

自动化中的液压机构

〔捷〕 约瑟夫·普罗克斯 著

谭迪华 高兆安 译



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书共分五章。主要介绍了液压逻辑网络、压力能和信息
的传递、液压伺服机构等内容。该书采用的研究和设计方
法,不仅限于液压元件和液压系统,而且还应用到一般机械
元件和机械系统、气动系统、机—电系统以及机械振动等其
他领域。另外,该书介绍的方法既能使动力学方程极大地简
化,而又能使运动方程从机构的变换关系式中方便地推导出
来,同时还能够改变目前的“剪接法”设计。这在研究系统
的动态特性方面前进了一步。

本书可供液压机构设计、研究人员阅读,也可供工科院
校师生及工厂设计人员参考。

HYDRAULIC MECHANISMS

IN AUTOMATION

JOSEF PROKEŠ

SNTL Publishers of Technical Literature Praguc, 1977

* * *

自动化中的液压机构

〔捷〕约瑟夫·普罗克斯 著

谭迪华 高兆安 译

*

责任编辑:孙 瑞 责任校对:贾立萍
封面设计:刘 代 版式设计:霍永明
责任印制:王国光

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

机械工业出版社北京印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $12^{1/8}$ · 字数 261 千字

1992年11月北京第1版 1992年11月北京第1次印刷

印数 0 001—3 500 定价: 10.80 元

*

ISBN 7-111-03224-1/TP·156

译者的话

利用参数变换和逻辑代数方法分析液压元件及其系统的动态特性，比用传统的古典动力学与流体力学的方法有较多的优点。当用传统的方法去解一高度复杂的系统时，往往需要大量的时间，其运算和处理过程极其麻烦，有时甚至不得其解。采用本书介绍的方法，能使动力学方程极大地简化，而运动方程也能从机构的变换关系式中方便地推导出来。另外本书的一些研究和设计方法不仅限于液压元件和液压系统，它同样可以应用到一般机械元件和机械系统、气动系统、机电系统以及研究机械振动等其他领域中。

原书作者为捷克人，本书是从英文版本翻译过来的，有其学术价值，其理论涉及逻辑代数、网络理论、信息科学、控制工程基础等。在定稿过程中我们曾向各方面的专家请教。

本书所介绍的方法可改变目前的“剪接法”设计，在研究系统的动态特性方面前进了一步。尤其对研制液压逻辑元件有一定的促进作用。

本书在翻译过程中得到了北京机械工业学院朱骥北的帮助，在此表示感谢。

由于我们水平有限，译文中难免有错误和不妥之处，敬希读者批评指正。

译者

1983年

前 言

液压机构的发展约有180年的历史了。目前，人们已经熟悉它们的各种基本结构。然而 液压机构理论的逐渐形成，并达到在大学里讲授的水平，几乎经历了一个半世纪。由于这些机构的重要性和潜在能力，使液压机构及其元件的实际生产水平达到今天这种既有发展又有成就的程度，也经历了一个大致相同的时期。

实际上液压机构象交流电、直流电的能量传递和信息传递系统一样，具有相同的使用范围。液压机构的理论与电系统的理论在某种程度上可以进行对比；而事实上液压领域遇到的设计和工艺问题，比电系统设计师面临的问题远为复杂。因此没有一本书能全面地论述这个领域，在涉及某些问题时，不是只谈这个领域的一个特殊方面或某一侧面，就是仅仅涉及问题的局部。

根据近年来的趋向，本书专门论述了三个主题，其中两个主要涉及信息传递与信息处理机构，即液压逻辑网络和液压伺服机构。第三个主题叙述一个比较新的领域，与交流电相似的交流液压机构。这些主题的论述主要集中在涉及的理论问题。文本中曾采用了“液压机构的综合”中的有关部分，从1967年以来，作者在布拉格捷克工业大学机械工程系研究生班的液压机构课程中，一直讲授着这个内容。

许多读者可能会觉得本书内容乍看起来甚难，因为书中采用的许多方法引自机构的通用理论。目前，人们已经建立

了这种理论，为采用统一的方法来研究和描述所有的各种机构，以及不同类型的机构的组合奠定了基础。这种探讨迫使我们引入一些完全新的概念、术语和参数，并在机构的综合中采用一些新颖的方法。因此，一般读者常常会遇到自己不熟悉的领域，并可能多次地阅读本书，从中得到一些实际的好处。无论如何，多次地阅读带来的额外辛苦被下列事实所弥补：本书为研究和综合各种类型的机构提供了许多有用的方法和许多正确的结论，有的甚至超出了液压系统的范畴。

约瑟夫·普洛克斯

符 号 意 义

AFM	交流液压机构
CFM	直流液压机构
$CPFM$	直流脉动液压机构
$C(N^{-1}m^6)$	容积性(Capacity)
$C(bit/s)$	传动系统的传导率
$D(Nm^{-6})$	变形阻抗
$E(Nm^{-2})$	杨氏模量
$F(N)$	力
$G(N)$	重量
G_f	运动频率传递系数
G_i	信息传递系数
G_p	功率传递系数
G_p	压力传递系数
G_q	流量传递系数
G_v	容积传递系数
G_w	能量传递系数
$H(Nm^{-5}s^2)$	加速度阻抗
$I(kgm^2)$	惯性矩
$K(Nm^{-2})$	流体容积弹性模量
$L(N^{-1}m^5s^{-2})$	流动性(Mobility)
$L(m)$	长度
$M(Nm)$	力矩
N	元件组

$P(\text{Nm s}^{-1})$	功率
$Q(\text{m}^3\text{s}^{-1})$	流量
$\dot{Q} = dQ/dt(\text{m}^3\text{s}^{-2})$	容积加速度
$Q_1(\text{m}^3\text{s}^{-1})$	长度为 1 的管路端部流量
$Q_p(\text{m}^3\text{s}^{-1})$	脉动流量
$Q_s(\text{m}^3\text{s}^{-1})$	实际流量
$Q_t(\text{m}^3\text{s}^{-1})$	理论流量
$Q_u(\text{m}^3\text{s}^{-1})$	稳态流量
$Q_v(\text{m}^3\text{s}^{-1})$	流量损失
$Q_0(\text{m}^3\text{s}^{-1})$	流量幅值
$R(\text{Nm}^{-(3n+2)}\text{s}^n) \ominus$	运动阻抗
Re	雷诺数
$R_d(\text{Nm}^{-5}\text{s})$	动态阻抗
$R_l(\text{Nm}^{-5}\text{s})$	线性运动阻抗
$R_n(\text{Nm}^{-8}\text{s}^2)$	非线性运动阻抗
$R_s(\text{Nm}^{-6}\text{s})$	泄漏阻抗
$R_t(\text{Nm}^{-8}\text{s}^2)$	喷嘴阻抗
$R_v(\text{Nm}^{-5}\text{s})$	内阻
$R_z(\text{Nm}^{-3n+2}\text{s}^n)$	载荷阻抗
$S(\text{m}^2)$	面积
$T(\text{K})$	温度
$T(\text{s})$	时间; 时间常数
$T_n(\text{s})$	对应于自然频率的时间常数
$V(\text{m}^3)$	容积
$V_0(\text{m}^3)$	基本几何容积
$V_r(\text{m}^3)$	对应于马达回转 1 弧度的排量

⊖ 原文误印为 $(\text{Nm}^{-3n+2}\text{s}^n)$ 。——译者注

$W(\text{Nm})$	能量
$W_d(\text{Nm})$	变形能
$W_k(\text{Nm})$	动能
$W_p(\text{Nm})$	压力能
$W_r(\text{Nm})$	热能
$Z(\text{N}^{-1}\text{m}^{3n+2}\text{s}^{-n})$	传递性(Transmittance)
$Z_D(\text{N}^{-1}\text{m}^5\text{s}^{-1})$	D阻抗的传递系数
$Z_R(\text{N}^{-1}\text{m}^5\text{s}^{-1})$	R阻抗的传递系数
$Z_d(\text{N}^{-1}\text{m}^5\text{s}^{-1})$	动态传递性
$Z_L(\text{N}^{-1}\text{m}^5\text{s}^{-1})$	线性传递系数
$Z_n(\text{N}^{-1}\text{m}^5\text{s}^{-2})$	非线性传递系数
$Z_s(\text{N}^{-1}\text{m}^5\text{s}^{-1})$	泄漏传递系数
$Z_{s,d}(\text{N}^{-1}\text{m}^5\text{s}^{-1})$	动态泄漏传递系数
$\bar{C}(\text{J/kg}^\circ\text{K})$	平均比热值
$C(\text{ms}^{-1})$	压力波或流量波传播速度
C_0	时间常数的无量纲参数
$C_{HD}(\text{m}^2\text{s}^{-1})$	HD阻抗的流量灵敏度
$C_{RD}(\text{m}^2\text{s}^{-1})$	RD阻抗的流量灵敏度
$C_{RH}(\text{m}^2\text{s}^{-1})$	RH阻抗的流量灵敏度
$C_{RHD}(\text{m}^2\text{s}^{-1})$	RHD阻抗的流量灵敏度
$C_q(\text{m}^2\text{s}^{-1})$	流量灵敏度
$C_v(\text{m}^2)$	容积灵敏度
$C_p(\text{Nm}^{-3})$	压力灵敏度
C_s	测量参数灵敏度
$d(\text{m})$	直径
e	自然对数的底
$f(\text{s}^{-1})$	运动频率

$g(\text{ms}^{-2})$	重力加速度
$h(\text{m})$	行程长度
$h_p(\text{wm}^{-2})$	功率密度(Density of power)
i	控制范围; 传动比; 参数变换操作器 (无量纲)
$i(\text{A})$	电流强度
i_n	控制范围; 参数放大系数
i_p	功率放大系数
i_p	压力放大系数
i_o	流量放大系数
$j = \sqrt{-1}$	-1的虚平方根
$K(\text{Nm}^{-1})$	刚度
$K_r(\text{Nm}^{-1})$	磁场“刚度”
$m(\text{kg})$	质量
$m(\text{Nm})$	转矩增益
$p(\text{Nm}^{-2})$	压力
$p_r(\text{Nm}^{-2})$	(节流) 压力降
$p(t)$	元件的可靠性
s	拉普拉斯算子
t	运动变换操作器(无量纲)
$t(s)$	时间
$u(V)$	电压
v	分流操作器(无量纲)
$v(\text{ms}^{-1})$	速度
$q(\text{m}^3\text{s}^{-1})$	流量增益
w	能量传递操作器; 相关频率
x	输入变量

x

y	输出变量
z	截流操作器；反馈信号
$z_r(N^{-1}s^{-1})$	与力有关的动态柔量
$z_w(N^{-1}m^{-1}s^{-1})$	与能量有关的动态柔量
$z_M(N^{-1}m^{-1}s^{-1})$	与力矩有关的动态柔量
ε	功率输出比
$\varphi(\text{rad})$	角度
$\varphi(m)$	特性参数
$\varphi(t)$	参数密度分布函数
$r(Nm^{-3})$	重度
λ	失效率；阻抗系数（无量纲）
$\lambda(m)$	波长
μ	流量系数
$\nu(m^2s^{-1})$	运动粘度
$\nu(t)$	元件失效概率
$\omega(s^{-1})$	角频率
$\omega_0(s^{-1})$	自然频率
$\rho(kgm^{-3})$	质量密度
σ	逻辑网络非对称性随时间而变化
τ	随时间而变化的参数变换

注：在下文中，凡带有(*)符号表示机构的输入参数。

附加在符号的下角标含义如下：

下角标 m ：马达（执行元件）的参数

下角标 β ：液压泵的参数

下角标 α ：液压蓄能器的参数

下角标 r ：方向控制阀的参数

下角标 c ：参数总值

目 录

译者的话

前 言

符号意义

第一章 绪论	1
第一节 液压机构的分类	3
一、根据传递能量的形式分类	3
二、根据传递能量介质的运动性质分类	7
三、根据信息处理的方式分类	8
第二节 能量传递过程中完成的操作	11
第二章 压力能和信息的传递	15
第一节 压力能的传递	16
第二节 传递代数	18
第三节 能量传递过程中遇到的阻抗	22
一、加速度阻抗	23
二、运动阻抗	26
三、变形阻抗	30
第四节 阻抗的连接和阻抗网络	31
一、同类型阻抗的连接	31
二、不同类型阻抗的连接	34
三、阻抗间的关系式	38
四、阻抗网络	39
五、最佳传递参数	43
第五节 功率传递的控制	47
一、通过调节流量来控制	47

二、通过调节压力来控制	50
第六节 信息传递	52
一、信息变换	53
二、变换方程式	58
三、液压输送管道的传导性	60
第七节 不同能量传递介质的综合	63
第八节 压力能传递过程的可靠度	65
第三章 液压逻辑网络	69
第一节 液压逻辑网络的应用范围	71
第二节 基本的逻辑功能	73
第三节 液压系统元件完成的基本逻辑功能	79
第四节 “与-或-非”系统的代数	85
第五节 逻辑网络的综合	90
一、全析取范式的函数变换	94
二、有反馈环节的逻辑网络	102
三、有多输出的逻辑网络	107
四、逻辑网络的结构设计	110
(一) 由单输入或双输入元件组成的逻辑网络	111
(二) 有两个输出的元件	112
(三) 多输入元件	114
(四) 逻辑网络输出的应用	116
(五) 不同能量传递介质的综合	118
五、逻辑网络参数的确定	120
(一) 逻辑网络的传递性	120
(二) 通流峰值	124
(三) 最大输入压力和压力损失	127
(四) 信号传递的滞后	129
第六节 逻辑网络综合的例子	131
第四章 液压伺服机构	144
第一节 液压伺服机构的基本结构型式	145

一、伺服机构的理论结构	146
二、伺服机构的实际结构	152
(一) 完成的逻辑功能	152
(二) 完成的信息变换	154
三、液压伺服机构的参数控制	160
(一) 运动频率的控制	160
(二) 运动方向的控制	170
四、参数对称控制的伺服机构	171
五、参数非对称控制的伺服机构	172
六、两级和多级伺服机构	175
七、两个坐标或多个坐标的伺服机构	176
第二节 液压伺服机构中的反馈	177
一、机械反馈	177
二、液压反馈	179
三、电气反馈	184
(一) 位置传感器	184
(二) 速度传感器	187
(三) 反馈接受器	188
四、气动反馈	188
五、复合反馈	189
六、传感器和比较元件	190
(一) 压力或力传感器	190
(二) 流量传感器	191
(三) 比较元件	194
第三节 液压伺服机构中各元件的特性	195
一、液压泵的特性	196
二、执行元件的特性	204
(一) 直线运动执行元件	204
(二) 旋转运动执行元件	210
三、蓄能器的特性	215

四、阀的特性	214
(一) 压力控制阀	219
(二) 流量控制阀	221
五、流体特性	240
(一) 粘度	240
(二) 容积弹性模量	242
(三) 重度和热膨胀系数	244
六、传感器特性	244
第四节 液压伺服机构的动力学	245
一、运动方程式	247
(一) 流量方程式	252
(二) 变换方程式	255
二、液压伺服机构元件的动态特性	262
(一) 可变几何容积液压泵	262
(二) 执行元件	264
(三) 连接管道	268
(四) 方向控制阀	272
三、液压伺服机构的方程式及其解法	277
(一) 机构的传递性	283
(二) 机构的稳定性	299
(三) 机构的精度	302
四、建立模型及模拟计算	304
五、基本参数的测量	310
第五节 应用举例	313
第五章 交流液压机构	324
第一节 分类	324
一、单相机构	325
二、两相机构	329
三、三相机构	330
四、多相机构	331

五、交流变换	331
六、交变液流的整流	332
七、AFM与CFM机构的组合	333
第二节 AFM机构中的能量传递	334
一、通过单相机构传递能量	334
二、运动频率的传递	340
三、运动方向的控制	341
四、压力的控制	342
第三节 AFM机构中元件的特性	343
一、AFM液压泵	343
二、AFM液压马达	344
三、整流器	344
四、变换器	350
第四节 AFM机构的应用和综合举例	351
附录1 液压机构中参数的脉动	360
附录2 液压机构多极系统的综合	367
参考文献	371

第一章 绪 论

现在越来越多的机器需要具备自动或半自动的工作循环特性，因此使液压机构设计师遇到了一些新的课题。在手动控制机器上，液压机构只需要传递能量，以满足驱动机器完成其操作。然而，在自动操作机器上，液压机构还必须传递控制这些操作所需要的信息。这是一个非常复杂的问题。

在本书中，机构是指任意一个机械装置。它适合于在机器的输入端和输出端之间传递能量或者信息，并且使所控制的能量和信息符合所规定的调整值。机构能在各种不同的状态中处于某种意义明确的状态。它至少包含一个发送器（或原动机）和一个接受器（或液压马达）。

在任何机构中，由于操作不可避免地把能量和信息联系在一起，所以，它既传递能量又传递信息。平时我们说机构适合于传递能量，或说适合于传递信息，或说两者都适合。这种说法仅提到了实际被利用的那部分，而没有描述传递全过程的本质。无论是否有意，传递过程总是在机构的输出端产生一些能量和某些信息。

由于提高了自动操作机的性能，因而也就会提高机器的工作效率，这样必然导致越来越短的循环周期。因此，日益需要机构的动态特性和数学模型，而不光是它们的稳态特性和数学模型，并且在设计阶段就必须详细地研究它们的动态特性。

即使在一台或同样一台机器上，进行不同的各种操作，

常常把完全不同的条件加于被驱动和控制的机构上,例如,必须达到或保持某种主要参数的精度。一种机构能满足所有各种不同条件的情况是极少的,而今,更普遍的是一台机器由许多利用各种能量传递介质的机构组成(在这方面,一种能量传递介质是任意一组能够传递某种能量的物理粒子即电子、原子、分子、或者是把能量从一端传递到另一端的固体元件)。在这种情况下,常常使设计师遇到几种能量传递介质配合使用的各种方案。因此,使自动操作机的设计更加复杂。

本书阐述自动操作机中的液压机构及其应用,因此主要研究信息传递机构,或者同时既传递能量又传递信息的机构。尽管在本质上,这两类机构在实际结构和设计上没有什么差别,但是,为了简化分析和以后实际机构的综合,能量传递和信息传递可分为二个过程研究。在这里不想叙述各种元件的详细设计和实际性能,因为在液压元件制造厂提供的文件中,可以看到大量的这种资料;另一方面,当本书还在出版时,这些数据可能会很快地陈旧,并且不断出现新的数据。

本书在内容处理上,是假定读者对传递能量的液压机构的基本原理及性能已经熟悉的基础上进行取舍的。书中的计算符号已经简化,因此得出简洁、清晰而又容易使用的计算方程式和公式。如要全面地掌握这些知识,而对他来说这些知识又是一个新领域的一般读者,他可以首先恰当地忽略涉及理论结构的那部分章节,因为这些部分对于概略地了解有关的问题不是必不可少的。但是当他接到自动操作机中具体的机构设计时,就应该回过头来仔细反复地阅读这些章节。