

改进的城市公交循环工况开发方法

孙宏图^{*1}, 宋希庚², 王天灵³

(1. 大连理工大学 汽车工程学院, 辽宁 大连 116024;

2. 大连理工大学 能源与动力学院, 辽宁 大连 116024;

3. 道依茨一汽大连柴油机有限公司, 辽宁 大连 116000)

摘要: 提出了一种改进城市公交循环工况的开发方法, 根据车流量在主要商业区、工业区与居民区之间选择测试线路进行数据采集, 以公交各站点间的行程作为短行程, 根据工况时间比例由短行程构建城市公交循环工况, 用参数均值方差选择典型城市公交循环工况. 以大连城市公交为例, 验证了改进的城市公交循环工况开发方法的有效性, 以及应用该方法合成的大连城市公交循环工况的真实性. 为开发适合城市公交特点的电动汽车, 及其污染物排放量和燃油消耗量的测量提供了设计依据.

关键词: 循环工况; 城市公交; 改进方法; 数据采集; 路线选择

中图分类号: U467.1 **文献标志码:** A

0 引言

循环工况反映了一个特定区域车辆典型的行驶工况. 国外已经开发了很多反映本地区实际情况的标准循环工况, 如 FTP 和 ECE 循环等都广泛地应用在汽车排放法规的制定、新车型的设计开发^[1]、污染物排放评估^[2]以及特定区域的燃油消耗量测量中^[3,4].

循环工况的开发主要根据道路和车辆的类型、运行时间和速度对实际行驶工况数据进行统计. 特定道路的类型需要选择特定车辆的类型, 路线也要根据土地使用情况、道路类型、行驶工况和公共交通的情况来选择. 由于车流状况、驾驶习惯和道路网络拓扑情况不同^[5], 每个城市的循环工况特点也都不同. 用其他地区的循环工况来评估本地的污染物排放量和燃油消耗量, 很难得到准确的评估结果^[6]. 为了更好地对环境加以保护, 各地区政府都致力于开发适合本地区自身特点的循环工况^[7].

国内在循环工况的开发上进行了许多研究, 很多城市都开发出了适合本地区的循环工况^[8~11]. 本文在上述传统城市循环工况开发研究

工作的基础上, 提出改进的城市公交循环工况开发方法, 包括测试线路的选择方法、短行程的确定方法以及城市公交循环的合成方法等.

1 城市公交循环工况合成方法

城市公交循环工况的开发步骤包括线路选择、数据采集和循环工况合成等.

1.1 数据采集

数据采集方法包括实车测量的方法和车辆跟踪的方法. 城市公交车的路线固定, 而且市区车流密集, 为提高数据的准确性, 采用了实车测量的方法. 在选定的公交线路上, 根据不同的客流和交通情况, 分时段对公交车的工况进行测量, 试验时考虑到上班和下班车流高峰等因素, 记录车辆的运行工况数据. 试验仪器安装在被测量的车辆上, 包括车速传感器、发动机转速传感器、油耗仪、笔记本电脑等.

1.2 典型测试线路选择

典型的测试线路是反映一个地区交通情况的关键, 而典型线路的选择一般由研究人员主观决定. 本文根据道路的平均车流量, 提出了一个相对

系统的、客观的典型测试线路的选择方法。

对所研究的地区先进行区域划分,包括居民区、商业区和工业区等,如大连城市区域划分具体的细节可以参照大连市政规划,据此确定公交线路的始发站和终点站。根据平均车流量确定测试路线方向和测试时间段,例如早晨上班高峰期的测试路线,始发站要选择在主要的居民区,而终点站要选择在集中的商业区或工业区;相反下班时间高峰期的测试路线,始发站要选择相对集中的商业区或工业区,而终点站选择在主要的居民区。因此道路试验的公交线路就可以基本覆盖所有车流量最高的区域且测试中主要测量工作日的工况。

根据大连公交客运集团的资料,去除快轨、有轨以及无轨电车线路,大连公交线路共计 100 余条,各类公交车辆 4 000 多台。对大连市区主要的居民区、商业区和工业区的地域分布以及主要公交线路的分布进行分析,根据平均车流量选择 10 条典型的公交线路,如表 1 所示。

表 1 测试线路
Tab.1 Identified driving test routes

线路编号	主要路线
1	姚家小区—青泥洼桥
2	虎滩新区—青泥洼桥
3	马栏广场—火车站
4	百合山庄—希望广场
5	甘井子—火车站
6	周水子—和平广场
7	山屏街—青泥洼桥
8	姚家小区—五四广场
9	百合山庄—沙河口火车站
10	五四广场—寺儿沟

所选择的公交线路基本覆盖了市内四区的主要道路。早晨测试路线的始发站选择在主要居民区,晚上测试路线的始发站选择市中心的商业区或工业区,仅记录单程的工况数据。

1.3 城市公交循环构建方法

对大量的工况数据进行统计并建立典型的循环是循环工况合成的关键,传统的方法是采用随机选择短行程构建循环工况。文中对传统的循环工况开发方法进行了改进,提出根据公交线路的站点和各站的时间统计构建短行程,并利用参数均值方差选择最典型循环的方法。

循环工况合成中所用到的试验参数包括平均车速 u 、平均运行车速 u_r 、平均加速度 a 、平均减速度 d 、各站平均运行时间 t 、怠速时间比例 p_i 、加速时间比例 p_a 、匀速时间比例 p_c 和减速时间比例 p_d 等。对采集的全部数据先进行分类统计,计算出各试验参数总体数据的均值。

传统的循环工况中短行程定义,一般是根据一个怠速始点到下一个怠速始点进行界定。由于城市公交车启动和停车频繁,所定义的短行程繁多,工况合成的任务量大。同时短行程的定义没有区分道路交通拥堵情况与公交站点乘客上下车情况,而统一将怠速点作为短行程的界定,没有体现出城市公交的基本特征。本文根据城市公交的特点,对短行程的定义进行了改进,将 2 个公交站点之间的行程定义为一个短行程,而将道路拥堵情况视为短行程中工况的一部分,从而显著减少了短行程的数量和工况合成的任务量,反映出城市公交的本质特征。

一般地,很多标准循环工况时间长度都在 20~40 min。由于城市公交车的运行时间相对固定,整个循环工况时间长度根据城市公交线路总体的平均运行时间确定。例如,根据对大连市 41 条公交线路总体运行时间的统计发现,单程平均运行时间为 39.93 min,因此构建的大连城市公交循环工况时间长度初步选定为 40 min。根据要设计循环工况的时间可确定短行程的数量 n ,随机选择 n 个短行程构成一个城市公交的循环工况,怠速的时间也同时计入循环中。根据对大连城市公交各站点运行时间的统计发现,大连城市公交短行程的平均时间长度是 2 min,则构建整个循环工况需要 20 个短行程。

由随机选择的 n 个短行程合成一个循环工况,设合成循环各工况的时间比例为

$$P_s = (p_{is} \quad p_{as} \quad p_{cs} \quad p_{ds})$$

总体数据各工况的时间比例为

$$P_t = (p_{it} \quad p_{at} \quad p_{ct} \quad p_{dt})$$

则工况的时间比例误差 e_{pt} 为

$$e_{pt} = \left| \frac{P_s - P_t}{P_t} \right|$$

若 $e_{pt} \leq 5\%$,那么构建的这一工况就能代表该城市公交的循环工况,否则重新随机选择,再判断,直到满足条件为止。

根据上述方法可以建立多个城市公交循环工

况,设某个合成循环中第 i 个短行程各个参数的均值为

$$\theta_i = (u_i \quad u_{ri} \quad a_i \quad d_i \quad t_i \quad p_{ii} \quad p_{ci} \quad p_{ai} \quad p_{di})$$

总体数据各参数均值为

$$\theta_t = (u_t \quad u_{rt} \quad a_t \quad d_t \quad t_t \quad p_{it} \quad p_{ct} \quad p_{at} \quad p_{dt})$$

则参数均值方差 V 为

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^9 (\theta_{ij} - \theta_{ij})^2$$

V 值最小的循环工况与总体数据特征是最相近的,最能够真实反映该城市公交特征,则确定为最典型城市公交循环工况. 总体的大连城市公交循环工况合成的方法如图 1 所示.

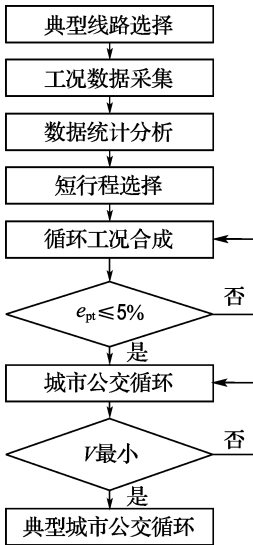


图 1 城市公交循环工况合成流程图
Fig. 1 Flow chart for driving cycle construction

应用改进的城市公交循环工况开发方法,根据各工况时间比例和参数均值方差构建了城市公交循环. 与传统的循环工况合成方法相比,用改进方法所合成的城市公交循环工况,能够与一般城市乘用车循环工况加以区分,且更加真实、客观地反映城市公交工况的基本特征,构建的循环工况具有典型性和代表性.

2 大连城市公交循环工况

2.1 大连城市公交行驶工况特征

对大连城市公交行驶工况进行测试,并对总体数据进行统计分析. 大连城市公交车的发动机转速集中在 $900 \sim 1\,300 \text{ r/min}$,而车速主要集中在 $25 \sim 35 \text{ km/h}$. 发动机转速以及车速变化反映出了驾驶员的操作习惯、道路的交通以及车流情

况. 加速度值及其变化范围都比较小,基本上在 $\pm 2.5 \text{ m/s}^2$ 的范围内,主要是因为一般城市公交车驾驶员都以 2 挡起步,在整个道路上的行驶也比较平稳. 对总体行驶工况时间比例进行统计,怠速时间比例为 20.32% ,加速时间比例为 43.72% ,减速时间比例为 33.6% ,而匀速时间比例为 2.36% .

2.2 大连城市公交循环工况合成

根据上述改进的城市公交循环工况开发方法所开发的大连城市公交循环工况如图 2 所示.

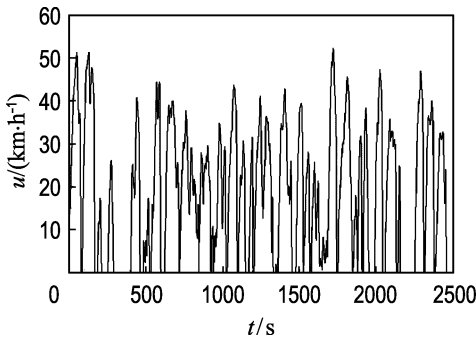


图 2 大连城市公交循环工况
Fig. 2 Driving cycle for urban bus in Dalian

大连城市公交循环工况总的运行时间为 $2\,461 \text{ s}$,行驶距离为 13.08 km ,最高车速为 52.37 km/h ,平均速度为 19.91 km/h ,最大加速度为 2.15 m/s^2 ,最大减速度为 -1.55 m/s^2 ,停站次数为 20 .

3 大连城市公交循环工况验证

3.1 试验验证

对利用上述方法合成的大连城市公交循环工况进行了试验验证,使用与试验线路公交客车相近的客车,在气候条件相似的条件,对大连城市公交循环工况进行 3 次验证,结果平均速度为 18.36 km/h ,平均油耗为 31.28 L/100km ,偏差均低于 5% ,证实了用上述方法合成的大连城市公交循环工况的真实性.

3.2 仿真模拟计算

分别对比了应用不同的开发方法所合成的大连城市公交循环工况下,大连某线路公交客车的动力性和燃油经济性. 利用 GT-DRIVE 软件,对某线路的公交客车进行了仿真模拟计算. 根据客车各个部分的参数和实际情况设定道路和驾驶员

模型的参数,建立了整车的仿真模拟计算模型,计算参数如表 2 所示.

表 2 试验汽车仿真计算模型参数表	
Tab.2 Simulation model parameters of test bus	
项目	参数
型式	双轴后置后驱
长×宽×高/(mm×mm×mm)	11 996×2 545×2 375
轴距/mm	6 100
前轮距/mm	2 050
后轮距/mm	1 847
整备质量/kg	10 800
最大总质量/kg	18 000
迎风面积/mm ²	6.04
轮胎规格	9.00~20
传动效率	0.95
发动机型号	CA6DF2-18
发动机型式	直列六缸水冷
标称功率/kW	125
最大扭矩/(N·m)	704
最大转矩转速/(n·min ⁻¹)	1 400~1 600
燃油消耗率/(g·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)	201
变速器速比	7.07/4.19/2.57/1.60/1.00/0.82
主减速器速比	5.286

将应用传统的循环工况开发方法所合成的大连城市公交客车循环工况输入到仿真模型中进行计算,得到发动机的工况分布如图 3 所示.

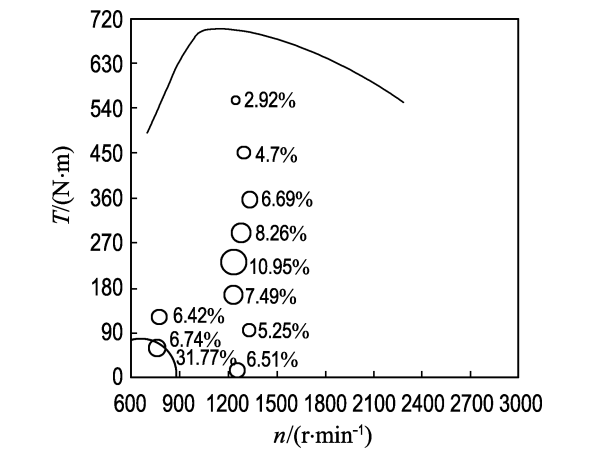


图 3 传统方法合成的大连城市公交循环工况下发动机工况分布

Fig. 3 The usual engine working fields of simulation on Dalian driving cycle for urban bus by traditional method

将应用改进的城市公交循环工况开发方法所合成的大连城市公交客车循环工况输入到仿真模

型中进行计算,得到发动机的工况分布如图 4 所示.

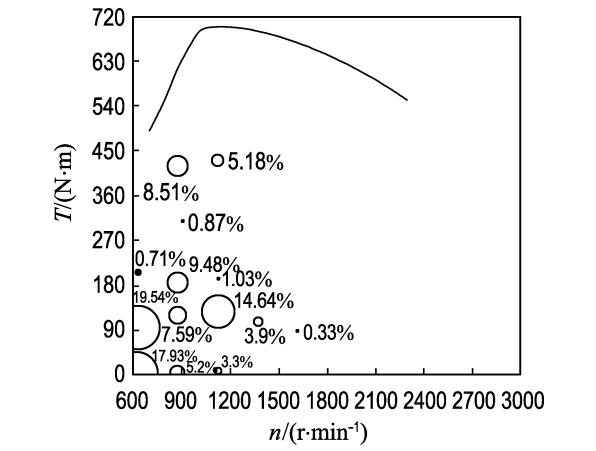


图 4 改进方法合成的大连城市公交循环工况下发动机工况分布

Fig. 4 The usual engine working fields of simulation on Dalian driving cycle for urban bus by improved method

从发动机工况分布的对比中可以看出,在传统方法合成的大连城市公交循环工况下,发动机的工作点比较分散,工作区间分布不合理,与实际发动机工作情况相差较大.而在改进的方法所合成的大连城市公交循环工况下,发动机工作点比较集中,工作区间分布合理,与实际发动机工作情况十分接近.

从燃油经济性的仿真计算结果对比来看,该客车在传统方法合成的大连城市公交客车循环工况下计算出的油耗为 35.21 L/100km,该客车在改进方法合成的大连城市公交客车循环工况下计算出的油耗为 33.37 L/100km,而根据该车实际的记录,年平均油耗为 32.82 L/100km.上述的结果对比证实了改进的城市公交循环合成方法的有效性,以及所合成的大连城市公交客车循环工况的真实性.

4 结 论

(1)提出了改进的城市公交客车循环工况的开发方法,根据车流量及居民区、商业区和工业区的划分选择典型测试线路,以公交各个站点之间的行程作为短行程,根据工况时间比例随机选择短行程构建城市公交循环,并用参数均值方差的方法选择最典型的循环工况.

(2)应用本文方法,以大连城市公交为例,开发出大连城市公交循环工况,并对其进行试验和仿真模拟的对比和验证,结果证明了改进的城市公交循环工况开发方法的有效性,以及所开发出的大连城市公交循环工况的真实性。

参考文献:

- [1] WASTON H C, MILKINS E E, BRAUNSTEINS J. Development of Melbourne peak driving cycle [C] // **SAE-A and ARRB Second Traffic Energy and Emissions Conference**. Melbourne:SAE, 1982
- [2] BULLOCK K J. Driving cycles [C] // **SAE-A and ARRB Second Traffic Energy and Emissions Conference**. Melbourne:SAE, 1982
- [3] LYNOS T J, KENWORTHY J R, AUSTIN P I, *et al.* The development of a driving cycle for fuel consumption and emissions evaluation [J]. **Transportation Research, Part A: General**, 1986, **20A**(6):447-462
- [4] SIMANAITIS D J. Emission test cycles around the world [J]. **Automotive Engineering International**, 1977, **85**(8):34-43
- [5] ANDRE M, JOUMARD R, VIDON R, *et al.*

- Real-world European driving cycles for measuring pollutant emissions from high and low powered cars [J]. **Atmospheric Environment**, 2006, **40**(31): 5944-5953
- [6] ERGENMAN M, SORUSBAY C, GOKTAN A. Development of a driving cycle for the prediction of pollutant emissions and fuel consumption [J]. **International Journal of Vehicle Design**, 1997, **18**(3-4):391-399
 - [7] HUNG W T, TONG H Y, LEE C P, *et al.* Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong [J]. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 2007, **12**(2):115-128
 - [8] 刘明辉,赵子亮,李俊,等. 北京城市公交客车循环工况开发[J]. **汽车工程**, 2005, **27**(6):687-690
 - [9] 张建伟,李孟良,艾国和,等. 车辆行驶工况与特征的研究[J]. **汽车工程**, 2005, **27**(2):221-224
 - [10] 杨延相,李晓林,杜青,等. 天津市道路汽车行驶工况研究[J]. **汽车工程**, 2002, **24**(3):200-204
 - [11] 李孟良,张建伟,张家兴,等. 中国乘用车实际行驶工况的研究[J]. **汽车工程**, 2006, **28**(6):554-557

Improved method of driving cycle construction for urban bus

SUN Hong-tu^{*1}, SONG Xi-geng², WANG Tian-ling³

(1. School of Automotive Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. School of Energy and Power Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

3. DEUTZ Dalian Engine Co., Ltd., Dalian 116000, China)

Abstract: An improved method is developed for urban bus driving cycle construction. Driving condition data are collected on the representative routes which are selected between the major residential areas and commercial or industrial areas according to the traffic flow. The micro-trip is defined as a trip between two bus stops. A driving cycle is then constructed with the randomly selected micro-trips according to the proportion of the driving condition. The representative urban bus driving cycle is selected by the variation of the parameter mean value. The improved method of urban bus driving cycle construction and the synthesized Dalian urban bus driving cycle are both verified with the case study of urban bus in Dalian. Driving cycle by the improved method provides the design references for the measurement of pollution and fuel consumption on the electric vehicles which are developed with the characteristics of urban bus.

Key words: driving cycle; urban bus; improved method; data collection; route selection