

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R M.1463-3 建议书
(02/2015)

**在1 215-1 400 MHz 频段内工作的
无线电测定业务的雷达
的特性和保护标准**

M系列

**移动、无线电测定、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

ITU-R M.1463-3 建议书*

**在1215-1400 MHz频段内工作的无线电测定业务的
雷达的特性和保护标准**

(2000-2007-2013-2015年)

范围

本建议书阐述了1215-1400 MHz频段工作的陆基雷达的技术和操作特性，以及保护标准。该建议书中包括这些雷达的发射机、接收机和天线组件的代表特性。

关键词

保护标准、机载雷、陆基雷达、长距离雷达

缩略词/词汇表

CW 连续波

ESA 电子可控

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、目标检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的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，不能受到有害干扰；
- d) 一些无线电通信研究组正在考虑在无线电测定业务雷达使用的420 MHz和34 GHz频段内引入新型系统或业务（如固定无线接入系统及高密度固定和移动系统）的可能性；
- e) 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、系统的代表性技术和操作特性；
- f) 需要对无线电测定业务和其它业务系统中的雷达进行兼容性分析的程序和方法；
- g) 1215-1400 MHz频段作为主要业务划分给无线电定位业务；
- h) 1300-1350 MHz频段作为主要业务划分给航空无线电导航业务，限于陆基雷达和相关的机载转发器；

* 应提请无线电第7研究组和国际民用航空组织（ICAO）注意本建议书。

- i) 1 215-1 300 MHz频段是又作为主要业务划分给许多国家的无线电导航业务；
- j) 1 215-1 300MHz频段作为主要业务划分给卫星无线电导航业务（空对地）；
- k) 1 215-1 300 MHz频段作为主要业务划分给地球卫星探测（有源）和空间研究（有源）业务；
- l) 1 350-1 400 MHz频段作为主要业务划分给1区中的固定业务和移动业务，而1 215-1 300 MHz频段亦作为主要业务划分给《无线电规则》第5.330款中所列国家的固定业务和移动业务，

建议

- 1 附件中描述的无线电测定雷达的技术和操作特性应认为是那些在1 215-1 400 MHz频率范围内工作的，雷达的典型技术和操作特性；
- 2 ITU-R M.1461建议书应被视作为对无线电测定业务中的雷达与其他业务系统兼容性进行分析的指导原则；
- 3 在连续（非脉冲型）单独或汇集干扰的情况下， -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，应用作无线电测定雷达所需的保护电平；
- 4 在脉冲型干扰的情况，标准应根据不同的情况分析考虑有害脉冲串的特性以及在雷达接收机信号处理可能达到的程度。

附件

1 215-1 400 MHz频段内工作的无线电测定雷达的技术和操作特性

1 引言

1 215-1 400 MHz频段内世界范围工作的无线电测定雷达的特性在表1中给出，并在以下段落中进一步描述。那些专门用于风剖面雷达的特性可在本附件的第4段中找到。

2 技术特性

1 215-1 400 MHz频段由许多不同类型的固定和移动（包括机载）平台上的雷达使用。在该频段中执行的无线电测定功能包括长距离的搜索跟踪和监视。雷达的工作频率可假设成均匀地散布在整个1 215-1 400 MHz频段内。表1包括了部署在1 215-1 400 MHz 频段内典型的无线电定位和无线电导航雷达的技术特性。

该频段内的机载雷达利用适当长距离监测的频谱特性。操作高度（约10 000米）使机载系统充分利用300公里以上无线电地平线。

2.1 发射机

工作在1 215-1 400 MHz频段内的雷达采用了包括连续波（CW）脉冲、频率调制（线性调频脉冲的）脉冲和相位编码脉冲的各种调制。发射机的最后一级采用了正交场、线性波束和固态输出设备。由于多普勒信号处理的要求，新的雷达系统的趋势是趋于线性波束和固态输出设备。

另外也在于采用固态输出设备的雷达工作在一个单信道时（一个单信道可由在一个10 MHz带宽内的三或四个离散频率组成），具有较低的发射机峰值输出功率和较高的，接近50%的脉冲型占空比。还有一个趋势是使用可能抑制或降低干扰的频率灵活型的雷达系统。

多数系统使用一个以上频率实现频率分集优势并/或同时执行多项功能。两个频率极为多见，四个或更多频率偶尔出现。分集通常考虑四个频率不在邻近信道，且工作频段需要较宽间隔。在跳频、检测和防止干扰配置中，雷达在调谐范围内使用多个频率。

工作在1 215-1 400 MHz频段内的雷达的典型发射机RF发射带宽范围是0.5至3.0 MHz。发射机的峰值输出功率范围包括从固态发射机的25 kW（73.9 dBm）到采用了速调管的大功率雷达的5 MW（97 dBm）。

2.2 接收机

较新一代的雷达系统在对距离、方位和多普勒处理之后采用了数字信号处理。通常包括信号处理的技术是用以增强有用目标的检测以及在显示中产生目标符号。有用目标的增强和识别所采用的信号处理技术也对小于5%的低占空比干扰产生一些抑制，这种干扰异步于有用信号。

此外，采用了线性调频脉冲的和相位编码脉冲的较新一代的雷达中的信号处理对有用信号产生一个处理增益并且还对无用信号产生了抑制。

一些较新的低功率固态发射机使用高占空比的多个接收机信道信号处理，以增强有用信号的回波。

这些系统具有可在RF调谐的情况下接收所有频率的宽带RF前端，之后为统一的超外差接收机。由数百种元素构成的电子可控际（ESA）与整合的RF链具有更宽的RF和IF带宽。修改这些元素以改进过滤特性在现实中是不可行的。

有些雷达接收机具有识别低无用信号RF信道和命令发射机在那些RF信道上发射的能力。

2.3 天线

有许多类型的天线被用于工作在1 215-1 400 MHz频段内的雷达上。采用反射型天线的较新一代的雷达具有多个天线阵喇叭。双喇叭被用于发射和接收无线以改善表面杂乱情况时的探测。同样，多喇叭、多层波束、反射器天线也用于三维雷达。多喇叭天线将降低干扰电平。分布相控阵天线也被用于1 215-1 400 MHz频段内的一些雷达上。分布相控阵天线安装有发射/接收模块。此外，采用相控阵天线的雷达一般具有比反射器型天线更低的旁瓣电平，且在仰角方向上具有窄的扫描波束，或使用数字波束成形的原理。ESA不仅可能普遍用于固定地面应用，还将用于航空或水上应用。

由于1 215-1 400 MHz频段内的雷达执行搜索、跟踪以及长距离监视功能，因此其天线在水平方向上扫描360°。采用水平极化、垂直极化和圆极化。

2.3.1 典型雷达天线覆盖方向图

许多1 215-1 400 MHz频段空中交通管制雷达均使用余割平方类的天线方向图，其能量辐射主要是向上，从几度到接近40°不等。

机载系统中的单静态二维ESA极不可以像机械旋转天线一样提供360度全覆盖。因此，ESA雷达系统通常由多板面构成。单板孔径面积可大至20平方米。

由于一批不同类型的天线可以与各类1 215-1 400 MHz雷达共用，此建议书未尝试为表1中的系统提供一种代表性的天线方向图。

表1

1 215-1 400 MHz无线电测定系统的特性

参数	单位	系统 1	系统 2	系统 3	系统 4	系统5	系统6	系统7	系统8	系统9	系统10
进入天线的峰值功率	dBm	97	80	76.5	80	73.9	96	93	78.8	82	80-85
频率范围	MHz		1 215-1 390			1 215-1 400	1 280-1 350	1 215-1 350	1 240-1 350	1 215-1 400	1 215-1 400
脉冲持续时间	μs	2	88.8; 58.8 (注 1)	0.4; 102.4; 409.6 (注 2)	单频时为 39 双频时为 26和13 (注 3)	2个, 每个均为51.2 2个, 每个均 为409.6	2	6	115.5; 17.5 (注 4)	14	0.5 to 100
脉冲重复率	pps	310-380 摆动	291.5或312.5 平均	200-272长距离 400-554短距离	平均774	240-748	279.88至 370.2	279.88至 370.2	319 平均	7 000	100 to 10 000
调频(线性调频的脉冲)脉冲的线性调频脉冲的宽度	MHz	不适用	两种脉冲宽度 均为0.77	对102.4 μs 为2.5 409.6 μs为0.625	不适用	1.25	不适用	不适用	1.2	2	2
相位编码子脉冲宽度	μs	不适用	不适用	不适用	1	不适用	不适用	不适用	不适用	不适用	不适用
压缩比		不适用	68.3:1和 45.2:1	对于两种脉冲 均为256:1		64:1和 256:1	不适用	不适用	150:1和23:1		最高达200
RF发射带宽 (3 dB)	MHz	0.5	1.09	2.2; 2.3; 0.58	1	0.625或1.25	1.2	1.3	1.2	3	3
输出设备		速调管	晶体管	晶体管	正交场放大器	晶体管	磁电管/特 高频功率 放大管	速调管	晶体管	晶体管	晶体管
天线类型		馈送喇叭 反射器	多层波束 反射器	旋转相控阵	抛物柱面	带仰角调节的 平面相控阵	47' × 23' (14.3 × 7 m) 平方余割	45' × 19' (13.7 × 5.8 m) 平方余割	馈送喇叭 反射器	相位际	相位际
天线极化		水平极化, 垂直极化, LHCP, RHCP	垂直极化, 圆极化	水平极化	垂直极化	水平极化	CP/LP	线性正交和 CP	垂直; RHCP	垂直	垂直

表1 (续)

参数	单位	系统 1	系统 2	系统 3	系统 4	系统5	系统6	系统7	系统8	系统9	系统10
天线最大增益	dBi	34.5, 发射 33.5, 接收	32.4-34.2, 发射 33.8-40.9, 接收	38.9, 发射 38.2, 接收	32.5	38.5	34	35	34.5	30	35-40
天线仰角波束 宽度	度	3.6成形至44	3.63-5.61, 发射 2.02-8.79, 接收	1.3	4.5成形至 40	2	3.75 (平方余割)	3.75 (平方余割)	3.7成形至 44 (平方余割)	20 (sinc)	3.75
天线方位角波 束 宽度	度	1.2	1.4	3.2	3.0	2.2	1.2	1.3	1.2	2	2
天线水平扫描 特性	rpm	5 rpm时360 度机械扫描	5 rpm时360 度 机械扫描	长距离6 rpm 时和短距离 12 rpm时360 度机械扫描	6, 12或15 rpm时 360度机械 扫描	5	6	5	5 rpm时 360度机械 扫描	可变速率电子 方式实现360°	12-15 rpm或 可变速率扇 区扫描实现 360°
天线垂直扫描 特性	度	不适用	12.8或 13.7 ms 内为-7至+30	73.5 ms 内为-1至 +19	不适用	-6 至 +20	-4 至 +20	-4 至 +20	不适用	不适用	不适用
接收机 IF 带宽	kHz	780	690	4 400 至 6 400	1 200	1 250 625	720 至 880 (对数) 1 080 至 1 320 (MTI)	270至330 (20系列对 数) 360至480 (20系列 MTI) 540至660 (60系列对 数) 720至880 (60系列 MTI)	1 200	最多10 000	2 000
接收机噪声 系数	dB	2	2	4.7	3.5	2.6	4.25	9	3.2	3	3

表1（完）

参数	单位	系统 1	系统 2	系统 3	系统 4	系统5	系统6	系统7	系统8	系统9	系统10
平台类型		固定	固定	可移动	可移动	固定地面	固定地面	固定地面	固定	机载 (注5)	船载/地面
系统工作时间 百分比	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

LHCP: 左旋圆极化

RHCP: 右旋圆极化

注 1 – 这种雷达在标准模式中是有可选的44个RF信道组中的一个的44个RF信道组。发射的波形由一个频率 f_1 的88.8 μ s脉冲和后面一个在频率 f_2 上的58.8 μ s的脉冲组成。 f_1 和 f_2 的间隔是82.854 MHz。

注 2 – 这种雷达有20个信道频率增量为8.96 MHz 的RF信道。发射波形群的组成是一个0.4 μ s的P0脉冲（可选）和后面一个2.5 MHz 线性调频脉冲的102.4 μ s的线性频率调制的脉冲（如果不发送0.4 μ s的P0）而后面可以是一至四个大范围的409.6 μ s线性频率调制的脉冲，每个线性调频脉冲625 kHz并以3.75 MHz的间隔在不同的载波上发射。工作的标准模式采用了频率捷变依靠以伪随机方式从1 215-1 400 MHz频段内可能的20个RF信道中选择波形组中的一组频率。

注 3 – 这种雷达具有使用单一频率或双频率工作的能力。双RF信道的间隔为60 MHz。单个信道模式采用39 μ s脉冲宽度。在双信道模式，26 μ s的脉冲在频率 f 上发射，后面是在 $f + 60$ MHz上发射13 μ s的脉冲。

注 4 – 这种雷达使用F1和F2两个基本载波，每个载波都有两个次脉冲，一个进行中程探测，另一个进行远程探测。这些载波可以0.1 MHz的增量转动，F1（1 300 MHz以下）和F2

（1 300 MHz以上）之间的最大间隔为26 MHz。载波次脉冲之间的固定间隔值为5.18 MHz。脉冲序列如下：F1 + 2.59 MHz时为115.5 μ s脉冲，按F2 + 2.59 MHz时为115.5 μ s脉冲，按F2 – 2.59 MHz时为17.5 μ s脉冲，按F1 – 2.59 MHz时为17.5 μ s脉冲。所有四个脉冲均在单一一个脉冲重复间隔内发射。

注 5 – 该雷区为工作在10 000米以上的机载系统，使用多个控制板实现360°覆盖。

注 6 – 该雷区可作为船载、固定地面或便捷地面系统，可使用旋转模式或异向模式进行扇区扫描。该雷区系统的工作周期一般为10%。

3 保护标准

来自其他业务的CW或类噪声型调制在无线电测定雷达上的去敏感效应，可断定与它的强度有关。这些干扰到达的任何方位角扇区、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_0 来表示，而类噪声的干扰用 I_0 表示，那么得出的有效噪声功率频谱密度就简单地变成 I_0+N_0 。增加约1 dB就会造成很大的恶化，等效于探测距离减小约6%。这相当于 $(I+N)/N$ 比值增加1.26，或-6 dB的 I/N 比值。当呈现多个干扰时，这表示的是多个干扰的集合效应；对一个单个干扰可允许 I/N 的比值取决于干扰的数量和它们的几何位置，且需要对给出的情形在过程分析中做评估。如果接收到的大多数方位角方向的干扰都是CW，那么需要保持一个更低的 I/N 比值。

集合因子在某些部署大量台站的通信系统中可能非常重要。

对脉冲型干扰的影响量化更困难，而它更多地取决于接收机/处理器的设计和工作模式。特别是对有效目标返回差分处理增益，它是同步脉冲型，而干扰脉冲通常是异步的，经常会对已知的脉冲型干扰产生重大的影响。这种去敏作用可造成几种不同形式的性能恶化。在规定的雷达类型之间相互作用的分析将成为对此进行评估的一个目标。通常无线电测定雷达的许多特性都被认为有助于抑制低占空比脉冲型的干扰，特别是来自几个孤立源的干扰。用于低占空比脉冲型干扰抑制的技术可从ITU-R M.1372建议书中得到。

4 风剖面雷达

风剖面雷达是利用来自空气流动湍流的雷达回波测量来自地面的风的一种多普勒雷达。空气流动湍流导致的折射率波动的大小是雷达波长（布拉格散射）的一半。风剖面雷达使用若干指向天空的天线波束。从多普勒漂移沿天线波束方向，可测出沿雷达波束的风速。假设风场是水平同质的，那么至少通过观察三个波束可测得风向量的三个分向量。雷达可观察到的高度范围取决于发射功率、天线大小和雷达的频率，还取决于大气折射波动的大小。

目前有若干频率用于风剖面雷达，它们是50 MHz、400 MHz、900 MHz和1 300 MHz。使用这些频率内的每一个都有着相应的优缺点。通常具有大天线口径的系统工作在400 MHz附近，用于观察高对流层或低平流层的风。与之相反，工作在900 MHz或更高一些频率上的雷达的测量高度只能达到几公里。然而，较高频率系统的优点是减小了天线尺寸和缩短了“盲”距，这意味着这些系统适合于边界层的风测量和低成本的实施。表2包括了专门工作在1 300-1 375 MHz频率范围内的风剖面雷达的特性。ITU-R M.1227建议书包括了那些工作在1 000 MHz左右的风剖面雷达的补充资料和特性。

表2
在1300-1375 MHz频段内工作的风剖面雷达的特性

参数	单位	数值
进入天线的峰值功率		1 kW（60 dBm）
脉冲持续时间	μs	0.5, 1, 2
脉冲重复率	kHz	1-25
RF 发射带宽	MHz	8
发射机输出设备		晶体管
天线类型		抛物面反射器
天线极化		水平极化
天线最大增益	dBi	33.5
天线仰角波束宽度	度	3.9
天线方位波束宽度	度	3.9
天线水平扫描		不适用
天线垂直扫描		-15°至+15°（约15 s）
接收机IF带宽	MHz	2.5
接收机噪声系数	dB	1.5
平台类型		固定地点
系统工作时间百分比	%	100
