

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.04.020

热塑性 PP 蜂窝夹层结构复合材料制备和性能

丁先锋, 杨桂生

[上海杰事杰新材料(集团)股份有限公司, 上海 201108]

摘要:采用双钢带环带压机制备了连续玻璃纤维增强热塑性聚丙烯(CFRTP)片材复合聚丙烯(PP)蜂窝夹芯板(CFRTP-PP蜂窝夹芯板),研究了CFRTP-PP蜂窝夹芯板在 $-40\sim 80^{\circ}\text{C}$ 温度下的力学性能变化。随着温度升高,CFRTP-PP蜂窝夹芯板的平压性能呈下降趋势,相对于常温(25°C),在 -40°C 时,平压强度、平压弹性模量分别提高38.8%,39.3%;在 80°C 时,平压强度、平压弹性模量分别下降23.1%,23.8%。CFRTP-PP蜂窝夹芯板的弯曲强度、弯曲刚度总体上随着温度的降低而升高,相对于常温(25°C),在 -40°C 时,弯曲强度和弯曲刚度分别增加33.7%,38.6%;在 80°C 时,弯曲强度和弯曲刚度有所下降,但保持率分别为68.1%,70.7%,具有良好的抵抗弯曲变形的能力。在 $25\sim 80^{\circ}\text{C}$ 范围内,蜂窝夹芯板的滚筒剥离强度随着温度升高而逐渐降低,在 $-40\sim 25^{\circ}\text{C}$ 范围内,随着温度降低而逐渐降低。在 80°C 时,滚筒剥离强度比常温降低了19.6%;在 -40°C 时,滚筒剥离强度比常温下降了27.5%。但滚筒剥离强度大于 $120\text{ (N}\cdot\text{mm)}/\text{mm}$,仍表现出优异的性能,可以满足不同温度环境下的应用。

关键词:连续玻璃纤维增强热塑性聚丙烯片材;聚丙烯蜂窝夹芯板;双钢带环带压机;复合材料

中图分类号: Q325.1+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)04-0118-05

Preparation and Properties of Thermoplastic PP Honeycomb Sandwich Structure Composites

Ding Xianfeng, Yang Guisheng

[Shanghai Genius New Materials (group) Co. Ltd., Shanghai 201108, China]

Abstract : Continuous glass fiber reinforced thermoplastic polypropylene (CFRTP) sheet composite polypropylene (PP) honeycomb sandwich panels (CFRTP-PP honeycomb sandwich panels) were prepared by double steel belt band press, the mechanical performance change of CFRTP-PP honeycomb sandwich panels at $-40^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ was studied. The flat pressure performance of CFRTP-PP honeycomb sandwich panel show a decreasing trend with the increase of temperature. Compared with the normal temperature (25°C), At -40°C , the flat compressive strength and flat compressive elastic modulus increase by 38.8% and 39.3%, at 80°C , the flat compressive strength and flat compressive elastic modulus decreased by 23.1% and 23.8%, respectively. On the whole, the bending strength and bending stiffness of honeycomb sandwich board increase with the decrease of temperature. Compared with the normal temperature (25°C), the bending strength and bending stiffness increase by 33.7% and 38.6% at -40°C , at 80°C , the bending strength and bending stiffness decrease, but the retention rates are 68.1% and 70.7%, showing good resistance to bending deformation. The roller stripping strength of the honeycomb sandwiches decreases gradually with the increase of temperature in the range of $25^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$, and decreases gradually with the decrease of temperature in the range of $-40^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$. Compared with the normal temperature, at 80°C , the roller stripping strength decreases by 19.6%, and at -40°C , the stripping strength of the drum decreases by 27.5%. But the roller stripping strength is greater than $120\text{ (N}\cdot\text{mm)}/\text{mm}$, it still shows excellent performance and can meet the application of different temperature environment.

Keywords : continuous glass fiber reinforced thermoplastic polypropylene sheet ; polypropylene honeycomb sandwich panel ; double steel belt press ; composite

复合蜂窝夹芯板起源于仿生学,具有质量轻、比强度和刚度高、隔音、隔热、减震等特点,最早应用

于航空、航天等对质量要求苛刻的构件。随着复合材料科学的发展,夹层结构复合板材的制备工艺日

通讯作者: 丁先锋,工程师,主要从事热塑性复合材料的开发和应用研究 E-mail : dingxianfeng@geniuscn.com

收稿日期: 2020-02-20

引用格式: 丁先锋,杨桂生. 热塑性 PP 蜂窝夹层结构复合材料制备和性能 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(4) : 118-122.

Ding Xianfeng, Yang Guisheng. Preparation and properties of thermoplastic PP honeycomb sandwich structure composites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(4) : 118-122.

趋成熟,组成材料的成本不断降低,曾经只用于高科技领域的夹层板材逐渐向民用工业方向转型。夹层复合蜂窝夹芯板在建筑、汽车、包装、交通运输、家具和装饰装潢等民用领域得到了广泛的应用^[1-4]。

传统纤维增强热固性蜂窝夹层结构的韧性较差,原材料不易保存,固化成型后不可回收利用^[5]。近年来,热塑性蜂窝夹芯板的开发和应用越来越广泛,面层材料主要有玻璃纤维(GF)毡增强热塑性塑料片材、连续纤维增强热塑性塑料片材、GF增强聚丙烯复合纱织物,芯层材料为聚丙烯(PP)、聚碳酸酯(PC)等蜂窝^[6-8]。按照平面投影形状,蜂窝芯可以分为正六边形、菱形、矩形、正弦曲线形和有加强带的六角形等^[9]。热塑性蜂窝夹芯板的复合方式可以分为两类:一种是胶粘复合,一种是熔融复合^[10]。周翔等^[11]通过模压成型工艺制备了连续GF混编纱层合片材复合蜂窝板、连续GF单向片材复合蜂窝板和连续GF交叉片材复合蜂窝板,研究表明,平压性能仅与蜂窝芯结构有关,不随面板结构变化而变化,弯曲性能则随层数的增加呈现先递增后稳定不变的趋势。Ning Haibin等^[12]采用PP/E-GF面板和PP蜂窝芯通过单膜片成型工艺制备了蜂窝夹心板,其破坏载荷达到了11.7 kN,符合美国公共交通协会(APTA)对车身板的静态载荷要求,热塑性复合材料车身板客车与传统的铝合金蒙皮和支撑钢筋的客车相比,质量减轻55%以上。孙雅杰等^[13]选择连续GF增强热塑性PP(CFRTP)片材、GF毡增强热塑性PP片材面层与纸基蜂窝芯、PP蜂窝芯组合铺层,通过Teflon双带压机制备了7种热塑性蜂窝夹芯板,结果表明,纸基蜂窝芯与GF毡增强热塑性PP片材面层粘接效果较差,PP蜂窝芯与CFRTP面层粘接良好,面层只对板材弯曲性能有影响,蜂窝芯对弯曲以及平压性能都有影响。C. Y. Tan等^[14]对PP蜂窝夹层板材的冲击破坏研究表明,复合夹层结构的损伤面积随着冲击能的增大总体呈增大趋势。较低的冲击能损伤仅表现为冲击中心周围的压痕,但一旦达到冲击阈值能量,夹层结构显示出表皮的分层和结构的整体弯曲,夹层结构的冲击阈值能量在13~14 J范围内。

笔者采用双钢带环带压机通过熔融复合的方式制备CFRTP片材复合PP蜂窝夹芯板(CFRTP-PP蜂窝夹芯板),并对CFRTP-PP蜂窝夹芯板在-40~80℃温度环境下的性能进行研究,为CFRTP-PP蜂窝夹芯板在实际环境中的应用提供参考。

1 实验部分

1.1 主要原料

CFRTP片材:两层CFRTP预浸带按0°,90°交叉铺层热熔复合而成,厚度0.6 mm,GF质量分数60%,自制;

PP蜂窝芯:PP8-80,基本性能列于表1,青岛石强蜂窝板材有限公司。

表1 PP蜂窝芯基本性能

截面形状	孔径/mm	壁厚/mm	密度/(kg·m ⁻³)	厚度/mm
圆形	8	0.18	80	20

1.2 主要设备和仪器

CFRTP-PP蜂窝夹芯板双钢带环带压机生产线:自制;

万能电子拉力试验机:CMT4304(30KN)型,美斯特工业系统(中国)有限公司;

高低温试验箱:KTHA-515TBS型,昆山庆声电子科技有限公司。

1.3 试样制备

在上、下退卷机上各装一卷厚度0.6 mm的CFRTP片材作为面层,PP蜂窝芯通过自动输送装置连续输送到传送带上作为芯层,CFRTP片材通过退卷铺放到PP蜂窝芯的上、下表面,经牵引装置牵引一起进入双钢带环带压机中,随着钢带顺次通过热压区、冷压区,热熔、冷却成型,制得CFRTP-PP蜂窝夹芯板。生产工艺为:上、下钢带间距为20 mm,热压温度为215℃,冷压区为水冷,生产线速度为2 m/min。

1.4 性能测试

将制得的CFRTP-PP蜂窝夹芯板样品放置在高低温试验箱中,在不同的温度条件下放置24 h后取出,进行力学性能测试;

平压性能按GB/T 1453-2005测试,样品尺寸60 mm×60 mm,测试速率2 mm/min;

弯曲性能按GB/T 1456-2005测试,样品尺寸160 mm×60 mm,跨距120 mm,弯曲强度测试速率2 mm/min,弯曲刚度测试速率0.5 mm/min;

滚筒剥离强度按GB/T 1457-2005测试,样品尺寸300 mm×60 mm,测试速率25 mm/min。

2 结果与讨论

2.1 CFRTP-PP蜂窝夹芯板在常温下的力学性能

常温(25℃)下,CFRTP-PP蜂窝夹芯板的基本性能列于表2。

表2数据表明,CFRTP-PP蜂窝夹芯板的弯曲强度为12.59 MPa,达到了21 mm厚常规玻璃钢

表2 常温(25℃)下CFRTP-PP蜂窝夹芯板的基本性能

项目	参数值
厚度/mm	20.2
面密度/(kg·m ⁻²)	3.4
平压强度/MPa	2.68
平压弹性模量/MPa	74.5
弯曲强度/MPa	12.59
弯曲刚度/(N·mm ²)	8.73×10 ⁷
滚筒剥离强度/[(N·mm)·mm ⁻¹]	167.6

PP蜂窝复合板的弯曲强度12 MPa(样品实测,下同)的标准,平压强度为2.68 MPa,比玻璃钢PP蜂窝复合板的平压强度1.8 MPa高出48.9%,面密度为3.4 kg/m²,比玻璃钢PP蜂窝复合板的面密度5.6 kg/m²低39.2%,不仅能够满足建筑、厢式货车壁板、交通运输、包装、家具和装饰装潢等领域的应用,而且可以实现轻量化。相对于玻璃钢PP夹芯板,CFRTP-PP蜂窝夹芯板材料密封性较好,不渗水,即使表面损坏也不吸水,可以热熔焊接修补,对酸碱、盐水、油脂及常用化学品具有很高的耐腐蚀性,废弃材料粉碎后可回收再利用,材料回收利用率高,大大节约了成本,特别适用于干货箱领域。目前,CFRTP-PP蜂窝夹芯板已批量应用于厢式货车的围板和顶板、高档家具、运动器材、游艇等领域。

2.2 温度对CFRTP-PP蜂窝夹芯板平压性能的影响

为了满足CFRTP-PP蜂窝夹芯板在不同应用领域的应用,需要分析在不同温度下CFRTP-PP蜂窝夹芯板综合性能的变化,CFRTP-PP蜂窝夹芯板在-40~80℃的平压性能列于表3,表3数据表明,随着温度升高,蜂窝夹芯板的平压性能呈下降趋势。

表3 不同温度下CFRTP-PP蜂窝夹芯板的平压性能

项目	温度/℃							
	80	60	40	25	0	-10	-20	-40
平压强度/MPa	2.06	2.15	2.29	2.68	2.82	3.13	3.44	3.72
平压弹性模量/MPa	56.8	57.9	62.7	74.5	78.4	87.9	95.2	103.8

当载荷均匀施加在CFRTP-PP蜂窝夹芯板上时,PP蜂窝芯犹如许多小工字梁,分散承担压力,随着载荷加载的力在达到峰值后,蜂窝芯发生塑性变形^[15]。PP蜂窝芯的玻璃化转变温度(T_g)为-13℃,当温度低于 T_g 时,PP的分子链和链段都不能运动,处于玻璃态,材料为刚性固体状^[16],所以随着温度降低,平压强度和平压弹性模量均呈上升趋势。尤其在-40℃时,平压强度和平压弹性模量相对于常温(25℃)分别提高38.8%,39.3%,表现出十分优异的性能,表明CFRTP-PP蜂窝夹芯板可以满足低温环境下的应用。

PP蜂窝芯材的热变形温度为97℃,在+80℃接

近其热变形温度时,PP蜂窝芯材在外力作用下发生形变,相对于常温(25℃),平压强度和平压弹性模量分别下降23.1%,23.8%。

2.3 温度对CFRTP-PP蜂窝夹芯板弯曲性能的影响

CFRTP-PP蜂窝夹芯板在不同温度下的弯曲性能列于表4。

表4 不同温度下CFRTP-PP蜂窝夹芯板的弯曲性能

项目	温度/℃							
	80	60	40	25	0	-10	-20	-40
弯曲强度/MPa	8.57	9.78	11.20	12.59	13.07	13.79	15.62	16.83
弯曲刚度/(×10 ⁷ N·mm ²)	6.17	6.78	7.67	8.73	9.16	9.65	11.8	12.1

从表4可以看出,CFRTP-PP蜂窝夹芯板的弯曲强度和弯曲刚度总体上随着温度的降低而升高。

弯曲刚度是指截面抵抗弯曲变形的能力,当CFRTP-PP蜂窝夹芯板承受弯曲载荷时,上面板被拉伸,下面板被压缩,芯材传递剪应力^[17]。CFRTP-PP蜂窝夹芯板的面层为CFRTP片材,由于GF是连续的,增加了面板的刚性,在抵抗外力形变时纤维的断裂是主要的吸能方式,而且PP蜂窝芯的高度约是面板厚度的16倍,剖面的惯性矩随之成四次方增大^[18],使CFRTP-PP蜂窝夹芯板的刚性大大增加。

在较低温度(-40℃)下,CFRTP-PP蜂窝夹芯板的弯曲强度和弯曲刚度相对于常温(25℃)分别增加33.7%,38.6%。这是由于低温状态下分子运动被冻结,分子间的滑动或运动因冻结而失去,表现出优异的刚性。在较高温度(+80℃)时,弯曲强度和弯曲刚度与常温(25℃)相比有所下降,但保持率分别为68.1%,70.7%,依然具有良好的抵抗弯曲变形的能力。

2.4 温度对CFRTP-PP蜂窝夹芯板滚筒剥离强度的影响

CFRTP-PP蜂窝夹芯板在不同温度下的滚筒剥离强度列于表5。

表5 不同温度下CFRTP-PP蜂窝夹芯板的滚筒剥离强度

项目	温度/℃							
	80	60	40	25	0	-10	-20	-40
滚筒剥离强度/[(N·mm)·mm ⁻¹]	134.7	143.2	154.6	167.6	139.7	131.5	128.7	121.5

从表5可以看出,在25~80℃范围内,CFRTP-PP蜂窝夹芯板的滚筒剥离强度随着温度升高而逐渐降低;在-40~25℃范围内,随着温度降低而逐渐降低。在较高温度(80℃)下,滚筒剥离强度比常温降低了19.6%;在较低温度(-40℃)下,滚筒剥离强度比常温下降了27.5%。但滚筒剥离强度大于

120 (N·mm)/mm,仍表现出优异的性能。

CFRTP-PP 蜂窝夹芯板是 CFRTP 面层中的 PP 和 PP 蜂窝芯熔融复合而成,图 1 是 CFRTP 面板和 PP 蜂窝芯剥离后的界面照片。从图 1 可以看出,面板和芯材的界面破坏主要是起粘结作用的 PP 受拉破坏,当剥离强度达到一定值时,PP 蜂窝芯被拉坏,但面板上保留了蜂窝芯中的 PP,这说明 CFRTP 面板和 PP 蜂窝芯的粘结十分牢固。PP 是一种立体规整的高聚物,但 PP 的结晶速率较慢、低温脆性大、热变形温度低,温度升高时,分子链段热运动加剧,构象数增加,材料逐步变得软而韧^[19],使滚筒剥离强度下降;温度下降时,材料逐步变得硬而脆,低温时的滚筒剥离强度比高温时下降明显。



图 1 CFRTP 面板和 PP 蜂窝芯剥离后的界面照片

3 结论

采用双钢带环带压机通过熔融复合的方式制备了 CFRTP-PP 蜂窝夹芯板,研究了 CFRTP-PP 蜂窝夹芯板在 $-40 \sim +80^{\circ}\text{C}$ 温度下的性能变化,得出如下结论:

(1) 随着温度升高,CFRTP-PP 蜂窝夹芯板的平压性能呈下降趋势,相对于常温 (25°C);在 -40°C 时,平压强度、平压弹性模量分别提高 38.8%, 39.3%;在 80°C 时,平压强度、平压弹性模量分别下降 23.1%, 23.8%。

(2) CFRTP-PP 蜂窝夹芯板的弯曲强度和弯曲刚度总体上随着温度的降低而升高。相对于常温 (25°C),在 -40°C 时,蜂窝夹芯板的弯曲强度和弯曲刚度分别增加 33.7%, 38.6%;在 80°C 时,弯曲强度和弯曲刚度有所下降,但保持率分别为 68.1%, 70.7%,具有良好的抵抗弯曲变形的能力。

(3) 在 $25 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 范围内,蜂窝夹芯板的滚筒剥离强度随着温度升高而逐渐降低;在 $-40 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 范围内,随着温度降低而逐渐降低。在 80°C 时,滚筒剥离强度比常温降低了 19.6%;在 -40°C 时,滚筒剥离强度比常温下降了 27.5%。但滚筒剥离强度大于 120 (N·mm)/mm,仍表现出优异的性能。

参考文献

[1] Lombardi N J, Liu J. Glass fiber-reinforced polymer / steel hybrid honeycomb sandwich concept for bridge deck applications[J]. Composite Structures, 2011, 93:1 275-1 283.

[2] 冯仁杰,于九明. 蜂窝夹芯复合板及其在汽车工业中的应用[J]. 汽车工艺与材料, 2003(8):30-32.
Feng Renjie, Yu Jiuming. Honeycomb filled board and its application in automotive industry[J]. Automobile Technology & Material, 2003(8):30-32.

[3] 李红,韩静涛. 复合蜂窝夹芯板的防弹机理及其应用[J]. 兵器材料科学与工程, 2004, 27(6):69-71.
Li Hong, Han Jingtao. Bullet proof mechanism of honeycomb sandwich panel and its application[J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2004, 27(6):69-71.

[4] 王兴业,杨孚标,曾竟成,等. 夹层结构复合材料设计原理及其应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2007.
Wang Xingye, Yang Fubiao, Zeng Jingcheng, et al. Design principle and application of sandwich structure composites[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2007.

[5] 沈尔明,王志宏,滕佰秋,等. 连续纤维增强复合材料在民用航空发动机上的应用[J]. 航空发动机, 2013, 39(2):90-94.
Shen Erming, Wang Zhihong, Teng Baiqiu, et al. Application of continuous fiber reinforced composites in civil aeroengines[J]. Aeroengine, 2013, 39(2):90-94.

[6] 张广平,戴干策. 复合材料蜂窝夹芯板及其应用[J]. 纤维复合材料, 2000, 17(2):25-27, 6.
Zhang Guangping, Dai Gance. Honeycomb sandwich panels panels of composites and their application[J]. Fiber Composites, 2000, 17(2):25-27, 6.

[7] 孙银宝,李宏福,张博明. 连续纤维增强热塑性复合材料研发与应用进展[J]. 航空科学技术, 2016, 27(5):1-7.
Sun Yinbao, Li Hongfu, Zhang Boming. Progress in research and application of continuous fiber reinforced thermoplastic composites[J]. Aeronautical Science and Technology, 2016, 27(5):1-7.

[8] 王俊,杨国刚,郭江程. 热塑性蜂窝夹芯结构复合板的结构、制造及应用[J]. 汽车工艺与材料, 2012(5):44-46.
Wang Jun, Yang Guogang, Guo Jiangcheng. The structure, manufacture and application of thermoplastic honeycomb sandwich structure composite plate[J]. Automobile Technology & Material, 2012(5):44-46.

[9] 周翔,蒋金云,薛平,等. 聚合物夹层复合板材性能及成型技术研究进展[J]. 当代化工, 2014, 43(5):829-833, 837.
Zhou Xiang, Jiang Jinyun, Xue Ping, et al. Research progress in performance and molding technology of polymer sandwich plates[J]. Contemporary Chemical Industry, 2014, 43(5):829-833, 837.

[10] Grünwald J, Parlevliet P, Altstädt V. Manufacturing of thermoplastic composite sandwich structures: A review of literature[J]. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2017, 30(4):437-464.

[11] 周翔,薛平,吴晓娜,等. 连续玻纤增强聚丙烯片材复合蜂窝板材料制备及力学性能研究[J]. 塑料工业, 2015, 43(12):78-82.
Zhou Xiang, Xue Ping, Wu Xiaona, et al. Research of preparation process and mechanical properties of continuous glass fiber rein-

- forced polypropylene sheet composite honeycomb panel[J]. China Plastics Industry, 2015, 43(12):78-82.
- [12] Ning Haibin, Janowski G M, Vaidya U K, et al. Thermoplastic sandwich structure design and manufacturing for the body panel of mass transit vehicle[J]. Composite structures, 2007, 80(1):82-91.
- [13] 孙雅杰, 范欣愉, 秦永利, 等. 热塑性蜂窝夹芯板的制备和性能研究[J]. 合成材料老化与应用, 2019, 48(5):9-12.
- Sun Yajie, Fan Xinyu, Qin Yongli, et al. Research of preparation and properties of thermoplastic honeycomb sandwich panel[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2019, 48(5):9-12.
- [14] Tan C Y, Akil H M. Impact response of fiber metal laminate sandwich composite structure with polypropylene honeycomb core[J]. Composites Part B:Engineering, 2012, 43(3):1433-1438.
- [15] 赵东情. PP 玻纤复合材料蜂窝夹芯结构力学分析及有限元仿真[D]. 大连: 大连理工大学, 2018:20-22.
- Zhao Dongqian. Structural mechanics analysis and finite element simulation of pp glass fiber composite honeycomb sandwich core[D]. Dalian:Dalian University of Technology, 2018:20-22.
- [16] 黄锐. 塑料工业手册: 塑料热成型和二次加工[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- Huang Rui. Plastics industry handbook: Plastic hot forming and secondary processing[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [17] 李响. 承载夹层复合材料的轻量化设计方法及其应用研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011:14-16.
- Li Xiang. Research on the method of lightweight design for loaded sandwich structure composite and its application[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2011:14-16.
- [18] 吴进雪. 连续玻纤增强聚烯烃复合材料的制备与性能研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2018:28-31.
- Wu Jinxue. Preparation and properties of continuous glass fiber reinforced polyolefin composites[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2018:28-31.
- [19] 何平笙. 高聚物的力学性能[M]. 2版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008.
- He Pingsheng. Mechanical properties of polymers[M]. 2nd ed. Hefei: University of science and technology of China Press, 2008.

(上接第 74 页)

- [12] 赵利平, 张宁, 王树勋, 等. 基于自动旋转脱螺纹的红酒瓶盖注塑模具设计[J]. 现代塑料加工应用, 2018, 30(1):60-63.
- Zhao Liping, Zhang Ning, Wang Shuxun, et al. Red wine bottle cap injection mold design based on the automatic rotating thread technology[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2018, 30(1):60-63.
- [13] 郭新玲. 带完整内螺纹瓶盖注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2011, 39(4):72-74.
- Guo Xinling. Design of injection mold of bottle cap with internal thread[J]. Engineering Plastics Application, 2011, 39(4):72-74.
- [14] 苏隰忠. 定模模内自动脱螺纹注塑模设计[J]. 模具技术, 2014(3):19-21.
- Su Qiaozhong. Design of injection mould with automatic thread-demolding[J]. Die and Mould Technology, 2014(3):19-21.
- [15] 何亮, 喻慧文, 曾雪东. 洗发水瓶揭盖式瓶盖注塑模设计[J]. 工程塑料应用, 2015, 41(9):84-87.
- He Liang, Yu Huiwen, Zeng Xuedong. Design of injection mould for shampoo bottle uncover type bottle cap[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 41(9):84-87.
- [16] 高瑾, 肖国华, 郑峰. 一种饮料机分流瓶盖注塑模三次顺序抽芯滑块设计[J]. 工程塑料应用, 2015, 41(11):72-75.
- Gao Jin, Xiao Guohua, Zheng Feng. Design for a three-consecutive pulling slider mechanism of bypass caover of beverage machine plastic mould[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 41(11):72-75.

(上接第 80 页)

- [12] 徐超辉, 王涛. 汽车阀体零件热流道双色注塑模具设计[J]. 中国塑料, 2019, 33(3):93-96.
- Xu Chaohui, Wang Tao. Design of hot-runner bicolor injection mold for valve body parts of automobile[J]. China Plastics, 2019, 33(3):93-96.
- [13] 董磊磊, 张惠敏. 汽车通风盖板双色注射模设计[J]. 模具工业, 2014, 40(3):45-47.
- Dong Leilei, Zhang Huimin. Two-component injection mould for automobile ventilation cover plate[J]. Die & Mould Industry, 2014, 40(3):45-47.
- [14] 陆建军, 徐伟. 玩具手柄双色注塑模具设计[J]. 现代塑料加工应用, 2016, 28(4):49-52.
- Lu Jianjun, Xu Wei. Bicolor Injection mold design for toy handle[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2016, 28(4):49-52.
- [15] 张维合, 麦培林. 手柄双色注塑模设计[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(5):58-61.
- Zhang Weihe, Mai Peilin. Design of bi-color injection mold for handle[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(5):58-61.
- [16] 李桂金, 匡唐清, 金凯. 基于随形水路技术的带把双色水杯注塑模具设计[J]. 中国塑料, 2018, 32(1):131-136.
- Li Guijin, Kuang Tangqing, Jin Kai. Design of injection molds for a two-color cup with handles based on conformal cooling technology[J]. China Plastics, 2018, 32(1):131-136.
- [17] 伍世锋, 黄清刚, 陈垚, 等. 单腔双色注射模设计[J]. 模具工业, 2016, 42(7):53-56.
- Wu Shifeng, Huang Qinggang, Chen Yao, et al. Design of injection mould with a cavity of dual color[J]. Die & Mould Industry, 2016, 42(7):53-56.