TD-SCDMA 移动通信基站电磁辐射环境影响预测模式

余慧婷[1] 周睿东[2]
[1]（广东省辐射防护协会 广州 510300）
[2]（广东省环境辐射监测中心 广州 510300）

摘要 为了精确预测 TD-SCDMA 移动通信基站电磁辐射的环境影响，本文在自由空间电磁辐射预测模式的基础上，引入了天线方向函数、下行占空比等参数，提出一种新的 TD-SCDMA 移动通信基站电磁辐射环境影响的预测模式。结果表明，与自由空间电磁辐射预测模式相比，该预测模式能更精确（相对误差由 876%减至 140%）的预测基站周围环境电磁辐射的三维空间分布。新预测模式不仅可为环保管理部门移动基站监测提供理论及科学依据，还能向公众普及移动通信基站电磁辐射对环境影响的知识。

关键词 TD-SCDMA，电磁辐射，预测模式，方向函数，占空比
中图分类号 TL75+2 **DOI**: 10.11889/j.1000-3436.2015.rrj.33.040601

目前，对移动通信基站周围环境电磁辐射预测主要有自由空间电磁辐射预测模式和非自由空间的室外预测模式。第一种模式常被用于环保部门对移动通信基站环境电磁辐射的管理与分析[1]，主要预测天线远场轴向的辐射功率，而随着移动通信基站逐年扩建及市区内建筑物趋于密集，该模式用于单个基站电磁辐射的预测过于保守且缺乏针对性，特别是 3G 和 4G 系统的出现，该预测模式已不能精确的预测现有基站的电磁辐射分布情况；第二种模式在目前的无线规划应用较多[2-3]，例如 Okomura-Hata 模式、COST231-HATA 模型和 CCIR 模型等，这些模式基本适用于较大尺度（以 100 m 为步长）的预测，关注的是有效覆盖范围，而不是超标区域，且应用过于复杂，不适用于环保预测要求。TD-SCDMA 作为中国自主知识产权的第三代移动通信系统，引入了智能天线技术，与此前的传统天线有本质区别，目前国内对智能天线基站的电磁影响研究还比较少，只有少数相关论文提出了一些预测模型[4-6]，但都缺乏实测验证手段、方法和过程，无法验证与实际情况的符合程度。

为了精确预测 TD-SCDMA 移动通信基站环境的电磁辐射环境影响，有效克服现有预测模式的缺点及不足，有必要提出一种新的移动通信基站电磁辐射环境影响预测模式，为环保部门的监测、分析提供技术支持，同时也可普及公众对移动通信基站电磁辐射的认识。

1 预测模式

环保管理部门对移动通信基站电磁辐射的预测是基于电磁波在自由空间传播的模式(μW/cm^2)。

$$S = 100 \cdot \frac{P \cdot G}{4\pi r^2} \tag{1}$$

其中，S 为功率密度，P 为发射机平均功率；G 为天线增益（倍数）；r 为测量位置与天线轴向距离。

TD-SCDMA 系统引入了与传统天线有本质区别的智能天线，其电磁辐射量与用户的瞬时分布密切相关。因此，在式(1)的基础上，本文引入了方向函数和占空比等参数，提出一种新的电磁辐射预测模式(μW/cm^2)：

$$S = 100 \cdot \frac{P_e A G_v (G_h - L)}{4\pi r^2 \cdot B} \cdot \eta \cdot f^2(\theta) + 100 \cdot \frac{P_e A (G_v - L)}{4\pi r^2 \cdot B} \eta' \cdot f^2(\theta, \phi) \tag{2}$$

其中，第一项为业务波束的电磁辐射量值，第二项为广播波束的电磁辐射量值。P_e 为阵元发射功率；A 为阵元数目；G_v 为阵元增益；G_h 为天线赋形增益；L 为馈线损耗；r 为测试点与天线的连线距离；η为业务波束的占空比；η'为广播波束的占空比；f 为方

基金资助：中国移动通信集团广东有限公司东莞分公司课题资助
第一作者：余慧婷，女，1986 年 9 月，2012 年 6 月获暨南大学理学硕士学位，工程师，E-mail: yht_02214@126.com
通讯作者：周睿东，硕士，高级工程师，E-mail: 417371437@qq.com
收稿日期：初稿 2014-11-19；修回 2015-02-05

向函数；θ、ϕ为测试点偏离天线垂直和水平主波瓣的角度。

1.1 智能天线

在 TD-SCDMA 系统中，智能天线可降低干扰和发射功率，从辐射角度上看，天线发射功率与阵元的结构及信号发射方式密切相关。智能天线的阵元数量一般为 4−8 个，可圆周排列形成全线天线或直线排列形成扇区天线。信号发射方式为时分制式，即上下行传输信号在同一频带内，将信号调度到不同时段，通过设置时间间隔方式以避免上下行信号间的干扰。

1.2 波束赋形

波束赋形是指通过调整智能天线各天线阵元的幅值和相位，使天线波束方向形状变为指定波束形状。智能天线可实现波束赋形的能力，主要分为业务波束赋形（业务时隙）和广播波束赋形（广播时隙）。业务波束的赋形是面向单个用户，应用于用户发起业务阶段;广播波束的赋形是面向整个小区，应用于用户处于空闲状态。因此，下行信道总的平均电磁辐射水平应为下行业务和广播信道电磁辐射水平之和。智能天线波束跟踪一个用户，当用户移动时，波束的方向也在发生变化，因此，不存在一个固定的所谓“主射方向”，即电磁辐射的最大辐射方向，而是与用户的瞬时分布密切相关。智能天线在业务波束上可实现水平方向赋形，垂直方向不赋形。

1.3 占空比

TD-SCDMA 系统的帧结构是决定物理层很多参数和程序的基础,同时也决定了信号发射的方式，从而影响天线电磁辐射的大小。TD-SCDMA 系统帧结构设计为一个长 10 ms 的 TDMA 帧，可分成两个完全相同的 5 ms 子帧。每一子帧又分成 7 个常规时隙和 3 个特殊时隙。7 个常规时隙中，TS0 总是分配给下行链路，而 TS1 总是分配给上行链路。3 个特殊时隙分别为 DwPTS（下行导频时隙）、GP（保护时隙）和 UpPTS（上行导频时隙）。根据这样的帧结构，本文引入了占空比来表征信号发射的情况，具体表示为系统下行发射功率时间在一个周期之内所占的时间比率。对于确定的天线来说，业务波束的占空比取决于传输业务的对称性，而广播波束的占空比则是固定的。

1.4 方向函数

在环境监测中使用的自由空间电磁辐射预测模式只能预测天线主瓣方向的电磁辐射，为了预测移动通信基站周围环境电磁辐射影响的三维空间的分布，本文引入了方向性函数用于标识天线对周围空间的辐射分配情况，可全面的评价基站周围环境电磁辐射影响，对于确定的天线类型，其方向性函数是固定的。本文选用均匀直线天线阵函数[7]来拟合基站天线的主瓣方向，并在此基础上考虑了段射阵因子和半波阵子因子。

$$f(\theta,\phi)=\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta}\times\frac{\sin\left(N\pi\cos\theta/2\right)}{N\sin\left(\pi\cos\theta/2\right)}\times\frac{\sin\left(M\frac{\pi}{10}\sin\theta\sin\phi\right)}{M\sin\left(\frac{\pi}{10}\sin\theta\sin\phi\right)}\times\cos\left[\frac{\pi}{4}\left(1-\sin\theta\cos\phi\right)\right] \tag{3}$$

其中，第一个式子是 1 个半波阵子的方向函数，第二个式子是 N 元垂直均匀直线阵方向因子（边射阵），第三个式子是 M 元水平均匀直线阵方向因子（边射阵），第四个式子是二元端射阵阵因子，θ、ϕ分别为测试点偏离天线垂直和水平主波瓣的角度，M、N 为拟合系数，具体取值与天线的参数相关，可通过查表获得。

在天线主瓣方向时，ϕ=0º，(3)式可简化为垂直方向函数。

$$f(\theta)=\frac{\cos(\frac{\pi}{2}\sin\theta)}{\cos\theta}\times\frac{\sin(N\pi\sin\theta/2)}{N\sin(\pi\sin\theta/2)}\times\cos[\frac{\pi}{4}(1-\cos\theta)] \tag{4}$$

当$\theta=90^{\circ}$时，(3)式可简化为水平方向函数：

$$f(\phi)=\frac{\sin(M\frac{\pi}{10}\sin\phi)}{M\sin(\frac{\pi}{10}\sin\phi)}\times\cos[\frac{\pi}{4}(1-\cos\phi)] \tag{5}$$

综上所述，公式(2)是基于 TD-SCDMA 系统的独有特点提出的电磁辐射预测模式，具有一定的针对性。为了验证该预测模式的精确性，我们进行了实测验证。

2 预测模型的验证

现场实测时选择了一个地貌开阔的场地，使用应急移动通信车的天线主瓣方向进行基站电磁辐射水平随距离变化的规律测量，主要是基于以下几点的考虑：1)减小城市中密集基站布设对测量结果的影响；2)天线的高度和发射方向可调，可使得测量路径处于天线的主瓣范围内，获得最大的测量结果；3)天线的功率和载频可控；4)应急移动通信车的移动基站是真实搭建的，与实际基站一致，测量的结果具有可靠性。选择适用于电磁环境监测的射频综合场强仪进行环境辐射监测，通过实测验证预测新模式的有效性。

2.1 抗干扰测量系统

为了克服目标基站信号外的广播电视信号等周围各种电磁辐射信号及目标信号的反射、绕射和散射的干扰，本文应用了专利[8]“移动通信基站环境电磁辐射空间分布抗干扰测量系统”，该系统主要包括移动通信应急通信系统、抗干扰测量装置[9]和模拟用户终端 3 个部分，如图 1 所示。具体的使用方法参照专利说明书，保证了测量仪器接受的信号为目标信号。

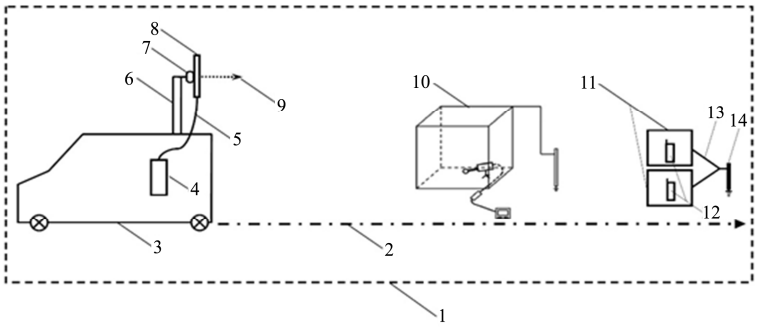

图 1 移动通信基站环境电磁辐射空间分布抗干扰测量系统
1. 测试场地 2. 测试路径 3. 移动通信应急车 4. 移动通信控制系统 5. 馈线 6. 升降梯 7. 天线转向装置 8. 双工天线 9. 信号发射方向 10. 抗干扰测量装置 11. 信号衰减装置 12. 无线拨出用户终端、无线接收用户终端 13. 地线 14. 接地棒

Fig.1 The anti-interference measurement system which used to measure the environment spatial distribution of environment electromagnetic radiation of mobile communication base station
1. test site 2. test path 3. mobile communications emergency vehicles 4.mobile communication command systems 5. feeder 6. elevator 7. antenna steering device 8. duplex antenna 9. signal emission direction 10. the anti-interference measurement device 11. Signal attenuation device 12. wireless emitting user terminal/ wireless receiving user terminal 13. ground wire 14. ground rods

2.2 实测情况

2.2.1 实测参数

现场测量时，使用型号为 EMR300 综合场强仪（只计量下行频率测量结果），将其放置在抗干扰测量装置内，同时场外开通 8 对放置在信号衰减装置的手机终端，放置在测试路径上，使得下行业务满负荷。测量参数分别为：导频功率 37 dBm；阵元数目为 8；天线增益≥14.5 dBi；赋形增益≥7.5 dBi；水平半功率角(65±5)°；垂直半功率角 6.5°；馈线损耗为 0.74 dB。

2.2.2 测试步骤

参照《移动通信基站环境电磁辐射空间分布抗干扰测量系统》说明书的使用步骤，每个测点连续测 5 次，每次监测时间不小于 15 s，并读取稳定状态下的最大值，取 5 次读数的均值为该点位的电场强度值。

2.3 模式预测

2.3.1 预测参数

根据公式(2)，从 2.2.1 节选取对应参数代入，其中部分参数说明：1)发射功率。在下行链路中，导频信道为其它逻辑信道调制提供了一个参考的相关载频相位及功能，基站将以比其它下行逻辑信道略高的功率发射导频信号（通常高 3 dBm），因此，发射功率 P_e 取 34 dBm。2)方向函数。选择的测试路径为天线的主瓣方向，水平角 $\phi = 0^o$，选用的方向函数为公式(4)。3)占空比。在对称业务情况下，6 个业务时隙中有 3 个为上行时隙，3 个为下行时隙，则业务波束的占空比 η 为 4/7，下行广播波束占空比 η' 取 1/7。

2.3.2 电磁辐射量的计算

将预测参数代入预测模式(2)，选择不同的距离 r，可得出天线主瓣方向上各预测点的电磁辐射量值（功率密度S）。

2.4 新模式预测结果与实测值对比

自由空间电磁辐射模式的预测结果与实测值对比见图 2。新模式预测结果与实测结果见图 3。

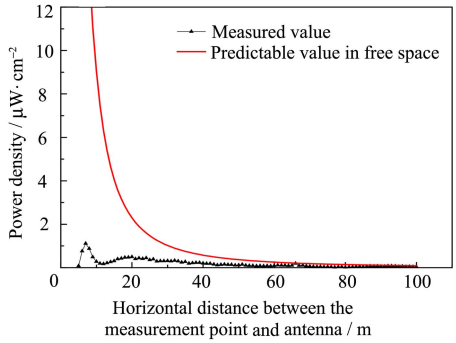

图 2 电磁辐射自由空间模式预测结果与实测值对比
Fig.2 Comparison between the prediction result of the electromagnetic radiation prediction model in free space and the actual measured value

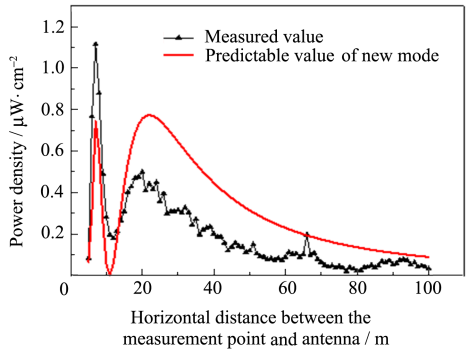

图 3 新模式预测结果与实测值对比
Fig.3 Comparison between the prediction result of the new mode and the actual measured value

由图 3 可知新模式的预测与实测值的变化趋势基本一致，吻合较好，相对误差δ 为 140%，远小于自由空间电磁辐射预测模式相对误差 876%。图 3 中 5−10 m 范围内，预测结果小于实测结果，该区域属于电磁辐射近场区和远场区的交界处，天线旁瓣和背景环境导致测量值变化起伏较大，但变化规律一致；10−100 m 范围内预测结果略高于实测结果，变化规律吻合很好，略高主要是由于预测值属于理论值，忽略了实际的环境背景及附近基站少量电磁波的微小干扰而造成的。

对比图 2 与图 3 可知，在靠近基站天线的区域，自由空间电磁辐射预测模式由于没有引入方向函数，与实测值误差较大，而这部分恰恰是环保部门关注的容易超标的区域，本文提出的新预测模式引入了方向函数、占空比等参数，较自由空间电磁辐射预测模式能更精确地反映基站环境电磁辐射的分布情况，在实际电磁辐射环境影响评价中，可为相关部门或公众提供可靠的科学依据。

3 基站电磁辐射环境影响分析

应用新的电磁辐射预测模式，根据 TD-SCDMA 基站天线的典型参数（发射功率 5 W；水平半功率角 65°；垂直半功率角 7°；阵元数 8；阵元增益 14.5 dB；赋形增益 7.5 dB；下倾角 6°；馈线损耗 0.74 dB；高度差分别为 1、3、6 m）对其周围环境电磁辐射三维分布进行研究，结果见图 4 至图 6。

从图 4 中可知，当测试水平面和天线的高度差为 1 m 时，深色区域（轴向约 10.5 m，轴向上下两侧约 4 m）为辐射量超过 8 μW/cm^2（单基站的管理限值）[1]的区域。说明了在离基站比较近的情况下会出现超标区域。

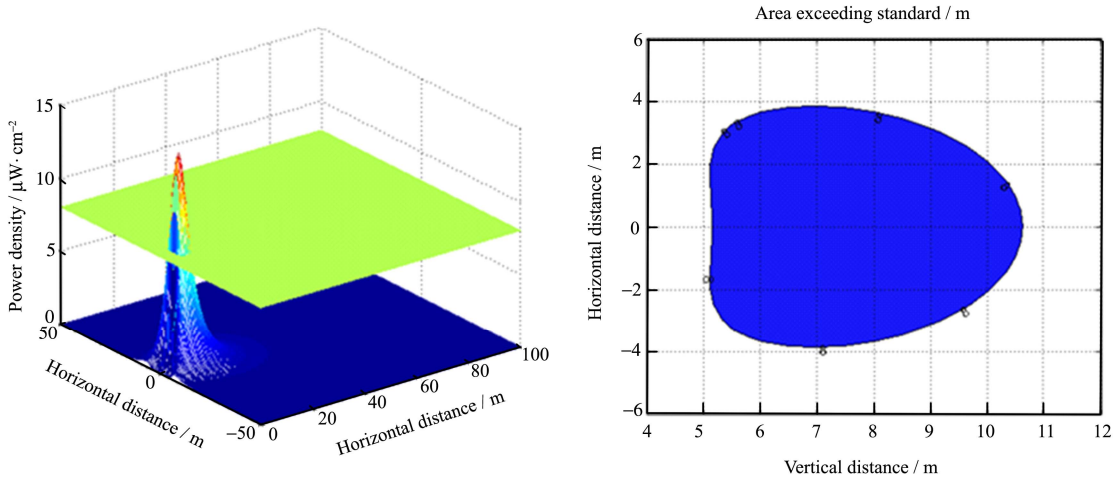

图 4 高差 1 m 时 TD-SCDMA 移动基站电磁辐射环境影响
Fig.4 Environmental impact of electromagnetic radiation of TD-SCDMA base station under the condition of 1 m height difference

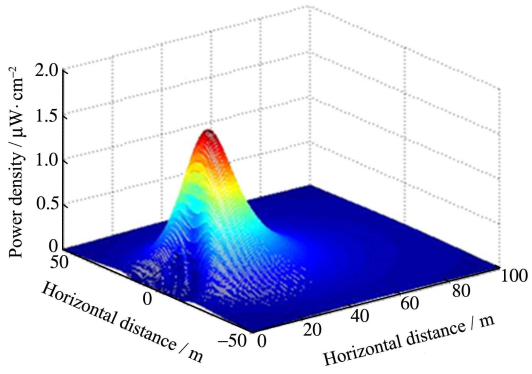

图 5 高差 3 m 时 TD-SCDMA 基站电磁辐射环境影响
Fig.5 Environmental impact of electromagnetic radiation of TD-SCDMA base station under the condition of 3 meter height difference

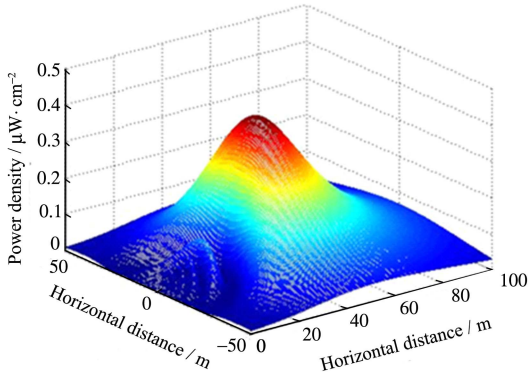

图 6 高差 6 m 时 TD-SCDMA 基站电磁辐射环境影响
Fig.6 Environmental impact of electromagnetic radiation of TD-SCDMA base station under the condition of 6 meter height difference

从图 5 和 6 中可知，当测试水平面和天线的高度差分别为 3 和 6 m 时，不存在超标情况。说明高差越大、离天线越远，受到的电磁辐射越小。因此，人们在日常环境中，应注意尽量在天线的远场区或与天线的高度差达到 3 m 以上的区域范围活动。

4 结论

本文结合 TD-SCDMA 移动通信基站的特点，引入天线方向函数、下行占空比等参数，提出了一种新的电磁辐射预测模式，该预测模式通过实际测量验证，可精确预测出环境电磁辐射水平三维空间分布。对于环保部门来说，将该预测模式的计算结果结合实际基站周围环境敏感点与天线的关系（水平距离、高度差和方位角）即获得环境敏感点的电磁辐射强度，再与国家相关标准比较后可判断出基站建设的合理性；对于公众来说，通过该预测模式可了解日常生活中移动通信基站电磁辐射环境影响。目前，该预测模式已成功应用于编制《中国移动广东公司 3G(TD-SCDMA)网络三期和 2010、2011 年扩容工程环评报告》和《广东移动 3G(TD-SCDMA)三期和 2010、2011 年广东扩容工程》基站环保选址，取得了较好的经济和社会效益。

参考文献

1 国家环境保护局. HJ/T 10.2-1996 辐射环境保护管理导则—电磁辐射监测仪器和方法 [S]. 1996.
National Environmental Protection Agency. HJ/T 10.2-1996 Guideline on Management of Radioactive Environmental Protection Electromagnetic Radiation Monitoring Instruments and Methods [S]. 1996.

2 钟翠明. 移动通信常用天线传播模型预测方法浅析 [J]. 江西通信科技, 2005(1): 29-32.
ZHONG Cuiming. Analysis of the prediction method of the mobile communication commonly used antenna propagation models [J]. Jiangxi Communication Science & Technology, 2005(1): 29-32.

3 刘登斌, 赵伶俐. 无线网络规划中的传播模型选择和校正 [J]. 科技信息, 2009(7): 63-64.
LIU Dengbin, ZHAO Lingli. Propagation model selection and correction in wireless network planning [J]. Science & Technology Information, 2009(7): 63-64.

4 周睿东, 周围, 杨旭富, 等. 共建共享移动通信基站的电磁辐射预测模式[J]. 中国辐射卫生, 2011, **20**(4): 485-487.
ZHOU Ruidong, ZHOU Wei, YANG Xufu, *et al*. The electromagnetic radiation prediction model of co-operation and sharing mobile communication base station [J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2011, **20**(4): 485-487.

5 林坚立, 章莹, 田勇, 等. TD-SCDMA 系统电磁环境影响综合研究 [J]. 电信科学, 2010, **26**(3): 79-84.
LIN Jianli, ZHANG Ying, TIAN Yong, *et al*. The comprehensive research of the electromagnetic environmental impact of TD-SCDMA system [J]. Telecommunications Science, 2010, **26**(3): 79-84.

6 李军, 黄欣. TD-SCDMA 基站电磁辐射场强预测研究 [C]. 中国环境科学学会学术年会论文集(2010), 2010(4): 4096-4098.
LI Jun, HUANG Xin. The research of the electromagnetic radiation field intensity prediction of TD-SCDMA base station [J]. The academic annual meeting proceedings of Chinese Society for Environmental Sciences (2010),

2010(4): 4096-4098.

7 周朝栋, 王元坤, 杨恩耀. 天线与电波 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001: 40-43.
ZHOU Chaodong, WANG Yuankun, YANG Enyao. Antenna & wave [M]. Xi'an: Xi'an Electronic Science &Technology University Press, 2001: 40-43.

8 周睿东, 廖建华, 梁贵渊, 等. 移动通信基站环境电磁辐射空间分布抗干扰测量系统 [P].中国, ZL 2012 2 0587882.2, 2013.04.13.
ZHOU Ruidong, LIAO Jianhua, LIANG Guiyuan, *et al*. Anti-interference measurement system used to measure the spatial distribution of Mobile communication base station electromagnetic radiation environment [P], China, ZL 2012 2 0587882.2, 2013. 04.13

9 周睿东, 余慧婷, 陈文涛, 等. 移动通信基站环境电磁辐射抗干扰测量装置 [P], 中国, ZL 2012 2 0516624.5, 2013.03.27.
ZHOU Ruidong, YU Huiting, CHEN Wentao, *et al*. The anti-interference measurement device used to measure the electromagnetic radiation environment of Mobile communication base station [P], China, ZL 2012 2 0516624.5, 2013.03.27.

Prediction mode of environmental impact of electromagnetic radiation at TD-SCDMA base station

YU Huiting[1] ZHOU Ruidong[2]

[1]*(Radiation Protection Association of Guangdong Province, Guangzhou 510300, China)*

[2]*(Guangdong Environmental Radiation Monitoring Center, Guangzhou 510300, China)*

ABSTRACT To accurately predict the environmental impact of electromagnetic radiation at TD-SCDMA base station, the paper proposed a new prediction mode of environmental impact of electromagnetic radiation at TD-SCDMA mobile communication base station by introducing the fitting function of antenna direction and the downlink duty ratio parameters on the basis of electromagnetic radiation prediction model in free space. Compared with free space electromagnetic radiation prediction model, this new model could more accurately predict (relative error reduced from 876% to 140%) the three-dimensional distribution of the electromagnetic radiation environment around the base station. The new prediction mode would not only provide theoretical basis and scientific evidence for environmental management department, but also further help popularize the knowledge of environmental impact of mobile base station electromagnetic radiation.

KEYWORDS TD-SCDMA, Electromagnetic radiation, Prediction mode, Direction function, Duty ratio

CLC TL75+2