

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.02.017

复合伺服液压系统在压力机的应用

章晨昕, Eric Noppe

(法国贡比涅工程技术大学 机械工程学院, 法国 贡比涅 60200)

摘要:针对传统压力机液压系统能耗较高等不足,采用二伺服泵及开关型电动阀通过PID控制器进行控制的复合伺服液压系统,设计了新型压力机(press servo hybrid,PSH);进行了液压系统主要部件设计计算和选型;利用AMESim软件对新系统与传统液压系统进行建模和仿真比较,结果表明新系统同样能满足按VOITH公司技术要求,能耗有非常显著的降低。

关键词:压力机液压系统;复合伺服;PID控制器;AMESim软件

中图分类号:TH137.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1005-2895(2017)02-0077-04

Application of Hydraulic System of Servo Hybrid to Press

ZHANG Chenxin, Eric NOPPE

(School of Mechanical Engineering, University of Technology of Compiègne, Compiègne 60200, France)

Abstract: For making up the disadvantage of conventional press, such as high power consumption, a new design of hydraulic system of press servo hybrid (PSH) was developed with two server motors and electric control valves under the control of PID controller. The dimension of main components was calculated and selected. It is demonstrated that the PSH can work properly, and satisfy the demand of VOITH company, and has significant improvement on power consumption as simulation of two systems with AMESim.

Keywords: press hydraulic system; servo hybrid; PID controller; AMESim software

压力机通过对金属坯件施加强大的压力使金属发生塑性变形和断裂来加工成零件,广泛运用于轻工等机械行业。液压压力机主要是由机架、液压系统、冷却系统、加压油缸、上模及下模组成^[1]。在传统的压力机液压系统中,控制部分的主要工作部件为一个动力泵和马达,一个比例换向阀以及安全阀等。通过对比例换向阀的电控,改变液体流量的方向,就可以控制压力机的周期性上下运动。虽利用比例换向阀的动态性能够很好的实现系统的功用,但这样的系统的缺点也是非常明显的,比如容易出故障、抗污染能力差、震动及噪音较大^[2]等等,最重要的是,该阀门使得系统能耗较大。针对这一缺点,有必要对该传统液压系统进行改进。

1 压力机的技术要求

压力机主要的工作周期由快速下降—慢速下降—慢速上升—快速上升^[3]4个主要阶段组成。在整个周

期中,慢速下降过程是压力机的主要工作阶段^[4],要求滑块能输出的力最大,以实现压力机的切断、冲孔、落料、弯曲、铆合和成形等的目标工艺。

VOITH公司现有的一压力机的技术要求^[5]如表1所示。

表1 压力机技术参数

Table 1 Technical parameters of press

最大输出 压力/kN	快速上升/下降过程 中的速度/(mm·s ⁻¹)	慢速上升/下降过程 中的速度/(mm·s ⁻¹)	最大许用 压强/MPa
5 000	400	40	30

2 新型液压系统设计

拟采用的PSH液压压力机的工作原理如图1所示,与传统系统最大的不同就是它由2个伺服泵配合一个开关型电动阀来控制滑块向上和向下的运动,通过改变液体的流量和压强来控制滑块的运动速度和冲压压力。

收稿日期:2016-11-08;修回日期:2016-12-30

第一作者简介:章晨昕(1993),女,浙江杭州人,硕士研究生,主要研究方向为液压系统。E-mail:chenxin.zhang@etu.utc.fr

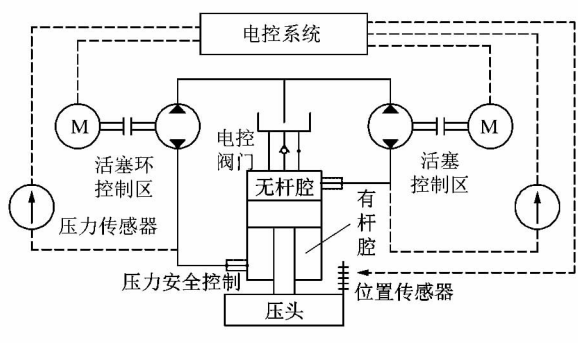


图1 PSH压力机液压系统原理图

Figure 1 Principle diagram of PSH

2.1 系统整体介绍

该系统可看作一个大的反馈回路,主要由“活塞控制区”、“活塞环控制区”、液压缸和电控系统组成^[6]。液压缸内的活塞杆的顶端与压力机滑块相连,在设计的过程,必须保证它能够克服在最大功率时的屈曲现象。

“活塞控制区”、“活塞环控制区”各有一个伺服电机控制的液压泵和一个压力传感器。而液压缸的活塞杆则配有一个位置传感器。压力传感器和位置传感器将压力、位置、速度等信息传回至电控系统,控制器将该反馈和参考值进行比较,计算出新的电机转速,并将该信息传给2个伺服电机,使得压力机的输出最大程度地趋近于规定的参考值。

油箱和液压缸之间的电控阀门在压力机不同工作阶段时会打开或关闭。

2.2 各阶段研究

2.2.1 快速下降

在压力机快速下降时,油箱和液压缸之间的电控阀门打开,油箱可直接向液压缸的无杆腔进油。此时无杆腔压强较低,有杆腔压强略高些,活塞杆的重力基本平衡了滑块两侧的压力差,使滑块能够匀速下降。左侧“活塞环控制区”的泵通过控制液体流量来控制压力机滑块向下运动的速度,而无杆腔需要多少油,就由油箱自然流入。该方法实现了大流量填充,避免了气穴空穴的发生^[7]。该阶段主要追求下降速度快,以减少非生产空闲时间,详见图2。

2.2.2 慢速下降

在压力机慢速下降时,油箱和液压缸之间的电控阀门关闭,压力机滑块向下运动的速度由右侧“活塞控制区”的泵控制。该阶段为压力机主要工作阶段,“活塞控制区”的泵对无杆腔加压,使得压力机滑块缓慢

下降但输出较大的力。滑块一直下降直到下止点。工作原理如图3所示。

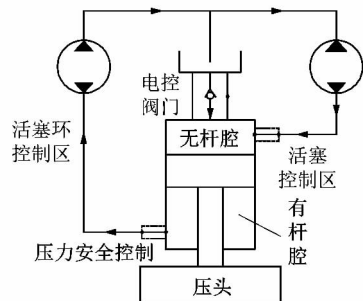


图2 PSH压力机快速下降阶段原理图

Figure 2 Principle diagram of quick dropping phase of PSH

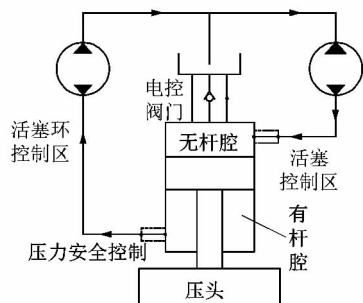


图3 PSH压力机慢速下降阶段原理图

Figure 3 Principle diagram of slow dropping phase of PSH

2.2.3 减压

压力机完成目标工艺,撤去施加于工件的压力。

2.2.4 慢速上升

在压力机慢速上升时,油箱和液压缸之间的电控阀门关闭,压力机滑块向上运动的速度由右侧“活塞控制区”的泵控制。它抽走无杆腔的液体,使其压强小于有杆腔,从而实现活塞杆的上升。原理如图4所示。

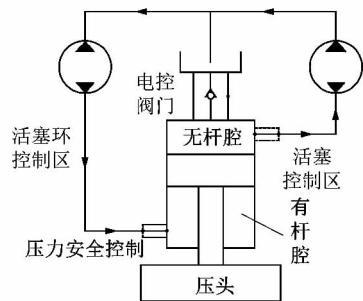


图4 PSH压力机慢速上升阶段原理图

Figure 4 Principle diagram of slow lifting phase of PSH

2.2.5 快速上升

在压力机快速上升时,油箱和液压缸之间的电控阀再次开启,右侧“活塞控制区”的泵不工作而压力机滑块向上运动的速度由左侧“活塞环控制区”的泵控制。电控阀的开启使得无杆腔被压出的液体全部排至的油箱,也因此无杆腔的压力下降至油箱压力。此时活塞杆的重力由有杆腔的压力抵消。活塞杆一直快速上升直至上止点。

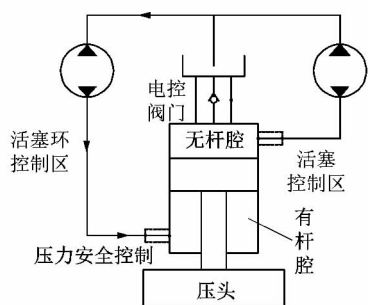


图5 PSH 压力机快速上升阶段原理图

Figure 5 Principle diagram of quick lifting phase of PSH

2.3 主要部件尺寸计算和选型

2.3.1 液压缸的设计计算选型

液压计算基于液体的不可压缩性,且相关热力学现象忽略不计。如前文所说,在慢速下降过程中需要提供的力最大,根据最大输出压力、最大许用压强,计算得到理论活塞直径约为 461 mm,在产品名录中选择到最接近计算值的 Bosch Rexroth 公司的液压缸,它的具体参数如下:

液压缸直径 $d_1 = 480$ mm; 活塞杆直径 $d_2 = 440$ mm; 活塞杆长度 $h = 2\ 350$ mm。

根据这些参数进行了复核计算,此时的最大压强为:

$$P_{\max} = F_{\max} / S_1 = 5\ 000 / 180\ 956 = 27.5\ \text{MPa}。$$

小于最大许用压强 30 MPa,在许用范围之内。

2.3.2 伺服泵设计

根据系统在各工作阶段的流量计算,可以计算得到相应的功率。在产品名录中找到 Parker 公司的 F12-126 伺服泵符合所需要求,具体技术参数如下:

排量 V_c 为 242 mL/r; 瞬时最大压力为 420 MPa; 连续最大压力为 350 MPa; 瞬时最大转速为 3 000 r/min; 连续最大转速为 2 700 r/min; 瞬时最大流量为 726 L/min; 连续最大流量为 653 L/min。

转速为流量除以排量, $N = Q / V_c$, 复核计算如表 2

所示。结果表明,该伺服泵通过对转速的控制能满足技术参数要求。

表2 选用伺服泵的工作参数

Table 2 Working parameters of chosen servo pump

工作阶段	流量/ (L · min ⁻¹)	功率/kW	转速/ (r · min ⁻¹)	工作状态
快速下降	694	318	2 866	瞬态
慢速下降	434	200	1 795	稳定
慢速上升	434	200	1 795	稳定
快速上升	694	318	2 866	瞬态

3 软件模拟

AMESim (advanced modeling environment for performing simulation of engineering systems) 为多学科领域复杂系统建模仿真平台,可以在这个单一平台上建立复杂的多学科领域的系统模型,并在此基础上进行仿真计算和深入分析。本文采用该工程成熟软件进行建模模拟,不论采用传统系统还是 PSH,每个阶段的速度和距离是根据压力机技术要求确定的,其一个工作周期大致如图 6 所示。

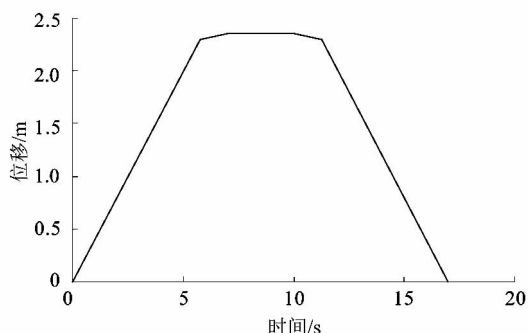


图6 压力机工作周期

Figure 6 Working period of press

从图中可知各个阶段的具体参数:

- 1) 快速下降。此阶段速度为 40 mm/s, 用时为 5.75 s。
- 2) 慢速下降。此阶段速度为 40 mm/s, 用时为 1.25 s。
- 3) 减压稳定。此阶段用时 3.00 s。
- 4) 慢速上升。此阶段速度为 40 mm/s, 用时为 1.25 s。
- 5) 快速上升。此阶段速度为 400 mm/s, 用时为 5.75 s。

3.1 传统液压压力机系统模拟

在 AMESim 软件中建立传统液压机系统,包括 1 个马达,1 个单纯动力阀,1 个比例换向阀以及液压缸。在活塞杆的顶端,设置 1 个位置传感器,它将信息传回

PID 控制器以控制比例换向阀的开关。

将液压缸的参数按实际规格进行设计,并规定最大速度和最大运动距离(上、下止点之间的距离)。此外,还在活塞杆输出端和泵的输入端设置功率传感器用以比较系统的耗能和输入/输出功率。

在位置传感器得到的模拟结果如图 7 所示。

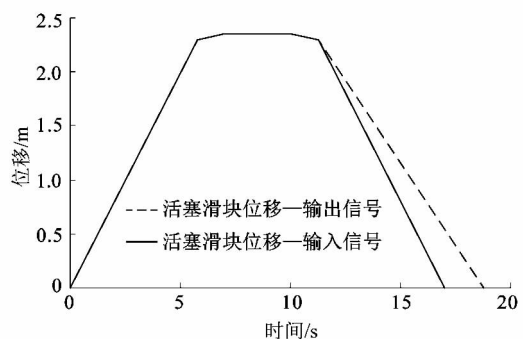


图 7 传统压力机 AMESim 模拟结果

Figure 7 AMESim simulation results of conventional press

实线代表输入的信号,即前文提到的预设工作周期,虚线代表最后压力机实现的运动,完全满足要求。

同时模拟分析得到泵所需的输入功率,大约是 260 kW 左右。

3.2 PSH 液压压力机系统模拟

同样在软件中建立了 PSH 液压压力机的系统并进行模拟。活塞杆输出端的位置传感器将信息反馈回 PID 控制器,并控制电控阀门周期性开闭。控制器将该反馈和参考值进行比较分析,控制 2 个伺服电机的转速。

在位置传感器得到的仿真结果如图 8 所示。

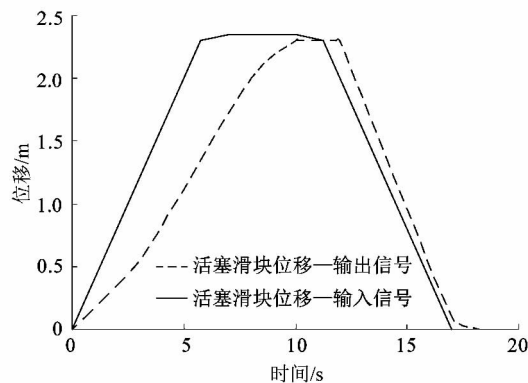


图 8 PSH 压力机 AMESim 模拟结果

Figure 8 AMESim simulation results of PSH

实线代表输入的信号,即前文提到的预设工作周期,虚线代表最后压力机实现的运动。结果说明 PSH 液压压力机能够完成工作周期要求。

同时模拟分析可得到左右 2 个泵的输入功率,峰值大约为 120 kW 和 20 kW。

4 结论

利用 AMESim 软件进行模拟,首先确定传统液压压力机和 PSH 液压压力机的液压控制系统都能正常工作,反馈回路和 PID 控制器使得 2 个系统能够完成设定的工作周期。但是可以观察到,2 个系统的工作特性有较大差异。PSH 液压压力机用伺服电机取代了比例阀,减少了由比例阀压差引起的油温发热和能量浪费。更重要的是,相反于单纯动力泵的持续供能,伺服泵根据不同的工况的需求来供给不同流量的液体,从而达到节能的目的。能够实现 VOITH 公司期望减少 60% 能耗^[8]的目标。换言之,由于供油量由伺服电机决定,进行循环的液压油量也有所减少,降低了油温。同时由于伺服电机和油泵的选择,噪音方面也会有所下降。应用伺服泵的液压系统结构也更简单化,系统维护更方便^[9]。

由此相信,该新设计将会大大降低运行、维护成本,有效地提高产品生产率。

参考文献:

- [1] 雷天觉. 新编液压工程手册[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2005.
- [2] 宋小美,韩亮. 压力机液压系统的设计与仿真[J]. 机电工程技术, 2014,43(12):71-73.
- [3] 宋飏,王立杰,徐兆军,等. 压装液压压力机系统设计[J]. 液压与气动, 2009(2):14-16.
- [4] 刘军营,李素玲. 多工位液压压力机的研制[J]. 液压与气动, 2008(7):21-22.
- [5] BARBERIS B. Introduction de nouveau produit[J]. La houille blanche, 2011(4):214.
- [6] BRAHMER B. Method for operating a hydraulic drive device and method of operating the same;U. S. 13/378,538[P]. 2011-05-03.
- [7] KUVIN B. Hydraulic presses turn green with variable-frequency drives[J]. Metalforming, 2010,44(11):14-16.
- [8] 王玉山. 伺服机械压力机发展状况[J]. 锻压装备与制造技术, 2010,45(1):29-31.
- [9] 莫健华,郑加坤,吕言. 伺服压力机的发展现状及其应用[J]. 锻压装备与制造技术, 2007,42(5):19-22.