

# ITU-R SM.2449-1报告 (06/2024)

SM系列：频谱管理

**移动和便携式设备的非波束磁  
感应和磁谐振无线供电对无线  
电通信业务的影响分析**



## 前言

无线电通信部门的作用是确保所有无线电通信业务，包括卫星业务，合理、公平、有效和经济地使用无线电频谱，并开展没有频率范围限制的研究，在此基础上通过建议书。

无线电通信部门制定规章制度和政策的职能由世界和区域无线电通信大会以及无线电通信全会完成，并得到各研究组的支持。

## 知识产权政策（IPR）

国际电联无线电通信部门（ITU-R）的 IPR 政策述于 ITU-R 第 1 号决议所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC 的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从 <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh> 获得，在此处亦可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC 的通用专利政策实施指南》和 ITU-R 专利信息数据库。

### ITU-R 建议书系列

（亦可在在线查询 <https://www.itu.int/publ/R-REP/en>）

系列	标题
<b>BO</b>	卫星传送
<b>BR</b>	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
<b>BS</b>	广播业务（声音）
<b>BT</b>	广播业务（电视）
<b>F</b>	固定业务
<b>M</b>	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
<b>P</b>	无线电波传播
<b>RA</b>	射电天文
<b>RS</b>	遥感系统
<b>S</b>	卫星固定业务
<b>SA</b>	空间应用和气象
<b>SF</b>	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
<b>SM</b>	<b>频谱管理</b>
<b>TF</b>	时间信号和频率标准发射

注：本ITU-R建议书英文版已按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版物  
2024年，日内瓦

© 国际电联 2024

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段翻印本出版物的任何部分。

## ITU-R SM.2449-1报告

移动和便携式设备的非波束磁感应和磁谐振  
无线供电对无线电通信业务的影响分析

(ITU-R第210-4/1号课题)

(2109-2024年)

## 目录

页码

1	引言 .....	4
2	磁感应和谐振移动和便携式设备充电方面的应用 .....	4
3	100-148.5 kHz频率范围内非波束感应无线供电应用的国际标准 .....	4
4	用于移动和便携式设备的非波束感应和谐振WPT的技术和操作特性.....	5
	4.1 操作特性 .....	5
5	30 MHz以下频段内的无线电噪声环境 .....	8
6	工作在100-148.5 kHz和315-405 kHz的、用于移动和便携式设备的 非波束感应WPT设备对广播业务的影响研究.....	9
	6.1 工作在100-148.5 kHz的WPT设备的调幅广播研究1 .....	9
	6.2 工作在100-148.5 kHz的WPT设备的调幅广播研究2.....	18
	6.3 在315-405 kHz频段内工作的WPT设备的调幅广播研究3.....	30
7	用于移动和便携式设备的非波束感应WPT对业余业务的影响研究.....	35
	7.1 用于仿真的参数 .....	35
	7.2 仿真分析与结果 .....	36
	7.3 结果概述 .....	40
8	90-110 kHz移动和便携式设备的非波束感应WPT对无线电导航业务的 影响研究 .....	40
	8.1 仿真参数 .....	41
	8.2 仿真场景和结果 .....	44
	8.3 结果概述 .....	49
9	工作在100-148.5 kHz和315-405 kHz的移动和便携式设备的非波束感应 WPT设备对航空无线电导航业务的影响研究.....	49
	9.1 用于仿真的参数 .....	49

9.2	单入口场景 .....	50
9.3	聚合场景 .....	53
9.4	结果概述 .....	58
10	WPT对无线电通信业务（如固定和移动）的一般影响分析 .....	58
10.1	WPT（315-405 kHz、1 700-1 800 kHz和2 000-2 170 kHz）对无线电业务影响的单入口同信道蒙特卡洛研究 .....	58
10.2	WPT（315-405 kHz、1 700-1 800 kHz和2 000-2 170 kHz）对无线电业务影响的集总蒙特卡洛研究 .....	63
11	325 kHz以下移动和便携式设备的无波束WPT对水上无线电导航业务/差分全球卫星导航系统（DGNSS）的影响研究 .....	73
11.1	引言 .....	73
11.2	用于仿真的参数 .....	74
11.3	场景和结果 .....	74
11.4	用于港口进场的DGNSS .....	83
11.5	结果概述 .....	83
12	与GMDSS相关的水上移动业务 .....	83
13	3区3 995-4 005 kHz频段内的标准频率和时间信号业务（SFTS） .....	83
14	1 700-1 800 kHz范围内移动和便携式设备的非波束WPT对无线电定位业务系统的影响研究 .....	83
15	100-148.5 kHz和315-405 kHz之间WPT充电影响之比较 .....	84
16	结论 .....	84
16.1	525-1 700 kHz的调幅广播 .....	85
16.2	135.7-137.8 kHz的业余无线电业务 .....	85
16.3	100-148.5 kHz和315-405 kHz频段内与WPT有关的航空无线电导航 .....	85
16.4	WPT对315-405 kHz、1 700-1 800 kHz和2 000-2 170 kHz频段内无线电通信业务（如固定和移动）的一般影响分析 .....	85
16.5	100-148.5 kHz和315-405 kHz频段内移动和便携式设备的非波束WPT对水上无线电导航/差分全球卫星导航系统（DGNSS）的影响 .....	86
16.6	与全球水上遇险和安全系统（GMDSS）相关的水上移动业务 .....	87
16.7	100-148.5 kHz和315-405 kHz之间WPT充电影响之比较 .....	87

附件1 – 参引.....	87
其他参引.....	89
附件2 – 缩写词.....	89
附件3 – WPT发射的传播模型 .....	90

## 1 引言<sup>1</sup>

随着对无线设备和全球移动性需求的增长，用于为这些设备供电的无线供电（WPT）技术得以发展，全球消费者现已能方便地使用该技术。通过磁感应实现的WPT是一种众所周知的技术，在初级和次级线圈感应耦合的变压器中应用了很长时间，例如通过使用共享的导磁磁芯。这项技术亦被称为紧耦合WPT。磁谐振WPT亦称为松耦合WPT，它使用线圈和电容器作为谐振器，通过发射器线圈和接收器线圈之间的电磁谐振传输电力。与感应WPT相比，谐振WPT使用谐振技术，且比感应技术具有更大空间自由度。

ITU-R SM.2303报告中的一般性研究亦适用于便携式和移动式WPT充电器，在第7.2节和附件3中尤其如此。

本报告旨在研究采用磁感应和谐振技术的非波束移动和便携式WPT设备，其工作频率范围为100-148.5 kHz、315-405 kHz、1 700-1 800 kHz、2 000-2 170 kHz以及13 553-13 567 kHz，以尽量减少其对现有无线电通信业务的影响。电动汽车充电和家用电器等移动和便携式设备的非波束WPT不在本报告范围内。

## 2 磁感应和谐振移动和便携式设备充电方面的应用

根据ITU-R SM.2303-1报告，感应和谐振WPT技术应用于移动和便携式设备，如智能手机、平板电脑和笔记本电脑。该报告发布后，感应和谐振WPT技术已用于智能手表、智能/3D眼镜和健身跟踪设备等可穿戴设备。用于移动和便携式设备的非波束感应WPT目前在运行100-148.5 kHz、315-405 kHz、1 700-1 800 kHz和13 553-13 567 kHz频率范围的几个国家和地区有售并获得授权。此外，将来还计划使用2 000-2 170 kHz。

非波束感应和谐振充电通常需要充电设备和电源之间的直接接触。当进行直接接触并开始充电时，发射功率被认为低于30瓦。一旦触点断开，设备即停止充电；不过，该设备可能会发射一些能量，但仅用于设备检测目的。本报告的第4节更详细地概述了用于移动和便携式设备的非波束感应和谐振WPT的操作和技术特性。

## 3 100-148.5 kHz频率范围内非波束感应无线供电应用的国际标准

用于移动和便携式设备的非波束感应WPT的可用国际标准见ITU-R SM.2303-1报告的第4节。

通常情况下，移动和便携式设备的WPT可被视为工业、科学和医疗（ISM）应用（见《无线电规则》第1.15和15.13款），前提是充电器和充电设备之间没有数据通信。不过，许多主管部门在其国家频谱法规中根据与短程设备相关的规则授权WPT用于移动和便携式设备，或者因其被归类为有意发射器而将之作为免许可应用。

---

<sup>1</sup> 本报告研究中的两个场景利用了建筑物入口损耗。从ITU-R的负责组收到的信息表明，这种做法的适用性有限。

## 4 用于移动和便携式设备的非波束感应和谐振WPT的技术和操作特性

### 4.1 操作特性

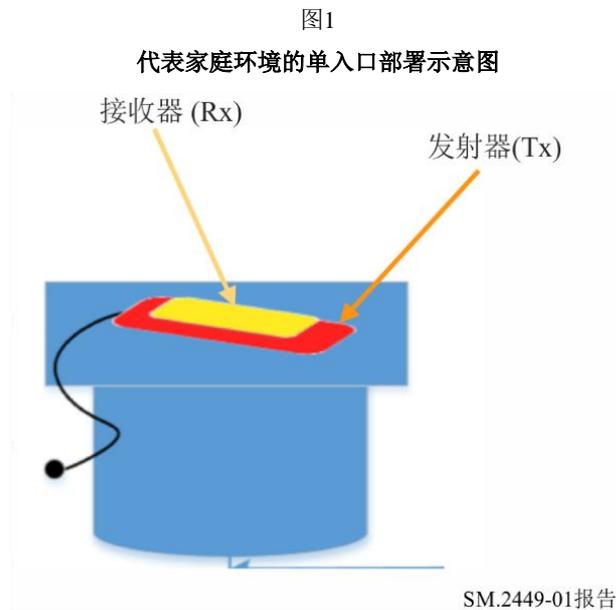
用于移动和便携式设备的感应式非波束WPT主要用于在室内为移动和便携式设备充电，例如办公室和家庭。

大多数充电活动仅在充电设备和电源直接接触时发生。这种活动通常只持续很短时间，直到充电设备的电池充满为止。一旦电池完全充电，或者如果直接接触中断，则信号发射将大大降低。

本报告中包含的应用可在市场上得到，并已获得联邦通信委员会（FCC）许可豁免规则的认证<sup>2</sup>，原因是其被视为在美国使用和销售的有意发射器。

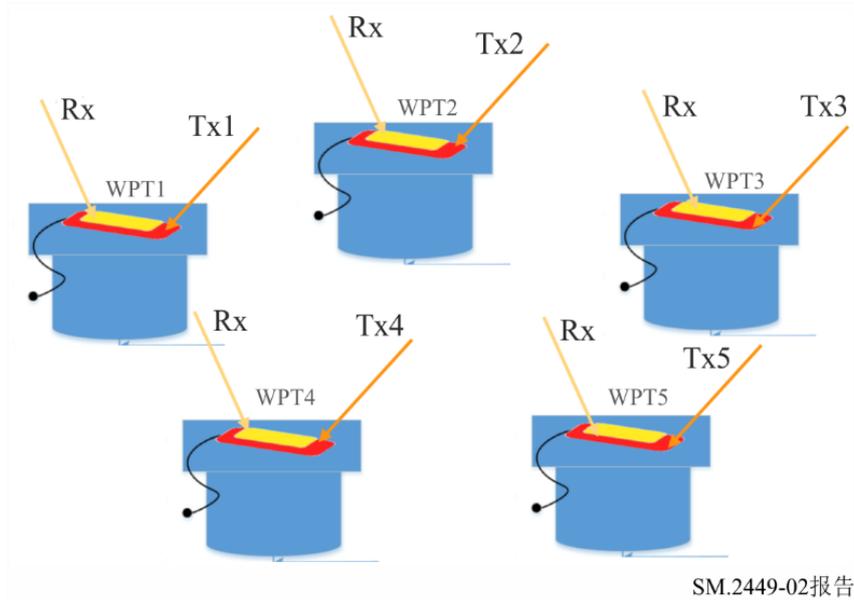
#### 4.1.1 充电场景

使用单入口充电设备（图1）和使用五个充电设备的聚合设备（图2）进行测试。



<sup>2</sup> 47 C.F.R.第15节和第18节（2017年）。

图2  
代表办公环境的聚合部署示意图



#### 4.1.2 技术特性

有关便携式和移动设备的技术特性，见ITU-R SM.2303报告第3.1节。

WPT的预期密度在表1中给出，其依据为ETSI TR 103 493。

表1  
WPT设备的预期城市密度

频率范围 (kHz)	城市密度 (/km <sup>2</sup> )	评论
100-148.5	5 000	便携式和移动设备
315-405	1 500	便携式和移动设备
1 600-1 800	500	可穿戴设备
1 950-2 150	500	可穿戴设备

ETSI TR 103 493第7.1.2.2节介绍了移动和便携式设备。通用移动设备的预期密度为5 000个设备/km<sup>2</sup>，可穿戴设备的预期密度为5 00个设备/km<sup>2</sup>。假设30%的便携式和移动设备亦能使用更高的频率范围，则相关数据见上表1。考虑到其更高的技术复杂性，实际的设备数量预计会更低。对于可穿戴设备，使用了ETSI TR 103 493中给出的数字。

##### 4.1.2.1 100-148.5 kHz内的便携式和移动WPT设备

本报告研究的基础是使用Qi规范的该频段便携式和移动设备的WPT充电器。

##### 4.1.2.2 315 kHz以上频段内的便携式和移动WPT设备

表2显示了本报告研究中使用的315 kHz以上WPT设备的预期特性。

表2

315 kHz以上频段内WPT设备的技术特性和用例

允许的工作频率范围 (kHz)	在10 m处的有用发射限值 (dB $\mu$ A/m)	说明	活动
315-405	-15	通信频移键控 (FSK) (最高 $\pm$ 20 kHz) 充电期间用于管理功率传输 (效率) 和/或补偿对准的频偏: 最高15 kHz	1-2小时/天
1 700-1 800	-15	通信1 kHz或FSK (最高 $\pm$ 20 kHz) 充电期间用于管理功率传输 (效率) 和/或补偿对准的频偏: 最高15 kHz	1-2小时/天
2 000-2 170	-15	通信FSK (最高 $\pm$ 20 kHz) 充电期间用于管理功率传输 (效率) 和/或补偿对准的频偏: 最高15 kHz	1-2小时/天

注意: 每个WPT设备的构造使得其仅在两个线圈的最差对准位置发射最大允许电平, 而对于许多对准位置, 实际发射电平要低得多。考虑到这一点, 在蒙特卡洛研究中随机选择了最佳和最差对准之间的发射电平。为了研究之目的, 相关影响的范围被限制在15 dB。有关错误对准影响的更多信息, 见ECC 333号报告的附件1.4。

#### 4.1.2.3 13 553-13 567 kHz频段内的便携式和移动WPT设备

随着智能穿戴设备的大幅增加, 近年来出现了对高频低功耗产品的无线充电需求。13.56 MHz频段亦被理解为用于便携式和移动无线充电的频段。表3显示了详细的技术特性。

表3

13.56 MHz频段内WPT设备的技术特性

工作频段	关键参数	数据	磁场的发射限值 (10 m, 准峰值检测)
13 553-13 567 kHz	充电功率	<1 W	< 42 dB $\mu$ A/m (测量带宽: 9 kHz)
	接收线圈和发射线圈之间的充电距离	<1 cm	
	工作原理	磁谐振技术	
	用例	智能眼镜 手写笔 智能运动	

## 5 30 MHz以下频段内的无线电噪声环境

对于所研究的一些频率范围，没有可用的无线电业务参数和/或部署场景。为了提供有关WPT对无线电业务之潜在影响的一些信息，将WPT发射电平与噪声电平进行了比较。

城市和居住区30 MHz以下频段的无线电噪声环境主要是人为噪声（MMN）。在此频率范围内存在三种类型的噪声（见ITU-R SM.1753建议书）：脉冲噪声（IN）、单载波噪声（SCN）和高斯白噪声（WGN）。

脉冲噪声（IN）可能非常显著，但它对无线电业务接收器的影响在很大程度上取决于实际的接收器设计，且一般不作为分析的基础。

当单载波噪声（SCN）来自靠近测量位置的声源时，此类噪声通常会存在，甚至会占主导地位。ITU-R SM.1753建议书阐明SCN包含多种来源，其中包括有线计算机网络、计算机和开关模式电源。这些噪声源主要出现在建筑物内部。ITU-R SM.2093建议书在考虑到b)中指出，来自单一可识别声源的SCN是建筑物内人为噪声的主要形式，且不能用ITU-R P.372建议书的度量标准来描述。

ITU-R P.372建议书中规定的白高斯噪声（WGN）描述了不能归因于单个噪声源的那部分人为噪声，因此明确排除了来自单个可识别声源的发射（见ITU-R SM.2093建议书），尽管许多单个声源的集合近似于高斯白噪声，并且亦包含在ITU-R P.372建议书的WGN值中。这导致在使用ITU-R P.372建议书时受到限制，原因是其适用性仅限于相对于室内环境的距离，其中单个声源的组合可以近似于高斯噪声。因此，ITU-R P.372中的人为噪声值不应用于任何兼容性分析，无论是受干扰业务的接收天线位于室内（例如，具有集成天线的便携式接收器），还是受干扰业务的接收天线靠近相邻建筑物内的噪声源均应如此。不过，有噪声测量表明，一些业余业务天线可能位于距离包含WPT的建筑物外墙10 m处[1]。

当无线电业务天线靠近建筑物时，应谨慎对待关于WPT干扰影响的结论，原因是这些结论可能是无效的。ITU-R P.372建议书中的人为噪声值不应用于分析位于室内的无线电业务接收器。

靠近相邻建筑物的无线电业务天线是何种情况目前还不是很清楚。室内噪声的中值通常高于室外，但方差却通常要大得多[2]。外墙只有有限的影响，原因是在近场只有有限的衰减是由建筑材料造成的，因此外场在很大程度上取决于内场分布。

关于受干扰方和干扰方均在室内的情况，ITU-R P.372建议书包含了一些关于室内人为WGN的有限信息，但这并没有扩展到200 MHz以下的频率，且关于建筑物（住宅或办公楼）内噪声电平的附加信息亦非常有限。在西班牙进行的测量活动[2]表明，建筑物中的中值噪声电平明显高于ITU-R P.372（城市）的预测，例如，在1.9 MHz时为30-35 dB，但中值附近的变化亦相当大。ITU-R SM.2093建议书承认，从当前版本的ITU-R P.372建议书中得出的噪声电平在室内环境中几乎毫无意义，而ITU-R P.372的进一步修订工作亦正在进行中，以更详细地考虑室内人为噪声的影响。不过，迄今对相关信息仍知之甚少，原因是尚无法获得按照ITU-R SM.2093建议书记录的测量结果。

DSL连接和电力线通信是在设置ITU-R P.372建议书中的当前回归线时仍不存在的两个噪声因素。使用OFDM的DSL产生的发射对于无线电业务接收器来说表现为附加的高斯白噪声。电力线通信的发射亦使用OFDM，但仅在传输数据包时才会活跃起来，这使得干扰更像脉冲噪声。此外，电力线通信通常在部分频谱（例如业余业务或广播业务频段）中出现陷波，因此可能不会显著增加这些频段内的现有电平。这同样亦适用于VDSL和Gfast。

最近在荷兰进行的测量[1]、[3]表明，对于某些位置，实际噪声电平比ITU-R P.372建议书所述的电平高10 dB左右。此外，上述测量明确考虑了大多数噪声源所在的建筑物与测量点之间的实际距离。这一发现证实了Iwama的早期工作[4]。

## 6 工作在100-148.5 kHz和315-405 kHz的、用于移动和便携式设备的非波束感应WPT设备对广播业务的影响研究

对调幅（AM）广播的干扰可能发生在非常靠近的场景中，例如室内，AM广播干扰测试应该是通用的，而不应局限于干扰影响最小的情况。

ITU-R BS.560建议书的图1表明，最大相对保护比约为16 dB，对应的频偏约为1.6 kHz。当谐波和AM广播信号之间的频偏为1.6 kHz时，保护距离可能会增加。

如果工作在315-405 kHz的非波束WPT的基频可以选择且被固定为9 kHz或10 kHz的倍数，则任何谐波将位于广播频率栅格上，且这可以作为一种干扰减轻策略。

### 6.1 工作在100-148.5 kHz的WPT设备的调幅广播研究1

广播业务在以下频率范围内运行：

- 1区：148.5-283.5 kHz和526.5-1 606.5 kHz<sup>3</sup>
- 2区：525-1 625 kHz（根据《无线电规则》第5.89款）<sup>4</sup>
- 3区：526.5-1 606.5 kHz<sup>3</sup>。

所进行的测试对工作在100-148.5 kHz频率范围内的移动和便携式设备使用了非波束感应WPT。测试是使用810 kHz信道进行的，这是移动和便携式设备的WPT的七次谐波。810 kHz信道是符合美国调幅广播最低信号强度要求的最接近的信道。

#### 6.1.1 测试设置

该研究利用了在一个安全的3 m测试室中通过测试收集的数据。测试了八个商用感应移动设备充电器对两个商用调幅无线电接收器的干扰。聚合场景使用八个移动充电设备中的五个同时对设备进行充电。

使用屏蔽环形天线测试了场强。针对两个调幅收音机，对聚合情况和单设备情况都进行了测量。单入口设置如图3所示。

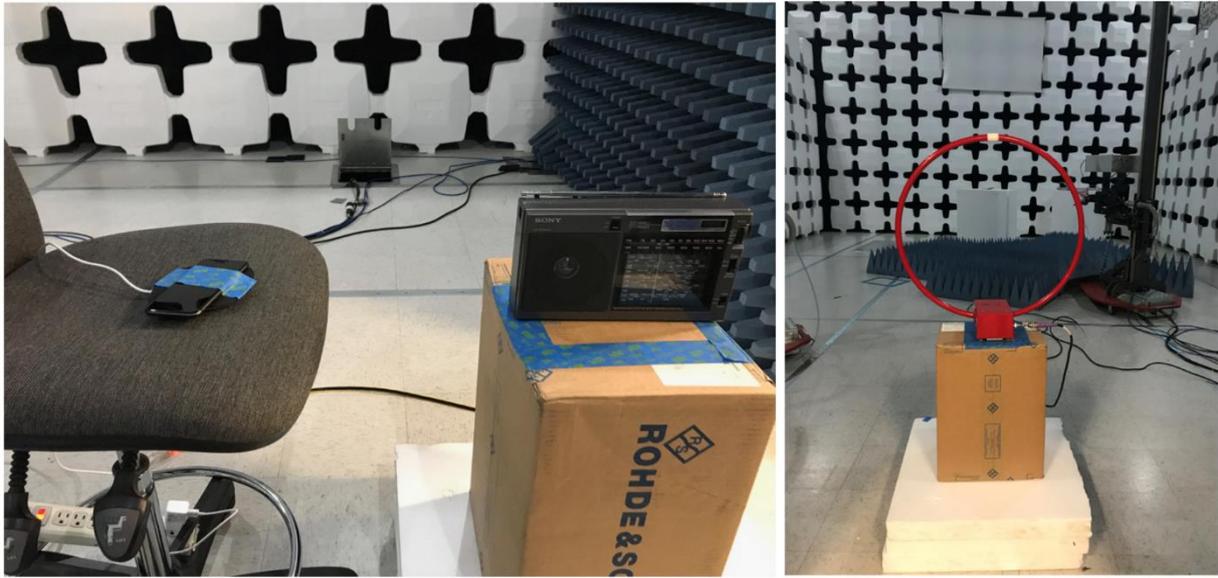
---

<sup>3</sup> 广播业务应遵循1975年日内瓦区域性协议制定的规划，148.5-283.5 kHz – 1区，526.5-1 606.5 kHz – 1区和3区（1975年，日内瓦）。

<sup>4</sup> 《无线电规则》第5.89款：在2区中，广播业务电台使用1 605-1 705 kHz频段应遵守区域性无线电行政大会（1988年，里约热内卢）制定的规划。

图3

单入口情况的实验室设置



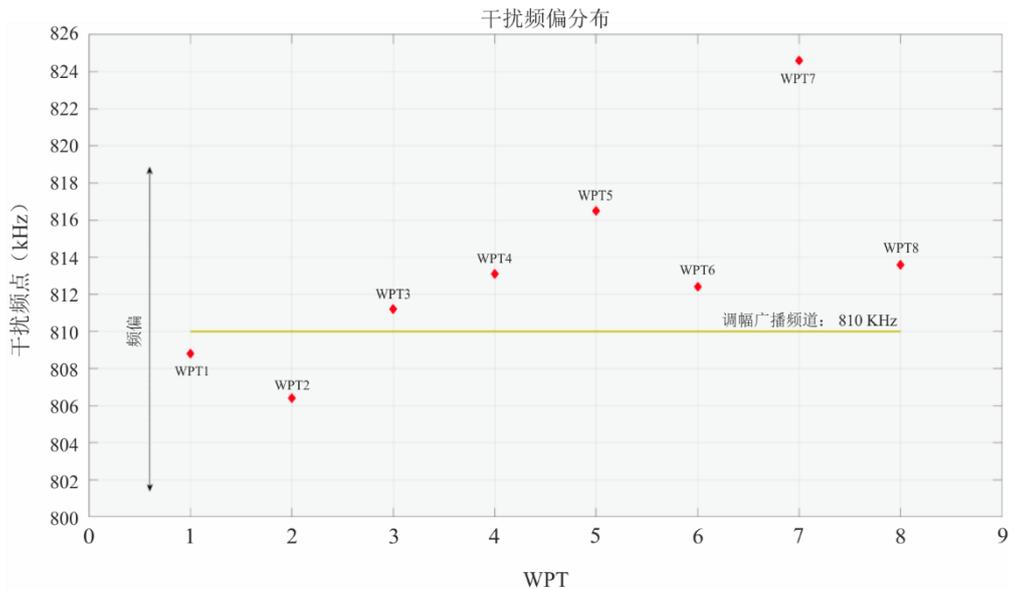
SM.2449-03报告

### 6.1.2 主观听觉测试（单入口和聚合）

本节显示了主观听觉测试的数据和结果。图4显示了无线充电器在频偏范围 -4 kHz ~ +14.6 kHz 内的所有七次谐波。对于聚合场景，各无线充电器置于调幅接收器周围，彼此之间相距约0.6 m。

图4

无线充电器的七次谐波频率分布



SM.2449-04报告

下面各图和各表概述了各个无线充电器对两个广播接收器（AM1和AM2）的测试影响。这些图使用三个影响程度（见表4）来评估每个无线充电器对调幅接收器造成的听觉噪声电平，以绘制最佳和最差的听觉干扰，其中程度1表示噪声无法忍受、程度3表示噪声听不见。随着无线充电器与调幅接收器之间距离的增加，影响程度会降低。

图5  
接收器AM1主观听觉测试概述

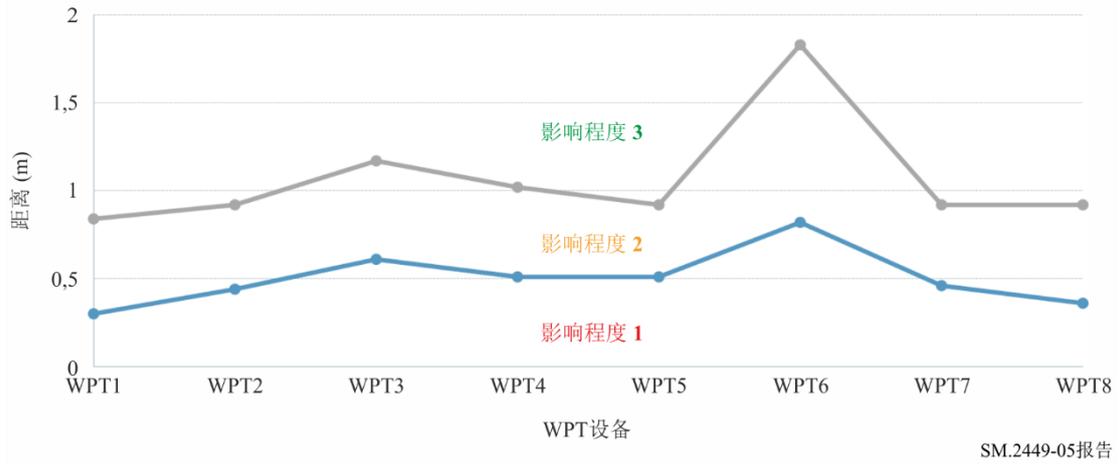


图6  
接收器AM2主观听觉测试概述

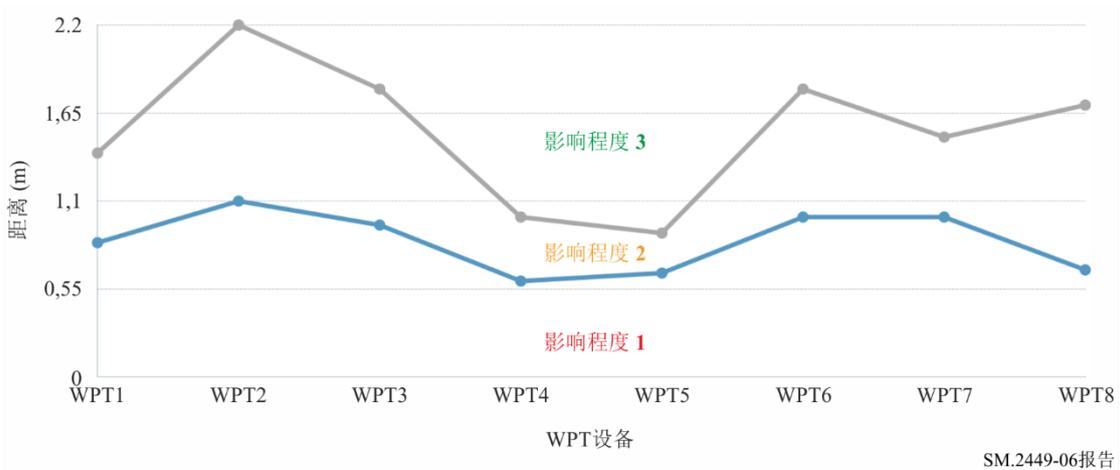


表4  
影响程度描述

影响程度	定义
1	噪声无法忍受
2	噪声听得见，但可忍受
3	噪声听不见

表5和表6概述了调幅接收器AM1和AM2单入口情况的数据结果。最右边两列显示了对应上面图5和图6的距离。对于AM1，如果将无线充电器置于大于1.83 m的距离上，则不会出现听觉干扰。对于AM2，如果将无线充电器置于大于1.8 m的距离上，则可消除听觉干扰。

表5

## 主观听觉测试AM1接收器单入口概述

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
无线充电器类型	3 m处的七次谐波场强 (dB $\mu$ A/m)	10 m处的七次谐波场强 (dB $\mu$ A/m)	调幅无线电信号强度 (dB $\mu$ A/m) (810 kHz信道) (有用信号)	程度2/3边界处的七次谐波场强 (dB $\mu$ A/m) 注1	有用信号干扰比: C/I (dB) 注2	程度1与程度2之间的边界 (m)	程度2与程度3之间的边界 (m)
WPT1	-22.06	-53.36	2.85	11.1	-8.25	0.3	0.84
WPT2	-27.11	-58.41	2.85	3.7	-0.85	0.44	0.92
WPT3	-12.65	-43.95	2.85	11.9	-9.05	0.61	1.17
WPT4	-29.74	-61.04	2.85	1.6	1.25	0.51	1.02
WPT5	-16.02	-47.32	2.85	14.78	-11.93	0.51	0.92
WPT6	-28.8	-60.1	2.85	15.9	18.75	0.82	1.83
WPT7	-7.04	-38.34	2.85	3.7	-0.85	0.46	0.92
WPT8	-29.88	-61.18	2.85	3.7	-0.85	0.36	0.92

对表5的注释:

注1: 这是根据近场衰减 $\delta$ 在程度2和程度3之间主观劣化的边界点计算的发射电平。公式为 $\delta = 60 \log(d1/d2)$ , 其中d1为3 m, d2为程度2和程度3 (h列)之间的规定边界点,  $\delta$ 为以dB为单位的调整系数, 用于补偿测量距离的变化。然后将这一调整系数加到(b)栏的发射电平上。

注2: 粗体显示的数字表示干扰信号大于有用的广播信号。

表6

## 主观听觉测试AM2接收器单入口概述

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
无线充电器类型	3 m处的七次谐波场强 (dB $\mu$ A/m)	10 m处的七次谐波场强 (dB $\mu$ A/m)	调幅无线电信号强度 (dB $\mu$ A/m) (810 kHz信道) (有用信号)	程度2/3边界处的七次谐波场强 (dB $\mu$ A/m) 注1	有用信号干扰比: C/I (dB) 注2	程度1与程度2之间的边界 (m)	程度2与程度3之间的边界 (m)
WPT1	-22.06	-53.36	2.66	-2.2	4.86	0.84	1.4
WPT2	-27.11	-58.41	2.66	-19	21.66	1.1	2.2
WPT3	-12.65	-43.95	2.66	0.66	2	0.95	1.8
WPT4	-29.74	-61.04	2.66	-1.1	3.76	0.6	1
WPT5	-16.02	-47.32	2.66	15.35	-12.69	0.65	0.9
WPT6	-28.8	-60.1	2.66	-15.5	18.16	1	1.8
WPT7	-7.04	-38.34	2.66	11.0	-8.34	1	1.5
WPT8	-29.88	-61.18	2.66	15.1	-12.44	0.67	1.7

注1: 这是根据近场衰减 $\delta$ 在程度2和程度3之间主观劣化的边界点计算的发射电平。公式为 $\delta = 60 \log(d1/d2)$ , 其中d1为3 m, d2为程度2和程度3 (h列)之间的规定边界点,  $\delta$ 为以dB为单位的调整系数, 用于补偿测量距离的变化。然后将这一调整系数加到(b)栏的发射电平上。

注2: 粗体显示的数字表示干扰信号大于有用的广播信号。

表7和8显示了聚合测试的结果。在该测试中使用的五个无线充电器彼此之间相距约0.6米，且环绕调幅接收器。AM1的集总结果表明，将五个无线充电器放置在大于2.2 m的距离上可防止听觉干扰。对于AM2，将五个无线充电器置于2.3 m开外则可防止对接收器产生听觉干扰。

表7

主观听觉测试AM1接收器聚合概述

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
无线充电器类型	3 m处的七次谐波场强 (dB $\mu$ A/m)	10 m处的七次谐波场强 (dB $\mu$ A/m)	调幅无线电信号强度 (dB $\mu$ A/m) (810 kHz 信道) (有用信号)	程度2/3边界处的七次谐波场强 (dB $\mu$ A/m) 注1	程度1与程度2之间的边界 (m)	程度2与程度3之间的边界 (m)
<b>WPT1</b>	-12.65	-43.95	2.66	-4.5	1.2	2.2
<b>WPT2</b>	-29.74	-61.04	2.66	-21.6		
<b>WPT3</b>	-28.8	-60.1	2.66	-20		
<b>WPT4</b>	-7.04	-38.34	2.66	+1.8		
<b>WPT5</b>	-29.88	-61.18	2.66	-21.9		

表8

主观听觉测试AM2接收器聚合概述

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
无线充电器类型	3 m处的七次谐波场强 (dB $\mu$ A/m)	10 m处的七次谐波场强 (dB $\mu$ A/m)	调幅无线电信号强度 (dB $\mu$ A/m) (810 kHz 信道) (有用信号)	程度2/3边界处的七次谐波场强 (dB $\mu$ A/m) 注1	程度1与程度2之间的边界 (m)	程度2与程度3之间的边界 (m)
<b>WPT1</b>	-12.65	-43.95	2.66	-5.7	1.1	2.3
<b>WPT2</b>	-29.74	-61.04	2.66	-22.84		
<b>WPT3</b>	-28.8	-60.1	2.66	-21.9		
<b>WPT4</b>	-7.04	-38.34	2.66	-0.15		
<b>WPT5</b>	-29.88	-61.18	2.66	-23.0		

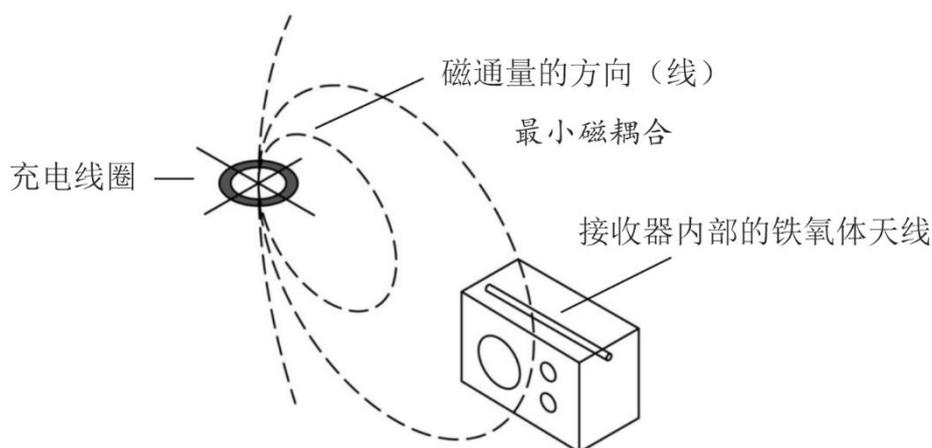
观察到的边界距离表明存在干扰减轻因素，原因是当在进行收听测试的点重新计算时，所测得的干扰信号在某些情况下超过了有用信号。该研究的结果应谨慎对待，并需开展进一步的研究来解释上述结果。

### 可能的解释:

表7和表8中的结果表明，接收器对输入干扰的敏感度远低于预期。这可能出于许多原因，但其中最主要的原因是入射场和接收器天线之间的耦合程度。

几乎所有便携式无线电接收器都使用磁敏铁氧体棒天线来接收低频、中频和调幅广播。这种接收器通常还具有一个电敏感的伸缩“鞭状天线”，但这将用于更高频率的高频和甚高频（调频）接收。铁氧体天线通常水平安装在接收器内部，如图1所示。如上所述，铁氧体天线对磁场敏感，当磁通线平行于铁氧体棒的轴时，灵敏度最高。铁氧体天线是定向的，原因是当它们“端对”输入信号的方向时，其几何形状的灵敏度为零。对于收听者来说，通常的做法是调整接收器的方向，使得输入信号的方向与铁氧体棒的轴成直角，以提高灵敏度，从而提高信号质量。图7显示了一种拓扑结构，其中WPT充电线圈的干扰可能性最低。可以看出，这非常类似于图3所示的拓扑结构。充电线圈是水平的。接收器的方向应确保WPT充电器位于最小灵敏度的方向，并且磁通线与铁氧体天线正交。在这种配置中，干扰的影响得以大大降低。

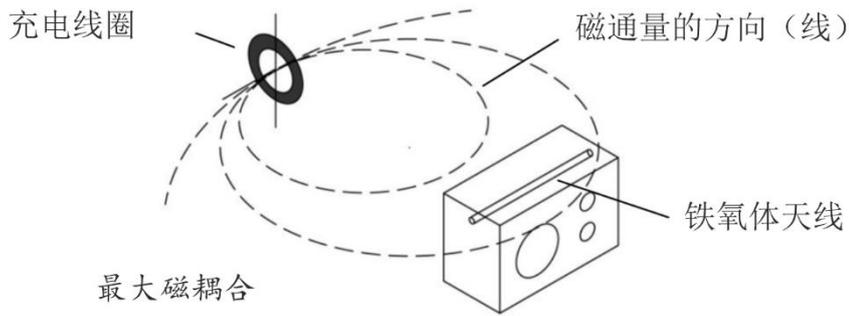
图7



SM.2449-07报告

通过将接收器水平旋转90度，将充电线圈垂直旋转90度，如图8所示，磁耦合以及干扰电平将显著增加，且事实上达到了最大化。接收器内部磁通量的方向将平行于铁氧体天线的轴。

图8



SM.2449-08报告

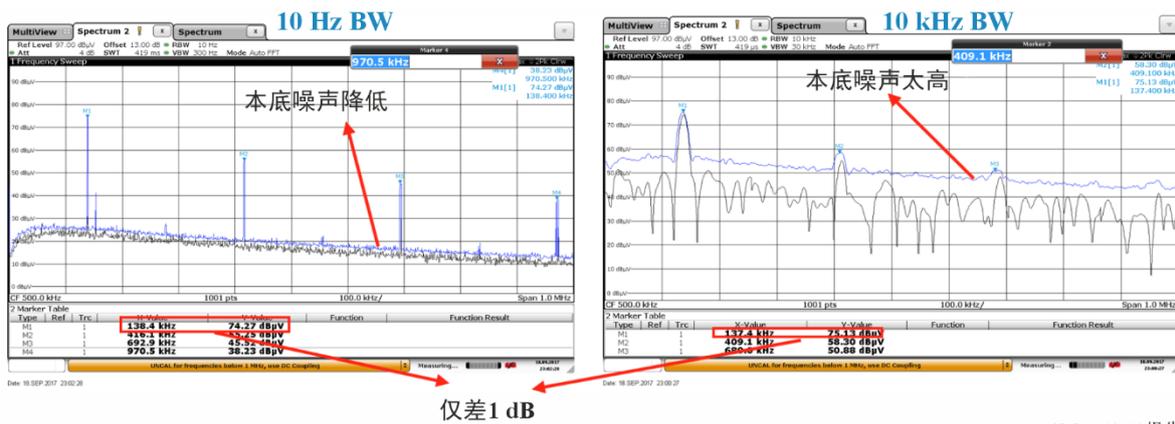
由于能够在三维空间中移动和旋转充电线圈和接收器，线圈和接收器之间的磁耦合有可能是最大值和零之间的任何值。

### 6.1.3 移动和便携式设备以及调幅接收器WPT的开放场强量化

图9显示了WPT谐波测量的带宽设置以及使用10 Hz的视觉调整。如图所示，10 Hz带宽与10 kHz带宽之间的差异仅为1 dB，但大大降低了本底噪声。此外，使用10 Hz更符合WPT信号的特性。WPT信号类似于正弦波，因此与带宽关系不大。更改为10 Hz亦使我们能够更好地了解测量所需要的内容。

图9

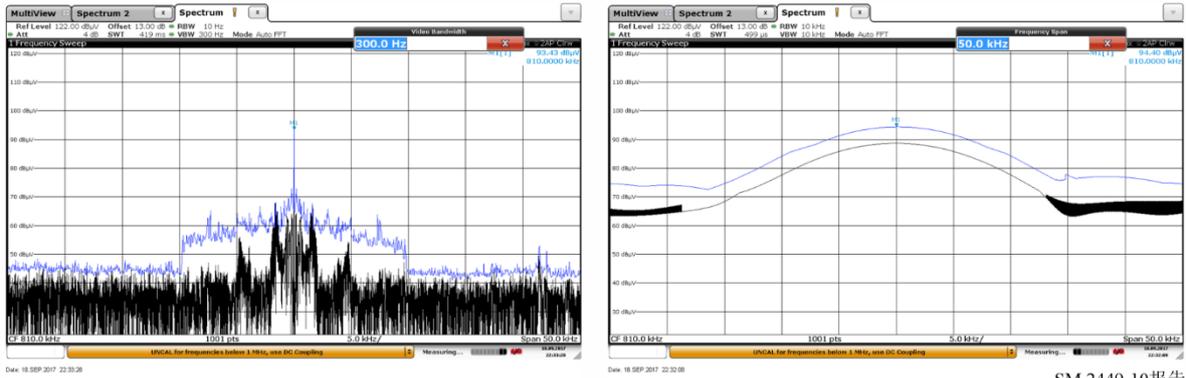
带宽调整



SM.2449-09报告

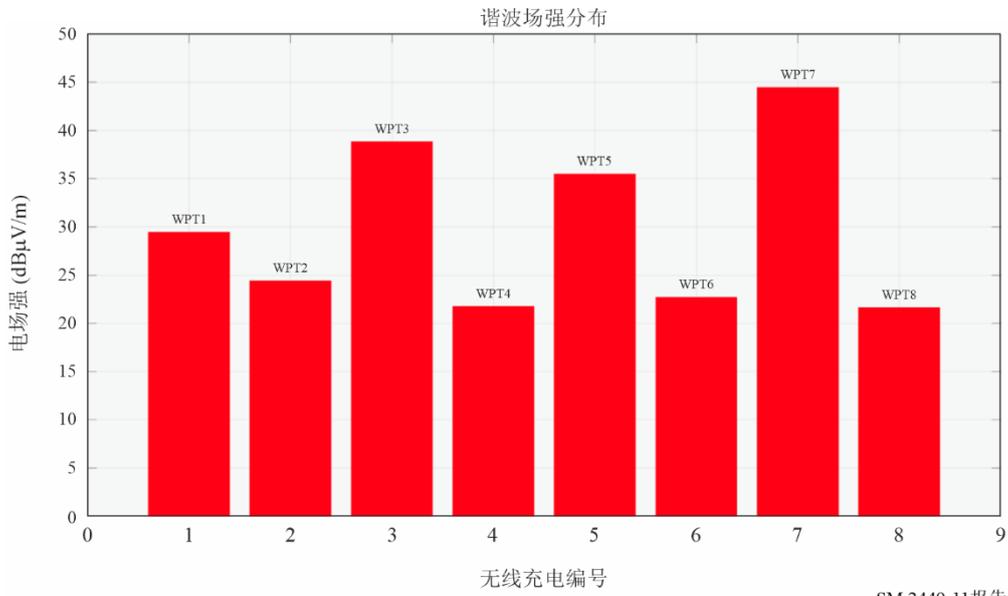
调幅接收器信号带宽设置如图10所示。基于1 dB的差异，调幅接收器亦使用10 Hz。

图10  
调幅接收器带宽设置



SM.2449-10报告

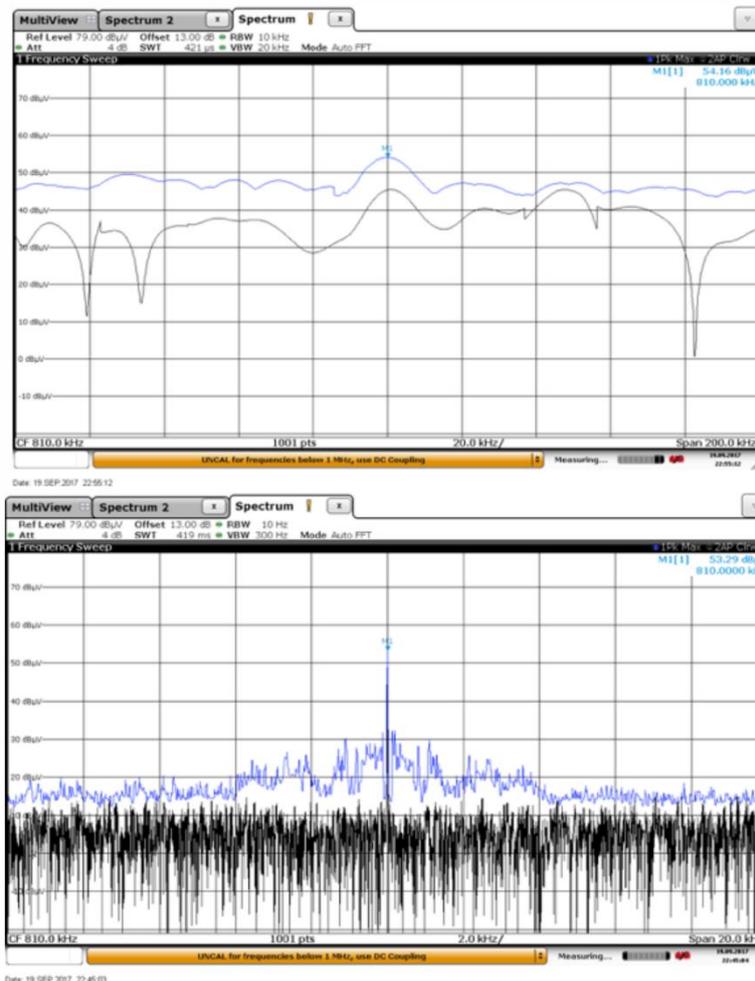
图11  
3 m处七次谐波场强测量



SM.2449-11报告

图12

调幅收音机信号强度, 54.16 dBμV/m (0.5 mV/m = 54 dBμV/m)



SM.2449-12报告

### 6.1.4 测试结果概述

表9中概述的实验室测试结果表明, 为防止感应充电设备测试的七次谐波对调幅广播接收器产生听觉干扰, 所需的最小间隔距离为2.3 m。鉴于这是一个通常在办公室和家庭中使用的移动设备, 这个距离是可以实现的, 因此研究认为, 对广播业务的影响可以忽略不计。

表9  
实验概述

调幅收音机接收器	调幅收音机单强度 (dBμV/m) (目标: 500 μV/m, 54 dBμV/m)	最差单个影响, 8个无线充电器分别测试	最差聚合影响, 5个WPT设备同时工作, 彼此之间间隔0.6m
AM1	54.35	<0.82 m, 噪声无法忍受 >1.83 m, 噪声听不见	<1.2 m, 噪声无法忍受 >2.2 m, 噪声听不见
AM2	54.16	<1.1 m, 噪声无法忍受 >2.2 m, 噪声听不见	<1.1 m, 噪声无法忍受 >2.3 m, 噪声听不见

这些结果表明存在干扰减轻因素，原因是当听力测试重新计算所测得的干扰信号时，干扰信号在某些情况下超过了有用信号。该研究的结果应谨慎对待，并需开展进一步的研究来解释上述结果。

## 6.2 工作在100-148.5 kHz的WPT设备的调幅广播研究2

### 6.2.1 一般观察

使用完全匿名的手机充电器、作为虚拟负载的手机仿真器和智能手机进行了一些主要的主观测试。

从一开始就很明显，可重复性将是一个主要问题。同样，亦很难对所看到的现象做出解释。充电器发出的信号主要取决于负载（或电话）在充电器上的确切位置、相对于接收器的确切位置及其方向。随着这些参数发生变化，不仅工作频率发生变化，而且干扰性质亦发生变化。通常，即使负载相对于充电器牢固地固定在一个位置上，“输出”亦似乎是脉冲的且经过滤波的（看似）方波，其频率即使在负载相对于充电器固定在一个位置时亦会发生变化。即使当接收器调谐到<sup>5</sup>的“信道”内没有谐波时，有时<sup>6</sup>亦可以在整个中频频段内听到大的切换瞬变（以脉冲的重复频率）。除了在某种程度上取决于充电器相对于接收器的确切位置之外，总体效果还明显地取决于充电器的（假定的）相对极化；仔细对准可以或多或少地消除干扰的影响。尽管位置和极化的影响可能是可以预期的，但情况并非总是如此，在这种情况下很难做出解释。整个设置的总体可变性和不稳定性表明，可能很难进行有意义的测量。

充电器在给手机充电时的性能与虚拟负载时完全不同。目前尚不清楚这种变化在多大程度上取决于手机电池的充电状态。手机刚好非常接近充满电。

当没有手机在充电器上时，实际上是处于一种“空载”状态，它会间歇性地且相当频繁地发出辐射脉冲——如同“你在那里吗”般地请求任何可能在充电器上或在充电器附近的手机来启动充电序列。即使没有手机被充电，在附近的接收器上亦能清晰地听到这些脉冲声。

一项主观评估表明，通过线圈负载组合和人工生成的<sup>7</sup>有用输入信号+18.5 dB $\mu$ A/m（相当于比ITU-R BS.703建议书中规定的最小接收器灵敏度高70 dB $\mu$ V/m - 10 dB），通过改变充电器的方向和/或精确位置，可以使间隔2 m时干扰信号的影响介于或多或少听不见与极度烦人之间。这与本报告表5和表6中的结果明显不同，表5和表6表明，对于所有测试的充电器，当间隔达到2 m（有时远小于此距离）且输入（有用）信号降低16 dB时，相关影响为听不见。

### 6.2.2 测试安排

测试在长度略小于4 m的屏蔽室内进行。这对可能的测试施加了某些限制；值得注意的是，2 m是接收器和充电器之间的最大可能间隔。物理布局如图13和14所示。

---

<sup>5</sup> 负载相对于充电器的位置发生很小的变化，可能会导致谐波跳入相邻的信道，甚至跳到更远的信道。

<sup>6</sup> 再次取决于负载的位置和方向。

<sup>7</sup> 测试是在屏蔽室内进行的。

图13  
测试设置（图解）

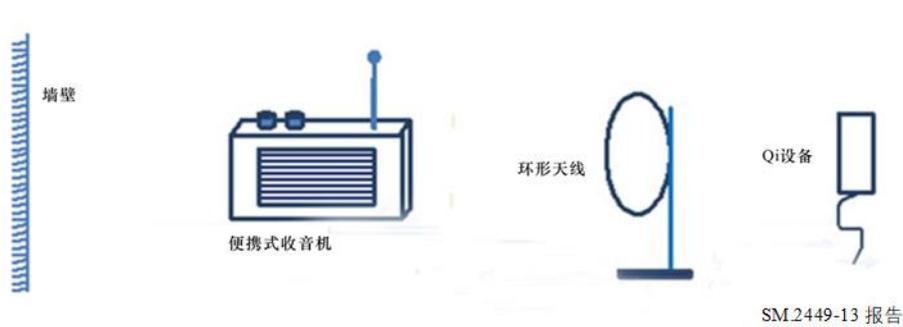
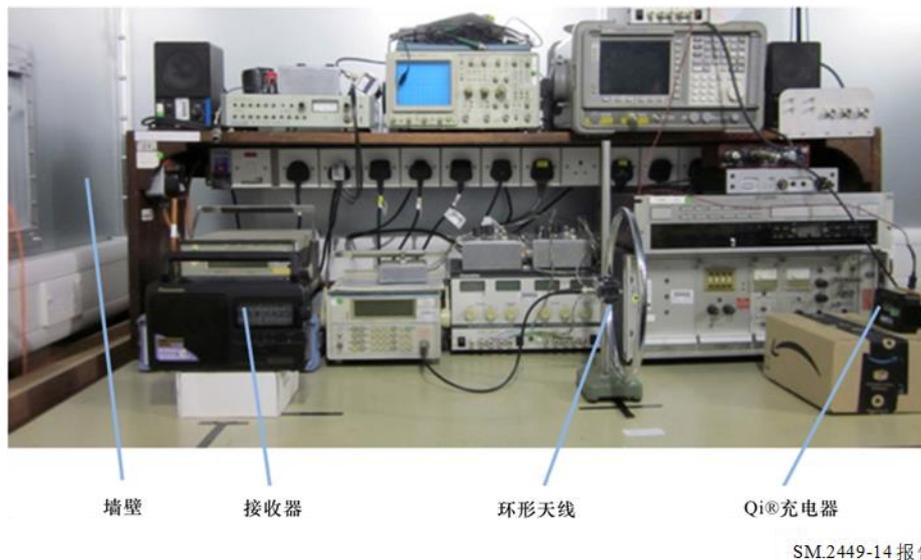


图14  
测试设置（照片）



接收器和充电器中的铁氧体天线被布置在环形天线的垂直轴上。对于测试，接收器距墙壁0.5 m，距环形天线1.0 m，距充电器1.2 m。

环形天线用于生成仿真广播信号。以这种方式仿真广播信号提供了优于广播信号的优势。

接收器处的信号电平可以被精确控制。

工作频率可以精确控制；这不仅使接收器的调谐频率可与充电器匹配，还意味着可以研究充电器的不同谐波，这些谐波会影响不同的载波频率（不同的广播信道）。

注 – 接收器可能/已经“调谐”到充电器，而不是反过来。

相同的音频样本（语音和音乐）可用于所有的测试，从而消除潜在的不确定性来源。

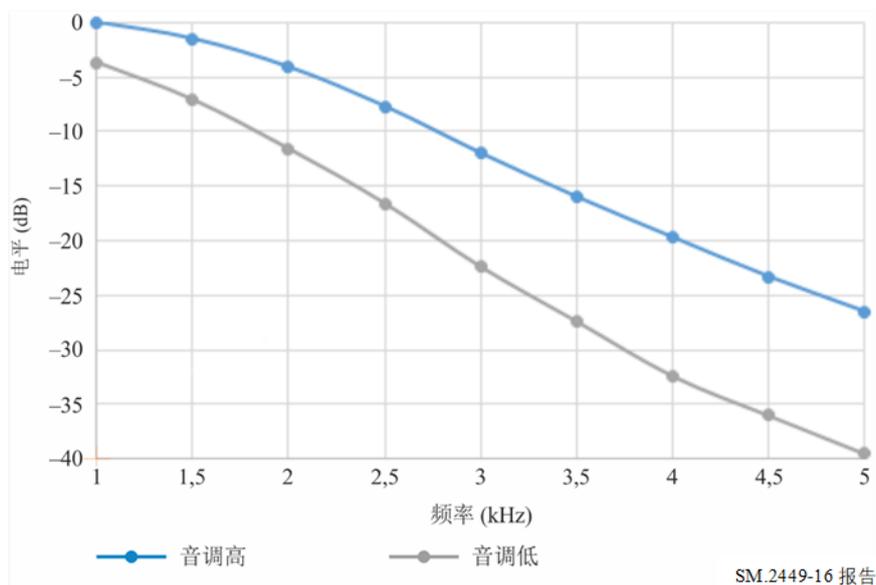
在接收器处控制信号电平的能力还意味着，无需实际移动充电器，就可以仿真使充电器靠近接收器或远离接收器的效果。如前所述，屏蔽室的尺寸严重限制了可达到的实际间隔。在必要时，应考虑墙壁反射的影响（见第6.2.6.1节）。假定场强与距离之间为反立方定律关系，有用（广播）信号的电平增加18 dB将产生使接收器与充电器之间的间隔距离增加一倍的效果。显然，接收器将以比18 dB大的信号操作，因此为了保持正确的接收器信噪比，必



接收器1音调控制的行为相当奇怪；看起来它对整体电平的影响要大于对高音响应的影响，这（大概）主要是由IF滤波器决定的。出于干扰测试目的，应将控制设为最大，以便将响应恰好保持在2 kHz左右。5 kHz上的响应不太重要，因为有意将干扰器放置在距离所需载波的约2 kHz频偏上，用于表示最差的情况。

图16

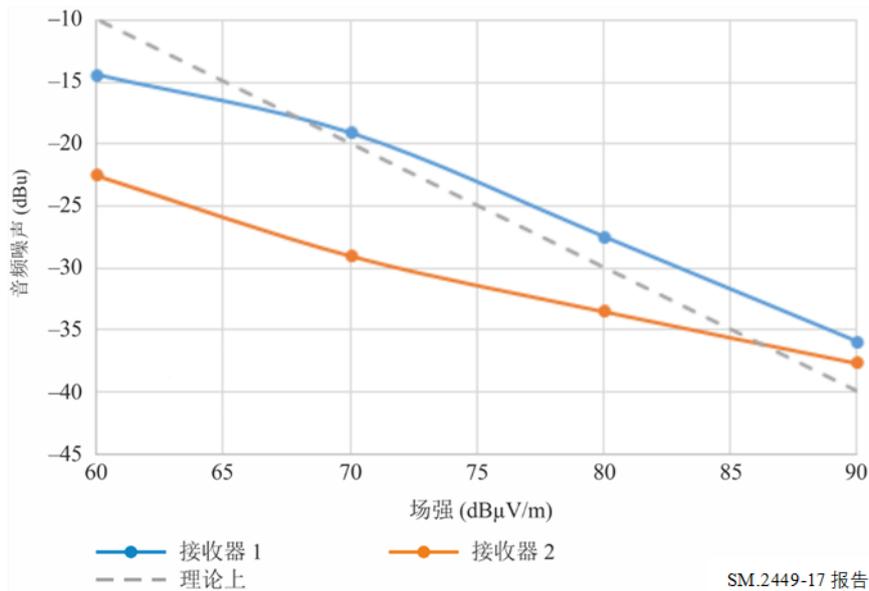
接收器2的调制响应



音调控制（开关）的作用确实非常大。显然，任何测试都应在开关处于“高”位的情况下进行 – 在“高”与“低”之间没有任何中间点 – 其中，调制响应与ITU-R BS.703建议书参考接收器的调整响应匹配得很好。

音频噪声电平作为场强的一个函数来测量，并绘制于图17中。

图17  
两个接收器的音频噪声电平



根据ITU-R BS.703建议书的要求，绘制了相对于30%调幅调制深度的噪声电平。（-30 dB的“音频噪声”对应于30 dB S/N）。理论上，如虚线所示，期望信噪比的dB将随着有用信号的dB增加而增加。实际上，“反向”噪声（在接收器的后期）给出了一个上限，而在低信号电平上，AGC超出了范围。在60 dB $\mu$ V/m的信号强度下，接收器1的性能看起来要优于预期。不过，这是令人误解的，因为有用信号的电平已随噪声一起下降。

因此，看起来接收器2更适合用于测试，因为它更符合ITU-R BS.703建议书的参考。它在音频信噪比上下降了约5 dB，但这并不是一个重大问题，因为在评估干扰影响时，太大的距离是不可行的。如第6.2.6.1节所述，使用了更小的间隔距离和更大的参考场强。

注意：为测试选择的载波频率是“标准的”999 kHz。如果使用其他频率，则接收器的灵敏度可能会有所不同。

#### 6.2.4 充电器的发射电平

对充电器的发射电平进行了测量。结果与本报告表5至表8给出的结果基本一致。

使用了“自制的”探测器。这包括十匝绕在一小段排水管上的导线；线圈直径为68 mm。探测器线圈后接一个（标称）30 dB的低噪声放大器。

图18

自制探测器（左）和Qi®充电器（带负载）



SM.2449-18报告

在1 m的距离处，在频谱分析仪上测得的电平为-34 dBm。由于前置放大器的增益为29 dB（测量值），因此线圈的输出为-63 dBm。0 dBm等效于224 mV，因此-63 dBm等效于0.159 mV。<sup>10</sup>

穿过面积为 $A$ 且匝数为 $N$ 的线圈的磁场 $H$ 产生一个 $E$ 为 $\mu_0 H A N \omega$ 的EMF，其中 $\mu_0$ 是自由空间的磁导率（定义为 $4\pi \times 10^{-7}$ ）， $\omega$ 是角频率。对之进行重新排列，将得到：

$$H = E / \mu_0 A N \omega \quad (1)$$

输入数字： $H = 0.159 \times 10^{-3} / \{ (4\pi \times 10^{-7}) \times (\pi \times 0.034^2) \times 10 \times (2\pi \times 115 \times 10^3) \}$

因此  $H = 0.0048$  A/m，在1 m的距离上。

这相当于73.6 dB $\mu$ A/m（或自由空间中等效电场的125.1 dB $\mu$ V/m）。在300 m处，这将减少60 log 300 dB，即148.6 dB，得出-23.5 dB $\mu$ V/m。第5.1节给出了一个-15 dB $\mu$ V/m的数。考虑到各种不确定性，这是合理的约定。

### 6.2.5 充电器的谐波发射电平

到目前为止，研究2中描述的工作仅涉及两种设备。市场上可用的型号之间可能存在差异，因此对一系列设备进行了评估。

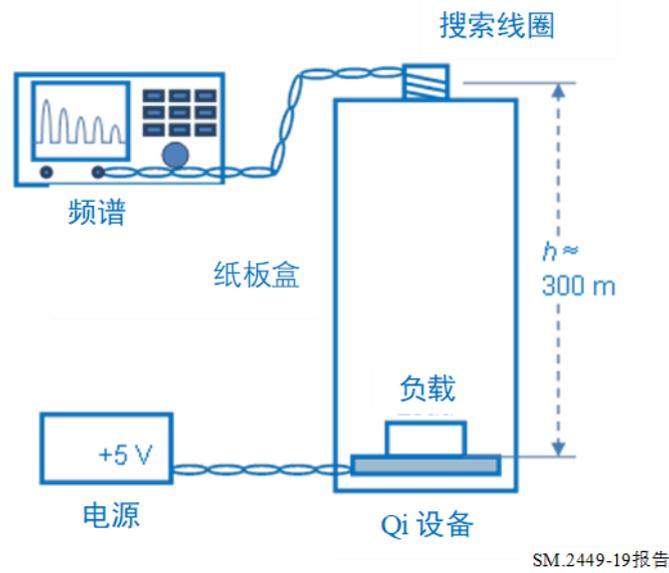
测试方法非常简单。所讨论的Qi设备被放置在工作台上，并由工作台电源提供+5伏电压。它由图18所示的Qi假负载加载，并被设置为消耗2瓦（其额定最大值）。在Qi设备正上方300 mm处支撑一个三圈搜索线圈，输出连接到频谱分析仪。

频谱分析仪被设置为从0到2 MHz扫描，然后标记工具用于读取前13个谐波的水平—仅奇数谐波，原因是偶数谐波通常电平低得多。

Qi设备被替换为由1 MHz音调驱动的扁平线圈。线圈与Qi设备中使用的线圈相似，其磁场很容易计算。将搜索线圈的输出与所算得的电平进行比较，以确保测量结果与预期结果一致。

<sup>10</sup> 严格来说，dBm是恒定阻抗系统中的功率单位。在这种情况下，线圈实际上将电压传递到高阻抗中。

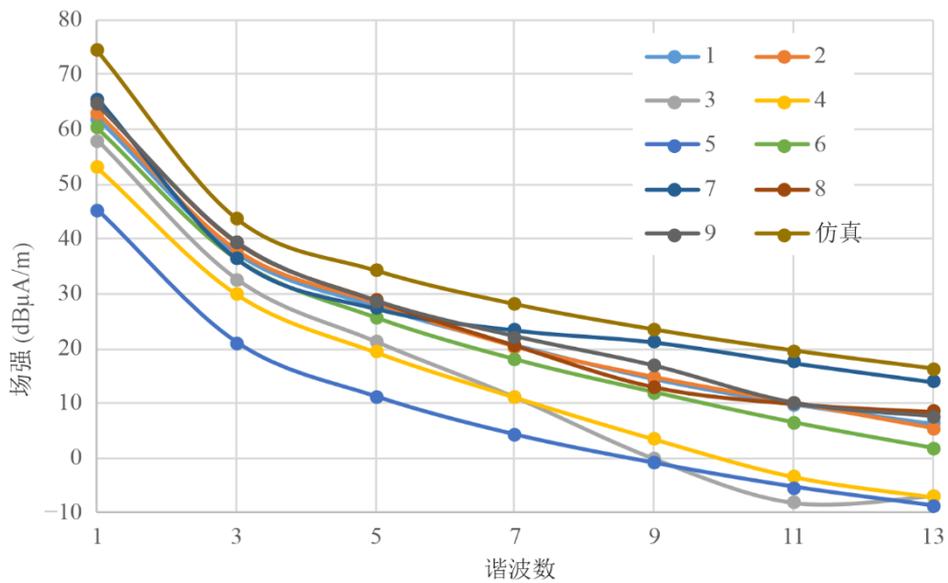
图19  
测试设置



SM.2449-19报告

结果绘制如下，且其被归一化为1 m的距离。

图20  
被测设备的谐波电平



SM.2449-20报告

一般来说，每个设备的谐波 $n$ 水平遵循预期的 $(1/n)$ 定律（相关图形与理想的“仿真”图形相似）。这证实了调谐电路确实是由方波驱动的。如第4节所述， $1/n$ 关系不适用于基波分量，原因是包含耦合电感的调谐电路接近谐振。

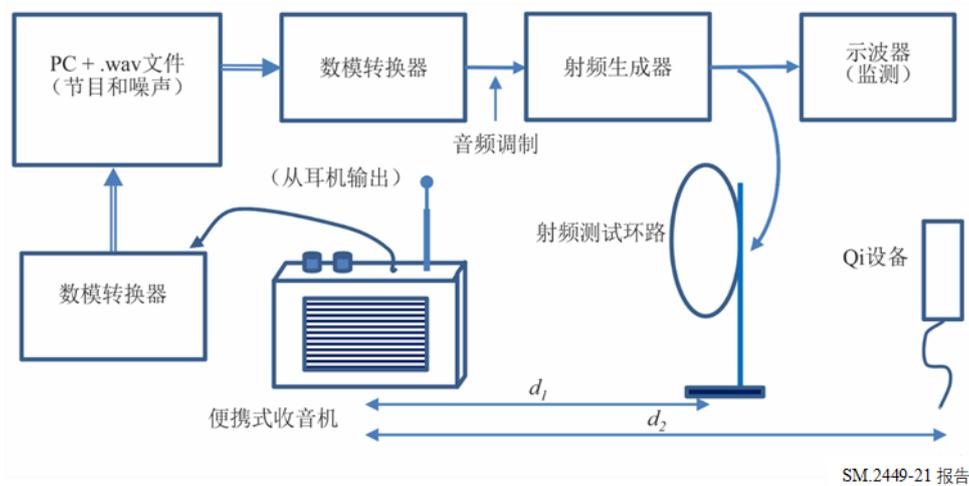
由于仿真没有考虑任何干扰减轻因素（如可能的磁屏蔽），因此实际设备的发射电平都略低便不足为奇了。设备5的性能比仿真情况好大约25 dB。

### 6.2.6 干扰电平评估

使用图21中所示的设置，客观地和主观地测量了充电器/负载组合产生的干扰对接收器音频输出的影响。

图21

用于评估Qi@干扰的设置



SM.2449-21 报告

草图大部分是不言自明的。程序资料以.wav文件的形式存储在PC上，与早期的WPT测试使用的资料相同<sup>11</sup>。（它是由BBC的Radio 5录音棚提供的，并进行了压缩以进行传输。）它通过高质量的“基准”DAC进行播放，并用于调制射频发生器。然后，射频发生器驱动测试环路天线。按照惯例，将环路置于距离被测物品（收音机）600 mm的位置上，在这种情况下，等效电场V/m在数值上等于发生器源EMF的1/10（单位：V）<sup>12</sup>。最后，带有干扰的收音机输出将转换为数字形式，并以.wav文件形式存储在PC上。

此外，PC的Audacity程序还向程序资料中添加了伪随机噪声。这有助于将接收器外的音频S/N设置为参考30%调幅调制深度的26 dB，而与实际场强无关<sup>13</sup>。在对干扰进行主观测试时，任何背景噪声的掩蔽效果显然都是一个重要的因素。

最后，对系统对准进行完整性检查。发生器设置为-3 dBm，源EMF为317 mV，标称场强为1.7 mV/m (90 dB $\mu$ V/m)。而后磁场场强应为31.7 / 377 mA/m或38.5 dB $\mu$ A/m。4圈搜索线圈再次用于测量实际的场强，并在频谱分析仪上给出-92 dBm的读数。

回顾上面的等式 (1)：

$$H = E / \mu_0 A N \omega$$

$$\text{输入数字: } H = (5.63 \times 2 \times 10^{-6}) / \{ (4\pi \times 10^{-7}) \times (\pi \times 0.034^2) \times 4 \times (2\pi \times 999 \times 10^3) \}$$

其中， $5.63 \times 10^{-6}$ 为-92 dBm（单位：V），突出显示的为端接。

$$H = 9.818 \times 10^{-5} \text{ A/m, 或 } 39.8 \text{ dB}\mu\text{A/m}$$

<sup>11</sup> 例如，如BBC白皮书WHP 322中所述。

<sup>12</sup> 并不暗示环路实际上会产生电场 – 实际上，对环路进行了屏蔽，以防止其产生电场。使用标准远场关系 $E/H = 377 \Omega$ 计算等效电场。

<sup>13</sup> 假设场强足以超过参考音频S/N。

这与标称场强合理的一致。

### 6.2.6.1 距离倍增和屏蔽室的效果

如前所述，在受害接收器处增加“有用”信号的电平可能有助于在更大距离上评估设备造成的干扰，即大于屏蔽室中可用的距离。假设参考接收器工作于60 dB $\mu$ V/m，并且干扰充电器在2 m外。根据反立方定律，如果距离减半至1 m，则干扰将增加18 dB。由此可见，如果有用信号也要增加18 dB，则对接收器输出的影响将完全相同。有两个附带条件：首先，系统内其他地方产生的任何噪声都需要保持在同一电平上（-26 dBu，参考30% AM）；其次，接收器内的自动增益控制需要使（有用）输出电平保持合理恒定。

表8列出了适合于乘法因子1-4的信号发生器电平。假定正在使用环形天线，且受害接收器距离它600 mm。

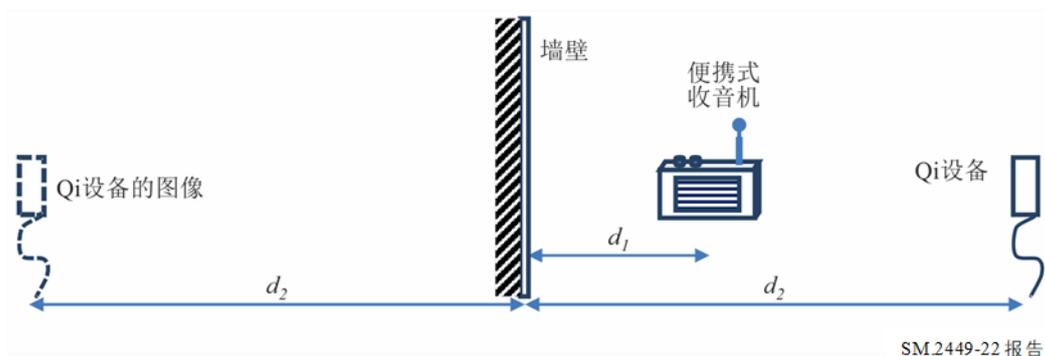
表10

特定乘法因子的发生器电平

生成器电平 (dBm)	-33	-15	-4.4	+3	因子4表示放置在600 mm处的干扰源与放置在2.4 m处的干扰源具有相同的效果。
乘法因子	1	2	3	4	

在屏蔽室中可用的实际距离比预期的受到更多限制。这是因为房间是由金属制成的，而金属的作用就像是近乎完美的反射器。尽管将近4 m长，但干扰器仍需保持在接收器的约1.2 m范围内。情况如图22所示。

图22  
反射的影响



如在收音机处所做的测量，Qi®设备的标称场强及其反射分别为 $1/(d_2 - d_1)^3$ 和 $1/(d_2 + d_1)^3$ 。为了获得合成的场强，需要从直接信号中减去反射信号<sup>14</sup>：

合成场强

$$1/(d_2 - d_1)^3 - 1/(d_2 + d_1)^3$$

合成场强与直接场强之比

$$\left\{ \frac{1/(d_2 - d_1)^3 - 1/(d_2 + d_1)^3}{1/(d_2 - d_1)^3} \right\} = 1 - \left\{ \frac{d_2 - d_1}{d_2 + d_1} \right\}^3$$

<sup>14</sup> 或者，可能更容易考虑电荷。墙壁（接地）上的电压须为零。这仅当实电荷和虚电荷相等且相反且与墙壁等距时才能实现。

输入实际距离 ( $d_1 = 0.5 \text{ m}$  和  $d_2 = 1.2 \text{ m}$ ) 得到的比为0.93 – 误差为0.6 dB。在这种情况下, 效果太小而不严重, 可以通过稍微减小 $d_2$ 来对准。不过, 误差随着 $d_2$ 的增大而迅速增加。

### 6.2.6.2 音频样本

进行了一些初步录音, 30秒的语音和30秒的音乐“传送”给了便携式收音机。该材料与先前用于WPT测试的材料相同, 取自Radio 5提供的“Jerusalem”剪辑, 并在处理后分发给Radio 5 MF发射电台。

到目前为止的录音以及一些评论如下所示。在所有情况下, 都会选择干扰器的七次谐波。频率通常约为1 MHz, 但确实有所不同。

表11  
录音

标识符	简要描述	注释
as_clean	语音, 除-26 dBu的系统噪声外, 没有任何损害	背景嘶嘶声听得见但并不令人反感
bs_wp0_12_2-4_onc	如上所述, 加上来自非品牌充电板的同频干扰	在有效的2.4 m处的干扰非常明显
cs_wp0_12_2-4_offc	如上所述, 但信道外有干扰	干扰通常大概不会引起注意
ds_wp0_12_2-4_idle	如上所述, 但负载已从充电板上移开	同样, 干扰通常大概不会引起注意
em_clean	音乐, 除-26 dBu的系统噪声外, 没有任何损害	背景嘶嘶声听得见但并不令人反感
fm_wp0_12_2-4_onc	如上所述, 加上来自非品牌充电板的同频干扰	在有效的2.4 m处的干扰非常明显
gm_wp0_12_2-4_offc	如上所述, 但信道外有干扰	干扰通常大概不会引起注意
hm_wp0_12_2-4_idle	如上所述, 但负载已从充电板上移开	同样, 干扰通常大概不会引起注意
is_wp7_s7_2-4_onc	智能手机对“语音”产生信道干扰	与非品牌充电板的结果几乎相同
jm_wp7_s7_2-4_onc	如上所述, 有“音乐”节目	如上所述

很难获得一致的结果, 因为干扰器可能会在没有警告的情况下跳到一个不同的信道上。即使稳定, 它也将两个固定频率之间切换, 收音机将只能调谐到其中一个频率上。切换速率约为每秒一次, 从而产生易于识别的听觉“签名”。通常, 信道外干扰几乎是听不见的, 但这将取决于信道外干扰的程度。

这些影响缺乏微妙性, 这意味着通常的国际电联5点损害等级几乎没有必要: 要么干扰巨大, 要么听不见。

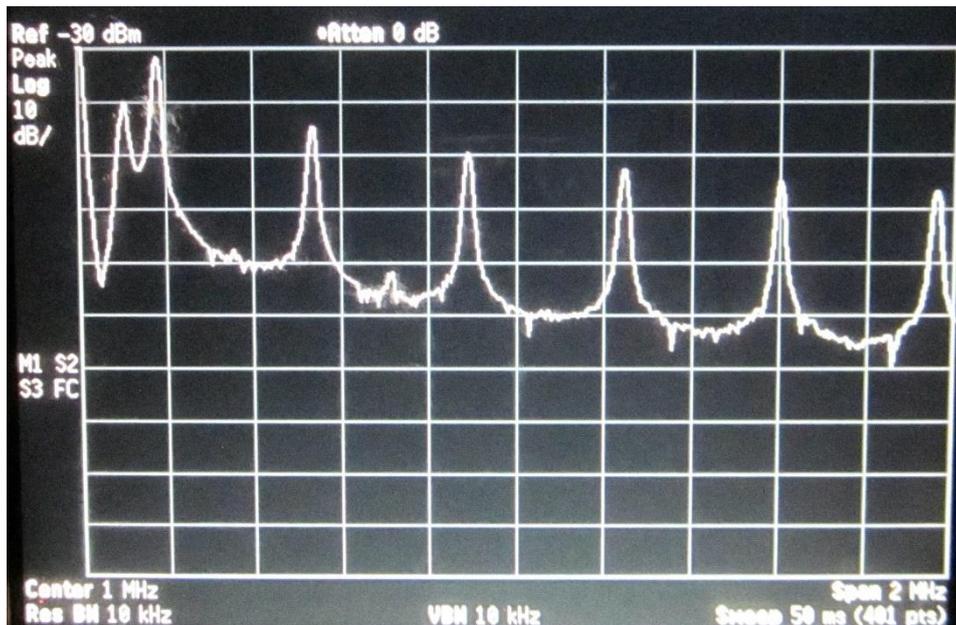
### 6.2.7 空闲模式下的WPT充电器

之前的工作都假设设备处于活动服务状态。这看似合理，但实际上，设备在不使用时可能会一直处于通电状态。在这些条件下，它会发出一个周期性信号，或“ping”。为了找到答案，重复了之前的测试，但这次没有仿真负载。唯一不同的是，搜索线圈移近了175 mm，以增加呈现给频谱分析仪的信号电平。这种干扰亦可以在便携式收音机上听到。

当无负载时，所有设备都发出基频为175 kHz的规则脉冲。重复率在每秒0.5到4次之间变化。由于谐波，该信号似乎只会造成严重的无线电干扰；在谐波之间的空间里，频段相当“安静”。图23背面显示了典型的频谱图。这是使用频谱分析仪上的“峰值保持”功能实现的，因此边带内容可以随着时间的推移逐渐增加，谐波在快照上看起来很“干净”。跨度为0-2 MHz，垂直刻度为10 dB/分度。注意，搜索线圈具有与频率成比例的响应。

图23

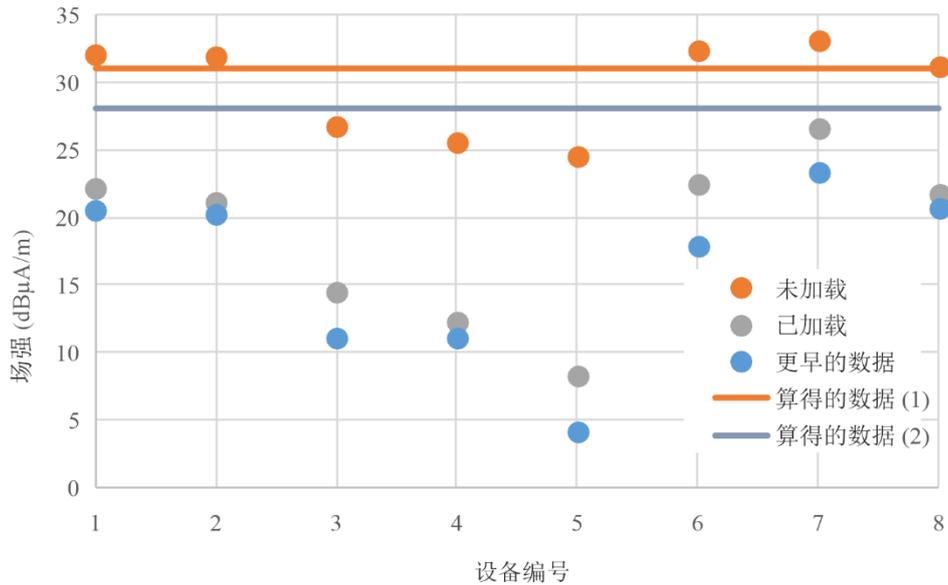
(设备2的) 典型频谱



对该频谱的一种解释是，该设备大部分时间处于175 kHz，但暂时尝试100 kHz（其正常工作频率）。调幅接收器上的听觉效果是对应于突发的开始和结束的“双击”。这是意料之中的：载波电平的突然变化会引起低频瞬变。

五次谐波的场强以橙色标绘如下，并与测试负载就位（设置为2 W）时七次谐波的场强进行对比。注意，这两组谐波的频率大致相同。

图24  
被测设备的谐波电平



SM.2449-24报告

评论如下：

- 这些电平已被归一化为1 m的距离。
- “较早的”（加载的）结果是图24所示的七次谐波电平。
- 设备9没有包括在内，原因是它给出了非常不稳定的结果。
- “算得的2”是通过仿真第4节预测的谐波电平，而“算得的1”大2.9 dB，以允许傅立叶展开的五次谐波是七次谐波电平的7/5倍。

一般来说，“空载”情况下算得的谐波电平与实际谐波电平之间有很好的 consistency – 实际值的平均值与计算值仅相差1.2 dB。“加载”情况下的事实则不太乐观，测量结果平均比计算值低11 dB。对于七次谐波，当前和早期的“加载”结果之间存在合理的一致性，表明这种不足是真实存在的。

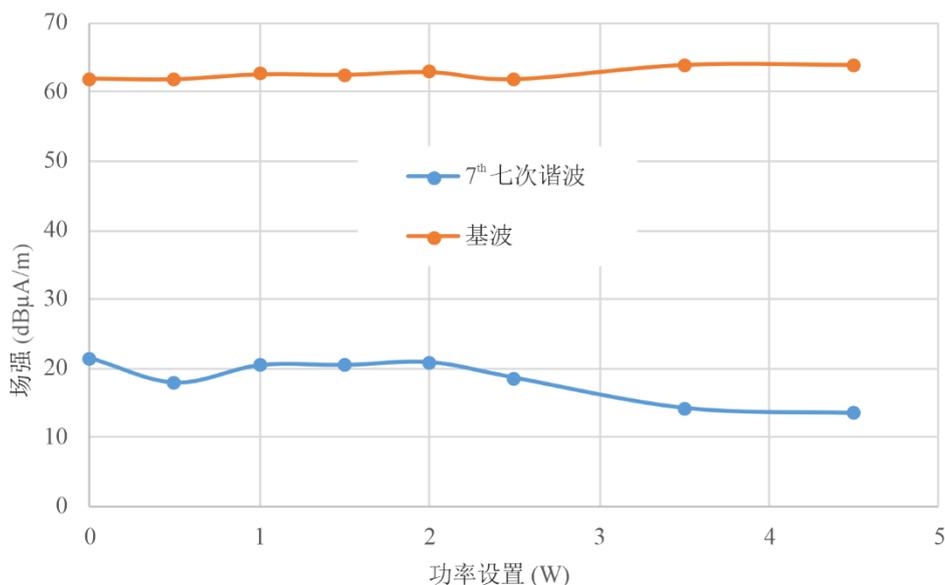
研究人员曾经试图找出上述不足的原因，并再次尝试对扁平线圈进行“健全性检查”，这一次将测试负载直接放在线圈上。测试负载与线圈接触后，电平下降了13 dB。仅将负载提高10 mm，损耗就降低到约4 dB。一些偶然的实验表明，这种损耗很大程度上取决于位置，在较小程度上取决于频率。显然，假负载中的铁氧体屏蔽和线圈有很大的影响。使用Qi充电器作为屏幕来代替测试负载会产生一些损耗，但没有之前那么明显。

上述工作表明，“空闲模式”的发射产生了更大的麻烦，原因是其无可屏蔽。由于计算和实践之间有着很好的一致性，在第5节中得出的结论是，充电器可能会在10 m的距离内对调幅接收器造成干扰。

### 6.2.8 高功率电平

到目前为止，测试是在2 W的功率下进行的，这是假负载中的内部电阻所施加的限制。不过，该负载允许连接外部电阻，因此容量提高到5 W，假负载检测这些电阻，并相应地配置系统。充电器‘2’的基波和七次谐波电平测量值超过2 W，结果如下。

图25  
较高功率电平下的场强



SM.2449-25报告

功率被限制在4.5 W，原因是系统在满5 W时显示出故障迹象。

至少在2 W以下，谐波电平保持不变。高于该值时，电平会有所下降，可能是因为使用外部电阻时模式发生了变化。更令人惊讶的是，基本面的电平亦保持不变。在一定意义上，这可能是由于系统效率随着功率的增加而提高，并进而导致杂散磁场减少。

### 6.3 在315-405 kHz频段内工作的WPT设备的调幅广播研究3

#### 6.3.1 比较不同频率影响的测量

该研究旨在研究工作频率范围为315-405 kHz的无线充电设备的谐波是否会对工作频率范围为526.5-1 700 kHz的调幅广播接收器产生有害干扰。

#### 6.3.2 调幅广播信道选择

该研究是在工作频率为360 kHz左右的无波束感应WPT设备上进行的。这些充电器要么符合无线电力协会的Qi2规范，要么非常类似于Qi2规范，并且都是现成的。Qi2规范定义了360 kHz左右的WPT操作，具有比Qi1更高的功率和显著更高的效率。

理论上，其二次、三次和四次谐波将落入526.5-1 700 kHz。不过，通过充电电路设计，偶次谐波得到了很好的抑制。

因此，研究的重点是来自WPT设备的三次谐波。研究分别在中国1080 kHz和1098 kHz信道的调幅广播接收器上进行。信道1080与三次谐波重叠，而信道1098是在研究中发现的现实生活中最接近工作在360 kHz左右的WPT设备的三次谐波的相邻信道。

该研究从市区的一个3 m测试室、办公楼和酒店收集数据。测试内容为来自公开市场的三种不同品牌的无线充电器对不同制造商的三种商业调幅广播接收器产生的干扰。

### 6.3.3 主观听觉测试

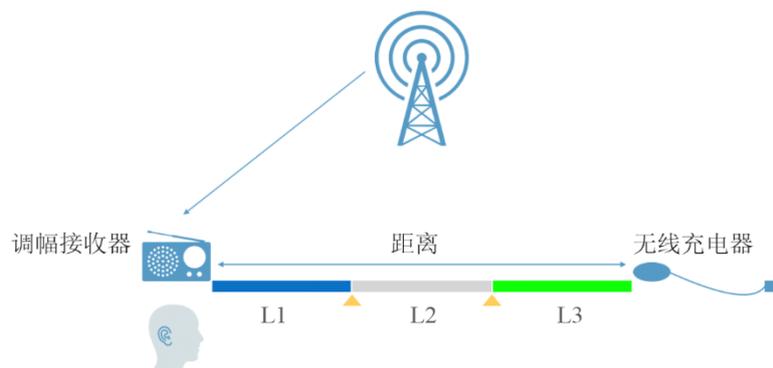
主观听觉测试在办公楼内进行，其中调幅广播的信号强度非常接近ITU-R BS.703建议书中规定的最低信号电平。然后，通过调整调幅广播接收器的位置和方向，可以获得可接受的信号质量。操作员通过逐渐将无线充电器移向调幅接收器来监测声音干扰。考虑到不同人的听力差异，有五个人参与了主观测试评价。主观听觉测试是参照ITU-R BS.1284-2设计的，但更注重实际用户的体验。

听觉测试评估可由三个程度来定义<sup>15</sup>：

- 程度1是不能容忍的干扰，
- 程度2是可听见的干扰，但可以忍受，
- 程度3是听不见的干扰。

图26

主观听觉测试原理



SM.2449-26报告

图27

主观听觉测试设置

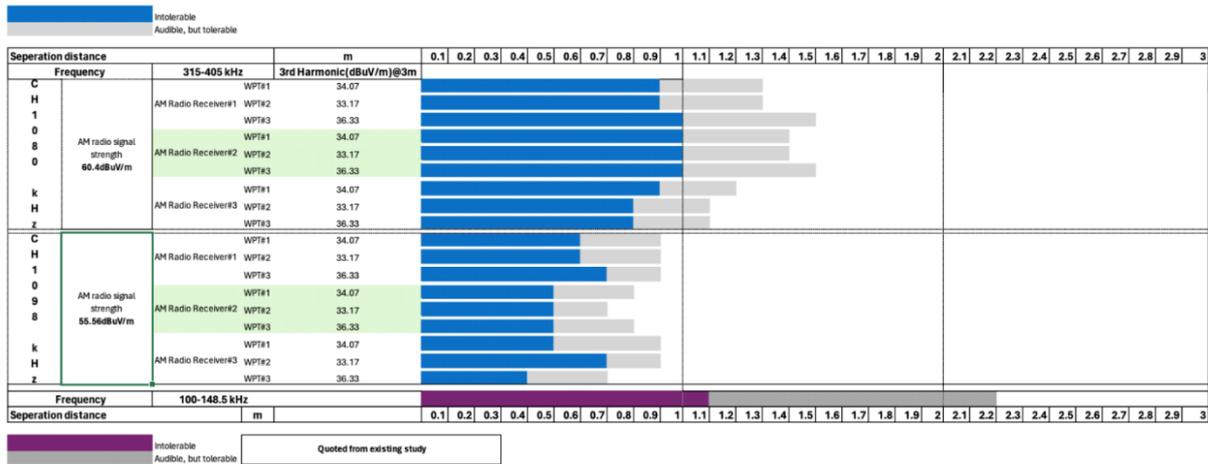


### 6.3.4 结果概述

图28显示了调幅接收器1、调幅接收器2和调幅接收器3在调幅1080 kHz信道下的工作结果，该频率与顶部所有WPT充电器的三次谐波重叠。下部显示了调幅1098 kHz信道。

<sup>15</sup> 来自BS.1284的程度简化为：程度1= 1（非常讨厌）和2（讨厌），程度2= 3（轻微讨厌）和4（可察觉，但不讨厌），程度3= 5（察觉不到）。

图28  
主观听觉测试结果



SM.2449-28报告

当谐波干扰与调幅广播信道重叠时，1.5 m的间隔距离可以有效避免最差情况下的可听干扰。

不过，当它与调幅广播信道相邻时，在最差的情况下，0.9 m的间隔距离可以防止调幅广播接收器受到听觉干扰。

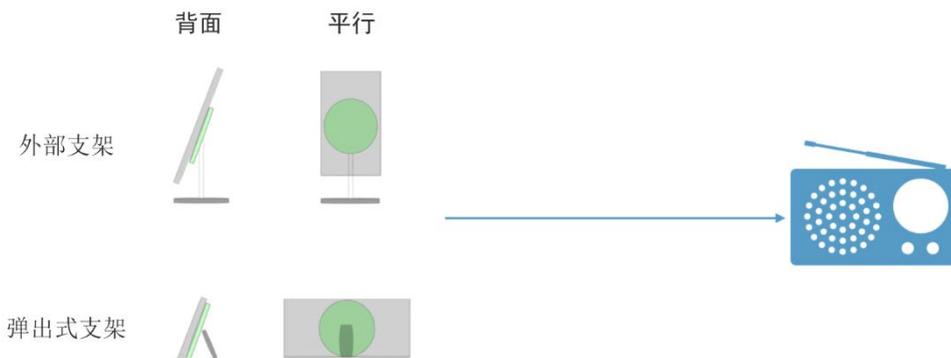
这些距离是可以实现的，因此研究认为对广播业务的影响是可以避免的。

当将调幅广播研究1（第6.1节）中发现的距离与WPT在100-148.5 kHz工作的距离进行比较时，可以看出，WPT在315-405 kHz工作的距离要小得多，影响亦更为有限。

### 6.3.5 灵敏度分析 – 充电器线圈和附加WPT设备的不同方向

除了充电器线圈水平放置的常见使用场景，该研究还对充电器线圈在弹出式支架或外置支架的帮助下垂直放置的一些使用场景进行了研究。在该研究中，我们测量了另外两个仅可用作立式充电器的充电器。该研究通过调整充电器线圈相对于调幅无线电接收器的排列（如背面和平行）来估计实际影响。

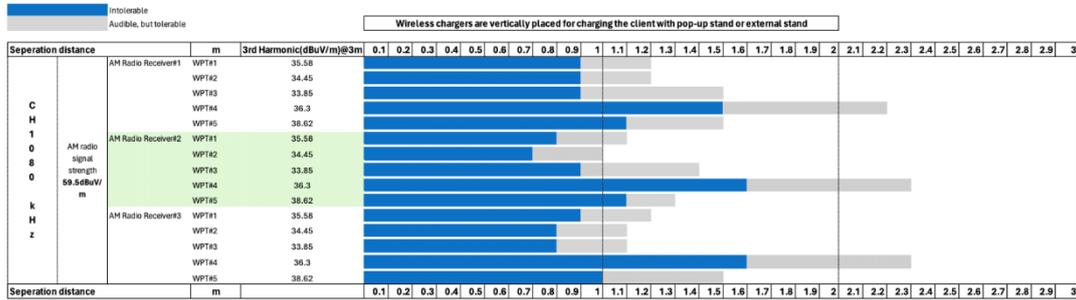
图29  
垂直排列的充电器线圈的方向



SM.2449-29报告

图30显示了调幅接收器1、调幅接收器2和调幅接收器3在调幅1080 kHz信道下的工作结果。

图30  
调幅1080 kHz信道的WPT谐波结果概述（垂直排列）

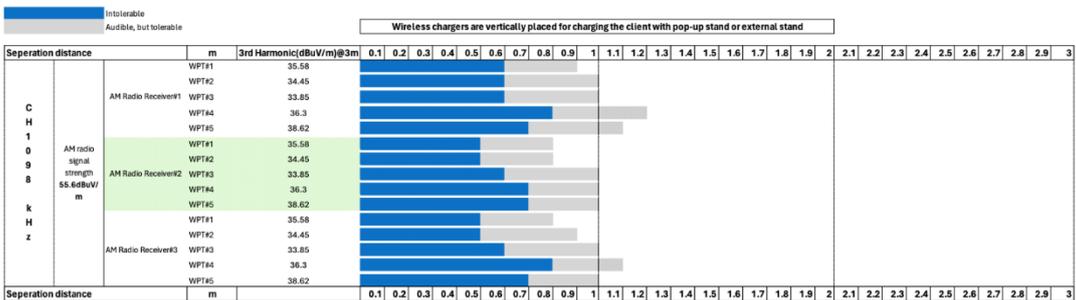


SM.2449-30报告

注意，单个WPT充电器比其他充电器需要更大的保护距离。该无线充电器的三次谐波与调幅广播信道的中心有大约500 Hz的偏移。ITU-R BS.560建议书的图1表明，最大保护比约为16 dB，对应的频偏约为1.6 kHz。当谐波和调幅广播信号之间的频偏是1.6 kHz而非500 Hz时，保护距离增加了1.17倍。

图31显示了调幅接收器1、调幅接收器2和调幅接收器3在调幅1098 kHz信道下的工作结果。

图31  
调幅1098 kHz信道的WPT谐波结果概述（垂直排列）



SM.2449-31报告

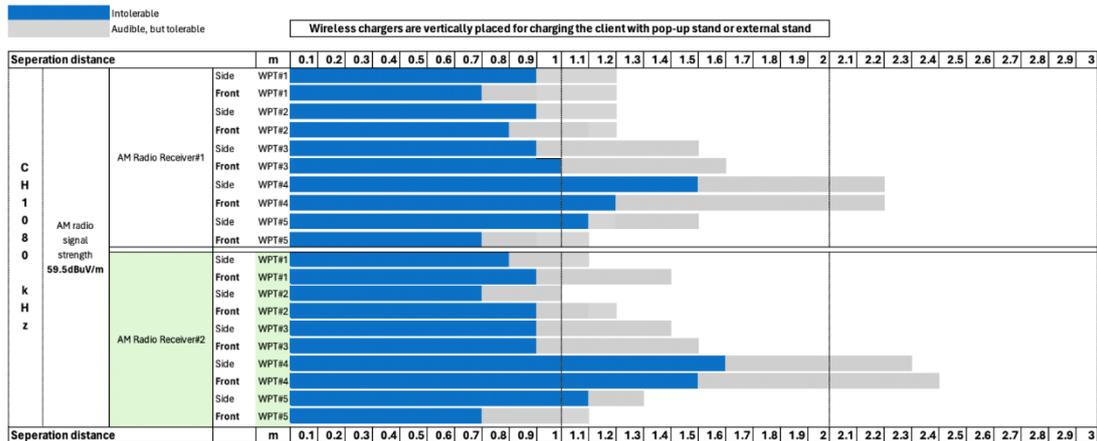
研究表明，这种影响与无线充电线圈的水平布置相当。

### 6.3.6 灵敏度分析 – 调幅广播接收器的不同方向

进行了另一种灵敏度分析，以分析调幅广播接收器的方向性。

图32

调幅广播接收器不同方位的灵敏度分析



SM.2449-32报告

该研究还阐明了无线电广播接收器不同方位上耦合干扰的敏感性。无线充电器从不同方向接近无线电广播接收器，然后量化避免干扰所需的间隔距离。总的来说，如图32所示，不同方向的间隔距离要求存在10~40 cm的差异，这可能是由近场天线耦合特性或测试不确定性造成的。

### 6.3.7 客观谐波电平之比较

与100-148.5 kHz的频段相比，现有规则（如ETSI EN300 330）要求在360 kHz时达到-15 dBuA/m，而在119 kHz时达到66 dBuA/m，因此对315-405 kHz的基波发射有更严格的限制。其结果是：对调幅广播业务来说，由315-405 kHz引起的谐波比由100-148.5 kHz引起的谐波更加友好。

为了进行比较，还测量了另外5台工作在100-148.5 kHz的WPT设备。

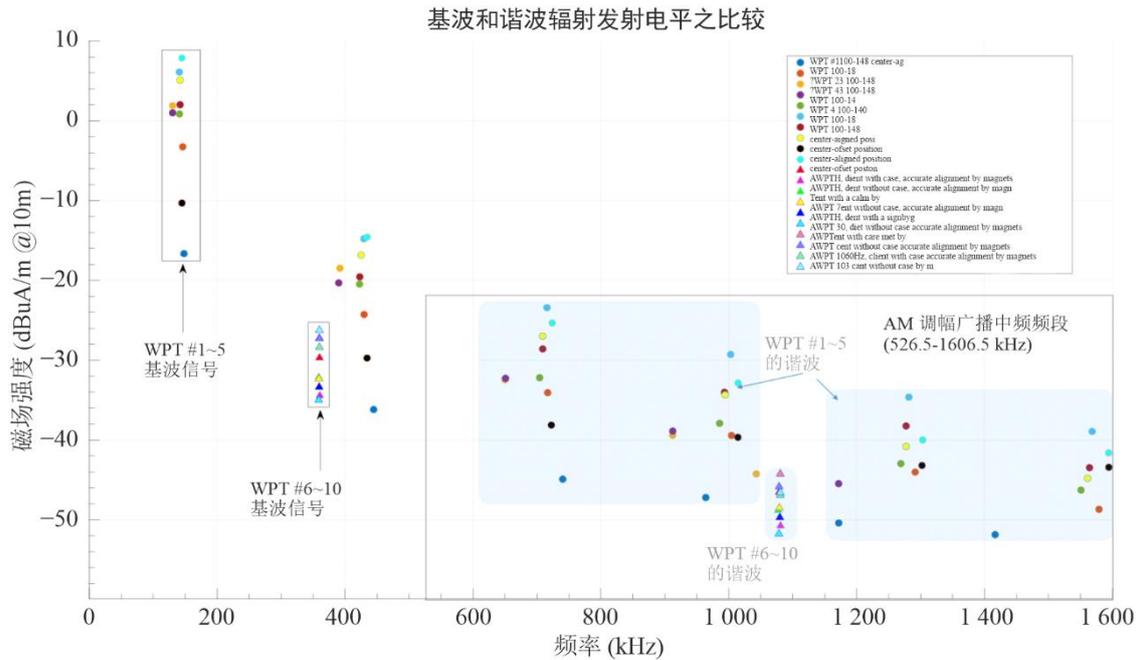
然后将其发射电平与该研究中使用的工作在315-405 kHz的5个WPT设备的发射电平进行了比较。

图33显示了不同WPT频率范围的谐波电平之比较。它清楚地表明，从315-405 kHz WPT设备发射的谐波电平比从100-148.5 kHz WPT设备发射的谐波电平低得多。此外，由于315-405 kHz工作时的充电频率较高，落入调幅广播MF频段内的谐波亦较少（分别为2个和6个奇次谐波）。

总之，315-405 kHz频段的谐波对中频调幅广播的影响远小于100-148.5 kHz。

图33

基于测量的谐波电平之比较



SM.2449-33报告

应注意的是，WPT设备对工作在100-148.5 kHz的便携式和移动设备的干扰风险似乎非常有限或不存在。有数以百万计的设备在这个频率范围内运行，且没有记录任何干扰案例。由于工作在315-405 kHz的便携式和移动设备的WPT设备对广播的干扰影响较低，因此调幅无线电听众注意到干扰的可能性更小。

## 7 用于移动和便携式设备的非波束感应WPT对业余业务的影响研究

### 7.1 用于仿真的参数

在美国境内，第47节CFR第15.31 (2)部分规范了工作于近场的射频设备的测量要求。在将FCC要求的40 dB/十倍频程的外推因子应用到300 m处的-15 dBμV/m后，非波束WPT设备在10 m处的限值为44.08。建模用于近场传播。

业余业务接收器的参数来自ITU-R M.1732建议书，如表12所示。本建议书不包含该频率范围内业余业务操作的干扰保护标准。出于该研究的目的，假定保护标准为 $I/N -6$  dB。

表12

为业余业务接收器假定的参数

参数	值
中心频率 (kHz)	136.75
带宽 (kHz)	0.4
天线方向图	全向
最低噪声电平 (dB $\mu$ V/m)	31.6
保护标准 ( $I/N$ ) (dB)	-6
允许的干扰电平 (dB $\mu$ V/m)	25.6

## 7.2 仿真分析与结果

### 7.2.1 单入口场景

单入口场景将单个WPT设备放置在建筑物内，而业余接收器则位于远离建筑物户外的地方。第一次仿真使用10 dB的建筑物入口损耗、第二次使用0 dB的建筑物入口损耗来说明不同的建筑材料。

图34  
单入口场景

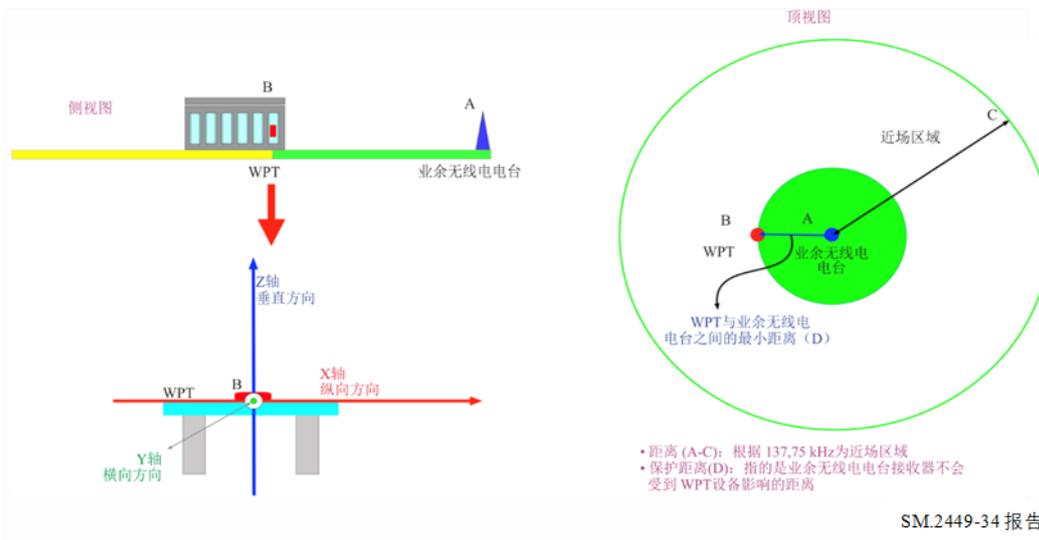
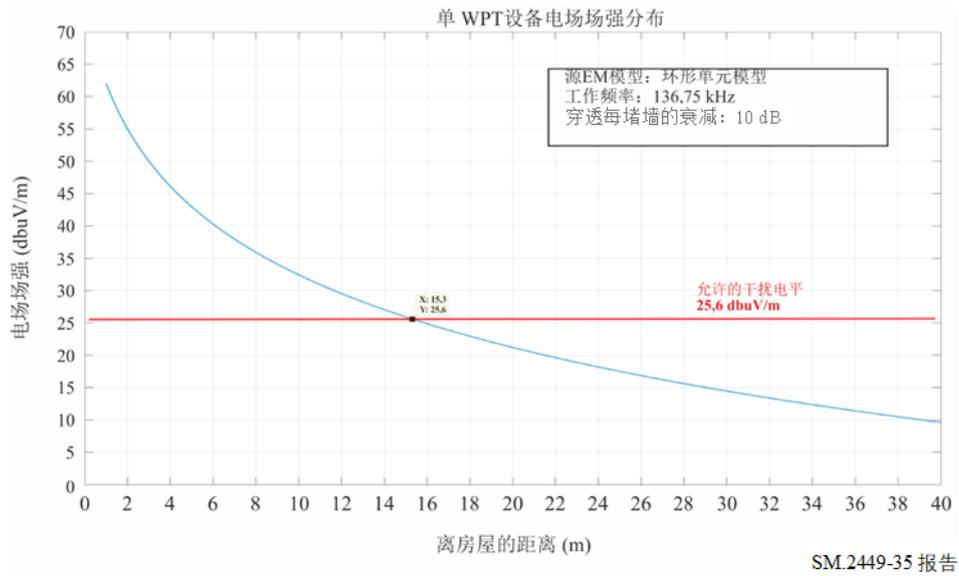


图35  
场景1的单入口分布

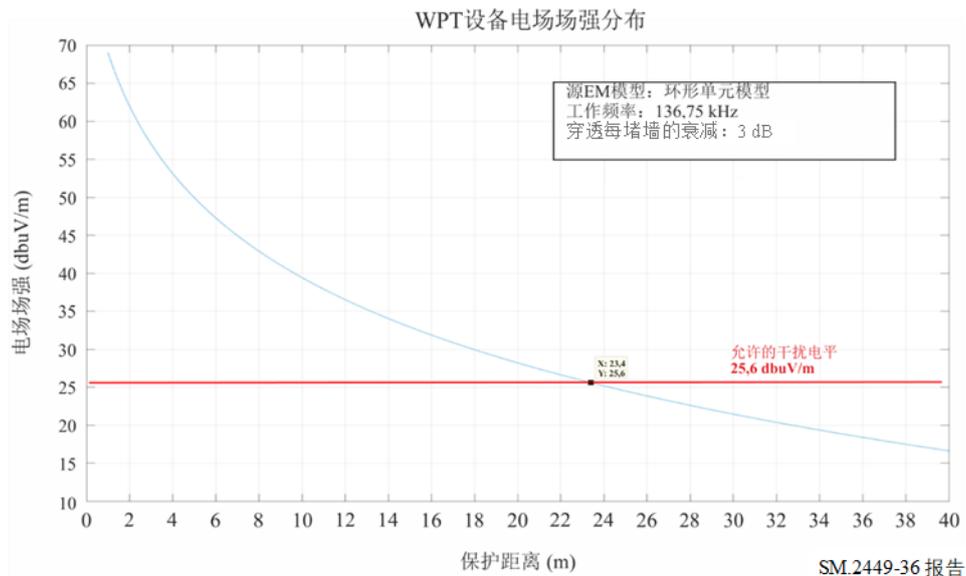


SM.2449-35 报告

### 单入口场景1的结论

单入口场景1使用10 dB衰减来仿真混凝土建筑物结构的结果表明，WPT设备应放置在业余电台接收器15.3 m开外。

图36  
场景2的单入口分布



SM.2449-36 报告

### 单入口场景2的结论

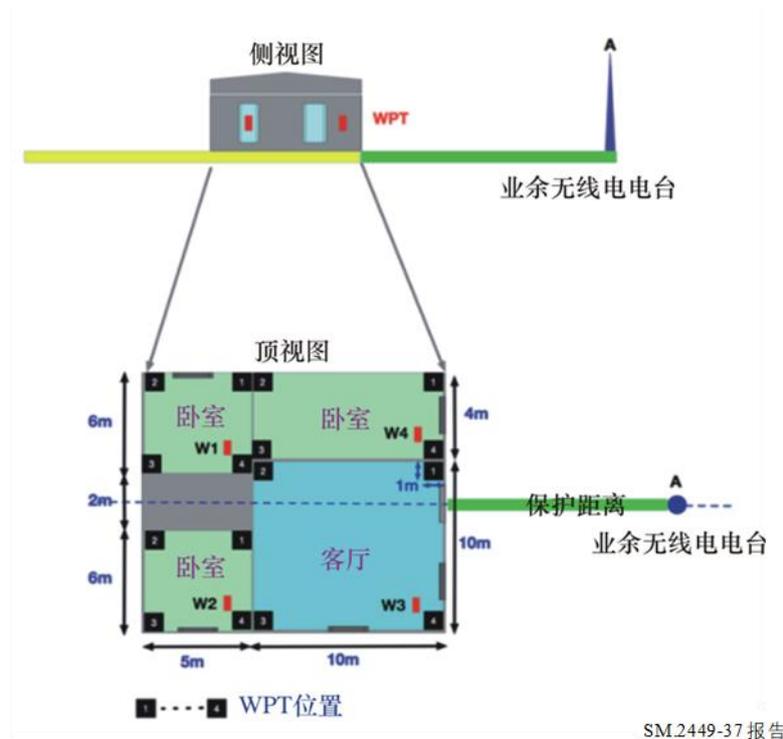
单入口场景2使用0 dB衰减来仿真木质建筑物结构的结果表明，WPT设备应放置在业余电台接收器28.1 m开外。

### 7.2.2 聚合场景

聚合场景使用位于房屋内的四个WPT设备。每个WPT设备都位于离墙壁1 m处，然后随机地分布在房间的各个角落。第一个场景使用10 dB的建筑物入口损耗来仿真混凝土墙（通常是钢筋混凝土）的影响，第二个场景使用0 dB来仿真木结构或砖墙（完美的传播条件）。

图37

模型#1聚合场景的描绘



SM.2449-37 报告

为了仿真不同的建筑物材料，评估了木质和混凝土墙壁的建筑物入口损耗，以确定保护距离。这些值包括在表11中。

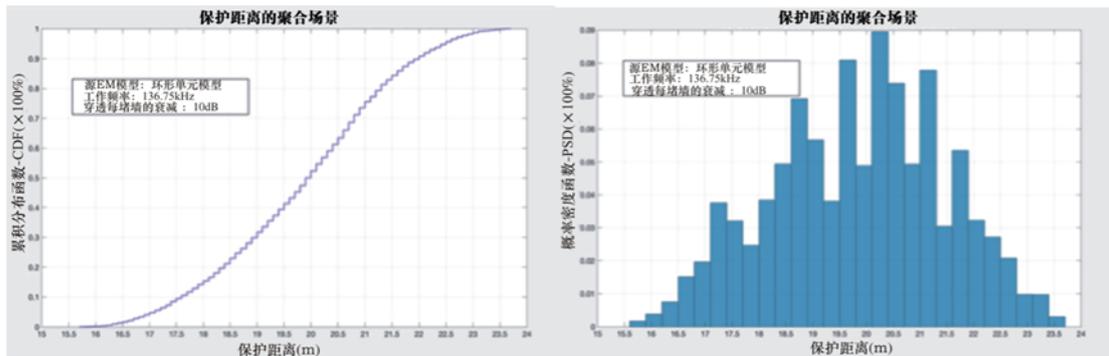
表13

用于建筑物入口损耗的值

参数	墙壁数	木质墙建筑物入口损耗 (dB)	混凝土墙建筑物入口损耗 (dB)
WPT1	2	0	20
WPT2	2	0	20
WPT3	1	0	10
WPT4	1	0	10

图38

建筑物入口损耗为10 dB的仿真结果



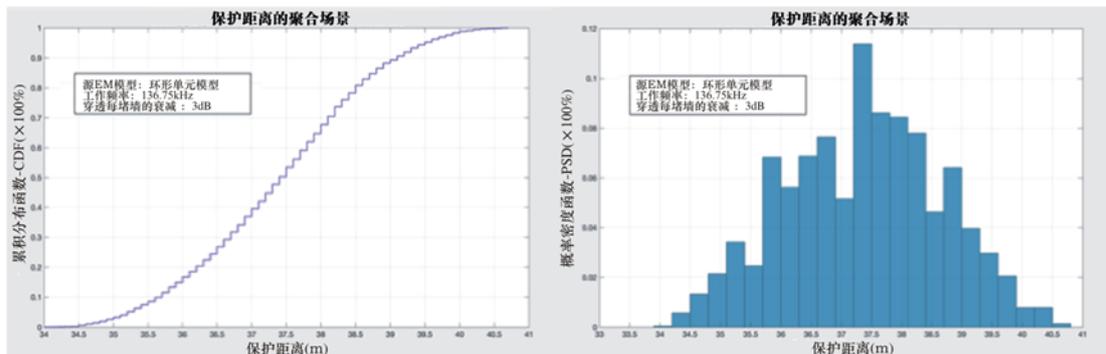
SM.2449-38 报告

### 聚合仿真1的结论

根据混凝土墙的10 dB建筑物入口损耗，中间保护距离为17.1 m，最大保护距离为23.2 m。值的范围是WPT设备放置在窗口附近的结果。23.2 m的最大距离是当WPT设备被放置在室外墙壁附近并且信号的相位建设性地重叠时的距离，当WPT设备被放置在内墙附近和/或信号的相位破坏性地重叠时，最小距离低至2.5 m。

图39

建筑物入口损耗为0 dB的仿真结果



SM.2449-39 报告

### 聚合场景2的结论

根据木质/砖墙的0 dB建筑物入口损耗，中间保护距离为42.0 m，最大保护距离为51.3 m。值的范围是WPT设备放置在窗口附近的结果。51.3 m的最大距离是当WPT设备放置在室外墙壁附近并且信号相位建设性地重叠时的距离。当WPT设备被放置在内墙附近和/或信号的相位破坏性地重叠时，最小距离低至17.2 m。

### 7.3 结果概述

下表14概述了仿真结果。根据仿真结果，可以得出结论，当设备距离接收器小于51.3 m时，非波束WPT移动充电设备会影响业余业务接收器。

表14  
结果概述

场景	允许的干扰电平 (dB $\mu$ V/m)	间隔距离 (m)
单入口场景1	25.6	15.3
单入口场景2	25.6	28.1
聚合场景1	25.6	23.2
聚合场景2	25.6	51.3

业余业务接收天线的准确位置（例如高度差）可以减轻干扰影响。此外，所有WPT充电器不太可能以相同的频率工作，这可以进一步减少干扰影响。不过，在单个接收器的范围内可能存在多个WPT设备，原因是保护距离对于城区而言已经很大。

## 8 90-110 kHz移动和便携式设备的非波束感应WPT对无线电导航业务的影响研究

罗兰-C接收器被视为现有的被干扰方系统，它工作于90-110 kHz，带宽为20 kHz。罗兰-C系统的特性来自WP 5B提供的ITU-R M.583建议书。

通常，罗兰-C系统电台建在非住宅区。图40显示了供参考的示例。罗兰-C接收器位于船上。

图40  
非居住区的罗兰-C电台



## 8.1 仿真参数

表15和表16是在仿真期间分别用于干扰器和被干扰方的参数。

在美国境内，第47节CFR第15.31 (2)部分规范了工作于近场的射频设备的测量要求。在将FCC要求的40 dB/十倍频程的外推因子应用到300 m处的-15 dB $\mu$ V/m后，这些设备在10 m处的限值为44.08 dB $\mu$ V/m。

用于近场和远场的传播模型包含在ITU-R SM.2028建议书中。

在所仿真的干扰场景中，WPT设备置于离海岸线50 m的建筑物内的一张桌子上，位于发射器与接收器（位于一艘离岸的船上）之间。罗兰-C发射器位于离海岸线5 km的内陆上。

表15

影响罗兰-C接收器的WPT干扰器的参数假设

参数	细节
设备类型	WPT移动设备
工作频率 (kHz)	100-148.5
辐射电场场强 (10 m处的dB $\mu$ V/m)	44.08
天线类型	全向
高度 (m)	0.7
离岸的最小距离 (m)	50
建筑物入口损耗 (dB) <sup>16</sup>	10
传播模型	近场和自由空间传播模型

表16

被干扰方 – 罗兰-C接收器的参数假设

参数	细节
被干扰方系统	罗兰-C接收器
工作频率 (kHz)	100
带宽 (kHz)	20
天线方向图	棒状天线
罗兰-C电台发射器输出功率 (kW)	40
受保护的最低罗兰-C信号场强 (dB $\mu$ V/m)	45
保护标准 (I/S)	-20 dB

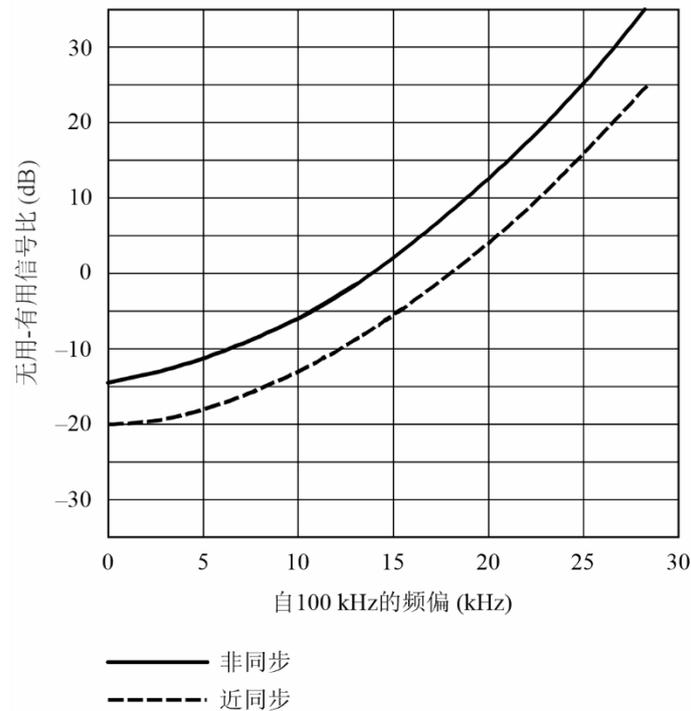
<sup>16</sup> 在这种情况下，建筑物入口损耗意味着WPT信号的建筑物出口损耗。它在这里完全适用，原因是建筑材料的衰减效应适用于远场。

所使用的保护标准包含在ITU-R M.589建议书的图1中。根据该参考资料，带内和带外干扰的保护标准应遵循图41中的曲线。最差的曲线（近同步）用于估计干扰风险。

假设最差的情况是在100 kHz上距近同步-20 dB（自100 kHz偏移0 kHz）；因此，在罗兰-C接收器上可以接受的噪声电平为25 dB $\mu$ V/m。此外，假设最差的情况是在110 kHz上距近同步-13 dB；因此，在罗兰-C接收器上可以接受的噪声电平为32 dB $\mu$ V/m。基于这些假设，在该评估中，将100 kHz上25 dB $\mu$ V/m用作罗兰-C接收器上可以接受的最大噪声电平。下面的图41描绘了ITU-R M.589建议书中的干扰保护标准，下面的表17概述了以下使用的干扰参数。

图41

罗兰-C/CWI保护标准



SM.2449-41报告

表17

被干扰方 – 罗兰-C的参数假设

干扰频率	最小有用信号场强	罗兰-C/CWI标准 (近同步)	可接受的噪声at 罗兰-C接收器 (dB $\mu$ V/m)
100 kHz	45	-20	25
110 kHz	45	-13	32

表18

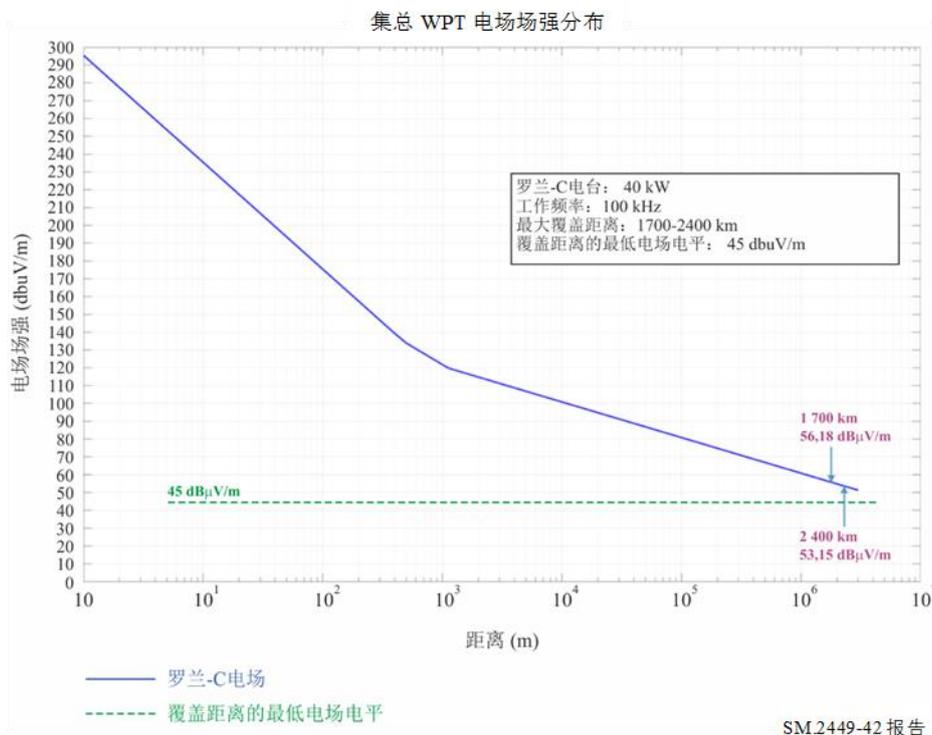
E/H比用于计算来自WPT设备的近场电场场强

距离 (m)	E/H比 (dB-欧姆)
10	17.95
100	38.32
1 000	53.26
2 000	52.01
5 000	51.61
10 000	51.55

### 罗兰-C信号强度分布

基于离罗兰-C电台40 kW，图42描绘了沿该距离的罗兰-C电场分布。在1 700-2 400 km目标覆盖距离内，罗兰-C信号强度远大于最低要求的信号电平。

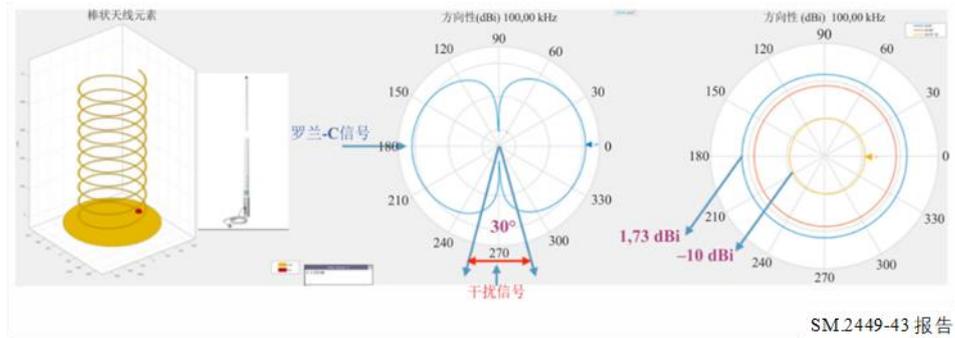
图42  
典型的罗兰-C电场分布



### 罗兰-C接收器的天线模型

在该评估中，棒状天线被视为安装在船顶部的罗兰-C接收器的天线。根据图43中的仿真结果，有害增益与有用增益比之间的增量增益为-11.73 dB。

图43  
罗兰-C接收器天线增益



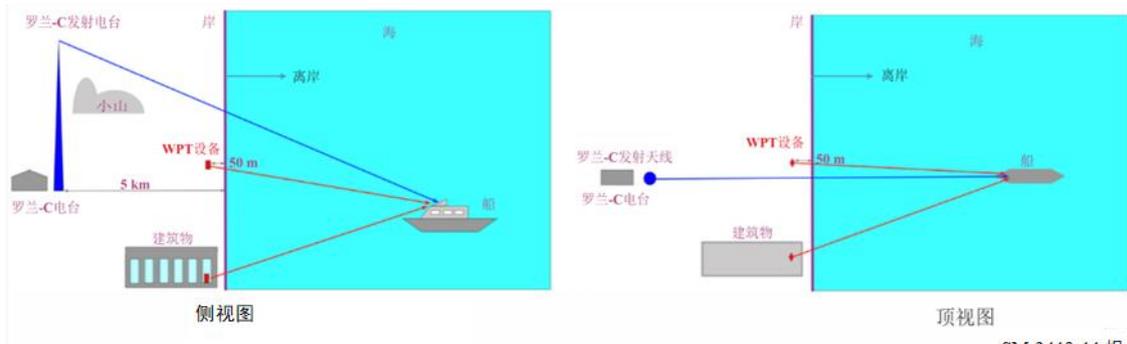
SM.2449-43 报告

## 8.2 仿真场景和结果

### 8.2.1 仿真模型#1

模型#1考虑WPT设备位于建筑物中或靠近建筑物的地方，它在岸上50 m处。罗兰-C接收器是被干扰方，它安装在船上。

图44  
罗兰-C接收器模型#1影响研究



SM.2449-44 报告

图45是模型#1 – 单入口场景的合并数据结果。当WPT设备工作于100 kHz时，要保护的信号（26.21 dB $\mu$ V/m）与罗兰-C发射器的电场场强之间有80 dB的余量，它在岸边大于110 dB $\mu$ V/m。

表19  
罗兰-C接收器的模型#1 – 单入口

参数	值
300 m处的WPT电场场强 (dB $\mu$ V/m)	-15
10 m处WPT电场场强 (dB $\mu$ V/m)	44.08
50 m处WPT电场场强 (dB $\mu$ V/m) (离岸)	16.12
建筑物入口损耗 (dB)	10
保护比 (dB)	20
要保护的信号电平 (dB $\mu$ V/m) – 50 m保护距离基准	26.12
海岸罗兰-C信号强度 (dB $\mu$ V/m)	>110
余量 (dB)	>80

图45  
罗兰-C接收器的模型#1 – 单入口场景

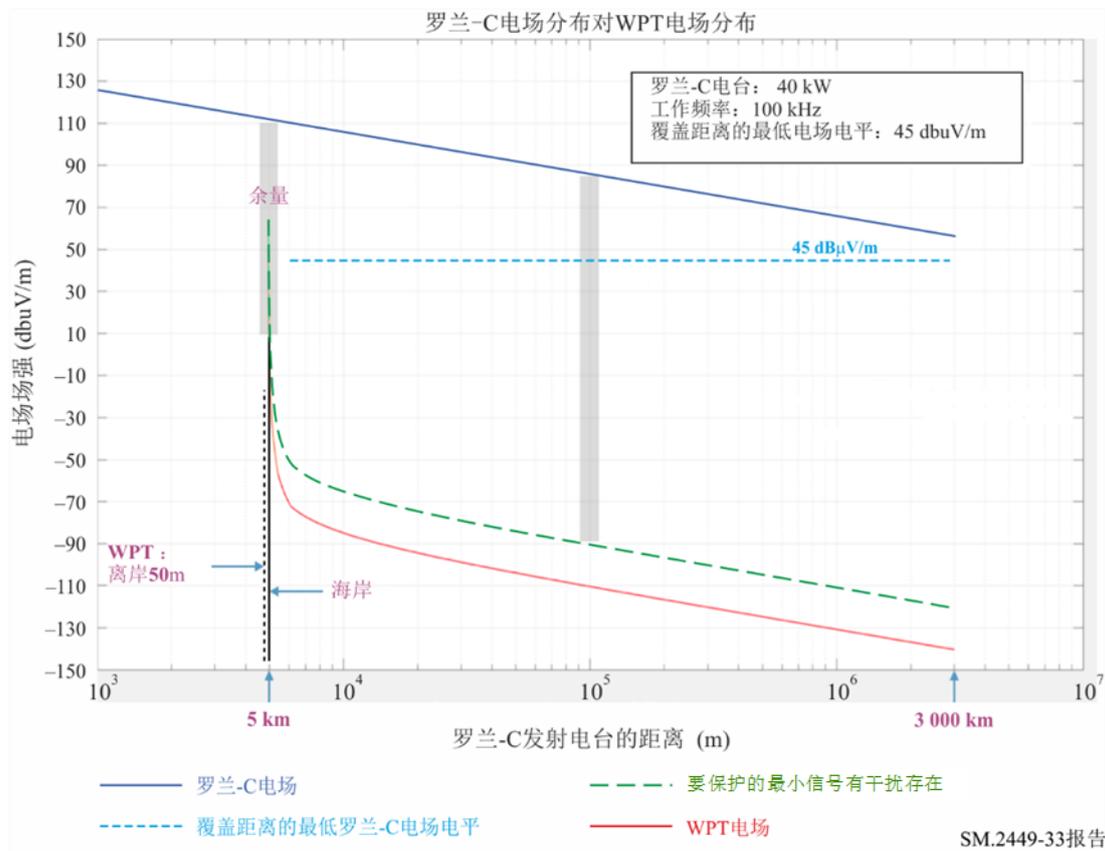
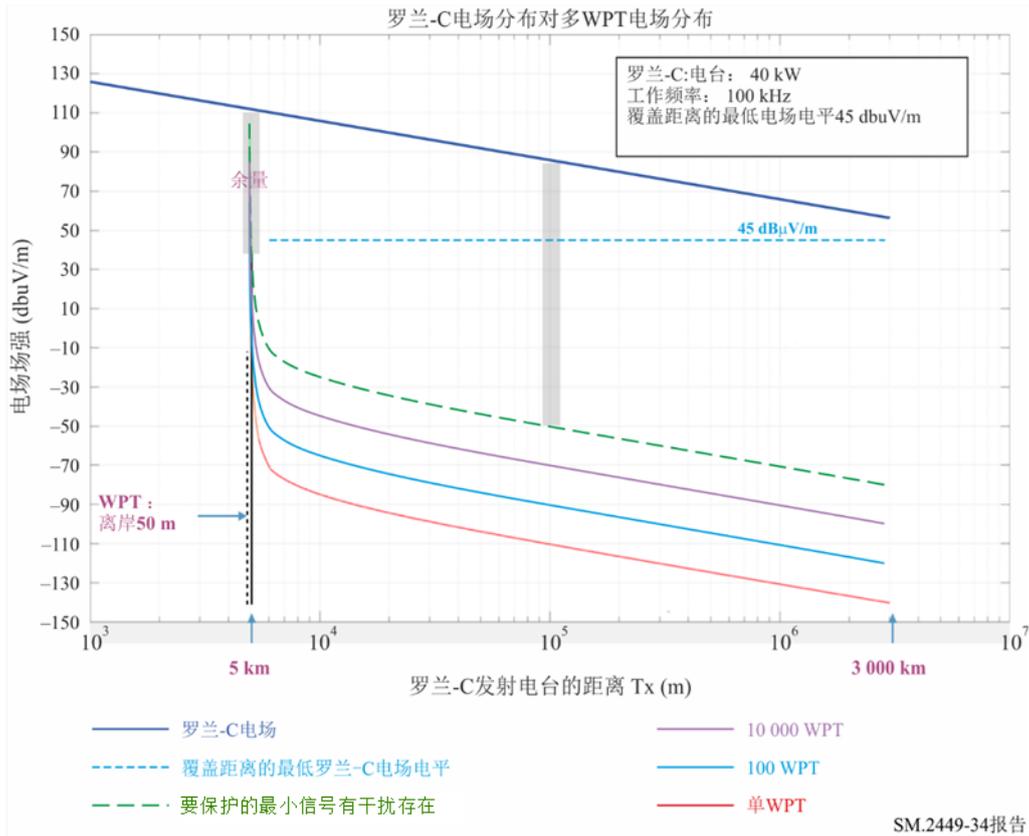


图46是不同聚合情况的合并数据。该图描绘了同时运行的100和10 000个活动WPT设备的电场信号电平。当10 000个活动的WPT设备同时工作于100 kHz时，要保护的信号（100个设备66 dB $\mu$ V/m和10 000个设备的106.12 dB $\mu$ V/m）与罗兰-C发射器的电场场强之间存在3.88 dB的余量，它在岸上大于110 dB $\mu$ V/m。

图46

罗兰-C接收器的模型#1 – 聚合场景



8.2.2 仿真模型#2

第二个模型#2考虑距离海岸线5 km、位于岸上的罗兰-C发射器，WPT移动设备在船甲板下方、罗兰-C接收器天线在船顶部。考虑到表18中的10 dB建筑物入口损耗和17.95 dB E/H比，在10 m处允许的干扰电场为34.08 dBμV/m。如表16所列，需要-20 dB I/S比。当WPT移动设备工作于距离罗兰-C接收器天线10 m的位置上时，根据以下公式，最大可接受干扰信号电平将为42.35 dBμV/m。

罗兰-C接收器方程的最大可接受噪声为：

$$\text{干扰电平} - \text{增量增益} + \text{保护电平} = 34.08 - 11.73 + 20 = 42.35 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

模型#2 – 单入口场景

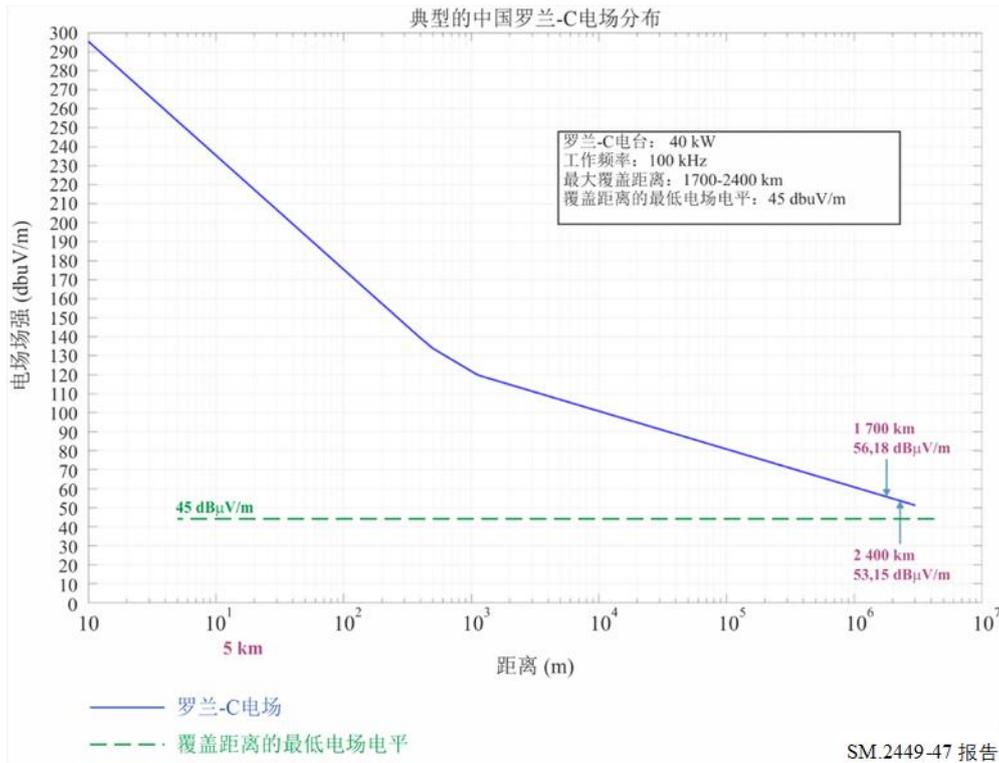
表20包含模型#2单入口场景的输入参数和仿真结果。仿真结果表明，电场场强为34.08 dBμV/m的WPT设备应与罗兰-C接收器天线的距离大于5.37 m，以便维持最大2 400 km覆盖距离的最低信号电平。

表20  
罗兰-C接收器的模型#2 – 单入口

参数	值
300 m处WPT电场场强 (dB $\mu$ V/m)	-15
10 m处WPT电场场强 (dB $\mu$ V/m)	44.08
建筑物入口损耗 (dB)	10
10 m处带建筑物入口损耗的WPT电场场强 (dB $\mu$ V/m)	34.08
有用信号的天线增益增量和WPT干扰 (dB)	-11.73
保护比 (dB)	20
要保护的信号电平 (dB $\mu$ V/m) – 10 m保护距离基准	42.35
受保护信号电平的覆盖距离 (km) – 10 m保护距离基准	8355
保护距离 (m) – 基于1 700 km	4.51
保护距离 (m) – 基于2 400 km	5.37

图47是模型#2单入口场景的合并数据。该图描绘了表20中所含的保护距离结果。

图47  
罗兰-C接收器影响研究的模型#2 – 单入口



## 模型#2 – 聚合场景

在该场景下，假设五个WPT移动设备在船甲板下方同时工作，每个设备之间间隔3 m，如图48所示。表21包含了聚合场景下的输入参数。

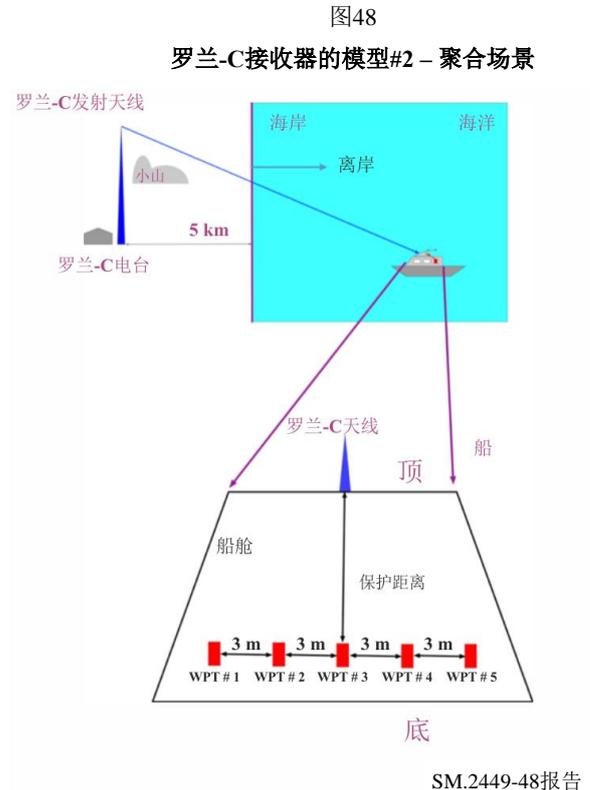


表21

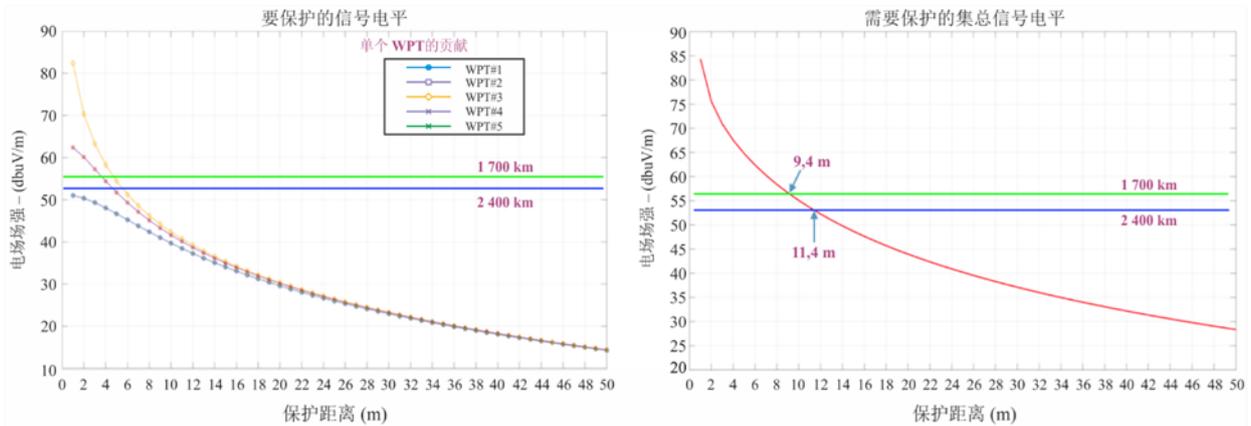
罗兰-C接收器的模型#2 – 聚合场景

参数	值
活动的WPT设备的数量	5
300 m 处WPT电场场强 (dB $\mu$ V/m)	-15
10 m 处WPT电场场强 (dB $\mu$ V/m)	44.08
建筑物入口损耗 (dB)	10
带建筑物入口损耗的10 m 处WPT电场场强 (dB $\mu$ V/m)	34.08
有用信号的天线增益增量和WPT干扰 (dB)	-11.73
保护比 (dB)	20
受保护信号电平的覆盖范围 (km) – 10 m 保护距离基准	8355
1 700 km 距离上要保护的信号电平 (dB $\mu$ V/m)	56.18
1 700 km 覆盖距离需要的保护距离 (m)	9.4
2 400 km 距离上要保护的信号电平 (dB $\mu$ V/m)	53.13
2 400 km 覆盖距离需要的保护距离 (m)	11.4

图49是模型#2聚合场景的合并数据。为了不影响最大覆盖距离2 400 km上的罗兰-C接收器，离罗兰-C接收器天线最近的WPT设备应保持相距11.4 m。

图49

#### 罗兰-C接收器模型#2的影响研究 – 聚合信号电平



SM.2449-49 报告

### 8.3 结果概述

当WPT移动充电设备在岸时，罗兰-C接收器在模型#1场景中不受影响。

对于模型#2单入口场景，当最大覆盖距离为1 700 km、设备与罗兰-C接收器天线相距4.51 m时，以及当所需的最大覆盖距离为2 400 km、设备与罗兰-C接收器天线相距5.37 m时，罗兰-C接收器不受船载WPT移动设备充电器的影响。

在模型#2 – 聚合场景中，当最大覆盖距离为1 700 km、最近的WPT设备与罗兰-C接收器天线相距9.4 m时，以及当所需的最大覆盖距离为2 400 km、最近的WPT设备与罗兰-C接收器天线相距11.4 m时，罗兰-C接收器不受船载WPT移动设备的影响。

## 9 工作在100-148.5 kHz和315-405 kHz的移动和便携式设备的非波束感应WPT设备对航空无线电导航业务的影响研究

### 9.1 用于仿真的参数

仿真是在两个有代表性的频率上进行的：100-148.5 kHz中与WPT相关的130 kHz和315-405 kHz中与WPT相关的400 kHz。

对于130 kHz，美国第47节CFR第15.31 (2)部分规定了近场射频设备的测量要求。在将FCC要求的40 dB/十倍频程的外推因子应用到300 m处的 $-15 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ 后，非波束WPT设备的限值在10 m处为44.08。建模用于近场传播。

对于400 kHz，该研究将建议值 $-15 \text{ dB A/m}$ 作为WPT设备的最大发射。建模用于近场传播。研究假设所有用于研究的WPT设备均使用相同的频率（400 kHz），而在现实生活中，实际充电频率相差很大，这具体取决于实际实施情况以及充电状态等。

ITU-R中的负责组提供了用于分析相关影响的基础信息，如表22所示。

表22

自动测向（ADF）/非定向信标（NDB）允许的干扰限值

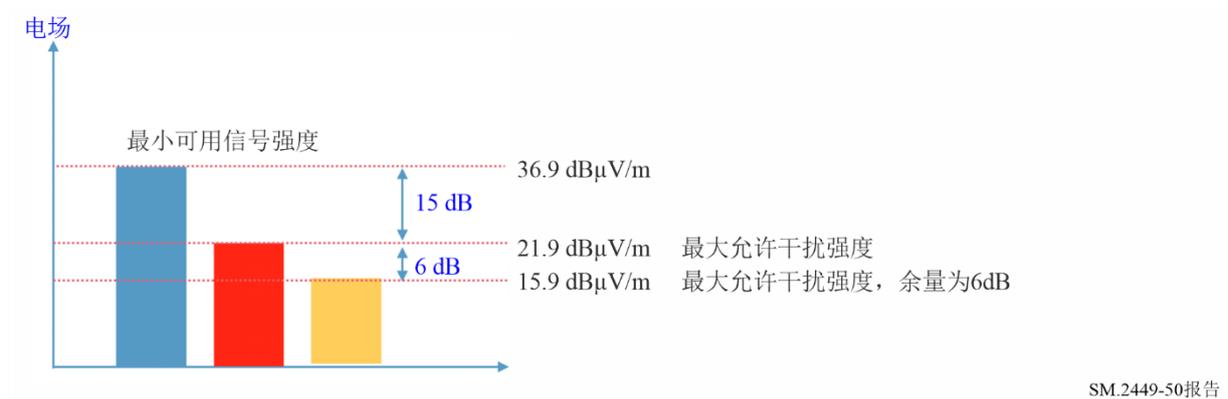
业务	频率范围 (kHz)	ADF/NDB接收器带宽 (kHz)	允许的干扰限值 (dB $\mu$ V/m)
航空无线电导航	130-535	2.7	21.9

通过将每个设备的所有WPT发射相加，在仿真中考虑了集总效应。

作为灵敏度分析，结果还显示了额外的6 dB余量。

图50显示了不同的电平。

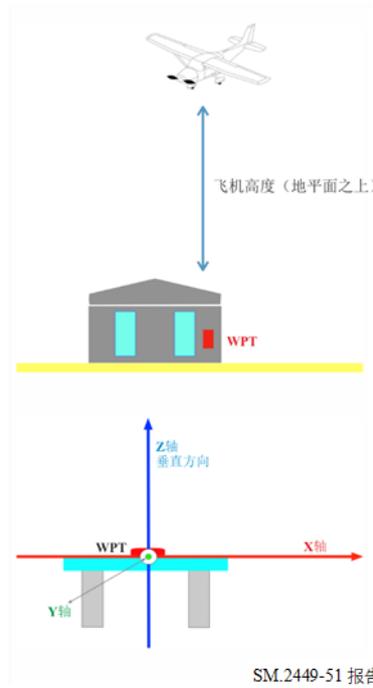
图50  
相关场强电平



## 9.2 单入口场景

单入口场景将单个WPT设备置于建筑物内，而飞机直接置于户外建筑物上方。

图51  
单入口场景



9.2.1 单入口结果

图52  
130 kHz时的WPT: 单入口电场与高度agl (m)

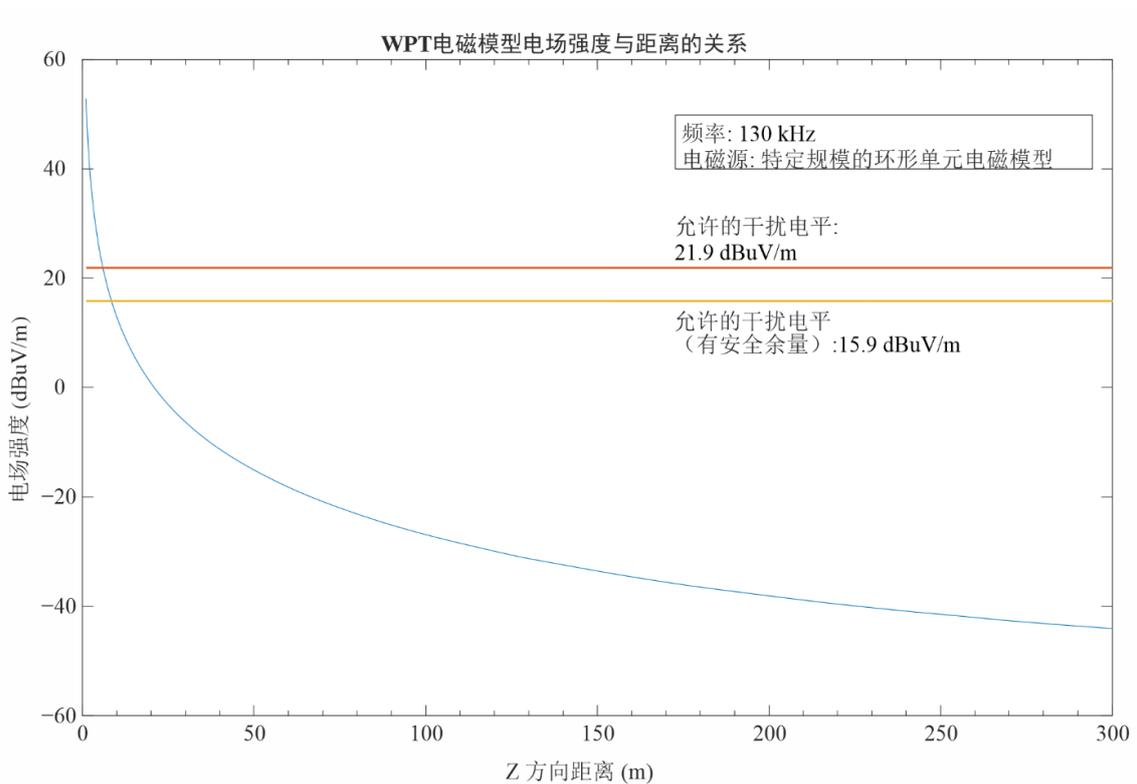


图53

130 kHz时的WPT：单入口电场与高度agl (m) (放大)

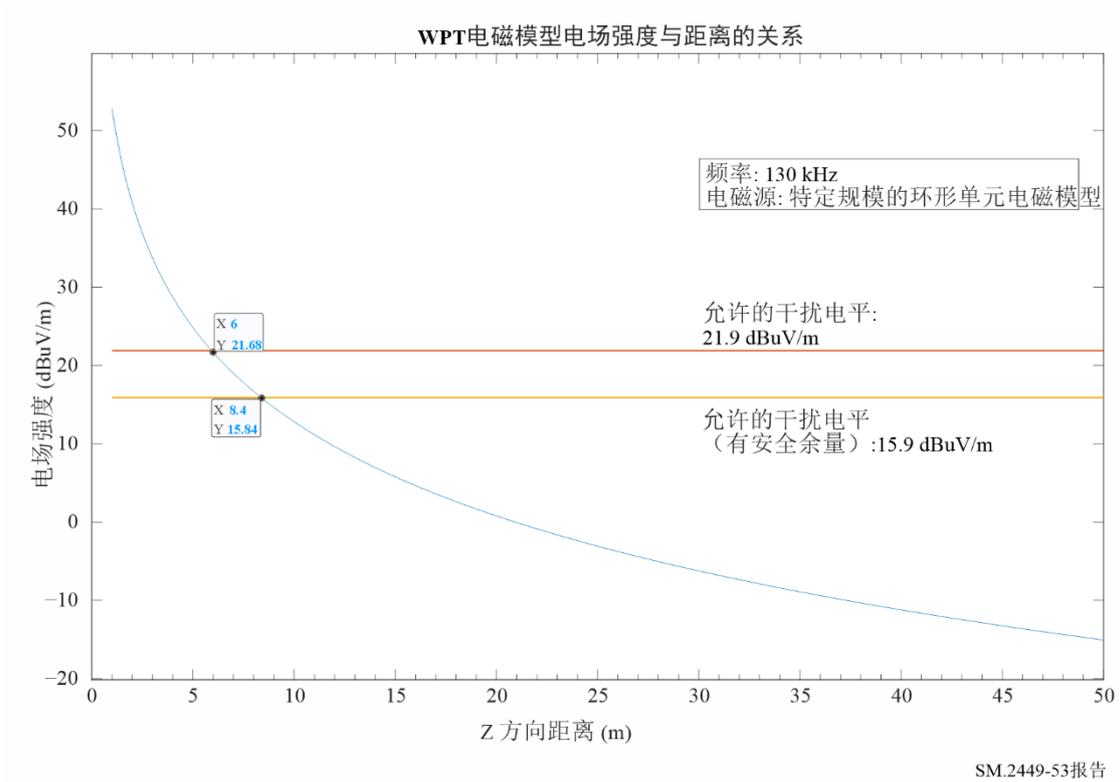


图54

400 kHz时的WPT：水平WPT线圈的单入口电场与高度agl (m)

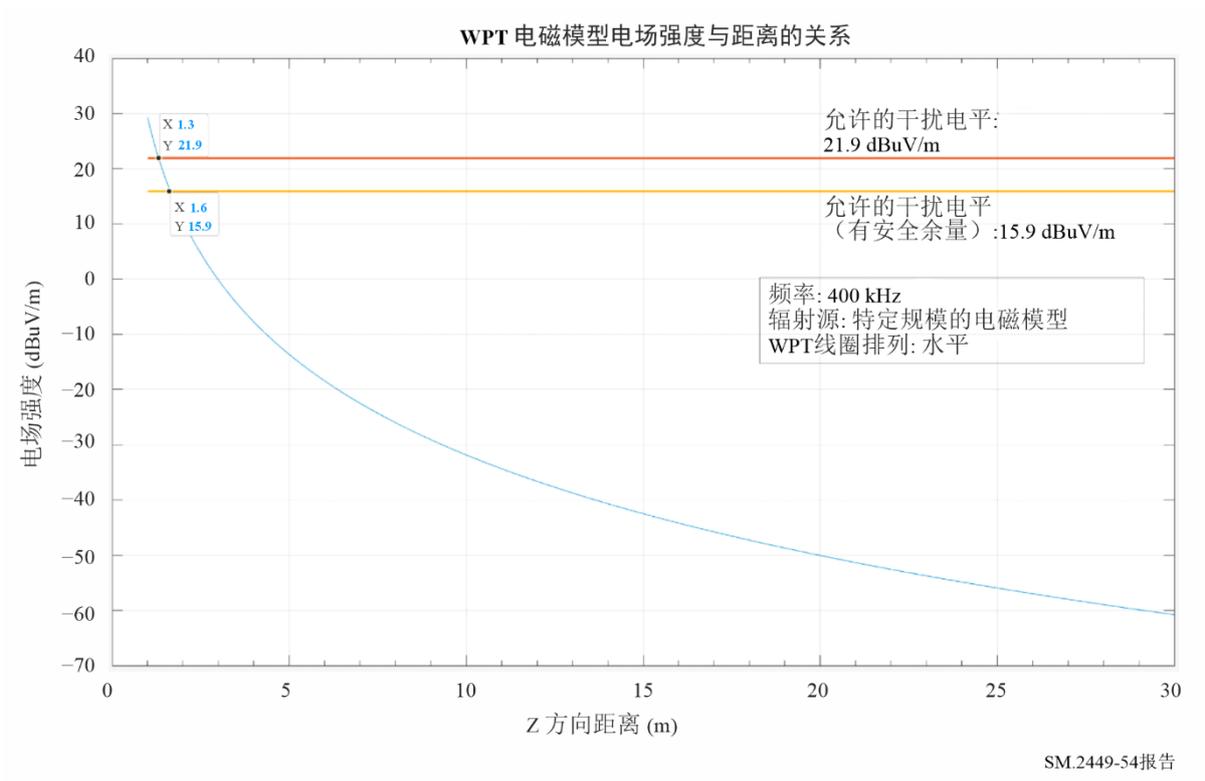
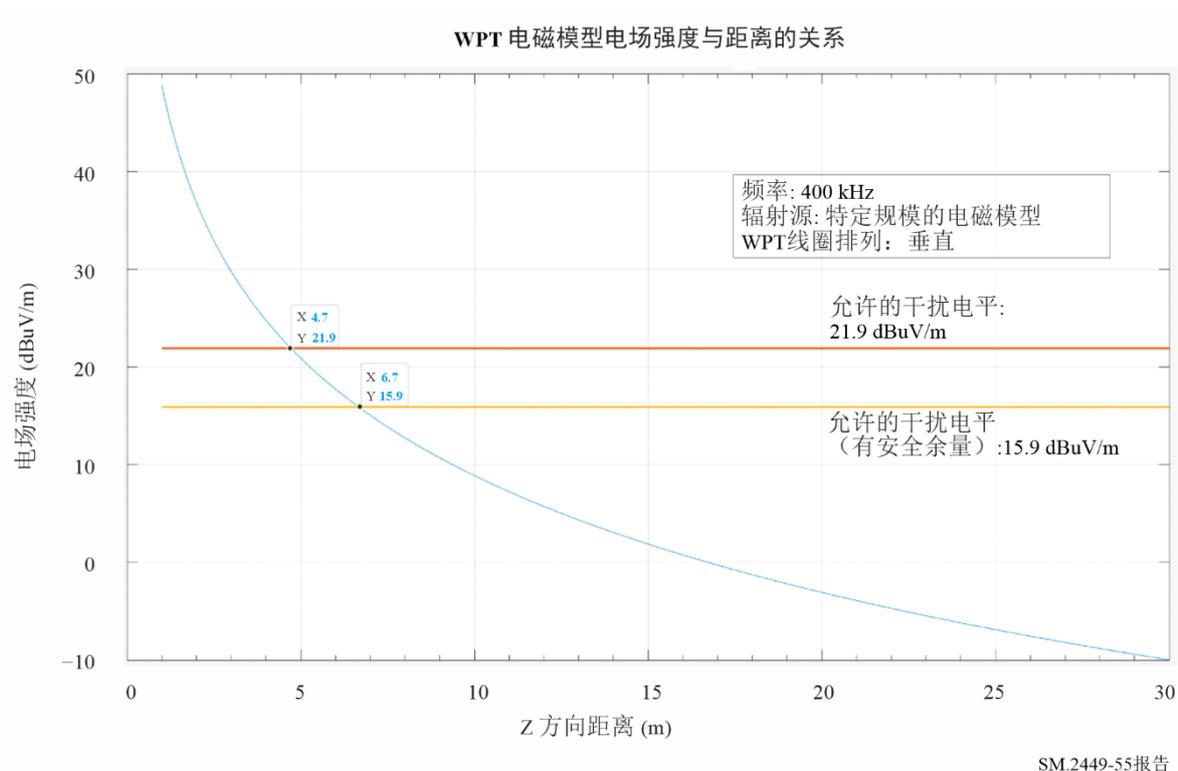


图55

400 kHz时的WPT：垂直WPT线圈的单入口电场与高度agl (m)



### 9.2.2 单入口场景的结论

单入口场景的结果表明，距离大于6 m时，对ADF接收器的影响低于阈值。考虑到安全余量，距离大于8.4 m时，计算中不包括屋顶或地板的穿透损耗。包括这些损耗将进一步减少WPT设备对ADF接收器的干扰影响。

## 9.3 聚合场景

根据表1，聚合场景是130 kHz WPT为5 000个设备/km<sup>2</sup>，400 kHz为1 500个设备/km<sup>2</sup>。

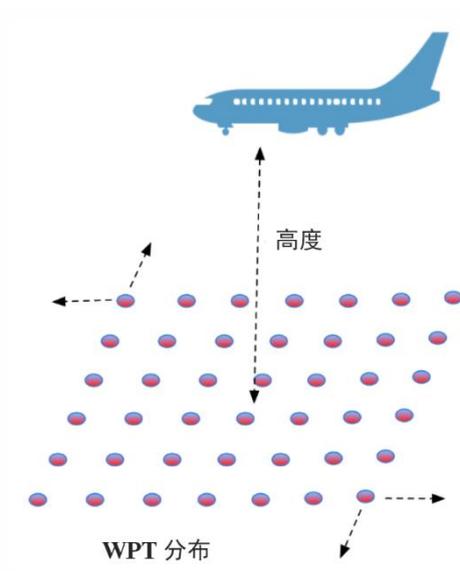
这种情况假设所有设备同时以完全相同的频率进行发射。实际上，WPT设备的基频是变化的。

### 9.3.1 130 kHz的WPT

#### 9.3.1.1 130 kHz时的场景

聚合场景认为WPT设备均匀分布在一个正方形区域内。使用了从1 km × 1 km到8 km × 8 km的不同大小面积。在100 m和300 m这两个飞机高度上进行了仿真。作为参考，美国的最低安全高度分别是在开阔水域或人烟稀少地区之上的500英尺（≈150 m），以及在城区之上的1 000英尺（≈300 m）。飞机ADF接收器天线位于正方形中心的上方。辐射场使用矢量聚合方式进行聚合。

图56  
聚合场景描述示例



SM.2449-56报告

表23显示了飞机高度为100 m时的结果。

表23  
聚合WPT电场 (100 m飞机高度)

面积 (km × km)	E <sub>max</sub> (dB $\mu$ V/m)	平均值 (dB $\mu$ V/m)	最大允许干扰 (dB $\mu$ V/m)	余量/差距 (dB)	
				无安全余量	有安全余量
1 × 1	-6.3	16.7	21.9	28.2	22.2
2 × 2	-5.5	-15.9	21.9	27.4	21.4
4 × 4	-4.8	-15.3	21.9	26.7	20.7
8 × 8	-5	-14.6	21.9	26.9	20.9

### 9.3.1.2 飞机高度为100 m时的结论

仿真表明，最大计算场强比最大允许干扰小26 dB以上。考虑到安全余量，它比最大允许干扰小20 dB以上。仿真中未包括屋顶或地板的穿透损耗，但会进一步减少WPT设备对ADF的干扰影响。

表24显示了飞机高度为300 m时的结果。

表24

聚合WPT电场 (300 m飞机高度)

面积 (km × km)	E <sub>max</sub> (dBμV/m)	平均值 (dBμV/m)	最大允许干扰 (dBμV/m)	余量/差距 (dB)	
				无安全余量	有安全余量
1 × 1	-16.5	-25.5	21.9	38.4	32.4
2 × 2	-13.4	-22.2	21.9	35.3	29.3
4 × 4	-11.0	-20.1	21.9	32.9	26.9
8 × 8	-10.4	-18.6	21.9	32.3	26.9

9.3.1.3 飞机高度为300 m时的结论

仿真表明，最大计算场强比最大允许干扰小32 dB以上。考虑到安全余量，它比最大允许干扰小26 dB以上。仿真中未包括屋顶或地板的穿透损耗，但会进一步减少WPT设备对ADF的干扰影响。

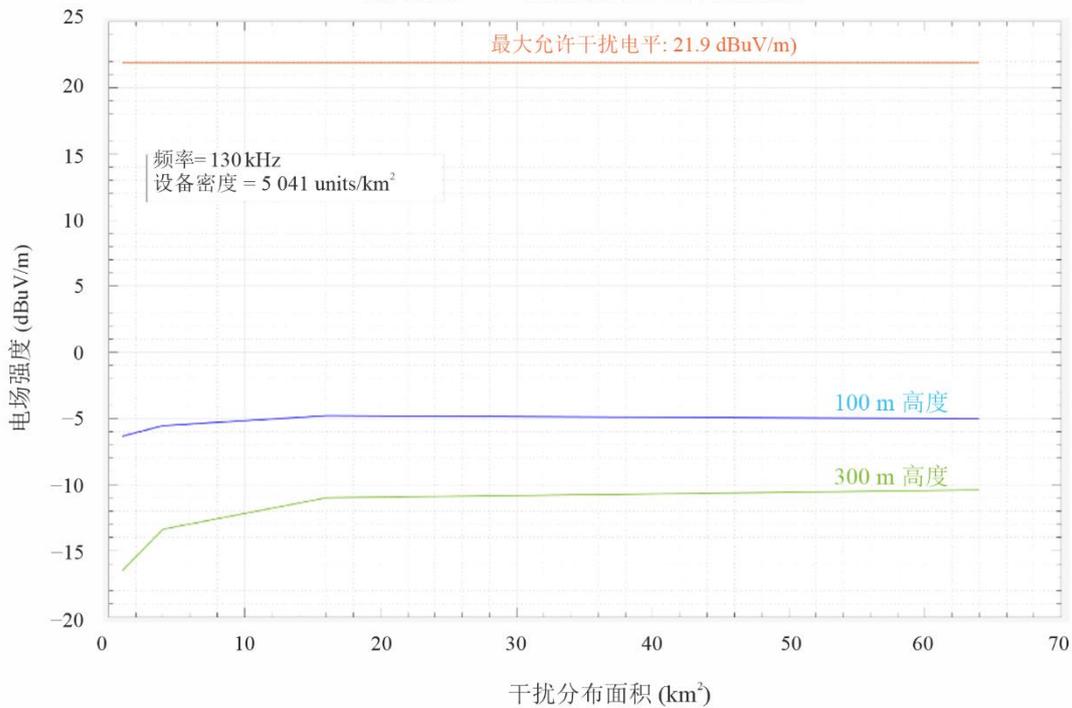
9.3.1.4 面积大小对受干扰面积的影响

通过增加计算面积表明，在100 m高度对15 km<sup>2</sup>的面积以及在300 m高度对30 km<sup>2</sup>的面积干扰电平保持不变，如图57所示。

图57

场强与干扰分布面积

最大集总WPT电场强度与分布面积的关系

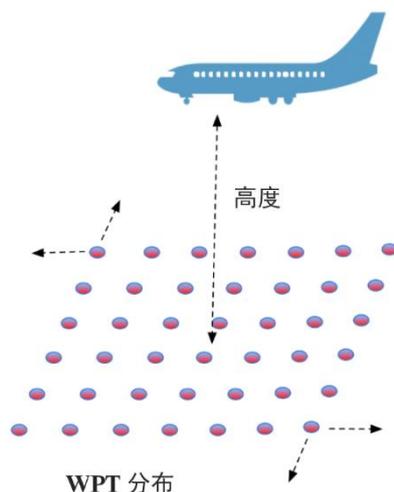


### 9.3.2 400 kHz的WPT

#### 9.3.2.1 400 kHz时的场景

聚合场景认为WPT设备均匀分布在一个正方形区域内。使用了从1 km × 1 km到8 km × 8 km的不同大小面积。在100 m和300 m这两个飞机高度上进行了仿真。作为参考，美国的最低安全高度分别是在开阔水域或人烟稀少地区之上的500英尺（≈150 m），以及在城区之上的1 000英尺（≈300 m）。飞机ADF接收器天线位于正方形中心的上方。辐射场使用矢量聚合方式进行聚合。

图58  
聚合场景描述示例



SM.2449-58报告

表25显示了飞机高度为100 m时的结果。

表25

聚合WPT辐射电场分布（100 m飞机高度）

面积 (km × km)	E <sub>max</sub> (dBμV/m)	平均值 (dBμV/m)	最大允许干扰 (dBμV/m)	余量/差距 (dB)	
				无安全 余量	有安全 余量
1 × 1	-5.5	-14.4	21.9	27.4	21.4
2 × 2	-3.9	-12.7	21.9	25.8	19.8
4 × 4	-3.2	-11.7	21.9	25.1	19.1
8 × 8	-3.5	-11.7	21.9	25.4	19.4

### 9.3.2.2 飞机高度为100 m、频率为400 kHz时的结论

聚合仿真表明，最大计算场强比最大允许干扰小25 dB以上。考虑到安全余量，它比最大允许干扰小19 dB以上。建筑物入口损耗（屋顶/天花板）不包括在仿真中，但会进一步减少WPT设备对ADF的干扰影响。

表26显示了飞机高度为300 m时的结果。

表26

聚合WPT辐射电场分布（300 m飞机高度）

面积 (km × km)	E <sub>max</sub> (dBμV/m)	平均值 (dBμV/m)	最大允许干扰 (dBμV/m)	余量/差距 (dB)	
				无安全 余量	无安全 余量
1 × 1	-11.5	-20.3	21.9	33.4	27.4
2 × 2	-8.1	-16.6	21.9	30.0	24.0
4 × 4	-6.2	-14.2	21.9	28.1	22.1
8 × 8	-4.2	-12.6	21.9	26.1	20.1
16 × 16	-3.9	-11.5	21.9	25.8	19.8

### 9.3.2.3 飞机高度为300 m，频率为400 kHz时的结论

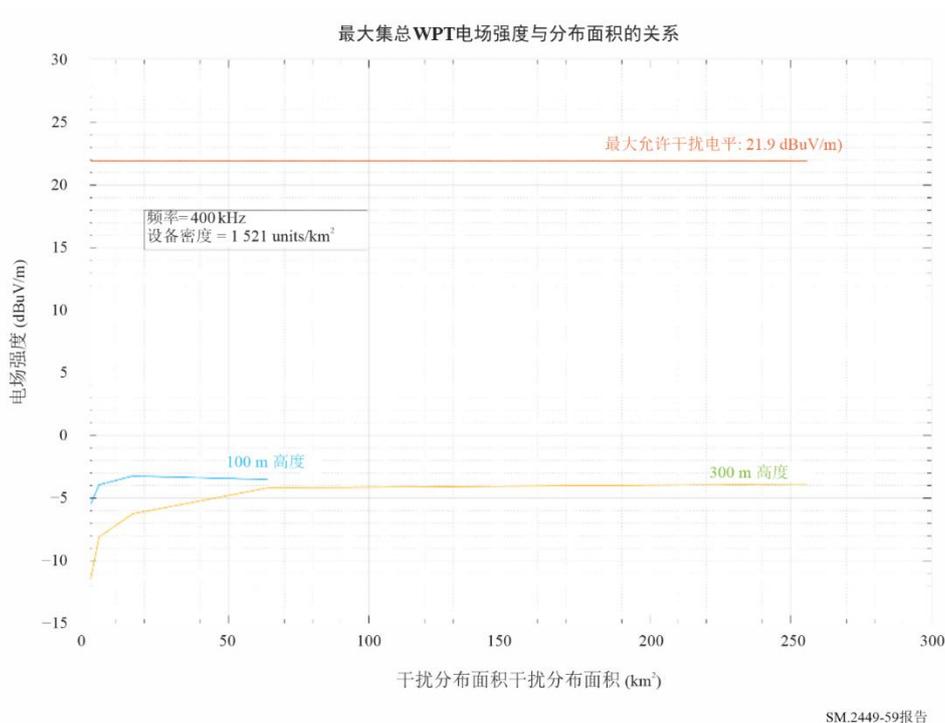
聚合仿真表明，最大计算场强比最大允许干扰小25 dB。考虑到安全余量，它比最大允许干扰小19 dB以上。建筑物入口损耗（屋顶/天花板）不包括在仿真中，但会进一步减少WPT设备对ADF的干扰影响。

### 9.3.2.4 400 kHz时面积大小对受干扰面积的影响

通过增加计算面积表明，在100 m高度对20 km<sup>2</sup>的面积以及在300 m高度对60 km<sup>2</sup>的面积干扰电平保持不变，如图59所示。

图59

场强与干扰分布面积



## 9.4 结果概述

仿真已经表明，移动和便携式设备WPT充电器的电场不会影响ADF/NDB信号的接收。屋顶或地板穿透损耗未包括在计算/仿真中，但会进一步减少WPT设备对ADF的干扰影响。

## 10 WPT对无线电通信业务（如固定和移动）的一般影响分析

### 10.1 WPT（315-405 kHz、1 700-1 800 kHz和2 000-2 170 kHz）对无线电业务影响的单入口同信道蒙特卡洛研究

该研究分析了与无线电通信业务（如移动或固定业务）接收器同信道的单个WPT设备的电平。它不适用于位于建筑物内的接收器，例如调幅无线电广播，在这种情况下，干扰影响需要与单载波噪声进行比较。其电平高于此处用于比较的高斯白噪声，但不清楚具体高出多少。

#### 10.1.1 参数

##### 10.1.1.1 WPT设备

##### 10.1.1.1.1 WPT发射

该研究中使用的WPT发射见表27。

表27  
WPT发射

参数	值
WPT最大发射, 最差对准 (10 m处的dB $\mu$ A/m)	-15
WPT最小发射, 最佳对准 (10 m处的dB $\mu$ A/m)	-30
WPT工作频率1 (kHz)	400
WPT工作频率2 (kHz)	1 650
WPT工作频率3 (kHz)	2 000

每台WPT设备的构造决定其仅在两个线圈的最差对准位置发射最大允许电平, 而对许多对准位置来说, 实际发射电平要低得多。通过在最佳和最差对准之间随机选择一个发射电平来考虑对准的影响。

在该研究中, 分析了WPT设备的同信道影响。

#### 10.1.1.1.2 无线电业务参数

表28提供了分析中使用的无线电业务的参数。

表28  
无线电业务参数

参数	值
Rx带宽 (kHz)	2.7 <sup>(1)</sup>
接收频率 (kHz)	400、1 650、2 000
RX噪声	人为噪声 (见第10.1.2.3.3节)
天线	全向
地平面以上高度 (m)	1.5

<sup>(1)</sup> 不考虑相邻信道, 重叠信道被视为完全同信道。

通过计算相对于距离的中值干扰电平来分析干扰的影响。

#### 10.1.1.1.3 传播

##### 10.1.1.1.3.1 传播模型

见附件3。

##### 10.1.1.1.3.2 额外传播损耗

在城市中, 假设30%的路径在干扰源和无线电业务接收器之间存在金属物体 (即金属化窗户、钢筋混凝土墙/地板、门/大门、栅栏), 而在住宅区, 这种情况不太可能出现。这些值亦可以理解为建筑物的热效率百分比, ITU-R P.2109建议书将其描述为使用金属玻璃或箔背面板。计算中使用的参数如表29所示。

通过木头或砖块传播不会导致额外的损耗。

表29

额外传播损耗

参数	适用百分比	值 (dB)
城市传播损耗	30%	10
其他环境	—	—

如果损耗不适用，则适用无损耗，即0 dB。

### 10.1.1.1.3.3 噪声环境

所考虑的频率范围通常由人为噪声主导。该分析使用ITU-R P.372建议书作为基础文件。此外，在荷兰（MN）进行的人为噪声测量亦用于分析[1]、[3]。这些测量是在距离最近的建筑物墙壁至少10 m的地方进行的。在[3]中，阐明了测量旨在描述无线电业务用户（如业余无线电爱好者）的人为噪声体验。

表30和31显示了ITU-R P.372建议书和荷兰（MN）人为噪声测量的中值噪声电平，并使用51.5 dB校准系数转换为磁场。

表30

ITU-R P.372噪声电平

参数	电平 (dB $\mu$ A/m)	标准偏差 (dB)
<b>400 kHz</b>		
城市噪声	-32.82	8.4
住宅噪声	-37.12	5.8
<b>1 650 kHz</b>		
城市噪声	-37.56	8.4
住宅噪声	-41.86	5.8
<b>2 000 kHz</b>		
城市噪声	-38.20	8.4
住宅噪声	-42.50	5.8

表31  
在荷兰测量的噪声电平 (MN)

参数	电平 (dB $\mu$ A/m)	标准偏差 (dB)
<b>400 kHz</b>		
城市噪声	-18.47	5.6
住宅噪声	-23.97	9.5
<b>1 650 kHz</b>		
城市噪声	-26.23	6.4
住宅噪声	-32.34	5.5
<b>2 000 kHz</b>		
城市噪声	-27.28	6.4
住宅噪声	-33.84	5.5

#### 10.1.1.1.3.4 鉴别损耗

无线电业务接收器的天线与WPT充电器产生的电场的对准不是固定的。首先产生从0到360度均匀分布的随机失配角 $\theta$ ，并以此来产生随机鉴别损耗。以dB为单位的鉴别损耗由下式给出：

$$\text{鉴别损耗} = \min(-10 \log_{10}(\cos^2 \theta), 35)$$

考虑到天线和线圈设计的缺陷，视轴处的损耗上限为35 dB。

#### 10.1.2 方法

为了分析WPT在400 kHz、1 650 kHz和2 000 kHz充电的统计影响，进行了单入口蒙特卡洛仿真。这些频段内的干扰情况主要是人为噪声，其特性为平均值和标准偏差（空间分布）。在这些频段内操作的任何无线电业务均会面临这种程度的人为噪声。根据其统计性质进行了分析，以分析在中值上使用和不使用WPT设备的差异。

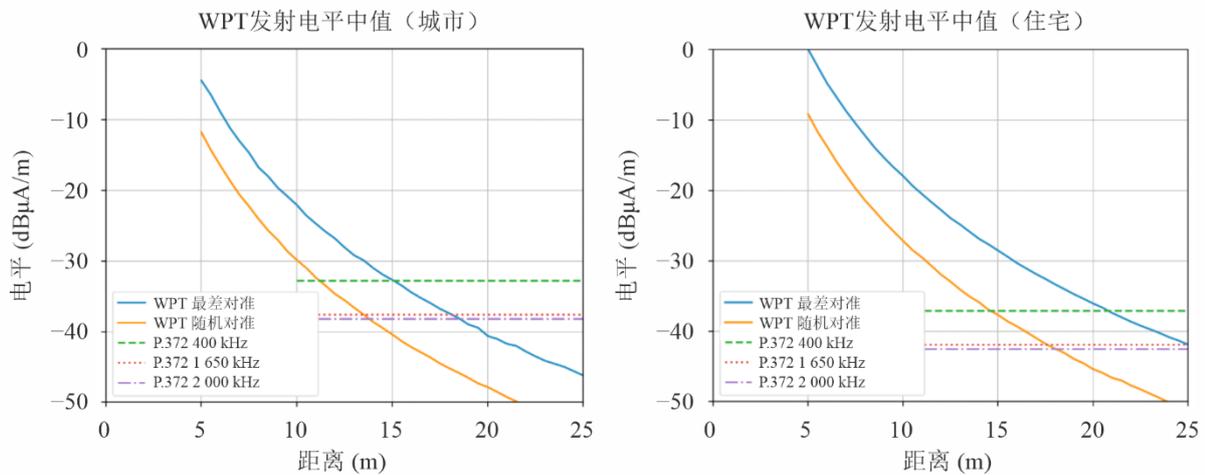
仿真设置如下：

- 将单个无线电业务接收器放置在距离无线电WPT设备5 m的地方；
- 包含20 000个事件的循环：
  - 向WPT设备分配一个发射电平（从最佳到最差对准随机变化）；
  - 根据WPT（包括传播损耗、鉴别）计算接收到的干扰电平（总和）；
  - 存储干扰电平；
  - 计算干扰电平的中值；
- 将单个无线电业务接收器和WPT设备之间的距离增加0.1 m；
- 显示WPT设备的中值发射电平如何随着与无线电业务接收器的距离而发生变化。

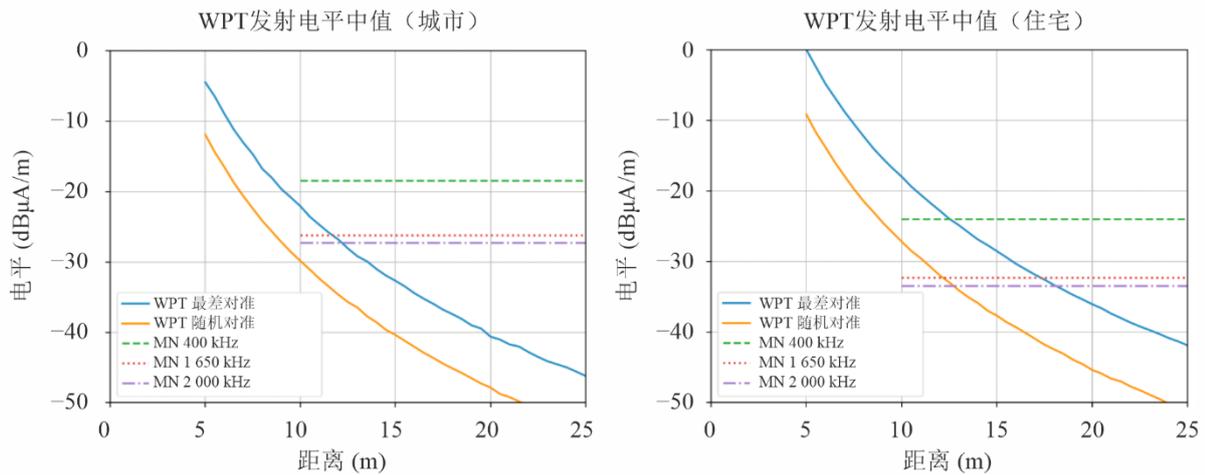
### 10.1.3 结果概述

图60显示了详细的结果。蓝色曲线基于WPT设备总是仅在WPT充电器和接收器线圈之间具有最差对准（因此是上限），而橙色曲线基于线圈之间的随机对准（即其变化为从最佳对准到最差对准，因此是发射）。水平线代表400 kHz、1 650 kHz和2 000 kHz的中值人为噪声电平。

图60  
详细结果



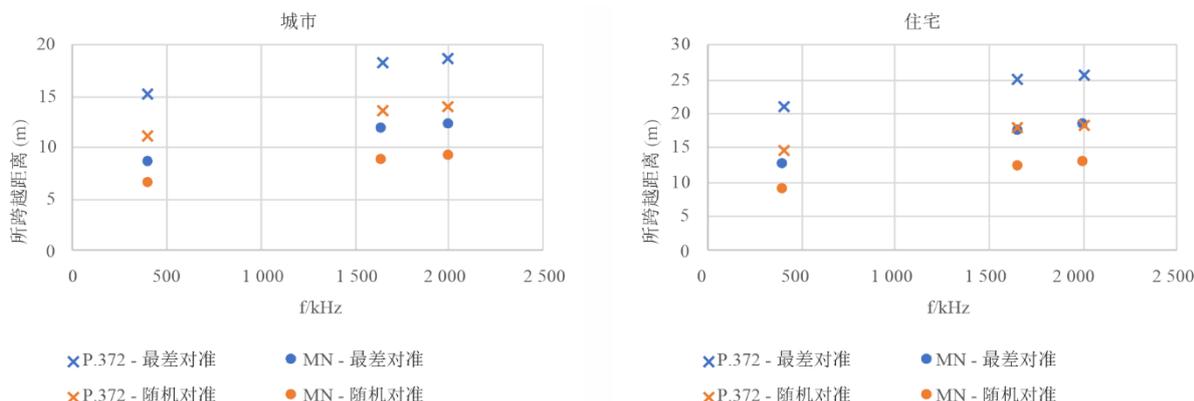
(a) 以ITU-R P.372建议书作为参考



(b) 对于荷兰的测量结果

图61显示了WPT设备的中值干扰电平降至中值本底噪声以下的距离。

图61  
详细结果



SM.2449-61报告

表32概述了WPT充电器的发射降至单入口研究的人为噪声电平中值以下的距离。

表32

WPT充电器的发射低于单入口研究  
的人为噪声电平中值的距离，单位为 m

	噪声电平	距离最差对准 (m)	距离随机对准 (m)
城市	ITU-R P.372	15至19	11至14
	荷兰的测量结果	9至13	7至9
住宅区	ITU-R P.372	21至26	15至18
	荷兰的测量结果	13至18	9至13

该单入口研究是最差情况分析，原因是它假设WPT发射总是与无线电业务接收器同信道。

### 10.2 WPT (315-405 kHz、1 700-1 800 kHz和2 000-2 170 kHz) 对无线电业务影响的集总蒙特卡洛研究

该研究分析了WPT设备相对于无线电通信业务（如移动或固定业务）接收器的电平。它不适用于建筑物内的接收器，例如调幅无线电广播，在这种情况下，干扰影响需要与单载波噪声进行比较。其电平高于此处用于比较的高斯白噪声，但不清楚具体高出多少。

## 10.2.1 参数

### 10.2.1.1 WPT设备

#### 10.2.1.1.1 WPT发射

该研究中使用的WPT发射见表33。

表33  
WPT发射

参数	值
WPT最大发射, 最差对准 (10 m处的dB $\mu$ A/m)	-15
WPT最小信号发射, 最佳对准 (10 m处的dB $\mu$ A/m)	-30
WPT工作频率1 kHz	350 - 400
WPT工作频率2 kHz	1 750 - 1 800
WPT工作频率3 kHz	2 000 - 2 050
WPT带宽	<1 kHz

每个WPT的构造决定其仅在两个线圈的最差对准位置发射最大允许电平, 而对许多对准位置来说, 实际发射电平要低得多。这是通过在最佳和最差对准之间随机选择发射电平来考虑的。

来自WPT设备的发射通常是非常窄带的, 即比无线电业务接收器带宽小得多。充电信号非常类似于CW信号, 因此不考虑相邻信道影响。

#### 10.2.1.1.2 WPT高度分布

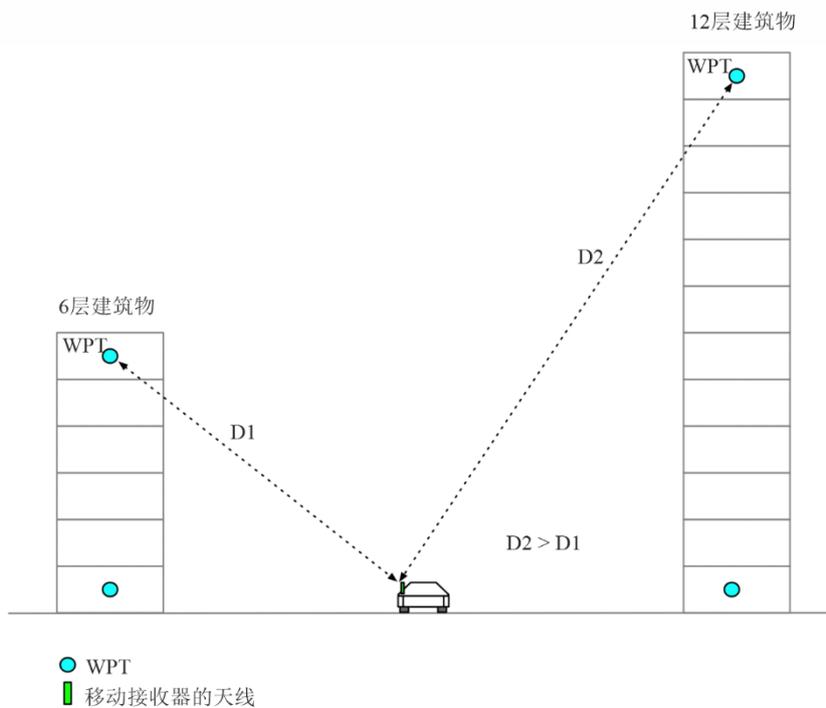
WPT设备均匀分布在建筑物的所有楼层。每层楼的高度假定为3 m。最低层的设备假定为离地1.5 m。高度分布如表34所示。

表34

WPT设备高度分布

环境	楼层数
城区（密集城区：2万人/km <sup>2</sup> ）	6
城区（市区：5000人/km <sup>2</sup> ）	4
居住区（2千人/km <sup>2</sup> ）	2

图62



SM.2449-62报告

城区的建筑物可能超过六层。在该研究中，假设一个区域内的设备密度是固定的。因此，在计算中使用较高的楼层会导致较小的影响。较高楼层上的WPT设备将产生较小的影响，原因是与受干扰方的距离较大。该研究中使用的参数可能不适用于所有环境。

10.2.1.1.3 密度/部署

表35、36和37提供了基于表1的分析中使用的无线电业务的WPT设备密度。

表35

**WPT工作频率1（400 kHz）的密度**

参数	值
城区的设备密度（密集城区：2万人/km <sup>2</sup> ）	1500/km <sup>2</sup>
城区的设备密度（城市：5000人/km <sup>2</sup> ）	375/km <sup>2</sup>
居住区密度（2000人/km <sup>2</sup> ）	150/km <sup>2</sup>
典型充电持续时间	1-2小时
设备在繁忙时段充电（夜间：0:00–07:00）	100%
设备在非繁忙时段充电（白天：09:00–21:30）	1/4

表36

**WPT工作频率2（1 800 kHz）的密度**

参数	值
城区的密度（密集城区：2万人/km <sup>2</sup> ）	500/km <sup>2</sup>
城区的密度（城市：5000人/km <sup>2</sup> ）	125/km <sup>2</sup>
居住区密度（2000人/km <sup>2</sup> ）	50/km <sup>2</sup>
典型充电持续时间	1-2小时
设备在繁忙时段充电（晚上：23:30–07:00）	100%
设备在非繁忙时段充电（白天：11:00–20:00）	1/3

表37

**WPT工作频率3（2 000 kHz）的密度**

参数	值
城区的密度（密集城区：2万人/km <sup>2</sup> ）	500/km <sup>2</sup>
城区的密度（城市：5000人/km <sup>2</sup> ）	125/km <sup>2</sup>
居住区密度（2000人/km <sup>2</sup> ）	50/km <sup>2</sup>
典型充电持续时间	1-2小时
设备在繁忙时段充电（晚上：23:30–07:00）	100%
设备在非繁忙时段充电（白天：11:00–20:00）	1/3

该研究假设所有WPT设备均在高峰时段运行，而事实并非如此。因此，影响程度可能被高估了。

人为噪声电平与人口密度之间存在相关性[3]，因此不同的WPT密度被认为与相应的噪声电平相关联。

### 10.2.1.2 无线电业务参数

表38提供了分析中使用的无线电业务的参数。

表38  
无线电业务的参数

参数	值
Rx带宽 (kHz)	2.7 <sup>(1)</sup>
接收频率 (kHz)	400、1 800、2 000
RX噪声	2.7 kHz带宽中的人为噪声（见第10.2.1.3.3节）
天线	全向
地平面以上高度 (m)	1.5

<sup>(1)</sup> 使用的无线电业务接收器带宽是2.7 kHz。不过，考虑到无线电业务接收器和WPT可能不完美，所考虑的实际带宽增加了1 kHz到3.7 kHz，这导致接收器带宽中估计的噪声量更高。因此，呈现的结果被认为是最差的情况。

假设WPT设备和无线电业务接收器之间的最小距离在城区为5 m，而在住宅区则被设置为10 m。这些距离或者是无线电业务之间的典型最小距离，或者代表无线电业务接收器操作者的操作范围。[3]使用距离最近的建筑物外墙至少10 m的投影距离作为建筑物和中频和高频频段业余无线电天线接收位置之间的典型距离。通过增加噪声电平来分析干扰的影响。

噪声电平的增加表示在2.7 kHz带宽内到达的干扰电平，对其求和，并将其加到该带宽内的MMN中。这仅将WPT干扰视为对噪声功率的贡献，而不是作为非常狭窄的单载波。因此，该结果仅适用于假设干扰可被视为噪声的系统，即数字通信系统。

### 10.2.1.3 传播

#### 10.2.1.3.1 传播模型

见附件3。

#### 10.2.1.3.2 额外传播损耗

在城市中，假设30%的路径在干扰源和无线电业务接收器之间存在金属物体（金属化窗户、钢筋混凝土墙/地板、门/大门、栅栏），而在住宅区，这不太可能出现。这些值亦可以理解为建筑物的热效率百分比，ITU-R P.2109建议书将其描述为使用金属玻璃或箔背面板。计算中使用的参数如表39所示。

通过木头或砖块传播不会导致额外的损耗。

表39  
额外传播损耗

参数	适用百分比	值 (dB)
城市传播损耗	30%	10
其他环境	—	—

如果损耗不适用，则适用无损耗，即0 dB。

### 10.2.1.3.3 噪声环境

所考虑的频率范围经常被人造噪声所支配。该分析使用ITU-R P.372建议书作为基础文件。此外，在荷兰（MN）进行的人造噪声测量亦用于分析[1]、[3]。这些测量是在距离最近的建筑物墙壁至少10 m的地方进行的。在[3]中，阐明了测量旨在描述无线电业务用户（如业余无线电爱好者）的人造噪声体验。

表40和表41显示了ITU-R P.372建议书和荷兰（MN）人造噪声测量的中值噪声电平，并使用51.5 dB校准系数转换为磁场。

表40

ITU-R P.372建议书噪声电平

参数	电平 (dB $\mu$ A/m)	标准偏差 (dB)
<b>400 kHz</b>		
城市噪声	-32.82	8.4
住宅噪声	-37.12	5.8
<b>1 650 kHz</b>		
城市噪声	-37.85	8.4
住宅噪声	-42.15	5.8
<b>2 000 kHz</b>		
城市噪声	-38.20	8.4
住宅噪声	-42.50	5.8

表41

在荷兰测量的噪声电平（MN）

参数	电平 (dB $\mu$ A/m)	标准偏差 (dB)
<b>400 kHz</b>		
城市噪声	-18.47	5.6
住宅噪声	-23.97	9.5
<b>1 650 kHz</b>		
城市噪声	-26.7	6.4
住宅噪声	-32.86	5.5
<b>2 000 kHz</b>		
城市噪声	-27.28	6.4
住宅噪声	-33.84	5.5

仅分析噪声随位置（空间分布）的变化。不过，ITU-R P.372建议书明确指出，噪声亦会随时间发生变化，而且这种变化可能更大，见表42。

表42

ITU-R P.372建议书的人为噪声十分位偏差值

类别	十分位数	随时间的变化 (dB)	随位置的变化 (dB)
城区	上限	11.0	8.4
	下限	6.7	8.4
居住区	上限	10.6	5.8
	下限	5.3	5.8
农村地区	上限	9.2	6.8
	下限	4.6	6.8

#### 10.2.1.3.4 鉴别损耗

无线电业务接收器的天线与WPT充电器产生的电场的对准不是固定的。首先产生从0到360度均匀分布的随机失配角 $\theta$ ，并以此来产生随机鉴别损耗。以dB为单位的极化损耗由下式给出：

$$\text{鉴别损耗} = \min(-10 \log_{10}(\cos^2 \theta), 35)$$

考虑到天线设计的缺陷，视轴处的损耗上限为35 dB。

#### 10.2.2 方法

为了分析在315-405 kHz、1 700-1 800 kHz以及2 000-2 170 kHz频段内WPT充电的统计影响，进行了蒙特卡洛仿真。这些频段内的干扰情况主要是人为噪声，其特性为平均值和标准偏差（空间分布）。在这些频段内操作的任何无线电业务均会面临这种程度的人为噪声。根据其统计性质进行了分析，以分析在中值上使用和不使用WPT设备的差异。

仿真设置如下：

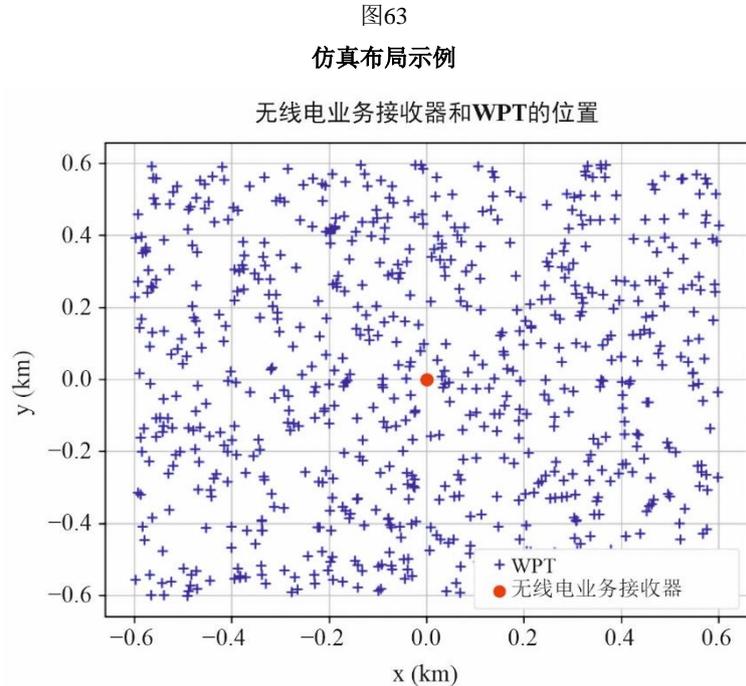
- 在仿真中心放置一个无线电业务接收器；
- 包含10 000个事件的循环：
  - 大约700个WPT设备作为干扰源随机分布在一个区域内（注1）；
  - 向每个WPT设备分配一个发射电平（在最佳和最差对准之间随机选择）；
  - 将对应于人为噪声分布的噪声电平分配给无线电业务接收器；
  - 向每个WPT设备分配一个随机工作频率；
  - 计算同信道的所有WPT设备接收到的干扰电平（总和）（即传播损耗、极化鉴别）（注2）；
  - 存储噪声+干扰电平；

- 创建噪声电平和噪声+干扰电平的CDF;
- 计算中值噪声电平的增加。

注1: 仿真区域需要足够大, 以便在仿真中反映足够的统计样本 (功率电平和空间配置)。

注2: 场强电平是相加的, 而非功率电平。

图63显示了单个仿真快照的布局, WPT密度为500个设备/km<sup>2</sup>。



### 10.2.2.1 结果

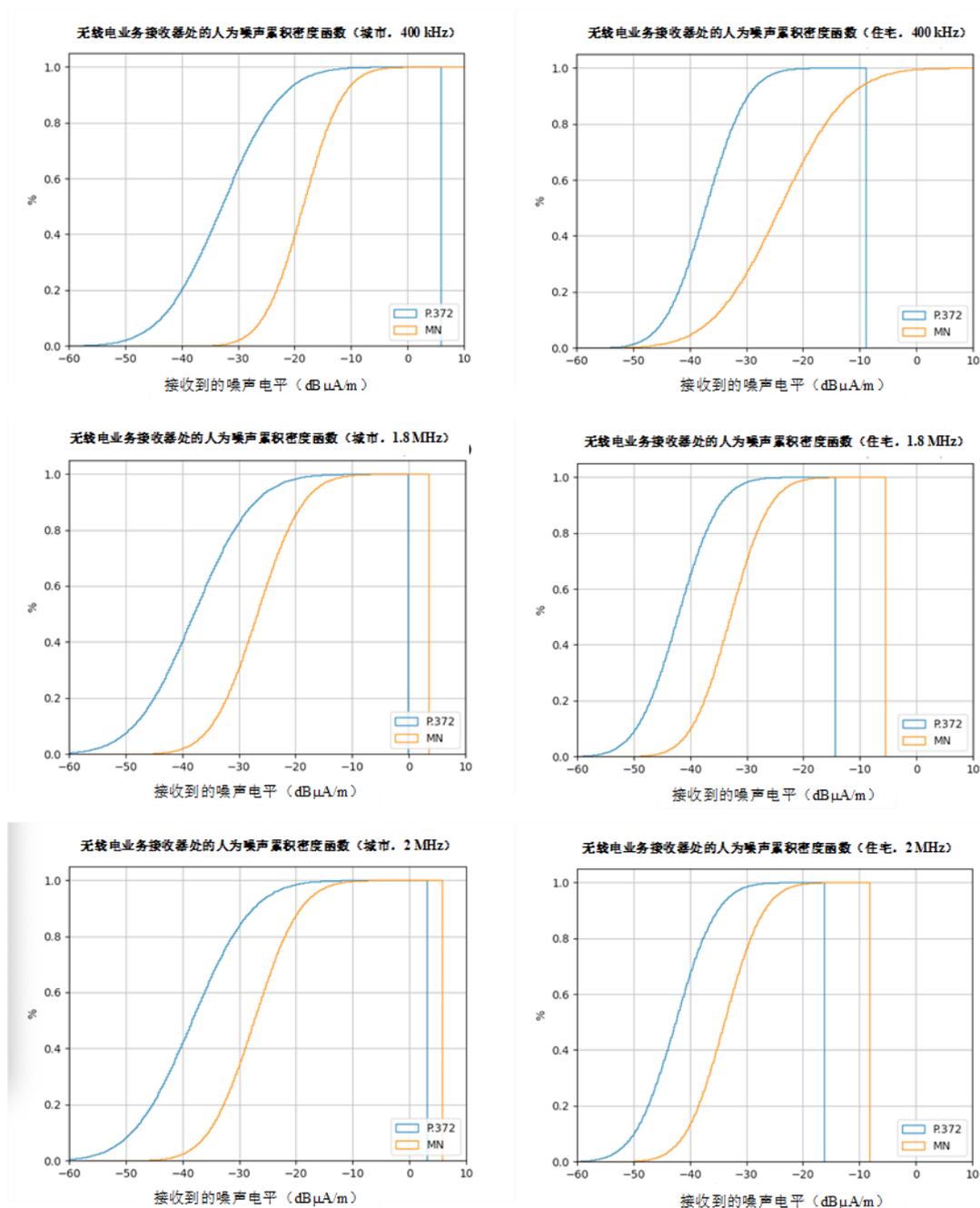
#### 10.2.2.1.1 结果的解释

在315-405 kHz、1 606.5-1 800 kHz和2 000-2 170 kHz频率范围内工作的无线电业务在某些位置面临着嘈杂的环境。除了UHF或更高频段, 噪声可能主要由接收器外部的人为噪声引起, 而非热噪声或自然噪声。

图6464显示了所分析频段内无线电业务接收器的当前噪声环境。ITU-R P.372建议书和来自荷兰 (MN) 的人为噪声测量的噪声电平来源均基于中值电平和相关的标准偏差。

图64

## 无线电业务接收器的人为噪声电平示例



SM.244-64报告

在这些频段内接收无线电业务很大程度上取决于确保接收器的位置更靠近曲线的左侧。这可能是由于接收器在空间上的移动和/或在某些情况下在频率上的移动。

例如，移动业务的一些接收器应用跳频方案，因此噪声电平的差异可产生更为可靠的连接。

## 10.2.2.1.2 400 kHz的结果

表43

噪声电平的增加 (WPT频率为400 kHz)

环境	白天/夜晚	密度 (/km <sup>2</sup> )	噪声电平	中值噪声的增加 (dB)
城市 (人口稠密的城市)	夜晚	1 500	P.372	1.2
			MN	0.3
	白天	375	P.372	0.3
			MN	0.1
城市 (市区)	夜晚	375	P.372	0.4
			MN	0.1
	白天	94	P.372	0.1
			MN	0
住宅区	夜晚	150	P.372	0.2
			MN	0.1
	白天	38	P.372	0.1
			MN	0.0

## 10.2.2.1.3 1 800 kHz的结果

表44

噪声电平的增加 (WPT频率为1 750-1 800 kHz)

环境	白天/夜晚	密度 (/km <sup>2</sup> )	噪声电平	中值噪声的增加 (dB)
城市 (人口稠密的城市)	夜晚	500	P.372	1.8
			MN	0.6
	白天	167	P.372	0.8
			MN	0.2
城市 (市区)	夜晚	125	P.372	0.6
			MN	0.2
	白天	42	P.372	0.3
			MN	0.1
住宅区	夜晚	50	P.372	0.4
			MN	0.2
	白天	17	P.372	0.2
			MN	0.1

## 10.2.2.1.4 2 000 kHz的结果

表45

噪声电平的增加（WPT频率为2 000 kHz）

环境	白天/夜晚	密度 (/km <sup>2</sup> )	噪声电平	中值噪声的增加 (dB)
城市（人口稠密的城市）	夜晚	500	P.372	2.1
			MN	0.7
	白天	167	P.372	1
			MN	0.3
城市（市区）	夜晚	125	P.372	0.8
			MN	0.2
	白天	42	P.372	0.3
			MN	0.1
住宅区	夜晚	50	P.372	0.6
			MN	0.2
	白天	17	P.372	0.2
			MN	0.1

## 10.2.2.1.5 结果概述

该研究表明，WPT设备在315-405 kHz的预期部署密度会导致非常密集城区的噪声比ITU-R P.372建议书中预测的中值电平增加1.2 dB。当使用荷兰无线电噪声的实际测量值时，中值噪声的增加不到0.3 dB。对于所有其他环境（城区和住宅区），在1 700-1 800 kHz中出现了0.4 dB或更小的中值噪声增加，这导致比ITU-R P.372建议书中预测的中值噪声增加1.8 dB。在荷兰使用无线电噪声的实际测量值时，中值噪声的增加不到0.6 dB。对于所有其他环境（城区和住宅区），中值噪声增加0.6 dB或更少。

在2 000-2 170 kHz中，这导致噪声比ITU-R P.372建议书中预测的中值电平增加2.1 dB。在荷兰使用无线电噪声的实际测量值时，中值噪声的增加不到0.7 dB。对于所有其他环境（城区和住宅区），中值噪声增加0.8 dB或更少。

这些电平对应的是夜间出现的高峰充电时段。在白天，噪声的中值增幅较低。

距离WPT设备不到10 m的实际噪声环境可能高于或低于该研究中使用的人为噪声电平。WPT在如此接近建筑物或建筑物内部的距离上对噪声环境的实际影响无法评估，原因是在这种情况下缺乏人为噪声电平的来源。

## 11 325 kHz以下移动和便携式设备的无波束WPT对水上无线电导航业务/差分全球卫星导航系统（DGNSS）的影响研究

### 11.1 引言

315-325 kHz频段被划分给水上无线电导航业务，用于全球卫星导航系统的差分传输（DGNSS）。详细参数见ITU-R M.823-3建议书。315-405 kHz频段用于移动和便携式设备的

非波束WPT与2区和3区中的315-325 kHz频段DGNSS存在频率重叠。根据5B工作组的指导意见，DGNSS（在覆盖范围边缘）的最小有用信号强度为40至100 V/m，更多详细信息见表45A。DGNSS还用于某些地方（如欧洲和加拿大）的内河航道，以提供准确的位置信息。在1区，其使用低于315 kHz。

因此，该研究仅分析315 kHz以上的WPT影响。这意味着只考虑公海的情况。

假设所有用于研究的WPT设备均使用相同的频率（315 kHz），而在现实生活中，实际充电频率相差很大，这具体取决于实际实施情况以及充电状态等。

## 11.2 用于仿真的参数

该研究将-15 dB $\mu$ A/m的建议值作为WPT设备的最大发射。假设所有用于研究的WPT设备均使用相同的频率（315 kHz），而在现实生活中，实际充电频率相差很大，这具体取决于实际实施情况以及充电状态等。

DGNSS的参数如表46所示。

表46  
差分全球卫星导航系统（DGNSS）参数

参数	值	参引
边缘处的最小有用信号强度（ $\mu$ V/m）	40/75/100 介于40和100 $\mu$ V/m 之间	3区的选定国家 <a href="#">IALA信息, DGNSS电台表, 版本1.8 2021</a>
保护比, C/I（dB）	15、同信道	ITU-R M.823-3建议书表5
边缘处的最大允许干扰信号强度（dB $\mu$ V/m）	17.04 /22.5 /25	3区
覆盖范围	50到500 km之间	IALA信息, DGNSS电台表, 版本1.8 2021
边缘处的最大允许干扰信号强度（dB $\mu$ V/m）	18.89/11.02/17.04	1区/2区/3区
信号可用性（海洋中的导航）	99.8 %	<a href="#">国际海事组织第A.1046 (27)号决议附录2.5</a>

## 11.3 场景和结果

考虑到移动和便携式设备的非波束感应WPT的使用场景，本次仿真研究指定了三种场景。一种是一般的单入式，一种是岸上的WPT设备，一种是船上的WPT设备。

### 11.3.1 单入口研究1：移动和便携式设备的非波束WPT对差分全球卫星导航系统（DGNSS）的影响研究

使用表46中列出的参数进行了影响研究，并应用了ITU-R SM.2028建议书的传播模型。

表47  
差分全球卫星导航系统 (DGNSS) 参数

参数	值
DGNSS的最小有用信号强度 ( $\mu\text{V/m}$ )	75 (典型值)
DGNSS的最小有用信号强度 ( $\text{dB}\mu\text{V/m}$ )	37.5
保护比 (dB) 同信道	15
干扰场强阈值 ( $\text{dB}\mu\text{V/m}$ )	22.5
传播模型	ITU-R SM.2028建议书
DGNSS有用频率	315 kHz

图65显示了具有不同发射电平和频率的WPT设备与DGNSS 磁场天线的所需间距。

图65  
各种WPT发射电平的间隔距离 (磁场)

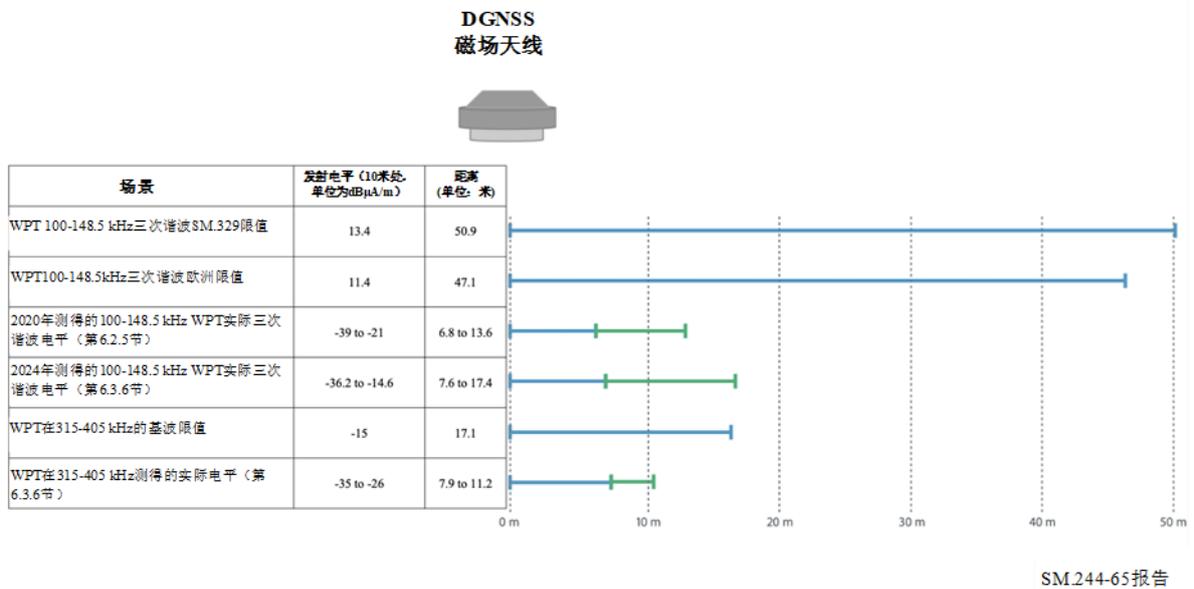
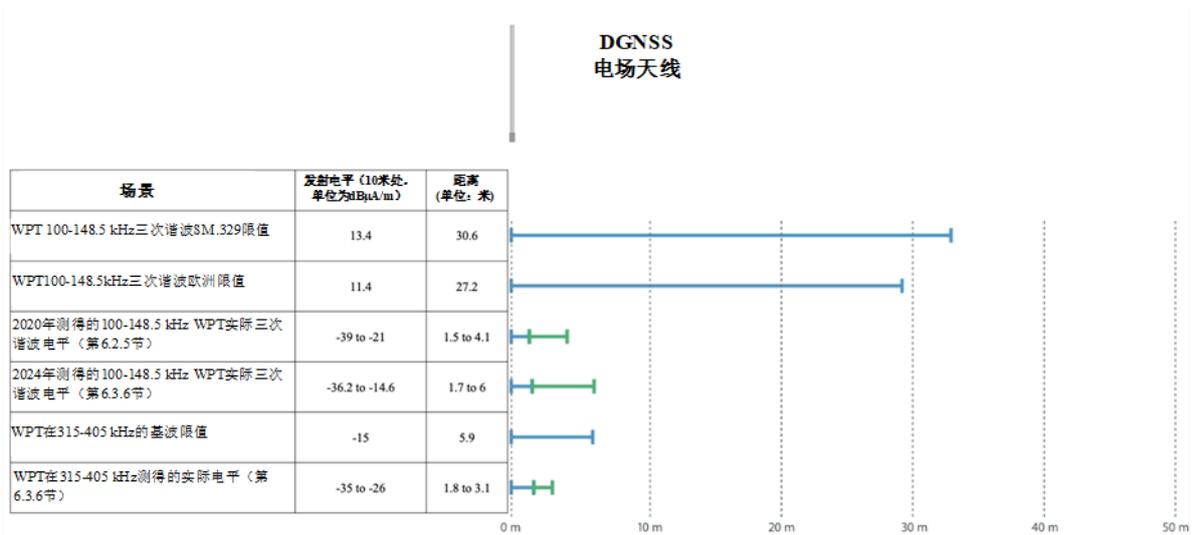


图66显示了对于具有不同发射电平和频率的WPT设备，与DGNSS电场天线的所需间距。

图66

各种WPT发射电平的间隔距离（电场）



SM.244-66报告

对图65和66中这些不同发射电平进行比较后表明，工作在315-405 kHz的WPT设备的间隔距离小于工作在100-148.5 kHz的WPT设备的三次谐波的间隔距离。有数以百万计的设备在较低的频率范围内运行，且没有记录到干扰情况。由于工作在315-405 kHz的便携式和移动设备的WPT设备对DGNSS具有较低的干扰影响，因此发生干扰的可能性更小。

此外，在电场天线的情况下，干扰显著降低。

该研究假设天线之间完美耦合，这要求在WPT设备和DGNSS天线之间进行完美对准。

### 11.3.2 315-405 kHz移动和便携式设备的非波束WPT对差分全球卫星导航系统（DGNSS）的影响研究2

使用表47中列出的参数进行了影响研究，并应用了ITU-R SM.2028建议书的传播模型。

当WPT设备靠近DGNSS的接收器时，保护距离 $r$ 可能在近场范围内，则可以通过ITU-R SM.2028建议书附件1中的以下等式(13)来计算：

$$r = \sqrt[3]{\frac{m}{2\pi H_{limit}}}$$

有关 $m$ 的描述见ITU-R SM.2028建议书附件1中的等式(1)和(2)，并且磁场强度限值 $H_{limit}$  (A/m)可从等式(8)中获得。 $m$ 被选为 $m_1$ 和 $m_2$ 的最大值。这里假设用于DGNSS的天线是磁敏感环形模型天线，并且电场到磁场的转换 $E/H = 51.5$  dB，而不考虑其他转换因素，原因是DGNSS发射器和接收器之间的距离较长。WPT通常工作在非常窄的带宽内，且该带宽小于DGNSS的带宽，因此带宽比为0。在计算中，不考虑会减少对接收方影响的干扰减轻因素。

表48中的结果表明，对于移动和便携式设备的单入口非波束WPT，DGNSS的保护距离为21 m，即WPT设备应距离DGNSS接收器21 m。

不同的传播模型可能会产生不同的结果，实际的干扰距离可能会因为其他因素而减小。现场测试或许可为这种干扰场景提供进一步的信息。

表48

差分全球卫星导航系统（DGNSS）参数

参数	值
DGNSS的最小有用信号强度 ( $\mu\text{V/m}$ )	75 (典型值)
DGNSS的最小有用信号强度 ( $\text{dB}\mu\text{V/m}$ )	37.5
保护比 (dB) 同信道	15
干扰场强阈值 ( $\text{dB}\mu\text{V/m}$ )	22.5
WPT最大发射 (10 m处的 $\text{dB}\mu\text{A/m}$ )	-15
传播模型	ITU-R SM.2028建议书
单个WPT的保护距离 (m)	21

### 11.3.3 集总研究1: WPT设备在岸上的场景

无线电信标电台发射的信号强度随着与岸边距离的增加而逐渐衰减。与覆盖范围相关的信号强度电平由各国在关于DGNSS电台的IALA信息<sup>8</sup>中说明。被干扰方接收器安装在船上。在该研究中，位于覆盖范围边缘的船舶被视为最差情况。该场景如图67所示。

图67

岸上WPT设备场景

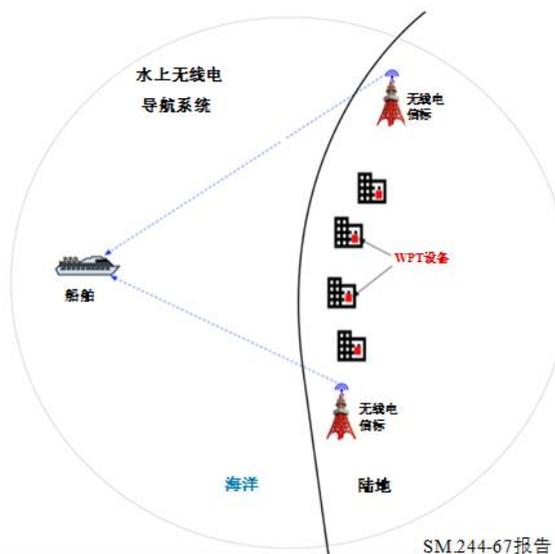
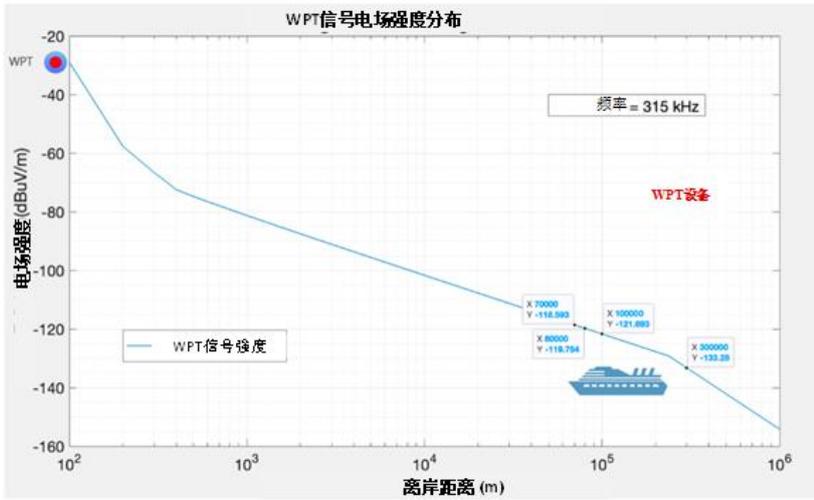


图68显示了单个WPT设备的电场强度分布。船舶接收到的WPT信号强度与覆盖范围相对应。所使用的传播模型基于ITU-R SM.2028建议书。

图68

WPT设备的电场分布



距离 ( km )	WPT信号强度 (dBuV/m) - Ed
70	-118.59
80	-119.75
185	-127.04
220	-128.54
225	-128.74
300	-133.28
370	-136.92
400	-138.28
500	-142.16

SM.244-68报告

对于单入口和聚合场景，系统链路预算仿真是在保守假设下进行的。该研究考虑了中国、韩国、印度、马来西亚、越南、巴西和加拿大的DGNSS电台。在单入口场景中，显示有超过140 dB的余量。对于表49所示的聚合场景，仿真概述了在相同频率和相同相位下同时聚合的WPT设备的数量，这些设备可能会对DGNSS接收器造成有害干扰。此外，考虑到密集城区和城区的WPT设备密度，分别得出了区域分布面积。此外，仿真出来的密集城区或城区的分布面积远远大于现实中的沿海城市。这意味着在实践中，集总干扰不会达到有害的程度。

表49

DGNSS系统链路预算仿真

DGNSS参数	中国	印度	越南	韩国	巴西	加拿大
标称信号强度 (uV/m)	75	100	100	100	20	75
覆盖范围 (km)	300	185	500	80	370	150
保护率 (dB)	15	15	15	15	15	15

表49（完）

DGNSS参数	中国	印度	越南	韩国	巴西	加拿大
最大可接受干扰电平 (dBuV/m)	22.50	25.00	25.00	25.00	11.02	22.5
覆盖范围内的WPT信号强度 (dBuV/m)	-133.28	-127.04	-142.15	-119.75	-136.92	-125.22
单入口WPT余量 (dB)	155.78	152.04	167.15	144.75	147.94	147.72
达到余量的WPT设备总数 (台)	61 526 366	39 994 475	227 771 824	17 278 260	24 947 671	24 325 471
等效密集城区面积 (km <sup>2</sup> )	47 476	30 861	175 958	13 332	1 999 581	16 217
等效城市面积 (km <sup>2</sup> )	189 902	12 3444	70 382	53 330	498 953	64 868
面积 (km <sup>2</sup> ) /沿海城市	6 340 (上海)	603 (孟买)	2 061 (胡志明市)	770 (釜山)	1 521 (圣保罗)	115 (温哥华)

### 岸上WPT设备的结果

研究表明，单入口和集总均不会对在2区和3区中运行的水上DGNSS系统引入任何有害干扰。在1区，WPT频率和DGNSS之间没有重叠。

在单入口情况下，韩国DGNSS的最小余量为144 dB，其他国家的系统余量更大。

在聚合场景中，假设所有WPT设备以相同的频率和相同的矢量相位运行（最差情况）。实际上，充电频率是变化的，设备应具有随机的矢量相位。相关结果将导致更少的干扰。此外，没有应用天线鉴别。从仿真中得出的密集城区或城区的分布面积远远大于现实中的沿海城市，这意味着实际中的集总干扰不会达到有害的水平。

#### 11.3.4 集总研究2：船上WPT设备的场景

该场景主要针对船舶（如游轮）上的WPT设备。WPT设备在舱内充电，且均匀分布在矩形区域内。EM模型用于近场传播。矢量求和被应用于使用蒙特卡洛方法评估集总干扰。

活动设备数量的计算如表50所示。

表50

## WPT设备的活动系数

场景	频率普及率 (%) <sup>(1)</sup>	无线充电方式比率 (%) <sup>(2)</sup>	充电时间 (%) <sup>(3)</sup>	充电高峰时段 <sup>(4)</sup> 内的活动系数 (%)
无线高使用率	30	60	25	4.5
无线低使用率	30	15	25	1.13

<sup>(1)</sup> 目前使用的主导频率为100-148.5 kHz。预计未来315-400 kHz将从100-148.5 kHz中分走一部分市场。预计普及率为30%。

<sup>(2)</sup> 2025年，无线充电普及率预计将达到34%。

<sup>(3)</sup> 充电时间几乎等于8小时。一次性充电在2小时内完成。

<sup>(4)</sup> 充电时间主要为晚上11点到早上7点（共计8小时）。

分析时以一艘大型游轮的数据为基础。如图69所示，选择了艾达·诺瓦号游轮。

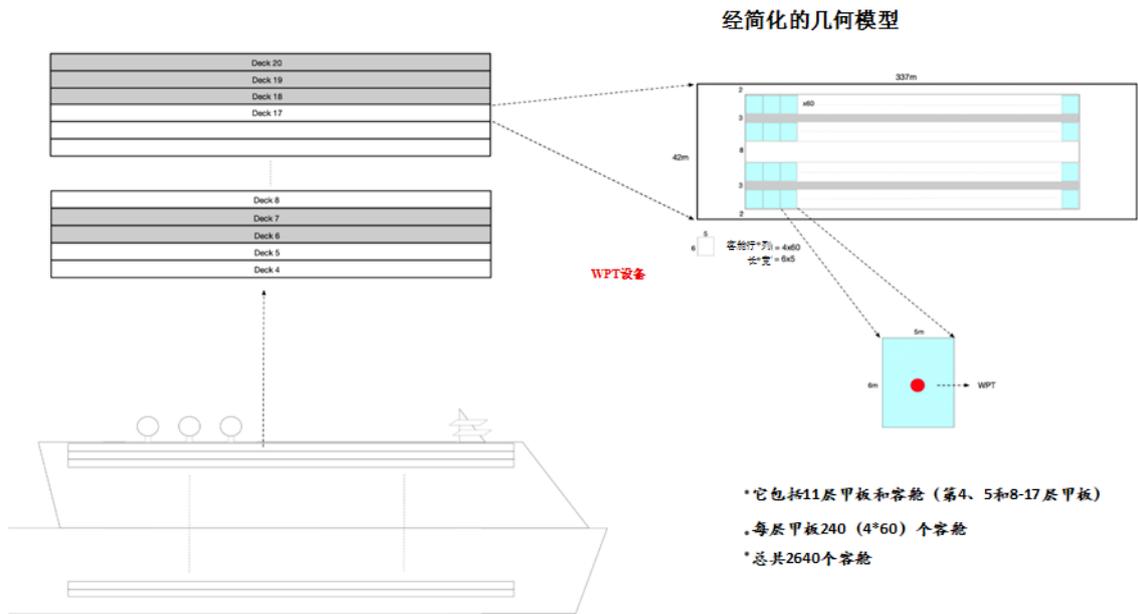
图69

艾达·诺瓦号游轮 (<https://en.wikipedia.org/wiki/AIDAnova>)



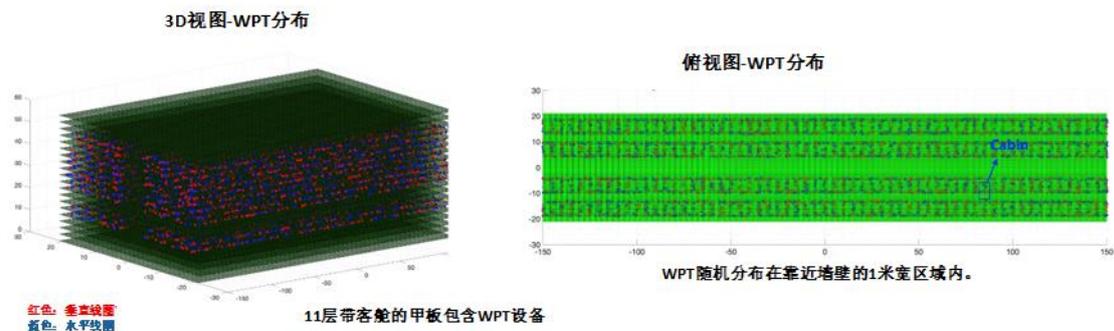
根据船舶的布局，开发了一个模型。见图70和71。

图70  
船舶几何模型（第1部分）



SM.244-70报告

图71  
船舶几何模型（第2部分）



SM.244-71报告

研究了两种不同的场景，每个客舱覆盖了一个或两个WPT设备。

游轮大部分由金属结构制成，这对WPT充电器形成的磁场有很大影响。表51所示的测量结果表明，可能会发生以下程度的影响（橙色框）。

表51

## 不同（建筑）材料引起的场衰减

编号	项目	间隔 (毫米)	损耗 (分贝)	进一步的细节
1	邮件室木门	500	0	
2	邮件室砖墙, 280毫米厚	300	0	
3	双厚度木质复合板 (刨花板) (50毫米)	500	0	
4	钢板, 600×1000毫米	475	2	发电机后面100 mm处的面板
5		475	10	发电机和接收器之间的面板
6	铝板, 480×2000毫米	500	11	水平面板
7		500	15	垂直面板
8	<a href="#">GTEM单元</a> , 穿墙	500	>34	门需要完全关闭。

金属结构引起的场衰减将超过10 dB。衰减值被认为是一个随机变量，其范围为10-30 dB。

针对不同的DGNSS天线类型（即电场天线和磁场天线），分别进行了研究。表52和53概述了集总结果。

表52

船上WPT设备的结果概述（磁场DGNSS天线）  
（使用恒定的E/H系数）

船舱	面积 (m*m)	每个船舱的 WPT	WPT密度 (/km <sup>2</sup> )	集总电场 (99.8%的概率)		最大允许干扰电 平 (dBμV/m) (1区/2区/3区)
				1.1% AF	4.5% AF	
4x60x11	42*337	1	186520	-13.83	-6.53	18.89/11.02/17.04
4x60x11	42*337	2	373039	-11.23	-2.08	18.89/11.02/17.04

表53

船上WPT设备的结果概述（电场DGNSS天线）  
（使用与距离相关的E/H系数）

船舱	面积 (m*m)	每个船舱的 WPT	WPT密度 (/km <sup>2</sup> )	集总电场 (99.8%的概率)		最大允许干扰电 平 (dBμV/m) (1区/2区/3区)
				1.1% AF	4.5% AF	
4x60x11	42*337	1	186520	-27.65	-17.96	18.89/11.02/17.04
4x60x11	42*337	2	373039	-23.61	-12.93	18.89/11.02/17.04

## 船上WPT设备的结果

仿真结果表明，船上的WPT设备不会对安装在船上的水上DGNSS接收器产生有害干扰。考虑到实际允许的最大干扰，在各区和所有情况下仍有超过13 dB的余量。

未考虑会降低影响的其他干扰减轻因素，如船舶金属基座结构的影响，该影响可将电场和DGNSS接收器的天线方向图降低高达40 dB。最高WPT电平将出现在DGNSS天线下方，而有用信号将在水平方向上到达。

### 11.4 用于港口进场的DGNSS

尚未明确研究的一个DGNSS用例是当船舶入港或离港时精度的提高。对于上述国家中最大的港口，检查了最近的DGNSS电台的位置。在每种情况下，这些港口附近都有一个DGNSS电台，其场强电平远远高于最小值。

### 11.5 结果概述

仿真已经表明，移动和便携式设备WPT设备的电场不影响DGNSS的接收。

对于WPT设备位于岸上的场景，计算WPT设备的集总数量，从而将集总干扰与可允许的干扰电平进行比较。对于不同的沿海城市，WPT设备的数量远远大于实际部署的数量。

对于WPT设备位于船上的场景，对于集总干扰，在各区至少有13 dB余量。此外，该研究没有考虑由船舶结构的设计和材料选择引起的额外损耗。此外，亦不会应用DGNSS的天线鉴别，这将进一步降低集总干扰电平。

对于用于港口进场的DGNSS场景，选择DGNSS发射器的位置，以提供足够的余量，并避免来自WPT的任何干扰风险。

## 12 与GMDSS相关的水上移动业务

有必要确保水上移动业务的生命安全，如《无线电规则》附录15中所列，在490 kHz、518 kHz和2 187.5 kHz尤应如此。工作在315-405 kHz、1 700-1 800 kHz和2 000-2 170 kHz频率范围内的WPT与这些频率范围不重叠，或者具有落在这些频率范围上的不均匀谐波。

### 13 3区3 995-4 005 kHz频段内的标准频率和时间信号业务（SFTS）

没有进行任何研究。潜在的解决方案是将WPT限制在2 005 kHz以上的频率，并避免潜在的二次谐波落入SFTS使用的3 995-4 005 kHz范围内。

### 14 1 700-1 800 kHz范围内移动和便携式设备的非波束WPT对无线电定位业务系统的影响研究

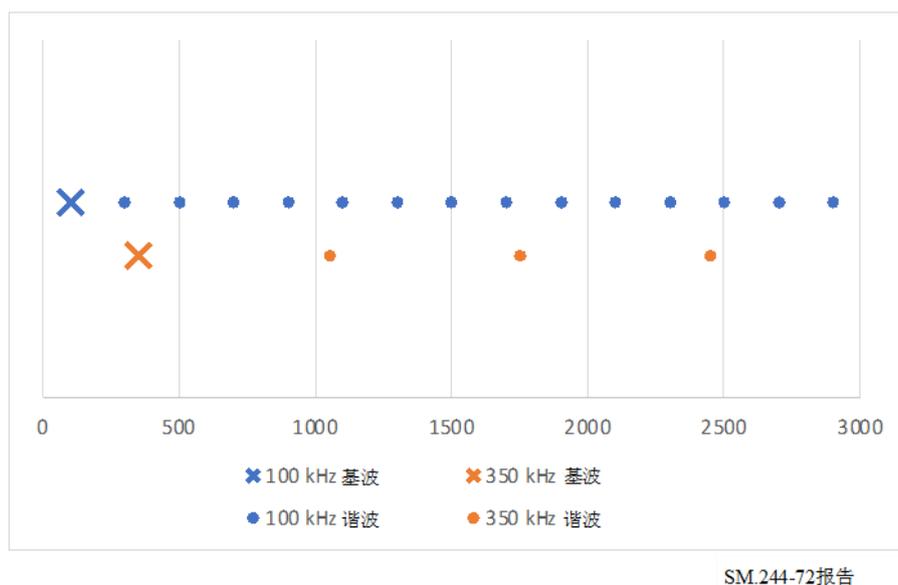
没有进行任何研究。

## 15 100-148.5 kHz和315-405 kHz之间WPT充电影响之比较

这里有两个相关因素：首先是谐波“频率”的差异，其次是实际发射电平的差异。

图72显示了一个工作频率为100 kHz的WPT设备与一个工作频率为350 kHz的设备产生奇次谐波的比较。工作在100 kHz的WPT设备有14个低于3 MHz的谐波，而工作在375 kHz的WPT设备只有3个谐波。在这种情况下，当WPT设备工作在较低范围时，无线电业务受影响的可能性是四到五倍。

图72  
3 MHz以下谐波出现的“频率”



SM.244-72报告

WPT设备在100-148.5 kHz的基本发射限值可达37.7-42 dB $\mu$ A/m，而WPT设备在315-405 kHz的发射限值不超过-15 dB $\mu$ A/m（在10 m距离处）。

在现实生活中，用于便携式和移动设备充电的WPT设备可能达不到上图72所示的电平值。不过，其能达到的电平值可能非常高。如第6.3.7节所示，在100-148.5 kHz频段内工作的一些充电器的实际电平在其三次谐波时超过-15 dB $\mu$ V/m。

这些电平值符合许多国家/地区的现有监管框架，但表现出的谐波明显高于以基本限值-15 dB $\mu$ A/m运行的WPT充电器产生的谐波。

315-405 kHz的WPT充电器对无线电业务的风险明显较低。总的来说，谐波的发生率要低得多。不过，需特别指出，由于基波发射电平较低，其谐波亦低得多。

## 16 结论

利用发射建模和测量来分析WPT对移动和便携式设备对无线电通信业务的影响。该报告分析了对调幅广播、业余无线电和航空无线电导航（ADF/NDB）的干扰影响，此外亦包含了一项分析WPT对人为本底噪声影响的不可知业务研究。

## 16.1 525-1 700 kHz的调幅广播

为移动和便携式设备充电的WPT设备需要与无线电通信业务接收器保持足够的距离，以免造成干扰。

对于工作在100-148.5 kHz频率范围内的调幅广播和WPT设备，一项研究发现所需的间隔距离为2.3 m，而另一项研究表明所需的间隔距离可能要大得多。

对于工作频率为315-405 kHz的调幅广播和WPT设备，一项研究发现，在大多数情况下，当WPT设备的工作频率选择为360 kHz、且10 m处的基波发射电平在-25至-35 dB $\mu$ A/m之间（在ETSI EN300 330中为-15 dB $\mu$ A/m）时，所需的间隔距离为1.5 m，这比100-148.5kHz时小得多。该研究涵盖了对WPT设备和调幅广播接收器不同方向的灵敏度分析。其中一项测量发现一个充电器需要2.3 m的间隔距离，这表明由于谐波和调幅广播信道中心之间500 Hz的频偏，间隔距离将会增加。相对于信道中心的最差情况频偏是1.6 kHz。进一步的计算表明，当频偏为1.6 kHz而非500 Hz时，保护距离增加到2.7 m。不过，可能需要进一步的测量来验证该计算，以避免WPT对调幅广播系统造成潜在的有害干扰。

与100-148.5 kHz相比，工作在315-405 kHz的WPT设备对调幅广播的影响要小得多。建议主管部门根据其国家要求核实相关情况是否令人满意。

## 16.2 135.7-137.8 kHz的业余无线电业务

为在100-148.5 kHz频率范围内工作的移动和便携式设备充电的WPT设备需要与无线电通信业务接收器保持足够的间隔距离，以免造成干扰。对业余无线电业务来说，此距离在15.3 m和51.3 m之间，这取决于具体场景。不过，在单个接收器的范围内可能存在多个WPT设备，原因是保护距离对于城区而言已经很大。

## 16.3 100-148.5 kHz和315-405 kHz频段内与WPT有关的航空无线电导航

针对航空无线电导航（ADF/NDB）的研究发现，所需的间隔距离远小于最低安全飞行高度。

## 16.4 WPT对315-405 kHz、1 700-1 800 kHz和2 000-2 170 kHz频段内无线电通信业务（如固定和移动）的一般影响分析

### 16.4.1 集总蒙特卡洛研究

通过与人为噪声电平进行比较，蒙特卡洛研究分析了接收器带宽内的干扰量。研究表明，WPT设备在两个频率范围（即315-405 kHz、1 700-1 800 kHz和2 000-2 170 kHz）中的设想部署密度仅在非常密集的城区导致噪声增加超过ITU-R P.372建议书中预测的中值电平，相关值介于1.2和2.1 dB之间，这取决于具体频率。当在荷兰对无线电噪声进行实际测量时，对于三个频率范围，中值噪声的增加小于0.3 dB至0.7 dB。对于所有其他环境（城区和住宅区），中值噪声的增加小于0.4 dB、0.6 dB或0.8 dB，具体取决于频率。

这些电平对应的是夜间出现的高峰充电时段。在白天，噪声的中值增幅较低。

距离WPT设备不到10 m的实际噪声环境可能高于或低于该研究中使用的人为噪声电平。由于缺乏有关人为噪声电平的信息，无法评估WPT在如此接近建筑物或建筑物内部的情况下对噪声环境的实际影响。

### 16.4.2 单入口蒙特卡洛研究

该研究将中值干扰电平与中值人为噪声电平进行比较，并确定了干扰超过人为噪声电平的点。研究表明，当模拟WPT充电器与接收器线圈的不同对准情况时（在最佳到最差发射之间变化），WPT充电器发射下降到中值人为噪声电平以下的距离取决于频率范围：

- 在城市中，与ITU-R P.372建议书中预测的中值电平相比，相关距离为11 m至14 m，与荷兰实际测量的无线电噪声电平相比，相关距离为7 m至9 m。
- 与ITU-R P.372建议书中预测的中值电平相比，在居住区介于15 m和18 m之间，与荷兰实际测量的无线电噪声电平相比，在居住区介于9 m和13 m之间。

该单入口研究是最差情况分析，原因是其假设WPT发射总是与无线电业务接收器同信道，且接收天线与WPT设备产生的场进行了完美对准。

距离WPT设备不到10 m的实际噪声环境可能高于或低于该研究中使用的人为噪声电平。由于缺乏有关人为噪声电平的信息，无法评估WPT在如此接近建筑物或建筑物内部的情况下对噪声环境的实际影响。

### 16.5 100-148.5 kHz和315-405 kHz频段内移动和便携式设备的非波束WPT对水上无线电导航/差分全球卫星导航系统（DGNSS）的影响

第一项单入口研究结果表明，对于移动和便携式设备的非波束WPT的单入口，DGNSS的保护距离对于在有害发射限值下工作在100-148.5 kHz范围内的WPT设备的三次谐波可以达到47-51 m，对于在基波限值下工作在315-405 kHz范围内的WPT设备的基波发射可以达到17 m。

研究还显示，在实际测量的发射电平下，工作在100-148.5 kHz范围内的WPT设备的三次谐波为7 m至17 m，工作在315-405 kHz范围内的WPT设备的基波发射为8 m至11 m。与工作在100-148.5 kHz的WPT设备的谐波相比，工作在315-405 kHz的便携式和移动设备的WPT设备对DGNSS的干扰影响较低。

第二项单入口研究表明，对于移动和便携式设备的非波束WPT的单入口，在不考虑干扰减轻因素的情况下，DGNSS的保护距离为21 m，即WPT设备应距离DGNSS接收器21 m。

在为WPT规划使用100-148.5 kHz和315-405 kHz频段时，主管部门应考虑所需的间隔距离，特别是避免WPT对岸上和船上的DGNSS接收器造成干扰。

第一项集总研究表明，岸上的WPT设备不会影响船上DGNSS的接收。

第二项集总研究表明，大型游轮上在315-325 kHz范围内运行的WPT设备的磁场和电场不会影响DGNSS的接收。

## 16.6 与全球水上遇险和安全系统（GMDSS）相关的水上移动业务

对《无线电规则》附录15中列出的有关生命安全的水上移动业务的保护得到保证，在490 kHz、518 kHz和2 187.5 kHz尤其如此。工作在315-405 kHz、1 700-1 800 kHz和2 000-2 170 kHz频率范围内的WPT与这些频率范围不重叠，或者具有落在这些频率范围上的不均匀谐波。

## 16.7 100–148.5 kHz和315-405 kHz之间WPT充电影响之比较

与100-148.5 kHz的WPT充电器相比，315-405 kHz的WPT充电器对无线电业务的风险较低。总的来说，谐波比较少。不过，需特别指出，由于基波发射电平较低，谐波发射亦低得多。

## 附件1

### 参引

ITU-R文件和编号	ITU-R文件标题
GE75区域性规划协议	
ITU-R P.368-7建议书	频率在10 kHz和30 MHz间的地波传播曲线
ITU-R P.372建议书	无线电噪声
ITU-R BS.468建议书	声音广播音频噪声电压电平的测量
ITU-R BS.498建议书	低频（LF）和中频（MF）广播频段的电离层交叉调制
ITU-R P.532建议书	与人工修改电离层和无线电波信道相关的电离层效应和运作考虑
ITU-R BS.559建议书	低频（LF）、中频（MF）和高频（HF）广播射频保护比的客观测量
ITU-R BS.560建议书	低频（LF）、中频（MF）和高频（HF）广播的射频保护比
ITU-R BS.561建议书	低频（LF）、中频（MF）和高频（HF）广播频段的辐射定义
ITU-R M.589建议书	在70和130 kHz之间的频段无线电导航业务数据传输和干扰保护方法的技术特性
ITU-R BS.638建议书	声音广播频率规划中使用的术语和定义
ITU-R BS.639建议书	低频（LF）、中频（MF）和高频（HF）广播发射的必要带宽
ITU-R BS.703建议书	用于规划目的的AM（调幅）声音广播基准接收器的特性
ITU-R M.823建议书	在1区283.5-315 kHz频段和2、3区285-325 kHz频段运行的水上无线电信标为全球卫星导航系统进行的差分传输的技术特性
ITU-R SM.1056建议书	对工业、科学和医疗（ISM）设备辐射的限制
ITU-R P.1147建议书	频率约在150和1 700 kHz之间的天波场强的预测
ITU-R P.1321建议书	影响在低频（LF）和中频（MF）中使用数字调制技术的系统的传播因素

ITU-R文件和编号	ITU-R文件标题
ITU-R BS.1348建议书	在30 MHz以下频率进行数字声音广播的业务要求
ITU-R BS.1386建议书	低频（LF）和中频（MF）发射天线特性和方向图
ITU-R BS.1387建议书	感知音频质量的客观测量方法
ITU-R BS.1514建议书	30 MHz以下广播频段的数字声音广播系统
ITU-R M.1732-2建议书	用于共用研究的业余和卫星业余业务的系统特性
ITU-R BS.1895建议书	地面广播系统的保护标准
ITU-R SM.1896建议书	短距离设备（SRD）全球协调或区域性协调的频率范围
ITU-R SM.2028建议书	计算使用30 MHz以下频率的感应系统与无线电通信业务之间的保护距离
ITU-R SM.2103建议书	短距离设备（SRD）类别的全球统一
ITU-R P.2109建议书	建筑物入口损耗预测
ITU-R SM.2110建议书	非波束无线供电（WPT）系统的操作频率范围
ITU-R SM.2129建议书	移动和便携式设备使用的非波束无线供电系统操作的频率范围指南
ITU-R BS.401报告	低频（LF）、中频（MF）和高频（HF）广播的发射天线
ITU-R BS.458报告	低频（LF）、中频（MF）和高频（HF）广播的系统特性
ITU-R SM.2057报告	关于使用超宽频段技术的设备对无线电通信业务所产生影响的研究。
ITU-R SM.2153报告	短距离设备的技术和运行参数以及频谱要求
ITU-R SM.2154报告	短距离无线电通信设备频谱占用度测量技术
ITU-R SM.2179报告	短距离无线电通信设备的测量
ITU-R SM.2180报告	工业、科学和医疗（ISM）设备对无线电通信业务的影响
ITU-R SM.2210报告	短距离设备发射对无线电通信业务的影响
ITU-R SM.2303报告	利用非射频波束技术进行无线供电

## 其他参引

- [1] 荷兰高频人为噪声基底的测量方法和测量结果，T.W.H. Fockens、A.P.M. Zwamborn、F. Leverink，IEEE EMC汇刊，第61卷第2期，2019年4月
- [2] I. Landa、A. Arrinda、I. Eizmendi、M. M. Velez和I. Fernandez，“中波带室内位置的人为噪声测量”，《第四届欧洲天线和传播大会论文集》，巴塞罗纳，2010年，第1-5页。
- [3] K.Fockens和F. Leferink，“所测得的人为噪声电平和居住密度之间的相关性”，IEEE电磁兼容性汇刊，数字对象标识符：10.1109/TEM.C.2020.3001979
- [4] M. Iwama，“高配频段背景噪声的估算”，2008年亚太电磁兼容性专题研讨会和第19届苏黎世国际电磁兼容性专题研讨会，2008年5月，新加坡，第478-481页。
- [5] 欧洲无线电通信委员会（ERC）70-03建议书：<https://docdb.cept.org/document/845>
- [6] ERC 74-01建议书：<https://docdb.cept.org/document/1001>
- [7] ERC 69号报告：<https://docdb.cept.org/document/637>
- [8] ECC 67号报告：<https://docdb.cept.org/document/177>

## 附件2

## 缩写词

术语	解释
ADC	模数转换器
ADF	自动测向仪
AM	调幅
BBC	英国广播公司
BW	带宽
ETSI	欧洲电信标准协会
FCC	联邦通信委员会
ISM	工业、科学和医疗（应用）
LF	低频
NDB	非定向信标
RR	《无线电规则》
SCN	单载波噪声
TR	技术报告
WGN	高斯白噪声
WPT	无线供电

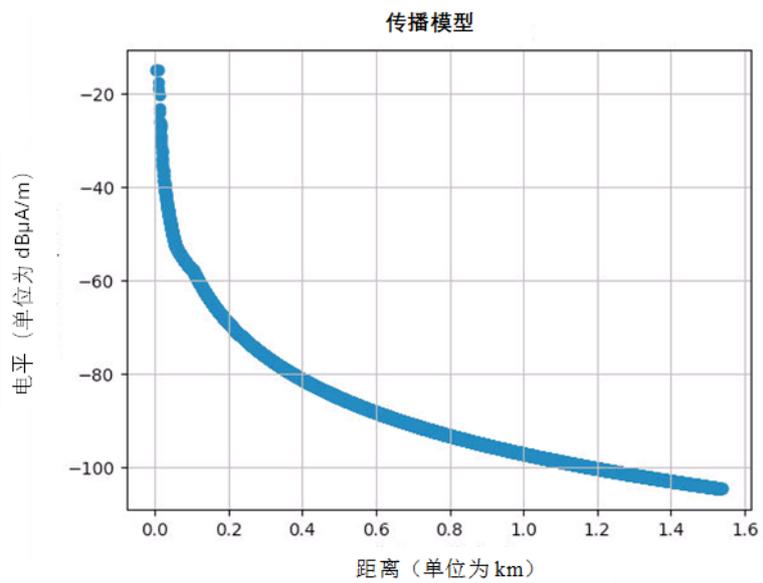
### 附件3

## WPT发射的传播模型

传播损耗基于根据ITU-R SM.2028建议书使用的传播模型，接地类型为9。它将近距离的磁耦合效应（60 dB/十倍频程）与远场的自由空间损耗（20 dB/十倍频程）相结合。近场和远场之间的转换被建模为40 dB/十倍频程。在远场之后，假设为地波传播。该模型被编程为直接输出dB $\mu$ A/m，并直接设置为在10 m处产生-15 dB $\mu$ A/m。

图73

2 MHz处的传播损耗示例



SM.2449-73 报告