

注塑机双曲肘合模机构的优化设计研究

王国宝 程 珩 李 福 路 亮 马亚丽

(太原理工大学机械电子工程研究所,太原 030024)

摘要 为提高合模机构的工作性能,提出运用 Pro/E 与 ADAMS 协同的方法建立合模机构的参数化模型,以力的放大比和行程比为目标函数进行优化的设计方法。通过对双曲肘合模机构的运动和力学特性进行分析,并推导了肘杆机构的几何尺寸及位置尺寸与模板行程、速度及力的放大比之间的关系,建立合模机构的优化模型,对目标函数进行优化。优化结果分析表明,较原方案行程比和力的放大倍数均增大,达到了预期的优化目标,为合模机构设计方案的选择提供了依据。

关键词 注塑机 双曲肘合模机构 虚拟样机 优化设计

合模机构是注塑机中最重要的执行部件之一,是保证模具锁紧和实现其启闭动作及顶出制品的关键部件,其性能将直接影响到塑料制品的质量。目前,双曲肘式合模机构是国内外广泛采用的一种结构形式。该机构充分利用了曲肘连杆机构的行程、速度、力的放大特性和自锁特性,实现了锁模可靠、开合模平稳、合模速度快、能耗低的效果^[1]。曲肘式合模机构的设计参数繁多,而且还牵涉到几何学、运动学、动力学及机构的干涉条件和制约等多方面因素,因此设计的产品往往难以达到合模机构的设计要求。合模机构传统的设计方法主要通过测绘、图解、类比、经验设计法等进行结构设计,因此所得的肘杆机构的几何尺寸和位置尺寸无法达到最佳组合,也无法使机构的运动与力学特性达到最佳。这在一定程度上降低了合模机构的性能和实用价值^[2]。近些年,优化设计的方法已应用到各类机械产品的设计中,应用计算机的可视化技术和参数化建模能力,可以对肘杆式合模机构进行优化设计处理,从而减少试验研究经费和时间,提高设计效率^[3]。

笔者以 WK400 小型注塑机的双曲肘合模机构为研究对象,对合模机构的运动和力学特性进行分析,研究肘杆机构的几何尺寸及位置尺寸与模板行程、速度及力的放大比之间的关系,建立了合模机构的优化数学模型。在此基础上,采用 Pro/E 与 ADAMS 协同的方法建立合模机构的虚拟样机,并对其进行运动学及动力学仿真和设计研究,分析设计变量对优化目标的影响程度,选取影响较大的设计变量,利用 ADAMS 自带的寻优算法寻找出结构参数最优的设计方案,使优化后合模机构达到较佳的工作性能。

1 肘杆机构的特性分析

1.1 运动特性分析

根据合模机构的运动简图进行运动分析,如图 1 所示。

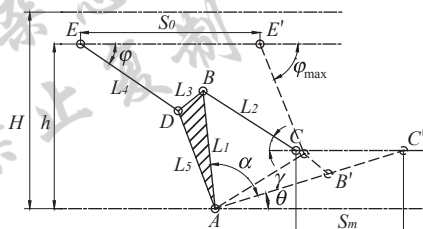


图 1 合模机构的运动简图

图 1 中 L_1 、 L_2 分别为大曲肘和大连杆的长度, L_4 、 L_5 分别为小曲肘和小连杆的长度, h 为十字头的高度, α 为曲肘角, $\alpha_{\max}$ 为最大启模角, θ 为斜排角, γ 为楔角, ϕ 为顶角, $\phi_{\max}$ 为最大顶角, S_0 为油缸活塞的行程; S_m 为动模板的行程。

S_m 可用图 1 中 C 点的移动量来表示,如式(1)所示。

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

S_0 可用 E 点的移动量来表示,如式(2)所示。

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

合模机构的行程比 R 为动模板的行程与活塞行程的比值^[4],如式(3)所示。

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

1.2 力学特性分析

曲肘系统的力的放大比 M 是动模板的移模力

P_m 与油缸推力 P_0 的比值。若不考虑机构运动中的摩擦、自重、惯性等因素的影响, 根据图 2 的机构静力学分析可得力的放大比 $M^{[4]}$, 如式 (4) 所示。

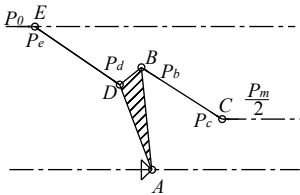


图 2 合模机构的受力分析图

$$M = \frac{P_m}{P_0} = \frac{L_5 \sin(\alpha + \theta + \gamma + \phi) A}{L_1 \sin \alpha \cos \phi \left[1 + \frac{L_1 \cos \alpha}{L_2^2 - (L_1 \sin \alpha)^2} \right]} \quad (4)$$

式中: $A = \cos \theta - \frac{L_1}{L_2^2 - (L_1 \sin \alpha)^2} \sin \alpha \sin \theta$ 。

2 合模机构优化设计的数学模型

2.1 目标函数与设计参数的选择

肘杆式合模机构有其固有的优化特性, 追求的目标主要有两个: ①较大的力的放大比 $M_{\max}$, 即用小直径的油缸获得足够的合模力, 实现同等功率、降低合模能耗、提高制品质量的目标;

②较大的行程比 $R_{\max}$, 从而提高动模板的平均速度, 提高注塑机的开合模速率、循环次数, 缩短成型周期。

以减少计算量和难度、能够反映出机构的综合性能等为设计参数的选择原则, 并排除相互干涉的参数, 确定以下的合模机构的肘杆几何尺寸和位置尺寸为设计参数: L_1 、 L_2 、 L_4 、 L_5 、 h 、 α 、 θ 、 γ 、 ϕ 。

2.2 机构自锁及正常运动的条件

合模机构要想实现高速、高效、稳定的启闭模运动, 必须满足如下的尺寸约束及性质约束。

(1) 自锁条件

$$\alpha_{\max} + \theta + \gamma + \phi - 150^\circ \leq 0$$

(2) 最大合模角约束

$$90^\circ < \alpha_{\max} < 110^\circ$$

3 合模机构的参数化建模

3.1 三维实体模型的建立

运用三维造型软件 Pro/E 建立合模机构的模板及拉杆的实体模型, 并通过接口软件导入到 ADAMS 中, 与 ADAMS 中建立的肘杆模型进行装配, 并对整个模型添加约束、驱动及载荷, 进行模型检验, 完成虚拟样机的建立, 如图 3 所示。

3.2 参数化模型

ADAMS 中模型是依附于设计点建立的, 因此对

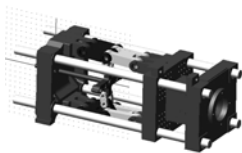


图 3 合模机构的虚拟样机模型

合模机构的参数化只需要将肘杆的几何尺寸与位置尺寸转化到设计点的坐标参数, 对设计点的坐标参数化就实现了对模型的参数化。由于双肘合模机构是由 2 套对称的单肘机构组成的, 因此创建设计变量时可利用坐标的对称性进行简化处理。将合模机构的肘杆几何尺寸和位置尺寸换算成设计点坐标, 根据图 1 对模型的 5 个铰点参数化, 铰点的坐标与设计变量的对应关系如表 1 所示。

表 1 设计变量表

设计点	设计变量	初值/mm
后支座与后肘杆的铰点 A	DV_1	333.00
后肘杆与前肘杆的铰点 A	DV_2	281.17
后肘杆与前肘杆的铰点 B	DV_3	567.83
后肘杆与连杆的铰点 D	DV_4	864.62
后肘杆与连杆的铰点 D	DV_5	197.47
连杆与十字头的铰点 E	DV_6	531.66
连杆与十字头的铰点 E	DV_7	120.00
前肘杆与前支座的铰点 C	DV_8	522.55

4 合模机构的设计研究与优化分析

4.1 设计研究

针对每个参数化的设计变量运行设计研究分析, 观察分析每个设计变量对行程比和力的放大比的灵敏度, 灵敏度越大, 说明影响越大。初值处灵敏度分析结果见表 2。

表 2 设计变量的灵敏度表

设计变量	初值/mm	初值处的灵敏度	
		M	R
DV_1	333.00	0.072292	-0.0028207
DV_2	281.17	-0.96641	0.012022
DV_3	567.83	-0.16643	0.0076415
DV_4	864.62	0.018597	-0.0016284
DV_5	197.47	0.17526	-2.7894 × 10 ⁻⁶
DV_6	531.66	-0.036551	-0.00058617
DV_7	120.00	0.043694	0.0025323
DV_8	522.55	0.12617	-0.0021463

由表 2 可知, 对于力的放大比, 设计变量 DV_2、DV_3、DV_5、DV_8 的灵敏度较高, 其中 DV_2、DV_3 呈负相关性。对于行程比, 设计变量 DV_2、DV_3 的灵敏度较高。因此综合选取 DV_2、DV_3、DV_5、DV_8 为优化变量。

4.2 优化分析

运用 ADAMS 中的优化设计模块, 分别以力的

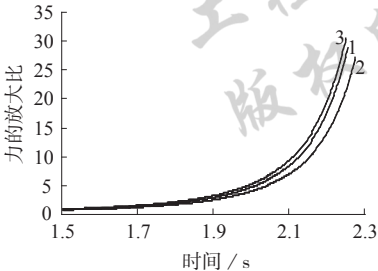
放大比 M 和行程比 R 为优化目标,选用自带的二次规划算法 OPTDES - SQP 进行迭代计算,得到 DV_2 、 DV_3 、 DV_5 、 DV_8 四个优化变量的最佳组合。表 3 为优化前后的数据对比。

表 3 优化前后的数据表

方案	原设计方案	M 为目标的设计方案	R 为目标的设计方案
S_0 /mm	400	399	395
S_m /mm	376	363	393
R	0.940	0.910	0.995
$M(\alpha=3.2^\circ)$	28.8	30.54	27.29

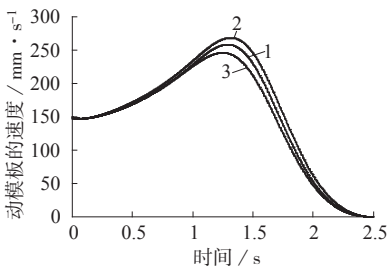
由表 3 可知,优化后的目标函数值在一定程度上都有所增加。以 M 为目标函数时,力的放大比比原设计方案增加了 6.1%,以 R 为目标函数时,行程比比原设计方案增加了 5.9%。

图 4 为原方案及两种优化情况下的力的放大比曲线图。力的放大比的设计要求为当合模进入临界角以内变形阶段,力的放大比越大越好。图 4 反映了各设计方案在合模过程中力的放大比 M 的变化情况。从图 4 可以看出,经过优化设计,以 M 为目标函数的优化设计方案较原方案有较大的力的放大比。

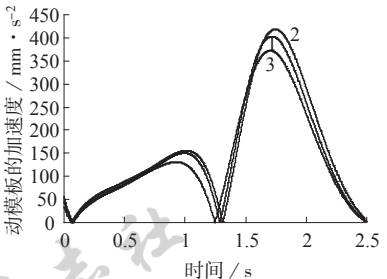


1—原方案; 2—以 R 为目标函数; 3—以 M 为目标函数
图 4 优化前后力的放大倍数曲线

图 5 为原方案及两种优化情况下的动模板速度曲线图,图 6 为原方案及两种优化情况下的动模板加速度曲线图。动模板的速度和加速度设计要求具有“慢慢慢”的变化趋势;在启动阶段,移模速度和加速度要尽量低,以降低对系统的冲击;在移模过程中,平均速度要尽量高,从而降低工作周期,提高工作效率;在合模接近终点时,移模速度和加速度应无限接近于 0,从而避免模具受到合模系统的冲击,延长其使用寿命^[6]。图 5 和图 6 反映了各设计方案在合模过程中动模板的速度和加速度的变化过程。以 M 为目标函数的优化方案较原方案速度和加速度变化较为平稳,减少了对合模系统的冲击。以 R 为目标函数的优化方案比原方案获得了较大的合模平均速度,提高了生产效率,可以满足客户的要求。



1—原方案; 2—以 R 为目标函数; 3—以 M 为目标函数
图 5 优化前后动模板速度曲线



1—原方案; 2—以 R 为目标函数; 3—以 M 为目标函数
图 6 优化前后动模板加速度曲线

5 结论

(1) 系统全面地分析了双曲肘合模机构的运动特性和力学特性,推导出了肘杆机构的几何尺寸及位置与力的放大比及模板行程之间的关系,为肘杆式合模机构的合理设计与优化设计建立相应的数学模型提供了理论基础。

(2) 优化结果表明,以力的放大比为优化目标,获得了较大的力的放大比,从而降低了合模能耗,提高了制品质量,也降低了动模板对系统的冲击。以行程比为优化目标,增大了行程比,提高了合模速度,提高了生产效率和合模机构的结构紧凑性。优化方案不仅满足了原方案中的各方面要求,同时也满足了用户多方面的设计需要。

(3) 运用 Pro/E 与 ADAMS 协同的方法进行参数化的虚拟样机的仿真分析与设计研究,可以代替物理样机快速的完成多目标的优化设计方案,并通过即时优化特性曲线的比较,直观地选择出最优的设计方案,从而极大地降低了试验研究经费和设计周期,提高了设计效率。

参考文献

[1] 王兴天. 注塑技术与注塑机[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 144 - 154.
[2] 张振祥. 基于 ADAMS 的压铸机合模机构仿真优化设计[J]. 轻工机械, 2010, 28(4): 23 - 25.
[3] 曾翠华, 郑荣霞, 杨军, 等. 液压-机械合模机构三维动态仿真优化设计[J]. 机床与液压, 2008, 36(8): 139 - 142.
[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].特种铸造及有色金属,2008,28(6): 445-447.

[5] 任工昌,苗新强,郭志刚.注塑机双肘杆锁模机构的优化设计

[J].机械设计与制造,2009,(1):18-19.

[6] 于彦龙,尤文林,蔡建平,等.双肘合模机构的优化设计与运动学仿真[J].机床与液压,2008,36(4):293-295.

RESEARCH ON OPTIMIZATION DESIGN OF DOUBLE-TOGGLE CLAMPING UNIT FOR INJECTION MOLDING MACHINE

Wang Guobao, Cheng Hang, Li Fu, Lu Liang, Ma Yali

(Institute of Mechatronics Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

ABSTRACT In order to improve the performance of the double-toggle clamping unit, the parametric model of clamping unit was established by using Pro/E and ADAMS collaboratively, the amplification on clamping force and the stroke ratio were regarded as the objective function for the optimization design. The analysis of motional and mechanical characteristics for the double-toggle clamping unit was made, and the formulas which included the geometry and position of the elbow-bar, the mold board stroke, the speed, the force amplification was deduced. Based on above, the optimum model of the clamping unit was established and optimization design was carried out. The optimized data showed that the ratio of stroke and the force amplification were improved, and the expected goal was achieved. The basis for the choice of configurations were provided in the design of the clamping unit.

KEYWORDS injection molding machine, double-toggle clamping unit, virtual prototype, optimization design

中国是德国塑料橡胶机械主要消费市场

塑料作为一种正飞速发展的新材料,经过短短100多年的发展,已成为日常生活以及工业领域不可或缺的重要材料。在全球低碳经济发展的浪潮中,塑料将再次担当重要角色。近几年,由于经济危机影响,传统的经济命脉区欧洲市场一直缺乏动力,而相反,随着中国、印度等新兴经济体的兴起,亚洲市场则在各个领域表现出强劲的发展势头,成为了全球经济市场的“晴雨表”,也拧紧了中国塑料市场增长的这个“动力阀”。

2009年,德国出口的塑机设备中超过1/3输往了亚洲。VDMA旗下橡塑机械设备分会主席指出,在亚洲,不同地区的发展对塑机设备需求有所差异。据VDMA塑料橡胶机械协会的报告称,2010年中国再次成为德国塑料橡胶机械的顶级销售市场。

在全球橡塑行业发展的历程中,欧洲橡塑机械无疑充当着极其重要的角色。同样,欧洲橡塑机械市场对全球行业发展的状况亦非常敏感。

VDMA德国塑料橡胶机械协会在2010年5月27日发布的行业报告显示,德国橡塑机械制造业预期2011年将有11%左右的增长。报告强调,这一市场增长主要来源于外部需求,特别是中国市场。然而,2010年9月2日,VDMA橡塑机械设备制造厂商协会主席说:“没有人能预测到今年头6个月该行业的订单就创记录地增加了85%,如此非凡的业绩使人没有理由不乐观。从2009年9月开始,新订单每个月都在快速增加,2010年6月就超过了100%。”

在K2010期间举办的新闻发布会上,EUROMAP现任总裁BernhardMerki表示,“基于市场对所有欧盟EUROMAP会员国家的橡塑设备的需求迅速提升,2010年全年的增长会达到10%~15%。”EUROMAP介绍,订单来源主要为欧洲和亚洲,尤其是中国市场的带动,而巴西和墨西哥市场的需求

也在迅速提升。

从2010年6月到年底,在不同的新闻发布会上,从协会到各业内领先设备、原料供应商,在谈到2010年的业绩发展时,笔者听到最多的是:最大的带动在亚洲市场,尤其是中国市场。

事实上,从整个金融危机爆发,到2010年全球市场好转,中国塑料加工市场的高速发展确证了中国市场的重要性。

据中国统计局统计,2010年1~10月塑料制品累计产量为4547.1万吨,同比增长20.5%,超过去年全年产量。2009年中国塑料制品工业同比2008年仍然有两位数的增长。2010年1~11月的累积产量达到5145.7万吨,与2009同比增长20.9%。

据中国塑料机械工业协会提供的数据,2010年1~3季度,中国塑料机械制造业总产值301.29亿元人民币,同比增加72.93%。而这样的增长还是在中国注塑机供应商在年初即受制于印度反倾销的背景下取得的。(慧聪网)

拜耳集团启动全球首个二氧化碳合成聚酯材料项目

拜耳集团启动全球首个二氧化碳合成聚酯材料项目。项目位于其全球总部勒沃库森的化工园内,使用特殊催化剂将二氧化碳和多元醇合成为涤纶-聚碳酸酯,所需的二氧化碳由德能源企业RWE通过附近的煤电厂供应。集团负责技术开发的董事普利施科表示,这项名为“梦幻反应”的研究开始于两年前,目前虽然产量很小,但技术上已取得突破,遥遥领先于竞争对手。这不仅有利于应对原油及其他化石能源价格上涨,而且可以使集团更好地进行碳排放交易。拜耳计划建造一个更大的二氧化碳合成聚酯材料生产设备,2015年起成吨生产聚酯材料,从环保和成本核算角度来看都将产生更大效益。据有关专家预测,德国使用二氧化碳合成聚酯材料的市场容量约为2000万吨。(振)