

# QJ

## 中华人民共和国航天行业标准

FL 1310

QJ 20425—2016

---

### 地地导弹红外成像导引头测试方法

Test method for infrared imaging 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
5 测试项目 .....	2
6 测试用仪器设备 .....	2
7 测试方法 .....	3
7.1 状态检查 .....	3
7.2 极性测试 .....	4
7.3 视场 .....	5
7.4 最小可分辨温差 (MRTD) .....	6
7.5 成像系统动态范围 .....	8
7.6 畸变 .....	9
7.7 非均匀性 .....	10
7.8 帧频 .....	11
7.9 目标捕获时间 .....	11
7.10 捕获精度 .....	12
7.11 跟踪精度 .....	13
7.12 视线角速度测量误差 .....	14
7.13 伺服性能测试 .....	15
7.14 角跟踪回路频率特性 .....	17
7.15 最大跟踪角速度 .....	19
7.16 跟踪状态隔离度 .....	19

## 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：吴盛君、肖利平、李全运、石宁宁、傅绍文、魏小丹。

# 地地导弹红外成像导引头测试方法

## 1 范围

本标准规定了地地导弹红外成像导引头性能指标测试的一般要求、测试项目、测试用仪器设备和测试方法。

本标准适用于地地导弹使用的红外成像导引头（以下简称导引头）出厂后性能指标测试。

## 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 150.1A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第1部分：通用要求

GJB 2340—1995 军用热像仪通用规范

GJB 3588 导弹控制系统术语

QJ 1279 红外导引头术语

## 3 术语和定义

GJB 3588和QJ 1279确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**畸变 distortion**

距光轴中心不同位置点的放大率与光轴中心点放大率的差与光轴中心点放大率之比。

### 3.2

**非均匀性 non-uniformity**

导引头各个像元在均匀光源照射下，光谱响应的不一致性。

## 4 一般要求

### 4.1 测试环境要求

测试环境条件应符合 GJB 150.1A—2009 中 3.1 的规定。

### 4.2 电源及接地

#### 4.2.1 电源

电源应满足如下要求：

- a) 电压：220 V±22V；
- b) 频率：50 Hz±1Hz；
- c) 零线电压不大于5V<sub>p-p</sub>。

#### 4.2.2 接地

有接地要求的参试仪器和设备接地电阻应小于  $4\Omega$ 。

## 5 测试项目

测试项目见表1。

表1 测试项目

序号	测试项目	测试分类
1	状态检查（包括外观检查、绝缘电阻、静态工作电流、通讯检查、电源拉偏）	J、P
2	极性测试	J、P
3	视场	J、P
4	最小可分辨温差（MRTD）	J、P
5	成像系统动态范围	J、P
6	畸变	J、P
7	非均匀性	J、P
8	帧频	J、P
9	目标捕获时间	J、P
10	捕获精度	J、P
11	跟踪精度	J、P
12	视线角速度测量误差	J、P
13	伺服性能测试（包括框架角范围、静态预置精度及预置回路时间常数、动态预置精度）	P
14	角跟踪回路频率特性	P
15	最大跟踪角速度	P
16	跟踪状态隔离度	P

注：J适用于捷联式红外成像导引头测试，P适用于平台式红外成像导引头测试。

## 6 测试用仪器设备

测试用仪器设备应经法定计量机构检定合格，并在有效期内。若无其他规定，测试用仪器设备的测量误差应小于被测参数最大允许误差的三分之一。通用测试仪器设备见表2，专用测试仪器设备见表3，导引头测试系统组成原理框图如图1所示。

表2 通用测试仪器设备

序号	名称	单位	数量
1	直流稳压电源	台	1
2	视频监视器	台	1
3	数字示波器	台	1
4	电流表	个	1
5	兆欧表	个	1

表3 专用测试仪器设备

序号	名称	单位	数量
1	红外目标模拟装置（红外目标模拟器或红外靶标）	台	1
2	测试转台	台	1
3	测试控制计算机	台	1
4	数据记录仪	台	1
5	测试转台控制计算机	台	1

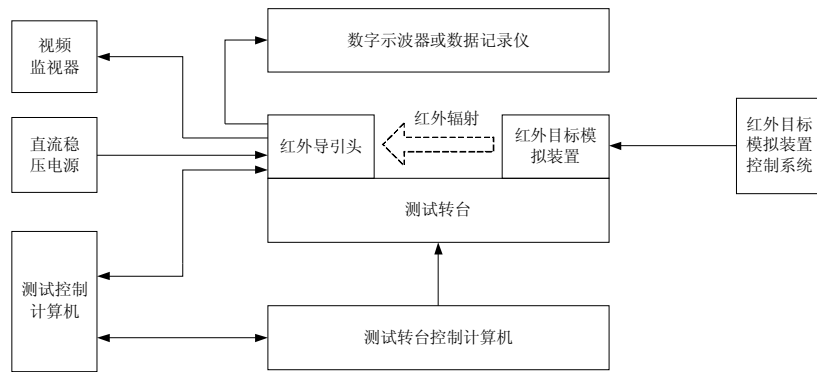


图1 导引头测试系统组成原理框图

7 测试方法

7.1 状态检查

7.1.1 外观检查

导引头通电测试前进行外观检查，应无明显掉漆、碰伤、裂纹、起泡、变形和紧固件松动等现象，检查导引头头罩应无雾化、污垢等。

7.1.2 绝缘电阻

绝缘电阻测试步骤如下：

- 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，兆欧表所示值即为该测试点的绝缘电阻，将测试结果填写在图2所示的表中。

绝缘电阻测试		单位为欧姆
实测值	结论	

图2 绝缘电阻测试表

7.1.3 静态工作电流

静态工作电流测试步骤如下：

- a) 将直流稳压电源输出电压调整至导引头正常工作供电电压，直流稳压电源正、负输出端分别

与导引头正、负电源输入端相接，并将电流表串接于导引头正电源供电线路中；

- b) 为导引头通电，观察并记录电流表指示的稳定值，并将测试结果填写在图3所示的表中。

静态工作电流测试		单位为安培
稳定值	结论	

图3 静态工作电流测试表

#### 7.1.4 通讯检查

通讯检查测试步骤如下：

- a) 测试系统及导引头通电，测试系统工作电压拉偏测试连接框图如图4所示；

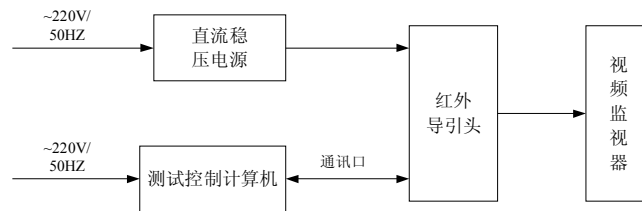


图4 工作电压拉偏测试连接框图

- b) 测试控制计算机通过通讯口给导引头发送通讯检查命令；  
 c) 用数据记录仪记录导引头输出数据，通过对比通信检查命令与导引头输出数据，判断通讯是否正常。

#### 7.1.5 电源拉偏

电源拉偏测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图4所示；  
 b) 将直流稳压电源输出电压调整至任务书规定的供电电压的下限值，为导引头通电；  
 c) 通过测试控制计算机给导引头发送自检指令，接收导引头输出的自检信息，通过分析导引头输出的自检信息、观察视频监控器，判断导引头是否工作正常；  
 d) 将直流稳压电源输出电压调整至任务书规定的供电电压的上限值，为导引头通电，重复步骤c)，并将测试结果填写在图5所示的表中。

电源拉偏测试		单位为伏特
供电电压		结论
供电电压下限		
供电电压上限		

图5 电源拉偏测试表

#### 7.2 极性测试

极性测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，测试系统及导引头通电，并使导引头处于预置工作状态；
- b) 测试控制计算机发送正向及负向预置指令，用数据记录仪记录导引头输出数据，并通过视频监视器观察导引头输出的模拟视频图像，判断导引头平台运动方向与指令方向是否一致；
- c) 通过分析导引头输出数据，判断输出数据极性与指令数据极性是否一致；
- d) 红外目标模拟装置输出测试目标，测试控制计算机给导引头发送捕获指令，使导引头处于稳定跟踪目标状态；
- e) 测试控制计算机给测试转台控制计算机发送控制指令，通过测试转台控制红外目标模拟装置分别沿方位向、俯仰向正、负两个方向上按固定角速度运动，用数据记录仪记录导引头输出视线角速度数据；
- f) 通过分析导引头输出视线角速度数据，判断输出数据极性与目标运动极性是否一致，将测试结果填写在图6所示的表中。

极性测试								
方位向				俯仰向				结论
指令极性	框架角输出数据极性	运动方向	视线角速度极性	指令极性	框架角输出数据极性	运动方向	视线角速度极性	

图6 极性测试表

### 7.3 视场

视场测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，测试系统及导引头通电，导引头预置指令为零，并保证导引头轴线与红外目标模拟装置轴线重合。
- b) 采用十字红外靶标作为测试用目标图像，保证十字红外靶标处于导引头视场中心。
- c) 测试控制计算机给测试转台发送控制指令，通过测试转台控制红外目标模拟装置进行运动，并通过观察视频监视器，使十字靶标分别处于导引头视场方位向左右两个边界，记录对应的转台转角位置  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ ，转角示意图如图7所示。在本步骤测试中，也可通过测试转台控制导引头进行运动，测试方法相同。

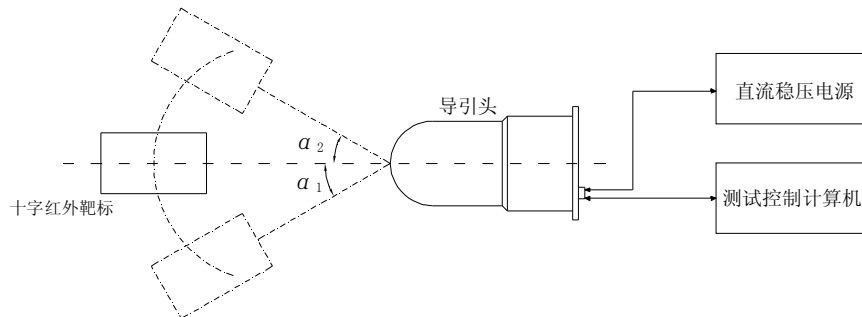


图7 转角示意图

- d) 导引头方位向视场应按公式（1）计算。

$$\alpha = |\alpha_1 - \alpha_2| \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $\alpha$  ——导引头方位向视场的数值，单位为度（°）；
- $\alpha_1$  ——目标位于导引头视场左边界转台转角位置的数值，单位为度（°）；
- $\alpha_2$  ——目标位于导引头视场右边界转台转角位置的数值，单位为度（°）。
- e) 多次测量后，测量次数一般不少于三次，每次测量结果与理论值的差值应在规定的范围内，方位向视场多次测量平均值应按公式（2）计算。

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^n \alpha_i / n \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- $\bar{\alpha}$  ——导引头方位向视场平均值，单位为度（°）；
- $\alpha_i$  ——第*i*次测得的导引头方位向视场的数值，单位为度（°）；
- n* ——测量次数， $n \geq 3$ 。
- f) 测试系统及导引头断电，将导引头安装方式绕导引头轴线旋转90度，重复步骤a)~e)，以同样方法测得导引头俯仰向视场平均值  $\beta$ ，并将测试结果填写在图8所示的表中。

视场测试								单位为度
方位向				俯仰向				结论
$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha$	$\bar{\alpha}$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta$	$\bar{\beta}$	

图8 视场测试表

#### 7.4 最小可分辨温差（MRTD）

最小可分辨温差测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，测试系统及导引头通电，应保证红外目标模拟装置与导引头轴线重合。
- b) 红外目标模拟装置输出条形靶图像，条形靶的选取应按GJB 2340—1995中3.5.1.2的规定，如图9所示。



图9 条形靶图像示意图

- c) 通过红外目标模拟装置控制系统设定红外目标模拟装置背景温度，记为*T*，一般设定目标温度高于背景温度2℃，逐渐降低目标温度。

- d) 在调低目标温度过程中，目标温度稳定后通过视频监视器观察导引头输出的模拟视频，直至目标图像消失，在此过程中，通过数据记录仪记录导引头输出的数字图像，并与目标温度相对应。
- e) 按规定的技术条件设定目标与背景灰度差分辨阈值  $\Delta G$ ，分析数据记录仪记录的数字图像，当数字图像中目标与背景的灰度差小于规定的  $\Delta G$ ，记录此时的目标温度高于背景温度时能分辨目标的最低目标设定温度数值  $T_+$ ，此时可最小分辨温差应按公式 (3) 计算。

$$\Delta T_+ = T_+ - T \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$\Delta T_+$  ——目标温度高于背景温度时最小分辨温差的数值，单位为摄氏度 (°C)；

$T_+$  ——目标温度高于背景温度时能分辨目标的最低目标设定温度的数值，单位为摄氏度 (°C)；

$T$  ——背景温度的数值，单位为摄氏度 (°C)。

- f) 继续降低目标温度，目标温度稳定后通过视频监视器观察导引头输出的模拟视频，直至目标图像再次出现，在此过程中，用数据记录仪记录导引头输出的数字图像，并与目标温度相对应。
- g) 分析数据记录仪记录的数字图像，当数字图像中目标与背景的灰度差大于规定的  $\Delta G$ ，记录此时的目标温度低于背景温度时能分辨目标最高目标设定温度  $T_-$ ，可最小分辨温差应按公式 (4) 计算。

$$\Delta T_- = T - T_- \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\Delta T_-$  ——目标温度低于背景温度时最小分辨温差的数值，单位为摄氏度 (°C)；

$T_-$  ——目标温度低于背景温度时能分辨目标最高目标设定温度的数值，单位为摄氏度 (°C)。

- h) 此次测试最小可分辨温差应按公式 (5) 计算。

$$\Delta T_i = (\Delta T_+ + \Delta T_-) / 2 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$\Delta T_i$  ——目标温度分别高于、低于背景温度最小分辨温差的平均值，单位为摄氏度 (°C)。

- i) 重复步骤 c)~h)进行多次测试，测量次数应不少于三次，多次测量平均值应按公式 (6) 计算。并将测试结果填写在图10所示的表中。

$$\overline{\Delta T} = \sum_{i=1}^n \Delta T_i / n \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$\overline{\Delta T}$  ——导引头最小可分辨温差测试结果平均值，单位为摄氏度 (°C)；

$\Delta T_i$  ——第  $i$  次测得的目标温度分别高于、低于背景温度最小分辨温差的平均值，单位为摄氏度 (°C)；

$n$  ——测试次数， $n \geq 3$ 。

最小可分辨温差测试							单位为摄氏度	
$T$	$T_+$	$T_-$	$\Delta T_+$	$\Delta T_-$	$\Delta T_i$	$\overline{\Delta T_i}$	$\overline{\Delta T}$	结论

图10 最小可分辨温差测试表

7.5 成像系统动态范围

成像系统动态范围测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，测试系统及导引头通电，导引头预置指令为零，并保证导引头轴线与红外目标模拟装置轴线重合。
- b) 红外目标模拟装置输出方形靶，靶标图形如图11所示，并保证背景充满整个视场。

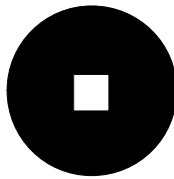


图11 测试用方形靶

- c) 按规定的技术条件设定背景温度，并设定红外目标模拟装置目标温度，目标温度与背景温度差记为  $\Delta T_i$ ；
- d) 红外目标模拟装置温度稳定后，通过数据记录仪记录导引头输出的数字图像。
- e) 分析数据记录仪记录的数字图像，统计出温度差为  $\Delta T_i$  时数字图像中目标与背景的灰度差  $\Delta G_i$ 。
- f) 通过改变目标温度，使温度差  $\Delta T_i$  在给定技术条件规定的范围内变化，按照步骤 e) 统计出一系列与温度差  $\Delta T_i$  对应的目标与背景的灰度差  $\Delta G_i$ 。
- g) 根据得到数据 ( $\Delta T_i, \Delta G_i$ )，其中  $i=1 \sim n$ ， $n$  为测试次数，绘制目标与背景的灰度差  $\Delta G_i$  与温度差  $\Delta T_i$  的S曲线，如图12所示。

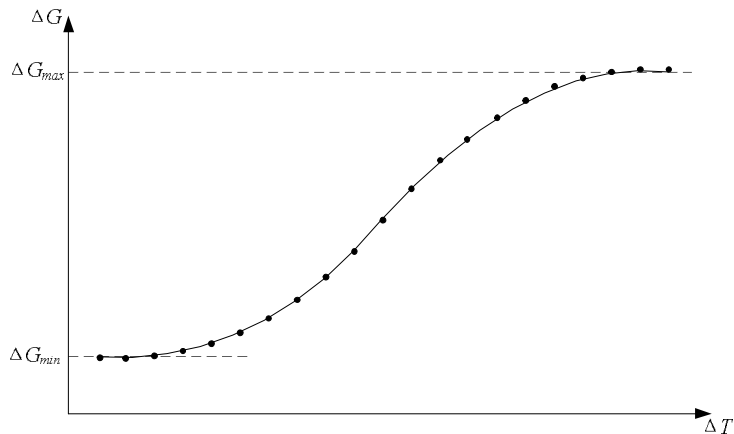


图12  $\Delta G_i$  与  $\Delta T_i$  曲线

- h) 根据目标与背景的灰度差  $\Delta G_i$  与温度差  $\Delta T_i$  的S曲线，读取上、下饱和区对应的灰度差  $\Delta G_{max}$  与  $\Delta G_{min}$ ，成像系统动态范围应按公式 (7) 计算。

$$t = \frac{\Delta G_{\max}}{\Delta G_{\min}} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- $t$  —— 成像系统动态范围；
- $\Delta G_{\max}$  —— 目标与背景的灰度差最大值；
- $\Delta G_{\min}$  —— 目标与背景的灰度差最小值。

i) 按上述方法完成其他背景温度下成像系统动态范围测试，并将测试结果填写在图13所示的表中。

成像系统动态范围测试				
背景温度 (°C)	$\Delta G_{\max}$	$\Delta G_{\min}$	$t$	结论

图13 成像系统动态范围测试表

### 7.6 畸变

畸变测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，测试系统及导引头通电。
- b) 红外目标模拟装置输出方形靶，靶标图形如图5所示。
- c) 将方形靶置于导引头视场中心，通过数据记录仪记录导引头输出的图像，通过分析记录的图像，得出靶标图像的水平尺寸  $L_0$  和垂直尺寸  $H_0$ ，靶标图像的水平尺寸  $L_0$ 、垂直尺寸  $H_0$  与理论值之差应小于规定值。
- d) 测试控制计算机给转台控制计算机发送控制指令，通过测试转台控制红外目标模拟装置沿方位向进行转动，使方形靶边缘与视场边缘重合。
- e) 通过数据记录仪记录导引头输出的图像，通过分析记录的图像，得出靶标图像的水平尺寸  $L_i$ ，方位向图像畸变应按公式（8）计算。

$$\mu_{Ti} = \frac{|L_i - L_0|}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- $\mu_{Ti}$  —— 第*i*次测得的导引头方位向图像畸变，无量纲；
- $L_i$  —— 方形靶边缘与视场边缘重合时方形靶水平尺寸的数值，单位为像素；
- $L_0$  —— 方形靶位于导引头视场中心时方形靶水平尺寸的数值，单位为像素。

f) 多次测量后，测量次数一般不少于三次，每次测量结果差值应在规定的范围内，方位向图像畸变平均值应按公式（9）计算。

$$\overline{\mu_T} = \sum_{i=1}^n \mu_{Ti} / n \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- $\overline{\mu_T}$  —— 导引头方位向图像畸变，无量纲；

$n$  ——测试次数,  $n \geq 3$ 。

g) 按上述方法完成俯仰向图像畸变测试, 并将测试结果填写在图14所示的表中。

畸变测试								结论
方位向				俯仰向				
$L_0$ (像素)	$L_i$ (像素)	$\mu_{Ti}$	$\overline{\mu_T}$	$H_0$ (像素)	$H_i$ (像素)	$\mu_{Di}$	$\overline{\mu_D}$	

图14 畸变测试表

7.7 非均匀性

非均匀性测试步骤如下:

- a) 测试系统连接框图如图1所示, 测试系统及导引头通电, 保证红外目标模拟装置与导引头轴线重合;
- b) 按规定的技术条件设定红外目标模拟装置温度, 使红外目标模拟装置输出一幅均匀图像;
- c) 通过数据记录仪记录导引头输出的数字图像, 并从数字图像中读出每个像素的灰度级  $G(i, j)$ , 非均匀性计算方法应按公式 (10)、公式 (11) 计算。

$$\overline{G_{img\_i}} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N G(i, j) \dots\dots\dots (10)$$

$$\rho_i = \frac{1}{\overline{G_{img\_i}}} \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (G(i, j) - \overline{G_{img\_i}})^2} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

式中:

$\overline{G_{img\_i}}$  ——第  $i$  次测得的导引头输出数字图像平均灰度级, 无量纲;

$M$  ——导引头输出数字图像行数;

$N$  ——导引头输出数字图像列数;

$G(i, j)$  ——导引头输出数字图像第  $i$  行第  $j$  列的灰度级, 无量纲;

$\rho_i$  ——第  $i$  次测得的导引头输出数字图像非均匀性, 无量纲。

- d) 多次测试后, 测试次数一般不少于三次, 每次测量结果差值应在规定的范围内, 图像非均匀性平均值应按公式 (12) 计算, 并将测试结果填写在图15所示的表中。

$$\overline{\rho} = \sum_{i=1}^n \rho_i / n \dots\dots\dots (12)$$

式中:

$\overline{\rho}$  ——导引头输出数字图像非均匀性平均值, 无量纲;

$n$  ——测试次数,  $n \geq 3$ 。

非均匀性测试			
$\overline{G_{img\_i}}$	$\rho_i$	$\overline{\rho}$	结论

图15 非均匀性测试表

7.8 帧频

帧频测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图16所示；

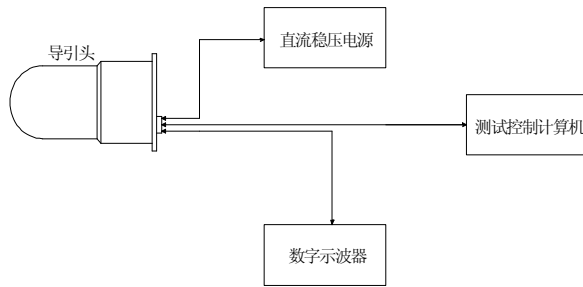


图16 系统连接框图

- b) 测试系统及导引头通电，导引头稳定输出数字图像信号后，通过数字示波器测量数字图像的场同步信号，在测试时间  $t$  内用示波器记录导引头输出的数字图像帧数  $N_f$ ；
- c) 导引头图像帧频  $f$  应按公式（13）计算，将测试结果填写在图17所示的表中。

$$f = N_f / t \dots\dots\dots (13)$$

式中：

- $f$  ——导引头图像帧频的数值，单位为赫兹（Hz）；
- $N_f$  ——数字图像帧数，单位为帧；
- $t$  ——测试时间的数值，单位为秒（s）。

帧频测试			
$t$ (s)	$N_f$ (帧)	$f$ (Hz)	结论

图17 帧频测试表

7.9 目标捕获时间

目标捕获时间测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，测试系统及导引头通电；
- b) 红外目标模拟装置输出测试目标，测试控制计算机给导引头发送捕获指令，使导引头处于稳定跟踪目标状态，在测试过程中应保证红外目标模拟装置与导引头相对静止；
- c) 用数据记录仪记录导引头输出数据，按通信协议解析出导引头状态信息；
- d) 确定导引头处于捕获状态及处于跟踪状态的时间  $t_{bh\_1}$ 、 $t_{bh\_2}$ ，并计算时间差  $\Delta t_{bh} = t_{bh\_2} - t_{bh\_1}$ ， $\Delta t_{bh}$  即为目标捕获时间；

- e) 多次测量后，测量次数应不少于三次，每次测量结果差值应在规定的范围内，导引头目标捕获时间应按公式（14）计算，并将测试结果填写在图18所示的表中。

$$\Delta t_{bh} = \max(\Delta t_{bh\_1}, \Delta t_{bh\_2}, \dots, \Delta t_{bh\_n}) \dots\dots\dots (14)$$

式中：

- $\Delta t_{bh}$  ——导引头目标捕获时间的数值，单位为秒（s）；
- $\Delta t_{bh\_i}$  ——第*i*次测得导引头目标捕获时间的数值，单位为秒（s）；
- n* ——测试次数， $n \geq 3$ 。

首次目标捕获时间测试				单位为秒
$t_{bh\_1}$	$t_{bh\_2}$	$\Delta t_{bh\_i}$	$\Delta t_{bh}$	结论

图18 首次目标捕获时间测试表

7.10 捕获精度

捕获精度测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，测试系统及导引头通电；
- b) 红外目标模拟装置输出测试目标，测试控制计算机给导引头发送捕获指令，使导引头处于稳定跟踪目标状态；
- c) 用数据记录仪记录导引头输出数据，包括实时图及捕获结果；
- d) 通过对捕获时刻实时图进行分析，获取目标真实位置，计算目标真实位置与实际捕获位置之差，并求取差值的绝对值，得出方位向及俯仰向捕获位置偏差，记作 $(\Delta x_i, \Delta y_i)$ ，即该次捕获试验的捕获精度；
- e) 按照上述方法完成目标在导引头视场中不同位置的捕获精度测试，同一位置的捕获精度测试次数应不少于三次，每次测量结果差值应在规定的范围内，方位向及俯仰向捕获精度平均值应按公式（15）、公式（16）计算，并将测试结果填写在图19所示的表中。

$$\overline{\Delta x_i} = \sum_{p=1}^q \Delta x_{ip} / q, \quad \overline{\Delta y_i} = \sum_{p=1}^q \Delta y_{ip} / q \dots\dots\dots (15)$$

$$\overline{\Delta x} = \sum_{i=1}^n \overline{\Delta x_i} / n, \quad \overline{\Delta y} = \sum_{i=1}^n \overline{\Delta y_i} / n \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- $\overline{\Delta x_i}$  ——第*i*位置导引头方位向捕获精度平均值，单位为像素；
- $\Delta x_{ip}$  ——第*i*位置第*p*次测得的导引头方位向捕获精度，单位为像素；
- p* ——第*i*位置测量序号，无量纲；
- q* ——第*i*位置测试次数；
- $\overline{\Delta y_i}$  ——第*i*位置导引头俯仰向捕获精度平均值，单位为像素；
- $\Delta y_{ip}$  ——第*i*位置第*p*次测得的导引头俯仰向捕获精度，单位为像素；
- $\overline{\Delta x}$  ——导引头方位向捕获精度平均值，单位为像素；
- $\overline{\Delta y}$  ——导引头俯仰向捕获精度平均值，单位为像素；

$n$  ——测试次数,  $n \geq 3$ 。

捕获精度测试						单位为像素
方位向			俯仰向			结论
$\Delta x_{ip}$	$\overline{\Delta x_i}$	$\overline{\Delta x}$	$\Delta y_{ip}$	$\overline{\Delta y_i}$	$\overline{\Delta y}$	

图19 捕获精度测试表

7.11 跟踪精度

跟踪精度测试步骤如下:

- a) 测试系统连接框图如图1所示, 保证红外目标模拟装置与导引头轴线重合;
- b) 测试系统及导引头通电, 红外目标模拟装置输出测试目标, 测试控制计算机给导引头发送捕获指令, 使导引头处于稳定跟踪目标状态;
- c) 测试控制计算机按规定的技术条件给测试转台发送控制指令, 通过测试转台控制红外目标模拟装置进行运动;
- d) 测试过程中, 用数据记录仪记录导引头输出数据, 并从导引头输出数据中解析出跟踪目标点位置, 选取一段时间内稳定数据, 计算跟踪目标点位置与典型测试条件下理论目标中心位置之差, 并求取差值的绝对值 ( $\Delta x_i, \Delta y_i$ ), 其中  $i = 1 \sim k$ ,  $k$  为选取时间段内采样点数;
- e) 方位向、俯仰向跟踪误差平均值、跟踪误差标准差应按公式 (17)、公式 (18) 计算, 并将测试结果填写在图20所示的表中;

$$\overline{\Delta x} = \sum_{i=1}^k \Delta x_i / k, \quad \overline{\Delta y} = \sum_{i=1}^k \Delta y_i / k \dots\dots\dots (17)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^k (\Delta x_i - \overline{\Delta x})^2 / k}, \quad \sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^k (\Delta y_i - \overline{\Delta y})^2 / k} \dots\dots\dots (18)$$

式中:

- $\overline{\Delta x}$  ——方位向跟踪误差平均值, 单位为像素;
- $\Delta x_i$  ——第  $i$  个采样点方位向跟踪误差, 单位为像素;
- $k$  ——采样点数;
- $\overline{\Delta y}$  ——俯仰向跟踪误差平均值, 单位为像素;
- $\Delta y_i$  ——第  $i$  个采样点俯仰向跟踪误差, 单位为像素;
- $\sigma_x$  ——方位向跟踪误差标准差, 单位为像素;
- $\sigma_y$  ——俯仰向跟踪误差标准差, 单位为像素。

跟踪精度测试						单位为像素
方位向			俯仰向			结论
$\Delta x_i$	$\overline{\Delta x}$	$\sigma_x$	$\Delta y_i$	$\overline{\Delta y}$	$\sigma_y$	

图20 跟踪精度测试表

7.12 视线角速度测量误差

视线角速度测量误差测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，保证红外目标模拟装置与导引头轴线重合。
- b) 测试系统及导引头通电，红外目标模拟装置输出测试目标，测试控制计算机给导引头发送捕获指令，使导引头处于稳定跟踪目标状态。
- c) 测试控制计算机按规定技术条件给测试转台发送控制指令，通过测试转台控制红外目标模拟装置沿方位向按固定角速度运动。
- d) 用数据记录仪记录一段时间内测试转台运动角速度  $\omega_i$  及导引头输出方位向视线角速度数据  $\dot{\lambda}_{TP}$ 。
- e) 从稳定的试验数据中选取一段数据进行分析，将导引头输出方位向视线角速度  $\dot{\lambda}_{TP}$  与转台运动的角速度  $\omega_i$  之差记为  $\Delta \dot{\lambda}_{TPi} = \left| \dot{\lambda}_{TP} - \omega_i \right|$ ，该运动条件下方位向视线角速度测量误差平均值与标准差应按公式（19）、公式（20）计算。

$$\overline{\dot{\lambda}_{TP}} = \sum_{i=1}^k \Delta \dot{\lambda}_{TPi} / k \dots\dots\dots (19)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^k (\Delta \dot{\lambda}_{TPi} - \overline{\dot{\lambda}_{TP}})^2 / k} \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$\overline{\dot{\lambda}_{TP}}$  ——该运动条件下方位向视线角速度测量误差平均值，单位为度每秒（°/s）；

$\Delta \dot{\lambda}_{TPi}$  ——第*i*个采样点方位向视线角速度测量误差，单位为度每秒（°/s）；

*k* ——采样点数；

$\sigma$  ——该运动条件下方位向视线角速度测量误差标准差，单位为度每秒（°/s）。

f) 根据上述方法完成其他运动条件下视线角速度测量误差测试。

g) 按照步骤 a)~f)完成俯仰方向视线角速度测量误差测试，并将测试结果填写在图21所示的表中。

视线角速度测量误差										单位为度每秒	
测试角速度	方位向					俯仰向					结论
	$\omega_i$	$\dot{\lambda}_{TP}$	$\Delta \dot{\lambda}_{TPi}$	$\overline{\Delta \dot{\lambda}_{TPi}}$	$\sigma_T$	$\omega_i$	$\dot{\lambda}_{DP}$	$\Delta \dot{\lambda}_{DPi}$	$\overline{\Delta \dot{\lambda}_{DPi}}$	$\sigma_D$	

图21 视线角速度测量误差表

7.13 伺服性能测试

7.13.1 框架角范围

框架角范围测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，测试系统及导引头通电，并使导引头工作在预置状态。
- b) 根据技术条件，测试控制计算机按一定步长  $\nu$  给导引头发送预置指令， $\nu$  应小于任务书规定的角分辨率的二分之一。
- c) 用数据记录仪记录一段时间  $t$  内的导引头预置指令及导引头输出框架角数据， $t$  应按公式 (21) 计算。

$$t > |\lambda_P| / \nu \dots\dots\dots (21)$$

式中：

$t$  ——测试时间的数值，单位为秒 (s)；

$\lambda_P$  ——任务书规定最大框架角的数值，单位为度 (°)；

$\nu$  ——导引头预置指令变化步长的数值，单位为度每秒 (°/s)。

- d) 对比导引头预置指令与导引头回送框架角数据，在到达最大框架角之前，导引头回送的框架角数据应跟随导引头预置指令按一定步长  $\nu$  逐渐增大或减小，当导引头回送框架角停止跟随导引头预置指令，保持不变，记录此时的框架角。
- e) 根据此方法分别确定正向最大框架角  $\lambda_{Pmax}$  及负向最大框架角  $\lambda_{Pmin}$ ， $\lambda_{Pmin} \sim \lambda_{Pmax}$  即为该方向框架角范围，并按上述方法确定俯仰向框架角范围，将测试结果填写在图22所示的表中。

框架角范围				单位为度
方位向		俯仰向		结论
$\lambda_{Pmin}$		$\lambda_{Pmin}$		
$\lambda_{Pmax}$		$\lambda_{Pmax}$		

图22 框架角范围表

7.13.2 静态预置精度及预置回路时间常数

静态预置精度及预置回路时间常数测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，测试系统及导引头通电，并使导引头工作在预置状态。
- b) 测试控制计算机给导引头方位向发送固定预置指令，用数据记录仪记录一段时间  $t$  内的导引头预置指令  $\lambda_T$  及导引头稳态的框架角数据  $\lambda_{TP}$ 。
- c) 取多点数据，框架角与指令数据差值、差值平均值应按公式 (22)、公式 (23) 计算。

$$\Delta\lambda_{Ti} = |\lambda_{Ti} - \lambda_{TPi}| \dots\dots\dots (22)$$

$$\overline{\Delta\lambda_{Ti}} = \sum_{i=1}^k \Delta\lambda_{Ti} / k \dots\dots\dots (23)$$

式中：

$\Delta\lambda_{Ti}$  ——第  $i$  点导引头方位向预置指令数据与框架角数据差值，单位为度 (°)；

- $\lambda_{Ti}$  ——第*i*点导引头方位向预置指令数据的数值，单位为度（°）；
- $\lambda_{TPi}$  ——第*i*点导引头输出方位向框架角数据的数值，单位为度（°）；
- $\overline{\Delta\lambda_{Ti}}$  ——该预置指令下导引头预置精度，单位为度（°）；
- k* ——采样点数。

d) 重复步骤b)～c)，测得其他预置指令下预置精度，预置指令一般为零位、按规定的技术条件给定阶跃、最大框架角的25%、50%、75%及100%等，导引头方位向预置精度应按公式(24)计算。

$$\overline{\Delta\lambda_T} = \sum_{i=1}^n \overline{\Delta\lambda_{Ti}} / n \dots\dots\dots (24)$$

式中：

- $\overline{\Delta\lambda_T}$  ——测得的导引头方位向预置精度，单位为度（°）；
- n* ——不同预置指令测试次数。

- e) 在给定阶跃预置精度测试过程中，从导引头框架角数据曲线读取从发送指令时间*t*<sub>0</sub>以及达到指令数据的63.2%（适用于一阶系统）的时间*t*<sub>1</sub>， $\Delta t = t_1 - t_0$ 即为角预置回路时间常数。
- f) 按上述方法完成俯仰方向预置精度及预置回路时间常数测试，并将测试结果分别填写在图23和图24所示的表中。

静态预置精度测试											单位为度
预置指令	方位向					俯仰向					结论
	$\lambda_T$	$\lambda_{TP}$	$\Delta\lambda_{Ti}$	$\overline{\Delta\lambda_{Ti}}$	$\overline{\Delta\lambda_T}$	$\lambda_D$	$\lambda_{DP}$	$\Delta\lambda_{Di}$	$\overline{\Delta\lambda_{Di}}$	$\overline{\Delta\lambda_D}$	

图23 静态预置精度测试表

预置回路时间常数测试			单位为秒
方位向	俯仰向	结论	

图24 预置回路时间常数测试表

### 7.13.3 动态预置精度

动态预置精度测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，测试系统及导引头通电，并使导引头工作在预置状态。
- b) 测试控制计算机按规定的技术条件给测试转台发送控制指令，通过测试转台控制导引头沿方位向按选定的频率点及幅值做正弦运动。
- c) 测试控制计算机将测试转台发送控制指令乘以-1后，作为方位向预置指令发送给导引头进行预置。

- d) 用数据记录仪记录一段时间*t*内的导引头预置指令 $\lambda_T$ 及导引头稳态的框架角数据 $\lambda_{TP}$ 。
- e) 选取稳定数据中多周期点数据,框架角与指令数据峰峰值的差值、差值平均值应按公式(25)、公式(26)计算。

$$\Delta\lambda_{Ti\_p} = |\lambda_{Ti\_p} - \lambda_{TPi\_p}| \dots\dots\dots (25)$$

$$\overline{\Delta\lambda_{Ti\_p}} = \sum_{i=1}^k \Delta\lambda_{Ti\_p} / k \dots\dots\dots (26)$$

式中:

- $\lambda_{Ti\_p}$  ——第*i*周期导引头方位向预置指令数据峰值,单位为度(°);
- $\lambda_{TPi\_p}$  ——第*i*周期导引头输出方位向框架角数据峰值,单位为度(°);
- $\Delta\lambda_{Ti\_p}$  ——第*i*次导引头方位向预置指令数据与框架角数据峰峰值差值,单位为度(°);
- $\overline{\Delta\lambda_{Ti\_p}}$  ——测得的该测试条件下动态预置精度,单位为度(°);
- k* ——采样点数,一般*k*≥10。

- f) 重复步骤 b)~e),测得其他测试条件下动态预置精度,导引头方位向预置精度应按公式(27)计算。

$$\overline{\Delta\lambda_{T\_p}} = \sum_{i=1}^n \overline{\Delta\lambda_{Ti\_p}} / n \dots\dots\dots (27)$$

式中:

- $\overline{\Delta\lambda_{T\_p}}$  ——测得的导引头方位向预置精度,单位为度(°);
- n* ——不同预置指令测试次数。

- g) 按上述方法完成俯仰方向动态预置精度测试,并将测试结果填写在图25所示的表中。

动态预置精度测试											单位为度	
测试指令		方位向					俯仰向					结论
频率	幅值	$\lambda_{T\_p}$	$\lambda_{TP\_p}$	$\Delta\lambda_{Ti\_p}$	$\overline{\Delta\lambda_{Ti\_p}}$	$\overline{\Delta\lambda_{T\_p}}$	$\lambda_{D\_p}$	$\lambda_{DP\_p}$	$\Delta\lambda_{Di\_p}$	$\overline{\Delta\lambda_{Di\_p}}$	$\overline{\Delta\lambda_{D\_p}}$	

图 25 动态预置精度测试表

7.14 角跟踪回路频率特性

角跟踪回路频率特性测试步骤如下:

- a) 测试系统连接框图如图1所示,保证红外目标模拟装置与导引头轴线重合。
- b) 测试系统及导引头通电,红外目标模拟装置输出测试目标,测试控制计算机给导引头发送捕获指令,使导引头处于稳定跟踪目标状态。
- c) 测试控制计算机按规定技术条件给测试转台发送控制指令,通过测试转台控制红外目标模拟装置沿方位向按选定的频率点及幅值做正弦运动。
- d) 用数据记录仪记录一段时间内测试转台运动角速度及导引头输出视线角速度数据。
- e) 从稳定数据中选取一段数据,读取每周期内测试转台运动角速度峰值*A<sub>i</sub>*及其对应的导引头

输出视线角速度峰值  $A_o$ ，一个周期内导引头输出视线角速度与测试转台运动角速度峰值比，应按公式 (28) 计算，一段时间内导引头输出视线角速度与测试转台运动角速度峰值比平均值，应按公式 (29) 计算。

$$A(f)_i = 20 \times \log(A_{oi}/A_{ii}) \dots\dots\dots (28)$$

$$\overline{A(f)} = \sum_{i=1}^k A(f)_i / k \dots\dots\dots (29)$$

式中：

$A(f)_i$  ——第  $i$  周期导引头跟踪回路峰值比，单位为分贝 (dB)；

$A_{oi}$  ——第  $i$  周期导引头输出视线角速度峰值，单位为度每秒 (°/s)；

$A_{ii}$  ——第  $i$  周期转台运动角速度峰值，单位为度每秒 (°/s)；

$\overline{A(f)}$  ——导引头跟踪回路峰值比平均值，单位为分贝 (dB)；

$k$  ——采样点数，一般  $k \geq 10$ 。

f) 在步骤e) 中，在读取转台运动角速度峰值  $A_i$  的同时，记录对应的时间  $t_1$  以及导引头输出视线角速度峰值  $A_o$  对应的时间  $t_2$ ，一个周期角跟踪回路相位滞后应按公式 (30) 计算，一段时间内跟踪回路相位滞后平均值应按公式 (31) 计算。

$$\varphi(\omega)_i = (t_{2i} - t_{1i}) \times f \times 360 \dots\dots\dots (30)$$

$$\overline{\varphi(f)} = \sum_{i=1}^k \varphi(f)_i / k \dots\dots\dots (31)$$

式中：

$\varphi(\omega)_i$  ——一个周期角跟踪回路相位滞后的数值，单位为度 (°)；

$t_{2i}$  ——第  $i$  周期导引头输出视线角速度峰值对应时间的数值，单位为秒 (s)；

$t_{1i}$  ——第  $i$  周期转台运动角速度峰值对应时间的数值，单位为秒 (s)；

$f$  ——选取的测试频率点，单位为赫兹 (Hz)；

$\overline{\varphi(f)}$  ——多个周期导引头跟踪回路相位滞后平均值，单位为度 (°)；

$\varphi(f)_i$  ——第  $i$  周期导引头跟踪回路相位滞后的数值，单位为度 (°)；

$k$  ——采样点数，一般  $k \geq 10$ 。

g) 根据上述方法完成方位向其他频率点的角跟踪回路频率特性测试。

h) 按步骤a)~g)完成俯仰方向角跟踪回路频率特性测试，并将测试结果填写在图26所示的表中。

角跟踪回路频率特性									
频率点	方位向				俯仰向				结论
	$A(f)_i$ (dB)	$\overline{A(f)}$ (dB)	$\varphi(f)_i$ (°)	$\overline{\varphi(f)}$ (°)	$A(f)_i$ (dB)	$\overline{A(f)}$ (dB)	$\varphi(f)_i$ (°)	$\overline{\varphi(f)}$ (°)	

图 26 角跟踪回路频率特性表

7.15 最大跟踪角速度

最大跟踪角速度测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，保证红外目标模拟装置与导引头轴线重合；
- b) 测试系统及导引头通电，红外目标模拟装置输出测试目标，测试控制计算机给导引头发送捕获指令，使导引头处于稳定跟踪目标状态；
- c) 测试控制计算机按规定技术条件给测试转台发送控制指令，通过测试转台控制红外目标模拟装置沿方位向按固定角速度运动，在转动过程中，应保证导引头能够稳定跟踪目标，用数据记录仪记录导引头输出数据；
- d) 逐步增大红外目标模拟装置转动角速度，直到导引头丢失目标，记录当前红外目标模拟装置相对于导引头的转动角速度  $\omega$ ，即为最大跟踪角速度；
- e) 多次测量后，测量次数应不少于三次，方位向最大跟踪角速度应按公式（32）计算；

$$\omega_{\max} = \min(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) \dots\dots\dots (32)$$

式中：

- $\omega_{\max}$  ——导引头最大跟踪角速度的数值，单位为度每秒（°/s）；
- $\omega_i$  ——第*i*次测得导引头最大跟踪角速度的数值，单位为度每秒（°/s）；
- n* ——测量次数， $n \geq 3$ 。
- f) 按上述方法完成俯仰方向测试，并将测试结果填写在图27所示的表中。

最大跟踪角速度测试				单位度每秒
方位向		俯仰向		结论
$\omega_i$	$\omega_{\max}$	$\omega_i$	$\omega_{\max}$	

图27 最大跟踪角速度测试表

7.16 跟踪状态隔离度

跟踪状态隔离度测试步骤如下：

- a) 测试系统连接框图如图1所示，保证红外目标模拟装置与导引头轴线重合。
- b) 测试系统及导引头通电，红外目标模拟装置输出测试目标，测试控制计算机给导引头发送捕获指令，使导引头处于稳定跟踪目标状态。
- c) 测试控制计算机按规定技术条件给测试转台发送控制指令，通过测试转台控制导引头沿方位向按选定的频率及幅值做正弦运动。
- d) 用数据记录仪记录一段时间内测试转台运动角速度及导引头输出视线角速度数据。
- e) 从稳定数据中选取一段数据，读取每周期内测试转台运动角速度峰值  $A_{in}$  及其对应的导引头输出视线角速度峰值  $A_{out}$ ，一个周期的隔离度及一段时间内隔离度平均值应按公式（33）、公式（34）计算。

$$\gamma_i = \frac{A_{out_i}}{A_{in_i}} \times 100\% \dots\dots\dots (33)$$

$$\bar{\gamma} = \sum_{i=1}^k \gamma_i / k \dots\dots\dots (34)$$

式中：

$\gamma_i$  ——第  $i$  个周期计算的导引头方位向隔离度的数值；

$A_{out\_i}$  ——第  $i$  个周期导引头输出视线角速度峰值；

$A_{in\_i}$  ——第  $i$  个周期测试转台运动角速度峰值；

$\bar{\gamma}$  ——导引头方位向隔离度平均值；

$k$  ——采样点数，一般  $k \geq 10$ 。

f) 根据上述方法完成方位向其他频率点的隔离度测试。

g) 按照步骤 a) ~ f) 完成俯仰方向隔离度测试，并将测试结果填写在图28所示的表中。

跟踪状态隔离度测试					
频率点 (Hz)	方位向		俯仰向		结论
	$\gamma_i$	$\bar{\gamma}$	$\gamma_i$	$\bar{\gamma}$	

图28 跟踪状态隔离度测试表

中华人民共和国航天行业标准  
**地地导弹红外成像导引头  
测试方法**

QJ 20425—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：48 元