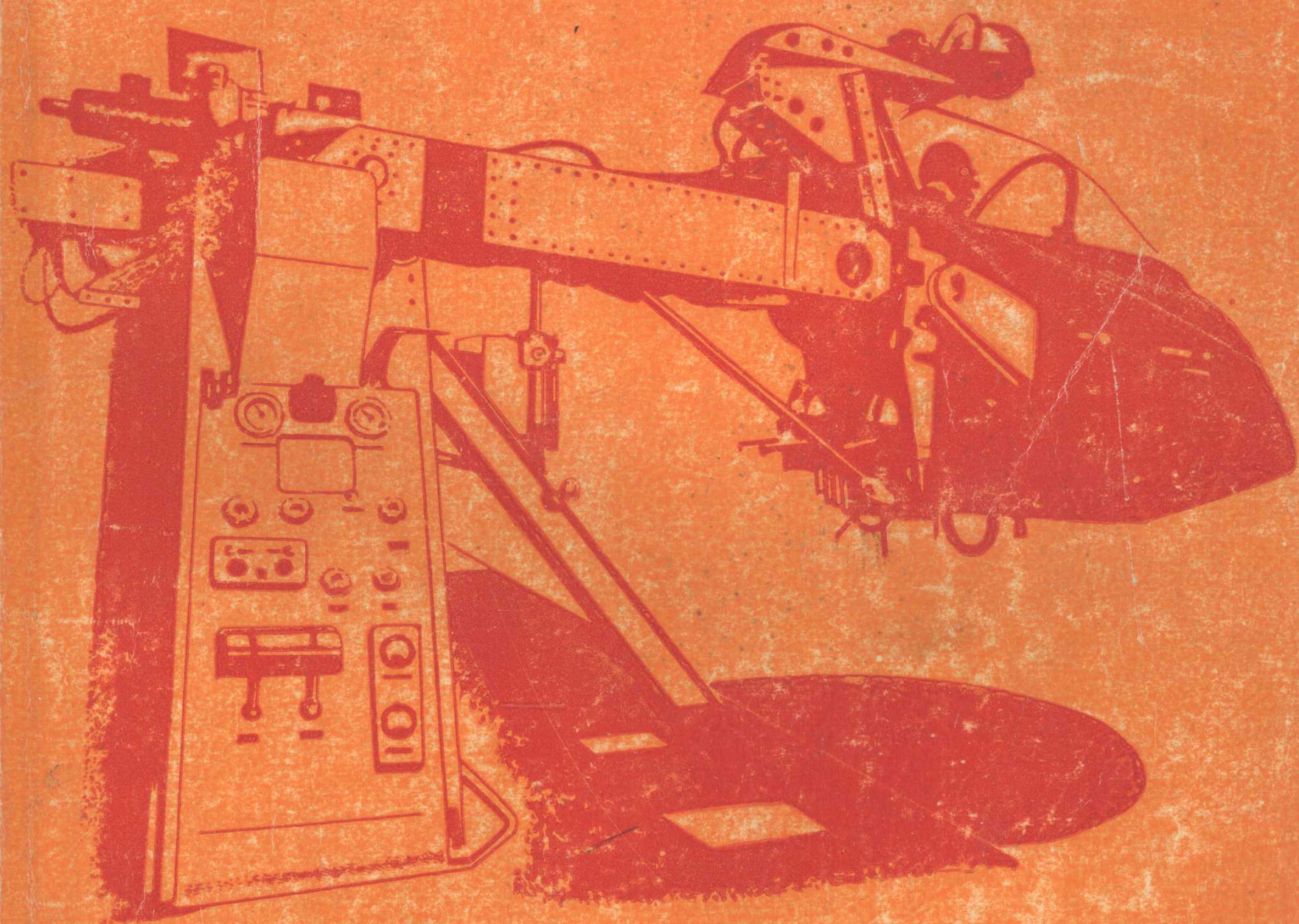


飞行模拟器

FEIXING MONIQI



第三机械工业部第六〇九研究所

1976·1

V216.6-53
1001

飞行模拟器

FEIXING MONIQI



30021330

8



第三机械工业部第六〇九研究所

1976.1

325213

毛主席语录

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。
这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

前 言

(地面飞行模拟器是五十年代随着电子计算技术和液压伺服机构的进展而出现的一种研制飞机用的重要设备。目前国外认为地面飞行模拟器在新型飞机研制中的作用已能与风洞模型试验相提并论。利用地面飞行模拟器,设计人员可以在飞行员的直接参与下,对设计中的飞机的气动特性、操纵系统、火控系统、空战性能等进行研究和评价,以便在飞行试验前及早发现设计中存在的问题并进行改进,从而缩短研制周期和节约费用。

为配合国内航空地面模拟试验研究和设备建设的需要,遵照毛主席“洋为中用”的教导,我们选择了四篇国外关于“飞行模拟器”的资料翻译出版,供国内从事航空地面模拟试验研究的广大工人、工程技术人员参考。由于我们路线觉悟不高,业务技术水平有限,错误和不妥之处在所难免,热忱希望广大读者批评指正。

编 者

一九七五年十二月十五日

通用飞行模拟设备的设计、构造及特性

译自：航空宇宙技术研究所报告

TR—70

16-6-73 航空宇宙技术研究所
TR-70

总 目 录

一、通用飞行模拟设备的设计、构造及特性..... (1)

二、研究飞行操纵品质的飞行模拟器..... (111)

三、四自由度飞行模拟座舱运动机构..... (173)

四、大幅度多用途航宇研究模拟器..... (239)

目 录

第一章 绪言

第二章 设备总体

- 2.1 研究用飞行模拟设备
- 2.2 系统规模的研究
- 2.3 系统设计的基本要求
- 2.4 系统的组成
- 2.5 系统的运行控制

第三章 飞机动特性模拟装置

3.1 设计

- 3.1.1 模拟方式
- 3.1.2 计算机规模
- 3.1.3 组成
- 3.1.4 性能
- 3.1.5 设计规格概览

3.2 构成

- 3.2.1 飞行运动计算机部分
- 3.2.2 操纵系统计算机部分
- 3.2.3 其他

3.3 性能

- 3.3.1 部件性能
- 3.3.2 综合性能
- 3.3.3 综合机能

附录：中型亚音速飞机总体参数及气动力数据

文献：

第四章 低反应飞行转台装置

4.1 概述

4.2 设计

- 4.2.1 飞行转台的动特性
- 4.2.2 飞行转台的额定负载
- 4.2.3 飞行转台的控制方式
- 4.2.4 万向架的组成和静态精度

附录 3.4

附录 1.3.4

附录 4.3.3

附录 4.3.3

附录 4.3.4

附录 4.4

附录 4.4.1

附录 4.4.3

：正文

附录 1.2

附录 1.1.1

附录 1.1.1

附录 1.1.2

附录 2.2

附录 1.2.2

附录 2.2.2

附录 2.2.2

附录 2.2.4

附录 2.2.2

附录 2.2

附录 1.2.2

附录 2.2.2

附录 2.2.2

附录 2.2.4

：正文

附录 2.2

附录 2.2

附录 2.2

附录 2.2

附录 2.2

附录 2.2

4.2.5 连接电缆数

4.3 组成

4.3.1 飞行转台本体

4.3.2 飞行转台控制操纵部分

4.3.3 飞行转台监视器

4.3.4 液压源装置

4.4 性能

4.4.1 飞行转台控制操纵台部件性能

4.4.2 飞行转台综合性能

文献:

第五章 人机组合研究用可动模拟座舱装置

5.1 设计

5.1.1 设计思想

5.1.2 各组成部分的主要问题

5.2 组成

5.2.1 概要

5.2.2 活动座舱

5.2.3 景象模拟

5.2.4 专用计算机

5.2.5 液压源装置

5.3 性能

5.3.1 座舱驱动部分

5.3.2 操纵力负荷装置

5.3.3 景象模拟

5.3.4 专用计算机

文献:

第六章 结束语

担当者:

设备总体

飞机动特性模拟装置

低反应飞行转台装置

人机组合研究用可动模拟座舱装置

松浦阳惠

堀川勇壮

村上力

松浦阳惠

冈部正典

樋口一雄

村上力

堀川勇壮

三好范子

百名盛之

池谷光菜

通用飞行模拟设备的设计、构造及特性

译自：航空宇宙技术研究所报告

TR—70

1966.03 航空宇宙技术研究所
TR-70

通用汉语拼音字母表

字母表

10—10

目 录

第一章 绪言

第二章 设备总体

- 2.1 研究用飞行模拟设备
- 2.2 系统规模的研究
- 2.3 系统设计的基本要求
- 2.4 系统的组成
- 2.5 系统的运行控制

第三章 飞机动特性模拟装置

3.1 设计

- 3.1.1 模拟方式
- 3.1.2 计算机规模
- 3.1.3 组成
- 3.1.4 性能
- 3.1.5 设计规格概览

3.2 构成

- 3.2.1 飞行运动计算机部分
- 3.2.2 操纵系统计算机部分
- 3.2.3 其他

3.3 性能

- 3.3.1 部件性能
- 3.3.2 综合性能
- 3.3.3 综合机能

附录：中型亚音速飞机总体参数及气动力数据

文献：

第四章 低反应飞行转台装置

4.1 概述

4.2 设计

- 4.2.1 飞行转台的动特性
- 4.2.2 飞行转台的额定负载
- 4.2.3 飞行转台的控制方式
- 4.2.4 万向架的组成和静态精度

4.2.5 连接电缆数

4.3 组成

4.3.1 飞行转台本体

4.3.2 飞行转台控制操纵部分

4.3.3 飞行转台监视器

4.3.4 液压源装置

4.4 性能

4.4.1 飞行转台控制操纵台部件性能

4.4.2 飞行转台综合性能

文献:

第五章 人机组合研究用可动模拟座舱装置

5.1 设计

5.1.1 设计思想

5.1.2 各组成部分的主要问题

5.2 组成

5.2.1 概要

5.2.2 活动座舱

5.2.3 景象模拟

5.2.4 专用计算机

5.2.5 液压源装置

5.3 性能

5.3.1 座舱驱动部分

5.3.2 操纵力负荷装置

5.3.3 景象模拟

5.3.4 专用计算机

文献:

第六章 结束语

担当者:

设备总体

飞机动特性模拟装置

低反应飞行转台装置

人机组合研究用可动模拟座舱装置

松浦阳惠

堀川勇壮

村上力

松浦阳惠

冈部正典

樋口一雄

村上力

堀川勇壮

三好范子

百名盛之

池谷光菜

通用飞机模拟设备的设计、构造和特性

英 语 简 介

1963年7月在航空宇宙研究所安装了一台通用飞行模拟设备，它包括一台模拟计算机，一个飞行转台和一个可动驾驶舱。该设备用于进行飞机和火箭的飞行性能、稳定性和操纵性的研究，包括自动和人工驾驶。使用该设备目前已能成功地进行对于普通飞机、垂直起降机和火箭的各种模拟试验研究。

本文叙述了设备的设计、构造和各部分包括各个部件的功能。

第一章 绪言

在飞机和火箭的研究过程中，为了直接从风洞试验数据求得包括安定性、操纵性和控制的飞行特性，除了解理论的运动方程式或从已有的资料推定外，没有其他方法。但是通常在操纵或飞行控制系统中包括驾驶人员、自动驾驶仪、自动增稳系统和其他控制装置等组成部分。因而如果不逐一求出包含着这些组成部分的各系统的传递函数，即使解理论的运动方程式也难于求得严密的飞行特性，同时，从与已有的资料相比较而得到的推断，其可靠性也是很差的。特别是对于类似机种的风洞、飞行两种实验数据极为缺少或根本没有这样数据的新机种的研究和发展，在没有确切地推定综合机体的飞行特性的情况下进行飞行实验，就会产生在飞行实验中发生意外危险的顾虑。

为了以既安全又迅速的方法解决这样的问题以提高研究和发展的效率，我所把以解实时飞行运动方程式电子计算机为主体的飞机动特性模拟装置，进行控制设备实验的飞行转台装置和可由驾驶人员操纵的可动模拟座舱装置等三个主要装置连成一个系统设计制作了研究用飞行模拟设备。通常飞机的飞行模拟设备可分为操纵训练用和研究用两类。前者为对某特定机种在地面上进行操纵或操作训练用没有通用性。与此相反，后者必须有通用性，至少要能模拟所予定的研究对象的任意性能，包括安定性、操纵性在内的飞行特性。因而，在进行本飞行模拟设备方案设计时，分析了予定的许多机种的典型运动方程式，并以通用性为重点进行了运筹的研究。结果，得出了特别是飞机动特性模拟装置的基本组成规模非常大，及希望制作几种飞行转台和可动模拟座舱的结论。但由于各主要装置容量的增大或增设是可能的，故确定了分阶段建造设备的方针，第一阶段为，以适用于研究亚音速的普通飞机和垂直起降飞机的中等规模的设备作为基本系统加以制造，其余按需要缓急依次增建。作为第一阶段建造的本设备，根据其所实现的运动方程式，也能对跨音速机、超音速机和火箭，进行相当广泛的研究。

下面第二章叙述本设备的系统总体，各主要装置有关设计的研究事项和结构性能及性能试验结果。

第二章 设备总体

2.1 研究用飞行模拟设备

设飞机和火箭为刚体，在以其重心为原点的直角坐标系上，有沿各坐标轴方向的平移运动和绕各坐标轴的旋转运动等6个自由度。所以其运动可以用六元联立微分方程式来表示。

运动方程式的主要因子有：

- (a) 气动力、重力和推力等的各轴方向分量。
- (b) 气动力和推力等的绕各轴力矩分量，必要情况下有旋转体的陀螺力矩分量。
- (c) 喷射气流引起的操纵力矩分量。
- (d) 飞机或火箭的质量，惯性矩和惯性积等。

这些因子中气动力和气动力矩，对于特定的飞机为气动力系数和微系数、动压的函数，而上列各系数又为攻角，侧滑角及其对时间的微分，各角速度，各操纵翼面偏角，襟翼偏角，形态，M数等的函数。此外有些场合需要将推力、推力矩和陀螺力矩作为油门位置的函数，而质量、重心位置、惯性矩和惯性积作为燃料消耗量或形态的函数来处理。

因而，在解运动方程式时不用说首先主要是进行上列各成分的变量的计算。解方程式所得结果还必须进行地球坐标系上的位置，飞行轨迹，各速度成分，姿态角（欧拉角）等的计算加以表达。此外，气动力各系数通常多用安定轴坐标系表示，而在进行飞机和火箭的安定性、操纵性以及控制的研究或试验的运动计算中则用机体轴、安定轴、风轴坐标系等表示，如选用机体轴坐标系、解一系列飞行运动方程式时，至少需要有安定轴坐标系→机体轴坐标系→地球轴坐标系之间的座标变换用计算机。

其次包括自动操纵装置、自动控制装置、诱导装置等，为了用它们的传递函数进行操纵模拟计算。

- (a) 传感器的特性
- (b) 自动操纵网络
- (c) 控制用和舵面用的执行机构

等的计算要素是必要的，对于包含驾驶人员的操纵系统。

- (a) 驾驶人员的特性

本资料是在1961年对美国的约20个研究所实地调查的基础上加以文献知识写成的。

(b) 驾驶杆和脚踏板的特性

等的计算要素是必要的。

对于飞机的运动计算，如使用包括上列诸要素的计算机，就可以进行所谓数学的模拟实验。因而单对具有特定气动力性能的飞机和火箭进行自动操纵或控制的情况下，虽然能够进行必须具有某种特性的操纵和控制系统的研究，但是与上述情况相反对于由操纵机械和控制机械组成的系统，为了用数学的模拟计算解出其综合飞行特性将如何匹配的问题，必须预先进行这些机械的特性试验，把各个传递函数详细求出。但是这类机械由于具有非线性特性，严密地求出计算用的传递函数是极为困难的，并且实验的精度也很低。因此在包含这类控制机械的运动计算中多数情况下以在系统内包括机械实物较为方便。这就是在美国等制作和使用飞行转台的理由，同时也有能够进行传感器类的鉴定试验的好处。在这种情况下，要求把伺服执行机构等自动控制机械的负载装置与飞行转台联用。对于驾驶人员的操纵和操作操纵控制的研究和试验，如把人作为控制系统的一个要素，则和使用飞行转台的理由相同，要求使用可能进行操纵动作的实物大小的模拟座舱。利用飞行转台进行研究试验时，传感器测出转台的运动，即感受出加速度和速度等（包括转动运动），与此相对应，在人作为操纵和控制的输入时，不仅需用仪表指示和与外景相对运动的视觉，还要用身体对运动进行感受。因而模拟座舱要求做成可动的，以便给飞行员以运动的实际感觉。此外也曾考虑用模拟座舱代替飞行转台，但因模拟座舱具有相当大的重量，所以在包括传感器实物的控制，特别是包含火箭范围的控制中几乎不可能具有所需要的性能。

从以上观点出发，作为多目的研究用飞行模拟设备，至少要有下列三种主要装置：

(a) 解飞机和火箭的运动方程式，并且能实时进行各种操纵计算的计算机（总称飞机特性模拟装置）。

(b) 以上项计算机所求得的结果为输入的飞机和火箭运动模拟飞行转台。

(c) 由驾驶人员搭乘进行操纵和控制操作的，能够模拟飞机运动的可动模拟座舱。

对这几个主要装置的规模和种类研讨的结果如图2·1，是极庞大的。外国的实例见表2·1供参考。

2·2 系统规模的研究

如前节所述，在广范围研究用飞行模拟系统中，由于飞机特性模拟装置的规模极为庞大，而且，依据飞行转台和可动模拟驾驶舱的制造难易程度，模拟的范围及效率，研究目的等，对广使用范围研究用飞行模拟设备曾作多种考虑。但由于其主要装置的容量增大和增设是容易的，在开始阶段将其使用范围限制在当前的研究重点，其余部分采用根据研究进展按轻重缓急加以增设的方针，可以提高设备建设的效率。因而本设备最基本的是三个主要装置为一组构成的单一系统，对其各自的容量和种类加以必要的限制。

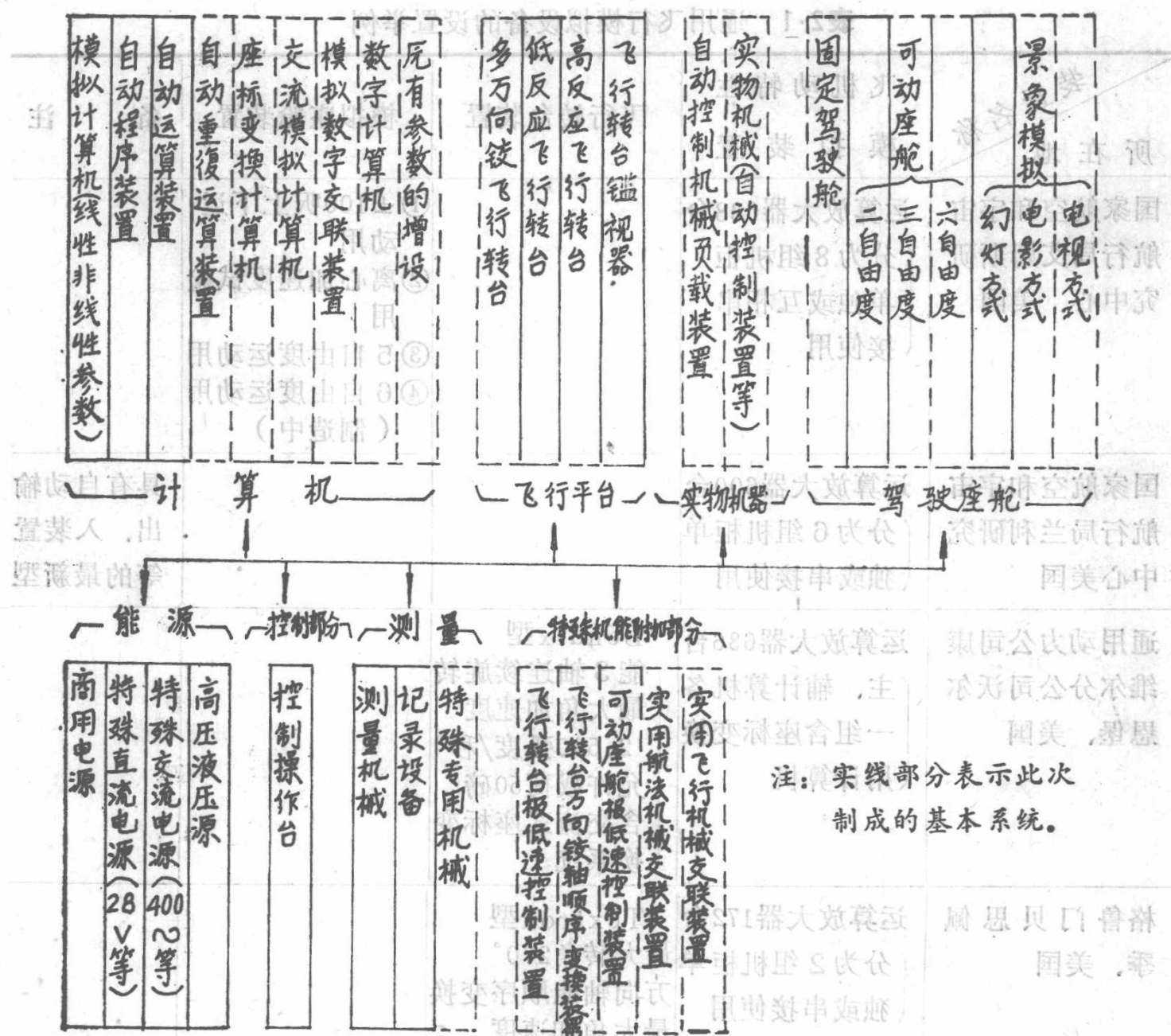


图2.1 通用飞行模拟设备的基本组成

也就是对飞机特性模拟装置，采用了如第三章所述的低速电子模拟计算机，构成该计算机的算子的种类和数量，从对典型的运动方程和操纵计算式的分析，特别是对于多变量情况的计算，不处理由于M数很大范围变化和机身弹性变形引起的空气动力诸系数的变化。

飞行转台在理想情况下希望为6自由度的，可是平移运动的模拟机构，其反应频率极低，并且必须采用极其庞大的机构否则实现困难。同时对于平移运动，按比例反映线速度和线加速度，对于以机械作为研究对象的情况是没有什么意义的，因而作为当前研究需要，仅限于旋转运动模拟。要求飞行转台具有外形尺寸、静特性和动特性，虽然因研究对象而不同，但由于在广阔范围内模拟旋转运动的机构在技术上有相当的困难，由于尺寸和频率响应成反比例的关系，因而存在根据需要来选用低反应或高反应的问题。向本设备根据研究机种的范围，采用低反应作为基本系统。

对于可动模拟座舱与飞行转台相同，曾根据使用目的进行过多种考虑。飞机飞行方