

团 体 标 准

T/CFA 0106013—2024

熔模铸造硅溶胶涂料性能检测方法

Test method for performance of investment casting sol-silicon coatings

公告稿

2024-08-08 发布

2024-10-08 实施

中国铸造协会 发布

目 次

前言.....II

引言.....III

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语与定义.....1

4 硅溶胶涂料性能检测.....2

 4.1 硅溶胶涂料粘度的测定.....2

 4.2 硅溶胶涂料密度的检测.....4

 4.3 硅溶胶涂料涂层厚度的检测.....4

 4.4 硅溶胶涂料 pH 值的检测.....7

 4.5 硅溶胶涂料温度的检测.....7

 4.6 硅溶胶涂料胶体总固含量的检测.....8

 4.7 硅溶胶涂料粉液比的检测.....8

 4.8 硅溶胶涂料流动长度的检测.....10

图 1 Zahn (詹氏)杯组成示意图.....2

图 2 涂料粘度测量计时点位示意图.....3

图 3 中国标准杯图.....3

图 4 读取涂料液位时示意图.....4

图 5 不锈钢涂片结构尺寸示意图.....5

图 6 中温蜡料涂片结构尺寸示意图.....6

图 7 涂料流动长度测试装置示意图.....11

图 8 流动性测试仪流槽截面图.....11

图 9 玻璃移液管示意图.....11

表 1 4#/5# Zahn (詹氏) 杯规格.....2

前 言

本文件按照GB/T 1.1 --2020《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写规则》给出的规定起草。

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

本文件与现行行业标准《熔模铸造涂料 试验方法》（JB/T 4007-2018）的差异：

——增加了术语与定义；

——增加了硅溶胶涂料厚度、涂料温度、涂料PH值、涂料粉液体积比和涂料流动长度等 5 个检测项目，及相应的检测方法；

——增加了涂料性能检测过程中的操作要求；

——提高了涂料粘度检测误差的精度等。

——删除了水玻璃粘结剂和水玻璃涂料、硅酸乙酯粘结剂和硅酸乙酯涂料、硅溶胶粘结剂以及硅溶胶涂料菌落含量测定；

本文件由中国铸造协会精密铸造分会提出。

本文件由中国铸造协会归口。

本文件起草单位：惠州市吉邦精密技术有限公司、无锡鹰普（中国）有限公司、河北润木铸造材料有限公司、东营嘉扬精密金属有限公司、泰州鑫宇精工股份有限公司、石家庄盛华企业集团有限公司、河北光德精密机械股份有限公司、中国航发南方工业有限公司、嘉善鑫海精密铸件有限公司、江苏红阳全月机械制造有限公司、江苏中超航宇精铸科技有限公司、浙江遂金特种铸造有限公司、武汉中精科技有限公司、广东惠尔特纳米科技有限公司、临沂市科翰硅制品有限公司、攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司。

本文件主要起草人：张 兵、周象岱、吴军武、颜 宏、李彦平、段继东、荆 剑、靳 松、李 强、胡 兵、蔡稷惟、李文权、凌李石保、张志峰、刘 钢、王国顺、康利彬、贺同正。

本文件为首次发布。

引 言

“制壳”是熔模铸造生产中最重要工序之一。铸件的废品和返修品中有较高的因素，是型壳质量不能满足要求而造成的；而影响型壳质量的关键因素之一，是生产中对涂料的性能控制不当造成的。

随着用户对铸件质量要求的不断提高，企业环保意识的增强，硅溶胶涂料不仅能够满足铸件质量的要求；而且满足环保要求，符合绿色铸造。

涂料的工艺性能：较好的流动性、适当的覆盖性、较高的致密性、较好的稳定性、良好的均匀性和较高的悬浮性。

本文件具有以下优点：

1、本标准增加完善了熔模铸造硅溶胶涂料性能检测的项目，会更有利的保证了涂料的性能，从而保证了铸件质量，减少废品率，降低生产成本。

2、本标准根据涂料性能的变化趋势增加了检测频率、提供了有关的检测精度，既可以有效保证涂料质量，又可以减少不必要的检测时间。

在确定本文件主要技术指标时，综合考虑了生产企业能力和用户利益，寻求最大的经济和社会效益。

熔模铸造企业使用硅溶胶涂料，有利于实现“两高两低”，即高的生产效率和高的铸件质量，低的能耗和低的污染，有利于熔模铸造企业实现优质、高效、低耗、环保的绿色铸造生产。

熔模铸造硅溶胶涂料性能检测方法

1 范围

本文件规定了熔模铸造硅溶胶的术语与定义和硅溶胶涂料性能检测的方法，提出了粘度、密度、厚度、pH 值、温度、胶体总固含量、粉液比和流动长度等性能检测项目，以及检测仪器、检测流程和操作要求。

本文件适用于熔模铸造硅溶胶的面层涂料、过渡层涂料和背层涂料的性能检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件。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。

HB 5351 熔模铸造涂料性能试验方法

JB/T 4007-2018 熔模铸造涂料试验方法

QJ 1428 热处理炉温控制与测量

3 术语定义

下列术语与定义适用于本文件。

3.1

粘度 viscosity

是定量涂料在标准流杯中通过的时间秒数，亦称为涂料的流杯粘度。

3.2

密度 density

是单位容积内涂料的质量数。

3.3

涂层厚度 coating thickness

是介质在涂料中浸涂时，涂料在介质的光滑表面上覆盖和留存的平均厚度。

3.4

pH 值 pH

是指涂料中液体和固体混合后的实际酸碱值。

3.5

温度 temperature

是指在使用中涂料的实际冷热程度。

3.6

硅溶胶总固含量 the total solid content of silica

是指从涂料分离出的硅溶胶中总固体的质量含量。

3.7

粉液比 filler ratio

是指涂料中固体和液体的含量比值。按照统计的项目不同,又可以分为粉液质量比和粉液体积比。

注 1: 粉液质量比是涂料中粉体物料和液体物料的质量比值。

注 2: 粉液体积比是涂料中粉体物料和液体物料的体积比值。

3.8

流动长度 flow length

是定量的涂料滴在专用的检测仪器上,克服接触面的摩擦力和自身的表面张力后,流动距离的长度值。

4 硅溶胶涂料性能检测

4.1 硅溶胶涂料粘度的测定

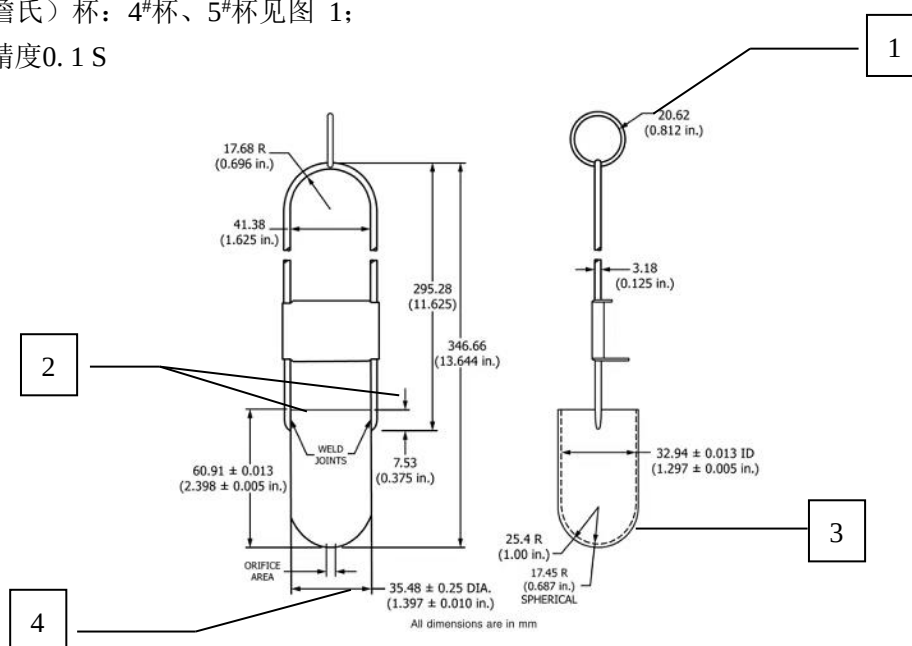
4.1.1 Zahn (詹氏) 流杯法

4.1.1.1 测定仪器

应配置的仪器有:

——Zahn (詹氏) 杯: 4[#]杯、5[#]杯见图 1:

——秒表：精度0.1 S



1:拉环 2:支撑杆 3:杯身 4:流孔

图 1 Zahn (詹氏)杯组成示意图

表 1 4[#]/5[#] Zahn (詹氏) 杯规格

规格	容积/ml	出口孔径/mm
4#	44	4.27+0.0076/-0.0051
5#	44	5.28+0.0076/-0.0051

4.1.1.2 检测流程

4.1.1.2.1 检测前应目视检查Zahn(詹氏)杯外观,应保持杯身干净,尤其是杯腔和出口部位。

4.1.1.2.2 应将Zahn(詹氏)杯放在涂料中来回提升、浸入(2~3)次,使其温度与涂料温度接近,并使表面充分被涂料润湿。

4.1.1.2.3 应将秒表置零,然后将Zahn(詹氏)杯置于涂料桶中间位置,杯底浸入的深度应为(100~200)mm,再平稳垂直向上提出涂料液面。

4.1.1.2.4 在Zahn(詹氏)杯杯底面离开涂料液面的瞬间开始计时,目视观察到涂料在杯底约10mm处出现第一个断点时则应停止计时,如图2所示,并记录流出时间的秒数(读取的秒数代表所测定位置的粘度值)。

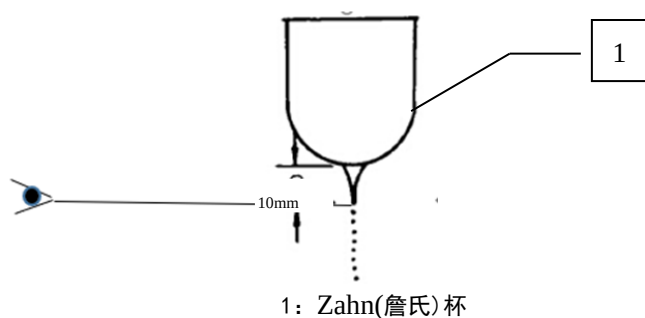


图2 涂料粘度测量计时点位示意图

4.1.1.2.5 应至少重复测量3次,连续测量结果的误差不应超过5%后,取平均值进行计算。

4.1.1.2.6 检测完毕后应立即用水清洁Zahn(詹氏)杯,并保持干燥。

4.1.2 操作要求

4.1.2.1 待检测粘度性能的涂料应充分的搅拌均匀,保证纯净无杂质(无蜡屑,粉团或砂粒等)。

4.1.2.2 检测时应准备两支Zahn(詹氏)杯,一支用于涂料性能检测,一支用于定期校准检测杯;发现校准杯与检测杯误差超过5%,则应更换检测杯。

4.1.3 标准流杯法

标准流杯法应按JB/T 4007 的规定执行,中国标准杯见图3。

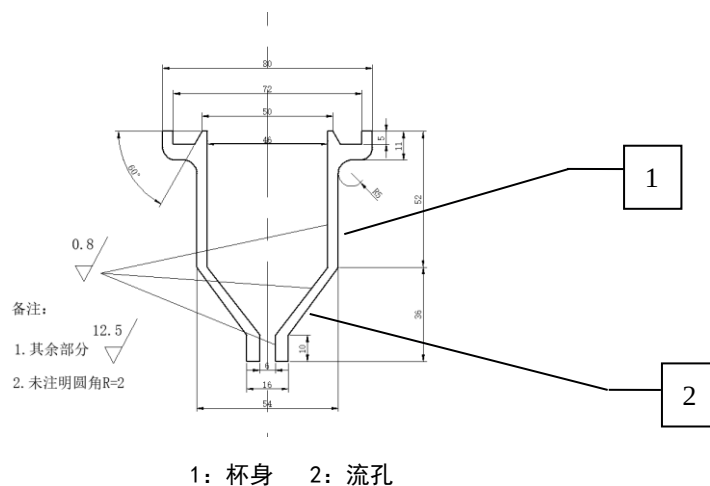


图3 中国标准杯示意图

4.2 硅溶胶涂料密度的检测

4.2.1 测定仪器

对进行密度测定应配置的仪器有：

- 容量瓶：100 ml （口径：20mm）
- 带柄烧杯：250 ml
- 电子天平：精度 0.01 g

4.2.2 检测流程

4.2.2.1 检测前应目视检查容量瓶外观，保证洁净及干燥，并置于电子天平称取质量 W_1 ，称量值应精确到 0.01 g。

4.2.2.2 应用清洁、干燥的烧杯取（120~150）ml的涂料，立即小心倾倒至上述称量过的容量瓶中，涂料液面的最低端与容量瓶的 100 ml刻度应平齐。

4.2.2.3 应清除瓶外溢出物，称取质量 W_2 ，称量值应精确到 0.01 g；并应按式 1 计算密度 ρ ：

$$\rho = \frac{W_2 - W_1}{V} \dots\dots\dots (式1)$$

式中：

- ρ —涂料密度，单位为 g/ml；
- W_1 —容量瓶的质量，单位为g；
- W_2 —涂料与容量瓶的总质量，单位为g；
- V —容量瓶的容积，单位为 ml。

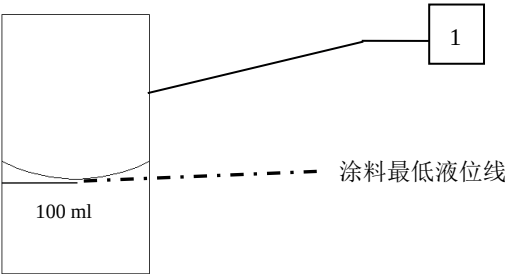
4.2.2.4 应至少重复检测 3 次，并且连续检测的误差不应超过 5 %后，取平均值。

4.2.2.5 检测后应用清水清洗容量瓶，并保持干燥。

4.2.3 操作要求

4.2.3.1 应选用口径 20 mm的 100 ml容量瓶（钢铁元素分析用）。

4.2.3.2 读取涂料液位时应保持眼睛与液面平齐，读取液位时应目视涂料液面最低端与容量瓶 100 ml 刻度平齐，见图 4。



1：容量瓶
图 4 读取涂料液位时示意图

4.3 硅溶胶涂料涂层厚度的检测

4.3.1 不锈钢涂片检测法

4.3.1.1 测量仪器

涂片检测应配置的装置或材料有：

- 不锈钢涂片(见图 5)：(60×60×2) mm，粗糙度Ra 0.8~Ra 1.6(喷砂处理)，孔径 2 mm；
- 电子天平：精度 0.01 g；
- 秒表：精度 0.1s；
- 纸质垫板。

4.3.1.2 检测流程

4.3.1.2.1 开启电子天平后，应垫敷纸质垫板并置零，称取洁净、干燥的不锈钢涂片的质量 M_1 ，称重值应精确到 0.01 g。

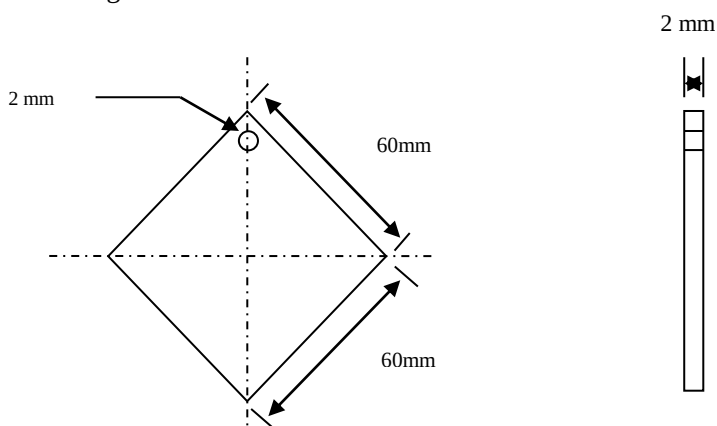


图 5 不锈钢涂片结构尺寸示意图

4.3.1.2.2 应将涂片缓缓的浸入到涂料中，并反复提升2~3次，以保证涂片被充分润湿后再浸入涂料中，深度应以刚刚没过涂片顶端为准，保持 10s后缓缓提出。

4.3.1.2.3 提出的涂片应置于涂料上方保持静止，使多余的涂料滴落，保持一定时间后（等同于实际控浆时间），称取涂片的质量 M_2 ，称重值应精确到 0.01 g，并按式 2 计算涂料的涂层厚度：

$$T = \frac{M_2 - M_1}{S \times \rho} \quad \dots\dots\dots (式2)$$

式中：

T—涂层厚度，单位为mm；

M_1 —不锈钢涂片的质量，单位为g；

M_2 —涂料与不锈钢涂片的总重，单位为g；

S—不锈钢涂片(60×60×2)的表面积，单位为mm²；

ρ —涂料的密度，单位为g/mm³。

4.3.1.2.4 应至少重复检测 3 次，并且连续检测的误差不应超过 5 %后，取计算平均值。

4.3.1.2.5 检测后应用清水清洗不锈钢涂片并保持干燥，不允许擦拭。

4.3.2 中温蜡料涂片检测法

4.3.2.1 测量仪器

应配置的装置或材料有：

- 中温蜡料涂片（见图 6）：（100×100×6）mm；
- 电子天平：精度 0.01 g；
- 秒表：精度 0.1s；
- 纸质垫板。

4.3.2.2 检测流程

4.3.2.2.1 开启电子天平后应垫敷纸质垫板并置零，称取洁净、干燥的中温蜡涂片的质量 M_1 ，称重值应精确到 0.01 g。

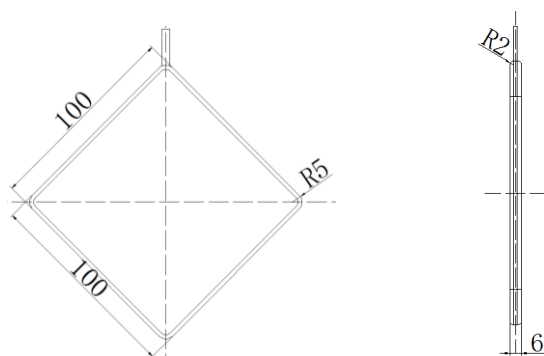


图 6 中温蜡料涂片结构尺寸示意图

4.3.2.2.2 应将涂片缓缓的浸入到涂料中，并反复提升（2~3）次，以保证涂片被充分润湿，然后浸入涂料中，深度应以刚刚没过涂片顶端为准，保持 10s后缓缓提出。

4.3.2.2.3 提出的涂片应置于涂料上方保持静止，使多余的涂料滴落，保持一定时间后（与实际控浆时间等同），称取涂片的质量 M_2 ，称重值应精确到 0.01 g，并应按照式 3 计算涂料的涂层厚度：

$$T = \frac{M_2 - M_1}{S \times \rho} \dots\dots\dots (\text{式3})$$

式中：

T—涂层厚度，单位为mm；

M_1 —中温蜡涂片的质量，单位为g；

M_2 —涂料与中温蜡涂片的总质量，单位为g；

S—中温蜡涂片（100×100×6）mm的表面积，单位为mm²；

ρ —涂料的密度，单位为g/mm³。

4.3.2.2.4 应至少重复检测 3 次，并且连续检测的误差不应超过 5 %后，取平均值。

4.3.2.2.5 检测后应用清水清洗中温蜡料涂片。

4.3.3 操作要求

4.3.3.1 涂料中应含有湿润剂和消泡剂，以保证涂料涂覆均匀，且不应有气泡。

4.3.3.2 不锈钢涂片应定期复检表面粗糙度，应符合 4.3.1.1 要求。

4.4 硅溶胶涂料 pH 值的检测

4.4.1 测量仪器

应配置的装置或材料有：

- 离心试管；
- 离心机；
- 带柄烧杯；
- pH测试仪：精度 0.01；
- 复合电极；
- 校准缓冲液：pH=9.18，pH=6.86。

4.4.2 检测流程

- 4.4.2.1 用多个离心试管各装 50 ml 的涂料，应把其平衡放入离心机中，以不小于 3000 rpm 的转速旋转 30min。
- 4.4.2.2 另取 2 个试管，把离心后的各试管中的液体部分均匀地倒入，再次平衡放入离心机，以不小于 3000 rpm 的转速再旋转 30min。
- 4.4.2.3 把两次离心后的上清液部分倒入带柄烧杯里，以备测量。
- 4.4.2.4 将复合电极连接至 pH 测试仪，开机后分别用 pH=9.18 的校准缓冲液和 pH=6.86 的校准缓冲液对电极进行校准。
- 4.4.2.5 校准合格后应调整至测量模式，将电极浸入到上清液的正中央，浸入涂料的深度应以没过电极的有效测量部位为准，保持 20s~30s。
- 4.4.2.6 应待显示的 pH 数值稳定后读取数值，数值精确到 0.01。
- 4.4.2.7 应至少重复检测 3 次，且连续检测的误差不应超过 5 % 后，取平均值进行计算。

4.4.3 操作要求

- 4.4.3.1 应选用固定型号的电极以保证测量精确度；
- 4.4.3.2 电极不用时，应将电极浸泡于标准氯化钾（KCl）溶液中，以保证电极的检测精度。

4.5 硅溶胶涂料温度的检测

4.5.1 测量仪器

应配置的装置或材料有：

- 数显浸入式电子温度计：测量量程（0~50）℃，分辨率 0.1 ℃。

4.5.2 检测流程

- 4.5.2.1 应目视检查温度计的感温偶头和显示部位，无问题后将偶头分别浸入到涂料中央部位和左右两侧，浸入的深度应以没过感温偶头的有效感测部位为准，保持 5s~10s。
- 4.5.2.2 应待显示温度趋于稳定后读取数值，三点温度取平均值进行计算，取值精确至 0.1 ℃。
- 4.5.2.3 应至少重复检测 3 次，且连续检测的误差不能超过 5 % 后，取平均值进行计算。
- 4.5.2.4 检测后应用蒸馏水清洗浸入式感温偶头后擦拭存放。

4.5.3 操作要求

- 4.5.3.1 所测量的涂料应保证充分搅拌均匀。
- 4.5.3.2 电子温度计和浸入式感温偶头应定期进行校验，以保证数据的准确性。

4.6 硅溶胶涂料胶体总固含量的检测

4.6.1 测量仪器

应配置的装置或材料有：

- 离心机；
- 离心试管；
- 坩埚；
- 可密封清洁干燥容器；
- 电子天平：精度 0.0001 g；
- 加热炉。

4.6.2 检测流程

- 4.6.2.1 取多个离心试管各装 50 ml的涂料，应把其平衡放入离心机中，以不小于 3000 rpm的转速旋转 30min。
- 4.6.2.2 再取 2 个试管，把离心过的试管中的液体均匀地倒入，并再次平衡放入离心机中，以不小于 3000 rpm的转速再次旋转 30min。
- 4.6.2.3 将坩埚置于加热炉中，在（800～850）℃灼烧 90min。
- 4.6.2.4 从离心过的试管中取（2±0.0001）g液体试样置于坩埚中，然后放在密封清洁干燥容器中，在（105～110）℃的温度下烘干。
- 4.6.2.5 将坩埚连带烘干后的试样置于加热炉中，在（800～850）℃的温度下灼烧 90min。
- 4.6.2.6 取出加热炉中的物体称重。涂料中胶体总固含量应以总固的质量分数W计数，应按式 4 进行计算，数值以质量百分数表示。

$$W = \frac{M_1}{M_2} \times 100\% \dots\dots\dots (式4)$$

式中：

- W—涂料胶体总固含量；
- M₁—灼烧后残渣的质量，单位为g；
- M₂—取样质量，单位为g。

- 4.6.2.7 取平行测定结果的算术平均值为测量结果，两次平行测定结果的绝对差值不应大于 0.1 %。

4.6.3 操作要求

加热炉宜参考 QJ 1428 规定管理维护。

4.7 硅溶胶涂料粉液比的检测

4.7.1 硅溶胶涂料粉液质量比检测

4.7.1.1 测定所需的装置或材料

电子称：分度值 5 g。

4.7.1.2 检测流程

4.7.1.2.1 应用电子称称取待调配涂料所用的所有粉料，求和得出粉料质量 $M_{\text{粉}}$ ，并做好记录。

4.7.1.2.2 应用电子称称取待调配涂料所用的所有液体，求和得出液体质量 $M_{\text{液}}$ ，并做好记录。

4.7.1.2.3 应按式 5 计算涂料的粉液质量比。

$$N = \frac{M_{\text{粉}}}{M_{\text{液}}} \dots\dots\dots(\text{式}5)$$

式中：

N—涂料粉液质量比；

$M_{\text{粉}}$ —粉料质量，g；

$M_{\text{液}}$ —液体质量，g。

4.7.2 硅溶胶涂料粉液体积比检测

4.7.2.1 测量仪器

应配置的装置或材料有：

——密度计：测量范围 1.2~1.3，分度值 0.001；

——带柄烧杯：100 ml；

——量筒：100 ml；

——电子天平：精度 0.01 g。

4.7.2.2 检测流程

4.7.2.2.1 应记录好所测涂料配料时的耐火粉料质量 $M_{\text{粉}}$ 以及粘结剂的质量 $M_{\text{液}}$ ，用液体密度计测量硅溶胶的密度 $\rho_{\text{液}}$ ；

4.7.2.2.2 将 100 ml量筒放到水平的位置，取 50 ml蒸馏水置于 100 ml的量筒中；

4.7.2.2.3 用电子天平称取 250 g耐火粉料，数据应精确到 0.01 g；

4.7.2.2.4 将 250 g耐火粉料缓缓加入到 100 ml的量筒中，眼睛应平视观察耐火粉料溶液液面达到 100 ml 的刻度，剩余耐火粉料称重，计算加入粉料的质量；

4.7.2.2.5 计算得出耐火粉料密度 $\rho_{\text{粉}}$ 代入到式 6 中，计算涂料粉液体积比。

$$K = \frac{M_{\text{粉}} / \rho_{\text{粉}}}{M_{\text{液}} / \rho_{\text{液}}} \dots\dots\dots(\text{式}6)$$

式中：

K—涂料粉液体积比（涂料中耐火粉料与液体的体积比）；

$M_{\text{粉}}$ —涂料中耐火粉料的质量；

$M_{\text{液}}$ —涂料中粘结剂的质量；

$\rho_{\text{粉}}$ —耐火粉料的密度，单位为 g/cm^3 ；

$\rho_{\text{液}}$ —粘结剂的密度，单位为 g/cm^3 。

4.7.3 操作要求

- 4.7.3.1 检测前应将量筒放置于水平的位置；
- 4.7.3.2 目视观察液面时应保证眼睛与刻度平行；
- 4.7.3.3 耐火粉料加入量筒时应缓缓加入，防止粉料粘附到管壁。

4.8 硅溶胶涂料流动长度的检测

4.8.1 测量仪器

应配置的装置或材料有：

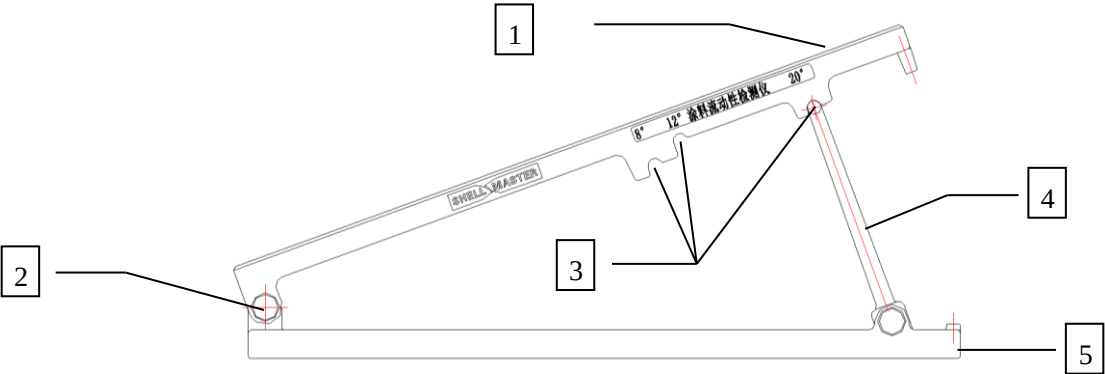
- 流动长度测定装置，见图 7；
- 带柄烧杯：250 ml；
- 玻璃移液管：2 ml（刻度 0.02 ml）；
- 卡尺：（0~300）mm。

4.8.2 检测流程

- 4.8.2.1 应检查流动长度测定装置表面洁净，尤其是流槽部位。
- 4.8.2.2 应将流动长度测定装置平放于水平台上，并调整固定流槽的角度至 8° 。
- 4.8.2.3 应用带柄烧杯从涂料中央取样，以备检测。
- 4.8.2.4 应用玻璃移液管插入涂料样品的中间部位取样，吸入涂料至移液管刻度A处，见图 8。
- 4.8.2.5 取出玻璃移液管（不要放松胶囊），应在距离流槽顶端约 10 mm处均匀滴落涂料，直至移液管中的涂料液面降至B处，见图 8。
- 4.8.2.6 应观察流槽内涂料的流动状况，待涂料停止流动后，用卡尺测量流槽中涂料的长度L（mm），该数据即为涂料流动的长度值，并做好相关数据记录。
- 4.8.2.7 应至少重复检测 3 次，且连续检测的误差不应超过 5 %后，取平均值进行计算。

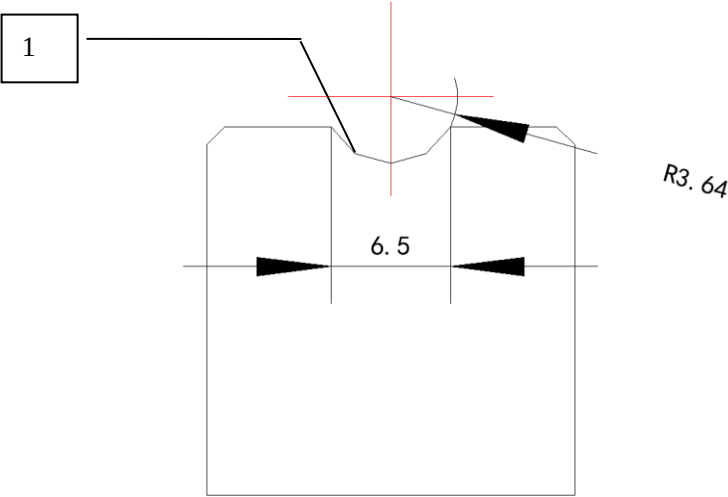
4.8.3 操作要求

- 4.8.3.1 流动长度测定装置应放置在水平台面上，并保持装置表面清洁。
- 4.8.3.2 应根据检测需求调整流槽的倾斜角度。
- 4.8.3.3 移液管吸入涂料的体积应尽可能精确，误差应控制在 0.02 mm以内。
- 4.8.3.4 流槽中的涂料应尽量避免出现气泡；如果出现气泡，宜用移液管戳破，以免气泡影响涂料的流动长度。
- 4.8.3.5 涂料滴落的速度应保持均匀，以 1 滴/s为宜，不应小于 1 滴/（2~3）s；滴落的量应以不溢出流槽为准。



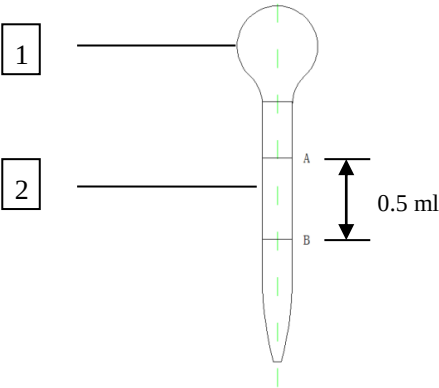
1: 流槽 2: 旋转轴心 3: 角度固定槽 4: 支撑杆 5: 底座

图 7 涂料流动长度测试装置示意图



1: 流槽

图 8 流动性测试仪流槽截面图



1: 胶囊 2: 玻璃管

图 9 玻璃移液管示意图