

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R F.1509-3 建议书
(09/2015)

**便于25.25-27.5 GHz频段内
固定业务点对多点系统
与卫星间业务共用的
技术和操作要求**

**F 系列
固定业务**



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

© 国际电联 2016

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 F.1509-3 建议书*

便于25.25-27.5 GHz频段内固定业务点对多点系统
与卫星间业务共用的技术和操作要求

(ITU-R 118/7号课题)

(2001-2009-2013-2015年)

范围

本建议书提供了固定业务中中心和用户点对多点台站在朝向同步卫星轨道方向的最大 e.i.r.p.密度, 以便在 25.25-27.5 GHz 频段内与卫星间业务共用。本建议书中的参考 e.i.r.p.密度考虑了在最低必要电平发射的必要性, 同时也考虑了固定业务 (FS) 台站用于降雨事件的发射机自动功率控制 (ATPC)。

关键字

数据中继卫星、轨道位置、e.i.r.p.、频谱密度

国际电联无线电通信全会,

考虑到

- a) 25.25-27.5 GHz频段作为主要业务划分给固定、移动和卫星间业务;
- b) 除点对点固定业务 (FS) 系统外, 点对多点 (P-MP) FS系统也计划在25.25-27.5 GHz内进行操作;
- c) 卫星间业务的空对空无线电通信链路在25.25-27.5 GHz频段内使用;
- d) 低轨用户卫星和同步数据中继卫星 (DRS) 之间建立的空对空链路以及低轨空间电台附近用户之间的邻近操作通信系统 (POCS);
- e) 这些链路, 尤其是DRS网络的空对空链路, 设计可以2 dB到4 dB左右的余量操作;
- f) 卫星链路易受地理范围很大的视场内固定业务系统发射所产生干扰的影响;
- g) 确定具体的需保护轨道位置而不是轨道弧, 对共用频段的固定业务, 尤其是那些高纬度的台站的限制较少,

* 本建议书是由无线电通信第7和第5研究组联合制定的且这两个研究组应共同承担进一步修订的责任。

认识到

- a) POCS链路的保护标准可查阅ITU-R SA.609建议书且DRS链路的保护标准可查阅ITU-R SA.1155建议书；
- b) 如ITU-R SA.1018建议书所述，数量有限的DRS网络或已经部署在地球同步轨道，或正在实施阶段，其轨道位置如ITU-R SA.1276建议书所述（见注释1）；
- c) ITU-R F.758建议书提供了由特定频率范围的典型系统总结概括的各种固定无线系统参数，

做出建议

1 对于工作在25.25-27.5 GHz频段内P-MP FS网络的中心站的每一个发射机（e.i.r.p.限值的背景见附件1）：

1.1 本地水平面之上仰角为 θ 的1 MHz频段内，任何发射的e.i.r.p.谱密度在任何ITU-R SA.1276建议书所规定的地球同步轨道（GSO）位置方向上不得超过以下值（见注释1、2和3）：

+8 dBW 对于 $0^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$

+14 - 10 log($\theta/5$) dBW 对于 $20^\circ < \theta \leq 90^\circ$

1.2 本地水平面之上仰角为 θ 的1 MHz频段内，任何发射的e.i.r.p.谱密度不得超过以下值：

+14 dBW 对于 $0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$

+14 - 10 log($\theta/5$) dBW 对于 $5^\circ < \theta \leq 90^\circ$

1.3 在FS中心发射站和接收站之间出现雨衰的条件下，发射中心站可采用自动发射功率控制（ATPC）来增加其发射功率，其增加量不得超过雨衰量，以便在任何1 MHz频段内，发射的e.i.r.p.谱密度在任何ITU-R SA.1276建议书所规定的GSO位置方向上不得超过+17 dBW；

2 对于工作在25.25-27.5 GHz频段内P-MP FS网络的用户站的每一个发射机e.i.r.p.谱密度应遵循ITU-R F.1249建议书的做出建议2和3；

3 以下的注释1、2、3为本建议书的一部分：

注释 1 – ITU-R SA.1276-4建议书规定了以下的地球同步DRS轨道位置：10.6° E、16.4° E、16.8° E、21.5° E、47° E、59° E、77° E、80° E、85° E、89° E、90.75° E、95° E、113° E、121° E、133° E、160° E、167° E、171° E、176.8° E、177.5° E、12° W、16° W、32° W、41° W、44° W、46° W、49° W、62° W、139° W、160° W、164.2° W、167.5° W、170° W、171° W和174° W。

当修订ITU-R SA.1276建议书以增加新的DRS轨道位置时，本建议书修订版中对这些新轨道位置中空间站的保护仅适用于在ITU-R SA.1276建议书修订版生效后设置的固定业务台站。

注释 2 – 辐射到同步DRS轨道位置的e.i.r.p.谱密度应作为发射功率谱密度和DRS方向全向或扇形天线增益的乘积进行计算。如果没有中心站天线的辐射方向图，应采用ITU-R F.1336建议书中的参考辐射方向图。计算应考虑大气折射效应和视地平（local horizon）。附件2给出了计算夹角的计算方法。

注释 3 – 对于采用单频率操作（同一频率在时分基础上同时用于发射和接收）的中心站情况，做出建议1中的e.i.r.p.谱密度可放宽 $7 \log(1/\delta)$ dB，其中 δ ($0 < \delta < 1$)为中心站发射信号的时间比例。但是，即使对于小 δ ，该放宽也不得超过3 dB。

附件 1

25.25-27.5 GHz频段内固定业务点对多点中心站 发射对DRS系统和POCS干扰的 空间和时间分布分析

1 引言

本附件提供了计算机仿真获得的、25.25-27.5 GHz 频段内全球部署的固定业务点对多点中心站发射对特定轨道位置的 DRS 系统和 POCS 干扰的空间和时间分布。这些 P-MP FS 系统常称为“本地多点分配系统（LMDS）”。在本分析中，每个中心站的波峰（peak-of-beam）e.i.r.p. 谱密度假定为+8 dB(W/MHz)（ITU-R F.2108 报告中将此作为点对多点系统中心站的典型值）。无论其相对于 DRS 轨道位置的地理位置如何，单个按照+8 dB(W/MHz)的 e.i.r.p. 谱密度进行操作的 LMDS 发射站未超出 ITU-R SA.1155 建议书中规定的保护电平。−148 dB(W/MHz)的保护电平不得在轨道周期 0.1%以上的时间内超出。但是，在某些几何条件下，城市人口中心区内多个同信道 LMDS 发射站的集总效应可产生超过 DRS 保护电平的干扰。

第 2 节描述了评估 DRS 干扰的空间和时间分布而采用的方法和假定。在该附件中，分别 在第 3 段和第 4 段介绍了研究 A 和研究 B。在研究 A 中，假定了 e.i.r.p.谱密度为 +8 dB(W/MHz)，而在研究 B 中，采用了+14 dB(W/MHz)的 e.i.r.p.谱密度。第 3 节介绍了在特定轨道位置对 DRS 干扰的空间和时间分布。它表明在本地水平面，一个包含 29 个 DRS 可见中心站的业务区的发射的 e.i.r.p.谱密度根据+8 dB(W/MHz)进行操作时，其对 DRS 的干扰可能要比建议干扰电平高出 9 dB。第 3 段还包括在根据国际空间站的轨道特性跟踪低轨用户卫星时，用来判定 DRS 干扰时间特性的动态仿真结果。其结果表明，对于少数带有升交点因而导致用户卫星与地球边缘或接近边缘地区的城市人口中心连成一线的轨道，干扰的时间可能超出用户卫星轨道周期 0.1%以上的时段。第 4 节介绍了研究 B 的结果。第 5 节介绍了将本研究结果扩展到采用更小小区的 LMDS 部署的简单方法。第 6 节讨论了对 POCS 的干扰。结果表明，根据+14 dB(W/MHz)的 e.i.r.p.谱密度，从 LMDS 中心站对 POCS 接收机天线的集总

干扰在所有时间都远低于-147 dB(W/MHz)的保护标准。第7节给出了研究的结论并建议了促进空间科学业务、卫星间业务和 P-MP FS 系统之间共用的特性。

2 方法

已采用计算机仿真来评估假定在 25.25-27.5 GHz 频段内操作的大量潜在高密度 P-MP FS 系统的发射对 DRS 系统干扰的空间和时间分布。该仿真中包含的基本方法是在城市人口中心部署许多 LMDS 中心站，然后判定这种部署造成的空间和时间干扰。要判断空间分布，在横滚和俯仰上扫描 DRS 的高增益接收天线时，在特定轨道位置上对 DRS 的集总干扰进行计算。该方法述于第 2.1 段。用来判定干扰时间特性的方法述于第 2.2 段。在两种情况下，仿真考虑了：在 DRS 方向的 e.i.r.p. 谱密度和 LMDS 发射站的增益、大气吸收、路径损耗以及在产生干扰的 LMDS 站方向上 DRS 接收天线的增益。

2.1 空间分布

预计 LMDS 台站部署在城市人口中心的蜂窝配置中，以便为商业、政府和家庭提供中等到高容量的交互式或广播类型数字通信业务。这些业务可包括互联网接入、话音、数据和视频。在本分析中，假定 LMDS 业务区的集总同信道发射建模为作为采用功率谱密度等于业务区内每一个 LMDS 中心站输入端功率谱密度总和的发射机的单个台站且单个发射天线提供可为接受的视地平之上 e.i.r.p. 谱密度分布的描述。

已假定对于这些仿真，每个中心站发射的 e.i.r.p. 谱密度为 +8 dB(W/MHz)¹ 且单个服务区的集总 LMDS 发射与城市人口中心的中心站数量成比例。

用于仿真的具体模型如下。从远距离发射站接收的功率可写为：

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{l_1 l_2 l_3} \quad (1)$$

其中：

P_r ：在所述频段内天线输出端的接收功率谱密度（本分析中，表示为功率谱密度 (W/MHz)）

¹ 本分析中，0°仰角和在中心所有方位角中，波束中心发射峰值假定为 +8 dB(W/MHz)。也假定邻近天线扇形在相同频率采用正交线极化进行操作。

P_t : 相同频段内天线输入端指定为接收功率的发射功率（本分析中，表示为功率谱密度 (W/MHz)）

G_t : 发射天线在相对于全向辐射源（数字）接收台站的方向上发射天线的增益

G_r : 接收天线在相对于全向辐射源（数字）发射台站的方向上发射天线的增益

l_1 : 自由空间传播损耗（数字）

l_2 : 由于几种静止和时间相关大气效应而超出自由空间损耗的损耗（数字）

l_3 : 极化耦合损耗（数字），等于发射和接收天线同极化时的整体²。

自由空间传播损耗为：

$$l_1 = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2)$$

其中：

d : 发射站和接收站之间的距离（米）

λ : 波长（米）。

每个同频发射站构成一个至接收机的无线电链路。假定为发射无关联信号的 n 个链路中每一个链路的接收功率叠加，构成由下式给定的集总接收功率：

$$P_r = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ti} G_{ti} G_{ri}}{l_{1i} l_{2i} l_{3i}} \quad (3)$$

其中，其条件如前述，增加了下标 i 来表示每一条链路。

集总干扰是每个发射站干扰的总和。每个发射站的干扰根据发射和接收天线增益决定，并考虑各自天线的离轴角。

为加快计算并考虑到对于单个部署地区，一些条件基本是固定不变的，公式(3)进一步改进为：

$$P_r = \sum_{i=1}^m \frac{G_{ti} G_{ri} \sum_{j=1}^q P_{tij}}{l_{1i} l_{2i} l_{3i}} \quad (4)$$

其中：

q : 特定部署区域内中心的数量

² 对于线极化发射天线（常用于固定业务中）和圆极化卫星接收机天线之间的主波束对准， l_3 假定为2。

m : 部署区域的数量。

随后的分析表明, 对于仿真的干扰情形, 公式(4)的简化造成的误差小于 1 dB。

LMDS 系统的部署假定对应着 431 个城市人口中心的位置, 联合国估计这些中心的人口到 2015 年将超过 750 000 人 (见联合国人口处《都市集聚 1950-2015 年, 1996 年修订版》, 美国纽约, 1996 年) (磁盘有售)。

包含整个人口 P 的等效圆形区域半径 R_p (公里) 的经验关系由下式给定:

$$R_p = \alpha \times P^\beta \quad (5)$$

对于美国, 发现 $\alpha = 0.035$ 且 $\beta = 0.44$ 能提供令人满意的结果。对于世界其他区域, 发现 $\alpha = 0.0155$ 且 $\beta = 0.44$ 可提供令人满意的估计。

公式(5)用于估计为包含都市集聚 (urban agglomeration) 内整个人口的业务区提供服务所需的中心站数量。假定每个中心站为半径为 R_h 的圆形区域提供服务, 则中心数量 N 将是:

$$N = \text{Int} \left(\eta \left(\frac{R_p}{R_h} \right)^2 + 0.5 \right) \quad (6)$$

其中:

N : 假定半径小区的中心数量

$\text{Int}()$: 表示自变量的整数值

R_p : 城区的等效半径 (公里)

R_h : 典型 LMDS 小区的半径 (公里)

η : 部署系数 ($0 < \eta \leq 1$)。

仿真假定小区半径为 5 公里且部署系数为 0.30。该部署系数考虑了经济、人口统计和地理因素以及一些主管部门可能制定政策, 不将相关频段用于 P-MP FS 系统。采用联合国人口数据库和公式(5)和(6)计算出的最大中心站数量, 美国纽约为 35, 日本东京为 11。该方法计算出的全球同频中心站的总部署量为 944。注意到在该附件中仅考虑了全球同频中心的部署。

中心站的参考辐射方向图基于 ITU-R F.1336 建议书。采用四个扇形天线获得全向辐射方向图, 每个增益为 15 dBi, 且水平面的波束宽度为 $90^\circ \pm 3$ dB。此外, 对于视轴到视轴的耦合, 假定了 3 dB 的极化隔离, 以考虑线极化中心站发射天线和圆极化 DRS 接收天线。发射天线的参考辐射方向图, 不考虑其下倾斜, 在垂直平面符合以下模式:

$$G(\theta) = G_0 - 12 \left(\frac{\theta}{\varphi_3} \right)^2 \quad \text{对于 } |\theta| \leq \varphi_3 \quad (7a)$$

$$G(\theta) = G_0 - 12 - 10 \log \left(\frac{\theta}{\varphi_3} \right) \quad \text{对于 } |\theta| > \varphi_3 \quad (7b)$$

其中:

$G(\theta)$: 相对于全向天线的增益(dBi)

G_0 : 水平面最大增益 (dBi)

θ : 垂直平面仰角 (度)

φ_3 : 垂直平面3 dB波束宽度 (度)。

$$\varphi_3 = \frac{31\,000 \times 10^{-0.1G_0}}{90} \quad (7c)$$

通过采用以下公式来考虑 LMDS-DRS 路径上的大气吸收, 根据 ITU-R F.1404 建议书, 这些公式适用于 27.5 GHz:

$$A_{LowLat} = 22.73 / \left[1 + 0.9463\theta + 0.03455\theta^2 + h(0.3232 + 0.4519\theta) + h^2(0.2486 + 0.1317\theta) \right] \quad (8a)$$

$$A_{MidLat} = 11.96 / \left[1 + 0.8121\theta + 0.03055\theta^2 + h(0.2619 + 0.4728\theta) + 1409h^2 \right] \quad (8b)$$

$$A_{HiLat} = 8.77 / [1 + 0.8259\theta + h(0.2163 + 0.3037\theta) + 0.1067h] \quad (8c)$$

其中:

A_{LowLat} : 低纬度地区 ($\pm 22.5^\circ$ 之间的纬度) 大气吸收(dB)

A_{MidLat} : 中纬度地区 (22.5° 和 45° 之间的纬度) 大气吸收 (dB)

A_{HiLat} : 高纬度地区 (45° 以上的纬度) 大气吸收 (dB)

θ : 仰角 (度), $0 \leq \theta \leq 90^\circ$

h : 发射天线平均海拔(amsl)高度(公里), $h \leq 3$ 公里。

每个 LMDS 站发射天线的高度假定为平均海拔高度之上 0.50 公里。

DRS 卫星采用高增益可调接收天线来跟踪低轨用户卫星。在空间分析中, 独立变量为同步 DRS 卫星的轨道位置 (假定轨道倾角为 0) 以及可调天线的横滚和俯仰角。横滚和俯仰角在以 DRS 为中心的圆坐标系中定义。x 轴指向地心, y 轴指向卫星速度向量, z 轴与地球旋转轴平行。根据这种方法定义局部坐标系, 围绕 x 轴旋转称为偏航, 围绕 y 轴旋转称为横滚, 围绕 z 轴旋转称为俯仰。

通过按照 0.2° 的增量扫描 DRS 接收天线的横滚和俯仰来判定干扰环境的空间分布。在每个 DRS 指向位置，计算 DRS 可视范围内每个 LMDS 站发射的集总干扰，并考虑到至 DRS 的仰角、LMDS 发射在 DRS 方向的 e.i.r.p. 谱密度、大气吸收、距离和 DRS 接收天线在 LMDS 站方向的增益。DRS 接收天线的视轴增益假定为 58 dBi，其辐射方向图符合 ITU-R S.672 建议书中给定的、第一旁瓣电平为 -20 dB 的圆对称天线参考辐射方向图。

$$G(\varphi) = G_0 - 12 \left(\frac{\varphi}{\varphi_3} \right)^2 \quad \text{对于 } 0 \leq \varphi \leq 1.29 \varphi_3 \quad (9a)$$

$$G(\varphi) = G_0 - 20 \quad \text{对于 } 1.29 \varphi_3 < \varphi \leq 3.16 \varphi_3 \quad (9b)$$

$$G(\varphi) = G_0 - 20 - 25 \log \left(\frac{\varphi}{3.16 \varphi_3} \right) \quad \text{对于 } 3.16 \varphi_3 < \varphi \text{ and } G(\varphi) \geq 0 \quad (9c)$$

$$G(\varphi) = 0 \quad \text{其他情况} \quad (9d)$$

其中：

G_0 : 最大同轴增益(dBi)

$G(\varphi)$: 偏轴增益 (dBi)

φ : 偏轴角 (度)

φ_3 : 3 dB波束带宽 (度)

$$\varphi_3 = \sqrt{27\,000 \times 10^{-0.1G_0}} \quad (9e)$$

2.2 时间分布

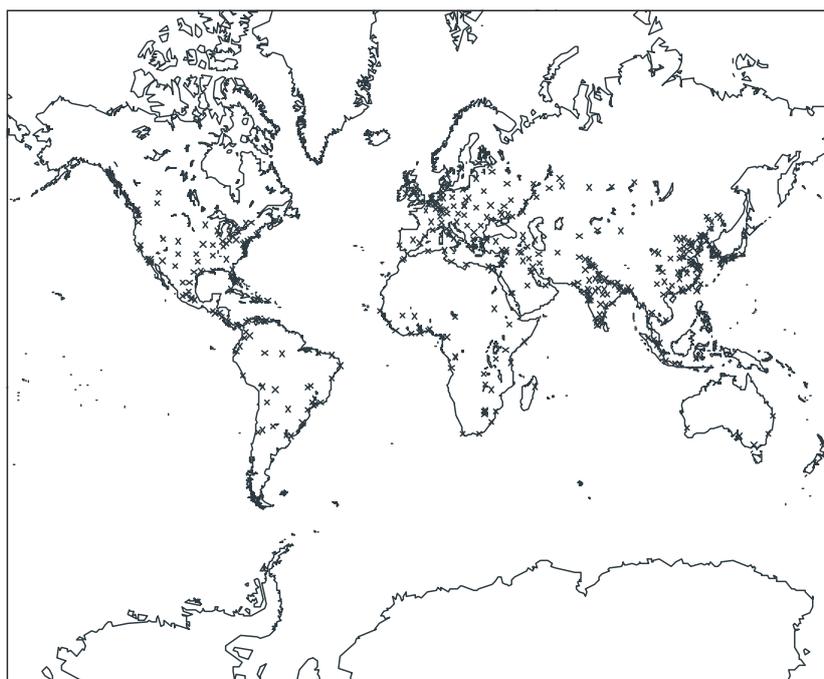
DRS 接收系统干扰的时间特性也由计算机仿真判定，但在这种情况下，采用了动态仿真。LMDS 中心站的技术和操作特性及其假定部署述于第 2.1 段。假定一个 DRS 卫星位于一个规定的同步轨道位置并跟踪向 DRS 发射的低轨卫星，其接收系统特性述于第 2.1 段。低轨卫星的轨道高度为 400 公里，相对于赤道平面的倾角为 51.6° – 这是国际空间站的典型轨道特性。在第 4 段中，还将考虑轨道高度为 800 公里、倾角为 98.6° 的地球观测卫星 (EOS)。假定 DRS 接收天线按照 1 秒的增量，沿着其轨道无误差地跟踪一颗低轨卫星。在其轨道中的每个位置，确定 10 天内每一个轨道位置上所有视场内 LMDS 中心站对 DRS 接收系统的集总发射干扰。轨道周期定义为连续穿越南北方向赤道平面的所用时间。

3 研究A的结果

图 1 显示了 431 个部署区域的全球分布情况。获得了两组 DRS 轨道位置的空间分布结果并在第 3.1 段中作了介绍。干扰的时间特性述于第 3.2 段。

图1

LMDS系统的假定位置



F.1509-01

3.1 空间分布

确定了两组。第一组包含美国操作的 DRS 卫星的轨道位置。按照横滚和俯仰 0.2° 的增量确定了对位于这些轨道位置 DRS 干扰的空间分布。第二组包含了 ITU-R SA.1276 建议书中规定的需要保护不受 FS 系统发射干扰的所有 DRS 轨道位置。

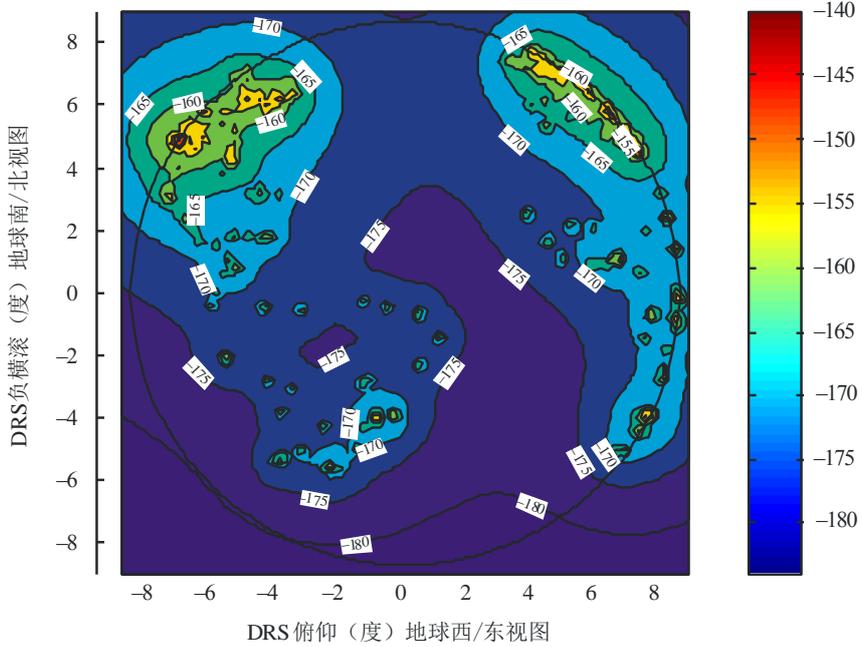
3.1.1 位于 41° W、 174° W 和 85° E 的 DRS 轨道位置

图 2 显示了对位于 41° W 一颗同步 DRS 卫星的干扰的空间分布等值线图。该图基于 DRS 卫星可见的每个 LMDS 中心站在视地平上的 e.i.r.p. 谱密度为 $+8$ dB(W/MHz)。所有中心站的 e.i.r.p. 谱密度每增加 1 dB，对 DRS 的干扰就会增加 1 dB。当 DRS 天线在横滚上的指向角为 5° 且在俯仰上的指向角为 -7.2° 时，产生了最大的干扰电平 -139 dB(W/MHz)；当 DRS 接收天线指向南极时，产生了最小的干扰电平 -180 dB(W/MHz)。与 ITU-R SA.1155 建议书中给出的电平相比，这些电平属于多出 9 dB 到少于 32 dB 的范围之内。假定所有中心站的 e.i.r.p. 谱密度为 $+8$ dB(W/MHz)，则对 DRS 的干扰主要发生在跟踪卫星至地球北半球边缘地区时。注意到超出 DRS 保护电平的区域相对较小且对于绝大多数扫描点，DRS 保护电平是可以满足的。

图2

位于41° W的DRS卫星的干扰 (dB(W/MHz)) 空间分布，假定全球431个站点共944个中心按照+8 dB(W/MHz)进行操作。大圆为地球圆形。请注意北美两个区域和欧洲一个区域的干扰超出了DRS的保护电平

位于41° W的DRS卫星按照 0.2° 的分辨率扫描地球



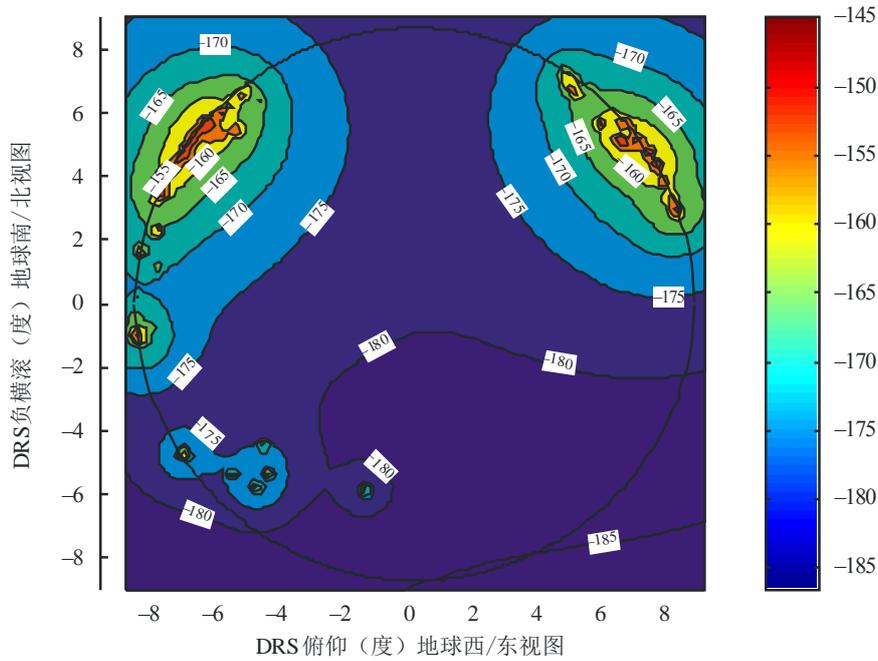
F.1509-02

图 3 和图 4 分别显示了对 174° W 和 85° E 轨道位置 DRS 干扰的空间分布。这些分布与 41° W 的结果类似。对于位于 174° W 轨道位置的 DRS，总干扰峰值为-144.9 dB(W/MHz)。对于位于 85° E 轨道位置的 DRS，最大干扰为-146.0 dB(W/MHz)。对于 41° W 轨道位置 DRS 的情况，当 DRS 接收天线指向城市人口中心或接近地球边缘地区时，产生了最大的干扰电平。

图3

位于174° W的DRS卫星的干扰 (dB(W/MHz)) 空间分布, 假定全球431个站点共944个中心按照+8 dB(W/MHz)进行操作。大圆为地球圆形

位于 -174° W的DRS卫星按照 0.2° 的分辨率扫描地球

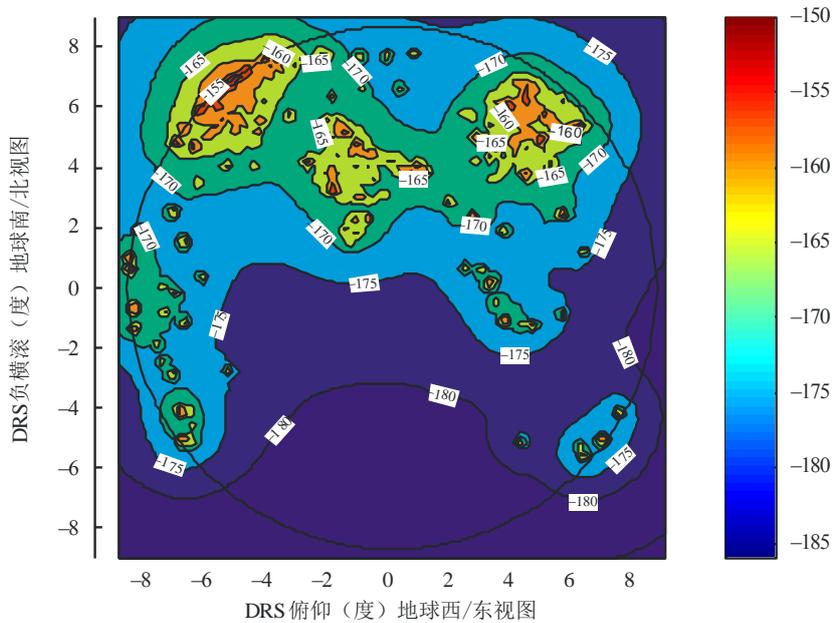


F.1509-03

图4

位于85° E的DRS卫星的干扰 (dB(W/MHz)) 示例, 假定全球431个站点共944个中心按照+8 dB(W/MHz)进行操作。大圆为地球圆形

位于 85° E 的DRS卫星按照 0.2° 的分辨率扫描地球



F.1509-04

3.1.2 ITU-R SA.1276建议书中所述的DRS轨道位置

ITU-R SA.1276 建议书列举了需要尽量保护（ITU-R F.1249 建议书），以免受到工作在 25.25-27.5 GHz 频段的 FS 系统超出 DRS 保护电平干扰影响的 23 个 DRS 轨道位置。表 1 总结了 ITU-R SA.1276 建议书规定的每个轨道位置仿真的峰值干扰结果。采用了横滚和俯仰 0.2° 的扫描分辨率。表 1 也显示了通过标准偏差测量的峰值干扰电平的变化在各个轨道位置小于 4 dB。该观测数据意味着从一个轨道位置到另一个轨道位置的峰值干扰变化是相对较小的。

表 1 显示了扫描方向峰值干扰的摘要以及每个卫星轨道位置的峰值总干扰。峰值总干扰平均为 -144.3 dB(W/MHz) 。在任何轨道位置和任意扫描方向的最大总干扰为 -139 dB(W/MHz) 。也列举了占峰值总干扰比例最大的部署区域的干扰所占比例。

仿真表明，LMDS 系统的广泛部署造成的峰值干扰要比单个部署区域造成的干扰高 3 dB。此处定义为总峰值干扰和主要促成因素导致的干扰之间差异（单位为 dB）的集总增益系数也示于表 1。平均集总增益为 2.5 dB。仿真表明，平均起来，峰值总集总干扰属于占干扰主要比例的城市人口中心主要干扰的 2.5 dB 范围之内。可得出结论，通过在城市集总 e.i.r.p.上增加 2.5 dB，城市人口中心集总 e.i.r.p.，即单个朝向特定 DRS 轨道位置的中心 e.i.r.p.总和可用来预测在绝大多数 DRS 轨道位置上可能发生的峰值干扰。

从表 1 可看出，朝向主要干扰促成因素的卫星的平均仰角大约为 7° 。没有观测到部署区所造成的峰值干扰的仰角小于 1.5° 的情况。

也可从表 1 得出结论，如果 LMDS 中心站发射天线对于 5° 以上的仰角显示出额外的损耗，在数个轨道位置接收到的总干扰将减少大约与天线额外损耗相等的数值。由此，对于某些部署区域，LMDS 发射天线垂直面的成形可能是降低特定 DRS 轨道位置干扰的一种有益方法。

表 1 还包括了 ITU-R P.837 建议书所规定的主要干扰促成因素的降雨气候区（雨区）。预期中心站的操作功率取决于链路可用性目标、链路距离和系统所在的降雨气候区。ITU-R F.758 建议书包含了针对 25.25-27.5 GHz 频段设备的具体备注。在 ITU-R F.758 建议书的表 17 中，注释 8 指出，工作在 5 公里之外且 e.i.r.p.谱密度为 $+8 \text{ dB(W/MHz)}$ /中心的系统可提供 37 dB 的链路余量。ITU-R F.755 建议书，特别是表 8 指出，5 公里距离上的 37 dB 链路余量足以在雨区 K 提供 0.9999 的链路可用性。在降雨率超过雨区 K 的雨区，37 dB 的链路余量足以提供 0.9999 的链路可用性。可暂时做出结论，在降雨率小于雨区 K 的雨区，LMDS 系统可在 5 公里的距离上按照低于 8 dB(W/MHz) 的中心 e.i.r.p.进行操作，并可降低对 DRS 的干扰。也可得出结论，在降雨率大于雨区 K 的雨区，对于某些部署，如果中心 e.i.r.p.密度要限制在 8 dB(W/MHz) 以便于与 DRS 共用，那么系统的操作要受到限制。

表1

ITU-R SA.1279建议书中给定的、在DRS轨道位置上、DRS视场内的峰值干扰摘要
(假定全球431个城市的944个中心站按照+8 dB(W/MHz)进行操作)

卫星东经 轨道位置 (度)	主要干扰 源的北纬 纬度 (度)	主要干扰源 的东经经度 (度)	主要干扰源 中心/雨区		主要干扰源区 域朝向 DRS 的 e.i.r.p. (dB(W/MHz))	主要干扰源 朝向 DRS 观 测到的仰角 (度)	来自主要干扰 源的干扰 (dB(W/MHz))	当指向主要干 扰源时的峰值 总干扰 (dB(W/MHz))	集总增益 (dB)
-174	32.833	-96.833	10	M	17.7	2.4	-144.6	-144.3	0.3
-171	32.833	-96.833	10	M	16.8	4.8	-143.0	-142.8	0.2
-170	39.133	117.200	5	H	13.8	4.8	-146.0	-142.0	4.0
-160	41.830	-87.750	16	K	18.9	4.6	-143.1	-141.1	2.0
-139	40.750	-74.000	35	K	17.9	10.2	-143.1	-140.9	2.2
-62	51.467	6.983	3	E	11.7	4.4	-148.3	-142.7	5.6
-49	34.000	-118.167	29	E	18.6	8.6	-140.2	-139.3	0.9
-46	34.000	-118.167	29	E	20.6	6.2	-140.3	-139.0	1.3
-44	34.000	-118.167	29	E	21.5	4.6	-140.2	-139.3	0.9
-41	34.000	-118.167	29	E	22.4	2.2	-140.3	-139.0	1.3
-32	40.750	-74.000	35	K	13.0	26.5	-145.7	-145.4	0.3
-16	42.330	-83.080	10	K	14.4	8.2	-145.7	-140.8	4.9
16.4	23.700	90.367	7	N	14.4	6.1	-146.6	-145.0	1.6
21.5	23.700	90.367	7	N	10.2	10.8	-149.3	-147.7	1.6
47	31.250	121.500	7	M	15.3	4.7	-145.6	-143.4	2.2
59	34.400	135.270	4	M	13.6	2.9	-151.1	-145.6	5.5
85	48.130	16.220	1	K	6.4	5.5	-153.9	-146.7	7.3
90	52.250	18.983	2	H	10.3	3.6	-150.2	-147.8	2.4
95	41.033	28.950	5	K	10.3	9.3	-151.6	-149.3	2.3
113	36.200	44.017	2	K	7.3	8.3	-154.9	-150.1	4.8
121	36.200	44.017	2	K	10.8	2.1	-151.4	-148.4	3.0
160	37.750	-122.500	10	D	17.9	1.5	-145.3	-143.8	1.5
177.5	34.000	-118.167	29	E	14.2	12.6	-146.4	-145.3	1.1
最大					14.2	26.5	-140.2	-139.0	7.2
平均值					14.7	6.7	-146.4	-144.3	2.5
标准 偏差					4.4	5.3	4.4	3.4	1.9
最小					6.4	1.5	-154.9	-150.1	0.2

3.2 时间分布

已评估了 ITU-R SA.1276 建议书中所列的三个轨道位置，即 41° W、174° W 和 85° E 的跟踪低轨用户卫星 DRS 干扰的空间特性。空基空间站被假定为低轨用户卫星，它工作在 400 公里的高度，相对于赤道平面的倾角为 51.6°。

按照 1 秒的增量进行了一个轨道周期 10 天的动态仿真。在每个间隔时间，计算了视场内所有 LMDS 中心站发射的集总干扰并用来判定该特定轨道周期干扰的累积分布函数 (CDF)。由于在 10 天的周期内有 145 次绕轨，每个动态仿真生成了 145 个 CDF。对于位于 41° W 的一个 DRS，图 5 显示了低轨用户卫星单个和连续轨道超出概率的曲线族。曲线对应着超出轨道周期 99%、20% 和 0.1% 的干扰电平。该超出概率曲线族是根据横坐标为干扰电平和纵坐标为卫星位于 DRS 视场内的开始时间绘制的。此图还显示了对应着 -148 dB(W/MHz) 干扰电平的垂直线。从该图可看出，所有干扰电平超过 -148 dB(W/MHz) 的轨道有 11 条。此外，该图还指出，干扰超过 -148 dB(W/MHz) 范围的轨道时间从最小的 7.7 小时到最大的 71 小时不等。图 6 显示了干扰超过 -148 dB(W/MHz) 时段的干扰的单个时间序列。如图所示，超过上述保护电平的干扰持续时间从不到 10 秒到不到 60 秒不等。

图5

位于41° W、跟踪位于国际空间站类型轨道上
低轨用户卫星的DRS卫星干扰的时间特性

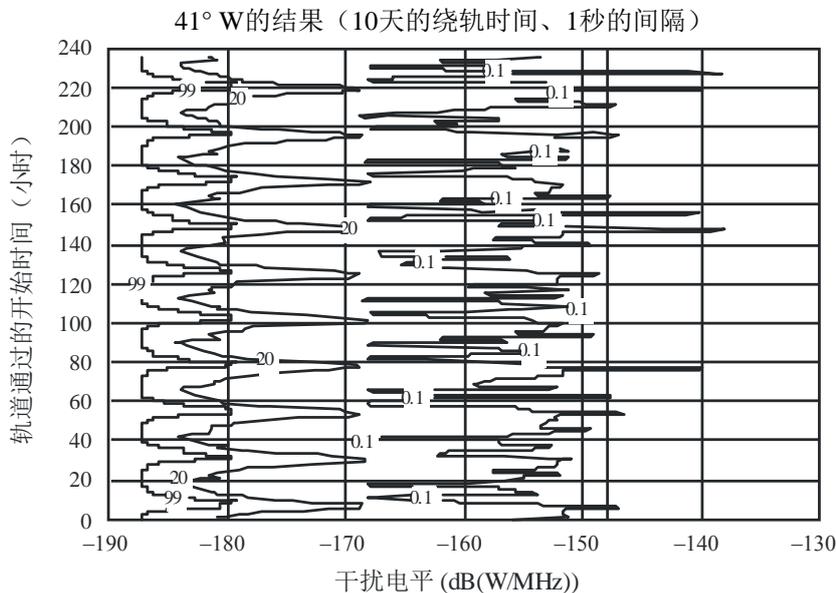
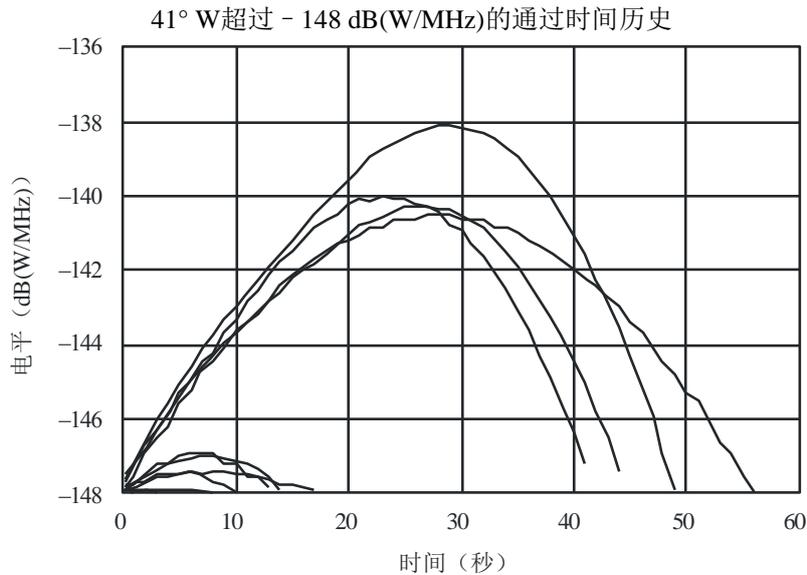


图6

位于41° W、跟踪位于国际空间站类型轨道上低轨用户卫星的
DRS卫星干扰的时间特性
(参见第3.2段)

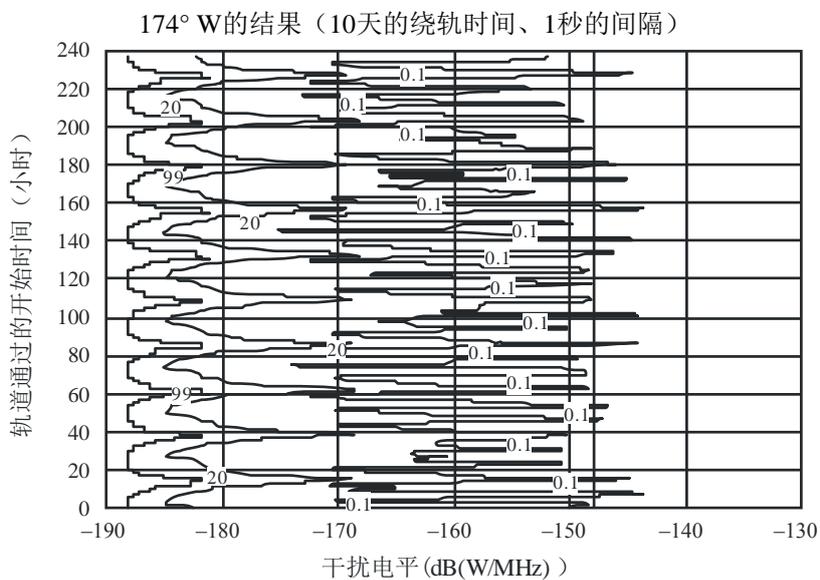


F.1509-06

图7显示了位于 174° W 轨道位置的 DRS 的可比较结果。对于该轨道位置，在 0.1% 以上的轨道周期内，有 12 个轨道会出现干扰超出保护电平的情况。此外，该图还显示，干扰超出 -148 dB(W/MHz) 范围的轨道之间的时间从最小的 6.1 小时到最大的 30.9 小时不等。图 8 显示了每个干扰时段的时间序列。该轨道位置超过 -148 dB(W/MHz) 保护电平的干扰持续时间从 5 秒到 50 秒不等。

图7

位于174° W、跟踪位于国际空间站类型轨道上低轨用户卫星的
DRS卫星干扰的时间特性

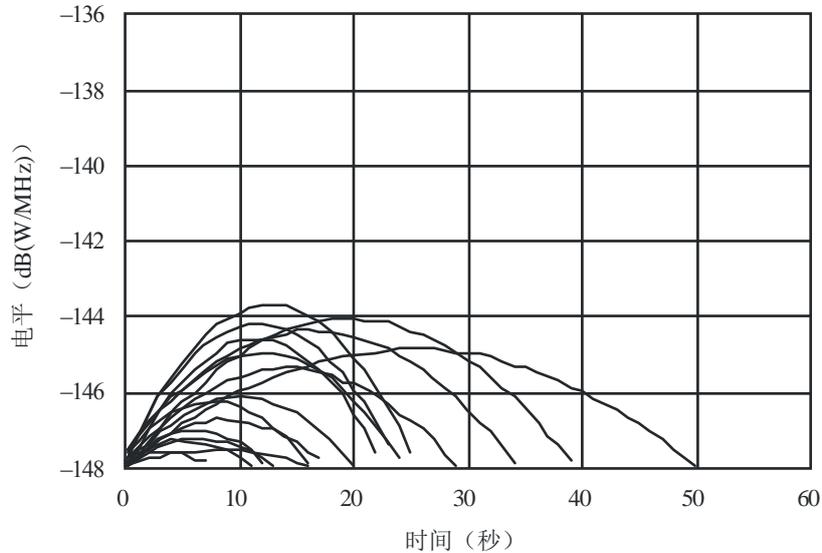


F.1509-07

图8

位于174° W、跟踪位于国际空间站类型轨道上低轨用户卫星的
DRS卫星干扰的时间特性
(参见第3.2段)

174° W超过 -148 dB(W/MHz)的通过时间历史



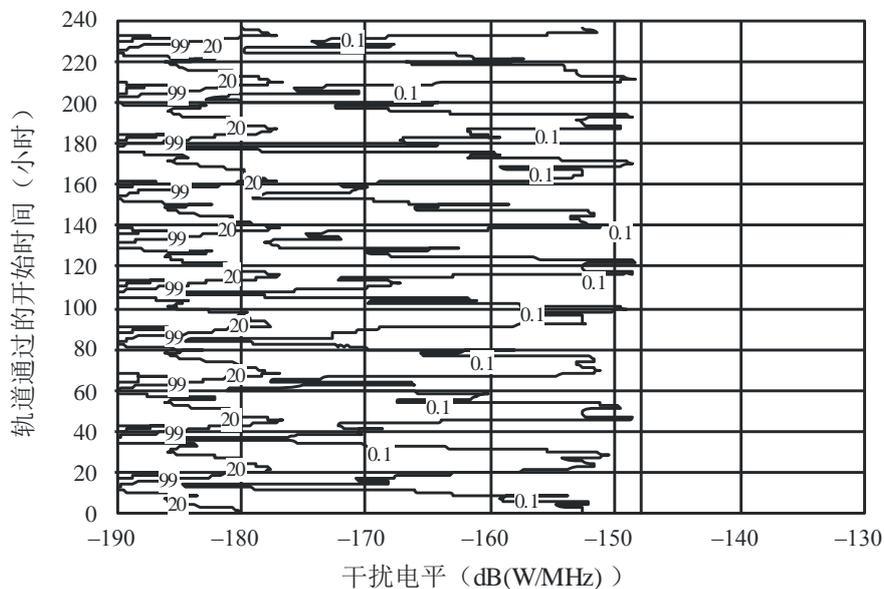
F.1509-08

图 9 显示了 85° E 轨道位置 DRS 干扰的时间特性。该图显示对于在国际空间站类型轨道上的卫星的每一个轨道而言，ITU-R SA.1155 建议书的保护标准是可以满足的。

图9

位于85° E、跟踪位于国际空间站类型轨道上低轨
用户卫星的DRS卫星干扰的时间特性

85° E 的结果 (10天的绕轨时间、1秒的间隔)



F.1509-09

表2总结了时间的结果。

表2
时间干扰 I 结果摘要

DRS轨道位置	卫星轨道总数 (~1.6小时/轨道)	当 $I < -148$ dB(W/MHz) 时的轨道之间的 期间 (小时)	当 $I > -148$ dB(W/MHz) 时卫星轨道数量	当 $I > -148$ dB(W/MHz)的轨道		
				$I > -148$ dB(W/MHz) 的持续时间 (秒)	$I > -148$ dB(W/MHz) 的轨道 百分比	峰值 $I^{(1)}$ (dB(W/MHz))
174° W	145	6.1 至 30.9	12	5 至 50	0.1 至 0.8	-143.8
41° W	145	7.7 至 71	11	10 至 60	0.2 至 1.0	-137.8
85° E	145	N/A	0	N/A	N/A	-148.3

⁽¹⁾ 空间和时间分析得出的峰值电平略有不同是由于：空间和时间分析的抽样效应、中心天线仰角模式 3 dB波束宽度的细微模型差别、上仰角旁瓣促成因素的差别以及空间模型中大气弯曲效应（ITU-R F.1333建议书）的纳入等。

可得出结论，在为数不多的干扰电平超过-148 dB(W/MHz)的轨道中，对于位于 41° W 和 174° W 轨道位置的 DRS，保护电平仅超出比 0.1%略多的时间，最差情况也只有大约 1%的时间。对于位于 85° E 的 DRS，满足 ITU-R SA.1155 建议书的保护标准。

4 研究B的结果

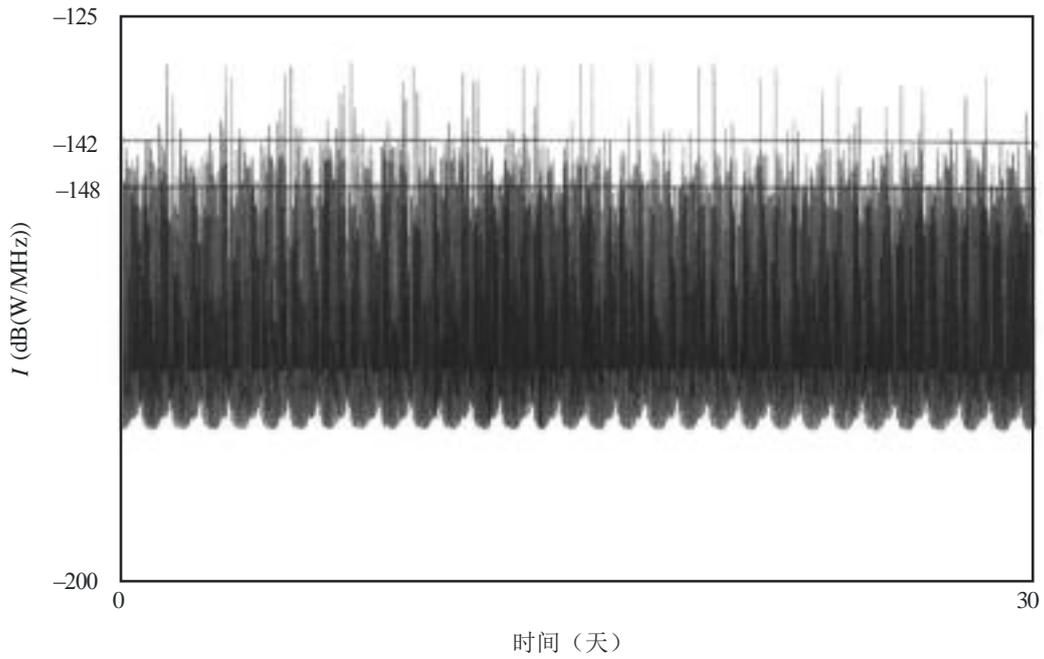
以下章节介绍了基于另一项研究的时间和空间分析的结果。在该研究中，鉴于某些系统需要大于 +8 dB(W/MHz) 的 e.i.r.p. 谱密度，将假定每中心站的 e.i.r.p. 谱密度为 +14 dB(W/MHz)。将考虑两颗用户卫星：国际空间站（轨道高度 400 公里，倾角 51.6°）和 EOS（轨道高度 800 公里，倾角 98.6°）。将假定-142 dB(W/MHz)的共用标准，而不是 -148 dB(W/MHz)的保护标准。

4.1 结果 – 时间分析

本分析中，介绍了最差情况的干扰情况，即 41° W 的 DRS。图 10 显示了 DRS 在 30 天期间按照 5 秒增量跟踪国际空间站所接收到的 LMDS 中心的集总发射。图 11 显示了 DRS 跟踪 EOS 的一幅类似图表。

图10

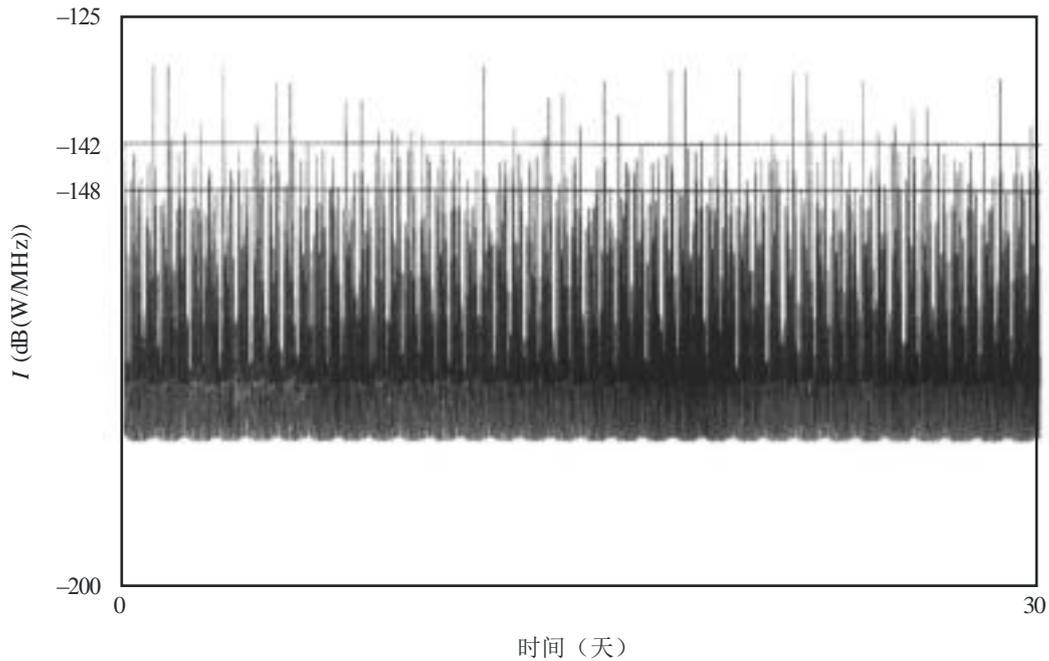
对位于41° W、跟踪国际空间站的DRS卫星的干扰



F.1509-10

图11

对位于41° W、跟踪EOS的DRS卫星的干扰



F.1509-11

如两图所示，LMDS 部署按照每中心站+14 dB(W/MHz) e.i.r.p.操作的发射明显低于-142 dB(W/MHz)的共用标准。对于跟踪国际空间站的 DRS，超过共用标准的累积发射只占全部 30天周期的 0.1%左右。该点显示在图 12 中。如图 13 所示，跟踪 EOS 的 DRS，收到的

超过共用标准的累积发射占整个时间的 0.06%左右。应注意到，这些事件源于地球上可预见的已知地点，可通过仿真轻易确定。

图12

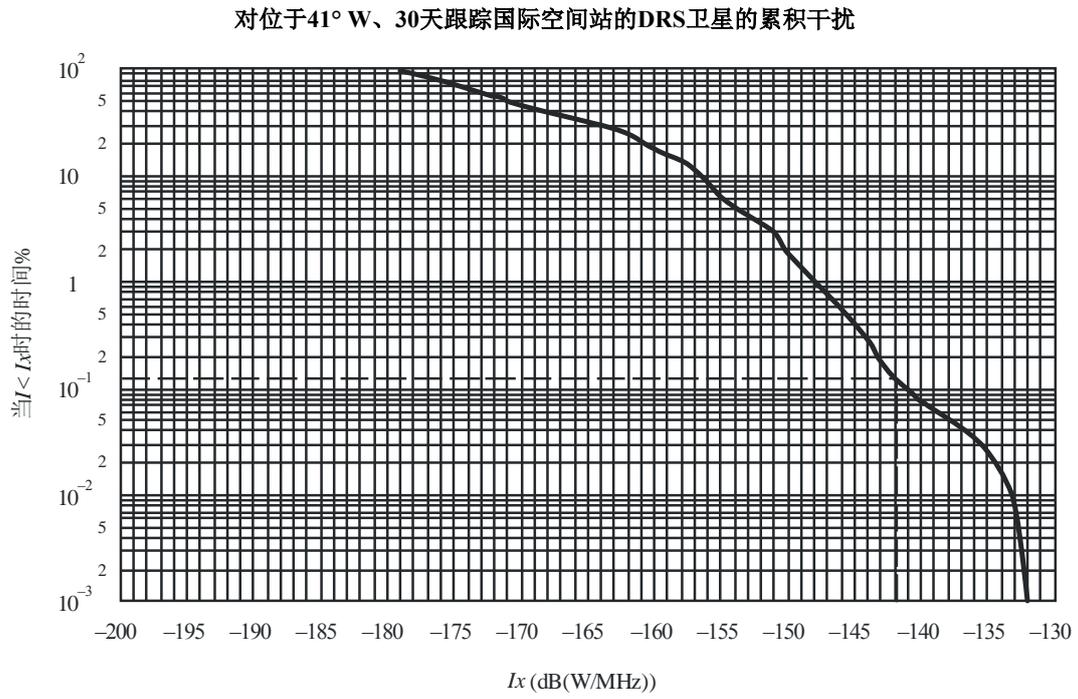
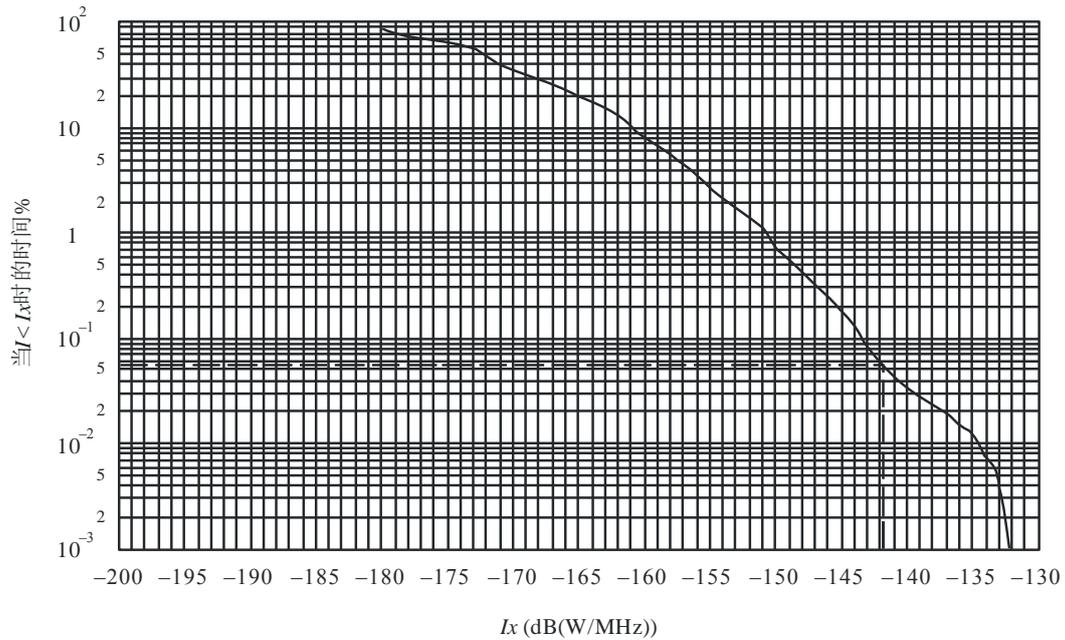


图13

对位于41° W、30天跟踪EOS的DRS卫星的累积干扰



F1509-13

上述结果符合以下所讨论的空间分析结果。

4.2 结果 – 空间分析

给定了 41° W、174° W 和 85° E 等三个 DRS 轨道位置的空间分析结果。41° W 和 174° W 代表了最差情况，而 85° E 则是存在干扰的典型情况。应注意到，对于许多轨道位置，根本不存在超出共用标准的情况。

图 14 显示了 LMDS 发射对 41° W DRS 的空间干扰剖面图。如图所示，超过 -142 dB(W/MHz) 共用标准的发射集中于特定的可预测位置。图 15 和图 16 描述了 174° W 和 85° E 轨道位置的类似图表。

图14

41° W的DRS卫星的空间干扰曲线

同步DRS 41° W、k = 0、分辨率 = 0.2、8 dB(W/MHz)、431个LMDS业务区、全球944个中心

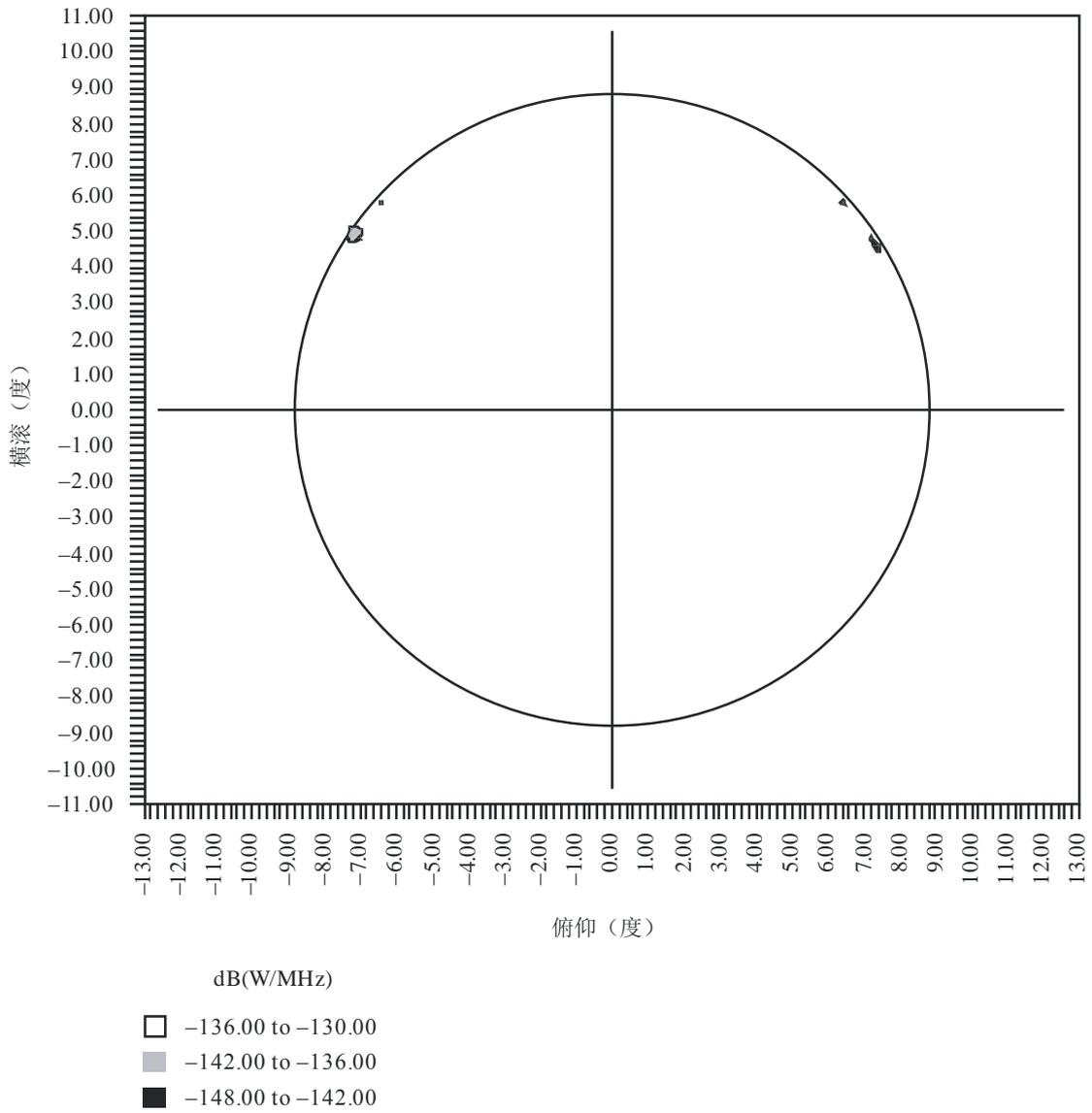


图15

174° W的DRS卫星的空间干扰曲线

同步DRS 174° W、K = 0、分辨率 = 0.2、8 DB(W/MHZ)、431个 LMDS业务区、全球944个中心

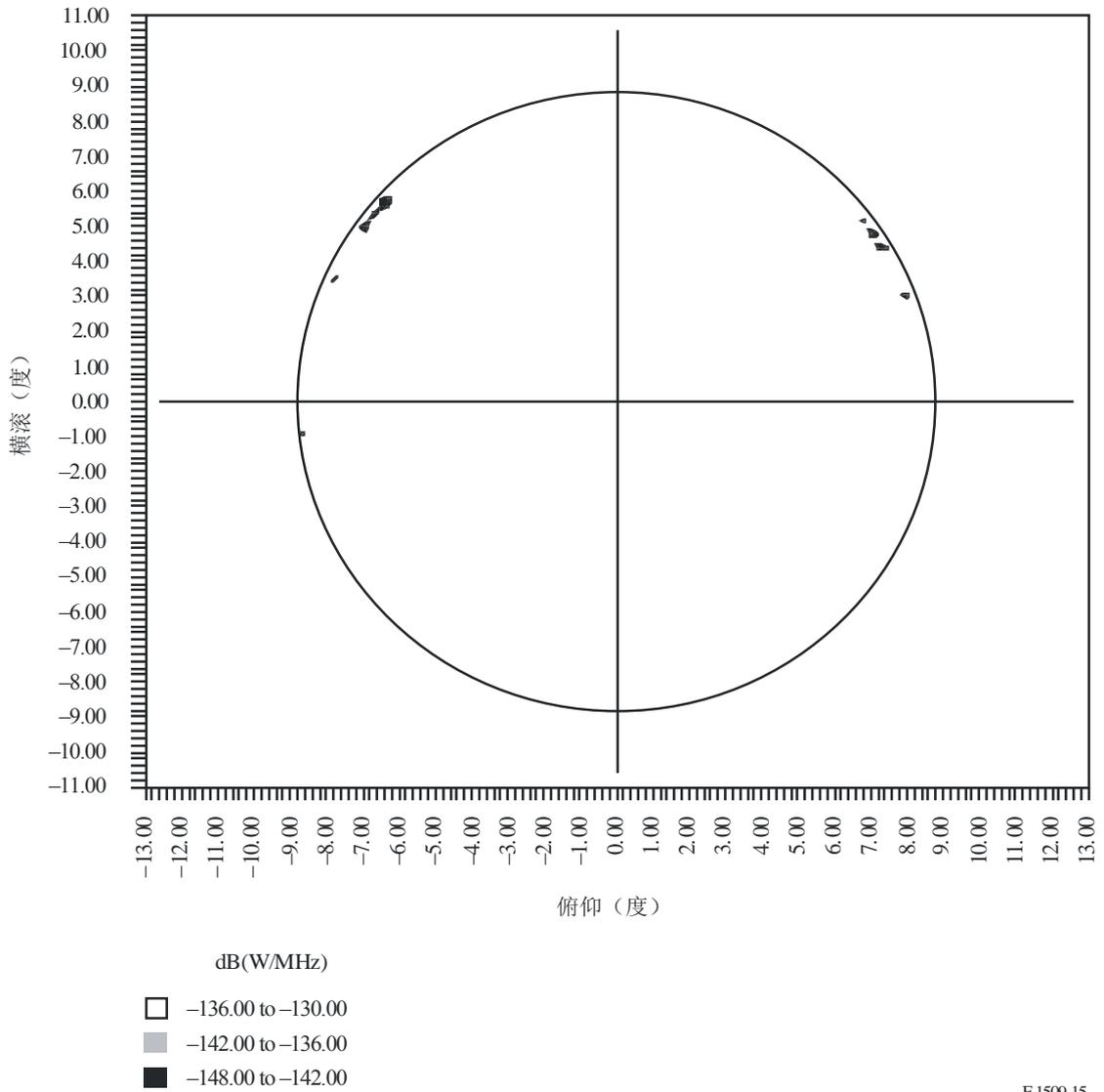
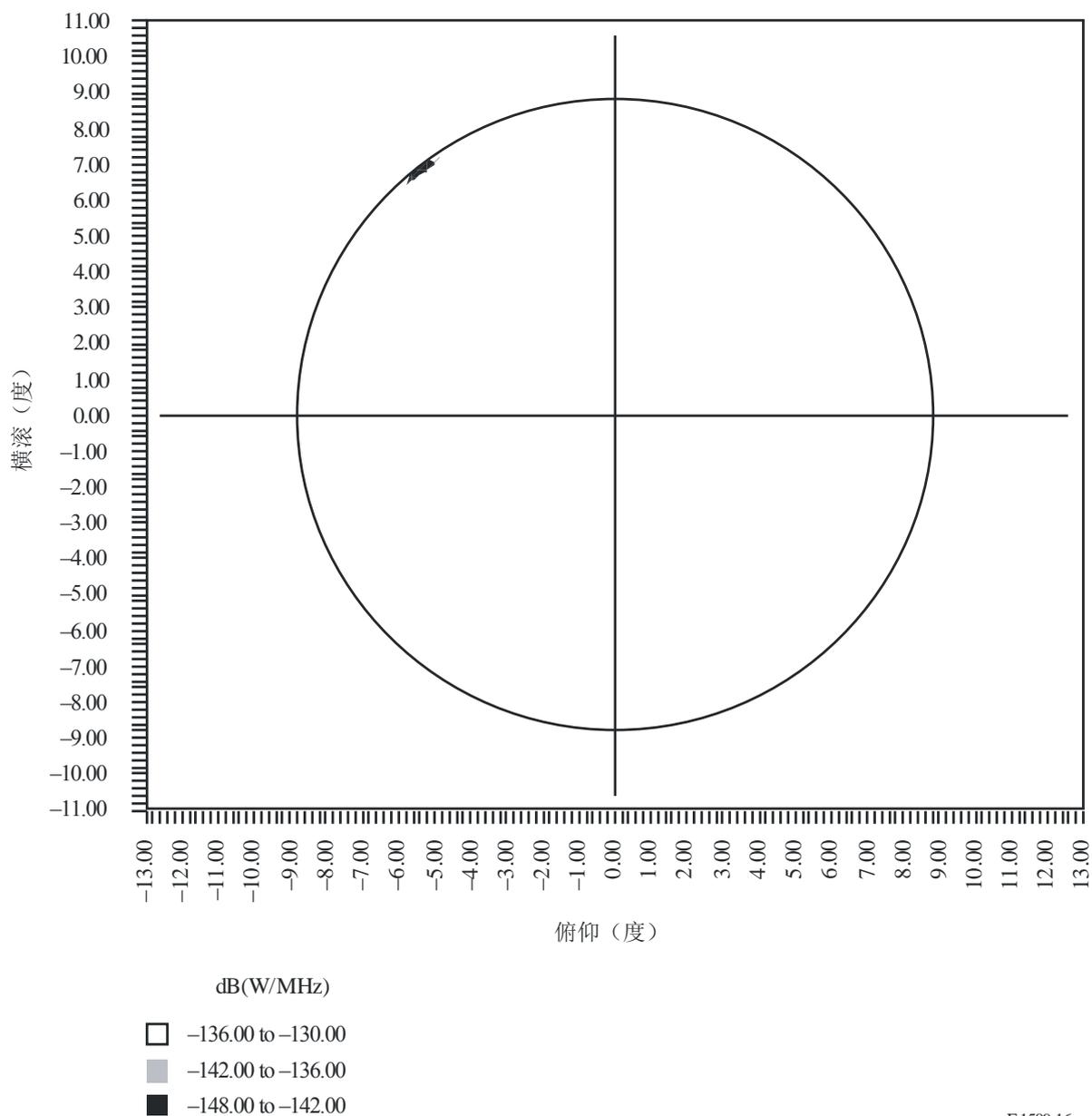


图16

85° E的DRS卫星的空间干扰曲线

同步DRS 85° E、K = 0、分辨率 = 0.2、8 DB(W/MHZ)、431个 LMDS业务区、全球944个中心



F.1509-16

应注意到，上述图表基于采用 ITU-R F.1336 建议书中天线辐射方向图中 $k = 0$ 进行的仿真。还进行了 $k = 1$ （更高旁瓣）的仿真，并观察到整体干扰情况保持相对不变，意味着旁瓣的影响可忽略不计。

4.3 结果的讨论（第4段）

如上述分析所述，-142 dB(W/MHz)的共享标准使得两种业务可在没有过多限制一种业务的情况下实现共享。与保护标准不同，共享标准必须承认频段内各业务的具体属性并反映出满足这些业务要求的必要性。在 DRS 与 P-MP FS 系统共用 25.25-27.5 GHz 频段这一问题上，存在着多个支持 -142 dB(W/MHz)共用标准的缓解干扰因素，例如：

- 如前所述，采用下倾的扇形天线系统在P-MP部署中将很普遍。系统将需要很高水平的扇形分区来控制系统内的干扰并获得可支持商业应用的频率复用水平。
- 确实超出共用标准的发射来自于地球上可预见的地点，从而可采取预防措施来避免干扰。
- 各主管部门固定业务对25.25-27.5 GHz频段的使用不尽相同。在某些国家，许可运营商使用点对多点系统；而在其他国家，运营商混合使用点对点和点对多点系统（某些宽带运营商在中心站点使用多个点对点系统）。此外，当前的频率方案支持各种点对点和点对多点系统。因而，多点系统对DRS系统的集总发射电平可能远低于本研究中的描述。

5 向其他LMDS部署的扩展

第3和第4段中描述的结果基于LMDS小区半径的特定假设。本节描述了将结果向采用更小小区的LMDS部署扩展的简单方法。

一般而言，更小的小区尺寸将导致在城市人口中心成熟的LMDS系统部署中采用更多的小区。由于更小的小区尺寸，在假定视线传播的情况下，中心站向最外围用户提供系统链路余量所需的e.i.r.p.将随着距离的平方递减。因此，比参考小区更小的小区的e.i.r.p.谱密度相对降低由下式给定：

$$\Gamma_i = 20 \log \left(\frac{r_i}{r_0} \right) \quad (10)$$

其中：

Γ_i : 第*i*个小区e.i.r.p.谱密度降低系数 (dB)

r_i : 第*i*个小区半径 (公里)

r_0 : 参考小区的半径，如5公里。

降低系数的应用显而易见。例如，假定5公里参考小区的e.i.r.p.谱密度为+8 dB(W/MHz)，如果小区尺寸减小到2.5公里，那么e.i.r.p.谱密度将降低到+2 dB(W/MHz)。

注意到该方法的应用将倾向于将任何城市人口中心的集总e.i.r.p.谱密度限制到与小区大小无关的一个水平上。

注意到许多固定业务部署的部署目标将是保持链路可用性不变，而不是链路余量不变，因为至最外围用户的距离在变化。采用ITU-R P.530建议书的方法，对于一个给定链路可用性，必要链路余量随着链路距离降低。因此，公式(10)提供了作为小区尺寸减小函数的e.i.r.p.谱密度降低的保守估计。

6 对POCS的干扰

POCS的干扰情况与DRS类似，即当卫星围绕地球运行时，同信道LMDS发射进入POCS接收机天线。

6.1 LMDS系统的特性

对于 POCS 分析，假定了与第 2.1 段中相同的 LMDS 特性。

但是，假定 e.i.r.p. 谱密度为 +14 dB(W/MHz)。

6.2 POCS的特性

本分析涉及两个 POCS 用户，包括国际空间站和航天飞机轨道飞行器。假定每个 POCS 采用两幅天线，一个高增益和一个低增益变体。表 3 提供了 POCS 系统特性的摘要。

表3
POCS 特性

用户	轨道		接收天线	
	高度 (公里)	倾角 (度)	增益 (dBi)	指向
国际空间站	400	51.6	3.5 23.5	天底 沿着速度向量
航天飞机轨道飞行器	530	57	3.5 23.5	天底 沿着速度向量

对于低增益变体，假定了一个全向天线，而不是 244° 全锥角半功率波束带宽 (HPBW) 来表示最差情况。对于高增益天线，采用了固定的 8° HPBW 接收天线，参考辐射方向图源于 ITU-R S.672 建议书 ($L_S = -20$ dB)。对于 POCS，假定了圆极化。

根据 ITU-R SA.609 的规定，接收机保护标准在不超过 0.1% 的时间内为 -147 dB(W/MHz)。

6.3 方法

仅针对 POCS 进行了 30 天的时间分析仿真。每隔 5 秒采集数据。

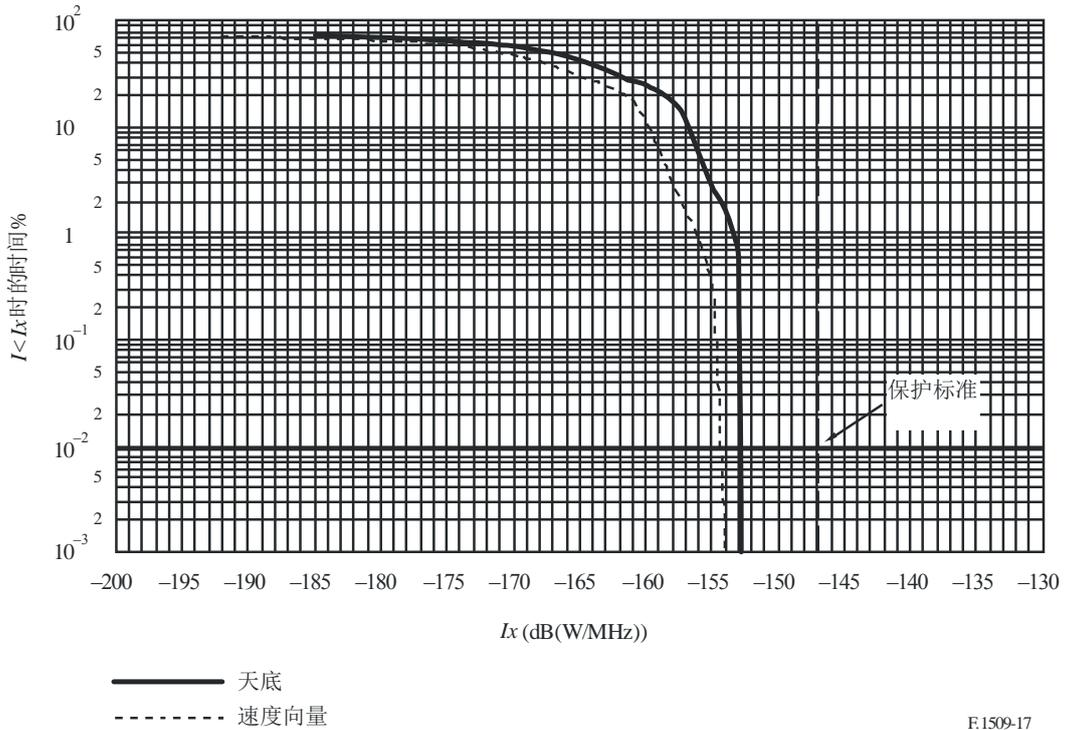
与 DRS 分析类似，在 ITU-R P.676 建议书的基础上计算大气吸收。此外，还包括了 3 dB 的损害，以补偿不同极化之间的差别。

6.4 结果

以下数据显示了 30 天的周期内 LMDS 系统对两个 POCS 接收天线的发射电平。

图17

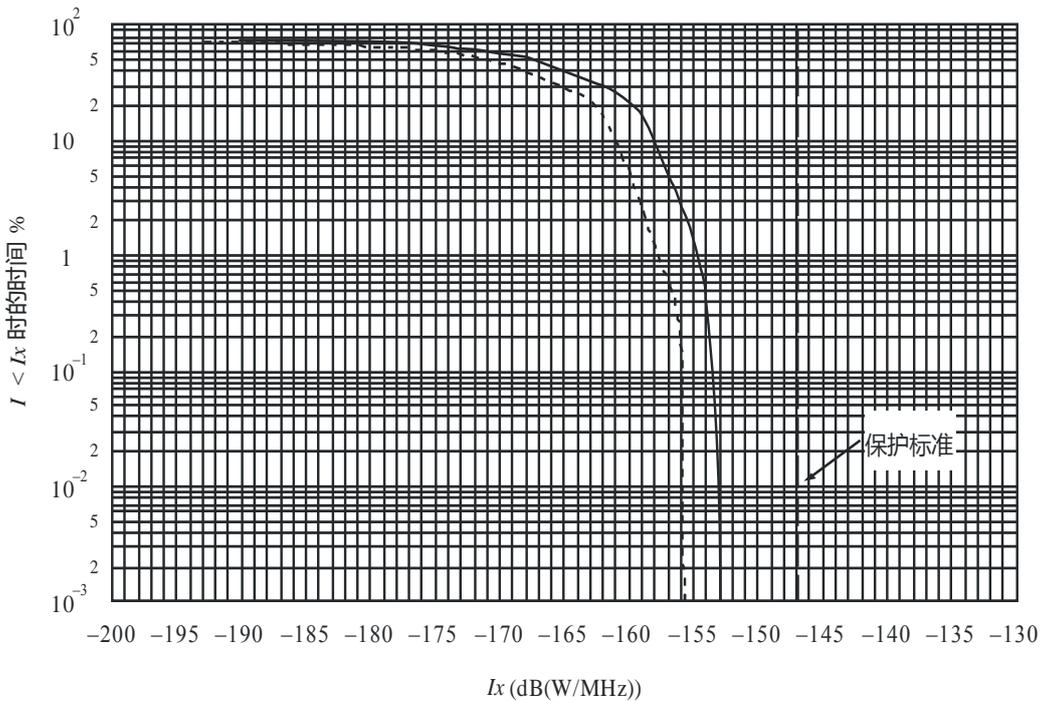
30天内对国际空间站POCS的累积干扰



F.1509-17

图18

30天内对航天飞机轨道飞行器POCS的累积干扰



F.1509-18

如上所示，对 POCS 任意接收天线的干扰电平任意时刻都远在保护标准 -147 dB(W/MHz)之下。

7 附件1的摘要和结论

根据第 3 段研究 A 的结果，可预测绝大多数位于 ITU-R SA.1276 建议书所列轨道位置的 DRS 从一些 LMDS 部署区域接收到的峰值总干扰将要比 ITU-R SA.1155 建议书中给定的保护电平平均超过 4 dB 左右。这是基于每个中心站按照 $+8$ dB(W/MHz)的 e.i.r.p.谱密度进行操作且每个中心的业务区半径为 5 公里的假定。所有轨道位置的峰值总干扰为 -139 dB(W/MHz)。

在时间基础上，绝大多数轨道满足了 ITU-R SA.1155 建议书给定的保护电平。对于超出保护电平的个别轨道，仅超出轨道周期的 0.1%略多，在位于 41° W 和 174° W 的 DRS 卫星的最差情况下，也仅超出轨道周期的 1%左右。而且，对于这些位置，干扰电平超出 -148 dB(W/MHz)范围的轨道周期间的时间从 6.1 小时到 71 小时不等。对于位于 85° E 的 DRS，干扰情况是位于国际空间站型轨道上的卫星轨道均满足 ITU-R SA.1155 建议书给定的保护标准。

降低系数（见公式(10)）假定引入了不变的链路余量，以便可以确定小区尺寸小于参考小区尺寸的 e.i.r.p.谱密度限值。

如第 3 段及图 2 至图 4 所示，地球边缘或附近出现的、带有数个同频中心站的城市人口中心是 DRS 干扰的主要来源。但是，在采用第 3 段所述方法获得的预期 LMDS P-MP 中心站部署数量水平并按照每中心站 $+8$ dB(W/MHz)的 e.i.r.p.谱密度进行操作，仅在部分地理区域出现超出保护电平的現象且共用是可以实现的。

第 4 段中研究 B 的结果表明，根据每中心站 e.i.r.p.谱密度为 $+14$ dB(W/MHz)的假定（比研究 A 高 6 dB），干扰电平也大约比研究 A 的结果高 6 dB。因此，两个研究得出的结果基本相同。

附件 2

计算中心站天线波束和同步DRS朝向间夹角的方法

ITU-R F.1249 建议书的附件 2 提供了一种计算点对点 FS 发射天线波束和位于该建议书正文注释 1 所述轨道位置的同步 DRS 朝向间夹角的方法，并考虑了大气折射效应和视地平。P-MP FS 网络中的中心站采用全向或扇形天线。在这种情况下，天线增益应视为与 DRS 方位角方向无关。在 ITU-R F.1249 建议书的附件 2 中， ϵ_r 为中心站天线最大增益（仰角平面）的仰角（注意：如果未采用波束下倾则 $\epsilon_r = 0^\circ$ ，且如果采用了波束下倾，则 ϵ_r 为负）。

DRS 的仰角 ε_s 由 ITU-R F.1249 建议书附件 2 的公式(8a)、(8b)和(8c)给定。当 DRS 可见时, $\varepsilon_s - \varepsilon_r$ 的绝对值为中心站天线波束和 DRS 位置朝向之间的夹角。
