

# T/CPCA

## 中国电子电路行业团体标准

T/CPCA XXX.2—20XX

### 电子电路检测方法：电气性能测试方法

Test methods of electronic circuits: Electrical testing

(征求意见稿)

2026.6.11

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。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国电子电路行业协会 发布



## 目 次

1 范围 .....	2
2 规范性引用文件 .....	2
3 术语和定义 .....	2
4 通用试验要求 .....	2
4.1 试验条件 .....	2
4.1.1 试验的标准大气条件 .....	2
4.1.2 仲裁试验的标准大气条件 .....	3
4.2 试样 .....	3
4.3 结果报告 .....	3
5 电气性能测试方法 .....	3
5.1 电阻 .....	3
5.1.1 导线电阻 .....	3
5.1.1.1 目的 .....	3
5.1.1.2 试样 .....	3
5.1.1.3 设备和材料 .....	3
5.1.1.4 步骤 .....	3
5.1.1.5 结果报告 .....	4
5.1.2 镀覆孔电阻 .....	4
5.1.2.1 目的 .....	4
5.1.2.2 试样 .....	4
5.1.2.3 设备和材料 .....	4
5.1.2.4 步骤 .....	4
5.1.2.5 结果报告 .....	5
5.1.3 互连电阻 .....	5
5.1.3.1 目的 .....	5
5.1.3.2 试样 .....	5
5.1.3.3 设备和材料 .....	5
5.1.3.4 步骤 .....	5
5.1.3.5 结果报告 .....	6
5.1.4 按键盘接触电阻 .....	6
5.1.4.1 目的 .....	6
5.1.4.2 试样 .....	6
5.1.4.3 设备和材料 .....	7
5.1.4.4 步骤 .....	7
5.1.4.5 结果报告 .....	7
5.1.5 钢片接地电阻 .....	8
5.1.5.1 目的 .....	8
5.1.5.2 试样 .....	8
5.1.5.3 设备和材料 .....	8
5.1.5.4 步骤 .....	8

5.1.5.5 结果报告 .....	8
5.2 电气完整性 .....	8
5.2.1 手动测试 .....	8
5.2.1.1 目的 .....	8
5.2.1.2 试样 .....	8
5.2.1.3 设备和材料 .....	8
5.2.1.4 步骤 .....	9
5.2.1.5 结果报告 .....	9
5.2.2 自动通断针床测试 .....	9
5.2.2.1 目的 .....	9
5.2.2.2 试样 .....	9
5.2.2.3 设备和材料 .....	9
5.2.2.4 测试指标要求 .....	10
5.2.2.5 步骤 .....	10
5.2.2.6 结果报告 .....	11
5.2.3 自动移动探针测试（二端子法） .....	11
5.2.3.1 目的 .....	11
5.2.3.2 试样 .....	11
5.2.3.3 设备和材料 .....	11
5.2.3.4 测试指标要求 .....	11
5.2.3.5 步骤 .....	12
5.2.3.6 结果报告 .....	12
5.2.4 自动移动探针测试（四端子法） .....	12
5.2.4.1 目的 .....	12
5.2.4.2 试样 .....	12
5.2.4.3 设备和材料 .....	12
5.2.4.4 测试电压 .....	13
5.2.4.5 步骤 .....	13
5.2.4.6 结果报告 .....	13
5.2.5 CCD全自动针床测试（四端子法） .....	13
5.2.5.1 目的 .....	13
5.2.5.2 试样 .....	13
5.2.5.3 设备和材料 .....	13
5.2.5.4 测试电压 .....	13
5.2.5.5 步骤 .....	14
5.2.5.6 结果报告 .....	14
5.3 导体耐大电流 .....	14
5.3.1 导线耐电流 .....	14
5.3.1.1 目的 .....	14
5.3.1.2 试样 .....	14
5.3.1.3 设备和材料 .....	14
5.3.1.4 步骤 .....	14
5.3.1.5 结果报告 .....	15
5.3.2 镀覆孔耐电流 .....	15
5.3.2.1 目的 .....	15

5.3.2.2	试样	15
5.3.2.3	设备和材料	15
5.3.2.4	测试程序	15
5.3.2.5	结果报告	16
5.3.3	高电流测试	16
5.3.3.1	目的	16
5.3.3.2	试样	16
5.3.3.3	设备和仪器	16
5.3.3.4	步骤	17
5.3.3.5	结果报告	18
5.4	绝缘电阻	18
5.4.1	表面绝缘电阻	18
5.4.1.1	目的	18
5.4.1.2	试样	18
5.4.1.3	设备和材料	18
5.4.1.4	步骤	18
5.4.1.5	结果报告	18
5.4.2	内层绝缘电阻	18
5.4.2.1	目的	18
5.4.2.2	试样	19
5.4.2.3	设备和材料	19
5.4.2.4	步骤	19
5.4.2.5	结果报告	19
5.4.3	层间绝缘电阻	19
5.4.3.1	目的	19
5.4.3.2	试样	19
5.4.3.3	设备和材料	19
5.4.3.4	步骤	19
5.4.3.5	结果报告	20
5.4.4	绝缘电阻 湿热循环后	20
5.4.4.1	目的	20
5.4.4.2	试样	20
5.4.4.3	设备和材料	20
5.4.4.4	步骤	21
5.4.4.5	结果报告	22
5.5	耐电压	22
5.5.1	表层耐电压	22
5.5.1.1	目的	22
5.5.1.2	试样	22
5.5.1.3	设备和材料	22
5.5.1.4	步骤	22
5.5.1.5	结果报告	23
5.5.2	层间耐电压	23
5.5.2.1	目的	23
5.5.2.2	试样	23

5.5.2.3	设备和材料	23
5.5.2.4	步骤	23
5.5.2.5	结果报告	23
5.6	电路传输	23
5.6.1	特性阻抗	23
5.6.1.1	目的	23
5.6.1.2	试样	23
5.6.1.3	设备和材料	24
5.6.1.4	步骤	25
5.6.1.5	结果报告	29
5.6.2	插入损耗	29
5.6.2.1	目的	29
5.6.2.2	试样	29
5.6.2.3	设备和材料	30
5.6.2.4	步骤	30
5.6.2.5	结果报告	31
5.6.3	嵌入式/片式电感	31
5.6.3.1	目的	31
5.6.3.2	试样	31
5.6.3.3	设备和材料	31
5.6.3.4	半自动设备测试步骤	31
5.6.3.5	手动测试步骤	31
5.6.3.6	结果判定	32
5.6.3.7	结果报告	32
附录 A	(资料性附录) 常用探头及适用类型	33
A.1	手持式探头	33
A.2	贴适配器(SMA)探头	33
A.3	显微探头	33

## 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。

本文件是 T/CPCA XXX《电子电路检测方法》的第2部分。T/CPCA XXX 还包括以下部分：

- 第1部分：外观和尺寸检验方法；
- 第2部分：电气性能测试方法；
- 第4部分：化学性能测试方法；
- 第5部分：环境试验方法。

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。

本文件由中国电子电路行业协会(CPCA)提出。

本文件由中国电子电路行业协会(CPCA)标准化工作委员会归口。

本文件主起草单位：安捷利美维电子（厦门）有限责任公司、广州广合科技股份有限公司、深圳市美信检测技术有限公司、广东生益科技股份有限公司、黄石广合精密电路有限公司、东莞广合数控科技有限公司。

本文件主要起草人：朱云、张伟、黎钦源、彭璟、黄欣、王建平、何毅、刘申兴、冯椿婷、周咏、王正非。

本文件参与起草单位：深南电路股份有限公司、生益电子股份有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、电子科技大学、龙南鼎泰电子科技有限公司、四川英创力科技股份有限公司、深圳市深联电路有限公司、广东微谱标准技术有限公司、苏州维嘉科技股份有限公司、江苏苏杭电子有限公司、广州安费诺诚信软性电路有限公司、汕头超声印制板公司、江西旭昇电子股份有限公司、江西鼎华芯泰科技有限公司、重庆方正高密电子有限公司、珠海焕新方正科技有限公司、中电科普天科技股份有限公司、博敏电子股份有限公司、竞陆电子（昆山）有限公司、广州兴森快捷电路科技有限公司、尼得科精密检测设备（浙江）有限公司、中兴通讯、深圳市大族数控科技股份有限公司、重庆航凌电路板有限公司、深圳华秋电子有限公司、中认南信（江苏）检测技术有限公司。

本文件参与起草人：戴炯、任尧儒、潘冬梅、杨颖、陈苑明、王敬永、张仁军、余条龙、张盘新、汪嵩庆、孟凡辉、叶宗顺、杨存杰、孙该贤、黄凤艳、马步霞、周洪根、何忠亮、曹磊磊、王锋、李超谋、陈世金、黄志宏、胡梦海、何涛、曾福林、王寿桥、赵勇、李晓锋、张乃红、李志成、周秋兰、吕剑宏、黎建昌、梁达辉、李兴钧、方培、霍发燕、招淑玲、郑道远。

本文件为首次制定。

# 电子电路检测方法

## 电气性能测试方法

### 1 范围

本文件规定了电子电路，刚性印制板、挠性印制板、刚挠结合印制板的电气性能测试方法。

本文件适用于电子电路，刚性印制板、挠性印制板、刚挠结合印制板包括电阻、电气完整性、导体耐大电流、绝缘电阻、耐电压、电路传输的电气性能测试方法。

### 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 4588.3-2002 印制板的设计和使用 第3部分：印制板设计

GB/T 4677-2026 印制板测试方法

SJ 21195-2016 印制板测试治具通用技术要求

T/CPCA 009 电子电路术语

T/CPCA 016-2025 高密度互连印制板技术规范

T/CPCA Z5101-2015 印制板特性阻抗时域反射测定指南

### 3 术语和定义

T/CPCA 009界定的以及下列术语和定义适用于本文件

#### 3.1

**互连网络 Interconnection Network**

由导线、焊盘、镀覆孔、盲孔、埋孔等导电图形构成、实现两点或多点间电气连接的完整路径集合。

#### 3.2

**互连结构 Interconnection Structure**

印制板中实现层间与层内电气连接的物理结构总称。包括层内互连结构，如导线、焊盘、图形，层间互连结构，如镀覆通孔、盲孔、埋孔、金属化槽等。

#### 3.3

**导电连续性 Conductive Continuity**

互连网络中所有导电路径保持电气导通、无断路、无异常高阻的状态。

### 4 通用试验要求

#### 4.1 试验条件

##### 4.1.1 试验的标准大气条件

试验的标准大气条件应符合以下要求：

- a) 温度：15℃~35℃；
- b) 相对湿度：45%~75%；
- c) 气压：86 kPa~106 kPa。

#### 4.1.2 仲裁试验的标准大气条件

仲裁试验的标准大气条件应符合以下要求：

- a) 温度：23℃±1℃；
- b) 相对湿度：48%~52%；
- c) 气压：86 kPa~106 kPa。

#### 4.2 试样

除非另有规定，试验应使用在制或成品印制板。

对于特定的测试，要使用附连测试板。

为了使试样能代表成品板，附连测试板可以包含在成品板的在制板上，或者采用与成品板相同的材料和加工工艺生产的单独的综合测试板。生产单独的综合测试板时，测试板应与在线批量生产的成品板（可包含其他型号）在同一生产流程中同步完成，测试板数量需足够覆盖测试项目，以得到比较完备的综合评定。

#### 4.3 结果报告

结果报告应至少包括以下内容：

- a) 测试方法标准编号及版本号；
- b) 样品描述：如名称、型号、批号、制造日期、制造单位等；
- c) 试验设备的型号和名称；
- d) 试样处理及环境条件；
- e) 试验日期；
- f) 试验人员；
- g) 试验结果；
- h) 与本标准试验方法的任何偏离。

### 5 电气性能测试方法

#### 5.1 电阻

##### 5.1.1 导线电阻

###### 5.1.1.1 目的

测定印制板上导线的电阻。

###### 5.1.1.2 试样

试样应是成品板或按照成品板相同生产工艺加工的试验板。被测试的导线应尽可能的细长，无分支、无过孔、无焊盘干扰，测试区无阻焊层覆盖。每个试样至少测试三条导线。

###### 5.1.1.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 直流低电阻测量仪：测量电流不大于0.1 A，测量分辨率为10 μΩ，仪器误差小于2%；
- b) 等效仪器：输出不大于0.1 A（误差小于0.1%）的直流恒流源和测量分辨率10 μV（误差小于0.5%）的电压表组成的四端子接线测量系统。

###### 5.1.1.4 步骤

测量步骤如下：

- a) 试样应在试验的标准大气条件下放置24 h以上；
- b) 将低电阻测量仪或等效仪器测试探针接触导线两端可连通的触点，如连接的镀覆孔、表面安装盘等；

- c) 应保持测试电流足够小以避免导线明显发热，测量读数时间为5 s，若测量时间过短会导致测量读数不准确，若时间过长则可能引起发热；
- d) 根据导线的宽度、厚度、长度和测出的导线电阻值计算导线的电导率；
- e) 当使用等效仪器测量时，测量导线的电压降，并按照公式(1)换算导线电阻值；

$$R = \frac{U}{I} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $R$  ——导线电阻，单位为欧姆( $\Omega$ )；
- $U$  ——导线的电压降，单位为伏特(V)；
- $I$  ——测试电流，单位为安培(A)；

- f) 根据导线宽度、厚度、长度和待测导线的电阻率按照公式(2)计算理论导线电阻值；

$$R = \rho \frac{l}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- $\rho$  ——导线的电阻率，单位为欧姆米( $\Omega \cdot m$ )；
- $l$  ——导线长度，单位为米(m)；
- $d$  ——导线宽度，单位为米(m)；
- $t$  ——导线厚度，单位为米(m)；

#### 5.1.1.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 被测导线的宽度与长度；
- b) 被测导线的数量。

#### 5.1.2 镀覆孔电阻

##### 5.1.2.1 目的

测定印制板镀覆孔的电阻。

##### 5.1.2.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 具有镀覆孔的合适成品板、附连测试板或综合测试板；
- b) 试样表面应清洁处理干净，镀层（尤其是孔的两端）表面不应有污染及绝缘材料，如阻焊、粘合剂及氧化层；
- c) 如果通过测试镀覆孔电阻换算铜镀层厚度，则测试试样不应有铅锡镀层。如果已经镀锡铅，在测试前应用化学方法除去铅锡。去除时应小心操作避免对铜镀层造成损伤。

注：去除铅锡的溶液成分及含量为：330 mL 60%  $\text{HNO}_3$ （密度1.36 g/cm<sup>3</sup>，20℃）、3 mL 40% 氟硼酸（密度1.32 g/cm<sup>3</sup>，20℃）、670 mL 去离子水。在使用退铅锡溶液时，应采取必要的防护措施，避免危害健康。

##### 5.1.2.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 直流低电阻测量仪：测量电流不大于0.1 A，测量分辨率为1  $\mu\Omega$ ，仪器误差小于2%，并带有相关测试附件。用于手动测量孔径大于0.6 mm的镀覆孔电阻；
- b) 自动低电阻测量设备：带有自动定位功能，可对镀覆孔进行自动测试，测试分辨率为1  $\mu\Omega$ ，设备误差小于2%，且带有精度校准和电阻补偿功能；
- c) 等效仪器：输出不大于0.1 A（误差小于0.1%）的直流恒流源和测量分辨率10  $\mu\text{V}$ （误差小于0.5%）的电压表组成的四端接线系统。

##### 5.1.2.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 试样放置在温度 $(23 \pm 2)$  °C，相对湿度 $(45 \pm 5)$  %，标准大气条件86 kPa~105 kPa下至少24 h进行预处理；
- b) 校准仪器；
- c) 手动测试时将待测镀覆孔放在低电阻测量仪上下探针之间（见图1），并稍稍转动孔，以使探针与孔充分接触。自动测试时探针自动定位在镀覆孔两端；

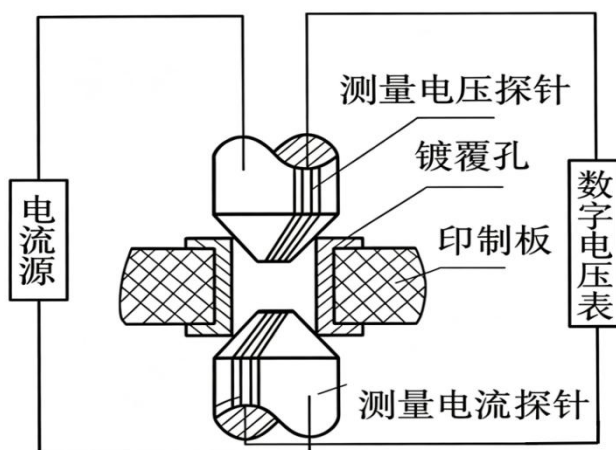


图1 镀覆孔电阻测试示意图

- d) 压紧探针，使探针与镀覆孔两端的孔沿紧密接触，探针压力应控制在 $(3.5 \pm 0.5)$  N；
- e) 测量读数时间为5 s，若测量时间过短会导致测量读数不准确，若时间过长则可能引起发热；
- f) 从仪器上读出并记录电阻值；
- g) 等效设备应测量孔壁电压降，再按公式(1)换算出镀覆孔电阻值；
- h) 为了获得准确的测试结果，应沿弧线转动孔位，对同一孔做至少三次测量，剔除异常值后取平均值作为该镀覆孔的电阻值。

### 5.1.2.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 被测镀覆孔的孔壁电压降和阻值；
- b) 被测镀覆孔的数量。

### 5.1.3 互连电阻

#### 5.1.3.1 目的

确定印制板上互连网络的电阻。

#### 5.1.3.2 试样

成品板、附连测试板或综合测试板的规定部分。每个测试图形应至少包含3个互连孔，且至少测试3组独立互连网络。

#### 5.1.3.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 直流低电阻测量仪：测量电流不大于0.1 A，测量分辨率为 $10 \mu\Omega$ ，仪器误差小于2%；
- b) 等效仪器：输出不大于0.1 A（误差小于0.1%）的恒定电流源和测量分辨率 $10 \mu\text{V}$ （误差小于0.5%）的电压表组成的四端接线系统。

#### 5.1.3.4 步骤

##### 5.1.3.4.1 低电阻测量仪测量方法

将低电阻测量仪的测试探针分别接触两个有互连关系的规定孔（见图2），测量读数时间为5 s，从仪器上读出并记录电阻值。为了获得准确的测试结果，可进行多次测量，并取最大值作为该互连电阻的电阻值。

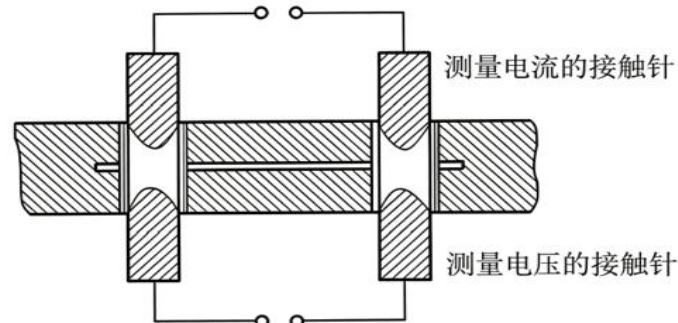


图2 低电阻测试设备测量示意图

#### 5.1.3.4.2 等效仪器测量方法

在规定的孔内焊上引线，将电压表和电流源按照图3所示进行连接，打开仪器进行测量，从仪器上读出并记录电压降。为了获得准确的测试结果，可进行多次测量，再按公式(1)计算出电阻值，并取最大值作为该互连电阻的电阻值。

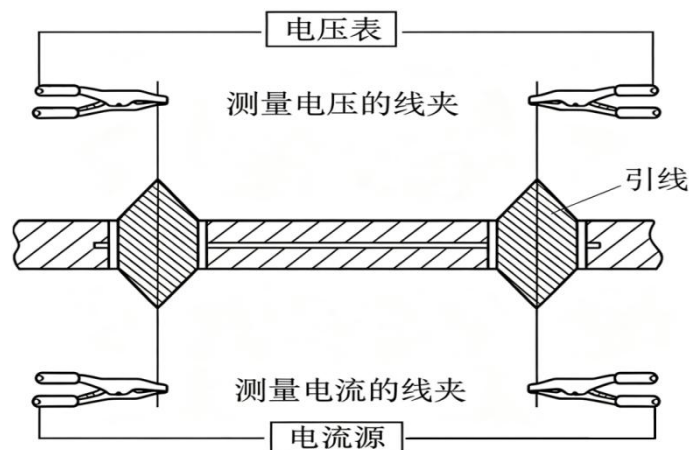


图3 等效仪器连接示意图

注：引线和孔之间的距离对测量结果的影响不大，但尽可能采用较短引线。

#### 5.1.3.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 待测的孔和互连部分；
- b) 连接方法；
- c) 最大电阻值。

#### 5.1.4 按键盘接触电阻

##### 5.1.4.1 目的

测定印制板上独立等分的接触按键间的电气接触电阻。

##### 5.1.4.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 带有按键盘的成品板或专门设计的附连测试板和综合测试板；  
b) 测试图形可按照图 4 设计；

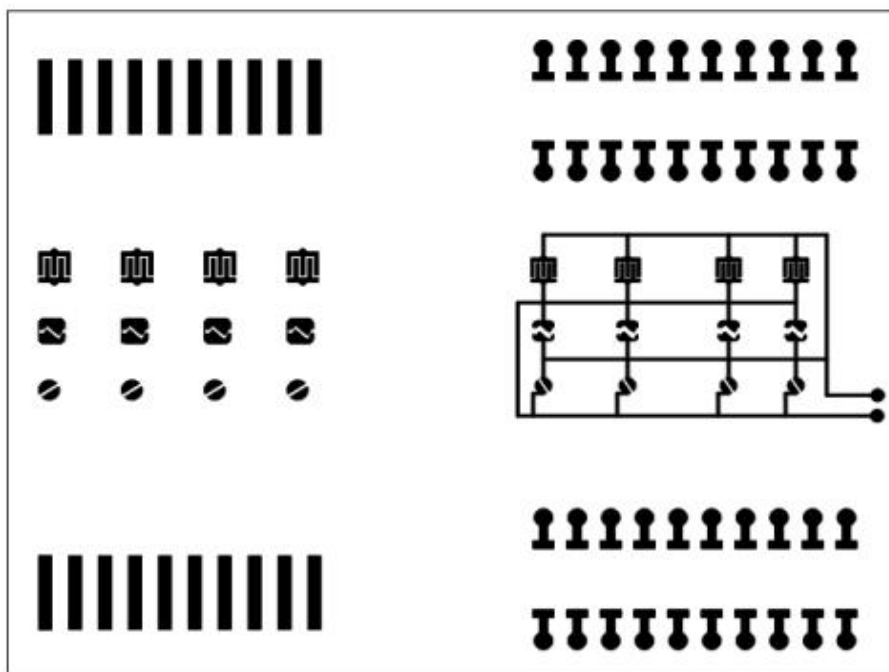


图4 按键盘测试参考图形

- c) 供需双方商定，也可使用其它图形。

#### 5.1.4.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 直径为3 mm或5 mm的镀金探针，探针接触面应平整；  
b) 测试系统布线图（最好电阻桥）如图 5 所示，阻值范围为0  $\Omega$  ~1000  $\Omega$ ，测量分辨率为1  $\mu\Omega$ ，仪器误差小于2%；

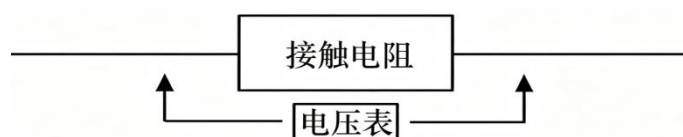


图5 测量接触电阻用电路图

- c) 等效设备：输出不大于0.1 A(误差小于0.1%)的恒定电流源和测量分辨率10  $\mu\text{V}$ (误差小于0.5%)的电压表组成的四端接线系统，四端接线系统将探针接触电阻限制在电压探头之间导体的长度上。

#### 5.1.4.4 步骤

测量步骤如下：

- a) 利用探针使按键盘桥接，尽可能减少探针的接触电阻，探针压力控制在 $(3.5 \pm 0.5)$  N；  
b) 使用低电阻测量仪或等效设备测量按键盘的接触电阻，按图 5 为等效设备测试连接示意图；  
c) 电测试的参数应由供需双方商定，如：电流（AC或DC）、电压（开路）、频率等；  
d) 测量读数时间为5 s，测量次数应不少于5次，以5次测量最小值的平均值为测试结果；  
e) 记录测量的接触电阻值。

#### 5.1.4.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 测试探针要求；
- b) 测试仪器参数（交流或直流、电压或频率）。

### 5.1.5 钢片接地电阻

#### 5.1.5.1 目的

采用四端子测量法（开尔文法），测试印制板表面安装钢片、屏蔽钢片、接地钢片与接地导体之间的接地电阻。

#### 5.1.5.2 试样

本方法所用试样如下：

- a) 试样应完整，无明显变形、污染、镀层损伤、钢片松动；
- b) 测试前用无水乙醇清洁测试点，自然晾干。

#### 5.1.5.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 直流低电阻测试仪/毫欧表：满足测量电流 $\leq 0.1$  A，测量分辨率 $\leq 10 \mu\Omega$ ，仪器误差 $< 2\%$ ；
- b) 测试探针：尖头/圆头探针，压力可调，不损伤镀层与钢片表面。

#### 5.1.5.4 步骤

测量步骤如下：

- a) 仪器预热至少 15 min，进行开路清零、短路清零校准。
- b) 将四端子测试探针分别可靠接触：
  - 1) 一端探针：钢片有效接地区域；
  - 2) 另一端探针：对应接地导体/接地孔。
- c) 施加规定测试电流，待读数稳定后记录电阻值。
- d) 同一测试点沿不同接触位置至少测量 3 次，剔除异常值，取算术平均值作为该点接地电阻。
- e) 逐一对产品所有钢片接地点进行测试。
- f) 结果判定：满足钢片接地电阻 $\leq$ 产品规定的最大值，或无单点突变高阻、无开路、无接触不良任一要求即为合格。

#### 5.1.5.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 试样名称、型号、批次；
- b) 测试设备的校准状态；
- c) 测试电流、测试位置；
- d) 各测点接地电阻值、平均值、最大值；
- e) 判定结论。

## 5.2 电气完整性

### 5.2.1 手动测试

#### 5.2.1.1 目的

利用欧姆表手动测量成品板规定导电图形的绝缘电阻/导通电阻值，评定成品板的绝缘性（是否短路）/连通性（是否开路）是否符合相关要求（如设计文件要求、计算机辅助数据等）。

#### 5.2.1.2 试样

成品印制板全部或规定部分的导电图形。

#### 5.2.1.3 设备和材料

欧姆表，阻值测试档位可调，量程范围应至少满足 $0\ \Omega\sim 50\ M\Omega$ ，误差小于5%。

#### 5.2.1.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 确定需要被测试网络位置、该网络终端焊盘数量及终端焊盘位置；
- b) 确定绝缘性测试（短路测试）/连通性测试（开路测试）的判定电阻；
- c) 测试过程中，导电图形上应施加规定的测试电压，测试电压源应有监控供电电流的手段，在试验中应能限制电流值在电路的载流量之内，以避免过热；
- d) 将探针分别接触两条不同网络上的任意焊盘，电阻值大于判定电阻值或超出测试量程则绝缘性合格，电阻值小于判定电阻则绝缘性不合格；
- e) 按照5.1.1 导线电阻的测试方法确定互连网络电阻，并与判定电阻进行比对。如同一网络终端焊盘数量大于2个，应对焊盘两点之间进行测试，以保证测试完整；
- f) 记录网络电阻或判定结果。

#### 5.2.1.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 测试电压；
- b) 当绝缘电阻不是 $1\ M\Omega$ 时，允许的最小电阻；
- c) 当导通电阻不是 $5\ \Omega$ 时，最大允许电阻；
- d) 最大允许电流。

### 5.2.2 自动通断针床测试

#### 5.2.2.1 目的

利用自动通断针床测试设备测量成品板规定导电图形的绝缘电阻/导通电阻值，评定成品板的绝缘性（是否短路）/导通性（是否开路）是否符合相关要求（如设计文件要求、计算机辅助数据等）。

#### 5.2.2.2 试样

在制板、成品印制板或规定部分的导电图形。

#### 5.2.2.3 设备和材料

##### 5.2.2.3.1 设备

自动通断针床测试设备，测试电压和判定电阻值可调。

##### 5.2.2.3.2 治具

测试治具中所选用的板材一般有亚克力（有机玻璃）和环氧树脂板等。

治具制作流程如下：

- a) 根据原始文件生成钻孔文件和绕线点位图；
- b) 检查无漏钻、未钻透孔和破孔，孔径和孔位应由设备软件编辑生成；
- c) 根据架构进行治具整体组装；
- d) 根据治具板大小、孔位、针床规格和探针直径等进行插针；如果测试点间距过小，应使探针倾斜，治具插针示意图如图6所示；
- e) 检验并保证插针正确。

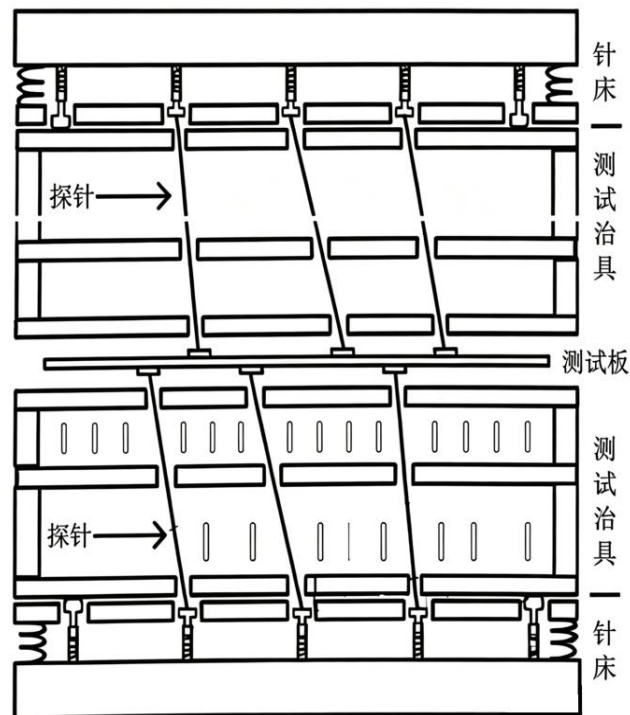


图6 治具插针示意图

#### 5.2.2.3.3 探针

探针由针管、弹簧和针头三部分组成。按照不同功能,根据被测点类型选择适用的互相匹配的探针。

#### 5.2.2.3.4 测试文件

由设计文件计算设备自带软件编辑生成。

#### 5.2.2.4 测试指标要求

##### 5.2.2.4.1 测试电压

测试电压应为布设总图上规定的最大额定电压的两倍,如布设总图未规定电压时,其测试电压应不小于40 V。

##### 5.2.2.4.2 开路判定电阻

开路判定电阻按产品性能要求设置或由供需双方协商。

##### 5.2.2.4.3 短路判定电阻

短路判定电阻按产品性能要求设置或由供需双方协商。

#### 5.2.2.5 步骤

测试步骤如下:

- 确定被测试网络,并根据需要测试的网络焊盘制作测试模板,测试点的确定应涵盖被测试网络的所有端点。如需对在制板上所有网络进行测试,还应涵盖所有孤立焊盘。模板孔位应与印制板上测试焊盘(测试点)位置保持一致;
- 按照测试设备要求将测试探针插入模板,应确保所有探针与被测试焊盘接触良好;
- 提供一块与被测印制板相同线路且是同一照相底版制作的,经验证电路符合要求的印制板作为标准板;
- 如不能提供标准板,可采用随机取样,通过测试系统自学习对比的方法确定标准板,并检查确保标准板的正确性;

- e) 将测试模板放入测试平台，测试探针应自然插入平台测试孔中；
- f) 测试系统进行选点操作，确定测试点数量及分布位置；
- g) 将标准板在测试系统中进行自学习并将学习的电路数据存入系统作为测试依据，如果测试夹具位置变动或重新插针后，则应重新进行选点和自学习或将夹具探针调整到原来位置；
- h) 绝缘电阻测试加载电压应为直流测试电压  $(10 \pm 1)$  V 或  $(100 \pm 15)$  V 或  $(500 \pm 50)$  V 或要求的其它电压；
- i) 确定技术要求参数，将测试电压、开路判定电阻、短路判定电阻等参数按设备要求输入测试系统；
- j) 将被测试板置于测试模板上，确保测试点与测试夹具探针对位准确并接触可靠后进行测试；
- k) 测试系统对测试的电路数据通过与标准板电路数据进行比较，确定合格与否并同时显示故障点的坐标数据，最后记录测试结果。

#### 5.2.2.6 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 测试电压；
- b) 当绝缘电阻不是1 M $\Omega$ 时，允许的最小电阻；
- c) 当导通电阻不是5  $\Omega$ 时，最大允许电阻；
- d) 最大允许电流。

#### 5.2.3 自动移动探针测试（二端子法）

##### 5.2.3.1 目的

用移动探针测试机测试（二端子法）印制板导电图形的连通性（是否开路）和绝缘性（是否短路），验证是否符合相关要求（如设计要求、计算机辅助数据等）。

##### 5.2.3.2 试样

在制板、成品印制板或规定部分的导电图形。

##### 5.2.3.3 设备和材料

###### 5.2.3.3.1 设备

本方法所用设备如下：

- a) 步进马达：定位精度25  $\mu\text{m}$ 或优于25  $\mu\text{m}$ ；
- b) 测试电压：可调范围满足25 V~500 V；
- c) 探针压力可调。

###### 5.2.3.3.2 定位精度板

保持基台测试精度的辅助工具。

###### 5.2.3.3.3 校准

用专用测试板固定在工作台特定位置上，利用摄像头抓取测试板上标记点时X、Y、Z方向的位移与测试板上已知标记点坐标间距进行比对校准。应按要求定期校准。

##### 5.2.3.4 测试指标要求

###### 5.2.3.4.1 测试电压

测试电压应不低于250 V。

###### 5.2.3.4.2 开路判定电阻

开路判定电阻按产品性能要求设置或由供需双方协商。

###### 5.2.3.4.3 短路判定电阻

短路判定电阻按产品性能要求设置或由供需双方协商。

### 5.2.3.5 步骤

测试步骤如下：

- a) 确定被测网络，并提供被测板的测试文件。测试文件应包括导线分布及位置、焊盘尺寸及位置、导通孔尺寸及位置等用来确定印制板电路分布具体情况特征要素；
- b) 确定技术要求参数，将测试电压、电容值、开路判定电阻、短路判定电阻、测试速度和测试压力等参数按印制板类型或供需双方协商确定，设置在测试系统中；
- c) 开始测试被测印制板，测试系统将测试的电路数据与测试文件进行比较，确定合格与否并同时显示及打印出故障点的坐标数据；
- d) 用万用表对故障点进行测试，确定是否真的开、短路，从而排除因设备、测试印制板本身或其他因素影响造成的误判，排除误判后应再次使用移动探针测试机测试；
- e) 记录测试结果。

### 5.2.3.6 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 测试点数；
- b) 开、短路电阻和测试电压值等技术参数；
- c) 其他要求。

## 5.2.4 自动移动探针测试（四端子法）

### 5.2.4.1 目的

对于连通性符合要求的印制板导电图形，采用移动探针测试机（四端子法）对其阻值进行测量。验证是否符合相关要求（如设计要求、计算机辅助数据等）。

### 5.2.4.2 试样

在制板、成品印制板或规定部分的导电图形。

### 5.2.4.3 设备和材料

#### 5.2.4.3.1 设备

本方法所用设备如下：

- a) 运动控制机构：定位精度 $25\ \mu\text{m}$ 或优于 $25\ \mu\text{m}$ ；
- b) 测试电压：可调范围满足 $25\ \text{V}\sim 500\ \text{V}$ ，或供需双方协商确定；
- c) 探针压力可调。

#### 5.2.4.3.2 定位精度板

保持基台测试精度的辅助工具。

#### 5.2.4.3.3 校准

用专用测试板固定在工作台特定位置上，利用摄像头抓取测试板上标记点时X、Y、Z方向的位移与测试板上已知标记点坐标间距进行比对校准。应按要求定期校准。

#### 5.2.4.3.4 其它

根据设备类型，测试时应提供以下条件之一：

- a) 测试文件：由设计文件计算设备自带软件编辑生成；
- b) 标准板：用一块与被测印制板相同线路且是同一块相底板制作的，经验证其连通性符合要求的印制板作为标准板；
- c) 比对板：若不能提供标准板，可以采用随机取样，通过测试系统自学习对比的方法确定标准板，并检查确保标准板的正确性。

#### 5.2.4.4 测试电压

根据设备设置或由供需双方协商施加恒定的电流值，测试电压的具体数值取决于待测电阻的大小。

#### 5.2.4.5 步骤

测试步骤如下：

- a) 确定被测网络，并提供被测板的测试文件。测试文件应包括导线分布及位置、焊盘尺寸及位置、导通孔尺寸及位置等用来确定印制板电路分布具体情况特征要素；
- b) 确定技术要求参数，将测试电压、阻值区间、上/下限的判定系数、测试速度和测试压力等参数按印制板类型或供需双方协商确定，设置在测试系统中；
- c) 使用标准板或比对板自学习，根据设定的阻值计算规则（阻值区间、上/下限判定系数等）进行判定值计算，存入系统后作为测试依据。
- d) 开始测试被测印制板，测试系统将测试的电路数据与自学习计算出的判定值进行比较，对被测板进行合格判定，不合格板应标记故障点的坐标数据；
- e) 记录测试结果。

#### 5.2.4.6 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 测试点数；
- b) 阻值区间、上/下限的判定系数等技术参数；
- c) 其他要求。

### 5.2.5 CCD 全自动针床测试（四端子法）

#### 5.2.5.1 目的

对于连通性符合要求的印制板导电图形，采用CCD全自动针床测试机（四端子法）对其阻值进行测量。验证是否符合相关要求（如设计要求、计算机辅助数据等）。

#### 5.2.5.2 试样

在制板、成品印制板或规定部分的导电图形。

#### 5.2.5.3 设备和材料

##### 5.2.5.3.1 设备

可以装卸专用定制治具，该种治具针对某一种特定型号印制板，通过CCD进行定位，适用于大批量测试。

##### 5.2.5.3.2 材料

本方法所用材料如下：

- a) 治具：针对某一种特定型号印制板，带CCD定位孔；
- b) 探针：由针管、弹簧和针头三部分组成。按照不同功能，根据被测点类型选择适用的互相匹配的探针；
- c) 测试文件：由设计文件计算设备自带软件编辑生成；
- d) 标准板：用一块与被测印制板相同线路且是同一块相底版制作的，经验证其连通性符合要求的印制板作为标准板；
- e) 比对板：若不能提供标准板，可以采用随机取样，通过测试系统自学习对比的方法确定标准板，并检查确保标准板的正确性。
- f) 万用表：阻值量程范围为 $0\ \Omega\sim 100\ M\Omega$ 。

#### 5.2.5.4 测试电压

根据设备设置或由供需双方协商施加恒定的电流值，测试电压的具体数值取决于待测电阻的大小。

### 5.2.5.5 步骤

测试步骤如下：

- a) 将测试治具放在测试平台上，将测试探针自然插入治具测试孔中；
- b) 测试系统选点，确定测试点数量及分布位置；
- c) 确定技术要求参数，将阻值区间、上/下限的判定系数和测试压力等参数按设备要求和使用规范要求输入测试系统；
- d) 自学习型设备用标准板或比对板自学习，根据设定的阻值计算规则（阻值区间、上/下限判定系数等）进行判定值计算，存入系统后作为测试依据。如果测试治具位置变动或重新插针后，应重新进行选点和自学习或将治具探针调整到原来的位置；
- e) 开始测试被测印制板，测试系统对测试的电路数据与自学习计算出的判定值进行比较，对被测板进行合格判定，不合格板应标记故障点的坐标数据；
- f) 记录测试结果。

### 5.2.5.6 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 测试点数；
- b) 阻值区间、上/下限的判定系数等技术参数；
- c) 其他要求。

## 5.3 导体耐大电流

### 5.3.1 导线耐电流

#### 5.3.1.1 目的

评定导线以及导线与镀覆孔连接处承受规定电流的能力。

#### 5.3.1.2 试样

成品板、附连测试板或综合测试板的规定部分。

#### 5.3.1.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 探针或等效装置；
- b) 交流或直流恒流源，输出稳定且可调；
- c) 秒表。

#### 5.3.1.4 步骤

##### 5.3.1.4.1 长时间过载测试

测试步骤如下：

- a) 使用专用的探针或等效装置接触被测端子，测试中应保持良好的电接触；
- b) 电流选择方式：可按照 GB/T 4588.3-2002 导线载流量要求选择适用的电流值，对测试网络施加恒流，持续通过规定时间。也可按照规定速率连续增加电流，直至发生开路或电流增加至规定值；
- c) 施加电流期间持续观察并记录测试试样是否烧焦、分层或起泡等现象或产生开路时的电流；
- d) 试样在测试环境下放置2 h后，按5.2测试导线的连通性。

##### 5.3.1.4.2 短时间电流测试

测试步骤如下：

- a) 使用专用的探针或等效装置接触被测端子，测试中应保持良好的电接触；
- b) 先按照5.1.3测量电路的互连电阻；
- c) 对测试网络施加规定大小的交流或直流电流，持续通过规定短时间；

- d) 试样在正常测试条件下放置2 h后, 检查并记录试样是否出现烧焦、分层或起泡等现象;
- e) 按照5.1.3测量加载电流后电路的互连电阻, 并计算互连电阻的变化率。

### 5.3.1.5 结果报告

除 4.3 的规定外, 报告还应包括:

- a) 试验电流和持续时间;
- b) 试样是否出现烧焦、分层或起泡等现象。

### 5.3.2 镀覆孔耐电流

#### 5.3.2.1 目的

评定镀覆孔电镀层承受规定试验电流的能力。

#### 5.3.2.2 试样

成品板、附连测试板或综合测试板的镀覆孔。

#### 5.3.2.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下:

- a) 探针或等效装置;
- b) 交流或直流恒流源, 输出稳定且可调;
- c) 秒表。

#### 5.3.2.4 测试程序

测试程序如下:

- a) 使用专用的探针或等效装置接触镀覆孔两端(见图7), 且使探针与孔口有良好的接触, 施加大约1 N的力以保证良好的电接触;

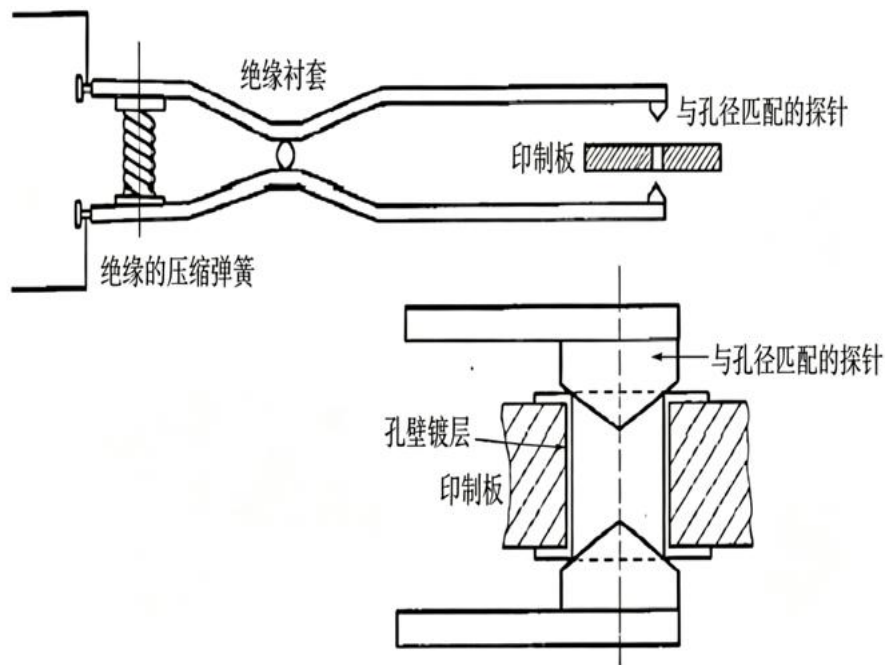


图7 镀覆孔耐电流测试探针接触示意图

- b) 按照表 2 选择适用的电流值, 对镀覆孔施加交流或直流恒流, 持续通过规定时间;

表1 镀覆孔的试验电流

序号	孔径 mm	试验电流 A
1	0.6	8
2	0.8	9
3	1.0	11
4	1.3	14
5	1.6	16
6	2.0	20

- c) 施加电流期间持续观察并记录测试试样是否烧焦、分层或起泡等现象或产生开路时的电流；  
d) 试样在测试环境下放置2 h后，按5.2测试镀覆孔的连通性。

### 5.3.2.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 待测试孔的孔径；  
b) 试验电流和持续时间；  
c) 试样是否出现烧焦、分层或起泡等现象。

### 5.3.3 高电流测试

#### 5.3.3.1 目的

本方法用于微导通孔连通可靠性测试，以评定微导通孔在经过高电流测试后，微导通孔镀铜层与目标连接盘镀铜层之间结合的可靠性，也可以评价微导通孔镀铜质量可靠性。高电流测试是在微导通孔孔链上施加直流电流，并持续一段时间。电流在微导通孔孔链上产生焦耳热，热量传导到微导通孔附近的基材，基材受热膨胀，垂直方向尺寸变大，产生膨胀应力，作用于微导通孔顶部连接盘和目标连接盘之间。当微导通孔有异常质量缺陷，如孔壁铜薄、镀铜与目标连接盘镀铜的互连位置去钻污不净等不良时，膨胀应力会导致微导通孔镀铜层与目标连接盘镀铜层之间或者微导通孔镀铜层内部产生裂缝或者断裂，从而检测出微导通孔的连通可靠性不良。

#### 5.3.3.2 试样

高电流测试应在包含微导通孔孔链的附连测试板试样上进行。附连测试板的基本测试图形附连测试板的基本测试图形见下图8，图中尺寸仅做参考。印制板制造商在保证测试图形完整的情况下，可以调整测试条的尺寸。也可以按照高电流测试设备制造商的测试探头设计相应的测试图形。

测试试样数量：如无特殊规定，至少应准备6个样品。也可以根据印制板过程控制能力水平调整试样数量，必要时可100%测试。

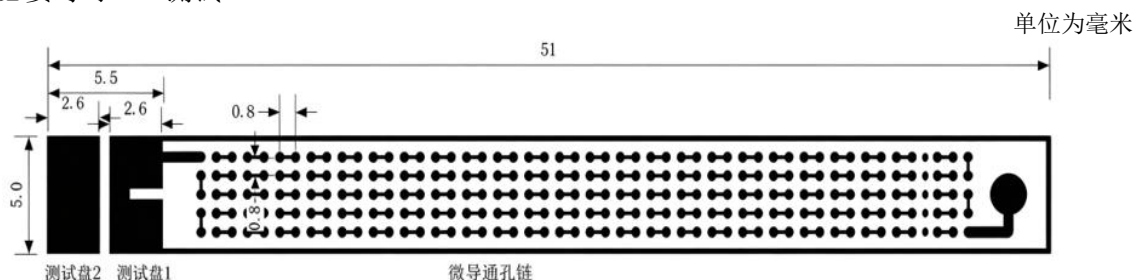


图8 基本测试图形

#### 5.3.3.3 设备和仪器

本测试方法用到电流测试机或同类设备，应满足以下要求：

- a) 直流电流：不小于6 A；
- b) 直流电流输出精度：不低于0.1%+10 mA；
- c) 直流电压：不小于30 V；
- d) 直流电压输出精度：不低于0.1%+10 mV；
- e) 直流电阻测量范围：0 kΩ~10 kΩ；
- f) 直流电阻测量精度：不低于0.1%+10 mΩ。

### 5.3.3.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 选择高电流测试条件：应从表2中选择，测试温度范围的下限值应高于试样基材的玻璃化转变温度，以保证高电流测试可以产生足够的热应力；

表2 高电流测试参数表

条件	测试温度范围 ℃	升温时间 s
A	200~240	60
B	220~260	60
C	240~280	60
D	260~300	60

- b) 获取试样进行高电流测试所需的电流。每种型号的试样，需先确定高电流测试所需的测试电流，即试样在多大的电流下，可以在设定的升温时间内升温达到设定的测试温度范围：
  - 1) 抽取1个试样，尝试将不同的电流，在试样上施加设置的升温时间，当某一电流可以使得试样在设置的测试时间内升温到设置的测试温度范围时，记录此电流 $I_1$ 。同一个样品加载电流升温后，需要完全冷却到室温，才可以重新加载电流升温。
  - 2) 可以抽取其他试样，重复步骤1)，获得多个高电流测试电流 $I_2, I_3, \dots$ ，计算 $I_1, I_2, I_3 \dots$ 的平均值，作为高电流测试电流 $I_a$ 。
- c) 高电流测试：
  - 1) 在室温下测量试样的电阻 $R_1$ ；
  - 2) 将高电流测试电流 $I_a$ 施加在试样上，使试样的温度在设置的升温时间内达到设定的测试温度范围，然后停止施加测试电流，试样冷却至室温，测试过程中需实时监测试样的电流、电阻和温度，记录升温过程中的试样中的最小电流 $I_{min}$ 。
- d) 在室温下测量试样的电阻 $R_2$ ，按以下判定标准判断试样是否通过测试：
  - 1) 当实时监测中发生断路，或者明显出现电阻变化已超过10%，电流下降超过10%，即可判定不合格；
  - 2) 升温前后试样电阻变化百分比不超过10%，并且升温过程中试样的电流下降最大百分比不超过10%
- e) 升温前后试样电阻变化百分比按以下公式（3）计算：

$$R_c = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$R_c$ ——升温前后试样电阻变化百分比，单位（%）；

$R_1$ ——升温前室温下试样电阻，单位（Ω）；

$R_2$ ——升温并冷却后室温下试样电阻，单位（Ω）。

- f) 升温过程中试样电流下降最大百分比按以下公式（4）计算。

$$I_c = \frac{I_a - I_{min}}{I_a} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $I_c$ ——升温过程中试样的电流下降最大百分比，单位（%）；  
 $I_a$ ——高电流测试电流，单位（A）；  
 $I_{min}$ ——升温过程中的试样中的最小电流，单位（A）。

### 5.3.3.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 初始电阻、终值电阻；
- b) 电阻变化率。

## 5.4 绝缘电阻

### 5.4.1 表面绝缘电阻

#### 5.4.1.1 目的

确定印制板表面或层压前多层板任一层的导电图形的规定部分的绝缘电阻。

#### 5.4.1.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 成品板、附连测试板或多层板层压前任一层的任意两个规定点之间的导电图形；
- b) 应小心持拿试样以避免任何污染，例如指纹、灰尘等；
- c) 若屏蔽盒里放不下，试样需要裁剪等处理，最好使用标准试验图像测试。

#### 5.4.1.3 设备和材料

带屏蔽测量盒的高阻计或其他合适的设备，能施加直流测试电压 $(10 \pm 1)$  V、 $(100 \pm 15)$  V和 $(500 \pm 50)$  V等的电压，量程范围 $10^6 \Omega \sim 10^{15} \Omega$ ，测试误差小于10%。

#### 5.4.1.4 步骤

测量步骤如下：

- a) 取两根细引线，将其分别焊接到被测两导体不同侧的两端，以确保不因引出端靠近而减小电气间隙（注意：焊接时，因抽取措施防止唾液、头屑、助焊剂、焊料等溅落于两导体的间隙间和被测导体上）；
- b) 将焊接好的试样放置在温度 $(23 \pm 2)$  °C、相对湿度 $(45 \pm 5)$  %、标准大气条件 $(86 \text{ kPa} \sim 105 \text{ kPa})$ 环境中至少24 h后进行测量和试验；
- c) 按高阻计的使用说明书开启高阻计，预热至少30 min；
- d) 将试样置于高阻计的测量屏蔽盒中，将测量电极的两端分别连接到试样的引线上，试样底部确保有绝缘电阻远大于被测样品绝缘电阻的绝缘垫，以使试样不与屏蔽盒底部接触，试样四周和顶部应留有足够的空间，以使试样与屏蔽盒四周和盒盖有足够的电气间隙和爬电距离，以免影响测量结果；盖上屏蔽盒盖；
- e) 加载电压应为直流测试电压 $(10 \pm 1)$  V或 $(100 \pm 15)$  V或 $(500 \pm 50)$  V或要求的其它电压；
- f) 选择规定的测量电压，对试样通电1 min，待读数稳定后读取绝缘电阻值；
- g) 如果通电1min时绝缘电阻值读数仍不稳定，则读取其最小值，并在记录中记录读取情况。

#### 5.4.1.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 测试电压；
- b) 表面或层压前多层板任一层的导电图形绝缘电阻的最小值。

### 5.4.2 内层绝缘电阻

#### 5.4.2.1 目的

确定多层印制板的内层导电图形的规定部分之间的绝缘电阻。

#### 5.4.2.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 多层板内层导电图形上任意两个规定点；
- b) 规定的测试点不能影响到其他层；
- c) 应小心持拿试样以避免任何污染，例如指纹、灰尘等；
- d) 若屏蔽盒里放不下，试样需要裁剪等处理，最好使用标准试验图像测试。

#### 5.4.2.3 设备和材料

带屏蔽测量盒的高阻计或其他合适的设备，能施加直流测试电压 $(10 \pm 1)V$ 、 $(100 \pm 15)V$ 和 $(500 \pm 50)V$ 等的电压，量程范围 $10^6 \Omega \sim 10^{15} \Omega$ ，测试误差小于10%。

#### 5.4.2.4 步骤

测量步骤如下：

- a) 取两根细引线，将其分别焊接到被测两导体不同侧的两端，以确保不因引出端靠近而减小电气间隙（注意：焊接时，因抽取措施防止唾液、头屑、助焊剂、焊料等溅落于两导体的间隙间和被测导体上）；
- b) 将焊接好的试样放置在温度 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(45 \pm 5)\%$ 、标准大气条件 $(86 \text{ kPa} \sim 105 \text{ kPa})$ 环境中至少24h后进行测量和试验；
- c) 按高阻计的使用说明书开启高阻计，预热至少30min；
- d) 将试样置于高阻计的测量屏蔽盒中，将测量电极的两端分别连接到试样的引线上，试样底部确保有绝缘电阻远大于被测样品绝缘电阻的绝缘垫，以使试样不与屏蔽盒底部接触，试样四周和顶部应留有足够的空间，以使试样与屏蔽盒四周和盒盖有足够的电气间隙和爬电距离，以免影响测量结果；盖上屏蔽盒盖；
- e) 加载电压应为直流测试电压 $(10 \pm 1)V$ 或 $(100 \pm 15)V$ 或 $(500 \pm 50)V$ 或要求的其它电压；
- f) 选择规定的测量电压，对试样通电1min，待读数稳定后读取绝缘电阻值；
- g) 如果通电1min时绝缘电阻值读数仍不稳定，则读取其最小值，并在记录中记录读取情况。

#### 5.4.2.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 测试电压；
- b) 各内层间绝缘电阻的最小值。

### 5.4.3 层间绝缘电阻

#### 5.4.3.1 目的

确定多层印制板相邻层间导电图形规定部分之间的绝缘电阻。

#### 5.4.3.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 印制板上相邻的不同层间导电图形上的规定点；
- b) 应小心持拿试样以避免任何污染，例如指纹、灰尘等；
- c) 若屏蔽盒里放不下，试样需要裁剪等处理，最好使用标准试验图像测试。

#### 5.4.3.3 设备和材料

高阻计或其他合适的设备，能施加直流测试电压 $(10 \pm 1)V$ 、 $(100 \pm 15)V$ 和 $(500 \pm 50)V$ 等的电压，量程范围 $10^6 \Omega \sim 10^{15} \Omega$ ，测试误差小于10%。

#### 5.4.3.4 步骤

测量步骤如下：

- 取两根细引线，将其分别焊接到被测两导体不同侧的两端，以确保不因引出端靠近而减小电气间隙（注意：焊接时，因抽取措施防止唾液、头屑、助焊剂、焊料等溅落于两导体的间隙间和被测导体上）；
- 将焊接好的试样放置在温度 $(23\pm 2)$ ℃、相对湿度 $(45\pm 5)\%$ 、标准大气条件86 kPa~105 kPa环境中至少24 h后进行测量和试验；
- 按高阻计的使用说明书开启高阻计，预热至少30 min；
- 将试样置于高阻计的测量屏蔽盒中，将测量电极的两端分别连接到试样的引线上，试样底部确保有绝缘电阻远大于被测样品绝缘电阻的绝缘垫，以使试样不与屏蔽盒底部接触，试样四周和顶部应留有足够的空间，以使试样与屏蔽盒四周和盒盖有足够的电气间隙和爬电距离，以免影响测量结果；盖上屏蔽盒盖；
- 加载电压应为直流测试电压 $(10\pm 1)$  V或 $(100\pm 15)$  V或 $(500\pm 50)$  V或要求的其它电压；
- 选择规定的测量电压，对试样通电1 min，待读数稳定后读取绝缘电阻值；
- 如果通电1 min时绝缘电阻值读数仍不稳定，则读取其最小值，并在记录中记录读取情况。

#### 5.4.3.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- 测试电压；
- 各层间绝缘电阻最小值。

#### 5.4.4 绝缘电阻 湿热循环后

##### 5.4.4.1 目的

评定印制板在温度湿度循环变化后，表层线间、内层线间、层间规定相邻导体的绝缘电阻。

##### 5.4.4.2 试样

试样应符合以下要求：

- 成品板、附连试验板或综合测试板上规定的导体；
- 测试表面和内层导体间绝缘电阻的标准测试图形见图9 a)梳形电路。测试层间绝缘电阻的标准测试图形见图16 b)，图形中的数字分别代表不同的测试焊盘；

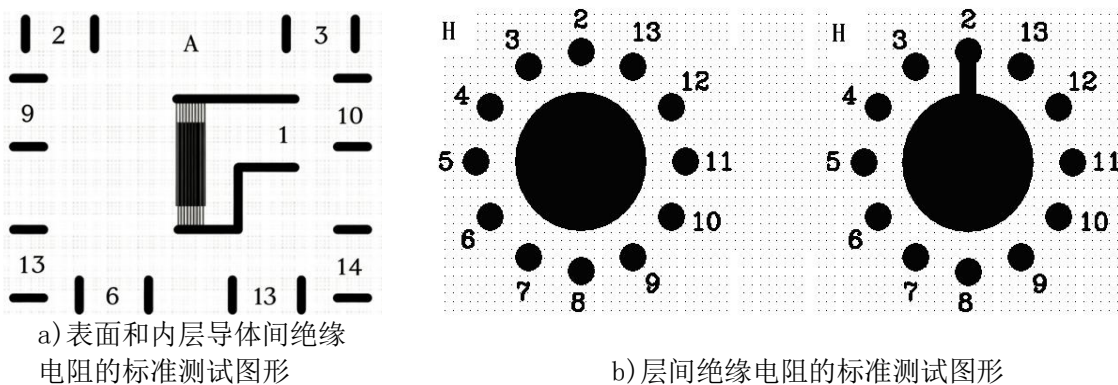


图9 绝缘电阻测试图形示例

- 试样上每个测量点都焊接引线；
- 应小心持拿试样以避免任何污染，例如指纹、灰尘等。

##### 5.4.4.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

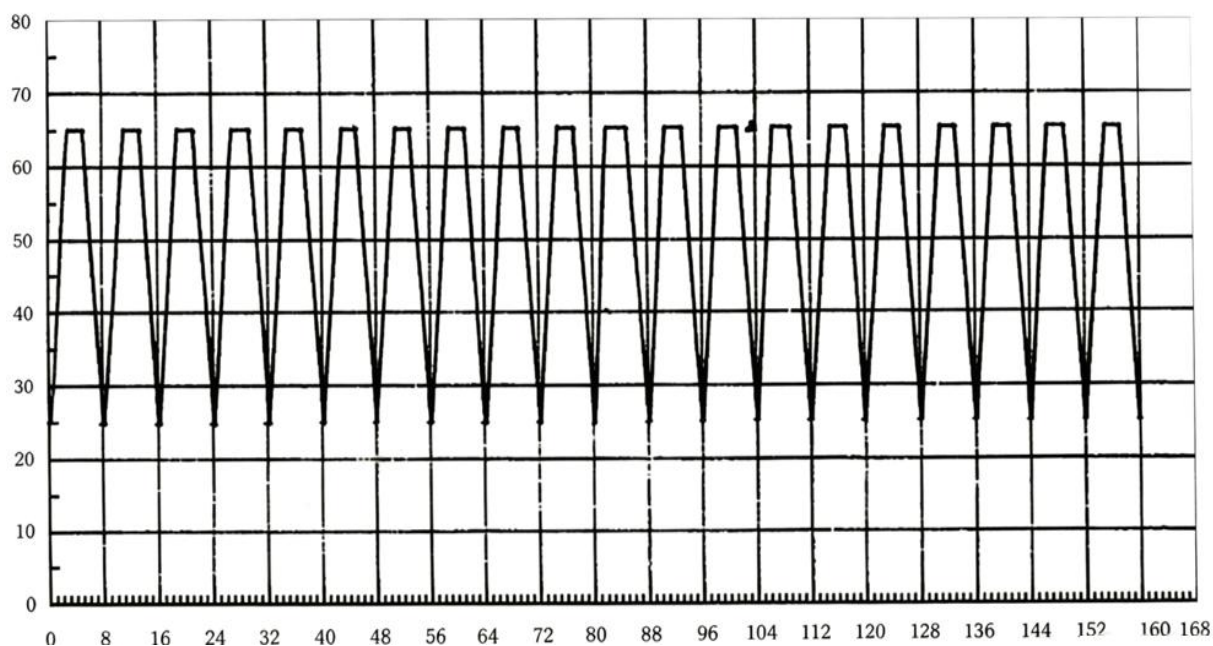
- 环境试验箱：能够控制温度 $(25\pm 2)$ ℃~ $(65\pm 2)$ ℃，相对湿度80%~98%的交变湿热环境条件；

- b) 高阻计或其他合适的设备，能施加 $(10 \pm 1)$  V、 $(100 \pm 15)$  V和 $(500 \pm 50)$  V等的电压，量程范围 $10^6 \Omega \sim 10^{15} \Omega$ ，测试误差小于10%；
- c) 放大倍率为20倍、测量精确度为0.01 mm的读数显微镜；
- d) 屏蔽盒：将试样放入屏蔽盒中进行测试，避免干扰；
- e) 电源：能够产生 $(100 \pm 10)$  V直流极化电压。

#### 5.4.4.4 步骤

测量步骤如下：

- a) 用读数显微镜测量被测导体间距；
- b) 将试样放入环境试验箱中；
- c) 如果规范要求，将所有测量点引线连接到电源上，施加 $(100 \pm 10)$  V直流测试电压；
- d) 按下面的试验条件进行规定循环次数湿热循环：
  - 1) 将试样置于20个温湿度周期处理，每个周期包括（每步时间偏差为 $\pm 5$  min），如图10所示；
  - 2) 初始温度为 $(25 \pm 2)$  °C，经2.5 h，温度上升到 $(65 \pm 2)$  °C，保持相对湿度保持在80%以上；
  - 3) 在温度 $(65 \pm 2)$  °C，相对湿度为80%以上时，至少保持3 h；
  - 4) 温度经2.5 h，从 $(65 \pm 2)$  °C下降到 $(25 \pm 2)$  °C，维持相对湿度大于80%；
  - 5) 每个周期为8 h，两个周期之间没有停顿。
- e) 试样从试验箱中取出2 h内完成测试；
- f) 将试样放入屏蔽盒中，使测试仪器的探针接触导体的测试点；
- g) 测量表面导体间的绝缘电阻时，按照表3选取合适的直流测试电压，保持1 min；
- h) 测量内层导体间、层间的绝缘电阻时，根据设计要求或施加 $(100 \pm 10)$  V的直流测试电压，保持1 min；
- i) 读取显示数据并记录，如果读数在1 min内稳定不再发生变化，则可提前读数并记录；
- j) 如果1 min后仍得不到稳定读数，则读取近似于稳定的平均值，并记录该现象；
- k) 在正常测试条件下稳定24 h后，检查试样上是否有白斑、起泡或分层现象并记录。



说明：

横轴——时间，单位为小时(h)；

纵轴——温度，单位为摄氏度(°C)。

图10 温湿度 20 个循环周期

表3 绝缘电阻测量电压

被测量导体间距 mm	测量电压 V
<0.2	按设计文件规定
0.2~0.5	100±10
>0.5	500±50

#### 5.4.4.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- 外观检查结果；
- 施加极化电压的要求；
- 湿热试验条件及测试时间；
- 绝缘电阻最小值。

#### 5.5 耐电压

##### 5.5.1 表层耐电压

###### 5.5.1.1 目的

评定印制板表面图形的规定部分承受规定试验电压，而无任何闪络（表面放电）、火花放电（空气放电）或击穿（穿透放电）所显示的破坏性放电的能力。放电可以目视观察，也可以用试验仪器以适当的方式显示。

注：耐电压试验不能代替导线之间的距离测量。

###### 5.5.1.2 试样

试样应符合以下要求：

- 成品板、附连测试板或综合测试板表面规定部分的导电图形；
- 在多层印制板表面规定部分的图形上进行时，应避免其他部分或其他层的影响；
- 应小心持拿试样以避免任何污染，例如指纹、灰尘等。

###### 5.5.1.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- 放大倍率为20倍、测量精度为0.01 mm的读数显微镜；
- 高压击穿仪或其他等效仪器：误差小于4%，测量范围为0 V~5000 V，漏电流限定范围为0.1 mA~20 mA。

###### 5.5.1.4 步骤

测试步骤如下：

- 试样放置在温度(23±2)℃，相对湿度(45±5)%，标准大气条件86 kPa~105 kPa下先进行至少24 h预处理再进行测量和试验；
- 成品板任选三对不同间距的导体（一般从导线间距最小处选取）；
- 用读数显微镜测量被测导体间距；
- 如果两相邻导体的间距非1 mm时，按照测试的结果除以导体实际间距换算成标准间距的介质耐压值；

- e) 将仪器探头连接在两组相邻被测导体上，按仪器要求缓慢连续升压，经5 s升到规定的测试电压值；
- f) 在规定的电压条件下保持1 min；
- g) 观察测试试样或仪器显示；
- h) 记录测试试样出现飞弧（表面放电）、火花放电（空气放电）或击穿（击穿放电）等现象时的电压。

#### 5.5.1.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 施加电压的点；
- b) 试验电压；
- c) 最大漏电流。

#### 5.5.2 层间耐电压

##### 5.5.2.1 目的

评定印制板相邻层的规定部分承受规定试验电压，而无试验设备显示的任何破坏性放电的能力。如果产生破坏性放电则说明存在工艺缺陷或者层间绝缘介质的厚度不够。

##### 5.5.2.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 成品板、附近测试板或综合测试板相邻层规定部分的导电图形；
- b) 应小心持拿试样以避免任何污染，例如指纹、灰尘等。

##### 5.5.2.3 设备和材料

高压击穿仪或其他等效仪器：误差小于4%，测量范围为0 V~5000 V，漏电流限定范围为0.1 mA~20 mA。

##### 5.5.2.4 步骤

测量程序同5.5.1.4。

##### 5.5.2.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 施加电压的点；
- b) 试验电压；
- c) 最大漏电流。

#### 5.6 电路传输

##### 5.6.1 特性阻抗

###### 5.6.1.1 目的

本方法用于时域反射法(TDR)测量无载印制板上作为信号传输线的导线的特性阻抗。

###### 5.6.1.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 成品板、附连测试板或综合测试板规定部分的导电图形；
  - b) 试样示例见图 11，图 11 是根据产品特点定制生产的带状线或微带线；
  - c) 成品板上必须是合适的导线，基本要求是最小导线长度50 mm；
  - d) 除非另有要求，试样应进行规定的前处理或在规定的储存条件下储存。
- 注：一些TDR仪器易被静电放电损坏，这种损坏不易被检测，且会造成误读，试样处理时应适当防范。



足够坚固以确保在校准周期中仍保持其阻抗为常量。空气线应具有精确的阻抗特性和时延特性，精度应不低于  $0.1 \Omega$ ，可用作高精度的校准件。使用时需特别注意，以防损坏。空气线应由有资质的计量检定机构定期进行检测，检测周期一般不超过两年。为了得到高精度的测量结果，校准件的阻抗应与测定系统的特性阻抗非常接近，以使接口传输损耗降为最小；

- f) 静电保护：应使用静电保护，保护可以内置或外置。如外置，若用同轴开关，在 18 GHz 时应有小于 16 dB 的返回损耗和小于 0.3 dB 的插入损耗，放置在被测传输线和 TDR 设备之间。高质量高频的电缆可用于连接 TDR 设备和保护开关。在测量之前，被测样品应接地以除去剩余的静电或使用某些有消电离作用的设备去除剩余的静电。在测量中应保持 45%~55% 的相对湿度，将静电限制到最小。自动测量软件通过切换静电保护单元的开关提高静电保护的效果。

#### 5.6.1.4 步骤

##### 5.6.1.4.1 特性阻抗计算方法

TDR 仪器测量中获得的原始数据是幅度随时间的变化曲线，需要通过二次计算得到特性阻抗、反射系数随时间的变化曲线。

计算公式 (5) 是：

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_x - Z_0}{Z_x + Z_0} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- $\Gamma$ ——反射系数；
- $V_r$ ——反射电压，单位为毫伏 (mV)；
- $V_i$ ——输入电压值，单位为毫伏 (mV)；
- $Z_x$ ——任意点阻抗值，单位为欧姆 ( $\Omega$ )；
- $Z_0$ ——标称阻抗值，单位为欧姆 ( $\Omega$ )。

根据数学变换，可得反射点的特性阻抗值计算公式 (6)：

$$Z_x = \frac{Z_0(1 + \Gamma)}{1 - \Gamma} = \frac{Z_0(V_i + V_r)}{V_i - V_r} \dots\dots\dots (6)$$

TDR 的输出值可以是电压、反射系数或阻抗，可以得到电压-时间曲线、反射系数-时间曲线或者特性阻抗-时间曲线。如果 TDR 系统直接提供特性阻抗值，就不需要进一步计算传输线的特性阻抗。如果 TDR 系统的输出是以  $\Gamma$  为单位，那么传输线的特性阻抗就必须通过  $\Gamma$  再计算得到。

在具体实施中，可以采用时域二次计算法(简称时域校准法)和频域二次计算法(简称频域校准法)。

##### 5.6.1.4.2 测量前准备

测量前准备如下：

- a) 静电防护检查：由于取样前端很容易受到大电压的破坏，TDR 仪器应建立全面的防隔离区域，做好各项静电措施，还需周期性的对各种静电防护材料和系统进行必要的检查；
- b) 仪器预热和稳定性：在准或者测量以前，仪器开机预热时间应符合仪器规范，通常情况 10 min~40 min，确保仪器不产生幅度和时间漂移；
- c) 环境条件：应确保 TDR 仪器在厂商推荐的温度和湿度环境范围内使用，一般环境温度为  $20^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ ，相对湿度 45%~65%。部分 TDR 仪器对高频强电磁场敏感，在仪器使用周围不能放置手机等具备高频强电磁信号干扰的设备；
- d) 选择合适的测量区域：
  - 1) 建议将波形的入射边沿对齐到 DR 显示屏幕的水平第一格，反射边沿对齐水平最后一格。水平参数一般设定为 100 ps/格~200 ps/格，对应采样点分辨率为 10 ps~20 ps，垂直参数一般设定为  $10 \Omega$ /格。如果被测件长度短，则应缩小水平参数，缩小采样分辨率；
  - 2) 完整 TDR 波形如图 12 所示，分为入射区域、反射区域、建立区域和测量；分别有入射点(反射点)、测量起点、测量终点。把入射点和开路点之间的区域定为 100% 波形窗，通常测量区域可以选择 50% ( $t_i, t_n$ )~70% ( $t_n$ ) 的区域。由于 TDR 测量区域的选择是相对于入射点的，所以在测量前和测量过程中必须检查入射点的位置是否一致，有没有发生漂移。当使用不同批次或不同厂家的仪器测量时，更应先确定入射点的位置相同(即参考起点相同)；

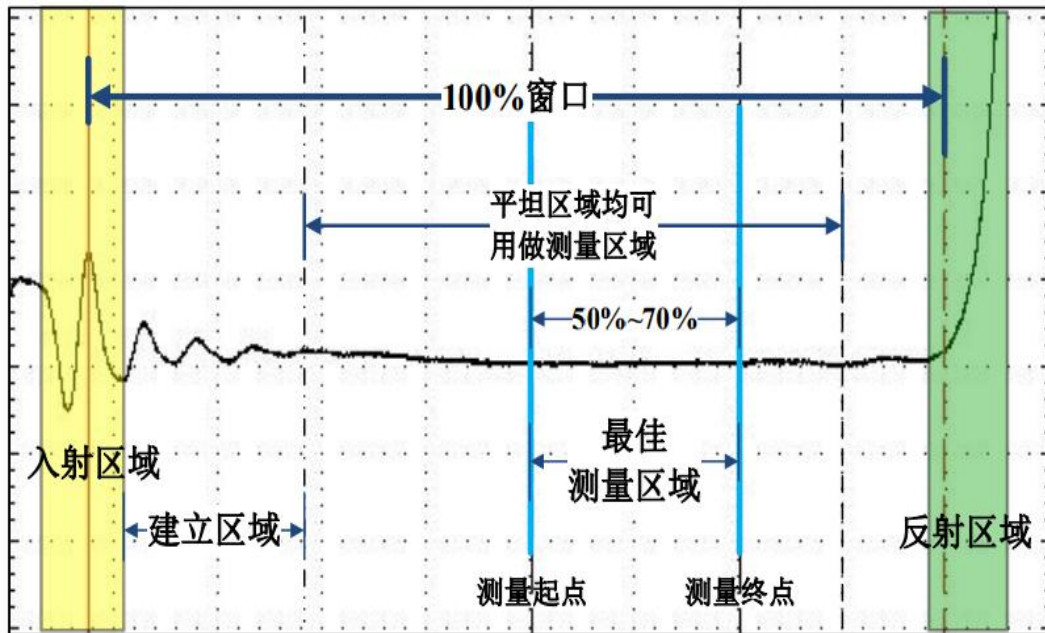


图12 TDR 测量波形图、TDR 测试区域选择图

- 3) 测量区域选定参数：选择DR波形的30%（测量起点）~70%（测量终点）或由仪器使用者决定，主要应用于 $30\ \Omega \sim 80\ \Omega$ 的场合。实际测量中为兼顾低阻抗值和高阻抗值一般建议可选择测量区域的50%~70%。在更严格的低阻抗值( $33\ \Omega$ )或者高阻抗值( $83\ \Omega$ )测量时，一般建议可选择测量区域的65%~85%。上述测量范围并非强制要求的，还需要根据实际的DR测量波形进行调整，选择波形平坦的部分，如可将65%~85%调整为60%~85%等。更为精确的方法是根据特性阻抗值分段来决定，详细参数可参考表5。

表5 TDR 测量特性阻抗分段表

序号	分界反射系数	阻抗值范围 $\Omega$	校准参考阻抗 $\Gamma$	建议 TDR 测量区域选定范围
1	$0 < \Gamma \leq -0.50$	$0 < Z \leq 15$	$12.5\ \Omega (-0.6)$	65%~85%或 60%~80%
2	$-0.50 < \Gamma \leq -0.20$	$15 < Z \leq 35$	$25\ \Omega (-0.333)$	
3	$-0.20 < \Gamma \leq 0.15$	$35 < Z \leq 65$	$50\ \Omega (0)$	50%~70%
4	$0.15 < \Gamma \leq 0.25$	$65 < Z \leq 85$	$75\ \Omega (0.2)$	
5	$0.25 < \Gamma \leq 0.45$	$85 < Z \leq 130$	$100\ \Omega (0.333)$	65%~85%或 60%~80%
6	$0.45 < \Gamma \leq 0.54$	$130 < Z \leq 170$	$150\ \Omega (0.5)$	
7	$0.54 < \Gamma \leq +\infty$	$170 < Z \leq +\infty$	$180\ \Omega (0.565)$	

- 4) 除了用百分比来选定测量区域之外，还可用时间参数或距离参数来选定测量区域，可用下列公式(7)进行换算：

$$L = V_p \times T = C \times \frac{T}{\sqrt{\epsilon}} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$L$ ——传输线长度，单位为米(m)；

$V_p$ ——信号在被测传输线的传播速度，单位为米/秒(m/s)；

$T$ ——采集时间，单位为秒(s)；

$C$ ——光速， $2.99792 \times 10^8$ m/s；

$\epsilon$ ——介电常数。

- e) 不同的被测件需要设定介电常数  $\epsilon$ ，确定光速在被测件上的实际传播速度，便于将时间参数转化为距离参数，常用的可设定  $\epsilon=2.296$ ，则传输速度  $V_p=0.666 \times C$ 。

#### 5.6.1.4.3 单端特性阻抗 TDR 测量和校准操作步骤

步骤如下：

- a) 如图 13，连接电缆、校准件和探头，探头空置开路（此步骤可以连接探头也可以不连，如果不连探头，则探头可能会带来微小误差）。测量两个平均电压  $V_{open}$ ， $V_{std, 0}$ ，按下列公式(8)计算入射幅度：

$$V_{i, 0} = V_{open} - V_{std, 0} \quad \text{..... (8)}$$

式中：

$V_{i, 0}$ ——标号 0 处入射电压，单位为毫伏(mV)；

$V_{open}$ ——开路电压，单位为毫伏(mV)；

$V_{std, 0}$ ——标号 0 处标准电压，单位为毫伏(mV)。

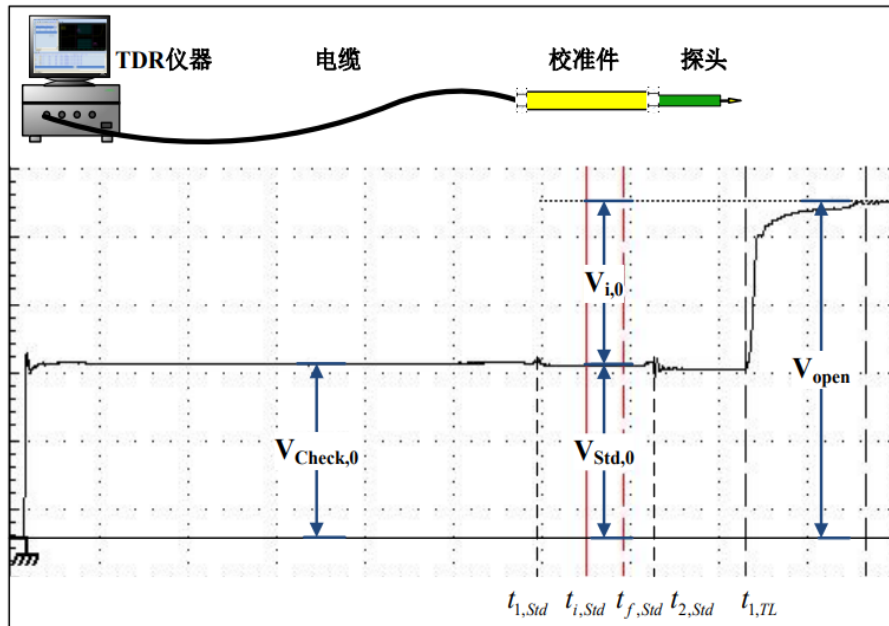


图13 校准入射阶跃幅度

- b) 记录此时的校准件的电压  $V_{check, 0}$ ，探头末端位置是  $t_{1, TL}$ ，是探头开路反射到达其幅度一半所用的时间。
- c) 如图 14，将电缆（如果步骤 a）连接过探针，则此步骤也连接探针）连接到被测件，计算被测件的平均电压值  $V_{c, ave}$ 、最大电压值  $V_{c, max}$  和最小电压值  $V_{c, min}$ 。

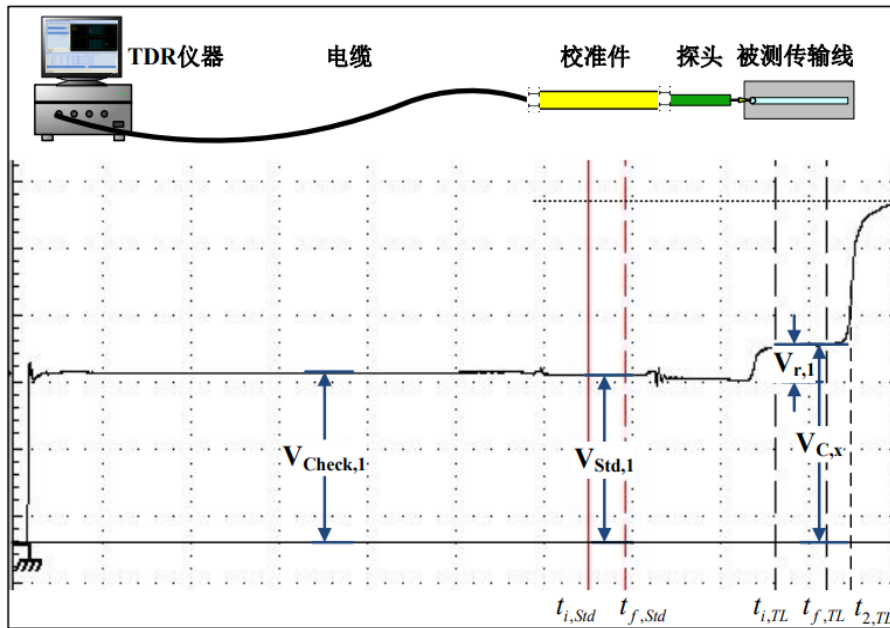


图14 TDR 测量传输线

- d) 记录电压幅度  $V_{check, 1}$ ，被测件末端位置是  $t_{2, TL}$ ，即被测传输线开路反射到达其幅度一半所用的时间。根据如下公式(9)判断仪器是否需要重新校准：

$$V_{dif} = [V_{check, 0} - V_{check, 1}] / V_{i, 0} \quad (9)$$

式中：

$V_{dif}$ ——差分电压，单位为毫伏(mV)；

$V_{check, 0}$ ——校准件的电压，单位为毫伏(mV)；

$V_{check, 1}$ ——记录电压幅度，单位为毫伏(mV)；

$V_{i, 0}$ ——标号0处入射电压，单位为毫伏(mV)。

如果  $V_{dif} > 0.002$ ，则 TDR 仪器需要校准。

- e) 公式(10)计算反射电压：

$$V_{r, 1} = V_{c, x} - V_{std, 1} \quad (10)$$

式中：

$V_{r, 1}$ ——标号1处反射电压，单位为毫伏(mV)；

$V_{c, x}$ ——被测件任意点电压，单位为毫伏(mV)；

$V_{std, 1}$ ——标号1处标准电压，单位为毫伏(mV)。

反射系数计算公式(11)：

$$\rho_{tran} = (V_{c, x} - V_{std, 1}) / V_{i, 0} \quad (11)$$

式中：

$\rho_{tran}$ ——传输系数；

$V_{c, x}$ ——被测件任意点电压，单位为毫伏(mV)；

$V_{std, 1}$ ——标号1处标准电压，单位为毫伏(mV)；

$V_{i, 0}$ ——标号0处入射电压，单位为毫伏(mV)。

- f) 计算测量中传输线的阻抗，使用如下所示公式(12)：

$$Z_{tran} = Z_{std} \times \frac{(1 - \rho_{tran})}{(1 + \rho_{tran})} = \frac{Z_{std} (V_{i, 0} + V_{r, 0})}{(V_{i, 0} - V_{r, 0})} = \frac{Z_{std} (V_{i, 0} + V_{c, x} - V_{std, 1})}{(V_{i, 0} - V_{c, x} + V_{std, 1})} \quad (12)$$

式中：

$Z_{tran}$ ——传输线阻抗，单位为欧姆( $\Omega$ )；

$Z_{std}$ ——标准阻抗，单位为欧姆( $\Omega$ )；

- $\rho_{tran}$  —— 传输系数；  
 $V_{i,0}$  —— 标号 0 处入射电压，单位为毫伏 (mV)；  
 $V_{r,0}$  —— 标号 0 处反射电压，单位为毫伏 (mV)；  
 $V_{c,x}$  —— 被测件任意点电压，单位为毫伏 (mV)；  
 $V_{std,1}$  —— 标号 1 处标准电压，单位为毫伏 (mV)。

#### 5.6.1.4.4 差分特性阻抗 TDR 测量和校准操作步骤

差分传输线的测量和校准方法与单端传输线相同。在单端校准过程中已经获得参数  $V_{open}$ 、 $V_{std,0}$ 、 $Z_{std}$ ，因此只有  $V_{c,x}$  一个是未知变量。TDR 仪器通过测量入射和反射回来的电压  $V_{c,x}$ ，将电压信号转换为被测件的特性阻抗。将所有的电压参数  $V$  代入到单端校准公式中，代替  $V_c$  得到所需的特性阻抗。

#### 5.6.1.5 结果报告

除 4.3 的规定外，报告还应包括：

- 阻抗公差要求；
- 校准数据或状态；
- 测试结果（包含图或表形式的结果或单独的汇总，提供明确的阻抗值），以欧姆计。

#### 5.6.2 插入损耗

##### 5.6.2.1 目的

本方法用于测试印制板高速电路信号传输损耗。

##### 5.6.2.2 试样

试样应符合以下要求：

- 专用附连测试板，每批次至少测试 3 片；
- 附连测试板可以随实际的被测试印制板一起制作，或者单独制作。单独制作的附连测试板应与实际被测印制板的结构、材料、工艺流程一致；
- 测试图形设计见图 15 a) 水平布线，测试线长保持一长一短，推荐使用 50.8 mm 的短线搭配 127 mm 的长线，或者使用 127 mm 的短线搭配 254 mm 的长线。印制板空间足够时可以采用较长的线对，空间不足则使用较短的线对或者使用图 15 b) 蛇形线路，测试线线宽及间距与对应待测印制板的线宽及间距一致。附连测试板实物示例见图 16；
- 测试板叠层结构应与实际印制板的叠层结构保持一致，包括玻纤布的经纬向、布线方式等，信号接入孔建议做背钻处理，接入孔位置的内层非功能焊盘应删除，以消除测试干扰；
- 测试连接器或测试探头区需要留有足够的阻焊开窗尺寸，以免影响测试信号；
- 测试连接器或测试探头定位孔及屏蔽小孔直径依据连接器或探头的尺寸进行设置；

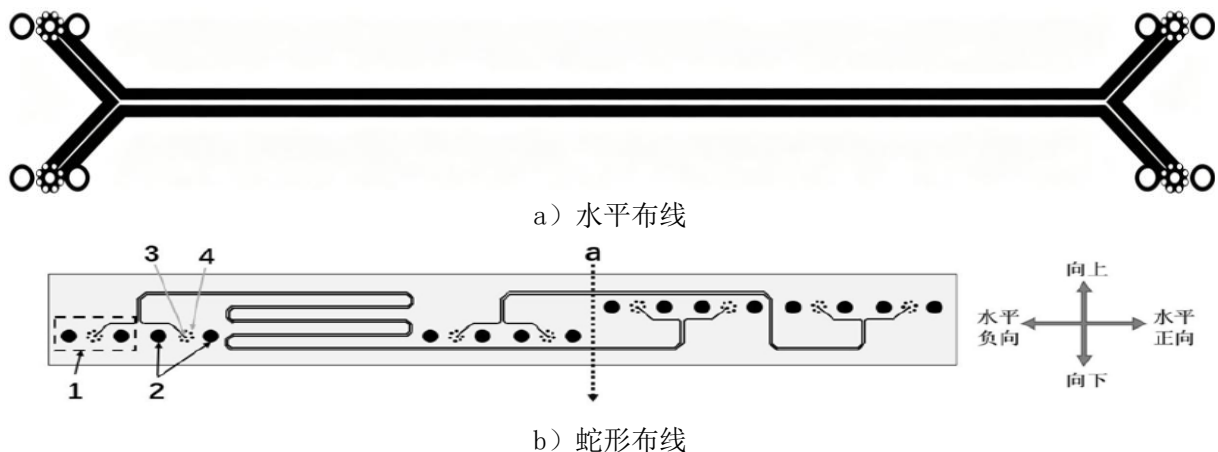


图15 附连测试板图形布线结构

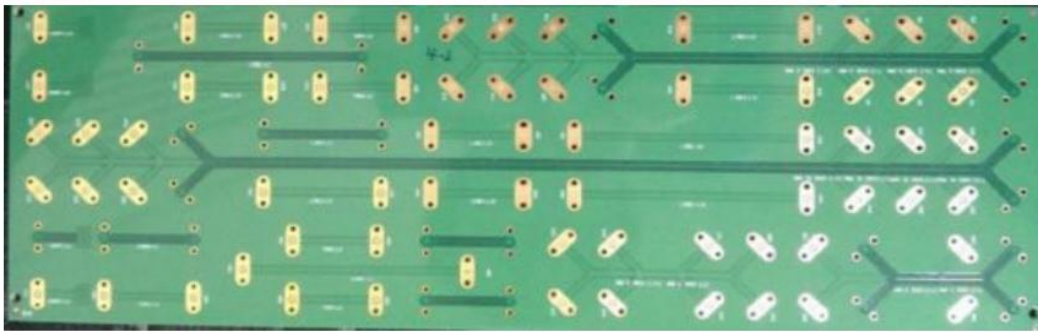


图16 附连测试板实物示例

### 5.6.2.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 矢量网络分析仪，其最小测试带宽应能够覆盖被测样品的测试频率，并具有防静电装置；
- b) 校准件，根据矢量网络分析仪配置选择校准件；
- c) 测试连接器，综合测试需求选用合适的测试连接器或测试探头；
- d) 同轴线缆4根，选择的同轴线缆需要能够覆盖被测样品的测试频率，并确保“测试线缆——测试连接器/探头——测试图形”三者匹配。且同轴线缆在启用前需要检查线缆的回波损耗，确定满足测试需求，测试连接示意图见图17。

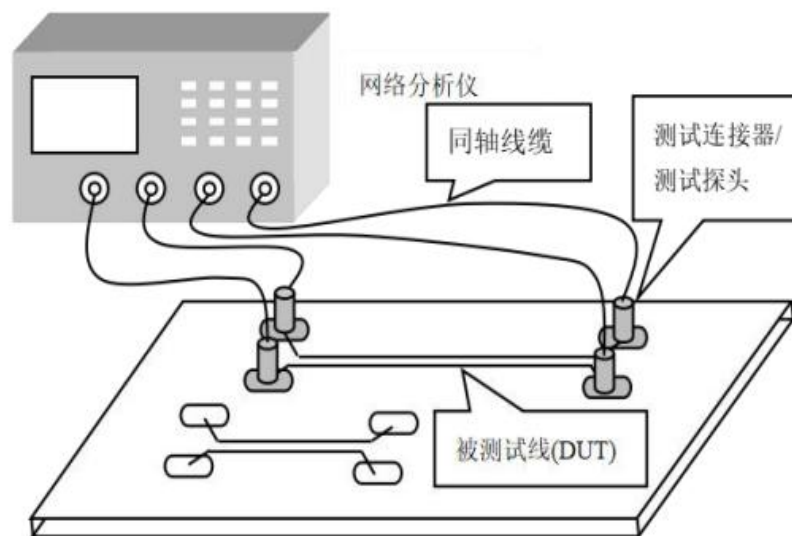


图17 传输损耗测试系统示意图

### 5.6.2.4 步骤

测量步骤如下：

- a) 测试前，测试样品可在105℃、相对湿度0%的条件下烘烤2h后，或在140℃、相对湿度0%的条件下烘烤1h后立即抽真空。但如果试片未经过适当的真空包装且存放时间较长，则需将烘烤条件调整为140℃、相对湿度0%，持续12h。在打开真空包装或完成烘烤处理后的12h内，于23℃±2℃、相对湿度20%~80%的环境下对样品进行测试，可获得一致的结果。如果在烘烤处理后进行测试，建议让试片至少冷却至室温30min后再进行测试，并确保测试焊盘或测试接入孔表面洁净无异物及氧化；
- b) 测量系统进行校准，采用校准件与4条同轴线对锁连接，按仪器要求执行校准流程；
- c) 采用测试探头测试时，将两个测试探头的定位引脚准确插入附连测试板上的定位孔内，并按住测试探头使其保持水平，测试时不应晃动或移动测试探头；

- d) 采用连接器测试时，将4个连接器用螺丝固定在附连测试板上对应的孔上锁紧，再将4根同轴电缆与4个连接器相连，测试时确保与连接器连接稳固，同轴电缆不卷曲；
- e) 测量和去嵌计算：以双线法的50.8 mm及127 mm差分线对为例。首先对50.8 mm长度的差分阻抗线进行S参数的量测，然后再用同一步骤完成127 mm的差分阻抗线的S参数的量测，量测完成后由系统进行去嵌及计算。在测试过程中应确保测试环境稳定，且不可以触碰附连测试板，并观察测试波形是否稳定，当测试波形稳定之后再进行测试数据的记录；
- f) 传输损耗测试数据应以表格形式呈现，频点根据实际印制板的用户需求进行设置（例如4 GHz、8 GHz、12.89 GHz、16 GHz等），测试记录输出的内容应包括但不限于频点、测试型号、测试人员、测试时间、及各频点下的插入损耗、回波损耗等信息。

#### 5.6.2.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 校准数据或状态；
- b) 测试频率。

#### 5.6.3 嵌入式/片式电感

##### 5.6.3.1 目的

采用半自动/全自动 LCR 测试仪及手动 LCR 电桥测试印制板上片式电感、嵌入式电感。

##### 5.6.3.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 被测电感无虚焊、脱焊、鼓包、损伤、污染。
- b) 测试点清洁，无焊剂残留、氧化层。
- c) 测试前确认电感无并联电容、电阻等影响测量的电路。

##### 5.6.3.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) LCR 测试仪/数字电桥应满足以下要求：
  - 1) 频率范围：覆盖测试要求；
  - 2) 测试信号电平：0.1 V~1.0 V或按供需双方协商；
  - 3) 分辨率：电感量 0.01  $\mu\text{H}$  或更高；
  - 4) 具备开路/短路/负载校准功能。
- b) 测试夹具/电感笔：四端子或两端子专用测试夹具，接触可靠、无氧化、无干扰。

##### 5.6.3.4 半自动设备测试步骤

测试步骤如下：

- a) 开机：打开设备总电源，打开总气压；
- b) 初始化设备；
- c) 调整吸嘴高度、上料位置；
- d) 设置参数：按产品规范设置测试频率、测试电压、量程、等效模式（串联 / 并联）。
- e) 放入测试板，定位测试焊盘 / 测试孔；
- f) 启动测试，设备自动完成电感量、ESR、Q 值测量并记录数据；
- g) 连续测试 3 件无异常后进入批量测试。

##### 5.6.3.5 手动测试步骤

测试步骤如下：

- a) 接通电源，选择电感测试模式；
- b) 安装电感笔 / 测试夹具，完成校准；
- c) 确认测试孔 / 测试焊盘位置；

- d) 对验证板进行验证测试，确认仪器正常；
- e) 对正式试样的圆孔、槽孔测试位进行测量；
- f) 每个电感重复测试 2~3 次，取平均值。

#### 5.6.3.6 结果判定

结果判断如下：

- a) 电感量  $L$  应在产品规定公差范围内。
- b) ESR（等效串联电阻）不大于规定最大值。
- c)  $Q$  值（品质因数）不低于规定最小值。
- d) 无短路、开路、参数漂移异常。

#### 5.6.3.7 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 测试频率、测试电压、等效模式；
- b) 电感值  $L$ 、ESR、 $Q$  值。

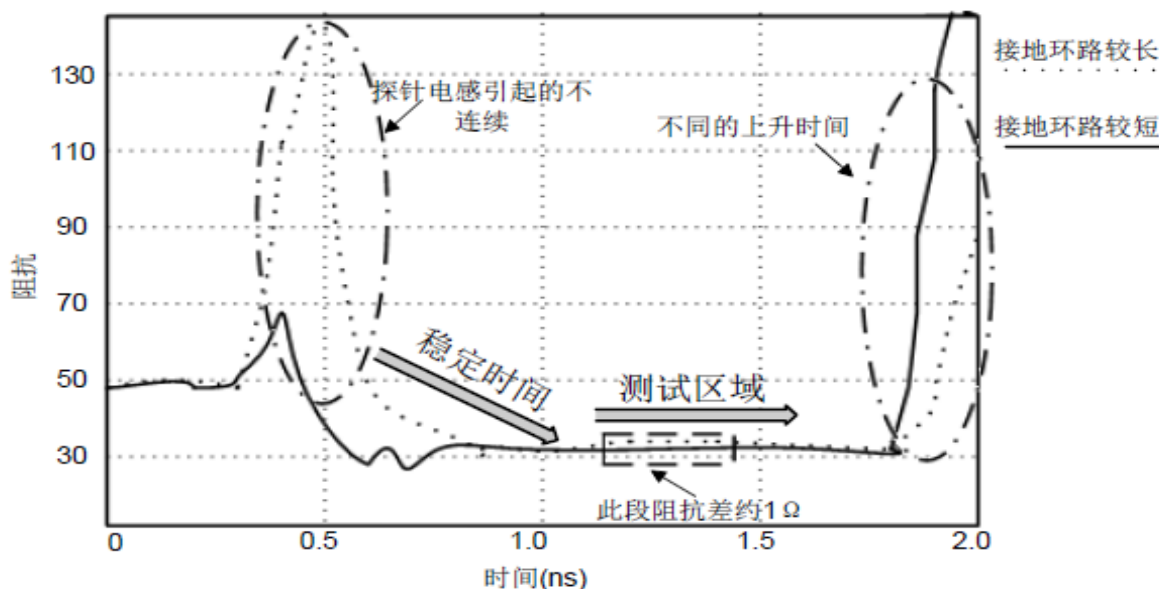
## 附录 A (资料性附录) 常用探头及适用类型

目前常用的探头类型包括：手持式探头、表贴适配器探头和显微探头。

### A.1 手持式探头

最常用的探头类型是手持式探头，一般包括用PCB材料制作的微带线探头和用高频同轴线制作的同轴探头。微带线探头的优点是成本低、使用方便快速、可制作成不同阻抗的匹配探头，缺点是带宽较低一般为1 GHz左右，不能满足较高要求的测量场合，同时不同批次的特性阻抗值差别很大，受外部条件变化较大，较难控制到 $\pm 2\%$ ，如果使用的探头不够好或焊接工艺不佳会产生明显反射严重降低带宽及测量波形质量。同轴探头的带宽可以达到6 GHz甚至18 GHz，且特性阻抗性能稳定，适用于较高精度、大批量测量场合，如图B.1所示。

手持式探头常见的问题是探头接地不合理会导致测量错误，为了尽可能减少接地环路电感，使阻抗不连续降为最小，应该选用正确的接地针，尽量减少接地路径的长度。如果将接地环路电感降为最小，则当脉冲入射到待测负载时，可以降低波形的初始峰值，就可以缩短稳定时间，平滑响应曲线，并减小探头损耗。



A.1 两种不同探头接地环路的典型的TDR响应

### A.2 贴适配器(SMA)探头

SMA探头采用SMA连接器焊接在电路板上，可以提供有效的可重复测量。但SMA往往显示出较高的容性负载特性，在TDR脉冲输入到被测件时，会降低信号有效的带宽，对于TDR分辨率要求很高的测量，不宜用SMA连接器进行测量。

### A.3 显微探头

连接目前，测量精度最高的探头是阻抗受控的显微探头。显微探头的寄生效应很小，接地环路也很短，一般阻抗是 $50\ \Omega$ ，但也存在高阻抗显微探头。显微探头主要用于工业上，经常与矢量网络分析仪结合使用，用于测量射频电路和微波电路的特性。其主要的缺点是可能需要昂贵的探头工作台、特殊的探头架和显微镜。