

团 体 标 准

T/CSAE 151—2020

电动汽车整车电磁兼容性能测试方法

Electromagnetic compatibility test methods for electric vehicles

2020-08-07 发布

2020-08-07 实施

中国汽车工程学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	3
5 一般测试要求	3
6 保护车外接收机的辐射发射测试	4
7 保护人体的电磁辐射测试	6
8 车辆沿 AC 电源线的射频传导发射测试	6
9 车辆沿 AC 电源线的谐波电流测试	7
10 车辆沿 AC 电源线的电压变化、波动和闪烁测试	9
11 低频电磁场发射测试	10
12 车外辐射抗扰度测试	12
13 模拟车载发射机抗扰度测试	14
14 静电放电抗扰度测试	17
15 车辆沿电源线/信号线传导的电快速瞬变脉冲群抗扰度测试	19
16 车辆沿 AC 电源线传导的浪涌抗扰度测试	20
附录 A（资料性附录） 功能重要性分类及功能等级分类	21

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国汽车工程学会电磁兼容分会提出。

本标准起草单位：长城汽车股份有限公司、上海电器科学研究院、广东省珠海市质量计量监督检测所、上海机动车检测中心、比亚迪汽车工业有限公司、中国汽车工程研究院、郑州宇通客车股份有限公司、北京新能源汽车股份有限公司、东风小康汽车有限公司、重庆车辆检测研究院有限公司、上海市计量测试技术研究院、天际汽车科技集团有限公司、威凯检测技术有限公司、上海天祥质量技术服务有限公司、德凯认证服务（苏州）有限公司、法国必维诚硕科技上海有限公司、南德认证检测（中国）有限公司上海分公司、工业和信息化部电子第五研究所、中国信息通讯研究院、中检质技检验检测科学研究院有限公司、上海海立新能源技术有限公司、奥德科机动车零部件检测（泰州）有限公司、芮锋射频技术（上海）有限公司、广东惠州华阳通用电子有限公司、科士达（上海）管理有限公司、上海思致汽车工程技术有限公司、北京中石正旗技术有限公司、北京德辰科技股份有限公司、宁国裕华电器有限公司。

本标准起草人：王雨川、郑军奇、刘媛、张高杰、张君、余天刚、楚艳钢、田永坡、李强、周宇奎、高新杰、雷剑梅、董丰康、樊森、李金龙、冀方勇、张青青、欧艳琼、张彬、李强、贺朝伟、李腾飞、董红、覃延明、曾博、罗宇翔、徐亮、徐超、王立钢、杨军、王馨霖、白云飞、李金鹏、许勤耕、丘集琼、郑晨旭、余江、陈忠友、曾广玮。

本标准于2020年首次发布。

电动汽车整车电磁兼容性能测试方法

1 范围

本标准规定了电动汽车整车的EMC性能要求和测试方法。

本标准适用于纯电动电力汽车、混合动力电动汽车、燃料电池动力汽车等含有高压电驱动系统的电动车辆（或简称“车辆”）。本标准不适用于无轨电车和无线充电车辆。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4365 电工术语电磁兼容

GB 14023 车辆、船和内燃机无线电骚扰特性用于保护车外接收机的限值和测量方法

GB 17625.1 电磁兼容限值谐波电流发射限值（设备每相输入电流 $\leq 16\text{ A}$ ）

GB 17625.2 电磁兼容限值对每相额定电流 $\leq 16\text{ A}$ 且无条件接入的设备在公用低压供电系统中产生的电压变化、电压波动和闪烁的限制

GB/T 17625.7 电磁兼容限值对额定电流 $\leq 75\text{ A}$ 且有条件接入的设备在公用低压供电系统中产生的电压变化、电压波动和闪烁的限制

GB/T 17625.8 电磁兼容限值每相输入电流大于 16 A 小于等于 75 A 连接到公用低压系统的设备产生的谐波电流限值

GB/T 17626.4 电磁兼容试验和测量技术电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5 电磁兼容试验和测量技术浪涌(冲击)抗扰度试验

GB/T 18387 电动车辆的电磁场发射强度的限值和测量方法

GB/T 19951 道路车辆静电放电产生的电骚扰试验方法

GB/T 29259 道路车辆电磁兼容术语

GB/T 33012.2 道路车辆车辆对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法第2部分：车外辐射源法

GB/T 33012.3 道路车辆车辆对窄带辐射电磁能的抗扰性试验方法第3部分：车载发射机模拟法

ECE R10 关于车辆电磁兼容性认证的统一规定

EV-TEST（电动汽车测评）管理规则

中国汽车健康指数-车内电磁辐射（EMR）测试及评价规程

3 术语和定义

GB/T 4365和GB/T 29259界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

荷电状态 SOC (state of charge)

电池剩余电量与电池容量的比值，常用百分数表示。

3.2

交流 AC(alternating current)

电流方向随时间做周期性变化的电流。电力传输交流电波形通常为正弦曲线。

3.3

直流 DC(direct current)

电流方向不随时间做周期性变化的电流。

3.4

总谐波畸变率 THD (total harmonic distortion)

谐波有效值 (I_n 为第n次谐波电流) 与基波有效值之比平方和的均方根。

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$$

3.5

局部加权谐波畸变率 PWHd (partial weighted harmonic distortion)

选择的一组较高次谐波的有效值(从第14次谐波开始)与基波有效值之比,采用谐波次数n来加权。

$$PWHd = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$$

3.6

短路比 short-circuit ratio

$$R_{sce}$$

单台设备的特征值定义如下:

- a) $R_{sce} = R_{sc}/(3S_{equ})$ (单相设备和混合设备的单相部分);
- b) $R_{sce} = R_{sc}/(2S_{equ})$ (相间设备);
- c) $R_{sce} = R_{sc}/(S_{equ})$ (所有三相设备和混合设备的三相部分)。

注:详细计算方法参考GB/T 17625.8中3.10章节。

3.7

充电模式 charging mode

连接外部电源到电动汽车给车辆供电的方法,可包括模式1、模式2、模式3和模式4。模式1仅通过电缆连接车辆并提供交流电源,模式2和模式3分别使用缆上控制保护装置与充电桩为车辆提供交流电源,模式4使用非车载充电机为车辆提供直流电源。

注:模式2、3、4应具备控制导引功能。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ALSE	Absorber lined shielded enclosure	装有吸波材料的屏蔽室（电波暗室）
AV	Average	平均
CDN	Coupling-/decoupling network	耦合/退耦网络
CW	Continuous wave	未调制正弦波
EFT/B	Electric fast transient/burst	电快速瞬态/猝发
ESD	Electrostatic discharge	静电放电
FFT	Fast Fourier transform	快速傅里叶变换
FPSC	Function performance status classification	功能执行状态等级
I/O	Input/Output	输入/输出
PE	Protective earht	保护地
PK	Peak	峰值
PM	Pulse modulate	脉冲调制
QP	Quasi-peak	准峰值
RH	Relative Humidity	对湿度

5 一般测试要求

5.1 测试场地

低频电磁场发射测试、保护车外接收机的辐射发射测试、车外辐射抗扰度测试、模拟车载发射机抗扰度测试以及保护人体的电磁辐射测试需在装有吸波材料的屏蔽室（ALSE）内进行。

注：在装有吸波材料的屏蔽室（ALSE）内进行的保护人体的电磁辐射测试可不包含急加速急减速模式。

静电放电抗扰度测试、电快速脉冲群抗扰度测试和浪涌抗扰度测试需在接地平面上执行测试。

保护人体的电磁辐射测试急加速急减速模式可在室外平坦干燥路面上进行，室外路面坡度应在 $-2\%\sim+2\%$ 之间，测量场地环境中磁感应强度应低于测试计划规定限值的10%。

5.2 测试温度和湿度

实验室内测试温度： $(23\pm5)^\circ\text{C}$ 。

实验室内相对湿度： $(20\%\sim80\%)$ RH，静电放电测试 $(20\%\sim60\%)$ RH。

5.3 仪器设备

测量仪器与设备应满足各测试项目参考标准中的相关要求与设置。

发射类测试需使用接收机进行测量。接收机可使用快速傅里叶变换（FFT）模式，如采用FFT模式测试，接收机带宽设置应与步进扫频模式保持一致。

注：FFT模式驻留时间设置应考虑被测车辆电子电气零部件的工作周期。

5.4 测试车辆

测试车辆和其内部电器部件均可以正常工作。车辆要求保持干燥。

车辆如需开展充电模式下的电磁兼容测试，在整个测试过程中，动力电池荷电状态（SOC）应保持在最大SOC的20%~80%（在执行下一频段时可能需要对动力电池进行放电）。如果充电电流可以调节，

那么发射类测试充电电流至少应设置为其额定值的80%，抗扰类测试充电电流至少应设置为其额定值的20%。

注：如果测试计划中允许，发射类测试充电电流可设置为额定电流的20%~80%。

5.5 测试计划及报告

详细的测试计划至少应在测试开始前拟定完成，其中至少应包含：测试项目、环境要求、测试布置、频率范围、天线极化、天线位置、限值、监视方式、车辆工作模式、合格判据、测试报告内容、任何偏离标准测试的特别说明和改变。

注：上述某些条款可能不对应所有测试项目。

测试报告应按照测试计划要求，出具内容详实的测试报告。除测试计划包含的内容外，还应包括：测试场地、测试设备和测试照片及其它可能影响测试评价的相关信息等。

6 保护车外接收机的辐射发射测试

6.1 测试方法

采用10 m测量距离测试方法开展测试。

如无其它规定，在30 MHz~1000 MHz全频段内，应按GB 14023规定的方法执行。

6.2 限值

6.2.1 平均值检波器限值

使用平均值（AV）检波器测量时，限值见表1、图1。

表1 平均值检波器限值

频率 f (MHz)	30~75	75~400	400~1000
场强限值 E (dBμ V/m)	22	$22+15.13\log(f/75)$	33

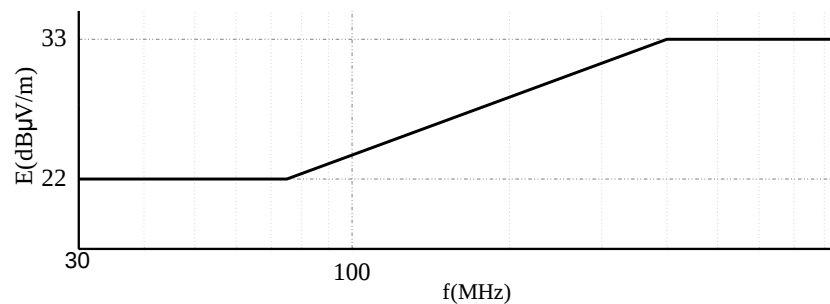


图1 平均值检波器限值

6.3 准峰值检波器限值

使用峰值（PK）检波器/准峰值（QP）检波器测量时，准峰值检波器限值见表2、图2。

注：峰值检波器测量结果低于准峰值限值，可直接判定符合限值要求。

表2 准峰值检波器限值

频率 f (MHz)	30~75	75~400	400~1000
场强限值 E (dBμ V/m)	32	$32+15.13\log(f/75)$	43

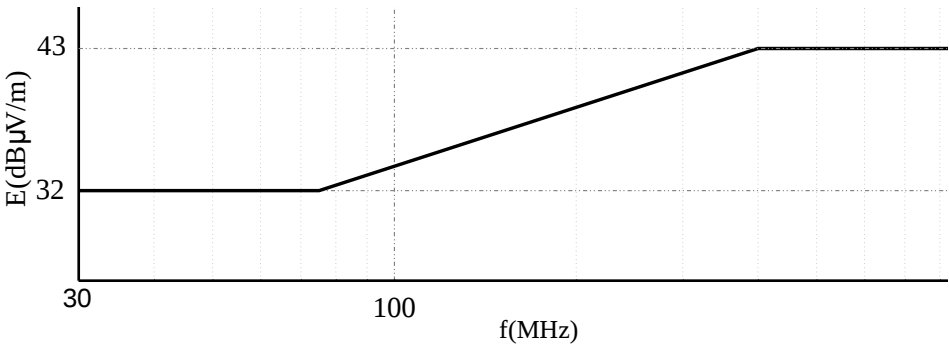


图2 准峰值检波器限值

6.3.1 测量结果判定

如测试结果裕量不足2 dB，则应保持测试条件不变开展多次测试，以降低由于不确定性因素对测试造成的影响。

6.4 测试布置

如无特殊说明，测试布置参考GB 14023。
车辆充电状态的测试布置参考ECE R10。

6.5 测试程序

6.5.1 总体要求

分别在三种不同的运行模式下对车辆进行测量，并应在测试计划中明确车辆工作模式。

6.5.2 上电不运行模式

打开点火开关至“ON”状态，动力系统不运转。

车辆静止，所有电气电子系统处于正常通电状态。

所有能够由司机或乘客打开的、可以持续接通的、带有内部振荡大于9 kHz的设备或重复信号的设备均应运行于其常规工作状态。

使用平均值检波器进行测量。

6.5.3 车辆运行模式

驱动系统处于运转状态，应打开长时工作的、能产生宽带发射的所有设备，使其工作在最大负载状态，短时工作的设备（如喇叭和玻璃升降器电机等）除外。

对于不同驱动动力的车辆，有以下特殊要求：

- a) 由电动机驱动的车辆，测量时车辆在空载的测功机或非导电轴架上，以 40 km/h 的恒速运行。如果最高车速达不到 40 km/h，则以最大车速运行；
- b) 由混合动力系统驱动的车辆，应在电动机和内燃机共同作用下，以 40 km/h 的恒速运行。如果不能共同驱动，则车辆需分别在单独由内燃机（多缸）转速应在 (1500 ± 150) r/min 内运转，和单独由电动机驱动以 40 km/h 的恒速运行，如果最高车速达不到 40 km/h，则以最大车速运行。

使用峰值/准峰值检波器进行测量。

6.5.4 充电模式（仅适用于支持插电功能的车辆）

对于电动车及插电式混合动力电动车，车辆需执行充电状态测试。

测试过程中应关闭所有能够由司机或乘客打开的设备。

除非车型仅支持一种充电模式，否则DC充电模式与AC充电模式应分别开展测试。

注：AC充电连接方式充电模式2、充电模式3应分别开展测试。

使用峰值/准峰值检波器进行测量。

7 保护人体的电磁辐射测试

7.1 限值

保护人体的电磁辐射测试限值参考GB/T 37130与《车内电磁辐射（EMR）测试及评价规程》。

7.2 测试布置

保护人体的电磁辐射测试布置参考GB/T 37130与《车内电磁辐射（EMR）测试及评价规程》。

7.3 测试程序

保护人体的低频辐射发射测试程序参考GB/T 37130与《车内电磁辐射（EMR）测试及评价规程》。

8 车辆沿 AC 电源线的射频传导发射测试

8.1 测试方法

车辆在150kHz~30MHz频段内沿电源线射频传导发射测试应按ECE R10的规定进行测试。

车辆可在单相和/或三相交流供电电源条件下工作时，应在所有可能的供电条件下分别进行测试。

车载充电机直接与公共充电设备相连，测量端口应为车载充电机端口，否则测量端口应为非公共设施端口（如：缆上控制盒）。

8.2 限值

车载充电系统的传导发射限值见表3、图3，应使用峰值检波器和/或准峰值检波器及平均值检波器进行测量。

注：峰值检波器测量结果低于准峰值限值，可直接判定符合限值要求。

如测试结果裕量不足2 dB，则应保持测试条件不变开展多次测试，以降低由于不确定性因素对测试造成的影响。

表3 由车辆 AC 电源线引起的射频传导发射准峰值检波器限值和平均值检波器限值

频率 f (MHz)	限值 (dBμ V)	
	准峰值	平均值
0.15~0.5	66~56 ^a	56~46 ^a
0.5~5	56	46
5~30	60	50
^a 随频率对数减少。		

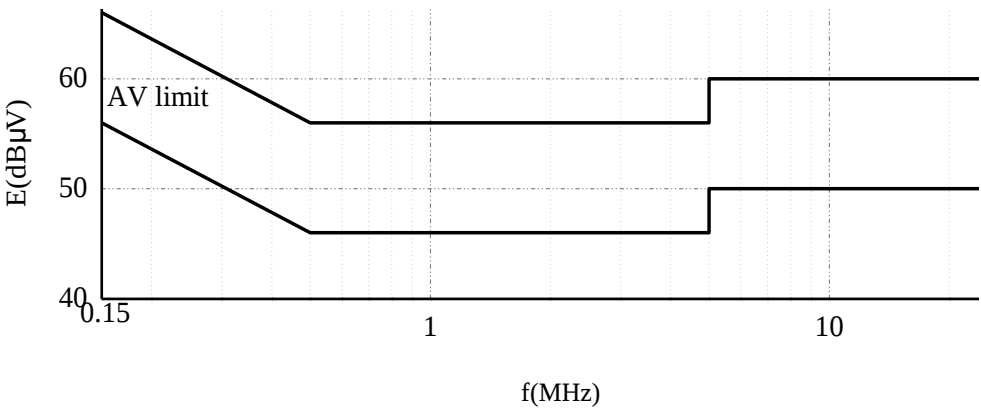


图3 由车辆 AC 电源线引起的射频传导发射准峰值检波器限值和平均值检波器限值

8.3 测试布置

如无特殊说明，测试布置参考ECE R10。

8.4 测试程序

按照要求完成车辆充电状态设置，使用峰值和/或准峰值检波器及平均值检波器对充电模式下的各相线及中性线进行测量。

9 车辆沿 AC 电源线的谐波电流测试

9.1 测试方法

车辆沿电源线谐波电流测试应参照以下方法进行测试：

- a) 每相输入电流≤16 A 时，应按 GB 17625.1 的规定进行测试；
- b) 每相输入电流>16 A 且≤75 A 时，应按 GB/T 17625.8 的规定进行测试。

测试对象可在单相和/或三相交流供电电源条件下工作时，测试应在所有可能的供电条件下分别进行。

注：每相输入电流>75A 时，应当将充电电流降至>16 A且≤75 A范围内并按GB/T 17625.8的规定进行测试。

车载充电机直接与公共充电设备相连，测量端口应为车载充电机端口，否则测量端口应为非公共设施端口（如：缆上控制盒）。

9.2 限值

单相或三相充电状态的每相最大输入电流 ≤ 16 A时，其限值见表4。

单相充电状态的最大输入电流 > 16 A且 ≤ 75 A，其限值见表5。如其可在输入电流 ≤ 16 A工作，同时应符合表4中的限值要求。

三相充电状态的每相最大输入电流 > 16 A且 ≤ 75 A时，其限值见表6。

三相交流供电且符合GB/T 17625.8中6.2章节描述的特定条件a)、b)、c)时，沿AC电源线的谐波发射应不超过GB/T 17625.8中表4的限值要求。

表4 每相输入电流 ≤ 16 A 的谐波限值

奇次谐波		偶次谐波	
谐波次数 n	允许的最大谐波电流 A	谐波次数 n	允许的最大谐波电流 A
3	2.3	2	1.08
5	1.14		
7	0.77	4	0.43
9	0.40		
11	0.33	6	0.30
13	0.21		
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \times 15/n$	$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \times 8/n$

表5 每相输入电流 > 16 A 且 ≤ 75 A 的谐波限值(单相供电)

最小 R_{sce}	可接受的独立谐波电流 I_n/I_1 (%)						最大电流谐波率 (%)	
	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	THD	PWHD
33	21.6	10.7	7.2	3.8	3.1	2	23	23
66	24	13	8	5	4	3	26	26
120	27	15	10	6	5	4	30	30
250	35	20	13	9	8	6	40	40
≥ 350	41	24	15	12	10	8	47	47
注1：偶次谐波相对值 ≤ 12 应低于 $(16/n)\%$ 。偶次谐波 > 12 ，采用与奇次谐波相同的THD和PWHD。 注2：允许在两个连续 R_{sce} 间线性插值。								

表6 每相输入电流 $>16\text{ A}$ 且 $\leq 75\text{ A}$ 的谐波限值(三相供电)

最小 R_{scc}	可接受的独立谐波电流 I_n/I_1 (%)				最大电流谐波率 (%)	
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	THD	PWHD
33	10.7	7.2	3.1	2	13	22
66	14	9	5	3	16	25
120	19	12	7	4	22	28
250	31	20	12	7	37	38
≥ 350	40	25	15	10	48	46
注1: 偶次谐波相对值 ≤ 12 应低于 $(16/n)\%$ 。偶次谐波 >12 , 采用与奇次谐波相同的THD和PWHD。 注2: 允许在两个连续 R_{scc} 间线性插值。						

9.3 测试布置

如无特殊说明, 测试布置参考ECE R10。

9.4 测试程序

测试程序如下:

- 将车辆按照布置要求完成实验步骤;
- 完成车辆充电状态设置, 对充电模式下的各相线及中性线进行测量。

10 车辆沿 AC 电源线的电压变化、波动和闪烁测试

10.1 测试方法

车辆沿电源线电压变化、波动和闪烁测试应按以下要求进行测试:

- 每相输入电流 $\leq 16\text{ A}$ 时, 应按 GB/T 17625.2 的规定进行测试;
- 每相输入电流 $>16\text{ A}$ 且 $\leq 75\text{ A}$ 时, 应按 GB/T 17625.7 的规定进行测试。

测试对象可在单相和/或三相交流供电电源条件下工作时, 测试应在所有可能的供电条件下分别进行。

10.2 限值

沿AC电源线的电压变化、电压波动和闪烁发射应满足如下要求:

- P_{st} 值不大于 1.0;
- P_{lt} 值不大于 0.65;
- 在电压变化期间 $d(t)$ 值超过 3.3% 的时间不大于 500 ms;

- 相对稳态电压变化 d_c 不超过 3.3%；
- 最大相对电压变化 $d_{\max}$ 不超过 6%。

10.3 测试布置

如无特殊说明，测试布置参考ECE R10。

10.4 测试程序

测试程序如下：

- a) 将车辆按照布置要求完成实验步骤；
- b) 对车辆交流充电模式，采集限值要求相关参数。

若车辆每相持续最大充电电流 ≤ 16 A，仅需对每相输入电流 ≤ 16 A开展测试。若车辆每相持续最大充电电流 > 16 A且 ≤ 75 A，则应在每相输入电流 ≤ 16 A和每相输入电流 > 16 A且 ≤ 75 A分别开展测试。

11 低频电磁场发射测试

11.1 测试方法

如无其它规定，在150 kHz~30 MHz全频段内，应按GB/T 18387规定的方法执行。

11.2 限值

电场强度发射限值见表7和图4，磁场强度发射限值见表8和图5。

表7 电场强度发射限值

频率 f (MHz)	峰值限值 dB (μ V/m)
0.15~4.77	88.89-20lg(f)
4.77~15.92	116.05-60lg(f)
15.92~20	67.98-20lg(f)
20~30	41.96

表8 磁场强度发射限值

频率 f (MHz)	峰值限值 dB (μ A/m)
0.15~4.77	37.36-20lg(f)
4.77~15.92	64.52-60lg(f)
15.92~20	16.45-20lg(f)
20~30	-9.57

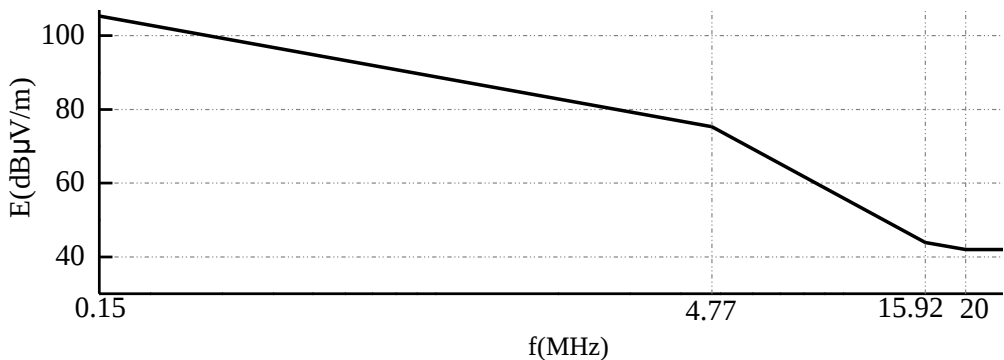


图4 电场强度发射限值

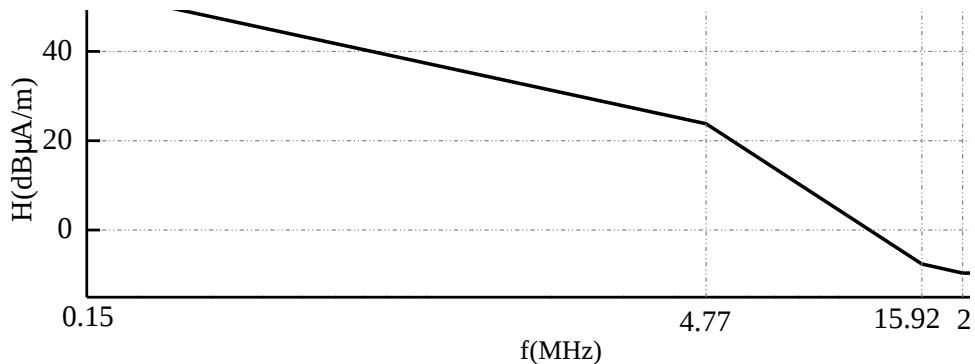


图5 磁场强度发射限值

11.3 测试布置

天线馈线应使用优质的同轴电缆，例如双层屏蔽电缆与测量设备相连，同时在电缆上需使用铁氧体环抑制表面电流。

11.4 测试程序

测试步骤为：

- a) 道路负荷按照车辆满载情况设置，车速为 40 km/h 的稳定条件运行车辆；
- b) 按照 GB/T 18387 要求布置单极天线，记录电场测量数据；
- c) 按照 GB/T 18387 要求布置环天线，记录磁场两个方向的测量数据；
- d) 依据前两个步骤相对于限值的最大测量结果，确定最大发射方向。如果车辆的两个不同的侧面的最高电平大致相等，那么选择其中一个侧面作为最大辐射方向。
- e) 按照表 9 中规定的运行模式运行车辆；
- f) 在车辆最大发射侧面进行电场峰值扫描和磁场峰值扫描；

- g) 如测试结果裕量不足 2 dB, 则应保持测试条件不变开展多次测试, 以降低由于不确定性因素对测试造成的影响。

表9 车辆运行模式

运行模式	说明
低速	车速为 16 km/h, 道路负荷按照车辆满载情况设置。
高速	踩下加速器或巡航控制系统产生额定车速 70 km/h, 道路负荷按照车辆满载情况设置。
注: 如果车辆在电驱动系统工作情况下无法达到70 km/h的速度要求, 车辆应工作于最大车速。如果车辆无法在测功机上完成测试, 可使用轮轴支架支起车辆进行测试。以上与运行模式的偏离应在测试报告中详细记录。	

12 车外辐射抗扰度测试

12.1 测试方法

车外辐射抗扰度测试方法参考GB/T 33012.2。

12.2 测试严酷电平及功能状态要求

在10kHz~2GHz全频段内, 依照表10中测试电平开展测试。在进行抗扰测试过程中, 车辆的功能状态等级应符合表10的相关要求。

注: 10 kHz~20 MHz频段为商用车可选频段。

表10 车外辐射抗扰度的 FPSC 要求

测试电平 V/m		车辆功能重要性分类		
		I 类	II 类	III类
等级1	30	A级	A级	A级
等级2	50	A级	A级	A级
等级3	75	A级	A级	A级
等级4	100	A级	A级	B级
等级5	150	A级	B级	C级
等级6	自定义	——		
注1：等级1仅适用于直流充电模式的抗扰度测试。				
注2：车辆功能重要性分类及状态等级分类参见附录A。				

12.3 测试布置

如无特殊说明, 测试布置参考GB/T 33012.2。

充电状态的测试布置参考ECE R10。

取车辆参考点和参考线作为校准参考点和参考线。

依照要求完成测试布置，如车辆需开展多参考点测试，场发生器可保持原位置不动，通过转动转台实现。

注：默认选取车头面向固定天线，对于尺寸较大的车辆应在集中有大量电子电气设备的位置增加测试参考点，以保证验证的充分性。

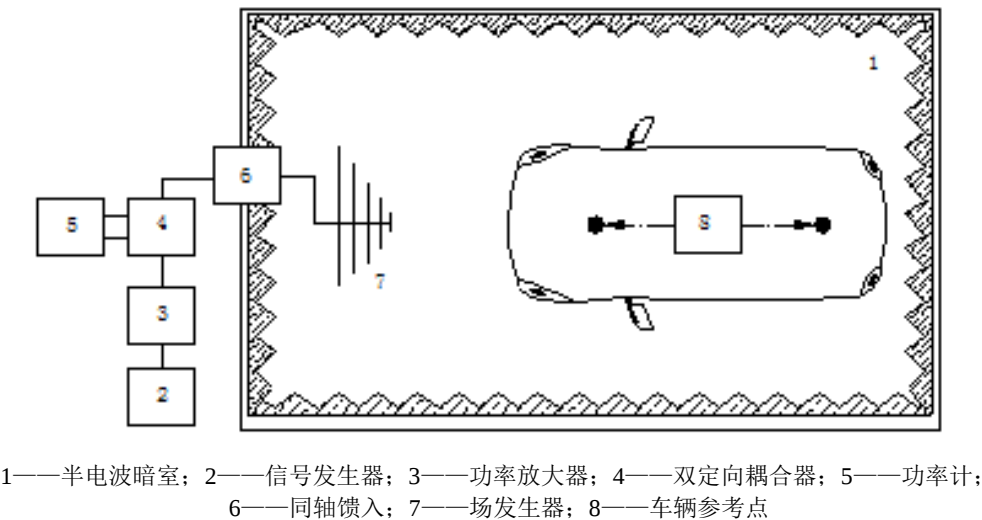


图6 车辆布置参考点示意图

12.4 测试程序

12.4.1 总体要求

推荐开展4种不同的运行模式下对车辆进行测量，并应在测试计划中明确车辆工作模式。

12.4.2 运行模式

所有能够由驾驶员或乘客打开的可以持续接通的设备均应运行于其常规工作状态。

所有影响驾驶员对车辆控制的其它系统，均应处于其常规工作状态。

由混合动力系统驱动的车辆，应在电动机和内燃机共同作用下运行。如果不能共同驱动，则车辆需分别在单独由内燃机驱动和单独由电动机驱动条件下验证。

存在电气部件由于功能策略导致不可同时工作的需分开验证，如：纯电动汽车空调压缩机与空调加热器。

存在电气功能由于功能策略导致的不可同时工作的需单独验证，如：多媒体倒车影像功能与娱乐功能。

存在测试执行过程中引起判定误差或者不可执行时需单独验证，如：制动功能验证对车辆速度的影响会对车辆定速巡航功能判定造成干扰，需单独验证。

12.4.3 制动模式

踩踏制动踏板，车辆处于减速或静止状态。

所有影响驾驶员对车辆控制的其它系统，均应处于其常规工作状态。

注：为提升验证效率，倒车条件下的电气功能可与制动模式搭载验证。

12.4.4 休眠模式

存在感应式开关及射频通讯类车辆建议开展休眠模式测试。

测试过程中应关闭所有能够由司机或乘客打开的可以持续接通的设备,车辆进入休眠模式。

12.4.5 充电状态（仅适用于插电类型车辆）

除非车辆仅支持一种充电模式,否则AC充电（模式2、模式3）与DC充电（模式4）均应开展测试。

测试过程中应关闭所有能够由司机或乘客打开的可以持续接通的设备。

测试步骤为:

- a) 按要求将车辆和相关设备布置到测试位置上;
- b) 车辆应按照车辆状态要求运行,需要驱动系统运行的,车辆驱动系统应至少运行 5 分钟;
- c) 根据测试计划运行车辆以及车辆的电子设备;
- d) 根据测试计划指定的测试严酷电平,将车辆暴露于干扰电平下;
- e) 测试期间可在车内或车外放置一个或多个场强探头;
- f) 应按测试计划规定的频率、调制、极化、车辆取向及天线位置等完成测试。任何例外都应在测试计划/测试报告中指明;
- g) 如果车辆操作异常,应寻找测试单元的敏感性阈值、频点。

应使用足够的音视频设备对车辆在测试过程中的功能状态执行情况进行监控。

应使用足够的网络监控设备对车辆在测试过程中的网络通讯状况进行监控。如有必要应对相应模拟信号进行监控以辅助完成功能状态等级判定或问题定位。

对于短时型功能应在测试前后确认功能状态,或通过机械手操作相应部件使其处于工作状态,并在测试过程中监控。

13 模拟车载发射机抗扰度测试

13.1 测试方法

模拟车载发射机抗扰度测试如无特殊说明,测试方法参考GB/T 33012.3。

注:商用车可依据实际情况选择性开展模拟车载发射机抗扰度测试。

13.2 测试严酷电平及功能状态要求

天线在车外的发射机抗扰度测试和天线在车内的发射机抗扰度测试的测试频段、严酷电平及功能状态等级要求参见表11、表12。

乘用车型可依据车型定位和使用场景选择性开展测试,特殊用途车型可自定义测试条件。

注1:发射机类型考虑了客户使用车载固定式对讲设备、便携式对讲机、数字集群通讯系统、手机以及汽车网联模块的使用场景,频段主要依据中国市场的相关设备工作频段及中国电信运营商的使用频段。

注2:发射机类型考虑了便携式对讲机、数字集群通讯系统、手机、蓝牙(BT)、无线宽带(Wi-Fi)的使用场景,频段主要依据中国市场的相关设备工作频段及中国电信运营商的使用频段。

表11 车外模拟车载发射机测试严酷电平及功能状态等级要求

发射机类型	频段 (MHz)	功率 (W)	调制方式	功能重要性分类		
				I 类	II 类	III 类
2 m (业余无线电)	136~176	120 (RMS)	CW	A 级	B 级	B 级
70 cm (业余无线电)	400~520	120 (RMS)	CW	A 级	B 级	B 级
TETRA/ TETRA POL	380~390 410~420 450~460 806~825 870~876	20 (PK)	PM (18Hz, 50%占空比)	A 级	B 级	B 级
GSM 900	876~915& (899.5、907、912、944.5、 952、957)	8 (PK)	PM (217Hz, 50%占空比)	A 级	B 级	B 级
DCS1800	1710~1785 1 850~1 910 (1715、1720、1730、1810、 1815、1825、1747.5、1842.5)	2 (PK)	PM (217Hz, 50%占空比)	A 级	B 级	B 级
TD-SCDMA	2010~2025 2300~2400	2 (PK)	PM (217Hz, 50%占空比)	A 级	B 级	B 级
CDMA2000	1920~1935 2110~2125& (1927.5、 2117.5)	2 (PK)	PM (217Hz, 50%占空比)	A 级	B 级	B 级
LTE	2500~2655& (2565、2605、 2645)	4 (Peak)	PM (1000Hz, 10%占空比)	A 级	B 级	B 级

表12 车内模拟车载发射机测试严酷电平及功能状态等级要求

发射机类型	频段 (MHz)	功率 (W)	调制方式	功能重要性分类		
				I 类	II 类	III类
2 m (业余无线电)	136~176	10 (RMS)	CW	A 级	B 级	B 级
70 cm (业余无线电)	400~520	10 (RMS)	PM (217Hz, 12.5% 占空比)	A 级	B 级	B 级
TETRA/ TETRAPOL	380~390 410~420 450~460 806~825 870~876	10 (PK)	PM (217Hz, 12.5% 占空比)	A 级	B 级	B 级
GSM 900	876~915& (899.5、907、912、 944.5、952、957)	3 (PK)	PM (217Hz, 12.5% 占空比)	A 级	B 级	B 级
DCS1800	1710-1785 1 850 to 1 920 (1715、1720、 1730、1810、1815、 1825、1747.5、 1842.5)	2 (PK)	PM (217Hz, 12.5% 占空比)	A 级	B 级	B 级
TD-SCDMA	2010~2025 2300~2400	2 (PK)	PM (217Hz, 12.5% 占空比)	A 级	B 级	B 级
CDMA2000	1920~1935 2110~2125& (1927.5、2117.5)	2 (PK)	PM (1600Hz, 50%占 空比)	A 级	B 级	B 级
Bluetooth/WLAN	2 400~2 500	0.5 (PK)	PM (1600Hz, 50%占 空比)	A 级	B 级	B 级
LTE	2500-2655& (2565、 2605、2645)	4 (PK)	PM (217Hz, 12.5% 占空比)	A 级	B 级	B 级
IEEE 802.11a	5725~5850	1 (PK)	PM (1600Hz, 50%占 空比)	A 级	B 级	B 级

13.3 测试布置

车辆状态的相关要求同12.3章节。
测试布置参考GB/T 33012.3中的相关要求，推荐测试位置示例见表13。

表13 模拟车载发射机推荐测试位置

测试方法	车辆模式	测试位置
车外模拟车载发射机	运行模式	车顶前、车顶后、翼子板右、行李箱盖
	充电模式	车顶前、车顶后、翼子板右、行李箱盖
	休眠模式	车顶前、车顶后、翼子板右、行李箱盖
车内模拟车载发射机	运行模式	驾驶员头部、乘员头部、仪表台上方、中控台前侧、储物盒
	充电模式	驾驶员头部、乘员头部、仪表台上方、中控台前侧、储物盒

13.4 测试程序

车辆状态监控的相关要求同12.4章节。
依照表11与表12的严酷等级对测试点逐一完成测试。

14 静电放电抗扰度测试

14.1 测试方法

静电放电测试方法参照GB/T 19951执行。

14.2 测试严酷电平及功能状态要求

放电点应包含乘客和驾驶员所能接触到的车上的所有电子电气设备（如触点开关、开关、显示器、表面、方向盘、点火锁、控制器、天线等）。

对仅可在车内触及的车载电子部件，发生器的电容值为330 pF，电阻值为330 Ω /2000 Ω，最大测试电压为15 kV。对仅可在车外触碰到的车载电子部件，发生器电容150 pF，电阻值为330 Ω /2000 Ω，最大测试电压为25 kV。对于车内和车外均可触及的车载电子部件，应使用两种电容，最大放电电压分别为15 kV和25 kV。

产品的响应与放电极性有关，应使用两种极性放电。

在各种规定的测试电压和极性下，对所有的接触放电测试点至少放电3次。

静电放电测试严酷电平应参考表14，功能状态等级要求参见表15。

表14 静电放电测试严酷电平

测试严酷等级	测试电压			
	车内空气放电	车内接触放电	车外空气放电	车外接触放电
等级 1	±4 kV	±2 kV	±4 kV	±2 kV
等级 2	±6 kV	±4 kV	±8 kV	±4 kV
等级 3	±8 kV	±6 kV	±15 kV	±6 kV
等级 4	±15 kV	±8 kV	±25 kV	±8 kV

表15 静电放电测试功能状态等级要求

测试严酷等级	功能重要性分类		
	I 类	II 类	III 类
等级 1	A 级	A 级	A 级
等级 2	A 级	A 级	A 级
等级 3	A 级	A 级	B 级
等级 4	A 级	B 级	C 级

14.3 测试布置

对于只能在车内碰触的测试区域，ESD发生器接地电缆直接与车身的接地金属部分连接（如座椅调节轨道、门锁）。对于只能在车外触碰到的测试区域，ESD发生器的接地电缆直接与距离车身最近金属部分连接，或者直接与车轮下距离测试点最近的金属板连接。

14.4 测试程序

按照测试计划规定的严酷等级对各放电点逐一测试。

测试严酷电平应至少采用两个电压值来上升到最大测试电压。

两次连续放电的时间间隔应足够长，使上一次放电积累的电荷完全消除。两次连续放电的时间间隔不能低于1 s。

车辆应运行在主动驾驶、怠速或上电工况下。如果测试涉及使用测功机以某种路面速度行驶的测试系统（如巡航控制），应在测试计划中规定车速。

车辆休眠模式应验证与车辆休眠功能相关的车外放电点。

15 车辆沿电源线/信号线传导的电快速瞬变脉冲群抗扰度测试

15.1 测试方法

车辆沿电源线/信号线传导的电快速瞬变脉冲群抗扰度测试应按GB/T 17626.4的规定进行测试。

测试对象可在单相和/或三相交流供电电源条件下工作时，应在所有可能的供电条件下分别进行测试。

15.2 测试严酷电平及功能状态要求

对车辆相关部件的电源、接地、信号和控制端口进行电快速瞬变脉冲群测试应优先采用表16规定的测试严酷电平，并应在计划中指明应施加的端口及等级。

如无说明，则仅在供电电源端口及保护接地端施加等级1的脉冲。即：开路测试电压 ± 2 kV。脉冲波形上升时间 $5(1 \pm 30\%)$ ns，持续时间 $50(1 \pm 30\%)$ ns，重复频率 $5(1 \pm 20\%)$ kHz。单极性脉冲群测试的持续时间不小于1分钟。

信号和控制端口可依据需求选择开展测试。

表16 测试严酷电平及功能状态要求

测试严酷等级	在供电电源端口，保护接地（PE）		在 I/O（输入/输出）信号、数据和控制端口		功能状态等级
	电压峰值/kV	重复频率/kHz	电压峰值/kV	重复频率/kHz	
等级 1	2	5 或者 100	1	5 或者 100	B
等级 2	4	5 或者 100	2	5 或者 100	B
注1：重复频率5 kHz为基础项，重复频率100 kHz为选择项。 注2：本项目功能状态等级B：抗扰度测试中，车辆应不通过其自身的驱动系统移动，车辆充电过程应不中断且充电指示系统不得出现异常。抗扰度测试后，车辆行驶功能应正常。					

15.3 测试布置

如无特殊说明，测试布置参考ECE R10。

优先采用直接耦合的方式施加测试电压。测试电压应耦合到车辆充电端子的所有端口。

应采用去耦网络保护辅助设备和公共网络。

车载充电机直接与公共充电设备相连，测量端口应为车载充电机端口，否则测量端口应为非公共设施端口（如：缆上控制盒）。

15.4 测试程序

测试前应检查测试设备的性能，通常限于检查发生器在耦合装置输出端产生的脉冲群是否存在。

依照要求完成测试布置并将车辆调整至充电模式执行表16中的严酷等级。

电快速瞬变脉冲群（EFT/B）应通过耦合/去耦网络（CDN）加载到车辆的AC电源线上，采用共模模式执行测试。

注：若相对湿度过高，以致引起受试设备或测试设备凝露，测试不应进行。

16 车辆沿 AC 电源线传导的浪涌抗扰度测试

16.1 测试方法

车辆沿电源线传导的浪涌抗扰度测试应按GB/T 17626.5的规定进行测试。

测试对象可在单相和/或三相交流供电电源条件下工作时，应在所有可能的供电条件下分别进行测试。

16.2 测试严酷电平及功能状态要求

对车辆相关部件的电源、接地、信号和控制端口进行浪涌测试应优先采用表17规定的测试严酷电平，并应在计划中指明应施加的端口及等级。

如未指明，则仅在供电电源端口及保护接地端施加等级1的脉冲。即：地-线之间 ± 2 kV开路测试电压，线间电压 ± 1 kV，上升时间1.2 μ s，驻留时间50 μ s。

测试电压应逐级施加。对于下面每一个角度：0、90、180和270度，每一次浪涌都应重复5次，且每次间隔时间为1分钟或更短。

注：如考虑电动汽车测评（EV-TEST），推荐浪涌每次测试时间间隔设置为10秒。

信号和控制端口可依据需求选择开展测试。

注：计划施加到信号线的浪涌脉冲测试可参照GB/T 17626.5执行。

车载充电机直接与公共充电设备相连，测量端口应为车载充电机端口，否则测量端口应为非公共设施端口（如：缆上控制盒）。

表17 测试严酷电平及功能状态要求

测试严酷等级	线-地电压 (kV)	线-线电压 (kV)	功能状态等级
等级 1	± 2	± 1	C
等级 2	± 4	± 2	C
注1：开路测试电压($\pm 10\%$) kV。 注2：本项目功能状态等级 C：抗扰度测试中，车辆应不通过其自身的驱动系统移动，车辆充电功能在抗扰度测试后应能自行恢复。抗扰度测试后，车辆行驶功能应正常。			

16.3 测试布置

车辆测试布置参考ECE R10。

16.4 测试程序

测试之前，应对发生器和耦合/去耦网络进行验证。性能检查通常限于检查有没有浪涌脉冲，有没有浪涌电压和/或电流。

依照要求完成测试布置并将车辆调整至充电模式执行表17中的严酷等级。

车辆应放置于地平面上。电浪涌须通过CDN加载到车辆的AC电源线的每一根线的线-线间&线-地上。测试布置须在测试报告中注明。

对有二次保护的设备进行测试时，发生器的输出电压应增加到刚好低于一次保护的击穿值。

注1：若出现由于网络监控设备抗扰能力不足导致的网络监控瘫痪，可在网络监控设备与车载网络接口间增加解耦装置。

注2：若相对湿度过高，以致引起受试设备或测试设备凝露，测试不应进行。

附录 A

(资料性附录)

功能重要性分类及功能等级分类

A.1 功能重要性分类

部件或模块的功能根据功能重要性分成3类：

a) I 类：

- 1) 可以直接影响整车控制的功能(如对发动机、变速器、制动器、悬架、动力转向系统、限速装置等的控制功能；控制驾驶员位置（包括座椅或方向盘位置）的功能；控制近光灯、刮水器等影响驾驶员视野的功能)；
- 2) 功能降级影响驾驶者、乘客以及道路上其他使用者（例如：安全气囊、安全限制系统）；
- 3) 功能降级会对道路上其他车辆造成混乱(如：转向灯、制动灯、示廓灯、后位灯、危险警告灯指示器，及与 A 类和 B 类功能有关的警告指示器、信号灯或显示器等；声音信号功能，如防盗警报、喇叭等)；
- 4) 与车辆功能总线资料有关的功能降级会导致类别 I 所需要的资料传输受阻；
- 5) 功能降级影响车辆里边与电气有关的器件造成车辆出现意想不到的状态。

b) II 类：

- 1) 功能降级会给驾驶者造成混乱；
- 2) 与车辆功能总线资料有关的功能降级会导致类别 II 所需要的资料传输受阻。
- 3) 高顾客感知度的功能。

c) III类：不被类别 I/II 包含的为驾乘者提供方便的功能。

A.2 功能等级分类

在被测件功能执行受骚扰情况下，其功能实现程度分为以下五个级别：

- A 级：在施加骚扰期间和之后，能正常执行其预先设计的所有功能；
- B 级：在施加骚扰期间，能执行其预先设计的所有功能，但有一项或多项指标可能超出规定偏差，在骚扰停止后，所有功能自动恢复正常，其中存储功能始终保持正常水平；
- C 级：在施加骚扰期间，不能执行其预先设计的一项或多项功能，但在骚扰停止后，自动恢复正常状态；
- D 级：在施加骚扰期间，不能执行其预先设计的一项或多项功能，骚扰停止后，通过简单的复位操作，恢复正常状态；
- E 级：在施加骚扰期间和之后，不能执行其预先设计的一项或多项功能，骚扰停止后不能恢复正常，必须进行修理甚至更换。