

新型统一测控系统

史长捷

(中国航天科技集团公司, 北京 100830)

[摘要] 新研制成功的遥测、遥控、外测三合一的统一测控系统, 在有镜面反射条件下, 对于超低空飞行目标, 能克服多径效应衰落的影响, 稳定地进行捕获跟踪测量, 并且具有很高的可靠性。它也可在其他使用场合推广。文章介绍了工作原理、技术特点以及如何克服低仰角多径效应衰落和达到高可靠性所采取的措施。系统可灵活配套使用, 以适应多种使用条件。在空用应答机上, 解决了强弱信号共用信道的问题, 减小了体积, 降低了频率综合器相位噪声。

[关键词] 遥测; 遥控; 外测

最近研制成功的统一测控系统, 是我国一项大型工程的主要设备。它具有遥测、遥控、外测分系统。在具有镜面反射的条件下, 解决极低高度目标的测量与控制问题。历时 10 年的大型工程, 通过各种试验与考核, 于 1999 年 3 月下旬得到了验收鉴定会的认定, 统一测控系统在各种试验中全面满足了要求, 并获得好评。

1 系统工作原理和结构^[1,2]

统一测控系统由地面站和应答机组成, 按一体化方式进行设计研制。

1.1 地面站

地面站使用 S 和 L 两个频段。S 和 L 两个频段合用的 5 m 直径抛物面主天线装在一个基座上。主天线右侧是一个 0.8 m 直径上行抛物面天线, 使用 L 频段。在其左侧是一个四元阵背射式引导天线, 使用 S 频段。天馈设备配置见图 1。

地面站简略方框图见图 2。上行和下行全采用分系统公用信道。上行 L 频段有 70 个点频, 下行 S 频段有 100 个点频。

上行分为两个信道。一个信道是遥控、外测公用, 经 4 W 功放, 由 5 m 主天线, 用 L 频段向上

发送。另一信道是遥控单独使用, 经 40 W 功放, 通过 0.8 m 上行小天线用 L 频段向上发送。上行外测用 BPSK - PN - C/A 码 (伪码扩谱) 体制进行测距。遥控采用副载波调制体制, 具有 Δ PSK, FSK, MFSK 多种调制方式, 可选。

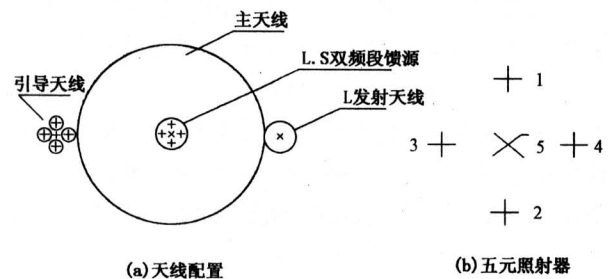


图 1 天馈设备配置图

Fig.1 The configuration diagram of antenna & feeder

下行有两个信道, 均采用 S 频段。一个信道通过 5 m 主天线, 另一个信道通过四元阵背射式引导天线。由应答机向下发送遥测、外测导频加遥控回令, 在地面站经放大、分路。外测测距信号经数字分集接收机, 送至外测终端完成测距任务。主遥测信号经遥测主测接收机模拟分集接收, 送入解调机

[收稿日期] 1999-07-13

[作者简介] 史长捷 (1925-), 男, 湖北安陆市人, 中国航天科技集团公司研究员

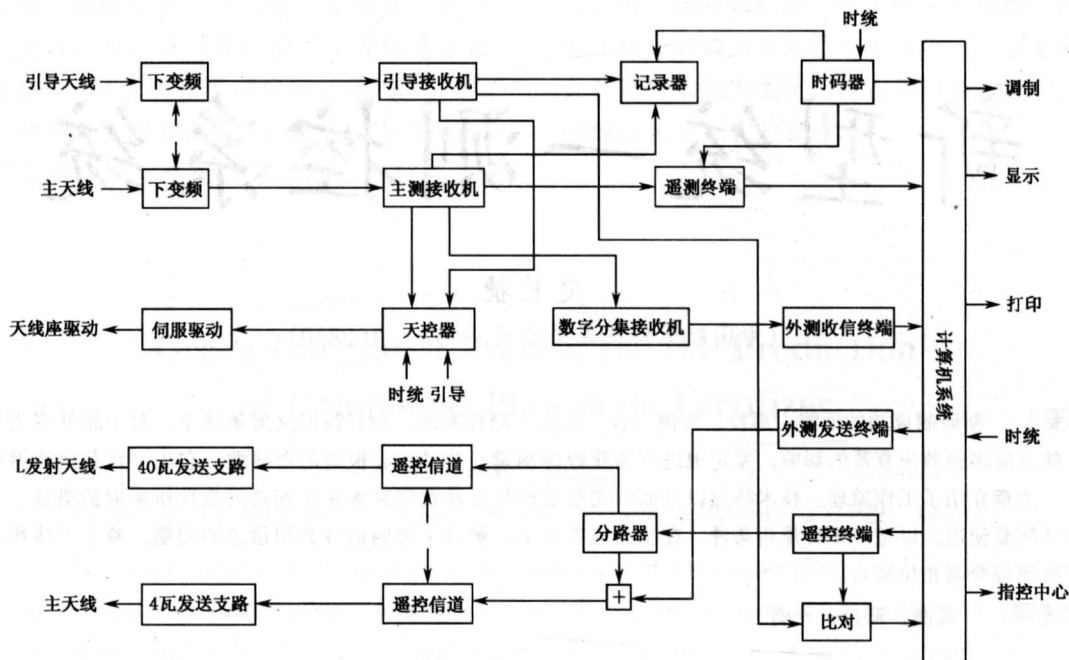


图2 地面站简略方块图

Fig.2 Ground station brief block diagram

柜、进行解调、预处理、存贮、显示、打印并送入宽频带磁记录存贮。

地面收到 PCM - PSK 信号，信号中调制有小遥测信号、导频外测测速信号和遥控回令信号。遥控回令信号经遥控接收支路的比对电路与遥控终端发送信号比对，决定是否继续发指令。采用 PSK 载频作为导频，进行外测多普勒测速。小遥测信号是补充传输主遥测信号的重要参数，以提高可靠性。

遥测主测接收机解调出来的角误差信号，经模拟分集接收机，送入天线跟踪系统，进行角度控制。本系统可以有载波跟踪，也可以无载波跟踪。

伺服支路由测速机反馈速度环、计算机实时数字校正位置环、前馈控制环组成，为二阶无静差系统，具有多种跟踪功能。

利用了5 m 主天线、四元阵背射式引导天线接收的角度控制信号和遥测送来的空用高度表信号，用软件“加权平均”处理，并在支路中加入了平滑电路，以消除或减少俯仰角因多径效应所产生的抖动。

1.2 应答机

应答机与地面站密切配合，它的工作原理见图3。其功能如下：接收多个地面站向应答机同时发来的测距信号及遥控指令，并进行选择；对接收到的测距信号进行变频非相干转发回地面；对接收到的遥控指令，进行解调和判别后，输出到相应的指令执行机构，并同时给地面发出回令；将空中采集的遥测信号与转发的外测测距信号合成，用 S 频段向下发射；将含有关键参数的 10 kb/s 小遥测信号，以 PCM - PSK 体制调制，用 S 频段下发。PSK 作为导频，在地面进行测速。

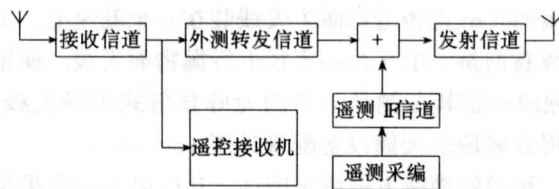


图3 空用三合一测控系统组成框图

Fig.3 Transponder block diagram

2 技术特点

2.1 低仰角高精度的测量技术

有关部门对具有镜面反射条件的电波传播进行

了大量分析研究,并经过多次水上垂直发射导弹试验以及水平模拟试验^[3],地面站研制单位又进行了S、L频段的大量试验和场强测试,所得到的结果与分析研究的结果基本相符。

2.1.1 试验结果 当飞行目标在垂直方向移动时,由于电波镜面反射形成多径效应干涉,会造成较大影响;水平极化造成的影响比垂直极化造成的影响大,多径效应衰落一般为15~20 dB;垂直极化和水平极化衰落谷点在时间上不重合;当目标高度加大后,多径效应迅速减小;低仰角多径衰落在垂直方向波动大,对俯仰角测量有大的影响。

2.1.2 地面站采取的对策 采用数字及模拟极化分集接收技术,采用最大混合比极化分集;采用天、地信道预留20 dB增益,若遇见最坏情况,也不致衰落到接收门坎下,从而消除了不能跟踪捕获目标的可能性;在控制回路内将主天线和由四元阵背射式引导天线送来的角误差信号与遥测送来的无线高度表信号用平滑电路进行加权平均后,进行角度控制,以消除俯仰角的抖动,提高俯仰角测量精度;在测距支路内,采用伪码扩谱体制和最大似然处理,提高了增益和精度。

2.1.3 采取措施后达到的指标 在统一测控系统中采取了以上措施,并经实际飞行试验考核,外测方位角精度优于0.315 mrad,俯仰角精度优于1.195 mrad,测距精度优于9.376 m,可以稳定地捕获跟踪目标。

2.2 较好地攻克可靠性难关

2.2.1 可靠性要求 统一测控系统是国内一项大型工程的主要设备,大系统可靠性要求0.9988。

大系统采用小子样 Bayes 可靠性指标分配方法,对地面站提出MTBF ≥ 150 h的要求,对应答机提出遥控0.999、遥测0.995及外测0.995的可靠性要求,并提出要大量搜集研制过程中的数据,在振动条件下累计大于100 h。

2.2.2 提高可靠性措施 对于这样严格的可靠性指标,在方案设计中采取了多种冗余手段:向上发送遥控信号采用双通道;应答机采用双通道遥控接收机并联;下行遥测采用主遥测与小遥测并用;遥控采用回令对比;双天线跟踪;应答机对多站上发遥控信号进行优选。

在实际研制工作中,对器件进行严格筛选、严

格控制焊接质量、采用降额设计、严格执行搜集先验试验数据的振动条件要求等等。

2.2.3 采取措施后的结果 地面站和应答机均能满足可靠性指标要求。

2.3 灵活配套适应多种使用要求

本系统是一个集遥测、遥控、外测于一体的综合系统,各分系统相对独立,因此可以适应多种空用不同体积的使用要求,也可适应各种地面站特种使用条件的要求。

应答机采用模块挂总线的体制,尽可能使其体积小,使遥测、遥控、外测可以相当灵活地配套,可以有遥测、遥控、外测三合一状态,遥控、外测二合一状态或单一遥测状态。地面站也都是独立的分系统组成,可以适应应答机的各种状态以满足多种特殊使用要求。

应答机采用大规模、超大规模集成电路、门阵列可编程逻辑电路,多芯片组装二次集成技术,表面贴装技术,微型化接插件等,使信道单元体积小至150 mm \times 160 mm \times 100 mm,遥测部分模块60 mm \times 60 mm \times 8 mm,接近当前38 mm \times 45 mm的世界最高水平。

2.4 强弱信号共用信道简化电路

为了简化电路,缩小体积,减少复杂性,采用了信道综合技术,要求在应答机中攻克相应的难关。

在上行信道中,遥控与外测测距信号共用信道,遥控是强信号,外测测距是弱信号,共用L频段空中接收信道,在下行信道中,遥测与外测测距信号共用信道。遥测是强信号,外测是弱信号。这里存在弱信号被强信号干扰或堵塞的问题,收发天线隔离问题,这些问题都得到了很好的解决。

应答机采用频率综合器,为4个混频器提供本振信号,为BPSK调制提供载波信号,其相位噪声对应答机全面影响很大,特别是在强振动条件下,需特别注意频综的相位噪音。经国内长时间外协攻关未得到解决,经引进暂时得到解决。最后自己攻关找到了问题所在,才得以彻底解决。

2.5 遥测选用基本型实时计算机

采用了双总线模块化遥测多数据流的体制,使用高速预处理并联模块,以数据驱动来代替事件驱动,是一个先进的开放式遥测系统。

3 信道主要技术指标

3.1 地面站

主天线：5 m 抛物面，增益 $G_S \geq 38$ dB, $G_L \geq 35$ dB, 波束宽度 $\theta_{0.5S} = 1.86^\circ$, $\theta_{0.5L} = 2.7^\circ$ 。

引导天线：四元阵背射式天线，增益 $G_S \geq 22$ dB, 波束宽度 $\theta_{0.5S} = 10^\circ$ 。

上行发射天线：0.8 m 抛物面，增益 $G_L \geq 20$ dB, 波束宽度 $G_{0.5L} \geq 15^\circ$ 。

极化方式：上行右旋圆极化，下行左右旋圆极化。

发射功率：主天线 4 W, 上行发射小天线 40 W。

遥测接收机：灵敏度 -127 dB·W, 动态范围 70 dB。

遥控接收机：灵敏度 -139 dB·W, 动态范围 70 dB。

外测接收机：灵敏度 -155 dB·W。

3.2 应答机

外测信号动态范围：-90 ~ -160 dB·W

外测转发输出功率：0.7 W。

遥控接收信号动态范围 -130 ~ -80 dB·W

遥测：大遥测输出功率 3 W, 小遥测输出功率 0.3 W。

4 结束语

地面站和应答机成功地解决了在镜面反射条件下的低仰角测控问题，通过了各种验收试验，得到大工程鉴定会及用户的好评。

(1) 1999年3月鉴定会的意见：“有效地克服了多径效应的严重干扰，成功地解决了低仰角和负

仰角跟踪、测量与安全控制技术的难题。这在国内低仰角测控领域中属首创，国外尚未见报导。”

(2) 用户验收结论见表1。

(3) 新型统一测控系统原提任务是针对海面低仰角测控，但也适用于其他条件，例如：对于弹道式导弹及运载火箭发射，在陆地上多径效应不严重，而且大部分时间仰角比较高，但由于本系统储备了较大的增益，可以考虑用于拉大作用距离。又由于它还有高精度单站测轨能力，因而也可以在弹道式导弹、运载火箭发射场合推广使用。

本系统是经总师系统和研制单位的领导及工程技术人员的10年集体创作才取得的优异成果，特此祝贺！

表1 用户测试结果

Table 1 End user test result

项 目	指标要求	验收结果
最大作用距离	80 km	80 km 满足指标
外测精度	$\sigma_A \leq 1.75$ mrad	$\sigma_A \leq 0.315$ mrad 优于指标
	$\sigma_E \leq 3.5$ mrad	$\sigma_E \leq 1.195$ mrad 优于指标
遥测精度与误码率	$\sigma_R \leq 25$ m	$\sigma_R \leq 9.376$ m 优于指标
	$\leq 0.04\%$	$\leq 0.04\%$ 满足要求
遥控误码率	$P_E \leq 10^{-4}$	满足要求
	$P_E \leq 10^{-6}$	优于指标
目标捕获概率	98%	可达到100% 优于指标
可靠性	MTBF ≥ 150 h	满足要求

参考文献

- [1] 张永泰, 张力余. 遥测遥控, 1997, 18 (6): 8~14
- [2] 肖军鹏, 楼凤丹. 遥测遥控, 1997, 18 (6): 15~20
- [3] 孙白波, 郑大鹏, 谌至诚, 等. 遥测·安全·监控. 北京: 宇航出版社, 1994. 72~80

China New TT&C System

Shi Changjie

(China Aerospace Science and Technology Group Corporation, Beijing 100830, China)

[Abstract] This paper has introduced a new chinese TT&C system. This system includes telemetry, remote control, orbit measurement sub-systems. It has passed Reception Appraisal Meeting and got higher level appraisal. It can be used under mirror reflection enviroment condition to overcome the multipath fading effect of low height flight target and can stable capture & track target with high reliability. It also (cont. on p. 93)