

飞机液压元件 与系统

FEIJI YEYA YUANJIAN
YU XITONG

主编 王海涛



国防工业出版社
National Defense Industry Press

V245.1

2

飞机液压元件与系统

王海涛 主编

张晓化 张永杰 万小鹏 编



保存本

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书以飞机液压系统及其常用的液压元件为对象,对液压传动系统中的液压泵、液压缸、液压控制阀及液压辅助元件的分类、结构、原理、在飞机上的应用等内容进行了详细的阐述,并配以相关的实验内容。详细论述了国产运七飞机的全机液压系统,对其起落架收放系统、襟翼收放系统、起落架机轮刹车系统等有关知识进行了分析与说明;对空客、波音飞机液压系统进行了介绍,阐明了飞机液压系统在现代飞机上的新发展和应用;简要介绍了飞机液压系统适航标准及有关适航性的要求。

本书可供国内高校航空专业学生使用,并可为从事液压技术专业的技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

飞机液压元件与系统/王海涛主编. —北京:国防工业出版社,2012.10

ISBN 978-7-118-08388-0

I. ①飞… II. ①王… III. ①飞机—液压元件②飞机—液压系统 IV. ①V245.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 233901 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 15 $\frac{3}{4}$ 字数 360 千字

2012 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2050 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)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

目前关于液压的书籍和教材不少,但都针对的是通用液压元件和系统,而关于飞机液压系统的教材几乎没有。液压系统在现代飞机上已成为一种非常重要的操纵系统,如起落架的收放、前轮转弯操纵、刹车操纵、发动机反推和飞行操纵系统等几乎都离不开液压传动和伺服控制技术。

编写组成员在多年来的教学中,积累了大量的关于飞机液压系统方面的资料,且从事了相关课题的研究。编写过程中注重理论与实际相结合,在论述液压元件的工作原理、结构特点和应用时,选用的液压元件与实际飞机上应用的元件相一致;在注重原理的同时,紧密结合在实际飞机上的应用,反映了学以致用思想;通过国产运七飞机液压系统的论述,详细讲述了起落架收放系统、襟翼收放系统、起落架机轮刹车系统的有关知识;通过对空客、波音飞机液压系统的论述,阐明了飞机液压系统在现代飞机上的新发展和应用;通过飞机液压系统适航标准的论述,结合我国民用飞机的研制,讲述了民用飞机有关适航性的要求。

为了使读者更好地理解相关内容和与实际相结合,配备了相应的液压元件和系统实验,并在章节末尾配有习题和思考题,有些实验和思考题具有开放性和创新性,以启发读者创造性思维。

全书由西北工业大学王海涛任主编,其中第 1、2 章由西北工业大学万小鹏编写,第 3~9 章由西北工业大学王海涛编写,第 10 章由西北工业大学张晓化编写,第 11 章由西北工业大学张永杰编写。

本书承西北工业大学赵美英教授和西安交通大学周进雄教授细致认真地审阅,提出了很多宝贵意见,在此深表感谢。

当前我国许多高校都开设了航空专业,而都缺少一本关于飞机的液压元件与系统的专用教材,该教材可使航空专业的学生有针对性地学习飞机上的液压元件和系统。因此该教材可供全国高校航空专业学生使用,并可为从事液压技术专业技术人员提供参考。

由于编者水平有限,对书中不足之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2012 年 6 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 液压传动的工作原理	1
1.2 液压系统的组成及其图形符号	4
1.3 液压传动的特点及其在飞机上的应用	5
思考题和习题	7
第 2 章 液压流体力学基础	8
2.1 工作介质——液压油	8
2.1.1 液压油的性能	9
2.1.2 液压油的性能要求	12
2.1.3 航空用液压油	13
2.1.4 液压油使用与维护注意事项	13
2.2 流体静力学基础	14
2.3 流体动力学基础	15
2.3.1 液体流体力学中的几个基本概念	15
2.3.2 连续性方程	17
2.3.3 伯努利方程	19
2.3.4 动量方程	21
2.4 液体在管内稳定流动的能量损失	26
2.5 有压管路中的水击现象	29
思考题和习题	34
第 3 章 液压泵和液压马达	36
3.1 液压泵和液压马达概论	36
3.1.1 液压泵和液压马达的工作原理	37
3.1.2 液压泵和液压马达的符号及主要参量	37
3.1.3 泵和马达的效率	38
3.2 齿轮泵	41
3.2.1 齿轮泵的工作原理	41
3.2.2 齿轮泵的排量 and 平均流量	42
3.2.3 齿轮泵的瞬时流量及流量脉动	43
3.2.4 齿轮泵结构特点	43

3.2.5	某飞机液压系统用高压齿轮泵	44
3.2.6	齿轮泵实验	45
3.3	叶片泵	46
3.3.1	单作用叶片泵工作原理	46
3.3.2	单作用叶片泵的理论流量	47
3.3.3	单作用叶片泵实验	48
3.3.4	双作用叶片泵的工作原理	50
3.3.5	双作用叶片泵的理论流量	51
3.3.6	双作用叶片泵实验	51
3.4	柱塞式泵和柱塞式马达	53
3.4.1	轴向柱塞泵的工作原理	53
3.4.2	直轴式轴向柱塞泵的理论流量	55
3.4.3	某大型客机轴向柱塞泵	56
3.4.4	收放襟翼的定量液压马达	57
3.4.5	柱塞泵实验	58
3.4.6	柱塞马达实验	61
	思考题和习题	62
第4章	液压控制阀	64
4.1	方向控制阀	65
4.1.1	单向阀	65
4.1.2	液控单向阀及其在飞机上的应用——液压锁	66
4.1.3	机控单向阀及其在飞机上的应用——松刹活门	67
4.1.4	电磁换向阀及其在飞机上的应用——协调活门	67
4.1.5	电液换向阀及其在飞机上的应用——起落架收放操纵	70
4.1.6	板式单向阀的拆装实验	72
4.1.7	3位四通电磁换向阀的拆装实验	75
4.2	压力控制阀	76
4.2.1	直动式溢流阀	76
4.2.2	先导式溢流阀	77
4.2.3	飞机液压系统用安全阀	78
4.2.4	定值减压阀	79
4.2.5	飞机刹车用减压阀	79
4.2.6	某飞机自动卸荷阀	81
4.2.7	压力继电器	83
4.2.8	溢流阀的拆装实验	84
4.3	流量控制阀	85
4.3.1	节流阀	86

4.3.2	飞机上常用的节流阀	89
4.3.3	调速阀	89
4.3.4	分流(集流)阀	90
4.3.5	定量器	92
4.3.6	节流阀的拆装实验	93
4.3.7	调速阀的拆装实验	94
	思考题和习题	97
第5章	液压作动器	99
5.1	液压缸(液压作动筒)	99
5.1.1	作动筒的工作原理、常见形式和典型结构	99
5.1.2	液压缸基本参数计算	100
5.1.3	飞机上作动筒的结构特点	102
5.2	液压助力器	105
5.2.1	助力器的工作原理	105
5.2.2	助力器的稳定性	107
5.2.3	助力器的阻抗	108
5.3	液压舵机	109
5.4	液压缸拆装实验	111
	思考题和习题	113
第6章	液压辅助附件	114
6.1	液压导管和管接头	114
6.1.1	飞机上常用的导管和管接头的要求	114
6.1.2	飞机上常用的管接头形式	115
6.2	滤油器	119
6.3	蓄能器与缓冲瓶	121
6.4	密封装置	123
6.4.1	密封装置的要求	124
6.4.2	密封装置常用材料	124
6.4.3	常用密封装置	124
	思考题和习题	128
第7章	液压系统的使用维护与故障分析	129
7.1	液压系统的维护	129
7.2	液压系统常见故障及排除方法	132
7.2.1	常见故障的诊断方法	132
7.2.2	液压系统噪声、振动大的消除方法	133
7.2.3	液压系统压力不正常的消除方法	133
7.2.4	系统动作不正常的消除方法	133

7.2.5	系统液压冲击大的消除方法	135
7.2.6	系统油温过高的消除方法	135
7.2.7	液压泵常见故障及处理	136
7.2.8	液压马达常见故障及处理	141
7.2.9	液压缸常见故障及处理	142
7.2.10	溢流阀常见故障及处理	146
7.2.11	减压阀常见故障及处理	148
7.2.12	流量阀常见故障及处理	149
7.2.13	电(液、磁)换向阀常见故障及处理	150
7.2.14	液控单向阀常见故障及处理	152
7.2.15	压力继电器(压力开关)常见故障及处理	152
7.2.16	液压控制系统的故障处理	153
7.3	液压系统综合创新实验	154
7.3.1	YZ-02型智能化液压传动实验台	154
7.3.2	二级调压回路实验	159
7.3.3	基本换向阀换向回路实验	161
7.3.4	两级换速控制回路实验	163
	思考题和习题	167
第8章	运七飞机液压系统	168
8.1	系统概述	168
8.2	液压油箱增压系统	171
8.3	主供压系统	174
8.4	起落架收放系统	181
8.4.1	起落架正常收放	181
8.4.2	起落架的应急收放	182
8.5	襟翼收放系统	182
8.6	起落架机轮刹车系统	186
	思考题和习题	189
第9章	A320飞机液压系统概述	190
9.1	液压系统用户	190
9.2	绿液压系统	191
9.3	蓝液压系统	194
9.4	黄液压系统	195
	思考题和习题	196
第10章	Boeing737飞机液压系统	197
10.1	油箱增压系统	197
10.2	主液压系统	199

10.2.1 主液压系统附件·····	200
10.2.2 主液压系统的工作·····	210
10.3 备用系统·····	212
10.3.1 备用液压系统附件·····	212
10.3.2 备用液压系统工作·····	215
10.4 液压系统维护·····	215
思考题和习题·····	217
第 11 章 民用飞机液压系统适航要求 ·····	218
11.1 民用飞机液压系统适航条款·····	218
11.2 与民用飞机液压系统相关的适航条款·····	219
11.3 民用飞机液压系统适航指令实例·····	223
思考题和习题·····	232
附录 1 常用液压元件图形符号 ·····	233
参考文献 ·····	244

第 1 章 概 论

液压传动与机械传动相比是比较年轻的技术,但其发展迅速,尤其是自从出现了精度高、响应快的伺服阀和伺服控制系统以后,液压技术得到了更广泛的应用,如机械制造、工程建设、交通运输、矿山、冶金、航空、航海、军事、轻工、农机等工业部门,它也被应用到宇宙航行、海洋开发、地震预测等方面。液压传动从发展趋势来看,正向着高压化、高速化、集成化、大流量、大功率、高效率、长寿命、低噪声方向发展。

本教材主要介绍了液压技术的应用;简要介绍了与此相关的液压基本理论,即液压流体力学的基本知识;较详细地讲述了液压元件的结构、工作原理、性能特点及其在飞机上的应用,并配以相应液压元件的拆装实验;介绍了液压系统的使用维护和常用液压元件故障原因与消除对策,提供了液压系统综合创新实验;详细讲述了运七飞机、A320 飞机和 Boeing737 飞机液压系统;最后介绍了民用飞机液压系统适航要求,并给出了 7 个民用飞机液压系统适航指令的实例。

1.1 液压传动的工作原理

以液体作为工作介质,以静压力和流量作为特性参量,实现能量的转换、传递、分配和控制的技术叫“液压技术”,又称“液压传动”。

液压传动是利用液体静压传动原理来实现的。现以液压千斤顶为例来说明液压传动的工作原理和特征。图 1-1 是工、农业生产中常用的一种液压千斤顶,图 1-2 是其工作原理。图 1-2 中缸体 4 和活塞 2 组成提升液压缸,杠杆 5、缸体 3、活塞 1 和单向阀 6 组成手摇液压泵,10 为控制阀,8、9 和 11 分别为管道和油箱。当液压泵活塞向上运动时,油腔 A 内压力降低,形成局部真空,油箱 11 中的油液在大气压力作用下,顶开单向阀 6,经吸油管道 9 进入 A 腔。当活塞 1 向下运动时,A 腔油液受挤压,压力升高,迫使单向阀 6 关闭,顶开单向阀 7,向 B 腔输送压力油,推动活塞 2 上移,使重物 G 的位置升高。活塞 1 动作快,重物 G 升高就快,如果杠杆 5 停止动作,B 腔油液压力迫使单向阀 7 关闭,重物 G 停止在新的位置上。如果打开控制阀 10,则 B 腔中油液经控制阀 10 流回油箱 11,重物 G 在重力作用下下降,控制阀 10 开度大,重物 G 下降快。

根据以上例子对液压传动的工作特征进行分析。分析此系统力的关系时做以下假设:

- (1) 工作液是不可压缩的。
- (2) 液压缸和管道均为刚体,受力后不产生变形。
- (3) 系统无泄漏。
- (4) 系统无摩擦力。

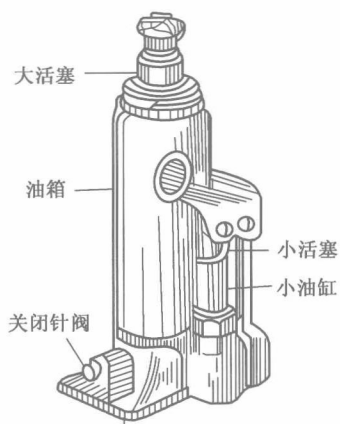


图 1-1 液压千斤顶外观

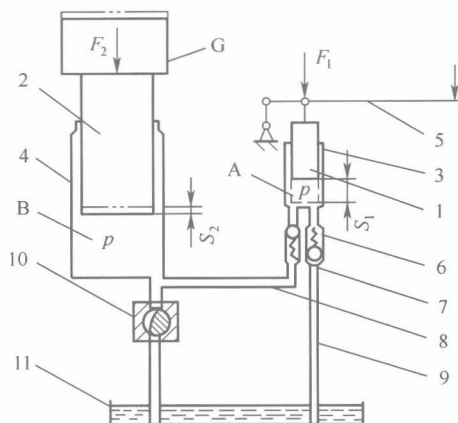


图 1-2 液压千斤顶工作原理

1,2—活塞;3,4—缸体;5—杠杆;6,7—单向阀;
8,9—管道;10—控制阀;11—油箱;
A、B—油腔;G—重物。

1. 力的分析

外力 F_1 加于小直径液压缸的活塞 1 上。大直径液压缸的活塞 2 上作用有外负载力 F_2 。在两个活塞的作用下,两个液压缸的工作腔和油管中的油液具有压力 p 。

$$F_1 = pA_1 \quad p = \frac{F_1}{A_1} \quad (1-1)$$

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

式中 A_1 ——小活塞的有效面积;

A_2 ——大活塞的有效面积。

根据帕斯卡原理,在封闭液体中的压力处处相等,故

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (1-3)$$

则

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1 \quad (1-4)$$

若 A_1 、 A_2 均为定值,且 $A_2 > A_1$,则 $F_2 > F_1$ 。

因此可以得出,当面积 A_1 和 A_2 一定时,负载力 F_2 越大,则液压缸油腔中的压力 p 也越大,即泵的输压力也越大。这说明液压系统中的压力大小是由外负载决定的(负载包括外力及液阻),并不决定于液压泵,泵只是按负载大小提供压力而已。由于考虑安全,液压系统中的压力不允许任意提高,但理论上只要任意改变负载缸工作面积 A_2 ,便可以得到不同大小的工作力 F_2 。因此,利用液压传动很容易制造出工业上需要的大型液压设备。

2. 运动分析

设小活塞的位移为 S_1 ,大活塞的位移为 S_2 ,在两个缸的容腔和管路中被封闭的液体体积是常数,故以原来界面为基准,在小活塞下面减小的体积 V_1 应等于在大活塞下面增加的体积 V_2 ,则有

$$V_1 = A_1 S_1 \quad (1-5)$$

$$V_2 = A_2 S_2 \quad (1-6)$$

$$V_1 = V_2 = V \quad (1-7)$$

$$A_1 S_1 = A_2 S_2 \quad (1-8)$$

$$S_2 = \frac{A_1}{A_2} S_1 \quad (1-9)$$

若 A_1 、 A_2 均为定值,且 $A_2 > A_1$,则 $S_2 < S_1$ 。

设在时间间隔 t 内同时匀速完成位移 S_1 和 S_2 ,则由式(1-8),两边同除以运动时间 t ,得

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = Q \quad (1-10)$$

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{Q}{A_2} \quad (1-11)$$

式中 v_1 ——活塞 1 的运动速度;

v_2 ——活塞 2 的运动速度;

Q ——液压泵输出的平均流量,即输入液压缸的流量。

若 $A_2 > A_1$,则 $v_2 < v_1$ 。

以上分析说明,活塞 2 的速度 v_2 与输入液压缸的流量 Q 成正比,与活塞工作面积 A_2 成反比。如果活塞工作面积 A_2 一定,只要连续改变泵的流量 Q ,就可以连续地改变活塞运动速度,从而实现无级调速。

3. 功和功率的分析

活塞 1 所做的机械功为

$$W_1 = F_1 S_1 \quad (1-12)$$

活塞 2 所做的机械功为

$$W_2 = F_2 S_2 \quad (1-13)$$

由能量守恒定律得 $W_1 = W_2 = W$,即

$$W = F_1 S_1 = F_2 S_2 \quad (1-14)$$

将式(1-14)用液压参量表示,即

$$W = F_1 S_1 = p A_1 S_1 = p V_1 = p V$$

或

$$W = F_2 S_2 = p A_2 S_2 = p V_2 = p V \quad (1-15)$$

同理,活塞 1(或 2)的机械功率用液压参量表示为

$$P_1 = F_1 \frac{S_1}{t} = p \frac{A_1 S_1}{t} = p \frac{V_1}{t} = p Q$$

或

$$P_2 = F_2 \frac{S_2}{t} = p \frac{A_2 S_2}{t} = p \frac{V_2}{t} = p Q \quad (1-16)$$

式(1-15)称为液压功,式(1-16)称为液压功率。

4. 压力和流量

压力和流量是液压系统最重要的两个参数。由图 1-2 可见,被封闭的液体只有在 F_1 和 F_2 同时存在时才能形成压力,在实际系统中,系统的压力决定于泵的工作能力和执

行机构负载的大小。系统的压力使液压执行机构产生一定的力或力矩。压力的单位是 MPa, 压力旧单位 kgf/cm² 现已较少使用, 它们的换算关系为

$$1\text{MPa} = 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \left(\frac{\text{牛}}{\text{米}^2} \right), 1 \frac{\text{kgf}(\text{公斤})}{\text{cm}^2(\text{厘米}^2)} \approx \frac{1}{10} \text{MPa} \quad (1-17)$$

系统的流量大小决定于泵的排油能力。若不计效率, 系统的流量用来使执行机构产生运动。流量的单位是 L/min(升/分)。

$$1 \frac{\text{L}}{\text{min}} = \frac{1}{60000} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \left(\frac{\text{米}^3}{\text{秒}} \right) \quad (1-18)$$

1.2 液压系统的组成及其图形符号

1. 液压泵和液压执行机构的定义

图 1-2 中缸体 3 完成了从机械能到液压能的转换, 根据这个原理设计的液压元件称为液压泵。因此, 泵的定义是: 能够将机械能转换成液压能的元件称为液压泵, 简称泵。缸体 4 完成了从液压能到机械能的转换, 根据这个原理设计的液压元件称为液压执行机构。其中包括能输出转速和转矩的液压马达, 以及能输出力和线速度的液压缸。所以, 液压执行机构的定义是: 能够将液压能转换成机械能的液压元件称为液压执行机构, 其中包括液压马达和液压缸。液压马达简称马达, 液压缸简称为缸。以液体为介质, 液压泵和液压执行机构配以各种用途的阀类元件、油箱和油管等附件, 就组成了各种液压传动系统, 用以控制负载的位置、速度或加速度。图 1-3 所示为液压传动系统基本原理。

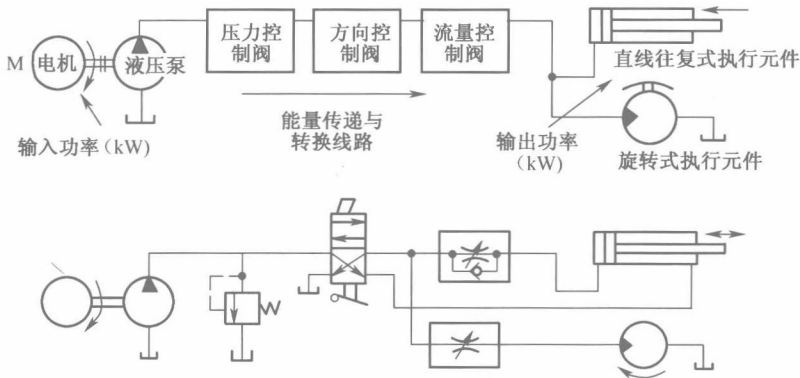


图 1-3 液压传动系统原理

2. 液压系统的组成

由图 1-3 可以看出, 液压系统主要由 5 大部分组成:

(1) 能源部分。如图 1-3 所示的液压泵, 它将电动机(或其他原动机)输出的机械能转变为液体的压力、流量能, 即供压部分。

(2) 控制部分。如图 1-3 所示的压力控制阀、方向控制阀和流量控制阀等各种控制阀。通过它们控制和调节液压系统中液体的压力、流量(速度)和流向, 实现液压系统的工作循环。

(3) 执行部分。如图 1-3 所示的液压缸和马达, 它是把压力、流量能转变为机械能的能量转换装置。

(4) 辅助部分。其包括油箱、油管、接头、滤油器、蓄能器、加热器、冷却器以及各种指示器、传感器和控制仪表等。

(5) 传动介质。即工作液体。

3. 液压系统的图形符号

图 1-3 中的下半部就是对应上半部方块图用液压系统图形符号画出的原理图。图形符号是经统一标准规定了的,专门用来绘制液压系统工作原理图的符号。它能简明、清晰地说明各种标准通用元件的结构工作原理和职能。对于具有液压技术知识的人,彼此沟通,一目了然。我国制定的液压系统图形符号标准为国标 GB 786—76,航空工业部制定的标准为 HBO—86—76。相应的国际标准为 ISO 的 R1219。常用液压元件图形符号见附录。

1.3 液压传动的特点及其在飞机上的应用

传动方式主要有机械传动、电力传动、机电传动、气压传动和液压传动。每种传动方式各有其特点、用途和适用范围。

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,其优点是传动准确可靠、制造容易、操作简单、维护方便和传动效率高等。缺点是一般不能进行无级调速,远距离传动较困难,结构比较复杂等。

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。主要优点是: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,起动及换向慢;成本较高;受温度、湿度、振动、腐蚀等环境影响较大。为了改善其传动性能,有些场合,往往与机械、气压或液压传动结合使用。

气压传动是用压缩空气作为工作介质进行能量传递和控制。优点是:结构简单;成本低;易于实现无级调速;阻力损失小;动作迅速,反应快;防火、防爆,对工作环境适应性好。缺点是:空气易压缩,负载对传动特性的影响较大;工作压力低(一般小于 0.8MPa),只适用于小功率传动。表 1-1 中列举了各种传动方式的几种重要传动性能比较。

表 1-1 各种传动方式的主要传动特性比较

性能比较 传动方式	功率与重量比	转矩与转动惯量比	响应速度	可控性	负载刚度	调速范围
机械传动	小	小	低	差	中等	小
电力传动	小	小	中等	中等	差	中等
气压传动	中等	中等	低	中等	差	小
液压传动	大	大	高	好	大	大

1. 液压传动的优点

与其他传动方式相比,液压传动有其独特的优点,主要是以下几点。

(1) 单位功率的重量轻,即能以较轻的设备重量获得很大的力和转矩。与电力传动相比,液压传动的结构紧凑,重量轻,功率与重量比大,利用液压传动容易获得很大的驱动力和转矩。所以对于功率较大(大于 10kW),而且响应速度要求较高(大于 100Hz)的设

备,往往必须采用液压传动。对于飞机、舰船及行走机械,采用液压传动,则更具有减少载重和少占舱室空间的优越性。

(2) 由于体积小、重量轻,因而惯性小,起动、制动迅速。例如,起动一个中等功率的电动机需要几秒钟,而起动相当功率的液压马达则只需 0.1s 左右。所以利用液压传动易于实现平稳地频繁起、停、换向或变速。

(3) 在运行过程中能方便地进行无级调速;调速范围大,可达 $100:1\sim 2000:1$;而且低速性能好,采用电力传动虽能无级调速,但调速范围小得多,且低速时不稳定。

(4) 易于实现自动化。液压传动的控制调节比较简单,操作比较方便、省力,易于实现自动化。特别是与电力或气压传动配合使用时,更易于实现省力化、自动化和远距离操纵。

(5) 易于实现过载保护,工作安全、可靠。

(6) 液体工作介质具有弹性和吸振能力,使液压传动运转平稳、可靠。运转时可自润滑,且易于散热,所以使用寿命较长。

(7) 易于实现标准化、系列化和通用化,便于设计、制造和推广使用。

2. 液压传动的缺点

液压传动虽然存在许多突出的优点,但也存在以下一些缺点。

(1) 由于油液泄漏和弹性变形,传动精度不如机械传动。液压传动以液体作为工作介质,在液压元件相对运动摩擦副间无法避免泄漏,再加上液体压缩性及管路弹性变形等原因,难以实现严格的传动比。

(2) 液压传动装置对油温、负载变化和油液的污染比较敏感,从而会影响机器的性能。液体黏度和温度有密切关系,当黏度随温度变化时,将直接影响泄漏、压力损失及通过节流元件的流量等,从而引起执行元件运动特性的变化。加之,液压油等工作介质的性能及使用寿命均受温度影响很大,所以液压系统不宜在很高和很低的温度下工作。

(3) 因同时存在机械摩擦、液体摩擦和泄漏,传动效率较低,并产生热量。液压系统中能量要经过两次转换,在能量转换及传递过程中存在机械摩擦损失、压力损失及泄漏损失。加之对液压系统能量利用不尽合理等原因,使液压传动的效率偏低。

(4) 液压元件制造精度高,成本高,且出现故障时不易检查原因,不易迅速排除。

总的说来,液压传动的优点较多,其缺点随着生产技术的发展正在逐步加以克服。因此,液压传动在现代化的生产中有广阔的发展前景。

3. 液压传动在飞机上的应用

由于飞机总体对液压系统的安全可靠性、重量及环境条件等有十分严格的要求,所以飞机液压系统有其本身的特点。飞机液压系统按其功用可划分为供压(泵源回路)与工作(工作回路)两个部分。

飞机液压系统供压部分应满足供压(工作部分工作)、卸荷(工作部分停止工作)与散热等方面的要求,并要有充分的可靠性。泵源回路大体上可分为定流量泵源回路、变流量双泵—转换活门组回路、变流量双泵—双腔作动筒组回路、变流量多泵—动力传输装置组回路、定变量多泵—交输回路、变流量多泵源“多余度”回路和应急泵源回路 7 类。

飞机液压系统工作部分所操纵的对象,随着飞机的发展而日益增多,目前飞机液压系统主要工作回路有:起落架收放回路;襟翼收放回路;减速板收放回路;舱门收放回路;燃油泵拖动回路;刹车操纵回路;前轮转弯操纵回路;主操纵面操纵回路;辅助进气门操纵回

路;发动机尾喷口操纵回路。

以上的工作回路中,其中几种常用的工作回路在后面的章节中将加以分析。

液压传动其他方面的应用领域可归纳为以下几个主要方面:

(1)各种举升、搬运作业。尤其在行走式机械和较大驱动功率的场合,液压传动已经成为一种主要的形式。例如,从起重、装载等工程机械和起重运输机械到消防、维修、搬运等特种车辆装备;船舶的起货机、起锚机;高炉、炼钢炉设备;船闸、舱门的启闭装置,各种自动输送线等。

(2)各种需要作用力大的推、挤、压、剪、切、挖等作业装置。在这些场合,液压传动已经具有垄断地位。例如,各种液压机;金属的压铸、成型设备;金属材料的轧制、压延、拉伸、剪切设备;塑料注射机、吹塑机、挤塑机等塑料机械;拖拉机、收割机以及其他砍伐采掘用的农业机械和林业机械;隧道、矿井或地面的挖掘设备;各种船舶的舵机等。

(3)高响应、高精度的控制。例如,火炮的跟踪驱动;炮塔的稳定装置;舰艇的消摆等特种装置;飞机、导弹的姿态控制和驱动;高精度加工机床的定位系统;工业机器人的驱动及控制;金属板材、皮革的切片及压下的厚度控制;高速卷取装置;电站调速系统;高性能振动台和试验机等。

(4)多种工作程序组合的自动操纵与控制。例如,组合机床;机械加工自动线;各种多工作程序的轻工机械等。

(5)特殊工作场所。例如,地下、水下、防爆等特殊环境的作业装备。

思考题和习题

1-1 何谓液压传动?

1-2 液压系统由哪5大部分组成?

1-3 液压传动有哪些优点、缺点?

1-4 有一液压千斤顶如图1-4所示。已知:大活塞的直径 $D=120\text{mm}$,小活塞的直径 $d=10\text{mm}$,杠杆臂 $a=25\text{mm}$, $b=300\text{mm}$ 。如果要顶起 $m=5000\text{kg}$ 的质量,需要多大的力 F ?

1-5 图1-5是用符号图表示的一个液压系统的液压泵,铭牌上的输出压力为 7MPa ,输出流量为 $50\text{L}/\text{min}$ 。溢流阀2开启后系统压力即不再增加,其开启压力为 3MPa 。缸活塞的有效面积 $A=10\text{cm}^2$,求: $F=3\text{kN}$ 、 6kN 、 8kN 时压力表1的读数。

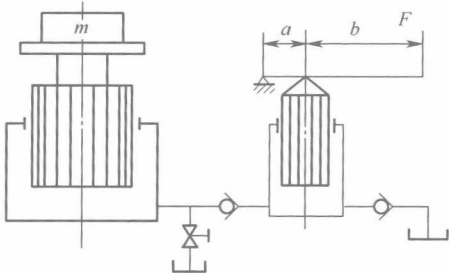


图 1-4 液压千斤顶

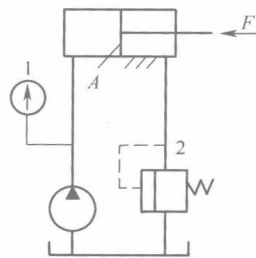


图 1-5 液压泵

第 2 章 液压流体力学基础

本章主要讨论液压传动的工作介质——液压油及与液压传动有关的最基础的流体力学知识,这对正确理解和分析液压传动的基本原理和规律,合理设计液压系统,都是很重要的。

2.1 工作介质——液压油

液压传动可使用的工作液种类很多,主要可分为 3 类:矿物油型(石油基型)、乳化型及合成型。每一类中又有不同品种,如图 2-1 所示。

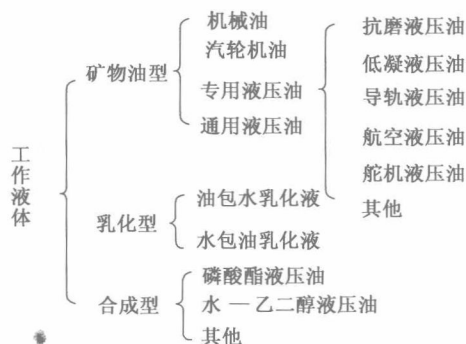


图 2-1 液压传动系统工作液的分类

由于飞机向高速、大功率发展,使工作液的工作温度大大增高了。例如,在亚声速飞机上,工作温度一般为 $-55^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$,在 Ma 数是 $2\sim 3$ 的飞机上为 $-55^{\circ}\text{C}\sim 330^{\circ}\text{C}$,在高超声速飞机上,工作温度竟达 $400^{\circ}\text{C}\sim 500^{\circ}\text{C}$ 。由于工作温度对液压油的性能影响极大,因此国内外液压油的各类型都标明适用的温度范围,并对液压油按工作温度进行分类。原苏联将液压油分为 4 种类型,美国空军将液压油分为 6 种类型(现行军用标准 3 种)。表 2-1 和表 2-2 分别为原苏联和美国的分类法。

表 2-1 原苏联航空液压油的分类

型别	工作温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	型别	工作温度范围/ $^{\circ}\text{C}$
I 型	$-60\sim 200$	III 型	$-60\sim 300$
II 型	$-60\sim 250$	IV 型	$-60\sim 400$

表 2-2 美国空军规定的液压油类型

型别	工作温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	型别	工作温度范围/ $^{\circ}\text{C}$
I 型	$-54\sim 70$	IV 型	$-54\sim 290$
II 型	$-54\sim 135$	V 型	$-54\sim 370$
III 型	$-54\sim 232$	VI 型	$-7\sim 540$