

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R SM.2449-0报告**

(06/2019)

无线电通信业务中移动和  
便携式设备非波束感应式  
无线电力传输的技术特性和影响分析

**SM系列**

频谱管理



国际电信联盟

## 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）

ITU-R的知识产权政策在ITU-R第1号决议引用的“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策”中做了说明。专利持有者提交专利和许可声明所需表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/zh>获得，该网址也提供了“ITU-T/ITU-R/ISO/IEC共同专利政策实施指南”以及ITU-R专利信息数据库。

### ITU-R系列报告

（也可在以下网址获得：<http://www.itu.int/publ/R-REP/zh>）

#### 系列

#### 标题

<b>BO</b>	卫星传输
<b>BR</b>	用于制作、存档和播放的记录：用于电视的胶片
<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、无线电测定、业余无线电以及相关卫星业务
<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>	卫星固定和固定业务系统之间的频率共用和协调
<b>SM</b>	<b>频谱管理</b>

**注：**本ITU-R报告英文版已由研究组按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版  
2020年，日内瓦

© 国际电联 2020

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.2449-0报告

无线电通信业务中移动和便携式设备  
非波束感应式无线电力传输的技术特性和影响分析

(ITU-R第210-3/1号课题)

(2019年)

## 目录

	页码
1 引言 .....	2
2 工作于100-148.5 kHz频率范围的感应式移动和便携式设备充电的现有应用 .....	2
3 100-148.5 kHz频率范围内非波束感应式无线电力传输应用的国际标准 .....	2
4 100-148.5 kHz频率范围内非波束感应式WPT应用的技术和操作特性.....	3
4.1 操作特性 .....	3
4.2 技术特性 .....	4
5 无线电通信业务的影响分析 .....	4
5.1 调幅广播研究1 .....	5
5.2 调幅广播研究2 .....	12
5.3 非波束感应式WPT应用对业余业务的影响研究.....	22
5.4 非波束感应式WPT应用对无线电导航业务的影响研究.....	27
5.5 非波束感应式WPT应用对航空无线电导航业务的影响研究.....	36
6 结论 .....	41
附件1 – 参考文献.....	42
附件2 – 缩略语.....	43

## 1 引言<sup>1</sup>

随着对无线设备和全球移动性需求的增长，为这些设备供电的无线电力传输（WPT）技术得以发展，世界范围的消费者现已能方便地使用该技术。ITU-R对非波束感应式WPT应用进行了初步评估，包括若干国家中的各种用例、总体技术特性和相应的监管条件。这项工作针对ITU-R第210-3/1号课题而完成，有关内容和成果可以在ITU-R SM.2303报告 – 利用非射频波束技术进行无线电力传输，以及ITU-R SM.2110建议书的部分章节中找到。

本报告旨在扩展感应式非波束WPT的现有工作，特别是在100-148.5 kHz频率范围内使用高达15瓦功率进行传输的移动和便携式设备应用。由于不同的操作特性、频率范围和信息可用性，电动汽车充电和家用电器等高功率非波束WPT应用不在本报告的范围内。本报告的结论旨在回答关于应采取哪些措施来尽量减少对现有无线电通信业务影响的ITU-R第210-3/1号课题做出决定<sup>2</sup>，并证明这些设备是按照《无线电规则》第15.12款进行操作的。

## 2 工作于100-148.5 kHz频率范围的感应式移动和便携式设备充电的现有应用

基于ITU-R SM.2303-1报告，感应式WPT技术已应用于移动和便携式设备，例如智能手机、平板电脑和笔记本电脑。在本报告发布后，感应式WPT技术被用于可穿戴设备，例如智能手表和健身跟踪设备。工作于100-148.5 kHz频率范围的非波束感应式WPT应用目前已在若干国家/地区落地并获得授权。

非波束感应式充电通常需要充电设备与电源之间直接接触。当直接接触并开始充电时，假定发射功率低于15瓦。一旦断开接触，设备将停止充电；不过，设备可能会发出一些能量，仅用于设备检测目的。本报告第4节进一步详细介绍了工作于100-148.5 kHz频率范围内的非波束感应式WPT应用的操作和技术特性。

## 3 100-148.5 kHz频率范围内非波束感应式无线电力传输应用的国际标准

ITU-R SM.2303-1报告第4节包含非波束感应式WPT应用的可用国际标准。

通常，如果充电器与充电设备之间没有数据通信，则可以将WPT应用视为工业、科学和医学（ISM）应用（参见《无线电规则》第1.15和15.13款）。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应用，或者因其被归类为有意辐射器而将之作为免许可证应用。

---

<sup>1</sup> 在本报告的研究中有两种情形利用的是建筑物入口的损耗。收到了来自ITU-R负责组的信息，即该报告的适用性是有限的。

## 4 100-148.5 kHz频率范围内非波束感应式WPT应用的技术和操作特性

### 4.1 操作特性

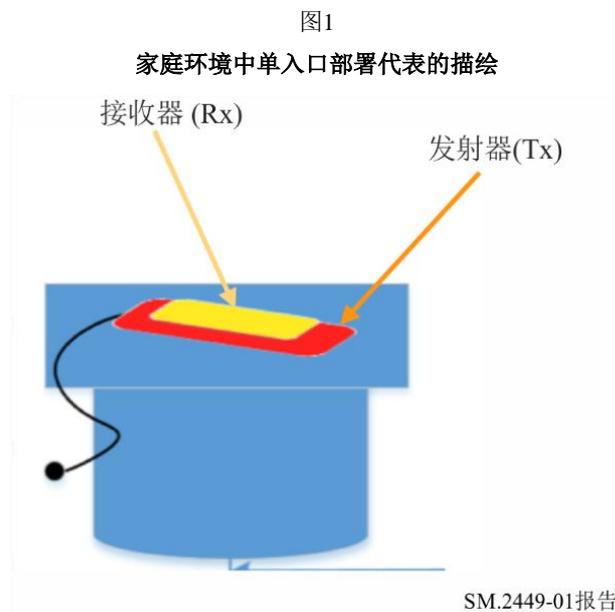
用于为移动和便携式设备充电的感应式非波束WPT应用主要在室内使用，例如在办公室和家庭中。

大多数充电活动仅在充电设备与电源之间直接接触时才发生。此活动通常只会持续很短的时间，直到充电设备的电池充满为止。一旦电池完成完全充电，或者如果直接接触断开，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FCC许可证豁免规则的认证<sup>2</sup>，因为它们被视为在美国使用和销售的有意辐射器。

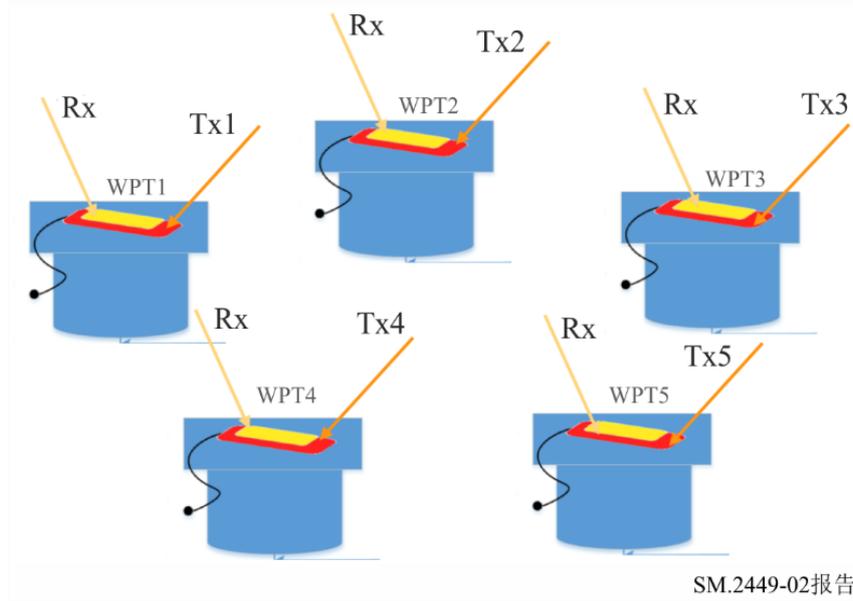
#### 4.1.1 充电场景

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  
办公环境中聚合部署代表的描绘



## 4.2 技术特性

表1  
操作模式

带宽	417 Hz			
功率电平	基本的 = -15 dB $\mu$ V/m @ 300 m			
场强	基本的 = -15 dB $\mu$ V/m @ 300 m			
谐波含量	<b>HD3</b>	<b>HD5</b>	<b>HD7</b>	<b>HD9</b>
	-24 dB $\mu$ V/m @ 300 m	8.9 dB $\mu$ V/m @ 30 m	6 dB $\mu$ V/m @ 30 m	4 dB $\mu$ V/m @ 30 m

## 5 无线电通信业务的影响分析

根据《无线电规则》第5条，作为主要业务，在100-148.5 kHz频率范围内进行划分的现有无线电通信业务为固定、无线电导航（包括航空）、水上移动和水上无线电导航业务。此外，作为次要业务，在135.7-137.8 kHz频段内的所有三个区中对业余业务进行划分。从148.5-255 kHz频段开始，作为主要业务，在1区中对广播业务进行划分。

## 5.1 调幅广播研究1

广播业务工作于以下频率范围：

- 1区：148.5-283.5 kHz和526.5-1 606.5 kHz<sup>3</sup>
- 2区：525-1 625 kHz（遵循第5.89款）<sup>4</sup>
- 3区：526.5-1 606.5 kHz<sup>3</sup>

进行的测试使用了工作于100-148.5 kHz频率范围的非波束感应式WPT应用。使用810 kHz频道进行了测试，这是WPT应用的7次谐波。810 kHz频道是最接近的频道，满足美国调幅广播的最低信号强度要求。

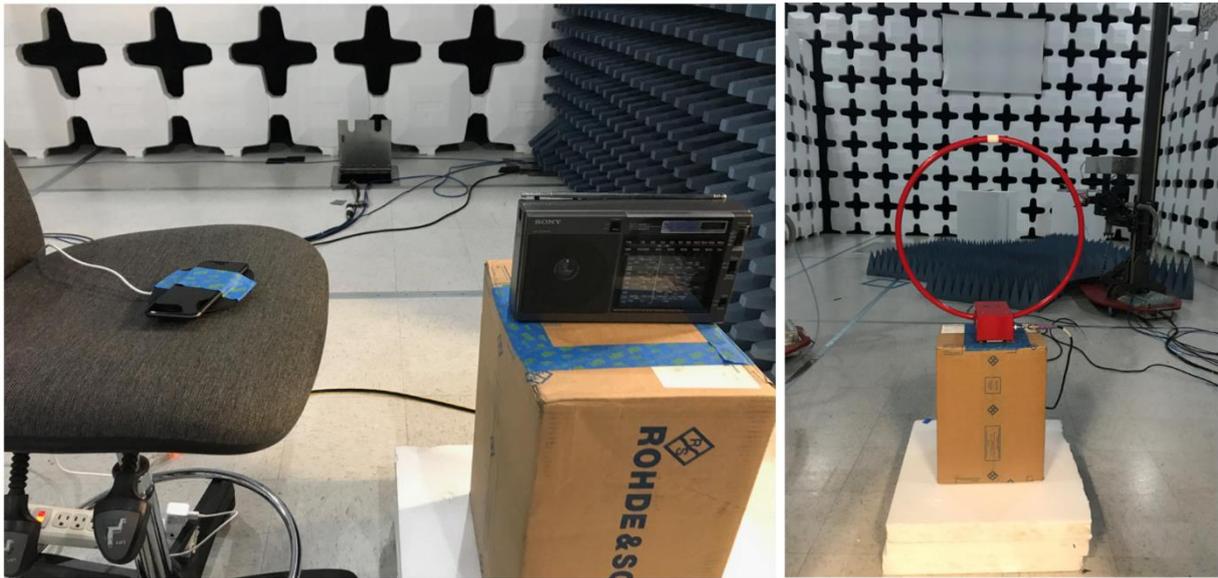
### 5.1.1 测试设置

这项研究利用了安全的3 m测试室中通过测试收集的数据。测试了八个商用感应式移动设备充电器，干扰信号进入两个商用调幅收音机的接收器。聚合场景使用了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进行了测量。单入口设置如下面的图3所示。

图3

单入口情况的实验室设置



SM.2449-03报告

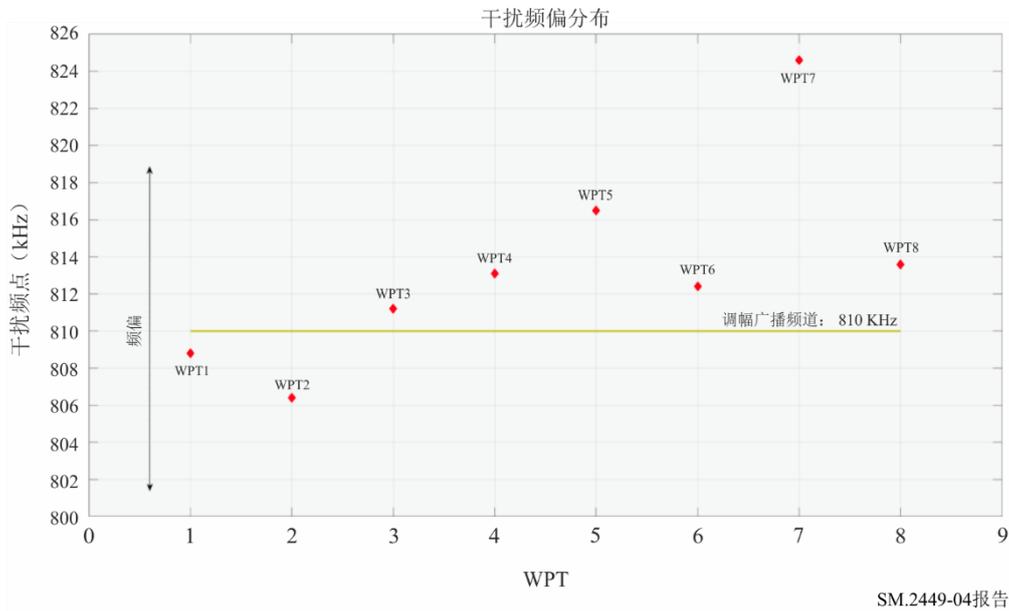
3 广播业务应遵循1975年日内瓦区域性协议制定的计划，148.5-283.5 kHz \_ 1区，526.5-1 606.5 kHz \_ 1区和3区（1975年，日内瓦）。

4 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）制定的计划。

### 5.1.2 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7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7次谐波频率分布



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（参见表2）来评估每个无线充电器对调幅接收器造成的听觉噪声水平，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

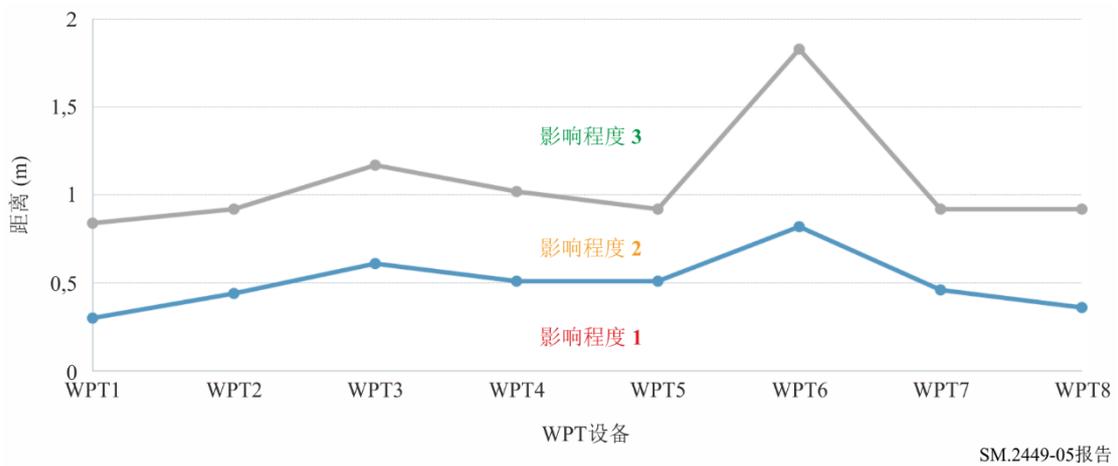
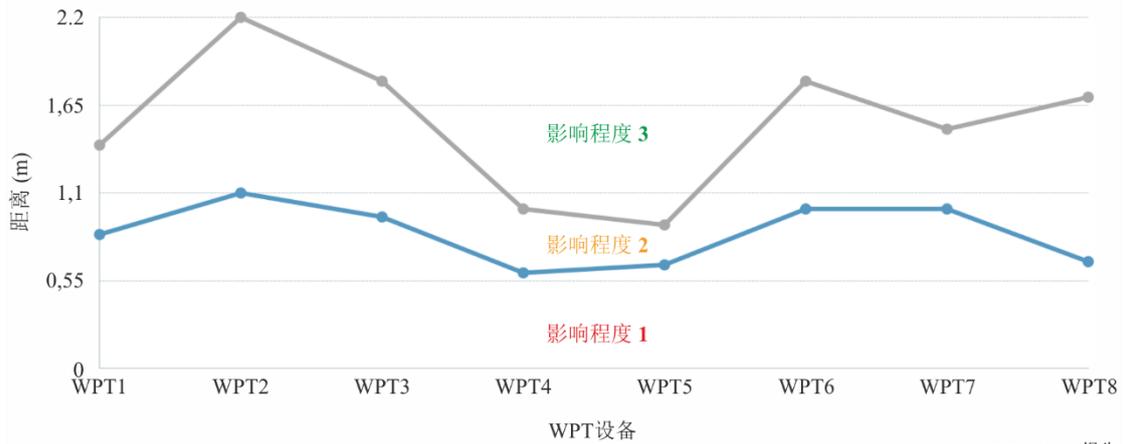


图6  
接收器AM2主观听觉测试概述



SM.2449-06报告

表2  
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3和表4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3  
主观听觉测试AM1接收器单入口概述

无线充电器类型	7次谐波场强 (dBμA/m) @ 3 m	7次谐波场强 (dBμA/m) @ 10 m	调幅无线电信号强度 (dBμV/m) (810 kHz 频道)	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	54.35	0.3	0.84
WPT2	-27.11	-58.41	54.35	0.44	0.92
WPT3	-12.65	-43.95	54.35	0.61	1.17
WPT4	-29.74	-61.04	54.35	0.51	1.02
WPT5	-16.02	-47.32	54.35	0.51	0.92
WPT6	-28.8	-60.1	54.35	0.82	1.83
WPT7	-7.04	-38.34	54.35	0.46	0.92
WPT8	-29.88	-61.18	54.35	0.36	0.92

表4

主观听觉测试AM2接收器单入口概述

无线充电器类型	7次谐波场强 (dB $\mu$ A/m) @ 3 m	7次谐波场强 (dB $\mu$ A/m) @ 10 m	调幅无线电信号强度 (dB $\mu$ V/m) (810 kHz频道)	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	<b>-53.36</b>	54.16	0.84	1.4
WPT2	-27.11	<b>-58.41</b>	54.16	1.1	2.2
WPT3	-12.65	<b>-43.95</b>	54.16	0.95	1.8
WPT4	-29.74	<b>-61.04</b>	54.16	0.6	1
WPT5	-16.02	<b>-47.32</b>	54.16	0.65	0.9
WPT6	-28.8	<b>-60.1</b>	54.16	1	1.8
WPT7	-7.04	<b>-38.34</b>	54.16	1	1.5
WPT8	-29.88	<b>-61.18</b>	54.16	0.67	1.7

表5和6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的汇总结果表明，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5

主观听觉测试AM1接收器聚合概述

无线充电器类型	7次谐波场强 (dB $\mu$ A/m) @ 3 m	7次谐波场强 (dB $\mu$ A/m) @ 10 m	调幅无线电信号强度 (dB $\mu$ V/m) (810 kHz频道)	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	-12.65	<b>-43.95</b>	54.16	<b>1.2</b>	<b>2.2</b>
WPT2	-29.74	<b>-61.04</b>	54.16		
WPT3	-28.8	<b>-60.1</b>	54.16		
WPT4	-7.04	<b>-38.34</b>	54.16		
WPT5	-29.88	<b>-61.18</b>	54.16		

表6

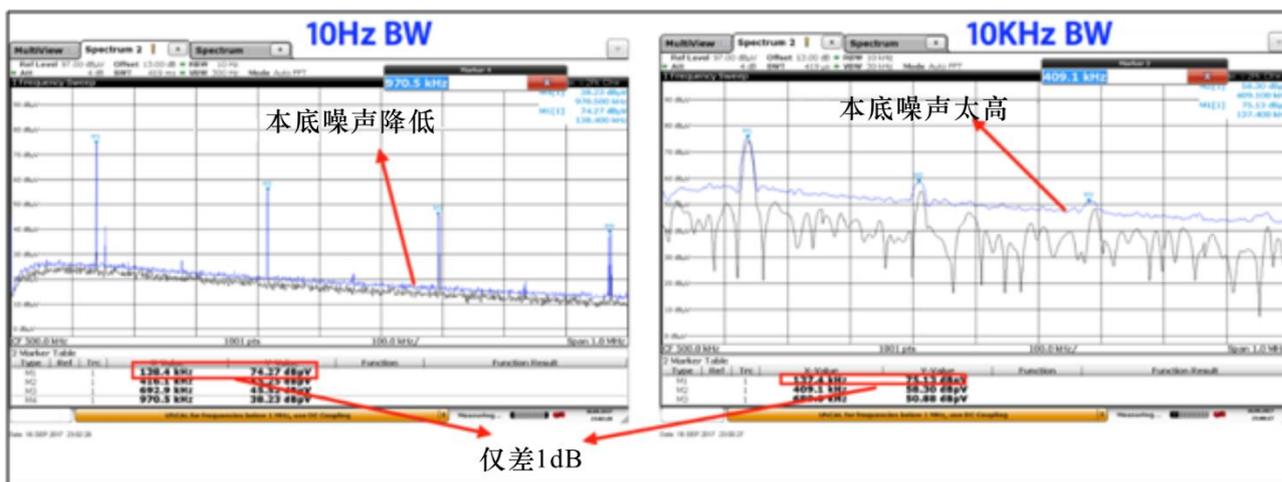
主观听觉测试AM2接收器聚合概述

无线充电器类型	7次谐波场强 (dBμA/m) @ 3 m	7次谐波场强 (dBμA/m) @ 10 m	调幅无线电信号强度 (dBμV/m) (810 kHz 频道)	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	-12.65	-43.95	54.16	1.1	2.3
WPT2	-29.74	-61.04	54.16		
WPT3	-28.8	-60.1	54.16		
WPT4	-7.04	-38.34	54.16		
WPT5	-29.88	-61.18	54.16		

### 5.1.3 WPT应用和调幅接收器的开放场强量化

图7显示了WPT谐波测量的带宽设置以及使用10 Hz的视觉依据。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，因此与带宽无关。更改为10 Hz还可以更好地了解测量需要的内容。

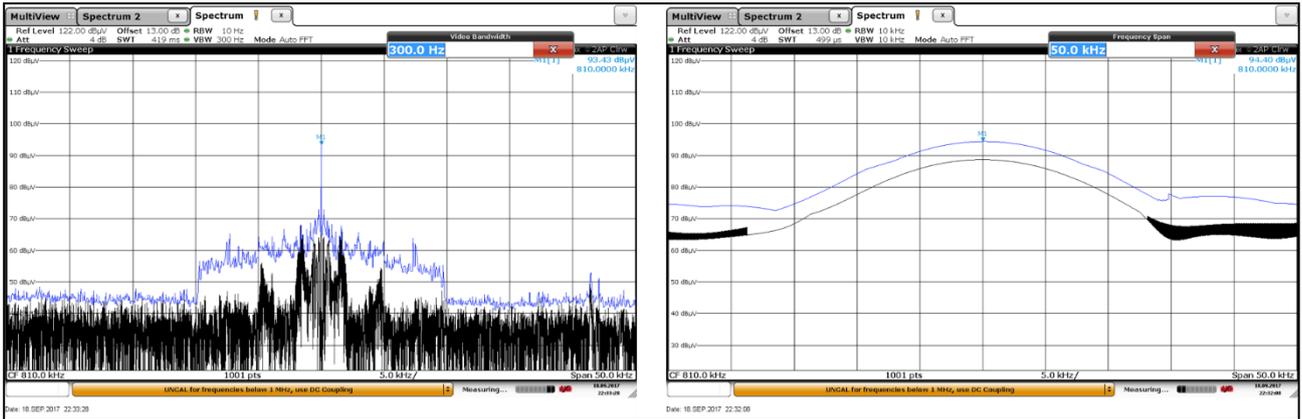
图7  
带宽调整



SM.2449-07报告

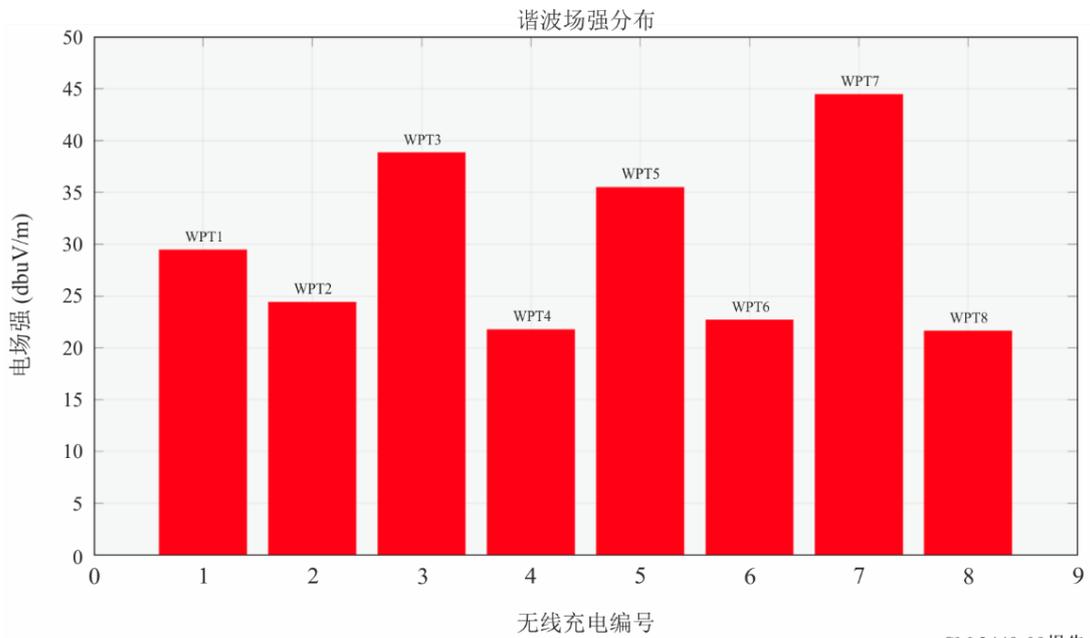
调幅接收器信号带宽设置如图8所示。基于1 dB的差异，调幅接收器也使用10 Hz。

图8  
调幅接收器带宽设置



SM.2449-08报告

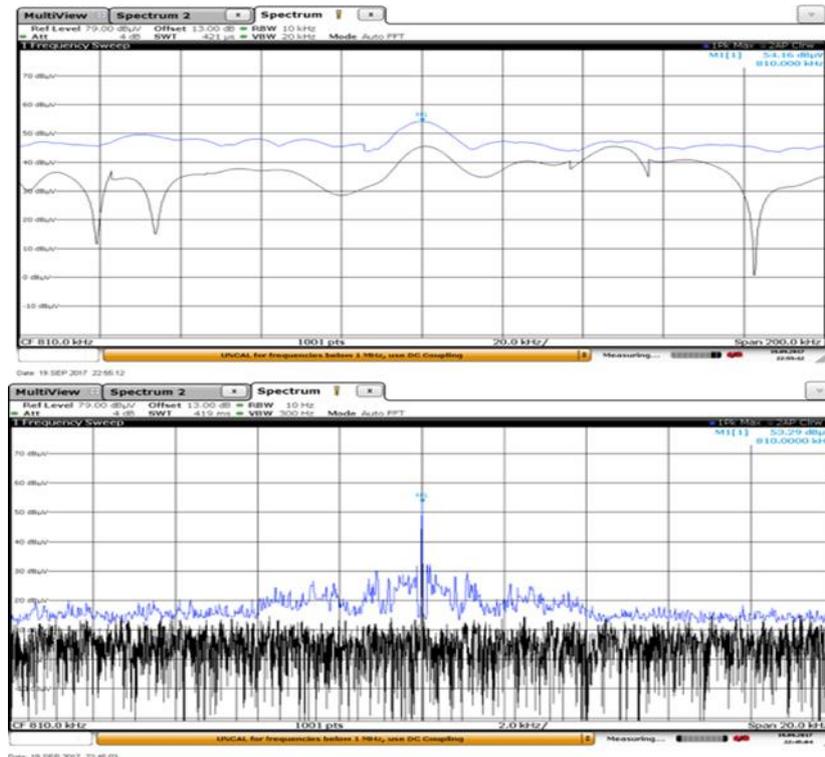
图9  
3m处7次谐波场强测量



SM.2449-09报告

图10

调幅收音机信号强度, 54.16 dB $\mu$ V/m (0.5 mV/m = 54 dB $\mu$ V/m)



SM.2449-10报告

### 5.1.4 测试结果概述

实验室测试结果表明, 为防止感应式充电设备测试的7次谐波对调幅广播接收器产生听觉干扰, 需要2.3 m的最小间隔距离。假定这是通常在办公室和家庭中使用的移动设备, 则该距离是可以实现的, 因此研究认为, 对广播业务的影响可以忽略不计。

表7

实验概述

调幅收音机接收器	调幅收音机单强度 (dB $\mu$ V/m) (目标: 500 $\mu$ V/m, 54 dB $\mu$ V/m)	单个影响 @ 最差, 8个无线充电器分别测试	聚合影响 @ 最差, 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

## 5.2 调幅广播研究2

### 5.2.1 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模拟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，很难对所见做出解释。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，而且干扰性质也发生变化。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”也似乎是脉冲的且经过滤波的（看似）方波，其频率会发生变化。即使当接收器调谐到<sup>5</sup>的“频道”内没有谐波时，有时<sup>6</sup>也可以在整个中频频段上听到大的切换瞬变（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的完全不同。手机电池的充电状态能造成多大的差别，目前尚不清楚。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“空载”状态，则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顺序。即使没有手机被充电，在附近的接收器上也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时干扰器的影响处于听不见与极度烦人之间。这与本报告表3和表4中的结果明显不同，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，效果为听不见。

### 5.2.2 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；显然，接收器与充电器之间的最大可能间隔为2 m。物理布局如图11和图12所示。

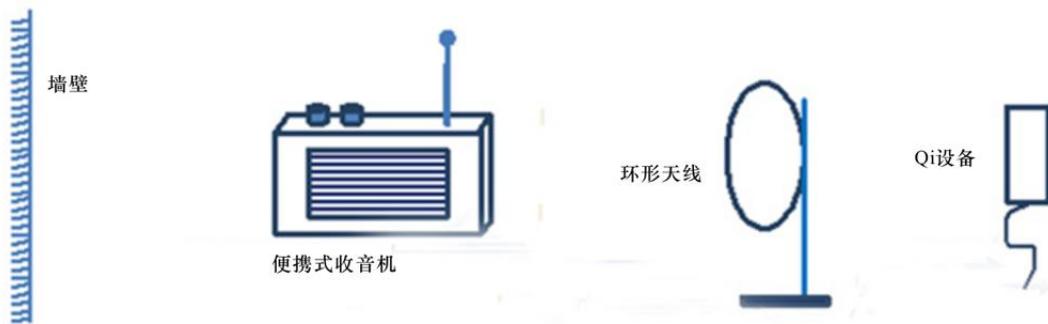
---

<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频道，甚至跳到更远的频道。

<sup>6</sup> 再次取决于负载的位置和方向。

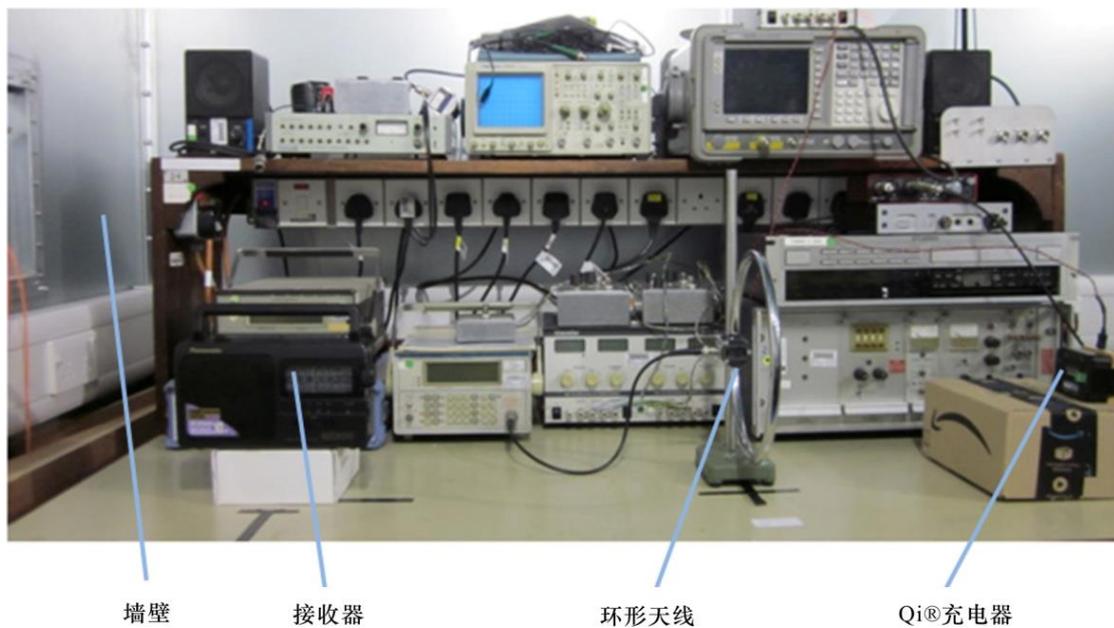
<sup>7</sup> 测试是在屏蔽室中进行的。

图11  
测试设置（图解）



SM.2449-11报告

图12  
测试设置（照片）



SM.2449-12报告

接收器和充电器中的铁氧体天线布置在环形天线的垂直轴上。在测试中，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。

接收器的信号电平可以精确控制：

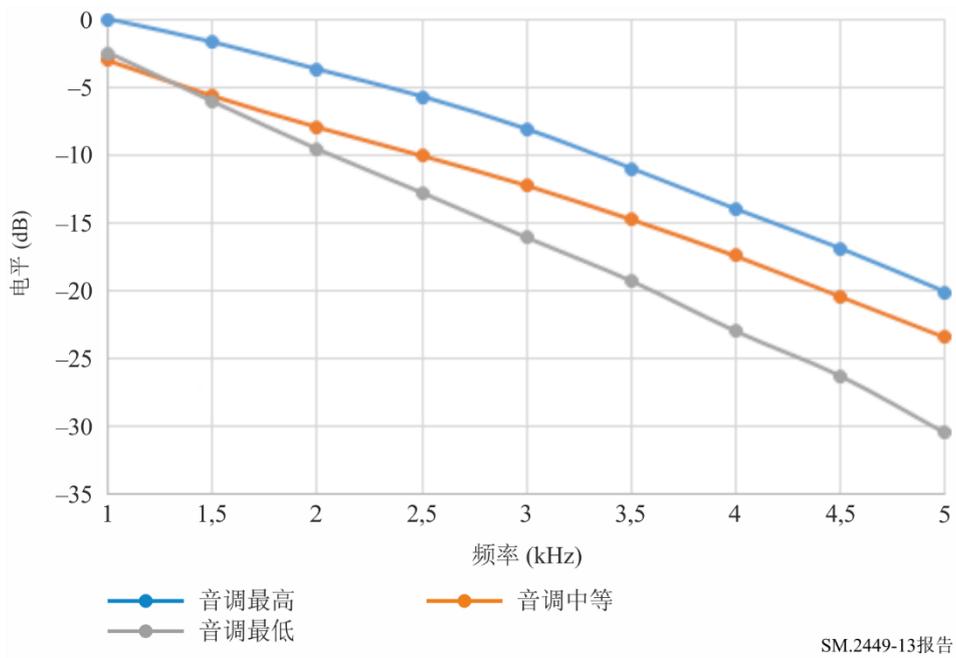
工作频率可以精确控制；这不仅使接收器的调谐频率可与充电器匹配，还意味着可以研究充电器的不同谐波，这些谐波会影响不同的载波频率（不同的广播频道）。

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，从而消除不确定性的潜在来源。



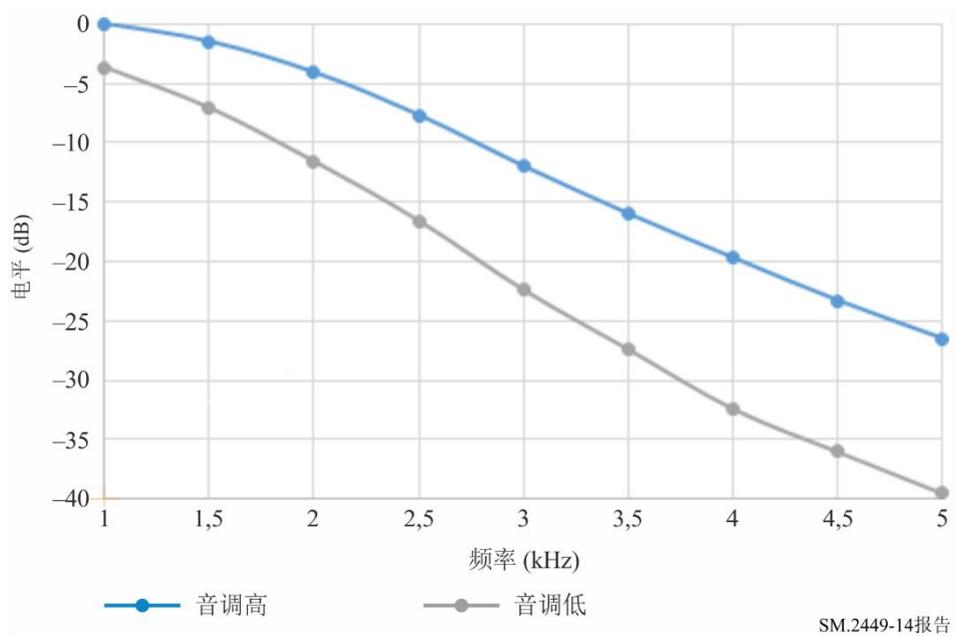
图13  
接收器1的调制响应



SM.2449-13报告

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，用于表示最坏的情况。

图14  
接收器2的调制响应



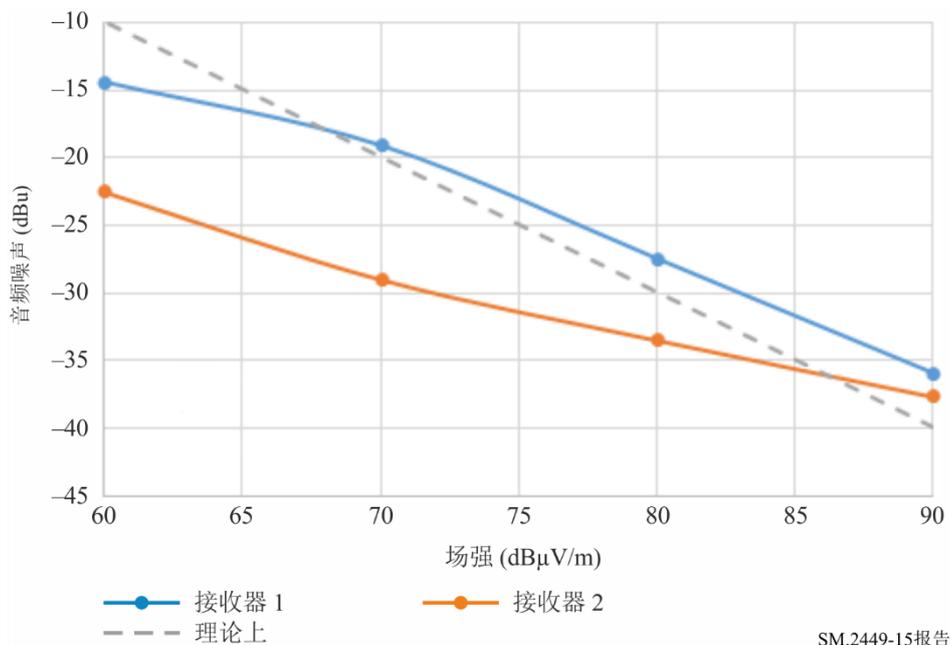
SM.2449-14报告

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15中。

图15

两个接收器的音频噪声电平



SM.2449-15报告

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 dBμV/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3.2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。

#### 5.2.4 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3至表6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16

自制探测器（左）和Qi®充电器（带负载）



SM.2449-16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。

### 5.2.5 充电器的谐波发射电平

同样令人感兴趣的是相对谐波电平：谐波会扰乱LF和MF电台的接收。

为了测量谐波，将四匝搜索线圈放置在充电器设备旁边200 mm处。线圈的几何形状与早期测量（上一节）中所用的相同，不过其线圈匝数较少且没有放大器。线圈的输出直接连接到频谱分析仪 – 与之前同。这样做会导致6 dB的损耗，因为线圈包含一个50  $\Omega$ 的端接电阻。

较早的测量结果表明，距离1 m时基波的电平为0.034 A/m。此处测量的实际电平为-45 dBm。回顾上面的公式(1)：

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

输入数字： $H = 1.26 \times 2 \times 10^{-3} / \{ (4\pi \times 10^{-7}) \times (\pi \times 0.034^2) \times 4 \times (2\pi \times 115 \times 10^3) \}$

其中， $1.26 \times 10^{-3}$ 为-45 dBm伏特，突出显示的2用于补偿端接损耗。

<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。

$$H = 0.19 \text{ A/m}$$

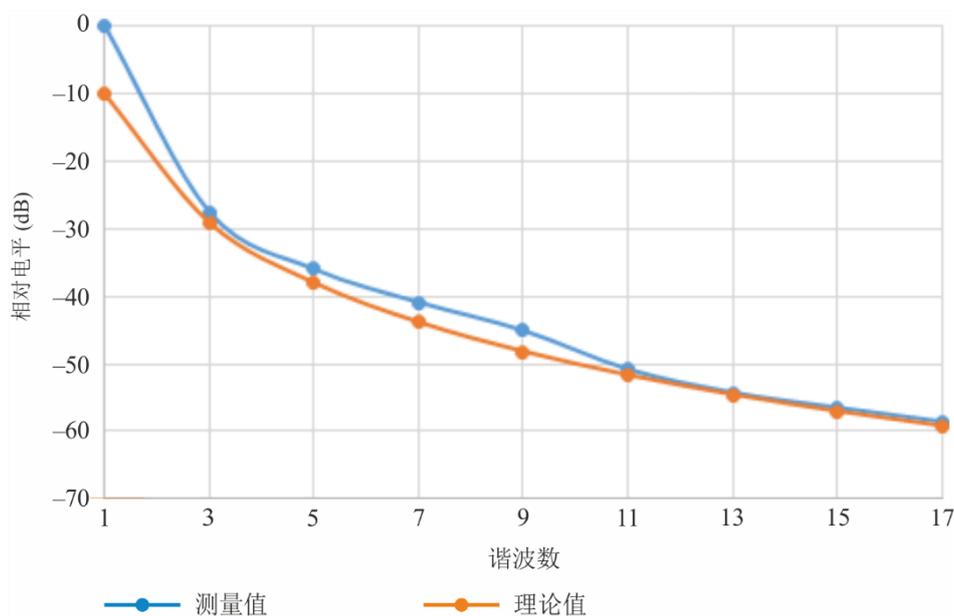
由于测量是在0.2 m而不是1.0 m的间隔下进行的，因此反立方定律规定该数字应除以125以进行比较：

$$H = 0.0015 \text{ A/m}$$

垂直于偶极子的点上的场是相同距离上但与偶极子成一直线的点上的一半。因此，这与先前的结果是合理一致的。

图17

充电器的相对谐波电平



M.2449-17报告

相对谐波电平的曲线如图17所示。已做归一化，如下所示：

- 基波成分已被设置为0 dB。
- 其余部分已减去 $20 \times \log n$ ，其中 $n$ 为谐波数。这是为了补偿线圈的比例频率特性。

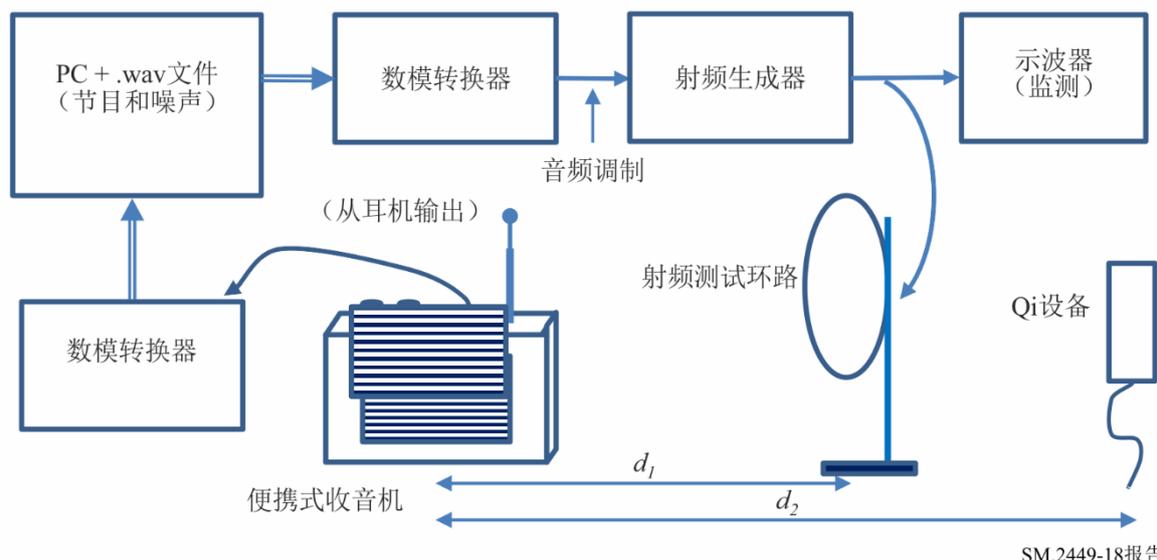
“理论”曲线假设每十则40 dB定律（ $1/n^2$ ）：自发射线圈的电感（由电压源驱动）为每十则20 dB，而自方波的谐波电平为每十则20 dB（作为驱动线圈的波形）。这看起来是一个合理的模型。（由于线圈将在该频率上谐振，因此这在基波上显然无效）。

以7次谐波为例，该电平比基波的低41 dB。假设基波的 $H$ 为0.00482 A/m，则这等于32.7 dB $\mu$ A/m，或者在1 m间隔处的等效电场约为84.2 dB $\mu$ V/m。

### 5.2.6 干扰电平评估

使用图18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18  
用于评估Qi@干扰的设置



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，对系统校准进行完整性检查。发生器设置为-3 dBm，源EMF为317 mV，标称场强为1.7 mV/m (90 dBμV/m)。而后磁场场强应为31.7 / 377 mA/m或38.5 dBμA/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):

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

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。

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

这与标称场强合理的一致。

<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。

### 5.2.6.1 距离乘法和屏蔽室的效果

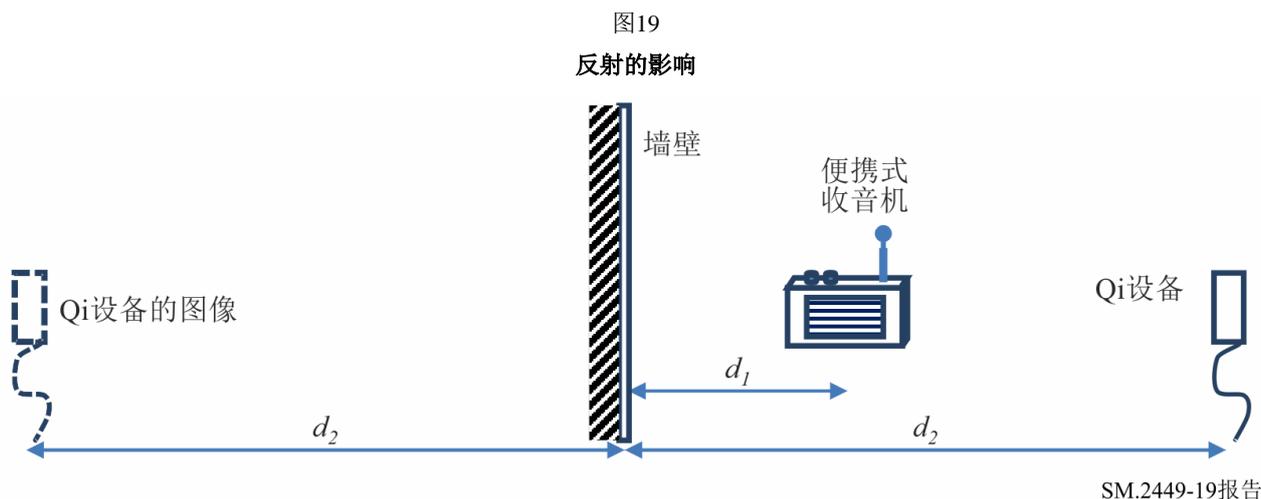
如前所述，在受害接收器处增加“有用”信号的电平可能有助于在更大距离上评估设备造成的干扰，即大于屏蔽室中可用的距离。假设参考接收器工作于60 dB $\mu$ V/m，并且干扰充电器在2 m外。根据反立方定律，如果距离减半至1 m，则干扰将增加18 dB。由此可见，如果有用信号也要增加18 dB，则对接收器输出的影响将完全相同。有两个附带条件：首先，系统内其他地方产生的任何噪声都需要保持在同一电平上（-26 dBu，参考30% AM）；其次，接收器内的自动增益控制需要使（有用）输出电平保持合理恒定。

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8  
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19所示。



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>：

$$\begin{aligned} \text{合成场强} &= 1 / (d_2 - d_1)^3 - 1 / (d_2 + d_1)^3 \\ \text{合成场强与直接场强之比} &= \{ 1 / (d_2 - d_1)^3 - 1 / (d_2 + d_1)^3 \} / 1 / (d_2 - d_1)^3 \\ &= 1 - \{ (d_2 - d_1) / (d_2 + d_1) \}^3 \end{aligned}$$

<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 $d_2$ 来校正。不过, 误差随着 $d_2$ 的增大而迅速增加。

### 5.2.6.2 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7次谐波。频率通常约为1 MHz, 但确实有所不同。

表9  
到目前为止的录音

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, 但频道外有干扰	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, 但频道外有干扰	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”产生频道干扰	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频道上。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, 频道外干扰几乎是听不见的, 但这将取决于频道外干扰的程度。

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。

### 5.3 非波束感应式WPT应用对业余业务的影响研究

#### 5.3.1 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要求的每十则40 dB的外推因子应用到-15 dB $\mu$ V/m @ 300 m后，关于非波束WPT设备的限值为44.08 @ 10 m。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10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。出于本研究的目的，假定保护标准为 $I/N - 6$  dB。

表10  
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

#### 5.3.2 仿真分析与结果

##### 5.3.2.1 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3 dB的建筑物入口损耗、第二次使用10 dB的建筑物入口损耗来说明不同的建筑材料。

图20  
单入口场景

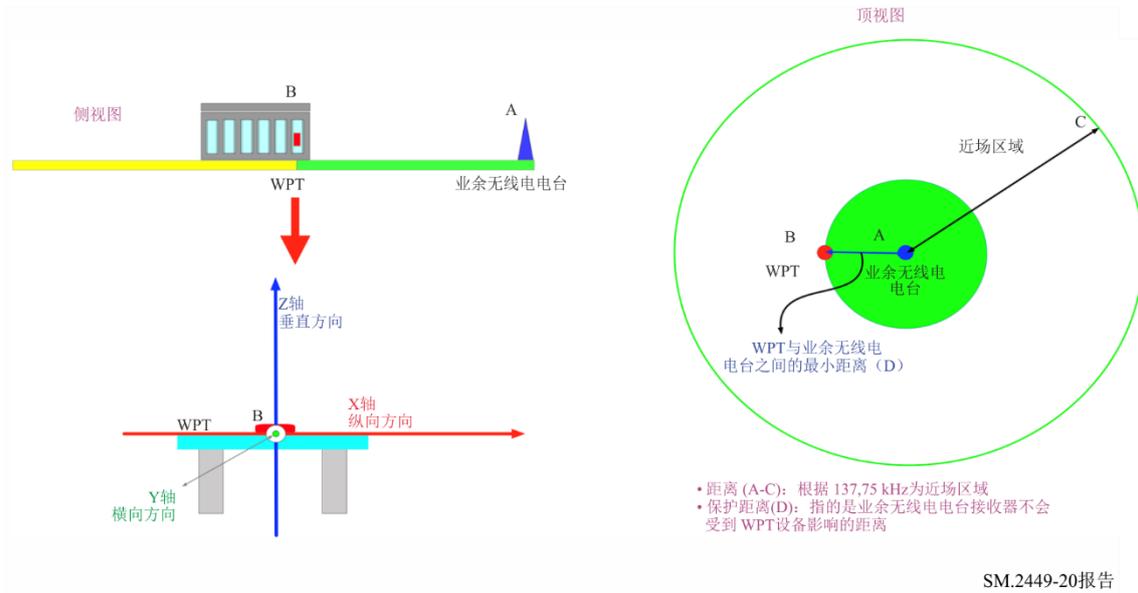
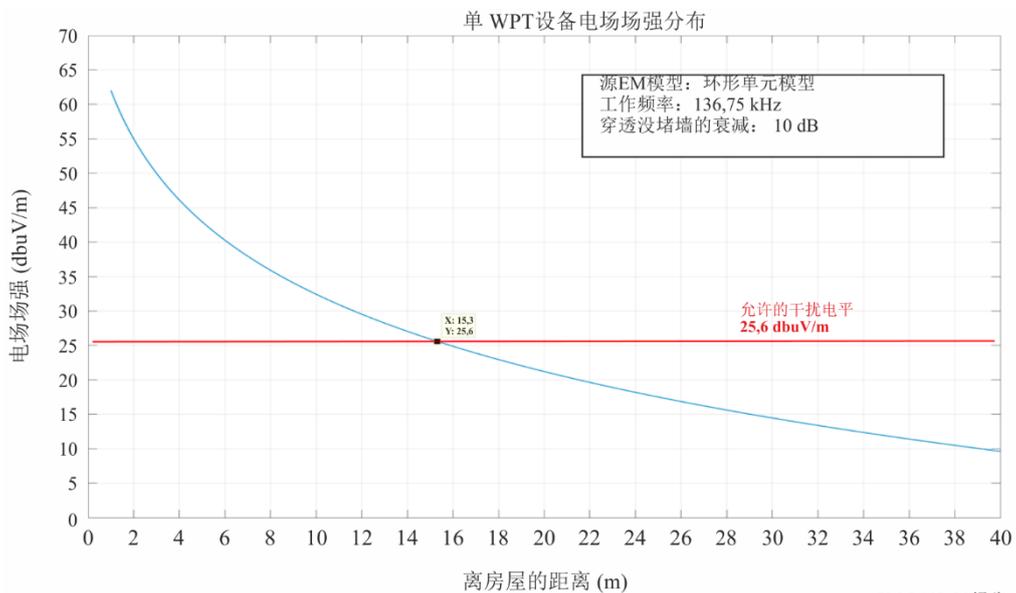


图21  
场景1的单入口分布



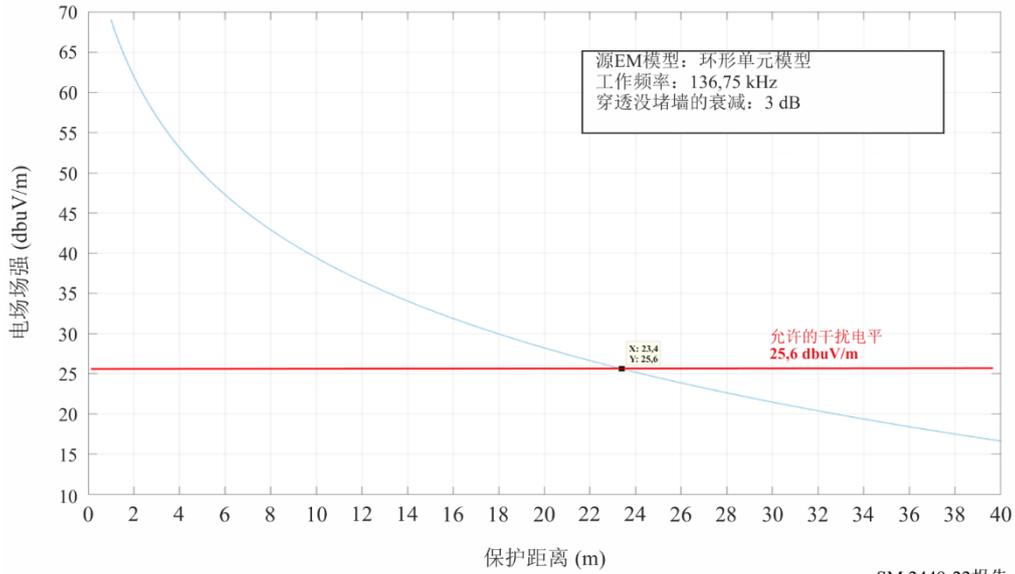
### 单入口场景1的结论

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显示，WPT设备应放置在业余电台接收器15.3 m开外。

图22

场景2的单入口分布

WPT设备电场场强分布



SM.2449-22报告

单入口场景2的结论

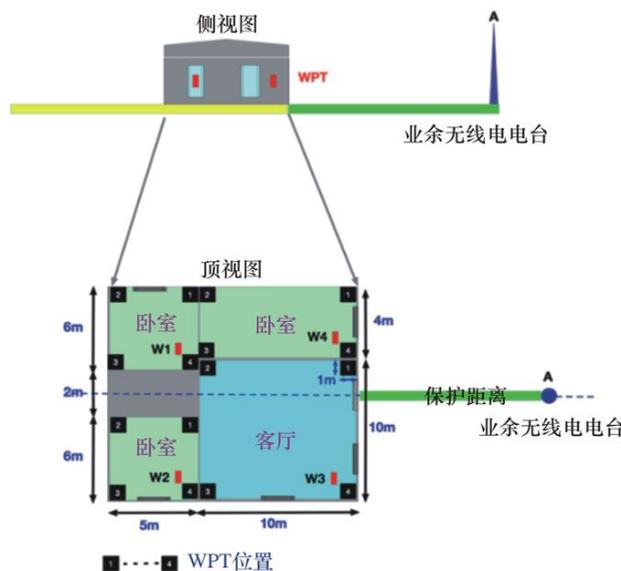
单入口场景2使用3 dB衰减来仿真木质建筑物结构的结果显示，WPT设备应放置在业余电台接收器23.4 m开外。

5.3.2.2 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或砖墙的影响，第二个场景使用3 dB来仿真木质结构。

图23

模型#1聚合场景的描绘



SM.2449-23报告

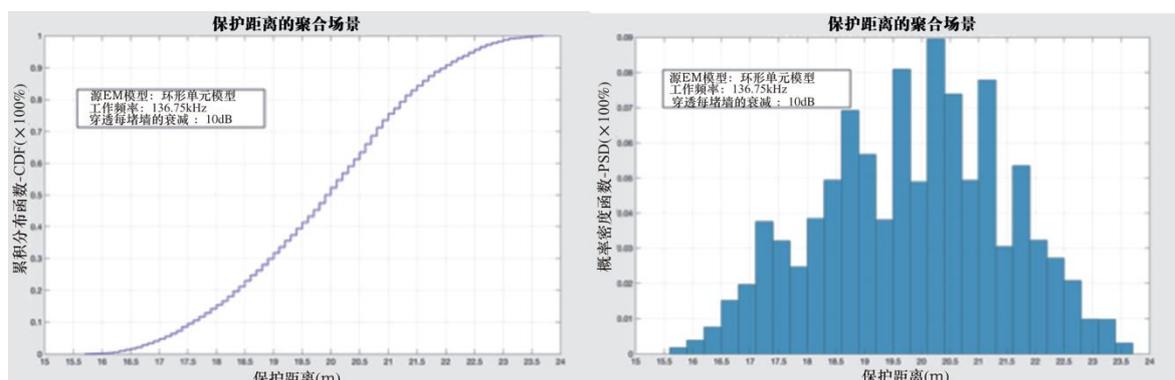
为了仿真不同的建筑物材料，评估了木质和混凝土墙壁的建筑物入口损耗，以确定保护距离。这些值包括在表11中。

表11  
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	6	20
WPT2	2	6	20
WPT3	1	3	10
WPT4	1	3	10

图24

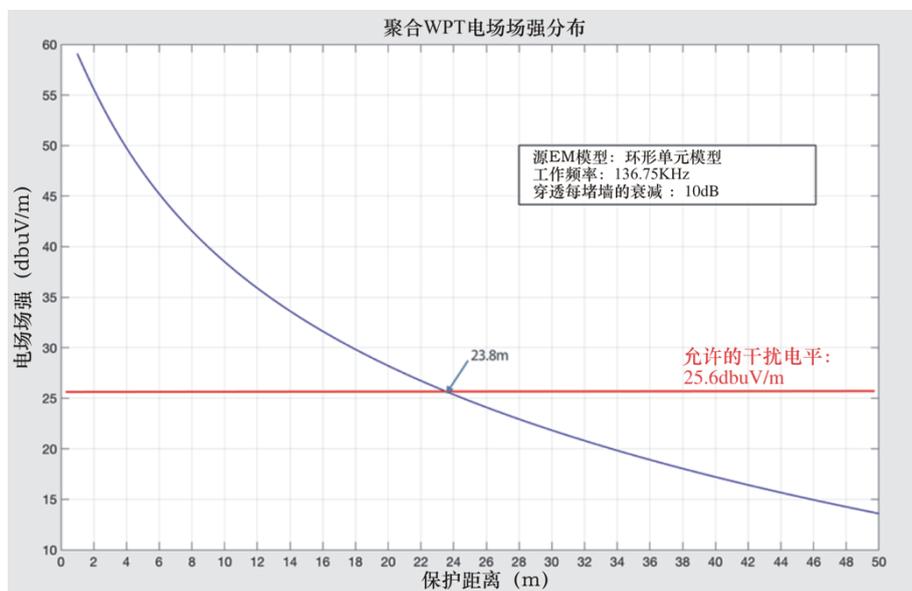
建筑物入口损耗为10 dB的仿真结果



SM.2449-24报告

图25

建筑物入口损耗为10 dB的聚合WPT电场场强



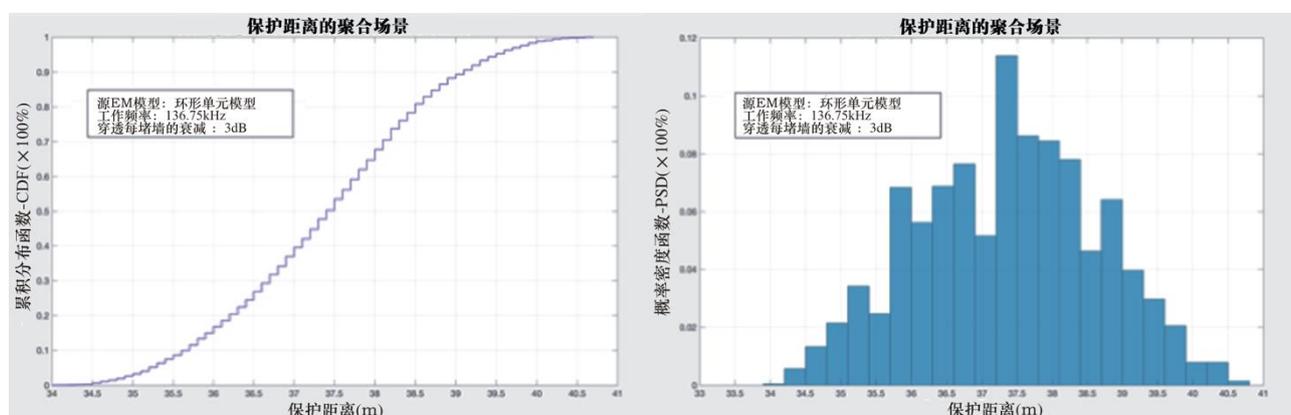
SM.2449-25报告

## 聚合仿真1的结论

根据混凝土墙壁的10 dB建筑物入口损耗，最小保护距离为15.5 m，最大保护距离为23.8 m。值的范围是WPT设备置于窗户附近的结果。当WPT设备置于窗户附近时，为最大距离23.8 m；当WPT设备置于内壁附近时，为最小距离15.5 m。

图26

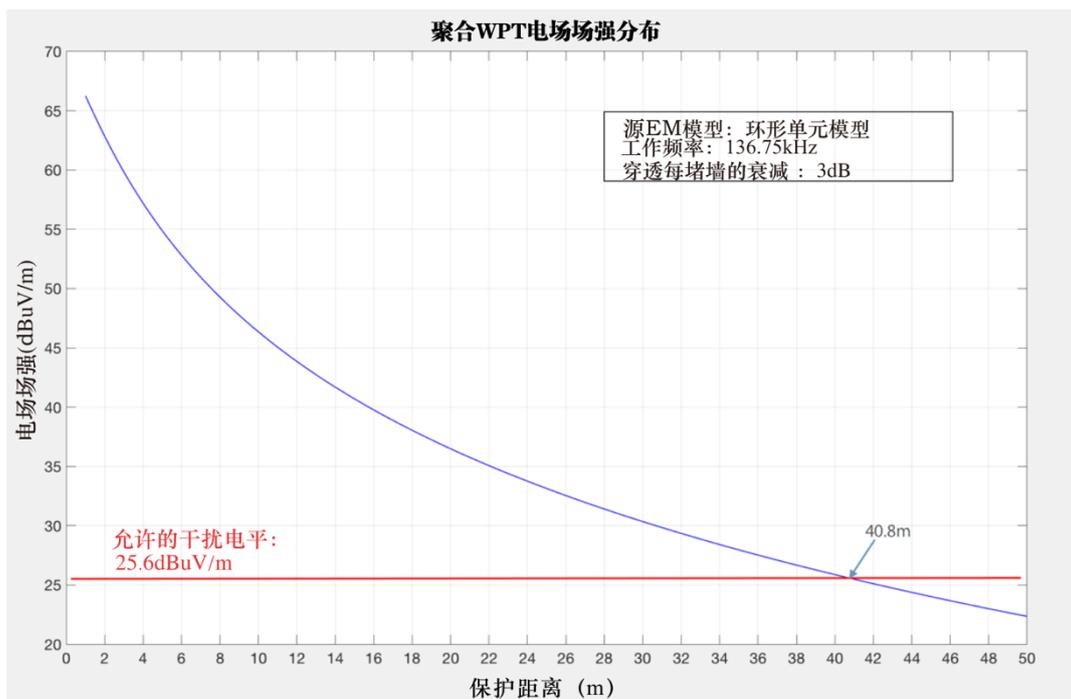
建筑物入口损耗为3 dB的仿真结果



SM.2449-26报告

图27

建筑物入口损耗为3 dB的聚合WPT电场场强



SM.2449-27报告

## 聚合场景2的结论

根据木质墙壁的3 dB建筑物入口损耗，最小保护距离为33.8 m，最大保护距离为40.8 m。值的范围是WPT设备置于窗户附近的结果。当WPT设备置于窗户附近时，为最大距离40.8 m；当WPT设备置于内壁附近时，为最小距离33.8 m。

### 5.3.3 结果概述

下面的表12概述了仿真结果。根据仿真结果，可以得出结论，当非波束式WPT移动充电设备置于接收器40.8 m开外时，它们不会影响业余业务接收器。

表12  
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	23.4
聚合场景1	25.6	23.8
聚合场景2	25.6	40.8

### 5.4 非波束感应式WPT应用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受害者系统，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28显示了供参考的示例。罗兰-C接收器位于船上。

图28  
非居住区的罗兰-C电台



SM.2449-28报告

#### 5.4.1 仿真参数

表13和表14是在仿真期间分别用于干扰器和受害者的参数。

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要求的每十则40 dB的外推因子应用到-15 dB $\mu$ V/m @ 300 m后，在10 m距离上，关于这些设备的限值为44.08 dB $\mu$ V/m @ 10 m。

用于近场和远场的传播模型包含在ITU-R SM.2028报告中。

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13

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 kHz
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)	10
传播模型	近场和自由空间传播模型

表14

受害者 – 罗兰-C接收器的参数假设

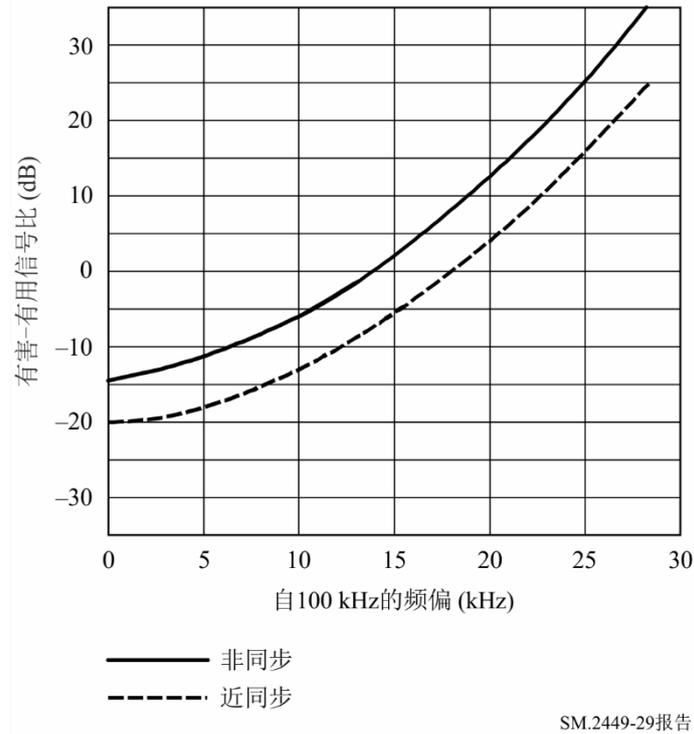
参数	细节
受害者系统	罗兰-C接收器
工作频率 (kHz)	100
带宽 (kHz)	20
天线方向图	棒状天线
罗兰-C电台发射器输出功率 (kW)	40
受保护的最低罗兰-C信号场强 (dB $\mu$ V/m)	45
保护标准 (I/S)	-20 dB

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29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29描绘了ITU-R M.589建议书中的干扰保护标准，下面的表15概述了以下使用的干扰参数。

图29

罗兰-C/CWI保护标准



SM.2449-29报告

表15

受害者 – 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@ 罗兰-C接收器 (dB $\mu$ V/m)
100 kHz	45	-20	25
110 kHz	45	-13	32

表16

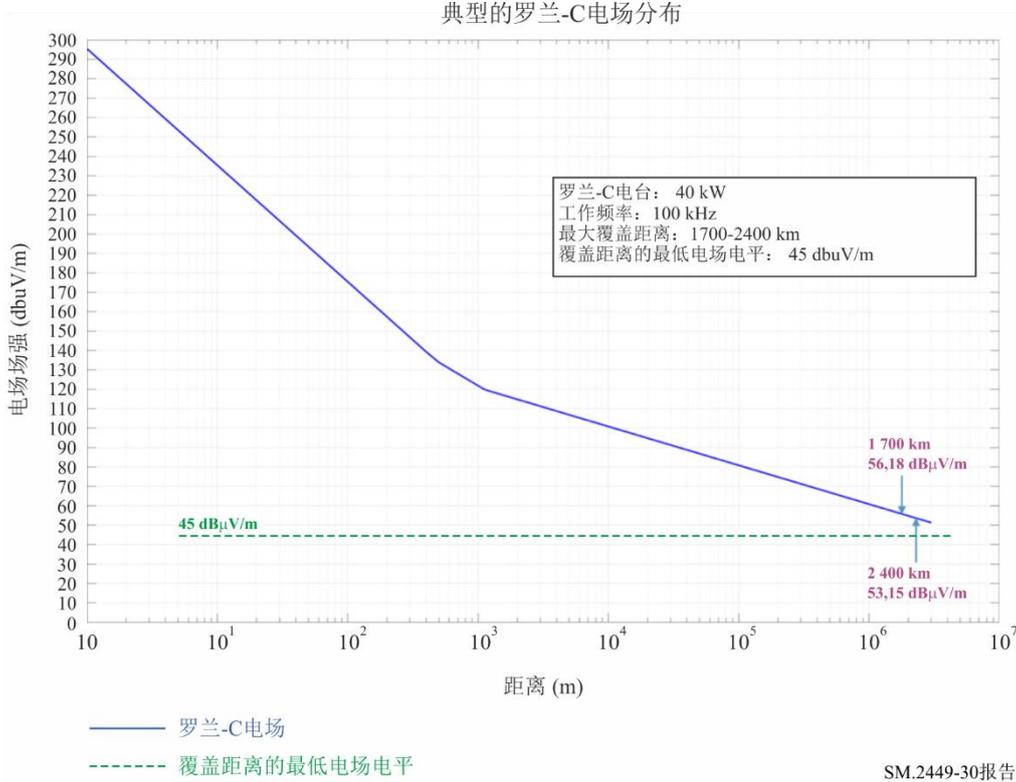
E/H比用于计算来自WPT设备的近场电场场强

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30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。

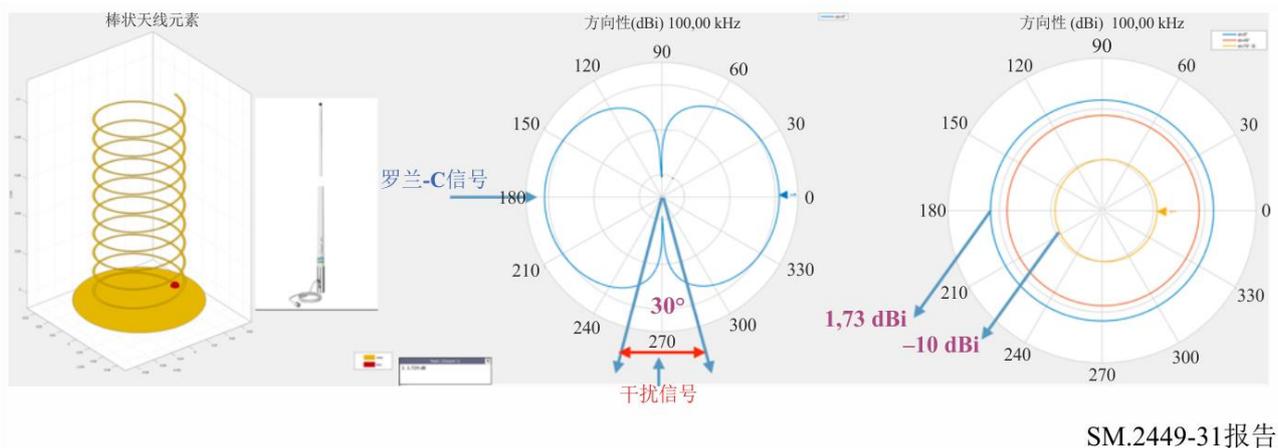
图30  
典型的罗兰-C电场分布



### 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31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31  
罗兰-C接收器天线增益



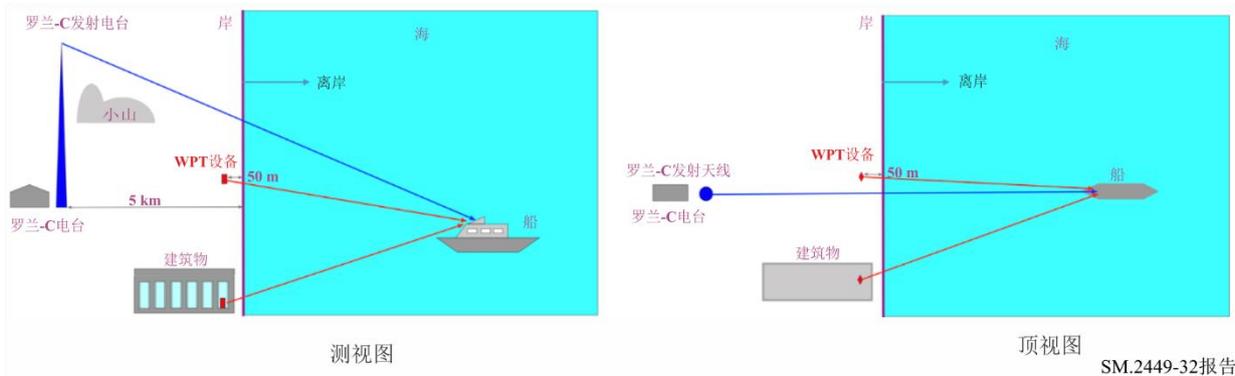
5.4.2 仿真场景和结果

5.4.2.1 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接收器是受害者，它安装在船上。

图32

罗兰-C接收器模型#1影响研究



SM.2449-32报告

图33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17

罗兰-C接收器的模型#1 – 单入口

参数	值
WPT电场场强 @ 300 m (dB $\mu$ V/m)	-15
WPT电场场强 @ 10 m (dB $\mu$ V/m)	44.08
WPT电场场强 @ 50 m (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
罗兰-C信号强度 (dB $\mu$ V/m) @ 海岸	>110
余量 (dB)	>80

图33

罗兰-C接收器的模型#1 - 单入口场景

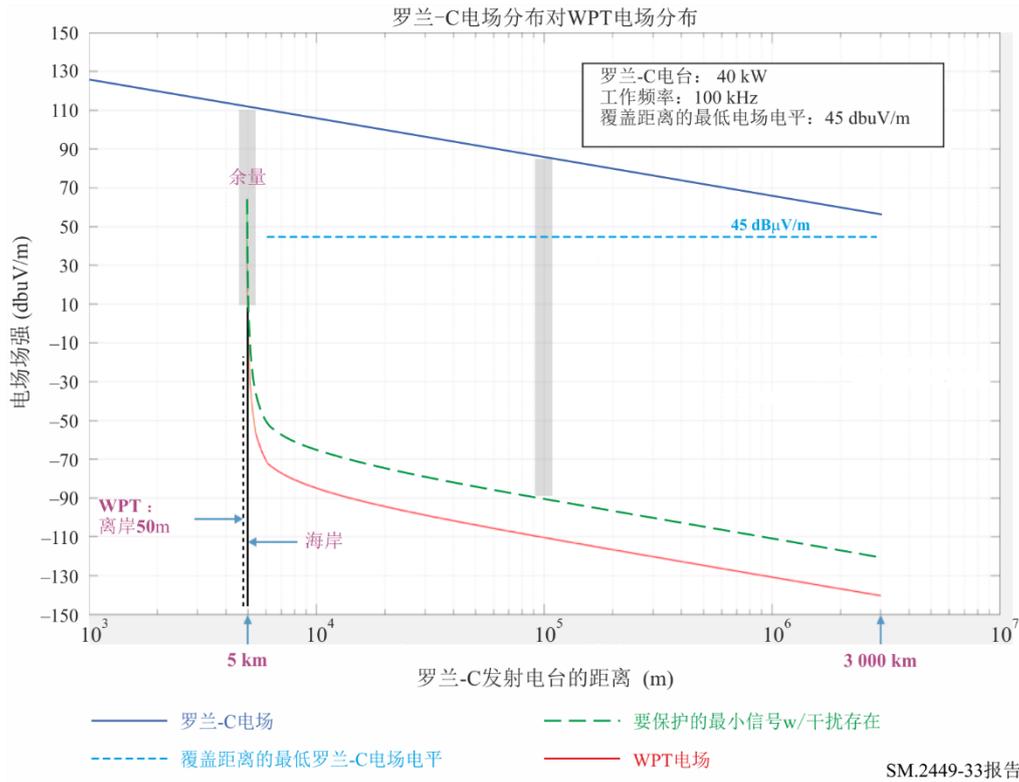
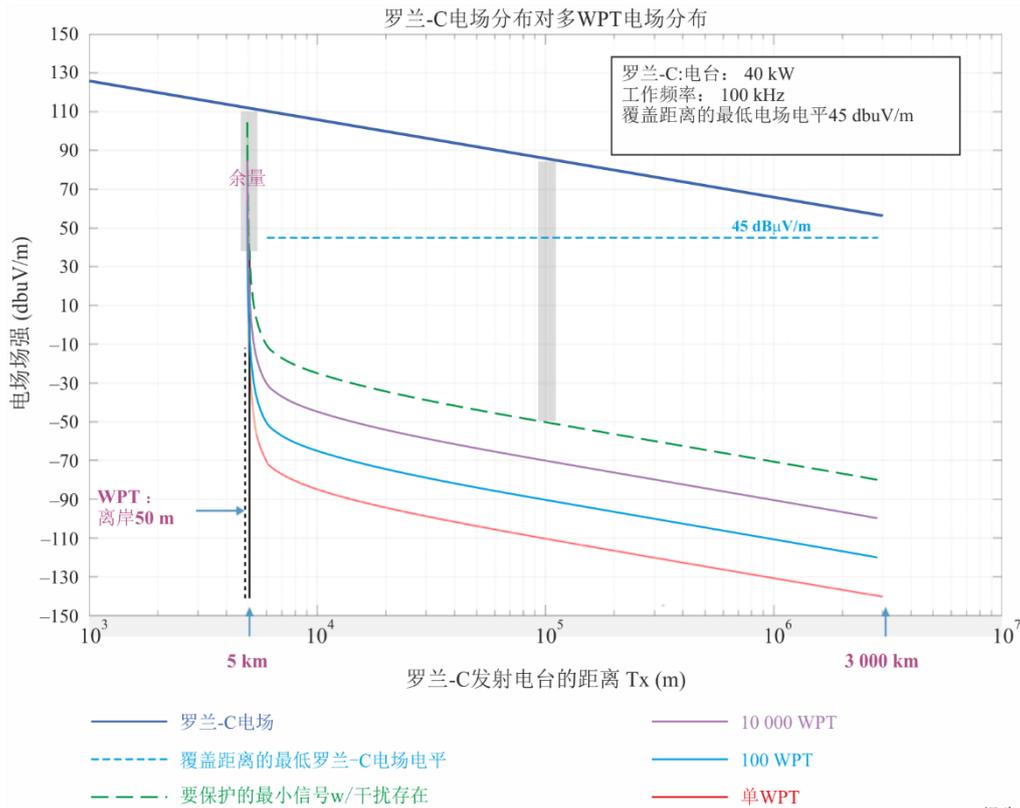


图34是不同聚合情况的合并数据。该图描绘了同时运行的100和10 000个活动WPT设备的电场信号电平。当10 000个活动的WPT设备同时工作于100 kHz时，要保护的信号（100个设备66 dB $\mu$ V/m和10 000个设备的106.12 dB $\mu$ V/m）与罗兰-C发射器的电场场强之间存在3.88 dB的余量，它在岸上大于110 dB $\mu$ V/m。

图34

罗兰-C接收器的模型#1 – 聚合场景



5.4.2.2 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16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14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18包含模型#2单入口场景的输入参数和仿真结果。仿真结果显示，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18

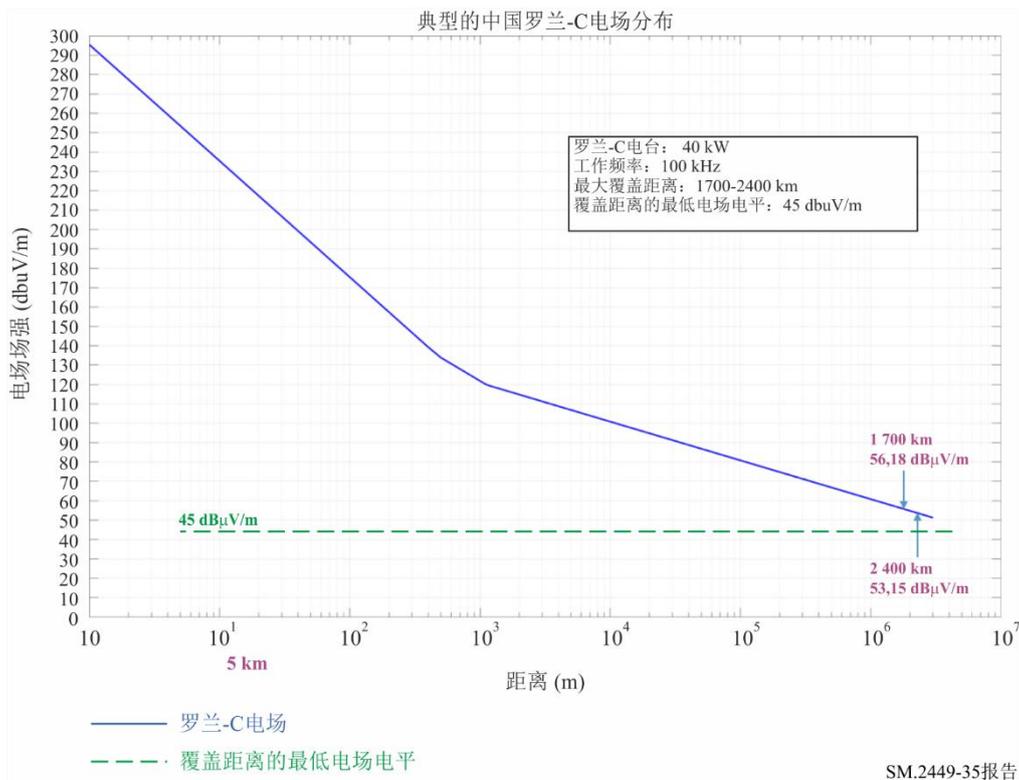
罗兰-C接收器的模型#2 – 单入口

参数	值
WPT电场场强 @ 300 m (dB $\mu$ V/m)	-15
WPT电场场强 @ 10 m (dB $\mu$ V/m)	44.08
建筑物入口损耗 (dB)	10
带建筑物入口损耗的WPT电场场强 @ 10 m (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35是模型#2单入口场景的合并数据。该图描绘了表18中所含的保护距离结果。

图35

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36所示。表19包含了聚合场景下的输入参数。

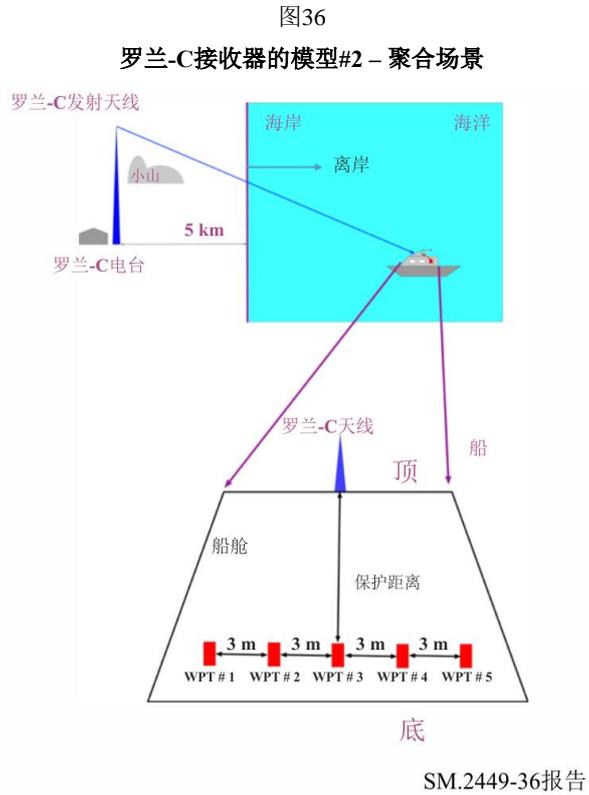


表19

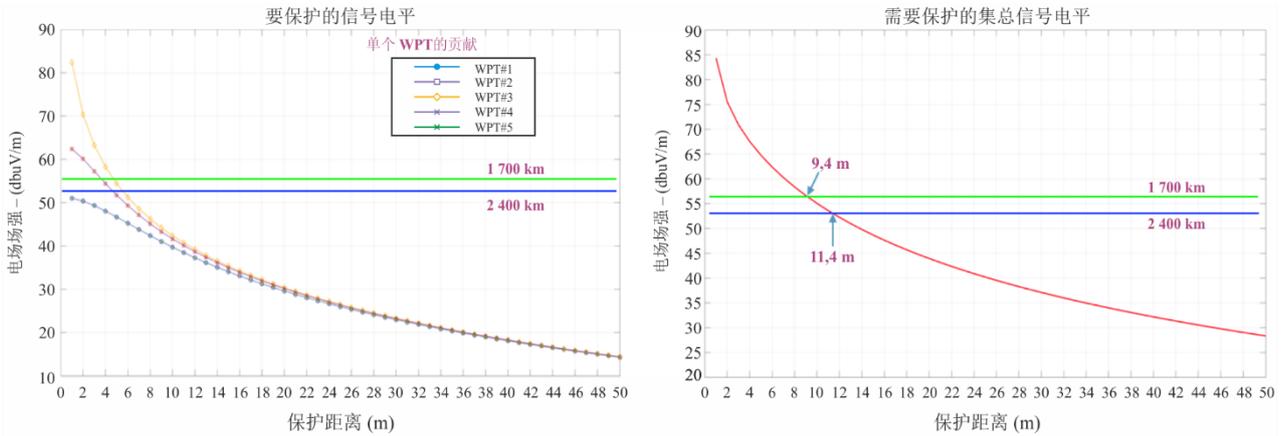
罗兰-C接收器的模型#2 – 聚合场景

参数	值
活动的WPT设备的数量	5
WPT电场场强 @ 300 m (dBμV/m)	-15
WPT电场场强 @ 10 m (dBμV/m)	44.08
建筑物入口损耗 (dB)	10
带建筑物入口损耗的WPT电场场强 @ 10 m (dBμV/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 (dBμV/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 (dBμV/m)	53.13
2 400 km覆盖距离需要的保护距离 (m)	11.4

图37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37

罗兰-C接收器模型#2的影响研究 – 聚合信号电平



SM.2449-37报告

### 5.4.3 结果摘要

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。

## 5.5 非波束感应式WPT应用对航空无线电导航业务的影响研究

### 5.5.1 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要求的每十则40 dB的外推因子应用到-15 dB $\mu$ V/m @ 300 m后，关于非波束WPT设备的限值为44.08 @ 10 m。建模用于近场传播。

ITU-R内的负责组为分析影响提供了基础，如下面的表20所示。

表20

自动测向 (ADF) /非定向信标 (NDB) 允许的干扰限值

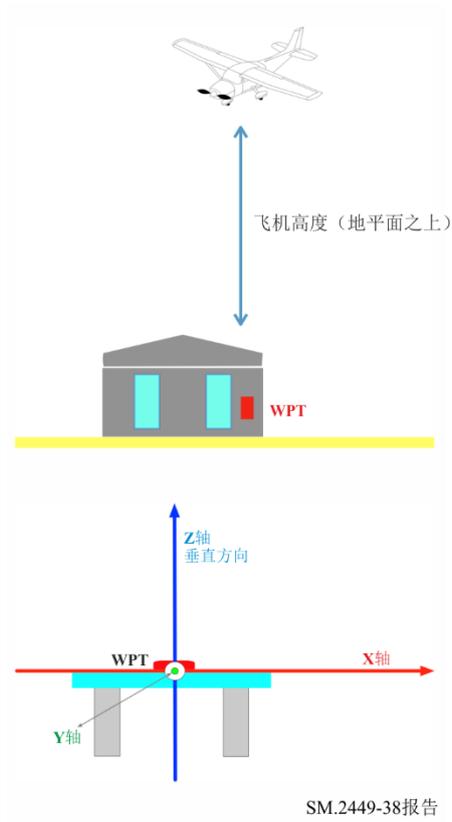
业务	频率范围 (kHz)	ADF/NDB接收器带宽 (kHz)	允许的干扰限值 (dB $\mu$ V/m)
航空无线电导航	130-535	2.7	21.9

## 5.5.2 仿真场景和结果

### 5.5.2.1 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38  
单入口场景



SM.2449-38报告

图39  
单入口电场与地平面之上高度 (m)

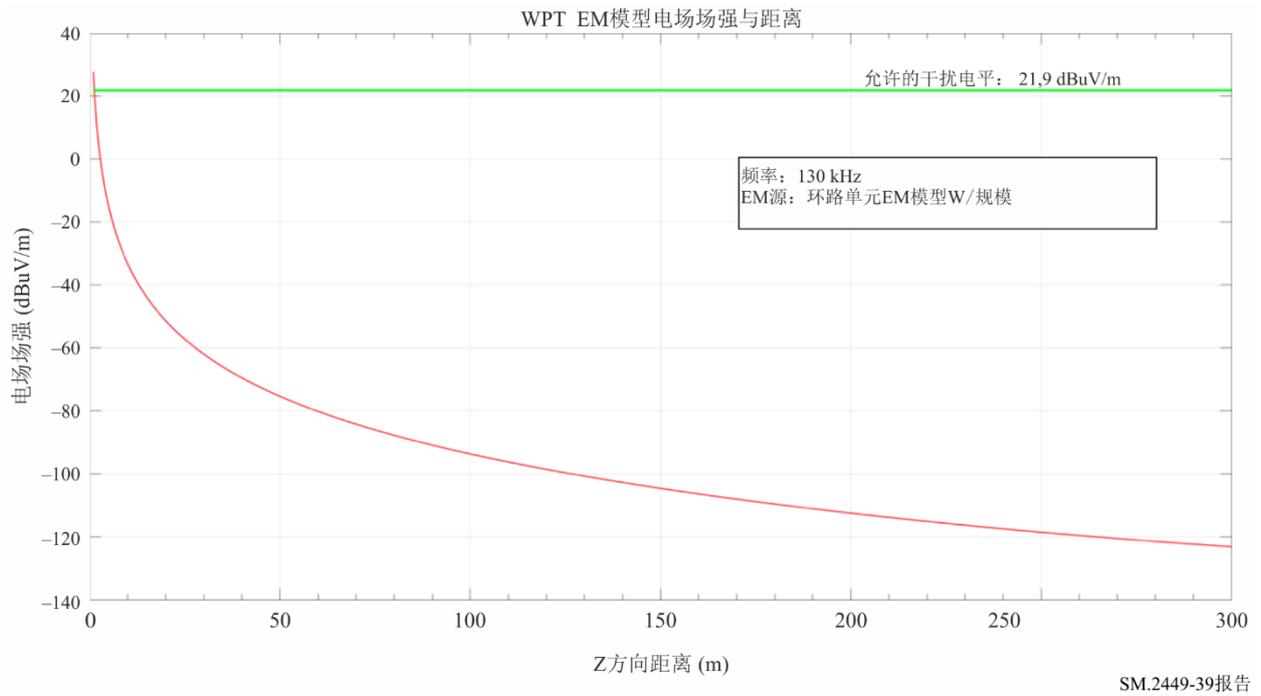
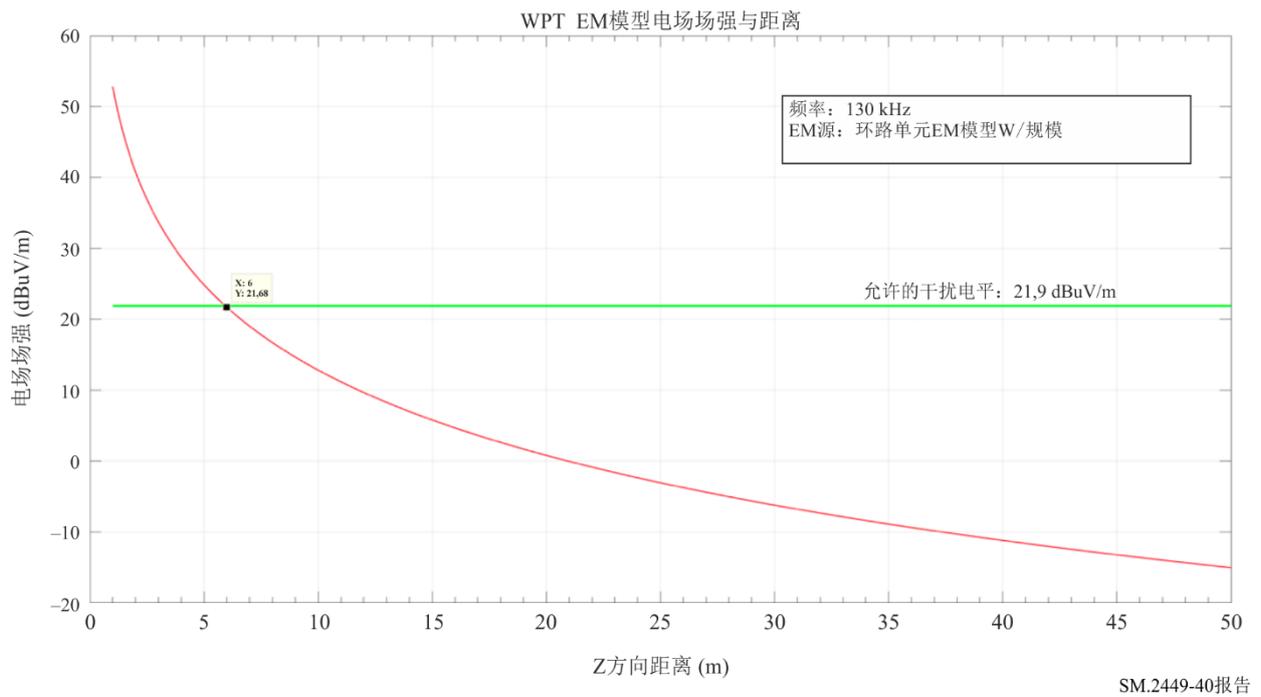


图40  
单入口电场与地平面之上高度 (m) (放大)



## 单入口场景的结论

单入口场景的结果表明，对ADF接收器的影响在距离小于6 m的情况下低于阈值。计算中未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。

### 5.5.2.2 聚合场景

聚合场景考虑了WPT设备在 $150\text{ m} \times 150\text{ m}$ 正方形内各相距3 m。这代表一个 $50 \times 50$  WPT设备的阵列。对不同的活动水平进行了仿真。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（ $\approx 150\text{ m}$ ），以及在城市地区之上的1 000英尺（ $\approx 300\text{ m}$ ）。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41  
聚合场景描述

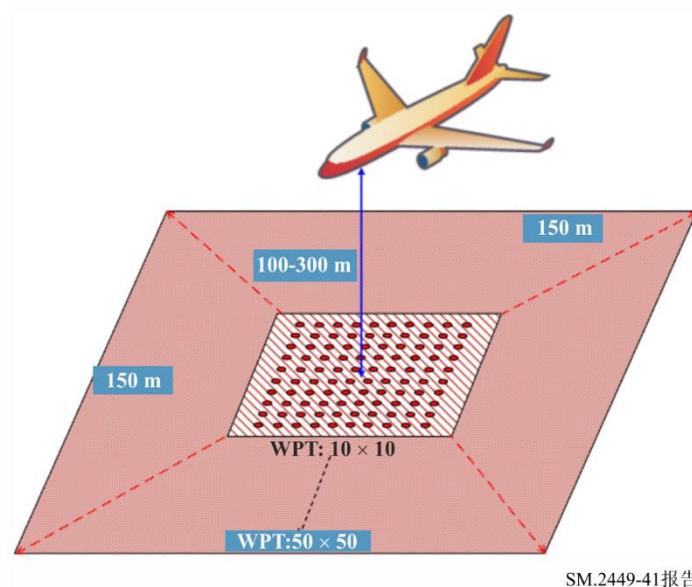
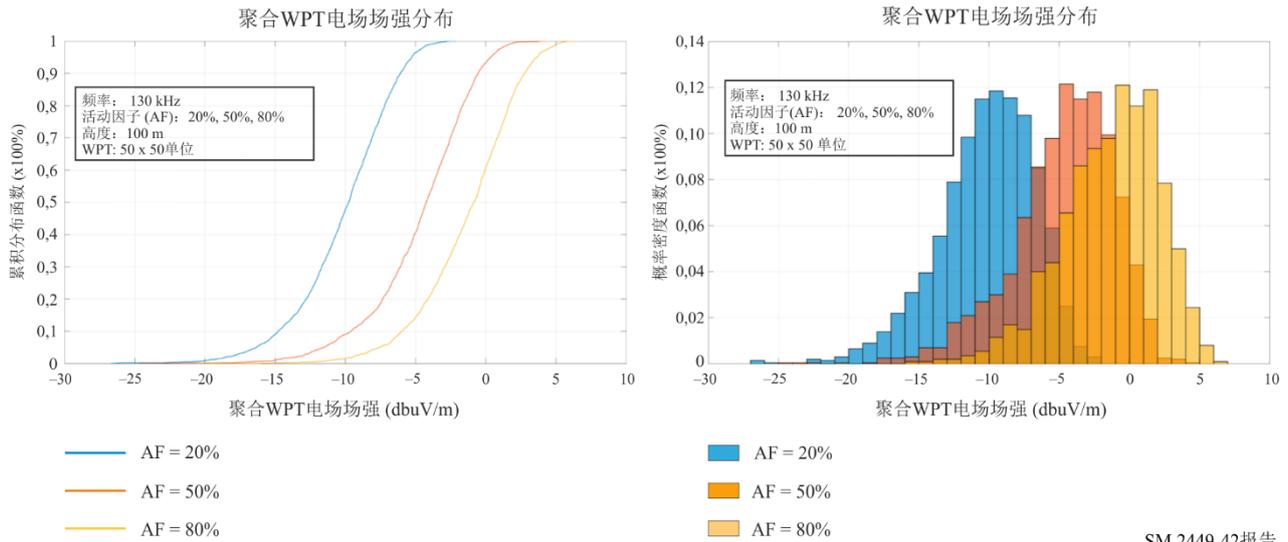


图42显示了飞机高度为100 m时的结果。

图42

## 聚合WPT辐射电场分布（飞机高度100m）



SM.2449-42报告

活动因子	最大 (dB $\mu$ V/m)	平均 (dB $\mu$ V/m)	标准	最高允许干扰 (dB $\mu$ V/m)	余量/间隔 (dB)
20%	-2.1	-10.2	3.4	21.9	24.0
50%	4.4	-4.7	3.6	21.9	17.5
80%	6.5	-1.3	3.5	21.9	15.4

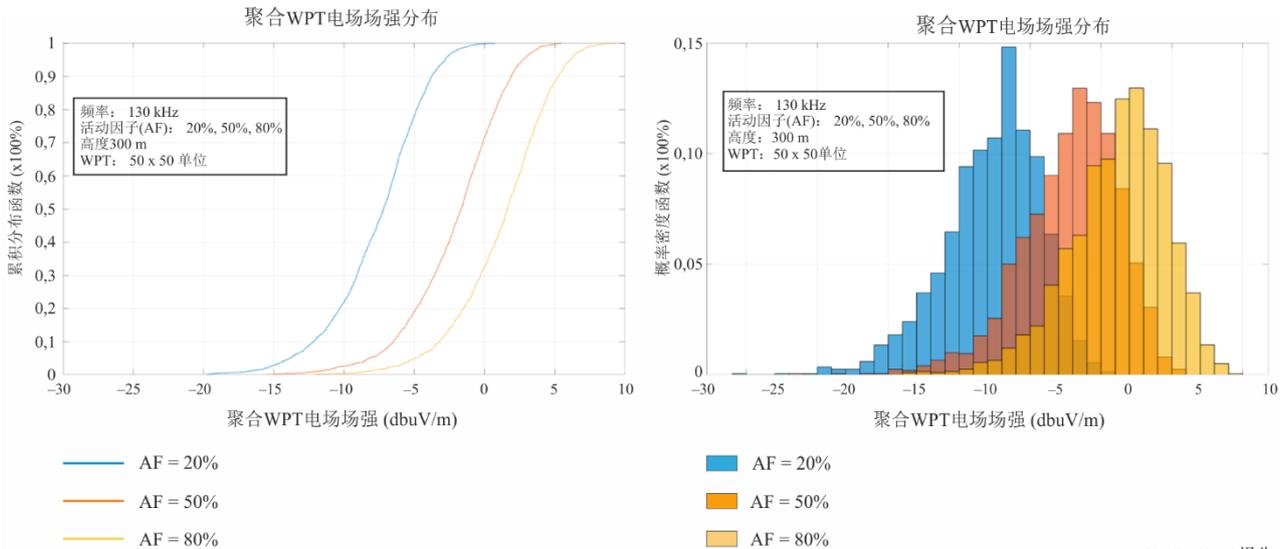
## 飞机高度为100 m时的结论

仿真表明，即使在80%的活动因子下，最大的计算场强也比最大允许干扰小15.4 dB。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。

图43显示了飞机高度为300 m时的结果。

图43

聚合WPT辐射电场分布（飞机高度300 m）



SM.2449-43报告

活动因子	最大 (dBμV/m)	平均 (dBμV/m)	标准	最高允许干扰 (dBμV/m)	余量/间隔 (dB)
20%	-24.3	-32.7	3.4	21.9	46.2
50%	-19.5	-27.1	3.4	21.9	41.4
80%	-15.7	-23.8	3.5	21.9	37.6

### 飞机高度为300 m时的结论

仿真表明，即使在80%的活动因子下，最大的计算场强也比最大允许干扰小37.6 dB。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。

### 5.5.3 结果概述

仿真表明，用于移动和便携式设备的WPT充电器的电场不会影响ADF/NDB信号的接收。计算/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。

## 6 结论

发射建模和测量用于分析移动和便携式设备的WPT对无线电通信业务的影响。该报告分析了对调幅广播、业余无线电电台和航空无线电导航（ADF/NDB）的干扰影响。工作于100-148.5 kHz频率范围的、用于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适当的距离，以免造成干扰。对于调幅广播，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：所需的间隔距离可以更大。对于业务无线电业务，该距离视场景而定，在15.3 m与40.8 m之间。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小安全飞行高度（参见第5.5.2.2节）。

## 附件1

## 参考文献

ITU-R文件和编号	ITU-R文件标题
GE75区域计划协议	
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频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 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 SM.2110建议书	非波束无线电力传输（WPT）系统的操作频率范围
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文件和编号	ITU-R文件标题
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电力传输

## 附件2

### 缩略语

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
FCC	联邦通信委员会
NDB	非定向信标
EV	电动汽车
ISM	工业、科学和医疗（应用）
LF	低频
WPT	无线电力传输