

FAST与周边移动通信基站电磁干扰分析

黄仕杰¹, 张海燕^{1,2}, 胡浩¹

(1. 中国科学院 国家天文台, 北京 100101; 2. 中国科学院FAST重点实验室, 北京 100101)

摘要: 射电望远镜易受地球人工电磁信号干扰, 为加强对500 m口径球面射电望远镜(Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope, FAST)电磁环境的保护, 开展移动基站干扰排查实验, 通过对电磁波宁静区内单个及多个基站与FAST的电磁干扰分析, 结合望远镜周边传播损耗情况, 研究在降低基站干扰的同时保证周边居民通信需求的措施。为减少基站干扰提供了有益建议。

关键词: 射电望远镜; FAST; 基站干扰; 电磁兼容

中图分类号: P161.4

文献标识码: A

文章编号: 2095-7777(2020)02-0144-08

DOI:10.15982/j.issn.2095-7777.2020.20190618004

引用格式: 黄仕杰, 张海燕, 胡浩. FAST与周边移动通信基站电磁干扰分析[J]. 深空探测学报, 2020, 7(2): 144-151.

Reference format: HUANG S J, ZHANG H Y, HU H. Study on electromagnetic compatibility between FAST and mobile base stations[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2020, 7(2): 144-151.

引言

500 m口径球面射电望远镜(Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope, FAST)^[1]自主体工程完成进入调试阶段以来, 各项指标已逐渐调整至设计目标要求, 调试运行期间, 也初步取得科学成果, 发现并确认上百颗新脉冲星。随着经济不断进步, 移动通信业务已成为居民生活不可或缺的无线电业务之一。移动通信业务通常大范围覆盖, 除了人口密集的居住区, 城镇之间的道路等各种人类活动的区域都有覆盖。为减少基站发射对射电望远镜的影响, 可考虑隔离度要求^[2], 计算隔离距离。但FAST电磁波宁静区^[3-4]5~10 km的中间区域有很多乡镇, 人口众多, 若考虑隔离度, 会涉及整个地区基站分布, 将是一项巨大投入, 还可能对居民生活产生较大影响。因此, 在适当情况下, 对基站下行发射功率或部分基站的位置进行适当调整, 是比较经济、对居民影响较小的方法。

为保护FAST的电波环境, 以FAST为核心设立了半径为30 km的电磁波宁静区, 其中半径5 km核心区内的通信基站关闭, 通信基站干扰强度已大幅下降。而电磁波宁静区内半径为5~10 km中间区的通信基站下

行信号强度对于FAST来说, 仍然是较强干扰, 接收机会承担一定的安全风险, 也不利于FAST的天文观测活动。基站下行信号属于长驻干扰, 全天24 h存在, 无论FAST何时开展观测活动, 都不可避免会受到干扰, 因此需进行处理, 降低基站造成的干扰。

2018—2019年下半年, FAST与中国移动、中国联通和中国电信公司联合进行了基站调整实验, 寻找在降低移动通信业务干扰的同时确保居民生活便利的最佳方案。到目前为止, 实验取得初步成果。在实验过程中, 也逐渐积累经验。本文正是基于这些实际实验的背景, 寻求可操作可实行的方法, 基于FAST周边传播损耗情况, 通过单个基站及多个基站的干扰分析, 为后续实验提供指导性建议。

1 FAST台址移动通信基站信号情况

1.1 台站基本电磁环境情况介绍

FAST观测频段为70~3 000 MHz, 此频段覆盖移动通信业务。在FAST台址监测获得的移动通信信号如图1和图2所示。

图1展示了860~980 MHz频段内, 通讯基站下行信号, 其中870~880 MHz为电信基站的下行信号,

收稿日期: 2019-04-21 修回日期: 2019-04-30

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(B类)资助(XDB23000000); 中国科学院天文大科学研究中心2019年度前瞻课题; 对外合作重点项目(114A11KYSB20160008); 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2020]4Y022号)

935~960 MHz频段包含移动与联通基站下行信号。图2展示了1 840~1 860 MHz为联通基站下行信号，1 885~1 915 MHz之间为中国移动基站下行信号。通讯基站下行频率及大致的业务划分见表1。

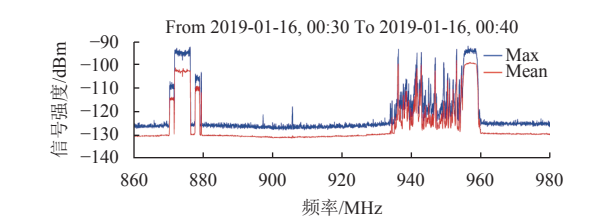


图 1 FAST 台址860~980 MHz频段移动通信基站下行信号情况
Fig. 1 Downlink signal of mobile communication base station in 860~980 MHz band of FAST site

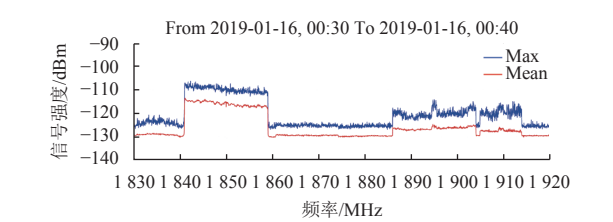


图 2 FAST 台址1 830~1 920 MHz频段移动通信基站下行信号情况
Fig. 2 Downlink signal of mobile communication base station in 1 830~1 920 MHz band of FAST site

表 1 FAST台址移动通信基站下行信号频段/MHz	
Table 1 Base station downlink band detected at FAST site	
频段	业务
870~880	中国电信CDMA下行
935~954	中国移动GSM下行
954~960	中国联通GSM/WCDMA下行
1 840~1 860	中国联通GSM1800/DCS1800下行
1 885~1 915	中国移动TD-LTE下行

根据ITU-R RA.769建议书^[5]推荐的干扰限值，基站下行信号远远超过干扰限值，必定形成干扰。现有移动通信基站下行信号强度对于FAST来说，仍处于一个较高的幅度水平，FAST接收机仍会承担一定的安全风险，不利于日常观测活动。因此，需适度降低基站干扰强度，同时兼顾周边居民生活便利需求。

1.2 移动通信基站干扰排查实验

2018年12月—2019年11月，FAST与贵州省移动公司黔南分公司开展了多次基站关闭实验。基站关闭时间选择在午夜，以减少对用户生活的影响。涉及30 km内基站的实验时，广西移动公司也参与其中。

通过操作935~954 MHz内的周边基站，初步成果显示，并非所有基站所有频道都会对FAST形成干扰，

通过多次寻找及验证，列出对FAST造成干扰的频道及频率，如表2所示。

表 2 FAST台址移动通信基站下行信号频段主要的

干扰频道及频率			
Table 2 Main RFIs channel and frequency in the base station downlink bands detected at FAST site			
		MHz	
频道	频率	频道	频率
4	935.8	5	936.0
6	936.2	14	937.8
15	938.0	16	938.2
17	938.4	18	938.6
19	938.8	21	939.2
22	939.4	23	939.6
23	939.6	27	940.4
28	940.6	29	940.8
30	941.0	31	941.2
32	941.4	33	941.6
34	941.8	35	942.0
36	942.2	37	942.4
38	942.6	39	942.8
40	943.0	47	944.4
48	944.6	49	944.8
79	950.8	80	951.0
81	951.2	84	951.8
85	952.0	86	952.2
89	952.8	90	953.0
91	953.2		

在后续移动基站干扰排查测试中，针对这些频率所对应基站进行过多次测试，目的为甄选出干扰最强，可获得最佳的调整效果的基站。在这些实验中，最具有代表性的测试为2019年3月的测试，该次测试范围覆盖FAST周边30 km，操作了包含表2中干扰频率的所有基站。

该次实验是首次由移动公司与天文台联合开展的大范围测试。此前的基站干扰排查，多是由FAST提供干扰频率，移动公司使用手提便携设备在FAST台址内展开排查。这种排查方法的优势在于移动公司的设备可以实时解码，识别干扰基站，但是便携设备测试性能不及FAST台址电磁环境监测系统，因而仅能排查少数信号强度较强的基站。而该次大范围联合测试，利用FAST台址电磁环境监测系统接收信号，移动公司操作FAST周边干扰基站，以此展开测试，最终由FAST对测试结果进行分析。

2019年3月，贵州省移动公司黔南分公司及广西移

动公司河池分公司共同参与基站干扰排查实验测试。所涉及基站为FAST周边30 km（实际操作了31 km）内发射频率包含表2中频率的450余个基站。

该次测试仅选择包含表2中频率的基站而并非所有基站，测试时间也选为深夜，以尽量减少对用户产生影响。

该次测试在对基站进行关闭操作时，先进行正常工作时的测试，再对基站进行关闭操作。基站关闭操作依次分为3个批次，依次测试结果。

其中，第一批次为分布在海拔高于700 m地点的260余个基站；第二批次为分布在海拔低于700 m地点的70余个基站；第三批次为第一批与第二批未操作的边远110余个基站，第三批次分两步进行操作。

测试结果如图3和图4所示。图3为第一批次基站关闭与正常工作时测试结果的对比。结果显示，第一批次基站关闭后，部分信号幅度略有下降，部分信号则大幅下降。图4所示为信号下降的频率，部分频率下降幅度高达25 dB，部分信号下降仅在5 dB以内。

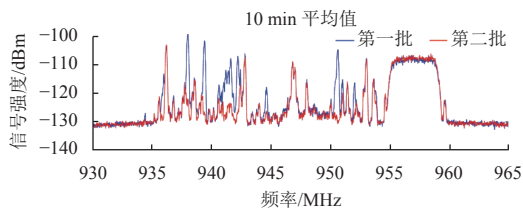


图3 第一批次基站关闭（红）与正常工作时（蓝）干扰情况对比
Fig. 3 RFI Comparison of the first batch of base station shutdown (red) with normal operation (blue)

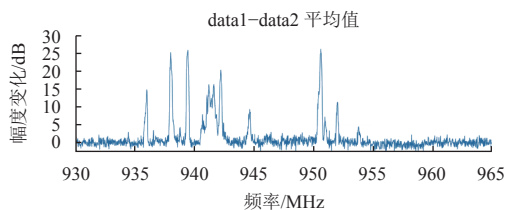


图4 第一批次基站关闭后幅度减小的频率
Fig. 4 Frequency with reduced amplitude after the shutdown of the first batch of base station

第二批次及第三批次基站的关闭未出现明显的变化。该次测试实验获得的干扰对应频率依次变化情况见图5~8。

图5~8所示为表2中列出的干扰频率在实验时，各批次基站关闭后的幅度变化情况。从图中可知，第一批次基站关闭后，部分频率幅度下降明显。而第二批次、第三批次基站的操作几乎没有明显变化，甚至个别频率略有上升，与实验预期不符，表明这些干扰频率有其它影响因素。

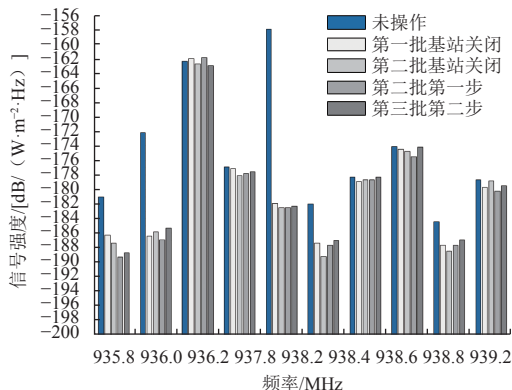


图5 干扰频率与强度依次变化情况1
Fig. 5 The sequence of frequency vs. intensity changes-1

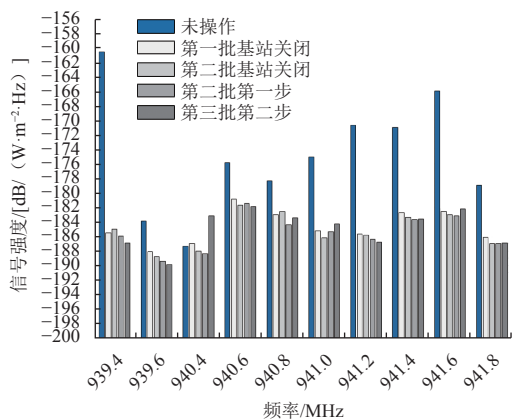


图6 干扰频率与强度依次变化情况2
Fig. 6 The sequence of vs. intensity changes-2

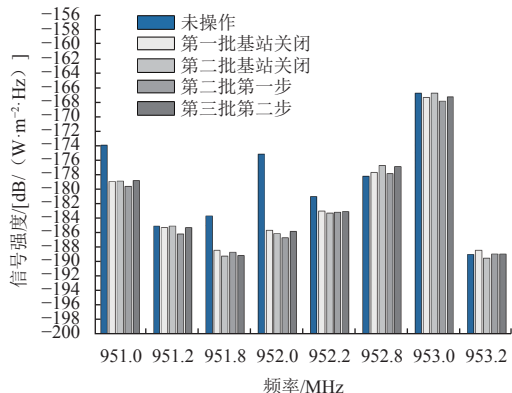


图7 干扰频率与强度依次变化情况3
Fig. 7 The sequence of frequency changes-3

图9所示为基站关闭操作与未操作时，干扰频率的变化情况。由于只有第一批次基站关闭后出现明显幅度下降，因此可将所有基站关闭操作测试结果的均值作为基站操作后的测试结果。

根据图9可知，大部分频率在进行操作后，幅度下降明显，最明显变化约25 dB。图9中，频率幅度下降

在6~25 dB之间可认为结果真实明显,可以置信,明确为基站关闭操作导致信号下降;下降幅度在3~6 dB之间也可认为是由关闭基站所引起的,但也不排除其他原因导致信号强度变化;而下降幅度在0~3 dB之间的信号变化则不好认定,信号强度的微小变化可认为实际上并无变化,而是由测试系统或发射源本身不稳定等未知原因导致的波动,不易确定是否与基站关闭操作具有直接联系;还有少数信号在关闭基站后反而增长0~2 dB,表明这些信号与所关闭的基站无直接联系。

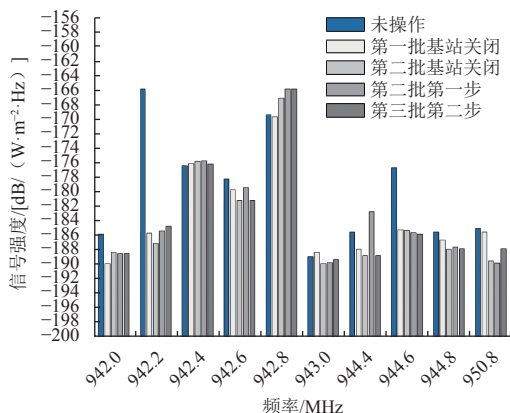


图8 干扰频率依次变化情况4

Fig. 8 The sequence of frequency changes-4

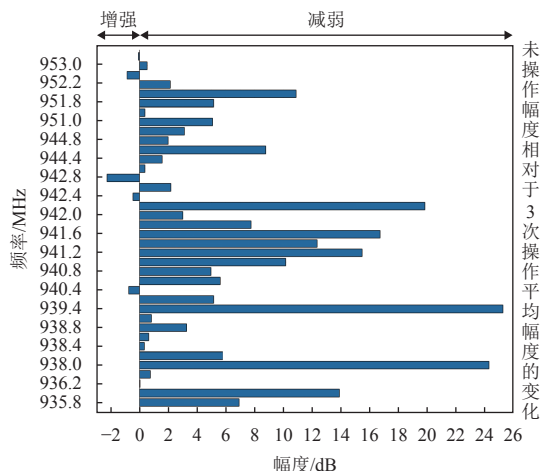


图9 基站操作前后幅度变化对比

Fig. 9 Contrast of amplitude change before and after base station operation

该次实验的结果更详细地描述了FAST台址周边935~954 MHz间的电磁环境情况,以及移动基站关闭后不同频率上幅度的变化情况,为后续实验提供了有益经验。

在分析过程中获取移动公司提供的参与测试基站分布情况后,发现以海拔高度作为特定的条件来区分基站本身逻辑并无不妥,但需要考虑基站分布与天线

方向性的关系,实现全方位测试。此外,测试也不能认定具体的强干扰基站。大范围测试的结果,可根据频率的变化,对小部分基站进行排除,但范围仍然较广,不易认定影响最大的具体的某些基站。后续的排查实验还需进一步细化。

为此,考虑通过数值模拟的方法,寻找一种具有可操作性的方式,从而减小实际操作移动基站的范围和数量,以提高干扰排查效率。

2 电磁干扰分析

2.1 单基站干扰分析

单站对射电望远镜的干扰模型如图10所示,基站安装有发射天线,发射天线发射电磁波,经过传播路径,被射电望远镜接收,根据ITU-R RA.769建议,射电望远镜的水平增益取为0 dBi。因此,射电望远镜接收到的信号强度,可以根据发射功率、发射增益以及路径传播损耗确定

$$P_r = P_t + G_t - L_p \\ = EIRP - L_p \quad (1)$$

其中: P_r 为接收的信号强度,单位为dBm; P_t 为发射强度,单位为dBm; G_t 为发射天线增益,单位为dBi; L_p 为路径传播损耗,这里取正值,单位为dB。

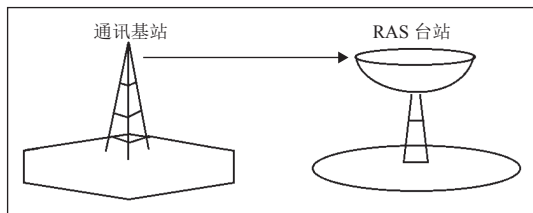


图10 单站干扰场景

Fig. 10 Single-station interference scenario

显然,路径传播损耗越大,信号在路径上衰减就越多,接收端接收的信号强度就越小;发射端的 $EIRP$ 越小,即发射功率越小,且增益越小,射电望远镜接收到的信号强度也就越小,这是一个常识性结论。因此,要改善单站对FAST的影响,可考虑改变两个参量,对于 $EIRP$,可以调整发射信号强度,降至双方可接收的合理值,也可以改变 G_t 的值,比如改变基站天线指向或者改变下倾角等,使发射天线在射电望远镜方向增益降低。对于 L_p ,可以改变基站位置,将基站移至在射电望远镜方向上有大型遮挡物的位置,增加路径传播损耗。

2.2 多基站干扰分析

基站通常以1基站3扇区的形式进行部署,根据

ITU-R M.2292^[6]建议书, 1基站3扇区结构如图11所示, 图中红色圆点代表基站位置, 每个基站共3个扇区, 图11中, 以红色圆点为中心的3个同色正六边形, 代表每个基站的3个扇区。图中的 A 所示距离为每个基站覆盖半径, B 为两个基站之间的距离。可以此计算基站密度和参考平面内基站的总数。

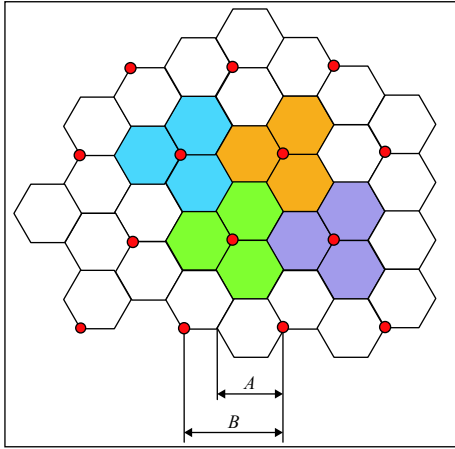


图 11 1基站3扇区结构

Fig. 11 Structure of the one base station with 3 sectors

对于多个基站, 基站按照1基站3扇区形式分布在望远镜四周, 每个基站发射的信号均会传播至射电望远镜位置, 并被望远镜接收机接收, 根据单站干扰分析的结论, 射电天文望远镜的水平增益为0 dBi, 在水平面上可视为全向天线。

若考虑相同频率的下行信号, 假设同时下发信号的基站共有 N 个, 则接收信号集总干扰强度^[7-8]为

$$P_s = \sum_{n=1}^N P_{r_n} \quad (2)$$

其中: P_s 为集总干扰强度, 单位为mW; P_{r_n} 为第 n 个基站的接收信号强度, 单位为mW。式(2)表明接收处集总干扰为各发射源在接收处产生接收强度的和。

根据文献[9], 集总干扰为

$$P_s = \sum \frac{N_i g P \cdot G \cdot G_R(\varphi)}{L_i} \quad (3)$$

$$\text{即 } P_s = \sum_{n=1}^N \frac{1}{L_n} EIRP_n$$

为方便表示, 设 $\phi_n = \frac{1}{L_n}$, 即

$$P_s = \sum_{n=1}^N \phi_n EIRP_n \quad (4)$$

其中: $EIRP_n$ 为第 n 个基站的 $EIRP$ 值; ϕ_n 为与传播损耗相关的一个系数, 为了方便计算, 将所有基站的

$EIRP$ 视为相等的常数 C , 则式(4)可作如下变换

$$P_s = \sum_{n=1}^N \phi_n EIRP_n = C \cdot \sum_{n=1}^N \phi_n \quad (5)$$

式(5)表明, 在假设多个基站 $EIRP$ 相等的前提下, 系数 ϕ 影响着每个基站对于集总干扰的贡献, 该系数越大, 则表明该基站的贡献越大。即在实际操作中, 可先暂时忽略 $EIRP$ 的变化, 集总干扰强度的考虑就转变成传播损耗的考虑。

可考虑这样的场景, 针对某一下行频率, 假设存在 N 个基站, 所有基站对射电望远镜形成的干扰都是较小的或可接受的, 有且只有一个基站产生了强干扰。对于这样的场景, 将 ϕ 的动态范围限定于小于某个范围之内, 有且只有一个基站 ϕ 值很高。则

$$\begin{aligned} P_s &= C \times \left(\sum_{n=1}^{N-1} \phi_n + \phi_{\max} \right) \\ &= C \times \left[\sum_{n=1}^{N-1} \phi_n + (\phi_{\max} - \bar{\phi}) + \bar{\phi} \right] \\ &= C \times \left(\sum_{n=1}^N \phi_n \right) + C \times \Delta\phi \end{aligned} \quad (6)$$

其中: $\bar{\phi}$ 是除去最高 ϕ 值的基站后剩余基站 ϕ 值的平均值; $\Delta\phi$ 为最高值与平均值的差值。式(6)表明, 可以针对干扰最强的基站, 对其进行调整, 使其 ϕ 值下降(当然直接关闭该基站也是可以的), 则可以降低集总干扰的强度, 当 $C \cdot \Delta\phi$ 是一个较大的数时, 如能对该基站进行有效调整, 则集总干扰 P_s 可能会有大幅降低。在处理基站信号时, 可以优先考虑 ϕ 值较高的基站, 优先对其进行调整。该方法在已知周边传播损耗分布情况的前提下, 寻找可能形成强干扰的基站, 具有一定的实际可操作性, 利于与通信基站共同操作进行实验。

由于式(6)忽略了 $EIRP$ 的变化, 因此式(6)中的 ϕ 值只与路径损耗有关。

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= \frac{1}{L_{pn}} \bigg|_{\max} - \frac{1}{L_{pn}} \bigg|_{\text{mean}} \\ &= \frac{L_{\text{mean}} - L_{\min}}{L_{\min} \cdot L_{\text{mean}}} = \frac{\Delta L}{(L_{\text{mean}} - \Delta L) \cdot L_{\text{mean}}} \end{aligned} \quad (7)$$

其中: ΔL 为 $L_{\text{mean}} - L_{\min}$, 即平均传播损耗与最低损耗的差值, 式(7)表明, 不考虑基站发射功率及增益时, ϕ 值仅与传播损耗有关, 如果基站在FAST周边分布时, 若某一基站所在位置, 至FAST的路径传播损耗比周边其他的基站位置的传播损耗明显小很多, 则可优先考虑调整该基站。如图12所示, ΔL 、 P_s 与 $\Delta\phi$ 都是

正相关的关系,如果某一基站传播损耗低于与其他基站的平均传播损耗,两个传播损耗之间的差值越大,则对该基站相应调整的效果也越明显。

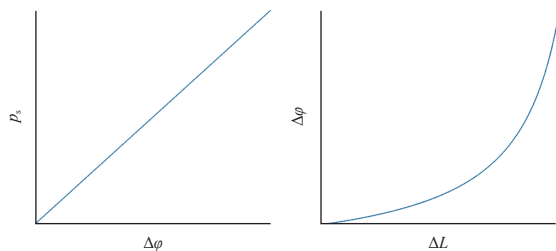


图 12 参数之间的关系

Fig. 12 Relationship between parameters

2016年FAST建设期间,与地方运营商合作,在FAST台址开展测试实验,关闭FAST电磁波宁静区半径5 km核心区内基站^[10],测试基站信号下降程度,结果如图13所示。红色曲线为关闭核心区内基站后的强度,灰色曲线为未关闭基站时的强度,在不同的下行频率,基站均有所下降,其中,移动基站下行频率总体下降40~50 dB,是大幅下降。电信基站下行也接近10 dB。符合上文分析提出的,可优先对最强干扰基站进行调整处理的方法。

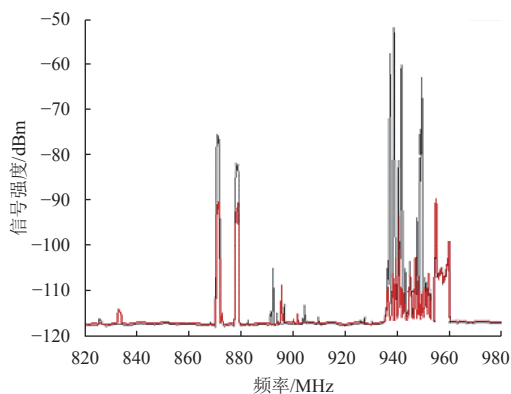


图 13 关闭核心区基站,干扰信号大幅下降

Fig. 13 The interference signal decreases greatly after shutting down the base station in the core area of FAST RQZ

FAST建成后,进入运行调试阶段,5 km核心区内基站全部关闭。此后,经过不时的协调整,基站干扰维持在比图13红色曲线略低的水平,台站内手机已无法联通外界基站。但基站下行信号仍有降低空间。

综上所述,对于多个基站的集总干扰,可以优先考虑干扰最强的基站,对其进行处理,因各基站的状态难以确定,可考虑传播损耗较小地区的基站,对其进行降幅转向等调整,从而降低总体基站造成的集总干扰。

2.3 FAST周边传播损耗

根据上文分析,对于单个基站,如不能直接关闭基站,可以通过降低发射功率、改变发射天线倾角等方式降低EIRP,通过改变基站位置的方法增加传播损耗,以此将降低其对FAST造成的干扰。

考虑多基站干扰时,在频率相同,发射时间相同的情况下,每个基站对集总干扰的贡献不同,可以优先考虑 ϕ 值大的基站即传播损耗较小处的基站对其进行调整,若存在传播损耗明显较小地区的基站,效果会更明显,在明确FAST周边传播损耗分布情况的前提下,寻找传播损耗较低地区的基站进行调整实验,具有可操作性。

图14为FAST周边传播损耗的分布情况。图14中,通讯基站天线高度设置为高于地面15 m,发射频率为960 MHz,天文望远镜馈源距地面高度140 m。红色区域表明在该地区至FAST台址,传播损耗高,台址周边传播损耗低。图14表明,由于地形关系,有一块边界较为明显的狭长地带,该地带内传播损耗相对较小,在地带之外,路径传播损耗相对较大。针对基站不同下行频率,以及对基站的高度进行微调,模拟的结果基本相同,即FAST周边存在这样的带状区域。今后考虑下调基站发射强度时,可以优先考虑分布在该带状地区内的基站,达到降低集总干扰且减少基站操作数量的目的。

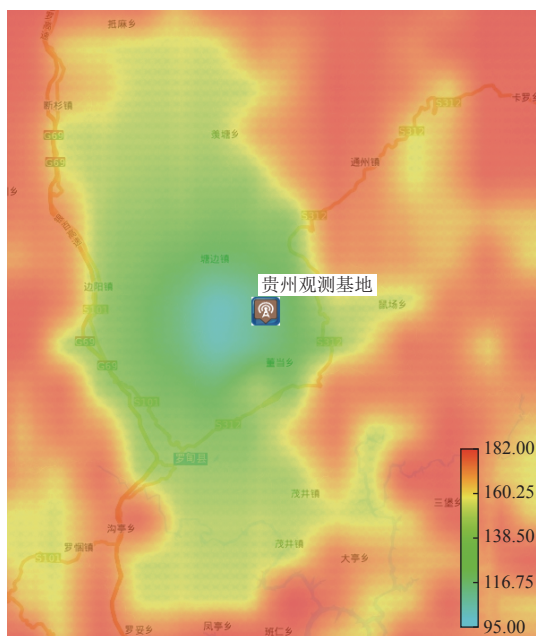


图 14 FAST周边传播损耗分布

Fig. 14 Distribution of propagation loss around FAST

2019年11月,FAST利用可调整指向的环境监测系统,在FAST 360°方位方向上,每隔30°对934~954 MHz

频段展开测试,结果如图15所示。在图15中,FAST在北0°、东北60°、东南150°以及西南240°3个方向上的信号相较于其他方向的信号强度要强一些。

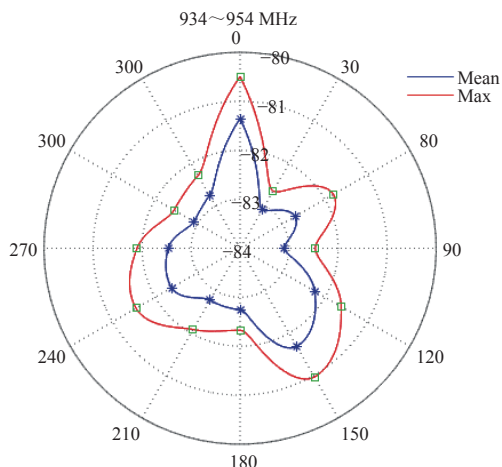


图 15 934~954 MHz频段FAST 台址360°全方位信号强度测量
Fig. 15 Omnidirectional measurement of signal strength in the band of 934~954 MHz at FAST site

图15的实际测试结果与图14的传播损耗分布结果是相融洽的。将两图进行整合重叠,如图16所示,粗略分析,在大致相同的方向上,传播损耗分布和实际测试结果是融洽的,并不具有颠覆性的差异,也能从侧面反映上文通过多基站分析的方法给出的基站调整建议,对于FAST实际情况,能够在数量和范围上起到减少操作基站的作用,为后续的排查实验测试提供一个具有可操作性的实验方法。

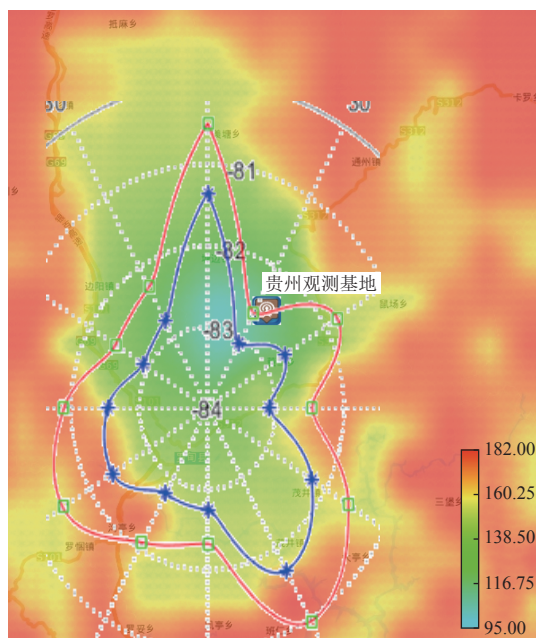


图 16 传播损耗分布与信号强度实测结果相融洽
Fig. 16 The propagation loss distribution is consistent with the measured signal strength

3 结 论

移动通信干扰是FAST的主要干扰源之一。通过电磁环境监测和联合干扰排查实验,获得FAST周边移动通信基站,特别是FAST电磁环境中934~954 MHz移动通信信号干扰情况。

考虑到移动通信业务为FAST周边居民生活必需业务,因此,在现有基站分布及运行状态下,采用对部分基站进行调整操作,并结合早期实验情况,总结实验不足,通过对单个基站及多个基站集总干扰进行理论分析,结合FAST周边传播损耗情况,为以后的排查实验做出可操作、可实行的实验建议,即建议优先调整FAST周边传播损耗较小的狭长地带内的基站,并给出相关的主要干扰频点。相关理论和试验结果为后续移动通信基站的干扰消减奠定了基础。

参 考 文 献

- [1] LI D, PAN Z. The Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope project[J]. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 2012, 8(S291): 325-330.
- [2] 周建美. LTE-M系统频率干扰研究[J]. *铁道通信信号*, 2018(12): 86-90.
- [3] ZHANG H Y, CHEN Z J, LI B, et al. Radio quiet zones in China[C]// *General Assembly & Scientific Symposium*. [S. l.]: IEEE, 2014.
- [4] ZHANG H Y, NAN R D, PENG B, et al. Proposed radio quiet zone around FAST in China[C]// *Electromagnetic Compatibility*. [S. l.]: IEEE, 2013.
- [5] ITU. RECOMMENDATION ITU-R RA.769-2, Protection criteria used for radio astronomical measurements[S]. Geneva, Switzerland: ITU, 2003.
- [6] ITU. Characteristics of terrestrial IMT-advanced systems for frequency sharing/interference analyses: ITU-R M.2292-0[R]. Geneva, Switzerland: ITU, 2013.
- [7] 周瑶, 聂昌, 毕猛, 等. 1.4 GHz频段IMT系统与其他业务共存分析及干扰规避措施建议[J]. *邮电设计技术*, 2014(11): 35-40.
ZHOU Y, NIE C, BI M, et al. The co-existence analysis and interference cancellation suggestions between IMT and other system in 1.4 GHz band[J]. *Designing Techniques of Posts and Telecommunications*, 2014(11): 35-40.
- [8] 韩锐, 张晓燕, 刘畅, 等. IMT系统对1 518~1 525 MHz频段卫星移动系统的干扰[J]. *电信科学*, 2016, 32(3): 99-104.
HAN R, ZHANG X Y, LIU C, et al. Interference from IMT system to mobile satellite system in 1 518~1 525 MHz band[J]. *Telecommunications Science*, 2016, 32(3): 99-104.
- [9] 刘斌. 集总干扰的一种分析方法[J]. *中国无线电*, 2007(9): 54-55.
LIU B. An analyzing method for lumped interference[J]. *China Radio*, 2007(9): 54-55.
- [10] 黄仕杰. 500米口径球面射电望远镜(FAST)电磁干扰监测与分析[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017: 30-31.

作者简介:

黄仕杰(1991–), 男, 助理工程师, 主要研究方向: 电磁兼容技术。

通讯地址: 贵州省黔南州平塘县克度镇大窝凼FAST台址

电话: (0854) 7233384

E-mail: huangshijie@nao.cas.cn

张海燕(1973–), 女, 研究员, 主要研究方向: 天文学。本文通讯作者。

通讯地址: 中国科学院国家天文台(100101)

电话: (010) 64839807

E-mail: hyzhang@nao.cas.cn

Study on Electromagnetic Compatibility Between FAST and Mobile Base Stations

HUANG Shijie¹, ZHANG Haiyan^{1,2}, HU Hao¹

(1. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. CAS Key Laboratory of FAST, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Radio telescopes are vulnerable to the Earth's artificial electromagnetic signal interference. In order to protect the electromagnetic environment of Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope (FAST), the mobile base station interference detection experiment was carried out. By compatibility analyzing the electromagnetic of single and multiple base stations and FAST, and combining the propagation loss around the telescope, the measures to reduce the interference of base stations and ensure the communication demand of surrounding residents are studied, providing useful suggestions for reducing the interference of base stations.

Keywords: radio telescope; FAST; radio interference of mobile base station; electromagnetic compatibility

Highlights:

- The theory analysis of single-station and multi-station total interference of mobile communication base station provides suggestions to mitigate the interference to FAST.
- Interference information is provided by the interference detection test of the mobile communication base stations.
- Point out that the signal strength of the mobile communication base station is related to the peripheral propagation loss of FAST in different directions.

[责任编辑: 宋宏, 英文审校: 朱恬]