

《电动汽车无线充电系统互操作性要求及测试 第 2 部分： 车辆端》编制说明

（一）工作简况，包括任务来源、主要工作过程、主要参加单位 和工作组成员及其所做的工作等

无线充电技术作为目前电动汽车自动充电的最佳解决方案，是自动驾驶最后无人化操作环节的关键支撑，是我国新基建中新能源汽车充电基础设施的重要发展方向之一。当前时期是电动汽车无线充电行业探索期的新起点，国内企业在无线充电设备领域已具备技术基础，我国已发布 4 项电动汽车无线充电基础技术标准(GB/T 38755 系列)，国外 ISO/IEC/SAE 等标准组织也正在制定相关标准（ISO 19363、IEC 61980 系列、SAE J2954），国、内外主流车企已开始无线充电量产车辆的规划及研发，电动汽车无线充电行业蓄势待发。然而，电动汽车无线充电进行规模化推广，需要解决不同型号、规格的地面设备和车载设备之间互联互通的问题，以支撑在公共充电场合下的安全、高性能无线充电，在此背景下，全国汽车标准化技术委员会电动车辆分标委提出了《电动汽车无线充电系统 互操作性要求及测试》的标准立项，2018 年 10 月 15 日，国标委下达了《电动汽车无线充电系统互操作性要求及测试 第 2 部分：车辆端》标准计划，立项号为 20181906-T-339。

随后，电动汽车无线充电工作组成立标准起草组，成员包括：中国汽车技术研究中心有限公司、中兴新能源、华为、上汽、北汽、吉利、一汽等单位，起草组调研了国外标准包括 ISO 19363、IEC 61980 和 SAE J2954 的最新进展，以及国内产业目前的方案，提出了第一版工作组讨论草案。

2019 年，电动汽车无线充电工作组针对 WPT 互操作性开展了预研工作工作组针对该标准草案进行了讨论，确定了标准编制架构及主要内容，并提出基于圆形线圈和双边 LCC 补偿网络的互操作性测试参考设备系统架构。

2019 年 10 月 24 日，电动汽车无线充电工作组召开 2019 年 1 次会议。会议召开之前开展了行业互操作性测试活动，行业内主要设备供应商参加了测试，会议讨论了基于标准文档中互操作性参考设备的测试结果，同时也对互操作性测试方法、测试通过评价等问题进行要论，会后工作组根据反馈意见进一步完草案。

2020 年 5 月 22 日，电动汽车无线充电工作组召开 2020 年 1 次会议。工作组继续针对该标准进行讨论，增加了频率检测及频率锁定的资料性附录、明确了按照是否满足互操作性的无线充电设备分类方法，会后工作组根据反馈意见进一步完草案。

2020年9月16-17日，电动汽车无线充电工作组召开2020年2次会议。对标准架构进行了调整，强调互操作性测试的可实施性，删除了整车级测试相关内容，明确了A、B类无线充电设备的定义，将部分功能作为互操作性测试的预检项目并将内容调整至资料性附录，明确了互操作性时的系统对准容忍区域边界值以及车载设备的离地间隙范围可由设备制造商提供。

2020年9月21日，召开《电动汽车无线充电系统 互操作性要求及测试 车辆端》与《电动汽车无线充电系统 互操作性要求及测试 地面端》起草工作组的协调会，会议统一了两项标准的架构，明确互操作性测试内容中增加安全测试部分，对两项标准中的描述及部分定义进行了统一，对互操作性地面、车载设备互操作性的测试要求及测试方法进行对应协调。

(二) 标准编制原则和主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据，解决的主要问题，修订标准时应列出与原标准的主要差异和水平对比

本文件编写符合 GB/T 1《标准化工作导则》的规定。

本文件是结合电动汽车无线充电国际标准、最新科研成果、我国国情和产业发展现状而编制的。本文件规定了电动汽车无线充电系统车辆端的互操作性要求及测试，包括设备分类、技术要求、试验准备、互操作性测试、车载参考设备等，本文件主要结构及内容如下：

1. 范围；
2. 规范性引用文件；
3. 术语和定义；
4. 概述，包括系统架构、分类；
5. 技术要求，包括安全要求、输出功率要求、系统效率要求；
6. 试验准备，包括频率设置、对准容忍区域和对准点设置、输出电压测试点选择、测试对象功能及预检、测试装置布置；
7. 结果评定，包括电磁场结果评定、接触电流结果评定；
8. 互操作性测试，包括概述、安全测试、系统效率及输出功率测试；
9. 附录 A，MF-WPT1、MF-WPT2、MF-WPT3 的车载参考设备，包括车载参考设备离地间隙互操作性、MF-WPT1 的车载参考设备、MF-WPT2 的车载参考设备、MF-WPT3

的车载参考设备；

10. 附录 B，测试对象功能及预检，包括初始对位预检、配对预检、兼容性检测预检、功率传输预检。

11. 附录 C，频率检测及频率锁定，包括概述、频率检测及频率锁定步骤、频率检测及频率锁定实现方法。

标准主要内容包括：

1. 分类

将车载设备分为 A 类和 B 类，具体分类如下：

a) A 类车载设备

A 类车载设备应满足系统性能和系统安全性的要求，A 类车载设备应满足与 GB/T 38775.6 中附录 B 的地面参考设备的互操作性。

b) B 类车载设备

B 类车载设备应满足系统性能和系统安全性的要求，B 类车载设备不满足与 GB/T 38775.6 中附录 B 的地面参考设备的互操作性。

2. 输出功率要求

对 A 类车载设备输出功率进行分类，如下表所示：

A 类车载设备与 GB/T 38775.6 中附录 B 中地面参考设备构成的 MF-WPT 系统输出功率测试应按照 8.3 节中测试方法进行，且 A 类车载设备的输出功率应满足表 3 的规定。

表 1 A 类车载设备输出功率

	地面设备				
	MF-WPT	1	2	3	4
车载设备	1	$0 \leq P_{out} \leq P_{s1max}$	$0 \leq P_{out} \leq P_{s1max}$	$0 \leq P_{out} \leq P_{s1max}$	A
	2	$0 \leq P_{out} \leq 2.96kW$	$2.96kW \leq P_{out} \leq P_{s2max}$	$2.96kW \leq P_{out} \leq P_{s2max}$	A
	3	$2.96kW \leq P_{out} \leq P_{s2max}$	$2.96kW \leq P_{out} \leq 6.16kW$	$6.16kW \leq P_{out} \leq P_{s3max}$	A
	4	A	A	A	A

该分类与 GB/T 38775.1 中的分类存在一定差异，GB/T 38775.1 中是按照系统输入功率等级进行分类，WPT1 为 $P \leq 3.7kW$ 、WPT2 为 $3.7kW \leq P \leq 7.7kW$ 、WPT3 为 $7.7kW \leq P \leq 11.1kW$ ，而本文件是按照系统输出功率分类，按照 GB/T 38775.3 中关于系统效率最低限值规定 80% 计算，输出功率等级分别为 WPT1 为 $P_{out} \leq 2.96kW$ 、WPT2 为 $2.96kW \leq P \leq 6.16kW$ 、WPT3 为 $6.16kW \leq P \leq 11.1kW$ 。表中 P_{s1max} 表示 MF-WPT1 的车载设备设计的最大输出

功率，且 $P_{s1max} < 3.7kW$ ， P_{s2max} 表示 MF-WPT2 的车载设备设计的最大输出功率，且 $P_{s2max} < 7.7kW$ ， P_{s3max} 表示 MF-WPT3 的车载设备设计的最大输出功率，且 $P_{s3max} < 11.1kW$ 。

3. 系统效率要求

本文件的系统效率要求与 GB/T 38775.3 的规定一致，但明确了系统效率测试时地面设备的异物检测、生物检测功能应处于工作状态，同时也明确了电压测试范围应为车辆端需求的电压范围（最低电压至最高电压）。

4. 频率设置

GB/T 38775.3 规定了 MF-WPT 的工作频率范围，而本文件中规定 MF-WPT 系统的工作频率为定频工作，频率应设置为 $85.5 (\pm 0.05) Hz$ 。为避免 MF-WPT 系统与同频/邻频系统的业务共存，考虑 AM 广播的干扰保护限值，采用固定频率且频率为 $4.5kHz$ 的倍数的频点，有利于降低 MF-WPT 系统对同频/邻频系统的干扰。

5. 对准容忍区域与对准点设置

下表给出了偏移范围的最低要求：

表 2 偏移范围

坐标	偏移范围 (mm)
x	± 75
y	± 100

而实际测试时，应以设备制造商提供的偏移范围值为准，且提供的偏移范围值应不低于表 2 所示的偏移范围。

对准点的设置如下图所示：

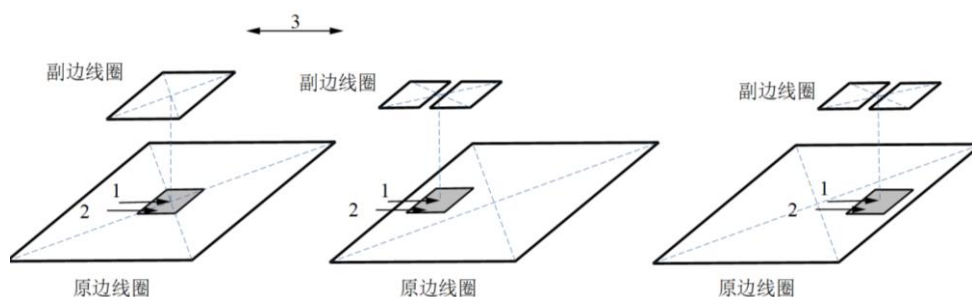


图 1 对准点示意图

对准点的标记应是互操作性测试中提供，实际产品可根据应用情况选择提供。

6. 输出电压测量点选择

互操作性测试时，输出电压的测量点应符合：

互操作性测试时，对于充电电压范围为 $U_{out-min}$ — $U_{out-max}$ 的负载（车辆或测试负载），MF-WPT 系统车载设备的输出电压测试点应至少包括：

- 车辆/负载充电电压最小值；
- 系统满功率输出的最小输出电压测试点，该测试点的输出电压值由设备供应商提供；
- 车辆/负载充电电压最大值；
- 系统满功率输出的最大输出电压测试点，该测试点的输出电压值由设备供应商提供；

在附录 A 中的车载参考设备设计时，是按照系统输出电压为 250—500V 的负载进行参数设计，对于超过 500V 充电电压的车辆/负载，系统输出电压测试点待定。

7. 测试装置布置

本文件仅给出了部件级测试的测试装置布置，如下图所示，本文件未规定车辆级测试装置的布置。

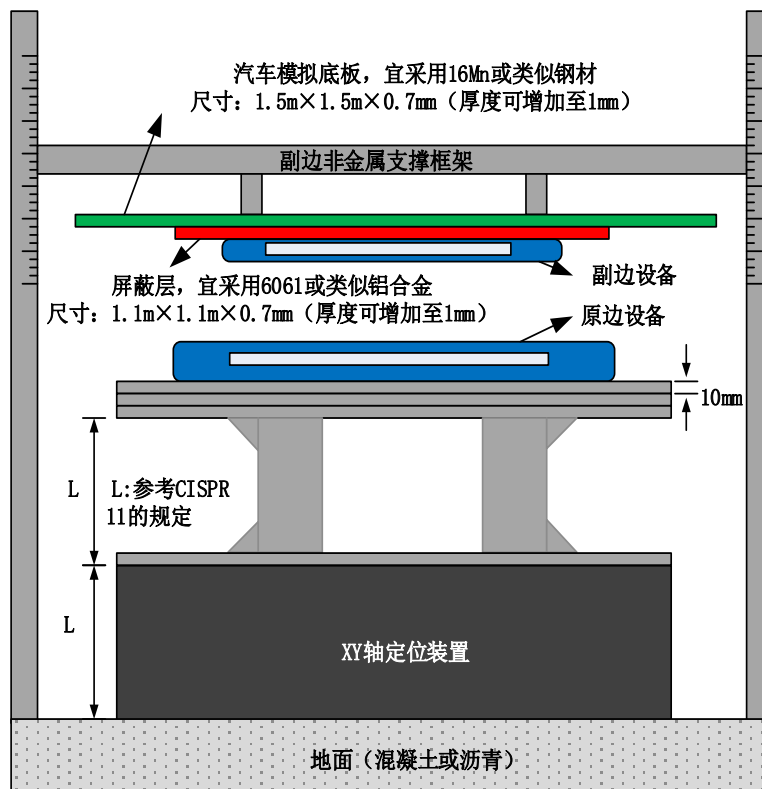


图 2 部件级测试布置

由于车辆级测试负载需采用整车动力电池，而互操作性测试时涉及到固定电压、输出功率状态下对准容忍区域内多个点的测试，若采用整车动力电池，系统输出电压、输出功

率未不可控、不可固定的状态，无法支撑多个测试点。若动力电池采用多轮充放电实现固定电压、输出功率状态下对准容忍区域内多个点的测试，则充放电次数过多，耗时较长，且测试时负载的一致性无法得到保障，系统测试结果存在不一致的情况，因此本文件不规定整车级测试。

8. 互操作性测试点选择

本文件给出了对准容忍区域的测试点选择，如下图所示：

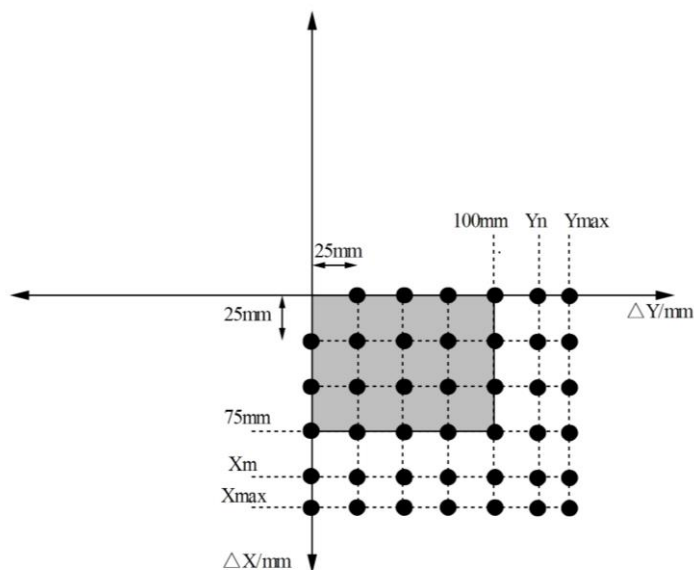


图3 互操作性测试点选择

互操作性测试点包括了 GB/T 38775.3 中效率测试点的数量，在互操作性测试时，对准容忍区域的 X 轴和 Y 轴的最大偏移值由设备制造商提供，且要求提供的最大偏移值范围大于表 2 所示的范围，因此，测试点的数量增加。对于增加的测试点，在 X 轴和 Y 轴方向均取 25mm 作为选择步长，最后的不足 25mm 的测试点，单独设置测试点。

9. 互操作性测试步骤

本文件中规定了互操作性的测试步骤，测试目标为系统输出功率和系统效率两个值，测试点如上图所示，测试电压选取分别为车载设备设计的最大输出电压、0.75 倍最大输出电压和最小输出电压三个点，输出功率包括 100%输出功率、75%输出功率以及 50%输出功率三个点。

10. 车载参考设备

本文件中规定了 MF-WPT 1-3 (Z1—Z3) 共 9 个车载参考设备，并给出了参考设备的机械结构，电气参数等。以 WPT 1 Z1 型号的车载参考设备为例，其机械机构如下图所示：

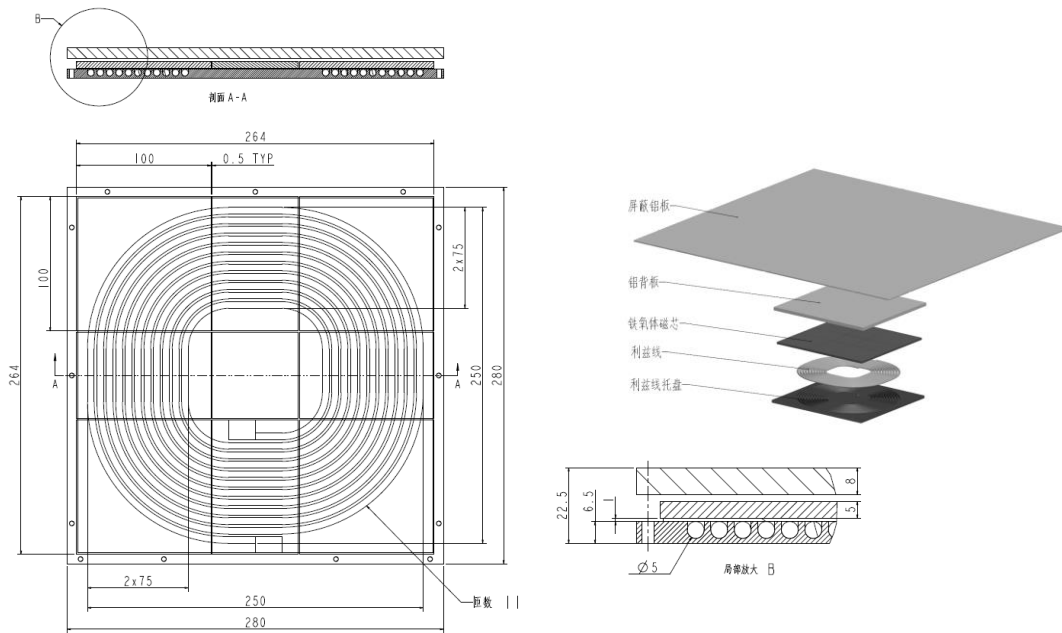


图 4 MF-WPT1 Z1 的车载参考设备的机械结构

对线圈匝数、外围尺寸、层间距等物理参数进行规定。此外，对车载参考设备的电路、电气规格参数等也进行了规定，以 WPT1 为例，相关规定如下所示：

MF-WPT1 车载参考设备的主电路应按照图 5 设计。

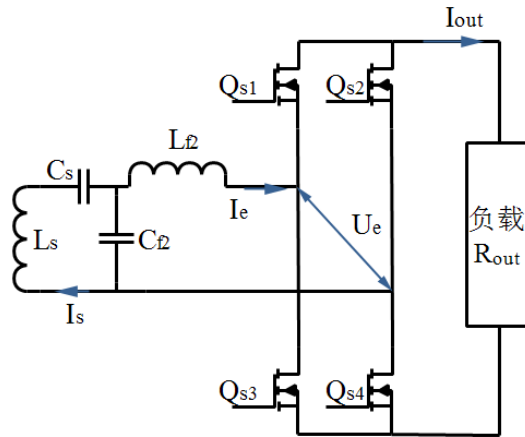


图 5 MF-WPT1 车载参考设备的主电路拓扑

车载参考设备谐振补偿网络的电气参数应按照表 3 设计。

表 3 车载参考设备的电气规格参数

参数	Z1	Z2	Z3
Cs[nF]	178.3	81.3	95.6
Cf2[nF]	173.5	158	169
Lf2[uH]	20	21.9	20.5

与 GB/T 39775.6 附录 B 中的地面参考设备构成 MF-WPT 系统时，MF-WPT1 车载参考设备的电气参数应符合表 4 的要求。

表 4 车载参考设备的电气规格参数

离地间隙	Ls_min[μ H]	Ls_max[μ H]
Z1	40.7	43.6
Z2	67.7	70.2
Z3	61.4	63.4

车载参考设备各个模块的电气参数范围应满足表 5 的要求。

表 5 车载参考设备中的电气参数范围

参数	值
最大输出电流 Iout 值	10.6A
最大整流器输入电压 Ue 值	415V
最大整流器输入电流 Ie 值	15A
副边设备线圈最大电流 Is 值	35A

以上车载参考设备为互操作性测试用的设备，而非对车载产品的规定，车载参考设备用于互操作性测试时与地面设备产品构成 MF-WPT 系统进行互操作性测试，也可作为指导车载产品开发设计。

(三) 试验（或验证）情况分析

为了验证相关规定的可行性，起草组针对部分重点以及新增加要求进行了验证。

1、互操作性测试

(1) 试验步骤：

1) 输出电压为 $U_{out-max}$ ，测试设备制造商指定的额定离地间隙、最大离地间隙以及最小离地间隙条件下系统设计的 100%输出功率、75%输出功率以及 50%输出功率三种状态下所有测试点的系统输出功率及系统效率。

2) 输出电压为 $0.75 \times U_{out-max}$ ，测试额定离地间隙、最大离地间隙以及最小离地间隙条件下系统设计的 100%输出功率、75%输出功率以及 50%输出功率三种状态下所有测试点的系统输出功率及系统效率。

3) 输出电压为 $U_{out-min}$ ，测试额定离地间隙、最大离地间隙以及最小离地间隙条件

下系统设计的 100%输出功率、75%输出功率以及 50%输出功率三种状态下所有测试点的系统输出功率及系统效率。

4) 如果 $U_{out-min}$ 状态下, MF-WPT 系统无法实现设计的 100%输出功率, 则测试该状态下的系统最大输出功率; 并按照设备制造商提供的最低满功率输出需求的输出电压进行测试, 测试额定离地间隙、最大离地间隙以及最小离地间隙条件下系统满功率、75%输出功率以及 50%输出功率三种状态下所有测试点的系统输出功率及系统效率。

(2) 试验对象

地面设备参数如下图所示:

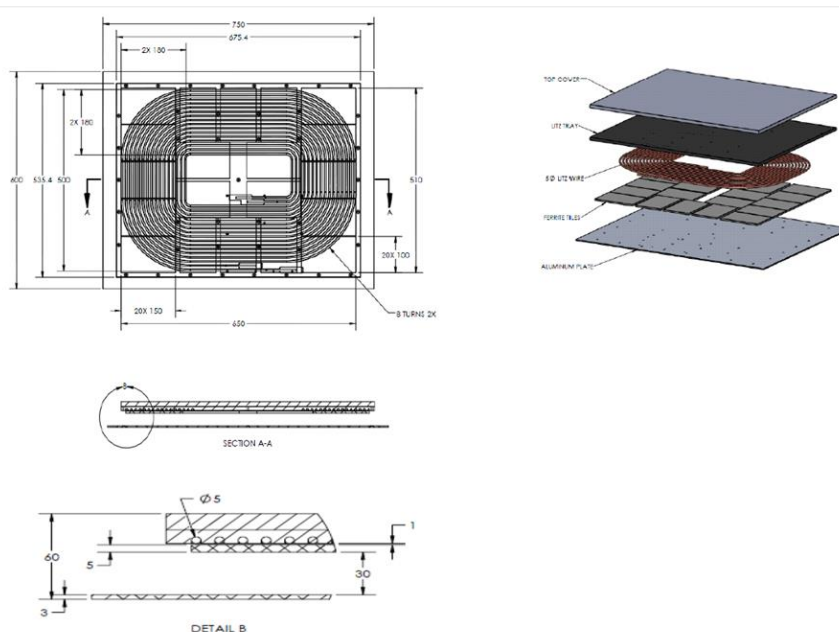


图 6 地面设备物理参数

序号	电气参数	推荐参数	序号	输入输出特性	推荐参数
1	$C1s$ [nF]	132	1	逆变器最大输出电流 I_{inv}	45A
2	$Cf1$ [nF]	173.25	2	地面设备线圈最大电流 I_p	65A
3	$Lf1$ [uH]	19.5	3	原边线圈最大电压 U_p	1.8KV RMS
4	$Lp-WPT2Z2$	43.74-45.98	4	车载线圈最大电流 I_s	65A
5	$Lp-WPT3Z1$	39.4-44.7	5	车载整流器输入电流 I_{rec}	45A
6	$Lp-WPT3Z2$	45.759-48.071	6	输出电压 V_{out}	280-450V
7	耦合系数WPT2Z2	0.1015-0.2464	7	满功率输出电压 V_{out}	320-450V
8	耦合系数WPT3Z1	0.134-0.2788	8	输出电流 I_{out}	32A
9	耦合系数WPT3Z2	0.0978-0.2515			

图 7 地面设备电气参数 (部分规格)

(2) 试验结果:

对 A 公司和 B 公司的典型离地间隙的效率互操作性测试以及自测结果如下图所示:

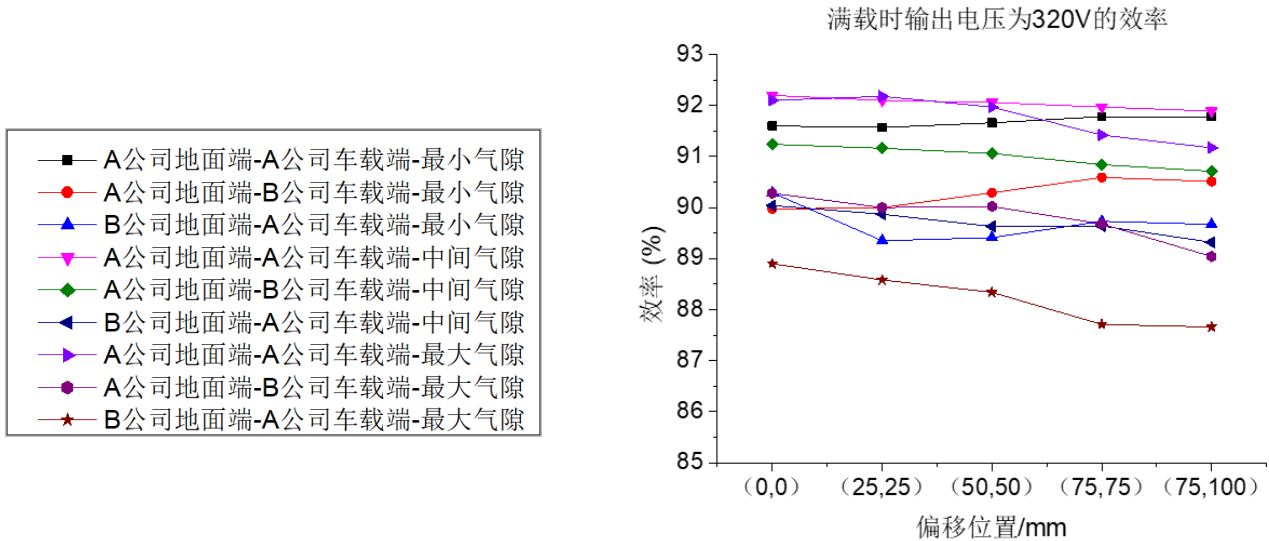


图 8 典型效率测试结果

由以上测试结果可知，不论是互操作性测试还是设备生产商设备自测，在 100%负载不同气隙偏移下的效率均大于 85%，最高 92.2%，但产品自测结果比互操作性测试结果高 0.9%~3.7%，说明在互操作性测试时，由于非设备制造商设计的地面/车载设备产品参数的设计的未知性，以及控制方式的差异性，互操作性时，系统效率会有所降低。

下图所示为 100%输出功率时，不同输出电压以及离地间隙时，不同公司的产品互操作性测试效率结果。

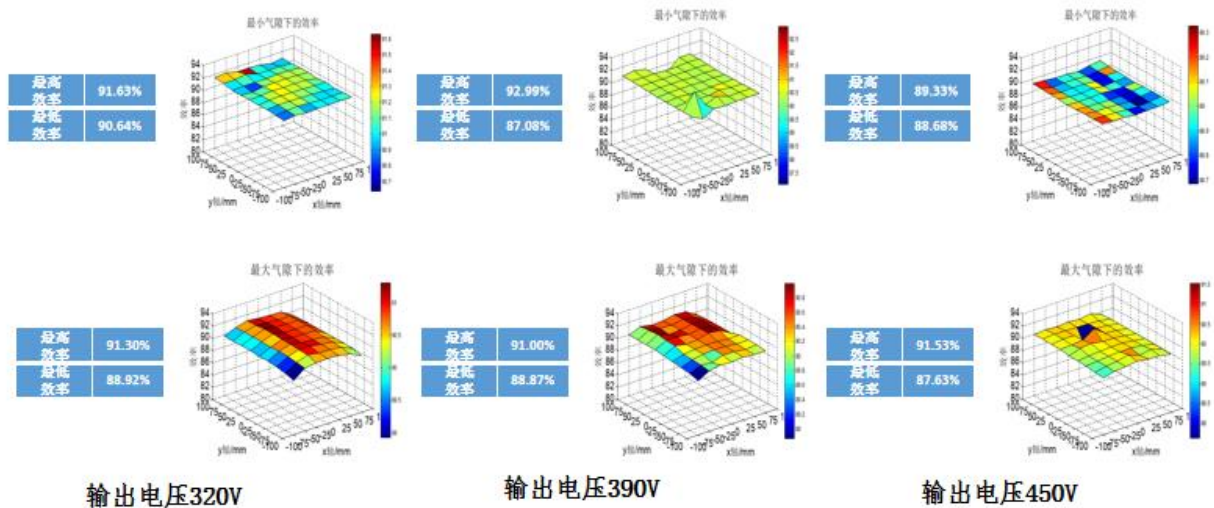


图 9 不同离地间隙和输出电压的互操作性测试结果

由测试结果可知，100%负载不同气隙、输出电压以及偏移下的互操作性测试效率最低 87.08%，最高 92.99%。下图所示为 75%输出功率时，不同输出电压以及离地间隙时，不同公司的产品互操作性测试效率结果。

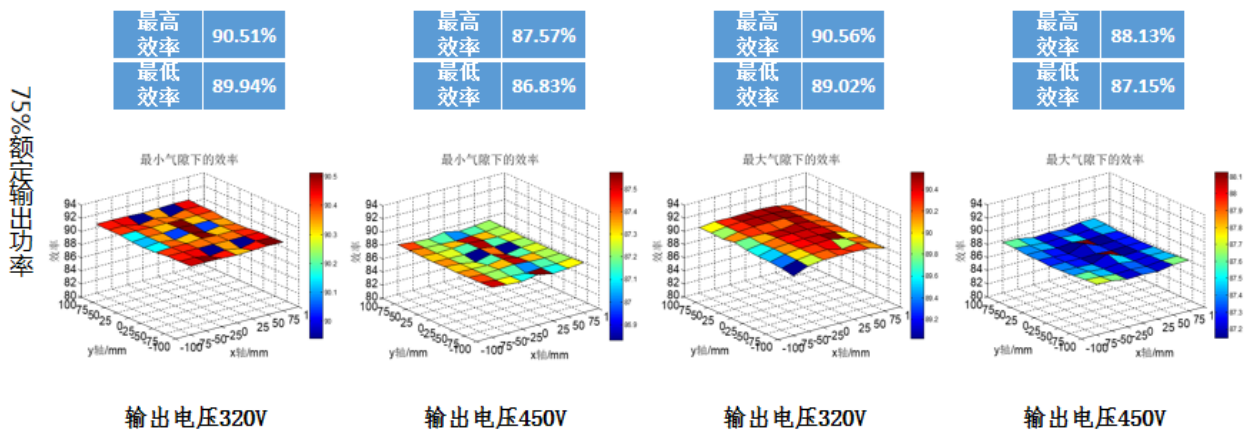


图 10 75%输出功率不同离地间隙和输出电压的互操作性测试结果

由测试结果可知，75%负载不同气隙、输出电压以及偏移下的互操作性测试效率最低86.83%，最高90.56%。下图所示为50%输出功率时，不同输出电压以及离地间隙时，不同公司的产品互操作性测试效率结果。

A公司地面端-B公司车载端

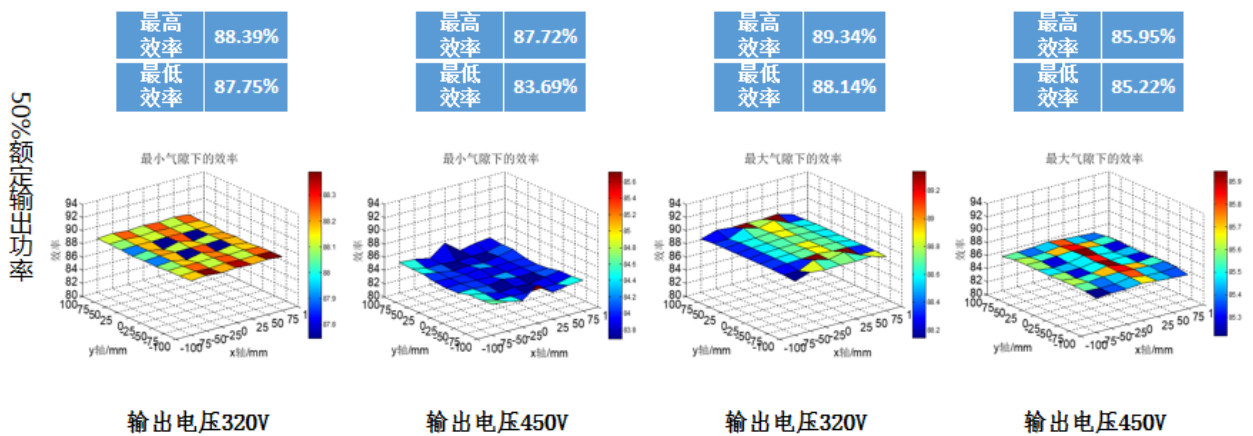


图 11 50%输出功率不同离地间隙和输出电压的互操作性测试结果

由测试结果可知，75%负载不同气隙、输出电压以及偏移下的互操作性测试效率最低83.69%，最高89.34%。

以上测试结果表明，不同设备厂商地面和车载设备产品之间互操作性测试的效率均大于本文件规定的80%，最高效率接近93%，说明本文件规定的车载参考设备的参数设计和机械结构设计满足应用需求。

(四) 明确标准中涉及专利的情况，对于涉及专利的标准项目，

应提供全部专利所有权人的专利许可声明和专利披露声明

无。

(五) 预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况；

该标准为基础类标准，标准的发布对于引导行业技术进步，促进产业发展具有重要的指导意义，同时在标准层面解决了无线充电系统车载产品进行互操作性测试的参考设备的设计，并经过了行业互操作性测试验证了参考设备设计的合理性。此外，本文件也规定了互操作性的测试内容和测试步骤，为后续无线充电行业应用的互联互通奠定了测试类基础，能够有效、快速促进电动汽车无线充电产业的发展。

(六) 采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国外同类标准水平的对比情况，国内外关键指标对比分析与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况

本文件于 ISO TC22 SC37、IEC TC69 WG8 以及 SAE J2954 的编制工作组进行了协调和沟通，在术语定义、分类、测试装置布置、测试方法等方面进行一致性协调。但本文件关键的车载参考设备的电路架构、机械参数、电气参数以及控制环路等均为国内行业公司提出及认可，与国外标准为两条不同的技术路线。通过行业互操作性测试结果表明，本文件提出的参考设备的效率及功率与国外标准水平一致。

(七) 在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及标准，特别是强制性标准的协调性

与现行相关法律、法规、规章及标准没有冲突。

(八) 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

(九) 标准性质的建议说明

推荐性国家标准。

(十) 贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法、实施日期等）

本文件自发布之日起生效。

(十一) 废止现行相关标准的建议

无。

(十二) 其他应予说明的事项。

无。