

卡塞格伦天线跟踪速率改进型测试方法研究

冯国兵,关涛,许轶楠

(海军研究院,北京 100161)

摘要: 卡塞格伦天线在检测与维修过程中,需对其跟踪目标速率进行测试。针对传统测试方法存在耗时长、成本高、准确率低的缺点,在对传统测试方法研究基础上,提出了基于单目标源定位追踪方式的改进型测试方法。试验表明该方法减少了测试用时,节约了成本,提高了准确率。

关键词: 卡氏天线;速率测试;曲线拟合

中图分类号: TP207

文献标识码: A

DOI: 10.19358/j.issn.2096-5133.2020.12.009

引用格式: 冯国兵,关涛,许轶楠. 卡塞格伦天线跟踪速率改进型测试方法研究[J]. 信息技术与网络安全, 2020, 39(12): 52-55.

Research on improvement test method of Cassegrain antenna tracking rate

Feng Guobing, Guan Tao, Xu Yinan

(Naval Academy, Beijing 100161, China)

Abstract: During the testing and maintenance of a type of military product, the tail's cassegrain antenna needs to be tested. In view of the disadvantages of the traditional test methods, such as much time consuming, high cost and low accuracy, on the basis of mechanism analysis to the traditional test methods, an improved testing method based on single target source location tracking mode is proposed in this paper. Experimental results show that this method reduces the time and cost, and improves accuracy of the test.

Key words: Carr's antenna; fellow-up test; curve fitting

0 引言

在通信工程应用中,卡塞格伦天线(卡氏天线)具有天线口径大、波段范围较宽、光学系统结构简单、像质优良等特点,被广泛用于激光空间通信、雷达系统及机载武器通信链路中^[1]。标准型卡氏天线由主反射器(直径为 40 cm 旋转抛物面)、副反射器及馈源组成^[2],天线结构示意图如图 1 所示。在卡塞格伦天线结构完好的情况下,天线跟踪速率测试主要包含天线加激励时其转动速率(激励速率)以及加目标源时天线搜寻目标并跟踪目标的速率(跟踪速率)。

针对某工厂卡氏天线的跟踪速率,传统测试方法存在效率低、成本高、准确率低的缺点,本文提出了改进型测试方法——基于单目标源定位追踪方式测卡氏天线的跟踪速率。该方法显著提高了测试效率,降低了成本,并且提高了测试准确率。

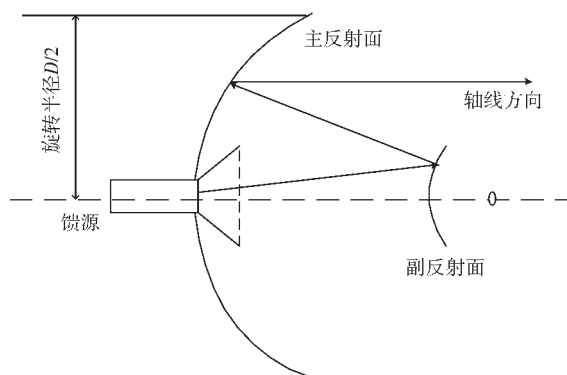


图 1 产品卡塞格伦天线示意图

1 传统卡氏天线跟踪速率测试方法研究

针对某型产品卡氏天线跟踪速率,传统测试方法是在距天线轴线方向固定距离处放置 5 个角锥喇叭天线,模拟产品卡氏天线搜寻的目标源。5 个角锥喇叭天线放置成“十”字结构,“十”字中心放

置一个角锥喇叭,上下左右各放置一个角锥喇叭,通过微波开关切换高频信号从指定的角锥喇叭天线发出,模拟动态目标源,产品卡氏天线搜寻目标并最终轴线指向目标源方向,产品卡氏天线的偏转角度在俯仰与偏航方向均与测得的电压成一次线性函数关系: $v=k \cdot x+b$ (v 为电压数值, x 为天线转动角度, k 、 b 为已知值),因此可以通过观察测试过程中电压表示数变化规律,主观估算天线的跟踪速率。“十”字架中心点的角锥喇叭天线(目标源)作用是用于每次测试时“吸引”产品卡氏天线轴线回归“零”位。图2中过程①~④详细描述了俯仰方向的测试流程,偏航方向测试原理与俯仰方向完全相同。

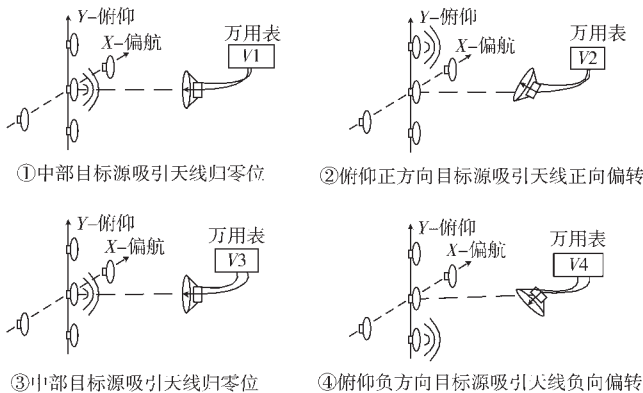


图2 俯仰方向天线跟踪速率测试流程示意图

研究发现传统的测试方法缺点有:(1)人为主观判断高频信号从某个角锥天线喇叭发出,从而粗略地对产品卡氏天线跟踪速率作出评价,存在误判,准确率低;(2)需要5个角锥喇叭天线,成本高;(3)测试过程中需手动切换微波开关,测试耗时长,效率低。因此针对传统测试方法的缺点,本文提出了一种卡氏天线改进型测试方法。

2 改进型卡氏天线跟踪速率测试方法

2.1 单目标源定位测试方法

通过对某型装备卡氏天线整机工作机理认真

分析后,发现在该装备卡氏天线控制系统外加 $\pm x$ V电压激励信号时(以俯仰方向为例,加 $+x$ V天线轴线向俯仰正方向偏转,加 $-x$ V向俯仰负方向偏转),卡氏天线主反射面轴线指向会向正或负方向偏转,偏转角度与加激励信号时间 t 成线性函数关系。可以利用此特性对传统卡氏天线跟踪速率测试方法进行改进。本文提出了一种基于单目标源定位追踪方式的天线跟踪测试方法。

在该装备卡氏天线接收平面处,仅放置一只角锥喇叭天线(后称“单目标源”)。首先,寻找初始位置值。单目标源加高频信号,“吸引”卡氏天线主动搜寻跟踪目标源并最终使得卡氏天线轴线指向目标源,在天线运动过程中通过高速采集卡,读取天线控制系统输出的初始位置(ψ_0, θ_0)对应的电压值(ψ, θ 分别表示偏航、俯仰方向);接着,关闭信号源,控制板俯仰方向加正向激励电压 $+x$ V,时间 t s,使得天线向俯仰正方向偏转角度 θ_1 ;断开激励电压 $+x$ V,打开目标源再次“吸引”装备卡氏天线搜寻目标回到初始位置(ψ_0, θ_0)。偏航方向测试流程和俯仰方向相同。在上述测试过程中从开始至结束时刻,高速数据采集卡实时采集天线运动角位置数据对应的电压数值,采样率为 $1/\Delta t$,详细测试流程原理图如图3所示。则天线跟踪速率可以定量计算为:

$$V_{\text{激励速率}} = \frac{\theta_1 - \theta_0}{t}$$

$$V_{\text{跟踪速率}} = \frac{\theta_1 - \theta_0}{\Delta t(n-1)}$$

其中 n 为采样点个数。

2.2 单目标源搜寻跟踪速率测试法一致性分析

该方法与目标源初始位置(ψ_0, θ_0)选取无关,具有良好的-致性,使得测试过程中,操作性更为灵活。传统的五角锥喇叭天线测试方法如果人为位置放置不当,即中心角锥喇叭与卡氏天线轴线夹角角度过大时,会导致偏航的正方向或者负方向无法测

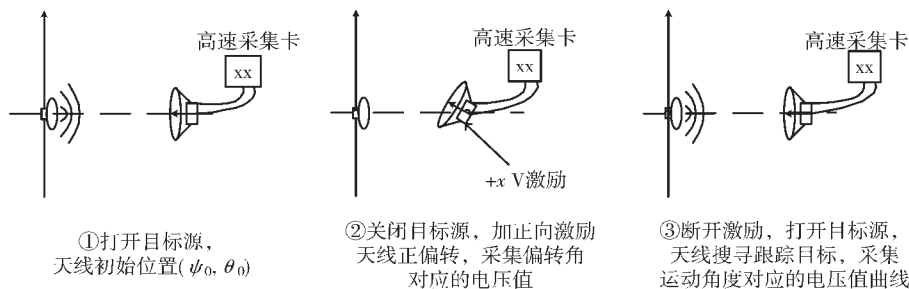


图3 单目标源卡氏天线跟踪速率改进型测试法原理图及步骤

试。单目标源改进型测试方法具有良好的一致性,可以去除位置放置的误差,以偏航方向为例,证明过程如下(俯仰方向的证明方法与偏航方向相同):假设在卡氏天线接收范围内,随机挑选三个测试位置放置目标源,分别如图4(a)、(b)、(c)中的①、②、③三位置点所示。



图4 改进型测试方法一致性证明示意图

图4(a)、(b)、(c)三个位置初始点分别设为 (ψ_{a0}, θ_{a0}) 、 (ψ_{b0}, θ_{b0}) 、 (ψ_{c0}, θ_{c0}) ,设天线偏转时间 Δt s后,天线轴线指向新位置为 (ψ_{a1}, θ_{a1}) 、 (ψ_{b1}, θ_{b1}) 、 (ψ_{c1}, θ_{c1}) ,产品卡氏天线轴线偏转角度、时间在偏航与俯仰的关系已知,分别为 $\psi = k_{\psi}t$, $\theta = k_{\theta}t$,设三个位置处天线速率为 $k_{1\psi}$ 、 $k_{2\psi}$ 、 $k_{3\psi}$, $k_{1\theta}$ 、 $k_{2\theta}$ 、 $k_{3\theta}$,则:

$$k_{1\psi} = \frac{\psi_{a1} - \psi_{a0}}{\Delta t} = \frac{k_{\psi}t - k_{\psi}t_0}{t - t_0} = k_{\psi}$$

$$k_{2\psi} = \frac{\psi_{b1} - \psi_{b0}}{\Delta t} = \frac{k_{\psi}t - k_{\psi}t_0}{t - t_0} = k_{\psi}$$

$$k_{3\psi} = \frac{\psi_{c1} - \psi_{c0}}{\Delta t} = \frac{k_{\psi}t - k_{\psi}t_0}{t - t_0} = k_{\psi}$$

从而推得 $k_{1\psi} = k_{2\psi} = k_{3\psi} = k_{\psi}$,同理可以推得 $k_{1\theta} = k_{2\theta} = k_{3\theta} = k_{\theta}$,即偏航与俯仰方向的跟踪速率测试结果与目标源初始位置点 (ψ_0, θ_0) 选取无关,表明该种改进型测试方法与目标源放置位置无关,可以有效去除人为放置因素干扰,具有良好的结果测试一致性。

3 试验与数据分析

通过搭建相关硬件平台对本文提出的改进型测试方法进行验证。测试过程中采集的该型装备卡氏天线位置偏航、俯仰方向运动曲线图分别如图5、图6所示。

数据采用分段最小二乘线性拟合,计算出天线加正负电压($\pm x$ V)激励时天线运动速率、加目标源高频激励时天线搜寻目标的跟踪速率,从而计算出天线跟踪速率。天线偏转角度与时间成一次函数

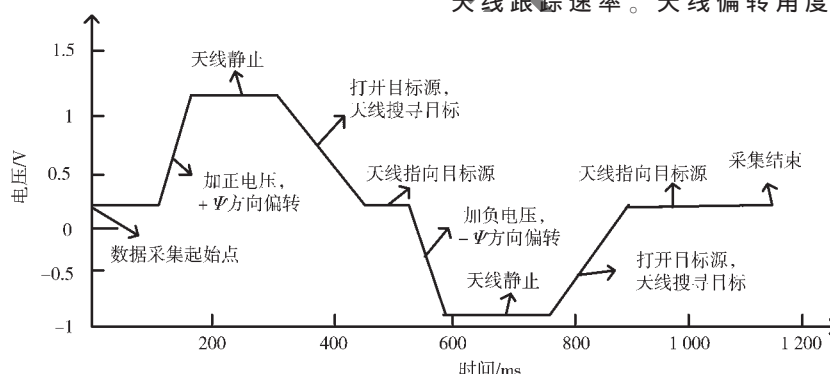


图5 卡氏天线偏航方向运动曲线图

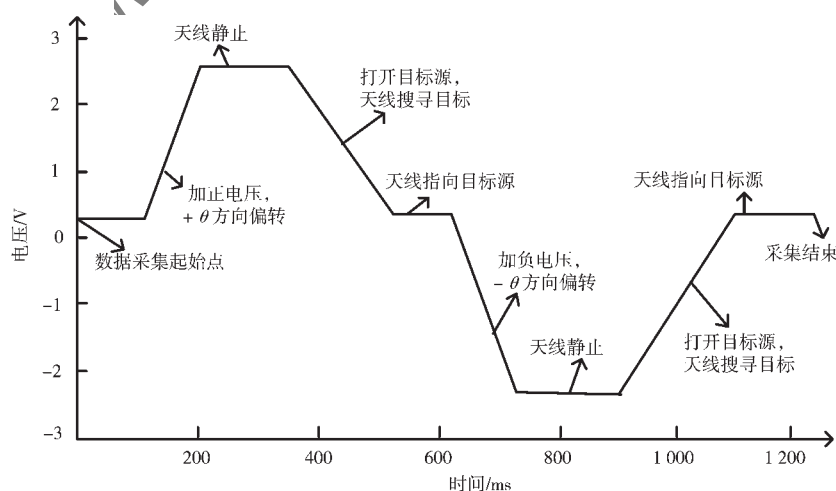


图6 卡氏天线俯仰方向运动曲线图

关系,每段的经验函数为线性函数关系^[3],这样为数据处理提高了准确度,并节省了数据处理时间。图5、图6曲线水平段为天线处于静止状态。在数据拟合过程中,分段点的选取是通过计算连续三点之间的绝对值走势,寻找曲线上三点 x_i 、 x_{i+1} 、 x_{i+2} ,若满足 $|x_{i+2}-x_{i+1}|>V_0$ (V_0 为阈值),且 $|x_{i+1}-x_i|<\varepsilon$ (ε 取很小值)的条件,则可将 $x_{i+2}=x_{N0}$ 数值作为某段直线的起点;若满足 $|x_{i+2}-x_{i+1}|<\varepsilon$,且 $|x_{i+1}-x_i|>V_0$,则 $x_i=x_{N1}$ 数值作为某段直线的末点,并提取 x_{N0} 、 x_{N1} 两点之间所有点进行一阶线性拟合^[4-8]。分段点选取示意图如图7所示。分段拟合计算出的斜率值乘以产品天线电压与角度转换常数,从而计算出天线跟踪速率。某次试验计算结果如表1所示。

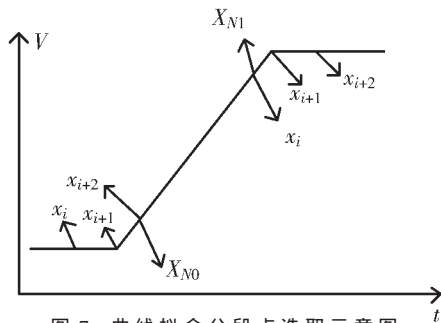


图7 曲线拟合分段点选取示意图

表1 产品卡氏天线跟踪速率测试结果

序号	测试项	跟踪速率/((°)/s)	
		测试值	参考值
1	加激励偏航 ψ^+	20.03	≥ 14
2	加目标源偏航 ψ^+	18.23	
3	加激励偏航 ψ^-	20.04	
4	加目标源偏航 ψ^-	18.53	≥ 16
5	加激励俯仰 θ^+	22.12	
6	加目标源俯仰 θ^+	19.65	
7	加激励俯仰 θ^-	23.01	
8	加目标源俯仰 θ^-	19.45	

4 结束语

本文从对卡塞格伦天线传统测试方法机理研究入手,针对传统测试方法中存在的缺点进行改进,提出了基于单目标源定位搜寻跟踪测试法测卡塞格伦天线运动速率的方法,天线运动过程中,通过高速采集卡实时采集偏转角度对应的电压值,并对数据进行分段最小二乘线性拟合,计算各段斜率,从而定量计算天线的运动速率,为卡氏天线检测与维修提供准确的数据参考。试验表明,本文提出的

改进型测试方法全面,优于传统测试法,大大降低了成本,提高了维修效率,天线转动位置曲线图能正确描述实际转动情况,计算结果准确可靠。目前该方法已在某维修厂卡氏天线检测与维修中得到了良好的运用与推广,节约了成本,提高了测试效率与准确率。该方法虽然针对某型号研制的特定维修装备,但是卡氏天线结构在很多通信系统中都有设计,因此,该改进型测试方法具有普适性,为装有卡氏天线型号装备的检测与维修提供了实际工程经验参考。

参考文献

- [1] 何文森,杨华军,江萍.卡塞格伦光学天线光传输特性研究[J].激光与红外,2014,44(3):280-283.
- [2] 赵鑫.卡塞格伦天线的机电综合优化研究[D].西安:西安电子科技大学,2016.
- [3] 刘霞,王运峰.基于最小二乘法的自动分段多项式曲线拟合方法研究[J].科学技术与工程,2014,14(3):55-58.
- [4] 段振云,王宁,赵文辉,等.一种一阶连续分段曲线拟合法[J].组合机床与自动化加工技术,2016(5):29-31.
- [5] 鲁伟俊,彭希锋,陈爽.基于最小二乘法的非接触缺陷检测方法研究[J].中国仪器仪表,2020(8):78-82.
- [6] 侯国鑫,刘梅清,梁兴,等.基于神经网络的轴流泵性能曲线拟合研究[J].中国农村水利水电,2020(8):102-104.
- [7] 谭建伟,程春泉,王志勇,等.一种渐进剥离与整体拟合的子波形提取方法[J].遥感信息,2020(4):97-104.
- [8] 许金鑫,由强.任意阶次多项式最小二乘拟合不确定度计算方法与最佳拟合阶次分析[J].计量学报,2020(3):388-392.

(收稿日期:2020-09-30)

作者简介:

冯国兵(1987-),通信作者,男,硕士,助理工程师,主要研究方向:动态测试技术、智能仪器研发。E-mail:294383344@qq.com。

关涛(1985-),男,硕士,工程师,主要研究方向:自动化测试技术、通信装备检测与维修、导航与控制。

许轶楠(1993-),女,硕士,助理工程师,主要研究方向:自动化测试技术。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《信息技术与网络安全》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《信息技术与网络安全》编辑部
中国电子信息产业集团有限公司第六研究所