

1981

一机部液压气动行业技术交流会

获奖论文集



液压工业编辑部

北京市机械工业局技术开发研究所

前言

81

根据1981年5月在上海召开的“液压工业”编委会第二次会议的决定，并受编委会的委托，“液压工业”编辑部筹备了一机部液压气动行业首届技术交流会议。在一机部通用局液压处的关怀和指导下，在广大从事液气压动技术工作同志们的支持下，交流会于1981年11月在大连召开。

参加交流的论文共153篇，其中液压116篇，气动37篇。文章涉及面较广，有关于液压气动技术基础理论，系统设计，元件的结构，材料和工艺，测试，辅助件，以及液压气动技术在工业中的应用等等。

从参加交流会的论文看来，我国的液压气动技术工作者在本门技术领域的各个方面做了大量的工作，取得了较大的进展。但是，与国外的先进水平相比，还存在着一定的差距。这就需要我们努力工作，迎头赶上。

为了对质量较高的论文予以表扬，以资鼓励，会议在参加交流的（只要在全国性的公开杂志上或学报上尚未发表过的）文章中，评出10%左右为得奖论文。同时，为了使这些论文资料在更大的范围内交流和推广，决定出版得奖论文集。经评选，评出17篇论文为得奖论文，其中液压12篇，气动5篇。评出的这批论文是一些有相当实用价值且具有重要参考意义的论文。（其中有一篇因故未收入本集）

交流的论文蒙评选组的同志认真评审，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，我们工作中又缺乏经验，因此本论文集定会有一些不完善的地方，敬请广大读者提出宝贵的意见。

“液压工业”编辑部

北京市机械局技术开发研究所

目 录

一、液压技术部份

1. 流量控制技术的新进展.....路甬祥 (1)
2. Veitch矩阵和液压逻辑设计中的最佳方案.....章宏甲 (12)
3. 用键图状态方程方法研究液压系统特性.....张海平 (32)
4. 液压伺服系统的识别.....温熙森 史维祥 (42)
5. 机床液压调速系统的特性研究及其计算机模拟.....林廷圻 葛思华
张晓鲁 王佑民
杨林森 (52)
6. 变量叶片泵配油窗口的设计.....陈国梁 (63)
7. 提高 250SCY14—1B 型轴向柱塞泵可靠性与寿命.....俞佑民 (69)
8. 低速大扭矩液压马达端面配油问题的研究.....洪琴 张桂英 (75)
9. 溢流伐的噪声和稳定性的研究.....高志恒 邓政端 李代德
胡成发 钟华英 余秀武
毛鸿绍 (89)
10. 高压齿轮马达几个问题的探讨.....徐文哲 (110)
11. O形圈的设计及应用.....蔡树铭 秦舜英 (121)
12. 内啮合摆线齿轮油泵的制造工艺及专用生产线.....梁国驹 (133)

二、气动技术部份

13. 气动技术的现状和发展.....吴筠 迟宪忠 (156)
14. 多功能气动逻辑通用程序线路的综合和分析.....李世权 (162)
15. 气动系统的设计.....徐炳辉 (176)
16. 船用高速柴油主机的气动程序遥控装置.....黄刘琦 师治华 (186)

1. 流量控制技术的新进展

浙江大学 路甬祥

众所周知, 压力与流量是流体动力传动与控制系统的两个最基本的参数。所谓“流体动力控制技术”旨在按某一特定要求对系统的这两个参数进行控制; 因而可以分为“压力控制”和“流量控制”; 而“功率控制”只不过是两者的综合。本文旨在介绍作者近年来在西德亚琛工业大学液压气动研究所发展的流量控制技术新原理。据此原理, 人们不仅可以设计出各类新颖流量控制阀, 而且也可以设计出崭新的液压泵或液压马达调节系统。这一新进展不仅显著提高了元件和系统的静态和动态调节特性, 而且有利于提高系统工作效率, 节约能耗。因此, 作者的另一个愿望即在于对其经济技术前景作一展望。

1. 流量控制技术的现状

最简单的流量控制阀是节流阀。迄今为止, 最常见的是直接作用式节流阀, 控制器件直接推动节流阀芯使之节流孔口发生变化。为了克服液动力和液压卡紧力, 必须给以较大的控制力, 这给实现电液比例节流带来了困难, 在大流量, 高压差下工作时尤甚。为改善其调节性能, 有人在其上组装位移传感器, 并将测得阀芯位移电讯号反馈至输入端构成位移调节闭环, 如图 1 所示 Vickers 公司的比例节流阀。但是由于比例电磁铁作用力的限制, 此种结构形式也仅适用于 16 毫米通径以下的中小流量节流调节。

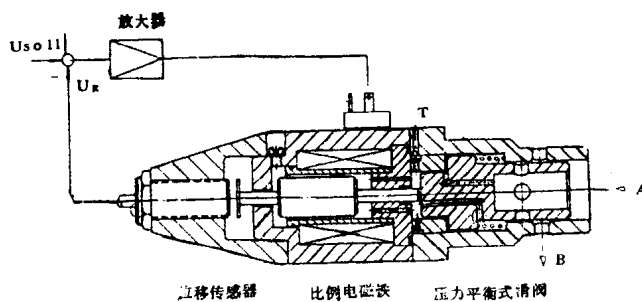


图 1 带电气行程调节闭环的直接作用式电液比例节流阀 (Vickers)

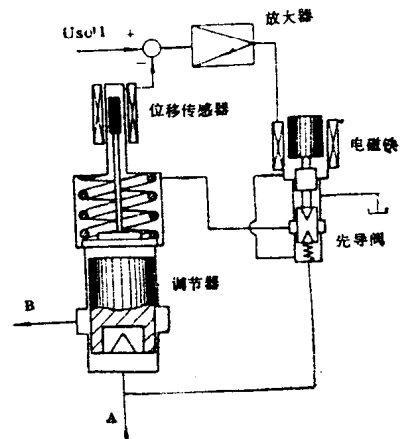


图 2 带电气行程调节闭环的先导式电液比例节流阀 (Rexroth)

在今年春季西德汉诺威展览会上 Rexroth 公司展出了一种新颖先导控制型节流阀 (见图 2)。其中主阀芯受一由比例电磁铁推动的先导液压半桥的控制, 主阀芯位移经一电感式位移传感器测量, 并反馈到电气讯号输入端构成主节流阀芯位移控制闭环。这种先导型节流阀方案使得有可能用较小的比例电磁铁在较高工作压差下对较大流量实现节流调节。但电反馈形式无疑使控制阀组件的价格发生较大幅度的增加。而且特别应当指出的是: 时间常数较

大的比例电磁铁被包围在反馈回路之中,因而明显地限制了阀动态特性的提高。这一点特别不同于伺服阀,在那里电机械转换器——力矩马达往往具有很宽的工作频带。至于调速阀,自从英国工程师弗利明,琴肯 (Fleeming Jenkin) (1833~1885) 发明以来,100 余年来尽管在结构上有了许多改进,但其基本原理却一直沿用至今,亦即节流器+定差减压阀原理。由于作用在减压阀芯上的液动力正比于工作流量和压差,因而使得减压阀所控制的节流器工作压差出现不可避免的静态偏差,在高压差大流量区域尤为显著,因而造成了调速阀等流量特性不佳。此外由于减压阀口通常为常开式,故当调速阀工作压差从零阶跃时往往出现很大的流量超调,其典型静态和动态特性曲线如图 3 所示。尽管人们可以把减压阀做成先导控制型,提高

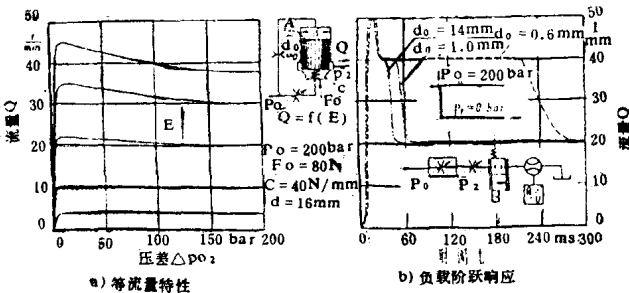


图 3 传统调速阀的典型特性

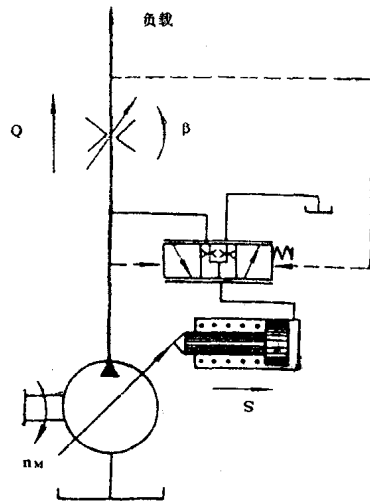


图 4 传统的等流量调节油泵原理图

等压差精度,从而使其等流量调节特性有所改善,但其工作压差阶跃时的流量超调都不能得到根除[1]。而且从原理上说压力反馈信息必然受到阀后负载液容显著影响,这对阀的动态特性当然也是不利的。在容积式调速方面,迄今为止最通行的等流量调节泵原理如图 4 所示。油泵出油回路中的节流器将输出流量讯号转换为压差讯号,然后反馈至油泵调节阀对油泵排量实现调节。如将节流器更换为一电液比例节流阀,当然也可实现对油泵进行流量比例控制。这一原理的缺点是在于为获得满意的压差调节讯号,通常为 14bar 以上,这意味着调节是以全流量较大的节流功率损失作为代价的。此外与前述调速阀相似,其压差讯号受到节流器前后液容的明显影响,以至动态性能往往不能令人满意。

近年来市场上亦开始出现若干伺服泵产品,其往往是藉助一传统的伺服阀对油泵的调节器实现控制,并设有机械或电气调节量位置闭环。但是由于伺服阀昂贵的价格和对油污染的过于敏感而一直难以为广大用户所采用。

2. 新发展的流量控制技术的基本原理

新发展的流量控制技术采用了两级或多级液压控制,并含元件内部液压机械反馈。依其是否具有负载补偿性能而区分为行程力反馈和流量—行程—力反馈原理,而附加的末级阀芯运动速度反馈通过液压方式来实现。

图 5 为不带负载补偿性能的流量控制简化方框图。

调节误差讯号经先导级控制主调节器(它可以是节流阀主阀芯,也可以是油泵调节油

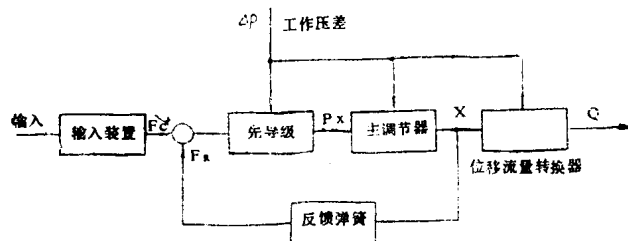


图5 不带负载压力补偿性能的流量控制简化方框图

缸)的控制压力 P_x , 进而控制功率调节器的行程 x 。其值经反馈弹簧检测并转化成弹簧力 F_R 反馈至输入端与给定值进行比较发生调节误差讯号。这里构成了行程闭环调节。

被调行程 x 经位移—流量转换器 (它可以理解为在一定工作压差下的控制阀口, 或者是变量油泵) 转换为流量。如果输入讯号给定时, 尽管主调节器行程不变, 但当负载变化时, 由于工作压差的变化将引起输出流量的变化, 其变化幅度取决于位移—流量转换器的负载刚性。

图6描绘了带负载补偿性能的流量及控制简化方框图。

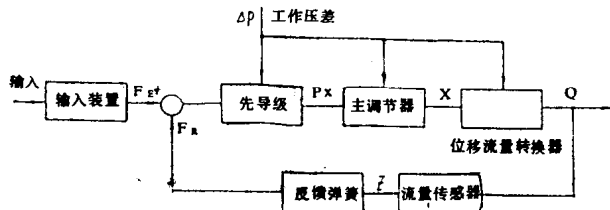


图6 带负载补偿性能的流量控制简化方框图

不同的是, 输出流量被流量传感器检测并转化为位移量 Z , 而后经一反馈弹簧转化为反馈力 F_R 至输入端。因为位移—流量转换器这里被流量调节闭环所包容, 因此输出流量值不受负载或工作压差 ΔP 变化的影响, 故被称为带负载补偿性能的流量控制。按此原理同样可以实现节流调速控制和容积调速控制。

在图5和图6中都没有画出速度反馈闭环, 它仅对改善系统的动态特性起作用。

3、典型实例

下面举出几个按上述原理设计的电液比例流量控制装置作为典型实例。

a) 比例节流阀

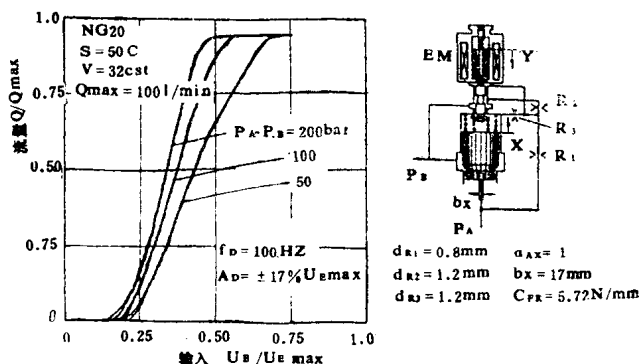


图7 输入电讯号—输出流量比例特性

图7为按行程力反馈原理设计的先导型电液比例节流阀原理图和输入电压讯号—流量曲线〔2〕。

高压比例电磁铁产生与输入电讯号成正比的力作用于先导控制滑阀，先导阀可以做成单边式双边控制方式去控制二通插装式主阀芯。图中先导级为单边控制方式并没有前置固定液阻 R_1 ，液阻 R_2 、 R_3 用以改善主阀芯阻尼，特别应当指出的是由于 R_3 作用，主阀芯运动速度 $\dot{x}$ 被转化为一作用于先导阀芯端的瞬态压差反馈信息。主阀芯的行程 x ，经由螺圈反馈弹簧反馈至光导阀，与比例电磁铁的输入控制力进行平衡。因此该元件包含着一行程调节闭环和附加速度反馈闭环。可以认为是PD调节回路。此阀具有较好的线性和较小的滞回。图8表示的为实测节流阀特性曲线族，它们显示了在段一输入信号下阀芯行程、流量与工作压差之间的关系。应当指出二点是：第一，和一般先导型阀一样，该阀正常工作需要一最小压差，被测模型约在8bar左右，其值取决于先导级压力增益、主阀面积比和有效弹簧刚性。第二、在输入讯号不变条件下，当工作压差升高时，由于液动力增加的影响主阀芯行程显示出减小的趋势。采用较大的主阀面积比，提高先导级压力增益，并采用液动力较小的主阀阀口造型均可使这种调节偏差减小〔3〕。

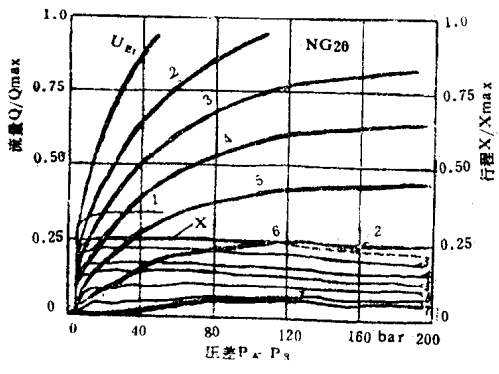


图8 节流特性

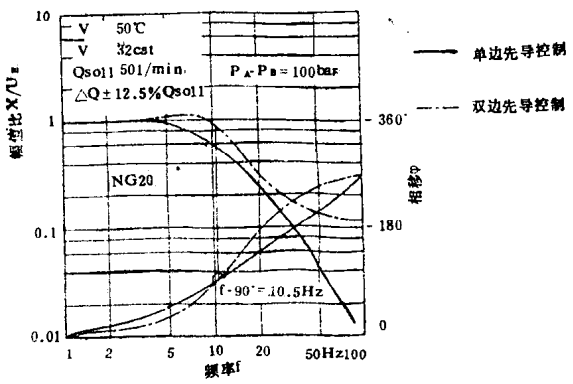


图9 频率特性

在工作压差为50bar，平均流量为50l/min，给以不同幅值的正弦讯号而测得的比例节流阀频率特性曲线如图9所示

试验结果表明，当正弦流量幅值为 $\pm 12.5\% Q_{s011}$ 时， $f_{-3db} \approx 7H_z$ ； $f_{-90^\circ} \approx 10H_z$ ；当选用双边先导控制时其幅频特性的提高显得特别明显，其 f_{-3db} 几乎达 $12H_z$ 。

b) 电液比例二通型插装式调速阀

为实现带负载补偿流量控制性能，可以按图6所示原理设计二通型插装式调速阀，其原理如图10所示。比例电磁铁产生与电讯号成比例的力作用于先导控制滑阀，图示先导阀为单边控制式，其控制阀口与前置固定液阻 R_1 构成液阻半桥对调节器实现控制， R_2 的作用在于增加调节器滑阀的液压阻尼，并具有温度补偿功能。经控制器主阀口的流量被流量传感器检测，并转化为流量传感器阀芯行程 Z ，籍助反馈弹簧反馈至先导阀芯与给定电磁力平衡。固定节流孔

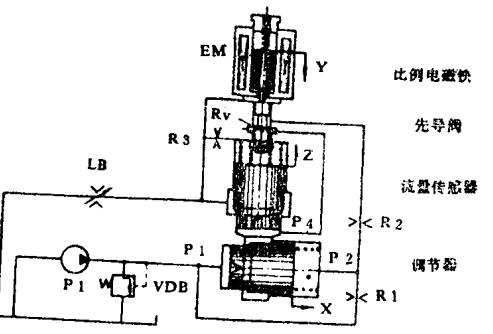


图10插装式二通型电液比例调速阀

R_3 的作用在于将流量传感器的运动速度值转化为作用于先导阀两端面的瞬时压差, 构成速度反馈, 改善动态性能。其先导阀芯和电磁铁均处于压力平衡状态, 而作用在调节器阀芯上的液动力, 虽然也随流量和工作压差的增加而增加, 但是其影响在此已被高增益的流量调节闭环所抑制。而在输入讯号给定时, 由于流量传感器工作压差与通过流量近乎不变, 液动力的影响可以忽略。因此, 该阀具有满意的等流量特性, 如图11所示。当流量传感器的回程弹簧的预压

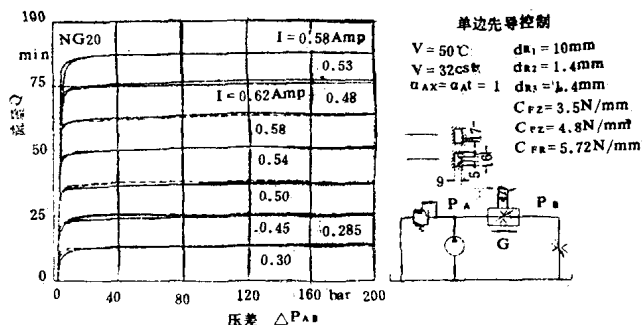


图11 等流量调速特性

量很大时, 流量传感器的工作压差近乎不变, 因此即使其过流断面为矩形口时, 流量传感器已具有良好的线性。该调速阀调节特性主要取决于比例电磁铁和流量传感器。图12a为实验测得的该阀输入电讯号一输出流量特性, 它具有良好线性和很小的滞回。值得指出的是, 该特性可以通过流量传感器阀口造形的改造而改变, 如果希望同时得到小流量区域良好的分辨率和较大的最大允许流量值, 可以把流量传感器阀口做成阶梯形即得双增益特性的调速阀, 如图12b所示。

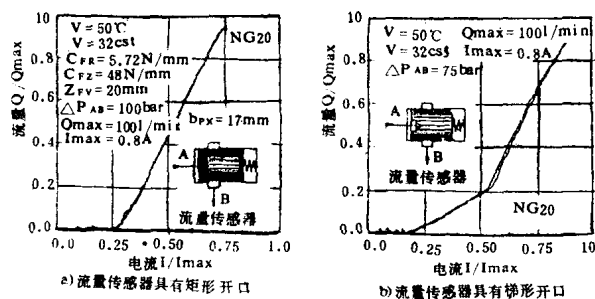


图12 输入电讯号一输出流

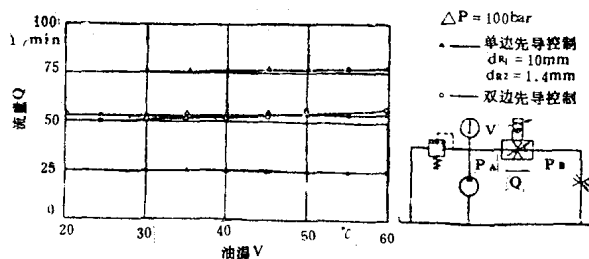


图13 温度特性

选用温度敏感系数不同的固定节流 R_1 与 R_2 , 还可以使该阀具有温度补偿性能, 这也是先导阀采用单边控制的理由之一。其温度特性如图13所示。

由于在无输入讯号或阀工作压差等于零的工况下,主调节器与流量传感器均处于关闭状态因此,无论输入电讯号阶跃或负载压力阶跃时流量过渡过程均无明显的超调,如图14与图15所示

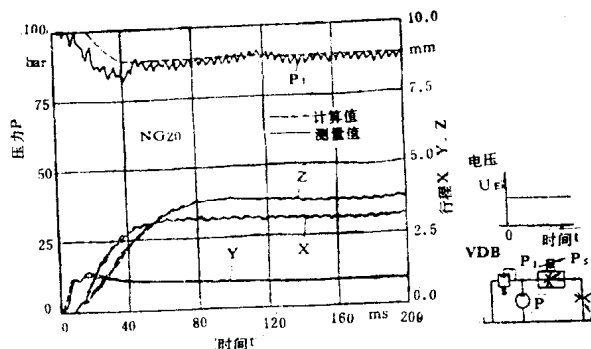


图14 输入讯号阶跃响应

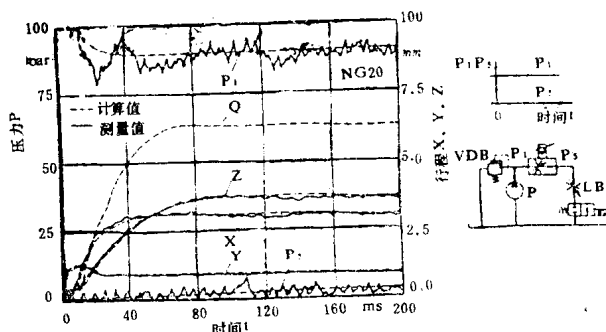


图15 负载压力阶跃响应

示。图中实线为实测值,虚线为数字电子计算机模拟结果,两者吻合良好。计算机求得的瞬时流量略先于流量传感器的行程达到调定值,这是由于在阀芯运动过程中动态压差分量影响的缘故。由图亦可看出用流量传感器行程反映动态流量可能达到的信赖程度。该阀的频率特性曲线如图16所示,其 -90° 相移频率已超过10赫,而且当采用双边先导控制阀时,由于先导级增益的提高而使频率特性有明显的改善,问题是失去了温度补偿性能。

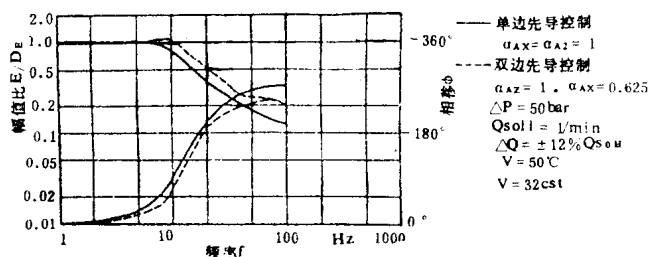


图16 频率特性

c) 电液比例容积式流量控制

将上述基本原理应用于容积式流量调节,可做成油泵或油马达的比例式排量闭环调节和比例式流量闭环调节。为提高动态特性,先导阀可以做成二级式,级间偶合可以采用不同的方式,调节闭环除采用力反馈外,为改善小讯号区段的灵敏度,还可附加带前置放大器的差分电气反馈,其控制供油方式可分为内供油和外供油方式。其综合方框图如图17所示。图18

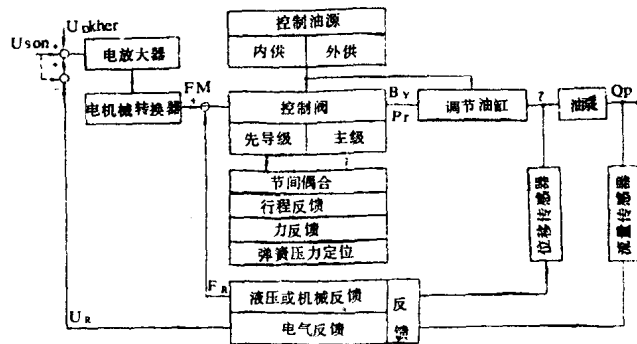


图17 容积式流量调节综合方框图

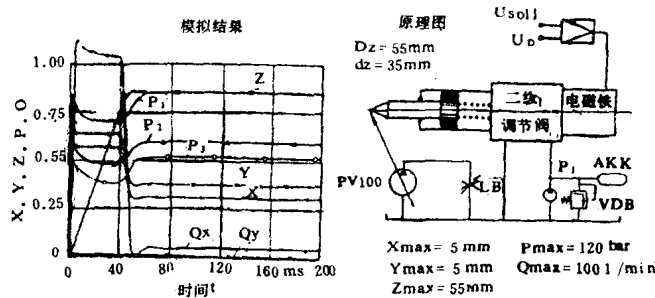


图18 输入讯号阶跃响应计算机模拟结果

为一排量为 100cc/rev 的通轴斜盘式轴向柱塞泵配以比例式排量行程力反馈闭环调节装置的阶跃输入讯号计算机动态模拟特性。由图可见调节油缸活塞自零位阶跃至 $0.8Z_{\max}$ (约 28mm) 仅需 45ms , 而且没有明显的超调。计算结果也证明在过渡过程内通过次级控制阀的瞬时流量达 105l/min 以上, 因此当用一小排量辅助泵供油时必须在控制阀入口处安装蓄能器。曲线表明采用行程反馈闭环进行节间偶合的双级先导阀芯行程 X 、 Y 间几乎无明显相位滞后。图19为实测试验模型的阶跃过程, 其时间常数大于计算值, 这是由于实验模型中滑阀最大开度受到电磁铁行程限止之故。尽管如此, 该被试泵工作频宽 $f_{3\text{db}}$ 已达 7Hz 。

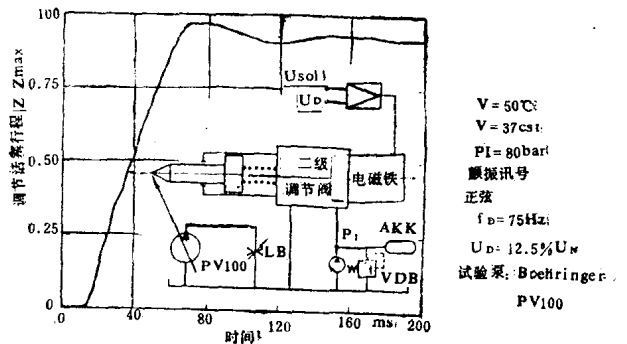


图19 输入讯号阶跃响应测试结果

在进行计算机模拟研究以后, 对一比例式流量闭环调节泵进行初步实验研究, 图20所示, 电流—流量曲线具有良好的线性和很小的滞回。当然试验是在加颤振讯号的条件下进行的。图21为等流量特性曲线族。在大流量工况, 当负载压力增加时, 流量略有下降。其偏差可以通过合理选择调节油缸面积比, 改善流量传感器的特性和增大控制阀增益等途径得到改善。图示试验油泵为西德Boehringer公司的 $PV100$, $q \approx 100\text{cc/rev}$ 。图22为该试验模型的幅频和相频特性。曲线表明当工作压力为 25bar 时 $f_{3\text{db}}$ 已达 5Hz , 当工作压力增至 100bar 时频带增宽到 8Hz 。这一特性已有可能将容积式闭环调速系统直接用作疲劳试验机, 低频振

动装置和大功率闭式液压传动系统，这对减少能耗具有很大意义。

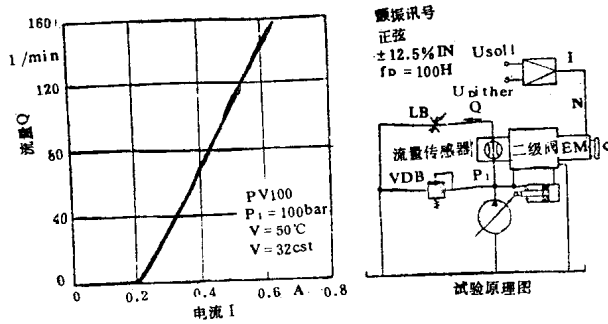


图20 比例特性

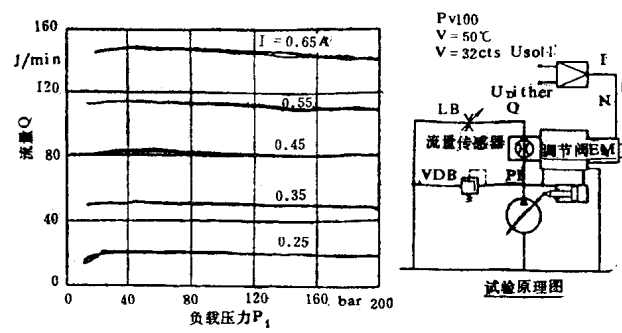


图21 等流量调速特性

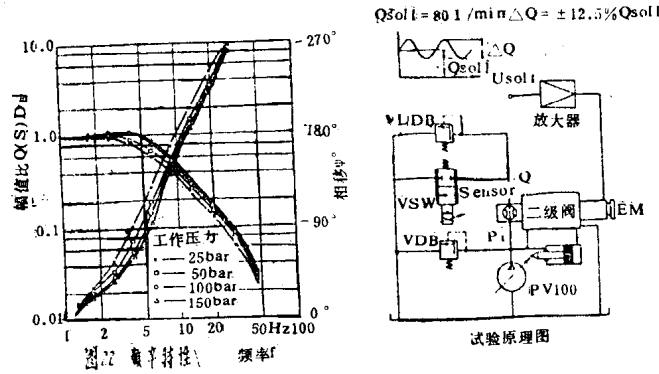


图22 频率特性

电液比例容积流量控制技术由于选用了高压比例电磁铁和元件内反馈方式，不但价廉而且对过滤精度无特殊要求，运行可靠，维护方便，使得有可能推广使用。

4、技术前景

上面通过典型实例，已经介绍了该流量控制技术的静态和动态指标，并对其结构和综合经济技术条件有了概念。下面我们进而展望其技术前景。

a、与插装式技术相结合形成电液比例插装式流量控制阀系列。其最基本的原型除前述比例节流阀和二通型比例调速阀外，还有三通型比例调速阀（俗称比例溢流节流阀），其原理如图23所示。其改变仅在于将流量传感器与主调节器并列布置并将先导阀做成预开式而已。需要指出的是无论是二通型、三通型调速阀、叠装上一只通常的先导压力控制阀便能实现负

载限压功能。不言而喻，它也继承了插装式阀所具有的先导阀逻辑控制功能。

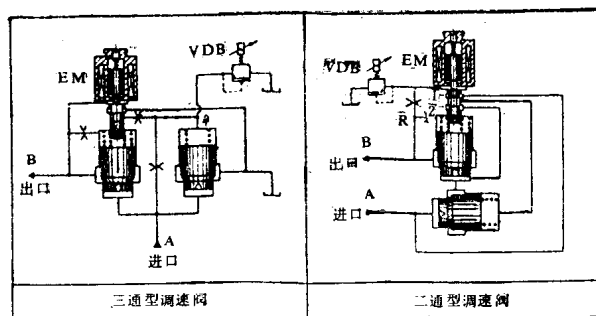


图23 带压力控制二通与三通型比例调速阀

显而易见，如果将基本原型互相组合即可得到不同动能的电液比例方向控制阀，或实现其他复合控制功能。如图24所示插入式组合比例方向调速阀。

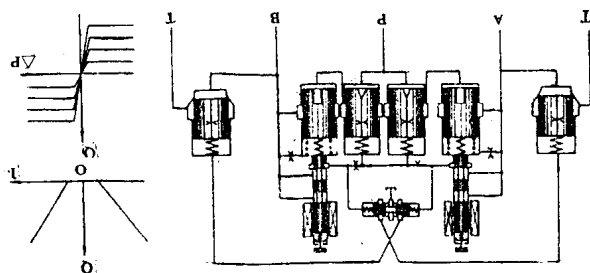


图24 插入式组合比例方向调速阀

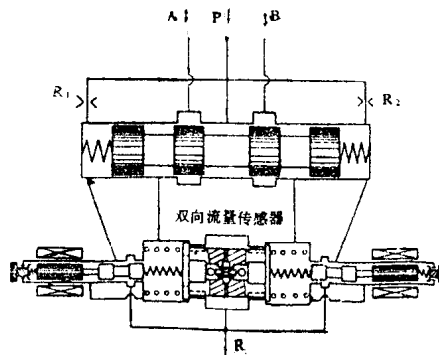


图25 比例方向调速阀

b、其原理同样适用于通常多控制边滑阀。

上述基本反馈原理同样适用于对通常的多控制边滑阀进行控制，这种方案对 16mm 通径以下或复合控制场合从综合经济技术指标上来看往往更为合适。特别有利的是其制造精度和结构设计方面相对于传统的方向控制阀或多路复合阀均无特殊不同，其联接尺寸几乎可以保持不变。图25为一带流量位移力反馈的电液比例四通方向比例的原理。

c、多功能的容积流量控制系统

按新原理设计的容积流量控制装置可以方便地实现恒流量，功率协调恒压力，恒功率或程预定序控制。

图26d 为新的功率协调原理。由于流量传感器的工作压差仅为传统的功率协调回路节流阀口压差的1/3到1/2，故进一步降低了功率协调回路的能耗。〔4〕

图27为比例式恒流量、恒压力控制系统。增加的仅是一比例压力先导阀VDB，它不仅以按图24中调节水平曲线族作恒流量调节，亦可按垂直曲线族作恒压力调节。

如果对比例先导阀压力阀和比例流量先导阀的输入电讯号进行相关控制可能实现恒功率调节或按其他预定程序进行调节。其方框图如图28所示。当然其讯号的综合和处理也可以用其他方式来实现，例如机械方式。

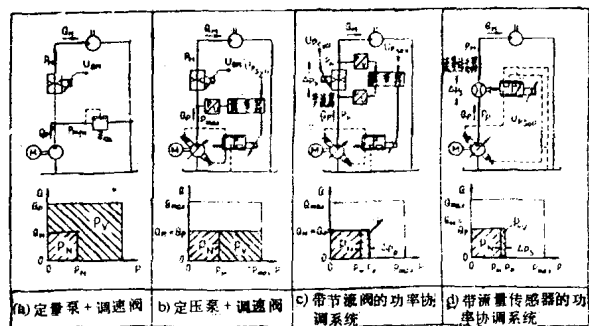


图26 功率协调新原理

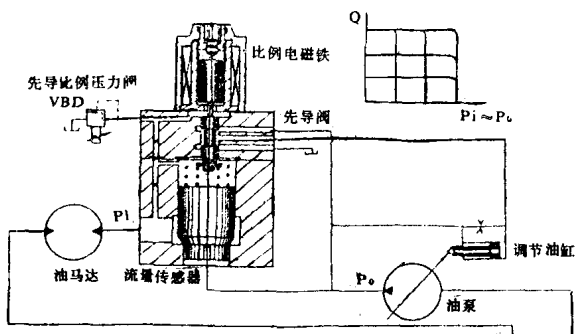


图27 油泵的比例流量和比例压力复合控制系统

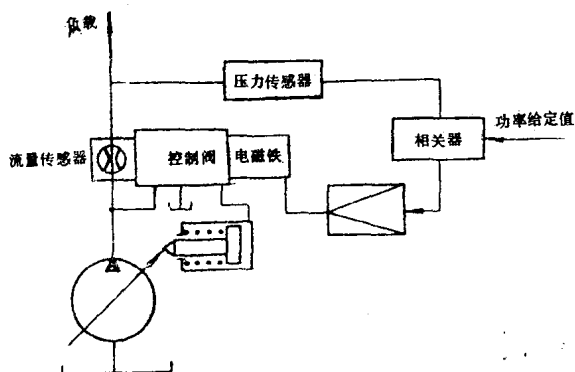


图28 恒功率调节框图

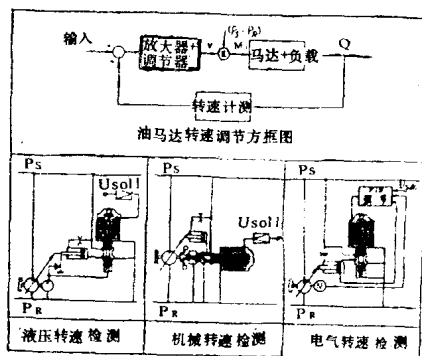


图29 油马达的比例转速调节

同样也可以对油马达进行恒速控制如图29所示。图29b的飞摆为转速传感器，采用转速力反馈；图29c采用测速发电机，形成转速电反馈。油马达恒速控制使得有可能对不同的负载采用集中油源供油，也是液压系统设计中的节能方案之一。显然进一步推广此原理也可以用于动力机械的调速系统。

d、不同的讯号输入方式

至此我们的典型实例都是电液比例元件，尽管比例电磁铁的成本低廉，工作可靠，但是有些使用场合人们仍要求采用其他的讯号输入方式。由基本原理方框1、2可知其输入讯号最终应表现为输入力，以便与反馈力相匹配。因此我们可以设计出如图30所示的电气、手动、机械和压力等不同输入装置。除电气方案外，其他输入装置均经由压力—平衡滑塞和一

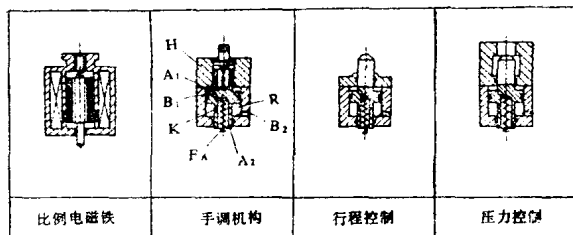


图30 电气、手动、机械和压力讯号输入装置

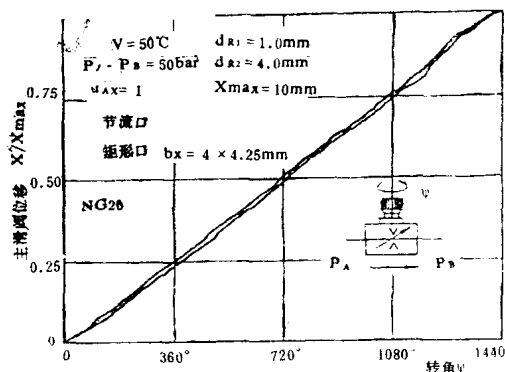


图31 手动节流阀调节特性

中间弹簧。平衡滑塞的作用在于卸除压力负载提高对输入讯号灵敏度，中间弹簧的作用在于改善与反馈弹簧的匹配和取得满意的可调范围。

图31所示为一带手动调节器的节流阀特性，具有良好线性和分辨度。而且从理论上仅仅需要足以克服反馈弹簧力的旋转力矩并与工作压力无关。

当以压力作为输入讯号时有可能将该流量控制阀变化为平衡阀使用。

以上我们已经展望了该流量控制原理的技术前景。图32以图表形式展示了其发展的可能性。当然在实现过程中从每一个基型研究系列扩展到系统技术的综合需要大量技术工作和科学研究，但是其经济技术意义都已是无容置疑的了。

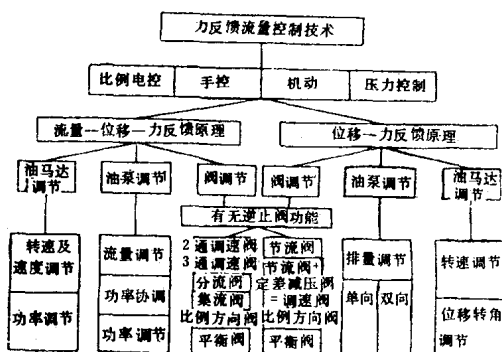


图32 技术前景综合图表

参考文献

- [1] Betriebsverhalten ver-gesteuerter 2-Wege-stromregel-ventile unterschiedlicher Bauform
Dr-Inß Y.H.Lu, Dr-Inß R.M.Trudzinski o+p 26 (1981) Nr 9
- [2] proportional-Drosselventile in 2-Wege-Einbauventil Bauart
prof.Dr-Inß W.Backe, Y.H.Lu o+p 26 (1981) Nr 1
- [3] Entwicklung vorgesteuerter proportional ventile mit 2-Wege-Einbauventil als Stellglied und mit Geräteinterner Rückführung
Y.H.Lu Dissertation der RWTH Aachen 5.1981
- [4] Möglichkeiten zur Energieeinsparung in hydraulischen und pneumatischen Antrieben
Y.H.Lu Doktor-vortrag Maschinenbauwesen der RWTH Aachen 12.5.1981

2、Veitch矩阵和液 压逻辑设计中的最佳方案

南京工学院 章宏甲

摘 要

液压系统的逻辑设计可以用一种崭新的矩阵方法来进行。每个逻辑方案实际上是代表系统数学模型的那个Veitch矩阵的一种交析解。并非所有的Veitch矩阵都有解：有解的条件是矩阵的组成元全部符合“交叉规律”。运用“当量元”、约束度”等概念可以加速矩阵的求解。不同情况下的最佳方案都是使设计出来的系统结构最为简单。采用矩阵法能使液压系统逻辑设计走上CAD的道路。

(一)

逻辑设计和逻辑矩阵

液压系统的逻辑设计是可以运用矩阵来进行的。笔者通过一段时期的摸索，发现使用这种工具不仅使逻辑设计有可能走上CAD的道路，而且还大大有助于深入理解设计的内在规律，因而是十分值得研究和推广的方法。

运用矩阵来进行逻辑设计要创建一种独特的矩阵。这种矩阵的存在条件、演算法则和内在规律与一般代数矩阵不同。熟悉和掌握这种矩阵并不烦难，通过它却可以迅速而简易地使液压系统的逻辑设计获得最佳方案。

液压系统的矩阵式是其各工作状态矩阵式的集合，每个工作状态矩阵式又是系统中受调度油路通断情况的集合。拿图1所示简单液压系统的例子来说，这系统共有四个工作状态和五条受调度油路。表1示这些工作状态的名称，功用、调度方法和各条油路的通断情况。假如用逻辑符号“1”代表油路接通，“0”代表油路断开，并按 O_1Z 、 PZ 、 PZ_1 、 PY 和 O_2Y 的顺序来写这些油路的通断情况，那末，“快进”工作状态可以用矩阵式 $[01110]$ 来表达，“工进”、“快退”、“停止”三个工作状态可以分别用矩阵式

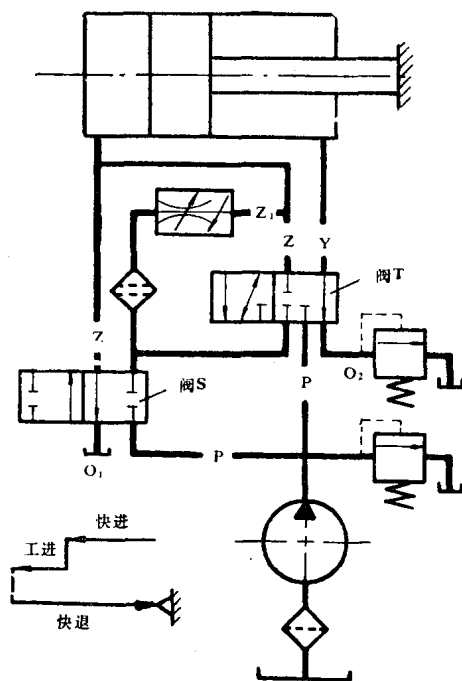


图 1

$[00101]$ 、 $[10010]$ 和 $[10001]$ 来表达*。假如用逻辑符号 $r_1, r_2, \dots$ 分别表示这些油路接通, $\overline{r_1}, \overline{r_2}, \dots$ 分别表示这些油路断开, 那末“快进”工作状态也可以用矩阵式 $[\overline{r_1} r_2 r_3 r_4 r_5]$ 来表达; “工进”、“快退”、“停止”三个工作状态用矩阵式 $[r_1 r_2 r_3 r_4 r_5]$ 、 $[\overline{r_1} r_2 r_3 r_4 r_5]$ 和 $[r_1 r_2 r_3 r_4 r_5]$ 来表达*。不管是前者还是后者, 它们都是逻辑矩阵, 当规定好写油路的次序并使之在整个演算、使用过程中保持不变时, 这些表达方式都是唯一的。

(表 1) 液压系统工作状态表

名 称	功 用 (液压缸动作)	调度方式		油 路 通 断 情 况					
		阀 S	阀 T	$O_1 Z$	PZ	PZ_1	PY	$O_2 Y$	
快 进	快速向左移动	左位	左位	断	通	通	通	断	
工 进	慢速向左移动	左位	右位	断	断	通	断	通	
快 退	快速向右移动	右位	左位	通	断	断	通	断	
停 止	停 止 运 动	右位	右位	通	断	断	断	通	

☆ “左位”表示以阀的左位接入系统, “右位”表示以阀的右位接入系统。

液压系统作为这些工作状态的集合来说, 其矩阵式可以是多种多样的。例如, 图 2 中任何一种写法都可以代表图 1 这个液压系统。

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{bmatrix} (01110) \\ (00101) \\ (10010) \\ (10001) \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} (01110) & (00101) \\ (10010) & (10001) \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} (01110) & & (00101) \\ & (10010) & (10001) \end{bmatrix} \\
 (a) & (b) & (c) \\
 \begin{bmatrix} (01110) & (00101) & (10010) & (10001) \\ (01110) & (00101) & (10010) & (10001) \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} (01110) & (01110) \\ (00101) & (00101) \\ (10010) & (10010) \\ (10001) & (10001) \end{bmatrix} & \\
 (d) & (e) &
 \end{array}$$

图 2

Veitch 矩阵

把液压系统写成矩阵式是为了进行逻辑设计, 因此矩阵必须写得有利于逻辑设计的进行。当将矩阵按逻辑代数中的 Veitch 表填写时, 上述目的就可以达到。下面就把这样填写出来的矩阵叫做 Veitch 矩阵。Veitch 矩阵是液压系统逻辑方案的数学模型。

在图 2 的矩阵式中, 只有图 2b 和图 2c 是 Veitch 矩阵: 图 2b 是按图 3a 的 2×2 型 Veitch 表填

*这些矩阵都是 1×5 型矩阵。矩阵中每个逻辑符号各表示一条油路的通或断, 但彼此间相互无关系。

写出来的，表内每个方格各填入一个工作状态矩阵；图2c是按图3b的2×3型Veitch表（即由一个双态逻辑事件和一个三态逻辑事件*构成的Veitch表）填写出来的。前一个矩阵全部填满（Veitch表中没有空格），叫做满项矩阵；后一个矩阵没有全部填满（Veitch表中有两个空格），叫做缺项矩阵。缺项矩阵空格中的内容不作规定，可以随意安排。

01110	00101
10010	10001

(a)

01110		00101
	10010	10001

(b)

图 3

图2a、2d和2e都不是Veitch矩阵，它们是调度阀的矩阵式。图2d矩阵的各行内容完全相同，叫做行同矩阵，可以简写成下式。

$$[(01110) (00101) (10010) (10001)]_{2 \times 4}$$

图2e矩阵的各列内容完全相同，叫做列同矩阵，可以简写成下式

$$\begin{pmatrix} (01110) \\ (00101) \\ (10010) \\ (10001) \end{pmatrix}_{4 \times 2}$$

当省去矩阵式外说明行数和列数的4×2不写时，它就是图2a的矩阵。行同矩阵和列同矩阵在下面的矩阵分解中有其独特的作用。

逻辑矩阵的基本演算

逻辑矩阵最基本的演算有以下三种：

$$\text{求并演算} \quad S \cup T = \{S_{ij} \cup t_{ij}\} \quad (1)$$

$$\text{求交演算} \quad S \cap T = \{S_{ij} \cap t_{ij}\} \quad (2)$$

$$\text{求补演算} \quad \bar{S} = \{\bar{S}_{ij}\} \quad (3)$$

式中 S、T——逻辑矩阵

S_{ij} 、 t_{ij} ——逻辑矩阵中第i行j列的组成元

以上演算须在同型矩阵内进行，演算时可以广泛运用逻辑代数中的各项基本规律如交换律、结合律、分配律、互补律、对合律、幂等律、吸收律、消元律、反演律等来简化所得的结果。

逻辑矩阵还可以进行求积演算和求幂演算^[1]，本文用不到这些内容，不加叙述。

〔例1〕举例说明逻辑矩阵的三种演算。

〔解〕1)求一个行同矩阵和一个列同矩阵之并

*三态逻辑事件在液压系统中是常见的，各种三位阀就是例子。