

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R SM.2097-0 建议书
(08/2016)

**固定测向系统测向精度的
现场测试程序**

**SM 系列
频谱管理**



国际电信联盟

前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策（IPR）

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

ITU-R 系列建议书

（也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>）

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	词汇和相关问题

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2017年，日内瓦

© 国际电联 2017

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R SM.2097-0 建议书

固定测向系统测向精度的现场测试程序

(2016)

范围

本建议书为固定测向系统在最终使用地点，进行测向精度测试的标准方法及如何进行结果表述提供指导。它可以作为测向系统在最终使用地点安装后，对监测服务进行现场验收的一部分。

关键字

测向系统测向精度，现场测试，真实环境

相关国际电联建议书，报告

ITU-R SM.2060号建议书

ITU-R SM.2125号报告

注 – 在任何情况下均应采用建议书/报告的最新版本。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) ITU-R已经在2011版的频谱监测手册中发布了测向系统测向精度¹的典型定义；
- b) 频谱监测手册参考了ITU-R SM.2125报告《H/V/UHF频段监测接收机和监测站参数和测量程序》，在此报告中定义了测向精度，并提供了一些相关的测试程序；
- c) 测向系统测向精度指标与所采用的测试程序密切相关；
- d) 测向系统技术手册中的指标通常反映的是系统在理想测试条件下的性能，并不包括在最终安装地点的障碍物、反射信号和干扰信号的影响；
- e) 测向系统在现场环境下测向精度的测试受周围环境²的影响非常大，还有信号特征（信号强度，信号调制包括相位和时间变化信号，信号循环周期，信号极化方式和信号持续时间）、测向系统的测向积分时间等；
- f) 基于测试任务的需要，这些特定条件中的一个或多个的重要性可以加强或减弱，甚至在某些情况下可以忽略。

¹ 基于本建议书讨论的主要目的，“测向精度”是指测向系统对于来自水平方向信号的示向度精度，而不考虑来自于其他倾斜角度的信号如天波。

² 在现实操作环境中，信号多径传播情况可能简单也可能复杂，可能是静止的也可能是随时间变化的，也会因为周围环境的不同而不同。即使在同一地点，这种情况也会由于测向天线的高度不同而发生改变。

g) 测向系统最终使用场地和安装情况将直接影响其测向精度性能和完成特定监测任务的适用性。

建议

应当采用附件1中的测试程序，对安装在最终使用场地的测向系统进行测向精度的测试，并报告测试结果。

附件1

1 介绍

本建议书提供了用于评估在实际电磁环境中的测向系统，其测向精度的通用测试方法。在设备制造商技术手册中标注的测向精度的性能，是在干净、可控的接收环境中测试的（如ITU-R SM.2060号建议书所描述的），本建议书中所描述的测试用于评估测向系统在最终使用场地安装后的测向精度。这种环境包括以下影响：来自周围建筑和障碍物、来自附近或移动物体的反射以及在某些情况下存在的强射频信号。

在干净、可控环境下为对测向精度指标进行比较所开展的性能测试，能得出好的结果。但是，如果此结果不能与系统在实际使用环境下的性能相一致，则系统的适用性将降低。因此，建议对安装在实际使用环境下固定测向系统测向精度进行测试和分析时，要采用定义好的测试程序，特别是此测试作为系统验收测试的一部分时。

很显然，由于受实际电磁环境的影响，在实际操作环境下测试得出的测向精度指标可能会比在技术指标手册中的数据要差。然而，在实际环境下测试所得的测向误差是否可以（部分可以）进行补偿（如修正表），将取决于系统的设计。

应当指出的是，由于测向系统安装环境的唯一性，因此即使是相同类型的测向系在不同的电磁环境下，依据本建议书所描述的测试方法所进行的测向精度的测试，其结果也是不同的，因此不能够简单的将测试结果转化为其他测向系统的测试数据。

还应当指出的是，本建议书的测试程序并不是试图描述验收测试的全部内容。尽管本建议书构成了验收测试的基础部分，通常用户会基于他们的覆盖范围和性能目标，对验收测试有更详细的特定需求。

建议采用以下两种方式进行测试：（1）测试中使用信号发生器，控制它的发射频率和发射地点，发射CW信号，调整其强度，使其在被测系统接收地点的SNR值不低于20dB。（2）使用存在且已知的广播发射机或其他已知且位置固定的发射机（称为“临时目标”），他们所发射的信号电平和调制方式可能不同，这些临时目标所发射的信号到被测系统地点的SNR值只有在不低于系统生产厂家声明的最小值的情况下，该临时目标信号才可用于测试。

2 测试设置

测向系统应在安装地点的实际环境下进行测试，该地点应是购买此测向系统的主管部门的使用地点。“厂内操作测试”可以作为替代方案，但是应当尽可能在和系统预计最终使用地点的实际环境相一致的环境下开展测试。

决定测试覆盖范围

在测向精度测试之前，应当分析完成测试所使用的信号发生器、已知的广播电台和其他已知位置的发射机（称为临时目标）的覆盖范围。合适的临时目标必须能够输出稳定的功率，能够在测试过程中提供满足测试所需要的SNR。在基于需要的发射功率、频率、调制方式和发射位置均已知情况下，可以使用仿真工具来分析覆盖范围。这个分析将对规划测试信号发生器的位置和选择临时目标提供帮助。

测试发射机输出功率考虑

对于可控的测试发射机，测试所发射的CW信号应当有发射足够高的功率以使测向系统接收到的信号SNR值在20dB或更高，但是如果主管部门和设备制造商双方达成一致，也可以使用获得指定测向精度的最小SNR信号（应在设备制造商的文件中说明）来开展测试。对于临时目标信号，应当使用发射信号调制类型和信号电平符合要求的，但如果发射的信号其SNR值小于设备制造商规定的最小值时，则这个临时目标将不能作为测试发射机使用。

测试发射机及发射天线考虑

应当根据现场评估情况和测试需要准备测试所需设备。测试设备包括能够产生覆盖目标测试频率范围的发射机，同时所发出的信号功率能够符合测试接收所需要的SNR值。测试设备（包括发射机、发射天线等）均应校准以确保数据有效。

为了尽可能精确模拟实际应用环境，建议应使用全向天线连接发射机进行测试。但是，如果双方达成一致，为了特定的测试目的时，也可以使用定向天线。这种情况应在测试结果中标注。

测试发射机位置

测试设备应当放置在装有全球定位系统的车辆上，并且要有合适的电源供应（测试车辆上）。车辆将会沿着道路，在经过计算后的系统覆盖区域范围内的测试点上移动，以便在360度范围内至少得到8个均匀分布的测试角度值（每个象限2个测试点）³。测试点和被测测向系统之间应是直射波。任意两个测试角度之间的差值应不小于30度。当这种测试发射点的选择在实际场地中不能满足时，也可以采用其他方式的测试点分布，但要保证每个象限有2个测试点，同时要覆盖感兴趣的区域。

要至少选取8个测试点。8个测试点应分布在测向系统覆盖范围内的不同测试距离上，从接近中心位置到覆盖范围的边缘位置。最长距离的测试点应在测向系统覆盖区域的边缘，并且要确保测向系统接收的SNR为20dB。对于距离较近的测试点，只要保证符合远场条件即可。测试点可以由主管部门选取。同样，如果设备制造商和主管部门之间达成一致，也可以增加测试点，这样主管部门将会对该系统在实际环境中的性能表现有更好的了解。

³ 对于覆盖360度范围的测向系统，此测试点选择方式是最佳的情况。在测向系统计划覆盖的象限较少时，可以对测试点的选取方式进行调整。

测试发射频率选择

应当在测试频率范围内均匀选择测试频率。但是，测试频率应当和之前确定的“临时目标”信号之间保持足够的距离（在频率上），以确保测得测试发射机的示向度结果不受临近“临时目标”信号的影响⁴。测试频率可以按照ITU-R建议书 SM.2060提供的方法选择（最终测试频率的数量可能会因受到频率执照或其他因素的影响，而比较有限）。

测试发射机调制设置

测试中应当使用测试发射机发射的非调制信号（CW）或是上文所述的“临时目标”进行测试。临时目标信号应当包括模拟信号和数字信号的典型调制方式，该信号应是安装后的测向系统能够接收到的典型信号，同时也是现实环境中存在的典型信号⁵。

如果测试所使用的是非调制信号（CW），则测向带宽应与ITU-R建议书 SM.2060规定的数值相一致。如果测试所使用的是模拟调制或数字调制信号，则测向带宽应当根据信号带宽进行调整。

测试设置报告

所有的测试设置（测试信号强度用 $\mu\text{V/m}$ 表示、测试信号类型、测向带宽、测试点角度、测试距离、天线类型等）均应当在测试报告中注明。

3 测试程序

测试车辆行驶到第一个测试地点。应当使用全球定位系统来确定测试地点的精确位置，并计算位于该地点的测向系统相对于测试发射机的真实示向度。建立测试发射机相对于测向系统的角度（真实示向度）精度时，应当选择至少0.1度（RMS）或是测向精度的十分之一这两个数值当中要求更加严格的数值，计算时所考虑的置信水平为95%。

调整测试发射机发射的信号电平，以确保在测向天线处接收到的测试信号信噪比SNR值至少有20dB或更高，如果主管部门和设备制造商之间达成共识，则可以在设备制造商所宣称的能够获得一定测向精度的信号场强值所对应的SNR值下开展测试。此外，在打开测试发射机发射测试信号前，要验证所选择的测试频率是空闲的，也就是说在测向系统安装地点，在此频率上接收不到其他信号。

读出测向系统所给出的示向度并记录在测试数据表中。测试应在不同的频率之间反复进行。当在某一测试地点所有的测试频率均完成测试后，测试车辆应移至下一个测试地点，重复以上测试步骤。该测试一直重复进行，直到在所有的测试角度上均完成测试时才停止⁶。

4 在实际中，同一频率范围内可能会出现多个信号，因此要得到某个信号或某种调制类型的信号可能会比较困难。需要认真选择，避免这种情况或一些例外情形的出现。

5 如主管部门和设备制造商之间达成共识，则可以选择某些类型的调制信号开展测试。

6 这种重复性的测试可以使用软件来控制发射机和测向系统、收集数据和报告结果，这样测试效率就会显著提高。

除了使用测试发射机进行测试外，测向系统对“临时目标”信号所给出的示向度数值也可以使用并将结果记录在数据表中，同时记录其真实的示向度数值。对于使用临时目标信号开展的测试，接收测试信号的SNR值以及测试信号的调制方式均要记录在表格中。

表1为该测试结果的一个示例，是使用CW信号作为测试信号的。对于使用临时目标信号作为测试信号的，其记录表格和此类似，只要添加表示SNR值和调制类型的列即可。

表1
测试数据记录样表

信号调制类型_____信号极化方式_____

编号	真实	频率 1		频率 2		频率 3		频率 4		频率 M	
	角度	DF	Δ								
1	1°										
2	28°										
3	77°										
8	354°										

注： Δ 是每次测量时的示向度误差值。它可以通过计算真实角度和测向系统显示的示向度之间的差值得出。

4 测试数据分析

如果测试是在真实的操作环境下进行的，并且是作为验收测试的一部分，则应保留测试数据记录表中的每一项数值。这些数据可以作为使用者建立更加综合性的校准数据表的基础，可用于今后对示向度误差值的校准补偿⁷。

如果测试是在“工厂操作测试”环境下进行的，则对在每一个测试角度、测试频率上所得出的测试数据，可以产生一个平均数值对测向结果进行补偿，如果应用到调制信号，则最多可以将10%的测试数据作为统计异常值（异常数据）予以放弃。

对每一频率范围内示向度误差的有效值或RMS值（均方根值） Δ_{RMS} ，可以通过下列公式计算样本（除去异常数据）的均值得到：

⁷ 对安装之后的测向系统，建立合理的校准表格需要对额外的角度和频率开展测试。

$$\Delta_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta_i^2}$$

这里：

N : 测试的次数

为了保证结果的可靠性，以下要求需特别注意：

- a) 如果为放弃此类数据制定了合适的流程或程序，则可因实际操作问题，最多放弃测向系统覆盖区（方位角）内10%的测试数据。
- b) 放弃的数据应当在测试报告中列出。测向系统公布的测向精度指标应是排除了异常数据之后使用所有测试数据计算出的RMS值。

5 HF测向系统测试的额外考虑

对于HF频段测向系统测向精度的测试需要面对更多的限制：

- 由于HF频段信号的波长较大，为了满足远场条件，发射机和接收机之间需要较大的物理距离；
- 大气噪声电平不受控制（根据太阳活动、白天或晚上以及其他可变因素），它通常比测向系统的系统噪声高很多，因此测试时需要最小20dB信噪比的条件将可能很难保证。

对于HF频段测向系统测向精度的测试应与VHF/UHF频段测向系统测向精度的测试大致相同，除了以下几点：

- 发射机可以是参数（方位角、电平等）已知的实际的广播发射机；
- 可以在符合远场条件的已知点上，使用安装在车辆上的HF发射机；
- 测试角度的数量可能会受到地理位置或其他因素的限制；
- 本建议书描述的对HF频段测向系统测向精度的测试只考虑地波信号，对于其他方面的测试需要对天波信号进行评估。

6 测试结果示例

测试结果应当根据测向天线的物理频段划分范围分别进行表示，对于临时目标信号，测试信号的调制方式、测向带宽和其他设置也应分别表示。

考虑到测向系统是由两组测向天线组成，可依据本标准定义最小测试数量的测试：

- a) 80 MHz 至1300 MHz频率范围的天线
 - 360度范围内均匀分布8个测试角度。
 - 13个测试频率点，在操作范围的第一个倍频程内（80 MHz 至90 MHz）2个测试频率点，在第二个倍频程内（从100 MHz 至900 MHz）9个测试频率点，在第三个倍频程内（1000 MHz 至1300 MHz）2个测试频率点。
 - $N_t = 8 \times 13 = 104$ 对每一个非调制载波测试点数。
 - N_0 =对临时目标信号的模拟和数字调制方式而开展的实际测试数量。
 - 总计 $N = N_t + N_0$ 。

- b) 1300 MHz 至 3000 MHz 频率范围的天线
- 360度范围内均匀分布8个测试角度。
 - 由于频率范围不能包含一个完整的对数倍频程（1300、1640、1980、2320、2660、3000 MHz），因此最少需要5个测试频率点。
 - $N_t = 8 \times 5 = 40$ 对每一个非调制载波测试点数。
 - N_0 = 对临时目标信号的模拟和数字调制方式而开展的实际测试数量。
 - 总计 $N = N_t + N_0$ 。

基于实际测试数据的报告可以表示如下：

- 测向精度： $\leq 2.5^\circ \text{RMS}$ (80MHz 至1300MHz，测试依据建议书ITU-R SM.2097-0)；
 - 测向精度： $\leq 2.0^\circ \text{RMS}$ (1300MHz 至3000MHz，测试依据建议书ITU-R SM.2097-0)。
-