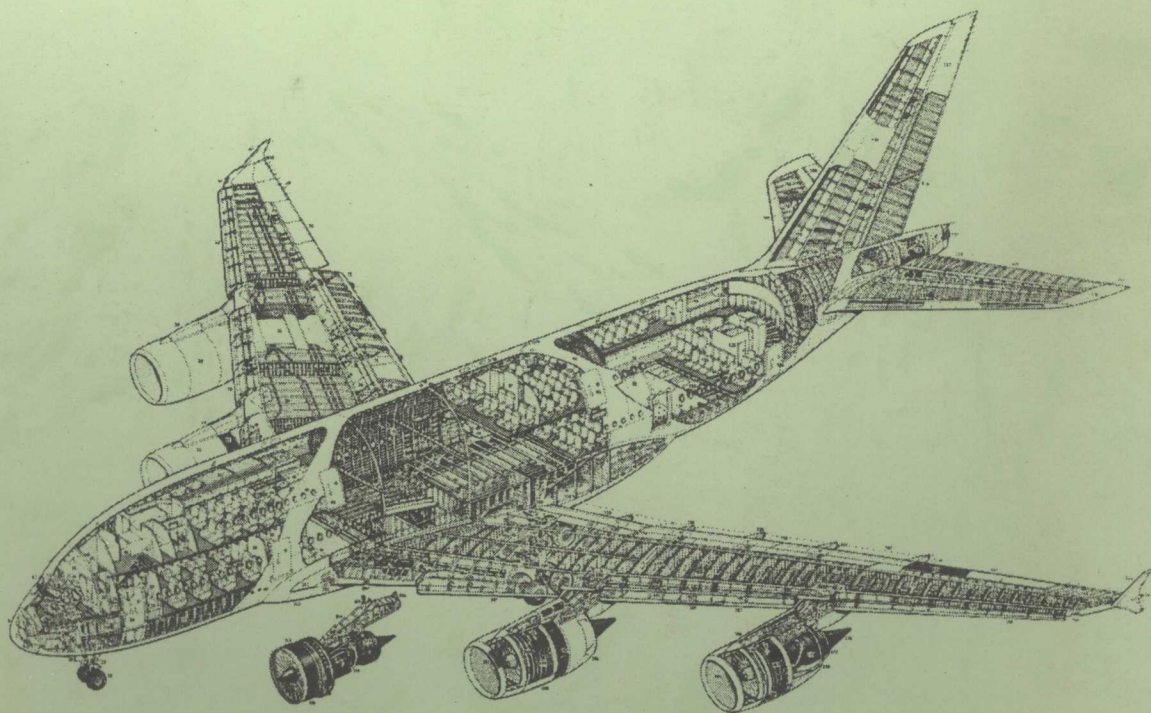


民用飞机系统原理

(上册)

李艳军 编著



南京航空航天大学

V23 / 1024-A

NUAA2011013989

V23
1024-AI

前 言

随着社会经济的发展和人们生活质量的提高，快捷、舒适、安全、经济的航空运输近年来有了长足的发展。预计 2010 年世界航空运输量将达 48000 亿人/公里，平均每年增长 10% 左右，我国航空运输量更以 20% 以上的年增长率快速发展。持续、快速的航空运输增长需要大量先进的民用飞机，因此欧美等国都投入大量人力物力，采用各专业的高新技术，研究开发具有高的安全性、经济性、舒适性和低成本的先进民用飞机，以占领近千亿美元的民机市场。

空气动力学、推进技术、先进材料和结构、航空电子和控制、以及认知工程等航空科学与技术的发展，正推动民用飞机朝着经济性、舒适与环保、安全性、系列化及大型化方向发展。现代民用飞机作为一个复杂的大系统，由若干个相对完整、能够完成特定功能的系统 (System) 组成，每个系统又可分为若干个子系统 (Sub System)。对航空解和掌握飞机系统及其子系统的组成、工作原理以及维修维护等知识，对民航机务工程、适航技术与管理、飞行技术等专业的学习是至关重要的。本书紧密联系当今民航飞机主流机型，从飞机系统的角度，介绍了飞行操纵、飞行控制、起落架系统、空调系统、液压系统、燃油系统、防火系统、防冰和排雨、灯光和氧气、设备/设施与水系统、航空电源、通信和导航系统以及机载维护系统等飞机的主要典型系统的组成、工作原理、主要部附件以及使用维护的要求等内容。本书可作为本科生教材，也可作供相关专业研究生和有关工程技术人员参考。

在编写过程中，参考了大量的国内外书籍、资料和飞机技术出版物。曹愈远老师参与了部分章节的编写，研究生蒋振飞、彭明玉、沈萍、赵晶等为资料整理、图文录入排版等付出了辛勤的劳动。在此向以上参考资料的译/作者、参与编写的老师和同学表示衷心的感谢！

由于时间仓促，加之编者水平有限，本书如存在疏漏和错误，敬请读者予以批评、指正。

李艳军
2007 年 7 月

2011013989

洪彦音噪装谱



周一二节: 10104

目 录

考卷:
12月9日
16:00-18:00
4/01
简答题: 8X5
9/15/16/19/22
分析: 6X10
1/2/3/7/9/10

第1章 绪 论

1.1 民用飞机的发展概述.....	1
1.2 飞机系统及 ATA 编号.....	3

第2章 飞行操纵系统

2.1 操纵系统概述.....	8
2.1.1 操纵系统定义及分类.....	8
2.1.2 对操纵系统的要求.....	9
2.2 中央操纵机构.....	10
2.2.1 手操纵机构.....	10
2.2.2 脚操纵机构.....	11
2.3 传动系统.....	11
2.3.1 机械传动机构.....	12
2.3.2 电传操纵系统.....	19
2.4 舵面驱动装置.....	22
2.4.1 液压驱动装置.....	22
2.4.2 电力驱动.....	28
2.5 典型飞机操纵系统.....	29
2.5.1 主飞行操纵系统与辅助操纵系统的区别.....	29
2.5.2 主操纵系统.....	29
2.5.3 辅助操纵系统.....	33
2.6 飞行操纵警告系统.....	39
2.6.1 起飞警告系统.....	39
2.6.2 失速警告系统.....	39

第3章 液压系统

3.1 液压系统概述.....	41
3.1.1 液压传动原理.....	41
3.1.2 液压系统组成.....	41
3.1.3 液压传动的优、缺点.....	42
3.2 民用飞机常用液压元件.....	43
3.2.1 液压油.....	43
3.2.2 液压泵.....	46
3.2.3 液压控制元件.....	52
3.2.4 液压执行元件.....	62
3.2.5 液压辅助元件.....	65
3.3 飞机液压源系统.....	74
3.3.1 飞机液压源系统组成.....	74
3.3.2 液压泵特点.....	75
3.3.3 压力分配.....	76
3.3.4 指示系统.....	77
3.3.5 系统勤务.....	78

陈心
070751031
15951076473

第4章 起落架系统

4.1 起落架系统概述.....	81
4.1.1 起落架配置型式.....	81
4.1.2 起落架结构型式.....	82
4.1.3 轮式滑行装置.....	84
4.2 减震系统.....	86
4.2.1 减震原理.....	86
4.2.2 减震器的发展.....	86
4.2.3 油气减震器.....	87
4.2.4 油气减震支柱维护.....	91
4.3 收放系统.....	94
4.3.1 起落架收放概述.....	94
4.3.2 起落架锁机构.....	94
4.3.3 收放系统工作原理.....	96
4.3.4 指示和警告系统.....	98
4.3.5 应急放下系统.....	100
4.3.6 地面防收安全措施.....	100
4.3.7 起落架收放系统维护.....	101
4.4 转弯系统.....	102
4.4.1 前轮稳定距.....	102
4.4.2 飞机转弯操纵.....	103
4.4.3 自动定中机构.....	108
4.5 机轮和刹车.....	109
4.5.1 机轮.....	109
4.5.2 刹车装置.....	115
4.5.3 刹车系统.....	121

第5章 空调系统

5.1 空调系统概述.....	126
5.1.1 大气物理特性及高空环境对人体生理的影响.....	126
5.1.2 空调系统的提出.....	129
5.2 气源系统.....	131
5.2.1 气源系统概述.....	131
5.2.2 气源系统调节与控制.....	133
5.3 温度控制系统.....	138
5.3.1 座舱温控原理.....	138
5.3.2 蒸发循环制冷系统.....	140
5.3.3 空气循环制冷系统.....	142
5.4 空气分配系统.....	150
5.4.1 分配系统组成.....	150
5.4.2 再循环设备.....	151
5.4.3 座舱局部加温.....	152
5.5 座舱压力控制系统.....	152
5.5.1 座舱增压原理及座舱压力制度.....	152
5.5.2 座舱压力控制系统.....	154

5.5.3	座舱增压系统维护.....	160
5.6	货舱加温及设备冷却.....	160
5.6.1	货舱加温.....	160
5.6.2	电子设备舱的冷却.....	161
第6章 燃油系统		
6.1	燃油系统概述.....	163
6.1.1	燃油系统功用.....	163
6.1.2	燃油系统特点和对燃油系统要求.....	163
6.2	油箱及通气系统.....	164
6.2.1	油箱类型和布局.....	164
6.2.2	油箱通气系统.....	166
6.3	加油/抽油系统.....	168
6.3.1	概述.....	168
6.3.2	重力加油.....	170
6.3.3	压力加油.....	171
6.3.4	地面抽油.....	172
6.4	供油系统.....	173
6.4.1	重力供油.....	173
6.4.2	动力供油.....	173
6.4.3	应急放油.....	178
6.5	燃油指示/警告系统.....	181
6.5.1	油量指示系统.....	181
6.5.2	压力指示.....	183
6.5.3	温度指示.....	183
6.6	燃油系统维护.....	183
6.6.1	油箱腐蚀处理与预防.....	183
6.6.2	油箱渗漏处理.....	185
6.6.3	管路系统维护.....	188
第7章 防火系统		
7.1	防火系统概述.....	189
7.1.1	防火系统的功用和组成.....	189
7.1.2	警告信息描述.....	190
7.2	火警探测系统.....	190
7.2.1	火警探测系统的组成.....	190
7.2.2	火警探测原理.....	191
7.2.3	烟雾探测器原理.....	195
7.2.4	飞机火警探测系统举例.....	197
7.2.5	火警探测系统的维护与检查.....	198
7.3	飞机灭火系统.....	199
7.3.1	火的种类和灭火方法.....	199
7.3.2	飞机灭火系统.....	201
7.3.3	灭火系统的维护.....	205
第8章 防冰和排雨系统		
8.1	防冰和排雨概述.....	207

8.1.1	防冰和排雨系统的功用.....	207
8.1.2	结冰的机理.....	207
8.1.3	飞机结冰及其形式.....	208
8.2	结冰探测器.....	209
8.2.1	振荡式结冰探测器.....	209
8.2.2	压差式结冰探测器.....	211
8.2.3	放射性同位素结冰探测器.....	212
8.3	防冰和除冰.....	213
8.3.1	机翼和发动机进气道防冰.....	213
8.3.2	螺旋桨防冰.....	214
8.3.3	风挡玻璃的防冰和防雾.....	216
8.3.4	大气数据探头防冰.....	217
8.3.5	供水和排放系统的防冰.....	217
8.3.6	机械能除冰系统.....	218
8.4	风挡排雨系统.....	220
8.4.1	排雨液.....	220
8.4.2	厌水涂层.....	221
8.4.3	风挡刮水器.....	221
8.5	飞机的地面除冰.....	222
第9章 灯光和氧气系统		
9.1	灯光照明系统.....	225
9.1.1	灯光系统概述.....	225
9.1.2	机内灯光.....	226
9.1.3	机外灯光.....	231
9.1.4	应急灯光.....	232
9.1.5	灯光系统维护注意事项.....	233
9.2	氧气系统.....	233
9.2.1	氧气系统概述.....	233
9.2.2	机组氧气系统.....	234
9.2.3	旅客氧气系统.....	237
9.2.4	氧气系统的指示和警告.....	240
9.2.5	氧气系统的维护与保养.....	241
第10章 设备/设施与水系统		
10.1	机舱设备/设施.....	243
10.1.1	正常设备/设施.....	243
10.1.2	应急设备/设施.....	247
10.2	水/污水系统.....	252
10.2.1	饮用水系统.....	252
10.2.2	污水系统.....	253

第 1 章 绪论

1.1 民用飞机的发展概述

为了提高人民生活质量和加快经济发展,航空已成为现代生活所必需。航空运输的特点是快捷、舒适、安全、经济。虽然铁路运输也在提高速度,但其经济性仍不如航空。西方有关人士认为,路程超过 650 公里,连先进的悬浮高速列车也不如航空运输经济。

美国估计,1990 年世界航空运输量为 16000 亿人/公里(不包括前苏联),预计 2010 年将达 48000 亿人/公里,每年增长 10% 左右。俄罗斯估计本国航空运输量年增长率为 7%~9%,2010 年将达 3000 亿人/里。我国航空运输量从 1985 年到 1994 年平均年增 20%,1994 年达 552 亿人/里。为实现国民经济建设第三步目标,达到发达国家现在的水平,我国民用航空运输量还将保持较高的速度增长,这就需要大量的民用飞机。

要获得民用飞机市场,产品必须有高的安全性、经济性、舒适性和低的成本,这就需要采用各专业的高新技术,要靠国家投资。美国在海湾战争后重申航空技术为国家关键技术,除出于国防需要外,千亿美元的民机市场也是它的着眼点。欧洲四国政府不惜投资 260 亿美元,终于使空中客车飞机获得了 25% 的民机市场。现在发展中国家也纷纷创办航空工业,他们看到了航空产品的高技术、高附加值,且能推动各工业部门发展。为此,我国也要开展民机的研制。

一、民用飞机的发展趋势

(1) 大型亚音速客机

预计 2020 年航空运输主要靠亚音速客机,1991 年至 2010 年约需 100 座以上的亚音速客机 13000 架。要求 2020 年飞机的运营总费用比现在降 25%,单位座公里油耗降 40%,其中 25% 靠发动机改进,15% 靠提高飞机气动效率和减少飞机空重;飞机的客座量提高到 1000,但飞机轮廓尺寸仍应在现有机场允许使用的条件内。要提高飞机的全天候起降能力,提高可靠性,降低事故率(包括减少人的差错和自动系统的可靠),降低噪音和发动机排放污染。

(2) 超音速客机

70 年代研制的“协和”与“图-144”超音速客机,出于不经济和对环境造成污染,得不到发展。展望 2010 年,越洋飞行的运输量将大大增加,因此。超音速客机还要发展,到 2015 年可能需要 600~1500 架;将来的超音速客机将能承载 0~300 人,巡航 M 数在 1.6-2.5,航程在 10000-12000 公里。为使用经济,要求超音速升阻比大于 9,发动机油耗在 1.2~1.3 公斤/公斤推力/时。

要降低音爆强度,使之控制在小于 0.0005 大气压,主要靠改进飞机的气动外形。解决污染问题,主要是控制发动机燃烧后的氮氧化物(NO_x)排量。NO_x 在高空要破坏自然臭氧层,在低空则与阳光作用产生大量臭氧和其它强氧化物。所以需要研究不影响自然臭氧层的 NO_x 排放标准,以便选择合理的巡航高度。为控制 NO_x 排量,还应改进发动机的燃烧器。

(3) 偏转旋翼式支线客机

为解决中心机场的拥挤,需要垂直起降飞机疏散客流,并进行市区对市区的运输。利用可偏转旋翼的支线客机将能达到此目的。这种飞机有直升机的机场利用优点,又能克服直升机气动效率低、振动噪音大的缺点。现在已有军用 V-22 型。将来应进一步降低空机重量,提高气动效率,特别是垂直飞行时旋翼对机翼载荷的影响。

二、民用飞机的发展方向

高速、便捷和安全是航空运输业能取得今日如此巨大成就的重要原因,也是用户对民用客机的最基本要求。各飞机制造公司的经营理念虽有差别,但在民用飞机的设计上也表现出一些共性:

(1) 追求经济性。不断降低飞机的直接使用成本,如降低油耗,增大航程,提高商载,以迎合大多

数航空公司对于提高运营经济性的迫切需求。

(2) **高舒适性和环保要求**。舒适和环保是 21 世纪民机制造中必须关注的两个问题。降低噪声，提高乘客舒适度，减少排放物造成的环境污染，满足 21 世纪乘客对更高享受的追求。

(3) **安全性**。“9·11”事件之后，航班安全性更加受到重视，机上安全设施不断加强，如加固或换装驾驶舱舱门，安装监控摄像机，改善或增加客舱乘务员与驾驶舱之间的应急告警和通信系统等，以提高安全性。

(4) **系列化**。系列化可以保持各机型之间的通用性，降低研制成本和研制风险，是航空制造公司赖以生存的法宝。另外，飞机的系列化也有利于航空公司机队的配置。

(5) **高运力**。增大载客量、提高运力是解决机场拥挤、空运量增长问题的最佳途径。

(6) **喷气化**。在中长距离飞行时，喷气飞机速度比涡桨飞机快很多，乘坐也更舒适，而成本基本相同，所以无论是经营者还是旅客，都愿意选择喷气飞机。2002 年 10 月，庞巴迪宣布，由于涡桨客机需求量不大，将暂停生产 70 座的冲 8-Q400 涡桨客机。巴航也已经放弃了涡桨客机的市场。据预测，未来 10 年支线喷气机市场将占据整个民用喷气机市场的 85%。

(7) **大型化**。对世界支线飞机市场所作的一项调查显示，70~110 座喷气机将是一个拥有巨大潜力的市场。但是，能够满足这一市场需要的机型并不多，而符合当今使用性能和经济性能要求的先进的 70~110 座级的喷气机更少。看到这种机遇，庞巴迪和巴航都已把精力集中于 70 座以上的大支线客机的发展上。

三、民用飞机发展需要的相关技术

(1) **空气动力学**

空气动力学的研究着眼于如何提高未来飞机的性能上。

提高飞机的巡航升阻比，最有潜力的是翼面流动的层流化。如能将亚音速客机上翼面保持全弦长层流，则可提高巡航升阻比 10%~12%。要得到实用的层流化机翼的设计方法，须弄清附面层转捩的机理，以便建立模型，用 CFD（计算流体力学）方法进行精确的实验验证。超音速客机同样也要在超音速巡航时得到层流。对于机身等不易获得层流的气动部件，要研究实用的紊流减阻措施。

超音速客机要减少波阻，包括升致阻力和体积波阻，要利用波的有利干扰，要研究新的气动布局方案。

为了进一步提高飞机起降性能，要研究新的高效增升装置。要研究发动机安装和飞机机体的一体化设计，以获得高推进效率，并利用发动机推力转向的增升作用。

CFD 作为设计手段，可以计算任意形状物体的气动力，要有足够精度，程序使用要方便、决速，要利用并行计算技术。

空气动力实验需要高 R 数、低扰动的风洞，要研制高分辨率、高精度的非接触测量装置。

总之，发展飞机空气动力学必须是理论、精致实验和 CFD 的结合。

(2) **推进技术**

今后 20 年的发展目标仍是提高热机和推进效率，降低油耗，提高推力级，减轻重量，减少排放，降低噪声，增加可靠性，提高寿命及减少维护工作量。

亚音速客机用发动机，要较大幅度提高压比和涡轮进口温度。风扇函道比要比现在提高 3~5 倍，或采用无函道桨扇。提高部件效率主要用 CFD 设计风扇、压气机和涡轮。燃烧室要作大幅度改进，将 NO_x 的排放量降低约 8 倍。

发动机也要采用主动控制技术，以提高压气机效率和喘振余度。采用磁悬浮轴承以减轻重量。广泛采用计算机监控技术，以保证发动机的安全可靠运行。

(3) **材料和结构**

下一代民用飞机机体材料仍是金属为主。要发展铝镁合金，在不降低寿命条件下，提高刚度，减少密度、提高韧性相抗腐蚀能力。采用快速凝固技术以获得新的、耐高温的、价低的铝基合金。要开展对序列合金 TiAl, Fe₃Al, Ni, Al 等的研究，以获得强度/重量比更高的航空材料。

要发展复合材料结构实用的设计、分析、制造、检验和修复方法,研究复合材料结构的损伤容限机理和实用有效的无损探伤技术。

要研究超音速客机结构用的耐高温树脂基复合材料。陶瓷基复合材料将用于不需冷却的发动机涡轮部件,要提高抗氧化能力和韧性。

利用复合材料特点开展“灵巧结构”研究,要研制埋入式传感器、处理器和作动器的综合。利用光纤、压电材料和记忆材料实现颤振和载荷的主动控制。

要积累民机和适航使用数据,研究制定高效率的适航要求和鉴定方法。进一步开展先进结构寿命预测方法和结构分析软件的研究。

(4) 航空电子和控制

为提高航空系统的输送能力,要充分利用各种来源的导航信息,实施航迹的四维管理。要实现全天候起降,建立可靠的防撞系统。要研制新的风切变探测装置及其回避系统。

为便于飞行员在视线很差的环境下仍能操纵飞机着陆,需要在飞行员的视景上叠加各种传感器提供的视景数据,增强视景画面,进一步研究灵境技术的应用。还要研究语音控制,以提高飞行员操作的正确性。

新一代民用飞机也要采用主动控制技术,实现放宽静稳定、突风减缓和载荷降低。要开展飞行和发动机的一体化控制。要研究新的机上能源系统及相应的作动器。

(5) 认知工程

将信息科学、认知科学和人素工程的知识结合在一起,使飞行员、飞机和空中交通管制这个大系统能更好地运行,这就是航空上的认知工程。要应用认知工程,研究增进航空运输系统的安全,保证系统正确、可靠地工作,对信息进行有效管理和传播。

1.2 飞机系统及 ATA 编号

航空,是人类 20 世纪所取得的最重大的科技成就之一。在民用航空领域,它首先应用于交通运输。100 年来,随着科技的不断发展,作为载人空中飞行工具的民用运输机也发生了巨大的变化。从 20 世纪初发明飞机至今,民用客机尺寸越来越大,从最初只能载客 4~10 人发展到今天 400~500 人;速度越来越快,从最初每小时几十公里到今天的 2000 多公里;旅客越来越舒适,从最初的乘飞机被看作一种冒险的、有刺激性的运动到今天的作为大众所采用的运输方式。

现代民航飞机已经成为一个复杂的大型系统,由许许多多的分系统、子系统和子子系统组成,为了便于这样大型系统的使用、维护和技术保障工作,需要对其各级系统资料或标准手册制定一个简单、统一的数字化编码标准。这个标准要有足够的灵活性,允许手册内容的扩充,以便于技术手册的发展及应用。由此产生了用于飞机系统划分和编号的国际航空协会(ATA)100 规范。

1996 年,美国国防部以国际航空运输协会规范 ATA100 为飞机系统的划分的基础,结合军用飞机复杂的实际情况进行了改进,颁布了军用飞机各级系统的编号方式——MIL-STD-1808A(System Subsystem Sub subsystem Numbering),规范了军用飞机系统的划分和编号要求。2003 年,我国也颁布 GJB4588-2003(飞机系统划分和编码),规范我国新型号军用飞机系统的划分。

对飞机系统进行划分和编号是对飞机资料进行统一编排和交叉索引、查询的基础,飞机系统划分及编号是飞机资料之间的纽带。因此,飞机系统划分(标准化飞机章-节-主题)可以说是飞机资料进行有机组织的基础和重要的标准。欧美大量的飞机技术资料都按照飞机系统划分进行统一编排,资料体系完整、统一。遵循飞机系统划分和编号标准对整套飞机资料进行统一编排,飞机总体单位和各系统研制单位按照编号细化飞机系统、明确系统的各级层次关系,并进行相关资料的编写。这样才能顺利地飞机资料进行电子化和计算机化管理。在缺乏统一考虑和定位的情况下,对数目众多的飞机资料进行编号,容易

导致编号的重复和混乱,而且计算机对这样的数据无法进行处理,更谈不上计算机化管理,导致人工管理资料和飞机管理工作的低效和混乱。只有统筹安排,规则清晰,计算机才能对大量的资料进行电子化处理,为计算机化的飞机管理系统提供合理的信息,提高飞机使用、维护和管理效率。

由此可见,对飞机系统划分和编号的意义并不只是在于标准本身,更在于把相关的飞机资料根据飞机系统划分进行统一的编排,将有序的资料进行电子化和信息化处理,形成信息丰富、合理的计算机化的飞机管理系统,这将对我国新型号飞机资料的规范化、标准化、电子化和计算机化有极大的推进作用;通过计算机化飞机管理系统来管理和处理大量的数据,将提高我国航空设计、制造、使用和维修的管理水平和效率,提高综合保障能力。同样,编号系统也可用于飞机、导弹、太空系统、发动机和地面通讯一电子设备,还可用于保障性分析、构型管理、维护数据采集或武器系统中与编号要求一致的维修性的分析。

一、编号的表现形式和基本原则

(1) 飞机系统编号的表现形式

飞机系统的编号通常由3个元素构成,从内容上分,是指章、节、主题;从系统上分,则是指系统、子系统、单元。其表现形式如图1.2-1所示:

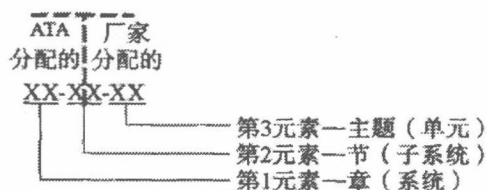


图 1.2-1 飞机系统编号的表现形式

飞机系统技术资料按章划分、并按章分组;每一组和章都有编号来定位,飞机组的定义如表 1.2-1 所示。按飞机的主要功能和系统把手册分章,各章代表整架飞机的功能划分;一步划分为节和主题,以提供各系统的有关子系统和单元的信息;一章、节、主题都会分配 1 个编号。3 个元素的编号(XX-XX-XX)已定位到主题编号(ASN),这可以让用户定位到章中较大范围的单个功能项目上。3 个编码元素中的每个编码元素都由两位数字组成,如 74-21-12,解释如下:

- 1) 一个编码元素代表章或系统,74 代表点火系统;
- 2) 二个编码元素代表节或子系统,21 代表高温分布,第四位数字用 1-9 来代表子子系统;
- 3) 第三个编码元素代表子节或单元,可以使用 01-99 的数字。

章的编号(第一个元素)和节的编码(第二个元素)的第一位数字是按 ATA100 规范分配的。对整章都适用的资料,第二、第三编码元素都用 0 表示。章号再加上“-00-00”,例如:22-00-00,(自动飞行)代表这一章的总体轮廓描述。

节的编码(第二个元素)的第二位数字和主题的编号(第三个元素)由飞机厂家根据飞机系统划分的层次关系自定义。

(2) 飞机系统编号的原则

1) 章(系统)的编号

飞机的数据按照第一元素系统(章)的内容来区分,当技术数据以手册格式提供时,系统在出版物中就按章编制索引。系统是相互关联的元器件的组合,它们在一起可执行特定的功能。按此定义,每个系统都包括有基本元器件、仪器、机械控制装置以及与系统有关的电和液压单元。

当动力源(电、气动或液压)服务于一个组件或一个功能系统时,该动力源就包括在它服务的组件或系统的讨论中,例如:给应急出口灯电路提供电压的电池、提供应急制动压力的空气瓶。

表 1.2-1 飞机组的定义

组	系统/章范围	定义
飞机总体	5- 18	整个操作装置 (包括尺寸和面积、提升和支撑、校平和称量、拖曳和滑行、停泊和系留、必要的布告、维护、防腐、无损检测、地面设备、仪器等)
机身系统	20- 49	除了动力装置成套设备以外的所有机身系统
飞机结构	50- 57	飞机结构
螺旋桨/转子	60- 67	除了螺旋桨/转子防冰系统以外的整个螺旋桨/转子系统
动力装置	70- 84	通过排气或螺旋桨产生推力的整个动力装置 (不包括发电机、机舱增压器等, 它们包括在各自相应的系统中)
其它	91	图表
	92	多路数据传输系统
	93	监视系统
	94	武器系统
	95	机组人员应急离机和安全系统
	96	导弹、无人飞机和遥控系统
	97	视频记录系统
	98	气象和大气探测系统
	99	电子战系统

活塞式螺旋桨
Piston/Propeller
涡轮喷气
Turbo Jet
涡轮
涡轮扇
冲压
火箭

当两个或两个以上的系统由一个动力源(电、气动、液压或真空等)提供服务时,该动力源将分别在合适的章中单独讨论,例如:给空调系统和发动机启动器服务的气动系统。

2) 节(子系统)的编号

第二元素节的第一位数字可对系统类别进一步地细分。在手册格式中,子系统是以一章中的节与子系统识别号来确定的。

在大多数章中,适当的使用第二个元素的第一位数字就足以区分。当两个或两个以上子系统或子子系统相互关联或集成,如自动驾驶和飞行制导系统的组合,导致在逻辑上和实际上不能区分对待时,就应将这两个系统组合到一个公共的子系统或子子系统中,并分配主要子系统或子子系统的章节号。

为简便起见,第二个元素使用的子系统和子子系统的名称通常只指“系统”,例如:一个皮托管静态“系统”是导航系统(34)的子系统,也是飞行环境数据子系统(34-10)的子子系统。子系统和子子系统主要用于区分编号中第二个元素的第一和第二位数字。

3) 节(子子系统)的编号

有些系统包含十分复杂的子系统,这些子系统需要进一步细分为子子系统。为了满足要求,则要使用第二元素节的第二位数字,如 34-51-03 中,-51 是导航系统中定位子系统(34-51)的子子系统——DME;-03 可能是放大器,即 DME 子子系统的一个单元。

当子系统十分复杂,需要区分到子子系统级时,则子系统标记的使用必须局限在整个子系统的讨论范围内,例如:有关定位子系统的总体范围内的资料,必须局限在 34-50 中,并要求第三个元素为

0(34-50-00)。

只有当第二个元素的第二位分配了非零数字时,才可能标识子系统。另外,第二元素的第二个数字还可用作连接子系统和单元(模块)的标识。

4) 主题(单元)的编号

第三个元素主题(单元)号由制造厂分配,这是飞机系统划分中层次最多的区分号,可识别系统/子系统/子系统/子系统/系统中的某个单元。

二、飞机系统划分和编号在工程作用上的运用

飞机系统划分是有机组织飞机资料的线索,欧美和俄罗斯以飞机章-节-主题为主进行编排的相关飞机资料如图 1.2-2、1.2-3 所示,Ch 代表章、Se 代表节、Su 代表主题。

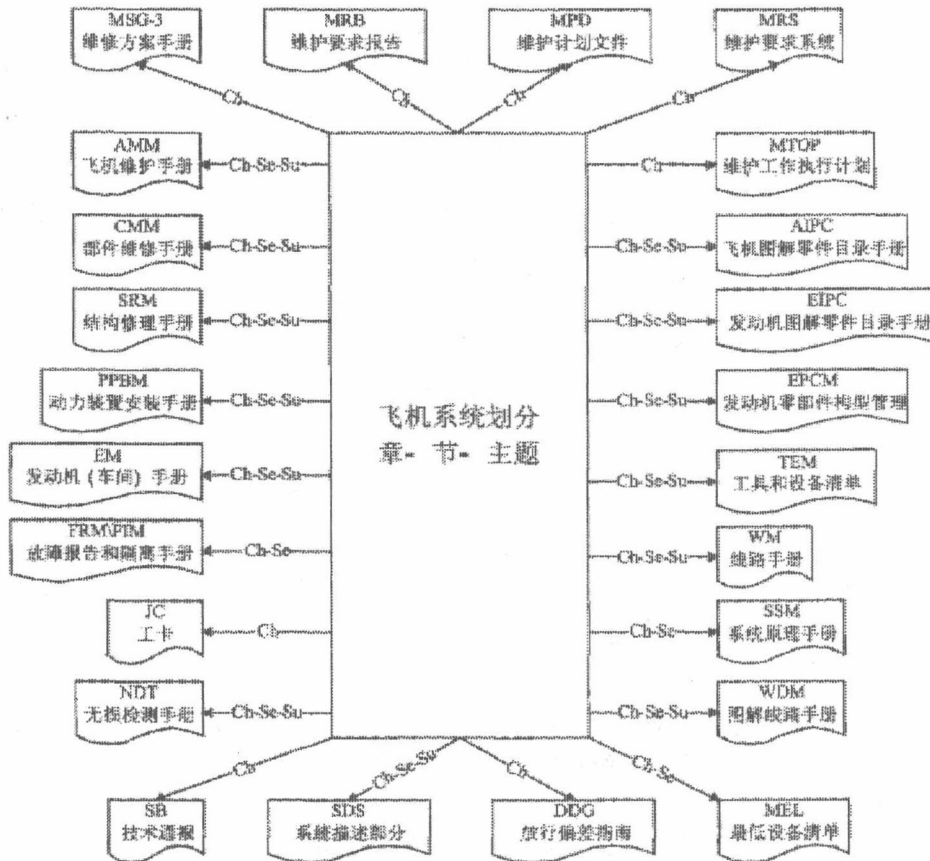


图 1.2-2 欧美飞机资料中以章-节-主题为主进行编排的飞机资料

可以看出,欧美飞机资料由于采用了飞机系统划分统一的标准体系来定位整个飞机资料的编制,因此,该编制具有依据飞机系统划分来统一规划和编排的明显特征。这种内在联系紧密、具有统一索引的资料体系极大地方便了飞机资料的管理、查阅、运用和电子化、计算机化。下面结合排除故障工作场景,说明部分手册之间正常的交互索引关系。

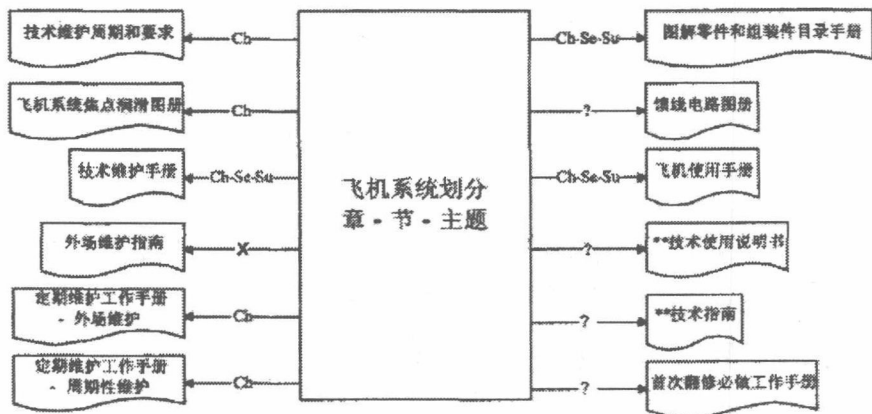
假如在飞行时看到“APU 火警探测器第一个回路故障”的状态信息,为了报告这个故障,根据关键词“APU 火警探测器”进行搜索,可以从《FRM-故障报告手册》中查找这个故障现象所对应的故障代码:为 261 161 01。根据故障编码规则可知其对应章节号为 26-1×。

为了排除这个故障,需要查找《FIM-故障隔离手册》,根据故障代码可以找到多个排故工作号,其中一个工作号为“26-15-00-810-811, 26-10130, APU 火警探测器第一回路的下回路短路”,假定用户选择这个工作号进行排故,则需要参考到“26-15-00-810-811”工作号,用户应该翻到该手册的第 26

#2500

U2500

IAE



CFM
CFM56-3
-5

EA

(注: *—代表某一系统或部件;
 x—可以建立联系但是没有联系;
 ? ——与章-节-主题有联系, 但是使用的是 ATA 标准中的章-节-主题号)

图 1.2-3 俄罗斯飞机资料体系中以章-节-主题有关的飞机资料

章 15 节找到这个工作号。由于该手册是按照章节号来编排的, 因此, 十分容易找到。在“26-15-00-810-811”排故工作的描述中, 要求操作者参考工作号 AMM TASK 26-15-01-000-801 和 AMM TASK 26-15-01-400-801 进行 APU 火警探测元件的拆卸和安装。如要知道上述工作的具体内容, 用户需进一步参考《AMM-飞机维护手册》, 根据工作号来查找。由于该手册和工作号都是按照章节号来编排的, 所以用户可以直接翻到该手册的第 26 章 15 节 01 主题的拆卸、安装部分找到以上工作号所对应的详细说明, 其中有 APU 火警探测器安装的简单示意图 401。如果需要查看详细的件号, 则需要根据《AMM-飞机维护手册》中的图与《AIPC-飞机图解零件目录》中的图的对应关系, 进入该目录所对应的图中去查找件号。例如: 上例中, 与图 401 对应的是图 26-15-0150。该目录是根据章节号来编排的, 则翻到第 26 章 15 节 01 主题下找图 50 即可。

实际上, 欧美航空公司在进行飞机的维护时, 并不需要一一翻阅这些手册, 只要根据飞机系统划分一章节号在计算机上点击就能了解所需的信息。当然, 图 2 只是突出地表明各个手册中的章节号关联情况, 并没有包含上述手册之间的全部关联内容, 电子化后各个手册之间的实际关联内容远比图 2 复杂。

下面以俄罗斯伊尔 76 飞机为例, 说明俄罗斯的飞机资料体系。如图 3 所示, 俄罗斯的飞机资料也有依据飞机系统的划分来进行编排的, 例如:《技术维护手册》是一本完整地介绍飞机所有系统手册, 严格按照章-节-主题进行介绍。但是俄罗斯的资料并没有站在整个资料的统一编排的高度上来彻底地进行统一编排, 并且俄罗斯的飞机系统划分军标和欧美的标准(大多按照 ATA-100 标准和美军标)不一致, 因此, 造成了有些手册本可以按章-节-主题编号进行描述却没有做到, 而有些手册却又执行欧美标准, 把两个体系混到一起, 没有做到统一编排。

在我国已进行的飞机资料的编制工作中, 也没有站到一个统一编排的高度来统一编制飞机资料, 甚至飞机的相关单位各有一套不太科学的体系, 手册之间没有建立联系, 各个手册分工不明确, 内容混杂在一起。这些复杂因素使得我们在学习欧美先进技术的过程中存在一些片面的理解和混淆, 使飞机资料缺乏统一的编制, 而电子化和计算机化十分需要规范化的资料, 这种状态将给计算机化的飞机跟踪管理(包括使用和维护)工作带来很多的问题和困难。

可以看出, 欧美飞机资料编制的体制十分完善; 俄罗斯的飞机资料体制还不完善; 我国的飞机资料的编制体系则处于混乱状态。计算机化飞机跟踪管理是现代航空技术发展的必然要求和趋势, 因此, 需要统一编排飞机资料体系, 向规范化的欧美标准靠拢, 这样才能提高我国的航空技术水平, 让中国的民用飞机走出国门, 有所作为。

第2章 飞行操纵系统

2.1 操纵系统概述

飞机飞行操纵系统是飞机上的主要系统之一，它的工作性能好坏，直接影响着飞机飞行的性能，对于民航飞机来说，更在很大程度上影响飞机的安全性和乘坐品质。

2.1.1 操纵系统定义及分类

1. 飞行操纵系统定义

飞机飞行操纵系统是飞机上所有用来传递操纵指令，驱动舵面运动的所有部件和装置的总合，用于控制飞机的飞行姿态、气动外形、乘坐品质。驾驶员通过操纵飞机的各舵面和调整片实现飞机绕纵轴、横轴和立轴旋转（见图 2.1-1），以完成对飞机的飞行姿态和飞行轨迹的控制。

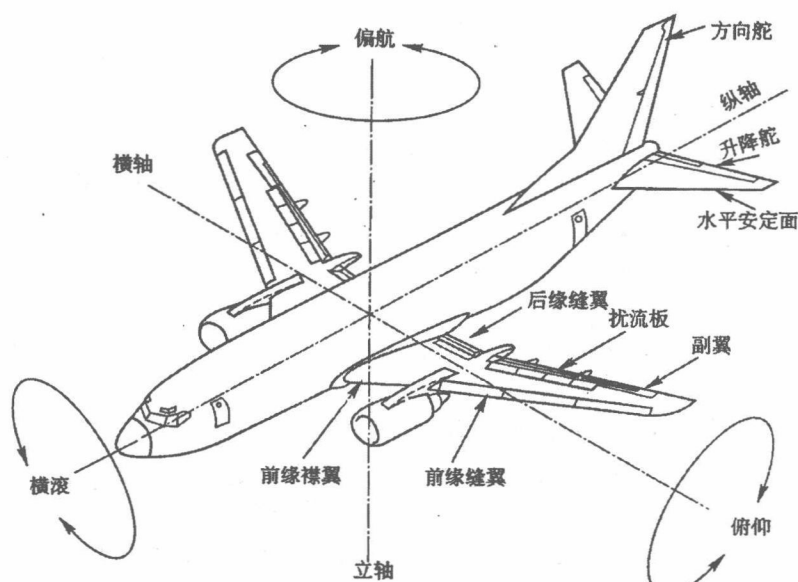


图 2.1-1 飞机绕三个轴的转动

根据定义，飞行操纵系统可分为三个环节，即：中央操纵机构，用于产生操纵指令，包括手操纵机构和脚操纵机构；传动机构，用于传递操纵指令；驱动机构，用于驱动舵面运动。

表 2.1-1 列出了飞行操纵系统各环节的详细信息。

2. 飞行操纵系统分类

飞行操纵系统分类的方法较多，一般按照操纵信号来源、信号传递方式和驱动舵面运动方式三种方法分类。

(1) 根据信号来源

根据操纵信号的来源，现今飞机飞行操纵系统可以分为两大类：人工飞行操纵系统和自动飞行控制系统。人工飞行操纵系统，其操纵信号是由驾驶员发出的；而自动飞行控制系统，其操纵信号是由系统本身产生的。自动飞行控制系统对飞机实施自动和半自动控制，协助驾驶员工作或自动控制飞机对扰动的响应，如自动驾驶仪、发动机油门自动控制、结构振动模态抑制系统都属于自动飞行控制系统。

表 2.1-1 飞行操纵系统构成

中央操纵机构	→	传动机构	→	驱动机构	→	舵面	
手操纵机构	⇒	机械传动	⇒	人力驱动	⇒	主操纵	副翼
		电传操纵		液压助力			升降舵
方向舵							
脚操纵机构	⇒	光传操纵	⇒	电动助力	⇒	辅助操纵	襟翼、缝翼
							扰流板

(2) 根据信号传递方式

根据操纵信号传递的方式，操纵系统可以分为机械操纵系统和电传操纵系统。机械操纵系统的操纵信号由钢索、传动杆等机械部件传动；而电传操纵系统的操纵信号通过电缆传递。目前正在研究的信号传递方式为光传操纵，操纵信号为在光缆中的光信号。

(3) 根据驱动舵面运动方式

根据驱动舵面运动方式，操纵系统可分为简单机械操纵系统和助力操纵系统。简单机械操纵系统依靠驾驶员体力克服铰链力矩驱动舵面运动，又被称为无助力操纵系统。简单机械操纵系统分为软式操纵系统和硬式操纵系统。简单机械操纵系统构造比较简单，主要由驾驶杆、脚蹬、钢索、滑轮、传动杆、摇臂等组成。

随着飞机尺寸和重量的增加，飞行速度的不断提高，即使使用了气动补偿，驾驶杆力仍不足以克服铰链力矩，20世纪40年代末出现了液压助力器，实现了助力操纵。目前飞机舵面的驱动装置除了常用的液压助力器外，还有电驱动装置。

另外，根据舵面类型不同，操纵系统还可分成主操纵系统和辅助操纵系统。主操纵系统包括副翼操纵、升降舵操纵和方向舵操纵；辅助操纵系统包括增升装置、扰流板操纵和水平安定面配平操纵。

2.1.2 对操纵系统的要求

操纵系统除了应满足重量轻、制造简单、维护方便、具有足够的强度和刚度等要求外，还应满足以下一些特殊要求：

① 保证驾驶员手、脚操纵动作与人类运动本能相一致。这样可避免发生错误的操纵动作和分散驾驶员的注意力，同时可以缩短训练驾驶员的时间。正确的操纵动作应是：驾驶盘（或驾驶杆）前推，机头应下俯，飞机下降，反之则相反；驾驶盘向左转，飞机应向左侧倾斜，反之则相反；踩右脚蹬，机头应向右偏转，反之则相反；

② 驾驶杆既可操纵升降舵，又可操纵副翼，同时要求在纵向或横向操纵时彼此互不干扰；

③ 驾驶舱中的脚操纵机构应当能够进行调节，以适应不同身材的需要；

④ 驾驶员是凭感觉来操纵飞机的，除感受过载大小之外，还要有合适的杆力和杆位移的感觉，其中杆力尤为重要。脚蹬力和脚蹬位移也是如此；

⑤ 驾驶杆（或脚蹬）从配平位置偏转时，所需的操纵力应该均匀增加，并且力的指向总是与偏转方向相反，这样，驾驶杆（或脚蹬）就有自动回中（即回到配平位置）的趋势；

⑥ 驾驶杆力（或脚蹬力）应随飞行速度增加而增加，并随舵面偏转角度增大而增大；

⑦ 为防止驾驶员无意识动杆及减轻驾驶员的疲劳，操纵系统的启动力应在合适的范围内。“启动力”是指飞机在飞行中，舵面开始运动时所需的操纵力，启动力包括操纵系统中的摩擦（其中包括助力器配油活门的摩擦），预加载荷等；

⑧ 操纵系统的间隙和系统的弹性变形会产生操纵延迟现象。延迟是很危险的，因此必须使操纵系

统中的环节和接头数量最少，接头处的活动间隙量小及系统应有足够的刚度；

⑨ 在中央操纵机构附近应有极限偏转角度止动器，以防止驾驶员用力过猛，操纵过量而使系统中某些部件或机体结构遭到损坏；

⑩ 飞机停在地面上时，为防止舵面被大风吹坏，所有舵面应用“锁”来固定。舵面锁紧系统应在飞机内部，不应采用外部锁紧装置，内锁紧装置应直接与舵面连接。为防止在起飞状态下，舵面仍处于锁定状态，要求必须在所有舵面都开锁后，油门才能打开。

2.2 中央操纵机构

飞机主操纵系统是由中央操纵机构和传动系统两大部分组成。由驾驶员手脚直接操纵的部分，叫做中央操纵机构。中央操纵机构由手操纵机构和脚操纵机构所组成。

2.2.1 手操纵机构

1. 驾驶杆式手操纵机构

图 2.2-1 所示为一种驾驶杆式手操纵机构。前推或后拉驾驶杆时，驾驶杆绕着轴线 a-a 转动，经传动杆 1 和摇臂 1 等构件的传动，可操纵升降舵；左右压杆时，驾驶杆绕轴线 b-b 转动，这时扭力管和摇臂 2 都随之转动，经传动杆 2 等构件的传动，即可操纵副翼。

驾驶杆式手操纵机构虽然要操纵两类舵面—升降舵和副翼，但两者不会互相干扰。也就是说，单独操纵某一舵面时，另一舵面既不随之偏转，也不妨碍被操纵舵面的动作。

从图 2.2-1 中可以看出，当驾驶杆前后运动时，扭力管并不转动，因而不会去传动副翼。驾驶杆左右摆动时，除了扭力管转动外，驾驶杆下端还要带着传动杆 1 左右摆动。因为传动杆 1 与摇臂 1 的连接点 c 位于轴线 b-b 上，驾驶杆左右摆时，传动杆沿着以 b-b 线为中心轴，以 c 点为顶点的锥面运动（见图 2.2-2）。由于圆锥体的顶点 c 到底部周缘上任一点（例如 1, 2, 3, 4, 5 各点）的距离是相等的，并且 c 点采用的是可自由转动的球形接头，所以当驾驶杆左右摆动时，摇臂 1 不会绕其支点前后转动，因而升降舵不会偏转。

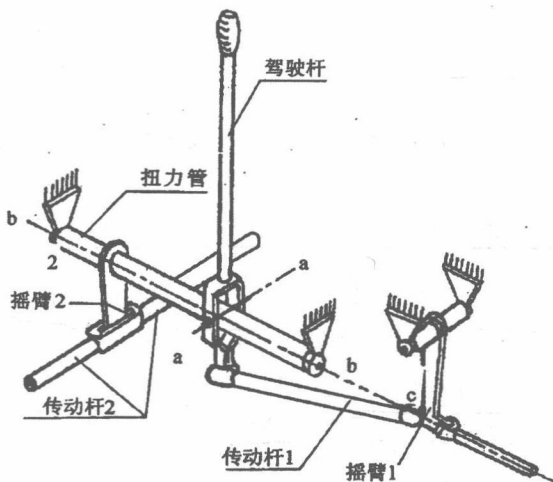


图 2.2-1 驾驶杆式手操纵机构图

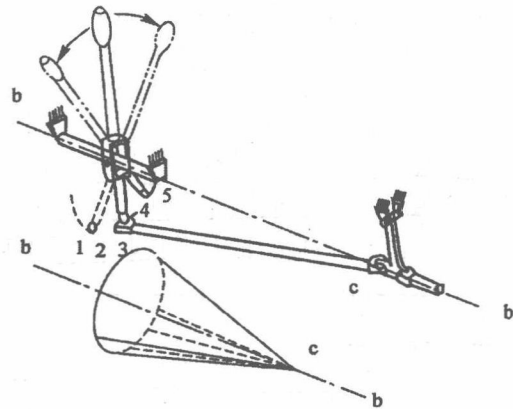


图 2.2-2 驾驶杆式手操纵机构原理

2. 驾驶盘式手操纵机构

图 2.2-3 所示为一种驾驶盘式手操纵机构。驾驶盘在操纵时，通过内部的齿轮传动装置带动驾驶杆

内的一根扭力管转动，扭力管通过一个万向接头带动副翼操纵钢索轮，提供操纵副翼的信号，前推或后拉驾驶杆驶盘时，可操纵升降舵。

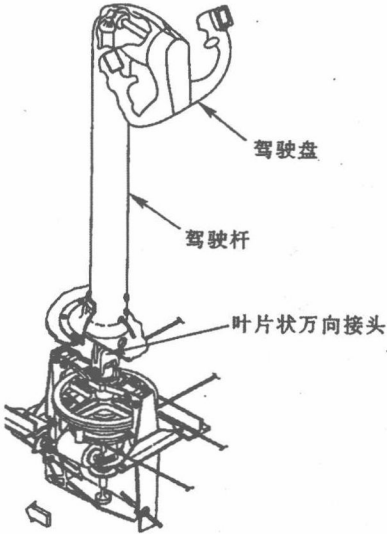


图 2.2-3 驾驶盘式手操纵机构

这种驾驶盘式手操纵机构，也能保证操纵升降舵与操纵副翼时互不干扰。左右转动驾驶盘时，通过叶片状的万向接头传递扭矩，驾驶杆不动，所以，不会使升降舵偏转；而前推或后拉驾驶盘时，由于有叶片状的万向接头。副翼控制钢索轮不会转动，钢索不会绷紧或放松，所以既不会使副翼偏转，也不会影响驾驶盘的前后动作。

上述两种手操纵机构相比，驾驶杆构造较简单，便于驾驶员一手操纵驾驶杆，一手操纵油门手柄，但是它不便于用增大驾驶杆倾斜角度的办法来减小操纵副翼时的杆力；驾驶盘式构造较复杂，但可通过增大驾驶盘的转角，使操纵副翼省力。当然，这时使副翼偏转一定角度所需的时间要相应增长。

因此，前者多用于机动性较好而操纵时费力较小（或装有助力器）的飞机，后者多用于操纵时费力较大而机动性要求较低的中型和大型飞机。

3. 侧杆操纵机构

所谓“侧杆”是“侧杆操纵器”的简称。它是一种输入力信号，输出电信号的小型侧置手操纵机构，如图 2.2-4 所示。

这种手操纵机构可以代替驾驶杆（或驾驶盘）。它前后、左右摆动发出互不干扰的电信号，通过电传操纵系统使飞机产生纵向和横向运动。其具体结构、力特性与驾驶员的生理特点、操纵感觉和飞行操纵性能有关。

由于侧杆操纵器重量轻，空间尺寸小，改善了驾驶员观察仪表的工作条件，克服了重力加速度给驾驶员带来不必要的困难。在操纵时侧杆的位移和舵面偏转角一一对应，机长和副驾驶的操纵信号在舵面上产生叠加效果。

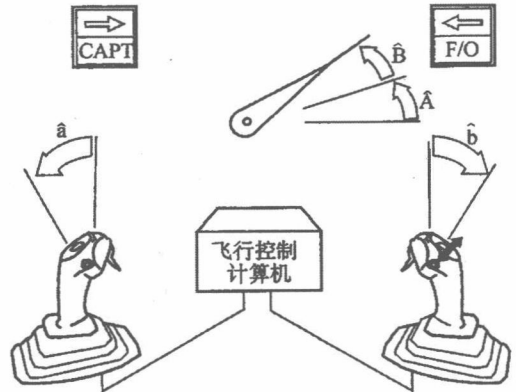


图 2.2-4 电传操纵系统的侧杆手操纵机构

2.2.2 脚操纵机构

1. 平放式脚蹬

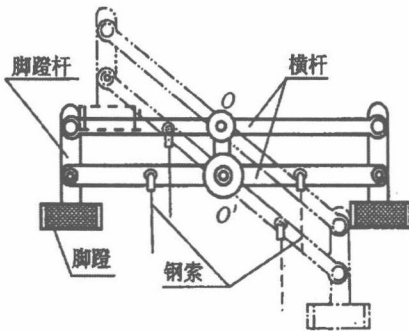


图 2.2-5 脚蹬平放式脚操纵机构

脚操纵机构有脚蹬平放式和脚蹬立放式两种。

图 2.2-5 所示为一种脚蹬平放式脚操纵机构。图中的脚蹬安装在由两根横杆和两根脚蹬杆组成的平行四边形机构上。驾驶员蹬脚蹬时，两根横杆分别绕转轴 O 和 O' 转动（转轴固定在座舱底板上），经钢索（或传动杆）等的传动，使方向舵偏转。

平行四边形机构的作用是保证在操纵方向舵时，脚蹬只作平移而不转动（如图中双点划线所示），以便于驾驶员操纵。

2. 立放式脚蹬

图 2.2-6 和图 2.2-7 所示为两种脚蹬立放式脚操纵机构。前者的转轴在脚蹬上，后者的转轴（ $a-a$ 和 $b-b$ 轴）在脚蹬之下。