

## ITU-R SM.1753 建议书

**无线电噪声测量方法**

(ITU-R 1/45 号研究课题)

(2006)

**范围**

为进行无线电噪声测量，需要一种与频率无关的通用测量方法，以便让不同测量系统得到的测量结果具有可比性、准确性和可重复性。本建议书提供了一套测量过程或者步骤，这些过程或者步骤应与测量程序有机结合，以便得到的结果具有可比性。

国际电联无线通信全会，

考虑到

- a) 因为采用了新的无线电通信系统（例如超宽带（UWB）和电力线通信（PLC）），ITU-R P.372 建议书中规定的无线电噪声电平可能会提高；
- b) 为了有效地进行频谱管理，主管部门需要知道确切的噪声电平；
- c) 为使多次测量的结果能够相互比对，有必要调整测量方法，

注意到

- a) 《频谱监测手册》中包含大量关于监测和测量设备的信息；
- b) 对于噪声测量，有必要提出其他的接收机规范，

建议

- 1 应按照附件 1 所述的要求开展无线电噪声测量。

**附 件 1****无线电噪声测量方法****1 引言**

本附件描述了在实际无线电应用中与频率无关的无线电噪声测量方法。

## 2 无线电噪声的特征

根据 ITU-R P.372 建议书中的定义，无线电噪声是来自于多个发射源的无线电发射总和，并且这些发射不是来自无线电发射机。在给定测量地点，如果没有单一的噪声源占主导，那么无线电噪声在幅度上服从正态分布，此时无线电噪声可以看做高斯白噪声。如果信号来自于单一信号源，例如脉冲和连续载波，那么这种情况则不在本建议书所讨论的无线电噪声测量范围内，应不予考虑。

## 3 设备规范

### 3.1 接收机

测量接收机可以是标准的可搬运测量接收机，也可以是满足一些额外条件的频谱分析仪，例如设备的本底噪声低、频率与增益稳定性高，这些条件对于噪声测量都必不可少。表 1 并未说明一组新的测量接收机规范，而只是指出了用于无线电噪声测量的接收机必须具备的附加要求或特定要求。

表 1  
接收机

功 能	频 率 范 围		
	9 kHz-30 MHz	30-500 MHz	0.5-3 GHz
频率范围	9 kHz-30 MHz	30-500 MHz	0.5-3 GHz
输入驻波比 (天线输入端)	50 Ω, 标称值 < 1.5		
三阶截断点 (dBm)	≥ 20(> 3 MHz)	≥ 10	≥ 0
二阶截断点 (dBm)	≥ 60(> 3 MHz)	≥ 50	-
预选器	一套亚倍频程滤波器 或者追踪滤波器	追踪或者固定滤波器 低通/高通滤波器	
噪声系数	15 dB(> 2 MHz)		
灵敏度 (500 Hz 带宽) (dBμV)	-10	-7	-7
本振相位噪声 (dBc/Hz)	-120 10 kHz 偏置频率	-100 10 kHz 偏置频率	-100 10 kHz 偏置频率
中频抑制 (dB)	> 80	> 90	> 100
镜频抑制 (dB)	> 80	> 90	> 100
自动增益控制 (AGC)	测量输出应不使用 AGC		
测量设备的电磁 兼容性, 包括 (dB) 计算机和接口 (dB)	测量设备产生和接收到的所有干扰信号应低于被测噪声平均值 至少 10 dB		

为计算等效噪声带宽，应准确知道接收机的中频选择性（6 至 60 dB），这样才能比较不同中频滤波器条件下的测量结果。

### 3.2 低噪声放大器 (LNA)

当频率 > 20 MHz 时，必须使用低噪声放大器。

如果采用均方值检波方式，为保证测量准确度设备本底噪声应至少低于所测量的噪声 10 dB。低噪声放大器可以帮助实现这个目标。表 2 给出了这类低噪声放大器的技术要求。表 2 并未说明一组新的测量接收机或 LNA 规范，而只是指出了用于无线电噪声测量的 LNA 必须具备的附加要求或特定要求。

表 2  
低噪声放大器

功 能	频 率 范 围		
	20-50 MHz	50-500 MHz	0.5-3 GHz
输入驻波比 (天线输入端)	50 Ω, 标称值 < 1.5		
增益 (dB)	≤ 18	≤ 25	≤ 25
增益稳定度	在 10-30° C 之间 ≤ 0.1dB		
噪声系数 (dB)	≤ 2	≤ 2	≤ 2
在相关频带内增益的平坦度 (dB)	< 0.1	< 0.2	< 0.5

当使用低噪声放大器时应谨防接收机过载。外接带通滤波器可以防止接收机过载。

### 3.3 天线

现在没有通用的天线对所有类型的噪声进行测量，也没有通用的天线适用于所有频带，但是却有一般性的要求。天线的辐射方向图应根据被测噪声的传播方式进行优化，这些传播方式例如：天波、直射波。天线的增益应随着相应的接收口径尽可能保持恒定。噪声尽管会受到周围环境条件的影响，但是噪声本身是没有极化的，所以应当采用无极化的天线或者组合天线进行测量。如果把天线放置在周围噪声源是均匀分布的环境中，那么相对于把天线放在以给定角度接收噪声的环境的情况，天线的方向图的重要性则大大降低。对于这种均匀分布的环境，只有随天线口径的天线效率或者平均增益会影响到天线校正因子。高频波段尤其是这种情况。频率越低，天线方向图的影响越大。

### 3.4 不确定度分析

噪声测量的最终结果应反映到真实值上。如果使用其他的测量设备，这个真实值也应该能够再现。在测量中还要关心平均准确度以及测量值变化门限值。对于每次噪声测量都要进行不确定度分析，并且这种不确定度应该包含所有分量。以上信息可以在例如国际标准化组织 (ISO) 的“测量中不确定度的表述指南”中找到。

## 4 测量方法/算法

噪声测量大体上可以分为两种方法，一种方法是使用均方根检波器来检测噪声功率；另一种方法是使用采样检波器来获取原始数据。这两种方法的最终测试结果类似，但是两种方法在如何处理和数据表示上有区别。均方根检波器方法更适用于 HF 波段的噪声测量，采样检波器测试方法更适用于 VHF/UHF 波段的测量。

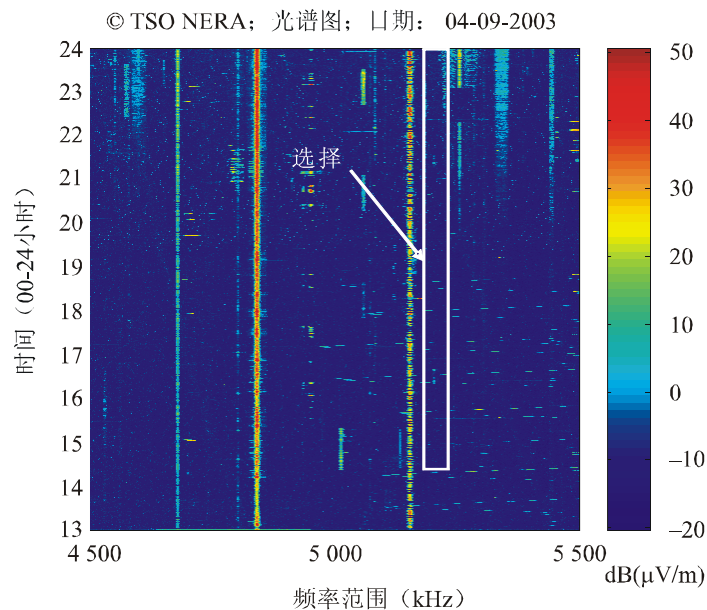
### 4.1 频带或频率的选择

在进行噪声测量时可以对单个频率（频道）进行测量，也可以对某一频带（例如 100 kHz）进行测量。这些测量可以自动进行，数据结果也可以按照预定的协议进行处理。

在进行频带测量时，所测量频带内大信号越少，测量结果的质量就会越高。历史测量数据可有助于在测量频带内选择占用度低的频带。对于单频率测量的情况，该频率应是干扰信号低占用的频率。虽然原始采样数据能够合成频率扫描数据，但是单频率测量更具有实际意义。

图 1

5 MHz 频带测试图



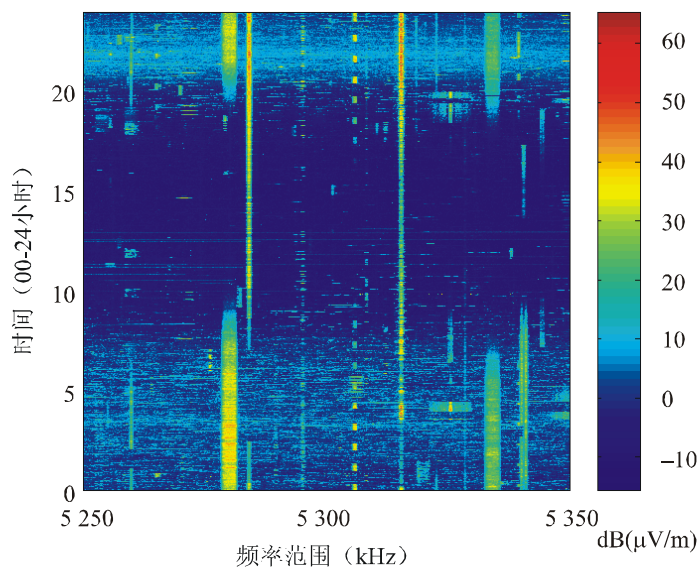
1753-01

图 1 举例是对 4 500-5 500 kHz 频带进行 24 小时测量，其中对 5 250-5 350 kHz 进行进一步测量。图 2 是对这个频带的 24 小时的测量结果，这个结果用来计算噪声电平。

图 2

## 所选择的 5250-5350kHz 测试图

© TSO NERA; 光谱图; 日期: 05-09-2003



1753-02

## 4.2 频谱仪/接收机设置

为了能够提供有用的测量结果，部分设置如表 3：

表 3

## 频谱仪/接收机设置

测量时间	一般每隔 10 s 或 20 s 产生一次结果比较可行，所以扫描时间或者原始数据处理时间为 10 至 20 s
频率范围	观测频率范围完全取决于所选频带的使用情况。这些频带可以分成若干子频带或者频率
分辨率带宽	如果采用频率扫描的方法，滤波器带宽取决于所要求的频率分辨率；如果采用原始数据采样的方法，那么分辨率带宽应为采样频率的两倍以上。滤波器波形因子应根据使不同接收机的测量结果可以比较的原则进行选择
检波器	对于噪声功率测量，必需要真正的均方根检波器，其他类型的检波器都不是太合适。当测量值高于设备本底噪声不足 10 dB 时，检波器通常需要校准。原始数据方法需要使用采样检波器，因为这种方法在后期处理过程中会使用均方根校准
衰减器	3 dB 接收机输入端的滤波器应有合适的阻抗以减小测量的不确定度
预选滤波器	打开

### 4.3 测量周期

测量周期应当选择那些主观判断噪声没有显著变化的时间段。例如，为了能反映白天和晚上的变化情况，通常测量周期都会大于或等于 24 个小时。为了能反映不同季节之间的差异，噪声测量每年都会重复做好几次。也有不考虑季节的影响测量周期大于或等于 24 小时的情况，例如，本地产生的噪声会在工作时间内随着设备的开关而变化。

### 4.4 后期处理

频谱分析仪可以看做以一系列频率步长扫描频谱。通常现代频谱仪的频率步长会在 500 到 10 000 之间。如果扫描时间是 10 s，那么测量结果会是一个  $500 \times 8\,600$  到  $10\,000 \times 8\,600$  的场强数据库（矩阵）。为了去除某些部分的测量结果和采用不同的统计方法，该数据库时候应采用专用软件进行处理。

#### 4.4.1 处理和绘制顺序

表 4 所示不同处理方法的处理顺序。

表 4  
处理步骤

处理步骤	频率扫描	单频点	原始数据采样
天线 $K$ 因子校正结果（见第 4.5.1 节）	x	x	x
设备噪声校正结果（见第 4.5.2 节）	x	x	x
滤波器形状/带宽校正（见第 4.5.3 节）	x	x	x
绘制原始数据的功率密度谱（PDF）			x
计算每一段原始采样的均方根值			x
选取包含噪声的采样点： — 按照递增的顺序选取每次扫描的数据矩阵 — 按照采样点 20%（或者 $x\%$ ）大小来区别噪声点和非噪声点 — 抽取 20%（或者 $x\%$ ）作为有效数据（见第 4.6 节） — 修正 20%（或者 $x\%$ ）的数据（见第 4.5.4 节）	x	x	可选
计算每次扫描中 $x\%$ 抽取值的平均值	x	x	可选
计算每 10 次或者 $n$ 次扫描的最小值、平均值和最大值	x	x	可选
绘制最小值、平均值和最大值结果	x	x	可选

### 4.5 修正

在后期处理过程的不同阶段，应进行一些修正，如第 4.4.1 节所述。

### 4.5.1 天线 $K$ 因子修正结果

每个频率的测量都应经过合适  $K$  因子的修正，特别是用窄带天线进行次宽带测量的情况。一定要记住：窄带天线无法用于超出其工作频率范围的测量，因为此时天线图将会改变。第 3.3 节中论述了根据不同测量情况选择  $K$  因子修正。

### 4.5.2 设备噪声修正

所测量的信号实际上是叠加在设备噪声之上的信号。设备噪声修正的步骤如下：首先不接源（无源天线）测量一小段时间，此时要接低噪声放大器，并且设备参数设置保持与实际测量一致。然后使用与实际测量相同测量方法以及百分比测量最小值，最后用测量平均值线性减去该最小值。

### 4.5.3 修正 20%或 $x\%$ 的值

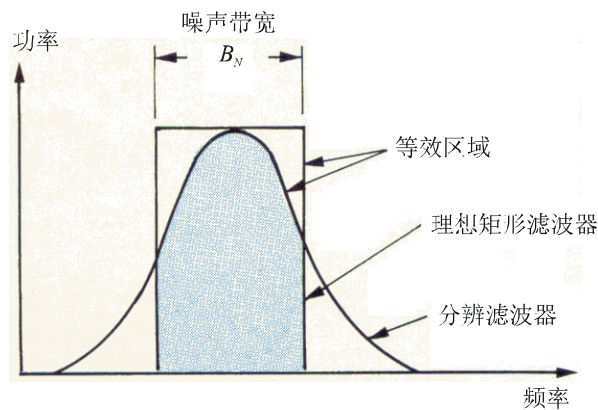
在测量过程中，应使用 20%的方法滤除无用噪声分量，例如载波等。然而，有用噪声用此方法也会被滤掉。需要使用修正因子来补偿引入的误差。这种引入的误差可以通过高斯噪声源以及实际测量中的一些设置来判定，包括中频滤波器设置、视频滤波器设置以及  $x\%$  百分比。对于特殊的噪声类型应选用相应的噪声源。

### 4.5.4 修正滤波器形状和带宽

虽然在频谱监测中经常谈到噪声电平，但是噪声却总是表示为单位带宽内的功率值。这种表述需要综合考虑滤波器带宽，一般滤波器形状都被看做矩形。

图 3

滤波器的矩形表述



1753-03

如果想比较两个不同分辨率带宽下的测量结果，那么必须要把其中一个测量结果加以修正，修正因子就等于两个分辨率带宽之比。为把分辨率带宽为  $RBW_1$  的测量结果转换到分辨率带宽为  $RBW_2$  的测量结果，应把修正因子：

$$10 \log(RBW_2/RBW_1)$$

加到测得的值 (dB) 上。

为了得到与带宽无关的测量结果，测量值可以归一化为热噪声电平 ( $P_0$ )，计算公式如下：

$$P_0 = k T_0 B$$

其中：

$k$ : 玻尔茨曼常量 =  $1.38 \times 10^{-23}$  W/Hz

$T_0$ : 环境温度

$B$ : 等效噪声带宽。

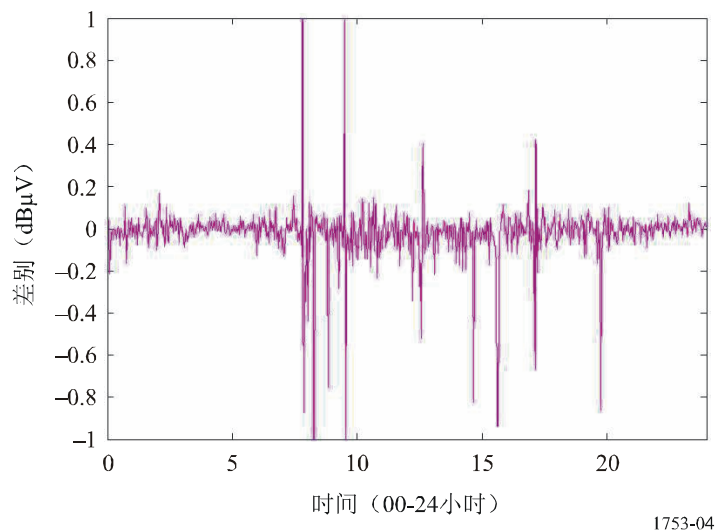
#### 4.6 选择百分比 $x\%$ 的有效性

对于短波波段，20%是判定噪声电平的经验值。对于其他波段，应该考虑 20%是否合适或是否需要改变成其他值。假设  $x\%$  的值只包含噪声采样，那么在这种情况下中值和均值应该相等。实际的测量能够显示中值和均值之间的差别，这种差别很明显是由非噪声信号造成的。

图 4

##### 中值与均值的差别 (选择 20%)

© TSO NERA ; 中值与均值的差别 ( $x\%$ )  
频带: 10.2-10.4 MHz; 日期: 27-07-2004



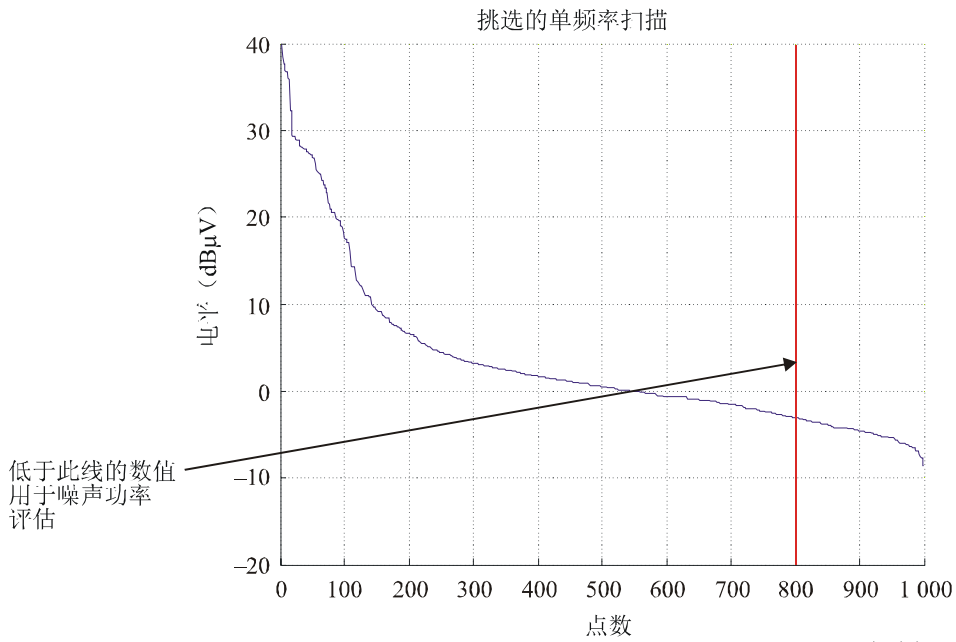
如上图所示，每次扫描都以 20%为判断噪声的标准，中值和均值是有差别的。测量时间是 24 小时 (00:00 到 23:59)。在 7:00 到 20:00 这段时间段内雷暴影响了 20%的判定，所以中值和均值会有非常陡峭的变化。

另一项测试则是要检查 20%右侧的曲线是否平滑、变化小。两种测量方法都需要做一些预校准，并且相当一部分采样结果都会用于校准，所以单个采样结果无法用于此类测量。



图 5

随机抽取的扫描结果



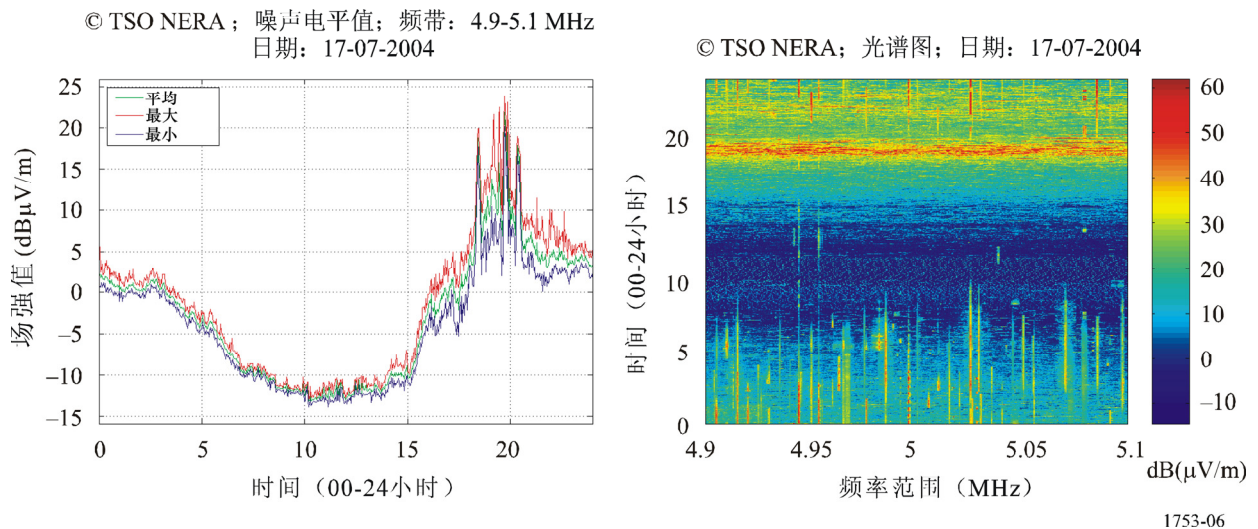
5 表示方法

在 30 MHz 以下频带，无线电噪声随着一天时间的不同而显著变化，因此计算的结果应表示成 24 小时的结果。

下面是测量 5 MHz 频带 (4.9-5.1 MHz) 的结果。最大值、平均值和最小值随时间 (24 小时) 如左图所示，右图的光谱图包含 24 小时内所有的扫描结果。

图 6

平均值、最大值和最小值以及 24 小时的光谱图

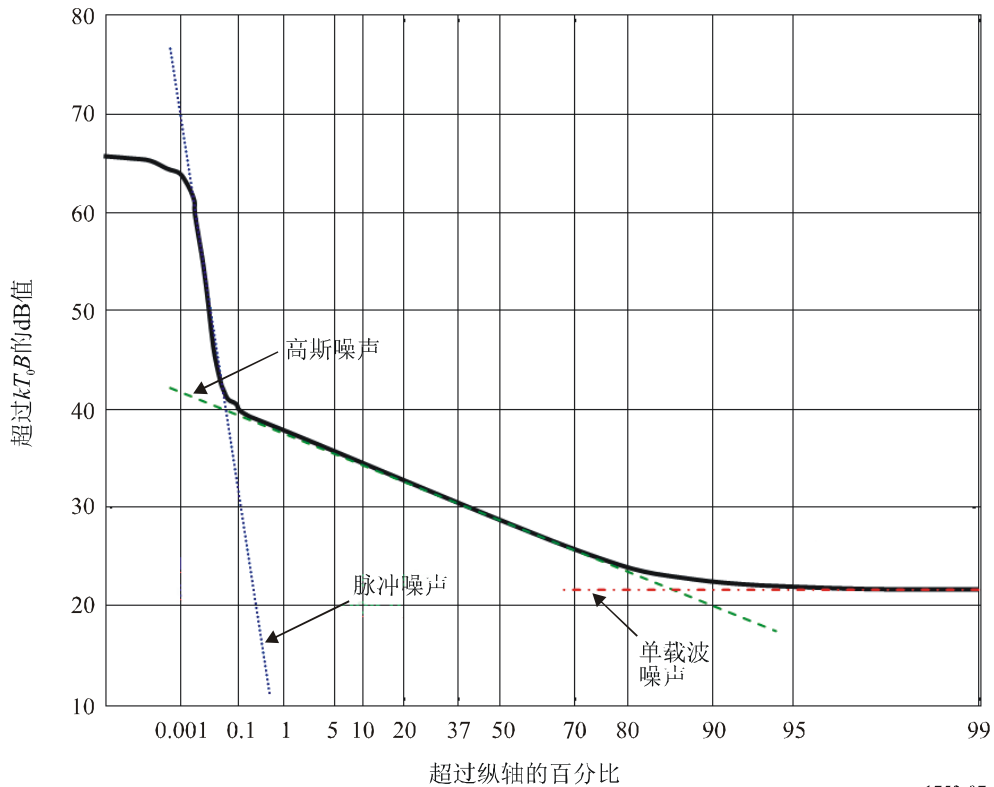


在 VHF/UHF 波段，无线电噪声电平虽然在一天内比较稳定，但仍主要依赖于测量地点的环境种类（例如：城市/商业区、居民区、郊区等）。为了压缩所有采样值成一个参量，引入幅度概率分布（APD）的概念。这种幅度概率分布图能够显示测量值超过某一幅度的百分比。

图 7 显示了在居民区环境下 410 MHz 的测量结果。

图 7

## APD



1753-07

幅度概率分布的  $x$  轴服从瑞利分布。在这种分布条件下，很容易区分不同的噪声类型：白噪声表现为一条直的斜线（图的中部）。图中左边升起的曲线代表单个噪声源的脉冲噪声，图中右侧的水平曲线则代表附近发射源的单载波信号。

总体的均方根电平是 37%。