

基于Ansys的注塑机前模板结构参数优化设计

李明辉, 李波

(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要:目的 寻求注塑机前模板加强筋最佳设计参数。方法 在Pro/E和Ansys Workbench软件的协同环境下,运用Pro/E参数-关系模块,以注塑机前模板加强筋结构尺寸为设计参数,建立前模板等质量模型,并运用Workbench有限元静力学分析模块和参数设计模块,迅速计算出前模板力学参数在加强筋结构尺寸取一系列给定值时的对应值,从而得到加强筋结构变化对目标变量的影响关系。最后从what-if分析中,确定在设计变量取值范围内前模板最佳设计参数。结论 通过模拟试验得出,优化后的模板与原始设计相比,最大应力减小了10.9%,最大变形也相应减小,这为前模板的优化设计提供了模板加强筋的设计要点。

关键词: 参数化; 注塑机前模板; 等质量; 有限元; 优化

中图分类号: TB486+.02 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)03-0116-05

Structural Parameter Optimization Design on Front Mold Plate of Injection Molding Machine Based on Ansys

LI Ming-hui, LI Bo

(Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: This experiment aimed to seek the best design parameters of stiffening rib of injection molding machine's front mold plate. In the collaborative environment of Pre/E software and Ansys Workbench software, the Pro/E parameter-relationship module was used to establish the equi-mass model of front mold plate based on the design parameters of the stiffening rib structure size of injection molding machine's front mold plate. Furthermore, the finite element static analysis module and the parameter design module of Workbench were used to rapidly calculate the corresponding data of mechanical parameters of front mold plate against a series of given values of the structure size of the stiffening rib, which revealed influencing relation of changes in stiffening rib structure on the target variable. Finally, the best design parameter of front mold plate was confirmed within the scope of design variable values by what-if analysis. Through simulation experiments, compared with the original design, the optimized one showed the maximum stress reduced by 10.9% and the maximum deformation decreased accordingly in the simulation test.

KEY WORDS: parameterization; front mold plate of injection molding machine; equivalent mass; finite element; optimization

塑料包装作为包装业的重要包装材料,以其可塑性好、成本低、可重复利用等优点成为包装业的主力军。产业发展状况表明,我国塑料包装业的主要任务是研发新型塑料成型设备,从而逐步缩小与欧美包装

行业发达国家的差距,增加市场份额,提高医药食品等包装安全。注塑机作为塑料包装上游相关机械,其性能直接关系到塑料包装的质量^[1],因此对注塑机合模机构进行研究,可以为注塑机设计生产提供依据。

收稿日期: 2015-07-17

基金项目: 陕西省科技厅项目资助(2014K06-10)

作者简介: 李明辉(1972—),男,河南信阳市人,陕西科技大学教授、硕士生导师,主要研究领域为智能及高级过程控制。

文中以注塑机前模板为研究对象,利用 Pro/E 和 Ansys 分别进行三维参数化建模与力学性能分析,并在两种软件关联的基础上运用有限元中的优化模块对前模板进行结构优化,从而提高塑料成型设备的生产质量,为后续塑料包装提供良好的设备保证。

1 注塑机模板结构设计研究

传统的注塑机模板设计,主要依靠经验手工计算,导致设计周期长、计算粗糙,得不到理想的模板结构。近年来有限元方法被普遍运用到理论研究和实际生产中^[2],目前注塑机的合模机构研究都是对某一部件进行研究,很少对合模机构整体进行分析^[3]。左亚军^[4]等利用 Ansys 软件模拟正交实验,确定了影响模板变形的主次因素,并建立模板质量为优化目标,通过优化分析得到了力学性能好、节省材料的模板设计方案。凌征琦^[5]等运用有限元软件对两板式注塑机前模板进行了有限元分析和拓扑优化,研究了前模板结构参数的双目标优化和模板系列化设计,得到了模板设计的最优解。叶成刚^[6]等依据交叉叠加原理设计了高刚性的工字型模板拓扑结构,运用于实际生产中,创造了良好的经济效益。邵珠娜,周雄新^[7-8]等运用 Ansys 对某机型注塑机前模板进行了有限元分析,并通过去材料拓扑优化方法设计出高刚性、节省材料的前模优化模型。

文中运用 Pro/E 参数化建模思想,建立注塑机前模板模型并控制模板为等质量模型,并添加模板加强筋尺寸间的函数关系,以加强筋厚度 DS_D 为驱动源,得到前模板 20 组设计点作为实验组。然后运用 Ansys 软件对前模板原始模型进行静力学分析,并将得到的

$$DS_H = \frac{7.04 \times 10^6 - 6.8 \times 10^4 DS_D + 1.25 \times 10^4 DS_D \cos(\text{asin} DS_D / 250)}{1.24 \times 10^4 \pi + 1.9 \times 10^3 DS_D - 700 DS_D \cos(\text{asin}(DS_D / 350))} + 3.1 \times 10^6 \text{asin}(DS_D / 250) - 2.4 \times 10^5 \text{asin}(DS_D / 350)$$

以 DS_D 作为模型的驱动参数,取值在 35~55 mm 范围内,得到 20 组试验数据。经验证,求得模型质量误差在万分之一的数量级。

3 优化设计

3.1 建立优化目标

结构设计优化通过构建参数化优化模型,运用各种优化方法,在满足设计要求的条件下的寻优计算过程,最终求得目标函数的极值,从而得到结构设计的最佳方案。优化过程实际是最优设计参数的搜索过

程,期间不断修改参数化尺寸,从而产生预期的最佳目标^[11]。按照模型设计要求,在分析中将模型力学最大变形(W_{\max})最小化作为优化目标单元,模型质量(M)、模型力学最大应力(σ_{\max})作为状态变量,模型中加强筋的厚度(DS_D)、模板中心凸台高度(DS_H)作为设计变量,对前模板进行结构优化设计,其数学模型可以表示为:

2 参数化建模

注塑机前模板基本尺寸为 850 mm × 800 mm × 150 mm,利用 Pro/E 强大的参数设计功能^[10],建立注塑机前模板等质量模型,将模型中加强筋的厚度、模板中心凸台高度作为设计参数,为了使得参数能够在 Ansys 软件中被识别,参数命名时均采用“DS_”为前缀的形式,原始参数设置如下:

$$\begin{cases} DS_H = 90 \text{ mm} \\ DS_D = 40 \text{ mm} \end{cases}$$

前模板结构见图 1。

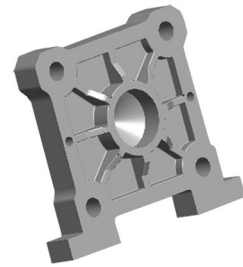


图1 注塑机前模板

Fig.1 Front mold plate of injection molding machine

利用参数-关系(Parametric-Relation)模块选项,在此处为了方便,将 DS_D 作为模型的驱动参数,然后在关系命令中确定参数的关系,在保证质量不变的情况下,确定 DS_H 与 DS_D 之间的关系,由于加强筋形状不规则,所以 DS_H 与 DS_D 的关系较复杂,求得:

程,期间不断修改参数化尺寸,从而产生预期的最佳目标^[11]。按照模型设计要求,在分析中将模型力学最大变形(W_{\max})最小化作为优化目标单元,模型质量(M)、模型力学最大应力(σ_{\max})作为状态变量,模型中加强筋的厚度(DS_D)、模板中心凸台高度(DS_H)作为设计变量,对前模板进行结构优化设计,其数学模型可以表示为:

$$\min f(x) = f(x_1, x_2)$$

$$h_i(x) \leq h(x)$$

$$g_j(x) \leq g(x)$$

式中: $f_i(x)$ 为目标函数; $h_i(x)$, $g_j(x)$ 为约束条件; x_1, x_2 为设计变量。

按照工程要求对上述的参数(应力、位移)进行求解判别,并作为模型结构优化的参考依据。

3.2 分析过程

利用有限元分析方法,按照实际工况对前模板进行静力学(Static Structural)分析,运用 what-if 分析法,在 Parameter set 中将 20 组实验数据作为设计点进行分析计算,并与原始设计模型的分析结果进行对比,从而得到前模板优化模型^[12]。分析结构见图 2。

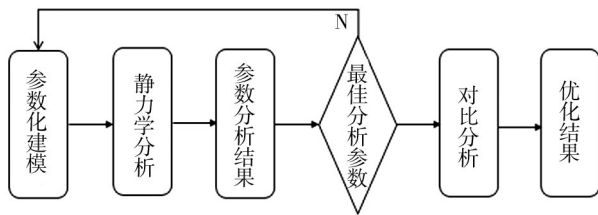


图2 前模板辅助设计过程

Fig.2 Aided design process of front mold plate

1) 建立有限元分析模型。在 Pro/E 软件对前模板进行参数化建模,然后把参数化模型导入 Ansys Workbench 有限元分析平台中。

2) 材料选择。注塑机前模板的材料选用 QT500-7 球墨铸铁,其抗拉强度 $\sigma_b=500$ MPa,屈服强度 $\sigma_s=320$ MPa,弹性模量 $E=1.69 \times 10^5$ MPa,泊松比 $\mu=0.275$,密度 $\rho=7.3$ t/m³。根据工程要求,选取安全系数为 1.5,则前模板的许用应力为 210 MPa。

3) 划分网格。运用 HEX Dominant Method(六面体域主导网格方法)划分网格,可以得到大量形状规则的六面体网格,这种划分方法多用于结构分析,误差小、容易收敛。设置单元大小为 10 mm,选择 Proximity and Curvature 选项,如此设置能够使网格划分添加更好的处理临近部位的网格。除此之外,还要对平滑度、过渡、膨胀层等做相应设置,合理的调整收敛控制选项,网格划分截面见图 3。

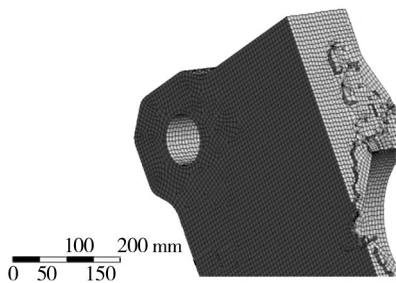


图3 前模板网格划分截面显示

Fig.3 Meshing section diagram of front mold plate

4) 载荷与约束条件。注塑机模板属于中厚板,其约束条件、受力状况的复杂性,导致合模机构实际求解过程复杂^[13]。在分析中将前模板结构和受力情况假设为前模板形状规则,关于中间截面对称,则在分析时只分析模型的 1/2,并去掉部分凸台和圆角^[14]。注塑机前模板四个拉杆孔与拉杆相连,由拉杆螺纹段与拉杆螺母轴向锁紧,正面与注射装置喷嘴接触,背部安装模具面承受锁模时模具压力,模板底脚固定于床身^[15]。模板与拉杆的螺纹固定简化为固定(Fixed Support)约束,模板底部支脚约束简化成固定(Fixed Support)约束。模板受力以及约束面见图 4,合模力作用在模具安装平面的均布载荷,根据锁模力计算公式和印记面大小,设定载荷(Pressure)为 5 MPa。

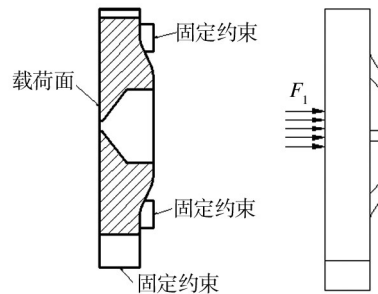


图4 前模板受力图

Fig.4 Force diagram of front mold plate

5) 计算分析。在后处理器(Solution)中添加总变形(Total Deformation)、等效应力(Equivalent Stress)解决方案,可得到云图和数据结果。以加强筋厚度 DS_D 和中心凸台高度 DS_H 为输入变量,以等效应力、总变形为输出变量,在 Parameter set 中添加前模板 20 组等质量设计点,可以得到不同设计尺寸下模型的最大变形和最大应力值。

3.3 结果分析

将设计数据导出到 Excel 中,求得 DS_H/DS_D 的比值,绘制前模板最大挠度 W 和 DS_H/DS_D 的比值关系曲线,见图 5。

在质量相同的情况下,随着 DS_H/DS_D 的比值增大,挠度值逐渐减小,其变化幅值也在减小,上述结论可以提供在此状态下,加强筋尺寸的设计要点^[16]。从试验组数据可以看到,当 DS_D=35 mm, DS_H=97.8 mm 时,模板等效应力、最大变形最小,所以在 Parameter set 中将设计点复制为当前状态,选择 Update Selected Design Point 即可得到设计点的静力学分析结果,其与模板原始设计对比见表 1。

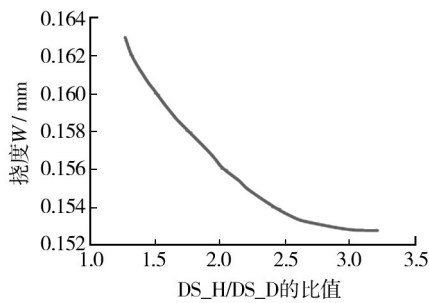


图5 H/D与挠度的关系

Fig.5 The H/D relationship with deflection

表1 模板参数优化结果

Tab.1 Optimization results of front mold plate parameters

	DS_D/ mm	DS_H/ mm	质量/ kg	最大 应力/MPa	最大 变形/mm
原始参数	40	90.0	713.20	192	0.155 85
优化后参数	35	97.8	713.21	171	0.153 02

通过结构参数的优化,模板最大应力减小了10.9%,最大变形为原来的98%,试验结果见图6。

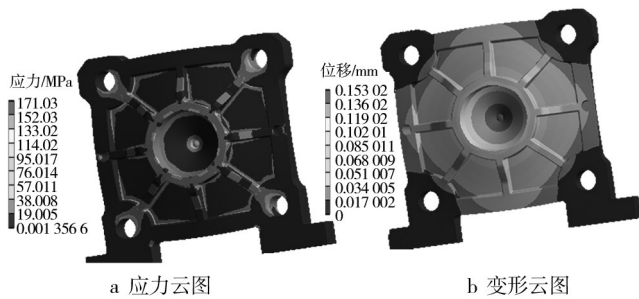


图6 试验应力与位移云图

Fig.6 Displacement and the stress nephogram from the tests

4 结语

通过参数化建模和有限元分析,对前模板进行最佳结构参数寻优设计,为产品的研发和生产提供了更为充分精确的设计方法。在等质量设计中,通过假设分析,迅速找到了模板最优设计参数,优化后的模板最大应力减小了10.9%,最大变形也相应减小。这在理论上为前模板结构设计和优化提供了重要依据,为工程塑料包装产业的发展提供了技术支持。

参考文献:

[1] 吴舜英,滕建新. 塑料包装成型机械及其导柱的受力分析[J]. 包装工程,1999,20(3):38—39.
WU Shun-ying, TENG Jian-xin. Force Analysis of Plastic Molding Machinery and Guide Column[J]. Packaging Engi-

neering, 1999,20(3):38—39.
[2] 奥斯瓦德,特恩格,格尔曼. 注射成型手册[K]. 北京:化学工业出版社,2005.
OSWALD T A, STERN L, GELLMAN P J. Injection Molding Manual[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
[3] ZHAO Y, CONG D C, HAN J W. An Integrated Approach for Theration of the Real-time Control in Electrol-hydraulic Servosystem[J]. Applied Mechanics and Materials, 2008, 10/11/12(1):513—517.
[4] 左亚军,赵翼翔,陈新度. 基于 Ansys 和正交试验的注塑机合模机构的优化设计[J]. 机床与液压,2012,40(21):99—104.
ZUO Ya-jun, ZHAO Yi-xiang, CHEN Xin-du. Optimization Design on Clamping System of Injection Machine Based on Ansys and Orthogonal Design[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2012,40(21):99—104.
[5] 凌征琦. 二板式注塑机前模板结构优化及系列化设计研究[D]. 杭州:浙江大学,2011.
LIN Zheng-qi. Research on Structural Optimization and Serial Design of Mold Platenson Two-Platen Injection Molding Machine[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
[6] 叶成刚,高世权,陈邦锋,等. 注塑机工字型模板的设计研究[J]. 塑料工业,2014,42(3):65—67.
YE Cheng-gang, GAO Shi-quan, CHEN Bang-feng, et al. Design Study on I-beam Platens for Injection Molding Machine[J]. China Plastics Industry, 2014,42(3):65—67.
[7] 邵珠娜,杨卫民,丁玉梅,等. 基于 Ansys 的注塑机定模板的有限元拓扑优化分析[J]. 橡塑技术与装备,2009,35(9):25—29.
SHAO Zhu-na, YANG Wei-min, DING Yu-mei, et al. Topology Optimization by Ansys Finite Element Analysis in Fixed Mould Plate of Injection Molding Machine[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2009, 35(9):25—29.
[8] 欧笛声,周雄新. 注塑机定模板的拓扑构形及参数优化[J]. 机械设计,2008,25(4):38—41.
OU Di-sheng, ZHOU Xiong-xin. Topology Configuration and Parameters Optimization of Injection Molding Machine Template[J]. Journal of Machine Design, 2008,25(4):38—41.
[9] 赵子东,张建礼,刘兴民,等. 基于有限元分析的某型弹药包装箱结构优化设计[J]. 包装工程,2013,34(11):51—62.
ZHAO Zi-dong, ZHANG Jian-li, LIU Xing-min, et al. Optimum Design of Certain Ammunition Packaging Box Structure Based on Finite Element Analysis[J]. Packaging Engineering, 2013,34(11):51—62.
[10] 王峥,史智斌. Pro/Engineer在刚性塑料包装容器设计中的应用[J]. 包装工程,2010,31(23):73—76.
WANG Zheng, SHI Zhi-bin. Application of Pro/Engineer in Design of Rigid Plastic Package Container[J]. Packaging

- Engineering, 2010, 31(23): 73—76.
- [11] 禹言芳, 孟辉波. Ansys在结构拓扑优化设计中的应用[J]. 化工装备技术, 2007(1): 56—58.
YU Yan-fang, MENG Hui-bo. The Application of Ansys in the Structure Topology Optimization Design[J]. Chemical Equipment Technology, 2007(1): 56—58.
- [12] 刘旭红, 尹辉峻. 注塑机模板的有限元拓扑优化设计研究[J]. 塑料工业, 2008, 36(1): 32—34.
LIU Xu-hong, YIN Hui-jun. Study of Finite Element-topological Optimal Design for Platen of Injection Machine[J]. China Plastics Industry, 2008, 36(1): 32—34.
- [13] 李竞. 运用Ansys软件对注塑机调模板进行有限元分析[D]. 南宁: 广西大学, 2002.
LI Jing. The Finite Element Analysis of the Rear Platen of Injection Molding Machine with Ansys Software[D]. Nanning: Guangxi University, 2002.
- [14] 马宇山. 注塑机模板的应力与疲劳分析及优化[J]. 塑料工业, 2010, 38(9): 40—44.
MA Yu-shan. Stress and the Fatigue Analysis as well as Optimization[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(9): 40—44.
- [15] 张杰. 全电动注塑机合模机构的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
ZHANG Jie. Clamping Unit Research of All-Electric Injection Molding Machine[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006.
- [16] 李双蓓, 周小军, 黄立新. 基于有限元法的正交各向异性复合材料结构材料参数识别[J]. 复合材料学报, 2009, 26(4): 197—202.
LI Shuang-bei, ZHOU Xiao-jun, HUANG Li-xin, et al. Material Parameter Identification for Orthotropic Composite Structure by the Finite Element Method[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2009, 26(4): 197—202.

(上接第 102 页)

- 508—510.
GU Xue-lian, LIU Bao-lin, HUA Ze-zhao, et al. Experimental Study on Shelf Life of Milk by Etti[J]. Food Science, 2006, 27(11): 508—510.
- [7] 冯钦, 钱静, 刘婧. 固定化淀粉酶时间-温度指示剂性能的研究[T]. 包装工程, 2014, 35(7): 60—65.
FENG Qin, QIAN Jing, LIU Jing. Performance of Time-temperature Indicator with Immobilized Amylase[T]. Packaging Engineering, 2014, 35(7): 60—65.
- [8] 刘璐, 张健, 张小栓, 等. 基于时间-温度模型的罗非鱼品质变化对比实验分析[J]. 食品科学, 2008, 29(4): 409—411.
LIU Lu, ZHANG Jian, ZHANG Xiao-shuan, et al. Contrast Experimental Analysis Quality Change of Tilapia Based on Time-Temperature Model[J]. Food Science, 2008, 29(4): 409—411.
- [9] 潘文龙, 谢晶. 食品物流过程中时间-温度指示器(TTI)研究进展[J]. 渔业现代化, 2013(6): 52—57.
PAN Wen-long, XIE Jing. Research Progress of Time-Temperature Indicator (TTI) in the Food Logistics Process[J]. Fishery Modernization, 2013(6): 52—57.
- [10] 李镁娟, 潘治利, 黄忠民, 等. 冷餐链用时间-温度指示卡的研究进展[J]. 农产品加工·创新版, 2010(6): 22—25.
LI Mei-juan, PAN Zhi-li, HUANG Zhong-min, et al. Progress in Research of Time-temperature Indicator for Cold Chain[J]. Innovative Edition of Farm Products Processing, 2010(6): 22—25.
- [11] AGERHEM H, NILSSON H J. Substrate Composition and Use There of TTI: US, US4284719 A [P]. 1981-08-18.
- [12] TUCKER G S, BROWN H M, FRYER P J, et al. A Sterilisation Time-Temperature Integrator Based on Amylase from the Hyperthermophilic Organism Pyrococcus Furiosus[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2007, 8(1): 63—72.
- [13] KIM K, KIM E, LEE S J. New Enzymatic Time-temperature Integrator (TTI) that Uses Laccase[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 113(1): 118—123.
- [14] 蔡华伟, 任发政, 张恒涛, 等. 淀粉酶型时间-温度指示卡的研制[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 60—63.
CAI Hua-wei, REN Fa-zheng, ZHANG Heng-tao, et al. Research of Amylase-Time-Temperature Indicator[J]. Food Science, 2006, 27(11): 60—63.
- [15] WHO. Technical Review of Vaccine Vial Monitor Implementation[R]. Geneva: WHO, 2002.
- [16] TAOUKIS P S, LABUZA T P. Reliability of Time-temperature Indicators as Food Quality Monitors under Non-isothermal Conditions[J]. Journal of Food Science, 1989, 54(4): 789—792.
- [17] 贾先勇, 叶志能, 钟飞. 基于RFID技术的时间-温度指示标签研究[J]. 商品与质量, 2011, 9.
JIA Xian-yong, YE Zhi-neng, ZHONG Fei. The Research of Time-Temperature Indicator Based on RFID[J]. The Merchandise and Quality, 2011, 9.