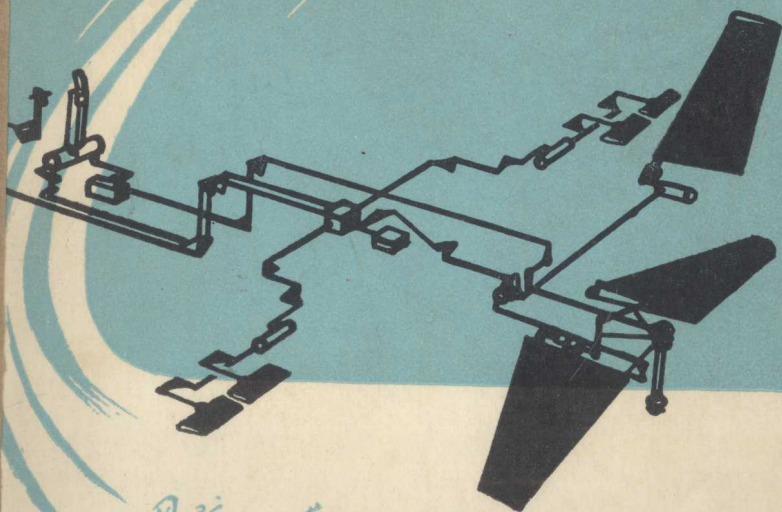


飞机舵面的传动装置

В. И. 格尼奥德斯基
〔苏〕 Ф. И. 斯格亮斯基 著
И. С. 舒米洛夫
刘兴堂 译



国防工业出版社

V227
1003

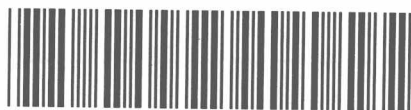
飞机舵面的传动装置

В. И. 格尼奥德斯基

〔苏〕Ф. И. 斯格亮斯基 著

И. С. 舒米洛夫

刘兴堂 译



30271650

国防工业出版社

401308

内 容 简 介

本书对飞机的主要随机系统之一——操纵系统中的舵面传动装置作了较系统、全面地论述。取材新颖，结合实际。书中编写的舵面传动装置的类型、特点、结构、主要元件结构参数的工程计算以及对传动装置稳定性和动态特性的分析，尤其是有关多通道冗余度式传动装置的讨论，无疑对我们飞机工业的现状和今后发展有一定的参考价值。

本书可作为从事飞机操纵系统设计、试验、使用人员的重要参考书，亦适于航空院校教学之用。

ПРИВОД РУЛЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ САМОЛЕТОВ

В. И. Гониодский

Ф. И. Склянский

И. С. Шумилов

Москва

«МАШИНОСТРОЕНИЕ»

1974

*

飞机舵面的传动装置

В. И. 格尼奥德斯基

[苏] Ф. И. 斯格亮斯基 著

И. С. 舒米洛夫

刘兴堂译

*

国防工业出版社 出版

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

*

787×1092¹/₃₂ 印张10⁷/₈ 231千字

1980年12月第一版 1980年12月第一次印刷 印数：001——300册

统一书号：15034·2082 定价：1.15元

806102

译者的话

为了充分发挥飞机的使用性能和保证飞行安全，随着航空工业的发展使飞机操纵系统获得了不断改进和完善。短短几十年中，飞机操纵系统经历了纯机械式系统到电传操纵以及先进的随控布局等阶段；操纵系统中的舵面传动装置的组成、型式和结构也发生了相应巨大的变化。

现代飞机的操纵系统是一个由电子计算机、电气、液压、气压和机械装置构成的综合体，而舵面传动装置是其中相当重要的部分，是飞机操纵闭合回路的主要环节之一，它直接决定着对飞机运动的操纵和稳定。因此，不断研究改进飞机舵面传动装置的结构型式、使用性能、可靠性及生存性对于实现飞机操纵自动化和保证飞行安全是十分重要的。为了帮助从事飞机系统设计、使用和研究的同志深入了解近年来舵面传动装置的进展，尤其是余度技术在飞机操纵系统中的应用并借鉴国外舵面传动技术，特翻译了本书。

本书在翻译过程中对于原文内容进行了部分删减，并尽可能纠正了原文中错误之处。

译者对北京航空学院李培滋等老师给予翻译本书的指导表示衷心感谢；对于六三〇研究所周正民、申庞海等同志的多方面帮助致以谢意。

由于本人技术水平有限，翻译中难免有错误之处，诚望读者批评指正。

刘兴堂

目 录

引言	1
绪论	2
第一章 作为操纵回路环节的飞行员对飞机需保证 必要的操纵性	13
一、把飞机作为操纵对象	13
二、飞机操纵回路中的飞行员	24
三、驾驶杆的载荷系统	35
四、操纵线系的弹性对操纵特性的影响	62
第二章 机械传动装置	69
一、基本概念和定义	70
二、操纵系统的机械传动元件	71
三、机械传动装置的基本参数、导出参数和其它参数	85
四、机械传动装置的动态特性	99
第三章 飞机舵面操纵系统中应用液压伺服装置的 一般问题	118
一、舵面传动装置和伺服传动装置的作用原理及分类	122
二、液压伺服舵面传动装置在飞机操纵系统中的应用	131
三、作为飞机操纵系统元件的舵面传动装置的主要特性	142
第四章 飞机舵面操纵系统的机械液压伺服装置的 型式和结构特点	156
一、取决于传动装置功用和特性的机械液压传动装置的特点	157
二、余度式机械液压传动装置的结构特点	187

三、取决于在飞机上安装条件的舵面传动装置的结构特点	211
第五章 机械液压舵面传动装置的动态特性	222
一、节流调节式机械液压舵面传动装置的传递函数和 频率特性	222
二、舵面传动装置的工作稳定性及其提高它的方法	235
三、舵面传动装置的非线性微分方程和方框图	243
第六章 舵面振动的固有频率和阻尼	249
一、颤振现象的物理本质	249
二、机械操纵的舵面传动装置的动刚度	252
三、舵面的自由振动频率和阻尼	267
四、液压阻尼器和它的静态特性	275
五、液压阻尼器的传递函数、频率特性及它的参数计算	281
六、带液压阻尼器的舵面振动频率和阻尼	285
第七章 飞机舵面操纵系统中的电液传动装置	293
一、单通道电液传动装置的型式和结构特点	294
二、多通道冗余式电液伺服装置的型式和结构特点	308
参考资料	341

引 言

飞机操纵系统是重要和主要的机上飞机系统之一，它在很大程度上决定了飞机使用的可能性和飞行安全。

现代飞机的操纵系统是一个由电子计算机、电气、液压和机械装置构成的复杂综合体，用以保证飞机必要的操纵性和稳定性；飞行的稳定状态是由飞行员建立起来的，或在由起飞到着陆的所有飞行状态下都是由飞机自动程序控制的。

操纵机构的传动装置是操纵系统的执行环节。其中，飞机舵面的传动装置将按照飞行员指令和自动控制系统的讯号直接偏转舵面，实现对飞机的操纵。

舵面传动装置的功用特点、工作条件与飞机其它系统间结构元件的相互关系，以及对它提出的可靠性、生存性要求，决定了这种传动装置的结构特点和参数，并使它成为飞机操纵系统的独特传动形式。

作者介绍了确定和研究作为操纵系统环节的舵面传动装置的经验，并着重阐述了它的特性。

本书不包括一般资料中已充分发表过的问题，如：有关流体力学、液压伺服元件、机-电传动装置、电液传动动力学等方面的问题。

书中内容取自国内外文献和期刊。本书图表基本是无因次形式，以便应用于工程实际。物理量单位采用工程制。

绪 论

飞机的舵面传动装置是用来按照飞行员、自动控制系统和其它系统指令讯号偏转舵面而实现操纵飞机和稳定飞机运动参数的综合装置。舵面传动装置与形成指令讯号的机构共同组成飞机的舵面操纵系统，以保证飞行员驾驶飞机或使飞机按预定的轨迹自动飞行。在现代飞机上，特别是超音速飞机，其舵面操纵系统除自动保证飞机的动态特性外，尤其要保证飞机的静稳定性，以及保证由飞行员建立起来的自动稳定飞行状态。

舵面传动装置的组成、型式和结构取决于飞机和它的操纵机构的布局、操纵系统可能完成的任务、操纵系统的运动规律、要求舵面复现操纵规律的静动态精度、舵面参数、作用在舵面上的载荷、对操纵系统提出的可靠性要求以及在个别飞行状态的安全保证，同样还决定于与飞机布局和使用条件有关的一系列其它参数，决定于舵面型颤振的安全性以及对重量、成本和维护的要求等等。

飞机舵面的传动装置不是孤立的综合装置，而是飞机操纵闭合回路的环节之一。在飞行中，这个回路由三个基本环节形成（见图1）。

1) 指令（或控制）环节 在飞行员驾驶飞机时，它可以是飞行员、自动控制和稳定系统等。

2) 传动环节 这就是飞机舵面的传动装置。

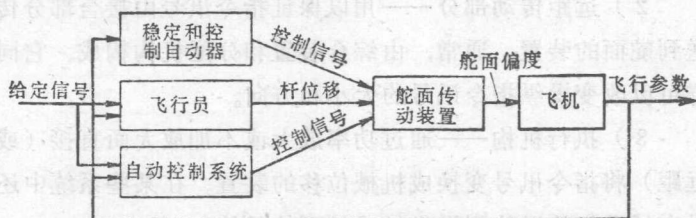


图1 飞机操纵闭合回路方框图

3) 被控制环节或控制对象——飞机。

这些环节总的结果应该保证在所有飞行状态下整个回路的必要稳定性和工作精度，并且应该解决舵面传动装置中存在的一些问题，如：随飞行状态的不同，舵面上的气动载荷、机体温度变形、传动装置元件的周围空气温度在不断变化。现代飞机的舵面传动装置中同样存在着刚度下降的问题，因而降低了机体结构的固有振动频率。而且由于飞机几何尺寸的加大，使舵面到驾驶杆的连接元件长度亦增大。

飞机操纵的自动化和它在飞机本身特性变化相当大的广阔飞行状态下使用，要求整个回路具有一定的精度，其中包括舵面传动力求准确。现代飞机中传动装置功率的提高，使它在飞机上的布局、安装和能源供给以及冷却等都带来一定困难。

一般情况下，飞机的舵面传动装置具有下列几个主要部分：

1) 接合●部分——用来连接系统与指令讯号装置的机构。

● 或译为“耦合”。——译者

2) 远距传动部分——用以保证指令讯号由接合部分传送到舵面的装置。通常, 由综合装置和分配机构构成。它同样可以改变操纵指令讯号的大小和方向。

3) 执行机构——通过功率放大或不加放大而直接(或远距)将指令讯号变换成机械位移的装置。在某些系统中还设有辅助机构以达到操纵舵或舵面的目的。

4) 能源供给系统——用来保证传动装置和元件的电气、液压、气压或机械能量的供给。

尽管, 一般《传动装置》的概念适于飞机舵面的传动装置, 但是却很少实用在航空中。这首先是因为供能系统通常是飞机独立的机上系统, 它要同时保证一系列相互独立的不同功用的机上系统和装置的能量。除此, 飞机舵面操纵系统往往要使许多不同工作原理的执行机构工作, 这些机构在一般情况下, 其系统和指令讯号装置都各不相同、彼此独立。这就是说, 这些执行机构统一为《传动装置》是有前提条件的。

因此, 飞机操纵系统中的《传动装置》这一术语, 通常是指具有耦合环节的执行机构和与指令讯号之间的远距传递装置在内的综合装置。这时, 我们把用来实现给定操纵面控制的所有这些《传动装置》总称为《飞机舵面的传动装置》。《传动装置》和《舵面传动装置》的这种定义是目前图书中所采用的。

飞机舵面操纵系统中应用了机械、液压、电气和电液传动装置。

舵面机械传动装置(见图2)没有功率放大, 起着综合几个指令讯号并将其分配至每个舵面的功用。在许多情况下, 这种传动装置中的运动机构可以用相应的方法根据舵面的位

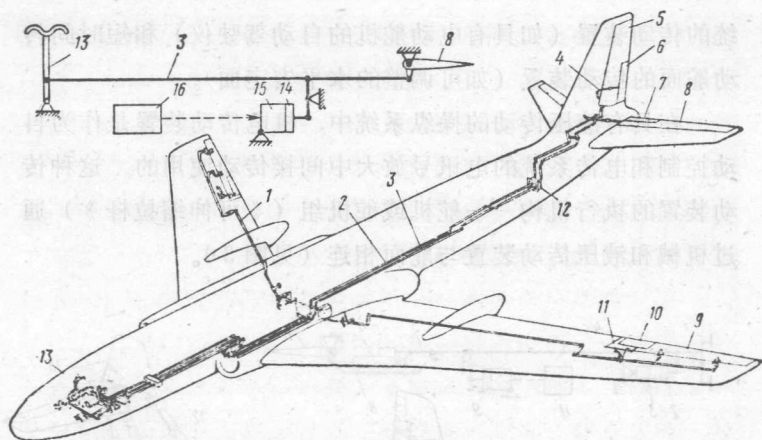


图2 具有舵面机械传动装置的飞机操纵系统

1, 2, 3—副翼、方向舵、升降舵操纵系统的机械传动装置；4—方向舵调整片传动装置；5—方向舵；6—方向舵调整片；7—升降舵调整片；8—升降舵；9—副翼；10—副翼调整片；11—副翼调整片传动装置；12—密封出口；13—升降舵驾驶杆；14—接通和断开机构；15—电动机机械传动装置（舵机）；16—自动驾驶仪

置进行指令讯号的校正。单纯的机械传动装置目前主要应用在轻型亚音速飞机上，这时飞行员的体力足以克服作用在舵面上的气动载荷，而且，飞机的操纵性和稳定性要求在没有任何自动控制的辅助装置时能够得到保证。此外，这种传动装置当其它型式的主操纵系统发生故障时，飞行员可以利用它应急操纵飞机。

机械传动装置和其它传动装置的组合型式是现代飞机目前主要使用的操纵系统。

舵面的机电传动装置（见图2），依靠电能实现远距传动、放大电指令讯号并将此讯号变换成机械位移来偏转舵面。

飞机操纵系统中，舵面的机电传动装置用作自动控制系

统的传动装置（如具有电动舵机的自动驾驶仪）和短时间转动舵面的传动装置（如可调整的水平安定面）。

在具有液压传动的操纵系统中，机电传动装置是作为自动控制和电传系统的电讯号放大中间接传动使用的。这种传动装置的执行机构——舵机或舵机组（《可伸缩拉杆》）通过机械和液压传动装置与舵面相连（见图3）。

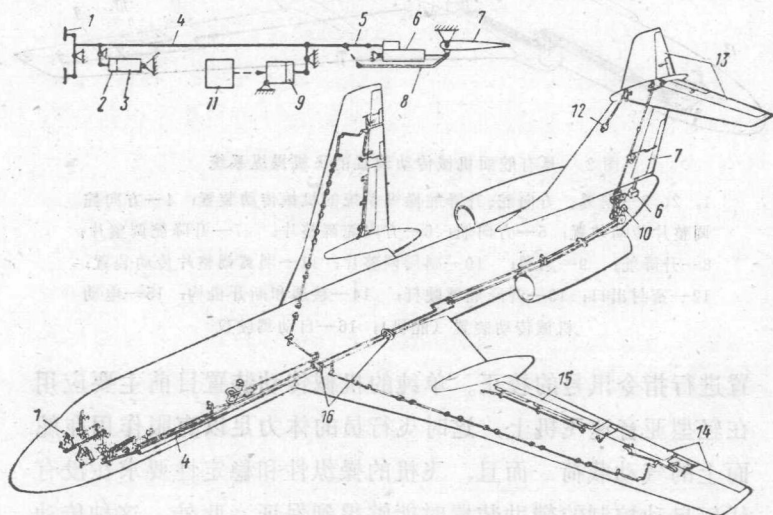


图3 方向舵通道为液压机械传动装置的飞机操纵系统

1—脚蹬；2—当断开液压机械传动装置时脚蹬载荷机构的脱开装置；3—脚蹬载荷机构；4—机械传动装置；5—应急操纵转换机构；6—液压机械传动装置；7—方向舵；8—应急（无功率放大）操纵；9—电传动装置断开机构；10—机电传动装置；11—自动驾驶仪；12—水平安定面机电传动装置；13—升降舵；14—副翼；15—阻流板；16—密封出口

飞机操纵系统的机电传动装置的主要优点是：能量供给简单，传动装置和讯号系统使用同一电源，电源网路在短路

或断电时能使执行机构自动制动。当然,它也有明显的缺点:体积大、笨重、速度调节复杂、需要保持必要的温度条件等。因此,在飞机舵面操纵系统中,机电传动装置仅用于必须使液压系统源与电操纵完全独立分开的情况下。

液压执行机构——液压伺服装置,是现代飞机舵面的主要传动装置。由于它具有下述显著的优越性而被广泛地应用在飞机操纵系统中:

1) 由于执行机构采用了高压油而使传动装置的尺寸和重量大大减小。

2) 与电传动装置相比,由于液压传动装置的执行机构活动部分惯性力矩小,所以能够保证较高的快速性和精度。

3) 保证液压传动执行机构连续调速的传动元件结构简单,且工作平稳。

4) 在连续换向、起动和停车的工作条件下,效率高、使用期长。这就是液压传动装置与任何其它型式传动装置相比之下的重要优点。

5) 与电传动装置比较,液压伺服装置可以在高温环境下连续长时间的工作而不需要个别冷却。

6) 传动可靠、成本低。

飞机操纵系统的发展是与飞机液压传动装置的结构不断发展和完善分不开的。首批液压传动装置用于飞机舵面操纵系统减轻了飞行员的体力,克服了飞机过渡向超音速时由于舵面气动力引起操纵杆力变化的不可操纵性。现代液压伺服装置不仅解决了这些问题,而且提高了操纵机构效率,保证了在所有飞行状态下所需要的稳定性与操纵性,改善了飞机的气动性能和布局,保证了舵面型颤振的安全性。液压伺服

装置是现代飞机操纵系统中的主要装置之一，它决定了整个操纵系统、操纵机构的结构型式以及在飞机上的部位安排。

在设计飞机舵面操纵系统的第一批液压伺服装置时，主要解决了两个问题：保证传动装置本身的稳定性和在液压传动装置发生故障时，安全地转换到具有机械传动装置的应急操纵系统中去。在制造现代飞机的液压传动装置时，需要解决一系列相当复杂的综合性科学技术问题。如需要获得在大惯性载荷作用条件下，传动装置具有必要的稳定裕度时的快速性和准确度（精度）；保证传动装置在组成元件最小盈余下具有高的可靠性；保证在没有舵面配重时舵面型颤振的安全性等等。在许多情况下，飞机结构设计的困难来自于飞机操纵系统的液压传动装置，如在薄翼型的机翼和尾翼中布局 and 安装传动装置的执行机构；给传动装置的活动元件输送高压油；在大的油液温度范围内保证传动装置的特性稳定。

应用于飞机操纵系统中包括液压伺服装置在内的舵面传动装置有三种类型：机械液压式，电液机械式和电液型式。

舵面机械液压传动装置是机械传动与机械操纵的液压伺服装置的组合型式。

舵面电液机械传动装置有两种方案：

1) 机械操纵传动装置与机电和机械液压伺服装置的组合型式（见图3）。此时，机电伺服装置通过液压伺服装置实现对舵面的操纵。

2) 机械传动装置与液压伺服装置的组合型，而液压伺服装置既有机械操纵又有电气操纵（电液伺服装置）（见图4）。

具有电液伺服装置的舵面电液机械传动装置愈来愈广泛

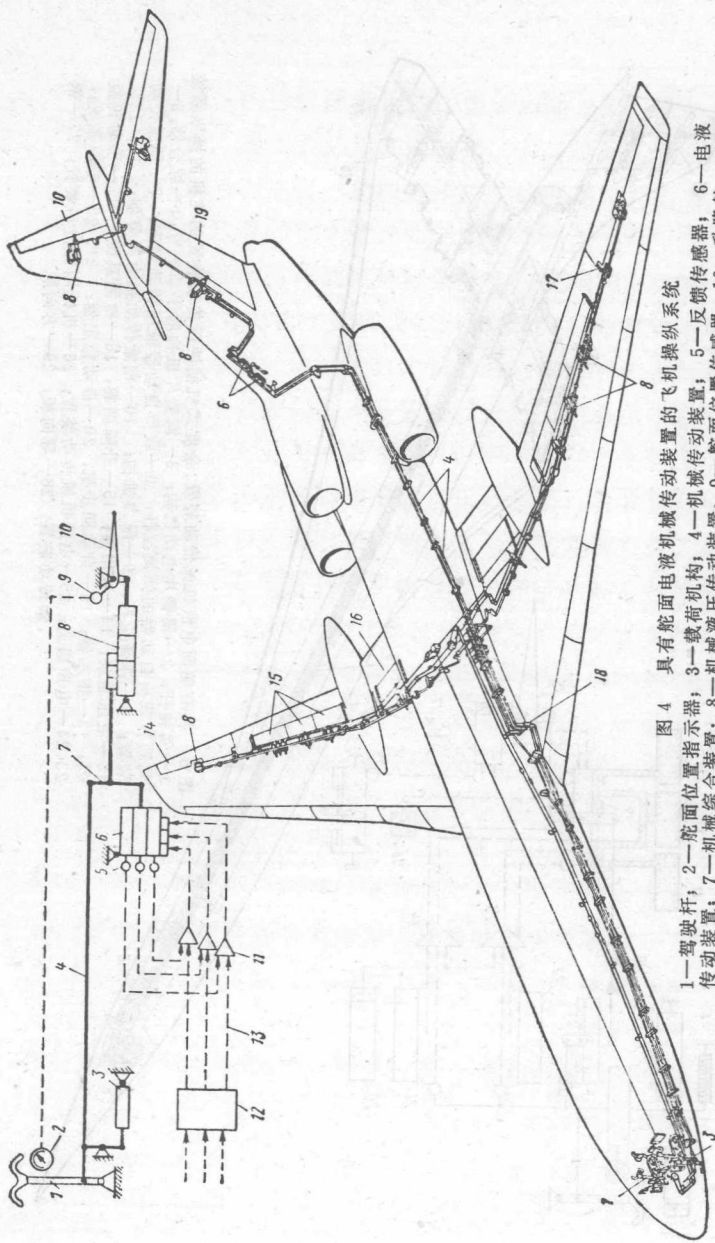


图 4 具有舵面电液机械传动装置的飞机操纵系统

1—驾驶杆；2—舵面位置指示器；3—载荷机构；4—机械传动装置；5—反馈传感器；6—电液传动装置；7—机械综合装置；8—机械液压传动装置；9—舵面位置传感器；10—升降舵；11—电讯号综合器；12—自动控制系统和稳定系统；13—电导耦合；14—副翼；15—阻流板；16—襟翼；17—外阻流板非线性操纵机构；18—补偿弹簧；19—方向舵

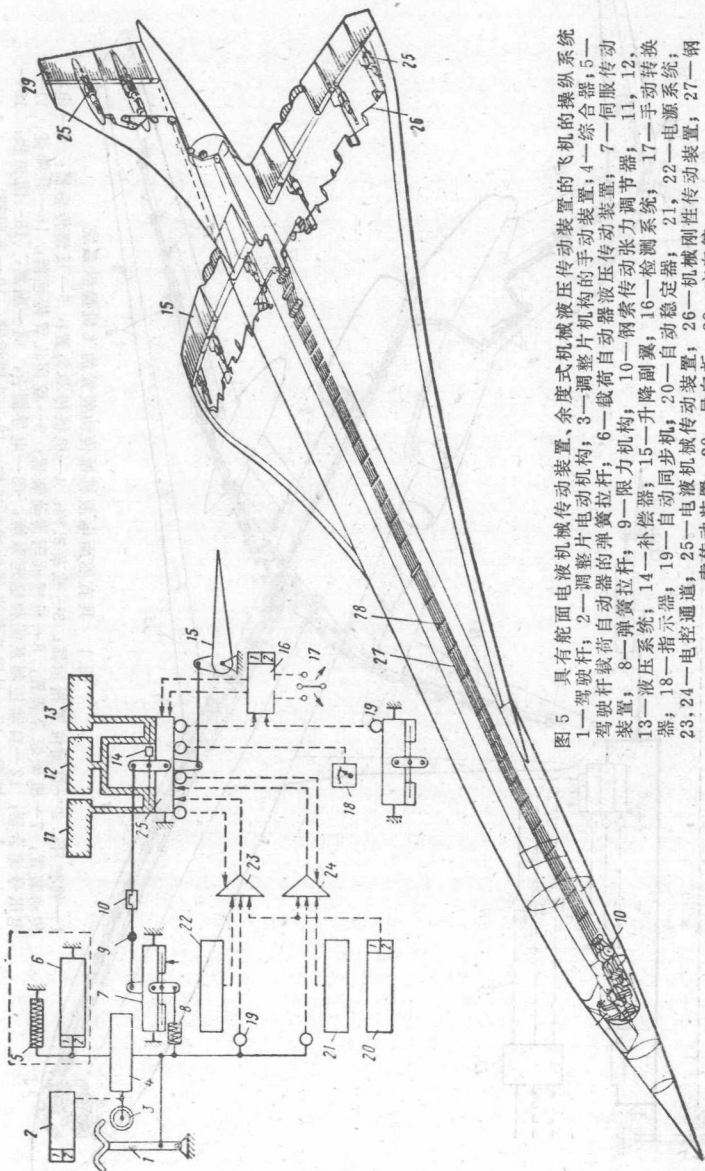


图5 具有舵面电液机械传动装置、余度式机械液压传动装置的飞机的操纵系统
 1—驾驶杆；2—调整片电动机机构；3—调整片机构的弹簧拉杆；4—综合器；5—
 驾驶杆载荷自动器液压传动装置；6—载荷自动器液压传动装置；7—伺服传动
 装置；8—弹簧拉杆；9—限位机构；10—钢索传动张力调节器；11、12、
 13—液压系统；14—补偿器；15—升降副翼；16—检测系统；17—手动转换
 器；18—指示器；19—自动同步机；20—自动稳定器；21、22—电源系统；
 23、24—电控通道；25—电液机械传动装置；26—机械刚性传动装置；27—钢
 索传动装置；28—导向板；29—方向舵

地应用在现代飞机上。这种传动装置最好的体现了液压传动装置的优点，且在元件的最小盈余下能够获得操纵系统必需的特性稳定性和可靠性。后者是由于这种液压传动装置比其它型式的传动装置具有重要的优点：在余度式液压传动时，可以最有效地应用多数表决逻辑原理，即《多数表决》原理。这种余度技术[●]不仅保证了传动装置特性的稳定，而且保证了传动装置及与它相互作用的系统发生故障或者损坏时，舵面具有最小扰动。

电液机械传动装置已成功地应用到许多现代飞机上。使用这种传动装置除要解决上述熟知的问题外，还需要合理地选择余度方法和余度，以保证飞行安全和在操纵系统中元件最小盈余下的飞行可靠性。图4所示为主操纵系统的舵面电液机械传动原理图。但是，在许多飞机上，如在“协和”号（《Конкорд》）飞机上（图5）的传动装置方案是：以电液传动装置作为主操纵系统，以机械液压传动装置作为应急操纵系统（主系统一旦发生故障后转入工作）。这种传动是由机械液压传动向电液传动的过渡阶段。即由具有指令讯号的机械传递系统向远距电操纵舵面的系统过渡。

远距电操纵系统（图6）标志着飞机操纵系统发展的新阶段。这种操纵系统[●]《反映了飞行器气动力学的转换作用，同时体现了半导体对无线电电子学发展的促进》。可以展望远距电操纵系统不仅可以保证飞机动稳定性的自动补偿，而且监控和限制了飞机的结构振动，以及重新分布机体上的载荷等等。

● 英美称为“余度技术”。——校者

● 《Electronic》，1970，№23。