

节能技术

快速锻造液压机叠加供液节能技术

陈柏金¹, 张连华², 马海军², 芦光荣³

(1. 华中科技大学 材料科学与工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中科聚信洁能热锻装备研发股份有限公司, 江苏 盐城 224000;
3. 陕西嘉恒智能液压技术有限公司, 陕西 西安 710000)

摘要: 根据快速锻造液压机工作过程中的能量需求特性, 提出了一种新型能量供给方式, 即叠加供液节能技术。采用蓄能器进行中低压储能, 在液压机的一个工作循环中, 直接利用低压充液罐或高位油箱为快下行程充液, 在变形压力较小时利用蓄能器为加压行程提供中低压成形压力, 在变形压力较大时利用增压器提供高压成形压力, 这3个过程由液压及控制系统进行平稳连贯过渡。其次, 对叠加供液的相关原理进行了详述, 并介绍了采用叠加供液节能技术的35 MN快速锻造液压机液压工作原理。该技术已在实际生产中成功应用, 且在不降低技术指标的前提下, 装机功率低于目前标准机组的1/3, 标准机组空载损耗的电量即能满足该机组的正常运行, 节能效果明显且成本低。

关键词: 锻造液压机; 节能; 叠加供液; 增压器; 装机功率

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.06.027

中图分类号: TG315

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2023) 06-0199-05

Superimposed liquid supply energy-saving technology on fast forging hydraulic press

Chen Baijin¹, Zhang Lianhua², Ma Haijun², Lu Guangrong³

(1. School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;
2. Zhongke Juxin Jieneng Thermal Forging Equipment R&D Co., Ltd., Yancheng 224000, China;
3. Shanxi Jiaheng Intelligent Hydraulic Technology Co., Ltd., Xi'an 710000, China)

Abstract: According to the characteristics of energy demand in the working process of fast forging hydraulic press, a new energy supply method, namely, the superimposed liquid supply energy-saving technology, was proposed. This technology used an accumulator for medium and low-pressure energy storage, and in a working cycle of the hydraulic press, a low-pressure liquid filling tank or a high-level oil tank was directly used to fill the liquid for the fast-down stroke. When the deformation pressure was small, the accumulator was used to provide medium and low-pressure forming pressure for the pressurizing stroke, and when the deformation pressure was larger, the supercharger was used to provide high-pressure forming pressure. These three processes were smoothly and coherently transitioned by the hydraulic pressure and control systems. Then, the relevant principles of superimposed liquid supply were described in detail, and the hydraulic working principle of 35 MN fast forging hydraulic press adopting superimposed liquid supply energy-saving technology was introduced. Furthermore, this technology was successfully applied in the actual production. The results show that under the premise of not reducing technical indicators, the installed power using this technology is lower than 1/3 of the current standard unit, and the power consumption of the standard unit without load can meet the normal operation of the unit with significant energy-saving effects and low cost.

Key words: forging hydraulic press; energy saving; superimposed liquid supply; supercharger; installed power

快速锻造液压机是机电液一体化的高技术装备, 广泛应用在机械、特殊钢、有色冶金、船舶、能源等行业, 具有装机功率高、能耗大和技术复杂等特点。随着生产竞争的加剧以及节能减排、低碳制造、

绿色发展理念的不断深入, 企业对快速锻造液压机组的经济性、生产效率等提出了新要求。降低快速锻造液压机组的能量消耗、提高能量利用率是快速锻造液压机组发展过程中面临的主要问题。

目前, 快速锻造液压机的液压传动系统主要有两大类: 一类是泵控系统, 另一类是阀控系统。泵控系统为Wepuko PAHNKE公司的技术, 其液压控制原理为该公司的修正正弦直接驱动PMSD (Pahnke Modi-

收稿日期: 2021-11-22; 修订日期: 2022-02-18

作者简介: 陈柏金 (1965-), 男, 博士, 教授

E-mail: chenbaijin@sina.com

fied Sinus Direct Drive) 技术, 这种传动方式不使用控制阀门来控制液压机运动, 而是利用该公司的可快速响应的双向变量径向柱塞泵控制液压机的压力、速度和运动方向, 使液压机的位移轨迹为修正的正弦曲线, 该传动系统的特点是运行平稳、无冲击, 与其他阀控传动系统相比, 可节能 20%~30%^[1]。

阀控系统是另一类广泛应用的液压传动系统, SMS、辛北尔康普、Oilgear 以及国内厂家均应用该类系统。快速锻造液压机的锻造速度快, 液压系统输出流量大, 阀控系统利用各种控制阀来进行流量调节, 阀口节流造成大量能量损失, 浪费能源。国外厂家开始将阀控节流系统改变成变量泵容积控制系统, 如 SMS 近期推出的几套快速锻造液压机, 液压系统所有的主泵均采用比例控制变量泵, 通过比例泵输出流量来调节压机的运行速度, 压机处于停止状态时基本不输出流量, 尽量减少系统的能量损失^[2]。辛北尔康普智能动力系统 IPS (Intelligent Power System) 根据工况控制主泵的输出, 提高压机对能量效率的新需求, 其获得专利的传动系统已经在实践中证明节能高达 30%^[3]。

上述新型传动系统只是使液压系统的输出流量

与压机的工作速度相匹配, 减少了系统中的节流损失, 提高了能量利用率, 但无法改变其装机功率大的问题。如一套 31.5/35 MN 快速锻造液压机组, 总装机功率在 4000 kW 以上, 电机的能耗仍然很高。快速锻造液压机组中的能量损失有多种, 系统的装机功率与负载功率不匹配产生的能量损失比机械能-压力能的转换损失以及压力能传输过程中的能量损失大很多^[4-6]。

1 快速锻造液压机能量特性

快速锻造液压机的基本动作为快下、加压、快回、停止等动作, 如图 1 所示。由于其运动部分 (活动横梁、主缸柱塞、回程缸、上砧等) 质量在数十乃至数百吨以上, 运动惯量大, 为使活动横梁运动平稳、换向冲击振动小, 压机的每个动作之间都有一个速度转换过程, 如从停止开始进行一个动作循环: 活动横梁从停止加速转慢下、慢下加速转快下、快下减速转加压、加压到锻造尺寸后转慢速卸压回程、卸压到一定压力后转快速回程、接近上停点时转减速慢回至停止。

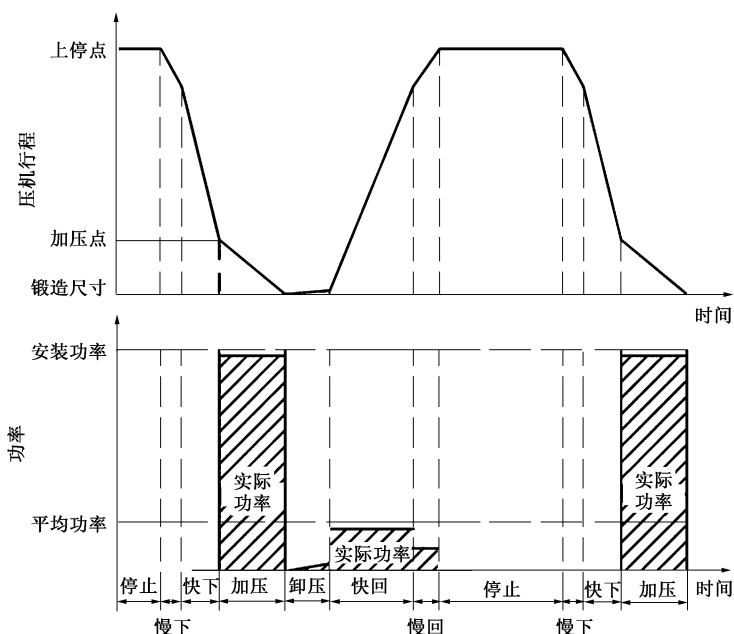


图 1 快速锻造液压机动作循环与功率关系图

Fig. 1 Relationship diagrams between action cycle and power of fast forging hydraulic press

在图 1 中, 压机快下时回程缸油液直接排回油箱, 压机依靠运动部分自重加速下行, 主缸通过充液罐或高位油箱补充低压油, 快下行程可不消耗电机的能量; 在压机运动部分接触坯料时转入加压行程, 坯料的成形能量完全由电机提供; 在坯料加压

至锻造尺寸时, 压机停止加压, 转入卸压慢回阶段, 主缸卸载阀开启, 主缸排油, 当主缸压力下降至设定压力时, 压机开始慢速回程, 这一阶段所需能量很少; 主缸压力进一步下降, 回程缸压力上升, 压机开始快速回程, 回程时压机驱动的负载为活动横

梁等运动部分重量,压机所消耗的能量较少;在压机回程到接近上停点时,回程缸流量减小,压机减速停止。

快速锻造液压机完成各种金属坯料在热态下的自由锻造,包括镦粗、拔长等多种自由锻工序,各工序间存在坯料的送进、翻边、掉头、剁切、上下料等辅助动作,压机在工作过程中有较多的停止时间。从图1压机工作过程中所需能量及功率分布可以看出,压机多数时刻处于低负荷或空载状态,仅在加压状态需要高能量^[7-9]。快速锻造液压机为满足加压行程的高能量要求,压机的装机功率按最大功率需求配置,造成装机功率大、空载损耗大、能量利用率低,以及企业的电力增容成本高,在一个常锻工作循环中压机的能量有效利用率只有14.3%^[10]。

2 快速锻造液压机叠加供液实现方法

在压机的1个工作循环中,有3种不同级别的能量需求,对应液压传动系统的3种压力状态:快下时空载、低负荷加压及回程时为中低压力、满负荷加压时为高压,且多数时刻均在空载及中低压力状态下工作。液压系统如能根据需要提供这3种不同的压力,则系统的能量利用率可以有效提高。采用中低压储能方式,配以压力调节装置,满足不同压力需求,则能够显著降低机组的装机功率,降低能量消耗。

液压系统中能量储存由蓄能器实现。目前的快速锻造液压机中,蓄能器仅用来实现快锻回程动作,减少压机回程的建压时间,提高快锻时的锻造频次。在传统水压机中,蓄能器用来储存能量,泵将液体输出至蓄能器储存,采用的是30 MPa左右的高压

储能方式,储能效率低,同时压机多数时刻为低负荷工作,大量的高压液体产生节流损失,浪费能量,水压机中的泵-蓄能器传动效率低。

采用15~16 MPa的中低压储能方式能够提高储能效率,降低泵组的要求,同时,蓄能器储存的中低压能量能够满足压机多数时刻的压力需求,也能满足机组中其他辅助装置和控制阀组的压力需求,可省去相应的专用泵组。

压机使用传统高压蓄能供液的弊端是其工作速度随变形抗力的增加会发生变化,即加压过程中蓄能器压力会下降,影响加压速度。采用中低压储能方式,当压机的工作压力在储能压力范围内时,蓄能器和泵组一起投入工作,压机的速度随负载变化小;当工作压力超过蓄能器储能压力时,采用恒流量增压器工作,压机的工作速度基本不受变形抗力变化的影响。

图2为恒流量增压器工作原理图,增压器为双向工作连续增压器,采用位移传感器检测增压活塞位置,自动进行增压过程中的方向转换;同时,采用比例阀控制增压器的输出流量,使增压器运行过程平稳、流量输出稳定^[11]。工作过程如下。

(1) 向下增压:阀YA1得电,从蓄能器来的压力油进入增压器3腔,并通过单向阀YA2进入4腔;阀YA3得电,增压器2腔油液排回油箱,增压活塞对1腔油液增压;阀YA4得电,增压器1腔中油液经比例阀YA9输出。

(2) 向上增压:阀YA5得电,从蓄能器来的压力油进入增压器2腔,并通过单向阀YA6进入1腔;阀YA7得电,增压器3腔油液排回油箱,增压活塞对4腔油液增压;阀YA8得电,增压器4腔中油液经比例阀YA9输出。

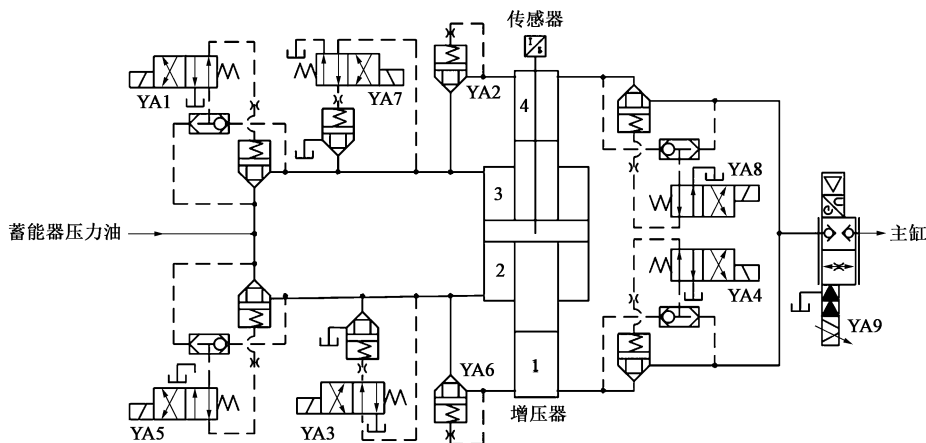


图2 恒流量双向增压器原理图

Fig. 2 Principle diagram of constant flow two-way supercharger

系统的叠加供液过程如下。

(1) 快下行程：压机的快下行程为快速接近坯料，提高生产效率。快下行程中主缸不做功，只需补充低压油液，现有的快速锻造液压机多采用主泵与低压充液罐或高位油箱同时为主缸充液。这一过程可通过主动控制充液阀的启闭实现，由充液装置单独完成，主泵不参与工作。

(2) 加压行程：压机在坯料较小或坯料的变形抗力较低时，蓄能器储存的中低压压力油进入主缸，完成坯料的成形；当成形压力接近蓄能器的储能压力时，增压器立即投入工作，产生所需要的工作压力。

(3) 回程行程：回程时直接利用蓄能器内的油液进行相应动作。

3 叠加供液快速锻造液压机液压工作原理

采用叠加供液技术的 35 MN 快速锻造液压机的液压工作原理如图 3 所示。主泵泵组为 12 台排量为 $250 \text{ ml} \cdot \text{r}^{-1}$ 的液压泵，工作压力为 16 MPa，每台由 110 kW、 $1480 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 电机驱动，12 台主泵同时为 6 组蓄能器储能。蓄能器储存的能量同时提供给两台全液压锻造操作机使用。压机主缸及回程缸工作油液排入充液罐，通过循环控制阀 V11 将充液罐内多余油液引入缓冲罐降压、稳压，并利用缓冲罐的残余压力使油液进入热交换器进行循环冷却^[12]。

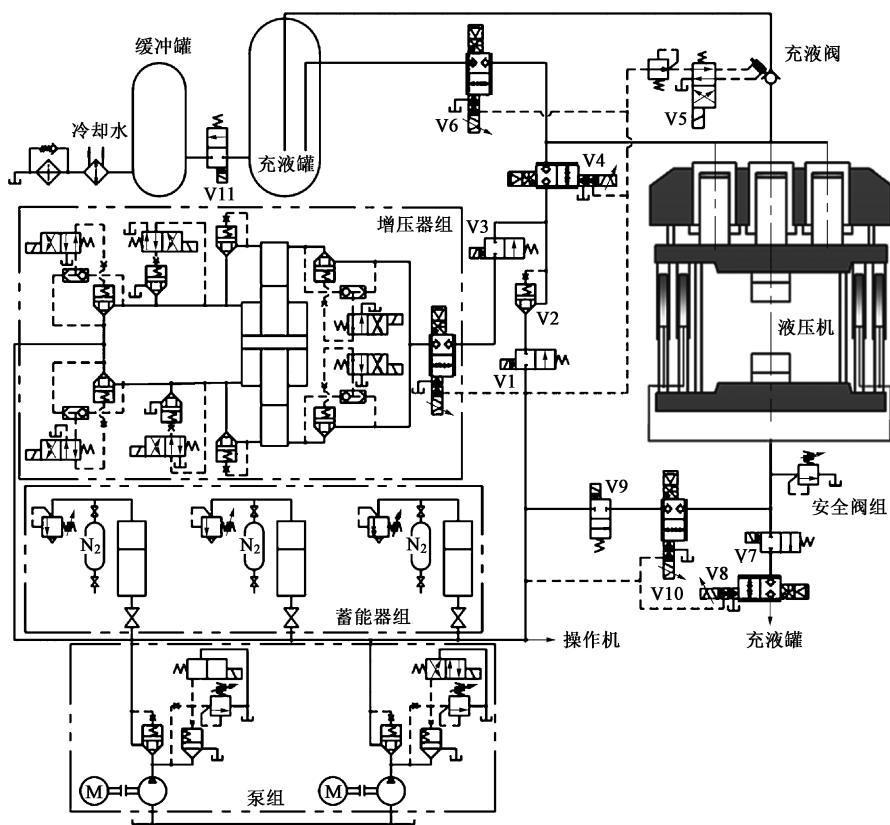


图 3 基于叠加供液技术的 35 MN 快速锻造液压机的液压工作原理图

Fig. 3 Diagram of hydraulic working principle for 35 MN fast forging hydraulic press based on superimposed liquid supply technology

压机动作如下。

(1) 快下：逻辑阀 V7 得电，比例阀 V8 开度较大，回程缸油液直接回充液罐，活动横梁在自重作用下快速下行；主缸充液控制阀 V5 得电，充液阀打开，充液罐为主缸充液。

(2) 加压：比例阀 V8 开度变小，回程缸以一定背压排油；主缸充液控制阀 V5 失电，充液阀关闭；阀 V1 得电打开，蓄能器组来的压力油经单向

阀 V2、比例阀 V4 进入主缸，活动横梁在主缸压力作用下加压下行；在压机加压过程中，主缸压力上升至控制系统设定的增压器开始工作压力时，增压器组按时间顺序投入，阀 V3 打开，增压器出来的油液经比例阀 V4 进入主缸，实现主缸的高压加压。

(3) 卸压及回程：压机加压至锻造尺寸，回程缸排液阀 V7 和 V8 关闭，比例阀 V4 关闭，主缸卸载阀 V6 对主缸卸压泄流；当主缸压力下降至一

定压力时,回程缸进液阀组 V9 和 V10 开启,蓄能器压力油进入回程缸,压机实现回程动作。

(4) 停止:控制压机动作的阀组关闭,压机停止在任意位置。主泵继续对蓄能器组充液,当达到设定最高充液压力时,主泵卸荷运行,如卸荷运行一定时间,主泵电机自动停机。

4 结语

采用叠加供液技术为快速锻造液压机的不同动作提供相应压力级别的油液,解决了目前快速锻造液压机中装机功率与实际需求不匹配的问题,显著降低了机组的装机功率,降低了能量损耗,提高了能量利用率。叠加供液技术已在作者开发的 35 MN 快速锻造液压机组中成功应用:压机及两台 200 和 400 kN 的锻造操作机共用压机泵站,总装机功率为 1320 kW,不到目前兰石重工相同技术参数的快速锻造液压机组装机功率 4325 kW 的 1/3,其投资成本相近,节能效果明显,企业的使用成本显著降低。

参考文献:

- [1] Wepuko PAHNKE GmbH. Hans-Joachim pahnke book [EB/OL]. <https://www.wepuko.de/en/downloads-videos/hans-joachim-pahnke-book>, 2020.
- [2] SMS group. New high-speed open-die forging press from SMS group in operation at WST [EB/OL]. <https://www.sms-group.com/plants/reference-detail/western-superconducting-technologies-co-ltd-wst-china-39>, 2019.
- [3] Siempelkamp. Intelligent engineering for future generations [EB/OL]. <https://www.siempelkamp.com/en/products-and-technologies/machine-and-plant-engineering/metal-forming-presses/kacheln/>
- [4] 刘明. 基于液压泵和电机能量转换效率提升的液压系统节能方法 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
Liu M. The Energy Saving Method Based on Conversion Efficiency Promoting of Hydraulic Pump and Motor [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2015.
- [5] Shang Z D, Gao D, Jiang Z P, et al. Towards less energy intensive heavy-duty machine tools: Power consumption characteristics and energy-saving strategies [J]. Energy, 2019, 178: 263-276.
- [6] Gao M D, Li X Y, Huang H H, et al. Energy-saving methods for hydraulic presses based on energy dissipation analysis [J]. Procedia CIRP, 2016, 48: 331-335.
- [7] Yan X P, Chen B J, Lund H, et al. Analysis of a novel energy-efficient system with 3-D vertical structure for hydraulic press [J]. Energy, 2021, (218): 119518-119527.
- [8] Xu Z C, Liu Y X, Hua L, et al. Energy analysis and optimization of main hydraulic system in 10000 kN fine blanking press with simulation and experimental methods [J]. Energy Conversion Management, 2019, 181: 143-158.
- [9] Yan X P, Chen B J, Zhang D W, et al. An energy-saving method to reduce the installed power of hydraulic press machines [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 233: 538-545.
- [10] 姚静, 魏晨光, 李彬, 等. 自由锻造油压机常锻工况能耗特性 [J]. 中国机械工程, 2016, 27 (11): 1508-1514.
Yao J, Wei C G, Li B, et al. Regular forging energy characteristics for open-die hydraulic forging press [J]. China Mechanical Engineering, 2016, 27 (11): 1508-1514.
- [11] Yan X P, Chen B J. Analysis of a novel energy-efficient system with a bidirectional supercharger for forging hydraulic press [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, (286): 125520-125530.
- [12] Yan X P, Chen B J. Energy efficiency improvement and processing performance optimization of forging hydraulic presses based on an energy-saving buffer system [J]. Applied Sciences, 2020, 10 (17): 6020-6034.
- [6] 陈伯时. 交流调速系统 [M]. 第3版. 北京: 机械工业出版社, 2013.
Chen B S. AC Velocity Adjustment System [M]. 3rd Edition. Beijing: China Machine Press, 2013.
- [7] 潘亮, 周武能, 张杨. 基于模糊 PID 主从式方法的多电机同步控制 [J]. 网络安全与数据治理, 2016, 35 (15): 5-7.
Pan L, Zhou W N, Zhang Y. The multi-motor synchronous control based on fuzzy PID master-slave method [J]. Cyber Security and Data Governance, 2016, 35 (15): 5-7.
- [8] 刘福才, 张学莲, 刘立伟. 多级电机传动系统同步控制理论与应用研究 [J]. 控制工程, 2002, (4): 87-90.
Liu F C, Zhang X L, Liu L W. Research on the theory and application of synchronous control of multi-stage motor drive system Control [J]. Control Engineering of China, 2002, (4): 87-90.
- [9] 苏明垢, 鲁文其, 纪科辉, 等. 基于 EtherCAT 通信的双直线电机位置联动控制系统设计 [J]. 电机与控制应用, 2019, 46 (4): 48-56.
Su M G, Lu W Q, Ji K H, et al. Design of dual-linear-motor position position linkage control system based on EtherCAT communication [J]. Electric Machines & Control Application, 2019, 46 (4): 48-56.
- [10] Chen X, Li D, Wan J F, et al. A clock synchronization method for EtherCAT master [J]. Microprocessors & Microsystems, 2016, 46: 211-218.
- [11] 王斌, 王跃, 王兆安. 空间矢量调制的永磁同步电机直接转矩控制 [J]. 电机与控制学报, 2010, 14 (6): 45-50.
Wang B, Wang Y, Wang Z A. Direct torque control of permanent magnet synchronous motor drives using space vector modulation [J]. Electric Machines and Control, 2010, 14 (6): 45-50.
- [12] 周明磊, 游小杰, 王琛琛. 电力机车牵引传动系统矢量控制 [J]. 电工技术学报, 2011, 26 (9): 110-115, 129.
Zhou M L, You X J, Wang C C. Vector control of driving system of locomotive [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26 (9): 110-115, 129.

(上接第 161 页)