

液压与气动的数字控制及应用

〔日〕田中裕久 著

阳正锡 程咏华 王家序 译



重庆大学出版社

371350

液压与气动的数字控制及应用

[日] 田中裕久 著

阴正锡 程咏华 王家序 译



重庆大学出版社

DY641-8
内 容 简 介

本书归纳了液压与气动的数字控制现状，指出了今后发展趋势；主要论述了液压、气动元件采用微机进行数字控制的几种方法，液压控制阀、液压伺服机构和气动控制的基本理论，以及应用实例。在每章中还穿插一些知识窗方面的内容。作者在内容、章节安排上既考虑了满足一些想尽快了解应用实例的读者，又注意到需详细掌握解析设计方法的读者。本书内容丰富，涉及范围较广，由浅入深、清楚易懂，图文并茂，有较大的参考价值和借鉴作用。

本书可作流体传动与控制专业大学本科生、研究生和教师的教学参考书，也可供从事这方面工作的科技人员参考。

液压与气动的数字控制及应用

[日] 田中裕久 著
阴正锡 程林华、王家序 译
责任编辑 梁 涛

重庆大学出版社出版发行
新华书店经销
重庆印制一厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：6.75 字数：152 千
1992 年 7 月第 1 版 1992 年 7 月第 1 次印刷
印数：1—3000

标准书号：ISBN 7-5624-0587-5 定5.50价：
TH·26

(川) 新登字020号

前 言

液压与气动系统的一个显著特征是利用流体的易流动性来传输动力和信号，它在飞机、汽车、建筑机械、船舶机械、机床、冶金机械等领域都得到了广泛的应用。在这些应用领域中，为了实现高速、高精度的控制，有许多的信号处理采用电气系统，而驱动控制则采用液压与气动传动系统。

以往，这种控制主要是以伺服阀控制为代表的模拟控制式。用这种方法，为了充分地发挥装置的性能，那么，较高的自动控制理论和微妙的调谐技术是不可缺少的，但将其应用到一般机械装置上自然还有一定难度。

作为解决这一问题的方法是采用微机的数字控制方法，它不仅能方便地进行信息处理，而且还可使电气和液压与气动之间的转换装置——放大器和阀趋于简单。

本书中，考虑到以上因素，尽可能具体地阐述采用微机数字控制方法和液压气动伺服机构的关系。本书如能在理论和实践上对从事微机控制的内行们提供一些帮助的话，作者将感到十分荣幸。

田中裕久

1987年10月

译者的话

随着计算机技术日益完善和广泛应用,利用微机对电-液、电-气系统进行控制已成为机械行业实现机电一体化的一种重要手段,数字控制在当前被认为是实现对液压与气动系统高速、高精度控制的最理想的方法之一。数字阀可直接与微机接口而无需D/A转换装置,与单纯的伺服阀和比例阀相比,具有结构简单、工艺性好、成本低、抗污染性强,重复性能好、工作稳定可靠,能耗小等优点,因而在自动控制系统中独树一帜。目前国外已有数字元件的系列产品问世,国内已有部分单位在开展这方面的研究,并取得了可喜的成果,为计算机在液压与气动领域中的应用提供了宝贵的经验。但将它们应用到一般机械上,无论在理论或实践上尚有一定的难度,还需进一步探索,迫切需要更多有关这方面的技术资料参考。

本书作者通过许多研究成果和实例来阐述基本理论和分析问题的方法,为读者深入理解和灵活运用数字控制方面的知识提供了良好的机会,有些地方值得我们借鉴。

本书共有六章,主要内容包括:微机液压控制概要,阀与伺服机构的理论基础,应用实例,气动控制理论基础及其应用等。该书的特点是由浅入深,层次分明,理论联系实际,为照顾读者各自不同的要求,各章具有一定的独立性。对想尽快了解应用实例的读者,可阅读第二、五章,希望更详细掌握解析设计方法的读者,可阅读第三、四章。

对于书中少数参数的计量单位采用的非国际标准,译者均

作了改正。

廖振方教授在工作十分繁忙的情况下，挤出时间对本书译稿进行了认真的校阅，并提出了许多宝贵意见，刘本柱和陈渠等老师也给予大力支持和具体帮助，谨此致谢。

本书第三、四章由阴正锡译，第二、五章由程咏华译，第一、六章由王家序译，全书由阴正锡统稿。

由于本书联系实际的范围很广，涉及的知识面较宽，加之译者水平有限，因此缺点和错误在所难免，渴求广大读者批评指正。

译者

1992年4月

目 录

第一章	液压与气动控制的发展趋势	(1)
§1-1	液压与气动控制的意义	(1)
§1-2	液压与气动的数字控制	(4)
第二章	PWM控制·高速电磁阀控制液压马达转速和 液压缸的位置	(9)
§2-1	液压马达的转速控制	(9)
一、	液压回路的组成.....	(9)
二、	利用模拟运算元件产生 PWM 信号.....	(12)
三、	用单板机产生 PWM信号.....	(12)
四、	PWM 控制高速电磁阀的流量特性.....	(16)
§2-2	PWM 控制液压缸的位置.....	(19)
一、	用二通高速电磁阀控制液压缸的位置.....	(19)
二、	PWM 控制位置的程序.....	(20)
三、	用三通高速电磁阀控制液压缸的位置.....	(31)
四、	轻载伺服液压缸数控系统的稳定性问题.....	(31)
第三章	液压控制阀的基础	(36)
§3-1	液压阀的基本特性	(36)
一、	滑阀和锥阀的流量特性.....	(37)
二、	作用在滑阀和锥阀上的液动力.....	(39)
§3-2	桥路	(45)
一、	串联和并联节流.....	(46)
二、	由零开口四通阀组成的回路.....	(47)
三、	由正开口四通阀组成的回路.....	(50)

四、由上游侧为零开口阀与下游侧固定节流孔所组成的回路	(50)
五、由上游侧为正开口阀与下游侧固定节流孔所组成的回路	(50)
六、由零开口三通阀与固定节流孔组成的回路	(56)
七、由正开口三通阀与固定节流孔组成的回路	(56)
§3-3 伺服阀、比例阀、步进电机操纵阀	(56)
一、伺服阀	(56)
二、比例阀	(58)
三、步进电机操纵阀	(61)
§3-4 高速开关阀	(65)
一、高速开关阀的种类	(65)
二、二通高速开关阀	(67)
三、三通高速电磁阀	(74)
第四章 液压伺服机构的基础	(83)
§4-1 液压伺服机构的基本设计	(83)
一、用伺服阀控制	(84)
二、用步进缸控制	(85)
三、用高速开关阀控制	(87)
§4-2 伺服阀、比例阀控制液压执行机构	(88)
一、供油压力 p_s	(88)
二、工作压力 p_L	(88)
三、液压缸的断面面积 A_p	(90)
四、阀的控制流量	(90)
五、液压缸的动态特性	(91)
六、伺服阀对液压缸的位置控制	(93)
第五章 微机控制液压技术	(105)
§5-1 三通高速电磁阀对变量柱塞泵斜盘倾角作	

PWM控制	(105)
§5-2 PCM流量·压力控制	(107)
一、PCM流量控制	(107)
二、PCM压力控制	(115)
§5-3 注塑成型机的PCM控制	(123)
§5-4 用二级压力比例阀对自动变速器作液压控制 (减小变速振动的方法)	(126)
一、电压的设定	(127)
二、时间的设定	(131)
三、框图	(131)
§5-5 牵引驱动式无级变速器的变速控制	(139)
§5-6 电-液伺服机构对简单参考模型的自适应控制 (MRAC)	(143)
一、参考模型自适应控制的特点	(143)
二、MRAC的构成	(143)
三、MRAC的计算方法	(144)
第六章 气动控制阀的基础与应用	(162)
§6-1 气动阀的基本特性	(162)
一、阀的构造	(162)
二、气动阀的质量流量特性	(166)
§6-2 气动比例阀	(172)
一、气动比例流量阀	(172)
二、气动比例压力阀	(174)
§6-3 高速开关阀	(181)
§6-4 用电-气比例阀控制气缸的位置	(185)
一、用比例流量阀控制气缸的位置	(185)
二、用比例压力阀控制气缸的位置	(189)

§6-5 汽车用干式离合器的气动控制 (197)

一、操纵杆的位置控制..... (197)

二、干式离合器表面压力的直接控制..... (200)

第一章 液压与气动控制的发展趋势

本章将对液压气动控制技术的发展简史、液压伺服阀中具有代表性的模拟式流体控制技术以及近年来用微机通过流体脉冲进行数字控制的发展情况作一简要的介绍。

§ 1-1 液压与气动控制的意义

液压、气动控制是通过高压流体传递能量进行控制的，它很早就各个方面得到了应用。今天它已能准确、快速地控制大功率装置。电气-液压控制方法是用液压产生很大的动力，通过电气进行复杂的信息处理，对高能量级系统完成高精度和高速度的控制法。为了能使控制实现高速、高效且可靠性高，就很有必要使用能将电信号转换为液压输出的且性能好的电-液控制阀。因而，电-液控制系统性能的好坏，就取决于控制阀性能和质量的优劣。

液压、气动控制的发展主要分为四个阶段：第一阶段是从公元前3世纪希腊-罗马时代Ktesbios发明了利用固定节流口流出水的流量来计算时间的水时钟开始，直到14世纪发明金属时钟为止。第二阶段是蒸气的压力控制和以压缩气体作为信号传播介质的时期，1750年英国发明了浮子阀，将它用于家庭供水装置水位调节和锅炉的压力控制。19世纪研究出了一大批流量控制阀和压力控制阀，也有很多专利。第一次世界大战时期，船舶机械的控制进入了高压化，并波及到各项产业机械。

第三阶段，随着直流和交流电气设备的发展，使用电动机和线圈的电-液控制阀得到了发展，还从理论上论述了反馈控制概念，从而开发出了可满足响应性和稳定性需要的伺服执行机构。

第二次世界大战以后，因航空航天工业急需小型伺服执行机构，1946年美国麻省理工学院研究出了力矩马达，它可代替线圈式的两级伺服阀。1950年W.C. Moog Jr. 发明了由喷嘴挡板和三通阀组成的两级伺服阀，当相位滞后 90° 时，其控制频率可达100Hz（见图1-1）。现今正处于第四阶段，即从真空管过渡到采用固体组件，进入了与电子计算机相结合的电子液压气动控制阶段。出现了模拟式流体控制及脉冲流体控制，脉冲流体控制是将电信号转换为可直接进行控制的流体脉冲，从而使液压、气动控制数字化，并已开发出了相应的控制设备及软件。

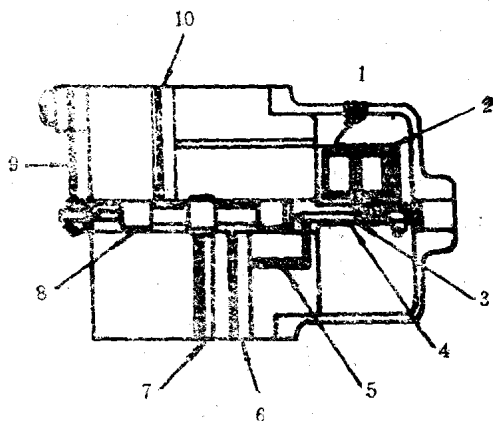


图1-1 由喷嘴挡板和三通阀组成的两级伺服阀

- 1—接线柱 2—力矩马达 3—挡板 4—喷嘴 5—前置节流口
6—进油口 7—控制口 8—滑阀芯 9—弹簧 10—回油口

下面,从控制能力方面介绍各液压、气动控制的应用范围。图1-2为各学科应用范围对控制阀响应速度和阀尺寸规格的要求,横座标为相位滞后 90° 时伺服阀的响应频率,纵座标为控制流量。一般说来,气动控制适用于低频率输出的一般电气-机械控制。随着新的电气材料、导电体材料的出现,在高速控制领域中,液压控制也必将显示出其优越性。

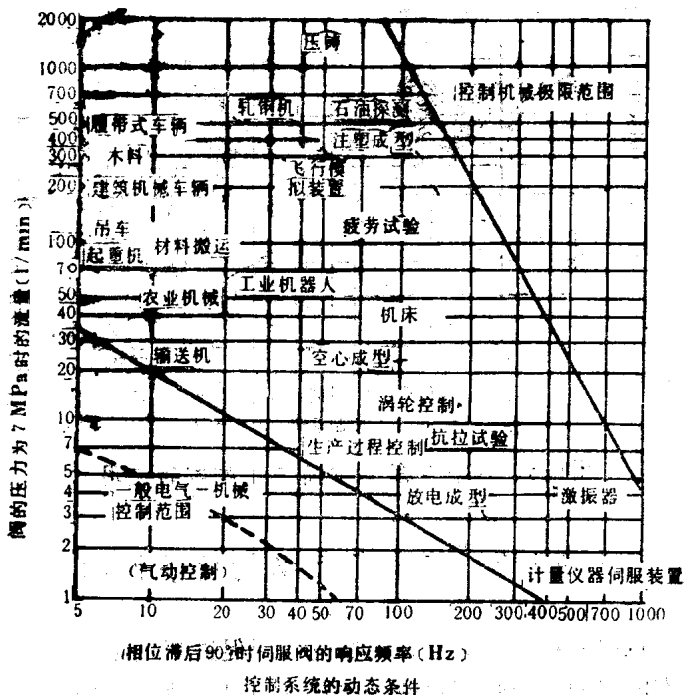


图1-2 伺服阀的响应速度和控制流量的分类

图1-3是液压控制在航空航天方面的应用范围,从图中也可看出,在要求轻型化和高速化的场合采用了电-液控制。

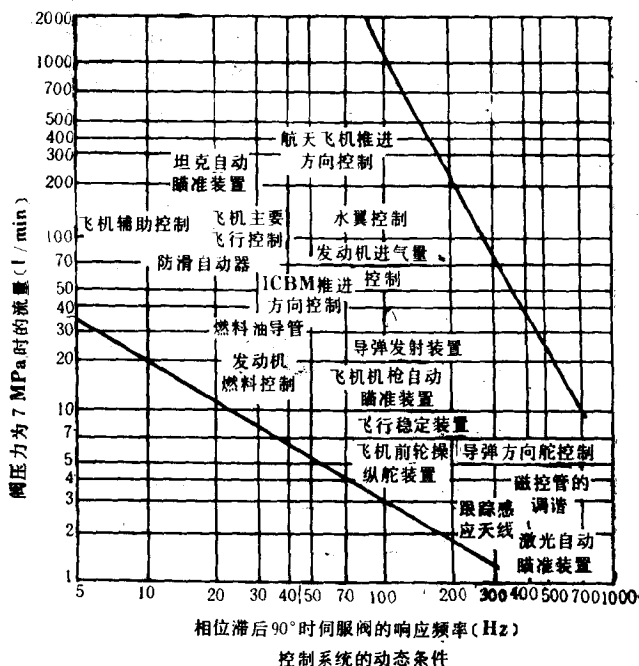


图1-3 在航空航天方面液压控制的应用范围

§ 1-2 液压与气动的数字控制

近年来，微型计算机的普及不断促进新型液压、气动控制技术的发展。在装配机械、注塑成型机、建筑机械、医疗机械、通信卫星用机械、运输机械等的控制方面，现在均认为可采用高功能的电子式液压、气动控制技术，故对控制中所需要的电子设备、液压、气动控制硬件和软件都需要进行研究。

表1-1 电、液、气控制的分类

电输入	放大器	控制阀	流体输出	特征
模拟信号	线性运算器 线性放大器	伺服阀 比例阀 步进电机 操纵阀 高速开关阀 普通开关阀	连续地输出流体	(低电流、高速响应、轻型) (低压力损失)
数字信号	微型计算机 D/A转换器 简单的晶体管放大器	步进电机 操纵阀 高速开关阀 普通开关阀	输出脉冲流体	PWM、脉宽调制 PFM、脉冲频率调制 PSM、脉数调制 PCM、脉冲编码调制 PAM、脉幅调制

表1-1是从概念上对液压、气动数字控制作了一个分类。从流体控制的观点分,可分为连续流体控制和脉冲流体控制两种,它们的控制阀和驱动阀的电路都不相同。

在连续流体控制中,将运算处理的数字信号,经D/A转换为电气或机械信号,经过模拟式动作通过阀来控制流量。例如,由线性放大器驱动伺服阀和比例阀。另外,步进电机操作阀中,在各激磁相上加一组脉冲信号,使螺杆等直接同转子的旋转角一起运动,从而连续地控制阀的位置。

另一方面,脉冲流体控制是通过与位移信号相对应的一组脉冲信号直接使阀作断-通动作,形成间断的脉冲流体,从而达到控制平均流量输出的目的。

产生脉冲流体的调制法有如下几种。控制脉冲宽度的脉宽调制法(PWM),控制脉冲交变频率的脉冲频率调制法(PFM),脉冲数调制法(PNM),控制脉冲振幅的脉冲振幅调制法(PAM),以及用1或0将PNM的脉冲数分段并符号化的脉冲符号调制法(PCM)等。

图1-4表示出了这些调制法。液压、气动控制中PWM调制法和PCM调制法必将在很多领域中得到应用,特别是PCM,可使系统节能,在高速控制中,能将必要的高频流体输出来进行反调制,现在已用于注塑成形机和建筑机械的控制中。脉冲式流体控制其阀和激磁回路都很简单,与微机配合较好。将脉冲电信号转换为脉冲流体的阀,采用市场上出售的响应时间为2~3ms的二通和三通高速电磁阀就可以了。

模拟式流体控制法和脉冲式流体控制法各有优缺点,应用时最好要了解各自的特性,以便根据控制对象选择合适的控制方法。

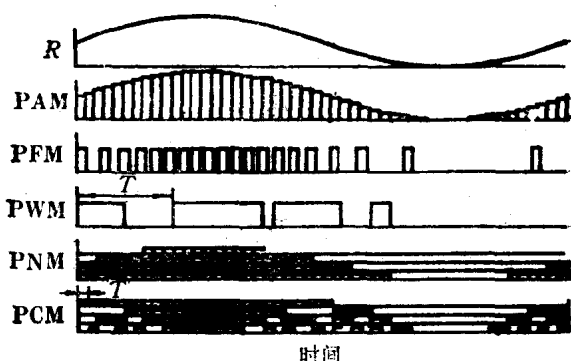


图1-4 脉冲流体调制控制法

知 识 窗 (1)

波音767的机-液伺服机构

波音767客机是装有双喷气式发动机的中型飞机,按定额的70%可载211人,航行距离约7680公里。液压动力系统可分左(L)、右(R)及中间(C)部分,L、R部分由发动机驱动的泵和交流电动机驱动的泵组成(前者是变量柱塞泵,当以2400~3700r/min额定转速运转,压力为21MPa时,其排量90~140 l/min。后者为定量泵,其输出流量为26~45 l/min)。C部分包含变量柱塞泵,该泵由涡轮机驱动,而涡轮机又是利用飞机发动机排出的气体使之转动(泵的转速为5700r/min时,排量为140 l/min)。供给压力控制在20~21.3MPa,最大输出流量为510 l/min。工作液采用难燃的磷酸酯基航空油,使用钛合金的管路接头按MIL-F-18280试验标准进行检验。

副翼、折翼、升降舵和方向舵的控制伺服机构采用了联杆