

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.11.030

车用塑料 VOC 含量及气味调控研究进展

林忠玲¹, 纪雪洪², 刘尚伟³

(1. 烟台职业学院汽车与船舶工程系, 山东烟台 264670; 2. 北方工业大学经济管理学院, 北京 100144;

3. 山东华鼎伟业能源科技股份有限公司, 山东烟台 264670)

摘要:对近年来低挥发性有机化合物(VOC)含量、低气味的车用聚烯烃材料、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)/聚碳酸酯(PC)合金、聚氨酯材料、尼龙和芳香族聚酯的研究进展进行了综述。目前,降低车用塑料 VOC 含量的方法主要包括材料制备和材料改性两个方面。材料制备方面主要是通过聚合手段、催化剂选择、单体纯化等手段来降低车用塑料所含的 VOC 物质;材料改性方面则是通过母料和助剂的筛选来去除材料所含有的 VOC 物质。这两种方法均可有效降低车用塑料中 VOC 含量和气味等级。

关键词: 车用塑料; 低 VOC; 材料制备; 材料改性; 进展

中图分类号: TQ327 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)11-0159-04

Research Progress on VOC Content and Odor Control of Automotive Plastics

Lin Zhongling¹, Ji Xuehong², Liu Shangwei³

(1. Automobile and Ship Facilities, Yantai Vocational College, Yantai 264670, China; 2. College of Economics and Management, North China

University of Technology, Beijing 100144, China; 3. Shandong Huadingweiyi Energy Technology Co., Ltd., Yantai 264670, China)

Abstract: The research progress of automotive polyolefin materials with low VOC content and odor, acrylonitrile butadiene styrene plastics (ABS)/polycarbonate (PC) alloys and polyurethane materials in recent years was reviewed. At present, the methods of reducing VOC content of automotive plastics mainly include material preparation and material modification. In the aspect of material preparation, the VOC content in automotive plastics is reduced by means of polymerization, catalyst selection and monomer purification. In the aspect of material modification, the VOC content in automotive plastics is removed by screening masterbatch and additives. Both methods can effectively reduce VOC content and odor grade in automotive plastics.

Keywords: automotive plastics; low VOC content; material preparation; material modification; progress

聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)等通用塑料,以及聚碳酸酯(PC)、聚氨酯等工程塑料均在汽车工程领域有广泛的应用。这些塑料不仅大大降低了汽车的生产成本,也在很大程度上推进了汽车轻量化的进程。另外,一些具有记忆性、自修复性能的塑料还赋予了相应汽车零部件一定的功能性,提高了驾驶人员和乘坐人员的舒适度^[1-3]。

然而,随着塑料在汽车领域中的广泛应用,为人们带来便利之余,也带来一定的困扰。其中,最大的困扰便是,塑料在生产和加工过程中,不免会引入一些金属催化剂或是挥发性的助剂,而使用过程中这些催化剂的残留或是助剂的挥发会使得汽车内部空间的气味较为刺鼻,挥发性有机物含量较

高,从而造成驾驶人员和乘坐人员的不适^[4-8]。更为严重的是,这些挥发性物质中含有大量具有致癌性的醛酮类和芳香烃类物质,例如甲醛、乙醛、苯、甲苯、二甲苯等。

随着人们对生活品质要求的提高,及对人类健康提供有效保障方面考虑,对车用塑料的挥发性有机化合物(VOC)含量和气味等级进行严格控制已经成为了汽车工程领域和材料制备和加工领域亟待解决的问题。近年来,国内外的研究学者对此报道了大量的基础研究工作,也得到了一系列的具有较低 VOC 含量的车用塑料^[9-11]。这些研究工作中的研究手段通常是由材料制备和材料加工两个角度出发,笔者对这些相关工作进行了综述,并提出一定展望。

通信作者: 林忠玲, 讲师, 主要从事汽车维修技术及材料应用研究 E-mail: kffcfgg156@163.com

收稿日期: 2020-09-02

引用格式: 林忠玲, 纪雪洪, 刘尚伟. 车用塑料 VOC 含量及气味调控研究进展[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(11):159-162.

Lin Zhongling, Ji Xuehong, Liu Shangwei. Research progress on VOC content and odor control of automotive plastics[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(11):159-162.

1 低 VOC 含量聚烯烃

最常用于汽车工程领域的通用塑料便是聚烯烃塑料,主要包括聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS) 等。其中,聚丙烯是在汽车工程领域中应用最为广泛的通用塑料,约占所有车用塑料的 60%~70%。

首先,材料的制备在很大程度上决定了材料结构、组成以及各方面的性能,因此从材料制备的方面对车用塑料的 VOC 含量及气味等级进行控制,是一种从源头出发的手段,其中包括了单体的精制、催化剂、溶剂、聚合方法的选择等各个方面。在制备聚烯烃的过程中,所选用的单体的纯度和硫化物含量、催化剂类型、所用的共聚单体类型、溶液聚合时选用的溶剂均会影响聚合物的等规度、分子量、低聚物含量、催化剂和溶剂残留量等,而这些物质难以通过后续的加工或纯化手段进行去除,所以只能在材料的制备阶段进行优化^[12]。例如,工业上生产聚丙烯蜡或是进行聚丙烯分子量调控时,常用到常规降解法。这一方法是利用过氧化物对聚丙烯进行化学降解,从而实现生产目的。然而在这一生产过程中,过氧化物的残留会使得聚丙烯在后续的使用过程中持续发生不同程度的降解,进而产生并散发出烃类、醛类和酮类等有害性 VOC 物质^[13-16]。而且常规降解法生产的聚丙烯中残留的过氧化物很难去除,因此相应材料的 VOC 含量也无法进一步降低,通常利用常规降解法制备的聚丙烯材料中的总 VOC 含量要超过 45~67 $\mu\text{g/g}$ 。余鹏等^[17]在制备聚丙烯材料的过程中则摒弃了常规降解法这一手段,利用加氢法对聚丙烯材料的分子量进行了调控,并制备了一种改性聚丙烯材料。由于在聚丙烯制备过程中未引入过氧化物,所以相应改性聚丙烯材料在后续使用过程中未出现明显的降解和 VOC 的释放。在改性聚丙烯中,加氢法制备的聚丙烯材料含量为 80% 时,相应材料的 VOC 含量也仅为 22 $\mu\text{g/g}$,还不到常规降解法聚丙烯的 30%。另外,为了将所制备的改性聚丙烯应用于汽车零部件的生产,余鹏等还对其性能进行了优化。研究表明,当改性聚丙烯中含有 60%~80% 的聚丙烯母料时,相应材料的力学性能较好,拉伸强度和断裂伸长率可分别达到 23~26 MPa 和 75%~128%;而且其具有较好的流动性,熔体流动速率 (MFR) 为 15~29 g/(10 min)。最重要的是 VOC 含量仅为 22~23 $\mu\text{g/g}$,完全满足汽车工业领域对高分子材料的使用标准。

除了对聚合手段进行优化外,选用合适的母料和助剂也是降低材料 VOC 含量的有效手段。在塑料制备过程中,为了进一步改善材料的强度、韧性、抗老化性等性能,通常会在母料中添加不同的助剂,而助剂的类型会对 VOC 含量产生很大程度的影响^[18]。刘凯等^[19]在制备改性聚丙烯过程中,分别对不同聚丙烯母料、滑石粉、增韧剂、共混增容剂等进行正交试验评价。实验结果表明,当聚丙烯母料为 EA5074S,

滑石粉为 WF-D6.5,增韧剂为 POE8200,共混增容剂为硅烷偶联剂 KH550 时,相应改性聚丙烯的 VOC 含量最低。其中 EA5074S, WF-D6.5, POE8200 和 KH550 的质量分数分别为 71.8%, 20.0%, 8.0% 和 0.2% 时,相应材料的总 VOC 含量仅为 98 $\mu\text{g/g}$ 。季孟渊等^[20]在制备车用耐刮擦型聚乙烯时,则利用不同的润滑剂、耐刮擦剂、抗氧化剂对聚乙烯进行改性。同时还在母料添加了一种气味吸附剂以进一步降低改性聚乙烯的 VOC 含量,并用聚丙烯粒料作为气味吸附剂的载体。实验结果表明,作为吸附剂载体的聚丙烯粒料对改性聚乙烯的气味等级影响最为明显。当利用 Daploy WB130HMS 牌号的聚丙烯作为吸附剂的载体时,相应耐刮擦型聚乙烯的气味等级最低,为 3 级;而相应 VOC 含量也相对较低,乙苯、二甲苯、苯乙烯、甲醛、甲苯、苯、乙醛含量分别为 102, 92, 58, 35, 32, 22, 8 $\mu\text{g/m}^3$ 。

在塑料改性过程中加入气味吸附剂和气味萃取剂是控制 VOC 含量的有效手段。其中,气味吸附剂主要是一些多孔材料,能够将 VOC 物质束缚在材料内部,不致释放出来;气味萃取剂则是利用低沸点物质的共沸特性将 VOC 从材料内部萃取出来。气味萃取剂可降低材料的 VOC 含量,气味吸附剂可降低材料的气味等级。例如,刘小林^[21]在制备增韧聚丙烯的过程中,除了在聚丙烯基体中加入滑石粉外,还在其中加入了一种具有分解 VOC 物质能力的气味吸附剂和一种气味萃取剂。实验结果表明,当吸附剂质量分数为 0.5%,萃取剂质量分数为 1% 时,相应改性聚丙烯的总 VOC 含量为 1060 $\mu\text{g/m}^3$,气味等级为 2.5 级,是一种适用于汽车内饰件生产的聚丙烯材料。另外,改性聚丙烯的防潮性和力学性能均未受到影响,反而加入了气味吸附剂还使得其拉伸强度和弯曲强度有所提高,分别提高了 38.1% 和 38.9%。除此之外,刘小林还发现,聚丙烯基体中添加活性炭和凹凸棒土等多孔类材料,也能有效降低改性聚丙烯的 VOC 含量^[22]。其中添加活性炭的聚丙烯的总 VOC 含量为 1293 $\mu\text{g/m}^3$;添加凹凸棒土的聚丙烯的总 VOC 含量为 1233 $\mu\text{g/m}^3$ 。张伟等^[23]在制备玻璃纤维增强聚丙烯时,也在基体内添加了 ZnO/TiO₂ 作为气味吸附剂。实验结果表明,与未添加气味吸附剂的聚丙烯/玻璃纤维复合材料相比,所制备的聚丙烯/玻璃纤维复合材料的总 VOC 含量由 495.85 $\mu\text{g/L}$ 降低至 41.69 $\mu\text{g/L}$ 。材料内二甲苯含量为 0.22 $\mu\text{g/L}$,甲苯含量为 0.19 $\mu\text{g/L}$,甲醛含量为 0.15 $\mu\text{g/L}$,乙苯含量为 0.10 $\mu\text{g/L}$,苯、苯乙烯、乙醛、丙烯醛含量均为 0。同时进行母料、助剂的筛选,并利用气味吸附剂进行气味吸附后,相应塑料中的 VOC 含量可以进一步降低。闫溥等^[24]在制备增韧聚丙烯时,对聚丙烯母料、增韧剂和气味吸附剂均进行了筛选和评价。实验结果表明,在 BX3900, 7555KN 和 M60T 三种聚丙烯中, BX3900 牌号聚丙烯所制备的增韧聚丙烯 VOC

含量最低;在 engage8407、engage8150 和 engage8200 三种聚烯烃弹性体中,以 engage8407 为增韧剂制备的增韧聚丙烯 VOC 含量最低;在 LDV1040、BYK4200 和 XW17 三种色母粒中,以 LDV1040 为气味吸附剂制备的增韧聚丙烯 VOC 含量最低。其中,以 BX3900、engage8407 和 LDV1040 组合所制备的增韧聚丙烯的总 VOC 含量仅为 $18 \mu\text{g/g}$ 。

免喷涂塑料也是一种降低塑料中 VOC 含量的有效手段之一,可以降低由于涂装过程中引入的 VOC 物质。例如,王晓明等^[25]制备出了 VOC 含量较低的免喷涂聚丙烯材料。林洁龙等^[26]利用颜料分散剂 PDA-1 制备了一种免涂装聚丙烯材料,当其用量为 0.6% 时,所制备的聚丙烯 VOC 含量可降低至大众汽车标准 PV3925 所要求的范围内。

2 低 VOC 含量 ABS/PC 合金

ABS/PC 合金是汽车工程领域中另一种常用的塑料,而且这类塑料中也含有大量有害的挥发性物质。李强等^[27]通过检测发现,ABS/PC 合金中含有芳香烃、脂肪烃以及烯烃类挥发性物质,这些物质在高温下的挥发性更为明显。ABS/PC 合金组分较为复杂,气味控制难度较大,目前针对这类高分子材料的 VOC 调控研究相对较少。

与聚烯烃材料类似,影响 ABS/PC 合金材料的 VOC 含量的主要因素也包含母料、助剂等。申娟等^[28]在制备 ABS/PC 合金材料时,对 ABS 塑料、PC、以及相应的增韧剂、抗氧剂进行筛选。实验结果表明,在 AG15A1、121H、8391、CU-301、DG-417 五种牌号 ABS 塑料中,8391 牌号 ABS 塑料所制备的 ABS/PC 合金材料 VOC 含量最低;在 1837、010、1100、1250Y 和 103R 五种 PC 中,1100 牌号 PC 所制备的 ABS/PC 合金材料 VOC 含量最低;在 VI6202、DF740、8150、8003 和 LC710 五种聚烯烃弹性体中,以 8150 为增韧剂制备的 ABS/PC 合金材料 VOC 含量最低;抗氧剂选用 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚时,相应 ABS/PC 合金材料的 VOC 含量要低于添加了抗氧剂 1010、1076 和 168 的 ABS/PC 合金材料。当在 ABS/PC 合金材料进一步添加气味吸附剂后,其 VOC 含量可进一步降低,最低可降低至 $7300 \mu\text{g/cm}^3$ 左右,气味等级可降低至 3 级。所制备的 ABS/PC 合金力学性能也较为优异,拉伸强度可达 57 MPa,冲击强度可达 75 kJ/m^2 ,是一种性能优异的车用塑料。杨燕等^[29]也制备了一种高性能的 ABS/PC 合金材料,在其中添加了气味吸附剂并进行了 VOC 含量的调控。实验结果表明,当在聚合物基体中添加 0.8%~1.2% 的气味吸附剂 PY88TQ,相应 ABS/PC 合金材料的总 VOC 含量可降低至 $43 \sim 105 \mu\text{g/g}$,气味等级最低可降低至 2.5 级。这类 ABS/PC 合金具有较为优异的力学性能,拉伸强度高达 $48 \sim 54 \text{ MPa}$,冲击强度高达 $32 \sim 55 \text{ kJ/m}^2$,弯曲强度高达 $75 \sim 85 \text{ MPa}$;另外其加工性能也较为优异,MFR 为 $16 \sim 28 \text{ g/(10 min)}$,展现

了较好的流动性。这类 ABS/PC 合金材料可广泛应用汽车的内外饰件的生产,如仪表盘、后视镜外壳、门板内饰等。

3 低 VOC 含量聚氨酯

作为一种工程塑料,聚氨酯在汽车工程领域中应用也较多。而且聚氨酯产品种类丰富,例如聚氨酯硬泡可用作汽车隔热层;聚氨酯软泡可用于汽车座椅坐垫;聚氨酯弹性体可用于汽车内饰织物等。聚氨酯材料的加工方法与聚烯烃和 ABS/PC 合金的加工方法不同,尤其是泡沫塑料生产过程中需加入发泡剂,因此 VOC 含量调控也更为复杂。

对聚氨酯材料的 VOC 含量进行调控的首选方法便是进行配方的优化,聚氨酯制备配方包括多元醇、多异氰酸酯、催化剂、发泡剂、泡沫稳定剂等多种化学物质。王威^[30]在制备聚氨酯过程中,在其配方中加入了反应性催化剂,有效降低了胺类聚醚多元醇的用量。实验结果表明,制备出的聚氨酯材料 VOC 含量显著降低,甲醛、乙醛、丙烯醛含量仅为 $1.6, 0.4, 0.1 \mu\text{g/g}$,而甲苯、乙苯、苯乙烯、苯和二甲苯的含量均为 0。这种聚氨酯材料可用于生产车用仪表盘。

针对于聚氨酯材料,大部分工作都是对聚氨酯涂料的 VOC 调控研究较多,例如水性涂料、高固含量涂料等^[31-32],而聚氨酯塑料和弹性体的 VOC 调控研究十分少见。然而,聚氨酯塑料和弹性体在汽车领域的应用也十分广泛,因此在后续的研究过程,制备低 VOC 含量的聚氨酯塑料也是汽车工程和材料制备与加工领域的研究重点。

4 其他低 VOC 含量塑料

除了上述常用于汽车零部件生产的高分子材料之外,聚酰胺、芳香族聚酯等工程塑料也可以用于汽车零部件的生产,而且这些工程塑料中 VOC 的含量也会影响到车内环境。张国庆等^[33]制备了一种低气味的尼龙 66/玻纤复合材料。在尼龙 66 基体中加入了凹凸棒土和红磷阻燃剂后,尼龙 66 的阻燃性能得到了明显提升;以短玻纤增强尼龙后,尼龙 66 的强度得以提升,但气味也十分显著;随后加入了 SW-120 和尼龙除味剂后,相应尼龙 66/玻纤的气味得到了明显改善。费彬等^[34]详细研究了润滑剂、增韧剂、补强剂等填料对尼龙 6 中 VOC 含量的影响,通过对配方进行优化,分别以滑石粉、三元乙丙橡胶和 E525 为补强剂、增韧和润滑剂时,相应的改性尼龙 6 的 VOC 含量可以控制在较低的水平。于翔等^[35]以活性炭作为气味吸附剂,制备了一种低 VOC 含量的聚对苯二甲酸乙二酯/聚丙烯酸钠(PET/PAAS)复合材料。实验结果表明,活性炭的加入能够有效降低 PET 的气味,当其加入质量分数为 1.25% 时,PET 基体中甲醛、乙醛和丙酮的含量可以降低 94.4%,92.1%,80.2%。

5 结语

综述了聚烯烃材料、ABS/PC 合金、聚氨酯、尼龙和芳香族聚酯的气味和 VOC 含量调控的相关研究工作。其中,

低 VOC 聚烯烃材料的研究较为深入和详细,而 ABS/PC 合金和聚氨酯塑料等工程塑料方面的相关研究较少。在材料制备过程中,采用新型的聚合手段能够有效降低材料内部杂质的残留,进而降低 VOC 含量;在材料改性过程中,进行母料、助剂的筛选,有利于材料 VOC 含量和气味的有效调控。另外,开发新型气味吸附剂和萃取剂,是进一步降低材料 VOC 含量和气味等级的有效手段。

参考文献

- [1] Oliver-Borrachero B, et al. Key Engineering Materials, 2019, 793: 9-16.
- [2] 赵恒平,等. 化学推进剂与高分子材料, 2019(2):72-75.
Zhao Hengping, et al. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2019(2):72-75.
- [3] 李帅,等. 高分子材料科学与工程, 2019, 35(1):5-10.
Li Shuai, et al. Polymer Materials Science Engineering, 2019, 35(1):5-10.
- [4] 桂根生. 环境与可持续发展, 2018(4):155-157.
Gui Gensheng. Environment and sustainable development, 2018(4):155-157.
- [5] 朱振宇,等. 环境与可持续发展, 2018, 43(6):212-215.
Zhu Zhenyu, et al. Environment and sustainable development, 2018, 43(6):212-215.
- [6] 李应平,等. 工程塑料应用, 2016, 44(6):124-127.
Li Yingping, et al. Engineering Plastics Application, 2016, 44(6):124-127.
- [7] 薛振荣,等. 轻型汽车技术, 2017(4):28-31.
Xue Zhenrong, et al. Light Vehicles, 2017(4):28-31.
- [8] 唐帮备,等. 中国机械工程, 2017, 28(2):206-214.
Tang Bangbei, et al. China Mechanical Engineering, 2017, 28(2):206-214.
- [9] 庄梦梦,等. 绿色科技, 2015(9):320-321.
Zhuang Mengmeng, et al. Journal of Green Science and Technology, 2015(9):320-321.
- [10] 胡智清,等. 工程塑料应用, 2017, 45(6):145-148.
Hu Zhiqing, et al. Engineering Plastics Application, 2017, 45(6):145-148.
- [11] 毕伟,等. 化学推进剂与高分子材料, 2019, 17(1):77-80.
Bi Wei, et al. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2019, 17(1):77-80.
- [12] 刘玉善. 石化技术及应用, 2013, 31(5):434-436.
Liu Yushan. Petrochemical Technology Application, 2013, 31(5):434-436.
- [13] 康鹏,等. 石油化工, 2014, 43(8):966-970.
Kang Peng, et al. Petrochemical Technology, 2014, 43(8):966-970.
- [14] Andersson T, et al. J Appl. Polym Sci, 2005, 97(4):847-857.
- [15] 曹豫新. 河南化工, 2007, 24(11):43-45.
Cao Yuxin. Henan Chemical Industry, 2007, 24(11):43-45.
- [16] 康鹏,等. 石油化工, 2010, 38(S):648-650.
Kang Peng, et al. Petrochemical Technology, 2010, 38(S):648-650.
- [17] 余鹏,等. 精细石油化工进展, 2009, 10(12):24-26.
Yu Peng, et al. Advances in Fine Petrochemicals, 2009, 10(12):24-26.
- [18] 潘瑞琦,等. 合成树脂及塑料, 2016, 33(2):88-91.
Pan Ruiqi, et al. China Synthetic Resin and Plastics, 2016, 33(2):88-91.
- [19] 刘凯,等. 汽车零部件, 2015(10):28-29.
Liu Kai, et al. Automobile Parts, 2015(10):28-29.
- [20] 季孟渊,等. 汽车零部件, 2016(11):60-62.
Ji Mengyuan, et al. Automobile Parts, 2016(11):60-62.
- [21] 刘小林. 工程塑料应用, 2017, 45(5):29-34.
Liu Xiaolin. Engineering Plastics Application, 2017, 45(5):29-34.
- [22] 刘小林. 塑料科技, 2017, 45(6):21-25.
Liu Xiaolin. Plastics Science and Technology, 2017, 45(6):21-25.
- [23] 张伟,等. 工程塑料应用, 2017, 45(1):35-38.
Zhang Wei, et al. Engineering Plastics Application, 2017, 45(1):35-38.
- [24] 闫溥,等. 现代塑料加工应用, 2017, 29(2):39-41.
Yan Pu, et al. Modern Plastics Processing and Applications, 2017, 29(2):39-41.
- [25] 王小明,等. 汽车工艺与材料, 2016(11):48-49.
Wang Xiaoming, et al. Automobile Technology Material, 2016(11):48-49.
- [26] 林洁龙,等. 工程塑料应用, 2016, 44(10):36-40.
Lin Jielong, et al. Engineering Plastics Application, 2016, 44(10):36-40.
- [27] 李强,等. 汽车工艺与材料, 2016(3):50-52.
Li Qiang, et al. Automobile Technology Material, 2016(3):50-52.
- [28] 申娟,等. 工程塑料应用, 2016, 44(4):39-43.
Shen Juan, et al. Engineering Plastics Application, 2016, 44(4):39-43.
- [29] 杨燕,等. 一种低 VOC 高性能的 PC/ABS 合金材料及其制备和应用:CN 103554867 A[P]. 2014-02-05.
Yang Yan, et al. Preparation and application of PC / ABS alloy with low VOC and high performance: CN103554867 A[P]. 2014-02-05.
- [30] 王威. 汽车与驾驶维修: 维修版, 2017(3):44-46.
Wang Wei. Auto Driving Service, 2017(3):44-46.
- [31] 朱玲琳,等. 扬州大学学报: 自然科学版, 2015(3):70-73.
Zhu Linglin, et al. Journal of Yangzhou University: Natural Science Edition, 2015(3):70-73.
- [32] 朱俊. 上海建材, 2008(4):16-17.
Zhu Jun. Shanghai Building Materials, 2008(4):16-17.
- [33] 张国庆,等. 塑料工业, 2011, 39(11):48-51.
Zhang Guoqing, et al. China Plastics Industry, 2011, 39(11):48-51.
- [34] 费彬,等. 汽车零部件, 2020(1):63-65.
Fei Bin, et al. Automobile Parts, 2020(1):63-65.
- [35] 于翔,等. 中国塑料, 2020, 34(6):80-86.
Yu Xiang, et al. China Plastics, 2020, 34(6):80-86.