

混动公交车驱动系统多目标二级维护里程研究

朱金婷¹, 李 涛², 卢安专³

(1. 重庆公共运输职业学院, 重庆 402247; 2. 重庆两江公交公司, 重庆 401121;

3. 上汽红岩商用车有限公司, 重庆 401122)

摘 要:通过统计和分析混动公交车的故障数据,建立符合韦伯分布的车辆可靠性目标、安全性目标和经济性目标的二级维护里程模型,并对不同目标下的维护里程计以权重以综合确定二级维护里程,为混合动力公交车驱动系统的维护保养提供参考。

关键词:混动公交车; 驱动系统; 多目标; 二级维护

中图分类号:U469.13; U472.2

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2022)04-0056-04

Research on Multi-objective Secondary Maintenance Mileage of Hybrid Electric City Bus Drive System

ZHU Jinting¹, LI Tao², LU Anzhuan³

(1. Chongqing Vocational College of Public Transportation, Chongqing 402247, China;

2. Chongqing Liangjiang Public Transportation Co., Ltd., Chongqing 401121, China;

3. SAIC HONGYAN Automotive Co., Ltd., Chongqing 401122, China)

Abstract:Through the statistics and analysis on the fault data of hybrid electric city buses, the authors establish the secondary maintenance mileage models of vehicle reliability, safety and economy objectives meeting the Weibull distribution. They weight the maintenance mileages under different targets by weight to comprehensively determine the secondary maintenance mileage, which provides a reference for the maintenance of the hybrid city bus drive system.

Key words:hybrid electric city bus; drive system; multi-objective; secondary maintenance

驱动系统融合了传统发动机、变速器、离合器、动力电池和驱动电机等为一体的混动公交车约占我国各省公交集团和大型客运公司车辆总数的60%^[1-2]。在车辆的维护和保养逐渐精准化的今天,车辆在特定安全度范围内的最佳维护周期^[3-4]、车辆可靠性目标下的维护周期^[5-7]和多目标维护理论^[8]被相继提出。但是对于多目标模型在混动公交车维护中的具体应用仍然较少。因维护作业内容不同,故各级维护使用的模型不同。本文借助韦伯分布模型,构建不同维护目标下驱动系统的二级维护里程模型,为车辆维护里程的确定提供参考。

1 故障数据统计与处理

1.1 混动公交车驱动系统维护分级

混动公交车驱动系统的维护通常分为三级。其中一级维护主要以清洁、润滑和紧固为主,并检查驱动系统的绝缘性、密封性等安全项;二级维护除了完成一级维护的项目外,以检查、调校为主,通常涉及驱动系统高压安全的检测、混动系统控制板逻辑的检查与刷新、驱动电机和传统发动机的动力性检查、驱动电机温度的检测等,以确保系统的安全性和寿命平衡性,是使用频次较高且车辆全生命周期中费用最多的维护级别^[9];三级维护除了二级维护的所有项目外,

收稿日期:2022-02-08。

第一作者:朱金婷(1990—),女,硕士;工程师;主要从事新能源汽车技术研究工作。E-mail:18182584779@163.com。

主要以大修或更换故障的总成部件为主, 是使用频次最低的维护级别, 目的是延长整车的使用寿命, 由于其使用频次低, 所以总体成本较小。

由上述可知, 二级维护是混动公交车维护的主要内容, 因此本文针对二级维护作业进行研究, 一级和三级的维护内容如使用韦伯分布模型, 则误差较大, 本文不进行研究。

1.2 故障数据统计与拟合

借助戴普思公司研发的巴士通智能管理系统(该系统主要用于客车运行和维护维修数据的采集、管理和预警)筛选出 20 辆混动公交车驱动系统第一次出现故障的行驶里程和故障类型, 其中属于二级维护的内容见表 1。

表 1 驱动系统故障统计数据

车号	故障里程/ km	故障类型	车号	故障里程/ km	故障类型
1	150 307	电机温度高	11	334 637	电机温度高
2	212 624	断高压	12	361 682	无高压
3	230 336	换挡卡滞	13	368 622	电机温度高
4	251 762	断高压	14	369 741	车辆自动熄火
5	255 310	控制系统故障	15	400 763	断高压
6	269 730	换挡不顺	16	412 758	换挡困难
7	303 846	断高压	17	424 431	随意跳挡
8	308 644	无法选挡	18	455 032	MCM 无信息
9	321 324	电机温度高	19	461 761	随意跳挡
10	327 571	随意跳挡	20	465 755	无法换挡

对表 1 中的故障里程由低到高按 $n=1, 2 \cdots 20$ 的序号进行标记, 同时求出每个序号对应的累计故障率 $F_n = (n-0.3)/(20+0.4)$ 。为实现故障数据的拟合, 取故障里程数为变量 i , 并求出以 $x = \ln i$ 为自变量, 以 $y = \ln \ln [1/(1-F_n)]$ 为因变量的关系值。3 个参数的部分值见表 2。

表 2 驱动系统数据处理结果

车号	i/km	F_n	x	y
1	150 307	0.034	11.920	-3.354
2	212 624	0.083	12.267	-2.441
3	230 336	0.132	12.347	-1.952
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
20	465 755	0.965	13.051	1.215

根据表 2 的数据处理结果, 利用 excel 软件的数据线性拟合功能获取故障统计数据的拟合图, 如图 1 所示, 并自动求出拟合系数 $R^2 = 0.9878$ 。

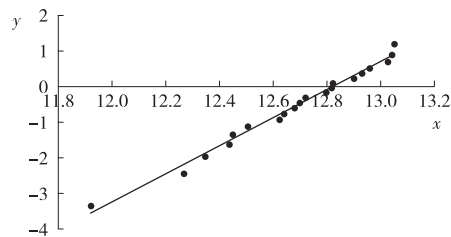


图 1 线性回归拟合图

由图 1 可知, 数据点与拟合曲线的集中趋势较统一, 同时拟合系数 R^2 接近 1, 表明预测值和实际值误差较小。根据车辆工程故障理论^[10], 车辆的故障通常符合两参数的线性韦伯分布。故混动公交车的故障也可用同样的分布模型。根据韦伯分布线性回归解法, 其函数可表示为

$$y = mx + C$$

式中 $C = -m \ln(\eta \cdot 10^4)$, 为常数, m 为系统的形状参数, 表征故障函数的形状, η 为系统的尺度参数, 表征故障函数的跨度。

则图 1 所示的线性回归函数为: $y = 3.963x - 50.81$, 即其韦伯分布模型的形状参数 $m = 3.963$, 尺度参数 $\eta = \exp(-C/m) \cdot 10^{-4} = 36.994$ 。

2 目标模型建立及应用

2.1 可靠性目标二级维护里程模型

根据两参数线性韦伯分布的相关理论^[10], 混动公交车驱动系统的可靠度函数 F_r 和故障率函数 f_r 可分别表示为

$$F_r = \exp(-L_r/\eta)^m \quad (1)$$

$$f_r = (m/\eta) (L_r/\eta)^{m-1} \quad (2)$$

由式(1)和式(2)可得出车辆驱动系统的二级维护里程 L_r :

$$L_r = \eta (-\ln r)^{\frac{1}{m}} \quad (3)$$

式中 r 为车辆驱动系统的可靠性目标值, 决定了车辆在行驶过程中驱动系统不出现故障的概率。当 r 取不同值时, 相应的二级维护里程数值见表 3。

表 3 不同可靠性目标值下的二级维护里程

$r/\%$	L_r/km	$r/\%$	L_r/km
75	270 118. 8	85	233 869. 6
80	253 346. 7	90	209 641. 8

2. 2 安全性目标二级维护里程模型

同样车辆驱动系统安全性目标值 S 下的故障分布函数 $F(t)$ 和故障密度函数 $f(t)$ 可分别表示为

$$F(t)=1-\exp-(L_s/\eta)^m \tag{4}$$

$$f(t)=(m/\eta)(L_s/\eta)^{(m-1)} \cdot \exp-(L_s/\eta)^m \tag{5}$$

因此可求得安全性目标值 S 下的车辆行驶里程 L_s :

$$L_s=\exp[\ln\ln(1/S)+m\ln\eta]/m \tag{6}$$

通常要求车辆驱动系统的安全性目标值 S 设定为 90% 以上^[3]。依据式(6)可求出车辆驱动系统不同安全性目标值 S 下的二级维护行驶里程,见表 4。

表 4 安全性目标值下的二级维护里程

$S/\%$	L_s/km	$S/\%$	L_s/km
90	209 641. 5	93	190 818. 4
91	203 861. 8	94	183 293. 8
92	197 623. 4	95	174 820. 9

2. 3 经济性目标下的车辆二级维护里程

根据戴普思巴士通智能管理系统的统计数据,在混动公交车的整个生命维护周期中,二级维护保养的费用约占总保养费用的 60% 以上。二级维护保养费通常由两部分组成,一是在二级维护保养清单基础上增加的其他项目的平均检测诊断费用 E_q ,二是执行二级维护保养作业的平均费用 E_f 。因此在车辆整个生命周期内的二级维护保养成本 E_c 为

$$E_c=[E_fH(i)+E_q]/i \tag{7}$$

式中: $H(i)$ 为车辆在整个生命周期 i (该处车辆的生命周期以里程记)内产生二级维护保养的次数。要实现二级维护保养的经济成本较低,即要求出 E_c 的最小值。对上式求导,并令导数值为 0,可得:

$$H'(i) \cdot i-H(i)=E_f/E_q \tag{8}$$

令 $E_f/E_q=c$,则 c 表示在二级维护保养基础上需要额外进行其他检查的费用比例,可称为经济性目标

值,通常 c 的取值^[3]在 2. 5~3. 5 之间。

根据极限定理和车辆故障服从韦伯分布的特点,可得到 $H(i)$ 函数与故障率函数 $h(i)$:

$$H(i)=(L_c/\eta)^m \tag{9}$$

$$h(i)=(m/\eta)(L_c/\eta)^{(m-1)} \tag{10}$$

根据式(9)和式(10)可得出混动公交车驱动系统经济性目标 c 下的车辆二级维护里程 L_c :

$$L_c=\eta \cdot [c \cdot (m-1)]^m \tag{11}$$

当 c 取 2. 5~3. 5 范围内的不同值时,相应的二级维护保养里程见表 5。

表 5 不用经济性目标值下的二级维护保养里程

c	L_c/km	c	L_c/km
2. 7	140 299. 5	3. 0	213 006. 6
2. 8	162 049. 9	3. 1	242 564. 9
2. 9	186 227. 9	3. 2	275 087. 5

综上所述,在确定出车辆的不同目标值后,实际的维护里程可按照可靠性目标占比 40%,安全性目标占比 40%和经济性目标占比 20%的权重^[7]确定车辆驱动系统最终的维护里程 L ,即 $L=40\%L_r+40\%L_s+20\%L_c$ 。

2. 4 应用

在确定实际保养里程时,如路况和车况均较好,则可适当减小可靠性目标值和安全性目标值的比例,适当增大经济性目标值的比例;反之应选择较大的可靠性和安全性目标值,减小经济性目标值。

以故障统计数据中重庆市两江新区 618 路公交车为例进行混动公交车驱动系统二级维护里程的确定。该路公交车的运行路况以平缓的城市道路为主,途径人流量较多的中心城区的里程约占总行驶里程的 2/3,因此需要频繁停车。此外该批车辆车龄平均为 8 年,故障率均较低,确定该路公交车综合目标下的驱动系统二级维护里程的重点在于考虑不同的目标值。结合戴普思巴士通智能管理系统中该路公交车维护和维修相关记录,综合分析确定出该路公交车可靠性目标值为 90%,安全性目标值为 92%,经济性目标值为 2. 9,并按前述方法求得相应的维护里程,见表 6。

表 6 不同目标值下的维护里程

目标值	维护里程/km
$r=90\%$	209 641. 8
$S=92\%$	197 623. 4
$c=2. 9$	186 227. 9

则该路公交车驱动系统在上述多目标值下的二级维护里程数为: $209\ 641.8\text{ km}\times 40\%+197\ 623.4\text{ km}\times 40\%+186\ 227.9\text{ km}\times 20\%=200\ 151.7\text{ km}$ 。

3 结束语

本文基于韦伯分布构建了混动公交车二级维护保养的可靠性、安全性和经济性目标模型,并求得相应的二级维护里程和最终维护里程。对于不同的车辆状况和运行路况,公交公司可利用该模型灵活制定车辆的二级维护方案,从而更有针对性地确定车辆的二级维护里程。

参考文献:

[1] 中国汽车技术研究中心有限公司,日产(中国)投资有限公司,东风汽车有限公司. 中国新能源汽车产业发展报告

(2021)[M]. 北京:社会科学文献出版社,2021:23-30.

[2] 刘亚飞,康清蓉,刘永红,等. 重庆市主城区纯电动公交车全面推广应用的政策分析[J]. 城市公共交通,2021(9): 34-38.

[3] 宋保林,宋丹丹. 安全目标下车辆最佳维护周期的研究[J]. 公路与汽运,2014(1):24-25.

[4] 宋保林,宋丹丹. 经济目标下车辆最佳维护周期的研究[J]. 汽车科技,2014(3):1-4.

[5] 朱荣,徐双应. 基于可靠性的道路运输车辆维护周期优化效果评价研究[J]. 小型内燃机与车辆技术,2020,49(4): 20-24.

[6] 朱荣. 我国道路运输车辆维护周期优化效果评价研究综述[J]. 汽车实用技术,2020(9):279-280.

[7] 朱荣,徐双应. 基于启发式算法的混合动力公交客车二级维护周期优化研究[J]. 小型内燃机与车辆技术,2019,48(2):75-79.

[8] 陈潮洲,许书权,刘富佳,等. 电动汽车维护周期现状及确定方法探究[J]. 交通节能与环保,2019,15(5):23-26.

[9] 王春华. 混合动力汽车的维护与保养[J]. 汽车工程师, 2019(1):59.

[10] 明平顺,李晓霞. 汽车可靠性理论[M]. 北京:机械工业出版社,2003:86-114.