

引用格式: 孔子科, 刘晶茹, 孙铎. 中国城镇家庭乘用车物质代谢分析[J]. 资源科学, 2019, 41(4): 681-688. [Kong Z K, Liu J R, Sun X. Dynamic material stock and flow of Chinese urban household private cars in recent 20 years[J]. Resources Science, 2019, 41(4): 681-688.] DOI: 10.18402/resci.2019.04.06

中国城镇家庭乘用车物质代谢分析

孔子科^{1,2}, 刘晶茹¹, 孙铎^{1,2,3}

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国汽车技术研究中心有限公司, 天津 300300)

摘要:近20年来, 中国私人汽车经历了从无到有的阶段, 其引起的物质存量的代谢格局无疑具有重要意义。本文采用自下而上的代谢分析方法, 对中国1997—2016年城镇家庭乘用车消费的材料存量进行了动态分析, 量化了家庭乘用车消费引起的材料代谢结构与格局。研究结果表明: 家庭乘用车消费的物质存量快速增加, 2016年城镇家庭乘用车消费户均物质存量已达466.62 kg, 比1997年的2.29 kg增长了200多倍。乘用车物质代谢仍处于存量净增加阶段, 2016年户均输入量是输出量的9倍以上。同时, 存量的材料组成也在不断变化, 普通钢材和铁的比例分别由1997年的46.72%和11.79%下降到2016年的37.96%和6.80%, 逐渐被高强度钢和铝金属替代。虽然目前材料输出还是以普通钢铁为主, 但是随着存量的逐渐报废, 高强度钢和铝等材料会成为报废资源的重要组成, 其资源的回收管理值得关注。由于汽车报废的滞后性, 高强度钢和铝材料等资源大量输出不可避免, 这为汽车报废拆解行业资源管理和回收提供了新的方向。

关键词: 物质存量; 家庭乘用车; 动态代谢分析; 材料组分变化; 资源管理

DOI: 10.18402/resci.2019.04.06

1 引言

在社会经济系统中, 产品物质存量是人类生产与消费活动的物理载体和服务提供者, 也是日益增长的物质、能源消耗以及环境排放的重要驱动力, 并在一定程度上, 反映了人类福祉的发展水平^[1]。目前, 存量分析以物质流分析为基础, 大多数是对一个特定时间段(通常为一年)内系统的静态描述, 包括自上而下和自下而上两种方法。自上而下的方法基于系统平衡的原理, 由每年社会存量变化量经多年累加得到, 而自下而上则是通过产品数量及其物质材料组成的信息计算。然而, 大部分现有研究主要聚焦国家^[2-5]及城市^[6]尺度, 缺少家庭层面的存量分析研究。改革开放以来, 中国城镇家庭恩格尔系数不断下降, 食品、衣着支出比例下降, 居住和

交通支出比例上升。从物质质量角度来看, 中国城镇家庭的物质“存量增加量”将逐渐追赶“流量”并成为家庭物质代谢的主体^[7,8]。尤其是从1994年中国首次正式认可了私人购买汽车的可行性^[9]到2000年政策“鼓励轿车进入家庭”^[10], 中国居民轿车消费迎来了更快发展的新时期, 2016年中国城镇家庭每百户乘用车保有量达35辆。然而美国每百户汽车拥有量在2014年已经超过200辆^[11], 欧洲一些发达国家也超过150辆^[12]。与发达国家相比, 中国家庭汽车保有量差距还比较大, 还有很多增长空间。

家庭作为社会的基础单元, 其代谢模式对于社会子系统和城市整体具有不可忽视的基础指导作用^[13]。同时, 家庭消费是终端消费的主要组成, 关注家庭是了解并探索由消费活动引起的对资源环境

收稿日期: 2018-01-08; 修订日期: 2018-02-18

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(71874181)。

作者简介: 孔子科, 男, 河北保定人, 硕士, 主要研究方向为产业与城市生态学。E-mail: kongmails@163.com

通讯作者: 刘晶茹, E-mail: liujingru@rcees.ac.cn

2019年4月

即 $S_0=I_0$, $O_0=0$ 。汽车进入中国家庭的时间在 1990 年代后期,中国统计局对家庭轿车拥有量的数据统计起始于 1997 年,因此,本文以 1997 年为研究起始年。查阅文献可得 1997 年全国轿车销量约为 47.57 万辆^[22],而私人购买轿车比重为 22.3%^[23],按比例推算出家庭私人轿车 1997 年销售量约 10.61 万辆。从 1990 年代后期,开放私人购买汽车伊始,相较农村居民,城镇居民对于高档消费品的汽车有更高的消费能力与消费意愿,因此假定 10.61 万辆轿车都为城镇家庭购入。

对于 Weibull 分布来说,形状参数 b 以及平均寿命 y_{av} 是 2 个重要的参数。Oguchi 等^[24]以乘用车为例,提出了一种估算产品寿命分布的简化方法,对所有国家和年份耐用消费品, b 可以用恒定值 3.6 代替。另外,根据 Hao 等^[25]对乘用车的研究显示,目前中国乘用车寿命为 14.5 年。

历年车辆物质材料组成来自 ORNL 实验室^[26]对美国轻型车(LDV)材料的研究。其研究主要车型为轿车、SUV 等家庭用车^[11,27],尽管材料组分代表的是北美的平均材料组成,但是考虑到在各地区的材料及工艺生产相似的情况下^[26],其材料组分的数据可以适用于中国。2009—2016 年中国汽车的平均整备重量数据来自中国汽车技术研究中心有限公司,通过与美国家用汽车 2009—2016 年平均车重比较可以得出此期间中国乘用车的整备质量大约为美国家用汽车的 70%,因而 1997—2008 年缺失的中国汽车的整备质量则依据 1997—2008 年间美国家庭用车平均重量的 70%推算而得。

本文主要考虑的汽车材料为普通钢、高强度、铁、铝等金属以及橡胶、塑料、玻璃等非金属,为家庭汽车的在用存量,也是汽车实现其功能及服务主要的载体;而汽车使用过程中维修带来的物质消耗因为其相较于整体物质流量及存量非常小,故忽略没有计入,而消耗的燃料是动态变化的不稳定物质,不储存在家庭系统之中,同样没有纳入核算模型之中。虽然中国二手车市场不断蓬勃发展,但总体而言交易量还较小^[28],其中城镇家庭淘汰的乘用车转卖到农村地区而导致的流量流出则不在本文考虑之内。此外,新能源汽车在中国开始大规模销售始于 2015 年,其中私人乘用车的购买拥有的比例

35%左右,而且其销售量与传统乘用车相比不到 1%^[29],对目前家庭乘用车整体物质代谢几乎没有影响,暂作不考虑。1997—2015 年,整体上看汽车的整备质量一直在逐渐增加,这种重量的变化既是车辆发展各种综合影响的结果,更高的性能、更大的承载能力以及更高级的设备都增加了车辆的重量;同时材料、设计和制造技术的进步又会部分地减轻车辆的重量^[30]。如表 1 中所示,较重的普通钢和铁的比例在逐渐下降,而高强度钢和铝等轻型材料的比重则在上升,材料替代的现象明显。

3 结果与分析

3.1 城镇家庭乘用车存量迅速累积

1997—2016 年,中国城镇家庭户均乘用车的物质输入量变化如图 2 所示。整体来说,家庭乘用车的物质输入量逐渐增多,输入量的增速也呈加快趋势。户均城镇输入量已经由 1997 年的 1.08 kg 增加到了 2016 年 100.77 kg,近 20 年间增加了 90 多倍(图 2)。2001 年“鼓励轿车进入家庭”^[10]的政策使城镇家庭乘用车的输入量进入了新的高速增长阶段。全球金融危机的影响下,2008 年之后整体汽车行业增长放缓,家庭存量累积速率一度有所减缓,随着 2011 年前后经济的复苏,家庭乘用车存量累积速率又进入了新的高速增长阶段。

图 3 反映了城镇家庭户均乘用车物质存量的变化。2016 年城镇家庭乘用车的户均存量已经达到 466.62 kg,比 1997 年的 2.29 kg 增长了 200 多倍,同时存量累积速率也在逐年加快(图 3)。伴随着居民乘用车消费需求的增多,其输入量持续增多,越来越多的汽车在城镇家庭累积为存量。2016 年户均输出量 10.55 kg,仅为输入量的 1/10(图 4)。由于汽车大规模进入家庭的时间较晚,目前大部分的汽车作为家庭中的物质存量发挥其服务功能,还没有进入大规模报废的阶段,仅较早进入家庭的汽车已经开始输出。

3.2 城镇家庭乘用车存量的材料替代现象明显

近 20 年间,伴随汽车车型的变化及生产技术的提升,输入的材料结构也在不断的变化,较重的普通钢和铁的比例在逐渐下降,而高强度钢和铝等轻型材料的比重在上升,材料替代的现象明显。由于汽车大规模进入家庭的时间较晚,目前大部分的汽车

表1 中国乘用车材料组分及重量变化

Table 1 Materials Components and Curb Weigh of Private Cars in China

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
普通钢/%	46.66	46.47	45.93	45.59	44.67	44.52	44.31	43.96	43.39	43.32	42.78
高强钢/%	8.96	9.21	9.82	10.15	10.46	10.83	11.26	11.60	11.85	12.22	12.36
铁/%	11.95	11.66	11.38	11.35	11.07	9.81	9.03	8.48	8.19	8.17	8.18
铝/%	6.03	6.04	6.37	6.69	6.87	7.13	7.35	7.54	7.69	7.87	7.99
镁/%	0.16	0.16	0.18	0.18	0.21	0.26	0.23	0.25	0.25	0.25	0.25
铜/%	1.37	1.41	1.38	1.35	1.33	1.69	1.75	1.77	1.76	1.47	1.51
铅/%	0.92	0.93	0.91	0.91	0.92	0.94	0.89	0.88	0.92	0.92	0.96
锌/%	0.51	0.48	0.44	0.36	0.33	0.28	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
其他金属/%	0.86	0.93	0.96	1.01	1.03	1.07	1.09	1.13	1.19	1.14	1.16
塑料/%	6.92	6.92	7.22	6.90	7.33	7.61	7.80	8.05	8.36	8.26	8.36
橡胶/%	4.15	4.21	4.31	4.14	4.25	4.16	4.27	4.26	4.25	4.31	4.30
涂料/%	0.67	0.64	0.68	0.62	0.64	0.66	0.66	0.63	0.69	0.67	0.72
织物/%	1.10	1.25	1.12	1.09	1.13	1.15	1.14	1.16	1.26	1.19	1.19
液体/%	5.33	5.30	5.22	5.31	5.30	5.31	5.31	5.30	5.20	5.23	5.22
玻璃/%	2.66	2.66	2.57	2.63	2.64	2.66	2.64	2.65	2.60	2.59	2.59
其他材料/%	1.75	1.73	1.51	1.72	1.82	1.92	2.02	2.09	2.15	2.14	2.18
整备质量/kg	1 200	1 214	1 243	1 241	1 261	1 265	1 271	1 281	1 306	1 298	1 306
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
普通钢/%	43.01	42.70	40.89	40.79	38.38	36.84	36.79	37.16	36.00	36.00	
高强钢/%	12.71	12.85	13.38	13.84	14.93	15.46	16.27	16.25	17.60	17.60	
铁/%	7.90	7.40	5.26	5.87	6.75	7.14	7.10	6.78	6.70	6.70	
铝/%	7.68	7.74	8.28	8.51	8.72	9.29	9.50	9.96	9.90	9.90	
镁/%	0.25	0.27	0.31	0.32	0.29	0.28	0.28	0.28	0.20	0.20	
铜/%	1.30	1.57	1.61	1.61	1.65	1.84	1.83	1.78	1.70	1.70	
铅/%	1.03	1.11	1.15	0.99	1.01	0.94	0.90	0.90	0.90	0.90	
锌/%	0.22	0.25	0.23	0.22	0.22	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
其他金属/%	1.18	1.18	1.17	1.16	1.13	1.25	1.25	1.25	1.20	1.20	
塑料/%	8.12	8.43	9.81	9.36	9.26	9.06	8.43	8.24	8.40	8.40	
橡胶/%	4.64	4.55	5.42	4.95	5.45	5.36	5.09	4.93	5.00	5.00	
涂料/%	0.71	0.69	0.87	0.84	0.83	0.84	0.80	0.70	0.70	0.70	
织物/%	1.13	1.18	1.35	1.34	1.18	1.25	1.25	1.23	1.10	1.10	
液体/%	5.27	5.26	5.59	5.59	5.48	5.53	5.57	5.61	5.60	5.60	
玻璃/%	2.59	2.59	2.38	2.33	2.41	2.42	2.41	2.40	2.40	2.40	
其他材料/%	2.26	2.23	2.30	2.28	2.31	2.30	2.33	2.33	2.40	2.40	
整备质量/kg	1 317	1 315	1 233	1 255	1 276	1 298	1 327	1 340	1 364	1 407	

作为家庭中的物质存量发挥其服务功能,还没有进入大规模报废的阶段,但较早进入家庭的汽车已经开始输出。这同时也导致当前的输出与当年的输入在物质组成方面有较高的相似性,普通钢最多,占到近乎一半,之后是高强钢、铁、铝、塑料等材料。在可以预计的未来,城镇家庭乘用车材料输出量将会急剧增长,并逐渐增速上升,同时其材料结

构也会发生变化。

汽车重量及材料组成的变化带来存量结构的变化。乘用车会因为汽车舒适化、自动化、智能化等趋势使乘用车上各类电机、电子设备应用更为广泛,导致乘用车整备质量增长,加剧了家庭乘用车的物质累积量。为满足越来越严格的油耗标准,轻量化技术逐渐得到运用,使得汽车材料组分开始发

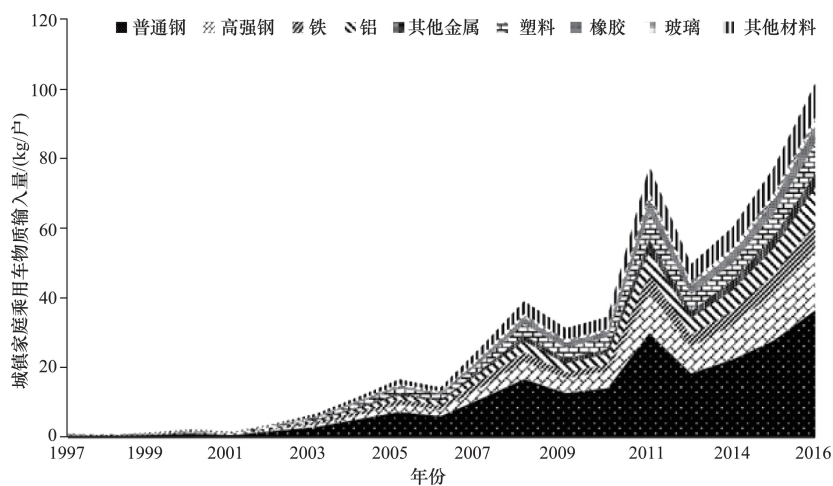


图2 户均城镇家庭乘用车物质输入量变化

Figure 2 Changes on material input of private cars in per urban household

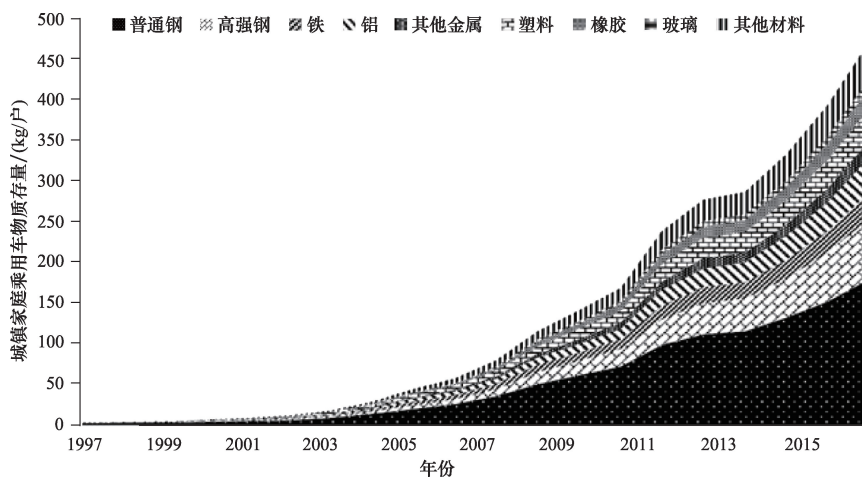


图3 户均城镇家庭乘用车物质存量变化

Figure 3 Changes on material stock of private cars in per urban household

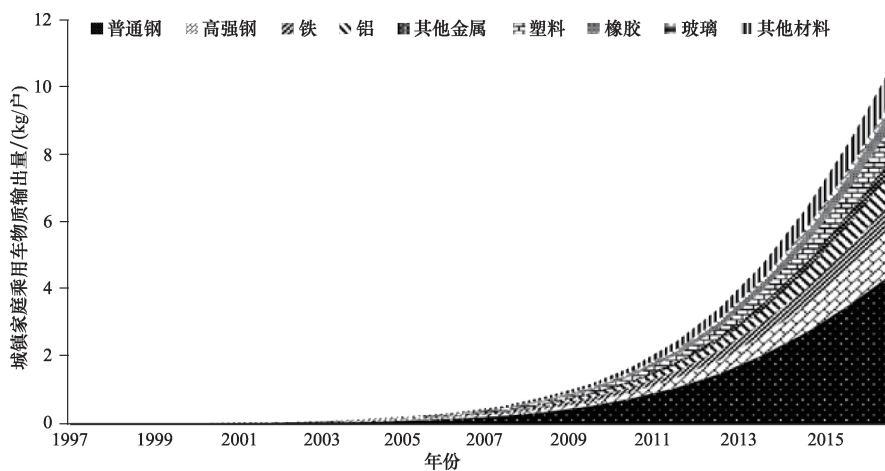


图4 户均城镇家庭乘用车物质输出量变化

Figure 4 Changes on material output of private cars in per urban household

生明显的变化。随着旧车的逐渐报废和新车的持续进入,城镇家庭乘用车物质存量材料组分也在逐渐发生变化。普通钢材和铁的占比逐渐下降,高强度钢和铝金属的比例增加比较明显,塑料和橡胶等非金属材料占比略有增长(图5)。其中,普通钢材由1997年的46.57%下降到2016年的37.96%,铁则由11.81%下降到6.80%,高强度钢和金属铝分别由9.08%和6.04%增加到了15.76%和9.24%。由此可见,高强度钢对普通钢材的替代作用,这也是新车输入数量不断增加和原材料在新车总重量中占比变化的一个重要原因。

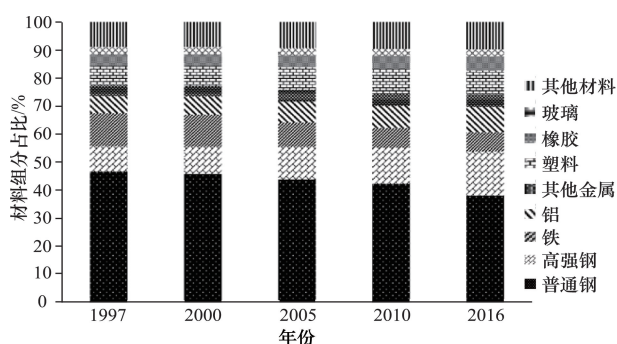


图5 城镇家庭乘用车存量材料组分

Figure 5 Material composition of private cars stock in urban household

4 结论与讨论

4.1 讨论

当前中国城镇家庭乘用车的代谢格局与其户均汽车拥有量的变化密切相关。在1997—2016年间,伴随着城镇居民消费结构升级,户均汽车拥有量从0.0019辆增加到0.35辆,家用汽车在家庭内部存量仍处于加速累积的状态。城镇家庭乘用车物质存量材料组分的变化一方面与家庭用车生产技术的提升相关,另一方面也与居民消费习惯相关。据《中国汽车工业统计年鉴》^[29]统计,中国乘用车市场份额中SUV、MPV等车型的比例逐渐上升,而轿车的份额则在不断下降,已从2012年的近80%下降到2016年的50%;而在轿车的购买上也是A、B、C中大型车较小型车越来越受欢迎,家庭用车型不断变化。

本文的研究还有一定的不确定性。由于消费行为的复杂性,无法获取每辆车的实际使用寿命,因此采用了Weibull模型来推算输出量及输入量。

同时,核算所采用的汽车材料构成数据主要为北美地区的轻型车,与中国实际乘用车材料组分有一定差异。

随着家庭乘用车保有量的进一步快速增加,其物质存量必然继续增长,物质消费压力持续上升,而轻量化在某种角度上,可以有效地缓解由汽车消费引起的物质压力,减少物质投入以及多余废物产生。新能源汽车的普及和汽车轻型化的过程势必干扰整体的物质代谢。快速增长的乘用车物质存量和汽车产业政策对于未来中国资源流动格局具有重要影响,由此引起的一系列资源环境问题值得关注。

4.2 结论

本文采用自下而上的方法,结合家庭乘用车的消费基础数据及其物质组成的信息对中国城镇家庭乘用车的存量进行了动态分析研究。研究表明:

(1)家庭乘用车消费的物质存量快速增加。在近20年间,伴随着城镇居民消费结构升级,家用汽车在家庭内部存量处于加速累积状态,但远未达到累积的高峰期,目前仍以输入量驱动、“净存量”增加为主。2016年城镇家庭乘用车消费户均物质存量已达466.62 kg,比1997年的2.29 kg增长了200多倍。2016年户均输入量是输出量的9倍以上。

(2)家庭乘用车的存量结构在不断变化。较重的普通钢材和铁在家庭乘用车存量中的占比分别从1997年的46.72%和11.79%下降到2016年的37.96%和6.80%,逐渐被高强度钢和铝金属替代。虽然目前的输出资源还是以普通钢铁为主,但高强度钢和铝材料的占比正在上升;考虑到汽车报废的滞后性,高强度钢和铝材料等资源大量输出不可避免,与目前资源报废结构有着明显的差异,这为汽车报废拆解行业的资源管理和回收提供了新的方向。

尽管存在不确定性,但本文系统核算了中国城镇家庭乘用车消费从无到有而引起的物质存量代谢概况,揭示了中国城镇家庭乘用车的物质积累变化情况。尤其是考虑到家庭乘用车的报废量仍处于低位并逐渐增长输出,以此作为基础对将来的物质累积及流动进行趋势预测,可为城市资源管理、基础设施建设乃至政策建议提供重要依据。

2019年4月

参考文献(References):

- [1] 刘刚, 曹植, 王鹤鸣, 等. 推进物质流和社会经济代谢研究, 助力实现联合国可持续发展目标[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(1): 30-39. [Liu G, Cao Z, Wang H M, et al. Promote material flow and socio-economic metabolism studies to help achieve the UN sustainable development goals[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(1): 30-39.]
- [2] Wang T, Mvller D B, Hashimoto S. The ferrous find: Counting iron and steel stocks in China's economy[J]. Journal of Industrial Ecology, 2015, 19(5): 877-889.
- [3] Muller D B. Stock dynamics for forecasting material flows: Case study for housing in the Netherlands[J]. Ecological Economics, 2006, 59(1): 142-156.
- [4] Hatayama H, Daigo I, Tahara K. Tracking effective measures for closed-loop recycling of automobile steel in China[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2014, 87: 65-71.
- [5] Hatayama H, Daigo I, Matsuno Y, et al. Evolution of aluminum recycling initiated by the introduction of next-generation vehicles and scrap sorting technology[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2012, 66: 8-14.
- [6] 楼俞. 城市物质代谢分析方法建立与实证研究[D]. 北京: 清华大学, 2007. [Lou Y. Material Metabolism for Cities: Methodology and Case Study of Handan City[D]. Beijing: Tsinghua University, 2007.]
- [7] 刘晶茹, 严丽, 丁宁. 中国城镇家庭物质流核算[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(S1): 155-158. [Liu J R, Yan L, Ding N. Material flow accounting of Chinese urban household[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(S1): 155-158.]
- [8] 严丽, 刘晶茹. 基于物质流分析的中国城镇家庭代谢核算[J]. 资源科学, 2017, 39(9): 1682-1690. [Yan L, Liu J R. Chinese urban household metabolism accounting based on material flow analysis[J]. Resources Science, 2017, 39(9): 1682-1690.]
- [9] 国务院. 汽车产业发展政策[R]. 北京: 中华人民共和国国务院公报, 1994. [The State Council. Development Policies of Automobile Industry[R]. Beijing: The Bulletin of the State Council of the People's Republic of China, 1994.]
- [10] 中央委员会. 中共中央关于制定国民经济和社会发展第十个五年计划的建议[EB/OL]. (2000-10-11) [2018-01-08]. <http://cpc.people.com.cn/GB/64162/71380/71382/71386/4837946.html>. [The Central Committee. The Proposal of the Central Committee of the Communist Party of China on the Tenth Five Year Plan for the Development of National Economy and Social Development[EB/OL]. (2000-10-11)[2018-01-08]. <http://cpc.people.com.cn/GB/64162/71380/71382/71386/4837946.html>.]
- [11] Davis S C. Transportation Energy Data Book, Edition 35[EB/OL]. (2017-01-28) [2018-01-08]. <https://cta.ornl.gov/data/index.shtm>.
- [12] Commission E E. Energy, Transport and Environment Indicators [M]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017.
- [13] 卢伊, 陈彬. 城市代谢研究评述: 内涵与方法[J]. 生态学报, 2015, 35(8): 2438-2451. [Lu Y, Chen B. A review on urban metabolism: Connotation and methodology[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(8): 2438-2451.]
- [14] Noorman K J, Biesiot W, Moll H C. Changing lifestyles in transition routes towards sustainable household consumption patterns [J]. International Journal of Sustainable Development, 1999, 2(2): 231-244.
- [15] Lhteenoja S, Lettenmeier M, Kauppinen T, et al. Natural Resource Consumption Caused by Finnish Households[C]. Helsinki: Proceedings of the Nordic Consumer Policy Research Conference, 2007.
- [16] Mller E, Hilty L M, Widmer R, et al. Modeling metal stocks and flows: A review of dynamic material flow analysis methods[J]. Environmental Science & Technology, 2014, 48(4): 2102-2113.
- [17] 全国信息与文献标准化技术委员会. 汽车产品型号编制规则: GB 9417-89[S]. 北京: 中国标准出版社, 1989. [NITS. Rules for the Formulation of Automotive Product Types: GB 9417-89 [S]. Beijing: Standards Press of China, 1989.]
- [18] 全国信息与文献标准化技术委员会. 汽车和挂车类型的术语和定义: GB/T 3730.1-2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001. [NITS. Terminology and Definition of Vehicle and Trailer Types: GB/T 3730.1-2001[S]. Beijing: Standards Press of China, 2001.]
- [19] 全国信息与文献标准化技术委员会. 机动车辆及挂车分类: GB/T 15089-2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001. [NITS. Classification of Motor Vehicles and Trailers: GB/T 15089-2001[S]. Beijing: Standards Press of China, 2001.]
- [20] Oguchi M, Kameya T, Yagi S, et al. Product flow analysis of various consumer durables in Japan[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2008, 52(3): 463-480.
- [21] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1998-2017. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 1998-2017.]
- [22] 全国轿车1997年各月产销量[J]. 天津汽车, 1998, (1): 18. [The monthly sales volume of the national car in 1997[J]. Tianjin Auto, 1998, (1): 18.]
- [23] 吴法成. 1997年中国汽车市场回顾和1998年展望[J]. 汽车与社会, 1998, (3): 43-45. [Wu F C. A review of China's auto market in 1997 and its outlook in 1998[J]. Auto Society, 1998, (3): 43-45.]
- [24] Oguchi M, Fuse M. Regional and longitudinal estimation of product lifespan distribution: A case study for automobiles and a simplified estimation method[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49(3): 1738-1743.
- [25] Hao H, Wang H, Ouyang M, et al. Vehicle survival patterns in Chi-

- na[J]. Science China Technological Sciences, 2011, 54(3): 625–629.
- [26] Dai Q, Kelly J C, Elgowainy A. Life cycle analysis of 1995–2014 US light-duty vehicle fleet: The environmental implications of vehicle material composition changes[J]. SAE International Journal of Materials and Manufacturing, 2017, 10(3): 378–384.
- [27] Hula A, Bunker A, Alson J. Light-Duty Automotive Technology, Carbon Dioxide Emissions, and Fuel Economy Trends: 1975 Through 2015[R]. Washington DC: Trends Report, 2015.
- [28] 徐娜, 李笑侠, 李润煜. 浅谈我国农村二手车市场现状及未来发展趋势[J]. 企业文化(中旬刊), 2016, (2): 261. [Xu N, Li X X, Li R Y. The present situation and future development trend of rural second-hand car market in China[J]. Culture Corporate, 2016, (2): 261.]
- [29] 中国汽车技术研究中心. 中国汽车工业年鉴[M]. 天津:《中国汽车工业年鉴》期刊社, 2016. [China Auto Engineering Association. Technical Roadmap for Energy Saving and New Energy Vehicle[M]. Tianjin: Technical Roadmap for Energy Saving and New Energy Vehicle Periodical Press, 2016.]
- [30] Mackenzie D, Zoepf S, Heywood J. Determinants of US passenger car weight[J]. International Journal of Vehicle Design, 2014, 65 (1): 73–93.

Dynamic material stock and flow of Chinese urban household private cars in recent 20 years

KONG Zike^{1,2}, LIU Jingru¹, SUN Xin^{1,2,3}

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd, Tianjin 300300, China)

Abstract: In the past 20 years, China's private cars have gone through a rapid growth phase from scratch, and an analysis of the dynamic material stock and flow is undoubtedly of great significance. In this study, the bottom-up metabolic analysis method was used to analyze the material stock and flow of urban household consumption of private cars from 1997 to 2016 and quantify its structure and pattern. The results show that the material stock of household private cars increased rapidly. In 2016, the average urban household private car stock reached 466.62 kg, an increase of 200 times than that of 2.29 kg in 1997. In addition, the private car material flow is in the stage of a net increase in stocks: in 2016, the average household input was more than 9 times the output. At the same time, material composition of the stock is also changing. Ordinary steel and iron ratio decreased from 46.72% and 11.79% in 1997 to 37.96% and 6.80% in 2016, gradually being replaced by high-strength steel and aluminum. Although the output of materials is dominated by ordinary iron and steel, high-strength steel and aluminum will become an important component of scrapped resources. Therefore it is important to pay attention to the recovery and management of the new material component. Considering the lag of automobile scrap, a large number of resources such as high strength steel and aluminum are inevitably exported, which provides a new direction for resource management and recycling in automobile scrap and disassembly industry.

Key words: material stock; household private cars; dynamic material flow analysis; change of material composition; resource management