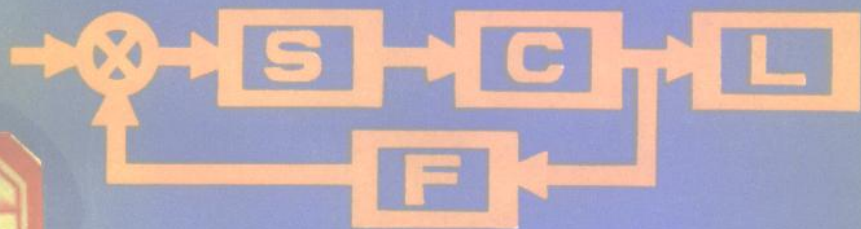


DIANYESIFUXITONG

电液伺服系统

〔美〕詹姆斯 E·约翰逊 著



国防工业出版社

73.826

528

电液伺服系统

[美] 詹姆斯E. 约翰逊 著
朱盘生 陶冶 金恩城 译
朱盘生 郝崇梅 校

国防工业出版社

DE 13/104
内 容 简 介

本书是一本介绍电液伺服系统的入门教材。全书共十一章，首先阐述了有关电液伺服系统的一些基本概念、主要元件和电液伺服系统的核心——电液伺服阀；随后分别讲述了速度、位置和力伺服系统，伺服放大器，程序装置，伺服系统的分析方法；最后，作者根据自己的实践经验介绍了电液伺服系统的调整与维护以及应用实例。每章都有提要、讨论题和习题。书末附录还给出了一些实用数据、术语以及题解方法。

本书可供从事电液伺服系统的科技人员参考，对于使用与维护电液伺服机构的人员均有裨益。

Electrohydraulic Servo Systems

JAMES E. JOHNSON

Published by the Editors of

"hydraulics & pneumatics"

Magazine • 1973

电 液 伺 服 系 统

朱盘生 陶 冶 金恩城 译

朱盘生 郝崇梅 校

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

山西省新华印刷厂承排 国防工业出版社印刷厂印装

787 × 1092 1/32 印张6³/₈ 130千字

1981年3月第一版 1981年3月第一次印刷 印数：0,001—4,400册

统一书号：15034·2036 定价：0.68元

出版说明

本书是作者在美国广播函授学校的讲稿。书中深入浅出、简明扼要地介绍了电液伺服系统的基础知识、基本原理、性能分析以及使用维护，并有应用实例。

作者为了使得具有初等数学基础的读者能掌握本书，对于涉及到自动调节原理、工业电子学方面的问题，没有进行详细的理论分析和数学推导，仅是给出简单的结论和一些常用的计算公式。所以本书某些地方的论述显得不够严密，要对书中的结论作进一步了解，必须阅读相应的专业书籍。

本书的重点是放在实际应用方面，作者从实际出发，几乎每章都列举了一些应用实例，并将自己多年工作中得到的一些经验也总结了进去，这对初次接触电液伺服系统的人员来说，是颇有参考价值的。

此外，本书每章都有提要、讨论题和习题，供读者复习用。书末还附有术语解释与题解方法，这些都是适用于初学者的。

由于我们水平所限，书中可能会有不少错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

本书在定稿之前，承李淑兰同志审校并对全稿进行了修改。

序 言

电液系统及伺服机构的原理易于掌握，应用可靠。若要使用伺服驱动装置，就必须了解其工作原理，并要消除这样一种错觉，即认为：这是一门只有高级工程师才能掌握的复杂的电子技术。本书介绍电液伺服系统的原理。

本课题到一定程度必然会成为数学甚至高等数学的问题，但本书不作数学分析，而着重实际应用，尽量回避复杂的数学问题。因此只要有代数基础就足够用了。书内还包含了许多辅助教材。

每章结尾都有提要，便于读者抓住重点。提要后附有讨论题，以促使掌握初步概念。此外，还给出了习题和答案，以检查对概念的理解和掌握的程度。

书后有三个附录：（A）常用数据；（B）技术术语；（C）习题答案。

詹姆斯E·约翰逊

目 录

第一章 基本概念	1
动力传输线路	1
速度调节	2
扭矩波动	2
伺服系统的补偿	3
速度控制	3
带反馈信号的控制	4
负载速度控制	4
不可压缩流体	6
假想系统	6
跟踪器回路	8
提要	9
讨论题	10
习题	10
第二章 伺服元件	11
流体压力的概念	11
直线式执行机构	12
齿轮式马达	13
柱塞式马达	14
叶片式马达	16
传感器	17
选择传感器的因素	17
传感器的类型	18

程序装置	23
放大器	23
提要	25
讨论题	25
习题	26
第三章 伺服阀	27
伺服阀是如何工作的	27
阀的构造	29
指令级	29
伺服阀的线路	31
双级单喷嘴挡板伺服阀	33
力的平衡	33
反馈技术	34
反馈调节	37
主级的工作窗口	7
工作窗口的形状	38
重叠状态	39
静态特性	41
动态特性	42
阀位置的影响	43
系统的评价	43
位置系统	46
速度系统	48
提要	48
讨论题	49
习题	50
第四章 速度伺服	51
方向控制	51
方向和流量控制	51

伺服阀控制	53
负载变化的调节	55
伺服应用	55
测速发电机与指令电位器问题的解法	58
提要	59
讨论题	59
习题	59
第五章 位置伺服	61
液压的不平衡	62
电位器-电位器伺服	62
系统举例	63
性能分析	64
工作台的调整	64
电液伺服与液压机械伺服的比较	65
电位器-电位器位置伺服	65
直线可变差动变压器位置伺服	67
可变差动变压器的优点	68
角度位置传感器	68
同步器位置伺服	66
同步器的概念	70
提要	71
讨论题	72
习题	72
第六章 力、压力和力矩伺服	73
力伺服	73
压电晶体	73
应变计式传感器	74
应变计式传感器是如何工作的	76
压力和力矩伺服	77

提要	78
讨论题	79
习题	79
第七章 伺服放大器	81
无放大器的电增益	82
无放大器的误差	82
带放大器的电增益	84
带放大器的误差	84
运算放大器	85
线性放大器	87
最小增益	88
最大增益	88
积分放大器	90
线性插件式放大器	91
积分插件式放大器	94
提要	94
讨论题	95
习题	95
第八章 程序装置	97
电位器-电位器式程序装置	97
带有正与负电源的电位器-电位器式程序装置	98
带有浮接电源的电位器-电位器式程序装置	98
五个指令电位器	100
电位器的模拟	102
模拟一个电位器	104
提要	105
讨论题	106
习题	106
第九章 伺服分析	107

分析的步骤	107
精度和稳定性	108
相位滞后和幅值增益	109
电液系统的性能	110
弹簧-质量系统	110
影响精度的因素	111
提要	114
讨论题	115
习题	115
第十章 伺服调整与维护	117
伺服系统的调整	117
调相	117
增益	118
励振	119
阀和放大器的零位	120
维护建议	120
四条重要的使用要领	121
污染故障的十个来源	122
提要	124
讨论题	124
习题	125
第十一章 伺服系统的应用	126
应用札记	126
札记 1. 用手册估算电位器-电位器系统的精度	126
札记 2. 位置伺服系统中阀-作动筒的尺寸	129
札记 3. 电位器-电位器跟踪系统	132
札记 4. 双增益位置系统	134
札记 5. 有良好静态精度的速度系统	135
札记 6. 有良好响应的速度系统	137

应 用	138
钢坯连续铸造伺服控制系统	139
液位控制	141
系统的介绍	142
人工操作方法	144
手动伺服方法	145
自动伺服方法	146
自动均匀绕管系统的伺服控制	149
均匀绕管系统的介绍	151
管子外径为1/2英寸的均匀绕管系统的工作原理	151
提要	153
讨论题	154
习题	155
附录A 常用数据	158
怎样使用功率计算图表	159
公式	161
符号表	161
附录B 术语定义	163
附录C 习题解答	178

第一章 基本概念

要了解什么是电液伺服，首先必须了解应用了伺服阀的系统。驱动现代工业机械的能量大多数是以电能的形式输到工厂，然后再将它转换成其他形式的能量（例如变成机械的或液压的）提供使用。尽管电能在使用过程中进行了转换，但根据能量守恒定律，其总值仍保持不变。

动力传输线路

图1.1为一个典型的工业系统的方框图。电动机带动一个向液压马达提供压力流体的液压泵，液压马达再通过齿轮箱驱动负载。假设系统中所有部件的效率均为100%，那么，输送到电动机的功率就全部用来驱动负载。图1.1表示了同样功率的能量以不同形式在系统中的传输。

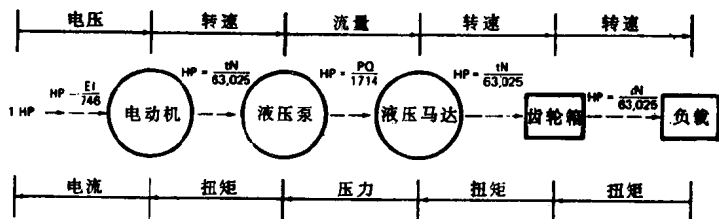


图1.1 表示线路中电、液压和机械等各种能量形式的动力传输示意图

HP=马力，N=转/分，电功率= $\frac{EI}{746}$ ，
 E=伏； t=扭矩(磅/英寸)； 液压功率= $\frac{PQ}{1714}$ ；
 I=安； Q=加仑/分； 机械功率= $\frac{tN}{63,025}$ ；
 P=磅/英寸²

图1.1除了表示动力传输以外，还以图解的方式说明了

1109706

一个重要概念：构成动力传输的参数即为电压和电流，流量和压力；转速和扭矩。从图上可以看出，如箭头所示，沿着方框图上面一条线的参数是从左向右传递；下面一条线的参数是从右向左传递。

它表明了：电压决定电动机的转速；电动机的转速控制着液压泵的输出流量；由液压泵输给液压马达的流体流量决定着液压马达的转速；齿轮箱输出轴的转速确定着负载的运动速度。

速度调节

为要改变负载的速度，必须改变沿图 1.1 上面一条线上的任意一个或一组参数：齿轮箱的传动比，供给液压马达的流量，液压泵的转速，或输给直流电动机的电压。改变其中任一个参数的变化都可改变负载的速度，但是改变负载速度和调节负载速度是不同的，两者有着显著的区别。

调节负载的速度，就是要在负载发生任何变化时，维持负载速度不变。骤然一看，这里似乎有矛盾，因为已经恒定，图 1.1 上面那条线上的参数决定负载速度；保持速度恒定，只要保持输入电压不变就可以了。如果没有图 1.1 下面那条线上的参数，那倒的确是正确的。

扭矩波动

设计系统的目的是要它做功[●]，所以齿轮箱必须能输出足够的扭矩以驱动负载。这里介绍一下马力是如何把系统中的各个工作级串起来的。

液压马达将扭矩传输给齿轮箱。假如负载增加，那么驱动负载的输出扭矩显然亦要增加。增加液压马达输出轴上的

● 术语定义参看附录B。

扭矩就要增加流体的压力，增加液体的压力就意味着要增加带动液压泵的扭矩。增加电动机的输出转矩，就需要电源供给更大的电流。

这和速度调节的关系是：当扭矩或压力增加的时候，在传输链上的每个部件，除齿轮箱外，将发生“打滑”。液压马达和泵由于液体压力的增高而引起内部泄漏量增大，发生“打滑”。流经液压马达的齿轮、叶片或柱塞的泄漏量的增加，引起液压马达转速下降。随着负载扭矩的增大，电动机的转速亦将下降。由于个别部件的“打滑”，图 1.1 所示系统在负载发生变化时就再也不能维持恒定的转速了。

伺服系统的补偿

调节速度的一种方法就是负载补偿法。假设我们预先得知，图 1.1 所示系统在泵的压力每升高 100 磅/英寸² 时其转速降低 2%，那么我们就能够为泵设计一个负载-压力补偿器。这个负载-压力补偿器可以使泵在压力每升高 100 磅/英寸² 时输出增加 2%，以保持负载速度不变。这就是负载补偿。这种方法有其长处，但也有严重缺陷：

1. 流体的粘性随着温度升高而降低(流体变“稀”了)，造成泄漏增多，于是负载速度下降；

2. 齿轮箱的效率随润滑条件而变化，由此引起负载速度的增减将与液压无关；

3. 电动机的转速随工作温度的升高而下降。

速度控制

调节负载速度的最好方法是检测速度并用它来控制负载速度本身。例如，我们在负载处装上一个传感器（如转速计）来产生一个正比于速度的信号。假如我们将此信号反馈到一个控制器上，由它来修正前级某个适当的参数，使负载速度

保持恒值，这种反馈技术就是伺服机构，它有许多优点：

1. 若因泄漏增加引起液压马达转速下降，转速计就感受此减速，并将负载速度调回到预定的值；

2. 若电源电压下降，转速计将感受负载速度的减速量，并进行适应的修正；

3. 不管是什么原因引起负载速度变化，转速计总会感受其变化并进行适当的修正；

4. 伺服驱动较易设计。

带反馈信号的控制

反馈信号可用任何一种形式的能量：机械的、液压的或气压的。而且，反馈信号也可以馈送到传动链上的任一部件。最好的办法是反馈一个电信号给系统的液压元件。

微弱的电信号可以在极短的时间内传输，而快速传输是一个可靠和有效的伺服控制所必须的。液压系统中的部件响应这些电信号，并提供一个范围广泛的被控制的功率。液压系统的快速响应、小的误差以及固有的高刚度使它很适合在伺服控制中应用。

负载速度控制

参看图1.2。假设负载速度是由负载端发送到伺服阀的反馈信号（例如由测速发电机产生的）来调节的。为了要调节负载的速度，对系统中各个部件的“打滑”必须进行修正。如果伺服回路的灵敏度或增益足够高，这一点是能够做到的。系统的增益受回路的最低谐振频率的限制。

在所有的系统里，限制系统可能达到的频率响应的因素，主要是动力传输链内各元件的特性。例如电系统——可控硅整流器（SCR）、直流电动机及其连接惯量；液压系统——液压伺服阀、液压马达及其连接惯量。液压马达伺服

阀系统的谐振频率公式为

$$\omega_H = D_M \sqrt{2/VEJ}$$

式中 ω_H ——液压系统的谐振角频率（弧度/秒）；

D_M ——马达排量（英寸³/弧度）；

V ——在压缩状态下的流体容积（英寸³，等于伺服阀阀芯与马达活塞之间的容积之半）；

E ——流体的压缩系数（英寸²/磅，等于容积弹性系数的倒数）；

J ——马达的惯量加上负载的折合惯量（磅·英寸·秒²）。

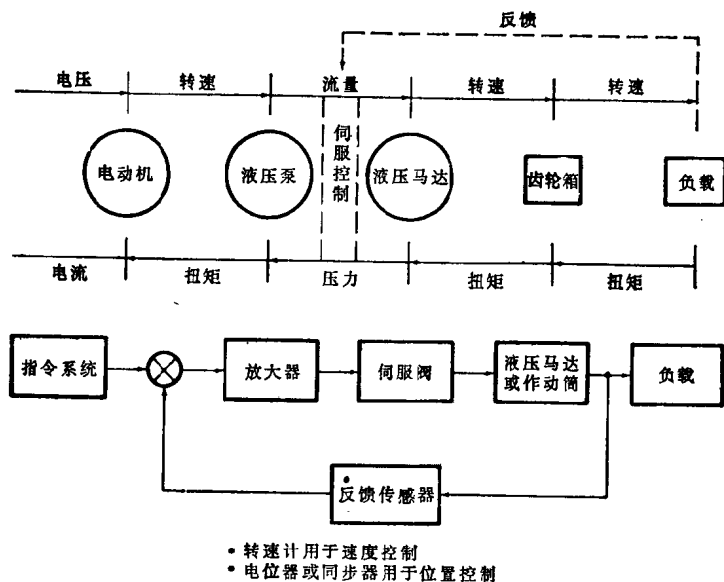


图1.2 典型的带反馈的动力传输

液压阀和液压马达组合装置具有高的谐振频率，其原因是：

1. 在伺服阀与液压马达间的受压油液容积很小。
2. 液压马达惯性小。
3. 油液压缩系数小（对于 DTE 轻油，在 130°F 时为 4.3×10^{-6} 英寸²/磅）。

不可压缩流体

油液压缩性小是决定系统响应的一个关键。负载惯量的任何变化总要反应到执行机构，不论它为液压的或电气的。执行机构的压缩性和反应对它的惯量形成了一个弹簧——质量谐振。压缩性越小谐振频率越高。谐振频率越高则可获得系统增益、位置精度和速度精度也越高。

目前尚无变速度的动力传输装置，所以没有别的系统可以与电液伺服系统的刚度（亦即精度）媲美。

假想系统

为了说明速度控制和位置控制的概念，我们看一下图 1.3 和图 1.4 所示的两个假想的液压系统。为了避免读者纠缠于阀的原理和反馈机构，反而忽视伺服本身的概念。这里故意未将滑阀之类的实际元件画出。

速度控制 图 1.3 表示，一个飞球调速器，它控制液压回路中的橡皮软管 R_3 。当 R_1 到 R_4 四个节流孔的节流作用相同时，作用在液压马达上的力处于平衡，液压马达不转动。

当节流孔 R_3 因调速器升高而减弱节流时，通过节流孔 R_3 的流量将比通过 R_4 的多。这个多余的流量从左向右通过液压马达，然后再通过节流孔 R_2 回到油箱。液压马达就转动起来，并带动飞球调速器旋转。飞球调速器的压力使 R_3 处的节流作用增强，但不是它原来的数值。