

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.05.012

基于 MATLAB 的注塑机合模机构优化设计及系统开发

王诗强, 谢鹏程, 何雪涛, 丁玉梅, 杨卫民

(北京化工大学机电工程学院, 北京 100029)

摘要: 根据注塑机五点斜排双曲肘合模机构设计要求, 建立合模机构优化数学模型, 确定参数化设计流程, 基于 MATLAB 开发注塑机五点斜排双曲肘合模机构优化设计系统。案例分析表明, 该系统不仅能完成合模机构序列化设计, 而且优化后的合模机构工作性能得到提升, 提高了设计人员的工作效率。

关键词: 合模机构; 优化设计; 系统开发; MATLAB

中图分类号: TK172 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)05-0054-04

Optimization Design and System Development for Clamping Unit of Injection Molding Machine Based on MATLAB

Wang Shiqiang, Xie Pengcheng, He Xuetao, Ding Yumei, Yang Weimin

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on the design requirements of five-point clamping unit of injection molding machine, the optimization mathematical model and the parametric design process of clamping unit was established. The optimization design software of five-point clamping unit was developed based on MATLAB. The cases study shows that the software can not only complete the serialization design of clamping units, but also the clamping unit performance is enhanced after optimization design. It improves the working efficiency for designers.

Keywords: clamping unit; optimization design; system development; MATLAB

合模机构是注塑机的重要组成部分之一, 五点斜排双曲肘式合模机构因其特有的结构特点, 具有锁模可靠、开合模平稳、合模速度快、能耗低等优点, 成为目前国内外广泛采用的一种结构形式^[1-2]。曲肘式合模机构的设计参数繁多, 牵涉到几何学、运动学及机构干涉等多方面因素, 传统设计方法主要通过图解、类比、经验设计法等进行结构设计, 不仅计算量大, 设计周期长, 而且所得曲肘机构的几何尺寸和位置尺寸无法达到最佳组合, 难以获得较好的机构性能, 在一定程度上降低了合模机构的性能和实用价值, 难以满足注塑机朝大型、高速、高效、精密方向发展的设计要求^[3]。因此对曲肘式合模机构进行优化设计, 并研发一套曲肘式合模机构优化系统, 使之运用到实际生产中就变得十分重要。

为缩短设计周期, 提高设计效率, 笔者在对五点斜排双曲肘式合模机构的研究基础上, 建立曲肘式合模机构设计流程, 并研究开发了一套五点斜排双曲肘式合模机构优化设计系统。最后对设计结果进行分析, 验证了该系统可有效提高合模机构的性能和设计人员的工作效率。

1 合模机构动力学特性分析

图1为注塑机五点斜排双曲肘式合模机构的运动简图, 其中虚线表示合模机构初始合模位置, 实线为合模机构合模锁紧位置。

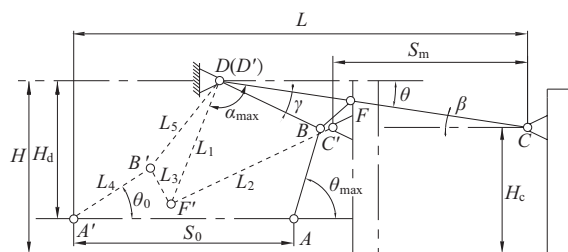


图1 五点斜排双曲肘式合模机构运动简图

1.1 行程比 K

根据结构分析, 动模板的移模行程可用铰点 C 的移动量表征, 十字头行程可用铰点 A 的移动量表征。利用机构学的方法可得到五点斜排肘杆机构的动模板移模行程 S_m 和十字头行程 S_0 数学表达式^[4-5]:

联系人: 王诗强, 硕士, 主要研究方向为注塑机合模机构优化设计

收稿日期: 2013-02-18

$$S_m = (L_1 + L_2) \cos \theta - L_1 \cos(\alpha_{\max} + \theta) - \sqrt{L_2^2 - [L_1 \sin(\alpha_{\max} + \theta) - (L_1 + L_2) \sin \theta]^2} \quad (1)$$

$$S_0 = \sqrt{L_4^2 - [H_d - L_5 \sin(\alpha_{\max} + \theta + \gamma)]^2} + L_5 \cos(\theta + \gamma) - \sqrt{L_4^2 - [H_d - L_5 \sin(\theta + \gamma)]^2} - L_5 \cos(\alpha_{\max} + \theta + \gamma) \quad (2)$$

则合模机构行程比 K 为:

$$K = S_m / S_0 \quad (3)$$

式中: L_1, L_2, L_4, L_5 ——分别为后肘杆、前肘杆、连杆和后肘支杆长度, mm;

H_d ——十字头与后支座中心距, mm;

$\alpha_{\max}$ ——最大启模角, ($^\circ$);

θ ——斜排角, ($^\circ$);

γ ——后肘杆夹角, ($^\circ$).

1.2 力的放大比 M

设肘杆机构十字头推力为 P_0 , 锁模力为 P_m , 根据虚位移原理有: $P_0 dS_0 - P_m dS_m = 0$, 则肘杆机构力的放大比 (锁模力与十字头推力的比值) M 的数学表达式为:

$$M = \frac{L_5 \sin(\alpha + \theta + \gamma + \varphi) \cos \beta}{L_1 \sin(\alpha + \theta + \beta) \cos \varphi} \quad (4)$$

其中:

$$\varphi = \sin^{-1} \left[\frac{H_d - L_5 \sin(\alpha + \theta + \gamma)}{L_4} \right] \quad (5)$$

$$\beta = \sin^{-1} \left[\frac{L_1 \sin(\alpha + \theta) - (L_1 + L_2) \sin \theta}{L_2} \right] \quad (6)$$

式中: α ——后肘杆转角, ($^\circ$);

β ——前肘杆转角, ($^\circ$);

φ ——连杆与水平夹角, ($^\circ$).

显然 M 随着 α 的变化而变化, 根据设计经验, 通常取 $\alpha=3^\circ$ 时的 M 作为 M 的参考值.

2 优化数学模型的建立

2.1 确定设计变量

分析合模机构数学模型, 根据变量选取原则, 选择影响工作性能相对独立的 8 个变量为优化设计变量. 其矩阵表达式为:

$$X = [L_1, L_2, L_4, L_5, H_d, \alpha_{\max}, \theta, \gamma]^T = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8]^T \quad (7)$$

2.2 建立目标函数

在合模机构设计中, 通常对机构性能提出以下要求: (1) 具有较大的 M , 以达到节约能耗降低成本的目的; (2) 具有较大的 K , 从而缩短制品生产周期, 提高生产效率. 从数学模型中可知这两者之间存在

矛盾和相互制约的关系^[6], 合模机构优化设计问题属于多目标优化设计问题. 笔者采用加权组合法, 在 M 和 K 中引入加权因子, 以两者的加权之和构成一个统一的函数作为优化目标进行讨论, 故目标函数可通过式 (8) 表示:

$$F(x) = W_1 M + W_2 K \quad (8)$$

其中 W_1, W_2 为合模机构 M 和 K 的权重系数, 可根据实际设计和经验进行调整, 本文中取 $W_1=1.2/20, W_2=1$.

2.3 确定约束条件

(1) 肘杆机构自锁条件约束.

根据摩擦圆理论, 起始角应不大于 160° , 即:

$$\alpha_{\max} + \gamma + \theta + \varphi - 160^\circ \leq 0 \quad (9)$$

(2) L_1, L_2 杆约束.

根据设计经验, 对 L_1, L_2 杆通常有:

$$0.7 \leq L_1 / L_2 \leq 0.9 \quad (10)$$

$$L_1 \geq S_m / 2 \quad (11)$$

(3) L_3, L_4 杆约束.

L_3, L_4 杆须足够长以保证机构中的肘杆可以相对回转, 因此有:

$$L_3 = \sqrt{L_1^2 + L_2^2 - 2L_1 L_2 \cos \gamma} \geq 0.5(d_F + d_B) \quad (12)$$

$$L_4 \geq 0.5(d_A + d_B) \quad (13)$$

式中: L_3 ——后支座杆长度, mm;

d_F, d_A, d_B ——分别为 F 点、 A 点、 B 点的回转直径, mm.

为利于开闭模时力的传递, 通常 $80^\circ \leq \varphi_{\max} \leq 90^\circ$, 即:

$$80^\circ \leq \sin^{-1} \left(\frac{H_d - L_5 \sin(\theta + \gamma)}{L_4} \right) \leq 90^\circ \quad (14)$$

式中: $\varphi_{\max}$ —— L_4 与水平的最大夹角, ($^\circ$).

(4) 后肘杆夹角 γ 约束条件.

根据经验:

$$15^\circ \leq \gamma \leq 25^\circ \quad (15)$$

(5) 斜排角 θ 约束条件.

斜排角的选取可改善动模板的受力情况, 使机构紧凑, 一般情况:

$$3^\circ \leq \theta \leq 6^\circ \quad (16)$$

(6) 其余变量边界约束条件.

在不影响收敛条件下, 根据经验和类比, 确定其他优化变量的收敛域.

3 合模机构优化系统开发

3.1 系统设计流程

建立合模机构优化数学模型后, 确定合模机构

优化设计系统的一般设计流程。合模机构优化设计系统包括机构常规设计、优化设计及力学设计三部分。其中常规设计阶段主要根据多年生产实践积累和设计经验,参考注塑机标准,在对现有机型机构数据分析的基础上,总结出一套五点斜排双肘式合模机构设计流程和计算方法。优化设计阶段是合模机构优化系统的核心,是以合模机构优化数学模型为基础,以最佳合模性能为目标的优化设计过程。力学设计阶段主要根据注塑机合模机构工作过程中对合模机构提出的刚度和强度要求,对合模机构模板、油缸及杆件等进行结构设计。

在合模机构优化设计中,由于优化数学模型复杂,设计变量和约束条件较多,很多优化方法对此类型问题求解较为困难。五点斜排双肘式合模机构的最优化问题属于非线性多约束优化问题,因此笔者采用 MATLAB 优化工具箱中求解非线性多约束优化问题的 $fmincon$ 函数对合模机构进行优化。

3.2 肘杆机构优化系统开发

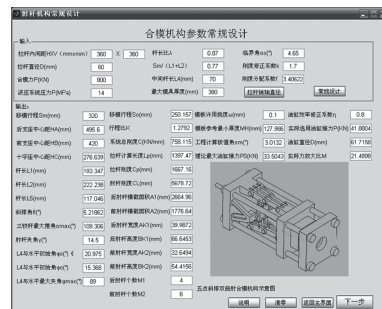
MATLAB 数学软件因其在算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算上的优秀表现,在机械领域得到广泛应用^[7]。为提高设计效率,笔者基于 MATLAB 开发注塑机式合模机构优化设计系统。该系统数值计算分析代码部分采用 MATLAB 编程语言编写,用户图形界面设计采用 MATLAB GUI 工具编写,与 VB、VC 编写界面相比,无须转换代码、建立脚本,具有可读性好、轻松实现数据无缝连接的优势。

系统界面设计依据优化系统设计流程,包括三部分:肘杆机构常规设计、肘杆杆长优化设计以及肘杆机构力学设计。通过该系统得到不同机型合模机构的肘杆肘杆最优化参数,从而实现合模机构系列化设计。优化系统用户操作界面如图 2 所示。

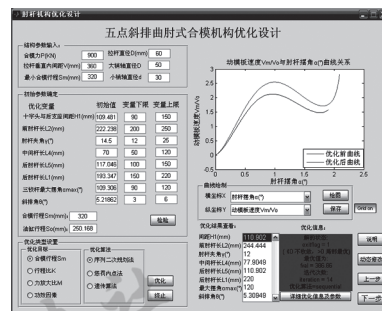
4 实例分析

完成优化设计系统后,笔者分别以合模力为 900 kN 和 2000 kN 注塑机五点斜排肘式合模机构为例对优化系统进行分析验证。根据设计经验和用户要求,输入合模机构初始设计参数,运用开发的合模机构优化设计系统,经多次迭代计算收敛,分别得到两种机型肘式合模机构常规设计和优化设计后的主要机构参数和性能参数,如表 1、表 2 所示。

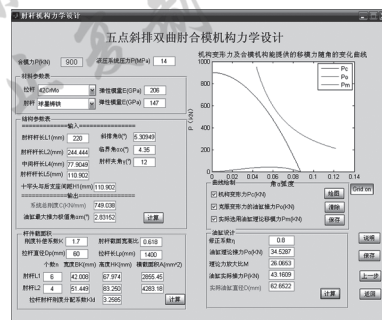
从表 1、表 2 可知,根据优化前后结果对比,两种机型目标函数 F 分别提高了 3.5% 和 6.7%。对比两种合模机构优化前后的工作性能,其中合模力



(a)



(b)



(c)

a—合模机构参数常规设计界面; b—合模机构优化设计界面;

c—合模机构力学设计界面

图 2 合模机构优化系统用户操作界面

表 1 900 kN 注塑机合模机构结构参数表

项目	L_1 mm	L_2 mm	L_4 mm	L_5 mm	H_d mm	θ (°)	γ (°)	α_{max} (°)	K	$M_{a=3^\circ}$	F
常规设计	169.2	194.5	85.0	106.1	121.1	5.40	14.50	109.71	1.15	18.65	2.27
优化设计	159.7	197.3	89.5	110.5	123.2	4.00	13.76	120.00	1.07	21.25	2.35

表 2 2000 kN 注塑机合模机构结构参数表

项目	L_1 mm	L_2 mm	L_4 mm	L_5 mm	H_d mm	θ (°)	γ (°)	α_{max} (°)	K	$M_{a=3^\circ}$	F
常规设计	260.0	370.0	93.6	173.9	160.0	4.10	18.40	103.90	1.13	21.09	2.39
优化设计	257.4	367.7	120	159.0	170.6	4.00	14.58	120.00	1.20	22.86	2.57

900 kN 的注塑机合模机构优化后肘杆 M 得到较大提升, K 略有降低,从而验证了合模机构优化数学模型建立的准确性;合模力 2000 kN 注塑机合模机构优化后肘杆机构 M 和 K 都有不同程度提高,说明在

一定长度范围内,增大合模机构总体长度尺寸,可同时增大 M 和 K 。

通过对五点斜排曲肘式合模机构优化设计系统研究,总体上设计结果准确,优化后性能均能得到提升,不过仍有一些问题有待深入讨论:(1)对合模机构数学模型仍须找到收敛效率更好的优化方法;(2)建立合模机构数据库,将优化系统与计算机辅助设计相结合,实现数据处理、三维建模、有限元分析为一体的合模机构设计系统。以上两点将成为今后合模机构优化设计系统的研究方向。

5 结论

(1)全面系统地分析了五点斜排曲肘式合模机构运动特性与力学特性,推导出合模机构 M 和 K 数学表达式,建立合模机构优化数学模型,为合模机构优化设计提供了理论基础。

(2)在合模机构数学模型的基础上,开发合模机构优化设计系统,对不同机型注塑机合模机构进行优化设计。案例结果表明,该系统设计效果良好,结果理想可靠,初步达到缩短合模机构开发周期、提高合模性能的目的,对合模机构优化设计具有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 王兴天. 注塑工艺与设备 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 460-592.
Wang Xingtian. Injection molding process and equipment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 460-592.
- [2] 尹辉, 陆国栋, 王进, 等. 注塑机合模机构分析及其发展趋势 [J]. 中国塑料, 2009(11): 1-6.
Yin Hui, Lu Guodong, Wang Jin, et al. Analysis and development trend of clamping mechanisms of injection molding machines [J]. China Plastics, 2009(11): 1-6.
- [3] 黄步明, 许忠斌. 高速超精密注塑机的技术进展及发展动向 [J]. 记录媒体技术, 2003(1): 47-49.
Huang Buming, Xu Zhongbin. Technical progress and development trend of high-speed ultra-precision injection molding machine [J]. Recording Media Technology, 2003(1): 47-49.
- [4] 熊万春, 金志明, 薛平. 压铸机双曲肘五铰点斜排列合模机构运动和力学特性分析 [J]. 特种铸造及有色合金, 2008(6): 445-447.
Xiong Wanchun, Jin Zhiming, Xue Ping. The analysis of double-toggle five-point arranged clamping mechanism's movement and mechanical properties of die casting machine [J]. Special Casting and Nonferrous Alloys, 2008(6): 445-447.
- [5] 冯良为. 注射成型机五孔斜排双曲肘合模机构的运动和力学特性分析 [J]. 橡胶工业, 1999(46): 546-549.
Feng Liangwei. Analysis of motional and mechanical characteristics for mold closing device of injection molding machine [J]. Rubber Industry, 1999(46): 546-549.
- [6] 潘金坤, 王贤民. 双曲肘合模机构的多目标优化设计 [J]. 机械传动, 2011(10): 81-85.
Pan Jinkun, Wang Xianmin. Multi-objective optimization on the joint-double clamping unit [J]. Mechanical Drive, 2011(10): 81-85.
- [7] 苏金明, 王永利. Matlab 7.0 实用指南 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
Su Jinming, Wang Yongli. Matlab 7.0 practical guide [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2004.

鞍山君利工程塑料有限公司

鞍山君利工程塑料有限公司是股份制企业,生产以工程塑料为主的改性材料。由教授级高工、中国塑协专家委员会专家负责生产技术。可为用户提供增强、增韧、复合、阻燃、环保阻燃、抗静电、耐磨、塑料合金类系列改性工程塑料。公司竭诚为用户“量身订做个性化需求的产品,为客户创造价值”。公司通过 ISO9001:2000 国际质量管理体系认证。公司宗旨:信誉第一;质量第一。

欢迎新老客户前来指导、合作!

- 改性品种: PA66、PA6、PP、PE、ABS、AS、HIPS、POM、PC、PC/ABS、PBT、PET、PVC 等系列改性塑料。
- 适用行业: 家电、汽车、机械、铁路、纺织、石油化工、煤矿、农业等。

经理: 徐长旭 13604228259, xuchangxu315@163.com

总工: 赵文聘 13804910274, zhaowenpin315@163.com

地址: 辽宁省鞍山市旧堡 邮编: 114041 电话: 0412-8935903 传真: 0412-8935803 网址: www.asjls.com