隐身材料专题

国外武器装备 RCS 测试外场研究现状

陈秦[1]，魏薇[1]，肖冰[1]，翁小龙[2]
(1. 中国兵器工业第五九研究所，重庆 400039；2. 电子科技大学，成都 610054)

[摘 要] 雷达隐身性能(RCS)测试外场，是检测武器装备目标特性的重要硬件条件。介绍了国外武器装备 RCS 测试外场的研究现状，重点分析了一些典型 RCS 外场测试设施的特点、技术指标及应用情况等，指出了 RCS 测试外场在隐身测试技术研究领域的重要性。

[关键词] RCS；测试外场；武器装备
[中图分类号]IJ765.4 [文献标识码]A [文章编号]1001-3660(2012)05-0129-04

Research Status of Outdoor RCS Measurement Range for Weapon and Equipment Abroad

CHEN Qin[1], *WEI Wei*[1], *XIAO Bing*[1], *WENG Xiao-long*[2]
(1. No. 59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China;
2. University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

[**Abstract**] Outdoor RCS measurement range is the important hardware for testing the target characteristic of weapon and equipment. The research status of outdoor RCS measurement range of weapon and equipment abrod was introduce. The feature, equipments and its technical index and application of some typical outdoor measurement ranges were analyzed, and the important of outdoor RCS measurement range in stealth measurement technology was pointed out.

[**Key words**] RCS; outdoor measurement range; weapon and equipment

武器装备的隐身设计、材料选择与应用、效能验证等都离不开隐身测试技术，而要准确获取测量数据，真正反映武器装备的目标特性，就需要测试场等硬件条件来支撑。国外很早就重视对隐身测试场的建设与发展，建设了系列测试外场和内场，如美国在全国各地为建了数十个雷达隐身性能(RCS)测试外场，另外法国、德国等也都建立了相应的 RCS 外场测量设施。

1 国外武器装备 RCS 测试外场及其特性

RCS 测试场可分为室内测试和外场测试两种类型。室内测量在微波暗室中进行。室外测量可分为目标静态测量和目标动态测量两种方式，静态测量在目标静止状态下进行，动态测量则模拟和测量目标运动时的真空雷达截面特性。

在外场 RCS 测量中，为满足远场测量的一些条件，测试距离要求很大(往往需要达到数千英尺)，因此一般只能在室外靶场进行。由于目标高度通常高出地面数十英尺，因此从测试雷达到目标仰角顶多 1°或更低。在这样的低掠角下，地面接收到的雷达辐射很强，因此在地面雷达反射未被抑制的前提下，目标的雷达散射会被严重干扰；此外，转台和其它类型目标支撑结构，往往回波较强，也将对目标散射信号产生干扰。因此外场设计时，必须考虑如何消除地面、转台及目标支撑结构的干扰。

外场 RCS 测量虽然设备、设施投资巨大，测试过程即费时又费力，但它可对全尺寸大型目标进行雷达截面分析，而且数据准确度好，可靠性高，现已成为国外装备雷达隐身设计的必要环节。武器装备开展 RCS 测量通常可以达到以下目的：1)了解被测目标的

[收稿日期]2012-07-10；[修回日期]2012-08-13
[作者简介]陈秦(1974 —)，女，四川乐至人，高级工程师，主要研究方向为隐身技术。

基本散射现象,取得目标的特性数据;2)检验装备或系统(如一辆战车、一架飞机)的 RCS 性能是否满足雷达隐身指标要求;3)建立相关的目标特性数据库。

2 国外 RCS 测试外场的基本构成

要科学测试目标的 RCS 特性,获取准确的数据,一个测试场的 RCS 测量设施至少包括以下五部分[1]:

1) 测试雷达,用于发射和接收给定频率的微波信号。

2) 目标转台,用于承载和固定目标,通过旋转改变操控目标方位,可获得各种可能的目标姿态角。

3) 目标,包括测试目标和校准目标,与定位系统间应设置合适的接口。

4) 低噪声环境,使干扰信号对有用信号的影响最小。

5) 控制和数据采集系统,能够自动控制定位系统,多渠道地采集和分析射频数据。

3 国外武器装备 RCS 测试外场及其应用情况

3.1 美国

美国是世界第一的军事强国,雷达隐身技术发展最早,也最为先进,相应的 RCS 测量技术发展也较为成熟。为配合众多型号装备的研制需要,目前美国已在全国各地修建了数十个大型室外 RCS 测试场[2-3],涉及陆海空三军、国家航天局(NASA)和 Boeing, Northrop Grumman, Lockheed Martin 等众多装备研发生产公司。图 1 给出了美国主要 RCS 测量设施分布。



图 1 美国主要 RCS 测量设施分布

Fig. 1 The distrbution of main RCS measurement facilities in U. S. A

属于美国军方和知名装备研发公司拥有的 RCS 外场测量设施主要包括:1)位于新墨西哥州霍夫曼空军基地的国家 RCS 测量设施(RATSCAT)和 RATSCAT 先进测量系统,隶属空军;2)位于马里兰州 Aberdeen 测试中心的 Range 8 测量场,隶属陆军;3)位于马里兰州 Patuxent 河的大西洋测试场 Atlantic Test Range 和位于加利福尼亚州中国湖的 Junction 测试场,隶属海军;4)位于弗吉尼亚州汉普顿 Langley 研究中心的 Experimental Test Range,隶属 NASA;5)位于加利福尼亚州洛杉矶的 Gray Butte RCS 测量场,位于俄勒岗州波特曼的 Boardman 测试场,隶属波音公司;6)位于加利福尼亚州 Antelope 河谷的 Tejon RCS 测试场,隶属 Northrop Grumman 公司;7)位于加利福尼亚州 Helendale 的 Helendale 测试场,隶属 Lockheed Martin 公司。

3.1.1 国家 RCS 测量设施 (RATSCAT)

RATSCAT 是美国开展室外静态 RCS 测量最主要的国防设施,也是美国最大的室外 RCS 测量系统,隶属美国空军。

RATSCAT 由两个独立的子系统——Mainsite 主站和先进测量系统(RAMS)构成(图 2)[4],两个系统的测试功能互补。RATSCAT 可对全尺寸的飞机、导弹、车辆、航空航天模型等目标进行单站和双站 RCS 的精确测量。这些测量可支持与国防应用相关的低可探测(隐身)武器系统的研发、技术评估、产品改进等工作。RATSCAT 的 RCS 测量工作始于 1963 年,截止目前,已成功完成数百个与雷达反射截面和天线方向图相关的测试任务,这些测试结果为美国一系列隐身航空武器的技术发展做出了重大贡献,如 A-10, B-1, B-2, AMRAAM 空-空导弹, F-16, F-18 和 F-117 等。

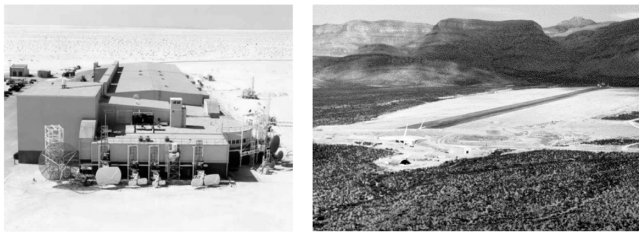


图 2 Mainsite 测试场的天线站和 RAMS

Fig. 2 The antenna station of Mainsite measurement range and RAMS

RATSCAT Mainsite 主站设施能够进行单站/双站 RCS 的幅度、相位测量、天线方向图测量、闪烁点识别以及近场测量等。可以测试的目标也多种多样,从小型导弹,载人飞行器及其模型到全尺寸飞机或地面车辆。目标可以多种高度、方向和位置安装在低反射挂架、柱子或转台上,以满足几乎所有的测量要求。RATSCAT Mainsite 主站设施的主要技术参数如

下[2]。

1）测试场长度：距离可变，最大可达 1905 m。

2）频率覆盖范围：1～18 GHz，34～36 GHz，94 GHz。

3）极化方式：HH，VV，HV，VH。

4）动态范围：90 dB。

5）目标支撑结构：4.27 m 固定吊架，泡沫支柱，三个转台（最大承载质量 27.2 t）。

6）目标存放：三个目标准备区。

7）数据处理：近实时的 RCS-方位角和 ISAR 图像处理，CompuQuest 公司处理系统，其他可用来支持典型输出要求的工具，矢量背景消除和全极化校准。

RATSCAT 先进测量系统（RAMS）是一个专门设计用于极低 RCS 目标单站测量的测试场，也是目前最长的室外静态 RCS 测试场。RATSCAT 先进测量系统（RAMS）的主要技术参数如下。

1）测试场长度：2713 m。

2）频率覆盖范围：0.12～18 GHz，34～36 GHz，94 GHz。

3）极化方式：HH，VV，HV，VH。

4）动态范围：64 dB。

5）目标支撑结构：高达 17 m 以上的伸缩吊架，永久泡沫支柱。

6）目标尺寸和质量：最大 13 608 kg，21 m。

7）数据处理：近实时的 RCS-方位角和 ISAR 图像处理，CompuQuest 公司处理系统，其他可用来支持典型输出要求的工具，矢量背景消除和全极化校准。

3.1.2　陆军研究实验室 Range 8 测试场[2,5]

Range 8 测量场是美国唯一主要针对地面兵器目标的 RCS 测量场，位于马里兰州的 Aberdeen 测试中心。该测试场配有测试塔、转台（见图 3a），测试雷达频率覆盖 2～18 GHz 和毫米波。该测试场针对单兵装备、坦克车辆等目标开展了目标雷达特性的研究工作，图 3b 为 Range 8 测量场的 35 GHz 高分辨率雷达。

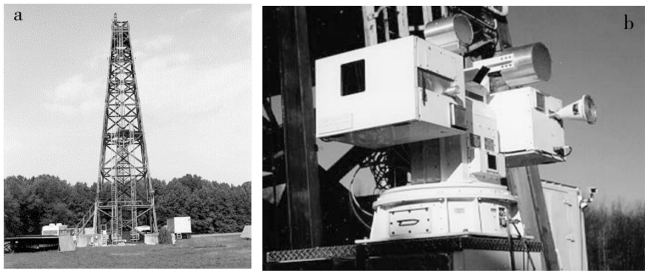


图 3　Range 8 测试场的部分测试设施

Fig. 3 The part mesurement facilities of Range 8

3.2　英国

欧洲的军事工业、电子工业和航空工业都极为发达，雷达隐身及其相关测试技术也处于世界先进水平。在雷达隐身测试技术方面，法国、德国、英国、葡萄牙等都建立了相应的 RCS 外场测量设施，如 Thales 英国公司的 Underwood Quarry 测试场[6]、Aerotek 公司的室外 RCS 测试场[7]、德国 DLR 公司位于 oberpfaffenhofen 的室外 RCS 测试场等[8]。但总体而言，无论从规模、数量乃至应用型号诸方面，均与美国有较大差距。

Thales 英国公司的信号管理组拥有近 50 年的军事平台雷达信号测量、预测和分析经历，该公司在英国 Underwood Quarr 建有一个大型的室外 RCS 测试场，可对大型全尺寸目标实施 160 MHz～95 GHz 频率范围内的雷达散射特性测量。该测试设施拥有三个测量场（图 4 和图 5），目标可从不同方位观测，提供的测试俯角达到 55°。该测试场不仅能够提供传统的单站 RCS 测量，也支持雷达成像测量、动态测量（如喷气发动机或地面车辆振动引起的微多普勒）、双站测量和低可探测目标测量等多种方式。



图 4　Underwood Quarry 测试场的椭圆型金属支架

Fig. 4 The oval melt support of Underwood Quarry



图 5　Thales Underwood Quarry 测试场开展的坦克 RCS 测量

Fig. 5 RCS measurement for tank in Thales Quarry measurement range

根据目标类型、测量方式，该测试场有多种目标支撑方式。其中大型目标转台有两个，最大承载质量达到 75 t，基本可以满足各种类型的装备测试需求；较小的目标则可以固定在可伸缩的低 RCS 支架上。此外，无论目标还是测试雷达均可以被起重机升起，以提供

最大限度的测试俯角。

Thales Underwood Quarry 测试场还经常使用一种地面支撑结构，即将被测目标抬离地面。这种结构主要用于以下情形：1)测量时，目标与地面回波的相互干扰变得不可忽略；2)目标的尺寸和质量太大，比如坦克等，只能采用地面支持结构，此时还需要通过吸波材料来抑制地面回波。

3.3 巴西

除美、俄、欧之外，一些航空工业发展较快的新兴国家，也开始建设自己的 RCS 外场测量设施。

巴西航空工业在实现现代化的过程中，急需掌握飞机和其它飞行器雷达反射特性的基础数据，因此建立了一个中等规模的 RCS 测试场。该测试场的建设填补了巴西在该技术领域的空白，同时也是拉丁美洲第一个和唯一的 RCS 测量设施[9]。该测试场可实现小型或中等尺寸目标的 RCS 测量，还可测试吸波材料的雷达吸收特性。

巴西的测试场(图 6)，天线和目标间的距离大约为 240 m。支架是由四根增强水泥柱构成的方形结构，顶端有一个小转台用于承载被测目标。支架高度为 7.95 m，总宽度为 1.4 m，水泥柱内面之间的距离为 1.0 m。支架和转台的总设计承重为 2000 kg，测量时，支架表面将覆盖吸波材料以降低其雷达反射。这种设计虽然不是很理想，但成本较低。雷达天线也被放置在一个金属结构之上，天线的方向和高度可以调节。天线的高度与支架高度相当，测试雷达频率覆盖 2～12 GHz。该测试场曾经对金属平板、二面角以及空-空导弹等目标开展过测试，其中空-空导弹长度为 2.9 m[10]。

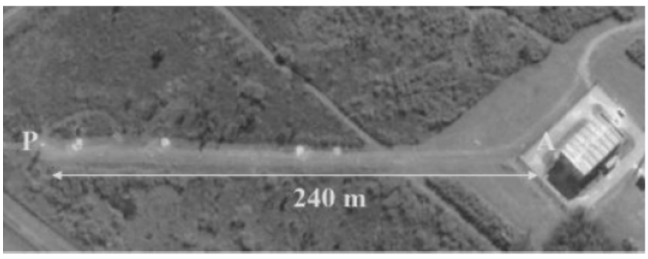


图 6 巴西 RCS 测试场的俯瞰图片

Fig. 6 The plan view of RCS measurement range in Brazil

4 结语

国外对测试外场的建设起步早，并广泛应用于各兵种武器目标特征信号的测试，同时还在不断地改进和完善。建设 RCS 测试外场，不仅推进了测试技术的发展，而且还带动了武器装备隐身设计、验证以及隐身材料应用等其它方面的发展，在高新武器的研发及改进方面具有不可替代的作用。

[参 考 文 献]

[1] BORKAR V G, GHOSH A, SINGH R K, et al. Radar Cross-section Measurement Techniques [J]. Defence Science Journal, 2010, 60: 204－212.

[2] Signature Measurement Standards Group Radar Cross Section Committee. Radar Cross Section (RCS) Measurement Facility Catalog [R]. New Mexico: Secretariat, Range Commanders Council, U S Army White Sands Missile Range, 1998.

[3] Tom Mahood. http://www.stealthskater.com/Documents/Mahood_02.pdf(余不详).

[4] MARLOW H C, WATSON D C, VAN H C H, et al. The RATSCAT Cross-section Facility[J]. Proceedings of the IEEE, 1965, 53: 946－954,

[5] STRATTON S R, BENDER R L. Radar Cross-section (RCS) Measurements of a Dismount with Rocket-Propelled Grenade (RPG) Launcher at Ka-band[R]. [s. l.]: Aberdeen Proving Ground, U S Army Research Laboratory, 2006.

[6] HUTTON S, JEPPS G. Techniques for Measurement of Radar Signatures[R]. [s. l]: Thales Land & Joint Systems, Wells, Somerset, 2007.

[7] BJÖRN J, DÖRING M S, ROBERT B. Outdoor RCS Measurement Range for Spaceborne SAR Calibration Targets [C]//Antenna Measurement Techniques Association (AMTA) 2007 Proceedings. St Louis, MO, USA: AMTA, 2007.

[8] LIEBENBERG R, STEENKAMP J A J. Development of a Static Full-scale Aircraft RCS and Large Antenna Measurement Facility[J]. IEEE Africon 4th, 1996, 1: 89－94.

[9] PEIXOTO G G, ALVES M A, MARTIN I M, et al. A Medium Open Range Radar Cross Section Facility in Brazil[J]. Piers Online, 2009, 5(4): 381－384.

[10] PEIXOTO G G, ALVES M A. Measurements in an Outdoor Facility and Numerical Simulation of the Radar Cross Section of Targets at 10 GHz[J]. J Aerosp Technol Manag, São José dos Campos, 2011, 3(1): 73－78.