

ICS 77.040.99
H 21



中华人民共和国国家标准

GB/T 351—2019
代替 GB/T 351—1995

金属材料 电阻率测量方法

Metallic materials—Resistivity measurement method

2019-03-25 发布

2020-02-01 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

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则编写。

本标准代替 GB/T 351—1995《金属材料电阻系数测量方法》，与 GB/T 351—1995 相比，除编辑性修改外主要技术内容变化如下：

- 修改了标准名称；
- 删除了跨线电阻和引线电阻的定义；
- 增加了电导率、导电率和直流电阻比率的定义及计算方法；
- 修改了生产检验为常规检验；
- 修改了常规检验的温度控制，由 10℃～35℃ 修改为 (20±5)℃；
- 修改了仲裁检验的温度控制，由 (20±5)℃ 修改为 (20±1)℃；
- 增加了长度测量工具游标卡尺；
- 增加了试验结果及计算的数值修约；
- 增加了常见导体夹持工装示意图(见附录 A)。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位：国家金属制品质量监督检验中心、首钢集团有限公司、中冶建筑研究总院有限公司、冶金工业信息标准研究院。

本标准起草人：王军、苏建锋、龚坚、王玉婕、郭淼、尹亚豪、石建锐、郭继飞、刘宝石、王文中。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 351—1995。



金属材料 电阻率测量方法

1 范围

本标准规定了金属材料电阻率测量的术语和定义、试验设备、试样、试验、试验结果及计算、试验记录和报告。

本标准适用于测量金属材料的体积电阻率、质量电阻率、电导率及直流电阻比率等电性能的测量。

本标准所提供的方法为测定标准条件下电阻率在 $0.01 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \sim 2.0 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 范围内的仲裁测量方法和常规测量方法。

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。

YB/T 081 冶金技术标准的数值修约与检测数值的判定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

单位长度电阻 resistance per unit length

在温度为 20°C 时,单位长度导体的电阻。

3.2

体积电阻率 volume resistivity

在温度为 20°C 时,单位长度、单位横截面积导体的电阻。

3.3

质量电阻率 mass resistivity

在温度为 20°C 时,单位长度、单位质量导体的电阻。

3.4

电导率 conductivity

用来描述物质中电荷流动难易程度的参数,数值等于电阻率的倒数。

3.5

导电率 conductivity percent IACS

以国际退火铜标准(简称 IACS)为基准,用来表示物质相对导电性能的参数,数值等于 IACS 规定的电阻率与相同单位试样电阻率之比乘以 100。

3.6

直流电阻比率 direct-current resistance ratio

同一试样的不同位置或同一试样同一位置的不同工艺在两次相同条件下,直流电阻测量结果的比值。

GB/T 351—2019

3.7

惠斯登电桥 Wheatstone bridge

为单臂电桥,测量电阻时只有两触点,称为两触点法。一般用于测量较高阻值的电阻。

3.8

凯尔文电桥 Kelvin bridge

为双臂电桥,测量电阻时有四个触点,称为四触点法。一般用于测量较低阻值的电阻。

3.9

电压端子 voltage terminal

采用四触点法时,为测定试样两端的电压差,用于夹紧试样的刀刃状夹具。

3.10

电流端子 current terminal

采用四触点法时,电流通过试样,用于压紧试样的螺钉固定式夹具。

4 试验设备

4.1 试样电阻小于 $10\ \Omega$ 时,采用凯尔文电桥;试样电阻不小于 $10\ \Omega$ 时,采用惠斯登电桥。也可使用符合 4.4 规定的其他仪器。

4.2 采用专用工装夹持试样时,电压端子的刀刃应锐利相互平行,且均垂直于试样轴线。常见导体夹持工装示意图见附录 A。

4.3 电压端子与相应的电流端子的间距不应小于试样横截面周长的 1.5 倍。

4.4 电桥测量系统总误差应不超过 $\pm 0.15\%$ 。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,测量电流导致试样发热引起的误差。

4.5 温度计:示值误差应不超过 $0.1\ ^\circ\text{C}$ 。

4.6 千分尺:最小分度值应不超过 $0.01\ \text{mm}$ 。

游标卡尺:最小分度值应不超过 $0.1\ \text{mm}$ 。

4.7 精密天平:最小分度值应不超过 $0.1\ \text{mg}$ 。

5 试样

5.1 试样应平直,当试样用手不能矫直时,可将试样置于木材、橡胶等软质材料平面上,用木锤或橡胶锤以轻微的力量矫直。

5.2 试样表面不应有目视可见长度大于 $1\ \text{mm}$ 的裂纹或疵点,以及油脂、锈蚀等污物,以保证接触良好。

5.3 为保证测量准确性,试样应与电桥、标准电阻等测量设备在相同环境下至少放置 $1\ \text{h}$ 。

5.4 试样标距长度宜不小于 $300\ \text{mm}$,其他尺寸应与测量设备相适应。

6 试验

6.1 温度控制

常规检验时应在 $(20 \pm 5)\ ^\circ\text{C}$ 下进行,并且在测量过程中温度保持稳定。

仲裁检验时应在 $(20 \pm 1)\ ^\circ\text{C}$ 下进行,并且在测量过程中温度保持稳定。

6.2 长度测量

在试验温度下测量试样长度 L_1 ,两电压端子间的标距长度 L_2 。

6.3 截面积计算

6.3.1 测量法

6.3.1.1 矩形截面的测量

矩形截面的试样,在试样标距范围内等距离选取 5 个测量点,在每点分别测量试样的厚度和宽度,取 5 处测量的算术平均值分别作为测量试样的厚度和宽度,按式(1)计算截面积:

$$A = h \cdot b \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

A ——试样的截面积,单位为平方毫米(mm^2);

h ——试样厚度的算术平均值,单位为毫米(mm);

b ——试样宽度的算术平均值,单位为毫米(mm)。

6.3.1.2 圆形截面的测量

圆形截面的试样,在试样标距范围内等距离选取 5 个测量点,在每点以互相垂直的两个方向测量其直径,取 5 处 10 个测量值的算术平均值作为测试试样的平均直径,按式(2)计算截面积:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

A ——试样的截面积,单位为平方毫米(mm^2);

π ——圆周率,取值为 3.142;

d ——试样直径的算术平均值,单位为毫米(mm)。

6.3.2 称重法

对于不具有简单截面的试样,或直接测量并计算出的截面积误差不满足表 1 的规定时,截面积应采用称重法按式(3)计算:

$$A = \frac{m}{L_1 \cdot d_s} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

A ——试样的截面积,单位为平方毫米(mm^2);

m ——试样质量,单位为克(g);

L_1 ——试样长度,单位为毫米(mm);

d_s ——试样的密度,单位为克每立方毫米(g/mm^3)。

试样的密度未知时,采用在静水中称量测定其密度。消除试样表面所吸附的气体、油污等,采用分度值为 0.1 mg 的精密天平分别称量试样在空气和静水中的质量。空气中称量时,挂线的延长部分应浸入静水中,以消除表面张力的影响,挂线直径应尽可能小,超过 0.05 mm 时,应用 2 倍直径的挂线进行 2 次称量,两次的质量差应不超过试样在静水中视在质量的 $\pm 0.01[d_L/(d_s - d_L)]\%$ 。水的温度应与试验室环境温度相同,同时防止空气对流对称量结果的影响。试样密度按式(4)计算:

$$d_s = \frac{m_A d_L - m_L d_A}{m_A - m_L} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

d_s ——试样的密度,单位为克每立方毫米(g/mm^3);

m_A ——试样在空气中测定的视在质量,单位为克(g);

GB/T 351—2019

d_L ——测量时所用水的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

m_L ——试样在静水中测定的视在质量,单位为克(g);

d_A ——空气的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

6.4 电流的选择

在满足检测系统灵敏度的前提下,应尽量选择较小的测试电流,以减小试样的升温。先选用一个初始电流测量电阻,然后将初始电流增大 40% 再次测量,若两次测试电阻的变化量超过初次电阻值的 0.06%,则认为电流过大,试验无效,应选择更小的测试电流。

6.5 电阻的测量

采用电桥测量时,闭合电流后,检流计上基本观察不到冲击,即达到平衡,方可读数;若采用其他仪器测量时,应待数值稳定后方可读数。为消除由于接触电势和热电势引起的测量误差,应使电流正反向测量一次,取两次读数的算术平均值作为测量结果。同一试样,应重复测量 5 次,取其算术平均值作为最终结果。

6.6 测量误差

各项测量误差应符合表 1 的规定。

表 1 允许测量误差

参 数	仲 裁 检 验	常 规 检 验
标距长度 L_2	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.10\%$
电阻	$\pm 0.15\%$	$\pm 0.30\%$
截面积	$\pm 0.15\%$	$\pm 0.50\%$
截面积计算(已知密度时):		
空气中的质量	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.10\%$
试样长度 L_1	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.20\%$
试样密度	$\pm 0.12\%$	$\pm 0.45\%$
截面积计算(未知密度时):		
空气中的质量	$\pm 0.04 \frac{d_L}{d_s} \%$	$\pm 0.30 \frac{d_L}{d_s} \%$
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	$\pm 0.04\% (0.1\text{ }^\circ\text{C})$	$\pm 0.15\% (0.4\text{ }^\circ\text{C})$
温度校准	$\pm 0.04\%$	$\pm 0.15\%$
总误差:		
标准温度电阻	$\pm 0.20\%$	$\pm 0.40\%$
单位长度电阻	$\pm 0.20\%$	$\pm 0.40\%$
体积电阻率	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.65\%$
质量电阻率	$\pm 0.20\%$	$\pm 0.45\%$
电导率	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.65\%$
导电率	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.65\%$
直流电阻比率	$\pm 0.20\%$	$\pm 0.40\%$

7 试验结果及计算

7.1 一般规定

本标准中规定的标准温度为 20℃,当环境温度偏离标准温度时,根据电阻及线性尺寸随温度变化,计算时应将温度 t 时测出的电阻值换算到标准温度 20℃时的电阻值。线性尺寸由于温差不大,且线性膨胀系数甚小,可忽略不计,即本标准中有关 L_1 、 L_2 的计算中,一律认为不随温度而变化。

7.2 标准温度电阻的计算

标准温度 20℃时试样标距长度上的电阻按式(5)计算:

$$R_{20} = \frac{R_t}{1 + \alpha_{20}(t - 20)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

R_{20} ——20℃时试样标距长度的电阻值,单位为欧(Ω);

R_t ——试验温度 t 时试样标距长度的实测电阻值,单位为欧(Ω);

α_{20} ——20℃时试样的电阻温度系数,单位为每摄氏度($1/^\circ\text{C}$),黑色金属材料其值为 0.004 55;

t ——试验时环境温度,单位为摄氏度($^\circ\text{C}$)。

7.3 单位长度电阻的计算

单位长度电阻按式(6)计算:

$$R_{L_{20}} = \frac{R_{20}}{L_2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$R_{L_{20}}$ ——20℃时试样的单位长度电阻,单位为欧每米(Ω/m);

R_{20} ——20℃时试样的电阻值,单位为欧(Ω);

L_2 ——20℃试样的标距长度,单位为米(m)。

7.4 体积电阻率的计算

体积电阻率按式(7)计算:

$$\rho_{20} = R_{20} \cdot \frac{A_{20}}{L_2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

ρ_{20} ——20℃时试样的体积电阻率,单位为微欧米或欧平方毫米每米($\mu\Omega \cdot \text{m}$ 或 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$);

R_{20} ——20℃时试样的电阻值,单位为欧(Ω);

A_{20} ——20℃时试样的截面积,单位为平方毫米(mm^2);

L_2 ——20℃时的标距长度,单位为米(m)。

7.5 质量电阻率的计算

质量电阻率按式(8)计算:

$$\delta_{20} = \frac{m}{L_1} \cdot \frac{R_{20}}{L_2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

δ_{20} ——20℃时试样的质量电阻率,单位为欧千克每平方米($\Omega \cdot \text{kg}/\text{m}^2$);

GB/T 351—2019

m ——试样的质量,单位为千克(kg);

R_{20} ——20 °C时试样的电阻值,单位为欧(Ω);

L_1 ——20 °C试样的总长度,单位为米(m);

L_2 ——20 °C试样的标距长度,单位为米(m)。

7.6 电导率的计算

标准温度 20 °C时试样的电导率按式(9)计算:

$$\sigma_{20} = \frac{1}{\rho_{20}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中:

σ_{20} ——20 °C时试样的电导率,单位为西门子每米(S/m);

ρ_{20} ——20 °C时试样的体积电阻率,单位为欧米($\Omega \cdot m$)。

7.7 导电率的计算

国际退火铜标准采用密度为 8.89 g/cm³、长度为 1 m、质量为 1 g、电阻为 0.153 28 Ω 的退火铜线作为基准。在 20 °C温度下,上述退火铜线的电阻率 0.017 241 $\Omega \cdot mm^2/m$ ($\mu\Omega \cdot m$)确定为 100 %IACS,其他材料的导电率按式(10)计算:

$$C_{20} = \frac{0.017\ 241}{\rho_{20}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

C_{20} ——20 °C温度下,国际退火铜标准导电率, %;

ρ_{20} ——20 °C时试样的体积电阻率,单位为欧米($\Omega \cdot m$)。

7.8 直流电阻比率的计算

标准温度 20 °C时试样的直流电阻比率按式(11)计算:

$$k_{20} = \frac{R_2}{R_1} \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

k_{20} ——20 °C时试样的直流电阻比率;

R_1 ——试样第一次测量的标准温度电阻,单位为欧(Ω);

R_2 ——试样第二次测量的标准温度电阻,单位为欧(Ω)。

7.9 数值修约

试验测量的结果应按照相关产品标准的要求进行修约,如产品标准无具体规定时,应按照 YB/T 081的规定进行修约。

8 试验记录和报告

8.1 试验记录一般应包括以下内容:

- a) 试样编号;
- b) 试样材料种类;
- c) 试样长度,标距长度;
- d) 试样质量;

- e) 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;
- f) 测量类型:仲裁检验或常规检验;
- g) 测量时的环境温度;
- h) 设备种类;
- i) 测量温度下试样的电阻值、算术平均值及平均电阻的标准偏差;
- j) 换算成标准温度电阻,单位长度电阻、体积电阻率或质量电阻率等;
- k) 如果采用称重确定截面积时,还应有试样空气中的质量、静水中的质量(若采用)、液体密度、试样密度,依此计算出的截面积。

8.2 试验报告一般应包括以下内容:

- a) 本标准编号;
- b) 试样标记(如试样直径、长度等);
- c) 测量条件(如测量温度等);
- d) 测量结果(单位长度电阻、体积电阻率或质量电阻率等);
- e) 其他必要的试验记录内容。



GB/T 351—2019

附录 A
(资料性附录)
常见导体夹持工装示意图

A.1 圆形或方形截面试样电压及电流测量端夹持工装示意图见图 A.1。

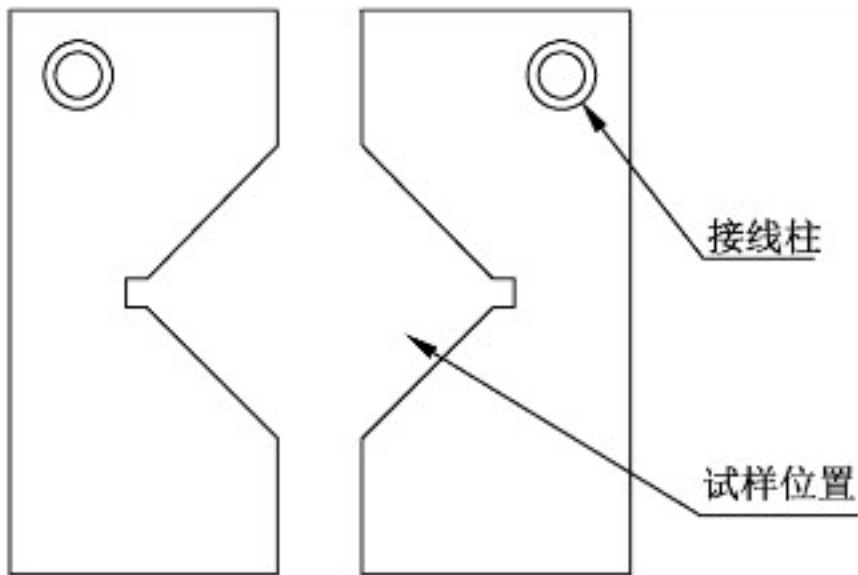


图 A.1 试样夹持工装

A.2 矩形截面试样电压及电流测量端夹持工装示意图见图 A.2。

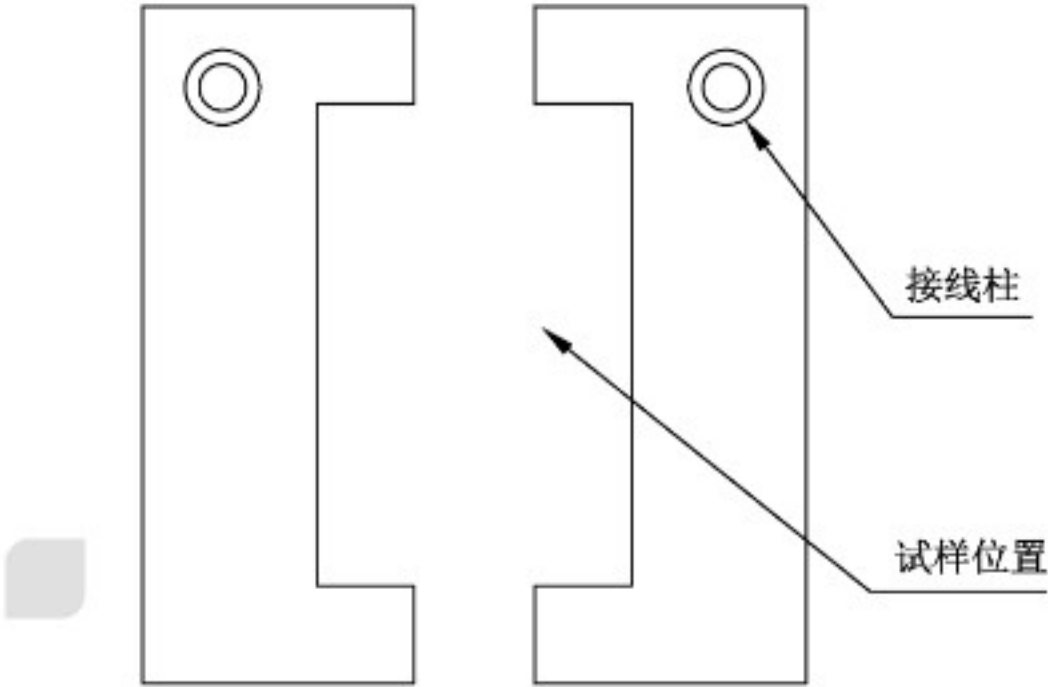


图 A.2 试样夹持工装
