



地球站间干扰保护距离的研究^{*}

——卫星固定业务地球站对近地空间研究业务地球站的干扰保护距离

李建欣, 杨文翰

(国家无线电监测中心 北京 100037)

摘要:首先,阐述了卫星固定业务地球站和近地空间研究业务地球站工作在 8 450~8 500 MHz 频段的特性参数。其次,针对卫星固定业务地球站对于近地空间研究业务地球站的干扰进行讨论,并计算保护近地空间研究业务地球站所需的保护地理隔离距离。对于近地空间研究业务地球站的保护问题,采用《无线电规则》规定的最大等效全向辐射功率谱密度计算包括非静止卫星系统和静止卫星系统在内的干扰情况。计算结果显示,为了达到近地空间研究业务地球站的保护标准,在近地空间研究业务地球站周围需要达到 542~582 km 的保护地理隔离距离。

关键词:兼容计算;卫星固定业务地球站;空间研究业务地球站;干扰;保护距离

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.06.013

Research on Protection Distances for Interference Between Earth Stations

——Protection Distances for Interference from Fixed-Satellite Earth
Stations to Space Research Earth Stations

Li Jianxin, Yang Wenhan

(State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China)

Abstract: Fixed-satellite service earth stations and space research service earth stations parameters in the 8 400~8 500 MHz band were introduced. Then the interference from fixed-satellite earth stations to space research earth stations was examined and the required separation distances for protection of space research earth stations were calculated. For the protection of space research earth stations, both the non-geostationary-satellite and geostationary-satellite systems using maximum equivalent isotropically radiated power spectral density values allowed per “Radio Regulations” were covered. The result shows that required separation distances in the range from 542 km to 582 km around near-earth space research service earth stations would need to be established in order to meet the protection criteria of the near-earth space research earth station.

Key words: compatibility calculation, fixed-satellite earth station, space research service earth station, interference, protection distance

^{*} 国家科技重大专项基金资助项目 (No.2012ZX03003004, No.2012ZX03006003)

1 引言

近年来,我国在航天领域取得飞速发展,“天宫一号”空间站的建立、“神舟十号”载人飞船的成功对接、探月系统工程月球车的成功落月探测以及火星探测卫星系统的成功部署等,一次次使我国在空间研究业务中取得历史性的突破。

随着无线通信的发展,由于频谱资源日益紧张,无线电干扰事件频频发生,尤其是在空间研究业务(space research service,SRS)地球站的通信中。近几年,在近地 SRS 地球站进行数据接收和传输、跟踪和遥测遥令以及日常和紧急事件的操作测控中,常常报告相关业务操作受到有害干扰。保护近地 SRS 地球站的通信正常进行,不仅关系到近地 SRS 地球站的正常研究工作,甚至关系到我国载人航天任务的成败以及航天员的生命安全,其重要性日益凸显。

当前,世界无线电通信大会(WRC)已经考虑为卫星固定业务(fixed-satellite service,FSS)在 8 400~8 500 MHz 频段划分新的频率使用。新的频率划分与近地 SRS 地球站存在频率重叠,FSS 地球站的上行发射信号将会对地球站的下行接收信号产生潜在干扰。因此,本文专注于 8 450~8 500 MHz 频段 FSS 对于近地 SRS 地球站的潜在干扰问题,并针对相应问题进行了兼容计算。使用我国位于上海的空间研究地球站 SHAI (北纬 31.1°,东经 121.2°)作为本计算中近地 SRS 的特殊地球站来计算干扰,以便在 FSS 新频率划分之前预先确定近地 SRS 地球站所需的保护距离。

2 系统间兼容性计算

2.1 兼容计算方法

干扰分析采用国际电信联盟(以下简称国际电联)ITU-R SA.609^[1]建议书中所规定的近地 SRS 的保护标准-216 dBW/Hz,以便确定近地 SRS 地球站需要的保护距离。考虑 FSS 在 8 450~8 500 MHz 频段的上行信号对于近地 SRS 地球站同样在 8 450~8 500 MHz 频段的下行接收天线的干扰,假设干扰信号频率采用近地 SRS 地球站上述接收信号的中心频率。

FSS 地球站发射对近地 SRS 地球站接收的干扰来自于超视距传播,而不是视距传播。为了计算超视距传播损耗,使用 ITU-R P.452^[2]建议书的计算方法,同时采用 ITU-R SA.609 建议书中所规定的 0.1%作为干扰保护标准可允许超过的概率百分比值。

本文基于 90 m 分辨率的航天飞机航拍地理信息数据,以近地 SRS 地球站 0~360°区域每 1°为一步进,计算 FSS 地球站对于近地 SRS 地球站所需的隔离距离。为了满足近地 SRS 地球站的保护标准,使用以下发射和接收参数计算传播损耗 L_{req} (dB):

$$L_{\text{req}} = P_T + G_t(\theta_t) + G_r(\theta_r) - P_0 \quad (1)$$

其中, P_T 表示天线输入端的发射功率谱密度(dBW/Hz); G_T 表示 FSS 地球站发射天线增益(dB); θ_t 表示 FSS 地球站发射天线在近地 SRS 地球站方向上的离轴角; G_r 表示近地 SRS 地球站接收天线增益(dB); θ_r 表示近地 SRS 地球站接收天线在 FSS 地球站方向上的离轴角; P_0 表示近地 SRS 地球站干扰保护电平(dBW/Hz)。

在本文的链路干扰计算中,认为近地 SRS 地球站的天线可以在跟踪角最小为 5°的时候进行工作。在实际中,为了更准确地计算,近地 SRS 地球站天线的接收增益可以采用《无线电规则》^[3]附录 8~10 附件 3 中规定的方法,即在天线各个方位角上,当 5°最小仰角和当地地平线仰角不同时天线增益的计算方法。

2.2 FSS 地球站和近地 SRS 地球站的特性参数

在新划分的频段中,典型 FSS 地球站的发射特性参数见表 1 和表 2。

对于 NGSO 和 GSO FSS 系统,在 8 450~8 500 MHz 频段确定 FSS 地球站和近地 SRS 地球站之间的隔离距离,需要通过 FSS 地球站的发射功率谱密度进行计算:

表 1 FSS 地球站的特性参数

参数	数值
频段 /MHz	8 450~8 500
天线最小仰角 θ_t	10°
天线直径 D/m	1.5
天线高度 h/m	15
天线增益 G_T	Rec. ITU-R S.580-6 ^[4]
天线峰值增益 G_0/dB	40
地势仰角 ε_t	变量
离轴角 γ_t	变量
对向近地 SRS 地球站的天线增益 G_r/dB	$G_r = G_t(\gamma_t)$
在 $\gamma_t=10^\circ$ 时的天线增益/dB	4
轴向的最大等效全向辐射功率(e.i.r.p.) 10 密度 $P_0/(\text{dBW} \cdot \text{Hz}^{-1})$	10
《无线电规则》第 21.8 条规定的最大发射功率谱密度 $P_f/(\text{dBW} \cdot \text{Hz}^{-1})$	0
水平方向最大 e.i.r.p. $P_f/(\text{dBW} \cdot \text{Hz}^{-1})$	$P_f = P_{Tf} + G_t = -30 + G_t$
在 $\gamma_t = 10^\circ$ 时的 $P_f/(\text{dBW} \cdot \text{Hz}^{-1})$	-26



表 2 FSS 地球站的特性参数的备注

参数	备注
频段 f	FSS 新划分的频段
天线最小仰角 θ_i	对于 NGSO FSS 地球站, 假设其指向近地 SRS 地球站; 对于 GSO FSS 系统, 近地 SRS 地球站方向角与指向 GSO 卫星的 FSS 地球站的隔离角度可依据《无线电规则》附录 7 附件 5 的规定
天线直径 D	
天线高度 h	假设其建设在塔上
天线增益 G_r	
天线峰值增益 G_{0i}	
地势仰角 ε_i	随着方位角而变化
离轴角 γ_i	依赖于参照近地 SRS 地球站时 FSS 地球站天线指向和水平方向。对于 NGSO FSS 地球站, $\gamma_i = \theta_i - \varepsilon_i$; 对于 GSO FSS 系统, 近地 SRS 地球站方向角与指向 GSO 卫星的 FSS 地球站的隔离角度可依据《无线电规则》附录 7 附件 5 的规定
对向近地 SRS 地球站的天线增益 G_i	依赖离轴角而变化
在 $\gamma_i = 10^\circ$ 时的天线增益	使用旁瓣增益: $29-25\log 10$
轴向的最大 e.i.r.p. P_{0i}	
《无线电规则》第 21.8 条规定的最大发射功率密度 P_T	$P_T=4 \text{ dBW/Hz}-4 \text{ dB}$ (《无线电规则》第 21.8 条规定的水平方向的最大 e.i.r.p. 为 $40+3\theta(\text{dBW/4 kHz})$, $0<\theta<5^\circ$, 在水平 0° 角为 40 dBW/4 kHz 或者 4 dBW/Hz)
水平方向最大 e.i.r.p. P_i	依赖 G_i 而变化
在 $\gamma_i = 10^\circ$ 时的 P_i	对于 NGSO FSS 地球站

$P_T = 0 \text{ dBW/Hz}$, 使用《无线电规则》第 21.8 条规定的最大 FSS 地球站发射功率谱密度。

近地 SRS 地球站接收的特性参数见表 3 和表 4。本兼容计算中, 近地 SRS 地球站的最小工作仰角为 5° 。

ITU-R P.452 建议书中规定的折射因子(ΔN)和平面折射系数(N_0)见表 5。

2.3 8 450~8 500 MHz 频段近地 SRS 地球站的干扰

如上所述, 满足近地 SRS 地球站保护标准的传播损耗计算如下:

$$\begin{aligned}
 L_{\text{req}} &= P_T + G_t + G_r - P_{0r} \\
 &= 0 + G_t + G_r - (-216) \\
 &= 216 + G_t + G_r
 \end{aligned}
 \quad (2)$$

针对 NGSO FSS 地球站, 使用水平方向 4 dB 的传输增益, 传播损耗为 $(220 + G_r) \text{ dB}$ 。

仿真计算设计 200 ms 时延, 仿真计算结果如图 1~图 4

表 3 近地 SRS 地球站的特性参数

参数	数值
频段 f/MHz	8 475
近地 SRS 地球站天线最小工作仰角 θ_r	5°
天线直径 D/m	65
天线高度 h/m	35
在 FSS 地球站方向上的近地 SRS 地球站天线增益 G_r/dBi	14.53
允许的干扰电平 $P_{0r}/(\text{dBW} \cdot \text{Hz}^{-1})$	-216
允许超过的统计百分比 p	0.1%

表 4 近地 SRS 地球站的特性参数的备注

参数	备注
频段 f	考虑到接收频率位于 $8\,450\sim 8\,500 \text{ MHz}$ 的中心频点
近地 SRS 地球站天线最小工作仰角 θ_r	假设近地 SRS 地球站指向 FSS 地球站
天线直径 D	
天线高度 h	天线直径中心到地面的高度
在 FSS 地球站方向上的近地 SRS 地球站天线增益 G_r	根据《无线电规则》附录 8~10 附件 3 评估的 5° 仰角
允许的干扰电平 P_{0r}	近地 SRS 保护 (Rec. ITU-R SA.609)
允许超过的统计百分比 p	对于水平方向干扰源 (Rec. ITU-R SA.609)

表 5 ITU-R P.452 建议书规定的折射因子(ΔN)和平面折射系数(N_0)

近地 SRS 地球站	折射因子 ΔN	平面折射系数 N_0
中国 SHAI 地球站	45	350

以及表 6 所示。图 1 和图 3 显示了 $0\sim 360^\circ$ 方位角范围内, 1° 为一步进的标准下 NGSO FSS 地球站与近地 SRS 地球站所需的隔离距离的干扰计算仿真结果; 图 2 和图 4 分别在地图上显示所需隔离距离的地理区域。

由兼容计算仿真结果可以看出, 对于近地 SRS 地球站的保护, NGSO FSS 地球站所需的隔离距离要大于 GSO

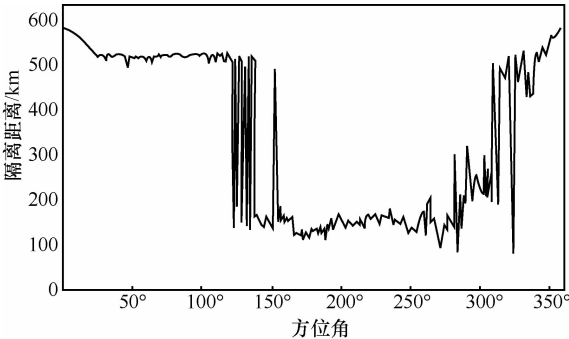


图 1 NGSO FSS 地球站与近地 SRS 地球站所需的隔离距离

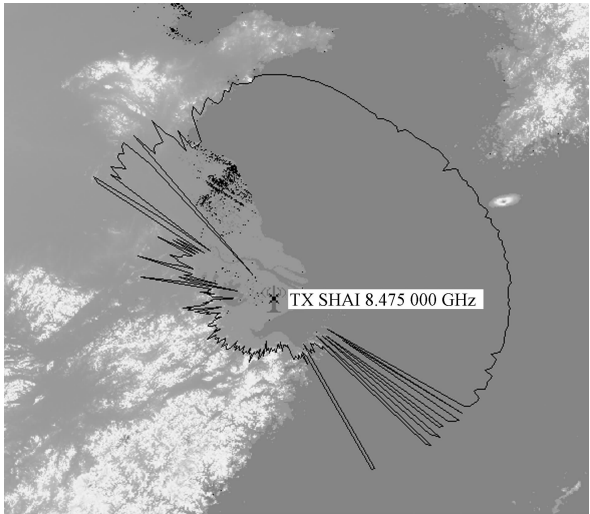


图 2 地形图上 NGSO FSS 地球站与近地 SRS 地球站所需的隔离距离

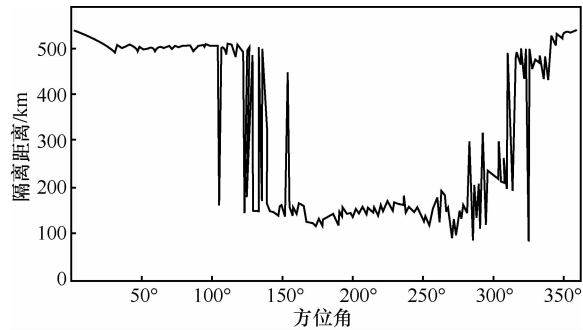


图 3 GSO FSS 地球站与近地 SRS 地球站所需的隔离距离

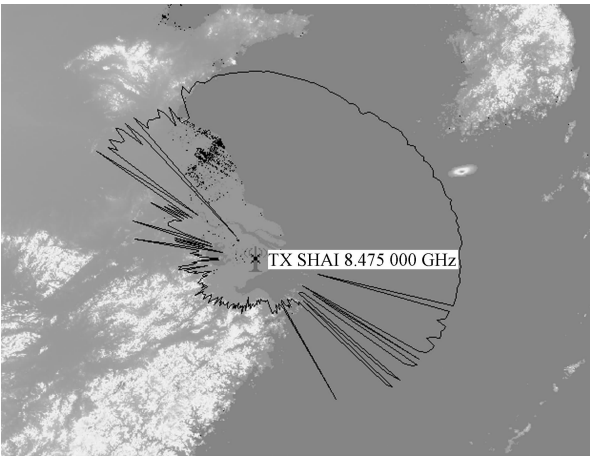


图 4 地形图上 GSO FSS 地球站与近地 SRS 地球站所需的隔离距离

FSS 地球站。

3 结束语

根据兼容计算的仿真结果，在 8 450~8 500 MHz 频

表 6 在 8 450~8 500 MHz 频段 FSS 地球站和近地 SRS 地球站所需的地理隔离距离

8 400~8 450 MHz 频段近地 SRS 地球站	依据《无线电规则》第 21.8 条规定的最大 e.i.r.p.	
	NGSO FSS/km	GSO FSS/km
中国 SHAI 地球站	582	542

段，随着 FSS 地球站和近地 SRS 地球站之间距离的不同，无论是 NGSO FSS 地球站还是 GSO FSS 地球站，都可能会对近地 SRS 地球站的接收产生干扰。为了避免干扰的产生，需要建立 FSS 地球站的隔离距离要求，以保护我国空间研究业务的应用，尤其是涉及神舟载人飞船、空间站通信等我国重点航天项目。

在本计算中考虑的 SHAI 地球站，在 8 450~8 500 MHz，为了达到近地 SRS 地球站的保护标准，需要在近地 SRS 地球站周围相应建立 542~582 km 的保护距离。本文所得出的保护距离结果可以应用到其他近地 SRS 地球站的保护隔离距离标准中，以确保我国航天技术中空间研究事业的稳步发展。

参考文献

- 1 ITU-R SA.609-2 建议书. 有人和无人操纵的近地科学卫星的无线电通信链路的保护准则 (第二版). <http://www.itu.int/rec/R-REC-SA.609/en>, 2014
- 2 ITU-R P.452-14 建议书. 评估在频率高于约 0.1 GHz 时地球表面上电台之间干扰的预测程序 (第十四版). <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.452/en>, 2014
- 3 国际电信联盟. 无线电规则, 2012
- 4 ITU-R S.580-6 建议书. 与静止卫星通信的地球站天线方向性图的设计 (第六版). <http://www.itu.int/rec/R-REC-S.580/en>, 2014

[作者简介]



李建欣,女,国家无线电监测中心工程师,主要从事卫星频率和轨道资源的规划研究、卫星网络技术协调和无线电系统电磁兼容研究等工作。

杨文翰,男,博士,国家无线电监测中心工程师,主要从事无线电频谱规划、认知无线电等方面的研究工作。

(收稿日期:2014-04-25)