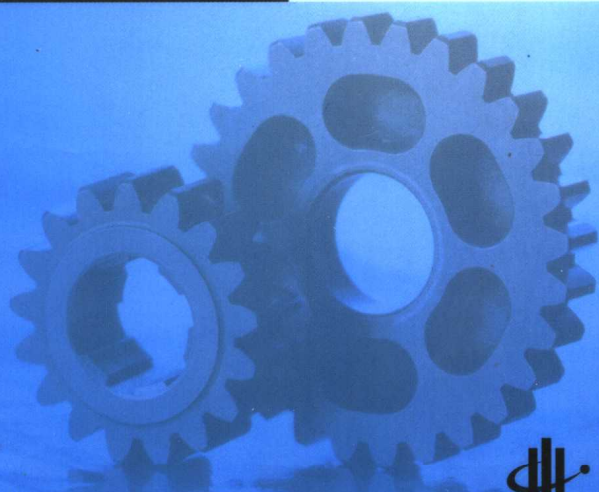
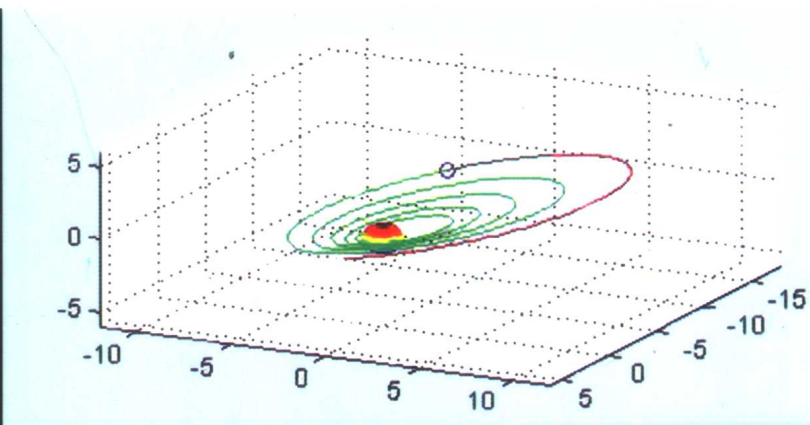
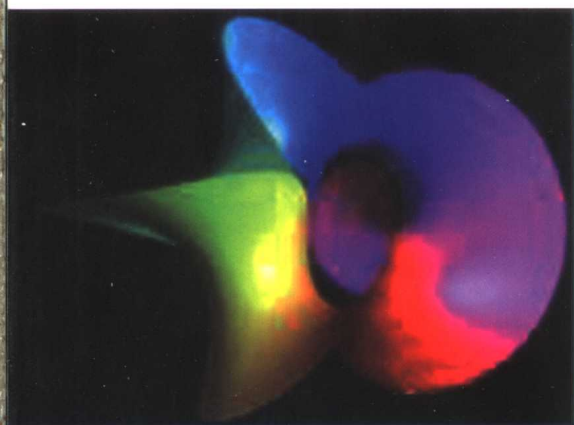


基于MATLAB的 液压伺服控制系统分析与设计

宋志安 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

基于 MATLAB 的 液压伺服控制系统分析与设计

宋志安 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统介绍液压伺服控制系统分析与设计技术,全书共分10章:第1章为绪论,扼要地介绍了液压伺服系统的工作原理、应用和发展概况;第2章介绍了基于MATLAB的液压伺服控制理论,通过实例介绍了自动控制理论在MATLAB中的实现;第3章到第7章是液压伺服系统的基本内容,主要介绍了伺服阀、动力机构、机液伺服系统和电液伺服系统的基本内容和理论,为分析、研究及液压元件选型奠定基础;在这几章中,用MATLAB编程实现了无量纲方程曲线的自动生成,并在稳定分析中结合实例,讲解了Bode图和Nichols图的自动生成和增益参数与频宽数值的自动求取;第8章结合实例讲解了安全、可靠和有效地应用液压伺服控制技术;第9章液压能源,介绍了油源品质要求和恒压能源的数学模型及污染控制等方面的内容;第10章简要介绍了现代控制理论在伺服控制系统中的应用。

图书在版编目(CIP)数据

基于MATLAB的液压伺服控制系统分析与设计/宋志安编著. 北京:国防工业出版社,2007.6

ISBN 978-7-118-05132-2

I.基... II.宋... III.液压系统:伺服系统-计算机辅助计算-软件包,MATLAB IV.TP272

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第056276号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20¼ 字数 483 千字

2007年6月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 35.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

液压伺服系统是液压领域的重要分支,也是控制技术的重要组成部分。其基础为液压流体力学、电工电子技术、控制理论及液压传动知识等。近年来,在许多工业技术部门,尤其是军工技术上得到了越来越广泛的应用。本书是为非液压传动与控制专业的本科生、研究生编写的,目的是使自动化专业的学生开阔思路,更好地将控制理论知识与MATLAB结合应用于工程实际。

本书把液压伺服控制理论与MATLAB语言相结合,用MATLAB语言实现了液压伺服控制系统理论中流量-压力无量纲方程曲线和非线性环节的自动生成;在稳定性确定中,用MATLAB语言实现了Bode图和Nichols图的自动生成、增益参数和频宽参数的自动获取。这些内容就是本书的主要特色。本书在编写时力求具有系统和完整的理论基础,为此书中对基本概念、基本理论、基本分析方法以及液压伺服控制的特点都作了尽可能的详尽阐述。同时结合液压伺服控制工程实际,通过实例以及曲线的MATLAB实现,使读者对所学理论能更好地综合应用MATLAB来理解和掌握,有助于实际应用。本书总结了过去数年编著者在教学实践中的经验,基本是按由浅入深的教学顺序编写的。

本书共分10章,第1章为绪论,扼要地介绍了液压伺服系统的工作原理、应用和发展概况;第2章介绍了基于MATLAB的液压伺服控制理论,通过实例介绍了自动控制理论在MATLAB中的实现;第3章到第7章是液压伺服系统的基本内容,主要介绍了伺服阀、动力机构、机-液伺服系统和电-液伺服系统的基本内容和理论,为分析、研究以及液压元件选型奠定基础;在这几章中,用MATLAB编程实现了无量纲方程曲线的自动生成,并在稳定分析中结合实例,讲解了Bode图和Nichols图的自动生成和增益参数与频宽数值的自动求取;第8章结合实例讲解了安全、可靠和有效地应用液压伺服控制技术;第9章液压能源,介绍了油源品质要求和恒压能源的数学模型及污染控制等方面的内容;第10章简要介绍了现代控制理论在伺服控制系统中的应用。该教材对于本科生教学约为40学时~50学时,研究生30学时~40学时。

本书内容的取舍,讲授的先后顺序,教师可根据专业的需要、学时的多少、学生的基础知识掌握程度来确定。有些内容也可让学生自学掌握。本书由山东科技大学宋志安编著。宋玉凤完成了第10章的编写,研究生巩丽萍同学参与了部分文字编写工作,全书由宋志安统稿。

本书由山东科技大学程居山教授主审。

由于编著者水平所限,书中有不当之处,请读者提出宝贵意见,在此深表谢意!

编著者
2007年2月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 液压伺服系统的工作原理及组成	1
1.2 液压伺服系统的分类	3
1.3 液压伺服系统的优缺点	4
1.4 液压伺服系统的应用	5
1.5 液压伺服系统的数据分析可视化	6
习题	7
第2章 基于 MATLAB 的液压伺服系统的理论基础	8
2.1 引言	8
2.2 液压伺服控制系统基本性质	8
2.3 液压伺服控制系统的数学模型及 MATLAB 描述方法	14
2.4 MATLAB 的仿真集成环境 Simulink	28
2.5 MATLAB/Simulink 在时域分析中的应用	36
2.6 系统的频率特性	38
2.7 基于 Bode 图的系统综合与校正	44
习题	62
第3章 液压放大元件	64
3.1 圆柱滑阀的结构形式及分类	64
3.2 阀芯液压力	66
3.3 液压桥路	72
3.4 滑阀静态特性的一般分析	75
3.5 理想零开口四边滑阀的静态特性	80
3.6 实际零开口四边滑阀的静态特性	83
3.7 正开口四边滑阀的静态特性	85
3.8 双边滑阀的静态特性	87
3.9 喷嘴挡板阀	90
3.10 滑阀的输出功率及效率	102
3.11 滑阀的设计	104
习题	106

第4章 液压动力机构	108
4.1 液压动力机构与负载的匹配	108
4.2 四通阀控制液压缸	116
4.3 四通阀控液压马达	132
4.4 三通阀控制液压缸	134
4.5 泵控液压马达	136
思考题	140
习题	140
第5章 机—液伺服系统	142
5.1 阀控液压缸外反馈机—液位置伺服系统	142
5.2 机—液伺服系统的稳定性分析	144
5.3 影响稳定性的因素	151
5.4 动压反馈装置	163
5.5 液压转矩放大器	168
5.6 机液伺服系统的稳态误差	171
思考题	176
习题	176
第6章 电—液伺服阀	178
6.1 电—液伺服阀的组成及分类	178
6.2 力矩马达	180
6.3 单级滑阀式电液伺服阀	186
6.4 力反馈两级电液伺服阀	195
6.5 直接反馈两极滑阀式电液伺服阀	211
6.6 电液伺服阀的特性及主要的性能指标	213
思考题	218
习题	218
第7章 电—液伺服系统	220
7.1 电—液伺服系统的类型	220
7.2 电—液位置伺服系统的分析	221
7.3 电—液伺服系统的校正	237
7.4 电—液速度控制系统	243
7.5 电—液力控制系统	250
思考题	258

习题	258
第 8 章 液压伺服系统设计	260
8.1 液压伺服系统的设计步骤	260
8.2 电液位置伺服系统设计举例	264
8.3 电液速度控制系统设计举例	276
8.4 AM-500 型采煤机液压控制系统	284
思考题	293
习题	293
第 9 章 液压能源	295
9.1 对油源品质的要求	295
9.2 液压能源的基本形式	296
9.3 恒压能源的动态分析和参数选择	297
9.4 液压能源与负载的匹配	302
9.5 油液污染及控制	303
习题	308
第 10 章 液压系统的现代控制方法	309
10.1 最优二次型控制的基本理论	310
10.2 二次型优化理论在液压伺服系统中的应用	312
10.3 动力机构负载流量的补偿	316
10.4 采用状态观测器实现干扰的补偿	318
习题	325
参考文献	326

第 1 章 绪 论

1.1 液压伺服系统的工作原理及组成

1.1.1 液压伺服系统的工作原理

图 1-1 所示为一种液压举重装置，操作者将截止阀阀门打开，液体便由液压装置流入液压缸的下腔，由于液体具有一定的压力 P ，则活塞便产生一个向上的力 $F=AP$ ，其中 A 为活塞的有效面积，此力 F 若大于上面的物体重力 M ，便可推动物体上升。显然，这种装置是一种力的放大器，可以举起人无法举起重物，它的特点是准确度不够，例如要上升 1.85m，人就很难控制得那么准确。此外，人不能离开，而且下降比较困难，因为要靠重物的重力把液体压到原来的液压装置中去。

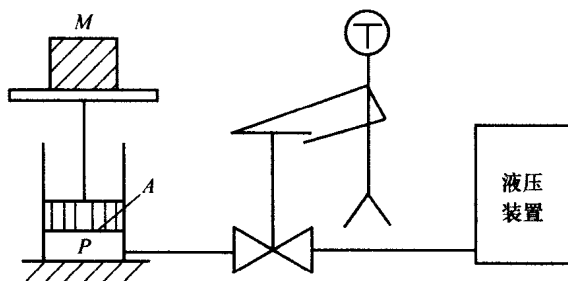


图 1-1 液压举重装置

如果改成图 1-2，即用四通滑阀来代替节流阀，用杠杆来操纵四通滑阀阀心的移动，则重物上升速度可用四通滑阀的窗口大小来控制，而重物下降又可通过四通滑阀的开口使油直接回到液压装置的油箱，因此可做到控制自如，上下方便。但人仍然不能离开，因为由于泄漏等原因，很难使重物持久保持某一高度。如采用图 1-3 所示的液压装置便可克服上述缺点。当操作者将杠杆压到某个位置时，四通滑阀的进口口被打开，于是重物

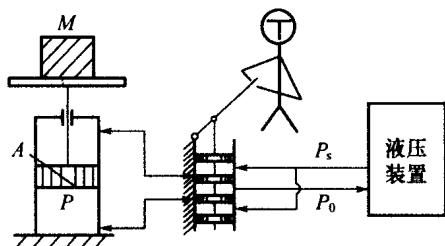


图 1-2 四通滑阀控制的举重装置

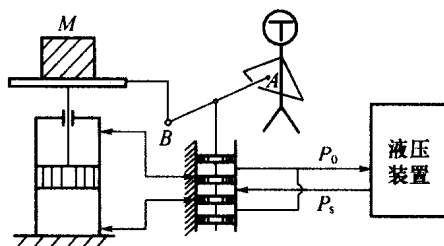


图 1-3 自动控制的举重装置

开始上升，同时也带动杠杆的另一端上升，因此，四通滑阀阀心渐渐关小进油口，当进油口完全关闭时，重物就停在对应位置（此时进、回油口全被堵死）。如果由于泄漏等原因重物有些下降，则杠杆又将进油口打开，于是重物又开始上升，直到恢复原位。可见这种装置不仅操纵自如而且人可以离开，又由于重物的高度与四通滑阀阀心的位置一一对应，故升降的准确度也大大提高了。这种装置能够自动地完成人的某一工作，因此称为液压自动装置，或者叫做液压伺服系统。

在这个系统中，输出位移之所以能自动地、快速而准确地复现输入位移的变化，是因为杠杆的一端与重物相连，构成了负反馈闭环控制系统。在控制过程中，液压缸的输出位移能够连续不断地反馈到杠杆上，与四通滑阀阀心的输入位移相比较，得出两者之间的位置偏差，这个位置偏差就是四通滑阀的开口量。四通滑阀有开口量就有压力油输出到液压缸，驱动液压缸带动重物运动，使阀的开口量（偏差）减少，直到输出位移相一致为止。可以看出，这个系统是靠偏差工作的，即以偏差来消除偏差，这就是反馈控制的原理。系统的工作原理可以用图 1-4 所示的方块图表示。

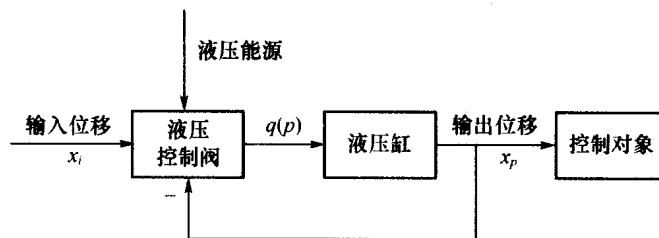


图 1-4 系统工作原理方块图

在该系统中，移动四通滑阀阀心所需要的（人力或电磁力）信号功率很小，而系统的输出功率却可以达到很大，这是个功率放大装置。功率放大所需的能量是由液压能源供给的，供给能量的控制是根据伺服系统偏差的大小自动进行的。因此，液压伺服也是一个控制液压能源输出的装置。

图 1-3 所示的举重系统，其输出量是位移，故称位置伺服系统。在该系统中，输入信号和反馈信号均由机械构件（杠杆）实现，所以也称机械液压伺服系统。液压控制元件为四通滑阀，靠节流原理工作，也称节流式或阀控式液压伺服系统。

1.1.2 液压伺服系统的组成

液压伺服系统由以下一些基本元件组成。

1. 输入元件

也称指令元件，它给出输入信号（指令信号）加于系统的输入端。该元件可以是机械的、电气的、气动的等。例如图 1-3 所示的以 B 点为支点的杠杆。

2. 反馈测量元件

测量系统的输出并转换为反馈信号，它是位置传感器，类似于人的眼睛。

3. 比较元件

将反馈信号与输入信号进行比较，给出偏差信号，例如图 1-3 所示的杠杆，相当于人

的大脑。

4. 放大转换元件

产生调节动作加于控制对象上，实现调节任务，例如图 1-3 所示的四通滑阀。

5. 执行元件

产生调节动作加于控制对象上，实现调节任务。如液压缸和液压马达等。

此外还可能有各种校正装置，以及不包含在控制回路内的液压能源装置。

1.2 液压伺服系统的分类

1. 按偏差信号的产生和传递方式分类

1) 机—液伺服系统

机—液伺服系统的特点在于指令信号的输入、反馈和比较各环节由机械构件来完成。其优点是简单可靠，缺点是偏差信号的校正及增益调整都不如电方便。另外，反馈构件摩擦和间隙对系统性能不利。

2) 电—液伺服系统

电—液伺服系统的特点在于用电信号来驱动伺服阀，偏差信号的监测、校正和初始放大等都采用电气、电子元件来完成。电—液伺服机构由于其电的部分有很大的灵活性，电传感器的多样化使人们可以控制很多物理量。而液压元件响应快、抗负载刚度大。电液结合后具有广泛的灵活性，是当前响应快、控制精度最高的伺服系统。

3) 气—液伺服系统

气—液伺服系统中，误差信号的监测、反馈和初始放大均采用气动元件来完成。该系统可在恶劣环境（高温、易爆）下工作，简单可靠。

2. 按控制元件的种类分类

1) 阀控伺服系统

利用伺服阀的节流原理，控制流入执行元件的流量和压力。特点是响应快、精度高。缺点是效率低。

2) 泵控伺服系统

利用伺服变量泵改变排量的方法，控制流入执行元件的流量和压力的系统。泵控系统也称容积式液压伺服系统。与阀控系统比较，其特点是响应慢、结构复杂，但效率高。

3. 按系统输出的物理量分类

(1) 位置伺服系统。

(2) 速度伺服系统。

(3) 施力（或压力）伺服系统。

4. 按系统输出信号是否反馈分类

1) 闭环伺服控制系统。

输出量进行反馈与输入量比较，称为闭环伺服控制系统。

2) 开环伺服控制系统。

输出量不进行反馈的称为开环伺服控制系统。

1.3 液压伺服系统的优缺点

液压伺服控制具有很多优点，从而使它获得广泛的应用。但也存在一些缺点，这些缺点限制了它的应用。

1.3.1 液压伺服控制的优点

液压伺服系统与其他类型的伺服系统相比，具有以下优点：

1. 液压元件的功率—质量比和力矩—惯量比(或力—质量比)大

液压元件可以组成结构紧凑、体积小、质量轻、加速性能好的伺服系统。对于中、大功率的伺服系统，这优点尤为突出。为了说明这一点，现将液压元件与电气元件作一比较。电气元件的最小尺寸取决于最大的有效磁通密度和功率损耗所产生的发热量（与电流密度有关）。最大有效磁通密度受磁性材料的磁饱和限制，而发热量散发又比较困难。因此，电气元件的结构尺寸比较大，功率—质量比和力矩—惯量比小。液压元件功率损耗所产生的热量可由油液带到散热器去散发，它的尺寸主要取决于最大工作压力。由于最大工作压力可以很高，所以液压元件的体积小、质量轻，而输出力和力矩却很大，使功率—质量比和力矩—惯量比大。一般液压泵的质量只是同功率电机质量的 10%~20%，尺寸约为后者的 12%~13%。液压马达的功率—质量比一般为相当容量电动机的 10 倍，而力矩—惯量比为电动机的 10 倍~20 倍。

2. 液压动力元件快速性好，系统响应快

由于液压动力元件的力矩—惯量比大，所以加速能力强，能高速起动、制动与反向。例如加速中等功率的电动机需 1 秒至几秒，而加速同功率的液压马达的时间只需电动机的 1/10 左右。

由于液压系统中油液的体积弹性模量很大，由油液压缩形成的液压弹簧刚度很大，而液压动力元件的惯量又比较小，所以由液压弹簧刚度和负载惯量耦合成液压固有频率很高，故系统的响应速度快。

3. 液压伺服系统抗负载的刚度大

液压伺服系统抗负载的刚度大，即输出位移受负载变化的影响小、定位准确、控制精度高。由于液压固有频率高，允许液压伺服系统特别是电液伺服系统有较大的开环放大系数，因此可以获得较高的精度和响应速度。另外，由于液压系统中油液的压缩性很小，同时泄漏也很小，故液压动力元件的速度刚度大，组成闭环系统时其位置刚度也大。电动机的开环速度刚度约为液压马达的 1/5，电动机的位置刚度接近于零。因此，电动机只能用来组成闭环位置控制系统，而液压马达（或液压缸）却可以用来进行开环位置控制，当然闭环液压位置控制系统的刚度比开环时要高得多。气动系统由于气体可压缩性的影响，其刚度只有液压系统的 1/400。

综上所述，液压伺服系统体积小、质量轻、控制精度高、响应速度快。这些优点对伺服系统来说是极其重要的。除此之外，液压伺服系统还有一些优点：如液压元件的润滑性好、寿命长；调速范围宽、低速稳定性好；借助油管动力传输比较方便；借助蓄能器能量储存比较方便；液压元件有直接位移式和旋转式两种，增加它的适应性；过载保

护容易；解决系统温升问题比较方便等。

1.3.2 液压伺服控制的缺点

液压伺服系统的缺点可归纳成下列几点。

(1) 液压信号传递速度慢且不易进行校正，而电信号则是按光速来传递信息，而且易于综合和校正。但是电液伺服系统由于在功率级以前采用了电信号，因而不存在这一缺点，而且在某种意义上这种系统具备了电液两类伺服系统的优点。

(2) 液压伺服系统的结构复杂、加工精度高，因而成本高。

(3) 泄漏是液压系统的弱点，它不仅污染环境，而且容易引起火灾。

(4) 液压油易受污染，并可能造成执行机构的堵塞。

应该指出的一点是近年来机电系统有了很大的发展，其执行机构功率大、惯性小，因此，在某些方面有代替液压伺服系统的趋势。但液压伺服系统也在不断向前发展，因此，这两种系统都将会以各自的特点在相应的技术领域发挥作用。

1.4 液压伺服系统的应用

由于液压伺服系统的突出优点，使得它在国民经济的各部门和国防建设等方面——诸如冶金、机械等工业部门；飞机、船舶等交通部门及航空航天技术、海洋技术、近代科学试验装置和武器控制等方面，都得到了广泛的应用。

液压伺服控制，首先应用在武器控制系统中，广泛应用于陆、海、空军各个领域。在航天、航空和导弹等控制方面，大量采用液压伺服控制系统。因为这些控制系统的性能要求高，快速性能好，质量要轻，而成本又不是主要考虑因素，所以，液压伺服控制技术在各部门得到了大量应用和发展。目前，飞机所有的控制系统和操纵机构几乎全部采用液压伺服及液压传动机构。在导弹方面，小口径导弹由于要求本身质量轻，大多采用气动伺服系统；中程及远程导弹的各个控制系统几乎都采用液压伺服系统。

液压伺服控制今后的发展大体可以有以下几个方面。

(1) 高压大功率。高压的目的主要是为了减轻系统的质量及结构尺寸，大功率是为了解决大惯量与重负载的拖动问题。高压与大功率系统的研究与应用对航空与航天技术尤其显得重要。

(2) 高可靠性。液压控制设备一般都是高性能的机器，对油的污染和温度变化都很敏感，把这种机器应用在飞行器上，可靠性就是一个重要的课题。为了提高可靠性，除对机器本身的研究、改良以及提高检测与诊断技术水平外，还应采用裕度技术及裕重构技术。

(3) 理论解析与特性补偿。液压伺服控制的理论解析近期的研究倾向是利用计算机对复杂系统（如多变数液压系统）和复杂因素（非线性及时变等）进行仿真分析的研究，其中大量的研究是围绕动态特性进行的。

随着系统应用目的的多样化，控制对象也越来越复杂，大惯量、变参数、非线性及外干扰是经常遇到的。要使这些系统具有满意的性能，必须研究系统的性能补偿与控制策略。

(4) 与微型机的结合。目前液压控制已从模拟控制转为以微机控制与数字控制为主。把微机放入控制回路之内进行实时控制时就有很多问题需要研究,涉及计算机速度问题、电—液伺服机构与计算机配置的问题以及离散化带来的一些问题。直接与数字机结合需要发展液压数字技术,目前已经产生了各种形式的数字阀、数字缸及高速开关阀等。利用计算机可以进行更复杂的功能控制。电—液伺服控制与计算机的结合,提供了计算机技术与大功率液压伺服控制之间牢固的、精确的、高性能的联系,产生了各种智能化的电气液压伺服控制系统。

(5) 液压伺服控制普遍的工业应用阶段。液压伺服控制元部件的批量及规格化生产,降低成本或开发简易廉价的各种转换元件、数字化元器件以及各种抗污染元器件,仍然是今后液压伺服控制技术研究的课题。

1.5 液压伺服系统的数据分析可视化

在进行液压伺服系统理论的研究中,液压阀压力—流量特性曲线的绘制、负载轨迹的绘制、时域分析和频域分析、系统开环传递函数的 Bode 图的绘制和裕度计算等,有许多要处理的数据和图形。从大量原始的离散数据,或者已经知道了函数表达式中很难直接体会它们的含义,而用数据画出的图形或者是函数的曲线表达,却能使人们用视觉器官直接感受到数据的许多本质,并可以体会到数据之间的联系。因此数据可视化是人们研究科学、认识世界不可缺少的手段。

作为一个优秀的科技软件, MATLAB 不仅在数据计算上独占鳌头,而且在数据可视化方面也是功能强大。MATLAB 可以给出数据的二维、三维乃至四维的图形表现。通过对图形线形、立面、色彩、渲染、光线、视角等的控制,可把数据的特征表现得淋漓尽致。MATLAB 提供了两个层次的图形命令:一种是对图形句柄进行的低级图形命令,另一种是建立在低级图形命令之上的高级图形命令。

MATLAB 提供了很多高级图形命令,这些命令可以绘制一般科技绘图软件所能绘制的几乎所有图形,如曲线图、极点图、直方图、等高线图等。用户还可控制图形的颜色、视角、坐标标注和阴影等和图形外观有关的要素。高级图形命令可自动控制如坐标刻度等图形特性。

MATLAB 还提供了句柄图形(Handle Graphics),用户利用句柄图形可以对图形的显示进行精确的控制,也可以利用句柄图形的命令生成用户自己的图形命令。句柄图形是 MATLAB 的面向对象的图形系统。该系统提供创建计算机图形所需的各种软件。它所支持的命令,可以直接创建线型、文字、网格、面以及图形用户界面。

利用图形界面来输入数据以及在程序运行中和计算机交互非常方便。句柄图形命令可以建立菜单、按钮、文字框以及其他的图形界面部件。MATLAB 的句柄图形命令,可以开发图形界面。

在 MATLAB 中,利用句柄图形可以更精确地控制 MATLAB 显示数据的方式,或者开发用户自定义的图形命令,以及 MATLAB 面向对象的图形系统。句柄图形定义了一个图形对象集,包括直线、表面、文本等,同时提供了一种操纵这些对象属性的机制,以使用户能按自己的需要获取相应的结果。

在 MATLAB 中, 使用句柄图形有下面几种方式。

(1) 在命令行中, 通过修改用于显示数据的图形对象的属性的方法来“润色”图形显示。

(2) 在 m-文件 (*.m) 中, 通过定义用户图形命令来对图形显示进行精确的控制。

(3) 在已经包含了许多高级图形命令的 MATLAB 现有的 m-文件中, 可以再定义特殊的属性以达到适合用户的要求。

MATLAB 文件可用来编制程序, 用来实现液压阀压力—流量特性曲线、负载轨迹等的自动生成; 对系统进行时域分析和频域分析; 根轨迹分析; 对系统进行校正与综合的数据处理等。

基于 MATLAB 的液压伺服系统的可视化, 还突出表现在 MATLAB/Simulink 模块上。液压伺服控制系统的环节传递函数构成的方块图, 可用 MATLAB/Simulink 模块构造而成, 在输入端施加输入信号, 可在输出端得到对应于输入信号的输出信号, 实现液压伺服控制系统的仿真, 根据仿真结果来判定系统的稳定性和其他时域参数的获取。

结合 MATLAB 在控制领域的应用, 使之与液压伺服控制系统的设计理论和分析方法相结合, 将计算机辅助分析与液压伺服系统的现代设计方法相结合, 实现设计数据分析的可视化和伺服系统设计参数的获取, 正是本书研究的内容。

习 题

1. 液压伺服控制与电气、气动伺服控制比较有什么优点?
2. 液压伺服控制系统的基本特征是什么? 为什么又称随动系统?
3. 一个伺服系统由哪些基本元件组成? 它们的功能是什么?
4. 液压伺服系统怎样分类?

第 2 章 基于 MATLAB 的液压 伺服系统的理论基础

2.1 引 言

由第 1 章可知, 液压伺服控制系统是一种自动控制系统。因此, 在分析和设计这样的控制系统时, 需要用自动控制理论作为其理论基础, 来研究整个系统的动态性能, 进而研究如何把各种元件组成稳定的和具有制定性能指标的控制系统。

本章描述自动控制系统的基本概念及自动控制系统仿真的基本知识, 介绍自动控制系统与仿真的概念、组成、分类以及 MATLAB 的图形绘制与仿真的基础知识。通过本章的学习, 读者对液压伺服控制系统与仿真、数据可视化以及本书的主要内容能有整体的认识。

2.2 液压伺服控制系统基本性质

在现代工业生产过程中, 为了提高产品质量和生产效率, 需要对生产设备和工艺过程进行控制, 使被控的物理量按照期望的规律变化。这些被控的设备或过程称为控制对象, 被控的物理量称为被控量或输出量。

在实际的条件下, 生产设备或工艺过程有许多外部作用, 一般只考虑对输出量影响最大的量, 这些量称为输入量。

从对被控对象和输出量的影响来看, 输入量可分为两种类型: 一种输入作用是为了保证对象的行为达到所要求的目标, 这一类输入量称为控制量或给定量。另一种输入作用则相反, 它妨碍对象的行为达到目标, 这类作用称为扰动作用, 输入量称为扰动量。

控制的任務实际上就是形成控制作用的变化规律, 使得不管是否存在扰动对象都能得到所期望的行为。

所谓自动控制系统就是在无人直接操作或干预下, 通过控制器使控制对象自动地按照给定的规律运行, 使被控量能够按照给定的规律变化。系统是指为完成一定要求和任务的部件或功能的组合, 它们相互影响, 协调地完成给定的要求和任务。能够实现自动控制的系统称为自动控制系统。

2.2.1 开环控制系统与闭环控制系统

如果控制系统的输出量对系统的输出没有控制作用, 则这种系统称为开环控制系统。图 2-1 所示为开环控制系统输入量与输出量之间的关系。

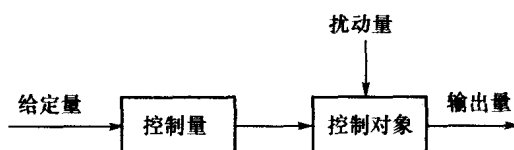


图 2-1 开环控制系统示意图

这里，给定量直接经过控制器作用于控制对象，不需要将输出量反馈到输入端与给定量进行比较，所以只有给定量影响输出量。当出现外部扰动或内部扰动时，若没有人的干预，输出量将不能按照给定量所希望的状态去工作。

闭环控制是把输出量检测出来，经过物理量的转换，在反馈到输入端与给定量进行比较（相减），并利用比较后的偏差信号，经过控制器或调节器对控制对象进行控制，抑制内部或外部扰动对输出量的影响，从而减少输出量的误差。图 2-2 所示为闭环控制系统输入量、输出量和反馈量之间的关系。

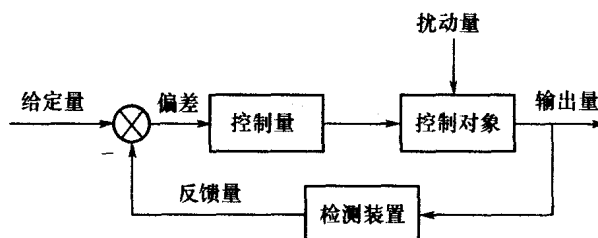


图 2-2 闭环控制系统示意图

这种系统把输出量直接或间接地反馈到输入端形成闭环，参与系统的控制，所以称为闭环控制系统，液压伺服系统就是闭环控制系统。由于系统是根据负反馈原理按偏差进行控制的，因此，也称为反馈系统或偏差控制系统。

在现代工业生产中，按照偏差控制的闭环系统种类繁多，尽管它们的控制任务不同，具体的结构不完全相同，但是，检测偏差、利用偏差信号对控制对象进行控制，以减少和纠正输出量的偏差这一控制过程都是相同的。

这种系统的特点可归纳为如下几点。

(1) 在开环系统中，只有输入量对输出量产生控制作用。从控制结构上看，只有从输入端到输出端、从左向右的信号传递通道（该通道称为正向通道）。在液压伺服控制系统中，除正向通道外，还必须有从右向左、从输出端到输入端的信号传递通道，使输出信号也参与控制作用，该通道称为反馈通道。液压伺服控制系统就是由正向通道和负反馈通道组成的。

(2) 为了检测偏差，必须直接或间接地检测输出量，并将其变换为与输入量相同的物理量，以便与给定量相比较，得出偏差信号。所以闭环系统必须有检测环节、给定环节和比较环节。

(3) 液压伺服控制系统是利用偏差量作为控制信号来纠正偏差，因此，系统中必须具有执行纠正偏差这一任务的执行机构。闭环系统正是靠放大的偏差信号来推动执行机构，进一步对控制对象进行控制的。只要输出量与给定量之间存在偏差，就自动纠正输

出量与期望之间的误差,因此可以构成精确的控制系统。

反馈控制系统广泛地应用于各个工业部门,例如加热炉的温度控制、机械手的控制等。在有些系统中,将开环控制与闭环控制结合在一起,构成一个开环—液压伺服控制系统,这种系统称为复合控制系统。

本书中涉及的液压伺服控制系统主要是指闭环控制系统。

2.2.2 液压伺服控制系统的组成结构

液压伺服控制系统有各种不同的形式,但是概括起来,一般均可以由以下基本环节组成,如图 2-3 所示。

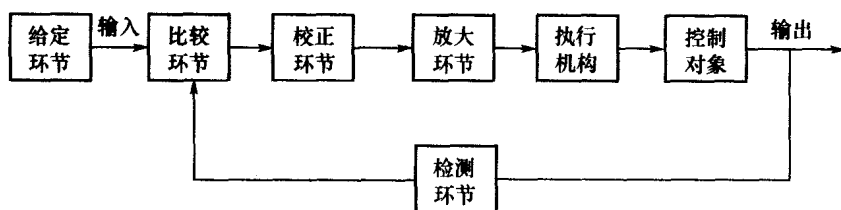


图 2-3 液压伺服控制系统结构图

1. 给定环节

它是设定被控量的给定值的装置,如电位器等,给定环节的精度对被控量的控制精度有较大影响,现代控制系统一般采用控制精度高的数字给定装置。

2. 比较环节

比较环节将所检测的被控量和给定量比较,确定两者之间的偏差量。该偏差量由于功率较小或者物理性质不同,还不能直接作用于执行机构,所以在执行机构与比较环节之间还有中间放大环节。

3. 中间环节

一般是放大元件,将偏差信号变换成适于控制执行机构工作的信号。根据控制要求,中间环节可以是一个简单的功率放大环节,或者是将偏差信号变换为适于执行机构工作的物理量,如液压伺服放大器。常常除了要求中间环节将偏差信号放大外还希望它能按某种规律对偏差信号进行运算,用运算的结果去控制执行机构,以改善被控量的稳态和瞬态性能,这种中间环节常称为校正环节。

4. 执行机构

一般由传动装置和调节机构组成,执行机构直接作用于控制对象,使被控量达到所要求的数值。

5. 被控对象或调节对象

它是指进行控制的设备或过程,相反地,控制系统所控制的某个物理量就是系统的输出量或被控量,液压伺服控制系统的任务就是控制这些系统输出量的变化规律,以满足生产工艺的要求。

6. 检测装置或传感器

用于检测被控量,并将其转换为与给定量统一的物理量。检测装置的精度和特性控