

# 水压机新的控制方式和装置

熊 伟(成都思创电气工程有限公司)

**摘 要** 专利凸轮和水压机动力学数学模型,提供了一种水压机控制的方式。这种控制方式控制的水压机,具有结构简单可靠,操作灵活,锻件尺寸精度高,设备运行成本低等特点。

**关键词** 水压机 凸轮 分配器 数学模型

## 1 现状

水压机是基础工业,尤其是重工业必不可少的关键设备。

水压机的技术水平主要表现在它的机械结构和控制方式上。我国大多数水压机的技术水平仍停留在上世纪六七十年代的水平,技术落后,能源消耗很大。机械结构和控制水平较国外先进水平差距很大。国外的水压机技术先进,但系统复杂,制造和运行成本很高。新的控制方式和装置的技术核心为凸轮轴机构和凸轮轴机构的转动角度的控制。凸轮轴转动角度控制基于水压机数学模型或算法。这种数学模型或算法描述的是水压机的动力学和流体力学特性。根据水压机的数学模型和特殊的凸轮轴机构实现的水压机控制方法,可以使目前传统的水压机在控制技术提高到一个新的水平,从而普及和广泛应用。

## 2 凸轮轴机构

凸轮轴机构由凸轮轴和安装在凸轮轴上的数个凸轮组成。分配器的每个阀门的阀杆低端与相应凸轮的工作曲面(线)接触。凸轮的形状,如工作曲线的包角等,因每个阀门的作用和功能不同而不同。电动机带动凸轮轴在一定的角度内转动,使分配器阀门的阀杆上下运动,控制分配器的每个阀门的开闭或调节阀门的开闭程度。

## 3 水压机数学模型

根据液体的帕斯卡定律我们有,

$$F_2 = F_1 D^2 / d^2 \quad (1)$$

其中,  $F_2$  为水压机工作缸的力,它作用到工件上;  $D$  为水压机工作缸的直径,  $F_1$  为水压机分配器阀门的力,  $d$  为水压机分配器阀门阀芯直径。

根据流体的连续方程

$$h = HS_2 / S_1 \quad (2)$$

式中  $h$  为分配器阀门的阀杆行程,  $H$  为水压机工作缸柱塞行程,  $S_2 / S_1$  为工作缸柱塞面积与分配器阀门柱塞面积比。

由(1)、(2)式可以看出,当分配器阀门的压力一定时,水压机的压力可以任意增加,只要将工作缸柱塞的面积

改变就可以得到所需的吨位。同时,工作缸柱塞的行程可以任意改变,只需控制分配器阀门的流量即可。

新方法和装置就是控制分配器阀门的流量从而控制水压机工作缸柱塞的行程。水压机的工作过程一般分为上升(或回程)、停止、下降、一级加压和二级加压等数个工作阶段。凸轮的工作曲线统一地控制不同的水压机的工作阶段和分配器阀门的流量,控制水压机的运行速度和行程。

凸轮的工作曲线保证分配器的阀门阀口液体的流量与凸轮的转角成线性关系。当分配器阀门的阀杆在工作曲线上时,分配器的阀门阀口液体的流量:

$$Q = K_a \alpha \sqrt{\Delta P / \rho} \quad (3)$$

式(3)中  $Q$  为分配器阀门阀口流量,  $K_a$  为阀门和凸轮参数,  $\alpha$  为凸轮的转角,  $\Delta P$  为分配器阀门的压差,  $\rho$  为流体密度系数。分配器的阀门一般为锥阀。

由式(3)可知,控制凸轮的转角  $\alpha$  就可精确地控制分配器的阀门阀口液体的流量。将式(3)的阀门阀口液体的流量方程,在水压机额定的压力工作点附近线性化,我们有:

$$\begin{cases} Q = Q_0 \{ \alpha / \alpha_0 + (P_a - P_b) / 2 \sqrt{P_{a0} - P_{b0}} \} \\ Q_0 = K_a \sqrt{P_{a0} - P_{b0}} / \rho \end{cases} \quad (4)$$

式(4)  $P_a$  和  $P_b$  分别为分配器的阀门的进口和出口压力。不考虑水压机液体泄漏我们有:

$$Q = S_2 V \quad (5)$$

其中  $V$  水压机工作缸柱塞的运行速度。水压机工作缸在下降阶段,工作梁与锻件没有接触,工作梁的受力情况仅考虑水压机的工作缸、卸压缸以及工作梁自重等情况。方程如下:

$$\begin{cases} P_1 S_1 - P_2 S_2 + Mg(1-k) = MdV/dt \\ S_1 K_{11} V = K_{12} \alpha_1 + P_4 - P_1 \\ S_1 K_{13} V = K_{14} \alpha_2 + P_2 \end{cases} \quad (6)$$

在加压、上升阶段分别有类似的方程。式(6)中,  $P_1$  为水压机工作缸的压力,  $S_1$  为工作缸柱塞的截面积,  $P_2$  为水压机等效回程缸的压力,  $S_2$  为等效回程缸柱塞的截面积,  $P_4, P_3$  为不同工作过程时对应阀门阀口的入口压力,  $K_{11} \sim K_{14}$  为水压机额定的压力工作点附近的系数,它们由(4)得出。  $M$  为水压机的工作梁的质量,  $k$  为水压机的工作梁对立柱的摩擦系数,  $V$  为工作梁的速度;  $F$  为锻件的变形抗力,它是水压机压力行程的函数;  $\alpha_1, \alpha_2$  分别为进液阀门和排液阀门等效的凸轮的转角,两者有固定的关系。

水压机在不同工作过程中,使用不同的数学模型。工作梁的行程  $H$  也可由工作梁的速度  $V$  得到,即

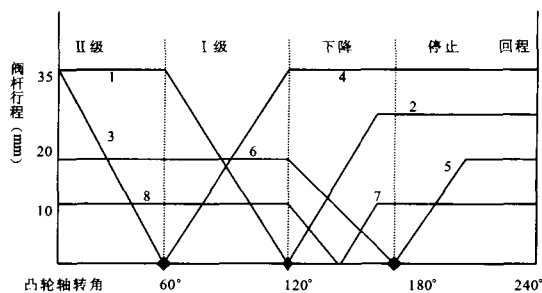


图1 凸轮轴转角与分配器阀门的阀杆行程关系

$$H = \int V dt$$

(7)

#### 4 水压机的控制

当凸轮轴转动时,分配器的某些阀门处于关闭状态,某些阀门处于打开状态,另外一些则处于工作曲线的位置,这些阀门处于半开闭状态。阀门的状态组合分别对应水压机不同的工作阶段。图1为一典型水压机凸轮轴转角与分配器阀门的阀杆行程关系。处于工作曲线上的阀门,是水压机的数学模型主要变量,是控制水压机是关键。模型中依据不同的工作阶段控制凸轮轴的转角,凸轮轴转角的实际值送入模型后,又根据实际的工作阶段,分解出每个凸轮正处的工作曲线上的角度 $\alpha_i$ 。每个凸轮相对于凸轮轴的位置是固定的。

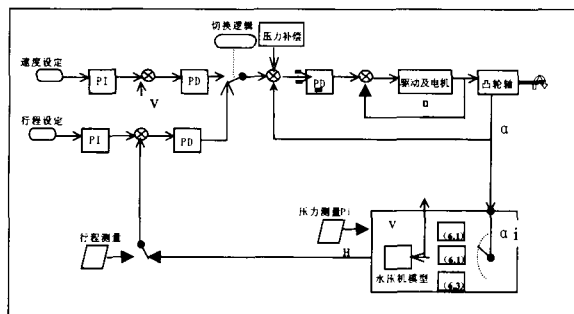


图2 水压机控制系统结构

图2为水压机控制系统结构。由前述和图2可知,水压机整个工作过程分为几个阶段。其中在上升和下降(水压机未接触到锻件前)阶段,为速度控制;在加压阶段控制系统为位置控制。位置控制主要是为了很好地控制锻件的压制尺寸。速度控制和位置控制的切换,是利用水压机在下降过程中与锻件接触时水压机的运行速度的特点。

速度控制方式时,水压机的速度反馈由水压机的数学模型计算出。位置控制方式时,水压机的位置反馈由水压机的数学模型计算出,也可由安装在水压机上的位置传感器得到。依据水压机的数学模型中压力变量配置压力测量点。压力补偿用于补偿水压机在额定的压力工作点附近的压力波动,消除压力波动对水压机的速度和位置控制的影响。

#### 5 系统实现

图3 为水压机典型的系统硬件结构图。

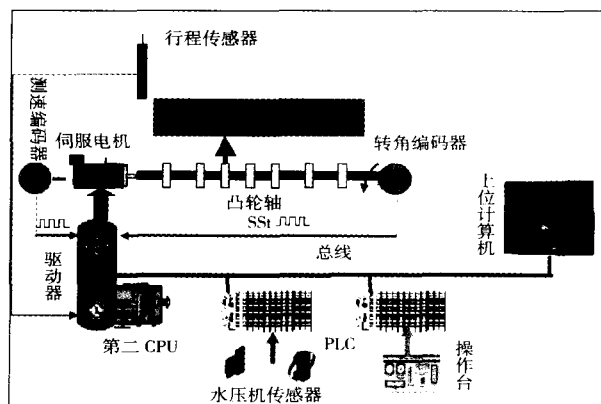


图3 水压机典型的系统硬件配置结构图

由于新型凸轮的使用,凸轮轴所需的转矩很小。系统的驱动电动机使用带减速器的交流伺服电动机。其特点是动态响应快,使用寿命长。驱动器装置是CT公司的UNIDRIVE-SP变频器,配有第二CPU。第二CPU嵌入UNIDRIVE-SP中,用于水压机模型运算和总线通讯任务。系统采用总线的拓扑结构,PLC和上位机挂在总线上。系统的主要信号如水压机行程传感器,电动机测速编码器和凸轮轴转角编码器信号直接送入UNIDRIVE-SP中,保证系统的快速处理能力。

同时,由于总线系统的使用,系统具有很强的扩展能力。

#### 6 结论

本文介绍的水压机凸轮轴和水压机数学模型,提供了一种新的水压机控制的方式。这种控制方式控制的水压机,具有结构简单可靠,操作灵活,锻件尺寸精度高,设备运行成本低等特点。特点如下:

1. 较传统的水压机,节约大量能源;
2. 系统无需价格昂贵的执行器件,制造和运行成本低;
3. 水压机机械结构简单实用,可靠;
4. 水压机操作系统结构简单,可靠并灵活;
5. 控制系统结构简单,系统响应快;
6. 水压机的速度和位置控制性能很好。

本文所述的方法和装置,特别适合大型大(万)吨位水压机设备的控制。同时,它也是大多数水压机的技术改造优选方法之一。

#### 参考文献

- [1] 《水压机》中国工业出版社
- [2] 《液压流体力学》机械工业出版社
- [3] 《UNIDRIVE SP 用户指南》英国CT公司

#### 作者简介

熊伟 生于1962年,高级工程师。