

汽车副仪表板本体总成的生命周期评价

张雷¹, 徐国浩¹, 张伟伟¹, 张城¹, 魏长庆²

(1. 合肥工业大学 机械与汽车工程学院, 安徽, 合肥 230009;

2. 奇瑞汽车股份有限公司, 安徽, 芜湖 241000)

摘要: 为了支持汽车整车及其关键零部件的绿色设计研发, 以提高汽车产品的环境友好性、可再生利用性为目的, 针对主要材料为改性聚丙烯(Polypropylene, PP)的两款汽车副仪表板进行了生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)对比分析, 采用GaBi 4软件对生产制造过程中的物料消耗、能源消耗以及对外排放进行统计分析, 并利用CML2001方法评价了生产制造及回收过程中的环境影响。对比分析结果表明, A型汽车副仪表板较B型来说, 在生产回收过程中, 能耗、环境酸化和温室效应影响较严重, 故优化现有的原材料制备工艺与成分含量, 改良汽车副仪表板结构设计是减少环境影响的有效途径。

关键词: 生命周期评价; GaBi 软件; 汽车副仪表板; 改性聚丙烯材料; 酸化

中图分类号: TH145.4

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2015.04.04

Life Cycle Assessment of Vice Dashboard Assembly of Automobile

Zhang Lei¹, Xu Guohao¹, Zhang Weiwei¹, Zhang Cheng¹, Wei Changqing²

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China;

2. Chery Automobile Co., Ltd, Wuhu 241000, Anhui, China)

Abstract: In order to support the sustainable design and development of the automotive key components for cleaner vehicles and for more renewable and environmentally friendly auto products, the paper conducted a LCA analysis on two types of automobile vice dashboards made of modified PP (polypropylene). The GaBi 4 software was used for statistical analysis of material consumption, energy consumption and external emissions in the manufacturing process, and the CML2001 method was applied to evaluate the environmental impact in manufacturing and recycling processes. The results show that the manufacturing and recycling processes of Type A vice dashboard assembly consume more energy, contribute more to environmental acidification and generate more greenhouse gases than those of Type B. Therefore, the effective ways to reduce environmental effects include refining the existing material fabrication technologies and improving the structural design of the vice dashboard assembly of automobile.

Key words: life cycle assessment ; GaBi software; vice dashboard of automobile; modified polypropylene ; acidification

收稿日期: 2014-07-29 改稿日期: 2014-09-18

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)(2013AA040202); 国家自然科学基金(51105127); 国家科技基础性工作专项(2013IM020500)

参考文献引用格式:

张雷, 徐国浩, 张伟伟, 等. 汽车副仪表板本体总成的生命周期评价[J]. 汽车工程学报, 2015, 5(4): 263-269.

Zhang Lei, Xu Guohao, Zhang Weiwei, et al. Life Cycle Assessment of Vice Dashboard Assembly of Automobile [J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2015, 5(4): 263-269. (in Chinese)

在我国,汽车工业的能源和资源消耗较多,污染物排放也比较严重。面对汽车产量和保有量的高速增长,我们不得不关注汽车产业持续发展所必须面临的生态环境问题^[1]。虽然新型材料零部件的应用使汽车在行驶过程中的油耗降低,在一定程度上节约了能源也减少了环境污染,但其原材料获取和加工制造阶段的能耗和污染物排放量将大于对传统材料的获取和制造^[2]。所以对汽车关键零部件进行生命周期分析,是改良汽车材料,提高汽车性能,减轻环境污染的重要依据,也是实现生命周期评价方法在产品设计和生产阶段应用的有效途径。

1 改性聚丙烯材料

改性 PP 作为轿车副仪表板的材料,具有熔体流动性能好、注塑质量高、力学性能好、尺寸稳定性好、耐热等级高等优点,特别是具有更好的强度、刚性和装饰性,对提高汽车性能和质量,保障汽车使用安全和车身轻量化等都有着积极的意义^[3]。近年来,将普通聚丙烯经过填充、增强、共混改性再作为原料制作汽车、电器、仪表等工业配套零部件也已成为其重要的应用领域。例如使用共聚聚丙烯或经过改性的聚丙烯可制作汽车保险杠、仪表板、方向盘、蓄电池外壳、支架、挡泥板、曲柄、止动器、风扇叶片、空调罩壳等^[4],但是常用的改性 PP (PP+EPDM) 多含有橡胶等材料,橡胶材料的制备多采用硫化的方式,这难免造成生产的过程中放出过多的 SO₂ 气体,造成环境的酸化污染。

2 副仪表板总成的生命周期评价

2.1 生命周期评价方法

LCA 是一种评价产品、工艺过程或活动从原材料的采集和加工到生产、运输、销售、使用、回收、养护、循环利用和最终处理整个生命周期系统有关的环境负荷的过程^[5]。ISO 对 LCA 的定义是:汇总和评估一个产品(或服务)体系在其整个生命周期中的所有投入及产出对环境造成潜在影响的方法^[6]。一个完整的 LCA 包括四个组成部分:目标与范围的确定、清单分析、影响评价和结果解释^[7]。

(1) 目标与范围定义

该阶段是对 LCA 研究的目标和范围进行界定,是 LCA 研究中的第一步,也是最关键的部分。

(2) 清单分析

清单分析是对所研究系统中输入和输出数据建立清单的过程。清单分析主要包括数据的收集和计算,以此来量化产品系统中的相关输入和输出。

(3) 影响评价

影响评价的目的是根据清单分析阶段的结果对产品生命周期的环境影响进行评价。这一过程将清单数据转化为具体的影响类型和指标参数,更便于认识产品生命周期的环境影响。

(4) 结果解释

根据目的和范围要求对评价结果进行评估,分析产品生命周期中的重大问题,进而形成结论和建议^[8]。

2.2 汽车副仪表板总成

汽车副仪表板总成是指位于驾驶座旁边的用于安装手制动和换挡杆等部件的仪表板,包括副仪表板、烟灰缸内外壳、电子按钮板、橡胶垫及弹簧卡子等配件,这些部件大部分为塑料件^[9]。随着汽车工业的飞速发展,对副仪表板总成件的质量要求也越来越高,PP 改性材料以其良好的加工性能、冲击性能以及密度小等优点在汽车副仪表板制造中用量较大^[10]。

2.3 目标与范围的确定

本文选用本体材料为 PP+EPDM-T20 和 GMT (PP+GF) 的某两款汽车副仪表板总成作为研究对象,目的是通过对这两款车型副仪表板总成的 LCA,分析副仪表板总成生命周期阶段的能源和环境影响,为车企产品设计人员选用产品材料和改进车型零部件结构提供参考依据。

汽车副仪表板总成的整个生命周期过程如图 1 所示。根据研究目的确定研究范围,其重点是原材料,以及产品生产制造、使用和回收处理的全过程。与其它各阶段相比,销售和运输阶段对环境的影响较小,故本文对其忽略不计。因此,把汽车副仪表板总成的整个生命周期过程分为原材料获取、加工制造、使用和回收处理四个阶段。

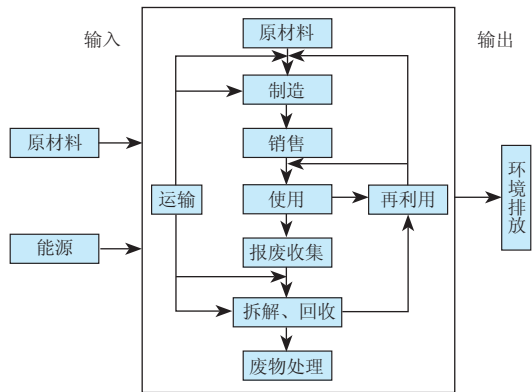


图 1 副仪表板总成的生命周期过程

某两款车型的不同材料副仪表板总成的主要参数见表 1，表中的数据来源于某汽车厂。LCA 的功能单位确定为单件汽车副仪表板总成的产品质量（kg）。

2.4 清单分析

2.4.1 原材料及其生产阶段

由于生产的配方保密，因此本文只列出部分原材料数据。两款车型副仪表板本体总成的主要零部件及其原材料清单见表 2 和表 3。副仪表板本体总成原材料提取阶段的主要污染物排放和能耗见表 4。

表 1 某两款汽车副仪表板总成的主要参数

参数	A 款车型副仪表板本体总成	B 款车型副仪表板本体总成
单件副仪表板本体总成质量 /kg	2.228	2.562
主要成分	PP+EPDM	PP+GF
生产工艺	注塑成型	冲压成型
结构特征	上下本体联接造型	整体造型
汽车寿命 /a	15	15
回收方式	回收再成型	回收再成型

注：汽车寿命按 15 a 行驶 300 000 km。
用改性聚丙烯制造注塑成型仪表板的工艺过程为：原料干燥 - 注塑成型 - 修整 - 包装^[11]。

表 2 A 款车型单件副仪表板本体总成所需的原材料

所需材料名称	材料质量 /kg	所含主要物质名称	物质质量 /kg	备注
PP+EPDM-T20	1.805	聚丙烯	1.173 3	填充热塑性塑料 含量比例 65%
		乙烯丙烯共聚物	0.180 5	含量比例 10%
		滑石粉	0.306 9	含量比例 17%
ABS	0.169	丙烯腈 / 丁二烯 / 苯乙烯共聚物	0.152 1	非填充热塑性塑料 含量比例 90%
65Mn	0.090	铁	0.087 8	低合金钢 含量比例 97.6%
		锌	0.034 8	锌合金 含量比例 99.4%
45CrNi	0.002	铁	0.001 9	高合金钢 含量比例 96.5%
		锌	0.001 9	锌合金 含量比例 92.8%
PE	0.016	聚乙烯	0.016 0	非填充热塑性塑料 含量比例 100%
45 钢	0.001	铁	0.001 0	低合金钢 含量比例 98.6%
EPDM	0.004	橡胶		
		乙烯丙烯共聚物	0.001 8	含量比例 45%
		炭黑	0.001 0	含量比例 25%

注：PP- 聚丙烯，EPDM- 三元乙丙橡胶，T- 滑石粉，ABS- 丙烯腈、丁二烯和苯乙烯的三元共聚物（A- 丙烯腈，B- 丁二烯，S- 苯乙烯），PE- 聚乙烯。

表 3 B 款车型单件副仪表板本体总成所需的原材料

所需材料名称	材料质量 /kg	所含主要物质名称	物质质量 /kg	备注
PP+GF	2.014 0			玻璃钢
		聚丙烯	1.409 8	含量比例 70%
		玻璃纤维	0.604 2	含量比例 30%
ABS	0.465 0			非填充热塑性塑料
		丙烯晴 / 丁二烯 / 苯乙烯共聚物	0.418 5	含量比例 90%
70G30HSLR	0.090 0			填充热塑性塑料
		尼龙	0.061 2	含量比例 68%
		玻璃纤维	0.026 1	含量比例 29%
金属锌	0.000 8			锌合金
		锌	0.000 8	含量比例 99.4%
POM	0.004 2			非填充热塑性塑料
		多聚甲醛	0.004 1	含量比例 98%
聚氨酯	0.010 0			非填充热塑性塑料
		二氧化钛	0.006 0	含量比例 60%
		聚氨酯	0.003 9	含量比例 39%
SWRCH18A	0.028 5			低合金钢
		铁	0.028 1	含量比例 98.5%
EPDM	0.011 0			橡胶
		乙烯丙烯共聚物	0.004 9	含量比例 45%
		炭黑	0.001 0	含量比例 25%

注：POM - 聚甲醛，70G30HSLR - 尼龙树脂，ABS - 丙烯晴、丁二烯和苯乙烯的三元共聚物（A - 丙烯晴，B - 丁二烯，S - 苯乙烯），SWRCH18A - 冷镦钢。

表 4 副仪表板本体总成原材料提取阶段
主要污染物排放和能耗

单位: kg				
污染物与能耗	PP+EPDM 材料提取阶段	PP+GF 材料提取阶段		
污染物	CO ₂	2.450	CO ₂	1.147
	CO	8.37×10 ⁻⁴	CO	1.76×10 ⁻⁴
	SO ₂	3.64×10 ⁻³	SO ₂	1.18×10 ⁻⁴
	NO	2.77 E-11	NO	6.65 E-12
能耗 /MJ	322.669	149.927		

注：数据来源于 GaBi4 软件数据库。

2.4.2 汽车副仪表板总成制造阶段

A 款汽车副仪表板本体总成主要是上下两块副仪表板组成，见表 5，其主要材料为 PP 作为基体，混有 EPDM 增韧剂和矿物粉填料。其主体部件的主要生产工艺采用注塑成型，将干燥后的塑料粒子在注塑机中通过螺杆剪切和料桶加热熔融后注入模具中冷却成型。工艺流程为：注塑（仪表板本体等零件）→焊接（主要零件）→装配（相关零件）^[12]。而 B 款汽车副仪表板本体总成则是整体冲压造型，

表 5 A 型副仪表板本体总成关键零部件加工制造阶段所需能耗

零件	材料	重量 /kg	数量	能耗 /MJ
副仪表板上本体	PP+EPDM-T20	0.583	1	1.024 214
副仪表板下本体	PP+EPDM-T20	1.040	1	1.827 072
副仪表板前挡板	ABS	0.120	1	0.186 408
垫块	PE	0.004	4	0.007 236
杯托总成	ABS/PP+EPDM-T20	0.100	1	0.162 472
电话储藏室总成	ABS/PP+EPDM-T20	0.138	1	0.223 561

表 6 B 型副仪表板本体总成关键零部件加工制造阶段所需能耗

零件	材料	重量 /kg	数量	能耗 /MJ
副仪表板本体	PP+GF	1.208	1	3.408 521
铰链销	70G30HSLR	0.013	1	0.031 485
扶手箱包覆骨架	ABS	0.225	1	0.349 515
杯托总成	ABS/PP+GF	0.210	1	0.592 441
储物盒	ABS/PP+GF	0.440	1	1.231 492

所含结构见表 6，其主要材料为 PP 作为基体，并混有玻璃纤维（GF）。其工艺制造流程为：将玻璃纤维毡和 PP 片材叠合后，经加热、加压、浸渍、冷

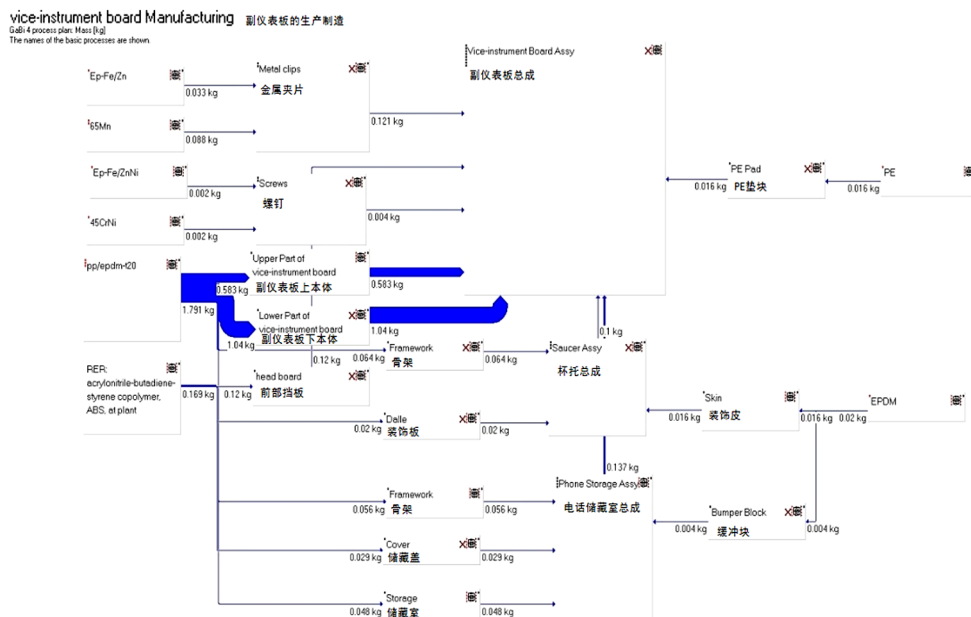


图2 汽车副仪表板本体总成生产过程的 GaBi4 软件模型

却定型和切断等工序制成 GMT 片材, 然后采用冲压成型工艺, 按样板将 GMT 片料下料, 加热到一定温度装模, 快速合模加压, 经冷却、脱模、切边和修整得到 GMT 制品。运用 GaBi4 软件对汽车副仪表板本体总成生产过程进行建模, 如图 2 所示。

由于汽车副仪表板本体总成零部件数量太多, 本文主要考虑主要零部件机加工过程中的耗电量, 具体数据见表 5 和表 6。

2.4.3 汽车副仪表板总成使用阶段

副仪表板总成在汽车使用寿命期间一般不会出现中途更换的情况。由于副仪表板总成在使用过程中不产生负面的环境影响,本文暂且忽略该阶段的环境影响。

2.4.4 汽车副仪表板总成回收阶段

由于汽车产量和用量的急速增长,报废汽车典型塑料零部件的回收利用对资源与环境的影响已日益凸显。废旧汽车最理想的回收方式就是原零件重用或再制造,再制造就是将已经损耗的产品重新恢复到既有利用价值又有经济价值的状态,是循环经济的高级形式^[13]。

仪表板因涉及各种材料而成为汽车上较难回收的零件之一。PP 类仪表板的回收再利用, 一般采用将废旧 PP 仪表板粉碎, 添加由 70% ~ 92% 的石蜡

聚合物和 8% ~ 30% 的无机填料组合的混合物, 之后加热熔融和捏炼, 生产树脂合成物, 并将其用作生产新仪表板的基体^[14]。单件汽车副仪表板总成粉碎过程消耗电能为 0.068 kWh, 加热熔融过程消耗电能 1.5 kWh。处理好废旧汽车典型塑料零部件对利用再生资源、减少环境污染和改善人类生存环境具有重要的意义。

3 环境影响评价

对两款汽车副仪表板总成进行全生命周期分析后,选取对环境影响较大的几种污染物作为研究对象。表 7 列出了两款副仪表板本体总成污染物排放量,图 3 为两款副仪表板本体总成污染物对比分析数据图。数据显示:A 型汽车副仪表板总成较 B 型产生更多的污染物,其对环境的影响也比 B 型大。

表 7 两款副仪表板总成污染物排放量

单位: kg

主要污染物	A 型副仪表板总成	B 型副仪表板总成
CO ₂	80.357 890	38.306 860
CO	1.931 672	0.053 755
CH ₄	3.006 130	0.089 875
SO ₂	4.535 942	0.343 631
NO _x	6.283 110	0.223 391

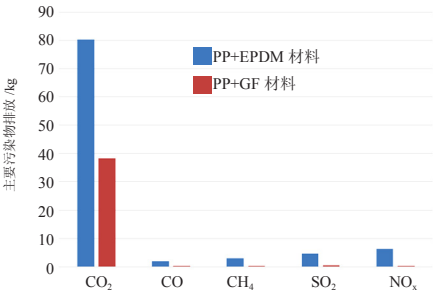


图 3 两款汽车副仪表板总成污染物对比数据图

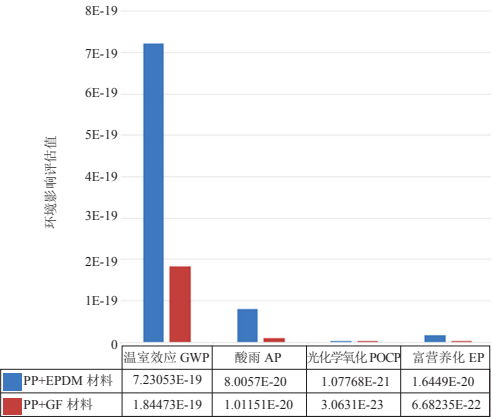


图 4 两款汽车副仪表板总成的环境影响对比图

运用 LCA 软件 GaBi4 对两款汽车副仪表板总成进行生命周期评价，可得到主要材料为改性 PP 的汽车副仪表板总成生命周期阶段对能源与环境的影响评价结果。最终将其全生命周期环境影响按照 CML2001[CML2001 - Dec. 07, Western Europe(EU)] 生命周期影响评价方法进行标准化和加权评估，结果如图 4 所示。

由图 4 可知，生产汽车副仪表板本体总成过

程所产生的主要环境影响主要为温室效应与环境酸化，而原材料 PP/EPDM 较 PP/GF 对环境造成的影响更为明显。这主要是因为 PP/EPDM 材料的生产主要采用动态硫化的方法^[15]，在制备过程中能耗较大并附带会产生大量 SO₂ 气体。

4 结论

(1) 汽车零部件原材料的制备、生产制造、使用和回收过程都对环境有影响，需进行全生命周期分析才能做出全面合理的评价。

(2) 汽车副仪表板总成生命周期评价结果显示，温室效应和酸化的环境影响较为显著。

(3) GaBi 软件基于 LCA 方法对汽车副仪表板本体总成进行生命周期分析，找出了其生命过程中对环境的影响最大的阶段和影响类型，从而为制定汽车零部件绿色生产方案做准备。

(4) 造成环境影响的原因主要是汽车副仪表板生产工艺过程中原材料的获取及生产。因此，要降低环境影响可以改进其 PP/EPDM 材料的生产工艺，调整改性 PP 材料的成分含量，使用 PP/GF 材料替代，提高生产效率，提高能源的利用效率。

(5) 由 A 型副仪表板本体总成与 B 型结构特征比较可知，对汽车生产制造商而言，可以优化副仪表板总成结构设计，改进注塑模具，将副仪表板上下本体融合，形成整体副仪表板本体，以减少主体材料与连接紧固件的使用量，达到汽车副仪表板设计集安全、绿色、舒适与轻量化于一身的目的。

参考文献 (References):

[1] 李晓娜, 史占国, 张国方. 汽车产品生命周期评价 (LCA) 研究 [J]. 北京汽车, 2007(1): 1-4.
Li Xiaona, Shi Zhanguo, Zhang Guofang. Study on Life Cycle Assessment of Automotive Products [J]. Beijing Automotive Engineering, 2007(1): 1-4. (in Chinese)

[2] 刘志峰, 王进京, 张雷, 等. 铝合金与玻璃钢汽车引擎盖的生命周期评价 [J]. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 2012, 35(4): 433-438.
Liu Zhifeng, Wang Jinjing, Zhang Lei, et al. Life Cycle Assessment of Automotive Engine Hoods Made of Aluminum Alloy and Glass Mat Reinforced Thermoplastic [J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2012, 35(4): 433-438. (in Chinese)

[3] 杨明山. 聚丙烯改性及配方 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
Yang Mingshan. Manufacturing and Properties of Wollastonite-Filled and Reinforced Polypropylene [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009. (in Chinese)

- [4] 刘英俊. 聚丙烯塑料改性及应用进展 [J]. 工程塑料应用, 1995, 23(5): 49-54.
Liu Yingjun. Advanced in The Polypropylene Modification and Application [J]. Engineering Plastics Application, 1995, 23(5): 49-54. (in Chinese)
- [5] 樊庆铎, 敖红光, 孟超. 生命周期评价 [J]. 环境科学与管理, 2007, 32(6): 177-180.
Fan Qingxin, Ao Hongguang, Meng Chao. Life Cycle Assessment [J]. Environmental Science and Management, 2007, 32(6): 177-180. (in Chinese)
- [6] 黄春林, 张建强, 沈淦涛. 生命周期评价综论 [J]. 环境技术, 2004(1): 29-32.
Huang Chunlin, Zhang Jianqiang, Shen Songtao. Summarize of Life Cycle Assessment [J]. Environmental Technology, 2004(1): 29-32. (in Chinese)
- [7] 张力芹, 许峰, 丁善田, 等. 不同金属材料汽车车轮的生命周期评价 [J]. 黑龙江冶金, 2010, 30(4): 6-9.
Zhang Liqin, Xu Feng, Ding Shantian, et al. Life Cycle Assessment for Wheel Made from Different Metals [J]. Heilongjiang Metallurgy, 2010, 30(4): 6-9. (in Chinese)
- [8] 秦雪梅, 俞宁, 詹捷. 应用 GaBi 的两种汽车转向器防尘罩的绿色评价 [J]. 重庆理工大学学报 (自然科学), 2013, 27(10): 20-24.
Qin Xuemei, Yu Ning, Zhan Jie. Green Evaluation of Two Kinds of Dust Covers in Automobile Steering System Based on GaBi Analysis [J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2013, 27(10): 20-24. (in Chinese)
- [9] 隋世剑, 孙在军, 李建新. 汽车副仪表板注塑工艺的研究 [J]. 工程塑料应用, 2005, 33(6): 30-32.
Sui Shijian, Sun Zaijun, Li Jianxin. Study on Injection Molding Technology of Auxiliary Console of Automobile [J]. Engineering Plastics Application, 2005, 33(6): 30-32. (in Chinese)
- [10] 程丽珍, 南剑凌, 汤建新, 等. 富康汽车仪表板 PP 专用料的研究 [J]. 塑料科技, 2004(3): 10-13.
Cheng Lizhen, Nan Jianling, Tang Jianxin, et al. Study on Special Purpose PP for Fukang Automobile Dash Board [J]. Plastic Science and Technology, 2004(3): 10-13. (in Chinese)
- [11] 王力. 汽车仪表板的制造技术 [J]. 汽车工艺与材料, 1996(5): 22-24.
Wang Li. The Manufacturing Technology of Auxiliary Console of Automobile [J]. Automobile Technology & Material, 1996(5): 22-24. (in Chinese)
- [12] 赵涛, 柴黎明. 汽车仪表板设计及制造 [J]. 客车技术与研究, 2010(6): 34-36.
Zhao Tao, Chai Liming. The Design and Manufacturing of Auxiliary Console of Automobile [J]. Bus Technology and Research, 2010(6): 34-36. (in Chinese)
- [13] 贾萧, 陈庆樟, 戴国洪, 等. 废旧汽车回收技术与经济性分析 [J]. 农业装备与车辆工程, 2013, 51(4): 13-16.
Jia Xiao, Chen Qingzhang, Dai Guohong, et al. The Recycling Technology for End-of-Life Vehicle and Economic Analysis [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2013, 51(4): 13-16. (in Chinese)
- [14] 张洪申, 赵清华, 陈铭. 报废汽车典型塑料零部件回收利用技术现状 [J]. 汽车与配件, 2011(2): 13-15.
Zhang Hongshen, Zhao Qinghua, Chen Ming. The Current Situation on Cycling and Use of Typical Plastic Components of Discarded Automobiles [J]. Automobile & Parts, 2011(2): 13-15. (in Chinese)
- [15] 郝同辉, 邱丽, 蒋涛. 动态硫化 EPDM/PP TPV 生产工艺的研究 [J]. 弹性体, 2005, 15(1): 36-39.
Hao Tonghui, Qiu Li, Jiang Tao. EPDM/PP TPV Manufacture Technology [J]. China Elastomerics, 2005, 15(1): 36-39. (in Chinese)

作者介绍



责任作者: 张雷 (1978-), 男, 安徽合肥人。博士, 主要研究方向为机电产品绿色设计与制造。

Tel: 13956088853

E-mail: zhlei@hfut.edu.cn



通讯作者: 徐国浩 (1988-), 男, 山东烟台人。硕士, 主要研究方向为机械制造及其自动化。

Tel: 13696508198

E-mail: guohaodaxia.student@sina.com