

飞机 液压传动与控制

Aircraft Hydraulic Transmission and Control

李艳军 编著



科学出版社

www.sciencep.com

内容简介

飞机液压传动与控制

李艳军 编著

本书主要介绍飞机液压传动与控制的基本原理、系统组成、故障诊断与维修。全书共分五章。第一章介绍飞机液压传动的概述；第二章介绍飞机液压传动的组成；第三章介绍飞机液压传动的控制；第四章介绍飞机液压传动的故障诊断；第五章介绍飞机液压传动的维修。本书可作为高等院校航空工程类专业及相关专业的教材，也可供从事飞机维修工作的工程技术人员参考。

航空工业出版社

航空工业出版社

航空工业出版社

航空工业出版社

航空工业出版社

航空工业出版社

航空工业出版社

航空工业出版社

航空工业出版社

航空工业出版社

航空工业出版社

航空工业出版社

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书紧密结合工程实际,全面阐述了飞机液压传动与控制系统的基本概念、典型元件与控制回路、全机液压系统及其实验与维护等内容。首先介绍了飞机液压传动与控制技术的特点以及发展趋势,阐述了液压流体力学的基本理论。在此基础上,着重介绍了飞机液压能源装置、执行装置、控制系统和辅助装置。重点分析了包括操纵系统、刹车系统、起落架系统、发动机反推系统等在内的飞机液压典型控制回路,并以波音 737 飞机和空客 320 飞机为例,详细阐述了飞机全机液压系统。最后介绍了飞机液压系统试验与维护。知识点选取本着通用、先进和实用为原则,以满足夯实基础、扩大专业面的需求,并融会了中外大量资料的精华,力求能反映现代飞机液压传动和控制技术的发展水平及发展趋势。

本书可作为民航机务工程、适航技术与管理等专业本科生教材,也可供相关专业研究生和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

飞机液压传动与控制/李艳军编著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-023760-6

I. 飞… II. 李… III. ①飞机-液压传动②飞机-液压控制 IV. V245.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 206512 号

责任编辑:贾瑞娜 / 责任校对:刘亚琦

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 2 月第一次印刷 印张:18

印数:1—3 000

字数:391 000

定价:36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<新欣>)

前 言

液压传动与控制是研究以液体为介质实现各种机械的传动与控制的学科,是机械设备广泛采用的一种传动与控制方式。第二次世界大战以来,液压技术在飞机上得到了广泛的应用。最初,液压系统的作用是给当时的高速飞机的平尾助力器提供液压动力。20世纪60年代以来,随着液压技术与电气电子技术和自动控制理论等相关学科的有机结合,液压技术逐渐成为机械电子工程领域的主要方向,飞机液压系统也得到了突飞猛进的发展,承担着飞机的特定操纵与驱动任务。时至今日,绝大多数飞机作动系统都是电液伺服系统,现代飞机最主要的飞机舵面全部采用电液伺服系统驱动,起落架的收放动作几乎都是采用液压传动系统实现的,此外液压系统还担负着飞机操纵系统、机轮刹车及地面转向驾驶、发动机反推控制等工作,对飞机的安全飞行极为重要。目前,飞机液压传动与控制技术正朝着重量轻、体积小、高压化、大功率、变压力等方向发展。

本书在编写过程中,贯彻少而精、系统性和学以致用原则,紧密结合工程实际,着重介绍了液压传动与控制的基本理论、飞机典型液压元件、典型控制回路与全机液压系统等,以满足夯实基础、扩大专业面的需求。知识点本着通用、先进和实用为原则进行选取,力求能反映现代飞机液压传动和控制技术的发展水平及发展趋势,融会了中外大量资料的精华。

本书共分9章。第1章简要介绍了液压传动的基本概念、液压传动与控制技术的特点及发展趋势。第2章主要介绍了液压流体力学及液体流量特性等。第3~6章着重介绍了飞机液压能源装置、执行装置、控制系统和辅助装置。第7章重点分析了飞机液压系统典型控制回路,其中包括操纵系统、刹车系统、起落架系统、发动机反推系统的典型回路。第8章分别以波音737和空客320为例,详细阐述了飞机全机液压系统。第9章介绍了飞机液压系统试验与维护。本书每章都配有相应的复习思考题,供读者参考选用。本书可作为民航机电工程、适航技术与管理等专业本科生教材,也可供相关专业研究生和有关工程技术人员参考。

本书在编写过程中,参考、引用了大量的国内外书籍、资料和飞机维修手册等技术出版物,谨向相关译/作者和公司致以诚挚的感谢。南京航空航天大学曹愈远老师参与了部分章节的编写;研究生宋育、毛国强、王景霖、马麟龙等同学为资料整理、图文录入排版等付出了辛勤的劳动;左洪福教授审阅了全部书稿,并提出了许多宝贵意见;在出版过程中,得到了科学出版社有关部门和领导的大力支持,编辑们也给予了许多指导和帮助,谨于此,一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免存在疏漏和错误,敬请读者批评、指正。

李艳军

2009年1月

于南京航空航天大学

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 液压传动的基本概念	1
1.1.1 工作原理	1
1.1.2 力比、速比及功率	2
1.2 液压传动的组成及分类	3
1.3 液压传动与控制技术的特点及在航空中的应用	5
1.3.1 液压传动的特点	5
1.3.2 液压传动在航空中的应用	6
1.4 飞机液压传动与控制系统的的发展趋势	7
复习思考题.....	9
第 2 章 液压流体力学基础	10
2.1 液压系统的工作介质.....	10
2.1.1 工作介质的分类	10
2.1.2 工作介质的主要物理性质.....	11
2.1.3 液压系统防护及油液污染与检测	14
2.2 液压静力学.....	18
2.2.1 液体静压力及其性质	18
2.2.2 压力的表示方法和单位	19
2.3 液压力学.....	19
2.3.1 基本概念.....	19
2.3.2 连续性方程	20
2.3.3 伯努利方程	21
2.3.4 动量方程	22
2.4 管道中液流的能量损失.....	23
2.4.1 层流、紊流、雷诺数	23
2.4.2 沿程压力损失	24
2.4.3 局部压力损失	26
2.4.4 管路系统中的总压力损失与压力效率	26
2.5 液体流经孔口及缝隙的压力流量特性.....	26
2.5.1 液体流过小孔的流量	27
2.5.2 液体流过缝隙的流量	28
2.6 瞬变流动.....	31

2.6.1 液压冲击	31
2.6.2 气穴现象	31
复习思考题	32
第3章 飞机液压能源装置	33
3.1 液压泵的功用及基本原理	33
3.2 液压泵的主要性能参数	34
3.3 航空齿轮泵	35
3.3.1 外啮合齿轮泵	36
3.3.2 内啮合齿轮泵	39
3.4 航空高压柱塞泵	39
3.4.1 径向柱塞泵	39
3.4.2 斜盘式轴向柱塞泵	40
3.4.3 摆缸式柱塞泵	42
3.4.4 柱塞泵压力-流量特性曲线	42
3.4.5 柱塞泵的优缺点及选用	43
3.5 液压泵的压力控制	43
3.5.1 定量泵限压	43
3.5.2 定量泵的卸荷	44
3.5.3 变量泵的限压和卸荷	45
3.6 航空液压油泵的特性及选用	45
3.6.1 液压泵的气穴	45
3.6.2 液压泵的噪声	46
3.6.3 液压泵的流量脉动现象	47
3.6.4 液压泵的性能比较及选用	47
复习思考题	48
第4章 飞机液压执行装置	49
4.1 液压作动筒(液压缸)概述	49
4.1.1 液压作动筒的基本原理和结构	49
4.1.2 液压作动筒的特性与分析	50
4.1.3 液压缸的基本类型和特点	52
4.2 飞机的液压作动筒(液压缸)	55
4.2.1 单作用式作动筒	55
4.2.2 双作用式作动筒	55
4.2.3 液压缸典型结构举例	56
4.3 飞机液压作动筒辅助元件	57
4.3.1 缓冲装置	57
4.3.2 排气装置	58
4.3.3 锁定装置	58

4.4 液压马达	60
4.4.1 液压马达的主要性能参数	61
4.4.2 斜盘式轴向柱塞马达	62
4.4.3 低速大转矩液压马达	63
4.4.4 液压马达的性能及选用	63
复习思考题	65
第5章 飞机液压控制系统	66
5.1 方向控制阀	67
5.1.1 单向阀	67
5.1.2 换向阀	68
5.1.3 多路换向阀	75
5.1.4 方向换向阀的其他品种	76
5.2 压力控制阀	77
5.2.1 溢流阀	77
5.2.2 减压阀	79
5.2.3 顺序阀	81
5.2.4 优先活门、液压延时器与压力继电器	83
5.2.5 溢流阀、减压阀和顺序阀的比较	84
5.3 流量控制阀	85
5.3.1 流量控制原理及节流器形式	85
5.3.2 普通节流阀	87
5.3.3 节流阀的压力和温度补偿	87
5.4 电液比例阀	92
5.4.1 电液比例阀概述	92
5.4.2 典型结构与工作原理	93
5.4.3 电液比例阀的主要性能	97
5.5 滑阀式液压放大器	97
5.5.1 圆柱滑阀的分类与结构型式	97
5.5.2 圆柱滑阀的工作原理	98
5.5.3 圆柱滑阀的静特性	99
5.6 喷嘴挡板式液压放大器	104
5.6.1 喷嘴挡板放大器的结构和工作原理	104
5.6.2 喷嘴挡板放大器的静态特性	106
5.6.3 喷嘴挡板放大器的力特性	109
复习思考题	110
第6章 飞机液压辅助装置	112
6.1 蓄压器	112
6.1.1 蓄压器的功用	112

6.1.2	蓄压器构造	112
6.1.3	蓄压器的容量计算	113
6.1.4	蓄压器的安装与使用	114
6.1.5	蓄压器的维护	114
6.2	过滤器	115
6.2.1	过滤器的作用及过滤精度	115
6.2.2	过滤器的类型及性能	115
6.2.3	过滤器的选用、安装与维护	117
6.3	液压油箱	118
6.4	散热器	120
6.4.1	油温过高及其危害	120
6.4.2	散热器	121
6.5	管件	121
6.6	压力表及压力表开关	122
6.6.1	压力表	122
6.6.2	压力表开关	123
6.7	密封装置	123
6.7.1	密封材料	123
6.7.2	O形密封圈、Y形密封圈及V形密封圈	124
6.7.3	密封件的标识及使用注意事项	126
6.7.4	其他密封装置	127
	复习思考题	127
第7章	飞机液压控制典型回路	128
7.1	飞机液压舵机	128
7.1.1	液压舵机	128
7.1.2	飞控系统中的反传和复合舵机	131
7.2	飞机操纵系统典型回路	133
7.2.1	概述	133
7.2.2	典型回路	136
7.3	飞机刹车系统典型回路	152
7.3.1	概述	152
7.3.2	典型回路	153
7.4	起落架系统典型回路	161
7.4.1	起落架收放系统回路	162
7.4.2	飞机转弯系统回路	169
7.5	发动机反推系统典型回路	176
7.5.1	反推装置系统概述	176
7.5.2	反推系统典型回路——液压式反推回路	179
	复习思考题	183

第 8 章 民用飞机全机液压系统	184
8.1 飞机余度液压能源系统与技术	184
8.1.1 余度结构设计	184
8.1.2 余度管理	186
8.1.3 可靠性分析	189
8.1.4 飞机余度液压能源系统余度管理软件	192
8.2 现代飞机液压源系统概述	193
8.2.1 现代飞机液压源系统组成	193
8.2.2 液压泵特点	194
8.2.3 压力分配	196
8.2.4 指示系统	196
8.2.5 系统勤务	198
8.3 波音 737 全机液压系统	200
8.3.1 波音 737 飞机全机液压系统概述	200
8.3.2 主液压系统	201
8.3.3 辅助液压系统	205
8.3.4 液压指示系统	207
8.3.5 地面勤务系统	208
8.4 空客 320 全机液压系统	209
8.4.1 空客 320 飞机全机液压系统概述	209
8.4.2 主液压系统	210
8.4.3 辅助液压系统	219
8.4.4 指示系统	225
复习思考题.....	229
第 9 章 飞机液压系统试验与维护	230
9.1 液压元件的试验	230
9.1.1 液压元件试验的种类	230
9.1.2 液压元件的试验装置	235
9.1.3 液压元件的试验方法	241
9.2 液压系统的试验	259
9.2.1 一般液压系统的试验	259
9.2.2 飞机全机液压系统模拟试验	260
9.3 液压系统的使用维护与故障分析	268
9.3.1 液压系统的维护	268
9.3.2 液压系统常见故障及排除方法	271
9.3.3 主要液压元件故障排除表	273
复习思考题.....	276
参考文献	277

第1章 绪 论

1.1 液压传动的基本概念

1.1.1 工作原理

液压传动是以液体作为工作介质并依靠液体的压力能来实现能量的转换、传递和控制的一种传动形式。图 1.1.1 为液压千斤顶工作原理,由图(a)可知,大缸体 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小缸体 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。假设活塞在缸体内可自由滑动(无摩擦力)又不使液体渗漏,液压缸的工作腔与油管都充满油液并与大气隔绝——即液体在密封容积内。当提起手柄 1 使小活塞 3 向上移动时,小活塞下端油腔容积增大,形成局部真空,此时单向阀 4 被打开,通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油;当压下手柄,小活塞下移,小活塞下腔压力升高,单向阀 4 关闭,单向阀 7 被打开,下腔的油液经管道 6 流入大缸体 9 的下腔,使大活塞 8 向上移动,顶起重物。为防止再次提起手柄吸油时,举升缸下腔的压力油逆向流入手动泵(小缸),设置一单向阀 7,使其自动关闭,油液不能倒流,以保证重物不会自行下落。往复扳动手柄,就能不断地将油液压入举升缸下腔,使重物逐步升起;当打开截止阀 11,举升缸下腔的油液通过管道 10、阀 11 流回油箱,大活塞在重物和自重作用下回到原始位置。

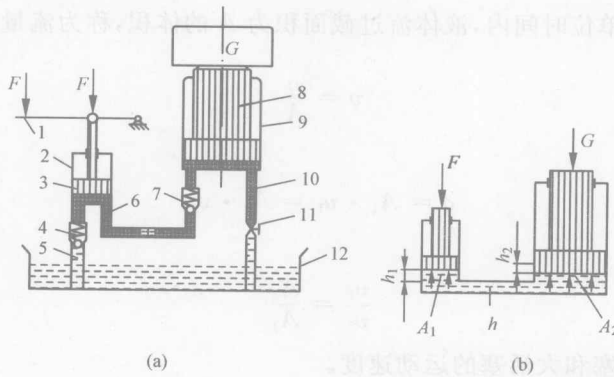


图 1.1.1 液压千斤顶

(a) 液压千斤顶原理图;(b) 液压千斤顶简化模型

1—杠杆手柄;2—小缸体;3—小活塞;4、7—单向阀;5—吸油管;6、10—管道;
8—大活塞;9—大缸体;11—截止阀;12—通大气式油箱

由此可以得出结论:密封容积中的液体既可以传递力,又可以传递运动。因此液压传动又称容积式液压传动。

1.1.2 力比、速比及功率

图 1.1.1(b) 为液压千斤顶简化模型, 据此可分析推导出两活塞间的力比、速比及功率关系。设大、小活塞的面积为 A_2 、 A_1 , 当作用在大活塞的负载为 G , 作用在小活塞的作用力为 F 时, 根据帕斯卡原理, 即“在密闭容器内, 施加于静止液体上的压力将同时以等值传递到液体各点”。

设缸内压力为 p , 运动摩擦力忽略不计, 则有

$$p = \frac{F}{A_1} = \frac{G}{A_2}$$

或

$$\frac{G}{F} = \frac{A_2}{A_1} \quad (1-1)$$

式中, A_1 、 A_2 分别为小活塞和大活塞的作用面积; F 为杠杆手柄作用在小活塞上的力; G 为作用在大活塞的负载。

如果不考虑液体的可压缩性、泄漏损失和缸体、油管的变形, 则从图 1.1.1(b) 可以看出, 被小活塞压出的油液的体积必然等于大活塞向上升起后大缸扩大的体积, 即

$$A_1 \cdot h_1 = A_2 \cdot h_2 \quad (1-2)$$

式中, h_1 、 h_2 为小活塞和大活塞的位移。

将式(1-2)两端同除以活塞移动的时间 t , 得

$$A_1 \frac{h_1}{t} = A_2 \frac{h_2}{t} \quad (1-3)$$

$A \frac{h}{t}$ 的物理意义是单位时间内, 液体流过截面积为 A 的体积, 称为流量 q , 即

$$v = \frac{q}{A} \quad (1-4)$$

因此, 得

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

即

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

式中, v_1 、 v_2 为小活塞和大活塞的运动速度。

使负载 G 上升所需的功率为

$$P = G \cdot v_2 = p \cdot A_2 \frac{q}{A_2} = p \cdot q \quad (1-6)$$

式中, p 为液体的压力, 是指液体在单位面积上所受的作用力, 确切地说应该是压力强度(或压强), 工程上习惯叫压力, 常用的单位为 $\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$ 或 MPa , q 的单位为 m^3/s , P 的单位为 $\text{W}(\text{N} \cdot \text{m}/\text{s})$ 。

q 为液体的流量,是指单位时间内流过管中某个横截面处的液体的体积,常用的单位为 L/min。

压力 p 和流量 q 是流体传动中最基本、最重要的两个参数,相当于机械传动中的力和速度,它们的乘积即为功率,称为液压功率。

由于计算时功率 P 常用的单位为 kW,若液体的压力 p 的单位为 MPa,流量 q 常用的单位为 L/min 时,必须进行单位换算,换算后的关系为

$$P = \frac{p \cdot q}{60} \text{ (kW)} \quad (1-7)$$

从以上分析可知,液压传动是以流体的压力能来传递动力的。这样就得到两个重要的概念和结论:

1. 压力取决于负载

在图 1.1.1(b)所示的简化模型中,只有大活塞上有了重物 G (负载),小活塞上才能施加作用力 F ,而有了负载和作用力,才产生液体压力 p 。有了负载,液体才会有压力,并且压力大小取决于负载,而与流入的流体多少无关。这是一个很重要的概念。在分析液压系统中元件和系统的工作原理时经常要用到。实际上,液压传动中液体的压力相当于机械传动中机械构件的应力。

机械构件应力是取决于负载的,同样液体的压力也是取决于负载的。但是机械构件在传动时可以承受拉、压、弯、剪等各种应力,而液压传动中液体只能承受压力,这是二者的重要区别。

2. 速度取决于流量

从式(1-4)可得到另一个重要的基本概念,调节进入缸体的流量 q ,即可调节活塞的运动速度 v ,这就是液压传动能实现无级调速的基本原理。即活塞的运动速度(马达的转速)取决于进入液压缸(马达)的流量,而与流体压力大小无关。

1.2 液压传动的组成及分类

1. 液压系统的组成及分类

实际使用的液压系统要比图 1.1.1 所示的传动原理模型复杂得多。目前对液压系统的组成基本上有两种阐述方法:一种是按组成系统的液压元件的功能类型划分;另一种是按组成整个系统的分系统功能划分。

1) 按液压元件的功能划分

液压系统必须要由一些主要液压元件组成,一般都包括四种元件(图 1.2.1):

(1) 动力元件。指液压泵,其作用是将电动机或发动机产生的机械能转换成液体的压力能。

(2) 执行元件。其功能是将液体的压力能转换为机械能,执行元件包括液压作动筒和液压马达。

(3) 控制调节元件。即各种阀,用以调节各部分液体的压力、流量和方向,满足工作要求。

(4) 辅助元件。除上述三项组成元件之外的其他元件都称为辅助元件,包括油箱、油滤、散热器、蓄压器及导管、接头和密封件等。

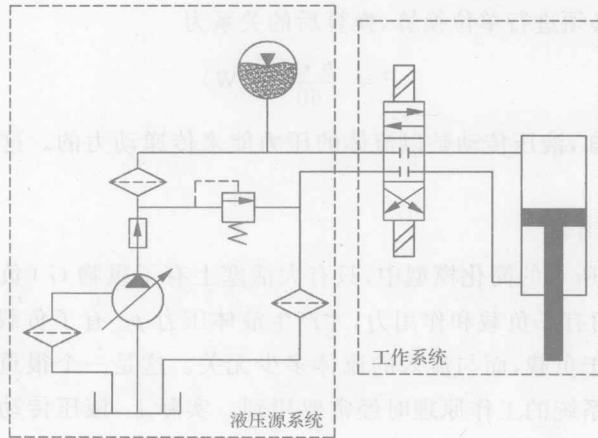


图 1.2.1 液压系统基本组成

2) 按组成系统的分系统功能划分

从系统的功能观点来看,液压系统可分为液压源系统和工作系统两大部分:

(1) 液压源系统。液压源包括泵、油箱、油滤系统、冷却系统、压力调节系统及蓄能器等。在结构上有分离式与柜式两种,飞机液压源系统多为分离式,而柜式液压源系统多用于地面设备,且已形成系列化产品,在标准机械设计中可对液压源系统进行整体选用。

(2) 工作系统(或液压操作系统、用压系统)。它是用液压源系统提供的液压能实现工作任务的系统。利用执行元件和控制调节元件进行适当地组合,即可产生各种形式的运动或不同顺序的运动。例如,飞机起落架收放系统,液压刹车系统等。

2. 液压传动与控制的图形符号

为了简化液压原理图的绘制,国家标准(GB/T786.1—1993)规定了“液压气动图形符号”,这些符号只表示元件的职能,不表示元件的结构和参数。一般液压传动系统图均应按标准规定的图形符号绘制,若某些元件无法用图形符号表示,或需着重说明系统中某一重要元件的结构和动作原理时,允许采用结构原理图表示。

在航空工程与技术中,不同的制造商也使用不同的形式和符号来表示液压元件和系统,用于飞机维修手册等技术出版物。图 1.2.2 所示为空客飞机常用液压系统图形和符号。

	电动泵		蓄压器
	引擎泵		温度传感器
	冲压空气涡轮		顺序阀
	手动泵		高压空气歧管
	电动关断阀		双向节流阀
	接地器		动力传导部件
	自封闭耦合		弹簧式蓄压器
	安全阀		压力计
	单向阀		脉动消除器
	液压安全阀(保险)		低压空气歧管
	过滤器		液压控制换向阀
	压力传感器		手动操纵阀
	压力开关		液压马达
	电磁阀		液压作动器

图 1.2.2 空客飞机常用液压系统图形和符号

1.3 液压传动与控制技术的特点及在航空中的应用

1.3.1 液压传动的特点

1. 液压传动与机械传动、电气传动、气压传动相比存在的优点

(1) 功率相同的情况下,体积小、重量轻、结构紧凑、惯性小,可快速启动和频繁换向,能传递较大的力和转矩。

(2) 能方便地实现无级调速,且调速范围大,可达 100 : 1 至 2000 : 1。而最低稳定转速可低至每分钟几转,可实现低速强力或低速大扭矩传动,不需减速器。

(3) 传递运动均匀平衡、方便可靠;负载变化时速度较稳定。

(4) 控制调节方便、省力,易于实现自动化;与电气控制或气动控制配合使用,能实现各种复杂的自动工作循环,还可远程控制。

(5) 易于实现过载保护;液压元件可自行润滑,使用寿命较长。

(6) 液压元件易实现标准化、通用化、系列化,便于设计制造和推广使用;元件之间用管路连接时,在系统中的排列布置有较大的机动性。

(7) 实现直线运动一般比机械传动简单。

2. 液压传动装置存在的不足

(1) 由于采用液体传递压力,系统不可避免地存在泄漏,因而传动效率较低,不宜于远距离传动。

(2) 对油温变化较敏感,运动件的速度不易保持稳定,同时对油液的清洁程度要求高。

(3) 为减少泄漏,液压元件制造精度要求高,加工工艺复杂,因而成本较高。

(4) 系统发生故障时,不易查找原因和维修。

(5) 系统或元件的噪声较大。

1.3.2 液压传动在航空中的应用

液压传动与控制技术应用于航空领域是第二次世界大战末期才开始的,开始阶段的发展很缓慢。当时,首先用在飞机上的液压技术就是液压助力器。最初的飞机液压助力器被用来给当时的高速飞机的平尾升降舵助力器提供液压动力,大大地改进了飞机操纵系统的性能。不断改进的液压助力器用于飞机舵面的操纵,不仅减轻了飞行员的体力消耗,而且由于助力操纵克服了飞机在跨声速飞行时舵面气动力引起操纵杆力变化的不可操纵性,从而使飞机由亚声速跨入了超声速的飞行。现代飞机的操纵系统,如副翼、升降舵、方向舵、人感系统、发动机与电源系统的恒速与恒频率调节、起落架收放、舱门收放、速度刹车、襟翼、缝翼和扰流板的操纵、减速板收放及前轮转弯操纵等都用到液压操纵。

20世纪60年代以来,随着电气技术、自动控制理论等学科和技术的发展和运用,液压传动与控制技术进入了一个新的阶段,在航空、航天领域发挥了越来越大的作用。随着液压伺服技术特别是电液伺服技术的发展和运用,机-电-液作动系统已成为飞机作动系统的主要形式。电液伺服作动系统随着航空、航天技术的发展和需要,以及伴随着微电子技术及其他相关技术的发展而逐渐发展成熟起来。现在绝大多数飞机作动系统都是电液伺服系统,最主要的飞机舵面全部采用电液伺服系统驱动。同时,机载液压系统的液压传动系统在飞机上亦有重大应用,现代飞机液压系统得到了突飞猛进的发展,担负着飞机的特定操纵与驱动任务。

机载液压系统对于飞机安全正常飞行、实现设计性能及保障飞行安全,起着举足轻重的作用。为保证液压系统可靠工作,现代飞机上大多装有两套或多套相互独立的液压系统,分别称为公用液压系统(主液压系统)和助力液压系统。公用液压系统用于起落架、襟翼和减速板的收放、前轮转弯操纵、机轮刹车、驱动风挡板雨刷和燃油泵的液压马达;同时还用于驱动部分副翼、升降舵(或全动平尾)和方向舵的助力器。助力液压系统仅用于驱动飞机操纵系统的助力器和阻尼舵机。助力液压系统本身也可包含两套独立的液压系统。为了进一步提高液压系统的可靠性,系统中还并联有应急电动泵和风动泵,当飞机发动机发生故障时,可由应急电动泵或应急风动泵使液压系统连续工作。

1.4 飞机液压传动与控制系统的的发展趋势

作为机载液压系统的两个方面——机载电液伺服系统和机载液压传动系统,它们担负着飞机操纵系统、收放系统、机轮刹车及地面转向驾驶等工作,对飞机的安全飞行及着陆等极为重要。现代航空技术的进一步发展对机载液压系统提出了更高的要求,机载液压系统将朝着重量轻、体积小、高压化、大功率、变压力等方向发展。

1. 重量轻、体积小

随着飞机向着高速、高机动性方向发展,减轻机载液压系统的重量和减小其体积是发展下一代飞机的必然要求,从未来高性能飞机的飞行性能与合理的重量分配来看,最有利的机载液压系统重量应小于全机重量的1%,而目前机载液压系统的重量约占整机重量的3%~15%。因此,减轻机载液压系统的重量和减小其体积是发展下一代飞机的必然趋势。

2. 高压化

自从机载液压系统出现 20.7MPa(3000psi^①)、27.6MPa(4000psi)压力之后,世界上飞机液压系统最高压力已保持了 40 余年没有改变,图 1.4.1 所示是世界各国主要机型机载液压系统的工作压力。

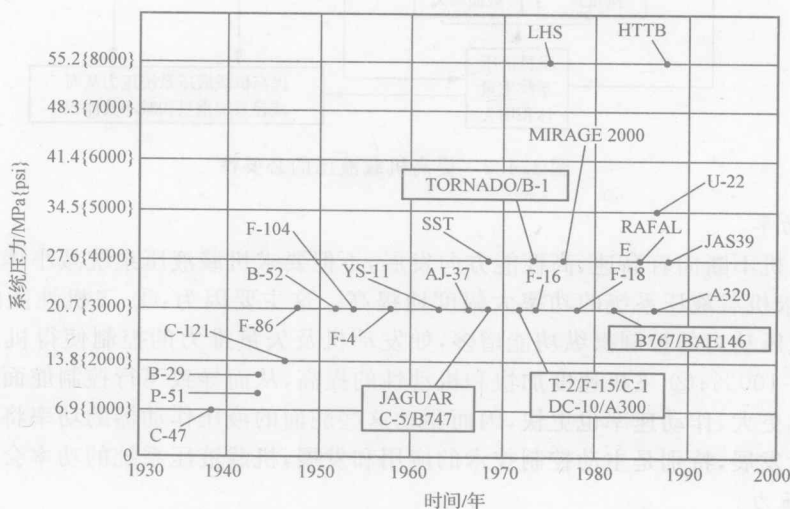


图 1.4.1 世界各国主要机型机载液压系统的工作压力

民用运输机: A300, A320, B747, B767, BAE146, DC210, SST, YS211。

军用运输机: C-1, C-5, C-47, C-121, U-22。

战斗机: AJ-37, F-4, F-15, F-16, F-18, F-86, F-104, JAGUAR, JAS39, MIRAGE2000, P-51, RAFALE, TORNADO。

轰炸机: B-1, B-29, B-52。

实验机: LHS, HTTB。

世界各国特别是美国近 20 年来的大量研究表明,减轻机载液压系统重量和缩小其体积的最有效的途径是提高机载液压系统的工作压力。图 1.4.2 所示为为提高机载液压系统

① psi(磅力每平方英寸), 1 psi=6.895kPa。

工作压力的必要性。同时,美国海军的研究表明,机载液压系统的最优工作压力为 55.2MPa(8000psi)。相对于压力为 20.7MPa(3000psi)的机载液压系统来说,压力为 55.2MPa(8000psi)的机载液压系统的重量可减轻 30%,体积可缩小 40%。可以预见高压化是未来飞机机载液压系统发展的一种主要趋势。

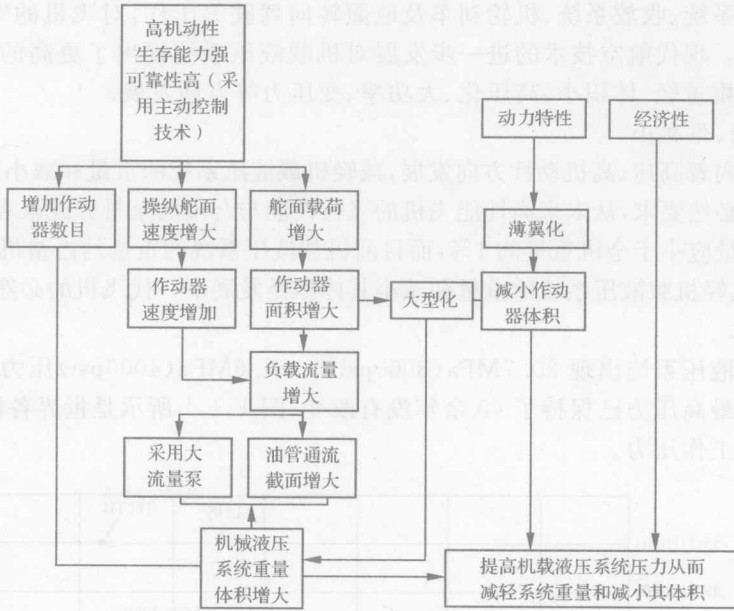


图 1.4.2 提高机载液压的必要性

3. 大功率

未来飞机不断向着高速、高性能方向发展,不但要求机载液压系统减小体积和减轻重量,而且要求机载液压系统的功率大幅度地提高。这主要因为:① 飞机性能的提高使得机上利用液动力的控制操纵功能增多,如发动机及矢量推力的控制使得机载液压功率增加 50%~100%;② 飞机速度加快和机动性的提高,从而导致飞行控制舵面承受的气动力载荷变得更大、作动速率也更快,因而驱动这些舵面的液压作动器的功率将更大。随着飞机的不断发展,特别是主动控制技术的发展和运用,机载液压系统的功率会不断提高。

4. 变压力

机载液压系统向着高压化、大功率方向发展,其带来的是系统无效功率的增加,而机载液压系统无效功率的主要体现形式就是产生大量的热,从而导致机载液压系统的温度急剧升高,温度升高将加速介质老化。国外资料表明:每当温度升高 15℃,矿物油介质的稳定使用寿命将降低 90%;温升对介质的极其不利的影 响还在于黏度和润滑性能的降低,从而对高压系统的密封带来一定的困难;温升又会加剧沉淀物的聚集;温升也会使零件发生膨胀,加上润滑性能差,就会造成动作失效和控制失效。而且,未来飞机上大量使用的复合材料导热能力差,飞机在超声速飞行时机壳温度的升高进一步促进了液压系统的温度升高。而目前采用的散热方式即通过燃油交换散热是有限的,如果不采取一定的节能手段或采用一种合理的能量管理方法来降低功率损耗、提高机载液压系统的能效,那么势必必要增加液压油箱及冷却散热部件的体积及重量。那么,提高系统压力所带来的系