

中华人民共和国国家标准

GB/T 33328—2016

色漆和清漆 电导率和电阻的测定

Paints and varnishes—Determination of electrical conductivity and resistance

(ISO 15091:2012, MOD)

2016-12-13 发布

2017-07-01 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

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用重新起草法修改采用 ISO 15091:2012《色漆和清漆 电导率和电阻的测定》。

本标准与 ISO 15091:2012 相比存在技术性差异,这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(|)进行了标示,附录 A 中给出了相应技术性差异及其原因的一览表。

本标准还做了下列编辑性修改:

——修改了第 8 章中示例的表示形式,以表格形式列出;

——增加了附录 A(资料性附录)“本标准与 ISO 15091:2012 的技术差异及其原因”。

本标准由中国石油和化学工业联合会提出。

本标准由全国涂料和颜料标准化技术委员会(SAC/TC 5)归口。

本标准起草单位:中国船舶重工集团公司第七二五研究所、中海油常州涂料化工研究院有限公司、中航百慕新材料技术工程股份有限公司、深圳市宜丽家生态建材有限公司、浙江鱼童新材料有限公司、北京碧海舟腐蚀防护工业股份有限公司、上海一品颜料有限公司、中远关西涂料化工有限公司、广东美涂士建材股份有限公司、庞贝捷漆油贸易(上海)有限公司、广州标格达实验室仪器用品有限公司。

本标准主要起草人:陶乃旺、顾辉旗、刘月佳、吴少勇、杨亚良、王佳妮、赖广森、沈琴华、曾登峰、王俊、郭伟叶、叶庆峰、王崇武。

色漆和清漆 电导率和电阻的测定

1 范围

本标准规定了一种测定涂料电导率和电阻的方法。

本标准适用于含电泳涂料在内的水性色漆、清漆电导率的测定及溶剂型色漆、清漆电阻的测定。如有要求,涂料电阻率可通过这些测得的电导率或电阻计算得出。

有电场存在时,电导率会影响涂料的施工性,这对电泳涂料和静电施工的涂料尤为重要。

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 3186 色漆、清漆和色漆与清漆用原材料 取样(GB/T 3186—2006,ISO 15528:2000,IDT)

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法(GB/T 6682—2008,ISO 3696:1987,MOD)

GB/T 20777 色漆和清漆 试样的检查和制备(GB/T 20777—2006,ISO 1513:1992,IDT)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电阻 electrical resistance

R

导体两端的电压差与通过导体的电流的比值。

注:根据欧姆定律按式(1)计算电阻:

$$R = \frac{U}{I} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

R —— 电阻,单位为欧姆(Ω);

U —— 电压差,单位为伏特(V);

I —— 电流,单位为安培(A)。

电阻取决于导体的材料、几何形状(长度及横截面积)和温度。

3.2

电阻率 resistivity

ρ

每单位长度的单位横截面积的材料的电阻。

注:按式(2)计算电阻率:

$$\rho = R \times \frac{A}{l} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

ρ —— 电阻率,单位为欧姆米($\Omega \cdot m$);

R —— 电阻,单位为欧姆(Ω);

A —— 导体横截面积,单位为平方米(m^2);

l —— 导体长度,单位为米(m)。

GB/T 33328—2016

3.3

电导 conductance **G**

电阻的倒数。

注：按式(3)计算电导：

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中：

G ——电导,单位为西门子(S);

R ——电阻,单位为欧姆(Ω);

U ——电压差,单位为伏特(V);

I ——电流,单位为安培(A)。

3.4

电导率 electrical conductivity **γ**

电阻率的倒数。

注：按式(4)计算电导率：

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

γ ——电导率,单位为西门子每米(S/m);

ρ ——电阻率,单位为欧姆米($\Omega \cdot m$);

R ——电阻,单位为欧姆(Ω);

l ——导体长度,单位为米(m);

A ——导体横截面积,单位为平方米(m^2)。

3.5

电池常数 cell constant **c**

导体长度与导体横截面积的比值。

注：按式(5)计算电池常数：

$$c = \frac{l}{A} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中：

c ——电池常数,单位为每米(m^{-1});

l ——导体长度,单位为米(m);

A ——导体横截面积,单位为平方米(m^2)。

从式(2)和式(5)可以看出,电池常数是导电材料电阻与电阻率的比值。

若通过测量电阻来测定电阻率,则需要预先知道该测量装置的几何系数,如电池常数。

4 总则

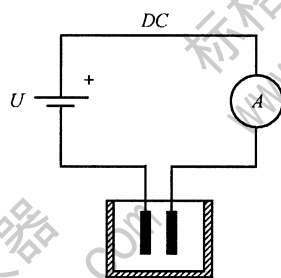
4.1 电阻测定

电阻可用以下方法测定：

——测量通过样品的电流和作用在样品上的电压；

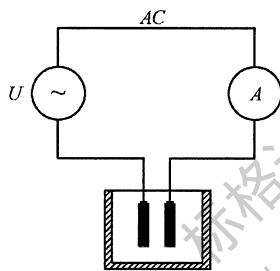
——将测得的电阻与参比电阻进行比较。

对于电流/电压测量,通常将一预先测定的恒定的电压作用在样品上,用合适的测量仪器测量电流(如动圈式电流计或数字电流计)。然后根据式(1)计算电阻。见图1、图2和图3。



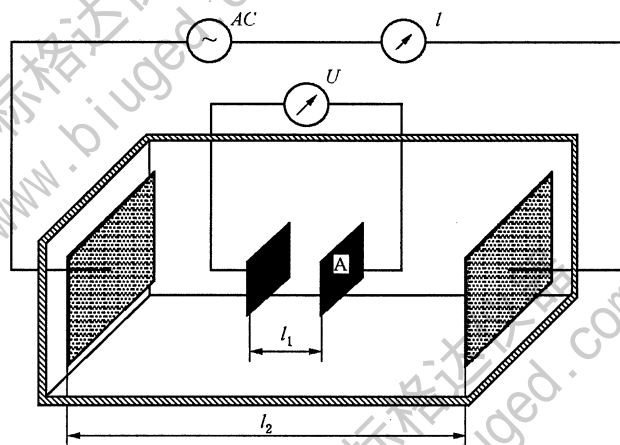
说明：
 U —— 直流电源；
 A —— 电流表。

图 1 直流电流测量



说明：
 U —— 交流电源；
 A —— 电流表。

图 2 交流电流测量——双电极装置



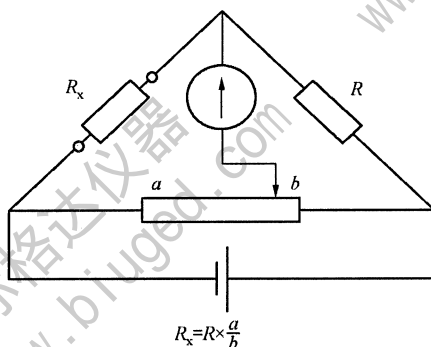
说明：
 AC —— 交流电源；
 U —— 电压表；
 I —— 电流表；
 l_1 —— 电压电极极板之间的距离；
 l_2 —— 电流电极极板之间的距离。

图 3 交流电流测量——四电极装置

用参比电阻比较样品电阻时，采用桥接电路以平衡电阻，使得桥接电流为零。样品电阻可根据桥接

GB/T 33328—2016

电路的电阻比计算。因为桥接电流为零,这避免了用电流/电压表测量时由于电压源负载造成的误差。全部测量误差都源于参比电阻的不确定性和可调电阻的不确定性。见图 4。



说明:

R_x —— 样品电阻;

R —— 参比电阻;

a, b —— 可调电阻。

图 4 惠斯通电桥

4.2 避免电解和极化效应

为避免电解/极化效应影响测量结果,通常用交变电流测量电阻。测试时,由于测试电池相当于电容,所以电压频率应尽可能低,以减小测试电池的电抗效应。

5 装置

5.1 测试仪器

使用按附录 B 中所述校准后的电阻或电导率测试仪。

5.2 测试电池

测试电池由相互绝缘的电极组成,且电池常数已知。电极应优先选择易清洁的惰性材料(如不锈钢、铂、石墨、钛),确保不会因电极变化而造成测量无效。合适的电极见图 5。测量时,确保测试电池完全浸没于液体中,浸没深度取决于电极类型。

选择合适形状的电池,以尽量减少被灰尘污染。



图5 测试电池示例

6 取样

按 GB/T 3186 规定,选择有代表性的样品进行测试。

按 GB/T 20777 规定,检查并制备测试样品。

7 步骤

7.1 测试条件

除另有规定外,试验温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。任何商定的温度其偏差不超过 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

电导率随试验温度变化见附录 C。

7.2 待测样品的黏度

样品进行测试时,其黏度通常与待用涂料的黏度相一致。

如有必要,使用经双方商定的稀释剂调整样品黏度。

7.3 测量次数

至少进行 3 次平行测试。

7.4 电阻或电导率的测定

取适量待测涂料样品,浸入电极,避免形成气泡。如有必要,试验前混匀样品。

测量前,检查电池清洁度,除去灰尘,将电池连接上测量仪器。使用直流测量仪如惠斯通电桥进行测量时,等待 10 s 待电压稳定后再读数。使用交流测量仪进行测量时,等待读数由时间双方商定。

使用连续测量的仪器进行测量时,应让读数至少稳定 20 s。

测试结束后,立即彻底清洗测试电池。

8 结果表示

计算至少 3 次测量的电阻或电导率平均值。如有需要,根据电阻或电导率测试,分别按式(2)或按

GB/T 33328—2016

式(4)计算电阻率。典型电阻率计算示例如下:

示例 1:根据电阻计算电阻率,见表 1。

表 1 电阻与电阻率的关系

项目	单位	数值
平均电阻值(R)	$M\Omega$	1.22
平均电阻值(R)	$k\Omega$	1 220
电池常数(c)	cm^{-1}	7.55×10^{-3}
电阻率(ρ)	$M\Omega \cdot cm$	161.6
电阻率(ρ)	$M\Omega \cdot m$	1.62

示例 2:根据电导率计算电阻率,见表 2。

表 2 电导率与电阻率的关系

项目	单位	数值
电导率平均值(γ)	$\mu S/cm$	1.375
电导率平均值(γ)	nS/cm	1 375
电池常数(c)	cm^{-1}	0.8
电阻率(ρ)	$M\Omega \cdot cm$	0.727
电阻率(ρ)	$M\Omega \cdot m$	0.007 27

9 精密度

精密度取决于测量方法、用于校准的参比材料及测试样品。一些典型的精密度数据见表 3。某些样品的电导率和电阻率示例见表 4。

表 3 典型精密度

电导率	电阻率	重复性(r)	再现性(R)
$>5 \mu S/cm$	$<200 k\Omega \cdot cm$	8% ^a	17% ^a
$\leq 5 \mu S/cm$ 且 $>0.062 5 \mu S/cm$	$\geq 200 k\Omega \cdot cm$ 且 $\leq 16 M\Omega \cdot cm$	无	无
$<0.062 5 \mu S/cm$	$>16 M\Omega \cdot cm$	12% ^b	70% ^b

^a 参见 ASTM D4399。
^b 参见 ASTM D5682。

表 4 某些样品的电导率和电阻率示例

试样	电导率(25 °C)	电阻率
GB/T 6682 所规定水	一级水	$\leq 0.1 \mu S/cm$
	二级水	$>0.1 \mu S/cm$ 且 $\leq 1 \mu S/cm$
	三级水	$>1 \mu S/cm$ 且 $\leq 5 \mu S/cm$
电泳涂料	$\geq 700 \mu S/cm$ 且 $\leq 2 000 \mu S/cm$	$\leq 1.43 k\Omega \cdot cm$ 且 $\geq 0.50 k\Omega \cdot cm$
溶剂型封闭漆	$\geq 1 nS/cm$ 且 $\leq 10 nS/cm$	$\leq 1 000 M\Omega \cdot cm$ 且 $\geq 100 M\Omega \cdot cm$

10 试验报告

试验报告至少应包含以下信息：

- a) 识别受试产品的所有必要的必要信息(生产商、产品名称、批号等)；
- b) 本标准编号；
- c) 测试温度；
- d) 样品稀释时所用溶剂；
- e) 测量仪器和测试电池的详细信息；
- f) 测试结果,如第 8 章所示；
- g) 与规定测试方法不同的任何偏离；
- h) 在测试过程中观察到的任何异常；
- i) 测试日期。

附 录 A
(资料性附录)

本标准与 ISO 15091:2012 的技术性差异及其原因

表 A.1 给出了本标准与 ISO 15091:2012 的技术性差异及其原因的一览表。

表 A.1 本标准与 ISO 15091:2012 的技术性差异及原因

本标准的章条编号	技术性差异	原因
1	删除了“本方法适用于测定电导率小于 $5 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、对应的电阻率大于 $200 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ 的涂料产品。”	扩大标准的使用范围,可以涵盖所有的涂料
2	规范性引用文件中“ISO 1513”改为与之对应的我国文件“GB/T 20777”,规范性引用文件中“ISO 3696”改为与之对应的我国文件“GB/T 6682”,规范性引用文件中“ISO 15528”改为与之对应的我国文件“GB/T 3186”	采用国家标准使用更方便
3	增加了对公式中符号的说明	进一步对公式的说明,更符合国家标准编写的要求
3.1	删除了单位的计算公式	单位的计算公式已经在公式的解释中说明,更符合国家标准编写的要求
3.3	删除了单位的计算公式	单位的计算公式已经在公式的解释中说明,更符合国家标准编写的要求
4.1	增加了对图的说明	进一步对图符号的说明,更符合国家标准编写的要求
B.1.2	增加了对公式中符号的说明	进一步对公式的说明,更符合国家标准编写的要求
附录 C	增加了对公式、图中符号的说明	进一步对公式、图符号的说明,更符合国家标准编写的要求

附录 B
(规范性附录)
校准

B.1 校准电极

B.1.1 方法 A: 采用参比材料校准

使用合适的参比材料,其电导率测试范围应包含待测样品。参比材料电导率的不确定度应加以考虑。表 B.1 是可用于校准的一系列氯化钾水溶液电导率。

表 B.1 氯化钾水溶液电导率

氯化钾浓度 mol/kg	25 °C 电导率 μS/cm	标准测量不确定度 %
1	108 620.00 ^a	±0.04 ^a
0.1	12 824.60 ^a	±0.04 ^a
0.01	1 408.23 ^a	±0.03 ^a
0.001	4 671 ^b	±0.30 ^b
0.000 1	1 600 ^b	±3.0 ^b

^a 见参考文献[1]。
^b 受到二氧化碳影响,浓度较低,不确定度增加。

校准片状电极和柱状电极时,所用电导率测量仪的测量范围必须在参比材料电导率范围内。
方法 A 不适合测定电阻小于等于 200 kΩ 的材料。

B.1.2 方法 B: 测定电池常数

通过测定电池的几何形状,片状电极中片间距及片面积,按式(B.1)来计算片状电极的电池常数,柱状电极中柱直径及柱高度,按式(B.2)来计算柱状电极的电池常数。

示例:

片状电极的电池常数(c),单位为每米(m^{-1}):

$$c = \frac{l}{A} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

c ——片状电极电池常数,单位为每米(m^{-1});

l ——导体长度,单位为米(m);

A ——导体横截面积,单位为平方米(m^2)。

柱状电极的电池常数(c),单位为每米(m^{-1}):

$$c = \frac{\ln(r_e/r_i)}{2 \pi h} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

c ——柱状电极电池常数,单位为每米(m^{-1});

r_e ——柱的半径,单位为厘米(cm);

r_i ——内柱的半径,单位为厘米(cm);

π ——3.142;

h ——柱高,单位为米(m)。

该校准方法的不确定度约为±2.5%。

B.2 测量仪器校准(无电极)

用参比电阻对测阻仪进行校准,或由仪器制造商校准。

附录 C
(规范性附录)

电导率与测量温度的相关性

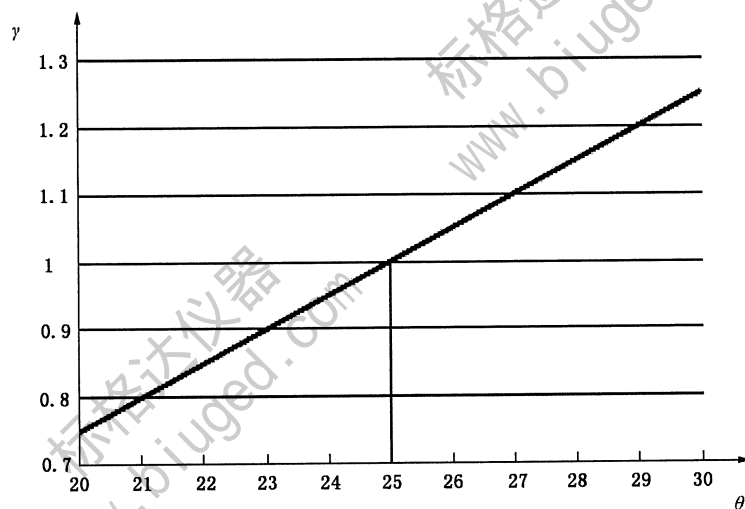
温度对电导率测量的影响按式(C.1)来计算:

$$\gamma_{\theta} = \gamma_T \times \left[1 + \frac{\alpha}{100} \times (\theta - T) \right] \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- γ_{θ} —— θ 温度下测得的电导率,单位为微西门子每厘米($\mu\text{S}/\text{cm}$);
- γ_T —— 参考温度下的电导率,单位为微西门子每厘米($\mu\text{S}/\text{cm}$);
- α —— 电导率的温度系数,单位为每摄氏度($^{\circ}\text{C}^{-1}$);
- θ —— 测量温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- T —— 参照温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$).

在 $T=25^{\circ}\text{C}$ 、 $\gamma_T=1\text{nS}/\text{cm}$ 、 $\alpha=5\%/^{\circ}\text{C}$ 条件下,图 C.1 为该相关性示例:



说明:

- θ —— 测量温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- γ —— 电导率,单位为纳西门子每厘米(nS/cm).

图 C.1 电导率随测量温度变化关系图

参 考 文 献

- [1] Pure Appl. Chem., Vol.73, No.11, pp.1783-1793, 2001
 - [2] ISO 7888 Water quality—Determination of electrical conductivity
 - [3] ASTM D4399 Standard Test method for measuring electrical conductivity of electrocoat Baths
 - [4] ASTM D5682 Standard test methods for electrical resistivity of liquid Paint and related materials
-