源：新能源汽车国家监测与管理中心

图 11 | 2018年中国纯电动公交车单车日运营里程前十位的省份（自治区、直辖市）（公里）



来源：交通运输部科学研究院《2017中国新能源公交车推广应用研究报告》

图 12 | 纯电动公交车布设公交线路优先级（问卷调查）（自助抽样法后的样本量）



线路、发车频率低的公交线路)引入纯电动公交车,不但不会影响运营效率,反而可有效降低早期纯电动公交车的购置成本风险与运营调整难度。因此,有必要为刚引入纯电动公交车的城市提供适应与学习的过程。但随着城市公交车电动化比例逐步上升,更多的纯电动公交车被应用到使用强度大、日均运营里程高的线路上,如果城市所有纯电动公交车的平均日运营里程仍维持在较低水平时,较低的车辆利用率与高昂的购置成本就形成反差,如图13中的北京。

## 线路配车数

传统燃油公交车为主的公交线路的配车数由线路高峰小时断面最大客流量和周转时间决定。但是当燃油公交车更新替代为纯电动公交车后,出于充电和调度需要,纯电动公交车的配车数会

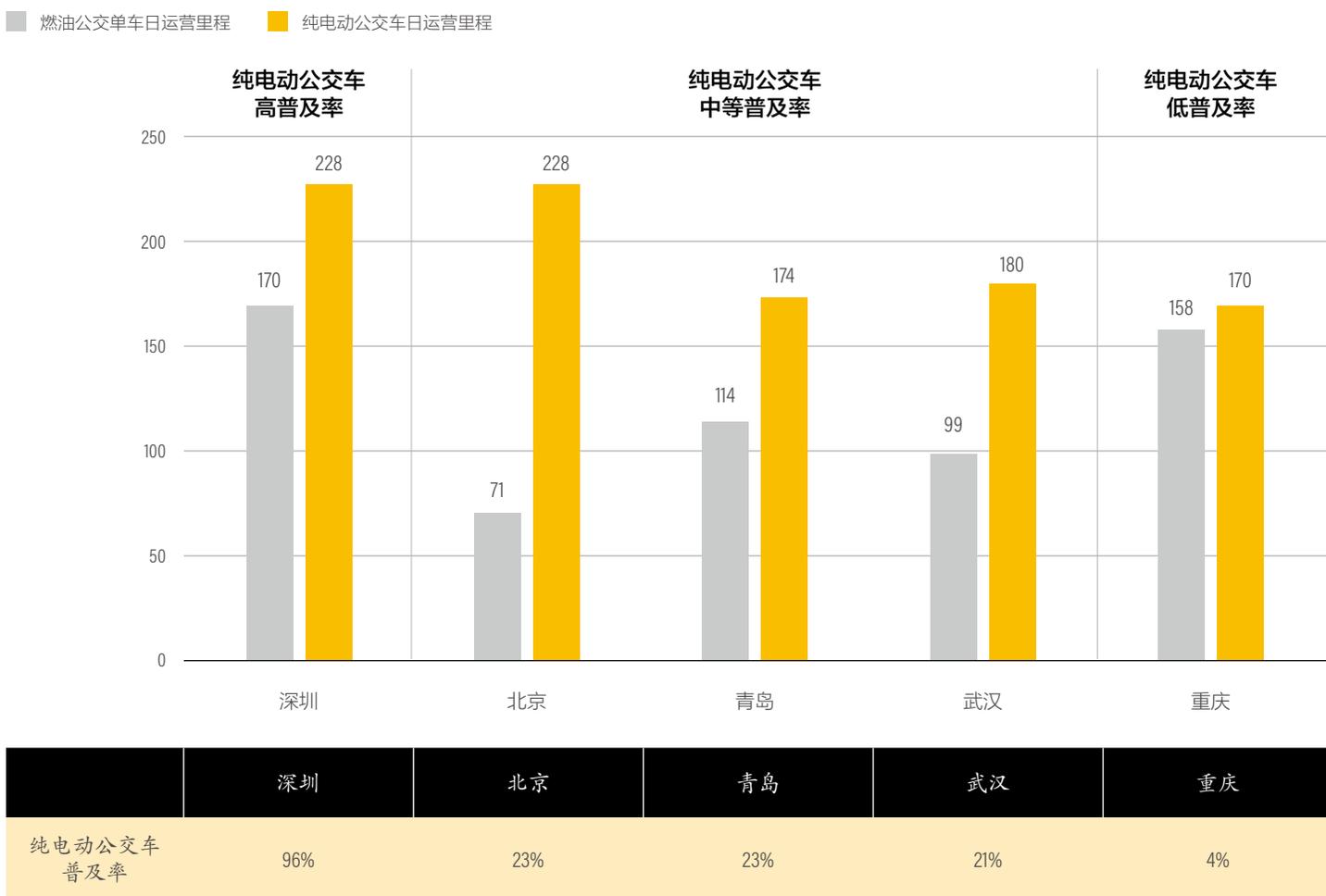
大于传统燃油公交车配车数,需要公交企业和城市相关部门从车辆性能、充电桩配套和运营调度三个方面入手,优化纯电动公交车配车数,尽可能与原先燃油公交车配车数相当。

$$\text{纯电动公交车配车数} \geq \text{传统燃油公交车配车数} = \frac{\text{最大断面客流}}{\text{单车容量} \times \text{满载率标准} \times \left(\frac{60}{\text{周转时间}}\right)}$$

一般而言,同一条线路的公交车有三种不同的运营时间和里程要求(见图14和表6):

- 高峰(单班)车:车辆仅在早晚高峰时运营,平峰时停运,运营里程与时间相对较短,早晚高峰间的停运时间可达5小时。

图 13 | 2017年纯电动公交车在城市公交车队的不同占比条件下:纯电动公交车与燃油公交车日均运营里程比较(公里)



来源:深圳市都市交通规划设计研究院2018、交通运输部科学研究院《2017中国新能源公交车推广应用研究报告》(2017年日运营里程)  
注:北京2018年纯电动公交车日均运营里程为106公里,比2017年增加35公里。

■ 一班半车：车辆从早高峰开始一直工作到晚高峰结束，运营时间为10小时左右，通常由一名驾驶员完成——但不同城市的公交企业也存在差异，平峰期累计停运休息时间可达1~2小时。

■ 正班车：车辆从早工作到晚，运营时间可高达16小时，通常由2名驾驶员分成早班、晚班完成，平峰期累计休息时间比一班半车较短，早晚班交接班时间可为1~2小时。

根据线路客流时间分布特征，正班车约占线路配车数的20%~30%。一班半车和高峰车占比视线路客流高峰突出情况与平峰下降幅度而定：通常高峰车占比为20%~30%，高峰客流突

出时，高峰车占比可达50%。该比例不具有参考意义，不同公交车在车队中的具体占比由客流特征决定。

同时，不是所有城市都采用以上三类分类方式组织行车计划。例如，郑州采用的是“一班半车”组成的单一制行车计划，而南京和苏州在燃油公交车时期主要采用的是“高峰班”和“正班车”两类车组成的行车计划。

当燃油公交车替换为纯电动公交车时，目前纯电动公交车的续驶里程能够基本与“高峰车”和“一班半车”实现1:1的替换。但让纯电动公交车执行“正班车”的任务——运营时间超过15小时、日里程超过240公里，在现有续驶里程下仍比较困难。因此，需要多辆纯电动公交车才能完成以前一辆燃油公交车就能完

图 14 | 一天不同时间线路客流量分布（公交客流量/小时）

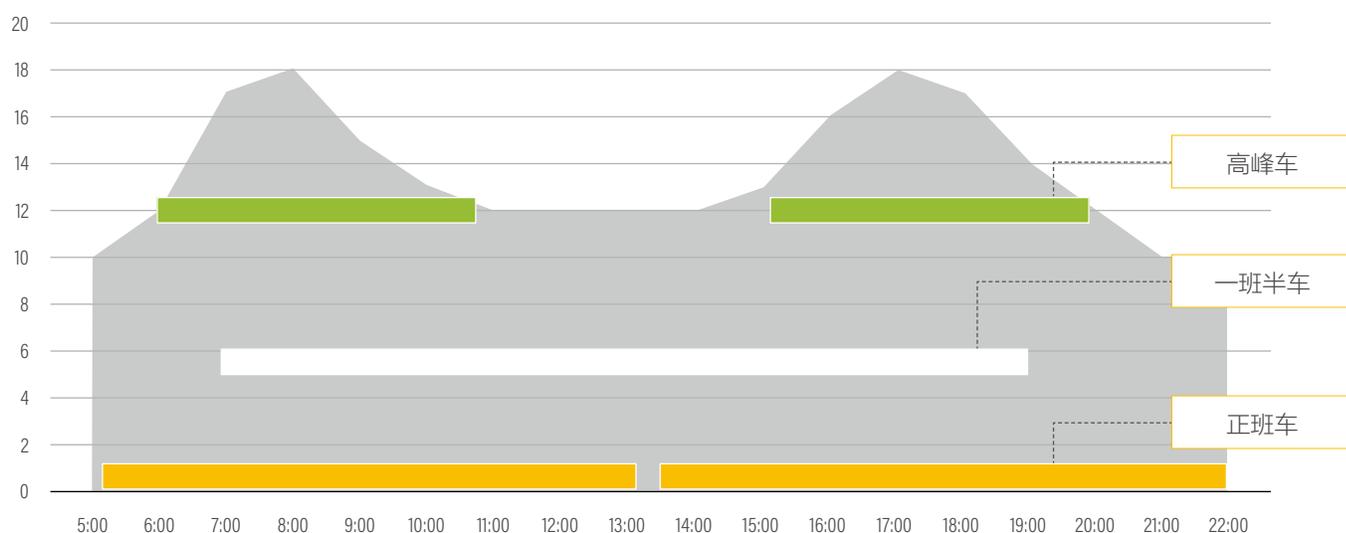


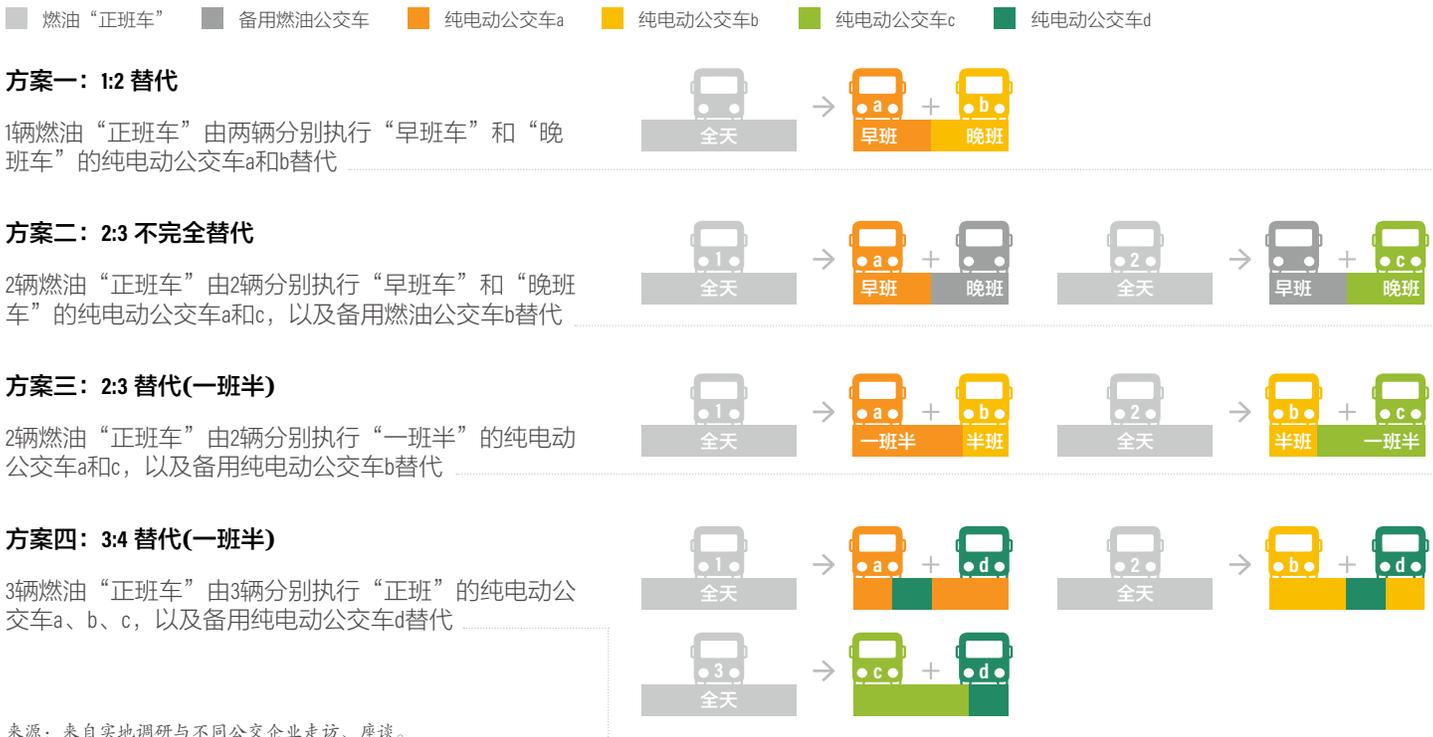
表 6 | 线路行车计划对不同车辆的运营要求

	车队占比	驾驶员 (名)	运营圈数	日运营时间 (小时)	停运休息时间 (小时)	纯电动公交车替代难度
高峰车	40% ~ 50%	1	2 ~ 4	5 ~ 6	6 ~ 7	容易
一班半车	20% ~ 30%	1	5 ~ 6	10 ~ 12	1 ~ 1.5	容易
正班车	30%	2	7 ~ 8	16 ~ 18	1 ~ 2	难

来源：实地调研与不同公交企业走访、座谈。

说明：往返1次（2个单程）记作1圈。

图 15 | 纯电动公交车对燃油公交车（正班车）的替代方案



成的任务（见图15）。例如，在没有“一班半”行车计划的的城市（如南京和苏州）引入“一班半”替换原来的“正班车”，其行车计划由“高峰车+正班车”转为“高峰车+一班半”（见图15方案三）。

事实上，纯电动公交车与燃油公交车存在多种替代方案。如何科学定量地优化运营和充电、最小化线路配车数成为考验公交企业运营的重要问题。在城市调研中，多数公交企业表示在纯电动公交车运营早期利用的是“摸着石头过河”的方法，其中1:2或“一班半”燃油公交车与纯电动公交车替代的方案较为常见。这些替代方案也随着公交企业对车辆性能逐步了解和充电桩建设日益完善而日益改进，但1:1的替换效率只有深圳等少数城市能实现。

### 提升纯电动公交车运营效率的意义

纯电动公交车上线率低、日运营里程短，且要求更多线路配车数，直接导致的结果是车辆利用率不高、备用车（纯电动公交车或燃油公交车）使用不充分。这些都意味着更高的公共交通财政投入和更低的资源利用效率。

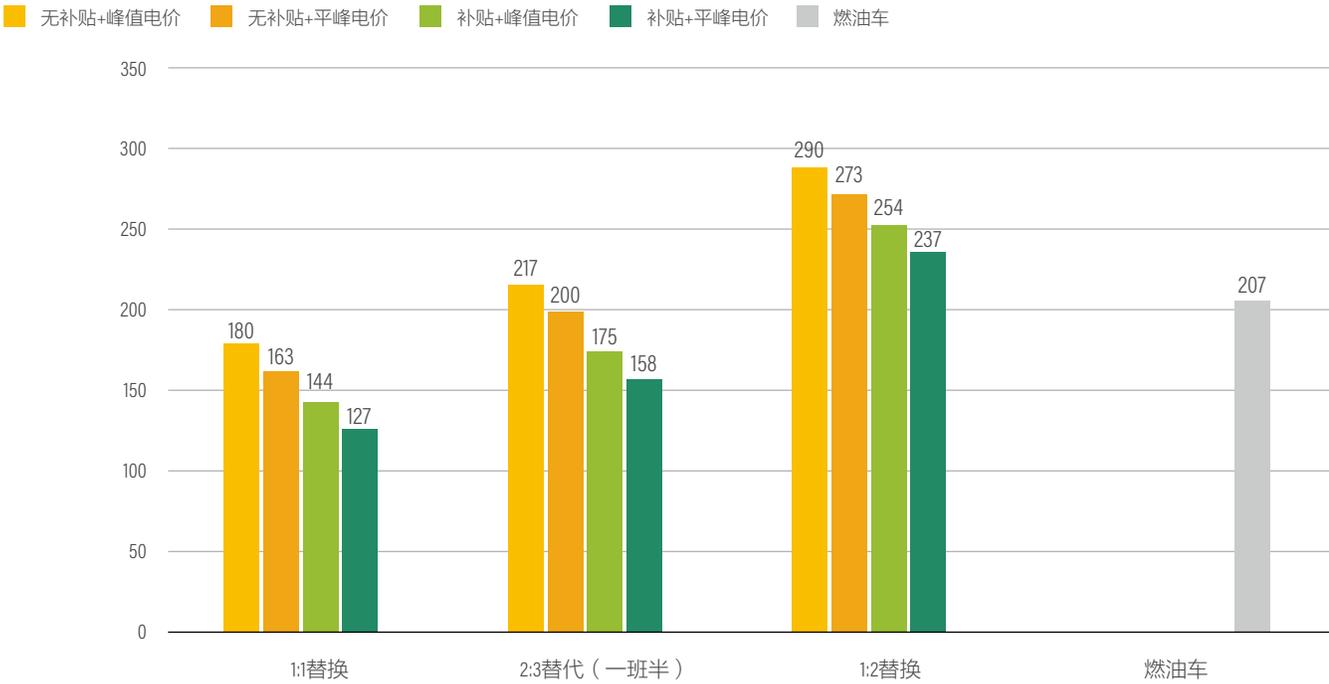
- 从单车购置成本看，纯电动公交车单车价格为传统燃油公交车的2~3倍；若一辆燃油公交车以1:2比例与纯电动

公交车进行替换，仅纯电动公交车购置成本一项就为燃油公交车的4~6倍（不计补贴）。

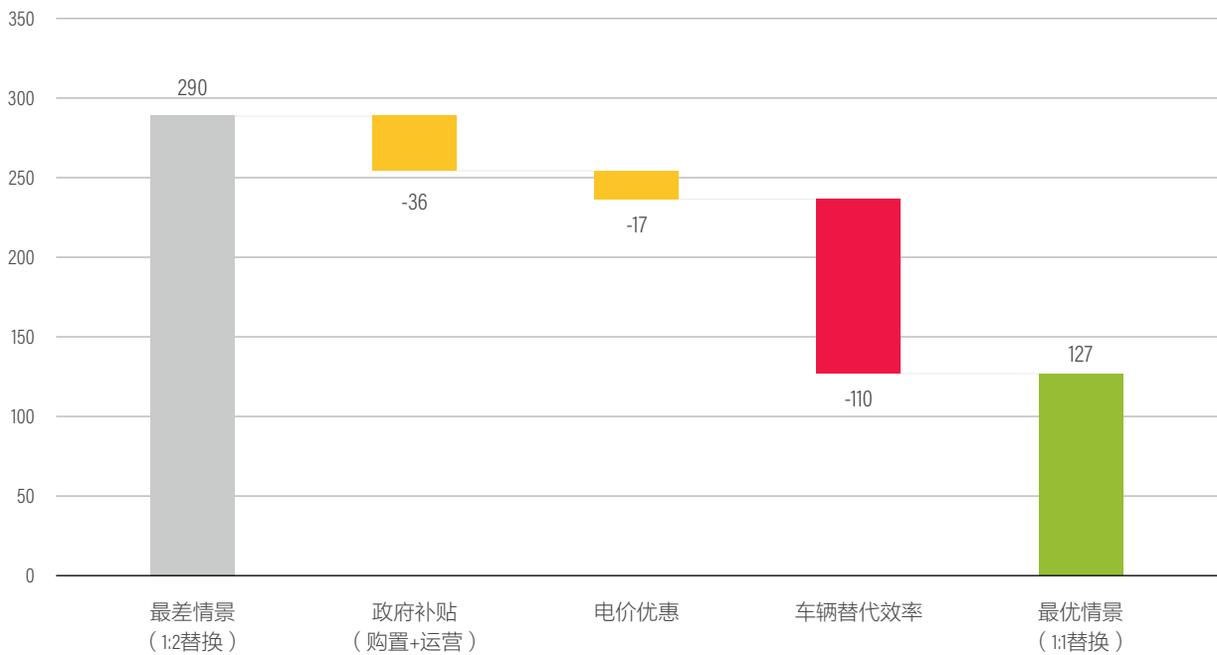
- 从纯电动公交车全生命周期成本看（见图16），如果购车时利用政府购置补贴，且运营中利用平峰电价（并不是所有城市都有峰谷电价或针对公交车的充电优惠），可在8年中降低近55万元的全生命周期成本。其中，国家和地方购车补贴和国家运营补贴（以3年计算）共计降低36万元成本，平峰电价充电可以降低17万元成本。但相比之下，提升纯电动公交车运营效率——即最大化纯电动公交车的使用率、减少配车数，对降低纯电动公交车生命周期成本的贡献幅度最大，高达110万元（几乎相当于一辆纯电动公交车的价格）。在2018年纯电动公交车与燃油公交车1:1替换效率下，即使没有政府购置和运营补贴，纯电动公交车全生命周期成本为180万元，也比燃油公交车的207万元有明显的成本优势。所以，在政府补贴退坡的背景下，公交企业可通过提高纯电动公交车运营效率来节省成本。

纯电动公交车运营效率不高还会影响城市引入纯电动公交车的积极性，极端情况下——如车辆运营中充电时间超过预期或车辆行驶中发生故障，甚至会影响服务质量。

图 16 | 2018年价格与补贴水平下不同纯电动公交车和燃油公交车替代情景的单车全生命周期成本比较（万元）



说明：1. 补贴含 2018 年国家与地方购置补贴（国家购置补贴为 12 万元、地方购置补贴为 6 万元），以及 3 年的国家运营补贴（每车每年为 6 万元）。



说明：1. 2018 年 10 米纯电动公交车单车价格估算为 110 万元（车辆价格与具体电池容量大小相关，这里假设为电池系统容量为 200kWh）。政府车辆购置补贴为 18 万元（国家购置补贴 12 万元加地方购置补贴 6 万元），国家运营补贴每车每年为 6 万元（1：2 替换时不计国家购置补贴，仅计算 3 年运营补贴）。

2. 假设纯电动公交车百公里耗电量为 90kWh；峰值电价（含充电服务费）为 1 元 /kWh，平峰电价（含充电服务费）为 0.6 元 /kWh

3. 纯电动公交车全生命周期价格含车辆购置价格、燃油公交车替换效率、8 年的总电费及维修成本。充电桩 / 站等配套设施建设成本和人工成本未计入。

4. 燃油公交车生命周期价格中，购车价格为 50 万元，8 年运营与维修成本分别为 11789 万元和 39.48 万元（深圳市都市交通规划设计研究院 2018）。

5. 纯电动公交车和燃油公交车理想情况下年行驶里程为 6 万公里。

6. 最差情景指 1：2 替代效率、无补贴且采用峰值电价，最优情景指 1：1 替代效率、有政府补贴且采用平峰电价。

## 影响纯电动公交车运营效率的因素

在过去的几年里，虽然纯电动公交车价格昂贵，但是中国国家和地方政府均提供了各种类型的高额补贴加速其推广。以纯电动公交车年销售量最大的2016年为例，如果地方购置补贴按国家购置补贴的50%计算，国家和地方购置补贴总额可高达60万元，接近车辆售价的40%~50%；部分纯电动公交车补贴后价格甚至与燃油公交车相当。在购置补贴基础上，在符合国家每年新增和更换新能源汽车比重的城市，每辆纯电动公交车还将享受4万~8万元不等的运营补贴。以上还不包括地方城市在充电基础设施等方面的优惠与补贴措施。这些国家和地方的补贴措施极大地缓解了公交企业的购车压力，激发了纯电动公交车数量的高速增长。

然而，中国纯电动公交车推广初期，在高额补贴的驱动下，新能源汽车制造企业如雨后春笋大量出现，企业水平、产品性能参差不齐，部分产品无法达到实际使用要求。此外，由于纯电动公交车购置补贴每年均有较大幅度退坡，很多城市选择将车辆换购计划提前，甚至超实际需求购车。与此同时，由于当年财政补贴政策出台时间较晚，各地公交企业为争取当年财政补贴，在政策发布后的短时间内完成采购、上牌等工作，车辆和电池性能与质量难以保证，充电配套设施也无法短时间建设到位，从而导致车辆采购与实际需求之间出现脱节，“有车无桩”、运营不适应、行车计划调整频繁等问题突出。

不可否认，自2017年起，随着国家补贴快速退坡，纯电动公交车回归市场竞争，车辆性能不断提高，购车需求也更加趋于理性。虽然纯电动公交车运营效率（如日行驶里程）等指标有所提升（见图17），但其提升幅度较之纯电动公交车数量增长幅度相比仍较小。此外，不同城市对纯电动公交车性能选取与运营管理的理解也参差不齐。

基于问卷调查和实地调研，公交企业、行业主管部门反映，真正影响纯电动公交车运营效率的原因包括以下几个方面：

### 车辆因素：

- 车辆性能（如续驶里程、充电速率）与运营要求的匹配度。
- 车辆质量（车辆故障类型、故障频率）。

### 充电桩因素：

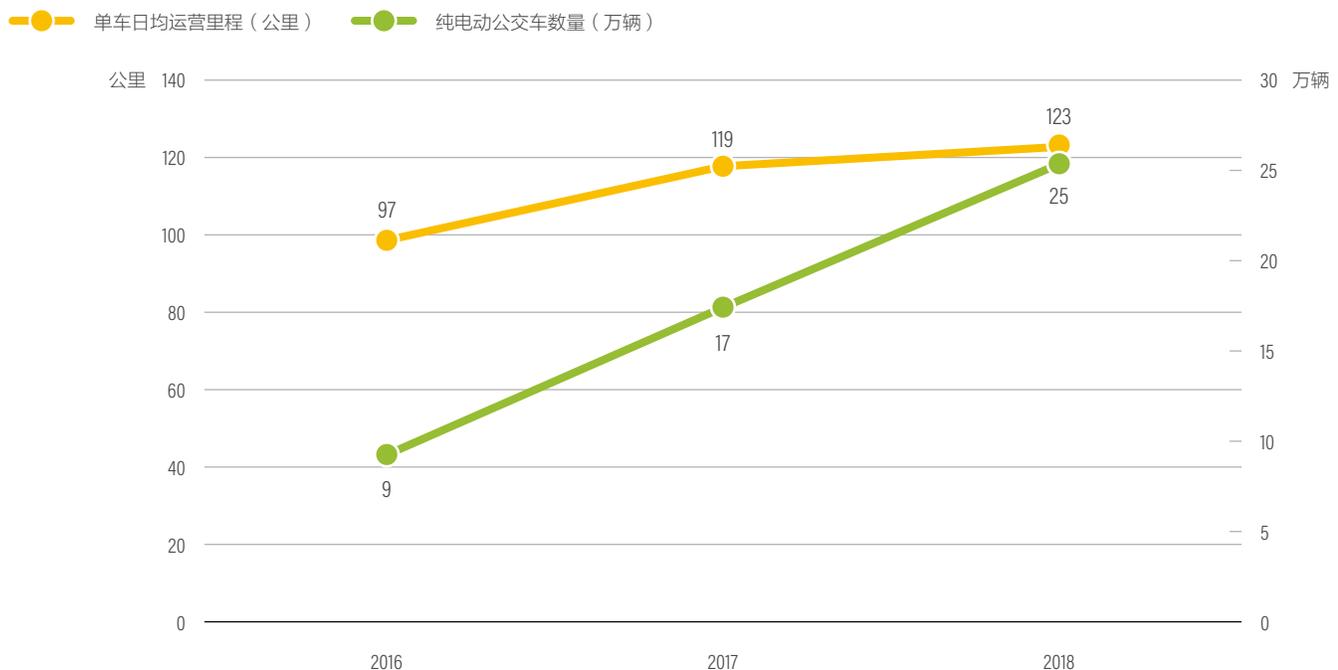
- 充电桩规划、建设与完成进度（间接与场站用地土地、电网容量相关）。

### 运营因素：

- 运营组织优化与车辆充电协同调度。

将以上因素投射到车辆购置、运营、维护不同阶段，可以发

图 17 | 2016—2018年全国纯电动公交车数量及单车日均运营里程变化



现，影响纯电动公交车运营效率的主要原因可追溯到以下阶段（见图18）：一是车辆前期购置阶段没能妥善处理的问题在运营阶段浮现，包括车辆性能不满足运营要求、充电桩配套不到位等；二是纯电动公交车引入运营势必要对原有燃油公交车的运营维护方式进行调整，包括行车计划调整、运维人力和技术提升等。

根据问卷调查（见图19），以上因素中，车辆性能（如续航里程、充电速度）不足与充电桩短缺分别是影响纯电动公交车运营的最重要的因素。虽然缺乏运营和维护经验相对不那么重要，但也是较常见的问题，特别是对于首次引入纯电动公交车的企业而言。

图 18 | 各类改善纯电动公交车运营效率的措施所对应的车辆购置、运营和维护阶段

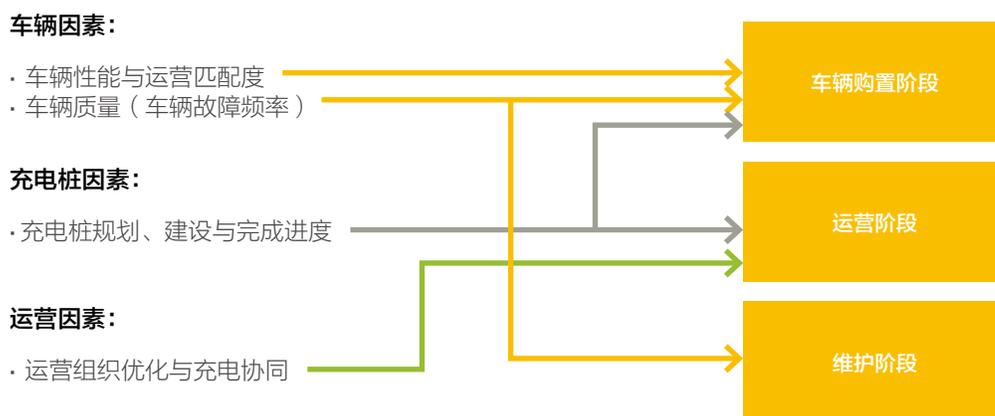


图 19 | 纯电动公交车运营现状与各影响因素的重要程度（自助抽样法后的样本量）

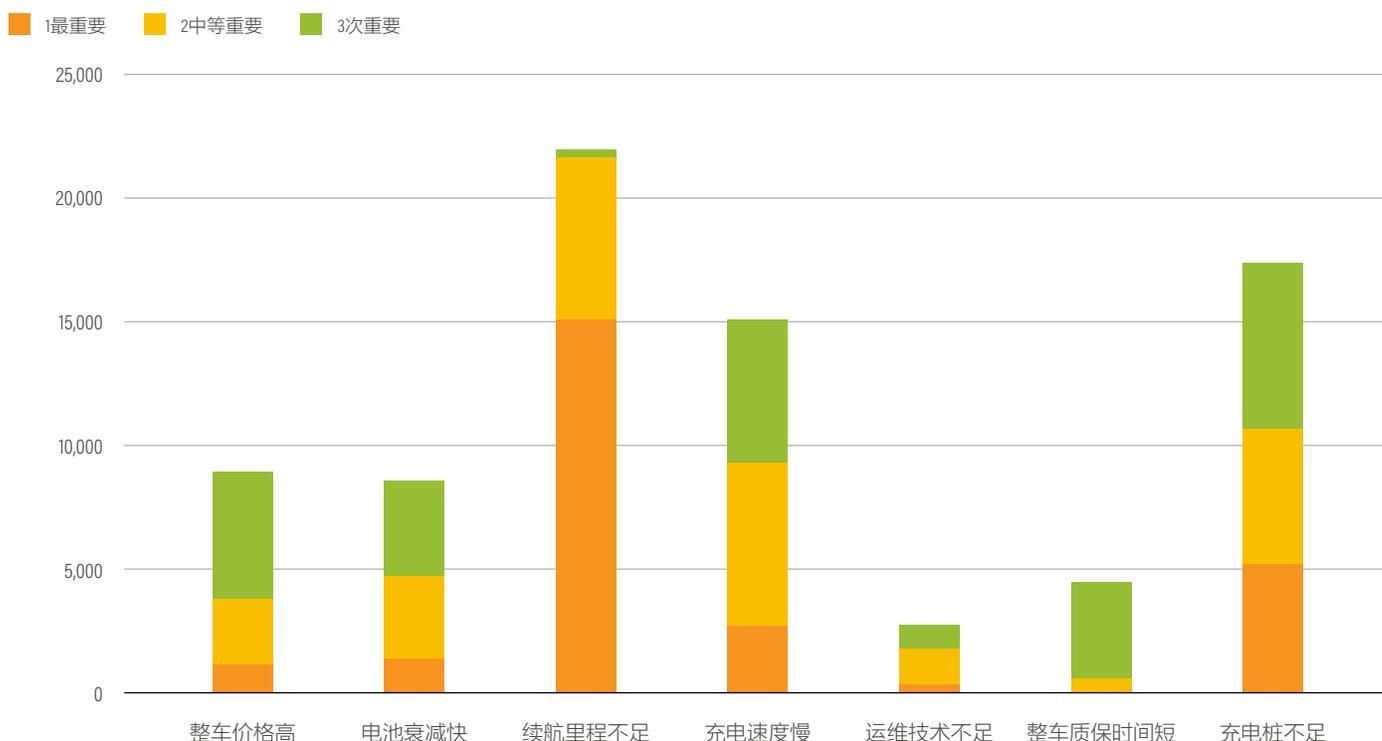


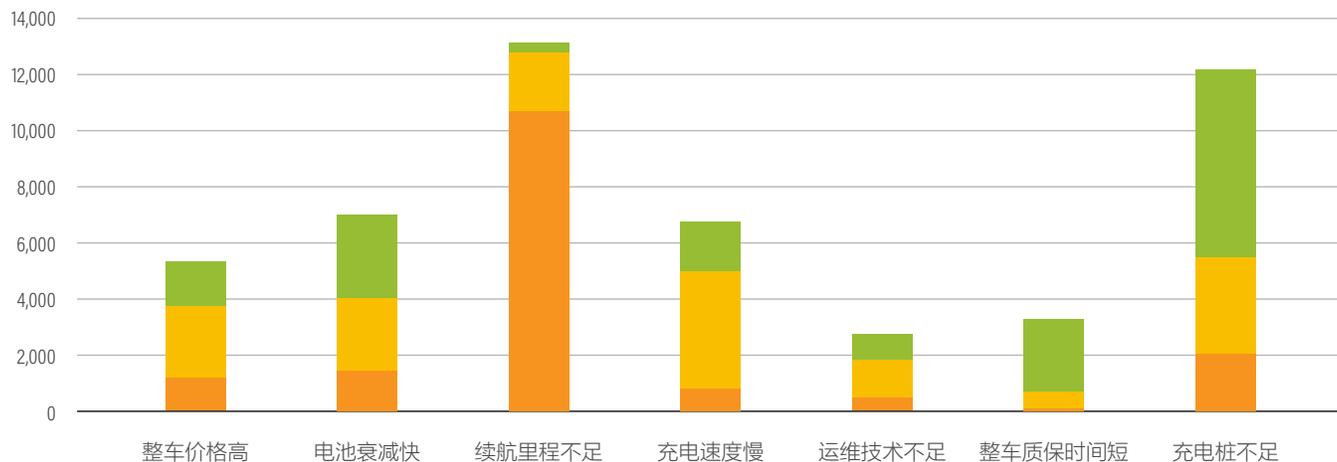
表 7 | 15个样本城市的快、慢充运营模式

快充运营模式	慢充运营模式	快、慢充运营模式兼备
北京 贵阳 成都 重庆 济南	郑州 深圳 杭州 上海 武汉 青岛 苏州 宜昌	南京 株洲

图 20 | 慢充、快充为主的的城市所关注的车辆性能（自助抽样法后的样本量）

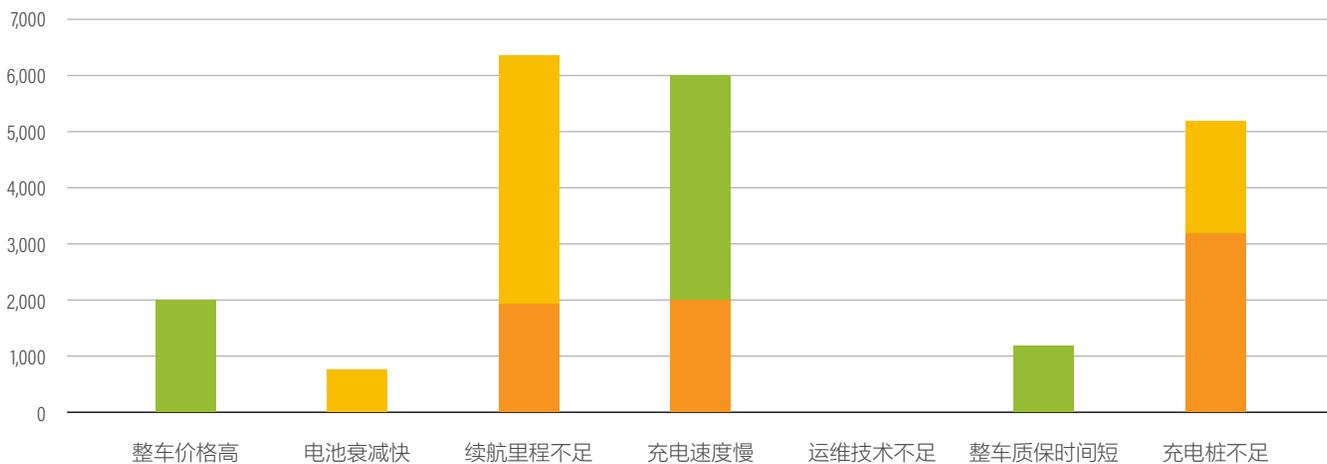
a. 以慢充为主的的城市关注的问题

1最重要 2中等重要 3次重要



b. 以快充为主的的城市关注的问题

1最重要 2中等重要 3次重要



## 车辆性能与实际运营需求的匹配度

根据问卷调查得到，公交运营计划编排和调度中必备的纯电动公交车车辆性能指标主要包括车辆实际续航里程、实际百公里耗电量和实际充电速度（kWh/分钟），而车辆性能指标要求会因快、慢充技术有所差异。

一般而言，快充、慢充方式由充电倍率大小决定：按国家新能源汽车财政补助要求，充电倍率高于3C的车辆（即20分钟以内充满电）视为快充（财政部等2018）。但是在电池技术快速发展的今天，新车的充电倍率不断提高，快充、慢充的界限也越来越模糊，一些车辆生产企业甚至将充电倍率高于1.6C的车辆（即30分钟以内充满电）也称为快充车辆。

其实，从公交运营上看，快充和慢充最大的区别是由电池容量和充电速度不同导致的运营方式的差异。慢充运营依靠大容量电池，充电倍率不高，夜间充电后基本可以满足一天运营要求；快充运营搭载电池容量不大，充电倍率较高，需要日间经常补电。例如，即便是充电倍率仅有1.6C的慢充车辆（即40分钟充满电），在行驶里程不长的公交线路上也完全可以以快充方式组织运营。

基于以上讨论，在15个定量分析城市中，9个城市（如深圳、郑州等）以慢充运营方式为主，4个城市（如北京、贵阳、成都等）以快充运营方式为主，2个城市（南京和株洲）混合了快充与慢充运营方式，即不同线路采取不同运营模式（见表7）。此外，城市对快、慢充运营方式的选择并非一成不变，而是随着新购置车辆技术性能的变化而变化。例如，重庆的纯电动公交车2016年前采用快充运营方式，目前正转向慢充运营方式；苏州的纯电动公交车则正从慢充运营方式向快充运营方式转变。不过，由于车型与充电技术不一致，这些转变可能在未来对充电桩、维修团队、零件更新等提出新要求。

根据调查问卷分析，快、慢充运营模式不同的城市对车辆性能也有不同的要求：慢充为主要的城市更关注车辆续航里程，而快充为主要的城市更关注车辆续航里程与车辆充电速率——即单位充电时间下的续航里程，或百公里充电时间（见图20）。

**快充型运营方式：**快充型运营方式尽可能以多次、快速的补电时间维持较长的日运营里程，而车辆续航里程的不足由多次快速充电弥补。该运营方式最关注续航里程和充电速度的结合，即单位充电时间下的续航里程，或百公里充电时间（这里假设充电功率为车辆最佳充电功率）。

- 续航里程：问卷调查显示，纯电动公交车续航里程一般为60~90公里，与线路1~3圈周转距离相当。对续航里程的具体选择取决于线路长度、充电桩分布与数量，如果充电桩不足或线路里程较长，快充车辆续航里程要求更高。

- 充电特点：为满足运营日里程要求，快充车辆会进行多次日间补电。根据新能源汽车国家监测与管理中心的统计，日间补电次数可高达2~4次；平均日间补电时长为20~30分钟（基本充满电），与高峰终点站停站时间基本相当。鉴于快充车辆“即充即走”的特点，在夜间停运时可以视充电桩多少选择不充电。

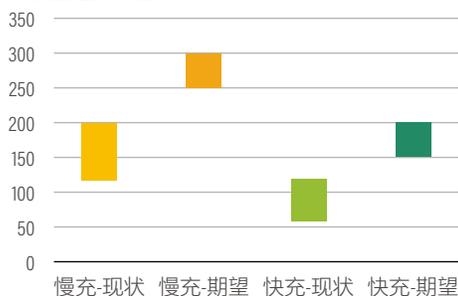
**慢充型运营方式：**由于慢充耗时长、效率低，因此运营中要求日间补电次数尽可能少（最多1次补电），利用电池的高续航里程完成日运营里程要求。该运营方式最关注续航里程。

- 续航里程：慢充车辆的续航里程普遍比快充车辆更长，基本与线路的日运营里程相差无几，最多借助1次补电补充续航里程的不足。问卷调查显示，目前慢充车辆续航里程为120~240公里（见图21）。

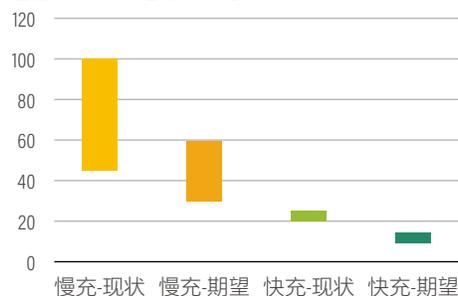
图 21 | 调查城市对快充、慢充公交车在续航里程、充电速率上预期

运营方式	目前续航里程（公里）	目前运营中单次充电时长（分钟）	目前日运营充电次数（次）
快充型运营方式	60 ~ 120	15 ~ 25	2 ~ 4
慢充型运营方式	120 ~ 240	45 ~ 100	0 ~ 1

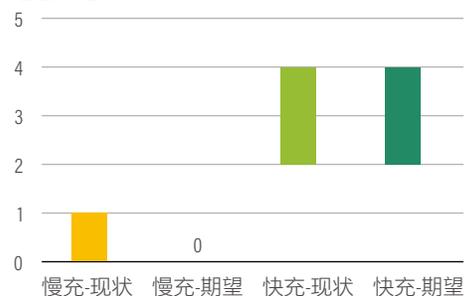
续航里程（公里）



运营中单次补电时长（分钟）



运营补电次数（次）



来源：问卷调查、大数据分析

■ 充电特点：根据新能源汽车国家监测与管理中心的统计，慢充车辆平均日间补电时长为1~1.5小时，日间补电次数为1次以内。由于慢充对补电时间选择更谨慎，慢充车辆多选择在日间平峰补电。

然而，无论是快充或慢充运营模式，如果车辆性能在实际路况下不如预期，或公交企业早期购车时决策草率，均会影响纯电动公交车的运营效率。

一方面，由于公交企业对新能源车车辆缺乏深入了解，且受早期纯电动公交车技术发展制约（纯电动慢充公交车6~10米车型平均续航里程从2015年起才逐渐超过200公里），一些城市采购纯电动公交车时选择了续航里程有限的车型。例如，不考虑电池衰减等因素，慢充车辆续航里程只有超过240公里且平峰时补电1小时，才可能满足280公里的日运营里程要求（大约为20公里长的公交线路“正班车”日运营里程）。即便纯电动公交车续航里程达200公里，也仅能提供不超过245公里的日运营里程，无法满足一般“正班车”280公里左右的日运营里程要求（见表8）。对于续航里程足够的快充车辆，可以通过多次平峰补电延续运营里程达280公里。但对于续航里程低于50公里的快充车辆（即每跑完一圈需要充满电），则无法满足高峰时间大频率发车需要，要在高峰期利用其他备用车，因此日运营里程也会打折扣（见表8）。

另一方面，车辆生产企业提供的工况续航里程、充电速率是针对标准路况的，经常与实际路况存在很大差异，由于买卖双方信息不对称和购车招投标的限制，公交企业较难在购置前对车辆进行实际路况测试，以获得准确的车辆性能信息。此外，在车辆

使用中，考虑到空调使用情况、电池衰减情况、季节变化、行驶工况和驾驶行为等，车辆性能表现也会有较大差异。

首先，标称续航里程含NEDC和等速法两类工况，NEDC工况续航里程与等速法工况的续航里程可相差150公里。此外，交通运输部科学研究院等（2019）对北京市纯电动公交车实际续航里程的大数据研究表明（见图22），纯电动公交车的实际续航里程仅为标称NEDC里程的40%~80%。本调研中个别城市反映，纯电动公交车工况标称续航里程为150公里，但实际续航里程只有80公里。

其次，受空调使用情况、季节变化、行驶工况等因素影响，纯电动公交车实际性能会产生较大幅度波动。其中，根据中国汽车技术研究中心有限公司EV-test和中国电动汽车百人会研究部（2018）的实测分析，冬季（特别是温度低于零下15℃时）使用空调对电动车能耗影响最大，实际续航里程在极寒天气工况下的降幅可达52%。个别城市也反映，纯电动公交车工况标称续航里程为150公里，冬天开空调情况下的续航里程甚至会低至50公里。另外，受严寒气候干扰，电池充电速率也会大幅延长。根据宇通客车测试，极寒天气时的车辆冷却后充电时间是正常温度充电时间的5倍（见表9）。但是如果车辆能在运营后立即充电（电池温度一般大于15℃），充电时间延长一般不超过5分钟。

此外，电池衰减也是重要影响因素。据亚洲开发银行统计，中国城市中，工况下续航里程280公里的慢充纯电动公交车的实际路况续航里程不超过220公里，而运营八年后，实际续航里程有可能衰减到150公里。交通运输部科学研究院等（2019）的研究表

表 8 | 不同实际续航里程下慢充、快充纯电动公交车最大日运营里程（估算）<sup>1</sup>

参数	慢充型运营			快充型运营	
	240 <sup>3</sup>	200	120	90	50
续航里程（公里）	240 <sup>3</sup>	200	120	90	50
运营方式	平峰期补电 60 分钟，可增加约 75 公里续航里程			约每周转 2 圈 <sup>4</sup> 补充 10 ~ 20 分钟电	约每周转 1 圈补充 10 ~ 20 分钟电
最大日运营里程（公里）	280	245	175	280	200

说明：1. 假设充电桩完善，车辆无须排队等待充电。

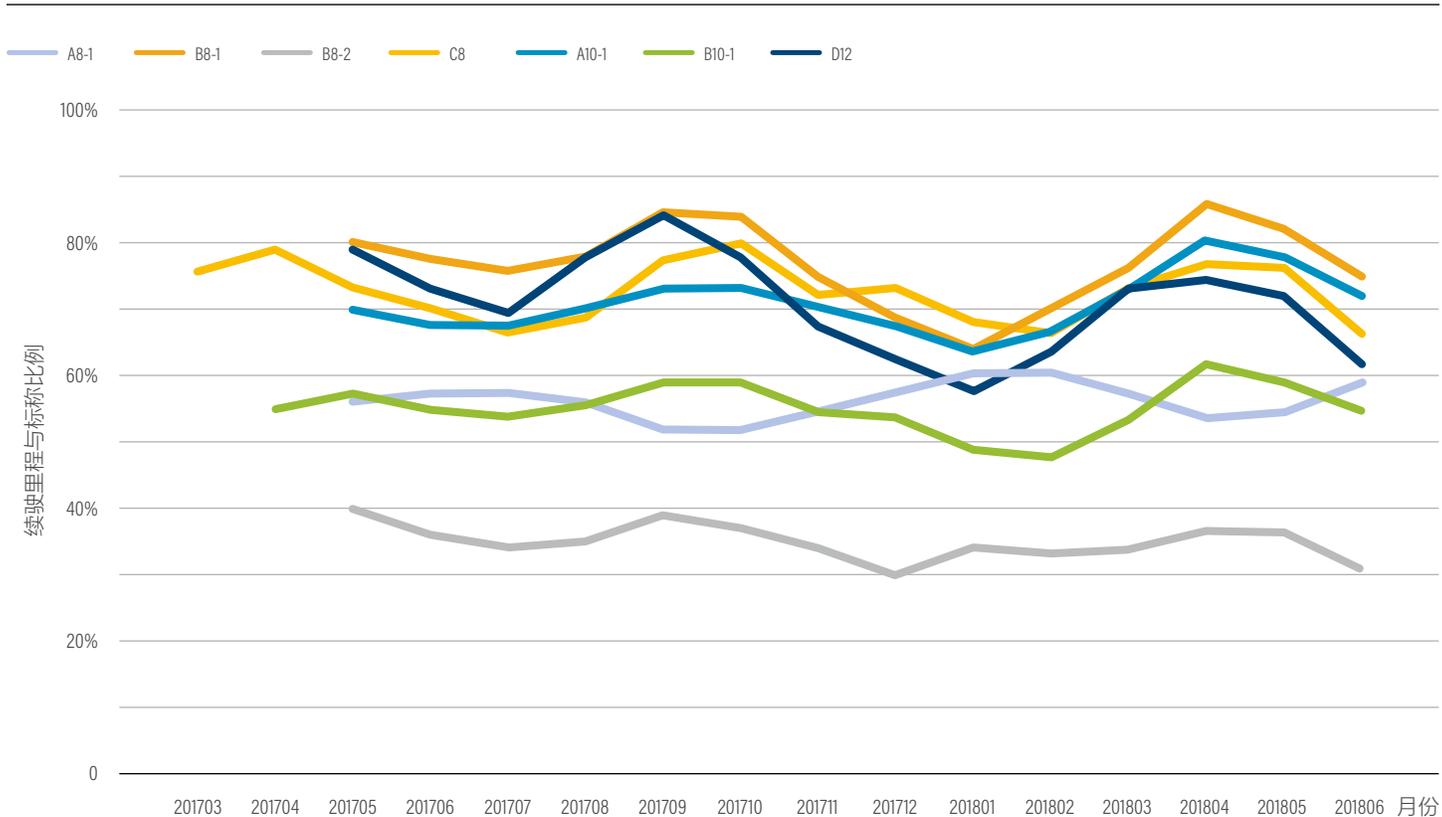
2. 假设每分钟补电量为 1kWh，每公里耗电量为 0.8kWh，充电前剩余 SOC 不低于 15%。补电 60 分钟可最多维持 75 公里运营里程，补电 30 分钟可最多维持 375 公里运营里程。

3. 对快充车辆，假设线路长度为 20 公里，一周周转里程为 40 公里。“正班车”一天周转大约 7 圈。对于续航里程小的车辆，出于频繁充电需要，早晚高峰各减少一圈。

4. 往返 1 次（2 个单程）记作 1 圈。

注：以上结果会随充电桩完善程度、充电速度、百公里耗电量、线路长度等前提条件的变化而变化，请慎重参考。

图 22 | 北京市纯电动公交车续驶里程与标称比例



说明：A8-1、B8-1 等为不同品牌不同车型。  
来源：交通运输部科学研究院等（2019）

表 9 | 不同电池温度时的充电延长时间

电池充电起始最低温度	充电开始后延长时间 SOC 从 20% ~ 100%
> 15°C	5 分钟以内
5°C	10 分钟
0°C	25 分钟
-15°C	50 分钟

来源：宇通公司测试数据

明，除了总行驶里程外，电池衰减还与车辆电池容量和环境温度有关，其中：

- 电池衰减与搭载的电池容量大小成正相关：电池容量大的车辆，电池一致性难保证，衰减快。因此，带电量大的慢充纯电动公交车面临的电池衰减挑战可能更严峻。
- 电池衰减与环境温度呈负相关：东北等极寒地区受到温度影响，电池衰减更快。

纯电动公交车的车辆续驶里程和充电速度随季节、年份的波动起伏，导致企业要经常性调整行车调度计划，甚至要提前淘汰电池衰减过快的车辆。

## 充电桩规划与建设实施情况

充电桩配套短缺、建设困难是继“续驶里程不足”后，国内城市推广纯电动公交车面临的第二大难题。首末站充电桩不足可导致公交车绕道去较远的场站充电或大量车辆排队充电的情况，增加车辆充电时长、提高运营车辆剩余电量要求（车辆需及早发车去充电），从而影响运营效率。

### 纯电动公交充电桩的数量需求

衡量纯电动公交车充电桩需求通常采用车桩比。为保障充电桩配套建设，很多中国城市均提出车桩比目标。不同城市纯电动公交车车桩比目标值各异，分布从1:1到2:1、3:1，甚至6:1不等（见表10）。

事实上，充电桩的车桩比目标不是标准化的“一刀切”<sup>4</sup>。纯电动公交车充电桩数量需求与快慢充技术选择紧密相关。一方面，快充车辆与慢充车辆相比，对充电桩需求更低；另一方面，如果充电桩数量充足，车载电池容量可以更小：

- 快充技术：由于快充桩利用率高、周转快，因而对充电桩数量要求较低。假设快充车辆每运营2圈充电一次，且一小时内有12辆纯电动公交车回到首末站，其中6辆纯电动公交车需要充电（即剩余电量多的车辆可在下一圈充电）。如果单车单次充电时长为20分钟，最少配备2个充电桩，即车桩比6:1就能满足充电需要。如果单车单次充电时长为10分钟，则所需充电桩更少，车桩比可达12:1。但考虑到道路拥堵的影响，公交车并不是等间隔回到场站，且充电时长受气温影响，因此应对快充桩提供少量备用冗余。
- 慢充技术：慢充桩周转速度慢，对充电桩数量要求高。慢充主要集中于夜间，即车辆夜间集中回场后对充电桩数量要求最大，夜间如果以8小时计算，车辆慢充充满时间如果为3~4小时，则1个充电桩可服务2~3辆车，车桩比为2:1或3:1。

同时，车桩比是一个与地理位置紧密相关的指标，城市层面单一的公交车桩比未必能很好地反映充电桩配套的完善程度。例如在南京，部分车队的最低车桩比达1:1，最高为8.8:1。因此，将车桩比细化到车队和场站层面能够更好体现纯电动公交车充电桩在城市不同位置的需求程度。

表 10 | 典型中国城市纯电动公交车车桩比目标与现状

充电类型	城市	城市目标车桩比	当前车桩比	车桩比理论参考值
慢充为主	深圳	3 : 1	3 : 1	
	郑州	2 : 1	2 : 1	
	南京	1 : 1	1.4 : 1	2 : 1 或 3 : 1
	青岛	3 : 1	3 : 1	
快充为主	重庆	6 : 1	6 : 1 以下	
	贵阳	--	6 : 1	6 : 1
	北京	--	9 : 1	

说明：数据来源于世界资源研究所 2018 年问卷调查、实地调研和深圳市都市交通规划设计研究院 2016 年调研。

## 纯电动公交车充电桩规划的挑战

充电桩规划不是在购车后，而是与车辆购置同步执行；当遇到城市老城配电网容量不足，或者公交入场率低、路侧停车比例高的情况，城市交通管理部门与公交企业可提前根据建桩条件，调整车辆技术选型、充电技术（快、慢充）和购车计划。

但现实中，为了获取补贴，很多城市选择在购置车辆后才开始考虑充电桩问题。而充电桩建设是个复杂工程，不仅涉及多部门，也牵涉土地、资金等公交场站传统建设难题，难以在短期得以解决，从规划到实施通常需要经历约一年时间，催生出很多“有车无桩”的问题。

本研究问卷调查显示，纯电动公交车充电桩建设的主要阻碍包括（见图23）：

- 公交场站自身用地短缺，租赁（临时）场站建桩难：截至2017年年底，中国城市车均场站面积为116平方米/标台，36个中心城市车均场站面积为102平方米/标台，分别是《城市道路公共交通站、场、厂工程设计规范》（CJJ/T 15—2011）推荐值200平方米/标台的58%和51%。公交企业自有产权的公交场站普遍匮乏，使得很多公交车需要利用临时场地（如高架桥下空间）或租赁用地停车。作为典型代表，济南的公交场站中，自有场站面积仅占比30%，租赁停车场面积占比高达43%（见表11）。重庆公交车的入场率也

图 23 | 纯电动公交车充电桩建设阻碍按重要度排序（自助抽样法后的样本量）

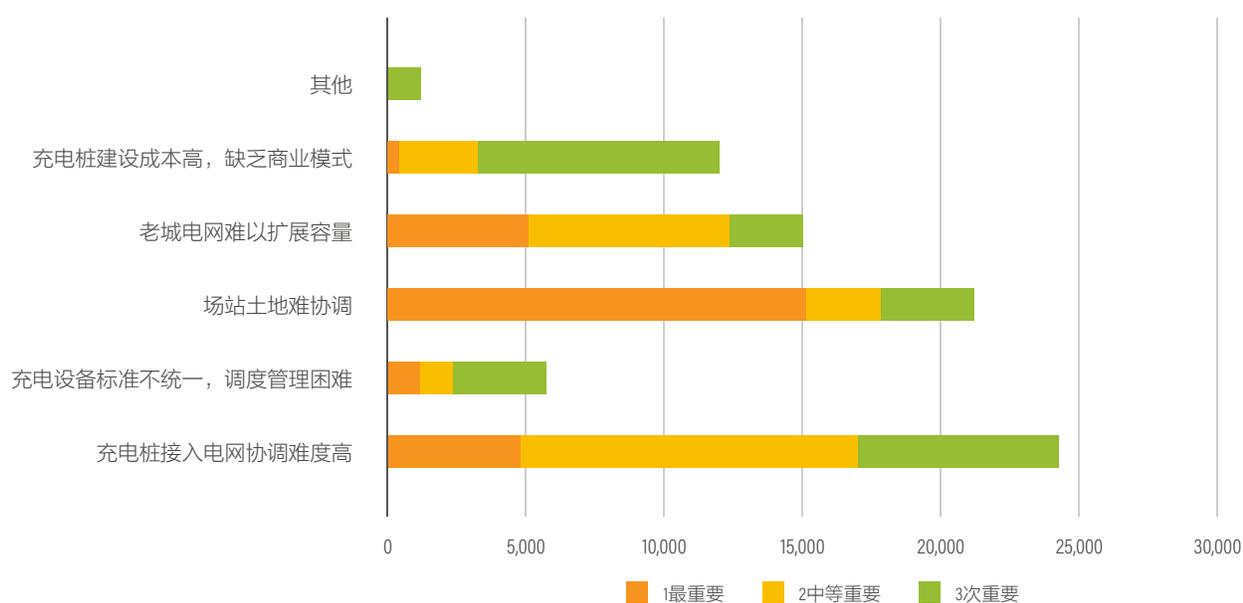


表 11 | 济南公交场站分类表

场站分类		场站数量	场站面积（公顷）	面积比例
划拨公交车场	有土地证车场	25	2796	30.05%
	正在办理使用权手续车场	8	19.18	20.62%
租借公交车场	高架桥下停车场	11	6.28	6.75%
	其他租借停车场	47	39.61	42.58%
合计		91	93.03	100%

来源：实地调研资料

仅为35%。一方面，在租赁（临时）场站上建桩，通常面临产权、充电桩使用年限与用地协议期限不匹配，以及电费（及损耗）结算等问题。另一方面，对采用夜间路侧停车的情况，公交车充电桩的建设协调难度更大，基本无法实现夜间充电，仅能依靠日间在临时场站快充补电。

- 充电桩接入电网协调难度大、电网扩容成本高：由于纯电动公交场站的用电负荷远高于居民负荷，所需用电容量从500kVA到7500kVA不等（见表12），通常会超出用地范围内配电网变压器的容量，这就需要增加变压器和线路容量，或单独接入配电网、建立场站专属变电站。虽然根据国家发展和改革委员会颁布的《关于电动汽车用电价格政策有关问题的通知》，电动汽车充电设施产权分界线外的接线土建设备投入由电网负责，但现实中对充电桩的大量需求超出了电网企业配电网扩容规划预期。因此，电网扩容的问题不仅在于公交企业（或委托的充电桩建设企业）需要投入高额的变压器等设备购置成本，也在于和场站物业业主与电力部门沟通协调的成本。

充电桩短缺可通过各类措施提前避免。从公交企业层面：一是对充电桩进行合理规划并对快慢充技术进行理性选择，例如，贵阳在引入新能源公交车之初，就考虑到老城区电网容量不足、公交车进场率低、建桩条件有限等问题，因而选择了快充公交车。二是合理安排纯电动公交车购车计划、优先将纯电动公交车投放在首末站有建桩条件的线路，例如郑州等城市在公交线路首末站具备建桩条件后才购买纯电动公交车。

从政府层面，可以组成跨部门工作组，进行充电桩专项规划，在规划中组织电力部门对既有公交场站进行变压器容量筛查，对于需要扩容的场站及早提供财政支持，在一定期限内完

成充电基础设施的建设，简化充电桩建设审批流程，为充电桩建设提供便利。此外，也不乏一些针对电网容量不足的创新解决方案，例如济南等城市考虑在公交场站增加光伏分布式发电站，虽然该措施的投资回报率仍有待验证，但可在某种程度上缓解配电网容量不足的问题。政府跨部门工作组也应针对公交场站规划建设难的传统问题，展开城市用地梳理，多渠道、多方式挖潜，并鼓励公交场站综合开发。

## 运营组织调度与充电协同

全部由纯电动公交车组成的车队在运营计划安排上与燃油公交车有显著差异。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，纯电动公交车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调度时间（见图24）。因此，公交线路引入纯电动公交车后，有必要对其车辆运营计划进行调整适应。

### 传统燃油公交车运营时间组成

基于纯电动公交车充电特征的大数据分析表明，不同城市纯电动公交车运营中充电时间和次数差异很大（见图25）。如慢充为主的深圳，车辆充电主要集中在中午平峰时间和晚间停运时间，而以快充为主的北京，运营高峰、平峰都有充电需求。

基于各个城市在高峰时段（早晨7点到9点和下午17点到19点）充电次数占全天充电次数的比例（见图26）进一步说明，快充型运营充电刚需大，在运营高峰时段充电在所难免。慢充型运营中，车辆的充电时间相对灵活，可避免在运营高峰时段充电。

纯电动公交车行车计划并不是固定的形式，其编排需要与纯电动公交车的车辆性能适配，特别是针对快充型运营和慢充型运营

表 12 | 纯电动公交场站的用电容量需求估算

	场站公交车数量	单桩充电功率 (kW)	最大充电负荷 (kW)	额定配电容量 (kW)
慢充型运营	20 辆公交车 车桩比 2:1	40	400	500
		120	1200	1500
快充型运营	20 辆公交车 车桩比 6:1	120	480	600
		240	960	1200
慢充型运营	100 辆公交车 车桩比 2:1	40	2000	2500
		120	6000	7500

说明：假设充电同时率为 100%，公交场站变电站最大负载率为 80%。

图 24 | 纯电动公交车与传统燃油公交车运营区别

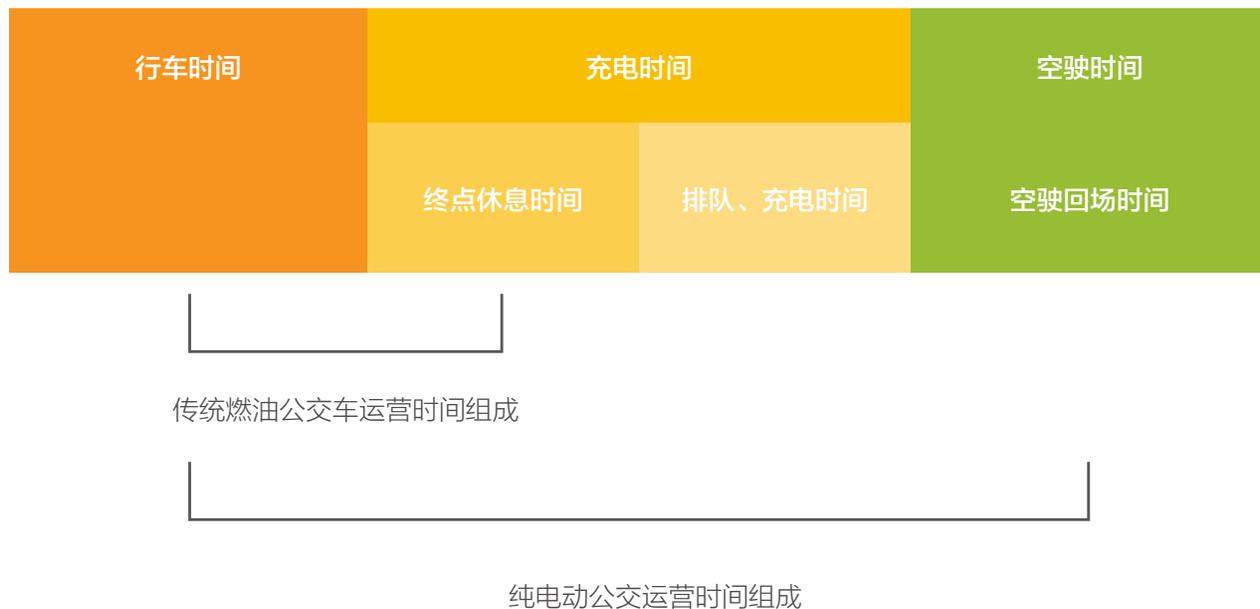
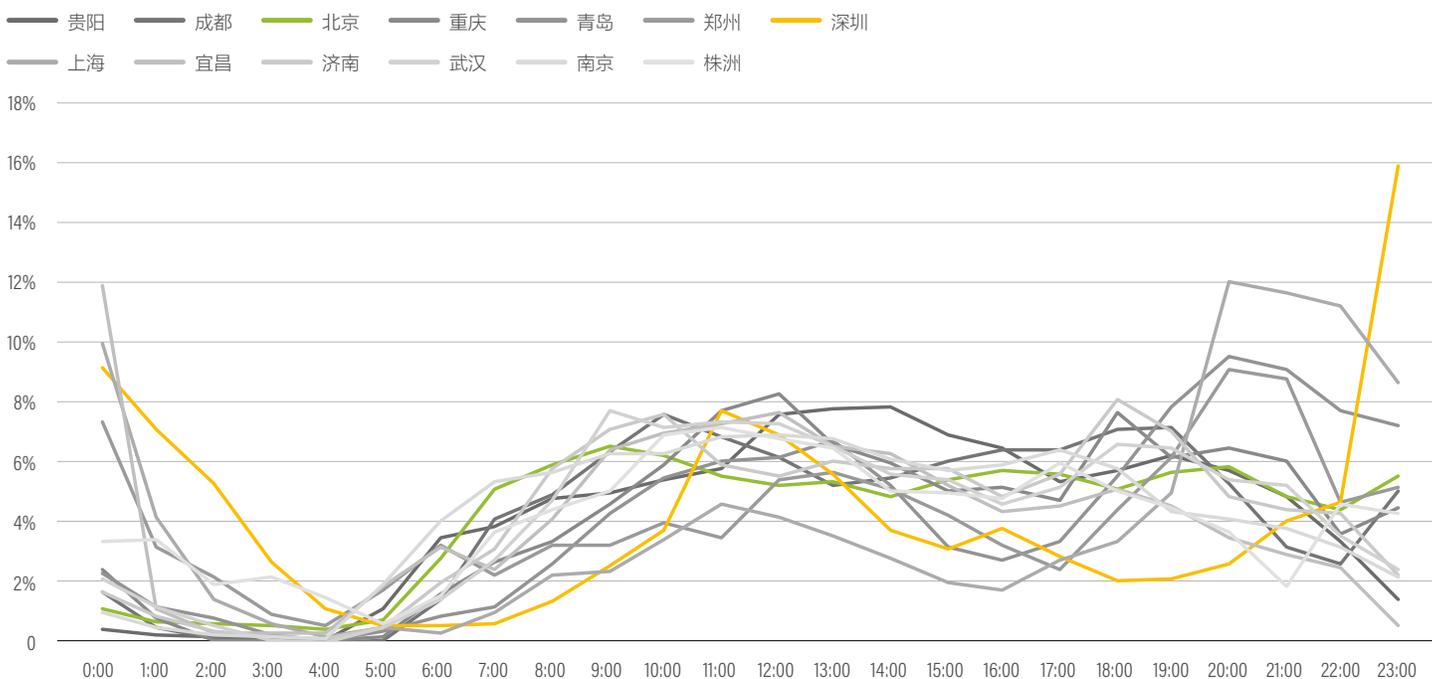
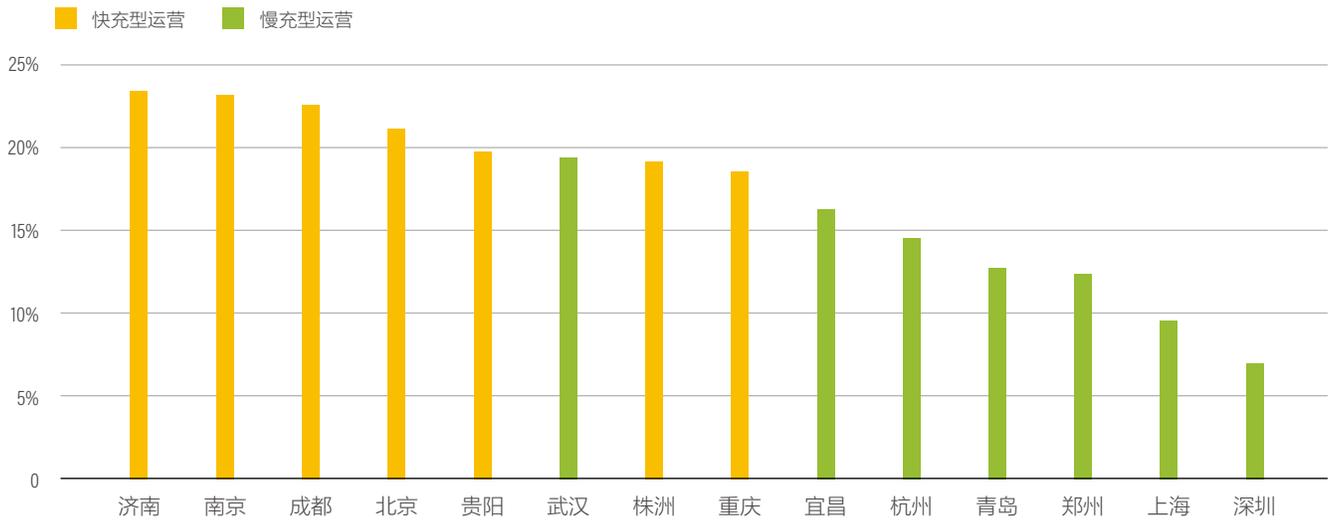


图 25 | 各城市纯电动公交车充电开始时间分布（即不同时间段内充电次数占总充电比例）



说明：北京为典型快充型运营城市，深圳则是慢充型运营城市的代表。  
来源：新能源汽车国家监测与管理中心

图 26 | 各城市高峰时段纯电动公交车充电次数占全天充电次数比例 (%)

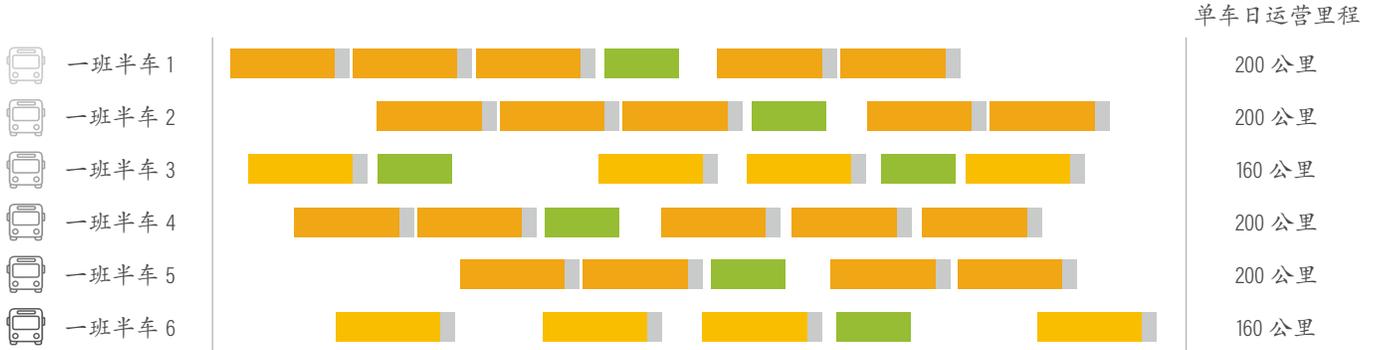


来源：新能源汽车国家监测与管理中心

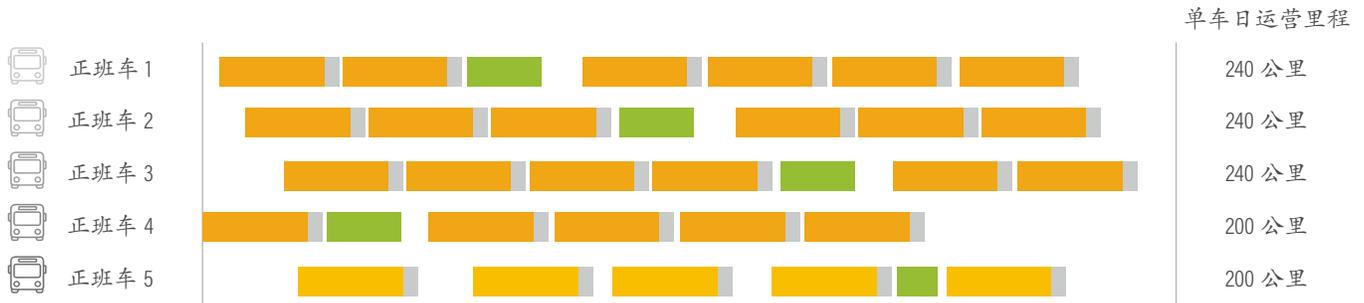
图 27 | 纯电动公交车续驶里程200公里,不同策略下的行车计划 (假设有四辆正班车)

■ 纯电动车运营一圈的周转时间 ■ 充电时间 ■ 备用运营一圈的周转时间 ■ 终点休息时间

a. 策略3:纯电动公交车“一班半”替代示意(假设续驶里程200公里)



b. 策略4:纯电动公交车“挖潜”替代示意(假设续驶里程200公里)



说明：· 假设 20 公里线路上原先有 4 辆常规燃料“正班车”，日运营里程 280 公里。

· 假设纯电动公交车续驶里程 200 公里，运营间补电 1 ~ 15 小时，可达到日最大运营里程 240 公里；车辆平均时速为 15 ~ 18 公里 / 小时；首末站充电桩数量充足。

做出区分。这对公交企业意味着，纯电动公交车的运营计划需要因地制宜，根据线路客流、周转时间、车辆续驶里程、充电时间进行定制，对行业管理部门意味着，应谨慎采用“一刀切”的标准，造成对纯电动公交车运营效率评估的不公允。

此外，即便同一城市、同一条线路，纯电动公交车的行车计划也是不断优化过程，从低效率向高效率不断迭代。如果仅考虑线路配车数的最小化，同一线路上常见的行车计划策略有以下几种。

- **策略1（燃电混合）**：仅“高峰车”和“一班半车”替换为纯电动公交车，“正班车”采用燃油公交车，即纯电动公交车与传统燃油公交车混合使用，但对运营计划不做任何调整。该策略适于早期纯电动公交车推广。
- **策略2（1：2替代）**：所有车全部替换为纯电动公交车，“正班车”由两辆分别执行“早班车”和“晚班车”纯电动公交车取代，增加约30%配车数（假设“正班车”在线路上比例为30%，充电桩充足）。
- **策略3（一班半）**：所有车全部替换为纯电动公交车，“正班车”行车计划一律调整为“一班半车”制，增加约15%配车数（假设同上，见图27）。

- **策略4（挖潜）**：所有车全部替换为纯电动公交车，为“正班车”提供备用车，多辆“正班车”可共用一辆备用车，充电时启用备用车，着重提升“正班车”和备用车的使用率，可增加约9%配车数（见图27）。

- **策略5（1：1替代）**：所有车全部替换为纯电动公交车，维持原有线路配车数。“正班车”在平峰时利用早晚班交替的休息时间充电；在车辆紧张时如冬天，利用高峰车为“正班车”做备用。

其中，策略1、2、3目前较为常见，策略4、5的运营效率更高、更经济，但由于每辆纯电动公交车的潜力被挖掘到最大，当车辆性能发生变化时可能缺乏灵活性。实地调研中，一些城市的公交企业表示，在充分了解车辆性能基础上，会不断优化行车计划，从最初的燃电混合、“1：2替代”向“挖潜”或1：1替代方向改进（见表13）。

此外，随着城市购置的纯电动公交车数量增加，早期购置的续驶里程低、无法满足“正班车”运营要求的车辆可以重新配置到新线路上作为“高峰车”或者备用车；新购置的车辆可提高性能要求，满足“正班车”要求，填补早期购置里程不足的车辆在运营上的缺陷，使得更多公交线路能够实现高效率、100%电动化。

表 13 | 纯电动公交车替代策略与适用条件

策略	优势	配车数	适用条件	推荐程度
策略1：燃电混合	·维持原有配车数 ·对运营计划不做调整	不增加	适于早期纯电动公交车推广	推荐
策略2：1:2 替代	·行车计划表编制相对简单	增加 30%	适于早期纯电动公交车推广，或充电桩不足，或车辆性能实在不能满足线路要求	不推荐
策略3：一班半	·行车计划表编制相对简单	增加 15%	适于早期纯电动公交车推广，适于充电桩不足，或车辆性能实在不能满足线路要求	不推荐
策略4：挖潜	·仅少量增加配车数	增加 9%	适于纯电动公交车推广成熟的城市	推荐
策略5：1:1 替代	·维持原有配车数	不增加	适于纯电动公交车推广成熟的城市 ·对车辆性能、稳定性有较高要求 ·对行车计划表编制与充电安排要求更高	推荐

专栏 3 | 公交运营计划编制软件的国内外案例

自20世纪70年代以来，随着公交调度员职业吸引力减弱，在美国联邦公共运输管理局资金支持下，美国城市纷纷开始采用自动化的公交运营计划编制软件。截至2009年，美国几乎所有大城市的公交管理部门均采用了公交运营计划编制软件，其中以加拿大Giro公司开发的HASTUS软件较为常见。除美国外，公交运营计划编制软件已经成为新加坡、欧洲等国家和地区公交企业的标配。

专栏表 2 | 全美排名前10位的城市公交管理部门所使用的公交运营计划编制软件(Torrance等2009)

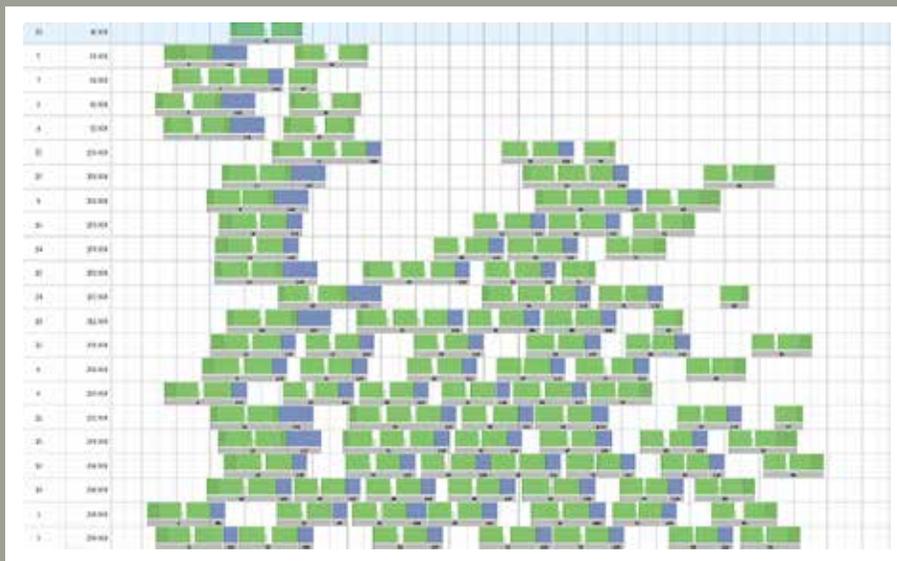
排名	城市公交管理部门	软件
1	纽约市大都会运输署	HASTUS
2	芝加哥交通管理局	HASTUS
3	华盛顿都市区交通局	TRAPEZE
4	洛杉矶县交通局	HASTUS
5	马萨诸塞湾交通局	HASTUS

来源：Torrance 等

在国内，郑州是较早开发与使用软件自动编制公交车排班表的城市。此外，郑州率先在全国开发了新能源车辆智能监控平台，实现了新能源公交车在工况下发动机的故障诊断和耗电量的动态监控。

专栏图 4 | 行车计划编制软件HASTUS软件的优化成果

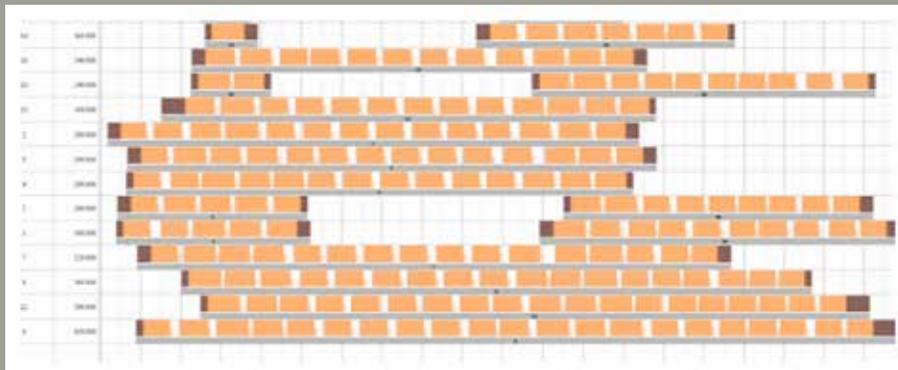
A. 优化前的纯电动公交车行车计划（22辆车参与运营）



来源：Frederic Bean, Electric Buses: Impact on Scheduling and Operations, GIRO Inc.

## 专栏 3 | 公交运营计划编制软件的国内外案例（续）

## B. 优化后的纯电动公交车行车计划（13辆车参与运营）



来源：Frederic Bean. Electric Buses: Impact on Scheduling and Operations. GYRO Inc.

考虑到纯电动公交车行车计划的复杂性，优化纯电动公交线路的行车计划越来越需要配合优化软件：

- 大部分中国城市公交运营计划的制定相对容易，公交车与线路、场站绑定，仅做单线规划，不做区域化跨线调度。所以，如果行车计划涉及单目标优化，如最小化使用的车辆数，调度人员可通过手动计算优化。不过，这一手工优化需建立在充分了解纯电动公交车在平峰期和高峰期的精确周转时间、所需最低充电电量与充电时间的基础上，且最终未必得到最优解。
- 如果进行多目标优化，例如最小化使用的车辆数和运营成本（特别是用电成本），或公交车与线路、场站不绑定，需要进行区域化跨线调度，其复杂程度之高，人工优化无法实现。此外，与燃油公交车不同，纯电动公交车的行车计划需要随着充电桩的完善、车辆性能季节性起伏变化、电池逐年衰减等经常进行优化调整。对于多目标优化或行车计划频繁优化调整的这两种情况，采用自动化调度优化软件自动计算能够大幅节省时间，且能够得到最优解。

实际上，自动化的公交运营计划编制软件已被美国、欧洲、新加坡等国家和地区的公交企业广泛采纳（见专栏三）。这些公交企业在制定行车计划时很少依靠直觉或经验，而是采用软件自动计算。这种运营和调度编制软件在传统燃油公交车时代未必有必要，但考虑到纯电动公交车高昂的购置成本、复杂的车辆性能与充电运营需要，自动化软件可以帮助公交企业提升运营的精细化程度，实现自动化、数字化管理。

此外，行车计划编制软件与充电智能平台也可互相打通，统筹考虑车辆的行车安排和分时电价的波动，智能决定每辆车每次的补电量。

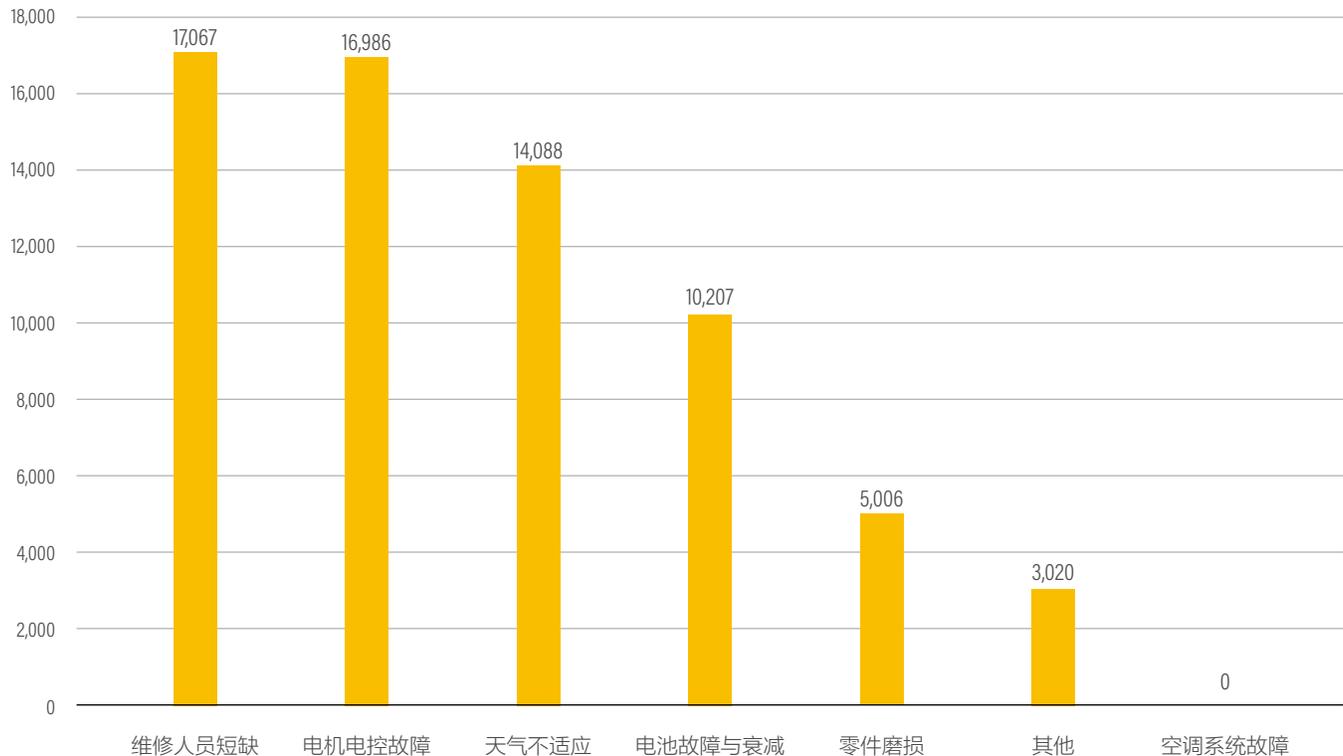
## 车辆质量情况

根据国家新能源车大数据联盟的不完全统计，15个城市纯电动公交车的平均上线率仅为66.4%。导致纯电动公交车上线率低的主要因素是车辆闲置（即“有车不用”）和车辆故障。

随着新能源公交车补贴政策与车辆行驶里程的挂钩，套取政策红利后车辆闲置的“有车不用”问题正逐步得到缓解。为了加强新能源车辆的使用，财政部等部门在新能源公交购置补贴中增加运营里程要求，虽然新能源公交车在购买上牌后可申请获得一部分补贴资金，但只有运营里程达到2万~3万公里后，有关部门才会拨付全部补贴资金。除了购置补贴激励车辆使用外，自2015年起，交通运输部出台《新能源公交车推广应用考核办法（试行）》，对年运营里程不低于3万公里的纯电动公交车，给予一年4万~8万元不等的运营补助，这也在一定程度上提高了公交企业用车的积极性。

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，理论上故障率比燃油公交车低。据不完全统计，2016年典型中国城市纯电动公交车平均车辆故障率约0.52次/万公里，为传统燃油公交车（1.6次/万公里）的三分之一（深圳市都市交通规划设计研究院 2018）。

图 28 | 纯电动公交车故障主要原因（自助抽样法后的样本量）



但伴随着国内纯电动公交车生产企业大量涌现，不乏一些性能不稳定、故障率高的纯电动公交车涌入市场。与续航里程等车辆性能问题的普遍性不同，纯电动公交质量问题所导致的故障属于偶发问题。但部分纯电动公交车质量参差不齐，对公交企业提供正常服务造成很大影响。例如，个别纯电动公交车甚至存在雨天车身渗水问题。

调查问卷结果显示（见图28），纯电动公交车故障主要原因按重要度依次递减为：

- 维修力量不足等人为原因。
- 电机、电控设备故障。
- 车辆气候适应性（涉水、温度）不良。
- 电池包或电池系统故障。

调查结果可见，维修人员力量不足是公交企业目前面临的最突出的挑战，其次，车辆的“三电”（电池、电机、电控）问题也较为普遍，此外，纯电动车辆涉水等气候不适应性也很突出。然而，在众多问题中，空调系统故障已不再普遍。

## 改善纯电动公交车运营效率的建议

纯电动公交车在中国实现规模化推广已经有近10年时间。目前，绝大多数中国中心城市、蓝天保卫战重点地区和珠江三角洲地区都已拥有大规模的纯电动公交车队，而纯电动公交车增长趋势仍将延续。

随着纯电动公交车规模增加，中国城市纯电动公交车推广中的问题，也正从解决购置环节成本高，向改善运营低效方向转移。与燃油公交车不同，纯电动公交车运营效率问题可追溯到车辆购置、运维整个流程环节：

- 一是车辆前期购置过程中没能妥善处理的问题，包括车辆性能不满足运营要求、充电桩配套不到位等。而目前运营遇到的问题也没有有效的解决方案供后续购置纯电动公交车参考，形成闭环。
- 二是纯电动公交车引入运营势必要对原有常规燃油公交车的运营维护方式进行调整，包括行车计划的调整、运维人力的提升等。

为了提升纯电动公交车运营效率，更广泛地推广纯电动公交车，根据新能源公交车推广中的各种主体如国家相关部委、交通

表 14 | 针对纯电动公交车的性能评价指标

指标	慢充式运营	快充式运营
续驶里程 / 百公里耗电量	<b>实际续驶里程</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 与标称续驶里程的差异</li> <li>· 季节、温度变化</li> <li>· 冬季、夏季开空调</li> <li>· 逐年（续驶里程）衰减情况</li> <li>· 驾驶行为差异（高速、低速巡航）</li> </ul>	<b>单位充电时间的实际续驶里程 / 百公里充电时间</b> （功率为最佳充电功率） <ul style="list-style-type: none"> <li>· 充电速率</li> <li>· 季节、温度变化</li> <li>· 冬季、夏季开空调</li> <li>· 逐年（续驶里程）衰减情况</li> <li>· 驾驶行为差异（高速、低速巡航）</li> </ul>
安全性		<b>车辆安全性</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 涉水安全性</li> <li>· 人体电磁防护</li> </ul>
故障率		<b>万公里故障率</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 非“三电”故障率</li> <li>· “三电”故障率</li> </ul> <b>故障持续时间占比</b>

行业协会组织、地方交通行业管理部门、公交企业的不同作用，本文提出以下建议：

#### 相关部委和交通行业协会组织：

建立多维度纯电动公交车测试、打分、抽查与公告机制：建立纯电动公交车性能测评体系，针对不同充电技术（快充、慢充）和用车企业关心的车辆性能指标，包括续驶里程、充电速率与效能、百公里耗电量、电池衰减、气候适应性、车辆安全性和故障率等（见表14），通过实地测评、用车企业打分、在用车抽查等方法，开展多维度、多种方法的测评。此外，还可以对测评、打分和抽查等结果进行公示，提高车辆实际性能的透明度，加速淘汰劣质车辆，减少公交企业的“试错”成本。

- 对交通主管部门而言，应加强对车辆上线率（或出勤率）、车辆日运营里程等纯电动公交车运营效率指标的定期监测与公示；对财政与交通部门而言，目前新能源公交车运营补贴与城市新能源推广数量紧密相关，可进而将运营绩效与新能源公交车运营补贴挂钩，对纯电动公交车占比高的城市，可依据年运营里程阶梯式地设定运营补贴（目前仅有“不低于3万公里”一档），提升这些城市运营补贴门槛，激励公交企业提升纯电动公交车的运营效率。

- 搭建国家—城市—企业三级新能源公交车运营监测平台，为制定精细化政策提供依据：中国纯电动公交车在推广中积累了丰富的数据和行业信息，但这些数据和行业信息仍较为零散、分散于不同机构，没有有效整合起来支撑决策。若系统地搭建针对新能源公交车的运营监测平台，形成完善的数据机构和统计体系，就能够更好地利用数据展开精细化决策，并协助公交企业和地方政府更好地优化车辆运营：

- 鉴于新能源公交车（特别是纯电动公交车）的推广已呈现明显的区域差异，应通过建立详细的数据统计体系，全面了解不同类型（充电类型不同、车身长度）纯电动公交车在不同城市或地区的普及情况，便于更有针对性地制定新能源公交车推广政策。例如，对发达地区，按目前节奏于2020年退出国家和地方购置补贴；而对落后地区，应提供针对性的补贴，或减少对传统燃油公交车的运营补贴。
- 由于纯电动公交车监测平台存在数据完整性、准确性等问题，既要客观看待数据分析结果，逐步提升数据质量与覆盖度（如中小城市），更需要结合城市自身需要建立城市层面统计体系与自评估机制。

表 15 | 针对新能源公交车运营评估的指标

指标大类名称	城市层面指标	公交线路层面指标
推广指标	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 新能源公交车普及率</li> <li>· 纯电动公交车普及率</li> <li>· 不同类型纯电动公交车统计(充电类型、车身长度)</li> <li>· 品牌统计</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 线路新能源公交车普及率</li> <li>· 线路纯电动公交车普及率</li> <li>· 线路运营方式</li> </ul>
运营指标	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 纯电动公交车上线率(或出勤率)</li> <li>· 不同普及率下纯电动公交车日运营里程</li> <li>· 城市、线路层面纯电动公交车与常规燃油公交车替换效率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 纯电动公交车上线率(或出勤率)</li> <li>· 线路运营效率(燃电混合、1:2替代、一班半等)</li> </ul>
充电桩指标	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 车桩比</li> <li>· 充电桩配套完成率</li> <li>· 单桩建设成本(含电网扩容成本分摊)</li> <li>· 公交充电桩兼容性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 线路的车桩比</li> <li>· 线路充电桩完成率</li> </ul>

特别是有必要在纯电动公交车普及率高的城市(可借鉴深圳、上海等城市)打造城市自身的公交运营和充电桩信息平台,对城市车辆性能、运营充电和充电桩建设完善情况进行自评估与“摸底”,以深入了解新能源公交车发展进展,及时识别挑战,辅助制定精细化政策。该平台目标并非监督奖惩,而是通过定量手段精细化助力城市提升纯电动公交车的运营效率,并促进城市间共享信息。国家级或城市级新能源公交运行监测平台可考虑的指标体系见表15。

- 加强运营优化相关的经验交流与技术工具研发。组织公交企业、科研机构、相关院校、车辆生产企业就纯电动公交车运营维护进行经验交流,探讨纯电动公交车与常规燃油公交车的最佳替代方案、运营充电优化方案和车辆日常维护经验等。甚至,国家可与省市行业管理部门一道提供资金,支持公交企业、相关院校自主研发(或购置应用)公交智能行车计划编制系统,将提升纯电动公交车运营效率作为提升整个行业智能化管理水平的突

破口。对于纯电动公交车运营优化较好或采用智能化管理的城市,可树立全国典型,加以宣传。

#### 地方交通行业管理部门:

- 提供充电桩建设、电网扩容相关补贴:随着购置环节补贴的退坡,地方补贴可从购置环节向电网扩容和充电站(桩)建设环节转移,简化申请和审批流程,减少自建桩的公交企业配电网接入和充电桩建设成本及时间支出。此外,针对公交场站自身不足的问题,地方政府应主动参与,加大各相关部门间统筹协调力度,缓解场站用地不足问题。

#### 公交企业与地方交通行业管理部门:

- 在购车招标前开展行业研究,明确车辆性能要求:购买纯电动公交车没有捷径,配置最高、价格最高的纯电动公交车未必是最好的选择;公交企业与地方交通行业管理部门应该在购车之前开展深入的行业研究。纯电动公交车选型应本着“车辆适应线路”而非“线路适应车

表 16 | 影响纯电动公交车性能的指标与因素

购车考虑因素	指标	车辆性能选择
公交线路特征	日运营里程 ↑	· 搭载电池电量、续航里程 ↑
充电桩建设条件	公交入场率 ↓	· 充电倍率大（如快充） ↑
	配电网冗余率 ↓	· 充电倍率大（如快充） ↑ · 搭载电池电量、续航里程 ↑
整车价格	单车最高限价 ↓	· 搭载电池电量、续航里程 ↓
车内空间大小	车内站立面积 ↑	· 搭载电池电量、续航里程 ↓

表 17 | 纯电动公交车性能选择与线路适应性

公交线路特征	车辆性能选择	优势
纯电动公交车 适应具体公交线路特征 (南京)	城市公交车所搭载动力电池电 量不一，充电倍率不一致	节约购车成本
纯电动公交车 适应全市公交线路的平均特征 (深圳)	城市公交车辆搭载动力电池电 量基本相同，充电倍率一致	便于车辆维护、充电桩使用、 运营调整

辆”的原则，结合城市公交车日运营里程要求、充电桩建设条件、整车价格、车内空间大小等因素，确定车辆性能指标要求，如搭载电池电量、充电技术与倍率、续航里程等（见表16和表17）。此外，还要特别考虑极端情况，如空调使用、极寒天气对续航里程和充电速率的影响。首次购置纯电动公交车的城市可借鉴其他城市经验，与有潜在意向的整车生产企业和电池生产企业交流，聘请行业专家，不断摸索、积累经验。

- 在购车招标中或招标后，公交企业应采取车辆质量性能的保障措施，维护自身合法利益：一方面，在招标技术需

求和购车合同中增加保障性条款，对于车辆实际运营中电池衰减过快导致实际里程低于标称里程一定水平（如50%）、影响日常营运，或者车辆质量有明显缺陷的情况，应提出“车辆召回”要求，以督促车辆生产企业保证售后产品的维护。在车辆生产过程中，公交企业可考虑驻厂监造，让车辆质量问题在车辆生产过程中就得以解决。

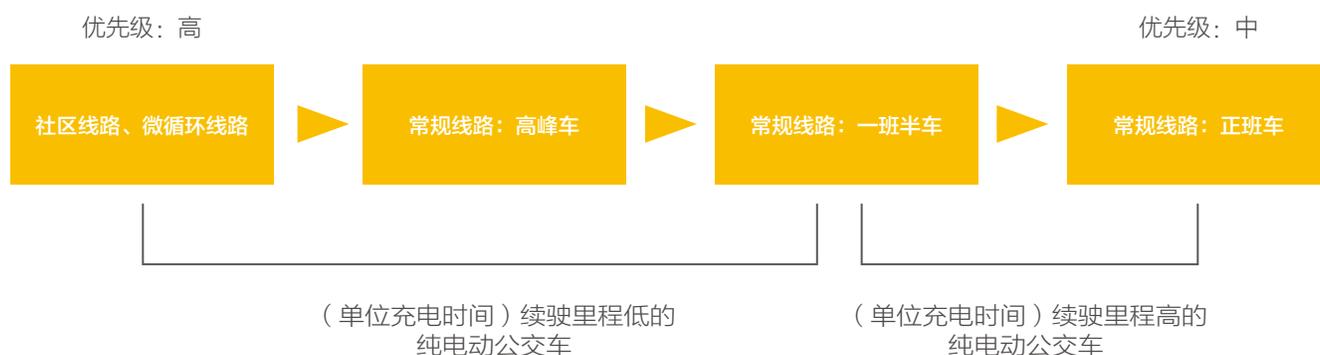
另一方面，在招标后，公交企业应对首批交付的小规模车辆进行测试：例如，针对纯电动公交车真实性能信息与标称性能信息不相符的情况，公交企业可采用表18所示的简化方法对参与招标车辆的实际耗电量与续航

表 18 | 纯电动公交车性能简化测试方法

指标	测试方法
百公里耗电量	SOC100% 状态下出发, (开空调) 行驶 55 千米, 再次充电至 SOC100%, 记录充电量, 计算百公里耗电量。
续驶里程	根据行驶约 55 公里的用电量和动力电池最大可用电量推算实际续驶里程。
单位充电时间续驶里程	与充电倍率相符的充电功率下, 充 10 ~ 20 分钟, 行驶 55 千米, 记录 SOC 状态。

来源: 部分指标来自全国新能源公交车性能评价赛 2019 竞赛细则

图 29 | 纯电动公交车替换燃油公交车的优先顺序



里程进行验证, 督促车辆生产企业进行改进。针对电池衰减或车辆质量情况, 公交企业也可以在招标后、批量购置纯电动公交车前, 要求少量纯电动公交车在开空调的情况下试运营半年, 满足运营需要时才正式交付。

- 提前规划和建设充电桩: 将充电桩规划和建设提前到购车环节 (即招投标之前), 一是对于电网容量不足、建桩条件有限的情况, 可以按要求对纯电动公交车的充电倍率、电池电量进行调整; 二是在购车前, 全面系统评估不同公交线路充电桩的建设情况, 以充电桩是否能按时配套到位, 作为购车的前提条件, 分步骤制定购车计划, 避免“有车无桩”的问题。

- 纯电动公交车行车计划编制并没有固定的形式, 而是要与纯电动公交车的性能适配, 特别是要针对快充型运营和慢充型运营做出区分。此外, 随着城市购置的纯电动

公交车数量增加, 早期购置的续驶里程低、无法满足“正班车”运营要求的车辆可以重新配置到新线路上作为“高峰车”或者备用车 (见图 29); 而新购置的纯电动公交车可通过提高性能满足“正班车”要求, 填补早期购置的纯电动公交车的性能缺陷, 通过“新车+老车”的方式使得公交线路能够实现高效率、100%电动化。

- 精细化管理纯电动公交车的行车计划: 采用人工或智能化行车计划编制系统, 针对每条公交线路的运营特点, 优化纯电动公交车运营和充电安排, 使纯电动公交车的利用率最大化。定期根据充电桩建设的完善程度、车辆性能季节性起伏变化、电池衰减等, 对行车计划进行优化和调整。

## 注释

1. 中电联数据
2. 补贴额度高时，小车的成本低、售价低，补贴占售价的比例大、利润高。大车虽然补贴高一些，但成本更高，利润低于小车。
3. 上线率是指当日上传了有效报文数据（符合GB/T 32960 规范的车辆运行数据）的车辆数占公交车车辆总数的比例。本文中的指标既有数据没有报送，也有车辆不上线的原因，因而指标结果与数据质量、完整性问题也有关。
4. 此外，随着“一桩多充”的涌现，即一台设备可同步为多辆电动车进行充电，充电设备的车桩比更存在变数。

## 引用

1. Asian Development Bank 2018. Sustainable Transport Solutions: Low-carbon Buses in P.R. China.
2. K Torrance, A. Haire, R. Machemehl. 2009. Vehicle and Driver Scheduling for Public Transit. U.S. Department of Transport funded project.
3. F. Bean. Electric Buses: Impact on Scheduling and Operations. GIRO Inc.—Maker of HASTUS
4. 布隆伯格新能源财经BloombergNEF, 2018. Electric Vehicle Outlook 2018. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/#toc-viewreport>
5. 电动汽车资源网 2018. 2018动力电池行业发展年中报告. <https://nev.ofweek.com/2018-09/ART-71001-8420-30263058.html>
6. 交通运输部. 2016. 城市公共交通“十三五”发展纲要
7. 交通运输部. 2014. 中国城市客运发展报告（2014）. 人民交通出版社
8. 交通运输部. 2018. 中国城市客运发展报告（2018）. 人民交通出版社
9. 交通运输部科学研究院. 2017. 《2017中国新能源公交车推广应用研究报告》
10. 交通运输部科学研究院等 2019. 新能源公交车辆性能与运营效果评估研究. 能源基金会支持项目。
11. 交通运输部科学研究院 2019. 新能源公交车推广应用现状与基于大数据的管理应用思考.
12. 沈万霞, 张博, 丁宁, 王薛超, 卢强和王成, 2017. 轻型纯电动汽车生产和运行能耗及温室气体排放研究. 环境科学学报, 37(11):4409-4417.
13. 深圳市都市交通规划设计研究院 2018. 新能源公交车辆运营评估体系研究. 全球环境基金支持项目
14. 中国电动汽车百人会 2019. 电动汽车续驶里程波动原因分析及建议. 中国电动汽车百人会研究报告.
15. 中国电动汽车百人会 2019. 面向汽车革命的顶层设计与战略协同. 中国电动汽车百人会课题报告.
16. 中国汽车技术研究中心有限公司 2018. 新能源汽车蓝皮书——中国新能源汽车产业发展报告（2018）. 社会科学文献出版社

## 致谢

作者感谢以下专家（排名不分先后），他们在本论文的撰写过程中提供了宝贵的专业建议和意见：感谢交通部科学研究院城市中心的李成博士对论文撰写全程的大力支持和诚恳意见。感谢交通运输部运输司李良华、济南公交集团秦静、宇通客车张清伟、世界银行周为民和陈杨对本论文提供的评审意见。最后，感谢支持本研究调查的各个城市公交公司及交通主管部门。

## 关于作者

**薛露露**是世界资源研究所研究员。邮箱：[lxue@wri.org](mailto:lxue@wri.org)

**韦围**是北京理工大学研究生。

**刘鹏**是北京理工大学副教授。

**刘岱宗**是世界资源研究所中国可持续城市项目主任。

邮箱：[dzliu@wri.org](mailto:dzliu@wri.org)

## 关于世界资源研究所

世界资源研究所是一家独立的研究机构，其研究工作致力于寻求保护环境、发展经济和改善民生的实际解决方案。

### 我们的挑战

自然资源构成了经济机遇和人类福祉的基础。但如今，人类正以不可持续的速度消耗着地球的资源，对经济和人类生活构成了威胁。人类的生存离不开清洁的水、丰饶的土地、健康的森林和安全的气候。宜居的城市和清洁的能源对于建设一个可持续的地球至关重要。我们必须在未来十年中应对这些紧迫的全球挑战。

### 我们的愿景

我们的愿景是通过对自然资源的良好管理以建设公平和繁荣的地球。我们希望推动政府、企业和民众联合开展行动，消除贫困并为全人类维护自然环境。

### 我们的工作方法

#### 量化

我们从数据入手，进行独立研究，并利用最新技术提出新的观点和建议。我们通过严谨的分析、识别风险，发现机遇，促进明智决策。我们重点研究影响力较强的经济体和新兴经济体，因为它们对可持续发展的未来具有决定意义。

#### 变革

我们利用研究成果影响政府决策、企业战略和民间社会行动。我们在社区、企业和政府部门进行项目测试，以建立有力的证据基础。我们与合作伙伴努力促成改变，减少贫困，加强社会建设，并尽力争取卓越而长久的成果。

#### 推广

我们志向远大。一旦方法经过测试，我们就与合作伙伴共同采纳，并在区域或全球范围进行推广。我们通过与合作伙伴交流，实施想法并提升影响力。我们衡量成功的标准是，政府和企业的行动能否改善人们的生活，维护健康的环境。



Copyright 2019 World Resources Institute. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.  
To view a copy of the license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>