

ITU-R F.1819建议书

保护48.94-49.04 GHz频段内的射电天文业务免受
47.2-47.5 GHz和47.9-48.2 GHz频段内
HAPS无用发射的影响*

(2007年)

范围

本建议书提供了射电天文业务台站和HAPS平台最低点之间的最小间隔距离，以保护在48.94-49.04 GHz频段内操作的射电天文业务免受在47.2-47.5 GHz和47.9-48.2 GHz频段内操作的高空平台电台（HAPS）无用发射的影响。

缩语

HAPS 高空平台电台

RAS 射电天文业务

UAC 城区覆盖

SAC 郊区覆盖

RAC 农村覆盖

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 正在开发使用同温层高空平台电台（HAPS）的新技术；
- b) WRC-97在固定业务47.2-47.5 GHz和47.9-48.2 GHz频段为HAPS的操作制定了规则；
- c) ITU-R F.1500 建议书包括了使用HAPS的固定业务系统在47.2-47.5 GHz和47.9-48.2 GHz频段内操作的特性；
- d) 有必要保护在48.94-49.04 GHz频段内操作的射电天文业务（RAS）；
- e) 第122号决议（WRC-03，修订版）要求对使用上述频段的射电天文业务和HAPS系统之间的频率共用进行研究，

建议

1 为保护48.94-49.04 GHz频段内的射电天文业务免受47.2-47.5 GHz和47.9-48.2 GHz频段内HAPS无用发射的影响，射电天文台站与HAPS平台最低点之间的间隔距离应超过50公里（参见附件1）。

* 应提请无线电通信第7研究组注意本建议书。

附件 1

决定RAS天线与HAPS平台最低点之间
最小间隔的方法

1 介绍

本建议书提供了在47.2-47.5 GHz和47.9-48.2 GHz频段提供固定无线接入业务（FWA）的高空平台电台（HAPS）与48.94-49.04 GHz频段内射电天文业务（RAS）（RR 5.555B）之间的兼容研究结果，后者只用于光谱线射电天文观测。根据研究的结果，建议了一个保护射电天文业务的最小间隔距离。

2 系统特性

2.1 HAPS系统

ITU-R F.1500建议书给出了用于本分析的参数。

2.2 射电天文业务的干扰门限电平

建议保护旁瓣天线增益为0 dBi的RAS台站的谱功率通量密度（spfd）的门限为 $-209 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 或 $-149 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 。有必要考虑RAS 天线增益 G 的真实数值以判定干扰是否超过了有害的门限电平。

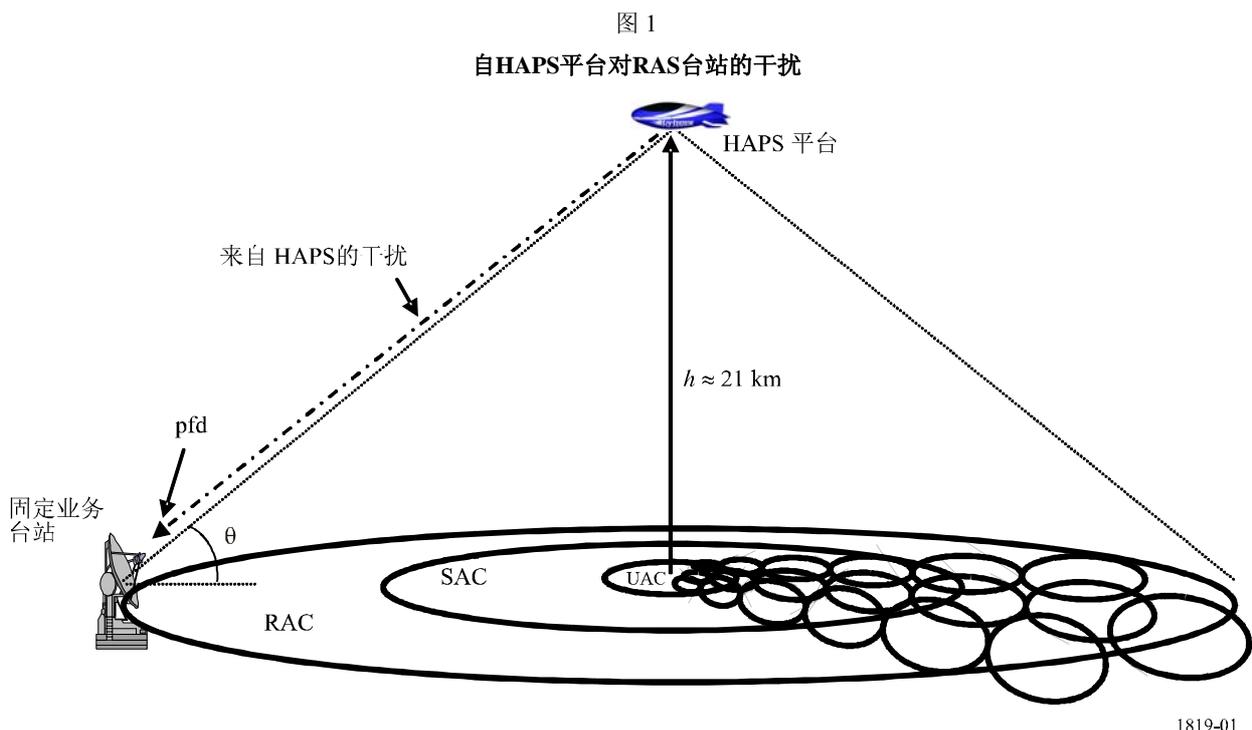
RAS天线增益通常非常之高，在70-80 dBi左右。在ITU-R SA.509建议书典型天线反应中，主瓣 5° 角处的旁瓣电平达15 dBi。0 dBi的旁瓣电平发生在主射束轴 19.05° 夹角处。由于主射束狭窄，对射电天文天线的干扰基本总是通过天线旁瓣收到的，所以此处假设HAPS平台不会靠近RAS天线主射束 5° 以内，这样本研究就不考虑主射束对干扰的反应。很显然，最好也不要将HAPS平台放置在RAS天线主射束 20° 范围以内，但这并不总是现实可行的。因此，本研究中干扰标准设为 $-164 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ ，以允许RAS天线的旁瓣增益可达15 dBi。

2.3 干扰抑制技术

每一个HAPS平台天线包含一个12级切比雪夫波导带通滤波器（Chebyshev waveguide passband filter），对来自通频带的无用信号，在大于四个3 dB带宽频率内的阻带抑制比高于70 dB。为进一步抑制在49 GHz对RAS的潜在干扰，它还使用了一个集成的5级切比雪夫阻带（陷波）滤波器，100 MHz阻带内陷波深度达 -25 dB 。这样总共提供了95 dB以上的阻带抑制来保护49 GHz的RAS频段。

2.4 干扰情况

假定的干扰情况见图1。在本假定情况中，收到HAPS平台发射的干扰信号的地面射电天文台站位于HAPS覆盖区的边缘或在其覆盖区之外。计算HAPS平台上所有的发射机产生的集总干扰，以提供功率通量密度(pfd)的上限。



UAC、SAC和RAC分别描述了HAPS的城区、郊区和农村覆盖。

2.5 基本传输损耗

根据ITU-R P.619建议书，单个HAPS平台台站天线至RAS台站的基本传输损耗可表示为：

$$L_b = 92.5 + 20 \log f + 20 \log d + A_g + A_D - G_S \quad \text{dB} \quad (1)$$

其中：

- f : 频率 (GHz)
- d : 路径长度(km)
- A_g : 大气气体衰减(dB)
- A_D : 波束扩展衰减(dB)
- G_S : 闪烁增益(dB)。

对于大气衰减，将使用ITU-R F.1501建议书。为进行干扰分析，只有最小衰减公式才有意义，因此在高纬度地区（大于45°），在47.2 GHz的频率上，选择了以下衰减 A_H 公式来提供最差情况的分析。

$$A_H(h, \theta) = 46.70/[1 + 0.6872\theta + 0.03637\theta^2 - 0.001105\theta^3 + 0.8087 \times 10^{-5}\theta^4] + h(0.2472 + 0.1819\theta) + h^2(0.04858 + 0.03221\theta) \quad (2)$$

该公式适用于 $0 \leq h \leq 3$ km且 $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ 的情况，其中 θ (degrees)是地面站相对于HAPS平台的仰角， h (km)是地面站在海平面以上的高度。对于 0° 以下的真实角度，应使用 0° 的衰减。

为进行最坏情况的分析，本研究不考虑波束扩展引起的衰减。

闪烁增益 G_S 是频率、地球站天线直径、仰角和当地气候的函数，可用预测的对流层闪烁强度进行计算。接收天线的孔径在平滑折射率波动中起着重要作用，天线孔径相对于第一菲涅尔带半径越大，接收孔径平均因子就越小，后者总是小于1。典型的RAS天线沿主波束轴的平均因子在0.1-0.7之间。对于离轴接收，平均因子接近1。

因为HAPS平台的最小仰角也大于 5° ，目前没有如何预测49 GHz闪烁增益的指南。但是，作为一个指导，ITU-R P.618建议书的等式(25)可用于评估闪烁幅度的标准偏差：

$$\sigma(f, \theta, D) = \sigma_{reference}(f_0, \theta_0, D_0) \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{7/12} \cdot \left(\frac{\sin(\theta_0)}{\sin(\theta)}\right)^{1.2} \cdot \frac{G(D)}{G(D_0)} \quad (3)$$

其中 $\sigma_{reference}(f_0, \theta_0, D_0)$ 是频率为 f_0 、仰角为 θ_0 、孔径直径为 D_0 时的闪烁幅度的参考标准偏差， $G(D)$ 是闪烁导致的孔径平均增益因子， f 、 θ 和 D 是被研究的RAS天线的频率、仰角和天线孔径。

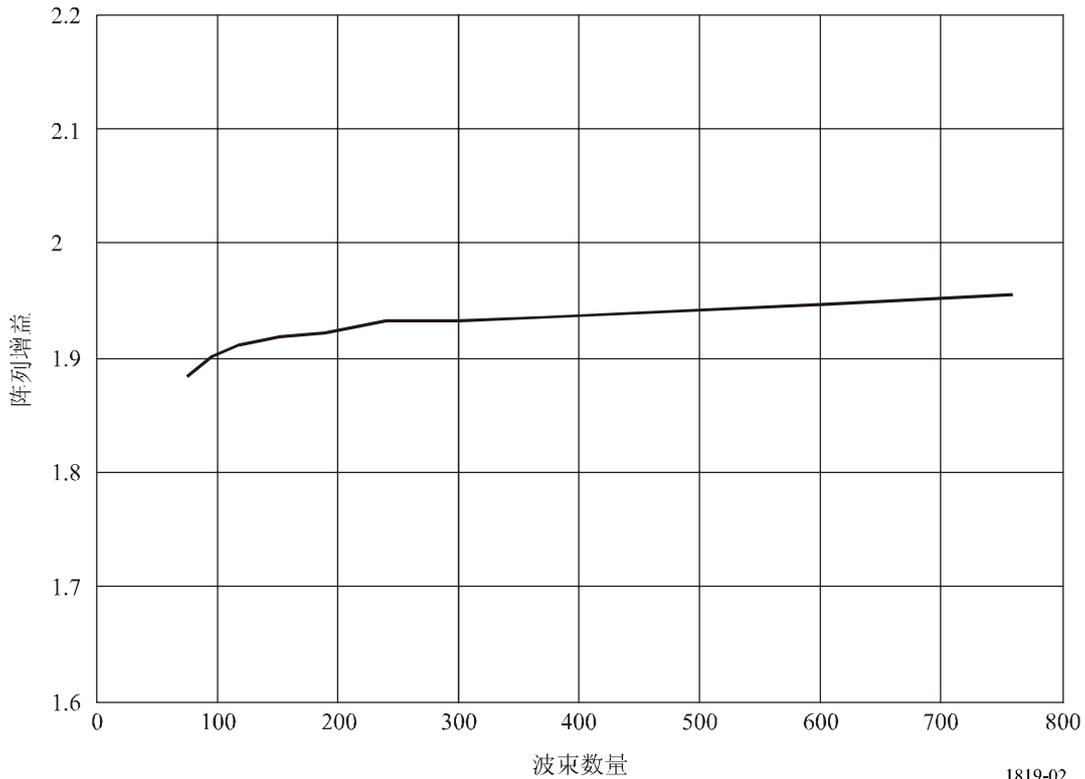
ITU-R P.452建议书的§ 4.4段也提供了用于计算地球表面台站之间在不超过 $p\%$ 的时间百分比内由于对流层散射导致的传输损耗的等式。但是，对流层散射损耗只适用于穿越地平线的路径（ITU-R P.452建议书§ 4.4段的注2），在HAPS平台中，这已是最低点500公里以外。因此，只要计算出的最小间隔距离小于该值，对流层散射可以忽略不计。其它诸如管道和绕射损耗等穿越地平线的损耗也是如此。

2.6 研究结果

为计算HAPS平台的集总干扰电平，必须首先计算阵列增益系数，以便获得有效发射天线增益 G_t 并在等式(1)给定所有损耗前提供总发射功率电平。假设HAPS天线成六角点阵放置半球表面，并以此计算阵列增益系数。应记住即使最小仰角为0，天线阵列也无法覆盖整个半球，因此，该计算对应着spfd限值的上限。另一个更为简化的假设是将所有其它的RAC天线替换为低增益的SAC天线，但直接指向被干扰地面接受机的RAC天线除外。与同信道干扰情况不同，所有的HAPS平台天线都与48.94-49.04 GHz的RAS频段内的无用发射有关。将单个天线增益（不是以dBi为单位）与阵列增益系数相乘后得到实际干扰的功率。

图 2

阵列增益系数与HAPS波束的总数



1819-02

图 2显示经计算的阵列增益系数接近2，与HAPS波束的数量几乎没有关系。因此，可假设只有一个单个HAPS天线直接指向RAS台站的天线，将获得的功率电平与阵列增益系数相乘即可评估出所有损耗前的干扰功率电平。既然阵列增益系数总是小于2，本计算中阵列增益系数取值为2。

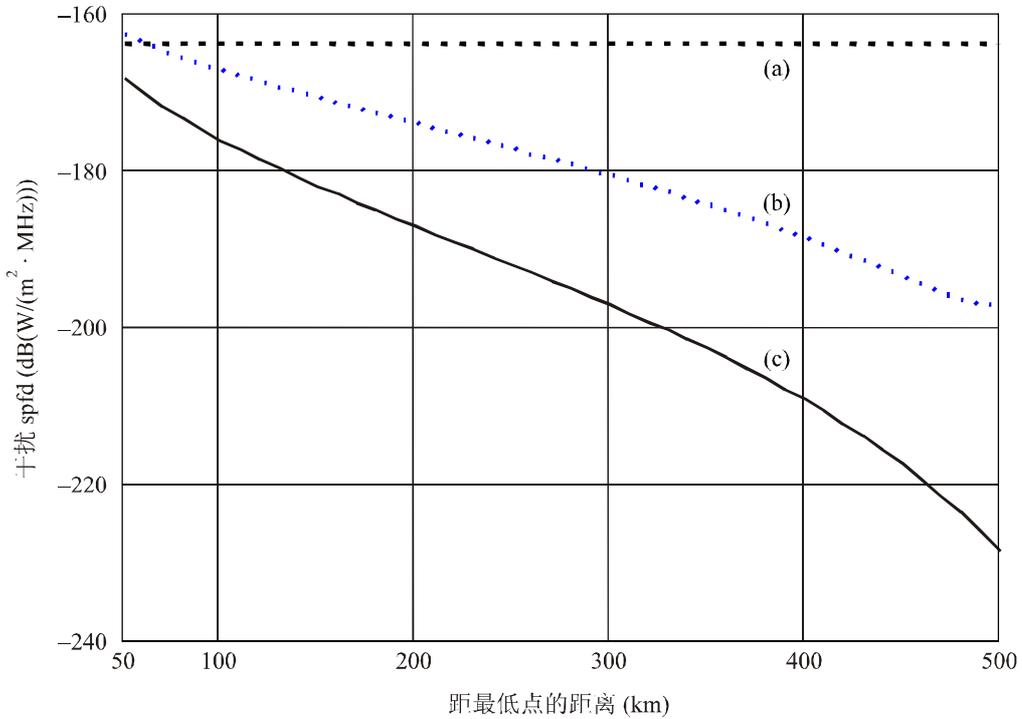
下列图 3显示了一个RAS台站位于HAPS平台最低点50-500公里处所遇到的干扰spfd估计最大值。此处假设发射带宽为11 MHz，线缆/馈源综合损耗为5 dB，并采用了95 dB的阻带衰减来获得最终的结果。如实曲线所示，计算得出的spfd值在50和500公里处，分别是 $-176.3 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 和 $-236.6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 。

为了解对流层散射闪烁的效应，使用ITU-R F.1501建议书的等式(3)，1982年夏天在斯匹茨卑尔根岛Isfjord电台获得的 3.2° 仰角长期测量数据被外推至49 GHz和其他仰角。应注意到等式(3)并未被建议用于仰角小于 4° 或频率低于20 GHz的情况。所以这种使用并未完全正确，只是用来获得一个大概的估计。斯匹茨卑尔根岛的测量数据显示闪烁幅度增益超过12 dB的只占时间百分比的0.001%。图中的虚线代表增加外推的对流层闪烁增益后，由于49 GHz无线电波对流层散射而增加的干扰，而实线则是闪烁增益为0时的干扰电平。为获得最坏情况的评估，并研究并未考虑RAS天线孔径平均增益系数 $G(D)$ ，该系数总是小于1。如果将这个因素考虑在内，产生干扰的spfd电平在 $-172.0 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 到 $-212.5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ 之间。产生干扰的pfd明显的增加代表着无线电信号在低仰角的大幅增强。当不考虑对流层闪烁增益时，spfd范围一直位于 $-164 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ ，即RAS的spfd保护门限以下。考虑闪烁增益后，最小的间隔距离大约是51公里。但是，如果HAPS平台在RAS天线主波束轴 5° 以外，最小的间隔距离即使考虑到闪烁因素，也很可能是可以忽略不计的。当距离大于200公里后，spfd快速下降，意味着大气衰减作用的快速增长。与距最

低点200公里对应的仰角是5°。上述计算基于被干扰固定业务地面站位于海平面的假设。因为大气衰减的降低，位于海平面以上的固定业务地面站将受到更多干扰。

图 3

天线收到的spfd与距最低点的距离



曲线 (a): RAS的保护门限
 曲线 (b): 考虑闪烁增益后的干扰电平
 曲线 (c): 闪烁增益为0时的干扰电平

1819-03

3 用于保护射电天文业务的 RAS 天线与 HAPS 平台电台最低点之间的最小间隔距离

为保护48.94-49.04 GHz频段内的射电天文观测免受在47.2-47.5 GHz和47.9-48.2 GHz频段内操作的HAPS平台的影响，建议RAS天线与HAPS平台最低点之间的间隔距离应超过50公里。

