

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.06.002

全电动式注塑机合模机构尾板的拓扑优化设计

丁东升

(江阴米拉克龙塑料机械有限公司, 江苏 江阴 214431)

摘要:针对当前急需解决的全电动曲肘式注塑机尾板的结构优化问题,通过对尾板实际工况下的拓扑优化分析,给出了全电动式注塑机尾板的拓扑优化结构,从而揭示了尾板上的质量减轻优化部位。通过对尾板拓扑优化模型的进一步有限元分析,就模型的各质量减轻部位对尾板的应力和变形的影响情况进行了验证,完善了尾板的模型。该研究为尾板的最终优化结构给出了实际性的指导。

关键词:全电动式注塑机;尾板;拓扑优化;有限元分析

中图分类号:TQ320.5 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2014)06-0006-05

Topology Optimization of the Rear Platen in Fully Electric Injection Molding Machine

DING Dongsheng

(Jiangyin Milacron Plastics Machinery Co., Ltd., Jiangyin, Jiangsu 214431, China)

Abstract: The optimization structure of the rear platen of fully electric injection molding machine is urgent to be solved. Based on the real load and constrain condition of the rear platen, using the topology optimization innovation study method, the final structure optimization solution was given. This topology optimization structure revealed the locations which the material can be removed on the rear platen. The further finite element analysis on this topology optimization structure verified the affect of stress and deformation on the rear platen which was caused by each removed material location on the rear platen. The rear platen structure was improved. This study provides valuable guidance for the optimization structure of the rear platen.

Key words: fully electric injection molding machine; rear platen; topology optimization; finite element analysis

全电动曲肘式注塑机采用伺服电机驱动滚珠丝杠带动各相关部件运动的形式,相比于采用电机驱动液压泵站泵送液压油进而推动油缸来带动各相关部件运动的全液压式注塑机,由于省去了液压油这个中间环节,从而更加节能、节水和环保。由于全电动式注塑机绿色环保的优点,当前大有普及之势。全电动曲肘式注塑机的尾板由于需要承受锁模时全部的锁模力,在尾板轻量化过程中如果减轻质量部位不理想,会引起尾板爆板的严重事故。针对目前全电动曲肘式注塑机尾板缺乏指导性的结构优化概念,有必要针对尾板进行结构上的研究,从而获得受力结构良好,又能较少使用材料从而有效减轻质量的尾板。这就要涉及到零件结构优化的内容,结构优化主要有3种优化形式:尺

寸优化、形状优化和拓扑优化^[1],3种优化形式中以拓扑优化带来的收益最为显著^[2-5]。对全电动注塑机合模机构尾板进行拓扑优化设计分析,是获得全电动式注塑机优良结构的快捷和有效的方法之一。而变密度法是当前拓扑优化的主要手段^[6]。

1 尾板拓扑优化的实现

1.1 尾板拓扑优化模型的准备

拓扑优化需给出尾板的大致外形,文中以125T全电动式注塑机尾板为实例进行研究。全电动式合模机构尾板由于其内部需要有足够的空间容纳在开模极限位置时肘杆机构的零部件(如十字头、肘杆等),因此需要先把这部分被占用空间内的材料从实心尾板上去除,以满足实际应用条件,其余部分再进行拓扑优化。

收稿日期:2014-05-04;修回日期:2014-08-10

作者简介:丁东升(1970),男,江苏江阴人,工程硕士,高级工程师,主要从事注塑机设计。E-mail:ddss4501@163.com

开模极限位置时,肘杆机构各零件的位置见图 1。

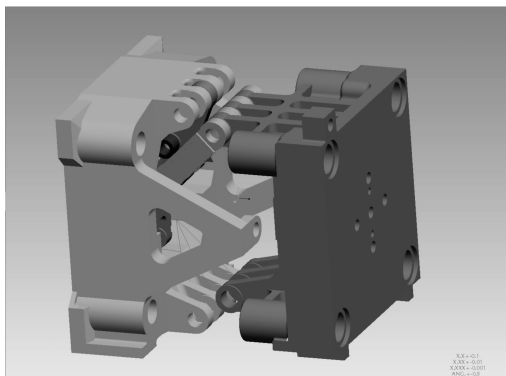
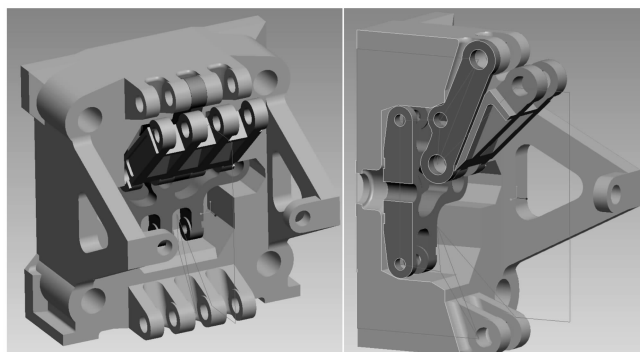


图 1 肘杆机构各零部件的位置图

Figure 1 Locations of toggle parts

图中的 3D 模型由 Pro/E 建模。其优点是:用专业的三维软件建模比在拓扑优化分析软件内建模效率更高。3D 模型可以用 stp 或 igs 的格式导入进拓扑优化分析软件中。

优化用尾板初始模型若设定为中部为实心的,优化后的结果会保留中部实心部分的部分材料。而当肘杆机构缩入尾板时,肘杆各零件会与这部材料干涉,这样会导致分析的结果无法实际应用。这部分材料须去除后再进行分析,以获得符合实际应用情况的结果。尾板上因零件干涉须去除的材料部分为图 2(开模极限位置)所示的中部挖空部分。



(a) 尾板组装轴视图

(b) 尾板组装中部剖开视图

图 2 尾板去除部分材料详图

Figure 2 Detailed drawing for removing part material of rear platen

原中部为实心的尾板上去除与其它零件干涉部分的材料后,最终获得的可进行拓扑优化的全电动式合模机构尾板原始模型如图 3。

1.2 模型的导入

专业三维软件创建的尾板 3D 模型可以通过 stp 文件的格式,导入拓扑优化分析软件 Hypermesh 进行



图 3 尾板原始模型

Figure 3 Original model of rear platen

下一步的分析。

1.3 拓扑优化模型的准备

导入的模型需先做有限元网络划分,以便进行下一步的工作。网络划分可以应用 Hypermesh 中的 3D 网络自动划分功能 tetra mesh 实现。有限元网络划分结果如图 4。

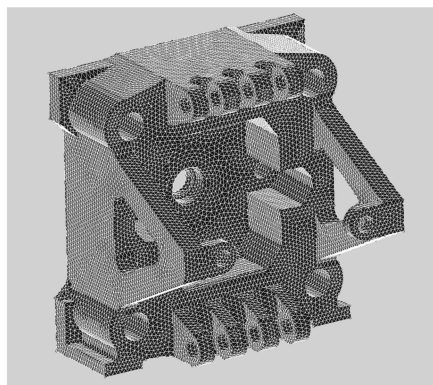


图 4 尾板的有限元网络划分

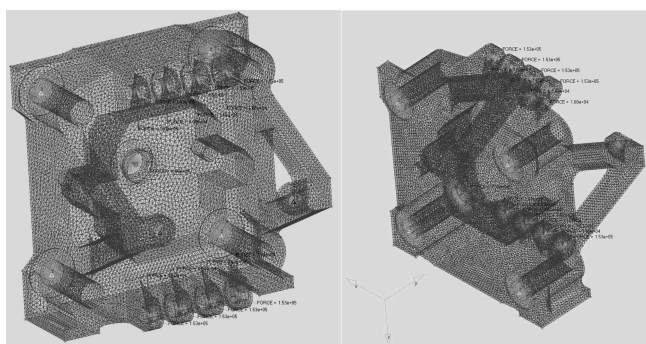
Figure 4 Finite element meshes of rear platen

1.4 载荷和约束的添加

根据全电动式合模机构尾板的实际受力情况为拓扑优化模型添加载荷和约束。

1) 模型添加载荷。在肘杆机构连接的尾板机铰处添加在锁模状态时肘杆的反作用力载荷,在尾板中心孔处添加丝杠推力的反作用力载荷。

2) 模型添加约束。在 4 个与拉杆调模螺母接触面的位置处施加限制尾板沿拉杆轴向水平移动的约束(其余方向的移动和转动不限制),在尾板上十字头导杆支撑三角架圆孔内施加限制水平方向移动的约束(其余方向的移动和转动不限制)。(模型孔处需建立刚性连接 Rigid link,以便施加载荷和约束。)载荷和约束的施加情况如图 5。



(a) 尾板前侧轴视图

(b) 尾板后侧轴视图

图 5 有限元网络载荷和约束的施加情况图

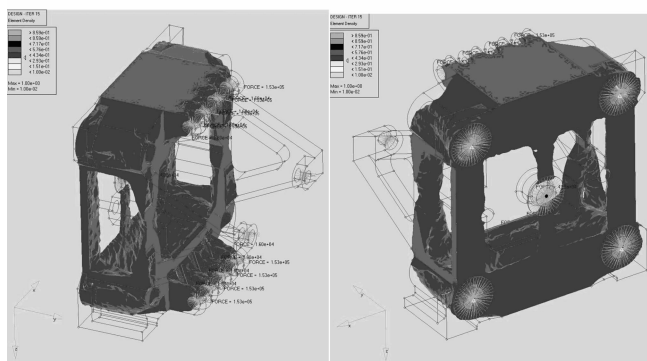
Figure 5 Diagram of load and constraint onto finite element meshes

1.5 拓扑优化

载荷和约束施加完成后,需对模型设定材料(材料的弹性模量为 173 GPa,泊松比为 0.3);然后设定最小体积为目标,即可运行软件进行拓扑优化。

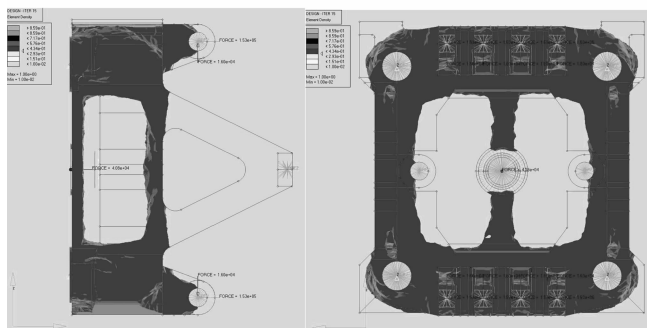
1.6 拓扑优化结果

运算后,拓扑优化结果如图 6。



(a) 尾板前侧轴视图

(b) 尾板后侧轴视图



(c) 尾板侧部正视图

(d) 尾板前部正视图

图 6 尾板拓扑优化结果图

Figure 6 Optimization result diagram of the rear platen

2 拓扑优化结果分析

由拓扑优化结果可以得知:

1) 十字头导杆前位三角支撑可以适当减弱;

2) 十字头导杆前位三角支撑内的三角形孔需减小三角形的高度尺寸,增大三角形底边距尾板本体的距离,以强化尾板;

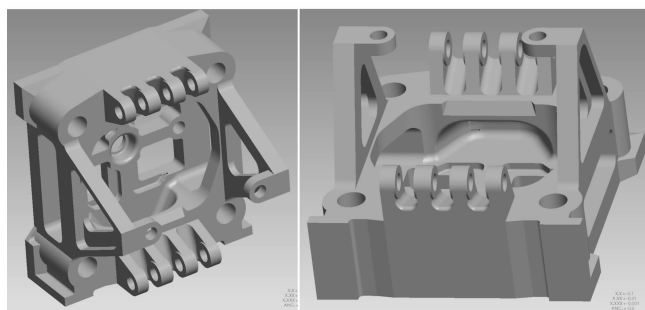
3) 尾板两侧筋板可以开长方孔以减轻尾板质量;

4) 尾板后部背板上可以适当开长方孔以减轻尾板质量;

5) 尾板的上下曲肘肘杆铰链销座处的尾板内部可以适当去除材料以减轻尾板质量。

3 尾板三维模型的设计优化

依据拓扑优化分析结果,进行重新优化设计后的全电动式合模机构尾板三维模型见图 7。



(a) 尾板前侧轴视图(视角 1)

(b) 尾板前侧轴视图(视角 2)

图 7 重新优化设计后的尾板三维模型

Figure 7 Redesigned 3D mold of rear platen

4 优化后合模机构尾板的有限元分析和验证校核

有限元分析时需对尾板设定材料,尾板的材料为 QT450-10。QT450-10 的弹性模量为 173 GPa,泊松比 0.3,密度 $7.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。尾板的载荷和约束设定条件同拓扑优化的条件。

1) 优化设计前全电动式合模机构尾板的应力分析图见图 8,变形分析图见图 9。

2) 优化设计后全电动式合模机构尾板的应力分析图见图 10,变形分析图见图 11。

从对比结果可以看出:①优化前尾板质量为 501.8 kg,优化后尾板质量为 358.1 kg;②优化前尾板最大应力值为 238.4 MPa,优化后尾板最大应力值为 244.3 MPa(肘杆铰链销轴处的压应力)。③优化前尾板最大变形值为 0.249 mm,优化后尾板最大变形值为 0.382 mm。

可以看出,通过拓扑优化设计,在尾板质量减轻 143.7 kg 的情况下,尾板的最大应力值变化不大。尾板的最大变形量的增加量为 $0.382 - 0.249 = 0.133 \text{ mm}$ 。

为了对尾板各个去除材料部分对尾板变形量的贡献率作进一步研究,分别对尾板去除对应材料部位后

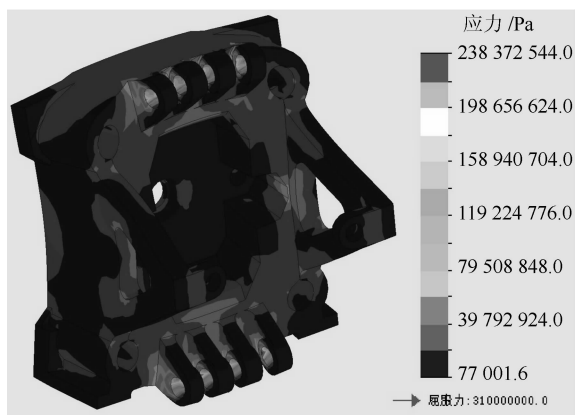


图8 优化设计前尾板的应力分布图

Figure 8 Stress distribution pattern of rear platen before optimization

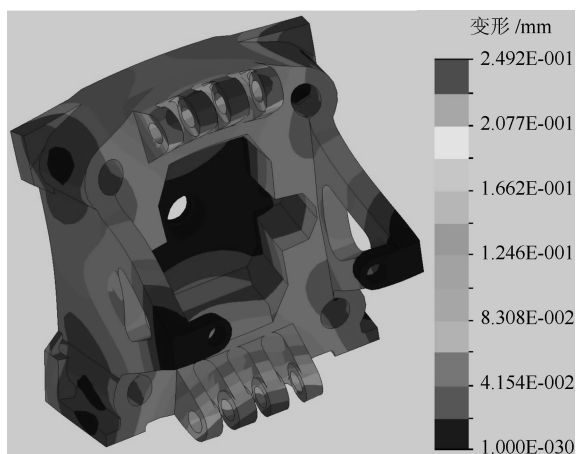


图9 优化设计前尾板的变形分布图

Figure 9 Deformation pattern of rear platen before optimization

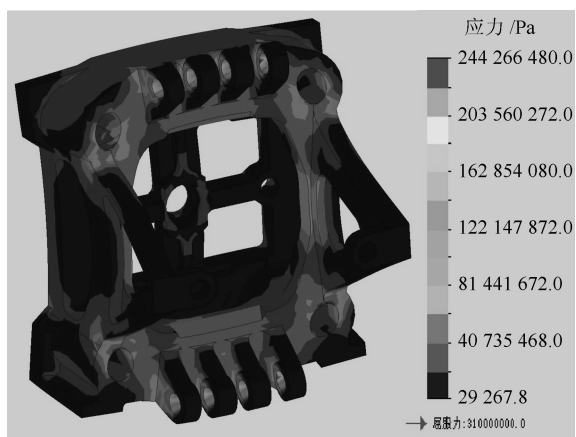


图10 优化设计后尾板的应力分布图

Figure 10 Stress distribution pattern of rear platen after optimization

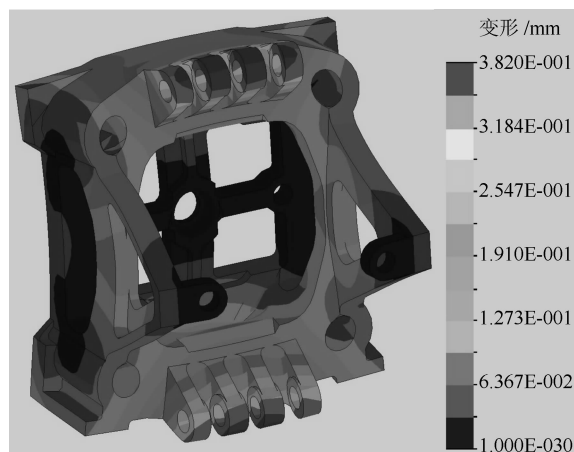
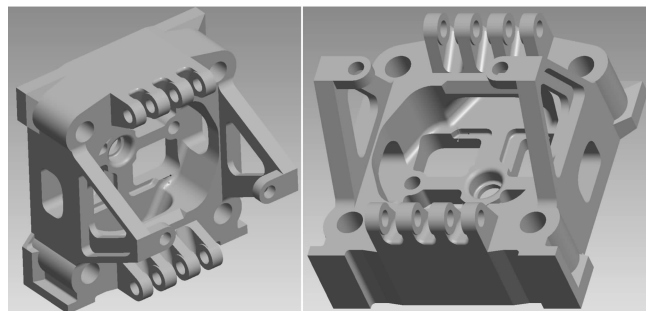


图11 优化设计后尾板的变形分布图

Figure 11 Deformation pattern of rear platen after optimization

进行 FAE 分析,对比各应力云图后结果如下(因应力云图较多,且篇幅所限,现略去各应力云图):①尾板上的十字头前位支撑三角座去除材料对于尾板变形量没有影响;②尾板上下肘杆铰链销座下面去除材料对于尾板变形量影响很小,尾板变形增加量为 0.01 mm;③尾板后部墙板去除材料对于尾板变形量影响不大,其使尾板变形增加量为 0.024 mm;④尾板侧部筋板去除材料对于尾板变形量影响较大,尾板变形增加量为 0.057 5 mm;⑤尾板中部容纳十字头用的沉槽去除材料对于尾板变形量影响也较大,其使尾板变形增加量为 0.042 3 mm。

考虑到尾板结构尽量简洁的需要,且增加尾板中部容纳十字头用的沉槽内的材料对于尾板承载能力贡献不大,因此不再对尾板中部容纳十字头用的沉槽形状及尺寸进行调整;为减小尾板变形量,只对尾板侧部筋板去除材料尺寸进行调整。调整后最终的全电动式合模机构尾板三维模型见图 12。



(a) 尾板前侧轴视图 (视角 1)

(b) 尾板前侧轴视图 (视角 2)

图12 最终设计的尾板三维模型图

Figure 12 Final design 3D mold of rear platen

最终设计的全电动式合模机构尾板的有限元分析结果,应力分析图见图13,变形分析图见图14,优化前后应力变形量对比见表1。

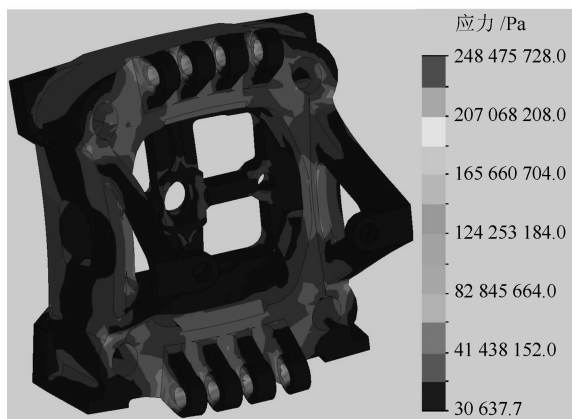


图13 最终设计的尾板的应力分布图

Figure 13 Stress distribution pattern of final designed rear platen

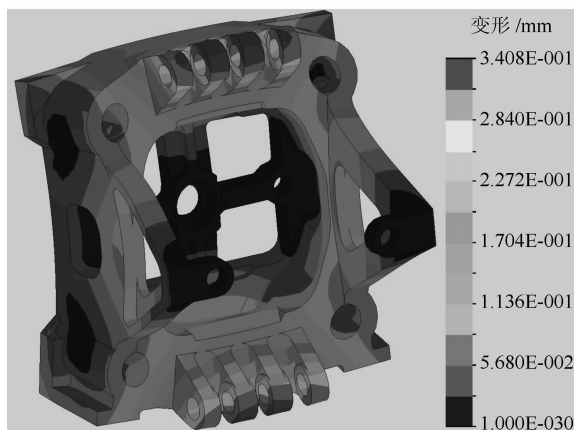


图14 最终设计的尾板的变形分布图

Figure 14 Deformation pattern of final designed rear platen

最终设计的尾板质量为379.4 kg,最大应力值为248.4 MPa,最大变形值为0.341 mm。

表1 尾板拓扑优化前后有限元受力分析对照表

Table 1 Results of finite element stress analysis of topology before optimization and after optimization

模板类型	尺寸/ (mm × mm × mm)	质量/ kg	最大变形量/ mm	最大应力/ MPa
优化前	674 × 660 × 511	501.8	0.249	238.4
优化后	674 × 660 × 511	379.4	0.341	248.4

5 结语

1) 从全电动式合模机构尾板的拓扑优化结果来看,尾板上十字头导杆的三角支撑对于增大尾板的强

度并没有贡献,因此可以尽量减轻质量,只要三角支撑可以完成支撑十字头导杆的目的就可以了。

2) 尾板上肘杆铰链销座下面原实心的部分,可以做成中空的,可以减轻质量,同时对尾板的强度和变形量影响很小。

3) 尾板后部墙板两矩形空间内,去除材料对于尾板强度和变形量影响不大,但由于尾板后部墙板需要安装合模滚珠丝杠的角接触轴承座和支撑十字头导杆的另一端,仍需要留适当的材料;如模型中尾板后部墙板上相关的十字支撑部分。

4) 尾板侧部筋板中部去除材料对于尾板受力影响不大但对于尾板变形量影响较大,因此只可以去除较少的材料。

5) 尾板侧部筋板前侧中部(即三角支撑与尾板相连接的三角形底边处中部)沿机器轴向适当增加材料,有利于增加尾板的强度和减小尾板的变形量。

6) 因尾板上去除材料对于尾板具有变形量增大的影响趋势,若想保持尾板原有的变形量,可以适量增大尾板侧部筋板在机器轴向上的尺寸(该尺寸对尾板的变形的影响灵敏度最高)。以变形量为优化目标的尺寸优化,即尾板侧部筋板在机器轴向上的尺寸增大数值,可通过有限元模型的尺寸优化迭代法很方便的获得^[7-8]。

本文是继对注塑机合模机构关键受力零件定模板给出拓扑优化结果^[9]后对另一合模机构关键零件尾板的研究成果。由于两大零件的受力形式完全不同,尾板拓扑优化结果的给出,使人们对于注塑机的两大关键零件的概念设计有了一个全面的认识,对于该零件的结构设计具有相当的指导价值。

参考文献:

- [1] BENDSOE M P, SIGMUND O. Topology optimization: theory, methods and applications [M]. Berlin: Springer, Structural and Multidisciplinary, Berlin Heidelberg, 2013.
- [2] 陈淑玉. 连续体拓扑优化设计[D]. 济南: 山东大学, 2006: 1-5.
- [3] ROZVANY G I N. Topology optimization in structural mechanics[J]. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2001, 21(2): 89.
- [4] 杨安. 基于 ANSYS 的注塑机前模板拓扑优化[J]. 机电工程, 2012(5): 521-524.
- [5] 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.
- [6] BENDSOE M P. Optimization of structural topology, shape and material[M]. Berlin: Springer, Berlin Heidelberg, 1995.
- [7] 丁东升. 计算机辅助注塑机设计关键技术研究[D]. 南京: 东南大学, 2006: 26-27.
- [8] 商跃进, 王红. 有限元原理与 ANSYS 实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [9] 丁东升, 汤文成. 注塑机头板的拓扑优化设计[J]. 轻工机械, 2007, 25(3): 32-34.