

ICS 59.100.20

Q 50



团体标准

T/CSTM 00252-2020

碳纤维体积电阻率试验方法 四探针法

Test method for carbon fiber electrical resistivity by Four-probe method

2020-07-24 发布

2020-10-24 实施

中关村材料试验技术联盟

发布

前 言

本标准参照 GB/T1.1-2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容有可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国材料与试验团体标准委员会复合材料领域委员会（FC09）提出。

本标准由中国材料与试验团体标准委员会复合材料领域委员会（FC09）归口。

全 国 标 准 公 布 使 用
CSTM 标准公布使用

碳纤维体积电阻率试验方法 四探针法

1 范围

本标准规定了采用四探针法测量碳纤维复丝和单丝体积电阻率的原理、测量仪器、样品要求、试验条件、测量程序、结果的计算和试验报告等。

本标准适用于 1K~24K 各类碳纤维体积电阻率的测量，也可推广应用于导电类线材体积电阻率测量。模量大于 600GPa 的纤维不宜采用复丝电阻率测量方法，电阻率大于 $15\mu\Omega\cdot\text{m}$ 的纤维不宜采用单丝测量方法。

2 规范性引用文件

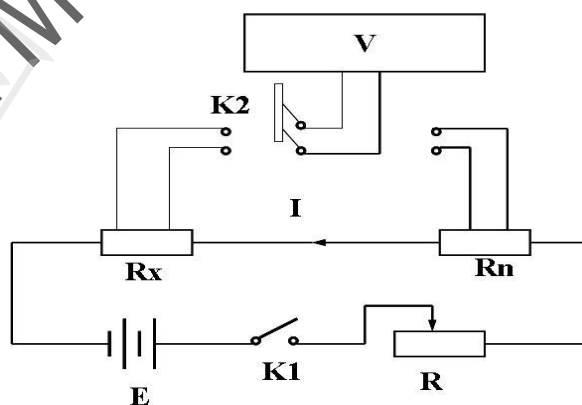
下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡注明日期的引用文件，仅注明日期的版本适用于本文件。凡未注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 7690.1 增强材料纱线试验方法第 1 部分：线密度的测定

GB/T 30019 碳纤维密度的测定

3 原理

体积电阻率由试样的电阻、试样的长度和横截面积计算得到。本标准电阻的测定采用四探针法，其测量原理见图 1，当恒定的直流电流同时通过样品和标准电阻时，通过双掷开关分别测量样品和标准电阻的电压降，由欧姆定律计算出样品的电阻值；或采用四探针法原理设计的数字欧姆表直接测量样品两端的电阻。当样品的横截面积和长度已知时，即可计算样品的体积电阻率。



说明：E—直流电源；

R_x—样品；

V—电压表；

R_n—标准电阻；

R—可变电阻
K2—双掷开关;
K1—单掷开关

图 1 测量原理示意图

4 测量仪器

4.1 直流电源

最高输出电压不低于 30V，输出电流不大于 2A，纹波电压不大于 10mV。

4.2 电压表

精度等级不低于 5%。量程 10mV~100V，内阻大于 10kΩ/V。

4.3 标准电阻

阻值为 1Ω 的标准电阻两件，精度等级不低于千分之一。

4.4 游标卡尺

测量范围不小于 200mm，可以是数显卡尺，也可以是非数显卡尺，精度为 0.01mm。如要实现自动化测量，应采用具有通讯功能的数显卡尺。

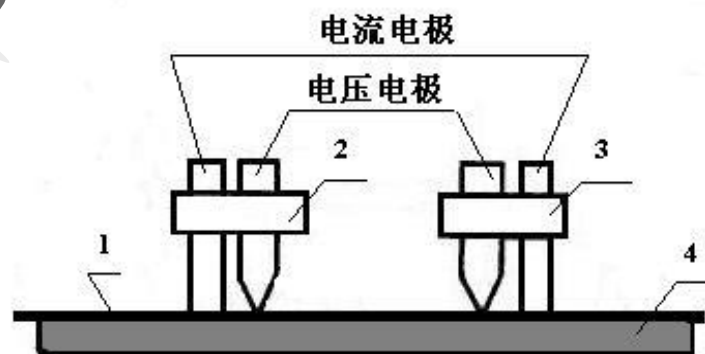
4.5 数字欧姆表

数字式欧姆表电阻分辨率不大于 10 $\mu\Omega$ ，测量量程不小于 2000Ω、精度等级不低于 1%，通电电流范围 1mA~1A，具备不同档的电流调节功能。

4.6 夹具和电极

4.6.1 测量碳纤维复丝体积电阻率

测量碳纤维复丝体积电阻率用夹具和电极推荐选用图 2 方式。用作电压端的刀型电极其刀口厚度为 0.1mm~0.2mm，刀口宽度推荐 8mm~10mm，材料为工业紫铜，刀架和垫板由电绝缘材料（可选用绝缘橡胶板）制成。一端夹具沿测量长度方向可自由移动。



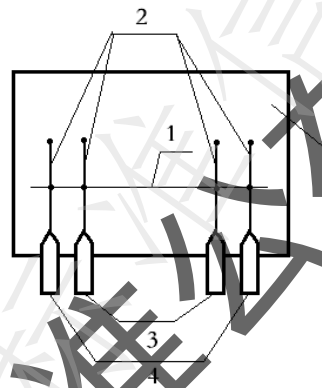
说明：

- 1—线材样品；
- 2—固定端夹具；
- 3—移动端夹具；
- 4—绝缘垫板

图 2 测碳纤维复丝体积电阻率用夹具和电极

4.6.2 测量碳纤维单丝体积电阻率

测量碳纤维单丝体积电阻率用夹具和电极推荐选用图 3 方式。图中导电金属丝一般采用纯度大于 99.9% 的纯银丝，用作电压电极和电流电极材料为导电金属材料，绝缘垫板可采用 PCB（Printed Circuit Board）电路板，两个电压电极接触的导电金属丝之间距离（即样品有效测量长度）宜选用 $25\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ，碳纤维单丝与纯银丝之间使用导电银浆粘连。



说明：

- 1—碳纤维单丝样品；
- 2—导电金属丝；
- 3—电压电极
- 4—电流电极；
- 5—绝缘垫板

图 3 测量碳纤维单丝体积电阻率用夹具和电极

5 样品要求

5.1 样品预处理

如果碳纤维样品的上浆剂含量大于 1% 时，宜将碳纤维复丝样品碳纤维两端浸泡于丙酮溶液中 24 h 以上（中段保留 100mm 左右不浸入溶液）去除上浆剂。碳纤维单丝样品原束丝整体放入丙酮溶液中浸泡 24 h 以上。取出样品后置红外灯下烘烤 30 min，再将样品置于烘箱中，在 $300^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ 下处理 2h~3h，自然冷却到室温，置于干燥器中备用。

5.2 取样

碳纤维复丝样品直接从缠绕架上剪取，有效样品数量不少于 3 件，每件长度不少于 300mm，不得有目视可见的擦伤、起毛和断丝等缺陷。

碳纤维单丝样品用尖头镊子从碳纤维束丝中逐根分离取出，有效样品数量不少于 5 件，每件长度不少于 50mm，不得有目视可见的弯折、重叠和变形等缺陷。

6 试验条件

通常室内温度宜保持 $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 。

7 测量程序

7.1 碳纤维复丝电阻测量

7.1.1 将样品置于图 2 所示的夹具之下，接触良好，保持平直，将电压电极引线和电流电极引线分别接入图 2 所示电路，调节两个刀型电压电极之间的有效测量长度在 50mm~200mm 之间，电极之间距离记作 L_0 。

7.1.2 分别测量样品和标准电阻的电压降记作 U_x 和 U_n （当采用数字欧姆表时，直接测量获得样品的电阻 R_x ）。

7.1.3 改变刀型电极之间距离 L_0 ，重复 7.1.2 要求不少于二次，注意改变刀型电极之间距离 L_0 时，不应使样品外表面造成可目测的损伤。

7.1.4 换一件样品，重复 7.1.1~7.1.3 要求，依次类推直到测完全部样品。

7.1.5 用公式(1)求出样品的电阻值。

$$R_x = \frac{U_x}{U_n} R_n \dots\dots\dots(1)$$

式中： R_x —样品的电阻值，单位为欧姆（ Ω ）；
 R_n —标准电阻的电阻值，单位为欧姆（ Ω ）；
 U_n —标准电阻的电压降，单位为伏特（V）；
 U_x —样品的电压降，单位为伏特（V）。

7.2 碳纤维单丝电阻测量及电镜样品制样

7.2.1 预热数字欧姆表或数字多用表，时间不少于 15min。

7.2.2 取一根单丝碳纤维样品放在 PCB 板上，垂直于银丝放置，将碳纤维单丝拉直。用胶带将纤维两端固定后，样品与银丝的交叉点处滴上导电银浆连接，如图 3。

7.2.3 放置至导电银浆固化。

7.2.4 把电压电极和电流电极用图 3 方式夹到相应的银丝上，保持良好接触。读取并记录数字欧姆表上的电阻值 R_x 。

7.2.5 用卡尺测量两电压电极之间的距离 L_0 。

7.2.6 剪取一小段导电胶带，把一段碳纤维样品从 PCB 板粘取下来，粘在在金属扫描电镜样品台侧面，注意碳纤维样品与样品台上表面保持垂直。

7.2.7 用镊子或手术刀把碳纤维样品从样品台分界处敲断，尽量使断面与样品台上表面齐平。
换一件样品，重复 7.2.2 ~7.2.7 要求，依次类推直到全部样品粘完。

8 结果的计算

8.1 碳纤维复丝截面积

可由线密度除以体积密度求得，线密度可采用 GB/T 7690.1 方法测得，体密度可采用 GB/T 30019 方法测得。

8.2 碳纤维单丝截面积

通过在扫描电子显微镜下获取各个碳纤维样品的截面照片，用图像处理软件计算出每个样品相应的截面积。

8.3 样品的体积电阻率计算

8.3.1 按公式(2)计算每件样品的体积电阻率：

$$\rho_{fi} = \frac{R_x A_f}{L_0} \dots\dots\dots(2)$$

式中： ρ_{fi} —样品的体积电阻率，单位为欧姆·米 ($\Omega \cdot m$)；

A_f —样品的截面积，单位为平方米 (m^2)；

L_0 —样品测量区的长度，单位为米 (m)；

R_x —复丝 R_x 见公式(1) 或采用数字欧姆表直接测量获得，单丝 R_x 由 7.2.4 测量获得。

8.3.2 碳纤维的体积电阻率为 3~5 件平行样品的算术平均值。碳纤维电阻率测试结果常用单位微欧·米 ($\mu\Omega \cdot m$)，保留三位有效数字。

9 精密度

本标准的复丝电阻率测量重复性精密度可达到 3%，单丝电阻率测量重复性精密度可达到 5%。

10 试验报告

试验报告应当包括但不限于下列内容：

- a) 识别样品、实验室和试验日期所需的全部资料；
- b) 引用标准；
- c) 结果及其表示；
- d) 测定中发现的异常现象；
- e) 对结果可能已产生影响的本标准中未作规定的各种操作或任选的操作。
- f) 试验人员、审核人员及日期。

附录 A (资料性附录)

本标准起草单位：航天材料及工艺研究所，先进功能复合材料技术重点实验室。

本标准主要起草人：陈聪慧、何凤梅、潘月秀、杨景兴、刘晓龙、朱世鹏、杨云华。

国家标准
CSTM标准公布使用