

ICS 33.100

CCS L06

团体标准

T/CITSA 59-2025

城市轨道交通 车载设备天线隔离度 测试方法

Antenna isolation testing method for apparatus on-board in urban rail
transit

2025-04-21 发布

2025-05-21 实施

中国智能交通协会 发布

目 次

前言 11

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测试项目 1

5 被测对象 2

6 测试环境 2

7 测试设备 2

 7.1 频谱分析仪 2

 7.2 信号源 2

 7.3 测试跳线和连接器 2

8 数据采集和后处理 3

 8.1 测试准备 3

 8.2 天线隔离度测试 3

 8.3 测试后处理 4

附录 A（资料性） 车载设备天线隔离度测试风险项筛选 5

附录 B（资料性） 线损的测量 6

附录 C（规范性） 天线隔离度的计算 7

附录 D（资料性） 异常数据剔除规则 8

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由中车南京浦镇车辆有限公司提出。

本文件由中国智能交通协会归口。

本文件起草单位：中车南京浦镇车辆有限公司、中车浦镇阿尔斯通运输系统有限公司、通标标准技术服务有限公司、江苏天纬检测技术服务有限公司、中铁检验认证株洲牵引电气设备检验站有限公司、杭州市地铁教育科技有限公司。

本文件主要起草人：周杨、李杰、张坤、刘晓晶、涂本荣、马庆文、康旭、刘睿、谭辉、柳晓、侯德超、孙敏杰、秦征。

城市轨道交通 车载设备天线隔离度 测试方法

1 范围

本文件规定了城市轨道交通车载设备天线隔离度测试的被测对象、测试环境、测试设备、数据采集及后处理等。

本文件适用于安装在城市轨道交通车辆（包括城际列车、地铁列车、轻轨列车、单轨列车等）上的车载天线系统，其它车载天线系统可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 电磁兼容术语

GB/T 14733.10 电信术语 天线

GB/T 24338.3 轨道交通 电磁兼容 第3-1部分：机车车辆 列车和整车

3 术语和定义

GB/T 4365和GB/T 14733.10界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

天线系统 antenna system

天线连同为实现它们的正常功能所必需的机械和电气部件，至少包括天线、馈线、跳线等。

[来源：GB/T 14733.10, 3.1.2, 有修改]

3.2

天线隔离度 antenna isolation ratio

发射端天线系统的输入功率与接收端天线系统的输出功率的比值。

3.3

带内干扰 in-band interference

在无线通信/通讯设备工作频带内的骚扰，引起的设备或系统性能下降的现象。

3.4

带外干扰 out-of-band interference

在无线通信/通讯设备工作频带以外的骚扰，引起的设备或系统性能下降的现象。

3.5

天线增益 gain of antenna

在输入功率相等的条件下，实际天线与理想辐射单元在空间同一点处所产生的信号的功率密度之比。

注1：天线增益通常指最大辐射方向的增益。

注2：理想辐射单元通常指无损耗半波偶极子天线。

4 测试项目

车载天线隔离度测试包括：

- 基于带内干扰的天线隔离度测试：测试发射天线对接收天线在接收频段内的影响，包含同频干扰和邻频干扰；
- 基于带外干扰的天线隔离度测试：测试发射天线对接收天线在接收频段外的影响。

车载天线包括有源天线和无源天线，有源天线仅作为接收天线进行测试。

5 被测对象

5.1 被测对象为车载天线系统。

5.2 宜按照附录 A 对车载设备天线进行信息收集、分析，被列为风险项的车载天线之间应进行隔离度测试。

5.3 天线隔离度测试前，应向无线通信/通讯设备和天线系统供应商获取以下参数：

- a) 无线通信/通讯设备的工作频率和发射功率；
- b) 无线通信/通讯设备的端口特性阻抗；
- c) 天线接收、发射频段；
- d) 天线最大发射功率。

注：信号源输出功率超过天线最大发射功率时可能会对被测天线系统产生不可逆的损坏。

5.4 天线隔离度测试应记录以下数据：

- a) 信号源发射频率；
- b) 信号源输出功率；
- c) 频谱分析仪接收频段的环境噪声；
- d) 频谱分析仪接收功率。

5.5 天线隔离度测试应考虑测试跳线线损，线损的计算参照附录 B。

6 测试环境

6.1 测试应在适宜的环境中进行，温湿度条件应满足设备工作环境要求，不应在雨雪及大雾天气进行。

6.2 停车场应满足 GB/T 24338.3 中试验现场的要求，且测试过程中频谱分析仪在规定的频段范围内接收的信号幅值应高于环境噪声 6dB。如果环境噪声不稳定或测量频段附近有强干扰信号，无法满足上述环境条件时，则在确保不超过天线最大发射功率条件下，可提高信号源输出功率或减小频谱分析仪分辨率带宽进行测试，如依然无法满足上述测试条件则应更换测试场地。

6.3 车辆应静置于轨道上，保持降弓无电状态，被测设备的软硬件处于完备状态。

7 测试设备

7.1 频谱分析仪

基本参数要求：

- a) 频率范围：覆盖无线通信/通讯设备的工作频率；
- b) 输入阻抗：应与无线通信/通讯设备的端口阻抗一致，如不一致可使用合适的阻抗转换器；
- c) 检波方式：有效值检波；
- d) 分辨率带宽：应小于无线通信/通讯系统的信道带宽。

7.2 信号源

基本要求：

- a) 频率范围：包含无线通信/通讯设备的工作频率；
- b) 最大输出功率：应满足 6.2 和 8.2.1.3 的测试要求。

7.3 测试跳线和连接器

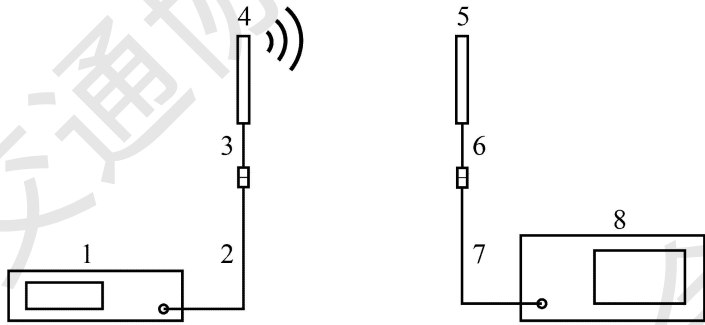
基本要求：

- a) 特性阻抗：与测试设备匹配；
- b) 反射系数：连接器的反射能量损耗应考虑在线损中。

8 数据采集和后处理

8.1 测试准备

对测试跳线的线损（含连接器反射能量损耗）进行测试。
在每轮测试前，选定一个被测天线作为发射天线，其它天线依次作为测试接收天线，设备连接见图1。



标引序号说明：
1——信号源；2——发射端跳线；3——发射端馈线；4——发射天线；5——接收天线；6——接收端馈线；
7——接收端跳线；8——频谱分析仪。

图1 天线隔离度测试配置图

测试前车载设备天线应已安装完毕，被测对象包含天线、天线至无线通信/通讯设备的馈线。测试时，断开馈线与无线通信/通讯设备的连接，信号源和频谱分析仪通过跳线分别与对应馈线连接。

8.2 天线隔离度测试

8.2.1 单组天线测试

- 8.2.1.1 设置频谱分析仪的接收频段，应覆盖发射天线端的无线通信/通讯设备发射频率。
- 8.2.1.2 频谱分析仪的检波方式和分辨率带宽设置应满足 7.1 的要求，视频带宽应设置为 0.1 倍的分辨率带宽，使用最大值保持模式进行记录。
- 8.2.1.3 设置信号源的发射频率，应与发射天线端的无线通信/通讯设备工作频率保持一致。信号源输出功率设定值应与发射天线端的无线通信/通讯设备发射功率保持一致。
- 8.2.1.4 测试接收频段的环境噪声，确认满足 6.2 规定的测试环境要求并记录。
- 8.2.1.5 正式测试前，验证测试系统是否处于线性工作区。先进行一次隔离度测试，记录信号源输出功率值和频谱分析仪接收功率值，并计算出当前的天线隔离度；信号源输出功率设定值增加 3dB，再次计算天线隔离度，若未发生明显偏差则判定测试系统处于线性工作区，将信号源输出功率改为原设定值后可开始正式测试；若发生明显偏差则判定测试系统处于非线性工作区，需要将信号源输出功率设定值降低 3dB 后继续进行验证。
- 8.2.1.6 记录信号源输出功率和频谱分析仪接收功率，每组天线之间的隔离度测试至少进行 3 次，测试的间隔时间不少于 3s。
- 8.2.1.7 正式测试结束后再次测试接收频段的环境噪声，确认测试环境仍然满足 6.2 规定的要求并记录。

8.2.2 多组天线测试

对被测天线两两组合进行测试，测试组合见表1，每组天线测试按照8.2.1的方法测试，应分别对组合进行带内干扰和带外干扰的天线隔离度测试。

表 1 天线测试组合

发射天线	接收天线				
	天线 1	天线 2	天线 3		天线 n
天线 1	/	T_{12}	T_{13}		T_{1n}
天线 2	T_{21}	/	T_{23}		T_{2n}
天线 3	T_{31}	T_{32}	/		T_{3n}
.....				T_{ij}	
天线 n	T_{n1}	T_{n2}	T_{n3}		/
注 1: T_{ij} 表示天线 i 作为发射天线, 天线 j 作为接收天线的测试组合。					
注 2: 如天线 i 和天线 j 工作频段相同或相邻则定义为带内干扰, 否则为带外干扰。					

8.3 测试后处理

- 8.3.1 天线隔离度的计算按照附录 C 执行。
- 8.3.2 应排除因信号丢失、环境因素等造成的异常数据, 异常数据的剔除方法参照附录 D。
- 8.3.3 有效数据中的最小值为天线隔离度测试的最终结果。

附录 A
(资料性)

车载设备天线隔离度测试风险项筛选

城市轨道交通车辆车载无线通信/通讯设备的电磁兼容不仅需要技术手段，同时也依赖管理手段，可通过收集车载设备天线相关信息，综合评估无线通信/通讯设备相互之间电磁兼容性。信息收集应覆盖所有无线通信/通讯设备，将收集到的关键信息填写到车载设备天线信息表中，如表A.1。

表 A.1 车载设备天线信息表

天线系统	装车位置	设备通讯距离	实际辐射方向	无线通信/通讯协议	工作频段/Hz		无线通信/通讯设备发射功率/W	天线增益/dBi
					发射	接收		

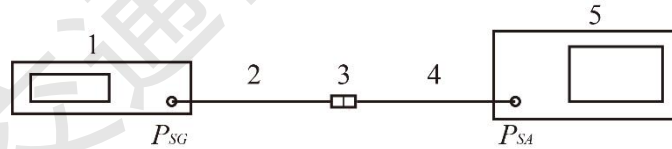
车载设备天线隔离度测试风险项筛选至少考虑以下因素：

- a) 工作频段，包括接收频段和发射频段；
- b) 距离，包括设备通讯距离和天线间的物理间距；
- c) 两天线的中间屏蔽，如金属车体结构；
- d) 天线的实际辐射方向受天线设计辐射方向和安装环境的影响；
- e) 无线通信/通讯协议中可能包含的信道自动避让机制。

上述因素均可在不同程度上决定不同无线通信/通讯设备之间是否会产生干扰。根据实际情况综合考虑上述因素进行评估，易受干扰的天线系统宜列为风险项，并进行天线隔离度测试。

附录 B
(资料性)
线损的测量

信号源、频谱分析仪及其测试跳线在待测工作频段的线损（包含连接器端的反射能量损耗）可通过图B.1所示检测系统测得。



标引序号说明：
1——信号源；2——发射端跳线；3——连接器；4——接收端跳线；5——频谱分析仪。

图 B.1 线损检测系统示意图

总线损值 L 为：

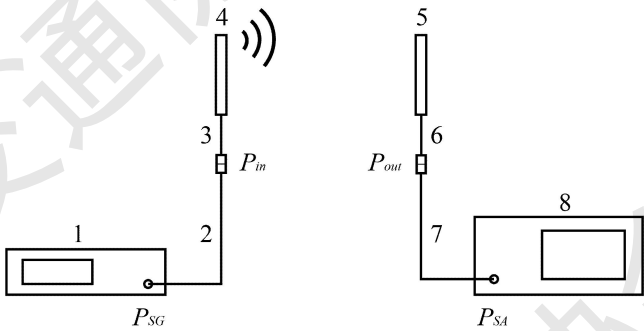
$$L = L_1 + L_2 = P_{SG} - P_{SA}$$

式中：

- L ——测试跳线的总线损，单位为dB；
- L_1 ——发射端跳线的线损，单位为dB；
- L_2 ——接收端跳线的线损，单位为dB；
- P_{SG} ——信号源输出功率，单位为dBm；
- P_{SA} ——频谱分析仪接收功率，单位为dBm。

附录 C
(规范性)
天线隔离度的计算

一对收发天线的工作示意图如下图C. 1。



标引序号说明：
1——信号源；2——发射端跳线；3——发射端馈线；4——发射天线；5——接收天线；6——接收端馈线；
7——接收端跳线；8——频谱分析仪。

图 C. 1 收发天线工作示意图

天线间隔离度 I 为：

$$I = 10 \lg(P_{in} / P_{out})$$

式中：

I ——天线隔离度，单位为dB；

P_{in} ——发射端馈线输入功率，单位为W；

P_{out} ——接收端馈线的输出功率，单位为W。

在实际操作中，有

$$\begin{cases} 10 \lg(P_{in} / 1 \text{ mW}) = P_{SG} - L_1 \\ 10 \lg(P_{out} / 1 \text{ mW}) = P_{SA} + L_2 \end{cases}$$

则天线隔离度的计算公式也可表示为：

$$I = P_{SG} - P_{SA} - (L_1 + L_2)$$

式中：

P_{SG} ——信号源输出功率，单位为dBm；

P_{SA} ——频谱分析仪接收功率，单位为dBm；

L_1 ——发射端跳线的线损，单位为dB；

L_2 ——接收端跳线的线损，单位为dB。

附录 D
(资料性)
异常数据剔除规则

异常数据剔除采用格拉布斯准则，满足下列公式的值即定义为离群值而应予以剔除：

$$|v_k| > G(\alpha, n) \cdot s(x)$$
$$v_k = x_k - \bar{x}$$

式中：

n ——测量次数；

x_k ——第 k 次测量值；

$\bar{x}$ —— n 次测量的平均值；

v_k ——第 k 次测量值与测量平均值的差值；

$s(x)$ ——样本标准差；

$G(\alpha, n)$ ——是与显著性水平 α 以及重复测量次数 n 有关的格拉布斯临界值。

车载设备天线隔离度测试中采用最大值保持模式记录数据，离群值仅可能出现在一端（低端），属于格拉布斯准则中的单侧情况。采用置信概率为95%，显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的格拉布斯临界值进行离群值判定。不同测试次数的格拉布斯临界值见表D.1。

表 D.1 格拉布斯准则的临界值 $G(0.05, n)$

n	$G(0.05, n)$
3	1.153
4	1.463
5	1.672
6	1.822

注：本表只列了最多测量 6 次的格拉布斯准则的临界值。