



国防科技图书出版基金



杨廷梧 著

# 航空飞行试验遥测 理论与方法

Telemetry Theory and Methods  
in Flight Test



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

# 第 0 章 术语及定义

## 0.1 设备术语

### 1. 机载传感器

机载传感器是飞行器上的一种信息感知装置,能将感受到的信息按照一定规律转换成电信号或其他形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现遥测的首要环节。

### 2. 信号调节器

信号调节器是将传感器输出的被测信号通过放大、滤波等环节变换为传输或记录设备能够接收的信号形式的一种装置。若传感器输出信号符合传输或记录要求,则不用信号调节器;反之,需要配置信号调节器。

### 3. 机载数据采集器

机载数据采集器是对来自于飞行器上传感器或信号调节器的信号进行采样、量化和编码的一种装置。机载数据采集器,采用适合在飞行器上安装的专用采集机箱和采集母线总线,实现快速采集。多路信号汇集采集器母线总线,以一定的数据格式(如脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, PCM)帧或以太网数据包)进行输出。飞行试验遥测中使用的机载采集器具有高精度、多参数同步采集功能。

### 4. 机载网络交换机

机载网络交换机是一种在飞行器上数据采集网络中使用的数据交换设备。它可以为接入交换机的任意网络节点提供信号通路。机载网络交换机不同于一般商用网络交换机,它具有极小的时间延迟,并使用 IEEE 1588 PTP 协议,实现多参数高精度同步采集。

### 5. 发射机

将低频信号通过高频载波的调制,转变成在某一中心频率上具有一定带宽、适合无线发射电磁波的装置或设备。

### 6. 磁(带)记录器

磁(带)记录器以磁带为记录介质,用电信号的变化驱动磁头产生记录磁场,通过介质与磁头的相对运动,转换为空间分布的磁化图样存储信息。

磁带记录器曾在航空飞行试验遥测中发挥了重要作用,目前已被固态记录器替代。

## 7. 固态记录器

固态记录器是以半导体存储器、铁电存储器及磁泡存储器等固态存储器件为基础,用于记录测试数据的记录器。

## 8. 时间码发生器

时间码发生器是产生时间码序列的一种装置,简称时码器。

## 9. 遥测接收站

遥测接收站是接收机载遥测发射机向地面传送飞行试验数据的地面设施,具有接收、解码、同步、处理与显示等功能。

## 10. 安全监控系统

安全监控系统是对遥测数据进行处理、分析,并以图、表与数据等形式表征飞行器及机载系统运行状态的试验设施,是保障飞行试验安全的重要手段。在飞行试验中遇到突发情况时,试飞指挥员可通过安全监控系统对空中试验飞行器飞行员发出指令,以完成相应飞行动作或遇险时的应急处置办法。

# 0.2 遥测术语

## 1. 遥测

遥测是对试验对象(如飞行器)运行参数进行感知、采集、记录与控制,并经过远距离传送到接收端进行处理分析的一种测量技术。遥测系统是由检测、采集、传输、记录、显示和处理等部分硬软件组成的,用以实现遥测功能的一个集合。其中,用无线信道实现传输的遥测被称为无线电遥测,用有线信道实现传输的遥测被称为有线遥测。

## 2. 遥测标准

遥测标准是保证遥测系统彼此兼容和有效的技术准则。国外通用的遥测标准是美国靶场司令官联席会议靶场仪器组制定的 IRIG 106,现行国家军用遥测标准为 GJB 21A。

增强型遥测网络(integrated Network Enhanced Telemetry, iNET)正逐步成为国际最新遥测标准的重要内容。

## 3. 多路复用

多路复用是多路信号通过一定变换转换成某种统一信号的形式,经同一信道传输的多路传输体制。

## 4. 脉冲调制

脉冲调制是脉冲序列中各脉冲信号随消息信号(调制信号)变化而变化的过程。

## 5. 脉冲幅度调制

脉冲幅度调制是脉冲序列中各脉冲信号的幅度随消息信号(调制信号)做

线性变化的过程。

#### **6. 脉冲编码调制**

脉冲编码调制是消息信号(调制信号)经过采样、量化后,转换成二进制或多进制数字信号的过程。

#### **7. 采样**

采样是连续变化信号按照一定规则转换成离散信号序列的过程。

#### **8. 采样率**

采样率是单位时间内的采样次数。

#### **9. 量化**

量化是将连续信号幅值范围分成若干小间隔(量化间隔),在每个间隔内取一个值(量化值)代表信号在该间隔内的所有值。量化有时也称为“分层”。

#### **10. 量化误差**

量化误差是指量化结果与被量化模拟量的差值。量化误差有时又称“分层误差”。

#### **11. 帧结构**

数据采集系统总是以某种固定格式对被测参数进行循环采样、记录和/或传送,这种固定格式即帧结构。

#### **12. 帧**

时分制遥测系统中,各路信号逐一采集一次而构成的数据格式称为帧。

#### **13. 帧格式**

帧格式是时分制遥测中,数据及标记在帧中编排的方式。

#### **14. 帧同步码组**

PCM 遥测中,表示帧或子帧起始位置的特殊码组。IRIG 106 遥测标准推荐了遥测中使用的帧同步码组。

#### **15. 码同步**

码同步是从串行二进制数据中提取位同步信号的过程,也称比特同步或位同步。

#### **16. 数据流**

数据流是数据传输系统中,按一定格式传输的数据串。

#### **17. 信号噪声比**

信号噪声比是信号功率与噪声功率之比,简称信噪比。

#### **18. 载波**

载波是可以调制信号调制的高频电磁信号,通常指未被调制的信号。

#### **19. 载波频率**

将一个较低频率信号(测试信号)调制到一个较高频率上进行传输,这种被低频信号调制的较高频率称为载波频率,也叫“基频”。

## 20. 调频

调频是使载波瞬时频率随调制信号变化而变化的调制过程。

## 21. 整形偏移(交错)四相相移键控

整形偏移(交错)四相相移键控(Shaped Offset Quadrature Phase Shift Keying, SOQPSK)是一种带宽效率很高且严格恒定包络的调制方式,也是近年来在卫星通信领域快速兴起的一种新的调制方法。SOQPSK是在传统QPSK的基础上,将I路与Q路的数据交错半个符号时间长度 $T_s/2$ ,得到了OQPSK信号,OQPSK消除了相位的 $180^\circ$ 翻转,从而降低了信号的带宽占用,再将OQPSK信号频偏脉冲转换成连续函数得到SOQPSK,是一种连续相位调制(Continuous Phase Modulation, CPM)制式。

## 22. 正交频分复用

正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)是多载波调制(Multi-Carrier Modulation, MCM)技术的一种,既可以看成一种调制技术,也可认为是一种复用技术。OFDM总的信道是非平坦的,具有频率选择性,但是每个子信道进行窄带传输,信号带宽小于信道的相应带宽。OFDM与一般的多载波传输相比,其不同之处是OFDM允许子载波频谱部分重叠。只要满足子载波间相互正交,则可以从混叠的子载波上分离出数据信号。由于OFDM允许子载波频谱混叠,因而是一种高效的数据传输方式。

## 23. 时分多址

时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)技术,是以时间循环方式分配给每一载波唯一的时隙(Time Slot),多个载波共享同一信道。TDMA的时隙格式(帧结构)一般是由一系列时隙组成。每帧都包含前同步位、业务信息和后同步位,也可以根据应用对象的不同自行编程。

## 24. 射频带宽

射频带宽是已调载波信号所占的带宽。

## 25. 模拟记录

模拟记录是来自机载传感器的模拟信号特性(幅度、频率等)的方式。

## 26. 数字记录

数字记录是经过采样、量化、编码的数字信号的方式。

## 27. 时统

时统是时间统一勤务信号的简称,用以确定被测参数的时间基准。

# 0.3 数据处理术语

## 1. 实时处理

实时处理是在飞行试验任务实施时对被测参数同步进行处理的过程。通过

挑选关键参数进行计算并以多种形式显示,供飞行指挥人员进行指挥、决策,试飞工程师则将其作为评价飞行科目完成质量的依据。

## **2. 准实时处理**

准实时处理是对航空试验中实时获取的数据做进一步处理分析的过程,但时间滞后于试飞进程。准实时处理一般用于完成较为复杂的数据分析。一般是在飞行动作完成后几分钟或稍长一点时间内给出。

## **3. 参数工程单位转换**

参数工程单位转换是将被测参数的物理量转换成电量(电压或电流),并将电量转换成二进制码,最后依据参数校准曲线,将编码值还原成工程量的过程。

## **4. 预处理**

预处理是按要求对试验数据进行工程单位转换、时间同步、数据选择、导出参数计算的过程。预处理为二次数据处理提供工程单位数据。

## **5. 数据重放**

数据重放是实时数据处理过程的事后重现,其过程与实时处理基本相同。数据重放过程可以是根据用户需要对感兴趣的参数、时间动作段数据进行较为详尽的分析。数据重放有时称为数据回放。

## **6. 二次处理**

二次处理是按照试飞科目的要求对预处理后数据进一步处理、分析的过程。

## **7. 最终处理**

最终处理又称综合数据处理,即事后分析评定处理。它以二次处理结果为依据,按一定的数学模型和算法,通过专用软件的运算、仿真以及对多架次飞行试验数据比较、融合等,以数据表格、曲线、图形等形式给出最终结果评估报告,为飞行器或机载系统的功能与性能评价提供全面、详细、可靠的数据资料。

## **8. 遥测处理软件**

遥测处理软件包括计算机程序(代码)规程以及与其相关的文档和数据。

## **9. 1553B 总线数据**

1553B 是一种军用飞行器内部时分制/指令响应式多路传输数据总线,由总线控制器(BC)和多至 31 个远程终端组成。总线上所有通信均由 BC 发起和控制,采用双余度传输线。1553B 总线数据是指经 1553B 总线传输的各种信息。

## **10. FCS 总线数据**

FCS 是飞行控制系统(Flight Control System)的英文缩写,是现代电传飞行器的自动化飞行控制系统。FCS 总线是用于传递飞行控制信息的通信总线,称为飞行控制总线,它是一种非标准总线。FCS 总线数据是指在飞行控制总线上传输的数据。

## **11. ARINC 429 总线数据**

ARINC 429 总线是一种用于传输数字信号的串行总线。ARINC 429 总线数

数据是指在 ARINC 429 总线上传输的数据。

### 12. FC-AE 光纤总线数据

FC-AE 标准是一组协议集,FC-AE 总线是一种应用于现代飞行器上航空电子设备之间的数据通信总线。FC-AE 总线数据是指在 FC-AE 总线上传输的数据。

### 13. AFDX 总线数据

航空电子全双工交换式以太网(Avionics Full Duplex Switched Ethernet, AFDX)总线是现代大型飞行器采用的一种航空电子全双工通信以太网交换总线。AFDX 总线数据是指在 AFDX 总线上传输的数据。

### 14. 1394 总线数据

1394 总线是一种适合传输多媒体信号的总线。1394 总线是指在 1394 总线上传输的数据。

### 15. CAN 总线数据

控制器局域网(Controller Area Network, CAN)总线是一种高速串行通信现场总线。CAN 总线是指在 CAN 总线上传输的数据。

## 0.4 测量误差与测量不确定度术语

### 1. 测量误差

测量误差是误差的一种,又称“观测误差”,为测量值与其真值之差。

### 2. 随机误差

由于在测量中受到各种偶然因素的影响,使得测量误差呈现一种随机性,表面上看起来并没有什么规律性,但从统计学上分析,则具有一定的统计特性,称此误差为随机误差。

### 3. 系统误差

系统误差是指因某些固有的、内在的因素影响,使得测量结果的误差呈现一种规律性,这类误差称为系统误差。

### 4. 观测异常值(粗差)

一般指大于随机误差 3 倍  $\sigma$  的误差称为粗差。含有粗大误差的测量值称为观测异常值,简称异常值,也称野值。粗差可能是由于其他客观原因造成的,也可能是由于测量工作上的失误所造成的。

### 5. 测量不确定度

测量不确定度简称“不确定度”,又称“测不准关系”。测量结果并非是一个确定的值,而是分散的无限个可能值所处的一个区间,其分散性就是不确定度。

### 6. 合成标准不确定度

若测量结果的标准不确定度包含有多个标准不确定度分量,将此多个标准

不确定度分量综合起来就称为合成标准不确定度,用符号  $u_c$  表示。

### 7. 扩展不确定度

用包含因子  $k$  乘以合成标准不确定度,得到一个区间来表示的测量不确定度,称为扩展不确定度,用  $U$  表示。

### 8. 标准差

标准差是“标准偏差”的简称。当测量误差的随机误差中仅含有偶然误差时,计算出的均方根误差的正根就是标准差。

### 9. 极限误差

极限误差又称“容许误差”,在一定的观测条件下,偶然误差的绝对值不应超过此限值。按误差理论,通常以规定或预期的中误差(标准差)的三倍作为极限误差。实际工作中有些测量不可能重复,此时,关心的是单次测量的最大误差,而极限误差描述了单次测量的最大误差。

### 10. 绝对误差

绝对误差是测量某物理量所得的测量值与真值的差值。它不考虑被测物理量本身的大小,而只描述该物理量的近似值相对于其准确值的差值的大小。

### 11. 相对误差

相对误差是测量某个物理量所得到的绝对误差与其近似值之比。它能确切地描述所测量的量的精确度。



# 第 1 章 概 论

## 1.1 概 述

飞行试验是发展航空科学技术的重要环节,是进行航空科技新原理、新技术探索和研究不可缺少的科学实践活动。航空飞行试验内涵宽泛,不仅贯穿于航空飞行器设计、制造和试验/鉴定整个过程,也是进行航空预先研究、新技术验证和改进改型不可缺少的手段。航空飞行试验包括实验室试验、地面试验和飞行试验,是航空飞行器及其动力装置、航电系统、机载设备、武器系统等设计试验/鉴定或改进的重要环节<sup>[1]</sup>。飞行试验离不开测量(测试),而测量在飞行试验中起着极其重要的作用。本书主要介绍航空飞行试验遥测的理论与方法。航空飞行试验遥测理论与方法不仅可应用于航空飞行器设计、制造过程中实验室试验和地面试验,而且也普遍应用于飞行器飞行试验。遥测是航空飞行试验测试技术的重要组成部分,无论是在航空还是空天飞行试验中都起着不可替代的作用。

## 1.2 航空飞行试验

航空飞行试验简称“航空试飞”。航空飞行试验是在真实大气环境条件下进行的航空科学研究与航空产品研制和鉴定的必需环节。通常,将飞行试验划分为研究性飞行试验和型号飞行试验两大类,前者包括理论探索和新技术研究与验证飞行试验,后者包括型号试验/鉴定和初步使用、使用飞行试验<sup>[2,3]</sup>。

航空飞行试验是一项科学性和实践性强、风险性大、周期长和投资大的系统工程。航空飞行试验几乎涵盖了所有航空科学范畴,同时还有其特有的航空飞行试验技术。航空飞行试验包括试验理论与方法研究、试验设计、建模验模、驾驶技术、试验测试(测量)、数据处理、试验评估、试验改装、安全监控、地面试验和维修保障等技术以及各种试验设施建设等。

航空飞行试验既是验证航空新概念、新材料、新技术和探索航空未知领域的重要途径,又是在真实飞行环境条件下鉴定军用航空飞行器及其武器装备技术性能和使用要求的必要手段,贯穿于航空新装备研制、生产、定型和使用的全过程,它为新型号立项、设计定型和投产决策提供依据,是航空新产品研制的一个至关重要和必不可少的最终环节。

航空飞行试验是航空领域的一门应用学科,需要宽广而坚实的航空与相关专业理论基础、科学试验方法与严密的试验程序、高超驾驶技术与丰富的工程实践经验。航空飞行试验涉及各种被试航空飞行器及其系统或装备的特性和技术、飞行试验工程师试验设计水平、飞行试验驾驶技术、光电测量、遥测和数据处理、飞行综合保障等技术,其专用设施,耗资巨大。飞行试验具有系统性、复杂性、风险性和周期长等特点。因此进行航空飞行试验时,必须进行精心策划和严密组织,制定风险预案与安全保障措施,才能确保航空飞行试验的质量、安全和进度。

### 1.3 航空飞行试验测量

航空飞行试验不仅仅是飞行器在真实大气环境中飞行,更重要的是在飞行过程中,按照试验设计规定的要求,利用各种测量方法和手段获取大量与试验相关的信息,经信息处理后,以验证或确定飞行器及其系统、装备的实际功能与性能指标。试验相关信息包括定性和定量的信息(数据、图像、语音)。即使是定性的信息,也需要通过音频或视频信息记录才能使定性评定的依据更为可靠、定性评述更准确。因此,航空飞行试验的核心是飞行试验测试(测量)技术。测试是人们获取定量或定性信息的一种手段,是在实际需求牵引下,面向对象开展研究的一项科学研究活动。没有测试的飞行试验只是飞行。单纯的飞行只能增加飞行员或无人机操纵手的感性认识,不能为飞行器的设计、定型和改进提供真实、客观、可靠的依据。所以,航空飞行试验测试是航空飞行试验不可缺少的重要组成部分。航空飞行试验测试涉及测试领域的相关理论与方法、测试要求、测试方案设计、试验流程、测试设备(系统)研制、测试设备加改装、测试数据处理和规范标准制定等。

飞行试验是航空科学重要的组成部分。飞行试验是一项工程应用研究,是通过在实际飞行试验中获取各种数据,进行分析处理来评估被测对象的性能指标是否符合设计要求(定型飞行试验),或在已定型的飞行器上设置各种飞行模式,进行探索性飞行试验,获取实际飞行数据,为新型飞行器或新品的设计提供依据,并探索航空的未知领域(预研性飞行试验、验证飞行试验)。在飞行试验中,无论是定型试验或预研飞行试验,都离不开测试。因此,在飞行器试验与评估中,测试技术(包括测试方法和测试仪器设备)对飞行试验的真实性、准确性有着决定性的作用。

飞行试验测试技术,是研究在真实飞行条件下科学地获取和处理能够表征试验研究对象性能、功能与作战效能等的技术。测试技术,是研究测试理论与方法、多参数同步测量与数据处理和评估的技术,同时,根据飞行试验需要研制专用试验设施与专用测试和处理分析设备(系统)。

随着航空科学、军工产品和飞行试验科学的快速发展,对飞行试验测试技术提出了越来越高的要求;而测试技术的发展,又大大提升了飞行试验技术水平。

实践证明,飞行试验测试技术进步,对于提高飞行试验技术和飞行试验效率、缩短飞行试验周期、保证飞行试验安全具有重大的意义。

试验测试属于试验科学范畴,涉及航空院校各类专业以及数学、力学、电学、光学、模拟/仿真、计算机网络、通信、测量学、环境科学等多种学科;航空试验测试需要大量复杂的试验设施与测试设备(系统),包括地面试验设施、模拟设施、仿真实验室、各种检测设备(系统)、各种类型试验机及目标机、试验场、地面与机载测试系统(设备)、计量与校验实验室、地面支持设施等。因此,航空试验与测试不仅耗资大,而且技术复杂、风险高、周期长。航空试验与测试是关系航空武器装备研制能否成功的重要环节。

航空飞行试验测试通常分为航空飞行试验遥测(常称为飞行试验内部参数测量)和飞行试验光电测量(常称为航空飞行试验外部参数测量)。航空飞行试验遥测和光电测量都离不开测试方案设计、设备(系统)研制及其校准,更离不开试验测试数据处理与分析。为了进行飞行安全监控,必须对各种试验参数和试验图像进行感知、采集、记录、传输、检测、实时处理以及显示等。各种试验数据和图像、语音的传输又包括有线、无线传输等。因此,航空飞行试验测试是一门综合性强的系统工程技术。

## 1.4 航空飞行试验遥测

### 1.4.1 基本概念

航空飞行试验遥测,简称“试飞遥测”或“遥测”。遥测技术是集信息感知、采集、通信和数据处理与评估为一体的综合性技术,在军工试验和民机试验领域有着广泛的应用。遥测系统是遥测技术的综合体现,由检测、采集、传输、记录、处理及显示等设备组成,覆盖了航空飞行试验测试中的机载测试、遥测传输和数据处理等环节。遥测系统在航空飞行试验领域有着重要的作用和地位,是实现飞行器机载数据采集、记录、远程传输、实时监控和数据处理的重要设施,是确保飞行试验安全、缩短飞行试验周期必不可少的重要手段。

试飞遥测依据其相关的理论、方法和技术,构建遥测系统完成航空飞行试验测试工作。试飞遥测主要任务:建立飞行试验空间基准、时间基准,利用遥测设备(系统)进行测量、记录及数据处理,以获取飞机、直升机及其系统和机载装备的各种试验状态信息等,为飞行试验提供定性和定量的测量信息,最终为新型飞机的设计定型、改进改型和预先研究提供依据;进行飞行试验状态的实时监控,以保障飞行试验安全。遥测是航空飞行试验测试的重要组成部分,是飞行试验

重要的基础技术之一。

### 1.4.2 作用

航空飞行试验遥测是在真实飞行环境下,通过飞行试验获得飞行器以及机载系统的各种信息,为飞机、直升机、无人机、舰载机及其机载系统等的性能、品质及战术、技术指标鉴定与评估提供依据。飞行试验遥测信息包含数据、图像和话音,主要包括试验对象的模拟量参数、数字量参数、总线参数、视频图像与话音等。因此,遥测在飞行试验中起着极其重要的作用,无可替代。

### 1.4.3 特点

现代飞行器集高新技术于一身,由成千上万个部件组成。飞行试验是一项高风险的系统工程,试验科目众多、内容宽泛、成本昂贵。正是由于飞行试验的这些特殊性,航空飞行试验遥测与一般测试相比,具有以下显著特点:

(1) 测量参数量大。一般地面试验只测量几个最多上百个参数,而一架新型飞机飞行试验测量参数达 4000~20000 个或以上,大型飞机测量参数达 3 万多个,如空客 A380 飞行试验测量参数达到 4 万个。

(2) 参数种类多。一般地面试验测试参数为同一类型或少数几种类型,而一架新型飞机飞行试验测量参数的类型多达几百种。有各种非电量参数,如各种压力、温度、高度、速度、加速度、姿态、力、位移、角度、应变、流量等参数;有各种电参数,如电压、电流,交流、直流,频率、波形,数字信号等;有各种航空总线,如 ARINC 429 总线、1553B 总线、1394 总线、AFDX 总线、FC-AE 总线、CAN 总线等专用总线;还有各种网络数据包。

(3) 飞行安全实时监控。由于试验飞机技术状态不够稳定,试验风险极大。为了保证飞行试验安全,需要对涉及飞行安全的关键参数进行远距离遥测传输,在地面进行处理和实时监控。

(4) 快速数据处理能力。一架全状态飞机飞行一个架次的数据量在 50~100GB 或以上,要求在几小时内快速完成全部数据处理工作,以决定次日飞行试验科目。

(5) 试验频繁。在多地同时开展试验。每天几十架飞机投入飞行试验,试验极为频繁,测试和数据处理的工作量极大。

(6) 机载数据采集设备要求高、可靠性好。装在飞机上的测试设备必须满足高低温、振动、冲击、潮湿等恶劣的工作环境要求。一架飞机的飞行试验任务少则需几个月,多则需几年。因此,飞行试验测试系统必须具有高的可靠性,具有长时间连续正常工作的能力。

(7) 遥测设备种类多、结构与技术复杂。与地面常规的测试系统相比,更为复杂。地面常规测试所用设备相对单一,几台(件)或几十台(件)设备就能完成

测试任务;飞行试验遥测则需成百上千台(套)设备,构成一个庞大的、复杂的综合系统。

#### 1.4.4 主要设备

早期飞行试验,不仅测试参数少,测试设备性能功能差,测试效率和飞行试验效率十分低下。随着先进测试技术和大型测试系统的使用,在飞行试验中采用综合测试方法。将一套完整测试系统一次性改装在一架飞机上,在一个飞行架次中完成多个科目的飞行试验计划,从而使飞行试验效率大大提高。尤其是采用遥测技术后,在飞行试验的同时,进行实时数据处理,地面指挥员和飞行试验工程师通过遥测监控系统进行实时监控,这对于保证飞行试验安全,提高飞行试验效率,缩短飞行试验周期具有重大意义。

##### 1. 航空飞行试验遥测设备

航空飞行试验遥测系统,主要由机载数据采集分系统、地面遥测数据处理与安全监控分系统、测试参数校准设备和地面支持设备组成。

###### 1) 机载数据采集分系统

机载数据采集分系统加装在飞机上,主要包括各种传感器、调节器、数据采集设备、时统设备、遥测发射设备、机载记录设备、机载数据处理设备以及全球定位系统/北斗卫星导航系统(Global Positioning System, GPS/BeiDou Navigation Satellite System, BDS)时统设备等。

###### 2) 地面遥测数据处理与安全监控分系统

地面遥测数据处理与安全监控分系统安装在地面,分为遥测接收固定站或活动站以及监控中心。每个遥测接收固定站或活动站主要包括遥测接收子系统、遥测前端子系统、主计算机和飞行监控室。

###### 3) 测试参数校准设备

用于对装机的测试设备按飞行试验参数的测量链路进行参数校准,不同的参数有不同的校准设备和校准方法。

###### 4) 地面支持设备

地面支持设备(如自动化测试设备等)用于对装机的机载测试系统和设备,在调试和准备阶段,飞行前(包括实验室、外场、起飞线)进行各种检查、仿真、编程、排故等。

##### 2. 航空飞行试验遥测设备发展

随着航空武器的发展需要,遥测系统正朝着综合化、自动化、微型化、模块化、灵活化、多功能方向发展。遥测系统将具有海量参数测量能力、更强的实时数据处理能力、更高的测量精度。

###### 1) 海量参数测量能力

现代大型的机载数据采集系统,一般都是由若干个数据采集器等设备组成

的分布式系统,它们之间用测量总线/网络连接。其中主采集器具有中央控制功能,通过专用测量总线或网络来控制整个系统的运转和数据传输,各数据采集器在飞机上分散安装。根据被测参数的多少及分布情况可以增减“挂”在总线上数据采集器的数量,这种利用分布式采集结构的系统,可以大大增加测量能力,并有直接测量各种类型参数的能力。

### 2) 更强的实时数据处理能力

机载和地面设备配置更加完善、容量更大,采用新的技术(调制技术、传输组网技术、遥测中继技术、位置分集技术等)使遥测的传输容量、作用距离进一步提高。地面数据处理站已从只接收处理一条数据流扩展为能同时接收、处理多个各种数据流;采用能力更强的计算机、网络及各种外围设备,提高数据输入速率。研发专用软件,提高遥测实时传输多路视频图像信号的能力,为用户同时提供多种形式的数据和视频图像。另外,机载实时数据处理能力也将越来越强。

### 3) 更高的测量精度

现代化的遥测系统向着通用性、综合性方向发展,智能化程度更高,且具有自诊断能力。随着测试方法与测试设备研制水平的不断提高,智能化传感器、高精度数据采集技术以及采用基于 IEEE 1588 PTP 协议的时间同步协议,使得遥测系统测量精度越来越高。

### 4) 遥测新理论和新技术应用

主要包括数据同步采集技术、基于 iNET 的遥测网络化结构、遥测新传输体制、无线网传输技术以及空天地一体化试验测试体系、大容量固态记录技术等;传感器向着数字化、智能化、分布式方向发展。

## 1.4.5 一般工作流程

### 1. 工作流程

从第一架飞机飞行试验测试任务开始投入飞行试验,直至全部试验任务结束,飞行试验遥测一般须经过五个主要阶段:

- (1) 飞行试验遥测系统设计与准备;
- (2) 机载测试设备在飞机上的改装与校准;
- (3) 地面遥测监控与处理系统调试;
- (4) 飞行试验遥测实施与数据处理;
- (5) 总结、归档。

### 2. 测试工作程序

#### 1) 确定飞行试验遥测要求和测试参数

由型号系统提出总体测试要求和测试参数表。

#### 2) 制定总体测试方案

依据测试任务,测试工程师需与型号系统设计师进行讨论,明确测试要求,

落实测试参数,确定最终提供实施的测试参数表。深入了解试验对象并实地考察,讨论测试方案可行性。

根据上述要求和测试设备的现状,以及测试工作的准备周期,制定总体测试方案,包括机载测试系统和所需用的地面遥测数据处理系统,以及其他配套设施。

### 3) 遥测系统设计

- (1) 总体布局;
- (2) 各子系统的组成;
- (3) 设备的内部组成;
- (4) 设备之间的连接(接口关系);
- (5) 编写遥测设计文件(飞行试验测试方案),提供评审。

### 4) 遥测系统(设备)准备

- (1) 现有设备的准备;
- (2) 新设备的采购和研制(提出新设备的技术要求)。

### 5) 实验室准备工作

- (1) 新测试方法的论证和试验;
- (2) 设备的软件编程、设备通电调试;
- (3) 编写机载测试实施文件(测试参数的校准要求、飞行试验测试设备改装文件)。

### 6) 机载测试参数的校准

- (1) 实验室校准;
- (2) 改装后的部分参数校准。

### 7) 机载测试系统加(改)装

- (1) 测试设备在飞机上的加(改)装设计(包括机械安装和电缆铺设);
- (2) 加(改)装实施;
- (3) 改装后线路导通;
- (4) 设备通电调试;
- (5) 测试设备与飞机系统之间的交联试验;
- (6) 其他试验。

### 8) 遥测系统联试

遥测系统联试包括机载数据采集系统与地面遥测接收数据处理站之间的联试、确认系统工作的正确性和参数测试的准确性(包括参数的校准特性)。

### 9) 飞行试验

(1) 飞行前机载数据采集系统(设备)工作正确性和可靠性检查,包括起飞线检查、飞行日检查、机械日检查,以及测试设备定期检查;

- (2) 飞行期间遥测实时数据处理;

(3) 飞行后事后数据处理,结果提供给课题组;

(4) 飞行后机载数据采集系统(设备)检查。

10) 拆除飞机加(改)装的测试设备

该飞机飞行试验测试任务结束后,拆除飞机加(改)装的全部测试设备,飞机恢复原状态。

11) 总结

飞行试验测试任务结束后,编写出测试工作总结报告。

## 参 考 文 献

[1] 杨廷梧,张正中. 航空飞行试验光电测量理论与方法[M]. 北京:国防工业出版社,2014.

[2] 周自全. 飞行试验工程[M]. 北京:航空工业出版社,2010.

[3] 张铁生,等. 飞机试飞工作手册——飞机飞行试验与数据采集[M]. 北京:国防工业出版社,1998.



## 第2章 航空飞行试验遥测理论基础

飞行试验遥测是遥测科学的一个重要应用分支,涉及时域离散信号分析、参数估计、模糊数学与测试误差等理论基础。本章将依次介绍飞行试验遥测中信号与噪声、傅里叶变换、Z变换、小波以及测试参数估计的基本方法,最后介绍模糊理论与误差理论的基本概念。

### 2.1 信号与噪声

在飞行试验遥测系统中,不可避免地存在外部干扰和内部噪声,这些干扰与噪声必然影响遥测信号质量。遥测信号和噪声(干扰)通过遥测系统,其输出(响应)必将发生畸变,因此需要了解遥测系统信号和噪声特性的描述方法。

飞行试验遥测系统是集数据采集(空中)、数据传输(空地)与数据处理和安全监控(地面)为一体的复杂系统。图2-1为一个典型的飞行试验遥测系统,它包括飞机上机载传感器、机载数据采集、记录和无线传输、地面数据处理与信号分析、显示等多个分系统组成。采集的信号源有传感器信号、总线信号、开关量信号、视频信号、话音信号等;信号种类为模拟量信号和数字量信号。

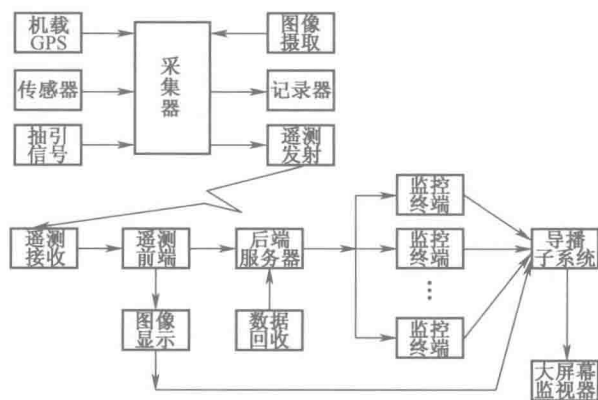


图 2-1 典型飞行试验遥测系统组成

#### 2.1.1 信号<sup>[1,2]</sup>

信号是信息的载体。信息通过变换、编码和调制产生携带该信息的信号。