

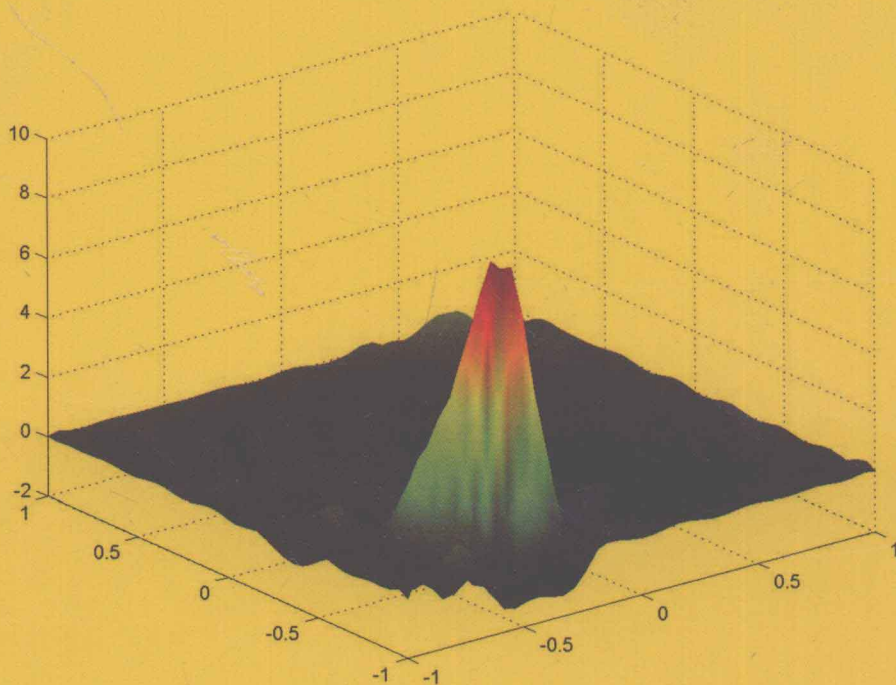
■ 免费提供课件，教学更轻松

■ 融合编者20年实际编程、教学经验

■ 从使用者角度出发，解决系统仿真领域问题

MATLAB/Simulink 与液压控制系统仿真 (第2版)

宋志安 曹连民 黄靖 周荃 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育“十二五”规划教材

MATLAB/Simulink 与液压控制系统仿真 (第2版)

宋志安 曹连民 黄靖 周荃 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了液压控制工程与 MATLAB/Simulink 仿真相结合的应用成果。

本书共分 12 章,前 10 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,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、液压元件选型奠定基础;并结合实例讲解了安全、可靠和有效地应用液压控制技术;介绍了油源品质要求和恒压能源的数学模型及污染控制,与现代控制理论相关方面的内容。第 11 章非线性液压控制系统。第 12 章介绍了离散控制系统的基本组成、工作过程和离散模型的建模特点。该书对于本科生教学时数约为 40~50 学时,研究生 30~40 学时。

该书供“机械设计制造及其自动化”专业、液压控制相关专业学生,同时也适合其他与机械有关专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB/Simulink 与液压控制系统仿真/宋志安等编
著. —2 版. —北京:国防工业出版社,2012. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-08179-4

I. ①M... II. ①宋... III. ①液压控制—系统设计—Matlab 软件—高等学校—教材 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 134069 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 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 26³/₄ 字数 619 千字

2012 年 8 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 46.80 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

第2版前言

本书第1版于2007年6月出版,距今4年多了,我校的本科生、硕士生和工程硕士使用过该书。经过几轮的教学和对MATLAB深入理解,第2版更正了书中的一些错误,增加了一些与时俱进的内容。

第2版把判定液压控制系统稳定性的方法归纳如下:(1)利用闭环传递函数判定液压控制系统的稳定性。利用step和impulse函数对MATLAB描述的闭环传递函数进行时域分析,如果液压控制系统输出曲线收敛,则液压控制系统稳定;液压控制系统输出曲线发散则不稳定。液压控制系统输出的单位阶跃响应曲线不再局限于二阶系统,对于高阶系统的单位阶跃响应同样也可以求取系统的快速性(如上升时间、峰值时间、调整时间、震荡次数和超调量)和准确性指标(如稳态误差)。(2)利用开环传递函数判定液压控制系统的稳定性。介绍了利用液压控制系统MATLAB描述的开环传递函数模型判定液压控制系统的稳定性的方法:其一为伯德图,根据裕度值和交界频率来判定闭环液压控制系统的稳定性;其二为利用pzmap结合奈奎斯特来判定液压控制系统的稳定性,规则为零极点分布图中虚轴右侧极点数等于奈奎斯特曲线包围 $(-1, j0)$ 的圈数时闭环液压控制系统稳定。在第2章中增加了根轨迹判定液压控制系统稳定性和谐振方面的内容。(3)方框图判定液压控制系统的稳定性。当输入为单位阶跃响应函数时,建立系统的Simulink模型,运行后若输出曲线收敛,则系统稳定。如果按上述任意一种方法经过计算后液压控制系统不稳定,那么需要对液压控制系统进行校正后,利用上述方法之一判定液压控制系统的稳定性,笔者认为稳定性判定最有效的方法是控制系统闭环传递函数的时域分析最有效。稳定性判定是本书的一条红线,全书把稳定性判定和校正连接起来,是本书的重点,希望读者重视,切实掌握。

第2版把液压控制系统的基本理论与MATLAB/Simulink仿真结合起来,使液压控制系统的分析实现了可视化,培养了学生学以致用用的习惯。本书共分12章,第1章为绪论,扼要地介绍了液压控制系统的工作原理、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,用MATLAB编程实现了无量纲方程曲线的自动生成,通过实例介绍了自动控制理论在MATLAB中的实现;第3章~第7章是液压控制系统的基本内容,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、液压元件选型奠定基础;在这几章中结合实例用MATLAB语言实现以闭环时域分析(阶跃响应曲线和脉冲响应曲线)、开环系统伯德图和增益参数和频宽参数的自动获取,开环系统奈奎斯特图与零极点分布图对比来判定系统稳定;第8章结合实例讲解了安全、可靠和有效地应用液压控制技术;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液压控制系统中的应用;第11章非线性控制系统,介绍了非线性液压控制系统,其中包括典型非线性液

压控系统的特点、非线性液压控制系统所研究的问题及其研究的方法,重点介绍分析非线性控制系统的时域特性、描述函数法,让学生掌握实际控制机构控制系统是包含非线性的,使学生开阔知识面;第12章介绍了离散控制系统的基本组成、工作过程和离散模型的建模特点,离散控制机构控制系统辅助设计,满足近年来脉冲技术、数字式元器件、数字电子计算机,特别是微处理机的迅速发展的需要,离散控制理论与技术成为现代大学生必须要掌握的内容。该教材对于本科生教学时数为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。本书的第3章由山东省潍坊市潍坊职业学院周荃完成,第2章和第11章由武汉理工大学黄靖编写,第12章由曹连民编写,其余章节由宋志安编写和统稿。

由于液压控制系统发展迅速,新型控制知识和新的分析方法层出不穷,加之作者水平有限,因此书中定有不当之处,敬请各位读者提出宝贵意见,在此深表谢意! 作者联系方式:songzhian2005@126.com.

编著者

2012年6月于青岛

第1版前言

液压伺服系统即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语言实现了伯德图和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~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、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,讲解了伯德图和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液压控制系统中的应用。该教材对于本科生教学学时为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	应用	41
1.1 液压控制系统的工作原理及组成	2	2.6 系统的频率特性	43
1.1.1 液压控制系统的工作原理	2	2.6.1 频率响应	43
1.1.2 液压控制系统的组成	4	2.6.2 频率特性伯德图示法	44
1.2 液压控制系统的分类	4	2.6.3 稳定裕度	46
1.3 液压控制系统的优缺点	5	2.6.4 稳态性能计算	48
1.3.1 液压伺服控制的优点	5	2.7 线性系统的根轨迹分析	50
1.3.2 液压伺服控制的缺点	6	2.7.1 二阶系统的根轨迹分析	50
1.4 液压控制系统的应用	6	2.7.2 根轨迹绘制原理	54
1.5 机电控制系统仿真基本概念	7	2.7.3 绘制根轨迹的 MATLAB 工具	54
1.6 液压控制系统的研究内容与研究方法	9	2.8 基于伯德图的系统综合与校正 ..	55
习题	11	2.8.1 相位超前校正	56
第 2 章 基于 MATLAB 的液压控制系统理论基础	12	2.8.2 相位滞后校正	60
2.1 引言	12	2.8.3 相位滞后—超前校正	63
2.2 液压控制系统的基本性质	12	习题	70
2.2.1 开环控制系统与闭环控制系统	12	第 3 章 液压控制阀	72
2.2.2 液压控制系统组成结构	14	3.1 圆柱滑阀的结构形式及分类	72
2.2.3 液压控制系统的品质要求	14	3.2 阀芯液压力	74
2.2.4 液压控制系统的典型输入信号	15	3.2.1 液体的压缩性分析	74
2.2.5 液压控制系统的常用研究方法	17	3.2.2 滑阀受力分析	76
2.3 液压控制系统的数学模型	17	3.2.3 滑阀的驱动力	80
2.4 MATLAB 的仿真集成环境 Simulink	32	3.3 液压桥路	80
2.4.1 传递函数方框图	32	3.4 滑阀静态特性的一般分析	84
2.4.2 仿真工具 Simulink	35	3.4.1 滑阀压力—流量方程的一般表达式	84
2.5 MATLAB/Simulink 在时域分析中的		3.4.2 滑阀的静态特性曲线	86
		3.4.3 阀的线性化分析和阀的系数 ..	87
		3.5 零开口四边滑阀的静态特性	88
		3.6 实际零开口四边滑阀的静态特性	91
		3.7 正开口四边滑阀的静态特性	93

3.8 双边滑阀的静态特性	95	5.2.3 稳定性计算举例	157
3.9 喷嘴挡板阀	98	5.3 影响稳定性的因素	162
3.9.1 单喷嘴挡板阀的静态特性	98	5.3.1 主要结构参数的影响	162
3.9.2 双喷嘴挡板阀的静态特性	101	5.3.2 结构刚度对稳定性的影响	162
3.9.3 作用在挡板上的液流力	108	5.4 动压反馈装置	166
3.9.4 喷嘴挡板阀的设计	110	5.5 液压转矩放大器	170
3.10 滑阀的输出功率及效率	111	5.5.1 结构原理	170
3.11 滑阀的设计	113	5.5.2 方框图及传递函数	171
3.11.1 结构形式的选择	113	5.5.3 液压转矩放大器稳定计算 举例	172
3.11.2 主要参数的确定	113	5.6 机液伺服系统的稳态误差	174
习题	115	5.6.1 跟随误差计算	175
第4章 液压动力机构	116	5.6.2 负载误差计算	176
4.1 液压动力机构与负载的匹配	116	5.6.3 影响系统工作精度的因素	177
4.1.1 负载的类型及特性	117	5.6.4 液压伺服系统稳态误差计算 举例	177
4.1.2 等效负载的计算	121	思考题	179
4.1.3 液压动力元件的输出特性	123	习题	179
4.1.4 动力机构与负载匹配	124	第6章 电液伺服阀	181
4.2 对称阀四通阀控对称液压缸	127	6.1 电液伺服阀的组成及分类	181
4.2.1 基本方程	127	6.1.1 电液伺服阀的组成	181
4.2.2 方块图与传递函数	129	6.1.2 电液伺服阀的分类	182
4.3 对称阀控非对称液压缸	137	6.2 力矩马达	183
4.4 四通阀控液压马达	142	6.2.1 力矩马达的分类及要求	183
4.5 三通阀控制液压缸	143	6.2.2 永磁动铁式力矩马达	184
4.5.1 基本方程	144	6.2.3 永磁动圈式力矩马达	188
4.5.2 传递函数	144	6.2.4 动铁式力矩马达与动圈式力矩 的比较	188
4.6 泵控液压马达	146	6.3 单级滑阀式电液伺服阀	188
4.6.1 基本方程	147	6.3.1 动铁式单级电液伺服阀	189
4.6.2 传递函数	148	6.3.2 动圈式单级电液伺服阀	196
4.6.3 泵控液压马达与阀控液压马 达的比较	149	6.4 力反馈两级电液伺服阀	198
思考题	149	6.4.1 工作原理	199
习题	150	6.4.2 基本方程与方块图	199
第5章 机液伺服系统	151	6.4.3 力反馈伺服阀的稳定性 分析	203
5.1 阀控液压缸外反馈机液位置伺 服系统	151	6.4.4 力反馈伺服阀的传递函数	207
5.2 机液伺服系统的稳定性分析	153	6.4.5 力反馈伺服阀的频宽	208
5.2.1 Routh 稳定判据	153		
5.2.2 机液伺服系统的稳定性判据和 稳定裕量	155		

6.4.6 力反馈伺服阀的静态特性·····	210	思考题·····	283
6.4.7 力反馈伺服阀的设计计算·····	210	习题·····	283
6.5 直接反馈两极滑阀式电液 伺服阀·····	213	第9章 液压能源 ·····	284
6.6 电液伺服阀的特性及主要的性能 指标·····	216	9.1 对油源品质的要求·····	284
6.6.1 静态特性·····	216	9.2 液压能源的基本形式·····	285
6.6.2 动态特性·····	219	9.3 恒压能源的动态分析和参数 选择·····	286
6.6.3 输入特性·····	219	9.3.1 定量泵—溢流阀恒压能源·····	286
思考题·····	220	9.3.2 变量泵—恒压能源·····	289
习题·····	221	9.4 液压能源与负载的匹配·····	291
第7章 电液伺服系统 ·····	222	9.5 油液污染及控制·····	292
7.1 电液伺服系统的类型·····	222	9.5.1 污染的危害·····	292
7.2 电液位置伺服系统的分析·····	223	9.5.2 油液污染的原因·····	293
7.3 电液伺服系统的校正·····	235	9.5.3 污染控制·····	293
7.3.1 滞后校正·····	235	9.5.4 过滤器·····	294
7.3.2 速度与加速度反馈校正·····	237	习题·····	297
7.3.3 压力反馈和动压反馈校正·····	239	第10章 液压系统的现代控制 方法 ·····	298
7.4 电液速度控制系统·····	240	10.1 最优二次型控制的基本理论·····	300
7.4.1 阀控马达速度控制系统·····	240	10.1.1 最优控制的基本内容与 定义·····	300
7.4.2 泵控马达速度控制系统·····	242	10.1.2 最优二次型的基·····	300
7.5 电液力控制系统·····	248	10.2 二次型优化理论在液压伺服 系统中的应用·····	302
思考题·····	256	10.3 负载干扰的补偿·····	305
习题·····	256	10.4 采用状态观测器实现干扰的 补偿·····	308
第8章 液压伺服系统设计 ·····	258	10.5 状态空间表达式的建立·····	314
8.1 液压伺服系统的设计步骤·····	258	10.5.1 由结构图模型建立状态空间 表达式·····	314
8.1.1 明确设计要求·····	258	10.5.2 由传递函数模型建立状态 空间表达式·····	317
8.1.2 拟定控制方案,画出系统 原理图·····	259	10.6 状态变换·····	321
8.1.3 确定液压动力元件参数,选择 系统元件·····	259	10.6.1 状态向量的非唯一性及特征 不变性·····	321
8.1.4 动态计算·····	262	10.6.2 常用标准型·····	323
8.1.5 检验系统静、态品质,需要时 对系统进行校正·····	262	10.6.3 MATLAB下建立状态空间	
8.2 电液位置伺服系统设计举例·····	262		
8.3 电液速度控制系统设计举例·····	275		

模型	326	11.5 非线性系统的相平面分析	366
10.7 系统能控性和能观性	327	11.5.1 具有分段线性的非线性 系统	367
10.7.1 能控性	328	11.5.2 继电器型非线性系统	368
10.7.2 能观性	329	11.6 非线性因素对稳定性的影响 ...	370
10.7.3 单输入系统的能控标准型和 能观标准型	331	11.7 利用 Simulink 仿真平台分析 非线性液压控制系统实例	376
10.7.4 基于 MATLAB 的能控性与 能观性分析	333	习题	383
10.8 李雅普诺夫稳定性与判别 方法	337	第 12 章 离散控制系统辅助设计	385
10.8.1 李雅普诺夫的稳定性判据 ...	337	12.1 概 述	385
10.8.2 线性定常系统的李雅普诺夫 稳定性分析	338	12.1.1 离散控制系统的基本组成 ...	385
10.8.3 基于 MATLAB 的李雅普诺夫 稳定性分析	338	12.1.2 数字控制系统工作过程	386
10.9 线性定常系统的设计与综合 ...	341	12.1.3 离散控制系统的基本特点 ...	386
10.9.1 状态反馈实现极点配置	341	12.1.4 离散控制系统的研究方法 ...	386
10.9.2 最优控制系统的设计	347	12.2 离散信号的数学描述	388
习题	350	12.2.1 采样过程及采样定理	388
第 11 章 非线性控制系统	354	12.2.2 保持器的数学描述	389
11.1 非线性系统概述	354	12.3 Z 变换	391
11.1.1 典型的非线性特性	354	12.3.1 离散信号的 Z 变换	391
11.1.2 非线性系统的特点	356	12.3.2 Z 变换和 Z 反变换的 MATLAB 实现	393
11.2 非线性元件的描述函数	357	12.4 离散控制系统的数学模型	395
11.2.1 描述函数的基本概念	357	12.4.1 离散系统的时域数学模型 ...	395
11.2.2 非线性元件描述函数	358	12.4.2 离散系统频域数学模型	397
11.3 用描述函数分析非线性控制 系统	361	12.5 离散控制系统分析	400
11.4 相轨迹	362	12.5.1 离散控制系统的稳定性	400
11.4.1 相轨迹的基本概念	362	12.5.2 采样周期与开环增益对稳定性 的影响	402
11.4.2 相轨迹的绘制	363	12.5.3 离散控制系统 MATLAB 时域 响应和频域响应	405
11.4.3 奇点的分类与极限环	365	12.6 频率特性和根轨迹设计	411
11.4.4 由相轨迹求系统的瞬态 相应	366	习题	416
		参考文献	418

第1章 绪论

本章简单介绍了液压控制系统的基本原理、组成、分类、特点及其应用等,要求学生熟悉液压传动系统与液压控制系统的主要区别、分类和组成等。

液压控制系统与液压传动系统相比,液压传动系统主要完成能量的转换与传递,输入和输出之间没有控制作用,在输出没有精度要求的情况下,可以采用液压传动系统;而液压控制系统除了具有液压传动系统的所有优点外,还具有高响应、高精度、大功率、系统刚度大以及抗干扰能力强等优点,见表1-1,在航天、航空、航海、兵器、矿山、冶金及民用等各方面都得到极其广泛的应用。如运载火箭的飞行控制、六自由度空间对接模拟装置、军用舰艇稳定平台控制系统、船用消摆系统、带钢跑偏控制系统、张力控制系统、数控机床、仿形刀架等均采用液压控制系统。

表1-1 液压控制系统与液压传动系统的比较

项目	液压传动系统	液压控制系统
系统功能	只能手动调速、加速和顺序动作。难以实现任一规律、连续的速度调节	可利用各种物理量的传感器对被控量进行检测和反馈,从而实现位置、速度、加速度、力和压力等各种物理量的自动控制
控制元件	采用调速阀或变量泵手动调节流量	采用伺服阀自动调节流量,伺服阀起到传动系统中的换向阀和流量控制阀的作用
工作原理	液压传动系统是开环系统,被控量与控制量之间无联系。控制量是流量控制阀的开度或变量泵的调节参数(偏角或偏心),被控量是执行机构的速度。对被控量不进行检测,系统没有修正执行机构偏差的能力。控制精度取决于元件的性能和系统正定的精度,控制精度较差,但调整简单。开环系统无反馈,因而不存在矫枉过正的问题,即不存在稳定问题,所以传动系统的调整容易	液压控制系统是闭环系统,可以对被控量进行检测并加以反馈。系统按偏差调节原理工作,并按偏差信号的方向和大小进行自动调整,即不管系统的扰动量和主路元件的参数如何变化,只要被控量的实际值偏离希望值,系统便按偏差信号的方向和大小进行自动调整。控制系统有反馈,具有抗干扰能力,因而控制精度高;但也存在矫枉过正带来的稳定性问题。所以要求较高的设计和调整技术
工作任务	驱动、调整	要求被控量能自动、稳定、快速、准确地复现输入指令的变化
性能指标	侧重于静态特性,主要性能指标有调速范围、低速平稳性、速度刚度和效率;特殊需要时,才研究动态特性	性能指标包括稳态性能和动态性能指标;动态性能指标包括超调量、震荡次数、上升时间、调整时间等;稳态性能指标指稳态误差

(续)

项目	液压传动系统	液压控制系统
工作特点	(1) 驱动力、转矩和功率大; (2) 易于实现直线运动; (3) 易于实现速度调节和力调节; (4) 运动平稳、快速; (5) 单位功率的质量小、尺寸小; (6) 过载保护简单; (7) 液压蓄能方便	除液压传动特点外,还有如下特点: (1) 响应速度高; (2) 控制精度高; (3) 稳定性容易保证
应用范围	· 要求实现驱动、换向、调速及顺序控制的场合	要求位置、速度、加速度、力或压力等各种物理量的自动控制场合

液压控制系统是在自动控制理论和液压传动系统基础上发展起来的,特别是数字计算机的迅速发展,电子技术的应用,现代控制理论、智能控制理论的发展,使得液压控制系统无论是在控制理论方面,还是在技术应用方面都日趋完善与成熟,并成为一门学科。液压控制系统中的液压控制系统数学模型的描述、动态和静态特性分析、稳定性判定方法、液压控制系统校正装置的设计、智能液压控制系统的研究等都与控制理论紧密相关。

1.1 液压控制系统的工作原理及组成

1.1.1 液压控制系统的工作原理

图 1-1 是一种液压举重装置,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,若此力 $F > Mg$,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的重物,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。

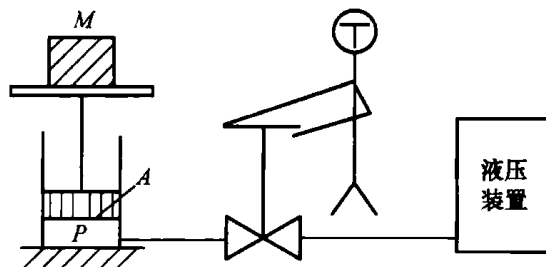


图 1-1 液压举重装置

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,四通滑阀的进油口被打开,于是重物开始上升,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,可见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,或者叫做液压控制系统。

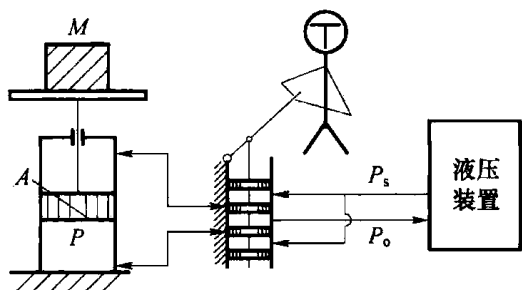


图 1-2 四通滑阀控制的举重装置

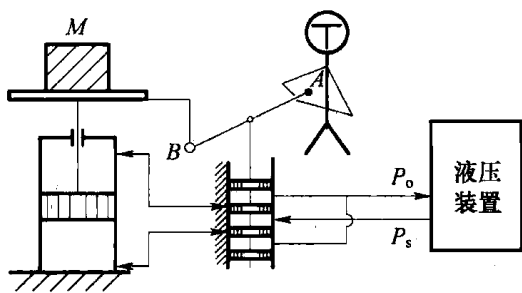


图 1-3 自动控制的举重装置

在这个系统中,输出位移之所以能自动、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。

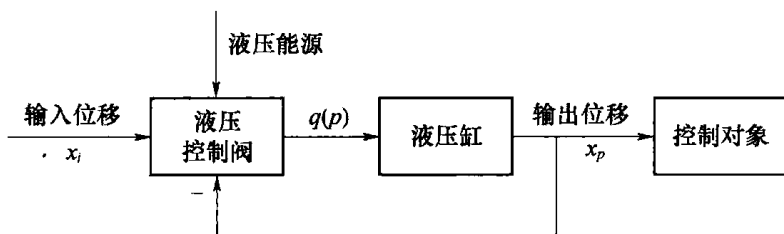


图 1-4 系统工作原理方块图

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,因此这是一个功率放大装置。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,所以也称机械液压控制系统。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控制系统。

1.1.2 液压控制系统的组成

液压伺服控制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,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。图 1-3 中的杠杆,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,如图 1-3 中的四通滑阀,又如伺服放大器、机液伺服阀、电液伺服阀等。

(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 液压控制系统的分类

液压控制系统可按下述原则分类。

1. 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,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我们可以控制很多物理量。而液压元件响应快、抗负载刚度大。电液结合后具有大的和广泛的灵活性,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。优点是响应快、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控制系统。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) 开环控制系统

输出量不进行反馈的称为开环控制系统。

1.3 液压控制系统的优缺点

液压伺服控制具有很多的优点,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

液压控制系统与其它类型的伺服系统相比,具有以下优点。

1. 液压元件的功率—重量比和力矩—惯量比(或力—质量比)大

可以组成结构紧凑、体积小、重量轻、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—重量比和力矩—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、重量轻,而输出力和力矩却很大,使功率—重量比和力矩—惯量比大。一般液压泵的重量只是同功率电机重量的 10% ~ 20%,尺寸为后者的 12% ~ 13%。液压马达的功率—重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,能高速启动、制动与反向。例如加速中等功率的电动机需一秒至几秒,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。与液压系统具有相同压力和负载的气动系统,其响应速度只有液压系统的 1/50。

3. 液压控制系统抗负载的刚度大

液压控制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,允许液压控制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,液压控制系统体积小、重量轻、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,液压控制系统还有一些优点: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

液压控制系统的缺点可归纳成下列几点。

(1) 液压信号传递速度慢,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) 液压控制系统的结构复杂、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控制系统的趋势。但液压控制系统也在不断向前发展,在未来的日子里,这两种系统都将会以各自的特点在相应的技术领域中发挥作用。

1.4 液压控制系统的应用

由于液压控制系统的突出优点,使得它在国民经济的各部门和国防建设等方面都得到了广泛的应用,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。

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,重量要轻,而成本又不是主要考虑因素,所以,液压伺服控制技术在这些部门得到了大量应用和发展。目前,在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重量轻,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控制系统。

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重量及结构尺寸,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. 高的可靠性

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,例如把这种机器应用于飞行器上,可靠性就是一个重要的课题。为了提高可靠性,除一方面对机器本身的研究与改良以及增加检测与诊断技术外,目前正在采用裕度技术与重构技术。

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近代控制策略。

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。这方面存在计算机速度问题、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。众所周知,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,产生了各种所谓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,降低了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 机电控制系统仿真基本概念

系统仿真作为一种特殊的试验技术,在20世纪30年代—90年代的半个多世纪中经历了飞速发展,到今天已经发展成为一种真正的、系统的实验科学。伴随第一台电子管电子计算机的诞生和以相似理论为基础的模拟技术的应用,仿真作为一种研究、发展新产品、新技术的科学手段,在航空、航天、造船、兵器等与国防科研相关的行业中首先发展起来,并显示了巨大的社会效益和经济效益。

仿真的基本思想是利用物理或数学的模型来类比模拟现实过程,以寻求对真实过程的认识,它所遵循的基本原则是相似性原理。

计算机仿真是基于所建立的系统仿真模型,利用计算机对系统进行分析与研究的技术与方法。

1. 模型

模型是对现实系统有关结构信息和行为的某种形式的描述,是对系统特征与变化规律的定量抽象,是人们认识事物的一种手段或工具。

模型可以分为以下三类。

(1) 物理模型:指不以人的意志为转移的客观存在的实体,如飞机研制中的飞行模