

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R M.1461-2 建议书
(01/2018)

**无线电测定业务雷达和其他业务
系统间干扰可能性的
确定程序**

M 系列
移动、无线电测定、业余无线电
以及相关卫星业务



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
2018年，日内瓦

© 国际电联2018

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.1461-2 建议书*

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第226/5号课题)

(2000-2003-2018年)

范围

本建议书为无线电测定业务和其他业务中运行的雷达之间的干扰可能性提供指导。

关键词

雷达、程序、干扰、保护准则

缩略语/术语

BPSK: 二相移相键控

CW: 连续波

FDR: 频率相关抑制

LNA: 低噪声放大器

OFR: 断频拒收

OTR: 在调拒收

QPSK: 四相移相键控

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 雷达的天线、信号传播、目标探测以及为完成其功能具有较大必要带宽的特性在某些频段内是优化的；
- b) 无线电定位中雷达的技术特性由系统担负的任务决定，并且即便在一个频段内变化也很大；
- c) 无线电导航业务正如《无线电规则》（RR）的第4.10款规定，是一种安全业务且需要专门措施以保证其不遭受有害干扰；
- d) 一些ITU-R技术组正在考虑在无线电测定业务雷达使用的420 MHz至34 GHz的频段内引入新类型系统（例如固定无线接入、高密度固定和移动系统等）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；

* 国际海事组织（IMO）、国际民航组织（ICAO）、国际海上无线电通信委员会（CIRM）及世界气象组织（WMO）应对此建议书进行关注。

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；
建议

1 应将附件1中的程序用于为确定无线电测定业务和其他业务中运行的雷达之间的干扰可能性提供指导；

2 应将ITU-R建议书中所含的雷达特征用于频段研究。

附件1

无线电测定业务中运行雷达和其他业务中 系统之间干扰可能性确定程序

1 引言

已制定出分析程序。由于无线电测定业务中运行的雷达（以下简称雷达）存在高功率发射机输出功率（50 kW至几MW）和天线增益（30至45 dBi），多数情况下，我们通过分析雷达发射对其他业务接收功能的影响，确定雷达和其他业务中的系统之间的兼容性。因此，该分析程序主要采用评估雷达干扰可能性的方法。此外，该分析程序亦对由调制连续波（CW）系统发射的雷达接收器的潜在减敏现象进行简要讨论。

按照雷达任务性质分类，许多为移动雷达，无法限制于规定操作区域。此外，雷达任务通常需要频率捷变，并利用整个分配频带。但当预计雷达在靠近其他系统的某些区域运行时，可使用该建议书中包含的程序评估干扰可能性。

2 雷达对其他业务系统的干扰

对几种干扰案例的调查研究，已确定高功率雷达系统和其他业务之间两种主要的电磁干扰耦合机制。该等干扰耦合机制是通过接收器中频通带耦合的接收机前端超载和雷达发射器发射。有关该干扰机制的论述见下。

2.1 接收机前端超载

当来自干扰信号基本频率（必要发射）的能量使受干扰接收机前端（其他系统中的低噪声放大器（LNA））达到饱和时，会产生该干扰机制，从而对足以降低接收机的性能的期望信号进行增益压缩。接收机前端超载通常由受干扰接收机前端射频选择能力不足造成。

2.1.1 接收机前端超载可能性评估

接收机前端超载的输入门限值为接收机前端或低噪声放大器（LNA）的1分贝增益压缩（饱和）水平和增益之间的函数。具体为：

$$T=C-G \quad (1)$$

其中：

- T ：接收机前端超载的输入门限值（dBm）
- C ：接收机前端或LNA的输出1dB增益压缩（饱和）水平（dBm）
- G ：在雷达基本频率下接收机前端或LNA的增益（dB）。

例如，若接收机使用增益为50至65分贝的LNA，且输出1dB压缩水平为+10dBm，则T的取值范围为-55 dBm至-40 dBm，取决于LNA增益。

无论何时，均可能存在接收机前端超载干扰：

$$I_T = T - FDR_{RF} \quad (2)$$

其中：

- I_T ：在引起接收机前端超载的天线输出或接收机输入情况下的峰值雷达信号电平（dBm）
- T ：接收机前端超载的输入门限值（dBm）
- FDR_{RF} ：雷达基础上任何射频选择能力的频率依赖性排斥（FDR），其可能优于接收机射频放大器（LNA），也可能是射频放大器（LNA）本身固有。

公式（3）可用于确定当雷达在其他站点特定距离范围内运行时，是否可能发生接收机前端超载，并在频率上按一定数量发生分离：

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P \quad (3)$$

其中：

- I ：在接收天线输出或接收器输入且在雷达基本功率情况下，输入雷达脉冲的峰值功率（dBm）
- P_T ：雷达发射器峰值功率（dBm）
- G_T ：雷达主波束天线增益（见注1）（dBi）
- G_R ：在所分析的雷达站方向上的天线增益（dBi）
- L_T ：雷达站发射机的插入损耗（dB）（假定为2 dB）
- L_R ：受干扰接收机的插入损耗（dB）
- L_P ：发射和接收天线之间的传播路径损耗（dB）。

确定传播路径损耗时，应使用合适的传播模型和可能的间接耦合，在适当情况下，还应考虑天线高度和地形。若在基本频率情况下算得的雷达脉冲峰值功率 I 超过接收机前端超载的门限值 I_T ，则应采取必要措施确保兼容性。

注1 — 记录导致雷达主波束耦合的接收机前端超载现象的雷达发射器发射的干扰案例。因此，在评估由接收机前端超载引起的最大干扰可能性时，建议采用雷达主波束增益。

2.2 雷达发射器发射耦合

当雷达发射器所发射的能量落入接收机中频通带内时，便产生该干扰机制。随后该种能量便在无衰减或少量衰减情况下通过接收链。当接收机通频带的雷达发射水平相对高于期望信号电平时，接收机性能可能会下降。

2.2.1 雷达发射器发射干扰可能性评估

评估兼容性的第一步是确定信号电平 I_T （在该种信号电平下，接收机性能开始下降）。

$$I_T = I/N + N \quad (4)$$

其中：

I/N ：用于维护可接受性能标准的所需检测器输入（中频输出）的干扰-噪声比值（dB）

N ：接收机固有噪声电平（dBm）
 $(N = -144 \text{ dBm} + 10 \log B_{IF} \text{ (kHz)} + NF)$
 或

$$N = -168.6 \text{ dBm} + 10 \log B_{IF} \text{ (kHz)} + 10 \log T$$

其中：

B_{IF} ：接收机中频带宽（kHz）

NF ：接收机噪声因数（dB）

T ：系统噪声温度（K）。

且可采用公式（5），计算信号电平 I_T （在该等信号电平下，接收机开始退化）：

$$I_T = C - (C/I) \quad (5)$$

其中：

C ：天线输出（接收机输入）中的理想载波信号电平（dBm）

C/I ：预检器输入（中频输出）中用于维护可接受性能标准所需的载波干扰比率（dB）。

公式（6）可用于确定雷达在其他站点的特定距离内运行时，是否可能发生雷达发射器发射干扰现象，并在频率上按一定数量分离。

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF} \quad (6)$$

其中：

I ：接收器上的雷达脉冲峰值功率（dBm）

P_T ：所分析的雷达发射器的峰值功率（dBm）

G_T ：所分析的雷达主波束天线增益（见注2）（dBi）

G_R ：在所分析的雷达站方向上的接收机天线增益（dBi）

L_T ：雷达站发射机的插入损耗（dB）

L_R ：受干扰接收机的插入损耗（dB）

L_P ：发射和接收天线之间的传播路径损耗（dB）

FDR_{IF} ：接收机中频选择性曲线在干扰发射机放射谱上产生的频率依赖性排斥（dB）。

注2 – 我们已将干扰案例（即雷达发射机发射造成主波束耦合的接收机退化）记录在案。因此，建议使用雷达主波束增益评估接收机中频通带中雷达发射机发射造成干扰的最大电位。

可通过ITU-R SM.337建议书确定用于公式(6)中的FDR值。可将FDR分为两个术语：在调拒收（OTR）和断频拒收（OFR）。OFR为由雷达和接收机脱离调谐造成的额外拒收。

$$FDR_{IF}(\Delta f) = OTR + OFR(\Delta f) \quad (7)$$

对于连续波（CW）和相位编码脉冲信号，按以下公式计算OTR值：

$$OTR = 0 \quad \text{当 } B_R \geq B_T \text{ 时} \quad (8)$$

$$OTR = 20 \log(B_T / B_R) \quad \text{当 } B_R < B_T \text{ 时} \quad (9)$$

其中：

B_R ：接收机带宽（Hz）3 dB

B_T ：发射机带宽（Hz）3 dB

对于啁啾脉冲信号，按以下公式计算OTR值：

$$OTR = 0 \quad \text{当 } B_C / (B_R^2 T) \leq 1 \text{ 时} \quad (10)$$

$$OTR = 10 \log(B_C / (B_R^2 T)) \quad \text{当 } B_C / (B_R^2 T) > 1 \text{ 时} \quad (11)$$

其中：

T ：啁啾脉冲宽度（s）

B_C ：脉冲宽度中的发射机啁啾带宽， T （Hz）。

计算OFR需要中频响应和雷达发射机的发射光谱特性。ITU-R系列建议书为计算CW脉冲和啁啾脉冲雷达的发射光谱特性提供方法。若无雷达发射机的脉冲上升和下降时间特性信息，则应将雷达发射包络应计算为标称0.1 s的上升和下降时间。雷达发射机的杂散发射电平是发射机输出设备的一个函数。ITU-R M.1314建议书包含多种雷达输出设备的代表性杂散发射电平。由于许多雷达有大功率发射机和天线增益，因此大频率分割、防护频带可能需要确保兼容性。

确定传播路径损耗时，应使用合适的传播模型和可能的间接耦合，在适当情况下，还应考虑天线高度和地形。若算得的接收机输出雷达脉冲峰值功率 I 超过接收性能降低时的门限值 IT ，则需采取必要措施确保兼容性。

3 其他业务系统对雷达的干扰

引言

雷达系统和其他业务的干扰信号之间存在两个主要电磁干扰耦合机制。第一个机制是由引起前端超载造成的饱和互调产物的换代。第二个机制是接收机中频通带内干扰发射导致的性能减感和损耗，从而造成整体雷达数据输出较低。

3.1 接收机前端超载

3.1.1 前端饱和

当干扰信号能量使雷达接收机前端的低噪声放大器（LNA）饱和，造成期望信号增益压缩，使之足够损害接收机性能时，该干扰机制出现。接收机前端超载时出现的输入门限值是1 dB增益压缩（饱和）电平和接收机前端增益的一个函数。给定雷达接收机前端射频带宽BRF，以及1 dB压缩输入功率 $P_{1\text{ dB}}$ (dBm)，则BRF内进入雷达接收机的总干扰功率需不能超过：

$$P_{I, RF\ max} = P_{1\text{ dB}} + k_{sat} = C - G + k_{sat} \quad \text{dBm} \quad (12)$$

其中：

$P_{I, RF\ max}$ ： 射频带宽（dBm）内允许的最大总干扰功率

k_{sat} ： 饱和度临界值 (dB)，由每个雷达和干扰类型单独确定（ k_{sat} 通常为负数）

$P_{1\text{ dB}}$ ： 规定为1 dB压缩点输入功率（dBm），即当整个接收机链增益减少至1 dB时的功率

C ： 接收机前端或LNA 1 dB增益压缩（饱和）输出水平（dBm）

G ： 潜在干扰源基本频率上的接收机前端增益（dB）。

例如，若接收机使用增益为60 dB的LNA，且有+10 dBm的1 dB输出压缩电平，则 $P_{1\text{ dB}}$ 的值为 $10 - 60 = -50$ dBm。

为避免使接收机临近或达到饱和，并使雷达回波信号本身维持足够的动态范围，须满足公式(12)。此外，落入雷达接收机中频带宽的部分干扰功率必须满足相关ITU建议书中的要求。

当出现下列情况时，可能存在接收机前端超载干扰：

$$I_T > P_{I, RF\ max} - FDR_{RF} \quad (13)$$

其中：

I_T ： 造成接收机前端超载的接收机输入干扰信号电平（dBm）

FDR_{RF} ： 由任何射频选择性造成的干扰源频率相依性拒收。频率相依性拒收可能在接收机射频放大器（LNA）之前或任何在射频放大器（LNA）自身内部。

聚合在整个射频带宽上的已接收干扰功率不得高于导致接收机链中某一特定元件输出功率的电平。该特定元件首先进入饱和状态，以保持足够的低于1 dB压缩点的间隔。目的是限制动态范围的下降和阻止第三阶互调产物在接收机中频带宽中超过可接受的I/N值。

当干扰源在其他站的特定距离内运行，并在频率上被定量分开但在接收机射频带宽之内时，可使用公式(13)确定接收机链的第一个放大级输入上的干扰信号电平。

$$I = P_T + G_T + G_R - L_t - L_R - L_P \quad (14)$$

其中：

- I : 接收机输入的干扰信号峰值功率 (dBm)
- P_T : 干扰源发射机的峰值功率 (dBm)
- G_T : 在所分析的雷达方向上的干扰源天线增益 (dBi)
- G_R : 干扰源方向上的接收机天线增益 (dBi)
- L_i : 发射机插入损耗 (dB)
- L_R : 雷达接收机插入损耗 (dB)
- L_P : 发射和接收天线间的传播路径损耗 (dB)。

确定传播路径损耗时，应使用合适的传播模型和可能的间接耦合，在适当情况下，还应考虑天线高度和地形（参考 § 3.3）。若算得的聚合干扰源功率超过接收机前端超载时的门限值 I_T ，则需采取必要措施确保兼容性。

3.1.2 互调

对于具有大型射频前端带宽 B_{RF} （如§ 3.1.1中规定）和通常较窄的中频带宽的雷达，必须考虑第三阶互调机制。该机制有将信号能量从中频带宽外（但在射频带宽内）转移至中频带宽内的作用。

任何一对频率上的载波（“音信号”） f_1 和 f_2 可能产生任一第三阶产物 $f_3 = 2*f_1 - f_2$ ，或 $f_3 = 2*f_2 - f_1$ 。 f_3 在中频带宽内，生成的在调干扰功率由雷达接收机的中频和基带信号处理单元进行进一步放大和处理。

互调效应随单音信号功率电平显著增强。单音信号功率增加10 dB，则互调产物功率增加30 dB。第三阶互调产物开始超过经放大的单音信号功率的（理论）点称作第三阶输出拦截点（ $IP3_{out}$ ）。对于用于雷达前端的射频LNA， $IP3_{out}$ 在10到15 dB之间，大于1 dB压缩输出功率， $P_{1\text{ dB},out}$ 。

若有多个载波信号，则应将达到第五阶的互调现象作为重要干扰源进行考虑。

由从中频带宽外部向内部互调的第三阶或第三阶以上干扰功率应视为在调干扰，即其必须与进入中频带宽的干扰功率直接结合，且满足适当的ITU-R建议书为 I/N 比率制定的要求。

3.2 灵敏度劣化

可以预见，无线电测定雷达（该雷达来自于CW或类噪声类型调制的其他业务）的减感效应与其强度有关。在任何此类干扰到达的方位扇区中，可将其功率谱密度在合理近似值内简单地加至雷达接收机的热噪声功率谱密度上。

评估兼容性的初始步骤是确定雷达接收机性能开始降低时的信号电平， I_T 。

$$I_T = I/N + N \quad (15)$$

其中：

- I/N : 维持可接受性能标准所须的探测器输入（中频输出）的干扰噪声比 (dB)

N : 接收机内部噪声电平 (dBm)

$$N = -114 \text{ dBm} + 10 \log B_{IF} (\text{MHz}) + NF$$

其中:

B_{IF} : 接收机中频带宽 (MHz)

NF : 接收机噪声指数 (dB)

公式(15)可用于确定其他业务中的系统是否能够在雷达的特定距离内运行,且通过定量在频率内进行分离。

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF} \quad (16)$$

其中:

I : 雷达接收机输入的干扰信号峰值功率 (dBm)

P_T : 所分析的干扰发射机的峰值功率 (dBm)

G_T : 所分析的雷达方向上的干扰系统的天线增益 (dBi)

G_R : 所分析的系统方向上的雷达站的天线增益 (见注3) (dBi)

L_T : 发射机插入损耗 (dB)

L_R : 雷达接收机插入损耗 (dB)

L_P : 发射和接收天线间的传播路径损耗 (dB)

FDR_{IF} : 由接收机中频选择性曲线在无用发射光谱上产生的频变拒收 (dB)。

注3 — 大多数无线电测定雷达天线从方位角 360° 扫描至较大的仰角。但一些雷达系统进行扇形或随机扫描,其雷达平台通常可在任何方位定向。通常当雷达天线主波束指向干扰信号时,产生对雷达系统的干扰。因此,雷达主波束通常用于分析。在某些特殊情况下,雷达主波束可能不能指明互动站(如:扇形匿影),在该等情况下,应使用合适的天线旁瓣电平。

可使用ITU-R SM.337建议书确定公式(13)中使用的FDR值。计算FDR需要雷达接收机中频选择性响应和雷达发射机的发射光谱特性。若无雷达接收机中频选择性响应,则每十倍80 dB选择性下降应使用3 dB边带宽频率到最低70 dB选择性门限值。

3.3 保护准则

通常情况下,来自另一业务的信号产生了一个 -6 dB以下的 I/N 比值对于采用来自其他业务的信号具有高占空比(例如连续波(CW)二相移相键控(BPSK)、四相移相键控(QPSK)、类噪声等)的雷达来说是可接受的。一个 -6 dB的 I/N 比值对 $(I+N)/N$ 的影响是1.26,或使雷达接收机的噪声功率增加1 dB,对雷达操作性能产生影响。在一些案例中,低于 -6 dB的 I/N 比值可能不适用,须进行进一步研究或兼容性测量,以评估运行干扰对雷达性能的影响。在雷达系统操作于有关雷达特性和现有保护准则的ITU-R建议书规定的频带时,应就有关保护准则的具体指南咨询相关建议书¹。

脉冲型干扰的影响量化更困难且很大程度地取决于接收机/处理器的设计和操作模式。特别是，对有效目标返回的差分处理增益是同步脉冲型的，而对脉冲型干扰的电平确定有着重要影响的干扰脉冲通常是异步的。这种去敏作用可造成若干不同类型的性能恶化。假设它将成为对专用雷达类型之间相互作用分析的一个目标。一般来说，无线电测定雷达的大量特性被认为有助于抑制低占空比脉冲型干扰，尤其是来自几个独立的干扰源时。抑制低占空比脉冲型干扰的技术包含在ITU-R M.1372建议书中——无线电测定业务中雷达站无线电频谱的有效使用。

当存在多个干扰时，所建议的 I/N 保护准则保持不变（这是因为该准则取决于雷达接收机的类型和其信号处理的特性）。然而，实际到达雷达接收机的总干扰电平（必须根据建议的 I/N 保护准则来查对）取决于干扰的数量、它们的频谱分量和它们的信号结构且需对给定的情况综合分析的过程进行评估。在某些高密度通信系统中，一些汇集因素尤为重要。如果干扰是从若干方位的方向接收到的，为评估兼容性，由雷达天线主波束和/或旁瓣接收的来自所有这些方向的同时出现的分量必须累计进行综合分析，以达到实际 I/N 保护准则。

4 传播模型选择

确定传播路径损耗时，应使用合适的传播模型和可能的间接耦合，在适当情况下，还应考虑天线高度和地形。一般情况下，不应考虑地形屏蔽或人为障碍。在特定共享案例（该等案例中，可用准确数据）中，须进行详细的路径分析和损耗计算；或已通过实验确定所有相关频率的干扰信号位置与被干扰者雷达之间的实际路径损耗时，可接受此类案例。若算得的雷达接收机输入上的聚集干扰源峰值功率 I 超过接收机性能降低的门限值 I_T ，则应采取必要措施确保兼容性。

在将雷达用于安全方面（如空中交通监视）的情况下，选择传播模型时必须考虑所有即使在短时间内也会引起超出容许极限的增强现象。用于生命安全方面（如机场监视）的雷达系统，由于其操作要求，必须免受长期或短期干扰。

¹ 一些含有专用频带技术特性和保护准则的ITU-R建议书的例子有：ITU-R M.1460、ITU-R M.1462、ITU-R M.1463、ITU-R M.1464、ITU-R M.1465和ITU-R M.1466。