

中华人民共和国国家标准

电线电缆电性能试验方法  
金属导体材料电阻率试验

GB/T 3048.2—94

代替 GB 3048.2—83

Test methods for determining electrical properties of electric cables and wires  
Measurement of resistivity of metallic conductive materials

本标准等效采用 IEC 468(1974)金属材料电阻率试验方法。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了金属导体材料电阻率试验的术语、试验设备、试样制备、试验步骤和试验结果及计算。

本标准适用于测定实心(非绞合)铜、铝及其合金金属导体材料的体积电阻率和质量电阻率,以及测定实心金属导体材料(均匀截面积)的单位长度电阻。

本标准还适用于测定金属电阻材料的体积电阻率、质量电阻率以及单位长度电阻。

本标准所提供的方法是测定在标准条件下电阻率在 0.01~2.0 Ω·mm<sup>2</sup>/m 范围内的实心导体电阻率的仲裁试验方法。例行试验的允许条件规定在有关条款中。

电线电缆电性能试验的一般要求、定义及试验设备的定期校验要求规定在 GB/T 3048.1 中。

2 引用标准

GB/T 3048.1 电线电缆电性能试验方法 总则

GB 1214 游标卡尺

GB 1216 外径千分尺

3 术语

3.1 体积电阻率 volume resistivity

体积电阻率为单位长度和单位截面积的导体的电阻,在标准温度为  $t_0$  时,它的值由公式(1)计算得出:

$$\rho(t_0) = \frac{A(t_0)}{l_1(t_0)} \cdot R(t_0) \dots\dots\dots(1)$$

式中:  $\rho(t_0)$ ——标准温度  $t_0$  时的体积电阻率;

$R(t_0)$ ——标准温度  $t_0$  时标距长度试样的电阻;

$A(t_0)$ ——标准温度  $t_0$  时试样的截面积;

$l_1(t_0)$ ——标准温度  $t_0$  时试样的标距长度。

3.2 质量电阻率 mass resistivity

质量电阻率为单位长度和单位质量的导体的电阻,在标准温度为  $t_0$  时,它的值由公式(2)计算得出:

$$\delta(t_0) = \frac{m}{l_2(t_0)} \cdot \frac{R(t_0)}{l_1(t_0)} \dots\dots\dots (2)$$

式中： $\delta(t_0)$ ——标准温度  $t_0$  时的质量电阻率；  
 $R(t_0)$ ——标准温度  $t_0$  时标距长度试样的电阻；  
 $m$ ——试样的质量；  
 $l_1(t_0)$ ——标准温度  $t_0$  时试样的标距长度；  
 $l_2(t_0)$ ——标准温度  $t_0$  时试样的总长度。

3.3 单位长度电阻 resistance per unit length  
 单位长度电阻在标准温度时由公式(3)计算得出：

$$R_1(t_0) = \frac{R(t_0)}{l_1(t_0)} \dots\dots\dots (3)$$

式中： $R_1(t_0)$ ——标准温度  $t_0$  时单位长度的电阻；  
 $R(t_0)$ ——标准温度  $t_0$  时标距长度试样的电阻；  
 $l_1(t_0)$ ——标准温度  $t_0$  时试样的标距长度。

3.4 I. A. C. S 导电率百分值

I. A. C. S 导电率百分值为 I. A. C. S 体积导电率百分值或 I. A. C. S 质量导电率百分值，其值为国际退火铜标准规定的电阻率(不管是体积的或质量的)对相同单位试样电阻率之比乘以 100。如体积电阻率，由公式(4)表示：

$$\frac{0.017\ 241}{\rho_{20}} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

式中： $\rho_{20}$ ——试样在 20℃时的体积电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

在 IEC 出版物 28(1925)中提供了与国际退火铜标准相当的体积电阻率和质量电阻率的标准值，如表 1。

表 1 与 I. A. C. S 相当电阻率标准值

20℃时的导电率		% I. A. C. S	100.00
相当电阻率	体积电阻率	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} (\mu\Omega \cdot \text{m})$	0.017 241
		$\Omega \cdot \text{m}$	$1.724\ 1 \times 10^{-8}$
	质量电阻率	$\Omega \cdot \text{g}/\text{m}^2$	0.153 28
		$\Omega \cdot \text{kg}/\text{m}^2$	$1.532\ 8 \times 10^{-4}$

4 试验设备

4.1 电阻测量系统的总误差应为±0.15%。总误差包括：标准电阻的校准误差、试样和标准电阻的比较误差、接触电势和热电势引起的误差、测量电流引起的试样发热误差。例行试验时总误差允许为±0.30%。

4.2 游标卡尺：1 000±0.1 mm，符合 GB 1214 规定。

杠杆千分尺：表头示值误差为 1  $\mu\text{m}$ ，符合 GB 1216 规定。

- 4.3 精密天平。
- 4.4 温度计:精度 0.1℃。
- 4.5 精密恒温液浴(必要时): $20 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

## 5 试样准备

### 5.1 形状

- 5.1.1 试样为截面大体上均匀的任何形状的杆材、线材、带材、排或管材等,其表面应光滑。  
在可能条件下,试样应有完整的横截面。
- 5.1.2 沿试样标距长度以相等间距分 5 次或更多次所测得的横截面,其相对标准偏差应不超过 1%。  
例行试验时允许不超过 2%。
- 5.1.3 测定单位长度的质量时,试样的两端应呈平面且垂直于纵轴,试样表面无毛刺、飞边和弧边(锯齿状边)。
- 5.1.4 从大块材料中截取的试样,应注意在准备试样时防止材料性能发生明显变化。塑性变形会使材料加工变硬,电阻率增加;加热会使材料退火,电阻率减小。

### 5.2 特性

- 5.2.1 在电位接头之间标距长度上的电阻应不小于 0.000 01  $\Omega$ 。
- 5.2.2 标距长度应不小于 0.3 m,其他尺寸应与试验设备相适应。
- 5.2.3 试样表面应无裂纹和缺陷,横向尺寸为 1 mm 及以上的试样用肉眼检查,小于 1 mm 的试样用 20 倍放大镜检查。

试样表面基本上无斑疤、灰尘和油污,特别是在电流和电位接头的表面上。必要时,在测量试样尺寸之前应清洗干净。

- 5.2.4 没有接头。

## 6 试验步骤

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 试样电阻为 10  $\Omega$  及以下者应采用四点法,电阻大于 10  $\Omega$  者可以采用两点法。  
例行试验时,试样电阻大于 1  $\Omega$  者允许采用两点法。
- 6.1.2 各项测量误差应符合表 2 规定。

表 2 允许测量误差

项目名称	仲裁试验	例行试验
长度	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.10\%$
电阻	$\pm 0.15\%$	$\pm 0.30\%$
截面积	$\pm 0.15\%$	$\pm 0.50\%$
使用已知试样密度:		
空气中的质量	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.10\%$
试样长度	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.20\%$
试样密度	$\pm 0.12\%$	$\pm 0.45\%$
使用流体称重:		
空气中的质量	$\pm 0.04 \frac{d_t}{d_s} \%$	$\pm 0.30 \frac{d_t}{d_s} \%$

续表 2

项目名称	仲裁试验	例行试验
液体中的质量	$\pm 0.08 \frac{d_L}{d_s - d_L} \%$	$\pm 0.30 \frac{d_L}{d_s - d_L} \%$
液体密度	$\pm 0.08 \%$	$\pm 0.20 \%$
温度引起的总误差	$\pm 0.06 \%$	$\pm 0.25 \%$
温度控制	$\pm 0.04 \%$ (0.1 C)	$\pm 0.15 \%$ (0.4 C)
温度校准	$\pm 0.04 \%$	$\pm 0.15 \%$
总误差		
体积电阻率	$\pm 0.25 \%$	$\pm 0.65 \%$
质量电阻率	$\pm 0.20 \%$	$\pm 0.45 \%$
单位长度电阻	$\pm 0.20 \%$	$\pm 0.40 \%$

## 6.2 温度测量和控制

6.2.1 标准电阻和试样均应处于 15~25℃ 温度条件下。

6.2.2 在整个试验过程中,温度的测量和控制应满足下列要求:

- a. 温度引起的总误差应不大于  $\pm 0.06 \%$ ;
- b. 温度的测量和控制精度:温度误差与电阻温度系数的乘积应不大于  $\pm 0.04 \%$  (0.1 C);
- c. 试验温度应满足:温差  $(t-t_0)$  与试样电阻温度系数误差的乘积应不大于  $\pm 0.04 \%$ 。

详细分析见本标准附录 C。

为了保证上述要求,必要时应采用液浴。

## 6.3 长度测量

在试验温度  $t$  时测定试样两电位点之间的标距长度  $l_1(t)$  精确到  $\pm 0.05 \%$ 。

## 6.4 测试电流的选择

在满足试验系统灵敏度要求的情况下,应尽量选择最小的测试电流,以免引起过大的温升。当用比测试电流大 40% 的电流所测得的电阻平均值超过测试电流所测平均值的 0.06% 时,则认为温升过大,试验无效。应选择更小的测试电流。

## 6.5 电阻测量

6.5.1 四点法测量时,电位接触点应由相当锐利的刀刃构成,且互相平行,均垂直于试样纵轴。接点也可是锐利针状接点。

6.5.2 每个电位接点与相应的电流接点之间的距离应不小于试样断面周长的 1.5 倍。

6.5.3 注意消除由于接触电势和热电势引起的测量误差。可采用电流换向法,读取一个正接读数和—一个反向读数,取算术平均值。也可以采用平衡点法(补偿法),达到闭合电流时检流计上基本观察不到冲击。

6.5.4 使用凯尔文(汤姆逊)双臂电桥时,标准电阻和试样间的跨线电阻应明显地既小于标准电阻,又小于试样电阻。否则,应采取适当方法予以补偿,如引线补偿,使线圈和引线阻值比例达到足够平衡,使跨线电阻的影响降低到保证电桥精度符合规定要求。

## 6.6 截面积测量

6.6.1 测量误差应不超过  $\pm 0.15 \%$ 。

6.6.2 简单截面的试样,其截面积可以合理地从线性截面尺寸计算得出。测定尺寸时应沿试样的计量长度以大约相等的间距至少测量五次,计算出算术平均值。

平均值的标准偏差与平均值自身的比值应不大于±0.15%。

6.6.3 截面比较复杂的试样,当从直接测量并计算出的平均截面积的误差超过0.15%时,截面积应按公式(5)确定:

$$A(t) = \frac{m}{l_2(t)d_s(t)} \dots\dots\dots(5)$$

式中:  $A(t)$ ——试验温度  $t$  时的截面积;

$m$ ——试样质量,精确到±0.05%;

$l_2(t)$ ——试验温度  $t$  时的试样总长度,精确到±0.05%;

$d_s(t)$ ——试验温度  $t$  时的试样密度,精确到±0.12%。

### 6.7 质量测量

应注意减小在空气中称重的误差,以满足公式(5)的要求。必要时,应按公式(6)校正空气浮力:

$$m = \frac{m_A d_s (d_w - d_A)}{d_w (d_s - d_A)} \dots\dots\dots(6)$$

式中:  $m_A$ ——称重测定的视在质量;

$d_s$ ——试样密度;

$d_w$ ——砝码密度;

$d_A$ ——空气密度,1.2 kg/m<sup>3</sup>。

### 6.8 密度测量

当试样密度误差大于±0.12%或不知其密度时,应在空气中和已知密度的液体中称重测定试样密度。

用试样直接测定,也可用与试样密度相同的试件测定。

6.8.1 空气和液体的试验温度选择应能使对流所引起的误差减小到最低限度。

6.8.2 在液体中称重时,液体温度的均匀性应保证液体密度的误差不大于±0.08%。

在液体中悬挂试样的挂线应尽可能的细,空气中称重时,挂线的延长部分应浸入同一液体中,以消除表面张力的影响。挂线直径超过0.05 mm时,应用直径为其2倍的挂线进行第二次称重,两次称重的重量差应不超过试样在液体中视在质量的±0.01 $[d_L/(d_s - d_L)]$ %。

用水作液体时,应加入适量的浸润剂,按重量计应不超过0.03%,并注意在称重前基本去除试样表面的全部气泡。

6.8.3 质量测量误差,在空气中应不大于±0.04 $(d_L/d_s)$ %;在液体中应不大于±0.08 $[d_L/(d_s - d_L)]$ %。

6.8.4 试样密度按公式(7)计算确定:

$$d_s = \frac{m_A d_L(t) - m_L(t) d_A}{m_A - m_L(t)} \dots\dots\dots(7)$$

式中:  $m_A$ ——在空气中测定的试样视在质量;

$m_L(t)$ ——在液体中测定的试样视在质量;

$d_A$ ——试验温度  $t$  时的空气密度,1.2 kg/m<sup>3</sup>;

$d_L(t)$ ——试验温度  $t$  时的液体密度。

注：采用此法测定密度时，截面积的误差取决于  $m_A(d_s/d_L)$  和  $m_L(d_s-d_L)/d_L$  的误差，故允许误差按这些数值的倒数的百分比予以规定。详见附录 C。

6.9 例行试验规定

例行试验时，除本条的下列规定外，其余均按本标准各条规定。

6.9.1 标准电阻和试样均应处于 10~35℃ 温度条件下。

6.9.2 试样和标准电阻在测试前应在实验室的不通风的柜中存放至少 1 h，或放入液浴，测定柜中的空气温度和液浴温度，温度的测量和控制应满足下列要求。

- a. 温度引起的总误差应不大于 ±0.25%；
- b. 温度误差与电阻温度系数的乘积应不大于 ±0.15% (0.4℃)；
- c. 温差  $(t-t_0)$  与试样电阻温度系数误差的乘积应不大于 ±0.15%，但在例行试验条件下，温差  $(t-t_0)$  可以加大到第 7 章各式中保留的  $\gamma$  值。

6.9.3 试样标距长度的测量误差允许不大于 ±0.10%。

6.9.4 截面积误差允许不大于 ±0.50%。

当用线性尺寸确定的两个截面积之差大于 0.70% 时，或截面复杂时，应按本标准第 6.6 条规定测定，其误差规定如下：

- 质量测量误差允许不大于 ±0.10%；
- 长度测量误差允许不大于 ±0.20%；
- 试样密度误差允许不大于 ±0.45%。

6.9.5 测量密度时，液体的密度误差允许不大于 ±0.20%；

在空气中称重的测量误差允许不大于 ±0.30  $(d_L/d_s)$  %；

在液体中称重的测量误差允许不大于 ±0.30  $[d_L/(d_s-d_L)]$  %。

当挂线直径大于 0.15 mm 时，应采用 2 倍直径的挂线进行第二次称重，两次称重误差允许不大于 0.10  $[d_L/(d_s-d_L)]$  %。

7 试验结果及计算

7.1 考虑到电阻及线性尺寸都随温度而变化，计算时应将试验温度  $t$  时测得的数值换算到标准温度  $t_0$ ，本标准规定  $t_0$  为 20℃。按本标准规定的公式计算具有足够的精确度。

7.2 电阻计算

设试样的电阻与温度呈线性变化，电阻按公式(8)计算：

$$R_{20} = \frac{R(t)}{1 + \alpha_{20}(t - 20)} \dots\dots\dots(8)$$

- 式中：  $R_{20}$  —— 20℃ 时试样标距长度的电阻；
- $R(t)$  —— 试验温度  $t$  时试样标距长度上的实测电阻；
- $\alpha_{20}$  —— 20℃ 时试样的电阻温度系数。

7.3 单位长度电阻计算

标准温度 20℃ 时的单位长度电阻按公式(9)计算：

$$R_{1,20} = \frac{R_1(t)}{1 + (\alpha_{20} - \gamma)(t - 20)} \dots\dots\dots(9)$$

式中：  $R_1(t)$  —— 试验温度  $t$  时试样的单位长度电阻；

$\gamma$ ——试样线膨胀系数,对大部分材料来说, $\gamma$ 比电阻温度系数 $\alpha_{20}$ 小得多,在 $(t-20)$ 较小时, $\gamma$ 可忽略不计。这适用于本标准各种计算情况。

#### 7.4 体积电阻率计算

标准温度 20℃时的体积电阻率按公式(10)计算:

$$\rho_{20} = \frac{\rho(t)}{1 + (\alpha_{20} + \gamma)(t - 20)} \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:  $\rho(t)$ ——试验温度  $t$  时试样的体积电阻率。

#### 7.5 质量电阻率计算

标准温度 20℃时的质量电阻率按公式(11)计算:

$$\delta_{20} = \frac{\delta(t)}{1 + (\alpha_{20} - 2\gamma)(t - 20)} \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:  $\delta(t)$ ——试验温度  $t$  时试样的质量电阻率。

#### 7.6 线性尺寸和截面积计算

当测量试样总长度和截面积时的温度  $t'$  与测量电阻及标距长度时温度  $t$  不一样时,应按公式(12)和(13)进行换算。

$$l_2(t) = l_2(t')[1 + \gamma(t - t')] \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$A(t) = A(t')[1 + 2\gamma(t - t')] \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:  $l_2(t)$ ——换算到温度  $t$  时的试样总长度;

$A(t)$ ——换算到温度  $t$  时的试样截面积;

$l_2(t')$ ——试验温度  $t'$  时的试样总长度;

$A(t')$ ——试验温度  $t'$  时的试样截面积。

### 8 试验记录和试验报告

#### 8.1 试验记录中应详细记载下列内容:

- a. 试样编号;
- b. 材料种类;
- c. 试样平均截面积,测定次数和测定温度下平均截面积的标准偏差;
- d. 测量方法:仲裁试验方法或例行试验方法;
- e. 测试时的温度;
- f. 试样的平均电阻,测定次数和测试温度下平均电阻的标准偏差;
- g. 20℃时试样的计算电阻率或单位长度电阻;
- h. 校准单位长度电阻、试样长度和截面积的温度系数;
- i. 试验前的机械处理和热处理(电阻率可能随这些处理而变化,故应根据资料加以说明)。

有特别要求时,下列事项亦应包括在试验记录中:

- a. 横向线性尺寸的各次测量,连同每组测量用的计算截面积汇总成表;
- b. 称重确定截面积时,应有试样长度、空气中质量、液体中质量(如采用的话)、砝码密度、液体密度、试样密度、依此计算出的截面积、测量时的温度。用别的试件测定密度时应予说明;

c. 电阻各次测量汇总表。

## 8.2 试验报告包括下列内容

a. 委托单位、日期；

b. 测试方法标准；

c. 试样来源和规格型号；

d. 测量结果；

e. 有特别要求时，可把试验记录中有关内容列入报告中。



**附录 A**  
**铜和铝在 20℃时的特性值**  
(参考件)

特 性	铜	铝排	硬铝线	退火铝线
体积电阻率 $\rho(t_0), 10^{-8} \Omega \cdot m$	1.7241	2.90	2.8264	2.80
电阻温度系数 $\alpha_R(t_0), 10^{-3}/^\circ C$	3.93	3.93	4.03	4.07
线膨胀温度系数 $\gamma, 10^{-5}/^\circ C$	1.7	2.3	2.3	2.3
体积电阻率的温度系数 $\epsilon, 10^{-11} \Omega \cdot m/^\circ C$	6.8	11.46	11.46	11.46
密度 $d_s(t_0), 10^6 g \cdot m^{-3}$	8.89	2.703	2.703	2.703

- 注：① 铜为标准退火铜。 $\epsilon, \gamma$  和  $d_s$  特性值也适用于商用退火铜 IEC 28 给定值。  
 ② 铝排为商用纯铝排材料。 $\rho(t_0)$  为最大值, IEC 105 给定值。  
 ③ 硬铝线为商用硬拉铝线。 $\rho(t_0)$  既是标准值, 也是最大值, IEC 111 给定值。  
 ④ 退火铝线为商用铝线。 $\rho(t_0)$  为最大值, IEC 121 给定值。  
 ⑤  $\epsilon$  值是根据 IEC 出版物给定的  $\alpha_R, \rho, \gamma$  值计算得出。详见附录 B。

**附录 B**  
**温度校准**  
(参考件)

利用电阻温度系数来计算标准温度  $t_0$  时的体积电阻率, 如第 7 章所述, 已是普遍的应用了。但是采用其他方法时也会具有另外的优点。如果体积电阻率温度系数  $\epsilon$  由公式(B1)定义时, 铜的  $\epsilon$  值几乎与所有常用的铜合金的数值相同, 铝的  $\epsilon$  值与铝合金的相同。

$$\rho(t_2) = \rho(t_1) + \epsilon(t_2 - t_1) \quad \dots\dots\dots (B1)$$

这样, 当在温度  $t$  测量电阻和尺寸时, 计算所得的体积电阻率  $\rho(t)$ , 可根据附录 A 中的  $\epsilon$  值, 利用公式(B1)很精确地把温度校准到标准温度  $t_0$ 。

同时, 还可以用公式(B2)表述标准温度  $t_0$  时电阻温度系数  $\alpha_R(t_0)$  与  $\epsilon$  的相互关系。

$$\alpha_R(t_0) = \frac{\epsilon}{\rho(t_0)} - \gamma \quad \dots\dots\dots (B2)$$

式中:  $\gamma$ ——线膨胀系数。

### 附录 C 误差分析 (参考件)

#### C1 电阻、电阻率及单位长度电阻误差分析

试样的电阻  $R(t_0)$  可从标准电阻通过比较测量技术提供的等式(C1)和其测量比  $N_{AB}$  计算得出:

$$\frac{R_x}{R_S} = \frac{Z_A}{Z_B} \equiv N_{AB} \quad \dots\dots\dots (C1)$$

式中:  $R_x$ ——未知电阻;  
 $R_S$ ——标准电阻;  
 $Z_A, Z_B$ ——电桥平衡臂的阻抗。

假定在考虑范围电阻和长度与温度呈线性变化,测量时,试样[其电阻  $R_x = R(t)$ ]具有温度  $t$ ,标准电阻[电阻  $R_S(t')$ ]具有稍许不同的温度  $t'$ ,而如果标准电阻检定是在标准温度  $t_2$ ,但该温度和电阻率的标准温度  $t_0$  又不相同时,于是得:

$$R_S(t') = R_S(t_2)[1 + \alpha_S(t' - t_2)] \quad \dots\dots\dots (C2)$$

式中:  $\alpha_S$ ——标准电阻的电阻温度系数。

所以

$$\begin{aligned} R(t) &= N_{AB} R_S(t') \\ &= N_{AB} R_S(t_2)[1 + \alpha_S(t' - t_2)] \quad \dots\dots\dots (C3) \end{aligned}$$

为了得到最大的精确度,最好是:

$$t = t_0 \quad \text{和} \quad t' = t_2$$

体积电阻率由公式(C4)得出:

$$\rho(t) = \frac{A(t)}{l_1(t)} \cdot N_{AB} R_S(t_2)[1 + \alpha_S(t' - t_2)] \quad \dots\dots\dots (C4)$$

$\rho$  的相对误差由公式(C5)计算:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{1}{\rho} \left\{ \sum_i \left[ \Delta X_i \frac{\partial \rho}{\partial X_i} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad \dots\dots\dots (C5)$$

式中:  $X_i$ ——第  $i$  次的特性,为已知或测得;

$\Delta X_i$ —— $X_i$  的误差大小。

其最佳近似则为:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta\rho(t)}{\rho(t)} &\approx \left\{ \left[ \frac{\Delta A}{A} \right]^2 + \left( \frac{\Delta l_1}{l_1} \right)^2 + \left[ \frac{\Delta N_{AB}}{N_{AB}} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta R_S(t_2)}{R_S(t_2)} \right]^2 \right. \\ &\quad \left. + [(t' - t_2)\Delta\alpha_S]^2 + [\alpha_S\Delta t']^2 \right\}^{1/2} \quad \dots\dots\dots (C6) \end{aligned}$$

因为  $\rho(t_0) = \rho(t) + \epsilon(t_0 - t)$

得出

$$\begin{aligned} \frac{\Delta\rho(t_0)}{\rho(t_0)} &\approx \left\{ \left[ \frac{\Delta\rho(t)}{\rho(t)} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta\epsilon}{\rho(t)}(t_0 - t) \right]^2 + \left[ \frac{\epsilon}{\rho(t)}\Delta t \right]^2 \right\}^{1/2} \\ &\approx \left\{ \left[ \frac{\Delta A}{A} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta l_1}{l_1} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta N_{AB}}{N_{AB}} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta R_S(t_2)}{R_S(t_2)} \right]^2 \right\}^{1/2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ [(t' - t_2)\Delta\alpha_s]^2 + [\alpha_s\Delta t']^2 \\
 &+ \left[ \frac{\Delta\varepsilon}{\rho(t)}(t_0 - t) \right]^2 + \left[ \frac{\varepsilon}{\rho(t)}\Delta t \right]^2 \dots\dots\dots (C7)
 \end{aligned}$$

质量电阻率和单位长度电阻的误差也可用类似的公式进行分析:

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta\delta(t_0)}{\delta(t_0)} \approx & \left\{ \left[ \frac{\Delta m}{m} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta l_1}{l_1} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta l_2}{l_2} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta N_{AB}}{N_{AB}} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta R_S(t_2)}{R_S(t_2)} \right]^2 \right. \\
 &+ [(t' - t_2) \cdot \Delta\alpha_s]^2 + [\alpha_s \cdot \Delta t']^2 \\
 &+ [(t_0 - t) \cdot \Delta\beta'(t_0)]^2 + [\beta'(t_0) \cdot \Delta t]^2 \left. \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (C8)
 \end{aligned}$$

式中  $\beta'(t_0)$  的定义为:

$$\delta(t_0) = \delta(t)[1 + \beta'(t_0)(t_0 - t)]^{-1}$$

而

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta R_1(t_0)}{R_1(t_0)} \approx & \left\{ \left[ \frac{\Delta l_1}{l_1} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta N_{AB}}{N_{AB}} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta R_S(t_2)}{R_S(t_2)} \right]^2 \right. \\
 &+ [(t' - t_2)\Delta\alpha_s]^2 + [\alpha_s\Delta t']^2 \\
 &+ [(t_0 - t)\Delta(\alpha_R(t_0) - \gamma)]^2 \\
 &+ [(\alpha_R(t_0) - \gamma)\Delta t]^2 \left. \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (C9)
 \end{aligned}$$

上述各式中:

- $\Delta A/A$ ——试样截面积相对误差;
  - $\Delta l_1/l_1$ ——试样标距长度相对误差;
  - $\Delta l_2/l_2$ ——试样总长度相对误差;
  - $\Delta m/m$ ——试样质量相对误差;
  - $\Delta N_{AB}/N_{AB}$ ——电桥精度和测量准确度所引起的相对误差;
  - $\Delta R_S(t_2)/R_S(t_2)$ ——标准温度  $t_2$  时标准电阻校正的相对误差;
  - $(t' - t_2)\Delta\alpha_s$ ——测量电阻时的温度  $t'$  时的标准电阻相对误差,该误差是由  $t$  校准到  $t'$  时引起的。
- 本标准表 2 中的“电阻”相对误差指的是:

$$\left\{ \left[ \frac{\Delta N_{AB}}{N_{AB}} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta R_S(t_2)}{R_S(t_2)} \right]^2 + [(t' - t_2)\Delta\alpha_s]^2 \right\}^{1/2}$$

本标准表 2 中“温度引起的总误差”中,“温度控制”的相对误差指的是:

$$\{[\alpha_s\Delta t']^2 + [K \cdot \Delta t]^2\}^{1/2}$$

式中:  $K$ ——温度测量时误差的影响,对体积电阻率为  $\varepsilon/\rho(t)$ ,对质量电阻率为  $\beta'$ ,对单位长度电阻为  $[\alpha_R(t_0) - \gamma]$ 。

“温度校准”的相对误差指的是由试验温度  $t$  校准到标准温度  $t_0$  引起的误差,对体积电阻率为  $\{[(t_0 - t)\Delta\varepsilon/\rho(t)]^2\}^{1/2}$ ,对质量电阻率为  $\{[(t_0 - t)\Delta\beta'(t_0)]^2\}^{1/2}$ ,对单位长度电阻为  $\{[(t_0 - t)\Delta(\alpha_R(t_0) - \gamma)]^2\}^{1/2}$ 。

## C2 截面测量误差分析

C2.1 试样的截面积在整个试样长度上是有微小变化的,这种变化引起的误差能从等距离多次测量中估计出来。

设  $A(x)$  为试样  $x$  位置上的截面积。

令  $A(x) = A_m[1 + f(x)]$ , 且  $|f(x)| \ll 1$ ,  $A_m$  是  $A(x)$  的平均值, 以及

$$A_m = \frac{1}{l} \int_0^l A(x) dx$$

$$\int_0^l f(x) dx = 0$$

这样, 电阻  $R$  可由公式(C10)得出

$$R = \rho \int_0^l \frac{dx}{A(x)} \approx \frac{\rho l}{A_m} \left\{ 1 + \frac{1}{l} \int_0^l [f(x)]^2 dx \right\} \dots\dots\dots (C10)$$

如果截面积的  $n$  次测量是沿试样长度等距离进行的, 那么

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^n A(x_i) / n$$

式中  $A(x_i)$  表示第  $i$  次测量,  $\bar{A}$  是  $A_m$  的一个估计值。

且  $C^2 = (1/A_m^2) \sum_{i=1}^n [A(x_i) - \bar{A}]^2 / (n-1)$  是  $\frac{\sigma^2}{A_m^2} = \frac{1}{l} \int_0^l [f(x)]^2 dx$  的估计值。

式中的  $\sigma$  是  $A(x)$  的方差。

这样, 取两次近似值时, 计算体积电阻率的截面积应是

$$A = \bar{A} / (1 + c^2)$$

这个截面积的相对误差可取定为  $A_m$  的标准平均偏差

$$\frac{\Delta A}{A} = S_m \equiv \frac{c}{\sqrt{n}}$$

对仲裁试验来说,  $\Delta A/A$  规定不得大于 0.15%。而如果  $n=5$ , 截面积测量五次, 修正值  $c^2$  在  $A$  和  $A_m$  的关系式中约为 0.001% 左右, 因此是不值得注意的。

对于例行试验来说,  $\Delta A/A$  可以大到  $\pm 0.50\%$ , 修正值  $c^2$  大约为 0.005% 左右, 同样也是不值得注意的。

所以在计算体积电阻率时, 可以使用  $n$  次测量的平均值  $A_m$ , 它的误差取平均值的标准平均偏差。

C2.2 当截面积是从试样的密度、质量和长度确定时,  $A_m$  可直接从公式(C11)得到:

$$m = d_s \int_0^l A(x) dx = d_s l A_m \dots\dots\dots (C11)$$

式中:  $m$ ——试样质量;

$d_s$ ——试样密度。

这时,  $A_m$  的误差由质量  $m$ 、长度  $l$  和密度  $d_s$  的测量误差所组成和决定, 由公式(C12)计算

$$\frac{\Delta A}{A} = \left\{ \left[ \frac{\Delta m}{m} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta l}{l} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta d_s}{d_s} \right]^2 \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (C12)$$

试样的密度可在空气中和液体中,如水中称重,比较测定的视在质量用公式(C13)就能算出:

$$d_s = \frac{m_A d_L - m_L d_A}{m_A - m_L} \approx \frac{m_A d_L}{m_A - m_L} \dots\dots\dots (C13)$$

式中:  $m_A$ ——空气中试样视在质量;  
 $m_L$ ——液体中试样视在质量;  
 $d_L$ ——液体密度。

因此,表 2 中截面积误差指的是:

$$\frac{\Delta A}{A} = \left\{ \left[ \left( \frac{d_s}{d_L} \right) \frac{\Delta m_A}{m_A} \right]^2 + \left[ \left( \frac{d_s - d_L}{d_L} \right) \frac{\Delta m_L}{m_L} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta d_L}{d_L} \right]^2 + \left[ \frac{\Delta l}{l} \right]^2 \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (C14)$$

C2.3 采用  $n$  次等距离的尺寸测量,对每个校正项分别作出估计,均是满足本标准第 5.1.1 条中“截面大体上均匀”所必须的。

**附加说明:**

本标准由中华人民共和国机械电子工业部提出。  
 本标准由机械电子工业部上海电缆研究所归口。  
 本标准由机械电子工业部上海电缆研究所等起草。  
 本标准主要起草人沈建华。  
 本标准于 1983 年首次发布,于 1994 年 5 月第一次修订。