

塑料瓶吹灌封一体机合模机构设计及有限元优化分析

丁小锋¹, 周利军¹, 李治伟¹, 黄利军¹, 王东¹,
李乐村¹, 卢永群¹, 许斌², 王长朋²

(1. 山东新华医疗器械股份有限公司, 山东 淄博 255000; 2. 西南技术工程研究所, 重庆 400050)

摘要: **目的** 研发设计塑料瓶吹灌封一体机最关键的合模机构, 通过有限元数值仿真方法, 分析验证合模机构设计的合理性, 为持续进行高强度的合模作业提供保障。**方法** 通过对合模机构进行结构设计, 使其具备吹、灌、封一体化功能; 采用有限元数值仿真方法, 对设计的合模机构组件的力学强度及运行过程的位移进行分析。**结果** 合模机构的支撑轴接触部位应力过大, 通过将材料 2Cr13 变更为 3Cr13, 可提高支撑轴的强度; 同时优化合模支撑轴的结构改善接触部位的应力分布。有限元数值仿真结果显示, 支撑轴接触部位最大等效应力为 394.13 MPa, 比原模型最大等效应力下降 36.95%, 满足结构强度要求。**结论** 合模机构中部合模支撑轴与中间定位板横向接触位置应力集中, 是结构设计的薄弱环节; 采用有限元数值仿真方法可快速准确地分析合模机构的结构强度, 并通过迭代优化设计, 确保合模机构作业的可靠性与稳定性; 设计的合模机构精度高、运行稳定, 满足设计要求。

关键词: 有限元数值仿真; 合模机构; 优化设计

中图分类号: TB484.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2024)23-0250-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.23.027

Design and Optimization Analysis of Clamping Mechanism of Blowing, Filling and Sealing Integrated Machine for Plastic Bottles Based on Finite Element Method

DING Xiaofeng¹, ZHOU Lijun¹, LI Zhiwei¹, HUANG Lijun¹, WANG Dong¹,
LI Lecun¹, LU Yongqun¹, XU Bin², WANG Changpeng²

(1. Shinva Medical Instrument Co., Ltd., Shandong Zibo 255000, China;

2. Southwest Institute of Technology and Engineering, Chongqing 400050, China)

ABSTRACT: The work aims to develop and design a clamp mechanism, the key part in blowing, filling and sealing integrated machine for plastic bottles and analyze and verify the design rationality of the clamping mechanism, so as to provide support for high-intensity clamping operation. The clamping mechanism was designed to meet the integrated functions of blowing, filling and sealing. The finite element numerical simulation method was used to analyze the mechanical strength and displacement of the designed clamping mechanism components during operation. The stress at the contact part of the support shaft of the clamping structure was large, and the strength of the support shaft was improved by changing the material 2Cr13 to 3Cr13. At the same time, the structure of the clamping support shaft was optimized to improve the stress distribution at the contact part. The finite element numerical simulation results showed that the maximum equivalent stress at the contact part of the support shaft was 394.13 MPa, which was 36.95% lower than that of the original model, and met the structural strength requirements. The stress concentration at the transverse contact part between the clamping support shaft and the middle positioning plate in the middle of the clamping mechanism is the weak link in structural design. The finite element numerical simulation method can quickly and accurately analyze the

structural strength of the clamping mechanism, and improve the design through iterative optimization to ensure the reliability and stability of the clamping mechanism. The designed clamping mechanism has high precision and stable operation, which meets the design requirements.

KEY WORDS: finite element; clamping mechanism; optimization design

塑料瓶吹灌封一体机(简称 BFS)是一种集成吹瓶、灌装、封口于一体的应用无菌灌装技术的高端设备,广泛应用在塑料包装最终灭菌产品(如塑料安瓿注射液、大输液注射液等)、无菌产品(滴眼剂、口服液、特医药品等)等生产领域,其不但适用于产品的大批量生产,而且有无菌稳定性良好、交叉污染概率小、生产成本和管理成本低等优点^[1-3]。

多模连续式 BFS 设备用于专线大规模生产的小容量液体塑料包装,是目前 BFS 研发的焦点产品,长期被国外垄断,国内药厂需花费高昂的成本去采购和维护设备。多模连续式 BFS 设备的主要工艺流程为采用颗粒状 PP 或 PE 料,经挤出机的高温熔融塑化,并通过型腔挤压形成塑料管胚^[4-8],管胚在瓶型模具中集成型、灌装、封口于一体,实现了药液的无菌灌装,再经冲裁机将产品的废料去除,形成最终产品。合模机构作为多模连续式 BFS 设备中最核心的组成部分,为塑料瓶成型提供稳定的合模力,其结构在设备长期运行过程中的稳定性、可靠性对塑料瓶成型质量有着非常重要的影响。

国内外众多研究机构和人员针对合模机构开展了研究^[9-18]。张恒^[19]以 1080T 型号注塑机的合模部件为研究对象,利用 ABAQUS 软件对其合模部件中的头板、定板、动板、拉杆与肘杆机构中的部分肘杆进行了相应的有限元仿真分析,从而得到应力集中区域、应变数值等结果,为后续的拓扑优化奠定基础。姜凤杰等^[20]利用 SolidWorks 对合模机构模板与拉杆进行三维建模,并通过 ABAQUS 进行应力与变形分析,通过仿真结果优化设计,减小了集中应力,完善了拉杆与其中的模板的衔接方案。张小红^[21]建立 T680 型号模板有限元模型,并利用 ANSYS 进行静态分析,通过分析瞬态动力学与模态叠加响应的结果,得到了最大应力与最大形变的区域,提出采取加强筋措施提高模板的刚度。

但由于多模连续式 BFS 设备技术难点较多,研发难度极大,国内大量研发机构还未实现有效突破。本文项目技术团队针对多模连续式 BFS 设备的合模机构展开技术攻关^[22-24],对合模机构进行了设计,并采用有限元数值仿真方法对设计的合模机构进行了分析、验证,通过数值仿真的反馈结果进一步优化设计,有效避免了设计缺陷,确保设计的合模机构能达到技术标准,满足设计要求。研发的合模机构实物已成功在国产多模连续式 BFS 设备实现应用,打破了国外在塑料瓶包装生产的专线大产能领域的技术垄断,解决了“卡脖子”技术,有效形成了国产替代,合模机构实物图如图 1 所示。

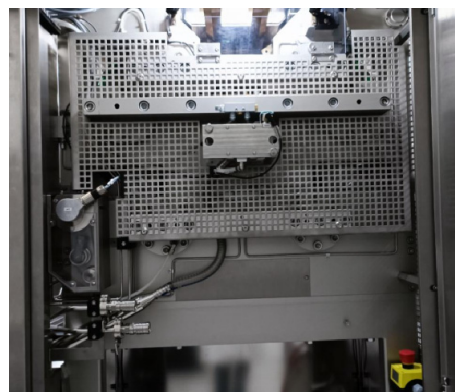


图 1 合模机构实物

Fig.1 Physical picture of clamping mechanism

1 合模机构结构设计

合模机构是多模连续式 BFS 设备的核心结构之一,其结构强度和结构受力均衡性直接影响塑料瓶成型时的合模力的实现和设备运行的稳定性。因此合模机构的强度设计校核一定要达标,且结构受力一定要均衡合理。

1.1 结构组成设计

合模机构设计原理如图 2a 所示。从图 2a 可知, BFS 设备合模机构由 2 个合模链轮组、驱动机构和产品链组成。合模链轮组的表面排列有若干个模具组,模具组的外表面开设有型腔;产品链夹设在 2 个合模链轮组之间,主要由膜泡构成,膜泡沿产品链的长度方向延伸。

驱动机构驱动合模链轮组沿自身的周向转动,并控制 2 个合模链轮组朝相反的方向转动,两侧合模链轮组的转动将带动产品链沿直线方向定向移动。合模链轮组相对转动的过程中,其表面上分布的模具组将一一对应贴合,同时两侧模具组的表面型腔也对应贴合,型腔贴合后将膜泡压合成型。

控制塑料瓶成型质量和合格率的关键在于保证模具合模时动作稳定均衡,合模缝隙保持均匀,且偏差必须控制在 50 μm 以内。而在合模机构的成型过程中,模具会将高达 80 kN 的合模反作用力传递到合模机构受力部件,再由受力部件提供一定的合模力来抵消这个合模反作用力。为确保合模动作的稳定均衡和合模缝隙精确,承载组件的刚性为考虑的重要因素。图 2b~2d 为设计的合模机构结构组成示意图,从图中可知,合模机构主要由合模架轴、液压缸系统、合模

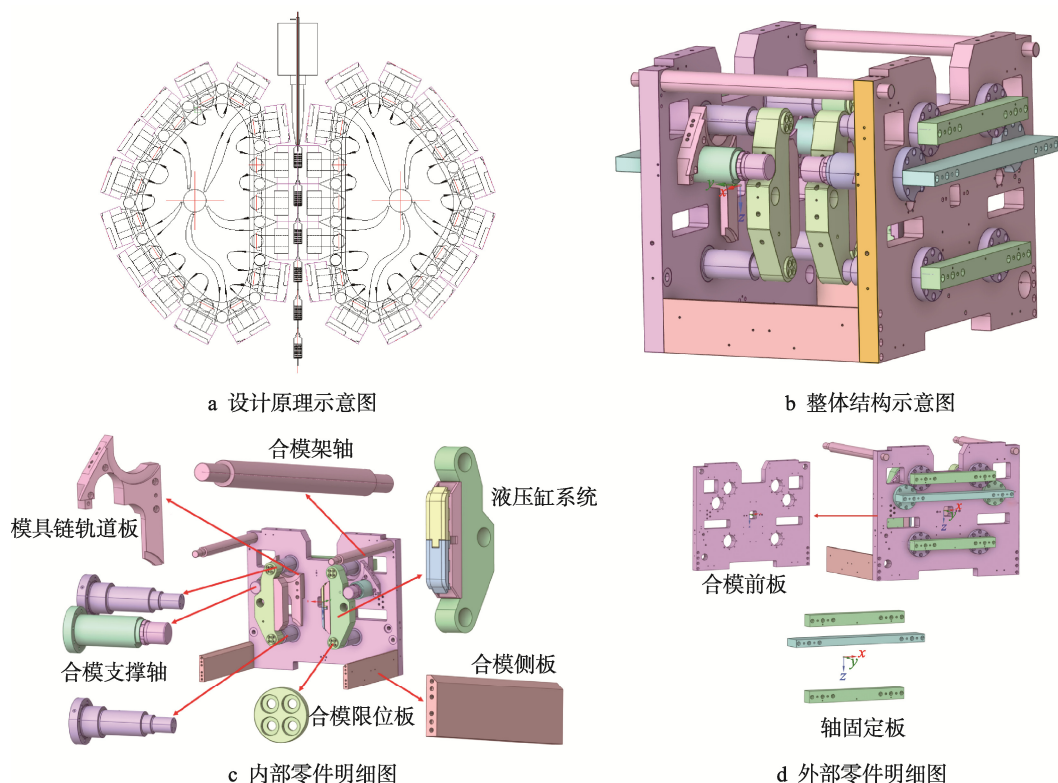


图2 合模机构组成设计
Fig.2 Composition design of clamping mechanism

支撑轴、轴固定板等组成。合模架轴给力的平衡提供了良好的平台,其内部安装的液压缸系统将提供的液压力转换为合模力,用来抵消塑料瓶成型时产生的合模反作用力。

1.2 结构运转设计原理

从图 2a 可知,合模机构由多对相对旋转运动的模具构成。通过合模机构型坯挤出、吹塑成型、灌装、封口 4 个步骤完成塑料瓶的成型生产,具体成型过程示意图如图 3 所示。

1.2.1 型坯挤出

BFS 设备的装料系统为合模机构粒子料斗(图 3a 1)提供塑料粒子。塑料粒子首先从料斗涌出到达挤出机螺杆(图 3a 2);然后在螺杆里被凝缩、紧密压实;经高温塑化后再借助高压通过型坯头(图 3a 3)被挤出型坯。热烫的塑料熔体以型坯的形状连续地被挤出型坯头。

1.2.2 吹塑成型

吹胀空气(图 3a 4)吹入型坯(图 3a 6),用以防止管壁粘在一起。模具(图 3a 5)抓住型坯(图 3a 6),并同步携带牵引运转。所有的模具依次连接在循环旋转的曲线导轨上(图 3a 7),两边模具经曲线导轨运转到闭合位置后,发生闭合运动。模具对(图 3c 8 与 3c 9)将型坯环住合拢,借助无菌吹胀空气和真空将已塑化的塑料汇入模具,并贴附于模具上。塑料凝固成型,形成空心型坯以便灌入产品。

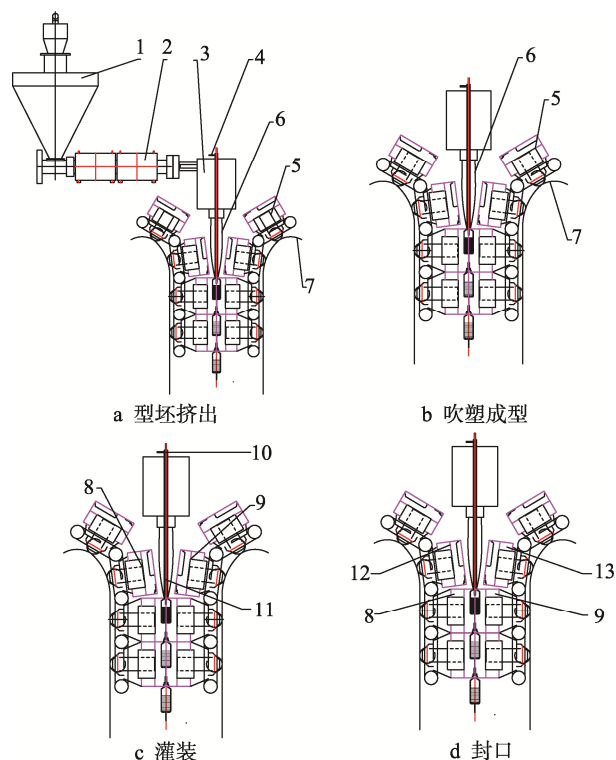


图3 成型过程示意图
Fig.3 Molding process diagram

1.2.3 灌装

由灌装系统的时间-压力-计量系统(图 3c 10)计量得出规定量溶液药物,通过灌装管(图 3c 11)流

入塑料瓶。此时模具对 (图 3c 8 和 3c 9) 里的塑料已经凝固, 仅其头部的塑料仍是塑性的。

1.2.4 封口

模具对 (图 3d 12 和 3d 13) 合拢关闭, 并借助真空使塑料瓶头部成型密封闭合。容器在模具的闭合过程中逐渐冷却, 而后模具打开并被传送到 BFS 设备的冲切装置。冲切装置将废料切除分离。

2 合模机构有限元数值仿真分析

基于 ANSYS15.0 数值模拟软件建立了合模机构有限元模型, 采用有限元方法 (Finite Element Method, FEM) 对合模机构成型过程中的结构设计的合理性进行了分析^[25-30], 基于数值仿真结果对合模机构的设计进行了优化改进。

2.1 有限元模型构建

2.1.1 材料参数

合模机构主体构件需承载高强度的循环载荷, 制药过程材料需具备耐腐蚀能力。因此, 合模机构主体受力元件材料初步选用 2Cr13, 部分非受力元件采用 06Cr19Ni10、40CrNiMo 等材料, 所用材料力学性能参数见表 1。

表 1 材料力学性能参数
Tab.1 Mechanical property parameters of materials

材料	密度/ (kg·mm ⁻³)	弹性 模量/GPa	泊松比	屈服 强度/MPa
2Cr13	7 750	205	0.3	440
06Cr19Ni10	8 000	190	0.2	207
40CrNiMo	7 870	209	0.295	800
05Cr17Ni4Cu4Nb	7 780	213	0.27	865

2.1.2 几何模型和接触

对合模机构整体进行建模, 模型各部件尺寸与实际产品零部件相同。为提升计算效率, 对合模机构采用 1/2 对称结构建模。整体结构件采用实体单元进行建模, 螺栓连接使用梁单元进行模拟, 并在零件实际接触传力位置设置接触单元。全部模型一共建有 2 种接触, 分别是绑定接触和滑动接触, 采用螺栓连接或属于同一零件的部件采用绑定接触, 其余可能有相对滑动的部件间建立滑动接触。对接触部位及重点校核部位采用精细网格 (单元尺寸为 3 mm)。整个模型节点共 130 万, 单元共 125 万。

2.1.3 边界条件和载荷

合模机构在实际工作中被固定在挤出模头与产品链输出系统之间的安装架上, 因此在合模机构下

方的安装螺栓孔处施加固定约束, 在模型的对称面施加对称约束, 如图 4 所示, 为与真实合模过程一致, 模具底部安装面施加 z 轴约束以防止模具产生上下位移。

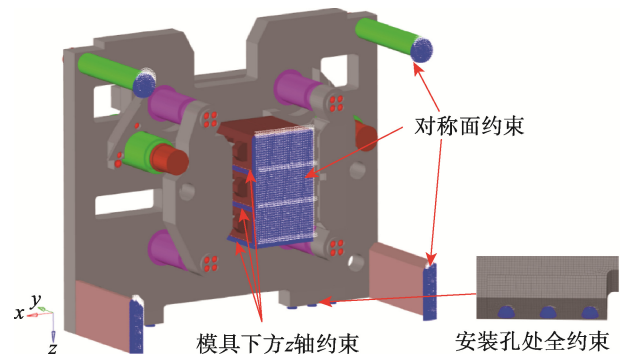


图 4 边界条件
Fig.4 Boundary conditions

合模机构有限元数值仿真过程中在推力油缸底面施加载荷。塑料瓶成型过程中的不同阶段 (成型、定型和冷却) 所需的合模力不同, 因此合模机构在运行时上下油缸所受压力大小不同。上侧 2 处油缸处于塑料瓶成型阶段, 其底部及其相对面所受压力为 90 bar; 下侧 2 处油缸处于塑料瓶成型的冷却阶段, 其底部及其相对面所受压力为 30 bar, 如图 5 所示。

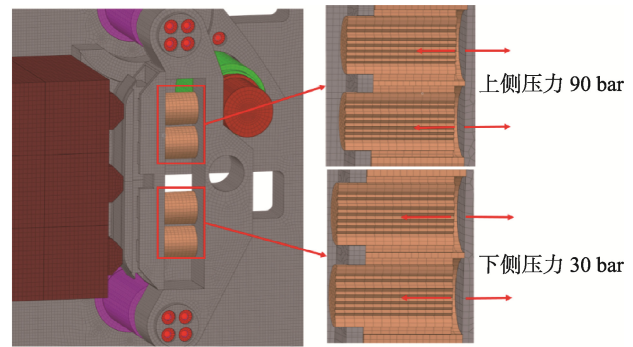
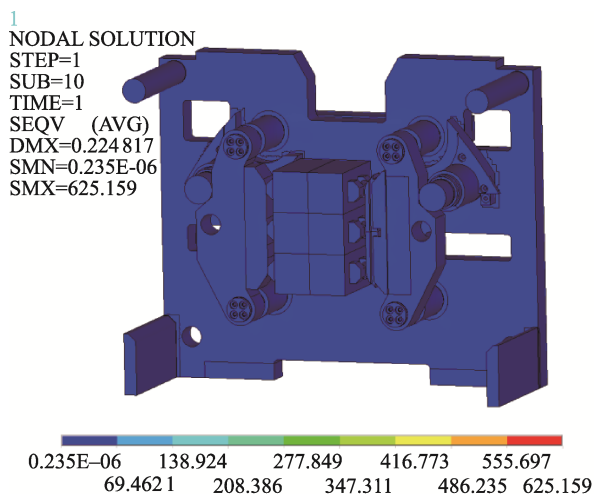


图 5 载荷要求
Fig.5 Load conditions

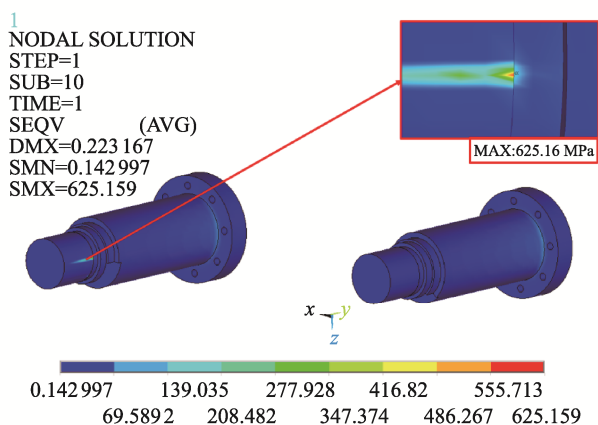
2.2 有限元结果分析

图 6 为合模机构在给定载荷下的等效应力分布云图, 由图 6 可知, 合模过程中的最大等效应力为 625.16 MPa, 对应于图 6b 所示的中部合模支撑轴与中间定位板横向接触位置。中部合模支撑轴所使用材料为 2Cr13, 屈服强度为 440 MPa, 最大等效应力已超过屈服强度 48.2%, 安全系数为 0.70, 合模机构在使用过程中失效的风险较大。

进一步分析合模机构在合模过程中各组成构件的位移, 从图 7 可知, 在 x 方向的最大位移为 0.218 mm,



a 整体机构



b 模型中部支撑轴

图6 等效应力分布云图

Fig.6 Distribution contour of equivalent stress

在 y 方向的最大位移为 0.425 mm, 在 z 方向的最大位移为 0.020 mm。有限元数值仿真位移结果均 < 0.5 mm, 表明设计的合模机构受力均衡, 合模过程运行稳定, 整体结构设计合理。

2.3 设计优化

针对有限元数值仿真中合模支撑轴与左右侧定位板接触部分的应力超过许用应力, 采用 3 种方式对其进行设计优化^[8]: 一是采用 3Cr13 材料 (屈服强度 540 MPa) 替代原 2Cr13 材料; 二是去除合模支撑轴前端的退刀槽, 增大合模支撑轴与中间定位板的接触面积, 如图 8a 所示; 三是减小支撑轴螺柱直径, 进而增大支撑轴的剪切面积, 更利于结构受力, 如图 8b 所示。

对优化后的合模结构模型重新进行数值仿真计算, 得到结果如图 9 所示, 最大等效应力依然位于中部合模支撑轴与中间定位板横向接触位置, 为 394.13 MPa, 对比原模型最大等效应力下降 36.95%, 满足强度要求。

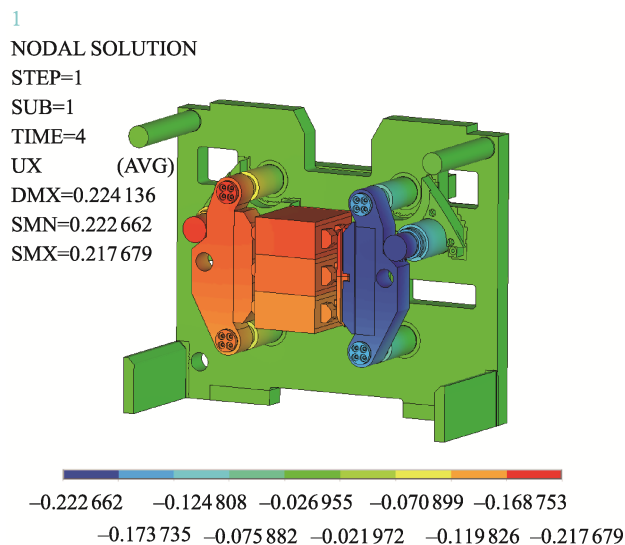
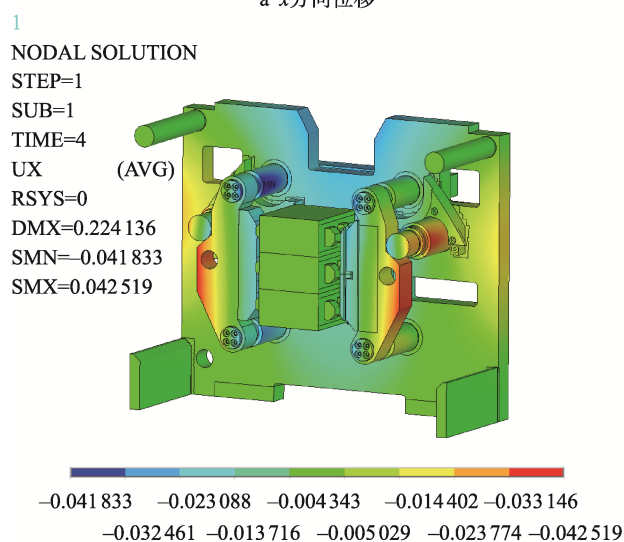
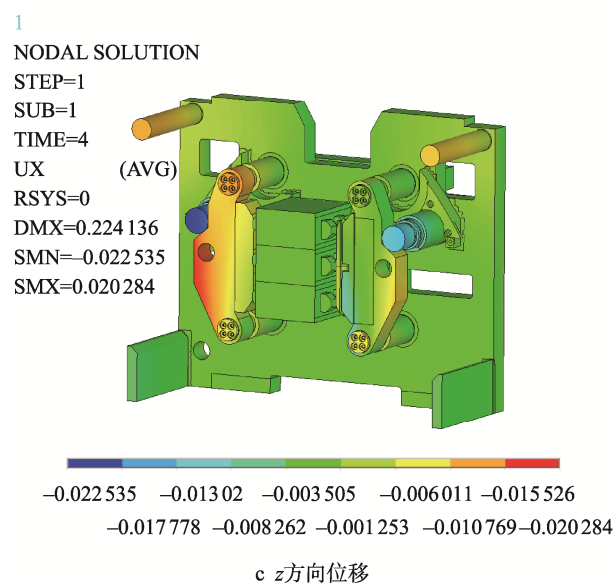
a x 方向位移b y 方向位移c z 方向位移

图7 合模过程位移

Fig.7 Displacement during clamping process

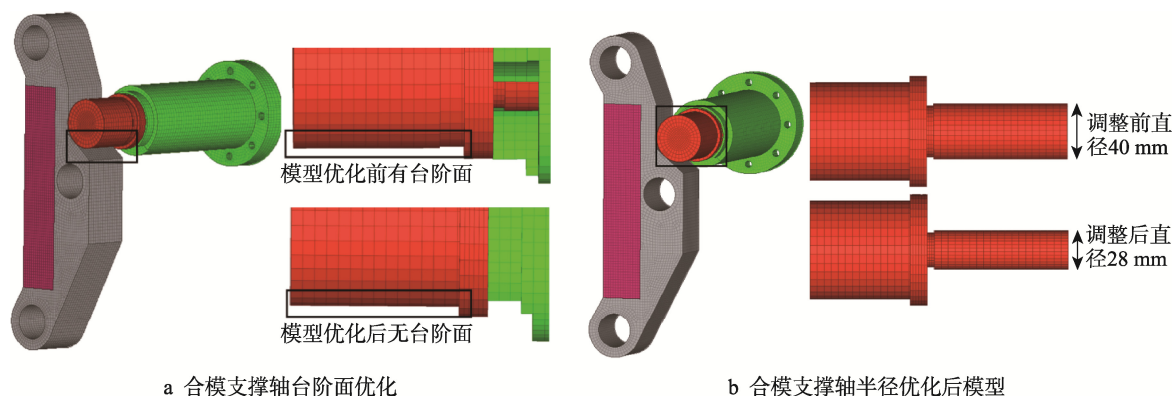


图 8 结构设计优化

Fig.8 Structural design optimization

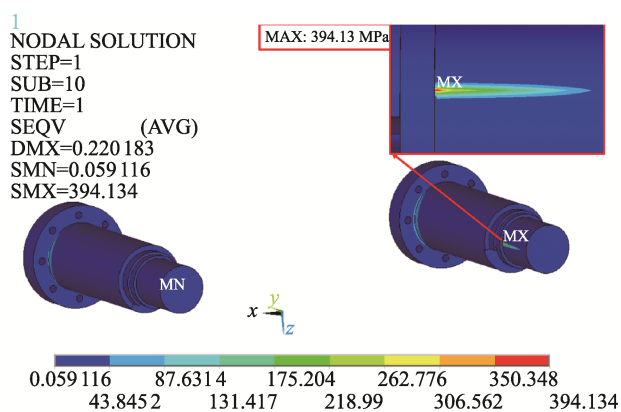


图 9 中部支撑轴等效应力分布云图

Fig.9 Equivalent stress contour of central support axis

3 结语

文中针对 BFS 设备核心关键组成的合模机构进行设计, 实现 BFS 设备的无停歇灌装、挤压、成型, 既做到了产品与外界完全隔离, 实现完全无菌保障, 又实现了多组模具同时工作, 极大程度地提高了合模机构的运行速度。

采用有限元数值仿真方法对合模机构设计的合理性进行分析研究, 发现合模机构中部合模支撑轴与中间定位板横向接触位置的工作应力较大, 结构强度存在安全隐患, 是结构设计的薄弱环节。对合模机构选材和结构进行了优化设计, 采用力学性能更好的 3Cr13 材料制备中部合模支撑轴, 去除合模支撑轴的退刀槽结构, 并增大合模支撑轴与中间定位板的接触面积, 有效改善合模支撑轴与中间定位板横向接触位置受力状态, 使结构强度满足设计要求。

参考文献:

[1] 黄步明. 注塑机合模装置存在的主要问题及解决方法[J]. 中国塑料, 2001(9): 78-82.

HUANG B M. Main Problems in Clamping Systems of Injection Machines and Answers to Them[J]. China Plastics, 2001(9):78-82

[2] 马占峰, 牛国强, 芦珊. 中国塑料加工业(2021)[J]. 中国塑料, 2022, 36(6): 142-148.

MA Z F, NIU G Q, LU S. China Plastics Industry(2021)[J]. China Plastics, 2022, 36(6): 142-148.

[3] 中国塑料加工工业协会. 中国塑料工业年鉴-2021[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2021.

China Plastics Processing Industry Association. China Plastics Industry Yearbook-2021[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2021.

[4] 赵世超, 鉴冉冉, 谢鹏程, 等. 注塑机合模技术探讨与发展[J]. 塑料, 2018, 47(2): 75-78.

ZHAO S C, JIAN R R, XIE P C, et al. Discussion and Development of Plastic Injection Molding Machine[J]. Plastics, 2018, 47(2): 75-78.

[5] 岳钦杨, 周宏伟, 林武. 大型注塑机的合模机构分析[J]. 中国塑料, 2013, 27(6): 97-100.

YUE Q Y, ZHOU H W, LIN W. Analysis on Clamping Mechanism of Large Injection Molding Machines[J]. China Plastics, 2013, 27(6): 97-100.

[6] 何和智, 高琦, 张涛. 国内外大型注塑机技术发展动态综述[J]. 中国塑料, 2022, 36(11): 140-149.

HE H Z, GAO Q, ZHANG T. A Review of Development Trend in Large Injection-Molding Machine Technology at Home and Abroad[J]. China Plastics, 2022, 36(11): 140-149.

[7] 黄利军, 李治伟, 周利军, 等. 热塑性树脂 LDPE 长圆形中空体口模流道优化设计[J]. 包装工程, 2022, 43(19): 284-290.

HUANG L J, LI Z W, ZHOU L J, et al. Optimization Design of Die Flow Channel of Thermoplastic Resin LDPE Long Hollow Cylinder[J]. Packaging Engineer-

- ing, 2022, 43(19): 284-290.
- [8] 王诗强, 谢鹏程, 何雪涛, 等. 注塑机合模机构刚柔耦合动力学特性研究[J]. 塑料工业, 2013, 41(1): 54-57.
- WANG S Q, XIE P C, HE X T, et al. Research on Dynamic Property of Clamping Mechanism of Injection Molding Machine Based on Rigid-Flexible Coupling[J]. China Plastics Industry, 2013, 41(1): 54-57.
- [9] 刘少玉. 曲肘式注塑机合模机构有限元仿真与优化设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- LIU S Y. Finite Element Simulation and Optimization Design of Clamping Mechanism of Elbow Injection Molding Machine[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.
- [10] 徐柯. 注塑机模板的有限元分析及优化设计[D]. 北京: 北京化工大学, 2009.
- XU K. Finite Element Analysis and Optimal Design of Injection Molding Machine Template[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2009.
- [11] 张友根. 注塑机肘杆合模机构弹性力学性能的探讨(四)[J]. 橡塑技术与装备, 2009, 35(8): 35-45.
- ZHANG Y G. Discussion of Elasticity and Mechanical Properties of Elbow Rod Mold Closing for Injection Molding Machine (Part Four)[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2009, 35(8): 35-45.
- [12] 赵俊, 杨于光. 双曲肘合模机构优化 CAD 系统设计性能研究[J]. 中国塑料, 2012, 26(7): 95-100.
- ZHAO J, YANG Y G. Design Performance of Optimized CAD System for Double-Toggle Clamping Unit[J]. China Plastics, 2012, 26(7): 95-100.
- [13] 于孟, 赵延召, 邓娅, 等. 注塑机合模机构拉杆螺纹的有限元分析[J]. 机械研究与应用, 2012, 25(1): 34-36.
- YU M, ZHAO T Z, DENG H, et al. Finite Element Analysis for Tie Bar Thread of Injection Machine in the Clamping System[J]. Mechanical Research & Application, 2012, 25(1): 34-36.
- [14] 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 Y J, ZHAO Y X, CHEN X D. Optimization Design on Clamping System of Injection Machine Based on ANSYS and Orthogonal Design[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2012, 40(21): 99-104.
- [15] 郑元清. 注塑机合模机构及模板设计的优化分析[J]. 科技传播, 2013, 5(14): 102-103.
- ZHENG Y Q. Optimization Analysis of Clamping Mechanism and Template Design of Injection Molding Machine[J]. Public Communication of Science & Technology, 2013, 5(14): 102-103.
- [16] 马宇山, 金涛, 宫建国, 等. 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 Y S, JIN T, GONG J G, et al. Stress and Fatigue Analysis and Optimization of Platen for Injection Molding Machine[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(9): 40-44.
- [17] 杜遥雪, 崔怀峰, 陈少杰. 注塑机合模装置动态响应及疲劳分析[J]. 五邑大学学报(自然科学版), 2010, 24(1): 1-7.
- DU Y X, CUI H F, CHEN S J. An Analysis of Dynamic Response and Fatigue of Clamping Devices of the Injection Molding Machine[J]. Journal of Wuyi University (Natural Science Edition), 2010, 24(1): 1-7.
- [18] 丁东升. 电动注塑机合模机构的常用结构及其对比[J]. 轻工机械, 2006, 24(1): 141-143.
- DING D S. The Comparison of Several Clamping Unit Structure in Electric Injection Molding Machine[J]. Light Industry Machinery, 2006, 24(1): 141-143.
- [19] 张恒. 1080T 注塑机合模结构优化与设计[D]. 宁波: 宁波大学, 2021.
- ZHANG H. Optimization and Design of Clamping Structure of 1080T Injection Molding Machine[D]. Ningbo: Ningbo University, 2021.
- [20] 姜杰凤, 周宏伟, 林武. 大型二板注塑机合模机构锁模有限元模拟与分析[J]. 现代制造技术与装备, 2017, 53(5): 21-23.
- JIANG J F, ZHOU H W, LIN W. Finite Element Simulation and Analysis for Clamping Unit in Large Two-Plate Injection Machine[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2017, 53(5): 21-23.
- [21] 张小红. 基于 ANSYS 的 T680 型注塑机模壁的有限元分析研究[J]. 电子测试, 2017(22): 31-33.
- ZHANG X H. Based on ANSYS T680 Type Injection Molding Machine Finite Element Analysis[J]. Electronic Test, 2017(22): 31-33.
- [22] 丁小锋, 郭长慧, 李治伟, 等. 一种合模定位装置和具备该装置的合模机构: 中国, CN218429425U[P]. 2023-02-03.
- DING X F, GUO C H, LI Z W, et al. A Clamping Positioning Device and a Clamping Mechanism with the Device: CHINA, CN 218429425U[P]. 2023-02-03.
- [23] 丁小锋, 黄利军, 李治伟, 等. 一种合模机构: 中国, CN218614940U[P]. 2023-03-14.

- DING X F, HUANG L J, LI Z W, et al. A Clamping Positioning Device; CHINA, CN218614940U[P]. 2023-03-14.
- [24] 丁小锋, 王延强, 王东, 等. 一种脱模安全装置及合模设备: 中国, CN218906408U[P]. 2023-04-25.
- DING X F, WANG Y Q, WANG D, et al. A Demoulding Safety Device and Clamping Device; CHINA, CN218906408U[P]. 2023-04-25.
- [25] 杨娜, 杨天兴, 辛鹏. 基于 Ansys 的注塑机双曲肘合模机构的力学分析[J]. 合成树脂及塑料, 2022, 39(6): 48-50.
- YANG N, YANG T X, XIN P. Force Analysis on Double-Toggle Clamping Mechanism of Injection Molding Machine Based on Ansys[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2022, 39(6): 48-50.
- [26] 秦超, 邱建成. 超大型合模机模板力学性能的计算机工程分析[J]. 塑料包装, 2018, 28(1): 58-61.
- QIN C, QIU J C. CAE on Mechanical Properties of the Mold Board of Super-Large-Scale Mold Machine[J]. Plastics Packaging, 2018, 28(1): 58-61.
- [27] 李佳玥. 注射合模机的应力分析及疲劳断裂研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2018: 15-20.
- LI J Y. Stress Analysis and Fatigue Fracture Research of Injection Mold Clamping Machine[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2018: 15-20.
- [28] 周雄新, 欧笛声. 基于整体应力分析的定模板疲劳强度校核[J]. 机械设计与制造, 2010(8): 216-217.
- ZHOU X X, OU D S. Fatigue Strength Checking to Stationary Platen Base on Stress Analysis of an Integrated Model[J]. Machinery Design & Manufacture, 2010(8): 216-217.
- [29] 黄海波, 孙宝寿, 刘军, 等. 合模机机架的有限元分析[J]. 轻工机械, 2008, 26(2): 12-14.
- HUANG H B, SUN B S, LIU J, et al. Finite Element Analysis of Die Spotting Machine Frame[J]. Light Industry Machinery, 2008, 26(2): 12-14.
- [30] 李月仙, 亓秀梅. 注塑机合模装置失效分析与研究[J]. 机械管理开发, 2007, 22(S1): 25-26.
- LI Y X, QI X M. Failure Analysis and Research on Clamping Device of Injection Molding Machine[J]. Mechanical Management and Development, 2007, 22(S1): 25-26.