

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R M. 1465-4 建议书
(02/2022)

**在3 100-3 700 MHz频率范围内
工作的无线电测定业务的
雷达特性和保护标准**

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
M	移动、无线电测定、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
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.1465-4 建议书

在3 100-3 700 MHz频率范围内工作的无线电
测定业务的雷达特性和保护标准

(2000-2007-2015-2018-2022年)

范围

本建议书阐述了3 100-3 700 MHz频率¹范围工作的陆基/船载/机载雷达的技术和操作特性，以及保护标准。该建议书中包括了这些雷达的发射机、接收机和天线组件的代表特性及有关部署情况的信息。

关键字

特性、保护标准、舰载雷达、地基雷达、空载雷达

缩写/词汇

AMSL: 高于平均海平面

ATC: 空中交通管制

CPFSK: 连续相位FSK

RR: 无线电规则

国际电联相关建议书

建议书

ITU-R M.1460: 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

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.1464: 非气象无线电定位雷达的特性以及2 700-2 900 MHz频段内无线电测定业务的航空无线电导航和雷达共用研究的特性和保护标准

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

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、目标探测和大必要带宽特性在某些频段是适宜的；
- b) 无线电测定业务所用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) 无线电导航业务是《无线电规则》第4.10款规定的一种安全业务，必须确保不受到有害干扰；

¹ 有些系统的操作频率低至2 800 MHz。

- d) 为了确定引入新型系统的可行性，需要了解在为无线电测定业务划分的频段内工作的、代表性技术和操作特性；
- e) 需要对无线电测定业务与其他业务中的雷达系统的兼容性进行分析的程序和方法；
- f) 3 100-3 400 MHz频段作为主要业务划分给所有三个区的无线电定位业务；
- g) 3 400-3 600 MHz频段作为次要业务划分给1区的无线电定位业务；
- h) 在《无线电规则》第5.433款下，在2区和3区，3 400-3 600 MHz频段划分给作为主要业务的无线电定位业务，但敦促在该频段内运行无线电定位系统的所有主管部门，于1985年前停止运行。1985年以后，各主管部门应采取一切切实可行的措施，以保护卫星固定业务，并不得对卫星固定业务提出协调要求；
- i) 3 600-3 700 MHz频段作为次要业务划分给2区和3区的无线电定位业务；
- j) 在《无线电规则》第5.428款所列国家，3 100-3 300 MHz亦作为主要业务划分给了无线电导航业务；
- k) ITU-R M.1464号建议书载有在2 700-3 400 MHz频率范围运行的某些系统的特性，

认识到

《无线电规则》第5.433、5.429、5.429A、5.429B、5.429C、5.429D、5.429E和5.429F款是适用的，

建议

- 1 附件1中描述的无线电定位雷达的技术和操作特性，应被视作是那些在3 100-3 700 MHz频率范围内工作的雷达的典型技术和操作特性；
- 2 在对无线电测定业务中的雷达与其他业务系统之间的兼容性进行分析时应考虑ITU-R M.1461建议书；
- 3 -6 dB的干扰信号功率与雷达接收机噪声功率电平之比 I/N 这一标准，应被用作无线电定位系统所需的保护电平，且如果出现多种干扰，时它代表的是净保护电平；
- 4 表1中的特性应用来与3.1-3.7GHz内运行的雷达系统进行公用和兼容研究。

附件1

3 100-3 700 MHz频率范围内工作的无线电 定位雷达的技术和操作特性

1 引言

3 100-3 700 MHz频率范围内工作的无线电定位雷达的特性在表1中给出，并在后续各段中作进一步讨论。

表1

3 100-3 700 MHz频率范围内无线电定位系统特性的列表^{2, 3}

参数	陆基系统							船载系统				机载系统
	L-A	L-B	L-C	L-D	L-E	L-F	L-G	S-A	S-B	S-C	S-D	A-A
用途	地表和空中搜索	地表搜索	多功能地面和空中搜索	多功能地面和空中搜索	多功能地面和空中搜索	多功能地面和空中搜索	多功能地面和空中搜索	地表和空中搜索				地表和空中搜索
调制	P0N/Q3N	P0N	P0N/Q7N	P0N/Q7N	Q0N	M1N	Q3N	P0N	Q7N	P0N/Q7N	Q7N	Q7N
调谐范围 (GHz)	3.1-3.7		2.8-3.4	2.8-3.5	3.3-3.4	3.1-3.5	3.1-3.5	3.3-3.4	2.9-3.7	3.1-3.5	2.9-3.5	3.1-3.7
进入天线的 Tx 功率 (峰值) (kW)	640	1 000	200	60-70	0.33	500	100	1 000	4 000-6 400	60-200	4-90	1 000
脉冲宽度(μs)	160-1 000	1.0-15	50-500	3-150	0.65	0.1-1.0	0.5-50	0.25, 0.6	6.4-768	0.1-1 000	0.1-100	1.25 ⁽¹⁾
重复率 (kHz)	0.020-2	0.536	0.2-50	0.8-50	160	50-200	1.0-20.0	1.125	0.152-6.0	0.3-10	0.5-10	2
压缩比	48 000	不适用	最高为 1 000	最高为 2 000	26	不适用	不适用	不适用	64-512	最高为 20 000	最高为 400	<10
压缩类型	不可用	不适用	LFM 和 NLFM	LFM和 NLFM	不适用	不适用	不适用	不适用	CPFSK	不可用	不可用	LFM和 NLFM
占空比 (%)	2-32	0.005-0.8	0.2-20	最大值12	最大值11	2.0-5.0	1.0-5.0	0.28, 0.67	0.8-30.0	最大值20	最大值20	5
Tx 带宽 (MHz) (-3 dB)	25/300	2	2	7-40	1-20	5	1.5	4, 16.6	4-800	25	3,15	> 30
天线增益 (dBi)	39	40	31	40	22	22	37	32	42	至 40	至40	40
天线类型	抛物型		相控阵	相控阵	相控阵	相控阵	相控阵	相控阵	相控阵			开槽波导阵列组合

² ITU-R M.1460和ITU-R M.1464建议书还给出了在2 700-3 400 MHz频率范围内运行的无线电定位雷达的特性。

³ 这些雷达的技术特性适用于表中所示的所有调谐范围。

表1 (结束)

参数	陆基系统							船载系统				机载系统
	L-A	L-B	L-C	L-D	L-E	L-F	L-G	S-A	S-B	S-C	S-D	A-A
波束宽度 (H,V) (度)	1.72	1.05, 2.2	1.5	1-4.5	15,15	15, 15	2.5, 2.5	1.75, 4.4, csc ² to 30	1.7, 1.7	1.1-5, 1.1-5	1.5-6, 4-20	1.2, 6.0
垂直扫描类型	不适用	不适用	随机	随机	随机	电子扫描 扇区	不适用	不适用	随机	不适用	不适用	不适用
最大垂直扫描 (度)	93.5	不适用	90	90	75	90	70	不适用	90	90	90	± 60
垂直扫描率 (度/秒)	15	不适用	50	可变	35	10.0-50.0	不适用	不适用		瞬时		电子
水平扫描类型	不适用	旋转	旋转	旋转	随机	不适用	旋转	旋转	随机	连续360+ 扇面	连续360+ 扇面	旋转
最大水平扫描 (度)	360							360				
水平扫描率 (度/秒)	15	25.7	36	180	可变	60-100	0	24	不适用	30-360	50-180	36
极化	RHCP	V	线性	V	V	线性	线性	H	V	不适用	V	H
Rx灵敏度(dBm)	不适用	-112	-110	-115	-141	-114	-85	-112	不适用	不适用	不适用	不适用
Rx噪声系数 (dB)	3.1	4.0	1.5	4	3	3	5	4.8	5.0	1.5	1.5	3
Rx RF带宽 (-3 dB)	不适用	2.0	600	400	100	500	120	不适用		400		不适用
Rx IF 带宽 (-3 dB)	380	0.67	2	30	5,10	12	18	8	10	10-30	2-20	1
部署地区	世界范围	世界范围	世界范围	世界范围	世界范围	世界范围	世界范围	世界范围	世界范围	世界范围	世界范围	世界范围

(1) 100 ns压缩。

2 技术特性

3 100-3 700 MHz频率范围由安装在陆地、船只和飞机上的雷达使用。通常主要用于船上和飞机上的移动雷达，而固定的陆基系统操作在测试距离内使用且常常安装在绳系的气球上，用于监视陆地或海岸地区。执行的功能包括有近地表和高海拔机载目标的搜索、海洋监视、机载目标跟踪以及用于多用途的测距仪器。未调制的和角度调制的两种脉冲调制，对于这些搜索雷达功能采用占空比周期。表1为3 100-3 700 MHz内运行的陆基、船载和机载雷达系统的代表性特征。

2.1 陆基雷达

2.1.1 陆基雷达的操作

通常使用工作在3 100-3 700 MHz频率范围内的陆基雷达做开闭测距的测试操作。这些雷达中许多都是移动的，它们常在安装到轮式车辆后转移雷达的位置，在延伸的飞行路径上，为机载车辆提供搜索和跟踪功能。另一些安装在测试范围内的固定位置，依然提供搜索和跟踪功能。

表1中的陆基系统L-B绳系在高达4 600 m的高度提供高达275 km的扩展距离监视。表1中描述的陆基系统L-A主要在白天飞行气候良好的条件下工作，偶尔在夜间通过装载于绳系气球上的雷达继续工作。移动车辆或静止平台上用于空中和地面搜索的陆基系统L-C、L-D、L-E、L-F、L-G为全天候、全时和多任务雷达。

2.1.2 发射机

发射机是可调谐的且无论在哪里工作所能支配的频率应在3 100-3 700 MHz频率范围内。具体而言，L-F系统发射的频率范围是3 100-3 500 MHz，L-G系统发射的频率范围是3 100-3 500 MHz。采用的调制有未调制脉冲、单信道角度调制和多信道角度调制。此外，L-B、L-F、和L-G系统不使用脉冲压缩。

2.1.3 接收机

许多测距雷达接收机具有与向各种显示器、操作员控制台和记录设备馈送视频数据和数据相关的专门选通电路。由绳系气球雷达接收的视频数据通过无线（固定业务）和有线两种手段转送到地面操作员设备上。

2.1.4 天线

L-A和L-B系统利用抛物面碟型天线。L-C、L-D、L-E、L-F系统采用相控阵天线，而L-G采用平面阵列天线。L-C、L-D、L-E、L-F和L-G系统的天线方向图可以使用ITU-R M.1851建议书的统一天线方向图进行建模。天线是按照测距的特殊目的设计的，但主波束的工作增益要高达40 dBi，电子调节且通常在随机方向上指向天空，以提高照向空间物体的可能性并接收到来自它们的能量。绳系气球雷达将它们的天线指向在它们上面几度的水平方向。

2.2 船载雷达

2.2.1 船载雷达的操作

表1描述了典型的在3.1-3.7 GHz频率范围内工作的船载雷达，系统S-A至S-D。系统S-A用作为主航空器载波空中交通管制系统。系统S-B是主要安装在护卫船上的多功能雷达。这些舰船上安装的雷达的工作地区包括沿海地区和公海。这些雷达是典型地昼夜工作。为其它船只提供护航时，经常会出现十部雷达同时工作。除了舰船系统，还有陆地固定系统用于训练和测试。另外，日常维护和测试的操作也需要这些雷达在一些港口地区偶尔工作。装备了系统S-A的舰船大多数总是至少伴有装备系统S-B的一艘舰船。

2.2.2 发射机

系统S-A在3 500-3 700 MHz频率范围内发射。系统S-B在2 900-3 700 MHz频带内发射，且利用了相位调制和跳频的结合。发射在十个带宽为40 MHz的，指定名称为频率范围1至10的频段内灵活选定频率。可变脉冲宽度的序列是随机的。

2.2.3 接收机

系统S-A的接收机如表1所描述，且具有空中交通管制（ATC）的一般特性，用于减少伪目标/杂波、移动目标指示、短/长距选择和将视频馈送到计划使用的位置指示器（PPI）范围；它的调谐范围与发射机相同。系统S-B的接收机工作在2 900-3 700 MHz频率范围内。接收机的特性并不可用，但假设其为现代接收机，在更严重的杂波和不利的天气中，具有在延展距离上检测多个和多种物体所需的大部分处理增益。

2.2.4 天线

系统S-A采用一个1.75°方位角波束宽度和具有32 dBi主波束增益，仰角从4.4°至30°的 csc^2 波束的机械旋转反射器型天线。标称天线高度为平均海拔以上（AMSL）46 m。系统S-B采用具有42 dBi主波束增益，提供360°覆盖的四平面电子调节相控阵天线。系统S-B的天线方向图可以使用ITU-R M.1851建议的统一天线方向图来建模。雷达S-B天线的标称高度为AMSL 20 m。

2.3 机载雷达

可发现该频段内的机载雷达采用了频谱特征的优点，用这一波长进行长距离的监视、目标跟踪和ATC。该频段内已经有的典型的机载雷达的频谱特性在表1中作了描述。这一系统是若干主管部门安装在监视飞机上的一种多功能、相控阵雷达。该系统的天线是一个安装在飞机机身顶部的大开槽波导阵组合。它提供40 dBi的主波束增益，在27dBi上的首个旁瓣而其远端旁瓣增益估计为11.5 dBi。

在共享和兼容性研究中要考虑的天线方向图是具有均匀分布的ITU R M.1851建议书。载有这些雷达的飞机可以在世界范围内工作。它们除了空中监视和ATC功能之外也具有海洋监视模式。这种机载系统典型地是工作在约9 000 m的高度并且根据机组人员的工作时间，其工作时间可延长至12小时。在有些情况下，通过给飞机的补给，连续监视可以基本保持在每天24小时。

3 保护标准

雷达受各类型无用信号干扰的方式存在根本性的差异，特别是连续性类噪声能量和脉冲的影响存在很大差别。

使用脉冲压缩的系统其IF带宽与压缩脉冲相匹配，并作为与S/N劣化相匹配的滤波器工作。脉冲压缩滤波器可能只得到部分匹配，因此会增加类噪声干扰效应。在此情况下，-6 dB的I/N比可能不充分，为评估给雷达性能造成的操作影响，可能有必要对干扰做出评估。

类噪声连续波干扰会对无线电测定雷达产生“去敏感效应”，且预计这一效应与强度相关。在这些干扰到达的任何方位角扇区内，其功率谱密度，在一个合理的近似值内，可简单地加到雷达接收机热噪声的功率频谱密度上。如果在没有干扰时雷达接收机噪声的功率频谱密度用N来表示，而类噪声的干扰用I表示，那么得出的有效噪声功率频谱密度就简单地变成 $I + N$ 。

鉴于ITU-R制定的传统雷达保护标准是基于存在干扰情况，因保证目标回波信噪比而产生的恶化，要求目标回波按照噪声功率上升的比率，从N提升到 $I + N$ 。只有接受缩短特定目标的最大范围，放弃对小目标的观测，或通过调整雷达，赋予其更高的发射功率或产生更多的功率孔径，才能够实现。（在现代雷达中，接收系统的噪声，通常已经接近不可再降的最小值，且使用近似最佳的信号处理方式也越来越普及。）

这些恶化取决于雷达的功能和其目标的性质。对于大多数雷达系统，有效噪声电平上升约1 dB，将会引起可接受的最大程度的性能劣化。对特定平均值或中值的雷达横截面（RCS）离散目标，无论该目标的RCS波动特性如何，该上升值都将会把检测范围降低约6%。此影响是源于这样一个事实，即可实现的自由空间范围，与通过最常用范围计算公式得出的信噪功率比（SNR）的四次方根成正比。有效噪声功率上升1 dB，其相应的功率因子为1.26，因此如不做出补偿，则要求某给定离散目标的自由空间范围按 $1/((1.26)^{1/4})$ 或1/1.06的比例下降；即范围水平下降约6%。在范围公式中，SNR亦与发射功率、功率孔径的产物（用于监视雷达）和目标雷达横截面直接存在比例关系。或者，因此可通过预先检测目标来补偿1 dB的有效噪声功率上升，但平均雷达横截面为最小目标1.26倍的情况除外，这些目标的检测可在无干扰的区域或通过提高雷达发射机的功率或其功率孔径产物26%来实现。对大多数雷达执行的任务而言，这些备选方案都在可接受的边缘，且系统调整，特别是对于移动雷达，成本高昂、不切实际或无法实现。针对离散的目标，在任何给定的检测概率、错误告警率和目标波动特性的情况下，这些性能恶化都可能会出现。
