

数字式电液控制机构

[德] Günter Diessel

引言

应用电液伺服机械的早期, 航空工业曾是这些发展的推动力。液压伺服驱动及执行器用在自动驾驶仪和增稳系统上, 亦用于现代飞机的遥控自动驾驶系统上。近15年来, 液压伺服元件又日益广泛地用于机床、加工工业和试验机等。

电液伺服机构给出输入与输出间的比例关系和其他预定的关系, 特别强调精度和响应, 从而消除干扰的影响。输入和输出以及各级所处理的信号均是模拟量。这种机构在尺寸、功率与重量比、对驱动系统的适应性、响应、精度、维修性及其他方面几乎能满足所有的技术要求。

虽然如此, 但是仍然可以看出发展和推

广数字式电液控制机构的趋势。造成这种趋势的主要原因如下:

①数字信号控制既简单又可靠, 因为只有两种信号状态。

②弹道计算机、飞行控制计算机、过程控制计算机都愈来愈多地使用数字信号处理。

③用接口设备把数字计算机的输出转换成模拟量, 反过来把反馈信号转换成计算机的数字输入信息, 不是技术上必然的解决办法, 结果使得设备复杂, 以致降低了可靠性。

④射流技术可用在第一级把气动信号转换成液压信号。

⑤网络、编码器和译码器、穿孔卡片很容易安排和改变程序。

⑥数字控制系统的开关状态不受负载变化及其他干扰的影响。

作用液压缸都作过试验。

在两项试验中, 用7位数据测量负载位置, 保证精度为 180° 转角内 $\pm 1.4^\circ$ 和6英寸行程内 ± 0.046 英寸。在此范围内始终能得到精确的定位。如果要求更高的精度, 可能需要更多的存储器。

进行这些试验时, 监视了微处理机存储器, 看其内容如何随着流量的变化而修改。偶而, 微处理机在阀的关闭时间里指令一个变化, 以补偿粘性摩擦和油温的变动。可能会出现类似的变化以补偿阀的磨损。

对旋转步进阀进行的流量试验(图4)表明, 它的流量与压力容量比座阀稍大些: 达6.5加仑/分和3000磅力/英寸²。象座阀一样, 步进阀也在7定位精度下用马达和双作用缸作了试验。发现用两种执行器的定位性能都是令人满意的。

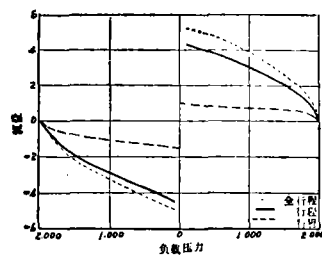


图4 旋转阀流量试验结果。大部分节流作用出现在1/2行程与1/8行程位置之间。

用步进阀时, 通过采用能确定向步进电机发出最后一个脉冲的精确时刻的自学习技术, 可以提高性能。这种技术能使负载无过之无不及地到达指定位置, 能使阀芯无振荡地到达中间位置。

(吴志明 译自 Machine Design,
November 23, 1978, 宋学义校)

⑦摩擦、非线性和磁滞对数字装置的影响小于对模拟机构的影响。

⑧象数字装置的阀这样的控制元件起开关作用, 因而对污染很不敏感。

然而, 所有上述优点并没有导致数字式电液执行器的推广应用。发展现状尚未达到最佳阶段。此外, 电液数字控制机构存在着下列缺点。

①分辨率不是无限的。

②动态响应不能满足某些应用场合里的要求。

③输入脉冲可能引起输出件的步进运动甚至跳动。

④要在最后一级才能完成数模转换, 因为数字执行器的输出值是个模拟信号, 如行程或转角、速度、力或力矩。由于定点控制本身要求高精度的机械部件, 因而实现这种转换需要专门的努力。

电液数字控制机构的特性

目前, 数字控制主要用于定位系统, 此外也用于进给和跟踪驱动。信息处理在输入设备里完成, 并储存在穿孔带里。后面的装置产生中间数字(这些中间数字就机床参数而论适合于位置与速度信息)或储存信息并把这些准备好的信号送入数字控制机构的控制部分。这个控制部分是个电气机械转换器或电气液压转换器。数字控制机构接到的信号代表位置或速度的设定值。此设定值可以是个并行数字(绝对)信号, 也可以是个增量数字信号。按不同结构和不同的系统方法对数字控制机构进行分类是困难的, 所以必须按分别与信号输入相对应的信号结构来分类。因而将细分为并行数字控制机构和增量数字控制机构。

并行数字信号 (往往又称为绝对数字信号) 由编码器如下给出, 即在送入数字控制机构之后, 整个输入信息(即信号)将于同一时间间隔内在电液阀装置中建立起来。

如果输出是速度而不是位置, 则输入信号是一系列单个的并行数字信号, 这些信号对应着所需速度轮廓值。执行器的输出件通过不同的位置, 每个位置对应着相应的输入信号。

对于位置控制来说, 并行数字装置的响应是极好的。然而, 对于跟踪系统来说, 例如在用铣削和车削加工工件的过程中, 不能在所有的应用场合都得到必要的动态响应。

增量数字信号 仅指示开关状态的变化。为了得到一定的位置或速度, 需要一组以脉冲序列形式给出的按时间顺序的单个脉冲。速度与开关脉冲频率成比例。位置与单个脉冲的总和成比例。振幅和相位滞后有这样一个特点, 即增量数字控制的一定配置适用于进给控制和跟踪控制。在与简单脉冲并联的回路中的附加永久信号由特殊装置提供, 从而为快速定位提供很快的移动速度。

从原理上说, 每个模拟式电液控制机构都能接受数字信号, 并能转换成位置、速度或力。数值化仅取决于输入信号的性质。阀、执行器和外反馈都按模拟方式工作。与此相反, 数字控制机构不能采用从输出到输入信号(特别是到输入脉冲)的外反馈。它以开环工作, 并且仅能接受数字信号。

模拟装置和数字装置的共同基础是利用液压油作为需要控制的辅助动力, 利用阀芯和球以及带控制油口的阀套并利用活塞和球作为操纵件。

结构形式

下面介绍各种原理、结构形式并指出可能的应用场合。

并行数字执行器

根据定义, 输出与同时发生的输入信号或脉冲的总数成比例。加法运算可以在下列部分完成:

①在机构的第一级, 例如衔铁所产生的力矩相加(见图1)。

②在某个中间级, 例如供入执行器的油

液体积相加（见图2）。

③在作为定点控制的最后一级，例如单个活塞的行程的机械相加（见图3）或者借助于在执行器不同位置（油口）上的液压力平衡法（见图5、6、7）。

带数字化线圈的力矩马达

电力力矩马达通常采用一对线圈或单个线圈。图1采用几个线圈。所有线圈的总匝数等于通常用于模拟式伺服阀的单个线圈的匝数。匝数是按二进制分级的。所有输入信号具有相同的电压，将产生不同的力矩。这些力矩之和正比于 2^n ，此处 n 等于线圈数。

喷嘴挡板控制、阀芯移动及通过弹簧力的比较从活塞位置到第一级的反馈，是人们从其他模拟式装置已经熟知的。

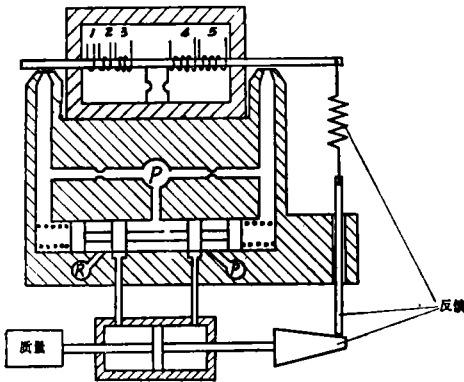
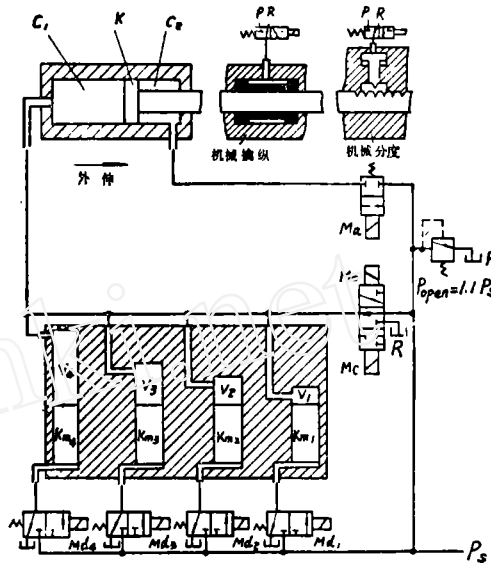


图1 带分级线圈的力矩马达

数字化转换器

对于每个设定行程或转角，执行器需要一个设定的油液体积。基于这项简单的要求，针对一个定位装置给出设计解：借助于阀和数字化转换器柱塞配置向执行器两个控制油口之一供入设定的油液体积，导致输出件的一定位置。图2画出几种可能的设计之一的工作情况。

对柱塞 K_M 施加压力后，体积 V_1 到 V_4 将从它们的“计量腔”进入执行器油腔 C_1 。来自油腔 C_2 的油液经阀 M_d 进入供油管 P_s 。数字化转换器柱塞 K_M 到达上端位置之后，执行器活塞 K 停止。数字化转换器柱塞 K_M 经



状态表

	M_a	M_b	M_c	M_d
停止	断	断	断	断
外伸	通	断	通	通
准备内缩	断	通	断	通
内缩	通	断	通	断

图2 带数字化转换器的执行器

电磁阀 M_d 与回油连通，可以使活塞 K 内缩。同时由于在油腔 C_2 里对活塞 K 施加压力，数字化转换器柱塞 K_M 被压向下。数字化转换器柱塞 K_M 一达到下端位置，执行器活塞 K 就停止。

虽然无需任何准备即可从每一级外伸，但是只有在对应于数字化转换器 K_M 的油液体积 V 被排除后才能发生内缩。电磁铁 M_b 和 M_c 用于此目的。状态表指明电磁阀的开关情况。可能的位置数等于 2^n ，此处 n 等于阀 M_d 数及数字化转换器数。

在通往执行器的控制管路里设置流量控制阀，可以实现进给控制。有很大的力作用在处于固定位置的活塞上时，建议采用图2所示的锁定装置。每当需要很高的定位精度时，建议采用附加的擒纵或分度装置，因为内泄漏、不同油温的影响及超调可能降低精度。在到达最终位置之前不久切换节流阀可以减少超调。

机械定点控制

与图1所示方案相反,图3所示的数字信号通道代表数字控制的最合逻辑的实现方案。控制精度仅取决于机械部分的精度。

每个活塞配有一个电磁阀。这个电磁铁使相应的活塞加压或泄压。加压时,每个活塞都离开相邻的活塞而运动,直到穿钉之类的机械手段限制行程为止。对输出活塞的环形部分稳态加压即可使活塞杆内缩。活塞的单个行程是按二进制分档的。可能得到的位置数为 2^n ,这里 n 是活塞数和阀数。

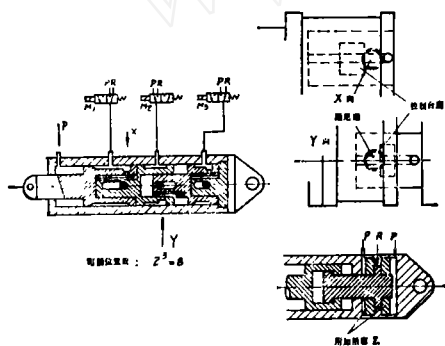


图3 带定点控制的执行器

象图中X和Y所示那样,通过在接近最终位置时减小通流面积来实现缓冲。于是,动能将在活塞停止之前减少。这样即可提高精度及估计寿命,噪声将保持在低水平。图3还画出另一种可能的缓冲方案,办法是使附加活塞Z超调。

动态响应取决于电磁阀的切换时间和单个活塞之间的相对速度。按二进制分档的活塞行程及活塞速度二者的实现,甚至在有载情况下也将导致可以接受的响应。不过,在负载下速度发生变化,因而这种执行器主要用作定位装置。有个执行器具有4096个可能的位置,分辨率为0.01毫米,精度为 ± 3 微米,额定压力为3000磅力/英寸²,经6000万次循环后精度为 ± 6 微米。

出口控制

图4所示的摆动马达是叶片式的。叶片既是执行件又是控制件。第5号位置是通过

使电磁阀 M_1 通电而得到的。第5号油口及(比如说)油腔 C_1 通回油。油腔 C_1 中的压力下降,一旦叶片封闭第5号油口时又重新等于油腔 C_2 中的压力。在此位置上只有与遮盖状态有关的泄漏流量。

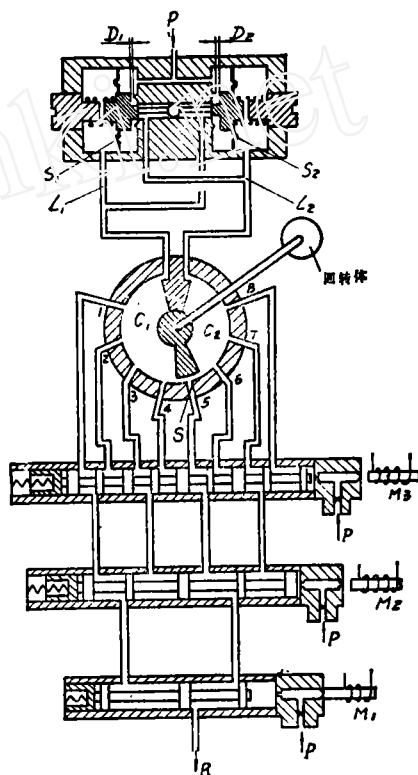


图4 出口控制

节流 D_1 和 D_2 可以是固定的。不过,为了加速叶片的旋转,这些节流可以象图5所示那样由测压膜片来改变。如果管路 L_2 中压力下降,则节流 D_2 开启,允许油液流进管路 L_1 。同时节流 D_1 关闭。一旦叶片封闭相应的油口, C_1 与 C_2 处的压力及 S_1 与 S_2 处的压力就相等,使 D_1 与 D_2 处压力也相等。由于油液压力经过代表设定位置的油口排放,所以所得到的机构称为“出口控制装置”。

带译码器的出口控制

为了得到很多位置和采用简单的电磁阀,可以采用类似图5的系统。译码器可由柱塞、球或膜片式元件制成。16个位置需要4个二位四通阀。它们控制或门,其中一个

示于右上角。执行器活塞也起控制件的作用。它运动到与回油相连的油口所规定的位置。驱动油液流经与图4所示者类似的快速切换阀。执行器活塞靠作用在其面积上的相等的力保持其位置。于是可以得到很高的刚度。

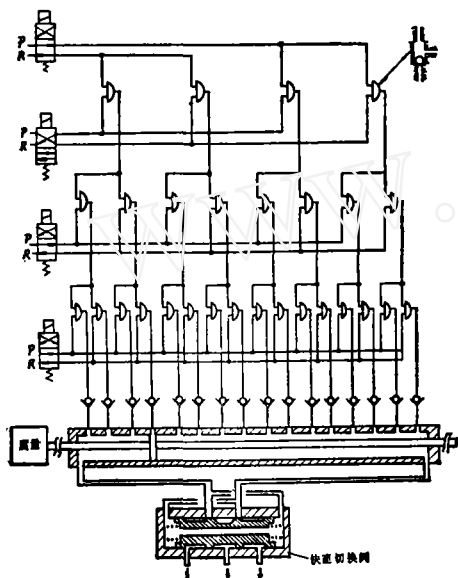


图5 带译码器的出口定位控制

四棱边控制

图6所示的方案把供油口和回油口都用于定点控制。执行器有三个活塞，都起控制件的作用。左侧活塞的左端面和右侧活塞的右端面是工作面积。电磁阀是带有多个油口的二位阀。

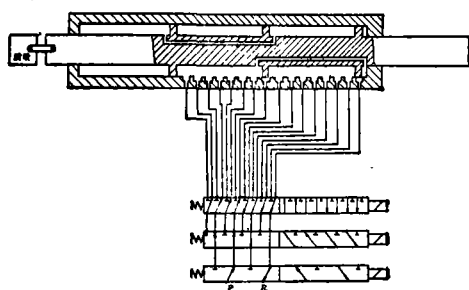


图6 四棱边控制

活塞面积承受压力使执行器运动。供油口和回油口一旦被活塞封闭，活塞即停止运动。虽然这种执行器造价甚高，但此方案可用于要求极快响应和极高精度的场合。需要

压降很小的快速切换阀。译码器可能有助于简单阀的采用。

增量数字执行器

对增量数字控制机构来说，比较好的信号形式是所谓脉冲累加信息。总信息由单个脉冲的代数和表示。脉冲宽度信息和脉冲高度信息在装置中很难实现。而且，由于泄漏、磨损、油液粘度变化等的影响，这种方法是精度不高的。

数字化转换器

前面说过，用计量缸可以实现并行数字控制。如果不用若干个按二进制分级的计量缸而仅用一个缸的话，就可以从这种方案得出增量数字控制。图7画出了由一个力矩马达操纵的两个球式截止阀、数字化转换器、转换阀、方向控制阀及执行器。

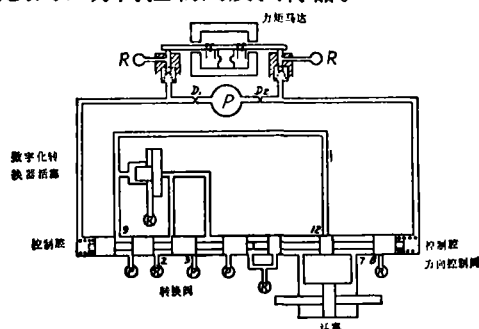


图7 带数字化转换器的执行器

执行器活塞每输出一步，需要一个脉冲。与其位置相对应的步数等于脉冲数。当力矩马达线圈断电时，活塞固定不动。球阀关闭，转换阀阀芯及方向控制阀阀芯由弹簧对中。数字化转换器活塞承受压力，其计量腔充满油液。

一个线圈通电时，相应的球阀（比如说右侧球阀）打开。于是阀芯右移。油口2和油口9将关闭。数字化转换器活塞左端经油口3承受压力。数字化转换器活塞左移，经油口12向执行器供入油液。来自执行器右腔的油液通过油口7和油口8。整个过程可在另一方向上重复进行。

这种装置的优点在于，所有阀处于零位

时泄漏为零。只要保证最小的脉冲高度与脉冲宽度,信号形状就是无关紧要的。缺点是内泄漏及压缩性使精度降低。

带擒纵轮的执行器

图8画出控制机构的一种坚固的设计方案。只要电磁铁断电,活塞就固定不动。齿轮齿条及擒纵轮形成反馈机构。电磁阀 M_1 通电使推杆ST上移。同时电磁铁 M_2 或 M_3 通电。油液经阀的油口进入缸的油腔。活塞开始移动后不久电磁铁 M_1 断电,推杆自由运动并插入下一个槽口,于是阀关闭。

步进频率受阀的切换时间和所能得到的擒纵频率的限制。

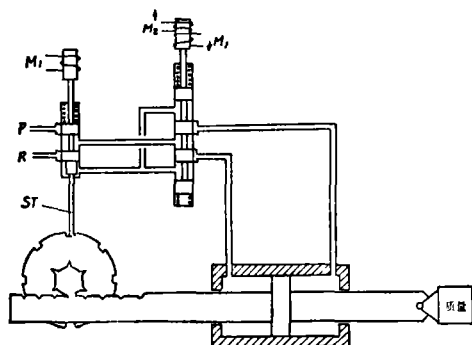


图8 带擒纵轮的执行器

电液步进马达

数字控制机床上把步进马达用于定位和进给控制。这种马达的组成部分主要有步进电机、转阀或滑阀、马达及从马达轴到阀套的内反馈。电机直接或经齿轮带动阀芯。油流供入马达油口。马达轴旋转使阀芯旋转,从而反馈马达轴位置并关闭阀的油口。阀芯一停下来马达轴也停止。

阀-马达组件往往称为力矩放大器。这方面的文献很多,因而没有必要详细介绍。

电磁铁操纵的步进马达

步进电机的力矩有限,不能克服液压阀中较大的摩擦转矩或污垢或卡紧引起的其他力。为了得到较高的可靠性和克服这些力,可由图9所示的装置发出液压力。

起动阶段,油液直接供入执行器。执行

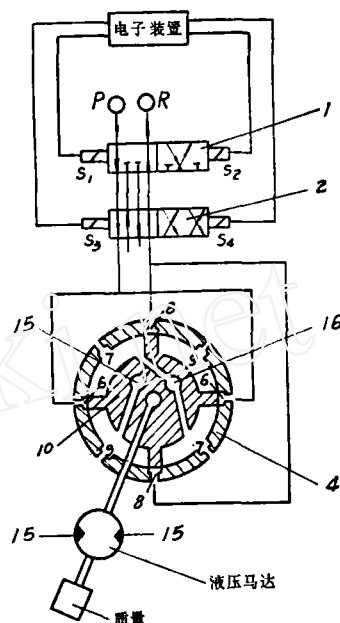


图9 电磁铁操纵的步进马达

器轴的旋转带动转阀阀芯10。阀套4固定不动。从执行器轴到阀芯的机械反馈使整个系统能定位。

在图9中,阀套油口6和8由阀芯封闭,马达轴固定不动。为了得到另一步,电磁铁 S_3 断电而电磁铁 S_4 通电。油液将进入油口7,从那里再进入油口16,使马达旋转。油液从马达经油口15和9回油马达轴转到油口7和9被阀芯封闭为止。如果需要另一步,则电磁铁 S_1 断电而电磁铁 S_2 通电。

只要未施加新的信号,马达就保持其位置。在电子系统出故障的情况下,将没有影响。

如果阀是零遮盖的,则定位精度高而内泄漏少。但是如果阀芯带有负遮盖,则可以提高步进频率并获得一个旋转范围。直到马达完全停下来,它都不需要制动。一种工业用的结构,分辨率为 45° 。步间切换时间为10毫秒,定位精度为 $\pm 15'$ 。压力和环境条件适用于飞机的要求。

连续旋转的步进马达

对于机床应用来说,希望既有步进机能,又有较快的移动速度。图10和图11所示

的步进马达能满足这项要求。

电磁阀 1 只接受短脉冲, 脉冲时间短于一步的时间。如果电磁铁 S_1 断电, 同时 S_2 通电, 则油液直接供入马达油口 15。油口 16 经管路 29 通回油。马达开始旋转, 比如说顺时针旋转。不久, S_2 断电而 S_1 通电。这时的情况示于图 10。液压马达及转阀阀芯旋转的油口 6、7 被阀芯台肩 8、9 封闭为止。

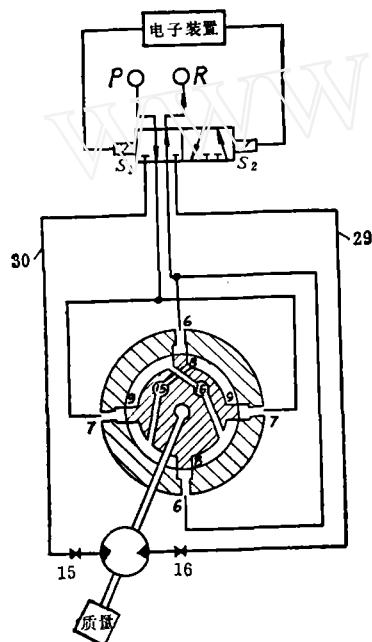


图 10 电磁铁操纵的电液步进马达

如果信号时间很长, 则马达持续高速旋转。这时的情况示于图 11。

一种应用于打字机上的装置已被设计和制造出来。最高转速为 3500 转/分, 走完一步需要的时间为 12 毫秒。压力比较低, 比如说为 700 磅力/英寸²。精度为 $\pm 10'$ 。

带脉冲发生器的步进马达

上两节介绍的电磁铁操纵步进马达, 在每转步数和步进频率方面受到限制。为了同时满足移动速度快和步进频率高两方面的要求, 设计了带脉冲发生器的电液步进马达。

图 12 画出带有连接油口 A 和 B 的马达、脉冲阀 M_1 、选择阀 M_2 、方向阀 M_3 、脉冲发生器 M_4 以及阀芯与马达轴相连的转

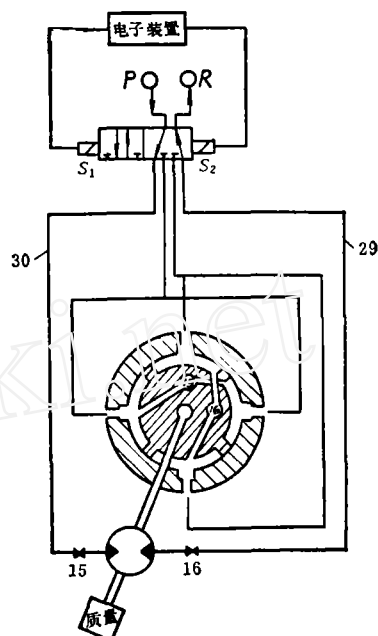


图 11 持续旋转的电磁铁操纵步进马达

阀。为了便于叙述, 脉冲阀及脉冲发生器分别用二位四通阀和三位六通阀表示。脉冲发生器可以设计成射流振荡器。

在图 12 所示的持续旋转工况下, 由于选择阀里的油口 C 和 D 封闭使脉冲阀和发生器关闭。马达及转阀阀芯旋转。

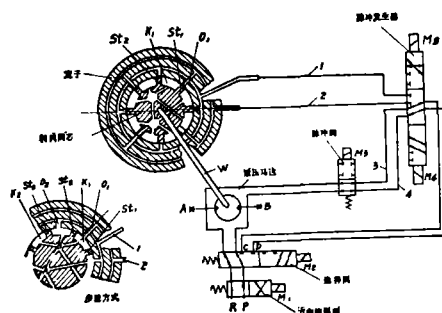


图 12 带脉冲发生器的步进马达

选择阀 M_2 接通后, 马达经管路 1、2、3 和 4 得到油液; 管路 4 处于高压, 马达及转阀阀芯顺时针旋转。管路 4 承受压力的时间与由于控制台肩 ST 的旋转而打开槽口 O_1 、 O_2 、…… O_n 所需要的时间相对应。接着, 电磁铁 M_1 将被短脉冲接通, 管路 3 和 4 将封闭, 管路 2 将处于高压, 然后槽口 O_1 将处于高压。随着槽口 O_1 不再被控制台肩 ST

所封闭,油口B将经通道 K_1 而处于高压。控制台肩 ST_2 一封闭槽口 O_1 ,马达就停止。

电磁阀 M_5 断电,管路4处于高压,开始下一步。不久以后电磁铁 M_4 通电而管路4封闭。管路1处于高压,因而通道3经开口 O_2 而处于高压。控制台肩 ST_1 一封闭槽口 O (在所述情况下槽口 O_1 被控制台肩 ST_2 封闭),马达就停止。

步进频率由脉冲发生器决定。电磁铁 M_4 和 M_5 交替通电。然而,步数由脉冲阀决定。为了使马达停止,脉冲阀必须通电。

转阀起比较阀的作用。由于它的内部定点控制,即使在马达轴上有较大的负载时也能获得很高的定位精度。如果既需要移动速度快又需要步进工况,则需用简单的计数器测出步进工况的起点(零位置)。

该装置尚处于样机阶段。尚未得到最终试验结果。每转步数为200,其他结构原理,例如利用游标原理的步进装置,或采用伸入

沿圆周分布的擒纵槽的小活塞的步进装置,正在受到进一步的研究。

小 结

电液数字控制机构主要可以用于机床、专用机床、外围数据处理、印刷技术和工业加工工程中。由于可靠性高,数字控制将越来越多地用于飞机及军用场合,并用作遥控装置。

然而,尚有广阔的领域等待研究和开发。数字控制用的电子设备是现成的,但是液压和电液器件尚不能满足所有要求。因而,本文给出关于某些基本设计原理的发展现状和关于某些有关的器件的资料。

参考文献(略)

(俞小琴译自 Proceedings of the
1st National Fluid Power
Systems and Control Conference 1973,曹珏校)

(上接64页) 实测数据。为了查明不同电磁铁的噪声特性,在该试验中处于泵卸载状态,不含有液压冲击引起的噪声和冲击。

湿式交流电磁阀、交直流变换电磁阀(电源规格为交流)是降低了交流电磁阀的噪声(图7a)的电磁阀,如图7b、c所示,大幅度地降低噪声,下面简单地说明一下这两种电磁阀。

(1) 湿式电磁阀

湿式电磁阀是把电磁铁部分浸在油里,利用油膜的缓冲作用减少电磁铁的吸合声的电磁阀。此外,从图7还可看到,由于油的阻尼作用使切换时间加长(干式约10毫秒、湿式约20毫秒),所以液压冲击引起的噪声和冲击也显著降低。

(2) 交直流变换电磁阀

交直流变换电磁阀是在电磁铁内部装有整流器,用交流电源驱动直流电磁铁使阀芯切换的电磁阀。

由于使用直流电磁铁,切换时间显著加长(约70毫秒),所以电磁铁吸合声、液压冲击引起的噪声与冲击都大大减少。

湿式交直流变换电磁阀是把这种交直流变换电磁阀再浸在油里形成的。由于它兼有两者的低噪声性,所以是象图7d所示那样几乎完全消除了噪声的电磁阀。

结 束 语

通过三种低噪声液压阀的介绍,想来您能对这些噪声的发生机理及其对策有所了解。

不仅液压阀,所谓噪声,其评价本身总是随着围绕元件的环境的变迁而变化的。因此,我们这些液压元件制造商,并不停留在现阶段的成果上,决心继续努力,研制出更好的低噪声液压元件。

(李军译自日刊《油压技术》1979年2月号,宋学义校)