

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.03.09

背压平衡式液体压力调节装置设计及测试方法

彭轶, 盛晓岩, 李鑫武

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 介绍了变容积液体压力调节的两种方法, 并详细介绍了背压平衡式压力调节装置设计及实现的理论基础, 并通过实验, 验证了它的特性, 为液体高压的精确控制提供了基础。

关键词: 液体高压; 背压平衡; 变容积压力调节

中图分类号: TB935

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795 (2015) 03-0036-03

Design of Back-pressure Balanced Liquid Pressure Regulator and Test Method

PENG Yi, SHENG Xiaoyan, LI Xinwu

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: his paper describes two methods about liquid pressure adjustment of varied volume, and the design and theoretical basis of back-pressure balanced liquid pressure regulators are introduced. Through experiments, the feature of the regulator was validated, and the design supplies a new method to achieve an accurate regulation for liquid high pressure.

Key words: liquid high pressure; back-pressure balanced; pressure adjustment of varied volume

0 引言

压力是力学计量领域的基础量值之一。而液体高压的测量作为压力测试的重要部分现已广泛应用于航空、航天、船舶、石油勘探等领域, 在汽车工业等制造业中也扮演着重要的角色, 随着科学技术的发展和新技术的应用, 以及现场校准技术的发展, 高压测试需求越来越广泛。

目前, 广泛使用的现场液体高压压力校准装置主要是液体压力控制器。液体压力控制器是传感器技术、计算机技术和流体控制技术相结合的产物, 通过对液体的控制, 快速、准确、稳定地产生目标压力, 同时又能通过压力传感器的实时反馈显示被测压力, 从而实现对液体压力的连续精确控制。

液体压力控制方法主要有流量调节和变容积调节两种。流量调节方法是通过增加或减少对密闭容腔中液体的质量来实现对液体压力的调节, 这种控制方式所采用的压力控制系统较简单, 但对进行流量控制的阀门的性能要求非常高, 要实现高压下的压力精确控制较难。变容积调节方法是将电机的旋转运动转换为

活塞系统的轴向运动, 通过调压活塞的移动, 改变密闭容腔内定质量的液体体积来实现对液体压力的控制, 在高压下具有较高的控制准确度。

1 变容积压力调节方法介绍

由于调节装置设计上的差别, 变容积调节方法又有所不同, 其中, 基于单活塞的变容积压力调节方法应用较为广泛, 而我们设计的装置采用的是基于双活塞的平衡背压式变容积压力调节方法。

基于单活塞的变容积压力调节装置其结构及作用如图 1 所示, 利用活塞的一端对密闭在活塞筒内的液体进行压缩, 从而达到压力调节的目的。为了提高压力调节的分辨力, 单活塞的直径一般不超过 10 mm, 对于高压来说, 当系统进行大范围的压力调节时, 会使得压力的调节时间变得很长, 因此, 基于单活塞结构的传统压力调节装置及调节方法, 很难同时兼顾压力控制速度和压力控制分辨力这一对相互制约的指标。单活塞结构在高压范围内进行压力调节时, 容腔中的高压液体会对调压活塞产生很大的轴向推力, 这个推力会直接作用在传动系统上, 大大增加了传动系统的负荷, 使得在高压情况下活塞的轴向移动较为困难, 对电机扭矩和活塞动密封提出了较高的要求, 从而不易实现高压下的压力精确调节。

收稿日期: 2015-03-03

作者简介: 彭轶(1982-), 女, 工程师, 硕士, 从事压力计量科研工作。

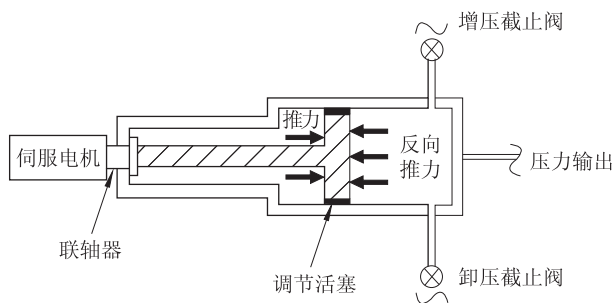


图1 单活塞压力调节装置结构示意图^[1]

平衡背压式压力调节装置，虽然也是利用变容积压力调节方法，但由于其独特的平衡背压结构可解决

单活塞等传统变容积调节方法中存在的液体高压对活塞产生的轴向推力大导致调压困难的问题，其结构如图2所示。

造压设备为系统造压，提供初始压力；伺服电机和涡轮蜗杆减速机以及丝杠输出轴组成传动系统，为活塞移动提供动力；大、小活塞组成的活塞系统在电机的控制下，在活塞筒内轴向移动，对小活塞前端的定质量液体体积进行改变，达到改变系统压力的目的；增压、泄压、平衡截止阀可控制该阀门所在管路的关闭和连通；压力传感器反馈系统压力，对输出的压力进行最终的监测。

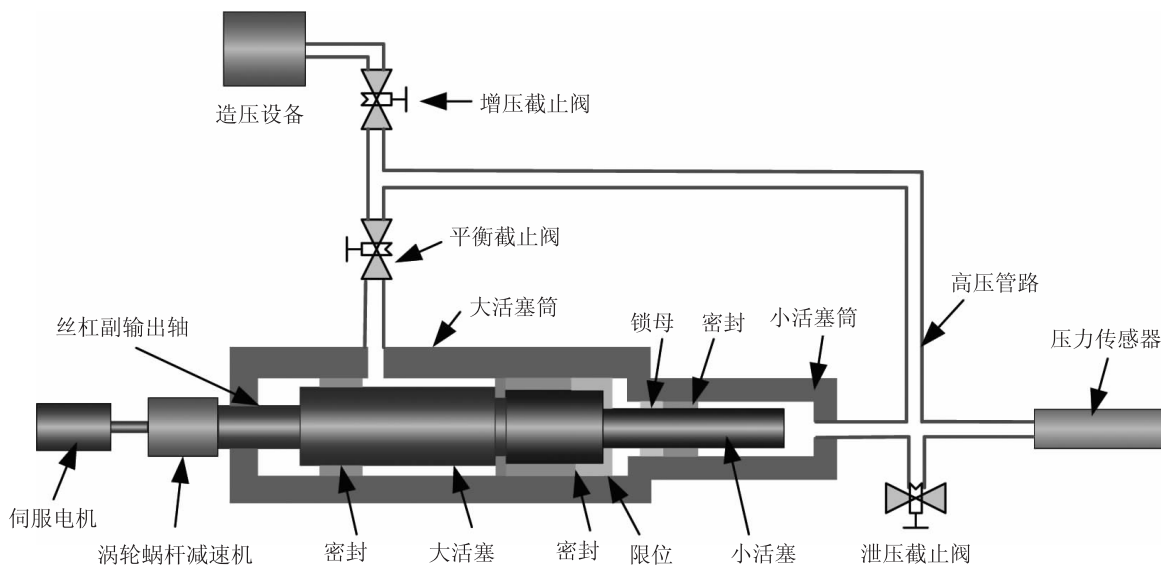


图2 背压平衡式压力调节装置结构示意图^[2]

2 平衡背压结构参数设计

在变容积调节实现压力粗调过程中，为实现传动装置带动活塞轴向移动不受当前高压所产生的轴向推力影响这一目的，必须对如图2所示的平衡背压结构的大小活塞的参数进行合理设计，根据整个系统压力变化率的要求，设计小活塞直径 D_s 为 10 mm，可计算小活塞的面积 $S = \frac{\pi}{4} D_s^2 = 78.50 \text{ mm}^2$ ；设计大活塞的直径 D_b 为 23 mm，大活塞筒内径 D_i 为 25 mm，可以计算出大活塞与大活塞筒内壁之间的间隙形成的环状背压面积 $S_1 = \frac{\pi(D_i^2 - D_b^2)}{4} = 75.36 \text{ mm}^2$ 。此时大活塞与大活塞筒内壁之间的间隙形成的环状背压面积与小活塞的面积近似相等，当平衡截止阀打开时，活塞系统两端均受液压压力，所受作用力大小相等、方向相反，

处于力平衡状态。

3 平衡背压调节装置压力控制分辨力设计

在变容积调节进入压力精确调节阶段后，快速增压和压力粗调阶段活塞的平衡状态会被打破，此时的调节过程对压力控制分辨力提出了要求，而压力控制分辨力是压力控制准确度得以实现的重要参数，可以根据平衡背压结构参数及电机等传动装置的参数计算得出，并为压力自动控制的程序编写提供理论依据。

由于伺服电机、涡轮蜗杆减速机、丝杠副都是成品，选型确定后参数即固定，电机的转速用 R 表示，减速机的减速比用 $N:1$ 表示，经过减速后，可得到丝杠副的螺母转速为 $\frac{R}{N}$ ，转速单位为 r/s。设螺母最小转动时间为 t ，因此螺母在最小转动时间内旋转的角度为 $360t \frac{R}{N}$ ，丝杠副的螺距为 L ，所以活塞在活塞

筒轴向前进或后退的距离 Δl 跟伺服电机的转速有以下关系^[3]：

$$\Delta l = tL \frac{R}{N} \quad (1)$$

以小活塞面积 S 作为压力调节面积时，容腔内油液体积变化量 ΔV 为

$$\Delta V = tSL \frac{R}{N} \quad (2)$$

液体受压力作用而使体积减小的性质称为液体的可压缩性。通常用体积压缩系数来表示为

$$k = -\frac{1}{\Delta p} \cdot \frac{\Delta V}{V} \quad (3)$$

式中： k 为液体的体积压缩系数； V 为液体的体积； ΔP 为压力增量。

体积压缩系数 k 的倒数称为液体的体积弹性模量，用 K 表示为

$$K = \frac{1}{k} = -\frac{\Delta p v}{\Delta v} \quad (4)$$

使用的液体的体积弹性模量 K 已知，实际调节容腔容积为 V_0 。所以当以小活塞面积作为压力调节面积，伺服电机设定以最小转速 R_{\min} 运动时，根据公式(2)，

(4) 可以计算出装置控制分辨力 $\Delta p = \frac{tKSLR_{\min}}{NV_0}$ 。

4 压力控制过程及实验结果分析

在对平衡背压式压力调节装置的结构参数及控制分辨力进行合理设计后，结合装置通过快速增压、压力粗调、压力精确调节三个阶段，可以最终实现对压力的快速准确控制。结合图2对装置的压力调节三个阶段进行描述，当前压力值远小于目标压力值时，泄压截止阀关闭，增压截止阀打开，平衡截止阀均打开，由造压设备给系统快速增压，此时背压腔，即大活塞外壁与大活塞筒内壁之间的间隙形成的间隙腔体，与调压腔即小活塞右端与小活塞筒形成的腔体，两腔体内压力同时快速上升并接近所需的目标压力值，完成压力粗调过程并达到快速控制压力的目的，压力传感器实时反馈的感压曲线如图3的 ab 段。

在与目标压力值相差 10% 时，造压设备停止工作，增压截止阀关闭，此时伺服电机工作，带动活塞系统沿轴向向右移动，容腔容积快速平稳变小，两容腔内压力同时上升如图3中 bc 段，由于大活塞筒的开孔与小活塞筒右端开孔通过高压管路相连通，使得油液的压力同时作用在背压系统和小活塞上，这两个面积上的作用力大小相等、方向相反，活塞系统虽然受力，

但始终处于力平衡状态，因此在此阶段控制过程中，不存在调压困难的问题。

压力精确调节阶段，平衡截止阀均关闭，背压腔与调压腔断开，此时电机降低转速继续工作，电机的旋转运动转换为大活塞和小活塞在轴向的微小位移，因为精确调节前，活塞系统处于力平衡状态，所以传动装置带动活塞系统轴向小范围内移动不会受当前高压所产生的轴向推力影响，又由于平衡截止阀的截止作用，只保留了小活塞的压力调节作用，利用小活塞压力调节分辨力高的特点，达到精确调节压力的目的，如图3中 c 点以后，最终使得输出的压力既快速又精确。

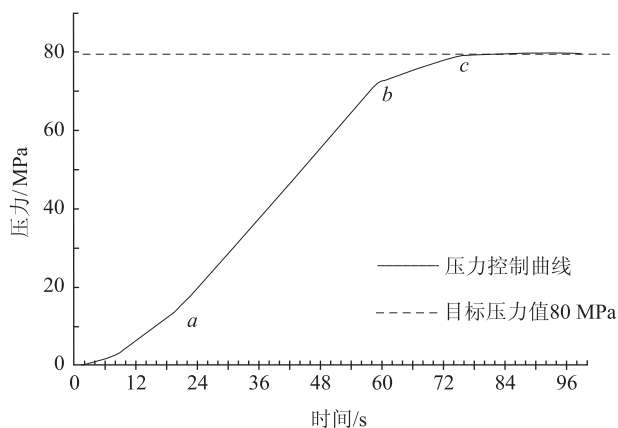


图3 增压控制曲线

5 结束语

平衡背压式压力调节结构，结合了当前高压领域所采用的变容积压力控制技术，同时兼顾到压力计量校准设备的实际使用时对控制速度要求高的问题，避免了活塞单端进行压力调节对活塞机械加工精度要求高的难题。使液体压力调节从低压到高压都能实现较快的控制速度，同时在高压控制过程中，通过背压平衡式压力调节结构的设计，使电机系统及传动装置带动活塞移动进行压力调节时，不受当前液体高压对活塞产生的轴向推力影响，大大降低了整个系统的传动扭矩，利用常用的小功率电机就可以在高压下实现精确的压力调节，为液体压力控制器的研制提供了可实现的技术手段。

参考文献

- [1] 吴振顺. 液压控制系统[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [2] 张绍九. 液压密封[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [3] 张利平. 液压控制系统及设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.