

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.04.030

无线电测控设备抗电磁干扰技术概述^{*}

刘 钢^{**}, 郭 琦

(北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094)

摘 要:针对无线电测控设备的技术特点,分析了提高抗电磁干扰的两个途径:一是隔断干扰信号,包括地形和金属屏蔽、降低天线副瓣;二是采用信号处理技术剔除干扰的影响,包括跳扩频技术、信道编码。此外,指出了无线电测控设备根据站址实测电磁环境综合采用这些方法,能够提高测控设备执行任务的可靠性。

关键词:无线电测控设备;电磁干扰;抗干扰;信号处理

中图分类号:TN80;V556 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2013)04-0530-03

Overview of Anti-jamming Technology for Wireless TT&C Equipment

LIU Gang, GUO Qi

(Beijing Institute of Tracking and Telecommunications Technology, Beijing 100094, China)

Abstract: According to the technical features of wireless TT&C equipment, this paper analyzes two ways of anti-jamming. The first way is to obstruct the jamming signal, such as topography or metal shield and side-lobe reduction. The second way is to use signal processing technology to eliminate the effect of jamming, such as frequency hopping/spreading and channel coding. It is pointed out that wireless TT&C equipment can improve its reliability by adopting these methods on the base of reconnaissance of the given station.

Key words: TT&C equipment; EM jamming; anti-jamming; signal processing

无线电测控设备是我国航天测控网的骨干信息传感器,其可靠工作关系到测控任务的成败。随着电磁环境的恶化和电子对抗的加强,在其工作带宽内,密集地拥挤着很多工业干扰和其他无线电干扰,包括连续波干扰、非同步干扰、有源干扰和无源干扰。在某站点电磁兼容勘察中,监测到某特定型号摩托车路过时产生高于接收灵敏度的宽带干扰,必须采取有效措施抑制这些干扰,使无线电测控设备在复杂电磁环境下正常跟踪测量目标,这是在系统设计时需要考虑的一项重要内容。

1 阻断干扰传播路径

无线电噪声在无线电接收设备中对有用信号起着干扰作用,尤其无线电测控设备属于高灵敏度系统,特别是深空测控设备探测信号非常微弱,月球和

火星到地球的距离分别为 40 万公里和 4 亿公里,在 S 频段产生的空间自由损耗分别达 212 dB 和 268 dB。无线电测控设备最小接收电平远低于手机信号等地面干扰信号的功率。解决这一问题的有效方法之一就是选择有屏蔽遮挡的地方建设测控站。传统上使用望远镜观测的方法确定遮蔽角,但由于电磁波具有波动性,干扰源和测控设备之间的屏蔽山体不可能像阻隔光线一样完全隔离干扰信号,可采用惠更斯-菲涅尔原理并考虑地球曲率,确定地形电磁遮蔽范围。

还可根据天线安装场地及周围环境干扰测试情况,判断干扰源的方位,在不影响天线指向及接收信号质量的前提下,在干扰信号传播方位上某一位置安装金属屏蔽墙,阻断干扰信号向天线的传播路径以降低干扰。

^{*} 收稿日期:2012-10-11;修回日期:2013-04-07 Received date:2012-10-11;Revised date:2013-04-07
^{**} 通讯作者:54547854@qq.com Corresponding author:54547854@qq.com

2 降低天线副瓣

副瓣电平是天线设计中的一个重要指标。过去为了追求精密跟踪测控天线的增益(效率)而牺牲了副瓣。由于天线副瓣是干扰进入系统的主要形式,近来为了提高测控设备在面临各种复杂的电子干扰下的遂行任务能力,逐渐认识到降低天线副瓣电平的重要性。但副瓣降低后,天线的主瓣会被展宽,这将降低天线增益和角分辨率,因此,要在允许的角跟踪精度和大系统链路增益裕量的范围内降低天线的副瓣电平。虽然阵列天线副瓣易于控制,但抛物面天线由于结构简单、造价较低、容易获得高增益而成为地面站测控天线的主要形式。下面以抛物面天线为对象分析降低天线副瓣电平主要途径。

2.1 优化天线设计降低副瓣

(1)抛物面结构的选择^[1]

抛物面天线的主波束以及近旁瓣主要是由抛物面的口径场贡献的,绕射场形成宽角旁瓣和后瓣。测控常用的天线结构形式有前馈抛物面天线、卡塞格伦/格里高利天线和环焦天线 3 类。

前馈抛物面天线的优点是主瓣尖锐、副瓣电平较低、增益较高,缺点是馈源口面朝下,容易受大地噪声和附近设备的干扰。卡塞格伦/格里高利天线的优点:因有主、副两个反射面,利于调整使主反射面口面场分布最优,便于提高效率;由于馈源对着天空,从而减少了地面反射噪声和地面干扰电波的进入,降低了外来噪声;缺点:副反射面存在遮挡,且存在边缘效应引起的口面场振幅起伏和相位畸变,抬高副瓣和驻波。环焦天线继承了卡塞格伦天线的优点,克服了卡塞格伦天线由于副反射面的二次发射造成的副瓣和驻波上升的缺点。

(2)馈源设计

馈源的选择要兼顾以下几个方面:低副瓣;高增益;折衷低副瓣与主波束展宽的矛盾;纵向尺寸小;且需与不同形式的天线相匹配,如常用的波纹喇叭、多模喇叭、变张角喇叭和介质加载喇叭馈源等。

馈源向副反射面照射时的溢出为初级溢出,为减小初级溢出,应选用合适的初级馈源形式,精心设计的大张角波纹喇叭实现了低旁瓣,已在某型号测控设备上成功应用。副反射面向主面照射时的溢出为二次溢出,为减小二次溢出,副反射面的边缘照射电平要低、张角要小,并可在反射面边缘敷上吸收材料以减小主反射面边缘绕射能量。

(3)减小遮挡

遮挡影响的大小不仅同遮挡的面积与口径面积之比有关,而且还与口径场分布和遮挡的位置有关;遮挡面积越大,越向近轴区集中,影响的程度也越

大;遮挡面积越小、越分散,影响的程度就越小。因此,应减小副反射面,并改变支杆形状以减小散射方向图的峰值或使散射能量更合理地分配在空间,对于副面较轻的小天线,可用置于副反射面投影面内的透波材料来代替支杆支撑副反射面。

(4)天线赋形和偏馈^[2]

一般认为边缘照射越低,副瓣就越低,但在副瓣降到一定程度后,边缘照射再继续下降,副瓣不会再下降了,甚至还可能升高。采用反射面赋形技术,即用改变反射面上各点曲率的方法能够达到较好的分布,如减小副反射面中央部分的曲率半径,同时修正主反射面的形状,控制口面场的分布,这种方法的不足之处是曲率变化复杂,加工困难,只适用于双反射面天线。另一种是采用偏馈技术。所谓偏馈是从一个扩大了抛物面天线中仅取出其中一部分反射面。在偏馈情况下,无口径遮挡,因此馈源或副反射面可做得比较大些,使得一个方向上获得很低的第一副瓣和平均副瓣。为了进一步降低副瓣,可综合使用偏馈与反射面赋形技术,用反射面赋形技术能补偿偏馈情况下的不对称性并形成所需的分布。

(5)减小形变和安装误差

表面加工公差主要影响天线随机副瓣电平,即表面加工公差有可能增大或减小副瓣电平,天线表面均方根误差引起的随机副瓣电平和概率的关系为,当取成功概率为 85% 时,计算可得中心区域均方根误差小于等于 $\lambda/241$,总均方根误差小于等于 $\lambda/196$ ^[3]。副反射面由于比主面小得多,故加工精度易保证,其安装和形变可以忽略不计。主反射面直径大,造成形状发生偏差的因素较多,如加工精度不够,支撑支架因重力、风荷或日晒而引起变形等。其他误差还有馈源方向图的非球面波前、安装馈源和副反射面的径向偏差和轴向偏差等会在口面上形成奇次相差和偶次相差,从而引起副瓣恶化。为了提高加工和安装精度,可考虑采用新的工艺,例如位于美国新墨西哥的 AEC 天线应用碳纤维加强塑料(CFRP)作为反射面的支撑结构,使用碳纤维加强塑料实现整个俯仰结构,面板采用电铸镍外皮黏合在一个 20 mm 厚度的铝质蜂窝状核心上,为了提高温度性能,表面涂了 200 nm 的铱。由于碳纤维加强塑料的应用,AEC 天线明显要比普通天线轻、强度高,提高了整体性能。

(6)其他因素

馈源对反射功率的散射和馈源本身的后辐射,若用栅网或打孔的天线面板还有泄漏等。

总之,影响近区副瓣电平的主要因素是照射函数、阻挡、主反射面形变。影响广角副瓣电平的主要

因素是主副反射面边缘绕射、支杆散射、主反射面制造公差、初级照射泄漏、馈源对反射功率的散射等。

因此,对反射面天线来说,影响副瓣的因素很多,要准确计算和控制这些因素都较困难。为使反射面天线实现低副瓣,必须综合折衷考虑所有会引起副瓣的因素,根本目的是为了最终实现较理想的口径场分布。

2.2 副瓣对消技术

还有其他降低天线副瓣的技术,比如副瓣对消。由于副瓣对消需要引入辅助接收支路,增加了系统复杂度,且当外界干扰源增多时实现困难,因此在测控设备中不建议采用。

2.3 采用低副瓣天线罩

天线加罩以后,由于不可避免地反射能量向空间辐射,它和天线原来向空间辐射的能量相迭加,使天线方向图重新分布,一般情况下将使平均副瓣电平抬高。副瓣抬高的多少与天线本身的副瓣电平有直接关系,天线罩的传输功率对副瓣电平的提高也有一定的影响。因此,为了降低天线副瓣,应从材料、结构形式、板块联接、制作工艺等方面精心设计,以降低插入相位移和增益幅度(传输功率),进而减小由于加罩所造成的副瓣电平抬高。

3 数字域抗干扰技术

3.1 采用扩频技术

由香农定理可知,要增加信道容量,可通过增加传输带宽 B 或信噪比 S/N ,扩频测控系统通过加扩和解扩在负信噪比或噪声下工作,以获得抗干扰能力。扩频技术可分为直接序列扩频、跳频、线性调频和跳时等基本技术,基本技术的两种或多种组合可构成混合技术。

直接序列扩频或跳频体制的抗干扰能力主要是针对干扰频带比较窄的干扰信号,其中包括单音、多音和窄带干扰;针对宽带干扰,可采用跳频扩频技术结合的跳扩频技术。目前,国外数据中继卫星测控已采用了直接序列扩频。

3.2 采用信道编码

信道编码是信息可靠传输、信号抗干扰的重要手段。根据香农提出的信道编码定理,以特定的控制手段,引入适量冗余比特,可以克服信息在传输过程中受到的噪声和干扰影响。采用信道编译码技术,可以提供高达 7 dB 的系统增益。

CCSDS 标准推荐的编码方式有卷积码、RS 码和 Turbo 码、LDPC 码,对这些编码方法的选用根据信道带宽和所需获得的编码增益决定。卷积码对抗随机

噪声引起的误码更有效,RS 码对抗突发干扰更有效,一般航天测控采用卷积码作为内码、RS 码作为外码的级联码。

针对深空探测信道功率受限而带宽不受限、无记忆高斯理想信道的特点,基于迭代译码技术的 Turbo 型级联码(包括串行级联与并行级联)和 LDPC 码是目前已知的两类性能最优的近香农限信道编码,已经被包括 CCSDS 在内的多个标准采纳,也在国外深空测控中得到了广泛的应用。

需要指出的是,一切用于纠错的信道编码都存在一定的门限效应:当信道的 E_b/N_0 低于某一值时,采用信道编码不但不能纠错,反而越纠越错。

4 小 结

本文总结了提高抗电磁干扰的两种基本方法:一是隔断干扰信号进入系统的途径,包括地形和金属屏蔽、降低天线副瓣;二是采用信号处理技术剔除干扰的影响,包括跳扩频技术、信道编码。通过分析指出,无线电测控设备可根据站址实测电磁环境综合采用这些方法,以提高遂行测控任务的可靠性。

参考文献:

- [1] 陈超. 几种常用卫星天线的工作原理和性能的比较[J]. 有线电视技术, 2010(8): 48-50.
CHEN Chao. Comparison of Principle and performance for several common satellite antenna [J]. CATV Technology, 2010(8): 48-50. (in Chinese)
- [2] 白文静. S 波段低副瓣天线的仿真研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
BAI Wen-jing. The Simulation Research of An S-Band Low-Sidelobe Antenna [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007. (in Chinese)
- [3] 李秀梅, 陈章梁. 宽频带双极化低副瓣偏馈抛物面天线[J]. 电讯技术, 2004, 44(6): 146-149.
LI Xiu-mei, CHEN Zhang-liang. A Broad Bandwidth Dual-polarization Low Side-lobe Offset Fed Paraboloidal Reflector Antenna [J]. Telecommunication Engineering, 2004, 44(6): 146-149. (in Chinese)

作者简介:



刘 钢(1975—),男,河南南阳人,博士,工程师,主要研究方向为无线电测控设备;

LIU Gang was born in Nanyang, Henan Province, in 1975. He is now an engineer with the Ph. D. degree. His research concerns wireless TT&C equipment.

Email: 54547854@qq.com

郭 琦(1976—),女,湖北荆州人,硕士,工程师,主要研究方向为无线电测控设备。

GUO Qi was born in Jingzhou, Hubei Province, in 1976. She is now an engineer with the M. S. degree. Her research concerns wireless TT&C equipment.