



# 中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z 6113.403—2020/CISPR 16-4-3/TR:2007  
代替 GB/Z 6113.403—2007

---

## 无线电骚扰和抗扰度测量设备和 测量方法规范 第 4-3 部分：不确定度、统计学和限值建模 批量产品的 EMC 符合性确定的统计考虑

Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and  
methods—Part 4-3: Uncertainties, statistics and limit modelling—  
Statistical considerations in the determination of EMC compliance  
of mass-produced products

(CISPR 16-4-3/TR:2007, IDT)

2020-11-19 发布

2021-06-01 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 ..... I

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语、定义和符号..... 1

4 一般要求 ..... 1

    4.1 限值 ..... 2

    4.2 型式试验的方法 ..... 2

5 发射测量 ..... 2

    5.1 基于非中心  $t$  分布的试验 ..... 2

    5.2 基于二项式分布的试验 ..... 4

    5.3 基于附加裕量的可接受限值的试验 ..... 4

    5.4 在不符合情况下的附加抽样 ..... 6

    5.5 上述 4 种不同方法的特点 ..... 6

    5.6 符合性判据和测量设备和设施的不确定度 ..... 6

6 抗扰度试验 ..... 7

    6.1 抗扰度试验中 CISPR 80%/80%准则的应用 ..... 7

    6.2 CISPR 80%/80%准则的应用指南 ..... 7

附录 A (资料性附录) 确定无线电骚扰限值时的统计考虑 ..... 9

附录 B (资料性附录) 不完全样本的情况下对无线电骚扰统计参数的分析评估 ..... 15

附录 C (资料性附录) 基于附加裕量的可接受限值的试验 ..... 19

附录 D (资料性附录) 样本接收概率的估计 ..... 23

参考文献 ..... 27



## 前 言

GB/T 6113《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范》为电磁兼容基础标准,由以下四大部分组成:

### 第1部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备

- 第1-1部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备;
- 第1-2部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 传导骚扰测量的耦合装置;
- 第1-3部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 辅助设备 骚扰功率;
- 第1-4部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 辐射骚扰测量用天线和试验场地;
- 第1-5部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 5 MHz~18 GHz 天线校准场地和参考试验场地;
- 第1-6部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 EMC 天线校准。

### 第2部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法

- 第2-1部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 传导骚扰测量;
- 第2-2部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 骚扰功率测量;
- 第2-3部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 辐射骚扰测量;
- 第2-4部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 抗扰度测量;
- 第2-5部分:大型设备骚扰发射现场测量。

### 第3部分:无线电骚扰和抗扰度测量技术报告

- 第3部分:无线电骚扰和抗扰度测量技术报告。

### 第4部分:不确定度、统计学和限值建模

- 第4-1部分:不确定度、统计学和限值建模 标准化 EMC 试验的不确定度;
- 第4-2部分:不确定度、统计学和限值建模 测量设备和设施的不确定度;
- 第4-3部分:不确定度、统计学和限值建模 批量产品的 EMC 符合性确定的统计考虑;
- 第4-4部分:不确定度、统计学和限值建模 抱怨的统计和限值的计算模型;
- 第4-5部分:不确定度、统计学和限值建模 替换试验方法的使用条件。

本部分为 GB/T 6113 的第 4-3 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/Z 6113.403—2007《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-3 部分:不确定度、统计学和限值建模 批量产品的 EMC 符合性确定的统计考虑》,与 GB/Z 6113.403—2007 相比,主要技术变化如下:

- 修改了规范性引用文件(见第 2 章,2007 年版的第 2 章);
- 增加了样本接收概率的估计(见附录 D)。

本部分使用翻译法等同采用 CISPR 16-4-3/TR:2007《无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-3 部分:不确定度、统计学和限值建模 批量产品的 EMC 符合性确定的统计考虑》。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

- GB/T 6113.402—2018 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-2 部分:不确定度、统计学和限值建模 测量设备和设施的不确定度(CISPR 16-4-2:2014,IDT)

本部分做了下列编辑性修改:

- 为了方便文中引用,给部分表增加了表编号和表头(见表 1、表 2、表 A.1、表 A.2 和表 A.3)。

——增加了参考文献 CISPR/TR 16-4-1。

本部分由全国无线电干扰标准化技术委员会(SAC/TC 79)提出并归口。

本部分起草单位:中国电子技术标准化研究院、中国汽车工程研究院股份有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、北京交通大学、中国计量科学研究院、东南大学、西安卫星测控中心、宁波海关技术中心、中汽研汽车检验中心(天津)有限公司、江苏省计量科学研究院、威凯检测技术有限公司、厦门市产品质量监督检验院、中国家用电器研究院、国家无线电监测中心、上海电器科学研究院(集团)有限公司。

本部分主要起草人:崔强、黄雪梅、朱文立、闻映红、叶畅、谢鸣、周忠元、王引娣、何鹏、柳海明、邓凌翔、褚瑞、邓俊泳、李如宝、张艳艳、王文俭、叶琼瑜。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/Z 6113.403—2007。

# 无线电骚扰和抗扰度测量设备和 测量方法规范

## 第 4-3 部分:不确定度、统计学和限值建模 批量产品的 EMC 符合性确定的统计考虑

### 1 范围

GB/T 6113 的本部分描述了确定批量产品电磁兼容(EMC)符合性的统计考虑。

该统计考虑的原因:

- a) 降低干扰的目的在于使大多数合格的产品不应引起干扰;
- b) 国际无线电干扰特别委员会(CISPR)限值不仅要适合单个产品的型式批准,而且要适合批量产品的型式批准;
- c) 需要应用统计技术以保证批量产品符合 CISPR 限值;
- d) 每个国家对这些限值意义的理解应是相同的,这一点对国际贸易是很重要的;
- e) 参与 CISPR 合作的 IEC 的各国家委员会需努力寻求所在国家的认可。

因此,本部分基于统计技术规定了要求并提供了指导。批量产品 EMC 符合性需要基于统计技术的应用,此技术应向消费者确保所研究类型的产品的 80%、以 80%的置信度符合发射或抗扰度要求。第 4 章给出了 80%/80%准则的一般要求。第 5 章给出了 80%/80%准则应用于发射试验的更多特定要求。第 6 章给出了 CISPR 80%/80%准则应用于抗扰度试验的指南。80%/80%准则保护消费者不会获得不符合限值要求的产品,但是这并不代表抽样的一批产品的接收概率。但接收概率对制造商又是非常的重要。附录 A 给出了更多关于接收概率(制造商的风险)的信息。

### 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 4365—2003 电工术语 电磁兼容[IEC 60050(161):1990+A1:1997+A2:1998,IDT]

CISPR 16-4-2 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 4-2 部分:不确定度、统计学和限值建模 测量设备和设施的不确定度(Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 4-2:Uncertainties,statistics and limit modelling—Measurement instrumentation uncertainty)

### 3 术语、定义和符号

GB/T 4365—2003 界定的术语和定义、符号适用于本文件。

### 4 一般要求

下面解释了 CISPR 限值以及使批量产品符合该限值的统计抽样方法。

## 4.1 限值

4.1.1 CISPR 限值是一种推荐给各国以便纳入其国家标准、相关法规以及国家规范当中使用的限值。同时,也建议国际组织使用这些限值。

4.1.2 对于产品的型式批准,限值的含义是:在统计学的基础上,批量产品至少有 80% 以至少 80% 的置信度符合限值。

## 4.2 型式试验的方法

可以使用如下两种方法进行型式试验。

### 4.2.1 同类型产品样本的使用

当使用这种方法时,同类型产品样本应根据第 5 章(发射试验)和第 6 章(抗扰度试验)所描述的方法进行统计评估。

与限值符合性的统计评估应根据第 5 章和第 6 章所描述的方法或根据某些确保符合 4.1.2 要求的其他方法进行。

### 4.2.2 具有后续质量保证试验的单个样品的使用

为简便起见,最初的型式试验只对一个样品进行。然而,经常从生产过程中随机抽取样品进行跟踪试验是必要的。

### 4.2.3 型式批准的撤销

当撤销型式批准可能引起异议的情况下,只有按照上述 4.2.1 在对足够的样本进行试验后,才应考虑是否撤销。

## 5 发射测量

应按照下述 5.1、5.2 或 5.3 的三种试验之一,或根据确保符合 4.1.2 要求的其他试验来作出与发射限值的符合性的统计评估。

### 5.1 基于非中心 $t$ 分布的试验

该试验的样本量不宜小于 5,如果在特殊情况下无法获得大小为 5 的样本,此时样本量应取 3。通过式(1)来判断是否符合限值:

$$\bar{x}_n + kS_n \leq L \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\bar{x}_n$ ——样本量为  $n$  的样本中样品电平的算术平均值;

$$S_n^2 = \sum (x - \bar{x}_n)^2 / (n - 1) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$x$ ——单个样品的电平。

$k$ ——80% 的产品低于限值的置信度为 80% 时,从非中心  $t$  分布表中所查得的因子; $k$  取决于样本量  $n$ 。 $k$  与  $n$  的关系如表 1 所示。

$L$ ——允许限值。

表 1  $k$  与样本量  $n$  的关系

$n$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$k$	2.04	1.69	1.52	1.42	1.35	1.30	1.27	1.24	1.21	1.20

$\bar{x}$ 、 $s_n$ 、 $S_n$  和  $L$  的值用对数单位分贝微伏[ $\text{dB}(\mu\text{V})$ ]、分贝皮瓦[ $\text{dB}(\text{pW})$ ]或分贝微伏每米[ $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ ]表示。

如果由于测量设备灵敏度不够而导致样本中的一个或几个样品不能进行测量,那么可用附录 B 的方法加以解决。

### 5.1.1 子频段试验

#### 5.1.1.1 概述

80%/80%准则应用于样本中的每一个受试设备(EUT)在特定的频率或频率范围的特定发射。现代计算机控制的测量设备通常在完成全频段扫描后再在整个发射频谱的某些频率上测量数量有限的最高骚扰电平。因为在相同频率上的骚扰电平或最高发射频率上的骚扰电平会因 EUT 的不同而不同,所以在样本中最高骚扰电平所对应的测量频率,通常也会随着 EUT 的不同而变化。由于很难在近乎相同的频率上获得每一个 EUT 的骚扰测量电平来计算其平均值和标准偏差,这些测量结果也就不能应用 80%/80%准则。基于此原因,将整个频率范围划分成一定数量的子频段是有用的,其允许在每一子频段通过取最高的测量电平然后再在整个频率范围内进行发射频谱的统计分析。

为了在 80%/80%准则中使用非中心  $t$  分布,需要对测量值进行归一化。这些归一化的测量值可以在子频段内使用 80%/80%准则,而与子频段内的限值是否变化无关。

应将整个频率范围在对数频率轴上分成数个子频段。如果产品委员会规定了变化的限值,那么子频段的起止点可以对应于限值变化的频率点。

注:子频段仅适用于基于非中心  $t$  分布的试验。

#### 5.1.1.2 子频段的数量

宜将骚扰测量方法的频率范围划分成多个子频段。每一子频段的宽度作为频率的函数在对数坐标下是等宽的。对于不同的骚扰测量方法,建议按以下数量划分子频段:

- 对于骚扰电压测量,30 MHz 以下的频率范围至少划分成 8 段;
- 对于骚扰功率测量,30 MHz~300 MHz 的频率范围至少划分成 4 段;
- 对于骚扰场强测量,30 MHz~1 000 MHz 的频率范围划分成大约 8 段左右。

注 1:所确定的子频段数量,应使得骚扰特性与频率之间的关系能被评估。当子频段的数量减小时,如果限值与发射的平均值和标准偏差之和的比值在子频段内不减小即可认为满足这个条件。

注 2:根据不同产品的骚扰特性,产品委员会需确定子频段的数量。

注 3:所推荐的子频段数量基于 CISPR 14<sup>[1]</sup> 和 CISPR 22<sup>[3]</sup> 的装置/设备的样本研究。

注 4:子频段的过渡频率使用下式计算:

$$f = f_{\text{low}} \times 10^{\frac{i}{N} \lg \left( \frac{f_{\text{upp}}}{f_{\text{low}}} \right)}$$

式中:

$i=1 \sim N$  ——表示第  $i$  个子频段的过渡频率的索引;

$f_{\text{low}}$  ——整个频率范围的下限频率;

$f_{\text{upp}}$  ——整个频率范围的上限频率;

$N$  ——子频段的数量。

注 5: 对于主要是窄带发射, 可通过预先检查选择那些单个的窄带发射, 使用非中心  $t$  分布而无需再划分子频段。

5.1.1.3 测得的骚扰电平的归一化

应将子频段内测量值的平均值和标准偏差与限值进行比较。由于限值在整个子频段内有可能不是常量, 所以需要将测量值进行归一化。

为了归一化, 需要确定特定频率  $f$  处测得的电平  $x_i$  与限值电平  $L_i$  之间的差值  $d_i$ , 对于选择的特定频率  $f$ , 要求这两者之间的差值最大。只要测量值小于限值, 则差值为负。

$$d_i = x_i - L_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $d_i$  ——特定频率处的测量值与限值的差值, 单位为分贝 (dB);
- $x_i$  ——测得的电平, 单位为分贝微伏 [dB(μV)]、分贝皮瓦 [dB(pW)] 或分贝微伏每米 [dB(μV/m)];
- $L_i$  ——特定频率处的限值, 单位为分贝微伏 [dB(μV)]、分贝皮瓦 [dB(pW)] 或分贝微伏每米 [dB(μV/m)]。

5.1.1.4 基于非中心  $t$  分布的子频段试验

对于每一子频段, 样本中所有样品的测量结果, 应计算差值  $d_i$  的平均值和标准偏差。差值的平均值由式(4)计算。

$$\overline{d_i} = \frac{1}{n} \sum_n d_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- $n$  ——样本中的样品数量;
  - $\overline{d_i}$  ——子频段内差值的平均值。
- 标准偏差由式(5)计算。

$$S_{df} = \sqrt{\frac{\sum_n (d_i - \overline{d_i})^2}{n - 1}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- $S_{df}$  ——子频段内的标准偏差。
- 符合性由式(6)作出判断:

$$\overline{d_i} + k \cdot S_{df} \leq 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- $k$  ——见 5.1。

5.2 基于二项式分布的试验

试验的样本量不宜小于 7。产品的符合性通过以下条件判断: 当样本量为  $n$  时, 骚扰电平超过限值的产品数量不大于  $c$  (见表 2)。

表 2 所允许的不符合产品数量  $c$  与样本量  $n$  的关系

$n$	7	14	20	26	32
$c$	0	1	2	3	4

5.3 基于附加裕量的可接受限值的试验

该试验需在特定类型的样品、样本量至少为 5 时进行, 如果在特殊情况下无法获得大小为 5 的样

本,此时样本量应取 3。关于这种方法在 5.5 中有详细描述并参见附录 C。如果每一个测得的骚扰电平  $x_i$  满足式(7)就可判定其符合限值。

$$x_i \leq AL = L - \sigma_{\max} \cdot k_E \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

AL ——可接受限值;

L ——允许限值;

$\sigma_{\max}$  ——产品的最大期望标准偏差,它是期望标准偏差的两倍,该值由产品技术委员会按 5.3.1 的步骤确定,或者针对不同类型的骚扰测量使用以下的保守值:

骚扰电压: $\sigma_{\max} = 6$  dB

骚扰功率: $\sigma_{\max} = 6$  dB

骚扰场强: $\sigma_{\max} = xx$  dB

注 1: 保守值“6 dB”是通过大量不同类型 EUT(每一种类型包括 3 个或 5 个样品)的测量来确定的(骚扰电压 130 个、骚扰功率 40 个)。然后,又经过“应用非中心  $t$  分布的试验”和“使用附加裕量试验”这两种试验方法的比较对 6 dB 的值进行了评估。两种试验给出了相同的认可百分比。

注 2: 骚扰场强的值正在考虑中。

$k_E$  ——某一“产品类”的产品的 80% 以 80% 的置信度低于限值时,从正态分布表中得到的因子; $k_E$  取决于样本量  $n$ ,具体数值如下(相关信息见 C.1):

$n$	3	4	5	6
$k_E$	0.63	0.41	0.24	0.12

$x$ 、 $L$ 、 $k_E$  和  $\sigma_{\max}$  用对数单位分贝微伏[dB( $\mu$ V)]、分贝微伏每米[dB( $\mu$ V/m)]或分贝皮瓦[dB(pW)]表示。

注 3: 当  $\sigma_{\max} = 6$  dB 时,可以计算得到如下附加裕量:

样本量	3	4	5	6
附加裕量/dB	3.8	2.5	1.5	0.7

### 5.3.1 最大期望标准偏差的评估

骚扰发射的期望标准偏差应由有效数量的产品样品来确定。宜按以下程序评估最大期望标准偏差。

对于所关注的样本,在每一个所关注的频率上或子频段内,测得的最大发射  $x_i$  与限值  $L$  之差  $x_{\min}$  由式(8)确定:

$$x_{\min} = (x_i - L)_{\max} \quad \dots\dots\dots (8)$$

其标准偏差  $S_{\text{sub}}$  由式(9)确定:

$$S_{\text{sub}} = \sqrt{\frac{\sum_n (x_{\min} - \overline{x_{\min}})^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$n$  ——样本中的样品数量。

对每个样本应确定在各个子频段内的平均标准偏差  $\overline{S_{\text{sample}}}$ 。期望标准偏差  $S_{\text{expect}}$  是所有样品  $\overline{S_{\text{sample}}}$  的平均值。

最大期望标准偏差是期望标准偏差的两倍。

注: 通过 5.1“基于非中心  $t$  分布的试验”和 5.3“基于附加裕量的可接受限值的试验”这两种方法的比较,选择因子

为 2。因为因子为 2 时,两种试验方法具有几乎相同的样品拒绝率。  
产品技术委员会可以确认其产品的期望标准偏差。

#### 5.4 在不符合情况下的附加抽样

如果样本试验的结果不符合 5.1、5.2 或 5.3 的要求,可以对二次抽样的样本进行试验,并与第一次抽样的样本试验结果相结合,检查组合后的这个较大样本的符合性。5.3 的方法仅适用于 7 个样品或更少样品组成的样本。

#### 5.5 上述 4 种不同方法的特点

对于大批量产品的符合性评估,可用的四种试验方法:

- 使用单个产品;
- 非中心  $t$  分布(见 5.1);
- 二项式分布(见 5.2);
- 附加裕量的可接受限值(见 5.3)。

上述的每一种方法都以不同的统计方法论为基础,因此制造商或权威机构在具体实施这些方法时,每一种方法都具有不同的特点(优点或缺点)。

##### a) 使用单个产品

选择单个产品进行试验的方法由制造商采用。这种方法要求对产品进行定期检验。

##### b) 非中心 $t$ 分布

这种试验方法基于非中心  $t$  分布并包含总体服从正态分布的条件。只要满足这个条件,这种方法就能针对样本的批准给出正确的结果。如果一个或两个测量结果远低于限值,而其余的测量结果接近于(但低于)限值,则这有可能表明该批量产品得不到批准。

如果不合格是由远低于限值的测量结果带来的大的标准偏差引起的,那么可以选择附加裕量的可接受限值试验方法对不符合的样本进行试验。如果样本合格,则该批量产品就可获得批准。在未获得型式批准的情形下,可选择更多相同批次的产品,然后将不合格的样品和新选择的样品进行重新组合以形成较大的样本。

这种试验方法的优点是样本相对较小。

##### c) 二项式分布

这种方法仅基于二项式分布但不包含总体服从正态分布的条件。这种试验方法针对样本的批准与不批准均能给出正确的结果。

在未获得型式批准的情形下,可选择更多相同批次的产品,然后将不合格的样品和新选择的样品进行重新组合以形成较大的样本。

这种试验方法的缺点是样本中样品的数量至少为 7。

##### d) 附加裕量的可接受限值

这种方法基于总体服从正态分布的条件和期望标准偏差的估值。这种试验方法对于样本的批准能给出正确的结果。

如果不合格是由接近于限值的测量结果引起的,那么可以针对不合格的样本进行基于非中心  $t$  分布抽样的附加试验。如果样本通过试验,这种产品就获得通过。

在未获得型式批准的情形下,可选择更多相同批次的产品,然后将不合格的样品和新选择的样品进行重新组合以形成较大的样本。这种方法仅适用于样品数量小于 7 的样本。

#### 5.6 符合性判据和测量设备和设施的不确定度

产品符合性的要求包含两个部分:一个是 80%/80% 准则的要求,另一个是在 CISPR 16-4-2 中规定



的测量设备和设施的不确定度。

因此只要满足 CISPR 16-4-2 的要求,这就意味着  $U_{\text{Lab}}$  小于或等于  $U_{\text{CISPR}}$ 。对于这种情况,可直接应用 80%/80% 准则判定产品的测量结果是否符合限值。

如果  $U_{\text{Lab}}$  大于  $U_{\text{CISPR}}$ ,应用 80%/80% 准则时测量结果需要增加一个  $\Delta$  值:

$$\Delta = [U_{\text{Lab}} - U_{\text{CISPR}}]_{U_{\text{CISPR}} < U_{\text{Lab}}} \dots\dots\dots (10)$$

## 6 抗扰度试验

### 6.1 抗扰度试验中 CISPR 80%/80% 准则的应用

在评估批量产品和设备的抗扰度时,需要考虑 CISPR 抽样方案中所用的统计方法。已经有两种标准化的统计方法:一种使用二项式分布,另一种使用非中心  $t$  分布。

二项式分布的方法实质上是采用计数抽样。因此,这种方法宜用于那些抗扰度电平不能确定的抗扰度试验;其结果只能用来判断产品或设备是否符合抗扰度标准,即试验结果只能表明产品或设备对于一个特定的抗扰度电平是合格或不合格。

非中心  $t$  分布的方法实质上是采用计量抽样。这种方法适合于抗扰度电平或者引起产品或设备性能降低的试验信号电平能够确定的抗扰度试验。在应用非中心  $t$  分布方法之前,上述信号电平应以对数单位表示。

### 6.2 CISPR 80%/80% 准则的应用指南

6.1 只给出在评估批量产品和设备的抗扰度时如何选择使用的统计试验方法。当相关的产品技术委员会决定有必要进行统计评估时可按 6.1 进行。产品技术委员会也可以决定只做型式试验就足够了。

#### 6.2.1 计数抽样

在 EUT 进行抗扰度试验时,如果骚扰信号超过了抗扰度电平,EUT 的敏感器件可能会受到骚扰信号的影响,使 EUT 遭到破坏。在这种情况下,只能进行基于“合格/不合格”或者“通过/不通过”的抗扰度试验;即试验结果只有两种可能,即 EUT 是否符合抗扰度限值的要求。“合格”和“不合格”都由 EUT 决定,因此需要使用基于二项式分布的方法。

基于“合格/不合格”的抗扰度试验并不一定会产生对 EUT 的破坏。如果只用一个固定的电磁骚扰电平进行试验,那么有可能只需要进行“合格/不合格”的判别。同样地,在这种情况下也要使用基于二项式分布的抽样方法。

对电信设备进行的雷电瞬态抗扰度试验是基于“合格/不合格”并且有可能会损坏 EUT 的一个例子。对(数字)信息技术设备进行的静电放电抗扰度试验则是采用固定骚扰电平的例子。

#### 6.2.2 计量抽样

如果 EUT 及其所选择的抗扰度试验允许确定抗扰度电平或性能降级的试验信号电平(这些电平将是可变的),那么产品技术委员会可能决定选择计量抽样。此时,需要使用基于非中心  $t$  分布的抽样方法。

由于产品技术委员会可能总是决定采用基于“合格/不合格”的试验,上面的表述使用的是“将会决定”。另外,如果 EUT 具有足够的抗扰度,也许不能确定上述电平。但是,这不排除采用计量抽样的可能性。与上述情况完全类似的是当发射电平低于 CISPR 测量接收机的噪声电平时的辐射发射试验。

一般来说,抗扰度试验的抗扰度电平的确定并不总是实际可行的。这样做总是会使 EUT 遭受太

强的骚扰信号,而且很容易导致不可预见的结果。尽管如此,在事前还是不能省略确定抗扰度电平这一步骤。

对于计量抽样,可以得到度量 EUT 性能降级的信号。例如,对多个 EUT(音频设备)样品以恒定电平和恒定频率的调幅射频信号进行抗扰度试验时的解调信号。此时,解调信号的电平是 EUT 性能降级的度量。另一个例子是数字通信设备进行抗扰度试验时的比特误码率。

## 附录 A

## (资料性附录)

## 确定无线电骚扰限值时的统计考虑

## A.1 概述

批量产品符合无线电骚扰限值需要基于统计技术的应用,也就是以 80% 的置信度向消费者保证:被测的一类产品中有 80% 的无线电骚扰电平都低于规定的限值。这就是所谓的 80%/80% 准则,其能够使消费者避免使用无线电骚扰电平过高的产品,但是这并不代表抽样的一批产品的接收概率。接收概率对于制造商是非常的重要,因为制造商只知道如果一批产品中有 20% 的无线电骚扰电平高于相关限值,那么这批产品的接收概率就是 20%。制造商还有必要了解产品的接收概率与样本量以及其中无线电骚扰电平超过限值的产品的比例有关。以样本量为参数,接收概率与无线电骚扰电平超过限值的不合格产品的比例之间的关系曲线叫做运算特征曲线。这些曲线可以用非中心  $t$  分布(计量抽样)或者二项式分布(计数抽样)来计算。

由于泊松分布要求样本中无线电骚扰电平超过限值的比例非常小( $<1\%$ ),且样本非常大(超过 20),因此不能使用泊松分布。除了对批量产品进行抽样外,采用控制图技术也可以保证产品的一致性。这种方法要对所需信息(例如,正在生产的产品的无线电骚扰电平)进行连续记录。

A.2 基于非中心  $t$  分布(计量抽样)的试验

下列条件[见式(A.1)]应满足:

$$\bar{X} + kS_n \leq L \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$\bar{X}$  ——样本量为  $n$  的样本中样品的无线电骚扰电平的平均值,  $\bar{X}$  已知,见式(A.2);

$S_n$  ——样本量为  $n$  的样本中样品的无线电骚扰电平的标准偏差,  $S_n$  已知,见式(A.3);

$k$  ——待定常数,需满足上述公式;

$L$  ——允许的无线电骚扰限值,  $L$  是一个上限。

同时,应以 80% 的置信度保证:在大规模生产的产品中有 80% 的产品无线电骚扰电平低于限值  $L$ 。

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

A.2.1 常数  $k$  的确定

假设被测产品的无线电骚扰电平符合正态分布,其参数如下:

$\mu$  为所有产品的无线电骚扰电平的平均值,  $\mu$  未知;

$\sigma$  为所有产品的无线电骚扰电平的标准偏差,  $\sigma$  未知。

假定:比例为  $p$  的产品的无线电骚扰电平超过限值  $L$  (不合格产品部分),比例为  $(1 - p)$  的产品其无线电骚扰电平低于规定限值  $L$ 。

定义常数  $K_p$ , 见式(A.4):

$$p = \int_{K_p}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中,  $f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}}$  是标准正态分布的密度函数。

$K_p$  可从适当的正态分布函数表中查得。

从  $K_p$  的定义以及图 A.1 可得到式(A.5):

$$L = \mu + K_p \sigma \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

由于  $L$  是上限, 因此  $K_p > 0$ 。

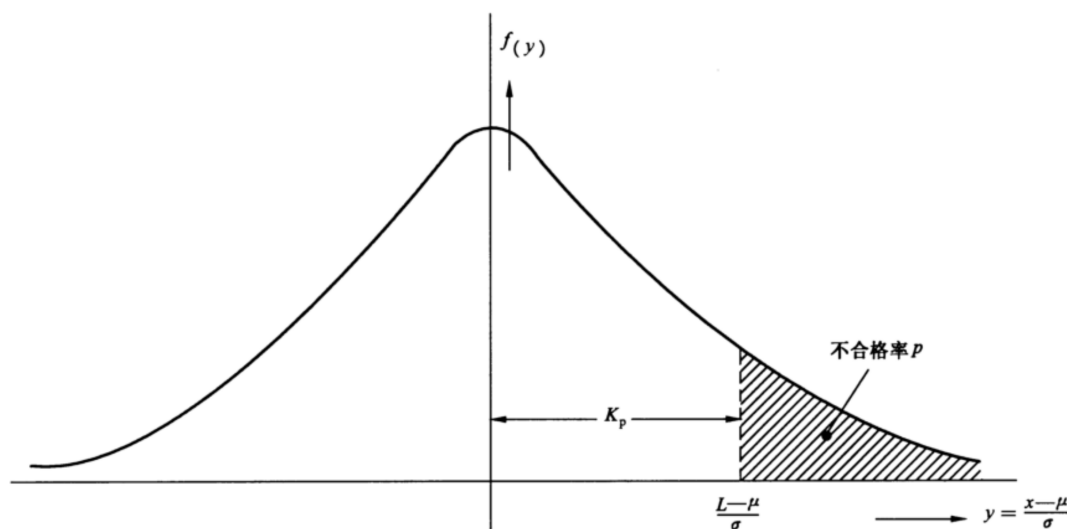


图 A.1 不合格率  $p$  的确定

根据 CISPR 规定, 当  $p=0.2$  时,  $K_p=0.84$ , 那么可以从式(A.6)得到有关的试验方法:

$$P(\bar{X} + kS_n \geq L/L = \mu + K_p \sigma) = 1 - \alpha \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

对于一批不合格率为  $p$  的产品, 概率  $\alpha$  的接受会给消费者带来风险。因此, 对于 CISPR 而言, 规定当  $\alpha = 0.2$  ( $1 - \alpha = 0.8 \rightarrow 80\%$ ) 时,  $K_p = 0.84$ 。

为了确定常数  $k$ , 上述各式重列如下, 见式(A.7)~式(A.9):

$$P(\bar{X} + kS_n \geq L/L = \mu + K_p \sigma) = 1 - \alpha \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

$$= P\left(\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} - \frac{L - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \geq -\frac{kS_n}{\sigma/\sqrt{n}}/L = \mu + K_p \sigma\right) \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

$$= P\left[\frac{-\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} + \frac{L - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}}{S_n/\sigma} \leq k\sqrt{n}/L = \mu + K_p \sigma\right] \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

定义:

$$t_{nc} = \frac{-\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} + \frac{L - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}}{S_n/\sigma}$$

式中,  $t_{nc}$  指的是非中心  $t$  分布, 带有非中心  $t$  分布参数, 见式(A.10):

$$\frac{L - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} = K_p \sqrt{n} \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

其自由度为  $(n-1)$ 。

非中心  $t$  分布参数是根据以下条件[见式(A.11)和式(A.12)]得出的,即在抽样的产品中,无线电骚扰电平超过允许限值的产品的比例不超过  $p$ 。

$$P(t_{n.c.} \leq k\sqrt{n}) = 1 - \alpha \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

$$P\left(\frac{t_{n.c.}}{\sqrt{n-1}} \leq k\sqrt{\frac{n}{n-1}}\right) = 1 - \alpha \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

上述概率函数见 A.3.4 中[1]和[2]。其中一些数据在下面给出。

当  $\alpha=0.2, p=0.2(1-\alpha=80\%, 1-p=80\%)$  时,对于不同样本量的  $k$  值见表 A.1。

表 A.1  $k$  与样本量  $n$  的关系

$n$	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$k$	1.69	1.52	1.42	1.35	1.30	1.27	1.24	1.21	1.20

## A.2.2 样本量 $n$ 的确定

制造商希望知道且需要知道产品的接收概率,见式(A.13):

$$P(\bar{X} + kS_n \leq L/L = \mu + K_p\sigma) \quad \dots\dots\dots (A.13)$$

根据定义,这个表达式等于  $\beta(p)$ ,即产品的接收概率。对于一批不合格率为  $p$  的产品来说,  $1-\beta(p)$  为拒收概率,给制造商带来一定风险。

上述问题可用式(A.14)来描述:

$$P\left(\frac{t_{n.c.}}{\sqrt{n-1}} \geq k\sqrt{\frac{n}{n-1}}\right) = \beta(p) \quad \dots\dots\dots (A.14)$$

对于 A.2.1 中所述的一批具有不合格率  $p$  的产品,  $\beta(p)=\alpha$ 。当  $p=0.2, \alpha=0.2$ (CISPR 规定值)时,  $\beta(0.2)=0.2$ 。从制造商的观点来看,由于  $\beta(p)$  依赖于不合格率,因此需要通过改进产品(降低不合格率)来提高  $\beta(p)$ 。

一般来说,制造商要求产品具有高达 95% 的接收概率。反映接收概率  $\beta(p)$  与不合格率  $p$  的关系函数叫做运算特征函数,  $1-\beta(p)$  叫运算能力曲线函数。对于固定的  $n$ , 运算特征函数曲线(O.C.曲线)的数学表达式见式(A.15):

$$\beta(p) = P\left(\frac{t_{n.c.}}{\sqrt{n-1}} \geq k\sqrt{\frac{n}{n-1}}\right) \quad \dots\dots\dots (A.15)$$

图 A.2 中给出了当  $\alpha=0.2$  时的一些曲线。从这些曲线可以看出,为了确定相同的接收概率  $\beta(p)$ ,不合格率将随着样本量的增大而增大。这种所谓的运算特征曲线的判别能力将随着样本量的增大而加强;当样本量  $n$  等于产品的总数时,运算特征曲线的判别能力是最理想的。

A.2.3 举例(见图 A.2)

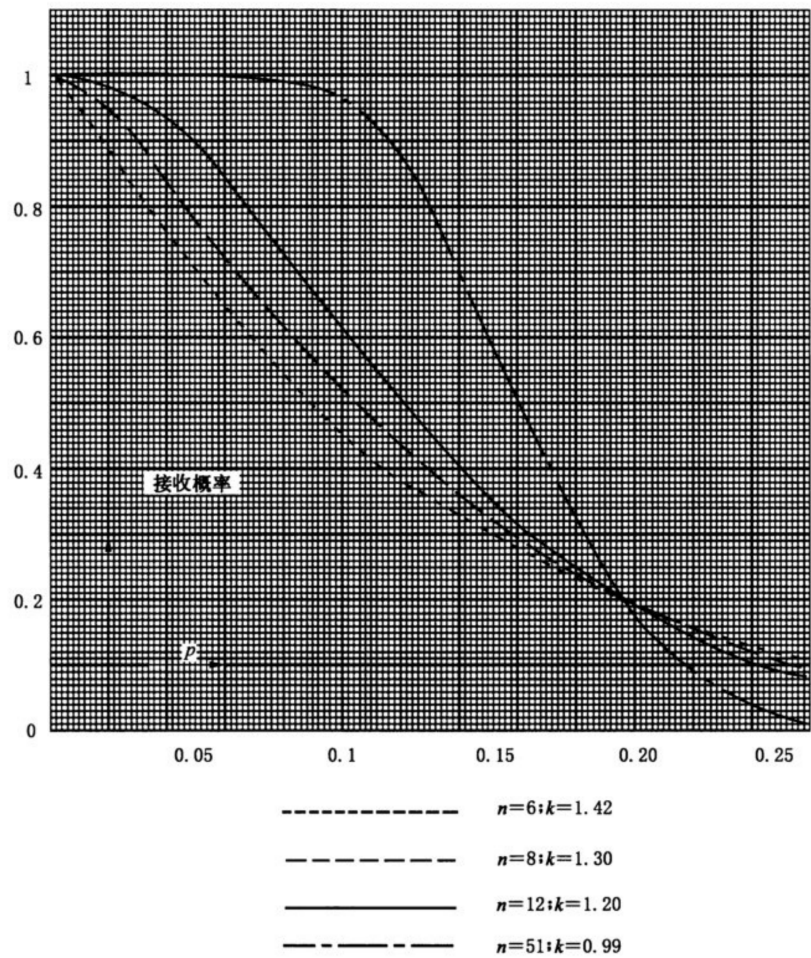


图 A.2 非中心  $t$  分布的运算特征曲线

根据 80%/80% 准则, 有一批样本量  $n=6$  的产品要被检测, 这时  $k=1.42$ 。消费者能以 80% 的置信度认为 80% 的产品其无线电骚扰电平低于限值。

当  $p=0.2$  时 (80% 的产品无线电骚扰电平在限值以下), 接收概率  $\beta(p)=20\%$ 。为了获得更高的接收概率, 需要降低不合格率  $p$ 。当  $p=0.035$  时 (96.5% 的产品无线电骚扰电平在限值以下), 接收概率为 80%。即如果  $p=0.035$ , 则在每 10 个样本 (每个样本包含 6 个样品) 中, 平均有 8 个样本的无线电骚扰电平是合格的。当  $p=0.009$  时 (99.1% 的产品无线电骚扰电平在限值以下), 接收概率为 95%。在后一个例子中, 制造商需要采用满足表达式  $\mu + 2.4\sigma \leq L$  中的  $\mu$  和  $\sigma$ 。

A.3 基于二项式分布(计数抽样)的试验

在样本量为  $n$  的样本中, 不合格产品的数量  $c$  需要以 80% 的置信度确保在批量产品中, 80% 产品的无线电骚扰电平在规定的限值  $L$  以下。一旦某一产品的无线电骚扰电平超过限值  $L$ , 就需要把其视为不合格产品。

### A.3.1 常数 $c$ 的确定

在一批产品的抽样样本中,不合格产品的出现需满足这样的要求:不合格产品的出现是统计独立的,而且在同一时刻不会有超过 1 个不合格产品出现。

二项式分布的特征参数是受试的批量产品的不合格率  $p$  和样本量  $n$ 。

样本量为  $n$  的样本正好具有  $c$  件不合格产品的概率为[见式(A.16)]:

$$P(x=c) = \left(\frac{n}{c}\right) p^c (1-p)^{n-c} \quad n, c \text{ 为整数} \dots\dots\dots (\text{A.16})$$

该样本中包含不超过  $c$  件不合格产品的概率为[见式(A.17)]:

$$P(x \leq c) = \sum_{x=0}^c \left(\frac{n}{x}\right) p^x (1-p)^{n-x} \quad n, x, c \text{ 为整数} \dots\dots\dots (\text{A.17})$$

$P(x \leq c)$  指的是分布函数。

如果受试的批量产品具有所允许的最大不合格产品数,那么样本量为  $n$  的样本包含超过  $c$  件不合格产品的概率等于  $(1-\alpha)$ , 因此得到式(A.18)和式(A.19):

$$P(x \geq c/p) = 1 - \alpha \quad \dots\dots\dots (\text{A.18})$$

$$P(x \leq c/p) = \sum_{x=0}^c \left(\frac{n}{x}\right) p^x (1-p)^{n-x} = \alpha \quad \dots\dots\dots (\text{A.19})$$

根据 CISPR 要求,  $\alpha = 0.2$ ,  $p = 0.2$ 。相应的  $c$  和  $n$  值在表 A.2 中给出。表 A.3 中给出了当  $\alpha = 0.05$ ,  $p = 0.2$  时的  $c$  和  $n$  值。其中  $c$  表示允许的不合格产品的数量,  $n$  表示样本量。

为了能够以 80% 的置信度使 80% 的产品的无线电骚扰电平低于限值,  $c$  和  $n$  需要取表 A.2 中列出的值。

表 A.2  $\alpha = 0.2$ 、 $p = 0.2$  对应的  $c$  和  $n$  值

$c$	$n$
0	7
1	14
2	20
3	26
4	32
5	38
此时消费者的风险为 20%。	

表 A.3  $\alpha = 0.05$ 、 $p = 0.2$  对应的  $c$  和  $n$  值

$c$	$n$
0	13
1	22
2	29
3	36
4	43
5	50
此时消费者的风险为 5%。	

### A.3.2 样本量 $n$ 的确定

与 A.2.2 类似,接收概率用式(A.20)计算:

$$P(x \leq c/p) = \beta(p) \quad \dots\dots\dots (\text{A.20})$$

如果  $p = 0.2$ , 那么  $\beta(0.2) = \alpha = 0.2$ 。一批产品不被接受的概率  $1 - \beta(0.2)$  为 0.8。

运算特征曲线由式(A.21)给出:

$$\beta(p) = \sum_{x=0}^c \left(\frac{n}{x}\right) p^x (1-p)^{n-x} \quad \dots\dots\dots (\text{A.21})$$

运算特征曲线图见图 A.3。

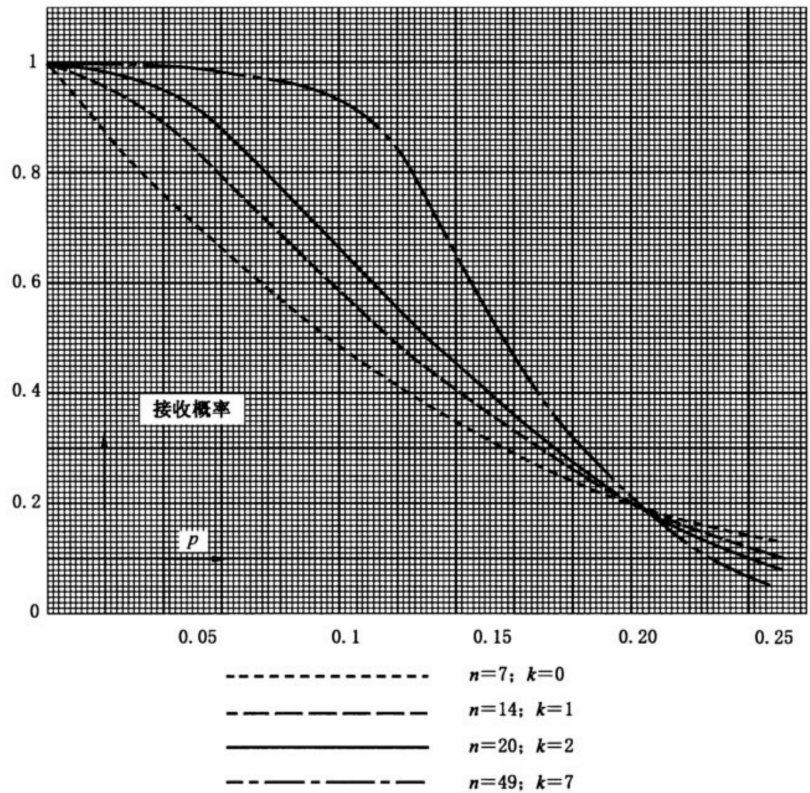


图 A.3 二项式分布的运算特征曲线

A.3.3 控制图

运用控制图(见 A.3.4 中[3])可以获得有关采用统计方法来控制生产过程的数据,同时也可以指出这些数据与原始数据的偏差,用这种方法可以观察生产过程的效能。

一般来说,用样本平均值  $\bar{X}$  和样本标准偏差  $S_n$  就能对所研究的产品质量进行很好的估计。对于批量产品,只要样本足够大,就可以保证  $\bar{X}$  和  $S_n$  与所要求的平均值  $\mu$  和标准偏差  $\sigma$  相一致。从上述数据可以预测生产过程中不同阶段产品的置信区间。

控制图技术可以很容易地通过下述方法来应用:消费者要求 80% 的产品的无线电骚扰电平低于允许限值的置信度为 80%,而同时要避免使用小的样本量。

A.3.4 引用文件

[1] RESNIKOFF, GJ. and LIEBERMAN, GJ. Tables of the non-central  $t$ -distribution. Stanford University, California, 1957.

[2] CISPR/WG 8(Groenveld/Neth.) 1, March 1972.

[3] JOHNSON, NL. 和 LEONE, FC. Statistics and Experimental Design I. Wiley and Sons, New York, 1964, pp 298-348.



附录 B  
(资料性附录)

不完全样本的情况下对无线电骚扰统计参数的分析评估

B.1 理论

第 5 章规定了对批量产品的统计评估要求。该评估基于非中心  $t$  分布,并且要求测量样本中每个样品产生的无线电骚扰电平。然后,根据无线电骚扰电平的平均值和标准偏差来评估接收性。

在许多情况下,由于所用的测量仪器的灵敏度不够,因此要测量样本中所有样品的无线电骚扰电平是不可能的。在这种情况下,要截去用分贝表示的已测得的无线电骚扰电平分布的低端,得到不完全的单边分布。

图 B.1 示出了截去低端的无线电骚扰电平的正态分布概率密度函数  $\varphi(\gamma, \gamma_0)$ 。

图 B.2 示出了可用于描述上述截断分布的截断分布函数  $\Phi(\gamma, \gamma_0)$ 。

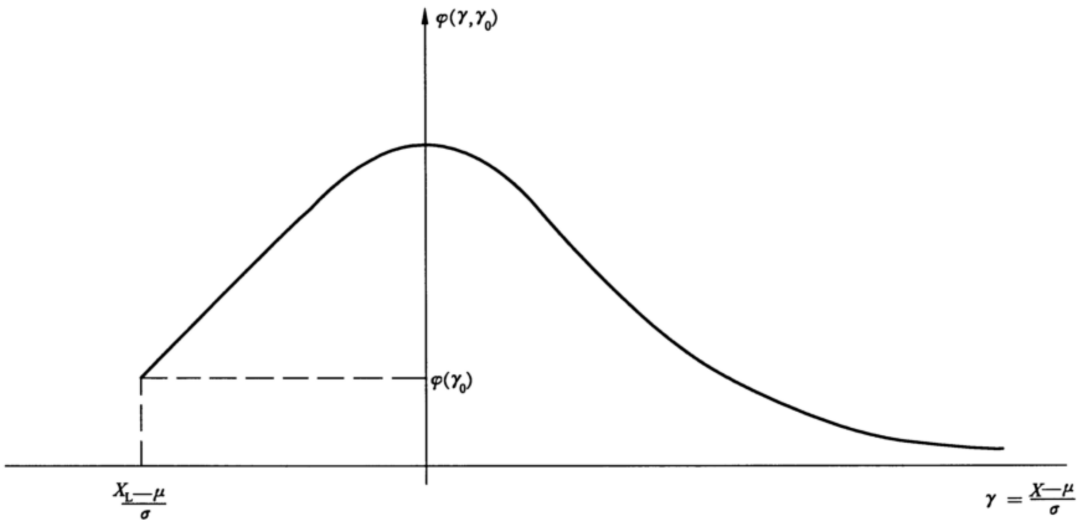


图 B.1 概率密度函数  $\varphi(\gamma, \gamma_0)$

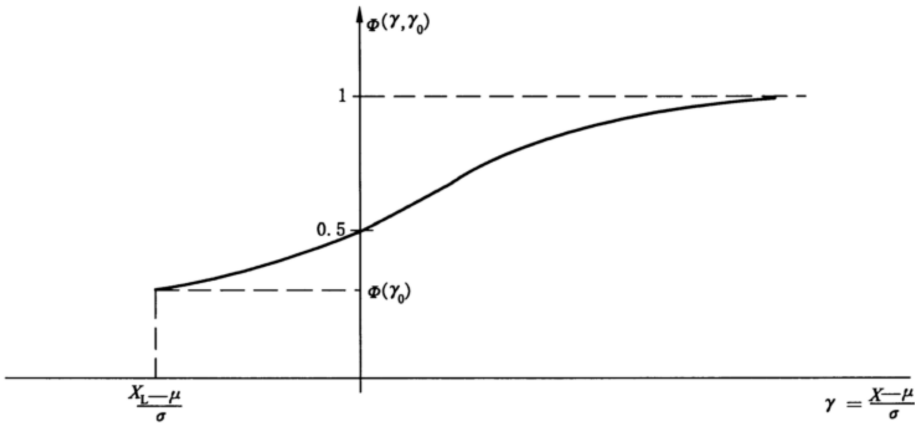


图 B.2 截断分布函数  $\Phi(\gamma, \gamma_0)$

本附录提供了根据正态分布评估分析无线电骚扰值的数学期望及标准偏差的方法。这些方法是基于截断分布的已知参数和截断程度。

假设为了确定无线电骚扰电平分布的统计参数,从一个服从正态分布  $N(\mu_x, \sigma)$  的总体中抽取了  $n$  个个体作为样本。在此样本中,有  $n_0$  ( $n_0 < n$ ) 个个体的无线电骚扰电平  $X < X_L$  ( $X_L$  指的是测量仪器灵敏度的极限)。上述灵敏度的极限就是截断点。因此,在此样本量为  $n$  的样本中,只有  $n - n_0$  个个体的无线电骚扰电平超过  $X_L$ ,所以能够测量无线电骚扰电平的也只有这  $n - n_0$  个个体。可以把这  $n - n_0$  个无线电骚扰电平作为以截断度  $\Phi(\gamma_0)$  截去低端的统计分布的测量值。 $n_0/n$  就是对截断度  $\Phi(\gamma_0)$  的评估。

无线电骚扰测量值的平均值  $\bar{X}$  和标准偏差  $S$  分别作为产品总体的数学期望  $\mu_x$  和总体标准偏差  $\sigma$  的估计值。 $\bar{X}$  和  $S$  分别由式(B.1)和式(B.2)确定:

$$\bar{X} = \bar{X}_y - \frac{S_y}{\left\{ \frac{1 - \Phi(\gamma_0)}{\varphi(\gamma_0)} \left[ \frac{1 - \Phi(\gamma_0)}{\varphi(\gamma_0)} + \gamma_0 \right] - 1 \right\}^{1/2}} \quad \text{.....( B.1 )}$$

$$S = \frac{S_y}{\left\{ \frac{\varphi(\gamma_0)}{1 - \Phi(\gamma_0)} \left[ \gamma_0 - \frac{\varphi(\gamma_0)}{1 - \Phi(\gamma_0)} \right] + 1 \right\}^{1/2}} \quad \text{.....( B.2 )}$$

式中:

$\gamma_0$  —— 特定的截断点,  $\gamma_0 = (X_L - \mu) / \sigma$ ;

$\Phi(\gamma_0)$  —— 正态分布函数在截断点的值;

$$\Phi(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\gamma} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

$\varphi(\gamma_0)$  —— 正态分布概率密度函数在截断点的值;

$$\varphi(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\gamma^2}{2}}$$

式(B.1)和式(B.2)中所包含的截断分布函数的抽样参数值  $\bar{X}_y$  和  $S_y$  分别由式(B.3)和式(B.4)确定:

$$\bar{X}_y = \frac{1}{n - n_0} \sum_{i=1}^{n-n_0} X_i \quad \text{.....( B.3 )}$$

$$S_y = \left[ \frac{1}{n - n_0 - 1} \sum_{i=1}^{n-n_0} (X_i - \bar{X}_y)^2 \right]^{1/2} \quad \text{.....( B.4 )}$$

产品总体的无线电骚扰电平服从正态分布,其数学期望和标准偏差由不完全样本的统计参数值来确定。步骤如下:

- 测量样本量为  $n$  的样本中每一个个体的无线电骚扰电平;
- 确定截断度  $\Phi(\gamma_0) = n_0/n$ ;
- 基于已知值  $\Phi(\gamma_0)$ , 根据正态分布函数表确定截断点  $\gamma_0$ ;
- 从正态分布函数的概率密度表中查得  $\varphi(\gamma_0)$ ;
- 根据式(B.3)、式(B.4), 确定样本量为  $n - n_0$  的新样本无线电骚扰测量值截断后的正态分布的统计参数值;
- 根据式(B.1)、式(B.2), 确定样本量为  $n$  的样本的无线电骚扰电平的完整的正态分布的统计参数值。

注: B.2 给出了一个计算例子。

参数  $\bar{X}$  的置信区间(置信度为  $1 - \alpha$ )由式(B.5)决定:

$$\bar{X} - U_p S \sqrt{\frac{\mu_x \gamma_0}{n}} < \mu_x < \bar{X} + U_p S \sqrt{\frac{\mu_x \gamma_0}{n}} \quad \text{.....( B.5 )}$$

式中：

$U_p = U_{1-\frac{\alpha}{2}}$  ——标准正态分布  $N(0,1)$  的四分位数；

$\mu_x(\gamma_0)$  ——截断度函数，可从表 B.1 查得。

表 B.1 作为  $\gamma_0$  函数的  $\mu_x(\gamma_0)$

$\gamma_0$	-3.0	-2.5	-2.1	-2.0	-1.9	-1.8	-1.7	-1.6	-1.5	-1.4
$\mu_x(\gamma_0)$	1.000	1.001	1.002	1.003	1.004	1.005	1.006	1.009	1.011	1.015
$\gamma_0$	-1.3	-1.2	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4
$\mu_x(\gamma_0)$	1.019	1.025	1.032	1.042	1.054	1.069	1.089	1.114	1.147	1.189
$\gamma_0$	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$\mu_x(\gamma_0)$	1.243	1.312	1.401	1.517	1.667	1.863	2.118	2.453	2.893	3.473
$\gamma_0$	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
$\mu_x(\gamma_0)$	4.241	5.261	6.623	8.448	10.90	14.22	18.73	24.89	33.34	44.99
$\gamma_0$	1.7	1.8	1.9	2.0						
$\mu_x(\gamma_0)$	61.13	83.64	115.2	159.7						

## B.2 数值例子

给出一个计算不完全样本的无线电骚扰电平的平均值  $\bar{X}$  和标准偏差  $S$  的例子。在本例的计算中，样本量为 6 ( $n = 6$ )，其中有 2 个个体 ( $n_0 = 2$ ) 的无线电骚扰电平低于测量设备的灵敏度极限 ( $X < X_L$ )。

如 B.1 所述，计算过程按下列步骤进行：

a) 测量样本中 6 个个体的无线电骚扰值，结果见下表：

样品编号	1	2	3	4	5	6
无线电骚扰值/dB	19	23	20	21	$X < X_L$	$X < X_L$

b) 计算截断度：

$$\Phi(\gamma_0) = \frac{n_0}{n} = \frac{2}{6} = 0.333$$

c) 根据已知值  $\Phi(\gamma_0) = 0.333$ ，从正态分布函数表查得归一化的截断点的值： $\gamma_0 = -0.43$ 。

d) 根据正态分布的概率密度函数

$$\varphi(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\gamma^2}{2}}$$

查表得： $\varphi(\gamma_0) = 0.364$ 。

e) 根据式(B.3)、式(B.4)，计算无线电骚扰的截断分布的统计参数值：

$$\bar{X}_y = \frac{1}{n - n_0} \sum_{i=1}^{n-n_0} X_i = 20.8 \text{ dB}$$

$$S_y = \left[ \frac{1}{n - n_0 - 1} \sum_{i=1}^{n-n_0} (X_i - \bar{X}_y)^2 \right]^{1/2} = 1.7 \text{ dB}$$

f) 根据式(B.1)、式(B.2)，计算无线电骚扰的完全分布的统计参数值：

$$\bar{X} = \bar{X}_y - \frac{S_y}{\left\{ \frac{1 - \Phi(\gamma_0)}{\varphi(\gamma_0)} \left[ \frac{1 - \Phi(\gamma_0)}{\varphi(\gamma_0)} + \gamma_0 \right] - 1 \right\}^{1/2}}$$

$$\bar{X} = 20.8 - \frac{1.7}{\left[ \frac{1 - 0.333}{0.364} \left( \frac{1 - 0.333}{0.364} - 0.43 \right) - 1 \right]^{1/2}}$$

$$\bar{X} = 19.4 \text{ dB}$$

$$S = \frac{S_y}{\left\{ \frac{\varphi(\gamma_0)}{1 - \Phi(\gamma_0)} \left[ \gamma_0 - \frac{\varphi(\gamma_0)}{1 - \Phi(\gamma_0)} \right] + 1 \right\}^{1/2}}$$

$$S = \frac{1.7}{\left[ \frac{0.364}{1 - 0.333} \left( -0.43 - \frac{0.364}{1 - 0.333} \right) + 1 \right]^{1/2}}$$

$$S = 2.5 \text{ dB}$$

然后,按照非中心  $t$  分布的要求,采用下面的公式判断设备样本是否符合限值要求。

$$\bar{X} + kS < L$$

在本例中,要求:  $19.4 + 1.42 \times 2.5 < L$ 。

## 附录 C

## (资料性附录)

## 基于附加裕量的可接受限值的试验

## C.1 本方法的数学理论

本附录给出了使用附加裕量的可接受限值试验的数学基础。

在大批量的生产中,基于样本的结果,控制图用于识别生产过程中的变化。这些“接受控制图”旨在确认生产过程中超出标准限值的个体所占的百分比是否超过了可接受的程度。这些控制图之一是使用每个样本的最大值来作出能否接受的决定(见 C.2 中[2])。假设总体(即生产过程符合正态分布)标准偏差  $\sigma$  是已知的。这些观点应用到下面的无线电骚扰符合性试验中。由于在这种情形下总体标准偏差  $\sigma$  是未知的,所以用标准偏差的最大期望值  $\sigma_{\max}$  代替总体标准偏差是合理的。 $\sigma_{\max}$  是保守值,它依赖于产品和测量项目的类型。以下表明即使使用保守值  $\sigma_{\max}$ ,在实际应用中所计算的附加裕量也是合理的。

本试验的基本思想是取  $n$  个个体的样本以确定它们的骚扰发射值  $x_1, x_2, \dots, x_n$ 。如果所有  $n$  个值都低于附加裕量的可接受限值 AL,则试验通过。AL 低于骚扰限值  $L$ 。AL 和  $L$  之差依赖于样本量  $n$  和标准偏差  $\sigma$ ,并从 80%/80% 准则计算得到。

80%/80% 准则要求生产的产品中以 80%(即  $\alpha = 0.2$ ) 的置信度至少有 80% 的产品低于规定的无线电骚扰限值  $L$ 。这意味着生产过程中来自具有 80% 合格个体的总体的样本还不得不具有 80% 的拒绝概率。当然,来自较好总体的样本将具有较低的拒绝概率。供应商总是努力达到这样一个目标:使合格个体远大于 80% 以降低拒绝概率。80%/80% 准则仅是本试验运算特征的一个指标。

下面的计算假设产品的骚扰电平是有着已知标准偏差  $\sigma$  的正态分布,由两部分组成:

1) 要求总体平均值  $\mu^*$  多大(相对于  $L$ )可得到 80% 的接受率?

2) 可接受限值 AL 多大(相对于  $\mu^*$ )可导致 80% 的拒绝率?

消去  $\mu^*$  来得到 AL 需要小于  $L$  的值(即  $\mu^*$  仅用于计算,别无他用)。

图 C.1 表明如果平均值  $\mu^*$  比骚扰限值  $L$  足够低,总体的 80% 是可接受的质量指标:

如果满足式(C.1)

$$\frac{L - \mu^*}{\sigma} = u_{0.8} = 0.841\ 6 = 80\% \text{—— 正态分布的分位} \dots\dots\dots (C.1)$$

则假设以标准偏差  $\sigma = 1$  进行归一化。

式中,  $u_{0.8}$  是标准正态分布概率密度 80% 分位数的横坐标。如果限值  $L = 0$ ,  $\mu^*$  就变为  $-0.841\ 6$ 。

图 C.1 示出了  $\mu^* = -0.841\ 6$  时的概率密度  $g(x)$  和累积概率分布  $G(x)$ ,该概率是总体的 80% 低于限值的概率。

取具有  $n$  个个体的符合该分布的样本。由于  $n$  个个体互相独立,所以,所有  $n$  个个体取  $x$  为积分上限时的累积概率是  $[G(x)]^n$ 。这是  $n$  取最大值时的累积分布函数。图 C.2 示出了  $n = 5$  时的累积概率分布。

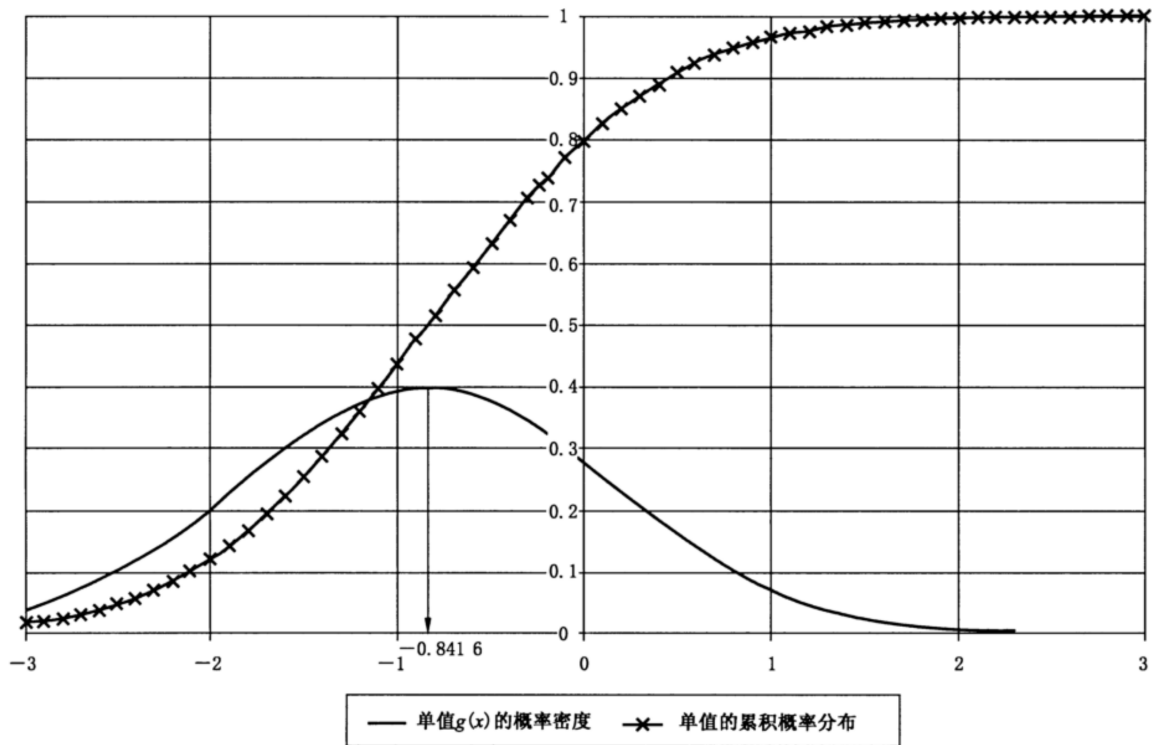
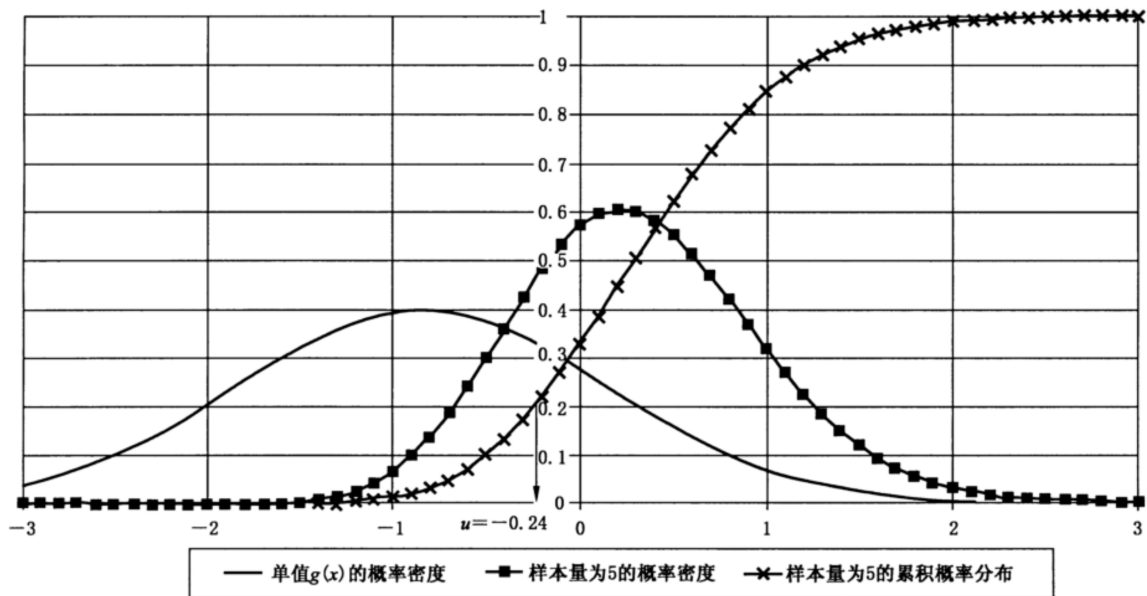


图 C.1 80%低于限值“0”， $\mu = -0.8416$  和  $\sigma = 1$  时的概率密度  $g(x)$  和累积概率分布  $G(x)$



注：累积概率分布函数表明对于  $p = 0.2$ ， $u = -0.24$  是有效的，这意味着如果总体满足  $\mu = -0.8416$  和  $\sigma = 1$ ，那么 5 个样品中的每一个值都期望低于  $u = -0.24$ 。

图 C.2 样本量为 5 的概率密度

80%的置信度(80%/80%准则的第二个 80%)要求的试验是总体样本的接收概率  $\alpha = 20\%$ ，这意味着样本中的所有测量值  $x_1, x_2, \dots, x_n$  均低于可接受限值 AL 的概率是 20%。如果并不是总体的

80%低于限值,那么拒绝概率为  $80\% = 1 - \alpha$ 。如果置信度有效的话,仅刚满足 80%/80%准则中第一个 80%的样本要求有 80%(接收概率  $\alpha = 0.2$ )的拒绝概率,这意味着所选择的附加裕量的可接受限值太低以致样本中所有  $n$  个个体低于 AL 的概率仅为 20%,见式(C.2):

$$P[(x_1 \leq AL) \cap (x_2 \leq AL) \cap (x_3 \leq AL) \cap \dots (x_n \leq AL)] = 0.2 = \alpha \dots\dots\dots (C.2)$$

由于单个值是互相独立的并且服从相同的正态分布,  $\alpha = 0.2$  的分布函数可描述为[见式(C.3)]:

$$G(x_n) = [P(x_i \leq AL)]^n = 0.2 \dots\dots\dots (C.3)$$

在此条件下,下式对于总体的概率分布是有效的,见式(C.4)或式(C.5)或式(C.6):

$$[G(AL)]^n = 0.2 \dots\dots\dots (C.4)$$

或

$$\frac{AL - \mu^*}{\sigma} = u_{\sqrt[4]{0.2}} = \sqrt[4]{0.2} \text{—— 正态分布的分位数} \dots\dots\dots (C.5)$$

$$[P(x_1 \leq AL)]^n = 0.2 \text{ 或 } P(x_1 \leq AL) = \sqrt[4]{0.2} \text{ 或 } \frac{AL - \mu^*}{\sigma} = u_{\sqrt[4]{0.2}} \dots\dots\dots (C.6)$$

联立式(C.5)和式(C.1),并且令式(C.1)中的  $\mu^* = L - u_{0.8} \cdot \sigma$ ,消去  $\mu^*$  可得到式(C.7):

$$AL = L - u_{0.8} \cdot \sigma + u_{\sqrt[4]{0.2}} \cdot \sigma = L - k_E \cdot \sigma \quad k_E = u_{0.8} - u_{\sqrt[4]{0.2}} \dots\dots\dots (C.7)$$

式中,  $u$  是正态分布的分位数,  $k_E$  可从表 C.1 中得到。

表 C.1  $k_E$  的值

样本量 $n$	$k_E$ 的值
1	1.68
2	0.97
3	0.63
4	0.41
5	0.24
6	0.12
7	0.02

示例:

设所推荐的骚扰电压测量的  $\sigma_{\max} = 6$  dB,则需要应用以下表中的附加裕量:

样本量	3	4	5	6
附加裕量/dB	3.8	2.5	1.5	0.7

为了举例说明,计算样本量为 5 的样本的概率密度并画出了累积概率分布函数。

用式(C.3)计算累积概率分布函数  $G(x)$ 。用式(C.8)计算概率密度:

$$g(x) = \frac{d}{dx} \cdot G(x) \dots\dots\dots (C.8)$$

图 C.2 示出了附加裕量的可接受限值 AL 的确定方法。具有 5 个样品的样本的累积概率分布与  $\alpha = 0.2$  的交点确定了样本最大期望单值的附加裕量的可接受限值 AL。这给出了 80%的置信度。

附加裕量的可接受限值 AL 或因子  $k_E$  也可由式(C.5)计算出来。已知  $u_{0.8} = 0.8416$ ,  $u_{\sqrt[4]{0.2}} = u_{\sqrt[4]{0.2}} = u_{0.7248} = 0.6$ ,那么  $k_E = 0.8416 - 0.6 = 0.24$ 。

## C.2 引用文件

- [1] JOHNSON, NL. and LEONE, FC. Statistics and Experimental Design/I. Wiley and Sons, New York, 1964, p298-348.
- [2] WILRICH, P-Th. Qualitätsregelkarten bei vorgegebenen Grenzwerten. Qualität und Zuverlässigkeit, Munich-Vienna; Carl Hanser Verlag, 1979, 24 pp. 260-271.
- [3] DETER et al. New mothod for the statistical evaluation of RFI measurements. EMC Zurich/2003.



## 附录 D

### (资料性附录)

### 样本接收概率的估计

#### D.1 概述

下面的考虑是供制造商用来估计样本的真实接收概率,即制造商不能通过市场监督试验的风险。这些考虑基于这样的假设,即特定类型 EUT 的实际标准偏差可以根据制造商的经验使用特定类别的产品进行估算。本附录中的考虑也可以用于估算与限值的裕量,该裕量可以实现需要的接收概率。需要强调的是,本附录的目的是给制造商提供估计自己风险的手段,而不引入额外的要求。

对于实际标准偏差和目标接收概率,精确值只能由制造商定义。因此,除制造商外,其他机构都不能使用这些方法给限值增加额外的裕量以作为进行试验的合格/不合格判据。

本附录给出的接收概率关系没有考虑 CISPR/TR 16-4-1 和 CISPR 16-4-2 所述的测量不确定度。在一些情况中,这些不确定度是影响实验室间比对的首要因素。因此,当在原始试验的测量不确定度内彼此不同的结果认为是等同时,以下的接收概率计算才是有效的。

图 D.1 示出了在接受限值处总体骚扰值归一化的幅度概率密度分布(标准偏差  $\sigma = 1.0$ ),这意味着骚扰值的 80% 低于骚扰限值,20% 高于骚扰限值。在图 D.1 中,骚扰限值已被移到坐标系的原点,以更容易地计算与限值的差值。

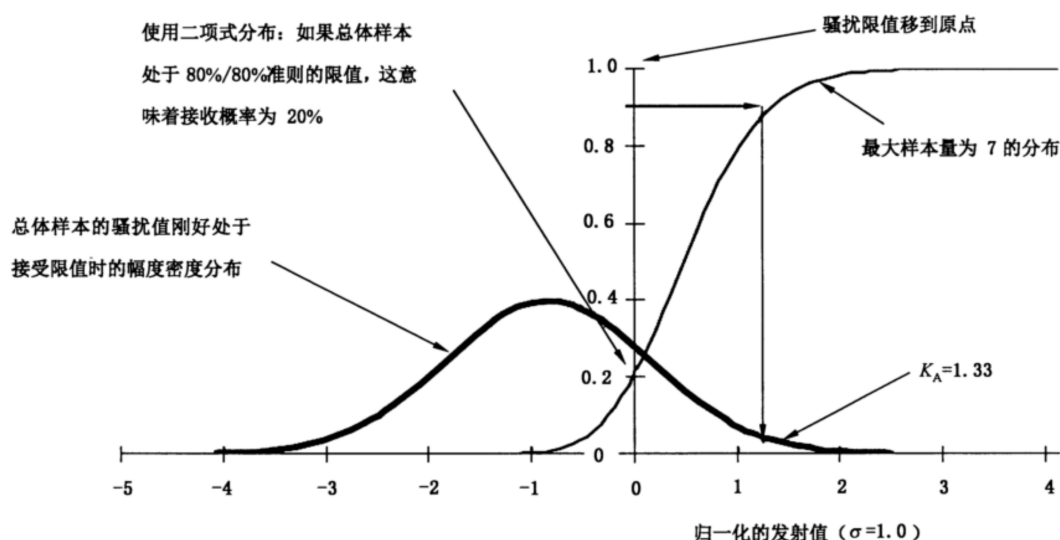


图 D.1 骚扰值幅度密度的归一化分布(标准偏差  $\sigma = 1.0$ )

为了通过基于二项式分布的统计评估,从总体样本中随机抽取 7 个样品,最大的测量值还是要低于骚扰限值。图 D.1 中标记  $n=7$  的曲线表明了这个概率,对于给定的总体样本,在骚扰限值(坐标系统的原点)处这个概率刚好为 20%。在这种情况下,接收概率为 20%。

注:在这种情况下,准确的 20% 的接收概率并不是巧合——它来自以二项式分布为基础,确保试验方法的置信度为 80% 的要求。

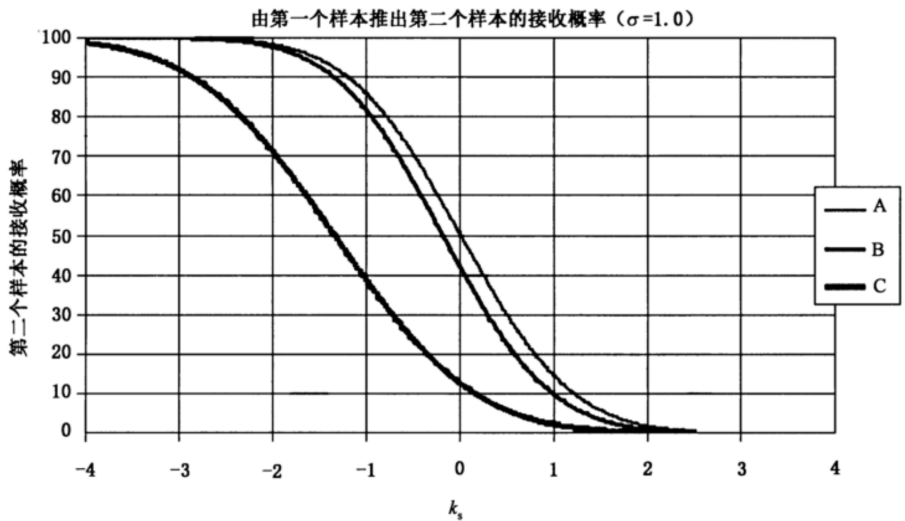
黑色箭头表示如何对限值选择一个额外的距离以增加接收概率。对于样本量为 7 的试验,为了实现大约 90% 的接收概率,所有归一化的发射值需要减小  $K_A$  (即约为 1.33),这需要使两条曲线向左移动 1.33。标记  $n=7$  的曲线将在大约 0.9 处与纵坐标相交,这意味着所有值都小于零的概率约为 90%。这

种方法与本附录 D.6[4] 中使用的方法、5.3 和附录 C 中的方法类似。

上述方法的问题是假设知道总体的平均值和标准偏差的真值。但制造商并不知道真值,仅知道受试样本的结果。这些结果与随后的市场监督所试验的样本的结果具有相同的随机变化。在实际当中,制造商需要从受试样本中得到其结果,这预期可能是随后受试样本的结果。因此,正如 D.2 所述,已选择了另一种方法用于接收概率的估计。

D.2 接收概率的估计

推荐采用以下方法从受试样本中得到其结果,这个结果预期可能是随后受试样本的结果。使用骚扰值服从正态分布的假设,通过仿真或者通过分布函数的积分可以确定两个样本的最大值之间差值的分布。因此,能得到第二个样本的接收概率,如图 D.2 所示且描述如下。在图 D.2 中以及随后的表 D.1 中, $n_1$  是第一个样本中 EUT 的数量(即由制造商进行的试验), $n_2$  是第二个样本中 EUT 的数量(例如市场监督中的), $k_s$  是用于估计接收概率的因子。所示曲线已归一化,标准偏差  $\sigma = 1.0$ 。



说明:(A、B、C 直接在曲线上标注)

A—— $n_1=5; n_2=5$ ;

B—— $n_1=5; n_2=7$ ;

C—— $n_1=1; n_2=7$ 。

图 D.2 第二个样本的接收概率

图 D.2 和表 D.1 中的  $n_1$  表示 EUT 的数量。如果 EUT 来自相同的总体且在相同的条件下进行试验,接收概率正好为 50%,第二个受试样本至少与第一个样本是一样的接收概率。因此,如果制造商的样本准确的位于可接受限值,即刚好满足标准的要求,那么制造商能够假设随后试验的接收概率为 50%。如果制造商的受试样本电磁兼容(EMC)性能更好,那么随后样本的接收概率将大于 50%。

图 D.2 中标记为 A 的曲线( $n_1=5$  和  $n_2=5$ )是假设两个样本根据相同的方法进行试验,且在基于附加裕量的不同可接受限值基础上计算得到的。计算也可以针对不同的样本量进行。图 D.2 也示出了曲线 B( $n_1=5, n_2=7$ ),当随后的市场监督基于二项式分布时这也是适用的。最后,对于仅试验一个样品的制造商可能会更关注曲线 C( $n_1=1, n_2=7$ ),这对于随后市场监督中样本接收概率的估计是有用的。

表 D.1 示出了因子  $k_s$  的值,其可用于使用第一个样本量  $n_1=5$  或  $n_1=1$  的试验估计第二个样本的接收概率。因子  $k_s$  可以以两种不同的方式使用:

——评估第一个样本后,估计重复统计评估的接收概率;

——定义与限值的裕量,以达到要求的接收概率。

D.5 中给出了这两种应用的示例。在这些应用中,对于所研究的 EUT 类型需要估计实际的标准偏差  $\sigma_R$ , 这应由制造商根据类似产品的经验得到。

表 D.1 接收概率对应的因子  $k_s$  的值

行	$n$	接收概率对应的 $k_s$										
		99%	98%	97%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	60%	50%
A	$n_1=5$ $n_2=5$	-2.22	-1.95	-1.78	-1.55	-1.21	-0.97	-0.79	-0.63	-0.49	-0.24	0.00
B	$n_1=5$ $n_2=7$	-2.34	-2.08	-1.91	-1.69	-1.35	-1.13	-0.95	-0.80	-0.66	-0.42	-0.19
C	$n_1=1$ $n_2=7$	-4.15	-3.81	-3.59	-3.31	-2.87	-2.57	-2.34	-2.14	-1.96	-1.64	-1.34

注: 使用  $n_2=5$  的计算基于使用附加裕量的可接受限值的新方法, 见 5.4, 而使用  $n_2=7$  的计算基于二项式分布。

### D.3 因子 $k_s$ 的推导

表 D.1 中因子  $k_s$  的值推导如下。假设测量值的概率密度  $g(x)$  和分布函数  $G(x)$  为正态分布。那么在制造商抽取的样本量  $n_1$  中, 最大值的分布函数为  $[G(x)]^{n_1}$ , 因此其概率密度为  $n_1 g(x) \cdot [G(x)]^{n_1-1}$ 。同样地, 在权威检测机构抽取的样本量  $n_2$  中, 最大值的分布函数为  $[G(y)]^{n_2}$ , 因此其概率密度为  $n_2 g(y) \cdot [G(y)]^{n_2-1}$ 。

设  $y = x + \delta$ , 因此,  $\delta$  (制造商的最大结果和授权检测机构的最大结果之间的差值) 的分布密度函数为

$$f(\delta) = n_1 n_2 \cdot \int_{-\infty}^{\infty} g(x) \cdot [G(x)]^{n_1-1} \cdot g(x+\delta) \cdot [G(x+\delta)]^{n_2-1} dx$$

因此, 如果制造商的最大结果与限值的裕量为  $D$ , 授权检测机构最大结果低于限值 (即试验合格) 的概率为

$$\int_{-\infty}^D f(\delta) \cdot d\delta$$

为了获得表 D.1 和图 D.2, 这个积分要使用数值方法进行估算。

### D.4 多于一个频率的结果接近限值的发射

本附录中的计算基于二项式分布, 即基于 5.4 中描述的方法 (基于附加裕量的可接受限值的试验)。对于这种情况, 仅考虑最接近限值的单个发射值。如果在多于一个频率的结果接近限值, 那么应评估与限值差值最小的频率, 需要考虑的是, 在不同频率实际的标准偏差可能是不同的。

### D.5 应用实例

#### D.5.1 应用实例 1

基于单个样品的测量, 制造商想估计市场监督时的预期接收概率。在一个特定的频率, 测量结果和

限值之间的最小差值为 4.5 dB。从以前的经验,能够估计这个频率的实际标准偏差为  $\sigma_R = 2.0$  dB。由于计算因子  $k_s$  的  $\sigma = 1$ , 测量值需要进行归一化。因此,与限值现有的归一化裕量为

$$4.5/\sigma_R = (4.5/2.0) = 2.25$$

从表 D.1 中的 C 行以及图 D.2 可得到,这种情况下的接收概率在 75%~80%之间。如果制造商不满意这个结果,那么需要更多的 EUT 进行试验以获得更精确的估计,或者需要增加与限值的裕量(即修改产品)。

注:本例中使用了  $n_2 = 7$ ,因为在有争议的情况下,通常试验的样本量为 7 或更大。

## D.5.2 应用实例 2

对某一产品,在某一频率的限值为  $L = 50$  dB。制造商试验的样本量为 5。根据经验,在此试验频率,制造商可以假设实际标准偏差  $\sigma_R = 3.0$  dB。表 D.1 的 B 行给出了因子  $k_s$ 。对于需要的 90%的接收概率,  $k_s = -1.35$ 。因此,制造商样本量为 5 中的最大骚扰值需要小于如下值。

$$(50 - 1.35 \times 3) \text{ dB} = 46 \text{ dB}$$

如果制造商要求接收概率为 99%,则样本中的最大值不能超过如下值。

$$(50 - 2.34 \times 3) \text{ dB} = 43 \text{ dB}$$

注:对于此例,宜使用表 D.1 且  $n_2 = 7$ ,因为这能直接与限值进行比较,对于制造商,与使用  $n_2 = 5$  相比,这能给出更好的样本量。如果使用表 D.1 且  $n_2 = 5$ ,仅能计算可接受限值与实际限值所需的裕量。与实际限值的总体裕量将要小于使用  $n_2 = 7$  的情况。

## D.6 引用文件

- [1] JOHNSON, NL., and LEONE, FC. Statistics and Experimental Design. Wiley and Sons: New York, 1964, pp. 298 - 348.
- [2] WILRICH, P-Th. Qualitätsregelkarten bei vorgegebenen Grenzwerten. Qualität und Zuverlässigkeit, Munich-Vienna: Carl Hanser Verlag, 1979, vol. 24, pp. 260-271.
- [3] DETER, F., DUNKER, L. and KLEPPMANN, W. New method for the statistical evaluation of RFI measurements. EMC Zurich, 2003.
- [4] CISPR/A/491/DTR “Rules for applying the statistical 80/80 rule and use of partial frequency ranges” accepted and included into CISPR 16-4-3, 2004.
- [5] DETER, F., DUNKER, L., and KLEPPMANN, W. Neue Verfahren zur statistischen Auswertung von Funkentstörungsmessungen unter Berücksichtigung der Annahmewahrscheinlichkeit einer Stichprobe. EMV-Duesseldorf, 2004.

参 考 文 献

- [1] CISPR 14 (all parts) Electromagnetic compatibility—Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus
- [2] CISPR/TR 16-4-1 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods—Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modelling—Uncertainties in standardized EMC tests
- [3] CISPR 22 Information technology equipment—Radio disturbance characteristics—Limits and methods of measurement
- [4] International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, International Organization for Standardization, Geneva, 2nd edition, 1993
-