

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R M.1460-2 建议书
(02/2015)

**2 900-3 100 MHz频段无线电
测定雷达的技术和操作特性
及保护标准**

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号决议的附件1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/en>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/en>)

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
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
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
2016年，日内瓦

© 国际电联 2016

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.1460-2 建议书*

2 900-3 100 MHz频段无线电测定雷达的技术
和操作特性及保护标准

(2000-2006-2015年)

范围

本建议书规定了在2 900-3 100 MHz频段工作的无线电测定系统的技术和操作特性与保护标准，此频段主要分配给无线电测定业务使用。本建议书旨在为与阐述确定无线电测定业务和其它业务雷达的兼容性的分析程序的ITU-R M.1461建议书有关的共享研究提供支持。

关键词

雷达、船载、陆基、特性、保护

缩写/词汇

⇔	关系（载波频率与仰角）
AGC	自动增益控制
AIS	自动识别系统
Burn-thru (不受干扰范围)	一种工作方式，功率集中在很窄的仰角扇区内，以便在困难条件下检测目标。
BW	带宽或波束宽度，视具体情况而定。
CDMA	码分多址
CFAR	恒定虚警率
Chirp-thru (预啁啾)	一种不受干扰范围的方式，采用脉冲压缩来减少扩展束中的返回。
Coincident video(重合图像)	脉冲间相关重合图像（脉冲至脉冲相关）
CSG	净选通生成，一种仅把雷达当作接收机使用而观测有效源中的信号的技术。无论采用旁瓣消隐与否均可使用此技术。
Dicke fix (宽限窄)	在比欲收雷达信号带宽大很多的带宽内，将组合信号（雷达返回信号加上干扰）滤波后硬性限幅至较窄的频段。
ENG/OB	电子新闻采集/不包括广播

* 本建议书应提请国际海事组织（IMO）、国际民航组织（ICAO）、国际航标灯塔协会（IALA）、国际电工技术委员会（IEC）和世界气象组织（WMO）注意。

f_{co}	滤波器的截止频率
FTC	短时间常数
IF	中频
IMO	国际海事组织
INT	不相干（图像）多重脉冲组合
Jam strobe (干扰选通)	类似于CSG
MTI	移动目标指示
nm	海里
PRI	脉冲重复间隔
PRF	脉冲重复频率
PPI	每英寸脉冲
PSD	功率频谱密度
PW	脉冲宽度
QPSK	正交相移键控
RCS	雷达横截面
STC	灵敏度时间调整
WPB	宽脉冲消隐

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 完成各自功能的雷达，其天线、信号传播、目标探测和大的必要带宽特性在某些频段是优化的；
- b) 无线电测定雷达的技术特性取决于系统要完成的任务，即便在同一频段内也会有很大不同；
- c) 为了确定在无线电测定业务所用频段内引入新型系统的可行性，无线电测定业务雷达需要具有代表性的技术和操作特性，

注意到

- a) ITU-R M.824建议书将给出2 900-3 100 MHz频段内工作的水上雷达信标台的技术和操作特性；
- b) ITU-R M.1464建议书将给出2 900-3 100 MHz频段内工作的航空无线电导航的技术和操作特性，此类特性应与2 700-2 900 MHz频段内工作的雷达类似。地面气象雷达的保护标准见ITU-R M.1464建议书，地基气象雷达请参见ITU-R M.1849建议书；
- c) 一些水上雷达的灵敏度的测试结果见ITU-R M.2050报告。此报告的摘录内容见附件3，

认识到

- a) 无线电导航业务是《无线电规则》第4.10款中所述的一种安全业务；
- b) 所需的保护标准取决于干扰信号的特定类型，如附件3第3节所述的干扰信号；
- c) 在执行保护标准时，可能需要考虑结合标准的统计性质以及兼容性研究方法的其它要素（如发射机天线扫描和运动及传播路径损耗）。有关上述统计问题发展的最新情况可酌情纳入本建议书的未来修订版本中，

做出建议

- 1 应认为附件1所述无线电测定雷达的技术和操作特性代表了工作于2 900-3 100 MHz频段的无线电测定雷达的技术和操作特性；
- 2 本建议书和ITU-R M.1461建议书应作为分析无线电测定雷达与其他业务系统的兼容性的导则；
- 3 即使存在多个干扰源，干扰信号功率与雷达接收机噪声功率电平之比 I/N 为-6dB的标准也应用作2 900-3 100 MHz频段的无线电测定所需雷达的保护电平。详见附件2；
- 4 对工作于2 900-3 100MHz频段的船载无线电导航雷达所做的干扰灵敏度试验的结果（见附件3）应用于对船载无线电导航雷达所产生干扰的评估，并注意这些结果应用于无波动的目标，且应考虑雷达散射截面（RCS）的波动（亦见ITU-R M.2050报告）。

附件1

2 900-3 100 MHz频段无线电测定雷达的技术和操作特性

1 引言

许多可搬运和船载雷达工作于2 900-3 100 MHz频段。第2至4段探讨了船载无线电定位雷达，第5段简要探讨了舰载无线电导航雷达。

2 除气象雷达之外的无线电定位雷达的技术特性

表1给出了有代表性的三种船载无线电定位雷达的特性，表2给出了有代表性的三种陆基无线电定位雷达的特性。

所有给出的无线电定位系统均为大功率监视雷达。在该频段内工作的主要无线电定位雷达基本上是由于探测空中物体的。这些雷达的任务是测量目标的高度及范围和方位。有些空中目标很小，有些则大到300海里（约545公里），因此这些无线电定位雷达应务必具有很高的灵敏度，务必高效抑制各种形式的杂散回波，包括来自海上、陆地和降水的杂散回波。不要求在该频段内发射信号的无线电定位雷达触发雷达信标。

为完成这些任务，使用该频段的无线电定位雷达应具备下列一般特性：

- 雷达发射机应具有较高的峰值功率和平均功率；
- 雷达通常使用主控振荡器功率放大器发射机，而不用功率振荡器。雷达是可调谐的，其中一些是频率捷变的。有些雷达使用线性调频（脉冲）或相位编码脉冲内调制。固态技术提供非常稳定的宽带解决方案；
- 他们可用频率捷变部分缓解频率干扰产生的影响；
- 有些雷达使用电子波束控制，且具有多个波束或仰角可控波束。有源电子可控阵列在天线阵列中嵌入单独的固态发射器，并通常使用更高的占空比（一般为5-25%）来实现规定的平均功率电平，其峰值功率电平低于真空管技术的峰值功率；
- 有些雷达具备功率控制特性，即对于某些波束或功能降低发射机功率，对其他波束或功能则使用全功率；
- 雷达通常使用通用的接收和处理能力，如使用辅助旁瓣抑制接收天线，采用移动目标显示（MTI）、恒定虚警率（CFAR）技术和在某些情况下根据检测到的干扰频率自适应选择工作频率来处理相干载波脉冲串，以抑制杂散回波。

表1和表2给出了无线电定位雷达的特性，其中的部分或全部雷达具备上文所述性质，不过未来系统可能具备的属性并未在此一一列出。

表1

2 900-3 100 MHz频段工作的船载无线电定位雷达的特性

特性	单位	1号雷达	2号雷达	3号雷达	3A号雷达	3B号雷达	3C号雷达	
整个调谐范围	MHz	2 910-3 100.5	标称值2 900-3 100	2 910-3 100.5	2 900-3 100	2 900- 3 100	2 900- 3 100	
调谐选项和频率/仰角关系	MHz	确定性关系： 高频率 \leftrightarrow 小仰角					2 920至3 080 MHz范围内每20 MHz为8个信道	
水平方向频率	MHz	平滑范围：3 048-3 051	平滑范围：3 055	平滑范围：3 051	不适用	不适用	不适用	
覆盖区/性能模式		长距离 长距离/有限仰角 短距离 短距离/有限仰角 (每一种都采用正常的重合视频, 或移动目标指标 (MTI) 波束/脉冲)	正常 ($\leq 45^\circ$ 仰角) 5° 不受干扰范围: 1 个固定的 1.6° 波束 预啁啾: 1 个波束, 采用线性调频波形 长距离 MTI, 3 个脉冲; 5° 或 45° 短距离 MTI, 4 个脉冲; 5° 或 45° 无源	长 距 离 ($\leq 12.8^\circ$ 仰角) 长 距 离/小 仰 角 ($\leq 4.8^\circ$) 大仰角 ($\leq 41.6^\circ$) 有限仰角 ($\leq 12.8^\circ$) 高数据率 ($\leq 41.6^\circ$) MTI ($\leq 36.9^\circ$)		短距, 最长45公里(24海里) 长距, 最高90公里 (48海里)		

表1 (续)

特性	单位	1号雷达	2号雷达	3号雷达	3A号雷达	3B号雷达	3C号雷达
发射脉冲波形的类型		未调制	正常、5°和 MTI 方式： 9个阶跃频率子脉冲（相邻子脉冲间 1.5 MHz）； 不受干扰范围：未调制 预啁啾方式：线性调频	未调制	非线性FM	非线性FM	FM
发射射频输出装置		速调管	正交场放大器 (返波增幅管)	速调管	固态	固态	固态
发射滤波器			高通； $f_{co} \geq 2\ 840$ MHz			不适用	
最大峰值发射功率	kW	水平至 35°为 900-1000	水平至 5°为 2200	水平至 35°为 1000-1500	200	170	4-90
仰角加大和/或范围减小方式下的峰值发射功率	kW	功率从 35°的约 1000 平稳降低至 41.6°的 300	5.5°至 21°为 600；21°以上以及对于大多数 MTI 脉冲在水平方向为 60	功率从 35°的约 1000 平稳降低至 41.6°的 300		功率可降低至0.033	
发射脉冲/子脉冲宽度	μ s	前期装置：4 和 3 或 2 后期装置：10、4.6 和 2.5	正常、5°和 MTI：27（9个连续的 3 μ s 子脉冲）； 不受干扰范围和预啁啾：27	长距离和长距离/ 小仰角：10 大仰角和有限仰角：4.6 高数据率和 MTI：2.5	0.1 至 1 000	0.1, 5 和 33	0.1至100 占空比 < 20%

表1 (续)

特性	单位	1号雷达	2号雷达	3号雷达	3A号雷达	3B号雷达	3C号雷达
脉冲压缩比		不适用	正常、MTI 和不受干扰范围：不适用 预啁啾：9	不适用	最高20 000	100, 660	最高400
发射的 3 dB 带宽	MHz	10 μ s PW: 约 100 kHz 4.6 μ s PW: 约 225 kHz 2.5 μ s PW: 约 700 kHz	正常和 MTI: 300 kHz/子脉冲 预啁啾: 300 kHz 不受干扰范围: 34 kHz	10 μ s PW: 约 100 kHz 4.6 μ s PW: 约 225 kHz 2.5 μ s PW: 约 700 kHz	25	短距为15, 长距为20	15或3
发射的 20 dB 带宽	MHz		正常和 MTI: 2 MHz/子脉冲 预啁啾: 700 kHz 不受干扰范围: 240 kHz			短距为18, 长距为22	
PRI ⁽¹⁾	μ s	变化: 2 050 至 500 (水平方向为 2 050) 固定: 2 116	正常: 2 830-732 可变 (水平方向为 2 830) 不受干扰范围、预啁啾和小仰角: 固定在 2 830、4 850 或 6 180	变化: 3 106-426 (3 106 水平方向)	变化: 3 000-100	短距为 12, 中距为 65, 长距为365	2000-100

表1 (续)

特性	单位	1号雷达	2号雷达	3号雷达	3A号雷达	3B号雷达	3C号雷达
含有水平波束的全功率脉冲的平均PRI	μs		正常方式: 5 120 5°方式: 4 977 长距离 3 个脉冲 MTI: 5°: 4 357 45°: 6 760 短距离 4 个脉冲 MTI: 5°: 10 534 45°: 19 695 (1 或 2 个子脉冲/脉冲到达水平方向)	长距离: 7 491 长距离/小仰角: 6 190 大仰角: 10 972 有限仰角: 7 383 高数据率: 14 020 MTI: 9 886 或 10 903 (在方位交替扫描图上)		不适用	不适用
极化		水平					Vertical
天线增益	dBi	前期装置: 33.5 后期装置: 37	38.5	37	40	27.5	最高40
天线波束宽度	度	方位角: 1.9 仰角: 2.25	方位角: 1.5 仰角: 1.6	方位角: 1.9 仰角: 2.25	方位角: 1.1至5.0	方位角: 2 仰角: 26.5	方位角: 1.5至6 仰角: 4至20
1/2 BW 仰角变化引起的频率偏移		2.25 MHz (0.5° 每 MHz)	4.1 MHz (0.39° 每 MHz)	2.25 MHz (0.5°每MHz)		不适用	不适用
第 1 旁瓣抑制	dB	前期装置: 方位角: 16 仰角: 20 后期装置: 方位角: 25 仰角: 25	方位角: 25 仰角: 15	方位角: 25 仰角: 25		距峰值至少28 dB	
远端旁瓣抑制		常因结构分散而受到限制				距峰值至少28 dB	
天线方位扫描类型	度	连续360				不适用	连续360

表1 (完)

特性	单位	1号雷达	2号雷达	3号雷达	3A号雷达	3B号雷达	3C号雷达
天线帧 (返回) 时间	s	前期装置: 正常: 4 MTI: 5.2 重合视频: 12.5 后期装置: 8, 6, 4	4和8	8、6和4	1至12	5或2.5	
天线仰角扫描	度	前期装置: 0-48 后期装置: 0.3-41.6	0-45	0.3-41.6	0-90	不适用	不适用
特定仰角波束的形成		通过单一信道序贯接收	通过 9 个并行信道同时接收, 加上从脉冲到脉冲的顺序阶跃	通过单一信道序贯接收		不适用	同时接收的波束 (数字波束整形)
接收射频段宽 ⁽²⁾	MHz	200 MHz (估算)	≥ 200 MHz	200 MHz	400	200	≥ 200
接收中频段宽 ⁽²⁾	MHz	500 kHz	每信道 350 kHz 共 12 MHz	长距离: 80 kHz 大仰角: 174 kHz 高数据率和 MTI: 348 kHz	10-30	15, 0.3和 0.045	15或3
相对于噪声的处理增益	dB		线性调频方式: 9			0	
有用信号的灵敏度或噪声电平 (指天线端口)	dBm	噪声电平: -109				-125	

特性	单位	1号雷达	2号雷达	3号雷达	3A号雷达	3B号雷达	3C号雷达
干扰抑制特性		重合视频 MTI 后期装置：旁瓣消除	STC FTC AGC INT CSG WPB 旁瓣消除 单波束消除 脉冲到脉冲相关 静噪 (Dicke fix)	旁瓣消除 对数视频 宽限窄 干扰窗口(3)		STC CFAR	CFAR
在用年限		1960年起... (被2号和3号雷达取代)	1965年至今	1966年至今	2000年至今	2007年至今	2012年至今

(1) 对于1号、2号和3号雷达的大多数工作方式，随着扫描波束的上扬，脉冲间歇和峰值功率都将减小。

(2) 接收射频和中频的饱和电平天线均指天线端口。

(3) 干扰窗口显示可见的辐射线，用于确定某些种类干扰源的方向。

表2

2 900-3 100 MHz频段工作的陆地无线电定位雷达的特性

特性	单位	4号雷达	5号雷达	6号雷达
整个调谐范围	MHz	2 905-3 080	2 901.5-3 098.4	2 900-3 100
调谐选项和频率/仰角关系		确定性关系： 低频率 \leftrightarrow 小仰角 0.1°-0.15° 每 MHz	a) 固定频率 b) 脉冲-脉冲频率捷变 (≤ 16 个频率)： - 环境检测 - 随机 c) MTI (12 个脉冲的脉冲串)：频率捷变 (环境检测或随机)	a) 固定频率 b) 脉冲-脉冲频率捷变 (从每组 16 个共 4 组频率中选 16 个频率)： - 环境检测 - 随机 c) MTI (4 个脉冲的脉冲串)：频率捷变 (环境检测或随机)
水平方向频率	MHz	2 924-2 935	与仰角无关	
覆盖/性能方式		正常 (0°-18°) 编码脉冲 (0°-2.24°脉冲压缩, 大于 2.24°正常) MTI ($\leq 18^\circ$) 不受干扰范围 (选择一个 0.8°仰角的波束)	脉冲压缩 (0°-20°) 采用脉冲压缩的 MTI (0°-20°)	240 nm (≈ 436 公里)可测量范围 脉冲压缩 (0°-20°) 采用脉冲压缩的 MTI (0°-20°)
发射脉冲波形的类型		正常和 MTI：阶跃频率子脉冲 (脉冲内的频率/仰角 扫描) 小仰角/大功率脉冲有 6 个子脉冲；大仰角脉冲和小功率 MTI 脉冲有 9 个子脉冲。这两种情况下相邻子脉冲间都有 2.8 MHz 的阶跃变化 编码脉冲：3 个连续的 9.9 μ s 子脉冲，每个子脉冲由 13 个编码尖峰组成 不受干扰范围：未调制	双相编码 (Barker 13)	
发射射频输出装置		正交场放大器	行波速调管	

表2 (续)

特性	单位	4号雷达	5号雷达	6号雷达
发射滤波器		高通		无 二次谐波抑制 60 dB 三次谐波抑制 50 dB
最大峰值发射功率	MW	0°至 7.2°仰角为 2.2 MW, 但 0°至 3°MTI 波束为 60 kW	2.8	3.0
仰角加大和/或范围减少方式下的峰值发射功率	kW	7.2°至12.6°仰角为665 12.6°仰角为60	发射功率在多个波束间分布, 以形成近似的 cosec^2 方向性图	发射功率在0°至20°仰角的多个波束间分布
发射脉冲/子脉冲宽度	μs	正常: 小仰角和大功率情况下的6个连续的5子脉冲; 大仰角情况下的9个连续的3子脉冲 MTI: 9个连续的3.3子脉冲 编码脉冲: 3个连续的9.9脉冲, 每个脉冲有13个子脉冲 (0.76尖峰)	6.5	6.5已编码脉冲
脉冲压缩比		编码脉冲: 13	13	
发射3 dB带宽	MHz	正常和MTI: 每子脉冲0.35 编码脉冲: 对采用脉冲压缩的波束为1.3	约2	1.4
发射20 dB带宽			9.5 MHz	2.7 MHz (5.9 MHz为40 dB, 40 MHz为60 dB)
PRI ⁽¹⁾	μs	变化: 水平方向的3 772到18°的1 090, 但对MTI为 1 090	固定: 4 082、4 000、或3 876 外界因素决定了交错运行: 3 597→3 788→4 255→4 405→ 3 876 →4 082 →重复	固定PRF含有的脉冲数为245、250、和258 pps (4.082, 4.0或3.876 ms) 脉冲至脉冲抖动间隔序列通常为 4.08→3.59→3.79→4.25 →4.40→ 3.87 ms→重复 可能采用两种其它的脉冲-间隔抖动图形

表2 (续)

特性	单位	4号雷达	5号雷达	6号雷达
及有水平波束的全功率脉冲的平均PRI		正常: 约9 670 μ s (1或2个子脉冲/脉冲到达地平线)	所有脉冲覆盖0°-20°	272.5 pps
极化		水平	垂直	水平
天线增益	dBi	41	发射: 34.5 接收: 38 (发射功率在13个波束间分布; 返回信号仅组织成6个接收信道)	发射: 35 (发射能量分布在0.5°-20°) 接收: 36.7, 35.7, 35.3, 35.5, 32.1和 31.9, 从低波束到高波束
天线波束宽度	度	方位角: 2.15 仰角: 0.84	方位角: 1.1 仰角: 20 cosec ²	方位角: 1.6 仰角: 发射为20; 接收为2.3至6.0
仰角变化1/2 BW时的频率偏移				与频率无关
第1旁瓣压缩	dB	方位角: 25 仰角: 25	18.5 (假定的方位角)	发射: 垂直平面内为20 接收: 方位角至少为35; 仰角至少为49
远旁瓣压缩				特低旁瓣
天线方位扫描类型	度	360度连续		
天线帧(间隔)时长	s	10		9.4 (6.4 rpm)
天线仰角扫描	度	-1至18	不扫描。 发射波束跨越0°-20°仰角	
不同仰角波束的形成		通过单个信道序贯接收	20°发射波束分为6个接收波束, 在6个并行信道中同时处理	6个分层的接收的波束6个并行信道中同时处理
接收RF带宽	MHz	200	> 200 (在每一信道中采用镜频抑制混频器)	
接收RF和IF饱和电平, 指天线端口			-35 dBm	动态范围: 90 dB, 使用最高为46.5 dB的STC

表2 (完)

特性	单位	4号雷达	5号雷达	6号雷达
接收IF带宽	MHz	正常和MTI: 0.350 编码脉冲: 1.3	1.6	3 dB时为1.1 20 dB 时为3.4 60 dB时为12.1
相对于噪声的处理增益	dB	正常/非MTI: 3 (2脉冲图像组合) 编码脉冲: 11	10 (脉冲压缩) + 9 (脉冲组合) = 19	11 (脉冲压缩) 采用4脉冲MTI
欲收信号灵敏度或噪声电平 (指天线端口)	dBm	正常方式: 噪声电平: -116 编码脉冲: 噪声电平: -110	-105	
干扰抑制特性		2脉冲图像组合 Log FTC 编码脉冲 (脉冲压缩) 方式 脉冲-脉冲相关 稳定目标检查装置	频率捷变 脉冲压缩 旁瓣消隐 采用检测后组合的交错PRI 硬限幅CFAR (不采用MTI) 或STC (采用MTI) 原始信号监视信道	极低的接收天线旁瓣 其它与5号雷达类似
在用年限		1975年至今	1975年至今	1980年后期至今

⁽¹⁾ 对于4号雷达的大多数工作方式, 随着扫描波束的上扬, 脉冲间歇和峰值功率都将减少。

除非另有说明，表1和2中凡提到以度表示的角度均指仰角。

2.1 具体特性

1号、2号、3号和4号雷达在方位角范围内采用机械扫描，而在仰角范围内采用频率扫描。当然，2号和4号雷达在每一脉冲内的仰角范围内通常采用步进扫描，原因是每个脉冲常会分为9个连续子脉冲，每次从一个子脉冲的载频步进至下一个。2号和4号雷达还包含9个并行的信道/处理器（另有一个旁瓣消隐信道）。每个接收机信道处理同一脉冲重复间隔内一个不同仰角的波束返回的信号，该不同的仰角对应着一个子脉冲。这样，在一个单独的脉冲重复间隔内，这些雷达就可以对约 5° （2号雷达）或约 3° （4号雷达）的仰角进行观测，或者在雷达的一个往返周期内以约 1.6° （2号雷达）或约 0.84° （4号雷达）的分辨率进行观测。在不同的脉冲间歇时间内，这些雷达观测不同的 5° （2号雷达）或 3° （4号雷达）仰角扇区。

1号和3号雷达在每一脉冲期间仅发射一个波束，且只包含一个接收信道（另有一个旁瓣消隐信道）。在每一脉冲重复间隔内，这两种雷达都观测一个不同的仰角扇区。

所需的装备距离决定了脉冲重复间隔，通常在小仰角时较大，而在大仰角时数值下降，这是因为此处的长距离对应着超过大气层的高度。仰角最高时可以降低峰值发射功率，因为距离越短，检测目标所需的平均功率越小，同时也因为脉冲重复间隔缩小而引起发射占空比增加。对于2号雷达，发射机峰值功率的降低可通过断开末级和中间级的功率放大装置而完成，同时也减轻了高压应力并获得更为干净的发射频谱。对于1号和3号雷达，仰角不超过 35° 时发射功率仍然比较大，超过这个角度功率开始减小，这是末级功放装置幅频特性带来的必然结果。

2号和4号雷达的脉冲/频率序列五花八门，十分复杂。例如，在2号雷达的正常工作方式下，每一次完整的仰角扫描使用18个发射脉冲，每个脉冲由9个频率步进的子脉冲组成。为了产生仰角扫描的效果，18个脉冲中每一个的基波频率都与其他不同，不过3个脉冲例外，其基波频率与另外3个相同。采用 5° MTI方式工作时，由恒定脉冲间歇间隔分开的3或4个相同脉冲组成一组，以不超过 5° 的仰角辐射，同时还采用15个非周期（非MTI）脉冲在每次完整的仰角扫描范围内不超过 45° 的仰角上辐射。在大多数工作方式中，与每一脉冲的子脉冲有关的波束都与相邻波束在仰角方向重叠。与完成一次仰角扫描的18个或更多脉冲的所有子脉冲有关的各波束还在方位角方向相互重叠，原因是天线组件在发射和接收所有这些波束的信号时是在小于天线的方位波束宽度（ 1.5° ）范围内旋转的。因此，任何一个子脉冲返回的信号都会既在方位角方向也在仰角方向与其他几个子脉冲返回的信号重叠。这些返回信号中的波束与波束和脉冲与脉冲相关性有助于降低噪声引起的虚警率，有助于从异步脉冲干扰中区分出有效目标的返回信号。

表中含有算得的2号、3号和4号雷达发射的完整脉冲间的平均间隔，这些脉冲对3号雷达而言含水平辐射，或者对2号和4号雷达而言至少含有一个 $3\mu\text{s}$ 或 $3.3\mu\text{s}$ 时长的子脉冲。上述计算考虑到：在某些工作方式下，短距离MTI操作中也间或存在长距离非MTI操作。对任何一个基波频率而言，子脉冲中只有一个有可能位于其他系统的通带内，原因是该频率在子脉冲间是步进的。无论如何，两个相邻子脉冲对另一台接收机产生的影响有可能大致相当于一个子脉冲。

5号和6号雷达不进行频率扫描，不过这两种雷达确实形成了多个同时接收的信道，并有6个并行（同时）接收的信道，每个信道覆盖一个不同的仰角区。由于不进行频率扫描，这些雷达就可以在其200 MHz的频率范围内任意数目的频率上观测任意的空间区域（其实它们也可采用频率捷变方式这样做）。在非MTI方式中，它们可以在每一个脉冲之前跳变到其中的一个频率上。在MTI方式中，它们可以在每12个脉冲之后跳变到一个新频率上（5号雷达的情况）或在每4个脉冲之后跳变到一个新频率上（6号雷达的情况）。为了尽量利用这种能力，这些雷达采用了一种监视特性，对每一个频率抽样衡量雷达所处环境中信号的占用率，并将这种操作记录在一个存储器中。采用一种访问该存储器内容的算法可使雷达选择较少使用的频率用于以后的发射。

4号雷达采用的脉冲压缩波形的具体形式无法完全确定。不过，据称压缩比是13并采用编码的波形，从这一点可以合理地假设波形是采用双相Barker编码。长度为13的编码只有这一种。

4号雷达的静态目标审查和取消特性也称杂散回波图，它是一种后处理算法，其中保留了最近在许多方位/距离/仰角区内进行的检测的次数。每当检测异地时，该计数即递增1。当重新扫描到同一个区但未进行检测时，该计数按照明确选择规则递减1。如果进行了检测但该计数超过了一定的限值，则不会向操作员显示或用作其他用途，因为这些计数有可能是静态杂散回波引起的。

由于存在多种工作方式，要为这些雷达定量明确地具体规定检测灵敏度电平是很困难的。在假定当代雷达具有约4至5 dB噪声系数的情况下，可以通过计算估计出检测灵敏度，当然早期雷达（如1型雷达）可能具有更高的噪声系数。对于6号雷达已明确给出检测灵敏度。

采用正交场装置的雷达发射机（如2号和4号雷达的发射机）会以较高电平发射宽带噪声，这与采用正交场功率振荡器（磁控管）的雷达发射机非常相像。此类电平的量化已超出本建议书的讨论范围。

2.2 需特别关注的特性

无线电定位雷达的发射和无线电导航雷达的接收之间的相互作用比与之相反类型的相互作用更令人关注。之所以如此，是因为在该频段内工作的无线电定位雷达通常都具备各种能力，以避免水上导航雷达产生的干扰。已经确定，在过去几十年间，在该频段内工作的水上导航雷达的载频几乎一直完全集中在3 020和3 080 MHz之间的频率上。因此，令人关注的是，同样在水上环境中工作的1号、2号和3号无线电定位雷达几乎也完全在同样的频谱范围内发射其水平波束。这三种无线电定位雷达均采用在仰角方向由频率调整的天线。由于是船载雷达，需要采用自适应频率变化对船舶的高度（左右摇晃和上下颠簸）进行补偿。因此，在船舶左右摇晃和上下颠簸中以及在雷达天线进行机械旋转以提供方位扫描时，雷达发射的水平波束的确切频率会产生些许变化。不过与水平波束相对应的频率分布的中心非常接近3 050 MHz，这也恰为导航雷达频率分布的中心。因此，表1中说明的船载雷达的水平波束集中在和接近于导航雷达的频率。

非常重要的是，这三种船载无线电定位雷达都采用水平极化，在过去几十年间导航雷达使用的主要是这种极化。

还有一点值得注意，1号、2号和3号无线电定位雷达在其波束处于水平方向时一般均采用最大峰值发射功率辐射其脉冲，表1和表2对此做了量化。

因此，在过去几十年间，倾向于尽最大可能把此处所述船载无线电定位雷达的干扰耦合到典型的水上导航雷达。如果在过去几十年间曾观测到无线电导航雷达受到无线电定位雷达的干扰的话，就应结合实际情况对其影响加以评估。

6号雷达与5号雷达的主要区别在于它使用旁瓣超低的平板阵列天线，而不是5号雷达所用的反射器天线。在这种情况下能做到旁瓣甚低，这可能是因为尽管天线采用多个波束接收，但这些波束不必进行电子调整，阵列的激励也因此不受移相器量化的影响或波束调偏阵列的几何视线或中心而产生的性能恶化的影响。

3 除气象系统之外的无线电定位系统的操作特性

该频段内无线电定位雷达的数量比该频段内水上导航雷达少得多。载重量超过3 000吨的轮船几乎每艘都装备了工作在该频段内的导航雷达。

可以确信的是，此处说明的船载无线电定位雷达在船舶航行中使用的时间百分比相当高。一般认为，最常用的方式应能提供大量（大角度）搜寻能力，因此，对2号和4号雷达使用正常方式可不言而喻，而3号雷达的主要方式是其大角度方式。涉及有限仰角跨度的方式（如不受干扰范围和预啁啾）通常留在特殊情况下使用；而即便是特殊情况，这些方式也仅限于在很窄的方位扇区内使用，在其他方位扇区仍使用全仰角覆盖。预计MTI方式仅视情况需要使用，如公海情况或接近大片陆地。

陆基无线电定位雷达使用的时间百分比有可能不会很高，在个别固定地区除外。如用于导航目的则属例外。5号雷达通常工作在固定频率，特殊情况除外。

4 除气象系统之外的未来的无线电定位系统

总的来讲，今后可能研制的在2 900-3 100 MHz频段内工作的无线电定位雷达可能会类似于此处所述的现有雷达。

未来的无线电定位雷达的灵活性有可能与已经提到的雷达相同，其中包括在不同方位和仰角扇区以不同方式工作的能力。

一种合理的设想是，未来的某些设计可能会寻求在远高于3 100 MHz的宽带内工作的能力。

这些设计可能会采用现有的1-4号雷达所用的电子调整阵列。不过就现有技术而言，相位调整是替代频率调整的一种实用和有吸引力的方法，而且近年开发的其他频段所用的众多无线电定位雷达对方位和仰角均采用了相位调整。与频率调整不同，相位调整雷达可不管频率而随意调整其波束。在其所有优势中，这一点有利于保持在各种条件下的兼容性。

预计某些未来的无线电定位雷达的平均功率容量至少会与此处所述雷达相同。不过，一种合理的设想是，在该频段内工作的未来雷达的设计应争取把宽带噪声发射降至低于目前采用正交场真空管装置的雷达的水平。在未来的雷达中，这种噪声的降低可采用固态发射机/天线系统来实现。在这种情况下，发射占空比将高于采用真空管的雷达发射机，脉冲持续时间也会更长。

5 2 900-3 100 MHz频段内船载无线电导航系统的技术和操作特性¹

表3和表4给出了具有代表性的船载无线电导航雷达的特性。

ITU-R M.824建议书含有水上无线电导航信标台的特性，其中一些信标台是在2 900-3 100 MHz频段内工作的。

IMO类船载雷达的发射及功率和雷达数量见表3。

表3
船载无线电导航雷达

雷达类别	峰值功率 (kW)	全球合计
IMO和渔猎	≤ 75	> 300 000

影响频谱的有效利用的雷达特性（包括保护标准）与雷达天线和发射机/接收机有关。多数IMO类雷达均采用开槽阵列天线。

表4总结了IMO类雷达的技术特性。表中用最大值和最小值对每一特性的范围做了限定。

¹ 用于如船舶交通管理服务（VTS）等的水上固定民用雷达的特性不包括在内，原因是它们取决于位置和功能，即对沿海和港口运输的监测。

表4

水上无线电导航雷达（IMO类 – 含渔猎）
发射机/接收机 – 典型特性

特性	单位s	2 900-3 100 MHz	
		最大值	最小值
天线（用于发射/接收）：			
		分时隙的波导阵列	
天线高度		根据船舶安装设备的不同，典型情况为10-50米	
天线方向图的类型		扇形波束	
天线极化		水平	
波束宽度（至 -3 dB）（度）			
横向	度	4.0	1.0
纵向	度	30.0	24.0
旁瓣衰减	dB		
±10°内	度	28	23
±10°外	度	32	31
增益	dB	28	26
转速	rpm	60	20
发射机：			
输出设备		磁控管	
调制		脉冲	
最大占空比		7.5×10 ⁻⁴	
脉冲上升/下降时间	μs	0.015/0.067	
峰值	kW	75	30
频率	MHz	3 080	3 020
脉冲持续时间 ⁽¹⁾	μs	1.2	0.05
脉冲重复频率 ⁽¹⁾	Hz	4 000	375
RF发射带宽		针对最短脉冲	
- 3 dB	MHz	8	
- 20 dB		43	
接收机：			
中频（IF）	MHz	60	45
中频段宽	MHz		
短脉冲		28	6
中型/长脉冲		6	2.5
最小可辨识信号	dBm	-126	
噪声系数	dB	8.5	3

⁽¹⁾ 在用此表计算平均功率时，应注意最大脉冲重复频率与最小脉冲持续时间相关，反之亦然。

3B水上雷达功能简介

3B雷达的发射机采用固态输出装置，并且符合IMO对最小性能的要求和IEC 62388的设计要求。（舰载雷达）的部分重要特性如下：

- 受控的RF频谱符合国际电联的要求，8条不同发射RF频率的频率分集中每条均有20 MHz的非线性啁啾调制脉冲；
- 非线性调频和脉冲压缩被用于恢复距离分辨率；
- 雷达波形是数字生成；
- 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；
- 采用利用多普勒处理和可变门限恒虚警率（CFAR）的数字信号处理确定目标呈现；
- 天线尺寸是3.9米长，具有小于2度的水平波束宽度；
- 采用脉冲重复频率鉴别；
- 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；
- 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；
- 信号处理提供抗由天气逆温现象产生的多次往返回波，确保记录下正确的目标距离；
- 提供改进的检测和抗降雨与海洋杂波性能；
- 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。

附件2

雷达保护标准

可以预见的是，类噪声宽带连续波干扰对无线电测定和气象雷达的降敏效应与其强度有关。在这种干扰能够到达的任何方位扇区，其功率谱密度（psd）能以合理的近似程度简单加到雷达接收机热噪声的功率谱密度上。假设没有干扰时雷达接收机噪声的功率谱密度为 N_0 ，类噪声干扰为 I_0 ，则总的有效噪声功率谱密度即为 $I_0 + N_0$ 。有效噪声电平增加约1 dB将会导致严重的性能劣化，相当于检测范围减少6%。这种增加对应着1.26的 $(I + N) / N$ 比率，或约-6 dB的 I/N 比率。它表明可允许的多重干扰源对主波束的集总干扰效应；某一干扰源的可允许 I/N 比率取决于干扰源的数量及其几何分布，在给定的方案中需要加以评估。

脉冲干扰效应更难量化，且与接收机/处理器的设计和系统的工作方式密切相关。值得一提的是，跟脉冲同步的有效目标返回信号与通常异步的干扰脉冲之间的差分处理增益对给定电平的脉冲干扰所能产生的影响具有重要效应。这种干扰会加重若干不同形式的性能恶化。评估这种干扰是分析不同雷达类型间相互作用的一个目标。总之，预计此处所述各种雷达的众多特性可能会有助于抑制低占空比的脉冲干扰，特别是来自若干孤立干扰源的干扰。低占空比的脉冲干扰的抑制技术见ITU-R M.1372建议书 – 无线电测定业务雷达站对无线电频谱的有效利用。

应指出，目前正在研究针对无线电测定雷达系统的保护标准采用统计和操作方法的可行性。此统计方法可能适用于非连续信号的情况。

1 船载无线电导航雷达保护标准

如果无用信号产生的各种大量干扰导致信号质量降级，那么无线电导航系统可能会无法实现其性能要求。这些干扰类型与特定的交互作用系统和操作情形有关，包括：

- 扩散效应，如灵敏度降低或检测范围的缩小、目标遗失和更新率的降低；
- 离散效应，如检测到的干扰、虚警率的增加。

保护标准与上述降级类型相关，应基于一个参数值门限（如在碰撞防范系统中）：

- 可容忍的检测范围缩小和相关的灵敏度降低；
- 可容忍的漏扫描率；
- 可容忍的最大虚警率；
- 可容忍的实际目标丢失。

对于船载无线电导航系统而言，需要对上述保护标准及用来产生这些标准的门限做进一步研究。

船载雷达的操作要求是操作情形的一个函数。这与离岸距离和海上障碍相关。简言之，可以分别用海上、沿海或港湾/港口情形来描述。

目前，对在上述情形下安装于轮船上的雷达所需的保护标准仍无国际协议。然而，ITU-R M.1461建议书规定了一个-6 dB的通用信号/噪声电平。

国际海事组织（IMO）已对船载雷达的操作性能标准做了修订，此修订考虑了最近国际电联在无用发射方面的要求。IMO的修订首次承认了来自其它无线电业务的干扰的可能性，并在（波动的）雷达散射截面（RCS）和所需范围（为雷达频段的一个函数）方面对特定目标的检测提出了一些新要求。只有当得到80%的扫描结果和 10^{-4} 的虚警概率的支持时，才能得出目标已检测到的结论。这些检测要求的规定是在不考虑海面杂乱回波、降水和海面蒸发导管的条件下做出的，其中天线高度为海拔15米。

最重要的是，IMO《海上人命安全公约》指出，雷达目前仍然是用于防范海上碰撞事故的首要传感工具。

在理解上述声明时，应结合关于IMO运输要求下列出的船舶必须安装船舶自动识别系统（AIS）的规定。为防范海上碰撞事故，此类系统依赖于外部信息（如GPS）来验证相对位置读数。

但是，所安装的此类系统仍无法识别很多海上目标，如冰山、漂浮废物、残骸和未装备AIS的其它船舶。此类目标是船舶碰撞的潜在威胁，需要借助船舶雷达才可检测到。因此，在可预见的未来，雷达仍是防范海上碰撞事故的首选系统。

在与包括用户在内的海事机构进行充分磋商后产生了以下操作要求，即：在各类航海活动期间不得产生规则可控的任何干扰。

与此同时已开展相关试验，以确定当前船载雷达在作为检测概率函数的 I/N 方面可接受哪些内容（见附件3）。

附件3

干扰灵敏度测试结果

在美国和英国已进行雷达试验，以确定当前的船载无线电导航雷达在对抗不同形式干扰方面的弱点。在试验中测试了具备与表4所列内容类似特性且工作在2 900-3 100MHz频段的三种海上无线电导航雷达对各种信号干扰的灵敏度，产生干扰的信号类型包括：四相相移键控（QPSK）、码分多址（CDMA）、宽带CDMA、正交频分复用（OFDM）和脉冲信号。

试验结果以检测概率形式表示，对每类干扰源而言此概率为 I/N 的一个函数。

应指出，对海上雷达不存在由国际电联颁布或其它在国际范围内达成的接收机规范，因此接收机在此操作环境中出现五花八门的特性也就不足为奇了。试验结果体现了上述特性的多样性，同时表明：随着干扰电平的增加，检测概率的水平不断降级；在90%检测概率的基础上（在单次扫描过程中），存在一个“切断点”，在此切断点之后，接收机将不再能接受此特定的干扰电平。

此类差异确实存在于当前的工作雷达中。

1 测试雷达特性

每部测试雷达均为IMO类别的雷达。每部雷达的特性（以雷达A、B和C来区分）见下表1至3。雷达主要参数的标称值取自监管部门的型号审批文件、促销宣传资料和技术手册。测试内容不包括游艇雷达。雷达A和C的接收机设计采用了对数放大器/检测器，而雷达B在对数放大器后加装了一部单独的视频检测器。所有雷达在测试中均未激活灵敏度时间控制（STC）和短时间常数电路（FTC）。

2 雷达接收机干扰抑制特征

所有雷达均采用了电路和信号处理来消除来自其它共置雷达的干扰。雷达A具有广泛的信号处理和目标跟踪能力，其中包括自适应局部恒定虚警率（CFAR）特征和“扫描到扫描”相关特征。雷达B和C采用“脉冲到脉冲”和“扫描到扫描”相关器来消除其它雷达产生的干扰。雷达B和C不具备CFAR处理能力。有关上述干扰消除技术的详情见ITU-R M.1372建议书。

3 干扰信号的发射频谱

干扰信号的发射频谱见下图1至3。除注入雷达A的QPSK信号和注入其它雷达的QAM信号之外，其它干扰信号均恰好门控至与目标生成信号相同的方位角。在所有情形中，发射均调谐至雷达的工作频率。

表5

雷达A的发射机和接收机参数

参数	单位	取值			
天线横向波束	度	1.9			
频率	MHz	3 050 ± 30			
脉冲功率	kW	30			
范围	海里	0.375-1.5	3-6	12	24-96
脉冲宽度	μs	0.08	0.30	0.60	1.2
PRF	Hz	2 200		1 028	600
中频段宽	MHz	28	3	3	3
杂散响应抑制	dB	60			
系统噪声系数	dB	4			
射频段宽	MHz	N.A.			
天线扫描速率	rpm	26			
天线扫描时间	秒	2.31			
天线纵向波束宽度	度	22			
极化		横向			

N.A.: 无数据

表6

雷达B的发射机和接收机参数

参数	单位	取值			
频率	MHz	3 050 ± 10			
脉冲功率	kW	30			
范围（海里）	海里	0.125-1.5	3-24	48	96
脉冲宽度	μs	0.070	0.175	0.85	1.0
PRF	Hz	3 100	1 550	775	390
中频段宽	MHz	22	22	6	6
杂散响应抑制	dB	N.A.			
系统噪声系数	dB	5.5			
射频段宽	MHz	N.A.			
天线扫描速率	rpm	24/48			
天线横向波束宽度	度	2.8			
天线纵向波束宽度	度	28			
极化		横向			

N.A.: 无数据

表7

雷达C的发射机和接收机参数

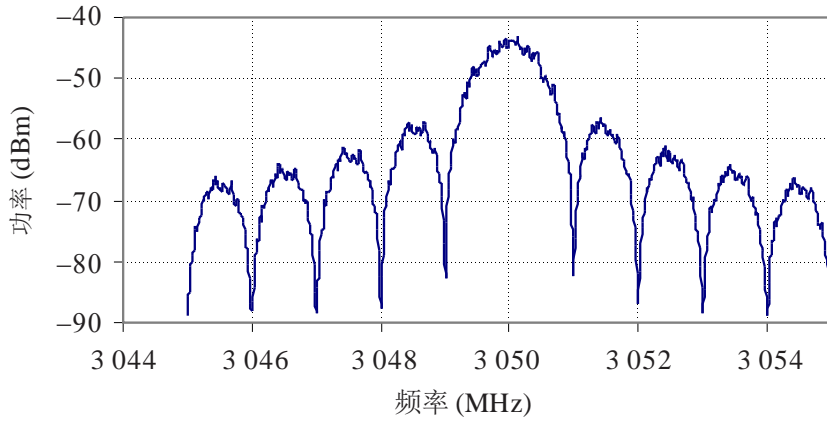
参数	单位	取值		
频率	MHz	3 050 ± 10		
脉冲功率	kW	30		
范围	海里	0.125-3	6-24	48-96
脉冲宽度	μs	0.050	0.25	0.80
PRF	Hz	1 800		785
中频段宽	MHz	20	20	3
杂散响应抑制	dB	N.A.		
系统噪声系数	dB	4		
射频段宽	MHz	N.A.		
天线扫描速率	rpm	25/48		
天线扫描时间	秒	2.31		
天线横向波束宽度	度	2.0		

N.A.: 无数据

图 1

QPSK波形的发射频谱

2 Mbit/s的QPSK信号

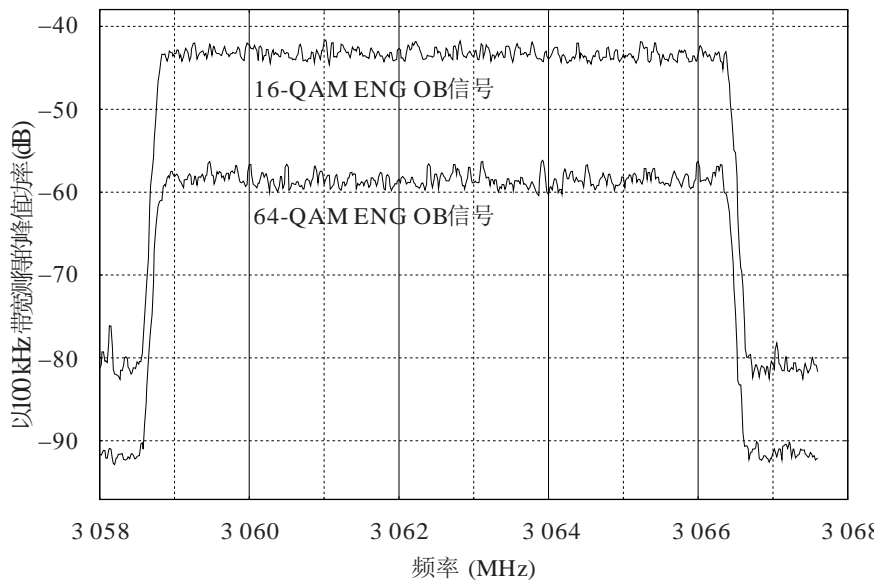


M.146001

图 2

电子新闻采集 (ENG) / 实况转播 (OB) 源采用
16-和64-QAM的数据载波模式 (ETSI 300 744)

ENG OB 信号频谱

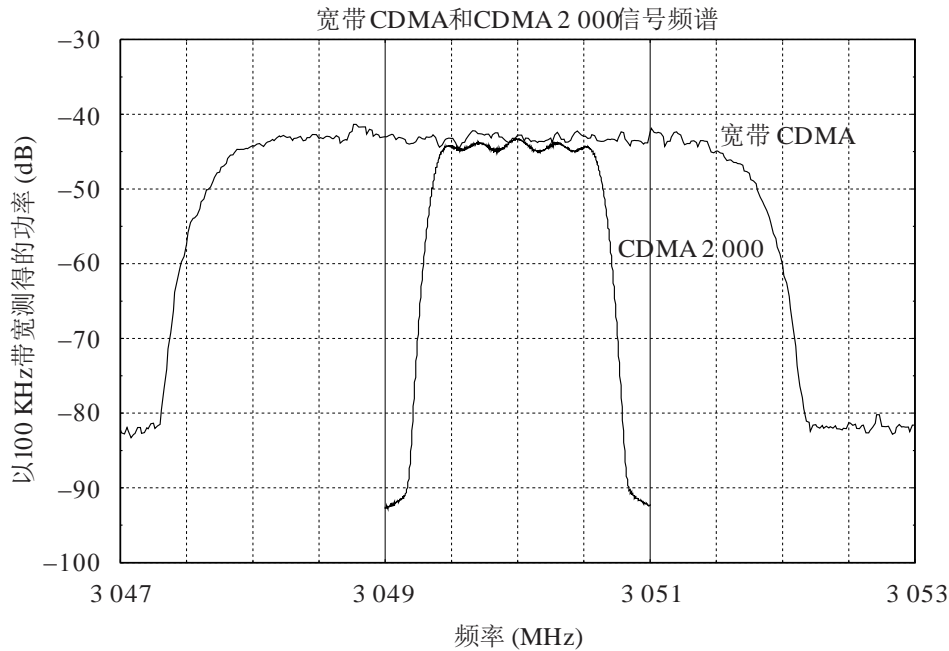


注 - 出于图示清晰的需要, 频谱曲线在幅度上做了补偿。

M.146002

图 3

欧洲宽带CDMA和美国/日本的CDMA 2000信号
(反向链路)



M.1460-03

4 无波动的目标发生

在试验中使用了任意波形信号发生器、射频信号发生器、离散电路、一台笔记本电脑和其它射频元件（线缆、耦合器、合成器等），以便在三海里的半径上生成十个具有相同射频功率电平且间隔相等的目标。试验时对所模拟目标的功率电平进行了调整，直至功率目标的检测概率接近90%。每部雷达触发器所触发的十个脉冲均在雷达的一个短程标度的返回时间（即一次“扫描”）内发生。因此，这些脉冲在上述半径（即一个方向）上模拟十个目标。为调整显示器的设置，目标发生器的射频功率被设成一个电平，此电平使全部十个目标在ppi（每英寸像素点数）显示器的半径上均为可见。同时，雷达的视频控制被设为工作状态。经测试人员试验并在制造商和曾在大小船只上操作此类雷达的职业水手的帮助下，最终找到了控制目标及背景灰度、色度和对比度设置的软件功能的基准值。上述值一经确定，便被用于相应雷达的整个测试阶段。

目标生成系统产生的是无波动目标：在每段距离上RCS保持不变。

5 测试结果

5.1 雷达A

在雷达的ppi显示器上观测到的视频图像目标针对的是雷达接收机所接收的QPSK发生器所发射的脉冲。试验中对QPSK发射的功率电平进行了调整，直至雷达的ppi显示值为基准水平。

试验中在一个值域范围内对QPSK波形的功率电平进行了调整，以便找到在显示视频目标时使QPSK发射不致影响雷达性能的合适电平。试验结果表明：QPSK的波形效应在雷达的

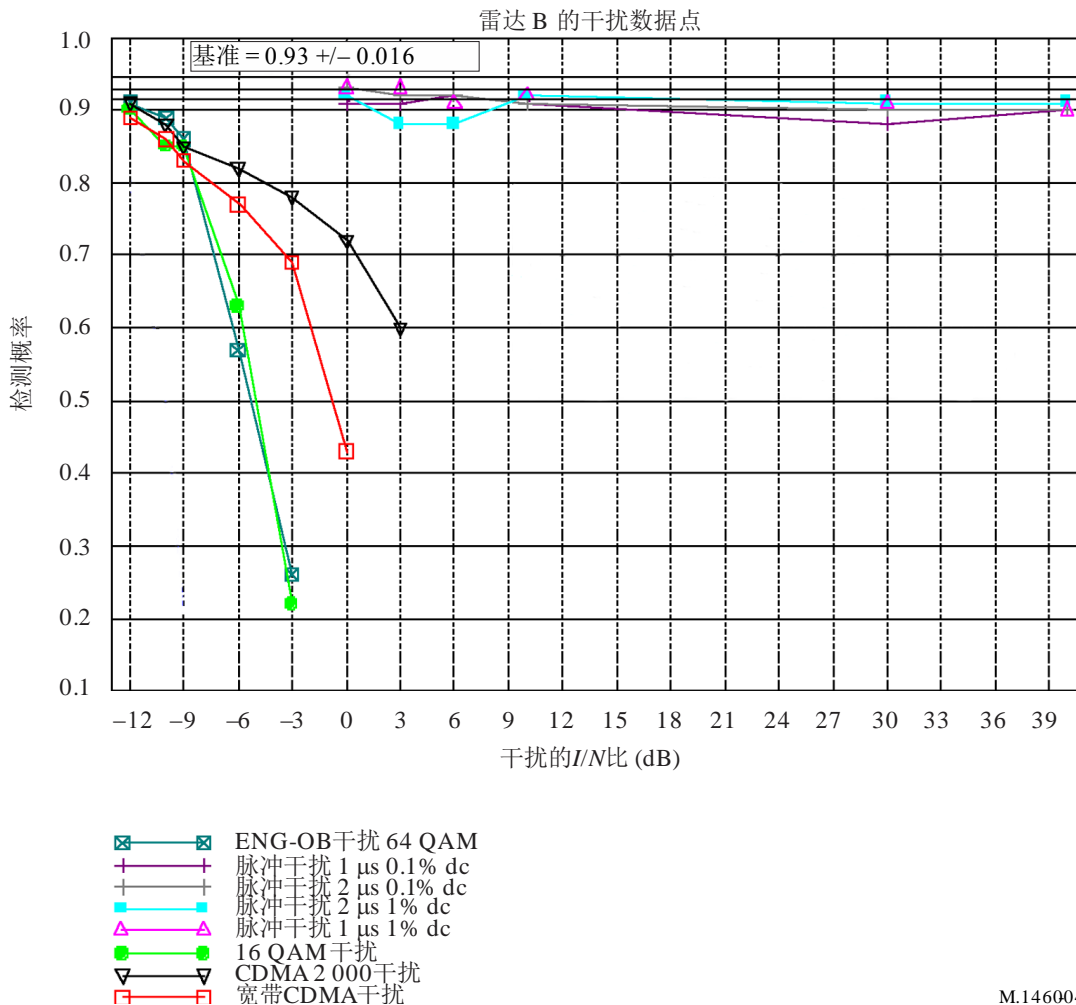
ppi上可忽略不计，其功率电平约为-112 dBm（在3MHz带宽范围内测得）。雷达的接收机噪声功率约为-104 dBm。最终的载噪比约为-8 dB。

5.2 雷达B

对雷达B可以观测无用信号对单独目标的影响。对每个无用信号而言，当I/N电平增加时，可以计算在ppi上减少的可见目标数。对每类干扰的每个I/N电平均测得目标数。在每项测试开始前已统计出基准目标检测概率（Pd）数。雷达B的测试结果见下图4，其中给出了各类干扰的目标Pd与I/N的对比情况。图4中的基准Pd为0.93，其中一倍标准差（1-sigma）误差条比该值高或低0.016。注意图4中的各点代表总计500个有用目标。

图4表明，除脉冲干扰的情形外，对所有采用数字调制的无用信号而言，目标Pd减小至低于上述测试所使用的基准Pd减去高于-12 dB的I/N值的标准偏差。

图4
雷达B检测概率的曲线



5.3 雷达C

对雷达C而言，在将雷达干扰注入雷达接收机时，很难统计目标Pd的减少。无论一串目标中的某一目标处于何种位置，干扰均使所有目标的信号以同一速率减弱。当增加干扰功率时，试验未能使单独目标“消失”，因此也就无法统计丢失的目标数并计算出Pd。所以，从对雷达C所测得的数据可以看出：对各类干扰而言，当电平为I/N时，所有目标的表面特征是否受到了影响。有关雷达C的详细数据见下表4和5。

表4的数据表明，当I/N的电平为-9 dB时，无用的QAM信号影响到雷达C在其ppi上的目标的可见性。在此电平状态下，ppi上目标的亮度比其基本状态略显黯淡。当I/N电平为-6 dB时，这些目标变得更为黯淡；而当I/N电平高于-3 dB时，目标已变得相当模糊，以至于在ppi上无法看清。

表5的数据表明，当I/N的电平为-6 dB时，无用的CDMA信号影响到雷达C在其ppi上的目标的可见性。在此电平状态下，ppi上目标的亮度比其基准状态明显黯淡许多；当I/N电平等于和大于-3 dB时，目标已变得相当模糊，以至于在ppi上无法看清。

对雷达C而言，当I/N达到40dB的最高值时，占空比分别为0.1%和1.0%的门控2.0和1.0 μ s脉冲干扰并未影响到ppi上目标的可见性。

表8

雷达C受到连续ENG/OB干扰时的情况

I/N (dB)	64-QAM	16-QAM
-12	无影响	无影响
-10	无影响	无影响
-9	目标略显黯淡	目标略显黯淡
-6	目标显黯淡	目标显黯淡
-3	目标不可见	目标不可见
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9

雷达C受到门控CDMA干扰时的情况

I/N (dB)	宽带CDMA	CDMA2000
-12	无影响	无影响
-10	无影响	无影响
-9	无影响	无影响
-6	目标显黯淡	目标显黯淡
-3	目标不可见	目标不可见
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

6 对试验结果的总结

以上雷达试验旨在为采用无波动目标和干扰源的特定雷达确定一个 I/N 电平，在此电平时干扰“无影响”（即雷达工作于其基准条件）。在试验中观测到通常被称为“光点”或“原始视频”的未处理雷达回波，这些回波可作为测试目标予以统计。

此“无影响”电平是针对90%的检测概率而言的，下文总结了各雷达和干扰源的 I/N 情况。有关结果见表6。在确定此类雷达可接受的干扰量时可能会带有一些主观色彩，原因是这有赖于观测ppi以统计目标数并确定目标自身亮度等级的雷达操作员的视力和经验。然而，由于雷达设计的原因，除借助于操作员/测试员观测雷达ppi上的目标外，目前尚无其它方法完成上述测试。

表10

无波动目标的测试结果概要

干扰源	雷达A	雷达B	雷达C
QPSK	-8	-	-
64-QAM	-	-10	-10
16-QAM	-	-12	-10
脉冲0.1	-	+40	+30
脉冲1.0	-	+40	+30
CDMA2000	-	-10	-9
宽带CDMA	-	-10	-9

应指出，来自干扰的其它效应令雷达的操作效果受损。“虚假目标”的产生便是其中一例。所测试的船载雷达一般不包含CFAR处理能力。雷达A因需另外执行监管任务才被配以更为复杂的CFAR处理能力，且能够显示所处理的/合成的目标。

上述测试结果表明，当采用数字调制且指向所测试雷达的设备的发射超过-6 dB的 I/N 比率时，一些雷达便开始出现黯淡目标、丢失目标或生成虚假目标。对于处于此 I/N 电平的其它雷达而言，这些效应早已显现出来。目前，对不同于已规定情形（ $I/N = -6$ dB）的特定情形而言，关于 I/N 应取为多少尚未制订建议书。

所测试雷达均未涉及游艇类别。游艇类雷达是布署最为广泛的雷达类型（目前全球布署超过2 000 000部）。此类雷达不具备雷达A、B和C中的干扰抑制电路/处理功能，也不具备ITU-R M.1372建议书中所列的其它干扰消除技术，因此可能要求更多保护才能实现防范碰撞要求。

测试表明，在 I/N 电平较高时，雷达能抵御低占空比的脉冲干扰，这要归功于雷达干扰消除电路和/或信号处理能力的加入。ITU-R M.1372建议书所述的诸如“扫描到扫描”和“脉冲到脉冲”相关器以及CFAR处理等“雷达到雷达”干扰消除技术已在实际工作中表现出良好效能，但对雷达接收机中类似于噪声的连续或高占空比发射而言，同样技术在干扰消除方面便无能为力了。

由于多数2 900-3 100MHz频段内的海上雷达在设计 and 操作方面十分相似，测试所得到的雷达保护标准应不会与实际情况有太大出入。因此，上述测试结果也应适用于在2 900-3 100 MHz频段内工作的其它类似雷达。

对希望开展共享研究以便在指定频段争取共享的主管部门而言，它们应利用上述测试结果来指导自身的研究工作，并牢记第5节和第6节（特别是表6）中的测试结果是以无波动目标和类噪声宽带通信信号为基础的。如测试波动目标，则很有可能产生迥然不同的结果。
