

# 内埋制导航空弹药遥测技术研究

许吉斌,展勇忠,冉玉忠,舒海涛

(湖南云箭集团有限公司,长沙 410100)

**摘要:**对当前制导航空弹药的挂载方法和方向进行了分析,针对内埋制导航空弹药的特点,提出了一类遥测系统方案。就其信号传播面临的难题进行了探讨,从遥测信号转接技术、遥测信号合路技术和弹载遥测发送天线选择三方面进行了研究和设计,并对内埋制导航空弹药挂飞靶试中遥测系统的工作过程进行了详细的阐述。从理论上解决了内埋制导航空弹药遥测系统在信号传播路径上的问题,对内埋制导航空弹药试验的开展有积极的理论意义。

**关键词:**内埋;航空弹药;遥测;合路器;天线

**本文引用格式:**许吉斌,展勇忠,冉玉忠,等.内埋制导航空弹药遥测技术研究[J].兵器装备工程学报,2019,40(8):40-44.

**Citation format:**XU Jibin,ZHAN Yongzhong,RAN Yuzhong, et al. Research on Telemetry Technology of Embedded Guided Aircraft Ammunition[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering,2019,40(8):40-44.

中图分类号:TJ8

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2019)08-0040-05

## Research on Telemetry Technology of Embedded Guided Aircraft Ammunition

XU Jibin, ZHAN Yongzhong, RAN Yuzhong, SHU Haitao

(Hunan Vanguard Group Co., Ltd., Changsha 410100, China)

**Abstract:** According to the characteristic of embedded guided aircraft ammunition, the current mounting direction and method of ammunition were analyzed, and a telemetry system for it was proposed. The difficulties in signal transmission were discussed. This paper studied and designed telemetry signal transfer technology, telemetry signal combination technology and missile-borne telemetry transmitting antenna selection, and expounded the working process of the telemetry system in the experiment of embedded guided aircraft ammunition in detail. This paper theoretically solved the problem of signal propagation path of embedded guidance aerial ammunition telemetry system, which has positive theoretical significance for the development of embedded guidance aerial ammunition experiment.

**Key words:** embedded; aircraft ammunition; telemetry; combiner; antenna

在制导航空弹药的研制过程中,特别是在飞行试验中,需要弹药内部各个系统在不同状态、不同环境下的数据作为支撑。一方面实时的提供武器状态,以利于指挥员做出决策;另一方面通过对数据的事后解析,为制导航空弹药的性分析能分析和特殊情况下的故障排查提供了依据,同时为其改进设计提供了数据支撑。目前,主流的制导航空弹药遥测系统是通过弹载遥测采编发射机对弹上各系统参数进行采集、

编帧、调制,由弹载遥测天线发射出来;通过无线信道进行实时传输;由地面遥测设备进行接收、解调、解码、显示和事后处理<sup>[1-2]</sup>。

近年来,随着材料、电子等领域科学研究的不断深入,战斗机“隐身技术”得到了飞速发展。为了追求更好的隐身性能,隐形战斗机主要采用内埋的方式装载武器,但由于武器舱体密闭,具有良好的信号屏蔽性,采用常规的制导航空弹

收稿日期:2019-01-29;修回日期:2019-02-25

作者简介:许吉斌(1987—),男,硕士,工程师,主要从事遥测技术、测试与检测方法研究,E-mail:185854616@163.com。

药遥测信号发送接收方式无法实现挂机状态下弹上数据的传输<sup>[3]</sup>。因此,本文针对隐形战斗机武器舱及内埋制导弹药特征,提出了内埋制导航空弹药遥测信号的收发策略,并在此基础上就其信号传播面临的难题和解决问题的关键技术进行了探讨<sup>[4-8]</sup>。

## 1 弹药挂载方法、方向及特点

### 1.1 制导航空弹药的挂载方法及特点

制导航空弹药的主要挂载方法主要包括外挂、半埋、保型和内埋4种<sup>[9]</sup>,其特点如表1所示。

半埋式和保型式挂载方式使用局限性较大,且优势不明显,可以认为是外挂式基础上为提高隐身及气动等性能做

的适应性改进,因此使用并不广泛,尤其是在我国已列装的载机上,几乎难觅踪迹。

自20世纪80年代起,世界上的军事强国陆续开始了第五代战斗机的研制,如美国的F-22、F-35,俄罗斯的SU-57,中国的J-20等,相较于第四代战斗机,新一代战斗机具有隐身性能和机动性能佳,超视距作战,超声速巡航和短距离起降等特性。由于外挂武器会增加飞机雷达散射面积RCS值,影响飞机外形流畅性<sup>[10]</sup>,从而对飞机的隐身性能、巡航速度和机动性能都造成了较大的影响,因此,内埋挂载方式成为了第五代战斗机的最佳挂载方式。

### 1.2 制导航空弹药挂载的方向及特点

制导航空弹药的挂载方向包括正挂、侧挂和倒挂。其特点如表2所示。

表1 制导航空弹药的挂载方法特点

挂载方法	典型载机	特点
外挂	在当前主战载机(如F-16、J-10、SU-27等)上广泛使用	使用维护性好,易于实现武器配置,可缩短武器截获目标时间,但对载机气动和隐身性能都有较大影响。
半埋	台风、F-14, F-15, 米格-31等	弹药对载机的气动影响较小,但需要在飞机表面开槽,且为了保证使用,弹药需与飞机进行联合设计,互换性差。
保型	F-15SE	相较于外挂式挂载方式,有较好的隐身性能和气动特性,但是通用性差,更换较为困难。
内埋	B-2、Tu-160、轰6等轰炸机和F22、F35等战斗机	飞机气动性能及隐身性能都较为优越,但由于弹舱结构复杂,舱体内环境特殊,因此对飞机和弹药的设计都提出了更高的要求。

表2 制导航空弹药挂载方向特点

挂载方法	典型载机	特点
正挂	大多数空空、空面制导航空弹药	适用范围广,投放初期姿态控制难度较小
侧挂	小直径空空导弹、小型副油箱或火箭弹等轻质载荷,如AIM9, PL10等	仅适用于轻质制导航空弹药,投放初期要进行90°翻转。
倒挂	部分带滑翔翼的空面制导航空弹药,如GUB-39等	适用于部分带滑翔翼的空面制导航空弹药,投放初期姿态控制难度较大。

隐形战斗机一般采用正挂和倒挂两种挂载方向,其机弹分离过程如图1所示。

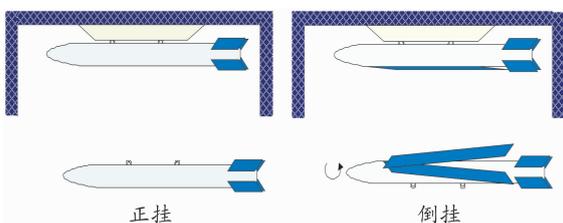


图1 隐形战斗机机弹分离过程

正挂的制导航空弹药挂载状态下,背部正对飞机挂架,投放后,由于气流的作用会出现一定程度的晃动,但整个过程中弹药不会出现大幅度的翻转。

倒挂的制导航空弹药挂载状态下,腹部正对飞机挂架,投放后,弹药先进行稳定控制,待其完全脱离飞机武器舱后,再进行180°翻转和展翼<sup>[11-12]</sup>。

由于挂载方向不同,弹上各类无线信号测量、收发装置的型号和安装位置也不同,尤其是卫星接收装置和遥测天线类型和安装位置对其性能影响较大。

## 2 外挂及内埋制导航空弹药遥测系统分析

### 2.1 外挂制导航空弹药遥测系统

外挂制导航空弹药遥测系统一般由弹载遥测发送系统及地面遥测接收系统组成<sup>[13-14]</sup>。

弹载遥测发送系统由弹载采编发射机及遥测发送天线等组成,其中采编发射机主要包含信号调理模块、总线接口电路、采编模块、电源管理模块及发射机等,其系统框图如图2所示。

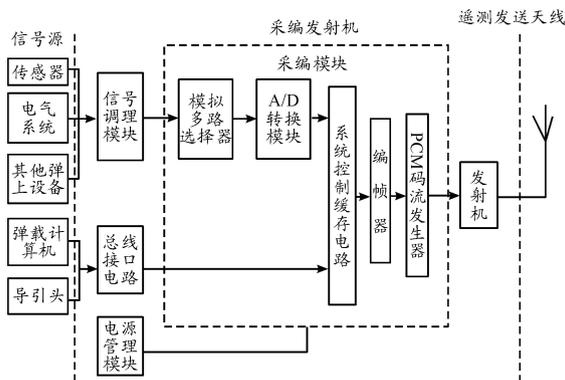


图2 外挂制导航空弹药弹载遥测发送系统框图

地面遥测接收系统主要由遥测接收天线、接收机、下变频器、解调设备、数据解算设备及数据显示设备等组成,其系统框图如图3所示。

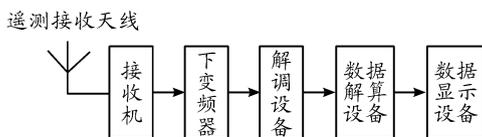


图3 外挂制导航空弹药地面遥测接收系统框图

制导航空弹药上电后,弹载遥测发送系统采集传感器、电气系统及其他弹上设备输出的模拟量信号和弹载计算机及导引头等设备输出的数字量信号;模拟信号经过调理和A/D转换,数字信号通过总线接口电路,均传输至系统控制缓存电路对数据缓存;各路数据通过编帧器根据预设的遥测数据编码格式编码并生成PCM数据流;PCM数据流经调制和功率放大后由遥测发射机进行发射。遥测信号通过无线信道进行传播。地面遥测接收系统通过遥测接收天线收到遥测信号,对其进行低噪声放大、下变频、解调,然后由数据解算设备进行挑路、分包、解析,最终生成可供实时查看和事后分析的数据。

### 2.2 内埋制导航空弹药遥测系统

#### 2.2.1 内埋制导航空弹药遥测系统特性分析

内埋制导航空弹药的飞行试验一般包含挂飞试验和靶试试验两个类型,在整个挂飞试验中,弹药一直内埋于隐

战斗机武器舱内;而在靶试试验中,弹药先内埋于隐形战斗机武器舱内,待隐形战斗机进入发射区域后,飞行员发出弹药发射指令,载机武器舱门打开,武器脱离挂架,实现对目标的攻击。

相较于外挂制导航空弹药遥测系统,内埋制导航空弹药遥测系统需要解决的最关键问题是挂飞过程中弹上遥测数据的发送问题;挂飞过程中,弹药一直内埋于隐形战斗机武器舱内,受到武器舱金属屏蔽的影响,无法将信号发射出来,这将直接影响指挥员对弹药实时状态的判断,更使得宝贵的挂飞数据丢失,对弹药的后续研制和改进造成了严重的影响。由于挂机状态下,制导航空弹药可通过与飞机进行交联来实现数据交换,因此考虑通过飞机对弹上遥测数据进行转发来解决该问题。

#### 2.2.2 内埋制导航空弹药遥测系统工作原理设计

为了解决遥测信号的发送问题,本文提出通过在载机内加装遥测信号转接设备和信号合路器等设备,利用载机的遥测天线对弹药的遥测信号进行转发,实现内埋制导航空弹药挂机状态的遥测信号发送。使用该方案的遥测系统工作原理框图如图4。

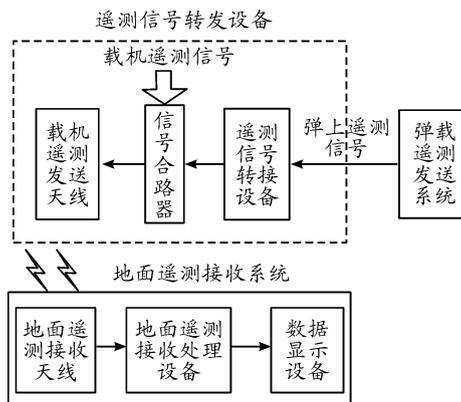


图4 内埋制导航空弹药遥测系统工作原理框图

当内埋制导航空弹药处于挂机状态时,弹载遥测发送系统采集弹药状态信息,按照遥测数据编码格式生成可供发射的PCM遥测信号,对其进行调制后,通过有线或无线的方式发送给飞机,由安装在飞机上的遥测信号转接设备进行转接,并将信号接入机载遥测信号合路器中,合路器将弹上遥测信号和载机遥测信号合路并最终通过载机天线发射出来。

## 3 内埋制导航空弹药遥测关键技术

通过飞机对内埋制导航空弹药遥测信号进行转发,主要面临3个难题:如何实现飞机对弹药的遥测信号转接;如何将转接后的遥测信号与飞机遥测信号进行合路;如何最大程度保持内埋和外挂制导航空弹药遥测系统的通用性。针对这3个难题,本文从遥测信号转接技术、遥测信号合路技术和弹载遥测发送天线选择三方面进行了研究和设计。

### 3.1 遥测信号转接技术

#### 3.1.1 有线遥测信号转接

有线信号转接指从弹载遥测发送系统中引出信号上传接口,通过机弹电缆等有线链路将调制后的遥测信号上传至飞机。该技术原理简单,易于实现,但由于标准机弹电缆内无预留遥测信号上传接口,因此使用该转接方式存在机弹电缆不能贯标的问题。且由于需要将遥测信号引出,因此对弹载遥测发送系统和弹上电缆的通用性有一定影响。

#### 3.1.2 无线遥测信号转发

无线信号转发指在不改变内埋制导航空弹药原有遥测发送系统的前提下,在飞机武器舱内挂架上加装耦合天线,通过耦合的方式获取弹上遥测信号,并将其上传至飞机。该技术有利于制导航空弹药的内埋、外挂通用性设计,但需要同时对飞机和挂架进行改装,增大了主机单位的改装难度。

### 3.2 遥测信号合路技术

由于需要通过飞机对弹上遥测信号进行转发,且不能影响飞机遥测信号的正常发送,因此,需要采用遥测信号合路器对弹上遥测信号和飞机遥测信号进行合路。

其工作原理为:将信号转接设备转接的弹上遥测信号和载机遥测信号,分别通过不同的信号放大器,输入至开关矩阵电路中,开关矩阵电路由控制单元控制选通,将不同频率的信号输入对应的带通滤波器中进行滤波,滤波后的信号经由开关矩阵电路进入汇接网络完成信号的合路,经过合路后的信号可直接经由飞机遥测天线发射出来,其原理框图如图5。

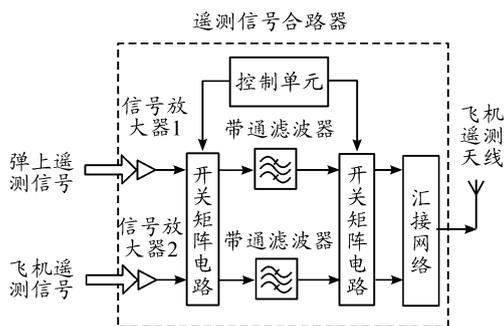


图5 遥测信号合路器原理框图

### 3.3 弹载遥测发送天线选择

内埋制导航空弹药的遥测信号发射主要包含两个阶段,分别为弹药挂机阶段和弹药离机阶段。

当弹药采用有线遥测信号转接技术时,弹药挂飞状态下弹载遥测发送天线与外界无信息交互,弹药离机后,其遥测系统工作原理与外挂制导航空弹药相同,因此,使用该技术对弹载遥测发送天线的选择无特殊要求。

当弹药采用无线遥测信号转发技术时,弹药挂飞状态下需保证弹载遥测发送天线发送的信号能被耦合天线可靠接收,弹药离机后,又需保证弹载遥测发送系统与地面遥测接收系统的可靠信号传输。因此,使用该技术时对弹载遥测发送天线的类型和安装位置都有较高的要求。

除此之外,由于内埋制导航空弹药有正挂和倒挂等挂载方向,因此弹载遥测发送天线的安装位置与类型需要在充分考虑弹药的特点后进行选择。

常用的弹载遥测发送天线主要包括微带贴片天线和单极子天线<sup>[15-16]</sup>。

其中贴片天线由地板、介质基板和微带单元组成,其厚度可以保持在几毫米以内,可以直接安装在弹药外表面或与弹药做共形设计嵌入其弹壁中,该类天线对弹药气动影响极小,重量轻,波束宽度较窄,方向性较强,因此外挂制导航空弹药中多采用在弹体腹部安装单片微带天线或在其弹体左右两侧对称位置分别安装贴片天线的方式,实现弹载遥测发送系统与地面遥测接收系统的通信。

单极子天线主要由直立振子与地板组成,是一种典型的全向天线,其方向图在水平面上为360度均匀辐射,该类天线设计简单,波束宽度很宽,但气动性较差,需要在弹药表面形成较大的突起,因此在外挂制导航空弹药中多安装在弹体腹部或对称安装在弹药下腹部固定翼尾端。

在上述两类遥测发送天线的基础上,为了同时满足全向性和气动要求,保持内埋和外挂制导航空弹药在遥测天线方面的通用性,弹载遥测发送天线可进行适应性改进,形成环形微带贴片天线和螺旋天线。

1) 环形微带贴片天线。环形微带贴片天线如图6所示,天线采取多微带单元并联馈电形式,将辐射单元与馈线集成在一块微波介质基板上,根据弹体加装位置的直径确定其印制电路板长度,并最终将其缠绕在弹体表面。该类天线具有很好的全向性,可满足各类遥测信号转接技术对遥测天线的要求,但其需要与弹体进行一体化设计,且有一定的安装难度。

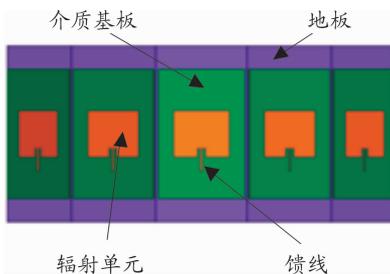


图6 环形微带贴片天线示意图

2) 螺旋天线。螺旋天线如图7所示,是用金属丝绕制而成的螺旋形结构的行波天线,通常用同轴线馈电,同轴线内导体和螺旋线一端相接,外导体和地板相连。该类天线全向性好,且相较于单极子天线长度更短,有较好的气动性能,但依然会在弹体表面形成一定的突起,且体积较大。

## 4 内埋制导航空弹药遥测系统工作过程

本文以选用环形贴片微带天线,采用无线遥测信号转发

技术的内埋制导航空弹药为例,对其遥测系统工作过程进行阐述。

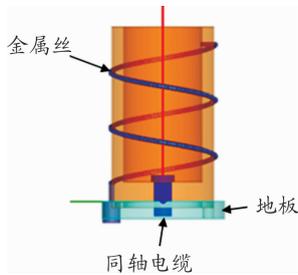


图7 螺旋天线示意图

如图8所示,当弹药处于挂机状态时,弹载采编发射机采集弹药状态信息,并按照遥测数据编码格式生成可供发射的PCM遥测信号,通过弹载环形贴片微带天线进行信号发射,由安装在飞机挂架上的耦合天线接收,并将信号接入飞机遥测信号合路器中,合路器将弹上遥测信号和载机遥测信号合路并最终通过载机天线发射出来。弹药离机后,遥测数据直接通过弹载环形贴片微带天线发送给地面遥测接收系统。全过程中弹上遥测信号频点及数据编码格式未发生改变,因此,地面遥测接收处理设备全程保持对同一频点的遥测数据进行接收,根据同样的编码格式对遥测数据进行解算。

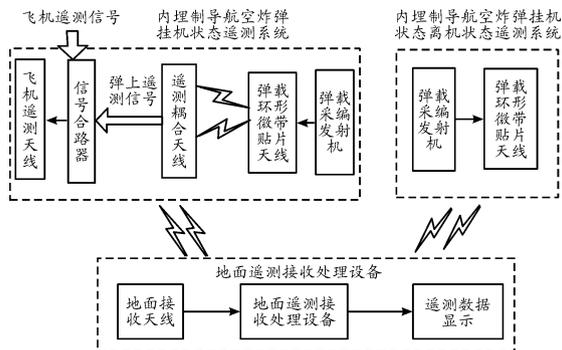


图8 内埋制导航空弹药遥测系统工作过程框图

## 5 结论

本文提出了一类遥测系统方案,该方案从理论上解决了内埋制导航空弹药遥测系统在信号传播路径上的问题,对内埋制导航空弹药试验的开展有积极意义。

## 参考文献:

- [1] 张昊,周军辉,吴松,等. 飞航武器遥测系统现状及发展趋势分析[J]. 飞航导弹,2017(11):80-84.
- [2] 罗清华,彭宇,周鹏,等. 航空飞行试验新一代网络化遥测技术浅析[J]. 仪器仪表学报,2017(2):261-270.
- [3] 贺媛媛,周超. 飞行器隐身技术研究及发展[J]. 飞航导弹,2012(1):84-91.
- [4] 韩颖超,杜广宇,李雪飞,等. 内埋式导弹武器安全分离地面试验关键技术[J]. 火力与指挥控制,2016(3):170-172.
- [5] 岳铁林. 环境温度引起的导弹遥测转发装置故障分析[J]. 战术导弹技术,2009(1):46-49.
- [6] 张凡,张福顺,赵钢,等. 共形天线阵列方向图分析与综合[J]. 西安电子科技大学学报,2010(3):496-501.
- [7] 付强,曹少珺,余孝安,等. 弹丸头锥上对称配置的S波段微带天线阵[J]. 探测与控制学报,2011(4):6-10.
- [8] 李龙军,王布宏,夏春和. 稀疏共形阵列天线方向图综合[J]. 电子学报,2017(1):104-111.
- [9] 刘浩,周军,张士卫. 空空导弹发射技术发展现状及趋势研究[J]. 航空工程进展,2018(5):147-158.
- [10] 内埋式弹舱武器发射分离过程研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2010.
- [11] 王建立,凡建超,胡波. 滑翔制导弹药翻转控制方案研究[J]. 战术导弹技术. 2016(5):73-76.
- [12] 常超,丁海河. 内埋弹射武器机弹安全分离技术综述[J]. 现代防御技术,2012(5):67-74.
- [13] 张军,等. 无线电遥测系统及在兵器试验中的应用[M]. 北京:国防工业出版社,2011.
- [14] 许吉斌,冉玉忠,郭慧平. 双模导航武器的遥测天线自适应跟踪方法[J]. 探测与控制学报,2017(4):72-76+82.
- [15] 郑凤芹,谢锐. 弹载遥测系统天线设计[J]. 电子测试,2013(7):5-9.
- [16] 刘爱英. 弹载遥测天线的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.

(责任编辑 周江川)