



中华人民共和国国家标准

GB/T 37977.23—2019/IEC 61340-2-3:2000

静电学 第2-3部分：防静电固体平面 材料电阻和电阻率的测试方法

Electrostatics—Part 2-3: Methods of test for determining the resistance and resistivity of solid planar materials used to avoid electrostatic charge accumulation

(IEC 61340-2-3: 2000, IDT)

2019-08-30 发布

2020-03-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
中国国家标准化管理委员会



目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 条件和测量环境	2
5 测量方法的选择	2
6 固体导静电材料的电阻测量	2
7 固体绝缘材料的电阻测量	2
8 静电耗散性材料的电阻测量(用于避免静电电荷积聚)	3
8.1 仪器	3
8.2 电极组件	3
8.3 样品的准备和处理	4
8.4 表面电阻测量系统的校验装置	4
8.5 体积电阻测量系统的校验	4
8.6 测量程序	5
9 电阻率值的转换	6
9.1 表面电阻率	6
9.2 体积电阻率	6
10 重复性和再现性	6
11 报告	7
参考文献	12
图 1 用于表面电阻和体积电阻测量的电极组件	7
图 2 测量表面电阻的电极连接方式	8
图 3 测量体积电阻的电极连接方式	8
图 4 用于对地/接地点电阻以及点对点电阻测量的电极组件	8
图 5 较低表面电阻范围测量的校验装置	9
图 6 较高表面电阻范围测量的校验装置	10
图 7 对接地点电阻的测量原理	10
图 8 点对点电阻测量原理	11
图 9 表面或体积电阻率转换结构	11



前 言

GB/T 37977《静电学》计划发布以下部分：

- 第 2-3 部分：防静电固体平面材料电阻和电阻率的测试方法；
- 第 3-1 部分：静电效应的模拟方法 人体模型(HBM)的静电放电试验波形；
- 第 3-2 部分：静电效应的模拟方法 机器模型(MM)的静电放电试验波形；
- 第 5-1 部分：电子器件的静电防护 通用要求。

本部分为 GB/T 37977 的第 2-3 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 61340-2-3:2000《静电学 第 2-3 部分：防静电固体平面材料电阻和电阻率的测试方法》。

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。

本部分由中华人民共和国工业和信息化部(电子)提出并归口。

本部分起草单位：工业和信息化部电子工业标准化研究院、中国人民解放军军械工程学院、信息产业防静电产品质量监督检验中心、深圳市亨达洋静电技术有限公司、航天长峰朝阳电源有限公司。

本部分主要起草人：梁栋栋、陈世钢、魏光辉、宋竞男、刘清松、刘建鹏、刘铁军、侯新伟、蔡利花。

引 言

电阻测试和电阻率的相关计算属于电子测量技术基础部分里用电压法和电流法测量的内容。

电阻率的电特性具有很宽域值,从大部分导电金属到较好的绝缘材料,超过 30 个数量级。

在电导体里(金属、碳等)以欧姆定律为基础,适用于直流电流或交流电流的瞬时值进行测量。在不同频率上,用交流电流进行的测量可能会受到电容或电感阻抗的影响。因此,现有的国家或国际标准通常采用直流电流来进行固体材料的电阻计算。

大部分非金属材料,像塑料,都归类到聚合物和离子导体里。在测量中,电荷的流动是靠施加一定场强的电场来实现的。除了测量电流,还存在一种充电电流,它是由极化材料和/或静电电荷材料形成的,随着时间的变化,测量电流逐渐变小,电阻会产生显著改变。如果可以观察到这个效应,在一定的充电时间后,通过用相反的极性来测量电流,然后平均两次获得的值的方法来重复测量。



静电学 第 2-3 部分：防静电固体平面 材料电阻和电阻率的测试方法

1 范围

GB/T 37977 的本部分规定了用于避免静电电荷累积的固体平面材料的电阻和电阻率的测试方法，测试电阻的适用范围从 $10^4 \Omega$ 到 $10^{12} \Omega$ 。

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 1410—2006 固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法(IEC 60093:1980, IDT)

GB/T 2439—2001 硫化橡胶或热型橡胶 导静电性能和耗散性能电阻率的测定(ISO 1853:1998, IDT)

GB/T 10064—2006 测定固体绝缘材料绝缘电阻的试验方法(IEC 60167:1964, IDT)

GB/T 10580—2003 固体绝缘材料在试验前和试验时采用的标准条件(IEC 60212:1971, IDT)

ISO 2951:1974 硫化橡胶 绝缘电阻率的测量(Vulcanized rubber-Determination of insulation resistance)

ISO 3915:1981 塑料 导电塑料电阻率的测量(Plastics—Measurement of resistivity of conductive plastics)

IEC 60260:1968 恒定相对湿度的非注入类型的测试场地(Test enclosures of non-injection type for constant relative humidity)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

体积电阻 volume resistance

施加于样品两个表面(相对面)电极之间的直流电压(V)与两个电极之间的稳态电流(A)的比率。

注：体积电阻的单位是 Ω 。

3.2

体积电阻率 volume resistivity

材料中直流电场强度(V/m)和稳态电流密度(A/m²)的比率。实际上，它等于单位立方体内的体积电阻，通过两个相对面的电极测得。

注 1：体积电阻率不适用于电性能不同的非均质材料。

注 2：体积电阻率的 SI 单位是 $\Omega \cdot m$ 。

3.3

表面电阻 surface resistance

在样品的同一表面上，两个电极之间施加的直流电压(V)与稳态电流(A)的比率。

注：表面电阻的单位是 Ω 。

3.4

表面电阻率 surface resistivity

表面电阻率等同于单位方块面积的表面电阻,通过两个相对的电极测得。

注:表面电阻率的 SI 单位有时用 Ω/sq 或 Ω/\square 表示。

3.5

测量电极 measuring electrode

在测量中与样品相接触的导体,具有规定的形状、大小和结构。

4 条件和测量环境

材料的静电性能受环境条件的影响,如温度和相对湿度。因此,测量应在受控的环境下进行。基于使用中可能存在的最极端的条件(如极低湿度),适用于测量的环境条件的选择应通过材料的类型(产品说明)和应用方向来决定。除非另有规定,样品应处于相同的状态,并在相同的环境下测量。

为消除一些塑胶材料铸模工序或者干燥后出现的压电效应,测量前有必要对样品进行预处理。预处理应在不同的环境中进行。

配有干燥器的温室箱,或者具有完备强制对流和空气交换的气候试验箱都是合适的装置。附加指南见 GB/T 10580—2003 和 IEC 60260:1968。

5 测量方法的选择

应按照如下步骤选择测量方法:

- a) 如果被测材料的电阻范围是已知的,那么按照相应标准中列出的方法或有关条款进行测量;
- b) 如果被测材料的电阻范围是未知的,依据第 6 章的导静电材料测量方法进行测量。

如果测量无法进行,或者获得的结果超出了测量方法的应用范围,则认为该方法不适用,测量结果不应被采纳。应依据第 8 章静电耗散性材料的方法重新测量。如果上述情况再次发生,应依据第 7 章绝缘材料的测量方法进行测量。

6 固体导静电材料的电阻测量

非金属固体导静电材料的电阻应依据 ISO 3915:1981 塑料类或者 GB/T 2439—2001 橡胶类进行测量。

对于高导静电材料,为了避免在样品上可能产生非线性电势分布,应采用四电极法进行测量以消除接触电阻对结果的影响。为防止被测材料由于电流过大而引起明显升温,宜严格控制施加于样品的电流或耗散功率。

7 固体绝缘材料的电阻测量

固体绝缘材料的电阻应依据适用于塑料类的 GB/T 1410—2006、GB/T 10064—2006 和适用于橡胶类的 ISO 2951:1974 进行测量。

对于高绝缘材料,由于吸附某些污染物(例如水)的影响,沿着材料表面的电阻要比穿过材料体的电阻低得多。此外,施加电压和传导电流之间存在非线性函数关系。因此,固体绝缘材料的表面电阻和体积电阻通常都在规定的条件下(通常是 500 V 电压,充电 1 min)用保护电极进行测量。

为了不改变被测样品的静电性能,不应在接触电极处使用液体、油漆或喷涂物料,本部分推荐使用导电性橡胶作为接触材料。

8 静电耗散性材料的电阻测量(用于避免静电电荷积聚)

静电耗散性材料的电阻应按照下面的条款进行测量。

8.1 仪器

仪器可由直流电源和电流表构成,或者是集成仪器(欧姆表),均应符合国家安全法规。

如果使用没有电流读取功能的电阻表测量体积电阻,还应加一个量程至少为 10 pA~10 mA、准确度为±5%的独立电流表。

对于 $1 \times 10^6 \Omega$ 或更高的电阻的测量,开路电压应为 $(100 \pm 5) \text{V}$,对低于 $1 \times 10^6 \Omega$ 电阻的测量,开路电压为 $(10 \pm 0.5) \text{V}$ 。

电阻表的量程范围应至少在 $1 \times 10^3 \Omega \sim 1 \times 10^{13} \Omega$ 之间。

8.2 电极组件

电极组件应由可与被测样品表面紧密接触的材料构成,并且不会因为电极电阻或者样品的污染引起明显误差。电极材料应在测量条件下抗侵蚀,并不与被测材料起化学反应。

推荐采用下面条款中给出的组件,但也可以采用与国家标准或国际标准一致的其他适用配置。尤其是对静电耗散性材料的体积电阻的测量,使用环形防护电极很重要,因为中心柱电极(测量)与同心环电极(防护)之间的间隙尺寸足够时,就可以减少杂散电流导致的读数误差。中心柱电极和同心环电极的间隙应不小于 10 mm。如果出现争议,应使用本部分下面所述的组件。

8.2.1 表面电阻测量组件

电极组件(电极 1)包括中心柱电极和同心环电极,由能够接触被测材料的导电性材料制成(见图 1)。

用一块无锈的、无腐蚀的金属盘(非铝)作为校验电极,当施加 10 V 电压测量时,这种接触表面材料的体积电阻应小于 $10^3 \Omega$ 。

测量表面电阻的电极连接方式见图 2,被测材料宜放置在 8.2.4 描述的绝缘板上。

8.2.2 体积电阻测量组件

由放置在被测材料的两个面上的电极组成(连接方式见图 3),顶部的电极组件(电极 1)应满足 8.2.1 的要求,图示见图 1。

底部电极(电极 2)应为一个无锈、无腐蚀的(非铝)金属盘,并且足够大以支撑被测样品。电极 2 应装配一个永久性连接端子(如插孔、铆接的端子)。

注:建议不要使用鳄鱼夹。

如 8.2.4 所述,测试宜在绝缘支撑上进行,或者配备等效的绝缘底座。

8.2.3 对地/接地点电阻和点对点电阻测量组件

该电极组件由一个(对地或对接地点的电阻)或两个(点对点电阻)电极(电极 3)组成,电极与样品接触的表面附有一个导电材料制成的圆盘(见图 4)。当两个电极置于金属表面上时,在两电极间施加 10 V 测量电压,其点对点电阻应小于 $10^3 \Omega$ 。

被测材料应放置在一个 8.2.4 描述的绝缘支撑板上。

8.2.4 测量绝缘支撑板

材料应放置在平整的绝缘支撑板上进行测量,依据 GB/T 1410—2006 和 GB/T 10064—2006,当施加 500 V 电压时,该绝缘支撑板的表面电阻应大于 $1 \times 10^{13} \Omega$ 。绝缘支撑板的大小应分别比被测样品的长度和宽度至少大 10 mm,最小厚度应为 1 mm。

8.3 样品的准备和处理

根据材料的规范要求进行试样采集。在进行测量的区域,不对试样进行处理和标记。如果样品和电极接触的区域被重新处理过,应在测量报告中加以表述。测量表面电阻时,不对表面加以清洁,除非另有协议和规定。使用电极和处理、放置测量样品时应小心谨慎,以免由于表面污染物对测量结果产生不利影响。

样品的几何形状应是薄片状,尺寸至少为 80 mm×120 mm 或者 $\phi 110$ mm。

若无其他规定,应至少配备 3 个试验样品。为识别出待测的表面,样品上宜有清晰的标志。

8.4 表面电阻测量系统的校验装置

8.4.1 较低电阻范围的校验

校验装置应与 8.2.1 描述的电极尺寸一致,具有 20 个独立的金属面或焊盘,以用来与中心柱电极(内侧的)表面相接触,并有 20 个独立的焊盘与环电极(外侧的)表面接触。校验装置应包含 20 个 $(10 \pm 0.1) M\Omega$ 的电阻,它们分别将一对内侧和外侧的焊盘相连接(见图 5)。当焊盘未被电阻连接时,施加 100 V 电压,校验装置的材料在内外焊盘之间的体积电阻应不小于 $10^8 \Omega$ 。

测量之前,系统应按如下操作进行校验:

在 8.2.1 给出的电极组件按照图 2 连接到配套设备上,然后放到校验装置上。应加载 10 V 电压,15 s 后记录读数。结果应为 $5.0 \times 10^5 \times (1 \pm 5\%) \Omega$ 。将电极组件旋转 90° 再一次进行检查。

注:旋转电极组件用以检查校验装置的平面和电极接触表面的平整度。

8.4.2 较高电阻范围的校验和充电时间的确定

校验装置应与 8.2.1 描述的电极尺寸一致,并有和电极表面接触的金属面或焊盘。在中心柱电极(内侧)和环电极(外侧)接触表面之间连接一个 $1.0 \times 10^{12} \times (1 \pm 5\%) \Omega$ 的电阻(见图 6)。当两排焊盘间没有电阻相连时,依据 GB/T 1410—2006 和 GB/T 10064—2006,加载 500 V 测量时,校验装置的材料在内外焊盘之间的体积电阻应不小于 $10^{14} \Omega$ 。

下面的步骤用于确定系统测量 $1.0 \times 10^{12} \Omega$ 的能力,并提供了确定充电时间的方法:

在 8.2.1 给出的电极组件按照图 2 连接到配套设备上,然后放到校验装置上。应加载 100 V 电压,当显示数值稳定后进行读数。如果电阻的读数在误差范围内,重复该步骤 5 次,记录仪器显示稳定读数的时间。5 次记录的平均值就是充电时间。当样品电阻高于 $10^6 \Omega$ 时,充电时间要再加 5 s。

8.5 体积电阻测量系统的校验

8.5.1 较低电阻范围的程序

在测量之前,应按照下面的步骤对系统进行检查。

按照图 3 连接电极(电极 1 和 2)到仪器,不要放置样品。在电压源输出和电极 2 之间插入一个 $(500 \pm 5) k\Omega$ 的电阻。应加载 10 V 电压,15 s 后记录读数。结果应为 $5.0 \times 10^5 \times (1 \pm 5\%) \Omega$ 。

8.5.2 较高电阻范围的校验和充电时间的确定

下面的步骤用于确定系统测量 $1.0 \times 10^{12} \Omega$ 的能力,并提供了确定充电时间的方法:

按图 3 连接电极(电极 1 和电极 2)到仪器,不要放置样品。在电源输出和电极 2 之间插入一个 $1.0 \times 10^{12} \times (1 \pm 5\%) \Omega$ 的电阻器。应加载 100 V 电压,当显示数值稳定后进行读数。如果读数在电阻器的容差范围内,重复该步骤 5 次,记录仪器显示稳定读数的时间。5 次记录的平均值就是充电时间。当测量样品高于 $10^6 \Omega$ 时,充电时间要再加 5 s。

8.6 测量程序

8.6.1 表面电阻测量

将 8.2.1 给出的电极组件连接到配套仪器上(见图 2)。被测样品应放到绝缘支撑板上,测量表面朝上。电极组件应放到样品中心,或者至少离边缘有 10 mm 的距离。

除非另有规定,选择仪器输出电压 10 V,15 s 后记录读数。如果指示电阻小于 $1.0 \times 10^6 \Omega$,记录结果,并对下一个样品进行测量。如果指示电阻等于或大于 $1.0 \times 10^6 \Omega$,选择仪器输出电压 100 V,重新测量,在 8.4.2 描述的充电时间后记录指示电阻值。

8.6.2 体积电阻测量

将 8.2.1 给出的电极组件连接到配套仪器上(见图 3)。先把底部的电极(电极 2)放到绝缘支撑板上,然后把样品放在底部电极上。再把顶部的电极(电极 1)放置到样品的大致中心位置,或者至少离边缘有 10 mm 的距离。

选择仪器输出电压 10 V,15 s 后记录读数,除非另有规定。如果指示电阻小于 $1.0 \times 10^6 \Omega$,记录结果,并对下一个样品进行测量。如果指示电阻等于或大于 $1.0 \times 10^6 \Omega$,选择仪器输出电压 100 V,并重复以上步骤。在 8.5.2 描述的充电时间后记录指示电阻值。

如果要计算体积电阻率,应根据相关规定测量样品的平均厚度 h 。

8.6.3 对地点电阻的测量

8.6.3.1 实验室样品的测量

测量样品应安装典型接地端子。把样品放在绝缘支撑板上,测量表面朝上。把电极组件(电极 3)放到样品表面上,离样品边缘或接地端子至少 50 mm 的距离(见图 7)。仪器的测量导线分别连接到电极组件和接地点上。

选择仪器输出电压 10 V,如果指示电阻小于 $1.0 \times 10^6 \Omega$,15 s 后记录读数,然后对下一个位置或者样品进行测量。如果指示电阻等于或大于 $1.0 \times 10^6 \Omega$,泄放仪器电压,然后选择仪器输出电压 100 V,重复以上步骤。

8.6.3.2 已安装材料的测量

把电极组件(电极 3)放到样品表面上,离样品边缘或接地点至少 50 mm 的距离(见图 7)。仪器的测量导线分别连接到电极组件和接地点上。

选择仪器输出电压 10 V,如果指示电阻小于 $1.0 \times 10^6 \Omega$,15 s 后记录读数,然后对下一个位置或者样品进行测量。如果指示电阻等于或大于 $1.0 \times 10^6 \Omega$,关闭仪器电源输出,然后选择仪器输出电压 100 V,重复以上步骤。

注:使用外接电源的仪器可单独接地,设备的接地导体宜与信号接地分开。另外,测量仪器的高压输出线可连接到测量组件上,另一导线接地。

8.6.4 点对点的电阻测量

将 8.2.3 中描述的两个电极组件(电极 3)连接到配套仪器上。样品应放到绝缘支撑板上,测量表面朝上。电极应放到样品表面上,除非另有规定,两电极轴距至少 250 mm,并至少距离样品边缘 50 mm (见图 8)。

选择仪器输出电压 10 V,如果指示电阻小于 $1.0 \times 10^6 \Omega$,15 s 后记录读数。然后对下一个位置或者样品进行测量。如果指示电阻等于或大于 $1.0 \times 10^6 \Omega$,关闭仪器电源输出,然后选择仪器输出电压 100 V,重复以上步骤。

9 电阻率值的转换

当要将表面电阻或者体积电阻(按照 8.6.1 或者 8.6.2 中的测量方法得到)转化成电阻率时,按下述进行转换(与 GB/T 1410—2006 一致)。

9.1 表面电阻率

按照图 9 使用式(1)进行计算:

$$\rho_s = \frac{R_x(d_1 + g) \cdot \pi}{g} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- ρ_s —— 表面电阻率,单位为欧姆(Ω);
- R_x —— 表面电阻测量值,单位为欧姆(Ω);
- d_1 —— 中心柱电极的直径,单位为米(m);
- g —— 两个接触电极之间的距离(间隙),单位为米(m)。

9.2 体积电阻率

按照图 9 使用式(2)进行计算:

$$\rho_v = \frac{R_x(d_1 + g)^2 \cdot \pi}{4 \cdot h} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- ρ_v —— 体积电阻率,单位为欧米(Ωm);
- R_x —— 体积电阻测量值,单位为欧姆(Ω);
- d_1 —— 中心柱电极的直径,单位为米(m);
- g —— 两个接触电极之间的距离(间隙),单位为米(m);
- h —— 样品厚度,单位为米(m)。

10 重复性和再现性

给定样品的电阻伴随测量条件而改变,对于被测材料来说,不均匀是正常的。因此,计算的重复性几率一般至多 10%,经常会产生较大的偏离(在同一条件下可产生一个数量级范围的偏离)。在相似样品上的对比测量要在相同电压等级上进行。

这些测量方法的重复性可以假定为大约半个数量级的范围。如果实验室的一系列结果的平均值是 $5 \times 10^{10} \Omega$,则期望数值分布在 $2.5 \times 10^{10} \Omega$ 和 $7.5 \times 10^{10} \Omega$ 之间。

11 报告

报告应包含如下信息：

- a) 材料的描述和识别信息(名称、等级、颜色、制造商、生产日期等)；
- b) 形状、尺寸和样品数量；
- c) 如果和本部分给出的电极不同,还应给出电极类型、材料、尺寸；
- d) 样品的处理,包括清理步骤；
- e) 如果测量条件和产品规范不同,要注明；
- f) 使用仪器(类型,校准信息等)；
- g) 如果测量电压、电化时间是固定的或与标准给定的不同,还要增加这些参数的附加信息；
- h) 测量次数、单次测量结果及其平均值；
- i) 作为独立结果的表面电阻率与平均值的相关性；
- j) 作为独立结果的体积电阻率与平均值的相关性；
- k) 对地/对地点电阻和测量位置的标识；
- l) 点对点电阻和测量位置的标识,如果和本部分不同,电极之间的轴距也应注明；
- m) 样品的准备和测量日期；
- n) 测量中观察到的具体细节(例如极化性影响等)。

单位为毫米

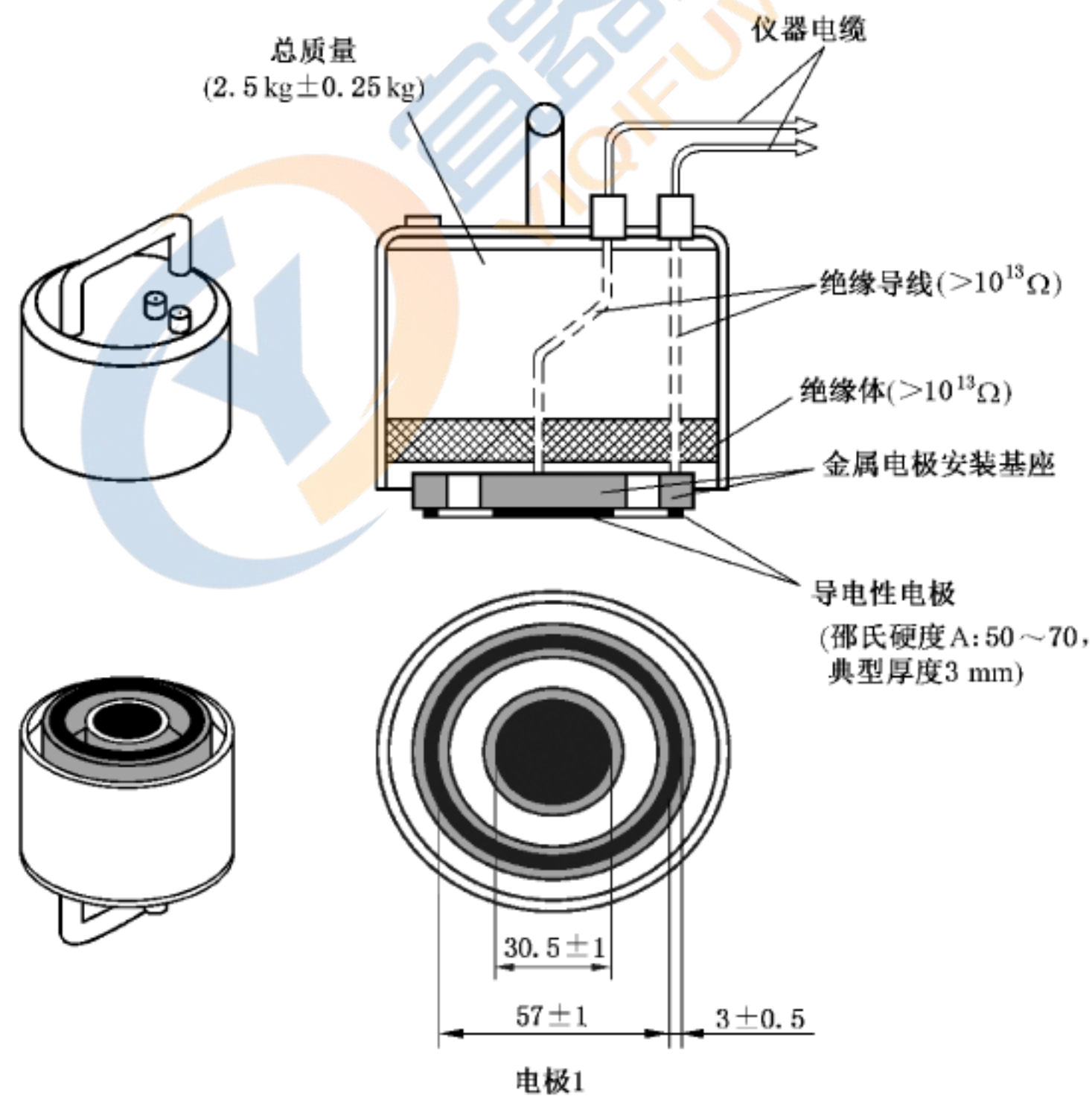


图 1 用于表面电阻和体积电阻测量的电极组件

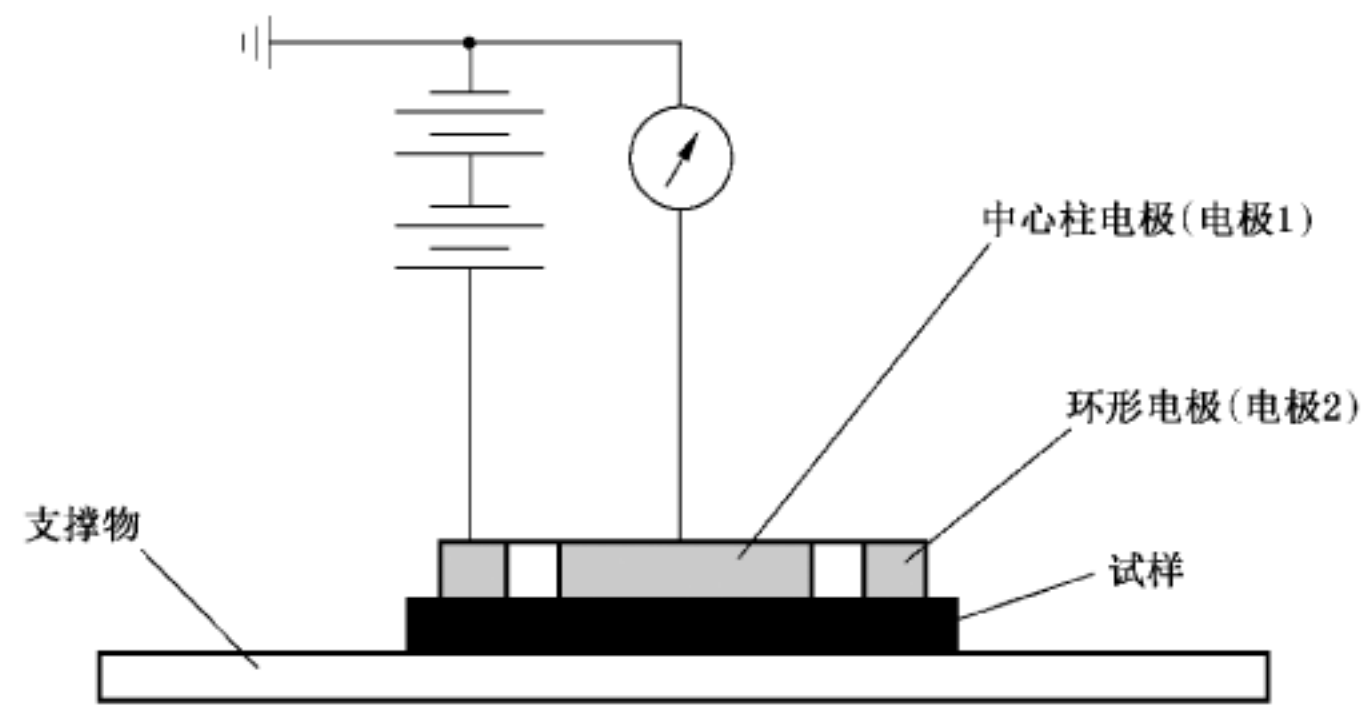


图 2 测量表面电阻的电极连接方式

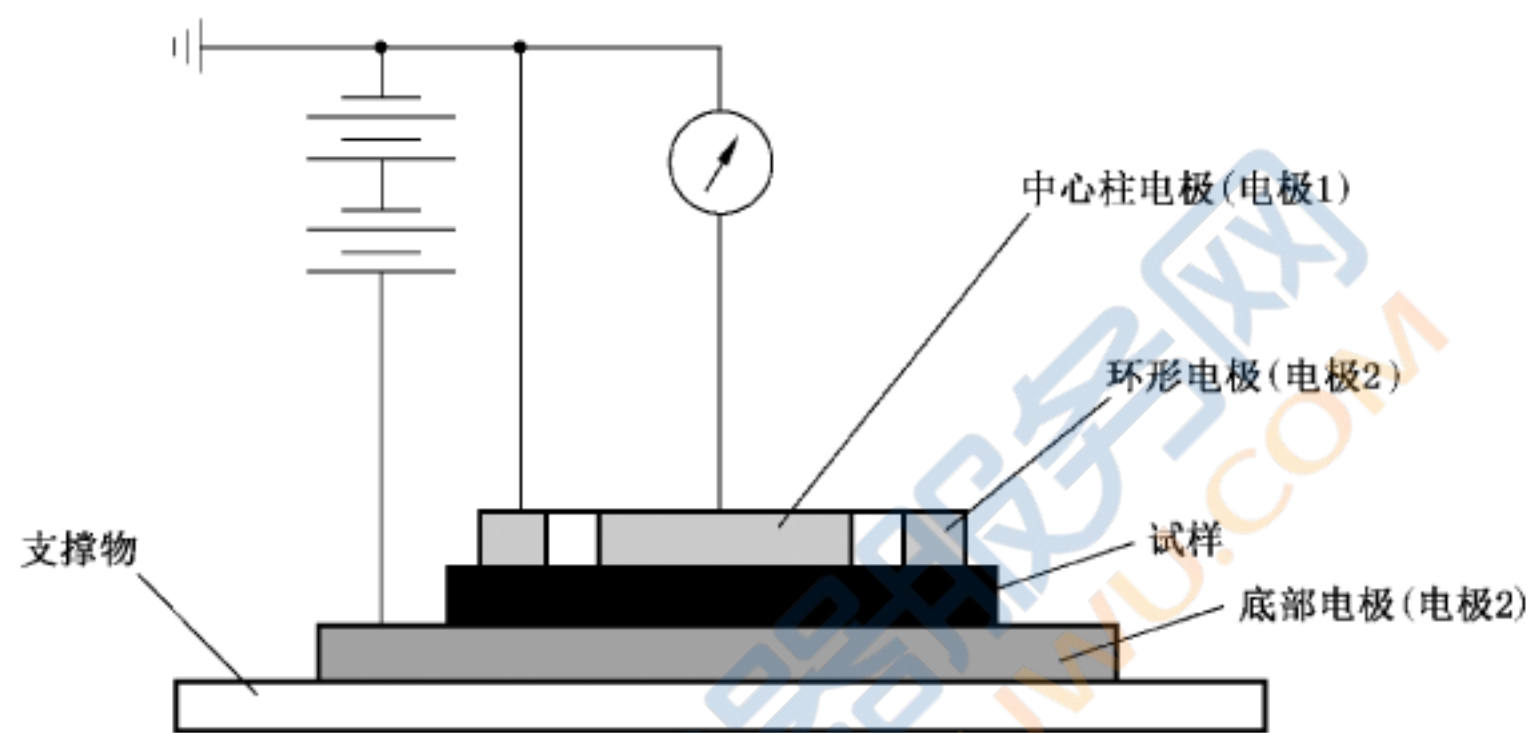
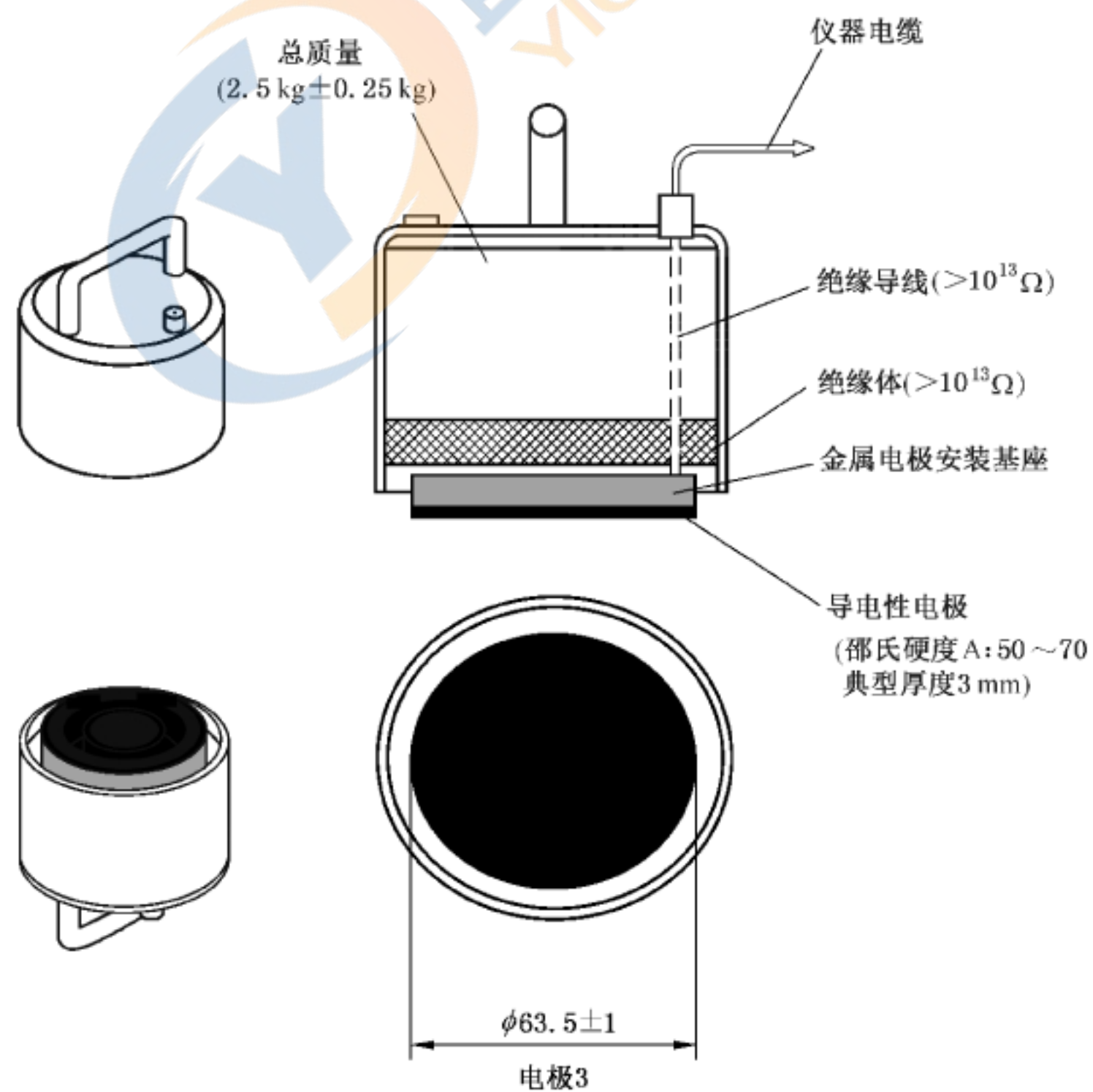
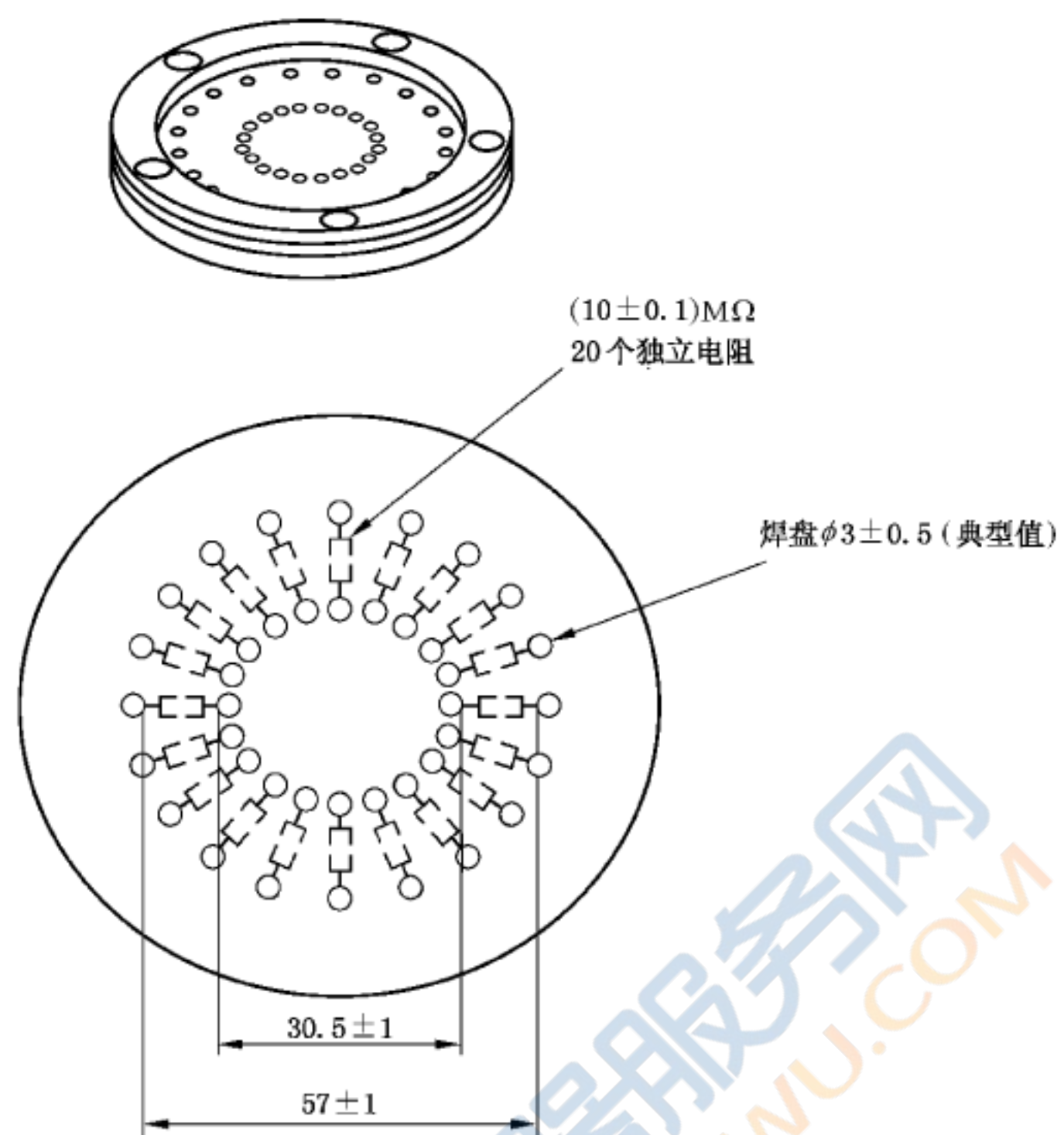


图 3 测量体积电阻的电极连接方式



单位为毫米

图 4 用于对地/接地点电阻以及点对点电阻测量的电极组件

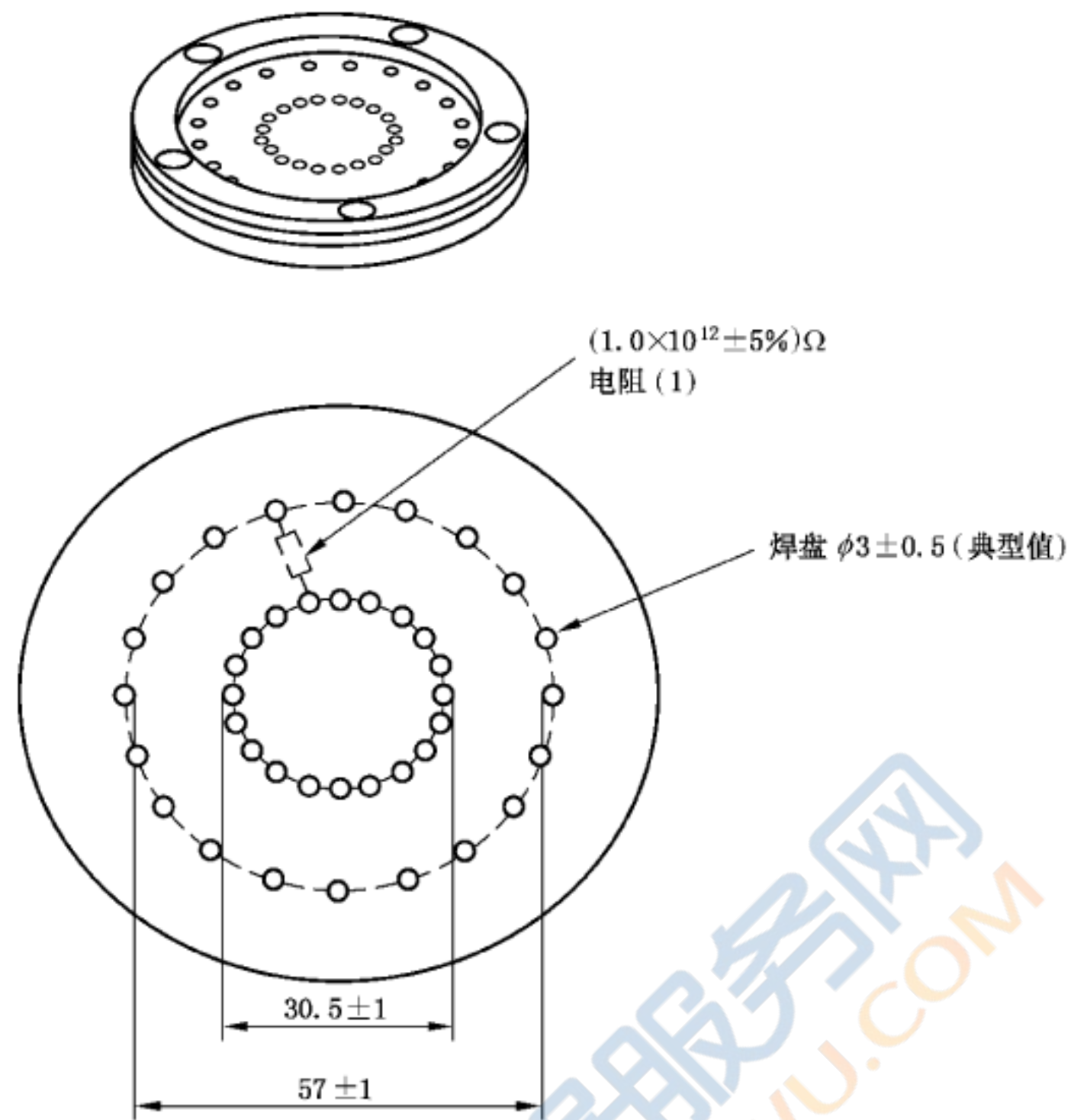


注 1: 焊盘是平整而没有凸点的, 安装在一个平整的表面上。

注 2: 所有的电阻都安装在底面上。

图 5 较低表面电阻范围测量的校验装置

单位为毫米



注 1：焊盘是平整而没有凸点的，安装在一个平整的表面上。

注 2：焊盘用导线连在一起或者使用一个完整的圆环。

注 3：电阻及导线都安装在底面上。

图 6 较高表面电阻范围测量的校验装置

单位为毫米

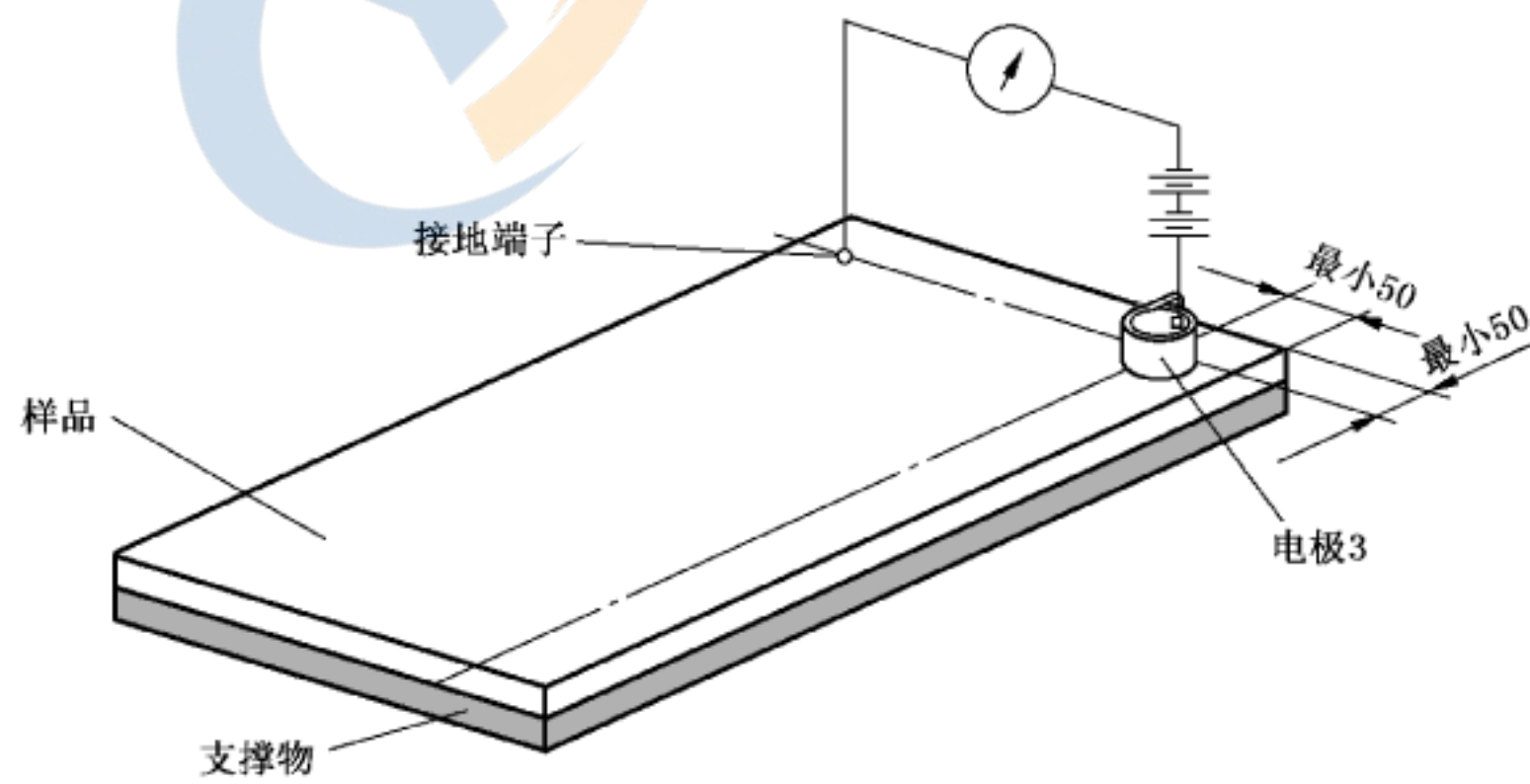


图 7 对地点电阻的测量原理

单位为毫米

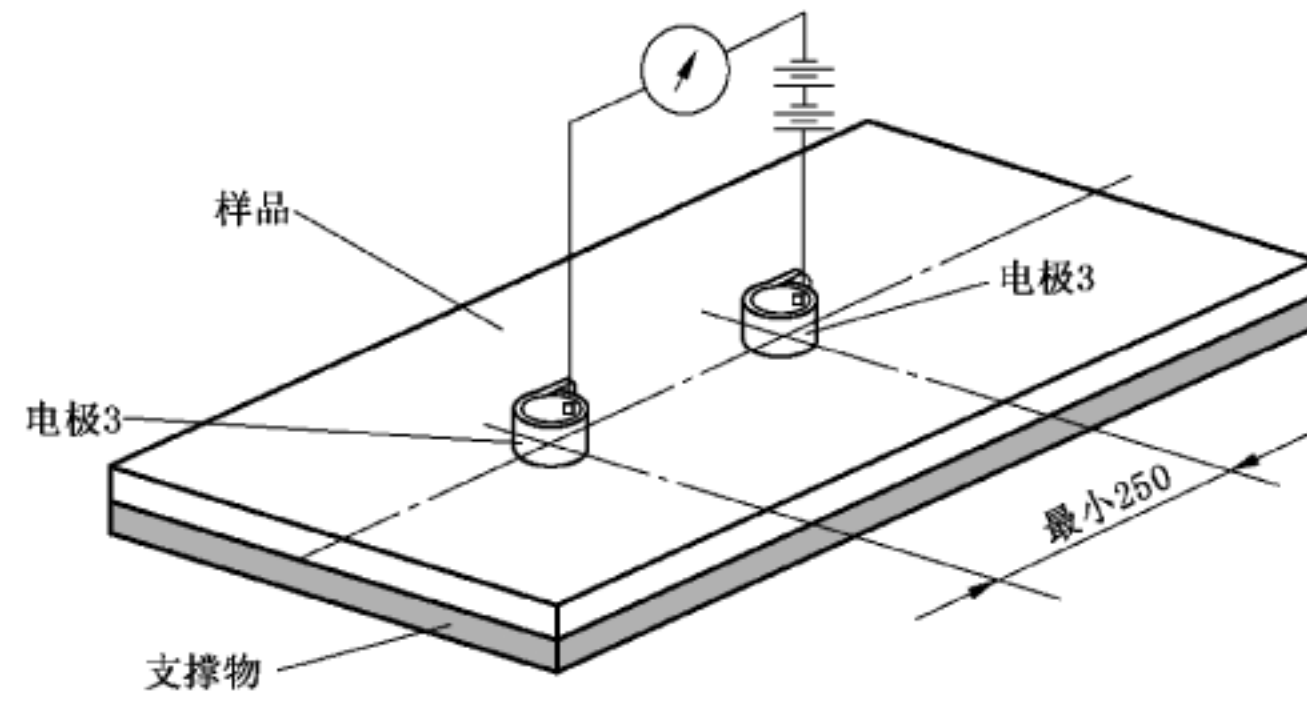


图 8 点对点电阻测量原理

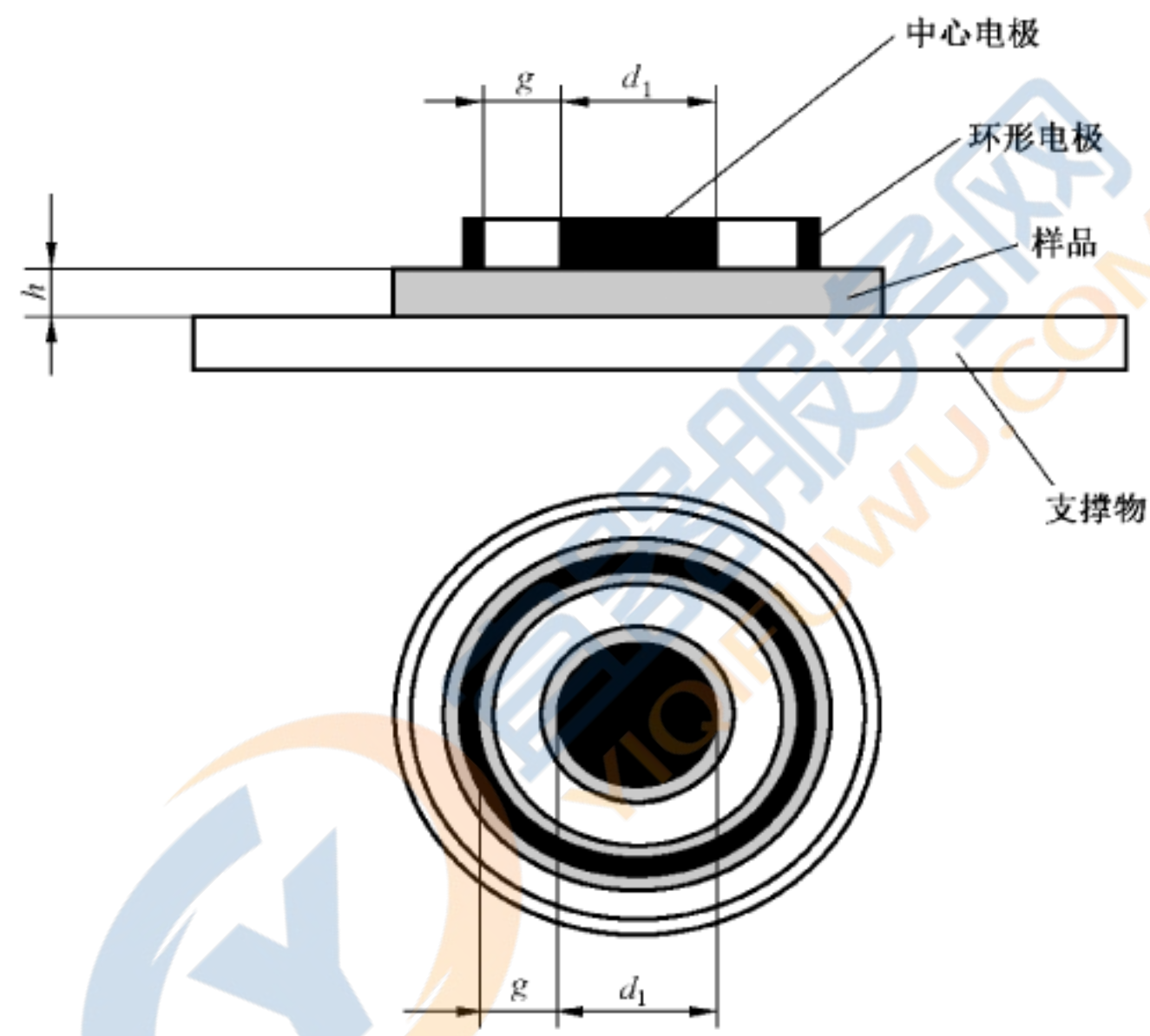


图 9 表面或体积电阻率转换结构

参 考 文 献

- [1] ANSI/ESD-S4.1-1990, Worksurfaces—Resistive characterization
 - [2] ANSI/ESD-S7.1-1991, Floor Materials—Resistive characterization of materials
 - [3] ANSI/ESD-S7.1-1991, Surface resistance measurements of static dissipative planar materials
-







中华人民共和国
国家标准
静电学 第2-3部分:防静电固体平面
材料电阻和电阻率的测试方法
GB/T 37977.23—2019/IEC 61340-2-3:2000

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.org.cn

服务热线:400-168-0010

2019年8月第一版

*

书号:155066·1-63373

版权专有 侵权必究



GB/T 37977.23-2019