

探空雷达对卫星接收信道饱和和干扰的处理

■ 梁永接 贾树波 沙金 郭雪星

通过L波段探空雷达对我国风云三号(FY-3)卫星数据接收处理系统的干扰分析,提出了解决或降低邻频干扰的处理方法,从而使FY-3卫星数据接收处理系统和L波段探空雷达兼容部署,可共同利用电源、机房、网络等资源,建设FY-3卫星数据接收处理系统。

在中国气象局于全国部署FY-3卫星数据接收处理系统选址工作中,发现FY-3卫星数据接收处理系统与L波段探空雷达工作频率存在严重的邻频干扰。若能通过技术手段,解决或降低其邻频干扰的影响,便可以充分利用气象观测场机房、供电、通信等环境条件,建设FY-3卫星数据接收系统,达到集中建设、集约化管理效果。

针对以上要求,本文通过对L波段探空雷达对FY-3卫星数据接收处理系统的干扰分析,从而提出了解决或降低邻频干扰的处理方法。

1 L波段探空雷达对FY-3卫星数据接收处理系统简介

表1给出了L波段探空雷达和FY-3卫星数据接收处理系统的基本理论参数及测量数据。其中,FY-3卫星数据接收处理系统L频段低噪声放大器(LNA)主要技术参数如下:

- 1) 频率范围: 1.68~1.71 GHz
- 2) 噪声温度: ≤ 50 K
- 3) 增益: ≥ 50 dB
- 4) 输出1 dB压缩点: ≥ 15 dBm

表1 L波段探空雷达和FY-3卫星数据接收处理系统基本理论参数及测量数据

L波段探空雷达		FY-3卫星数据接收处理系统	
工作频率	1675±6 MHz	工作频率	1680~1710 MHz
脉冲峰值	≥15 KW	系统灵敏度	≤-40 dbm
测角范围	方位角0~360°, 俯仰角-6°~92°	接收范围	方位角0~360°, 俯仰角5°~90°

另外, FY-3卫星L波段数据广播EIRP为42 dBm,空间传播到地面信号损耗-152 dB(仰角8°),实际接收地面卫星信号功率-110 dBm。系统设计FY-3卫星数据要求接收高灵敏度、高增益。而L波段探空雷达功率15 kW(即71.76 dBm)。

从以上参数可看出,L波段探空雷达和FY-3卫星数据接收处理系统工作频率接近,分别为(1675±10) MHz(时间测量值)和1690~1710 MHz,雷达发射功率远大于FY-3卫星L波段数据功率。

通过建站现场所测频谱图进行简单比较,图1为FY-3卫星数据接收处理系统未接收任何卫星时的工作频谱图。其中,M1点为中心频点,右侧为手机基站信号。

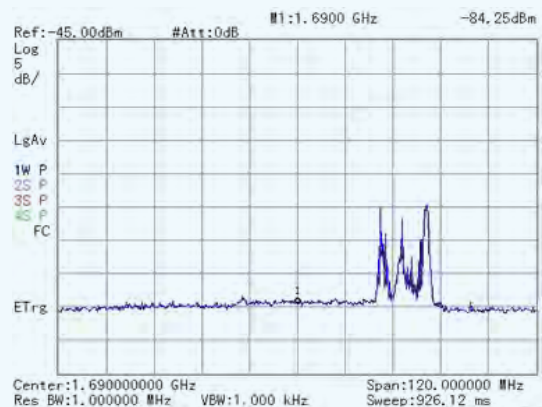


图1 FY-3卫星数据接收处理系统未接收任何卫星工作频谱图

图2为FY-3卫星数据接收处理系统接收NOAA19卫星时的工作频谱图。M2点为NOAA19卫星信号的频谱图。

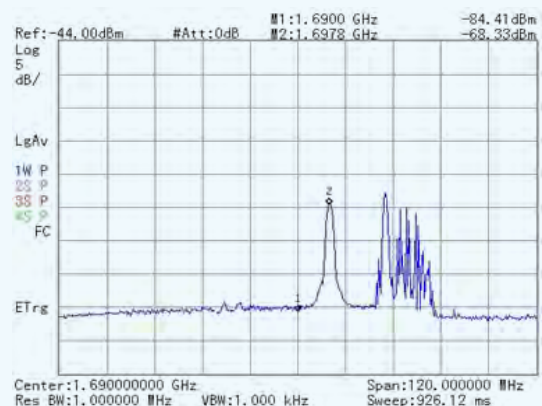


图2 FY-3卫星数据接收处理系统接收NOAA19卫星频谱图

图3为L波段探空雷达的工作频谱图。其中，M2点为探空雷达的中心频点。可以发现，雷达信号功率过强，峰值1675 MHz电平可达到-17.08 dBm，即使非峰值1690 MHz电平也可达-45.29 dBm，也比接收NOAA19卫星数据信号电平高23.04 dBm。

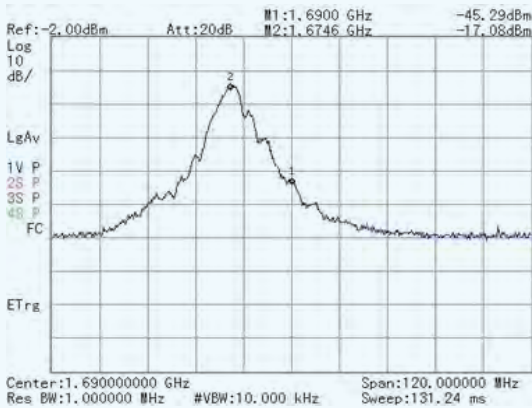


图3 L波段探空雷达工作频谱图

2 L波段探空雷达对FY-3卫星数据接收处理系统干扰分析

L波段探空雷达跟踪漂移上升的探空气球工作，FY-3卫星数据接收处理系统跟踪过境的极轨卫星。当两种设备布设距离较近时，大功率的雷达势必在开机工作时间对FY-3卫星数据接收处理系统造成干扰。

假设卫星数据信号为 $F_c(t) = A \times \cos(w_1 t)$ ，雷达信号为 $F_r(t) = B \times \cos(w_2 t)$ 。这两个信号在接收系统信道中叠加，形成新的信号 $F(t) = A \times \cos(w_1 t) + B \times \cos(w_2 t)$ 。

考虑到雷达信号远比卫星数据信号强($A \ll B$)，则 $F(t) = B[1 + m_0 \times \cos(w_1 - w_2)t] \cos[w_2 t + m_0 \times \sin(w_1 - w_2)t]$
 $= B[1 + m_0 \times \cos \Omega t] \cos[w_2 t + m_0 \times \sin \Omega t]$, (1)

式中， $m_0 = A/B$ ， $\Omega = w_1 - w_2$ 。

式(1)说明， $F(t)$ 是一个调幅调相波，其中， $1 + m_0 \times \cos \Omega t$ 是调幅波，调制度为 m_0 ，调制信号频率为 Ω 。信号 $\cos(w_2 t + m_0 \times \sin \Omega t)$ 为调相波，信号中心频率变为雷达信号频率 w_2 。

当较弱的卫星数据信号和强干扰L波段雷达信号进入接收系统信道中，信号幅度较强，信道非线性使信号形成双向限幅，合成信号包络中幅度调制部分被抑制削弱，保留相位调制部分，相位变化中还保留部分有用信号。

由于 $B \gg A$ ，所以 m_0 很小。

又由于 B 很大，输出信号的杂信比变得很小。当 B 足够大时，输出信号的信杂比趋于0，形成饱和和阻塞。

L波段探空雷达对FY-3卫星数据接收处理系统的

影响因素有四种：1) 雷达工作信号为脉冲信号，信号带宽很宽；2) 雷达发射功率大，信号强；3) FY-3卫星数据接收处理系统灵敏度高，系统增益大；4) 雷达信号造成接收信道饱和阻塞，影响接收质量。这四种影响因素，相互依存，最终达到的影响效果即为造成接收系统的信道形成饱和阻塞。下文针对如何降低或是抑制接收信道的饱和阻塞进行分析说明。

3 解决饱和和干扰

3.1 信号滤波

当 Ω (频差)较大时，可考虑在系统入口(LNA)增加(高、低通)滤波器，可有效滤除雷达干扰信号，降低“干扰”信号幅度，减少甚至完全消除干扰影响。

这对滤波器要求很高的矩形度，带宽不小于30 MHz。滤波器通带内差损一般不小于0.6 dB，而对微弱的卫星信号接收机要求有较大的输出信噪比(S/N)，接收机系统内部噪声必须尽可能小。一个多级联的高增益接收系统，全系统的噪声大小主要取决于第一级放大器噪声大小及增益，再兼顾滤波与系统噪声的设计原则，滤波器至少不能设计在LNA的首级，必须解决接收机放大器，前级饱和阻塞问题一般设计在次级或者后级。

3.2 大动态技术

在设计上，低噪声技术和大动态技术是矛盾的。低噪声技术要求有源器件本身产生的噪声低、接收灵敏度高，在满足该要求的情况下，会采用小电流、低噪声的微波原件，但其动态会小近20 dB。大动态技术会采用大电流、高噪声的微波器件。满足了大动态的技术要求，又不能满足系统低噪声、高接收灵敏度的要求。因此解决好LNA的接收灵敏度和其大动态接收性能的矛盾，是成功研制相应LNA的关键技术。

采用新技术，自行研制出了L波段大动态低噪声放大器，线性功率大于25 dBm，噪声系数0.7 dB，三阶交调优于50 dBc，在实际使用中，低噪声放大器始终工作在线性区，保证接收通道正常工作，并通过气象局对此系统产品的定型。

4 应用实例

通过合理设计的滤波器，可有效地解决了雷达对FY-3系统的干扰。图4是无滤波器时接收到的雷达信号的(干扰)频谱图。

图5为信道合理配置滤波器后接收信号频谱图。M1是滤波后带外信号，M2是滤波带内信号，可见滤波抑制带外信号效果显著。

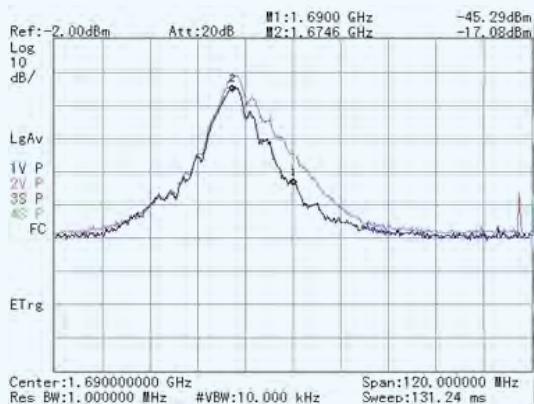


图4 无滤波器频谱图



图5 前端增加滤波器后频谱图

5 小结

本文通过对L波段探空雷达对FY-3卫星数据接收处理系统的干扰分析，提出了解决饱和和干扰的技术途径，设计兼顾噪声合理使用滤波器，成功应用解决实际问题，为气象雷达探空和FY-3卫星数据接收处理系统的共存，提供了技术保障。

在实际工作中，在站址选择上应尽量拉大L波段探空雷达与FY-3卫星数据接收处理系统的距离，降低“干扰”信号强度，保证FY-3卫星数据接收处理系统的正常工作。

(作者单位：北京华云星地通科技有限公司)

HY系列机载焰条产品介绍

■ 王文韬

中国华云气象科技集团公司作为中国气象局高新技术产业孵化基地，为了将中国气象局人工影响天气中心研制的高效人影作业催化剂配方（冷云：WMC-IN-001，暖云：WMC-CN-001）进一步产业化，公司经过充分的市场调研与技术攻关，成功研发了HY系列机载焰条。HY系列焰条分为HY-1A型机载焰条和HY-1A/350型机载焰条。

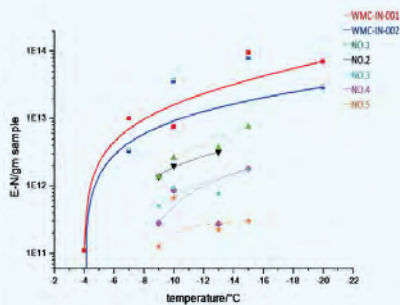


HY-1A型机载焰条
适用机型：运7、运8、运12、新舟60

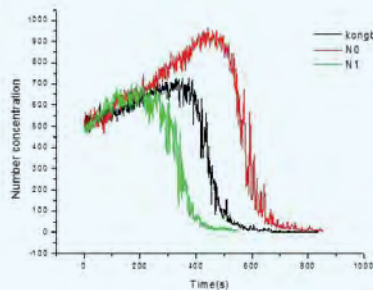


HY-1A/350型机载焰条
适用机型：空中国王350型

该系列机载焰条具备催化剂成核率高、吸湿效果好等优势，焰条壳体采用轻量化、环保性设计，焰条空中点火成功率高。



a.冷云催化剂成核率 (WMC-IN-001)



b.暖云催化剂吸湿性(WMC-CN-1401)

(作者单位：中国华云气象科技集团公司)