

基于 SolidWorks Simulation 优化 注塑机的拉杆的应力槽设计

张远波, 张文君, 严厚明

(东华机械有限公司, 广东 东莞 523118)

摘要: 拉杆是注射成型机的合模部分的主要承载零件, 通常具有较高的强度和刚度, 以承受注塑过程中的胀模力等各种作用力。然而, 在塑料制品生产过程中, 特别是高速生产薄壁快餐盒、刀叉等产品时, 易发生断裂, 对客户及注塑机生产商均造成较大的经济损失。本论文建立了拉杆与螺母整体有限元分析模型, 对靠近应力槽处的拉杆及螺母的螺纹的应力集中问题进行了分析及优化, 获得了拉杆的尺寸参数, 积累了拉杆应力槽优化设计经验。

关键词: 拉杆; 注塑机; 应力槽; 有限元分析; 螺纹

引用论文: 张远波, 张文君, 等. 基于 SolidWorks Simulation 优化注塑机的拉杆的应力槽设计 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(10):77-82.

中图分类号: TQ320.66

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)10-0077-06

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2026.10.015

0 背景

在注塑机合模系统中, 拉杆主要起连接动模板与定模板、支撑和导向的作用。拉杆通常具有较高的强度和刚度, 以承受注塑过程中的合模力等各种作用力。其结构设计需要考虑强度、稳定性、精度等多方面因素。

在新冠疫情期间, 由于区域封闭联防, 学校、工厂、网格人员、志愿者等基本上是配餐居多, 一次性塑料快餐盒用量猛增, 而生产塑料餐盒的注塑机及模具也是供不应求。然而, 由于一次性塑料快餐盒产品壁厚比较薄 (壁厚 0.4 mm), 流长比较大 (300~400), 模具腔数多 (4~8 腔), 生产周期快 (5~6 s), 在这种锁模力较大且追求效率的生产环境下, 拉杆及螺母连接的第一、第二齿根部容易产生疲劳断裂, 如图 1 所示。特别是疫情期间, 由于区域封闭联防, 维修工程师出差及零件运输不便, 客户停产会产生较大损失。



图 1 注塑机拉杆失效实物图

为此, 生产高速薄壁的注塑机厂家投入较多的设计研发人员进行攻关, 从设计方面采取了很多措施: 如修改拉杆材料及热处理, 螺母采用悬置结构, 拉杆过渡段加大圆角, 螺纹采用滚齿方式, 应力槽直径进行量化设计等等^[1~2], 在实际使用中确实起到了一定效果, 提高了拉杆工作的可靠性, 但断裂现象依旧频繁发生。有些注塑机生产厂家干脆将注塑机拉杆加粗, 在一定程度上确实解决了拉杆断裂的问题, 但客户处的旧机器由于频繁断裂, 维修费用居高不下, 只能用来降低锁模吨位使用也给注塑机厂家带来负面影响。

本文通过对拉杆应力槽结构的有限元分析进行优化设计, 在不改变拉杆直径的基础上有效降低注塑机拉杆失效的几率, 对拉杆的质量和可靠性有重要意义; 同时优化拉杆应力槽设计对注塑机锁模结构稳定性有较大的影响。

1 注塑机拉杆结构及应力分析

1.1 拉杆结构强度计算

注塑机拉杆在设计时, 一般按 4 根拉杆平均承受合模力, 拉杆产生拉伸应力近似静载荷, 按拉杆直径

作者简介: 张远波 (1983—), 男, 本科, 工程师, 主要从事注塑机设计与应用工作。

校核其抗拉强度、疲劳强度及螺纹强度等^[3]。

由于本文是在拉杆直径不变的情况下,通过有限元分析进行应力槽优化设计,因此此计算不展开,重点放在应力槽优化前后的对比分析上。

1.2 有限元分析方法

1.2.1 三维建模

由于本文研究重点在于拉杆的应力分析与优化,参考常见断裂位置,用 SolidWorks 分别快速建立拉杆及螺母的三维模型。

为减少有限元的网格数量,螺母端面用于转动的圆孔去除,保留必要的用于承载部分的圆角。拉杆三角外螺纹与螺母的内螺纹接触面为一空间螺旋面,它们之间的作用力为空间一般力系。由于螺纹的升角很小,在计算模型中可以忽略螺纹升角的影响。利用一系列具有标准牙型的周向环状凸缘代替连续螺纹。由于拉杆螺纹联接部分的载荷、约束条件亦为轴对称的,这样就把拉杆螺纹联接简化为轴对称问题,以适合有限元分析与螺纹参数优化的整合^[4-5]。

由于简化成轴对称问题,为了减少有限元的网格数量,将拉杆与螺母整体装配后,将圆柱体平均分成 36 份,截取其中一份用于有限元分析。同时,拉杆距应力槽长度 100 mm 处截断,保留与螺母联接端,如图 2 所示。

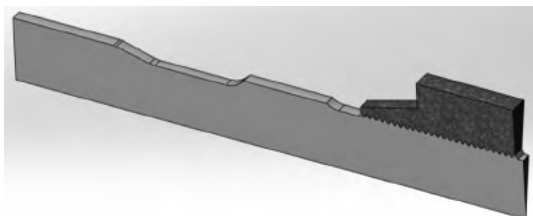


图 2 三维模型简化图

1.2.2 算例设定

选用静态分析,解算器选“FEEPlus”。

拉杆选用 40Cr 调质处理,螺母选用 45 钢调质处理,弹性模量 206 GPa,泊松比 0.3,拉杆:拉伸强度 685 MPa,屈服强度 490 MPa;螺母:拉伸强度 665 MPa,屈服强度 345 MPa。

零部件接触的接触类型的选项选择“无穿透”,四个切除面采用对称约束,拉杆左端面也采用对称约束。

机台合模力 3 600 kN,4 根拉杆每根承受 900 kN 法向合模力,建模时截取了 1/36,即螺母受力端面承

受 25 kN 法向力。

网格类型选用实体标准网格。为了计算更准确,对所有螺纹齿面、圆角一共 208 个面采用网格控制,单元大小定义为 2 mm,比率定义为 1.5;其余部分单元大小定义为 6 mm,公差为 0.3 mm;三维网格划分结果如图 3 所示。节点总数:76 440;单元总数:46 986;最大高宽比例:13.144;高宽比例 < 3 的单元比例为 94.4%;其高宽比例 > 10 的单元比例为 0.010 6%;扭曲单元比例为 0。属于高品质网格。

然后运行有限元分析,等待数分钟后可得到结果。

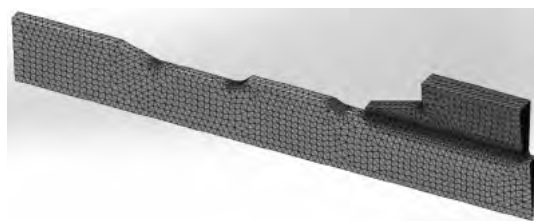


图 3 网格划分结果

1.3 计算结果

初始设计的拉杆应力分布结果云图如图 4~图 7 所示:

拉杆最大综合应力为 273.7 MPa,出现在第一颗完整外螺纹的承载齿根部;主应力 P_1 为 325.2 MPa,位置与最大综合应力发生处一致。均小于材料屈服强度 490 MPa。

螺母最大综合应力为 181.3 MPa,出现在第一颗完整内螺纹的承载齿根部;主应力 P_1 为 209.9 MPa,在左端面与斜面交叉圆角处。均小于材料屈服强度 345 MPa。

从分析结果来看,最大综合应力发生处与拉杆实际断裂失效位置重合,可认为受力分析趋势有效。因此,如何降低综合应力及转移应力集中位置应是拉杆优化设计的主要方向。

2 基于 SolidWorks Simulation 的应力槽优化设计

2.1 优化设计思路及建模

拉杆的应力槽主要作用是将螺纹根部承载力转移到应力槽中。一般情况下,应力槽直径越小(d_1),对拉杆的卸荷能力就越大。另外,应力槽的宽度 L 、角度 θ_1 及 θ_2 、斜面与应力槽底径 R_1 及 R_2 均对拉杆的卸荷能力有影响。其中角度 θ_2 应考虑安装拉杆防尘密封圈,按照企业设计规范常用为 15° 或 20° ; θ_1 则为



图 4 拉杆综合应力分布云图

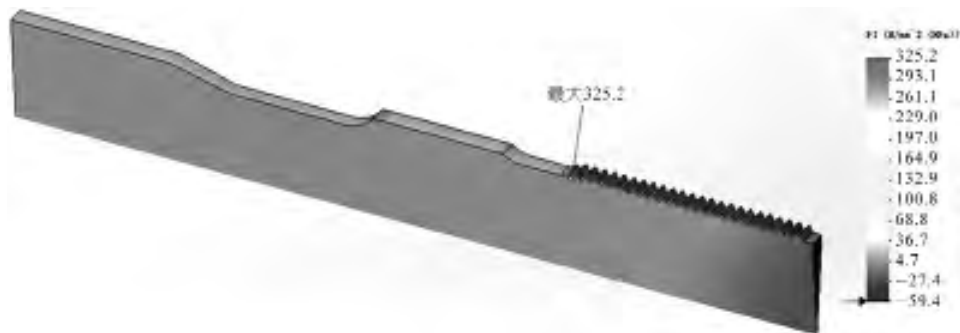


图 5 拉杆主应力 P_1 分布云图

45°。尺寸如图 6 所示。

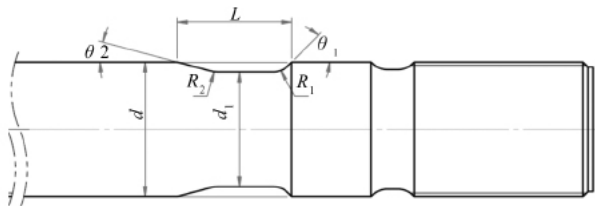


图 6 拉杆应力槽尺寸

为了找出最优的拉杆应力槽尺寸，建立表 1 分析模型。

表 1 拉杆应力槽尺寸有限元分析模型

拉杆直径	应力槽直径	直径比	应力槽宽度	圆角 1	圆角 2	斜角 2
d/mm	d_1/mm	d_1/d	L/mm	R_1/mm	R_2/mm	$\theta_2/^\circ$
130	120	0.92	100	15	30	15
	110	0.85	110	20	40	
	100	0.77	120	25	50	
	90	0.69	130	30	60	20
	80	0.62	140	35	70	
	70	0.54	150	40	80	

2.2 根据有限元分析选择优化结果

对照表 1 尺寸进行组合设计，有限元分析结果摘取部分如表 2 及图 7~9。

表 2 拉杆应力槽尺寸有限元分析模型及结果

拉杆直径	应力槽直径	直径比	应力槽宽度	圆角 1	圆角 2	斜角 2	最大综合应力
d/mm	d_1/mm	d_1/d	L/mm	R_1/mm	R_2/mm	$\theta_2/^\circ$	MPa
130	120	0.92	100	15	30	15	271.2
	110	0.85	110	20	40		282.3
	100	0.77	120	25	50		274.2
	90	0.69	130	30	60	20	270.5
	80	0.62	140	35	70		271.8
	70	0.54	150	40	80		280.2

通过结果对比分析，尽管当应力槽直径 d_1 缩小到 70 mm，最大综合应力改变了位置，但综合应力大小变化不大，判断此优化设计不成功。进而改变思路，将右侧螺纹退刀槽尺寸纳入优化考虑范围，考虑设计双应力槽尺寸优化如图 10 所示。其中 θ_3 、 θ_4 为 45°， $R_3=R_4$ 。

经过多次组合优化及工艺尺寸优化，最终选定有限元分析结果如表 3。

从分析结果看，优化后拉杆综合应力从 273.3 MPa 下降到 170.2 MPa，约下降 38%；主应力 P_1 从 326.2 MPa 下降到 197.8 MPa，约下降 40%；优化效果比较明显。结果表明：应用多组尺寸参数整合进行有限元分析使应力槽的设计优化更合理。



图 7 应力槽直径 110 mm 有限元分析应力结果云图



图 8 应力槽直径 90 mm 有限元分析应力结果云图



图 9 应力槽直径 70 mm 有限元分析应力结果云图

表 3 优化前后拉杆应力槽尺寸有限元分析模型及结果

	拉杆直径 d/mm	应力槽直径 $d_1(d_3)/\text{mm}$	直径比 d_1/d	应力槽宽 度 $1L/\text{mm}$	应力槽宽 度 $2L_1/\text{mm}$	所有圆角 R/mm	斜角 $2\theta_2/^\circ$	拉杆最大综合应力 /MPa	拉杆最大主应力 P_1/MPa
优化前	130	111(122)	0.85	100	43	20	15	273.7	326.2
优化后	130	112(112)	0.86	100	40	20	15	170.2	197.8

截取拉杆综合应力超过 100 MPa 的云图，可以直观看到除了承载的前 8 颗螺纹底部圆角外，靠近螺纹的第一段应力槽底部及圆角、第二段应力槽的圆角都有明显的应力带。利用 SolidWorks Simulation 的探

测工具探测第一段应力槽的应力分布，可以直看到应力槽圆角 R_3 与应力槽 d_3 交接处的综合应力 133.3 MPa，低于材料屈服强度 490 MPa。
部分结果见参考图 11~13。

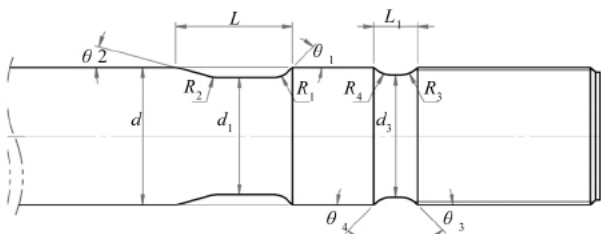


图 10 拉杆双应力槽优化尺寸

3 结论及展望

通过对拉杆应力槽结构的有限元分析进行优化设计，应用多组尺寸参数整合，特别是引入双应力槽的设计，在不改变拉杆直径及螺母结构的基础上综合应力下降 38%，主应力约下降 40%，有效降低注塑机拉杆失效的几率，对拉杆的质量和可靠性有重要意义；同时优化拉杆应力槽设计对注塑机锁模结构稳定性有较大的影响。

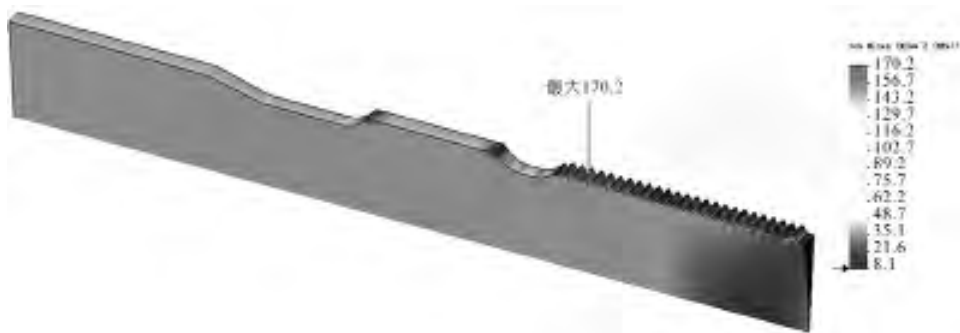


图 11 应力槽优化后拉杆有限元分析综合应力结果云图

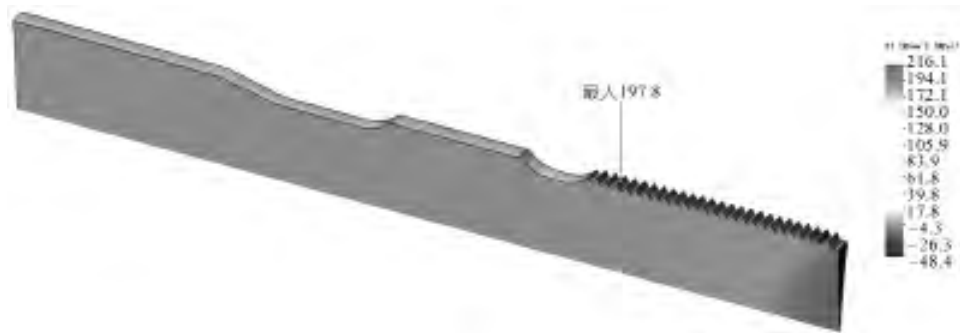


图 12 应力槽优化后拉杆有限元分析主应力 P1 结果云图

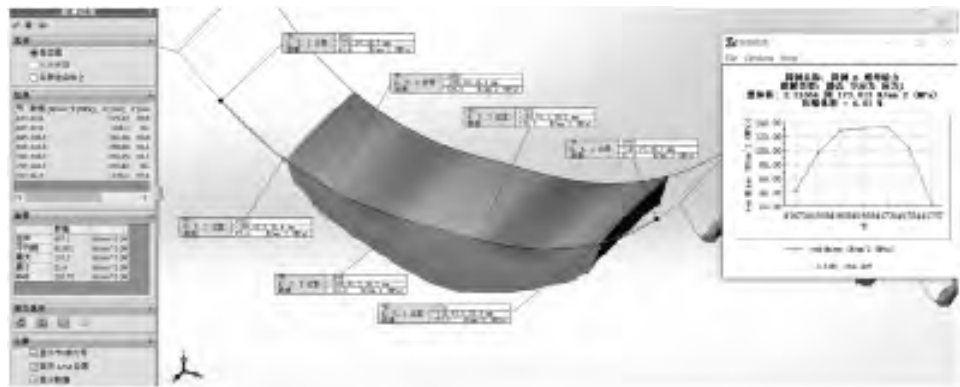


图 13 拉杆宽度 L_1 应力槽圆角及底径处应力探测结果

本研究的优化设计方法除了可在注塑机中应用外,在压铸机、压力机、锻压机、冲压机、橡胶机等行业均可应用。

本文的研究有一定的局限性,拉杆的热处理、拉杆螺纹的加工工艺、螺母的材料、拉杆与螺母联接结构等因素都对拉杆的承载能力有影响,未来还需要加入注塑机模板对拉杆组件的影响、拉杆疲劳强度有限元分析、高强度拉杆材料的开发应用等研究。另外,随着计算机硬件性能及软件的提升,以及国家对工程人员的培养不断投入,相信在不久的将来,对于机械整体的有限元分析将会实现,分析的精度及准确性会越来越高,理论与实际结合更加紧密,机械行业将会

更加辉煌。

参考文献:

- [1] 徐世红,俞继印,郑海伟. 注塑机拉杆断裂的原因分析及预防方法的研究[J]. 中国机械, 2014,(17):90.
- [2] 袁卫明,陈法鑫. 注塑机拉杆螺纹端断裂原因分析与研究[J]. 橡塑技术与装备, 2018,44(16):59.
- [3] 毛春燕,解文科,吴瀚岐. 锻造液压机高强度特殊螺纹拉杆有限元仿真分析[J]. 锻压装备与制造技术, 2015,50(3):41.
- [4] 贾玉双. 三万吨模锻水压机立柱螺纹联结的优化设计[J]. 机械设计, 2001,(2):19~20,49.
- [5] 高连新,金烨. 套管连接螺纹的受力分析与改善措施[J]. 上海交通大学学报, 2004,38(10):1 729~1 732.

Design of injection molding machine tie rod stress groove optimized based on SolidWorks Simulation

Zhang Yuanbo, Zhang Wenjun, Yan Houming

(Donghua Machinery Co. LTD., Dongguan 523118, Guangdong, China)

Abstract: The tie rod is the main load-bearing component of the clamping part of an injection building machine, typically possessing high strength and rigidity to withstand various forces such as mold expansion during the injection molding process. However, in the production of plastic products, especially during the high-speed production of thin-walled fast food containers, cutlery, and other items, fracture is prone to occur, resulting in significant economic losses for both customers and injection molding machine manufacturers. This paper establishes a finite element analysis model for the entire tie rod and nut assembly, analyzes and optimizes the stress concentration issues near the stress groove of the tie rod and the threads of the nut, obtains the dimensional parameters of the tie rod, and accumulates experience in the optimal design of the tie rod stress groove.

Key words: tie rod; injection molding machine; stress groove; finite element analysis; thread

(R-03)

