

中华人民共和国民用航空行业标准

MH/T 4039—2013

空中交通管制 L 波段一次监视雷达
测试方法

L band primary surveillance radar for ATC—Test methods

2013 - 05 - 10 发布

2013 - 08 - 01 实施

中国民用航空局 发布

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中国民用航空局空管行业管理办公室提出。

本标准由中国民用航空局航空器适航审定司批准立项。

本标准由中国民航科学技术研究院归口。

本标准起草单位：中国民用航空局空中交通管理局技术中心、南京恩瑞特实业有限公司。

本标准主要起草人：田振才、郭静、李冰、任森、李航宇、冯兵、陶晶。

MH

空中交通管制 L 波段一次监视雷达 测试方法

1 范围

本标准规定了民用航空空中交通管制L波段一次监视雷达设备主要指标的测试方法。
本标准适用于民用航空空中交通管制L波段一次监视雷达设备的测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5080.7—1986 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案

GB 6364 航空无线电导航台站电磁环境要求

MH/T 4003 无线电导航台和空中交通管制雷达站设置场地规范

MH/T 4032 民用航空飞行校验技术要求 雷达

MH/T 4038 空中交通管制L波段一次监视雷达 技术要求

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

MH/T 4038中确立的术语和定义适用于本文件。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

GNSS 全球导航卫星系统(global navigation satellite system)

PPI 平面位置显示器(plane position indicator)

STC 灵敏度时间控制(sensitivity-time control)

4 一般要求

4.1 被测雷达

被测雷达在各项指标测试前，应处于雷达产品手册规定的状态，设备应完好，工作稳定。

4.2 测试环境

4.2.1 测试现场风力应不大于3级，天气晴好。

4.2.2 测试场地周围的电磁环境应符合GB 6364的要求。

4.2.3 测试场地周围的障碍物环境应符合MH/T 4003的要求。

4.3 测试设备和仪器

- 4.3.1 测试设备和仪器测试能力应涵盖待测雷达的指标。
- 4.3.2 自制测试设备应经过行业主管部门批准方可使用。
- 4.3.3 测试设备和仪器应达到规定精度。
- 4.3.4 测试设备和仪器应在检定或校准有效期内。

4.4 测试记录

- 4.4.1 测试过程中，应按测试程序记录与测试结果有关的原始资料和数据，以便进行数据处理。
- 4.4.2 测试记录应包括以下内容：
 - 测试的依据、时间、地点、项目、实施过程及参试人员；
 - 被测雷达的名称、代号及所有仪表的型号、鉴定日期；
 - 原始数据记录、数据处理方法及结果。

5 性能测试

5.1 设备组成检查

依据雷达产品手册中的设备组成表逐项清点并记录。

5.2 外观质量检查

采用目测法和手感法检查雷达整机的外观质量。

5.3 标识检查

依据雷达产品手册规定，检查雷达的产品部件号、序列号等标识，并记录。

5.4 雷达发射频率测试

5.4.1 测试仪器

采用频谱仪。

5.4.2 测试方法

将功率放大前的雷达激励信号(毫瓦量级)直接接到频谱仪，选择工作频率点，在频谱仪上检查激励信号的频谱特征，判断雷达是否工作在规定的频率点。

5.5 空域覆盖测试

测试方法见MH/T 4032的相关规定。

5.6 探测精度

5.6.1 测试准备

- 5.6.1.1 雷达的探测精度试验可与覆盖范围试验同时进行。
- 5.6.1.2 目标机上若搭载高精度的GNSS设备，试验时以目标机上搭载的高精度GNSS设备记录的数据作为试验基准数据。
- 5.6.1.3 在有二次雷达等高精度测量设备时，也可以高精度测量设备记录的数据作为基准数据。

5.6.1.4 受检雷达应能接收 GNSS 的授时，并作相应的记录。在试验开始前应将受检雷达记录的时间和基准设备中记录的 GNSS 时间进行校准对时，并记录时间差值。

5.6.2 测试方法

5.6.2.1 数据采集

5.6.2.1.1 受检雷达的录取内容、录取速率与雷达覆盖范围试验的录取方式相同。数据采集和雷达覆盖范围试验的录取可同时进行。

5.6.2.1.2 受检雷达应记录检测到目标机的批号、方位、距离和时标。

5.6.2.2 数据处理

5.6.2.2.1 应将基准设备测量的数据转换成以受检雷达为坐标原点的坐标数据。

5.6.2.2.2 以受检雷达测量目标机航迹坐标数据的时间先后为序，将基准设备测量数据的时间与受检雷达测量数据时间对准后，计算出本次测量的差值。

5.6.2.2.3 记录的数据样本中因外部客观原因产生的异常数据可剔除。剔除异常数据后的差值数据作均方根误差分析处理，试验结果应符合雷达产品手册的要求。

5.7 分辨力

5.7.1 可通过对脉压后信号主瓣宽度和天线波束宽度的测试得到雷达的分辨力。

5.7.2 雷达的距离分辨力按下式计算：

$$\Delta d = c\tau / 2$$

式中：

Δd —雷达的分辨力，单位为米（m）；

c —光速，其值为300 m/μs；

τ —脉压后的信号主瓣宽度，单位为微秒（μs）。

5.7.3 方位分辨力等于天线方位波束宽度（单位为度）。

5.7.4 脉压测试见第9章，天线方位波束宽度测试见第6章。

5.7.5 试验结果应符合雷达产品手册的要求。

5.8 气象探测能力

5.8.1 测试仪器

采用信号源。

5.8.2 测试方法

5.8.2.1 将信号源输出的信号从接收机输入端接入。

5.8.2.2 控制信号源工作于雷达工作频率，输出模拟气象信号。

5.8.2.3 记录 PPI 显示画面上 6 种不同的气象等级对应的信号源实际输出功率，测试结果应符合雷达产品手册的要求。

5.9 杂波中目标可见度

5.9.1 测试仪器

采用示波器、可变衰减器、信号发生器。

5.9.2 测试方法

5.9.2.1 雷达加电并工作正常。用人工方式转动天线指向选择的参考地物位置，在接收机处接示波器，观察地物回波的距离位置和幅度。选择的地物回波距离位置应在非 STC 区，幅度应低于饱和电平 1 dB 以上。当选择好地物后，天线应固定在该地物方位上不动。

5.9.2.2 雷达模拟产生一个的固定动目标信号，调整该模拟目标的距离与地物在同一距离上，调整衰减器使固定动目标信号幅度同地物回波幅度大小基本相等，并记录此时的模拟目标幅度 (A_1)。在雷达显示器的 PPI 画面上应显示有固定位置的模拟目标视频信号。

5.9.2.3 用衰减器衰减该模拟目标的信号幅度，观察雷达显示器上显示的模拟动目标的视频信号，在视频信号衰减到还能显示点迹视频的最小值时，并记录此时的模拟目标幅度 (A_2)。

5.9.2.4 杂波中目标可见度等于 A_1 与 A_2 的差值，测量值应符合雷达产品手册的规定。

5.10 通道切换

5.10.1 人工切换测试方法

在A通道工作、B通道开机的情况下，在监控维护席位处人工选择通道切换功能，监视画面上给出通道切换成功的提示，同时通道转换开关完成切换。观察显示画面，若目标航迹连续，表明人工切换成功。

在B通道工作的情况下，按上述操作人工切换至A通道。

5.10.2 自动切换测试方法

在A通道工作、B通道开机的情况下，关闭A通道的处理单元模拟故障，雷达应能自动切换至B通道，通道转换开关完成切换。观察显示画面，若目标航迹连续，表明自动切换成功。

在B通道工作的情况下，按上述操作自动切换至A通道。

5.11 功耗

5.11.1 测试仪器

采用钳形电流表。

5.11.2 测试方法

全机满负荷工作，用钳形电流表测出总的三相交流输入的电流，计算总耗电量。

5.12 数据输出

5.12.1 测试仪器

采用协议分析仪。

5.12.2 测试方法

将协议分析仪接在雷达目标数据输出接口，将接收到的数据与雷达产品手册规定的格式进行比对。

5.13 可靠性

测试方法见GB/T 5080.7—1986的第5章。

6 天线馈线分系统测试

6.1 天线性能

6.1.1 测试仪器

雷达天线测试一般采用远场波瓣测量方法，所用仪器包括频谱仪、信号源、标准发射天线、计算机、衰减器、标准增益馈源。

6.1.2 测试准备

6.1.2.1 选取合适的测试场地。测试场地应平整、开阔，电磁环境良好，尽可能减小周围环境的影响。

6.1.2.2 测试距离应大于 1 650 m，考虑到地面影响，发射点可在 200 m 高度范围内上下移动。

6.1.2.3 调整好转台转动平面与地面的夹角，按图 1 连接好仪器线路，保证仪器接地良好。

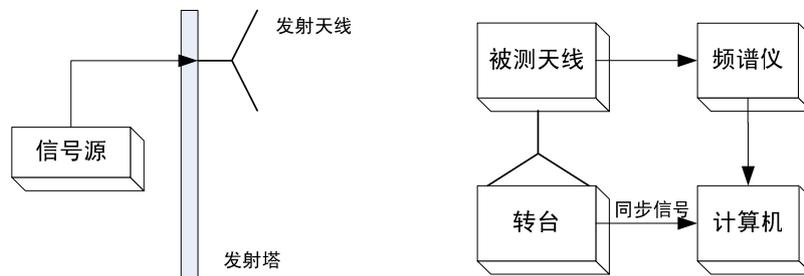


图1 远场波瓣测试系统图

6.1.3 测试方法

6.1.3.1 设置信号源和频谱仪工作模式，调整信号源工作频率和发射功率，保证频谱仪有足够的动态范围。

6.1.3.2 调整发射点位置和天线仰角，使天线对准低波束最大指向。

6.1.3.3 转动被测天线，分别进行雷达天线各频率点的低波束水平波瓣测试，打印或绘制出波瓣图和主要参数，记录测试数据，其中主波束半功率点的方位间隔为方位波束宽度。

6.1.3.4 调整发射点位置和天线仰角，使天线对准高波束最大指向。

6.1.3.5 转动被测天线，分别进行雷达天线各频率点的高波束水平波瓣测试，打印或绘制出波瓣图和主要参数，记录测试数据，其中主波束半功率点的方位间隔为方位波束宽度。

6.1.3.6 天线增益测试采用对比法，适用于雷达天线高、低波束。将标准增益馈源放置在转台上，测出它在各个频率点电平值(SL_1)，再测出雷达天线在相应频率点的电平值(SL_2)，根据理论计算出标准增益馈源在该频率点的增益(G_0)，则雷达天线在该频率点的增益(G)为： $G = G_0 + (SL_2 - SL_1)$ 。

6.2 馈线性能

6.2.1 测试仪器

采用矢量网络分析仪、连接波导。

6.2.2 测试方法

6.2.2.1 按图 2 连接好仪器线路。

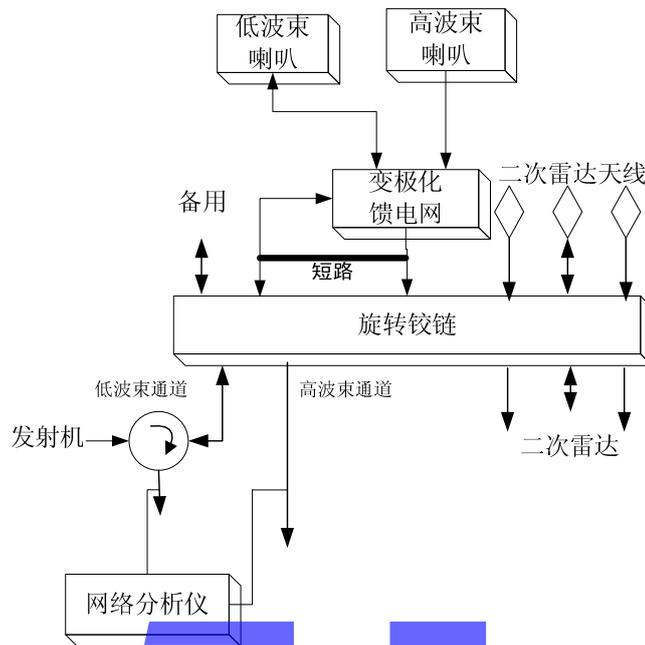


图2 馈线损耗测试框图

6.2.2.2 测试连接波导的损耗值，并记录。

6.2.2.3 用连接波导将铰链上方的高、低波束支路连接起来，测试从高功率环流器发射端输入，高波束支路输出，测试其损耗值，并记录。

6.2.2.4 上面两级数据的差值就是所要求测试的馈线收发损耗值。

6.2.2.5 拆开发射输出给环流器的波导，将网络分析仪接到环流器的输入口进行测试，可得到包括天线在内的驻波。

6.3 天线控制

测试方法为：

- a) 雷达开机(发射机可不开)；
- b) 设置天线转速；
- c) 转动稳定后在监控系统处观察并记录天线转动周期；
- d) 将任意时间读取的 N 个天线转动周期数据值取平均，并分别进行统计，按下式计算得到天线周期的均方根误差：

$$dT = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2}{N}}$$

式中：

dT —— 天线周期的均方根误差，单位为秒 (s) ；

T_i —— 每个天线转动周期数值，单位为秒 (s) ；

\bar{T} —— N 个天线转动周期平均值，单位为秒 (s) 。

- e) 在多个转速下按上述方法分别统计天线转动周期的均方根误差。

6.4 角编码

6.4.1 测试仪器

采用示波器或角编码测试仪。

6.4.2 测试方法

6.4.2.1 雷达开机(发射可不开)。

6.4.2.2 测量角编码器输出的方位增量信号和正北信号。

6.4.2.3 按下式可估算方位编码信号有效位(N):

$$T/t \approx 2$$

式中:

T ——天线转动周期数值,单位为秒(s);

t ——方位增量时间间隔,单位为秒(s)。

7 发射分系统测试

7.1 发射机输出功率

7.1.1 测试仪器

采用示波器、峰值功率计。

7.1.2 测试方法

7.1.2.1 按图3所示连接测试仪器。

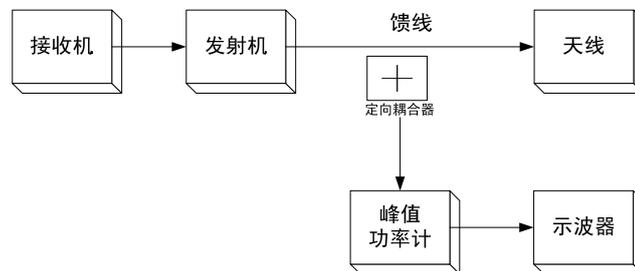


图3 发射机输出功率和信号包络测试方法

7.1.2.2 打开发射机。

7.1.2.3 在峰值功率计上读出输出功率值。

7.1.2.4 根据下式计算出发射机输出的峰值功率:

$$P_0 = P_{\text{指示}} \times 10^{(b-b_0)/10}$$

式中:

P_0 ——输出峰值功率,单位为千瓦(kW);

$P_{\text{指示}}$ ——峰值功率计指示功率,单位为千瓦(kW);

b ——定向耦合器耦合度,单位为分贝(dB);

b_0 ——峰值功率计设定衰减补偿值,单位为分贝(dB)。

7.2 发射脉冲包络

7.2.1 测试仪器

采用数字示波器、功率计(含检波功能)。

7.2.2 测试方法

7.2.2.1 按图 3 所示连接测试设备。

7.2.2.2 打开发射机。

7.2.2.3 在示波器上读取发射信号包络、上升沿和下降沿的宽度。

7.2.2.4 读取顶部起伏幅度 (A_1) 和脉冲幅度 (A_2)，顶部起伏 $A = A_1/A_2 \times 100\%$ 。

7.3 发射频谱

7.3.1 测试仪器

采用频谱仪。

7.3.2 测试方法

7.3.2.1 按图 4 所示连接测试设备，将定向耦合器信号输出到频谱仪。

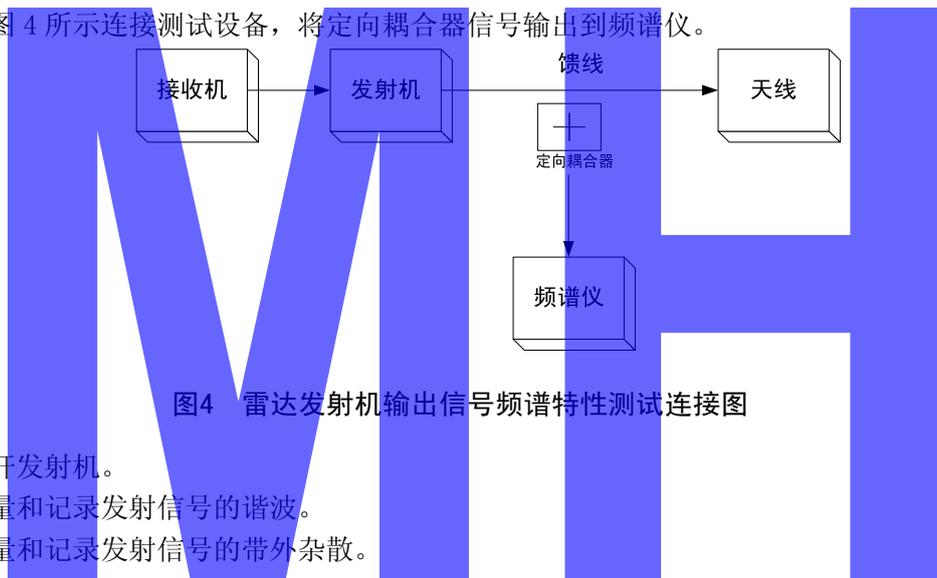


图4 雷达发射机输出信号频谱特性测试连接图

7.3.2.2 打开发射机。

7.3.2.3 测量和记录发射信号的谐波。

7.3.2.4 测量和记录发射信号的带外杂散。

8 接收分系统测试

8.1 信号带宽

8.1.1 测试仪器

采用频谱仪。

8.1.2 测试方法

将功率放大前的雷达激励信号(毫瓦量级)直接接到频谱仪，选择工作频率点，在频谱仪上读取半功率点带宽。

8.2 接收噪声系数及灵敏度

8.2.1 测试仪器

采用噪声系数测试仪、噪声源。

8.2.2 测试方法

8.2.2.1 将接收系统 STC 功能关闭。

8.2.2.2 按图 5 所示连接接收机和仪表，从噪声系数测试仪的上读出接收通道噪声系数测试值。



图5 噪声系数测试框图

8.2.2.3 按上述方法分别完成高、低波束通道以及气象通道的噪声系数测试。

8.2.2.4 接收灵敏度和噪声系数的关系可使用下式计算：

$$P_{\min} = KT_0BF$$

式中：

P_{\min} ——接收灵敏度，单位瓦（W）；

K ——波尔兹曼常数，数值为 1.38×10^{-23} J/K；

T_0 ——标准噪声温度，数值为290 K；

B ——接收机等效噪声带宽，可采用8.1的测试结果，单位为赫兹（Hz）；

F ——接收机噪声系数。

8.3 接收动态范围及增益控制

8.3.1 测试仪器

采用频谱仪、信号源。

8.3.2 测试方法

8.3.2.1 将接收系统 STC 功能关闭。

8.3.2.2 在测出接收噪声系数前提下，接收机的灵敏度按 8.2.2.4 的公式计算得到。

8.3.2.3 置频谱仪、信号源的频率为雷达的工作频率点。

8.3.2.4 按图 6 所示连接接收机和仪表。

8.3.2.5 增加信号源功率直至到达 1 dB 压缩点 $P_{-1\text{dB}}$ 。

8.3.2.6 线性动态范围为 $P_{-1\text{dB}} - P_{\min}$ 。

8.3.2.7 打开接收系统 STC 功能，调整接收通道增益，观察接收机的输出应相应变化。

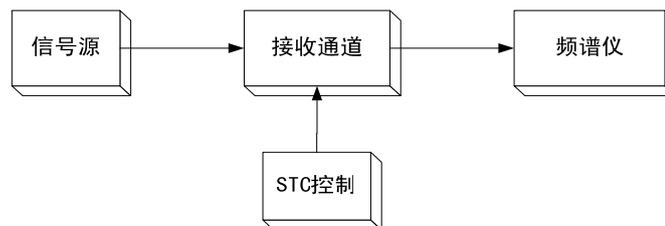


图6 输入动态测试框图

8.4 激励源

8.4.1 激励源输出功率测试方法与发射机总输出功率测试方法相同(见 7.1)，测试位置为激励源的输出端。

8.4.2 激励源输出信号的频谱测试方法与发射机输出频谱测试方法相同(见 7.3)，测试位置为激励源的输出端。

8.4.3 激励源输出信号包络和重复周期的测试方法与发射机输出信号包络测试方法相同(见 7.2)，测试位置为激励源的输出端。

8.5 相位噪声

8.5.1 测试仪器

采用频谱仪(具备相位噪声测试功能)。

8.5.2 测试方法

将接收机一本振输出信号直接接到频谱仪上，读出本振信号的相位噪声。

9 信号处理分系统测试

9.1 脉冲压缩

9.1.1 测试仪器

采用示波器。

9.1.2 测试方法

9.1.2.1 将信号处理脉压后的视频输出接到示波器。

9.1.2.2 设置雷达进入脉压测试的工作方式。

9.1.2.3 从示波器上观察雷达脉冲信号压缩后的波形(参见图 7)。读取脉冲压缩主瓣幅度 (A_1)，最大副瓣幅度 (A_2)，则脉压的主副瓣比 $A = 10\lg(A_2/A_1)$ 。脉冲压缩主瓣的半功率点时间间隔为脉冲压缩主瓣宽度。

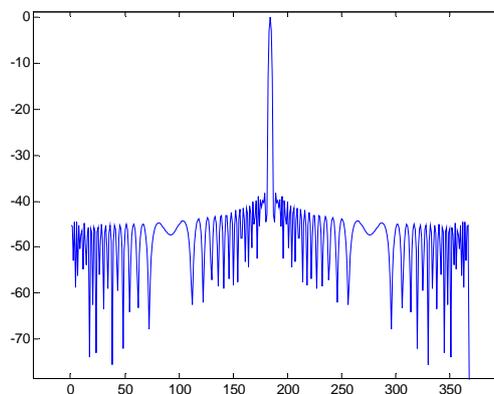


图7 脉冲压缩后信号波形

9.2 功能检查

依据雷达产品手册规定的信号处理器功能在显控界面上逐项操作检查。

10 监控维护席位测试

10.1 对照雷达产品手册中规定的监视内容逐条操作，检查监视情况并记录。记录内容一般应包含：

- a) 天线馈线分系统的监视内容；
- b) 发射分系统的监视内容；
- c) 接收机分系统的监视内容；
- d) 信号处理分系统的监视内容；
- e) 配套设备监视内容。

10.2 对照雷达产品手册中规定的显示内容逐条操作，检查操控情况并记录。记录内容一般应包含：

- a) 点迹、航迹及其参数；
 - b) 目标信息列表；
 - c) 背景地图和航道；
 - d) 命令菜单；
 - e) 记录回放。
-