ICS 07.060
CCS N 92

HY

中 华 人 民 共 和 国 海 洋 行 业 标 准

HY/TXXXXX—XXXX

海洋动力环境观测高频地波雷达发射技术要求

Technical requirements for high frequency ground wave radar emissions of marine dynamic environment observation

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

（报批稿）

XXXX-XX-XX 发布　　XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国自然资源部　　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　发射参数要求 2
4.1　工作频率 2
4.2　雷达体制 3
4.3　发射功率 3
4.4　扫频方式 3
4.5　杂散发射功率 3
4.6　发射信号信噪比 3
4.7　谐波抑制 4
4.8　频率容限 4
4.9　脉冲参数 5
5　基本功能要求 5
5.1　安全保护 5
5.2　信号同频组网 5
6　检验条件 5
6.1　电源条件 5
6.2　环境条件 5
6.3　检验场地条件 5
6.4　接地要求 6
6.5　被测设备的要求 6
6.6　检验仪器的要求 6
7　检验项目 6
7.1　发射参数 6
7.2　基本功能 6
8　检验方法 6
8.1　工作频率 6
8.2　雷达体制 7
8.3　发射功率 7
8.4　扫频方式 8
8.5　杂散发射功率 8
8.6　发射信号信噪比 8
8.7　谐波抑制 9
8.8　频率容限 9
8.9　脉冲参数 9
8.10　安全保护 10
8.11　信号同频组网 10
9　检验记录 11
附录 A（资料性）检验原始记录表 12
参考文献 13

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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国海洋标准化技术委员会（SAC/TC 283）归口。

本文件起草单位：湖北中南鹏力海洋探测系统工程有限公司、国家海洋技术中心、国家海洋标准计量中心、武汉大学、国家海洋局珠海海洋环境监测中心站、国家海洋局北海预报中心、国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站、国家海洋局东海预报中心。

本文件主要起草人：陈智会、余亮、张东亮、杨凡、许莉莉、王恒林、吴雄斌、李杰、包健成、李燕、张兰、罗荣真、岳显昌、陈章友、贾伟广、周辉云。

海洋动力环境观测高频地波雷达发射技术要求

1 范围

本文件规定了海洋动力环境观测高频地波雷达的发射参数、功能等要求，给出了检验条件、检验项目和检验方法。

本文件适用于海洋动力环境观测高频地波雷达发射技术相关参数和技术指标的设计、检验。

注：在不引起混淆的情况下，本文件中的“海洋动力环境观测高频地波雷达”简称“高频地波雷达”。

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 3784-2009 电工术语 雷达

3 术语和定义

GB/T 3784-2009 界定的以及下列术语定义适用于本文件。

3.1

高频地波雷达 high frequency ground wave radar

利用海洋表面对高频电磁波的一阶和二阶散射机制，从雷达回波中提取海面流场、浪场、风场等观测要素信息，实现对大范围、远距离海洋动力环境要素观测的雷达。

3.2

扫频带宽 sweep bandwidth

雷达扫频的起始频率与终止频率之间的频率差的绝对值。

注：雷达扫频分为上扫频和下扫频两种方式。

3.3

发射功率 emission power

雷达工作时发射机实际馈入到发射天线的射频信号功率。

3.4

发射信号信噪比 signal to noise ratio

雷达发射机输出端信号的电压有效值与发射机输出端噪声的电压有效值的比值。

3.5

杂散发射 spurious emission

必要带宽之外的一个或多个频率的发射。

注：杂散发射包含谐波发射、寄生发射、互调产物及变频产物，其发射电平可以降低而不致影响相应信息的传递。不包括带外发射。

3.6

带外发射 out of band emission

由于调制过程而产生的，超过必要带宽的一个或多个频率的发射。

注：不包括杂散发射。

3.7

频率容限 frequency tolerance

发射的特征频率偏离指配频率的最大容许偏差。

3.8

电压驻波比 voltage standing wave ratio

发射机的驻波波腹电压与波节电压幅度之比。

3.9

射频脉冲宽度 radio frequency pulse width

发射机的射频信号脉冲输出达到最大值后所持续的时间。

3.10

脉冲上升时间 pulse rise time

脉冲瞬时值最初到达规定下限和规定上限的两瞬时之间的间隔。

3.11

脉冲下降时间 pulse fall time

脉冲瞬时值最初到达规定上限和规定下限的两瞬时之间的间隔。

3.12

信号同频组网 signal co frequency networking

在同步控制模块的驱动和统一的时钟信号参考下，多部雷达在相同的工作参数时，可以接收自身发射电磁波到海面而形成的海洋回波信号，同时也可以接收其他以相同工作参数参与组网的雷达将电磁波发射到海面而形成的回波信号。

注：工作参数包括指配频率、扫频周期、扫频带宽、扫频方式、扫频速率等。

4 发射参数要求

4.1 工作频率

高频地波雷达使用频率范围涉及3MHz～50MHz，一般情况下，按照频率划分3MHz～7.5MHz为远程雷达，其观测距离大于200km；7.5MHz～15MHz为中程雷达，其观测距离为120km～200km；15MHz～50MHz为近程雷达，其观测距离为3km～120km。

高频地波雷达设备应进行型号核准，建立台站时，所使用的频率应审批和备案，一般情况下，使用的工作频率见《中华人民共和国无线电频率划分规定》中CHN30条的要求，具体见表1。

表 1 高频地波雷达工作频率要求

序号	量程类型	工作频段 MHz	CHN30划分频率 MHz	工作带宽 kHz	观测距离（D） km	距离分辨率（d） km
1	远程	3～7.5	4.438～4.488 5.250～5.275	≤50	＞200	3～12

表 1 高频地波雷达工作频率要求(续)

序号	量程类型	工作频段 MHz	CHN30划分频率 MHz	工作带宽 kHz	观测距离（D） km	距离分辨率（d） km
2	中程	7.5～15	9.305～9.355 13.450～13.550	≤50	120～200	3～6
3	近程	15～20	16.100～16.200	≤100	50～120	1～3
4	近程	20～30	24.450～24.600 26.200～26.350	≤150	30～50	0.5～2
5	近程	30～50	39.500～40.000	≤500	3～30	0.1～0.5

4.2 雷达体制

主要分为以下两种：
——线性调频中断连续波（FMICW）体制；
——线性调频连续波（FMCW）体制。

4.3 发射功率

观测海流、海浪、海风功能的高频地波雷达的发射功率，其等效全向辐射功率（e.i.r.p）应不大于25dBW。

4.4 扫频方式

主要分为以下方式：
——上扫频；
——下扫频。

4.5 杂散发射功率

杂散发射功率要求见表2。

表 2 杂散发射功率要求

序号	频率范围	分析带宽（RBW） kHz	显示带宽（VBW） kHz	杂散发射功率最大值 dBm
1	9kHz～150kHz	1	≤3	≤-30
2	150kHz～30MHz	10	≤30	≤-30
3	30MHz～1GHz	100	≤300	≤-30

4.6 信噪比

发射信号信噪比（SNR）应不小于70dB。主要有以下两种测量方式。
——采用读取测量方式见图1。

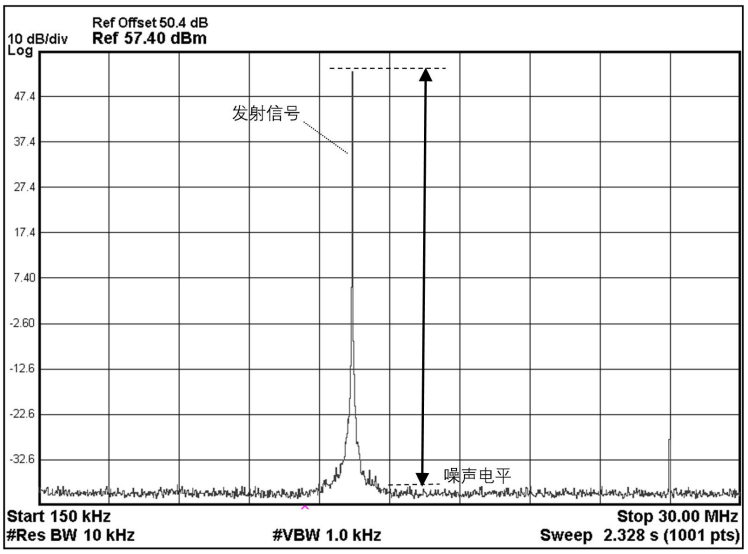


图 1　发射信号信噪比读取测量方式

——采用电压测量方式，按公式（1）计算。

$$N = 20\log\frac{U_m}{U_n} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（1）$$

式中：

N——信噪比，单位为分贝（dB）；

U_m——发射机输出端信号的电压有效值，单位为伏特（V）；

U_n——发射机输出端噪声的电压有效值，单位为伏特（V）。

4.7　谐波抑制

谐波抑制应不小于60dBc。采用读取测量方式，见图2。

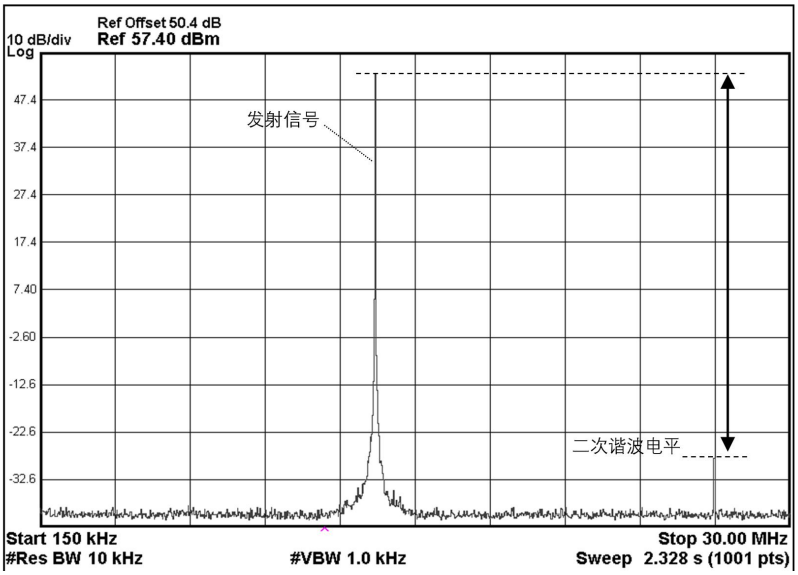


图 2　发射信号谐波抑制读取测量方式

4.8　频率容限

频率容限应不大于10×10^{-6}。按公式（2）计算。

$$K=\frac{(|f_1-f_0|)}{f_0}\times100\%\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（2）$$

式中：

K——频率容限；

f_1——发射的特征频率，单位为赫兹（Hz）；

f_0——指配频率，单位为赫兹（Hz）。

4.9 脉冲参数

脉冲参数应符合以下要求：
——FMICW体制工作的高频地波雷达，其发射脉冲宽度要求见表3；
——FMCW体制工作的高频地波雷达，无脉冲参数要求。

表 3　发射脉冲宽度要求

序号	量程类型	工作频段 MHz	CHN30划分频率 MHz	脉冲上升时间/下降时间 μs	发射脉冲宽度 ms	最大占空比
1	远程	3～7.5	4.438～4.488 5.250～5.275	≤10	≤2.5	50%
2	中程	7.5～15	9.305～9.355 13.450～13.550	≤10	≤1.8	50%
3	近程	15～20	16.100～16.200	≤5	≤1.4	50%
4	近程	20～30	24.450～24.600 26.200～26.350	≤5	≤0.8	50%
5	近程	30～50	39.500～40.000	≤5	≤0.4	50%

5　基本功能要求

5.1　安全保护

发射机在电压驻波比超过3、输出功率过激励超过25dBw（316.22W）等异常情况下应具有自保护能力，能够自动停止发射。

5.2　信号同频组网

多部雷达在同步控制模块的驱动和统一的时钟信号参考下，在相同的工作参数（指配频率、扫频周期、扫频带宽、扫频方式、扫频速率等）、在信号可探测接收范围内，应具备同频组网能力。

6　检验条件

6.1　电源条件

交流电源、直流电源应符合被测设备和仪器、仪表说明书的要求。

6.2　环境条件

环境条件应符合以下要求：
——温度：-10℃～50℃；
——相对湿度：30%～90%；
——气压：86kPa～106kPa。

6.3　检验场地条件

不应有影响试验的外界辐射、干扰及有害气体，及明显的机械冲击振动等。

6.4 接地要求

试验设备和被测设备应接地良好，接地电阻值应小于4Ω。

6.5 被测设备的要求

被测设备调整到正常运行状态后，在整个测量过程中除有特殊规定外，不应再调整。

6.6 检验仪器的要求

检验仪器的分辨率、最大允许误差及整个测量过程中自身的随机变化或漂移，应比被测设备高不少于一个准确度等级。检验仪器应满足表4的要求，经法定计量部门检定合格，并在有效期内。

表 4 检验仪器一览表

序号	仪器名称	用 途	要求
1	频谱分析仪	检验信噪比、最大杂散、频率容限、扫频带宽等参数	分析频率范围0GHz～3GHz，自身相位噪声典型值；-137dBc/Hz@1GHz/10kHz频偏，自身噪声电平典型值为-163dBm
2	大功率衰减器	信号衰减、保护仪器	衰减量典型值为50dB，最大承载功率不小于500W
3	功率计	测量发射机功率、电压驻波比	量程范围为0W～500W，频率范围为0GHz～3GHz
4	示波器	测量上升时间、下降时间、占空比等参数	带宽典型值为100MHz、采样速率典型值为2.5GSA/S、存储深度典型值为70Mpts
5	标准接收机	产生测试发射机所需的信号源	应能与被测发射机配套，输出信号源功率典型值为0dBm
6	大功率负载	标准负载，保护仪器	最大承载功率不小于500W
7	同轴衰减器	信号衰减	衰减量典型值为50dB，最大承载功率不小于10W
8	采集计算机	用于采集接收机收到的回波信息或者其他射频信号	应能与标准接收机配套，自带控制软件

7 检验项目

7.1 发射参数

检验项目包括：
——工作频率；
——雷达体制；
——发射功率；
——扫频方式；
——杂散发射功率；
——发射信号信噪比；
——谐波抑制；
——频率容限；
——脉冲参数。

7.2 基本功能

检验项目包括：
——发射机安全保护功能；
——接收机的信号同频组网功能。

8 检验方法

8.1 工作频率

8.1.1 检验方法

把标准接收机输出的射频信号作为被测发射机的源信号，通过频谱分析仪分析经大功率衰减器衰减后的被测发射机输出信号，观察并测量其频谱。

8.1.2 检验步骤

检验步骤如下：

a) 按图 3 将被测设备与测试仪器连接，并开启电源；
b) 通过雷达控制软件设置标准接收机的指配频率、输出功率、扫频带宽、脉冲占空比等参数，产生被测发射机所需的输入信号，启动标准接收机和被测发射机；
c) 待被测发射机稳定后，用频谱分析仪测量被测发射机的主频点对应的特征频率值f_1，并记录。

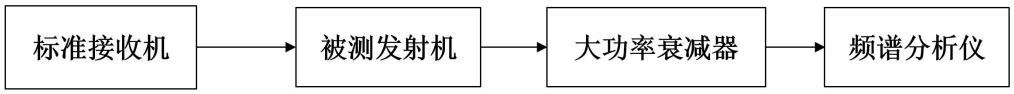


图 3 工作频率检验的仪器连接示意图

8.2 雷达体制

8.2.1 检验方法

把接收机输出的射频信号作为发射机的源信号，通过示波器分析经大功率衰减器衰减后的发射机输出信号，观察其波形。

8.2.2 检验步骤

步骤如下：

a) 按图 4 将被测设备与测试仪器连接，并开启电源；
b) 通过雷达控制软件设置标准接收机的指配频率、输出功率、扫频带宽、脉冲占空比等参数，产生被测发射机所需的输入信号，启动标准接收机和被测发射机；
c) 待被测发射机稳定后，在示波器中观察发射信号波形，判断其特性，连续特性对应雷达为 FMCW 体制，中断特性对应雷达为 FMICW 体制，并记录。

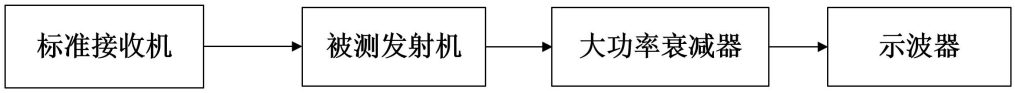


图 4 雷达体制检验的仪器连接示意图

8.3 发射功率

8.3.1 检验方法

把标准接收机输出的射频信号作为被测发射机的源信号，通过功率计测量被测发射机的输出信号的功率，直接读取其显示的功率测量值。

8.3.2 检验步骤

步骤如下：

a) 按图 5 将被测设备与测试仪器连接，并开启电源；
b) 通过雷达控制软件设置标准接收机的指配频率、输出功率、扫频带宽、脉冲占空比等参数，产生被测发射机所需的输入信号，启动标准接收机和被测发射机；
c) 待被测发射机稳定后，在功率计中读取显示的功率最大值。重复读取三次，取平均值并记录。

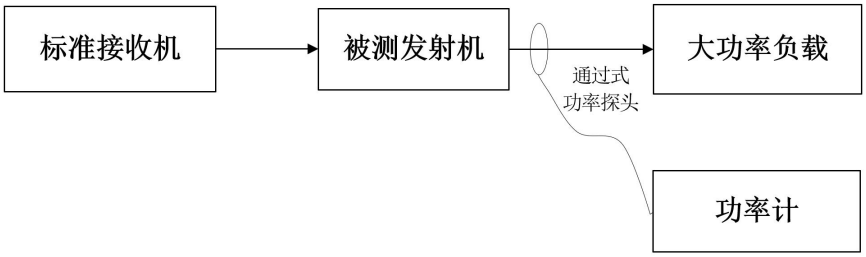


图 5　发射功率检验的仪器连接示意图

8.4　扫频方式

8.4.1　检验方法

见 8.1.1。

8.4.2　检验步骤

检验步骤如下：

a)　按图 3 将被测设备与测试仪器连接，并开启电源；
b)　通过雷达控制软件设置标准接收机的指配频率、输出功率、扫频带宽、脉冲占空比等参数，产生被测发射机所需的输入信号，启动标准接收机和被测发射机；
c)　设置频谱分析仪的 RBW 为 100Hz、VBW 为 300Hz、测试频率范围（SPAN）为 1MHz，设置频谱分析仪中心频率为标准接收机的指配频率；
d)　待被测发射机稳定后，在频谱分析仪上观察其扫频信号的频点，从左往右移动，则雷达扫频方式为上扫频；从右往左移动，则为下扫频。并记录。

8.5　杂散发射功率

8.5.1　检验方法

见8.1.1。

8.5.2　检验步骤

检验步骤如下：

a)　按图 3 将被测发射机与测试仪器连接，并开启电源；
b)　通过雷达控制软件设置标准接收机的指配频率f_0，并修改扫频带宽为 0Hz、脉冲占空比为 100%，产生被测发射机所需的输入信号，启动标准接收机和被测发射机；
c)　设置频谱分析仪的 RBW 为 1kHz、VBW 为 3kHz，设置频谱分析仪的频率范围为 9kHz～150kHz。待被测发射机稳定后，在频谱分析仪上观察并测量杂散功率，记录数据；
d)　设置频谱分析仪的 RBW 为 10kHz、VBW 为 30kHz，设置频谱分析仪的频率范围为 150kHz～30MHz。待被测发射机稳定后，在频谱分析仪上观察并测量杂散功率，记录数据；
e)　设置频谱分析仪的 RBW 为 100kHz、VBW 为 300kHz，设置频谱分析仪的频率范围为 30MHz～1GHz，待被测发射机稳定后，在频谱分析仪上观察并测量杂散功率，记录数据；
f)　依次按 8.5.2 b）、8.5.2 c）、8.5.2 d）、8.5.2 e），调整指配频率f_0，重复测试不少于三个不同指配频率f_0对应的杂散发射功率。

8.6　发射信号信噪比

8.6.1　检验方法

见8.1.1。

8.6.2　检验步骤

步骤如下：

a) 按图 3 将被测发射机与测试仪器连接，并开启电源；
b) 通过雷达控制软件设置标准接收机的指配频率f_0,并修改扫频带宽为 0Hz、脉冲占空比为 100%，产生被测发射机所需的输入信号，启动标准接收机和被测发射机；
c) 设置频谱分析仪的 RBW 为 10kHz、VBW 为 30kHz，SPAN 为 1MHz，设置频谱分析仪的中心频率为标准接收机的指配频率f_0；
d) 待被测发射机稳定后，在频谱分析仪上观察读取发射机输出信号的信噪比值，记录数据；
e) 依次按 8.6.2 b）、8.6.2 c）、8.6.2 d），调整指配频率f_0，但不应超过被测发射机标称频率范围，重复测试不少于三个不同指配频率f_0对应的发射信号信噪比。

8.7 谐波抑制

8.7.1 检验方法

见8.1.1。

8.7.2 检验步骤

步骤如下：

a) 按图 3 将被测设备与测试仪器连接，并开启电源；
b) 通过雷达控制软件设置标准接收机的指配频率，并修改扫频带宽为 0Hz、脉冲占空比为 100%，产生被测发射机所需的输入信号，启动标准接收机和被测发射机；
c) 设置频谱分析仪的 RBW 为 1kHz、VBW 为 3kHz，设置频谱分析仪的起始频率为标准接收机的指配频率f_0，设置频谱分析仪的频率范围为 4 倍的f_0；
d) 待被测发射机稳定后，在频谱分析仪上观察读取发射机输出信号的特征频率f_1、二次谐波、三次谐波的幅值及谐波抑制值，记录数据；
e) 依次按 8.7.2 b）、8.7.2 c）、8.7.2 d），调整指配频率f_0，但不应超过被测发射机标称频率范围，重复测试不少于三个不同指配频率f_0对应的谐波抑制值。

8.8 频率容限

8.8.1 检验方法

见8.1.1。

8.8.2 检验步骤

步骤如下：

a) 按图 3 将被测设备与测试仪器连接，并开启电源；
b) 通过雷达控制软件设置标准接收机的指配频率f_0,并修改扫频带宽为 0Hz、脉冲占空比为 100%，产生被测发射机所需的输入信号，启动标准接收机和被测发射机；
c) 设置频谱分析仪的 RBW 为 10Hz、VBW 为 30Hz、SPAN 为 100kHz，设置频谱分析仪的中心频率为标准接收机的指配频率f_0；
d) 待被测发射机稳定后，在频谱分析仪上观察读取发射机输出信号的特征频率f_1，根据公式（2）计算频率容限，记录数据；
e) 依次按 8.8.2 b）、8.8.2 c）、8.8.2 d），调整指配频率f_0，但不应超过被测发射机标称频率范围，重复测试不少于三个不同指配频率f_0对应的频率容限。

8.9 脉冲参数

8.9.1 检验方法

见8.1.1。

8.9.2 上升时间、下降时间检验

步骤如下：

a) 按图 3 将被测设备与测试仪器连接，并开启电源；
b) 通过雷达控制软件设置标准接收机的指配频率、输出功率、扫频带宽、脉冲占空比等参数，产生被测发射机所需的输入信号，启动标准接收机和被测发射机；
c) 待被测发射机稳定后，在示波器上捕捉一个完整的脉冲调制信号，测量发射信号从最小值上升到最大值所需时间，该时间为脉冲上升时间；
d) 测量发射信号从最大值下降到最小值所需时间，该时间为脉冲下降时间；
e) 重复 8.9.2 c）、8.9.2 d）步骤 3 次，依次记录数据。

8.9.3 脉冲宽度检验

步骤如下：

a) 按图 3 将被测设备与测试仪器连接，并开启电源；
b) 通过雷达控制软件设置标准接收机的指配频率、输出功率、扫频带宽、脉冲占空比等参数，产生被测发射机所需的输入信号，启动标准接收机和被测发射机；
c) 待被测发射机稳定后，在示波器上捕捉到一个完整的脉冲调制信号，测量发射信号保持最大值所持续的时间（在一个脉冲周期内），该时间为脉冲宽度；
d) 重复 8.9.3 c）步骤 3 次，依次记录数据。

8.10 安全保护

8.10.1 检验方法

见8.3.1。

8.10.2 电压驻波比保护

步骤如下：

a) 按图 5 将被测设备与测试仪器连接，并开启电源；
b) 通过雷达控制软件设置标准接收机的指配频率、输出功率、扫频带宽、脉冲占空比等参数，产生被测发射机所需的输入信号，启动标准接收机和被测发射机；
c) 待功率计上显示发射机的发射功率正常、稳定后，将大功率负载与发射机断开连接，观察发射机是否能够停止发射、功率计显示为 0W、是否显示电压驻波比超限保护。应反复检验不少于 3 次，并记录结果。

8.10.3 过激励保护

步骤如下：

a) 按图 5 将被测设备与测试仪器连接，并开启电源；
b) 通过雷达控制软件设置标准接收机的指配频率、输出功率、扫频带宽、脉冲占空比等参数，产生被测发射机所需的输入信号，启动标准接收机和被测发射机；
c) 待功率计上显示发射机的发射功率正常、稳定后，调大标准接收机的输出信号幅值到 5dBm，其他参数不变；
d) 观察发射机是否过激励保护。应反复检验不少于 3 次，并记录结果。

8.11 信号同频组网

8.11.1 检验方法

把被测接收机输出的射频信号作为另一部被测接收机的输入信号，通过雷达控制软件观察其相互识别性，判定雷达是否可以同频组网。

8.11.2 检验步骤

步骤如下：

a) 按图 6 将被测设备与测试仪器连接，开启电源；
b) 通过雷达控制软件设置 3 部被测接收机为相同的工作参数，均设置为同频组网工作模式，3 部被测接收机指配频率相差±5Hz；
c) 通过雷达控制软件，间隔 5min 分别启动 3 部被测接收机工作，每部被测接收机的输出信号源功率典型值应为 0dBm；
d) 30min 后，通过雷达控制软件观察每部被测接收机分别接收其他被测接收机输出的源信号而形成的多普勒谱，并读取对应多普勒信号的信噪比，若信噪比大于 35dB，说明被测接收机具有合格的同频组网功能。

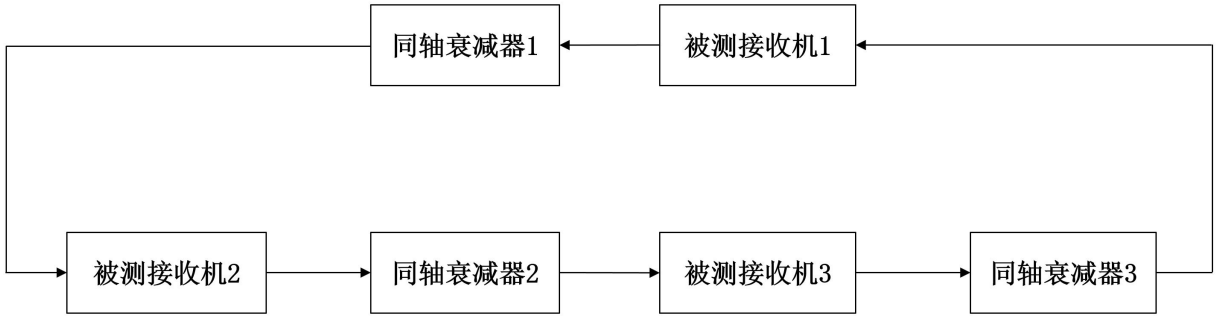


图 6　同频组网测试方法示意图

9　检验记录

检验记录应准确、清晰、客观地记录每一项检验结果，至少应包括下列信息：产品型号、产品编号、生产厂家、检验项目、技术要求、检验结果、记录人、检验日期。检验原始记录表见附录A。

附 录 A

（资料性）

检验原始记录表

表 A.1 给出了高频地波雷达发射技术要求检验原始记录表。

表 A.1 高频地波雷达发射技术要求检验原始记录表

产品型号： 产品编号： 生产厂家：

序号	检验项目	技术要求	检验结果	记录人	检验日期
1	工作频率				
2	扫频带宽				
3	扫频方式				
4	发射功率				
5	信噪比				
6	杂散发射				
7	带外发射				
8	频率容限				
9	电压驻波比				
10	射频脉冲宽度				
11	脉冲上升/下降时间				
12	信号同频组网				
13	…				

参 考 文 献

[1] GB/T 12572-2008 无线电发射设备通用要求和测量方法
[2] GJB 74A-1998 军用地面雷达通用规范
[3] ITU-R M.1874-1 在3-50MHz频率范围的子频带内工作的海洋雷达的技术和操作特性（2013）
[4] 《中华人民共和国频率划分规定》，工业和信息化部，2018年