

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.07.014

基于 CAD/CAE 的摩托车灯罩热流道注塑模设计

周慧兰¹, 谢文伟²

(1. 华东交通大学载运工具与装备教育部重点实验室, 南昌 330013; 2. 贵州航天精工制造有限公司, 贵州遵义 563125)

摘要: 在对摩托车灯罩结构分析基础上, 基于 Moldflow 对塑件进行成型窗口分析, 确定最佳模具温度及熔体温度, 通过充填分析获得充填时间、最大注塑压力及锁模力等工艺参数, 实现其优化及校核。采用 UG/Mold Wizard 设计塑件的不规则分型线、分型面以及成型零部件, 进而加载模架的浇注系统、顶出机构、抽芯机构、冷却系统等机构。模具热流道系统主喷嘴和分喷嘴分别采用直接浇口及整体式导流梭针尖浇口, 并对流道、浇口直径进行了详细计算。模具采用斜顶外侧抽芯机构实现卡扣部位的外侧脱模抽芯, 并计算了抽芯距离及抽拔力。模具结构紧凑, 模具关键分析过程及设计原理可为同类模具提供参考。

关键词: 摩托车灯罩; Moldflow; UG/Mold Wizard; 热流道系统; 整体式导流梭针尖浇口

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)07-0086-05

Hot Runner Injection Mold Design for Motorcycle Lampshade Based on CAD/CAE

Zhou Huilan¹, Xie Wenwei²

(1. Key Laboratory of Ministry of Education for Conveyance and Equipment, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. Guizhou Aerospace Precision Products Co., Ltd., Zunyi 563125, China)

Abstract: Based on the structural analysis of motorcycle lampshade, optimum mold temperature and plastic melt temperature were determined by forming analysis with Moldflow, then filling time, injection pressure, maximum injection pressure and clamping force were gained and optimized by simulation filling analysis. The parting irregular outline and plane of plastic part could be designed, and gating system, ejector mechanism, core-pulling mechanism and cooling system in moldbase were loaded by means of UG/MoldWizard. The direct gate was selected in main nozzle and needle tip injector with integral diversion shuttle in sub nozzle for hot runner system, and its runner diameter and gate diameter were calculated in details. The outside demoulding and core-pulling of part buckle was finished by lifter mechanism in mold, and its core-pulling distance and force were calculated. The key mold analysis process and design principle can be reference for similar molds.

Keywords: motorcycle lampshade; Moldflow; UG/Mold Wizard; hot runner gating system; needle tip injector with integral diversion shuttle;

摩托车灯罩作为摩托车常用透明外饰件, 外观要求较高, 表面不允许有熔接痕、斑点、毛边等缺陷, 而导流梭针尖浇口分喷嘴^[1]是应用于热流道注塑模^[2]的一种典型喷嘴结构, 它能支承流道板, 经由流道输送熔融塑料并传递压力, 可精确安装在定模一侧, 并通过导流梭将熔体引流到模腔。其浇口温度容易控制, 针尖结构能有效防止熔料拉丝与流涎,

在制件表面残留痕迹小。但其结构和设计原理与普通冷流道浇注系统完全不同, 需通过计算机辅助设计与分析^[3-4]工具 (CAD/CAE) 对塑件注射成型进行分析, 获得注塑压力、锁模力等工艺参数, 进而完成热流道系统关键结构设计及优化。

1 塑件结构工艺性分析

塑件为摩托车灯罩, 如图 1 所示, 总体尺寸约

基金项目: 江西省高等学校教学改革省级研究项目 (JXJG-18-5-22); 江西省 2020 线下一流课程项目; 江西省大学生实践创新训练计划项目 (15004 20048)

通信作者: 周慧兰, 副教授, 研究方向为模具 CAD/CAM/CAE, UG 二次开发

收稿日期: 2022-04-27

引用格式: 周慧兰, 谢文伟. 基于 CAD/CAE 的摩托车灯罩热流道注塑模设计 [J]. 工程塑料应用, 2022, 50(7):86-90.

Zhou Huilan, Xie Wenwei. Hot runner injection mold design for motorcycle lampshade based on CAD/CAE[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(7):86-90.

为 $224\text{ mm} \times 64\text{ mm} \times 33\text{ mm}$, 壁厚为 2 mm , 体积为 47.8 cm^3 。由于分型线为不规则曲线, 导致塑件分型面为不规则曲面, 因此分型设计具有一定难度。此外, 塑件包含定位孔, 需要进行破孔填充, 而侧边的两个卡扣特征, 需借助斜顶抽芯机构完成外侧抽芯运动^[5]。

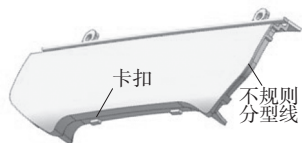


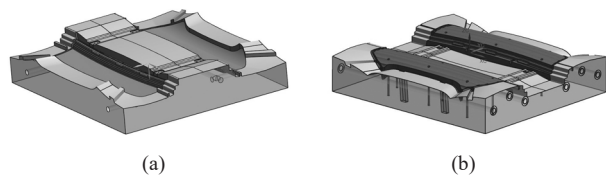
图1 摩托车灯罩

摩托车灯罩主要用于车灯安装和保护, 要求具有良好的透光性、热稳定性以及一定的刚度、强度, 因此材料选用聚碳酸酯(PC), 该材料具有较好的透明性、韧性、刚性, 并且尺寸稳定, 容易着色。笔者选用的材料牌号为 Makrolon AL 2447, 其密度为 1.2 g/cm^3 , 熔融温度为 300°C 左右, 热变形温度位于 $135 \sim 143^\circ\text{C}$, 耐紫外线性好, 适合做灯具外罩。

2 塑件 CAD/CAE 辅助设计与分析

2.1 塑件 CAD 分型设计

摩托车灯罩是照明外饰件, 和周边多个零件具有装配约束关系, 其分型线和分型面均为空间不规则特征, 属于异形结构件, 需借助 UG/Mold Wizard^[6] 辅助工具完成分型设计, 最终获得的成型零部件如图2所示。



a—型腔; b—型芯

图2 成型零部件

2.2 塑件 CAE 辅助分析

(1) 成型窗口分析。

应用 Moldflow 对塑件进行模流分析^[7], 根据质量系数高于 0.8 (最高为 1) 的原则, 成型窗口分析质量系数设置如下: 锁模力、注塑压力限制因子为 0.8, 流动前沿温度下降最大温差为 20°C , 温度上升最大温差为 2°C , 在成型质量系数为 0.8 的条件下, 经过分析获得的模具温度及熔体温度分别为 108.9 、 329.7°C , 符合模具温度位于 $70 \sim 120^\circ\text{C}$ 、熔体温度位于 $260 \sim 340^\circ\text{C}$ 范围的工艺要求, 最终成型窗口分析结果如图3所示, 其中横坐标为注塑时间, 纵坐标为质量系数。

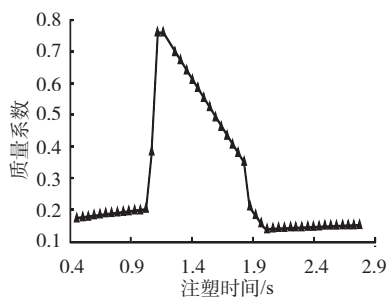


图3 成型窗口分析

(2) 充填分析。

应用 Moldflow 进行充填分析的目的, 是为了获得较为准确的充填时间、流动前沿温度、注塑压力以及锁模力等工艺参数。根据成型窗口分析获得的模具温度为 108.9°C , 熔体温度为 329.7°C , 符合材料推荐的模具温度位于 $70 \sim 120^\circ\text{C}$ 范围内, 及熔体温度位于 $260 \sim 340^\circ\text{C}$ 范围内, 充填时间约为 2.0 s 。再依据图4所示的注塑时间 - 注塑压力曲线可知, 塑件最大注塑压力约为 69 MPa , 发生在约 1.892 s 时刻; 而最大锁模力约为 43.29 t , 即 432.9 kN , 发生在约 1.891 s 时刻, 分析结果如图5所示。

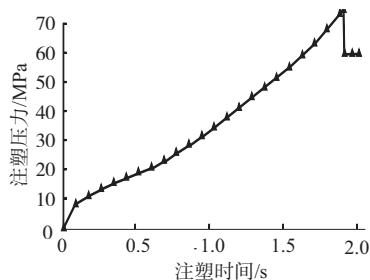


图4 注塑时间 - 注塑压力曲线

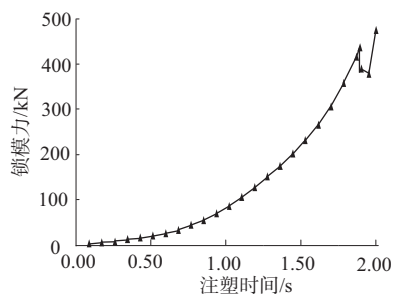


图5 注塑时间 - 锁模力曲线

2.3 注塑机选择与校核

模具布局为一模两腔, 由于单个塑件体积约为 47.8 cm^3 , 因此熔融塑料总体积 ($V_{\text{总}}$) 为 95.6 cm^3 ; 根据注塑机的公称注射量 ($V_{\text{公}}$) 计算公式 [见式(1)]^[8], 再结合模架的总高度为 395 mm , 初步选择型号为 SZ-160/100 的注塑机^[9], 其主要参数如表1所示。

$$V_{\text{公}} = V_{\text{总}} / 0.8 = 119.5 \text{ cm}^3 \quad (1)$$

表1 注塑机主要参数

参数	数据	参数	数据
结构形式	卧式	理论注射容量 /cm ³	160
螺杆直径 /mm	40	注塑压力 /MPa	150
注射速率 /(g · s ⁻¹)	105	塑化能力 /kg · h ⁻¹	45
螺杆转速 /(r · min ⁻¹)	0 ~ 200	锁模力 /kN	1000
拉杆间距 /mm × mm	345 × 345	移模行程 /mm	325
最大模具厚度 /mm	406	最小模具厚度 /mm	200
锁模型式	双肘肘	模具定位孔直径 /mm	60
喷嘴球半径 /mm	12	喷嘴口径 /mm	3

模具采用热流道浇注系统,与传统冷流道不同的是,其锁模力和注塑压力的计算没有成熟的经验公式可用,必须借助 Moldflow 辅助分析工具完成。根据图4、图5模流分析结果可知,塑件成型所需最大的注塑压力约为69 MPa,小于注塑机公称注塑压力(150 MPa);而最大锁模力约为432.9 kN,低于注射机最大锁模力1000 kN;因此所选注塑机能满足塑件注塑要求。

3 热流道注塑模主要结构

3.1 整体式导流梭针尖分喷嘴

热流道浇注系统采用整体式导流梭针尖分喷嘴结构,单个塑件的注塑体积(V)为47.8 cm³,而针尖分喷嘴的浇口直径 d (cm)是分喷嘴中最重要的参数,其计算公式^[10]为:

$$d = \frac{1.366}{\sqrt[3]{\dot{\gamma}}} \sqrt[3]{\frac{q_i(3n+1)}{n}} \quad (2)$$

式中: q_i ——材料熔料流经浇口的体积流量,cm³/s;

n ——材料熔料流动指数;

$\dot{\gamma}$ ——材料熔料流经浇口的剪切速率,s⁻¹。

根据单个塑件体积查注塑机螺杆推进注塑充填的时间约为2.3 s,而体积流量等于注塑体积除以充填时间,即:

$$q_i = V / T_{\text{充填}} = 47.8 / 2.3 = 20.78 \text{ cm}^3/\text{s} \quad (3)$$

式中: $T_{\text{充填}}$ ——注塑机螺杆推进注塑时间。

根据体积流量对浇口选取时的限制,当体积流量小于50 cm³/s时,可采用针尖浇口,模具为整体式导流梭针尖浇口,这种浇口能有效防止熔料流涎及拉丝。选取浇口流动指数 $n=0.4$, $\dot{\gamma}$ 在 $10^4 \sim 10^5 \text{ s}^{-1}$ 范围内选取, $\dot{\gamma}$ 取值 $5 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$,因此根据式(2)计算可知针尖分喷嘴浇口 $d \approx 0.2 \text{ cm} = 2 \text{ mm}$ 。

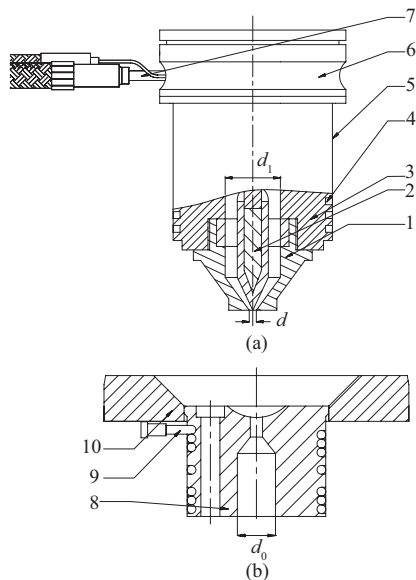
3.2 流道直径计算

热流道系统主喷嘴采用直接浇口^[11]类型,由于模具采用一模两腔布局,所以主喷嘴主流道的体积流量($q_{\text{总}}$)是分喷嘴流量(q_i)的两倍,即 $q_{\text{总}}$

$$= 2q_i = 2 \times 20.78 = 41.56 \text{ cm}^3/\text{s}$$

查阅手册可知主流道 $n=0.59$, $\dot{\gamma}=10^2 \sim 10^3 \text{ s}^{-1}$,此处 $\dot{\gamma}$ 取值 $5 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$,因此根据式(2)计算主喷嘴主流道直径 $d_0 \approx 10 \text{ mm}$;

计算分喷嘴分流道直径时,其 n 、 $\dot{\gamma}$ 和主流道的两个参数相同,由于是一模两腔,体积流量值为主流道的一半,即 q_i 为20.78 cm³/s,其余参数不变,代入式(2),可得分喷嘴的分流道直径 d_i 为8 mm。模具采用的整体式导流梭针尖分喷嘴及直接浇口主喷嘴的结构如图6所示。



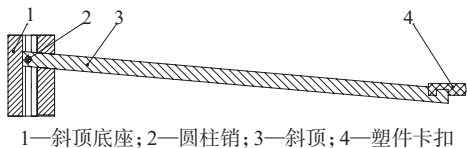
1—浇口套;2—导流梭;3—喷嘴座;4—加热线圈;
5—圆柱外套;6—轴座;7—加热线;8—主流道浇口衬套;
9—主流道加热线;10—定位圈
a—整体式导流梭针尖分喷嘴;b—直接浇口主喷嘴

图6 分喷嘴和主喷嘴结构

3.3 斜顶外侧抽芯机构

塑件含两个卡扣,应用 Mold Wizard 注塑模工具生成斜顶后,通过型芯表面对斜顶多余部分进行修剪,即可获得斜顶的成型结构^[12-13],如图7所示,由于卡扣位于塑件外侧,因此斜顶是向外侧完成抽芯运动。

为了确保塑件卡扣从斜顶中顺利脱出,需对斜顶抽芯机构进行抽拔距离与抽拔力计算。抽拔距离是抽芯运动的安全距离(S),与卡扣在抽芯方向上的



1—斜顶底座;2—圆柱销;3—斜顶;4—塑件卡扣

图7 斜顶外侧抽芯机构

长度(S_1)有关,即 S 在 S_1 基础上加 $2\sim 3\text{ mm}$ ^[14],因此模具斜顶外侧抽芯机构抽拔距离取 $S=5\text{ mm}$.

根据抽芯机构抽拔力计算公式^[8],可以计算卡扣部分抽拔力大小,即:

$$Q = \frac{2E\epsilon L \cos \varphi (f - \mu \tan \varphi)}{(1 - \mu) K_1} + 10B \quad (4)$$

式中各参数见表2,参数 B 为卡扣部位在开模方向垂直面的投影,应用计算机辅助工具可知 $B=8\text{ mm}^2$,将表2中各参数代入式(4)可得: $Q=197.4\text{ N}$,可见抽拔力很小,几乎不影响塑件卡扣部分的脱出。

表2 抽拔力计算公式及参数

名称	数值
塑料拉伸弹性模量(E)/MPa	2.1×10^3
塑料平均收缩率(ϵ)	0.006
塑件平均壁厚(t)/mm	2
塑件包容型芯长度(L)/mm	216
脱模斜度(φ)/(°)	0.5
摩擦系数(f)	0.38
塑料泊松比(μ)	0.42
投影面积(B)/cm ²	5
由 f 与 φ 决定的无因次数	1.0063

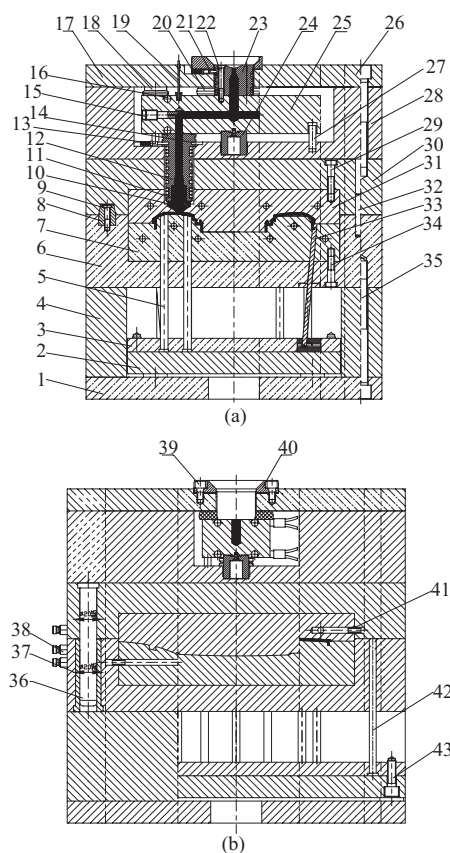
4 模具总体结构及工作过程^[15]

模具为一模两腔,采用热流道浇注系统,含斜顶外侧抽芯机构,总体结构如图8所示。模具合模时,模具动模在注塑机合模机构带动下向定模方向运动,导向机构保证其运动精度,在分型面位置合模后,型芯7和型腔31形成塑件模腔,熔融塑料经由主流道喷嘴23的主流道、流道板25的分流道以及喷嘴座12的分流道流入整体式导流梭针尖浇口。当喷嘴座12的分流道压力达到熔融塑料的注塑压力时,熔体由导流梭导流,经过针尖浇口进入模腔完成充填,注塑机再对模具施加锁模力,防止模腔胀开。经过填充、保压、冷却后模具开模,当动模后退到一定位置时,模具推出机构在注塑机顶杆推动下开始工作,推板2和顶杆固定板3将带动顶杆5和斜顶33一起将塑件顶出,塑件卡扣在斜顶外侧抽芯机构作用下从斜顶33中顺利脱出,实现塑件脱模,至此一个工作周期结束。

5 结语

(1) 利用Moldflow对塑件完成模流分析,获得熔体充填时间、流动前沿温度、注塑压力以及锁模力等成型工艺参数,为模具热流道浇注系统的辅助设计提供了依据。

(2) 模具采用一模两腔,应用Mold Wizard对不规则塑件进行复杂分型线和分型面^[16]创建,获得型芯、型腔等成型零部件,塑件卡扣采用斜顶外侧抽芯



a—主视图; b—左视图

- 1—下模座板; 2—推板; 3—顶杆固定板; 4—垫块; 5—顶杆;
6—型芯固定板; 7—型芯; 8—楔块; 9—固定螺钉; 10—浇口套;
11—导流梭; 12—喷嘴座; 13—喷嘴加热线圈; 14—喷嘴止转销;
15—旋塞; 16—加热棒; 17—上模座板; 18—支撑垫; 19—热电偶;
20—主流道喷嘴垫; 21—加热线圈; 22—主流道固定螺钉;
23—主流道喷嘴; 24—中央支撑垫; 25—流道板; 26—定模固定螺钉;
27—止转销; 28—热流道垫块; 29—型腔固定螺钉; 30—型腔固定板;
31—型腔; 32—定位销; 33—斜顶; 34—型芯固定螺钉;
35—动模固定螺钉; 36—导柱; 37—导套; 38—水嘴; 39—固定螺钉;
40—定位圈; 41—管套; 42—复位杆; 43—推板固定螺钉

图8 模具总体结构图

机构脱模,并计算了其抽拔距离及抽拔力。

(3) 热流道主喷嘴采用直接浇口,分喷嘴采用整体式导流梭针尖浇口,介绍了主喷嘴流道直径、分喷嘴流道及浇口直径的详细计算方法及喷嘴结构,对其他同类热流道模具的设计有一定的借鉴作用。

参考文献

- [1] 周慧兰,周胜林. 汽车仪表板内饰件热流道注塑模设计[J]. 工程塑料应用,2019,47(1):85-89.
Zhou Huilan, Zhou Shenlin. Hot runner injection mold design for automotive dashboard interior based on CAD/CAE[J]. Engineering Plastics Application[J].2019,47(1):85-89.
- [2] 赵战锋. 汽车中央扶手主壳脱模机构及热流道注塑模具设计[J]. 工程塑料应用,2019,47(01):82-85.
Zhao Zhanfeng. Design of demoulding mechanisms and hot runner

- injection mold for main shell of car central handrail[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(10):82-85.
- [3] 贾娟娟, 徐孝昌. 基于模具 CAD/CAE 技术的复杂面板注塑模具设计[J]. 塑料工业, 2020, 48(6):78-82.
- Jia Juanjuan, Xu Xiaochang. Design of complex panel injection mold based on mold CAD/CAE technology[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(6):78-82.
- [4] 丁同梅, 周正武. 基于 CAD/CAE 的笔记本底座注塑模具设计[J]. 塑料科技, 2019, 47(4):82-87.
- Ding Tongmei, Zhou Zhengwu. Design of injection mold for notebook base based on CAD/CAE[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(4):82-87.
- [5] 陈显冰, 赵兴泽. 电风扇壳体多重倒扣成型注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(1):91-96.
- Chen Xianbing, Zhao Xingze. Design of injection mould for electric fan housing with multiple undercut molding[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(1):91-96.
- [6] 周慧兰, 胡勇, 张海. UG NX 12.0 模具设计技术与实战[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2019.
- Zhou Huilan, Hu Yong, Zhang Hai. Die design technology and Practice[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2019.
- [7] 马兆强, 王传奇. 基于 Moldflow 的汽车座椅护板模具优化设计[J]. 模具工业, 2022, 48(3):55-60.
- Ma Zhaoqiang, Wang Chuanqi. Optimization design of mould for automobile seat guard based on Moldflow[J]. Die & Mould Industry, 2022, 48(3):55-60.
- [8] 王群, 叶久新. 塑料成型工艺及模具设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
- Wang Qun, Ye Jiuxin. Plastic molding technology and mold design[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2019.
- [9] 刘彩英. 塑料模设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- Liu Caiying. Plastic Mold Design Manual[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2002.
- [10] 徐佩弦, 张占波, 王利军. 热流道注射模塑[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- Xu Peixian, Zhang Zhanbo, Wang Lijun. Hot runner injection mold[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2016.
- [11] 傅莹龙. 基于 CAE 的高光马桶盖工艺分析及模具设计[J]. 模具工业, 2019, 45(3):46-49.
- Fu Yinglong. Process analysis and mould design of highlight toilet seat cover based on CAE[J]. Die & Mould Industry, 2019, 45(3):46-49.
- [12] 徐慧. 端盖双滑块+斜顶 3 次复合抽芯机构注射模设计[J]. 中国塑料, 2020, 34(10):80-85.
- Xu Hui. Design of injection mold with compound core pulling mechanism for end cover[J]. China Plastics, 2020, 34(10):80-85.
- [13] 贾宇霖, 袁桑喜, 骆豪锋, 等. 滑块内置斜顶块复合抽芯机构设计[J]. 模具工业, 2020, 46(5):57-60.
- Jia Yulin, Yuan Shenxi, Luo Haofeng, et al. Design of compound core-pulling mechanism with internal[J]. Die & Mould Industry, 2020, 46(5):57-60.
- [14] 罗才益. 基于 UG 的卷轴多腔注射模设计[J]. 塑料科技, 2018, 46(7):102-106.
- Luo Caiyi. Scroll multi-cavity injection mould design based on UG[J]. Plastics Science and Technology, 2018, 46(7):102-106.
- [15] 周慧兰, 韩耀鹏. 基于 CAD/CAE 汽车座椅储物盒热流道注塑模设计[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(12):77-80.
- Zhou Huilan, Han Yaopeng. Hot runner injection mold design for car seat storage box based on CAD/CAE[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(12):77-80.
- [16] 丁永峰. 基于 MoldWizard 的阻榫器上牙套注塑模设计[J]. 机电工程技术, 2018, 47(11), 23-25.
- Ding Yongfeng. Injection mold design of snore guard upper brace based on MoldWizard[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2018, 47(11), 23-25.
- [26] Ji W, Zhao G, Hu G, et al. The enhancement in dielectric properties for PVDF based composites due to the incorporation of 2D TiO₂ nanobelt containing small amount of MWCNTs[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2021, 149. DOI:10.1016/j.compositesa.2021.106493.

(上接第 51 页)

的制备及其介电特性[J]. 电工技术学报, 2021, 36(S1):1-7.

Nan Jiang, Liu Chengwei, Xia Pingan. Preparation and dielectric characteristics of nano-SiC/PTFE composite[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2021, 36(S1):1-7.