大口径射电望远镜电磁兼容控制方法

刘奇^{1,2}, 王娜^{1*}, 刘晔¹, 陈卯蒸¹

1. 中国科学院新疆天文台, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院大学, 北京 100049

*联系人, E-mail: na.wang@xao.ac.cn

收稿日期: 2018-12-22; 接受日期: 2019-01-25; 网络出版日期: 2019-05-31

国家重点基础研究发展计划(编号: 2015CB857100)、国家自然科学基金(编号: 11473061, 11103056)、中国科学院天文台站设备更新及重大仪器设备运行专项和中国科学院天文大科学研究中心前瞻课题资助项目

摘要 大口径射电望远镜具有极高的系统灵敏度, 其建设及运行过程将引入各类电子设备, 电磁干扰的有效控制是射电望远镜科学产出的重要保证. 本文结合射电天文台址电子设备电磁兼容性要求, 分析了现有射电天文领域及其他领域电子设备的主要电磁兼容评估标准及存在的不足, 考虑到工程实施的可行性, 提出大口径射电望远镜电磁兼容控制方法, 涉及台址电子设备所在位置干扰电平限值量化方法、电子设备电磁兼容测量方法和测量要求、屏蔽效能测量方法及测量要求、电子设备电磁兼容控制流程等. 该电磁兼容控制方法计划应用于新疆奇台拟建的110 m全向可动射电望远镜(Qi Tai Radio Telescope, QTT), 确保QTT拥有良好的电磁兼容性.

关键词 射电望远镜, 电磁兼容, 干扰电平限值, QTT

PACS: 95.55.Jz, 95.45.+i, 02.40.Pe

1 引言

我国国家军用标准GJB72-85^[1]中规定, 电磁兼容性(Electromagnetic Compatibility, EMC)是指电子、电气设备或系统在预期的电磁环境中按设计要求正常工作的能力; 它反映的是设备或系统承受电磁骚扰时能正常工作的能力. 它是设备或系统的重要性能指标, 也是保障系统的工作效能和提高系统可靠性的重要因素.

对于射电天文领域, 射频干扰(Radio Frequency Interference, RFI)指除观测目标信号外, 射电望远镜接收到的其他无用信号^[2]. RFI分为自然干扰源和人为干

扰源, 自然干扰源如宇宙背景辐射、太阳、雷电等. 人为干扰源可能来自广播电视、数据传输(移动通信、微波接力、无线网络)、导航(GPS, 北斗, GLO-NASS)、雷达、遥感、军用通信、电子墙、汽车火花塞、高压电线及家用电子设备(微波炉)等. 望远镜系统内各类网络交换设备、数字终端、控制监控系统等. 人为干扰源对射电天文观测的影响远远大于自然干扰源^[3]. 而射电望远镜具有极高的系统灵敏度, 例如, 目前L, S, C波段的系统噪声温度只有几十K^[4]. 射电望远镜建设及运行过程, 台址引入的电子设备电磁干扰通过天线旁瓣进入接收系统^[5], 降低系统信噪比,

引用格式: 刘奇, 王娜, 刘晔, 等. 大口径射电望远镜电磁兼容控制方法. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 099511

Liu Q, Wang N, Liu Y, et al. An EMC control method for large-diameter radio telescope (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2019, 49: 099511, doi: [10.1360/SSPMA2018-00412](https://doi.org/10.1360/SSPMA2018-00412)

恶化观测数据,也加大了处理数据的复杂性^[6,7].

国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)针对射电天文仪器设备灵敏度及不同观测模式要求,制定了ITU-R RA.769-2建议书,此建议书依据射电天文分配的频谱带宽,给出了射电天文连续谱观测高于13 MHz、谱线观测高于327 MHz的有害流量密度限值^[4].但是此限值为射电望远镜馈源口面的干扰电平限值,且频率并不连续,并不能直接评估电子设备的电磁兼容性是否满足要求.国际无线电干扰委员会CISPR 22和CISPR 16-1-1标准给出了消费电子等辐射设备允许的最大辐射功率极限及测量要求^[8,9].美国国家军用标准MIL-STD-461F^[10]在国际军用设备电磁兼容测量评估得到广泛应用,GJB151B-2013^[11]在MIL-STD-461F基础上进行优化,用于中国军用设备电磁兼容评估.上述标准给出了电子设备的电磁兼容测量方法及限值要求,但是并不满足射电天文台址电子设备的电磁兼容性要求.这是因为射电望远镜拥有极高的系统灵敏度,电子设备距离射电望远镜焦点距离越近,电磁兼容性要求越高,而距离焦点较近的电子设备电磁辐射限值要求低于电波暗室的背景噪声,采用直接测量的方法无法有效评估电子设备的电磁兼容性是否满足要求.

拟建的110 m口径全向可动射电望远镜(Qi Tai Radio Telescope, QTT)工作带宽为150 MHz–115 GHz^[12],望远镜及台站建设将面对各个方面的电磁干扰.台址外各类无线通信业务产生的电磁干扰依据QTT无线电宁静区保护办法,协调和抑制其对射电天文观测的影响;而QTT系统及台站建设将引入各类电子设备,其电磁干扰的有效控制,是QTT科学产出的重要保证.本文依据射电望远镜电磁兼容控制需求,结合工程建设及运行管理的可行性,提出一种适用于大口径射电望远镜的电磁兼容控制方法.

2 电磁兼容控制

2.1 控制的目的

EMC控制的目的是将控制流程融入望远镜建设的质量管理体系中,并确保望远镜建设、运行阶段各类电磁干扰的有效控制. EMC控制涉及的相关问题包括控制范围、目的和需求、EMC设计、EMC风险分析、辐射限值、认证与测量;也包括流程化组织管

理、进度管理等.所有电子产品的分包商及产品供应商需考虑其产品是否满足望远镜系统电磁兼容性要求.

2.2 控制的范围

电磁兼容控制针对射电望远镜建设及运行过程中引入的各类电子设备或多个电子设备构成的子系统.电磁兼容涉及干扰源辐射发射(Radiate Emission, RE)及自身的辐射抗扰度(Radiate Susceptible, RS)、干扰源传导发射(Conducted Emission, CE)及自身的传导抗扰度(Conducted Susceptible, CS)、电子设备抗静电放电能力(Electrostatic discharge, ESD).

本文提出的电磁兼容控制方案仅针对大口径射电望远镜及台址内各类电子设备;另外,望远镜具有极高系统集成度,且非标准类设备众多,结合工程实施及后期运行管理的可行性,该电磁兼容性控制方法仅针对干扰源的辐射发射(RE).其次,考虑到现有电子设备的主要辐射频段,电磁兼容控制频率范围为100 MHz–6 GHz.

2.3 控制的思路

大口径射电望远镜具有极高的系统灵敏度, EMC控制需保证所有电子设备与望远镜系统及望远镜运行涉及的其他系统(观测系统、电源、数据传输、通信等)之间满足电磁兼容性要求,即电磁干扰不影响射电天文观测.

台址内电子设备位于不同位置,首先需确定电子设备所在位置的干扰电平限值,并制定可行的电磁兼容测量方法及评估流程,评估电子设备是否满足其所在位置的干扰电平限值,从而实现电磁干扰的有效控制.

3 电子设备所在位置干扰电平限值量化

分析电子设备电磁辐射对射电天文观测的影响,首先需确定射电望远镜馈源口面处干扰电平限值,在考虑望远镜天线增益的情况下,分析电子设备电磁辐射到达射电望远镜馈源口面处的谱流量密度是否超过馈源口面干扰电平限值,超过限值认为此电磁干扰对射电天文观测产生影响.

电子设备所在位置的干扰电平限值量化采用逆向思路.首先,预测电子设备电磁辐射到达射电望远镜馈

源口面处的电波路径衰减, 依据馈源口面干扰电平限值, 并考虑射电望远镜天线增益的影响, 计算出电子设备所在位置的干扰电平限值.

定义电子设备为Radio Astronomical Equipment (RAE), RAE可以为单个电子设备或多个电子设备组成的系统, RAE所在位置干扰电平限值 P_{E_limit} 按照公式(1)进行计算

$$P_{E\_limit} = TL - G_{sidelobe} + G_{Loss}, \quad (1)$$

式中, G_{Loss} 为RAE电磁辐射到达射电望远镜馈源口面路径衰减, $G_{sidelobe}$ 为RAE电磁辐射到达望远镜接馈源口面的天线增益, TL为射电望远镜馈源口面处干扰电平限值.

3.1 馈源口面干扰电平限值

系统灵敏度是衡量射电望远镜探测微弱信号能力的重要指标. 定义 P 为系统的输入功率, ΔP 为射电望远镜可测量到的最小的功率电平变化值, 则系统灵敏度为

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{\sqrt{\Delta f \tau}}, \quad (2)$$

其中, Δf 为带宽, 单位Hz; τ 为积分时间, 单位为s, 通常根据观测模式及观测射电源的强度计算获得合适的积分时间. 公式(2)中 ΔP 和 P 可以通过波尔兹曼常数 $k = 1.38 \times 10^{-23}$ Joules/K转换为温度单位:

$$\Delta P = k \Delta T; P = kT, \quad (3)$$

则射电望远镜系统灵敏度为

$$\Delta T = \frac{T_{sys}}{\sqrt{\Delta f \tau}}, \quad (4)$$

$$T_{sys} = T_A + T_R, \quad (5)$$

式中, T_{sys} 为望远镜系统噪声温度, T_A 为天线噪声温度, T_R 接收机噪声温度.

射电望远镜干扰电平限值为 ΔP_H 定义为带宽 Δf 内引起可测量到的最小功率电平 ΔP 产生1/10误差的干扰电平, 按照公式(6)进行计算, 式中 k 为波尔兹曼常数.

$$\Delta P_H = 0.1 \times k \times \Delta T \times \Delta f, \quad (6)$$

干扰电平限值 ΔP_H 求导后得到干扰电平限值功率谱密度 S_f :

$$S_f \left[\frac{W}{Hz} \right] = (\Delta P)'. \quad (7)$$

按照公式(4)–(7)进行计算, 公式中主要参数取值参考ITU-R RA.769-2建议书, 即带宽 $\Delta f = 1\% f$, τ 取2000 s^[4]. 另外, 考虑到不同频段现有接收机噪声温度及天线噪声温度, 结合文献[4]给出的相关参数分布特征, 分频段计算干扰电平限值, 即 $f < 1.4$ GHz时, T_R 取150 K, T_A 取60 K; $f \geq 1.4$ GHz时, T_R 取12 K, T_A 取10 K, 得到射电望远镜馈源口面处干扰电平限值计算公式

$$TL \left[\frac{dBm}{Hz} \right] = -17.2 \log_{10}(f) - 193.88, f < 1.4 \text{ GHz}, \quad (8)$$

$$TL \left[\frac{dBm}{Hz} \right] = -0.068 \log_{10}(f) - 252.05, f \geq 1.4 \text{ GHz} \quad (9)$$

3.2 抛物面天线旁瓣增益量化方法

3.1节提出的射电望远镜馈源口面干扰电平限值计算并没有考虑天线增益的影响, 即天线增益为0 dBi. 而对于实际情况, 电磁干扰通常通过天线旁瓣进入接收系统. 干扰源所在位置不同, 其电磁辐射到达射电望远镜馈源口面处的天线增益存在较大差异, 为更加准确地提出电子设备电磁兼容控制要求, 有必要考虑天线增益的影响.

ITU-R SA.509-3建议书针对大口径抛物面天线给出了天线增益模型^[13], 该模型适合于 $D/\lambda \geq 100$ 的天线(D 为天线直径, λ 为工作波长). 此建议书提出了单干扰源进入接收系统的旁瓣增益模型和多干扰源进入接收系统的旁瓣增益模型, 该模型在Lovell Mk1A 76 m Radio Astronomy Antenna上进行测量验证, 具有较高的准确性. 对于工程实际, 由于环境电磁干扰较多, 通常为多干扰同时接入射电望远镜接收系统, 因此选取多干扰源天线旁瓣模型计算天线旁瓣增益, 模型如下:

$$G(\phi) = \begin{cases} 29 - 25 \lg(\phi), & 1 \leq \phi \leq 48, \\ -13, & 48 \leq \phi \leq 80, \\ -8, & 80 \leq \phi \leq 120, \\ -13, & 120 \leq \phi \leq 180, \end{cases} \quad (10)$$

式中, $G(\phi)$ 为天线增益, ϕ 为干扰源偏离射电望远镜主波束轴的角度.

干扰源辐射方向与望远镜主波束轴的夹角 ϕ 分为两种情况^[14], 第一种情况, 干扰源位置低于天线馈

源口面高度, 如图1中左图所示(图中A点为干扰源, B点为馈源口面的中心, C为抛物面天线的抛物面, φ 为望远镜俯仰角, L 为电子设备到射电望远镜馈源口面中心与地面投影的水平距离, H 为电子设备到射电望远镜馈源口面中心的垂直距离), ϕ 按照下式进行计算:

$$\phi = \varphi + \arctan\left(\frac{H}{L}\right), \quad (11)$$

式中, φ 为射电望远镜的俯仰角.

第二种情况: 干扰源位置高于天线馈源口面高度, 如图1中右图所示, ϕ 按照下式进行计算:

$$\phi = \varphi - \arctan\left(\frac{H}{L}\right). \quad (12)$$

在实际天线增益量化过程中, 仅考虑极坏情况, 依照公式(11)和(12)分为两类: (1) 对于绝大多数台址内的电子设备, 其位置低于射电望远镜馈源口面, 其电磁干扰仅能通过天线旁瓣进入接收系统. 这种情况下, 俯仰角 φ 仅考虑射电望远镜运行过程的最低俯仰角, 且在射电望远镜指向电子设备所在位置的方向时, 计算电子设备电磁辐射到达射电望远镜馈源口面处的天线增益. (2) 对于电磁干扰源高于射电望远镜焦点的情况, 电磁干扰存在进入望远镜主波束的概率, 此类干扰的电磁兼容控制要求极高.

3.3 电波路径损耗

预测电磁辐射源到达射电望远镜馈源口面处的电波路径衰减, 分析电磁干扰对射电天文观测的影响是一个复杂的问题. 对于大型射电望远镜建设及运行阶段的电子设备电磁兼容控制, 考虑到工程建设和管理的可实施性, 采用自由空间传播模型, 即RAE到达射

电望远镜的电波路径衰减按照下式进行计算:

$$G_{\text{Loss}} = 32.4 + 20\lg(f) + 20\lg(D), \quad (13)$$

式中, G_{Loss} 为电波路径衰减. f 为电磁波频率, 单位为MHz, D 为干扰点到射电望远镜馈源口面的距离, 单位为km.

但是此模型在某些情况下存在一定的误差: (1) 低频情况下, 干扰源距离望远镜较近时, 电磁波为近场传播, 存在电磁和磁场耦合, 电波路径衰减计算极其困难; (2) 对于距离望远镜较远时(几百米或更远), 由于地形影响, 电波路径衰减可能大于自由空间衰减, 运用准确的电波传播模型更为合适.

4 电磁兼容控制流程及方法

4.1 电磁兼容控制流程

第3节给出了RAE所在位置的干扰电平限值量化方法, 依托RAE所在位置干扰电平限值, 评估RAE电磁辐射是否满足其所在位置干扰电平限值要求, 实现RAE电磁干扰的有效控制. 但是某些位置的RAE电磁兼容性要求极高, 其干扰电平阈值要求存在低于电波暗室背景噪声的情况. 图2给出了射电望远镜主动控制系统促动器的干扰电平限值量化结果, 图中红色曲线为电波暗室背景噪声, 该背景噪声低于GJB151B-2013限值10 dB, 可以看出促动器干扰电平限值低于电波暗室的背景噪声约20 dB, 故在电波暗室中直接测量RAE的电磁辐射, 无法有效评估其电磁辐射是否满足其所在位置的电磁兼容要求.

考虑到上述RAE电磁兼容评估存在的问题, 本文提出一种电磁辐射测量和屏蔽效能测量相结合的方法: (1) 在非屏蔽状态下测量RAE的电磁辐射, 并计算其所在位置的干扰电平限值, 对于不满足要求的RAE, 需进行电磁屏蔽设计; (2) 对研制的屏蔽壳体进行屏蔽效能测量, 通过非屏蔽状态下辐射发射测量结果, 结合屏蔽效能测量结果, 评估RAE电磁兼容性是否满足要求. RAE的电磁兼容控制流程如图3所示.

步骤1: RAE在非屏蔽状态下进行测量, 测量结果为 P_M , 测量系统测量不确定度为 Un .

步骤2: 计算RAE电磁辐射限值 P_E , $P_E = P_{E\_limit} - Un$, P_{E_limit} 为RAE所在位置干扰电平限值.

图1 干扰源与望远镜主波束轴的位置关系^[14]

Figure 1 Relationship between interference source and main beam axis of telescope [14].

图 2 (网络版彩图)QTT促动器干扰电平限值

Figure 2 (Color online) Interference level limit of QTT actuator.

图 3 RAE电磁兼容性控制流程

Figure 3 EMC control process diagram for RAE.

步骤3: 若 $P_M \leq P_E$, RAE可以安装;

步骤4: 若 $P_M > P_E$, 需要针对RAE进行电磁防护设计;

步骤5: 计算RAE屏蔽效能设计需求 S_{ER} ;

步骤6: RAE电磁防护设计完成后, 针对屏蔽壳体进行屏蔽效能测量, 测量结果为 S_{EM} ;

(1) 非屏蔽环境下RAE电磁屏蔽设计按照下式算屏蔽效能需求:

$$S_{ER} = P_M - (P_{E\_limit} - U_n), \quad (14)$$

式中, S_{ER} 为RAE屏蔽效能设计目标.

(2) 对于安装在屏蔽环境下的RAE, 屏蔽效能需求按照下式进行计算:

$$S_{ER} = P_M - (P_{E\_limit} - U_n) - S. \quad (15)$$

式中, S 为RAE所在屏蔽环境的屏蔽效能.

步骤7: 若 $S_{EM} \geq S_{ER}$, RAE可以安装;

步骤8: 若 $S_{EM} < S_{ER}$, 需要进一步优化电磁屏蔽及滤波设计, 满足步骤7后可进行安装;

步骤9: 对于安装后的RAE及其他设备, 考虑到RAE与其他系统的电磁兼容性; 需进一步评估RAE与其他系统的整体电磁兼容性;

步骤10: 若安装后的RAE满足电磁兼容性要求, 可正常工作;

步骤11: 若不满足电磁兼容性要求, 需要进行电磁兼容整改, 满足要求后可正常工作.

电磁兼容控制流程存在如下需要考虑的问题: (1) 电磁辐射测量方法和测量要求的考虑; (2) 屏蔽效能测量方法和测量要求的考虑; (3) 电磁兼容控制流程.

4.2 电磁兼容测量方法及要求

大型射电望远镜科学目标涉及脉冲星观测及瞬态辐射源观测, RAE电磁辐射控制需考虑脉冲电磁干扰信号. 目前, 脉冲电磁干扰非常普遍, 如数字处理器件产生脉冲式电磁辐射, 此类器件应用于各类电子设备, 如交换机、计算机、控制器、数字终端等. 因此, 为确保RAE最大值电磁辐射值满足其所在位置干扰电平限值要求, 电磁兼容测量检波器需选用最大值检波, 而GJB151B-2013中RE102测量(辐射发射测量)项目采用最大值检波器, 故RAE的辐射发射测量采用GJB151B-2013测量方法, 在电波暗室中进行, 且电波暗室背景噪声满足标准要求.

为确保测量的准确性, RAE测量状态需尽量与实际工作状态下保持一致, 要求如下: (1) RAE在正常工作状态下进行测量, 选用的线缆型号、长度与实际使用时的电缆长度尽量一致, 相关要求在测试报告中需要体现; (2) RAE处于同一位置情况, 需测量系统整体的辐射发射, 测量数据需经过严格校准, 相关要求在测试报告中需要体现; (3) RAE处于不同位置的情况, 需要独立测量不同位置设备的电磁辐射, 测量示意图如图4所示. 测量位置RAE1_1的电磁辐射时, 位置RAE1_2, RAE1_3等需安装于高性能电磁环境下, 这

图 4 RAE 电磁兼容测量要求

Figure 4 EMC measurement requirement for RAE.

种情况下, 需要考虑设计独立的高性能屏蔽机柜(通信互联状态下屏蔽机柜性能要求: 100 MHz–6 GHz, 屏蔽效能 > 90 dB), 并确保RAE正常工作. 依照上述要求, 分别测量RAE不同位置设备正常互联及工作状态下电磁辐射, 测量数据需经过严格校准, 相关要求在测试报告中需要体现.

4.3 屏蔽效能测量方法及要求

屏蔽效能测量方法及测量要求如下:

(1) 对于屏蔽室、屏蔽机柜, 即屏蔽壳体最大尺寸大于2 m, 屏蔽效能测量方法满足GB12190^[15]/IEEE STD 299-2006^[16]屏蔽效能测量标准;

(2) 对于小型屏蔽箱体, 即屏蔽壳体最大尺寸在0.1–2 m范围, 考虑到谐振的影响, 测量方法需满足IEEE 299.1-2013^[17]标准;

(3) 测量状态要求: 屏蔽室、屏蔽机柜、机箱、屏蔽盒等所有I/O接口需要连接实际使用的电缆, 测量状态及相关要求需要在测试报告中体现.

4.4 安装后RAE电磁辐射评估方法考虑

望远镜建设过程中, 存在某些设备发送至台址后才能进行测量评估, 而设备安装后, 可能存在与其他设备不可预见的电磁兼容性问题, 导致其电磁辐射不满足要求, 此类情况相对较少, 但是针对安装后的电子设备进行电磁兼容评估存在必要性.

对于安装后的RAE, 在现场环境下, 依照GJB-151B测量方法, 测量链路如图5所示, 结合RAE所在位置电磁兼容性要求, 并考虑测量系统灵敏度, 测量分析

图 5 安装后RAE电磁兼容测量

Figure 5 EMC measurement for post-installation RAE.

RAE及其他系统整体电磁辐射是否存在电磁兼容性问题. 此过程不易实现量化的电磁兼容评估流程, 需要工程技术人员依照工程经验及实际情况进行电磁兼容评估.

5 QTT电磁兼容控制计划

5.1 电磁兼容控制计划

此EMC控制方法计划融于QTT整个工程监管流程, 确保QTT建设、运行阶段各类电磁干扰的有效控制. 要求所有电子产品的分包商及产品供应商需要考虑其产品是否满足电磁兼容性. 此过程需融入到质量管理体系中并通过进度管理进行有效监督. 但是, 由于QTT为非标系统, 涉及设备类型极其广泛, 产品设计及开发过程, 偶尔存在个别设备或系统未考虑电磁兼容性问题, 导致其电磁辐射量级不满足QTT电磁兼容性要求, 此类问题可能通过正常设计流程解决问题. 而对于那些由于内部原因, 如成本与性能之间的权衡、工程进度、功能的优先级问题等无法及时解决时, 需综合考虑, 并预留必要接口, 确保后期问题的有效解决或缓解.

5.2 电磁兼容控制风险

考虑到大口径射电望远镜非标设备众多, 系统集成度高, 存在如下潜在风险: (1) 质量监管的漏洞: 电磁兼容控制流程未有效融入工程的质量管理体系中, 执行和监督流程存在漏洞; (2) 内部风险, 如成本和性能之间的权衡、技术方案和工程进度之间的权衡、功能优先级问题、经费不足问题, 存在局部设备电磁兼

容性降级或未考虑的风险; (3) 技术风险, 存在技术衔接不充分、电磁兼容设计方案未进行功能性验证, 导致应用时发现电磁兼容性问题, 及屏蔽状态下设备不能正常工作、非屏蔽状态下存在电磁干扰问题.

6 结论

本文结合射电天文台址电磁兼容控制需求, 考虑

到工程建设及运行管理的可行性, 提出大口径射电望远镜电磁兼容控制方法. 该方法能够有效评估电子设备电磁干扰是否满足射电望远镜电磁兼容性要求, 确保大口径射电望远镜建设及运行阶段拥有良好的电磁兼容性. 但是, 考虑到大口径射电望远镜建设及运行过程涉及的电子设备众多, 台址设备质量管理体系的建立和有效执行是电磁干扰的有效控制需制的重要保障.

参考文献

- 1 Defense Science and Technology Industry Committee. GJB72-85 Terminology for electromagnetic interference and electromagnetic compatibility (in Chinese). People's Republic of China National Military Standards. 1986 [国防科学技术工业委员会. GJB72-85电磁干扰和电磁兼容性名词术语. 中华人民共和国国家军用标准. 1986]
- 2 Porko J G. Radio Frequency Interference in Radio Astronomy. Dissertation for Master Degree. Espoo:Aalto University, 2011
- 3 Ekers R D, Bell J F. Radio Frequency Interference. arXiv: [astro-ph/0002515v1](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0002515v1)
- 4 Liu Q, Wang N, Wang Y, et al. A quasi-real-time method for radio environment measurement of radio astronomical observatory (in Chinese). Chin J Radio Sci, 2017, 32: 718–724 [刘奇, 王娜, 王玥, 等. 射电天文台站准实时电波环境测量方法. 电波科学学报, 2017, 32: 718–724]
- 5 International Telecommunication Union. Recommendation ITU-R RA 769-2. Protection criteria used for radio astronomical measurement. International Standard. 2003
- 6 International Telecommunication Union. Report ITU-R RA.2126. Techniques for mitigation of radio frequency interference in radio astronomy. International Standard. 2007
- 7 Liu Q, Chen M Z, Li Y, et al. An evaluation for electromagnetic radiation of electronic devices of telescope (in Chinese). Astron Res Tech, 2015, 12: 292–298 [刘奇, 陈卯蒸, 李颖, 等. 射电天文台站电子设备电磁辐射评估. 天文研究与技术, 2015, 12: 292–298]
- 8 International Special Committee on Radio Interference. CISPR 22 information technology equipment—radio disturbance characteristic—limits and methods of measurement. International Standard. 2008.9
- 9 International Special Committee on Radio Interference. CISPR 16-1-1:2000 specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus. International Standard. 2009
- 10 Department of Defense, United States of American. MIL-STD-461F requirements for the control of electromagnetic interference characteristic of subsystem and equipment. Department of Defense Interface Standard. 2007.12.10
- 11 People's Republic of China General Equipment Department. GJB151B-2013 Electromagnetic emission and susceptibility requirements and measurements for military equipment and sub system. People's Republic of China National Military standards. 2013 [中华人民共和国总装备部. GJB151B-2013军用设备和分系统电磁发射与敏感度测量要求. 中华人民共和国国家军用标准. 2013]
- 12 Wang N. Xinjiang Qitai 110 m radio telescope (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2014, 44: 783–794 [王娜. 新疆奇台110米射电望远镜. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2014, 44: 783–794]
- 13 International Telecommunication Union. Report ITU-R SA.509-3 space research earth station and radio astronomy reference antenna radiation pattern for use in interference calculation, including coordination procedures, for frequencies less than 30 GHz. International Standard. 2013
- 14 Liu Q, Liu Y, Wang N, et al. Quantified interference level limits for QTT key areas. In: Proceedings of the 2016 Radio Frequency Interference (RFI). Socorro, 2017. 55–58
- 15 Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12190-2006 Measurement of shielding effectiveness of high-performance shielding enclosures. National Standards of the People's Republic of China. 2006 [中国国家标准管理委员会. GB/T 12190-2006高性能屏蔽室屏蔽效能的测量方法. 中华人民共和国国家标准. 2006]
- 16 IEEE Electromagnetic Compatibility Society. IEEE STD 299-2006 IEEE standard method for measuring the effectiveness of electromagnetic shielding enclosures. International Standard. 2006.12.29

- 17 IEEE Electromagnetic Compatibility Society. IEEE STD 299.1-2013 IEEE standard method for measuring the effectiveness of electromagnetic shielding enclosures and boxes having all dimensions between 0.1–2 m. International Standard. 2013.10.31

An EMC control method for large-diameter radio telescope

LIU Qi^{1,2}, WANG Na^{1*}, LIU Ye¹ & CHEN Mao-Zheng¹

¹ *Xinjiang Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;*

² *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

The large-diameter radio telescope has extremely high system sensitivity; however, various electronic devices will be equipped at the constructing and operating process, which will generate electromagnetic interference impacting on radio astronomical observations. Therefore, it is necessary to investigate effective Electromagnetic Compatibility (EMC) control approach. This paper based the EMC requirements of radio astronomy, analyzing the deficiencies and adaptability of the EMC evaluation standards available, considering the feasibility of engineering process and operating management as well, on which an EMC control method for large-diameter radio telescope was proposed, including quantified interference level limits for the electronic equipment, EMC measurement method and shielding effectiveness testing method. This method will be applied to the proposed steerable 110-m aperture radio telescope (Qi Tai Radio Telescope, QTT) in Xinjiang, ensuring that QTT has good EMC performance.

radio telescope, EMC, interference level limit, QTT

PACS: 95.55.Jz, 95.45.+i, 02.40.Pe

doi: [10.1360/SSPMA2018-00412](https://doi.org/10.1360/SSPMA2018-00412)