

冲模机快速闭式液压系统设计及其主参数仿真优化

张正华¹, 段好运², 王大浩³, 程利辉⁴

(1. 河南交通职业技术学院 汽车学院, 河南 郑州 450005; 2. 商丘技师学院 机电系, 河南 商丘 476000;
3. 江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122; 4. 郑州宇通客车股份有限公司, 河南 郑州 450061)

摘要: 为了解决冲模机对最大冲裁速度的限制问题, 设计了一种快速闭式液压系统。在进行快进、快退的过程中, 主缸在快速缸的带动下实现被动升降, 由柱塞缸与充液阀共同构成快速闭合系统; 进入冲裁阶段时, 蓄能器与定量泵一起组成油源, 将油液压入柱塞缸中。仿真结果表明: 当充液压力降低后, 蓄能器表现出更快的反应速度, 预充压选择 7 MPa 作为最优值; 在满足充液速度不对冲裁频率造成影响的条件下应选择更大的体积, 最终选择 40 L 作为最优体积; 设定充液阀的最优初始开口量为 5.0 mm 时, 存在一定程度的超调量, 可以根据负载进行快速反应; 节流孔直径为 $\Phi 2.0$ mm 时, 可以在最短的时间内进入稳定状态, 并且不会引起波动现象, 表现出了优异的调速性能。

关键词: 冲模机; 快速闭式液压系统; 蓄能器; AMESim 仿真; 充液压力

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.03.025

中图分类号: TH137

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2022) 03-0154-05

Design on rapid closed hydraulic system and simulation optimization on main parameters for stamping machine

Zhang Zhenghua¹, Duan Haoyun², Wang Dahao³, Cheng Lihui⁴

(1. School of Automobile, Henan Vocational and Technical College of Communications, Zhengzhou 450005, China;
2. Electromechanical Department, Shangqiu Technician College, Shangqiu 476000, China;
3. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;
4. Zhengzhou Yutong Bus Co., Ltd., Zhengzhou 450061, China)

Abstract: A rapid closed hydraulic system was designed to solve the limitation problem of the maximum blanking speed for stamping machine. In the process of fast forward and backward, the master cylinder was passively lifted and lowered by the fast cylinder, and a rapid closed system was constituted by plunger cylinder and filling valve. When entering the blanking stage, the accumulator and the quantitative pump together formed an oil source to hydraulically pump the oil into the plunger cylinder. The simulation results show that the accumulator shows a faster reaction speed when the charging pressure is reduced, and 7 MPa is selected as the optimal pre-charging pressure. Under the condition that charging speed does not affect blanking frequency, a larger volume should be selected, and 40 L is finally selected as the optimal volume. When the optimal initial opening amount of charging valve is set to 5.0 mm, there is a certain degree of overshoot, and the rapid response can be made according to the load. When the throttle orifice diameter is $\Phi 2.0$ mm, it can enter a stable state in the shortest time without fluctuation phenomenon, showing excellent speed regulation performance.

Key words: stamping machine; rapid closed hydraulic system; accumulator; AMESim simulation; charging pressure

随着冲模技术的不断发展, 冲模结构也获得了许多学者的密切关注, 目前, 已经形成固定凸模、活动凸模与连续冲模 3 种主要结构^[1-3]。为制备高精度的冲模工部件, 需要精确控制冲模设备的冲裁

力、压边力以及反压力参数^[4-5]。为实现冲模件的大批量生产, 通常需要使用机械冲模压床, 但考虑到机械压床设备需要投入较高的前期成本, 使得许多厂家选择液压模架来制备冲模零件^[6]。冲模机属于一类为实现冲模复合功能而设计的专用压力机, 具备成本低、运行效率高、精度控制高、能耗低等多项优势, 能够满足航空航天设备、汽车结构件等多个领域的零部件的加工要求^[7-9]。

到目前为止, 已有许多国内外学者对机械冲模

收稿日期: 2021-02-23; 修订日期: 2021-05-24

基金项目: 河南省高等学校青年骨干教师培养计划项目 (2017GGJS241); 河南省交通运输厅科技计划项目 (2015Y10)

作者简介: 张正华 (1982-), 男, 硕士, 讲师

E-mail: hnzzh0825@126.com

机开展了深入分析^[10]。陈加国等^[11]主要研究了减震器顶板冲压运行过程中由于振动而影响质量的现象, 利用相互约束材料变形阻力来控制材料变形, 获得了良好的控制效果。机械式冲模机面临振动幅度大、控制精度差以及容易发生部件磨损的缺陷, 这对其应用推广造成了限制; 液压冲模机具有可实现精确导向、高工作压力、稳定传动、灵活调节工作行程、低噪声等多项优异性能, 但运行效率明显偏低。崔刚等^[12]主要针对冲模机主缸液压控制系统开展了相关研究, 通过 AMESim 软件构建了相应的仿真模型, 分析了蓄能器实际运行参数对主缸冲裁频率造成的影响, 结果显示: 蓄能器的体积、预充压力、接口大小均会对冲模机的冲裁频次产生显著影响; 其中, 在充液阀初始开口为 5 mm 以及节流孔尺寸为 2 mm 的条件下, 充液阀获得了优异的动态性能。单云等^[13]报道了一种将原始分离式 U 形冲裁和下废料双工位优化为单工位的一步式冲裁工艺, 之后对其进行了测试, 结果表明其可以达到冲模工艺的精度要求。到目前为止, 只有少数国内学者开展了液压式冲模机方面的研究, 尚未出现关于快速闭式液压系统方面的研究内容。根据以上分析, 为进一步提升液压式冲模机的运行效率, 对快速闭式液压系统进行了优化, 获得了理想的冲裁保护作用。

1 冲模机快速闭式液压系统设计

1.1 液压式冲模机结构

液压式冲模系统选择整体焊接的方式构建得到机架, 其具体结构见图 1, 可以达到高刚度以及有效降低变形程度的效果。在液压式冲模机中存在主缸、压边反顶缸、快速缸 3 个部分。其中, 主缸可以为冲裁过程提供所需动力, 快速缸则为滑块运动提供所需动力, 压边反顶缸在冲裁过程中产生压边反顶压力, 将主缸活塞、滑块以及快速缸活塞进行相连并固定。

快速缸液压系统与快速闭式液压系统保持独立运行状态, 同时, 两者间也可以共同配合完成冲裁过程^[14]。处于快进上、下行以及低速探测的阶段时, 快速缸可以实现迅速升降, 同时因为滑块和快速缸、主缸之间保持固定连接的结构, 因此, 主缸不进行供压, 以被动方式完成升降过程。冲裁频率受到快速缸的运动速度以及主缸冲裁速度的共同作用: 当冲裁速度太小时会导致冲裁速率减小, 从而

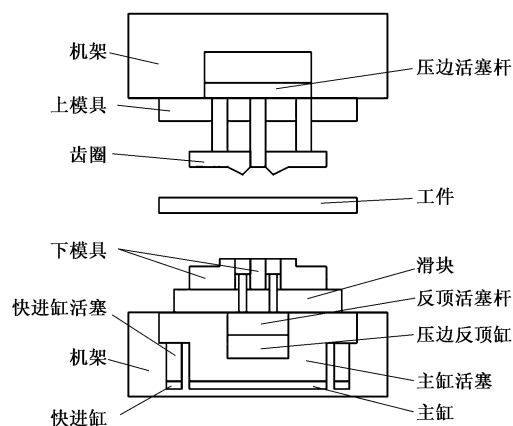


图1 冲模机整体结构简图

Fig. 1 Overall structure diagram of stamping machine

降低了生产效率; 当冲裁速度太快时则会升高模具刃口的温度, 缩短模具的使用寿命, 甚至造成模具破坏的情况。这就要求快速闭式液压系统需要对最大冲裁速度具备限制功能。

1.2 冲模机快速闭式液压系统

本文选择某企业生产的冲模机作为测试对象, 其公称压力为 7000 kN, 最快冲裁频率可以达到每分钟 60 次, 同时获得 $5 \sim 65 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内的冲频速度。原有闭式液压系统不具备限制最大冲裁速度的功能, 存在一定的安全隐患, 本系统通过增加缓冲器的方式, 使系统具备速度无级调节的功能。图 2 显示了快速闭式液压系统结构。在进行快进、快退的过程中, 主缸在快速缸的带动下实现被动升降, 由柱塞缸与充液阀共同构成快速闭合系统, 可以对主缸进行补油与回油控制, 并且定量泵对蓄能器进行充油; 进入冲裁阶段时, 蓄能器与定量泵一起组成油源, 将油液压入柱塞缸中。

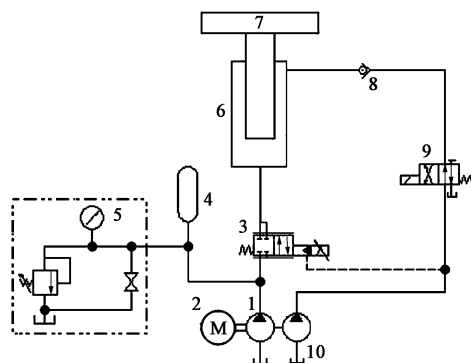


图2 快速闭式液压系统原理图

1. 定量柱塞泵 2. 电机 3. 比例换向阀 4. 蓄能器 5. 蓄能器阀组
6. 柱塞缸 7. 执行端 8. 单向阀 9. 充液阀 10. 油箱

Fig. 2 Principle diagram of rapid closed hydraulic system

2 快速闭式液压系统建模仿真

2.1 快速闭式液压系统 AMESim 模型建立

为了克服冲模机冲裁频率低的问题,构建得到了图 3 所示的快速闭式液压系统运行模型,该模型对充液阀以及缓冲器进行了适当简化,将其表示为液容,同样可以实现充放液与缓冲的功能。重点研究了蓄能器性能引起的冲裁频率的变化,将蓄能器各参数依次作为单一变量,利用批处理的方式测试了各数值下的蓄能器控制性能。表 1 给出了仿真模型的各项参数。

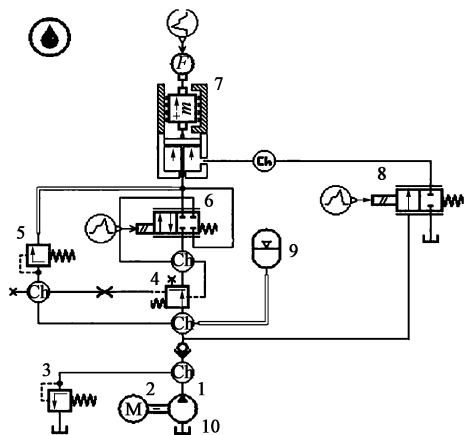


图 3 冲模机快速闭式液压系统 AMESim 模型
1. 定量柱塞泵 2. 电机 3. 溢流阀 4. 安全阀 5. 插装阀
6. 比例换向阀 7. 柱塞缸 8. 充液阀 9. 蓄能器 10. 油箱

Fig. 3 AMESim model of rapid closed hydraulic system for stamping machine

表 1 仿真模型参数

Table 1 Parameters of simulation model

参数	数值
电机转速/($r \cdot \min^{-1}$)	1440
柱塞泵排量/($L \cdot r^{-1}$)	0.25
油密度/($kg \cdot m^{-3}$)	860
油温/ $^{\circ}C$	35
液压油黏度/($Pa \cdot s$)	52
冲裁力/kN	2000
冲裁距离/mm	20
工作压力/MPa	32
蓄能器多变指数	1.36

2.2 蓄能器参数对充液压力的影响

2.2.1 蓄能器预充压参数

图 4 给出了不同蓄能器预充压下充液压力的动

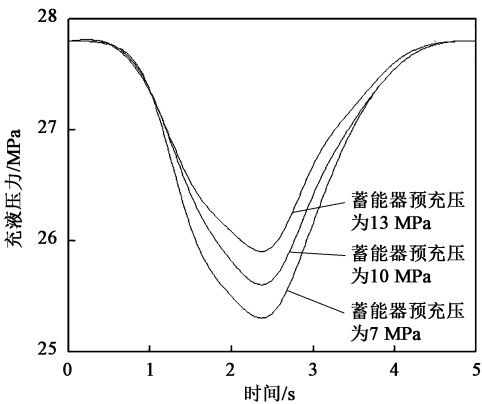


图 4 不同蓄能器预充压下充液压力动态分布
Fig. 4 Dynamic distributions of charging pressures under different accumulator pre-charging pressures

态分布。分析图 4 发现,蓄能器预充压为 7 MPa 时,仿真得到的冲裁时间相较于 13 MPa 时缩短了 0.05 s,当充液压力降低后,蓄能器表现出了更快的反应速度,并且获得了更快的充液速度,冲裁速度则保持基本稳定,不过在较小的充液压力时,蓄能器气囊发生了更大程度的压缩,对充放液的寿命造成了明显影响。可以通过降低蓄能器预充压来获得更快的充液速度,由于辅助动力源预充压至少需要达到最大工作压力的 1/4,因此,蓄能器预充压选择 7 MPa 作为最优值。

2.2.2 蓄能器体积

图 5 给出了不同蓄能器体积下充液压力的动态分布。分析图 5 发现,充液时间依次为 0.65、0.9 和 1.1 s,设定冲裁时间为 0.96、0.99 和 1.06 s。通过对比发现,当蓄能器体积减小后,获得了更快的反应速度,同时发生了更明显的压力损失,并且降低了冲裁速度,无法满足厚度较大板材的工况需求。在满足充液速度不对冲裁频率造成影响的条件应选择更大的体积,最终选择 40 L 作为最优体积。

2.3 流量动态性能影响分析

2.3.1 充液阀初始开口量

图 6 给出了不同充液阀初始开口量下流量的动态分布。对图 6 进行分析可以发现,设定的充液阀初始开口量为 2.5 mm 时,达到了最小的超调量,可以实现快速的反应过程,能够在极短时间内进入稳定状态,但开口量太小时会明显增大阀口阻力,对阀口全开流量造成制约,也无法根据负载差异进行快速反应;当充液阀初始开口量为 7.5 mm 时,产生过大的超调量,同时需要花费更

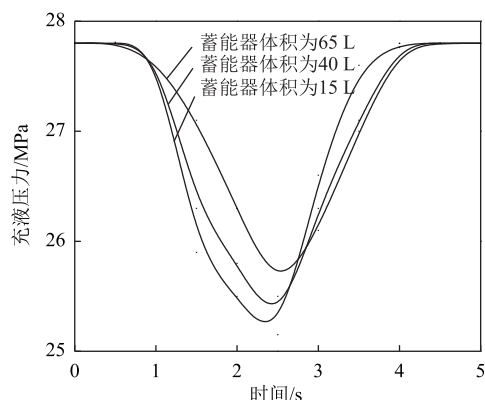


图5 不同蓄能器体积下充液压力动态分布

Fig. 5 Dynamic distributions of charging pressures under different accumulator volumes

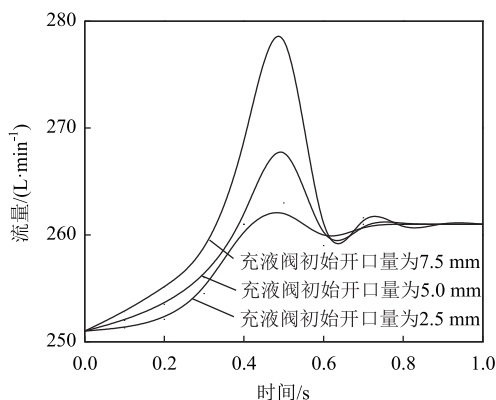


图6 不同充液阀初始开口量下流量动态分布

Fig. 6 Dynamic distributions of flow under different initial opening amounts of charging valve

长的调整时间, 整体反应速度偏慢; 设定充液阀初始开口量为 5.0 mm 时, 存在一定程度的超调量, 各项参数的值与充液阀初始开口量为 2.5 mm 时基本接近, 但可以根据负载进行快速反应, 因此, 选择 5.0 mm 作为最优的充液阀初始开口量。

2.3.2 节流孔大小

图7给出了不同节流孔直径下流量的动态分布。根据图7可知, 当节流孔直径为 $\Phi 1.5$ mm 时, 超调量较高, 需要很长的调节时间, 并且节流孔偏小, 这对弹簧腔的排油速度造成了限制, 无法实现阀芯的快速右移; 当节流孔直径为 $\Phi 2.5$ mm 时, 发生了流量的明显波动, 也需要较长时间进入稳定状态, 随着节流孔直径的增大, 压降也发生了降低, 从而提高了弹簧腔的压力, 产生了更大的阀芯开口度; 当节流孔直径为 $\Phi 2.0$ mm 时, 可以在最短时间内进入稳定状态, 并且不会引起波动现象, 表现出了优异的调速性能。

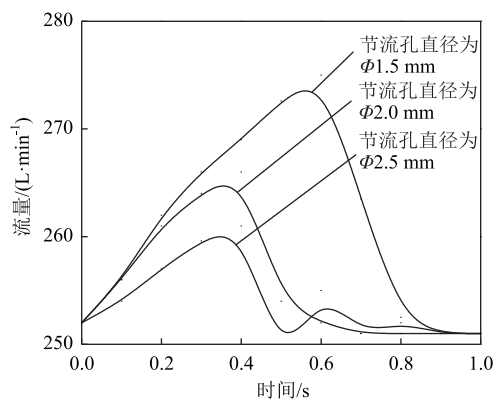


图7 不同节流孔直径下流量动态分布

Fig. 7 Dynamic distributions of flow under different throttle orifice diameters

3 结论

(1) 相对蓄能器预充压为 13 MPa, 蓄能器预充压为 7 MPa 时仿真得到的冲裁时间缩短了 0.05 s, 当充液压力降低后, 蓄能器表现出了更快的反应速度, 因此, 选择 7 MPa 作为蓄能器预充压的最优值。在满足充液速度不对冲裁频率造成影响的条件应下选择更大的体积, 最终选择 40 L 作为最优体积。

(2) 设定充液阀初始开口量为 5.0 mm 时, 存在一定程度的超调量, 可以根据负载进行快速反应, 因此, 选择 5.0 mm 作为最优开口量。节流孔直径为 $\Phi 2.0$ mm 时, 可以在最短时间内进入稳定状态, 并且不会引起波动现象, 表现出了优异的调速性能。

参考文献:

- [1] 杨彩红, 陈志成, 徐艳滕. 机械传动机构在汽车排气管卡箍级进模中的应用 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (12): 155-159.
Yang C H, Chen Z C, Xu Y T. Application of mechanical transmission mechanism in progressive die of automobile exhaust pipe clamp [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (12): 155-159.
- [2] 郭利华. 基于有限元的焊机冲模结构分析 [J]. 机械设计与制造, 2016, (5): 220-223.
Guo L H. Structure analysis of the welder puncher based on FEM [J]. Machinery Design & Manufacture, 2016, (5): 220-223.
- [3] 聂鹏, 冯志超, 王哲峰. 大型钛合金筒形件电磁冲模校圆研究 [J]. 现代制造工程, 2019, (8): 82-86.
Nie P, Feng Z C, Wang Z F. A study on electromagnetic sizing of large titanium alloy cylindrical parts with punching die [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2019, (8): 82-86.
- [4] 林立, 刘军, 周纯, 等. 金属粉末冲击压制过程中冲模质量及颗粒模型的优化分析 [J]. 粉末冶金技术, 2018, 36 (3): 182-189.
Lin L, Liu J, Zhou C, et al. Optimization analysis of die mass and

- particle model in metal powder impact compaction [J]. Powder Metallurgy Technology, 2018, 36 (3): 182-189.
- [5] 沈勇, 董家齐, 何宏达. HL-2A 托卡马克等离子体的扭曲不稳定性研究 [J]. 真空科学与技术学报, 2016, 36 (4): 447-453.
Shen Y, Dong J Q, He H D. Influence of safety factor and poloidal beta on kink instabilities of HL-2A tokamak plasma [J]. Journal of Vacuum Science and Technology, 2016, 36 (4): 447-453.
- [6] 吴亮. 汽车用铝合金结构件冲压模具磨损仿真研究 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (11): 155-159.
Wu L. Simulation study on wear of stamping die for aluminum alloy structural parts of automobile [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (11): 155-159.
- [7] 胡海峰, 刘军. ABAQUS 模拟粉末冲击压制冲模质量数值优化 [J]. 机械科学与技术, 2016, 35 (10): 1525-1530.
Hu H F, Liu J. Optimization of quality of stamping die manufactured by metal powder shock compaction via ABAQUS [J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2016, 35 (10): 1525-1530.
- [8] 华林, 叶德金, 汪小凯, 等. 双伺服驱动高速精冲机主传动系统的运动规划 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2018, 46 (4): 6-11, 34.
Hua L, Ye D J, Wang X K, et al. Motion planning of main drive system of high speed fine blanking press by double servo drive [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2018, 46 (4): 6-11, 34.
- [9] 闫志勇, 赵颖, 马怀超, 等. 铝合金板材双杆连续挤压模具参数优化设计 [J]. 塑性工程学报, 2021, 28 (6): 119-126.
Yan Z Y, Zhao Y, Ma H C, et al. Optimization design of die parameters for aluminum alloy sheet during continuous extrusion with double billets [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2021, 28 (6): 119-126.
- [10] 郭颖颖, 刘周林, 马钰杰. 优先数系与冲模标准尺寸体系研究 [J]. 制造技术与机床, 2020, (6): 189-192.
Guo Y Y, Liu Z L, Ma Y J. Research on priority number system and Mold standard size system [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2020, (6): 189-192.
- [11] 陈加国, 匡余华. 减震器顶板变形控制与成形模设计 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (7): 79-83.
Chen J G, Kuang Y H. Deformation control and forming die design for shock absorber top plate [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (7): 79-83.
- [12] 崔刚, 朱学彪, 李扬, 等. 基于 AMESim 精冲机主缸液压系统的仿真与研究 [J]. 机床与液压, 2021, 49 (1): 119-123.
Cui G, Zhu X B, Li Y, et al. Simulation and research on hydraulic system of fine crusher master cylinder based on AMESim [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2021, 49 (1): 119-123.
- [13] 单云, 吴斌. 一种适用于超高速冲压新型产品的冲裁模具结构 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (3): 119-124.
Shan Y, Wu B. New blanking die structure for ultra high speed stamping [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (3): 119-124.
- [14] 张敬芳, 陈文斌, 仇庚廷, 等. 基于 AMESim-MATLAB 的伺服直驱闭式泵控系统仿真模型 [J]. 机电工程, 2021, 38 (12): 1622-1627.
Zhang J F, Chen W B, Qiu G T, et al. Simulation model of servo direct drive closed pump control system based on AMESim-MATLAB [J]. Mechanical and Electrical Engineering, 2021, 38 (12): 1622-1627.

欢迎关注“锻压技术杂志”微信公众号
@杂志动态 @行业信息 @企业宣传



• 锻造 • 冲压 • 钣金 • 模具 • 加热 • 标准化 •