



普通高等教育“十二五”规划教材

机电设备控制技术

JIDIAN SHEBEI KONGZHI JISHU

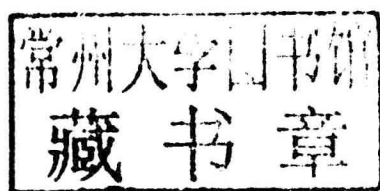
主编 江静



国防工业出版社
National Defense Industry Press

机电设备控制技术

主编 江 静



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书共分6章。内容包括液压与气压传动系统、常用低压电器、基本电气控制线路、典型机电设备的电气控制系统、机电设备的分类及应用、机电设备控制线路的设计。

全书内容注重理论联系实际,侧重于实际应用,图文并茂,采用最新国家标准。书中加强实践技能和综合能力的培养,使学生尽快掌握机电设备控制技术的基本理论知识和安装、调试与维修的基本技能;对控制线路分析全面,便于自学;每章都附有习题与习题解答,可供学生课后参考与练习。

本书可作为高等院校机电类以及相近专业的教材,适用于高等院校机械制造及其自动化专业、电气工程及其自动化专业、数控加工专业、模具设计与制造等专业的本科生,也可作为电气控制线路设计、运行、维修的技术人员岗位技能培训的培训教材,还可作为从事机电设备制造、加工等专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机电设备控制技术/江静主编. —北京:国防工业出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-118-08010-0

I. ①机... II. ①江... III. ①机电设备—控制系统 IV. ①TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 091475 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 21½ 字数 524 千字

2012 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 39.00 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

前 言

随着我国电力工业的迅速发展,机电设备控制技术在工农业生产等各行各业和人们日常生活中的应用越来越广泛。为了满足高等院校机电类本科生的培养要求以及广大从事机电设备控制与维修的工程技术人员的工作需要,我们编写了这本教材。

本书共分6章。第1章 液压与气压传动系统,主要介绍了液压装置与气压装置,重点介绍了液压控制元件、液压辅助元件、液压基本回路、气压传动执行元件、气压传动控制元件、气压传动基本回路等知识。第2章 常用低压电器,详细介绍了熔断器、隔离器与刀开关、低压断路器、接触器、主令电器等低压电器的结构与工作原理,分析了各类低压电器的选型、工作原理、常见故障及排除故障的方法。第3章 基本电气控制线路,主要介绍了电气控制系统图的有关知识,重点分析了三相鼠笼式异步电动机的直接启动控制线路、制动控制线路、正反转控制线路、调速控制线路及控制线路的实训内容。第4章 典型机电设备的电气控制系统,主要介绍了电气图的识图方法和步骤,分析了M7120型平面磨床、CA6140型普通车床、X62W型万能铣床、Z3040型摇臂钻床、T68型卧式镗床的电气控制线路,重点介绍了各类机床控制线路的故障检修以及实训内容。第5章 机电设备的分类及应用,主要介绍了金属切削机床、起重设备、电梯等机电设备的实际应用,重点强调了各类设备应用的电气控制线路以及常见故障与检修。第6章 机电设备控制线路的设计,主要介绍了设计的原则、方法和内容。

本书是根据高等院校机电类系列教材的基本要求,并借鉴了相关院校的课程建设与改革成果后组织编写的。根据教学大纲的要求,全书按64个学时编写。本书在内容体系上,力求结构合理,内容与时俱进,叙述深入浅出,文字简练易懂;在内容的取舍与深度的把握上,强调重点突出,注意理论联系实际,旨在培养学生解决生产一线实际问题的能力。另外,每章都附有习题与习题解答,可供学生课后参考与练习。

本书从工程技术角度出发,突出基本理论、基本概念和基本方法,并注重学生在机电设备控制技术应用能力与工程素养两方面的培养。根据教学大纲的要求,全书安排了6项实

训项目,12 个学时,实训内容叙述力求简练,注重理论与应用结合,设计与实现结合,强调系统性与实用性。课程实验根据各学校的具体条件,可以随课程进度安排,也可把几个实验集中起来开设实验专用周或综合实验。

本书由江静、张雪松任主编,刘朝辉、李旭任副主编。其中,第 2 章、第 3 章由江静编写,第 1 章、第 4 章由张雪松编写,第 5 章由刘朝辉编写,第 6 章由李旭编写。全书由江静统稿,由张雪松主审。

本书在编写过程中得到了华北科技学院机电工程学院以及光电信息控制和安全技术重点实验室的领导及同事们的大力支持,编者对关心本书出版、热心提出建议和提供资料的单位和个人在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者不吝赐教。

编者
2012 年 4 月

目 录

第1章 液压与气压传动系统	1
1.1 液压传动系统	1
1.1.1 流体力学基本概念	6
1.1.2 液压泵	7
1.1.3 液压缸与液压马达	8
1.1.4 液压控制元件	17
1.1.5 液压辅助元件	20
1.1.6 液压基本回路	26
1.2 气压传动系统	36
1.2.1 气压传动基础知识	36
1.2.2 气源装置及气动辅助元件	37
1.2.3 气压传动执行元件	42
1.2.4 气压传动控制元件	45
1.2.5 气压传动基本回路	48
习题一	55
习题解答	58
第2章 常用低压电器	61
2.1 熔断器	62
2.1.1 熔断器结构和工作原理	62
2.1.2 常用熔断器类型	63
2.1.3 熔断器的主要技术参数和特性	70
2.1.4 熔断器的选型	71
2.1.5 熔断器常见故障及排除故障的方法	74
2.2 隔离器与刀开关	74
2.2.1 常用隔离器与刀开关	74
2.2.2 隔离器与刀开关的选型	76
2.2.3 组合开关	76
2.2.4 开关常见故障及排除故障的方法	78
2.3 低压断路器	79
2.3.1 低压断路器的结构与工作原理	79
2.3.2 常用低压断路器类型	85
2.3.3 低压断路器的选型	86
2.4 接触器	89

2.4.1	接触器的结构与工作原理	90
2.4.2	常用接触器类型	95
2.4.3	接触器的选型	97
2.4.4	接触器常见故障及排除故障的方法	98
2.5	继电器	99
2.5.1	电磁继电器	100
2.5.2	时间继电器	102
2.5.3	热继电器	109
2.5.4	速度继电器	114
2.5.5	其他继电器	116
2.5.6	继电器的选型	118
2.5.7	继电器常见故障及排除故障的方法	119
2.6	主令电器	120
2.6.1	控制按钮	120
2.6.2	行程开关	122
2.6.3	接近开关	124
2.6.4	万能转换开关	125
2.6.5	主令控制器	126
2.6.6	常见故障及排除故障的方法	127
2.7	自动空气开关的故障检修实训	128
	习题二	129
	习题解答	130
第3章	基本电气控制线路	134
3.1	电气控制系统图的有关知识	134
3.1.1	常用电气图的图形符号和文字符号	134
3.1.2	常用电气线路图	140
3.1.3	电气控制系统图的读图方法	147
3.2	三相鼠笼式异步电动机的直接启动控制线路	151
3.3	三相鼠笼式异步电动机的降压启动控制线路	153
3.3.1	鼠笼式异步电动机的降压启动控制线路	153
3.3.2	绕线式异步电动机的降压启动控制线路	158
3.4	三相鼠笼式异步电动机的制动控制线路	162
3.4.1	机械制动控制线路	162
3.4.2	反接制动控制线路	164
3.4.3	能耗制动控制线路	168
3.4.4	短接制动控制线路	170
3.4.5	电容制动控制线路	172
3.4.6	发电制动控制线路	173
3.5	三相鼠笼式异步电动机的正反转控制线路	173
3.5.1	鼠笼式异步电机正反转控制的手动控制线路	173

3.5.2	鼠笼式异步电机正反转控制的自动控制线路	174
3.6	三相鼠笼式异步电动机的调速控制线路	175
3.6.1	变更极对数的调速控制线路	175
3.6.2	变更转子外加电阻的调速控制线路	177
3.6.3	电磁调速异步电动机控制线路	178
3.7	其他控制电路	180
3.8	控制电路实训	184
3.8.1	元器件实训	184
3.8.2	降压启动控制实训	188
习题三		189
习题解答		191
第4章	典型机电设备的电气控制系统	196
4.1	电气图的识图方法和步骤	196
4.1.1	电气图的识图方法	196
4.1.2	识图基本步骤	196
4.1.3	电气控制线路的故障分析和检修方法	197
4.2	M7120 型平面磨床	201
4.2.1	M7120 型平面磨床的电气控制线路	202
4.2.2	M7120 型平面磨床电气控制线路的故障分析及检修	207
4.2.3	M7120 型平面磨床电气线路的安装与调试	208
4.2.4	M7120 型平面磨床实训	209
4.3	CA6140 型普通车床	210
4.3.1	CA6140 型普通车床的电气控制线路	210
4.3.2	CA6140 型普通车床电气控制线路的故障分析及检修	216
4.3.3	CA6140 型普通车床电气线路的安装与调试	216
4.3.4	CA6140 型普通车床实训	217
4.4	X62W 型万能铣床	218
4.4.1	X62W 型万能铣床的电气控制线路	219
4.4.2	X62W 型万能铣床电气控制线路的故障分析与检修	226
4.4.3	X62W 型万能铣床实训	227
4.5	Z3040 型摇臂钻床	227
4.5.1	Z3040 型摇臂钻床的电气控制线路	227
4.5.2	Z3040 型摇臂钻床电气控制线路的故障分析与检修	234
4.5.3	Z3040 型钻床实训	235
4.6	T68 型卧式镗床	236
4.6.1	T68 型卧式镗床的电气控制线路	236
4.6.2	T68 型卧式镗床电气控制线路的故障分析与检修	241
4.7	组合机床	242
习题四		244
习题解答		245

第5章 机电设备的分类及应用	249
5.1 机电设备的分类	249
5.2 金属切削机床	249
5.2.1 概述	249
5.2.2 金属切削机床的基本结构、分类和基本参数	251
5.2.3 金属切削机床的机械系统与安全保护系统	252
5.2.4 金属切削机床的主要部件	253
5.2.5 金属切削机床的电气控制	256
5.2.6 金属切削机床电气设备的安装与维护	257
5.2.7 金属切削机床电气控制系统的常见故障及分析	258
5.3 起重设备	259
5.3.1 概述	259
5.3.2 起重设备的基本结构、分类和基本参数	259
5.3.3 起重设备的机械系统与安全保护系统	270
5.3.4 起重设备的主要电器部件	273
5.3.5 起重设备的电气控制	273
5.3.6 起重设备的安装与维护	277
5.3.7 起重设备控制系统的常见故障及分析	281
5.4 电梯的电气控制	286
5.4.1 概述	286
5.4.2 电梯的基本结构、分类和基本参数	286
5.4.3 电梯的机械系统与安全保护系统	287
5.4.4 电梯的主要电器部件	293
5.4.5 电梯电气控制的基本环节	296
5.4.6 电梯电气设备的安装与维护	305
5.4.7 电梯电气控制系统的常见故障及分析	307
习题五	312
习题解答	313
第6章 机电设备控制线路的设计	316
6.1 设计的基本原则和内容	316
6.1.1 机电设备控制线路设计的原则	316
6.1.2 机电设备控制线路设计的内容	316
6.2 机电设备控制线路的设计方法	318
6.3 机电设备控制线路设计中的电动机选择	325
6.4 机电设备控制线路设计中的元器件选择	327
6.5 生产机械电气设备施工设计	330
习题六	331
习题解答	332
参考文献	336

第 1 章 液压与气压传动系统

1.1 液压传动系统

1. 传动的类型

机器通常由原动机、传动装置和工作机构三部分组成。原动机的作用是把各种形态的能量转变为机械能,是机器的动力源。传动装置设置于原动机和工作机构之间,起传递动力和进行控制的作用。工作机构是利用机械能来改变材料或工件的性质、状态、形状或位置,以进行生产或达到其他预定目的的工作装置。

传动的类型有多种,按照传动所采用的机件或工作介质的不同可分为机械传动、电力传动、气压传动和液体传动。其中,机械传动是通过齿轮、齿条、带、链条等机件传递动力和进行控制的一种传动方式,它是发展最早而应用最为普遍的传动形式。电力传动是利用电力设备并调节电参数来传递动力和进行控制的一种传动方式。气压传动是以压缩空气为工作介质进行能量传递和控制的方式。液体传动是以液体为工作介质进行能量传递和控制的一种传动方式,按其工作原理的不同又可分为液力传动和液压传动:液力传动的工作原理是基于流体力学的动量矩原理,主要是以液体动能来传递动力,故又称为动力式液体传动;液压传动是基于流体力学的帕斯卡原理,主要利用液体静压能来传递动力,故也称容积式液体传动或静液传动。

2. 液压传动的工作原理

假设在面积为 A_1 单柱塞泵的活塞 1 上作用一个 F_1 力,如图 1-1 所示,则柱塞泵输出油液的压力为

$$p = \frac{F_1}{A_1} \quad (1-1)$$

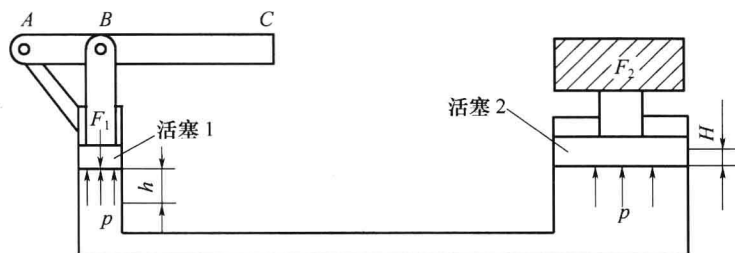


图 1-1 液压传动原理图

根据帕斯卡原理,此压力将以同样大小传给作用面积为 A_2 的液压缸的活塞 2 上,因而,液压缸可以产生的推力为

$$F_2 = pA_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} \quad (1-2)$$

由式(1-2)力传递基本方程式看出:如果 A_2 很大, A_1 很小,则只需很小的 F_1 力便能获得很大的推力 F_2 。可见,这是一个力的放大机构,即液压传动具有增力效应,其增大倍率为 $\frac{A_2}{A_1}$,这是液压传动的一个重要特征。

力 F_1 之所以能够从活塞 1 传到活塞 2 上去,是通过处于两个活塞之间的密封容器内的受压液体进行的,即处于密封容器内的受压液体,能像齿轮、齿条等固体传动机件一样传递动力。

由式(1-2)还可看出: F_2 越大,即外负载越大,液压缸油腔中的油压 p 也就越大,这说明系统中的油压大小是由外负载决定的。

假如活塞 1 在 F_1 力作用下,在 t 时间内向下移动一段距离 h ,则柱塞泵排出油液的体积为 hA_1 ;而活塞 2 一定要向上移动一段距离 H ,在活塞与液压缸(泵)体滑动面间完全密封及液体不可压缩情况下,有

$$A_1 h = A_2 H \quad (1-3)$$

式(1-3)两端除以时间 t ,整理后得

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} \quad (1-4)$$

式中: v_1 、 v_2 分别为活塞 1、2 的运动速度。

由此可见,这又是一个速度变换机构,其速度的变换和传递是靠液体容积变化相等的原则进行的。

由式(1-4)得

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = q \quad (1-5)$$

或者

$$\begin{cases} v_1 = \frac{q}{A_1} \\ v_2 = \frac{q}{A_2} \end{cases} \quad (1-6)$$

式中: q 为流入液压缸的流量,也是柱塞泵排出的流量。

式(1-6)表明,液压缸活塞速度正比于流入液压缸的流量而反比于活塞面积。

显而易见,单位时间内,活塞 1、2 所做的功的功率分别为

$$P_1 = v_1 F_1 = \frac{q}{A_1} p A_1 = p q \quad (1-7)$$

$$P_2 = v_2 F_2 = \frac{q}{A_2} p A_2 = p q \quad (1-8)$$

由此可知: $P_1 = P_2$,它表明液压传动符合能量守恒定律;压力与流量的乘积就是功率,以后要经常用到。

综上所述,可归纳出液压传动的基本特征是:以液体为传动介质,依靠位于密闭容器内的液体静压力来传递动力,其静压力的大小取决于外负载;负载速度的传递是按液体容积变化相等的原则进行的,其速度大小取决于流量。

3. 液压传动系统的组成

液压传动系统,除了以液体为传动介质外,通常由以下几部分组成:

(1) 动力源部分。由液压泵及原动机构成,它将原动机输出的机械能转变为工作液体的压力能。

(2) 执行部分。包括液压缸和液压马达,是把工作液体的压力能重新转变为机械能,推动负载运动。

(3) 控制部分。包括压力、流量、方向控制阀等。通过它们控制和调节液压系统中的压力、流量和流向,以保证执行部件所要求的输出力、速度和方向。

(4) 辅助部分。包括油箱、管道、滤油器、蓄能器以及指示仪表等,以保证系统的正常工作。

例 1-1 液压千斤顶传动系统的组成。

如图 1-2 所示,液压缸 1 与单向阀 3、4 一起构成手动液压泵,用以完成吸油与排油。当向上抬起杠杆时,手动液压泵的活塞 2 向上运动,活塞 2 的下部容腔 a 的容积增大形成局部真空,致使排油单向阀 3 关闭,油箱 8 中的油液在大气压作用下经油管 5 顶开吸油单向阀 4,进入 a 腔。当活塞 2 在力 F_1 作用下向下运动时, a 腔的容积减小,油液因受挤压,故压力升高。于是,被挤出的液体将使吸油单向阀 4 关闭,而使排油单向阀 3 被顶开,经油管 6 进入液压缸 10 的 b 腔,推动活塞 11,使其上移顶起重物(重力为 F_2)。手摇泵的活塞 2 不断上下作往复运动,重物逐渐被抬高。重物上升到所需高度后,停止活塞 2 的运动,则液压缸 10 的 b 腔内的油液压力将使排油单向阀 3 关闭, b 腔内的液体被封死,活塞 11 连同重物一起被闭锁不动。此时,截止阀 9 关闭。如打开截止阀 9,则液压缸 10 的 b 腔内液体便经油管 7 流回油箱 8,于是活塞 11 将在自重作用下,下移回到原始位置。

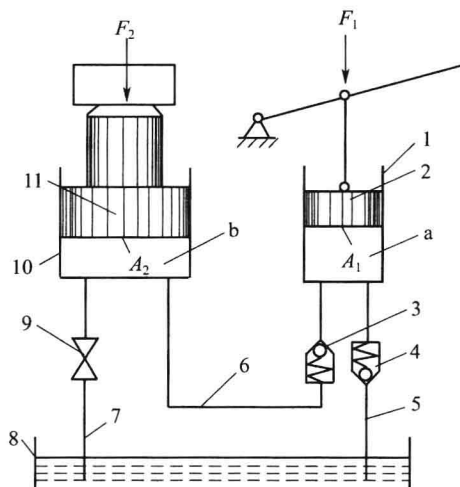


图 1-2 液压千斤顶结构示意图

1,10—液压缸;2,11—活塞;3—排油单向阀;4—吸油单向阀;5,6,7—油管;8—油箱;9—截止阀。

例 1-2 机床工作台液压传动系统的组成。

如图 1-3 所示,当液压泵 3 由电动机驱动旋转时,从油箱 1 经过滤器 2 吸油。当换向阀 7(有 P、T(T₁)A、B 四个油口和三个工作位置)的阀芯处于换向手柄 12 所示位置时,压力油经管路 14、阀 5、阀 7(P→A)和管路 11 进入液压缸 9 的左腔,推动活塞(杆)及工作台 10 向右运动。液压缸 9 右腔的油液经管路 8, 阀 7(B→T)和管路 6、4 排回油箱;通过扳动换向

手柄 12 切换阀 7 的阀芯,使之处于左端工作位置,则液压缸活塞反向运动;切换阀 7 的阀芯工作位置,使之处于中间位置,则液压缸 9 在任意位置停止运动。调节和改变流量控制阀 5 的开度大小,可以调节进入液压缸 9 的流量,从而控制液压缸活塞及工作台的运动速度。液压泵 3 排出的多余油液经管路 15、溢流阀 16 和管路 17 流回油箱。液压缸 9 的工作压力取决于负载。液压泵 3 的最大工作压力由溢流阀 16 调定,其调定值应为液压缸的最大工作压力及系统中油液流经各类阀和管路的压力损失之和。因此,系统的工作压力不会超过溢流阀的调定值,溢流阀对系统还有超载保护作用。

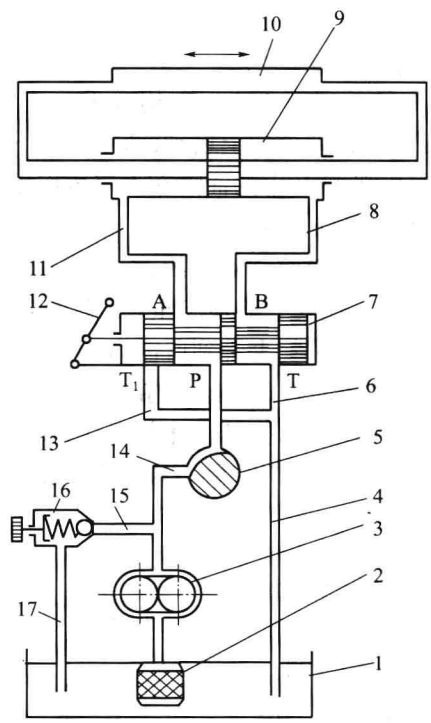


图 1-3 机床工作台液压系统结构示意图

1—油箱;2—过滤器;3—液压泵;4,6,8,11,13,14,17—管路;5—流量控制阀;
7—换向阀;9—液压缸;10—工作台;12—换向手柄;16—溢流阀。

图中符号意义详见液压气动图形符号(GB 786.1—93)。

4. 液压传动系统的分类

液压传动系统按照工作介质循环方式的不同,可以分为开式系统和闭式系统。图 1-4 所示就是一个开式系统,其特点是液压泵自油箱吸油,经换向阀送入液压缸,液压缸回油返回油箱,工作油在油箱中冷却及沉淀过滤之后再进入工作循环。闭式系统如图 1-5 所示,液压泵的吸油管直接与液压马达的回油管相连通,形成一个闭合回路。为了补偿系统中由于液压泵、马达和管路等处的泄漏损失,设置了补油泵。液压马达是通过改变液压泵的液流方向和流量来换向和调速的,因此,在闭式系统中常采用双向变量泵。

液压传动系统按照控制方式的不同,可分为阀控系统和泵控系统。靠用液压控制阀来控制系统压力、流量和执行元件的运动方向及速度或转速的系统可称为阀控系统,如图 1-4 所示。靠用变量泵来控制系统执行元件的运动方向及其速度或转速的系统可称为泵控系

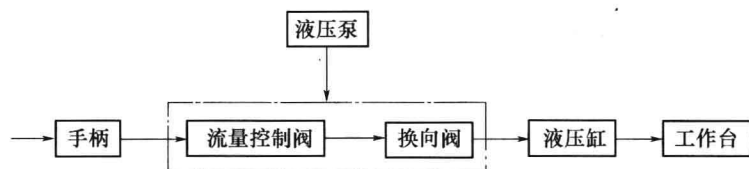


图 1-4 开式控制的液压系统原理方块图

统,如图 1-5 所示。在实际应用的液压传动系统中,阀控系统是很普遍的,如由定量泵、双作用液压缸等元件所组成的液压传动系统,其液压缸的运动方向和速度只能用控制阀来控制 and 调节;而泵控系统往往要和阀控方式相结合,实际上是阀控与泵控组合而成的复合系统。液压传动系统按系统中所使用的泵的数目多少可分为单泵系统及多泵系统;按液压泵向多个液压缸或马达供油连接方式的不同可分为串联系统及并联系统;按工程上液压设备工况特点及应用场合的不同,液压传动系统的种类更是名目繁多。

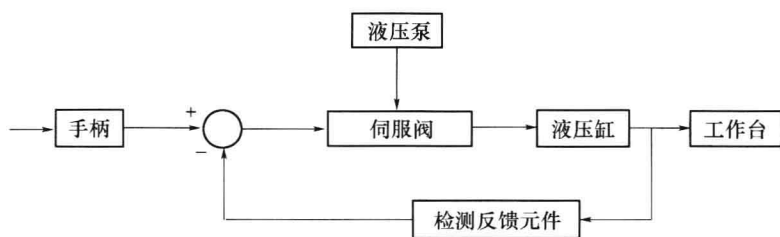


图 1-5 闭式控制的液压系统原理方块图

5. 各类传动方式的比较

机械传动的优点是传动准确可靠、操作简单、传动效率高、制造容易和维护简单等;缺点是一般不能进行无级调速,远距离操作困难,结构也比较复杂等。电力传动的优点是能量传递方便、信号传递迅速、标准化程度高、易于实现自动化等;缺点是运动平稳性差,易受外界负载的影响,惯性大、换向慢,电力设备和元件要耗用大量的有色金属,成本高,受温度、湿度、振动、腐蚀等环境影响较大。气压传动的优点是结构简单、成本低,易于实现无级变速,气体黏性小,阻力损失小,流速可以很高,能防火、防爆,可以在高温下工作;缺点是空气容易压缩,负载对传动特性的影响较大,不宜在低温下工作(凝结成水,结冰),气压传动系统的工作压力一般为 $0.7\text{MPa} \sim 0.8\text{MPa}$,只适用于小功率传动。

液压传动与上述几种传动方式相比,有以下优点:

(1) 单位质量输出功率大,容易获得很大的力和力矩。如液压马达的外形尺寸约为同功率电动机的 12%,质量约为电动机的 10% ~ 20%。

(2) 由于体积小、重量轻,因而惯性小,启动、制动迅速,运动平稳,可以快速而无冲击地变速和换向。

(3) 可以在运行过程中进行无级调速,调速方便,调速范围比较大。

(4) 简化机器结构,减少零件数目。

(5) 操纵简便,与电力、气动传动相配合,易于实现远距离操纵和自动控制。

(6) 由于系统充满油液,对各液压元件有自润滑和冷却作用,使之不易磨损,又由于容易实现过载保护,因而寿命长。

1.1.1 流体力学基本概念

流体无论处于运动状态还是静止状态,都要承受力的作用。作用在流体上的外力可以分为质量力和表面力两大类。在流体中取一个界面为封闭曲面 S 的体积,作用在体积内各个流体微团上的力称为质量力;作用在表面 S 上的力称为表面力,简称面力。重力、引力和惯性力是质量力,压力、摩擦力是面力。

1. 质量力

质量力是用它在空间的分布密度来表示的。在体积 τ 内任取一点 M ,围绕 M 点作体积元素 $\mu\tau$,它的质量为 δm ,作用在其上的质量力为 δF ,若存在下面的极限值:

$$f = \lim_{\delta m \rightarrow 0} \frac{\delta F}{\delta m} = \frac{dF}{dm} = \frac{1}{\rho} \frac{dF}{d\tau} \quad (1-9)$$

则式(1-9)中的极限值 f 代表 M 点上单位质量流体所受到的质量力,它是空间坐标 x, y, z 和时间 t 的函数,称为质量力在空间的分布密度,其量纲是 $[LT^{-2}]$ 。

作用在体积元素 $\mu\tau$ 的质量力为

$$dF = \rho f d\tau \quad (1-10)$$

有限体积 $d\tau$ 上的质量力为

$$F = \int_{\tau} \rho f d\tau \quad (1-11)$$

式中: $d\tau$ 可表示为微元立方体积 $dx dy dz$,是三阶无穷小量,质量力密度 f 是有限量,由(1-11)可知,与 $d\tau$ 同阶的微元质量力 dF 也是三阶无穷小量。

如果质量力 F 有势,可表示为

$$F = - \nabla \tilde{V} \quad (1-12)$$

式中: $\tilde{V}$ 是力势函数。当质量力是重力时, $\tilde{V} = gz$ 。

2. 面力

面力是与体积 τ 的界面 S 接触的流体或固体作用于表面 S 上的力。面力用它在表面 S 上的分布密度来表示。在表面 S 上任取一点 N ,作面积元素 ΔS 包住 N 点。设 ΔS 的法线为 n ,作用在 ΔS 上的面力为 ΔP ,令 ΔS 向 N 点收缩。若存在下面的极限值:

$$p_n = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{dP}{dS} \quad (1-13)$$

则 p_n 代表 N 点上以 n 为法线的单位面积上所受的面力。 p_n 称为面力在 S 面上的分布密度,或称为应力,其量纲是 $[ML^{-1}T^{-2}]$ 。应力 p_n 是空间坐标 x, y, z 和时间 t 的函数,依赖于作用面的方向。作用在 ΔS 面上的面力为

$$dP = p_n dS \quad (1-14)$$

而作用在有限面积 S 上的面力为

$$P = \int_S p_n dS \quad (1-15)$$

面积元素 ΔS 是二阶无穷小量,应力 p_n 是有限量,由(1-13)可知,与面积元素 dS 同量阶的微元面力 dP 也是二阶无穷小量。

1.1.2 液压泵

在液压传动系统中,液压泵是液压传动系统的动力元件,它是将原动机输入的机械能转换成液体压力能的能量转换装置。在液压传动系统中属于动力元件,是液压传动系统的重要组成部分,其作用是向液压系统提供压力油。

液压泵的种类很多,按其结构形式的不同,可分为齿轮式、叶片式、柱塞式和螺杆式等类型;按泵的排量能否改变,可分为定量泵和变量泵;按泵的输出油液方向能否改变,可分为单向泵和双向泵。工程上常用的液压泵有齿轮泵、叶片泵和柱塞泵;齿轮泵包括外啮合齿轮泵和内啮合齿轮泵;叶片泵包括双作用叶片泵和单作用叶片泵;柱塞泵包括轴向柱塞泵和径向柱塞泵。

1. 液压泵的工作原理

液压泵都是依靠密封容积变化的原理来进行工作的,故一般称为容积式液压泵。图 1-6 所示的是一单柱塞液压泵的工作原理图,图中柱塞 2 与泵体 3 形成一个密封容积 V ,柱塞在弹簧 4 的作用下始终压紧在偏心轮 1 上。原动机驱动偏心轮 1 旋转,从而使柱塞 2 作往复运动,使密封容积 V 的大小发生周期性的交替变化。当 V 由小变大时就形成部分真空,油箱中油液在大气压作用下,经过吸油管顶开单向阀 6,进入密封腔而实现吸油;反之,当 V 由大变小时,密封腔中吸满的油液将顶开单向阀 5,流入系统而实现压油,原动机驱动偏心轮不断旋转,液压泵就不断地吸油和压油,这样液压泵就将原动机输入的机械能转换成了液体的压力能。

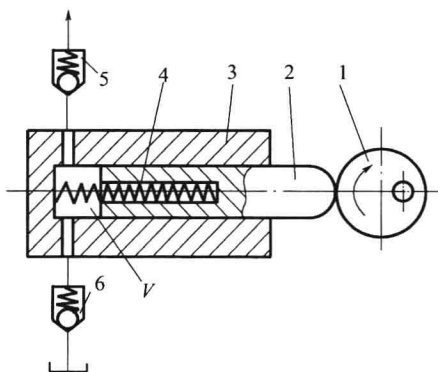


图 1-6 液压泵工作原理图

1—偏心轮;2—柱塞;3—泵体;4—弹簧;5,6—单向阀。

2. 液压泵的特点

(1) 具有若干个周期性变化的密封容积,密封容积由小变大时吸油,由大变小时压油。液压泵输出油液的多少只取决于此密封容积的变化量及其变化频率。这是容积式液压泵的一个重要特性。

(2) 油箱内液体的绝对压力必须等于或大于大气压力,这是容积式液压泵能够吸入油液的必要外部条件。因此,为保证液压泵正常吸油,油箱必须与大气相通,或采用密闭的充压油箱。

(3) 具有相应的配流机构,将吸油腔与排油腔隔开。它保证密封容积由小变大时只与吸油管连通,密封容积由大变小时只与压油管连通。图 1-6 中的单柱塞泵中的两个单向阀 5 和 6 就是起配流作用的,是配流机构的一种类型。

3. 选择液压泵的原则

根据主机工况、功率大小和系统对工作性能的要求,确定液压泵的类型。首先应该确定的是选用变量泵还是定量泵,变量泵价格昂贵,但是工作效率高、节能。选用的时候应综合考虑泵的性能、特点及成本。然后按系统所要求的压力、流量大小确定其规格型号。

表 1-1 各类液压泵的主要性能与选用范围

项目	齿轮泵	双作用叶片泵	单作用叶片泵	轴向柱塞泵	径向柱塞泵	螺杆泵
工作压力/MPa	≤ 17.5	6.3 ~ 21	≤ 6.3	10 ~ 40	10 ~ 20	2.5 ~ 10
流量调节	不能	不能	能	能	能	不能
容积效率	0.70 ~ 0.95	0.80 ~ 0.95	0.80 ~ 0.90	0.90 ~ 0.98	0.85 ~ 0.95	0.75 ~ 0.95
总效率	0.60 ~ 0.85	0.75 ~ 0.85	0.70 ~ 0.85	0.85 ~ 0.95	0.75 ~ 0.92	0.70 ~ 0.90
流量脉动率	大	小	中等	中等	中等	小
对油液污染敏感性	不敏感	敏感	敏感	敏感	敏感	不敏感
自吸特性	好	较差	较差	较差	差	好
噪声	大	小	较大	大	较大	小

4. 液压泵常见故障及维修

液压泵是液压系统的核心,它一旦发生故障就会立即影响系统的正常工作。工作中造成液压泵出现故障的原因是多种多样的,原因主要如下。

1) 由液压泵本身的原因引起的故障

从液压泵的工作原理可知,液压泵的吸油和压油是依靠密封容积作周期变化实现的。要想实现这个过程,要求液压泵在制造的过程中满足足够的加工精度,尺寸公差、形位公差、表面粗糙度、配合间隙以及接触刚度都要符合技术条件。液压泵经过一段时间的使用后,有些质量问题会暴露出来,突出的表现是技术要求遭到破坏,液压泵不能正常工作。这种故障对于一般用户而言,是不易排除的。在进行液压泵故障分析时,这个原因要放到最后来考虑。在尚未明确故障原因之前,不要轻易拆泵。

2) 由外界因素引起的故障

(1) 油液。油液黏度过高或过低都会影响液压泵正常工作。黏度过高,会增加吸油阻力,使泵的吸油腔真空度过大,出现气穴和气蚀现象;黏度过低,会加大泄漏,降低容积效率,并容易吸入空气,造成泵运转过程中的冲击和爬行。

油液的清洁也是非常重要的。液压油受到污染,如水分、空气、铁屑、灰尘等进入油液,对液压泵的运行会产生严重的影响。铁屑、灰尘等固体颗粒会堵塞过滤器,使液压泵吸油阻力增加,产生噪声;还会加速零件磨损,擦伤密封件,使泄漏增加,对那些对油液污染敏感的泵而言,危害就更大。

(2) 液压泵的安装。泵轴与驱动电动机轴的连接应有足够的同轴度。若同轴度误差过大,就会引起噪声和运动的不平稳,严重时还会损坏零件。同时安装时要注意液压泵的转向,应合理选择液压泵的转速,同时要保证吸油管与排油管道管接头处的密封。

(3) 油箱。油箱容量小,散热条件差,会使油温过高,油液黏度减小,带来许多问题;油箱容量过大,油面过低以及液压泵吸油口高度不合适,吸油管道直径过细等都会影响泵的正常工作。

1.1.3 液压缸与液压马达

1. 液压缸

液压缸是液压系统的执行元件。它把液体的压力能(压力 p 和流量 q)转变为机械能(推力 F 、速度 v),用于驱动工作机构作直线往复运动或往复摆动。