

快锻液压机传动系统合理性的探讨

陈 超, 范淑琴, 赵升吨, 崔敏超, 韩晓兰

(西安交通大学 机械工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 首先介绍了快锻液压机的国内外研究现状, 指出了国内快锻液压机发展的不足。又分别分析了阀控液压传动系统、泵控液压传动系统和伺服液压传动系统的结构和原理, 并以此为基础指出了 3 种液压传动系统的优缺点。相比于阀控液压传动系统和泵控液压传动系统, 伺服液压传动系统具有伺服性能好、成本低、加工质量和精度高等优点。伺服液压系统非常适合应用于快锻液压机。最后总结了 3 种不同的液压传动系统的特点, 指出伺服液压传动系统将成为快锻液压机传动系统的主要发展趋势。

关键词: 快锻液压机; 阀控液压传动系统; 泵控液压传动系统; 伺服液压传动系统

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2016.02.002

中图分类号: TG315.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2016) 02-0006-06

Research on the rationality of transmission system for fast forging hydraulic press

Chen Chao, Fan Shuqin, Zhao Shengdun, Cui Minchao, Han Xiaolan

(School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The research status of fast forging hydraulic press at home and abroad was introduced, and deficiencies of the fast forging press in the domestic development were pointed out. The structures and principles of valve controlled hydraulic transmission system, pump controlled hydraulic transmission system and servo hydraulic transmission system were analyzed, and the advantages and disadvantages of these three kinds of hydraulic transmission system were pointed out on the above basis. Compared with valve controlled hydraulic transmission system and pump controlled hydraulic transmission system, servo hydraulic transmission system has the advantages of good servo performance, low cost, high processing quality and precision. Servo hydraulic transmission system is very suitable for fast forging hydraulic press. Finally, the characteristics of three different hydraulic transmission systems were summarized, and servo hydraulic transmission system was regarded as the main trend of development in fast forging hydraulic drive system.

Key words: fast forging hydraulic press; valve controlled hydraulic transmission system; pump controlled hydraulic transmission system; servo hydraulic transmission system

快锻液压机属于自由锻造液压机的一种, 主要

应用于锻造速度高、锻造频率高、压力行程小的工作场合, 是目前工业生产中常用的锻压设备。1952 年瑞典首先研制出了采用油泵直接驱动的、高行程次数的快锻液压机, 液压机的工作频率最高可达到 $120 \text{ 次} \cdot \text{min}^{-1}$, 比普通水压机快 5 ~ 6 倍^[1]。此后, 国外不断在快锻液压机领域投入资金进行研发, 其中的代表就是德国和日本^[2], 这两个国家的快锻液

收稿日期: 2015-08-01; 修订日期: 2015-10-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51305333); 陕西省科学技术研究发展计划工业攻关计划项目 (2014K07-23)

作者简介: 陈 超 (1990-), 男, 博士研究生

E-mail: 849918977@qq.com

[28] Haight Brent. Advanced technologies are opening doors for new materials [J]. Automotive Industries, 2003, 183 (4): 40-43.

[29] 朱敏, 曹娟华. 铝合金在汽车上的应用分析 [J]. 江西化工, 2013, (2): 31-35.

Zhu M, Cao J H. The analysis of aluminum alloy materials in modern automobile [J]. Jiangxi Chemical Industry, 2013, (2): 31-35.

[30] 高亚楠, 温龙飞. 浅谈汽车材料的轻量化发展态势 [J]. 汽

车工业研究, 2007, (3): 33-35.

Gao Y N, Wen L F. Development of light weighting materials in automotive [J]. Auto Industry Research, 2007, (3): 33-35.

[31] 冯美斌. 结构优化和新材料技术对商用车轻量化的影响 [J]. 汽车零部件, 2015, (4): 79-81.

Feng M B. Effects of structural optimization and new materials technology on commercial vehicles lightweight [J]. Automobile Parts, 2015, (4): 79-81.

压机技术全球领先。在德国,具有代表性的液压机生产厂家有曼内斯曼德马克公司和潘克公司;在日本,具有代表性的液压机生产厂家主要是三菱株式会社^[3-6]。这几个公司生产的快锻液压机在全球市场占据了主要份额。

我国早期的快锻液压机主要依靠德国和日本进口。而后陕西的西重所和甘肃的兰石公司开始研发具有自主知识产权的快锻液压机。西重所和北京重型机械厂联合研发了国内第1台8 MN的快锻液压机,从而在液压机领域取得突破,而后再经升级改造,该液压机的功能更为强大^[7-9]。在技术改进的基础上,兰石公司又研发了16 MN快锻液压机,随后国内在快锻液压机领域不断突破,生产出更多大吨位的快锻液压机。

目前国内仍无法生产20 MN以上的快锻液压机,这类液压机大多需要从德国等发达国家进口。20 MN以下的快锻液压机以自主研发为主,但有些主要部件无法从国内买到,需要依赖国际市场^[10],快锻液压机的整体研发水平还与德国等发达国家存在较大的差距。

我国拥有的快锻液压机存在快锻速度慢、快锻精度低等一系列缺点,长时间工作时,设备会产生较大振动,影响加工精度。工作时,快锻液压机的主要考核指标是快锻速度和工作精度。液压机的核心技术是快锻液压机的传动系统,其直接影响着快锻液压机的工作速度和精度,研究快锻液压机的传动系统对提高快锻液压机的工作性能具有重要意义。

1 阀控液压传动系统

阀控液压传动系统的方案多采用电液比例插装阀、大通径伺服滑阀和多级插装节流阀等。多级插装节流阀传动系统由于阀路复杂,调试与维修麻烦,系统的平稳性与快速性这一矛盾难以协调,其综合性能并不理想。伺服滑阀需采用特制液压机,生产成本低,工作时还易发生液压冲击,因而应用不多。

电液比例插装阀具有流量大、响应快等一系列优点,20世纪90年代末,国外部分液压机生产公司在快锻液压机上采用了电液比例插装阀^[11-13]。随着国内技术的发展,国内液压机生产公司也逐步在快锻液压机上采用比例插装阀^[14-16],并取得了良好的生产效果。每个比例插装阀采用单独的PID控制

器,提高了液压传动系统的控制特性^[17]。

采用电液比例阀控的液压传动系统,快锻液压机下行时,打开回程缸泄压阀和工作缸进液阀,关闭回程缸进液阀和工作缸泄压阀,液压泵输送液压油进入工作缸驱动压机工作。回程时,打开回程缸进液阀和工作缸泄压阀,关闭回程缸泄压阀和工作缸进液阀,液压泵输送液压油进入回程缸驱动液压机工作^[18]。为了调节液压机的工作,上述4个阀在工作过程中始终处于动态调节状态。但是阀控液压传动系统也存在固有的缺陷:(1)污染的液压油易造成阀控系统的磨损,因此对油液的纯度要求非常高;(2)节流阀或溢流阀的使用必将产生由节流损失而导致的油温升高;(3)阀路系统结构复杂,维护和保养不便,成本较高;(4)阀控系统采用节流调试控制,这种系统在换向时会产生较大的冲击,能量利用率低。

2 泵控液压传动系统

2.1 变频调速泵控系统

变频调速泵控系统一般是由液压泵、变频调速电机和相关液压阀组成,利用变频器调节电机改变泵的流量来控制执行元件的流量或压力的变化。变频调速泵控系统就是利用调速电机调速范围宽、可以频繁换向的优点来取代阀控系统的功能。泵控系统可选择的泵有齿轮泵^[19]、柱塞泵和叶片泵等。

变频调速泵控液压传动系统与电液比例阀控液压传动系统的最大区别在于:在采用变频调速泵控液压传动系统的快锻液压机中,工作缸进液阀、工作缸泄压阀、回程缸进液阀、回程缸泄压阀在工作过程中不存在动态调节状态,只有打开和关闭两个状态,由泵输出的流量控制来控制滑块的速度和位置。

变频调速泵控系统具有结构简单、节能环保和维护方便等优点。但是该液压传动系统还存在响应频率低、稳定性差等缺点^[20],这些问题在一定程度上影响了变频调速泵控液压传动系统的使用。

2.2 正弦泵控系统

正弦泵是一种高压大流量变量柱塞泵,泵输出流量的大小和方向主要受到定子与转子间偏心量大小及方向的影响。正弦泵的流量随时间呈现出正弦变化的规律,主要通过调节偏心摆的位置调节正弦泵的输出流量^[21]。正弦泵通过输出流量控制快锻液

压机的工作速度,泵本身可通过转换调节液压机的工作方向,非常方便,液压机的锻造精度可通过控制正弦泵实现^[22],因此正弦泵控系统控制的快锻液压机在空程下降、加压及回程时压力冲击小。

正弦泵控液压传动系统属于容积调速,能量利用率高,结构简单。但目前大功率的正弦泵已被德国的 Wepuko - Pahnke 公司申请专利,且该类正弦泵也不易买到。近几年, Wepuko - Pahnke 公司不再制造中小型的液压机,且该公司的研发生产周期一般需 2 ~ 3 年,已无法满足中国市场需求^[23]。此外,正弦泵控系统对液压油的要求高,维护保养不便。

2.3 变量机构调节式泵控系统

变量机构调节式泵控系统是通过变量机构来改变变量泵的输出流量,以实现执行元件速度改变的目的,这种系统称为伺服电机直驱变量泵的变量斜盘的电液伺服系统,其原理如图 1 所示。变量泵的变量机构有很多种,但常见的是通过液压系统来改变液压泵的斜盘倾角。这种方案主要通过变换斜盘的倾角进行调速,但倾角不能产生大幅度变化,使该变量泵的调节范围受到了限制,不能应用于对调速要求高的场合。此外该系统具有控制精度低、液压泵响应速度慢的缺点。西安交通大学的赵升吨教授课题组为了克服以上缺点设计了通过交流伺服电动机驱动滚珠丝杠机构来调节液压泵的斜盘倾角^[24],其原理图如图 2 所示。

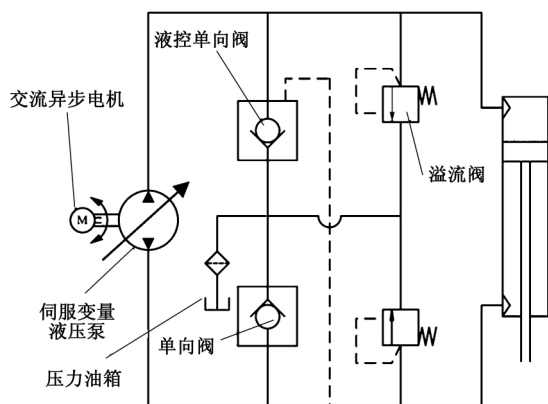


图 1 伺服直驱变量泵的变量斜盘液压系统原理图
Fig. 1 Variable inclined plate hydraulic system of servo direct drive variable pump

3 伺服液压传动系统

西安交通大学的赵升吨、范淑琴等提出了一种

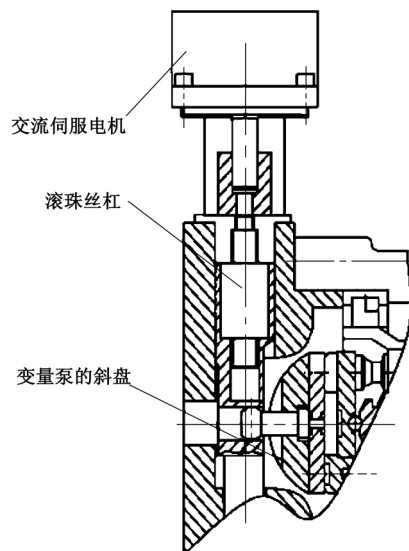


图 2 伺服变量泵变量原理图
Fig. 2 Variable theory of servo variable-capacity pump

不采用油泵的新型伺服快锻液压机^[25]。该无油泵快锻液压机不需要油泵,采用交流伺服电机通过带轮直接驱动滚珠丝杠运动。滚珠丝杠下端为增压缸,利用液压增压,实现快锻液压机在压制阶段的增力锻压。该快锻液压机回程采用拉缸直接拉动滑块向上运动,具有响应速度快、回程速度快的优点。图 3 为该液压传动系统的原理图。

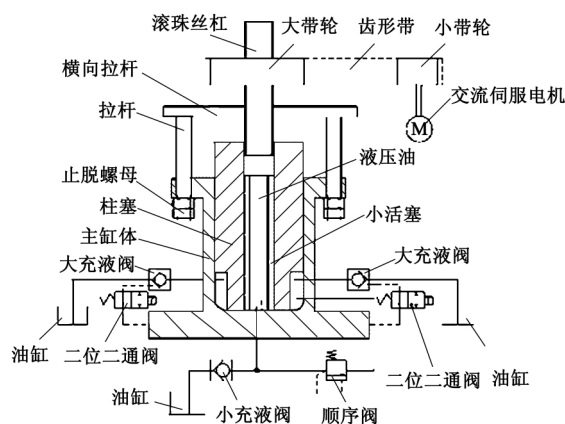


图 3 液压系统原理图
Fig. 3 Principle diagram of hydraulic system

快锻液压机的工作流程如图 4 所示。图 4a 为滑块处于初始状态,即位于上死点的位置;图 4b 为滑块快速下行时的状态,拉杆和主缸体法兰已分离,分离距离为 d (mm);图 4c 为液压机工作行程开始的状态,主缸体处于低速压制状态,拉杆和主缸体法兰分离距离为 e (mm);图 4d 为液压机工作行程结束的状态,此时拉杆和主缸体法兰分离距离达到最大 f (mm)。工作行程结束状态即回程起始状态,

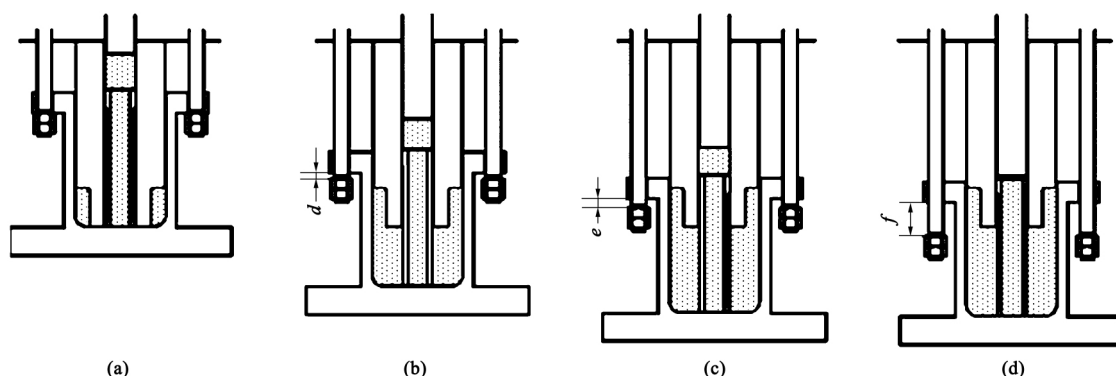


图4 快锻液压机工作流程图

(a) 初始状态 (b) 快速下行 (c) 工作行程开始 (d) 工作行程结束

Fig. 4 Working flow chart of fast forging hydraulic machine

(a) Initial state (b) Fast downlink (c) Initiation of working schedule (d) End of working schedule

拉杆走完 c (mm) 距离后, 带动主缸体以高速同步上行至上死点^[25]。

该伺服液压传动系统通过控制伺服电机调节滑块的工作速度和位置, 伺服电机的调速范围广, 伺服性能好, 回程速度快, 可实现滑块在任意位置停留, 使液压加工柔性可调, 减少模具的重复制造和浪费, 节约成本, 提高产品质量。如图5和图6所示, 以2 s的单次行程为例, 该伺服液压系统在快速向下行程中具有高速运动的特性, 在工作行程时具有低速锻压的特性。空程时快速运行可降低行程时间, 提高工作效率。工作行程时低速锻压有利于顺利成形锻件, 延长保压时间, 减小工件对模具的冲击, 延长模具使用寿命。

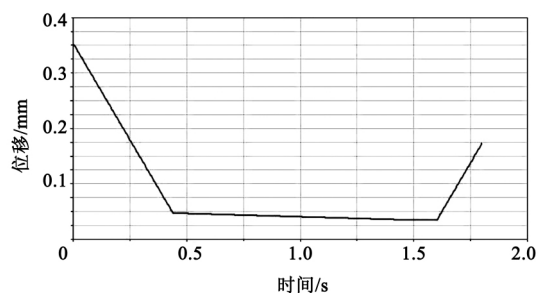


图5 位移-时间曲线

Fig. 5 Displacement-time curve

西安交通大学的范淑琴等针对快锻液压机“快速向下、低速锻压”的性能要求, 提出了一种适用于伺服式快锻液压机的3层活塞电动液压缸^[26]。如图7所示, 该伺服液压缸通过伺服电机直驱滚珠丝杠带动活塞做上下往复运动, 采用了3层活塞实现增压。该伺服式快锻液压机工作时, 电机驱动滚珠丝杠旋转, 带动第1层活塞2下降, 第1层活塞2

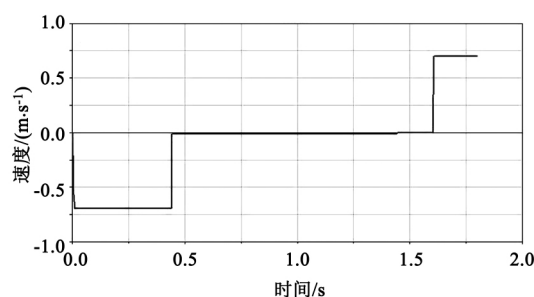


图6 速度-时间曲线

Fig. 6 Velocity-time curve

推动第2层活塞3下行, 将液压油从A腔4压入B腔5, 从而使第3层活塞6以与第2层活塞3相同的速度快速下行, C腔7内的液压油通过管路流入D腔1, 实现“快速向下”行程。当第1层活塞2上的活塞杆插入小活塞腔时, A腔4和B腔5隔断, 此时, 第1层活塞2上的活塞杆在B腔5中继续下行, 推动第3层活塞6慢速下行, 由于第1层活塞2上的活塞杆的面积比第3层活塞6小很多, 因此可以实现“低速锻压”行程。该伺服式液压缸整体结构简单, 液压油在缸体内部进行循环, 在液压缸工作时能够实现迅速充排液, 具有速度快、控制精度高等优点。但是, 该伺服液压缸也存在缸体长、弹簧质量要求高等缺点, 比较适合应用在小吨位的快锻液压机上。

目前该伺服液压传动系统仍处于研发阶段, 其实际性能还未得到工业生产验证。未来压力机重要的考核指标就是其伺服性能^[27]。伺服液压传动系统是快锻液压机未来的发展趋势之一, 目前产品开发的关键之处是从研发阶段迈入成品制造及使用阶段, 在此方面, 还需要业内人士积极投

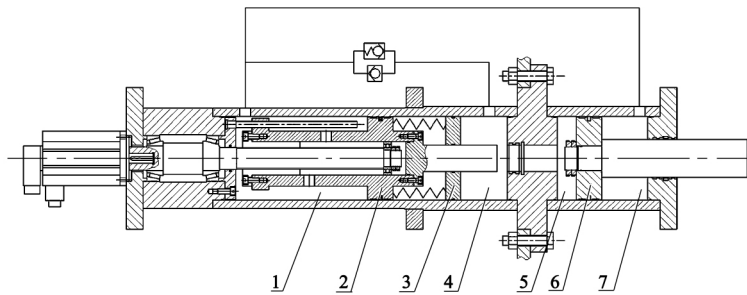


图 7 伺服液压缸

1. D 腔 2. 第 1 层活塞 3. 第 2 层活塞 4. A 腔 5. B 腔 6. 第 3 层活塞 7. C 腔

Fig. 7 Servo hydraulic cylinder

入精力。

4 结论

(1) 中国的快锻液压机研发技术起步晚, 与国外发达国家还有一定的差距。研究快锻液压机的液压传动系统对于提高我国快锻液压机的性能具有重要意义。

(2) 阀控液压传动系统是早期快锻液压机最常用的系统, 目前在国内的快锻液压机上也有很广泛的应用。但阀控液压传动系统存在结构复杂、对油液纯度要求高、换向冲击大等缺点。

(3) 泵控液压传动系统主要可分为变频调速泵控系统、正弦泵控系统和变量机构调节式泵控系统。泵控液压传动系统的阀路简单, 维护保养方便, 但也存在响应频率较低、转速稳定性差等缺点。

(4) 伺服液压传动系统依靠伺服电机实现对快锻液压机滑块运动的控制, 实现滑块运动数字伺服控制, 提高加工柔性, 节约成本, 提高产品质量。但该系统还未在工业生产中得到使用, 需要进一步投入精力进行研发。

参考文献:

- [1] 孟欣佳. 快锻液压机的工作过程数值仿真与液压控制策略研究 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2009.
Meng X J. Numerical Simulation of Working Process and Study of Hydraulic Control Strategy of A Fast Forging Hydraulic Press [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2009.
- [2] 孙彩丽. 20 MN 快锻液压机设计及整体工作性能分析 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2007.
Sun C L. Design and Whole Work Performance Analysis of 20 MN Quick Forging Hydranic Press [D]. Qinhuangdao: Yanshan Uni-

versity, 2007.

- [3] Les Claar, Al Derouen, Bruno Stillhard. New life for hydraulic presses [J]. Engineering and Technology Guide, 1989, (12): 40-46.
- [4] Denman D, McNeil W. Multi-axial serbohydraulics controls compaction press [J]. Hydraulic & Pneumatics, 2000, 98 (2): 259-264.
- [5] Lee Y H, Kopp R. Application for fuzzy control for a hydraulic forging machine [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 118: 99-108.
- [6] Lilly K W, Melligeri A S. Dynamic simulation and neural network complicate control of an intelligent forging center [J]. J. Intell. Robot. Syst.: Theory, 1996, 17: 81-99.
- [7] 周斌, 崔晓, 李阁强. 变排量直驱式液压系统在金属屑压机中的应用研究 [J]. 锻压技术, 2014, 39 (12): 71-78.
Zhou B, Cui X, Li G Q. Research on application of the direct drive variable displacement hydraulic system in metal shaving press [J]. Forging & Stamping Technology, 2014, 39 (12): 71-78.
- [8] 周宇峰, 谭建平, 许洪韬, 等. 大型液压机卸压冲击影响因素研究 [J]. 锻压技术, 2015, 40 (11): 58-62.
Zhou Y F, Tan J P, Xu H T, et al. Study of influential factors on decompression shock of large hydraulic press [J]. Forging & Stamping Technology, 2015, 40 (11): 58-62.
- [9] 艾超, 孔祥东, 刘胜凯, 等. 泵控液压机蓄能器快锻回路控制特性影响因素研究 [J]. 锻压技术, 2014, 39 (2): 88-95.
Ai C, Kong X D, Liu S K, et al. Study on the influence factors of control characteristics of accumulator fast forging circuit for pump-controlled hydraulic press [J]. Forging & Stamping Technology, 2014, 39 (2): 88-95.
- [10] 王建军. 20 MN 快锻液压机关键部件结构分析 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2007.
Wang J J. Structure Analysis of Key Parts of 20 MN Quick Forging Hydraulic Press [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2007.
- [11] 李贵闪, 翟华. 电液比例控制技术在液压机中的应用 [J]. 锻压装备与制造技术, 2005, 40 (6): 28-30.
Li G S, Zhai H. Application of electro-hydro proportional control

- in hydraulic press [J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2005, 40 (6): 28-30.
- [12] 黄火兵, 夏伟, 屈盛官, 等. 比例控制与插装阀技术的应用与发展 [J]. 机床与液压, 2007, (4): 229-231.
Huang H B, Xia W, Qu S G, et al. The application and development of proportional control and cartridge valve technology [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2007, (4): 229-231.
- [13] Tseknovich L I. Dynamics investigation for high-speed hydraulic press [J]. Metallurgical Plant and Technology, 1995, 88 (6): 22-25.
- [14] 陈柏金, 黄树槐. 锻造液压机液压系统传动方式研究 [J]. 锻压技术, 2003, 28 (2): 44-47.
Chen B J, Huang S H. Research on drive mode about hydraulic servo system of forging hydraulic press [J]. Forging & Stamping Technology, 2003, 28 (2): 44-47.
- [15] 刘忠伟, 刘少军, 黄明辉, 等. 巨型模锻液压机同步控制系统控制性能影响因素研究 [J]. 锻压技术, 2010, 35 (10): 64-68.
Liu Z W, Liu S J, Huang M H, et al. Influence factors research on control performance of synchronous control system for giant forging hydraulic press [J]. Forging & Stamping Technology, 2010, 35 (5): 64-68.
- [16] 姚静. 锻造液压机液压控制系统关键技术研究 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2009.
Yao J. Research on Key Technology of Hydraulic Control System in Forging Oil Press [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2009.
- [17] 李源. 31.5 MN 快锻液压机液压系统研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
Li Y. Research on Hydraulic System of 31.5 MN Fast Forging Press [D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.
- [18] 陈刚. 0.6 MN 正弦泵控液压机蓄能器快锻子系统设计 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2013.
Chen G. The Study on Accumulator Fast Forging Subsystem of 0.6 MN Sinusoidal Pump-Controlled Press [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2013.
- [19] 徐平, 沈佳兴, 王慧. 四径向轮齿泵优化设计及仿真 [J]. 流体机械, 2015, 43 (1): 33-37.
Xu P, Shen J X, Wang H. Optimization design and simulation of four radial gear pump [J]. Fluid Machinery, 2015, 43 (1): 33-37.
- [20] 赵继云, 杨存智, 赵亮, 等. 矢量控制变频液压容积节流调速系统仿真研究 [J]. 中国机械工程, 2008, 19 (17): 2037-2040.
Zhao J Y, Yang C Z, Zhao L, et al. Performance simulation of a vector control variable frequency hydraulic system with the combination of a throttle and variable displacement speed control [J]. China Mechanical Engineering, 2008, 19 (17): 2037-2040.
- [21] 丁问司, 张旭, 袁林燕. 基于 AMESim 的交流正弦液压泵动态特性仿真分析 [J]. 液压与气动, 2013, (11): 29-32.
Ding W S, Zhang X, Yuan L Y. Simulation analysis of dynamic characteristics of sinusoidal pump based on AMESim [J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2013, (11): 29-32.
- [22] 张旭. 交流正弦液压泵动态性能设计与分析 [D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
Zhang X. Design and Analysis of Dynamic Performance of Alternating Sinusoidal Pump [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [23] 窦雪川. 22 MN 快锻液压机快锻系统理论与实验研究 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2009.
Dou X C. Theoretical and Experimental Research on the Fast Forging System of 22 MN Fast Forging Press [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2009.
- [24] 魏树国. 开关磁阻电动机直驱定量泵控式液压机关键技术的研究 [D]. 西安: 西安交通大学, 2009.
Wei S G. Research on Key Techniques of the Hydraulic Press with Constant Delivery Pump Directly Controlled by Switched Reluctance Motor [D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2009.
- [25] 李旭. 新型开式快速伺服液压机及其动态特性的研究 [D]. 西安: 西安交通大学, 2008.
Li X. Research on A New Type of Open-Back High Speed Servo-Hydraulic Press and Dynamic Characteristic [D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2008.
- [26] 赵升吨, 范淑琴, 李靖祥, 等. 一种交流伺服直驱增压式三层活塞电动液压缸及增压方法: 中国专利, 103148046A [P]. 2013-06-12.
Zhao S D, Fan S Q, Li J X, et al. A servo direct drive booster type three layer piston electric hydraulic cylinder and pressure boosting method: China Patent, 103148046A [P]. 2013-06-12.
- [27] 赵升吨, 陈超, 崔敏超, 等. 交流伺服压力机的研究现状与发展趋势 [J]. 锻压技术, 2015, 40 (2): 1-8.
Zhao S D, Chen C, Cui M C, et al. Research status and development tendency of AC servo press [J]. Forging & Stamping Technology, 2015, 40 (2): 1-8.

《锻压技术》郑重声明

为充分尊重作者权益, 坚决抵制学术不端行为, 积极倡导优良学风, 努力为学术创新营造良好氛围, 本刊郑重声明: 对一稿多投, 重复发表, 存在署名有争议, 引用他人著述未注明出处, 抄袭、剽窃、弄虚作假, 或以上情况的变相形式等学术不端行为的文章, 坚决拒绝刊登。一经发现, 立即撤稿, 并由本刊视情节轻重给予书面警告、拒绝刊登有其署名的稿件、通知其所在单位等处理。轻者给予3~5年不允许刊发其论文的处罚, 情节严重者, 将以适当方式予以公布, 该作者的论文永久不得刊用。

《锻压技术》编辑部