

外军装备目标特征信号测试设备及其特性研究

陈秦¹, 翁小龙²

(1. 西南技术工程研究所, 重庆 400039; 2. 电子科技大学, 成都 610054)

摘要: 介绍了雷达、红外、光学目标特征信号测试设备的研究情况。重点分析了矢量网络分析仪、RCS 测量雷达、光谱仪、热成像系统等测试设备的特性及技术参数等。

关键词: 测试设备; 雷达隐身; 红外隐身; 特性; 技术参数

中图分类号: TN957.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2013)06-0092-05

Test Device Study of Foreign Military Equipment Target Characteristic Signatures

CHEN Qin¹, WENG Xiao-long²

(1. Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China;

2. University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

ABSTRACT: The stealth measurement facility is an important tool for testing the stealth characteristic of weapon and equipment. The research situation of radar, infrared and optical stealth measurement equipment for weapon and equipment abroad were introduced. The features and technical parameters of vector network analyzer, RCS measurement radar, spectrometer, and thermal imaging system were analyzed.

KEY WORDS: measurement facility; radar; infrared; characteristics; technical parameter

国外军事发达国家非常重视装备目标特征信号的测试技术研究,建成的大量规模不等、功能各异的测试内外场都配备有先进的测试设备,其在装备的目标特征性能检测及评价中担负着重要的作用。目前测试设备主要有雷达、红外、光学等目标特征信号测试设备,且美国、欧洲国家、日本等国对目标特征信号测试设备的研发及生产较多,并在军、民两方面得到广泛应用。

1 雷达目标特征信号测试设备及特性

测试雷达是 RCS 测量系统中的信号源部分,具有发射和接收雷达信号的功能。通常,进行隐身设计后的目标雷达截面积较小,因此回波较弱,要求设备具有

极高的灵敏度。在内场/暗室 RCS 测量中,矢量网络分析仪是最常用、最普遍的高灵敏度雷达信号源;而外场测量由于有测试距离、功率等方面的要求,更多采用 RCS 测量雷达。

1.1 矢量网络分析仪

常用的基于矢量网络分析仪的 RCS 测量系统配置如图 1 所示。作为雷达信号发射和接收设备,矢量网络分析仪是该系统中的关键组件。矢量网络分析仪的重要技术参数包括频率范围、输出功率、灵敏度、静区范围、测量速度、频扫速度等。

目前,能够提供高灵敏度矢量网络分析仪的公司并不多,主要有美国 Aligent 和欧洲 Rohde & Schwarz 两家公司。前者占据了美国和亚太地区的主要市场,

收稿日期: 2013-07-09; 修订日期: 2013-08-18

Received: 2013-07-09; Revised: 2013-08-18

作者简介: 陈秦(1974—),女,四川乐至人,副高,主要从事科技情报工作。

Biography: CHEN Qin(1974—),Female,from Lezhi, Sichuan, Senior engineer, The main research direction is scientific and technical information.

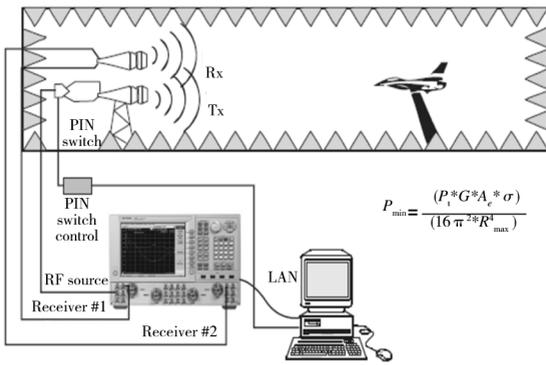


图 1 基于矢量网络分析仪的常用 RCS 测量系统
Fig. 1 Common RCS measurement system configuration based on the vector network analyzer

国内大多数室内 RCS 测量设施也选用 Agilent 公司的矢量网产品;后者则主要应用于欧洲的雷达测试和天线研发机构。

1.1.1 安捷伦 (Agilent) 矢量网络分析仪

安捷伦 (Agilent) 是最早开发 RCS 用矢量网络分析仪的公司之一,主要有安捷伦 (惠普) 8510 网络分析仪、专门用于天线和 RCS 测量的 8530 微波接收器、基于 N5264A 接收机的 PNA 系列矢量网络分析仪。

PNA 系列矢量网络分析仪是目前安捷伦公司的主流产品,该设备使用基于混频器的变频技术,在保持较快频率捷变的同时提供优良的测量灵敏度。此外,该产品其它重要特性还包括高达 5 MHz 的用户可选择带宽,4 个同时接收通道,每个测试通道高达 320 01 个数据点,以及快速的数据处理等。PNA 系列产品还具有多用途测试能力的优势,即可执行天线/RCS 测量,也可作为一个高性能的网络分析仪使用。该系列产品主要技术参数见表 1。

1.1.2 Rohde & Schwarz 矢量网络分析仪

欧洲 Rohde & Schwarz 公司研发了系列矢量网络分析仪,其中 ZVA 系列特别适合用于开展 RCS 测量。该分析仪可提供完整的全极化测量模式 (VV, HH, VH 和 HV),测试频率覆盖 10 MHz 至 110 GHz。主要技术特点包括:在单源配置情况下拥有 4 个全对称的接收通道;在双源配置情况下拥有 8 个全对称的接收通道;频率转换能力可允许远程混频操作;完全兼容 R&S 信号发生器;ZVA 矢网的“用户端口”可实现外部开关和外部触发。

利用矢量网络分析仪,在室内可对目标进行雷达成像测量。基于 Rohde & Schwarz 矢量网络分析仪的 1:100 波音 747 飞机模型雷达成像测试数据如图 2 所示。该测量在紧缩场暗室内完成,采用直径 5 cm 的金属球定标 (-27.1 dB),背景噪声比金属球低 30 dB 以上。

表 1 Agilent 系列网络分析仪主要技术参数
Tab. 1 Main technical parameter of Agilent network analyzers

型号	频率范围 /GHz	频扫速度 /μs	灵敏度 /dBm	功率输出 /dBm	
ENA	E5070C	0.3×10 ⁻³ ~ 3	<-92	+10	
	E5071C	0.3×10 ⁻³ ~ 8.5	<-80	+5	
PNA-L	N5230C pt. 020/025	0.3×10 ⁻³ ~ 6	160	<-99	+10
	N5230C pt. 120/125	0.3×10 ⁻³ ~ 13.5	160	<-94	+2
	N5230C pt. 220/225	0.01 ~ 20	160	<-85	+10
	N5230C pt. 420/425	10 ~ 40	160	<-75	-5
	N5230C pt. 520/525	10 ~ 50	160	<-70	-9
	PNA	E8362C	10 ~ 20	278	<-100
E8363C		10 ~ 40	278	<-94	-4
E8364C		10 ~ 50	278	<-94	-10
E8361C		10 ~ 67	278	<-79	-5
PNA-X	N5242A	10 ~ 26.5	100	<-100	+11
	N5244A	10 ~ 43.5	100	<-100	-5
	N5245A	10 ~ 50	10	<-100	-8

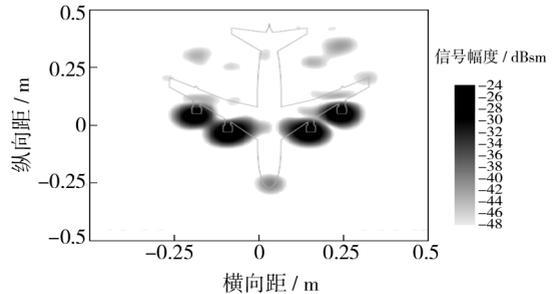


图 2 B747 飞机 (1:100 模型) 的 ISAR 成像图

Fig. 2 ISAR imaging picture of B747 aircraft (1:100 model)

1.2 RCS 测量雷达

在 RCS 外场测量中,经常用测量雷达为信号源。测量雷达的研发及生产机构繁多,特别是欧美就有几款极具代表性的测量雷达。

1.2.1 美国 SPC 系列测量雷达

System Planning Corporation (SPC) 是美国主要的测量雷达供应商之一,并重点为政府和私营行业提供测量雷达系统、高速数据采集系统、雷达数据处理系统等服务,主要客户包括美国军方、美国交通运输部、美国宇航局 (NASA)、以及法国航天局 (CNES) 等机构。

SPC 即可以定制各类测量雷达,也可以利用现有资源开展绝大部分的雷达测量工作。该公司先后开发了 5 代先进的雷达横截面 (RCS) 测量雷达,即 MK 系列雷达 (I 型 ~ V 型),可测量的频率范围覆盖 50 MHz 到 100 GHz。除雷达外,SPC 也设计和定制各类移动的测量平台,如雷达测试车、便携式的测量转台和移动

轨道等,以适应多种野外雷达及 RCS 测试任务。

最新的第 5 代增强型(MK-Ve 型)测量雷达有更多的功能,同时保留与现有 MK-V 系统的完全兼容。Mk-Ve 雷达是一套多频率、超宽带、相干性的测量系统,其操作频率覆盖 0.1 ~ 18 GHz,并可扩展到 100 GHz,Mk-Ve 的控制软件是基于 Windows 的图形用户界面,并可采用多普勒处理以提供合成孔径雷达(SAR)和逆合成孔径雷达(ISAR)图像。它是一种高度先进的测量仪器,可支持基于地面或空中平台系统配置的多种测量。目前,该系统已广泛应用于多个重要 RCS 测量机构,包括:诺斯罗普格鲁门公司的点成像 RCS 系统(PPIRCS);美国空军诊断成像雷达(DIR);美国海军雷达测量系统;澳大利亚的通用威胁模拟器(GTS)和雷达威胁模拟器(RTE)。

1.2.2 美国 STAR Dynamics corporation 测量雷达系统

美国 STAR Dynamics 迄今已开发出 6 代产品。其中 BlueMax 系列测量雷达,是一款高性能的脉冲测量雷达系统,可执行高性能的 RCS 和雷达成像测量。COTS BlueMax 是一款频率范围为 0.1 ~ 18 GHz 的 RCS 测量系统,采用固态或 TWTA 发射机,以及先进的宽波段接收器,灵敏度达到 85 dBm,瞬时动态范围 70 dB。该系统频率范围可扩展到 30 MHz 至 95 GHz。

BlueMax 雷达系统操作方便、结构紧凑、功能强大,可固定在卡车或导轨上进行 XY 二维扫描,以满足室内、室外、静态、动态等多种测量要求。BlueMax G6 (第 6 代)测量雷达系统及其固定车辆平台如图 3 所示。



图 3 BlueMax G6 测量雷达系统及移动车辆平台

Fig. 3 BlueMax G6 measurement radar system and mobile vehicle platform

BlueMax G6 测量雷达系统具有自动校准程序、实时成像、同时的单站和双站测量、移动目标的动态 RCS 测量(陆基或空基目标)等技术特点。主要性能参数:频率范围在 0.1 ~ 18 GHz(可扩展);同时多通道(1, 2, 3 或 4 通道);接收机噪声带宽为 1 ~ 300 MHz,步长为 8 MHz;接收机灵敏度为 -85 dBm;动态范围为 70 dB(单脉冲);分辨率为 0.001 dB, 0.01°;发射功率高达 40 dBm 等。

1.2.3 欧洲 ISPAS 测量雷达系统

挪威的 ISPAS 拥有超过 15 年的雷达散射特性测试及军用/民用雷达实时监控经验,该机构开发的 Turnkey 测试雷达已应用于欧洲一些 RCS 测量设施,如 Thales 公司在英国建立的 RCS 测试设施即采用了 ISPAS 测量雷达系统。

该测试雷达的性能特点及主要技术参数:频率范围为 0.5 ~ 40 GHz;多个频率波段的同时测量;移动目标的逆合成孔径雷达成像(ISAR);调频连续波/步进频率;同时线性极化/cross 极化;脉冲重复频率(PRF) 10 ~ 2000 Hz 可变;最小距离分辨率为 0.1 m/0.5 m(ICW/调频连续波);天线波束宽度根据应用要求可变等。同时该设备的数据处理系统包括统计分析,线性/极图、3D/ ISAR 成像等,测试结果自动生成测试报告。

ISPAS Turnkey 测试雷达系统的相关图片如图 4 所示,挪威海军利用测试雷达进行舰船 RCS 的动态测量如图 5 所示。



图 4 ISPAS Turnkey 测试雷达系统

Fig. 4 ISPAS Turnkey testing radar system



图 5 挪威海军舰船 RCS 的动态测量

Fig. 5 RCS dynamic measurement of Norwegian naval vessels

1.2.4 Fynmeet 动态 RCS 测量系统

南非科学和工业研究委员会(The Council for Scientific and Industrial Research, CSIR)从 20 世纪 70 年代即开始雷达和电子战相关的研究工作,该机构设计的 Fynmeet 动态 RCS 测量系统是一套可移动的微波测量设备,能够进行高分辨率目标雷达截面(RCS)测量、抗干扰测量等。该测试系统如图 6 所示。



图 6 Fynmeet 动态 RCS 测量系统

Fig. 6 Fynmeet dynamic RCS measurement system

该 RCS 测量系统可用于执行高分辨率目标 RCS 测量及管理、电子对抗措施 (ECM) 的效能评价、雷达威胁模拟的训练、电子攻击和平台保护系统的测试和评价等。

该 RCS 测量系统的主要特点和技术参数: 频率范围为 6.5 ~ 17.5 GHz (可扩展); 脉冲宽度为 100, 300 和 4000 ns (对应 15, 45 和 600 m 的距离门宽度); 集成的电视跟踪和雷达距离跟踪, 并可连接到外部跟踪设施; 前后目标 1 到 32 个距离门测量范围; 距离门的相对间距可由用户定义; 脉冲重复频率 (PRF) 可完全程序化; C130 飞机搭载或公路运输高距离分辨率 (小于 1 m)。

2 红外及光学目标特征信号测试设备及特性

测试装备红外及光学特征信号的设备主要包括光谱仪、热成像系统、高光谱成像系统以及传统的光学照相侦察设备等。各类设备均已发展得较为成熟, 产品多样、性能特点各异。

2.1 光谱仪

光谱仪主要用于测量装备辐射度、CIE 颜色、光谱反射率和光谱透过率等参数, 工作波长可覆盖整个光学和红外波段 (400 ~ 2500 nm), 分为固定式和便携式 2 类。其中固定式光谱仪主要用于实验室材料的光谱反射透射特性测量; 便携式的野外光谱仪则可直接测量目标的光谱特性。

美国 ASD 公司 (Analytical Spectral Devices, Inc) 开发的 FieldSpec 系列光谱仪产品可用于目标光学隐身性能测试。该设备具有高光谱分辨率、高信噪比、高可靠性、高重复性、轻质量、低功耗、波长范围选择宽, 以及可实时测量反射/透射/辐射度光谱曲线等特点。

FieldSpec4 型光谱仪的主要性能参数: 光谱范围为 350 ~ 2500 nm; 光谱分辨率为 3 nm@700 nm, 8 nm@2100 nm; 扫描时间为 100 ms; 波长精度为 0.5 nm;

波长重复性为 0.1 nm。

2.2 热成像系统

热成像系统主要用于分析目标的热红外特性, 有中波红外热像仪 (3 ~ 5 μm) 和长波红外热像仪 (8 ~ 14 μm) 2 类。利用热像仪可对目标热场分布、表观温度、红外辐射强度等隐身设计相关参数开展分析, 并可拍摄目标热图, 是装备红外隐身设计必不可少的研究手段 (如图 7 所示)。当前, 热像仪已普遍采用非制冷探测器, 体积和质量进一步缩小, 而灵敏度和分辨率则逐步提高。



图 7 典型军事目标的红外热成像图片

Fig. 7 Infrared thermal imaging pictures of typical military targets

FLIR 公司是目前世界上军用和商用热成像系统最大的生产商, 该公司成立于 1978 年, 在红外热成像系统的设计、制造和应用上居于世界领先地位。FLIR 公司先后兼并整合了世界上最有名的数家红外系统制造商, 包括瑞典的 AGEMA 红外系统公司、法国的 Cedip 公司, 以及美国的 Indigo Systems, FSI, Inframetrics 等 3 家公司。迄今为止该公司已开发出 FLIR ix, FLIR Exx, FLIR Txxx, FLIR Bxxx, FLIR SCxxx, FLIR Axxx, FLIR GFxxx 等超过 10 个系列、数百个产品。在 FLIR 公司的相关产品中, 长波红外热成像系统多数已商用化, 但由于中波热像仪军事用途较为敏感, 基本还只局限于政府或军事应用, 也被美国国防部纳入限制出口技术目标清单。

FLIR SCxxx 系列产品主要用于科学研究和试验用途, 也是目前长波红外隐身伪装研究领域常用的测试系统。

FLIR SC655 系统的主要技术参数: 红外分辨率为 640×480 像素; 热灵敏度 NETD < 0.05 K@+30 °C; 视场为 15°×11°, 25°×19°, 45°×34°, 7°×5.3° 并可选; 最小焦距为 0.15 m; 空间分辨率最小为 0.19 mrad; 图像频率 50 Hz; 探测器类型为焦平面阵列和非制冷探测器; 光谱范围在 7.5 ~ 14 μm ; 被测目标温度范围为 -20 ~

150 ℃和 100 ~ 650 ℃。

2.3 高光谱成像系统

高光谱成像是近十年来才发展起来的一种新型遥感技术。该技术将目标光谱和图像信息结合为一体,使目标图像包括了丰富的图像信息、辐射信息和光谱信息,工作波长覆盖从可见光到长波红外的很宽范围,光谱分辨率在可见光和短波红外波段可达到纳米级。

高光谱技术在军事侦察上的应用对武器装备隐身设计带来了严峻挑战。即便是传统探测手段无法识别的隐身目标,由于其光谱特性与背景特性之间的总会存在一些精细差别,也难以对抗防高光谱侦察。国外多种伪装网的高光谱图片如图 8 所示,可以看到在高光谱侦察条件下传统伪装网已经处于完全暴露的状态。

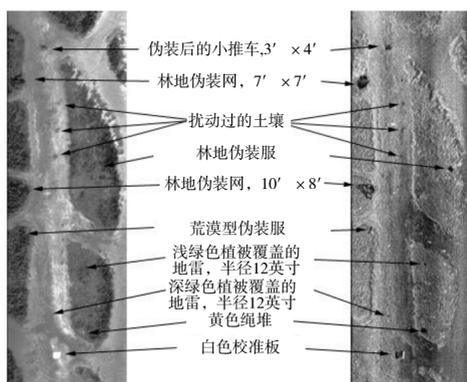


图 8 美国 AAHIS 高光谱成像系统拍摄的图片

Fig. 8 Pictures recorded with U. S AAHIS hyperspectral imaging system

高光谱隐身技术发展较晚,相应的隐身性能测试尚处于起步阶段。高光谱成像系统近年来发展迅速,已有大量产品投入包括军事领域在内的工程应用,因此采用高光谱成像系统观察目标图像,乃是当前验证目标高光谱隐身性能的主要方法。

欧洲 Specim 公司(Spectral Imaging Ltd)是世界领先的光谱成像仪器制造商,该公司开发的 AISA 高光谱成像系统,包括从紫外、近红外直至长波红外的一系列产品,最高光谱分辨率小于 3 nm,地面分辨率约 0.5 m(1000 m 高度)。一套高光谱成像系统由多个组件组成,包括高光谱传感器、光谱扫描仪、数据采集和存储系统、CaliGeo 数据处理软件等。

3 结语

在雷达测试系统和设备方面,内场广泛使用的矢量网络分析仪,主要被欧美公司所垄断,外场使用的测试雷达,国外产品众多,且性能稳定,能够执行的测量功能丰富,频率覆盖范围广。在红外及光学测量设备

及系统方面,国外的优势主要体现在高灵敏度、高分辨率、先进的数据处理和分析软件等方面,且功能配置丰富,有针对科学研究和试验应用的专用测试系统。

参考文献

- [1] ISPAS Radar Cross Section Instrument Company. Trunkey Radar Cross Section Measurement Radars, Norway [Z]. 2010. (余不详)
- [2] ROHDE & SCHWARZ. Vector Network Analyzer [Z]. Munich; ROHDE & SCHWARZ, 2013.
- [3] FLIR. FLIR SCxxx Product [Z]. USA, 2013.
- [4] ALLAN F C, SAGER E V, SCHDTHEIS L C, et al. NK IV/RPS Pujse Radar Cross Section Measuwiient System [Z]. IEEE, USA, 1988.
- [5] 林涛. 红外探测设备内场测试系统 [J]. 红外与激光工程, 2008, 37(增刊): 455—457.
LIN Tao. Test System of Infrared Detection Equipment in the Labor Atory [J]. Infrared and Laser Engineering, 2008, 37(s): 455—457.
- [6] 王超, 刘林, 薛明华. RCS 测量系统数据采集设计 [J]. 电子测量技术, 2007, 30(8): 84—86.
WANG Chao, LIU Lin, XUE Ming-hua. Data Acquisition Design of the RCS Testing System [J]. Electronic Measurement Technology, 2007, 30(8): 84—86.
- [7] 钱嵩松, 李兴国. 被动毫米波成像综述 [J]. 制导与引信, 2003, 24(4): 29—33.
QIAN Song-song, LI Xing-guo. Overview of Passive Millimeter Wave Image [J]. Guidance & Fuze, 2003, 24(4): 29—33.
- [8] 蔡毅, 胡旭. 短波红外成像技术及其军事应用 [J]. 红外与激光工程, 2006, 35(6): 643—647.
CAI Yi, HU Xu. Short Wave Infrared Imaging Technology and Its Defence Application [J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(6): 643—647.