

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.06.015

帆船绳钩注塑模具设计与工艺优化

孙世臣, 韩旭, 胡辰, 田玉晶, 赵而团

(山东理工大学机械工程学院, 山东淄博 255049)

摘要: 基于两种不同的帆船钩注塑料件结构特点, 采用镶块成型和斜楔滑块侧抽芯结构, 设计出了一模两件四腔的注塑模具。模具浇道采用“S”型布置, 且需要绕过侧抽芯分别抵达不同塑料件。采用正交试验法对注塑工艺参数进行了优化, 确定了最佳的冷却系统和最优的注塑工艺参数。最优工艺参数为冷却管道直径 10 mm, 注射时间 1.4 s, 塑料件顶出温度为 95℃。采用最优工艺参数进行实际试模生产, 模具结构稳定, 产品的精度和质量均符合设计要求。

关键词: 模具设计; 正交试验; 参数优化; 一模多件

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)06-0083-05

Injection Mold Design and Molding Process Optimization of Sailboat Hook

Sun Shichen, Han Xu, Hu Chen, Tian Yujing, Zhao Ertuan

(Shandong University of Technology, School of Mechanical Engineering, Zibo 255049, China)

Abstract : The structure characteristics of the two sailboat hooks were analyzed by insert block forming and wedge slide block side core pulling structure. The injection mold with four cavities was designed, and two kinds of plastic parts can be produced using this mold. The use of “S” type layout of the sprue needs to bypass the side core to reach different plastic parts. Mold structure and suitable parameters of the process are decided by orthogonal experiment. The suitable cooling system and the optimal injection molding parameters were selected. The optimal process parameters are cooling pipe diameter of 10 mm, injection time of 1.4 s and ejection temperature of plastic parts of 95℃. The optimum process parameters are adopted to test the mold, the mold structure is stable, and the precision and quality of the product meet the design requirements.

Keywords : mold design ; orthogonal experiment ; parameter optimization ; many parts in one mold

塑料制品与传统材料制品相比, 具有密度小、耐腐蚀好和成本低等优点, 因此塑料制品在日常生活中的应用越来越广泛。运用 CAD/CAE 技术进行注塑模具设计成为一大热点^[1-3]。计算机辅助设计克服了传统注塑模具设计周期长、需要反复试模、修模的缺点, 节省了研发成本, 缩短了设计周期^[4]。运用 moldflow 进行注塑工艺参数优化模拟, 当变量较多时, 计算量变大, 难以快速高效筛选出最优工艺参数^[5], 而采用正交试验对工艺参数进行优化分析, 能快速高效地选择出最优参数, 因此可以将 moldflow 模拟和正交试验方法有效结合进行注塑模具设计。对同材质、结构类同的塑料件, 若单独开

模会增加生产成本, 延长生产周期。若将同材质、结构类同的塑料件设计在同一注塑模内, 形成一模多类多件的布置, 可以大大提高生产效率, 降低设计和生产成本。但模具设计具有一定的难度和复杂性, 特别是如何避免不同塑料件之间干涉仍是设计中的难点和重点^[6-9]。

笔者运用 UG 注塑模具设计模块, 完成了可以成型两种不同尺寸的帆船钩一模四腔的注塑模具设计, 并根据正交试验, 运用 moldflow 对注塑的工艺参数和模具结构参数进行优化设计, 快速筛选出最优的注塑工艺参数, 按照最优工艺生产出的塑料件符合设计精度要求, 极大地提高了生产效率。

基金项目: 山东省自然科学基金项目 (ZR2017MEE038)

通讯作者: 赵而团, 副教授, 主要从事精密热成形及模具设计与制造研究 E-mail : etzhao@sdut.edu.cn

收稿日期: 2020-04-05

引用格式: 孙世臣, 韩旭, 胡辰, 等. 帆船绳钩注塑模具设计与工艺优化 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(6):83-87.

Sun Shichen, Han Xu, Hu Chen, et al. Injection mold design and molding process optimization of sailboat hook[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(6):83-87.

1 塑料件结构分析

帆船钩塑料件为一套两件,其结构如图1所示,钩子1最大轮廓尺寸为 $34\text{ mm} \times 18\text{ mm} \times 16\text{ mm}$,体积为 4000 mm^3 ,钩子2最大轮廓尺寸为 $34\text{ mm} \times 21\text{ mm} \times 23\text{ mm}$,体积为 5980 mm^3 。由于两个型号的帆船钩结构相似,故只对钩子2的结构进行分析。帆船钩的内槽和内孔较多,而且孔和槽之间互相干涉,因此动模和定模不宜采用整体式设计,需合理的利用镶块成型来简化工艺。由图1可知,帆船钩在X、Y、Z方向上均有需要成型的孔槽,经过分析可知,X方向的槽可以从Z向进行成型,若Y方向与开模方向一致,Z向型芯设置为侧抽,在注塑过程中料流容易对侧抽芯造成冲击,影响塑料件精度和降低模具使用寿命,故选择Z向为开模方向较为合理。产品的材料选用玻纤增强尼龙(PA66+30% GF),玻纤增强尼龙66收缩率为 $0.4\% \sim 0.7\%$ ^[10],且具有良好的稳定性、耐老化性和机械强度。钩子1和钩子2的体积均较小,故选用一模两件四腔成型,一模多件成型可以节约生产成本,提高生产效率,具有极高的经济效益,但一模多件注塑模由于塑料件体积不同,对模具结构的要求更高。根据塑料件体积和型腔数目,结合实际生产条件,注塑机选用HTF160 J/TJ-A型,注塑压力为202 MPa,锁模力为1600 kN^[11]。



图1 塑料件的结构图

2 模具结构设计

2.1 分型面的选择

在保证塑料件成型质量的前提下,分型面选择需遵循有利于模具开模和简化模具结构的原则^[12]。由于开模方向选择在Z向,故分型面选择在平行于XY平面的最大截面处,分型线为最大轮廓线。

2.2 浇口位置的选择

浇口位置的选择,既要考虑塑料件的成型质量,还要考虑型腔的分布等多种因素,通常会选在最大壁厚的平面处。运用moldflow分析出单浇口的最佳分布位置如图2所示,最佳浇口位置在塑料件内部和开模方向的平面上,显然浇口在塑料件内部

布置不合理,若布置在塑料件开模方向的平面上,浇道需要穿过定模,加工难度大,显然也不是最合适的位置。结合型腔的布置,浇口最终选择在塑料件底部圆弧处,浇口类型为点浇口。

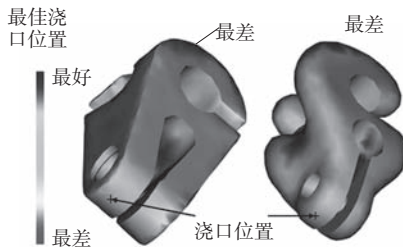


图2 浇口位置模拟结果

2.3 型腔和浇道设计

塑料件采用整体式模板成型,可以提高零件的精度和模板的刚度^[13],但型腔加工困难,合理利用镶块成型,可以简化模板加工难度^[9]。如图3所示,型腔采用一模两件四腔的组合型腔方式布置,开模方向上内腔的成型,除内孔采用镶块成型外,其余采用整体式结构。由于塑料件体积较小,侧抽距离较短,故侧抽芯机构采用斜楔滑块装置,侧抽芯通过固定板固定在滑块上,滑块和模板之间通过燕尾槽进行定位和导向。为了减小料流对模具的冲击,分浇道采用“S”型对称布置,截面形状为半圆柱形。当和侧抽芯之间存在干涉时,为了不影响侧抽芯机构的强度,浇道的布置如图3所示,浇道绕过侧抽芯,只经过模板处。加工时,在动模板处通过数控铣床加工出浇道的形状。两个塑料件的体积虽然存在一定差异但均较小,浇道横截面积选用相同尺寸。经过moldflow填充分析,料流充满型腔的时间只相差0.05 s,可以忽略浇道横截面积对填充时间的影响。

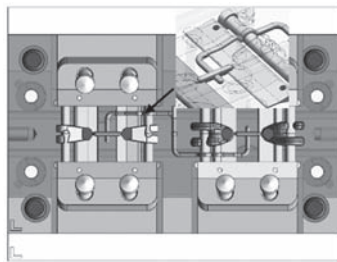


图3 型腔和浇道布局

3 成型工艺参数优化

由于塑料件呈“一”字型排列,冷却管道采用如图4所示的“C”字型排布既可以有利于降低加工难度,还能够提高冷却效率。冷却管道直径不同对塑料件的冷却效果也不同,冷却管道直径、注射时间和顶出温度是决定塑料件成型质量的重要因素^[14]。

通过生产经验确定成型工艺参数,误差较大,若对所有工艺进行软件模拟,则工作量巨大。分布方案确定后,为确定冷却管道直径、注射时间和顶出温度对塑料件质量的影响,设计了三因素三水平正交试验,在确定因素水平时,结合生产经验以及设备能力,确定各因素的取值范围,各因素取值见表1。



图4 冷却管道设计

表1 正交试验因素与水平

水平	因素		
	管道直径(A)/mm	注射时间(B)/s	顶出温度(C)/℃
1	6	0.8	85
2	8	1.1	95
3	10	1.4	110

最大翘曲变形量反映塑料件的变形程度,熔接痕数量反映塑料件的表面质量,因此选择模拟结果中最大翘曲变形量和熔接痕数量作为成型工艺优劣的指标。9种正交试验方案及其对应的最大翘曲变形量和熔接痕数量模拟结果见表2。

表2 试验方案与结果

试验号	因素			最大翘曲变形量/mm	熔接痕数量
	A/mm	B/s	C/℃		
1	6	0.8	85	2.22	19
2	6	1.1	95	2.2	17
3	6	1.4	110	2.02	18
4	8	1.1	110	2.3	16
5	8	1.4	85	1.96	14
6	8	0.8	95	1.87	18
7	10	1.4	95	1.7	15
8	10	0.8	110	1.85	17
9	10	1.1	85	1.77	16

以 K_{ij} 表示第 j 列所有 i 水平之和,如 K_{11} 为第1列所有水平号为1所对应试验结果之和。极差 R_j 反映了各因素对试验结果影响程度的重要性, R_j 越大,表明该因素对试验结果影响程度越高,极差表达式为^[15]:

$$R_j = \max\{K_{1j}, K_{2j}, K_{3j}\} - \min\{K_{1j}, K_{2j}, K_{3j}\} \quad (1)$$

最大翘曲变形量极差分析结果如表3所示,可见管道直径对塑料件最大翘曲变形量影响最大,注射时间次之,顶出最小。较大冷却管道冷却效果较

好,而延长注射时间,料流速度减缓,塑料件的内应力小,塑料件的翘曲变形量最小。以最大翘曲变形量为量化指标优化得到的最佳工艺为A3B3C2。

表3 最大翘曲变形量极差分析表

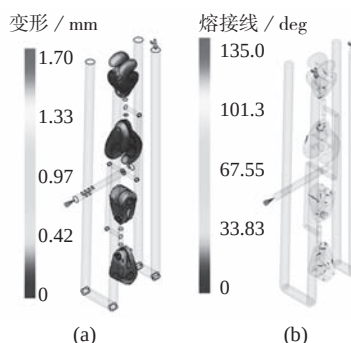
参数	A/mm	B/s	C/℃
K_{1j}	6.44	5.94	6.29
K_{2j}	6.13	6.27	5.77
K_{3j}	5.32	5.68	6.17
R	1.12	0.59	0.52

熔接痕数量极差分析结果见表4,注射时间对塑料件表明熔接痕影响最大,管道直径次之,顶出温度对影响最小。以熔接痕数量为量化指标优化得到的最佳工艺为A3B3C2或A2B3C3,结合最大翘曲变形量最小时最优工艺,两项指标下最优方案为A3B3C2,即管道直径10 mm,注射时间1.4 s,顶出温度95℃。

表4 熔接痕数量极差分析表

参数	A/mm	B/s	C/℃
K_{1j}	54	54	51
K_{2j}	48	48	50
K_{3j}	48	47	51
R	6	7	1

在最佳注塑工艺参数下的塑料件成型质量模拟结果如图5所示。冷却管道直径为10 mm,注射时间1.4 s,顶出温度为95℃,最大翘曲变形量如图5a所示,最大翘曲位置钩子1的挂钩位置,变形量为1.70 mm,变形量较小。熔接痕分布如图5b所示,熔接痕主要分布在钩子内部,表面熔接痕数量较少,可认为在此工艺下生产的塑料件符合设计要求。



a—翘曲模拟结果;b—熔接痕模拟结果

图5 最佳工艺下塑料件的翘曲和熔接痕模拟结果

4 模具结构设计

根据模具结构设计思路,设计了如图6所示的一套两板注塑模模具。模腔采用镶拼式结构,利用镶块和模板之间的间隙进行排气,可以减小充填不满等缺陷出现的几率。斜导柱的长度和角度结合塑料件的侧向开模距离进行选择,既要保证开模距离,

又尽可能保证强度。每个塑料件的顶料系统由两根 $\varnothing 5$ 和一根 $\varnothing 9$ 的顶料杆组成。模具的工作过程为:模具在导柱导套的导向下完全闭合,注塑机喷嘴抵住浇口套进行注射填充,当注塑完成后,保压一段时间,动模板在注塑机的带动下往开模方向移动,此时侧抽芯滑块在斜导柱作用下完成侧抽步骤。当侧抽完成时,顶杆固定板在推板的推动下将塑料件推出,塑料件取出后模具返程闭合,一个注塑周期完成。

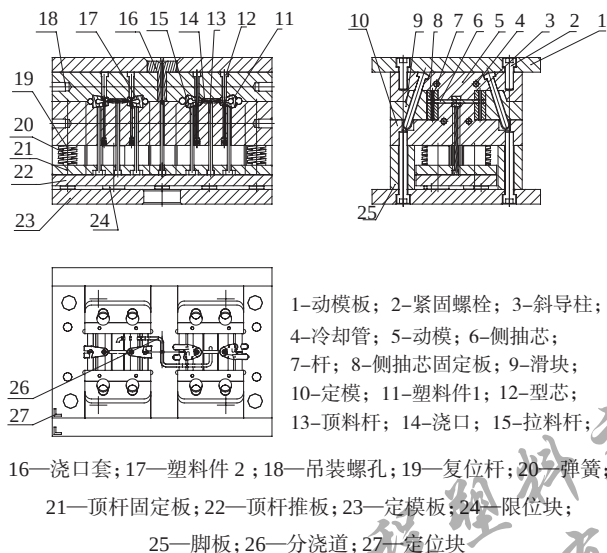
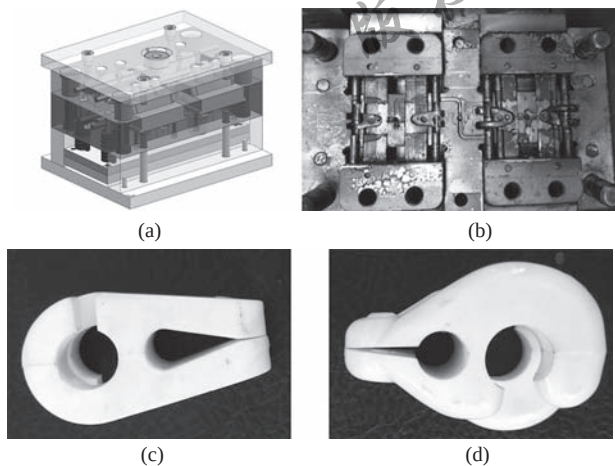


图6 模具结构装配图

图7为模具装配示意图、模具及塑料件实物图。



a—模具装配示意图; b—模具实物图; c—塑料件1; d—塑料件2

图7 模具装配示意图、模具及塑料件实物图

图7a为模具装配示意图,模具如图7b所示。采用正交试验获得的最佳注塑工艺,经过实际试模生产,模具结构稳定,各部分之间无干涉现象,生产出的塑料件如图7c和图7d所示,产品表面光滑平整,尺寸精度符合设计要求,目前已经投入量产,获得了良好的经济效益。

5 结论

(1) 针对帆船钩的塑料件结构特点,通过moldflow分析出最佳浇口的位置,运用UG注塑模具设计模块,设计了一套一模两件四腔的注塑模具,分型面选在塑料件的最大截面处,浇道横截面为梯形,并运用导柱滑块机构对侧孔进行成型。

(2) 结合塑料件分布,冷却管道采用“C”形布置。运用正交试验法,对不同的注塑参数进行模拟,得到最佳工艺参数为冷却管道10 mm,注射时间1.4 s,塑料件顶出温度为95℃。根据CAD/CAE分析结果,按照优化后最优工艺参数生产的塑料件符合设计要求,解决了一模多件多腔的注塑模具设计的难题,为同类模具设计提供了参考。

参考文献

- [1] 翟庆洪. 国内外注塑模具发展现状的调查研究[J]. 科技风, 2018(27):21-25.
Zhai Qinghong. Development of key technology for rapid design and manufacturing of injection mold based on UG[J]. Technology Wind, 2018(27):21-25.
- [2] 杨晨朝. 基于UG的注塑模具快速设计制造关键技术开发[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2017:54-57.
Yang Chenchao. UG-based key technologies of rapid design and manufacture for injection mold[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2017:54-57.
- [3] 任佳俊, 孙文选, 杨冰倩, 等. 浅析注塑模具技术在当下的应用及未来发展[J]. 南方农机, 2018, 49(23):186.
Ren Jiajun, Sun Wenxuan, Yang Bingqian, et al. Brief analysis on the application and future development of injection mold technology at present[J]. South Agricultural Machinery, 2018, 49(23):186.
- [4] 左成莉, 裴云梦, 吕章林, 等. 基于模流分析的破壁机外壳流动平衡与翘曲变形优化分析[J]. 塑料科技, 2019, 47(5):67-71.
Zuo Chengli, Pei Yunmeng, Lyu Zhanglin, et al. Optimal analysis of flow balance and warpage deformation of wall breaker shell based on mold flow analysis[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(5):67-71.
- [5] 赵而团, 孙世臣, 田玉晶, 等. 基于CAE的发酵桶桶盖注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(12):101-104.
Zhao Ertuan, Sun Shichen, Tian Yujing, et al. Fermentation lid injection mold design based on CAE[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(12):101-104.
- [6] 秦欣, 苏小平. 基于Moldflow的PLC外壳盖注塑模设计与优化[J]. 塑料科技, 2018, 46(9):115-120.
Qin Xin, Su Xiaoping. Design and optimization of injection mold for PLC shell cover based on moldflow[J]. Plastics Science and Technology, 2018, 46(9):115-120.
- [7] 马振峰, 刘胜永, 韦敏. 喷油器顶盖半圆翻转抽芯机构模具设计

- [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(12):97-100.
- Ma Zhenfeng, Liu Shengyong, Wei Min. Design of mould with semi-circle reversal core-pulling mechanism for fuel injector top cover[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(12):97-100.
- [8] 黄继战, 范玉. 汽车侧后视镜壳体注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(5):110-114.
- Huang Jizhan, Fan Yu. Design of injection mold for automobile side rear view mirror shell[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(5):110-114.
- [9] 张春彬, 张织璇. 基于UG的电吹风圆扁风口塑件工业造型与注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(2):82-87.
- Zhang Chunbin, Zhang Zhixuan. Industrial modeling and injection mould design for circular and flat tuyere plastic part of hair dryer based on UG[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(2):82-87.
- [10] 吴冬俊, 周小军, 梁莉, 等. 基于Rhino造型的口部螺纹花艺瓶吹塑成型设计[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(12):91-96.
- Wu Dongjun, Zhou Xiaojun, Liang Li, et al. Design of injection-stretch-blow molding for floral bottle with mouth thread based on rhino modeling[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(12):91-96.
- [11] 杨华林. 锥形盖差速滑块脱内螺纹机构及注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(11):64-70.
- Yang Hualin. Design of internal thread demoulding mechanism and injection mold for taper cap differential slider[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(11):64-70.
- [12] 任永胜, 孙世臣, 田玉晶, 等. 展板支架连接件注塑模具设计与优化[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(10):90-94.
- Ren Yongsheng, Sun Shichen, Tian Yujing, et al. Design and optimization of injection mold for connector of display board bracket[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(10):90-94.
- [13] 翟林, 韩国泰, 胡海朝, 等. 基于Moldflow与Abaqus的注射成型及模具结构联合仿真分析[J]. 中国塑料, 2018, 32(2):128-133.
- Zhai Lin, Han Guotai, Hu Haichao, et al. Structural analysis of injection moulds based on moldflow and abaqus softwares[J]. China Plastics, 2018, 32(2):128-133.
- [14] 陈黎明, 熊建武, 沈忠良. 内壁六面包围框形塑料件脱模机构及模具设计[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(9):87-93.
- Chen Liming, Xiong Jianwu, Shen Zhongliang. Design of compound core-pulling mechanism and injection mold for six-bread frame-shaped parts with inner wall[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(9):87-93.
- [15] 汪海涛. 基于正交试验法的注塑成型参数优化[J]. 上海塑料, 2019(2):58-62.
- Wang Haitao. Optimization of injection molding parameters based on orthogonal test method[J]. Shanghai Plastics, 2019(2):58-62.
-
- (上接第77页)
- Hu Dongdong, Chen Jinnan. Numerical Investigation of screw assemblies performance in intermeshing co-rotating twin-screw extruders(I) Instantaneous Flow Analysis[J]. China Plastics, 2005(3):90-100.
- [8] 沈晓斌, 张付英, 王平, 等. 新型双螺杆磨浆机传动系统的设计研究[J]. 机械设计与制造, 2009(7):180-181.
- Shen Xiaobin, Zhang, Fuying, Wang Ping, et al. The design and research of a new transmission system of high-power BIVIS[J]. Machinery Design & Manufacture, 2009(7):180-181.
- [9] 王明岩. 挤出机螺杆与机筒的加工及其装配工艺研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2015.
- Wang Mingyan. Research on machining and assembling technology of extruder screw and barrel[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2015.
- [10] 杨高品, 陈涛, 谢林生, 等. 啮合同向双螺杆挤出机偏心六棱柱元件混合性能的研究[J]. 中国塑料, 2016, 30(10):60-67.
- Yang Gaopin, Chen Tao, Xie Linsheng, et al. Mixing performance of eccentric polygon elements in intermeshing corotating twin-screw extruders[J]. China Plastics, 2016, 30(10):60-67.
- [11] 王远, 马秀清. 新型捏合盘元件不同螺杆构型混合性能的数值模拟[J]. 橡塑技术与装备, 2016(12):63-67.
- Wang Yuan, Ma Xiuqing. Numerical simulation of mixing performance for different screw configuration of new kneading disc element[J]. China Rubber / Plastics Technology and Equipment, 2016(12):63-67.
- [12] 耿孝正. 双螺杆挤出机及其应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003.
- Geng Xiaozheng. Application of twin screw extruder[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2003.
- [13] 许王定, 钱欣. PE-LLD/SBS共混过程中浓度分布的数值模拟及实验研究[J]. 中国塑料, 2009(2):70-74.
- Xu Wangding, Qian Xin. Numerical and experimental study on concentration distribution of PE-LLD/SBS blending process[J]. China Plastics, 2009(2):70-74.
- [14] 李彦周, 张鹏, 张帅, 等. 机筒槽深和机筒与螺棱间隙的变化对力化学反应器的影响[J]. 工程塑料应用, 2017, 45(1):65-69.
- Li Yanzhou, Zhang Peng, Zhang Shuai, et al. Influence of cylinder groove depth and gaps between cylinder and screw on force chemical reactor[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(1):65-69.
- [16] 庄园园, 李翱, 毕超, 等. 主要工艺参数对串联式磨盘挤出机混合性能的影响[J]. 塑料, 2014, 43(5):4-7.
- Zhuang Yuanyuan, Li Ao, Bi Chao, et al. Influence of main technological parameters on mixing performance of series disc extruder[J]. Plastics, 2014, 43(5):4-7.