

Analysis of the Urban Electric Buses Operation Parameters*

Xiuyuan Zhang^{1#}, Haoming Wang², Fangfang Wang¹, Hui Zhang¹

¹School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing

²Beijing Public Transport Company, Beijing

Email: [#]xyzhang@bjtu.edu.cn

Received: Aug. 28th, 2013; revised: Sep. 22nd, 2013; accepted: Sep. 28th, 2013

Copyright © 2013 Xiuyuan Zhang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Urban public transport development is conducive to the traffic structure optimization adjustment and relieves urban traffic congestion. As domestic electric city buses operating routes choice and replace conventional bus lines are in initial stage, it lacks theory and method of analysis. The electric bus opening in the Olympic Games in Beijing provides a good demonstration of green Beijing transit mode, reducing energy consumption and carbon emissions. The suitable scope of spare battery charging station and other key parameters are given based on Beijing electric bus operation technical conditions and main index of the charging station. These results provide reference for the electric bus lines scheduling operations, but also for the construction of green bus, bus structure and operations management recommendations.

Keywords: Urban Electric Bus; Spare Battery; Bus Numbers; Green Public Bus

城市电动公交车运用参数测算分析*

张秀媛^{1#}, 王昊明², 王芳芳¹, 张慧¹

¹北京交通大学交通学院, 北京

²北京公交集团总公司, 北京

Email: [#]xyzhang@bjtu.edu.cn

收稿日期: 2013年8月28日; 修回日期: 2013年9月22日; 录用日期: 2013年9月28日

摘要: 城市公共交通发展有利于交通结构优化调整, 缓解城市交通拥堵状况。由于国内城市电动公交车运营线路选择和替换常规公交线路都是尝试阶段, 缺少理论和方法分析。北京市在奥运会启用了电动公交车, 为北京市绿色公交出行, 减少能耗和碳排放提供了很好的示范。本文结合纯电动公交车的运营技术条件和充电站的主要指标, 给出北京市纯电动公交车开行条件和充电站备用电池等关键参数的适宜范围, 为城市电动公交线开行方案和运营调度提供参考和借鉴, 为绿色公交建设、公交结构和运营管理上提出建议。

关键词: 城市电动公交车; 备用电池; 配车数; 绿色公交

1. 引言

结合北京市交通空间布局规划和客流出行目的多样化, 尤其是通勤客流的放射性分布, 生活性出行的交织性, 形成多种公共交通接续的空间分布特征。

*基金资助: 国家社会科学基金交通能耗统计分析(11-BTJ-016)。

[#]通讯作者。

根据北京市地面公共交通线路分布广泛、形成密集的接续换乘客流服务的发展目标，以及电动公交车运用相关要求，在城市中心区、枢纽邻近区域、中心区与外围接驳换乘区域确定合理的电动公交车运用规划，确定电动公交车发展区域范围。

本文从绿色公交出行角度，对北京市客流特点和公交运营技术条件进行电动公交车运用分析，给出系统和合理的电动公交车开行技术条件和电动公交充电站选址相关参数分析，为完善公共交通出行提供基础和参考。

2. 北京市居民公共交通出行特征分析

北京市居民公共交通出行可以分为以轨道交通为主的快速公共交通和地面常规公交首末站为中心的短距离出行等。结合北京市地面公共交通线路特点和客流分布特点进行地面公交电动车运用分析。

公交车线全天客流特点

在城市不同区域公交车运行线路不同，形成的线路全天客流峰值也不相同，通常全天的客流峰值有早晚双高峰形式，一般出现在通勤客流较大的地区；全天单峰型，峰值主要集中在中午至晚上，一般多为娱乐、休闲、购物等商业和娱乐聚集地区；此外就是全天无客流峰型的情况，主要在小型社区、工厂等地区功能相对单一的城市空间，客流峰型如图 1~3 所示。

地面常规公交线路布设主要有三种形式。其一，公交线路与轨道交通接运形成“喂给”式模式。轨道

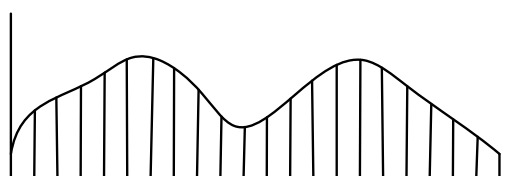


Figure 1. Two peaks in the morning and evening
图 1. 全天双峰客流

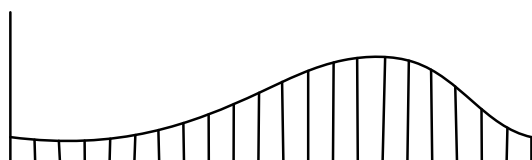


Figure 2. One peak all day
图 2. 全天单峰客流

交通作为一种快速大运量的交通形式，从微观上来讲，每个轨道交通站点，均可以看作一个小的公共交通枢纽点与常规公交接驳功能，形成“喂给”公交线路，以服务轨道交通车站为主要目的。其二，形成“社区公交”微循环公交线路。社区公交服务范围和服务效率是减少公交盲区的关键之一，提高接运流量、完善微循环功能，主要公交车线设计如图 4~6 所示。

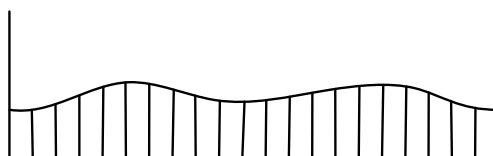


Figure 3. Evenly passenger flow all day
图 3. 全天无峰客流

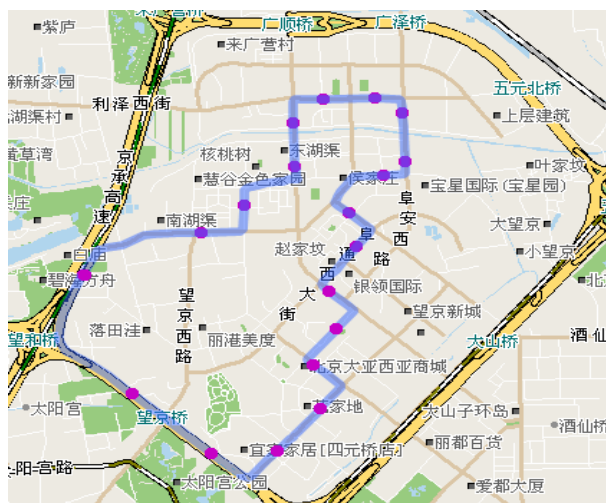


Figure 4. Feeder bus lines
图 4. 接运公交线路



Figure 5. Radioactive line
图 5. 放射性线路

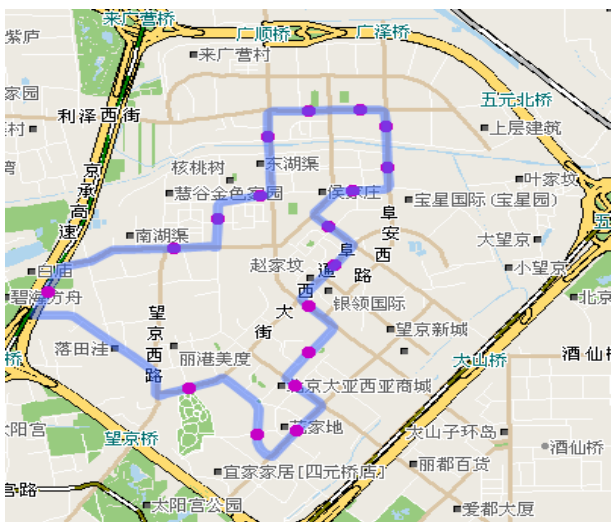


Figure 6. Community line
图 6. 社区线路

还有，常规公交与轨道交通换乘协调的线网优化方案。通过放射性轨道交通线网和环形轨道交通的站点客流规律分析，形成以轨道交通车站为中心的片区客流集散，具有终端接驳功能的环形线路，可以增大

服务范围，方便乘客换乘，增加区域性的环形辐射功能如图 7 和图 8 所示。

3. 城市电动公交车运营技术指标参数

北京市地面公共电(汽)车近年发展取得了良好的成绩，现有地面公共电(汽)车线路多为普通干线，快线，形成初步网络；速度和其它服务标准以及大型客流集散点协调性、支线的辅助功能、卫星城的线路有了很大的改善，提供较好服务水平的机会。但是，随着社会经济水平的提高，居民对公交需求水平逐步提高，目前的公交服务尚存在一些问题，集中表现在服务水平与需求尚有一定的差距。国内外城市都在积极推进绿色公共交通出行理念。电动公交车运用是城市绿色公交的主要发展方向之一，以及公共交通节能减排，绿色化公交车运用，基于需求合理运用电动公交车，主要考虑以下两个方面：

- 1) 公共交通线网功能层次、等级，适应城市不同客流等级的出行需求。



Figure 7. Area passenger distribution
图 7. 片区客流集散



Figure 8. Regional annular radiation
图 8. 区域性的环形辐射

2) 常规公交线路等级划分、线路特点, 协调常规公交和电动公交线路结构关系。

结合电动公交车的技术特点和国内各城市运用的特点, 确定电动公交车可运用的线路特征和电动公交车充电站的规划布局, 形成高效电动公交车服务效率。

针对北京市城市道路公交运行条件和电动公交车两技术参数适用性, 提出电动公交车运营特性指标体系, 主要包括三部分指标: 一是线路运营指标, 指车辆在线路上运行时与车辆有关的线路指标如单程时间/Min、始末站停车时间/Min、周转时间及周转次数/Min、线路车辆数/台、行车频率/车次/h、行车间隔/Min/车次; 二是车辆性能指标, 指是车辆在运行时车辆本身的性能指标如计划车容量/(人/车)、运营速度/(Km/h)续航里程/Km; 三是电池性能指标, 指车辆运行时电池的放电状况如电池额定容量/Ah、电池实际容量/Ah、放电循环寿命/次、电池额定电压/V、电池组工作电压/V、剩余电量。

此外, 本文结合北京纯电动公交车采用快速更换模式置换车载电池充电站进行参数测算。在充电站规模基本确定的情况下对充电系统的规模和充电能力进行估算^[1-3]。

①基本设计参数

基本参数主要有线路长度 L , 充电倍率 β , 高峰发车间隔 T , 充电机功率 P_c , 续航里程 L_r , 电池容量 C , 高峰断面流量 H_m , 电池更换时间 T_c , 工位数 N_r ,

即配备 N_r 套快换设备, 全天工作时间 T_r 。

②高峰小时发车间隔

常规发车间隔的确定可用发车间隔计算方法, 若对于客流较集中且客流量较大的公交服务线路, 其发车间隔的计算可予以简化。首先, 针对线路客流较集中的高峰小时计算高峰小时发车间隔为

$$T = \frac{C_b}{H_m} \quad (1)$$

式中, T 为发车间隔, H_m 为高峰小时断面客流量, C_b 为已知车容量, 运行线路的制定。其中, 公交车辆的发车间隔、运行线路长度、平均行驶速度以及线路配车数之间有如下制约条件:

$$W \times V \times T = L \quad (2)$$

式中, W 为线路配车数, V 为平均行驶速度, T 为发车间隔, L 为车辆运行线路长度。

以上这几个因素既要符合所在公交线路的实际需求, 也要符合互相的制约条件。公式中的发车间隔是根据所需运能确定的, 平均行驶速度是根据具体线路的路况及交通状况等得出的经验值。而车辆运行线路长度的制定是否合理则影响到车辆续航里程的利用率即电池容量的利用率, 车辆的续航里程是反应车辆性能和实用性的重要指标。课题也给出基于剩余电量 SOC 的车辆续航利用率, 即把单位公里用电量进行核算, 形成的每条线路运营长度范围^[4-9]。

4. 电动公交车配车规模与备用电池比例测算

结合北京市现有常规公交线路车速, 高峰断面客流量和线路空间分布特点下的运营调度方案。

1) 备用电池数量

依据现有的电池快速更换技术来讲, 针对纯电动公交车, 每辆车的电池更换所用时间约 10 分钟左右。而备用电池是针对电动公交车数量较多, 因此车辆的电池更换时间就比较可观^[10-13]。备用电池的作用就是在换下来的电池没有充满而又有车辆需换上电池时的电池。对于纯电动公交车确定备用电池的数量, 给出纯电动公交配车数与备用电池适合比例范围可得以下备用电池数量求解公式:

$$N_b = \frac{T_{ch} \times N_r}{T_c \times \gamma} \quad (3)$$

式中, N_b 为备用电池数, T_{ch} 为充电时间 $T_{ch} = 1/\beta$, γ 为备用电池储备系数。

此种方法计算出的 N_b 为所需备用电池最大量, 若对具体的运营方案进行设计优化, N_b 值还可进行缩减。因此结合以往经验 γ 值一般可取值为 1。一般备用电池有 10% 的裕量。

2) 充电站服务能力计算

$$N_c = \frac{T_r \times N_r}{T_c} \times C_c \quad (4)$$

式中, N_c 为每天最多服务车次, C_c 为前后车辆影响等环节的储备系数。

对于 C_c 主要考虑到由于电池更换车间一般采用多更换信道, 每信道为至少两辆车提供电池更换服务。因此更换电池时若同时有两辆或以上车辆进行电池更换, 通道内前后车会存在一定的影响而带来实际更换时间增加。其次, 每天可用于更换电池的时间有可能少于规定工作时间。结合以往经验 C_c 取 0.8 为宜。

结合城市公交日常运营的高峰配车、发车间隔、不同车型的辆辆满载率、高峰断面车速、线路全程时间和客流断面流量等参数公式, 形成的不同线路调度方案, 以及常规公交车的运营调度转化成电动公交车容量、发车间隔、运行速度下的续驶里程和电池更换等参数关系^[14-17]。

进行电动公交车理论运行速度和道路工况下实际运行速度的配车数和备用电池相关参数测算结果如图 9 和图 10 所示。

因此, 选择高峰断面流量和线路工况条件较好的公交线路替换为电动公交车运行, 车辆和备用电池增长比例均可在 1.1~1.4 倍理论技术范围内。在线路车速低于 20 km/h 的公交线路, 建议采用常规和纯电动公交混合开行方案。

5. 小结

本文结合城市常规公交线路运营技术条件和组织, 给出电动公交车替换常规公交车运行线路适宜条件, 并结合城市道路工况下电动公交车运行基本技术经济特点和电池续驶里程、不同充换电时间限制以及公交场站与充电站德位置关系等主要指标, 进行多种类型公交线路的替换方案分析, 形成电动公交车开行的线路基本特点和充电站规模和电池储备能力分析, 为北京市大力推动纯电动公交车运营提供分析基础。从而为北京市大力发展节能减排的城市公共交通, 实现交通结构调整提供技术参考。

本文是在国家社会科学基金资助下, 在此感谢课题团队老师, 并对研究的阶段成果提出许多宝贵意见, 使得文稿内容不断完善。

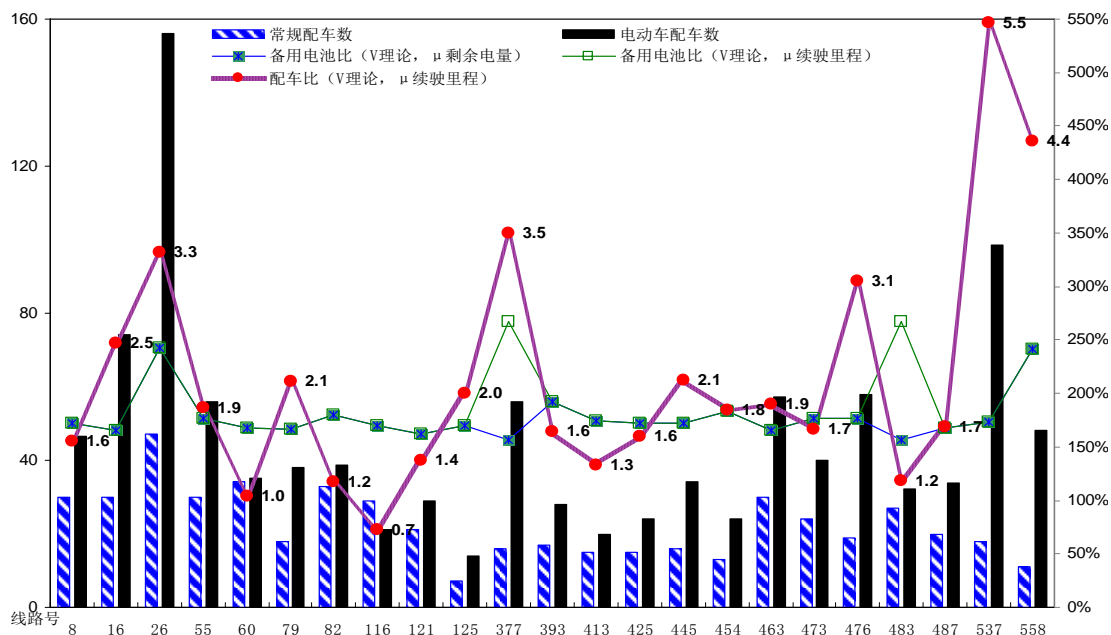


Figure 9. The calculation results on 50% load, the theoretical speed, continuous driving mileage/SOC
图 9. 满载率 50% 计算结果 (速度为理论车速, 续驶里程利用率 μ / 剩余电量计算)

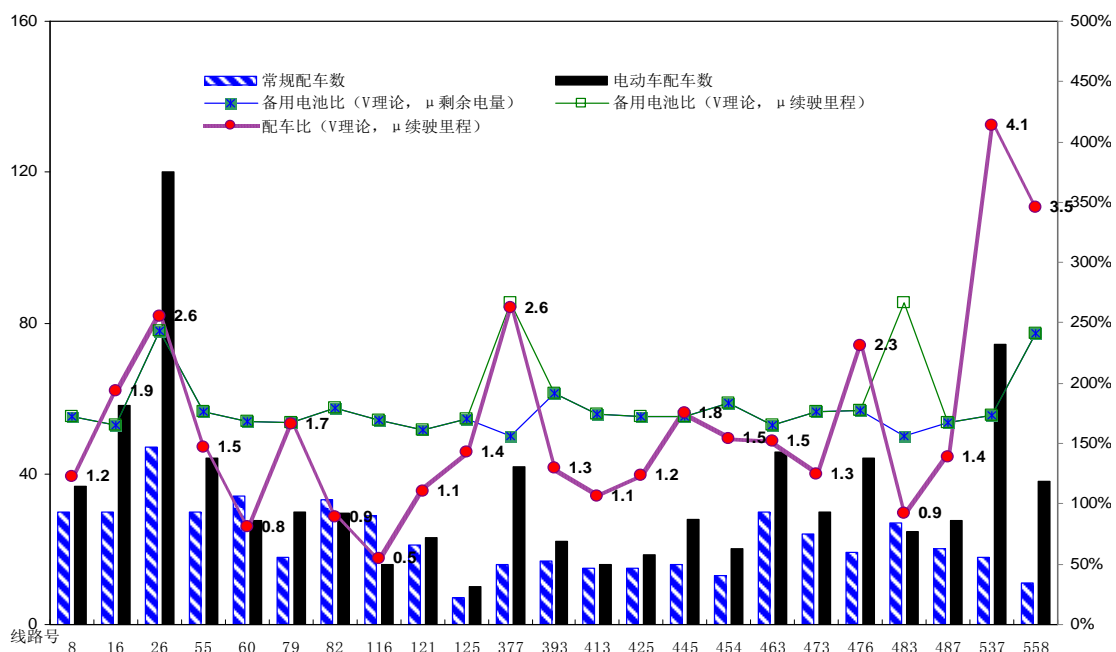


Figure 10. The calculation results on 65% load, the theoretical speed, continuous driving mileage/SOC
图 10. 满载率 65% 计算结果(速度为实际车速, 续驶里程利用率 μ /剩余电量计算)

6. 致谢

本论文是基于“电动公交充电站布局及公交场站用地指标研究”项目的支撑,在论文的编写过程中,我要感谢公交总公司的同志们对我工作的支持,特别感谢王昊明对我提出的建议,同时提供了本论文中涉及的原始数据。

参考文献 (References)

[1] 詹运洲. 城市客运交通政策研究及交通结构优化[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
 [2] 高原. 美国“双保险”解决电动汽车充电难题[N]. 经济参考报, 2010-03-19. http://jjckb.xinhuanet.com/cjxw/2010-03/19/content_212880.htm
 [3] 何洪文. 电动公交车 BJD 6 100-EV 市区行驶能耗分析[J]. 北京理工大学学报, 2004, 3: 222-225.
 [4] 孔繁娟. 长春电动汽车产学研战略联盟运行机制研究[D]. 吉林大学, 2010.
 [5] 焦玥. 规范行业标准日本成立电动汽车快速充电协会[J]. 中国汽车报, 2010, 3180: 1-2.
 [6] K. T. Chau, Y. S. Wong and C. C. Chan. An overview of energy sources for electric vehicles. Energy Conversion & Management, 1999, 40: 1021-1039.
 [7] J. Ryu, Y. Park and M. Sunwoo. Electric power train modeling of

a fuel cell hybrid electric vehicle and development of a power distribution algorithm based on driving mode recognition. Journal of Power Sources, 2010, 195: 5735-5748.
 [8] H. Blanke, O. Bohlen, S. Buller, R. W. De Doncker, B. Fricke, A. Hammouche, D. Linzen, M. Thele and D. U. Sauer. Impedance measurements on lead-acid batteries for state-of-charge and state-of-health and cranking capability prognosis in electric and hybrid electric vehicles? Journal of Power Sources, 2005, 144: 418-425.
 [9] M. Amiri, M. Esfahanian, M. R. Hairi-Yazdi and V. Esfahanian. Minimization of power losses in hybrid electric vehicles in view of prolonging of battery life. Journal of Power Sources, 2009, 190: 372-379.
 [10] 代颖. 电动汽车驱动用感应电机的电磁噪声研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2007.
 [11] 陈少卿. 基于 CAN 的电动汽车控制网络设计与实现[D]. 华中科技大学, 2004.
 [12] 陈玉进. 电动汽车充电设备特点及对电网影响探讨[J]. 湖北电力, 2009, 33(6): 48-50.
 [13] 韩笑. 纯电动公交车充电站运营规划及仿真[D]. 北京交通大学, 2010.
 [14] 靳莉. 电动公交车电池状态与运营匹配关系研究[D]. 北京交通大学, 2011.
 [15] 陈武. 纯电动公交车运营技术管理策略研究[J]. 中小企业管理与科技, 2012, 16: 33-34.
 [16] 王海星. 公交车辆区域调度理论与方法研究——以电动车为背景[D]. 北京交通大学, 2007.
 [17] A. Haghani, M. Banihashemi and K.-H. Chiang. A comparative analysis of bus transit vehicle scheduling models. Transportation Research Part B: Methodological, 2003, 37(4): 301-322.