

液压气动伺服机构



国防工业出版社

液 压 气 动 伺 服 机 构

〔英〕 C. R. 柏 劳 斯 著

黄明慎 译

國 防 工 業 出 版 社

FLUID POWER
SERVOMECHANISMS

C. R. Burrows

Van Nostrand Reinhold Company, London

液压气动伺服机构

〔英〕C. R. 柏劳斯 著

黄明慎 译

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 174 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

上海商务印刷厂排版

山西省新华印刷厂印装

787×1092 1/32 印张 8 13/16 字数 192 千字

1978 年 8 月第一版 1978 年 8 月第一次印刷 印数: 00,001—42,000 册

统一书号: 15034·1700 定价: 0.93 元

译 序

本书按原名应译为《流体动力伺服机构》，但考虑到流体动力是液压和气动的总称，所以译为《液压气动伺服机构》。伺服机构也称为伺服系统或随动系统。

液压伺服机构具有响应速度快、输出刚度高和功率-重量比值大等突出的优点，非常适用于飞机、导弹、舰艇、坦克、火炮、雷达等性能要求较高的系统，同时也广泛应用于车辆、机床、冶金机械、工程机械、矿山机械、农业机械等部门。气动伺服机构虽然比液压的性能稍差，但其体积小，重量轻，不受温度大幅度变化的影响，特别适用于有现成气源可供利用的地方。除了一般工业用途之外，也已在飞机、导弹、宇宙飞船等尖端技术中采用。

液压气动伺服机构是在五十年代才发展起来的先进技术。近年来，特别是文化大革命以来，我国在液压和气动伺服机构的应用方面也有较大的发展。为了尽快地实现我国农业、工业、国防和科学技术的现代化，把我国建设成为社会主义强国，适当地介绍一些国外有关这方面的科学技术著作是必要的。为此，遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，将《液压气动伺服机构》翻译出版，以供从事这方面工作的工程技术人员、工人、高等院校师生参考。

本书是作者根据他在英国几个大学的教学讲义编写而成的，对于流体动力伺服机构进行了比较全面的概括，内容较新；其阐述简明扼要，重点突出，切合实用。对于原书中有关

4

资产阶级思想意识和不适合我国情况的内容，译校者均作了必要的删改。

本书首先对流体动力伺服机构和电气、机械系统进行比较，指出液压和气动伺服机构的特点和适用范围。第二章是介绍流体动力伺服机构所用的主要元件。接着用三章篇幅来研究液压和气动伺服机构，特别着重分析它们的动态特性。

为了了解书中所述的动态特性分析，读者必须具备关于控制理论(自动调节原理)的基础知识，书中只在必要时简要地介绍某些有关的概念。

第六章是关于射流技术的综述，主要阐明它的应用而不是研究各种元件的具体结构。

目前越来越普遍地采用模拟计算机作为工具来研究流体动力伺服机构，特别是其中包括较多非线性问题的情况下，故此本书针对这种情况专写了模拟计算一章。

在附录中介绍了本书所要用到的热力学和流体力学的基础知识。

在每章之后还附有一些习题，以帮助读者掌握所学的知识，培养分析和解决实际问题的能力。通过这些习题，也使读者了解液压和气动伺服机构应用范围的概貌。

由于译者政治思想和业务水平的限制，在译文中一定有不少缺点和错误，请广大读者批评指正。

在本书翻译过程中，得到赵康怀同志和李国斌同志在内容上和文字上的校正与润饰，在此表示感谢。

译 者

符 号 表

书中所用的角注 i 是指一个变量的初始条件, 其余符号的意义如下:

A, A_T	面积, 变量
a	方程式的系数, 长度
B	容积弹性模数, 变量
b, b_s	粘性摩擦系数, 方程式的系数
C	变量
$C_1, C_2, C_{1G}, C_{2G}, C_3, C_4$	阀的参量
$C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8$	常数
C_f	电容
C_p, C_v	比热
c_o	收缩系数
c_d	流量系数
c_f	表面摩擦系数
c_v	速度系数
D_M, D_P	每转排量
D	微分算子 (d/dt), 变量
d, d_0, d_i	直径
E	能量, 电位
e	比能量, 电位
$F, F_1, F_2, F_o, F_L, F_T, F_{TV}$	力
f	频率

f_L, f_{TM}, f_{TV}	力的变化量
G	增益
$G_1(D), G_2(D)$	传递算子
g	重力加速度
H	功率
h, h_s	比焓
I_L, I_M	惯量
i_1, i_f, i_s	电流
j	$\sqrt{-1}$
K, K_1, K_2, K_3 $K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9, K_{10}$ $K_{1e}, K_{2e}, K_{3e}, K_a, K_p, K_T$	} 常数
k	
$k_0, k_0, k_s, k_{s1}, k_{s2}$	
L, L_1, L_2	
L_M, L_P	泄漏系数
l, l_1, l_2	长度
M_1, M_2, M_a, M_b, M_s	流体的质量
$\dot{M}_a, \dot{M}_b, \dot{M}_{ta}, \dot{M}_{tb}$	质量流量
m, m_p, m_s, m_T	质量
N	齿轮传动比
N_1	非线性
$P, P_a, P_b, P_s, P_{ts}, P_{tb}$ P_L, P_M, P_P, P_1, P_2	} 压力
p_1, p_2	
$\dot{p}_1, \dot{p}_2$	压力的变化量
$\bar{Q}$	压力变化量的变化率
	传热率

$Q_A, Q_L, Q_{M1}, Q_{M2}, Q_S$	}	流量
$Q_{\max}, Q_r, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$		
q_1, q_2		流量的变化量
R		气体常数, 电阻
R_i, R_f		电阻
S		无量纲变量, 熵
s		拉氏变量
$G(s)$		传递函数
T, T_a, T_b, T_s		绝对温度
T_t		总温度
T_L, T_M, T_{PF}, T_{PI}		扭矩
t		时间
$\bar{U}, \bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3, \bar{U}_4, \bar{U}_5$		速度
u		比内能
$V_a, V_b, V_{as}, V_L, V_{SW}, V_t, V_{ta}$	}	容积
V_{tb}, V_1, V_2, V_3		
V_{ss}		比容积
W		功
w		壁厚, 宽度
X		阀位移, 系统输入量
x_1, x_0, x_m		位移的变化量
Y		活塞位移, 系统输出量
$\dot{y}$		活塞速度的变化量
Z		高度, 位移
Z_A, Z_i, Z_f		阻抗
α		常数
$\alpha + j\beta$		复数

β	角度
γ	比热的比率($\gamma=c_p/c_v$)
Δ, δ	数量的变化量
ζ, ζ_0	阻尼比
$\eta_{PM}, \eta_{PV}, \eta_{max}$	效率
θ, θ_f	误差信号, 反馈信号
$\theta_L, \theta_M, \theta_0$	位置的变化量
$\dot{\theta}_0$	θ_0 的变化率
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$	常数
μ	粘度, 无量纲参量
ρ, ρ_1, ρ_2	密度
Σ	总和, 累加
σ	剪切应力
$\tau, \tau_1, \tau_2, \tau_3$	时间常数
ν	电位, 无量纲参量
ϕ	角位置
χ	无量纲参量
ψ	角度, 函数
Ω_P, Ω_M	转速
ω_L, ω_M	角速度
$\omega_n, \omega_c, \omega_d$	角频率

目 录

符号表

第一章 概述	1
1.1 引言	1
1.2 电动系统、机械系统与流体动力系统的比较	7
1.3 液压系统与气动系统的比较	17
1.3.1 能量的产生、储存和传输	17
1.3.2 能量的控制和利用	18
1.3.3 工作性能	19
1.3.4 能源可供应用的情况	19
1.3.5 工作流体的性质	19
1.3.6 小结	20
1.4 控制信号	21
1.5 小结	21
参考文献	22
习题	22
第二章 液压气动元件	24
2.1 引言	24
2.2 泵和马达	27
2.2.1 液压泵	27
2.2.2 马达	33
2.2.3 液压泵和马达的特性	33
2.3 伺服阀	46
2.4 液压伺服阀的特性	52
2.5 气动伺服阀的特性	60
2.6 结束语	63

参考文献	63
习题	64
第三章 液压伺服机构分析	69
3.1 引言	69
3.2 简单阀控系统的分析	70
3.3 结构柔度和阻尼的影响	79
3.4 阀力的影响	86
3.4.1 液流作用力	86
3.4.2 摩擦力和液压卡紧	92
3.5 供油管道动态性能的影响	94
3.6 空穴现象的影响	98
3.7 泵控伺服机构	102
参考文献	106
习题	108
第四章 液压伺服机构设计以及进一步考虑非线性问题	117
4.1 引言	117
4.2 阀控液压伺服机构的图解设计	117
4.2.1 负载轨迹的推导	113
4.3 系统的校正	123
4.3.1 引言	123
4.3.2 校正方法概述	125
4.3.3 液压伺服机构的校正	129
4.4 系统的非线性问题	137
4.5 结束语	138
参考文献	139
习题	140
第五章 气动伺服机构	152
5.1 引言	152

5.2 阀控气动伺服机构分析.....	152
5.3 马达偏离中心点工作时的系统分析.....	164
5.4 系统各个参量对工作特性的影响.....	167
5.4.1 采用中闭阀和忽略摩擦力	170
5.4.2 采用中闭阀和考虑粘性摩擦力	172
5.4.3 静止压力的影响	173
5.4.4 负载质量的影响	173
5.5 用途及概述.....	173
参考文献	177
习题	178
第六章 射流技术入门	185
6.1 引言.....	185
6.2 纯射流元件.....	188
6.2.1 数字式元件	188
6.2.2 模拟式元件	195
6.2.3 流阻器和射流二极管	197
6.3 输入和输出装置.....	197
6.4 计数.....	199
6.5 用途.....	201
6.6 结束语.....	208
参考文献	209
习题	210
第七章 模拟计算	214
7.1 引言.....	214
7.2 模拟计算.....	217
7.2.1 概述	217
7.2.2 计算部件和电路	219
7.3 比例尺.....	228
7.3.1 幅值比例尺	228
7.3.2 时间比例尺	229

7.4 用途	231
7.5 结束语	241
参考文献	241
习题	242
附录 热力学-流体力学关系式	245
容积弹性模数	245
焓、内能和比热	247
总温度	247
状态方程式	248
可逆过程	248
稳态流的能量方程式	248
通过节流孔的不可压缩流束	249
通过收敛喷嘴的可压缩流束	251
通过管道和流道的不可压缩层流流束	252
通过管道的可压缩流束	254
参考文献	255
参考书目	256
答案	260

第一章 概 述

1.1 引言

由原动机所产生的动力必须通过一定的传动装置传送到工作机构, 并进行必要的控制, 以使工作机构获得所需的运动、力或扭矩。所用的传动装置可以是机械的、电动的、流体动力的, 或者是它们的组合(关于这些传动方式详见 1.2 节)。流体动力系统可分为气动和液压两类(详见 1.3 节)。

本书着重研究流体动力的控制问题。所谓控制系统是指这样的一种装置或一些装置的组合, 即其输出量(因变量)是按照预先安排的规律由输入量(自变量)来控制的。控制系统又分为开环控制和闭环控制两类。

开环控制的输入量和输出量之间没有连续的比较; 而闭环控制则是连续地对输出进行测量并随时与输入量进行比较。其输入信号与来自输出量的反馈信号之差称为误差信号。因此闭环控制系统也称为误差工作系统或反馈系统。

后面将要说明, 开环系统由于没有反馈, 不存在误差信息, 因此不适用于要求精确控制的场合。

反馈控制系统是依靠误差信号来调节供应到系统的能量, 以使输出量向着减小误差的方向变化。

闭环控制系统虽然可以减小甚至消除误差, 但由于需要采用测量装置等等, 它比简单的开环系统要昂贵些。

还有一个问题, 就是一个稳定的开环系统在加上反馈之

后,有可能变成不稳定。故此,在设计闭环控制系统时的一个要求,就是如何使系统具备足够的动态性能以避免系统的不稳定。在许多控制理论的书中都有关于稳定性分析和系统校正方法的说明^[1]。

伺服机构(随动系统)、定值调节系统和程序控制系统是反馈控制系统的三种主要类型。虽然这些系统基本上都有相同的闭环结构,但也各有其特殊性可加以详细的区分。

伺服机构这个术语曾被用来表示能根据误差信号进行功率放大的一种装置;也曾被用来描述一种反馈控制系统,其因变量是位置和(或)位置对时间的导数。

图 1.1 所示为伺服机构的一般形式。这种图形通常称为方块图。方块图是表示系统之间或系统中各元件之间的互连关系的一种简便方法,它无需详细说明系统或元件的物理性能。方块图示出了如何由误差量经过控制器和伺服马达来调整输出量,图中箭头表示信号的传递方向,并应注意反馈信号是带负号的。

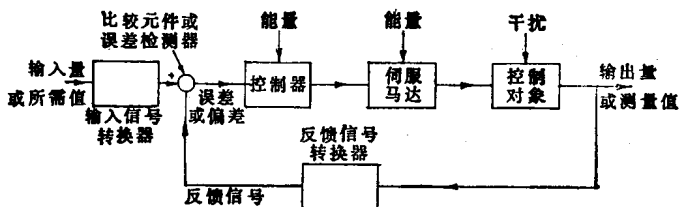


图 1.1 伺服机构方块图

后面将广泛采用方块图来描绘由运动方程式所给出的环路中每个元件的输入-输出的数学关系。图中方块之间的连接线代表相连的两方块具有公共参数。(在绘制方块图时必

须注意各元件的参数没有相互的影响, 即后一元件不能对前一元件的运动方程式有影响。)

运用图 1.2 所示的方块图代数, 可容易地对方块图进行处理, 迅速地求出输入量和输出量之间的关系。另一种对运动方程式组进行合并的图解方法, 是采用信号流程图法^[1]。

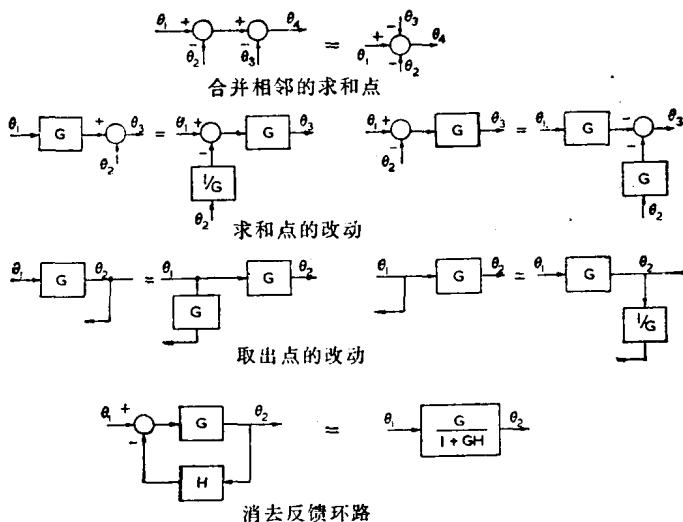


图 1.2 方块图代数

图 1.1 采用了输入转换器和反馈转换器, 因为一般来说输入量和输出量的量纲是不同的; 例如, 输入量可能是一个标度盘的转角, 而它所代表的输出量则是所要求的直线位移。这时可以用一个旋转电位器(即输入转换器)将输入信号转换成一个电位值, 并用一个直线位移电位器(即反馈转换器)将输出的位移转换成另一个电位值。然后将对应于输入量和输出量的两个电位值通过电子放大器进行比较。这里的放大器是

作为一个误差检测器,它也可同时作为控制器。

电子放大器是小功率的装置,它可以用来控制较大功率的电动或液压的伺服马达,由此实现前面所说的伺服机构的功率放大作用。

伺服机构适用于要求快速响应(后面再定量说明)的场合,例如机床控制系统和航空空间控制系统。定值调节系统的工作频率范围与伺服机构相同。这两种控制系统的唯一区别是在于定值调节系统要求在输入量为恒定不变时,尽管负载(干扰)不断变化,输出量也保持不变(见图 1.1);而伺服机构则用于输入量连续变化的场合,至于其负载一般不是经常变化的,但也可以是变化的。

定值调节系统最常见的例子,是原动机或电动机的速度控制;其他例子还有张力控制和电压控制等等。

虽然定值调节系统具有某些特点,但本书所述内容对于定值调节系统以及伺服机构都是同样适用的,因此今后我们只采用伺服机构这一个术语。

程序控制系统的特点,是它的控制对象有较长的时间常数,即其输出不能随负载干扰而快速变化,因此其控制器只需工作于低频范围,典型值为几赫或更小。在这种系统中,输入是按程序预先规定好的恒值,通常称为设定值。程序控制系统要求在受干扰时其输出量仍然保持其设定值,它在这方面的作用与定值调节系统相似。

程序控制系统广泛采用气动控制器,所用的空气压力为 $21 \sim 103$ 千牛顿/米² 或 $3 \sim 15$ 磅力/吋²。〔本书同时采用国际单位制(SI)和英制工程单位制,其换算关系如表 1.1 所示,以备参考。〕气动控制器实际上都是小功率装置,不属于本书的研究范围。