



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 38889—2020

## 天线及接收系统的无线电干扰 天线测量 车载天线及系统

Antennas and reception systems for radio interference—Antenna measurement—  
Vehicle antennas and system

2020-06-02 发布

2020-12-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义、缩略语..... 1

    3.1 术语和定义 ..... 1

    3.2 缩略语 ..... 3

4 测量参数 ..... 3

    4.1 概述 ..... 3

    4.2 测量对象 ..... 3

    4.3 有源天线 OTA 性能的测量 ..... 4

5 AM/FM 接收天线的测量 ..... 7

    5.1 测量要求 ..... 7

    5.2 AM/FM 接收天线的方向图测量 ..... 7

6 导航天线测量 ..... 9

    6.1 测量要求 ..... 9

    6.2 导航天线近场 3D 方向图测量 ..... 10

    6.3 导航天线 OTA 性能测量 ..... 13

7 车载毫米波雷达天线测量..... 13

    7.1 测量要求 ..... 13

    7.2 车载毫米波雷达天线方向图测量 ..... 13

    7.3 车载毫米波雷达天线 OTA 测量 ..... 19

8 数字广播天线测量..... 19

    8.1 卫星数字广播天线方向图的测量 ..... 19

    8.2 卫星数字广播天线 OTA 的测量 ..... 19

9 无钥匙天线测量..... 19

    9.1 无钥匙天线方向图的测量 ..... 19

    9.2 无钥匙天线 OTA 的测量 ..... 19

10 测量报告 ..... 19

附录 A（规范性附录） 测量场地要求 ..... 21

    A.1 基本要求 ..... 21

    A.2 开阔场要求 ..... 21

    A.3 微波暗室要求 ..... 21

附录 B（资料性附录） 经典探头补偿近远场换算 ..... 23

参考文献 ..... 24

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 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。

本标准由全国无线电干扰标准化技术委员会(SAC/TC 79)提出并归口。

本标准起草单位:上海电器科学研究院、上海霍莱沃电子系统技术股份有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、上海电器设备检测所有限公司、上海电器科学研究所(集团)有限公司、罗德与施瓦茨(中国)科技有限公司、深圳市蓉声科技有限公司、中国信息通信研究院、上海汽车集团股份有限公司技术中心、长城汽车股份有限公司、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、深圳市可信华成通信科技有限公司、威凯检测技术有限公司。

本标准主要起草人:叶琼瑜、毛小莲、雷剑梅、熊蒙、郑军奇、谷思佳、蒋乾、孙思扬、江晨、田永坡、蒋江建、刘峻、王绎维、于超、袁书传、宋江伟、谢延萍、邢琳、朱怡宁。



# 天线及接收系统的无线电干扰 天线测量

## 车载天线及系统

### 1 范围

本标准规定了车载天线在整车条件下的辐射特性和 OTA 特性的测量要求和测量程序,包括测量环境及测量场地的要求,天线方向图,接受灵敏度和接发射功率的测量程序。

本标准适用于车载天线中的 AM/FM 接收天线、导航天线、车载毫米波雷达天线、数字广播天线、卫星数字广播天线和无钥匙天线的测量。其他类型的天线也可参考此标准中的规定进行测量。

### 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 14733.10—2008 电信术语 天线
- GB/T 26256—2010 2.4 GHz 频段无线电通信设备的相互干扰限制与共存要求及测试方法
- YD/T 2193—2010 移动用户终端无线局域网空间射频辐射功率和接收机性能测量方法
- YD/T 2868—2015 移动通信系统无源天线测量方法
- IEEE 145—2013 天线术语定义 (IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas)

### 3 术语和定义、缩略语

#### 3.1 术语和定义

GB/T 14733.10—2008、GB/T 26256—2010、YD/T 2193—2010、YD/T 2868—2015、IEEE 145—2013 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

##### 3.1.1

**天线 antenna**

能有效地向空间辐射或从空间接收无线电波的装置。

注 1: 术语天线有时用于电磁设备,其耦合距离小于与辐射场相关的距离。

注 2: 天线为发射机或接收机与传播无线电波的媒质之间提供所需要的耦合。

##### 3.1.2

**车载天线 vehicle antenna**

安装在车辆上,完成无线电发射、接收系统中辐射或接收无线电波功能的装置。

##### 3.1.3

**无源天线 passive antenna**

不带任何有源器件的天线。

[IEEE 145—2013,定义 4]

##### 3.1.4

**有源天线 active antenna**

与有源器件(如放大器或阻抗匹配电子器件)封装在一起的天线。

[IEEE 145—2013, 定义 4]

3.1.5

**有源天线系统 active antenna system**

集成天线收发模块、低噪声放大模块、电源供给模块、有源阻抗匹配电阻等模块的天线系统。

3.1.6

**增益 gain**

在输入功率相等的条件下,实际天线与理想的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: 增益的单位为 dBi。

注 2: 增益不包括阻抗和极化失配引起的损耗,并且不依赖于天线所连接的系统。

注 3: 对应于各向同性辐射功率的辐射强度等于天线接收的功率除以  $4\pi$ 。

注 4: 如果天线无损耗,则给定方向上天线的绝对增益在数值上和它的方向性系数相同。

注 5: 如果未指定方向,则为最大辐射强度的方向。

3.1.7

**辐射方向图 radiation pattern**

表征由天线辐射产生的电磁场的量的空间分布。

注: 分布可表示为数学函数或图形。

3.1.8

**总全向辐射功率 total radiated power**

天线在空间三维球面上的射频辐射功率积分值。

注: 反映车载天线的发射功率情况,跟整车天线在传导情况下的发射功率和天线辐射效率有关。

3.1.9

**近水平面辐射功率 near-horizon partial radiated power**

表征 H 面附近天线的发射功率情况的参数。

3.1.10

**等效全向辐射功率 effective isotropic radiated power**

天线得到的功率与天线增益的乘积。

注: 反映天线在各个方向上辐射的功率的大小。

3.1.11

**总全向接收灵敏度 total isotropic sensitivity**

天线在空间三维球面上的接收灵敏度积分值。

注: 反映整车天线的接收灵敏度的情况,跟整车天线的传导灵敏度和天线辐射性能有关。

3.1.12

**近水平面接收灵敏度 near-horizon partial isotropic sensitivity**

表征 H 面附近天线的接收灵敏度情况的参数。

3.1.13

**等效全向灵敏度 effective isotropic sensitivity**

待测终端在某一方向上的接收灵敏度值,以待测终端能接收到的基站在此方向上发送的最小前向链路功率来表示,此功率值是与全向天线(0 dBi 增益)相比得到的结果。

3.1.14

**天线辐射口径 antenna radiation diameter**

$D$

为包围天线辐射部分的最小球直径。

注: 最小球包含会影响辐射方向图的所有天线支撑结构。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

- EIRP 等效全向辐射功率 (effective isotropic radiated power)
- EIS 等效全向灵敏度 (effective isotropic sensitivity)
- GNSS 全球卫星导航系统 (Global Navigation Satellite Systems)
- HP 水平极化 (horizontal polarization)
- NHPIS 近水平面接收灵敏度 (near-horizon partial isotropic sensitivity)
- NHPRP 近水平面辐射功率 (near-horizon partial radiated power)
- OTA 空口 (Over The Air)
- TIS 总全向接收灵敏度 (total isotropic sensitivity)
- TRP 总全向辐射功率 (total radiated power)
- VP 垂直极化 (vertical polarization)

4 测量参数

4.1 概述

车载天线测量中,整车辐射性能反映了车辆的最终发射和接收性能。主要有两种方法对车辆的辐射性能进行考察:

- a) 从天线的辐射性能进行判定,是目前较为传统的测量方法,称为无源测量,包括增益和方向图;
- b) 在特定的测量条件下,从整车的发射功率和接收灵敏度考察车载天线的辐射性能,称为有源测量,包括 TRP 和 TIS。

4.2 测量对象

本标准对安装在整车中的 AM/FM 接收天线、导航天线、车载毫米波雷达天线、数字广播天线、卫星数字广播天线和无钥匙天线的天线方向图、OTA 等参数的测量进行了规定,其中无源天线应进行辐射参数的测量,包括增益、方向图等;有源天线应进行 OTA 测量,包括 TRP 和 TIS。各类车载天线的测量参数汇总如表 1 所示。

表 1 各类车载天线测量参数的汇总

天线类型	测量参数 <sup>a</sup>	测量方法章条号
AM/FM 天线	方向图	5
导航天线	方向图	6
	TIS 或 NHPIS (只考虑 GNSS 功能)	4.3.4
车载毫米波雷达天线	方向图	7
	TRP 或 NHPRP	4.3.3
数字广播天线	方向图	5.2.2
	TIS 或 NHPIS	4.3.4
	TIS 或 NHPIS	4.3.4

表 1（续）

天线类型	测量参数 <sup>a</sup>	测量方法章条号
无钥匙天线	方向图	5.2.2
	TRP 或 NHPRP	4.3.3
	TIS 或 NHPIS	4.3.4
<sup>a</sup> 测量参数均在被测天线装车或者模拟装车状态下进行测量。		

4.3 有源天线 OTA 性能的测量

4.3.1 坐标系统

OTA 的测量坐标如图 1 所示。有源天线进行 OTA 测量时,Theta ( $\theta$ ) 轴定位器与 Phi ( $\varphi$ )轴定位器独立安装,被测天线绕水平圆面/ Phi ( $\varphi$ )旋转,测量探头绕垂直圆面/ Theta ( $\theta$ ) 旋转。

被测天线的方向图是在天线测量场进行测量的,被测天线的工作坐标系一般采用球坐标系。

用于天线测量的球坐标系,Theta ( $\theta$ )角为测量点与 Z 正半轴之间的夹角,Phi ( $\varphi$ )角为测量点在 XY 平面上的投影与 X 正半轴之间的夹角,Theta ( $\theta$ ) 极化方向为 Theta ( $\theta$ ) 轴旋转时的运动方向,Phi ( $\varphi$ ) 极化方向为 Phi ( $\varphi$ )轴旋转时的运动方向。

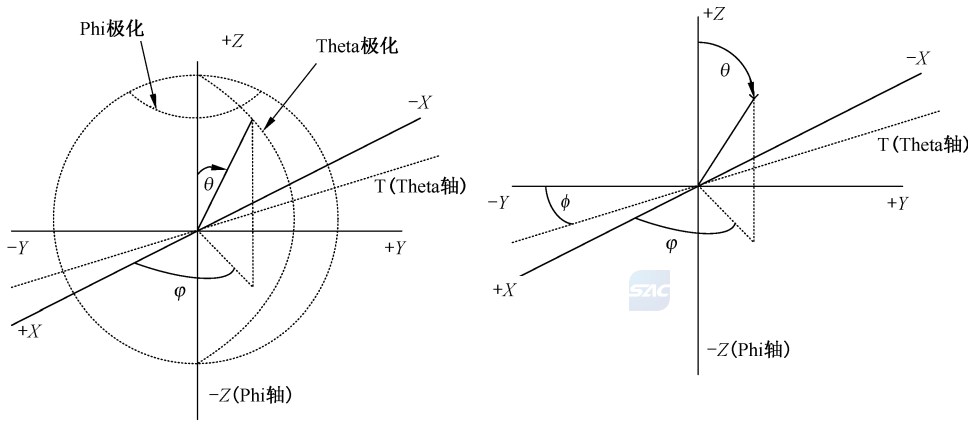


图 1 OTA 测量坐标系统

4.3.2 测量系统

有源天线 OTA 性能的测量系统主要包括：

- a) 测量设备有网络分析仪、频谱分析仪、功率计、无线通信综合测试仪、射频开关单元、控制设备；
- b) 网络分析仪用于路径校准；
- c) 频谱分析仪或功率计用于测量射频辐射功率,其信号强度至少要高于本底噪声 40 dB；
- d) 无线通信综合测试仪用于模拟基站与被测天线建立连接,并用于接收灵敏度的测量；
- e) 开关转换单元用于各种测量间不同路径的切换；
- f) 控制设备用于测量软件以及整个测量系统的测量工作。

4.3.3 TRP 测量

4.3.3.1 TRP 测量方法

TRP 的测量是通过在被测天线周围的不同球形位置测量其 EIRP 来衡量被测天线的射频辐射性能。每个频段均在最大发射功率状态下测量。

TRP 的测量方法包括：

- a) 无线通信综合测试仪通过通信天线与被测天线进行通信链接。
- b) 测量探头将测量数据通过测量路径传送给频谱分析仪或功率计进行信号分析。测量系统连接示意图如图 2 所示。
- c) 转动转台,在球坐标的 Theta ( $\theta$ ) 轴与 Phi ( $\varphi$ )轴分别测量,测量三维空间各点的有效辐射功率 EIRP。
- d) TRP 通过测量的 EIRP 和式(1)计算所得：

$$TRP \cong \frac{\pi}{2NM} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [EIRP_{\theta}(\theta_i, \varphi_j) + EIRP_{\varphi}(\theta_i, \varphi_j)] \sin(\theta_i) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- M——Phi ( $\varphi$ )轴的测量点数；
- N——Theta ( $\theta$ )轴的测量点数。

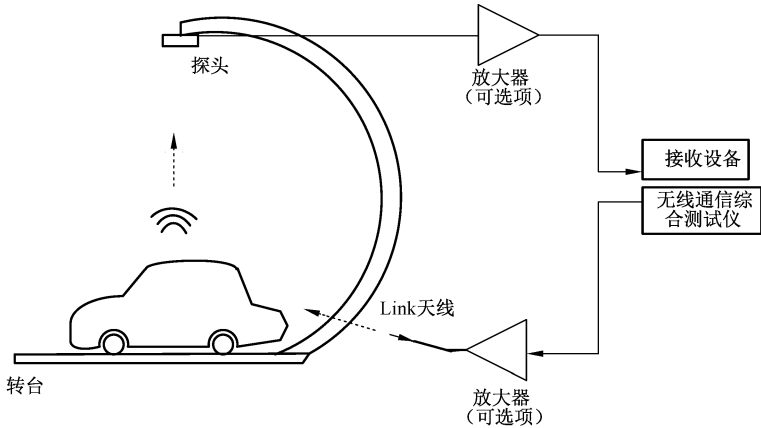


图 2 TRP 测量系统连接示意图

4.3.3.2 NHPRP 测量方法

当测量的辐射功率不为全球测量时,可计算部分角度的辐射功率。

对于 N=12 间隔和 M 间隔均为均匀角距的完整球面时：

近地平处±45°以上辐射功率可按式(2)计算：

$$NHPRP_{\pm 45} \cong \frac{\pi}{2NM} (\frac{cut_3 + cut_9}{2} + \sum_{i=4}^8 cut_i) \dots\dots\dots (2)$$

近地平处±30°以上辐射功率可按式(3)计算：

$$NHPRP_{\pm 30} \cong \frac{\pi}{2NM} (\frac{cut_4 + cut_8}{2} + \sum_{i=5}^7 cut_i) \dots\dots\dots (3)$$

式(2)和式(3)中,cut<sub>i</sub> 可按式(4)计算：

$$cut_i = \sum_{j=0}^{M-1} [EIRP_{\theta}(\theta_i, \varphi_j) + EIRP_{\varphi}(\theta_i, \varphi_j)] \sin(\theta_i) \dots\dots\dots (4)$$



## 4.3.4 TIS 测量

## 4.3.4.1 TIS 测量方法

在接收性能测量中,首先应定义衡量接收性能的指标,例如信噪比、误码率等,并定义信号灵敏度界定值。辅助通信设备给被测车辆发射信号,由被测通信功能模块接收信号,并根据接收性能指标给出接收信号质量的评估,如指标测量值优于界定值,调整辅助通信设备的发射电平,重复接收性能指标的测量,直到指标测量值接近界定值为止。整个测量过程应在所有采样点上进行,并参考 TIS 的计算公式,进行接收性能的计算。

TIS 的测量方法按以下步骤:

- a) 被测天线通过通信天线与无线通信综合测试仪进行通信连接,测量系统连接示意图如图 3 所示;

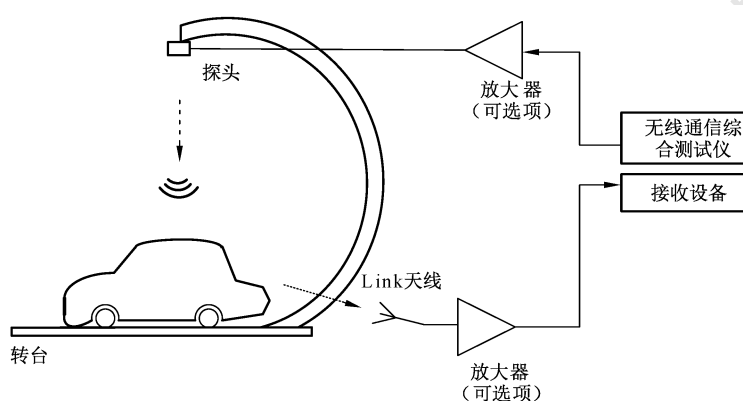


图 3 TIS 测量示意图

- b) 降低无线通信综合测试仪的输出功率,无线通信综合测试仪记录被测天线发送的误码率,误码率的置信度大于 95%;
- c) 调节无线通信综合测试仪的射频输出电平,使得被测天线的误码率在每一个测量点上达到期望值;
- d) 通过控制被测天线的位置,分别在 Theta ( $\theta$ ) 轴与 Phi ( $\varphi$ )轴间隔特定角度取测量点;
- e) 通过式(5)计算被测天线的 TIS 值:

$$\text{TIS} \cong \frac{2NM}{\pi \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} [1/\text{EIS}_{\theta}(\theta_i, \varphi_j) + 1/\text{EIS}_{\varphi}(\theta_i, \varphi_j)] \cdot \sin(\theta_i)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

## 4.3.4.2 NHPIS 测量方法

当测量的辐射灵敏度不为全球测量时,可计算部分角度的辐射灵敏度。

对于  $N=6$  间隔和  $M$  间隔均为均匀角距的完整球面时,近地平处  $\pm 45^\circ$  以上辐射灵敏度按式(6)计算:

$$\text{NHPIS}_{\pm 45} \cong \frac{2NM}{\pi \left[ \frac{\sqrt{2}}{16} (\text{cut}_1 + \text{cut}_5) + \frac{\sqrt{2} + 6\sqrt{3}}{16} (\text{cut}_2 + \text{cut}_4) + \text{cut}_3 \right]} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中,  $\text{cut}_i$  按式(7)计算:

$$\text{cut}_i = \sum_{j=0}^{M-1} \left[ \frac{1}{\text{EIS}_{\theta}(\theta_i, \varphi_j)} + \frac{1}{\text{EIS}_{\varphi}(\theta_i, \varphi_j)} \right] \quad \dots\dots\dots (7)$$

注： $\sin(\theta_i)$ 项已经计算到式(6)中。  
近地平处 $\pm 30^\circ$ 以上辐射功率按式(8)计算：

$$\text{NHPIS}_{\pm 30} \cong \frac{2NM}{\pi(\frac{\text{cut}_2 + \text{cut}_4}{2} + \text{cut}_3)} \dots\dots\dots (8)$$

式中， $\text{cut}_i$ 按式(9)计算：

$$\text{cut}_i = \sum_{j=0}^{M-1} [\frac{1}{\text{EIS}_\theta(\theta_i, \varphi_j)} + \frac{1}{\text{EIS}_\varphi(\theta_i, \varphi_j)}] \dots\dots\dots (9)$$

以上 OTA 测量不考虑近远场的测量条件,且不对测量结果进行近场-远场的算法转换。

5 AM/FM 接收天线的测量

5.1 测量要求

5.1.1 测量环境

- 被测天线应工作于以下环境：
- 温度： $-40^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$ ；
  - 相对湿度： $20\% \sim 75\%$ 。

5.1.2 测量场地

AM/FM 接收天线的调频广播工作频段为 87 MHz~108 MHz,且车辆体积较大,对测量环境的空间要求较大,应在开阔场进行 AM/FM 方向图的测量。

5.2 AM/FM 接收天线的方向图测量

5.2.1 测量设备

5.2.1.1 转台

转台可实现  $360^\circ$  旋转。

5.2.1.2 天线

- AM/FM 接收天线的方向图测量时使用的天线包括：
- 参考天线:进行校零测量时使用的天线。应使用方向图均匀分布的偶极子天线。
  - 发射天线:频率段覆盖被测天线频段的定向天线,天线的交叉极化隔离度小于 30 dB。

5.2.1.3 基本要求

测量使用的信号发生器、接收机或者矢量网络分析仪等测量设备和仪表应具有良好的稳定性、可靠性、动态范围和测量精度,仪器具备扫频工作模式,且仪器的可用频率范围应覆盖测量频率。

5.2.1.4 信号发生器

- 信号发生器应满足：
- 频率准确度： $\pm 0.3\% \sim \pm 0.43\%$ ；
  - 频谱纯度:谐波 $< -20\text{ dBc}$ ,非谐波 $< -50\text{ dBc}$ ；
  - 输出功率： $0\text{ dBm} \sim 30\text{ dBm}$ 。

## 5.2.1.5 接收设备

接收设备应满足：

- 灵敏度： $-110\text{ dBm} \sim -80\text{ dBm}$ ；
- 动态范围： $>50\text{ dB}$ ；
- 频率精度： $\pm 5 \times 10^{-6}$ 。

## 5.2.1.6 信号放大器

保证发射信号能达到一定功率。

## 5.2.1.7 矢量网络分析仪

矢量网络分析仪应满足：

- 分辨率： $1\text{ Hz}$ ；
- 频率精度： $\pm 5 \times 10^{-6}$ ；
- 信号源输出功率： $-55\text{ dBm} \sim 10\text{ dBm}$ ；
- 动态范围： $130\text{ dB}$ ；
- 测量带宽： $1\text{ Hz} \sim 30\text{ kHz}$ 。

矢量网络分析仪可代替接收机和信号发生器使用。

## 5.2.2 测量程序

## 5.2.2.1 参考天线校零

在进行参考天线校零时，垂直和水平两种极化方向都应进行校零，主要程序为：

- a) 整车位于测量场外，参考天线置于转台中间位置；
- b) 参考天线与接收机输入端连接，发射天线与信号源的输出端连接，如图 4 所示；
- c) 设定信号发生器测量频率点及发射强度；
- d) 以每一小刻度  $5^\circ$  转动转盘，从  $0^\circ$  刻度开始测量，读出此时接收机接收功率  $V_{\text{HT}0} (V_{\text{VT}0})$ ，并把数值记录在与之对应的方向图  $0^\circ$  刻度上，以  $5^\circ$  为步进进行测量，直到  $360^\circ$  停止，所测数据标记为  $V_{\text{HT}0} (V_{\text{VT}0})、V_{\text{HT}1} (V_{\text{VT}1}) \cdots \cdots V_{\text{HT}i} (V_{\text{VT}i}) \cdots \cdots V_{\text{HT}n-1} (V_{\text{VT}n-1})$ 。所测数据单位为  $\text{dBm}$ 。

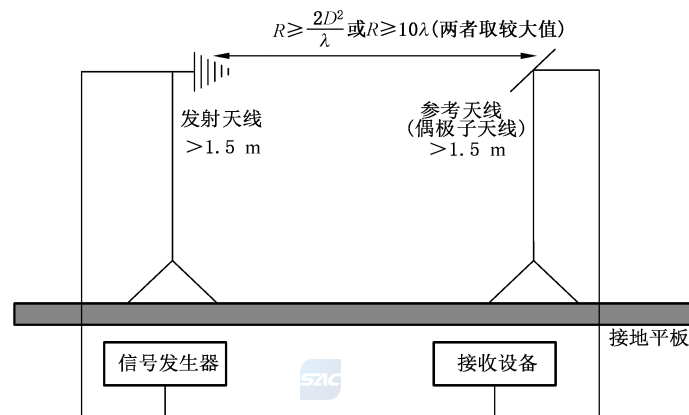


图 4 AM/FM 测量布置校准示意图

## 5.2.2.2 被测天线测量

被测天线测量时应满足以下要求：

- a) 确定发射天线的极化方向(垂直极化 VP、水平极化 HP);
- b) 将被测天线车辆放置于转台中间位置,发射天线架高在 1.5 m 以上,若车身高度小于 1.5 m,发射天线应尽可能与被测天线在同一平面上;
- c) 整车的被测天线与接收机输入端连接,发射天线与信号源的输出端连接,测量布置如图 5 所示;

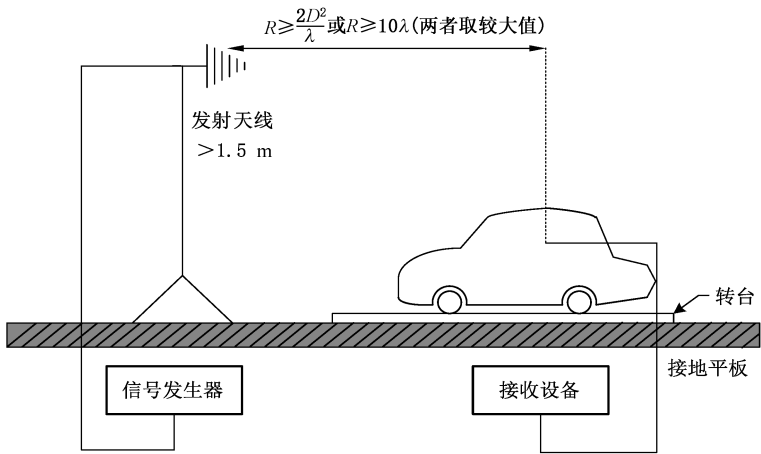


图 5 AM/FM 测量布置示意图

- d) 设定信号发生器测量频率点及发射强度,使其与校零时相同;
- e) 以每一小刻度 5°转动转盘,从 0°刻度开始测量,读出此时接收机上显示的数值  $V_{H0}(V_{V0})$ ,并把数值记录在与之对应的方向图 0°刻度上,以 5°为步进进行测量,直到 360°停止,所测数据标记为  $V_{H0}(V_{V0})$ 、 $V_{H1}(V_{V1})$ 、 $\dots$ 、 $V_{Hi}(V_{Vi})$ 、 $\dots$ 、 $V_{Hn-1}(V_{Vn-1})$ ;
- f)  $V_{Hi}(V_{Vi}) - V_{HTi}(V_{VTi})$  即为被测天线系统的增益,记为  $X_i$ ;
- g) 生成方向图。

注 1: 宜使用时域法减少地面反射来进行测量。

注 2: 如有需要进行方差计算。根据被测天线的增益值  $X_0$ 、 $X_1$ 、 $\dots$ 、 $X_i$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ ,使用式(10)~式(12)进行方差  $S^2$  计算,  $S^2$  值越小越好。  $X_i$  表示  $X_{Hi}$  或  $X_{Vi}$  :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (X_i - \bar{X})^2}{n} \dots\dots\dots (10)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} X_i}{n} \dots\dots\dots (11)$$

$$n = \frac{360}{d} \dots\dots\dots (12)$$

式中:  
 $d$ ——转台转动的刻度。

6 导航天线测量

6.1 测量要求

6.1.1 测量环境

测量环境应满足 5.1.1 中的通用要求。



### 6.1.2 测量场地

测量场地为开阔场或者微波暗室,任何能够满足开阔场或者微波暗室的场地都可能成为可替换的试验场地。

场地要求应满足附录 A 的通用要求。

## 6.2 导航天线近场 3D 方向图测量

### 6.2.1 测量设备

测量设备应满足 5.2.1.3 及以下要求:

- 转台精度:  $0.1^\circ$ ;
- 球面采样精度:  $0.1^\circ$ 。



### 6.2.2 球面近场机械扫描系统

#### 6.2.2.1 坐标系统

球面近场机械扫描系统有多种实现方式,每种实现方式均应提供俯仰( $\theta$ )、方位( $\varphi$ )、横滚( $\chi$ )三轴旋转。

图 6 描述了被测天线、探头最小球和相应的坐标系,  $A$  表示探头原点在待测天线坐标系下的径向位置。图 7 描述了球面近场的一般性配置。在测量球面  $(A, \theta, \varphi)$  的任意点,探头应指向球心并对两个正交极化采样。根据机械复杂程度,实际机械可由多种方式实现:被测天线固定,所有旋转由探头实现;被测天线两轴旋转,探头绕  $\chi$  旋转;被测天线一轴旋转,探头绕两轴旋转。若探头采用双极化探头,则不必绕  $\chi$  轴旋转,此时,要求探头的两个极化的方向图一致。

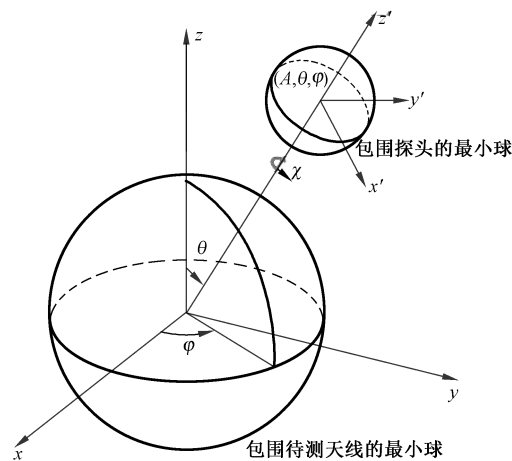


图 6 球面近场被测天线与探头坐标示意图

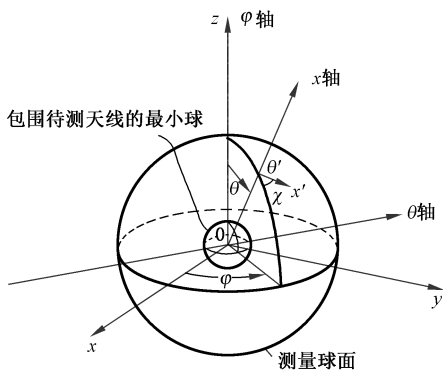


图 7 球面近场测量的一般性几何布局

6.2.2.2 射频子系统

射频子系统包括信号源、幅相接收机、探头、电缆及实现测量功能的其他射频设备和器件。在测量过程中,射频系统的短期和长期稳定性对测量精度至关重要,根据不同的测量要求配置不同射频系统。测量使用的设备和仪表应具有良好的稳定性、可靠性、动态范围和测量精度。

6.2.2.3 控制子系统

控制子系统包括实时时钟控制器、计算机和控制线缆等,实现各设备的协同控制。

6.2.2.4 测量软件

测量软件应具有数据采集与数据分析功能,并能实现方向图、增益、波束宽度、副瓣电平、波束指向、极化等测量。

6.2.2.5 标准增益天线

比较法是测量天线增益最常用的方法,应具备一根已知增益的标准天线。标准天线的精度直接影响被测天线增益的测量精度,因此,确定标准增益天线的增益是比较法的前提和关键。标准增益天线应具备以下特性:

- a) 天线的增益应精确已知;
- b) 天线的结构简单牢固;
- c) 天线应为线极化;
- d) 标准增益天线的增益要根据被测天线增益的高低来确定,近场测量时两者的增益比较接近为宜。

6.2.3 测量程序

6.2.3.1 标准增益天线校零

标准增益天线在校零时,程序主要为:

- a) 架设标准增益天线于转台上,并确定标准增益天线的最小包络半径  $R_{\min}$ ;
- b) 根据校准布置示意图连接射频线缆,如图 8 所示;
- c) 设置信号源和矢量接收机的测量频率、功率和中频带宽等参数;
- d) 设置  $\varphi$ 、 $\theta$  和  $\chi$  角扫描范围、采样间隔;
- e) 双极化测量探头实现  $\theta$  和  $\chi$  角的扫描,标准增益天线方位角度连续运动实现  $\varphi$  角的扫描,矢量

接收机采集测量信号幅度相位值,并记录为( $E_{\theta/\phi}$ ),分贝每度[dB/(°)];

f) 接收机采集测量信号幅度相位值,并记录为( $E_{\theta/\phi}$ ),分贝每度[dB/(°)]。

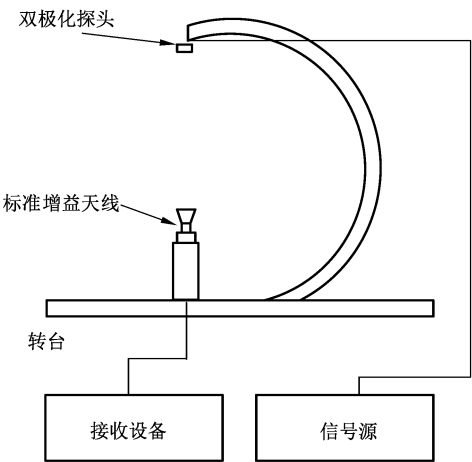


图 8 球面近场标准增益天线标校布置示意图

6.2.3.2 被测天线测量

被测天线在测量时,程序主要为:

- a) 架设被测天线于转台上,确定被测天线的最小包络半径  $R_{\min}$ ;
- b) 根据被测天线测量布置示意图连接射频线缆,如图 9 所示;
- c) 设置信号源和矢量接收机的测量频率、功率和中频带宽等参数;
- d) 设置  $\varphi$ 、 $\theta$  和  $\chi$  角扫描范围、采样间隔;
- e) 双极化测量探头实现  $\theta$  和  $\chi$  角的扫描,标准增益天线方位角度连续运动  $-180^\circ \sim +180^\circ$  实现  $\varphi$  角的扫描,矢量接收机采集测量信号幅度相位值,并记录为( $E_{\theta/\phi}$ ),分贝每度[dB/(°)]。

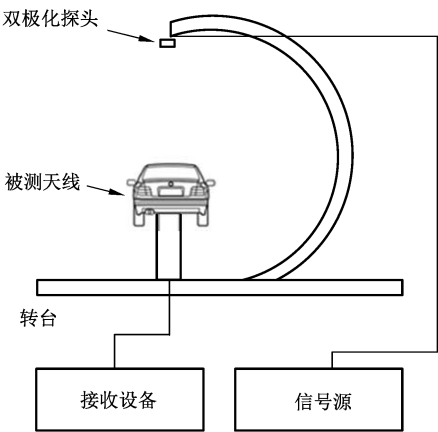


图 9 被测天线测量布置示意图

6.2.4 测量结果

导航天线方向图远场测量受到测量静区空间的限制,通常采用近场测量的方式进行测量,然后通过近场-远场转换的算法,推导出远场的测量结果。

参照附录 B,根据测量仪器测量的被测天线原始数据进行近远场变换,得到被测天线的远场方向图,后处理得到波束宽度,波束指向及交叉极化。

### 6.3 导航天线 OTA 性能测量

导航天线在 GNSS 工作模式下,按 4.3.4 进行 TIS 或 NHPIS 的测量。

## 7 车载毫米波雷达天线测量

### 7.1 测量要求

#### 7.1.1 测量环境

测量环境应满足 5.1.1 中的通用要求。

#### 7.1.2 测量场地

场地要求应满足附录 A 的通用要求。

#### 7.1.3 电源

利用交流电转换供电期间,电压在正常供电电压的基础上浮动 $\pm 10\%$ 或者配置不间断电源。

### 7.2 车载毫米波雷达天线方向图测量

#### 7.2.1 总则

在进行车载毫米波雷达天线的方向图或者 OTA 测量时,均应对毫米波雷达天线系统在模拟装车状态下进行测量。

车载毫米波雷达天线方向图可采用柱面近场或球面近场两种方法进行测量,测量系统均包括机械扫描系统、射频子系统、控制子系统、测量软件。

柱面近场和球面近场测量主要是机械扫描系统和测量软件的算法不一样。

#### 7.2.2 柱面近场测量法

##### 7.2.2.1 柱面近场机械扫描系统

柱面近场机械扫描系统是在圆柱面上采集数据,探头安装在 Z 轴向的直线导轨上,被测天线安装在坐标系中  $\varphi$  向旋转的方位转台上,如图 10 所示。

射频子系统、控制子系统、测量软件和标准增益天线要求见 6.2.2。



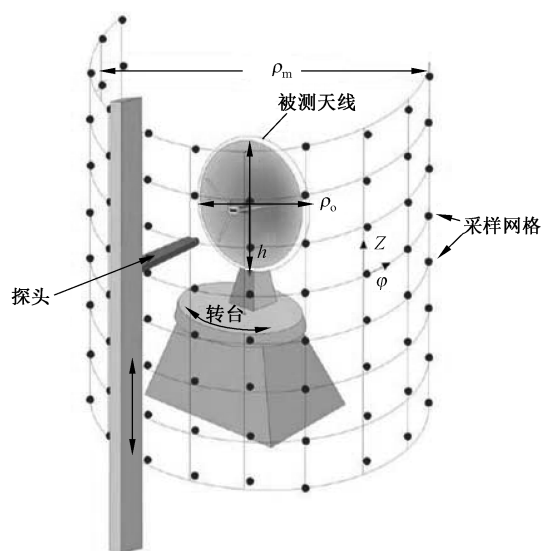


图 10 柱面近场被测天线与探头坐标示意图

#### 7.2.2.2 系统对准

测量探头一般安装在  $Z$  轴向的扫描架上沿垂线进行扫描,被测天线一般架设在一维方位转台上绕  $\varphi$  轴旋转一周,如图 11 所示。

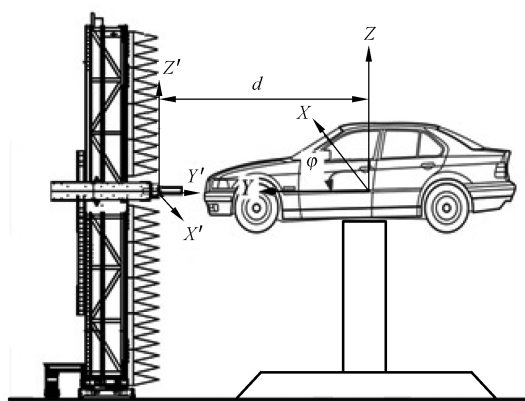


图 11 车载雷达柱面近场测量架设示意图

测量设备应调整扫描架彼此对准,可参考大地或是测量系统。探头运动的直线扫描轴  $Z'$  应至平行于方位转台的转轴  $Z$ ,并垂直于场地。方位转台在指定的扫描范围旋转时,转轴应保持稳定且平行于探头扫描轴。相对于轴  $Z$ , $\varphi$  的测量半径的调整精度应达到  $0.01\lambda$  量级,相对坐标系关系如图 11 所示。

典型的对准工具是经纬仪和激光跟踪仪。通常完整的扫描轴对准参考场地坐标,如使用场地中特殊定位的立方镜或是经纬仪靶标来保证扫描系统垂直。场地的标志点可固定于实体(如地板等)上的靶标。

安装好扫描架之后,应分别对准探头天线和被测天线。探头天线的  $Y'$  应垂直于直线扫描架的  $X'Z'$  平面,线极化探头的天线极化应调整到  $X'$  轴或  $Z'$  轴方向上,定位精度达到  $0.01\lambda$  量级。

被测天线相对于探头的对准由使用立方镜和(或)工具球的几何方法完成,如调整被测天线使其  $Z$  坐标平行于方位转台的转轴。

### 7.2.2.3 采样

根据奈奎斯特准则,相邻数据的采样间隔不应大于最高频率所对应波长的一半( $\lambda/2$ ),柱面扫描在方位向和Z向的采样间隔分别为 $\Delta\varphi=\lambda/\rho_o$ 和 $\Delta Z=\lambda/2$ ( $\rho_o$ 为最小圆柱直径,最小圆柱指以 $\varphi$ 轴为中心包围被测天线的最小圆柱)。

### 7.2.2.4 扫描区域

Z向扫描范围,所对应的有效角域范围与平面近场类似,可由式(13)给出:

$$\theta_{FF\pm} = \arctan[(L_{z\pm} - h/2)/d] \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

- $h$  ——包围待测天线最小圆柱的高度,单位为米(m);
- $L_{z\pm}$  ——向上和向下扫描的垂直距离,单位为米(m);
- $d$  ——被测天线和探头之间的距离,单位为米(m)。
- $L_{z+}$  和  $L_{z-}$  可不相等。

给定 $\varphi$ 向近场方位扫描的范围,对应的远场有效角域与球面近场扫描类似,可由式(14)给出:

$$\varphi_{FF\pm} = \varphi_{NF\pm} - \arcsin(\frac{\rho_o}{\rho_m}) \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

- $\rho_o$  ——最小圆柱直径,单位为米(m);
- $\rho_m$  ——测量圆柱直径,单位为米(m);
- $\varphi_{NF\pm}$  ——近场扫描的角域范围,单位为米(m)。

### 7.2.2.5 柱面近场测量程序

#### 7.2.2.5.1 标准增益天线校准

标准增益天线在校准时,程序主要为:

- a) 架设标准增益天线于方位转台上,确定标准增益天线的最小包络半径 $R_{min}$ ;
- b) 根据标校布置示意图12连接射频线缆,若标校77 GHz频段应使用扩频设备;
- c) 设置信号源和矢量接收机的测量频率、功率和中频带宽等参数;
- d) 设置 $\varphi$ 角扫描范围、采样间隔,测量探头Z方向的扫描范围、采样间隔;
- e) 测量探头实现Z方向的扫描,标准增益天线方位角度连续运动实现 $\varphi$ 角的扫描,矢量接收机采集测量信号幅度相位值,并记录为 $E_{z/\phi}$ ,分贝每度[dB/(°)]。

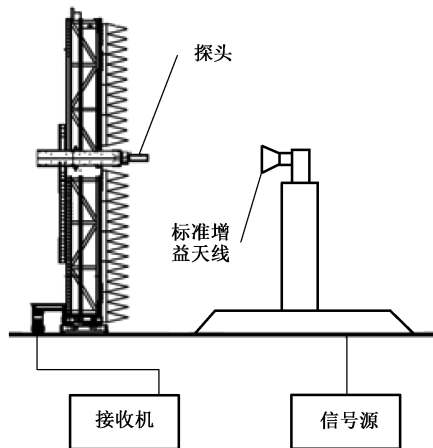


图 12 柱面近场标准增益天线标校布置示意图

#### 7.2.2.5.2 被测天线测量

被测天线在测量时,程序主要为:

- 架设被测天线于方位转台上,确定被测天线的最小包络半径  $R_{\min}$ ;
- 根据测量布置示意图 13 连接射频线缆,若标校 77 GHz 频段应使用扩频设备;
- 设置信号源和矢量接收机的测量频率、功率和中频带宽等参数;
- 设置  $\varphi$  角扫描范围、采样间隔,测量探头  $Z$  方向的扫描范围、采样间隔;
- 测量探头实现  $Z$  方向的扫描,被测天线方位角度连续运动实现  $\varphi$  角的扫描,矢量接收机采集测量信号幅度相位值,并记录为  $(E_{z/\phi})$ ,分贝每度  $[\text{dB}/(^{\circ})]$ 。

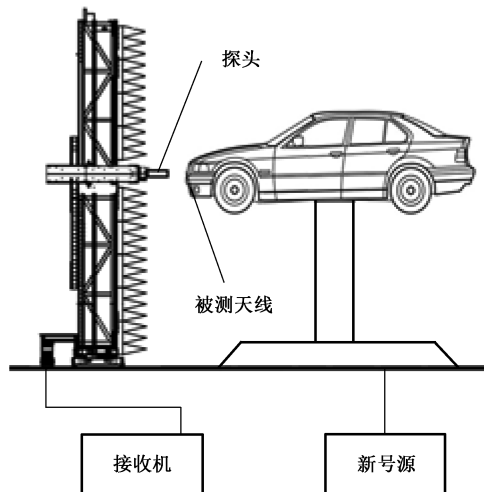


图 13 柱面近场被测天线测量布置示意图

### 7.2.3 球面近场测量法

#### 7.2.3.1 球面近场机械扫描系统

球面近场机械扫描系统坐标系见 6.2.2。

7.2.3.2 系统对准

测量探头一般安装在旋转臂、球形扫描架或圆环上进行扫描,被测天线一般架设在扫描球面的几何中心上。车载雷达天线测量时,扫描方式有两种:

- a) 被测天线架设在一维转台上绕  $\varphi$  轴旋转,将双极化探头安装在是旋转臂、球形扫描架上实现  $\theta$  角的机械扫描,  $\chi$  角的电子扫描,实现单探头快速扫描;
- b) 将双极化探头安装在是圆弧上实现  $\theta$  和  $\chi$  角的电子扫描,实现多探头快速扫描;如图 14 所示。

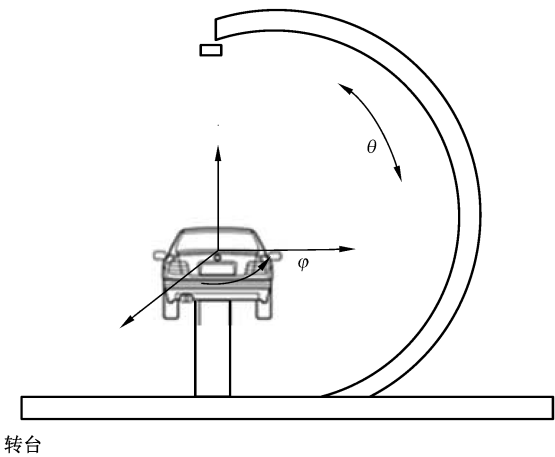


图 14 车载雷达球面近场测量架设示意图

测量系统搭建中被测天线的安装通常出于机械方面的考虑,包括机械系统本身或是待测天线的机械接口。被测天线移动和旋转的限制也会影响安装方式的选择。传统的被测天线指向为极点指向或是赤道指向,车载雷达的指向一般为赤道指向,如图 15 所示。

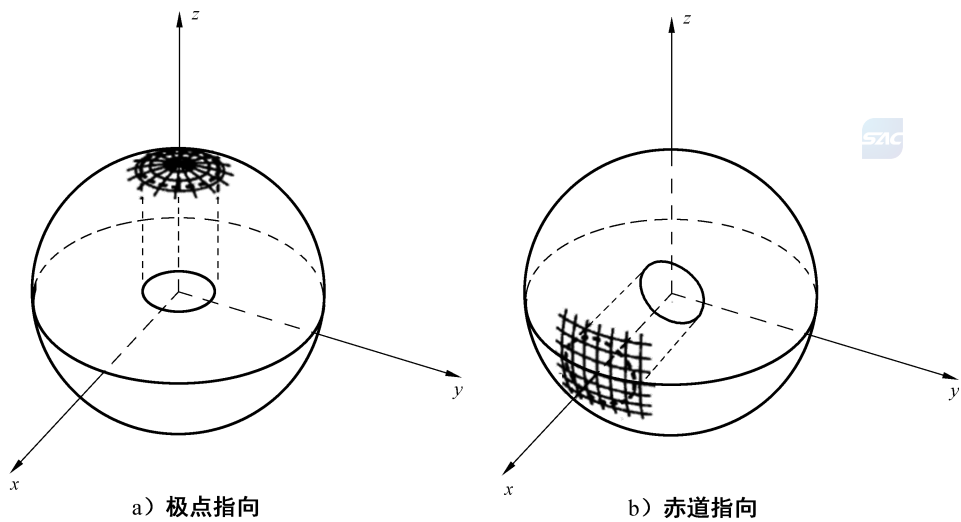


图 15 车载雷达球面近场测量坐标系中被测天线的指向

测量之前要系统对准,一般要求各轴彼此相交偏差应调整到约  $0.02\lambda$  ( $\lambda$  为波长),并且垂直通常要达到  $0.01\lambda$  量级。系统应具备可调整性,并配备便于对准的工具,如水平仪、经纬仪、反射镜、激光跟踪仪、光学靶标等。被测天线和探头的安装和拆卸应精确、可重复,各机械部件应稳定和坚硬,以确保测量探头和被测天线旋转时不严重影响之前的对准状态。

应特别考虑去除被测天线沿传送轴往返时转换环节传递给它的位置偏差,因为这将导致指向偏差。

应对所有天线的重力下垂进行补偿。

### 7.2.3.3 采样

使用快速傅里叶变换,  $\theta$  和  $\varphi$  角上应进行均匀采样, 若被测天线辐射场展开在  $N$  阶截断, 则使用式(15)计算采样间隔:

$$\Delta\theta = \frac{180^\circ}{N} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$N$  通常来源经验准则, 由式(16)给出:

$$N = [kr^0] + n_1 \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中:

$k$  ——波数,  $k = 2\pi/\lambda$ ;

$\lambda$  ——波长, 单位为米(m);

$r^0$  ——完全包围被测天线、圆心位于坐标系原点的最小球半径, 单位为米(m);

$[kr^0]$  ——对  $kr^0$  就近取整。

应注意, 最小球应包含会影响辐射方向图的所有天线支撑结构, 被测天线不必架设在球坐标系中心。 $n_1$  为整数, 取决于最小球内源的位置、待计算的场点至最小球的距离及所需要的精度。如果场点距离最小球大于几个波长,  $n_1 = 10$  对绝大多数应用都有足够的精度。

随着天线尺寸的增大, 精度要求的提高, 计算速度和能力提升, 修正的截断极限可按式(17)计算:

$$N = [kr^0] + \max(A \cdot \sqrt[3]{kr^0}, 10) \quad \dots\dots\dots (17)$$

$A$  为由精度需求确定的经验因子, 对于小天线最小值可取 10, 对于  $-80$  dB 的相对精度  $A = 3.6$ ,  $-100$  dB 时  $A = 5.0$ 。

$\varphi$  的最大采样间隔与  $\theta$  相同:

$$\Delta\varphi = \Delta\theta \quad \dots\dots\dots (18)$$

如被测天线具有一定的对称性时, 也可根据具体情况使用稍大的  $\Delta\varphi$ 。

对于指向赤道平面测量格点的定向天线, 应选择  $\Delta\varphi = \Delta\theta$ 。当投影在最小球  $r = r^0$  上, 采样间隔约等于  $\lambda/2$ , 与奈奎斯特采样准则一致。

### 7.2.3.4 扫描区域

若在完整的球面上扫描将不会有截断误差。然而, 在整个球面所对应的  $4\pi$  立体角内扫描工程上往往难以实现, 这将产生截断误差。而相应的远场也只在一定范围内有效, 远场有效角域由式(19)确定:

$$\theta_{\text{FF}\pm} = \theta_{\text{NF}\pm} - \arcsin\left(\frac{r_0}{R_m}\right) \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

$r_0$  ——包围被测天线的最小球半径, 单位为米(m);

$R_m$  ——测量球半径, 单位为米(m);

$\theta_{\text{NF}\pm}$  ——近场扫描所覆盖的角域范围。

### 7.2.3.5 球面近场测量程序

按 6.2.3 进行测量。若测量 77 GHz 频段应使用扩频设备。

### 7.2.4 测量结果

参照附录 B, 根据测量仪器测量的被测天线原始数据进行柱面或是球面近远场变换, 得到被测天线的远场方向图, 后处理得到波束宽度, 波束指向及交叉极化; 根据标校天线的的数据, 计算获得被测天线的

增益。

7.3 车载毫米波雷达天线 OTA 测量

车载毫米波雷达天线在进行 OTA 性能测量时,按 4.3.3 进行 TRP 或 NHPRP 的测量。

8 数字广播天线测量

8.1 卫星数字广播天线方向图的测量

因数字广播天线与 AM/FM 天线具有相同的辐射特性,它的方向图可按 5.4 章节进行测量。

8.2 卫星数字广播天线 OTA 的测量

卫星数字广播天线进行 OTA 性能测量时,可按 4.3.4 进行 TIS 或 NHPIS 的测量。

9 无钥匙天线测量

9.1 无钥匙天线方向图的测量

因无钥匙天线与 AM/FM 天线具有相同的辐射特性,它的方向图可按 5.2.2 进行测量。

9.2 无钥匙天线 OTA 的测量

无钥匙天线进行 OTA 性能测量时,可按 4.3.3 进行 TRP 或 NHPRP 的测量,或者按 4.3.4 进行 TIS 或 NHPIS 的测量。

10 测量报告

测量结果应记录在一份综合的测量报告中,表 2 给出了要求的所有条目的摘要清单。该测量报告应具有以下细节以提供测量可重复性:

- a) 通用信息,包括:
  - 1) 通用信息应包括测量所在的地点、负责的(能承担责任)的所有者等;
  - 2) 如果场地确认是由其他方或组织进行的,应给出该方或该组织的信息;
  - 3) 应借助绘图、照片、部件号码等方式描述测量的配置,包括其辅助设备;
  - 4) 另外还应给出进行测量的日期,在报告的封面还应有报告的编制者和授权人的姓名及其签名。
- b) 有效期和限制条件的评估,在对车载天线进行测量之前,应证明场地的有效期,并明确声明有哪些特别的环境条件、配置条件或者限制条件。
- c) 测量布置,包括:
  - 1) 无论在检查还是在测量中,都应对每一条规范性要求的条目进行核查,以确定是否符合要求。
  - 2) 不同类型天线的测量程序,应在测量报告中给出。若对测量布置有调整,也应在报告中注明。

表 2 测量报告清单

条目		备注
a) 通用信息	测量地址、所有者	
	测量所用场地的相关信息	
	测量报告的责任人或组织者的地址、电话传真、电邮	
	测量报告相关责任人或组织方的签名	
	测量过程中使用的配置和辅助设备的一般描述	可使用照片、绘图和部件号以便于标识和描述
b) 有效期和限制条件的评估	限制条件和配置的识别	
c) 测量布置	确认测量布置的详细描述	
	特殊测量布置的描述	



附录 A  
(规范性附录)  
测量场地要求

A.1 基本要求

车载天线的辐射参数和 OTA 参数的测量要求在开阔场或者微波暗室中进行,任何能满足开阔场或者微波暗室的场地都可能成为可替换的试验场地。

试验场地应满足以下要求:

- a) 净空间尺寸应满足测量设备和被测天线安装架设和扫描采样的空间需求;
- b) 扫描静区的范围应大于或等于包含被测天线的最小球体;
- c) 沿静区水平轴线方向移动被测天线时接收信号起伏不超过±2 dB,沿静区垂直于地面的同一平面上下、左右移动被测天线时接收信号起伏不超过±0.3 dB;
- d) 确保来自外部物体的反射不影响测量结果。

A.2 开阔场要求

开阔场应满足以下要求:

- a) 测量场地应是一个没有电磁波反射物的空旷场地,应避开建筑物、电力线、篱笆和树木等,并应远离地下线缆、管道等;
- b) 若测量场地使用气候保护罩,则气候保护罩应能保护包括被测天线及系统在内的整个试验场地,所用材料应具有射频透明性,以避免造成不需要的反射;
- c) 宜使用金属接地平板的测量场地,可使用时域法消除地面反射,测量设施和测量人员都应在无障碍区之外;
- d) 对于旋转组件位于接地平板下的转台,旋转表面应与接地平板齐平,并将其与接地平板导电连接;
- e) AM/FM 方向图远场测量场地的指标要求如表 A.1 所示。

表 A.1 AM/FM 方向图远场测量场地的要求

类别	测量场地指标要求
远场测量条件	$R \geq 2D^2/\lambda$ 或 $R \geq 10\lambda$ (两者取较大值) $R$ —— 测试距离,单位为米(m); $D$ —— 被测天线的口径,单位为米(m); $\lambda$ —— 频率对应的波长,单位为米(m)
场地大小	对于 FM 方向图,场地的最小尺寸为 50 m×20 m(长×宽)
其他	测量区域顶部无具有反射特性的防护罩

A.3 微波暗室要求

对于微波暗室,除满足 A.1 的基本要求外,还应满足以下要求:



- a) 测量中使用的微波暗室屏蔽效能应大于 105 dB,如图 A.1 所示;
- b) 测量中使用的微波暗室回波损耗在 300 MHz 以下时,应大于 25 dB;在 300 MHz 以上时,应大于 30 dB,如图 A.1 所示。

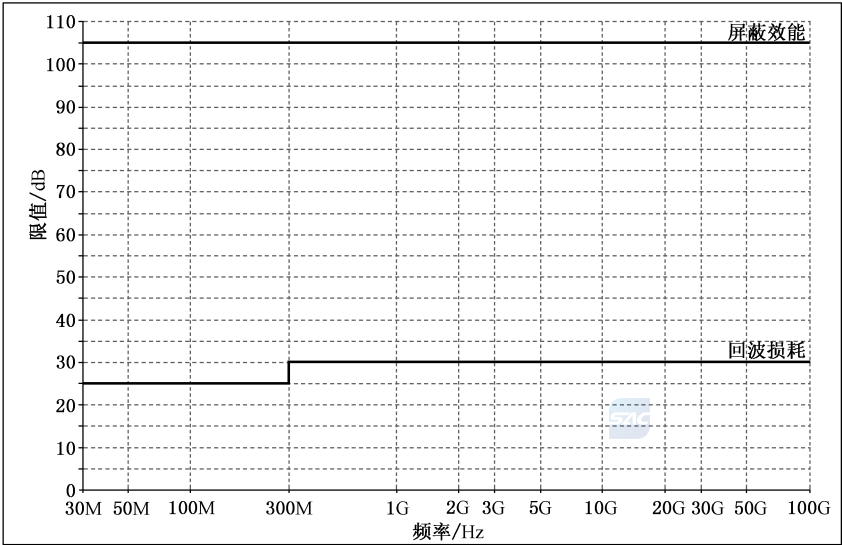


图 A.1 暗室屏蔽效能和回波损耗限值

## 附 录 B

### (资料性附录)

### 经典探头补偿近远场换算

探头沿扫描架移动时能从不同方向看到被测天线中心。而且,在固定位置探头可从不同方向看到被测天线的每个部分。因此,无法通过不带探头补偿的近远场变换由近场测量数据准确恢复出天线远场。

探头补偿近场柱面测量基本理论是基于洛伦兹互易定理的应用提出的,它们严格证明了,被测天线辐射场的柱面波展开中的模式系数  $a_n$  和  $b_n$  与以下有关:

- a) 两组独立测量的探头输出电压的二维傅里叶变换,探头在第二组测量中沿其纵轴旋转  $90^\circ$ ;
  - b) 当探头用作发射天线时,探头和旋转探头的辐射场的柱面波展开系数。
- $a_n$  和  $b_n$  由式(B.1)~式(B.6)给出:

$$a_n(\gamma) = \frac{k^2}{\Lambda^2 \Delta_n(\gamma)} \left[ I_n(\gamma) \sum_{m=-\infty}^{\infty} d'_m(-\gamma) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda d) - I'_n(\gamma) \sum_{m=-\infty}^{\infty} d_m(-\gamma) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda d) \right] \quad \cdots (B.1)$$

$$b_n(\gamma) = \frac{k^2}{\Lambda^2 \Delta_n(\gamma)} \left[ I'_n(\gamma) \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_m(-\gamma) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda d) - I_n(\gamma) \sum_{m=-\infty}^{\infty} c'_m(-\gamma) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda d) \right] \quad \cdots (B.2)$$

式(B.1)和式(B.2)中:

$k = 2\pi/\lambda$ ;

$n$  ——一个整数;

$\gamma$  ——一个实数;

$\Lambda = (k^2 - \gamma^2)^{\frac{1}{2}}$ ;

$$I_n(\gamma) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} V(\varphi, z) \exp(-jn\varphi) \exp(j\gamma z) d\varphi dz \quad \cdots \cdots \cdots (B.3)$$

$$I'_n(\gamma) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} V'(\varphi, z) \exp(-jn\varphi) \exp(j\gamma z) d\varphi dz \quad \cdots \cdots \cdots (B.4)$$

式(B.3)和式(B.4)中:

$V, V'$  ——  $(d, \varphi, z)$  点处探头和旋转探头的复输出电压,单位为伏(V)。

$$\Delta_n(\gamma) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_m(-\gamma) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda d) \sum_{m=-\infty}^{\infty} d'_m(-\gamma) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda d) - \sum_{m=-\infty}^{\infty} c'_m(-\gamma) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda d) \sum_{m=-\infty}^{\infty} d_m(-\gamma) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda d) \quad \cdots \cdots \cdots (B.5)$$

式(B.5)中:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} H_{n+m}^{(2)}(x) = \sqrt{\frac{2j}{\pi x}} j^{n+m} \exp(-jx) \quad \cdots \cdots \cdots (B.6)$$

在经典方法中,傅里叶变换积分  $I_n$  和  $I'_n$  可用快速傅里叶变换高效计算;根据采样定理,近场数据按等间距得到。与探头和旋转探头相关的模式系数  $(c_m, d_m)$  和  $(c'_m, d'_m)$  可从它们辐射的远场分量的幅度和相位计算得到。只要确定了  $a_n$  和  $b_n$ ,电场远场分量可由式(B.7)计算得到:

$$E(R, \theta, \varphi) = \frac{-2k}{R} \exp(jn\varphi) \exp(-jkR) \cdot \sin\theta \sum_{m=-\infty}^{\infty} j^n [a_n(k \cos\theta) \bar{\varphi} + j b_n(k \cos\theta) \bar{\varphi}] \quad \cdots \cdots (B.7)$$

式中:

$(R, \theta, \varphi)$  ——被测天线远场的球面坐标。

球面场的近远场方向图转换可参照以上方法进行计算。

### 参 考 文 献

[1] CTIA—The Wireless Association—2019 Test Plan for Wireless Device Over-the-Air Performance Method of Measurement for Radiated RF Power and Receiver Performance

[2] EN 302 858-1 V1.2.1 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM)—Road Transport and Traffic Telematics (RTTT)—Short range radar equipment operating in the 24,05 GHz to 24,25 GHz frequency range for automotive application—Part 1: Technical characteristics and test methods

[3] IEEE Std 1720<sup>TM</sup>-2012 IEEE Recommended Practice for Near-Field Antenna Measurements

---

