

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.07.014

一种新型电驱式 EPS 成型机合模装置的设计及研究

蒋立正^{1,3}, 董建丰², 张永刚², 张苗³

(1. 浙江机电职业技术学院机械工程分院, 杭州 310053; 2. 浙江瑞诺泰富科技有限公司, 杭州 310024; 3. 浙江工业大学机械工程学院, 杭州 310014)

摘要: 针对电驱式 EPS 成型机在移模、锁模过程中存在能耗大等缺陷, 提出了一种新型的合模装置。该合模装置基于双驱动电动缸加载同步控制技术完成移模动作、借助气液增压缸结合开合螺母机构实现锁模动作, 使合模装置在控制精度、节能效果、可靠性等方面均有了提升。重点对合模装置中的电动缸、气液增压缸和顶出架的结构进行了设计, 并借助有限元软件对合模装置进行了分析, 发现其刚度和强度均满足设计要求。所设计的合模装置已应用于新型电驱式 EPS 成型机的样机开发。

关键词: EPS 成型机; 合模装置; 伺服电动缸; 气液增压缸; 有限元

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)07-0057-05

Design and Research of a New Electric Drive Clamping System for EPS Molding Machine

Jiang Lizheng^{1,3}, Dong Jianfeng², Zhang Yonggang², Zhang Miao³

(1. Mechanical Engineering Branch Institute, Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China;

2. Zhejiang Ruinuo Pacific Technology Co. Ltd., Hangzhou 310024, China;

3. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China.)

Abstract : According to the defects of high energy consumption in the moving and clamping mold process of electric drive EPS molding machine, a new clamping system is proposed. The clamping system is based on control technology of synchronization load for dual driving servo-electric cylinder to complete mold-moving action, and by applying gas-liquid pressurized cylinder with movable nut machine to complete mold-clamping action. Based on this, the control precision, reliability, energy saving effect of the clamping system are promoted. The primary parts in the clamping system such as servo-electric cylinder, gas-liquid pressurized cylinder and ejection frame are designed in detail. The clamping system is analyzed by FEM software, and the results show that their structure completely satisfies the required strength and stiffness. The designed clamping system has been applied in development and design of prototype for electric drive EPS molding machine.

Keywords : EPS molding machine ; clamping system ; servo-electric cylinder ; gas-liquid pressurized cylinder ; FEM

可发性聚苯乙烯泡沫塑料 (EPS) 已广泛应用于建筑、包装、日用品、工业品等领域^[1-2]。EPS 全自动真空成型机是生产 EPS 制品的专用成型设备, 目前, 该类成型机大多采用全液压式驱动, 不可避免地存在着许多问题, 诸如耗能多、控制精度低、对环境有污染、噪音大等^[3]。近年来, 随着高精度 EPS 成型制品的应用范围扩大, 以及节能环保意识的日渐增强, 人们对 EPS 成型设备的要求也日益提升, 各类紧密型、节能环保、高效自动化的成型设备不断涌现, 产业结构发生了快速转变。目前各种 EPS 成型机中, 最具代表性且有发展前景的为电驱式 EPS 成型机。

自从第一台 EPS 成型机诞生以后, 合模装置作为 EPS 成型机的核心单元一直在不断地创新发展, 但研究合模装置的设计及相关文献资料还是比较缺

乏。笔者针对 EPS 成型机合模装置在移模和锁模过程中存在能耗大等问题, 在结构设计中引入电动缸、气液增压缸结合开合螺母机构等创新结构实现移模和锁模动作, 并采用双驱动同步加载控制技术保证了上述动作的可靠性。

1 成型工艺及其设备简介

EPS 成型生产涉及原料选择、管道及模具设计等诸多因素, 一般而言, EPS 成型依次分为以下几个步骤: 预发泡→装模→成型→整理→烘干→包装→入库^[4]。EPS 成型工艺如图 1 所示, 根据不同制品的规格、尺寸、厚薄等因素控制加热及水冷却时间的长短; 一般成型过程中, 水冷却时间占成型总循环时间的一半; 蒸汽、冷却水、压缩空气的供应条件

联系人: 蒋立正, 博士研究生, 研究方向为机械制造及自动化

收稿日期: 2014-05-15

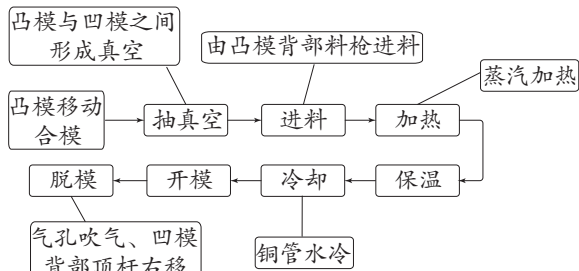


图 1 EPS 成型工艺的一般过程

可保证制品脱模性好、成熟度佳、表面平整并能缩短其成型周期。

EPS 全自动真空包装成型机是一种专用的泡沫塑料成型机械,主要由合模装置、入料系统、加热系统、冷却系统、控制系统以及底部框架等组成,如图 2 所示。EPS 全自动真空包装成型机的主体结构(即各模板)采用钢板与矩形钢管焊接而成,刚性好。四根拉杆为卧式布局,各程序动作由电气、液压、气动联合控制。模具气室采用机模分离结构,成型机上可配备几套不同深度尺寸的气室,更换模具时可在机外装配,缩短换模停机时间。

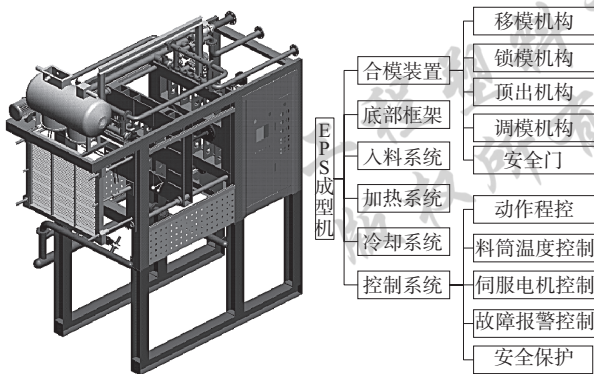


图 2 典型 EPS 全自动真空包装成型机及其各部分的组成

EPS 全自动真空包装成型机采用 PLC 可编程控制器,控制 EPS 成型机的开模、合模、进料、加热、保温、冷却、脱模、制品顶出等自动循环程序,具有较高的生产率与适应不同工艺要求的能力。

2 新型合模装置的设计要求

新型合模装置是 EPS 成型机的关键部件,其设计是否合理,关系到模具能否可靠地闭锁、开启,能否方便、可靠地取出 EPS 制品,以及能否提高成型机整体的生产工作性能,并直接影响到成型制品的精度。根据电驱式 EPS 成型机合模装置的工作原理及受力特点,最终确定了如表 1 所示的主要设计参数(部分)。

与传统合模装置相比,要求本装置结构紧凑、性能可靠、易于维修和保养,而且使用方便。另外,

表 1 合模装置的主要设计参数(部分)

参数	值
锁模力 / kN	≥ 60
开模力 / kN	25
负载移模速度 / (mm · s ⁻¹)	25 ~ 40
快速移模速度 / (mm · s ⁻¹)	200 ± 50
移模板最大工作行程 / mm	$\geq 1\,200$

要求制品脱模及调模动作的实现更加灵活、方便。

3 新型合模装置的结构布局及功能

合模装置的动力来源主要有液压、气动和电动 3 种方式,通过对上述设计要求的分析可知,成型机对所施加力的数值大小、平稳性和快速性的要求较高,施力装置必须便于移动。因此,在本装置设计时,采用电动形式,选择电动缸、气液增压缸等机构作为施力装置,图 3 为合模装置的结构示意图。

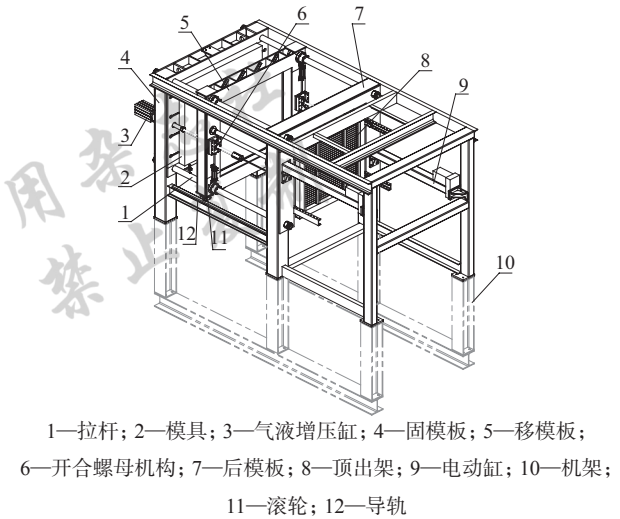


图 3 电驱式 EPS 成型机合模装置的结构示意图

合模装置由移模机构(包括固模板 4、移模板 5、后模板 7 和电动缸 9 等)、锁模机构(包括气液增压缸 3 和开合螺母机构 6 等)及制品顶出装置(包括顶出架 8、顶针等)等主要构件组成。其中,固模板 4、移模板 5 和后模板 7 均与拉杆 1 相连,各模板是用于固定模具 2 并起到运动导向的定位基准作用,模具的动、定模板分别固定在固模板 4 和移模板 5 上。固模板 4 和后模板 7 分别固定安装在机架 10 上,移模板 5 下方安装有滚轮 11,两个电动缸 9 安装在后模板 7 内部,其推杆压头靠近移模板 5。施力时,电动缸 9 中的推杆伸出,带动压头顶压移模板 5 施力,由此移模板按照动作要求在固模板 4 和后模板 7 之间的连接导轨 12 上来回运动。制品顶出装置中顶出架 8 安装在后模板内部,当移模板后退时,安装于顶出架上的顶针即可顶出制品。

当移模板上的动模缓慢即将接近定模时,触动

开合螺母机构 6 上的气缸,将活塞杆连同垫圈推出,并发出指令,触发气液增压缸 3 完成锁模动作。当完成成型后,同样触动气缸将活塞杆连同垫圈撤离,并发出指令,触发气液增压缸 3 解除锁模动作。

图 4 为气液增压缸及开合螺母机构的结构示意图。图 4 所示的结构在锁紧时气液增压缸可失电运行而只靠自锁能力进行液压保压,电动机断电节省能源。气液增压缸能提供高比增压输出,锁紧力远远大于丝杠推力。

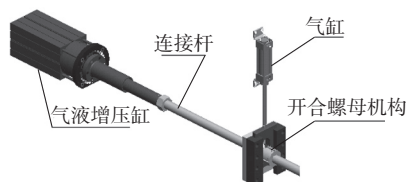


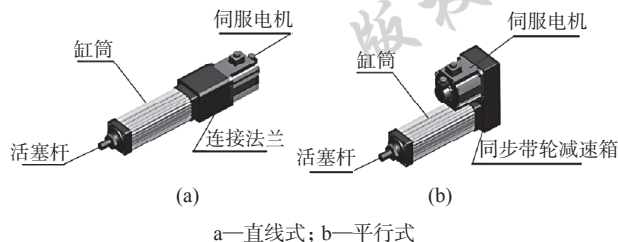
图 4 气液增压缸及开合螺母机构的结构示意图

4 新型合模装置的结构设计

4.1 伺服电动缸的选型与计算

伺服驱动的移模机构高效、先进,是新型合模装置的发展趋势。伺服电动缸作为合模装置的重要部件,决定着移模机构的主要功能特性和性能指标。

伺服电动缸^[5]是将电机的旋转运动通过丝杠和丝杠副的旋转运动转换为推杆的直线运动。按照伺服电机与电动缸的连接方式,常见的伺服电动缸有直线式和平行式两种形式,如图 5 所示。



a—直线式; b—平行式

图 5 电机与电动缸的连接方式

平行式电动缸轴向尺寸小、结构紧凑,同时,同步带具有一定的过载保护能力。为此,在移模机构上,伺服电机与电动缸的连接方式采用平行式。

(1) 预选电动缸。

由以上设计要求可知,电动缸的最大速度为 250 mm/s,负载移动模速度为 25~40 mm/s,电动缸可提供的开模力为 12.5 kN,两台联动则合力为 25 kN。由此,根据力姆泰克(北京)公司提供的产品样本,可预选 DMB40-10 系列电动缸,其额定动载为 51 kN,加权平均负载 $F_m=6875$ N,经寿命校核可得其理论实际使用寿命为 35 a,满足使用要求。

(2) 电动缸的技术性能参数。

根据上述分析和计算,选用作为移模机构施力装置的电动缸,其主要技术性能参数如表 2 所示。

表 2 电动缸的主要技术性能参数

参数	值
最大推力 / kN	12.5
最大行程 / mm	1 350
电机额定转速 / (r · min ⁻¹)	2 500
丝杠导程 / mm	10
同步带减速比	2 : 1
运行速度 / (mm · s ⁻¹)	208.3

(3) 伺服电机的选型计算。

当实际推力 12.5 kN,电动缸实际负载运行速度为 40 mm/s 时,则丝杠输入转矩为 5.24 N · m。

伺服电机的功率按照式 (1) 计算。

$$W=(F \cdot v / \eta) \cdot k \quad (1)$$

式中: W ——功率, kW ;

F ——最大推力, N ;

v ——电动缸负载运动速度, m/s ;

η ——电动机传动效率,取 0.8 ;

k ——放大系数,取 1.2。

由此可得 $W=[(12.5 \times 40 / 1\,000) / 0.8] \times 1.2=0.75$ (kW)

(4) 伺服电机型号的选取。

由上述计算可知,电动机转矩按最大负载移动时选择,并考虑有充分的裕量,拟选用国产米格电机作为施力驱动装置,电机型号为 130ST-M15025,其主要技术性能参数如表 3 所示。

表 3 伺服电机的主要技术性能参数

参数	值
额定功率 / kW	3.8
额定转矩 / (N · m)	15
额定转速 / (r · min ⁻¹)	2 500
额定线电流 / A	13.5
转矩系数	1.11
额定电压 / V	220

4.2 气液增压缸的选型与计算

由于液压系统存在液压油路,系统相对较为复杂,同时还要增设液压油箱、液压泵和电动机等,总体积较大。液压系统具有压力较为稳定、动作平稳且出力较大等优点,而气动系统结构简单、维护方便、环境清洁。结合两者优点,在锁模机构设计中,选用气液增压缸作为压力源,大大地缩小了气缸的缸径,进一步减小 EPS 成型设备的体积。

气液增压缸是由气液转换器、增压装置和油缸组成的一体式结构,使用纯气压为动力,利用增压装置的大、小活塞截面积的比例,将气压的低压提高数十倍,供油缸使用,使其达到液压缸的高出力。

(1) 理论计算。

成型工艺要求锁模力 $2F_c \geq 60 \text{ kN}$ (双增压缸出力),当气源压力 P 为 0.6 MPa 时,即 $P \approx 60 \text{ N/cm}^2$,则理论上的活塞面积 $S=F_c/P=500 \text{ cm}^2$,理论气缸缸径 $=2\sqrt{S/\pi}=252 \text{ mm}$ 。查相关产品目录可知,增压出力大于 30 kN 的气液增压缸的缸径仅为 63 mm ,约为理论气缸缸径的 $1/4$ 。

(2) 气液增压缸的选型。

比较不同品牌及规格产品,结合工艺要求确定增压缸的型号,其主要技术性能参数如表 4 所示。

表 4 气液增压缸的主要技术性能参数

参数	值
增压出力 /kN	30
油缸缸径 /mm	63
进气压力 /MPa	0.3~0.8
安装方式	水平
气缸增压行程 /mm	200
油缸行程 /mm	15

在气液增压缸上安装有油压表,作为油压压力的显示,通过调节增压缸主气路上的压缩空气调压阀来控制调节油压的大小,使其达到所需的压力值。

4.3 顶出架的结构设计

如图 3 所示,顶出架 8 安装在后模板 7 内部,顶出架内部装有多根顶杆,四侧安装框架前后调节装置。顶出架结构如图 6 所示,该结构设计紧凑,布局合理。

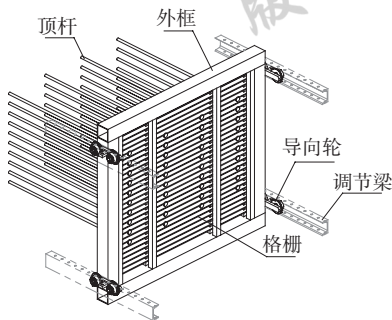


图 6 顶出架的结构示意图

顶出架的结构采用与传统 EPS 成型机完全不同的结构,传统机型往往需要借助液压气缸,推动顶杆将制品顶出。而本设计中,巧妙地将 EPS 成型模具定模反装,借助移模板后撤时电动缸的驱动力带动顶杆将制品顶出。当 EPS 成型制品在高度方向的尺寸发生改变时,仅需手动调整顶出架与后模板上调节梁的相对位置,此结构操作方便且节省成本,可显著提高工作效率。

4.4 合模装置的有限元分析

合模装置的各模板是构成 EPS 成型机最庞大

和最复杂的一个部分,均采用焊接件。各模板构成 EPS 成型机四周的支撑、连接部分,包括四根拉杆等固定部分,它们的刚性设计及制造精度,决定了 EPS 成型机的使用寿命和成型制品的精度。合模装置的有限元分析对象是拉杆、固模板、后模板和移模板,可认为螺母和拉杆之间是良好地“粘结”在一起的,且螺母可以在模板和拉杆之间良好地传递载荷。

(1) 有限元网格划分。

由于合模装置结构复杂,形状不规则,故首先在 Pro/E 中生成实体模型,后导入 Ansys Workbench 软件,并对其进行网格划分,生成如图 7 所示的网格模型,单元数共计 39 939 个。

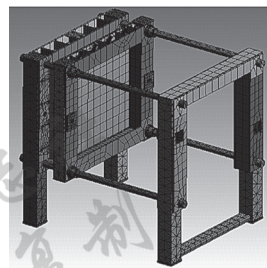


图 7 合模装置的有限元模型

(2) 施加边界条件和载荷。

对合模装置的有限元分析为静力学分析过程,结合合模装置的受力状态,将与合模装置底脚处的六个自由度全部约束,即将底脚处与机架总成连接处固定。合模装置各模板在锁模完成后,该承载状态属于最恶劣的工况。将锁模力按均布压力施加到固模板和移模板上,如图 8 所示的 B、C、D 及 E 处(其中 D、E 位于固模板上),施加作用力均为锁模力的一半。

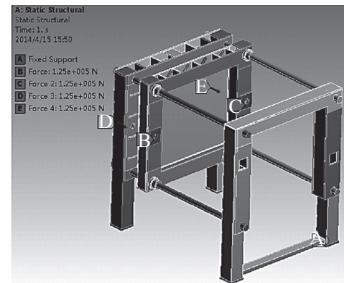


图 8 合模装置有限元模型的边界条件

(3) 计算结果及分析。

合位移等值线图(放大 380 倍)如图 9 所示,可知最大合位移值发生在锁模力施加部位,达到 0.5 mm ,合位移大致呈放射状从中心向外递减。应力分析云图如图 10 所示,可知模板所承受的最大应力值为 130.88 MPa 。由于模板的材料均为

Q235-A,可知合模装置的刚度及强度均能够满足设计要求。

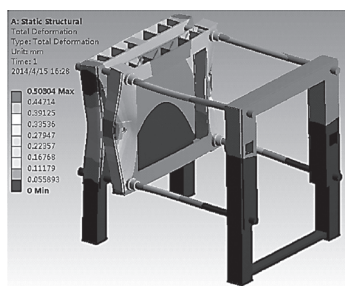


图9 合模装置的合位移等值线图

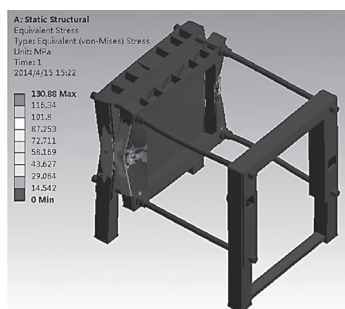


图10 合模装置的应力分析云图

5 新型合模装置的电控系统方案设计

为了满足合模装置高加速度、高推力及高刚性的特殊需求,采用一种双驱动同步加载控制技术,即在移模机构、锁模机构中采用平行安装的双电动缸及双气液增压缸共同驱动移模板的方法来实现单轴的运动。该技术的核心是控制器的精确控制和各伺服轴的精密定位,要求保证合模装置各主要运动部件的运动位置同步,否则便会对机械传动系统造成损坏,导致受控系统损害,甚至危害操作人员的安全。鉴于此,设计了如图11所示的合模装置电控系统,以实现双驱动的同步控制。

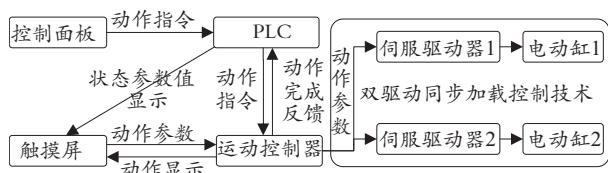


图11 新型合模装置的电控系统架构图

由EPS成型工艺可知,电控式合模装置的各部分运行时按照先后顺序及时间间隔衔接起来的。为了实现对合模过程的精确控制,又兼顾研发成本,选用一台可编程控制器(PLC)对各电机、驱动器、传感器等之间的电气连接与控制进行协调。

图11所示的控制系统包括上位控制器、运动控制器、驱动系统和测量反馈系统。其中,上位控制器

由触摸屏、控制面板和PLC组成,主要完成设定控制参数,显示控制结果,协调各运动环节的动作顺序。运动控制器在上位控制器的协调下,完成运动控制,并将控制结果及状态参数传递给上位控制器。该控制器是一种同步控制卡,以FPGA+DSP为处理核心,实现双驱动的同步运动控制。驱动系统由伺服驱动器和伺服电机组成,接收运动控制器的指令信号,驱动电机,完成相应功能。测量反馈系统借助编码器、传感器,将反馈信号反馈到控制器,完成各运动部件的速度、位置信号的反馈。

6 结语

实践证明,本新型合模装置的设计具有如下特点:①在合模装置中应用电动缸、气液增压缸等技术,可大大简化整体结构,而且运行平稳可靠,很好地满足了当前EPS成型的绿色环保要求;②双驱动电动缸的加载同步控制技术能有效改善同步性能,具有良好的使用效果;③通过对合模装置的有限元分析,可以看出合模装置的结构设计合理,在满足各模板强度的同时,也使其具有足够的刚度。目前设计的新型合模装置已应用于新型电驱式EPS成型机的样机开发。

参考文献

- [1] 于成龙. 可发性聚苯乙烯的应用现状分析[J]. 化学工程与装备, 2011(3):132-133.
Yu Chenglong. Analysis of application of expanded polystyrene[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2011(3):132-133.
- [2] 张卫兵. 聚苯乙烯泡沫塑料在工程中的应用[J]. 工程塑料应用, 2004, 32(7):39-42.
Zhang Weibing. Application of expanded polystyrene in engineering [J]. Engineering Plastics Application, 2004, 32(7):39-42.
- [3] Schut J H. 先进的EPS成型技术[J]. 现代塑料, 2010(11):33-36.
Schut J H. Advanced EPS molding technology[J]. Modern plastics, 2010(11):33-36.
- [4] 章浙根, 袁建华, 方志勇. 基于最优工艺跟踪的EPS板材机控制系统研发[J]. 浙江科技学院学报, 2013, 25(5):357-360.
Zhang Zhegen, Yuan Jianhua, Fang Zhiyong. Development of control system for EPS panel machine based on optimum process curve tracking[J]. Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 2013, 25(5):357-360.
- [5] 陈革, 张景慧, 周其洪. 基于伺服电动缸的立体织机引纬系统的设计[J]. 纺织学报, 2013(2):146-150.
Chen Ge, Zhang Jinghui, Zhou Qihong. Design of welf-insertion system of thre-dimensional loom based on servo-cylinder[J]. Journal of Textile Research, 2013(2):146-150.

欢迎投稿

欢迎订阅

欢迎刊登广告