|  |
| --- |
| **ITU-R M.2008-1 建议书**  **(02/2014)** |
| **13.25-13.40 GHz 频段航空无线电**  **导航业务内操作的雷达特性**  **及保护标准** |
| **M系列**  **移动、无线电测定、业余无线电**  **以及相关卫星业务** |

# 

# 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  
2014年，日内瓦

© 国际电联 2014

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. 2008-1 建议书

13.25-13.40 GHz频段航空无线电导航业务内  
操作的雷达特性及保护标准

（2012-2014年）

# 范围

本建议书具体阐述了在13.25-13.4 GHz频段航空无线电导航业务（ARNS）内操作的雷达特性及保护标准。技术和操作特性应在分析航空无线电导航业务雷达与其它业务系统的兼容性时使用。

# 关键字

13.25-13.4 GHz、雷达、特性、保护。

# 缩略语/术语

ARNS 航空无线电导航业务

PSD 功率频谱密度

UA 无人航空器

UAS 无人航空器系统

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、目标检测和必要的大带宽特性在某些频段是适宜的；

*b)* 航空无线电导航业务（ARNS）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，

认识到

*a)* 13.25-13.4 GHz频段划分给作为主要业务的航空无线电导航、卫星地球探测（有源）和空间研究（有源）业务；

*b)* 13.25-13.4 GHz频段操作的卫星地球探测（有源）和空间研究（有源）业务不得给ARNS业务造成有害干扰或限制其使用与开发；

*c)* 为了确定引入新型系统的可行性，需要了解在为ARNS划分的频段内工作的、系统的代表性技术和操作特性；

*d)* 需要对ARNS和其它业务系统中的雷达进行兼容性分析的程序和方法，

建议

**1** 附件1中描述的ARNS雷达的技术和操作特性应认为是，那些在13.25-13.4 GHz频率范围内工作的且在与其它业务系统的共用研究中使用的雷达的典型技术和操作特性；

**2** ITU-R M.1461建议书应当用于分析13.25-13.4 GHz频段的雷达与其它业务系统的兼容性；

**3** 如果存在多个干扰源，–10 dB的干扰信号功率与雷达接收机噪声功率电平之比（*I*/*N*），应用作ARNS雷达所需的保护电平。

附件  
  
13.25-13.40 GHz频段内工作的航空无线电导航业务雷达的  
技术和操作特性

# 1 引言

ARNS系统在全球范围已作为主要业务划分给13.25-13.4 GHz频段。本附件介绍了在此频段内操作的典型ARNS的技术和操作特性。

空载多普勒导航系统安装于航空器（直升机及某些飞机），是用于连续判定对地航速和航空器对地偏航角信息的专门应用。航空无线电技术委员会已为此设备制定了最低操作性能标准《DO-158 – 空载多普勒雷达导航设备》。此外，无人航空器（UA）装载的防撞雷达亦计划为将无人航空器系统（UAS）纳入非隔离空域提供支持。

# 2 技术参数

13.25-13.4 GHz频段操作的无线电导航雷达技术参数，请参见表1。全球所有此类系统均在航空器上操作。这些雷达用于航空器载导航系统，目的是提供全天候精确导航。

表 1

| 参数 | | 单位 | 雷达1 | 雷达2 | 雷达3 | 雷达4 | 雷达5 | 雷达6 | 雷达7 | 雷达8 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 平台 | |  | 航空器  （直升机） | 航空器  （直升机） | 航空器  （固定翼 飞机） | 航空器  （固定翼 飞机） | 航空器  （直升机） | 航空器  （固定翼 飞机） | 航空器  （固定翼 飞机） | 航空器  （直升机） |
| 平台最大高度 | | m | 3 600 | 3 660 | 10 400 | 15 000 | 0-4 500 | 15 000 | 15 000 | 3 500 |
| 雷达类型 | |  | 多普勒 导航雷达 | 多普勒 导航雷达 | 多普勒 导航雷达 | 多普勒 导航雷达 | 多普勒雷达 速度传感器 | 多普勒雷达 速度传感器 | 多普勒 导航雷达 | 多普勒导航雷达 |
| 测量出的对地 航速范围 | | km/h | 333 | 553 | 750 | 1 047 | 250 | 1 100 | 180-1 300 | 50-399 |
| 频率 | | GHz | 固定单一  信道 | 固定单一 信道 | 固定单一 信道 | 固定单一 信道 | 固定单一 信道 | 固定单一 信道 | 13.25至13.40 | 13.295至 13.355 |
| 发射类型 | |  | 连续波 | 间歇性 连续波 | 频率调制 连续波 | 连续波 | 频率调制 连续波 | 无调制 脉冲 | 无调制 连续波 | 无调制 连续波 |
| 脉冲宽度 | | μs | 不适用 | 1-4 | 不适用 | 不可用 | 不适用 (FM) | 4-7 | 不适用 | 不适用 |
| 脉冲上升和下降 的时间 | | ns | 不适用 | 20 | 不适用 | 不可用 | 不适用 (FM) | 0.2, 0.2 | 不适用 | 不适用 |
| RF发射 带宽 | −3 dB −20 dB −40 dB | kHz | 不适用 | 2 800 20 000 | 100 250 350 | 不适用 | 不可用 不可用 150 | 1 000 5 600 95 000 | 不可用 | 不可用 |
| 脉冲重复 频率 | | pps | 不适用 | 不可用 | 不适用 | 不适用 | 不适用 | 80 000 | 不适用 | 不适用 |
| 峰值发射机功率 | | W | 0.85 | 0.132 | 0.18 | 1.0 | 0.050 | 40 20 平均值 | 0.125...10 | 0.15...10 |

表 1 (续)

| 参数 | 单位 | 雷达1 | 雷达2 | 雷达3 | 雷达4 | 雷达5 | 雷达6 | 雷达7 | 雷达8 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 接收机IF为 −3dB带宽 | kHz | 1.4 估算值 | 1.6 估算值 | 55 000 | 2.9 估算值 | 14 | 2 500 | 15 000 | 100 000 |
| 灵敏度 | dBm | −135，对于0 dB *S*/*N* | −135 | −134 ，对于 0 dB *S*/*N* | −138，对于3 dB *S*/*N* | −130，对于3 dB *S*/*N* (V = 100 m/s)  −160，对于3 dB *S*/*N* (V = hover) | −96，对于3 dB *S*/*N*(V = 100 m/s) | −110 (获取 模式)  −120 (跟踪 模式) | −144 |
| 接收机噪声数值 | dB | 22 (零拍 接收机) | 22 (双重转换 零拍接收机) | 12 (双重转换超级外差接收机) | 22 (零拍 接收机) | 22 (零拍 接收机) | 7.5 | 不可用 | 不可用 |
| 天线类型 |  | 抛物面 反射器 | 相控阵 | 相控阵 | 相控阵 | 印制电路 阵列 | 印制电路 阵列 | 相控阵 | 喇叭式 反射面 |
| 天线朝向 |  | 指向地球 | 指向地球 | 指向地球 | 指向地球 | 指向地球 | 指向地球 | 指向地球  (偏离天底点角9…11度) | 指向地球  (偏离天底点角18度) |
| 天线增益 | dBi | 27 | 27 | 26 | 29.5 | 26.5 | 18 | 20 | 27.8 |
| 第一天线旁瓣 | dBi | 5.5 | 不可用 | 9 | 14.2 at 4度 | −10 | −10 | 7 | −7.2 |
| 水平波束宽度 | 度 | 7 | 3.3 | 9 | 4.7 | 4.0 | 20 | 不可用 | 不可用 |
| 垂直波束宽度 | 度 | 4.5 | 5 | 3 | 2.5 | 3.4 | 4.2 | 不可用 | 不可用 |
| 极化 |  | 线性 | 不可用 | 不可用 | 线性 | 线性 | 线性 | 不可用 | 不可用 |
| 波束的数量 |  | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 or 4 | 3 |

表 1 (完)

| 参数 | 单位 | 雷达1 | 雷达2 | 雷达3 | 雷达4 | 雷达5 | 雷达6 | 雷达7 | 雷达8 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 天线波束配置 |  | 采用Janus系统。近似金字塔的 四角，各角 偏离天底18度 | 不可用 | 采用Janus系统。近似金字塔的四角，各角偏离天 底16度，且水平 方向为10.5 度 | 采用Janus系统。 | 采用Janus系统。近似金字塔的四角，各角偏离 天底20度 | 两条波束 | 不可用 | 不可用 |
| 天线扫描 |  | 金字塔各角 的扫描一次 一条波束 | 金字塔各角 的扫描一次 一条波束 | 金字塔各角 的扫描一次 一条波束 | 不可用 | 金字塔各角 的扫描一次 一条波束 | 不可用 | 不可用 | 不可用 |
| 保护标准 | dB | −10 | −10 | −10 | −10 | −10 | −10 | −10 | −10 |

表的注释：

注 1 – 直升机的业务飞行高度通常低于平均海拨（MSL）7 000米，固定翼水上巡逻航空器的业务飞行高度约为平均海拨15 000米。

注 2 – 多普勒系统的灵敏度计算（假设跟踪的*S*/*N* 要求最低为3 dB），必须考虑到接收机跟踪器的带宽。针对全面开放的接收机带宽计算出的灵敏度，与根据跟踪器动态带宽得出的灵敏度相比，其数字相对较低。在现代跟踪器内，此带宽与反向散射雷达信号频谱的带宽相似，其自身将随着航空器的速度变化。

注 3 – 单独天线波束的实际瞬时指向取决于空载多普勒雷达相对航空器参考轴的安装姿态（并非总是水平），另外还要取决于航空器的俯仰和横滚姿态。直升机的飞行搜索模式或突然的加速/减速运动，经常在短时会出现俯仰和横滚值超过30度的情况。高性能军用直升机的姿态变化值更高。

注 4 – 对于无噪声值可用的系统而言，假设使用IF接收机的系统数值为12 dB，使用单拍（零IF）接收机的数值为22 dB。参考文献：Fried，W. R.，《多普勒导航系统的原则和性能分析》IRE Trans.，Vol. ANE-4，pp.176-196，1957年12月。

# 3 航空无线电导航系统的特性

13.25-13.4 GHz频段的航空器无线电导航雷达在飞行期间持续工作，以判定航速与航向。这其中包括的高度范围对直升机而言为从起飞至4 500米的高度，对固定翼飞机而言为15 000米。飞行时间可能存在多个小时的差异，一般飞行时间大部分在航路上，但在起飞和降落时预计也会出现少量盘旋时间。Janus多普勒雷达导航系统使用四条天线波束，请参见图1；分别位于地面跟踪设备前后和两侧的波束，通过测量波束地面回波的多普勒频移，计算航空器相对于地面的速度矢量。根据系统设计不同，相关波束可成对或按顺序发射。图2展示了等距多普勒线上的天线波束模式。稳定天线的硬件或软件保证天线始终指向地面。当IF带宽，IF\_BWIFBW（以赫兹为单位）不可用时，可使用下述近似值：



式中：

*IF*\_*BW*：IF带宽 (Hz)

*v*： 航空器的速度(m/s)

*fc*： 中心频率 (Hz)

*Bw*： 弧度为3 dB的天线波束宽带

*a*： 波束俯角

*s*： 光速(m/s)。

针对Janus雷达系统，又纳入了1.414的附加因子。请参考：Fried, W. R.，《多普勒导航系统的原则和性能分析》IRE Trans.，Vol. ANE-4，pp.176-196，1957年12月。

图1

航空器天线波束方向图配置示例



图2

等距多普勒线上的天线波束模式示例



# 4 航空导航感知与避让雷达的特性

UA的安全飞行操作必须采用先进技术，检测和跟踪附近航空器、地形及导航障碍。UA必须使用与有人航空器相同的方式避让这些物体。遥控驾驶员需要了解航空器的操作环境，能够确定航空器持续安全操作所面临的潜在风险，并采取相应行动。感知与避让雷达是一种无人航空器碰撞避让系统，其主要功能是提供检测、跟踪和向用户报告空中交通信息，从而使其与闯入者保持充分的距离。该系统使用“人机闭环”的方式，其中地面UA驾驶员对UAS的避让操作有最终决定权。技术参数请参见表 2。

表 2

感知与避让雷达的技术参数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 参数 | 单位 | 雷达1 | 雷达2 |
| 平台 |  | 航空器 | 航空器 |
| 平台高度 | km | 最高 20 | 最高 15.5 |
| 雷达类型 |  | 空对空交通防撞系统（多普勒雷达导航辅助） | 空对空交通防撞系统（多普勒雷达导航辅助） |
| 对地速度 | km/h | 最快 1 500 | 最快1 500 |
| 频率调谐范围 | GHz | 13.25-13.4 | 13.25-13.4 |
| 发射类型 |  | 相位编码脉冲 | 相位编码脉冲 |
| 脉冲宽度 | μs | 1-2 | 2.5 |
| 脉冲上升和下降的时间 | ns | 脉冲上升和下降的次数为0.1至0.2 | 脉冲上升和下降的次数为0.1至0.2 |
| RF发射带宽为–40 dB | MHz | 30 | 28.5 |
| 脉冲重复频率 | pps | 6 000-8 000 | 30 000 |
| 发射机平均功率 | W | 25至35（最大50） | 25至35（最大50） |
| 接收IF为 –3 dB带宽 | MHz | 0.7-1.1 | 14 |

表 2 (完）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 参数 | 单位 | 雷达1 | 雷达2 |
| 灵敏度 | dBm | −122，对于10 dB *S*/*N* | –98.6，对于13.1 dB *S*/*N* |
| 接收机噪声数值 | dB | 3 | 2.7 |
| 计算得出的接收噪声功率 | dBW | –140.6 | –128.5 |
| 天线类型 |  | 相控阵 | 相控阵 |
| 天线朝向 |  | 航空器前端 | 航空器前端 |
| 天线增益 | dBi | 28-32 | 28-32 |
| 第一天线旁瓣 | dBi | 15-19 | 19 |
| 水平波束宽度 | 度 | 5 | 5 |
| 垂直波束宽度 | 度 | 5 | 5 |
| 极化 |  | 线性垂直 | 线性垂直和水平 |
| 天线扫描 | 度 | 垂直 ±30 水平 ±110 | 垂直 ±37 水平 ±110 |
| 保护标准 | dB | −10 | −10 |

# 5 保护标准

可以预测，连续波或类噪声调制等其它业务的雷达去敏感效应与其强度相关。在干扰到达的所有方位角扇区，其功率频谱密度（PSD）能够，在合理的近似值内，方便地加入雷达接收机热噪声的PSD内。如果雷达接收机噪声的PSD在无干扰的情况下表示为*N*0且类噪声干扰表示为*I*0，则最终的有效噪声PSD可简单的表示为*I*0 + *N*0。

对无线电导航业务而言，考虑到其确保生命安全的职能，增加0.5 dB左右便是很大的劣化。此类上升相当于−10 dB的*I*/*N*比。这些保护标准是针对多种干扰源的集总效应（如存在）；独立干扰源允许的*I*/*N*比，取决于干扰源的数量及其几何状态，在分析特定情况时必须加以评估。对于某些可大量部署电台的通信系统，集总因子可能很大。