

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1310

QJ 20424—2016

地地导弹 SAR 导引头测试方法

Test method for synthetic aperture radar (SAR) seeker
of ground-to-ground missiles

2016—01—19 发布

2016—03—01 实施

国家国防科技工业局 发布

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 一般要求.....	1
4.1 测试环境条件.....	1
4.2 电源要求.....	1
4.3 测试场地的一般要求.....	2
4.4 仪器及设备要求.....	2
5 测试项目.....	2
6 测试系统组成.....	2
6.1 系统组成.....	2
6.2 系统各部分功能.....	3
7 测试方法.....	4
7.1 通电前检查和绝缘电阻测试.....	4
7.2 通电与接口通讯测试.....	5
7.3 天线伺服特性测试.....	6
7.4 发射接收通道测试.....	8
7.5 成像性能测试.....	14
7.6 作用距离测试.....	22
7.7 景象匹配定位功能测试.....	23
7.8 抗干扰性能测试.....	24

前 言

本标准由中国航天科技集团公司提出。

本标准由中国航天标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国航天科技集团公司第一研究院第十二研究所。

本标准主要起草人：陈曙暄、高 磊、唐 波、杨柏胜、王钦伟、陆和平。

地地导弹 SAR 导引头测试方法

1 范围

本标准规定了地地导弹合成孔径雷达（SAR）导引头测试的一般要求、测试项目、测试系统组成及测试方法。

本标准适用于地地导弹控制系统应用的合成孔径雷达导引头（以下简称SAR导引头）性能指标测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GJB 2137.6—1994 机载雷达通用要求 参数的标定与校正

GJB 3262—1998 雷达天线分系统性能测试方法 增益

GJB 3588 导弹控制系统术语

GJB 4429 军用雷达术语

QJ 2168A—1998 面空导弹雷达导引头性能测试方法

3 术语和定义

GJB 3588和GJB 4429确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

SAR 导引头 SAR seeker

通过SAR成像的方式直接或间接确定载体与目标相对关系的导引头。工作体制一般包括景象匹配定位、目标成像寻的等，主要由发射机、接收机、天线、信号处理等系统组成。

3.2

图像动态范围 image dynamic range

图像中最大灰度像素值与最小灰度像素值之比，通常用分贝表示。

4 一般要求

4.1 测试环境条件

测试环境条件如下：

- a) 温度：15℃～35℃；
- b) 相对湿度（RH）：小于75%。

4.2 电源要求

SAR 导引头使用的直流电源应满足专用技术条件规定的要求。

4.3 测试场地要求

SAR 导引头测试应在专用技术条件规定的电磁环境的场地下进行。

4.4 仪器及设备要求

测试所用仪器及设备应经法定计量机构检定合格，并在有效期内。一般测试所用仪器及设备的测量范围要覆盖被测信号的范围，其测量精度应优于被测信号误差的三分之一。测试用非标测试设备应按其专用技术条件进行计量、检验，并在计量有效期内使用。

5 测试项目

SAR 导引头系统测试中应涵盖的测试项目见表 1。

表 1 测试项目

序号	测试项目	测试内容
1	通电前检查和绝缘电阻测试	外观检查
2		绝缘电阻测试
3	通电与接口通讯测试	消耗电流测试
4		通讯接口及协议测试
5	天线伺服特性测试（限于机械扫描 SAR 导引头）	极性与扫描角度范围测试
6		最大角速度测试
7		天线指向精度测试
8	发射接收通道测试	发射信号参数测试
9		等效全向辐射功率(EIRP)测试
10		发射通道特性测试
11		接收通道特性测试
12	成像性能测试	图像有效幅宽测试
13		图像分辨性能测试
14		图像相似度和几何畸变测试
15		图像等效视数测试
16		图像动态范围测试
17		成像周期测试
18	作用距离测试	作用距离测试
19	景象匹配定位功能测试	景象匹配定位功能测试
20	抗干扰性能测试	抗干扰性能测试

6 测试系统组成

6.1 系统组成

地地导弹SAR导引头室内测试系统一般包括以下部分：

- a) 微波暗室（箱）；
- b) SAR 目标模拟器；
- c) SAR 干扰模拟器；

- d) 接口与信号采集单元；
- e) 直流电源；
- f) 转台；
- g) 测试控制与分析计算机；
- h) 示波器；
- i) 频谱分析仪；
- j) 功率计；
- k) 检波器；
- l) 可控衰减器；
- m) 标准天线；
- n) 兆欧表。

6.2 系统各部分功能

6.2.1 微波暗室（箱）

用于提供满足射频信号屏蔽特性、静区电性能和电波自由传播的空间环境，对于辐射式测试应满足GJB 3262—1998中4.1.1.3对测试距离的要求，且静区电平应低于-40dB。

6.2.2 SAR 目标模拟器

用于模拟或回放设定场景的SAR回波信号。

6.2.3 SAR 干扰模拟器

用于模拟SAR导引头工作所面临的干扰信号。

6.2.4 接口与信号采集单元

用于模拟SAR导引头与弹载计算机的硬件接口，记录SAR导引头的回传数据以及对SAR导引头的发射信号进行下变频和中频采集存储。

6.2.5 直流电源

为SAR导引头测试提供符合专用技术条件规定的直流电源。

6.2.6 转台

用于测试过程中高精度模拟弹体姿态转角或角速率。

6.2.7 测试控制与分析计算机

用于模拟弹道和姿态数据、导航数据和弹载计算机指令，完成对各测试设备的控制，并分析显示测试结果。

6.2.8 示波器

用于显示导引头的中频发射波形和测量脉冲重复频率。

6.2.9 频谱分析仪

用于显示导引头的射频发射脉冲的频谱和测量射频信号带宽。

6.2.10 功率计

用于测量微波信号的功率。

6.2.11 检波器

用于将SAR导引头的发射信号进行包络检波。

6.2.12 可控衰减器

用于对射频信号的功率进行调节。

6.2.13 标准天线

用于发射模拟回波信号和干扰信号以及接收SAR导引头辐射信号。

6.2.14 兆欧表

用于测量SAR导引头测量点的绝缘电阻，测试电压满足任务书要求。

7 测试方法

7.1 通电前检查和绝缘电阻测试

7.1.1 外观检查

7.1.1.1 测试目的

检查SAR导引头是否有物理损伤和标识是否完好。

7.1.1.2 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 目视检查 SAR 导引头外观有无碰伤、裂纹、锈斑、漆皮脱落、起泡、变形和紧固件松动现象；
- b) 目视检查 SAR 导引头对外接口部位是否标识清晰，插针是否有弯曲、变形、锈蚀和开裂等；
- c) 按任务书规定检查其他项目，应符合具体要求。

7.1.1.3 结果的处理

外观检查后应填写图1所示的相关内容。

外观检查结果						
掉漆：有 <input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/>	碰伤：有 <input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/>	裂纹：有 <input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/>	起泡：有 <input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/>	变形：有 <input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/>	雾化：有 <input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/>	紧固件松动：有 <input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/>
多余物：内部 有 <input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/>			对外接口： 有 <input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/>			
是否满足要求：是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>						

图 1 外观检查结果表

7.1.2 绝缘电阻测试

7.1.2.1 测试目的

检查SAR导引头的绝缘特性是否满足要求。

7.1.2.2 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 将兆欧表输出端分别与测试点相接；
- b) 快速摇动兆欧表手柄，记录兆欧表所示值 Ω_i ；
- c) 进行三次测量。

7.1.2.3 结果的处理

对各测量点的绝缘电阻测量值应按公式 (1) 计算。

$$\Omega_{\min} = \min_{i \in (1,2,3)} [\Omega_i] \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Ω_{\min} ——绝缘电阻的数值，单位为兆欧姆 (M Ω)；

$\min[\cdot]$ ——取最小值函数；

Ω_i ——第 i ($i = 1, \dots, 3$) 次测量绝缘电阻的数值，单位为兆欧姆 (M Ω)。

7.2 通电与接口通讯测试

7.2.1 消耗电流测试

7.2.1.1 测试目的

检查SAR导引头各工作模式下的消耗电流是否满足要求。

7.2.1.2 测试框图

通电与接口通讯测试的线路连接示意图如图2所示。

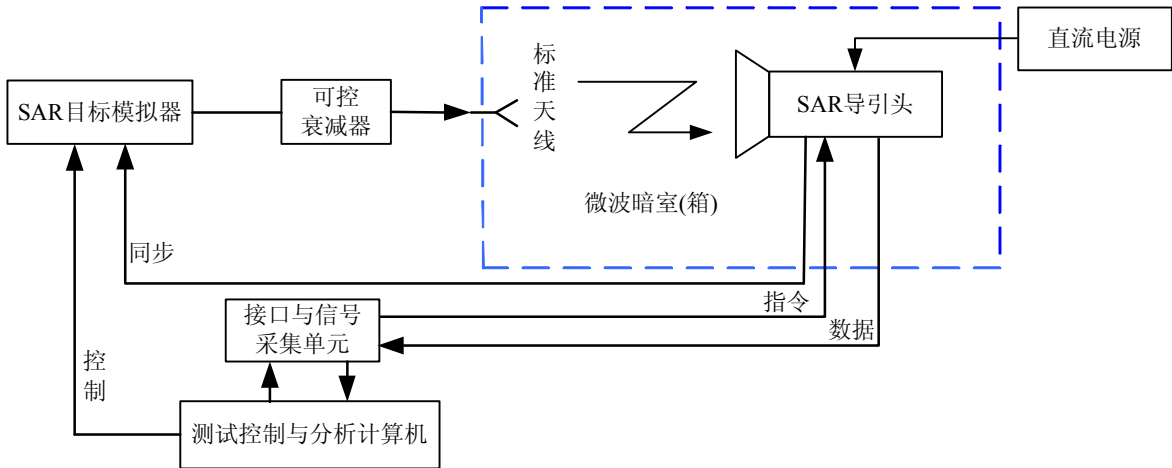


图 2 通电与接口通讯测试的线路连接示意图

7.2.1.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 连接直流电源为 SAR 导引头供电；
- b) 测试控制与分析计算机控制 SAR 目标模拟器通过标准天线辐射模拟的场景回波，接口与信号采集单元向 SAR 导引头发送不同工作模式的工作指令并接收 SAR 导引头回传的电流监控信息；
- c) 接口与信号采集单元将测试结果送测试控制与分析计算机；
- d) 每种工作模式进行不少于三次的 SAR 导引头消耗电流测试。

7.2.1.4 结果的处理

SAR导引头消耗的电流值应按公式 (2) 计算。

$$I_{\max} = \max_{i \in (1, \dots, n)} [I_i] \dots\dots\dots (2)$$

式中：

I_{\max} ——SAR 导引头的消耗电流的数值，单位为安培 (A)；

$\max[\cdot]$ ——取最大值函数；

I_i ——第 i ($i=1, \dots, n, n \geq 3$) 次测量的消耗电流的数值，单位为安培 (A)。

7.2.2 通讯接口及协议测试

7.2.2.1 测试目的

主要考核SAR导引头的通讯接口及协议是否符合要求。

7.2.2.2 测试框图

测试框图如图 2 所示。

7.2.2.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 按规定的技术条件设置目标模拟器的工作参数；
- b) 测试控制与分析计算机模拟弹载计算机功能，根据通讯协议向 SAR 导引头发送开机自检、不同工作模式指令和导航数据，目标模拟器发送模拟回波数据给 SAR 导引头；
- c) SAR 导引头根据工作状态对接收到的回波信号进行成像处理，并将测量到的图像信息和遥测信息回传给接口与信号采集单元供测试控制与分析计算机进行结果分析。

7.2.2.4 结果的处理

根据任务书要求，判读记录的通讯数据是否符合导引头的通讯协议，评定 SAR 导引头软硬件接口设计的正确性；判读记录的组合导航数据以及图像数据，评定 SAR 导引头流程设计及功能实现是否正确。

7.3 天线伺服特性测试

7.3.1 极性与扫描角度范围测试

7.3.1.1 测试目的

主要考核 SAR 导引头天线伺服的极性是否正确，扫描角范围是否满足要求。

7.3.1.2 测试框图

极性测试的线路连接示意图如图 2 所示。

7.3.1.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 对 SAR 导引头通电，并使其处于预置工作状态；
- b) 按规定的技术条件向 SAR 导引头发送天线正向和负向转动指令，转角为 A ，转动次数不少于三次，观察 SAR 导引头天线转向与指令转向以及 SAR 导引头输出的天线伺服监控信息是否一致；
- c) 按规定的技术条件向 SAR 导引头发送正向或负向转动指令，转角为 A_{\max} ，转动次数不少于三次，记录 SAR 导引头输出的天线伺服监控信息于图 3 所示的表中，其中 A_{\max} 为任务书规定的 SAR 导引头最大扫描角度。

极性 & 扫描角度范围测试				
指令转角 (°)	SAR 导引头伺服转角 (°)	极性 (正确/错误)	伺服转角偏差 (°)	结论
A (正向)				
A (负向)				
A_{\max} (正向)				
A_{\max} (负向)				

图 3 极性 & 扫描角度范围测试表

7.3.1.4 结果的处理

根据任务书要求，评判 SAR 导引头极性的对应关系是否正确、扫描角度范围是否满足要求。

7.3.2 最大角速度测试

7.3.2.1 测试目的

主要考核 SAR 导引头的伺服角速度是否满足要求。

7.3.2.2 测试框图

最大角速度测试的线路连接示意图如图 4 所示。

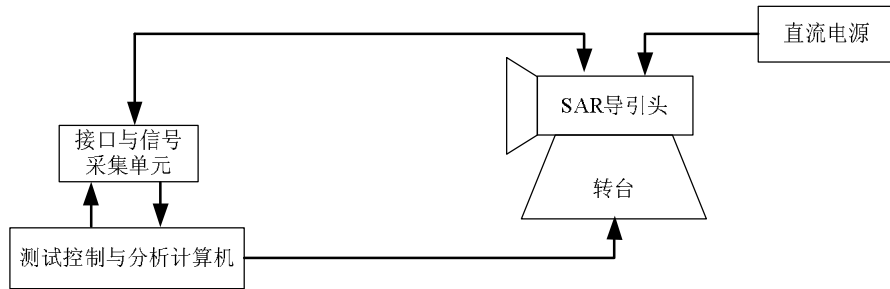


图 4 最大角速度测试的线路连接示意图

7.3.2.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 给转台发送正弦扰动指令 $A_i \sin(2\pi f_i t)$ ，同时给导引头发送正弦指令 $-A_i \sin(2\pi f_i t)$ ，记录导引头输出角度数据；
- b) 根据规定技术条件，逐步增大扰动角速度测试指令，直至导引头不能正确响应控制指令；
- c) 判读导引头回送数据，计算最大跟踪角速度；
- d) 重复步骤 a)~c) 进行 n 次测量， $n \geq 3$ ，评定最大角速度是否符合要求。

7.3.2.4 结果的处理

SAR 导引头的最大角速度应按公式 (3) 计算。

$$\omega_{\theta, \max} = \min_{i \in \{1, \dots, n\}} (\omega_{\theta, i}) \dots \dots \dots (3)$$

式中：

- $\omega_{\theta, \max}$ —— SAR 导引头最大角速度的数值，单位为度每秒 (°/s)；
- $\omega_{\theta, i}$ —— 第 i ($i = 1, \dots, n$) 次测量的 SAR 导引头最大角速度的数值，单位为度每秒 (°/s)；

i ——测试试验序数（即第几次测试试验）。

7.3.3 天线指向精度测试

天线指向精度的测试按照 GJB 2137.6—1994 中 5.1 和 5.2 的规定。

7.4 发射接收通道测试

7.4.1 发射信号参数测试

7.4.1.1 概述

发射信号参数的测试可采用专用仪器以自动化的方式进行或采用通用仪器以人工测试的方式进行，具体方法可分别按7.4.1.2和7.4.1.3的规定执行。

7.4.1.2 发射信号参数的专用仪器测试

7.4.1.2.1 测试目的

主要考核SAR导引头低功率射频单元和发射机单元产生的发射信号是否满足要求。

7.4.1.2.2 测试框图

发射信号参数的专用仪器测试的线路连接示意图如图5所示。

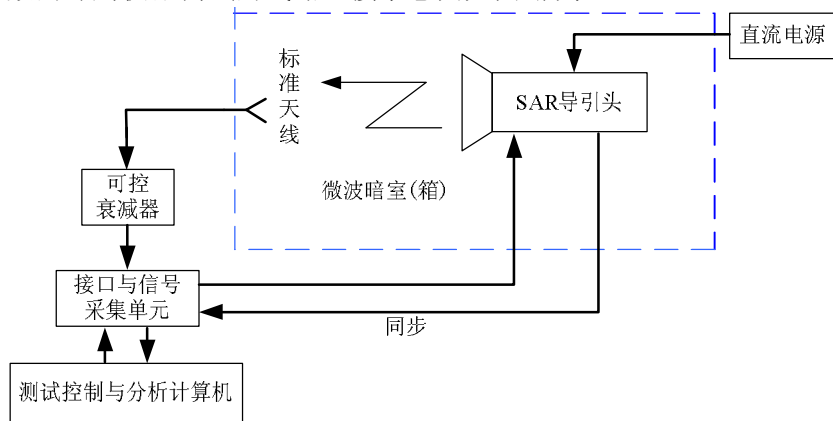


图5 发射信号参数的专用仪器测试的线路连接示意图

7.4.1.2.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 测试控制与分析计算机通过接口与信号采集单元控制 SAR 导引头发射机分别在各种工作模式下开启；
- b) 标准天线接收到的 SAR 导引头发射信号经可控衰减器后被接口与信号采集单元接收；
- c) 接口与信号采集单元中的射频测试板卡将 SAR 导引头发射的射频脉冲 $x_r(t)$ 经本振频率 f_L 下变频为中频脉冲 $x(t)$ ，并对其以采样频率 f_s 进行采样，并记录样点序列 $x(k)$ ；
- d) 测试控制与分析计算机读取采样数据并进行发射脉冲参数计算。

7.4.1.2.4 结果的处理

结果的处理如下：

- a) 脉冲宽度 τ ：

脉冲宽度 τ 应按公式（4）、公式（5）和公式（6）计算。

$$t_m = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{+\infty} t |x(t)|^2 dt \dots\dots\dots (4)$$

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt \dots\dots\dots (5)$$

$$\tau = 2\sqrt{\frac{\pi}{E} \int_{-\infty}^{+\infty} (t - t_m)^2 |x(t)|^2 dt} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

t_m ——脉冲包络中心位置的数值, 单位为秒 (s);

t ——瞬时时刻的数值, 单位为秒 (s);

$x(t)$ ——中频脉冲的幅值, 无量纲;

E ——中频脉冲 $x(t)$ 的能量数值;

τ ——脉冲宽度的数值, 单位为秒 (s)。

b) 信号带宽 B_r 和中心频率 f_c :

1) 信号带宽 B_r 应按公式 (7) 和公式 (8) 计算。

$$f_m = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{+\infty} f |X(f)|^2 df \dots\dots\dots (7)$$

$$B_r = 2\sqrt{\frac{\pi}{E} \int_{-\infty}^{+\infty} (f - f_m)^2 |X(f)|^2 df} \times f_s \dots\dots\dots (8)$$

式中:

f_m ——中频脉冲 $x(t)$ 的归一化频率的数值, 无量纲;

f ——瞬时频率的归一化数值, 无量纲;

$X(f)$ ——中频脉冲 $x(t)$ 傅立叶变换的数值, 无量纲;

B_r ——信号带宽的数值, 单位为赫兹 (Hz);

f_s ——采样频率的数值, 单位为赫兹 (Hz)。

2) SAR 导引头发射信号的中心频率 f_c 应按公式 (9) 和公式 (10) 计算。

$$f_{mc} = f_m \times f_s \dots\dots\dots (9)$$

$$f_c = f_{mc} + f_L \dots\dots\dots (10)$$

式中:

f_{mc} ——中频脉冲 $x(t)$ 中心频率的数值, 单位为赫兹 (Hz);

f_c ——SAR 导引头发射信号的中心频率的数值, 单位为赫兹 (Hz);

f_L ——测试板卡的下变频本振频率的数值, 单位为赫兹 (Hz)。

7.4.1.3 发射信号参数的通用仪器测试

7.4.1.3.1 测试目的

测试目的同 7.4.1.2.1。

7.4.1.3.2 测试框图

发射信号参数的通用仪器测试的线路连接示意图如图 6 所示。

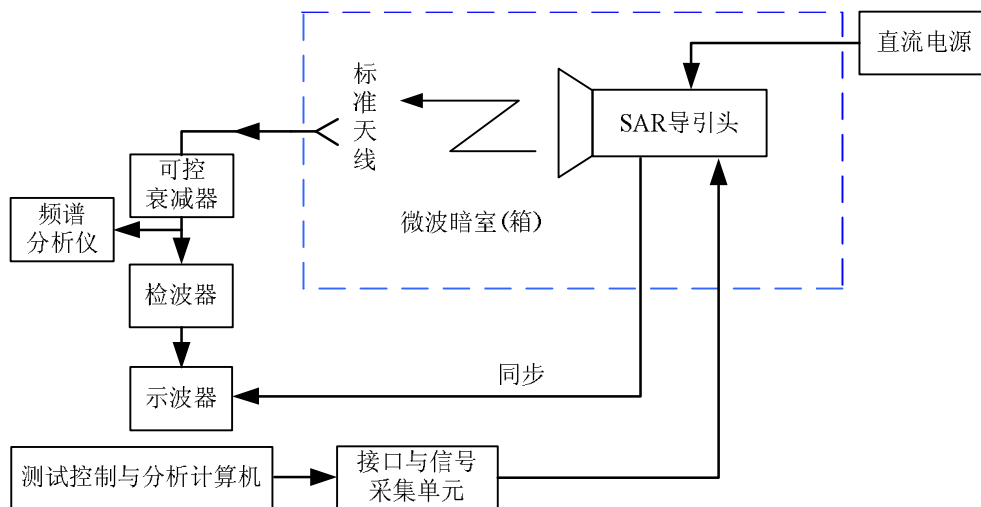


图 6 发射信号参数的通用仪器测试的线路连接示意图

7.4.1.3.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 控制 SAR 导引头发射机分别在对应的工作模式下开启；
- b) 对标准天线接收到的发射信号经可控衰减器进行适当的功率衰减；
- c) 将衰减后的两路发射信号分别连接到频谱分析仪和检波器，检波器输出端接示波器测试端；
- d) 设置示波器为外触发工作状态，并将 SAR 导引头触发脉冲作为示波器的同步触发信号进行测试，调整示波器水平扫描时间或采用示波器精扫描方式展宽脉冲，同时调整显示幅度读取脉冲宽度 τ ；
- e) 调整示波器水平扫描时间，使其稳定显示两个以上周期脉冲信号，在示波器屏幕上读出脉冲重复周期 T_r ；
- f) 开启频谱分析仪，通过设置频谱分析仪适当的“参考电平”、“中心频率”、“扫描宽度”和“分辨率带宽”等参数，使荧屏上呈现稳定清晰的射频脉冲频谱谱线，通过“MARK”标志测量功能，读取发射脉冲频谱的 3dB 宽度对应的上下频点 f_1 、 f_2 和信号带宽 B_r 。

7.4.1.3.4 结果的处理

结果的处理如下：

- a) 脉冲重复频率 f_r 应按公式 (11) 计算：

$$f_r = 1/T_r \dots\dots\dots (11)$$

式中：

f_r ——脉冲重复频率的数值，单位为赫兹 (Hz)；

T_r ——脉冲重复周期的数值，单位为秒 (s)。

- b) 发射脉冲中心频率 f_c 应按公式 (12) 计算。

$$f_c = \frac{f_1 + f_2}{2} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

f_1 ——发射射频脉冲频谱 3dB 带宽上频点的数值，单位为赫兹 (Hz)；

f_2 ——发射射频脉冲频谱 3dB 带宽下频点的数值，单位为赫兹 (Hz)。

7.4.2 等效全向辐射功率（EIRP）测试

7.4.2.1 测试目的

主要考核 SAR 导引头的等效全向辐射功率是否满足要求。

7.4.2.2 测试框图

空馈式 EIRP 测试的线路连接示意图如图 7 所示。

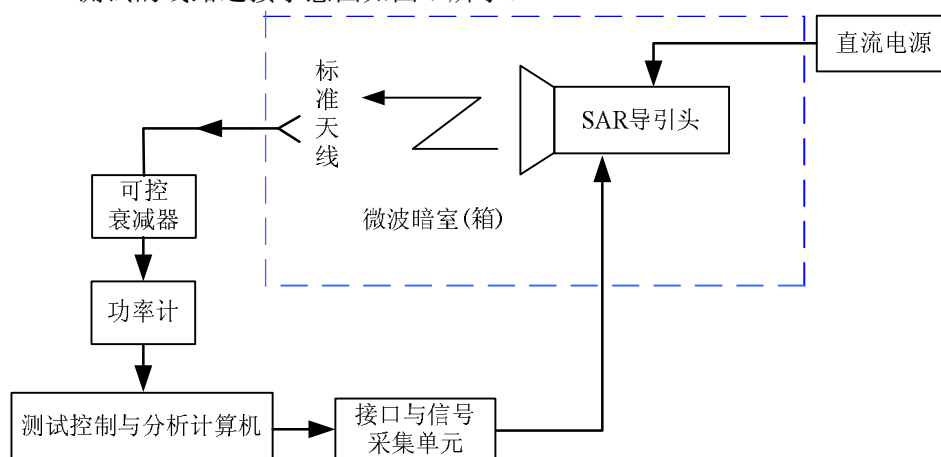


图 7 空馈式 EIRP 测试的线路连接示意图

7.4.2.3 测试步骤

测试步骤如下：

- 测试前需要调整增益为 G_0 (dB) 的标准天线对准 SAR 导引头的发射天线 (增益 G_t (dB))，保证两个天线之间的距离不变，如图 7 所示；
- 按照 QJ 2168A—1998 中 5.2.3.4 的规定对空间衰减 L_R (dB) 进行标定；
- 将接收天线与量程范围适当的可控衰减器相连，调节可控衰减器衰减量使功率计能正常进行功率测量；
- 测试控制与分析计算机发送测试指令，接口与信号采集单元控制 SAR 导引头发射机开机；
- 将功率计测量的结果送测试控制与分析计算机。

7.4.2.4 结果的处理

结果的处理如下：

- 平均发射功率与天线增益的乘积应按公式 (13) 计算；

$$EIRP_{av} = -30 + 10 \log_{10} (P'_{av}) - G_0 + L_R + L_\beta + L_0 \cdots \cdots \cdots (13)$$

式中：

- $EIRP_{av}$ ——平均发射功率与天线增益乘积的数值，单位为分贝瓦 (dBW)；
- P'_{av} ——功率计读数的数值，单位为毫瓦 (mW)；
- G_0 ——标准天线增益的数值，单位为分贝 (dB)；
- L_R ——给定频率下，测试距离对应的微波传输空间衰减量的数值，单位为分贝 (dB)；
- L_β ——可控衰减器衰减量的数值，单位为分贝 (dB)；
- L_0 ——标准天线输出端至功率计输入端传输线损耗的数值，单位为分贝 (dB)。

- SAR 导引头的等效全向辐射功率应按公式 (14) 计算。

$$EIRP = \frac{T_r}{\tau} 10^{\left(\frac{EIRP_{av}}{10}\right)} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

$EIRP$ ——等效全向辐射功率（发射功率与天线增益乘积）的数值，单位为瓦（W）。

7.4.3 发射通道特性测试

7.4.3.1 测试目的

主要考核 SAR 导引头的发射通道的带内平坦度和相位一致性指标是否满足要求。

7.4.3.2 测试框图

测试连接示意图如图 5 所示。

7.4.3.3 测试步骤

按照 7.4.1.2.3a)~7.4.1.2.3c)规定的测试步骤执行，测试控制与分析计算机控制接口与信号采集单元连续接收多次发射信号并记录。

7.4.3.4 结果的处理

结果的处理如下：

- a) 对接口与信号采集单元记录的 N_t 个发射信号副本进行时间对齐和取平均值（一般 $N_t \geq 1024$ ），得到中频采样后的发射信号副本 $\bar{x}(k)$ ；
- b) 对 $\bar{x}(k)$ 进行的幅度归一化处理应按公式（15）计算；

$$\bar{x}_1(k) = \frac{\text{int}[\tau \cdot f_s] \cdot \bar{x}(k)}{\sum_{k=0}^{M_t} |\bar{x}(k)|} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$\bar{x}_1(k)$ ——归一化的发射信号副本平均值，无量纲；

k ——采样点序号，无量纲；

$\text{int}[\cdot]$ ——取整函数；

$\bar{x}(k)$ ——发射信号副本平均值，无量纲；

M_t ——发射信号副本的采样点数。

- c) 发射通道的传递函数应按公式（16）计算；

$$H(e^{j\omega}) = \frac{\text{DTFT}[\bar{x}_1(k)]}{\text{DTFT}[x_0(k)]} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$H(e^{j\omega})$ ——SAR 导引头发射通道的传递函数，无量纲；

$\text{DTFT}[\cdot]$ ——离散时间傅里叶变换；

$x_0(k)$ ——理想发射宽带信号副本，其表达式见公式（17）。

$$x_0(k) = \text{rect}\left[\frac{k}{N_0}\right] \exp\left\{j\varphi\left(\frac{k}{f_s}\right)\right\} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$\text{rect}[\cdot]$ ——为矩形函数，其定义为 $\text{rect}\left[\frac{k}{N_0}\right] = \begin{cases} 1, & -N_0/2 \leq k \leq N_0/2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$ ；

N_0 ——理想宽带发射脉冲的脉内采样点数；

$\varphi(\cdot)$ ——理想宽带发射脉冲的相位调制，单位为弧度 (rad)。

d) 发射通道传递函数的相频响应按公式 (18) 计算。

$$\Phi(e^{j\omega}) = \text{unwrap}\left[\arg\left[H(e^{j\omega})\right]\right] \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$\Phi(e^{j\omega})$ ——SAR 导引头发射通道的相频响应的数值，单位为弧度 (rad)；

ω ——角频率的数值，单位为弧度每秒 (rad/s)；

$\text{unwrap}[\cdot]$ ——表示相位解缠运算；

$\arg[\cdot]$ ——表示取幅角运算。

e) 发射通道的带内起伏应按公式 (19) 计算。

$$\Delta H_T = \max_{\omega} \left[10 \log_{10} \left(|H(e^{j\omega})| \right) \right] - \min_{\omega} \left[10 \log_{10} \left(|H(e^{j\omega})| \right) \right] \dots\dots\dots (19)$$

式中：

ΔH_T ——SAR 导引头发射通道带内起伏的数值，单位为分贝 (dB)。

f) 发射通道的相位一致性应按公式 (20) 计算。

$$\Delta \varphi_T = \max_{\omega} \left[\Phi(e^{j\omega}) - \Phi_{1T}(e^{j\omega}) \right] \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$\Delta \varphi_T$ ——SAR 导引头发射通道相位一致性的数值，单位为弧度 (rad)；

$\Phi_{1T}(e^{j\omega})$ —— $\Phi(e^{j\omega})$ 的线性相位项的数值，单位为弧度 (rad)。

7.4.4 接收通道特性测试

7.4.4.1 测试目的

测试 SAR 导引头的接收通道带内平坦度和相位一致性是否满足要求。

7.4.4.2 测试框图

接收通道传递函数测试的线路连接示意图如图 2 所示。

7.4.4.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 测试控制与分析计算机发送测试指令给接口与信号采集单元和 SAR 目标模拟器，接口与信号采集单元给 SAR 导引头发送测试指令，控制 SAR 导引头以接收模式工作；
- b) SAR 目标模拟器将满足 SAR 导引头规定技术条件的单位幅度宽基带信号 $x_o(k)$ 进行调制和上变频及功率控制得到射频测试信号 $x_o(t)$ ，并通过标准天线辐射给 SAR 导引头接收；
- c) SAR 导引头将接收到的测试信号经下变频、正交解调和采样后得到回波信号 $x_r(k)$ ，并输出给接口与信号采集单元记录；
- d) 测试控制与分析计算机读取测量数据并进行结果的分析与处理。

7.4.4.4 结果的处理

结果的处理如下：

a) 对记录的 N_r 个接收回波进行时间对齐和取平均值 (一般 $N_r \geq 1024$) ,得到 SAR 导引头接收回波的样本平均值 $\bar{x}_r(k)$ 。

b) 对 $\bar{x}_r(k)$ 进行的幅度归一化处理应按公式 (21) 计算。

$$\bar{x}_{r1}(k) = \frac{\text{int}[\tau_0 \cdot f_{sr}] \cdot \bar{x}_r(k)}{\sum_{k=0}^{M_r} |\bar{x}_r(k)|} \dots\dots\dots (21)$$

式中:

- $\bar{x}_{r1}(k)$ ——归一化的接收回波样本平均值, 无量纲;
- τ_0 ——SAR 目标模拟器发送的测试脉冲宽度的数值, 单位为秒 (s);
- f_{sr} ——SAR 导引头接收机的采样频率的数值, 单位为赫兹 (Hz);
- $\bar{x}_r(k)$ ——接收回波的样本平均值, 无量纲;
- M_r ——接收回波信号的采样点数。

c) 接收通道传递函数应按公式 (22) 计算。

$$H_R(e^{j\omega}) = \frac{\text{DTFT}[\bar{x}_{r1}(k)]}{\text{DTFT}[x_{0r}(k)]} \dots\dots\dots (22)$$

式中:

- $H_R(e^{j\omega})$ ——接收通道的传递函数, 无量纲。

d) 接收通道传递函数的相频响应应按公式 (23) 计算。

$$\Phi_R(e^{j\omega}) = \text{unwrap}[\arg[H_R(e^{j\omega})]] \dots\dots\dots (23)$$

式中:

- $\Phi_R(e^{j\omega})$ ——接收通道的传递函数相频响应的数值, 单位为弧度 (rad)。

e) 接收通道的带内起伏应按公式 (24) 计算。

$$\Delta H_R = \max_{\omega} [10 \log_{10}(|H_R(e^{j\omega})|)] - \min_{\omega} [10 \log_{10}(|H_R(e^{j\omega})|)] \dots\dots\dots (24)$$

式中:

- ΔH_R ——SAR 导引头接收通道带内起伏的数值, 单位为分贝 (dB)。

f) 接收通道的相位一致性应按公式 (25) 计算。

$$\Delta\varphi_R = \max_{\omega} [\Phi_R(e^{j\omega}) - \Phi_{1R}(e^{j\omega})] \dots\dots\dots (25)$$

式中:

- $\Delta\varphi_R$ ——SAR 导引头接收通道相位一致性的数值, 单位为弧度 (rad);
- $\Phi_{1R}(e^{j\omega})$ —— $\Phi_R(e^{j\omega})$ 的线性相位项, 单位为弧度 (rad)。

7.5 成像性能测试

7.5.1 图像有效幅宽测试

7.5.1.1 测试目的

测试 SAR 导引头的成像区域大小是否满足要求。

7.5.1.2 测试框图

图像有效幅宽测试的线路连接示意图如图 2 所示。

7.5.1.3 测试步骤

测试步骤如下：

- 根据规定的技术条件设定目标模拟器的工作参数；
- 测试控制与分析计算机通过接口与信号采集单元控制 SAR 导引头开机工作；
- SAR 目标模拟器在 SAR 导引头同步脉冲的触发下释放场景回波；
- SAR 导引头对接收到的回波进行接收和成像处理，并将结果输出给接口与信号采集单元；
- 对于 SAR 导引头整个飞行过程中的不同工作段，重复步骤 a)~d)；
- 测试控制与分析计算机将 SAR 导引头各工作段的测试图像进行显示。

7.5.1.4 结果的处理

结果的处理如下：

- 采用目视的方法，将 SAR 导引头各工作段输出的实时图与 SAR 目标模拟器中进行场景模拟的地物图像进行对比，确定实时图中的有效图像区域；
- 按照像素索引值确定有效成像区域的长度 M_L 和宽度 N_L 作为图像的有效幅宽；
- 判定 SAR 导引头实时图有效幅宽是否满足要求。

7.5.2 图像分辨性能测试

7.5.2.1 测试目的

测试 SAR 导引头的图像分辨能力是否满足要求。

7.5.2.2 测试框图

图像分辨能力测试的线路连接示意图如图 2 所示。

7.5.2.3 测试步骤

测试步骤如下：

- 制备目标模拟器用于模拟场景 SAR 回波的基准图，在制备的基准图上 SAR 导引头成像区域设置沿距离向和方位向等间距分布的 N_p 处 ($N_p \geq 4$) 零灰度正方形区域，正方形边长 W_n (一般 $W_n \geq 33$ ，且为奇数) 个像素，将各正方形中心点像素设计为灰度等级最大的像素点，如图 8 所示；

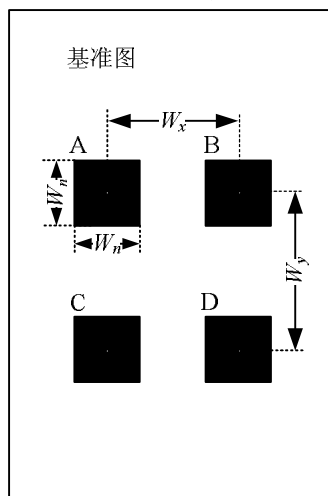


图 8 回波数据基准图示意图

- 测试控制与分析计算机模拟弹载 SAR 的工作流程、SAR 工作时段控制时序和导航参数；
- 启动测试流程，控制 SAR 导引头进入相应的工作状态，SAR 目标模拟器按设定的场景在 SAR

导引头的同步信号触发下实时释放回波信号供 SAR 导引头接收和成像处理使用；

d) 通过接收 SAR 导引头输出的图像作出评价。

7.5.2.4 结果的处理

结果的处理如下：

a) 对 SAR 导引头输出图像的点目标设置区域进行以目标点为中心的 $W_N \times W_N$ 邻域截取（一般 $W_n > W_N \geq 16$ ，为偶数），如图 9 所示。

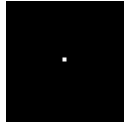


图 9 点目标设置区域

b) 对目标截取区域进行 K 倍 sinc 插值或 FFT 插值，一般 $K \geq 16$ ，得到升采样后点目标图像 S_p ，如图 10 所示。



图 10 点目标邻域插值图像 S_p

c) 对图像 S_p 沿目标峰值响应的距离或方位向进行剖分，得到目标距离或方位一维剖面图 S_{cour} 如图 11 所示。

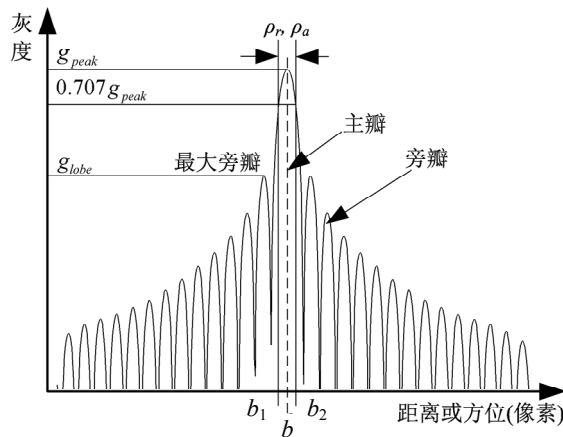


图 11 点目标一维剖面图

d) 测量图 S_{cour} 中点目标峰值响应的灰度值 g_{peak} 和位置 b ，查找峰值响应下降到 $0.707g_{peak}$ 时对应的像素点位置 b_1, b_2 。

e) 距离分辨率应按公式 (26) 计算。

$$\rho_r = \frac{\max(b_2, b_1) - \min(b_2, b_1)}{K} r_{br} \dots\dots\dots (26)$$

式中：

- ρ_r —— SAR 导引头距离分辨率的数值，单位为米 (m)；
- b_2 —— 点目标峰值响应的-3dB 远端像素点位置，无量纲；

- b_1 ——点目标峰值响应的-3dB 近端像素点位置，无量纲；
- K ——插值倍数，无量纲；
- r_{br} ——SAR 导引头输出图像的距离向像元尺寸的数值，单位为米 (m)。
- f) 方位向分辨率 ρ_a 同样可按步骤 d)~e)的方法求得，只需将公式 (26) 中的 r_{br} 替换为 SAR 导引头输出图像的方位向像元尺寸 r_{ba} (米)，记录测量到的距离向和方位向分辨率在图 12 所示的表中。
- g) 距离向峰值旁瓣比 $PSLR_r$ 和方位向峰值旁瓣比 $PSLR_a$ 应分别按公式 (27) 和公式 (28) 计算，并将测量结果记录在图 12 所示的表中。

$$PSLR_r = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{距离向最大旁瓣灰度值}}{\text{主瓣峰值灰度值}} \right) \dots\dots\dots (27)$$

式中：

$PSLR_r$ ——表示距离向峰值旁瓣比的数值，单位为分贝 (dB)。

$$PSLR_a = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{方位向最大旁瓣灰度值}}{\text{主瓣峰值灰度值}} \right) \dots\dots\dots (28)$$

式中：

$PSLR_a$ ——表示方位向峰值旁瓣比的数值，单位为分贝 (dB)。

- h) 距离向积分旁瓣比 $ISLR_r$ 和方位向积分旁瓣比 $ISLR_a$ 应按公式 (29) 计算。

$$ISLR_q = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{l=b-W}^{b+W-1} g_{l,q}^2 - \sum_{l=b-W_q}^{b+W_q-1} g_{l,q}^2}{\sum_{l=b-W_q}^{b+W_q-1} g_{l,q}^2} \right) \dots\dots\dots (29)$$

式中：

$ISLR_q$ ——表示距离向 ($q=r$) 或方位向 ($q=a$) 积分旁瓣比；

$g_{l,q}$ ——表示距离向 ($q=r$) 或方位向 ($q=a$) 第 l 个像素点的灰度值；

W ——表示距离向 ($q=r$) 或方位向 ($q=a$) 目标响应的计算宽度的一半，一般 $W \geq 8K$ (像素数)；

W_q ——表示距离向 ($q=r$) 或方位向 ($q=a$) 目标响应的主瓣宽度的一半，一般 $W_q = k_q K$ ， k_q 取 1~1.25 之间的常数，具体与 SAR 导引头的处理方式相关。

- i) 将距离向积分旁瓣比和方位向积分旁瓣比的测量结果记录在图 12 所示表中的相应位置。
- j) 对基准图中设置的其他点目标依次重复步骤 a)~i)，记录测量结果于图 12 表中并完成 SAR 导引头图像分辨性能的统计判决。

图像分辨性能测试							
目标点	名义分辨率（距离） _____（m）	名义分辨率（方位） _____（m）	名义 PLSR _r _____（dB）	名义 PLSR _a _____（dB）	名义 ISLR _r _____（dB）	名义 ISLR _a _____（dB）	结论
	测量分辨率（距离） _____（m）	测量分辨率（方位） _____（m）	测量 PLSR _r _____（dB）	测量 PLSR _a _____（dB）	测量 ISLR _r _____（dB）	测量 ISLR _a _____（dB）	
目标 1							
目标 2							
⋮							
⋮							
目标 N _p							
平均值							

图 12 图像分辨性能测试表

7.5.3 图像相似度和几何畸变测试

7.5.3.1 测试目的

测试 SAR 导引头的图像相似度和几何畸变是否满足要求。

7.5.3.2 测试框图

图像相似度和几何畸变测试连接示意图如图 2 所示。

7.5.3.3 测试步骤

测试步骤按 7.5.2.3 a)~7.5.2.3 d)进行。

7.5.3.4 结果的处理

结果的处理如下：

- a) 对 SAR 导引头输出的实时图进行尺寸大小为 $M_L \times N_L$ （方位向×距离向）的有效区域的截取。
- b) 截取的匹配区实时图与基准图（尺寸 $M \times N$ （方位向×距离向），且 $M > M_L$ 、 $N > N_L$ ）的归一化积相关系数 $\rho(p, q)$ 应按公式（30）计算。

$$\rho(p, q) = \frac{\sum_{x=0}^{M_L-1} \sum_{y=0}^{N_L-1} (S(x+p, y+q) - \bar{S}_{p,q}) (F(x, y) - \bar{F})}{\left[\sum_{x=0}^{M_L-1} \sum_{y=0}^{N_L-1} (S(x+p, y+q) - \bar{S}_{p,q})^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{x=0}^{M_L-1} \sum_{y=0}^{N_L-1} (F(x, y) - \bar{F})^2 \right]^{1/2}} \dots\dots\dots (30)$$

式中：

- $\rho(p, q)$ ——归一化积相关系数， (p, q) 为基准图中子图像的相对位置坐标，无量纲；
- M_L ——实时图方位向有效区域的长度，无量纲；
- N_L ——实时图距离向有效区域的长度，无量纲；
- $S(x+p, y+q)$ ——基准图， $(x+p, y+q)$ 为图像的空间坐标；
- $\bar{S}_{p,q}$ ——基准图中子图像的均值，无量纲；
- $F(x, y)$ ——SAR 导引头输出的实时图， (x, y) 为图像的空间坐标；
- \bar{F} ——实时图的均值， (x, y) 为图像的空间坐标。

- c) 查找匹配结果最大值 ρ_{\max} 以及对应的坐标值，并将结果记录在图 15 所示的表中。

d) 根据先验知识对实时图进行目视评判和 ROI (region of interest) 匹配, 见图 13。

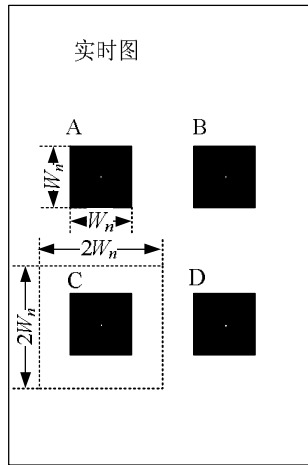


图 13 实时图 ROI 匹配示意图

e) 在基准图上截取匹配用黑块, 黑块的大小 $W_n \times W_n$, 见图 8。

f) 找出实时图中设置的零灰度正方形区域左上角对应的坐标值, 如图 13 中 A、B、C、D 四点所对应的坐标值, 并以坐标值减 $(W_n - 1) / 2$ 截取 $2W_n \times 2W_n$ 大小区域, 见图 14。

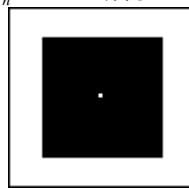


图 14 实时图 ROI 区域截取示意图

g) 将步骤 e) 和 f) 中截取的两幅图进行匹配, 得到各个黑块在实时图的位置坐标, 同样对各个黑块区域进行匹配, 得到每一个 ROI 的匹配点坐标。

h) 依次逐列命名第 p 个 ROI 匹配点的坐标, $p=1,2,\dots,N_p$, 命名时按自左至右自上到下的原则, 如图 13 中第 1 个点在左上位置, 2 在右上, 3 在左下, 4 在右下, 图像相对几何畸变 $(\Delta x_{pq}, \Delta y_{pq})$ 应按公式 (31) 和公式 (32) 计算。

$$\Delta x_{pq} = x_p - x_q \dots\dots\dots (31)$$

式中:

Δx_{pq} ——位于同一列的第 p 个和第 q 个 ROI 匹配区域匹配结果的横坐标差, 无量纲;

x_p ——第 p 个 ROI 匹配区域的匹配点的横坐标值, $p=1,2,\dots,N_p$;

x_q ——第 q 个 ROI 匹配区域的匹配点的横坐标值, $q=1,2,\dots,N_p$, 且 $q \neq p$;

$$\Delta y_{pq} = y_p - y_q \dots\dots\dots (32)$$

式中:

Δy_{pq} ——位于同一行的第 p 个和第 q 个 ROI 匹配区域匹配结果的纵坐标差, 无量纲;

y_p ——第 p 个 ROI 匹配区域的匹配点的纵坐标值, $p=1,2,\dots,N_p$;

y_q ——第 q 个 ROI 匹配区域的匹配点的纵坐标值, $q=1,2,\dots,N_p$, 且 $q \neq p$, 且 $q \neq p$ 。

i) 记录沿同一列排列的 ROI 匹配区域匹配结果的横坐标差 Δx_{pq} 和沿同一行排列的 ROI 匹配区域匹配结果的纵坐标差 Δy_{pq} 在图 15 所示的表中, 例如对图 13 所示 ROI 匹配区域分别记录 $|\Delta x_{13}|$, $|\Delta x_{24}|$ 和 $|\Delta y_{12}|$, $|\Delta y_{34}|$ 。

j) 对不同地物场景的基准图进行的 n 次试验结果进行统计，一般 $n \geq 20$ ，得到 SAR 导引头图像相似度和图像相对畸变的平均值和均方根，根据任务书要求得出结论。

图像相似度和相对几何畸变测试					
测试次数	图像相似度	图像相对几何畸变			结论
		样本点	Δx_{pq} (像素)	Δy_{pq} (像素)	
第 1 次		ROI 区域 1			
		ROI 区域 2			
		⋮			
		ROI 区域 N_p			
⋮					
平均值					
均方根					

图 15 图像相似度和相对几何畸变测试表

7.5.4 图像等效视数测试

7.5.4.1 测试目的

测试 SAR 导引头输出图像的等效视数是否满足要求。

7.5.4.2 测试框图

测试连接示意图如图 2 所示。

7.5.4.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 制备地物散射系数服从复高斯分布的各向同性地物场景基准图并输入 SAR 目标模拟器；
- b) 测试控制与分析计算机发送测试指令，接口与信号采集单元发送工作指令给 SAR 导引头；
- c) SAR 目标模拟器在 SAR 导引头同步脉冲的触发下释放场景回波；
- d) SAR 导引头接收场景回波进行成像处理并输出测量图像信息给接口与信号采集单元；
- e) 测试控制与分析计算机对测量数据进行分析处理。

7.5.4.4 结果的处理

SAR 导引头的图像等效视数应按公式 (33) 计算。

$$N_{ENL} = \frac{\left[\frac{1}{M_L \times N_L} \sum_{x=0}^{M_L-1} \sum_{y=0}^{N_L-1} F(x,y) \right]^2}{\frac{1}{M_L \times N_L} \sum_{x=0}^{M_L-1} \sum_{y=0}^{N_L-1} \left[F(x,y) - \frac{1}{M_L \times N_L} \sum_{x=0}^{M_L-1} \sum_{y=0}^{N_L-1} F(x,y) \right]^2} \dots\dots\dots (33)$$

式中：

N_{ENL} ——SAR 导引头输出图像的等效视数，无量纲。

7.5.5 图像动态范围测试

7.5.5.1 测试目的

测试 SAR 导引头输出图像的动态范围是否满足要求。

7.5.5.2 测试框图

图像的动态范围测试连接示意图如图 2 所示。

7.5.5.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 重复 7.5.4.3 a)~7.5.4.3d)多次，依次得到 SAR 导引头获取的多幅场景图像；
- b) 记录每幅图像中的最大像素值 $g_{\max,i}$ 和最小像素值 $g_{\min,i}$ ， $i=1,\dots,n$ 表示图像序号。

7.5.5.4 结果的处理

SAR 导引头图像动态范围应按公式 (34) 计算。

$$D_R = 20 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{g_{\max,i}}{g_{\min,i}} \right] \dots\dots\dots (34)$$

式中：

- D_R ——SAR 导引头输出图像的图像动态范围的数值，单位为分贝 (dB)；
- $g_{\max,i}$ ——第 i 幅图像中的最大像素值，无量纲；
- $g_{\min,i}$ ——第 i 幅图像中的最小像素值，无量纲；
- n ——测试的图像数，一般 $n \geq 5$ 。

7.5.6 成像周期测试

7.5.6.1 测试目的

测试 SAR 导引头接收信号和处理产生图像的实时性是否满足要求。

7.5.6.2 测试框图

测试连接示意图如图 2 所示。

7.5.6.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 设定 SAR 目标模拟器按照给定弹道以回波回放的方式准备工作；
- b) 启动测试流程，控制 SAR 导引头按照多帧连续工作的方式工作，SAR 目标模拟器回放给定弹道条件下的雷达回波信号供 SAR 导引头成像周期测试使用；
- c) 记录接口与信号采集单元首次发送成像指令的时间 t_z (s)；
- d) 接口与信号采集单元接收 SAR 导引头输出的序列图像，并记录每一幅图像成像中心时间 t_k (s)， $k=1,2,\dots,N_m$ ， N_m 为图像序列数。

7.5.6.4 结果的处理

结果的处理如下：

- a) 首帧成像延迟时间应按公式 (35) 计算。

$$\varepsilon_t = t_1 - t_z \dots\dots\dots (35)$$

式中：

- ε_t ——首帧成像延迟时间的数值，单位为秒 (s)；

t_1 ——第一幅图像成像中心时间的数值，单位为秒（s）；

t_z ——首次发送成像指令时间的数值，单位为秒（s）。

b) 成像周期应按公式（36）计算。

$$\Delta t = \frac{1}{N_m - 1} \sum_{k=1}^{N_m - 1} (t_{k+1} - t_k) \dots\dots\dots (36)$$

式中：

Δt ——成像周期测量平均值，单位为秒（s）；

N_m ——图像序列数，无量纲；

t_{k+1} ——第 $k+1$ 幅图像成像中心时间的数值，单位为秒（s）；

t_k ——第 k 幅图像成像中心时间的数值，单位为秒（s）。

7.6 作用距离测试

7.6.1 测试目的

考核SAR导引头的作用距离是否满足要求。

7.6.2 测试框图

SAR导引头作用距离测试的线路连接示意图如图2所示。

7.6.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 设置 SAR 目标模拟器工作于理想单点目标模拟方式，点目标位置对应 SAR 导引头的名义作用距离；
- b) 利用功率计对 SAR 目标模拟器输出端产生的单点目标信号功率进行校准；
- c) 在 SAR 目标模拟器输出端连接可控衰减器，并调整可控衰减器的衰减量，使得可控衰减器输出端的信号功率满足公式（37）；

$$P_s = \frac{(EIRP)\sigma^0 \rho_r \rho_a \cos\theta}{(4\pi)^3 R^4} \left(\frac{c}{f_c}\right)^2 10^{\frac{(L_R+L_c-L_A-G_0)}{10}} \dots\dots\dots (37)$$

式中：

P_s ——可控衰减器输出端信号功率的数值，单位为瓦（W）；

σ^0 ——任务书规定的地物场景的平均后向散射系数，无量纲；

ρ_a ——SAR 导引头的方位分辨率的数值，单位为米（m）；

θ ——SAR 导引头波束入射角的数值，单位为度（°）；

R ——SAR 导引头名义作用距离的数值，单位为米（m）；

c ——光速，单位为米每秒（m/s）；

L_c ——可控衰减器至标准天线传输线损耗的数值，单位为分贝（dB）；

L_A ——SAR 导引头作用距离 R 对应大气传输损耗的数值，单位为分贝（dB）。

- d) 测试控制与分析计算机发送测试指令，接口与信号采集单元发送工作指令和理想航迹给 SAR 导引头；
- e) 目标模拟器在 SAR 导引头同步脉冲的触发下实时按照公式（37）规定的功率水平释放单点目标回波信号；

- f) SAR 导引头对接收到的单点目标回波信号进行处理，并输出测量图像给接口与信号采集单元；
- g) 重复 c)~f) 进行 n 次测试，一般 $n \geq 20$ ；
- h) 测试控制与分析计算机读取测量结果并进行分析。

7.6.4 结果的处理

结果的处理如下：

- a) 按照设定的点目标的位置信息，寻找每次测量点目标的峰值位置；
- b) 对每次测试图像的点目标周围区域进行幅度平方求平均，如图 16 中阴影区域所示；

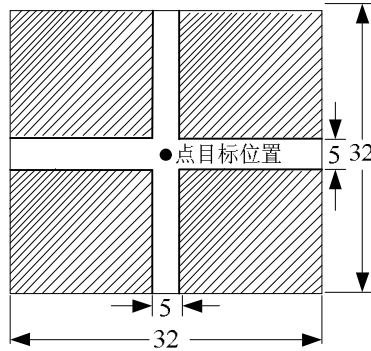


图 16 图像信噪比的计算区域示意图

- c) 对点目标峰值响应位置进行插值，得到点目标的真实最大值 g_{peak} ；
- d) 图像信噪比应按公式 (38) 计算；

$$SNR_i = 10 \log_{10} \left[\frac{g_{peak,i}^2}{\frac{1}{M_0} \sum_{(p,q) \in \text{阴影区域}} F_i^2(p,q)} \right] \dots\dots\dots (38)$$

式中：

- SNR_i ——第 i 次测试得到图像信噪比的数值，单位为分贝 (dB)；
- $g_{peak,i}$ ——第 i 次测试得到的点目标峰值的灰度值，无量纲；
- M_0 ——阴影区域的像素数，无量纲；
- $F_i(p,q)$ ——第 i 次测试位于阴影区域中 (p,q) 坐标点的像素灰度值，无量纲。

- e) 统计 n 次测试中信噪比 SNR_i 达到任务书要求的信噪比的次数，判定 SAR 导引头作用距离是否满足要求。

7.7 景象匹配定位功能测试

7.7.1 测试目的

考核 SAR 导引头的景象匹配与定位功能实现的正确性。

7.7.2 测试框图

SAR 导引头的景象匹配定位功能测试的线路连接示意图如图 2 所示。

7.7.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 按照设定的飞行弹道，为 SAR 导引头装订符合要求的基准图数据、SAR 目标模拟器装订符合要求的对应地物场景图像数据；

- b) 启动测试流程，SAR 导引头根据收到的测试控制与分析计算机的命令执行相应的工作，SAR 目标模拟器根据收到的测试控制与分析计算机发送的弹道数据、SAR 导引头信号，进行对应场景回波计算，并将模拟回波送 SAR 导引头进行接收和处理；
- c) SAR 导引头对处理得到的实时图和基准图进行景象匹配定位处理，并将结果输出给接口与信号采集单元供测试控制与分析计算机进行结果分析。

7.7.4 结果的处理

将景象匹配定位结果与标称值和规定的判据范围进行比较，判定景象匹配定位功能的正确性。

7.8 抗干扰性能测试

7.8.1 测试目的

考核SAR导引头可对抗的干扰等效辐射功率是否满足要求。

7.8.2 测试框图

SAR导引头抗干扰测试的线路连接示意图如图17所示。

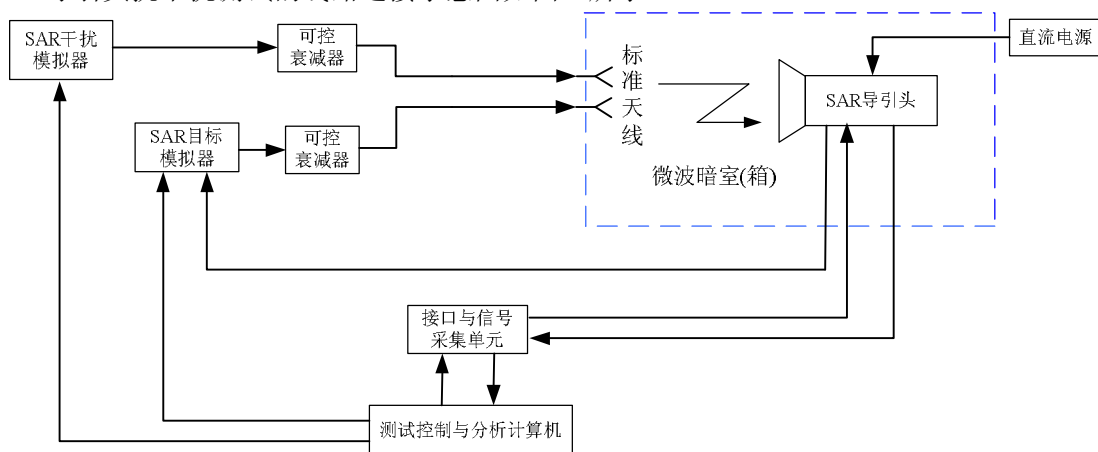


图 17 SAR 导引头抗干扰测试的线路连接示意图

7.8.3 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 设置 SAR 目标模拟器产生典型地面场景的目标回波；
- b) 设置干扰模拟器的干扰方式和适当的干扰信号功率水平；
- c) 根据需要测试的特定干信比条件设定目标模拟器和干扰模拟器输出端所接可控衰减器至合适的衰减量，以上设置完成后控制目标模拟器和干扰模拟器以指定的时序工作；
- d) 记录 SAR 导引头输出实时图结果和对应的基准图，供干扰性能评估；
- e) 重复步骤 a)~d)，设置不同的干信比条件，使得对于某一种设定的干信比，按照公式 (30) 计算得到的图像相关性达到判定阈值，并记录此干信比值；
- f) 根据 SAR 导引头可对抗的干信比，计算干扰等效辐射功率。

7.8.4 结果的处理

根据测定的干信比值确定 SAR 导引头可对抗的干扰等效辐射功率的计算方法见公式 (39)。

$$P_j G_j = \frac{K_{jz} (EIRP) R_j^2}{8\pi R_{min}^4} \frac{c \rho_a \sigma^0}{B_r \sin \theta} 10^{\frac{(L_d - \gamma_j - L_j - K_f + G_i - G_t)(9)}{10}} \dots\dots\dots (39)$$

式中：

- $P_j G_j$ ——干扰等效辐射功率的数值，单位为瓦（W）；
- $K_{j\Sigma}$ ——最小有效干扰距离对应的干信比，无量纲；
- R_j ——干扰机与 SAR 导引头之间距离的数值，单位为米（m）；
- R_{\min} ——干扰机对 SAR 导引头最小干扰距离的数值，单位为米（m）；
- B_r ——SAR 导引头发射信号带宽的数值，单位为赫兹（Hz）；
- L_d ——SAR 导引头馈线损耗和大气损耗的数值，单位为分贝（dB）；
- γ_j ——干扰机极化损耗的数值，单位为分贝（dB）；
- L_j ——干扰机馈线损耗和大气衰减的数值，单位为分贝（dB）；
- K_f ——SAR 导引头接收机带宽与干扰机频谱带宽之比，单位为分贝（dB）；
- G_t ——SAR 导引头天线增益的数值，单位为分贝（dB）；
- $G_t(\vartheta)$ ——SAR 导引头天线指向干扰机方向副瓣增益的数值，单位为分贝（dB）。
-

中华人民共和国航天行业标准

地地导弹 SAR 导引头测试方法

QJ 20424—2016

*

中国航天标准化研究所出版

北京市丰台区小屯路 89 号

邮政编码：100071

中国航天标准化研究所

印务发行部印刷、发行

版权专有 不得翻印

*

2016 年 2 月出版

定价：58 元