

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R M.1796-3 建议书**  
(02/2022)

**工作于8 500-10 680MHz频带  
无线电测定业务中雷达的  
特性与保护评判标准**

**M 系列**  
移动、无线电定位、业余  
和相关卫星业务



国际电信联盟

## 前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

## 知识产权政策 (IPR)

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

### ITU-R 系列建议书

(也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/zh>)

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
<b>M</b>	<b>移动、无线电测定、业余和相关卫星业务</b>
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	词汇和相关问题

**说明：** 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版  
2022年，日内瓦

© 国际电联 2022

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

## ITU-R M.1796-3 建议书

工作于8 500-10 680 MHz频带无线电测定业务中  
雷达的特性与保护评判标准

(2007年-2012年-2014年-2022年)

## 范围

本建议书对工作于8 500-10 680 MHz频带的无线电测定系统提供了技术和操作特性及保护评判标准。制定此建议书的目的在于支持与ITU-R M.1461建议书共同进行的共享研究，这些研究涉及到确定工作于无线电测定业务和其他业务的雷达之间兼容性的分析程序。

## 关键词

雷达、保护评判标准、搜索雷达、干扰、无线电测定

## 缩略语/词汇表

AESA	有源电子扫描阵列
AIS	自动识别系统
ASDE	机场表面探测设备
BW	波束宽度
CDMA	码分多址
CFAR	恒虚警率
CPI	相干处理间隔
CW	连续波
DAA	探测和规避
DBS	多普勒波束锐化
FET	场效应晶体管
FMCW	调频连续波
FTC	快速时间常数
GCA	地面控制进场
GPS	全球定位系统
IF	干扰信号
IMO	国际海事组织
IMPATT	碰撞雪崩渡越时间
I/N	干扰噪声
LFM	线性调频
MGM	单脉冲地面测绘
NF	噪声指数/噪声值

Nmi	海里
PPI	规划内位置指标符
pps	每秒脉冲数
PRF	脉冲重复频率
RCS	雷达散射截面
RF	射频
rpm	分钟转数
SAR	合成孔径雷达
SL	旁瓣
SNR	信噪比
STC	灵敏度时间控制
SART	搜救应答器
UA	无人驾驶飞机
WA	天气规避
WS	风切变探测

## 国际电联相关建议书和报告

### 建议书

- ITU-R [M.628](#) 搜寻和救援雷达转发器的技术特性
- ITU-R [M.824](#) 雷达信标的技术参数
- ITU-R [M.1176](#) 雷达目标增强器的技术参数
- ITU-R [M.1372](#) 无线电测定业务雷达站对无线电频谱的有效利用
- ITU-R [M.1461](#) 无线电测定业务雷达和其它业务系统间干扰可能性的确定程序
- ITU-R [M.1849](#) 地面气象雷达的技术和操作问题
- ITU-R [M.1851](#) 用于干扰分析的无线电定位雷达系统天线方向图的数学模型

### 报告

- ITU-R [M.2204](#) 无人机系统（UAS）所使用感知规避系统的特性及频谱考虑

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 天线、信号传播、目标探测以及为了实现其功能所必需的雷达带宽特性在一定频带内是最佳的；
- b) 无线电测定雷达的技术特性是由系统的使命所决定，并且即使在一个频带内也变化很大；

c) ITU-R正考虑在无线电测定业务中的雷达所采用的420 MHz和34 GHz之间的频带中引入新型系统或业务的潜在可能；

d) 在必要时，需要工作于无线电测定业务中的雷达的代表性技术与操作特性，以确定将新型系统引入到分配给无线电测定业务的频带中的可行性，

注意到

a) 工作在9 300-9 500 MHz频带中的海事雷达信标的技术与操作特性将会在ITU-R M.824建议书中找到；

b) 工作在9 300-9 500 MHz频带中的雷达目标增强器的技术参数将会在ITU-R M.1176建议书中找到；

c) 工作在9 200-9 500 MHz频带中的搜救雷达收发机（SART）的技术与操作特性将会在ITU-R M.628建议书中找到，

进一步考虑到

a) 要求的保护评判标准取决于干扰信号的特定类型；

b) 保护评判标准的应用可能要求考虑包括那些评判标准应用以及进行兼容性研究的其他方法要素（例如，传播损耗）的统计学特性。对这些统计考虑的进一步发展以及对各种海上操作场合所要求的探测概率一起可以适当地加入到本建议书的将来版本之中，

建议

1 在附件1中所描述的无线电测定雷达的技术与操作特性应该被视为是工作在8 500-10 680 MHz频带的那些雷达的代表；

2 在分析无线电测定雷达与其他业务中的系统之间的兼容性是，应该把本建议书与ITU-R M.1461建议书一起考虑；

3 干扰信号功率比雷达接收机噪声功率电平的评判标准是一个-6 dB干扰噪声（ $I/N$ ）的比值，应该被视为8 500-10 680 MHz频带中无线电测定雷达所要求的保护电平，即使存在多重干扰源（参见附件2）；

4 对包括在附件3中的工作于9 200-9 500 MHz频带的船载无线电导航雷达进行的干扰敏感性实验的结果也应该在对进入船载无线电导航雷达的干扰进行评估中被考虑进去，注意到该结果是对非波动目标的，而且应该考虑雷达散射截面（RCS）的波动。

## 附件1

**8 500-10 680 MHz频带无线电测定业务中的  
雷达的技术与操作特性****1 引言**

在表1、2、3和4中介绍了世界范围内工作于8 500-10 680 MHz频带的无线电测定雷达的特性，并在以下的段落中进一步进行了描述。

**2 技术特性**

8 500-10 680 MHz频带被很多不同种类的陆基、可运载、船载和机载平台上的雷达所采用。在该频带上进行的无线电测定功能包括机载和表面搜索、地面测绘、地形跟踪、导航（航空和航海）、目标识别、以及气象（机载和地面）。雷达之间的其他主要差别包括发射占空比、发射带宽、脉内调制的存在与类型、一些雷达的频率捷变能力、发射机峰值和平均功率、以及发射机射频功率设备的类型。这些特性分别和组合起来都与这些雷达和在它们环境中的其他系统的兼容性有着重要关系，而其他特性对此兼容性的影响程度较小。可以假设雷达的工作频率是均匀分布在每个雷达的整个调谐频带内的。表1、2、3和4包括了在8 500-10 680 MHz频带内采用的代表性无线电定位和无线电导航雷达的技术特性，但地基气象雷达除外，它将包括在ITU-R M.1849建议书中。

工作于此频带的主要无线电定位雷达主要用于空中物体的探测。要求它们测量目标高度以及范围和方位。一些空中目标很小，并且有些位于大到300海里（~556千米）的范围，因此这些无线电定位雷达必须具有很高的灵敏度，并且必须对所有形式的杂波反射提供高度抑制，包括来自海洋、陆地和降水的杂波。在一些情况下，要求在此频带的雷达发射触发雷达信标。

很大程度上因为这些发射要求，采用此频带的雷达往往具有以下的一般特性：

- 它们往往具有低到中等（从1 W到250000 W）的发射机峰值和平均功率，但存在明显的例外；
- 它们通常采用主控振荡器功率放大器发射机，而不是功率振荡器。它们通常是可调的，并且它们中有一些是频率捷变的。它们中有一些采用线性 – 或非线性 – FM（附加调频）或相位编码脉内调制；
- 它们中有一些具有采用电子束导向在一维或二维角坐标上可导向的天线主波束；
- 它们通常采用多种接收和处理能力，例如辅助旁瓣消隐接收天线、借助移动目标显示抑制杂波反射的相干载波脉冲序列的处理、恒虚警率（CFAR）技术、以及一些情况下基于对各种频率干扰感知的工作频率自适应选择；

- 各个雷达往往具有许多不同的脉冲宽度和脉冲重复频率；有些附加调制雷达具有附加调制带宽的选择；以及一些频率捷变雷达具有各种捷变或固定频率模式。这种灵活性能够为保持与该环境下其他雷达的兼容性提供有用的工具。

在表1、2、3和4中给出其特性的一些或所有雷达具有这些特性。那些表格广泛地示范了在采用此频带的雷达中可以找到的众多种类的雷达任务、平台、波形、带宽、占空比、功率电平、发射机设备等，尽管它们并未展示将来系统中可能出现属性的全部功能。

表1

工作在8 500-10 680 MHz频带中的机载无线电测定雷达的特性

特性	系统A1	系统A2	系统A3	系统A4
功能	搜索与追踪雷达 (多功能)	机载搜索雷达	地面测绘和地形 跟踪雷达(多功能)	追踪雷达
调谐范围(MHz)	9 300-10 000	8 500-9 600	9 240、9 360和9 480	10 000-10 500
调制	脉冲	脉冲	非相干频率捷变脉冲 位置调制	CW、FMCW
进入天线的峰值功率(kW)	17	143(最小) 220(最大)	95	1.5
脉冲宽度( $\mu$ s)和 脉冲重复速率(pps)	0.285; 8 200至23 000	2.5; 0.5 400和1 600	0.3、2.35和4 2 000、425和250	不适用
最大占空比	0.0132	0.001	0.001	1
脉冲上升/下降时间( $\mu$ s)	0.01/0.01	0.02/0.2	0.1/0.1	不适用
输出设备	行波管	可调磁控管	空腔调谐磁控管	行波管
天线方向图类型	笔型	扇型	笔型	笔型
天线类型	平面阵列	抛物面反射器	平板平面阵列	平面阵列
天线极化	线性极化	线性极化	圆极化	线性极化
天线主瓣增益(dBi)	32.5	34	28.3	35.5
天线俯仰波瓣宽度(度)	4.6	3.8	5.75	2.5
天线方位波瓣宽度(度)	3.3	2.5	5.75	2.5
天线水平扫描速率(度/秒)	236 (118次扫描/分)	36或72 (6或12 rpm)	高达106 (高达53次扫描/分)	90
天线水平扫描类型 (连续、随机、扇区等)	扇区: $\pm 60^\circ$ (机械的)	360 $^\circ$ (机械的)	扇区: $\pm 60^\circ$ (机械的)	扇区: $\pm 60^\circ$ (机械的)



表1 (续)

特性	系统A1	系统A2	系统A3	系统A4
天线垂直扫描速率 (度/秒)	118 (59次扫描/分)	不适用	148.42 (高达137次扫描/分)	90
天线垂直扫描类型	扇区: $\pm 60^\circ$ (机械的)	不适用	扇区: $+25/-40^\circ$ (机械的)	扇区: $\pm 60^\circ$ (机械的)
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一SL和远端SL) (dBi)	7.5, 15°时	未指定	5.3, 10°时	未指定
天线高度	飞机高度	飞机高度	飞机高度	飞机高度
接收机IF 3dB带宽 (MHz)	3.1; 0.11	5	5.0、1.8和0.8	0.48
接收机噪声指数 (dB)	未指定	未指定	6	3.6
最小可识别信号 (dBm)	-103	-107; -101	-101	
总附加调制宽度 (MHz)	不适用	不适用	不适用	未指定
RF发射带宽 (MHz) - 3 dB - 20 dB	3.1; 0.11 22.2; 0.79	0.480; 2.7 1.5; 6.6	(取决于频率和脉冲宽度) 100至 118 102至120	未指定 未指定

表1 (续)

特性	系统A5	系统A6a <sup>(1)</sup>	系统A6b <sup>(1)</sup>
功能	气象规避, 包括风切变探测 (导航)	气象规避 (WA), 包括风切变探测 (WS) (导航)	地面测绘, 包括: 单脉冲地面测绘 (MGM) 及多普勒波束锐化 (DBS)
调谐范围 (MHz)	9 330	9 305-9 410 WA: 频率捷变脉冲到脉冲 ( $\leq 2\,000$ 跳/秒); WS: 自适应单频	9 360 和 9 305-9 410 MGM: 频率捷变脉冲到脉冲 ( $\leq 600$ 跳/秒); DBS: 单频 (9 360)
调制	脉冲	WA: 未调制和Barker编码 (5:1和13:1)脉冲; WS: 未调制脉冲	MGM和DBS: Barker编码 (13:1)脉冲
进入天线的峰值功率 (W)	150	$\leq 150$	$\leq 150$
脉冲宽度 ( $\mu\text{s}$ ) 和脉冲重复频率 (pps)	1至20 180至9 000	WA: 0.2-230; WS: 2 WA: 0.2-6 $\mu\text{s}$ 脉冲时2 000 pps, 230 $\mu\text{s}$ 脉冲时减少到230 pps; WS: 3 600-3 940 pps	MGM: 1.3-260; DBS: 0.64-20 MGM: 1.3-60 $\mu\text{s}$ 脉冲时600 pps, 260 $\mu\text{s}$ 脉冲时减少到220 pps; DBS: 所有脉冲宽度时700-1 600 pps
最大占空比	未指定	WA: 0.054; WS: 0.0076	MGM: 0.057; DBS: 0.033 (0.024, 长期)
脉冲上升/下降时间 ( $\mu\text{s}$ )	未指定	WA: 0.02-0.05/0.01; WS: 0.02/0.01	MGM: 0.01-0.02/0.01-0.02; DBS: 0.02-0.04/0.01
输出设备	固态	FET	FET
天线方向图类型	笔型	笔型	扇型
天线类型	平面阵列	平面阵列	平面阵列
天线极化	未指定	线性极化	线性极化
天线主瓣增益 (dBi)	34.4	32	28.7
天线俯仰波瓣宽度 (度)	3.5	4	42

表1 (续)

特性	系统A5	系统A6a <sup>(1)</sup>	系统A6b <sup>(1)</sup>
天线方位波瓣宽度 (度)	3.5	2.7	2.7
天线水平扫描速率 (度/秒)	未指定	≤200 (≤40次扫描/分)	≤200 (≤40次扫描/分)
天线水平扫描类型 (连续、随机、扇区等)	扇区: ±30°	扇区: ±15至±135° (机械的)	扇区: ±15至±135° (机械的)
天线垂直扫描速率	未指定	≤20次扫描/分	不适用
天线垂直扫描类型 (连续、随机、扇区等)	未指定	1或2个水平条 (机械的)	不适用
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一SL和远端SL) (dBi)	+3.4	8, 4.2°时	3.7, 4.5°时
天线高度	飞机高度	飞机高度 (低高度时的风切变)	飞机高度
接收机IF 3dB带宽 (MHz)	未指定	WA: 窄脉冲/子脉冲时≤16, 宽脉冲/子脉冲时减少到0.8; WS: ≥0.8	
接收机噪声指数 (dB)	4.0	5	5
最小可识别信号 (dBm)	-125	≥-110	≥-110
辅助调制带宽 (MHz)	不适用	不适用	不适用
RF发射带宽 (MHz)	未指定	最短简单脉冲至最长子脉冲: WA: 3 dB: 5至0.052; 20 dB: 40.5至0.37; WS: 3 dB: 0.46 20 dB: 3.28	最短至最长子脉冲: MGM: 3 dB: 7.68至0.045; 20 dB: 59至0.31 DBS: 3 dB: 18至0.6; 20 dB: 150至4.1

表1 (续)

特性	系统A7a、A7b和A7c <sup>(2)</sup>	系统A7d <sup>(2)</sup>	系统A7e和A7f <sup>(2)</sup>	系统A8
功能	表面搜索和SAR成像	导航	反转SAR成像	搜索（无线电定位） 气象
调谐范围（MHz）	9 380-10 120	在340 MHz上的频率 捷变脉冲到脉冲	9 380-10 120	9 250-9 440，频率捷变 脉冲到脉冲，步长20 MHz
调制	线性FM脉冲	线性FM脉冲	线性FM脉冲	FM 脉冲
进入天线的峰值功率（kW）	50	50	50	10
脉冲宽度（ $\mu$ s）和 脉冲重复速率（pps）	搜索：5 $\mu$ s @ 1 600-2 000或 10 $\mu$ s @ 大约380 SAR：13.5 $\mu$ s @ 250-750	10 大约380	10 470、530、800和1 000	5和17 2 500、1 500、750和400 （所有脉冲宽度）
最大占空比	0.010（5 $\mu$ s & 13.5 $\mu$ s）； 0.004（10 $\mu$ s）	0.004	0.010	0.04
脉冲上升/下降时间（ $\mu$ s）	0.1/0.1	0.1/0.1	0.1/0.1	0.1/0.1
输出设备	行波管	行波管	行波管	行波管
天线方向图类型	笔型/扇型	笔型/扇型	笔型/扇型	扇型
天线类型	抛物面反射器	抛物面反射器	抛物面反射器	缝隙阵列
天线极化	水平极化	水平极化	水平极化	垂直和水平极化
天线主瓣增益（dBi）	34.5	34.5	34.5	32
天线俯仰波瓣宽度（度）	4.0	4.0	4.0	9.0
天线方位波瓣宽度（度）	2.4	2.4	2.4	1.8
天线水平扫描速率 （度/秒）	36、360和1 800	36、360和1 800	36、360和1 800	90或360 （15或60 rpm）

表1 (续)

特性	系统A7a、A7b和A7c <sup>(2)</sup>	系统A7d <sup>(2)</sup>	系统A7e和A7f <sup>(2)</sup>	系统A8
天线水平扫描类型 (连续、随机、扇区等)	10° 扇区	10° 扇区	10° 扇区	360°
天线垂直扫描速率 (度/秒)	不适用	不适用	不适用	不适用
天线垂直扫描类型 (连续、随机、扇区等)	可选择仰角 0°/-90°	可选择仰角 0°/-90°	可选择仰角 0°/-90°	可选择仰角 +15°/-15°
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一SL和远端SL) (dBi)	14.5, 12°时	14.5, 12°时	14.5, 12°时	20
天线高度	飞机高度	飞机高度	飞机高度	飞机高度
接收机IF 3dB带宽(MHz)	未指定	未指定	未指定	16
接收机噪声指数(dB)	5	5	5	未指定
最小可识别信号(dBm)	取决于处理增益 (对一个返回脉冲, 34 dB (5 μs)、30 dB (10 μs) 和39.5 dB (13.5 μs))	取决于处理增益 (对 一个返回脉冲, 17 dB)	取决于处理增益 (对一个返回脉冲, 30 dB (100 MHz) 或33 dB (200 MHz))	-98
总附加调制宽度(MHz)	搜索: 500 (5 μs) 或100 (10 μs) SAR: 660	5	100或200	10
RF发射带宽(MHz) - 3 dB - 20 dB	搜索 (5 μs) 搜索 (10 μs) 470 95 640 540 110 730	4.5 7.3	100 MHz 200 MHz 附加调制附加调制 95 190 110 220	9.3 12

表1 (续)

特性	系统A9	系统A10	系统A11	系统12
功能	气象规避、搜索、地面测绘	气象规避、地面测绘、搜索	气象规避、地面测绘、搜索与救援	多用途监视、扫描、追踪、搜索、合成孔径雷达(成像)
调谐范围 (MHz)	雷达: 9 375 ± 10; 信标: 9 310	预热脉冲: 9 337和9 339 (在每个工作脉冲之前脉冲) 工作脉冲: 9 344	9 375 ± 30	8500-10 500
调制	脉冲	脉冲	脉冲	自适应脉冲、FM、线性FM脉冲(附加调制)
进入天线的峰值功率 (kW)	25	0.026 (14 dBW)	2.5-6.0	0.03-10
脉冲宽度 (μs) 和脉冲重复速率 (pps)	在180、350、350和1 000 pps时分别为4.5、2.4、0.8和0.2 μs	9 337和9 339 MHz: 对所有脉冲宽度, 在2 200-220 pps (抖动) 时为1-29 μs; 在2 200-220 pps 时 (抖动) 为9 344 MHz: 1.7-2.4、2.4-4.8、4.8-9.6、17、19和29 μs	固定为4 106.5	0.15-300 自适应 1 000-50 000 自适应
最大占空比	0.00082	9 337和9 339 MHz: ≤ 0.064 9 344 MHz: ≤ 0.011 (采用17 μs脉冲)	0.00043	0.01-0.8 (脉冲), 1 (FM)
脉冲上升/下降时间 (μs)	未指定	9 337和9 339 MHz: 0.3/0.2 9 344 MHz: 0.5/0.5	上升时间: 0.3 下降时间: 0.4	0.005-0.1/0.005-0.1
输出设备	高可靠性磁控管	IMPATT二极管	磁控管	固态
天线方向图类型	笔型和扇型	笔型	笔型	数字波束赋形 (见ITU-R M.1851建议书)
天线类型	平板阵列	平阵列	平阵列	有源阵列
天线极化	水平和垂直极化	水平极化	水平极化	线性/圆极化
天线主瓣增益(dBi)	笔型: 30; 扇型: 29	29	26.7	35-42
天线俯仰波瓣宽度 (度)	笔型: 3; 扇型: 6	< 10	8.1	1.6 @42 dBi
天线方位波瓣宽度 (度/秒)	笔型: 3; 扇型: 3	7	8.1	1.6 @42 dBi

表1 (续)

特性	系统A9	系统A10	系统A11	系统A12
天线水平扫描速率 (度/秒)	72 (长距离), 270 (短距离) (360°: 12 rpm (长距离), 45 rpm (短距离)) 扇区: 未指定	30	25	不适用
天线水平扫描类型 (连续、随机、扇区等)	连续 (360°) 扇区 (90°)	扇区 60°或120°	扇区体 (90°或120°)	±60° 电子扫描 ±120°, 带有附加机械复位器
天线垂直扫描速率 (度/秒)	不适用	不适用	不适用	不适用
天线垂直扫描类型 (连续、随机、扇区等)	不适用	操作员选择的仰角: ±30°	扇区体: ±30°	±60° 电子扫描 ±120°, 带有附加机械复位器
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一 SL和远端SL) (dBi)	未指定	+13.9	+4.7	低于峰值增益14-19 dB
天线高度	飞机高度	飞机高度	飞机高度	飞机高度 (300-13 700 米)
接收机IF 3dB带宽 (MHz)	未指定	2.0	1.0	25
接收机噪声指数 (dB)	6.5	2	5	6
最小可识别信号 (dBm)	未指定	-128 (处理后的探测灵敏 度)	-110	-130
总附加调制宽度 (MHz)	不适用	不适用	不适用	对附加调制最大 1 900
RF发射带宽 (MHz) - 3 dB  - 20 dB	未指定  未指定	-3 dB: 9 337和9 339 MHz: 0.7 9 344 MHz: 0.4、0.25、 0.150、0.75、0.08和0.05 -20 dB: 9 337和9 339 MHz: 3.6 9 344 MHz: 1.8、1.5、0.8、 0.375、0.35和0.2	-3 dB: 0.5  -20 dB: 1.5	-3 dB: 10 MHz, 130 MHz, 1 800 MHz  -20 dB: 20 MHz, 150 MHz, 1 900 MHz

(1) 多模式雷达; 还具有9 375 MHz的信标询问器模式, 此处不做描述。

(2) 多模式雷达。

表1 (续)

特性	系统A13
功能	无人机检测与规避雷达
调谐范围 (MHz)	8 750-8 850 或9 300-9 500 (选择与其他机载航空电子设备兼容)
调制	采用脉内二相编码的脉冲调制; 3 dB带宽 = 5 MHz
进入天线的峰值功率 (kW)	0.640 (净辐射)
脉冲宽度 ( $\mu\text{s}$ ) 和脉冲重复速率 (pps)	0.2 - 30 500 - 60 000 (取决于模式)
最大占空比	0.16
脉冲上升/下降时间 ( $\mu\text{s}$ )	0.1/0.1
输出设备	固态功率放大器
天线方向图类型	椭圆波束截面
天线类型	有源电子扫描阵列 (AESA)
天线极化	线性垂直极化
天线主瓣增益 (dBi)	28
天线俯仰波瓣宽度 (度)	13.5, 在天线宽边
天线方位波瓣宽度 (度)	2.7, 在天线宽边



表1（结束）

特性	系统A13
天线水平扫描速率（度/秒）	栅栏扫描：8 帧/分钟，按要求采用交错追踪更新
天线水平扫描类型（连续、随机、扇区等）（度）	扇区：±110，电子扫描（采用2天线）
天线垂直扫描速率（度/秒）	栅栏扫描：8 帧/分钟，按要求采用交错追踪更新
天线垂直扫描类型（连续、随机、扇区等）（度）	扇区：±15（搜索）、±45（追踪）； 电子扫描；对关注区域采用电子方式相对于一个本地水平平面进行稳定
天线旁瓣（SL）电平（第一SL和远端SL）（dBi）	<17，第一旁瓣； <13，外部旁瓣； （适用于具有均匀加权的发射旁瓣电平；接收旁瓣电平较低）
天线高度	等于飞机高度
接收机IF 3dB带宽（MHz）	5-10 （取决于模式）
接收机噪声指数（dB）	4.4（系统NF）
最小可识别信号（dBm）	-129，对于10 dB SNR（在一个无损无源接收天线输出处的等效信号功率，不包括天线增益，但包括数字信号处理增益）
总附加调制宽度（MHz）	10，采用附加调制（对可能的增长模式）时； 5，采用二相码时
RF发射带宽（MHz）	5-10（取决于模式）
- 3 dB	25
- 20 dB	

表2

## 工作在8 500-10 680 MHz频带中的船载无线电测定雷达的特性

特性	系统S1	系统S2	系统S3	系统S4		系统S5
功能	搜索和导航雷达	追踪雷达	低空和表面搜索雷达 (多功能)	海事无线电导航雷达 <sup>(3)</sup>		表面监视和 导航雷达
平台类型	船载、海岸 训练场	船载	船载	船载		船载
调谐范围 (MHz)	8 500-9 600	10 000-10 500	8 500-10 000	9225-9500		9 300-9 500
调制	脉冲	CW、FMCW	频率捷变脉冲 <sup>(4)</sup>	脉冲		FMCW
进入天线的峰值功率 (kW)	35	13.3	10	5 (最小)	50 (最大)	$1 \cdot 10^{-6}$ 至 $10^{-3}$
脉冲宽度 ( $\mu$ s) 和脉 冲重复速率 (pps)	0.1; 0.5 1 500; 750	不适用 不适用	0.56至1.0; 0.24 19 000至35 000; 4 000至35 000	4 000 (最大) 时 为0.03 (最小)	375 (最小) 时为 1.2 (最大)	不适用 $1 \cdot 000^{(5)}$
最大占空比	0.00038	1	0.020	0.00045		1
脉冲上升/下降时间 ( $\mu$ s)	0.08/0.08	不适用	0.028/0.03; 0.038/0.024	未指定		不适用
输出设备	磁控管	行波管	行波管	磁控管		固态
天线方向图类型	扇型	笔型	笔型	扇型		扇型
天线类型	喇叭型阵列	平面阵列	缝隙阵列	缝隙阵列		缝隙波导
天线极化	线性极化	线性极化	线性极化	未指定		线性极化
天线主瓣增益 (dBi)	29	43	39	27 (最小)	32 (最大)	30

表2 (续)

特性	系统S1	系统S2	系统S3	系统S4		系统S5
天线俯仰波瓣宽度 (度)	13	1	1	20.0 (最小)	26.0 (最大)	20
天线方位波瓣宽度 (度)	3	1	1.5	0.75 (最小)	2.3 (最大)	1.4
天线水平扫描速率 (度/秒)	57	90	180	120 (最小)	360 (最大)	144
天线水平扫描类型 (连续、随机、扇区等) (度)	360 (机械的)	360 (机械的)	360或扇区搜索/追踪 (机械的)	360		360
天线垂直扫描速率 (度/秒)	不适用	90	不适用	不适用		不适用
天线垂直扫描类型	不适用	扇区: +83/-30° (机械的)	不适用	不适用		不适用
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一SL和远端SL) (dBi)	未指定	23 (第一SL)	23 (第一SL)	≤ 10°时为4 (最小) ≥ 10°时为3 (最大)	≤ 10°时为9 (最大) ≥ 10°时为2 (最大)	5 (第一SL)
天线高度	桅杆/甲板安装	桅杆/甲板安装	桅杆/甲板安装	桅杆/甲板安装		桅杆/甲板安装
接收机IF	未指定	未指定	未指定	45 (最小)	60 (最大)	
接收机IF 3dB带宽 (MHz)	12	0.5	2.5; 4; 12	6; 2.5 (最小) (分别为短和长脉冲)	28; 6 (最大) (分别为短和长脉冲)	0.5
接收机噪声指数 (dB)	未指定	3.5	9	3.5 (最小)	8.5 (最大)	3.5
最小可识别信号 (dBm)	-96	-113	-102; -100; -95	-106 (最小)	-91 (最大)	-113
辅助调制带宽 (MHz)	不适用	未指定	不适用	不适用		1.7至54
RF发射带宽 (MHz)						
- 3 dB	10; 5	未指定	1.6; 4.2	未指定		未指定
- 20 dB	80; 16	未指定	10; 24	未指定		未指定

表2 (续)

特性	系统S6	系统S7	系统S8	系统S9	
功能	海事无线电导航雷达	导航和搜索	海事无线电导航雷达 <sup>(6)</sup>	海事无线电导航雷达 <sup>(8)</sup>	
平台类型	船载	船载	船载	船载	
调谐范围 (MHz)	9 380-9 440	9 300-9 500	9 225-9 500	9 225-9 500	9 445 ± 30
调制	脉冲	脉冲	脉冲	脉冲	
进入天线的峰值功率 (kW)	25	1.5	5	1.5-10	
脉冲宽度 (μs) 和 脉冲重复速率 (pps)	0.08、0.2、0.4、0.7和1.2 2 200 (0.08 μs) ; 1 800 , 1 000和600 (1.2 μs)	0.08、0.25、和0.5 2 250、1 500和750	0.05、0.18和0.5 在0.05 μs时的3 000 pps至在 0.5 μs时的1 000 pps	3 600 pps 时 为0.08 (最小)	375 pps 时为 1.2 (最大)
最大占空比	0.00072	0.000375	0.0005	0.00045	
脉冲上升/下降时间 (μs)	0.010/0.010	0.01/0.05	未指定	未指定	
输出设备	磁控管	磁控管	磁控管	磁控管	
天线方向图类型	扇型	扇型	扇型	扇型	
天线类型	终端馈电缝隙阵列	中央馈电缝隙波导	缝隙阵列	缝隙/片阵列或喇叭型	
天线极化	水平极化	水平极化	水平极化	水平极化	
天线主瓣增益 (dBi)	31	23.9	30	22-30	
天线俯仰波瓣宽度 (度)	20	25	26	24-28	
天线方位波瓣宽度 (度)	0.95	6	0.95	1.9-7	
天线水平扫描速率 (度/秒)	144	144	180	144	
天线水平扫描类型 (连续、随 机、扇区等) (度)	360	360	360	360	

表2 (续)

特性	系统S6	系统S7	系统S8	系统S9
天线垂直扫描速率 (度/秒)	不适用	不适用	不适用	不适用
天线垂直扫描类型	不适用	不适用	不适用	不适用
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一SL和远端SL) (dBi)	未指定	+2.9	< 5, 10°之内; ≤ 2, 10°之外	22 主瓣: 3 至 4, 10°之内; 0 至 3, 10°之外 30 主瓣: 7 至 10, 10°之内; -2 至 +7, 10°之外
天线高度	桅杆	桅杆	桅杆	桅杆
接收机IF (MHz)	未指定	未指定	50	45-60
接收机IF 3dB带宽 (MHz)	15	10和3	15-25	2.5-25
接收机噪声指数 (dB)	6	6	6	4 至 8
最小可识别信号 (dBm)	-97 (基底噪声)	-102 (基底噪声)	未指定	未指定
总附加调制宽度 (MHz)	不适用	不适用	不适用	不适用
RF发射带宽 (MHz)			未指定	未指定
- 3 dB	14	20		
- 20 dB	43	55		

(3) IMO类别 – 包括捕鱼。

(4) 未压缩脉冲, 伪随机频率捷变。

(5) 扫频率 (sweep/s)。

(6) 河流类别。

(8) 游艇类别。

表2 (续)

特性	系统S10	系统S11	系统S12
功能	监视雷达	海事导航雷达	监视雷达
平台类型	船载	船载	船只和海岸
调谐范围 (MHz)	9 225-9 500	9 325-9 460	9 000-9 200或 9 225-9 500
调制	脉冲压缩	脉冲	V7N 采用附加调制复杂方向图的完全相干压缩 雷达, 在多达6个中心频率, 且具有三种不 同附加调制时长
进入天线的峰值功率 (kW)	0.2	25	0.05-0.1
脉冲宽度 ( $\mu\text{s}$ ) 和 脉冲重复速率 (pps)	0.08-100 1 000-10 000	0.06/0.25/0.5/1 3 000/2 000/1 000/750	0.150 - 40 1 000-5 000
最大占空比	0.2	$7.5 \times 10^{-4}$	0.2
脉冲上升/下降时间 ( $\mu\text{s}$ )	0.02	0.015/0.086	大约 0.02
输出设备	固态	磁控管(非相干)	固态
天线方向图类型	扇形	扇形波束	扇形波束
天线类型	缝隙波导	缝隙波导阵列	缝隙波导
天线极化	圆/水平极化	水平极化	水平极化
天线主瓣增益 (dBi)	37	31	$\geq 34$
天线俯仰波瓣宽度 (度)	11	25	$\leq 16^\circ @ -3 \text{ dB} / \leq 55^\circ @ -20 \text{ dB}$ (典型)
天线方位波瓣宽度 (度)	0.4	0.95	$\leq 0.6^\circ @ -3 \text{ dB}$
天线水平扫描速率 (度/秒)	60-288	144 或 240	10-48 RPM
天线水平扫描类型 (连续、随 机、扇区等) (度)	连续或扇区	连续	连续或扇区

表2 (续)

特性	系统S10	系统S11	系统S12
天线垂直扫描速率 (度/秒)	不适用	不适用	不适用
天线垂直扫描类型	不适用	不适用	不适用
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一SL和远端SL) (dBi)	28	<-32/远端 SL <-40	1.5°-5° < 6 5°-10° < 4 > 10° <-1
天线高度 (米)	通常 30-100	通常10-50, 取决于在船上的安装	取决于安装
接收机IF 3dB带宽 (MHz)	180	22 或 5	180 (模拟) 分辨率带宽为12.5或25 <sup>(8)</sup>
接收机噪声指数 (dB)	2.5	2.5	2.5
最小可识别信号 (dBm)	-130	-130	-130, 脉冲压缩后等效
总附加调制宽度 (MHz)	通常6 × 35 MHz	不适用	6 × 35 = 210 (-3 dB带宽) <sup>(9)</sup>
RF发射带宽 (MHz) - 3 dB - 20 dB	240 275	9, (-3dB) 时 66, (-20 dB) 时 对于最短脉冲	取决于配置设定。通常采用全部频带, 因此-20 dB带宽处于频带 9 225-9 500 MHz 之内, 且-3 dB带宽是所有所用中心频率的组合带宽。默认的各个附加调制-3 dB带宽为35 <sup>(10)</sup>
动态范围 (dB)			
最小处理脉冲数量			

<sup>(8)</sup> 通过180 MHz模拟带宽, 可在模数转换中处理的瞬时带宽。这个“窗口”可以根据需要移动频率。

<sup>(9)</sup> 当考虑覆盖的频谱时, 术语“总啁啾宽度”是所有使用的啁啾的组合BW, 然后高达6 × 35 MHz = 210 MHz (-3 dB BW)。

<sup>(10)</sup> 最多可使用6个单独的中心频率。正常的单个啁啾带宽(-3 dB) 为30-35 MHz。所使用的总RF带宽可能大于180 MHz, 并且通常是所使用的频带(例如9.0-9.2 GHz 或9.225-9.500 GHz)。

表2 (续)

特性	系统S13
功能	海事导航雷达
平台类型	船只和海岸
调谐范围 (MHz)	9200-9500
调制	连续波 (CW) 脉冲用于短距离 非线性调频附加调制脉冲用于长距离 (附加调制带宽为20 MHz)
进入天线的峰值功率 (kW)	0.17, 标称值 0.20, 峰值
脉冲宽度 ( $\mu\text{s}$ ) 和 脉冲重复速率 (pps)	0.1、5和33 $\mu\text{s}$ 宽度脉冲, 采用12、64和365 $\mu\text{s}$ 脉冲重复间隔和2267有效PRF
最大占空比	13%
脉冲上升/下降时间 ( $\mu\text{s}$ )	大约 0.02
输出设备	固态
天线方向图类型	扇形
天线类型	缝隙阵列
天线极化	水平极化
天线主瓣增益 (dBi)	32.7 或 34.5
天线俯仰波瓣宽度(度)	25
天线方位波瓣宽度(度)	<0.7 或 <0.45
天线水平扫描速率 (度/秒)	12 或 24 RPM
天线水平扫描类型 (连续、随机、扇区等) (度)	连续



表2 (续)

特性	系统S13
天线垂直扫描速率 (度/秒)	不适用
天线垂直扫描类型	不适用
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一SL和远端SL) (dBi)	26
天线高度 (米)	取决于船只尺寸
接收机IF 3dB带宽 (MHz)	15、0.1875 和 0.0375
接收机噪声指数 (dB)	5.5
最小可识别信号 (dBm)	-125
总附加调制宽度 (MHz)	20
RF发射带宽 (MHz)	
- 3 dB	-3 dB: 15 (短距离) -3 dB: 20 (长距离)
- 20 dB	-20 dB: 18 (短距离) -20 dB: 22 (长距离)
动态范围 (dB)	125
最小处理脉冲数量	32个脉冲集成 (12 RPM) 16个脉冲集成 (24 RPM)

表3

工作在8 500-10 680 MHz频带中的信标和地面无线电测定雷达的特性\*

特性	系统G1	系统G2	系统G3	系统G4	系统G5
功能	交会信标收发机	交会信标收发机	追踪雷达	追踪雷达	精确进场着陆雷达
平台类型	机载	地面（背负式）	地面（拖车式）	地面（拖车式）	地面（拖车式）
调谐范围（MHz）	8 800-9 500	9 375和9 535（Rx）； 9 310（Tx）	9 370-9 990	10 000-10 500	9 000-9 200
调制	单或双脉冲	脉冲	频率捷变脉冲	CW、FMCW	频率捷变脉冲
进入天线的峰值功率（kW）	0.300	0.020至0.040	31	14	120
脉冲宽度（ $\mu$ s）和 脉冲重复速率（pps）	0.3 10至2 600	0.3至0.4 少于20 000	1 7 690至14 700	不适用 不适用	0.25 6 000
最大占空比	0.00078	0.008	0.015	1	0.0015
脉冲上升/下降时间（ $\mu$ s）	0.1/0.2	0.10/0.15	0.05/0.05	不适用	0.02/0.04
输出设备	磁控管	固态	行波管	行波管	行波管
天线方向图类型	全向	正方形	笔型	笔型	笔型/扇型
天线类型	终端开口波导	印刷电路阵列	相控阵列 （线性缝隙波导）	平面阵列	偶极平面阵列
天线极化	线性极化	圆极化	线性极化	线性极化	圆极化
天线主瓣增益（dBi）	8	13	42.2	42.2	40

表3 (续)

特性	系统G1	系统G2	系统G3	系统G4	系统G5
天线俯仰波瓣宽度 (度)	18	20; 3	0.81	1	0.7
天线方位波瓣宽度 (度)	360	65; 10	1.74	1	1.1
天线水平扫描速率 (度/秒)	不适用	不适用	未指定	90	5-30
天线水平扫描类型 (连续、随机、扇区等)	不适用	不适用	扇区: $\pm 45^\circ$ (相位扫描)	$360^\circ$ (机械的)	扇区: $+23/+15^\circ$ (相位扫描)
天线垂直扫描速率 (度/秒)	不适用	不适用	未指定	90	5-30
天线垂直扫描类型	不适用	不适用	扇区: $90^\circ \pm$ 阵列仰角 (频率扫描)	扇区: $90^\circ \pm$ 阵列仰角 (机械的)	扇区: $+7/-1^\circ$ (频率扫描)
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一SL和远端SL) (dBi)	未指定	0 (第一SL)	未指定	未指定	未指定
天线高度	飞机高度	地面	地面	地面	地面
接收机IF 3dB带宽 (MHz)	24	40	1	0.52	2.5
接收机噪声指数 (dB)	未指定	13	未指定	3.4	未指定
最小可识别信号 (dBm)	-99	-65	-107	-113	-98
辅助调制带宽 (MHz)	不适用	不适用	不适用	未指定	不适用
RF发射带宽 (MHz)					
- 3 dB	2.4	4.7	0.85	未指定	3.6
- 20 dB	13.3	11.2	5.50	未指定	25.0

表3 (续)

特性	系统G6	系统G7	系统G8
功能	机场监视/GCA	精确进场雷达	机场表面探测设备 (ASDE)
平台类型	地面 (移动)	地面 (固定或可运输)	地面
调谐范围 (MHz)	9 025	9 000-9 200 (4频率/系统)	9 000-9 200; 4频率脉冲到脉冲捷变
调制	普通和NLFM脉冲	普通和NLFM脉冲对	普通和LFM 脉冲对
进入天线的峰值功率 (W)	310.5	500	70
脉冲宽度 ( $\mu$ s) 和脉冲重复速率 (pps)	1.2、30和96 12 800、3 200-6 300和2 120	0.65和25 脉冲对 3 470、3 500、5 200和5 300	0.04和4.0 (压缩至0.040) 每个4096, 总计8192
最大占空比	0.203	0.11	0.017
脉冲上升/下降时间 ( $\mu$ s)	未指定	0.15/0.15和0.15/0.15	短脉冲: 0.016/0.018; 长脉冲: 0.082/0.06
输出设备	固态	晶体管	固态
天线方向图类型	扇型 ( $\text{csc}^2$ )	垂直扇型和水平扇型	反向 $\text{csc}^2$
天线类型	有源阵列 + 反射器	二个相控阵	无源阵列
天线极化	垂直极化	右旋圆极化	右旋圆极化
天线主瓣增益 (dBi)	37.5 Tx, 37 Rx	垂直扇型: 36 水平扇型: 36	35
天线俯仰波瓣宽度 (度)	3.5 + $\text{csc}^2$ 至20	垂直扇型: 9.0 水平扇型: 0.63	19
天线方向波瓣宽度 (度)	1.05	垂直扇型: 1.04 水平扇型: 15	0.35

表3 (续)

特性	系统G6	系统G7	系统G8
天线水平扫描速率 (度/秒)	12	垂直扇型: 60, 半时 (60 次扫描/分)	360
天线水平扫描类型 (连续、随机、扇区等)	360°	30°扇区	连续
天线垂直扫描速率 (度/秒)	不适用	水平扇型: 20, 半时 (60 次扫描/分)	不适用
天线垂直扫描类型	不适用	10° 扇区	不适用
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一SL和远端SL) (dBi)	在Tx上平均7.5, 在Rx上平均2.9	垂直扇型: 17 水平扇型: 18.5	方位平面: ≤ +10 俯仰平面: ≤ +20
天线高度 (米)	地面	地面	地面以上30至100 m
接收机IF 3dB带宽 (MHz)	未指定 0.8 (估计)	40	36
接收机噪声指数 (dB)	5至6.5	7.5	5.56
最小可识别信号 (dBm)	未指定	-90 (S/N = 13.5 dB)	-96.2
动态范围 (dB)	65, 从噪声至1 dB压缩	未指定	未指定
每个CPI处理脉冲的最小数量	7	6	4个脉冲非相干集成
总附加调制宽度 (MHz)	未指定 0.8 (估计)	2	短脉冲: 无; 长脉冲: 50
RF发射带宽 (MHz) - 3 dB - 20 dB	0.8 (估计) 未知	1.1 (普通脉冲)、1.8 (NLFM) 5.8 (普通脉冲)、3.15 (NLFM)	43.270.3
抗干扰功能	未指定	未指定	本地CFAR; 杂波图; 2维空间滤波器

表3 (续)

特性	系统G9
功能	追踪雷达
平台类型	地面
调谐范围 (MHz)	8 700-9 500
调制	线性FM脉冲
进入天线的峰值功率 (kW)	150
脉冲宽度 ( $\mu\text{s}$ ) 和 脉冲重复速率 (pps)	1-15 500-15 000
最大占空比	未指定
脉冲上升/下降时间 ( $\mu\text{s}$ )	0.05
输出设备	TWT
天线方向图类型	笔型
天线类型	平面阵列
天线极化	线性极化
天线主瓣增益 (dBi)	38
天线俯仰波瓣宽度 (度)	5
天线方位波瓣宽度 (度)	5
天线水平扫描速率 (度/秒)	300
天线水平扫描类型 (连续、随机、扇区等)	连续
天线垂直扫描 (度)	不适用

表3 (结束)

特性	系统G9
天线垂直扫描类型	随机
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一SL和远端SL) (dBi)	未指定
天线高度 (米)	地面
接收机IF 3dB带宽 (MHz)	3
接收机基底噪声 (dBm)	-105
接收机损耗 (dB)	未指定
辅助调制带宽 (MHz)	3
RF发射带宽 (MHz)	
- 3 dB	
- 20 dB	3

\* 具有与表2中对海事无线电导航系统所给出特性类似的雷达系统也可以被用于机场的地面航空雷达。

表4

## 工作在8 500-10 680 MHz 频带中其他雷达的特性

特性	系统G10	系统G11	系统G12
功能	入侵检测	入侵检测	测速
平台类型	地面	地面	地面
调谐范围 (GHz)	10.525	10.15-10.65	10.519-10.531
调制	CW	CW	CW
进入天线的峰值功率 (W)	10	10	0.5
进入天线的平均功率 (W)	不适用	不适用	不适用
脉冲宽度 ( $\mu\text{s}$ ) 和脉冲重复速率 (pps)	不适用	不适用	不适用
最大占空比	1	1	1
脉冲上升/下降时间 ( $\mu\text{s}$ )	不适用	不适用	不适用
天线方向图类型	抛物线	抛物线	笔形波束
天线类型	抛物面	抛物面	平面阵列
天线极化	垂直	垂直	垂直
天线主瓣增益 (dBi)	38	42	21
天线俯仰波瓣宽度 (度)	1.9	2	20
天线方位波瓣宽度 (度)	1.9	1.2	10
天线水平扫描速率	未指定	未指定	未指定
天线水平扫描类型 (连续、随机、扇区等)	未指定	未指定	未指定
天线垂直扫描	未指定	未指定	未指定
天线垂直扫描类型	未指定	未指定	未指定



表4 (续)

特性	系统G10	系统G11	系统G12
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一SL和远端SL) (dBi)	28	22, 3度时	9, 14度时
天线高度	未指定	未指定	未指定
接收机IF 3 dB带宽 (MHz)	不适用	不适用	不适用
灵敏度 (dBm)	-100	-152	-136
接收机噪声指数 (dB)	13	3.6	7
附加调制带宽 (MHz)	不适用	不适用	不适用
RF发射带宽 (MHz) - 40 dB	3.2	3.2	3.2

表4 (续)

特性	系统G13	系统G14	系统 G15	系统 G16
功能	追踪雷达	追踪雷达	追踪雷达	追踪雷达
平台类型	机载	船载	地面(拖车式)	地面和船载
调谐范围 (GHz)	10.5-10.6	10.5-10.6	10.5-10.6	10.5-10.68
调制	CW、FMCW	CW、FMCW	CW、FMCW	LFM
进入天线的峰值功率 (kW)	1.5	13.3	14	70
进入天线的平均功率 (W)	—	—	—	20 000
脉冲宽度 ( $\mu\text{s}$ ) 和脉冲重复速率 (pps)	不适用 不适用	不适用 不适用	不适用 不适用	2-15 5-140 K
最大占空比	1	1	1	0.28
脉冲上升/下降时间 ( $\mu\text{s}$ )	不适用	不适用	不适用	.005
天线方向图类型	笔形	笔形	笔形	笔形
天线类型	平面阵列	平面阵列	平面阵列	平面阵列
天线极化	线性极化	线性极化	线性极化	线性极化
天线主瓣增益 (dBi)	35.5	43	42.2	46
天线俯仰波瓣宽度 (度)	2.5	1	1	2
天线方位波瓣宽度 (度)	2.5	1	1	2
天线水平扫描速率 (度/秒)	90	90	90	不适用
天线水平扫描类型 (连续、随机、扇区等)	扇区: $\pm 60^\circ$ (机械的)	$360^\circ$ (机械的)	$360^\circ$ (机械的)	扇区: $\pm 90^\circ$ (机械的)
天线垂直扫描 (度/秒)	90	90	90	不适用
天线垂直扫描类型	扇区: $\pm 60^\circ$ (机械的)	扇区: $+83/-30^\circ$ (机械的)	扇区: $90^\circ \pm$ 阵列倾斜 (机械的)	扇区: $+85/-10^\circ$ (机械的)

表 4 (续)

特性	系统 G13	系统 G14	系统 G15	系统 G16
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一 SL 和远端 SL) (dBi)	未指定	23 (第一 SL)	未指定	未指定
天线高度	飞机高度	桅杆/甲板安装	地面	桅杆/甲板安装
接收机 IF 3 dB 带宽 (MHz)	0.48	0.5	0.52	10
灵敏度 (dBm)	–	–113	–113	–112
噪声功率 (dBm)	–	–	–	
接收机噪声指数 (dB)	3.6	3.5	3.4	4.5
附加调制带 (MHz)	未指定	未指定	未指定	10
RF 发射带宽 (MHz)				
– 3 dB	未指定	未指定	未指定	5.5
– 20 dB	未指定	未指定	未指定	11

表4 (续)

特性	系统 G17	系统 G18	系统 G19
功能	多用途监视、扫描、追踪	机场表面检测设备	机场表面检测设备
平台类型	地面 (拖车式)	地面	地面
调谐范围 (MHz)	9 200-9 900	9 000-9 200; 在预先定义的16个跳频频率上逐个脉冲捷变	9 000-9 200; 在预先定义的4个跳频频率上逐个脉冲捷变
调制	自适应脉冲、FM	普通和LFM脉冲对	二个LFM脉冲定义一个脉冲对
进入天线的峰值功率 (W)	30-10 000	170	50
脉冲宽度 ( $\mu\text{s}$ ) 和脉冲重复速率 (pps)	0.15-30自适应 1 000-20 000自适应	0.040和4.0 (压缩到0.040) 16 384 每个	7 500时为10.0和0.15 (二者都压缩到0.040); 系统最大平均 15 000
最大占空比	0.60 (脉冲) 1 (FM)	0.07	0.15
脉冲上升/下降时间 ( $\mu\text{s}$ )	未指定	短脉冲: 0.016/0.023 长脉冲: 0.038/0.056	短脉冲: 0.020/0.020 长脉冲: 0.020/0.020
输出设备	固态	固态	固态
天线方向图类型	数字波束赋形	反向 $\text{csc}^2$	反向 $\text{csc}^2$
天线类型	有源平面阵列	无源阵列	缝隙波导
天线极化	线性/圆极化	右旋圆极化	右旋圆极化
天线主瓣增益 (dBi)	36-42	37.6	37.6
天线俯仰波瓣宽度 (度)	4 @ 36 dBi 2 @ 42 dBi	9.91	9.91
天线方位波瓣宽度 (度)	2.5 @ 36 dBi 1.3 @ 42 dBi	0.37	0.37

表4 (结束)

特性	系统 G17	系统 G18	系统 G19
天线水平扫描速率 (度/秒)	不适用	360	360
天线水平扫描类型 (连续、随机、扇区等)	$\pm 60^\circ$ 电子扫描 N*360° 机械的	连续	连续
天线垂直扫描速率 (度/秒)	不适用	不适用	不适用
天线垂直扫描类型	$\pm 40^\circ$ 电子	不适用	不适用
天线旁瓣 (SL) 电平 (第一SL和远端SL) (dBi)	取决于波束赋形	9.15	9.15
天线高度	~ 10	地面以上10 – 100米	地面以上10 – 100米
接收机IF 3 dB带宽 (MHz)	未指定	50	180
接收机噪声指数 (dB)	6	5.25	5.0
最小可识别信号 (dBm)	-122	-102	-115
动态范围	未指定	未指定	未指定
每CPI处理脉冲的最小数量	未指定	未指定	未指定
总附加调制带宽 (MHz)	未指定	短脉冲: 无 长脉冲: 50	短脉冲: 35 长脉冲: 35
RF发射带宽 (MHz)			
- 3 dB	自适应	50	35
- 20 dB	自适应	59	42

## 2.1 发射机

工作于8 500-10 680 MHz频带的雷达采用多种调制, 包括未调制脉冲、连续波(CW)、调频(附加调制)脉冲、相位编码脉冲以及具有数字信号处理的一些新型雷达可以采用不同调制机制、可变脉冲时长和重复速率的自适应调制。正交场、线性波瓣和固态输出设备被用于发射机的最后阶段。由于多普勒信号处理的要求, 新雷达系统中的趋势是线性波瓣和固态输出设备。同样, 采用固态输出设备的雷达有较低的发射机峰值输出功率和较高的脉冲占空比。在四种情况下(系统A4、S2、S5和G4), 占空比为100%, 且所有大功率CW无线电定位雷达都只工作于10 GHz以上。另一个趋势是频率捷变型雷达系统, 它能抑制或减少干扰, 很像一些通信系统中的做法。频率捷变有时也被用于避免不明确范围的杂波反射。在单个载波频率上的随机(或伪随机)传输可以在整个一个相干处理间隔或甚至一个完整天线波瓣定位或滞留中发生, 在此期间传送很多脉冲, 或者仅仅单独一个脉冲。这些选择方案类似于一个通信系统中的“慢速跳频”和“快速跳频”。在兼容性研究中应该考虑雷达系统的这些重要方面。

工作在8 500-10 680 MHz频带中典型的雷达发射机RF发射(3 dB)带宽是从45 kHz到637 MHz。发射机峰值输出功率范围是从固态发射机的1 mW(0 dBm)到采用正交场设备(磁控管)的大功率雷达的220 kW(83.4 dBm)。

在本建议书中未涉及非期望发射的特性。

## 2.2 接收机

更新一代的雷达系统在探测范围、方位角及多普勒处理之后采用数字信号处理。通常, 该信号处理包括用来增强探测所期望目标的技术以及在显示上产生目标符号。用于增强和识别所期望目标的信号处理技术还提供对一些与所期望信号异步的低占空比(少于5%)脉冲干扰的抑制。

在更新一代雷达中的信号处理采用附加调制和相位编码脉冲来产生对所期望信号的处理增益, 并且还可以提供对非期望信号的抑制。

一些更新的低功率固态雷达采用高占空比多信道信号处理来增强所期望信号的反射。一些雷达接收机具有识别带有低电平不期望信号的RF信道并且命令发射机在那些RF信道上传输的能力。

较新的雷达经常采用一个全面覆盖可能频率范围的宽带输入级。甚至IF滤波器是采用相对高的带宽来设计。这使得可以实现像具有可变带宽的跳频和自适应调制这样的功能。包括自适应滤波的最终处理是在基带信号处理中完成的。

## 2.3 天线

多种类型的天线用于工作在8 500-10 680 MHz频带的雷达。在此频带的天线通常在大小上是很方便的, 并因此引起看重移动以及重量轻而不看重长距离的应用的关注。在8 500-10 680 MHz频带中的很多雷达类型工作在多种模式, 包括搜索和导航(气象观察)模式。这类雷达的天线通常在水平面上扫描360度。

雷达技术中的最新进展(例如低温共烧陶瓷、RF模块缩小、增加处理能力)可以实现对一个相控阵天线每个单个天线单元的基带信号进行处理。

一个有源相控阵的单个单元仅仅具有略微的方向性，波束是通过采用大量具有一个可变相移的单个单元来赋形的。其结果是，干扰和抗干扰不同于传统天线（例如，采用抛物面反射器）。

这些雷达确实具有同时执行不同任务的能力（例如，追踪和扫描及多目标追踪）。一个逐线扫描或笔形波束圆被具有自适应追踪和扫描的信号处理所代替。

发射机：信号的发射是由一个可非常快速切换的波束来完成。

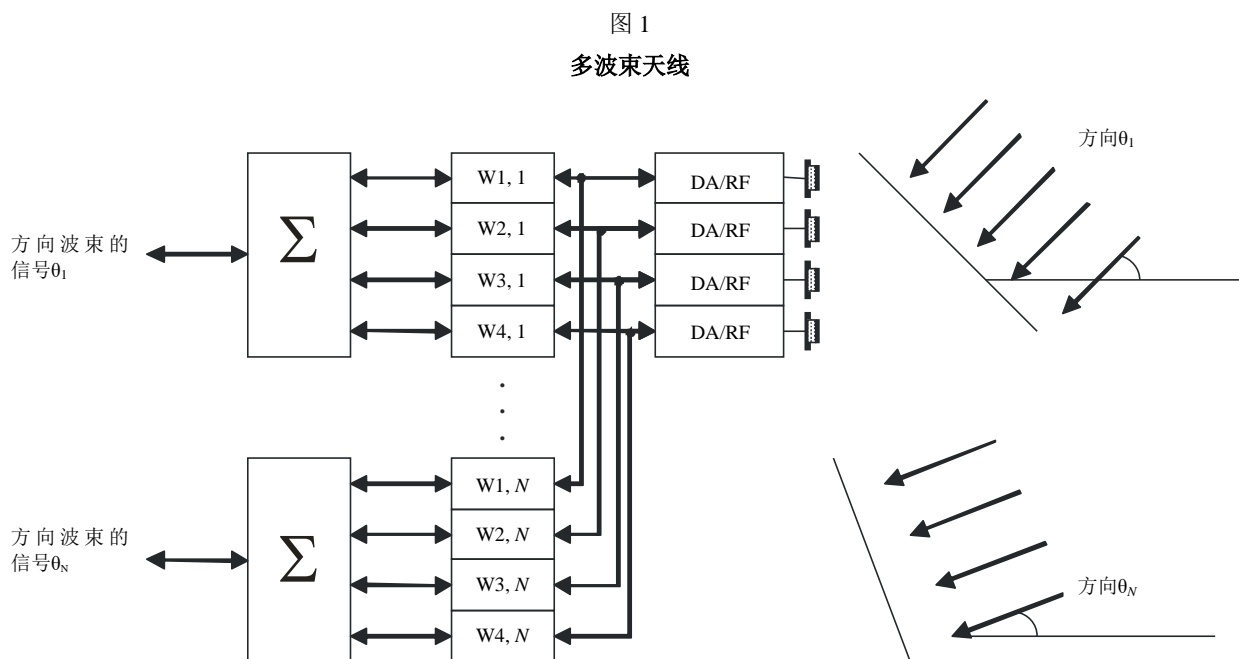
接收：根据所应用的信号处理，从原理上可以二种方式来完成接收。

- 1) 一个数字赋形波束可以与发射机同步。
- 2) 另外还可能采用一个多波束天线同时接收和检测来自其他发射机（例如，在其他飞机上的雷达）的多个信号（参见以下说明）。

结果，这意味着去耦合的机制不同于采用传统天线的雷达。

### 多波束天线（参见图1）

每个天线单元提供一个基带信号，它们可以采用加权基带信号（其他单元的 $W_{j,n}$ ）对相位和幅度进行加权（ $W_{i,n}$ ）。这由对一个方向的导向矢量来表示。这个数学运算的输出是在一个特定方向 $\theta_n$ 上接收到的信号。将在具有 $N$ 个不同导向矢量的一个导向矩阵中的不同导向矢量组合起来，该天线就能够同时在不同方向 $\theta_1$ 到 $\theta_N$ 上进行接收。应该指出，先进的雷达处理器能够执行多于每秒 $10^{12}$ 个浮点运算，这甚至能够实现更大的阵列。例如，可能的实施是一个快速傅里叶变换-波束赋形或空时信号处理。



M.1796-01

在此频带中的其他雷达更加专门化，并且将扫描限制在一个固定的扇区。在8 500-10 680 MHz频带中的大多数雷达采用机械扫描，但是，一些更新一代的雷达采用所描述的电子扫描阵列天线。水平极化、垂直极化和圆极化被使用。尽管很多海事无线电导航雷达低于30 m，但是用于陆基和船载雷达的典型天线高度分别为地面之上8 m和30 m。

### 3 9 200-9 500 MHz频带船载无线电导航系统的其他技术与操作特性

从全球看，可以清楚地区分符合国际海事组织（IMO）（包括用在渔轮上的那些）的雷达、用于内陆导航（河流）的雷达以及为了安全目的自愿安装在游艇上的雷达。

表5中是以上三种雷达分类的发射机功率比较和雷达的数量。

表5  
船载无线电导航雷达的分类

雷达分类	峰值功率 (kW)	全球总计
IMO和捕鱼	≤ 75	> 300 000
河流	< 10	< 20 000
游艇	< 5	> 2 000 000

几乎所有用于河流船只和游艇上的雷达工作于9 200-9 500 MHz频带。大部分IMO和渔船雷达也都工作于相同的频带，尽管有大量IMO雷达工作于2 900-3 100 MHz频带。

影响该频谱有效利用的雷达特性是与雷达天线及发射机/接收机相关的那些，包括保护评判标准。大多数海事雷达采用缝隙阵列天线，但是，有一些游艇雷达采用片阵列或喇叭型天线。

## 4 与海事无线电导航雷达相关的其他信息

### 4.1 性能要求和干扰的影响

如果不期望的信号造成过多的各种干扰劣化，则无线电导航系统可能不能满足它们的性能要求。根据特定的互作用系统和运行场合，那些类型可能包括：

- 扩散的影响，例如，灵敏度下降或探测距离的缩短，目标丢失与更新速度的降低；
- 离散的影响，例如，探测到的干扰、误警率的增加。

与这些类型的劣化相关联，保护评判标准与参数的门限数值相关联，例如，对避免碰撞系统：

- 可容忍的探测范围减小与相关的灵敏度下降；
- 可容忍的遗漏扫描率；
- 可容忍的最大误警率；
- 可容忍的真实目标丢失；
- 可容忍的目标位置估计错误。

海事雷达的运行要求是运行场合的一个函数。这与到海岸和海上障碍物的距离有关。从简化的意义上看，这可以描述为海洋、海岸或海港/港口场合。



IMO已经采纳了对海事雷达运行性能标准的一个修订本radar<sup>1</sup>。该IMO修订本第一次对来自其他无线电业务干扰的可能性给予了承认。

最重要的是，国际海事主管部门已经在他们最近对IMO海上生命安全公约的更新中毫无保留地声明，雷达仍然保持是避免碰撞的主要感知装置。

此声明应该在对一些等级的船只强制装配自动识别系统（AIS）的范围内考虑。从避免碰撞场合的意义上，这些系统在相对位置指示的验证上依赖于外部参照，例如GPS。

但是，装配这样系统从来不可能考虑很多没有装配AIS的海上物体，例如冰山、漂浮的废弃物、残骸等。这些物体都是与船只碰撞的潜在起因，因而需要用船只雷达来探测。因此雷达在可预见的将来仍然保持是避免碰撞的主要系统。

在其他雷达目标中，IMO标准提出需要探测小的漂浮和固定危险品以及用于导航的固定辅助物的雷达。他们要求各种特定目标在10次扫描中应该至少有8次被探测到，而误警率为 $10^{-4}$ 。特定目标包括带有满足IMO性能标准的雷达反射器的小船，以及导航浮标和没有雷达反射器的小船，每个在特别范围内<sup>2</sup>。这些标准还要求范围和方位的精确度分别在30 m和 $1^\circ$ 之内。他们要求提供适当减少来自其他雷达干扰的措施。他们要求显示分辨率为在相同方位角但是距离上分开40 m的二个点状目标和分辨率为方位角上分开 $2.5^\circ$ 的二个点状目标的能力。他们进一步要求使在一个目标的地方追踪另一个目标（“目标交换”）的可能性最小化以及在一个被追踪目标丢失时有一个告警，所有这些也与能够因干扰而恶化的目标分辨率和位置误差有关。

## 4.2 对新型海事导航雷达S13的特别描述

S13雷达的发射机采用附加调制波形固态，并且符合IMO最小性能要求IEC 62388(新雷达标准 – 2008年7月)的设计要求。该雷达能够以很多模式工作，每个模式针对一个特殊工作要求进行优化。工作的模式是河流/运河监视、河口监视、海岸监视、低功率模式、以及为搜寻作业进行直升机引导。S13雷达的一些重要特性如下：

- 采用晶体管替代磁控管的固态发射机，
- 相干发射机和接收机，
- 非线性调频和脉冲压缩被用于恢复距离分辨率，
- 采用利用多普勒处理和可变门限CFAR的数字信号处理确定目标呈现，
- 天线尺寸是3.7或5.5米长，具有小于 $0.7^\circ$ （天线宽度=3.7米）或小于 $0.45^\circ$ （天线宽度=5.5米）的水平波束宽度，
- 低压工作，
- 脉冲重复频率鉴别。此雷达采用3个脉冲传输帧，短脉冲可以支持最小30米的距离，中和长脉冲以2 268Hz的有效脉冲重复频率（PRF）提供检测性能。
- 此雷达根据天线波束宽度在目标上采用多个帧，
- 采用多普勒处理技术，
- 峰值功率为200 W，在占空比为13%时的最小功率为170W，

<sup>1</sup> IMO MSC.192 (79) 决议，对修订的雷达设备性能标准的采纳，于2004年12月10日通过。

<sup>2</sup> IMO修改了雷达反射器的性能标准（MSC.164 (78) 号决议）。

- 受控RF频谱符合ITU要求，12个发射RF频率选择提供频率多样性，以改善目标检测，
- 雷达波形是数字生成，
- 信号处理提供抗多次往返回波，
- 提供改进的检测和抗降雨与海洋杂波性能，
- 提供检测的能量，并满足IMO的最小距离限制，
- 对整个仪表范围上保持此雷达测距单元尺寸，
- 低功率模式可用，它减少7 dB发射功率。

## 5 无人机探测和规避雷达相关的补充信息

正在开发一个被称为检测和规避（DAA）雷达的新兴机载雷达类型，目的是通过对潜在的碰撞或与非合作飞机的冲突提供告警来增强飞行安全性。（在本文中“非协作”飞机指没有装备一个空中交通管制雷达信标系统（ATCRBS）收发信机、广播式自动相关监视（ADS-B）系统、交通警戒防撞系统（TCAS）、或者机载防撞系统（ACAS）的飞机。）此类机载雷达的任务是实现被称为防撞、防冲突、自分离、安全分离、检测与规避和适当关注的多个部分重叠功能。此类雷达在没有机上飞行员提供直观安全飞行功能的无人机（UA）应用中受到特别关注。

检测与规避雷达必须追踪在其关注空域中的所有潜在威胁飞机（被称为“闯入者”），同时搜寻新的威胁。因为在雷达的关注空域中经常有多于一个闯入者，因此需要一个多目标跟踪器。这或者要求相当迅速的追踪同时扫描操作，或者要求一个以所谓“搜寻同时追踪”模式的交错搜索和追踪功能，在此模式下，追踪更新按要求定期进行。此种操作要求一个超出机械扫描天线能力的波束捷变。因此，所有当前正在开发的机载DAA雷达采用电子扫描天线或者波束赋形技术来提供所要求的搜索和追踪功能。

检测和追踪所要求的范围取决于所要求的警戒时间量。这反过来依赖于承载平台（所谓的“本机”）的速度、潜在威胁的速度、本机的机动能力、规避机动的类型（例如，横向相对垂直）和发起与执行规避机动的延迟。一个具有有限机动能力的相对快的UA比一个较慢但机动能力较强的UA将要求一个具有更大范围的感应器。必须要发布一个威胁告警的范围通常是2.5-20 km，取决于承载平台的特性、闯入者的特性、所要求的错漏距离和测量误差。一个目标追踪必须建立在稍微大一些的范围上，以提供这种警戒能力。

这类雷达关注8 500-10 500 MHz频率范围，因为它在追踪精度和在小到中雨中工作的能力之间提供了一个好的折中。尽管更高的频率将对一个给定天线尺寸提供更好的角度测量精度，但是雨衰增加比角度测量精度的改善随频率而增加要迅速得多。较低的频率将极大地减少降雨的影响，但将可能要求天线孔径超过承载运输工具所能容纳。在此频率范围中有二个特别关注的子频带(8 750-8 850 MHz和9 300-9 500 MHz)，它们已经在ITU-R M.2204报告中被确定为适合这类应用，并被分配给航空无线电导航服务。

DAA雷达的其他特性列举如下。

- 二个或三个电子扫描天线面通常被用来提供 $\pm 110$ 度的方位覆盖。
- PRF在5-60 kHz范围内的中等脉冲重复频率（MPRF）和/或高脉冲重复频率（HPRF）波形被用来提供在俯视相遇中抗杂波干扰。PRF大约为1-2 kHz的低脉冲重复频率（LPRF）波形可以被用在仰视相遇中，以提供测距确定性能。

- 采用了固态RF功率放大，发射占空因子通常在4-20%的范围。
- 采用脉冲内相位编码（例如，Barker码、伪噪声码、Lewis-Kretschmer “P” 码等）或者脉冲内线性调频（LFM）的脉冲压缩经常被用来缩小测距单元尺寸，以改善目标杂波比，而同时又保持一个高占空因子。
- 数字信号处理提供50-500 Hz多普勒滤波器带宽，来支持基于速度的目标鉴别并有助于抗杂波干扰。
- 单脉冲角度测量允许根据波动的目标反射进行精确的角度追踪。
- 频率捷变可以被用来解除目标波动的相关性，改善检测的概率以及改善追踪质量。
- 一个防护天线（亦被称为旁瓣消除器）可以被用于缓解通过天线旁瓣接收到的地面杂波和干扰的影响。

在表1中给出了DAA雷达实例的特性（系统A13）。

## 6 将来的无线电测定系统

更广泛的概括，将来可能开发的工作于8 500-10 680 MHz频带的无线电测定雷达很可能类似在此描述的已有雷达。除了为在通过整个对流层进行高分辨率大量取样提供潜在可能，通过采用低功率固态运行，将为高效的应用设计分布式多普勒气象雷达网络。其他技术参数，例如一个1米的天线直径和低占空比运行模式是与当前工作在8 500-10 680 MHz频带的无线电测定雷达相一致的。将来的无线电测定雷达也很可能具有至少像已经描述的雷达一样高的灵活性，包括在不同方位角和仰角扇区内不同运行的能力。

期望一些将来的设计可以力争在一个至少要扩展到在此考虑中采用的频带极限的宽频带内工作的能力是合理的。

将来的无线电测定雷达很可能具有电子可控方向波束天线。当前技术使相位控制方向成为对频率控制方向的一个实用和吸引人的替代选择，近些年开发的用于其他频带的众多无线电测定雷达已经在方位角和俯仰角中采用了相位控制方向。不像频率控制方向雷达（例如系统15和18，新的相位阵列雷达能够将雷达运行频带内的任何基本频率指向其角度覆盖区域内的任何方位角和俯仰角。在其他优点中，这将有助于很多环境中的电磁兼容性。

一些将来的无线电测定雷达被期望具有至少像这里所描述雷达一样高的平均功率能力。然而，期望将来雷达的设计者将力争使宽带噪声发射减少到采用磁控管和正交场放大器的现有雷达之下是合理的。这样的噪声降低被期望通过采用固态发射机/天线系统来实现。在这种情况下，发射机脉冲持续时间将更长，并且发射占空比将肯定高于当前电子管型的雷达发射机的占空比。

## 附件2

## 雷达的保护评判标准

## 1 保护评判标准

## 1.1 连续的类似噪声干扰

雷达受到不同形式非期望信号以根本上不同的方式的影响，并且在连续类似噪声能量效应和脉冲效应之间存在着一个特别明显的差别。一个类似噪声类型的连续波干扰对无线电测定雷达造成降低灵敏度的影响，并且可以预见到那种影响与其强度相关。作为合理的近似，在这样的干扰到达的任何方位角扇区内，可以简单地将其功率频谱密度叠加到雷达系统热噪声功率频谱密度之上。如果无干扰时的雷达系统噪声功率用 $N$ 表示，类似噪声干扰的功率用 $I$ 表示，则合成的有效噪声功率简单地变为 $I + N$ 。

假设这样，传统上在ITU-R内建立的雷达保护评判标准是基于在干扰存在的情况下为保持目标反射信噪比所引起的代价，要求目标反射功率应该按正比于噪声功率从 $N$ 到 $I+N$ 的增加来提高。这只有通过采用较短的给定目标最大范围、牺牲对小目标的观察、或修改雷达以给其更大的发射机功率或功率孔径积来实现。（在现代雷达中，接收系统噪声通常已经接近一个不能再减少的最小值，并且近乎最佳的信号处理正变为寻常情况。）

这些代价根据雷达的功能及其目标的本性而变化。对大多数雷达，大约1 dB的有效噪声电平增加将对性能造成最大可容忍的劣化。在具有给定平均或中间RCS值的离散目标的情况下，这样的增加将减少大约6%的探测范围，而不管目标可能具有的任何RCS波动特性。从雷达范围方程式的最常见形式得出，这个效应是由可实现自由空间范围正比于信噪功率比（SNR）四次方根的事实所造成。1 dB有效噪声功率的增加在功率上是一个1.26的因子，所以，如果不补偿，它将要求到一个给定离散目标的自由空间范围按一个 $1/(1.26^{1/4})$ ，或者 $1/1.06$ 的因子减少；即，大约一个6%的范围能力降低。在该范围方程式中，SNR也是直接正比于发射机功率、正比于功率孔径积（对监视雷达）、以及正比于目标的雷达散射截面。因此，作为选择，1 dB有效噪声功率的增加可以通过放弃对平均雷达散射截面大于无干扰场合下所能探测的最小目标尺寸1.26倍之外的目标进行探测，或者将雷达发射机功率或其功率孔径积增加26%来补偿。任何这些选择是处于大多数雷达任务可接受程度的极限，并且系统的修改将会花费很大、不实际、或者不可能，特别是在移动雷达中。对离散的目标，那些性能代价是为任何给定的探测概率和误警率以及任何目标波动特性而保留的。

机载气象规避和气象观察雷达不同于离散目标雷达在于它具有经常填满整个雷达波束（通常相当窄）的扩展目标，通常是降雨。以雷达范围方程式的相应形式，SNR反比于范围平方的倒数，而不是其四次方的倒数。对观测充满波束的降雨的气象雷达，因为给定降雨速率估算精度带来的范围减少将是1dB因子的平方根；即 $(1.26)^{1/2}$ ，它等于1.12。因此在存在这样干扰时，范围能力的损失为12%，它也对应于21%的覆盖面积损失。或者，对一个给定的范围，该干扰将使最小可测量气象反射率增加（即劣化）大约26%，同样不考虑气象反射率的波动特性。

合成孔径雷达（SAR）依靠雷达平台的运动完成对在天线波束RF横扫过所观察场合内每个像素所需时间内返回脉冲的相干综合。因为该波束在地面上照射的宽度直接正比于范围（通常正比于雷达平台的高度，并且随扫过的角度而增加），可用于综合的脉冲数量、以及因此相对于噪声的综合处理增益也正比于该范围。在设计灵活性允许的程度内，输出（处理后的）SNR因此被从正比于由一个真实孔径雷达观察到的离散目标所得到的范围的负四次方改变为正比于范围的负三次方。因此，有效噪声功率增加1 dB，即功率乘以一个1.26的因子，将要求一个SAR的范围从给定要成像的地形减少 $1/(1.26^{1/3})$ ，或1/1.077倍；即损失7.7%。倘若运行限制允许这样一个范围的减少，它将进而造成一个相应的成像数据收集速率的减少。这同样是处于可接受程度的限度内。另外一个选择是将使该SAR发射机的平均功率增加26%，它同样是处于可接受程度的限度内。

### 1.1.1 干扰作用的汇集

贯穿以上讨论所涉及的1 dB增加对应于一个1.26的 $(I+N)/N$ ，或者一个大约-6 dB的 $I/N$ 。这表示能够容忍的所有干扰的汇集影响。它适用于通过雷达主瓣的接收，同样也适用于通过旁瓣的同时接收。因此对一个单个类似噪声干扰体所能够容忍的 $I/N$ 比取决于干扰体的数量及其它们的几何形状，并且应该在给定场合的分析中进行评估。这是这样一个事实的结果，即几乎所有在此频带内的雷达执行事件驱动任务、观察非合作目标、并且没有受益于冗余，包括在通信技术中越来越多被采用的数据包再传送。基本上，传感，包括雷达，是从根本上不同于通信的一种对RF频谱的应用，因而对二者采用相同的干扰保护原则是不恰当的。

## 1.2 脉冲干扰

脉冲干扰的效应是更难于量化的，并且很大程度上取决于接收机处理器的设计与系统运行的模式。特别是，对有效目标反射的差分处理增益（它是同步脉冲的）及干扰脉冲（通常是异步的）经常对给定的脉冲干扰电平的影响起着重要作用。这样的干扰能够造成几种不同形式的性能劣化。对它进行评估将是对特定雷达类型之间相互作用进行分析和/或测试的一个目标。通常，可以期望这里所描述雷达类型的众多特点有助于抑制低占空比的脉冲干扰，特别是来自几个孤立的干扰源。抑制低占空比脉冲干扰的技术包含在ITU-R M.1372建议书中—无线电测定业务中的雷达站对无线电频谱的有效使用。

## 2 船载无线电导航雷达的保护评判标准

对当前安装在船只上用于以上所确定场合的雷达所要求的保护评判标准仍然还没有国际协议。但是，ITU-R M.1461建议书提出了一个-6 dB的普通干扰/噪声电平。

IMO已经为船载雷达的运行性能制订了一个修订本，并且这个修订本考虑了ITU最近对非期望发射的要求。此IMO修订本第一次确认了来自其他无线电业务干扰的可能性，并且包括了从RCS（波动）和所要求范围方面对特定目标探测的新要求，作为雷达频带的一个函数。对一个目标的探测是基于10次扫描中的至少8次对它的显示，以及一个 $10^{-4}$ 的误警概率。这些探测要求是在没有海洋杂波、降雨及蒸发的情况下确定的，天线高度为海平面之上15 m。

最重要的是，国际海事主管部门已经在他们最近对IMO海上生命安全公约的更新中毫无保留地声明，雷达仍然保持是避免碰撞的主要感知装置。

此声明应该在只对IMO运载要求下列出的那些船只强制装配AIS的范围内考虑。从避免碰撞场合的意义上，这些系统在相对位置指示的验证上依赖于外部参照，例如GPS。

但是，装配这样的系统从来不可能考虑很多没有装配AIS的海上物体，例如冰山、漂浮的废弃物、残骸等。这些物体都是与船只碰撞的潜在起因，因而需要用船只雷达来探测。因此雷达在可预见的将来将仍然保持是避免碰撞的主要系统。

与海事主管部门和包括用户的深入讨论已经产生了一个运行要求，在所有海上航行期间，没有能够受规定控制的干扰是可以接受的。

同时，方法是进行试验并确定当前船载雷达在作为一个探测概率函数的 $I/N$ 方面能够接受什么（参见附件3）。

## 附件3

## 干扰试验的结果

## 1 干扰与噪声的雷达试验

在采纳修改后的IMO标准之前，在美国和英国进行了雷达试验，以确定当前海事雷达对各种形式干扰的薄弱之处。

这些试验采用了工作于2 900-3 100和9 200-9 500 MHz频带的雷达。这里仅仅讨论在9 200-9 500 MHz频带中的试验。这些试验的结果表示为探测的概率，它们是对应于每种干扰源类型的 $I/N$ 的函数。

应该注意，没有ITU的或者其他国际上同意的用于海事雷达的接收机规范，并且因此工作在此运行环境下的接收机特性范围广泛并不令人吃惊。这些试验的结果反映了这个范围，并且显示了探测概率随干扰电平的增加而连续劣化以及接收机不再能够接受特定干扰电平的“截止”现象。

这样的差别是真实的，并且存在于当前运行的雷达之中。

## 1.1 测试中特定雷达的特性

被称为雷达D和E的二种雷达都是IMO分类的雷达。没有对游艇雷达进行测试。对这些雷达主要参数的标称值是从管理用的型号核准文件、销售宣传册、以及技术手册中得到的。雷达E在其接收机设计中采用了一个对数放大器/检测器，而雷达D则采用对数放大器后面紧接着一个分开的视频检测器。对所有这些雷达，灵敏度时间控制（STC）和快速时间常数（FTC）在测试中没有被启用。

雷达D和E的特性在下面表6和7中给出。

表6  
雷达D参数

参数	数值			
频率 (MHz)	9 410 ± 10			
脉冲功率 (kW)	30			
范围 (nmi)	0.125-1.5	3-24	48	96
脉冲宽度 (μs)	0.070	0.175	0.85	1.0
PRF PRF (Hz)	3 100	1 550	775	390
IF带宽 (MHz)	22	22	6	6
杂波响应消除 (dB)	未知			
系统噪声指数 (dB)	5.5			
RF带宽 (MHz)	未知			
天线扫描速率 (rpm)	24/48			
天线水平波瓣宽度 (度)	1.2			
天线垂直波瓣宽度 (度)	25			
极化	水平极化			

表7  
雷达E参数

参数	数值		
Frequency频率 (MHz)	9 410 ± 10		
Pulse power脉冲功率 (kW)	30		
Range范围 (nmi)	0.125-3	6-24	48-96
Pulse width脉冲宽度 (μs)	0.050	0.25	0.80
PRF (Hz)	1 800		785
IF带宽 (MHz)	20	20	3
杂波相应消除 (dB)	未知		
系统噪声指数 (dB)	4		
RF带宽 (MHz)	未知		
天线扫描速率 (rpm)	25/48		
天线扫描时间 (s)	2.4/1.25		
天线横向波束宽度 (度)	2.0		
天线纵向波束宽度 (度)	30.0		
极化	横向		

### 1.2 雷达接收机的干扰抑制特性

二种雷达都采用了电路和信号处理来降低来自其他处于相同位置的雷达的干扰。雷达D和E采用脉冲对脉冲和扫描对扫描关联器来降低来自其他雷达的干扰。但是，它们不具有CFAR处理。对这些缓解技术的描述在ITU-R M.1372建议书中描述。

### 1.3 干扰信号与目标

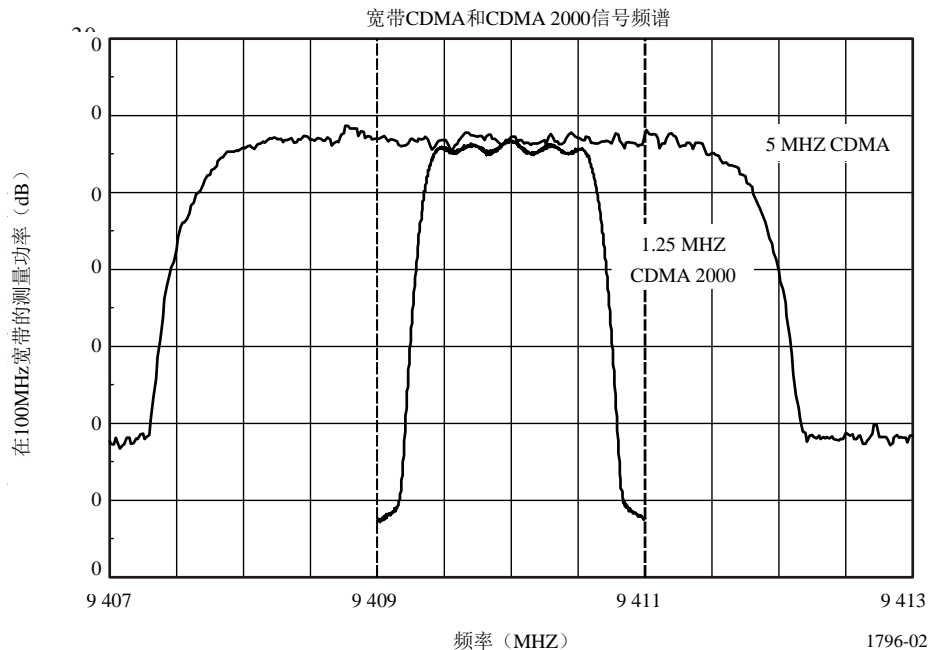
干扰信号包括脉冲和数字移动电话。脉冲源模拟了一个无线电定位输入。采用了1 μs和2 μs的脉冲宽度，PRF等效于0.1%和1%的占空比。数字移动电话源模拟了二个一般CDMA信号，一个的带宽为5 MHz，另外一个的带宽为1.25 MHz。

这些发射被调谐到工作频率并且控制与所模拟的目标一起发生。CDMA干扰信号的发射频谱如图2所示。



图2

## 一般CDMA信号



## 1.4 非波动目标的产生

任意波形信号发射器、RF信号发射器、离散电路、一个笔记本电脑及其他RF元件（电缆、耦合器、合成器等）的组合被用来沿着一个3海里（~5.6 km）半径产生均匀放置的10个具有相同RF功率电平的目标。调整所模拟目标的功率电平直到该目标的探测概率为大约90%。由每个雷达触发器触发的10个目标脉冲都发生在该雷达短距离范围一个刻度的返回时间之内，即“一次扫描”。从而，这些脉冲模拟沿着一个半径的10个目标；即一个单一的方位。为调整显示的设置，目标发生器的RF功率被设置到一个电平，使得当雷达视频控制设置到表示正常工作的位置时，所有10个目标沿着该PPI显示上的半径是可以看见的。控制目标和背景亮度、色调、以及对比度设置的软件功能基线数值是由测试人员通过实验来发现的，并且得到了制造商和对操作各种尺寸船只上的这些雷达类型具有丰富经验的专职水手的协助。一旦这些数值被确定后，它们被用在对该种雷达的整个测试程序之中。

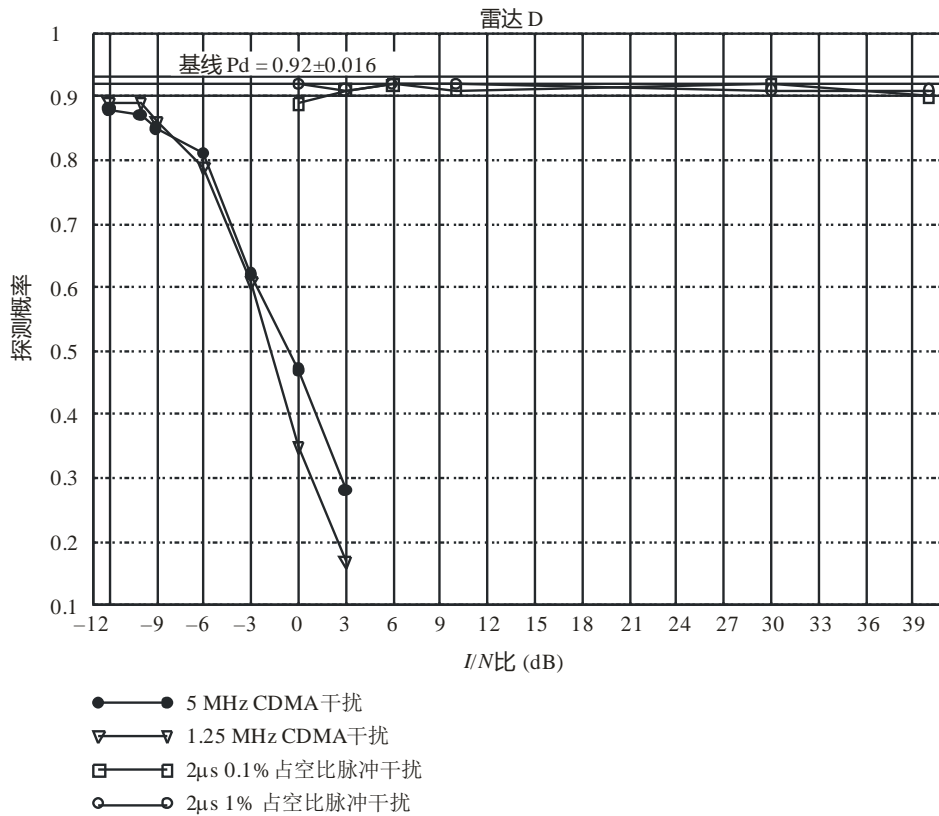
## 1.5 测试结果

### 1.5.1 雷达D

对雷达D有可能观察到非期望信号对各个目标的影响。对每个非期望信号，有可能数出随着 $I/N$ 电平增加而引起在PPI上可见目标数量的减少。对每种干扰类型在每个 $I/N$ 电平处对目标进行计数。在每个测试开始之前，对基线目标探测概率 $P_d$ 进行了计算。对雷达D测试的结果显示于图3中，它对每种干扰类型显示了目标 $P_d$ 相对于 $I/N$ 电平的关系。图3中的基线 $P_d$ 是0.92，并带有在该值上面和下面各0.016的1-sigma误差线。请注意，图3中的每个点表示总共500个期望的目标。

图3

雷达D探测概率曲线



M.1796-03

除了脉冲干扰的情况，对非期望CDMA信号，图3显示了目标 $P_d$ 被降低到在这些测试中采用的基线 $P_d$ 减去对-12 dB以上I/N数值的标准偏差之下。

### 1.5.2 雷达E

对雷达E很难对随着干扰注入雷达接收机时目标 $P_d$ 的减少进行计数。该干扰造成所有的目标以相同的比率减弱，不管它们是在目标串中的什么位置。不可能为了计算该 $P_d$ 而使各个目标随着干扰功率的增加而分别“消失”，再对丢失的目标进行计数。因此，对雷达E所采用的数据反映的是在每种干扰类型情况下的每个I/N电平处所有目标的出现是否受影响。雷达E的数据汇总于表8中。

表8  
雷达E与选通CDMA干扰

<i>I/N</i> (dB) <i>I/N</i> 比 (dB)	5 MHz CDMA	1.25 MHz CDMA 2000
-12	无影响	无影响
-10	无影响	无影响
-9	无影响	无影响
-6	目标变弱	目标变弱
-3	目标变弱	目标变弱
0	目标不可见	目标不可见
3	目标不可见	目标不可见
6	目标不可见	目标不可见

表8中的数据显示了非期望的CDMA信号在-6 dB的*I/N*电平时影响了雷达E的目标在PPI上的可视程度。在该电平上，在PPI上的目标亮度明显地从它们的基线状态变弱。在0 dB及以上*I/N*电平处，目标变弱的程度已经使得它们在PPI上再也看不见。

对雷达E，具有占空比0.1和1.0%的选通2.0和1.0 μs脉冲干扰在40 dB的最高*I/N*电平处不影响在PPI上目标的可见度。

## 1.6 试验结果归纳

进行了雷达试验，以对特定雷达和干扰源确定“无影响”来自该干扰时的*I/N*电平（即该雷达工作于其基线条件下）。对通常称为“雷达显示点”或“未处理视频”的未处理过的雷达反射被作为这些测试中的目标进行了观察和/或计数。

此“无影响”电平是相对于一个单个扫描探测的90%概率来认定的，并且在下面按照每个雷达和干扰源*I/N*进行了归纳。结果归纳于表9中。为这些类型的雷达确定可接受的干扰量可能会因为由自己观察PPI计数目标并对目标亮度进行评级的雷达操作人员的视力与经验而多少带有个人主观成分。但是，由于雷达的设计，除了操作人员/测试人员在雷达PPI上观察目标外没有其他方法来进行这些试验。

表9  
结果归纳

干扰源	雷达D	雷达E
0.1脉冲	+40	+40
1.0脉冲	+40	+40
1.25 MHz CDMA 2000	-10	-9
5 MHz CDMA	-12	-9

应该注意，还有来自干扰的其他降低雷达运行效率的影响。一个实例就是产生“虚假目标”。测试的海事雷达通常不包括CFAR的处理。

这些测试的结果显示出，当采用数字调制的设备发射朝向在此测试类型的雷达并超过 $-6$  dB  $I/N$ 时，一些雷达开始产生目标变弱、丢失目标、或者产生虚假目标。对在此 $I/N$ 电平的其他雷达，这些影响已经清楚了。当前，对在不同于已经指定场合（ $I/N = -6$  dB）的任何特定场合下所要求的 $I/N$ 没有制订任何建议。

被测雷达中没有一个是游艇分类中的。这样的雷达代表了单一的最大雷达群体（全球范围内当前值 $> 2\,000\,000$ 个单元）。这样的雷达不具有包括在雷达D和E中的所有抗干扰设施，并且可能要求更多的保护来达到其防止碰撞的要求。

这些测试显示，这些雷达可以因为引进雷达对雷达干扰缓和电路和/或信号处理，而在高 $I/N$ 电平处经受住低占空比的脉冲干扰。在ITU-R M.1372建议书中描述的扫描对扫描和脉冲对脉冲相关器和CFAR处理的雷达对雷达干扰缓和和技术已经表现出工作得相当好。但是，同样的技术对缓和在雷达接收机中表现出类似噪声的连续或高占空比发射不起作用。

因为大多数工作在 $9\,200$ - $9\,500$  MHz频带的海事雷达在设计与运行上非常相似，不要预期从用于这些测试的雷达中推算出的保护评判标准会有巨大的不同。因此，这些测试结果应该也适用于其他工作于 $9\,200$ - $9\,500$  MHz频带的类似雷达。

带有在指定频带可能共享的观点，希望进行共享研究的权威机构已知在§ 1.5和§ 1.6中，特别是在表 9中给出的这些测试结果是基于非波动目标的，应该采用这些结果作为他们研究中的指导。如果测试是采用波动目标进行的，它们很可能会产生不同的结果。

---