

ITU-R SM.2303-4报告

(06/2023)

SM系列： 频谱管理

利用非射频波束技术进行无线充电

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，在此处也可获取《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 报告系列	
(可同时在以下网址获得: https://www.itu.int/pub/R-REP/zh)	
系列	标题
BO	卫星传输
BR	用于制作、存档和播放的记录；用于电视的胶片
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电测定、业余无线电以及相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调
SM	频谱管理
TF	时间信号和标准频率发射

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.2303-4报告
利用非射频波束技术进行无线充电

(ITU-R 210-4/1号课题)

(2014-2015-2017-2021-2023年)

目录

页码

1	引言	6
2	为利用WPT技术而开发的应用	6
2.1	便携设备和移动设备	6
2.2	家用电器和后勤物流应用	7
2.3	电动汽车	8
3	WPT应用中使用或附带的技术	10
3.1	便携设备和移动设备	10
3.2	家用电器	15
3.3	电动汽车	16
3.4	用于机器人和AGV	18
4	世界WPT标准化状况	19
4.1	国家标准制定组织	19
4.2	国际和组织	21
5	频谱状况	28
5.1	WPT、ISM与短程设备射频频段之间的区别	28
5.2	用于国家级WPT的非ISM频段	29
5.3	用于国家级WPT的ISM频段	30
6	各国法规示例	33
6.1	韩国	33
6.2	日本	34
6.3	中国	40
7	对WPT与无线电通信业务之间的影响研究	40

7.1	一些主管部门的研究结果和正在进行的活动	40
7.2	WPT通用研究和对广播业务影响的结果	52
7.3	WPT的 100/110-300 kHz频率范围	64
7.4	用于移动和便携设备WPT的300-405 kHz频率范围	64
7.5	用于移动和便携设备WPT的1 700-1 800 kHz频率范围	64
7.6	用于移动和便携式设备WPT的2 000-2 170 kHz频率范围	64
7.7	WPT的6 765-6 795 kHz频率范围	64
7.8	对标准频率和时间信号服务的影响	65
7.9	CEPT保护业务免受感应式SRD应用辐射的经验	66
8	小结	66
9	参考文献	67
	附件1 – 各组织和主管部门的射频照射评估导则	68
	附件2 – 使用6 765-6 795 kHz ISM频段为移动设备充电的示例	73
	附件3 – WPT系统辐射噪声和传导噪声的测量数据	75
1	引言	75
2	测量模型和测量方法	75
2.1	用于电动汽车充电的WPT系统	76
2.2	移动设备、便携设备和家用电器	79
3	BWF设置的目标辐射限度	80
3.1	电动汽车充电WPT系统的限度	81
3.2	使用磁共振技术的移动设备和便携设备的限度	81
3.3	使用磁感应技术的家用电器的限度	82
3.4	使用电容耦合技术的移动设备和便携设备的限度	82
4	辐射噪声和传导噪声的测量结果	83
4.1	用于电动汽车充电的WPT系统	83
4.2	利用磁共振技术的移动设备和便携设备	88
4.3	利用磁感应技术的家用电器	92
4.4	利用电容耦合技术的移动设备和便携设备	96

附件4 – 未使用.....	99
附件 5 – WPT电磁干扰的测试结果	100
5.1 引言	100
5.2 一般测量布局和条件	100
5.3 辐射限度	101
5.4 电磁干扰	101
附件6 – 广播规划.....	105

缩写和首字母缩略语

A4WP	无线充电联盟
AFA	AirFuel联盟
AGV	自动导引车
AHG	特设小组
APT	亚太电信组织
ARIB	无线电产业和商业协会（日本）
ATS	自动列车停靠系统
AWG	APT无线小组
BBC	英国广播公司
BWF	宽带无线论坛（日本）
CATR	中国电信研究院
CCSA	中国通信标准协会
CE	消费电子产品
CENELEC	欧洲电工技术标准化委员会
CEPT	欧洲邮政和电信管理会议
CISPR	国际无线电干扰特别委员会
CJK	中国 - 日本 - 韩国
CTA	消费者技术协会
DGPS	差分全球定位系统
DoC	合规性声明
DRL	剂量参考限值
DRM	全球数字广播

EBU	欧洲广播联盟
ECC	欧洲消费者中心
EDM	放电加工
EMC	电磁兼容性
EMI	电磁场
EMI	电磁干扰
ENAP	EN认证程序
ERC	欧洲无线电通信委员会
ERL	暴露参考水平
ETSI	欧洲电信标准协会
ETSI TC ERM	ETSI技术委员会（TC）EMC和无线电频谱事务（ERM）
EV	电动汽车
FCC	联邦通信委员会（美国）
ICNIRP	国际非电离辐射防护委员会
IEC	国际电工委员会
IEEE	电气和电子工程师协会
IS	国际标准
ISM	工业、科学和医疗
ISO	国际标准化组织
ITRS	感应火车无线电系统
ITU-R	国际电联无线电通信部门
ITU-T	国际电联电信标准化部门
JARI	日本汽车研究所
JTC	联合技术委员会
KAIST	韩国科学技术高级研究所
KATS	韩国技术和标准局
KWPF	韩国无线充电论坛
LCC	电感（L）电容（C）电容（C）匹配拓扑
LCD	液晶显示器
LDC	低压DC/DC转换器
LED	发光二极管
LF	低频
LORAN	远程导航
MF	中频
MF-WPT	磁场无线充电

MIC	内务和通信省（日本）
MIIT	工业和信息化部（中国）
MSIT	科学技术信息通信部（韩国）
NAVDAT	导航数据
NAVTEX	导航电传
OLEV	在线电动汽车
OOB	带外
PAS	公开提供的规范
PFC	功率因子校正
PHEV	插电式混合动力电动汽车
PMA	电力事务联盟
PR	保护率
RED	无线电设备指令
RF	射频
RFI	射频干扰
RR	无线电规则
RRA	国家无线电研究机构（韩国）
SAC	中国国家标准化管理委员会
SAE	汽车工程师协会
SAR	比吸收率
SCRD	标准时钟无线电设备
SDO	标准制定组织
SMFIR	共振中的成形磁场
SMPS	切换模式供电
SRD	短距离设备
TC	技术委员会
TCAM	电信合规性评估和市场监管委员会
TELEC	电信工程中心（日本）
TG	任务组
TIR	技术信息报告
TTA	电信技术协会（韩国）
WD	工作文件
WG	工作组
WHO	世界卫生组织
WPC	无线充电联盟

WPS	无线电源
WPT	无线充电
WPT-WG	无线充电工作组
WRC	世界无线电通信大会

1 引言

本报告提供了有关使用非射频波束技术的无线充电（WPT）的信息，部分回答了ITU-R 210-4/1号课题的问题。

本报告包括有关国家法规的信息，但这一信息不具有国际规则影响，仅提供上述国家的经验，仅反映这些国家的观点。

本报告谈及有关带外辐射的频率范围和相关的潜在水平，在ITU-R内，尚未得到同意，有待进一步研究，以确定它们是否能够依据共存信道、邻近信道以及邻近频段准则，为无线电通信业务提供保护。本报告概述了当前的研发工作以及在某些区域正在开展的工作。

自19世纪以来，人类就着手开发无线充电技术了，它起步于感应技术。自2006年美国麻省理工学院（MIT）在非波束无线充电技术方面取得创新以来，无线充电（WPT）技术的开发“百花齐放”，例如，利用射频波束技术进行充电、利用磁场感应技术进行充电、利用共振传播技术进行充电等。WPT的应用正向移动设备与便携设备、家用电器与办公设备以及电动汽车等领域扩展，增加了许多新的特性，如自由放置充电设备等，一些技术要求可同时供多个设备充电。今天，感应式WPT技术正得到广泛的商业应用。如今，共振式WPT技术正走向消费市场。汽车工业期待WPT技术在不久的将来能够走入电动汽车（EV）应用领域。

对适合WPT以便获得所需传输功率水平和功率效率的频率、适用的线圈/天线物理尺寸等大都已有规定。不过，现在正在对WPT与现有无线电系统共存等问题开展仔细研究，并指出，许多问题有待及时解决。一些国家以及无线电相关的国际组织正在探讨引入WPT技术所需的无线电规则。一些讨论结果以及目前正在进行的讨论现在都是公开的，以便大家共享。

有关非波束无线充电（WPT）最重要的信息可见：

- ITU-R SM.2110建议书 – 电动汽车非波束无线充电操作频率范围指南；
- ITU-R SM.2129建议书 – 移动和便携设备非波束无线充电系统操作的频率范围指南；
- ITU-R SM.2449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充电的技术特性和影响分析；
- ITU-R SM.2451报告 – 评估用于电动车充电的无线充电对无线电通信业务的影响。

2 为利用WPT技术而开发的应用

2.1 便携设备和移动设备

2.1.1 针对移动电话和便携式多媒体设备等移动设备的感应式WPT

感应式WPT利用感应技术，用在以下应用中：

- 移动设备和便携设备：手机、智能手机、平板电脑、笔记本电脑；

- 视听设备：数码相机；
- 商用设备：手持式数字工具、桌面系统；
- 其它：照明设备（如LED）、机器人、玩具、车载设备、医疗设备、保健设备等。

这种类型的某些技术可能需要准确的、相对电源的设备定位。一般来说，待充电的设备应与电源接触，如电源托盘。假设运行中的辐射功率范围为几瓦到几十瓦。

2.1.2 针对移动电话、智能手机、平板电脑和便携式多媒体设备等移动设备的共振式WPT

共振式WPT利用共振技术，比感应技术有更大的空间自由。对任何不带校准技术的定向（x-y和z），共振技术用在以下应用中：

- 手机、智能手机、平板电脑、笔记本电脑、可穿戴设备；
- 数码相机、数字摄像机、音乐播放器、便携式电视；
- 手持式数字工具、桌面系统、照明设备（如LED）、机器人、玩具、车载设备、医疗设备、保健设备等。

附件2描述了这种类型WPT技术的一个例子。

2.2 家用电器和后勤物流应用

对便携式和多媒体设备，该应用可能需要WPT类似的特性和问题。不过，通常它们利用比之更高的功率。因此，在一些国家可能需要额外的规则依从性。

随着消费电子产品（CE）电器如大屏幕电视之工作功率的提高，WPT对这些产品需要更高的充电功率，即100 W以上，在一些国家，在当前的监管类别和无线电政策下，这可能不会获得认证。

根据家用电器和WPT后勤物流应用的类型，可以采用磁感应和磁共振方法。应用如下：

- 家用电器应用：家用电器、家具、炊具、搅拌器、电视、小型机器人、视听设备、照明设备、医疗设备等。
- 后勤物流应用：后勤物流仓库中的储料器、医疗设备、LCD和半导体生产线的架空传送线、自动引导车辆（AGV）系统等。

根据应用设备的消耗功率，工作功率有望在几百瓦到几千瓦的范围内。考虑到射频辐射、系统性能和相关要素，适当的频段应在6780 kHz以下。

2.2.1 家用电器

正在开发无线电力家用电器，作为厨房电器中感应加热器的一种替代品，一些外部标准化组织计划发布有关无线电力厨房电器的标准（如无线充电联盟¹的Ki v1.0）。一些公司已经在贸易展览会上展示了原型产品，但商业产品尚未上市。随着应用WPT的家用电器变得日益多样化，CISPR和其他标准制定组织（SDO）正在讨论EMC和EMF评估的测量方法。图1展示了配备无线供电设备的厨房电器示例。它包括一个食品加工机，一个搅拌机和电饭

¹ 无线充电联盟（WPC）的描述见第4.2节表2。

煲等。图1是2022年5月9日至11日在俄亥俄州Vandalia的Exhibit Concepts公司总部举行的Mini CES的展览现场。

图1
WPC厨房用具样机展示

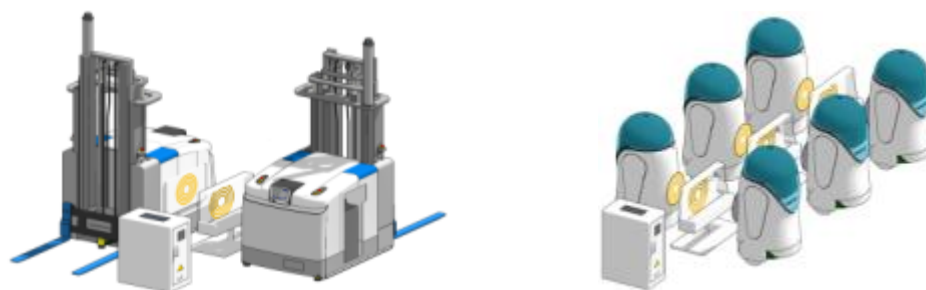


2.2.2 物流应用

机器人和AGV广泛用于物流，大型物流仓库使用大量的机器人/AGV。为了给它们充电，通常使用自动充电和无线充电，因为人类不可能手动地逐个充电。

小型机器人的充电功率约为200 W至600 W，而大型工厂机器人和AGV需要1 kW至4 kW。典型的充电方法包括将发射机放置在地板上，但在工厂或物流仓库等担心异物进入的场所，通常使用水平充电。图2是适用于智能工厂的双面六组机器人/AGV无线充电器的概念图。

图2
双面和6组无线充电配置



2.3 电动汽车

用于电动汽车（包括插电式混合动力电动汽车（PHEV））的WPT的一个概念是，在有WPT的任何地方，无需电缆就可为汽车充电。汽车上的传输动力将用于驾驶、驱动附属的汽车设备，如空调和其它汽车必需品。WPT技术和应用同时考虑到了停车和开车时的情况。

用于电动汽车的WPT系统是一项新兴技术，在加速采用电动汽车和减少车辆排放对环境的不利影响方面显示出巨大的前景。它们正在开发中，预计到2020年将实现该技术的商业化。

与此同时，提前需要这种电动汽车的公共充电站才能达到这样的时间表。因此，在此之前的几年（例如2018年），必须标准化这种WPT系统，以确保这种公共充电基础设施与安装在电动汽车中的系统相兼容，并确保不同系统类型之间的互操作性。在欧洲，欧盟委员会于2014年10月颁布了关于部署替代燃料基础设施的指令（2014/94/EU）。而后，考虑到该指令，2015年3月，欧盟委员会颁布了致欧洲标准化组织的、关于标准化请求的委员会执行决定（M/533），以起草欧洲替代燃料基础设施的标准。本文件列出了近20项内容，包括电力供应、氢气供应和天然气供应的标准化。在这些项目的顶部列出了用于EV的WPT系统的标准化。在该文件中，要求CENELEC颁布一个包含技术规范的欧洲标准和一个用于客车和轻型车无线充电的单一解决方案，并且可以在31/12/2019之前与IEC 61980-3中的规范互操作。

充电功率可能取决于用户的要求。

在大多数使用情况下，对个人用的载客汽车而言，为3.5 kW、7.7 kW或11 kW。不过，一些供公众使用的用户若想快速充电或者其汽车有特殊的使用目的，那么可能需要更大的功率。22 kW或更大功率范围现也正在考虑用于载客汽车。

在重型车辆使用情况下，最初可能需要75 kW的等效充电功率。100 kW或更大功率范围也正在考虑中。

WPT系统的标准化项目已经在几年前开始了。IEC/TC69/WG7正在制定涵盖供应端设备要求的IEC 61980系列，ISO/TC22/SC37/JPT19363正在制定符合电动汽车方面要求的ISO 19363，并开展了密切合作。下表显示了开发的时间表。

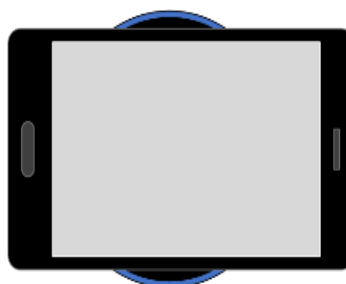
编号	标题	颁布情况	公布日期
IEC 61980-1	电动汽车无线充电（WPT）系统 – 第1部分：一般要求	IS第2版	2020-11-19
IEC 61980-2	电动汽车无线充电（WPT）系统 – 第2部分：电动道路车辆（EV）与基础设施之间 关于无线充电（WPT）系统通信的具体要求	FDIS第1版	预计2022/2023 (IS第1版)
IEC 61980-3	电动汽车无线充电（WPT）系统 – 第3部分：磁场无线充电系统的具体要求	FDIS第1版	预计2022/2023 (IS第1版)
ISO 19363	电动推进道路车辆 – 磁场无线充电	IS第1版	2020-04

关于乘用车和轻型车辆的WPT系统频率，通过考虑难以满足EMC和EMF要求、车辆包装、质量和体积、电力电子设备的比较成本等参数，来对若干个潜在的频段进行评估。结果是，业内人士认为，79-90 kHz（所谓的85 kHz频段）是针对这些应用的最合适选择方案。

在特别涵盖磁场无线充电（MF-WPT）系统的IEC 61980-3和ISO 19363中，85 kHz频段被指定为MF-WPT的系统频段，最高为11.1 kW。

图4

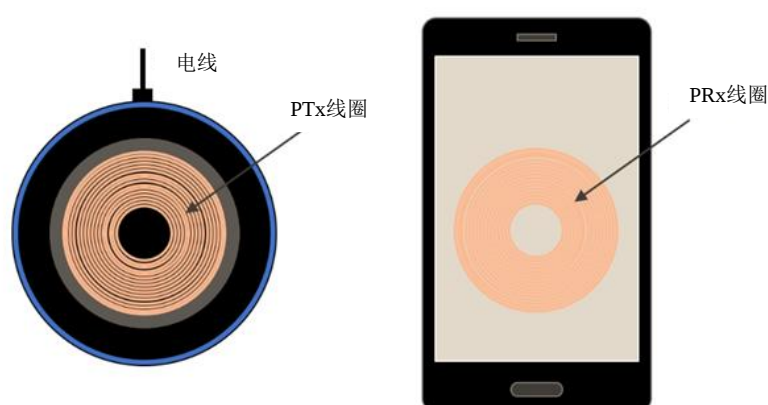
充电板上的无线智能手机



PTx和PRx都包含线圈（如图5中的概念图所示）以及处理它们之间通信和充电的电路。

图5

充电器和智能手机中的线圈

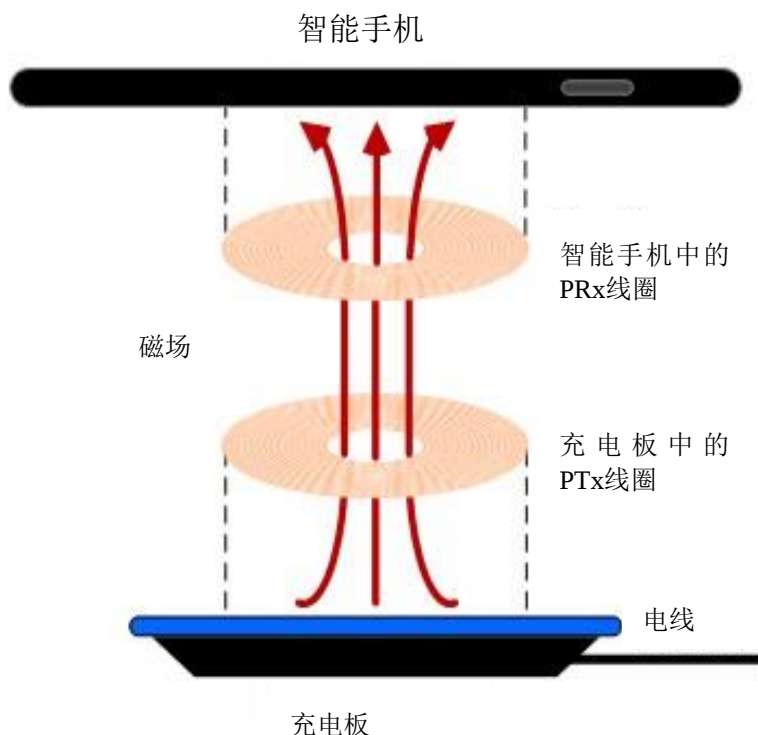


在图5所示的系统中，电力从充电板中的PTx传输到智能手机中的PRx。在充电开始之前，PRx和PTx相互通信，以确定移动设备兼容并能够充电，是否需要充电，需要多少电力等。简而言之，通信确保了从电力发射器到电力接收器的适当充电。

充电开始时，电力发射器通过其线圈输送交流电，根据法拉第定律产生交流磁场（见图6）。该磁场又被电力接收器内部的线圈拾取，并通过电源转换器转换回交流电，经过整流后，可用于为电池充电。

图6

利用磁感应的Qi无线充电



3.1.2 磁共振WPT技术

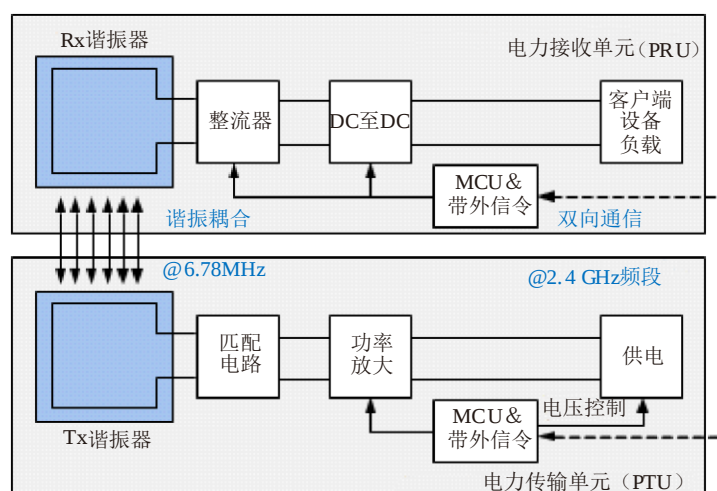
磁共振WPT也称为松耦合WPT。这种磁共振方法的理论基础于2005年第一次由麻省理工学院（MIT）提出，并于2007年²得到实验验证。该方法使用一个线圈和电容器作为谐振器，通过发射器线圈与接收器线圈之间的电磁共振（磁共振耦合）来传输电力。通过用高Q系数来匹配两个线圈的共振频率，可以实现远距离传输电力，当中两个线圈之间的磁耦合很低。磁共振WPT可以在几米远的距离上传输电力。

该技术还能使发射线圈灵活地确定接收器线圈的位置。实际的技术细节可以在许多技术论文中找到，例如，在http://www.mit.edu/~soljacic/wireless_power.html和<http://www.rezence.com/>中的技术论文。

² http://www.mit.edu/~soljacic/wireless_power.html

图7

磁共振WPT系统框图样例



SM.2303报告-07

3.1.2.1 13.553-13.567 MHz的便携式和移动WPT设备

智能眼镜是一种可穿戴的智能设备，通常配置有独立的操作系统和智能音频功能。此外，智能眼镜可以使用无线充电技术进行充电。其中一种智能眼镜³如图8所示。它使用了13.56 MHz无线充电技术，该技术利用NFC通信链路来控制充电。如图9所示，无线充电是在配有眼镜盒的智能眼镜上进行的，眼镜盒用作发射器，智能眼镜作为NFC无线充电的接收器。发射线圈位于眼镜盒的侧面，接收线圈位于眼镜腿内。当将眼镜放入眼镜盒中时，两个线圈相互闭合并建立磁耦合。发射器发射频率为13.56 MHz的交变磁场。磁场的磁通量在接收线圈上感应出交流电压，整流后可用于驱动眼镜臂中的电池。眼镜腿的总充电功率小于1 W，设备可以在不到1厘米的范围内运行。

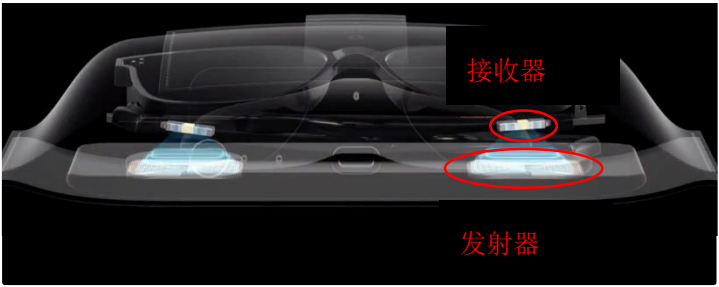
图8

一种智能眼镜



³ 这款智能眼镜的具体信息可查看以下链接：<https://www.vmall.com/product/10086622420520.html>

图9
智能眼镜的发射器和接收器



通过在NFC通信中使用磁场来传输能量，而不引入额外的电磁辐射，13.56 MHz无线充电技术使NFC设备在稍作修改后能够支持高频无线充电。

3.1.3 电容耦合WPT

电容耦合WPT系统有两组电极，不使用线圈作为磁类型的WPT系统。通过耦合两组电极产生的感应场来传输电力。电容耦合系统有如下一些优点。图10和图11分别显示了系统框图和典型结构。

- 1) 电容耦合系统用一个易于使用的充电系统，为最终客户提供了水平位置自由度。
- 2) 在系统的发射器与接收器之间可以使用非常薄（小于0.2 mm）的电极，因此适合集成进纤小的移动设备中。
- 3) 在无线充电区域不产生任何热量。这意味着在无线充电区域温度不会有任何的升高，从而防止电池变热，即使装置就放在附近。
- 4) 因其耦合系统的结构而保证了较低水平的电场辐射。电场的辐射源自用于充电的电极。

图10
电容耦合WPT系统框图

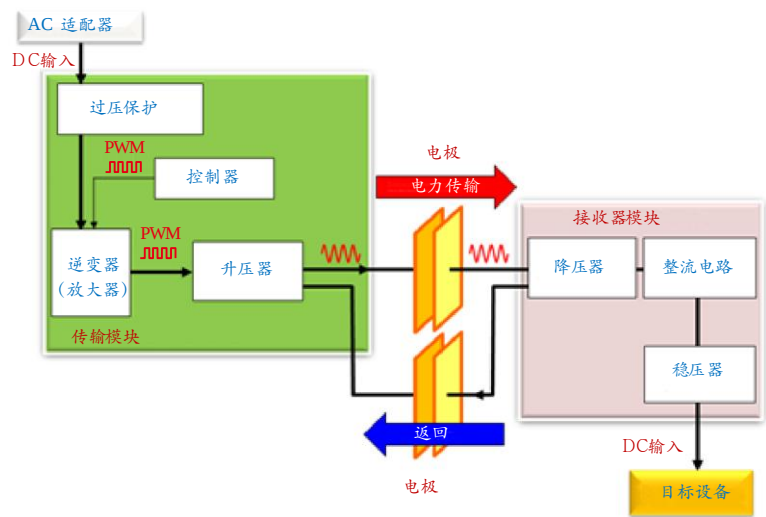
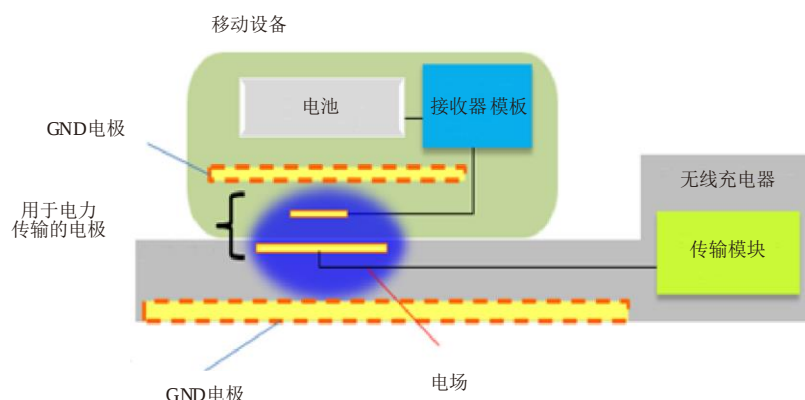


图11

电容耦合系统的典型结构



SM.2303报告-11

3.2 家用电器

感应电源（发射器）可以独立存在或者被集成在厨房柜台顶部或餐桌上。这些发射器可以结合WPT而成为一个带有传统感应加热功能的电器。

对家用电器应用而言，功率电平通常为几千瓦，负载可以是马达驱动的或加热类型的。未来的产品将支持超过2 kW的功率以及一些新的设计提案，正在对无绳形式的厨房电器开展调查。

考虑到家庭中高功率的使用情况，最好频率在几十kHz。

通常使用高可靠性的设备，如绝缘栅双极型晶体管（IGBT），这些设备的工作频率范围为10-100 kHz。

用在厨房中的产品必须满足安全性和电磁场（EMF）要求。除了成本要低之外，发射器重量要轻、尺寸要小，这是一个关键问题，以便适合厨房使用。发射器与接收器之间的距离应小于10 cm。

图12和图13显示了无线电力厨房用具的例子，它们将很快进入市场。

图12

无线供电的厨房电器



紧耦合的电饭锅

SM.2303报告-12

WPT系统已经集成进半导体和LCD面板的生产线中，以下图片显示了有关例子：

图13

LCD、半导体生产线和厨房WPT系统使用案例



SM.2303报告-13

3.3 电动汽车

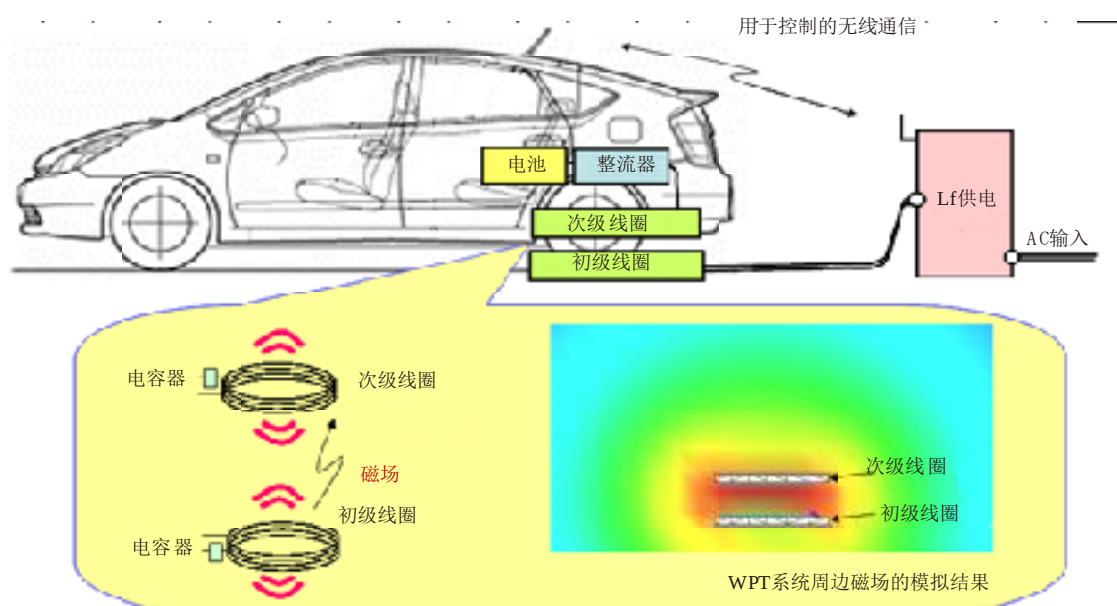
磁场无线充电（MF-WPT）是各标准化组织关注的焦点之一，如用于电动汽车的WPT的 IEC TC69/WG7和SAE J2954TF，包括PHEV，尽管存在若干类型的WPT方法。用于EV和PHEV的MF-WPT既包含感应类型，也包含磁共振类型。利用线圈与电容器之间的共振，通过磁场，可以高效地将电力从初级线圈传给次级线圈。

对预期的载客车辆应用，有以下几方面假设：

- 1) WPT应用：从住所电源插座与/或公共电力服务系统到EV和PHEV的充电。
- 2) WPT使用场景：在住宅、在公寓、在公共停车场等。
- 3) 在车辆上使用电力：所有的电力系统，如充电电池、电脑、空调等。
- 4) WPT使用场景样例：载客车辆的一个样例如图14所示。
- 5) WPT方法：一个用于EV/PHEV的WPT系统至少有两个线圈。一个在主设备中，另一个在副设备中。电力将通过磁通量/磁场从主设备传给副设备。
- 6) 设备位置（线圈位置）：
 - a) 主设备：在地面上或/与地面中。
 - b) 副设备：在车辆的较低面上。
- 7) 初级线圈与次级线圈之间的空隙：小于30 cm。
- 8) 传输功率类别的例子：3 kW、6 kW和20 kW。
- 9) 安全：只有当副设备位于WPT的适当区域中时，主设备才可以开始传输电力。当难以保证输电安全时，主设备必须停止输电。

图14

用于EV/PHEV的WPT系统样例

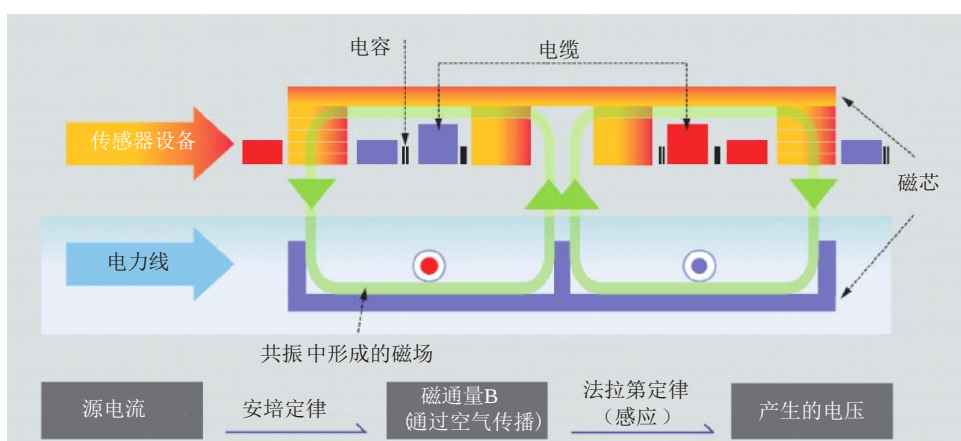


SM.2303报告-14

为了运行电动公共汽车等重型汽车，系统的基础设施嵌入路基的电条中，电条将通过磁技术将能量传输给上述依托电池供电的车辆。公共汽车可以沿着电条移动，而无需停下来进行充电，这被称为在线电动汽车（OLEV）。此外，公共汽车还可以在公共汽车站或公共汽车库中、在停车条件下进行充电。在游乐园或城市中的在线公共汽车是世界上第一个以电动汽车形式进行运行的重型汽车系统。

图15

在线电动汽车的技术特性



SM.2303报告-15

从发射线圈到接收线圈的磁场设计是WPT系统设计中的关键，以便获得最大的功率和效率。

首先，应利用共振的发射和共振线圈实现磁场共振，以便获得高的功率和效率。

其次，应利用如铁氧体磁芯等磁性材料来控制磁场形状，以便在磁场路径上获得最小的磁阻，从而获得更低的照射磁场和更高的传输功率。

它被称为SMFIR（共振中形成的磁场）。

图16
在线电动汽车样例



SM.2303报告-16

3.4 用于机器人和AGV

3.4.1 3.3 kW单侧无线充电收发器线圈技术

在机器人无线充电的3.3 kW级传输环境中，考虑到可安装线圈的尺寸和发射/接收线圈之间的距离，设计了如图17所示的多层发射/接收线圈。此外，通过接地导体的结构设计，可以最大限度地减少线圈的损耗和发热。

图 17
两层结构发射/接收线圈的示例



已经研究了用于六个接收器的集群无线充电的线圈拓扑。此时，发射线圈采用不含铁氧体的结构，因此可以在一个发射线圈的两个方向上同时进行无线充电。另外，设计了可增加磁场方向性的接收线圈和铁氧体结构，减少相邻接收线圈的影响。因此，为了同时对六个设备进行无线充电，使用了三个发射线圈和六个接收线圈。

3.4.2 3.3 kW级单侧无线充电收发器模块技术

为了优化3.3 kW级无线充电发射/接收模块并获得最大效率，使用了内置电路保护功能的直流电源单元（例如切换模式供电（SMPS））的稳定电力。为此，我们使用了具有图腾柱无桥PFC（功率因子校正）拓扑的4 kW级SMPS，通过最大限度地减少现有结构中的内部元件（电感器、二极管等）的损耗来确保最高效率。自然散热结构可能是减小整体系统尺寸和简化散热结构所必需的。

在79-90 kHz频段，通过使用3.3 kW级发射模块，充电效率达到最大化，而通过使用低损耗LCC（电感-电容-电容）匹配架构和双MOSFET，最大程度地减少发热量。此外，还内置了使用Wi-Fi与接收模块进行通信的发射功率控制功能。

用于为100 V级电池充电的接收模块与整流器电路共用，整流器电路使用400 V级二极管和MOSFET开关，用于自动开/关充电控制。低损耗LCC匹配也被应用于接收模块，以实现恒流充电。

预计将制造一种高效的LDC（低压DC/DC转换器），它将电池电压（100 V级）转换为适合运输机器人的电源（DC 25 V）。

WPT-EV的频段（79-90 kHz）用于为原型机器人充电。韩国电子和电信研究所（ETRI）在2022年开发了一款1千瓦的无线充电机器人，该机器人表现出超过90%的DC/DC传输效率，同时在发射器和接收器之间的间距为7厘米时满足韩国的EMC/EMF标准。ETRI从2022年开始为机器人和AGV开发3.3 kW多无线充电器。技术开发的目标是用于AGV的双侧充电器，前者可以同时为两个1.75 kW的接收器充电，每个接收器带有一个发射线圈，另一个是可同时为6个机器人充电的集群无线充电器，接收功率为600瓦。每个充电器的目标是在发射器和接收器之间相距5 cm处实现86%以上的AC/DC效率。

4 世界WPT标准化状况

4.1 国家标准制定组织

以下各节仅提供经验信息，仅反映其中所述国家的观点。

4.1.1 中国

在中国，CCSA（中国通信标准协会）一直在研究用于便携式设备的WPT标准。其他一些报告是由CCSA完成的，如“低功率无线充电系统问题研究”、“无线充电频率和管理研究 – 低频低功率移动设备”、“适用于移动和便携式WPT设备的射频规范和相关规则研究”。

2015年，在中国汽车技术研究中心（CATARC）领导下，建立了汽车行业国家SDO，并制定了三项国家标准。而自2017年起，由中国电力企业联合会（CEC）牵头的能源行业国家SDO制定了WPT-EV相关国家标准。下表列出了一些与WPT-EV相关的国家标准。

编号	标题	发布日期
GB/T 37132	《无线充电设备的电磁兼容性通用要求和测试方法》	2018/12/28

4.1.2 日本

日本宽带无线论坛的WPT工作组正在负责起草WPT技术标准，利用无线电行业和企业协会（ARIB）起草协议。BWF制定的一套标准草案已送ARIB批准。BWF已对用于所有应用和技术的WPT频谱进行深入的技术研究。2015年，以下WPT技术已作为日本标准被ARIB批准：

ARIB STD-T113 V1.1 “无线充电系统”：

- 第1部分 “400 kHz 电容耦合无线充电系统”
- 第2部分 “用于移动设备的6.78 MHz磁耦合无线充电系统”
- 第3部分 “用于移动设备的微波电磁场表面耦合无线充电系统”。

除了制定和评估充电无线电波的规定之外，还正在考虑控制信令传输机制。正在为面向全球市场的应用和产品考虑全球频谱协调事。

2013年6月，内政和通信部（MIC）在指导完成有关WPT新规定的目标指引下，在MIC的无线电波电磁环境分委员会下设立了无线充电工作组（WPT-WG）。WPT频段以及与现有频段共存问题的研究是WPT-WG的主题。鉴于WG的成果，MIC的信息通信理事会批准了有关制定关于WPT规则的报告，并于2015年发布。第6章中有进一步的信息。结果将体现在WPT标准制定工作中。ARIB STD-T113指的是有关其依从性的新规则。

4.1.3 韩国

科学和信息通信技术部（MSIT）及国家无线电研究局（RRA）是韩国负责WPT规则的部门机构。制定WPT标准的主要标准化组织如表1所示。

2022年，制定了两项标准：TTAK.KO-06.0578 “用于机器人和AGV无线充电的视觉辅助异物和生物特征检测的要求和参考模型”，这是适用于机器人和AGV的异物检测标准；以及TTAK.KO-06.0579 “高达几百瓦的移动设备无线电力发射收发器的技术规范 – 第1部分：电动自行车”，这是一项电动自行车标准。正在制定有关电子波人体暴露标准的测量方法标准KS C 3380 “人体暴露于电动汽车和充电系统中产生的低频磁场量的测量方法”。

表1
韩国的标准化活动

名称	URL	状况
KATS	http://www.kats.go.kr/en_kats/	正在进行的： – 多设备充电管理
KWPF	http://www.kwpf.org	正在进行的： – WPT有关的频谱 – WPT有关的监管 – 基于磁共振的WPT – 基于磁感应WPT 已经完成的： – 用例 – 服务场景 – 功能要求 – WPT带内通信 – WPT控制管理
TTA	http://www.tta.or.kr/English/index.jsp	已经完成的： – 用例 – 服务场景 – 效率 – 评估 – WPT带内通信 – WPT控制管理 正在进行的： – 基于磁共振的WPT – 基于磁感应的WPT

4.2 国际和区域组织

涉及WPT标准化及其相关活动的一些国际和区域组织如表2所示，供参考。

表2

WPT相关的国际组织

组织名称	活动
APT (亚太电信组织)	APT无线组 (AWG) 于2016年2月开始研究针对移动设备的非波束WPT频率范围的APT建议书。 AWG已启动计划于2017年9月完成的、APT关于用于电动车辆的非波束WPT频率范围的报告，并在其第20次会议 (2016年9月) 上通过了初步框架。此外，AWG将开展研究，向APT成员提供为准备WRC-19 A.I. 9.1问题9.1.6所需的信息和支持。 除上述活动外，“关于无线充电 (WPT) 技术服务和应用的APT新报告”的工作文件已于2017年完成，增加了众多信息和研究成果。
ITU-T SG 13	ITU-T第1/13号课题正在制定Y.Supplement WPT - 无线充电应用服务，其范围是： - WPT应用服务概念的定义 - WPT应用服务的业务模型 - WPT应用服务用例 ITU-T Y.WPT描述了如何使用WPT技术服务提供各种用例，以构建包括用户/设备认证、服务管理、计费、服务安全等在内的服务框架。主要目标是定义提供WPT服务的业务框架。
CISPR (无线电干扰国际特别委员会)	CISPR SC-B (与ISM射频设备、架空电力线等有关的干扰) 在对WPT进行讨论。如果需要的话，其它SCD (车辆上的电气/电子设备)、F (家用电器，照明设备等) 和I (信息技术设备、多媒体设备和接收器) 也会对WPT进行考虑。 SC-F考虑将非波束WPT技术应用于厨房电器和/或电池供电的工具，并确定在这些应用中，充电设备技术与电磁炉用具相同。因此，SC-F决定在更广泛的“感应式充电 (IPT) 设备”概念下将用于家用电器的WPT与感应式烹饪器具结合起来。IPT设备的发射限值继承自感应式烹饪用具的辐射限值。CISPR 14-1 7.0版于2020年发布。
IEC TC 100	TransferIEC TC100/TA 15为多媒体系统和设备开发了与无线充电 (WPT) 有关的国际出版物，以及WPT发射与WPT接收功能之间的互操作性。 IEC颁布了无线充电 (IEC PAS 63095版本1) 的一个标准，并预计即将颁布第二个标准 (IEC 63028版本1)。IEC PAS 63095规定了87-205 kHz范围内的频率使用，IEC 63028规定了6.78 MHz的使用。IEC TC100/TA15建议国际电联支持WPT的一个合适的协调频率范围，以完全支持这两个IEC标准。
IEC TC 106	- 新工作组WG 8 “与人体暴露于电场、磁场和电磁场有关的接触电流评估方法” 和WG 9因WPT而建。 - 与 “人体暴露于电场、磁场和电磁场有关的无线充电 (WPT) 评估方法”。

表2（续）

组织名称	活动
IEC 61980 (IEC TC 69/WG7)	IEC TC 69（电动公路车辆和电动工业卡车）WG7，连同ISO TC22（公路车辆），讨论用于车辆的WPT。 – IEC 61980-1：一般要求（2015年7月颁布） – IEC 61980-2：通信（正在制定） – IEC 61980-3：磁场充电（正在制定） 在IEC 61980-3中，将规定85 kHz频带（81.39-90 kHz）作为乘用车和轻型车辆的系统频率。 计划在2017年底之前颁布IEC 61980-3和IEC 61980-2的TS（技术规范）。此外，预计到2018年底颁布第2版的IEC 61980-1
ISO 19363 (ISO (TC22/SC37/JPT19363))	ISO 19363：磁场无线充电 – 安全性和互操作性要求。 – JPT19363成立于2014年初。 – 目标是制定一个标准，来为汽车一侧各部分提出具体要求。 – 与IEC 61980和SAE J2954接近同步。 指定85 kHz频段（81.39-90 kHz）作为乘用车和轻型车辆的系统频率。 PAS（公开提供的规范）于2017年1月颁布，随后于2018年底升级为IS（国际标准）。
ISO/IEC JTC 1 SC 6	ISO/IEC JTC 1 SC 6正在制定WPT的带内PHY和MAC层协议： – 2012年1月批准工作项。 – 随WD（工作文档）发行。
ETSI TC ERM	– ETSI TC ERM颁布了题为“系统参考文件（SRdoc）”的技术报告（TR 103 409）：“用于工作于79-90kHz频段的电动汽车（EV）的无线充电（WPT）系统”。该SRdoc由CEPT ECC来考虑，且ECC第289号报告“用于工作于79-90kHz频段的电动汽车（EV）的无线充电（WPT）系统”已颁布。ECC第289号报告关于“WPT-EV的无用发射对无线电服务的影响”的增补/补遗正在准备中。 – 在2017年9月，ETSI TC ERM颁布了新版协调标准（EN 303 417），它涵盖了所有种类的WPT系统（而非EN 300 330 – 非专用短程设备，过去曾用于WPT系统，但不再适用于WPT设备）。EN 303 417为使用19~21 kHz、59~61 kHz、79~90 kHz、100~300 kHz、6 765~6 795 kHz等范围中无线电频率波束之外的技术的无线充电（WPT）系统规定了技术特性和测量方法。ETSI（TR 103 493）在2017年已颁布，涵盖了除EV-WPT之外的WPT系统的技术规格和特性，工作于30 MHz以下，CEPT/ECC/WG SE正使用它进行共存问题的研究。
CTA (消费者技术协会)	CTA R6-WG22（无线充电）该工作组制定与无线充电有关的标准、建议措施和相关文件。它编撰了ANSI/CTA-2042.1-B无线电力术语表。目前正在制定CTA-2042.3无线电力系统效率和备用功率的测量方法。

表2（续）

组织名称	活动
SAE (汽车工程师协会)	有关电动和插电式电动汽车无线充电的SAE国际J2954™任务组于2010年成立。 SAE国际于2020年10月颁布了“用于轻型插电式/电动汽车的SAE J2954标准无线充电和校准方法学”，它为所有轻型车辆功率高达11.1kW（未来考虑高达60kW）的系统规定了85 kHz频段（79 - 90 kHz）作为无线充电的常用频段。该标准规定了三个功率等级（3.7 kW、7.7 kW和11.1kW）。为未来的修订提供了功率等级更高的另两类，可高达60 kW。 SAE国际是一个全球性的协会，联合了航空航天、汽车和商用车行业的128,000多名工程师和技术专家。 参见https://www.sae.org/standards/content/j2954_202010/。
AirFuel联盟	2015年，由A4WP和PMA合并组成的一个全球性、非盈利联盟。 AirFuel联盟（AFA）继续并延续了A4WP和PMA正在开展的所有活动。由A4WP和PMA颁布的各规格将直接被用作AirFuel联盟规格。 AFA一直致力于WPT在如下领域的标准化工作： – 感应（磁感应WPT） – 共振（磁共振WPT） – 非耦合的 – 基础设施 无线充电 – AirFuel共振基线系统规则（BSS）规范预计将在2017年7月颁布为IEC 63028版本1。
A4WP	A4WP利用非辐射、近距离和中距离磁共振耦合（高度共振耦合）（松耦合WPT）制定了一个WPT规范。 – 2012年完成基线技术规范。 – 2013年1月发布其技术规范（版本1）。 该规范规定了在6.78 MHz下的操作。 A4WP于2015年与PMA合并成为AirFuel联盟。
PMA	电源事务联盟（PMA）是一个全球性、非盈利行业组织，致力于无线电力技术，包括为配备电池的设备进行充电。自2012年成立以来，PMA在电信、消费者设备、汽车、零售、家具、平面设备等诸多行业中迅速发展。我们的发展和成功归功于独特的方法，使无线电源在消费者最需要的地方无处不在，也归功于我们成员的辛勤工作和奉献精神。 2015年，PMA与A4WP合并组建AirFuel联盟。

表2（完）

组织名称	活动
WPC	无线电源联盟成立于2008年，是由全球400多家成员公司组成的开放、协作式标准制定组织。WPC的成员公司包括大大小小的竞争对手和生态系统合作伙伴，代表着来自行业和世界各地的品牌。其工作重点是针对各种功率电平的紧耦合感应耦合解决方案，从用于移动无线充电的5 W到用于厨房电器和工业应用的1 KW以上不等。WPC在市场上拥有5 000多种不同的经Qi认证的无线充电产品。 2017年，WPC开始制定Ki无绳厨房标准，用于为无绳电器供电，并将炉灶无缝集成到台面和其他表面。Ki标准建立在Qi的成功之上，使开发更安全、更智能、更方便的厨房电器成为可能。这将确保互操作性和安全性。该标准定义了发射器和多功能灶具，可以无线方式为智能无绳厨房电器提供高达2200 W的功率。新的Ki无绳厨房无线电源标准目前正在制定中。 除Qi和Ki外，WPC还积极制定以下领域的新标准： i) 电动自行车和电动滑板车的轻型电动汽车（LEV）标准： 越来越多的电动自行车、电动滑板车和其他轻型电动汽车（LEV）推动了对灵活、快速和相对低成本的城市交通的需求。一项LEV标准也正在制定之中。 ii) 为工业领域的机器人、自动导引车（AGV）和其它工业自动化机械充电的无线充电行业标准： WPC还在为全球工业和物流环境中的无人机器人设备制定标准。这包括重型制造业中使用的机械臂、用于监测天然气管道和电塔的无人机、在物流中大量使用功率高达几千瓦的AGV。
CJK WPT WG	CJK信息技术会议WPT工作组。 共享在低功率和高功率WPT研究和调查领域的信息。 – 2013年4月发布CJK WPT技术报告 – 2014年春发布CJK WPT技术报告 – 于2015年3月发布了CJK WPT技术报告

4.2.1 未使用

4.2.2 有关人体暴露于电磁场（EMF）的信息

人类暴露于电磁场（EMF）的问题由其本国的主管部门处理。主管部门可以向世界卫生组织（WHO）、国际非离子化辐射防护（ICNIRP）以及电气和电子工程师协会（IEEE）等其他国际组织寻求有关人体暴露于EMF的指南。这些小组负责解决EMF安全限值的确定问题，这些不在ITU-R的工作范围之内。

这些组织发布的WPT工作频率高达100 kHz的人体暴露于EMF的最新相关指南可在2010年的ICNIRP准则[5]以及IEEE标准C95.1-2019 [7]中找到。有关WPT工作频率高于100 kHz的人体EMF暴露的相关指南可在ICNIRP 2020 指南 [6] 和IEEE C95.1-2019 [7]中找到。此外，为了满足安全需求（见表2），IEC TC 106 WG 9 提供了有关电磁场测量方法的文件。

许多主管部门已经或可能在某些点上采用这些指南，或者根据其自身专家的研究结果来修改/更新这些指南。WPT设备的系统设计者、制造商和运营商都应考虑采取措施，以充分保护公众免受电磁场的危害，并且在规划和部署其WPT系统时应考虑到这些限制。附件1提供了有关指南的其它参考资料。

ITU-R [SM.2452](#)报告中提供了有关监测电磁场的详细信息 – 人体暴露于电磁场的测量。

人体暴露于EMF的指南描述了ICNIRP的基本限制或IEEE的等效剂量参考限值（DRL）和ICNIRP的参考水平，或IEEE的等效暴露参考水平（ERL）。暴露限度基于所确定之健康效应直接相关的物理量，被称为基本的限度（或DRL）。出于简单暴露测量目的，ICNIRP指南和IEEE C95.1提供了暴露的参考水平（或ERL）。

ICNIRP指南和IEEE C95.1关于电场和磁场暴露在许多国家被用于建立国家限度和国家阈值。

WPT设备经营者应考虑采取措施来适当保护公众免受EMF影响。

2017年前对与日本射频泄露有关的WPT H场辐射进行了测量，如附件3所示。鼓励对WPT设备附近的场强做更多的测量。附上美国的EMF测量结果。

4.2.3 EMF测量结果

测量是由标准化的WPT-EV WPT3系统在约11 kW的最坏情况下进行的，用于考虑EMF暴露，包括最大偏移和全功率。作为EMF暴露的参考考虑因素，ICNIRP 2010指南将85 kHz的参考水平设置为 $27 \mu\text{T}^4 \text{ RMS}$ 。此外，考虑到CIED（心脏植入式电子设备），ISO 14117在 225 cm^2 环路中设置了感应引线-环路感应电压要求，导致磁场水平限制为 $15 \mu\text{T RMS}$ 。下图显示了使用包含三个正交 100 cm^2 环路的EMF探头测量的测量平面和合成磁通量密度值，并自动计算所有轴的均方根和。采用7.5 cm间距的粗扫描来确定热点位置。一旦确定了最大视场的区域，就使用3.75 cm间距的更精细分辨率扫描。精细测量的结果是，在XZ平面（车辆侧面）中测得的最大场电平为 $4.226 \mu\text{T RMS}$ 。YZ平面（车辆前部）中的测量值比XZ平面低约四倍，因此为简洁起见未显示。

4 磁感应强度用特斯拉（T）表示。一高斯（弃用单位）等于 10^{-4} T 。

图 18

WPT-EV系统用于EMF和辐射排放测试的最坏情况下最大偏移条件和辐射排放测试

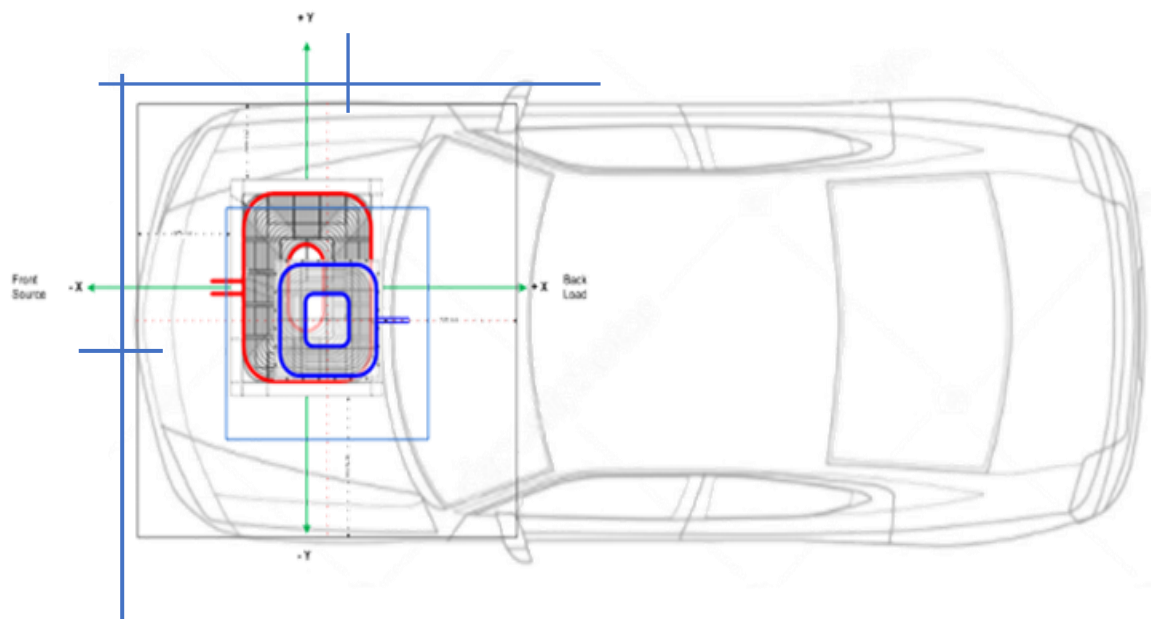


图 19

在间隔为7.5 cm的球场网格上进行EMF测量

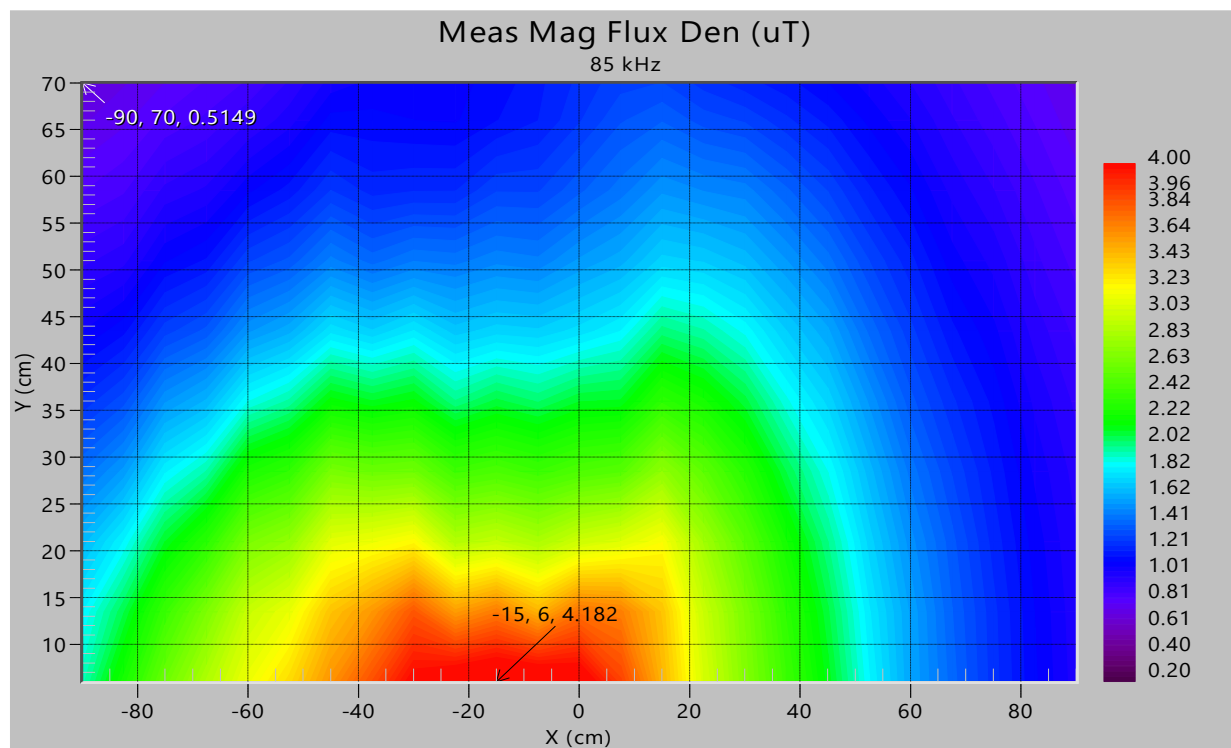
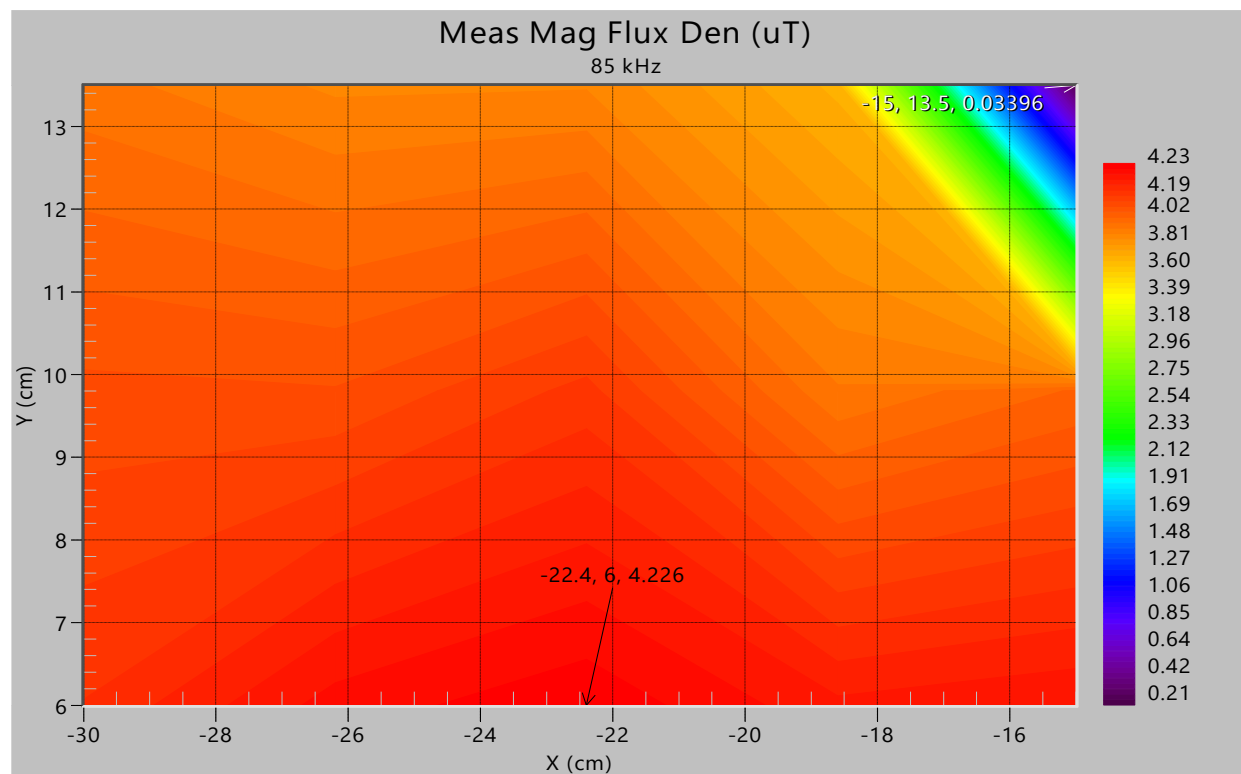


图 20
在间隔为3.75 cm的最大EMF区域的精细网格上进行EMF测量



5 频谱状况

5.1 WPT、ISM与短程设备射频频段之间的区别

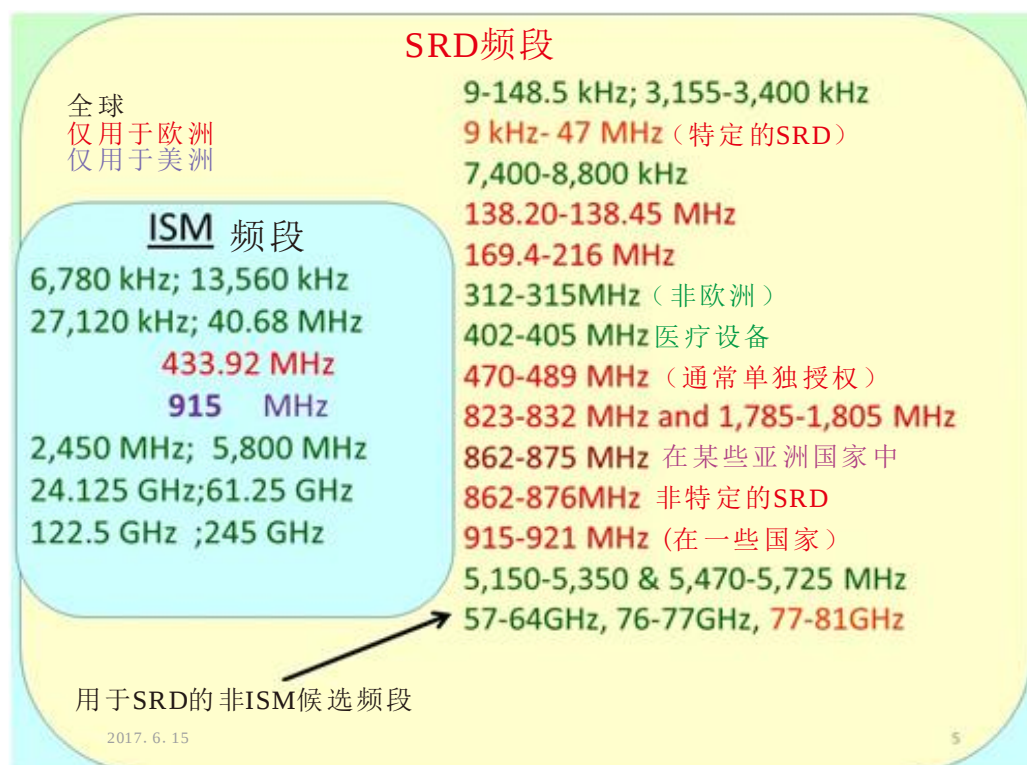
《无线电规则》第**1.15**款 – （射频能量的）工业、科学和医疗（ISM）应用：能在局部范围内产生射频能量并利用这种能量供工业、科学、医疗、家庭或类似领域用的设备或器械运用，但在电信领域内的运用除外。ISM射频频段主要由非电信应用使用，因此，WPT只有在拥有电信（数据通信）的功能，如蓝牙或ZigBee时才是短程设备（SRD）。WPT是有意辐射器。

WPT的能量传输功能是ISM：工业、科学和医疗；数据传输是短程设备。CISRP已建议，将WPT功能与可能是SRD的电信功能分别处理（见此ITU-R SM.2303号报告第4.2节）。根据不同国家的规则，SRD通常作为非许可和无保护设备操作。

国际电联《无线电规则》第**5.138-5.150**款确定了ISM的射频频段。短程设备（SRD）的频段不同于ISM频段。按照[ITU-R SM.1896](#)建议书 – 短程设备（SRD）频率范围的全球或区域统一 – 附件1和2，ISM频段已构成充分条件，但并非必须统一SRD的操作。所有的ISM频段都可为短程和电子设备提供服务。然而，SRD也在非ISM频段操作。ISM频段可为WPT的能量传输服务；SRD频段可以潜在的成为国家、区域或全球WPT的优选射频频段。图21具体说明国际电联不同区域的ISM频段以及不同区域用于SRD的非ISM候选频段。SRD工作于所有ISM RF频段；也工作于其它的RF频段上。

图21

用于SRD的ISM和非ISM频段*



5.2 用于国家级WPT的非ISM频段

42-48 kHz; 52-58 kHz; 79-90 kHz; 100 kHz-205 kHz; 425 kHz-524 kHz。

表7和表8概述了正在研究的分配的或指定的频段，以及针对这些应用的关键参数。这些表也提供了在议的、要求共存的现有系统。

在完成国际电联有关这些频段内WPT的报告和建议书之前，需要研究和充分考虑与所有现有系统（尤其是那些在诸如航空无线电导航服务等安全分配中工作的系统）的兼容性：9-21/59-61 kHz、79-90 kHz和100/110-300 kHz。

5.2.1 磁感应

目前，在许多国家已推出诸多基于磁感应技术的产品。无线充电联盟网站指出，根据IEC PAS 63095版本1规范，2017年中，全球售出约1.5亿部在低功耗（5 W – 15 W）下使用该频率范围的智能手机充电发射器。此外，在过去几年间，在许多国家也已推出用WPT（50 W – 100 W）充电的电动工具电池以及用WPT（1 kW – 2 kW）充电的厨房电器，两者都采用磁感应技术。

5.2.2 高能磁感应

频率范围类似有关电动汽车应用的频率范围（如下所述）。

有许多现有的设备和系统（包括工作于类似频率的标准时钟电台和铁路电台系统，以及高功率磁感应应用），因此开展对共存问题的研究是必要的。

5.2.3 电容耦合

电容耦合WPT系统最初的设计目的是供频率范围425-524 kHz使用。传输功率水平小于100 W。关于频率选择，有以下几个理由。

第一个理由是平衡效率和设备尺寸。例如，有许多组成部分是为在此频段上工作而设计的，例如，逆变器、整流器等，这导致更多样化的、具有低损耗性能的组成部件，它们优化了WPT设备设计。变压器是电容耦合WPT系统的关键组成部分。变压器的性能取决于铁氧体材料的Q值，可在此频率范围内对此进行优化。因此，电容耦合系统总的效率约为70%–85%。

第二个理由是能够抑制电场中不想要的辐射，以便与邻近频段中的现有设备共存，如调幅广播。已经对425-524 kHz频率范围中的电容耦合WPT系统频谱屏蔽情况进行检查和演示，以便满足调幅广播和其它服务的共存条件。

5.2.4 电动载客车辆

在本节中，“电动汽车”这个词意味着电动汽车和插电式混合动力电动汽车（PHEV）。

BWF、IEC、SAE和JARI已对停止状态的电动汽车WPT做了考虑。各方普遍认为，在高功率电路设计中，20-200 kHz频率范围在实现高效率能量传输方面具有优势。

在日本，子频段42-48 kHz、52-58 kHz、79-90 kHz、140.91-148.5 kHz是与现有应用频谱共享和共存问题研究的重点。已经在全世界范围内进行了现有频谱使用情况的密切调查，以便缩小候选频谱的范围，从而尽可能减少对现有应用产生的干扰。自2015年5月起，已将79-90 kHz范围用作无线EV（电动汽车）的充电频率范围。同样，SAE国际J2954任务组已同意将79-90.00 KHz用于轻型汽车的WPT。

5.2.5 重型电动汽车

2011年5月，韩国政府将频率20 kHz（1921 kHz）和60 kHz（5961 kHz）分配给了在线电动汽车（OLEV）。在韩国，这些频率可用于任何类型的车辆，不论它是重型车辆还是载客车辆。现在，OLEV系统正在进行试验，在一个站点上发放了许可证。

5.3 用于国家级WPT的ISM频段

6 765-6 795 kHz；13.56 MHz

5.3.1 磁共振

在一些国家，6 765-6 795 kHz支持低功率的磁共振WPT。在《无线电规则》第5.138款中，6 765-6 795 kHz被指定为一个ISM频段。

在日本，发射射频功率最高限值为50 W的ISM设备可使用该频段，而无需许可。关于“类型规范”的新规则于2016年开始生效，免除有关WPT设备的单个设备安装应用的许可，允许传输功率大于50W。

6 765-6 795 kHz为何更适于磁共振WPT技术的原因概括如下：

- ISM频段。
- 若干标准制定组织正在制定用于6 765-6 795 kHz的WPT标准。
- WPT组成部件的物理尺寸可能会比较小，例如，功率发射器线圈和接收器线圈。

在韩国，13.56 MHz频段用于WPT充电的3D眼镜，以便观看3D电视。

表3

用于移动/便携设备和家用/办公设备的、WPT系统中分配、
指定或正在研究的频率范围、关键参数、现有系统

	磁感应 (低功率)	磁共振耦合	磁感应 (高功率)	电容耦合
应用类型	移动设备、平板电脑、笔记本电脑、微机	移动设备、平板电脑、笔记本电脑、微机	家用电器、办公设备（包括较高功率的应用）	便携设备、平板电脑、笔记本电脑、微机
技术原理	共振磁感应	高共振		经由电场的WPT
考虑的国家	日本、韩国商用	日本、韩国	日本	日本
考虑的频率范围	日本： 110-205 kHz		日本： 20.05-38 kHz, 42-58 kHz, 62-100 kHz	
国家分配或指定的频率范围	韩国： 100-205 kHz	韩国： 6 765-6 795 kHz 日本： 6 765-6 795 kHz		日本： 425-471 kHz; 480-489 kHz; 491-494 kHz; 506-517 kHz; 519-524 kHz。
功率范围		日本： 几瓦至100W	日本： 几瓦到1.5kW	日本： 至100 W
优势	全球统一的频谱 较高的充电效率	- 可能的全球频谱可用性 - 接收端放置和距离的灵活性 - 发射器可同时为若干接收器供电	- 提高功率 - 接收端放置和距离的灵活性 - 发射器可同时为若干接收器供电	高效（70-85%） - 电极上不会产生任何热量 - 低辐射水平 - 水平位置自由度

表3（完）

	磁感应 (低功率)	磁共振耦合	磁感应 (高功率)	电容耦合
应用领域	便携设备、CE、工业领域、特定领域	便携设备、平板电脑、笔记本电脑、微机（低功率）	家用电器（高功率）、办公设备	便携设备、平板电脑、笔记本电脑、微机、家用设备、办公设备
有关的联盟/国际标准	无线电力联盟（WPC）[3]	A4WP（Airfuel联盟）[4]		
频谱共享的相关现有系统		日本： 移动/固定无线电系统 韩国： ISM频段	日本： 标准时钟电台（40 kHz、60 kHz）、 铁路安全电台系统（10-250 kHz）	日本： 调幅广播（525-1606.5 kHz）、海上电台/NAVTEX（405-526.5 kHz）、业余电台（472-479 kHz）

表4

**用于电动汽车的、WPT系统中分配或指定的
频率范围、关键参数、现有系统**

	载客电动汽车的磁共振与/或磁感应	重型车辆的磁感应
应用类型	泊车时电动汽车充电（静态的）	在线电动汽车（OLEV）（移动中电动汽车充电，包括停车/泊车）
技术原理	磁共振与/或磁感应	磁感应
考虑的国家	日本	韩国
国家分配或指定的频率范围	79-90 kHz	19-21 kHz, 59-61 kHz
功率范围	高至7.7 kW；假定类别为载客车辆。	– 最小功率：75 kW – 正常功率：100 kW – 最大功率：正在研发 – 空间间隔：20 cm – 节约时间和成本
优势	较高的充电效率 全球/区域正在进行的协调工作	– 提高充电效率 – 最大化空间间隔 – 降低听得见的噪声 – 有效的屏蔽设计 – 节约时间和成本

表4（完）

	载客电动汽车的磁共振与/或磁感应	重型车辆的磁感应
有关的联盟/ 国际标准	IEC 61980-1 (TC69) ISO PAS 19363 (TC22/SC37) SAE J2954	
频谱共享的相 关现有系统		韩国： 固定的海上移动设备（20.05-70 kHz） →用于无线电报的船上站点 限于双曲线无线电导航设备（DECCA） （84-86 kHz）

6 各国法规示例

对中国、日本和韩国而言，可用于WPT频率和正在进行之规则制定工作的、国家特定的规则和条件可参见参考文献[1]。

《亚太电信组织（APT）WPT调查报告》[1]和APT有关WPT的报告[8]提供了亚太电信组织（APT）各成员国有关WPT规则讨论的最新信息，供其考虑是否采用WPT。

现提供以下国家法规示例，以供参考。

6.1 韩国

所有的无线电通信设备（包括WPT设备）都应符合《无线电波法案》下的三个规则：

1) 技术规则；2) EMC规则；3) EMF规则。以下是韩国关于技术规则的进一步解释。

WPT设备作为ISM设备来监管，功率超过50 W的设备需要运行许可证。对50 W以下的设备，需要遵守有关弱电场强度和EMC测试技术规则的要求。最近，韩国政府对符合性要求和工作特性进行了修订，如下所示，当中所有的WPT设备均被视为ISM设备。

- 对于工作在100-205 kHz频率范围内的WPT设备，3 m处的电场强度小于或等于500 $\mu\text{V/m}$ 。测量值需要一个补偿因子 $6\pi/\lambda$ （其中 λ 是测量频率的波长）。
- 对于工作在6 765-6 795 kHz频率范围内的WPT设备，杂散辐射的电场强度应满足表5的要求。
- 对于工作在19-21 kHz和59-61 kHz频率范围内的WPT设备，100 m处的电场强度小于或等于100 $\mu\text{V/m}$ 。
- 对于工作在79-90 kHz频率范围内的WPT设备，磁场和电场强度应满足表6的要求。

表5

韩国工作在6 765-6 795 kHz范围内的WPT设备的场强限值

频率范围	场强限值（准峰值）	测量带宽	测量距离
9-150 kHz	78.5-10 log(<i>f</i> in kHz/9) dBμV/m	200 Hz	10 m
0.15-10 MHz		9 kHz	
10-30 MHz	48 dBμV/m	120 kHz	
30-230 MHz	30 dBμV/m		
230-1 000 MHz	37 dBμV/m		

表6

韩国工作在79-90 kHz频率范围内的WPT设备的场强限值

频率范围	场强限值（准峰值）	测量带宽	测量距离
9-150 kHz	27-15 dBμA/m	200 Hz	10 m
0.15-4 MHz	14.5- -7.7 dBμA/m	9 kHz	
4-11 MHz	-7.7 - -0.2 dBμA/m		
11-30 MHz	-0.2 - -7 dBμA/m		
30-80.872 MHz	30 dBμV/m	120 kHz	
80.872-81.848 MHz	50 dBμV/m		
81.848-134.786 MHz	30 dBμV/m		
134.786-136.414 MHz	50 dBμV/m		
136.414-230 MHz	30 dBμV/m		
230-1 000 MHz	37 dBμV/m		

6.2 日本

6.2.1 频率范围和辐射限度

2016年3月，针对电动汽车、意图发射大于50 W功率、针对使用6.78 MHz之WPT移动设备、使用400 kHz之WPT移动设备以及使用79-90 kHz之WPT移动设备、关于“类型规范”的新规则开始生效。新规则提供了允许未经许可的设备安装的规格。符合"类型规范"的系统可以随处使用。表7概述了参考标准和附加条件。根据指定的频率范围，辐射限值显示在表8、表9和表10中。

2015年，MIC的信息和通信委员会完成了对每个提议之WPT系统对现有无线电通信系统影响的研究。频谱使用情况调查首先从国内和全球视角进行。一旦确定候选频率范围，通过从2013年第四季度到2015年第三季度进行的WPT性能模拟和测量，可推导出不会造成有害干扰的辐射限值。为了进行WPT性能调查并提供合规性要求，也要研究和提供辐射测量模型和测量方法学。详细信息参加附件3和附件4。

在具体规定感应和辐射限制时，如表7所示，根据国际监管协调，参照CISPR标准。对某些针对现有频谱使用的具体使用情况，提出并认可了更多的国内共存条件。

在日本的规则中，对于传输功率不超过50 W的任何装置，不要求管理者赋予操作许可。迄今为止，针对使用6.78 MHz频段之移动装置和使用400 kHz频段之移动装置的WPT技术，均假设此类使用情况下传输功率不超过50W。新规则使此类WPT技术能够将传输功率加大到50 W以上。

表7

日本具体规定发射限制所参考的标准和条件

拟以技术	传导发射		辐射发射			
	9-150 kHz	150 kHz-30 MHz	9-150 kHz	150 kHz-30 MHz	30 MHz-1 GHz	1-6 GHz
(a) EV的WPT (3 kW等级和7 kW等级)	未做近期规定 (*1)	CISPR 11 2类 (Ed. 5.1)	WG 共存 条件 (*1)	CISPR 11 2类 (Ed. 5.1) (*4) WG 共存条件	CISPR 11 2类 (5.1版 (Ed.))	未规定
(b) 使用6.78 MHz移动装置的WPT (< 100 W)	未规定, 因为该范围不符合相关频段	CISPR 11 2类 (Ed. 5.1) (*2) CISPR 32 (Ed. 1.0)	未规定	CISPR 11 2类 (Ed. 5.1) (*2), (*3), (*4) WG 共存条件	CISPR 11 2类 (Ed. 5.1) (*2) CISPR 32 (Ed. 1.0) WG 共存条件	CISPR 32 (Ed. 1.0)
(c) 家庭/办公设备的WPT (< 1.5 kW)	CISPR 14-1 附件B (Ed. 5.2)	CISPR 11 2类 (Ed. 5.1) CISPR 14-1 附件B (Ed. 5.2)	CISPR 14-1 附件B (Ed. 5.2) WG 共存条件	CISPR 11 2类 (Ed. 5.1) (*2), (*3), (*4) CISPR 14-1 附件 B (Ed. 5.2) WG 共存条件	CISPR 11 2类 (Ed. 5.1) (*2) CISPR 14-1 (Ed. 5.2)	未规定
(d) 移动装置2的WPT (电容耦合) (< 100 W)	未规定, 因为该范围不符合相关频段	CISPR 11 2类 (Ed. 5.1) (*2) CISPR 32 (Ed. 1.0)	未规定	CISPR 11 2类 (Ed. 5.1) (*2), (*3), (*4) WG 共存条件	CISPR 11 2类 (Ed. 5.1) (*2) CISPR 32 (Ed. 1.0)	CISPR 32 (Ed. 1.0)

表7的注:

- (*1) 如果未来在CISPR 11中予以规定, 则再次讨论相关规范。
- (*2) 如果WPT功能装置在无主装置 (host device) 的情况下工作, 则首先需应用CISPR 11, 其它作为次要规范应用。
- (*3) 除非对所使用的具体频率做出其它规定, 否则需首先应用CISPR 11, 其它作为次要规范应用。
- (*4) 对于CISPR 11 2类B级, 10 m距离的发射限制的规定是在3 m距离发射限制基础上做出的。
- (*5) A/B级的分类符合CISPR 的定义。
- (*6) 在 (b) 和 (d) 中规定为CISPR 32的情况中, 必要时应用了CISPR32, 因为CISPR32非常适宜。

表8

日本为使用6.78MHz的移动装置（电磁耦合）规定的WPT发射限制

WPT目标应用	传导发射限制		基波辐射发射限制	其它频段的辐射发射限制			
	9-150 kHz	150 kHz - 30 MHz	6.765-6.795 MHz	9-150 kHz	150 kHz - 30 MHz	30 MHz - 1 GHz	1-6 GHz
(b) 使用6.78 MHz的移动装置的WPT	未规定	0.15-0.50 MHz: 准峰值 66-56 dB μ V（随着log（f）成线性下降） 平均 56-46 dB μ V（随着log（f）成线性下降） 0.50-5 MHz: 准峰值 56 dB μ V, 平均46 dB μ V 5-30 MHz: 准峰值 60 dB μ V, 平均 50 dB μ V, ISM频段除外	6.765-6.776 MHz: 44.0 dB μ A/m at 10 m（伪准峰值）; 6.776-6.795 MHz: 64.0 dB μ A at 10 m（准峰值）	未规定	以CISPR 11. 5.1版为基础，转换为10 m距离的数值，随log(f)发射限制成线性下降（从0.15 MHz上的39 dB μ A/m到30 MHz上的3 dB μ A/m。 例外1: 20.295-20.385 MHz: 4.0 dB μ A/m at 10 m（准峰值） 例外2: 10 m 时526.5-1 606.5 kHz: -2.0 dB μ A/m（准峰值）	以CISPR 11 5.1版为基础，并应用了下列数值: 30-80.872 MHz: 30 dB μ V/m; 80.872-81.88 MHz: 50 dB μ V /m; 81.88-134.786 MHz:30 dB μ V/m; 134.786-136.414 MHz: 50 dB μ V/m; 136.414-230 MHz:30 dB μ V/m; 230-1 000 MHz: 37 dB μ V/m 如采用CISPR 32（1.0版），则应应用表A.5中3 m的限制。 例外情况: 10 m时33.825-33.975 MHz: 49.5 dB μ V/m（准峰值）	如果应用CISPR 32（1.0版）（1），则应采用（1）表A.5中3 m的限制

表9

日本使用400 kHz频段的移动装置（电容耦合）的WPT发射限制

WPT目标应用	传导发射限制		基波辐射发射限制	其它频段的辐射发射限制			
	9-150 kHz	150 kHz - 30 MHz	425-471 kHz; 480-489 kHz; 491-494 kHz; 506-517 kHz; 519-524 kHz	9-150 kHz	150 kHz - 30 MHz	30 MHz - 1 GHz	1-6 GHz
(d) 使用400kHz的移动装置的WPT（电容耦合）	未规定	0.15-0.50 MHz: 准峰值 66-56 dB μ V（随着log(f)成线性下降） 平均 56-46 dB μ V（随着log(f)成线性下降） 0.50-5 MHz: 准峰值 56 dB μ V, 平均 46 dB μ V 5-30 MHz: 准峰值 60 dB μ V, 平均 50 dB μ V, ISM频段除外	以CISPR 11. 5.1版为基础，转换为10 m距离的数值，随log(f)发射限制成线性下降（从0.15 MHz上的39 dB μ A/m到30 MHz上的3 dB μ A/m）	未规定	以CISPR 11. 5.1版为基础，转换为10 m距离的数值，随log(f)发射限制成线性下降（从0.15 MHz上的39 dB μ A/m到30 MHz上的3 dB μ A/m） 例外： 10 m时 526.5 1 606.5 kHz: -2.0 dB μ A/m（应用准峰值）	以CISPR 11 5.1版为基础，并应用了下列数值： 30-80.872 MHz: 30 dB μ V/m; 80.872-81.88 MHz: 50 dB μ V/m; 81.88-134.786 MHz: 30 dB μ V/m; 134.786-136.414 MHz: 50 dB μ V/m; 136.414-230 MHz: 30 dB μ V/m; 230-1 000 MHz: 37 dB μ V/m 如果应用CISPR 32（1.0版），则应用表A.5中3 m的限制	如果应用CISPR 32（1.0版）（1），则应采用（1）表A.5中3 m的限制

表10

日本EV应用的WPT发射限制

WPT目标应用	传导发射限制		基波辐射发射限制	其它频段的辐射发射限制			
	9-150 kHz	150 kHz - 30 MHz		9-150 kHz	150 kHz - 30 MHz	30 MHz - 1 GHz	1-6 GHz
EV充电的WPT	未规定	0.15-0.50 MHz: 伪准峰值 66-56 dB μ V (随着log(f)成线性下降) 平均 56-46 dB μ V (随着log(f)成线性下降) 0.50-5 MHz: 准峰值 56 dB μ V, 平均 46 dB μ V 5-30 MHz: 准峰值 60 dB μ V, 平均 50 dB μ V, ISM频段除外	10 m距离时68.4 dB μ A/m (准峰值)	10 m距离时23.1 dB μ A/m (准峰值), 79-90 kHz除外	以CISPR 11.5.1版为基础, 转换为10 m距离的数值, 随log(f)发射限制成线性下降 (从0.15 MHz上的39 dB μ A/m到30 MHz上的3 dB μ A/m) 例外1: 对于158-180 kHz, 237-270 kHz, 316-360 kHz, 和3 965-450 kHz, 发射限制高于 (1) 10 dB。 例外2: 用于526.5-1 606.5 kHz, -2.0 dB μ A/m (准峰值)	在CISPR 11 5.1版本的基础上, 应用了下列数值: 30-80.872 MHz: 30 dB μ V/m; 80.872-81.88 MHz: 50 dB μ V/m; 81.88-134.786 MHz: 30 dB μ V/m; 134.786-136.414 MHz: 50 dB μ V/m; 136.414-230 MHz: 30 dB μ V/m; 230-1 000 MHz: 37 dB μ V/m	未规定

6.2.2 射频照射评估

日本应用无线电辐射保护导则（RRPG）评估WPT系统是否符合人体射频照射标准。RRPG推荐的导则可用于评估人们在使用无线电波而导致人体电磁场暴露（10 kHz至300 GHz的频率范围），以确保电磁场是安全的，不会对人体造成不必要的生物影响。这些导则所含的数值涉及到电磁强度、评估电磁场的方法以及减少电磁场造成干扰的保护方法。

RRPG用于WPT系统的指导性数值属于普通环境中的行政导则，适用的情况是人体电磁场暴露无法被认识到、无法预期进行适当控制且存在不确定因素。例如，居民在普通住宅环境中暴露于电磁场就属于这种情况。

然而，如果人体位于在10 kHz至100 kHz频率范围操作的WPT系统20 cm内，则不适用有关人体部分吸收的导则，而适用RRPG的基本导则。

基本导则并未将一般环境 with 专业环境加以区分，因此，在应用一般导则时，采用行政导则中计算安全的1/5因素（电磁场强和电流强度的 $1/\sqrt{5}$ ）。

评估方法提供是否符合RRPG的评估模式（Patterns），后者提供指导性数值和导则。评估模式通过下列参数的组合确定。每一种目标WPT技术（如，使用6.78 MHz的移动装置的WPT和EV的WPT）均有独立的评估模式。

- 1) 人体距离WPT系统< 20 cm或者处于发射线圈与接收线圈之间的可能性；
- 2) 接触危险保护；
- 3) 无接地状况；
- 4) 人体全身的平均SAR；
- 5) 部分人体的SAR；
- 6) 感应电流强度；
- 7) 接触电流；
- 8) 外电场；以及
- 9) 外磁场。

各目标WPT技术的最简单评估模式包括上述8)和9)，也就是最简单的参数组合。在评估中，该最简单模式假设人体吸收无线电波能的最差（最大）情况。换言之，估计人体的射频照射大大超过实际照射数值，此后，评估结果将大大低于WPT系统允许的发射功率。

其它模式包含更多数量的参数组合。随着被采用参数的加大，评估方法也要求进行更详细的评估，从而得出更准确的射频照射估算值。一些进行详细评估的模式应用耦合因素，该因素与测得的最大磁场强度相乘，以确认射频照射低于导则所述数值。导则还提供了耦合因素的衍生方法。

如果任何模式中使用目标WPT技术之一的系统在演示中显示出符合导则规定数值的话，则该系统被视为符合RRPG。

如果未来用于评估的一种新评估方法能得到适当工程方式的支持或能证明可酌情改善适用的评估方法，则可用于此目的。

正如本节结尾处所述，在RRPG方面，各方已同意在低频率范围情况下采用ICNIRP2010导则。因此，应确定人体照射的数量，以便在100kHz至10MHz频率范围内，不仅避免SAR导致细胞组织发热，而且避免刺激神经。

6.3 中国

中国有关WPT的国家法规正在研究中。

7 对WPT与无线电通信业务之间的影响研究

本节详细介绍了WPT与无线电通信业务（包括射电天文学业务）之间影响研究的状况⁵。

本节中的一些研究适用于移动和便携式设备的WPT辐射，这也包括在ITU-R SM.2449报告中，例如第7.2节和附件3中的研究。但是，由于这些研究是通用性质的，因此它们也适用于便携和移动设备的情形。

7.1 一些主管部门的研究结果和正在进行的活动

鉴于WPT系统可产生的高场强，有可能干扰工作于附近频段的通信信号。确定所需的WPT射频信号特性必须基于对WPT可能对其它服务造成的干扰的研究。此类研究以及因此而确定有关特性必须在为WPT指定或分配频率之前完成。

图22和图23显示了日本指定和韩国分配的WPT频谱[1]以及国际组织一致同意的非波束WPT系统频谱。根据ITU-R SM.2110建议书“电动汽车非波束无线输电操作频率范围指南”和ITU-R SM.2129建议书“移动和便携设备非波束无线功率传输系统操作的频率范围指南”，还可以为WPT使用额外的频谱。对带有WPT系统的相关系统之间的频谱共享问题应该做出研究，以便弄清楚是否可共存。一些WPT设备被归类为ISM设备，这些设备不得对其它台站产生有害干扰，也不得要求保护。表11显示了低于1.6 MHz的现有无线系统的频谱使用情况，应在电动汽车WPT系统的影响研究中予以考虑。

⁵ 本节内容未来可能会在《ITU-R SM 2449和SM2451报告》的持续修订中进行审查。

表11
当前无线系统的频谱使用情况

无线电系统	频段	通信技术	备注
标准频率和时间信号服务	19-20.05 kHz (20 kHz, 全球) 39-41 kHz (40 kHz, 日本) 49.25-50.75 kHz (50 kHz, 俄罗斯) 59-61 kHz (60 kHz, 英国、美国和日本) 65.850-67.35 kHz (66.6 kHz, 俄罗斯) 68.25-68.75 kHz (68.5 kHz, 中国) 74.75-75.25 kHz (75 kHz, 瑞士) 77.25-77.75 kHz (77.5 kHz, 德国) 99.75-102.5 kHz (100 kHz, 中国) 128.6-129.6 kHz (129.1 kHz, 德国) 157.5-166.5 kHz (162 kHz, 法国)	Amplitude modulation, 调幅 (BCD)	钟表, 周期性地接收从标准时间信号发射站发射的标准时间数字信号, 以同步和调整自己的时间。
纹波控制服务	128.6-129.6 kHz (129.1 kHz, 欧洲) 138.5-139.5 kHz (139 kHz, 欧洲)	—	电厂及其电力网络的负载/需求管理系统。

表11（完）

无线电系统		频段	通信技术	备注
火车无线电系统	自动火车停靠系统（ATS）	10-250 kHz（日本）	—	电信系统，将电流施加到与铁路轨道一起安装的线圈上，并检测安装在轨道上的火车车辆上的线圈，以控制火车。
		425-524 kHz（日本）		
	感应火车无线电系统（ITRS）	100-250 kHz（日本）	—	信号传输系统，它利用与铁路轨道等一起安装的传输线与安装在火车车辆上的天线之间的电感耦合。
		80 kHz，92 kHz（日本，只有一个电台）		
业余电台		135.7-137.8 kHz	调幅、调频、SSB等	带有发射器和接收器设备的无线电业务，用于技术研究和业余电台操作员的培训。
		472-479 kHz		
海事电台		90-110 kHz（LORAN）	脉冲、FSK等	无线电系统，确保船舶运营安全，用在港口和码头或海上。
		424 kHz，490 kHz，518 kHz（NAVTEX）		
		495-505 kHz（NAVDAT）		
语音广播		148.5-283.5 kHz（区域1） 525-526.5 kHz（区域2） 526.5-1606.5 kHz（全球） 1605.5-1705 kHz（区域2）	调幅/DRM	带有接收器设备的音频广播服务，使用中波段。

图22

所涉WPT频谱和现有系统 (10-300 kHz)

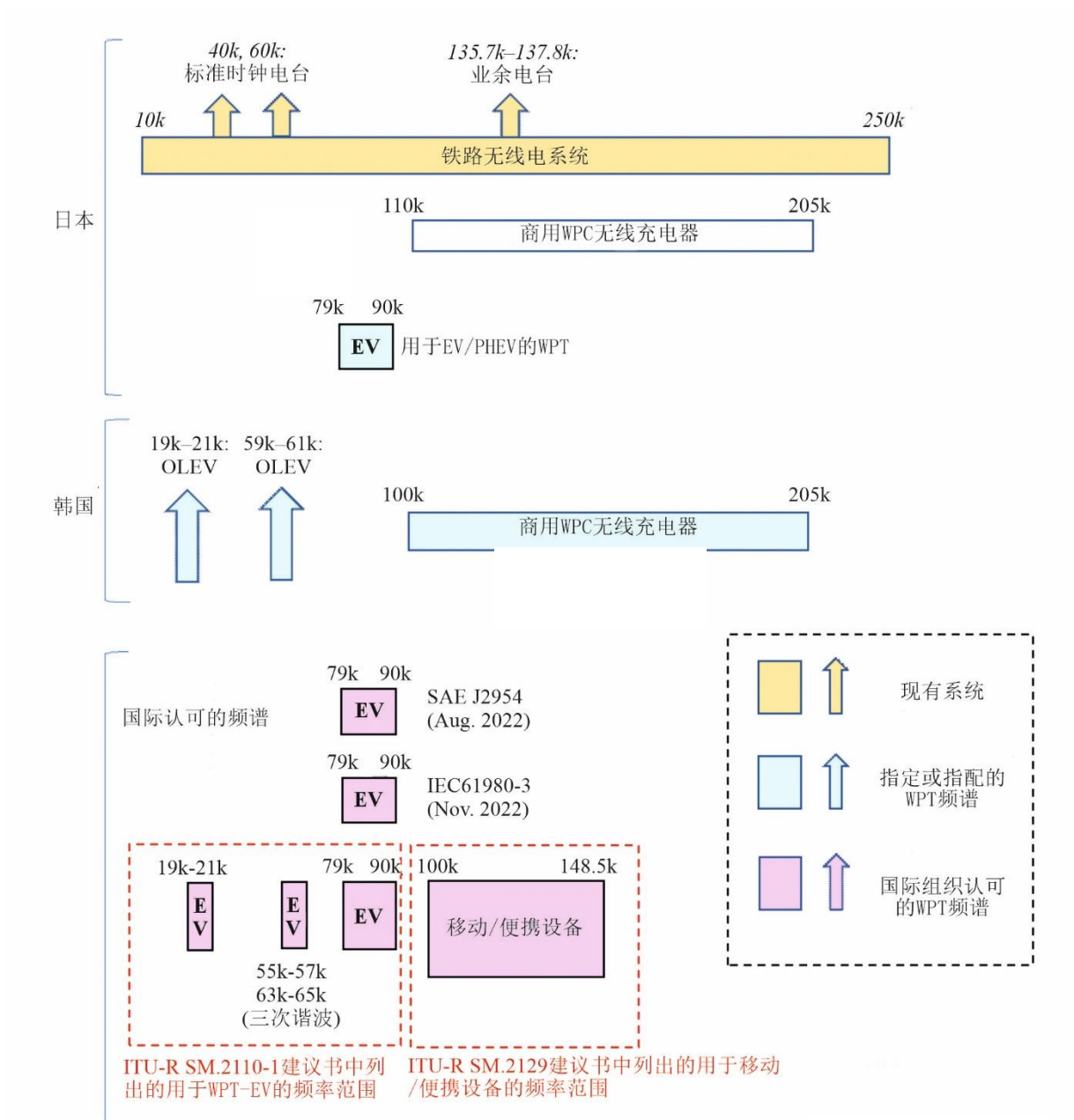
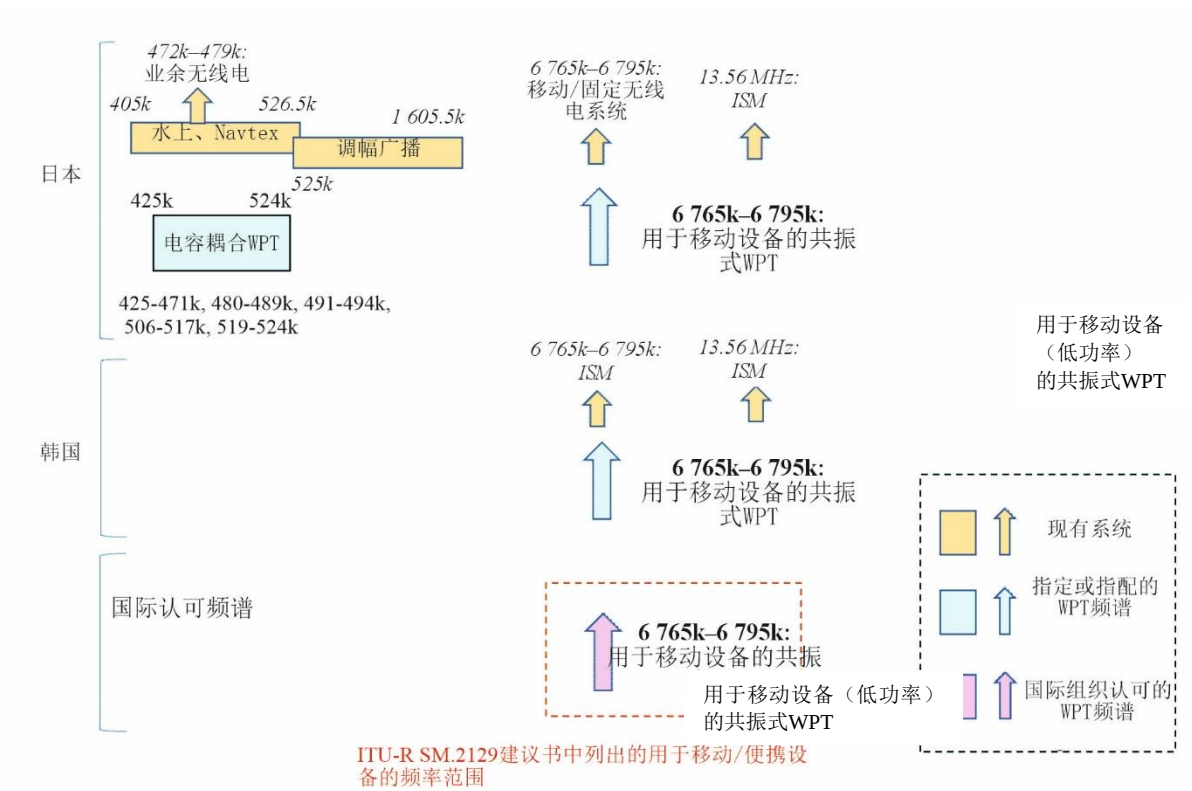


图23
所涉WPT频谱和现有系统（400 kHz-13.56 MHz）



在日本，目标WPT系统和具有基本参数的候选建议频率范围概括如表12所示。

表12

日本MIC WPT工作组已审议的WPT技术

目标WPT应用	(a) 用于电动汽车的WPT	(b) 用于移动设备和便携设备的WPT (1)	(c) 用于家用电器和办公设备的WPT	(d) 用于移动设备和便携设备的WPT (2)
WPT技术	磁场充电（感应、共振）			电容耦合
传输功率	约可达3 kW （最大7.7 kW）	几 W-约100 W	几 W - 1.5 kW	约100 W
候选的WPT频率范围	42-48 kHz （45 kHz频段）， 52-58 kHz （55 kHz频段）， 79-90 kHz （85 kHz频段）， 140.91-148.5 kHz （145 kHz频段）	6765-6795 kHz	20.05-38 kHz, 42-58 kHz, 62-100 kHz	425-524 kHz
传输距离	0 –约30 cm	0 –约30 cm	0 –约10 cm	0 –约1 cm

本表中的信息可根据WPT的国内和全球标准化发展趋势进行修改。

7.1.1 日本

关于频谱共用和共存研究，MIC无线电波使用电磁环境委员会下设的WPT工作组（WG）选用了诸多现有无线电系统和目标WPT系统之间的可行和切合实际的组合，后者在具体使用情况下可能产生有害干扰。在这种情况下，WPT基本无线电波可能与现有无线电系统处于相同频谱中—如果后者位于离WPT装置的最小间隔距离之内，或未采取适当的功率衰减措施。另一种情况是，WPT的谐波可能落在现有无线电系统的频谱内，从而使现有无线电接收机的信号质量下降。考虑到所涉事件的各种变化，工作组定义了最差情况下的条件，以评估WPT的影响。首先对不同的使用情形进行了审议，然后进行模拟和现场实验。工作组按照现有的接收器灵敏度和假设的实际使用情况，定义了共存条件，它给出了WPT系统和现有系统一起使用的准则。

2014年12月，在所确定条件下，工作于6.78 MHz的磁耦合WPT和电容耦合WPT均在演示中显示出可实现共存。

评估了6.78 MHz频率上的磁耦合WPT装置与公众无线电系统（使用6.765-6.795 MHz范围内的小部分频率）之间的共存情况。假设的最大传输功率为100瓦。得出了具体发射限度（见表8）并规定了为满足共存要求而需要的一小段频率。

通过理论计算和现场试验对电容耦合WPT装置的共存进行了评估。结果显示，与相关现有系统进行共存时，电磁辐射场强大大低于要求的辐射限度。因此，证实了传输功率低于100瓦的电容耦合WPT装置的共存性。然而应当指出，候选工作频率范围中不包含水上无线电装置和业余无线电装置的频率范围，因为考虑到了国际频谱使用情况。

在该评估中，用于家用电器的在kHz范围工作的另一种电磁耦合WPT技术未在演示中显示出在所有确定测试情况下都具有共存性。

工作于79-90 kHz的用于EV的WPT在演示中显示出与标准无线电时钟装置、调幅广播装置和业余无线电装置的共存性。工作于79-90 kHz以外的其它候选频率范围中的这些设备尚不能满足相关要求，因此，EV的候选频率范围已融合至79-90 kHz范围。

工作组进一步作出评估，以证实这些系统与铁路无线电系统，即，遍布日本铁路网的火车自动停车系统（ATS）和火车感应无线电系统（ITRS）的共存情况进行了每个实际使用情况的评估。最后，工作组就与铁路无线电系统实现共存的技术要求达成了一致。

根据有关共存研究的结果，日本希望强调，全球各方都关注这些装置与铁路无线系统，特别是ATS的共存情况。目前，ATS在约100 kHz频率上操作，且不仅部署于日本的铁路网中，而且部署于全球许多国家和地区的铁路网中。未来可能出现的情况是，许多已部署ATS的国家都要面临证实与WPT系统可共存的问题，以确保乘客的安全。该项研究不应仅在针对相关国家的方式中得到考虑，而应在全球得到考虑。日本请ITU-R与CISPR协作，就该项研究采取行动。

对于确保运行安全而言，通过电磁控制机制实现的铁路无线系统至关重要。确保这些系统不受无用无线电波的干扰必不可少，而且它们各自应有独立的特性。有鉴于此，各国或各区域有关这些系统的共存标准将不尽相同，因此，在确立CISPR发射限度时，应考虑到这些系统的多样性和可靠性。

工作组得出结论认为，对3kW和7.7kW功率等级，在79-90kHz频率范围内的电动汽车用WPT系统可以在实际条件下使用，而不会对选定的现有系统和服务造成有害干扰。电动汽车用WPT系统（6.78 MHz磁耦合WPT和电容耦合WPT）的新规则已于2016年3月颁布并生效。

表13（A）、（B）、（C）和表14概括了共存研究的结果。

表13

日本用于移动设备和家用电器的WPT共存研究结果概述

(A) 与标准无线电时钟装置、火车自动停车系统和火车无线电感应系统的共存

移动和家用电器的WPT		现有系统		
技术	候选频率范围	标准无线电时钟装置 (SCRD) ⁽¹⁾ (40 kHz, 60 kHz)	ATS ⁽²⁾ (10-250 kHz)	ITRS ⁽³⁾ (10-250 kHz)
电磁耦合 (低功率移动装置)	6.765-6.795 kHz	N/A	N/A	N/A
电磁耦合 (低功率家用电器)	20.05-38 kHz	带有以下说明的条件: • 第2和第3谐波不得落于SCRD工作频段 • 请用户注意对SCRD装置可能产生的干扰	有必要进行共存性的进一步评估: • 需要衍生出所需的不会带来有害干扰的间隔距离	满足共存条件
	42-58 kHz			满足共存条件
	62-100 kHz			有必要进行共存性的进一步评估: • 需要衍生出所需的不会带来有害干扰的间隔距离
电容耦合 (低功率移动装置)	425-524 kHz	N/A	通过减少磁场满足共存条件	N/A

评估中使用的共存条件:

- ⁽¹⁾ 标准无线电时钟装置: 在模拟使用情形中, WPT装置不得产生有害干扰。
- 10 m间隔距离被用作共存标准。当集总谐波 (integer harmonics) 落入标准无线电时钟工作频段时, 除测试基波特性和外, 也测试了集总谐波。
 - 考虑了有关操作时间条件的更多测量情况, 因为在标准无线电时钟频繁接收其信号的午夜, 并未预期或观察到家庭/办公设备的运行频率减少。如果对家用电器的WPT产生的射频风险作出的通告, 则可能会减少共用相同频谱时产生的干扰, 因为使用时间并非完全重叠。
 - WPT谐波产生的20.05 kHz和30 kHz基波落于标准无线电时钟的工作频谱, 因此, 确保无有害干扰至关重要。
- ⁽²⁾⁽³⁾ ATS和ITRS: WPT装置在实际操作使用情况中, 不得产生有害干扰。共存标准为:
- WPT的频段不应与包括ATS在内的火车信号通信系统的频段相重叠, 或
 - 确保WPT装置不产生有害干扰的与ATS/ITRS设备的间隔距离应小于火车系统建造标准规定的最严格门限制 (约1.5 m)。
 - 日本各类铁路建设方案均须满足上述要求。

(B) 与调幅广播和水上无线电装置的共存研究

用于移动和家用电器的WPT		现有系统	
技术	候选频率范围	调幅广播 ⁽¹⁾ (526.5-1 606.5 kHz)	水上无线电装置 ⁽²⁾ (405-526.5 kHz)
电磁耦合 (低功率移动装置)	6,765-6,795 kHz	N/A	N/A
电磁耦合 (低功率家用电器)	20.05-38 kHz	未满足共存条件，所需间隔距离大大超出10 m的目标要求	N/A
	42-58 kHz		N/A
	62-100 kHz		在下列情况下满足共存条件 • 避免使用在LORAN-C频率范围中进行功率发射的WPT ⁽³⁾
电容耦合 (低功率移动装置)	425-524 kHz	在带有下列说明的情况下满足共存条件： • 要求用户注意可能对调幅无线电装置产生的干扰 • 如果观察到有害干扰，WPT装置需采取相应措施	在以下情形下满足共存条件： • 避免使用在NAVTEX和NAVDAT频率范围内发生功率的WPT系统

评估中使用的共存条件：

- (1) 调幅广播：根据CISPR住宅环境，WPT装置不得对至少相距10 m的调幅广播收音机产生有害干扰。在系统模式中假设了多个WPT装置和室内调幅无线电录音机。在一致认可的最差使用条件下进行了现场测试，频率为可变的频率并使用了若干WPT装置、间隔距离以及城市中背景噪声很高和较低的区域。还参考了CISPR 11第2组B类。
- (2) 水上无线电装置：WPT装置不得产生有害干扰。评估显示，拟议的WPT系统有可能持续与水上无线电系统共存。然而，值得指出的是，为了确保水上航行的安全，该研究采用了下列频率范围中的频率，因此，实际使用的相同频率被取消。（i）NAVTEX：518kHz（424kHz、490kHz）；（ii）NAVDAT：495-505kHz。此外，谐波不应落于在国际上使用的VHF水上无线电频段（156-162MHz）。
- (3) LORAN-C、eLORAN（90-100 kHz）：水上无线电通信操作人员发表意见说，不应安排将此频谱用于WPT。

(C) 与业余无线电装置和公众无线电系统的共存

移动和 家用电器使用的WPT		现有系统	
技术	候选频率范围	业余无线电装置 ⁽¹⁾ (135.7-137.8 kHz, 472-479 kHz)	公众无线电系统 ⁽²⁾ (6 765-6 795 kHz)
电磁耦合（低功率 移动装置）	6.765-6.795 kHz	在下列情况下满足共存条件： • 避免使用在业余无线电频率范围中进行功率发射的WPT系统	在提供具体发射限制的情况下满足共存条件
电磁耦合（低功率 家用电器）	20.05-38 kHz		N/A
	42-58 kHz		N/A
	62-100 kHz		N/A
电容耦合（低功率 移动装置）	425-524 kHz		N/A

评估中使用的共存条件：

- (1) 业余无线电装置：对于电容耦合，472-479 kHz频段是带内情况（共用相同频谱）。对业余电台，未找到针对其其它系统的正式干扰电平要求或规则。然而，各方的一致意见是，在WPT工作频率范围内，将分配给业余无线电的该频段排除在外，并确立适当的频偏。
- (2) 公众无线电系统：日本的6 765-6 795kHz频段并非ISM频段。然而，相关规则规定，允许在该频段中使用WPT应用。目前已就该频段中WPT产品新的发射限度达成了一致，这将有助于实现与该频段内现有系统的共存并达到更高的功率传输。

表14

日本EV所用WPT共存研究结果概述

用于EV的WPT	现有系统				
候选频率范围	SCRD ⁽¹⁾ (40 kHz, 60 kHz)	ATS ⁽²⁾ (10-250 kHz)	ITRS ⁽³⁾ (10-250 kHz)	调幅广播 ⁽⁴⁾ (526.5-1 606.5 kHz)	业余无线电装置 ⁽⁵⁾ (135.7-137.8 kHz)
42-48 kHz	不能满足共存条件	未评估, 因为未满足另一条件	满足共存条件	在带有下列说明的情况下满足共存条件: • 请用户注意可能对调幅无线电广播收音机造成的干扰 • 如果观察到有害干扰, 则WPT装置需采取适当措施	在带有下列说明的情况下满足共存条件: • 避免使用在业余无线电频率范围内发射功率的WPT系统
52-58 kHz	不能满足共存条件	未评估, 因为未满足另一条件	满足共存条件		
79-90 kHz	在带有下列说明的情况下满足共存条件: • 请用户注意可能对标准无线电时钟装置产生的干扰	在带有下列要求的情况下满足共存条件: • 须保持距离铁轨至少4.8 m的最小间隔距离	在遵守下列要求的情况下满足共存条件: • 须保持距离铁轨至少45 m的最小间隔距离 • 在须适用本技术要求方面, 仅有一条铁轨的操作使用80 kHz和92kHz		
140.91-148.5 kHz		未评估, 因为未满足另一条件	不能满足共存条件		

表14中的注：

评估中使用的共存条件

- (1) 标准无线电时钟装置：在一致认可的使用情形中，WPT装置不得产生有害干扰– 通过标准无线电时钟装置接收机最小灵敏度产生的 C/I 比确定。共存条件使用的间隔距离是10 m。此外，还考虑到了WPT与标准无线电时钟之间并非重叠的更多工作时间测量、无线电传播方向变化以及可能的性能改善。
- (2) (3) ATS和ITRS：WPT装置不得对在实际使用中的这些装置产生有害干扰。共存条件为：（i）WPT的频段不应与包括ATS在内的火车信号通信系统的频段相重叠，或（ii）确保WPT装置不产生有害干扰的与ATS/ITRS设备的间隔距离应小于火车系统建造标准规定的最严的门限制（约1.5 m）。日本各类铁路建设方案均需满足上述要求。
- (4) 调幅广播：根据CISPR住宅环境，WPT装置不得对至少相距10 m的调幅广播收音机产生有害干扰。在一致认可的最差使用条件下，利用模拟机车进行了WPT发射机和接收机的现场测试，其中 $F_c=85.106\text{kHz}$ 的WPT的第7谐波落在覆盖日本Kanto区广泛区域的594 kHz调幅广播业务信道中。还进行了收听评估。
- (5) 业务无线电装置：这是一种带外情况（不共用相同频谱）。用于EV的WPT的候选频率范围拥有适当的频偏频率（保护频带），以实现业余无线电频段的失谐。因此，未考虑接受机敏感度取消（带外）情况，而是考虑了WPT装置谐波辐射的发射电平（杂散辐射），如果这些谐波落入业余无线电频段的话。如果将日本无线电法和其它相关规则规定的发射电平作为标准的话，目前有关用于EV的WPT假设表明，在设定可令人接受的系统参数的条件下，可能不会对业余无线电装置造成有害干扰。

7.1.2 韩国

在韩国，自2009年以来，它为重型车辆WPT系统使用19-21 kHz和59-61 kHz。功率水平约为100 kW，用于为无线电动公共汽车充电。从2011年开始，韩国向首尔（首尔大公园穿梭巴士）、大田（KAIST穿梭巴士）、世宗（新行政城内巴士）和龟尾市（工业园城内巴士）等可变区域城市提供扩展服务。另外，韩国政府于2011年5月向频率应用设备（包括WPT（无线充电）技术）分发了频段（19-21 kHz和59 61 kHz），并支持相关影响研究，以保护先期频率资源与/或相邻频段的频率服务。

基于实际工作现场条件下提出的测量方法的测试结果如附件4所示。附件4的结果指明了在距离固定公共汽车充电站（约100 kW）每隔10 m、30 m、50 m和100 m处的现场测试输出结果。

此外，日本的60 kHz无线电时钟和EBU低频带（148.5-283.5 kHz）的影响研究在实际商用站点情况下也被报告为相同条件。

总之，在远距离100 m距离的情况下，检测固定重载WPT系统与日本无线电时钟、EBU LF频段之间的直接相关干扰是非常困难的。这100 m意味着传统的电场测量技术，它也指无线电法律保护任何其它频率服务。因此，如果采用固定大功率WPT系统，必须严格遵守有关分隔距离的要求。

根据《无线电波法案》，在附件5中，100-300 kHz频率范围内的韩国移动WPT设备被指定为弱电磁场强度设备之一。为了在韩国市场推出使用100-300 kHz的WPT设备，产品必须符合相应的法规要求，以防止对其它系统造成任何有害干扰。基本上，只要符合作为弱电磁

场强度设备的监管要求，任何WPT频率（包括100-300 kHz）都将被允许，除了某些特定的禁止频率。

附件5提供了WPT系统对使用磁感应技术之移动设备的电磁辐射干扰的测量数据，它符合欧洲标准和CISPR 11要求以及韩国规定。

7.1.3 德国

2016年1月，德国对WPT系统进行了测量，在消声室内对汽车进行充电，并提供了结果。工作于85 kHz频率的WPT系统的场强测量范围为20 kHz至约1.5 MHz，并与ETSI EN 300 330-1中有关感应SRD的限度进行了比较。

在不同的极化平面上完成测量，只考虑具有最大辐射的平面的结果。为了直接与ETSI EN 300 330中的限值进行比较，只考虑10 m距离的测量结果，因为这是该标准中定义的标准距离。

10 m距离处的测量结果如下所示：

- 一般来说，当车辆没有准确地位于充电线圈的中心时（最大偏移），杂散辐射略高。但是，差异小于当考虑到不同测量方向（前/后/左/右）时的差异。
- 相比侧面，正面和背面的杂散辐射水平通常更高。
- 所测试信道内的场强（载波功率）约为71 dBuA/m（无偏移）至75 dBuA/m（最大偏移）。这超过了ETSI EN 300 330-1的限度，分别为4 dB和8 dB。但是ETSI目前正在开发专门用于WPT系统的新协调标准EN 303 417。ETSI发布了EN 303 417 “使用19-21 kHz、59-61 kHz、79-90 kHz、100-300 kHz、6 765-6 795 kHz范围以外射频波束技术的无线充电系统；涵盖2014/53/EU号指令第3.2条基本要求的统一标准”。
- 标准时间信号（低于85 kHz）频率范围内的杂散辐射水平远低于ETSI EN 300 330-1的限值，典型值为20 dB。
- 谐波频率低于1.5 MHz时的杂散辐射水平超过ETSI EN 300 330-1的限值，多达20 dB。应该指出的是，测试的WPT系统是一个仍在开发中的原型设备，因此可能不代表最终的生产设计。

7.2 WPT通用研究和对广播业务影响的结果

广播业务在LF和MF频段具有以下主要分配：

区域1中的148.5-283.5 kHz

区域1和区域3中的526.5-1 606.5 kHz

区域2中的525-1 705 kHz

这两种分配都用于AM语音广播与/或DRM。

然而，下面的分析仅侧重于AM声音广播。

对于WPT系统与广播业务之间的共存，应该在任何无线电环境中讨论对广播业务的影响，例如农村、住宅和城市地区。

第7.2.1小节包含一项研究，它基于使用ITU-R建议书和报告中广播业务保护准则的分析方法。它从LF和MF频段广播接收器的WPT中推导出最大可容忍磁场。如ITU-R P.372建议书所述，推导出的最大可容忍磁场强度几乎与安静的农村地区的环境噪声水平相同。

第7.2.2小节描述了日本行政委员会对城市和郊区中影响所做的研究。本研究中WPT系统与广播业务共存的基本要求是，WPT广播接收机的辐射水平低于ITU-R P.372建议书中所述的“城市”环境中的环境噪声。距离WPT接收器10 m处的MF广播频段的辐射限值由上述分析研究的不同方法来确定。方法包括在辐射测试现场中对广播业务干扰的辐射测量和可听性测试。

7.2.1 分析WPT系统对广播业务的影响

7.2.1.1 保护准则和可接受的干扰

ITU-R BS.703建议书 – 出于规划目的的调幅语音广播参考接收器的特性，出于规划目的将调幅语音广播声音接收器的最低灵敏度设为：

- 频段5 (LF): 66 dB μ V/m
- 频段6 (MF): 60 dB μ V/m

ITU-R BS.560建议书 – LF、MF和HF广播中的射频保护比，概述了AM广播信号之间干扰的适用保护比。尽管WPT不是广播信号，但它可采取（大部分）未调制载波的形式，并且在这种程度上实际上非常类似于广播AM信号，在呈现给接收器的暂停或安静通道期间。因此，这些保护比率可被认为是从WPT推导辐射限值的良好基础。

7.2.1.2 从WPT装置推导广播接收器的最大可容忍H场

任何辐射限值的一部分是规定距离干扰源的距离，在该距离处特定的场强限值应该适用。这个问题可以与限值应该是什么这一问题完全分开来处理：

- 推导的第一步是考虑广播接收机器处的有用场强和干扰场强，而不管距干扰源的距离如何。在提到距离的地方，我们这样做只是为了确定现场的场强。
- 第二步是考虑有关分隔距离、影响干扰源与广播接收器之间传播的因素以及WPT使用案例的场景（从移动电话的低功率充电器等，到重型电动汽车的高功率充电器）的必要假设。

然后可以在上面的第一步中导出对落于AM信号频段中的WPT干扰的限值。

重要的是，WPT设备引起的辐射干扰可源自：

- 基本WPT频率的谐波；例如，使用79-90kHz频段中某个频率的WPT EV充电器可以产生落入LF广播频段（148.5-283.5 kHz – 二次谐波）和MF广播频段（526.5-1 606.5kHz和525-1 705 kHz – 六次谐波及以上）的谐波；或者
- WPT本身的基础；来自某个广播频段中某个频率的WPT充电器。

从ITU-R BS.703建议书和ITU-R BS.560建议书中给出的建议规划考虑和保护准则开始，并注意到家庭中使用的广播接收器通常使用铁氧体棒状天线以响应波的磁场分量H，在考虑WPT设备的辐射限制时，使用相应的H场强度是方便的。假定远场自由空间条件（它将应用于接收器天线处收到的广播信号），电场与磁场之间的关系（来自麦克斯韦方程）为：

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \Omega$$

其中 μ_0 是自由空间的磁导率， ϵ_0 是自由空间的介电常数。

这意味着以下转换因子适用：

$$H_{(\frac{\mu A}{m})} = E_{(\frac{\mu V}{m})} \cdot \frac{1}{377}$$

这可表示为：

$$H_{dB(\frac{\mu A}{m})} = E_{dB(\frac{\mu V}{m})} - 51.5 \text{ dB}$$

因此，LF和MF（第7.2.1.1节）中的接收器灵敏度也可分别表示为14.5dB μ A/m和8.5 dB μ A/m。

AM广播的保护比包括两部分：

- 当干扰信号和需要的信号载波基本处于相同的频率上时所需的“共存信道”保护比（PR）（因此它们之间的任何节拍都具有低于可听范围的频率；在这种情况下，干扰信号的调制是听觉干扰的主要原因）；
- 当有用信号和干扰信号有频率差时必须加上附加的“相对PR”，然后产生连续可听的拍音；这种修正取决于频率偏移，主要是因为人耳的频率响应远不是“平坦的”。

除非WPT设备频率与广播频率栅格仔细对齐，否则需要添加非共存信道操作的附加相对PR。假设WPT频率不受控制，我们可能会认为发生了最坏的情况。[ITU-R BS.560](#)建议书的图1显示最大相对PR约为16 dB，对应2 kHz左右的频率偏移。

对于最坏的情况，必须将这个相对PR值加到40 dB的共存信道PR上，以给出（40+16）=56dB的、WPT干扰与AM广播的总PR。

因此它遵循在广播接收器位置处的最大可接受的WPT场强度，这通过从接收器灵敏度中减去该PR来给出。

因此广播接收器位置处的最大可接受WPT H场是：

- 频段5（LF）：（14.5 – 56）= –41.5 dB μ A/m
- 频段6（MF）：（8.5 – 56）= –47.5 dB μ A/m.

可以看出，这些值小于：

- LF的人为和外部噪声；参见ITU-R建议书P.372关于无线电噪声；以及
- 在ERC第70-03[3]建议书附件9中，10 kHz带宽、10 m处的–15 dB μ A/m推荐给工作于148.5 kHz - 5 MHz范围的SRD。

不过，对此有很好的理由：

- 当干扰信号的载波频率偏离正在接收之广播信号的频率时引起的节拍音比相同水平的噪声更具干扰性；在比较上面所引用的建议保护率和调幅广播认为可接受的载波噪声比时，这一点很明显（参见下面的注释）；

- 这些相同的保护比适用于广播规划中的其它潜在干扰广播信号（详见附件6） – 对非广播（非许可）干扰应用比广播（它在区域1的该频率范围内具有主要的分配）较不严格的条件是不可接受的；
- LF的噪声水平随地球位置、季节和一天中时间的不同会有很大变化，因此ITU-R P.372建议书需要非常仔细的解释；LF广播用于世界上噪音水平可接受的地区（例如，在热带地区不使用LF广播）；
- ERC第70-03[3]建议书中的SRD限值（与欧洲有关）将根据假设而获得，它与广播接收器分离开来，这对而后考虑的SRD类型及其使用可能的间歇性来说是可以预期的；对家中常用的、无处不在的家用设备，需要对这些假设进行修订。

注 – AM无线电发射的信号强度定义为载波的强度。ITU-R BS.703建议书有效地设定了可被视为提供服务的最低载波电平，并因此定义了服务区域的边界。事实上，广播公司和频率规划者使用这个数字来作出这个定义。它基于需要的音频信号与随机的噪声的比26 dB。调制仅在（信息携带）边带中产生少量附加能量。如果假设rms调制深度为0.2（20%）⁶，则载波中的功率比边带中的调制功率高大约14 dB。通过与载波比较，边带功率可以忽略不计，总体上增加不到4%。考虑到这种典型的边带与载波的关系，ITU-R BS.560建议书规定了某个给定业务应该具有的、免受干扰源干扰的保护比40 dB。如果载波频率相同，并且假定两个节目的调制深度相同，则反过来定义需要的音频信号与不需要的音频信号（来自干扰台）的比为40 dB。显然，这比需要的信号与随机的噪声的比要高一些，原因是不需要的音频信号代表对需要的音频更大的侵入，且上边带和下边带中的信号是相关的；而随机的噪声则不相关。

这反过来又意味着，在服务区边缘，如出于规划目的而通过最低灵敏度要求所定义的，无用信号应低于40dB。因此，在MF情况下，这是60 dB μ V/m（来自上述第7.2.1.1节 – 表示为电压）减去40 dB μ V/m = 20 dB μ V/m。如果载波之间存在偏移，则载波组件自身变成一个更为有害的干扰信号，因为它比调制要强14 dB，并且在听觉上更具侵入性。如上所述，在这种情况下，任何调制都变得可以忽略不计，并可被忽略。ITU-R BS.560建议书认识到这需要一个来自单个正弦波的额外的16 dB保护。出于所有实际的目的，来自WPT设备的单音干扰对接收器而言都将看起来与另一个干扰载波相同，可能在频率上发生偏移，并应如此处理。不调制的事实与其它无线电业务无关。

7.2.1.3 考虑距离和传播相关因素

WPT充电器的分类需要依据：

- 使用（从移动电话的低功率充电器等到重型电动汽车的高功率充电器）
- 室内与室外使用
- 功率输出
- 耦合机制
- 住宅与非住宅使用。

这将有助于定义关于最小间隔距离和传播相关因素的最合适假设。

⁶ BBC在2007年左右开展的工作表明，AM发射的rms调制深度从大约20%的语音到大量压缩的“流行”音乐的大约40%不等。调幅电台主要用于语音，因此必须将之视为“最坏情况”。

例如，低功率家用移动电话充电器和LF/MF广播接收器都可用在家庭环境中，可预见在同一房间内使用。因此不能实现大的距离间隔，为此，建议上面给出的H场限值应距离WPT设备1 m远。作为另一个例子，在WPT公共汽车充电器与家用广播接收器之间，10 m的间隔距离将是一个更合理的假设，不过注意到在大型公共汽车终点站中可能会有若干个（许多个）充电系统在同一时间工作，每个都会对基本的噪音环境产生作用；还需要考虑累积效应。

图24
伦敦公寓楼



图24显示了伦敦东南部一座公寓的较低楼层。可以看出，底层是建在车库上的，然后是上面的公寓。车库天花板的高度约为2.3 m。可以合理地假设，工作于其中一个最低层的公寓中的无线电接收器可能不会高于车库地板3 m，因此距离至少一个WPT充电器不会超过3 m，它计划用于为车库中的汽车充电。3 m内可能有3个充电器，10 m内可能有多个充电器。可以设想其它场景，当中有一辆汽车可能被充电，并且充电器与邻居公寓中的接收器之间的距离可能不到3 m。磁场随距源头的距离的倒数立方而减小，反之随着接近源头而增加。因此，3 m和10 m处的H场的比是 $(10/3)^3 = 37.0$ 。以dB μ A/m表示，这是一个差值，大小为 $20 \cdot \log_{10}(37) = 31$ dB。因此，为了在10 m处提供一个相当的场强，必须应用一个大小为31 dB的校正系数。在用于汽车的充电器的情况下，距充电器10 m处的容许磁场强度必须比计算得到的值小31 dB，以保护接收器。其它距离和其它校正因素将不得不用於其它场景。

简短的实验（2015年8月报道）确认确实存在WPT设备对接收广播的干扰，即使WPT功率较低。

7.2.1.4 缓解策略

非常清楚，在广播接收器可以容忍的干扰水平与ISM设备所允许的水平之间存在很大差异。这通常不是一个问题，因为此类设备在受控条件下运行，并与可能受到影响的广播接收器（或任何其它无线电接收器）在物理上是隔开的。可以采取的措施来确保许可的无线电业务不受任何影响。在车辆WPT充电器的情况下，受控使用更难以保证。似乎不太可能将WPT设备的杂散辐射降低到保护广播业务所需的水平，因此需要找到一种替代策略。

作为一个起点，如果包括所有相关谐波在内的干扰源可以安排在MF传输的载波频率上，则接收器保护水平可以放宽16 dB（相对保护比）。在国际电联区域1和区域3中，LF和MF传输载波频率位于一个固定的栅格上，每个频率为9 kHz的倍数。在区域2中，MF传输载波频率位于一个固定的栅格上，每个频率为10 kHz的倍数。如果因此充电频率本身分别为9 kHz或10 kHz的倍数，则它们及其所有谐波将自动位于广播频率栅格上。

虽然这在某些情况下本身就足够了，但它可能不足以缩小广播接收器的要求与例如家用环境中的车载充电器之间的差距。这可以通过仔细选择WPT设备的工作频率来解决，但是现在，以及将该频率和（重要地）其谐波放置在广播栅格上，这些也必须被设置，以便它们（在频谱上）与WPT设备运行区域内广播服务所用的频率很好地隔离开来。实际上，用于WPT设备的频率必须与广播传输基于相同的基础来“规划”，否则将相互干扰。重要的是要注意到，如果WPT频率与广播频率遵循相同的栅格，则该策略会非常简单。附件6描述了广播传输规划过程。

7.2.1.5 进一步工作

在前一节中描述的缓解技术构成了“工具箱”的基础。这个“工具箱”需要开发更多的细节，但目前尚未最终确定。需要涉及的领域包括：

频率准确度和稳定性 – 理想情况下，WPT设备的频率将精确并始终保持在9 kHz或10 kHz栅格上，以确保它以及它的谐波与广播电台的频率精确对齐。在实践中，可能容许少量的静态和动态变化，但确切地说需要建立容差。这里涉及两个因素。首先，必不可少的是任何频率偏移不会产生在可听范围内的“节拍音”。节拍将出现在WPT与广播电台之间的不同频率上，并且可听范围的下端部分将由接收器中的音频滤波部分来决定。在实践中，WPT设备的工作频率可能会有一些变化，因为它必须优化自身，以应对充电器与被充电物品之间不够物理对准。

调制充电“场” – 从前一点开始。建议通过某种方式调制充电（磁场）“场”，用WPT充电器来将数据传输给正在充电的物品。其它方向上的通信需要一个单独的系统。任何调制充电“场”的尝试都将表现为边带。将需要把限度放在边带能量上，因为即使基本频率准确地在栅格上，它也可能干扰广播业务。有必要看看设想的调制方案。在高功率充电器的情况下，想象在非常小的距离上进行通信比调制高功率充电“场”更容易是符合逻辑的。

可用频率数据库 – 在任何一个地理位置，可被接收的LF和MF广播范围将与另一个地理位置不同。由于这个原因，WPT充电器的可用（无干扰）频率范围在不同的地点上是会有所不同的。因此充电器必须知道它在哪里（地理上），并且可以访问可用频率的数据库。当然，它也需要一定程度的频率敏捷性。

“关闭栅格”（Off-Raster）频率的使用 – 考虑到其位置和LF或MF广播环境的知识，有可能使用不在广播栅格上的频率，只要认识到这样做的缺点，并且将现场功率保持在适当的限度内。特别感兴趣的可能是广播栅格频率之间中点的频率。即使谐波全部位于栅格上，奇次谐波也会位于相邻广播信道之间的边界上；接收器滤波的点可能会很好地降低可听见的影响。

谐波控制 – 在MF频段，当然在较高的频率端，很可能只有充电频率的较高次谐波会产生干扰。这些较高次谐波中的能量控制越好，为WPT设备找到合适的工作频率就越容易。

7.2.2 日本关于城市和郊区对广播业务的影响和兼容性的研究

第7.1.1节概述了在日本新规则制定过程中所开展的频谱共享和共存研究工作，本节详细介绍了研究电动汽车WPT对广播业务和评估结果之影响的方法。该研究由工作组完成，并由MIC委员会批准（参见第7.1.1节）。

7.2.2.1 日本关于影响研究的观点

日本在影响研究中采取的方法强调以下几点：

1) WPT系统与城市地区现有无线电通信业务的兼容性可能是一个需要优先考虑的问题

电动汽车WPT系统将主要从城市地区实现商业化。因此，应仔细考虑城市地区的无线电环境和使用模式，以展示共存的能力而不会造成问题。日本关于WPT的新规定中的辐射限值取决于以城市地区为重点的影响研究的结果。

对保护广播业务的影响研究，WPT系统的辐射限值应低于ITU-R P.372建议书中描述的环境噪声水平，当中定义了不同的环境类别，如“城市”、“住宅”、“农村”和“安静的农村”。假设郊区和农村地区的间隔距离大于城市地区，同时郊区和农村地区的人为噪音水平更低。

假设了评估的具体条件，包括：

- 用于WPT系统与最近的调幅广播接收器之间评估所需的间隔距离：10 m（参照CISPR标准，其它）。
- 由于房屋/建筑物墙壁造成的传播损耗：10 dB（来自日本的研究结果）。
- 自我干扰（WPT系统干扰所有者的无线设备）：不做考虑。

2) 广播业务频率范围内WPT系统的辐射限度与现有的生活规则相一致

自符合国际标准（如CISPR 11，第2组，类别B与/或CISPR 14-1）的感应式烹饪加热器实现商业化并得到广泛应用以来，未听说感应式烹饪加热器对其它无线系统造成任何有害的干扰和扰乱。在许多国家和地区情况都是一样的。为防止WPT设备在AM广播业务的频率范围内产生有害干扰，该范围内的目标辐射限值是通过参照现有的辐射限值来确定的。规则中规定的辐射限值都是经广播代表和WPT支持者商定的。

3) 对郊区和农村地区进行评估，并通过规则来保护现有的无线电系统

由于研究中对测量的各种物理约束，因此工作组尚未得出结论，即当接收器用于位于中低环境噪声区域的木制房屋时，对中波广播接收器的影响是可以共存的。不过，考虑到以下统计数据，即使在这些情形下，上述情况也并不意味着WPT系统在每个WPT运行时间都会同样地对位于附近的接收器产生有害干扰：电动汽车WPT系统的平均运行时间（例如少于1个小时）；回家后喜欢短时间充电（例如几十分钟）的用户比例比较高；基于环境和安装条件，确定某个特定频段内的WPT频率。

鉴于上述考虑，即使在某些情况下无法达到所需的共存条件，也认为广播业务接收方面的实质性问题可能不大。WPT系统用户指令与/或产品附带的警告性声明，如“此设备可能对中波广播接收器造成有害干扰”可提醒用户可能对接收器造成的有害干扰。

WPT行业应继续采取适当的干扰缓解措施，将干扰降至允许的水平以下，以避免对郊区和农村地区的广播业务造成有害干扰。

如果WPT系统对接收器造成不可接受的干扰，则无线电主管部门应提供必要的监管措施/指令，以阻止WPT系统的运行对其它现有的无线电系统造成有害干扰。

7.2.2.2 用于测量的充电规格

电动汽车WPT系统的规格如下确定：

- WPT技术：磁耦合（共振磁耦合）；
- 应用：停车时电动乘用车充电（静态）；
- 频率范围：79 - 90 kHz（所谓的85 kHz频段）；
- 参照日本国内影响研究结果以及IEC和SAE在全球协调方面的讨论结果，选择79-90 kHz范围作为主频率范围。
- 传输功率范围：3 kW级和7.7 kW级；类别假定为载客车辆。

7.2.2.3 用于评估的辐射限度

通过参照FCC第18部分的辐射限值来假设针对WPT系统研究的充电频率范围中的目标辐射限值。通过参照日本有关感应式烹饪加热器的无线电规则之一来假设充电频率范围之外的目标辐射限值。至于150 kHz以上的频率范围，参照CISPR 11第2组类别B。假设的磁场目标辐射限值如下所述：

- a) WPT频率范围（用于充电的频率范围）：
 - 对3 kW Tx功率为68.4 dB μ A/m，距离10 m
 - 对7.7 kW Tx功率为72.5 dB μ A/m，距离10 m
- b) 来自526.5-1 606.5 kHz的频率范围（调幅广播频率范围）：
 - 2.0 dB μ A/m，距离10 m
- c) 上述频率范围之外的频率范围：
 - 23.1 dB μ A/m，距离10 m

上述目标辐射限值首先在526.5 kHz以下和1 606.5 kHz以上的频率范围内确定。然而，在后期阶段，除调幅广播频率范围外，在150 kHz以上的频率范围内，委员会决定采用CISPR 11第2组类别B的限值。

7.2.2.4 分析研究

测量结果和可听性测试电动汽车WPT系统不应对基于目标辐射限值至少距离系统10 m内的AM广播接收器产生有害干扰。在商定的最坏使用条件下，使用WPT发射器和WPT接收器在模拟旅行车上进行了辐射测量，当中选择了AM广播接收器的旋转角度，考虑到天线方向样式，将其设为零方向，以接收广播信号。另外，考虑到WPT线圈辐射样式，AM接收器位于最强WPT有害辐射波形到达的轴上。WPT的7次谐波 $F_c = 85.106$ kHz落于594 kHz AM广播

频道内，覆盖日本关东地区的广大区域。也进行了听力（可听性）评估。证实了令人满意的减轻电动汽车WPT对AM广播影响的准则。

详情如下所述：

a) 影响研究的基本条件

起初，MIC的WPT-WG澄清了影响研究的下列条件和用例。

- 可接受的最大辐射（目标发射限值）是 $-2.0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ ，距离 10 m ，符合 $526.5\text{--}1606.5 \text{ kHz}$ 范围（AM广播频率范围）中有关感应式烹饪加热器的现有辐射限值；
- 自我干扰不在这项影响研究的范围内。自我干扰意味着所有者的WPT系统干扰同一所有者的AM广播接收器。
- AM广播接收器位于房屋或建筑物内。另一方面，用于电动汽车的WPT系统位于房屋或建筑物外。应考虑因房屋墙壁而造成的传播损耗。
- WPT系统和AM广播接收器之间的间隔距离为 10 m ，前提是最近的邻居的房屋距离WPT所有者的房屋应大于 10 m 。
- 假设接收器位于高场强区域（接收电场强度大于 $80 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ ）和中场强度区域（ $66 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ ）。在低场强区域（ $48 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ ）对广播接收用户的保护也很重要。然而，工作组的影响研究工作主要集中在高场强和中场强度区域，因为在初始阶段WPT系统预计首先在城市地区推广应用，然后再延伸到其它地区。

b) 分析研究

下一步，将通过分析方法来研究电动汽车WPT对AM广播的影响。在这一步中，同意并采纳以下准则：

- 可接受的辐射限值应低于特定区域的环境噪声水平。通过参照ITU-R P.372建议书中描述的“城市”环境噪声，在 594 kHz 上采用了辐射限值 $26.0 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ 。该电场强度（ $26.0 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ ）被转换为磁场强度（ $-25.5 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ ），作为接收器可接受的最大有害辐射。
- 通过参照MIC关于MF广播预加强（1983年12月）的圆桌会议的报告结果，WPT系统与AM广播接收器之间因房屋和建筑物墙壁而造成的传播损耗假设为 10 dB 。

当提供和应用测得的有害辐射强度时，这种分析旨在通过计算来评估磁场辐射对AM接收器的影响。为此目的，系统模型模拟了（a）中的条件，并商定了其它条件；然后计算接收器位置处的有害辐射强度。假设电动汽车WPT系统距接收器所在的最近的邻居房屋 10 m 远。此外，AM广播接收器距房屋窗户 50 cm 远。诸如辐射强度（即 $-15.6 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ ）等的WPT参数和必要条件与附件3中所述的、显示为电动汽车“测试设备B”的WPT系统相同。

本分析研究中提出了以下几点建议：

- 利用测得的辐射强度计算得到的辐射强度满足可接受的有害辐射强度。

- 用于计算的实测辐射强度低于 $-2.0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ 的目标辐射限值 10 dB 以上，这表明辐射离限值还有很大距离。支持该数字，因为在其设计和测试阶段，业界明智而普遍地为其辐射性能裕度考虑到了 10 dB 或更多的不确定性预算。
- 在实际条件下，WPT系统的有害辐射强度达到 $-25.6 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ ($= -15.6 \text{ dB}\mu\text{A/m} - 10 \text{ dB}$)，它接近或低于可接受的有害辐射强度 $-25.5 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ 。

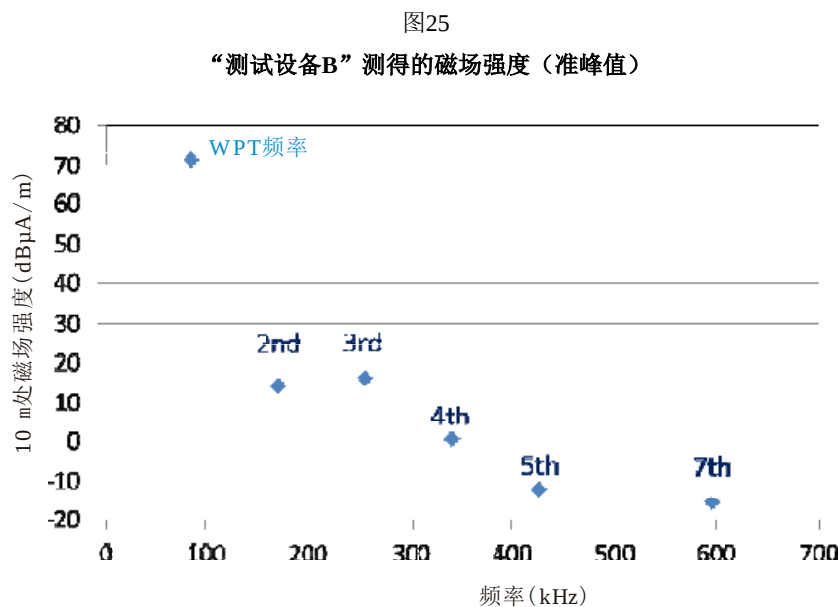
上述考虑已被MIC的WPT-WG接受。此后，确认在日本AM广播频率范围内约定的目标辐射限值 $-2.0 \text{ dB}\mu\text{A/m}$ 是可接受的，并被批准为有关WPT的新规则。

c) 磁场辐射测量

为了确认以上分析研究的结果，使用WPT测试设备和AM广播接收器进行了辐射测量。条件和方法如下所述：

i) 测量设置

如上所述，在这个实验测试中使用了附件3中所述的、用于电动汽车的“测试设备B”。测试设备的WPT频率为 85.106 kHz 。传输线圈输入端口处的传输功率为 3 kW 。该WPT设备的7次谐波为 595.742 kHz 。测得的WPT频率的辐射水平和“测试设备B”的谐波如图25所示。



注：未绘制第6次谐波，原因是可绘制在y轴刻度底部以下。

d) 可听性测试

i) 调幅广播接收器选择

为这个实验测试准备了几种类型的AM广播接收器，包括高端型和便携型。

ii) 日期和地点

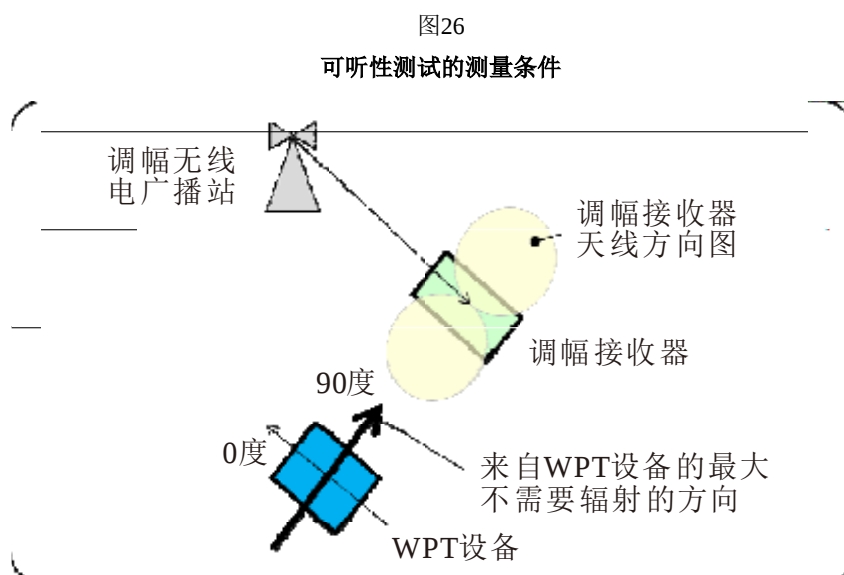
这个实验测试的日期为2014年7月1日至7月2日。这个实验测试使用了电信工程中心（TELEC）松户实验室的开放区域测试场地。TELEC松户实验室位于东京附近的一个普通住宅郊区区域内。

iii) 广播业务频道和频率

在东京地区，在594 kHz上有一个NHK Radio 1的AM广播频道。NHK Radio 1与“测试设备B”的7次谐波之间的频率差约为1.7 kHz。如果“测试设备B”的7次谐波大于环境噪声，则我们可以听到1.7kHz的噪声。

测试程序如下所述：

- 首先，使用频谱分析仪测量AM广播收到的场强、WPT设备谐波的辐射强度和环境噪声水平。在测量中，接收天线接收H场的垂直和水平方向。WPT设备被放置在90度的旋转方向上，这使收到的有害辐射强度最大化。从这些考虑WPT设备极化和辐射方向性的检测工作中，可以获得最大的有害辐射强度。图26显示了最差情况下的条件，表明在该实验研究中，WPT设备对广播接收器的影响最大。该图说明了AM无线电广播电台、AM无线电接收器和WPT设备的位置，还描述了无线电接收器的天线方向图与WPT设备最大辐射方向之间的关系。



- 接下来，参与收听广播节目的测试者在若干不同的位置上做了可听性测试，通过不同的距离（包括距WPT设备10 m和3 m）来隔开。在这个可听性测试中，10 m的间隔距离符合该影响研究所需的条件。3 m间隔距离条件下的测试仅作为参考。在该测试中，考虑到天线方向样式和这些接收器的极化，在广播接收的最差条件下，选择了广播接收器的正面方向和旋转角度。同时，还调整了广播接收器的正面方向和旋转角度，以最大化来自WPT设备的干扰辐射。

iv) 测试结果

收到的电场强度的测量结果如图27所示。AM广播的场强约为100 dB μ V/m，环境噪声水平约为60 dB μ V/m，远高于（a）中所述的假设。在该图中，描述了当WPT设备打开和关闭时的电场强度。由于环境噪声水平略高于WPT设备的7次谐波，因此在该图中未清楚地显示WPT设备打开和关闭条件之间的差异。

这个可听性测试的结果如下所述：

- AM广播接收器距WPT设备10 m远。

只有在非常安静的广播节目中，音调噪声才能被识别为非常小的声音，但从不出现在正常的音频节目中。一般来说，在这种测试条件下的音调噪声认为不会干扰普通广播听众收听广播节目。

- AM广播接收器距WPT设备3 m远。

当广播节目相对静默时，如新闻节目，可容易地捕捉到音调噪音。另一方面，当广播节目繁忙时，如音乐节目，音调噪音不容易被捕捉到。

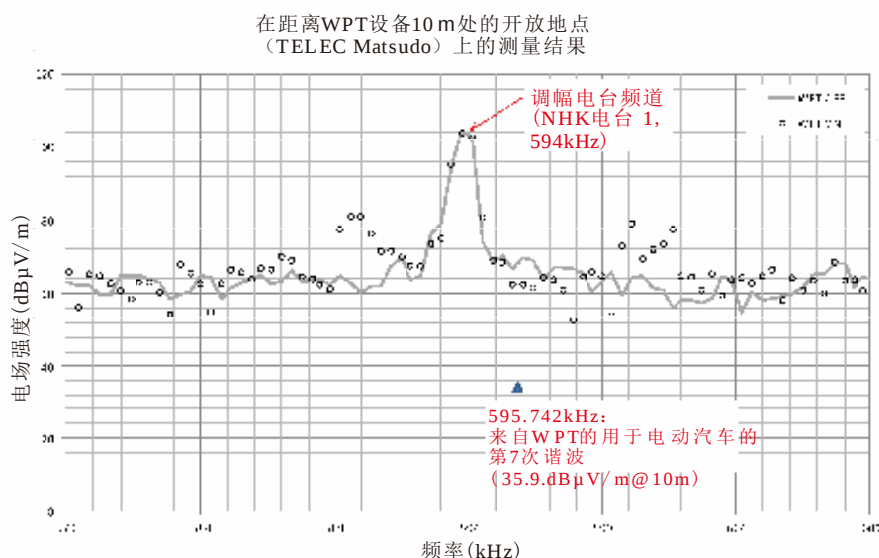
7.2.2.5 研究结果的评估

在城市地区商定的测试条件和使用情况下，通过分析研究得到的磁场辐射强度以及在现场测量场地通过WPT-EV测试设备测得的磁场辐射强度显示，AM广播频率范围内可接受的（=无害的）接收辐射限值为-2.0 dB μ A/m。在可听性评估中，确认落在MF频段AM广播频道中、WPT7次谐波产生的音调在收听广播节目时模糊不清，或者在非常安静的节目中可模糊听见。它对AM广播业务没有什么影响，也没有产生有害干扰。基于该结果，日本有关WPT系统的新规定在AM广播业务的频率范围中采用了这一限值。

这种测量和评估方法必须对无线电监管机构有用，它们希望为城市地区的电动汽车制定新的规则，ITU-R P.372建议书中的环境类别“城市”适用于这些城市地区。

图27

当WPT开启和关闭时，测得的调幅广播频道的电场强度



7.3 WPT的 100/110-300 kHz频率范围

标准制定组织 (SDO) 行业联盟和制造商正在推广 LF 和 VLF 范围以供 WPT 使用；100/110-300 kHz 的频率范围也在目前的研究考虑之中。存在以下担忧：

- 它关注邻近或重叠区域 1 LF 广播频段 148.5-255 kHz 的使用情况；及
- 使用 LF 频段会对无线电通信和无线电导航业务产生的不利影响。

7.4 用于移动和便携设备WPT的300-405 kHz频率范围

根据 ITU-R SM.2129 建议书“移动和便携设备非波束无线充电系统操作频率范围指南”开展的进一步研究，可参阅 ITU-R SM.2449 号报告。

7.5 用于移动和便携设备WPT的1 700-1 800 kHz频率范围

根据 ITU-R SM.2129 建议书“移动和便携设备非波束无线充电系统操作频率范围指南”开展的进一步研究，可参阅 ITU-R SM.2449 号报告。

7.6 用于移动和便携式设备WPT的2 000-2 170 kHz频率范围

根据 ITU-R SM.2129 建议书“移动和便携设备非波束无线充电系统操作频率范围指南”开展的进一步研究，可参阅 ITU-R SM.2449 号报告。

7.7 WPT的6 765-6 795 kHz频率范围

其它工作组也表示担心可能存在与工作于该频段和其它频段的 WPT 系统谐波有关的无用射频能量。特别是工作组 7D 和工作组 6A 表示担心该 ISM 频段 (6 765-6 795 kHz $\times 2 = 13\,530$ -13 590 kHz) 中 WPT 能量的二次谐波，它与 HF 广播频段 13 570-13 870 kHz 重叠，并接近 13 360-13 410 kHz 频段，主要分配给射电天文业务。

据参与WPT问题研究工作的专家介绍，该频段中的能量通常是线谱（并因此有窄的带宽）。但是，在主辐射的两侧可能存在一些无用的能量边带。这些边带的电平应该低得多，但可能取决于许多因素，包括：WPT设备的设计、所提供负载的特性、源头和负载的滤波/屏蔽、与负载的耦合度以及可能的其它因素。

考虑到6 765-6 795 kHz频段是根据《无线电规则》第5.138款（需主管部门批准）指定用于ISM的频段，并且还注意到根据《无线电规则》第15.13款提供给无线电通信业务的干扰保护，需要更多的研究来确保来自WPT操作的无用射频能量（包括谐波能量）处在一个不会对工作于其它频段上的无线电通信业务造成有害干扰的水平上。

7.8 对标准频率和时间信号服务的影响

7A工作组提供了关于频率范围的参考信息，多年来，世界无线电通信大会分配频段19.95-20.05 kHz，2 495 2 505 kHz（区域1中的2 498-2 502 kHz），4 995-5 005 kHz，9 995 10 005 kHz，14 990 15 010 kHz，19 990-20 010 kHz和24 990-25 010 kHz，用于标准频率和时间信号业务。此外，还将以下频段分配给卫星标准频率和时间信号业务使用：

400.05-400.15 MHz，
4 200-4 204 MHz（空对地），
6 425-6 429 MHz（地对空），
13.4-14 GHz（地对空），
20.2-21.2 GHz（空对地），
25.25-27 GHz（地对空），
30-31.3 GHz（空对地）。

还在14-19.95 kHz和20.05-70 kHz以及区域1中的72-84 kHz和86-90 kHz等其它大会指定的频段中发射了标准频率和时间信号（参见《无线电规则》（RR）第5.56款）。

关于欧洲使用的ERC第70-03[3]建议书规定了频率范围、其最大场强和位置，如表15所示。

表15

在9-90 kHz和119-135 kHz范围内保护的标准频率
和时间信号（ERC第70-03号建议书）[3]

电台	频率	保护带宽	10 m处的最大场强	位置
MSF	60 kHz	±250 Hz	42 dBμA/m	英国
RBU	66.6 kHz	±750 Hz	42 dBμA/m	俄罗斯
HBG	75 kHz	±250 Hz	42 dBμA/m	瑞士
DCF77	77.5 kHz	±250 Hz	42 dBμA/m	德国
DCF49	129.1 kHz	±500 Hz	42 dBμA/m	德国

注1 – 在10 m时，限值降至42 dBμA/m。

本报告第7.1节和表12在日本提供了对标准频率和时间信号服务影响的实际案例研究。

7.9 CEPT保护业务免受感应式SRD应用辐射的经验

本章节详细介绍了CEPT迄今为止在保护服务免受感应SRD应用辐射方面的经验。2009年，我们讨论了感应式SRD限度，以适应更高功率的SRD应用和WPT应用。开展了一项研究，结果发表在ECC第135报告“频率范围9 kHz - 148.5 kHz的感应限度”中。

发现对工作在CEPT国家的时间信号发射器需要加以保护。为了保护这些发射器，规定了在10 m处最大发射功率为42 dB μ A /m的切口。需要注意的是，所研究的频率范围不包括148.5 kHz以上的频率，它也没有讨论远离9-148.5 kHz范围的谐波。

这意味着，例如对350 kHz的DGPS信标以及198 kHz的广播和时间信号发射器都未做研究，但由于频率较高，这些可能需要更严格的保护限度。

这些限度和切口后来被纳入EC委员会关于SRD的决定中，之后体现在了ETSI标准EN 300 330中。

2014年，欧洲工业界对13.6 MHz感应设备（如RFID和非接触式智能卡）提出了更宽的频谱掩码和更高的功率的要求。开展了一项研究，结果发表在ECC第208号报告“RFID设备对13.56 MHz频段无线电业务的影响”中。

考虑的业务为广播和射电天文业务。

得出的结论是，可以在适用于高功率窄带和低功率宽带辐射的两种不同频谱掩码中找到解决方案。发现在10 m处-3.5 dB μ A/m的辐射水平对于提及的业务来说是绝对最大值。

需要指出的是，只有对广播业务的干扰才会被实际测试。其它服务，如无线电业余爱好者的服务没有得到充分的保护，但基于相对较低的设备部署，这在当时被认为是可接受的。

为了更好地部署WPT及其相关的杂散发射，需要认真地重新考虑这些限度。

支持进一步研究的CEPT文件是：

ERC第69号报告：“10 kHz-30 MHz感应系统的传播模型和干扰范围计算”

ERC第74号报告：“13 MHz频率上射频识别设备（RFID）与射电天文业务之间的兼容性”

ECC第67号报告：“30MHz以下感应SRD发射电平一般限度的兼容性研究”

主动切出敏感频率的归纳方法可用作频谱管理解决方案，以适应特定业务处于活动状态的区域或地区的WPT设备，而设置最大OOB限度和严格的频谱掩码的13 MHz方法可为无线电通信业务的全球保护提供通用的带外限度。

8 小结

本报告包含有关带外辐射的、提议的频率范围和相关的潜在水平，在ITU-R内，尚未得到同意，有待进一步研究，以确定它们是否能够依据共存信道、邻近信道以及邻近频段准

则，为无线电通信业务提供保护。本报告概述了当前的研发工作以及在某些区域正在开展的工作。

便携设备和移动设备、家用电器、电动汽车是WPT技术候选的应用领域。磁感应、磁共振和电容耦合技术正在研究和发展中。正在开展对共存问题的研究，一些国家已经完成研究。

典型地，磁感应WPT技术使用100-205 kHz的频率范围，功率范围从几瓦到1.5 kW。也正在对该频率范围做进一步研究，以便将之用于结合WPT技术的家用电器和办公设备。

目前正在研究用于载客电动汽车的磁感应WPT技术，频段为79-90 kHz。正在研究的重型电动汽车的频段为19-21 kHz和59-61 kHz。用于载客电动汽车的典型功率为3.3 kW、7.7 kW、11 kW和22 kW。重型汽车的典型功率范围为75-100 kW。

典型地，磁共振WPT技术使用6 765-6795 kHz和13 553-13 567 kHz的ISM频段，典型的功率为几瓦到50 W。

电容耦合WPT技术使用425-524 kHz频段，典型的功率可高达100 W。

9 参考文献

- [1] APT/AWG/REP-48 “APT Survey Report on “Wireless Power Transmission”, March 2014. <https://www.appt.int/AWG-REPTS>
- [2] BWF “Guidelines for the use of Wireless Power Transmission/Technologies, Edition 2.0” in April 2013. <http://bwf-yrp.net/english/update/docs/guidelines.pdf>
- [3] The ERC [Recommendation 70-03](#), Relating to the use of Short Range Devices (SRD)
- [4] ICNIRP 1998 Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), <http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>
- [5] ICNIRP 2010 Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz), <http://www.emfs.info/Related+Issues/limits/specific/icnirp2010/>
- [6] [ICNIRP \(2020\)](#): Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz)
- [7] [IEEE C95.1 \(2019\) IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz](#)
- [8] APT/AWG/REP-62(Rev.1) “APT Report on Wireless Power Transmission (WPT)”, March 2015. <https://www.appt.int/AWG-REPTS>
- [9] The State Standard of People’s Republic of China, “Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment Electromagnetic disturbance characteristics Limits and methods of measurement”, GB 4824-2004.
- [10] National Radio Administration Bureau of MIIT No 423, “Micro Power (short) Radio Equipment Technology Requirements”.
- [11] Mazar (Madjar) H. 2016 ‘[Radio Spectrum Management](#): Policies, Regulations and Techniques’, John Wiley & Sons.
- [12] Report on “Technical Requirements for Wireless Power Transmission Systems for Electric Vehicles (in Japanese)”, Document 22-5, the 22nd meeting of Subcommittee on Electromagnetic Environment for Radio-wave Utilization, Information and Communications Council (ICC), Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC), Japan, http://www.soumu.go.jp/main_content/000367149.pdf (6th July, 2015)

附件1

各组织和主管部门的射频照射评估导则

以下信息提供了一些关于射频照射的指南，它们由各种各样的组织提供，还有一些来自其它主管部门的信息。这应该被视为有助于了解人类危害相关问题的参考资料。敦促读者查阅和获取ICNIRP、IEEE、监管部门和其它专家机构提供的最新信息：

2013年4月，BWF WPT-WG发布了BWF“无线充电技术使用指南，版本2.0”[2]。英文版可从下面的BWF网站下载：<http://bwf-yrp.net/english/update/2013/10/guidelines-for-the-use-of-wireless-power-transmission-technologies.html>

提供了以下几方面有关射频照射评估方法的详细内容，摘自规则和指南。

根据BWF WPT-WG定义的使用场景以及生物和技术方面的问题（如所用的WPT频率范围），参考文献[2]中的“对无线电辐射保护指南的考虑”提供了详细的指南。对刺激效应、热效应、接触电流、至/在人体组织的感应电流等进行了描述。此外，由于传统的测量方法可能无法满足WPT设备的射频照射评估要求，因此推荐了有关选择评价方法的流程图和测量方法。

参考文献[2]中的附件A至附件G摘录了国内外与射频照射和安全问题有关的规则和指南，并解释了如何阅读和使用它们。在这些附件中，引入了日本的规则、ICNIRP指南以及IEEE指南。此外，还引用了SAR仿真评估领域中最近公布的一些文章，作为参考文献。

除了上述文档之外，“关于WPT的APT调查报告”[1]还提供了APT成员国在该问题上的有关信息。

射频照射

每个国家都有自己的射频照射指南或规则（绝大多数情况下符合ICNIRP98的要求），ICNIRP98尚不包括对WPT设备的讨论以及适当的、WPT特定的测量方法。

表A1-1
射频照射的监管状况

国家	射频照射	射频评估
澳大利亚	– ACMA负责管理强制性的无线电通信（电磁辐射–人体照射）标准2003（结合对无线电通信（电磁辐射–人体照射）修正案标准2011（第2号）的各项修正） • 规定大多数移动和便携无线电通信发射器的射频照射限度，一体化天线工作于100 kHz-300 GHz – 射频场最大照射水平的辐射防护标准–3 kHz-300 GHz（RPS3） • 由ARPANSA（澳大利亚辐射防护和核安全局）设定	要求此类设备表明符合测试方法的使用要求，如EN 62209-2（人体暴露于来自手持式和安装于身上的无线通信设备的射频场–人体模型、仪器仪表和程序–第2部分：确定近距离接触人体之无线通信设备的特定吸收率（SAR）的程序（频率范围为30 MHz-6 GHz）；见AS/NZS）。ACMA强制性地规定了RF和EMR照射的限度，由澳大利亚辐射防护和核安全局（ARPANSA）设定。射频照射限度信息的主要来源是ARPANSA的“射频场最大照射水平的辐射防护标准”–3 kHz-300 GHz（RPS3）–请见arpansa
日本	– BWF有关射频照射的指南：合规要求 – 指的是射频辐射防护指南和ICNIRP指南 • 射频照射限度 – 在2015年1月和7月的MIC信息通信委员会（ICC）的部分报告中，可以找到针对EV（79-90 kHz）和移动应用（400 kHz和6.78 MHz）无线充电系统的详细人体照射评估方法。	日本的BWF在射频照射评估中考虑使用以下方法。 假设特定的最差情况，在这种情况下，人体的一部分是接近Tx或者位于Tx与Rx之间。 如果不能保证安全，那么需要考虑采取额外的安全措施。 WPT产品的磁场是非均匀的，射频照射有望是本地的。因此ICNIRP指南可作为更安全的参考。如果剂量学方面的专家能够参与的话，那么建议考虑采用仿真评估方法，如辐射剂量测定法等。 评估方法不应花费不必要的过长时间，不应寻找准确的射频照射。它应是一个合理的评估方法，可以用于认证程序和验收测试。 日本在2016年对三种WPT系统的规格做出了规定。

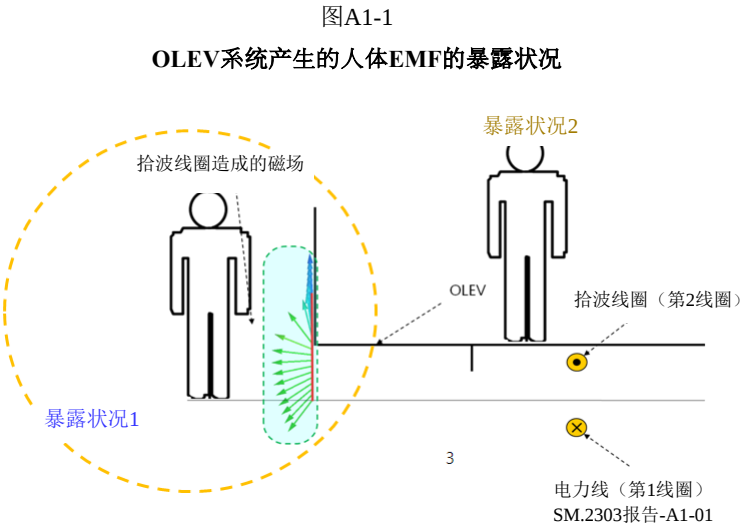
表A1-1（完）

国家	射频照射	射频评估
		– 伴随的H场水平可以超过参考水平，而感应的E场/SAR远低于基本的限制。 – 在符合性中使用耦合因子可放宽WPT系统的输入功率限制。 – 还需要测量接触电流。 2015年1月（针对移动WPT）和2015年7月（针对EV WPT），总务省（MIC）从作为MIC部长一个咨询机构的信息和通信委员会（ICC）处收到了关于“无线充电系统的技术要求”的部分报告。这些报告规定了技术要求，目的是制定关于“类型规范”的新规则，以便为WPT技术免除有关单个设备安装应用的许可要求。它提供了总的WPT规则制定状况，包括共存条件、辐射限制和射频人体照射评价方法。
韩国	– 现行EMF规则得到 ICNIRP导则的参引。	– 计划在2015年间引入为WPT而规定的评价方法。

韩国电动汽车产生的人体EMF暴露的评估

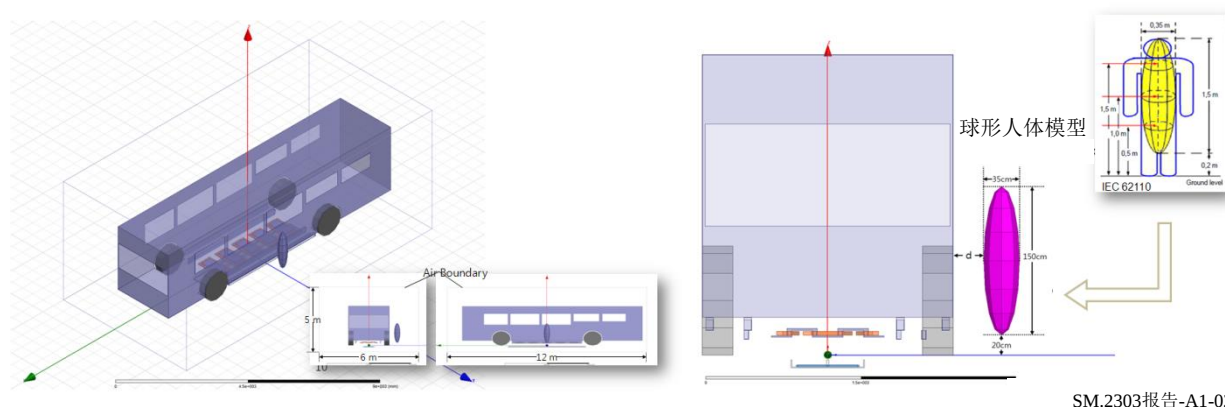
2013年，韩国对使用无线充电技术的在线电动汽车（OLEV）产生的磁场评估方法做出研究（这类电动汽车在公众出入的地方运行）。将路基上的电线（第1线圈）和OLEV下的5个拾波线圈部分（第2线圈）作为磁场源，谐振频率为20kHz，输出功率为75kW。

图A1-1所示为OLEV系统的电线和拾波线圈产生的人体EMF暴露的2nd 状况。



当OLEV暴露状况1的磁场被考虑为非均匀，也就是类似于AC电力系统（IEC 62110）时，在距离地面0.5 m、1.0 m和1.5 m三个高度上计算并测量了选定地点的磁场电平。

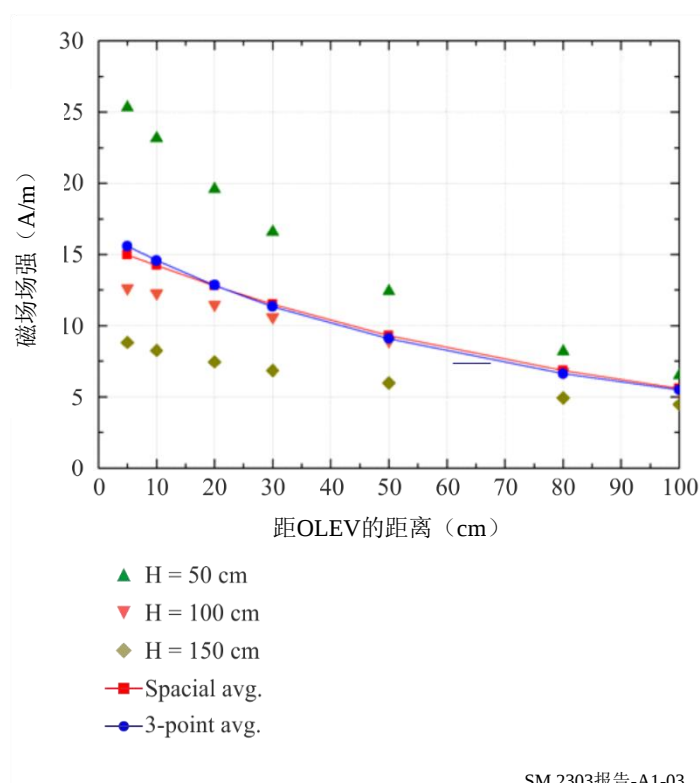
图A1-2
OLEV产生的磁场模型



使用球形人体模型计算了平均暴露量，该模型的纵轴和横轴分别为1.5 m和0.35 m，距离地面的高度为0.2 m。

在公众可出入的距离OLEV5 cm情况下，偏差为4%，100 cm时，偏差为-2%。图A1-3表明磁场的纵向分布是均匀的。可以了解到，三点平均暴露量几乎相当于电动汽车（OLEV）暴露状况1的平均暴露量。

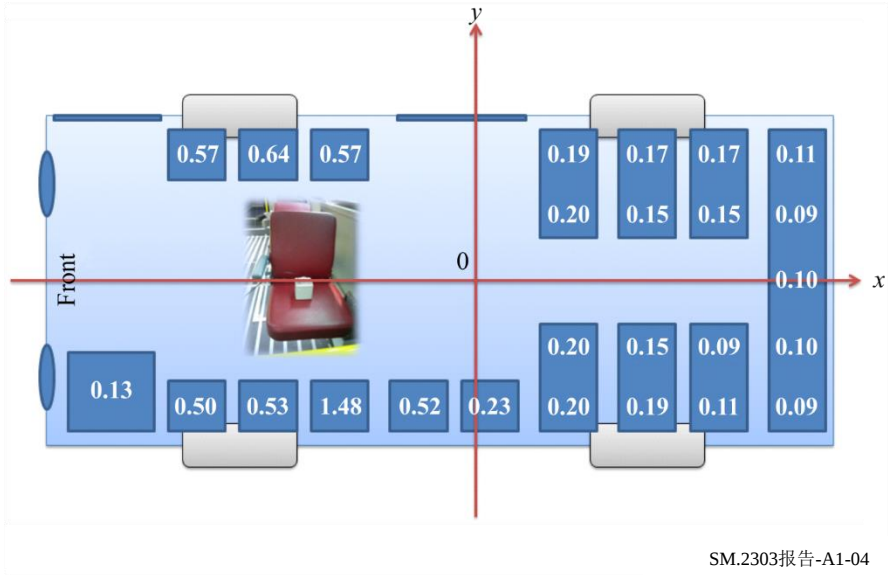
图A1-3
在距OLEV每一距离上计算得出的磁场分布



从数字分析中可看出，三点（距离地面0.5 m、1.0 m和1.5 m的高度）平均照射量代表整个人体的平均照射量，被评估为2.1A/m，比射频照射技术标准低40%。

评估了OLEV每个座位暴露状况2的磁场场强，评估值见A1-4。

图A1-4
在距OLEV每一距离上计算得出的磁场分布



图A1-5
在距OLEV每一距离上计算得出的磁场分布

模拟数据 (S.D.:72cm)			测得数据 (S.D.:60cm)		
测量点	测得数值	采用数值	测量点	测得数值 (A/m)	采用数值
P1	1.07		P1	3.82	X
P2	1.93		P2	3.41	X
P3	3.96	X	P3	1.96	X
P4	2.12	X	P4	0.90	
P5	3.99	X	P5	1.08	

SM.2303报告-A1-05

通过采用5点平均方法的数字分析，得出了3.36A/m的数值，但也在同一状况下测量得到了3.06A/m数值。然而，如果采用3点平均方法，则分别得到了0.53A/m和0.57A/m的模拟数据和测得数据值。考虑到诸如内部屏蔽架构、高度差和所处地点等复杂暴露状况，因此，在测量射频照射最差情况时，5点平均方法要优于3点平均方法。

附件2

使用6 765-6 795 kHz ISM频段为移动设备充电的示例

本附件提供了使用6 765-6 795 kHz ISM频段对移动设备进行无线充电的实施示例。已开发了基于磁共振原理、使用6 765-6795 kHz ISM频段为移动设备无线充电的无线充电技术和规范。该项技术为无线充电生态系统带来了诸多独特的好处。



好的充电范围

一个好的充电范围可以带来真正的“即停即走”充电体验，通过在家里、办公室、商业环境中常见的大多数表面和材料。



多设备充电

能同时为具有不同功率要求的多个设备充电，如智能手机、平板电脑、笔记本电脑和 Bluetooth® 耳机。



准备好面对真实的世界

充电表面能够在存在金属物体的情况下进行操作，如钥匙、硬币、器具，使之成为家庭、办公室、汽车、零售店、餐饮店、酒店等应用场合的一个理想选择。



蓝牙通信

使用现有的蓝牙智能技术，尽可能减少制造商的硬件需求，以及为未来的智能充电区域打开大门。

技术规范

该规范的目标是在真正的充电情况下提供一种方便、安全、卓越的用户体验，同时为业界制造兼容的产品确定技术基础。核心技术是一种有关无线功率发射机和接收机、相互耦合和相互感应的接口规范 – 将绝大多数的选项开放给具体的实现者。

为实现无线电力与现实世界条件的匹配，空间自由允许在耦合系数、设备规模、负载条件以及功率发射机与接收机之间的分隔距离等方面具有更大的变异性。这为无线电力产品设计者在具体充电系统的实现方面提供了更大的余地，结果是将给消费者带来更好的体验。

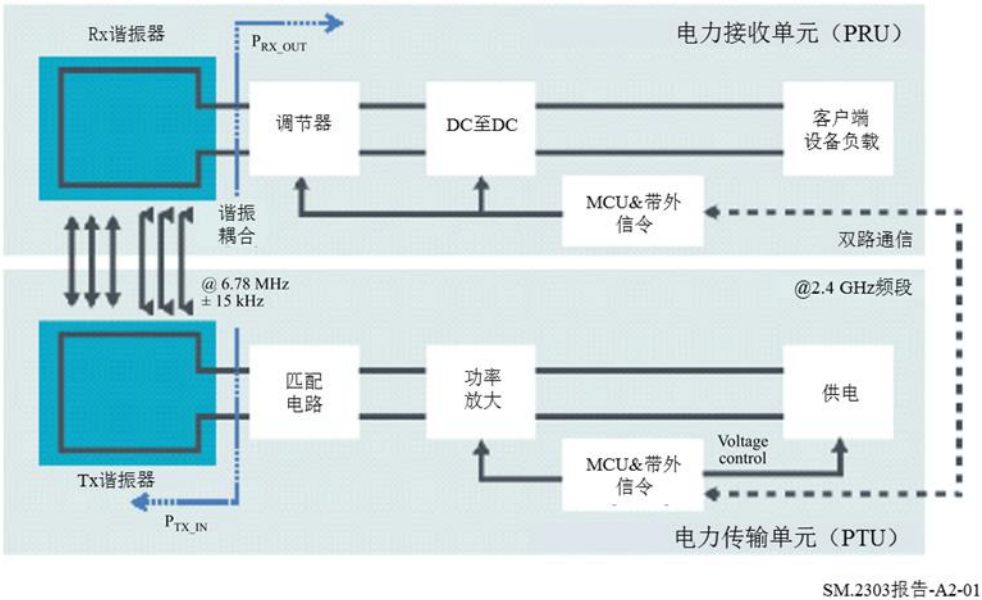
意欲集成该技术的电子产品应解决好几个方面的问题：

- 功耗和布局；
- 谐振器与设备的集成；
- 小型化；
- 通信链路 with 车载电台的集成。

设计者可以指定和寻找自己的解决方案，以实现所需的带外电台、功率放大器、DC至DC转换器、整流器、微处理器 – 分立的或集成的 – 并根据要求对其进行组装。

只要组成部件符合规范，它们就可以利用任何拓扑结构。规范仅保留将在系统中使用之发射机谐振器的接口和模型。

下图显示了功率传输单位（PTU）与功率接收单位（PRU）之间基本的无线充电系统配置。可对PTU进行扩展，以便为多个独立的PRU提供服务。PTU由三个主要的功能单元组成，即谐振器与匹配单元、功率转换单元、信令与控制单元（MCU）。如同PTU，PRU也包括三个主要的功能单元。



如上图所示，发送谐振器（Tx谐振器）使用6780 kHz（±15 kHz）从PTU到PRU传输电力。使用2.4 GHz频段上的Bluetooth Smart™来进行双路通信，通信信道处于用来传输电力的频率之外，在无线电力接收器与充电面之间提供一个可靠的通信通道。

基于使用6780 kHz频段传输的功率，为许多PRU类别和PTU类别规定了规范，范围从一个低功率的充电单元（用于小型设备，只需几瓦的功率）到更大的设备（需要许多瓦的功率）。下表所示是基于基线系统规范草案的PTU类别和PRU类别，新的类别/分类正在开发中。

PRU类别

PRU	P _{RX_OUT_MAX} '	应用样例
类别1	TBD	BT耳机
类别2	3.5 W	功能电话
类别3	6.5 W	智能电话
类别4	13 W	平板电脑、平板手机
类别5	25 W	小型笔记本电脑
类别6	37.5 W	普通笔记本电脑
类别7	50 W	高性能笔记本电脑

P_{RX_OUT_MAX}'指的是P_{RX_OUT}（Rx谐振器的输出功率）的最大值。

PTU类别

	$P_{TX_IN_MAX}$	支持要求的最小类别	所支持设备最大数量的最小值
类别1	2 W	1 ×类别1	1 ×类别1
类别2	10 W	1 ×类别3	2 ×类别2
类别3	16 W	1 ×类别4	2 ×类别3
类别4	33 W	1 ×类别5	3 ×类别3
类别5	50 W	1 ×类别6	4 ×类别3
类别6	70 W	1 ×类别7	5 ×类别3
$P_{TX_IN_MAX}$ 指的是 P_{TX_IN} （Tx谐振器的输入功率）的最大值。			

Bluetooth操作将在-6 dBm 与 +8.5 dBm之间进行传输，这在天线连接器处进行测量。

PTU和PRU规范使产品能够依据产品销售所在国规定的要求进行制作。例如，在美国，6785 kHz上的操作将遵循FCC第18部分的要求，2.4 GHz上的双路操作将遵循FCC第15部分的要求。

附件3

WPT系统辐射噪声和传导噪声的测量数据

1 引言

附件3提供了日本根据其新规则制定的WPT系统辐射噪声和传导噪声的测量数据。系统如下所示。

- (1) 用于电动载客电动汽车（EV）充电的WPT系统；
- (2) 利用磁共振技术的、用于移动设备和便携设备的WPT系统；
- (3) 利用磁感应技术的、用于家用电器和办公设备的WPT系统；以及
- (4) 利用电容耦合技术的、用于移动设备和便携设备的WPT系统。

2 测量模型和测量方法

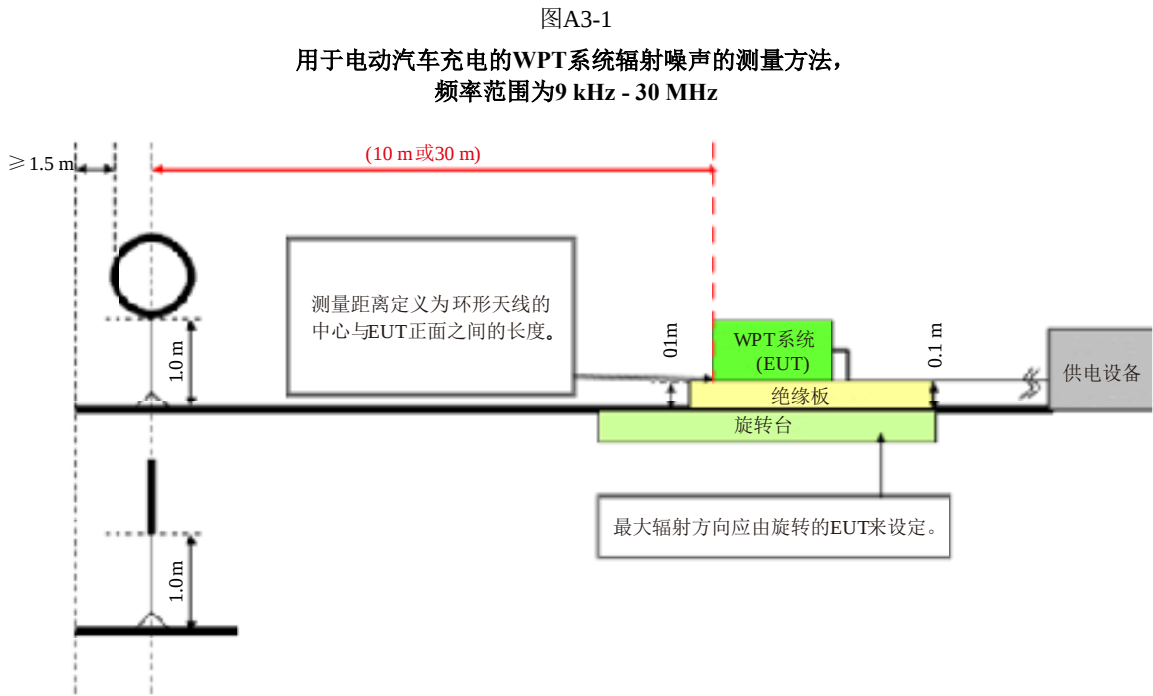
对WPT系统辐射噪声和传导噪声的测量模型和测量方法进行了讨论，它们由内务和通信部（MIC）关于无线电波使用的电磁环境分委员会下的WPT-WG来确定。

- (1) 辐射噪声的频率范围为9 kHz-30 MHz。
利用环形天线来测量磁场强度。利用平面波的特征阻抗377 ohm，通过简单的转换来获得电场强度；

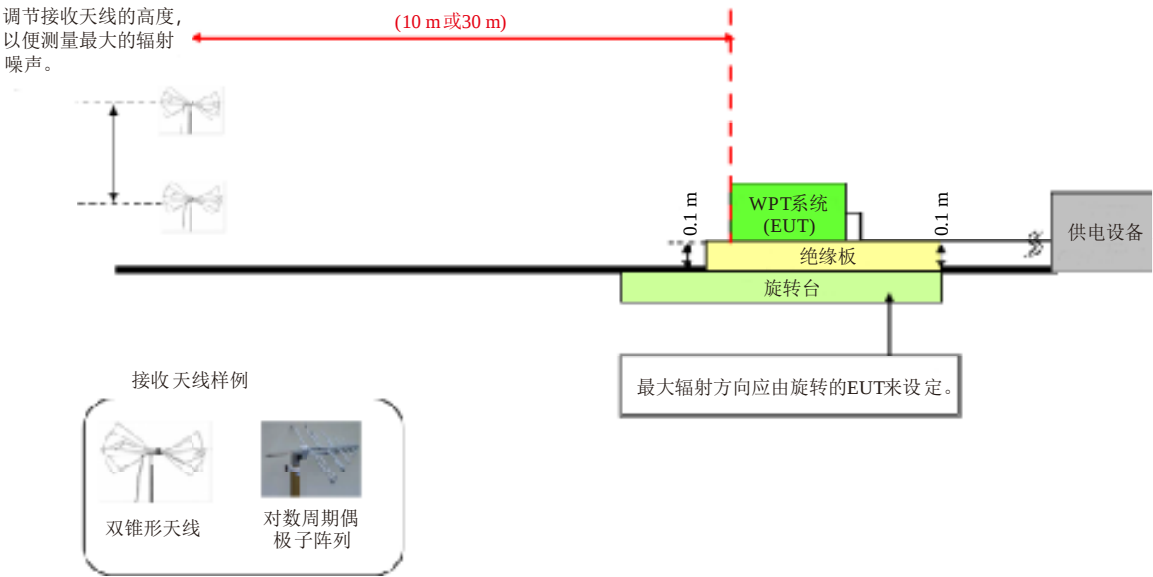
- (2) 辐射噪声的频率范围为30 MHz-1 GHz。
利用双锥形天线或对数周期偶极子阵列来测量电场强度。在便携设备应用情况下，所测频率范围扩充至6 GHz；
- (3) 传导噪声的频率范围为9 kHz-30 MHz。
测量自供电线辐射的传导噪声。在该测量中，EUT（接受测试的设备）应连接至AMN（人工电源网络）。

2.1 用于电动汽车充电的WPT系统

图A3-1和图A3-2描述用于电动汽车充电的WPT系统辐射噪声的测量方法。图A3-1的频率范围为9 kHz-30 MHz，图A3-2的频率范围为30 MHz-1 GHz。图A3-3描述EUT的顶视图及测量辐射噪声的布局。图A3-4描述该测量中所用的模拟车体。该模拟车体模型提交给IEC TC 69/PT 61980，在IEC TC 69/PT 61980中，有一个有关用于电动汽车充电的WPT系统的国际标准。图A3-5描述EUT的顶视图及测量传导噪声的布局。在这些测量中，传输功率定义为在RF供电设备或初级线圈的输入端口处测得的功率水平。

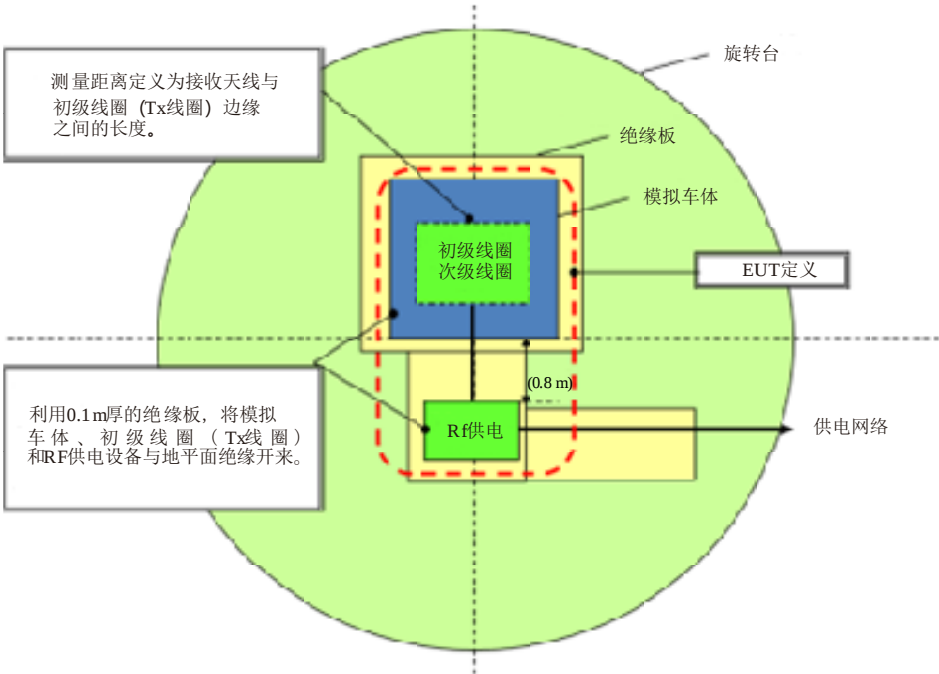


图A3-2
用于电动汽车充电的WPT系统辐射噪声的测量方法，
频率范围为30 MHz-1 GHz



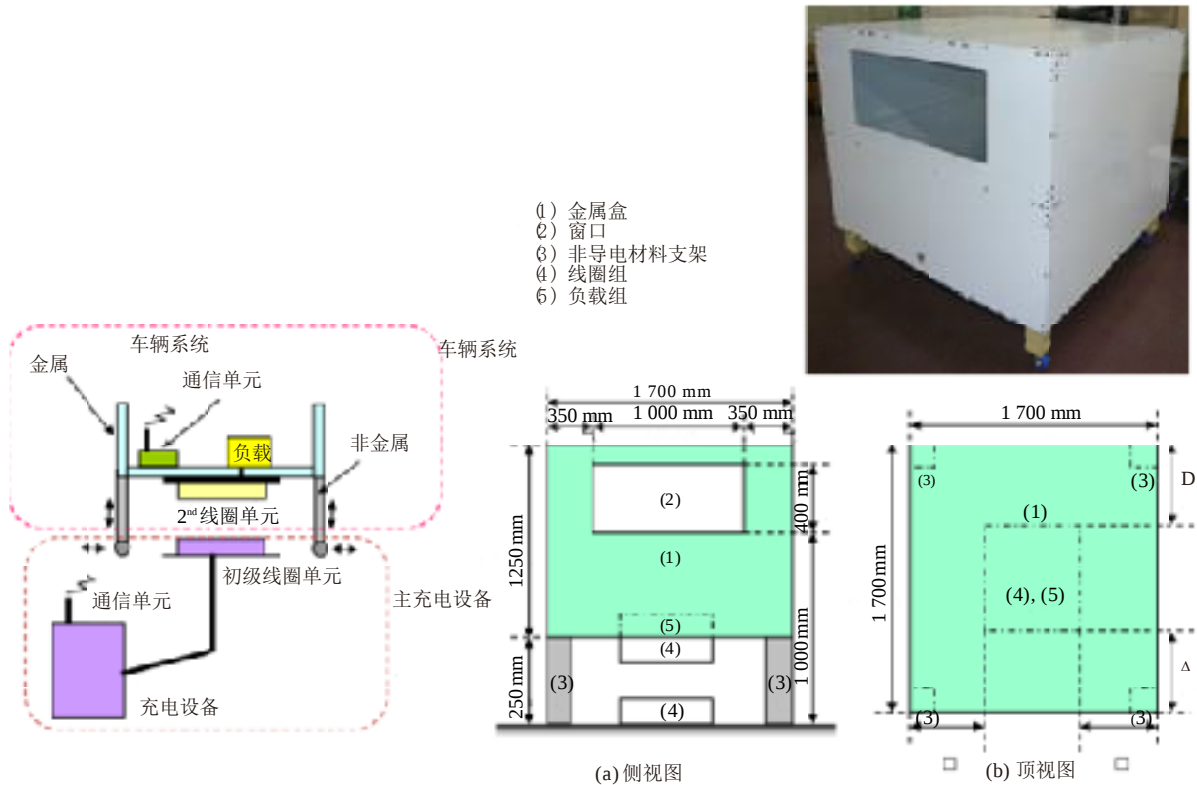
SM.2303报告-A3-02

图A3-3
用于辐射噪声测量的EUT及其布局的顶视图



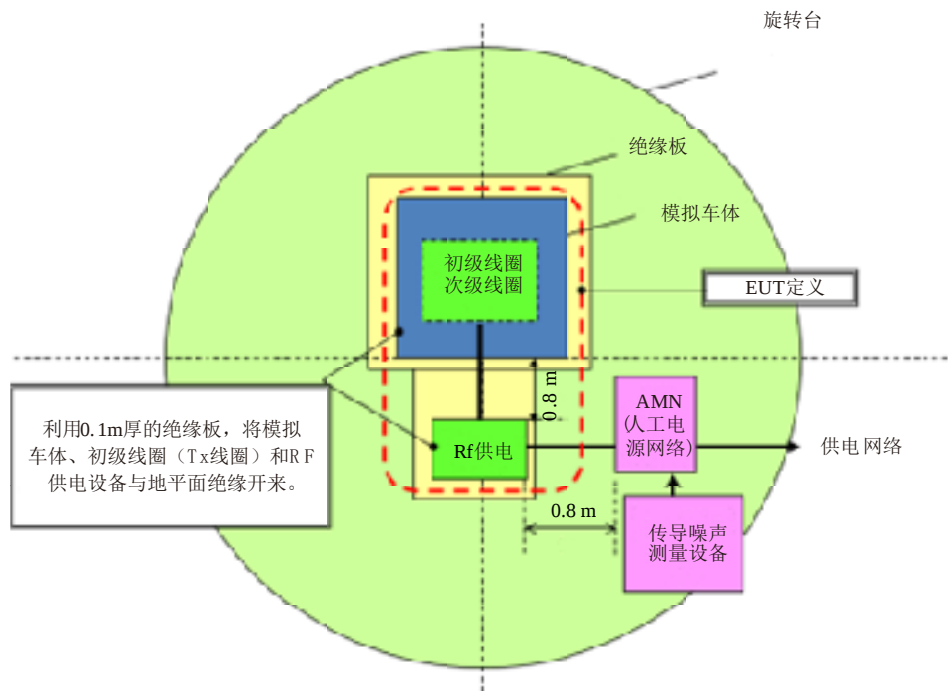
SM.2303报告-A3-03

图A3-4
模拟车体的配置



SM.2303报告-A3-04

图A3-5
用于传导噪声测量的EUT及其布局的顶视图



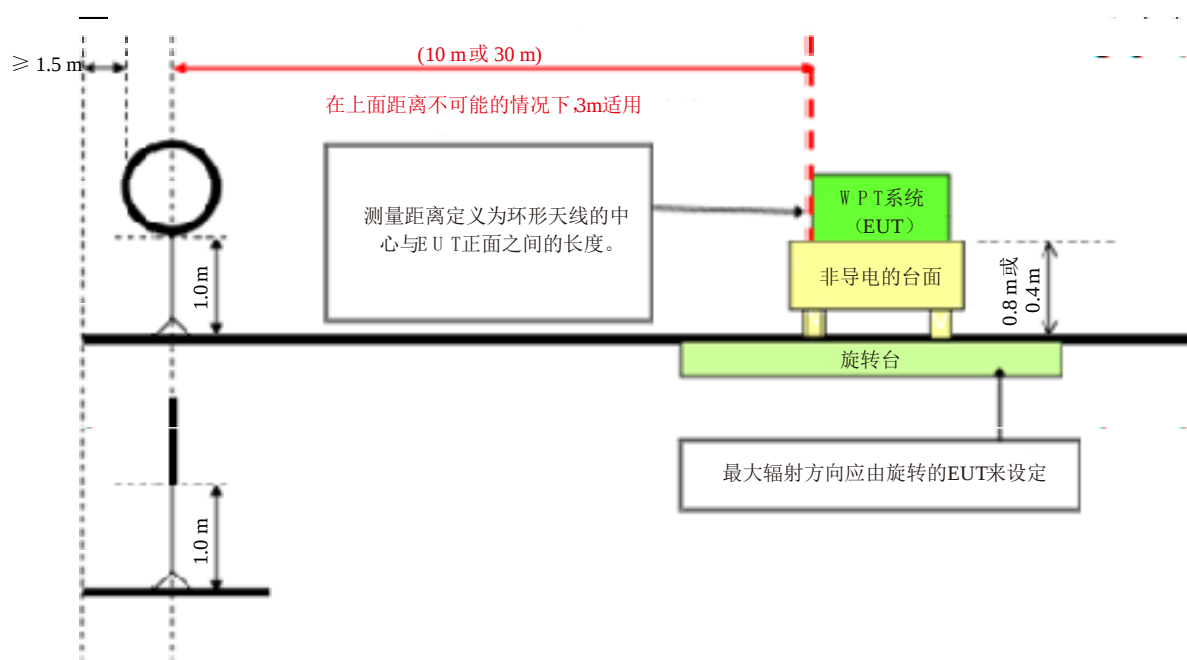
SM.2303报告-A3-05

2.2 移动设备、便携设备和家用电器

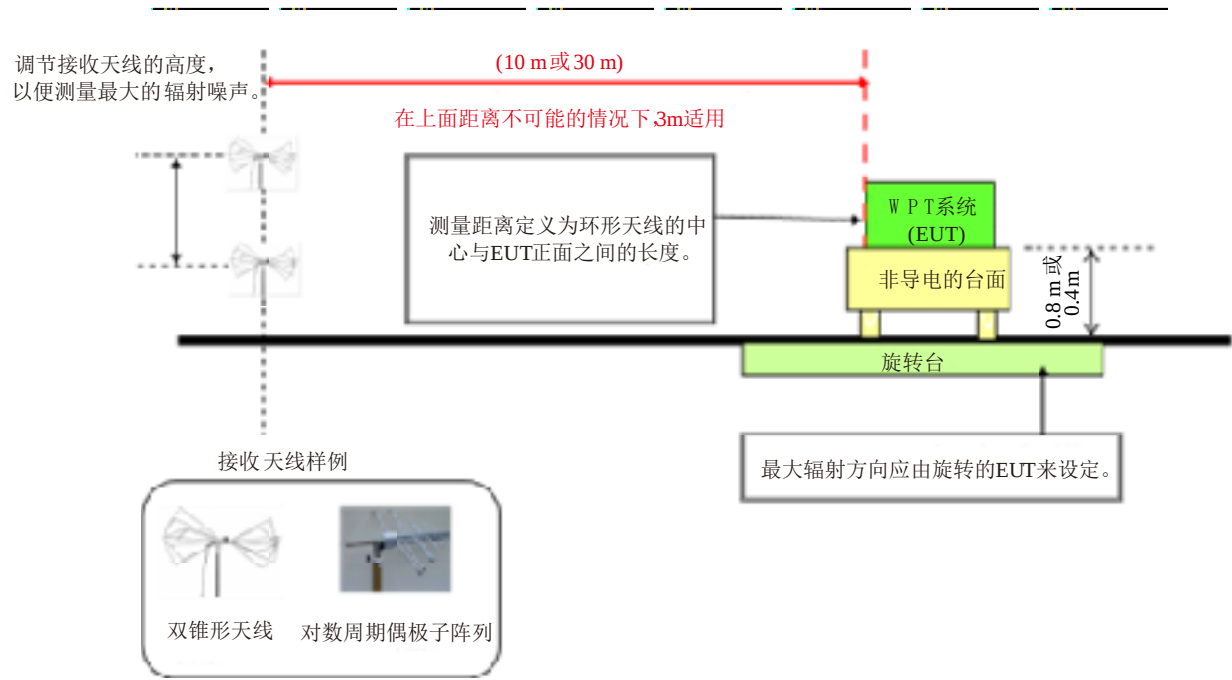
图A3-6和图A3-7描述用于移动设备、便携设备和家用电器的WPT系统辐射噪声的测量方法。图A3-6的频率范围为9 kHz-30 MHz，图A3-7的频率范围为30 MHz-6 GHz。值得注意的是，只有在移动设备和便携设备的情况下，频率范围才扩充至6 GHz。对家用电器，所测频率范围的上限为1 GHz。原因是，CISPR 14-1指的是用于家用电器的测量方法，CISPR 22指的是用于移动设备和便携设备的测量方法。图A3-8描述用于传导噪声的测量方法。此处对这两种测量方法进行了分析。

图A3-6

用于移动设备、便携设备和家用电器的WPT系统辐射噪声的测量方法，
频率范围为9 kHz-30 MHz

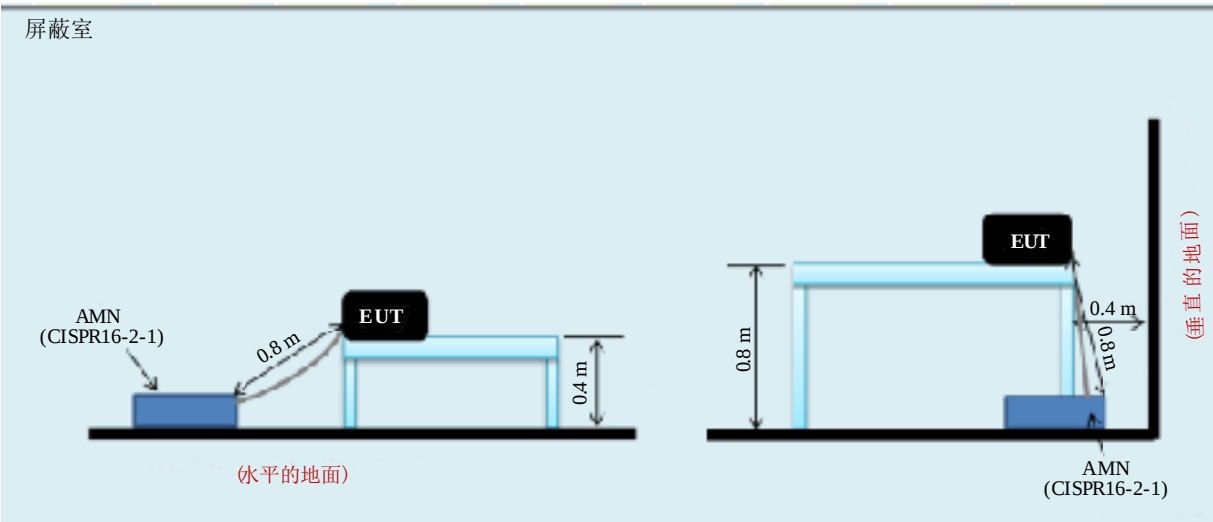


图A3-7
用于移动设备、便携设备和家用电器的WPT系统辐射噪声的测量方法，
频率范围为30 MHz-6 GHz



SM.2303报告-A3-07

图A3-8
传导噪声的测量方法



SM.2303报告-A3-08

3 BWF设置的目标辐射限度

在WPT-WG、MIC中，对新的日本规章中的辐射限度进行了讨论。不过，日本宽带无线论坛（BWF）已经设定了目标辐射限度，作为假设值，用于讨论有关其它无线系统的共存条件。关于目标辐射限度的基本观点如下所述：

- (1) 只对9 kHz-30 MHz频率范围设置了目标辐射噪声限度。在此对电场强度限度和磁场强度限度都进行了描述。
- (2) 首先考虑电场强度的目标辐射噪声限度，原因是，BWF指的是当前的日本国家无线电规章，其辐射噪声限度基本上通过电场强度来判定。利用TEM波（平面波）的特征阻抗377 ohms，通过计算来将电场强度转换为磁场强度。
- (3) BWF不设置30 MHz以上辐射噪声以及传导噪声的目标限度。

然后，对各WPT系统的目标辐射限度进行描述。需要注意的是，这些限度都是假设的，正在讨论中。

3.1 电动汽车充电WPT系统的限度

参考FCC第18部分C子部分（作为一种国际规则），以及基于开发之WPT系统的测量结果，提出了有关WPT频率范围的、假设的目标辐射噪声限度。基于适用于感应烹调设备（作为一种常用的磁感应应用）的《日本无线电规章》，提出了有关其它频率范围的、假设的目标辐射噪声限度。

- (1) 假设的辐射电场噪声目标限度
 - (a) WPT频率范围（用于充电的频率范围）
 - 3 kW – Tx功率：36.7 mV/m，距离 30 m (91.3 dB μ V/m，距离 30 m)
 - 7.7 kW – Tx功率：58.9 mV/m，距离 30 m (95.4 dB μ V/m，距离 30 m)
 - (b) 频率范围：526.5-1606.5 kHz
 - 30 μ V/m，距离 30 m (29.5 dB μ V/m，距离 30 m)
 - (c) 期望的、上述频率范围之上的频率范围
 - 200 μ V/m，距离 30 m (46.0 dB μ V/m，距离 30 m)
- (2) 假设的辐射磁场噪声目标限度
 - (a) WPT频率范围（用于充电的频率范围）
 - 3 kW – Tx功率：97.5 μ A/m，距离 30 m (39.8 dB μ A/m，距离 30 m)
 - 7.7 kW – Tx功率：156 μ A/m，距离 30 m (43.9 dB μ A/m，距离 30 m)
 - (b) 频率范围：526.5-1606.5 kHz
 - 0.0796 μ A/m，距离 30 m (-22.0 dB μ A/m，距离 30 m)
 - (c) 期望的、上述频率范围之上的频率范围
 - 0.531 μ A/m，距离 30 m (-5.51 dB μ A/m，距离 30 m)

3.2 使用磁共振技术的移动设备和便携设备的限度

基于开发之WPT系统的测量结果，提出了有关WPT频率范围的、假设的目标辐射噪声限度。基于适用于感应烹调设备（作为一种常用的磁感应应用）的《日本无线电规章》，提出了有关其它频率范围的、假设的目标辐射噪声限度。

- (1) 假设的辐射电场噪声目标限度
 - (a) WPT频率范围（用于充电的频率范围）
 - 100 mV/m，距离 30 m (100 dB μ V/m，距离 30 m)
 - (b) 频率范围：526.5-1606.5 kHz

30 $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m (29.5 dB $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m)

(c) 期望的、上述频率范围之上的频率范围

100 $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m (40.0 dB $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m)

(2) 假设的辐射磁场噪声目标限度

(a) WPT频率范围（用于充电的频率范围）

265.3 $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m (48.5 dB $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m)

(b) 频率范围: 526.5-1606.5 kHz

0.0796 $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m (-22.0 dB $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m)

(c) 期望的、上述频率范围之上的频率范围

0.265 $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m (-11.5 dB $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m)

3.3 使用磁感应技术的家用电器的限度

基于开发之WPT系统的测量结果, 提出了有关WPT频率范围的、假设的目标辐射噪声限度。基于适用于感应烹调设备（作为一种常用的磁感应应用）的《日本无线电规章》, 提出了有关其它频率范围的、假设的目标辐射噪声限度。

(1) 假设的辐射电场噪声目标限度

(a) WPT频率范围（用于充电的频率范围）

1 mV/m , 距离 30 m (60 dB $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m)

(b) 频率范围: 526.5-1606.5 kHz

30 $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m (29.5 dB $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m)

(c) 期望的、上述频率范围之上的频率范围

173 $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m (44.8 dB $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m)

(2) 假设的辐射磁场噪声目标限度

(a) WPT频率范围（用于充电的频率范围）

2.66 $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m (8.5 dB $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m)

(b) 频率范围: 526.5-1606.5 kHz

0.0796 $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m (-22.0 dB $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m)

(c) 期望的、上述频率范围之上的频率范围

0.459 $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m (-6.7 dB $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m)

3.4 使用电容耦合技术的移动设备和便携设备的限度

基于开发之WPT系统的测量结果, 提出了有关WPT频率范围的、假设的目标辐射噪声限度。基于适用于感应烹调设备（作为一种常用的磁感应应用）的《日本无线电规章》, 提出了有关其它频率范围的、假设的目标辐射噪声限度。

(1) 假设的辐射电场噪声目标限度

(a) WPT频率范围（用于充电的频率范围）

100 $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m (40 dB $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m)

(b) 频率范围: 526.5-1606.5 kHz

30 $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m (29.5 dB $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m)

(c) 期望的、上述频率范围之上的频率范围

- 100 $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m (40 dB $\mu\text{V/m}$, 距离 30 m)
- (2) 假设的辐射磁场噪声目标限度

(a) WPT频率范围（用于充电的频率范围）

0.265 $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m (−11.5 dB $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m)

(b) 频率范围：526.5-1606.5 kHz

0.0796 $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m (−22.0 dB $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m)

(c) 期望的、上述频率范围之上的频率范围

0.265 $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m (−11.5 dB $\mu\text{A/m}$, 距离 30 m)

4 辐射噪声和传导噪声的测量结果

对每个WPT系统的辐射噪声、传导噪声的测量结果以及相关的测量结果做了描述。此处所测WPT系统为用于测试和正在开发的设备。

4.1 用于电动汽车充电的WPT系统

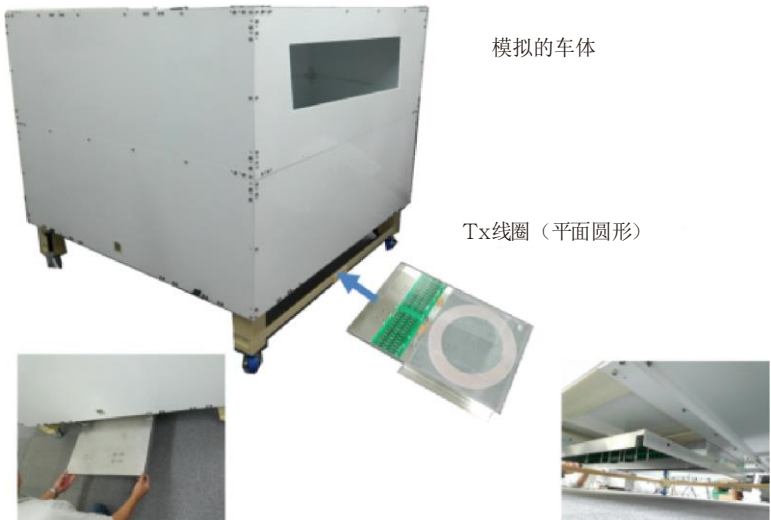
(1) 测试设备概述

为测量而准备的两个测试设备如表A3-1所示。在测试设备A中，WPT频率为120 kHz，使用平面圆形Tx和Rx线圈。在测试设备B中，WPT频率为85 kHz，Tx和Rx使用螺线管形线圈。此外，测试设备B还包括用于抑制WPT频率高次谐波的设备。在图A3-9和图A3-10中，对每个测试设备的照片分别做了描述。

表A3-1
用于电动汽车充电的测试设备概述

WPT系统	EV充电
WPT技术	磁共振
WPT频率	测试设备A： 120 kHz 测试设备B： 85 kHz
WPT条件	传输功率： 3 kW 充电距离： 150 mm

图A3-9
测试设备A



SM.2303报告-A3-09

图A3-10
测试设备B



SM.2303报告-A3-10

(2) 辐射噪声

在屏蔽的消音室中对来自各测试设备的辐射噪声进行了测量。测量距离为10 m。当描述30 m处的场强时，通过以下转换规则来获得场强，规则刊登于《日本无线电规章》中。

[测量距离10 m-30 m的衰减因子]

低于526.5 kHz的频率： 1/27

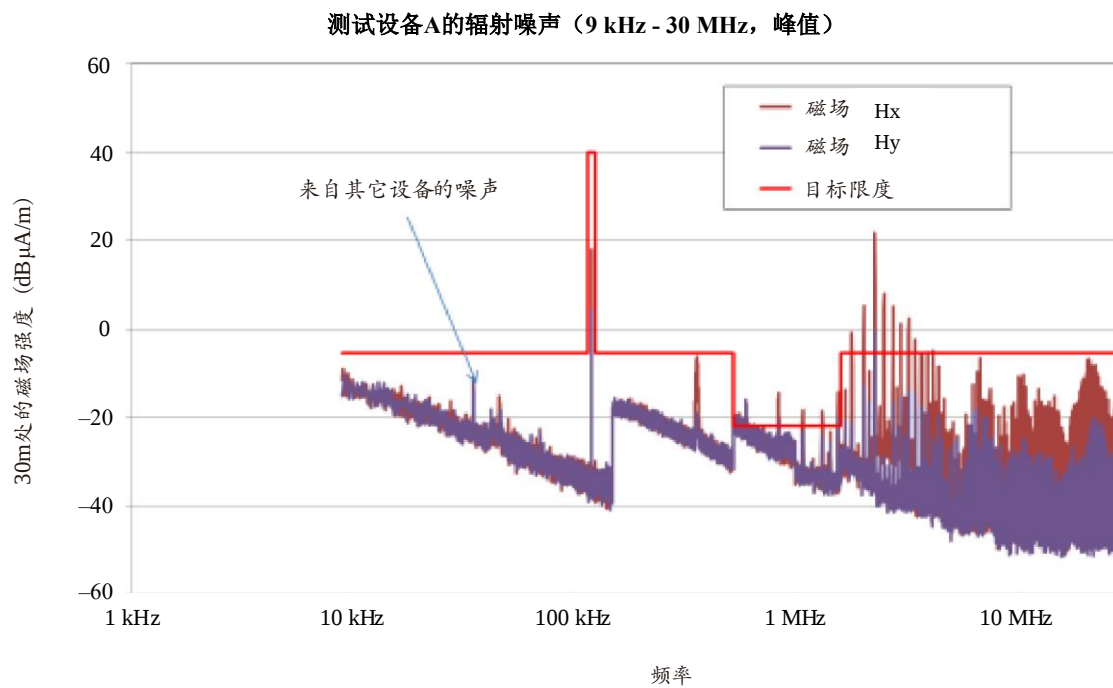
526.5-1606.5 kHz: 1/10

1606.5 kHz - 30 MHz: 1/6

9 kHz-30 MHz频率范围的测量结果如图A3-11、图A3-12所示。图A3-13描述了各测试设备更高次谐波的测量结果。通过这些测量结果发现，测试设备B清除了假设的辐射噪声目标限度。测试设备A清除了WPT频率的、假设的目标限度，但未清除其它频率范围的、假设的目标限度。不过，通过引入适当的设备来抑制高频噪声，认为是可以清除假设的目标限度的。

30MHz-1GHz频率范围的测量结果如图A3-14和图A3-15所示。

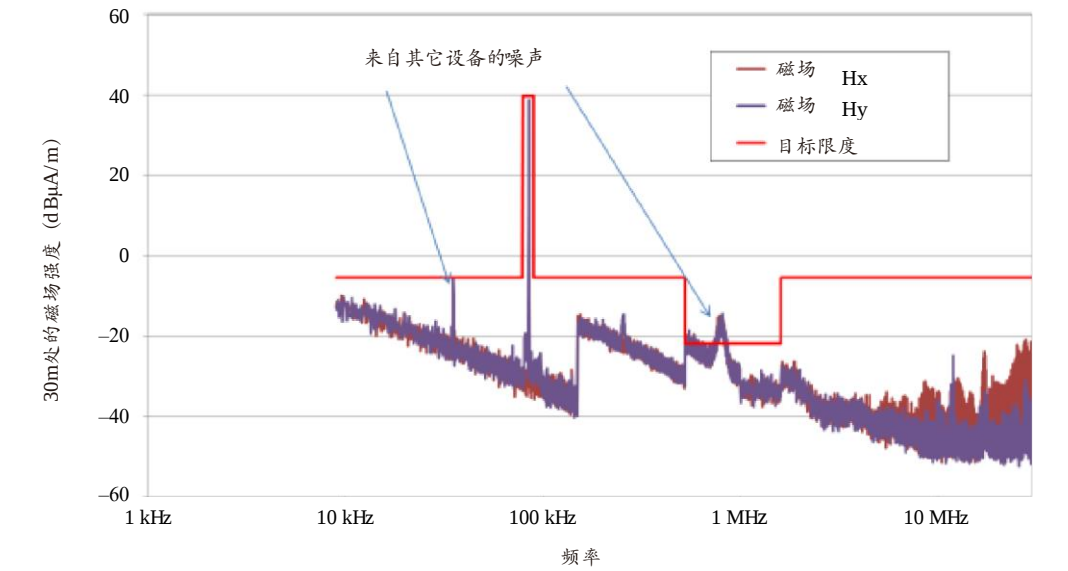
图A3-11



SM.2303报告-A3-11

图A3-12

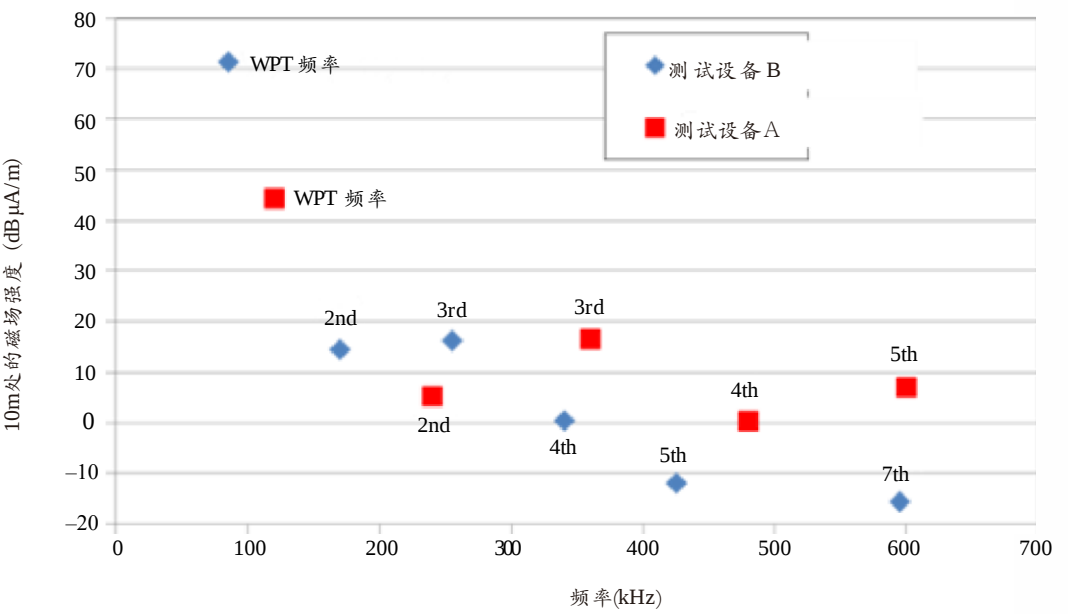
测试设备B的辐射噪声（9 kHz - 30 MHz，峰值）



SM.2303报告-A3-12

图A3-13

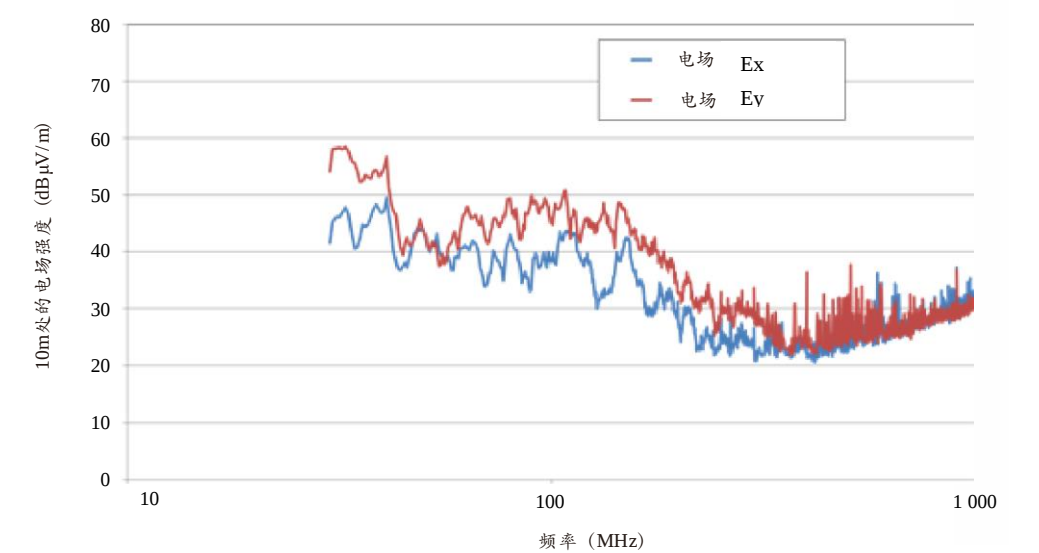
高次谐波的测量结果（准峰值）



SM.2303报告-A3-13

图A3-14

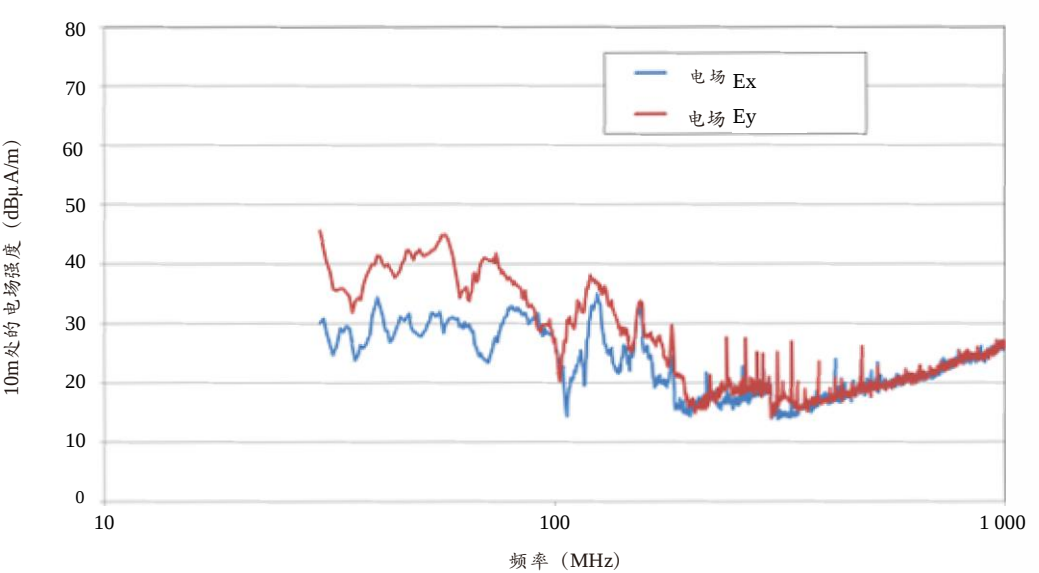
测试设备A的辐射噪声（30MHz-1GHz，峰值）



SM.2303报告-A3-14

图A3-15

测试设备B的辐射噪声（30MHz-1GHz，峰值）



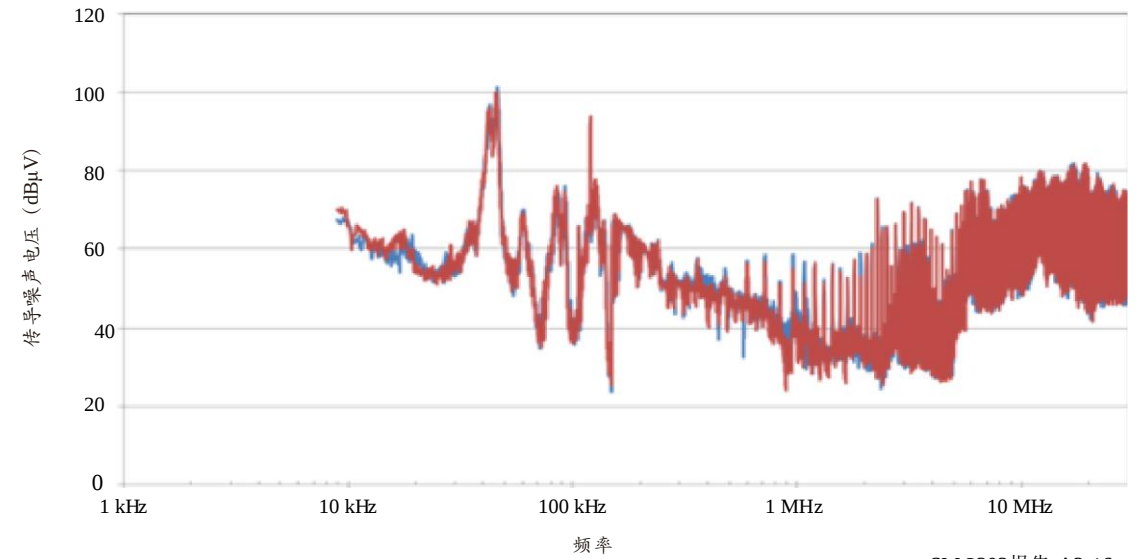
SM.2303报告-A3-15

(3) 传导噪声

30MHz -1GHz频率范围的传导噪声的测量结果如图A3-16和图A3-17所示。

图A3-16

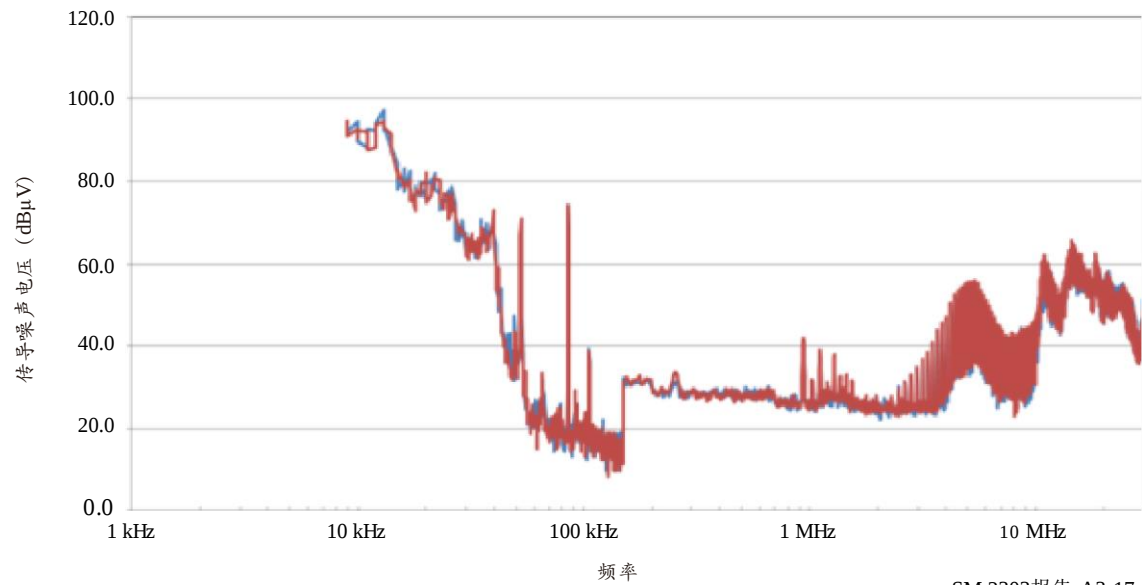
测试设备A的传导噪声（9kHz-30MHz，峰值）



SM.2303报告-A3-16

图A3-17

测试设备B的传导噪声（9kHz-30MHz，峰值）



SM.2303报告-A3-17

4.2 利用磁共振技术的移动设备和便携设备

表A3-2概述了利用磁共振技术的、用于移动设备和便携设备的测试设备。WPT频率为6.78 MHz。图A3-18描述了用于该测试设备的、典型的线圈结构。

此处接受测试的便携设备包括内部的线圈结构。该测试设备的传输功率为16.8 W。之后的测试结果显示，传输功率转化为100 W，利用§ 4.1(2)中所述的转换因子，测量距离转换为30 m。值得注意的是，测试设备不包括任何用于抑制WPT频率更高次谐波的设备。

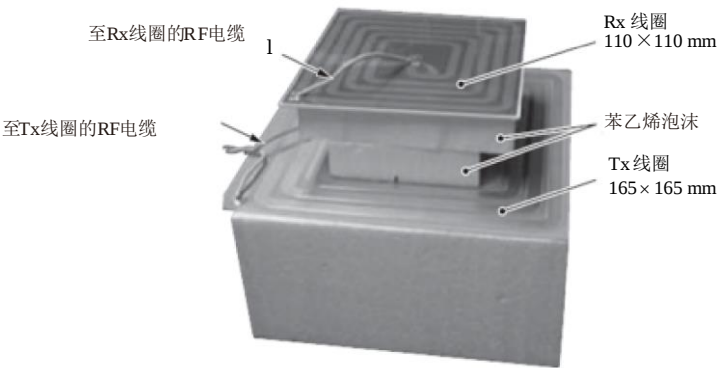
表A3-2

利用磁共振技术的、用于移动设备和便携设备的测试设备概述

WPT系统	移动设备和IT设备
WPT技术	磁共振
WPT频率	6.78 MHz
WPT条件	传输功率：16.8 W 充电距离：几厘米

图A3-18

利用磁共振技术的、用于移动设备和便携设备的、测试设备典型的线圈结构



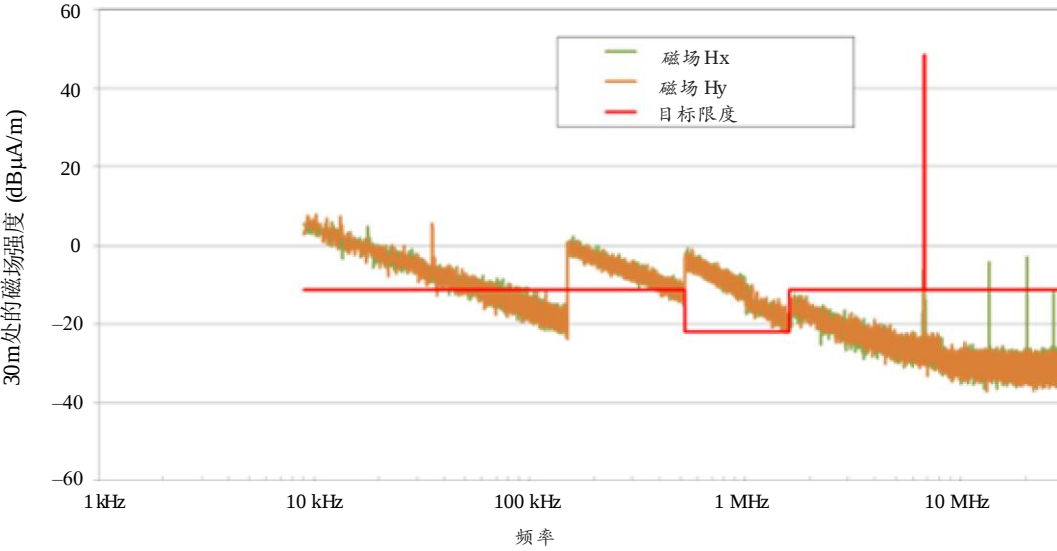
SM.2303报告-A3-18

(2) 辐射噪声

在屏蔽的消音室中对来自测试设备的辐射噪声进行了测量。9 kHz-30 MHz、30 MHz-1 GHz、1 GHz-6 GHz频率范围的测量结果分别如图A3-19、图A3-20、图A3-21所示。此外，图A3-22描述了该测试设备更高次谐波的测量结果。通过这些测量结果发现，该测试设备清除了WPT频率的、假设的辐射噪声目标限度。此外，通过这些测量结果发现，1 GHz以上没有任何辐射噪声。

图A3-19

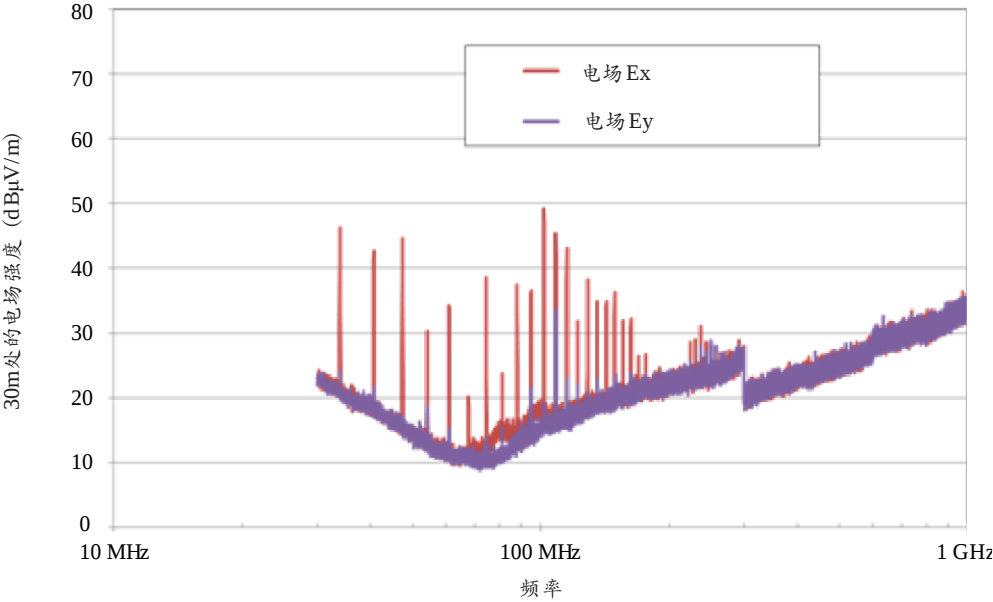
测试设备B的辐射噪声（9kHz-30MHz，峰值）



SM.2303报告-A3-19

图A3-20

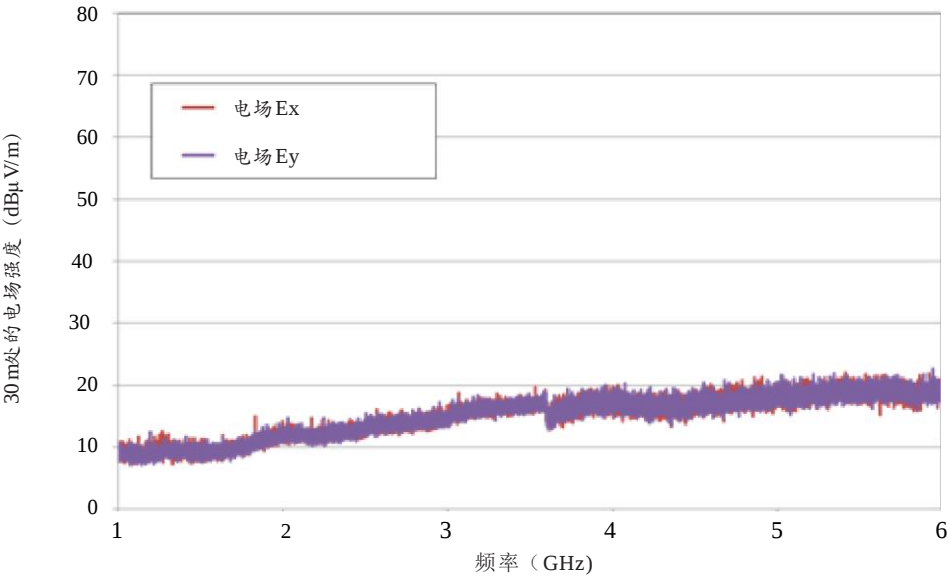
测试设备的辐射噪声（30MHz-1GHz，峰值）



SM.2303报告-A3-20

图A3-21

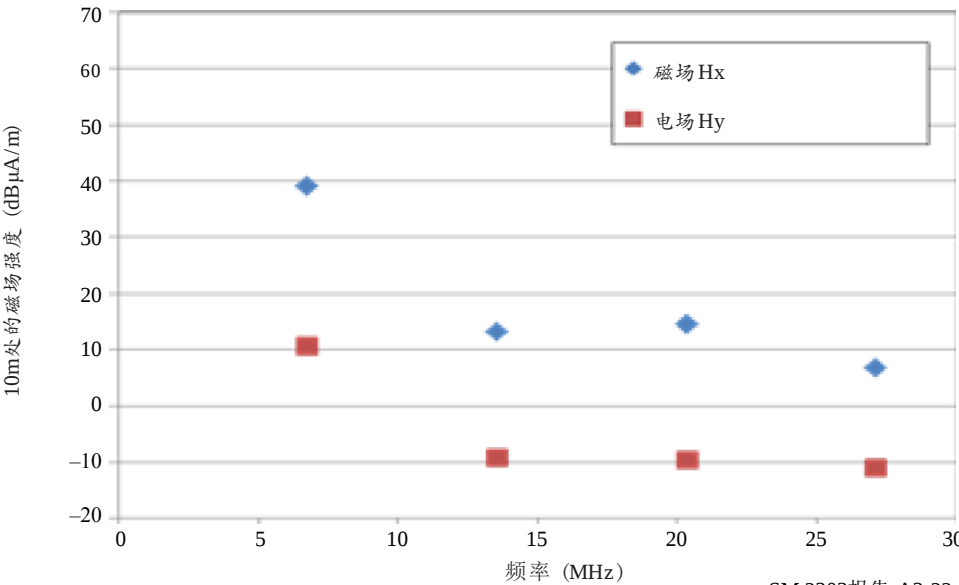
测试设备的辐射噪声（1-6 GHz，峰值）



SM.2303报告-A3-21

图A3-22

高次谐波的测量结果（准峰值）



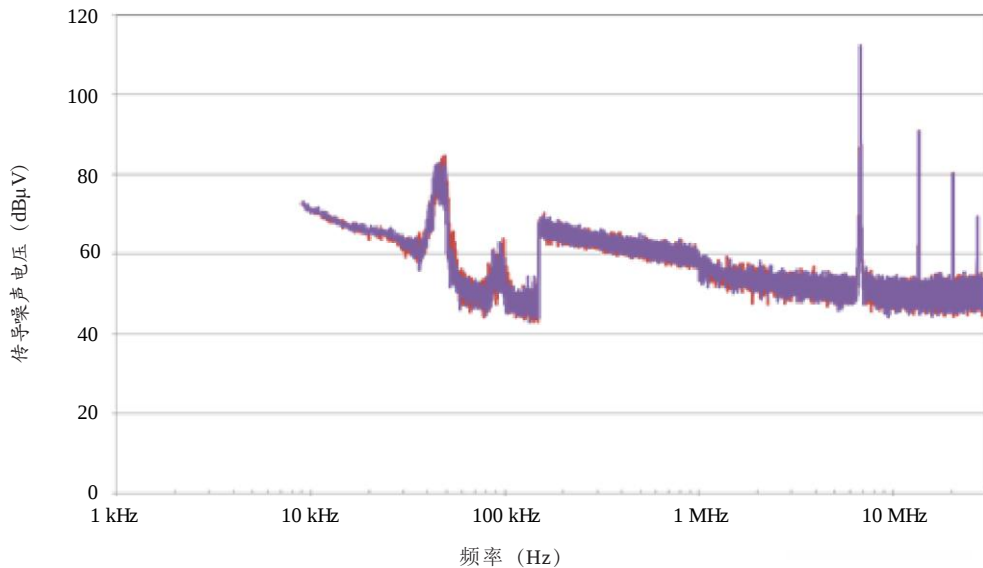
SM.2303报告-A3-22

(3) 传导噪声

30 MHz-1 GHz频率范围的传导噪声的测量结果如图A3-24所示。

图A3-23

测试设备的传导噪声（9 kHz-30 MHz，峰值）



SM.2303报告-A3-23

4.3 利用磁感应技术的家用电器

(1) 测试设备概述

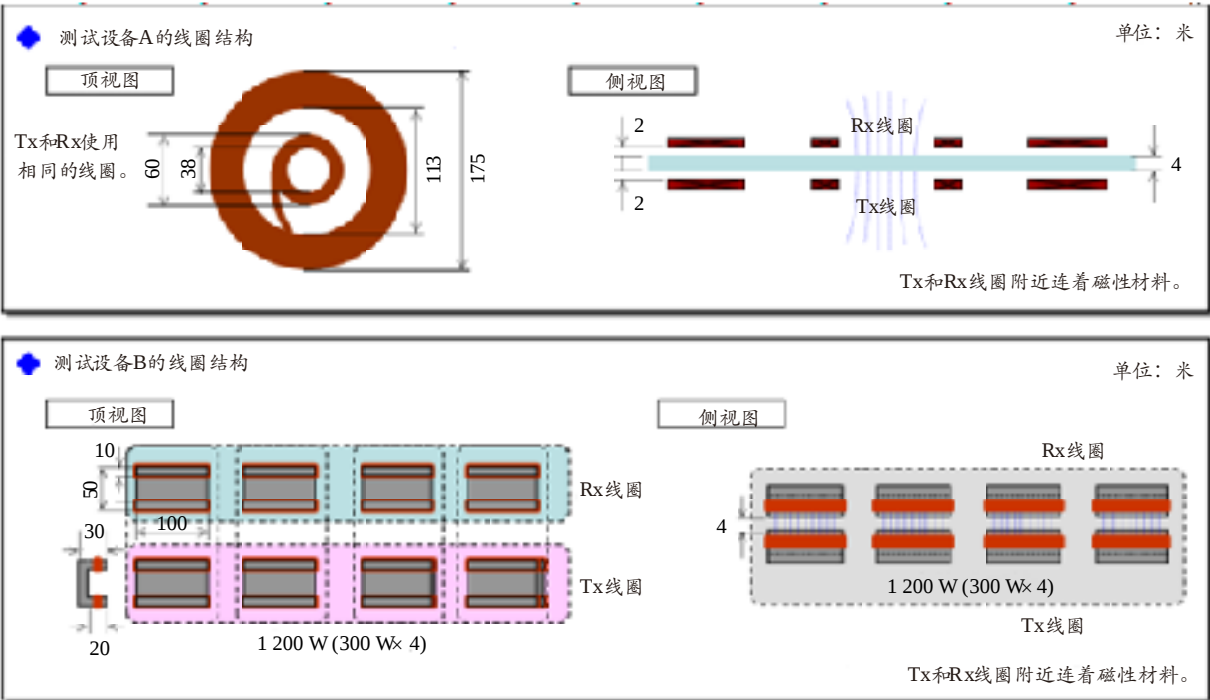
表A3-3概述了利用磁感应技术的、用于家用电器的测试设备。对该WPT系统有两种线圈结构，如图A3-25所示。WPT频率为23.4kHz和94 kHz。测试设备A、测试设备B的传输功率分别为1.5kW、1.2 kW。利用§ 4.1(2)中所述的转换因子，测量距离转换为30 m。值得注意的是，两部分测试设备不包括任何用于抑制WPT频率更高次谐波的设备。

表A3-3

利用磁感应技术的、用于家用电器的测试设备概述

WPT系统	家用电器
WPT技术	磁感应技术
WPT频率	测试设备A: 23.4 kHz 测试设备B: 95 kHz
WPT条件	传输功率（测试设备A）：1.5 kW 传输功率（测试设备B）：1.2 kW 充电距离：小于1 cm

图A3-24
利用磁感应技术的、用于家用电器的、测试设备典型的线圈结构



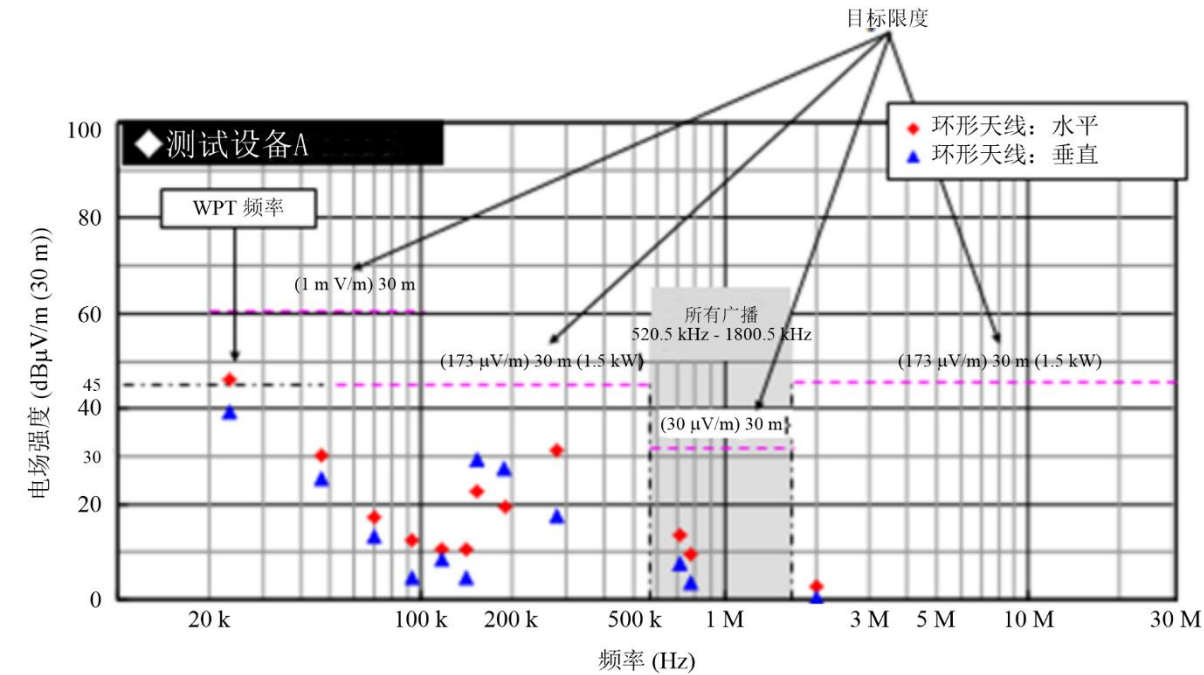
SM.2303报告-A3-24

(2) 辐射噪声

在屏蔽的消音室中对来自各测试设备的辐射噪声进行了测量。对各测试设备，9 kHz-30 MHz频率范围的测量结果如图A3-26、图A3-27所示。只对测试设备A进行了30 MHz-1 GHz频率范围的测量，测量结果如图A3-28所示。通过这些测量结果发现，这两部分测试设备清除了WPT频率和更高频率的、假设的辐射噪声目标限度。

图A3-25

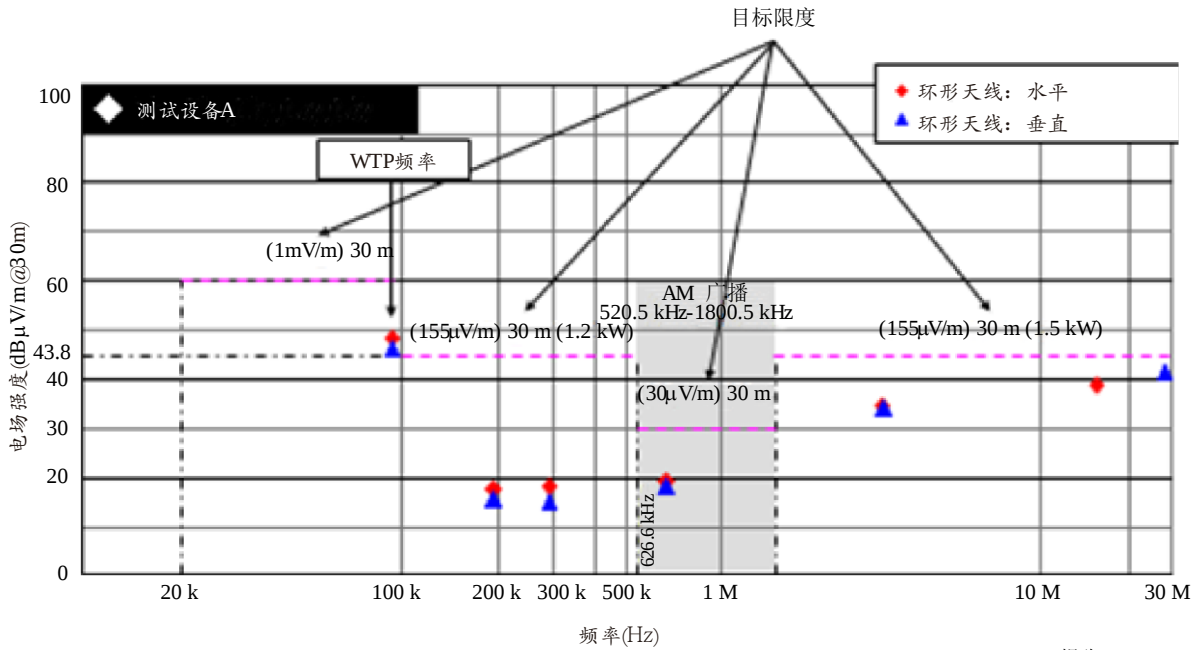
测试设备A的辐射噪声（9 kHz-30 MHz，准峰值）



SM.2303报告-A3-25

图A3-26

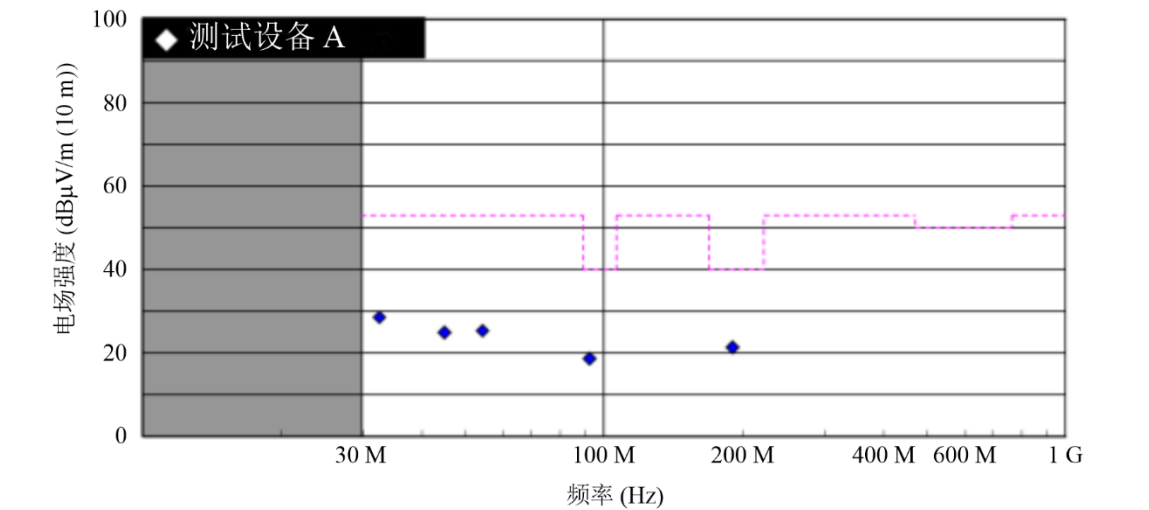
测试设备B的辐射噪声（9 kHz-30 MHz，准峰值）



SM.2303报告-A3-26

图A3-27

测试设备A的辐射噪声（30 MHz-1 GHz，准峰值）



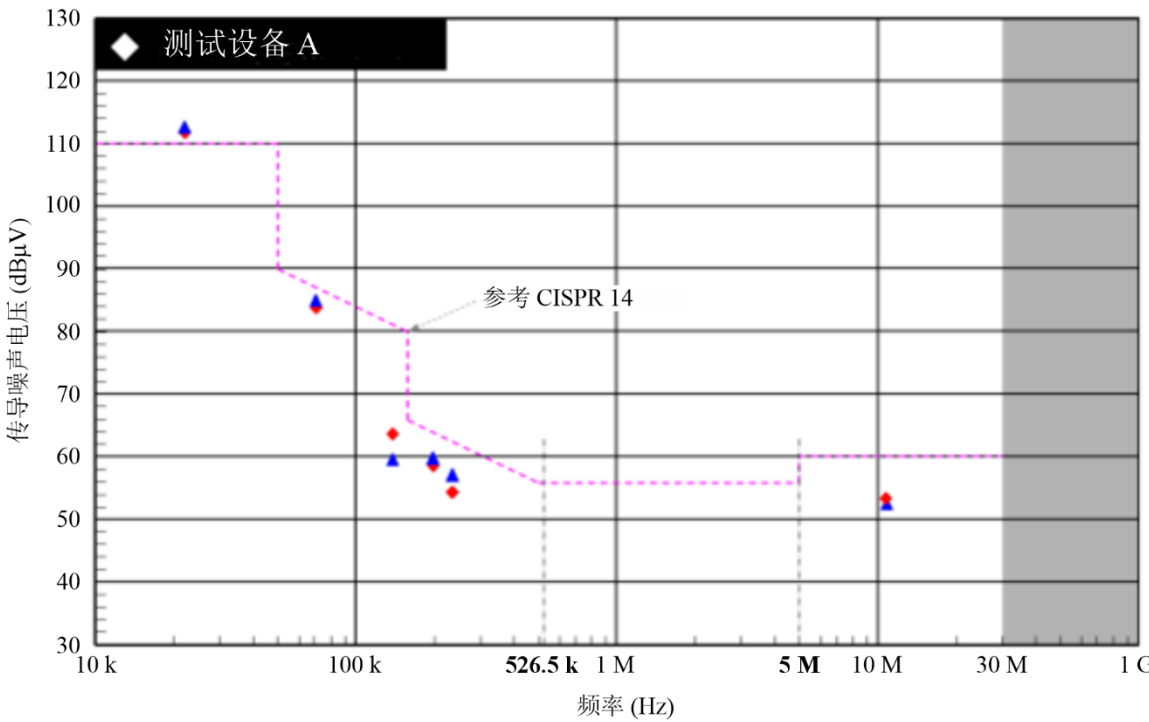
SM.2303报告-A3-27

(3) 传导噪声

9 kHz-30 MHz频率范围的传导噪声的测量结果如图A3-29所示。

图A3-28

测试设备A的传导噪声（9 kHz-30 MHz，准峰值）



SM.2303报告-A3-28

4.4 利用电容耦合技术的移动设备和便携设备

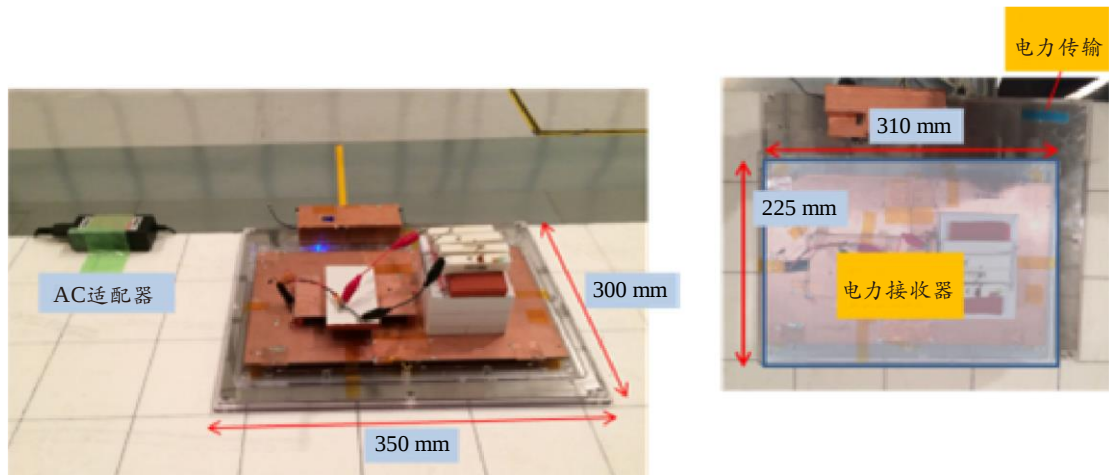
(1) 测试设备概述

表A3-4概述了利用电容耦合技术的、用于移动设备和便携设备的测试设备。图A3-30和图A3-31分别显示了用于该测量的测试设备以及WPT系统框图。WPT频率为493 kHz。最大传输功率为40 W。值得注意的是，该测试设备尽可能多地采用了商用产品要求，包括旨在抑制辐射和高次谐波的屏蔽设计。

表A3-4
利用电容耦合技术的、用于移动设备和便携设备的测试设备概述

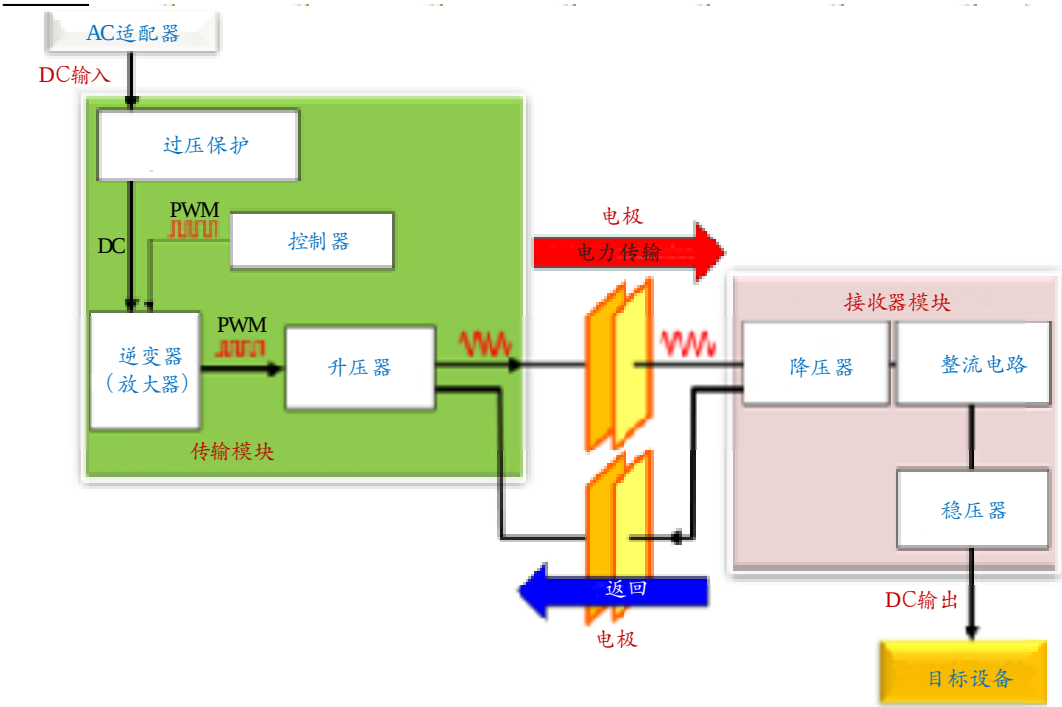
WPT系统	移动设备和IT设备
WPT技术	电场耦合
WPT频率	493 kHz
WPT条件	传输功率：最大40 W 充电距离：2 mm

图A3-29
利用电容耦合技术的、用于移动设备和便携设备的测试设备



图A3-30

利用电容耦合技术的、用于移动设备和便携设备的WPT系统框图



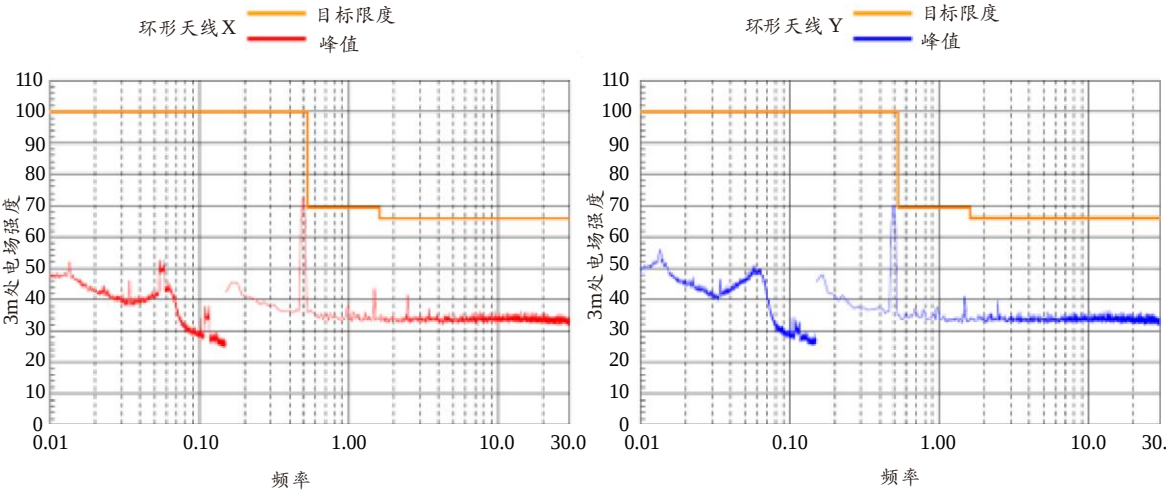
SM.2303报告-A3-30

(2) 辐射噪声

在屏蔽的消音室中对来自该测试设备的辐射噪声进行了测量。9 kHz-30 MHz、30 MHz -1 GHz、1 GHz - 6 GHz频率范围的测量结果分别如图A3-32、图A3-33、图A3-34所示。图A3-32的测量结果表明，辐射噪声小于假设的目标限度，这可能是由于使用了抑制辐射和发射的手段。

图A3-31

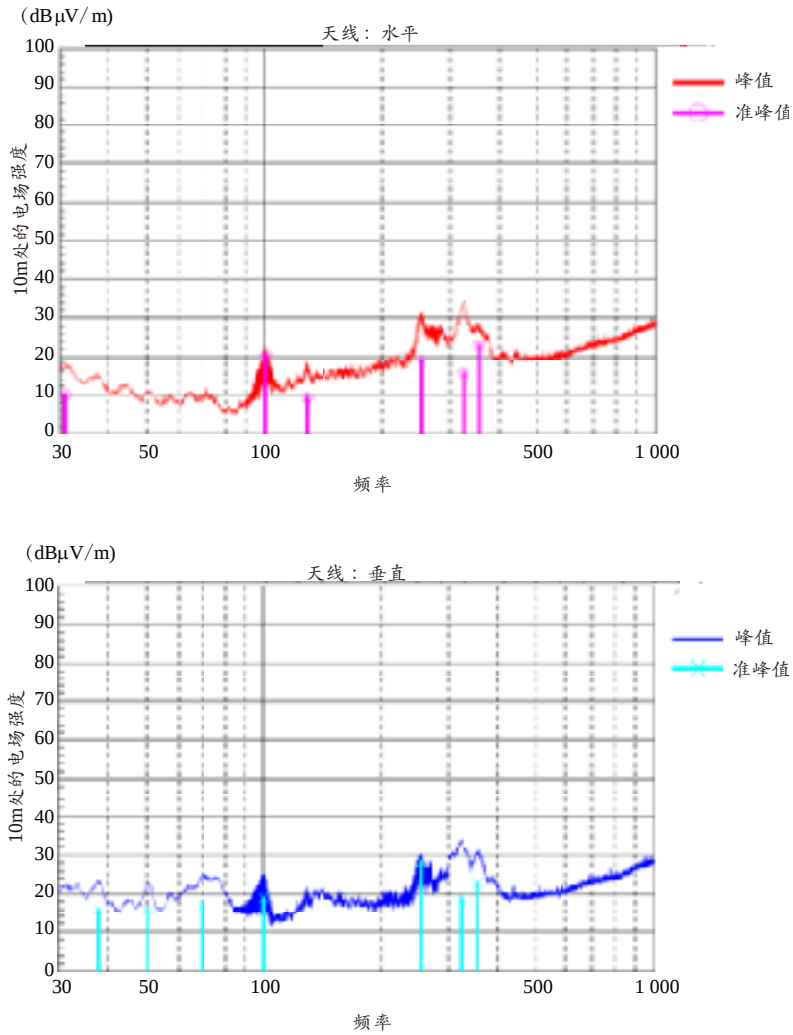
辐射噪声（9 kHz-30 MHz，峰值）



SM.2303报告-A3-31

图A3-32

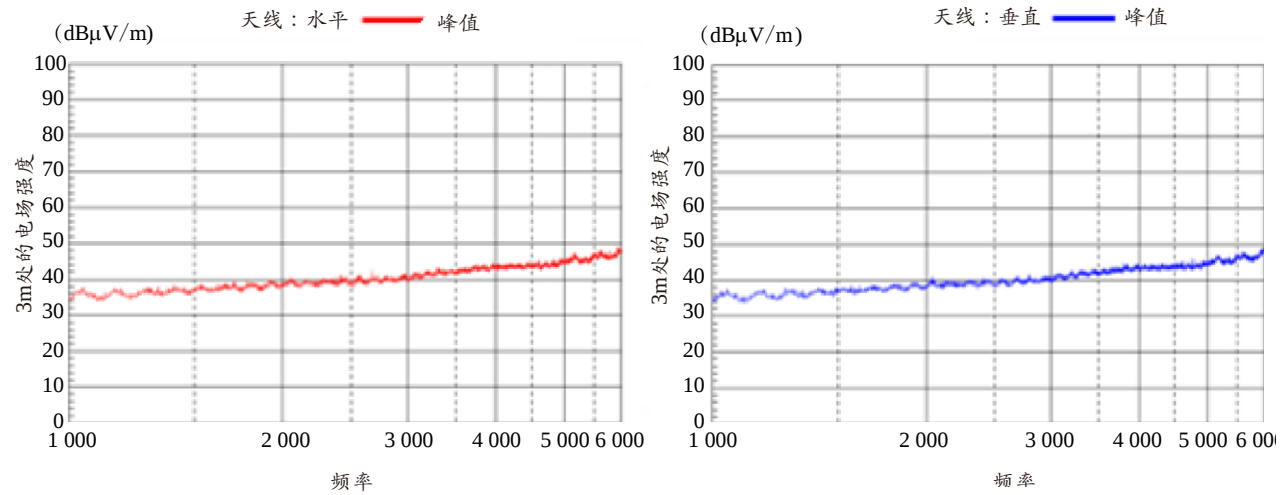
辐射噪声（30 MHz-1 GHz，峰值和准峰值）



SM.2303报告-A3-32

图A3-33

辐射噪声（1-6 GHz，峰值）



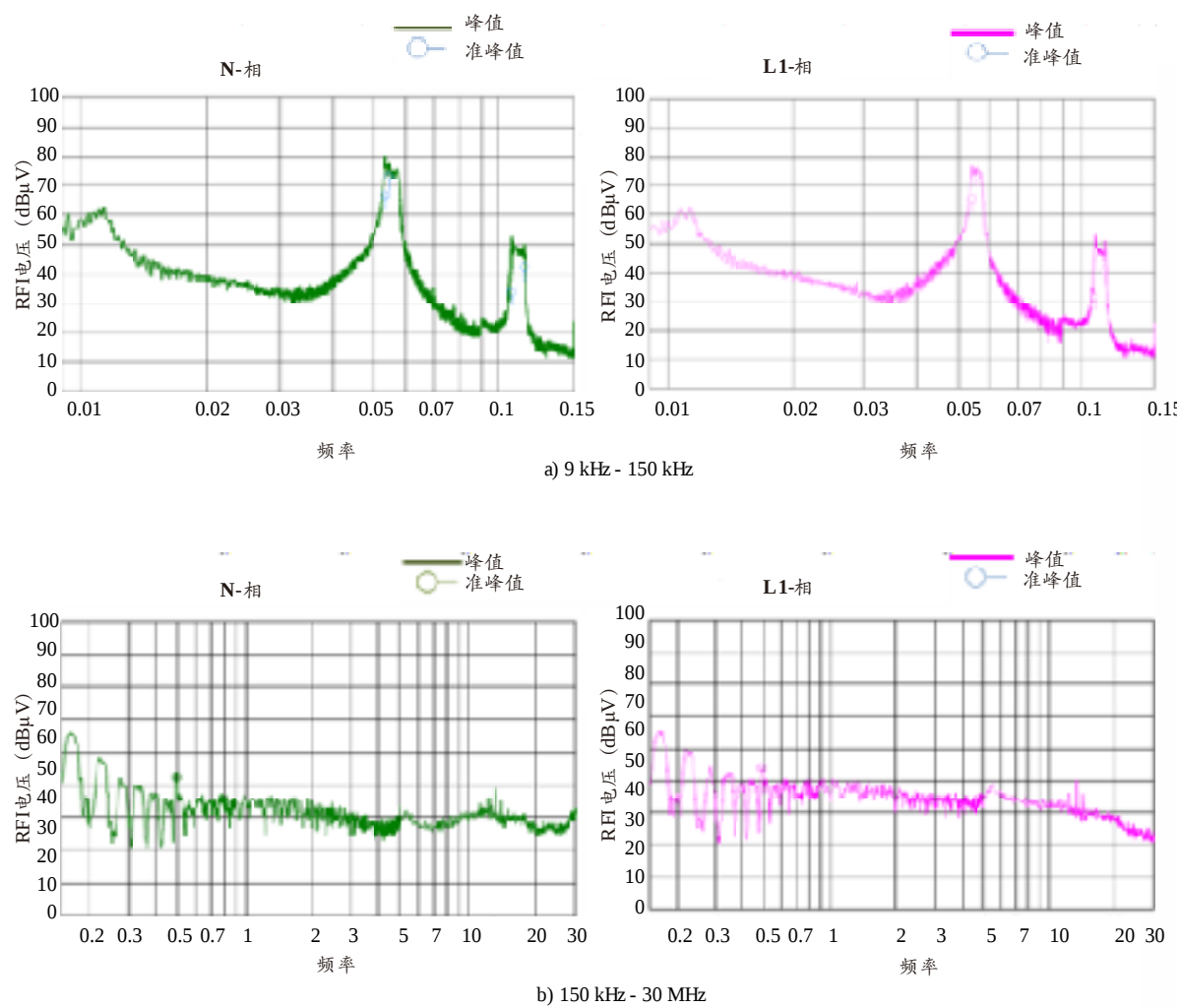
SM.2303报告-A3-33

(3) 传导噪声

9 kHz-30 MHz频率范围的传导噪声的测量结果如图A3-34所示。

图A3-34

测试设备的传导噪声（9 kHz-30 MHz，峰值和准峰值）



SM.2303报告-A3-34

附件4

未使用

(注：以前包含在附件4中的信息已纳入ITU-R SM.2451报告的附件6.3中。)

附件 5

WPT电磁干扰的测试结果

本附件详细介绍了韩国的移动设备WPT电磁干扰的测试结果。

5.1 引言

根据韩国规则（KN 17），本附件提供了使用磁感应技术的移动设备WPT系统的电磁干扰测量数据。

* KN17：韩国10W以下WPT家用电器的WPT电磁干扰测量方法。

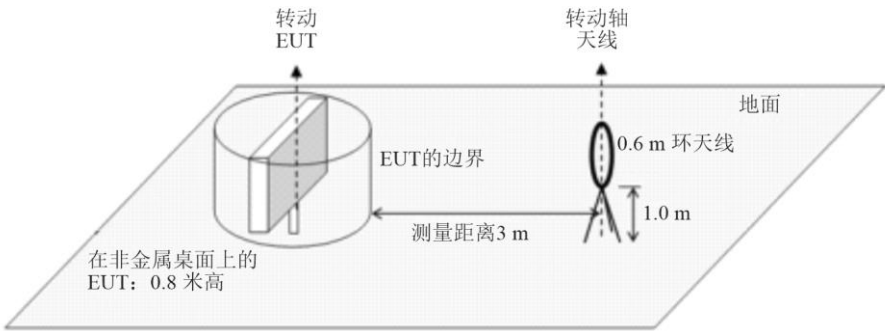
5.2 一般测量布局 and 条件

WPT系统的电磁干扰测量方法在韩国规定为KN 17:2013-06。直径为0.6 m的磁环天线用于30 MHz或更小的频率范围。详情请参阅EN 16-1-4。

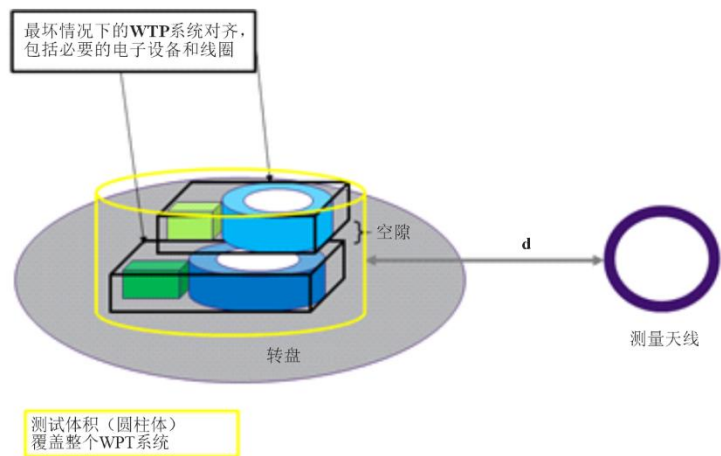
图A5-1和图A5-2分别描述了用于移动设备的WPT系统的电磁干扰测量方法。图A5-1显示了9 kHz-30 MHz频率范围内的测试站点布局。在9 kHz-30 MHz频率范围内，测试站点的特性可以通过确认周围环境噪声水平至少比5.3节中规定的允许限度低6 dB来确定。

图A5-1

用于频率范围9 kHz~30 MHz移动设备的WPT系统的电磁噪声测试场地布局



图A5-2
充电装置的设置 (Tx地平, 天线地平)



SM.2303报告-A5-2

5.3 辐射限度

KN 17适用于韩国的排放限度。被测设备（EUT）必须满足表A5-1的限度要求。根据EN 300 330-1附件F，将10m测量距离处的H场限度转换为3m测量距离处的H场限度由以下公式来确定：

$$H_{3m} = H_{10m} + \text{约}31 \text{ (从} 0.1 \text{ MHz 到 } 2 \text{ MHz)}$$

表A5-1

低于30 MHz的WPT家用电器的干扰允许水平

频率范围（MHz）	准峰值限度（dBμV/ m）	测量距离（m）
0.009～0.45	47-20 log <i>f</i>	3
0.45～30	54	
1. <i>f</i> 的单位是（MHz）。 2.谐波裕度： 3次谐波（+ 20dB），5次谐波（+ 10dB），7/9次谐波（+ 5dB）。 3.远E场到H场的转换常数：51.5 dBμA/m = dBμV/m – 51.5 4. H场测量转换系数：H _{3m} = H _{10m} + 31（低于2 MHz）（参见EN 300 330-1）。		

5.4 电磁干扰

描述了移动设备WPT系统的电磁干扰测量结果。移动设备WPT系统的测试设备已投放市场。

5.4.1 使用磁感应技术的移动设备

5.4.1.1 测试设备概述

表A5-2概述了使用磁感应技术的移动设备的EUT。WPT频率为144.6 kHz。图A5-3显示了EUT的发射器和接收器。

表A5-2
使用磁感应技术的移动设备的EUT概述

EUT	发射器：三星无线充电器EP-PG9201 接收器：SAMSUNG Galaxy S7
WPT技术	磁感应
WPT频率	144.6 kHz
WPT的条件	典型传输功率：5W（WPT效率：大于75%） 充电距离：1cm以下

图A5-3
使用磁感应技术的移动设备的EUT概述

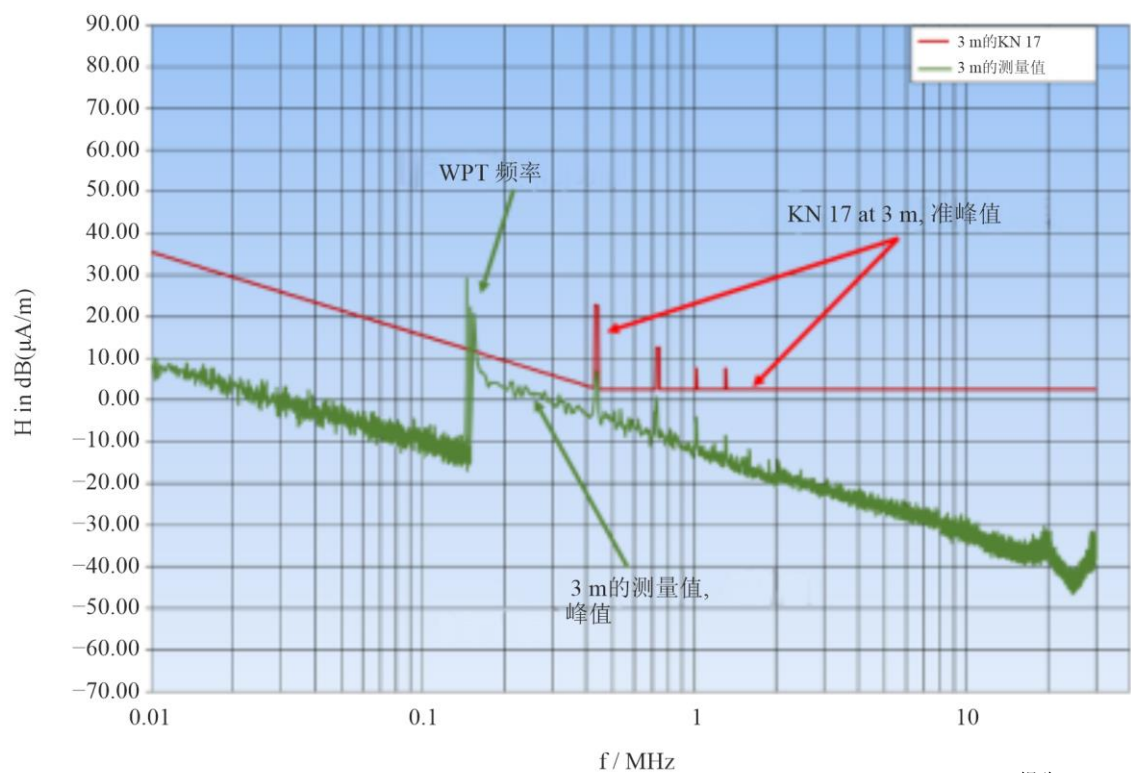


5.4.1.2 电磁辐射

EUT的辐射在一个带导电地面的、典型的3 m半消音室中测得。图A5-4显示了频率范围从9 kHz到30 MHz的测量结果。结果满足韩国规则KN17的要求，红线为KN 17 @ 3 m，深绿线为3m处的峰值测量值。WPT频率水平为144.6 kHz上29.27 dBμA/m，3次谐波值为434 kHz上-0.71 dBμA/m，5次谐波值为726 kHz上0.61 dBμA/m，7次谐波为1 018 kHz上-4.07 dBμA/m，9次谐波为1 306 kHz上-8.76 dBμA/m。

主载波，即WPT频率，通过弱电磁场强度装置限度来调节，谐波通过韩国无线电波法案，通过KN 17来调节。根据韩国技术规则，WPT频率下的允许限度为94.8 dBμV/m，EN 303 417的限度为89.2 dBμV/m。WPT频率144.6 kHz下的测量值为80.77 dBμV/m。WPT主载波辐射通过韩国和欧洲的技术规则，且谐波满足KN 17 EMC限度的要求。

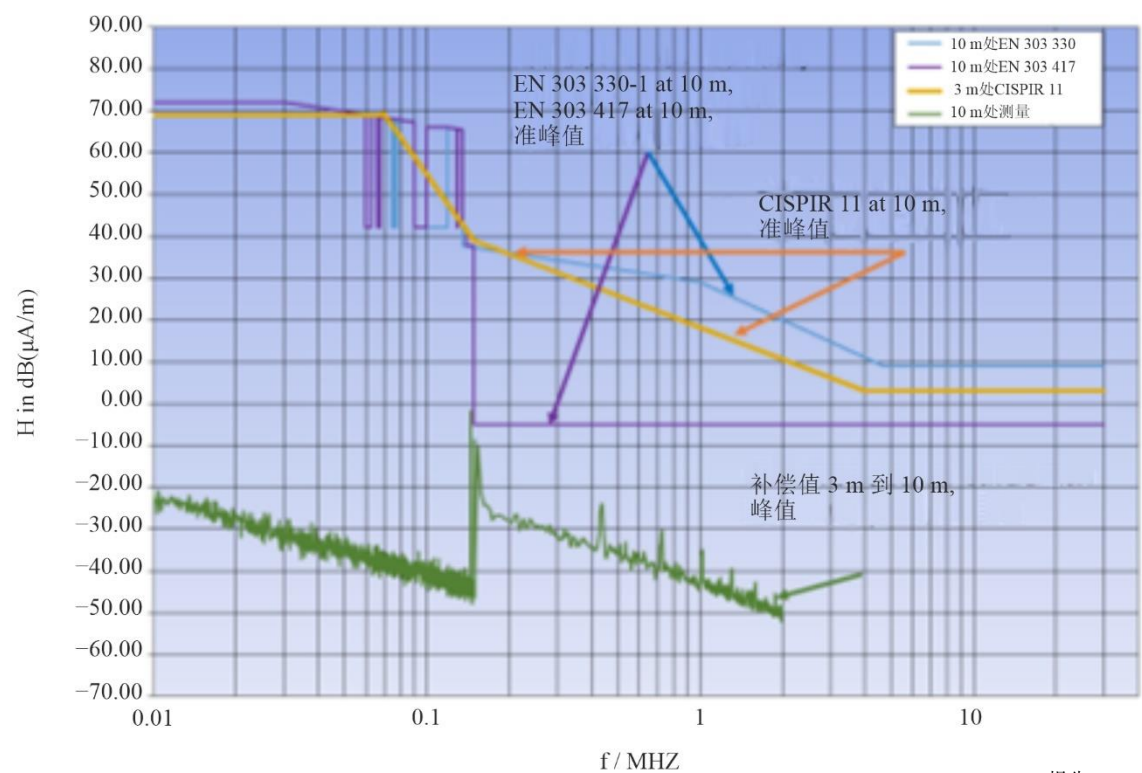
图A5-4
Tx水平，天线水平（9 kHz-30 MHz，3 m的测量值）



SM.2303报告-A5-4

在图A5-5中，在100 kHz与2 MHz之间，根据EN 300 330-1附件F，以转换系数31，从3 m处的峰值测量数据转换为10 m处的数据的补偿值完全满足欧洲标准和CISPR 11的要求。

图A5-5
Tx水平，天线水平（9 kHz-30 MHz，补偿值3 m-10 m）



SM.2303报告-A5-5

结果是，由于补偿值满足如图A5-5所示的国际标准EN 303 417和CISPR 11，因此在测量10 m处移动设备的EUT电磁辐射时，其应满足国际要求。

附件6

广播规划

广播发射器可以并且确实相互干扰，因此每个发射器的工作频率选择至关重要。作为一项一般原则，广播业务的规划在干扰有限的基础上进行。特定发射器的服务区域指的是轮廓内的区域，在此区域外，服务将因干扰而变得不可用。对不同类型的节目材料或不同的用户而言，确切地说，“不可用”可能会有所不同，但在定义规划准则时会做出某些假设。

此外，传播条件的变化意味着存在一个统计学因素，这在规划准则中也是相似的。当某个特定信号被来自自然源的干扰、接收器内部噪声或其它广播业务压制时，它被认为是不可用的。

日内瓦75（GE75）和里约热内卢1981（RJ81）的LF/MF区域频率指配计划显示了国际电联如何在实践中落实和体现这些考虑。

如果需要两个发射器用不同的节目来覆盖相同的地理区域，则它们必须具有不同的频率，并且频率间隔必须使接收器能够将之相互隔开。接收器做到这一点的能力被称为选择性，由接收器射频（RF）部分的滤波质量来定义。现代接收器在这方面往往比旧式接收器更好，但由于世界上有大量较老的接收器在继续工作中，因此国际电联规定的规划准则是趋于保守的。广播频段不够宽，无法让世界各地的每一个电台都拥有自己独特的频率，并与其它频段完全隔开。这意味着频率必须可重复使用。在不造成干扰的情况下重复使用频率的关键是在地理上分离。当两个发射器工作于同一频率上时，地理上的间隔必须足够大，以确保每个发射器都不会对其确定的服务区内的其它发射器造成有害干扰。在只有两个发射器的情况下（二者采用相同的频率和相同的功率），一个非常简单的（假设的）情况是，它们之间会有一个点，大概在中间位置，来自两个发射器的信号强度是相同的。显然，在这一点上二者都不可用；有必要靠近其中一个发射器，以便找到一个其占主导地位的点，而来自另一个发射器的干扰可以被忽略。在许多情况下，正是这种现象定义了一个或另一个发射器的服务区域限度。

在现实世界中，有大量不同的发射器工作于二维的地理空间上。每个发射器都有自己的频率、功率输出和天线特性。广播发射天线通常是有方向性的，因此即使有两个功率相同的发射器，它们的信号强度在它们之间的地理中间点上也可能是不相同的。虽然不是绝对必要的，但为了简化规划过程（以及理解它），广播频段通常是信道化的。对GE75计划中的MF和LF传输，信道宽度通常为9 kHz，而载波频率则组织于9 kHz的栅格上⁷。因此，各信道在频率上是连续的（它们之间没有“保护频段”），但不重叠。尽管接收器中的射频滤波器试图隔开单个的9kHz信道，其载波位于其中心处，但较老的接收器，特别是具有集总调谐电路滤波（与固态表面波滤波相反）的做法并不完美。认识到调幅（AM）收音机不是高保真（HiFi）媒体，许多接收器的射频（RF）滤波器都要比9 kHz窄。这意味着，在实践中，相邻信道上的两个发射器不能覆盖相同的地理区域，因为每个发射器都会把干扰“泄露”到另一个发射器的信道滤波器中。但是，相邻信道上的发射器可以在它们之间以较小的地理间隔

⁷ 尽管GE75计划下的几乎所有频道的宽度都是9 kHz，但数量非常少，分配范围更宽。它也可能适应不在9 kHz栅格上的载波频率。RJ81计划下的频道安排稍微复杂一些，并基于10 kHz栅格。

来工作，因为滤波器可以降低干扰水平。明显，用更大的频率分隔，情况会变得更加容易；第二个相邻信道上的发射器可以工作于更近的距离上，而第三个相邻信道上的发射器仍可更近，直到完全不需要地理上的分隔为止。在大多数地方，在同一个频段有几个广播业务可用；它们不会相互干扰，因为它们之间有足够的频率间隔。

所有这些原则，包括关于典型接收器选择性的假设，都纳入了国际电联制定的规划准则，如GE75和RJ81规划。无线电频率传播不尊重国际边界，因此必须在国际层面上进行规划。几乎所有主管部门都同意国际电联在BRIFIC上颁布的广播频率分配方案。分配方案与特定的地理位置相关联，并在商定的计划中指定发射器功率和天线方向性。虽然这些分配中的大部分都是静态的，但可以做出变更，以适应不同广播公司不断变化的业务愿望。国际电联拥有计算机程序，可模拟对商定的计划进行修改的影响，以确定它们是否可以纳入，或者如何适应，以使之可接受。

基于以上所述，选择频率和栅格以确定用于规划的信道安排方案因此是重要因素，以指导SDO如何通过使用适于预期使用场合的参数，来确保WPT设备标准自然地最小化干扰风险。

在某个给定区域中，可以为WPT设备设置一个工作频率，更重要的可能是其相关谐波，它应与为该区域规划的广播服务很好地进行分隔。如果使用相同的广播规划栅格，则WPT设备的频率选择将变得更加容易。

考虑可能受到影响之区域（频率稳定度、谐波含量以及重要的是场强）的WPT设备的辐射特性也很重要。实际上，这种类型的缓解解决方案假定，通过ITU-R仪器和设备标准设定的频谱纯度和频率稳定性要求将与ISM应用一样严格。
