

22. 电液数字阀及步进式执行机构

22.1 电液数字阀

22.1.1 概述

由数字信号直接控制的液压阀,称为电液数字阀。随着计算机应用的日益广泛,用计算机控制液压系统,是液压技术发展的必然趋势。电液数字阀可直接与控制计算机接口,不需 D/A 转换器,在计算机实时控制的电液系统中,可取代伺服阀或比例阀。图 22.1-1

是数字阀控制系统的组成框图。

计算机的输出信号是电脉冲序列,经驱动电源调制放大,输出一定频率和频宽的电压、电流信号,数字阀接受驱动电源的电信号,移动液压阀芯,并根据脉冲频率或宽度输出相应的流量和压力。数字阀控制系统多为开环控制,也可实现闭环控制,如图 22.1-2 虚线所示。

数字阀控制系统结构简单,系统环节少。操作方

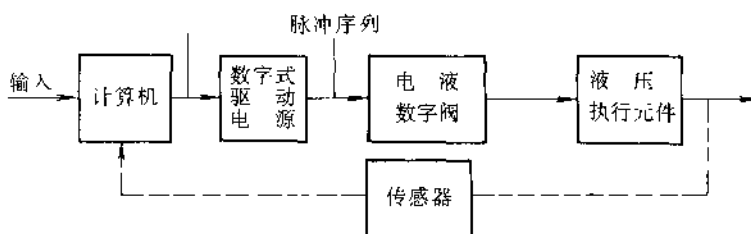


图 22.1-1 数字阀控制系统的组成

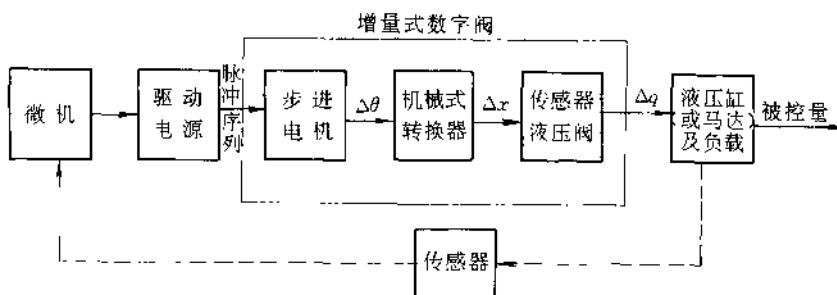


图 22.1-2 增量式数字阀控制系统

便,改变控制算法容易。易于实现被控参量增、减变化过程的控制,并可对瞬态过程编程控制。由于输入是数字量,便于得到确定的设定值,并可方便地进行设定数据的保存、管理和重新设定。

电液数字阀结构简单、价格低廉;抗污染性好,工作可靠。数字阀的输出量能准确、可靠的由脉冲频率或宽度调节控制,抗干扰能力强;而且滞环小,重复精度高,可得到较高的开环控制精度。

电液数字阀的历史不长,但发展较快。国外 70 年

代后期开始研制,80 年代初日本推出系列产品,随即在机床、成形机械、试验机、工程机械、汽车、冶金机械等工业控制中得到广泛应用。此后德国、美国、瑞典等国也相继有产品问世。国内的许多大专院校如浙江大学、重庆大学、上海工业大学、西安交通大学、哈尔滨工业大学等,在 80 年代中、后期也相继开展了电液数字阀的研究,并有研制产品应用于生产实际。但目前国内尚未形成系列产品,应用还局限于很小范围。随着计算机在工业控制中的普遍应用,作为联系数字计算

机与液压系统的桥梁的电液数字阀,也会不断发展而形成液压技术的一个新分支。

22.1.2 分类

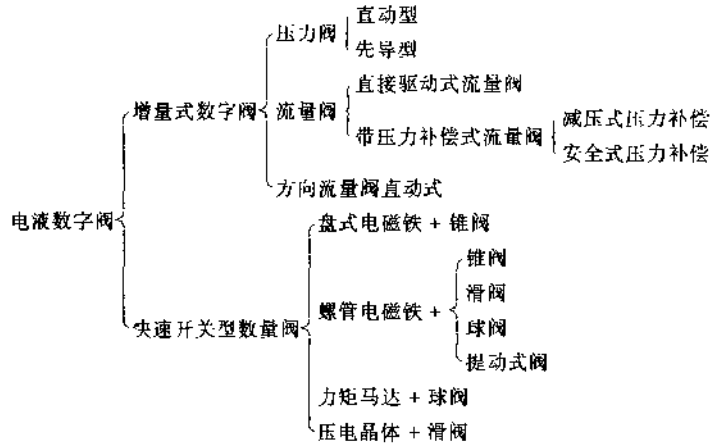
现有的电液数字阀主要是增量式数字阀和快速开关式数字阀两大类。这两类阀的工作原理,性能特点,控制方法均有较大的不同。

增量式数字阀采用由脉冲数字调制演变而成的增量控制方式,以步进电机作为电/机转换器,驱动液压阀芯工作。由于步进电机使用较成熟,这类阀的液压阀部分工作原理与常见的开关型阀和比例阀类似,因此这类阀发展较快,应用较广泛,国外的现有数字阀系列产品多属这类阀。

快速开关式数字阀采用脉宽调制式数字控制,由力矩马达,螺管式电磁铁或盘式电磁铁等作为电/机转换器,驱动液压阀工作。这种阀的工作状态与开关阀、比例阀以及增量式数字阀均有所不同。它只有开和关两种工作状态,靠阀口开、关的时间比来调节阀的输出流量和压力。这种阀目前国内外都还处在研制阶段,尚无成熟的系列产品。

增量式数字阀又可进一步分为压力阀、流量阀和流量方向阀。快速开关型数字阀根据其液压阀型式及其与电磁驱动装置的不同组合,也有多种类型,见表 22.1-1。

表 22.1-1 电液数字阀的类型



22.1.3 工作原理与性能特性

(1) 增量式数字阀

A. 工作原理

图 22.1-2 是增量式数字阀控制系统的组成和工作原理框图。

计算机的输出脉冲序列经驱动电源放大,作用于步进电机。步进电机每得到一个脉冲信号,便沿着控制信号给定的方向转动一个固定的步距角。步进电机的转角通过凸轮或螺纹等机构,转变成直线位移,带动液压阀阀芯(或挡板)移动一定距离,阀口形成一定开度。图中双点划线框为增量式数字阀,可见增量式数字阀就是由步进电机驱动的液压阀。

步进电机是一个数字元件,根据增量控制方式工作。图 22.1-3 是增量控制法图解。增量控制法是由脉冲数字调制法演变而成的一种数字控制方法。是在脉冲数字信号的基础上,使每个采样周期的步数在前一采样周期的步数上,增加或减少一些步数,而达到需要的幅值。步进电机转角步数与输入脉冲数成比例,

带动阀芯移动相应的步数,得到与之相适应的阀开口,从而得到与输入脉冲数成比例的压力、流量值。

步进电机是数字阀的组成部分,它是一种 D/A 转换型电-机转换器,利用电磁作用原理工作,接受电脉冲信号,输出脉冲型机械转角。图 22.1-4 是四相反应式步进电机工作原理图。它由定子与转子组成,转子是一导磁体,定子的四对极靴上绕有 A、B、C、D 四相激磁绕组。

当定子得到脉冲信号,各相依次通电时,转子被吸合而一步步转动。输出转角与输入脉冲数严格成比例。在时间上转角与输入脉冲同步,即转速与输入信号的脉冲频率有关。转子每一步的转角称为步距角。为使步进电机得到较小的步距角,在定子的每极上和转子的外周上分割出若干小齿,并且定子相邻极靴上的齿,在周向错开 1/4 齿距。若脉冲分配器按 A-B-C-D 顺序向各相依次通电,转子每步转动至其某齿轴线和通电定子极靴中心齿轴线对齐的位置。除上述依 A-B-C-D 顺序的四相单四拍运行方式之外,

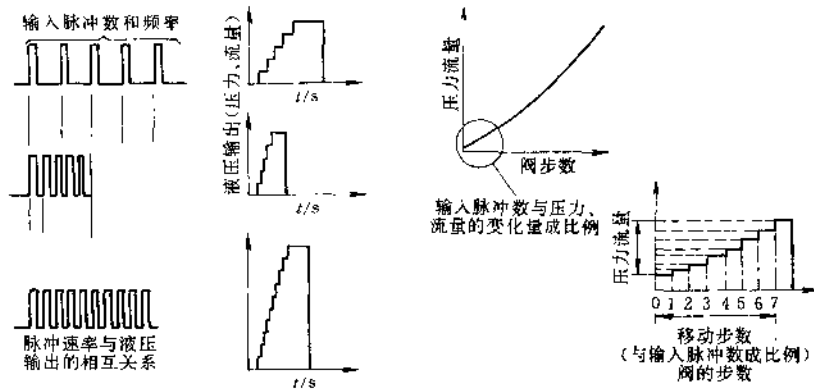


图 22.1-3 增量式数字控制方法

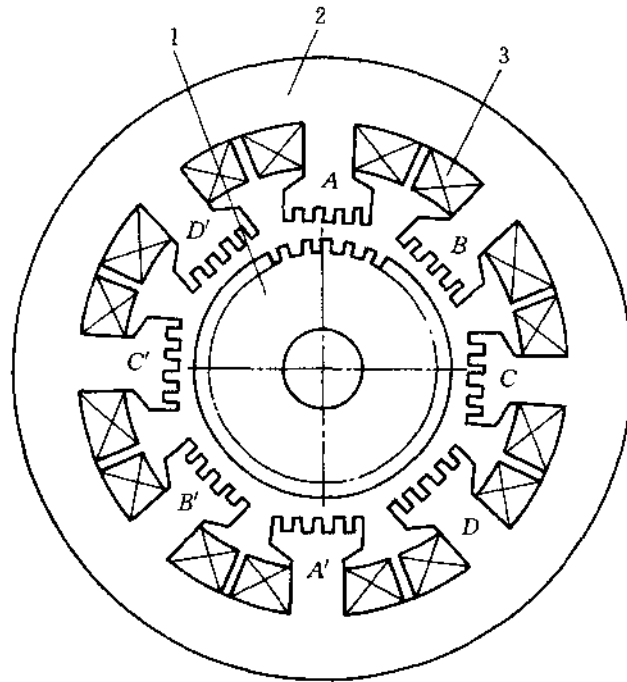


图 22.1-4 步进电机工作原理图

1—转子铁芯;2—定子铁芯;3—定子绕组

步进电机的通电运行方式还有依 A - AB - B - BC - C - CD - D - DA 顺序的四相八拍和 AB - BC - CD - DA 的四相双四拍运行方式。步进电机步距角

$$\theta = \frac{360^\circ}{mZK}$$

式中 m ——定子绕组相数;
 Z ——转子齿数;

K ——通电运行方式系数,四拍供电 $K=1$,八拍供电 $K=2$ 。

关于步进电机的性能,请参阅其他有关资料。

增量式数字阀的液压阀部分工作原理与伺服阀和电液比例阀类似。国外现已开发出的系列产品,根据被控液压参量,分为压力阀、流量阀和方向流量阀。现取有代表性者简述其工作原理。

(A) 增量式数字压力阀

图 22.1-5 是日本东京计器公司增量式压力阀的工作原理图及职能符号。阀的驱动部分为步进电机, 凸轮 1 将步进电机的旋转运动转变为顶杆 2 的上下往复运动。液压阀由先导阀和主阀两部分组成, 先导阀弹簧压缩量由步进电机通过凸轮、顶杆给定, 从而调节了先导针阀 3 开口处的压力。主阀口为一锥面。主阀芯 7 上有一平衡活塞 5, 其左腔为进口油压, 右腔为针

阀前油压。活塞上有阻尼孔 6, 当先导针阀口开启时, 阻尼孔使活塞左右腔形成压差, 主阀口开启。阀的最高压力和最低压力取决于凸轮的导程和先导阀弹簧刚度。阀上设置有调节手轮, 可通过手轮调节与先导针阀并联的手调先导阀, 对压力实现手动调节。若拆除主阀部分则上述数字阀成为直动式压力阀, 这样它的调压范围、调压方法不变, 但通流量大为降低

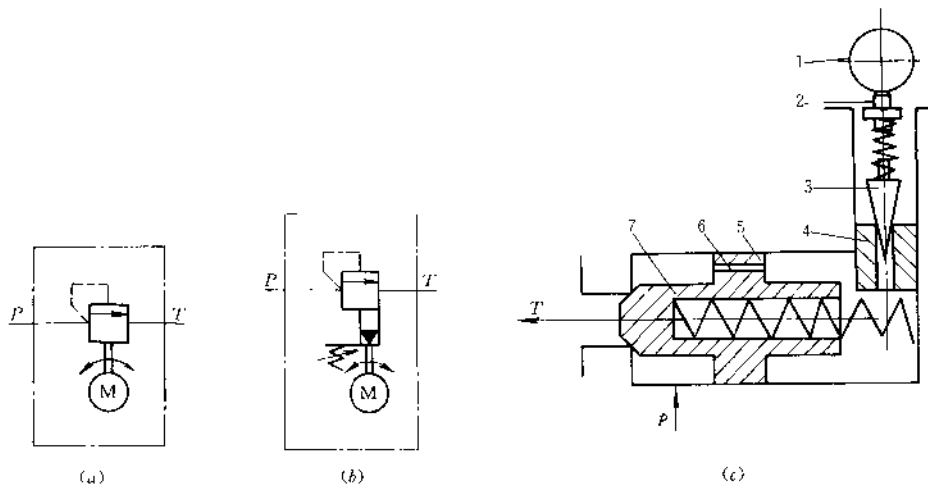


图 22.1-5 增量式数字压力阀

(a) 直动式; (b) 先导式; (c) 结构原理图

1—凸轮; 2—顶杆; 3—针阀; 4—阀套; 5—平衡活塞; 6—阻尼孔; 7—主阀芯

(B) 增量式数字流量阀

a. 直接驱动式数字流量阀

图 22.1-6 是这种阀的结构原理示意图。其工作过程是: 步进电机 1 的转动通过滚珠丝杆 2 转化为轴向位移。带动节流阀芯 3 移动, 控制阀口开度, 实现流量调节。该阀的液压阀口由相对运动的阀芯 3 和阀套 4 组成, 阀套上有两个通流孔口。左边一个为全周开口, 右边为非全周开口。阀芯移动时先打开右边的节流口, 得到较小的控制流量; 继续移动, 则打开左边阀口, 流量增大。这种设计, 使阀的控制流量可达 3600L/min。阀的液流流入方向为轴向, 流出方向与轴线垂直, 这样可抵消一部分阀开口流量引起的液动力, 并使结构较紧凑。连杆 5 的热膨胀, 可起温度补偿作用, 可减小温度变化引起的流量不稳定。阀上装有单独的零位移传感器 6, 在每个控制周期终了, 阀芯由零位移传感器控制回到零位, 以保证每个工作周期有相同的起始位置, 提高阀的重复精度。

b. 压力补偿式数字流量阀

图 22.1-7 是压力补偿型数字流量阀的工作原理图。该阀的液压部分由喷嘴挡板阀、流量控制滑阀和压力补偿阀组成。流量控制阀芯 3 左、右端的承压面积分别为 A_1 、 A_2 、 A_1 、 A_2 之比为 1:2。先导控制压力油作用于 A_1 腔, 同时经阻尼孔 7 进入 A_2 腔。 A_2 腔压力也即喷嘴 1 前的压力, 此压力受喷嘴挡板阀控制。

当步进电机以一定步数转动, 通过凸轮使挡板 2 位移, 挡板和喷嘴之间的距离减小, A_2 面上压力升高, 流量控制阀芯 3 在此压力作用下得到相应位移, 打开节流控制口, 液流从 P 腔至 C 腔得到与步数成比例的流量。主阀芯运动使喷嘴与挡板间距离加大回到原始状态, 即 A_1 、 A_2 面上的总作用力平衡时停止。

压力补偿阀芯 4 左端作用着 P 口的油压力, 右端作用着弹簧力和 C 腔的油压力。当 C 腔压力因负载而改变时, 补偿阀芯在此压力变化的作用下移动, 使 P 至 T 油口开启或关闭, P 腔压力随 C 腔压力改变, 从

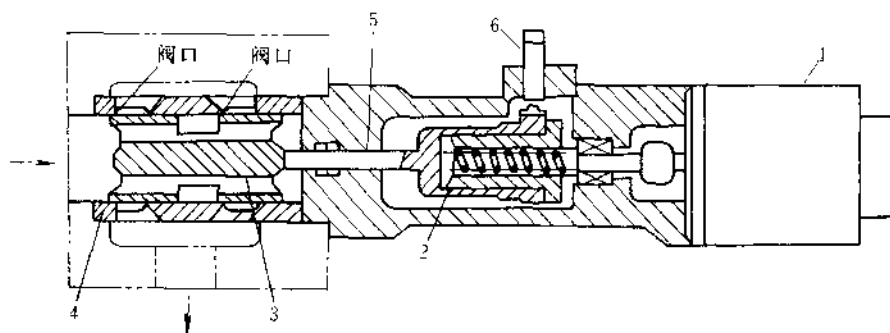


图 22.1-6 步进电机直接驱动式数字流量阀

1—步进电机；2—滚珠丝杆；3—节流阀阀芯；4—阀套；5—连杆；6—零位移传感器

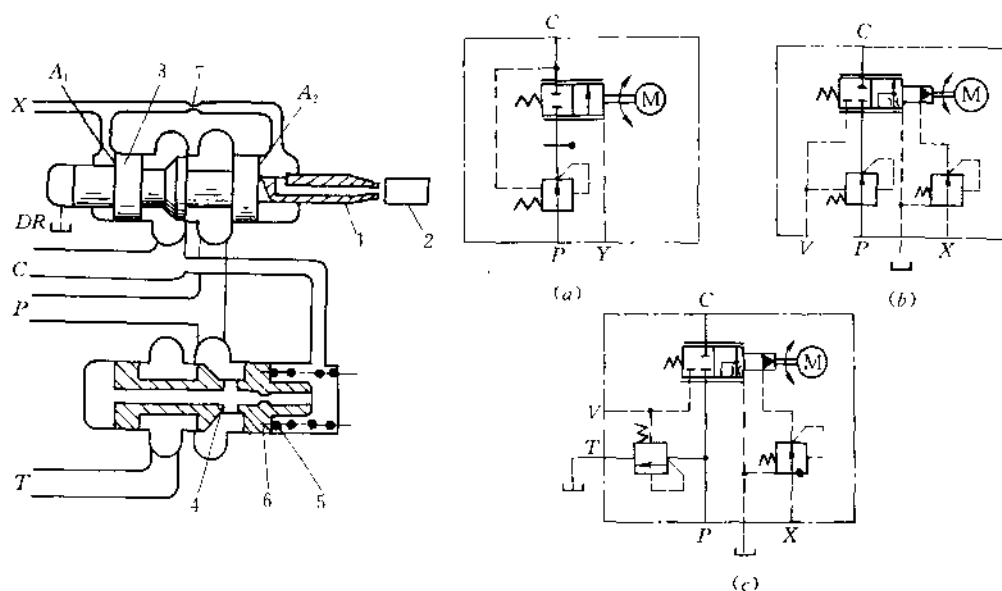


图 22.1-7 压力补偿式数字流量阀工作原理

(a) 不带压力补偿；(b) 减压式压力补偿；(c) 安全式压力补偿

1—喷嘴；2—挡板；3—流量控制阀芯；4—压力补偿阀芯；5—弹簧；6—固定节流孔

而保持 P 至 C 腔的压差恒定,起到稳定流量的作用。这种压力补偿方式为溢流式压力补偿,其职能符号见图 22.1-7(c)图。若对油道稍作改变,并将补偿阀芯换成减压阀式阀芯,可得到减压式压力补偿流量阀,如图 22.1-7(b)所示。溢流式压力补偿流量阀是一个三通阀,供油压力适应负载而变化,可节省能量。

压力补偿式流量阀静态特征性较好,流量稳定性和精度均较高,但结构复杂,动态性能较差,负载变化时有较大的瞬时流量超调。为了改善性能,东京计器

公司新一代的产品作了一些改进。图 22.1-8 表示了 D-F(R)G 系列数字流量阀的工作原理。

这种阀液压部分取消了喷嘴挡板阀,而由流量控制主阀,压力补偿阀和平衡减压阀三部分组成。步进电机 1 的旋转角经齿轮 2、凸轮 3 传递后,直接作用于流量控制阀的阀芯 4,调节节流口开度,控制流量。为了减小步进电机的驱动力,设置了平衡减压阀 5。压力油经阀 5 减压后,作用于流量控制阀芯的两端,合理设计流量控制阀芯两端的承压面积 A_1 、 A_2 和压力

p_{A1} 、 p_{A2} ，就可有效降低滑阀所需的驱动力。压力补偿阀部分的工作原理与前述相同，图 22.1-8 表示的是减压型压力补偿的工作原理。对应的职能符合号为图

22.1-7(b)。若将其换成图 22.1-7 所示的安全型压力补偿方法，则得到溢流式压力补偿型流量阀。压力补偿装置订货时可根据用户的需要选择。

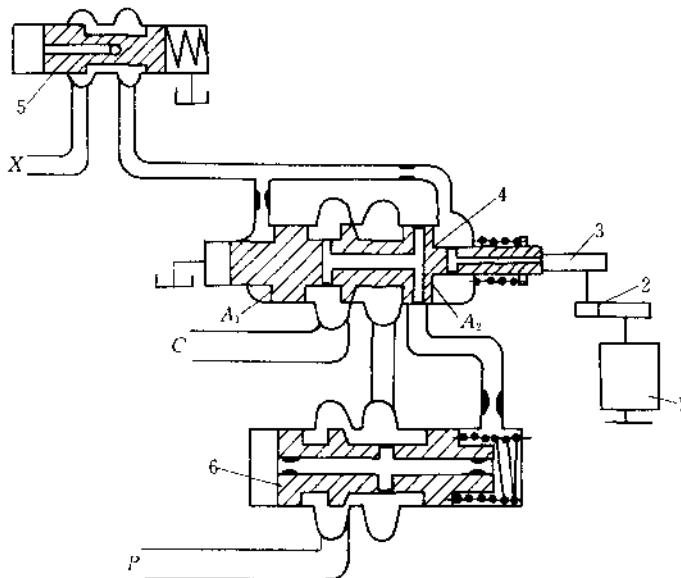


图 22.1-8 D-F(R)G 系列数字流量阀原理图

1—步进电机；2—齿轮；3—凸轮；4—流量控制阀芯；5—平衡减压阀；6—压力补偿阀

改进后的流量阀，步进电机带动的凸轮直接作用于流量控制阀芯上，调节节流阀口。减少了控制环节，因而增加了控制可靠性，提高了响应速度。

(C) 数字方向流量阀

图 22.1-9 为数字方向流量阀的工作原理图。该阀由方向流量控制滑阀，喷嘴挡板和压力补偿阀三部分组成。其中压力补偿阀可根据需要取舍，图中 (a) 为不设压力补偿，(b) 为带压力补偿式方向流量阀的职能符号。

这种阀的工作原理与压力补偿式流量阀类似，见结构原理图 22.1-9(d)。主滑阀 1 左端作用着先导控制油口的压力油，承压面积为 A_1 。右端压力经阻尼孔 2 减压后，有一压力降，此处压力即是喷嘴前控制压力；滑阀右端面承压面积 A_2 ， A_1 与 A_2 的面积比小于 1，一般为 1:2。步进电机带动挡板 4 移动；改变滑阀右腔压力，驱动滑阀左右移动，分别接通 $P-B$ 或 $P-A$ 通道实现换向。滑阀位移至喷嘴与挡板间距离恢复到初始距离即滑阀两端受力平衡时停止。所以通过滑阀控制口的流量由步进电机步数决定，而阀口的开启方向由步进电机的转向决定。

压力补偿阀芯 5 的左腔为 P 口的压力油，右腔为

A 或 B 工作腔的压力油，若负载变化引起工作腔油压改变，压力补偿阀芯感受这一变化而移动。启、闭 P 至 T 腔的阀口，调节 P 腔压力，使 $P-A$ (或 B) 的压降保持恒定，从而稳定流量。压力补偿阀可根据需要取舍。职能符号分别如图 22.1-9(a)、22.1-9(b) 所示。

B. 性能特征

对增量式数字阀的静特性要求主要有：重复精度高，非线性误差小，定位精度高，分辨率高。增量式数字阀的分辨率定义为：阀的被控量从最低至最高所对应的脉冲数，此数大，则分辨率高。

步进电机与比例电磁铁相比，滞环小，无累积误差，重复性好。因而数字阀重复精度高，可得到较高的开环控制精度。

数字控制方式能对被控量精确设定，数字阀芯的位移严格地与步进电机步数成比例，因而阀的定位精度高，线性度也较好。数字控制可对瞬态过程进行编程控制，实现无冲击启动、制动、换向，这是模拟控制难以实现的。而且，控制信号为脉冲逻辑信号，利于提高阀的抗干扰能力。

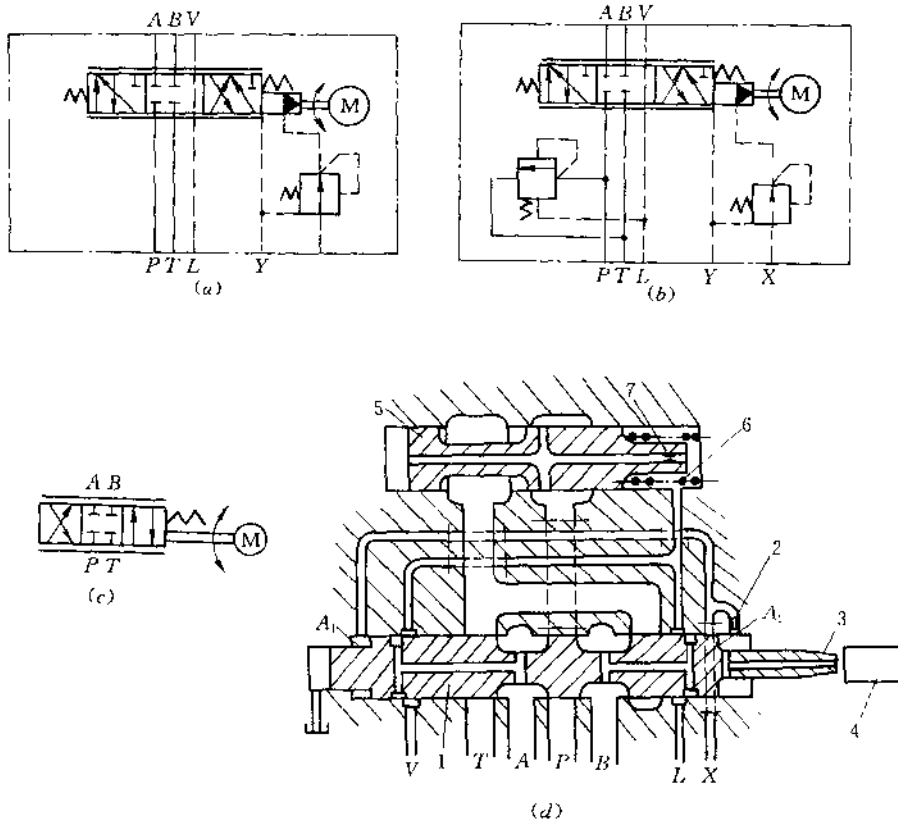


图 22.1-8 数字方向流量阀工作原理

(a)带减压型压力补偿;(b)带安全型压力补偿;(c)不带压力补偿;(d)结构原理

1—方向流量阀阀芯;2—固定阻尼孔;3—喷嘴;4—挡板;5—压力补偿阀芯;6—弹簧;7—阻尼孔

阀内设有复位机构,输入复位信号,数字阀能准确回到中位,以保证阀的重复精度和定位精度。

增量式数字阀的工作压力和流量,不受其工作原理的影响,日本东京计器公司的产品,压力达 21MPa,流量达 500~1000L/min,与之对应的步进数约为 1000。

增量式数字阀对液压阀部分无特别要求,对液流的控制原理与电液比例阀和普通开关阀类似。因此具有灵活、方便、准确的控制能力、结构简单、工艺性好、抗污染能力强、工作可靠和造价低的优点。

这种阀的主要缺点是:受步进电机惯性和矩频特性限制,响应速度较低,频宽较窄。由于电机惯性引起滞后,在启动、停止时会产生失步现象。存在零位死区。分辨率受限制。

增量式数字阀的静态特性主要是指输入脉冲数与输出流量或压力的关系,其典型曲线见图 22.1-10。

表 22.1-2 增量式数字阀性能比较

项目 \ 阀类	增量式数字阀	电液比例阀	伺服阀
介质过滤精度/ μm	25	20	3
滞环、重复精度	<0.1%	3%	3%
抗干扰能力	强	中	中
温度漂移(20~60℃)	2%	6~8%	2~3%
控制方式	简单	较简单	较复杂
动态响应	较低	中	高
中位死区	有	有	无
结构	简单	简单	复杂
功耗	中	中	低
价格因子	1	1	3

由此曲线可得出阀的线性度、滞环、死区、饱和等性能指标。一般压力阀约有4%的起始压力,分辨率为1%。流量阀约有15%的死区,这样虽然最大流量时的脉冲数为100,但删去死区后,分辨率约为1.2%,而且在40步以内线性度较差。方向流量阀死区的为 $\pm 15\%$,全流量时为 ± 63 步,分辨率较低,仅为1.9%左右。

另一静态特性曲线是负载特性曲线,用来考察负载流量与负载压力之间的关系。数字阀的压力补偿措施,可使其负载特性大为改善。

增量式数字阀的动态特性主要用响应时间和超调量来衡量。数字压力阀开环控制的阶跃特性如图22.1-11所示。

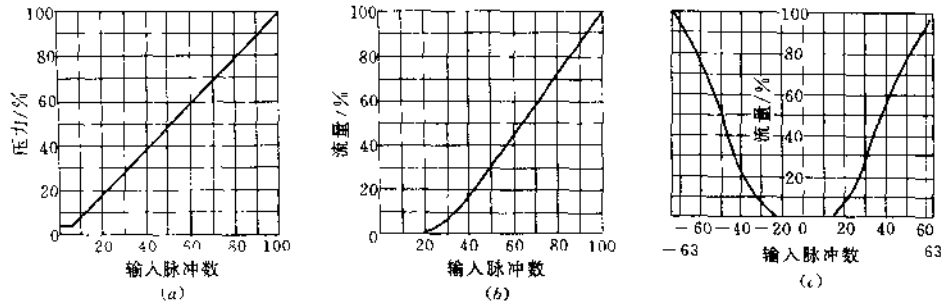


图 22.1-10 增量式数字阀的静态特性曲线
(a)压力阀特性;(b)流量阀特性;(c)方向流量阀特性

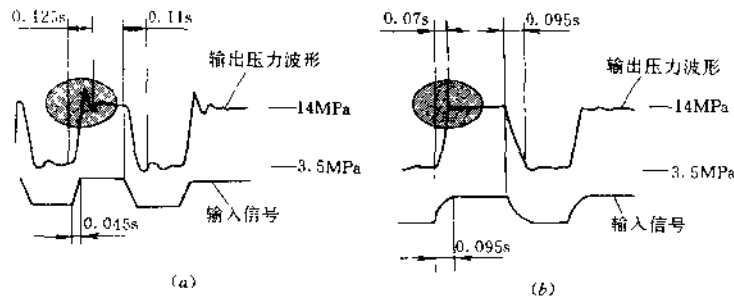


图 22.1-11 数字压力阀的阶跃特性
(a)接触控制;(b)程序控制

图22.1-11(a)是接触控制;信号本身有0.045s的滞后,然后等速上升,输出压力有一定的超调量。图22.1-11(b)所示的程序控制方式,使输入信号,减速上升或下降达额定值,可减少压力超调,缩短响应时间。

流量阀的动态特性除了输出量对输入信号的响应时间之外,有时还要考察输出流量随出口压力变化的瞬态过程。图22.1-12是D-F(R)G系列数字流量阀对阶跃负载压力信号的瞬态响应曲线。可见这种阀抗干扰能力和稳定性均比较好。

增量式数字阀对输入信号的响应时间,与使用的驱动器及励磁方式有较大关系。采样频率对数字阀动

态特性也有较大影响。

(2) 快速开关式数字阀

A. 工作原理

快速开关式数字阀又称脉宽调制式数字阀。其数字信号控制方式为脉宽调制式。即控制液压阀的信号是一系列幅值相等,而在每一周期内宽度不同的脉冲信号。

如图22.1-13所示,脉宽调制信号是频率不变,开启时间比率不同的脉冲信号。开启时间称为脉宽时间 t_p , t_p 对采样周期 T 的比值 t_p/T 称为脉宽占空比,用它来表征该采样周期的幅值。图22.1-13(a)所示的连续信号可用脉宽调制方法调制成图22.1-13(b)

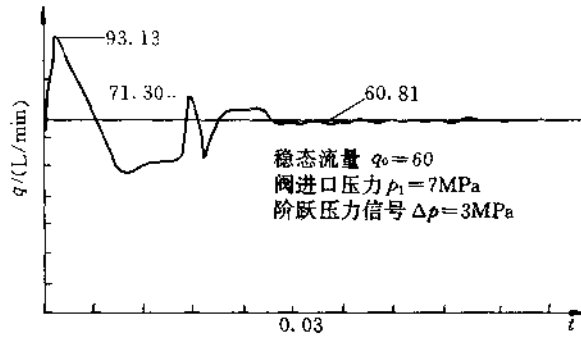


图 22.1-12 增量式数字流量阀对负载压力变化的响应

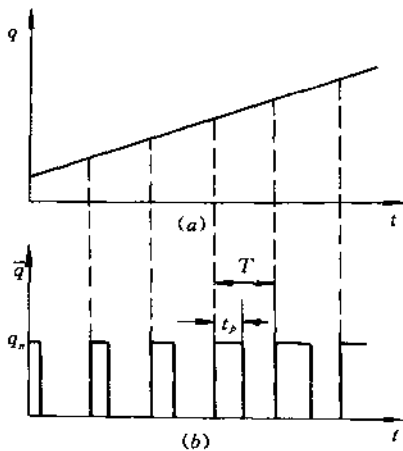


图 22.1-13 信号的脉宽调制
(a)连续信号;(b)脉宽调制信号

所示的脉宽信号。若调制量为流量,则每个采样周期的平均流量为 $\bar{q} = q_n t_p / T$, 与连续信号相对应时刻的流量相当。

快速开关式数字阀控制系统如图 22.1-14 所示。计算机根据控制要求发出脉冲信号,经脉宽调制放大器调制放大,作用于电/机转换器,电/机转换器驱动液压阀工作。系统多为开环控制,也可闭环控制如图中虚线所示。

图中双点划线部分为数字阀,即快速开关式数字阀,它由电磁式驱动器和液压阀组成。由于作用于阀上的信号是一系列脉冲,所以液压阀也只有与之相对应的快速切换的开和关两种状态。而以开启时间的长短来控制流量或压力。

快速开关式数字阀的控制方法以及液压阀的工作

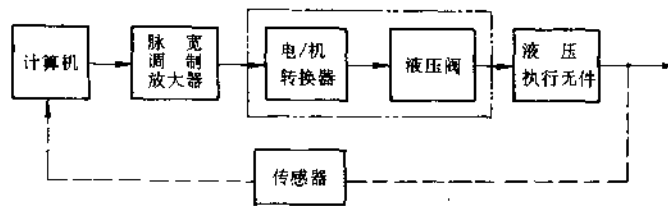


图 22.1-14 快速开关式数字阀控制组成框图

原理与比例阀、普通开关阀和增量式数字阀均有较大不同,它是一个快速切换的开关,只有全开、全闭两种工作状态,因此,它的液压阀结构也与其它阀不同。驱动部件,仍以电磁式电/机转换器为主,主要是力矩马达和各种电磁铁。

(A) 盘式电磁铁-锥阀组合的数字阀

图 22.1-15 所示是浙江大学研制的数字阀结构图。通电时盘式衔铁 1 左移,带动阀芯 3 开启阀口;断

电时弹簧 2 压衔铁向右复位,阀口关闭。在恒定的采样周期内,控制“开”、“关”时间,即可得到不同的流量。图示为二位三通阀。对阀芯略作修改即为二位二通阀。

盘式电磁铁主要受表面力作用,电磁作用力较大;可达 120N,而行程较短,因此这种阀的阀芯行程也较短。

(B) 螺管电磁铁-液压阀组合的数字阀

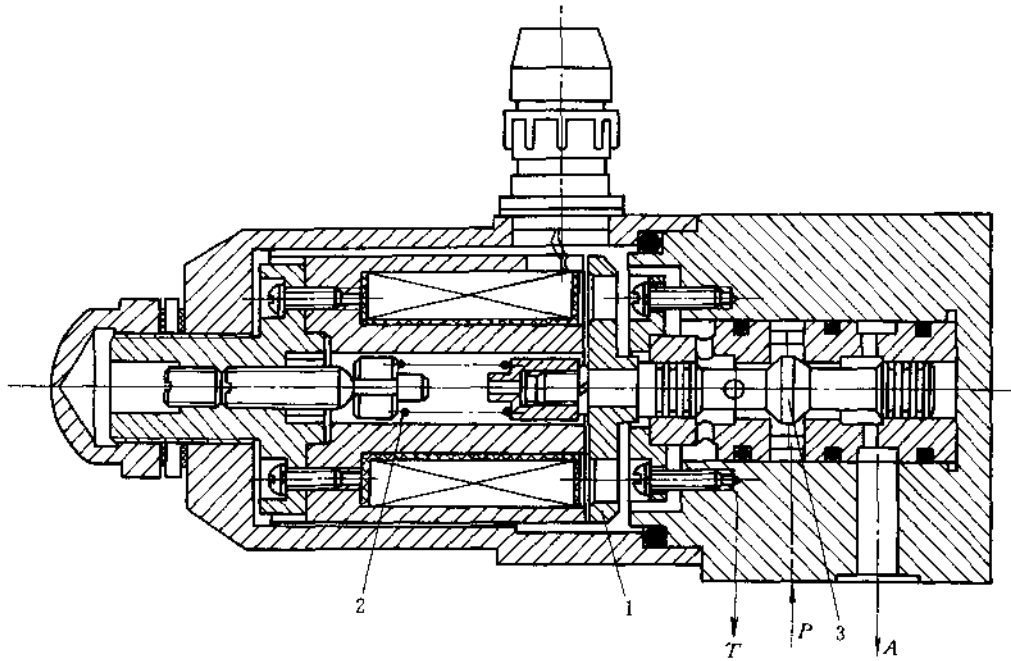


图 22.1-15 虚式电磁铁—锥阀组合的数字阀结构图

1—盘式电磁铁;2—弹簧;3—锥形阀芯;4—阀套

图 22.1-16 为螺管电磁铁—锥阀组合的二位二通快速开关阀,当线圈 4 通电时,衔铁 2 右移,使其连接的锥阀芯 1 开启,压力油从 P 口经阀体流入控制腔 C。断电时,弹簧 3 使锥阀关闭。阀套 5 上有一阻尼孔 6,用以补偿液动力。

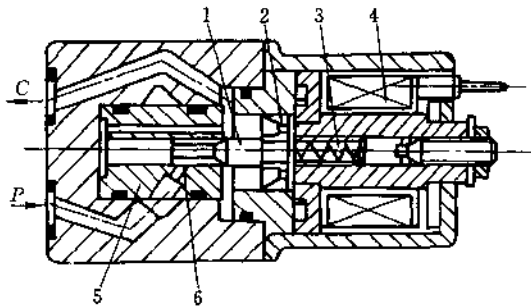


图 22.1-16 螺管电磁铁—锥阀组合数字阀

1—锥阀芯;2—衔铁;3—弹簧;
4—线圈;5—阀套;6—阻尼孔

图 22.1-17 为螺管电磁铁二位三通快速开关阀结构原理。线圈通电时衔铁 1 左移,通过推杆 2 使阀芯 4 左移,接通 P—A 腔。断电时,弹簧 2 使阀芯复位, A 腔与 T 腔相通。

图 22.1-18 为螺管电磁铁—提动阀式快速开关

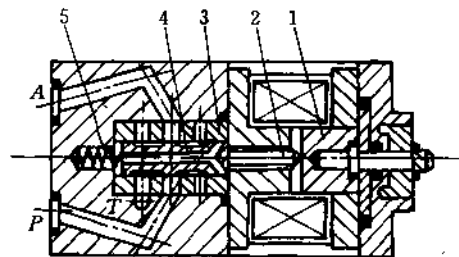


图 22.1-17 螺管电磁铁—滑阀组合数字阀

1—衔铁;2—推杆;3—阀套;4—阀芯;5—弹簧

阀结构原理。该阀为二位二通式,通电时衔铁 1 下移,经推杆 2 使提动阀芯 3 向下,打开阀口, P—C 腔相通。断电时弹簧 5 向上推动阀芯,关闭阀口。

图 22.1-19 为螺管电磁铁—球阀组合的数字阀。该阀液压部分为二级,均为二位三通。当电磁铁通电时,衔铁 1 向上运动,使先导级阀 2 的负载腔与压力油相通,回油口关闭。先导级阀的负载腔即主阀 3 的左端。因此,此时主阀左端与压力油相通,推动主阀(球阀)向右运动。于是主阀负载腔与供油相通,回油口关闭。若电磁铁断电,则压力油驱动先导阀和主阀,使之负载腔与供油切断,而与回油口接通。

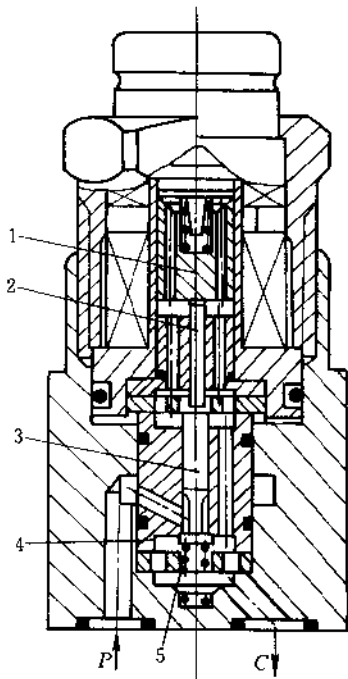


图 22.1-18 螺管电磁铁—提动阀式数字阀
1—衔铁;2—推杆;3—提动阀;4—阀套;5—弹簧

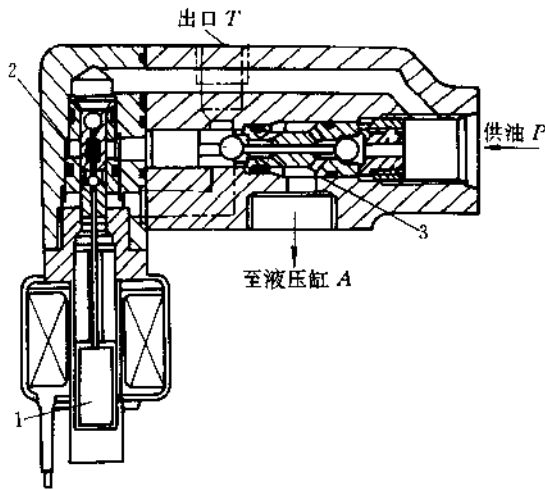


图 22.1-19 螺管电磁铁—球阀组合数字阀结构图

(C) 力矩马达—球阀组合的数字阀

图 22.1-20 为力矩马达和球阀组合的数字阀工

作原理图。这种阀的驱动部分为力矩马达,根据线圈通电方向不同,衔铁 2 顺时针或逆时针方向摆动,输出力矩和转角。液压部分为两组球阀,分为二级,均为二位三通。若线圈通电,使衔铁 2 顺时针转动,则压下推杆 4,并由先导球阀 6 关闭 $P-L_2$ 通道,而此时球阀 5 因下部与上部,分别作用着 P 口与 T 口的压力,此压力差形成的动力大于推杆 3 的下推力,所以处于上位,关闭 $P-T$ 通道。在先导阀的控制作用下,球阀 8 处于上位,打开 $P-A$ 通道;球阀 T 处于下位,关闭 $P-T$ 通道。若交换线圈组的通电方向,四个球阀均反向,主油路改变为, $P-A$ 关闭, $A-T$ 开启。

(D) 压电晶体式数字阀

图 22.1-21 所示的阀采用压电晶体作为驱动装置,是一种新型结构。压电晶体是一种电致伸缩材料,多片压电晶体叠合,通电时可产生约 0.02mm 的变形,由此带动滑阀运动,启、闭阀口。

B. 性能特征

快速开关式数字阀的主要优点是:结构简单,成本低;对油液污染不敏感,工作可靠、维修方便;阀口压降小,功耗低;元件死区对控制性能影响小;抗干扰能力强;与计算机接口方便,控制程序容易编制。表 22.1-3 是它与其他类型电液控制阀的性能比较。

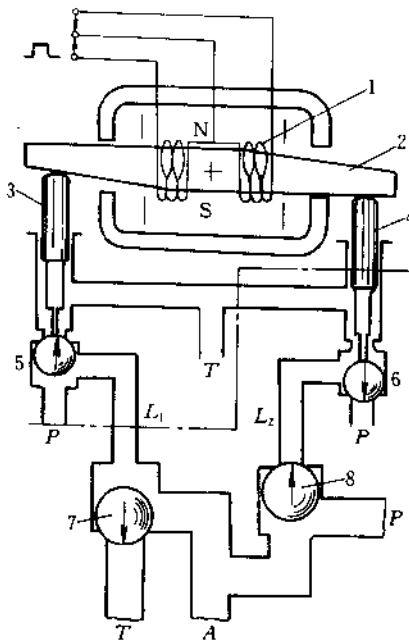


图 22.1-20 力矩马达—球阀组合数字阀

1—线圈;2—衔铁;3、4—推杆;
5、6—先导级球阀;7、8—功率级球阀

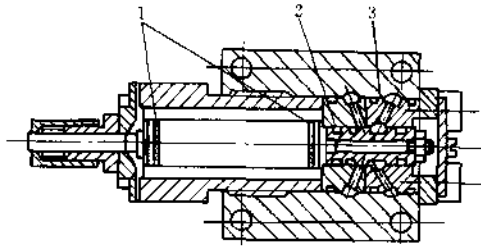


图 22.1-21 压电晶体式数字阀

1—压电晶体;2—阀芯;3—阀套

表 22.1-3 快速开关数字阀性能比较

项目 \ 阀类	快速开关式数字阀	电液比例阀	伺服阀
介质过滤精度/ μm	25	20	3
阀内压降/ MPa	0.25~5	0.5~2	7
抗干扰能力	强	中	中
结构	简单	较简单	较复杂
中位死区	有	有	无
价格因子	0.5	1	3

这种阀的主要缺点是:因为元件工作不连续,衔铁的撞击运动和液流的脉冲运动产生较大噪声,被控参量的目标值是以开关阀的平均值来代替的,瞬时流量和压力的脉动较大。这会影响元件和系统的使用寿命和控制精度。为得到高频开、关动作,电—机转换器和阀的行程都受到限制,因此这种阀的流量均不大,只能控制小流量,或用作先导级来控制大流量。

快速开关阀的静态特性是脉宽占比与流量(或压力)的关系,图 22.1-22 是典型静特性曲线。阀的静态性能与采样周期 T 有关,当 T 较小时,由于可控脉宽相应较小,所以输出控制流量也较小,反之亦然。阀有约 20% 的死区和 10~20% 的饱和区,但这些区域可在控制程序中加以删除,使控制系统不出现死区和饱和现象。阀有较好的线性度,加之快速开关控制对线性度、零飘等无严格要求,可省去外加的颤振信号。

快速开关阀的动态特性,主要是响应时间。这种阀总是工作在开与关快速切换的动态,它必须有足够高的响应速度,即阀的开、闭过程足够短,才能实现控制要求。因此切换时间就成为衡量快速开关阀性能的

重要指标。

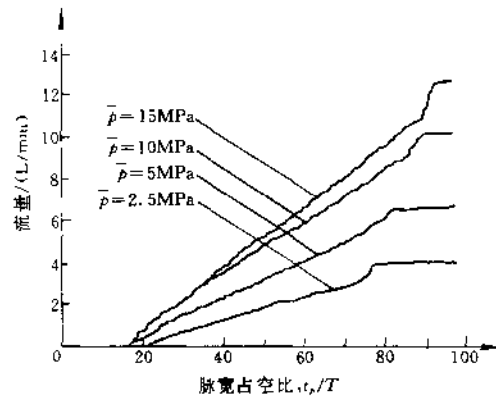


图 22.1-22 快速开关式数字阀的流量特性曲线

切换时间包括阀的开启时间 t_{on} 和关闭时间 t_{off} 。如图 22.1-23 所示,开启时间是指从给定开启信号到阀完全打开所需的时间,关闭时间是指从给定关闭信号到阀完全关闭所需的时间。采样周期 $T = t_{on} + t_{off} + t_{m1} + t_{m2}$, 其中 $t_m = t_{m1} + t_{m2}$ 为可控的脉宽时间, t_m 大利于提高系统对信号的分辨率。但 t_m 增加会使 T 增加,从静态特性看,增加采样周期虽可提高阀的流量增益;却使控制精度下降。降低阀的切换时间 t_{on} 、 t_{off} , 则可在采样周期不变的情况下,提高可控脉宽时间 t_m , 对改善阀性能很有意义。因此,迄今为止,对快速开关阀的主要研究方向是提高阀的开关速度。

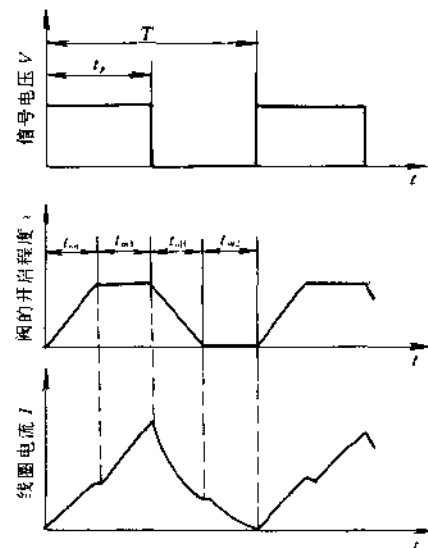


图 22.1-23 快速开关式数字的动态响应
V—信号电压; i—线圈电流; x—阀开启程度

快速开关的动作滞后原因,主要有电滞后、磁滞后和机械滞后。

放大器驱动一个电磁铁线圈,是一个以感应为主的负载,电磁铁线圈电流一般较大,电感量也较大,电流切换到额定值需要一定时间,引起较大的电滞后。在线圈电流建立的过程中,伴随着线圈磁通的变化,导磁材料会感应出涡流,引起磁场变化过程滞后于电流变化的磁滞后;导磁材料的磁滞性,磁势和磁感应强度之

间也有一定的时间差。机械滞后主要由阀芯及附件运动过程中的惯性力、阻尼力、液动力以及弹性力引起。

上述三种滞后原因中,以线圈电感引起的滞后最为明显,阀的开关时间大部分消耗在此。因此研制新型电—机转换器,开发使用高性能铁磁材料,是快速开关型数字阀的主要研究方向。降低机械滞后的有效方法是降低液动力,尤其在大流量的情况下。

表 22.1-4 各类快速开关式数字阀性能比较

电—机转换器类型	阀的类型	最小切换时间/ms	最大流量/(L/min)	最高压力/MPa	电—机转换器行程	电磁作用力/N	其他性能说明
盘式电磁铁	锥阀	13	13	20	小	大(20)	结构尺寸大,运动质量大
螺管电磁铁	锥阀	3	18	20	较大		结构简单,装配性能好,质量小
	滑阀	2.5	8	7			
	提动阀	8	8	7			
	球阀	3~5		10			耐久性好,功耗低
力矩马达	球阀	0.8	1.2	20	中		动特性好,结构复杂价格高
压电晶体	滑阀	0.5	0.65	5	很小约0.02mm		结构简单,价格低,动特性好,电压高,功耗大

22.1.4 产品介绍

国内从 80 年代中期开始,在一些大专院校开展了数字阀的研究工作。浙江大学于 1986 年通过了快速开关阀系列的技术鉴定;重庆大学研制的位移式增量数字阀和增量式数字泵(以数字阀控制变量机构的液压泵)已用于生产实际。但至今均尚未形成通用型、商品化的系列产品。

国外对数字阀的研究,以日本较为领先,现已开发出规格齐全、性能稳定的增量式数字压力阀、流量阀和方向流量阀产品,并已广泛应用于工业控制系统中。

快速开关式数字阀,仍处于研究阶段,未见有商品化系列产品。

现简单介绍日产 D 系列增量式数字阀。

(1) 增量式数字压力阀

液压职能符号及元件工作原理见图 22.1-5;结构见图 22.1-24。

A. 型号说明

D-CG-02-C-250-20

① ② ③ ④ ⑤

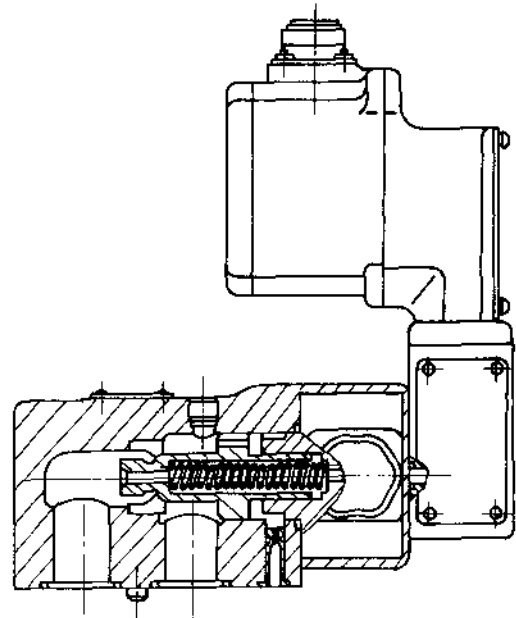


图 22.1-24 增量式数字压力阀结构

①名称:数字溢流阀

④最大步数

②通径

⑤设计号

③压力调整范围

B.性能参数(见表 22.1-5)

表 22.1-5 增量式数字溢流阀的规格及性能参数

通 径		02	03	06	10	
最高使用压力/MPa		21				
额定流量/(L/min)		1	40	100	200	
最大流量/(L/min)		2	80	200	400	
压力 调节 范围 /MPa	压力调 节标记	B	0.4~7	0.6~7	0.6~7	0.6~7
		C	0.6~14	0.8~14	0.8~14	0.9~14
		F	0.8~21	0.9~21	1~21	1.1~21
最低控制压力		本表为额定流量时的值,最低压力与流量关系由特性曲线查出				
滞环		最高控制压力的 0.1% 以下				
重复精度		最高控制压力的 0.1% 以下				
温度飘移 • 与 ISDVG32 相当 的液压油温度变化 范围 30~60℃ • 与最高控制压力 的百分比	压力 调整 标记	B	<4%	<6%	<6%	<6%
		C	<3%	<3%	<4%	<4%
		F	<4%	1%	1.5%	<2%
分辨率 (最大步数)	2 相励磁方式		100(4 相步进电机)			
	1-2 相励磁方式		200(4 相步进电机)			
	4 相励磁方式		250(4 相步进电机)			
响 应		阀的响应受驱动器性能影响。当采用 2 相励磁方式的专用驱动器(DC-B2B)时,最大输入脉冲频率 900pps 时,阀的响应时间为 1 1ms/步(110ms/满步数)。				
误 差		最高控制压力的 $\pm 3\%$ 以下				
允许背压/MPa		<1				
过滤精度/ μm		<25				
质 量/kg		3.1	7.9	10	13.6	

(2) 增量式数字流量阀

液压职能符号及工作原理见图 22.1-8; 结构见图 22.1-25。

A. 型号说明

D- F(R)G - 03 - EX - 130 - 250 - 20
 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥

①名称: 数字流量控制阀

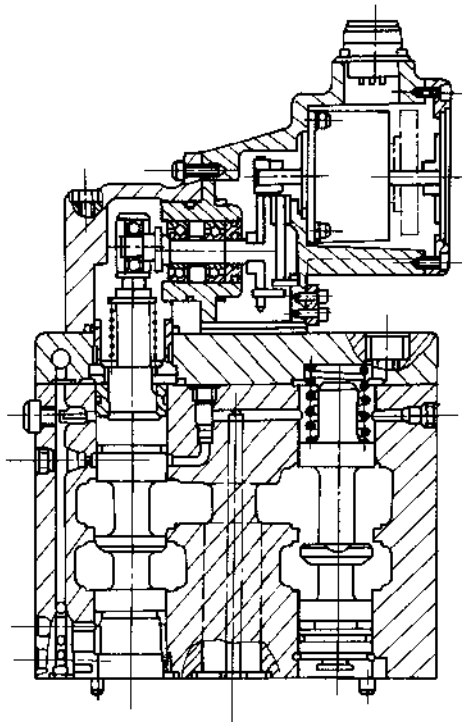


图 22.1-25 增量式数字流量阀结构

D-FG——减压型压力补偿式

(D-FG-01 为直动型、带温度补偿)

DFRG——溢流型压力补偿式

②通径: 见表 22.1-6

③控制方式

无标记——直动型(限于 D-FG-01)

EX——外控型(内设减压阀)

④最大控制流量(见表 22.1-6)

⑤最大步数

⑥设计号: D-FG-01 为 10, 其他为 20

B. 性能参数(见表 22.1-6)

(3) 增量式数字方向流量阀

液压职能符号及元件工作原理见图 22.1-9; 结构见图 22.1-26。

A. 型号说明

D-DFG-01-2C-30-100-20
 ① ② ③④⑤ ⑥ ⑦

(职能符号见图 22.1-9(a))

①名称: 数字方向流量控制阀

②规格(见表 22.1-7)

③阀芯形式(中位机能): Z——O 型

④弹簧工作方式: C——弹簧对中型

⑤最大控制流量(见表 22.1-7)

⑥最大步数: 100~100 步(5 相电机)

⑦型号

D-DF(R)G-31-06-2C-EX-130-
 ① ②③ ④ ⑤⑥ ⑦ ⑧

157-20

⑨ 10

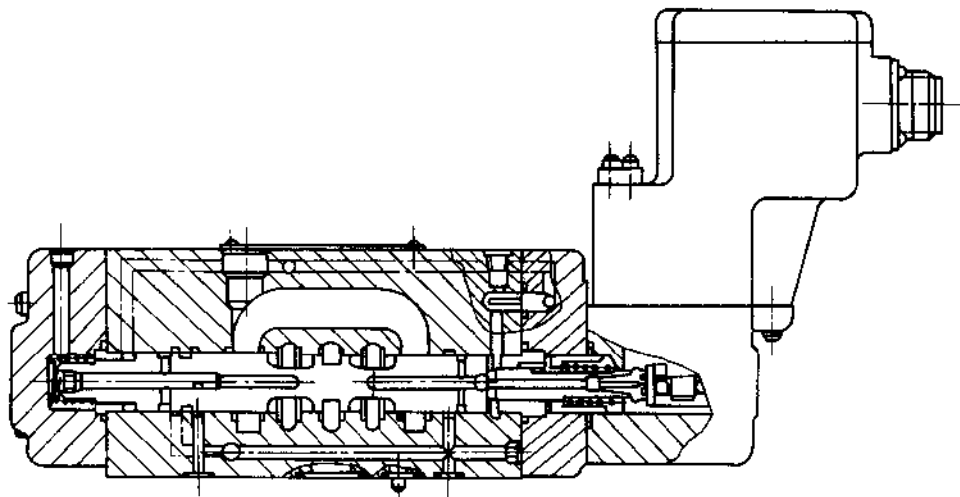


图 22.1-26 增量式数字方向流量阀结构

表 22.1-6 增量式数字流量阀性能参数

规格	01			02			03			06			10														
	D-FG			D-FG			D-FRG			D-FG			D-FRG														
最高使用压力/MPa	21																										
最大控制流量 (L/min)	0.3	1	2.5	3.5	6	8	10	6	15	25	40	65	6	15	25	40	65	90	130	90	130	170	250	375	500	500	1000
	0.03(0.02)*																										
最小控制流量/(L/min)	0.2 0.2 0.2 0.4 0.6 0.7 0.7 0.7 0.9 1.1 1.4 1.8 0.9 1.2 2 2.5 3 1.7 2.5 5 6 6 8																										
控制压力/MPa	2~21(压力补偿减压阀设定压力为3MPa)																										
控制流量/(L/min) (控制压力 3MPa 时)	1.2																										
带宽,重复精度	最大控制流量的 0.1% 以下																										
温度漂移(30~60℃)(与 ISOVG32 相当的液压油)	见特性曲线																										
分辨率 (最大步数)	2 相励磁方式			100(4 相电机)																							
	1~2 相励磁方式			200(4 相电机)																							
	4 相励磁方式			250(4 相电机)																							
响应	阀的响应很大程度上受驱动器性能影响。当采用 2 相励磁方式的专用驱动器(DC-B2B)时,最大输入脉冲频率 900pps,阀的响应时间为 1.1ms/每步(110ms 满步数)																										
误差	最大控制流量的 ±3% 以下																										
允许背压/MPa	0.35 以下																										
过滤精度/um	<25um																										
质量/kg	6			10.5			18.5			34			68														
* :D-FG-01 的最小控制流量,当阀压差在 10MPa 以下时为 0.02L/min																											

①名称:数字方向流量控制阀

D-DFG——无压力补偿

D-DFRG——溢流型压力补偿式(限于03、01
 口径)

②工作位数:2——二位

3——三位

③负载传感油口标记:0——无负载传感油口

1——有负载传感油口

④口径(见表22.1-7)

⑤阀芯形式(中位机能):Z——O型

⑥弹簧工作方法:C——弹簧对中型

⑦EX——外腔先导型(内设减压阀)

⑧最大控制流量(见表22.1-7)

⑨最大步数

63—— ± 63 或 ± 127 步(4相电机)157—— ± 157 步(5相电机)

⑩设计号

B.性能参数(见表22.1-7)

表 22.1-7 增量式方向流量阀性能参数

规格		01			03			04			06			10	
最高使用压力/MPa		21													
最大控制流量/(L/min)		10	20	30	20	40	70	100	130	190	250	350	500		
最小控制流量/(L/min)	D-DFG	0.35			0.8	1.0	1.2	1.6	1.9	2.6	3.5	7	9		
	D-DF(R)G	-			1.8	2.0	2.2	2.6	2.9	-			-		
先导控制压力/MPa		-			2~21(阀内减压阀设定压力3)										
先导控制流量/(L/min) (先导控制压力3MPa时)		-			1.0					1.5			2.0		
重复精度,带环		最大控制流量的0.5%以下			最大控制流量的0.1%以下										
温度飘移(30~60℃ISO VG 32相当的液压油)		<最大控制流量的2%													
分辨率 (最大步数)	2相励磁方式	-			两方向 ± 63 (P→A, P→B)(4相电机)										
	1-2相励磁方式	-			两方向 ± 127 (P→A, P→B)(4相电机)										
	4相励磁方式	两方向+100 (P→A及P→B)			两方向 ± 157 (P→A, P→B)(5相电机)										
响 应		2000pps			阀的响应与使用的驱动器有很大关系;使用2相励磁方式的专用驱动器(DC-BZB)时,最大输入脉冲率900pps 阀响应时间1.1ms/每步(70ms/63步)										
误 差		最大控制流量的 $\pm 3\%$ 以下													
Y口(泄油口)许用压力/MPa		<1*			<0.35										
过滤精度/ μm		10			<25										
质 量/kg	D-DFG	2.5			10.7			10.8			18.2			45	
	D-DFRG	-			12.7			12.8			-			-	
*:T口的许用压力															

22.1.5 数字阀的驱动电源和计算机控制

(1) 驱动电源

驱动电源接受计算机信号,将其放大后输出电流,作用于电—机转换器。它的性能对整个数字阀控制系统影响较大。

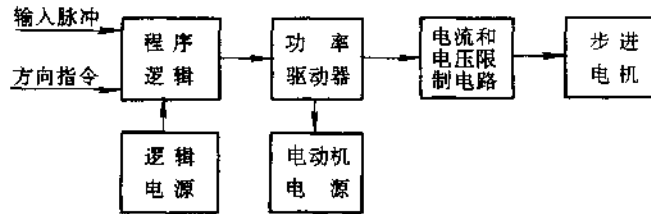


图 22.1-27 步进电机控制系统框图

(A) 程序逻辑

程序逻辑过去用环形计数器实现,现多用计算机软件完成。用计算机软件实现逻辑程序时,微机并行输出位的位数与电机相位数相同。输出可直接与步进电机驱动级功率管的基级相接。这种方法省去了环形计数器和译码电路,即降低了成本,控制也更加灵活。

(B) 功率放大器

为了给电机绕组以足够的功率,必须放大程序逻辑的输出信号。电流较大的步进电机一般都需要多级放大。与伺服放大器比较,数字信号的放大器只有开、关二种工作状态,并不要求输入电压与输出电流的线性关系。它的功率管工作在饱和导通和截止段,导通时,管压降接近于零;截止时,电流接近于零,因此放大器的功耗很小。

(C) 功率放大器的电流和电压抑制

数字信号放大器除放大电信号外,还要求尽可能减少开、关过程的时间。由于步进电机绕组是感性负载,必然带来时间滞后问题。因此必须采取措施,保护功率管不受电流切断时,由电感引起的尖峰信号冲击,同时减少感性负载的切换响应时间。这对数字阀的动态性能影响较大。

B. 脉宽调制式放大器

脉宽调制放大器除用前面所述的步进电机放大器的单向工作模式外,也可用双向工作的模式,如图 22.1-28 所示。用双向电压时,它的脉宽占空比为 $(t_1 - t_2)/T$ 。这种工作方式对消除死区有效。在 $t_1 = t_2$ 时,即输入信号为 60% 时,可以消除死区现象,但放大器较复杂。

A. 步进电机驱动电源

步进电机驱动电源如图 22.1-27 所示,由程序逻辑、功率放大器、电流和电压限制电路三部分组成,其中程序逻辑部分可由计算机软件实现,电流和电压限制电路往往和功率放大器组合为一体,统称为放大器。

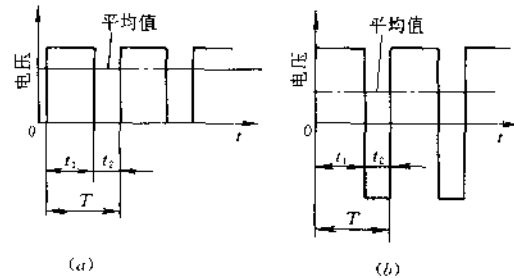


图 22.1-28 脉宽调制方式

(a) 单向电压; (b) 双向电压

与步进电机放大器相同,脉宽调制式放大器也必须考虑电流和电压抑制问题,以提高数字阀的响应时间。并且其实现方法相同;放大器的功耗也较低。

(2) 数字阀的微机控制

A. 硬件的配置和选择

数字阀的动态响应速度不高,一般用于控制频率 30Hz 以下的液压控制系统中。所以对微处理机系统的要求也不高。微机硬件最简单的配置如图 22.1-29 所示。CPU 可选用 8 位的芯片,如 8085, 6800, Z-80 等。也可选用 MCS-48、MCS-51 等单片机组成的系统。时钟频率尽可能高些,以提高控制速度。根据系统的要求,可将控制子程序存在 ROM 中,用键盘进行必要的人工操作,用若干个 7 段二极管发光管显示。通过并行 I/O 口将指令传送到放大器。在需要闭环控制时,可从 I/O 口将信号传送到 CPU。

当使用整套的微型计算机时,显示与键盘可用控制终端取代。ROM 可用磁盘驱动器取代并用打印机或 X-Y 记录仪等作记录器。

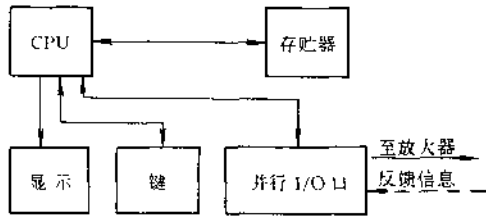


图 22.1-29 微机配置图

B. 软件语言的选择

为控制目的编写的应用程序,所用的语言种类取决于系统的软件配置和控制要求。可选用机器语言、汇编语言和高级语言

机器语言既难记忆又难理解,一般不用来直接编写程序。但了解它对提高程序的效率有好处。

汇编语言执行指令与机器语言一一对应,运行效率高、速度快,还能进行位操作, I/O 操作和中断处理,且较机器语言更易于记忆、理解。因而在实时控制中,一般使用汇编语言。编制好的子程序可存入 ROM 中,根据需要随时调用。

高级语言通用性好,编制程序工作量小,运算能力强,使用较方便。但不能直接访问 I/O 接口。可与汇编语言混合应用。

C. 采样频率的选择

采样频率的选择对数字阀性能影响较大。无论是增量式还是脉宽调制式数字阀,在一定的信号频率下,采样频率越高,输出越光滑而逼真。但过高的采样频率,阀的动态响应将跟不上。理论上采样频率大于

信号频率 2 倍,就没有混叠效应,但实用中这是不够的。在频率范围较高的场合,采样频率一般取系统或信号频率的 5~10 倍。在 5 倍时,信号失真度为 40% 左右;10 倍时,信号的失真度为 15%。可根据系统的频率对失真度的要求,适当选择。

22.2 电液步进马达和电液步进缸

22.2.1 概述

电液步进马达和电液步进缸都属于增量式数字控制的电液伺服机构。其基本的工作原理是:由步进电机和控制阀接受数字控制电路输出的脉冲序列信号,进行信号的转换与功率放大,驱动液压马达或液压缸,输出功率。电液步进马达的输出为与输入脉冲数成比例的角位移,或与脉冲输入频率成比例的角速度,电液步进缸的输出则为直线位移和速度。(关于增量式数字控制可参阅本手册 22.1.3)

电液步进马达出现于 50 年代,发展于 60 年代,曾广泛应用于数字控制机床和其他开环数字程序控制系统。电液步进缸出现于 70 年代,在短行程的直线运动数控系统中,具有显著的优点。

22.2.2 分类

(1) 电液步进马达

根据步进电机、控制阀、液压马达、反馈机构及步进电机与控制阀的联接型式,电液步进马达有各种结构类型,如表 22.2-1 所示。

步进电机型式虽然很多,但基本结构是相似的。国内多用反应式步进电机,即转子无绕组,由定子绕组

表 22.2-1 电液步进马达类型

结构类型				型号及生产厂
控制阀	液压马达	反馈机构	步进电机与控制阀的联接	
圆柱滑阀	轴向柱塞式	螺杆-螺母副	减速齿轮	Y18-2 北京机床研究所
	轴向球塞式			DMY-A 上海液压件三厂
	轴向柱塞式		1-SSSS 日本富士通公司	
球阀	径向柱塞式		直接联接	SFM 瑞士史埃吉(SIG)公司
电液伺服阀	叶片式	电位器	减速齿轮	AC 法国萨姆(SAMM)公司
				英国道蒂(DOWTY)公司

激磁产生的反应力矩作用,实现步进运动。

(2) 电液步进缸

根据液压伺服机构的不同,电液步进缸有滑阀伺服机构和螺纹伺服机构两种。

由于步进液压缸的工作油缸多采用差动缸,因此伺服阀可采用三通(双边)滑阀,也可采用四通滑阀。

螺纹伺服机构是由上述滑阀式伺服机构演变而成的。采用螺纹状的阀芯,通过螺纹阀芯的旋转运动实现阀口的开、闭(见图 22.2-10),其作用相当于一个

三通滑阀。这种结构螺纹阀芯直接接受旋转信号,启闭阀口,省去了将旋转量变为直线位移的附加机构。但要求阀芯螺纹有较高的加工精度。

22.2.3 工作原理与性能特性

(1) 电液步进马达

A. 组成与工作原理

图 22.2-1 是电液步进马达的结构原理图。它由步进电机和液压转矩放大器二部分组成。

步进电机又称脉冲电机,是一种 D/A 转换装置,

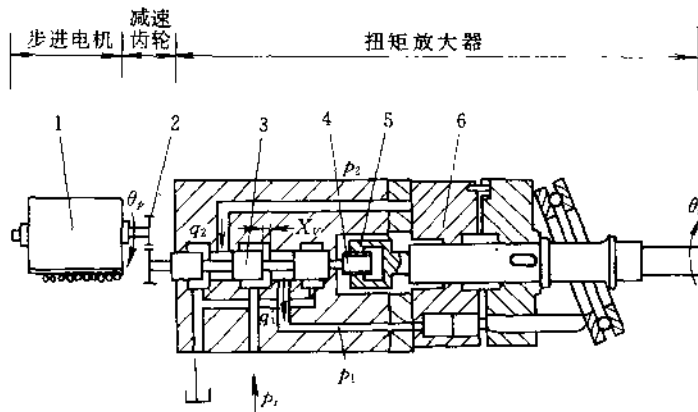


图 22.2-1 电液步进马达结构原理图

1—步进电机;2—减速齿轮;3—四边滑阀阀芯;4—螺杆;5—反馈螺母;6—液压马达

它可将数控电路输入的电脉冲信号转换成角位移量输出。输出角度和角速度分别与输入脉冲数和脉冲频率成比例。(步进电机的工作原理参阅本手册 22.1.3 或其他文献)。

液压转矩放大器是一个直接位置反馈式液压伺服机构。它由四边滑阀、液压马达和反馈机构三部分组成。最常用的反馈机构是螺杆—螺母副型式,螺杆开在阀芯端部,与阀芯为一体;螺母与液压马达主轴相连,并随之转动。

当步进电机 1 在输入脉冲作用下转过一定角度时,经减速齿轮 2 带动阀芯 3 旋转。由于液压马达尚未旋转,即反馈螺母 5 不动,这样阀芯便产生一定轴向

位移,使阀口开启。压力油经四边滑阀进入液压马达,驱动马达,马达回油经四边滑阀的另一开口回油箱。马达的旋转运动通过螺杆—螺母副反作用于阀芯,使阀芯产生使阀口关闭的轴向位移。这样,步进电机旋转一个角度,液压马达也随之转过一个角度;连续输入一个脉冲序列,则马达以一定转速连续旋转。若输入脉冲反向,则阀芯的运动、液压马达的旋转均反向。

图 22.2-2 是电液步进马达的结构方块图。其信号传递关系是,阀芯转角 $\theta_v = \theta_p / i$ 。 θ_p, i 分别为步进电机转角和齿轮传动比。阀芯位移 x_v 与马达输出转角 θ_m 和 θ_v 的关系为:

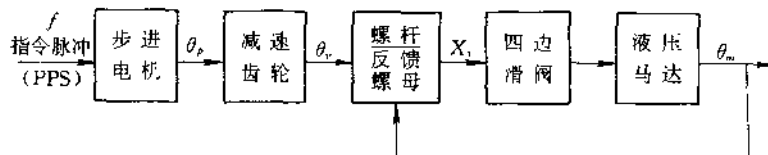


图 22.2-2 电液步进马达结构方块图

$$x_e = \frac{T}{2\pi}(\theta_e - \theta_m)$$

式中 T ——螺杆的导程。

连续工作时, 液压马达转角滞后于阀芯转角, 即存在随动误差 $(\theta_e - \theta_m)$, 正是这个偏差信号使阀口存在

一定的工作开口量。可见, 电液步进马达不存在位置误差, 但存在速度误差。

图 22.2-3 是液压转矩放大器的传递函数方块图。

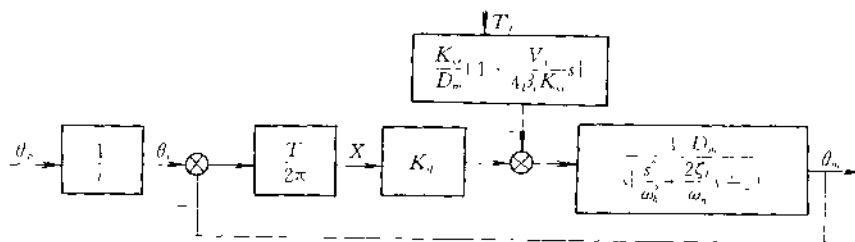


图 22.2-3 液压转矩放大器传递函数方块图

K_v ——滑阀流量增益

D_m ——液压马达排量

V_t ——高低压腔总容积

β_e ——油液有效体积弹性模量

$$\xi_h = \frac{K_v}{D_m} \sqrt{\frac{\beta_{eh}}{V_t}} + \frac{B_{r2}}{4D_m} \sqrt{\frac{V_t}{\beta_{dt}}}$$

B_m ——马达及负载的粘性阻尼系数 $K_a = K_v + C_m \frac{1}{2}$

C_m ——总流量压力系数

K_v ——滑阀流量—压力系数

C_{im}, C_{em} ——马达内、外泄漏系数

$$\omega_n = \sqrt{\frac{4(\beta_e D_m^2)}{V_t J_t}}$$

J_t ——液压马达轴上的总惯量

B. 特性

(A) 静态特性

电液步进马达的静态特性主要有速度特性和转矩特性。

速度特性是指开环状态下, 马达转速 $\dot{\theta}_m$ 与滑阀转角 θ_e 或阀芯位移量 x_e 之间的关系。图 22.2-4 是速度特性曲线。图中给出了空载和加载的三条曲线。通

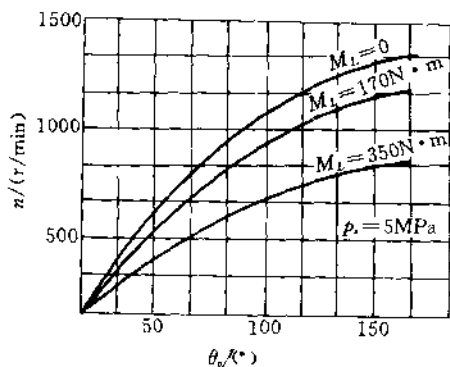


图 22.2-4 电液步进马达的速度特性曲线

常, 负载转矩按马达最大输出转矩的 1/3 或 2/3 加载。

速度曲线在零位附近的斜率, 称为开环速度放大系数, 或开环增益。因此速度特性也称增益特性。从速度特性可直接得到马达速度所需的阀开口量或滑阀转角。同时, 这个转角或开口量值便是跟踪误差即速度误差, 因此, 根据开环放大系数便可分析开环控制系统的稳态精度、电液步进马达的稳定裕量和动态响应。

转矩特性指额定压力下, 输入脉冲频率或电液步进马达转速与输出转矩的关系。图 22.2-5 为转矩特性曲线。

特性曲线表明, 输出转矩受频率的影响略有变化, 低频范围内, 液压马达的输出转矩随频率增加而上升, 这是因为此时机械损失和泄漏相对较大。而在高频范围内, 输出转矩又随频率而降低。这是因为高速时, 流量、流速大。压力损失大, 从而使有效负载压力下降。

根据负载转矩和速度要求, 由转矩特性便可选择电液步进马达的规格。

(B) 动态特性

反映电液步进马达的动态特性, 常用单脉冲过渡过程和最高启动、停止频率。

单脉冲过渡过程是输入一个脉冲时马达输出转角

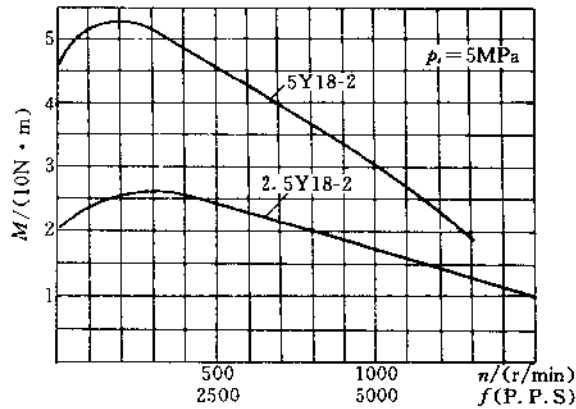


图 22.2-5 转矩特性曲线

的过渡过程,如图 22.2-6 所示。或称为步距反应。此特性描述了工作稳定性和加、减速时间常数。性能优良的步进马达过渡过程单值上升,没有超调,加、减速时间常数可达 40~50ms。

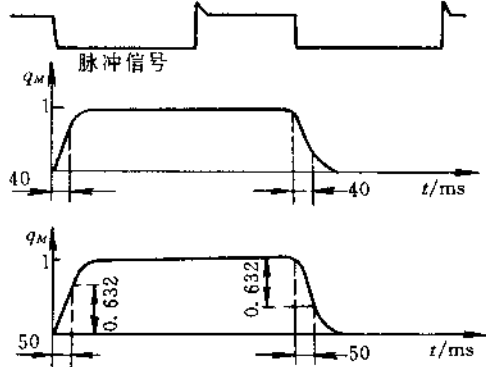


图 22.2-6 单脉冲过渡过程曲线

最高启动、停止频率是在额定压力下,瞬间接通、切断输入信号,电液步进马达能正常启动、停止的最高脉冲频率。此数值受负载惯量影响。其典型曲线如图 22.2-7。

一般来说液压转矩放大器动态响应较高,因此电液步进马达的动态特性很大程度上取决于步进电机的动态特性。

(C) 性能参数

电液步进马达的静态性能参数较多,可归纳为有:

- 额定参数
- 额定压力

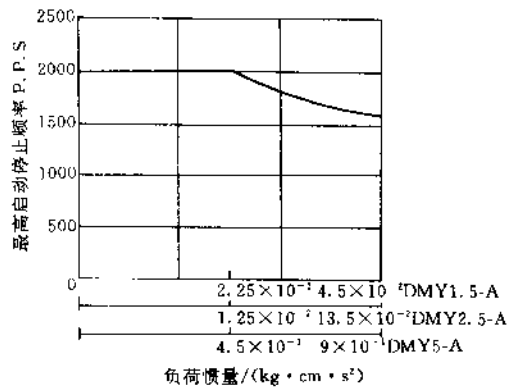


图 22.2-7 最高启动、停止频率特性

- 排量
- 最高工作频率或最高转速
- 输出转矩
- 输出功率

静态性能参数

- 步距角
- 静态步距精度
- 开环速度放大系数

动态性能参数

- 加速、减速时间常数
- 最高启动、制动频率
- 最高连续工作频率

工作条件参数

- 许用负载惯量
- 许用回油背压
- 油温范围

- 工作油液类型

- 温升限制

(2) 电液步进缸

A. 组成与工作原理

电液步进缸是为了适应中、小行程直线运动数字位置或速度控制而出现的。其组成和工作原理与电液步进马达类似,只是将执行机构换成了液压缸,而由步进电机和液压力放大器两部分组成。

图 22.2-8 为三通阀控缸式电液步进缸结构原理图。步进电机的转动通过减速齿轮 6 减速后,作用于三通阀芯 5,使之转动。阀芯与螺杆 4 为一体,螺母 3

固联在活塞 2 上,此时活塞不动,因此螺杆-螺母副的作用使阀芯产生轴向位移,打开阀口。步进液压缸的执行机构一般采用差动液压缸,其有杆腔作用着供油压力 p_s ,无杆腔油压 p_c 受伺服阀控制。当阀芯右移时,滑阀控制边 a 工作, p_c 与供油腔的阀口开大,由于 A_c 面积大于 A_r ,活塞向左运动,同时带动阀芯左移,减小阀开口,实现反馈。若步进电机反转,则阀芯左移, b 控制边工作。 p_c 腔与回油腔的阀口开启,活塞向右运动。螺杆为空心结构,以便将沿螺纹泄漏到活塞杆内腔的油引回油箱。

图 22.2-9 所示电液步进缸的伺服阀芯采用特殊

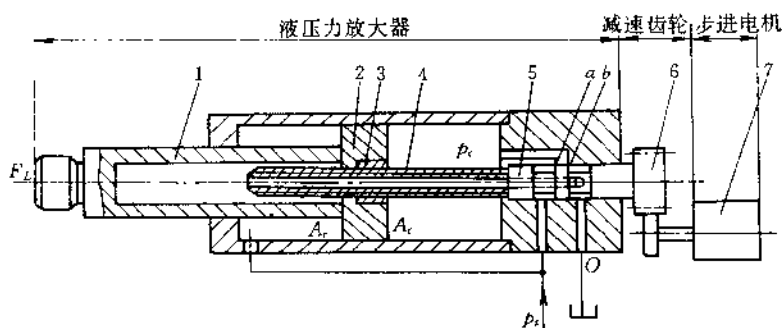


图 22.2-8 电液步进缸结构原理图

1—活塞杆;2—活塞;3—反馈螺母;4—螺母;5—三通阀阀芯;6—减速齿轮;7—步进电机

结构,将阀芯台肩做成螺纹状,轴向固定不动。当阀芯随着步进电机旋转时, p_c 腔顺着螺纹槽与供油腔,或回油腔相通,压力油驱动活塞向右或向左运动。活塞运动的同时,带动阀口与阀芯作相对运动,关闭阀口,实现反馈。

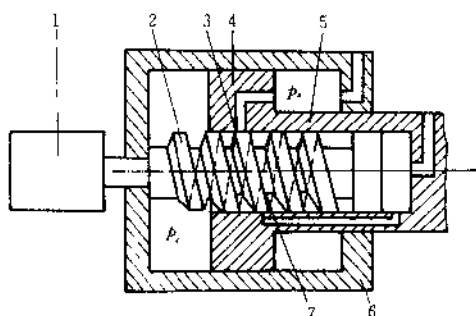


图 22.2-9 螺纹伺服机构的电液步进缸

1—步进电机;2—螺杆(阀芯);3、7—阀口;
4—活塞;5—活塞杆;6—缸体;

B. 特性

液压力放大器特性与液压转矩放大器工作原理类似,数字模型型式上完全相同。因此他们的特性内容也完全相当,只需将转矩放大器中相应的回转运动参量,换成力放大器中相应的直线运动参量,即可得到电液步进缸的特性指标。当然,电液力矩马达的液压动力机构是四边阀控制一个双向运动对称的液压执行元件,电液步进缸的液压动力元件则是四通阀或三通阀控制不对称的差动油缸。因此他们的阀系数和动态参量略有不同。

22.2.4 典型结构与产品介绍

图 22.2-10 为上海液压件三厂的 DMY-A 型电液步进马达。图 22.2-11 为日本富士通公司的 1-SSSS 型电液步进马达。都属于典型的四边阀控轴向柱塞马达及螺杆-螺母副反馈机构型式。

1-SSSS 型电液步进马达采用了滚珠丝杆-螺母副,使灵敏度和控制精度有所提高;增加了液压马达的柱塞数,减少了斜盘的倾角和柱塞直径,缩短了缸体

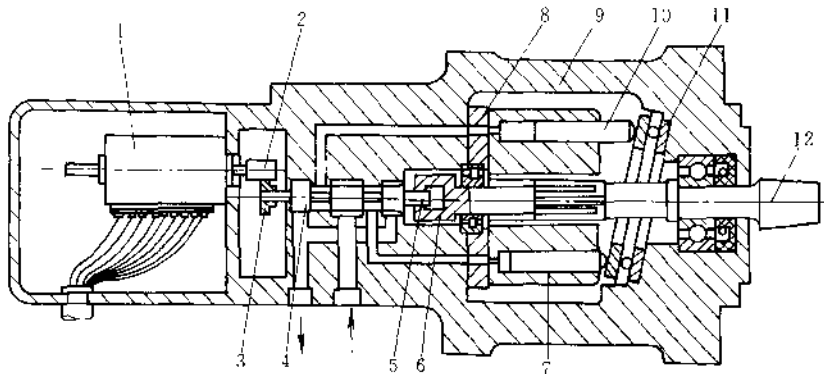


图 22.2-10 DMY-A 型电液步进马达

1—步进电机;2、3—齿轮;4—四边滑阀;5、6—螺杆螺母副;
7—柱塞腔;8—配油盘;9—外壳;10—柱塞;11—斜盘;12—主轴

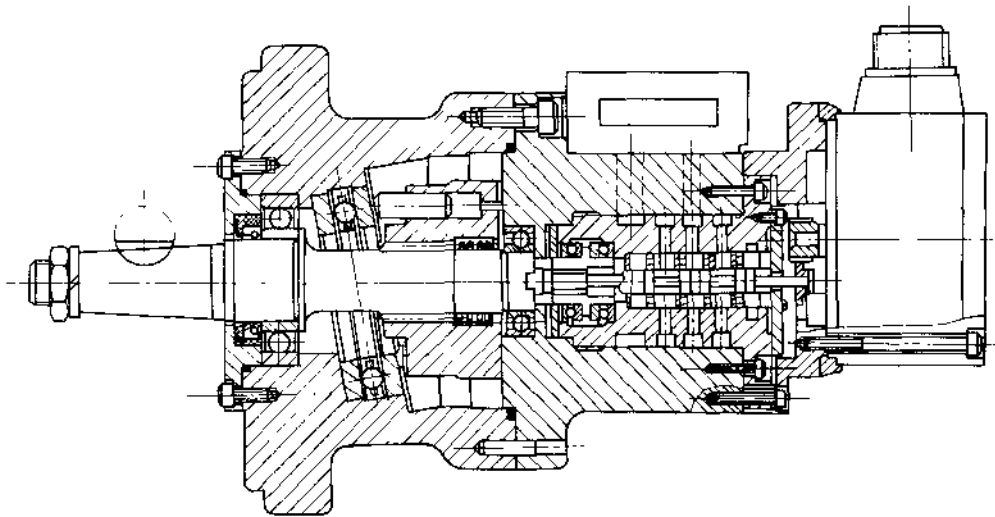


图 22.2-11 1 SSSS 型电液步进马达

长度, 这样就将工作压力提高到 14MPa , 增加了输出转矩和功率。并且输出转矩的脉动较小。为缓解滑阀快速启闭引起的液压冲击, 还在滑阀与液压马达的通道上设置了溢流阀。

图 22.2-12 所示为美国道蒂公司的电液步进马达。其中图(a)为示意图, 图(b)为工作原理方框图, 图(c)为去掉步进电机及电位器外罩后的外观图, 图(d)为结构图。这种结构为伺服式电液步进马达。其工作原理是: 步进电机带动电位器旋转, 把脉冲信号

变成电压信号。电位器的触点装在由液压马达轴带动的框架内, 从而实现位置电反馈。框架外层装有电刷, 以便将偏差信号(电压)引到直流放大器的输入端。偏差电压经放大后输入伺服阀线圈, 伺服阀控制液压马达。这种步进电液马达工作压力为 14MPa 。

图 22.2-13 为东京计器公司的电液步进缸。与图 22.2-8 相比, 增设了一个平衡活塞 4, 其作用是防止空心活塞杆内腔的压力向右推螺杆。编码器装在缸头。

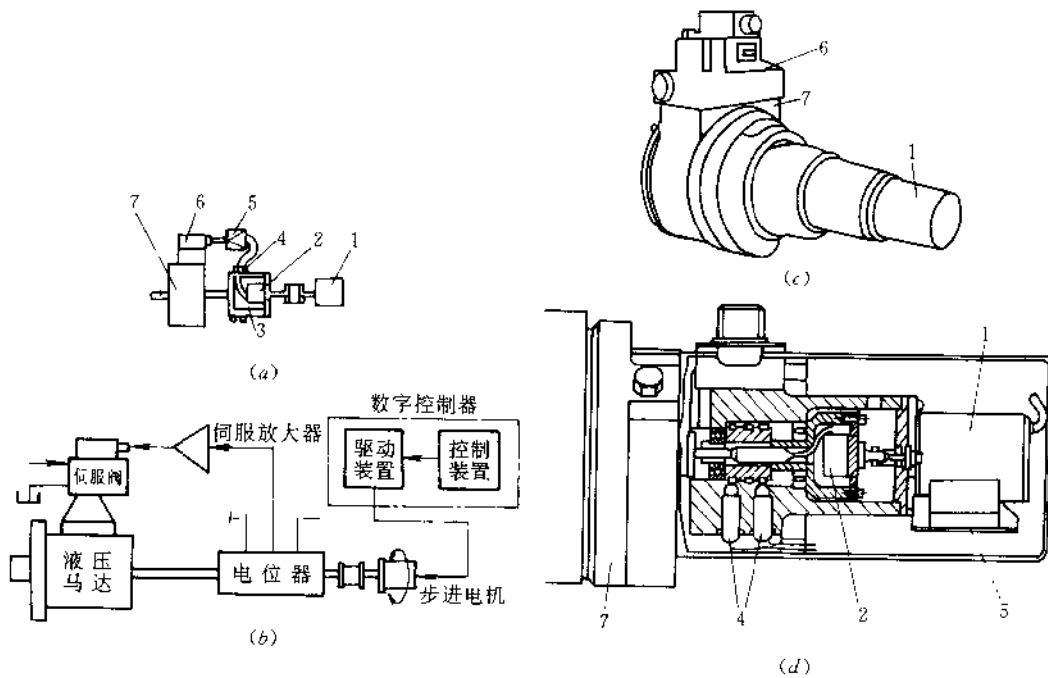


图 22.2-12 消蒂公司的电液步进马达

1—步进电机;2—电位器;3—触头;4—电刷;5—伺服放大器;6—伺服阀;7—液压马达

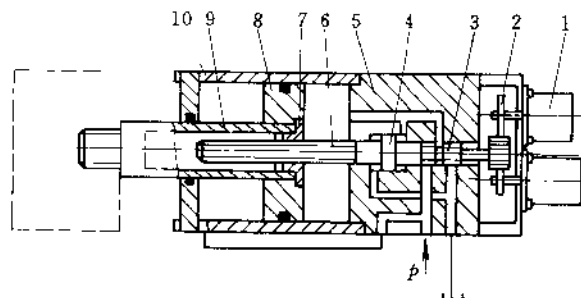


图 22.2-13 日本东京计器公司的中压电液步进缸

1—编码器;2—齿轮副;3—单向阀芯;4—平衡活塞;5—阀体;6—螺杆;7—螺母;8—活塞;9—活塞杆;10—缸体

图 22.2-14 为瑞士 SIG 公司的 LV 系列电液步进缸。其最大工作压力达 30MPa, 标准缸径 $\phi 40 \sim 200\text{mm}$, 最大行程 1200mm。

国内产品主要有北京机床研究所的 Y18-2 型电

液步进马达, 上海液压件三厂的 DMY-A 型液压马达和北京钢铁设计研究总院研制的电液步进缸(图 22.2-8)这些产品的主要性能指标分别列表 22.2-2、22.2-3 和 22.2-4。

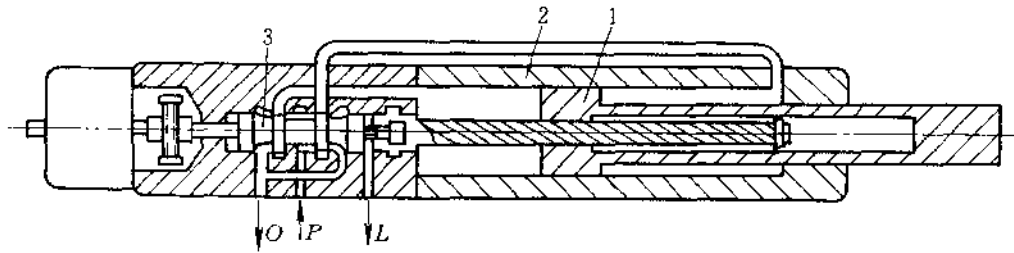


图 22.2-14 瑞士 SIG 公司 1.V 系列电液步进缸

1—活塞;2—缸体;3—阀芯

表 22.2-2 Y18-2 型电液步进马达性能参数

项 目 \ 型 号		1.2Y18-2	2.5Y18-2	5Y18-2	10Y18-2
输出功率/kW		0.6	1.27	2.5	
最高转速/(r/min)		1500	1500	1500	600
输出转矩 (N·m)	200r/min	12	25	5	
	1000r/min	8	17	3	
液压马达排量/(kg·cm ³ ·s ⁻²)		1.1×10^{-2}	3.5×10^{-2}	7.5×10^{-2}	25×10^{-2}
允许惯性负载/(kg·cm ³ ·s ⁻²)		3.3×10^{-2}	11×10^{-2}	23×10^{-2}	75×10^{-2}
死 区/(°)		±0.5	±0.5	±0.5	±0.5
速度放大系数		8.6			
工作压力/MPa		5			
排量/(cm ³ /r)		19	40	75	160
输入转矩/(N·m)		0.0784	0.0294	0.147	0.294+
质 量/kg		10	18	28	
使用油温/°C		10~60			

表 22.2-3 DMY-A 型电液步进马达性能参数

项 目		型 号		
		DMY1.5-A	DMY2.5-A	DMY5-A
步距角/(°)		1.2		
每转所需脉冲数		300		
输出转矩/(N·m) (压力 6.3MPa)	10 步/s	8	15	30
	(次/s)	15(2000)	25(3000)	50(4000)
输出功率/kW		2.46	4.1	8.2
最高连续频率/(步/s)		8000	8000	6000
最高启动、停止频率/(步/s)		参照特性曲线		
允许负荷惯量/(kg·cm·s ²)		4.5×10^{-3}	13.5×10^{-2}	9×10^{-1}
步距角精度(累积误差)/(°)		+0.5	±0.5	±0.5
加、减速特性		参照特性曲线		
单脉冲最大输出大负荷/(N·m)		7.5	12.5	25
液压马达排量/(cm ³ /r)		18	30	73
最大供油压力/MPa		6.3		
回油腔最大允许背压/MPa		0.2		
超负荷检测装置		有		
工作油粘度/(mm ² /s)	50℃时	>17		
	60℃时	>60		
质 量/kg		10	13.5	33

表 22.2-4 北京钢铁设计研究总院研制的电液步进缸性能参数

项目	液压缸 直径 D/mm	活塞杆 直径 d/mm	阀芯 直径 d _v /mm	螺杆	行程 s/mm	供油 压力 P _p /MPa	最大 推力 F/N	最高 速度 v _{max} /(m/min)	最低 速度 v _{min} /(m/min)
数值	80	55	15	M18×1.5	300	10	20000	2.4	0.1

22.2.5 电液步进马达和电液步进缸的应用

60至70年代,电液步进马达在数控机床和开环控制系统中广泛应用,随着低速大转矩、调速范围宽、价格低廉的大惯量直流电机的问世和发展,电液步进马达在数控机床中的应用大为减少。但由于它在低速性能、调速范围、响应速度以及输出转矩等方面仍有显著优势,因此仍在一些开环数字控制系统中有应用。

选择和使用电液步进马达时应注意以下几点:

- 电液步进马达的输出转矩应大于加于其轴上的负载转矩,并有一定裕量。
- 液压马达轴上的负载惯量应小于允许的负载惯量。
- 在允许的负载惯量下,应能满足所需的加、减速时间常数。

- 能在所需的工作频率(转速)和启、制动频率(转速)下工作。

- 回油路的背压应控制在允许背压范围内。
- 控制油温在允许范围内;并应保证油液清洁度。
- 消除机械传动部件(齿轮、滚珠丝杠)的间隙以便提高传动精度。

电液步进缸在要求大输出推力,中、小行程的数字位置或数字速度控制系统中使用简便。控制精度能达到加工机床的要求。仍在数控机床中得到应用。国外的一些电液步进缸产品,工作压力可达30MPa,缸径 $\phi 200\text{mm}$,最长行程达1200mm,甚至3000mm,可以广泛用于一般工业控制。

电液步进缸的选用和使用原则与电液步进马达类似。