

新能源汽车动力电池系统的电磁兼容性（EMC）性能分析

肖振鹏¹，周涵彬¹，曾艾靖¹，钟建辉²，张政浩³

1. 中汽研汽车检验中心（广州）有限公司 广东广州 510000

2. 广州小鹏汽车科技有限公司 广东广州 510000

3. 广州计测检测技术股份有限公司 广东广州 510000

摘要：动力电池系统在测试过程中需要用到附属装置来模拟实车场景，以纯阻性负载、电子负载、激励装置三种不同附属装置为负载，考察了高低压线束相对距离、接收天线距地高度、接收天线与参考中心点距离以及接地方式等四种因素对辐射发射的影响。结果表明，三种不同附属装置作为负载时，均为高低压线束相对距离对辐射发射影响最大。

关键词：动力电池系统；电磁兼容；附属装置；辐射发射

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.07.002

新能源电动汽车主要由动力电池系统、电动机、电控等构成，动力电池系统作为新能源电动汽车三大核心部件之一，在整车运行功能中，要求动力电池系统必须具备优良的电磁兼容性能。动力电池系统在汽车中作为能量来源，通过电力输出给电动机、电控等其他产品提供持续不断的电力，因此为模拟这一输出特性，在测试过程中，需要一套接近实车输出环境的动力电池附属装置，以模拟动力电池输出特性。但是目前在动力电池系统电磁兼容测试中模拟负载的选择一直是个难点，一是无法精确模拟实车环境中的负载

情况，二是行业内相关国内外标准及各车企的电磁兼容标准中，均未对动力电池系统附属装置的选型、规格参数进行说明。由于各电磁兼容试验室的动力电池系统附属装置参数各异，导致试验结果上存在很大的差异，无法保证测试结果的一致性和重复性。

本文为进一步研究不同动力电池系统附属装置及试验布置差异性对辐射发射试验的影响，减少客户排查、整改时间，降低试验成本，为各试验机构优化并统一场地布局结构，进一步提高场地性能和测试结果的一致性和重复性^[1]。

验证方法阐述

1.测试方法

依据GB/T 18655的高压产品的辐射骚扰试验布置图，采用1m法进行验证试验，高低压线束长度为1700mm，并且与接地平面前端平行的线束长度为1500mm，所有线束放在在非导电且低相对介电常数（≤1.4）材料上，其他场地布置要求如样品接地位置、高低压线束距离、天线高度及天线距低压线束距离等作了详细的参数说明^[2]。

2.附属装置说明

本文所用到的附属装置见表1。

表1 附属装置及其作用

装置名称	具体描述
阻性负载	通过电阻类元件进行工作的纯阻负载，功率为4kW，电流范围0~50A，电压范围0~450V的可调电阻
电子负载	功率为30kW，电流为0~120A，电压为24~750V的双极性电源，即可作为电子负载放电，也做为电源使用
激励装置	实验室自研大电容负载，用于模拟实车装配的电动机负载

3.差异性介绍

影响辐射骚扰试验因素很多，包括试验线束长度、线束布局、接地位置及天线位置等，综合这些因素起来探究三种附属装置的影响。根据以往试验经验及行业内比较关注的因素，本文筛选了4种关键因素：高低压线缆相对距离、接收天线距地面高度、接收天线与参考中心点距离及产品接地位置^[3, 4]。

动力电池系统线束主要由低压线束和高压线束组成，低压线束主要是动力电池管理系统线束，系统内含模拟信号和数字信号及其他信号，易受外界干扰。高压线束主要是作为动力电池系统输入和输出链路，其特点是大电压大电流，如果无屏蔽层或屏蔽层性能有缺陷，强干扰信号会通过高压线束辐射出来，干扰其他敏感体。高压线束和低压线束越近，寄生参数越大，低压线束越容易耦合干扰，所以将高低压线束的相对距离作为考虑因素之一。

接收天线距地面高度和接收天线与参考中心点距

离主要考量天线的不同测试位置对试验结果的影响，加上人为因素的测量距离的偏差，接收天线在各个位置可能存在一定差异，需要考虑在合理的偏差范围内对辐射骚扰试验结果的影响。

产品接地位置主要是以动力电池管理系统的相对位置为基准，分析在不同接地布置的影响。由于动力电池管理系统内含控制电路、时钟晶振及开关器件等，是骚扰的主要源头，不同的接地位置会影响干扰信号的回流方式。

综合以上四种因素，分别以三种附属装置为负载，研究不同布置因素对辐射骚扰的影响。

试验方法说明

试验前，需对场地进行确认。天线在水平极化和垂直极化底噪数据如图1所示，表明暗室内未存在干扰源，且天线水平极化和垂直极化数据基本无差异。综上所述，暗室场地满足试验需求。

本文采用正交分析法，试验条件及正交试验矩阵见表2。每一种附属装置进行9次试验。

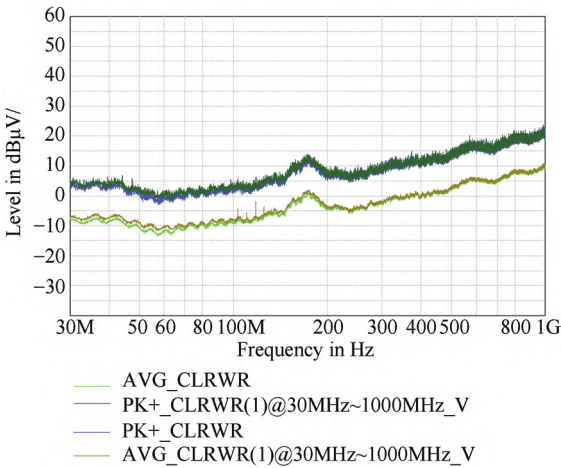


图1 实验本底噪声

表2 试验条件变量 （单位：mm）

序号	A	B	C	D
①	0	900	900	距主控近
②	100	1000	1000	距主控远
③	200	1100	1100	距主控适中

注：A为高低压线缆相对距离；B为接收天线距地高度；C为接收天线与参考中心点距离；D为接地位置。

本文设计了四因素三水平试验，其正交试验见表3。

表3 正交试验组合

序号	A	B	C	D
1	①	①	①	①
2	①	②	③	②
3	①	③	②	③
4	②	①	③	③
5	②	②	②	①
6	②	③	①	②
7	③	①	②	②
8	③	②	①	③
9	③	③	③	

对正交试验中的9组组合，在30~1000MHz的频段进行辐射发射测试^[5]。在测试结果中，将30~1000MHz分成13个子频段，记录每个频段的最大发射量，并将子频段的最大发射量相加，以此数值作为正交试验结果。

本实验在30~1000MHz频段中，改变高低压线缆相对距离、接收天线距地高度、接收天线与参考中心点距离及接地位置四种水平因素，依次对每种组合进行辐射发射扫描，对扫描所得平均值做数据处理，其试验布置如图2所示。



图2 试验测试布置

试验数据分析

根据上文数据处理方法，其数据汇总见表4。

表4 各附属装置测试数据汇总（单位：dBμV/m）

序号	阻性负载13个子频段发射量之和	电子负载13个子频段发射量之和	激励装置13个子频段发射量之和
1	39.967	34.201	42.946
2	40.637	35.842	38.266
3	34.082	42.397	43.837
4	76.783	65.774	49.089
5	76.421	64.581	60.154
6	63.025	45.616	59.987
7	62.509	73.418	63.605
8	58.804	62.639	54.899
9	54.084	64.856	56.648

对不同附属装置测得数据进行各因子水平均值 k 和极差 R 计算。

以阻性负载结果分析为例。记A高低压线缆相对距离因素水平所对应的辐射发射13个子频段发射量之和的值为 K_1 ， $K_1=39.967+40.637+34.082=114.686$ ，而A高低压线缆相对距离因素水平对应的平均辐射发射13个子频段发射量之和为 $k_1=K_1/3=38.228$ ；

相应可以得到：

$$K_2=76.783+76.421+63.025=216.229$$

$$k_2=K_2/3=72.076$$

$$K_3=62.509+58.804+54.084=175.397$$

$$k_3=K_3/3=58.465$$

$$\text{极差 } R = \max(k) - \min(k) = k_2 - k_1 = 72.076 - 38.228 = 33.848$$

接收天线距地高度（B）、接收天线与参考中心点距离（C）以及接地位置（D）的结果见表5和表6。根据 k_1 、 k_2 、 k_3 的大小比较可判断三个水平的高低压线缆相对距离对辐射发射发射量的影响大小，即高低压线缆相对距离最优的水平为A2。

表5 阻性负载 K 值汇总

	A	B	C	D
K_1	114.686	179.259	161.796	170.472
K_2	216.229	175.862	173.012	166.171
K_3	175.397	151.191	171.504	169.669

表6 阻性负载极差分析结果

	A	B	C	D
k_1	38.228	59.753	53.932	56.824
k_2	72.076	58.620	57.670	55.390
k_3	58.465	50.397	57.168	56.556
R	33.847	9.356	3.738	1.434

同理，可计算得出接收天线与参考中心点距离、接收天线距地高度、接地方式的最优水平分别为B1、C2、D1。综上所述，可以得出结论：附属装置为阻性负载时，最佳的试验条件组合是A2B1C2D1，即高低压线束相对距离100mm，接收天线距地高度900mm，接收天线与参考中心点距离1000mm，接地位置距主控近时，该条件下动力电池系统所测试的辐射发射发射量最大。

根据极差 R 大小，四个因素对发射发射量的影响程度顺序为：高低压线束相对距离>接收天线距地高度

>接收天线与参考中心点距离>接地位置。

利用相同的方法对电子负载和激励装置所测得数据进行各因子水平均值 k 和极差 R 计算。

表7 电子负载极差分析结果

	A	B	C	D
k_1	37.480	57.797	47.485	54.546
k_2	61.205	54.354	60.132	51.625
k_3	66.971	50.956	55.490	56.936
R	29.491	6.841	12.647	5.311

表8 激励装置极差分析结果

	A	B	C	D
k_1	41.683	51.880	52.610	53.249
k_2	61.248	51.106	55.865	53.952
k_3	58.384	53.490	48.001	49.275
R	19.565	2.384	7.864	4.677

根据上述表格数据可得，附属装置为电子负载时，最佳的试验条件组合是A3B1C2D3，即高低压线束相对距离200mm，接收天线距地高度900mm，接收天线与参考中心点距离1000mm，接地位置距主控适中时，该条件下动力电池系统所测试的辐射发射发射量最大。

根据极差 R 大小，四个因素对发射发射量的影响程度顺序为：高低压线束相对距离>接收天线与参考中心点距离>接收天线距地高度>接地方式。

附属装置为激励装置时，最佳的试验条件组合是A2B3C2D2，即高低压线束相对距离100mm，接收天线距地高度1100mm，接收天线与参考中心点距离1000mm，接地位置距主控远时，该条件下动力电池系统所测试的辐射发射发射量最大。

根据极差 R 大小，四个因素对发射发射量的影响程度顺序为：高低压线束相对距离>接收天线与参考中心点距离>接地方式>接收天线距地高度。

结语

本文主要研究动力电池系统不同附属装置及不同布置的差异之间辐射发射，将动力电池系统附属装置分为阻性负载、电子负载、激励装置，并选定四种关键布置影响因素：高低压线缆相对距离、接收天线距地面高度、接收天线与参考中心点距离及产品接地方式。针对每种附属装置，将四种关键布置影响因素制

定正交试验表，在30~1000 MHz频段中进行辐射发射测试，通过数据分析及计算，可以得出每种附属装置的最优布置组合。

1) 当附属装置为阻性负载时，测试组合为高低压线束相对距离100mm，接收天线距地高度900mm，接收天线与参考中心点距离1000mm，接地位置距主控近时，该条件下样品所测试的辐射发射发射量最大。其中高低压线束相对距离对其辐射发射发射量影响最大。

2) 当附属装置为电子负载时，测试组合为高低压线束相对距离200mm，接收天线距地高度900mm，接收天线与参考中心点距离1000mm，接地位置距主控适中时，该条件下样品所测试的辐射发射发射量最大。其中高低压线束相对距离对其辐射发射发射量影响最大。

3) 当附属装置为激励装置时，测试组合为高低压线束相对距离100mm，接收天线距地高度1100mm，接收天线与参考中心点距离1000mm，接地位置距主控远时，该条件下样品所测试的辐射发射发射量最大。其中高低压线束相对距离对其辐射发射发射量影响最大。

此外，通过数据分析对比，在三种附属装置中，高低压线束相对距离对辐射发射发射量均是最大。

在实际测试中，针对不同附属装置，企业和检测机构可以选用上述测试组合以达到动力电池系统最大的辐射发射发射量，从而降低样品的电磁兼容风险。

参考文献：

[1] 田晖.CISPR 25汽车零部件辐射发射测试场地布局优化研究[D].北京：北京交通大学，2020.

[2] 全国无线电干扰标准化技术委员会 .GB/T 18655—2018车辆、船和内燃机无线电骚扰特性用于保护车载接收机的限值和测量方法[S].北京：中国标准出版社，2018.

[3] 付百灵.在用广播电视台发射设备开场测试方法研究[D].内蒙古大学，2017.

[4] 陈恩辉，鞠环宇，娄峰.动力电池内部线束布置及设计分析[J].汽车实用技术，2018（7）：3-5.

[5] 陈晓，程雄，刘洋.基于正交试验法的牵引电动机噪声试验方法研究[J].电力机车与城轨车辆，2025，48（1）：87-90. **AUTO1950**