大口径射电望远镜台址电磁干扰预测方法

刘晔¹, 刘奇^{1,2*}

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: liuqi@xao.ac.cn

收稿日期: 2019-01-15; 接受日期: 2019-03-07; 网络出版日期: 2019-07-16

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经费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 新疆奇台拟建的110 m全向可动射电望远镜(Qi Tai Radio Telescope, QTT)具有极高的信号捕捉能力, 任何微弱的信号都会影响其高效运行, 为了缓解QTT台址无线电宁静区的电磁干扰, 本文提出了一种电磁干扰预测方法. 首先, 基于QTT台址无线电宁静区地形数据和地形特征, 分析了现有电波传播模型的适用性, 选取Longley-Rice模型和Two-Ray模型作为QTT的电波传播模型算法, 通过电波传播仿真分析, 得到潜在干扰点到达射电望远镜馈源口面的路径损耗; 其次, 结合QTT馈源口面干扰电平阈值和天线旁瓣增益, 计算得到潜在干扰点所在位置的干扰电平阈值; 最后, 运用该方法分析了QTT限制区内村庄典型电子设备和35 kV高压输电线路对QTT的影响.

关键词 电磁干扰预测, 无线电宁静区, 电波传播模型, 干扰电平阈值

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

1 引言

随着射电望远镜口径的不断增大, 系统灵敏度也在不断提升, 射电天文台址的电磁兼容性问题越来越突出. 另外, 电子产品更迭速度非常快, 数字类电子设备、商用设备、电气设备的应用使得射电天文台址的电磁环境变得异常复杂, 电磁兼容性测试挑战越来越大^[1,2]. 在射电望远镜建设初期及建设期对潜在干扰源的电磁干扰进行预测分析, 减少后期不必要的重复测试, 也能为射电望远镜的电磁兼容设计及台址无线电宁静区建设提供数据支持^[3].

黄仕杰等人^[4]依据ITU-R RA.769标准^[5], 计算了500 m口径球面射电望远镜(Five-Hundred-Meter Aperture Spherical Radio Telescope, FAST)的干扰门限值, 选取访客可能携带的典型电子设备, 通过电波暗室测试其辐射特性, 并与FAST干扰门限值作对比, 检测其电磁辐射是否超过限值要求; 同时选取访客在FAST周边可能活动的区域, 以自由空间传播模型作为理论分析模型, 通过现场测试得到电波传播路径损耗, 结合FAST干扰门限值, 分析访客携带的典型电子设备对FAST的影响, 并提出相应解决措施. 詹德志等人^[6]结合高压输电线路电磁干扰特性, 分析高压输电线路的电磁

引用格式: 刘晔, 刘奇. 大口径射电望远镜台址电磁干扰预测方法. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 099514

Liu Y, Liu Q. A prediction method for electromagnetic interference of large aperture radio telescope (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2019, 49: 099514, doi: [10.1360/SSPMA-2019-0016](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2019-0016)

干扰对射电望远镜的影响, 并建立电晕放电辐射模型, 研究了其辐射功率随距离的衰减规律, 并结合FAST实际情况, 分析了在FAST周围架设高压输电线应离开望远镜最小距离问题. 上述研究在射电望远镜台址的电磁干扰预测方面很有意义, 但只能对特定区域或某个环节进行分析, 缺乏对整个射电望远镜台址及无线电宁静区任意区域的电磁干扰预测能力.

本文提出了一种电磁干扰预测方法, 可有效解决上述问题. 该方法通过建立基于地形的电波传播模型, 预测分析潜在干扰点到达射电望远镜的路径损耗, 结合馈源口面干扰电平阈值和天线旁瓣增益模型, 得到潜在干扰点的干扰电平阈值, 同时与潜在干扰点处的典型电子设备的频谱作对比, 分析其对射电天文观测的影响. 该方法可快速对任意区域进行电磁干扰预测分析, 通过仿真分析有效解决了测试难的问题, 为射电天文台址内外电磁干扰缓解提供理论依据.

2 电波传播仿真实现

2.1 台址地形特征

110 m全向可动射电望远镜(Qi Tai Radio Telescope, QTT)台址位于北纬 43.60028° , 东经 89.68224° , 海拔约为1760 m, 距离奇台县城大约46 km, 距离乌鲁木齐市约168 km, 是一处四面环山但不闭合的盆地^[7]. 如图1所示, 东南山体海拔高度为1870–2350 m, 西北山体海拔高度为1800–1860 m, 园区整体地势较为平坦, 地质结构为丘陵牧区, 土壤结构为山地寒漠土、草甸土, 植被多为草地且保护良好. 新疆天文台依据QTT地形特征及当地实际情况, 建立了30 km的无线电宁静区, 该宁静区共分为三个区域, 分别为核心区、限制区、协调区. 其中核心区域为 $2.5\text{ km}\times 4\text{ km}$ 的矩形区域; 限制区域为 $10\text{ km}\times 15\text{ km}$ 的矩形区域.

2.2 电波传播模型

任何电子设备都会产生电磁辐射, 电磁波传播过程存在路径衰减, 因此基于地形数据建立合理的电波传播模型, 可通过仿真分析替代现场实际测试, 使得许多复杂难以实现的问题通过仿真计算得以解决. 现有的电波传播模型主要分为三类: 经验统计模型、确定性模型、半经验半确定性模型. 其中经验统计模型是对大量实测数据进行统计分析和总结得到, 该类模

图1 (网络版彩图)QTT台址地形示意图

Figure 1 (Color online) Topographic sketch for QTT.

型对地理及周边环境信息要求较低, 使用方便, 但是只能应用于当前实测的地形, 通用性差, 如Okumura-Hata模型^[8](东京)、Egli模型^[9]、Lee模型^[10]等. 确定性模型是以电磁理论为依据, 运用麦克斯韦方程组进行推导, 同时结合电波传播初始条件和边界条件得到的模型, 具有较高的预测精度和实用性, 如Longley-Rice模型^[11]、Durkin模型^[12]等. 半经验半确定性模型是将确定性方法用于特定环境中所推导获得的模型, 预测精度更高, 但只适用于一定的地形范围(如城市小区、市郊、海面等), 部分模型具有带宽小、覆盖半径有限的问题, 如ITU-R P.368^[13]的适用频率范围为10–30 MHz, ITU-R P.1546^[14]为30–3000 MHz点对点预测模型, 传播距离适应于1–1000 km.

基于地形建立电波传播模型需考虑具体的环境信息, 包括地貌、海拔、植被分布、地势平坦度等, 环境条件的限制是造成模型选取的直接因素, 故建立环境信息与模型特征参数之间的联系, 可有效确定各模型之间的适用性, 有利于准确预测电波损耗.

Longley-Rice模型的适用频率范围为20 MHz–40 GHz, 较之其他模型, 适用频段更宽; 另外, Longley-Rice模型是预测中远距离的电波传播模型, 最大距离达2000 km, 是其他模型无法实现的, 如Egli模型只能到视距范围、Okumura-Hata模型最大只能到100 km. 其次Two-Ray模型^[15]作为视距范围预测模型, 与自由

空间模型相比较,增加了反射的情况,提高了视距范围内电波传播路径损耗的准确性.综上所述,依据QTT台址的地形特征及现有电波传播模型的适用性,选取Longley-Rice模型和Two-Ray模型作为QTT台址电波传播路径衰减预测模型.

2.3 台址地形数据

获取地形数据是实现电波传播仿真分析的首要步骤.首先,通过无人机航拍获得QTT台址核心区域范围的高精度地形数据,数据格式为Digital Elevation Model (DEM),精度为0.813 m;同时通过地理空间数据云网站获得卫星地形图^[1],该类数据是光盘映像文件格式,精度为30 m.其次,运用Global Mapper软件^[16]分别对上述含有海拔信息的两类地形数据采用网格划分的方法进行处理,得到Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)格式的地形数据.具体步骤如下.

步骤一 读取含有海拔信息的地形图.其中航拍地形图主要针对QTT核心区域,无人机航拍的航线总长度为103.89 km,为保证台站区域的全覆盖,在航线设计时,南北各多覆盖2 km左右,东西各多覆盖1 km左右,总覆盖面积为32 km².

考虑到航拍成本因素,核心区域之外的地形数据选取卫星地形图数据.另外,对于大区域分析,地形精度并不是其直接的影响要素,故本文在核心区以外采用30 m精度卫星地形图.

步骤二 将含有海拔信息的地形图采用网格划分的方法进行处理.由于精度的问题,网格划分时会出现某网格内无信息点的情况.针对该问题,采用相邻信息点插值的方式,实现网格信息点覆盖.

步骤三 设置相应参数,包括分辨率、网格布局、插补方式等,得到SRTM格式的地形数据,为仿真分析提供地形数据.

2.4 仿真实现

依据2.3节获取的SRTM地形数据,采用Radio Mobile^[2]仿真软件,建立基于地形数据的电波传播分析平台. Radio Mobile主要是用于预测基站、中继站或其他无线网络的无线电覆盖仿真软件,数据格式多

图 2 (网络版彩图)Radio Mobile软件参数设置

Figure 2 (Color online) Parameter setting for Radio Mobile.

样^[17],参数设置界面如图2所示.包括大地电导率和地面相对介电常数、空气折射率、气候、天线类型的设置等,主要参数设置考虑如下.

(1) 大地电导率和地面相对介电常数设置.由于新疆奇台为温带大陆气候,且QTT台址地质为石炭系碎屑岩层,故选取一般地面,不同类型地面电导率和地面相对介电常数见表1,仿真分析时,设置大地电导率为0.005 S/m,地面相对介电常数为15.

(2) 空气折射率设置.空气折射率决定了空气中无线电波的弯曲程度,通常用地表有效曲率代替,取1.333^[18],本文为了与电波传播模型保持一致,根据公式(1)进行换算.

$$N = 179.3 \times \ln \left[21.43 \left(1 - \frac{1}{K} \right) \right], \quad (1)$$

式中, K 为地表曲率值, N 为空气折射率.

表 1 介电常数取值

Table 1 Value of the dielectric constant

分类	相对介电常数	电导率 (S/m)
一般的地面	15	0.005
导电性差的地面	4	0.001
导电性好的地面	25	0.020
纯水	81	0.010
海水	81	5.000

1) 地理空间数据云: <http://www.gscloud.cn/>;

2) Radio Mobile: <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>.

(3) 天线类型设置. Radio Mobile软件中设置了6种天线模式, 本文在仿真分析时天线选取Yagi.ant模式, 原因是该模式的天线方向图最接近射电望远镜的天线方向图, 选用此模式可与实际情况基本保持一致; 干扰点天线选取根据电子设备的辐射特性确定, 一般选用全向发射的omni.ant模式和定向发射的Yagi.ant模式, 天线方向图如图3所示.

3 电磁干扰预测方法

基于上述分析, 建立基于地形的电波传播模型, 可有效预测QTT台址内外电磁干扰到达射电望远镜的电波路径损耗 L , 结合QTT馈源口面干扰阈值 ΔP_H 和天线旁瓣增益 $G(\phi)$, 依据公式(2)计算潜在干扰区域的干扰电平阈值:

$$P_{AL} = \Delta P_H + L - G(\phi), \quad (2)$$

式中, $G(\phi)$ 为天线增益, 仅考虑极坏情况, 天线增益模型依照文献[19]中给出的计算方法进行计算, ϕ 为潜在干扰源偏离射电望远镜主波束轴的角度.

潜在干扰区域发射设备电磁辐射与其所在位置的干扰电平限值进行比对, 确定其是否对射电天文观测产生影响.

3.1 QTT干扰电平阈值

文献[19]给出了QTT望远镜馈源口面干扰阈值量化方法, 本文依照上述方法, 按照公式(3)将流量密度换算为功率单位, 结果见表2.

$$\Delta P_H = \Delta S + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \times B \right) + 30, \quad (3)$$

式中, ΔP_H 为功率值, 单位为dBm, ΔS 为流量密度, 单位为dB(Wm⁻² Hz⁻¹), λ 为工作波长, B 为工作带宽, 单位为Hz.

3.2 电磁干扰预测的考虑

大部分电子设备可通过电波暗室或现场测量的方式获得其电磁辐射频谱, 但由于一些原因或测量条件限制, 存在某些电磁干扰源不易精确测量的情况. 针对上述问题, 实际电磁干扰预测分析考虑如下.

(1) 对于电磁干扰源电磁辐射特性确定的情况, 可通过预测电磁干扰源到达射电望远镜的电波路径损耗, 结合射电望远镜馈源口面干扰电平限值和天线旁瓣增益, 计算该干扰源所在位置的干扰电平限值, 依据此干扰源的电磁辐射频谱, 确定其是否对射电天文观测产生影响.

(2) 某些潜在电磁干扰源, 由于测量条件限制, 存在无法精确测量其电磁辐射的情况, 且安装位置不同, 对射电天文观测影响不同. 对于这种情况, 考虑以最大电波路径衰减为目标, 结合实际地形, 并考虑望远镜天线增益, 预测和优化潜在干扰源安装位置, 尽量减少潜在电磁干扰对射电天文观测的影响.

4 实例分析

4.1 村庄潜在电磁干扰预测分析

QTT台址限制区域内共有15个村庄, 其中最近的

图3 (网络版彩图) 天线模式. (a) Yagi.ant模式; (b) omni.ant模式

Figure 3 (Color online) Antenna pattern. (a) Yagi.ant pattern; (b) omni.ant pattern.

表 2 QTT望远镜馈源口面干扰阈值

Table 2 Interference level limits of QTT telescope

Frequency (MHz)	System temperature (K)	Bandwidth (kHz)	Integ. Time (s)	ΔP_H (dBm)
200	250	2	3600	-185.9
400	60	4	3600	-190.6
800	30	8	3600	-192.1
1500	15	16	3600	-193.6
3000	20	32	3600	-190.9

村庄距离望远镜0.68 km, 最远的距离望远镜8.16 km, 村庄分布如图4所示, 黄色区域内的3个村庄距离望远镜较近, 存在电磁干扰风险.

基于第3节提出的电磁干扰预测方法, 预测QTT台址限制区内村庄对射电望远镜的影响, 具体步骤如下.

(1) 依据实际地形数据, 建立电波传播仿真, 由于QTT台址北面村庄较为密集, 电波传播仿真时选取距离望远镜最近的10个村庄, 图5为石河子二组、石河子三组、腰站子村的电波传播仿真模型, 三个村庄均在望远镜视距范围内, 路径损耗仿真结果见表3. 由于

图 4 (网络版彩图)QTT限制区村庄分布图

Figure 4 (Color online) Village distribution of QTT restricted area.

图 5 (网络版彩图)典型村庄电波传播仿真. (a) 石河子二组电波传播仿真; (b) 石河子三组电波传播仿真; (c) 腰站子村电波传播仿真

Figure 5 (Color online) Path loss Simulation for typical villages. (a) Path loss simulation for group 2, Shi Hezi village; (b) path loss simulation for group 3, Shi Hezi village; (c) path loss simulation for Yao Zhanzi village.

电子设备的电磁辐射频率主要集中在3 GHz以下, 电波传播仿真时频段确定为200 MHz–3 GHz.

表3的仿真结果表明, 存在山体遮挡的村庄, 电波路径损耗在仿真频段内均大于130 dB. 在QTT视距范围内的三个村庄, 路径衰减值整体偏小.

(2) 根据公式(2)计算出各村庄的干扰电平阈值, 计算结果见表4所示. 基于终端电子设备辐射特性测试方法^[20], 对各类典型电子设备进行电磁辐射特性测试, 通过打开和关闭所需测试的电子设备, 获得设备两种状态下的电磁辐射频谱, 其中村庄内潜在的强干扰源为WI-FI、微波炉、无绳电话等, 其电磁辐射频谱与各村庄干扰电平阈值对比如图6–8所示. 结果表明, 在QTT视距范围内的三个村庄使用WI-FI、微波炉、无绳电话等电子设备, 将对射电天文观测产生影响, 故这三个村庄需要搬迁, 确保QTT拥有良好的无线电环境.

4.2 35 kV高压输电线路

高压输电线路产生电磁辐射的方式主要有三种, 即电晕放电、间隙击穿、高压线路故障指示器电磁辐射. 拟建的QTT 35 kV输变电工程线路(简称: 35 kV高压输电线路)全长34.87 km, 其中有16.89 km的输电线路出现在QTT限制区, 其分布如图9所示, 红色线表示35 kV输变电线路原有设计, 共计节点32个. 为更好地评估输变电节点电磁干扰对射电天文观测的影响, 预测分析如下.

表 3 村庄路径损耗(单位: dB)

Table 3 Path loss between villages to QTT (Unit: dB)

村庄	路径损耗 (dB)				
	200 MHz	400 MHz	800 MHz	1500 MHz	3000 MHz
石河子一组	133.6	152.2	168.6	185.3	203.2
石河子二组	102.9	111.5	120.6	130.5	143.3
石河子三组	81.6	87.2	92.5	99.5	105.1
石河子四组	141.8	160.8	176.8	193.5	211.3
小水山村	135.7	152.5	166.5	181.8	198.4
老葛根十三组	136.3	156.5	173	190.6	209.2
腰站子村	90.6	96	103.8	108.9	114.1
塘坊门五组	135.5	153.2	169.6	185.7	203.1
塘坊门七组	135.5	153.3	168.7	184.8	202
营盘滩六组	141.4	158.5	177.3	193.7	211.5

表 4 村庄干扰电平阈值(单位: dBm)

Table 4 Interference level limits of villages (Unit: dBm)

村庄	干扰电平阈值 (dBm)				
	200 MHz	400 MHz	800 MHz	1500 MHz	3000 MHz
石河子一组	-62.3	-48.39	-33.5	-18.3	2.35
石河子二组	-102	-101.1	-96.5	-85.1	-77.6
石河子三组	-114.3	-113.3	-109.6	-104.1	-95.8
石河子四组	-54.1	-39.79	-25.3	-10.1	10.45
小水山村	-60.2	-48.09	-35.6	-21.8	-2.45
老葛根十三组	-59.6	-44.09	-29.1	-13	8.35
腰站子村	-105.3	-104.6	-98.3	-94.7	-86.8
塘坊门五组	-60.4	-47.39	-32.5	-17.9	2.25
塘坊门七组	-60.4	-47.29	-33.4	-18.8	1.15
营盘滩六组	-54.5	-42.09	-24.8	-9.9	10.65

图 6 (网络版彩图)典型区域阈值与WI-FI电磁辐射频谱的对比

Figure 6 (Color online) Comparison of typical area thresholds and spectrum of WI-FI electromagnetic radiation.

图 7 (网络版彩图)典型区域阈值与无绳电话电磁辐射频谱的对比

Figure 7 (Color online) Comparison of typical area thresholds and spectrum of cordless phone electromagnetic radiation.

图 8 (网络版彩图)典型区域阈值与微波炉电磁辐射频谱的对比

Figure 8 (Color online) Comparison of typical area thresholds and spectrum of microwave electromagnetic radiation.

(1) QTT限制区内共有22个节点, 分别为J11–J32节点, 其中, J26节点在QTT视距范围内, J26–J32号节点位于高海拔区域, 海拔高度分布为2220–2370 m. 依据实际地形数据, 建立了电波传播仿真模型, 预测分析了各节点电磁波到达射电望远镜的电波路径损耗, 并计算了各节点电磁干扰到达QTT馈源口面的天线增益, 选取典型节点做电波传播仿真, 结果见表5(Part 1). 结果表明J18, J19, J26, J27, J30节点路径损耗整体偏小; 另外, 高海拔区域电磁干扰存在进入望远镜主波束的概率, 望远镜在低俯仰状态下, 高海拔区域电磁干扰到达望远镜馈源口面干扰电平的天线增益较大, 对射电天文观测影响较大. 综上分析, 有必要对上述影响较大的节点位置进行优化, 减少潜在干扰源的影响.

图 9 (网络版彩图)35 kV高压输电线路分布

Figure 9 (Color online) Distribution of 35 kV power supply engineering.

(2) 依据上述分析, 结合实际地形, 以提高输变电线路节点到达射电望远镜路径损耗为目标, 通过预测分析优化节点位置, 增加节点电磁干扰到达射电望远镜的电波路径损耗. 图9中蓝色曲线为优化方案, 即J17–J19节点、J21–J25节点整体靠向山脚, 增加山体

表 5 路径损耗仿真结果及节点电磁干扰到达射电望远镜馈源口面的天线旁瓣增益

Table 5 Path loss simulation results and side lobe gains from transmitter to telescope

节点	路径损耗 (dB) (Part 1)					$G(\phi)$	路径损耗 (dB) (Part 2)					$G(\phi)$
	200 MHz	400 MHz	800 MHz	1500 MHz	3000 MHz		200 MHz	400 MHz	800 MHz	1500 MHz	3000 MHz	
J17	128.9	147.9	164.4	181.6	200	7.81	136.2	156.8	174.3	190.1	208.7	0.73
J18	122.7	141	158.9	173.7	191.9	8.68	132.8	141.1	168.9	183.7	193	1.36
J20	128.3	147.5	164.7	182.3	201	9.28	138.5	157.8	175	192.5	207.7	1.85
J21	131.6	149.7	164	180.1	197.5	10.05	121	138.8	155.9	171.6	189.6	2.34
J22	131	149	164.1	180.4	198	11.49	146	164	179.1	195.4	213	3.44
J23	135.7	154.4	170.8	187.7	205.9	11.49	145.7	164.4	180.8	197.7	215.9	3.63
J24	137.8	157.5	174.1	191.4	210	12.44	130.8	150.3	167.1	184.3	193	4.68
J25	142.4	161.7	179.7	197	215.6	15.02	141.4	160.7	178.7	196.8	214.8	7
J26	92.9	98.6	105.5	110.6	116.1	20.28	133.2	151.1	165.1	181.5	198.9	10.56
J27	123.3	138.7	154.3	167	183.7	45	138.3	157.5	174.2	189.2	207.3	7.39

遮挡的影响, 提高电波路径衰减. 另外, J26节点处电缆采用地理方式, 并降低影响较大的J26, J27节点海拔高度, 优化后电波传播路径损耗和天线旁瓣增益见表5 (Part 2), 结果表明J17–J25电波路径损耗较原有线路提高10 dB左右, J26, J27节点海拔高度做适当调整, 电波路径损耗大幅度增加; 另外, 节点处电磁波到达射电望远镜馈源口面的天线增益大幅减小; 从而减少节点处潜在电磁干扰对未来QTT观测的影响.

5 结论

本文针对大口径射电望远镜台址, 提出了一种电磁干扰预测方法, 该方法可有效预测潜在干扰源对射电望远镜的影响, 为射电望远镜台址的电磁兼容性设计、无线电管理、干扰缓解策略提供理论依据, 但此方法尚未经实践验证, 后续工作考虑通过实际测量优化电波传播模型, 提高电磁干扰预测的准确性.

参考文献

- Li J B, Peng B, Sun J M, et al. Measurement method and analysis of electromagnetic environment in radio astronomic observatories (in Chinese). *Chin J Radio Sci*, 2009, 24: 523–528 [李建斌, 彭勃, 孙建民, 等. 射电天文站电磁环境测量方法及分析. *电波科学学报*, 2009, 24: 523–528]
- 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, 陈卯燕, 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]
- Qiu Y, Xu Q L, Tian J, et al. On the interference characteristics of fully steerable radio telescope (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2017, 47: 059511 [邱扬, 许清琳, 田锦, 等. 全可动射电天文望远镜的电磁干扰特征研究. *中国科学: 物理学 力学 天文学*, 2017, 47: 059511]
- Huang S J, Zhang H Y, Gan H Q, et al. A study of evaluation on radio interference of FAST visitor's electronic devices (in Chinese). *Astron Res Tech*, 2017, 2: 268–274 [黄仕杰, 张海燕, 甘恒谦, 等. FAST访客电子设备电磁干扰分析. *天文研究与技术*, 2017, 2: 268–274]
- International Telecommunication Union. Recommendation ITU-R RA.769-2. Protection criteria used for radio astronomical measurement. International Standard. 2003
- Zhan D Z, Jin C J, Wu Z Z. Radio frequency interference to a radio telescope from a high-voltage power line (in Chinese). *Astron Res Tech*, 2013, 10: 91–98 [詹德志, 金乘进, 吴忠祖. 高压输电线对射电望远镜的电磁干扰. *天文研究与技术*, 2013, 10: 91–98]
- 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]
- Zhang W B, Cao Y Q. Study and simulation analysis of radio propagation model in electromagnetic environment simulation (in Chinese). *Chin J Radio Sci*, 2012, 27: 538–542 [张文波, 曹耀钦. 电磁环境仿真中电波传播模型研究及仿真分析. *电波科学学报*, 2012, 27: 538–542]
- Egli J. Radio propagation above 40 MC over irregular terrain. *Proc IRE*, 1957, 45: 1383–1391
- Lee W C Y. Lee's model. In: *Proceedings of Vehicular Technology Society 42nd Conference*. Denver: IEEE, 1992
- Larry F, Nathan I. Path Loss Prediction over the Lunar Surface Utilizing a Modified Longley-Rice Irregular Terrain Model. Technical Report. Colorado Springs: NASA, 2007
- Yang D C. Wireless propagation environment (in Chinese). Beijing: China Machine Press, 2003. 80–94 [杨大成. 移动传播环境. 北京: 机械工业出版社, 2003. 80–94]
- International Telecommunication Union. Recommendation ITU-R P.368-9. Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz. International Standard. 2007
- International Telecommunication Union. Recommendation ITU-R P.1546-5. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz. International Standard. 2013
- Xia H, Bertoni H L, Maciel L R, et al. Radio propagation characteristics for line-of-sight microcellular and personal communications. *IEEE Trans Antennas Propagat*, 1993, 41: 1439–1447
- Chen J, Bao L H, Li L. DEM data format conversion based on Global Mapper (in Chinese). *Geomatics Tech Equip*, 2012, 14: 41–43 [陈静, 包龙海, 李琳. 基于Global Mapper的DEM数据格式转换. *测绘技术装备*, 2012, 14: 41–43]
- Coudé R, Henderson B J. Radio propagation and radio coverage computer simulation program. *Comput Geosci*, 2013, 28: 456–461
- Wu J, Mao Y M. Exploring MANET radio propagation model (in Chinese). In: *Proceedings of the 5th Annual Conference of China Communications Association*. Nanjing, 2008 [吴价, 毛玉明. 无线自组织网传播模型探讨. 见: 中国通信学会第五届学术年会. 南京, 2008]
- Liu Q, Liu Y, Wang N, et al. Quantified interference level limits for QTT key areas. In: *Proceedings of 2016 Radio Frequency Interference*.

Socorro: IEEE, 2017

- 20 Liu Q, Wang K, Wang Y, et al. Measurements of radiation characteristics of a set of electronic backend devices for radio astronomy (in Chinese). *Astron Res Tech*, 2014, 11: 218–223 [刘奇, 王凯, 王洋, 等. 射电天文终端电子设备辐射特性测试. *天文研究与技术*, 2014, 11: 218–223]

A prediction method for electromagnetic interference of large aperture radio telescope

LIU Ye¹ & LIU Qi^{1,2*}

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

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

The ongoing Qi Tai Radio Telescope (QTT) which is a steerable 110-m aperture radio telescope has a very high sensitivity of signal detection, thus any weak noise will affect its efficient operation. We proposed a prediction method to lower the electromagnetic interference in the radio quiet zone of QTT site. Firstly, based on the topographic data and topographic features of radio quiet zone of the QTT site, we analyzed the applicability of the existing radio wave propagation model and chosen Longley-Rice and Two-Ray model as the algorithm of the radio wave propagation model of the QTT. By the simulation analysis of radio wave propagation, we got the path loss of the potential interference point when they reached the QTT feed aperture. Secondly, the interference level limits at the position of potential interference point were calculated by combining the QTT feed aperture interference level limits and antenna side lobe gains, and its influence on the radio telescope was predicted and analyzed by combining with the field environment. Finally, the typical village electronic equipment and 35 kV power supply engineering in the QTT restricted area were analyzed by using this method, and the solutions were also proposed correspondingly.

EMI prediction, radio quiet zone, radio wave propagation model, interference level limit

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

doi: [10.1360/SSPMA-2019-0016](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2019-0016)