



我国汽车存活规律研究

郝瀚^{①②}, 王贺武^{①②*}, 欧阳明高^{①②}, 程飞^①

① 清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084;

② 清华大学中国车用能源研究中心, 北京 100084

* E-mail: wanghw@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2010-07-01; 接受日期: 2010-12-10

国家高技术研究发展计划(“863”计划) (批准号: 2008AA11A157)资助项目

摘要 汽车存活规律是反映新车群体随着车龄增加其存活比例逐渐下降的规律, 涉及到汽车平均寿命、报废集中程度等重要问题, 是对我国未来汽车报废量和保有量进行预测的关键变量. 本研究采用双参数 Weibull 分布作为汽车存活比例函数, 对我国私人乘用车等九类汽车的存活规律进行了建模和回归, 得到了各类汽车存活比例随车龄变化的曲线. 结果表明, 我国私人乘用车、政府企业用车、非营运客车、重型货车、中型货车、轻型货车的平均报废车龄分别为 14.5, 13.1, 11.5, 12.8, 10.1 和 8 年, 报废集中程度较为接近. 出租车、公交汽车和非公交营运客车的平均报废车龄分别为 5, 9 和 5.5 年, 其报废方式为集中报废. 我国的强制报废标准主要依靠关于行驶里程的相关规定来约束汽车的报废.

关键词

汽车报废

存活规律

平均报废年限

报废集中度

1 引言

20 世纪 90 年代以来, 我国汽车产销量稳步提高, 2009 年汽车产销量分别达到 1379 万辆和 1364 万辆^[1]. 随着汽车产销量的提高, 我国汽车报废数量也逐年提高. 为了规范汽车报废, 我国于 1986 年开始实施汽车强制报废标准, 目前在实施的是 1997 年颁布的《汽车报废标准》及之后的若干次修订, 强制报废标准对各类汽车的报废年限和最高行驶里程进行了明确的规定. 汽车存活规律是反映新车群体随着车龄增加其存活比例逐渐下降的规律, 涉及到汽车平均寿命、报废集中程度等重要问题, 是对我国未来汽车报废量和保有量进行预测的关键变量. 汽车存活规律受到汽车强制报废标准、汽车设计使用寿命, 实际使用用途等多个因素的影响. 西方发达国家汽车工业起步早, 在二战之后就经历了汽车报废量迅速提

高的阶段, 进行了较多汽车存活规律方面的研究^[2~5]. 对于我国汽车存活规律的研究起步于 2000 年以后, 杨方等人^[6]以北京市 1995 年小型客车保有量和车龄分布以及 1997~2002 年车辆报废数为基础, 采用 Weibull 分布模型对北京市小型客车存活概率进行了计算, 给出了北京市小型客车的存活概率曲线. 该方法需要对车龄分布进行数据调研, 比较适合局部地区的汽车存活规律研究. 美国 Argonne 实验室在对我国汽车存活规律进行判断时, 以文献调研的部分车型存活规律为基础, 根据 1997 年颁布的汽车强制报废标准中对不同类别车辆报废年限的规定, 对已知存活规律的汽车平均寿命进行修正得到其余车型的存活规律, 并对未来的发展趋势进行了预测. 该方法所需数据量小, 在数据不充分的情况下有较强的应用价值^[7]. 本研究基于目前可获得的数据, 采用 Weibull 分布作为汽车存活比例函数, 对我国私人乘

用车、政府企业用车、出租车、公交汽车、非公交营运客车、非营运客车、重型货车、中型货车、轻型货车等 9 类汽车的存活规律进行了研究。

2 汽车存活规律模型

2.1 汽车存活比例函数及报废速率函数

Weibull 分布由瑞典工程师 Waloddi Weibull 在 1951 年给出了详细的描述^[8], 之后被广泛应用在可靠性工程领域, 很多电子、机械产品的失效规律都近似服从 Weibull 分布. 本研究采用双参数 Weibull 分布作为汽车存活比例函数, 定义汽车报废速率函数为汽车存活比例函数的导数绝对值, 分别为

$$SR_{i,m}(t) = \frac{SP_{i,m}(t)}{RP_{i,m}} = \exp\left[-\left(\frac{t}{T_{i,m}}\right)^{k_{i,m}}\right], \quad (1)$$

$$u_{i,m}(t) = \frac{k_{i,m} \cdot t^{k_{i,m}-1}}{T_{i,m}^{k_{i,m}}} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t}{T_{i,m}}\right)^{k_{i,m}}\right], \quad (2)$$

其中, $SR_{i,m}(t)$ 是在年份 i 新注册的 m 型车辆在车龄为 t 时的存活比例; $SP_{i,m}(t)$ 是在年份 i 新注册的 m 型车辆在车龄为 t 时的存活量; $RP_{i,m}$ 是在年份 i 新注册的 m 型车辆的总量; $T_{i,m}$ 和 $k_{i,m}$ 为模型特征参数; $v_{i,m}(t)$ 是在年份 i 新注册的 m 型车辆在车龄为 t 时的报废速率。

图 1 是采用 Weibull 分布描述的汽车存活比例函数及报废速率函数的示意图(取 $T_{i,m}=10, k_{i,m}=4$), 函数描述的存活规律可以分为 3 个阶段. 1) 使用初期. 此部分存活比例接近于 1, 报废速率很低. 其实际意义是汽车在使用的初期阶段质量较好, 报废速度较低, 存活汽车的比例接近 100%. 2) 集中报废期. 此部分

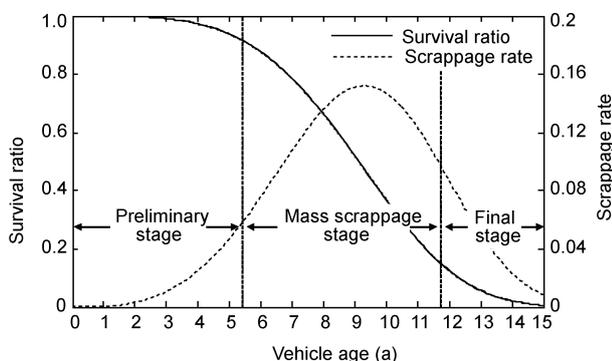


图 1 汽车存活比例和报废速率随车龄变化示意图

存活比例迅速下降, 报废速率较高. 其实际意义是当汽车使用到一定时期, 达到其设计寿命或者汽车强制报废年限, 大量汽车迅速报废, 存活汽车比例迅速下降. 3) 使用末期. 此部分存活比例和报废速率都逐渐降低为 0. 其实际意义是汽车在使用到较长时间之后, 大部分汽车已经被报废, 仅剩余少量汽车. 可以看出, 当采用 Weibull 分布作为汽车存活比例的函数, 模型对于存活规律的描述与实际情况基本吻合。

令 $t=T_{i,m}$, 代入(1)式, 得到 $SR_{i,m}(T_{i,m})=1/e$, 即当车龄达到 $T_{i,m}$ 后, 汽车的存活比例减小为 $1/e$, 约为 36.8%. 本研究定义该比例为汽车存活规律的特征比例, 并定义达到此存活比例的车龄 $T_{i,m}$ 为汽车平均报废车龄, 或平均寿命. 平均报废车龄与参数 $k_{i,m}$ 独立。

本研究定义汽车存活比例从 90% 下降到 10% 所需要的时间为集中报废时间 $ST_{i,m}$, 其表达式为

$$ST_{i,m} = T_{i,m} \cdot (2.3^{1/k_{i,m}} - 0.11^{1/k_{i,m}}), \quad (3)$$

$ST_{i,m}$ 对 $k_{i,m}$ 的导数恒为负数, 说明集中报废时间 $ST_{i,m}$ 随着 $k_{i,m}$ 的增大而减小. $k_{i,m}$ 越大, 集中报废时间 $ST_{i,m}$ 越短, 即汽车报废越集中, 反之则越分散. 本研究据此定义 $k_{i,m}$ 为报废集中度系数, 用来描述汽车报废的集中程度。

2.2 模型影响因素分析

2.2.1 汽车强制报废标准

我国汽车存活规律受到汽车强制报废标准、汽车设计使用寿命, 实际使用用途等多个因素的影响. 其中汽车强制报废标准对我国汽车存活规律具有决定性的影响. 我国于 1986 年颁布了《关于加速老旧汽车报废更新的暂行规定》, 首次对汽车报废的累计行驶里程和使用年限进行了规定^[9]; 1997 年颁布了《汽车报废标准》对报废车辆进行了更加详细的分类^[10], 此标准在 1998 年和 2000 年进行了两次调整^[11, 12]; 2006 年颁布了《机动车强制报废标准规定》的征求意见稿^[13]. 这些标准在汽车分类方式, 使用年限和行驶里程限制, 各车型延缓报废所需要达到的要求等方面都存在不同, 决定了我国汽车存活规律在各阶段有一定差别。

2.2.2 汽车分类

本研究采用如图 2 所示的汽车分类方法, 按照汽车车型、用途和使用地区 3 个属性将汽车分为 9 类。

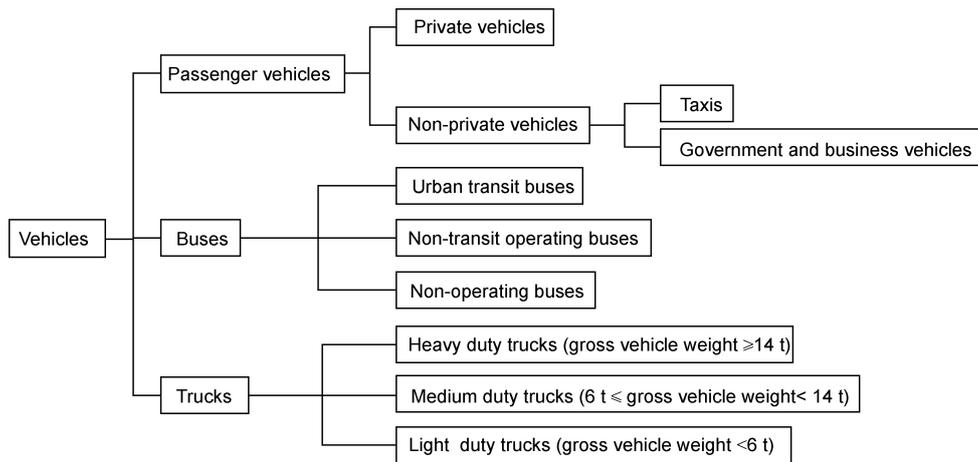


图2 本研究采用的汽车分类

考虑到基础数据来源的不同和参数回归的方法不同, 本研究基于一手报废汽车数据对私人乘用车、政府和企业用车、非营运客车存活规律模型进行参数回归; 基于历史注册量和保有量对商用货车存活规律模型进行参数回归; 采用强制报废标准分析与行驶里程调研相结合的方法对出租车、城市公交车、非公交营运客车存活规律进行分析。

3 数据获取及参数回归

3.1 私人乘用车、政府和企业用车、非营运客车存活规律

按照我国目前汽车产量和保有量统计的分类标准, 都无法将私人乘用车和政府企业用车区分开来, 也无法将非营运客车和营运客车区分开来。对于这几类汽车的存活规律研究只能依靠一手调研数据。本研究从北京联合汽车解体厂采集了报废汽车样本数据 7024 条, 报废时间从 2006 年 6 月到 2010 年 4 月, 其中私人乘用车样本 2765 条, 政府和企业用车样本 1472 条, 非营运客车样本 1088 条, 其余样本分类较为分散不在本研究中采用。样本数据包含的数据类型主要有: 报废车辆的车辆类型、使用性质、注册登记日期、报废日期、所有人信息。由于样本容量较大, 且汽车报废在我国各地采用同样的强制报废标准, 因此所搜集的数据样本能够较大程度上代表我国汽车存活规律的总体情况。将实际调研数据做图, 如图 3 所示。

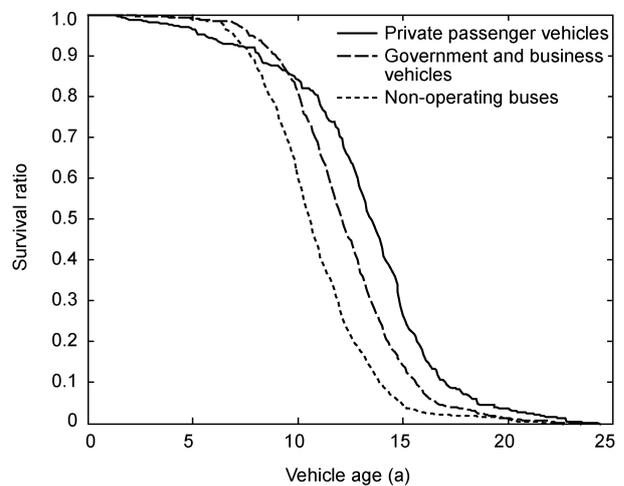


图3 报废汽车样本数据

由于样本车辆全部在 1997 年之后报废, 即 1997 年汽车强制报废标准实施之后, 可以近似认为存活规律特征参数 $T_{i,m}$ 和 $k_{i,m}$ 不随时间变化, 简化为 T_m 和 k_m 。基于样本数据采用(1)式对 T_m 和 k_m 进行参数回归, 结果如表 1 所示。

3.2 货车存活规律

对于我国货车存活规律, 由于本研究分类标准与国家标准相同, 可以在相关文献中查找到新车注册量, 保有量等数据, 因此本研究采用对历史数据进行回归的方法获得模型参数。采用的回归公式为

$$VP_{j,m} = \sum_{i \leq j} RP_{i,m} \cdot SR_{i,m}(j-i), \quad (4)$$

表 1 我国汽车存活规律模型参数回归结果

Vehicle classification	T_m	k_m	Remarks
Private passenger vehicles	14.46	4.79	The sample data represent the effect of the 1997 compulsory scrappage standards.
Government and business buses	13.11	5.33	
Non-operating vehicles	11.53	5.08	
Heavy duty trucks	12.8	5.58	The sample data mainly represent the effect of the 1997 compulsory scrappage standards.
Medium duty trucks	10.09	5.58	
Light duty trucks	8.02	5.58	
Taxis	5	∞	T_m was estimated based on the 1997 compulsory scrappage standards.
Transit buses	9	∞	
Non-transit operating buses	5.5	∞	

其中, $VP_{j,m}$ 是 j 年年末 m 型汽车的保有量. (4)式的含义是 j 年末 m 型汽车的保有量为之前若干年(包括 j 年) m 型汽车新车注册量在该年存活数量之和. 本研究以我国从 1980 年到 2004 年的货车新注册量数据和 2000 年到 2004 年的货车保有量数据为基础对模型参数进行回归, 注册量和保有量见表 2^[7].

我国从 1980 到 2004 年的汽车报废主要受到 1986 年和 1997 年两部强制报废标准的影响, 其中 1990 年之前新注册的货车主要受到 1986 年强制报废法规的影响, 考虑到这一时期我国货车新注册量较低, 对拟合结果影响不大, 本研究假设我国 1980 到 2004 年之间汽车存活规律主要受到 1997 年强制报废标准的影响. 同时, 为了降低数学拟合难度, 本研究先以所有货车的新注册量和保有量为基础回归参数 k_m , 将此 k_m 固定分别回归重型、中型和轻型货车的 T_m , 结果如表 1 所示.

3.3 出租车、城市公交车、非公交营运客车存活规律

我国出租车、公交汽车和非公交营运客车大部分由出租车公司和客车公司进行管理, 一般实行集中购买和集中报废, 具体报废年限由公司根据汽车使

用情况和强制报废标准的要求来决定, 存在着一定的不确定性. 根据我国 1997 年颁布的汽车强制报废标准, 出租车的使用年限和行驶里程限制分别为 8 年和 50 万公里, 公共汽车为 10 年和 50 万公里, 非公交营运客车(主要为旅游、公路客运车)为 10 年和 50 万公里. 根据调查数据, 我国各地区营运客车使用情况差异较大, 出租车的年行驶里程大约为 8~12 万公里^[7,14], 公共汽车约为 4.5~6.5 万公里^[15], 非公交营运客车约为 8~10 万公里^[16]. 本研究取估计行驶里程范围的中值代表全国平均行驶里程, 则 3 类汽车达到行驶里程限制分别需要 5, 9 和 5.5 a, 均小于强制报废年限, 因此对以上几类汽车起限制作用的主要是强制报废标准中对行驶里程上限的规定. 由于采用的是集中报废的方式, 反映在模型参数中就是 k_m 无穷大.

4 结果及分析

根据前文所述基础数据及回归模型计算出我国各类汽车存活规律模型的特征参数, 如表 1 所示. 图 4 是按照表 1 绘制的各类汽车的存活比例随车龄变化的曲线. 通过对比可以做如下分析. 1) 私人乘用车的平均报废车龄高于政府企业用车, 这一特征与实际

表 2 我国货车新注册量及保有量

	New registration (thousand)			Population (million)		
	Heavy duty	Medium duty	Light duty	Heavy duty	Medium duty	Light duty
1980	2	93	99	0.4	2.3	3.6
1990	21	196	180	0.6	2.2	3.7
2000	84	157	523	0.8	2.1	4
2001	148	163	511	1	1.9	4.4
2002	248	164	661	1.3	1.8	4.8
2003	258	138	825	0.4	2.3	3.6
2004	371	175	979	0.6	2.2	3.7

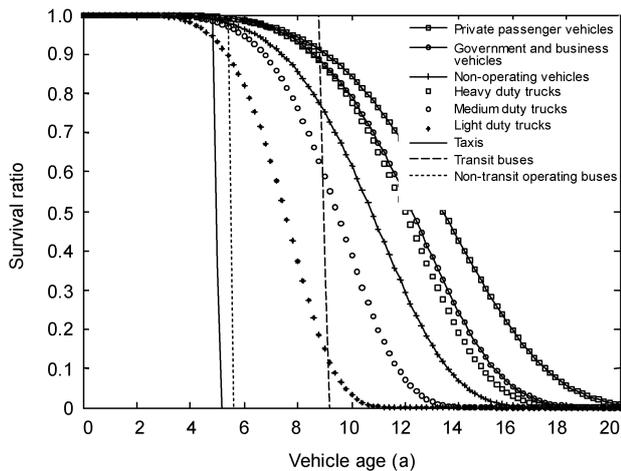


图4 我国汽车分类存活比例随车龄变化

经验相符, 因为一方面政府企业用车使用频率相对较高, 降低了使用寿命; 另一方面, 从报废决策上看, 政企用户对新车换置成本敏感度较低, 具有更大的激励进行汽车报废. 2) 重型货车、中型货车和轻型货车平均报废车龄依次降低, 这一特征与国外相关研究相吻合. 其原因一方面是重型货车换置成本较高, 降低了用户报废的积极性; 另一方面强制报废标准

规定的重、中型货车的使用年限和行驶里程均高于轻型货车. 3) 私人乘用车、政府企业用车、非营运客车、货车的报废集中度系数 k_m 较为接近, 说明这几类汽车的报废集中程度相当. 4) 出租车、公交汽车、非公交营运客车的报废车龄普遍较低, 且均为集中报废. 5) 与强制报废标准相比, 各类汽车在达到强制报废年限时存活比例已接近 0, 因此强制报废标准主要依靠关于行驶里程的相关规定来约束汽车的报废.

5 结论

本研究对我国私人乘用车等 9 类汽车的存活规律进行了建模和回归, 得到了各类汽车存活比例随车龄变化的曲线, 结果表明我国私人乘用车的平均报废车龄高于政府企业用车, 重型货车、中型货车和轻型货车平均报废车龄依次降低, 出租车、公交汽车、非公交营运客车的报废车龄普遍较低, 且均为集中报废. 我国的强制报废标准主要依靠关于行驶里程的相关规定来约束汽车的报废. 本研究成果可以应用在对我国未来汽车报废量和新车注册量的预测.

参考文献

- 1 China Automotive Technology & Research Center. China Automotive Industry Yearbook 2010. Beijing: China Automotive Industry Yearbook Press, 2010
- 2 Walker F V. Determinants of auto scrapping. Rev Econ Statist, 1968, 50(4): 503-506
- 3 Parks R W. Determinants of scrapping rates for postwar vintage automobiles. Econometrica, 1977, 45(5): 1099-1115
- 4 Greenspan A, Cohen D. Motor vehicle stocks, scrapping, and sales. Rev Econ Statist, 1999, 81(3): 369-383
- 5 Chen C, Niemeier D. A mass point vehicle scrapping model. Transp Res PT B-Method, 2005, 39(5): 401-415
- 6 杨方, 于雷, 宋国华, 等. 基于存活概率的动态车龄分布模型. 中国安全科学学报, 2005, 15(6): 24-27
- 7 Huo H, Wang M, Johnson L, et al. Projection of Chinese motor vehicle growth, oil demand, and CO₂ emissions through 2050. Transp Res Rec, 2007, 2038: 69-77
- 8 Pinder III J E, Wiener J G, Smith M H. The Weibull distribution: A new method of summarizing survivorship data. Ecology, 1978, 59(1): 175-179
- 9 国家经济委员会. 关于加速老旧汽车报废更新的暂行规定. 北京: 国家经济委员会, 1986
- 10 全国汽车更新领导小组办公室. 汽车报废标准. 北京: 全国汽车更新领导小组办公室, 1997
- 11 全国汽车更新领导小组办公室. 关于调整轻型载货汽车报废标准的通知. 北京: 全国汽车更新领导小组办公室, 1998
- 12 全国汽车更新领导小组办公室. 关于调整汽车报废标准若干规定的通知. 北京: 全国汽车更新领导小组办公室, 2000
- 13 国家发展与改革委员会. 机动车强制报废标准规定(征求意见稿). 北京: 国家发展与改革委员会, 2006
- 14 中国汽车技术研究中心. 部分城市乘用车行驶里程调查. 见: 能源基金会中国可持续能源项目会议. 北京: 能源基金会, 2010
- 15 环境保护部机动车排污监控中心. 中国机动车年均行驶里程研究进展. 见: 能源基金会中国可持续能源项目会议. 北京: 能源基金会, 2010
- 16 交通部科学研究院. 机动车保有量和年均行驶里程现状及预测. 见: 能源基金会中国可持续能源项目会议. 北京: 能源基金会, 2010