

团体标准

T/CESA XXXX—202X

汽车用集成电路 电参数一致性评价方法

Automotive integrated circuits – Evaluation method for consistency of electrical parameters

征求意见稿

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

202X-XX- XX 发布

202X-XX- XX 实施

中国电子工业标准化技术协会 发布



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构，除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以其他形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版，影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

目 次

前 言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 参数分布测试..... 2

附 录 A（规范性）..... 5

附 录 B（资料性）..... 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。

本文件由中国电子技术标准化研究院提出。

本文件由中国电子工业标准化技术协会归口。

本文件起草单位： 。

本文件主要起草人： 。

汽车用集成电路 电参数一致性评价方法

1 范围

本文件规定了基于统计学的电参数一致性评价方法，包括静态、动态和其他参数分布测试限制的设定方法，用于汽车用集成电路测试中筛选异常特性(异常值)的零件。

本文件适用于完成封装或未封装的汽车用集成电路，分立器件、光电器件和多芯片组件等汽车电子元器件也可参照执行。

注1：本文件旨在提供一种去除异常零件的一般方法，从而提高所供应器件的质量和可靠性。参数分布测试和统计良率分析并不是强制要求。如果测试结果属于非正态分布，处理方法可能与本指南不同，汽车用集成电路供应商应证明这种派生的方法为好的统计方法。

注2：根据历史数据统计，异常特性的零件会对质量和可靠性问题产生重大影响。使用这项技术能够反映出工艺变化，并提供防止质量事故发生的快速反馈机制。

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 9178 集成电路术语

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

零件平均测试 part average testing/PAT

这是一种在制造业中用于对产品进行统计质量控制的方法。

3.2

重要特性 important characteristics

可能影响产品质量和可靠性的特性，该特性能够提供关于零件在定义的用户条件下正常工作的最重要信息。有关重要特性的示例，见附录B。

3.3

已知合格芯片 known good die/KGD

指经过系统测试的裸芯片或未封装芯片具有与封装产品相同的质量、可靠性和功能，并符合规定的功能和规定的标准。

3.4

规格下限 lower specification limit/LSL

设计规范中规定的下限。

3.5

稳健平均值和稳健标准差 robust mean and robust sigma

去除异常数据的统计计算。异常数据通常被认为是离主分布均值超过6个标准差的数据。下面是一个通用方法的例子：

通常的平均值和标准差统计往往不够准确，因为它们对异常值非常敏感。“鲁棒”一词的使用是指那些对异常值不敏感的统计。鲁棒平均值和标准差通过估计主要的数据位置和分布剔除了异常值。下面的公式适用于正态分布或高斯分布(主群体)

$$\begin{aligned}\text{鲁棒平均值} &= Q2 \text{ [中位数值]} \\ \text{鲁棒标准差} &= (Q3 - Q1) / 1.35\end{aligned}$$

注1：如果样本数的大小是奇数，Q2是中间的数据点。如果样本数的大小是偶数，则Q2是两个中间数据点的平均值。

注2：对于样本数小于20，系数1.35是不精确的。Q1位于数据排序的1/4处，而Q3位于数据排序的3/4处。

3.6

规格上限 upper specification limit/USL

设计规范中规定的上限。

4 参数分布测试

4.1 设置测试限值

PAT中的测试限值是根据独特设计和加工的特定零件的电气测试结果作为样本确定的。每个特定零件按其测试要求得到的测试结果，都是独立分布的，这些数据是建立PAT限值的基础。测试限值可以按照静态或动态的方式设置。静态限值是建立在一定量可用的测试数据的基础上，并且在一段时间内不需要修改。基于静态测试限值来设定动态测试限值，是对于每一批(或一批中的晶片)进行设定，并且随着其测试而不断地修改。当晶圆级设计改变、制程微缩或工艺改变时，应建立新的PAT测试限值(静态和动态)。当测试数据分布是适合于离群分析，都可以考虑使用PAT测试限值。附录B为“重要特性”的测试提供了指导，这些“重要特性”被认为最有利于提供质量和可靠性效益。PAT测试限值不得超过规范规定的规格限值。

4.2 静态参数分布测试限值

收集至少6批次零件的测试数据，这些零件已经通过了设备规格书中定义的测试限值。通过随机选择每批次至少300个零件的测试数据来确定每组测试的鲁棒平均值和标准差(见图1)。如果测试数据是晶圆级数据，要从至少5个位于晶片不同区域的晶粒(至少30个晶粒/批次)选取数据。在生产的早期，还无法提供来自6个批次的数据时，可以使用来自特性批的数据。一旦有生产批数据，该数据应立即更新。设置测试限值如下：

$$\text{静态PAT限值} = \text{鲁棒平均值} \pm 6 \times \text{鲁棒标准差}$$

对于明显非正态分布的数据，供应商应使用其他合适的方法并准备为客户提供该解决方法的做出说明。

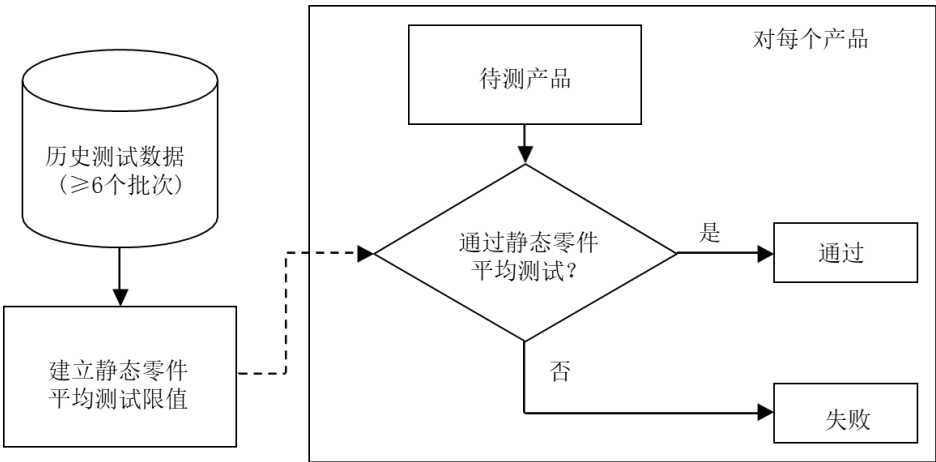


图1 确立静态 PAT 限值

在批量生产6个月或至少完成了8个量产批(以先发生为准)的情况下，应根据需要对静态PAT限值进行评审和更新，不应使用旧数据。6个月后，静态PAT限值应以半年为周期进行评审，并根据需要进行更新。

4.3 动态参数分布测试限值

动态PAT限值优于静态PAT限值，因为参考数量与正在测试的部分相同。动态参数分布测试可以提供更严格的限值，而不会引起正常零件的误去除，因为它不用考虑作为静态PAT限值的批次与批次的区别变化。动态与静态PAT限值确定的方式相同，但设定限值是使用已经通过的测试零件的当前批次(或晶片)的数据建立的。为了使用这种方法，在对零件的批次(或晶片)进行测试后，它们应允许使用新定义的动态PAT限值。这些限值是通过测试数据的进一步统计分析来定义的，它为某一批次(或晶片)建立了新的更严格的测试限值，并去除其他的异常值（见图2）。测试限值如下：

动态PAT限值=鲁棒平均值±6×鲁棒标准差

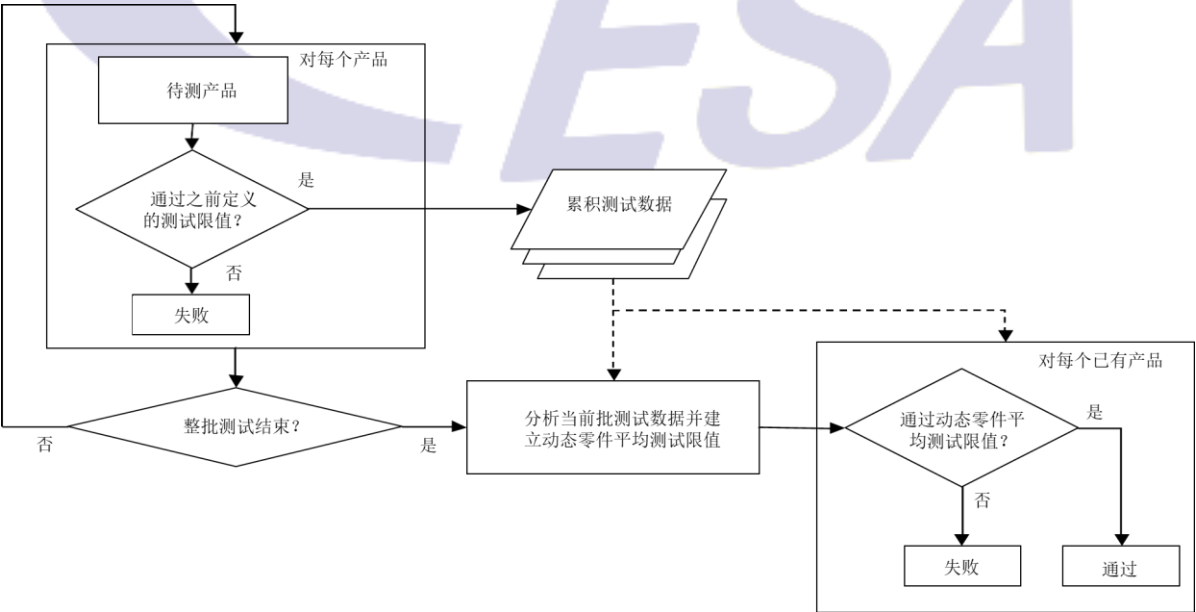


图2 确立动态 PAT 限值

这说明PAT很容易适用于晶圆探针或终测来保证可追溯性。对于无法在最后阶段保持可追溯性的零件，动态参数分布测试的应用需要对目前通过测试的零件进行重新测试。

4.4 其他类型动态 PAT 限值

执行动态参数分布测试，并且避免重新测试封装后产品的一个变化如图3所示。动态限值将适用于同一批次中的产品，但不适用于产生用于建立动态参数分布测试限值数据的样品。

最初，静态PAT限值可以用来测试一个预先定义的N个零件的数量(例如， $N = 500$ 或 1000)。使用生成的数据，将建立每个批次特定的参数分布测试限值。这些生成的静态限值将成为新的测试限值(计数器将重置为零)，以测试该组中的其他样品。一旦计数器再次到达N，分析过程将被重复，直到该批次所有的样品都被测试。

执行动态参数分布测试的另一种变化是随机抽取第一个N个零件件的样本，并在这个样本的基础上循环使用该限值。

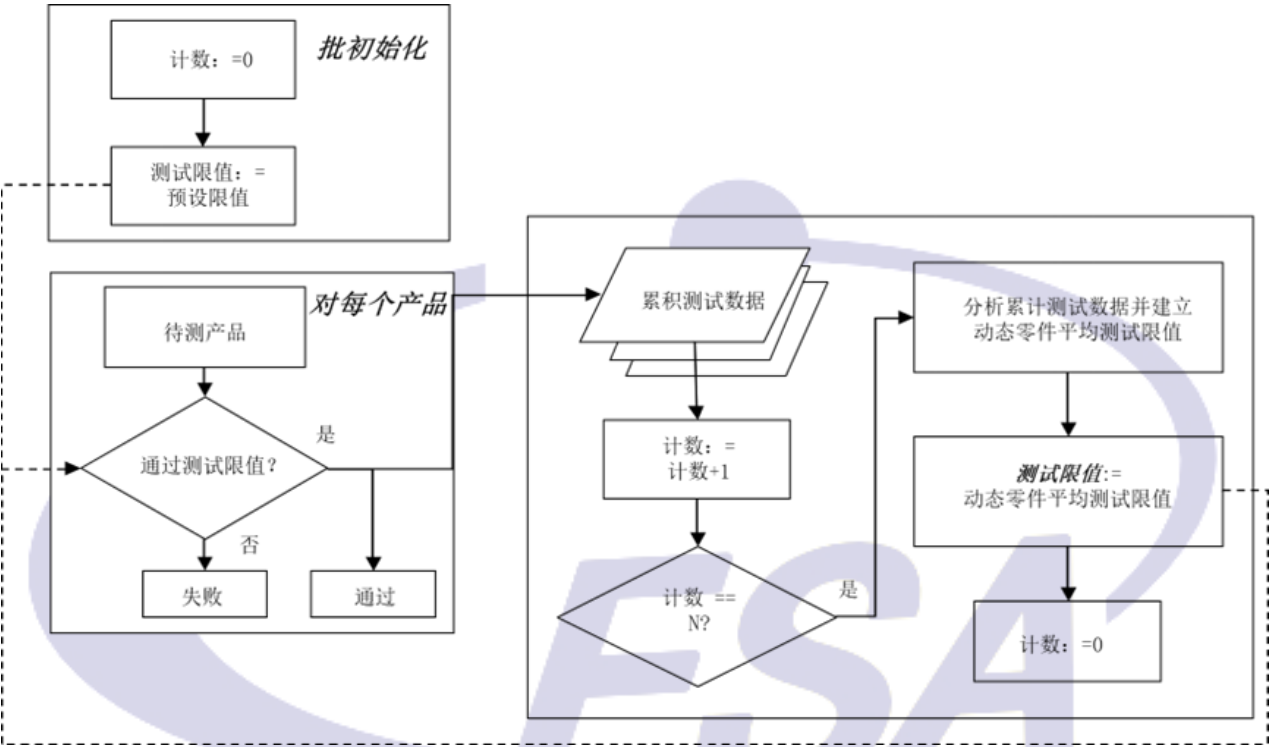


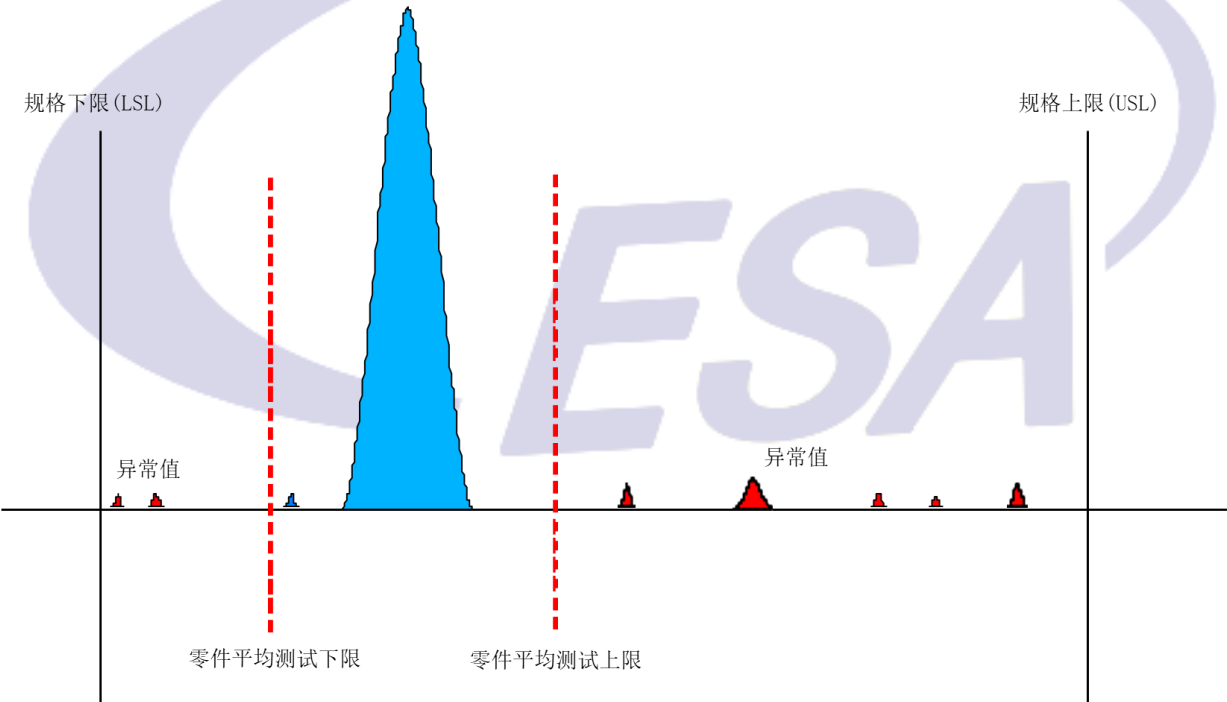
图3 封装后产品动态 PAT 限值

附录 A
(规范性)
参数分布测试限值

在零件测试中，参数分布测试限值提供了使用统计技术去除异常零件(见图A.1)的方法。器件规范定义了器件在应用程序中适当工作的要求。每个器件是由特定的设计，使用统计过程控制工艺。如果通过良好的工艺控制，将产生一系列可预见的、前后一致的特性测试结果。参数分布测试使用统计技术来对这些测试结果规定测试限值。这些测试限值是为了剔除异常值(其参数测试结果在统计上与典型器件不同)，并且应该对统计过程控制中正常工艺器件产生最小的良率影响。这种测试方法不仅限于标准的器件规格参数测试，还包括扩展的操作测试(超出器件规格要求的测试)，以提高检测特殊异常情况的能力，提高测试技术的灵敏度。对扩展操作测试的唯一限制是测试不能降低通过测试的器件的可靠性。

参数分布测试的目的是尽可能早的在器件制造过程中剔除异常器件，从而提高汽车用半导体器件的质量和可靠性(最好是在晶圆测试中)。这将客户支持和失效分析中，使相关的成本最小化，并提供早期反馈以防止质量事故的发生。

这种方法，如果充分利用它的全部能力(包括所有的器件电参数测试和适当的扩展操作条件测试的统计极限)，就能够为大多数半导体技术提供“电气性”已知合格芯片的能力。还应该记住，已知合格芯片(正如第2节中所定义的)需要不仅仅器件电参数测试。它还需要对所有其他装配过程进行仔细的控制，如晶圆切割、晶粒处理、封装、ESD等。



图A.1 参数分布测试限值和异常值示意图

对于限值测试的建议方法：

对于一个未执行过测试的新批次，为了对该批次产品建立动态限值，并在该批次的测试执行过程中逐样本实时地更新——以取得更准确严格的限值，且尽量合理地减少对同一批次产品重复测试的成本增加；测试策略应当对动态 PAT 限值的建立过程、逐样本实时更新过程：

1. 首先，预先定义该批次的 N 个合格零件的数量(例如，N = 500 或 1000)。对应该批次初始的样本，进行使用预设限值的逐样本测试，直至满足合格样品数量计数达到 N；使用这 N 个合格样品生成

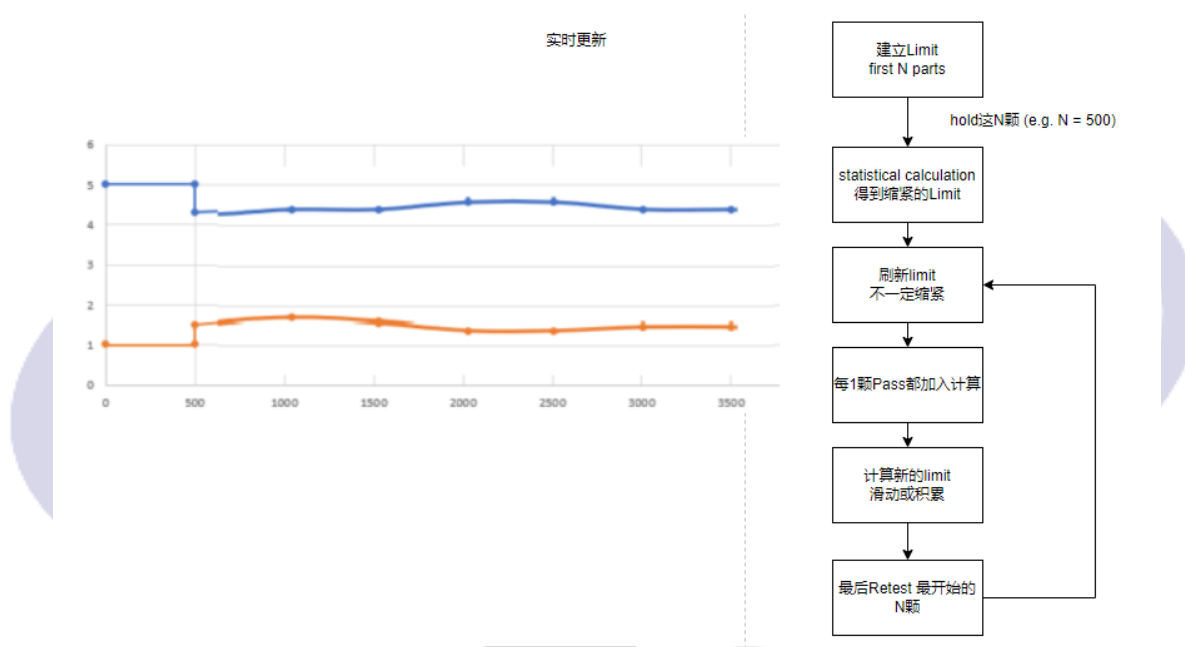
的数据，建立该批次特定的参数分布测试限值，亦即为该批次动态 PAT 限值的初始值。将这 N 个合格样品从批次中抽取出待后续过程使用。此为该批次动态 PAT 限值的建立过程。

2. 然后，在逐样本实时更新并测试全批次所有产品的过程中，设定一个滑动的样本数窗口，窗口的初始大小设定为 N，该窗口选中的初始样本即为前述限值建立过程的 N 个合格样品。对该批次中未被测试过的每个产品，执行以窗口内样本测试数据计算的动态 PAT 限值的测试。

每以动态限值测出一颗合格样品，可以按照以下策略其一的方式将该合格样品的数据更新到窗口中，并更新动态限值：

- 将合格样品加入到窗口的样本中，并同时剔除窗口中最早的一颗样本，即保持窗口大小不变，窗口为在批次产品测试顺序上的滑动窗口，并以当前窗口内样本数据更新动态限值。
- 将合格样品加入到窗口的样本中，窗口内已有样本保留，即窗口大小增加 1，窗口为在批次产品测试顺序上的起始点不变、结束点不断后移的窗口，并以当前窗口内样本数据更新动态限值。

3. 最后，该批次所有产品都经过测试后，将第一步中抽取出的 N 个合格样品，重新加入到该批次待测试的序列，并依照 2.方法使用最新的动态限值重新进行测试、并逐样本更新动态限值。



图A. 2 PAT限值的建立过程示意图

建议对 Electronic Characteristics 测试项进行 DPAT 以确保出货质量，以下推荐了最重要的 EC 测试项，包括：

- Leakage
- Idd/Icc
- Iddq
- Output breakdown voltage / Output leakage / Output Current Drive / Output voltage levels
- OVST
- IIL / IIH / VOL / VOH
- Propagation Delay / Output Response Time / Rise Fall Time

其他的与 device 相关性强的关键测试项建议也采用 DPAT 算法以确保质量。在进行计算时，可以参考的算法包括，Mean Sigma、Robust Mean Sigma（R DPAT）。

Mean Sigma

采用 Mean Sigma 算法是用户可以自定义 Sigma 缩放系数，算法公式如下：

$$\text{LowerLimit} = \text{Mean} + \text{LowerLimitScale} * \text{Sigma}$$

$$\text{UpperLimit} = \text{Mean} + \text{UpperLimitScale} * \text{Sigma}$$

请注意 LowerLimitScale 和 UpperLimitScale 的正负号。

Robust Mean Sigma

采用 Robust Mean Sigma 算法是用户可以自定义 Sigma 缩放系数，算法公式如下：

$$\text{Upper Limit} = \text{median} + \text{LowerLimitScale} \times (\text{x}_{3/4} - \text{x}_{1/4}) / 1.35$$

$$\text{Lower Limit} = \text{median} - \text{LowerLimitScale} \times (\text{x}_{3/4} - \text{x}_{1/4}) / 1.35$$

总体而言，该算法比普通 Mean Sigma 算法更稳健，因为它在离散度计算中剔除了可能的异常值，并对分布中的偏斜进行了一定的修正，从而提高了效率。通过避开第一百分位数和第九十九百分位数，在计算限值时剔除了可能的异常值，从而提高了统计稳健性。此外，通过使用下限和上限，分布的不对称性也被考虑在内。

当采用 Robust Mean Sigma 时除了 Sigma 系数外，还可以根据需要设置四分位算法。

其中 N-1 等价于 Excel 公式 QUARTILE.INC，N+1 等价于 Excel 公式 QUARTILE.EXC 可以对应处理不同的边缘情况，QUARTILE 的 N-1 算法以包含的方式计算四分位数，即将数据集中的最小值和最大值包括在内，QUARTILE 的 N+1 算法以排除的方式计算四分位数，即将数据集中的最小值和最大值排除在外。



附 录 B
(资料性)
电测试

本附录不是一个全面的重要特性参数清单，它只是作为一个参数的参考。其他被认为对某一特定器件更重要或更相关的测试也应包括在参数分布测试中。

为满足本程序的要求，下列测试应在自动测试设备测试期间使用参数分布测试范围。

a) 管脚漏电流测试

这是一个可以使用参数分布测试的示例。这个测试将验证CMOS器件VDD管脚相对于衬底的结特性是否正常。

b) 静态供电电流 (IDD或ICC)

c) IDDQ测试

该测试适用于那些能够进行IDDQ测试的器件。

d) 输出击穿电压 (BVCEs或BVDSS)、输出漏电流 (ICES或IDDS-在击穿电压值的80%时测量)、输出电流驱动 (IOUT) 和输出电压等级 (VOUT)

这些测试适用于线性和双金属氧化物半导体器件。

e) 过电压应力测试

这种测试在硅MOS器件(如NMOS, PMOS, CMOS, DMOS等)上，由于栅氧化层和其他相关的缺陷引发失效。参数分布测试限值可以用于测量特性，如动态电流或其他项。同样，这里也可以使用统计箱限值。

f) 低电平输入电流 (IIL)，高电平输入电流 (IIH)，低电平输出电压 (VOL)，高电平输出电压 (VOH)

本项测试指示晶体管在设计中的功能。对这些测试应用参数分布测试可以检测出性能差的晶体管。

g) 传播延迟或输出响应时间，上升/下降时间

本项测试表明晶体管在设计中的功能。对这些测试应用参数分布测试可以检测出性能差的晶体管。

h) 扩展操作测试

扩展的操作测试是超出设备规范要求的测试，目的是提高PAT的有效性。这些是结合更多设备特性的PAT测试的测试类型，可以使部分级别的测试能够提供高质量和可靠性的部件(已知良好模具)。在每个扩展操作测试之后，可以为各种测量特性建立PAT范围。下面是一些扩展操作测试的例子：

- 1) 低/高温；
- 2) 低/高电压操作；
- 3) 高压停留时间；
- 4) 操作频率高于/低于规范要求；
- 5) 对于动力装置，安全操作能力说明(60%的安全操作范围)与泄漏测试等。

注：对这些测试的唯一限制是，必须证明测试不会对部件的可靠性产生不良影响。