ICS 29.060
K 13

中华人民共和国国家标准

GB/T 3048.2—2007
代替 GB/T 3048.2—1994

电线电缆电性能试验方法
第2部分：金属材料电阻率试验

Test methods for electrical properties of electric cables and wires—Part 2: Test of electrical resistivity of metallic materials

(IEC 60468:1974, Method of measurement of resistivity of metallic materials, MOD)

2007-12-03 发布　　2008-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

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　试验设备 …… 2
5　试样制备 …… 3
6　试验程序 …… 3
7　试验结果及计算 …… 6
8　试验记录 …… 7
附录A（资料性附录）　本部分与IEC 60468:1974章、条编号对照 …… 8
附录B（资料性附录）　铜和铝在20℃时的特性 …… 10
附录C（资料性附录）　温度校准 …… 11
附录D（资料性附录）　误差分析 …… 12
D.1　电阻、电阻率及单位长度电阻误差分析 …… 12
D.2　截面测量误差分析 …… 13
参考文献 …… 15

前　言

GB/T 3048《电线电缆电性能试验方法》分为14个部分：

——第1部分：总则；

——第2部分：金属材料电阻率试验；

——第3部分：半导电橡塑材料体积电阻率试验；

——第4部分：导体直流电阻试验；

——第5部分：绝缘电阻试验；

——第7部分：耐电痕试验；

——第8部分：交流电压试验；

——第9部分：绝缘线芯火花试验；

——第10部分：挤出护套火花试验；

——第11部分：介质损耗角正切试验；

——第12部分：局部放电试验；

——第13部分：冲击电压试验；

——第14部分：直流电压试验；

——第16部分：表面电阻试验。

本部分为GB/T 3048的第2部分。

本部分修改采用IEC 60468:1974《金属材料电阻率的测量方法》(英文版)。

本部分的结构符合GB/T 1.1—2000《标准化工作导则　第1部分：标准的结构和编写规则》，并与GB/T 3048的其他部分相协调。在附录A中列出了本部分章条编号与IEC 60468:1974章条编号的对照一览表。

考虑到检测技术的发展和测量的实际需要，在采用IEC 60468:1974时，本部分做了一些修改，有关技术性差异已编入正文中并在它们所涉及的条文的页边空白处用垂直单线标识；这些技术差异如下：

——按照GB/T 1.1—2000规定的标准结构和与GB/T 3048其他部分协调统一的原则，本部分增加了第2章“规范性引用文件”和第4章“试验设备”；

——IEC 60468:1974中除表1列出各参数测量的允许误差范围外，在标准条文中相关部分还重复表述，本部分对此进行了整合，以减少不必要的重复；

——在本部分第3章“术语和定义”中补充3.5“惠斯顿电桥”和3.6“凯尔文电桥”，以与本部分6.2.1中电阻测量的“两点法”和“四点法”相对应；

——增加第4章“试验设备”，以完善对于电阻、长度、质量、温度等测量仪器和设备的要求。还在4.1中补充了“也可使用电桥以外的其他仪器”，主要是为纳入近年来广泛应用的高精度数字式直流电阻测试仪；

——在本部分第5章“试样制备”中补充5.5以规范“基准试验”中对所制备试样的处理方式；

——本部分将IEC 60468:1974中分别表述的第6章“基准方法”和第7章“常规方法”两章合并为一章，即本部分的第6章“试验程序”。本部分统一地在第6章中对这两种试验方法分别作出规定；

——考虑到试验的实际操作情况和新技术的发展，本部分作了下述更改：

1) 由于现在温度控制技术的提高，本部分的6.1.2和6.1.3对于IEC 60468:1974中规定分别为(15～25)℃和(10～35)℃的“基准试验”和“常规试验”试样测试温度控制范围做了较

大的修改，分别改为(20±0.1)℃和(20±5)℃，使其更接近标准温度20℃；

2) 本部分补充6.4.1.1和6.4.1.2，给出简单截面试样的截面积计算公式，并规定了取“π”值的有效位数；

——IEC 60468:1974的6.2.6，中指出，对于较小的温差($t-t_0$)数值来说，线膨胀温度系数“γ”是比电阻温度系数小得多的参数，在相关公式中可不必将“γ”包括进去。与IEC 60468:1974相比，本部分规定的测试温度更接近标准温度20℃(t_0)，因此在第7章“试验结果及计算”的7.1中明确“γ”可忽略不计，这适用于所有相关的计算，并具有足够的准确度。

为便于使用，对于IEC 60468:1974，本部分还做了下列编辑性修改：

——用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”；

——删除了国际标准的前言；

——增加了资料性附录A以指导使用。

本部分代替GB/T 3048.2—1994《电线电缆电性能试验方法　金属导体材料电阻率试验》。本次修订按照GB/T 1.1—2000对本部分进行了调整。

本部分与GB/T 3048.2—1994相比主要变化如下：

——标准的中文名称改为“电线电缆电性能试验方法　第2部分：金属材料电阻率试验”；

——标准的英文名称改为“Test methods for electrical properties of electric cables and wires—Part 2: Test of electrical resistivity of metallic materials”；

——本部分的总体结构和编排按GB/T 1.1—2000进行了修改：

1) 第1章为“范围”(1994年版的第1章；本版的第1章)；

2) 第2章为“规范性引用文件”(1994年版的第2章；本版的第2章)；

3) 第3章为“术语和定义”(1994年版的第3章；本版的第3章)；

4) 第4章为“试验设备”(1994年版的第4章；本版的第4章)；

5) 第5章为“试样制备”(1994年版的第5章；本版的第5章)；

6) 第6章为“试验程序”(1994年版的第6章；本版的第6章)；

7) 第7章为“试验结果及计算”(1994年版的第7章；本版的第7章)；

8) 第8章为“试验记录”(1994年版的第8章；本版的第8章)；

——在第1章“范围”中修改了本部分的适用范围，将“仲裁试验”和“例行试验”改为“基准试验”和“常规试验”(1994年版的第1章；本版的第1章)；

——在第3章“术语和定义”中按GB/T 2900.4《电工术语　电工合金》进行编辑性修改，并补充了直流电桥的条目(1994年版的第3章；本版的第3章、3.5、3.6)；

——在第4章“试验设备”中进行了必要的整合(1994年版的4.1、5.2.2；本版的6.2.2、4.2)；

——在第5章“试样制备”中合并了对试样的“形状”和“特性”的分别要求，进行了统一的综合规定，并补充了试样的特殊制备方式(1994年版的第5章；本版的第5章、5.5)；

——在第6章“试验程序”中作了下述修改：

1) 不再对“常规试验”做单独的要求，而与“基准试验”合并进行统一的综合规定(1994年版的第6章；本版的第6章)；

2) 补充了简单截面导体试样的截面积计算公式(1994年版无；本版的6.4.1.2、6.4.1.3)；

3) 对试样温度作了更严格的规定(1994年版的6.2.1、6.9.1；本版的6.1.2、6.1.3)；

——在第7章“试验结果及计算”中确认本部分规定的测试温度下，计算公式中的线膨胀温度系数“γ”可忽略不计并具有足够的准确度(1994年版的7.3；本版的7.1)；

——在第8章“试验记录”中修改了部分要求，删除了“试验报告”的提法，统一规范为“试验记录”(1994年版的第8章、8.2；本版的第8章、8.2)。

本部分的附录A、附录B、附录C和附录D为资料性附录。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国电线电缆标准化技术委员会归口。

本部分起草单位:上海电缆研究所。

本部分主要起草人:万树德、夏凯荣、余震明、沈建华。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:GB 3048.2—1983、GB/T 3048.2—1994。

电线电缆电性能试验方法
第2部分:金属材料电阻率试验

1 范围

GB/T 3048的本部分规定了金属材料电阻率试验的术语和定义、试验设备、试样制备、试验程序、试验结果及计算和试验记录。

本部分规定的试验方法适用于测定实心(非绞合)铜、铝及其合金金属导体材料和电阻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。

本部分所提供的方法为测定标准条件下电阻率在(0.01～2.0)Ω·mm²/m(μΩ·m)范围内的实心(非绞合)材料电阻率的基准试验和常规试验方法。

本部分应与GB/T 3048.1一起使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过GB/T 3048的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 1214 游标卡尺

GB/T 1216 外径千分尺(neq ISO 3611)

GB/T 3048.1 电线电缆电性能试验方法 第1部分:总则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于GB/T 3048的本部分。

3.1

体积电阻率 volume resistivity

单位长度、单位截面积导体的电阻,在标准温度导体的体积电阻率用公式(1)计算:

$$\rho_V(t_0)=\frac{A(t_0)}{l_1(t_0)}\cdot R(t_0) \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中:

$\rho_V(t_0)$——在标准温度t_0时的体积电阻率,单位为欧米(Ω·m);

$A(t_0)$——在标准温度t_0时的试样的截面积,单位为平方米(m²);

$l_1(t_0)$——在标准温度t_0时的试样的标长,单位为米(m);

$R(t_0)$——在标准温度t_0时的试样标长两端间的电阻,单位为欧(Ω)。

3.2

质量电阻率 mass resistivity

单位长度、单位质量导体的电阻,在标准温度导体的质量电阻率用公式(2)计算:

$$\rho_m(t_0)=\frac{m}{l_2(t_0)}\cdot\frac{R(t_0)}{l_1(t_0)} \qquad \cdots\cdots(2)$$

式中:

$\rho_m(t_0)$——在标准温度t_0时的质量电阻率,单位为欧千克每平方米(Ω·kg/m²);

m——试样质量，单位为千克(kg)；

$l_2(t_0)$——在标准温度 t_0 时的试样的总长，单位为米(m)；

$R(t_0)$——在标准温度 t_0 时的试样标长两端间的电阻，单位为欧(Ω)；

$l_1(t_0)$——在标准温度 t_0 时的试样的标长，单位为米(m)。

3.3

单位长度电阻　resistance per unit length

导体在标准温度下单位长度的电阻值用公式(3)计算：

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

式中：

$R_1(t_0)$——在标准温度 t_0 时单位长度的电阻，单位为欧每米(Ω/m)；

$R(t_0)$——在标准温度 t_0 时试样标长两端间的电阻，单位为欧(Ω)；

$l_1(t_0)$——在标准温度 t_0 时试样的标长，单位为米(m)。

3.4

国际退火铜标准导电率百分数　conductivity per cent IACS

本部分的表1转录了已规定在IEC 60028:1925《铜电阻的国际标准》中的国际退火铜标准(简称IACS)的体积电阻率和质量电阻率的数值。IEC 60028把商业退火铜的导电率规定为20℃时标准退火铜导电率的百分数，导电率是电阻率的倒数。它假定商业退火铜的密度与标准退火铜的密度相同，从而不论导电率是质量导电率值还是体积导电率值，都无关紧要。但是从1925年以来，其他金属的导电率普遍采用IACS表示。由于其他金属的密度和铜的密度可能不同，在这些情况下，不论是体积的还是质量的，都需要规定导电率的基准。IACS体积导电率百分数或者IACS质量导电率百分数，定义为国际退火铜标准规定电阻率(不论是体积的或者质量的)对相同单位的试样电阻率之比乘以100。

注：标准退火铜和商用纯铝排、硬拉铝线及退火铝线的其他特性值可参见附录B。

表1　与IACS相当电阻率数值

20℃时的导电率(%IACS)	100.00	
体积电阻率	Ω·m	$1.724\ 1\times10^{-8}$
	Ω·mm²/m(μΩ·m)	0.017 241
质量电阻率	Ω·kg/m²	$1.532\ 8\times10^{-4}$
	Ω·g/m²	0.153 28

3.5

惠斯登电桥　Wheatstone bridge

惠斯登电桥即单臂电桥，测量电阻时只有两个触点，称为两点法。

3.6

凯尔文电桥　Kelvin bridge

凯尔文电桥即双臂电桥，测量电阻时有四个触点，称为四点法。

4　试验设备

4.1　电阻测量系统可使用直流电桥。只要总测量误差符合表2规定，也可使用电桥以外的其他仪器。如根据直流电流-电压降直接法原理，并采用了四端测量技术，具有高精度的数字式直流电阻测试仪。

4.2　电阻测量专用夹具：两电位点之间的标距长度应不小于0.3 m，其他尺寸应与试验设备相适应。

4.3　游标卡尺：(1 000±0.1)mm，符合GB/T 1214规定。

杠杆千分尺：表头示值误差应不超过1 μm，符合GB/T 1216规定。

4.4 精密天平:分度值为 0.1 mg。

4.5 温度计:示值误差应不超过 0.1℃。

4.6 精密恒温油浴(基准试验时):(20±0.1)℃。

5 试样制备

5.1 试样应无接头,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,特别是在与电流和电位接头接触的表面上,应基本无斑疤、灰尘和油污。必要时,在测量试样尺寸之前应清洗干净。

5.2 试样为截面大致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。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,其相对标准偏差在基准试验时应不超过 1%,常规试验时应不超过 2%。

5.3 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,试样表面应无毛刺、飞边和弧边(锯齿状边)。

5.4 从大块材料中截取的试样,应注意在制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。

5.5 必要时,基准试验用试样应按下述方法制备:试样经酸洗并加工至标称直径为 2 mm,去油污,经(500~550)℃保护性气氛中退火 30 min,然后在同一保护气氛中快速冷却或在空气中快速转移到水中冷却。

6 试验程序

6.1 一般规定

6.1.1 本部分规定两种试验方法:基准试验方法和常规试验方法。用基准试验方法测量体积电阻率的允许总误差范围是±0.25%,质量电阻率及单位长度电阻的允许总误差范围是±0.20%。用常规试验方法测量体积电阻率的允许总误差范围是±0.65%,质量电阻率的允许总误差范围是±0.45%,单位长度电阻的允许总误差范围是±0.40%。为计算所需的每种物理量的每次测定,要求精密和准确,使按附录 D 所述计算的总误差不超过上述界限。如果各个测量值的精密度和准确度在表 2 规定的误差范围内,则此总误差规定是可以达到的。基准试验和常规试验的标准温度都是 20℃。

6.1.2 基准试验的试样应置于(20±0.1)℃的精密恒温油浴。在整个试验过程中,温度的测量和控制应符合表 2 规定。

6.1.3 常规试验的试样应在(20±5)℃恒温条件下测量,试样在测试前应置于温度符合试验要求的实验室中至少 1 h,或放入油浴,温度的测量和控制应符合表 2 规定。

表 2 允许测量误差

项目名称	基准试验	常规试验
长度	±0.05%	±0.10%
电阻	±0.15%	±0.30%
截面积	±0.15%	±0.50%
使用已知试样密度:		
空气中的质量	±0.05%	±0.10%
试样长度	±0.05%	±0.20%
试样密度	±0.12%	±0.45%
使用流体秤重:		
空气中的质量	$\pm 0.04(d_L/d_S)\%$	$\pm 0.30(d_L/d_S)\%$

表 2(续)

项目名称	基准试验	常规试验
液体中的质量	$\pm 0.08[d_L/(d_S-d_L)]\%$	$\pm 0.30[d_L/(d_S-d_L)]\%$
液体密度	±0.08%	±0.20%
温度引起的总误差	±0.06%	±0.25%
温度控制	±0.04%(0.1℃)	±0.15%(0.4℃)
温度校准	±0.04%	±0.15%
总误差		
体积电阻率	±0.25%	±0.65%
质量电阻率	±0.20%	±0.45%
单位长度电阻	±0.20%	±0.40%
注：误差分析参见附录 D。		

6.2 电阻测量

6.2.1 被测试样电阻为 10 Ω 及以下(应不小于 10 μΩ)者应采用四点法，如凯尔文电桥；电阻大于 10 Ω 者可采用两点法，如惠斯顿电桥；常规试验时，试样电阻大于 1 Ω 者允许采用两点法。

6.2.2 电阻测量系统的总误差包括：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。基准试验和常规试验时电阻测量系统的误差应符合表 2 规定。

6.2.3 四点法测量(采用四端夹具)时，电位接触点应由相当锋利的刀刃构成，且互相平行，均垂直于试样纵轴，接点也可以是锐利的针状接点。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。

6.2.4 使用凯尔文双臂电桥时，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准确度符合规定的要求。

6.2.5 应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，读取一个正向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)，检流计接入电路后，在电流不闭合的情况下调零，达到闭合电流时检流计上基本观察不到冲击。

6.2.6 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。

6.3 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 $l_1(t)$，测量误差应符合表 2 规定。

6.4 截面积测量

6.4.1 计算法

6.4.1.1 简单截面的试样，其截面积可以合理的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超过±15%。

6.4.1.2 圆形截面试样，按公式(4)计算截面积。

$$A(t)=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \qquad \cdots\cdots(4)$$

式中：

$A(t)$——在试验温度 t 时试样的截面积，单位为平方毫米(mm^2)；

π——圆周率，取 3.141 6；

d——试样直径平均值，单位为毫米(mm)。

6.4.1.3 扁线截面试样，按公式(5)计算截面积。

$$A(t) = \delta \cdot b - 0.858r^2 \qquad \cdots\cdots(5)$$

式中：

δ——试样厚度平均值，单位为毫米(mm)；

b——试样宽度平均值，单位为毫米(mm)；

r——扁线圆角半径，单位为毫米(mm)。

6.4.2 称重法

截面比较复杂的试样，当直接测量并计算出的截面积的误差不符合表2规定时，截面积应采用秤重法按公式(6)确定。

$$A(t) = \frac{m}{l_2(t)d_S(t)} \cdot 10^3 \qquad \cdots\cdots(6)$$

式中：

m——试样质量，单位为克(g)；

$l_2(t)$——试验温度 t 时的试样的总长，单位为米(m)；

$d_S(t)$——试验温度 t 时的试样密度，单位为千克每立方米(kg/m^3)。

质量、总长度、密度的测量误差应符合表2规定。

6.5 质量测量

应注意减小试样在空气中称重的误差，以满足公式(6)的要求。必要时，应按公式(7)校准空气浮力：

$$m = \frac{m_A d_S(d_W - d_A)}{d_W(d_S - d_A)} \qquad \cdots\cdots(7)$$

式中：

m_A——在空气中测定的视在质量，单位为克(g)；

d_S——试样密度，单位为千克每立方米(kg/m^3)；

d_W——砝码密度，单位为千克每立方米(kg/m^3)；

d_A——空气密度，1.2 kg/m^3。

6.6 密度测量

6.6.1 当不知试样密度或试样密度误差不符合表2规定时，应在空气中和已知密度的液体中称重测定试样密度。可用试样直接测定，也可用与试样密度相同的试件测定。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。

6.6.2 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应符合表2规定。

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，应用直径为其两倍的挂线进行第二次称重，两次称重的质量差应不超过试样在液体中视在质量的$\pm 0.01[d_L/(d_S - d_L)]\%$。

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。

6.6.3 试样密度按公式(8)计算确定：

$$d_S = \frac{m_A d_L(t) - m_L(t)d_A}{m_A - m_L(t)} \qquad \cdots\cdots(8)$$

式中：

$d_L(t)$——试验温度 t 时的液体密度，单位为千克每立方米(kg/m^3)；

$m_L(t)$——在液体中测定的试样视在质量，单位为克(g)。

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百分比予以规定。参见附录D。

7 试验结果及计算

7.1 温度换算

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，本部分规定的 t_0 值为 20℃。下列各公式中，温差($t-20$)与试样电阻温度系数误差的乘积应符合表 2 规定。

因本部分规定的测试温度接近 20℃，在($t-20$)较小时，试样线膨胀温度系数“γ”比电阻温度系数“α_{20}”小得多，“γ”可忽略不计。这适用于下列各种计算情况，并具有足够的准确度。

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(9)计算：

$$R_{20}=\frac{R(t)}{1+\alpha_{20}(t-20)} \qquad \cdots\cdots(9)$$

式中：

R_{20}——20℃时试样的标长两端间的电阻，单位为欧(Ω)；

$R(t)$——试验温度 t 时试样的标长两端间的电阻，单位为欧(Ω)；

α_{20}——20℃时试样的电阻温度系数，1/℃。

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(10)计算：

$$R_{l20}=\frac{R_l(t)}{1+(\alpha_{20}-\gamma)(t-20)} \qquad \cdots\cdots(10)$$

式中：

R_{l20}——20℃时单位长度电阻，单位为欧每米(Ω/m)；

$R_l(t)$——试验温度 t 时试样单位长度电阻，单位为欧每米(Ω/m)；

γ——线膨胀温度系数，1/℃。

7.4 体积电阻率计算

标准温度 20℃时的体积电阻率按公式(11)计算：

$$\rho_{V20}=\frac{\rho_V(t)}{1+(\alpha_{20}+\gamma)(t-20)} \qquad \cdots\cdots(11)$$

式中：

ρ_{V20}——20℃时试样的体积电阻率，单位为欧米(Ω·m)；

$\rho_V(t)$——试验温度 t 时试样的体积电阻率，单位为欧米(Ω·m)。

7.5 质量电阻率计算

标准温度 20℃时的质量电阻率按公式(12)计算：

$$\rho_{m20}=\frac{\rho_m(t)}{1+(\alpha_{20}-2\gamma)(t-20)} \qquad \cdots\cdots(12)$$

式中：

ρ_{m20}——20℃时试样的质量电阻率，单位为欧千克每平方米(Ω·kg/m²)；

$\rho_m(t)$——试验温度 t 时试样的质量电阻率，单位为欧千克每平方米(Ω·kg/m²)。

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' 与测量电阻及标记试样长度时温度 t 不同时，应按公式(13)和公式(14)进行换算。

$$l_2(t)=l_2(t')[1+\gamma(t-t')] \qquad \cdots\cdots(13)$$

$$A(t)=A(t')[1+2\gamma(t-t')] \qquad \cdots\cdots(14)$$

式中：

$l_2(t)$——换算到温度 t 时的试样总长度，单位为米(m)；

$A(t)$——换算到温度 t 时的试样截面积，单位为平方毫米(mm^2)；

$l_2(t')$——试验温度 t' 时的试样总长度，单位为米(m)；

$A(t')$——试验温度 t' 时的试样截面积，单位为平方毫米(mm^2)。

8 试验记录

8.1 试验记录中应详细记载下列内容：

a) 试验类型；

b) 试样编号，试样型号、规格；

c) 试验日期，测试时的温度；

d) 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；

e) 试样平均截面积、测定次数和测试温度下平均截面积的标准偏差；

f) 试样的标距长度；

g) 20℃时试样的体积电阻率或单位长度电阻；

h) 测试仪器及其校准有效期。

8.2 有特别要求时，下列事项亦应包括在试验记录中：

a) 试验前的机械处理和热处理(必要时)；

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(如果采用的话)、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；

d) 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表。

附 录 A
（资料性附录）
本部分与 IEC 60468:1974 章、条编号对照

表 A.1 给出了本部分的章、条编号与 IEC 60468:1974 的章、条编号对照一览表。

表 A.1 本部分的章、条编号与 IEC 60468:1974 的章、条编号对照表

本部分章条编号	对应的 IEC 60468:1974 的章、条编号
1	1,2
2	—
3	4
3.1～3.4	4.1～4.4、5
3.5～3.6	—
4、4.1	—
4.2	6.1.2.2 的列项 2)、3)
4.3～4.6	—
5	6.1.2、7.1.2 的标题
5.1	6.1.2.2 的列项 4)、5)
5.2～5.4	6.1.2.1、7.1.2
5.5	—
6	6.1.3、7.1.3
6.1、6.1.1	3
6.1.2	6.1.3.1 的第 5 段
6.1.3	7.1.3.1 的一部分
6.2	6.1.3.1 的标题、7.1.3.1 的标题
6.2.1	6.1.1、7.1.1、6.1.2.2 的列项 1)
6.2.2～6.2.6	6.1.3.1 第 1～第 4 段的主要部分、7.1.3.1 的一部分
6.3	6.1.3.1 第 2 段的第一句、7.1.3.1 的第二句
6.4,6.4.1	6.1.3.2 和 7.1.3.2 的第一段
6.4.1.1、6.4.1.2	—
6.4.2	6.1.3.2 和 7.1.3.2 第二段
6.5	6.1.3.3、7.1.3.3
6.6,6.6.1～6.6.3	6.1.3.4、7.1.3.4
7、7.1	6.2、6.2.6、7.2
7.2～7.6	6.2.1～6.2.5
8	6.3、7.3
8.1	6.3 的列项 a)

表 A.1(续)

本部分章条编号	对应的 IEC 60468:1974 的章、条编号
8.2	6.3 的列项 b)
附录 A	—
附录 B	表 3
附录 C	附录 A
附录 D	附录 B

附 录 B
（资料性附录）
铜和铝在20℃时的特性

表B.1给出了铜和铝在20℃时的特性。

表B.1 铜和铝在20℃时的特性

特 性	铜	铝 排	硬 铝 线	退火铝线
体积电阻率 $\rho_V(t_0)$，$10^{-8}\Omega\cdot m$	1.724 1	2.90	2.826 4	2.80
电阻温度系数 $\alpha(t_0)$，10^{-3}/℃	3.93	3.93	4.03	4.07
线膨胀温度系数 γ，10^{-5}/℃	1.7	2.3	2.3	2.3
体积电阻率的温度系数 ε，$10^{-11}\ \Omega\cdot m$/℃	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。ε、γ和d_S特性值也适用于商用退火铜IEC 60028给定值。

注2：铝排为商用纯铝排材料。$\rho(t_0)$为最大值，IEC 60105给定值。

注3：硬铝线为商用硬拉铝线。$\rho_V(t_0)$既是标准值，也是最大值，IEC 60111给定值。

注4：退火铝线为商用铝线。$\rho_V(t_0)$为最大值，IEC 60121给定值。

注5：ε值是根据IEC出版物给定的α，ρ_V，γ值计算得出。参见附录C。

附 录 C
（资料性附录）
温 度 校 准

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 ε 由公式(C.1)定义时，铜的 ε 值几乎与所有常用的铜合金的数值相同，铝的 ε 值与铝合金的相同。

$$\rho_V(t_2)=\rho_V(t_1)+\varepsilon(t_2-t_1) \qquad \cdots\cdots(C.1)$$

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 $\rho_V(t)$，可根据附录 B 中的 ε 值，利用公式(C.1)很精确把温度校准到标准温度。

同时，还可以用公式(C.2)表述标准温度 t_0 时电阻温度系数 $\alpha(t_0)$ 与 ε 的相互关系。

$$\alpha(t_0)=\frac{\varepsilon}{\rho_V(t_0)}-\gamma \qquad \cdots\cdots(C.2)$$

附 录 D
（资料性附录）
误 差 分 析

D.1 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(D.1)和其测量比 N_{AB} 计算得出：

$$\frac{R_X}{R_S}=\frac{Z_A}{Z_B}\equiv N_{AB} \qquad \cdots\cdots(D.1)$$

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：

$$R_S(t')=R_S(t_2)[1+\alpha_S(t'-t_2)] \qquad \cdots\cdots(D.2)$$

式中：

α_S——标准电阻的电阻温度系数。

所以

$$R(t)=N_{AB}R_S(t')=N_{AB}R_S(t_2)[1+\alpha_S(t'-t_2)] \qquad \cdots\cdots(D.3)$$

为了得到最大的准确度，最好是：

$$t=t_0 \quad 和 \quad t'=t_2$$

体积电阻率由公式(D.4)得出：

$$\rho_V(t)=\frac{A(t)}{l_1(t)}\cdot N_{AB}R_S(t_2)[1+\alpha_S(t'-t_2)] \qquad \cdots\cdots(D.4)$$

ρ_V 的相对误差由公式(D.5)计算：

$$\frac{\Delta\rho_V}{\rho_V}=\frac{1}{\rho_V}\left\{\sum_i\left[\Delta X_i\frac{\partial\rho_V}{\partial X_i}\right]^2\right\}^{1/2} \qquad \cdots\cdots(D.5)$$

式中：

X_i——第 i 次的特性，为已知或测得；

ΔX_i——X_i 的误差大小。

其最佳近似则为：

$$\frac{\Delta\rho_V(t)}{\rho_V(t)}\approx\left\{\left[\frac{\Delta A}{A}\right]^2+\left(\frac{\Delta l_1}{l_1}\right)^2+\left[\frac{\Delta N_{AB}}{N_{AB}}\right]^2+\left[\frac{\Delta R_S(t_2)}{R_S(t_2)}\right]^2+[(t'-t_2)\times\Delta\alpha_S]^2+[\alpha_S\Delta t']^2\right\}^{1/2} \qquad \cdots\cdots(D.6)$$

因为 $\rho(t_0)=\rho(t)+\varepsilon(t_0-t)$，得出：

$$\begin{aligned}\frac{\Delta\rho_V(t_0)}{\rho_V(t)}&\approx\left\{\left[\frac{\Delta\rho_V(t)}{\rho_V(t)}\right]^2+\left[\frac{\Delta\varepsilon}{\rho_V(t)}(t_0-t)\right]^2+\left[\frac{\varepsilon}{\rho_V(t)}\Delta t\right]^2\right\}^{1/2}\\&\approx\left\{\left[\frac{\Delta A}{A}\right]^2+\left[\frac{\Delta l_1}{l_1}\right]^2+\left[\frac{\Delta N_{AB}}{N_{AB}}\right]^2+\left[\frac{\Delta R_S(t_2)}{R_S(t_2)}\right]^2\right.\\&\quad+[(t'-t_2)\Delta\alpha_S]^2+[\alpha_S\Delta t']^2\\&\quad\left.+\left[\frac{\Delta\varepsilon}{\rho_V(t)}(t_0-t)\right]^2+\left[\frac{\varepsilon}{\rho_V(t)}\Delta t\right]^2\right\}^{1/2}\end{aligned} \qquad \cdots\cdots(D.7)$$

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：

$$\frac{\Delta\rho_m(t_0)}{\rho_m(t_0)} \approx \left\{\left[\frac{\Delta m}{m}\right]^2 + \left[\frac{\Delta l_1}{l_1}\right]^2 + \left[\frac{\Delta l_2}{l_2}\right]^2 + \left[\frac{\Delta N_{AB}}{N_{AB}}\right]^2 + \left[\frac{\Delta R_S(t_2)}{R_S(t_2)}\right]^2 + [(t'-t_2)\times\Delta\alpha_S]^2 + [\alpha_S\times\Delta t']^2 + [(t_0-t)\times\Delta\beta'(t_0)]^2 + [\beta'(t_0)\times\Delta t]^2\right\}^{1/2} \quad \cdots\cdots(D.8)$$

式中 $\beta'(t_0)$ 的定义为：

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

而

$$\frac{\Delta R_1(t_0)}{R_1(t_0)} \approx \left\{\left[\frac{\Delta l_1}{l_1}\right] + \left[\frac{\Delta N_{AB}}{N_{AB}}\right]^2 + \left[\frac{\Delta R_S(t_2)}{R_S(t_2)}\right]^2 + [(t'-t_2)\times\Delta\alpha_S]^2 + [\alpha_S\times\Delta t']^2 + [(t_0-t)\times\Delta(\alpha(t_0)-\gamma)]^2 \; [(\alpha(t_0)-\gamma)\times\Delta t]^2\right\}^{1/2} \quad \cdots\cdots(D.9)$$

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；

$(t'-t_2)\Delta\alpha_S$——在温度 t' 下测量电阻时的标准电阻相对误差，该误差是由 t 校准到 t' 时引起的。

本部分表 2 中的“电阻”相对误差指的是：

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

本部分表 2 中“温度引起的总误差”中，“温度控制”的相对误差指的是：

$$\{[\alpha_S\times\Delta t']^2 + [K\times\Delta t]^2\}^{1/2}$$

式中：

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

“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 $\{[(t_0-t)\times\Delta\varepsilon/\rho_V(t)]^2\}^{1/2}$，对质量电阻率为 $\{[(t_0-t)\times\Delta\beta'(t_0)]^2\}^{1/2}$，对单位长度电阻为 $\{[(t_0-t)\times\Delta(\alpha(t_0)-\gamma)]^2\}^{1/2}$。

D.2 截面测量误差分析

D.2.1 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：

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

$$\int_0^l f(x)\mathrm{d}x = 0$$

这样，电阻 R 可由公式(D.10)得出：

$$R=\rho_V\int_0^l\frac{dx}{A(x)}\approx\frac{\rho_V l}{A_m}\left\{1+\frac{1}{l}\int_0^l[f(x)]^2dx\right\} \qquad \cdots\cdots(D.10)$$

如果截面积的 n 次测量是沿试样长度等距离进行的，那么：

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

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

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

式中的 σ 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：

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

这个截面积的相对误差可取定为 A_m 的标准平均偏差：

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

对基准试验来说，$\Delta A/A$ 应不超过±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。

对于常规试验来说，$\Delta A/A$ 可以大到不超过±0.50%，修正值 c^2 大约为0.005%左右，同样是不值得注意的。

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。

D.2.2 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(D.11)得到：

$$m=d_S\int_0^l A(x)dx=d_S l A_m \qquad \cdots\cdots(D.11)$$

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(D.12)计算：

$$\frac{\Delta A}{A}=\left\{\left[\frac{\Delta m}{m}\right]^2+\left[\frac{\Delta l}{l}\right]^2+\left[\frac{\Delta d_S}{d_S}\right]^2\right\}^{1/2} \qquad \cdots\cdots(D.12)$$

试样的密度可在空气中和液体中称重，比较测定的视在质量用公式(D.13)就能算出：

$$d_S=\frac{m_A d_L-m_L d_A}{m_A-m_L}\approx\frac{m_A d_L}{m_A-m_L} \qquad \cdots\cdots(D.13)$$

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：

$$\frac{\Delta A}{A}=\left\{\left[\left(\frac{d_S}{d_L}\right)\frac{\Delta m_A}{m_A}\right]^2+\left[\left(\frac{d_S-d_L}{d_L}\right)\frac{\Delta m_L}{m_L}\right]^2+\left[\frac{\Delta d_L}{d_L}\right]^2+\left[\frac{\Delta l}{l}\right]^2\right\}^{1/2} \qquad \cdots\cdots(D.14)$$

D.2.3 为满足5.2中“试样为截面大体上均匀”，可采用 n 次等距离的尺寸测量，并对每个校正项分别作出估计。

参 考 文 献

[1] IEC 60028:1925 铜电阻的国际标准。

GB/T 3048.2—2007

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
电线电缆电性能试验方法
第2部分:金属材料电阻率试验
GB/T 3048.2—2007
*
中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045
网址 www.spc.net.cn
电话:68523946 68517548
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销
*
开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 31 千字
2008年3月第一版 2008年3月第一次印刷
*
书号:155066·1-30891

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533

GB/T 3048.2-2007