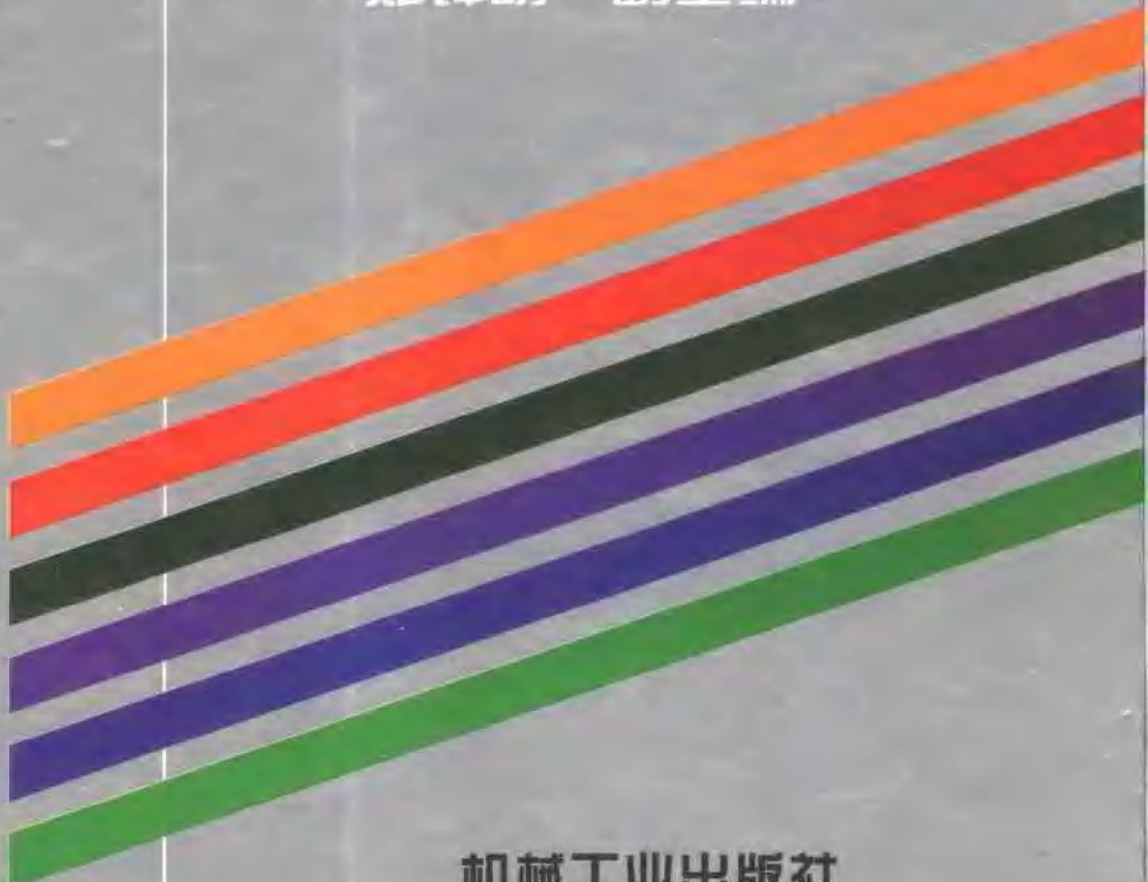


液压气动系统 设计手册

张利平 主 编
邓钟明 副主编



机械工业出版社

液压气动系统设计手册

主 编：张利平

副 主 编：邓钟明

参编人员：侯国维 周兰午

李英波 赵保兰

主 审：聂崇嘉



机械工业出版社

内 容 简 介

本手册分为“液压系统设计”和“气动系统设计”两大部分。重点介绍液压气动系统的设计方法;电液控制系统和气动逻辑控制回路的设计;以及液压气动系统的可编程序控制器(PC)控制;气动系统的气源设计等。书中还介绍了与液压气动设计有关的液压气动元(辅)件的设计与选用;液压气动系统的节能技术;噪声、泄漏和污染控制等以及液压气动系统的安装、调试与故障诊断等液压、气动设备设计和使用、维修人员经常关心的问题。

本手册可供液压气动系统的设计、调试人员及大专院校有关专业师生使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压气动系统设计手册/张利平主编. —北京:机械工业出版社, 1997. 6
ISBN 7-111-05519-5

Ⅰ. 液… Ⅱ. 张… Ⅲ. ①液压系统-系统设计-技术手册
②气压传动-系统设计-技术手册 IV. TH13-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 02916 号

出 版 人: 马九荣(北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 盛君豪 版式设计: 霍永明 责任校对: 孙志筠

封面设计: 郭景云 责任印制: 王国光

三河市宏达印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

1997 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16 · 43.75 印张 · 2 插页 · 1065 千字

0 001—5000 册

定价: 70.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

近年来, 液压及气动技术发展很快, 其应用领域也在迅速扩大, 几乎遍及国民经济的各个部门。随着应用范围的扩大和技术的进步, 各应用领域对液压、气动系统提出了越来越高的要求。由于液压、气动设备技术经济性能的优劣在很大程度上取决于系统设计的合理与否, 因此, 液压气动设备的设计人员都十分关注液压及气动系统的设计问题。然而, 目前专门介绍液压气动系统设计的书籍较少。为了适应现代化建设及工程技术人员需要, 提高液压气动系统的设计水平, 我们在总结教学、科研和工程实践经验的基础上, 参考了近年来国内外发表的大量文献, 编写了这本《液压气动系统设计手册》。

本手册共分四个部分。概论部分从总体上阐述了液压及气动系统的组成与分类、液压及气动技术的特点和应用, 回顾并预测了液压及气动技术的国内外发展概况和趋势。

手册的第1篇为“液压系统设计”, 重点介绍了液压传动系统和电液控制(电液伺服控制和电液比例控制)系统的设计流程、方法和举例。除液压系统基本计算和基本回路等内容外, 对液压系统的集成化方法、液压泵站设计、液压系统的电气控制、密封与污染控制、液压系统的节能技术、冲击、振动和噪声控制、安全保护与防干扰措施、液压系统的安装调试及故障诊断方法等内容均作了比较详细的介绍。

手册的第2篇为“气动系统设计”, 重点介绍了气动控制回路和气动系统的设计流程、方法和举例。除气动系统基本计算和基本回路等内容外, 对真空元件和技术、气动系统元件选择、气动系统的可编程序控制、气动系统的节能设计、安装调试及故障诊断等内容均作了比较详细的介绍。

手册的附录部分, 编入了与液压、气动系统设计相关的一些常用国家标准或部颁标准。为了设计时查阅方便, 在液压系统的密封与污染控制一章中收录了有关密封的一些常用标准。

鉴于目前液压、气动元件的产品系列、品种繁杂, 更新换代较快, 为节约篇幅, 本手册从“系统设计”的特点和实际出发, 对于组成系统的各种液压、气动元件仅从系统设计角度, 着重介绍其主要性能、选用要点及注意事项, 并不过多涉及其结构组成、工作原理及产品介绍等内容(液压缸和气缸除外), 设计人员可根据具体设计对象, 通过向液压、气动元器件生产厂商(公司)索取产品样本或查阅相关手册进行选型。

参加本手册编写的有: 张利平(概论、第6章第1节、第7、9、10、13章)、侯国维(第1章、第6章第2节、第14章)、李英波(第2、11、12、15、16章)、周兰午(第3、4、5章、附录)、赵保兰(第8章)、邓钟明(第17、18、19章)。全书的汇总和统稿工作由张利平完成。本手册由聂崇嘉教授主审。

在本手册编写过程中, 我们得到了机械工业出版社、河北科技大学、上海铁道大学、机械部北京工业自动化研究所、机械部装备司、中国液压气动密封件工业协会、全国液压气动标准化委员会、广州机床研究所及《机床与液压》杂志编辑部、榆次液压件厂、石家庄液压件

厂等液压(气动)元件厂(公司),以及柴仲铨、周文、周庆熊、陈延康、苏敏恭、马忠、李世伟等同志的大力支持与帮助,在此,对上述单位和个人及参考文献的各位作者一并致以衷心感谢。

对于本手册中存在的错漏之处,欢迎广大读者批评指正。

张利平

1996年3月于石家庄

目 录

前言

概论..... 1

1 液压气动系统的组成与分类..... 1

1.1 传动的类型..... 1

1.2 液压及气动系统..... 1

2 液压及气动技术的特点和应用..... 2

2.1 液压及气动技术的特点..... 2

2.2 液压及气动技术的应用..... 4

3 液压及气动技术的发展..... 5

3.1 液压技术的发展概况..... 5

3.2 气动技术的发展概况..... 6

3.3 我国液压及气动技术的发展概况和目前的水平..... 6

第一篇 液压系统设计

第1章 液压系统基本计算..... 9

1 管路系统能量损失的计算..... 9

1.1 管道液流流态..... 9

1.1.1 层流..... 9

1.1.2 紊流..... 9

1.2 管道液流流态的判别..... 9

1.2.1 雷诺数..... 9

1.2.2 水力直径..... 9

1.2.3 临界雷诺数和流态判别..... 10

1.3 圆管中的流速分布和流量..... 10

1.3.1 圆管中的层流..... 10

1.3.2 圆管中的紊流..... 10

1.4 沿程压力损失..... 12

1.4.1 圆管中的沿程压力损失..... 12

1.4.2 非圆管的沿程压力损失..... 13

1.4.3 不同管道的当量粗糙度..... 13

1.5 局部压力损失..... 15

1.5.1 局部压力损失公式..... 15

1.5.2 局部压力损失因数..... 15

1.5.3 局部压力损失的当量长度..... 21

1.6 压力损失的叠加..... 23

1.7 管路系统压力损失和压力效率..... 23

1.7.1 管道中的平均流速..... 23

1.7.2 管道直径的确定..... 24

1.7.3 短管和长管..... 24

1.7.4 管路的稳态特性..... 24

1.7.5 串联管路系统压力损失的计算..... 25

1.7.6 并联管路系统压力损失的计算..... 25

1.7.7 管路系统的压力效率..... 25

1.8 管路系统的容积损失和容积效率..... 25

1.8.1 泄漏的几种形式..... 26

1.8.2 缝隙和细长小孔处泄漏量的计算..... 26

1.8.3 缝隙泄漏的定性概念..... 28

1.8.4 容积损失和容积效率..... 28

1.9 管路系统的总效率..... 28

2 液压元件的选择计算..... 28

2.1 液压泵的计算..... 28

2.2 液压马达的计算..... 29

2.3 液压缸的计算..... 29

2.3.1 液压缸的作用力..... 29

2.3.2 液压缸活塞杆的平均速度..... 30

2.3.3 液压缸的作用时间和储油量..... 30

2.4 气囊式蓄能器的计算..... 30

2.4.1 蓄能器充气压力的确定..... 30

2.4.2 气囊式蓄能器总容积的计算..... 31

3 液压冲击计算..... 36

3.1 冲击波的传播速度..... 37

3.2 液压冲击的最大压力升高值的计算..... 37

3.2.1 迅速关闭(或/打开)液流通道时..... 37

3.2.2 急剧改变液压缸及其所带负载的速度时..... 38

4 液压系统的发热和温升计算..... 39

4.1 液压系统发热功率计算方法之一..... 39

4.1.1 各部位的发热功率..... 39

4.1.2 系统总发热功率..... 39

4.2 液压系统发热功率计算方法之二..... 40

4.3 液压系统散热计算..... 40

1.4 液压系统的热平衡	40	1.2 液压缸的设计计算步骤	74
第2章 液压系统基本回路	41	1.3 液压缸主要参数及尺寸的确定	75
1 方向控制回路	41	1.3.1 缸筒内径的确定	75
1.1 换向回路	41	1.3.2 缸筒壁厚的计算	75
1.2 锁紧回路	42	1.3.3 活塞杆直径的计算	76
2 压力控制回路	43	1.3.4 最小导向长度的确定	78
2.1 调压回路	43	1.4 液压缸推力和流量计算	79
2.2 减压回路	44	1.4.1 液压缸推力计算	79
2.3 增压回路	45	1.4.2 液压缸的效率	79
2.4 卸载回路	46	1.4.3 液压缸的负载率	79
2.5 保压、泄压回路	48	1.4.4 液压缸的流量	79
2.6 平衡回路	49	1.5 液压缸进、出油口尺寸的确定	79
2.7 缓冲回路	50	1.6 液压缸结构设计	80
3 速度控制回路	51	1.6.1 缸筒	80
3.1 节流调速回路	51	1.6.2 活塞	83
3.2 容积调速回路	53	1.6.3 活塞杆	85
3.3 容积节流联合调速回路	54	1.6.4 导向环	85
3.4 多泵分级调速回路	54	1.6.5 活塞杆导向套	87
3.5 速度变换回路	55	1.6.6 缓冲装置	88
3.5.1 增速回路	55	1.6.7 排气装置	89
3.5.2 减速回路	56	1.7 液压缸主要零件的材料和技术	
3.5.3 二次进给回路	56	要求	89
4 多执行元件动作回路	57	1.7.1 缸筒	89
4.1 顺序动作回路	57	1.7.2 缸盖	91
4.1.1 压力控制顺序动作回路	57	1.7.3 活塞	92
4.1.2 行程控制顺序动作回路	57	1.7.4 活塞杆	92
4.1.3 时间控制顺序动作回路	58	1.8 液压缸标准系列	92
4.1.4 负载控制顺序动作回路	58	1.8.1 工程液压缸系列	92
4.2 同步动作回路	58	1.8.2 冶金设备用液压缸系列	94
4.3 防干扰回路	62	1.8.3 车辆用液压缸系列	96
5 液压马达控制回路	63	1.8.4 农机用液压缸系列	97
5.1 液压马达串并联回路	63	1.8.5 TG、TSG 型自卸汽车用多	
5.2 液压马达制动和缓冲回路	64	级液压缸	100
6 蓄能器回路	65	2 液压马达	101
7 插装阀液压回路	65	2.1 液压马达的分类	101
7.1 方向控制回路	65	2.2 液压马达的性能	101
7.2 压力控制回路	67	2.2.1 液压马达的主要技术性能	101
7.3 流量控制回路	68	2.2.2 常用液压马达技术参数	102
7.4 复合控制回路	69	2.3 液压马达的计算与选择	104
第3章 液压执行元件	70	2.3.1 液压马达主要工作参数	
1 液压缸	70	的计算	104
1.1 液压缸的类型、安装方式及典型结构	70	2.3.2 液压马达的选择和使用	
		注意事项	105

3 摆动液压马达	105
3.1 摆动液压马达的分类	105
3.2 几种摆动液压马达的技术规格	110
3.3 摆动液压马达的选择	110

第4章 液压控制元件及系统

集成化	111
1 液压控制阀	111
1.1 液压控制阀的分类	111
1.2 液压控制阀的基本参数	112
1.2.1 中、低压液压控制阀	112
1.2.2 中、高压液压控制阀	115
1.2.3 高压液压控制阀	118
1.3 液压控制阀的选择	123
1.3.1 压力控制阀的选择原则	123
1.3.2 流量控制阀的选择原则	124
1.3.3 方向控制阀的选择原则	124
2 液压元件的连接方式	125
2.1 液压装置的总体布置	125
2.1.1 集中式布置	125
2.1.2 分散式布置	125
2.2 液压元件的连接	125
2.2.1 管式连接	125
2.2.2 板式连接	125
2.2.3 集成式连接	126
3 液压管路及其连接	127
3.1 管路的种类及材料	127
3.2 油管尺寸的确定	128
3.2.1 油管的内径	128
3.2.2 金属油管的壁厚	128
3.2.3 钢管通径、外径、壁厚及 推荐流量	128
3.2.4 橡胶软管的选择	129
3.3 管接头的结构及选择	132
3.3.1 卡套式管接头	132
3.3.2 焊接式管接头	134
3.3.3 扩口式管接头	135
3.3.4 钢丝编织胶管接头	138
3.3.5 三瓣式胶管接头	139
3.3.6 快换接头	140
3.3.7 其它管接头	141
3.3.8 管接头零件	143
3.4 其它管件	145

3.4.1 螺塞	145
3.4.2 管夹	149
3.5 液压管路的连接方法	150
3.5.1 焊接	150
3.5.2 螺纹连接	150
3.5.3 法兰连接	151
4 块式集成	153
4.1 块式集成的特点	153
4.2 块式集成的设计步骤	153
4.2.1 绘制集成块单元回路图	153
4.2.2 布置液压元件	154
4.2.3 绘制集成块加工图	154
4.2.4 绘制装配外形图	154
4.3 集成块系列及SK系列集成液 压回路块	154
4.4 集成块的设计要点	161
4.4.1 公用油道孔的选定	161
4.4.2 油孔直径的确定	161
4.4.3 油孔间的最小壁厚	161
4.4.4 通道块的高度	162
4.4.5 通道块的外形尺寸	162
4.4.6 元件在通道块上的布置	162
4.4.7 集成块的材料及主要技术 要求	163
4.5 集成块的计算机辅助设计与校核	163
5 叠加阀式集成	164
5.1 叠加阀式集成的特点	164
5.2 叠加阀集成底板块	164
5.3 叠加阀系列型谱	165
5.4 叠加阀式液压系统设计注意事项	174
6 插装式集成	175
6.1 插装阀的工作原理与特点	175
6.2 插装阀的结构	175
6.2.1 插入元件	176
6.2.2 控制盖板	176
6.2.3 通道块	176
6.3 插装阀系列 I	177
6.4 插装阀系列 II	183

第5章 液压泵站

1 液压泵站的分类及组成	187
1.1 液压泵站的分类	187
1.2 液压泵站的组成	189

2 液压介质的性能和应用	189	4.4.2 液位计	208
2.1 液压系统对工作介质的要求	189	5 控温组件	208
2.1.1 粘性	190	5.1 温度显示元件	209
2.1.2 粘度-温度特性	190	5.2 冷却器	209
2.1.3 润滑性	190	5.2.1 冷却器的分类	209
2.1.4 防锈性	190	5.2.2 冷却器的技术参数	210
2.1.5 抗氧化性	190	5.2.3 冷却器的计算	213
2.1.6 抗乳化性	190	5.2.4 冷却器的安装	214
2.1.7 抗泡沫性	190	5.3 加热器	216
2.1.8 凝固点	191	5.3.1 利用流体阻力损失加热	216
2.1.9 体积弹性模量	191	5.3.2 采用加热器加热	216
2.1.10 与密封材料的相容性	191	5.4 油温调节简介	217
2.1.11 其它要求	191	5.4.1 水冷式油冷却器的油温调节	217
2.2 液压工作介质的分类、命名 及代号	191	5.4.2 风冷式油冷却器的油温调节	217
2.3 常用工作介质的组成、特性及 主要应用	193	5.4.3 对冷却器的进排油管旁路 调节油温	217
2.4 工作介质的选择	194	6 蓄能器组件	217
2.4.1 介质种类的选择	194	6.1 蓄能器的功用	217
2.4.2 介质粘度的选择	195	6.2 蓄能器的分类及特点	218
2.4.3 其它	195	6.3 蓄能器的计算和选择	220
3 液压泵及泵组的连接方式	196	6.4 蓄能器的安装及使用	221
3.1 液压泵的分类	196	7 过滤器组件	221
3.2 液压泵的性能及用途	196	7.1 过滤器的结构和分类	221
3.3 液压泵的选择	200	7.2 过滤器的技术参数	222
3.3.1 选择原则	200	7.2.1 网式过滤器	222
3.3.2 液压泵的类型选择	200	7.2.2 线隙式过滤器	223
3.3.3 液压泵的压力选择	200	7.2.3 纸质过滤器	224
3.3.4 液压泵的流量选择	200	7.2.4 烧结式过滤器	225
3.4 泵组的连接方式	201	7.2.5 磁性烧结式过滤器	226
3.4.1 原动机的选择	201	7.3 过滤器的选择和使用	227
3.4.2 联轴器	201	7.3.1 过滤器的性能指标	227
3.4.3 传动底座	202	7.3.2 过滤器的选择	227
4 油箱组件	202	8 测压组件	228
4.1 油箱的作用及分类	202	8.1 压力表及压力表开关	229
4.2 油箱容积的确定	204	8.2 压力传感器	230
4.2.1 按使用情况确定油箱容量	204	第6章 液压系统的密封	
4.2.2 按系统发热与散热关系确定 油箱容量	204	与污染控制	233
4.3 油箱的结构	206	1 液压系统的密封与泄漏控制	233
4.4 空气过滤器及液位计	208	1.1 密封的功用及类型	233
4.4.1 空气过滤器	208	1.2 密封件分类与密封件材料	233
		1.3 密封的基本原理及密封装置 设计要点	234

1.3.1	密封的基本原理	234
1.3.2	影响密封性能的主要因素	236
1.3.3	密封装置的设计要点	236
1.4	静密封装置	236
1.4.1	静密封用 O 形圈的密封机理 及密封结构设计	237
1.4.2	密封垫圈	237
1.4.3	液态密封胶的密封作用 及使用	238
1.4.4	密封带及其使用	239
1.5	往复运动密封装置	239
1.5.1	往复运动密封用 O 形圈的密封 机理及性能	240
1.5.2	采用唇形密封圈的往复运动 密封装置	240
1.5.3	往复运动防尘密封装置	243
1.6	旋转运动密封装置	245
1.6.1	旋转运动密封用 O 形圈的 特点及使用	245
1.6.2	唇形密封圈和旋转运动 密封装置	245
1.6.3	回流型密封简介	247
1.6.4	旋转运动防尘密封装置	248
1.7	密封件的装配和保存	249
1.8	密封件及其密封装置常用标准	251
1.8.1	液压气动用 O 形橡胶密封圈	251
1.8.2	X 形橡胶密封圈	257
1.8.3	液压缸动密封用 KY 形 橡胶密封圈	259
1.8.4	V 形夹织物橡胶密封圈	263
1.8.5	橡胶防尘密封圈	267
1.8.6	液压缸活塞和活塞杆动密封沟槽 形式、尺寸和公差	271
1.8.7	液压缸活塞用带支承环密封沟槽 形式、尺寸和公差	274
1.8.8	液压缸活塞杆用防尘圈沟槽 形式、尺寸和公差	276
1.8.9	旋转轴唇形密封圈	281
1.9	液压系统的泄漏控制	283
1.9.1	泄漏形式及泄漏量计算	283
1.9.2	液压元件的泄漏指标	283
1.9.3	液压系统泄漏的主要部位 及泄漏原因	284

1.9.4	液压系统泄漏控制的 基本准则	284
1.9.5	液压系统泄漏的排除方法	285
2	液压系统的污染控制	286
2.1	液压系统的污染分析	286
2.1.1	污染物种类及其危害	286
2.1.2	油液中水和空气含量的测定	286
2.1.3	油液中颗粒污染物的鉴别	287
2.1.4	油液污染度的测定	287
2.1.5	油液污染度等级	288
2.1.6	油液的取样	289
2.2	液压元件的污染耐受度	289
2.2.1	液压元件失效方式	289
2.2.2	元件污染敏感度	290
2.2.3	元件污染耐受度	291
2.3	液压系统的污染控制	291
2.3.1	污染控制的主要措施	291
2.3.2	元件和系统的清洗及清 洁度的评定	291
2.3.3	防止污染物侵入的措施	292
2.3.4	油液过滤与净化	292

第 7 章 液压系统设计中需要重视的几个问题

1	节能技术	295
1.1	概述	295
1.2	液压系统的能耗分析和节能途径	295
1.3	液压系统的节能设计方法	296
1.3.1	改善和提高系统的能量匹配 及转换效率	296
1.3.2	改善和提高液压回路效率	298
1.3.3	其它节能技术措施	303
2	液压冲击、振动和噪声控制	309
2.1	液压冲击的控制	309
2.1.1	液压冲击产生的原因 及其危害	309
2.1.2	液压冲击的计算	309
2.1.3	防止液压冲击的措施	309
2.2	振动与噪声控制	310
2.2.1	振动机理	310
2.2.2	噪声的产生和传播	311
2.2.3	噪声的度量及容许标准	311
2.2.4	噪声测试	315

2.2.5 液压噪声控制	318	1.3.3 计算液压执行元件所需 最大流量	371
2.2.6 液压系统噪声控制措施 汇总表	322	1.3.4 编制液压执行元件的工况图	372
3 安全保护与防干扰	323	1.4 拟定液压系统图	373
3.1 安全保护	323	1.4.1 液压回路的选择	373
3.1.1 安全回路	323	1.4.2 液压系统的合成	375
3.1.2 其它安全保护措施	324	1.5 选择和设计液压元件	375
3.2 防干扰	325	1.5.1 液压泵的选择	376
第8章 液压系统的电气控制	326	1.5.2 液压执行元件的选择与设计	377
1 液压系统的继电接触式控制	326	1.5.3 选择液压控制阀	377
1.1 基本电气元件及符号	326	1.5.4 选择液压辅助元件和液压油	377
1.2 典型继电接触式控制电路	327	1.6 验算液压系统技术性能	377
1.3 继电接触式控制系统的设计	327	1.6.1 系统压力损失验算	377
2 液压系统的微机控制	329	1.6.2 系统效率 η 的估算	377
2.1 概述	329	1.6.3 系统发热与温升验算	378
2.2 可编程控制器的特点和选择	329	1.6.4 液压冲击验算	378
2.3 可编程控制器的编程方法	332	1.7 设计电气控制系统	378
2.3.1 PC的编程语言	332	1.8 确定液压装置的结构形式和元件 配置方式	378
2.3.2 可编程控制器的硬件框图 及各部分作用	333	1.9 绘制正式工作图, 编制技术文件	379
2.3.3 可编程控制器的内部元器件	335	1.10 液压系统的安装调试	379
2.3.4 基本逻辑指令及梯形图编程	340	2 液压传动系统设计举例——组合 机床液压传动系统设计	379
2.3.5 步进梯形指令及功能图编程	353	2.1 明确液压系统设计的要求	379
2.4 可编程控制系统的设计	356	2.2 工况分析	379
2.4.1 设计步骤	356	2.3 确定主要参数	380
2.4.2 设计举例	357	2.4 拟定液压系统图	381
2.5 工业控制机在液压系统中的 应用概况	365	2.5 选择液压元、辅件	382
2.5.1 单片计算机原理及应用	365	2.5.1 液压泵	382
2.5.2 标准总线	367	2.5.2 液压控制阀和辅助元件	383
2.5.3 单片机 STD 总线工业控制机	368	2.5.3 油箱	383
第9章 液压传动系统设计	369	2.5.4 油管	384
1 液压传动系统的设计流程	369	2.6 验算液压系统技术性能	384
1.1 明确液压系统设计的要求	369	2.6.1 验算压力损失	384
1.2 工况分析	370	2.6.2 估算系统效率、发热和温升	385
1.2.1 动力分析	370	2.7 电气控制系统设计	385
1.2.2 运动分析	370	3 液压传动系统的计算机 辅助设计简介	385
1.3 确定主要参数, 编制液压执行 元件工况图	371	3.1 概述	385
1.3.1 液压系统工作压力的选择	371	3.2 CAD系统的组成、类型及配置	386
1.3.2 计算液压执行元件的主要 几何参数	371	3.2.1 CAD系统的组成	386
		3.2.2 CAD系统的类型及其硬件配置	387

3.2.3 CAD 系统软件	388	3.3.1 液压系统的特点	412
3.3 CAD 在液压传动系统中的应用	388	3.3.2 液压系统实例(TY180 型推土机 液压系统)	412
3.3.1 设计和绘制液压系统原理图	388	4 液压电梯液压传动系统	414
3.3.2 液压系统静态特性分析计算 和信息管理	388	4.1 概述	414
3.3.3 设计专用液压元件并自动绘制 零部件图	389	4.2 液压系统的特点	415
3.3.4 液压集成块的设计和校验	389	4.2.1 系统主要设计参数	415
3.3.5 设计和绘制液压系统管道 装配图	389	4.2.2 安全保护及降噪措施	415
3.3.6 分析或预测液压系统的动 态特性	390	4.3 液压系统实例(开关控制阀节流调速 液压电梯系统)	415
第 10 章 液压传动系统实例	391	第 11 章 电液控制系统设计流程	417
1 金属切削机床液压传动系统	391	1 电液控制系统的类型及特点	417
1.1 概述	391	1.1 电液伺服控制系统	417
1.2 组合机床液压传动系统	391	1.1.1 电液伺服阀	417
1.2.1 滑台对液压系统性能的要求	391	1.1.2 电液伺服系统的构成、分类 及特点	417
1.2.2 液压系统的特点	391	1.2 电液比例控制系统	418
1.2.3 液压系统实例(多缸互不干扰 节能液压系统)	392	1.2.1 电液比例阀	419
1.3 数控加工中心液压传动系统	393	1.2.2 电液比例控制系统的构成、 分类及特点	420
1.3.1 液压系统的特点及要求	393	1.3 电液控制系统类型的选择	420
1.3.2 液压系统实例(卧式镗铣加工 中心液压系统)	394	2 电液控制系统设计流程	420
2 液压机和注塑机液压传动系统	397	2.1 明确设计要求	421
2.1 液压机液压传动系统	397	2.1.1 负载条件	421
2.1.1 液压系统的特点	397	2.1.2 控制性能	421
2.1.2 液压系统实例(插装阀式液压机 液压系统)	399	2.1.3 工作环境及其它要求	421
2.2 注塑机液压传动系统	401	2.2 拟定控制方案	421
2.2.1 液压系统的特点	402	2.2.1 确定反馈形式	422
2.2.2 液压系统实例 1(电液开关控制 注塑机液压系统)	402	2.2.2 确定动力元件类型	422
2.2.3 液压系统实例 2(电液比例控制 注塑机液压系统)	406	2.3 液压动力元件设计	425
3 工程机械液压传动系统	407	2.3.1 绘制负载轨迹	425
3.1 概述	407	2.3.2 供油压力选择	426
3.2 单斗液压挖掘机液压传动系统	408	2.3.3 传动比的确定及等效 负载计算	426
3.2.1 液压系统的特点	408	2.3.4 执行元件参数计算	427
3.2.2 液压系统实例(1m ³ 履带式全 液压单斗挖掘机液压系统)	410	2.3.5 确定伺服阀(或变量泵)规格	428
3.3 推土机液压传动系统	412	2.4 伺服放大器及反馈传感器的选择	429
		2.4.1 反馈传感器的选择	429
		2.4.2 伺服放大器的选择	431
		2.5 系统动静态性能计算	432
		2.5.1 确定各组成元件的动态特性	432
		2.5.2 系统方块图和开环传递函数	436

2.5.3 绘制频率特性曲线, 确定系统 开环增益	440
2.5.4 性能指标验算	440
2.6 系统综合及校正	443
2.6.1 良好伺服系统的开环波德图	444
2.6.2 串联校正装置的设计	444
2.6.3 局部反馈校正装置	447
2.6.4 串联校正和局部反馈校正 的综合	449
2.7 系统安装调试	449
2.7.1 电液控制系统的安装	449
2.7.2 电液控制系统的调试	452
2.8 设计电液比例控制系统应注意的 问题	453
2.8.1 设计闭环电液比例系统应 注意的问题	453
2.8.2 设计开环电液比例系统应 注意的问题	454
第12章 电液控制系统设计实例	457
1 电液伺服控制系统设计实例 (带钢跑偏控制系统)	457
1.1 主机工作情况及设计要求	457
1.1.1 主机结构及工艺过程	457
1.1.2 主机参数及设计要求	458
1.2 拟定控制方案	458
1.3 液压动力元件设计	460
1.3.1 绘制负载轨迹	460
1.3.2 选取供油压力	460
1.3.3 执行元件参数计算	460
1.3.4 确定电液伺服阀规格	460
1.4 系统的动静态性能计算	461
1.4.1 系统方块图和开环传递函数	461
1.4.2 绘制频率特性曲线, 确定系统 开环增益	463
1.4.3 性能指标验算	463
2 电液比例控制系统设计实例(阀控缸 开环比例速度控制系统)	464
2.1 主机参数及设计要求	464
2.2 拟定控制方案	465
2.3 比例阀机能及阀控缸配用形式 的选择	465
2.4 系统压力的选择	465

2.5 比例阀通径的选择	466
2.6 系统加减速时间的选择	467
2.7 液压缸工作面积的选择	468

第13章 液压系统安装调试、

故障诊断与维护	469
1 液压系统的安装	469
1.1 液压元件和管件的质量检查	469
1.1.1 外观检查与要求	469
1.1.2 液压元件的拆洗与测试	469
1.2 液压元件和管道安装	470
1.2.1 液压元件的安装	470
1.2.2 管道安装	470
2 液压系统的调试	472
2.1 压力试验	472
2.1.1 空运转	473
2.1.2 压力试验	473
2.2 调试与试运转	473
2.2.1 泵站调试	473
2.2.2 系统调试	474
3 液压系统的使用	474
4 液压系统的故障诊断及维护	475
4.1 调试中出现的故障	475
4.1.1 调试前的准备	475
4.1.2 调压时可能出现的故障 及消除方法	476
4.1.3 调试液压泵时出现的 异常现象	476
4.1.4 调试执行元件和相关控制阀时的 故障及其排除方法	477
4.1.5 辅助元件的调试	479
4.2 运行中出现的故障	481

第二篇 气动系统设计

第14章 气动系统基本计算	485
1 空气及其特性	485
1.1 空气的组成	485
1.2 空气的密度	485
1.3 空气的粘度	486
1.4 空气的压缩性与热膨胀性	486
2 理想气体及其状态方程	486
2.1 等容状态过程	486
2.2 等压状态过程	487

2.3 等温状态过程	487	第 15 章 气动系统基本回路	501
2.1 绝热状态过程	488	1 换向回路	501
2.5 多变状态过程	488	1.1 单作用气缸换向回路	501
3 湿空气	488	1.2 双作用气缸换向回路	501
3.1 湿度	489	2 压力控制回路	502
3.1.1 绝对湿度	489	3 力(力矩)控制回路	503
3.1.2 饱和绝对湿度	489	4 速度控制回路	504
3.1.3 相对湿度	489	4.1 单作用缸速度控制回路	504
3.2 含湿量	489	4.2 双作用缸速度控制回路	504
3.2.1 质量含湿量	489	4.3 气液传动速度控制回路	505
3.2.2 容积含湿量	490	5 位置控制回路	506
4 自由空气流量及析水量	491	6 往复及程序动作控制回路	508
4.1 自由空气流量	491	7 时间控制回路	509
4.2 析水量	491	7.1 延时回路	510
5 气体流动基本方程	491	7.2 脉冲回路	510
5.1 连续性方程(可压缩流体)	491	8 其它常用回路	511
5.2 伯努利方程(可压缩流体)	492	8.1 双手操作回路	511
5.3 有机机械功的伯努利方程(可 压缩流体)	492	8.2 多信号先入优先回路	512
6 声速、马赫数及气体流动类型	492	8.3 计数回路	512
6.1 声速	492	8.4 振荡和冲击回路	514
6.2 马赫数	493	8.5 同步动作回路	515
6.3 气流类型	493	9 双稳回路	516
7 气体在变截面管道中的流动特性	493	10 比例及伺服控制回路	517
8 节流孔及气动元件的有效截面积	494	11 气液复合传动回路	517
8.1 节流孔的有效截面积	494	11.1 转换器回路	518
8.2 气动元件的有效截面积	494	11.2 气液增压器回路	518
9 气动元件串联和并联时的有效 截面积	495	12 基本逻辑回路	518
10 不可压缩气体通过节流孔的 流量	495	13 真空吸附回路	520
11 可压缩气体通过节流孔的流量	495	13.1 真空泵真空吸附回路	520
12 气罐(容器)充、放气的温度 和时间的计算	496	13.2 真空发生器真空吸附回路	520
12.1 气罐充气温度和时间的计算	496	第 16 章 气动执行元件	522
12.2 气罐放气温度和时间的计算	497	1 气动执行元件的分类	522
13 气阻和气容	498	2 气缸	522
13.1 气阻	498	2.1 气缸的类型、安装方式及 典型结构	522
13.1.1 线性气阻	499	2.2 气缸的设计计算步骤	526
13.1.2 非线性气阻	499	2.3 气缸主要参数及尺寸的确定	527
13.2 气容	500	2.3.1 活塞杆输出力和缸径的计算	527
		2.3.2 缸筒壁厚的计算	527
		2.3.3 活塞杆直径的计算	527
		2.3.4 缓冲计算	529

2.3.5 气缸进排气口的计算	531	1 气动控制元件	552
2.3.6 耗气量的计算	532	1.1 压力控制阀	552
2.4 气缸的结构设计	532	1.1.1 减压阀	552
2.4.1 缸筒	532	1.1.2 顺序阀	557
2.4.2 缸盖	532	1.1.3 安全阀	557
2.4.3 缸筒与缸盖的连接	532	1.2 流量控制阀	558
2.4.4 活塞	534	1.2.1 气动系统中常用的流量 控制阀	558
2.4.5 活塞杆	535	1.2.2 流量控制阀的基本参数	559
2.5 气缸主要零件的材料及技术要求	537	1.2.3 流量控制阀的选用	560
2.5.1 缸筒	537	1.3 方向控制阀	560
2.5.2 缸盖	538	1.3.1 方向控制阀的分类	560
2.5.3 活塞	538	1.3.2 换向阀的基本性能及型号 识别	573
2.5.4 活塞杆	538	1.4 气动控制阀的选择	575
2.6 气缸的选择及使用	539	2 气源	578
2.6.1 气缸选择要点	539	2.1 气源的组成	578
2.6.2 使用注意事项	539	2.2 空气压缩机的种类和选择	579
2.7 气缸标准系列	540	2.2.1 空气压缩机的分类	579
2.7.1 气缸系列参数	540	2.2.2 空气压缩机的选择	580
2.7.2 QGA、QGB 及 JB 系列气缸	541	2.3 气源组件的计算与选择	581
2.7.3 QGA I、QGB I、QGN 系列 气缸	542	2.3.1 空气预过滤器	581
2.7.4 QGP、QGPA、QGPB 系列 气缸	543	2.3.2 冷却器	581
2.7.5 QGS、IQG 系列气缸	543	2.3.3 油水分离器	582
2.7.6 QGAa 系列气缸	544	2.3.4 KLQ 系列空气过滤器	584
2.7.7 QGX 系列微型气缸	545	2.3.5 气罐	584
2.7.8 QGZY 系列气液增压缸	545	2.3.6 分水过滤器	585
2.7.9 QGB1、QGB2 系列叶片摆动 气缸	546	2.3.7 油雾器	587
2.7.10 MU 系列平板气缸	547	2.4 真空元件	587
2.7.11 SMD2 系列多面安装气缸	547	2.4.1 真空泵	587
3 气马达	547	2.4.2 真空发生器	589
3.1 气马达的分类及性能特点	547	2.4.3 真空吸盘	590
3.1.1 气马达的分类及性能	547	2.4.4 真空吸盘提升力的计算	591
3.1.2 气马达的特点	547	2.5 干燥器的种类和选择	591
3.2 气马达主要参数计算	548	2.5.1 干燥器种类	591
3.3 气马达的选择及润滑	550	2.5.2 干燥器的选择	593
3.3.1 气马达的选择	550	3 气动系统管道及连接	594
3.3.2 气马达的润滑	551	3.1 气动系统管道种类及选择	594
3.4 常用气马达主要技术参数	551	3.2 管道计算	596
第 17 章 气动控制元件、气源及管道 连接	552	3.3 管接头的结构及选择	598
		3.4 车间、厂区管道布置	599
		第 18 章 气动控制回路设计	601

1 卡诺图设计法	601
1.1 逻辑代数的基本运算规律	601
1.1.1 基本逻辑运算	601
1.1.2 逻辑代数的基本运算规律	601
1.1.3 逻辑函数及其标准形式	601
1.2 卡诺图	604
1.2.1 逻辑函数在卡诺图上的表示	604
1.2.2 用卡诺图简化逻辑函数	604
1.3 卡诺图在回路设计中的应用	607
2 信号 动作线围设计法	615
2.1 信号 动作线图	615
2.1.1 常用符号	615
2.1.2 绘出工作程序图	616
2.1.3 绘制 X—D 线图	617
2.2 障碍信号的排除	619
2.2.1 障碍信号的确定	619
2.2.2 单往复程序中障碍的排除	619
2.2.3 多往复程序中障碍的排除	623
2.3 气动控制回路设计	629
2.3.1 逻辑原理图	629
2.3.2 气动控制回路图	630
2.4 满足其它要求的手动控制回路	631
第 19 章 气动系统设计	634
1 气动系统设计流程	634
1.1 明确设计要求	634
1.2 选择、设计气动执行元件	634
1.2.1 选择执行元件类型	634
1.2.2 气缸内径的确定	634
1.2.3 气缸结构设计	635
1.2.4 气缸耗气量的计算	635
1.3 设计和拟定气动系统原理图	636
1.4 选择控制元件	636
1.5 选择气动辅件	637
1.5.1 空气过滤器的选用	637
1.5.2 油雾器的选用	637
1.5.3 消声器的选用	637
1.5.4 气罐的选用	638
1.5.5 确定管道直径	638
1.5.6 系统压力损失的验算	638

1.5.7 选择空气压缩机	638
1.6 设计气动系统时应注意的事项	639
1.7 气动系统的安装调试及故障诊断	640
1.7.1 气动系统的安装调试	640
1.7.2 气动系统的故障诊断	643
2 气动系统设计举例	654
2.1 液体自动灌装机气动系统的设计	654
2.2 真空吸盘搬运设备的气动系统设计	659
3 气动系统节能设计简介	664
附录	666
1 液压系统通用技术条件 (GB3766—83)	666
1.1 一般要求	666
1.2 液压泵、液压马达和液压缸	667
1.3 控制阀	668
1.4 液压油(液)	668
1.5 辅助元件和装置	668
1.6 控制机构	671
2 常用液压气动图形符号 (摘自 GB786.1—93)	672
3 公称压力及压力分级 (GB2346—80)	678
4 液压泵及马达公称排量系列 (JB2347—80)	678
5 液压缸及气缸公称压力、缸径及活塞杆外径系列	679
6 活塞杆螺纹型式和尺寸系列 (GB2350—80)	679
7 软管公称内径系列 (GB2351—80)	680
8 油(气)口连接螺纹尺寸 (GB2878—81)	680
9 液压用隔离式蓄能器公称压力和容积系列 (摘自 GB2352—80)	680
参考文献	681

概 论

1 液压气动系统的组成与分类

1.1 传动的类型

任何机器一般都是由原动机、传动机构和工作机构组成的。传动机构是为了适应工作机构对力(或力矩)、速度(或转速)等的变化范围及其它操纵、控制性能的要求而设置在原动机与工作机构之间的装置。

目前,常用的传动类型有机械传动、电气传动、流体传动及复合传动等。

液压传动与气压传动属于流体传动范畴,是以受压流体(压力油或压缩空气)为工作介质进行能量传递、转换和控制的传动型式。

1.2 液压及气动系统

1.2.1 液压及气动系统的组成

在用液压驱动或控制的各类机械设备及装置中,凡能实现某种特定功能的液压元件的组合,称为液压回路;由若干特定的基本回路联接或复合而成的总体称为液压系统,液压系统可以实现人们对某一机器或装置的工作要求。气动回路与气动系统的定义与上类同。

液压系统及气动系统都是由动力部分、执行部分、控制部分和辅助部分所组成,如表0-1所示。

表 0-1 液压系统及气动系统的组成

组 成	液 压 系 统	气 动 系 统	作 用
动力部分	液压泵	空气压缩机	将原动机供给的机械能转变为工作介质(液体或气体)的压力能
执行部分	液压缸和液压马达	气缸和气马达	把工作介质(液体或气体)的压力能转变为机械能,驱动负载
控制部分	各种压力、流量、方向控制阀及其他控制元件	各种压力、流量、方向控制阀,逻辑控制元件,及其他控制元件	控制和调节系统中的压力、流量和方向,保证执行部分完成预定运动规律
辅助部分	油箱、管道、过滤器、蓄能器、指示仪表等	过滤器、油雾器、管件、消声器、指示仪表等	存放工作介质(液压油)、保持工作介质清洁,实现元件间连接、显示系统状态等

1.2.2 液压及气动系统的分类

液压及气动系统的内容相当广泛。然而,从工作特征来分,可划分为传动系统和控制系统两大类:

传动系统以传递动力(功率)为主,以信息传递为次。在液压和气动技术中,相应地称为液压传动系统和气压传动系统。控制系统则是以传递信息为主,以传递动力为次。在液压和气动技术中,相应地称为液压控制系统和气动控制系统。

应该指出,传动系统和控制系统在具体结构上往往是合在一起的。随着科学技术的迅猛