

ITU-R M.1841建议书*

**87-108 MHz附近频段调频（FM）声音广播与108-117.975 MHz附近频段
航空地基增强系统之间的兼容性**

(2007年)

范围

第413号决议（WRC-03）请ITU-R研究在108 MHz左右工作的广播和航空业务间的所有兼容性问题，并酌情制定新的或经修订的ITU-R建议书。本建议书提出的技术和操作要求可用作各主管部门的技术指导原则，用于确立在108 MHz以上工作的国际民航组织（ICAO）航空地基增强系统（GBAS）与在108 MHz以下工作的FM广播系统间的兼容性。

国际电联无线通信全会，

考虑到

- a) 为了改善频谱利用效率，需要完善评估声音广播业务和附近频段航空业务间兼容性时使用的标准；
- b) 需要一种兼容性分析方法来确定与庞大的、广播指配规划有关的潜在不兼容性问题；
- c) 需用一种详细的、能够根据不同情况进行兼容性分析的方法来研究经大量分析确定的潜在不兼容情况，或对新提出的广播或航空业务指配进行单独评估；
- d) 需要继续完善兼容标准和评估方法，

建议

- 1 将附件1中给出的标准应用于兼容计算；
- 2 使用附件2给出的方法预测与庞大的广播指配规划相关的潜在不兼容问题；
- 3 使用附件3的技术对涉及由附件2方法确定的潜在干扰情况，或涉及新提出的广播或航空电台指配的单独评估逐例进行详细的兼容计算；
- 4 此外，对所预测的兼容情况的实际核查结果以及其它的有关资料可以用于协调，并将影响附件1, 2, 3中分别给出的、兼容标准、评估方法和技巧的进一步完善。

* 本建议书应呈送无线电通信第6研究组，供其参考并在将来可能的情况下提出意见。

附件 1

干扰机理，系统参数和兼容性评估标准

目录

	页码
1 背景和简介	2
2 干扰机理的类型	2
3 兼容性评估参数	4
4 兼容性评估标准	7
附录 1 – GBAS覆盖和最小场强（摘录自ICAO附件10）	11

1 背景和简介

调频（FM）广播业务干扰用于导航和监测目的的航空移动系统是飞行设备使用者广泛公认的一个问题。在空中GBAS接收机中，此干扰问题会造成导航更正信息出现误差。接收机受到的干扰是一个严重问题，特别在关键的接近着陆与着陆阶段，因为此时飞行员无法明确得知是否存在干扰。

根据航空器的位置、高度、互调及杂散发射条件的不同，干扰对航空器接收机的影响各异。此类干扰存在的形态随接收机的构造和型号而不同。由于对航空和广播频率指配的额外需求日益增长，产生有害干扰的概率也在增加。

本附件描述：

- 干扰机理；
- 受影响航空移动系统的系统参数；
- FM广播电台的系统参数；
- 国际民航组织（ICAO）的兼容性评估标准，附件10，接收机。

2 干扰机理的类型

通常，从GBAS接收机的角度看，可以把FM广播发射调制视作噪声。

2.1 A类干扰

2.1.1 简介

A类干扰是由一个或多个广播发射机对航空频段的无用发射引起的。

2.1.2 A1类干扰

单个发射机可能产生杂散发射或者几个广播发射机在航空频段上可能互调产生频率分量；这种情况称之为A1类干扰。

2.1.3 A2类干扰

一个广播信号可能包括落在航空频段上的不可忽略的频率分量，称之为A2类干扰的这个干扰机理实际上仅由使用108 MHz附近频率的广播发射机引起，而且仅干扰使用108 MHz附近频率的航空移动业务。

2.2 B类干扰

2.2.1 简介

B类干扰由航空频段外频率上的广播发射在航空接收机上产生。

2.2.2 B1类干扰

航空频段以外的广播信号使接收机变为非线性状态，可能会使航空接收机产生互调；这种情况称之为B1类干扰。要产生这种干扰，至少需要出现两个广播信号，它们应有一定的频率关系，且在非线性过程中，能够在航空接收机使用的有用射频信道上产生互调产物。其中一个广播信号必须有足够的振幅，使接收机进入非线性区域，然而，即使其它信号的振幅相当低也可能产生干扰。

只考虑三阶互调产物；其形式为：

$$f_{intermod} = 2f_1 - f_2 \quad \text{两信号情况, 或}$$

$$f_{intermod} = f_1 + f_2 - f_3 \quad \text{三信号情况}$$

式中：

$f_{intermod}$: 互调产物频率 (MHz)。

f_1, f_2, f_3 : 广播频率 (MHz) 且 $f_1 \geq f_2 > f_3$ 。

2.2.3 B2类干扰

当航空接收机的射频部分被一个或多个广播发射变为过载状态时，可能发生灵敏度降低现象，这种情况称之为B2类干扰。

3 兼容性评估参数

3.1 简介

本节确定了与兼容评估有关的GBAS航空发射机和接收机参数。

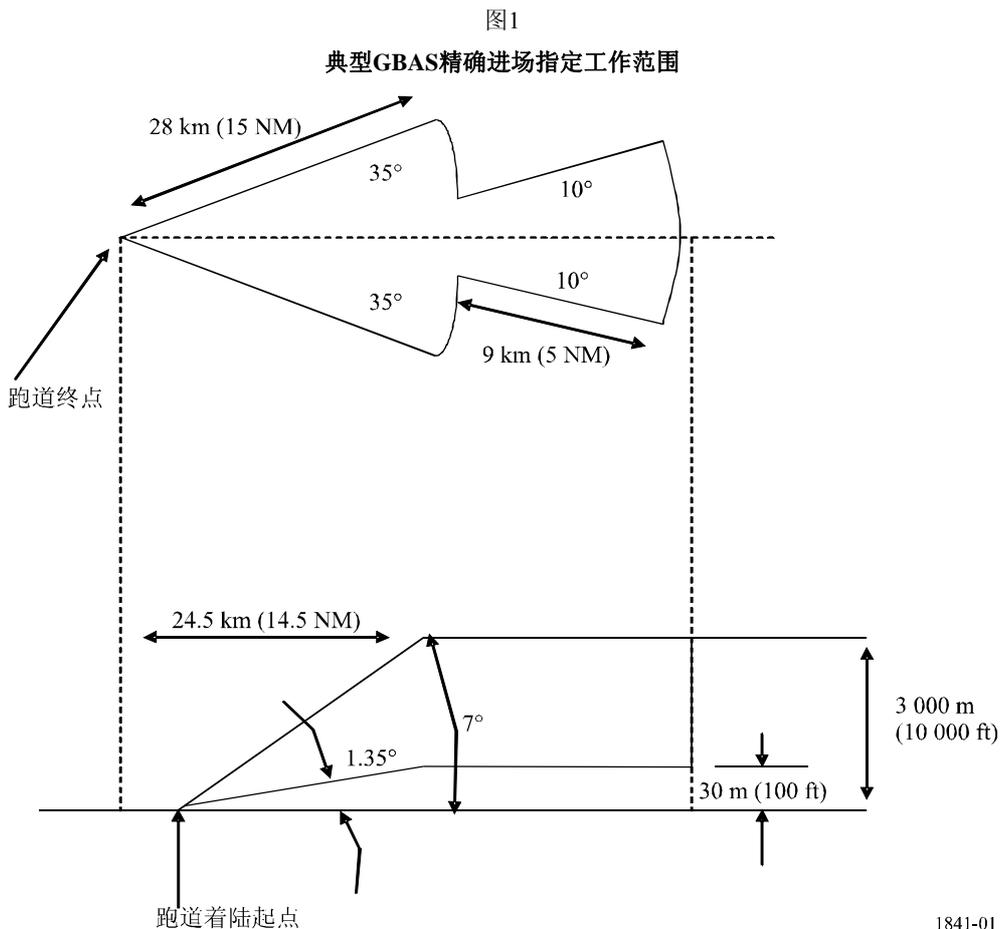
3.2 航空系统的特性

3.2.1 指定的工作范围

GBAS可在两种模式下工作：

- a) 精确进场服务；或
- b) 定位服务。

在精确进场模式下，图1描述了基于ICAO附件10 CAT I GBAS的指定工作范围。一些主管部门亦可使用指定工作范围与跑道不对应的方式运用GBAS。此指定工作范围的定义是针对每条跑道。鉴于一个GBAS地面站可能涵盖机场的多个跑道方向，因此总指定工作范围可视作是各个指定工作范围之和。



编者注 – 指定工作范围的描述源自ICAO附件10中的要求，与ITU-R SM.1009-1建议书中的仰角图不同。

不同装置GBAS定位的指定工作范围不尽相同：典型BGAS定位的指定工作范围可能为圆形，其半径为GBAS发射机周边43公里（23 NM）。根据工作要求和频率规划限制的不同，有些装置的工作半径更大。详情请参见相关的各国《航空资料出版物》（见附件4中的定义）（AIP）。

3.2.2 场强

需在整个指定工作范围加以保护的（见附录1的第3.5.4.4.2.2段）最小场强为215 $\mu\text{V/m}$ （46.6 dB（ $\mu\text{V/m}$ ））（40 $\mu\text{V/m}$ ）。

3.2.3 频率

GBAS频段在FM广播频段附近的频段内，可在干扰仪表着陆系统（ILS）/全向无线测距（VOR）频率及这些频率之间的频率上工作。GBAS频率占用间隔为25 kHz的信道，具体值可能使用：108.025, 108.050 ... 117.950 MHz。

3.2.4 极化

GBAS可使用两类极化：水平极化和可选补充垂直极化。仅有水平极化是针对国际民事航空用途，因此本建议书只考虑配有水平极化天线的航空器。可选垂直极化仅在国家层面使用。

3.3 FM广播电台的特性

3.3.1 最大有效辐射功率

兼容计算应使用最大有效辐射功率（e.r.p.）最准确的可用值。

3.3.2 水平辐射图

兼容计算应使用水平辐射图（h.r.p.）最准确的可用资料。

3.3.3 垂直辐射图

兼容计算应使用垂直辐射图（v.r.p.）最准确的可用资料。

3.3.4 杂散发射抑制

根据北美的经验，一般没有必要要求杂散发射抑制超过80 dB。考虑到1区和3区一些地区的特定环境，表1中给出108-137 MHz航空频段的杂散发射抑制值，建议将其用于来自共站广播发射机辐射互调产物。

表 1

最大 e.r.p. (dBW)	与最大 e.r.p 有关的抑制 (dB)
≥ 48	85
30	76
< 30	46 + 最大 e.r.p. (dBW)

注1 - 最大 e.r.p. 值在 30 和 48 dBW 之间时使用线性插值。

3.3.5 频率

在《无线规则》中可以找到操作频段。在 1 区和 3 区的一些部分，该频段是 87.5-108 MHz，信道间隔为 100 kHz（87.6, 87.7 ... 107.9 MHz）。在 2 区，该频段是 88-108 MHz，信道间隔为 200 kHz（88.1, 88.3 ... 107.9 MHz）。

3.3.6 极化

FM 信号的极化可以是水平的，垂直的或混合的。

3.3.7 广播信号的自由空间场强计算

根据下面的公式确定自由空间场强：

$$E = 76.9 + P - 20 \log d + H + V \quad (1)$$

式中：

- E : 广播信号场强 (dB ($\mu\text{V}/\text{m}$))
- P : 广播电台的最大 e.r.p. (dBW)
- d : 倾斜路径距离 (km) (见附件 4 的定义)
- H : h.r.p. 修正值 (dB)
- V : v.r.p. 修正值 (dB)。

广播电台是混合极化时，水平和垂直分量中较大者做为最大 e.r.p.。但是，如果水平和垂直分量相等时，就通过在水平分量值上加 1 dB 来获得最大 e.r.p.。

3.4 接收机输入功率

假定航空器的天线辐射图没有方向性，广播电台信号和航空信号的场强根据下面的公式转换成航空接收机输入端的功率：

a) 对于 87.5-108.0 MHz 频段的广播信号：

$$N = E - 118 - L_s - L(f) - L_a \quad (2)$$

式中：

- N : 在航空接收机输入端的广播信号电平 (dBm)
- E : 广播信号的场强 (dB ($\mu\text{V}/\text{m}$))
- L_s : 3.5 dB 的信号分支器损耗

$L(f)$ ：低于108 MHz的广播频率 f (MHz) 上1.2 dB/MHz的天线系统频率相关损耗
(针对水平极化天线)

L_a ：9 dB的天线系统固定损耗。

b) 对于航空信号和108-118 MHz频段的A1类信号：

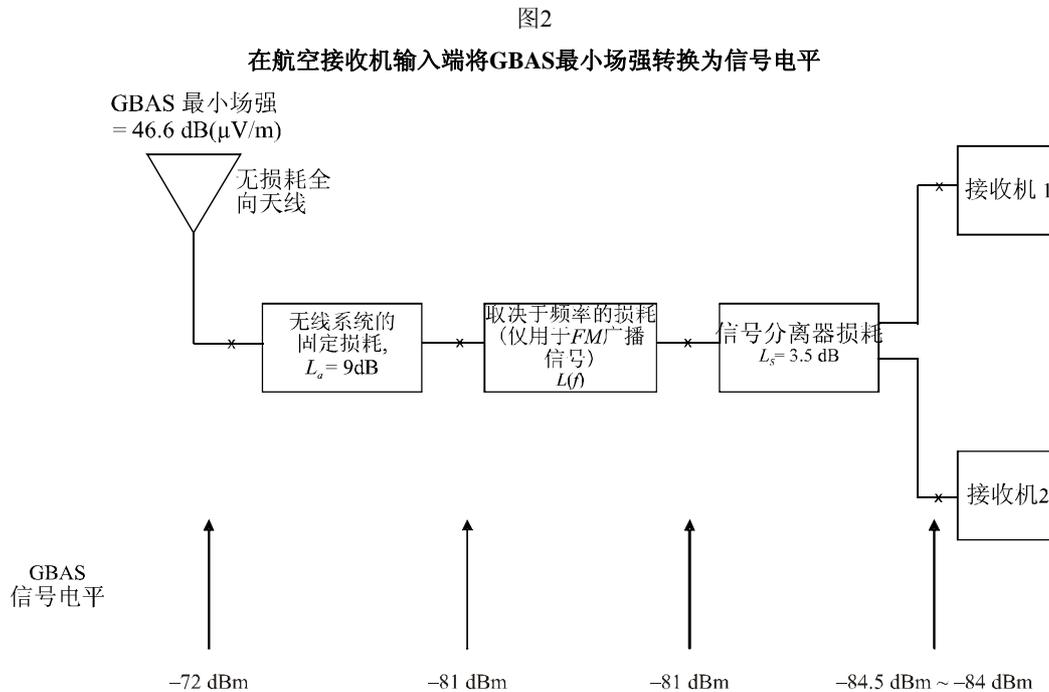
$$N_a = E_a - 118 - L_s - L_a \quad (3)$$

式中：

N_a ：航空接收机输入端的信号电平 (dBm)

E_a ：航空或A1类信号的场强 (dB(μ V/m))。

图2描述了如何使用公式 (3) 在典型航空器接收机装置的输入端将46.6 dB (μ V/m) 的GBAS最小场强转换为-84 dBm。



注1-典型航空器装置包括航空接收机的两个信号分离器。
注2-航空频率的频率依赖型损耗 $L(f)$ 为0，因此并未在公式 (3) 中出现。

1841-02

4 兼容性评估标准

4.1 标准干扰门限

4.1.1 GBAS

GBAS接收机的干扰门限为：

— 消息故障率小于等于每一千个全长度应用数据消息（222字节）出现一个故障消息。

4.2 干扰评估标准 – GBAS接收机

4.2.1 A1类干扰

表2给出需使用的保护比值。频率差大于200kHz时不需要考虑A1类干扰。

表 2

有用信号和杂散发射之间的频率差 (kHz)	保护比 (dB)
0	14
50	7
100	-4
150	-19
200	-38

4.2.2 A2类干扰

表3给出需使用的保护比值。频率差大于300 kHz 时不需要考虑A2类干扰。

4.2.3 B1类干扰

4.2.3.1 兼容性估算公式

应使用下面的公式来估算潜在的不兼容性。

a) 两信号的情况:

$$2 \left\{ N_1 - 20 \log \left(\frac{\max(0.4; 108.1 - f_1)}{0.4} \right) \right\} + N_2 - 20 \log \left(\frac{\max(0.4; 108.1 - f_2)}{0.4} \right) + K - L_c + S > 0 \quad (4)$$

式中:

N_1, N_2 : 航空接收机输入端分别对应广播频率 f_1 和 f_2 的广播信号电平 (dBm)

f_1, f_2 : 广播频率 (MHz) $f_1 > f_2$

K = GBAS值为78

L_c : 有用信号电平变化的修正因子 (dB) (见第4.3.3.3段)

S : 考虑到ICAO附件10的接收机抗扰度标准公式并未提供全面的兼容性评估公式, 特留出3 dB的容限。

b) 三信号的情况:

$$\begin{aligned}
 & N_1 - 20 \log\left(\frac{\max(0.4; 108.1 - f_1)}{0.4}\right) + \\
 & N_2 - 20 \log\left(\frac{\max(0.4; 108.1 - f_2)}{0.4}\right) + \\
 & N_3 - 20 \log\left(\frac{\max(0.4; 108.1 - f_3)}{0.4}\right) + K + 6 - L_c + S > 0
 \end{aligned} \tag{5}$$

式中:

- f_1, f_2, f_3 : 广播频率 (MHz) $f_1 \geq f_2 > f_3$
 N_1, N_2, N_3 : 航空接收机输入端分别对应广播频率 f_1 、 f_2 和 f_3 的广播信号电平
 K = GBAS值为78
 L_c : 有用信号电平变化的修正因子 (dB) (见第4.3.3.3段)
 S : 考虑到ICAO附件10的接收机抗扰度标准公式并未提供全面的兼容性评估公式, 特留出3 dB的容限。

表 3

有用信号和杂散发射之间的频率差 (kHz)	保护比 (dB)
150	-41
200	-50
250	-59
300	-68

4.2.3.2 频率偏置修正

在应用公式 (4) 和 (5) 之前, 表4中适用于每个信号的修正值如下:

$$N(\text{已修正}) = N - \text{修正值}$$

当频率差大于150 kHz 时不需要考虑B1类干扰。在此类情况下, 因信号电平过高, 将产生B2类干扰。

表 4

有用信号和互调产物之间的频率差 (kHz)	修正值 (dB)
0	0
50	2
100	5
150	11

4.2.3.3 因有用信号电平变化引起的B1类干扰抗干扰性变化的修正因子

下面的修正因子可以用于两信号和三信号情况下的GBAS:

$$L_c = N_A - N_{ref} \quad (6)$$

式中:

L_c : 说明有用信号电平变化的修正因子 (dB)

N_A : 航空接收机输入端的有用信号电平 (dBm)

N_{ref} : 对于B1类干扰的抗扰性公式, 航空接收机输入端有用信号的参考电平 (dBm)

= GBAS为-72 dBm。

4.2.3.4 触发和截止值 (见附件4的定义)

$$\text{触发值 (dBm)} = \frac{(L_c - K - S)}{3} + 20 \log \left(\frac{\max(0.4; 108.1 - f)}{0.4} \right) \quad \text{dBm} \quad (7)$$

式中:

L_c : 修正因子 (dB) (见第4.2.3.3段)

K = 两信号的情况, GBAS为78

K = 三信号的情况, GBAS为84

f : 广播频率 (MHz)

S : 考虑到ICAO附件10的接收机抗扰度标准公式并未提供全面的兼容性评估公式, 特留出3 dB的容限。

$$\text{截止值 (dBm)} = -66 + 20 \log \left(\frac{\max(0.4; 108.1 - f)}{0.4} \right) \quad \text{dBm} \quad (8)$$

式中:

f : 广播频率 (MHz)。

经验表明, 使用较低的截止值仅仅是把附加的互调产物与每个触发值联系起来, 但这须在较低的潜在干扰电平上实现。

4.2.4 B2类干扰

为了评估B2类干扰, 可以使用下面的经验公式来确定空载GBAS接收机输入端广播信号的最大电平, 以避免可能的干扰:

针对108.025至111.975 MHz的航空频率:

$$N_{max} = \min \left(15; -10 + 20 \log \left(\frac{\max(0.4; 108.1 - f)}{0.4} \right) \right) + L_c - S \quad (9)$$

针对112至117.975 MHz的航空频率:

$$N_{max} = \min \left(15; 20 \log \left(\frac{\max(0.4; 108.1 - f)}{0.4} \right) \right) + L_c - S \quad (10)$$

式中：

N_{max} : 航空接收机输入端的广播信号的最大电平 (dBm)

f : 广播频率 (MHz)

S : 考虑到ICAO附件10的接收机抗扰度标准公式并未提供全面的兼容性评估公式，特留出3 dB的容限

L_c : 考虑到有用信号电平改变情况下的修正因子 (dB)

$$L_c = \max(0; 0.5(N_A - N_{ref}))$$

N_A : 航空接收机输入端的有用信号电平 (dBm)

N_{ref} : 对于B2类干扰的抗扰性公式，航空接收机输入端的有用信号的参考电平 (dBm)
= GBAS为-72 dBm。

附件1的附录1

GBAS的覆盖和最小场强

摘录自：“空中导航业务的国际标准及建议的惯例和程序：航空通信，《国际民航公约》附件10，第 I 卷”，国际民航组织，蒙特利尔，1985年”

下面的摘录涉及GBAS：

“3.7.3.5.3 覆盖

3.7.3.5.3.1 除地形特性需要或在操作要求允许的情况下，支持各种I类精确进场的GBAS工作范围如下：

- a) 水平方向，着陆门限点/虚拟门限点 (LTP/FTP) 两侧140米 (450英尺) 处开始，最终着陆跑道两侧向外延伸±35度，总长度28公里 (15海哩)，且在最终着陆跑道两侧±10度的方向上长度为37公里 (20海哩)；以及
- b) 垂直方向，在水平区内，源于滑行道截获点 (GPIP) 的水平角度大于已公布滑行道倾角 (GPA) 7度或1.75度，且根据要求可使用高于水平面的0.45 GPA或最小角度为0.30的GPA，以确保公布的下滑行道截获程序得到遵守。此覆盖适用于接地点高度 (HAT) 以上30米 (100英尺) 至3 000米 (10 000英尺)。

注 – 附录B第3.6.4.5.1节给出了LTP/FTP和GPIP的定义。

3.7.3.5.3.2 **建议**– GBAS覆盖应扩展到跑道表面上3.7米（12英尺）。

3.7.3.5.3.3 **建议**– 数据广播应当为全向，从而为未来的应用提供支持。

注 – 后附资料D的第7.3节提供了有关I类精确进场及GBAS定位业务的指导材料。

3.7.3.5.4.4 数据广播射频（RF）的场强和极化

注 – GBAS能够提供既可使用水平极化（GBAS/H）也可使用椭圆极化（GBAS/E）的VHF数据广播，其极化过程中同时使用了水平极化（HPOL）与垂直极化（VPOL）分量。使用VPOL分量的航空器将无法使用GBAS/H设备工作。相关指导材料请参见后附资料D的第7.1节。

3.7.3.5.4.4.1 *GBAS/H*。

3.7.3.5.4.4.1.1 应当广播一水平极化的信号。

3.7.3.5.4.4.1.2 在GBAS覆盖范围内，有效辐射功率（ERP）应为水平极化信号提供一个最小215微伏每米（-99 dBW/平方米），最大0.350伏特每米（-35 dBW/平方米）的场强。场强的测量值应为同步期内猝发串模糊度解算场的平均值。HPOL与任何VPOL分量间的RF相位偏置，应当使附录B第3.6.8.2.2.3节定义的最小信号功率在整个覆盖范围内得以实现。

3.7.3.5.4.4.2 *GBAS/E*。

3.7.3.5.4.4.2.1 **建议** – 在可行时应当广播椭圆极化信号。

3.7.3.5.4.4.2.2 广播椭圆极化信号时，水平极化分量应满足第3.7.3.5.4.4.1.2节的要求，且在GBAS覆盖范围内，有效辐射功率（ERP）应为垂直极化信号提供136微伏每米（-103 dBW/m²）的最小场强和0.221伏特每米（-39 dBW/m²）的最大场强。场强的测量值应为同步期内猝发串模糊度解算场的平均值。HPOL与任何VPOL分量间的RF相位偏置，应当使附录B第3.6.8.2.2.3节定义的最小信号功率在整个覆盖范围内为HPOL和VPOL用户实现。

注 – 第3.7.3.5.4.4.1.2和第3.7.3.5.4.4.2.2节规定的最小与最大场强符合最低接收机灵敏度为-87 dBm的要求，且在43公里（23海哩）覆盖范围内与发射机天线的最小距离为200米（660英尺）。

附件 2

通用估算方法

目 录

页码

1	引言	13
2	各指定工作范围GBAS测试点的位置与高度	14
3	通用估算方法的应用	16
4	广播电台天线的修正	19
	附录 1 潜在最大干扰电压测试点的位置。GAM的解释	21
	附录 2 关于最大场强和潜在干扰的考虑.....	23

1 引言

本附件的目的是为航空无线导航业务和大规模广播指配规划的电台之间的兼容性分析提供估算方法。附件3中给出的技术可以用来进行更详细的分析，或者验证分析得到的结果。

1.1 通用估算方法的基本原理

通用估算方法（GAM）的中心目标是在航空体内众多已定义的计算点或测试点上，计算所有重要的潜在不兼容性（见注1）。对于特定的一组广播和航空频率组合，以保护余量的形式确定与特定航空业务有关的最大潜在不兼容性。

需对1984年的日内瓦协议中的兼容性估算方法进行扩展，原因是，今后需要对兼容标准进行完善并判断是否有必要制定一种更为全面的评估方法。此外，因为需要确定和检查与大规模指配规划有关的潜在不兼容性，必须开发一种适于以有效方式自动执行的估算方法。

GAM基于这种需要，根据航空业务（GBAS）（见注1）和该业务的特定用法，保护规定的广播电台天线最小间隔距离（见注1）内的航空无线导航业务。

注1 - 见附录4的定义。

1.2 GBAS

定位业务GBAS使用的指定工作范围为圆形。但是，当航空器将GBAS作为精确进场业务使用时，各受保护的指定工作范围与ILS的指定工作范围相同。因此，要求GBAS使用的测试点与VOR用作定位业务时使用的测试点相同。用作精确进场业务时，各类受支持的指定工作范围所需的测试点与ILS需要的测试点相同。

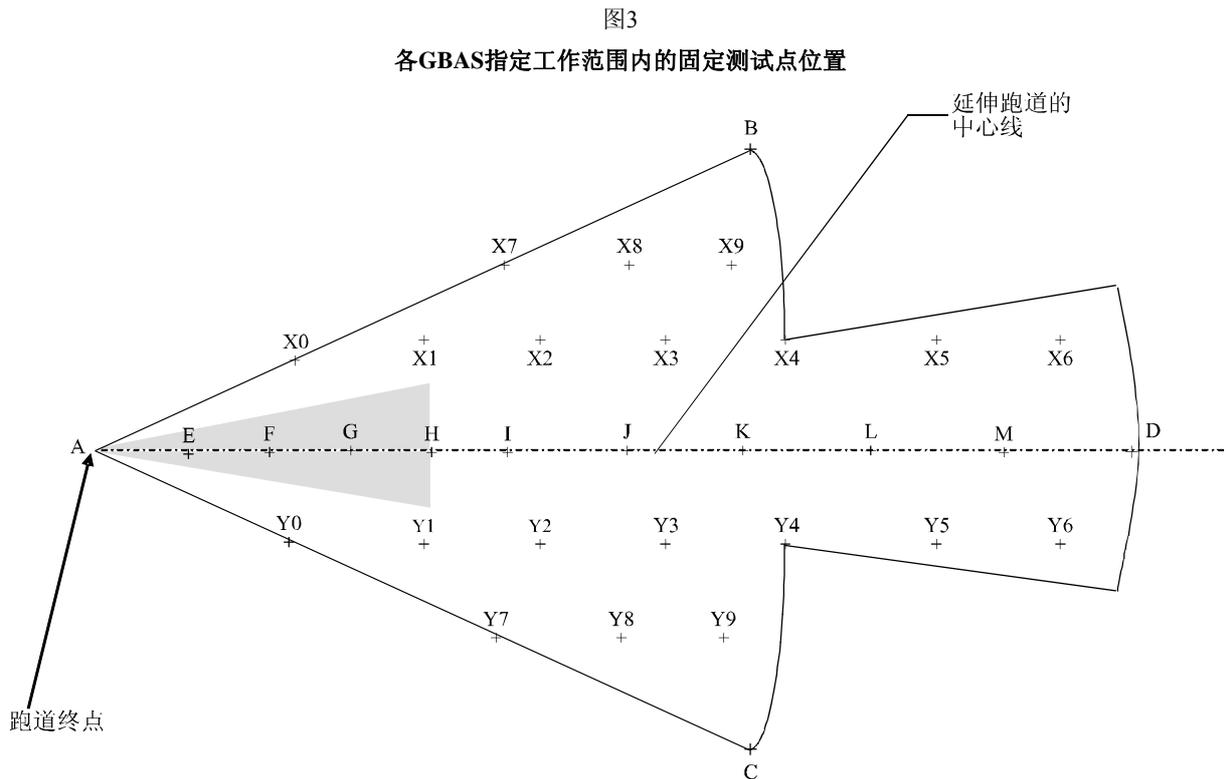
2 各指定工作范围GBAS测试点的位置和高度

2.1 GBAS精确进场测试点

2.1.1 固定测试点

对于在图3中展示的几个固定测试点，表5中给出了定位器站址和相对于延伸跑道中心线方向的最小高度，距离。

在跑道终点仰角上方，固定测试点A, E, F, G和H分别有0, 0, 150, 300和450米的最小高度（亦见第3.2.1段）。这些数值表示一个倾斜3°的滑行跑道。所有其它的固定测试点具有600米的最小高度。



2.1.2 与广播电台有关的测试点

如果广播电台位于图3的阴影区内：

- 设置一个有广播电台地理坐标和与广播天线相同高度的附加测试点。

如果广播电台在GBAS指定工作范围内或者在其之下，但却在图3的阴影区之外，设置一个带有广播电台地理坐标的附加测试点。该测试点的最小高度为下述中的大者：

- 在跑道终点之上600米；或
- 在广播天线之上150米。

表 5

在延伸的跑道中心线或其之上的点			离开延伸的跑道中心线的点 (所有点在600米高度)		
标 识	距离 (公里)	最小高度 (米)	标 识	距离 (公里)	相对于跑道中心线的 方向 (度)
A	0	0	B, C	31.5	-35, 35
E	3	0	X0, Y0	7.7	-35, 35
F	6	150	X1, Y1	12.9	-25.5, 25.5
G	9	300	X2, Y2	18.8	-17.2, 17.2
H	12	450	X3, Y3	24.9	-12.9, 12.9
I	15	600	X4, Y4	31.5	-10, 10
J	21.25	600	X5, Y5	37.3	-8.6, 8.6
K	27.5	600	X6, Y6	43.5	-7.3, 7.3
L	33.75	600	X7, Y7	18.5	-35, 35
M	40	600	X8, Y8	24.0	-27.6, 27.6
D	46.3	600	X9, Y9	29.6	-22.1, 22.1

2.2 GBAS定位测试点

2.2.1 位于指定工作范围之内的与广播电台有关的测试点

测试点位于广播电台的地理坐标上，其使用的最小高度是下述中的最大者：

- 在本地地形之上600米（大约在广播电台站址高度之上600米），或
- 在广播电台天线之上300米。

2.2.2 指定工作范围之外与广播电台有关的测试点

指定工作范围之外的，但离指定工作范围边界不大于3公里的广播电台已在第2.2.1段中论述。对于在指定工作范围之外3公里以上，但在第3.1.2段规定的距离限制以内的电台，测试点设在指定工作范围边界最接近的点上并采用最小高度，该最小高度是下述中的最大者：

- 在平均海平面之上600米，或
- 在平均海平面之上的广播天线高度。

在指定工作范围边界上的这些测试点间隔距离小于250米时，被当作是共置。

2.2.3 附加测试点

可以规定在指定工作范围中的附加测试点包含GBAS的特定用途，例如用作着陆辅助时，或在仰角小于 0° 的情况下需提供服务时（见第3.2.3.2段）。

3 通用估算方法的应用

3.1 概述

兼容性标准包含在附件1中。

3.1.1 测试点的选择

根据在第2段中规定的标准选择测试点。

3.1.2 应包括在测试点分析中的广播电台

测试点分析中包括的广播电台的条件是：

- 从广播天线到测试点有一条视距路径（见附件4的定义）且计算的信号电平大于B1的截止值（见附件1的第4.2.3.4段）；
- 自由空间场强（见附件1第3.3.7段）至少是这样的数值，它可以在A1和B2情况下在满足最大分隔距离为125公里的条件下引起A1或A2或B2类的不兼容性（见附件1的第4.2和4.3段）。

3.1.3 兼容性计算

为了估算在任何选择的测试点（见第3.1.1段）上的满足第3.1.2段所述条件的这批广播电台的兼容性，必须

- 在考虑到倾斜路径距离（见附件4的定义）、最大e.r.p.和天线特性（见第4段）的基础上，计算测试点各广播电台的自由空间场强（见附件1第3.3.7段）；
- 计算GBAS信号电平；
- 根据附件1的第3.4段计算航空接收机的输入功率。

考虑航空业务的频率以及从上文中得到的资料，可以按照第3.1.3.1到3.1.3.4段所述方法估算每种干扰类型的兼容性。

3.1.3.1 A1类干扰

计算由共站址广播电台的任何子组产生的二阶和三阶分量互调产物的频率。检测任何落在航空频率200kHz内的任何互调产物频率，以便根据附件1第4.2.1段的标准，进一步确定它的场强是否足以引起A2类干扰。

3.1.3.2 A2类干扰

检测每一个广播电台（如第3.1.2段所述）以确定其频率是否落在航空频率的300 kHz内，如果是，则应根据附件1的第4.2.1段的标准，确定它的场强是否足以引起A2类干扰。

3.1.3.3 B1类干扰

计算二阶和三阶分量互调产物的频率，这些互调产物可由共站址的广播电台（如第3.1.2段所述）的任何子组生成，子组至少包含一个达到触发器值的分量（见附件1的第

4.2.3.4段)，并且在航空接收机输入端，计算了子组截止值（见附件4的定义）之上所有的分量（见附件1的第4.2.3.4段）。进一步检测频率落在航空频率150 kHz内的任何互调产物，根据附件1第4.2.3段的标准，以确定在航空接收机（见附件1第3.4段）输入端的功率和（dBm）是否足以引起B1类干扰。

3.1.3.4 B2类干扰

检测每一个广播电台（如第3.1.2段所述）以确定根据附件1第4.2.4段的标准，在航空接收机（见附件1第3.4段）输入端的功率（见注1）是否足以引起B2类干扰。

注1 – 参数“等效输入功率”用来表示“考虑了所有与频率有关的参数后，航空接收机输入端的功率”。

3.2 关于兼容性估算的特别考虑

3.2.1 大于最小值的测试点高度

为确保对所有可能的B1类干扰情况加以考虑，在满足测试点高度不超过下列条件的条件下，应该对较大的测试点高度进行补充计算：

- 指定工作范围的最大高度，或
- 触发器值可以达到的最大高度。

在附录1的第7段中给出了此问题更详细的解释和对B1类干扰限制的理由。

3.2.2 GBAS精确进场测试点

3.2.2.1 固定测试点

在场强计算中使用广播天线和测试点之间的倾斜路径距离。但是，要受下面的最小值限制：

- 如果广播电台处于图3中的阴影区内时，为150米，或
- 如果广播电台未在图3中的阴影区内时，为300米。

3.2.2.2 与广播电台有关的测试点

如果广播电台处于图3中的阴影区内：

- 使用第2.1.2段中规定的e.r.p 最大值和高度，对水平间隔距离150米的情况进行补充计算。

如果广播电台在GBAS指定工作范围内或以下，但在图3中的阴影区之外：

- 针对第2.1.2段规定的高度，对广播电台之上的测试点位置进行了补充计算。应采用根据第4.4段导出的相应最大垂直辐射方向图修正值。

3.2.3 GBAS定位测试点

3.2.3.1 附加测试点

广播电台和任何附加测试点之间的倾斜路径距离（见第2.2.3段）用于场强计算。但要满足300米这一最小值。

3.2.4 测试点上GBAS场强的计算

对于仰角大于0°且小于2.5°的测试点，GBAS发射天线没有超过地平面以上7米处的装置可应用下面的公式：

$$E_{GBAS} = E_{MIN} + \max(20 \log(\theta D_{MX} / D_{TP}); 0) \quad (11)$$

式中：

E_{MIN} ： ICAO最小场强（46 dB（ μ V/m））

D_{MX} ： 在测试点方向上规定的GBAS范围（公里）

D_{TP} ： 发射机站址到测试点的倾斜路径距离（公里）

θ ： 测试点对于GBAS天线的仰角（度），由下式给出：

$$\theta = \tan^{-1} \left(\left[H_{TP} - H_{GBAS} - (D_{TP}/4.1)^2 \right] / [1\ 000 D_{TP}] \right) \quad (12)$$

式中：

H_{TP} ： 测试点海拔高度（米）

H_{GBAS} ： GBAS天线海拔高度（米）。

对于超过2.5°的仰角，使用2.5°的仰角来计算场强值。

对于GBAS发射天线在地平面上超过7米的地方，或在仰角小于0°时需要业务的地方，最小GBAS场强（46 dB（ μ V/m））将用于所有测试点。

上面描述的方法是基于最小场强值的插值方法，所以不要求安全余量。

3.2.5 A1类潜在干扰的计算

除了辐射的互调产物外，作为一般的方法，杂散辐射应该保持低水平，以保证在兼容性分析中不需要进一步考虑不兼容性。但是，A1计算仅针对源于共站广播电台的辐射互调产物。

鉴于可能无法得知互调产物的e.r.p.，计算A1类干扰余量是在考虑到来自共站广播电台的每次发射在测试点上产生的无用场强，以及与这些发射机的相关A1抑制的基础上，间接计算得出。

A1类干扰余量计算如下：

$$IM = \max((E_i - S_i); \dots; (E_N - S_N)) + PR - E_w \quad (13)$$

式中：

IM : A1类干扰余量 (dB)

N : 互调分量的数量 ($N = 2$ or 3)

E_i : 在测试点上广播发射 i 的无用场强 (dB ($\mu\text{V/m}$))

S_i : 广播发射机 i 的A1抑制 (dB)

PR : 适用于互调产物和航空频率之间的频率差的保护比 (dB) (见表2)

E_w : 在测试点上航空信号的场强 (dB ($\mu\text{V/m}$)) (对于GBAS至少为46 dB ($\mu\text{V/m}$))。

在已知广播发射机的A1抑制值的地方，在计算兼容性时应使用该数据。

3.2.6 B1类潜在干扰的计算

要保证站点位置靠近的广播电台获得最坏情况的B1结果，在测试点3公里内的任何广播电台均被认为是在该测试点下方（另见附录1）。

3.2.7 B2类潜在干扰的计算

在计算B2类潜在干扰时，没有规定允许的航空信号电平，因此对于GBAS使用46 dB ($\mu\text{V/m}$) 的最小值。

3.2.8 多重干扰

原则上，应该考虑在给定的测试点上对航空业务的多个潜在干扰源的组合影响。但是，在GAM中：

- 使用自由空间计算方法通常会高估所有的广播场强；
- 使用第3.2.4段中的计算方法通常会低估所有航空场强。

因此，在GAM中不需要考虑多重干扰。

但是，在A1兼容性计算的情况下，有用信号和杂散辐射之间的频率差是0或50 kHz时，保护比应该增加3 dB，以提供一个安全余量。

4 广播电台天线的修正

4.1 概述

当计算场强值时考虑广播电台发射天线的方向特性（见附件1的第3.3.7段）。

4.2 极化鉴别

不考虑广播和航空无线导航发射之间的任何极化鉴别（除非与附件1第3.3.7段中指出的一样）。

4.3 水平辐射方向图

对于有方向性天线的广播电台，从真北开始以 10° 间隔定义水平辐射方向图（h.r.p.）的数据。下式给出h.r.p.的修正值 H （dB）：

$$H = (\text{在相关方向上的e.r.p.}) - (\text{最大e.r.p.}) \quad (14)$$

4.4 垂直辐射方向图修正

仅对通过广播天线的水平面以上的仰角才使用垂直辐射方向图（v.r.p.）修正。

广播天线变化多样，例如，低功率电台常常使用的诸如偶极天线的简单天线，高功率电台通常使用的复杂多分层天线。

在实际天线口径不知道的情况下，表6把最大e.r.p.和垂直口径关联起来，该表是基于工作实践的统计分析。

在第4.4.1和4.4.2段中描述的v.r.p.修正值适用于水平和垂直极化发射且引用的限值考虑了最坏情况的倾斜路径。

表 6

最大e.r.p. (dBW)	以波长表示的垂直口径
e.r.p. \geq 44	8
$37 \leq$ e.r.p. $<$ 44	4
$30 \leq$ e.r.p. $<$ 37	2
e.r.p. $<$ 30	1

4.4.1 有关两个或更多波长的垂直口径v.r.p.修正

为了模拟口径为二个或多个波长的天线的垂直辐射方向图包络，使用下面的公式计算v.r.p.修正值， V （dB）：

$$V = -20 \log(\pi A \sin \theta) \quad (15)$$

式中：

A ：垂直口径（单位：波长）

θ ：仰角（相对于地平面）。

应该注意的是，对于小仰角，这个表达式可以得到正的 V 值。在这种情况下， V 被设置为0 dB（即，不使用v.r.p.修正）。

对于大仰角， V 被限制为-14 dB，即 $0 \geq V \geq -14$ dB。

如果实际最大v.r.p.修正值已知，该值应被用作限值，以代替-14 dB。

4.4.2 有关小于两个波长的垂直口径的v.r.p.修正

当使用低增益天线（那些垂直口径小于两个波长的天线）时，表7中的数值为v.r.p.的包络的表征。

对于中间的角度，使用线性插值。

表 7

仰角 (度)	v.r.p. 修正值 (dB)
0	0
10	0
20	-1
30	-2
40	-4
50	-6
60	-8
70	-8
80	-8
90	-8

4.4.3 108-118 MHz频段内的杂散辐射的v.r.p.修正

在第4.4.1和4.4.2段中给出的v.r.p.修正值也可用于108-118 MHz频段内的杂散辐射。

4.5 水平和垂直辐射方向图的组合

在满足-20 dB的最大组合修正值或者最大v.r.p.修正值（不论哪一个更大）的条件下，对h.r.p.和v.r.p.修正的相关值（dB）进行算术相加。在仰角超过45°时，不需要h.r.p.修正。

附件2的附录1

具有最大潜在干扰的测试点的位置

通用估算的解释（GAM）

本附录澄清有关GAM的在测试点位置和本地最大潜在干扰之间的相互关系。

1 在与广播电台天线相同高度上的航空器

考虑在一个广播电台附近飞行的航空器的情况。如果航空器以和广播天线一样的高度飞行，航空器感觉到的最大广播场强值将位于最靠近的着陆点上。在全向广播天线的情况下，最大场强的点落在以这个天线为中心的圆上。

2 高于广播电台天线的航空器

如果航空器以一个不变高度在指向并穿越广播天线站点的径向线飞行，则最大场强点在这个天线上的正上方（见附件2的附录2）。

3 垂直和水平间隔距离之间的关系

如果广播天线的v.r.p.修正的最大值是-14 dB，垂直间隔 y 米处获得的最大场强值与通过广播天线水平面（在这里v.r.p.修正值是0 dB）上的间隔 $5y$ 米处的最大场强值是相同的。

4 最大潜在干扰的位置

对于A1，A2和B2的计算，垂直间隔和水平间隔的概念是等效的，因为广播信号有共同的信源位置。对于B1情况，起作用的信源一般不共站，并且如果使用水平间隔概念，最大潜在干扰的位置可能不明显。

但是，如果使用垂直间隔概念，最大潜在干扰的点是在某个或其它广播天线之上（见附件2的附录2）。

这样，在某些三维网格上没有依赖大量计算点的条件下，定义了唯一的一对（或一组三个）测量点来计算最坏情况。

5 GBAS定位业务测试点

在GAM中，GBAS定位兼容性计算使用此直接方法，并且利用设置在（或靠近）指定工作范围边界上的附加测试点将其延伸，以保证完全考虑到在指定范围之外的广播电台。

6 GBAS精确进场业务的测试点

和GBAS定位的情况形成对比，相对很少的广播电台位于GBAS精确进场指定工作范围之内或之下。因此，可使用一组固定测试点对在指定工作范围内任何广播电台或在其附近生成的测试点进行补充，通过这组固定测试点比较容易证明兼容性估算的充分性。

在图3中阴影区内选择的测试点用来估算从地面向上的兼容性，且所选测试点高度为带有 3° 倾斜角度的滑行跑道。

7 增加测试点高度的作用

2或3分量的B1类潜在干扰的计算，对处于测试点视距内任何给定的广播电台子组，列出了最小测试点高度上的最坏结果。但是，在更高的测试点高度上，额外的广播电台可能移至测试点的视距范围内，这就需要通过进一步计算来判断这些电台是否可以促成B1类潜在干扰。任何潜在干扰的最大值发生在所有相关广播电台在测试点视距内的最小高度上。需要考虑的最大高度是下文中的较低者：

- 指定工作范围的最大高度；或
- 最大高度，在这个高度上来自广播电台的信号电平达到触发值。

附件2的附录2

有关最大场强和潜在干扰的考虑

1 最大场强

考虑一个航空器以不变的高度（且航空器的高度高于广播天线的高度）在沿着径向为广播电台的路径上飞行（见图4）。

在下列各项中：

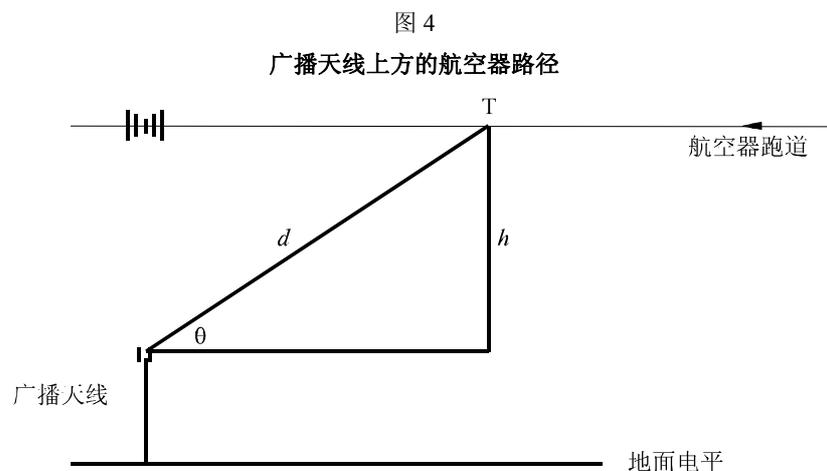
- P : e.r.p. (dBW)
- h : 高度差 (公里)
- d : 倾斜路径距离 (公里)
- θ : 仰角, 相对于广播天线的水平面
- V : v.r.p.修正值 (dB)。

在任何点T上，场强 E (dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)) (注1) 由下式 (见附件1的第3.3.7段) 给出：

$$E = 76.9 + P - 20 \log d + V \quad (16)$$

注1 – 为了简单起见，假设没有h.r.p.修正。

v.r.p.修正模型为 $-20 \log (\pi A \sin \theta)$ ，式中 A 是天线的垂直口径（按波长计），高度值 θ ，受最大修正值的限制。



1.1 在低 θ 值情况下（ V 在0和其最大值之间），

$$E = 76.9 + P - 20 \log d - 20 \log (\pi A \sin \theta) \quad (17)$$

但 $d = h / \sin \theta$

因此：

$$E = 76.9 + P - 20 \log \left(\frac{h \pi A \sin \theta}{\sin \theta} \right) = 76.9 + P - 20 \log (h \pi A) \quad (18)$$

其中场强值是常数。

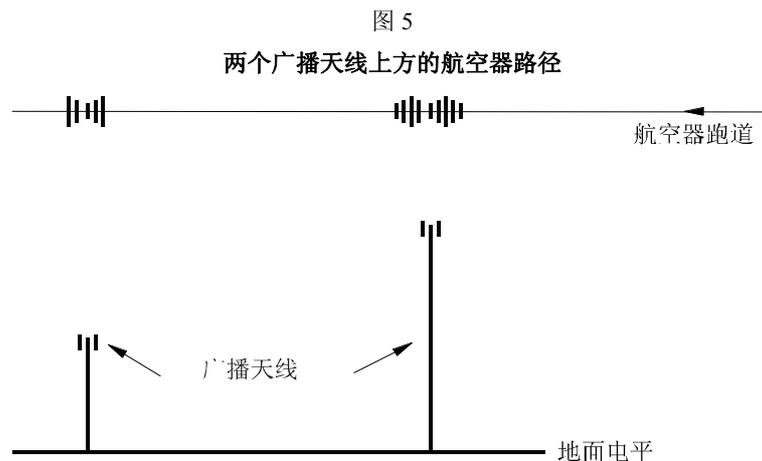
1.2 在 θ 值较大的情况下（ V 达到其最大值），即靠近广播电台（在图4中的阴影区），在其最大值时，v.r.p.修正值仍是常数。因此：

$$E = 76.9 + P - 20 \log d + \text{常数} \quad (19)$$

当 d 达到其最小值（= h ）时，广播天线正上方达到场强的最大值。

2 最大的B1类潜在干扰

考虑航空器以不变的高度在两广播天线连线上的路径飞行（见图5）。



1841-05

在阴影区之外，场强值是常数（见第1.1段中的说明），其和是常数，因此B1类潜在干扰也是常数。

在每个阴影区内，距离较近发射机的场强值，在其天线正上方升至局部最大值（如第1.2段所述）。

在GAM中，需检查两个最大值，以判断最坏的情况。

类似的推理适用于三电台的情况。

附件 3

详细的兼容性估算和实际验证

目 录

	页码
1 引言	25
2 需特别注意的问题	25
2.1 广播场强的预测	25
2.2 测试点的考虑	26
2.3 工作电台的考虑	26
3 多重干扰	26
4 详细的兼容性估算	27
5 实际验证程序	27
6 总结	27

1 引言

通用估算方法（GAM）对航空无线导航业务预测了比实际发生的更多的潜在不兼容情况。但是，相关性测试的结果显示，当在兼容分析中使用测量的数据时，计算结果与实际经验非常接近。因此，使用测量数据将改善兼容性分析的精度。

作为对GAM的延伸，可引入从精度更高的模型导出的参数，进行详细的逐例分析。这些模型可以单独使用或者组合使用。当这些单个参数的计算数值更接近测量值时，它们就逼近实际经验。这种建模法的好处是为有效的兼容性分析提供了机会，并可提供精确的结果，避免需要过多的飞行测量和相关的实际困难。

2 需特别注意的问题

2.1 广播场强的预测

在GAM中，广播场强的预测基于自由空间传播。但是，测量表明，在发射机天线和接收机天线处于地面上较低高度（例如，低于150米）时，基于自由空间传播的预测可能导致显著的过高估算。

通常，因为不容易得到有关广播电台天线和测试点之间的传播路径的充分资料，不可能实现比基于自由空间传播的那些计算更现实的计算。特别是它需要有关这条路径的地面轮廓。但是，在可以获取相关资料时（例如从地形数据库中得到相关资料），则可进行更贴近实际的场强计算。对于早先给出的理由，可预期的是通过更详细的方法计算的场强值，特别是对于地面间隔距离有限制的传播路径，将明显低于仅使用自由空间传播模型得到的数值。在这些环境下，更为详细的场强计算方法将导致潜在不兼容性的显著减少。

2.2 测试点的考虑

当已表明将对GAM指出的存在潜在不兼容性的任何测试点，进行详细兼容性分析时，应该仔细地核验与航空业务范围有关的测试点的有效性。因为GAM会自动生成测试点，根据已公布的航空文献，可能某些测试点将与下述情况下的位置重合：

- 因为自然或人造障碍物，航空器不能飞行；
- 因为特别的飞行限制，不允许航空器飞行；
- 因为已知要得到在特定的区域内的不可靠结果，建议飞行员不使用航空导航设备。

此外，可以有这样的情形，即GAM生成的测试点位于下方，因此位于GBAS定位的指定工作范围之外。对于低功率的GBAS装置，这种情况尤其可能发生。

2.3 工作电台方面的考虑

鉴于GAM拟计算航空业务范围内所有明显的潜在不兼容性，因此它包括了一系列最差情况的假设。因此，很可能存在对潜在干扰的过度估算，并且可能会发现GAM指出潜在干扰时存在下述情况，即相关航空和广播电台都在工作，实际不存在干扰问题。应对此类情况开展研究，因为它们能为改进评估方法提供有用信息。

3 多重干扰

当测量值或有用和无用场强的合理精确预测可用时，必须考虑每个干扰模型的多重互调产物。可以利用在给定测试点上的单个干扰余量互调（IM）功率和进行这项工作。

下式给出总干扰余量， IM （dB）：

$$IM = 10 \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{(IM_i/10)} \right) \quad (20)$$

式中：

N : 单个干扰余量的数目

IM_i : 第 i 个干扰余量。

4 详细的兼容性估算

在详细的逐例兼容性估算中，应该使用最精确的可用值。实际上，通过下面的工作可以改善兼容计算的精度：

- 用与已安装天线一样的测量天线方向图代替广播天线的预测水平方向辐射图；
- 用与已安装天线一样的测量天线方向图代替广播天线的预测垂直方向辐射图（见附件2，第4段）；

对兼容计算精度的进一步改善可以通过：

- 用飞行试验中测出的数值代替广播信号的预测电平；
- 用飞行试验中测出的数值代替航空信号的预测电平。

5 实际验证程序

可以通过下述方法来获得对兼容评估计算结果的验证：

- 在航空接收机输入端测量广播信号的电平；
- 在航空接收机输入端测量航空信号的电平；
- 使用特性已经通过基准测试的航空接收机，同时充分考虑到广播和航空信号电平和频率的范围，以及测量特性与理论计算使用的特性之间的差别；
- 使用辐射方向图和频率响应已经测量过的航空器接收机天线，同时考虑测量特性与理论计算使用的特性之间的差别。

特别重要的是，如果需要对广播电台的预测场强值和航空接收机输入端广播信号的电平之间进行精确的比较，要使用特性经测量的飞行器接收天线。

6 总结

兼容性评估计算精度的改善可以通过使用更精确的数据来获得，例如：

- 测量的广播天线水平辐射方向图；
- 测量的广播天线垂直辐射方向图；

可以使用下面数据验证兼容性评估计算：

- 测量的广播信号电平；
- 测量的航空信号电平；
- 特性经测量的航空接收机；
- 辐射方向图和频率响应特性经测量的航空器接收天线。

附件 4

定义

航空资料出版物 (AIP)

提交国发布的文件，说明航空设施的特性和指定工作范围等情况。

天线修正

表示在特定方位指向和仰角上，相对于最大辐射方向上e.r.p.值有效辐射功率的减小。通常定义为水平和垂直修正，用dB表示。

CAT I

一种使用精确仪器的方法，其确定着陆的高度不低于60米（200英尺），并且能见度不小于800米或跑道可视距离不短于550米。

指定工作范围 (DOC)

航空业务工作要求可得到满足的范围；是航空文件中规定的覆盖范围。

距离和距离计算

两个位置的间隔大于100公里时，它们之间的距离计算为较短的大圆地面距离。对于小于100公里的距离，考虑广播发射天线的高度和测试点的高度，如果在它们之间存在视距路径，则计算倾斜路径距离。

等效地球半径

等效地球半径等于地球半径真值的4/3，用于距离计算。

仰角

两个位置之间相对于水平面的夹角（在水平面上方为正值），使用上面定义的有效地球半径（见图4）。

标志

显示在与GBAS接收机相关的导航指示器上的射频告警图案，当接收机不工作，或信号电平或接收到的信号质量低于可接受的值时，指示为工作不正常。

地基增强系统 (GBAS)

一种增强系统，在该系统中航空接收机直接从地基发射机接收卫星导航增强信息。

ICAO附件10

“空中导航业务的国际标准及建议的惯例和程序：航空通信，《国际民航公约》附件10，第□卷”，国际民航组织

仪表着陆系统 (ILS)

ICAO附件10中定义的无线电导航系统，且该系统在国际上获得认可，已被作为现行的标准精度计量方法和航空器着陆辅助系统。

视距

采用上述定义有效地球半径的两位置间无障碍路径。

最小间隔距离

最小水平和垂直间隔距离定义了一个围绕广播天线区域的距离，在该区内航空器通常不能飞行。

潜在不兼容性

当在测试点不能满足协商同意的保护标准时，则认为存在潜在不兼容性。

提交国

负责一个国家或其它特定地区航空业务事项的主管部门。

跑道着陆起点

跑道着陆部分的起点。

跑道的降落点

跑道上航空器轮子可以接触地面的起点，通常在跑道着陆起点之内。

跑道终点

跑道着陆部分的终点。

倾斜路径距离

在地球表面上方两点之间的最短距离（如，在广播天线和某个测试点之间）。

测试点

进行兼容计算的一个点。完全由地理位置和高度参数描述。

触发器值

FM广播信号的最低值，当叠加在航空接收机的输入端时，可产生三阶互调产物，且该产物的功率足以表示潜在干扰。

VHF全向无线范围（VOR）

短距离（达到约370公里或200海里）导航援助，连续、自动的为航空器提供已知地面位置的方位信息。
