



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 784—2025

风廓线雷达标校方法

Calibration method for wind profiler radar

2025-12-16 发布

2026-03-01 实施

中国气象局 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 通用要求	2
4.1 仪器仪表	2
4.2 场地环境	2
4.3 安全防护	2
5 标校项目	2
6 标校流程	2
7 标校方法	3
7.1 驻波系数	3
7.2 发射馈线损耗	4
7.3 接收馈线损耗	5
7.4 双程屏蔽网隔离度	6
7.5 工作频率、频谱宽度	7
7.6 脉冲参数	8
7.7 峰值功率	9
7.8 噪声系数	10
7.9 动态范围	11
7.10 接收机灵敏度	12
7.11 距离标校	13
7.12 速度标校	13
7.13 系统相干性	14
7.14 系统灵敏度	15
8 标校报告	15
附录 A(资料性) 风廓线雷达标校项目	16
附录 B(资料性) 风廓线雷达标校报告样式	17
参考文献	20

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国气象仪器与观测方法标准化技术委员会(SAC/TC 507)提出并归口。

本文件起草单位：安徽省大气探测技术保障中心、电子科技大学、中国气象局气象探测中心、长沙气象雷达标校中心、合肥市气象局、四创电子股份有限公司。

本文件主要起草人：董德保、张福贵、李瑞义、周旭辉、张广元、何越、朱亚宗、周先锋、祝颂、李德威。

风廓线雷达标校方法

1 范围

本文件规定了风廓线雷达标校的通用要求、标校项目、标校流程、标校结果和标校报告等内容，描述了标校方法。

本文件适用于业务运行的风廓线雷达标校工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 12649—2017 气象雷达参数测试方法
- GB/T 29480—2013 接近电气设备的安全导则
- QX/T 525—2019 有源 L 波段风廓线雷达(固定和移动)
- QX/T 608—2021 无源 L 波段风廓线雷达
- QX/T 629—2021 P 波段风廓线雷达

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

有源相控阵天线 active phased array antenna

每个辐射单元或每个子阵辐射单元配装有单独的发射/接收组件的相控阵天线。

[来源:QX/T 525—2019,3.1.2]

3.2

无源相控阵天线 passive phased array antenna

采用集中发射体制,由无源阵子和无源功率分配网络组成的相控阵天线。

[来源:QX/T 608—2021,3.1.2]

3.3

标校 calibration

使用满足测量要求的仪器、仪表和装置,采用统一的方法和流程,对雷达系统计量确认的过程。

注:一般含测量、校准等过程。

3.4

T/R 组件 T/R module

完成发射功率放大及回波接收的组件。

[来源:QX/T 525—2019,3.1.4]

4 通用要求

4.1 仪器仪表

测试用仪器仪表应在检定有效期内,仪器仪表配置和测量精度满足 QX/T 608—2021 中 6.1.3 的要求,测试用仪器仪表和被测试设备接地应良好。

4.2 场地环境

测试期间,供电、环境以及工作场地应分别满足 GB/T 12649—2017 中 4.2.1、4.2.2 和 4.2.3 的要求。

4.3 安全防护

应满足 GB/T 29480—2013 中 5.2 的要求。

5 标校项目

风廓线雷达标校项目包括机内(自动)标校项目和机外(人工)标校项目(见附录 A)。

6 标校流程

6.1 标校流程见图 1,可按照下列步骤实施:

- a) 雷达分系统和系统状态检查;
- b) 机内标校项目检查与评定;
- c) 机外标校项目检查与评定;
- d) 编制标校报告。

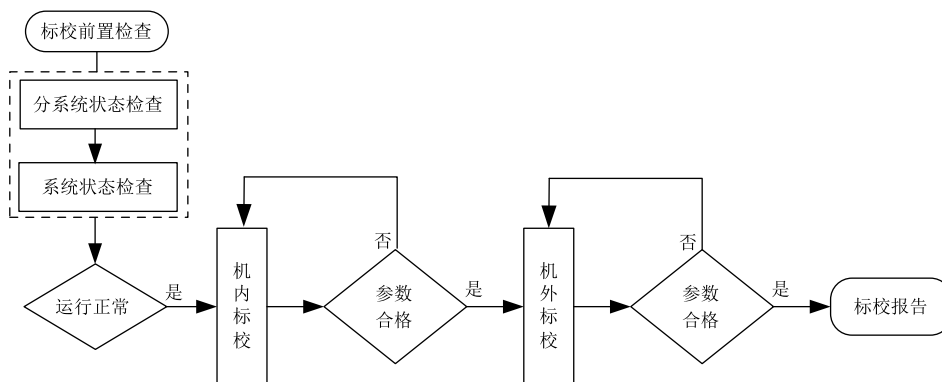


图 1 风廓线雷达标校流程

6.2 有源 L 波段风廓线雷达标校项目测试结果应满足 QX/T 525—2019 中 5.3 技术指标要求,无源 L 波段风廓线雷达标校项目测试结果应满足 QX/T 608—2021 中 5.3 技术指标要求,P 波段风廓线雷达标校项目测试结果应满足 QX/T 629—2021 中 5.3 技术指标要求。未达到技术指标要求时,应对相应的标校项目重新进行校准,给出校准结果。

7 标校方法

7.1 驻波系数

7.1.1 测试说明

测试驻波波腹电压与波谷电压,计算两者幅度之比,得到驻波系数;测试所用设备为矢量网络分析仪。

7.1.2 测试步骤

测试按下列步骤进行:

- a) 驻波系数测试按照图 2 连接,矢量网络分析仪在无源相控阵天线端口进行驻波系数测试;
- b) 在有源相控阵天线 T/R 组件行(列)端口进行驻波系数测试,有源相控阵天线驻波系数为所有行(列)馈网络驻波系数的平均值;
- c) 填写测试结果(无源/有源相控阵天线测试记录表样式分别见示例 1 和示例 2)。

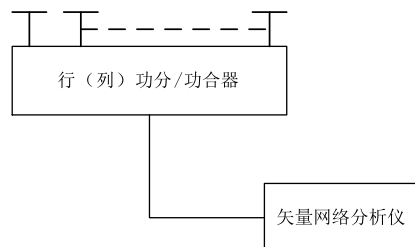


图 2 驻波系数测试示意图

示例 1:

表 X 无源相控阵天线驻波系数标校测试记录表

项目	波束方向	技术指标	测试值
驻波系统	天顶 1	≤ 1.3	
	天顶 2	≤ 1.3	
	东	≤ 1.3	
	西	≤ 1.3	
	南	≤ 1.3	
	北	≤ 1.3	

示例 2:

表 X 有源相控阵天线驻波系数标校测试记录表

项目	技术指标	测试值
驻波系数	≤ 1.3	

7.2 发射馈线损耗

7.2.1 测试说明

无源相控阵天线发射馈线损耗测试发射机输出到功分网络的端口至天线单元入口处的馈线损耗；有源相控阵天线发射馈线损耗测试 T/R 组件行(列)端口至天线单元入口处的馈线损耗，所测的馈线损耗包含功分器的功率分配损耗。

7.2.2 测试步骤

测试按下列步骤进行：

- a) 无源相控阵天线发射馈线损耗测试按照图 3 连接，利用矢量网络分析仪进行发射馈线损耗测试；
- b) 有源相控阵天线发射馈线损耗测试按照图 4 连接，利用矢量网络分析仪进行每行(列)(X 代表行、 Y 代表列， $\#N$ 代表第 N 个 T/R 组件、功分/功合器)的发射馈线损耗测试，计算其平均值；
- c) 填写测试结果(无源/有源相控阵天线测试记录表样式分别见示例 1 和示例 2)。

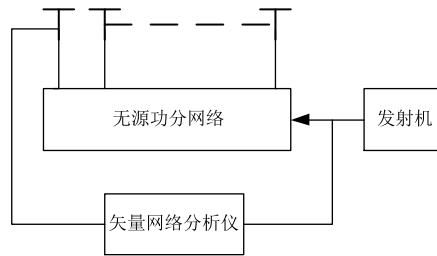


图 3 无源相控阵天线发射馈线损耗测试示意图

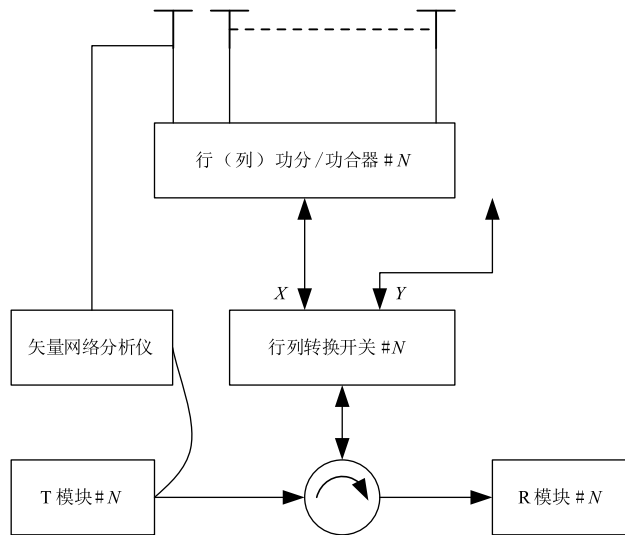


图 4 有源相控阵天线发射馈线损耗测试示意图

示例 1:

表 X 无源相控阵天线发射馈线损耗标校测试记录表

项目	测试值/dB
发射馈线损耗	

示例 2:

表 X 有源相控阵天线发射馈线损耗标校测试记录表

项目	测试值/dB	平均值/dB
发射馈线损耗	# 1:	
	# 2:	
	# 3:	
	...	
	# N:	

7.3 接收馈线损耗

7.3.1 测试说明

无源相控阵天线接收馈线损耗由两部分组成,第一部分与发射馈线损耗相同,第二部分由环形器、限幅器和若干电缆的损耗组成;有源相控阵天线接收馈线损耗还包括 T/R 组件内部的行列开关的损耗。

7.3.2 测试步骤

测试按下列步骤进行:

- 无源相控阵天线接收馈线损耗测试按照图 3 连接,利用矢量网络分析仪进行接收馈线损耗测试;
- 有源相控阵天线接收馈线损耗测试按照图 5 连接,利用矢量网络分析仪进行每行(列)(X 代表行、Y 代表列)的接收馈线损耗测试,计算其平均值;
- 填写测试结果(无源/有源相控阵天线测试记录表样式分别见示例 1 和示例 2)。

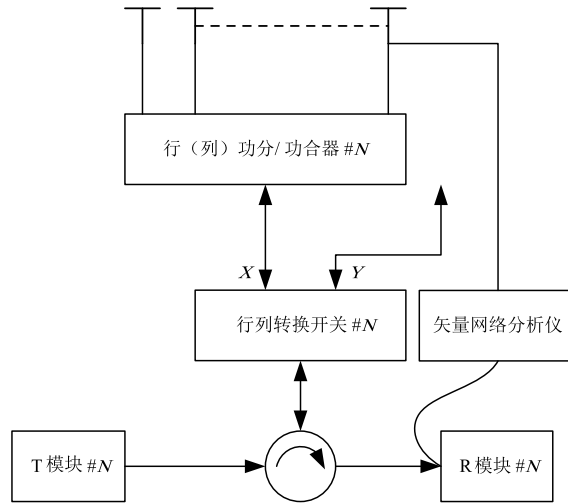


图 5 有源相控阵天线接收馈线损耗测试示意图

示例 1:

表 X 无源相控阵天线接收馈线损耗标校测试记录表

项目	测试值/dB
接收馈线损耗	

示例 2:

表 X 有源相控阵天线接收馈线损耗标校测试记录表

项目	测试值/dB	平均值/dB
接收馈线损耗	# 1:	
	# 2:	
	# 3:	
	...	
	# N:	

7.4 双程屏蔽网隔离度

测试按下列步骤进行:

- a) 双程屏蔽网隔离度测试按照图 6 连接,将信号源的输出幅度设为 0 dBm;
- b) 打开屏蔽网,记录频谱分析仪读数 P_K (dBm);
- c) 关闭屏蔽网,记录频谱分析仪读数 P_G (dBm);
- d) 单程隔离度为 P_K 减去 P_G 的值,双程隔离度为单程隔离度的 2 倍;
- e) 填写双程屏蔽网隔离度测试结果(记录表样式见示例)。

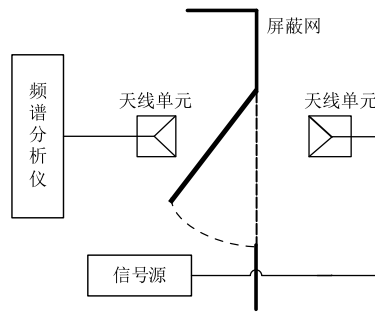


图 6 双程屏蔽网隔离度测试示意图

示例：

表 X 双程屏蔽网隔离度测试记录表

P_K /dBm	P_G /dBm	技术指标/dB	双向隔离度/dB
		>40	

7.5 工作频率、频谱宽度

测试按下列步骤进行。

- a) 无源相控阵天线发射工作频率、频谱宽度测试按照图 7 连接，将大功率衰减器连接发射机输出端，用频谱分析仪测量发射工作频率；频谱分析仪选择 1 MHz 分辨率带宽和 100 MHz 量程，分别测量高级模式（宽脉冲）、低模式（窄脉冲）下的发射脉冲频谱，找出中心频率 f_0 ，在低于峰值 -10 dBc、 -20 dBc、 -30 dBc、 -35 dBc、 -40 dBc、 -50 dBc 处记录频率值，计算出发射信号的频谱宽度。
- b) 有源相控阵天线发射工作频率、频谱宽度测试按照图 8 连接，将衰减器连接到 T/R 组件输出端，测试方法同步骤 a)。
- c) 填写工作频率和频谱宽度测试结果（记录表样式分别见示例 1 和示例 2）。

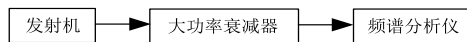


图 7 无源相控阵天线发射工作频率、频谱宽度测试示意图

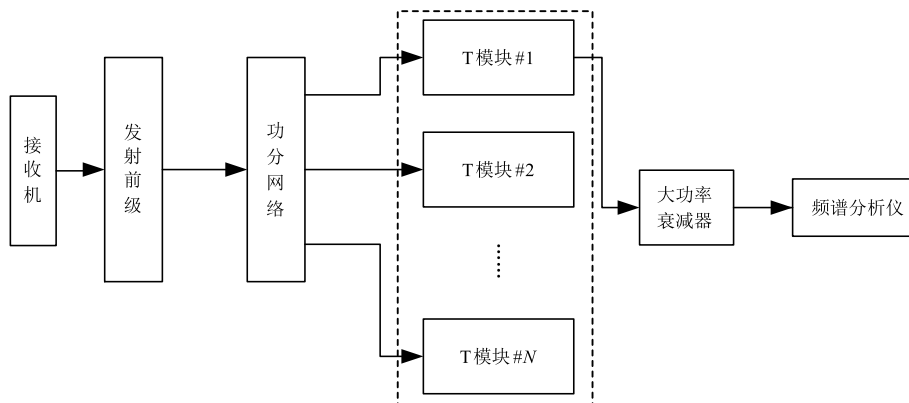


图 8 有源相控阵天线发射工作频率、频谱宽度测试示意图

示例 1:

表 X 工作频率测试记录表

项目	技术指标/MHz	测试值/MHz
工作频率		

示例 2:

表 X 频谱宽度测试记录表

距离中心频率频谱线 衰减量/dBc	频谱宽度/MHz		
	左频偏	右频偏	频谱宽度
-10			
-20			
-30			
-35			
-40			
-50			

7.6 脉冲参数

测试按下列步骤进行:

- 无源相控阵天线发射脉冲参数测试按照图 9 连接,将大功率衰减器接在发射机输出端口,衰减器输出端接检波器和示波器,用示波器测量低模式(窄脉冲)和高模式(宽脉冲)下的发射脉冲参数,包括脉冲宽度、上升时间、下降时间、顶部降落等;
- 有源相控阵天线发射脉冲参数测试按照图 10 连接,将衰减器接在任意选取 1 个 T 模块的输出端口,方法同步步骤 a);
- 填写脉冲参数测试结果(记录表样式见示例)。

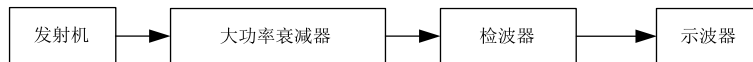


图 9 无源相控阵天线发射脉冲参数测试示意图

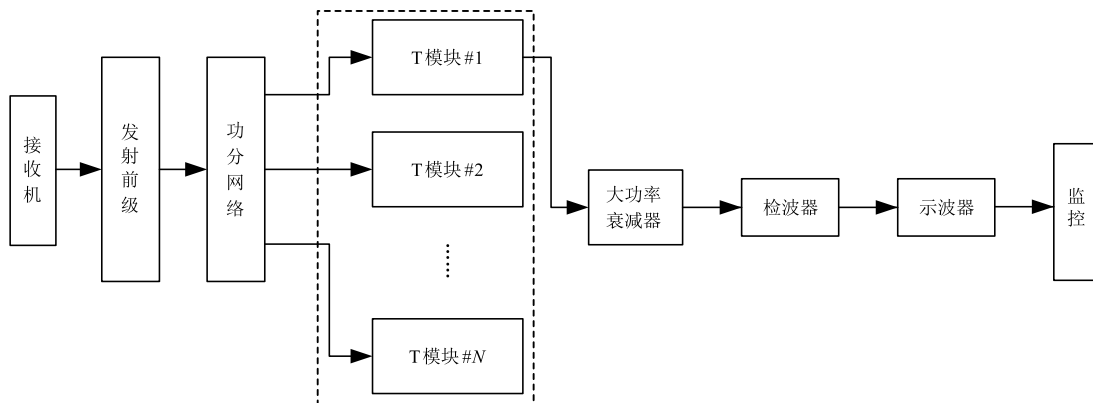


图 10 有源相控阵天线发射脉冲参数测试示意图

示例：

表 X 脉冲参数测试记录表

项目		脉冲宽度/ μs	上升时间/ns	下降时间/ns	顶部降落
脉冲参数	低模式(窄脉冲)				
	高模式(宽脉冲)				

7.7 峰值功率

测试按下列步骤进行：

- 使用雷达标定分系统对机内发射峰值功率进行标校,形成相应的标校参数文件；
- 无源相控阵天线发射峰值功率测试按照图 11 连接,将大功率衰减器接在发射机输出端口,衰减器输出端接功率计,测量低模式(窄脉冲)和高模式(宽脉冲)下的 T 模块发射峰值功率,填写测试结果(记录表样式见示例 1)；
- 有源相控阵天线发射峰值功率测试按照图 12 连接,将大功率衰减器接在每一路 T 模块的输出端口,测量低模式(窄脉冲)和高模式(宽脉冲)下的各个 T 模块发射峰值功率,将 N 个 T 模块功率输出值累加在一起就是雷达总峰值功率,填写测试结果(记录表样式见示例 2)。

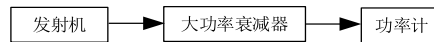


图 11 无源相控阵天线发射峰值功率测试示意图

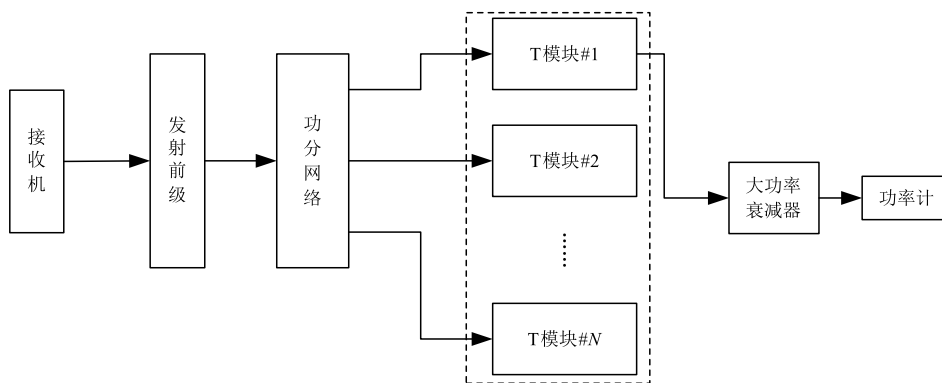


图 12 有源相控阵天线发射峰值功率测试示意图

示例 1：

表 X 无源相控阵天线发射峰值功率测试记录表

项目		测试值
峰值功率/W	低模式(窄脉冲)	
	高模式(宽脉冲)	

示例 2:

表 X 有源相控阵天线发射峰值功率测试记录表

项目		T/R 组件序号						
		# 1	# 2	# 3	# N
峰值功率/W	低模式(窄脉冲)							
	高模式(宽脉冲)							
N 个 T/R 组件输出总功率:低模式: _____ W;高模式: _____ W								

7.8 噪声系数

测试按下列步骤进行:

- a) 使用雷达标定分系统对机内噪声系数进行标校,形成相应的标校参数文件;
- b) 无源相控阵天线接收机噪声系数测试按照图 13 连接,将噪声源与噪声分析仪连接,测试噪声源的噪声作为基准,然后将噪声源接在接收机的输入端低噪声放大器入口处,中频接收机的模拟中频输出端接噪声分析仪,读取的噪声分析仪读数即为噪声系数,填写测试结果(记录表样式见示例 1);
- c) 有源相控阵天线接收机噪声系数测试按照图 14 连接,将噪声源接在每一路 R 模块的低噪声放大器入口处,方法同步骤 b),填写测试结果(记录表样式见示例 2)。

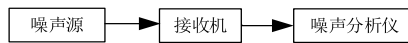


图 13 无源相控阵天线接收机噪声系数测试示意图

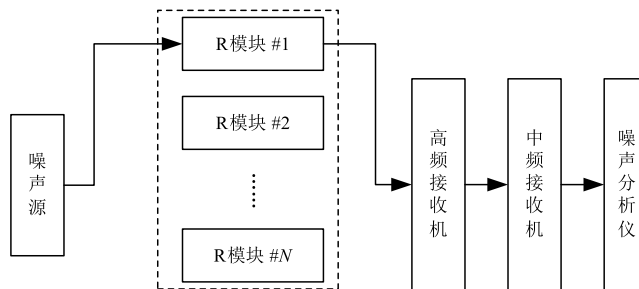


图 14 有源相控阵天线接收机噪声系数测试示意图

示例 1:

表 X 无源相控阵天线接收机噪声系数测试记录表

项目	测试值	备注
噪声系数		低噪声放大器入口处测量

示例 2:

表 X 有源相控阵天线接收机噪声系数测试记录表

项目	T/R 组件序号						
	# 1	# 2	# 3	# N
噪声系数							

注:扣除环形器及 T/R 组件开关等插损。

7.9 动态范围

测试按下列步骤进行。

- 使用雷达标定分系统对机内动态范围进行标校,形成相应的标校参数文件。
- 无源相控阵天线接收机动态范围测试按照图 15 连接,将信号源接在接收机输入端回波入口处,调整信号源频率,设置信号源功率,观察系统处理界面固定高度层的回波功率值和信噪比值;不断下调信号源功率值,并以此记录不同功率下该高度层的回波功率值和信噪比值,直至系统界面上各高度层都不能有效探测信号时,记录此时信号源的功率 P_D ;然后不断上调信号源功率值,并以此记录不同功率下该高度层的回波功率值和信噪比值,当观察到系统界面上回波功率饱和时,记录此时信号源功率 P_B ;动态范围即为 P_B 减去 P_D 的值。
- 有源相控阵天线接收机动态范围测试按照图 16 连接,将信号源接在任意选取 1 个 R 模块回波入口处,方法同步骤 b)。
- 填写动态范围测试结果(记录表样式见示例)。

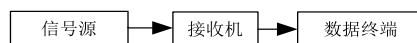


图 15 无源相控阵天线接收机动态范围测试示意图

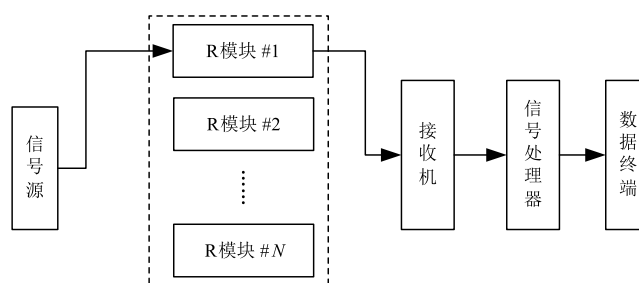


图 16 有源相控阵天线接收机动态范围测试示意图

示例：

表 X 动态范围测试记录表

序号	输入信号/dBm	输出信号/dB	信噪比
1			
2			
3			
4			
5			
...			
...			
测试结果/dB:			
快速傅里叶变换(FFT)点数为____,相干积累数为____,谱平均数为____,标校网络损耗为____ dB。			

7.10 接收机灵敏度

测试按下列步骤进行。

- a) 使用雷达标定分系统对接收机机内灵敏度进行标校,形成相应的标校参数文件。
- b) 无源相控阵天线接收机灵敏度测试按照图 17 连接,将信号源接在接收机输入端的低噪声放大器入口处,接收机的模拟中频输出端接频谱分析仪,频谱分析仪设置合适的中心频率、扫频范围、分辨率带宽(RBW)和视频带宽;首先关闭信号源,在频谱分析仪测得噪声电平值 P_1 (dBm),再打开信号源,调整信号源的输出功率,使频谱分析仪的读数为 $(P_1 + 3)$ dBm,此时信号源的输出功率值即为接收机灵敏度。
- c) 有源相控阵天线接收机灵敏度测试按照图 18 连接,将信号源接在 R 模块前端的低噪声放大器入口处,方法同步骤 b)。
- d) 填写接收机灵敏度测试结果(记录表样式见示例)。

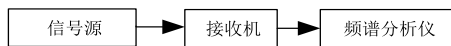


图 17 无源相控阵天线接收机灵敏度测试示意图

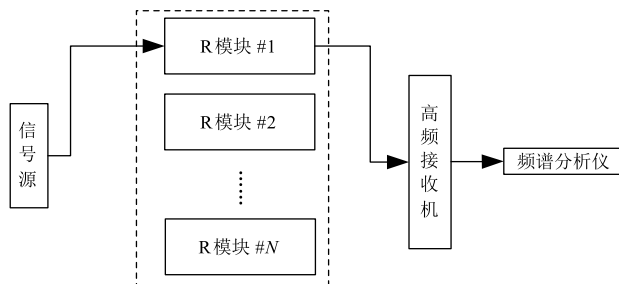


图 18 有源相控阵天线接收机灵敏度测试示意图

示例：

表 X 接收机灵敏度测试记录表

项目	测试值	备注
接收机灵敏度		低噪声放大器入口处注入连续波(CW)测试信号，RBW=1 MHz

7.11 距离标校

测试按下列步骤进行：

- 按照图 19 连接，将接收机激励信号经衰减器后送入接收分系统，在终端数据处理软件中显示该信号的位置为零距离；
- 将接收机激励信号经衰减器、15 μs 延迟线后送入接收分系统，在终端数据处理软件中显示该信号的位置测试值；
- 填写距离标校测试结果(记录表样式见示例)。

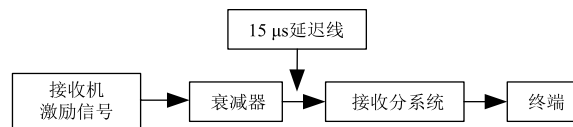


图 19 距离标校测试示意图

示例：

表 X 距离标校测试记录

项目	延时/ μs	测试值/m
距离标校	15	

7.12 速度标校

测试按下列步骤进行：

- 使用雷达标定分系统对速度标校误差进行标校，形成相应的标校参数文件；
- 按照图 20 连接，将信号源输出信号注入接收分系统输入端，采用 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 和 315° 移相的方法，测量不同相位偏移量，把在终端显示的速度实测值与速度理论值进行比较，计算两者差值，填写测试结果(记录表样式见示例 1)；
- 采用 -100 Hz 、 -75 Hz 、 -50 Hz 、 -25 Hz 、 25 Hz 、 50 Hz 、 75 Hz 和 100 Hz 偏置频率的方法，测量不同频率频移量，把终端显示的速度实测值与速度理论值进行比较，计算两者差值，填写测试结果(记录表样式见示例 2)。

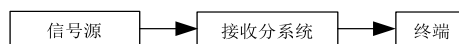


图 20 速度标校测试示意图

示例 1:

表 X 移相法速度标校测试记录表

项目	移相/ $^{\circ}$							
	0	45	90	135	180	225	270	315
速度理论值/(m/s)								
速度实测值/(m/s)								
差值/(m/s)								
最大误差/(m/s): _____								

示例 2:

表 X 频移法速度标校测试记录表

项目	频偏/Hz							
	-100	-75	-50	-25	25	50	75	100
速度理论值/(m/s)								
速度实测值/(m/s)								
差值/(m/s)								
最大误差/(m/s): _____								

7.13 系统相干性

测试按下列步骤进行:

- 按照图 21 连接,将接收机激励信号经衰减器后送入接收机,经两次下变频、放大后变为中频信号,送至数字中频接收机;
- 经模拟信号到数字信号(A/D)变换,数字下变频和数字正交变换,得到 I、Q 两路正交信号,计算出相角,10 组相角的标准差就是所求相位噪声;
- 填写系统相干性测试结果(记录表样式见示例)。

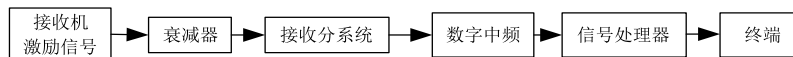


图 21 系统相干性标校测试示意图

示例:

表 X 系统相干性测试记录表

项目	测量次数										平均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
相位噪声/ $^{\circ}$											
FFT 点数: _____ 相干累积数: _____ 谱平均数: _____											

7.14 系统灵敏度

7.14.1 测试说明

系统灵敏度也称为系统最小可测功率。

7.14.2 测试步骤

测试按下列步骤进行：

- a) 按照图 20 连接,启动系统运行软件,设置 FFT 点数、相干累积数和谱平均数；
- b) 将信号源设置为连续波输出状态,调整频率使之在终端数据处理软件显示功率谱不折叠,降低信号源输出功率幅度,直到终端显示信噪比为 1,此时信号源输出的功率值和衰减器的衰减量,即为系统灵敏度；
- c) 填写系统灵敏度测试结果(记录表样式见示例)。

示例：

表 X 系统灵敏度标校测试记录

项目	测量值/dBm
系统灵敏度	
FFT 点数:_____ 相干累积数:_____ 谱平均数:_____	

8 标校报告

标校报告样式见附录 B,内容应包括：

- a) 雷达站名、型号、工作频率、地理位置等；
- b) 仪器仪表清单；
- c) 标校结果与评定结论；
- d) 问题与改进措施；
- e) 标校单位、标校时间、标校人员。

附 录 A
(资料性)
风廓线雷达标校项目

标校项目见表 A.1。

表 A.1 风廓线雷达标校项目

	标校项目	机内	机外	备注
天馈线分系统	驻波系数	×	√	调整、更换或维修天馈线分系统后实施
	发射馈线损耗	×	√	—
	接收馈线损耗	×	√	—
	双程屏蔽网隔离度	×	√	—
发射分系统	工作频率	×	√	—
	频谱宽度	×	√	—
	脉冲参数	×	√	—
	峰值功率	√	√	—
接收分系统	噪声系数	√	√	—
	动态范围	√	√	—
	灵敏度	√	√	—
信号处理分系统	距离标校	×	√	—
	速度标校	√	√	—
整机系统	系统相干性	√	√	—
	系统灵敏度	×	√	—
注：“√”表示该项目需要标校，“×”表示该项目不需要标校。				

1. 基本情况

填写风廓线雷达站的基本情况,包括但不限于地理位置、雷达型号、工作频率等。

雷达站名		
雷达型号		
工作频率(MHz)		
雷达站地理位置		
站址经纬度	经度(°′′)	
	纬度(°′′)	
天线阵面海拔(m)		

2. 仪器仪表清单

填写测试用仪器仪表清单,包括仪表名称、计量有效期范围等。

仪器仪表名称	型号	计量有效期范围
射频示波器		
平衡检波器		
功率计		
功率探头		
信号源		
频谱分析仪		
信号分析仪		
矢量网络分析仪		
噪声分析仪		
噪声源		
衰减器		

图 B.1 风廓线雷达标校报告样式(第 2 页/总 3 页)

3. 标校结果与评定结论

	标校项目	平均值/标准差	指标要求	是否合格	
天馈线分系统	驻波系数				
	发射馈线损耗				
	接收馈线损耗				
	双程屏蔽网隔离度				
发射分系统	工作频率				
	频谱宽度				
	脉冲参数				
	峰值功率	机内 机外			
接收分系统	噪声系数	机内 机外			
	动态范围	机内 机外			
	灵敏度	机内 机外			
	信号处理分系统	距离标校			
		速度标校	机内 机外		
		整机系统	系统相干性	机内 机外	
系统灵敏度					
标校结果与评定结论	采用机内、机外标校对雷达天馈线分系统、发射分系统、接收分系统、信号处理分系统、整机系统等××项标校项目数进行了标校测试,××项指标合格,××项指标不合格,合格率为××%。				
主要问题					
改进措施					
标校人员:_____ 标校时间:_____					

图 B.1 风廓线雷达标校报告样式(第 3 页/总 3 页)

参 考 文 献

- [1] GB 8702—2014 电磁环境控制限值
 - [2] GB/T 37467—2019 气象仪器术语
 - [3] QX/T 78—2007 风廓线雷达信号处理规范
 - [4] QX/T 162—2012 风廓线雷达站防雷技术规范
 - [5] QX/T 620—2021 风廓线雷达观测规范
 - [6] 何平. 相控阵风廓线雷达[M]. 北京:气象出版社,2006
-

中华人民共和国
气象行业标准
风廓线雷达标校方法
QX/T 784—2025

*

气象出版社出版发行
北京市海淀区中关村南大街46号
邮政编码:100081
网址:<http://www.qxcbs.com>
发行部:010-68408042
北京建宏印刷有限公司印刷

*

开本:880 mm×1230 mm 1/16 印张:1.75 字数:52.5千字
2026年1月第1版 2026年1月第1次印刷

*

书号:135029-6479 定价:35.00元

如有印装差错 由本社发行部调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68406301