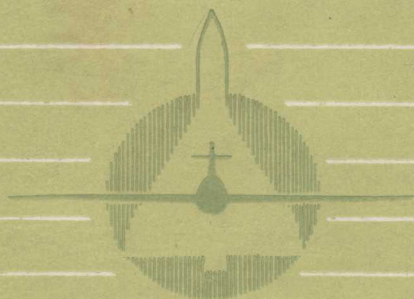


航空高等院校教材

飞机液压传动与伺服控制

(上册)

李培滋 王占林 主编



国防工业出版社

飞机液压传动与伺服控制

(上册)

李培滋 王占林 主编



国防工业出版社

内 容 简 介

本书对各类液压元件（作动筒、阀、泵、液压马达、液压放大器、电液伺服阀、传感器、蓄能器、滤油器、密封件等）以及各类系统（节流和容积调速系统、位置伺服控制系统、速度伺服控制系统、力伺服控制系统、电液伺服系统等）的分析和设计均作了比较详细的阐述；并有专章介绍飞机液压系统实例和设计方法及液压系统主要参数的测量和试验以及能源回路的动态分析；对地面典型机床液压系统原理和计算方法，亦作了扼要介绍；对流体力学基本理论和工作液也作了适当的归纳和阐述。

本书可作为航空高等院校有关专业的教学参考书，亦可供从事液压技术工作的广大工人和技术人员参考。

全书分上、下两册，共十六章。上册（第一章至第九章）内容着重于阐述液压传动元件和系统；下册（第十章至第十六章）着重于阐述液压伺服元件和系统。

飞机液压传动与伺服控制

（上册）

李培滋 王占林 主编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张30³/₄ 720千字

1979年7月第一版 1979年7月第一次印刷 印数：0,001—5,000册

统一书号：15034·1865 定价：3.15元

前 言

液压技术是一门既古老而又新兴的技术。早在一千七百多年以前（公元 250 年左右），在我国就出现了水力舂、水力磨、龙骨水车等将液压能转换为机械能的机械，但是由于长期封建制度的束缚，阻碍了科学技术的发展。

在解放以前，我国液压技术一直处于落后状态。解放后，在毛主席和党中央的领导下，液压技术在我国得到了新生，不仅建立了整套的液压产品生产体系，而且培养了一支规模可观的技术队伍。

液压技术应用于航空是二次世界大战末期才开始的。开始阶段的发展是很缓慢的。近十多年来，随着自动控制技术的发展，液压技术进入了一个新的阶段，形成了一门新兴的学科——液压控制工程。

此书在内容安排上分为“液压传动”（上册）和“液压伺服控制”（下册）两大部分。各部分内容均包含有“元件”和“系统”两方面的内容。对各类元件的介绍，除阐明其工作原理、基本计算和设计方法外，还介绍了典型构造和材料工艺方面的问题，并附有计算例题。对系统的介绍，尽量搜集了国内外较为典型的实例，着重于阐明其基本原理和分析方法。

此书由北京航空学院、南京航空学院、西北工业大学等有关专业合编。上册由李培滋同志任主编，下册由王占林同志任主编。参加编写工作的还有张毓铨、顾民、唐仁林、张齐永、费开、李沛琼、喻统武、王文彬、张瑜、裘丽华等同志。

此书曾得到红卫机械厂、609 所等有关单位的大力支持和协助，在此深表谢意！

由于编者水平所限，加之时间仓促，错误在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

1978.8

目 录

第一章 概述	3	五、作动筒设计方法	46
第一节 液压传动基本原理及其特点	3	六、设计计算例题	55
一、液压传动原理、特点及其分类	3	七、结构设计中的几个问题	57
二、工作压力和流量的分级	4	八、材料和工艺问题	63
三、液压传动与伺服机构应用实例	5	九、作动筒的试验规范	64
(一) 液压千斤顶	5	第二节 旋摆运动型——摆动缸	66
(二) 液压机	6	一、曲柄连杆型作动器	67
(三) 飞机前起落架液压收放系统	7	二、旋板式作动器	67
(四) 飞机液压助力器	7	第三章 液压控制元件	69
(五) 液压系统的组成及元件分类	8	第一节 方向控制元件	69
四、液压、气压、电气三种系统优缺点的比较	8	一、单向阀	69
第二节 工作液	10	二、换向阀	77
一、工作液的分类	10	第二节 压力控制元件	94
二、工作液的理化特性	11	一、溢流阀的工作原理与应用	94
三、对工作液的要求	16	二、溢流阀的特性	97
四、国产工作液的品种介绍	17	三、溢流阀的设计	100
五、选择工作液注意事项	19	四、减压阀	114
六、工作液使用与维护注意事项	19	五、顺序阀	118
第三节 流体力学基本理论	20	六、卸荷阀	119
一、压力、流量、液压功率	20	七、缓冲阀	120
二、流量连续方程	21	八、压力继电器	120
三、能量方程	22	第三节 流量控制元件	121
四、动量方程	22	一、节流原理和节流口结构型式	122
五、圆管流公式	24	二、节流阀	124
六、小孔节流公式	25	三、带压力补偿的节流阀	125
七、缝隙流公式	26	四、节流阀的温度补偿	126
八、液阻、液容和液感	33	五、定流量阀	127
(一) 液阻	33	六、分流阀	127
(二) 复杂管路液阻计算	34	七、配量阀	129
(三) 液容	36	八、定量器	130
(四) 液感	36	第四节 电液比例阀	132
第二章 液压往复式执行元件	38	一、概述	132
第一节 直线运动型——作动筒	38	二、电液比例压力先导阀	133
一、应用及工作原理	38	三、电液比例调速阀	134
二、结构型式及其分类	38	四、电液比例方向阀	134
三、典型构造	40	第四章 液压泵与液压马达	136
四、基本特性计算和分析	43	第一节 齿轮油泵与齿轮马达	137

一、齿轮泵工作原理	137	一、油滤的功用、分类和对它的要求	250
二、齿轮泵典型结构	138	二、典型油滤构造原理	251
三、齿轮泵理论流量计算	139	三、油滤构造和过滤面积计算	252
四、齿轮泵的实际流量及其影响因素	141	四、评定油滤的指标	258
五、齿轮泵的闭死现象、流量脉动和气穴现象	144	五、油液污染度的测定	260
六、齿轮泵的功率、效率和扭矩	149	第三节 蓄能器与缓冲瓶	261
七、齿轮泵主要构件结构分析与计算	150	一、蓄能器的功用	261
八、齿轮泵整体结构设计特点和设计计算	160	二、蓄能器分类和典型构造	261
九、齿轮泵的工艺要求	164	三、气压式蓄能器容积计算	266
十、内啮合齿轮泵和转子泵	166	四、蓄能器的安装	278
十一、齿轮油马达	168	五、缓冲瓶	278
第二节 叶片泵	171	第四节 液压油箱	279
一、单作用叶片泵	171	一、液压油箱的结构和工作原理	279
二、双作用叶片泵	174	二、油箱容积的确定	281
三、双作用叶片泵定子曲线特点	176	三、油箱散热计算	282
四、变量叶片泵	179	四、油箱设计中的几个问题	284
第三节 轴向柱塞泵及油马达	182	五、增压油箱和自供油箱	285
一、直轴式轴向柱塞泵工作原理和典型结构	183	六、油箱安装注意事项	287
二、直轴式轴向柱塞泵工作性能参数	188	第五节 密封装置	287
三、直轴式轴向柱塞泵运动学和流量品质分析	191	一、密封装置的分类和对它的要求	287
四、柱塞受力分析与结构型式	199	二、橡胶圈型密封装置	288
五、滑靴受力分析及设计	203	(一) 橡胶圈的密封原理	289
六、配油盘受力分析与设计	208	(二) O形橡胶圈的特性	289
七、油缸体受力分析及其设计	217	(三) O形橡胶圈的摩擦阻力	294
八、柱塞回程结构的分析与设计	226	(四) O形橡胶圈的设计举例	296
九、斜盘力矩计算	229	三、间隙密封	298
十、斜轴式轴向柱塞泵	232	四、转动密封	298
十一、轴向柱塞式油马达	234	五、端面密封	300
第四节 滚子叶片马达	235	六、设计密封装置时应注意的几个问题	300
一、主要构造	236	第六章 液压基本回路与调速	304
二、工作原理	237	第一节 液压基本回路	304
三、性能特点	238	一、顺序控制回路	304
第五章 液压辅助附件	240	二、速度控制回路	306
第一节 液压导管与管接头	240	三、方向控制回路	314
一、导管与接头的分类及其用途	240	四、压力控制回路	316
二、导管的选择与使用	241	五、安全回路	321
三、管接头的选择与使用	246	六、其它回路	323
四、导管的安装	248	第二节 液压调速系统的分析	325
第二节 油滤	250	一、节流调速系统	326
		二、容积调速系统	336
		第七章 液压传动系统实例	347
		第一节 飞机液压系统实例	347
		一、供压部分	347

二、工作部分	353	五、转速的测量	422
三、典型飞机全机液压系统实例	357	六、位移的测量	423
(一) 歼击机全机液压系统	357	第二节 液压元件的试验	425
(二) 轰炸机全机液压系统	359	一、液压元件试验的种类	425
第二节 其它液压系统	363	二、液压元件的试验装置	430
一、M131W外圆磨床液压系统的组成	363	三、液压元件的试验方法	435
二、M131W外磨各部分的工作原理	364	(一) 油泵试验	435
三、HYY21/3P-25T液压操纵箱		(二) 油马达试验	438
工作原理	366	(三) 油泵和油马达试验中的能量回收	441
第八章 液压传动系统设计	368	(四) 作动筒试验	442
第一节 飞机液压传动系统设计	368	(五) 压力控制阀试验	444
一、概述	368	(六) 流量控制阀试验	446
二、液压系统设计前的技术准备工作	370	(七) 方向控制阀试验	447
三、液压系统原理图设计和初步估算	374	(八) 蓄能器试验	449
(一) 液压系统原理方案论证	374	(九) 油滤试验	450
(二) 定型方案原理图设计	376	(十) 导管试验	451
(三) 液压系统工作特性校核计算	386	(十一) 油箱试验	451
(四) 液压系统温度校核计算	395	第三节 液压系统的试验	452
第二节 其它液压系统的设计	399	一、一般液压系统的试验	452
一、概述	399	二、飞机全机液压系统模拟试验	453
二、机床液压系统设计的主要内容和		第四节 液压系统的使用维护与故障	
大体步骤	399	分析	460
三、设计计算实例	400	一、液压系统的维护	460
第九章 液压元件和系统的试验与		二、液压系统常见故障及排除方法	462
使用维护	409	三、主要液压元件故障排除表	464
第一节 液压试验中的参数测量	409	附录	468
一、概述	409	一、液压图形符号对照表	468
二、压力的测量	410	二、三机部航空附件产品型号命名	482
三、流量的测量	415	三、一机部中、低压液压元件型号说明	483
四、扭矩的测量	420	四、液压传动常用计量单位换算表	484
		主要参考资料	486

上册主要符号

a —— 加速度	p_s —— 系统供油压力
b —— 宽度	p_r —— 泵入口压力
C —— 流量系数	p_e —— 额定压力
$^{\circ}\text{C}$ —— 摄氏温度	$p_{\max}$ —— 最大压力
C_p —— 定压比热	$p_{\min}$ —— 最小压力
C_v —— 定容比热	p_0 —— 回油压力
D —— 活塞直径; 油泵分布圆直径	Δp —— 压力差; 压降
d —— 直径	p_g —— 公称压力; 工作压力
$^{\circ}\text{E}$ —— 恩氏粘度	Q —— 流量
E —— 弹性系数	Q_t —— 理论流量
E_y —— 液体容积弹性系数	Q_s —— 实际流量, 能源流量
E_g —— 导管材料弹性系数	q —— 排量; 每转排量
$F; A$ —— 活塞有效面积	Re —— 雷诺数
f —— 小孔截面积; 导管截面积	R —— 大半径
G —— 重量或重力	r —— 小半径
g —— 重力加速度	t —— 时间
i —— 传动比; 速比	$^{\circ}\text{t}$ —— 温度
J —— 转动惯量	u —— 液体某点流速
K —— 系数; 放大系数; 刚度	V —— 容积; 体积
K_m —— 力矩系数	v —— 线速度; 液体平均流速
K_Q —— 流量放大系数	$x; x_v$ —— 阀芯位移; 阀开度
K_p —— 压力放大系数	Z —— 柱塞数目; 齿轮齿数
L —— 行程长度	β_p —— 压缩系数
M —— 力矩	β_t —— 膨胀系数
m —— 质量	γ —— 液体重度; 斜盘倾角
N —— 功率	δ —— 壁厚
N_{sc} —— 输出功率	ζ —— 局部阻力系数
N_{sr} —— 输入功率	η —— 效率; 总效率
$N_{\max}$ —— 最大功率	η_v —— 容积效率
n —— 转速	η_m —— 机械效率
P —— 总压力; 负载力	η_l —— 流动效率
p —— 压力	μ —— 绝对粘度
p_b —— 泵出口压力	ν —— 运动粘度

$[\sigma]$ ——材料许用应力

σ_b ——材料抗拉强度

π ——圆周率 ($\pi = 3.1416259$)

τ ——切应力

ρ ——密度

ω ——角速度, 频率

Σ ——总和

五、另外的附录

Y、位置的附录

第二章 轴系元件的试验

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

轴系元件的试验方法

第一章 概 述

第一节 液压传动基本原理及其特点

一、液压传动原理、特点及其分类

(一) 原理

如图 1-1 所示是说明液压传动原理的一个模型，它由两个作动筒 1 和 2 组成，中间用管道连接，内部充满了液体（暂且忽略液体的压缩性和泄漏）。当我们推动筒 1 的活塞向左移动时，则筒 1 左腔的液体被挤入筒 2 右腔，这两腔内压力升高，筒 2 活塞被迫向左移动；当拉动筒 1 的活塞向右移动时，则筒 1 右腔液体被挤入筒 2 的左腔，这两腔压力变高，迫使筒 2 活塞向右移动。若连续地推动活塞 1，则液体连续地流经管道并推动活塞 2 连续运动，这就是液压传动的原理。在此，作动筒 1 推动液体流动并使液体具有压力，它就是一个手动柱塞式液压泵；作动筒 2 的活塞是被液体推动的，它可用来推动外界负载，就是液压执行元件。

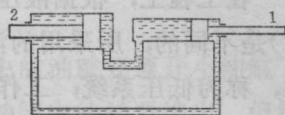


图1-1 液压传动原理模型

须注意，如果活塞 2 的杆上没有受到外力（负载），则推动活塞 1 很省力，液体受挤压程度不大，内部压力就很小。若活塞 2 杆上承受着外力，从右筒中排出的液体即受到外力的阻碍，推动活塞 1 就较费力，液体挤压程度就大，内部压力就高。所以，液压泵出口压力的大小取决于液体流动时受阻碍的大小；阻碍大，液压泵排油压力就高；阻碍小，压力就低。有人把额定压力为 100 公斤/厘米^2 的液压泵理解为该泵打出的油压便是 100 公斤/厘米^2 ，那是错误的概念。正确的理解应该是：额定压力为 100 公斤/厘米^2 的液压泵，就是允许该泵能在低于或等于 100 公斤/厘米^2 压力下长期工作。然而，使液体产生压力的还是液压泵，而不是阻力。

此外，作动筒 2 的活塞移动以后，若没有液体的连续供给，即没有流量供给时，活塞 2 便不会连续运动，所以液体流量是使执行元件产生速度的因素。

(二) 分类

由上述液压传动的原理可知，液压传动装置中的液体既具有一定的压力，而且在运动中。从能量观点便可归纳以下两点：

1. 液体传递能量分两种——静压能和动能。
2. 受压液体流动时，既具有静压能，又具有动能。

于是，在工程上采用的液压传动便分为两大类型。凡是利用液体静压能为主来实现传动功能的称为液压传动（即静液传动、容积式传动）。凡是利用液体动能为主来实现传动功能的称为液力传动（即动液传动、涡轮式传动）。图 1-1 属于液压传动的范畴。液力传动的模型如图 1-2 所示，是由离心泵 1 和涡轮 2 组成的系统。前者广泛应用于航空、机床、采

矿、建筑、锻压等设备上；后者多用于汽车、机车的动力传动上（作液力联轴器或液力变矩器用）。

如果液压装置能跟随控制信号的规律而工作，称为液压伺服控制装置。

(三) 特点

通过上述液压传动原理模型，可归纳出液压传动与液压伺服控制技术的基本特点如下：

- 1. 采用液体作为传动介质；
- 2. 必须在封闭的容器内进行；
- 3. 以液体静压能为主（静压能大大超过液体动能）；
- 4. 代表液压传动性能的主要参数是压力 p 和流量 Q 。

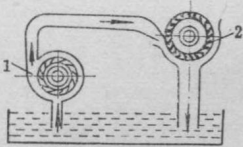


图1-2 液力传动模型

二、工作压力和流量的分级

在工程上，根据液压传动或液压伺服控制的对象不同，所采用的液体压力(称为工作压力)是不同的，所采用的液体流量大小也是不同的。例如，采用的工作压力低于 25 公斤/厘米² 的，称为低压系统；工作压力在 160~320 公斤/厘米² 之间的，称为高压系统等等。为实行“三化”（标准化、系列化、通用化），将工作压力和流量进行分级，我国制定的国家标准如表 1-1 和表 1-2 所示。

表1-1 公称压力分级

压力分级	低 压	中 压	中 高 压	高 压	超 高 压
压力范围(公斤/厘米 ²)	0~25	>25~80	>80~160	>160~320	>320

注：公称压力表示液压系统及元件在额定工作条件下的名义压力，用字母 p_g 表示。例如公称压力为 50 公斤/厘米² 时，表示为 p_g50 。

表1-2 公称压力和公称流量系列参数

公称压力 p_g (公斤/厘米 ²)				公称流量 Q_g (升/分)				
	10	100	1000		1	10	100	1000
		125	1250				125	1250
	16	160	1600		1.6	16	160	1600
		200	2000				200	2000
2.5	25	250		0.25	2.5	25	250	2500
		320				32	320	3200
4	40	400		0.4	4	40	400	4000
		500				50	500	5000
6	63	630		0.6	6	63	630	
	80	800				80	800	

注：1. 公称流量表示液压传动系统及元件在额定工作条件下的名义流量，用字母 Q_g 表示。例如公称流量50升/分时，表示为 Q_g50 。

2. 本系列参考系按国家标准GB321-66优先数系的公比 $R5$ 、 $R10$ 制定 ($R5$ —— $\sqrt[5]{10} = 1.5849 \approx 1.6$ ； $R10$ —— $\sqrt[10]{10} = 1.2598 \approx 1.25$)。

在元件的型号数字表达中, 为避免压力与流量二者的数字相混, 压力级的数字采用拉丁字母表达, 如表 1-3 所示。

表 1-3

压力级	10	25	63	80	160	200	250	320
表达字母	A	B	C	D	E	F	G	H

注: 在型号数字表达中, “C”字母省略不写。

三、液压传动与伺服机构应用实例

(一) 液压千斤顶

液压千斤顶是工农业生产中常用的一种小型液压机械(见图 1-3), 在修理飞机、汽车或拖拉机时, 常用它来顶起机身或车身。在使用中只要用较小的力不断提起和压下小活塞, 大活塞就能不断地升起, 把重物顶起来。工作完毕后, 打开针阀, 使油路沟通, 在大活塞上加很小的力就可以把它压下来。

图 1-4 所示, 当提起小活塞时, 小油缸空出一段容积, 油箱中的油就要顶开小油缸下面的钢珠(吸油单向阀)填补空出的容积; 当压下小活塞时, 小油缸中的油要排出, 但钢珠受压将回油箱的通路堵死, 于是油从另一条通路顶开大油缸下面的钢珠(排油单向阀)进入大油缸, 便可将大油缸顶起, 而大油缸中的油由于钢珠的作用不能倒流至小油缸。因此, 不断地提压小活塞就能不断地把大活塞顶起。如果把大油缸通油箱路上的针阀(节流阀)松开, 大油缸内的油便可回到油箱, 使大活塞下降。

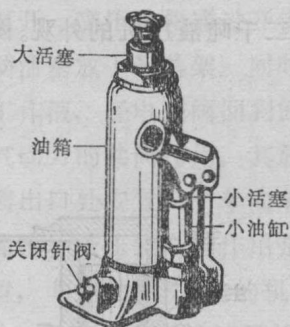


图1-3 液压千斤顶外观

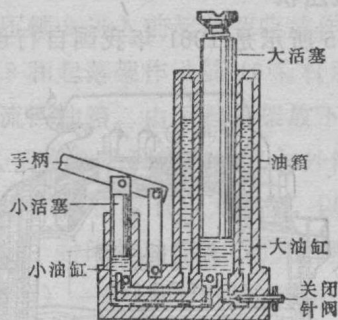


图1-4 液压千斤顶工作原理

这种液压千斤顶比起液压传动原理模型来, 增加了吸油单向阀、排油单向阀、针式节流阀、油箱等元件, 都是为了使大活塞能不断上升而设置的。小活塞和两个单向阀实际上组成一个手动泵, 它的作用是不断地挤出液体。大活塞是被液压所推动的, 就是液压执行元件。针阀是调节流量的, 就是流量控制元件。

这里我们必须再次指出: 液压泵出口压力的大小取决于出口液体所受阻力的大小, 而不取决于泵本身结构尺寸的大小(泵的结构尺寸只保证其强度和决定其流量的大小)。

例如, 如果大活塞顶起的重物为 $P_2=1$ 吨, 大活塞的面积为 $F_2=10$ 厘米², 小活塞的面积为 $F_1=1$ 厘米², 那么产生的液体压力 p 有多大呢? 压下小活塞的力量 P 有多大呢? 根据活塞的力平衡条件为

$$P_2 = pF_2$$

所以液体压力

$$p = \frac{P_2}{F_2} = \frac{1000 \text{ 公斤}}{10 \text{ 厘米}^2} = 100 \text{ 公斤/厘米}^2$$

如果重物 P_2 为 2 吨，那么同理可知液体压力 $p = 200 \text{ 公斤/厘米}^2$ 。这是因为大活塞顶起的物体愈重，液体流动受到阻力就愈大，液压泵出口压力就愈高。所以说液压泵出口压力的大小取决于出口液体所受阻力的大小。

又根据小活塞的平衡条件得

$$P_1 = pF_1$$

所以压下小活塞的力量

$$P_1 = 100 \text{ 公斤/厘米}^2 \times 1 \text{ 厘米}^2 = 100 \text{ 公斤}$$

或

$$P_1 = 200 \text{ 公斤/厘米}^2 \times 1 \text{ 厘米}^2 = 200 \text{ 公斤}$$

如果手柄的杠杆比为 30:1，则手柄上施加的力量 P 只需小活塞压下力量的三十分之一，亦即顶起重物 1 吨时手柄上施的力为

$$P = \frac{P_1}{30} = \frac{100}{30} \approx 3.3 \text{ 公斤}$$

顶起重物 2 吨时手柄上施的力为

$$P = \frac{P_1}{30} = \frac{200}{30} \approx 6.6 \text{ 公斤}$$

(二) 液压机

如图 1-5 所示是 1961 年我国自行设计制造的一万二千吨液压机的外观。图 1-6 所示是

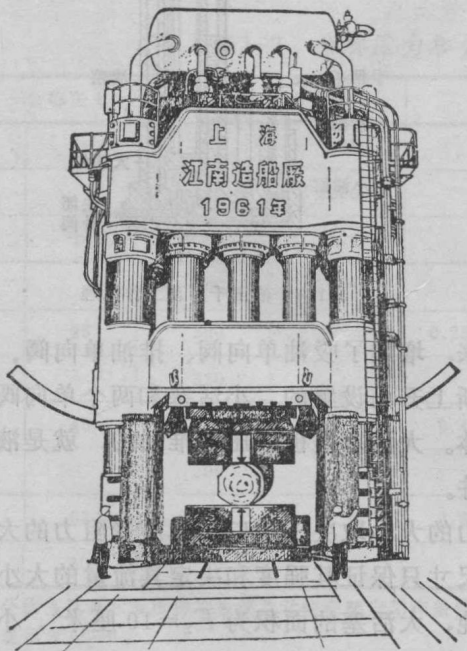


图1-5 万吨液压机外观

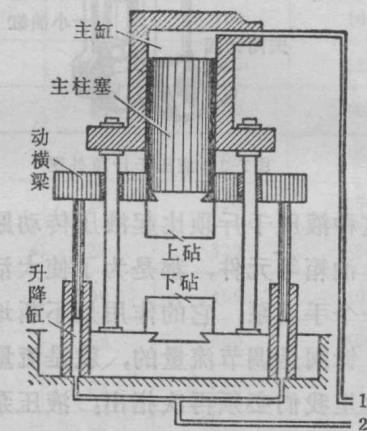


图1-6 万吨液压机工作原理简图

其结构原理，上部有几个主缸，固定在上横梁上，主缸柱塞与动横梁和上砧相连，下砧固定在基座上。高压液体进入主缸，就能把主缸柱塞推下进行锻压。高压液体进入升降缸，就能把主缸柱塞和动横梁一起抬起。

(三) 飞机前起落架液压收放系统

现代飞机起落架的收放动作，几乎全是采用液压传动的。这里我们举出收放前起落架的一种液压系统实例，如图 1-7 所示。图中：1—油箱；2—油泵；3—油滤；4—安全阀；5—单向阀；6—蓄能器；7—电磁阀（又称电磁开关或电磁活门）；8—开锁作动筒（放起落架时，用以打开起落架的锁钩）；9—液压锁；10—前起落架收放作动筒；11—单向节流阀（单向节流活门）；12—热安全阀（热膨胀活门）；13—单向阀。此系统泵源部分的工作原理为：油泵 2 从油箱 1 吸油，其排油经油滤 3、单向阀 5 供向电磁阀 7，一小部分油填充蓄能器 6（当油泵 2 供油不足时，起辅助补油作用）。若油泵 2 出口压力超过规定值，则安全阀 4 接通回油路卸压；单向阀 5 防止蓄能器 6 的压力油倒流，以免影响油泵工作。

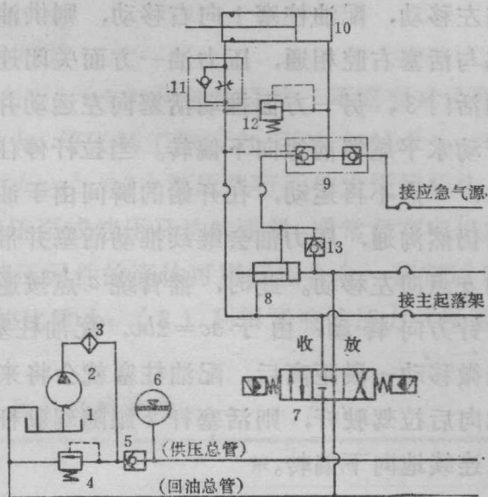


图 1-7 前起落架液压收放系统

当飞机着陆时放起落架的工作过程为：驾驶员将座舱内的“起落架开关”置于“放下”位置，电磁阀 7 右端的电磁铁通电，将高压油接通至放下管路。高压油首先进入开锁作动筒 8 的无杆腔（无活塞杆的右腔），推动活塞向左运动，使起落架的锁钩开锁，开锁后活塞将中间油路打开，高压油便通过开锁作动筒 8 和液压锁 9 进入前起落架收放作动筒 10 的无杆腔，推动活塞放下起落架。同时，开锁作动筒 8 和起落架作动筒 10 有杆腔（有活塞杆的一腔）的工作液，经电磁阀回到回油总管，然后流回油箱。由于起落架放下时，在液压力、重力和气动力的共同作用，其放下速度比较快，活塞运动到终点时易与外筒发生撞击，因此在作动筒出口处安置一个单向节流阀 11，使工作液流出时有较大液阻，以减小起落架放下速度和撞击。液压锁 9 的作用是当起落架放下后，封闭作动筒 10 的无杆腔，将起落架锁在放下位置，与作动筒 10 内的机械钢珠锁（黑三角）一起起双套保险作用。由于液压锁 9 的闭锁作用，温度上升时油液无处膨胀，故设热安全阀 12，在超压时可经它卸压。

当飞机起飞后要收起落架时的工作过程为：驾驶员将座舱内的起落架开关置于“收上”位置，电磁阀 7 左端电磁铁通电，高压油一方面进入开锁作动筒 8 的有杆腔，推动活塞使锁钩复位，另一方面进入作动筒 10 的有杆腔使起落架收起。作动筒 10 无杆腔回油经液压锁 9（此时高压油已将液压锁钢球顶开）、单向阀 13、电磁阀 7 至油箱。

(四) 飞机液压助力器

现代高速飞机舵面上的空气动力负载相当大（例如水平舵上的负载力达 10 吨），已无法直接由人力操纵，故需借助液压助力器。液压助力器是一种简单的液压伺服机构，其基本组成是一个配油柱塞 1（滑阀）和一个活塞 2（见图 1-8）。活塞杆右端有接头（图上未画出），通过传动杆与水平舵相连。活塞 2 中间装有连通活门 3、调压弹簧 4 和调压螺帽 5。

活塞 2 的运动是由配油柱塞控制的。配油柱塞通过摇臂 6、传动杆 7 与驾驶杆相连。其

工作过程如下:

向后拉驾驶杆时,使摇臂6下端c点向左移动,配油柱塞1向右移动,则供油路与活塞右腔相通,压力油一方面关闭连通活门3,另一方面推动活塞向左运动并带动水平尾翼前缘向下偏转。当拉杆停住时,c点不再运动,在开始的瞬间由于油路仍然沟通,压力油会继续推动活塞并带动b点向左移动。此时,摇臂绕c点按逆时针方向转动,由于 $ac=2bc$,配油柱塞移动的距离为活塞移动距离的两倍,所以活塞稍微移动一段距离后,配油柱塞就会将来油路和回油路关闭,活塞便停止运动。如果连续地向后拉驾驶杆,则活塞杆2跟随驾驶杆和配油柱塞1而连续地向左运动,并带动水平尾翼连续地向下偏转。

如向前推驾驶杆时,液压助力器的工作过程与上述相反。

(五) 液压系统的组成及元件分类

通过以上应用实例,可知任何液压传动系统或液压伺服控制系统均由以下几部分组成:

1. 执行部分 即作动筒(油缸)或旋转式液压马达。

2. 控制部分 其中包括:

控制液流方向的元件(单向阀、电磁阀等);

控制压力的元件(安全阀等);

控制流量的元件(节流针阀等)。

3. 能源部分 即供压部分(泵、蓄能器等)。

4. 辅助装置 即油箱、导管等。

5. 传动介质 即工作液体。

由此可知,除传动介质外,液压传动或液压伺服机构由各种用途的元件所组成。液压元件的分类见图1-9。

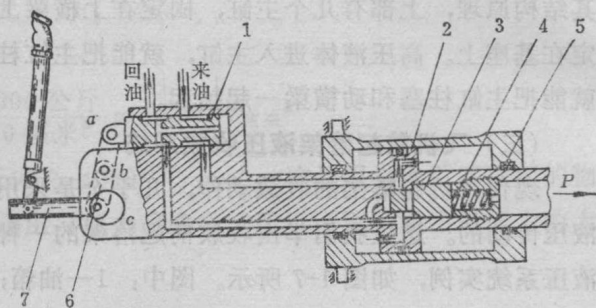


图1-8 液压助力器工作原理

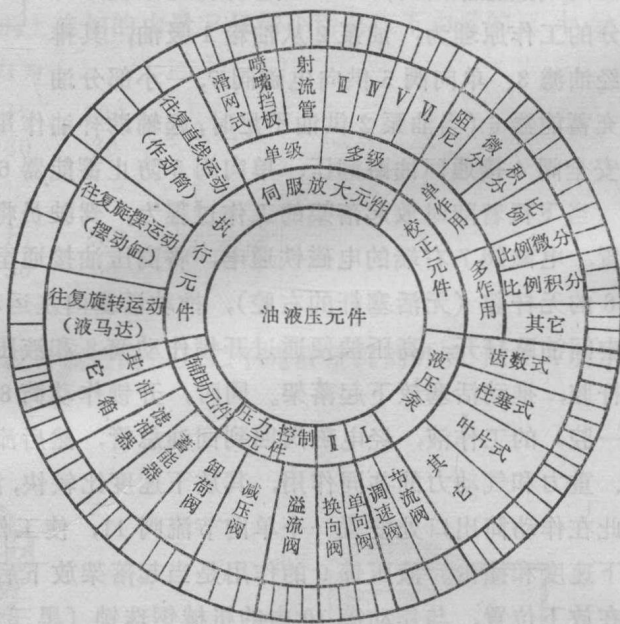


图1-9 液压元件分类

I—流量控制元件; II—方向控制元件; III—滑阀-滑阀;
IV—挡板-滑阀; V—射流管-滑阀; VI—针杆-滑阀。

四、液压、气压、电气三种系统优缺点的比较

(一) 液压系统的优缺点

优点:

1. 动作迅速、换向快（时间常数很小）。据统计，液压传动与伺服装置的时间常数（ T_y ）与电力拖动装置的时间常数（ T_d ）如下

$$\frac{T_y}{T_d} \left| \begin{array}{l} 0.1 \sim 10^{-3} \text{ 秒} \\ 0.5 \sim 10^{-2} \text{ 秒} \end{array} \right.$$

液压传动装置动作迅速和换向快的物理本质在于：（1）可低速工作，不需要减速器，惯性小；（2）液压执行元件单位面积上的拖动力很大，等于其工作压力，可达 350 公斤/厘米²；而电动机转子上单位面积上的拖动力只有 6~8 公斤/厘米²；（3）液压执行元件力矩增长快。

2. 重量轻、尺寸小。据统计，同等功率的液压泵或液压马达的重量，通常只有电机的 1/2~1/5（见表 1-4）。其物理本质在于：（1）液压元件的壳体可用镁铝合金，其它运转零件很少或不必要用铜，更不用矽钢片，所以材料的比重小；（2）利用了液体压力（压强）的性能，提高其工作压力，即能克服巨大负载。

表1-4 液压马达与电动机性能比较

项 目	电 动 机		液 压 马 达
	直 流	交 流 异 步	叶 片 式
功率(千瓦)	2.5	2.8	2.5
转矩(公斤·米)	2.5	2.8	2.0
重量(公斤)	10.0	7.0	2.0
惯性矩(公斤·秒 ²)	0.0073	0.00435	0.0000204
最大尺寸(毫米)	583	441	190

3. 运动平稳、不易受外界负载的影响，即机械特性很好。如图 1-10 所示为液压马达（液动机）和电动机的平稳性特性曲线。由特性曲线可知，在低速时，液压马达的转速平稳性超过电动机许多倍。其物理本质在于：液压马达的转速取决于其输入流量和泄漏量，而输入的流量受另一流量控制元件来控制，与液压马达本身无关；泄漏量虽然与液压马达本身和外界负载有关，但其量很小，对转速的影响不大。

4. 调速范围（最大速度与最小速度之比）甚大，达 400 以上，且可无级调速。其物理本质在于：液压马达可低速运转（可低至 1~2 转/分），液压作动筒可低速移动（可低至 0.01 毫米/秒）。

5. 有很大的功率放大系数，其值可达 10⁶。其物理本质在于：利用液体高压，输出力量大（以“吨”计）；而控制放大元件所需的输入功率却很小（以“克”计）。

6. 效率高，容积调速系统可高达 0.7~0.8。

其物理本质在于：液压传动装置无电磁损耗，有液体循环而发热不严重、机械摩擦损失很小。

缺点：

1. 液压元件结构复杂、工艺要求高、制造成本高；
2. 液压信号（压力波）传递速度比电信号慢得多。液压信号传递速度约 1100 米/秒，而

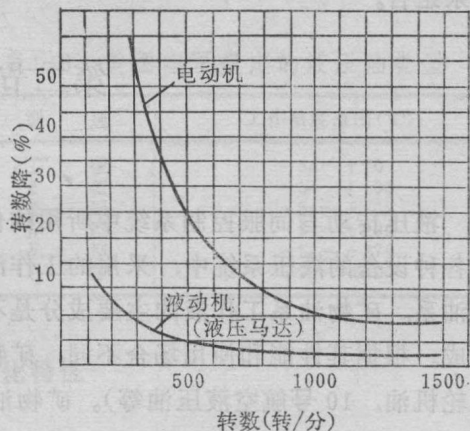


图1-10 平稳性特性线

电信号为 300000 公里/秒，故在信号系统中采用液压信号传递就不适宜；

3. 能量传递的方法很不方便，管路连接麻烦。

(二) 气压系统的优缺点

优点：

1. 结构简单、成本低（不要回气路、不用液体）；

2. 储存能量方便（可压缩储存）；

3. 可在高温下工作（高达 1000℃）。

缺点：

1. 气体可压缩性很大，使运动不平稳和易发生振动；

2. 不宜在低温下工作（凝结成水、结冰）；

3. 密封较困难，易漏气，效率低。

(三) 电气系统的优缺点

优点：

1. 能量传递方便（导线柔软、连接方便）；

2. 信号传递迅速，适于微弱信号处理（检测、放大、变换、计算等）和小功率传动；

3. 有许多标准元件供选用，从设计到出成品的生产周期短；

4. 结构和工艺要求比液压或气压元件简单，制造成本低。

缺点：

1. 运动平稳性较差，易受外界负载的影响；

2. 惯性大、换向慢，亦即时间常数较大；

3. 效率比液压系统低（电磁损耗大、发热功率损失大）。

总的说来，现代飞机自动控制系统或发动机调节系统是电子电气、液压和气压装置的复杂组合。

第二节 工 作 液

一、工作液的分类

液压传动与伺服控制系统中所用的传动介质称为工作液，又称液压油。目前航空和地面各种设备的液压系统中，采用的工作液分两大类：一类为矿物油系，一类为不燃或难燃性油系。矿物油系工作液的主要成分是石油，加入各种添加剂（抗氧化、耐高温等）精制而成。根据其性能和使用场合不同，矿物油系工作液有多种牌号（如 20 号机械油、30 号汽轮机油、10 号航空液压油等）。矿物油系工作液的润滑性好、腐蚀性小、化学安全性较好，故被大多数机器液压系统所采用。尤其是特制航空液压油，能耐高温、抗低温和防火，但价格较贵。在航空喷气发动机的燃油调节系统中，则直接利用发动机本身的燃油（煤油）作为工作液，其工作性能较差，却很方便。

不燃或难燃性液压油系中分水基液压油和合成液压油两种。水基液压油的主要成份是水，加入某些防锈、润滑等添加剂。水基工作液价格便宜、不怕火，其缺点是润滑性差、腐蚀性大及适用温度范围小，故只在液压机（水压机）上使用。合成液压油是由多种磷酸