

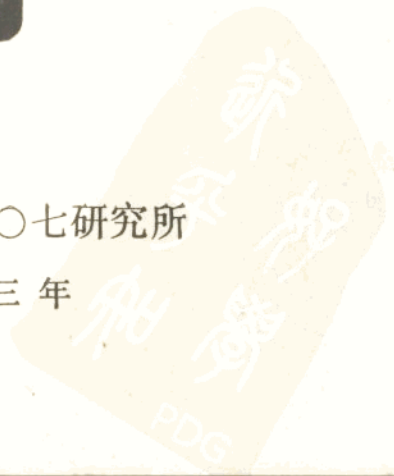
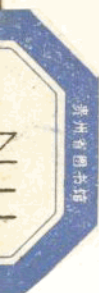
# 出国考察技术总结报告

美国遥测技术与设备

10

航天工业部第七〇七研究所

一九八三年



## 出 版 说 明

一九八二年九月，由航天工业部、核工业部和航空工业部等单位的六位同志组成的遥测代表团，应邀参加了国际遥测基金会在美国圣地亚哥召开的八二年国际遥测会议，我国代表在会上宣读了三篇论文，受到与会者欢迎，会议期间与美国遥测专家进行了座谈，会后参观了美国遥测设备公司（EMR）。

从七十年代开始飞速发展起来的电子器件工艺，有力地冲击着现有的遥测系统体系。当今的电子器件水平，同创新的计算机体系结构相结合，已有可能构成更先进的遥测系统，以适应测试装备现代化的需要。本届遥测年会集中反映了当前遥测技术的巨大进步，如美国的一些靶场正在进行老装备的技术改造和更新，一些遥测设备的主要生产厂家正在为八十年代以至将来的自动化地面站研制全新的远程遥测控制设备。

代表团回国后，进行了系统的总结，从空用设备、天线与跟踪系统、数据记录存储技术及地面站遥测与计算机系统等方面撰写了专题技术报告，现编辑出版供各单位有关同志参考。

## 目 录

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 一、空用设备.....             | ( 1 ) |
| 二、天线与跟踪系统.....          | ( 5 ) |
| 三、遥测数据存储记录技术.....       | (10)  |
| 四、地面站.....              | (16)  |
| 五、附录:                   |       |
| 代表团与美国遥测专家劳赫博士座谈摘记..... | (26)  |

# 美国遥测技术与设备

詹 辛 农

## 一、空用设备

近年来,美国发展了许多小型化、智能化、模块化、高可靠,能承受恶劣环境的空用遥测产品,开发了标准总线、专用接口,采用存储程序或微处理机控制。

年会举办的展览会上,展出了多种可编程序遥测设备,军用设备的小型化、模块化和高可靠性,给我们留下了深刻的印象。

美国遥测设备的可靠性是比较高的,据说一般遥测系统的年可靠度为98%,五年可靠度达90%以上。

### 1. 空用数据采集器

爱丁维克托公司(Aydin Vector)的600、700、900系列和麦克洛柯姆公司的24系列和160系列的空用数据采集器,它们共同的特点是电路采用混合厚膜工艺,参观时没有见到大规模集成电路产品,但都是模块结构,每个系列有自己丰富的模块库,选用不同模块,可以组成不同规格产品,以适应不同的要求。总体结构上,有采用整体组装式,也有采用远置单元式。大都用EPROM存储程序控制方式。可编程参数有码速率、帧和副帧长度、字长、帧同步码长和放大器增益等。模块结构体积小,重量轻,如MMP-600是一个完整的32路高电平模拟信号采集编码器,体积只有 $3.8 \times 4.5 \times 6$ 厘米,除电源模块重50克外,其它模块最重仅25克。再增加七个模块,每个厚6.35毫米,即可形成256路采集器。至于炮弹用的超小型数据采集器只有火柴盒大小。

据称,MMP-900和MMP-600系列是目前最小、最轻、最可靠的数据采集器。MMP-600是美国爱丁维克托公司1975年设计制造的第一个混合厚膜模块化数据采集系统,曾用于英国“海鹰”舰载导弹的飞行试验。据该公司出口部经理介绍,已销售千余套,全部工作正常。1980年,该公司用更大容量的CMOS EPROM存储器更新了MMP-600设计,发展为MMP-900系列新系统,码速率提高到1兆位/秒。新系统除了具有600系列的特点之外,还可制成气密模块,为用户提供了附加能力,如可编程放大器能产生64种增益和偏置的组合,同一模拟交换子可编程为单端或差分输入,通过EPROM地址及控制电路的预先编程,通道可以编入格式中的任意位置。

MMP-900系统由电源模块、编程器模块、模拟交换子模块、可编程放大器、取样/保持及模数变换器、双电平交换子、格式形成器模块和定时器组成。基本系统框图如图1所示。

系统配置可外加接口模块和远置单元。主单元为远置单元提供地址和控制线,输出数据通过主单元读出。接口模块利用CMOS或TTL长线驱动器,可将远置单元置于远离主单

元数百英尺处。适合接收制导计算机、自动驾驶仪、自动寻的弹头和 1553 数据总线来的数字或模拟数据。

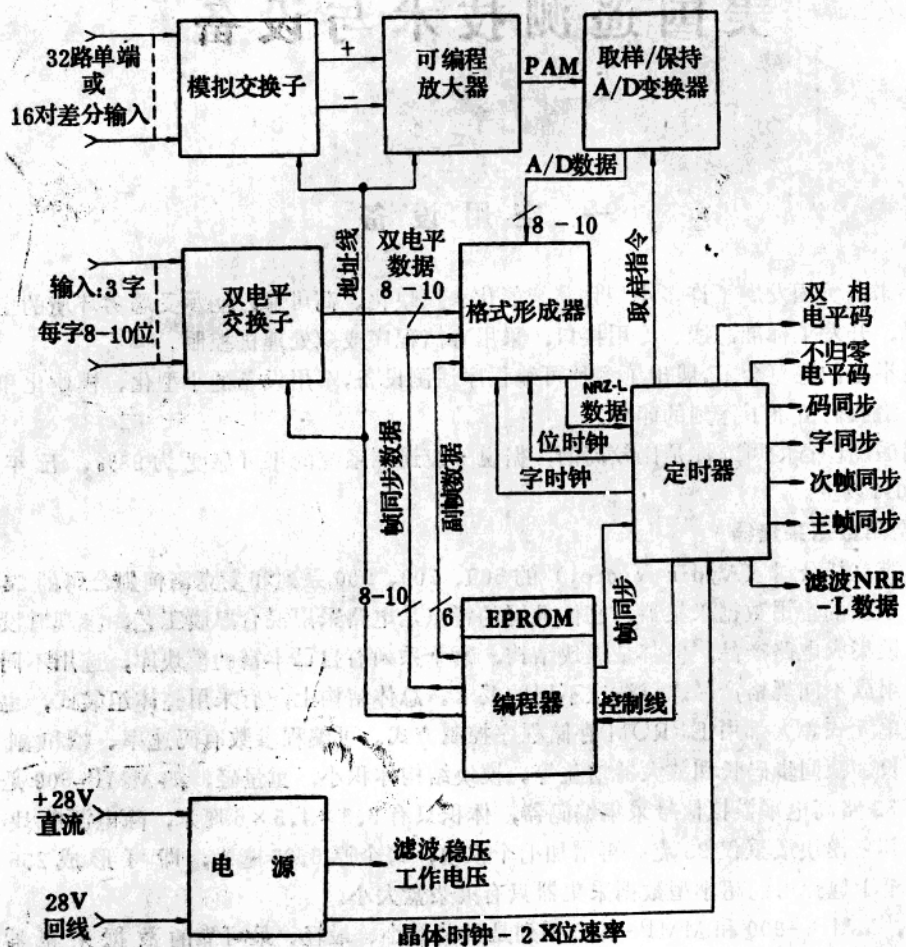


图1 MMP-900基本系统框图

MMP-900 和 MMP-600 系统采用多层隔离混合厚膜工艺，能承受强冲击和振动环境（冲击 15000 g，2 毫秒，随机振动 109G 均方根值，频率为 700 赫）。

## 2. 火炮膛内遥测设备

火炮炮弹往往在膛内环境中发生异常，因而对于取得膛内数据有很大兴趣。某些情况下，发射时炮弹的典型加速度达 10000 g，角加速度超过 250000 弧度/秒<sup>2</sup>，标准遥测设备无法承受这样严格的膛内环境。以色列军工部系统局与美国爱丁维克托公司合作开发了可编程 PCM 编码器 MMP-671-HS，并在此基础上发展了膛内遥测设备 TM-M、TM-AM 和自旋速率遥测设备 TM-S。在研制中应用了若干新技术，如：灵活的多路转换，可编程信号调节器，采用混合厚膜结构。设备小型化，高耐震性，具有长时间的可靠性。这些系统应用多年，成功地发射了上百个装置。

TM-M 系列遥测包内部元件布置如图 2 所示，用于采集从炮弹开始运动到出膛共

125 毫秒时间内的数据, 分辨率为 240 微秒, 精度为 0.1% 或更高。随后, 系统自动切换成发射状态, 存在弹载存储器内的全部数据反复循环传输。TM—AM 系列也是以存储器为基础的遥测设备, 可以在无法或不能可靠传输的场合采集数据, 并可重复使用。适合测量火炮发射时弹丸在炮管内或在软回收装置中运动时的内部参数。

### 3. 1553 总线接口

过去十年间, 飞机设备中使用数字技术大大增加。为此发展的串行数字多工数据总线 MIL—STD—1553, 不仅成功地应用于 F—16、F—18、AH—64 及 B—52 OAS 等飞机计划, 而且在导弹、舰船和坦克方面也获得了广泛的应用。存取总线信息需要专门的接口, 爱丁维克托公司的可编程总线监视器 PBM—1553 为 MIL—STD—1553 总线与遥测系统之间提供了有效、灵活的接口。PBM—1553 与 1553 总线接口存取总线信息,

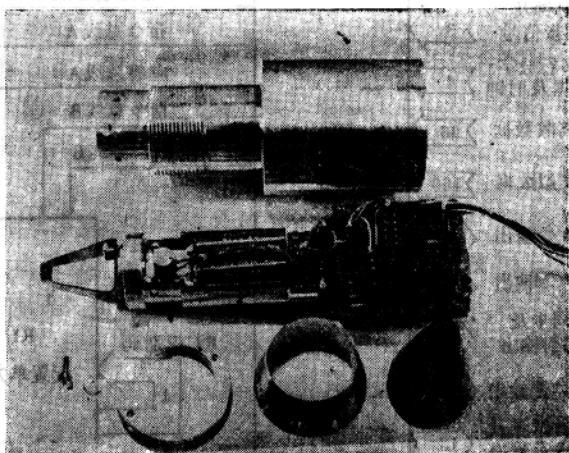


图2 TM—M 遥测包内部元件布置

送往飞行试验系统, 特点是作为数据采集监视器, 只接收而不影响飞行器数据总线工作。双冗余输入, 可按 MIL—STD—1553B 在任意方向直接捷联, 或用变压器耦合。部件可用 EPROM 编程, 采集选择 1553 消息和从消息中选择字, 选出的 1553 数据可用时间消息标记, 供数据处理用。同时, 保证了接收数据的完整性。部件为自备式小型坚固封装, 体积为  $17.8 \times 15.2 \times 12.7$  厘米, 只要与数据总线、电源及飞行试验系统相连即可工作。

### 4. MX 导弹测试系统多路复用器组合

本届年会上, 比较完整地介绍了一个典型的空用系统——用于采集 MX 导弹飞行试验数据的多路复用器组合。系统由一个编程控制单元, 2~32 个远置单元和一定数量的电源校验单元组成 (参见图 3)。

控制单元作为可编程系统控制器, 采集本地输入数据, 并与远置单元来的数据一道编成 PCM 格式输出。远置单元通过指令总线和应答数据总线, 与控制单元接口进行远距离数据采集。电源校验单元产生精密模拟电压, 加给模拟源, 控制模拟信号的偏置, 进行测试检验。

32 个远置单元中, 有 31 个可作为飞行远置单元装在弹上, 通过两对弹上数据总线与控制单元连接。余下的一个作为地面驻留远置单元, 主要用来装入和检验控制单元程序, 通过脐带数据总线与控制单元相连。弹上数据总线长度可达 39.6 米, 脐带总线最长为 76.2 米。在 MX 导弹应用中, 级间分离将造成电缆开路或短路, 总线布置要随导弹级数而改变, 因而无法使用理想端接总线。为了保证总线上其余远置单元的正常工作, 采用了有电压和电流绕组的接口隔离变压器, 以获得最大的次级信号电平和最小的反射失真。数据总线工作频率为 3.2 兆赫, 采用曼彻斯特 I (Manchester I) 码 (即双相码)。

控制单元可采样 160 个本地差分模拟通道, 增益、偏置可编程, 最高采样率为每秒 170,665 次。从 96 个离散通道中, 可编程灵活组合成 8 路输入, 采样率可达每秒 51200 次。还可以接受 4 路串行数据通道数据, 在 8 条命令通道上形成输出。飞行前, 命令可由

地面发出,发射后,可按时间事件编程。PCM速率为1.6兆位/秒,用16位4096字CMOS RAM存储器,存储5种格式,可供在飞行中选择。

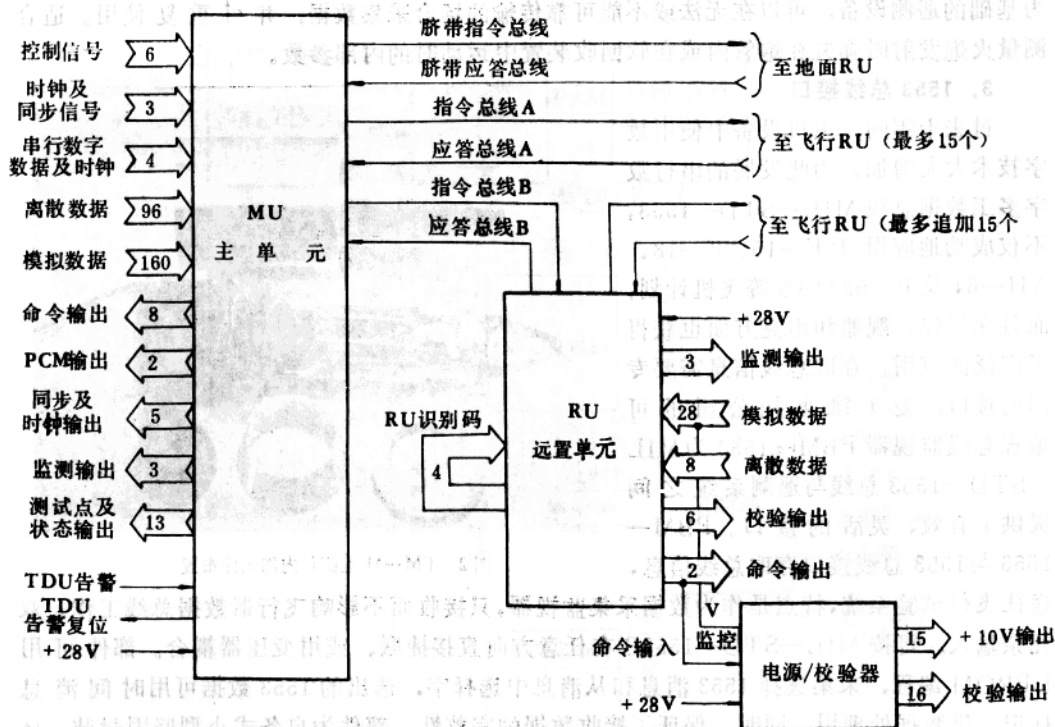


图3 MX导弹测试多路复用器接口

每个远置单元可访问28条模拟通道,8条离散通道,控制两条命令通道和6条校验通道。多路复用器组合全套32个远置单元,可对1056路模拟输入采样,接收354路离散输入,4路串行数字输入,提供72个命令输出。电源校验器通过控制单元或远置单元命令通道进行控制。

系统有故障弱化能力。控制单元主要采用54LS系列双列直插式TTL集成电路,在电源变换、专用接口和某些模拟电路中用了少量分立元件,耗电50瓦,体积约11208立方厘米,远置单元体积约2048立方厘米,备用时耗电8瓦,被访问时耗电11瓦。电源校验单元体积约2376立方厘米,重量不到2.9千克,额定电压28伏,满载2安时,输出功率36.5瓦。

通过弹上的监测器和计算机控制全自动测试设备,可以进行迅速准确的最后参数测试,并具有高度的故障诊断能力。

##### 5. 微处理器控制遥测系统

可能是由于速度上的原因,微处理器控制的空用设备商品还不多见。然而,有迹象表明,这方面的工作正在进行,圣地亚实验室在一项得到美国能源部支持的任务中,采用了微处理器控制的遥测系统,并为此发展了自动寻址方案。遥测系统使用RCA1802微处理器和两块定制的大规模集成电路—数据采集组件和控制组件,作为基本积木构件。控制组件负责编排数据采集组件输出数据的格式,数据采集组件管理遥测数据通道,对来自传感器

的模拟输入进行模数变换,两者均受 1802 微处理机初始化和控制。

利用 1802 微处理机的直接存储器存取功能,在固件控制下寻址遥测通道,一经初始化之后,通道寻址即自动进行。从软件能力,软件复杂性,数据格式编排、编码和变换以及硬件数量等方面与软件寻址相比较,自动寻址方案有效地增加了微处理机的软件能力。在软件寻址方案中,寻址通道与其它作业相混杂,软件难于编写、检查和调试。修改数据集,需要重写大量软件。同时,自动寻址简化了数据集的编码和格式化。由于软件程序与寻址数据采集组件相分离,改变数据集中的通道,只需改变数据采集组件 PROM 中的地址单元,并不影响软件程序。在硬件数量方面,自动寻址方案也少于软件寻址。

## 6. 模拟系统

模拟系统仍在继续生产和使用,美国航宇局(NASA)的德尔它(delta)火箭第三级使用了 Microcom 公司的 FM/FM 遥测系统,这家公司正在生产供 delta 二级用的时分/频分多路复用系统。该公司生产多种耐高冲击加速度的遥测产品,供美国陆军用于激光制导反坦克榴弹炮炮弹中。一种 PAM FM/FM33 路数据采集系统,可以同时承受轴向 15000 g、横向 50000 g 的冲击载荷。

## 二、天线与跟踪系统

二十年来,跟踪技术有了巨大进步,美国一些靶场、试验机构和卫星测控网在进行技术改造和设备更新,以实现测试装备现代化计划。白沙靶场对现有跟踪站作了技术改造,扩大了遥测跟踪系统的应用范围。美国空军卫星控制机构将更新遥控跟踪站硬件,进行自动集中控制,更新处理硬件、软件,实现数据系统的现代化。美陆军航空工程飞行机构更新了六十年代末装备的遥测系统,范登堡空军基地在八十年代遥测接收机现代化计划中,选用了麦克洛达因公司(Microdyne)最新的微处理机控制遥测接收机 1200—MR 作为核心设备。

EMP 公司发展的新型圆锥扫描馈源,在一些靶场已取代了单通道单脉冲系统。

近年来,为各种导弹和宇宙飞船发展的共形天线技术,愈来愈多地用于遥测领域,为解决常规天线固有的问题提供了适当的解决方法。

### 1. 跟踪技术的巨大进步

六十年代初,美国空军和 NASA 发展了若干 S 波段遥控跟踪网,包括支持美国国防卫星的空军卫星控制机构,用于早期载人空间计划的统一 S 波段系统,以及用于目前载人空间计划的 NASA 地面、空间飞行跟踪及数据网,还有为民用气象及海图服务的国家海洋大气局网。最近,美空军将更新空军卫星控制机构的遥测跟踪站硬件,作为自动化遥控跟踪站计划的一部分。此项计划的完成将由现行数据系统现代化计划开始,目的在于实现集中自动控制和更新处理硬件、软件的现代化进程。

二十年来,S 波段遥控卫星跟踪站硬件在改善性能,减小尺寸、重量和功耗,大幅度提高其可靠性,这些方面已取得了巨大进步。利用标准遥控接口、自备测试与诊断能力控制处理器,可以较少的成本提供自动遥控,大大减少了现场人力。

目前,有许多现成的 C 波段和 Ku 波段天线可供选用,提高了在 S 波段工作的性能。产品的标准化和在天线罩内使用,不需要太复杂的基础,使天线价格便宜了一半。

天线控制领域取得了引人注目的进步,发展了单通道单脉冲系统,与老式三通道系统比较,性能改善,大大降低了系统复杂性和射频前端硬件成本。数字控制器的发展,简化了远距离从动、捕获图样的产生及对全部伺服远距离状态监视和控制。

射频前端硬件是技术进展最大的一个领域。老式冷参已被 GaAs 场效应管所取代,可直接装在馈源上,减少电缆损耗。性能在老式冷参的 20K 以内,在 2.2~2.3 千兆赫频段,典型值为 70K。平均无故障时间 (MTBF) 为 80000 小时。

到目前为止,大功率发射机功率由行波管或速调管放大器供给,都需要高压电源,可靠性差,管子寿命低,常常突然损坏,MTBF 仅为 2500 小时。在相控阵雷达的促进下,现在已有 1 千瓦和更大功率的固态发射机。在器件发生故障时能适度弱化,不会完全丧失输出功率。使用低压器件,大大改善了电源可靠性,结合适当的器件降额,MTBF 可大于 25000 小时。

跟踪及遥测接收机方面,微小型化及微处理机技术不仅大大减小了接收机和遥测解调器的体积,同时,通过标准控制总线完全实现遥控,并有跟踪误差调制的功能。

早期的跟踪站设备按照控制中心发布的话音命令手动操作。七十年代初,颁布了遥控接口标准,到七十年代中期,遥控跟踪站实现了自动遥控,现场操作维护人员大大减少。由于固态工艺的发展,近年来网络及转换系统发展迅速,发展了星形、环形、网形、树形及其组合和其它网络配置,电—机械转换装置已被更便宜、更可靠和更快的固态部件所代替。通用接口总线提供了控制器与组成有效功能网络各仪表之间的接口,按命令要求,网络可以同步、异步和多路访问。局部地区网为控制器与设备接口及网络约定提供了另一种有效方法。据称,在现行局部地区网中, Ungermann/Bass Netone 最适合自动化遥控跟踪站的需要。

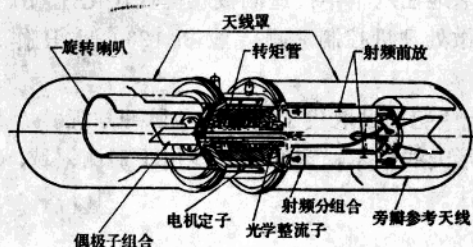


图4 EMP公司的圆锥扫描自跟踪馈源

## 2. 新型圆锥扫描馈源

1968年出现的单通道单脉冲馈源,在可靠性方面比通常的圆锥扫描馈源大大提高,然而系统性能却有所下降。为此,EMP公司研制了新型圆锥扫描自跟踪馈源 (RADSCAN),如图4所示。

这种新型馈源,有一个偏置圆波导旋转喇叭,主模由一对固定的印制电路板偶极子激励。旋转喇叭是唯一的运动部件,没有旋转关节,喇叭偏置产生偏斜波束,喇叭旋转使波束在空间形成圆锥扫描。用没有电刷的电容式感应电机做原动机,电机的空心轴直接与喇叭联接,不需要皮带或齿轮。利用固态光学整流子产生正交基准信号,可在 1435~2400 兆赫范围内连续工作,覆盖全部用遥测频段,包括 2300~2400 兆赫的新频段。

这种馈源的喇叭是按照焦距在 0.35~0.42 范围内口径照射效率最佳设计的,口径遮挡小,反射器直径可小到 4 英尺 (1.2 米)。对于 8 英尺 (2.4 米) 或更大口径的反射器,在 L 和 S 波段,旁瓣电平达 25 分贝。12 英尺 (3.6 米) 口径反射器的典型方向图如图 5 所示。

由于结构简单,这种馈源具有很高的可靠性,MTBF 达 120000 小时,是常规单通道

单脉冲馈源的五倍, 其它各项可测指标, 如低仰角跟踪能力、增益、噪声温度、波束交叉随频率变化、串扰、误差调制、视轴随频率的偏移、轴比和价格等方面, 都优于单通道单脉冲系统。这种新型圆锥扫描馈源已为许多遥测靶场购置, 取代了单通道单脉冲馈源。

### 3. 共形天线

遥测系统使用的许多常规天线, 往往不能满足总的系统要求,

天线与安装物体结构不协调, 增益低及覆盖不良等, 在许多情况下, 导致不能可靠地传输遥测数据。近年来, 为各种导弹和宇宙飞船研制的共形天线技术, 愈来愈多地为遥测所采用, 为解决常规天线(如单极和偶极天线)所固有的许多问题提供了适当的解决方法。

共形天线中, 介质棒辐射器增益高, 旁瓣低, 辐射器间去偶强, 在某些情况下带宽较宽, 方向性好, 现在已有实际应用小口径天线。

微带天线的特点是厚度薄, 可以共形安装, 结构工艺简单, 不用铆钉, 连接同轴电缆插头座是唯一的焊点, 可靠性好, 机械强度高, 生产成本低。美国生产空用天线主要厂家之一的 Ball 宇航系统部, 先后设计了 180 多种共形微带天线, 以适应不同的电性能和环境条件要求(高温、高 G、高空), 用于飞机、舰艇、坦克、导弹、火箭、卫星、再入飞行器、航天飞机和地面站。从 1969 年开始, 该公司为导弹设计的天线全部采用了全向微带天线。如为地下井发射的民兵—Ⅲ型导弹设计的全向天线, 采用微带结构, 直径为 134.6 厘米, 能够承受地下井的火焰和气动热效应。工作频率 S、C 和 L 波段, 全向覆盖, 左旋和右旋圆极化或线极化, 沿轴向的天线高度 24.1 厘米, 包括防火焰天线罩在内, 重量小于 10 千克, 天线突出蒙皮外 7.6 毫米, 嵌入蒙皮内不大于 3.8 厘米。用于 MX 导弹的 S 波段空腔后缝缠绕天线, 功率 20 瓦, 线极化, 厚度为 7.9 毫米, 高 2.5 厘米。

### 4. 电控球型天线阵

在哥达德空间飞行中心赞助下, Ball 宇航系统部为地球辐射能量分布探测器研制了一种电控球型天线阵(ESSA), 通过跟踪及数据中继卫星进行遥测和指令中继。

ESSA 为盘式辐射单元覆盖的半球形, 球面直径 76.2 厘米(见图 6)。由控制器连续选择一组辐射单元, 形成指向跟踪及数据中继卫星的波束。左圆极化共有 145 个辐射单元, 按正二十面体几何尺寸分布于等边三角形顶点, 间距  $0.61\lambda \sim 0.68\lambda$ 。每 12 个单元一组, 共可形成 1807 种波束, 密集分布在  $\pi$  球面角覆盖区内, 得到与波束瞄准角无关的恒定相位和增益特性。

控制器使用德州仪器公司 9900 系列 16 位集成注入逻辑( $I^2L$ )微处理器,  $I^2L$  逻辑为系统提供了抗辐射能力, 有全向、定向波束、程序跟踪和反向四种编程工作方式。

天线峰值增益 14 分贝, 3 分贝波束宽  $2.5^\circ$ , 在两种工作频率下, 轴比优于 3 分贝。S 波段辐射单元带宽 10%, 可以同时发射和接收。分系统重 33.5 千克, 耗电 20 瓦, 射频功率可达 30 瓦, 八二年已完成全部鉴定工作。

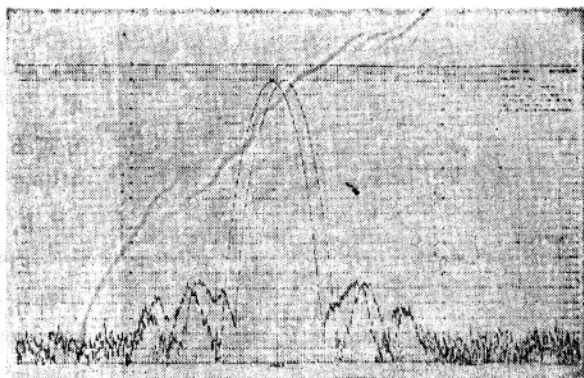


图 5 典型的圆锥扫描自跟踪馈源天线方向图

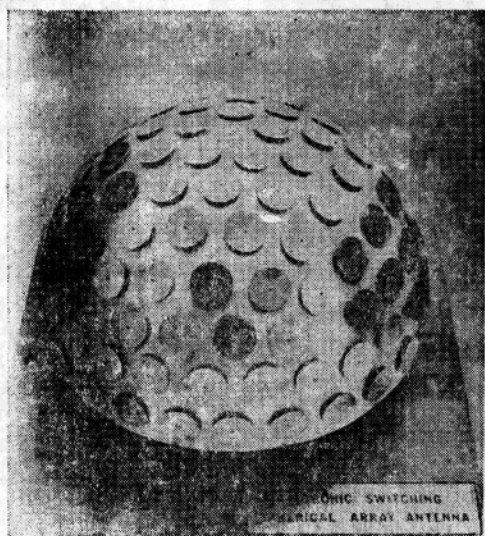


图6 电控球型天线阵

ESSA 的天线可靠性高, 没有单一要害故障, 故障只使性能略有下降, 可以产生多波束、消旋波束, 或者在目标进入方向形成全向方向图, 还可以装设多频辐射单元, 不仅可用于宇宙飞船, 还可供飞机、舰船和地面使用。

### 5. 扩大遥测跟踪系统的应用范围

白沙导弹靶场干涉仪跟踪系统新近采用了一种相位差干涉仪跟踪系统, 用于跟踪装有 S 波段遥测发射机的空中目标。系统由两个遥控数据采集站和一个余弦变换装置组成, 用模拟二个天线对的非单值解法, 每个数据采集站由两个正交线性天线阵组成基线。每一基线包括三个天线, 在 2290 兆赫, 间距为  $18.9\lambda$  和  $19.35\lambda$ 。余弦变换装置利用测得的相位差计算出对每一基线的方向余弦, 变换成位置数据,

送往靶场控制中心。

系统采用高速射频开关分时转换天线对, 位于中央的天线作为相位计的一个输入, 径向各天线经多路转换作为相位计的另一输入。处理器/控制器使射频开关控制与相位数据收集保持同步。与不使用分时转换天线的传统干涉仪系统比较, 减少了遥控数据采集站产生方向余弦所需硬件数量。

相位差测量系统是利用精确定位的天线阵, 在测量阵内天线对的射频波之前导出方向余弦, 因此, 天线位置精度至关重要。对于两对天线组成的基线, 计算机模拟分析结果证明, 系统中最关键的参数是反映天线位置精度的观测误差。按目前的技术水平来说, 测量系统规定的天线位置精度设计容量为 0.1 毫米。

相位差测量干涉仪跟踪系统可以扩大试验靶场现有跟踪系统的能力。其特点是成本低, 非常灵活, 动态目标跟踪能力强 (系统是全电子的), 并且能够在干扰箔条和电子对抗的条件下跟踪目标。

搜索及精密跟踪进入目标, 是与导弹及空间武器系统相联系的一个基本问题。通常的解决办法是用两部雷达, 一部宽波束雷达进行搜索, 另一部窄波束雷达进行跟踪。白沙导弹靶场认为, 遥测跟踪系统能够相当精确地跟踪目标。为完成独立搜索跟踪航天飞机的任务, 使用两部现有的无源遥测跟踪系统 (J-10 与 J-67) 结合靶场的精密跟踪雷达组成 S 波段搜索跟踪系统, 利用航天飞机上的 S 波段发射机跟踪哥伦比亚号, 取得了成功。

遥测跟踪系统与搜索雷达之间的主要差异在于它不能测距。现在利用两台跟踪车测出角度, 解决了测距问题。最终得到的位置数据的精度是测角精度和目标与跟踪站的相对几何关系的函数。

在三次航天飞机试飞任务中, 遥测跟踪站作为搜索航天飞机的第一跟踪站, 成功地引导靶场雷达指向哥伦比亚号, 使白沙靶场雷达跟踪能力扩大了 200 英里, 从而为遥测跟踪系统开辟了一个新的应用领域。

### 6. 白沙靶场遥测跟踪系统的技术改造

美国白沙导弹靶场的遥测跟踪系统由十个自动跟踪站和四个手动跟踪站组成，工作频率范围为 1435~1540 兆赫与 2200~2300 兆赫。其中包括两个 7.3 米的抛物面天线固定站，一个 1.8 米天线活动式改造成的固定站，七个 2.4 米抛物面天线移动站，后者可以设在场区内外，它与活动式微波接力站一道，支持靶场试验工作。

白沙靶场改进了这些跟踪系统，取得了明显的效果。改进工作涉及七个移动站的射频分系统，以及七个移动站和两个固定站的数字随动跟踪系统。原来的射频分系统有两个通道，每道一个参放和一个固态后放。要使参放稳定工作，至少要预热二小时。同时，移动站的特点是每天要关机，开关操作降低了参放的概率寿命，增大了自跟踪故障的风险。并且由于移动工作，馈电组合承受剧烈颠簸振动，焊点和移相器受到破坏，引起断续接触，造成自跟踪故障。经过改造，采用了小型化元件，用宽带固态放大器取代了参放，取消了笨重的射频箱。经重新设计，加强了天线支撑梁，防止了由于高速跟踪和在不平坦的路面上移动而产生的强烈振动所造成的天线平面散焦或倾斜。射频系统经过改造，降低噪声指数（在整个频带内，从 6 分贝降为 3.5 分贝），提高了增益噪声温度比（从 1 分贝/K 提高到 3 分贝/K），大大改善了自跟踪的可靠性。

第二项改进是用两台 Z80 微处理器改善了数字随动跟踪能力。新的数字随动跟踪系统称为跟踪系统接口，由输入/输出板、前面板和中央处理单元（CPU）等三块 S—100 板组成（参见图 7）。主从 Z80 汇编语言程序存在 EPROM 中，容量约为 4 K。跟踪系统接口有两种工作方式，即正常方式和测试方式。可用两种方式中的一种与测量雷达数据随动。第一种方式是利用靶场的实时复合计算机 UNIVAC1108，将雷达 XYZ 数据变换为站定向方位角和仰角数据。主 Z-80CPU 对数据译码，输出方位和仰角驱动信号。第二种方式是遥测跟踪站直接接收雷达的 XYZ 数据，由从 Z-80 完成座标变换与主 Z-80 接口。在测试方法中，跟踪系统接口产生全部驱动信号，可以编程 256 种测试项目。目前，遥测跟踪站仅利用其中的五项，校验伺服分系统的静态和动状响应。

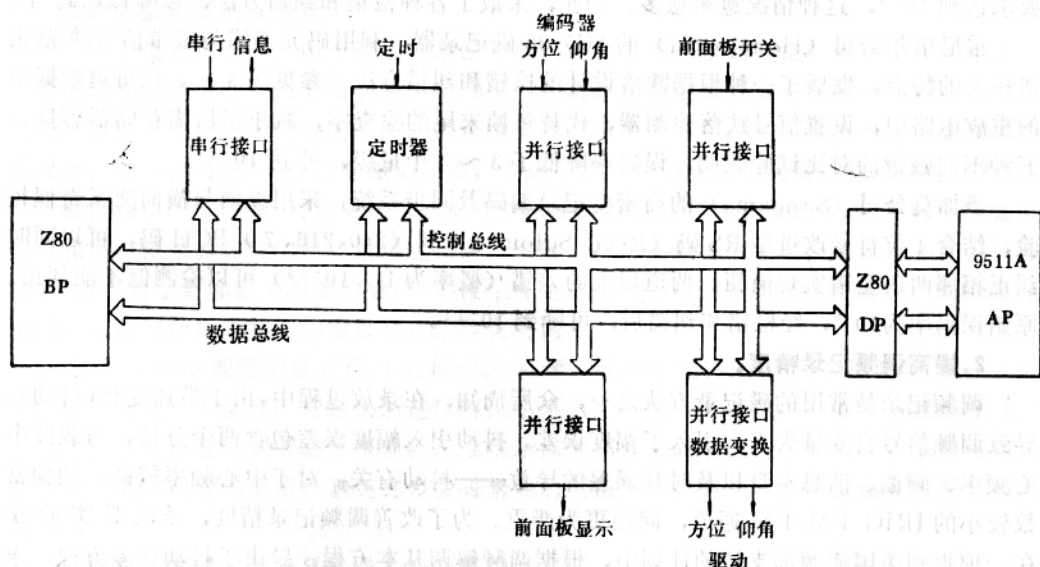


图7 跟踪系统接口框图

### 三、遥测数据的记录存储

磁带记录依然是最主要的大容量数据记录手段,磁记录技术的发展研究工作仍然十分活跃。

磁泡存储器没有机械运动部件,可靠性好,是很有希望的大容量中速存取存储器。已在空间、高空和海底等特殊环境获得应用。

在数据要求较简单,体积有限,同时硬件回收成功很有把握的场合,使用低功耗数字存储系统更为适宜。

#### 1. 高密度数字记录的检错和纠错

在磁记录技术的发展中,高密度数字记录码速率进一步提高,采用检错纠错编码,误码率进一步降低。

安培克斯公司(Ampex)的超高码速率(SHBR)磁记录器已经完成,这是一种采用新的工作原理、跟踪技术和磁头工艺的多道旋转螺旋磁记录器。码速率达1000兆位/秒,30道,旋转头,头鼓转速为每分钟18000转,道宽25微米,道间距12.5微米,道密度为每毫米26道,线密度为每毫米394位。

斯频非什克斯公司(Spin Physics)的J. U. Lemke在高密度数字记录及模拟记录实验中,使用缝宽0.2~0.3微米的微隙缝磁头,配合高矫顽力各向同性磁带,形成包含纵向和垂向两个分量的同相场,进行矢量记录,每毫米跃变密度已达5000,预计可超过10000。

目前,若使用专用磁带,如操作得当,高密度数字记录的误码率为 $10^{-6}$ 。在大多数应用场合已经够用,甚至 $10^{-5}$ 即可满足要求。然而,对于某些特殊用途,例如NASA的哥达德空间飞行中心影像处理机构(IPF),在空间遥感影像处理中,对于辅助数据的误码率要求达到 $10^{-9}$ ,这种情况愈来愈多。为此,采取了各种检错和纠错方法,以降低误码率。

霍尼韦尔公司(Honeywell)的HD-96磁记录器,利用码元差错与磁带信号跌落密切相关的特点,发展了一种根据跌落设计的检错和纠错方法(参见图8)。在每道数据道的重放电路中,设置信号跌落检测器,代替每帧末尾的检查字,减小了所需存储器容量。五种不同磁带的对比试验表明,误码率降低了3~4个量级,可达 $10^{-11}$ 。

圣加莫公司(Sangamo)的高密度记录编码及同步系统,采用纵向与横向交叉奇偶校验,结合4位符号改进型RS码(Reed Soloman)和(240,216,7) BCH码,可以同时纠正相邻两道差错实现消扭。两道以上的差错(概率为 $1 \times 10^{-13}$ )可以检测但不能纠正。原始误码率为 $10^{-6}$ ,经检错和纠错后,可降到 $10^{-11}$ 。

#### 2. 提高调频记录精度。

调频记录是常用的磁记录方法之一,众所周知,在录放过程中,由于带速变化(抖动),导致调频信号自变量失真,引入了幅度误差。抖动引入幅度误差包含两个分量,与载波中心频率、频偏、消息本身以及及时基误差的导数——抖动有关。对于中心频率较高,频偏常数较小的IRIG FM/FM通道,问题更为严重。为了改善调频记录精度,圣地亚实验室在一项得到美国能源部支持的计划中,根据调频解调基本方程,导出了抖动误差方程,求出了一种简捷的调频信号带速补偿算法。通过实验室数据的频谱计算,并使用非零常数温

度信号作参考,对压力信号进行补偿前后的对比,大大改善了测量信号精度和质量。据说,应用自适应噪声消除技术,有可能发展噪声改善比始终大于0分贝的新型带速补偿方法。

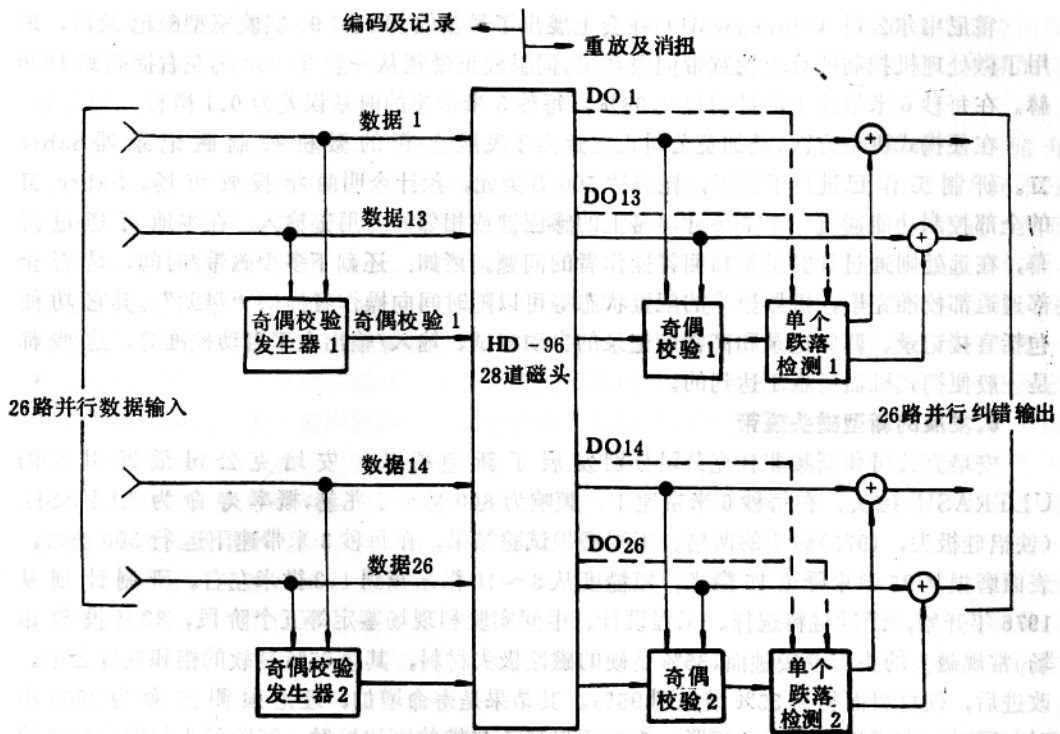


图8 受跌落控制的纠错原理

### 3.改善磁记录的互换性

当采用偏磁记录时,由于速度矢量法平面内磁化强度相位的变化,表现为在一个方向走带记录均衡的磁带,反向重放时,出现相位失真。这是记录方法本身的一种固有特性,与录放电路无关。记录位置的不同,常常给交换磁带带来麻烦,尤其在道密度不断增加的情况下,如一台每毫米40道的磁记录器,要逐一调整每道的幅相均衡,是难以想像的。

根据相位失真数据,可以导出采用IRIG标准偏磁记录时的记录轨迹,它表明与传统的观点相反,记录并非发生在记录隙缝后沿。实际上,对于最深磁化层,记录发生在记录隙缝中央,而对于紧邻磁头的表面磁层,则发生在走过录缝后沿约1/2记录缝宽处。按照记录轨迹,可以预计所需相位均衡量是记录缝宽的函数。

IRIG106-80规定记录缝宽为 $2.1 \pm 0.5$ 微米。此容差允许在通带内幅度失真 $\pm 5$ 分贝,相位失真 $\pm 1$ 弧度,与磁头制造厂讨论结果认为不需多大代价,容差可以减小到0.1微米。这就使得通过调节偏流来调整标准记录深度和标准间隔成为切实可行。从而可以采用标准相位和幅度均衡器,避免许多费时繁琐的调整工作,消除了在交换磁带时经常碰到的问题。

### 4.微机控制磁记录器品种增多功能增强

采用微处理器控制的磁记录器品种日益扩大,功能日益增强。圣加莫公司的Sabre X

采用微处理机控制，从1978年投入市场以来，已销售了百余台，装备了范登堡空军基地、休斯飞机公司和圣地亚实验室等单位。为了进一步减轻人工调整电路的工作量，厂方打算在原有一片CPU的基础上另增加两片CPU，来管理电路调整工作。

霍尼韦尔公司（Honeywell）在会上展出了最新的Model 90实验室型磁记录器，采用了微处理机控制的双主轮宽带伺服系统，伺服校正带宽从一般的200赫左右提高到1000赫。在每秒6米带速下的抖动仅0.08%，每秒3米带速的时基误差为0.1微秒。

在便携式机型方面，圣加莫公司正在致力于发展全新的微机控制磁记录器Sabre II。研制工作已进行了三年，耗资达500万美元，预计今明两年投放市场。Sabre II的全部控制功能通过一个7英寸屏幕上的感应键或相邻的专用键输入。在本地可通过屏幕，在远处则通过计算机接口回答操作者的问题。诸如：还剩下多少磁带/时间，是否全部通道都校准完毕，机器原来的配置状态等可以随时间向操作者提供“帮助”。其它功能包括直接记录、调频记录和高密度记录的自动测试、输入/输出电平自动校准等，这些都是般便携式机器所难于达到的。

### 5.发展的新型磁头磁带

安培克公司和斯频非什克公司分别发展了新型磁头，安培克公司最近引入的ULTRASIL磁头，在每秒6米带速下，频响为800赫~4兆赫，概率寿命为ALFESIL（铁铝硅极尖，1975）磁头的两倍。工程磨损试验结果，在每秒3米带速下运行500小时，表面磨损从25微米降至15微米，粗糙度从8~10微米减到1.2微米左右。研制计划从1976年开始，经过材料选择、工程设计、中间实验和现场鉴定等五个阶段，82年投放市场。常规磁头的头与带接触面，35%是硬的磁性极尖材料，其余65%是软的铝和铁镍合金。改进后，硬材料面积从35%增加到95%。其结果是寿命增加，理论预测寿命为2800小时。同时，由于粗糙度大大下降，有助于保证头与带的密切接触，消除了头与带接触区的原电池效应，减小了静摩擦，大大减少了沾污问题。

斯频非什克斯公司研制了一种低噪声宽带前放的计测磁头。SP16-A前放集成块直接装在磁头背后，由于整体安装，体积小，增益高，提高了信噪比，改善了高频响应。高电平输出，简化了系统连线和屏蔽工艺，磁头设计不受驱动电缆长度的限制，主要参考数据如下：

噪声：3毫微伏/ $\sqrt{\text{赫兹}}$ ；

增益：26~32分贝（单端输出）和32~38分贝（差分输出）；

输入电容：4微微法；

带宽：3分贝；

频率：32兆赫；

放大器：16道，包含电源去耦元件，差分输入输出，工作稳定。

斯频非什克公司还生产了一种Spin合金镶尖磁头，通过将屏蔽层加宽到与道宽相同，并在由铁镍合金与铜组成的屏蔽层顶部镶嵌Spin合金，使磁头的机电性能最佳，减少了各种温度和不同磁带相结合条件下的磨损性能，增强了串音屏蔽效果，寿命长，适用于中频段的5微米至微隙缝0.6微米波长。

众所周知，高能磁带在某些优点，然而，高能计测磁带却不多见。安培克斯公司（Ampex）在会上展出的721型高能计测磁带，误码率不大于 $10^{-6}$ ，适用于卫星和机载环

境。输出比高级  $\gamma$  氧化铁磁带高 6 分贝, 改善了信噪比。同时, 磨砾性低, 价格是 Ampex 797 的二倍。

## 6. 磁泡存储器在空间、海底和高空的应用

磁记录过程是依靠介质与换能器的相对运动进行电磁变换的过程, 在某些特殊应用场合, 相对机械运动这一固有特性构成了磁记录器的主要故障源, 因而促使人们寻求新的记录手段。

磁泡是一种磁薄膜器件, 以镓镓石榴石为基底, 在上面外延一层磁泡薄膜作存储介质。薄膜磁层中的磁化方向垂直于膜面。在没有外加磁场的情况下, 膜面的磁化方向平分两个缠绕在一起的蜿蜒区域, 一个磁化方向向上, 另一个向下。如果外加一个垂直于膜面的磁场, 则和外磁场同向的磁化区域将扩大, 而另一区域会缩小。如果外磁场强度足够大, 就会在膜面形成一些直径在  $1 \sim 100$  微米之间的圆柱形磁畴。当外加磁场梯度变化时, 这些磁畴的位置也随之移动。如果在存储介质上用微细集成工艺作一周期性合金结构图形, 然后外加一个平行于膜面的磁场, 图形附近局部的磁场梯度可使磁泡稳定留在某一图形之下。当外加磁场在膜平面内旋转时, 磁泡就合着旋转磁场的节拍从一个图形移到另一图形。在膜平面的某一特定位置, 磁泡的存在与否就相当于存储二进制的“1”或“0”。利用磁阻效应, 观察磁泡存在时的电阻变化, 即可读出存储内容。磁泡器件可以装成存储器板, 配上外围电路与控制电路板, 就构成了完整的磁泡存储器。

如上所述, 磁泡存储器是磁性材料与半导体大面积集成工艺相结合的产物, 具有磁泡材料的稳定性、可靠性和大面积集成电路的多变性、灵活性, 因而有着广阔的应用前景。在 NASA 的支持下, 洛克韦尔公司 (ROCKWell) 于 1980 年研制成宇宙飞船用的多片磁泡存储单元, 容量为  $8 \times 10^5$  位。

据圣地亚实验室报告, 他们在海底地震测量系统和从事  $\gamma$  射线天文学研究的高空气球飞行中, 使用了微处理控制磁泡存储器。

在美国能源部、地质调查局和五家主要石油公司的赞助下, 圣地亚实验室正在发展独特的海上测试系统, 收集外陆架环境及工程状态数据。据信, 未来油气矿的相当部分藏在海上, 因而这些数据对于石油工业设计要安全、廉价的海上建筑及政府部门履行管理职能是必须的。海底地震测量系统是此项计划的一部分。

海底地震测量系统的海底装置为自备式, 要求能在无人管理下工作一年, 数据按指令通过水声遥测系统读出水面。包括数据采集、指令及记录两个分系统。用 RCA1802 微处理机控制。完成数据记录算法的指令执行时间为 8.7 微秒。

数据采集分系统, 采用 144 千位 CMOS 读/写 RAM 作缓冲存储, 用一兆位磁泡存储器存储 8 组 25 秒“最感兴趣”的地震数据组, 连续功耗 3 瓦。

磁泡存储器包括四块 Western Electric 串行磁泡存储模块。微处理机存取磁泡存储数据的操作顺序如下:

- 用软件延时定序给磁泡存储器加电;

- 设置地址寄存器进行直接存储器存取 DMA 操作;

- 给磁泡存储控制器送读或写指令;

- 当 67584 位数据传输完毕, 由磁泡存储控制器产生中断;

- 用软件延时定序切断磁泡存储器电源。

“ $\gamma$ 射线 VI”气球飞行是 Sandia 与 Bell 实验室合作,进行  $\gamma$  射线天文学研究的项目,采用了一个八兆位磁泡存储器,装在充氦高空气球内,存储科学试验数据。专门设计了微处理机控制的数据接口对磁泡存储器进行测试和控制。

磁泡存储器由微处理机、磁泡存储板和微处理机接口等三个分系统组成。采用莫托罗拉公司 (Motolora) 6809 微处理机,包括 4 K 静态 RAM、8 K EPROM、两片 PIA 以及异步通讯接口、直接存储器存取控制器和总线接口等。磁泡存储板装有英特尔公司 (Intel) 7220 磁泡存储控制器和八个 Intel 7110 磁泡模块,最大容量为一兆字节。Intel 7220 磁泡控制器有自动纠错、多余环透明处理、直接存储器存取和电源故障保护等功能。

1981 年秋在澳大利亚进行了  $\gamma$  射线 VI 气球飞行,试验取得了成功。

圣地亚实验室认为,磁泡存储器能够有效可靠地在敌对环境工作中,同时,磁泡密度高,适合组成大容量中速存储器。由于磁泡存储模块功耗和成本不断下降,必将获得更多应用。

美国海军武器中心用磁泡存储器记录降落伞试验系统测量数据,取代调频副载波 L 波段遥测系统,试验工作大大节省了人力和时间,数据质量更高,数据可多次反复重放进行分析。过去用无线传输,需要有相应的发射、接收和记录装置,由于超高频发射机效率大约只有 20%,带来了重量 (主要是电池) 和散热问题。同时,因为直至降落伞从机舱弹出之前,并没有引导信号,着陆时还有地形地物干扰,给跟踪带来了困难。他们认为,计测应用磁泡存储记录的未来是令人鼓舞的。磁泡记录可以在导弹飞行中作为数据传输的备份。例如,在弹道的某些点或在水下,飞行开始与结束前无法传输信号的场合,最后弹载记录非常安全,因为不发射数据,不会被窃听,可以断定,磁泡数据记录器今后将用得越来越多。

### 7. 钻地弹头采用固态存储器

除了磁泡之外,另一个途径就是用固态存储器。美国陆军部军械发展局认为,在数据要求较简单 (例如仅限于事件型参数,数量不多,频率不高),体积受到限制,并且硬件回收成功的可能性很大的场合,与常规的无线遥测系统比较,使用低功耗数字存储系统更为适宜。先后研制了三种不同类型的可回收数字存储遥测仪,用来采集和存储炮弹试验数据,在炮弹回收后读出处理。一般存储  $2\text{ K} \times 8$  位数据,耗电 10 微瓦,飞行时间通常为 30—60 秒,遥测设备耗电 10—50 毫安,10 伏。数据可以保持 1—15 天。

三种存储遥测设备是遥测仪 A、B 和 C。遥测仪 A 用于炮弹时间引信的验收试验,直径 5.4 厘米,长 8.9 厘米,重约 340 克,存储 35 秒飞行数据,要求数据至少能保存两天,重复使用 20 次以上,估计阻滞及触地冲击超过 30,000 g。遥测仪 B,用来记录炮弹若干运行时间。遥测仪 C 用于收集发射环境中的引信功能数据,由两个模块组成,便于重复使用。总长 25.4 厘米,直径 4.8 厘米。上模块包括存储器及其有关支持和定时电路,用厚膜混合工艺制造。下模块包含 12 块 100 毫安时钮扣型镍镉电池,系统用加速度开关启动。经过现场试验,遥测仪 A 结果良好。

穿地遥测,是一个引人注目的技术领域,涉及到高速飞行物体触地和触水时试验数据的可靠获取问题。圣地亚实验室从事这方面的研究已有二十年的历史。早期的钻地弹头,冲击速度仅每秒数百英尺,试验数据可以通过射频线路进行传输。当冲击速度接近 1,000 英