

# 应用磁天线技术解决长河二号导航系统监测问题<sup>\*</sup>

陈雪平<sup>1)</sup> 胡东亮<sup>2)</sup> 罗斌凤<sup>2)</sup>

(海军长河二号系统管理中心<sup>1)</sup> 天津 300222)(海军工程大学<sup>2)</sup> 武汉 430033)

**摘 要** 研制出了一款磁性天线用于解决长河二号监测系统连续监测问题并提高监测精度。磁天线相对于电天线更有利于接收长河二号信号,抑制干扰,提高信噪比,获得较高的时差测量精度,对台链各台发射信号的时间基准的调整更为准确。通过分别在导航台及监测站的试用,验证了磁性天线研制成功。

**关键词** 磁性天线;监测接收机;长河二号导航系统;时差测量精度

**中图分类号** U666.1

## Overcoming the Signal Loss and Improving the Time Difference Measure Precision for Chang-He 2 Navigation System Based on Magnetic Aantenna

Chen Xueping<sup>1)</sup> Hu Dongliang<sup>2)</sup> Luo Binfeng<sup>2)</sup>

(Changle 2 Navigation System Management Center of Navy<sup>1)</sup>, Tianjin 300222)  
(Naval University of Engineering<sup>2)</sup>, Wuhan 430033)

**Abstract** A new long wave magnetic antenna for Chang-He 2 navigation system is developed which have the advantage of overcoming the signal loss and improving the time difference measure precision. Compared with electric antenna, magnetic antenna does well in incepting Loran-C signal, restraining disturbance, advancing SNR, attaining upper precision of time difference measuring, so the time standard can be adjusted more accurately. The results of experiments in NanHui monitor station and XuanChen transmitter station show that the magnetic antenna has better performance than the electric antenna has.

**Key words** magnetic antenna, monitor receiver, Changhe 2 navigation system, TD measure precision

**Class Number** U666.1

### 1 引言

台链同步监测系统包括主、副台同步监测分系统和监测站监测分系统两部分,是长河二号导航系统的重要组成。台链同步是根据主、副台同步监测分系统提供的伪时差信息和监测站提供的时差测量信息来控制各台间的标准时差实现的。主、副台同步监测分系统监测的伪时差信息用于粗同步,监测站获得的时间差用于台链的精同步。因此,监测

站以及发射台同步监测分系统所提供的系统监测信息的准确可靠至关重要,也是确保长河二号导航系统运行有效的关键。

由于我国台链基线位置配置的不合理,台链本身就存在同步监测困难问题;加之监测站周边电磁环境的不断恶化,使得台链信号监测的可信度差,还存在监测信号时常中断的现象。

东北海台链的基线距离配置均大于 600km 的最佳配置值造成台链监测困难。尤其对应东海台

• 收稿日期:2009 年 4 月 2 日,修回日期:2009 年 4 月 29 日  
作者简介:陈雪平,男,研究方向:无线电导航。

链南基线的主副台的同步监测分系统不能正常锁定信号,偏差经常高于  $1\mu\text{s}$ ,已无法实现台链的正常粗同步。同时,东海台链监测站监测的时差波动范围:白天在  $100\text{ns}$  左右,夜间达到  $200\text{ns}$  以上,偏离理想值  $30\text{ns}$  甚远。信噪比一般在  $-10\text{dB}$  以下,甚至出现长时间信号丢失的现象,致使监测站不能有效提供台链信号监测功能。鉴于此,东海台链的年度台链信号可利用率指标远远低于其它两个台链的战术指标值。

与建站初期相比,监测站周边地区的电磁环境发生了很大变化。新增的高大建筑物、高压输电线缆及大功率辐射源等,均对信号的接收造成不良影响。如北海台链监测站建站之初,其接收信号的信噪比最低为  $-5\text{dB}$ ,现在已经达到  $-20\text{dB}$ ,信号时常失锁,台链信号同步监测的准确性和可靠性都很差。同时,北海台链和南海台链监测站也经常出现某一时段监测不到信号的情况。

鉴于上述系统台链同步监测现状,有必要对系统同步监测设备进行相应的改造,以提高同步监测的可信度和精度。

## 2 应用磁性天线技术改善台链同步监测性能

应用磁性天线技术,一是解决台链内两导航台无法准确粗同步的问题;二是在监测站提高台链信号时差监测精度与保证长时间不间断连续监测。

### 2.1 磁性天线

磁性天线采用稳定的磁性材料作为接收信号感应体,利用天线的方向性达到抑制干扰获得好的信号接收效果的目的。由于采用了新工艺,其所接收信号的信噪比高于电天线,且接收的信号稳定。同时,磁性天线具有的固有特性,不会遭受雷击,这也是其优点之一<sup>[1]</sup>。

磁天线可进行接收信号的方向选择,有利于接收台链信号,抑制干扰,提高信噪比。与全向接收的电天线相比,可以获得高的时差测量精度。

磁天线具有良好的抗干扰性,不易受附近干扰源的影响,接收机时差测量值的稳定性好,信噪比明显改善;电天线则受附近干扰源的影响较大,且干扰不易消除,信噪比较差,影响了时差测量精度<sup>[2~3]</sup>。

磁天线体积小,易于维护,占地面积小,可充分利用原有的电天线场设施,安装简单,也无需避雷措施。

研制完成的磁性天线达到如下的性能指标:

几何尺寸:  $25\text{cm} \times 25\text{cm} \times 10\text{cm}$ ; 工作频率:  $100\text{kHz} \pm 15\text{kHz}$ ; 有源增益:  $\geq 20\text{dB}$ ; 极化方式: 垂直极化; 输出阻抗:  $50\Omega$ ; 方向性系数:  $\geq 20\text{dB}$  (天线方向性最大值与最小值比)。

发射台监测分系统的改进主要是用磁性天线替换电天线。在原天线场架设一个  $10\text{m}$  高的支架来放置磁性天线,采用电天线原有的馈线系统连接磁性天线。

监测站由于周围环境比较复杂,各种干扰源较多,在增加磁性接收天线基础上,还采用了数据融合处理新技术。改造完成后的监测接收系统的信号与信息处理流程如图 1 所示。

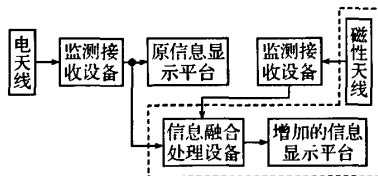


图 1 接收信号与信息处理流程

其中,虚线部分为新增加的设备,包括:磁性天线、信息融合处理设备、信息显示平台等。

实验表明:采用磁性天线所获得的时差测量值的漂移方向与采用电天线获得的时差测量值的漂移方向相反,具有互补性。采用融合处理方法,就可以把这种互补的漂移误差抵消掉,使时差的测量值更稳定准确<sup>[4]</sup>。

设  $TD_1(t)$ 、 $TD_2(t)$  分别对应磁性天线和电天线所测量的同一主副台的时差值。则融合处理方法可以形象表示为

$$TD(t) = aTD_1(t) + (1-a)TD_2(t) \quad (1)$$

其中  $a$  是由磁性天线的信噪比和电天线的信噪比确定的权值,取值随时间变化。

设计中采用磁天线与电天线分别接收再做融合处理的方案还基于如下的考虑:

1) 实验证明磁天线与电天线在分别接收磁分量与电分量时,两分量均有可能受到外界干扰,影响接收机性能,但同时受影响的概率小。如实验中,磁天线正常接收信号时,而电天线却无法正常工作接收信号;而当电天线正常接收时,磁天线有时也会出现接收不理想的状态。融合处理保证了时差信息获取的时效与连续。

2) 融合处理能够提高时差测量精度和可靠性。

3) 融合处理显示的一组曲线包括:电天线与

磁天线独立接收获得的时差信息;两者融合处理获得的时差信息,而融合获得的时差信息特征更科学更准确。

2.2 性能指标的改善

对于导航台的同步定时监测分系统,时差随机误差范围小于 100ns,完全满足系统粗同步要求。

对于监测站的台链信号监测分系统,原先的时差随机误差波动范围大于 100ns 时,采用磁性天线改造后时差随机误差波动范围小于 50ns;原先时差随机误差波动范围小于 80ns 时,改造后时差随机误差波动范围小于 35ns;原先时差随机误差波动范围小于 50ns 时,改造后时差随机误差波动范围小于 25ns。完全满足系统精同步要求。

总体评价:改造后,时差测量误差为原来的 1/2,时差精度提高一倍,稳定性能提高一倍。满足系统粗同步和精同步的需求。

2.3 试验

通过试验,验证所研制的磁性天线与现有监测接收机以及同步定时接收机是否适配;验证磁性天线能否改善所接收信号的信噪比;验证磁性天线所接收信号测量的时差稳定性是否优于电天线;验证融合处理方法是否有效。

试验方法采用比对测试方法,如图 2 所示。

先后在某监测站和导航台开展了试验工作。在监测站进行了六次试验,累计三个半月的时间;

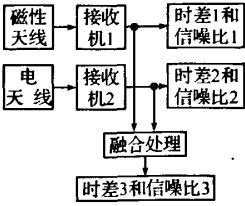


图 2 对比测试方框图

在导航台进行了三次试验,累计 12 天。某监测站周围的电磁环境十分复杂。通过试验可以初步确定产生干扰的原因有:1)附近的雷达波干扰;2)海事的通信信号干扰;3)周边大的铁塔产生多径等;4)长河二号信号传播遇到了“海陆效应”。第四点尤为重要,即在海与陆地传播交界处,使得电磁环境变得更为复杂。通过选择理想的天线架设位子可以较好解决干扰问题。

导航台的三次试验时,对接收信号的干扰主要有:1)夜间的天波干扰和恶劣的环境噪声;2)发射台产生的大功率辐射信号造成电磁环境污染对接收信号的影响十分明显。其中,第 2)点是十分重要的因素,采用磁性天线可以解决问题。

试验表明:

信噪比:磁性天线优于电天线 2~3dB。

时差稳定性:当电天线误差范围 150ns 内波动,磁性天线在 100ns 范围波动;当电天线误差范围 100ns 内波动,磁性天线在 75ns 范围波动;当电天线误差范围 50ns 内波动,磁性天线在 30ns 范围波动。

表 1 磁、电天线在某监测站测试数据小时均值分析对照表(主台—副台)

时间	场强均值(dB)		信噪比均值(dB)		包周差均值(μs)		时差均值(μs)	
	电天线	磁天线	电天线	磁天线	电天线	磁天线	电天线	磁天线
0100	57	62	-17	-14	-50	-50	15 957.953	15 957.758
0200	53	61	-17	-13	-50	-50	15 957.961	15 957.749
0300	53	62	-16	-12	-50	-50	15 958.008	15 957.669
0400	54	61	-12	-9	-39	-50	15 957.967	15 957.638
0500	54	64	-8	-4	-20	-50	15 958.049	15 957.518
0600	50	63	-7	-4	-24	-50	15 958.009	15 957.535
0700	55	61	-9	-3	-34	-50	15 957.949	15 957.453
0800	56	61	-10	-5	-31	-50	15 958.00	15 957.450
0900	56	61	-10	-7	-24	-50	15 958.012	15 957.462
1000	55	61	-9	-6	-18	-50	15 957.839	15 957.470
1100	55	61	-9	-6	-16	-50	15 958.049	15 957.468
1200	55	61	-10	-6	-21	-50	15 957.995	15 957.460

融合处理结果:当电天线误差范围在 150ns 内波动,融合处理后在 80ns 范围波动;当电天线误差范围 100ns 内波动,融合处理后在 50ns 范围波动;当电天线误差范围 50ns 内波动,融合处理后在 20ns 范围波动。

表 1 给出了在东海台链监测站获得的一组比对数据。比较可见:

当对应电天线的时差随机误差幅度大于 100ns 时,采用磁性天线时差随机误差幅度小于 40ns;

当对应电天线的时差随机误差幅度小于 80ns 时,采用磁性天线时差随机误差幅度小于 35ns;

当对应电天线的时差随机误差幅度小于 50ns 时,采用磁性天线时差随机误差幅度小于 25ns。

实验还表明:采用磁性天线可提高信噪比 2~3dB。

### 3 结语

从信噪比及稳定性两方面均能够说明磁性天线性能优于电天线。验证了台链监测站存在的“海陆效应”,以及发射台发射信号产生电磁污染的存在<sup>[5]</sup>。

利用磁性天线的方向性,通过选择理想的接收点,可以从根本上解决台链监测站、以及导航台接

收远台信号不好的问题,保持信号不失锁和时差测量的稳定。融合处理可以进一步提高测量精度。

#### 参考文献

- [1] 杨林. 罗兰 C 接收机用磁天线的研究[J]. 探测与定位, 2004(2): 84~88
- [2] 罗斌凤. 连续波干扰条件下的 Loran-C 接收机性能分析[J]. 导航, 1995, 31(3): 32~35
- [3] 孙连云, 张伟民, 罗斌凤, 等. 基于小波分析的罗兰 C 信号周期识别新方法[J]. 导航, 2000, 36(3): 83~90
- [4] 乔力争, 彭辉, 罗斌凤, 等. 导航传感器信息融合系统的设计与实现[J]. 导航, 2001, 37(2): 35~39
- [5] 吴海涛, 边玉敬, 李志刚. 罗兰 C 最新进展及其对我国相关系统改造的启示[J]. 陕西天文台台刊, 2000, (1): 50~53

(上接第 53 页)

为标识,当然,时间越短资源分配方案越优,令  $Y'$  为使命任务过程时间的上界,一般设置为无穷大。

再令任务过程完成时间为  $Y$ , 则其优化过程可以描述如下式:

$$\min Y' \begin{cases} \sum_{j=0}^N x_{ijm} - w_m = 0, i, j = 1, 2, \dots, |T|; m = 1, 2, \dots, |P|; \\ \sum_{j=0}^N x_{jlm} - w_m = 0, i, j = 1, 2, \dots, |T|; m = 1, 2, \dots, |P|; \\ \sum_{i=0}^N x_{i0m} = \sum_{j=0}^N x_{0jm} = 1, i, j = 1, 2, \dots, |T|; m = 1, 2, \dots, |P|; \\ s_i - s_j + x_{ijm} \cdot \left( \frac{d_{ij}}{v_m} + a_{ij} \cdot Y' \right) \leq a_{ij}, Y' - t_i, i, j = 1, 2, \dots, |T|; m = 1, 2, \dots, |P|; \\ \sum_{m=1}^{|P|} p c_{ml} \cdot w_m \geq r_d, i, j = 1, 2, \dots, |T|; l = 1, 2, \dots, |F|; \\ s_i - Y \leq -t_i, i = 1, \dots, N; 0 \leq Y \leq T; s_i \geq 0; x_{ijk}, w_k \in \{0, 1\} \end{cases}$$

这是一个混合线性规划问题,其中包含多个连续的二元变量。对于该问题的求解,可以用关键路径算法,层次分配算法,MDLS 算法,通过比较,我们认为 MDLS 算法能够求得较好的全局最优解,而且具有双向选择计算<sup>[2]</sup>。

#### 参考文献

- [1] 汪江淮. 论联合战役作战指挥[M]. 北京: 国防大学出

版社, 1999

- [2] 杨红红, 吴智铭. 基于自适应遗传算法的柔性动态调度研究[J]. 中国机械工程, 2002, 13(21): 1845~1848
- [3] 郁树胜. 论联合战役[M]. 北京: 国防大学出版社, 1997
- [4] 任富兴, 王雪琴. 联合火力战指挥控制理论[M]. 北京: 解放军出版社, 2008
- [5] 周晓宇, 彭希文, 安卫平. 联合作战新论[M]. 北京: 国防大学出版社, 2000

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>