

文章编号:1007-5321(2017)01-0068-06

DOI:10.13190/j.jbupt.2017.01.012

# 450 MHz 频段卫星气象业务与铁路列调系统 干扰共存分析

钱肇钧<sup>1</sup>, 李 博<sup>2</sup>, 刘帅军<sup>2</sup>, 王卫东<sup>2</sup>

(1. 国家无线电监测中心频谱管理研究处, 北京 100037; 2. 北京邮电大学 泛网无线通信教育部重点实验室, 北京 100876)

**摘要:** 选取 450 MHz 附近频段为典型研究频段, 对该频段 Argos 系统卫星气象业务和铁路列调系统进行干扰共存分析. 针对气象卫星对火车、气象卫星对火车站、火车站对气象卫星地球站、火车对气象卫星地球站这 4 种可能存在的干扰情况, 使用实际系统参数以及天线方向图, 结合 Argos 气象卫星的轨道特征, 分析了干扰共存下需要的隔离距离和气象卫星地球站的协调区域. 最后给出了仿真结果, 得出 4 种干扰情况下的隔离度和隔离距离.

**关 键 词:** 干扰共存; 卫星气象业务; 铁路列调系统; 协调区

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

## Interference Coexistence Evaluation for Satellite Meteorological Service and Railway Train Dispatching System

QIAN Zhao-jun<sup>1</sup>, LI Bo<sup>2</sup>, LIU Shuai-jun<sup>2</sup>, WANG Wei-dong<sup>2</sup>

(1. The State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China;

2. Key Laboratory of Universal Wireless Communications (Beijing University of Posts and Telecommunications),  
Ministry of Education, Beijing 100876, China)

**Abstract:** Interference coexistence of satellite meteorological service in Argos system and railway dispatching system was studied in the spectrum bandwidth around 450 MHz. Focusing on the possible interference in four cases, the interference from meteorological satellite to the train, the interference from meteorological satellite to the railway station, the interference from railway station to the meteorological satellite earth station, the interference from train to the meteorological satellite earth station. The realistic system parameters and radiation pattern were used, combined with track characteristics of Argos meteorological satellite to analyze the isolated distance needed and the coordination area around meteorological satellite earth station. Simulations demonstrate the isolation degree and the isolation distance of the four kinds of interference conditions.

**Key words:** interference coexistence; satellite meteorological service; railway dispatching system; coordination area

国际电信联盟 (ITU, International Telecommunication Union) 的 2019 年世界无线电大会议题 1.3 中, 根据 2015 年世界无线电大会的第 766 号决议,

考虑将 460 ~ 470 MHz 频段内卫星气象业务 (空对地) 的次要划分升级为主要划分和为卫星地球探测业务 (空对地) 提供主要业务划分的可能性.

收稿日期: 2016-07-13

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 项目 (2015AA01A705)

作者简介: 钱肇钧 (1984—), 男, 工程师; 李 博 (1993—), 女, 硕士生, E-mail: libo1993@bupt.edu.cn.

450 MHz 频段主要用于固定、移动业务。其中 457.200 ~ 458.650 MHz/467.2 ~ 468.675 MHz 频段分配给铁路列车调度。Argos 系统是美国和法国联合建立的一个数据收集和定位的卫星通信系统,它利用极轨卫星传送各种环境检测数据,Argos 系统气象卫星业务下行链路工作在 460 ~ 470 MHz 频段。该频段与铁路列调系统使用频段存在重叠,因此,对 Argos 系统下行链路系统与铁路列调系统的干扰共存研究具有重要意义。

同频部署第 5 代移动通信系统小蜂窝网络与固定卫星地球站,通过使用大量的天线阵列以及合理设置保护距离,二者具有共存的可能性<sup>[1]</sup>。通过使用欧洲国家的数据库以及合适的传播模型可以对 17.7 ~ 19.7 GHz 地面系统和卫星系统间的干扰进行评估<sup>[2]</sup>。在 450 MHz 频段上,铁路列调系统与其他系统的共存研究可以通过确定性计算获得,并能通过一定措施规避干扰<sup>[3-4]</sup>。然而,450 MHz 频段中引入卫星气象业务(空对地)后对铁路列调系统的影响,尚没有此类研究。

笔者针对 450 MHz 频段引入卫星气象业务后与铁路列调系统的共存问题展开分析。依据现有参数,重点研究不同系统、不同业务中 ITU 提供的天线方向图,以及信道模型,结合 Argos 气象卫星轨道特征,分析 4 种不同的干扰情况。在分析气象卫星下行对铁路列调系统的干扰时,以中国的几个典型城市为例,考虑城市经纬度影响,分析不同城市铁路列调系统与卫星气象业务共存情况下隔离度需求。在分析铁路列调系统对气象卫星地球站的干扰时,根据天线特征以及位置分布描述不同仰角下的协调区域,作出协调等值线。

## 1 场景分析

根据 ITU-R SA. 1162-2 建议书,极轨气象卫星数据收集系统 401 ~ 403 MHz 为上行链路,而 460 ~ 470 MHz 为下行链路。火车列调系统的上行频段为 457.2 ~ 458.675 MHz,下行频段为 467.2 ~ 468.675 MHz。卫星气象业务和铁路列调系统频率配置方案如图 1 所示。

由于引入的是卫星气象业务(空对地),所以气象卫星地球站只是作为接收端使用,它不发射任何无线电波。考虑到铁路列调系统中火车和火车站等主要发射和接收端,这里共存场景如图 2 所示。系统间共存场景中主要存在如图 2 所示的 4 种干扰。

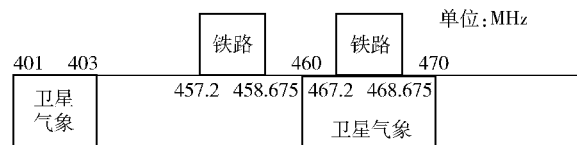


图 1 两系统同频和邻频共存频率配置方案

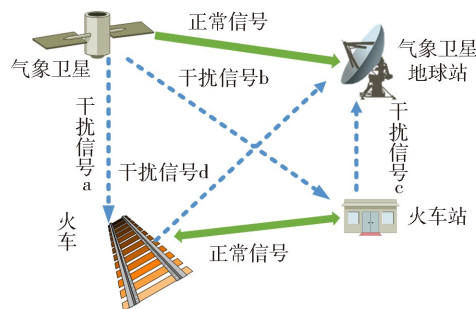


图 2 系统间干扰共存场景示意图

根据图 1 和图 2 可知,气象卫星对火车站,火车对气象卫星地球站需要分析邻频下的干扰共存;气象卫星对火车,火车站对气象卫星地球站既要分析邻频也得分析同频下的共存情况。

## 2 系统模型

### 2.1 干扰计算模型

为了得到额外隔离度,在分析邻频干扰时,采用基于邻信道干扰功率比(ACIR, adjacent channel interference power ratio),即邻信道干扰抑制比的计算方案,如果用对数值表示,计算公式为

$$A = P + G_t + G_r - L_p - I_{ACIR} - I \quad (1)$$

其中: $P$ 为施扰系统的发射功率, $G_t$ 为发射天线增益, $G_r$ 为接收天线增益, $L_p$ 为传播路径损耗, $I$ 为干扰限值, $A$ 表示所需隔离度。根据第三代合作伙伴项目(3GPP, the 3rd generation partnership project)的相关标准, $I_{ACIR}$ 的计算公式为

$$\frac{1}{I_{ACIR}} = \frac{1}{I_{ACLR}} + \frac{1}{I_{ACS}} \quad (2)$$

其中: $I_{ACLR}$ 相邻频道泄漏比(ACLR, adjacent channel leakage ratio)和 $I_{ACS}$ 邻道选择性(ACS, adjacent channel selectivity)的数值分别表示施扰系统的邻道泄漏功率比和受扰系统的邻信道选择性,两者一般在规范里给出,在计算时,均化为线性值进行计算。发射端和接收端的非理想特性由 $I_{ACIR}$ 综合表征。在同频情况下不考虑 $I_{ACIR}$ 的影响,如果用对数值表示,则采用式(3)所示的计算公式。结合传播模型,可以得出发射端与接收端系统共存所需的空

间隔离距离.

$$A = P + G_t + G_r - L_p - I \quad (3)$$

## 2.2 传播模型

在对路损的计算上,传播模型采用自由空间传播模型,该模型给出了不同环境中的自由空间和杂波损耗,施扰系统与受扰系统隔离距离结果. 由于450 MHz频段附近,受大气吸收损耗和雨衰影响极小,故路径损耗可等效为自由空间损耗.

$$L_p = 32.4 + 20\lg(f) + 20\lg(d) \quad (4)$$

其中: $f$ 为受扰系统的工作频率, $d$ 为施扰系统受扰系统的距离, $L_p$ 为自由空间损耗.

## 2.3 天线模型

假设地球是个正球体,接收点的半径近似于正球体半径;Argos气象卫星运行于近极地轨道上,轨道近似于圆形且与赤道平面垂直. 由仰角的概念和假设条件,可以得到仰角位置图如图3所示,其中 $S$ 点为气象卫星, $P$ 点为地面接收站, $O$ 点为地球球心.

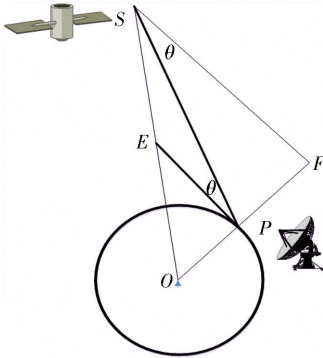


图3 接收点仰角位置

当分析气象卫星对地面的干扰时,对于接收机的天线辐射图,将考虑全向天线(在方位平面内)的情况下,接收增益的计算公式<sup>[5]</sup>为

$$G(\theta) =$$

$$\begin{cases} G_0 - 12 \left( \frac{\theta}{\theta_3} \right)^2, & 0 \leq |\theta| < 0.9\theta_3 \\ G_0 - 12 + 10\lg(k+1), & 0.9\theta_3 \leq |\theta| < \theta_3 \\ G_0 - 12 + 10\lg \left[ \left( \frac{|\theta|}{\theta_3} \right)^{-1.5} + k \right], & \theta_3 \leq |\theta| \leq 90^\circ \end{cases} \quad (5)$$

其中: $\theta_3 = 107.6 \times 10^{-0.1G_0}$ ,  $G(\theta)$ 表示相对于全向天线的增益; $G_0$ 表示在H平面(方位平面)中的最大增益; $\theta$ 为相对于最大增益角的俯仰角度( $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ ); $\theta_3$ 为在E平面(俯仰平面)内的3 dB射束宽度; $k$ 表示计及旁瓣电平高于改善了旁瓣性能的

天线所预测的值的参数,在此处取0.7. 当 $G_0$ 取10 dB时接收增益与接收天线仰角的关系如图4所示.

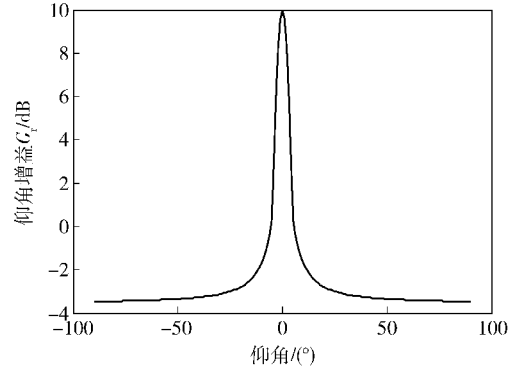


图4 接收增益与仰角关系

当考虑火车或火车站对卫星地球站的干扰时,卫星地球站天线辐射图被看成为离轴角的函数. 其中施扰系统方向相对于卫星地球站主轴方向的离轴角 $\varphi$ 可按照如图5所示的计算方法进行计算;同时可以通过几何分析得到施扰系统与卫星地球站间的保护距离.

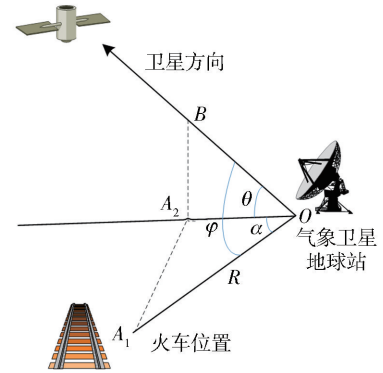


图5 离轴角计算模型

使用ITU-R P. 452-15中的模型,地球站水平方向天线方向天线增益计算如式(6),接收增益与离轴角的关系如图6所示.

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{\max} - 2.5 \times 10^{-3} \left( \frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2, & 0 < \varphi < 21.4 \\ G_1, & 21.4 \leq \varphi < 100 \frac{\lambda}{D} \\ 52 - 10\lg \frac{D}{\lambda} - 25\lg \varphi, & 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 119.3 \\ -2 - 5\lg \frac{D}{\lambda}, & 119.3 \leq \varphi \leq 180 \end{cases} \quad (6)$$

其中: $G_1=2+15\lg\frac{D}{\lambda}$ 为第一旁瓣增益, $G_{\max}$ 为天线主瓣增益, $G(\varphi)$ 为天线增益, $\varphi$ 为偏离轴向的角度, $D$ 为天线直径, $\lambda$ 为波长.

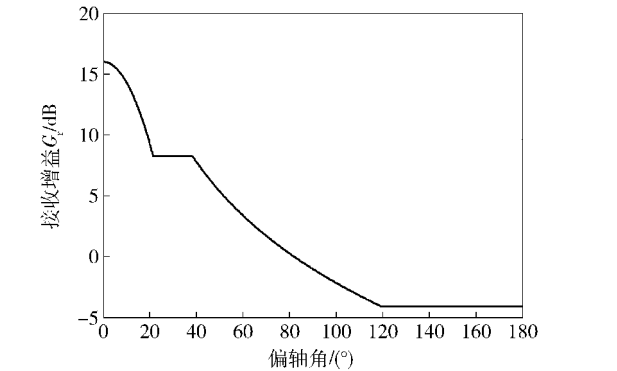


图6 接收增益与离轴角关系

3 仿真和分析

表 1 和表 2 所示为 Argos 系统和铁路列调系统所需仿真参数.

表 1 Argos 系统下行链路性能参数

参数	值
轨道高度/km	850
周期/min	100
发射功率/dBm	40
最大发射天线增益/dBi	1.3
极化方式	右旋圆极化
接收天线增益/dBi	16
参考带宽/kHz	10
接收机干扰限值/dBm	-127

表 2 铁路列调系统仿真参数

参数	值	
	基站	移动台
最大发射功率/dBm	40	40
参考带宽/kHz	10	10
天线高度/m	30	4
天线增益/dBi	10	0
极化方式	垂直	垂直
$I_{ACLR}/\text{dB}$	65	65
$I_{ACS}/\text{dB}$	65	65
接收机容忍最大干/dBm	-128	-128

近,对 4 种可能存在的干扰情况进行了仿真分析.

3.1 气象卫星对火车

Argos 气象卫星对火车的干扰需同时考虑同频和邻频情况,当进行同频分析时,定义卫星气象业务中心频点为 468 MHz,邻频时定义卫星气象业务中心频点为 466 MHz. Argos 气象卫星运行在近极地轨道上,轨道近似圆形,高度 850 km,运行周期约 100 min,由于地球的自转,卫星能够实现全球的覆盖.

取卫星和火车经度差为 0°,图 7 显示了卫星处于不同纬度时,与 3 个城市北京、哈尔滨、武汉的火车同频和邻频共存情况下的隔离度需求,其中 3 个城市的纬度分别为 40°、45°和 30°. 邻频情况下,对于发射机和接收机的非理想特性通过式(2)建立的邻信道干扰功率比 ACIR 来综合表征. 对  $I_{ACIR}$  取 55 dB 进行分析(见图 7(b)). 从图 7 的仿真结果可以看出,当 Argos 气象卫星沿轨迹运动时,对北京、哈尔滨、武汉 3 个城市的火车在同频情况下存在干扰,但所需隔离度最大为 8.5 dB,可以采取一定的时间隔离、波束赋形等技术规避干扰. 而邻频情况下,由于邻信道干扰功率比( $I_{ACIR}$ )的影响,所需隔离度均为负值,气象卫星对单个火车不存在邻频干扰,即存在共存的可能性.

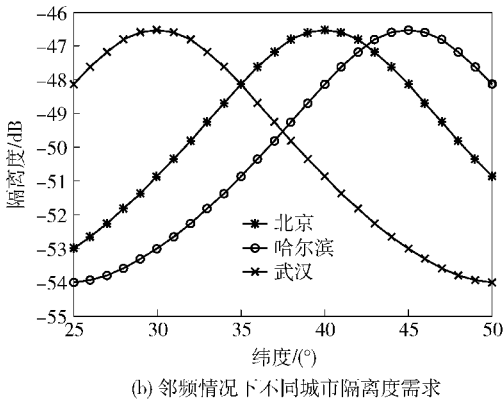
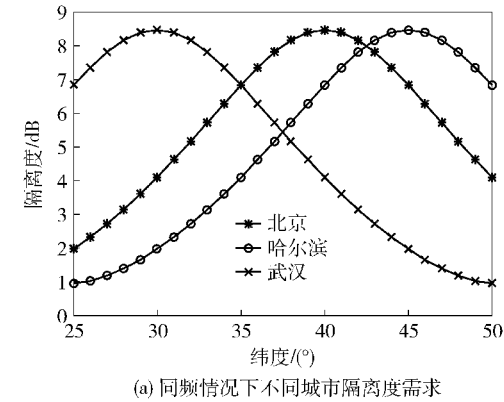


图 7 不同城市隔离度需求(气象卫星对火车)

根据上文所述场景和模型,在 450 MHz 频段附



### 3.2 气象卫星对火车站

气象卫星对火车站不存在同频干扰,因此,只分析邻频干扰情况.在邻频情况下,考虑邻信道干扰功率比( $I_{ACIR}$ )的影响, $I_{ACIR}$ 为 55 dB 时气象卫星对火车站的影响,如图 8 所示.可以看出,所需隔离度为负值,故二者具有共存的可能性.

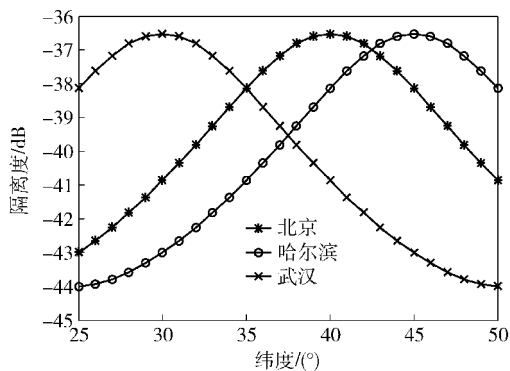


图 8 不同城市隔离度需求(气象卫星对火车站)

### 3.3 火车站对气象卫星地球站

在同频情况下,首先分析极端情况,即 Argos 气象卫星地球站仰角为  $0^\circ$ ,火车站离轴角为  $0^\circ$  时,传播损耗需满足 Argos 气象卫星地球站保护标准,计算得到二者所需的隔离距离较大.由于该同频范围内可使用的频点数不多,可以尽量避免使用该范围内的频点.

在邻频情况下,对该场景作仿真分析.将 Argos 气象卫星地球站位置设置为  $(0,0)$ ,火车站在坐标平面上任意位置  $(x,y)$ ,由于距离、离轴角、天线方向图等因素的影响,火车站处于不同位置时,气象卫星地球站的接收功率可能存在差异.由于 Argos 气象卫星的轨道特征,卫星在垂直于赤道的轨道平面上进行运动,同时考虑地球自转的影响,在不同时刻,Argos 气象卫星处于不同的经纬度位置,这样将对气象卫星地球站的地面仰角产生影响.如图 9 所示,当仰角为  $30^\circ$  时,火车站处于不同位置时,气象卫星地球站接收功率存在差异,接收功率在高出干扰门限  $-127$  dBm 的部分所对应区域将存在干扰,在该区域以外,二者具有共存的可能性.同理可以作出仰角为  $0^\circ$ 、 $60^\circ$  时接收功率与火车站位置的关系图.图 10 为 Argos 气象卫星运行于不同的经纬度位置时,使地面仰角为  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$  时的接收功率满足干扰门限值的曲线,即不同仰角情况下的协调等值线,协调等值线即环绕协调区的线,协调区即地球站所在位置  $(0,0)$  周围的区域,在此区域以外的与

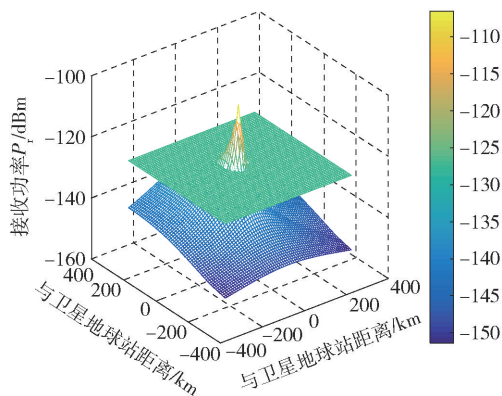


图 9 地面仰角  $30^\circ$  时接收功率(火车站对气象卫星地球站)

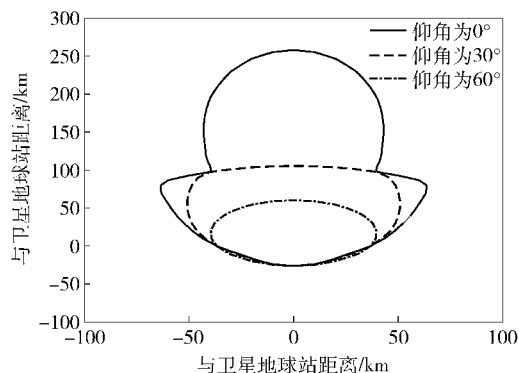


图 10 协调等值线(火车站对气象卫星地球站)

火车站共用同一频段的火车站(或火车)所产生的干扰电平不超过气象卫星地球站的干扰门限值.从图 10 中可以发现仰角对接收功率的影响,以气象卫星地球站处于发射天线主瓣方向的情况来看,仰角越大,所需的隔离距离越小.考虑最坏情况,当气象卫星地球站仰角为  $0^\circ$ ,且处于发射天线主瓣方向时,所需隔离距离最远,约为 260 km.

### 3.4 火车对气象卫星地球站

火车对气象卫星地球站的干扰只存在邻频情况,将气象卫星地球站放在  $(0,0)$  的位置,考虑天线方向图的影响,图 11 所示为气象卫星地球站仰角为  $30^\circ$  情况下气象卫星地球站接收功率与火车位置的关系.图 12 所示为  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$  三种不同仰角情况下的协调等值线.结论几乎与 3.3 节的情况相同,但与火车站对气象卫星地球站的干扰相比,分析火车对气象卫星地球站的干扰时,地球站接收功率满足干扰门限值时所需的隔离距离更小.考虑最坏情况,在气象卫星地球站仰角为  $0^\circ$ ,且处于发射天线主瓣方向时,所需隔离距离约为 80 km.当火车在该范围以外,二者具有共存的可能性.

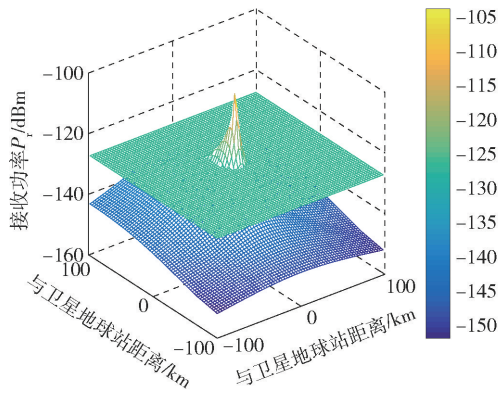


图 11 地面仰角 30°时接收功率(火车对气象卫星地球站)

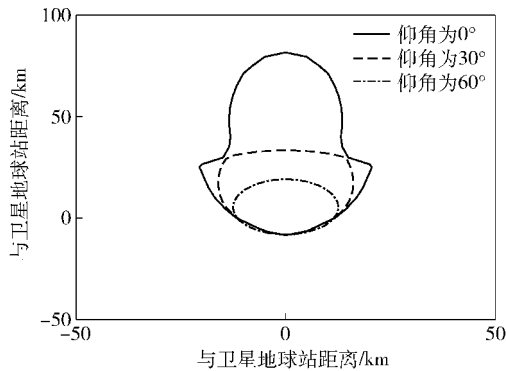


图 12 协调等值线(火车对气象卫星地球站)

## 4 结束语

为研究 450 MHz 附近频段 Argos 系统卫星气象业务与铁路列调系统的共存场景,对该场景进行同频和邻频分析. 针对卫星下行对铁路列调系统的干扰,以我国的几大城市为例,分析 Argos 气象卫星的轨道特征以及被干扰系统经纬度的影响,得出了同频和邻频情况下的隔离度需求. 针对铁路列调系统对气象卫星地球站的干扰,通过将地面系统放在一个坐标平面上,改变干扰系统的位置,根据 Argos 气象卫星地球站接收天线的天线特征,研究不同仰角

下的协调区范围,得出满足地球站保护标准的范围的协调等值线. 笔者在对协调区范围的分析中,考虑的是最差的情况,即目标是干扰可能最大值,而实际情况下,可能会有地形、地貌的影响,这样,协调区的范围可能会缩小. 除了可以采用一定的频率隔离和空间隔离,还可以采取时间隔离,提高滤波器精度,优化天线安装、使用一定的波束赋形技术等措施来规避干扰.

## 参考文献:

- [1] Guidolin F, Nekovee M. Investigating spectrum sharing between 5 G millimeter wave networks and fixed satellite systems [C] // 2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). San Diego: IEEE, 2015: 1-7.
- [2] Krongold B S, Ramchandran K, Jones D L. Computationally efficient optimal power allocation algorithms for multicarrier communication systems [J]. IEEE Trans on Commun, 2000, 48: 23-27.
- [3] Thompson P, Evans B. Analysis of interference between terrestrial and satellite systems in the band 17.7 to 19.7 GHz [C] // 2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW). London: IEEE, 2015: 1669-1674.
- [4] 周瑶. 450 ~ 470 MHz 频段 IMT FDD 与铁路调度系统干扰分析 [J]. 邮电设计技术, 2015(6): 47-51.  
Zhou Yao. Interference analysis of IMT FDD and railway dispatching system around frequency band 450 ~ 470 MHz [J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2015(6): 47-51.
- [5] 张忠皓, 冯菁. LTE 系统在 450 ~ 470 MHz 频段的共存分析和部署策略 [J]. 邮电设计技术, 2012(3): 39-44.  
Zhang Zhonghao, Feng Jing. Coexistence analysis and deployment strategy of LTE system in the 450 ~ 470 MHz frequency band [J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2012(3): 39-44.