

流体动力的节能与比例技术

中国机械设计与传动学会“液压技术
节能学术讨论会”论文集

(1985年11月27日—12月1日 广州)



华南工学院出版社

78.292

8806452

流体动力的节能与比例技术

中国机械设计与传动学会“液压技术

节能学术讨论会”论文集

(1985年11月27日—12月1日 广州)

华南工学院出版社

流体动力的节能与比例技术

中国机械设计与传动学会
“液压技术节能学术讨论会”论文集

华南工学院出版社出版发行

(广州 五山)

广东省林业勘察设计院印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张: 19 字数: 440千

1986年12月第1版 1986年12月第1次印刷

印数: 1—3000

书号: 15410·024 定价: 4.60元

学艺精微
雷天觉

中国机械工程学会
机械设计与传动学会
副理事长 雷天觉题字

题 词

节约能源，提高单位能源的工农业总产值，是我国经济建设的重要问题。本论文集的出版，必将在液压传动和控制方面节约能源起到一定作用。

中国机械工程学会

机械设计与传动学会 副理事长

陈 明

一九八六年六月二十九日

序

液压气动学会团体，成立已23年。去年十一月在广州召开的“液压技术节能学术讨论会”，是第十二次活动。本次会中，还召开了液压气动专业委员会的工作会议，除专业委员外，还有上级学会负责同志、叶克明副秘书长等参加。

液压气动专业委员会工作会议讨论了今后的学术活动计划，并建议加强委员会的组织建设，拟增聘八位委员。其中从航空、煤炭、兵器、冶金、船舶这五个行业中各聘一位，并使研究所和工厂的代表名额占委员会全体成员的40%，而且适当地照顾地区的分配。新的委员一般兼职较少。最近上级学会已批准了所提名单，这就为我国液压气动学术活动的进一步繁荣提供了保证。工作会议还请华南工学院液压传动及气动教研室筹备出版这次学术讨论会的论文集。

现在刊出了篇幅占40多万字的论文集，既便于交流，又鼓励了作者，实现了广大会员的期望，对四化必有裨益。

学术讨论会得以顺利开成，是由于华南工学院、广州白云配件工业公司和广东韶关液压件厂的大力支持。而本论文集得以问世，主要靠华南工学院多方组织和筹集经费，以及邓景流教授和该教研室一批中青年教师的辛勤努力而成。广东省液压传动及气动学会的李定华副教授也给予了协助。

谨代表机械设计与传动学会对关心学会工作的上述单位和个人敬致谢忱。

液压气动专业委员会 主任

陆光章

一九八六年七月

编 者 的 话

一九八五年十一月由浙江大学和华南工学院主持，在广州召开的“液压技术节能学术讨论会”上，专业委员会为实现与会代表关于出版论文集的愿望，建议华南工学院液压传动及气动教研室负责筹备这一工作。

把学术活动搞得更活跃，是我们责无旁贷的；另一方面，参加会议的论文，绝大多数是中年或是青、老年结合的科研成果，也反映了青年一代成长的可喜局面，我们有责任给他们提供学术交流的场地，让他们以更大的步伐前进。于是，我们承担了这一任务。

会议原定以液压技术的节能问题为主，但也收到属于气动的和不少其它内容的论文，对此不拟割爱，不过，将把属于中心议题的置于主要地位，并把论文集的名称定为《流体传动的节能与比例技术》。

我想向读者说明的是：液压技术节能学术讨论会能够顺利进行和本论文集能与大家见面，除了两主持单位和陆元章教授在序言中所提到的热心单位和个人的支持外，还和华南工学院的黎启柏、黄约、孙海平、刘树道、夏群强，以及成都科技大学的樊成华等老师的满腔热情的辛勤劳动分不开的。特别是前三人，他们从筹备会议直到论文集的编辑、发行都作了很大的努力。他们绝大多数是青年人，这也体现了青年科技工作者在学术活动组织工作方面具有无限的潜力。

对编辑工作有不妥之处，请读者指正。

祝液压传动及气动科技事业繁荣昌盛！

华南工学院

邓景流

一九八六年七月

目 录

节能元件及系统

二进制直接控制液压调速系统·····	施佐原 王钧功 彭昌宗 (1)
CY 型轴向柱塞变量泵功率匹配控制的理论分析与试验研究·····	刘庆和 姜继海 (9)
逻辑溢流节流元件动、静态特性的研究·····	黄 约 邓景流 (21)
先导式溢流节流阀·····	樊成华 邓景流 (30)
蓄能器固有频率分析·····	陈 庆 严金坤 (40)
提高普通节流调速系统刚度和效率的方法·····	曾义春 李鉴清 杨尚平 (47)
新型液压电梯系统及其节能·····	寿松乔 梁祖扬 彭晓东 谢建新 (55)
液压牛头刨床上的节能问题·····	唐光伟 章宏甲 (68)
四吨米锤快锻机液压系统的节能·····	唐永麒 (75)
塑料注射机的节能问题·····	翟慧聪 (78)
提高装载机液压系统效率的方法与评价·····	陈尧明 许福玲 (83)
高水基液压传动的节能潜力及问题分析·····	李壮云 (94)
橡塑并用往复密封件的研究·····	曹广礼 杨文平 树宏志 (102)
高压溢流阀静动态特性理论分析与试验研究·····	石万生 孟广哲 雷 秀 张远军 (109)

比例技术

电液比例精密平面磨床容积式调速系统研究 ·····	路甬祥 刘其元 周 洪 朱宇琪 (127)
液压技术提高了冶金电炉的节能效益——YJ ₇₄ —L系列冶金用 电液伺服阀的设计思想与应用·····	罗志骏 (139)
XBB—H63电液比例变量柱塞泵的设计和特性·····	沈之敏 刘 华 杨纪生 (148)
比例式电——气变换器的研究·····	陈登武 (157)
电液比例控制流量轴向柱塞泵的研究·····	刘玉琦 王庆国 宋 俊 (164)
电液比例控制加载装置·····	阎祥安 冯洪江 王懋强 (171)
比例溢流阀控制的液压可变刚度支承系统·····	魏喜新 (176)

测试、辨识及模拟

液压系统的能耗辨识和效率测定·····	钱长生 戴能才 (182)
经济高效的动态特性测试装置·····	司徒忠 黄仁祥 (191)
装载机液压系统动态效率的计算机模拟·····	黎克英 徐元宏 (198)
压力流量补偿负荷传感系统及其动态特性的计算机模拟程序·····	张治务 (211)
能量回收式的油泵、油马达寿命试验台·····	俞若尧 黄钦宗 (226)

综述及其它

气动系统中的泄漏与节能·····	王考华 (232)
机电液能量转换及最佳传递效率·····	高兆安 谭迪华 (236)
初论液压装置的可靠性设计·····	湛从昌 (248)
液压工业内部节能的探讨·····	邱玉龙 (263)
城市公共汽车液压节能装置初步研究·····	刘友苏 刘能宏 (268)
介绍一种用于节能汽车上的液压蓄能系统·····	胡大邦 (280)
国外车辆节能液压驱动系统的发展·····	田 琳 (285)
全液压电炉节能技术的实践·····	钟鹏飞 (292)
高速珩磨机液压往复机构的负荷设计法·····	熊 雪 (299)
高炉供料设备传动机构的改造·····	王志敏 (303)

二进制直接控制液压调速系统

上海交通大学 施佐原 王钧功 彭昌宗

提 要

本文提出了二进制液压控制系统的原理和实例。在该系统中,采用了各行程按二进制数取权的多级变量控制器,通过固定程序或可编程序控制器,可累加得出按二进制数量关系变化的流量变化曲线。用微机控制时,可直接利用微机输出信号经电压放大直接控制系统,中间无需D/A转换。可比现有的比例调节负载敏感系统进一步节能7~10%,成本低、易维修,工作可靠。可用于塑料机械、工程机械、船舶机械、机床等液压调速系统。

近年来,液压系统要求节能的呼声很高,目前国内外比较新颖的节能液压系统有:负载敏感系统和比例元件调速系统。

图1是负载敏感调速系统。它的工作原理如下:变量泵(1)、变量活塞(2)、压力控制阀(3)、溢流阀(4)及流量控制阀(5)组成了负载敏感系统。串联在主油路中的比例节流阀(6)为系统的流量调节器。例如,我们要使负载(9)的速度从全速调节为0.6的速度,我们可以通过放大器(10)将比例节流阀(6)的开度调小,在这瞬间,油泵还按全排量工作,使作用在比例节流阀(6)的进出口压差 Δp 增加,这样,破坏了流量控制阀(5)的平衡条件,使流量控制阀(5)的阀芯向右移动,主油路中一部分油将通过流量控制阀(5)和压力控制阀(3)进入变量活塞(2),使油泵(1)流量减少,结果使比例节流阀(5)两端的压差 Δp 下降,从而达到了新的平衡状态,此时,流量控制阀(5)的阀芯也回到中位,而油泵(1)在0.6全排量工况下工作,以满足负载(9)的需要。

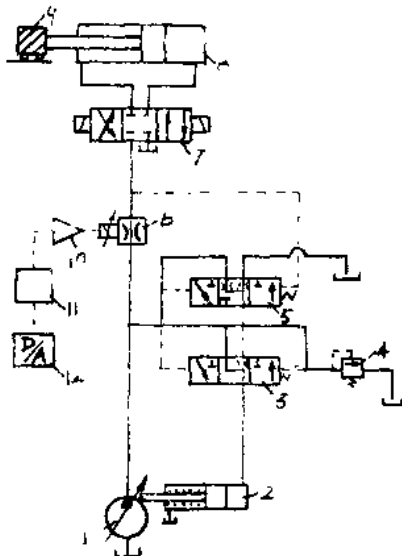


图1 负载敏感调速系统

上述比例调节负载敏感系统,比一般的定量泵节流调速系统节约能量。因为一般的定量泵调速系统如果调速到0.6全速时,40%的流量将从溢流阀白白地流回油箱,造成能量损耗。比例调节负载敏感系统,虽然也是通过节流阀进行调速,但是油泵能根据所需流量自行变量,因此溢流阀处没有能量损失。可是,从比例调节负载敏感系统的调速原理可以看到,要使它的流量得到调节,

必须保持流量控制阀(5)两端的压差 Δp ,这个压差 Δp 是由串联在主油路中的比例节流阀(6)两端产生的。这个压差将造成能量损耗,也就是油泵的供油压力将等于负载油缸(8)所需的压力加上 Δp 。根据我们对西德LINDE公司的BPR75斜轴式负载敏感泵的测试,负载敏感系统的控制压差 $\Delta p \geq 10 \sim 15$ 巴,这对于目前国内大量采用的、使用压力低于160巴的液压调速系统来说是个不小的损失,它已占总功率的7~10%,况且,对液压调速系统来说,使用工况并不一直在额定压力,而控制压力 Δp 却一直是一个定值,因而损失功率占的百分比将更大。

采用比例元件进行调速,现在也有采用比例调速阀在定量泵系统中进行调速,虽然能通过电信号进行调速,但毕竟是定量系统调速,对中、大功率的液压系统来说,能耗十分可观。目前已有伺服变量泵和比例控制变量泵出现,它可以避免上述功率损耗。如图2所示:控制信号 S 经放大器(1)放大后,输入到安装在泵体上的伺服阀(2)(或比例阀),伺服阀(或比例阀)输出流量控制变量油缸(3)的位移,使油泵变量。为了达到油泵流量的比例控制,变量油缸(3)输出的位移需通过电位器(4)转变为电信号,反馈到电液伺服阀(或比例阀)的输入端。

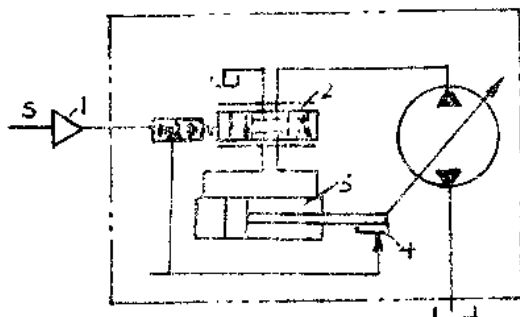


图2 比例控制泵调速系统

该类控制方式,能实现电液转换实现比例控制,但也存在不足之处,伺服阀加工精度高,阀的价格昂贵,对油液污染敏感,维修复杂。虽然比例阀较伺服阀在加工精度、对油液污染敏感等方面有所改进,但与通常的电磁换向阀等液压元件相比较,亦在一定程度上存在着上述不足之处。同时,要实现微机控制还需要D/A转换器,电器接口也较复杂,不少这类油泵的伺服阀(或比例阀)的控制油路,还需要有专门的辅助油泵供油,这也增加了整个液压系统的能量消耗。

我们为了克服上述两种变量系统的不足,针对国内使用较广泛的塑料注射成型机、挖掘机等调速系统,提供一种构造简单、价廉、易维修、易于实现微机控制的新型液压调速系统。

我们研制二进制直接控制液压调速系统的目的是既要方便地调节系统的流量,又不希望有图1中因主油路中控制压差 Δp 的存在而造成的能量损失,同时,在要求使用微机控制时,不需D/A转换器,以利于微机在液压系统中的推广应用。

图3是二进制直接控制液压调速系统的原理。该系统由变量泵(1)、换向阀(7),

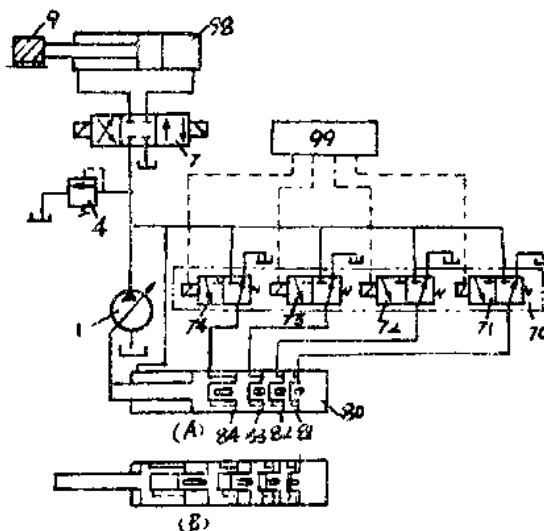


图3 二进制直接控制调速系统

执行机构(98)、负载(9)、溢流阀(4)和变量控制装置等组成。该变量控制装置是一种二进制直接控制装置,它包括变量控制器(80)、微型电液转换开关(70)和程序控制器(99)。变量油泵(1)由变量控制器(80)进行控制。变量控制器(80)由多级油缸(81)、(82)、(83)、(84)组成,它们的行程按二进制数取权,行程比为: $L_1:L_2:L_3:L_4=1:2:4:8$ 。微型电液转换开关(71)、(72)、(73)、(74)分别控制多级油缸中(81)、(82)、(83)、(84)各级。当控制信号为1,则电磁铁通电,该油缸外伸,当控制信号为0,则电磁铁断电,油缸活塞杆内缩。因此,只要有二进制信号,通过简单的放大器或接触器,就能对微型电液转换开关组(70)进行控制,从而实现对系统流量进行控制。微型电液转换开关其结构形式为通常使用的二位三通电磁换向阀。

例如,当输入信号为0000,微型电液转换开关(71)、(72)、(73)、(74)均断电,相应的变量控制器(80)中油缸(81)、(82)、(83)、(84)的活塞杆内缩,此时油泵排量接近为零。如图3中变量控制器(A)的状态。如果输入信号为1111,微型电液转换开关(71)、(72)、(73)、(74)均通电,相应的变量控制器(80)中油缸(81)、(82)、(83)、(84)的活塞杆外伸,此时油泵排量为全排量 q ,如图3中变量控制器的(B)状态。如果输入信号为0001,此时,只有微型电液转换开关(71)通电,相应的变量控制器(80)中的油缸活塞杆(81)外伸,此时油泵排量为 $1/15q$ 。若输入信号为0101,则微型电液转换开关(71)、(73)通电,相应的变量控制器中的油缸活塞杆(81)、

(83)外伸,此时油泵供油量为 $5/15q$ 。如果按讨论比例调节负载敏感系统例子中的要求,要使油泵输出流量为 $0.6q$,即 $9/15q$,可以输入信号为1001,此时泵就能排出 $9/15q$ 的排量。因此,按二进制数进行油泵变量控制器的多级油缸设计,在上述例子中取四级油缸的情况下,按照不同的微型电液转换开关通断电的情况,可以得到近于零直到全排量的16种油泵的排量。图4就表示了上述的情况。

如果变量控制器由五级数字油缸组成,则可以得到32个油泵排量的控制级。

数字油泵的输出排量 q 与输入的控制信号的关系可由下式表示:

$$q = \Delta q \sum_{i=1}^n D_i 2^{i-1}$$

式中 q ——输出排量

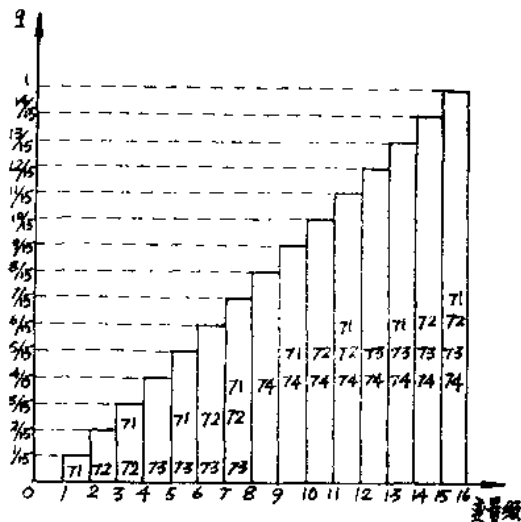


图4 微型电液转换开关通断电与油泵的排量关系

Δq ——单位排量（即第一级排量）

D_i ——第 i 级微型电液转换开关收到的二进制数码信号， D_i 等于1或0。（对微型电液转换开关而言，1即通电，0则断电）

n ——微型电液转换开关个数（即数字油缸个数）

也就是说，如果变量控制器由 n 级数字油缸组成，那么可以得到 2^n 个油泵排量控制级。

二进制直接控制液压调速系统与图1所示的比例调节负载敏感系统的不同点在于：油泵的出口压力等于负载压力（不考虑管路损失），不存在主油路中节流阀产生的压差 Δp ，因此从节能的角度考虑，二进制直接控制液压调速系统能比比例调节负载敏感系统进一步节能7~10%。

二进制直接控制调速系统采用的控制阀件，均是常规的换向阀，对油的污染不产生新的要求，因而较比例变量泵使用场合的适应性更强。它的控制方式为自控形式，不需要用辅助油泵提供控制油，因而节能效果显著。

二进制直接控制调速系统，控制信号以二进制形式，经电压放大（如将微机输出的5V电压信号放大到24V）就能直接对微型电液转换开关进行控制，也就控制了油泵的排量。因此不需要D/A转换器，就能同微机结合，这样，有利于微机控制在液压系统中推广应用。如果用单板机及电压放大器组成的可编程控制器（99），其本身可具有键盘输入，可附有数字管和发光二极管显示，输出部分配有如24V，3A功率的继电器信号输出。这样，液压元件仍是常用的规格，通过二进制输出，就能对有关的液压系统进行自动化程序控制。用它来代替一般的继电器及时间控制线路，可以收到降低生产成本、提高工作精度和生产效率的经济效益。

如果图3中的溢流阀（4）的调压手柄，由如同变量控制器（80）相似结构的多级油缸来控制，系统中油泵控制也如同流量控制形式一样，可以对压力进行二进制直接控制，也能方便地实现微机控制。

当然，二进制数字控制系统的调速形式是有级的，但只要有足够的数字油缸级，对一般的液压传动系统来说，控制精度及误差已能满足要求。例如用四级数字油缸，它有16个控制级，调速精度可达3.3%，如果用五级数字油缸，它将有32个控制级，调速精度达1.6%，对一般的液压系统已是能满足要求了。

我们用图5的实例，来介绍二进制直接控制液压系统在塑料注射成型机上应用的例子。图中油泵（1）的流量，通过变量控制器（80）来控制，变量控制器为四级。变量控制器由被可编程控制器（99）控制的微型电液转换开关（71）、（72）、（73）、（74）组成。油泵（1）通过进油管（14）从油箱（13）吸油，油泵（1）的排油经主油路（15）通过油管（310）和油管（39）达到变量控制器（80），油泵（1）排出的油经主油路（15）通过油管（310）、（311）、（312）、（313）、（314）进入微型电液转换开关（71）、（72）、（73）、（74）的进油口。油泵（1）排出的油经油管（211）、（212）、（213）、（214）、（215）分别到达电磁换向阀（16）、（17）、（18）、（19）、（20）的进油口，上述五个电磁换向阀分别控制该塑料注射成型机的预塑、注射、注射座整机前进后退、制品顶出及闭模或启模等动作，上述五个电磁换向阀相

应的电磁铁(25)~(33)的分别动作，将控制上述几个工况的运动。电磁铁(21)、(22)、(23)、(24)分别由可编程程序控制器(99)发出的信号来控制。从而实现各工况对液压系统的流量(调速)控制。表1表示了该注塑成型机的动作顺序。

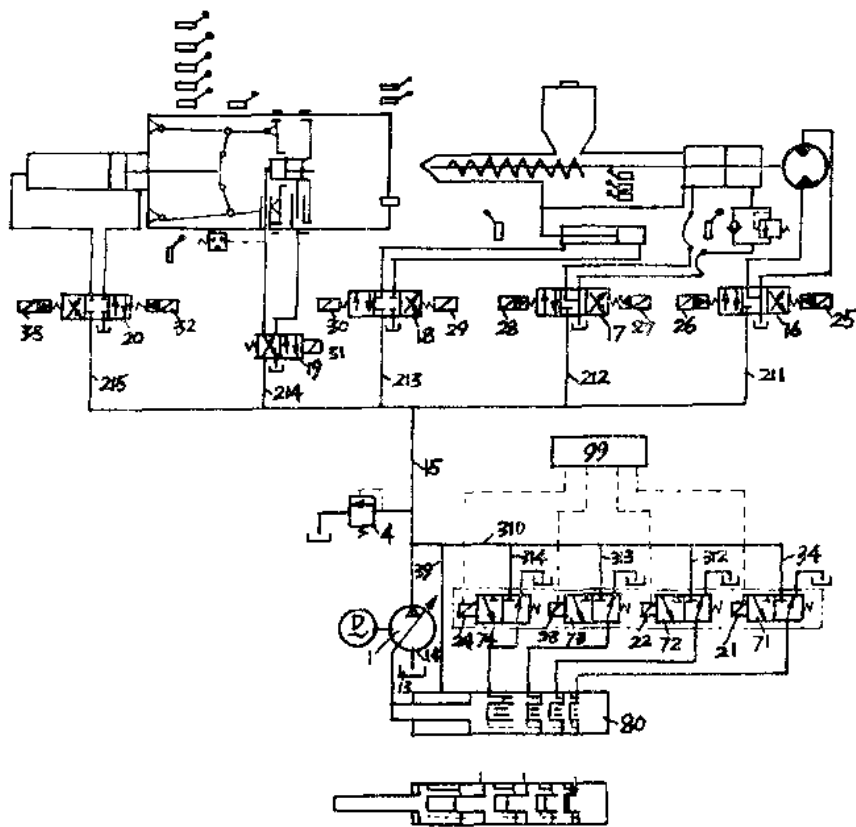


图5 二进制直接控制注塑机液压系统

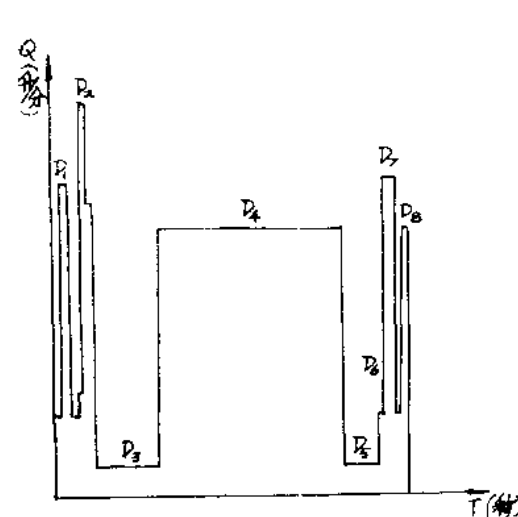


图6 塑料注射成型机循环工况

塑料注射成型机的工作周期中，各工况所需要的流量不同，如图6所示。该图表示了塑料注射成型机的一个工作循环过程中的调速情况。横座标为时间 T (秒)、纵座标为流量 Q ， D_1 代表闭模， D_2 代表注射， D_3 代表保压， D_4 代表预塑， D_5 代表冷却， D_6 代表后退， D_7 代表启模， D_8 代表顶出。从工作循环工况中可以看到，注射时所需流量 Q 为最大，保压、冷却工况所需流量为最少。因此，只要由图5中的可编程程序控制器(99)发出信号，就能使油泵方便地改变输出排量，达到满足相应工况的调速要求。在保压工况时，可编程程序控制器(99)发出信

号使油泵排油量减少，如此例中的1/15q的排量，该排量是保持液压油流经溢流阀（4）所需定压作用的最小流量，因此，损失已减小到最少程度。

表1 注射成型机的动作顺序

电磁铁编号		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
模	慢速	×	×										×	
	快速			×	×								×	
	慢速	×	×										×	
注射座整进		×	×						×					
注射	速度 I	×	×	×	×			×						
	速度 II		×		×			×						
保压		×						×						
预塑			×		×		×							
冷却								×						
注射座后退		×	×							×				
启模	慢速	×	×											×
	快速			×	×									×
	慢速	×	×											×
顶出				×	×							×		

注：×表示电磁铁通电

同样，系统中的溢流阀（4）的调定压力也需要在不同工况下进行调正，则装在溢流阀（4）上的二进制直接控制装置也可由可编程控制器（99）发出信号，由该数字油缸产生不同的行程，控制溢流阀的预压弹簧的压缩量，从而达到不同的调定压力。

目前国内不少中小型塑料注射成型机，通过技术改造，预塑工况由电动机预塑改为液压马达预塑，改进了预塑工况，但是目前中小型塑料注射成型机大量采用多泵（二到三个泵）系统，如果预塑的转速要随不同的塑料原料品种进行调速，则还属于定量泵节流调速系统，

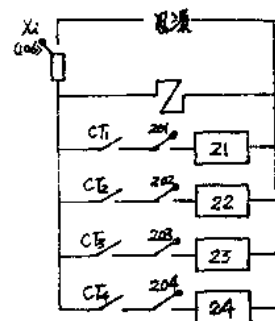


图7 继电器程序控制电路

因而从节能的角度来分析, 将比电动机预塑耗能更多。如果采用了二进制直接控制变量调速系统, 既能改善预塑性能又能达到节能的目的。

图5介绍的塑料注射成型机是采用可编程序控制器(39)来实现自动程序控制。如果因条件限制, 不采用微机, 该系统也能方便地对电磁铁(21)、(22)、(23)、(24)进行继电器开关控制。在每个行程开关(106)~(119)的线路上, 并联上如图7所示的继电器控制电路, 按照有关工况, 改变该电路中的插销开关(201)、(202)、(203)、(204)的通断情况, 控制电磁铁(21)、(22)、(23)、(24)的通断电, 也能达到前面介绍的流量控制调节的效果。有关插销开关通断情况, 见表2所示。

综上所述, 二进制直接控制液压调速系统, 它能适用于塑料机械, 工程机械, 船舶机械及机床等液压调速系统, 能用低廉的成本, 达到微机控制, 实现容积调速, 比目前较先进的比例调节负载敏感系统更能节约能量7~10%, 可避免采用复杂的D/A转换器或电子放大器, 降低了成本和维修水平, 提高了工作可靠性。

目前, 我们已研制出 $q=63$ 毫升/转的轴向柱塞式二进制直接控制油泵, 已在XS—ZY125塑料注射成型机和XS—ZY—1000A塑料注射成型机试用。

有关二进制直接控制油泵及有关调速系统已于一九八五年四月一日申请中华人民共和国专利, 并已取得专利申请号。

表2 插销开关通断与油泵排量的关系

名称 序号 编号	插销开关信号 (1为通, 0为断)				油 泵 排 量
	204	203	202	201	
1	0	0	0	0	0q/15
2	0	0	0	1	1q/15
3	0	0	1	0	2q/15
4	0	0	1	1	3q/15
5	0	1	0	0	4q/15
6	0	1	0	1	5q/15
7	0	1	1	0	6q/15
8	0	1	1	1	7q/15
9	1	0	0	0	8q/15
10	1	0	0	1	9q/15
11	1	0	1	0	10q/15
12	1	0	1	1	11q/15
13	1	1	0	0	12q/15
14	1	1	0	1	13q/15
15	1	1	1	0	14q/15
16	1	1	1	1	q

A Digital Hydraulic Flow Control System

Shi Zuoyuan, Wang Jungong Peng Changzong

ABSTRACT

The paper describes the principles of the digital hydraulic flow control system with an example. In the system, it is used that a multi-stage variable controller which takes neights of binary digits to control the position. With the pre-inputed program or the programmable controller, the result can be added up to acquire the tlon changing curve digitally, when being controlled by a microprocessor, the system can be directly controlled by the amplitied autput signal of the microprocessor without any D/A converters. The system uses less energy of about 7~10% than the proportioral controlled load-sensing system. Besides, it has low cost, good maintainability and feasible reliability, so that it can be used in hydraulicflow control systems in plastics machinery, vehicles, ships and machine tols.