

一种用于地面散射特性分析的同步测试系统

徐敏杰, 张永栋, 翟嘉琪, 张宇, 阴鹏

(西北核技术研究所, 西安 710024)

摘要: 基于 G 语言开发环境, 以激光测距传感器、功率计探头作为外部采集设备研制了一套用于地面散射特性分析的同步测试系统; 该系统在实时同步采集辐射场功率信息与接收天线高度信息的基础上, 给出地面散射影响程度, 具有同步精度高、自动化快速测量等优点; 为验证所研制的测试系统的可靠性, 开展小尺度地面散射测试实验; 实验表明, 该系统获取的实验数据与理论计算数据基本一致。

关键词: 地面散射; 同步; 测试系统

A Synchronous Measurement System Designed for Ground Scattering Characteristics Analysis

Xu Minjie, Zhang Yongdong, Zhai Jiaqi, Zhang Yu, Yin Peng

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: The Article introduces a set of synchronous measurement system for the ground scattering characteristics which is based on the G language development environment and takes laser range finder and power meter as the external acquisition equipment. The system that contains the information processing part for the power of radiated field and the height of receiving antenna can give the ground scattering coefficients quickly and high precision. In order to verify the reliability of this system, the experiment for ground scattering has been carried out. The results show that measured scattering coefficients agree with the given model.

Keywords: ground scattering; synchronous; adaptive; measurement system

0 引言

在外场开展微波源系统等效辐射功率和总功率测试时^[1], 需开展地面散射测试给出接收天线架设高度以减小地面散射的影响。地面散射测试, 通常利用接收天线、功率计探头及升降设备来采集辐射场功率信息和接收天线架设高度信息, 给出地面散射影响程度与天线架设高度的关系, 测试方式可分为定点测试和连续测试, 定点测试方式在采集功率信息的同时人工判读给出高度信息, 此种方式缺乏测试连续性, 测试效率较低; 连续测试方式可连续实时采集升降设备升降过程中的功率信息, 但无法实时获取高度信息。因此传统的地面散射测试方式无法实时连续采集功率信息与高度信息, 测量效率较低, 且采样点数较少。本文的研究目标是利用可移动升降装置, 以激光测距传感器、功率计探头作为数据采集设备, 研制一套地面散射测试系统, 实现辐射场功率信息与位置信息的同步采集^[2], 提高地面散射测试效率。

1 测试系统结构设计

整个测试系统由 3 个模块组成, 分别为硬件采集模块、软件处理模块和图形化显示模块。硬件采集模块作为输入接口负责物理量的采集与解析; 软件处理模块作为运算核心负责组织

接收解析数据并进行同步处理; 图形化交互界面作为人机交互平台负责显示系统状态、测试结果以及控制指令发送。系统组成及模块间关系如图 1 所示。

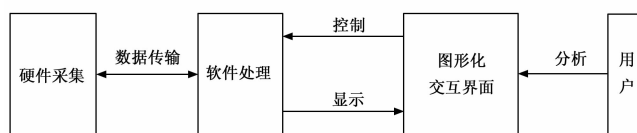


图 1 系统组成及模块间关系示意图

1.1 硬件采集模块

硬件采集模块由功率测量设备和距离测量设备组成, 主要实现对辐射场功率信息及测量点所在位置信息的数据采集, 外部硬件采集设备具备信号处理功能, 并转换为电信号以 USB/RS-232 串口等接口定义将数据传输至软件处理模块, 如图 2 所示。

1.2 软件处理模块

软件处理模块基于 G 语言开发环境, 编程实现了对硬件采集模块的控制, 该模块具备了对两路测量数据同步接收^[3]、实时保存的功能, 同时将所采集的两路数据做进一步优化处理, 并绘制功率-位置信息关系曲线, 如图 3 所示。

1.3 图形化交互界面

图形化交互界面主要实现系统各模块状态与测量信息显示, 以及提供用户对测试数据分析和对采集设备控制的操作平台, 分为数据采集区、状态显示区、测量控制区、处理显示区

收稿日期: 2016-12-13; 修回日期: 2017-01-05。

作者简介: 徐敏杰(1992-), 男, 上海人, 助理工程师, 主要从事仪器控制方向的研究。

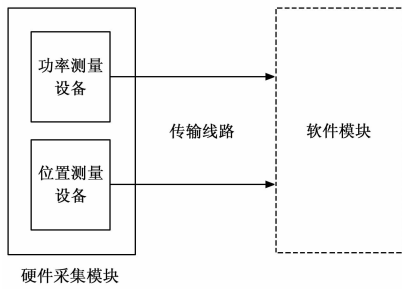


图 2 硬件采集模块组成示意图

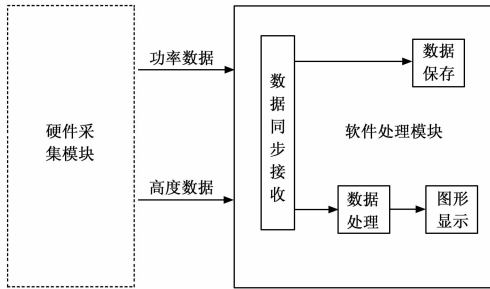


图 3 软件处理模块组成示意图

4 个功能区域, 如图 4 所示。

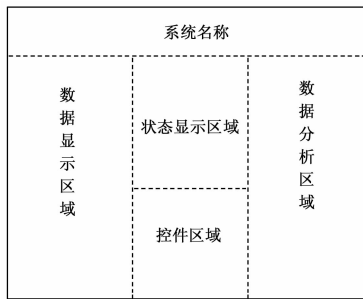


图 4 交互界面示意图

数据显示区域主要显示两路相互独立的外部测量设备数据采集结果, 得出测量幅值与采样点数的关系曲线, 主要功能为监测外部采集设备数据采集状态是否正常; 状态显示区域主要显示两路外测设备的工作状态, 包括激光测距传感器串口配置状态、功率计测量配置参数显示、校准状态显示、当前两路外测设备采集数据实时显示等功能; 测量控制区域是整个测试系统的核心控制区域, 主要有外测设备测试模式设置、参数配置、开关控制、测试系统初始条件设置等功能; 数据分析区域是整个测试系统的测试结果显示分析区域, 显示形式为两路数据经同步优化处理后的功率—位置信息关系曲线。

2 测试系统组成与实现

2.1 硬件采集模块组成

在硬件采集模块中, 功率测量设备为功率计探头, 可实现频率范围 50 MHz~18 GHz、功率范围 -60 dBm~+20 dBm 的信号测量, 其供电及数据传输共用一个 USB 接口; 距离测量设备为激光测距传感器, 最大测量距离可达 60 m, 具备单点测量和连续测量功能, 供电方式为 12~18 V 直流供电, 数

据接口为串口 RS-232 协议, 硬件采集模块设备如图 5 所示。



图 5 硬件采集设备实物图

2.2 测试系统软件数据同步采集流程

系统软件同步采集流程如图 6 所示, 在进行同步测量前需对两路外测设备进行串口参数、测量参数进行配置, 确保设备与上位机连接并且工作正常。根据设备通讯协议在测量控制区发送相应的控制指令, 并实时接收外部采集设备的回馈指令, 从中解析测量数据。测量开始后, 软件进入同步测量循环进行两路数据的同步接收, 在数据采集区绘制硬件采集模块各路测量值与采样点的关系图, 在处理显示区绘制处理后的功率—位置信息关系曲线, 在状态显示区实时显示外部硬件采集设备数据采集及工作状态^[3], 同时将采集的数据以文本形式实时保存, 用于后期进一步分析。

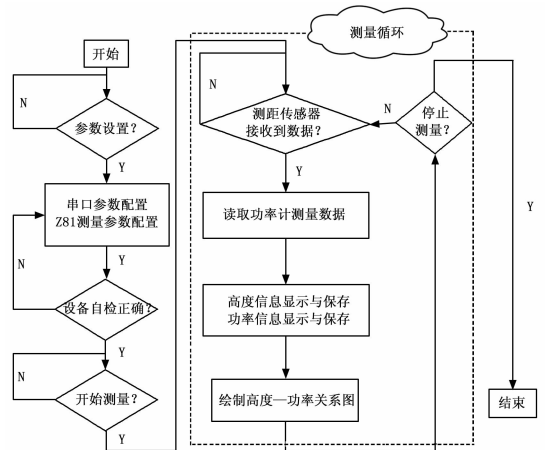


图 6 软件数据同步采集流程图

2.3 数据同步采集特性分析

在图 6 所示的软件同步采集流程中, 进入测量循环的触发条件为上位机(控制计算机)是否接收到测距传感器上传的高度数据, 即每当上位机接收到高度数据时, 功率计探头被控制触发进入测量模式, 经时间 T_p 功率测量完毕并转化为数字信号上传至上位机, 两路数据上传至上位机的时间关系如图 7 所示, 此时上位机接收到的高度数据和功率数据将被认为是两路同步数据。

其中, T_h 为激光测距传感器测量周期, T_p 为进行一侧功率测量所用的时间, 两者需满足 $T_p < T_h$ 关系, 以确保系统在每次测量周期内都能进行一次功率测量。

在连续波信号测量模式中, 功率计探头完成一次功率测量所用的时间 T_p 是由采样点积分时间 t 和平均滤波个数 N 所决定的, 当设置单个采样点的积分时间为 $t=6$ ms、平均滤波个数 $N=8$ 个时, 那么完成一次功率测量需要的时间为:

$$T_p = 2 \times N \times (t + 0.3) + 1.6 = 97.808 \text{ ms} \quad (1)$$

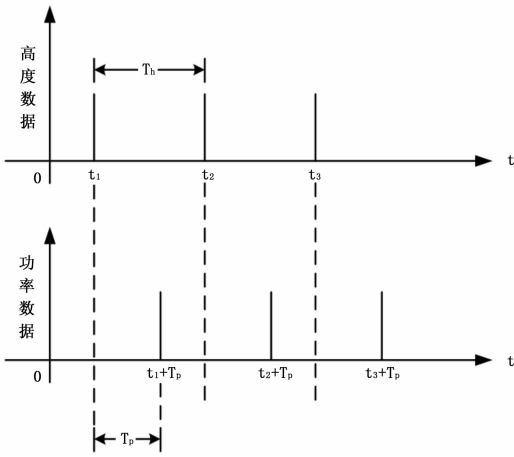


图 7 两路同步数据采集时间关系图

上位机接收两路数据的时间差 ΔT 即可认为是同步时间精度，可概括为：

$$\Delta T = T_p \quad (2)$$

综上所述，同步测试系统采样周期 $T = T_h$ ，即激光测距传感器数据采集周期确定了同步测试系统的测试周期；两路数据在时间上的同步精度 $\Delta T = T_p$ ，即功率计探头完成一次功率测量所用的时间可确定测试系统的时间同步精度。且必须满足 $T_p < T_h$ ，若 $T_p \geq T_h$ ，即功率测量设备在一次高度数据采集周期内未能完成一次测量，那么同步测试系统的测试效率将会降低，整个系统的采样周期将增大为：

$$T = n \cdot T_h \quad (3)$$

其中： $n = \left\lfloor \frac{T_p}{T_h} \right\rfloor + 1$ ，即 n 的大小取决于 T_p 与 T_h 的倍数关系。

2.4 连续波信号注入实验

为了验证软件对仪器控制的可行性，在室内开展了连续波信号注入实验，即功率信息直接由信号源输出，如图 8 所示。

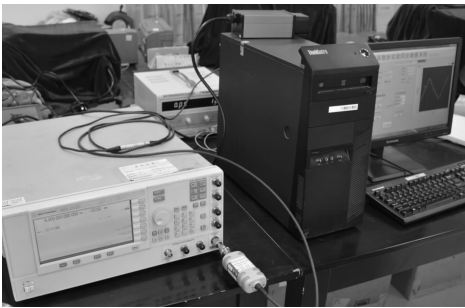


图 8 室内连续波信号注入实验

2.4.1 实验准备

功率信号源为安捷伦 E8257D 信号源，通过 R&S-Z81 功率计探头与信号源直连实现微波信号注入，激光测距传感器由 12 V 直流电压源供电，两路采集设备分别通过 USB 接口、串口 RS-232 接口与控制计算机相连，在控制计算机中运行同步测试软件并对接入的两种测量设备进行分别端口配置，实现控制计算机对两路外测设备的通讯连接及参数设置。其中，激光测距传感器需要进行开机、关机、连续测量、单次测量等功

能控制；功率计探头需要进行频率选择、积分时间、平均滤波个数、校准等参数设置。

2.4.2 参数配置

在开展同步测试前需对参数进行配置，确保仪器设备正常工作及采集数据符合测试要求，实现精确、有效的地面散射同步测试。

(1) 信号源：工作模式为连续波输出、输出频率为 9.7 GHz、初始输出幅值为 -20 dBm。

(2) 功率计探头：测量频率设置要求与信号源输出频率始终保持一致，积分时间为 3 ms，滤波个数为 8。确保单次测量时间在 100 ms 以内，即优于 10 Hz 的同步采集频率，设置完成后需进行校零。

(3) 激光测距传感器：开机进入连续测量模式。

2.4.3 注入实验

参数配置完成后，信号源开启信号输出，打开激光测距传感器并控制选择连续测量模式，开启“开始采集”按钮，同步测试开始。利用反光板反射激光辅助测距传感器测距，手持反光板由近至远移动模拟测量点的上升过程；控制信号源输出幅值在 -20 ~ -10 dBm 之间平稳变化，模拟测量点在上升过程中的地面散射影响。

同步测试系统实时对两路外测设备采集及同步处理后数据进行显示与保存，保存的数据文本格式如图 9 所示。实验结果表明，同步测试软件可对激光测距传感器及功率计探头进行有效的远程控制，并能够将仪器设备下传的测量数据实时处理及显示。

接收时间	高度 (m)	功率幅值 (dBm)
17:15:08	000.266	-10.055202
17:15:09	000.274	-10.063957
17:15:09	000.272	-10.059252
17:15:09	000.305	-10.562464
17:15:10	000.344	-10.557684
17:15:10	000.344	-10.561573
17:15:10	000.344	-10.558183
17:15:10	000.373	-10.560811
17:15:10	000.373	-10.538431
17:15:12	000.523	-11.569770
17:15:12	000.523	-11.557525
17:15:14	000.736	-12.565361
17:15:14	000.736	-12.561553
17:15:14	000.736	-12.562699
17:15:14	000.772	-12.560513
17:15:14	000.772	-12.566137
17:15:14	000.806	-13.065589
17:15:15	000.845	-13.064691

图 9 测量数据文本保存格式

通过注入试验验证，系统实现了测试软件对激光测距传感器及功率计探头的远程控制，并能够将仪器设备下传的测量数据实时处理及显示，具备了开展地面散射同步测试条件。

3 X 波段连续波地面散射验证实验

3.1 地面散射特性理论分析^[4]

为分析比较测试系统的可靠性，需对地面散射特性进行分析，在存在地面电磁散射场影响条件下，接收点处的电场主要由直达波和地面散射场构成，如图 10 所示。

图 10 中 P 为发射天线， P' 为 P 的镜像， Q 为接收天线。发射天线架设高度为 h_1 ，接收天线架设高度为 h ，发射和接收天线的架设距离为 d ， φ 角为入射角， L_1 为直达波波传播行程， L_2 为反射波波传播行程，入射波波波长 λ 。入射电磁波表达式为：

$$E = E_0 \cos(\omega t - kd) \quad (3)$$

根据场叠加原理，观察点总场 E 表达式为：

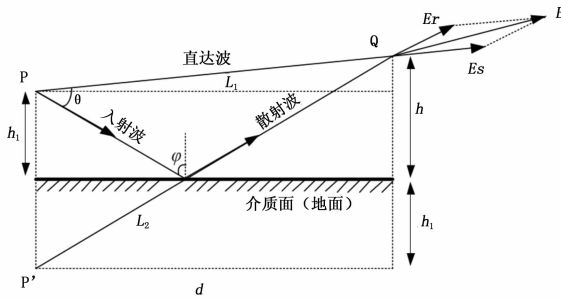


图 10 观察点处的电场主要组成

$$E \approx \sqrt{E_r^2 + E_s^2 + 2E_r E_s \cos \Delta\varphi} \quad (4)$$

其中: $\Delta\varphi = k[\sqrt{d^2 + (h_1 + h)^2} - \sqrt{d^2 + (h_1 - h)^2}]$ 为观察点处反射波与直达波的相位差, k 为波矢量, 其波程差为 L_1 与 L_2 差值, 可以表达如下:

$$\begin{cases} d^2 + (h - h_1)^2 = L_1^2 \\ d^2 + (h + h_1)^2 = L_2^2 \end{cases} \quad (5)$$

将式 (5) 上下两式相减, 则可以推导出:

$$(L_2 - L_1) \cdot (L_2 + L_1) = 4h \cdot h_1 \quad (6)$$

当测试距离较远且天线架设高度较低时, 假定 $L_1 \approx L_2 \approx d$, 那么式 (6) 可以进一步简化为:

$$L_2 - L_1 = \Delta L = \frac{2h \cdot h_1}{d} \quad (7)$$

接收点高度上散射影响曲线对应的振荡周期即为反射波直达波波程差为 λ 时接收点垂直高度差, 有如下表达式:

$$\begin{cases} L_2 - L_1 = \frac{2h \cdot h_1}{d} = n\lambda \\ L'_2 - L'_1 = \frac{2h' \cdot h_1}{d} = (n+1)\lambda \end{cases} \quad (8)$$

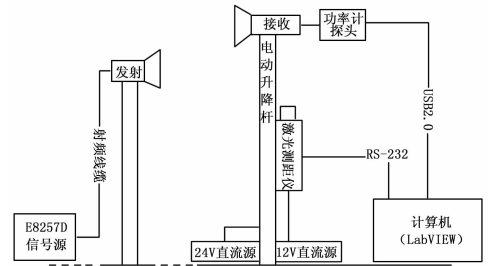
将式 (8) 上下两式相减, 得到接收点高度上散射影响振荡曲线对应的变化周期表达式如下:

$$T = h - h' \approx \frac{\lambda d}{2h_1} \quad (9)$$

3.2 室内连续波地面散射分析验证实验

为了验证同步测试系统的功能性, 展开了室内辐射场地面散射实验, 与注入法比较, 此次实验加入、液压升降平台、X 波段角锥喇叭天线, 其中, 发射端天线经射频线缆与 X 波段宽带功率放大器相连, 放大器再与信号源相连, 并由天线支架置于某一固定高度; 接收天线置于液压升降平台顶端, 经波同转换与功率计探头连接, 激光测距传感器安装在液压升降平台中部, 口面朝上, 平台顶部安装反光板辅助激光测距传感器测距, 其余连接方式按注入法实验连接。测试系统布局和现场实验照片如图 11 所示。

根据以上实验条件搭建测试系统, 控制液压升降杆平稳升降, 打开同步测试软件, 设置初始条件, 点击“开始采集”按钮, 数据开始同步采集并实时保存, 测试结果如图 12 所示。分别在测量频率 9.44 GHz、10 GHz, 发射天线架高 1.69 m、1.2 m, 收发天线 18 m、30 m 的条件下进行。其中, 系统实验条件如表 1 所示。通过调用储存好的实测数据与经 MATLAB 按双射线法计算的理论数据进行比较, 对比结果如图 13 所示, 其中 f 为信号频率, d 为收发天线水平间距, h 为发射天线架高。



(a) 系统搭建布局



(b) 现场实验照片

图 11 X 波段连续波辐射场地面散射实验

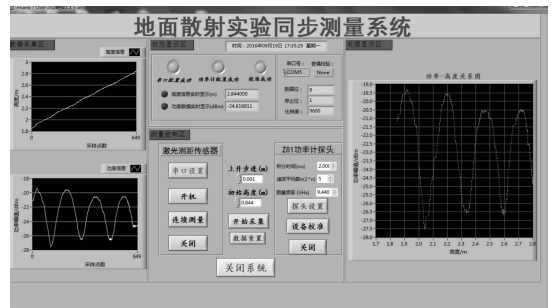


图 12 测试系统软件显示界面

表 1 系统实验条件

名称	参数设置
E8257D 信号源	频率: 9~10GHz 模式: 连续波 幅值: +16dBm
X 波段宽带放大器	增益: 40dB
激光测距传感器	架高: 0.85m 采样频率: 10Hz 供电: 12VDC
液压升降杆	供电: 24VDC 升降高度: 1.7m~2.6m 升降速度: $\approx 0.01\text{m/s}$
R&S-Z81 功率计探头	积分时间: 6ms 滤波个数: 8
收发天线	增益: 12dB 发射天线架高: 1.69m(1.2m) 收、发天线水平距离: 18m(30m)

通过调用软件所实时保存的测试数据, 计算得出实际测量的地面散射周期, 与理论周期作比较结果如表 2 所示。