

润滑油质量多参量综合在线检测传感器
团体标准

Sensors with functions integrated the
multi-parameter and the online detection
for lubricating oil quality

202X年X月X日发布

202X年X月X日实施

前 言

润滑油质量多参量综合在线检测传感器，是一类用于润滑油检测的数字化检测单元。在现代计算机技术和网络通讯的支持下，广泛应用在智能制造、高端感控等技术领域。该传感器技术具有高品质和低值耗的优点，已经部分取代了传统的润滑油理化分析技术，是一类发展应用较快的油品快速检测技术。然而，因为该技术在各国、各个应用领域的发展状况不同，所以目前尚未形成较明确的、统一的行业标准或其他相关专业标准。为保证润滑油质量多参量综合在线检测传感器的产品质量，特制定本标准。

本标准的结构和规则符合标准 GB/T 1.1-2020 《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》之规定。

本标准技术要求主要参照标准 GB/T 12519-2021 《分析仪器通用技术条件》，并按照产品的性能指标编制而成。

本标准的某些内容可能涉及专利，发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由深圳市亚泰光电技术有限公司提出。

本标准由深圳市传感器与智能仪器仪表行业协会归口。

本标准参与起草单位：

本标准主要起草人：

目录

1 适用范围.....	5
2 规范性引用文件.....	5
3 术语和定义.....	6
3.1 油工作压力 oil work pressure	6
3.2 微量水分含量 micro-moisture content	6
3.3 水活性 water activity.....	6
3.4 相对介电常数 relative dielectric constant	6
3.5 水含量 water content.....	7
4 传感器的构成及工作形式.....	7
5 技术要求.....	7
5.1 性能要求.....	7
5.1.1 常规工作条件.....	7
5.1.2 测量项目.....	8
5.1.3 性能指标要求.....	8
5.2 外观.....	9
5.3 接口要求.....	9
5.3.1 接线接口标识.....	9
5.3.2 通讯接口和通信协议.....	10
5.3.3 接触电阻.....	11
5.3.4 耐盐雾.....	11
5.3.5 插拔寿命.....	11
5.4 工作寿命要求.....	11
5.5 环境要求.....	11
5.5.1 低温存储.....	11
5.5.2 高温存储.....	12
5.5.3 湿热循环.....	12
5.5.4 温快试验.....	12
5.5.5 运输试验.....	12
5.5.6 正弦振动.....	12
5.5.7 密封圈老化.....	13
5.5.8 外壳防护等级.....	13
5.6 电磁兼容要求.....	13
5.6.1 辐射干扰测试.....	13
5.6.2 静电放电抗扰度.....	13
5.6.3 辐射电磁场抗扰度.....	13
5.6.4 射频传导抗扰度.....	13
5.6.5 工频磁场抗扰度.....	13
6 检验方法.....	14
6.1 检验通用条件.....	14
6.1.1 检验设备、标准油和试剂.....	14
6.1.2 检验环境条件.....	14

6.2 操作步骤.....	14
6.2.1 粘度试验.....	14
6.2.2 密度试验.....	17
6.2.3 水活性试验.....	17
6.2.4 微水试验.....	18
6.2.5 介电常数试验.....	19
6.2.6 含水率试验.....	20
6.2.7 外观尺寸检查.....	21
6.2.8 接口试验.....	21
6.2.9 工作寿命试验.....	21
6.2.10 环境试验.....	21
6.2.11 电磁兼容试验.....	22
7 检验规则.....	22
7.1 总则.....	22
7.2 出厂检验.....	22
7.2.1 检验项目.....	22
7.2.2 样本抽取.....	22
7.2.3 合格判定.....	22
7.2.4 结果的处理.....	22
7.3 型式检验.....	23
7.3.1 何时进行型式检验.....	23
7.3.2 检验项目.....	23
7.3.3 样本抽取.....	23
7.3.4 合格判定.....	23
8 标志、包装、运输和贮存.....	23
8.1 标志.....	23
8.1.1 传感器标志.....	23
8.1.2 包装标志.....	24
8.2 包装.....	24
8.2.1 产品包装的执行标准.....	24
8.2.2 产品包装箱内应装有的技术文件.....	24
8.3 运输.....	24
8.4 贮存.....	24
附录 A.....	25
附录 B.....	30
附录 C.....	34
附录 D.....	36
附录 E.....	39
附录 F.....	40

润滑油质量多参量综合在线检测传感器

1 适用范围

本标准适用于润滑油质量多参量综合在线检测传感器（以下简称传感器）的性能和质量指标检测、型式检验和出厂检验。

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。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1.1 《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》

GB/T 12519 《分析仪器通用技术条件》

GB/T 34986 《产品加速试验方法》

GJB 2889 《XC系列高可靠小圆形线簧孔电连接器规范》

GB/T 2423.1 《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温》

GB/T 2423.2 《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温》

GB/T 2423.3 《环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验》

GB/T 2423.4 《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db：交变湿热(12h+12h循环)》

GB/T 2423.5 《环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击》

GB/T 2423.7 《环境试验 第2部分：试验方法 试验Ec：粗率操作造成的冲击（主要用于设备型样品）》

GB/T 2423.10 《环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）》

GB/T 2423.22 《环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化》

GB/T 2423.34 《环境试验 第2部分：试验方法 试验Z/AD：温度/湿度组合循环试验

GB/T 2423.50 《环境试验 第2部分：试验方法 试验Cy：恒定湿热 主要用于元件的加速试验》

GB 4943.22 《信息技术设备 安全 第22部分：室外安装设备》

GB/T 4208 《外壳防护等级（IP代码）》

GB 4824 《工业、科学和医疗设备 射频骚扰特性 限值和测量方法》

GB/T 17626.2 《电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验》

GB/T 17626.3 《电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验》

GB/T 17626.6 《电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度》

GB/T 17626.8 《电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验》

ISTA 3A 《Packaged-Products for Parcel Delivery System Shipment 70 kg (150 lb) or Less》
《包裹运输用不大于 70 kg 的包装件整体综合模拟性能试验程序》

GB/T 191 《包装储运图示标志》

GB/T 13384 《机电产品包装通用技术条件》

GB/T 15078-2021 《贵金属电触点材料接触电阻的测量方法》

GB/T 11133-2015 《石油产品、润滑油和添加剂中水分含量的测定 卡尔费休库仑滴定法》

GB/T 260-2016 《石油产品水含量的测定 蒸馏法》

GB/T 265-1988 《石油产品运动粘度测定法和动力粘度计算法》

GB/T 1884-2000 《原油和液体石油产品密度实验室测定法（密度计法）》

GB/T 5654-2007 《液体绝缘材料 相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量》

GB 5009.238-2016 《食品安全国家标准 食品水分活度的测定》

3 术语和定义

下列定义适用于本标准。

3.1 油工作压力 oil work pressure

润滑油质量检测传感器工作时连接的油管管内流体作用在传感器上的压力。

3.2 微量水分含量 micro-moisture content

本标准中简称微水，是通过水活性和水在润滑油中的溶解度关联计算得出的，非测量值。与卡尔费休、蒸馏等方法的意义不同，是一个即时条件下的动态平衡值。单位为 ppm。

3.3 水活性 water activity

水活性是指某种物质中水分的平衡蒸气压与相同温度下纯水的饱和蒸气压之比，即物质中水分含量与它所能容纳的水分总量之比。本标准中指油品中水分的含量与相同温度下油品中所能容纳水分的最大量之比，是反映油品在某工况条件下的相对湿度值。水活性又称油品中水活度、水分活度、水饱和度。

3.4 相对介电常数 relative dielectric constant

又称相对电容率，本标准中简称介电常数，是两块金属板之间以润滑油等绝缘材料为

介质时的电容量与同样的两块板之间以空气为介质（或真空）的电容量之比。相对介电常数 ϵ_r 可以用公式（1）计算：

$$\epsilon_r = C_x / C_0 \quad (1)$$

其中，

ϵ_r ——相对介电常数；

C_0 ——空气（或真空）为介质的电容量；

C_x ——润滑油等绝缘材料为介质时的电容量。

3.5 水含量 water content

又称含水率，本标准中指油样所溶解的水分占总油样的百分比，或油样所溶解水分与总油样的质量比，单位为 %。

3.6 传感器型号

依据传感器接线接口不同，将传感器型号分为 A 型和 B 型传感器。

4 传感器的构成及工作形式

传感器主要由测量腔体和探头、以及信号处理等部件组成，它采用输出模拟量信号和数字信号形式。传感器原理与检测控制示意图如图 1 所示，其中传感器部分以红色框部分表示。

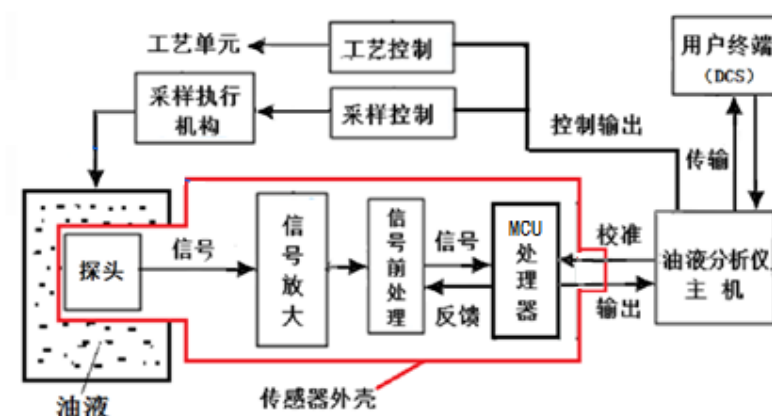


图 1 传感器工作原理与检测控制示意图

5 技术要求

5.1 性能要求

5.1.1 常规工作条件

各型号的润滑油质量检测传感器的工作条件应符合以下要求：

a) 使用环境

气压：80 kPa ~ 120 kPa ；

温度：-30 °C ~ +85 °C ；

湿度：20% ~ 90% RH。

b) 检测工况条件与要求

待检介质为润滑油品：通常指矿物润滑油、合成和半合成润滑油、液压油（如 46#、68#）、变压器油（如 25#）等，均匀分散有机烃类液体；

油工作压力：≤1 Mpa；

油工作温度：-20 °C ~ 105 °C；

油工作流速：≤0.1 m/s；

油工作流量：50 ~ 80 mL/min；

介质（油品）无强磁场、强电场、强腐蚀、强脉冲、高温、乳化、气泡、游离水的干扰。传感器应放置在专用设计检测连通池中，或者如图 2 中 a 的安装方式，维持流动测量条件稳定不变。无论是哪一种安装方式，都需要经过流体力学和测量学衡算，确定安装点位置。以满足测量条件，保障正常使用。以下传感器管道安装图中，只有图 2a 位置正确。

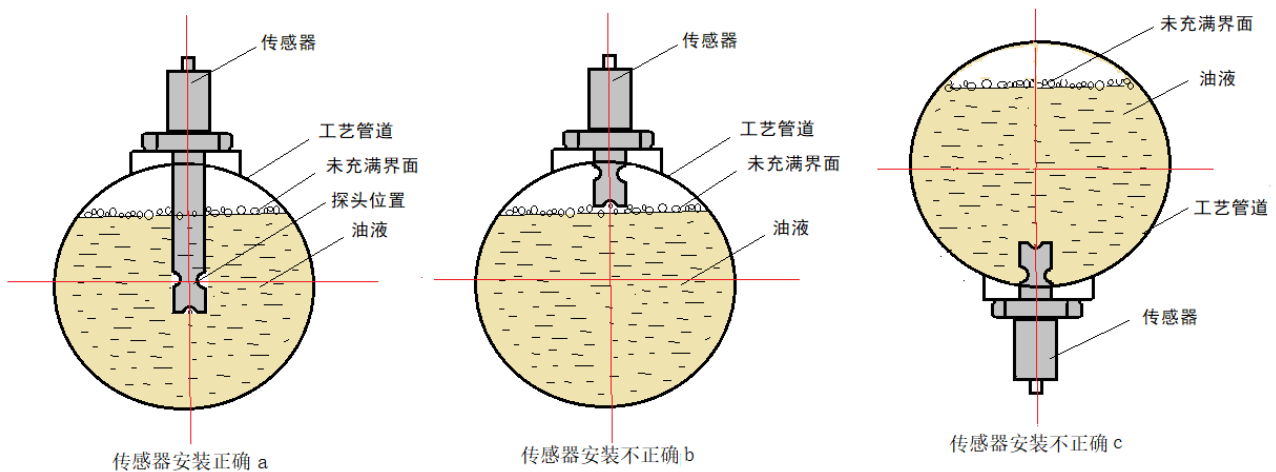


图 2 传感器管道安装示意图

5.1.2 测量项目

传感器的测试项目包括如下内容：

温度（°C）、运动粘度（mm²/s）、密度（kg/m³）、动力粘度（mPa·s）、介电常数、水活性、微水（ppm）、含水率（%）。

5.1.3 性能指标要求

传感器的测试项目对应的性能指标要求应符合表 1 的规定。

表 1 传感器各项目测量范围、分辨率、示值误差指标

测量项目	测量范围	分辨率	示值误差
温度	-30℃~+105℃	0.1℃	±0.3℃ (25℃~85℃) ±0.5℃ (<25℃, >85℃)
介电常数	1~6	0.01	±10%
运动粘度	1~1000 mm ² /s	0.01 mm ² /s	±5% (1~300 mm ² /s) ±8% (>300 mm ² /s)
动力粘度	0~1000 mPa·s	0.1 mPa·s	±5% (1~300 mPa·s) ±8% (>300 mPa·s)
密度	600~1000 kg/m ³	0.1 kg/m ³	±3%
微水	1~1000 ppm	1 ppm	±10%
水活性	0.1~0.99	0.001	±0.02 (0.1~0.6)
			±0.03 (0.6~0.9)
			±0.05 (0.9~0.99)
含水率	0~10%	0.1%	±0.3%

5.2 外观

传感器外壳及探头部分的外观无划痕、污渍、缺失、肉眼可见变形，尤其要保证传感器探头部分无上述缺陷。

5.3 接口要求

5.3.1 接线接口标识

下列接线接口标识适用于本标准。

a) A 型传感器连接线的接口标识，如下图 3:

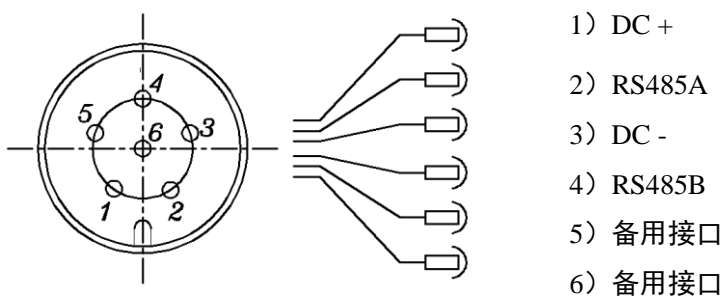


图 3 A 型传感器线序图

b) B 型传感器连接线的接口标识，如下图 4:

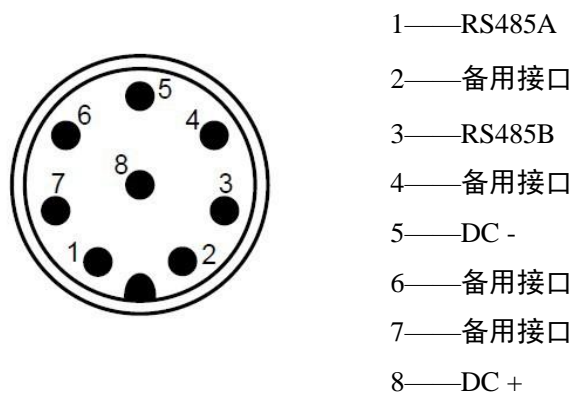


图 4 B 型传感器线序图

5.3.2 通讯接口和通信协议

传感器的通讯接口和通信协议应符合以下规定：

1) 仪器设备对外提供标准的 RS485 通讯接口，采用 MODBUS RTU 通讯规约与主机进行通讯。通讯接口及协议符合 GB/T 19582-2008 《基于 Modbus 协议的工业自动化网络规范》中规定的要求。

a) 数据帧格式

仪器发送的每个字节（帧）格式完全遵循 GB/T 19582-2008 标准的 MODBUS 通讯协议，功能码支持读、写、批量写等。

其中 CRC 校验：（CRC-16/MODBUS $x_{16}+x_{15}+x_2+1$ ）从“地址码”开始到“数据”结束。数据帧包含起始位、信息位以及停止位，共 10 个位，如下表 2 所示。

表 2 数据帧格式

起始位	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	停止位
-----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

具体定义如下：

第 1 位：起始位（“0”有效）；

第 2~9 位：信息位；

第 10 位：停止位（“1”有效）；

大小端：数据帧采用由低位到高位发送和读取顺序，对多字节数据、先传低字节，后传高字节。对于 16 位或 32 位二进制数据分成两个或四个数据帧，按由低字节到高字节的先后顺序串行传送。

b) 报文格式

传感器接收和发送的每个报文格式应符合如下形式：

- 地址；
- 功能码；
- 数据数量；
- 数据 1；
- 数据...；
- 数据 n；
- CRC16 校验。

2) 在一个完整的在线检测系统中，主控设备作为主机，本标准中的产品作为从机。

3) 每一次通信握手总是由主机发出访问请求，从机响应。

5.3.3 接触电阻

按 GB/T 15078-2021《贵金属电触点材料接触电阻的测量方法》标准进行测试，探头在传感器接口上的两点间接触电阻应 $\leq 5\text{ m}\Omega$ 。

5.3.4 耐盐雾

按 GJB 2889-97《XC 系列高可靠小圆形线簧孔电连接器规范》标准进行测试后，传感器的电缆导线应符合下列要求：

- a) 不应暴露出基本金属；
- b) 涂漆层除局部边棱处外，应无起泡、起皱、脱落，基体金属不得腐蚀；
- c) 非金属材料无明显泛白、膨胀、起泡、皱裂、麻坑等。

5.3.5 插拔寿命

作插拔 1000 次试验后，传感器连接电缆导线后通讯正常。

5.4 工作寿命要求

传感器检测的油品（工作）不能有剧烈化学反应，如果大量产生胶质、沥青质、腐蚀物，包括不能受到较强的跌落、挤压、碰撞的情况。传感器的寿命取决使用工况，也与维护保养（定期清洗、校准标定）有关。正常使用寿命可达 2~3 年以上。

5.5 环境要求

5.5.1 低温存储

按照 GB/T 2423.1-2008《电工电子产品环境试验 第二部分：试验方法 试验 A：低温》6.6 中的规定进行，传感器在最低存储温度-40℃下存储 16 小时，再恢复到室温（实验室温度）后，按本标准 6.2.1 ~ 6.2.6 的方法对 40℃的标准油进行测试，测试的参数结果偏差应满足在表 1 允差范围内。

5.5.2 高温存储

按照 GB/T 2423.2-2008《电工电子产品环境试验 第二部分：试验方法 试验 B：高温》6.5 中的规定进行，传感器在最高存储温度 85℃下存储 16 小时，再恢复到室温（实验室温度）后，按本标准 6.2.1 ~ 6.2.6 的方法对 40℃的标准油进行测试，测试的参数结果偏差应满足在表 1 允差范围内。

5.5.3 湿热循环

按照 GB/T 2423.3-2016《环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验》、GB/T 2423.4-2008《电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Db：交变湿热（12h+12h 循环）》、GB/T 2423.34-2012《环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Z/AD：温度/湿度组合循环试验》、GB/T 2423.50-2012《环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cy：恒定湿热 主要用于元件的加速试验》的规定进行，在温度分别为 +55℃、+25℃进行 2 个循环共 48 小时，再恢复到室温（实验室温度）后，按本标准 6.2.1 ~ 6.2.6 的方法对 40℃的标准油进行测试，测试的参数结果偏差应满足在表 1 允差范围内。

5.5.4 温快试验

按照 GB/T 2423.22-2012《环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 N：温度变化》试验 Nb 的规定进行，传感器在高温（85℃）温度保持 60 min，低温（-30℃）温度保持 60 min，温度变化速率为（10±2）K/min 的条件下测试 10 个循环，再恢复到室温（实验室温度）后，按本标准 6.2.1 ~ 6.2.6 的方法对 40℃的标准油进行测试，测试的参数结果偏差应满足在表 1 允差范围内。

5.5.5 运输试验

按照 ISTA 3A-2018《包裹运输用不大于 70 kg 的包装件整体综合模拟性能试验程序》的规定进行，再恢复到室温（实验室温度）后，按本标准 6.2.1 ~ 6.2.6 的方法对 40℃的标准油进行测试，测试的参数结果偏差应满足在表 1 允差范围内。

5.5.6 正弦振动

按照 GB/T 2423.10-2019《环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）》的规

定进行 1 h/轴、共三轴试验，再恢复到室温（实验室温度）后，按本标准 6.2.1 ~ 6.2.6 的方法对 40 °C 的标准油进行测试，测试的参数结果偏差应满足在表 1 允差范围内。

5.5.7 密封圈耐老化

按照 GB 4943.22-2019《信息技术设备 安全 第 22 部分：室外安装设备》8.5 章节关于密封垫的规定进行试验，试验后密封圈应无明显的变坏、变形、熔化或破裂，同时折弯后不应有硬化现象。

5.5.8 外壳防护等级

按照 GB/T 4208-2017《外壳防护等级(IP 代码)》IP65 等级要求进行试验，传感器应符合：①无灰尘进入；②向外壳各方向喷水无有害影响。

5.6 电磁兼容要求

5.6.1 辐射干扰测试

按照 GB 4824-2019《工业、科学和医疗设备 射频骚扰特性 限值和测量方法》中的电源端子骚扰电压（A 级）限值要求进行，传感器经辐射干扰测试后，按本标准 6.2.1 ~ 6.2.6 的方法对 40 °C 的标准油进行测试，测试的参数结果偏差应满足在表 1 允差范围内。

5.6.2 静电放电抗扰度

按照 GB/T 17626.2-2018《电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验》中的 2 级要求进行，传感器经静电放电抗扰度测试后，按本标准 6.2.1 ~ 6.2.6 的方法对 40 °C 的标准油进行测试，测试的参数结果偏差应满足在表 1 允差范围内。

5.6.3 辐射电磁场抗扰度

按照 GB/T 17626.3-2016《电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验》中的性能判据 A 要求进行，传感器经辐射电磁场抗扰度测试后，按本标准 6.2.1 ~ 6.2.6 的方法对 40 °C 的标准油进行测试，测试的参数结果偏差应满足在表 1 允差范围内。

5.6.4 射频传导抗扰度

按照 GB/T 17626.6-2017《电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度试验》中性能判据 A 要求进行，传感器经射频传导抗扰度测试后，按本标准 6.2.1 ~ 6.2.6 的方法对 40 °C 的标准油进行测试，测试的参数结果偏差应满足在表 1 允差范围内。

5.6.5 工频磁场抗扰度

按照 GB/T 17626.8-2006《电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验》中性能判据

A 要求进行，传感器经工频磁场抗扰度测试后，按本标准 6.2.1 ~ 6.2.6 的方法对 40 °C 的标准油进行测试，测试的参数结果偏差应满足在表 1 允差范围内。

6 检验方法

6.1 检验通用条件

6.1.1 检验设备、标准油和试剂

a) 被测传感器：各型号的润滑油质量检测传感器。

b) 被测传感器的配套组件：

直流电源：给传感器供电。

测试治具 RS485：连接传感器与电脑。

c) 精密恒温测试装置：用标准油做测量介质，控制的温度，主要技术参数要求如下：

工作气压：常压；

工作温度范围：室温+10°C ~ 100 °C；

显示分辨率：0.01 °C；

温度波动度：±0.05 °C；

温度均匀度：0.1%。

d) 托架：置于精密恒温测试装置中，用于放置传感器，金属材质。

e) 安装有通讯协议测试软件的电脑。

f) 标准油及标准油族系列：能够涵盖测试项目种类和定值范围。

g) 石油醚，用于清洗传感器，AR。

h) 鼓风机干燥箱，用于清洗后传感器的干燥。

6.1.2 检验环境条件

a) 温度：(20±5) °C；

b) 相对湿度：(20 ~ 60) % RH；

c) 周围无强电磁场，无剧烈震动，无腐蚀性气体。

6.2 操作步骤

6.2.1 粘度试验

(1) 标定

按照 GB/T 265-1988《石油产品运动粘度测定法和动力粘度计算法》的规定，用粘度标准油（正标油）^{注 1*}对标准毛细管粘度计进行标定（也可以直接使用外检合格标准粘度计），标

定合格备用。用标定合格的标准粘度计标定自用标准油（副标油）^{注2*}粘度值，得到副标油粘度的标定值 a_1 。

参考标准方法、仪器、试剂、耗材和具体步骤见附录 A。

注 1*：粘度标准油（正标油）是选用国际知名标准物质和国家认证标准油提供商，购买得到的粘度和密度标准油，用于检定润滑油标准粘度和密度计（计量器具），有效期为一年。

注 2*：自用标准油（副标油）是经过纯化稳定的润滑油，物理化学性质稳定，标称值能够在 0.5 年保持不变的二级（自用）标准油。

（2）测试

通过待测传感器对副标油样进行测试，得到粘度的测试值 b_1 。具体的测试原理及测试过程如下：

①测试原理：

采用压电谐振模式，通过控制振子部件工作在谐振状态，获取相关参数，压电谐振曲线如图 5 所示。

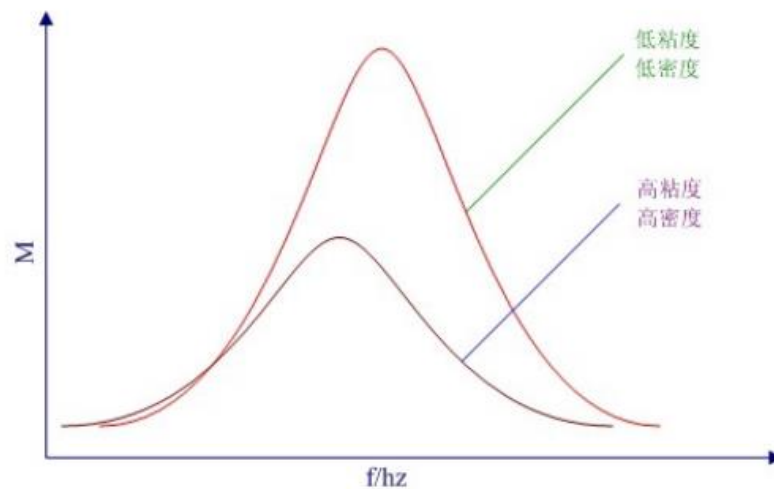


图 5 压电谐振曲线图

液体密度与其振动周期 T 相关：

$$\rho = K_0 + K_1 * T + K_2 * T^2 \quad (2)$$

其中， $K_0/K_1/K_2$ 为仪器校准参数。

运动粘度 μ 与振动品质因数 Q 相关：

$$\mu = C_0 + C_1 * Q + C_2 * Q^2 \quad (3)$$

其中， $C_0/C_1/C_2$ 为仪器校准参数。

动力粘度 η 可以根据以下公式（4）换算：

$$\eta = \mu \rho \quad (4)$$

其中,

μ ——运动粘度, 单位: mm^2/s ;

η ——动力粘度, 单位: $\text{mPa}\cdot\text{s}$;

ρ ——密度, 单位: kg/m^3 。

②测试步骤:

a 准备副标油

把副标油加入清洗干净的精密恒温测试装置中, 打开电源开关, 设定温度为要求温度, 待温度达到设定温度之后, 稳定 15 min。

b 传感器测试装置连接

按照传感器使用说明书, 把传感器通过对应连接线连接到测试电脑上, 并与直流电源连接。

c 工作电流检测

a) 打开直流电源开关, 按照使用说明书设置对应电压和电流。

b) 按下测试按钮, 观察电流 30 秒, 若电流值符合使用说明书的要求, 则继续后续操作, 否则应返回上一步骤对传感器测试装置连接进行检查, 以确定装置连接是否正确。

d 软件操作

通过电脑根据传感器型号, 设置测试参数。然后启动测试待系统稳定 1~2 分钟后读取温度数据, 若传感器输出的温度值和室温 (室温测试温度) 相当, 表明传感器处于正常状态, 可进行测试。

e 传感器测试

把传感器放入标定装置 (精密恒温油槽) 中的托架上 (浸泡油浴里), 设定需要标定温度值, 如图 6 所示。确保油液完全浸泡探头, 待温度升至温度点并稳定后, 恒温 15~25 分钟。测试系统显示的数值稳定后, 读取记录数值。

f 传感器清洗入库

测试完成后需要使用石油醚对传感器探头进行清洗后自然晾干再包装入库。

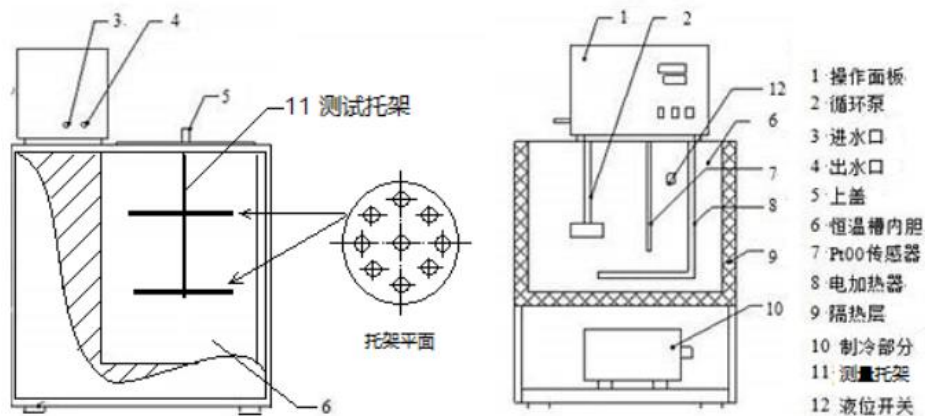


图 6 精密恒温标定装置原理与测试托架示意图

(3) 计算

把测试值与标定值进行比较，要求结果偏差应在表 1 规定的允差范围内。具体计算方法如公式 (5)：

$$C_1 = [(b_1 - a_1) \div a_1] \times 100\% \quad (5)$$

6.2.2 密度试验

(1) 标定

按照 GB/T 1884-2000 《原油和液体石油产品密度实验室测定法（密度计法）》的规定，对副标油样进行标定，得到密度的标定值 a_2 。

参考标准方法、仪器、试剂、耗材和具体步骤见附录 B。

(2) 测试

通过待测传感器对副标油样进行测试，得到密度的测试值 b_2 。具体的测试原理及测试过程如下：

①测试原理：同 6.2.1 测试原理；

②测试步骤：同 6.2.1 测试步骤。

(3) 计算

把测试值与标定值进行比较，要求结果偏差应在表 1 规定的允差范围内。具体计算方法如公式 (6)：

$$C_2 = [(b_2 - a_2) \div a_2] \times 100\% \quad (6)$$

6.2.3 水活性试验

(1) 标定

按照 GB 5009.238-2016 《食品安全国家标准 食品水分活度的测定》第二法 水分活度仪

扩散法的规定，对副标油样进行标定，得到水活性的标定值 a_3 。

参考标准方法、仪器、试剂、耗材和具体步骤见附录 C。

(2) 测试

通过待测传感器对副标油样进行测试，得到水活性的测试值 b_3 。具体的测试原理及测试过程如下：

①测试原理：

水分活度通常用于润滑油含水量和溶水性，是指油品中溶入水的平衡蒸汽压与相同温度下纯水的饱和蒸汽压的比值，用 a_w 表示，即：

$$a_w = P_w/P_p \quad (7)$$

其中，

P_p 为纯水平衡蒸汽压；

P_w 为相同温度下油中析出水的饱和蒸气压。

由润滑油与水的相图得到水活度与微量水分的关系式，通过数据解析软件将计算公式写入传感器内置芯片中。当传感器探头接触润滑油时，传感器产生的电信号通过内置电子元件和中央处理器得出水活性和微量水分。

②测试步骤：同 6.2.1 测试步骤。

(3) 计算

把测试值与标定值进行比较，要求结果偏差应在表 1 规定的允差范围内。具体计算方法如公式 (8)：

$$C_3 = [(b_3 - a_3) \div a_3] \times 100\% \quad (8)$$

6.2.4 微水试验

(1) 标定

按照 GB/T 11133-2015《石油产品、润滑油和添加剂中水分含量的测定 卡尔费休库仑滴定法》的规定，对副标油样进行标定，得到微水含量的标定值 a_4 。

参考标准方法、仪器、试剂、耗材和具体步骤见附录 D。

(2) 测试

通过待测传感器对副标油样进行测试，得到微水含量的测试值 b_4 。具体的测试原理及测试过程如下：

①测试原理

传感器使用高分子材料为湿敏转换元件，通过吸水和脱水过程，达到水分的动态平衡。水的介电系数比单纯高分子材料的介电系数大很多，因吸水后的高分子材料的介电系数随吸附水分量的变化而产生对应的变化，并引起电容值的对应变化，从而实现传感器对应湿度的变化量。由润滑油与水的相图得到水活度与微量水分的关系式，通过数据解析软件将计算公式写入传感器内置芯片中。当传感器探头接触润滑油时，传感器产生的电信号通过内置电子元件和中央处理器得出水活性和微量水分。

具体的测试原理见图 7。

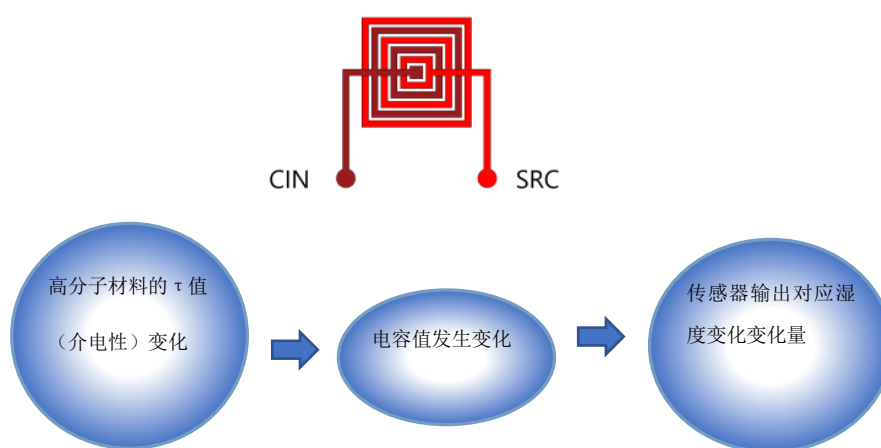


图 7 微水试验的测试原理

②测试步骤：同 6.2.1 测试步骤。

(3) 计算

把测试值与标定值进行比较，要求结果偏差应在表 1 规定的允差范围内。具体计算方法如公式 (9)：

$$c_4 = [(b_4 - a_4) \div a_4] \times 100\% \quad (9)$$

6.2.5 介电常数试验

(1) 标定

按照 GB/T 5654-2007 《液体绝缘材料 相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量》的规定，对副标油样进行标定，得到介电常数的标定值 a_5 。

参考标准方法、仪器、试剂、耗材和具体步骤见附录 E。

(2) 测试

通过待测传感器对副标油样进行测试，得到介电常数的测试值 b_5 。具体的测试原理及测试过程如下：

①测试原理：

利用电容传感器实时监测其介电常数，根据油液介电常数随其水分含量变化而变化的特性，进而分析出油液中水分含量情况，见表 3 和图 8。

表 3 介电常数测试原理

含水率	1%	2%	3%	4%	5%	6%	...
电容值	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	...

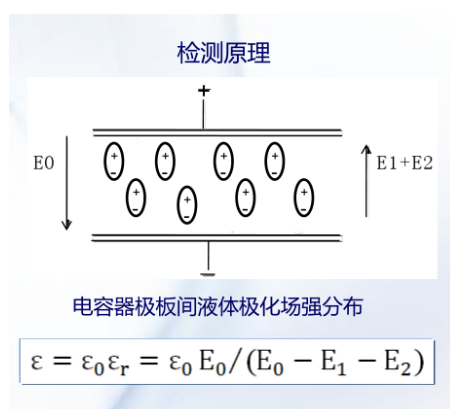


图 8 介电常数测试原理

②测试步骤：同 6.2.1 测试步骤。

(3) 计算

把测试值与标定值进行比较，要求结果偏差应在表 1 规定的允差范围内。具体计算方法如公式 (10)：

$$c_5 = [(b_5 - a_5) \div a_5] \times 100\% \quad (10)$$

6.2.6 含水率试验

(1) 标定

按照 GB/T 260-2016 《石油产品水含量的测定 蒸馏法》的规定，对副标油样进行标定，得到含水率的标定值 a_6 。

参考标准方法、仪器、试剂、耗材和具体步骤见附录 F。

(2) 测试

通过待测传感器对副标油样进行测试，得到含水率的测试值 b_6 。具体的测试原理及测试

过程如下：

①测试原理：同介电常数测试原理；

②测试步骤：同 6.2.1 测试步骤。

(3) 计算

把测试值与标定值进行比较，要求结果偏差应在表 1 规定的允差范围内。具体计算方法如下公式（11）：

$$c_6 = [(b_6 - a_6) \div a_6] \times 100\% \quad (11)$$

6.2.7 外观尺寸检查

a) 外观用目测方法检查传感器，应符合 5.2) 的要求；

b) 尺寸用游标卡尺测量，螺纹检测用螺纹检测治具，以能旋到位为 OK。

6.2.8 接口试验

a) 接触电阻

按 GB/T 15078-2021《贵金属电触点材料接触电阻的测量方法》试验要求进行。

b) 盐雾试验

按 GJB 2889-97《XC 系列高可靠小圆形线簧孔电连接器规范》中 3.29 试验要求进行。

c) 插拔寿命试验

作插拔 1000 次试验。

6.2.9 工作寿命试验

按 GB/T 34986-2017《产品加速试验方法》试验要求进行。

6.2.10 环境试验

a) 低温存储试验

传感器的低温存储试验及低温存储后的性能试验按 5.5.1 的要求进行。

b) 高温存储试验

传感器的高温存储试验及高温存储后的性能试验按 5.5.2 的要求进行。

c) 湿热循环试验

传感器的湿热循环试验及湿热循环试验后的性能试验按 5.5.3 的要求进行。

d) 温快试验

传感器的温快试验及温快试验后的性能试验按 5.5.4 的要求进行。

e) 运输试验

传感器的运输试验及运输试验后的性能试验按 5.5.5 的要求进行。

f) 正弦振动试验

传感器的正弦振动试验和正弦振动试验后的性能试验按 5.5.6 的要求进行。

g) 密封圈耐老化试验

密封圈耐老化试验 5.5.7 的要求进行。

h) 密封性能试验

密封性能试验按 5.5.8 的要求进行。

6.2.11 电磁兼容试验

a) 辐射干扰试验

传感器的辐射干扰试验及辐射干扰试验后的性能试验按 5.6.1 的要求进行。

b) 静电放电抗扰度试验

传感器的静电放电抗扰度试验及静电放电抗扰度试验后的性能试验按 5.6.2 的要求进行。

c) 辐射电磁场抗扰度试验

传感器的辐射电磁场抗扰度试验及辐射电磁场抗扰度试验后的性能试验按 5.6.3 的要求进行。

d) 射频传导抗扰度试验

传感器的射频传导抗扰度试验及射频传导抗扰度试验后的性能试验按 5.6.6 的要求进行。

e) 工频磁场抗扰度试验

传感器的工频磁场抗扰度试验及工频磁场抗扰度试验后的性能试验按 5.6.7 的要求进行。

7 检验规则

7.1 总则

传感器需经检验合格后，并附有产品质量合格证方可出厂。

7.2 出厂检验

7.2.1 检验项目

检验项目按表 1 要求进行。

7.2.2 样本抽取

批量生产或连续生产的产品，出厂前进行全数检验。

7.2.3 合格判定

检验中，出现任一项不合格时，则判为不合格品。

7.2.4 结果的处理

对于不合格品可进行返修，返修后重新进行检验，检验合格则判为合格品，若连续三次返修后检验不合格则报废处理。

7.3 型式检验

7.3.1 何时进行型式检验

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新研制的产品；
- b) 当设计、工艺、材料等方面有重大变更时；
- c) 停止生产满一年的产品再次生产时；
- d) 国家市场监督管理总局提出进行型式检验的要求时。

7.3.2 检验项目

按表 4 要求进行。

7.3.3 样本抽取

型式检验应从定型前指定产品中随机抽取两台样机进行。

7.3.4 合格判定

表 4 规定的各项试验均合格，则判定型式检验合格。

表 4 检验项目表

序号	试验项目	技术要求	试验方法	型式检验	出厂检验
1	测量项目试验	5.1.2	6.2.1 ~ 6.2.6	+	+
2	外观尺寸检查	5.2	6.2.7	+	+
3	接口试验	5.3	6.2.8	+	-
4	工作寿命试验	5.4	6.2.9	+	-
5	环境试验	5.5	6.2.10	+	-
6	电磁兼容试验	5.6	6.2.11	+	-

注：“+”表示应进行的检验项目；“-”表示不检验的项目。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 传感器标志

传感器应在其显著部位标明下列内容：

- a) 传感器名称、型号；

- b) 生产厂家;
- c) 序列号等。

8.12 包装标志

- a) 传感器名称、型号;
- b) 生产厂家;
- c) 生产日期或制造批号;
- d) 数量;
- e) 包装储运图示标志应符合 GB/T 191-2008 中的相关规定。

8.2 包装

8.2.1 产品包装的执行标准

按 GB/T 13384-2008 执行。

8.2.2 产品包装箱内应装有的技术文件

- a) 产品合格证;
- b) 使用说明书;
- c) 质保书。

8.3 运输

产品可用常规运输工具运输，在运输过程中应避免日晒、雨淋和剧烈碰撞。

8.4 贮存

包装好的产品应能满足下列贮存环境条件:

- a) 应存放于通风干燥处，避免酸、碱等气体的腐蚀，避免强烈的机械振动和冲击;
- b) 贮存环境温度：-40 °C ~ +85°C;
- c) 贮存环境相对湿度：不大于 90% RH。

附录 A
(规范性附录)
粘度试验

A.1 参考标准

GB/T 265-1988《石油产品运动粘度测定法和动力粘度计算法》。

A.2 仪器

A.2.1 粘度计

A.2.1.1 玻璃毛细管粘度计应符合 SH/T 0173《玻璃毛细管粘度计技术条件》的要求。也允许采用具有同样精度的自动粘度计。

A.2.1.2 毛细管粘度计一组，毛细管内径为 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 5.0 和 6.0 mm（见图 A.1）。

A.2.1.3 每只粘度计必须按 JJG 155《工作毛细管粘度计检定规程》进行检定并确定常数。

测定试样的运动粘度时，应根据试验的温度选用适当的粘度计，务使试样的流动时间不少于 200 s，内径 0.4 mm 的粘度计流动时间不少于 350 s。

A.2.2 恒温浴

带有透明壁或装有观察孔的恒温浴，其高度不小于 180 mm，容积不小于 2 L，并且附设有自动搅拌装置和一种能够准确的调节温度的电热装置。

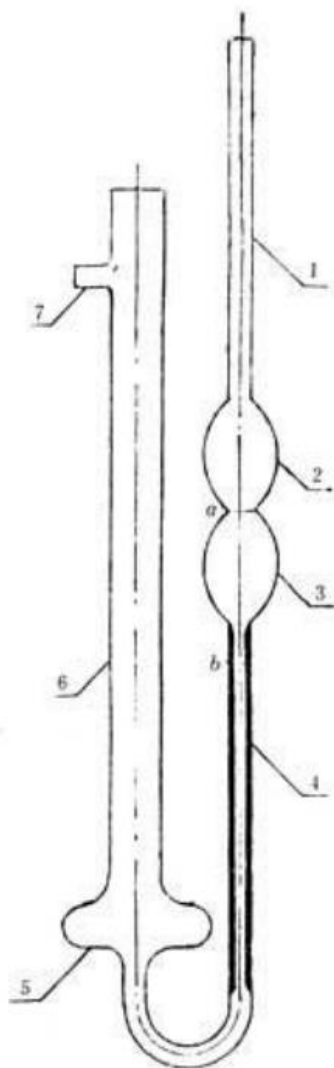
在 0 °C 和低于 0 °C 测定运动粘度时，使用筒形开有看窗的透明保温瓶，其尺寸与前述的透明恒温浴相同，并没有搅拌装置。

根据测定的条件，要在恒温浴中注入如表 A.1 中列举的一种液体。

表 A.1 在不同温度使用的恒温浴液体

测定的温度, °C	恒 温 浴 液 体
50~100	透明矿物油、丙三醇（甘油）或 25%硝酸铵水溶液（该溶液的表面会浮着一层透明的矿物油）
20~50	水
0~20	水与冰的混合物，或乙醇与干冰（固体二氧化碳）的混合物
0~-50	乙醇与干冰的混合物；在无乙醇的情况下，可用无铅汽油代替

注：恒温浴中的矿物油最好加有抗氧化添加剂，延缓氧化，延长使用时间。



毛细管粘度计图

1, 6—管身; 2, 3, 5—扩张部分; 4—毛细管; a、b—标线

图 A.1

A.2.3 玻璃水银温度计

符合 GB 514《石油产品试验用液体温度计技术条件》，分格为 0.1 °C。测定-30 °C 以下运动粘度时，可以使用同样分格值的玻璃合金温度计或其它玻璃液体温度计。

A.2.4 秒表

分格为 0.1 s。

用于测定粘度的秒表、毛细管粘度计和温度计都必须定期检定。

A.3 试剂

A.3.1 溶剂油：符合 SH 0004 橡胶工业用溶剂油要求，以及可溶的适当溶剂。

A.3.2 铬酸洗液

A.3.3 石油醚：60 ~ 90 °C，化学纯

A.3.4 95%乙醇：化学纯。

A.4 准备工作

A.4.1 试样含有水或机械杂质时，在试验前必须经过脱水处理，用滤纸过滤除去机械杂质。

对于粘度大的润滑油，可以用瓷漏斗，利用水流泵或其他真空泵进行吸滤，也可以在加热至50~100 °C的温度下进行脱水过滤。

A.4.2 在测定试样的粘度之前，必须将粘度计用溶剂油或石油醚洗涤，如果粘度计沾有污垢，就用铬酸洗液、水、蒸馏水或95%乙醇依次洗涤。然后放入烘箱中烘干或用通过棉花滤过的热空气吹干。

A.4.3 测定运动粘度时，在内径符合要求并清洁、干燥的毛细管粘度计内装入试样。在装试样之前，将向橡皮管套在支管7上，并用手指堵住管身6的管口，同时倒置粘度计，然后将管身1插入装着试样的容器中；这时利用橡皮球、水流泵或其他真空泵将液体吸到标线b，同时注意不要使管身1，扩张部分2和3中的液体发生气泡和裂隙。当液面达到标线b时，就从容器里提起粘度计，并迅速恢复其正常状态，同时将管身1的管端外壁所沾着的多余试样擦去，并从支管7取下橡皮管套在管身1上。

A.4.4 将装有试样的粘度计浸入事先准备妥当的恒温浴中，并用夹子将粘度计固定在支架上，在固定位置时，必须把毛细管粘度计的扩张部分2浸入一半。

温度计要利用另一只夹子来固定，务使水银球位置接近毛细管中央点的水平面，并使温度上要测温的刻度位于恒温浴的页面上10 mm处。

使用全浸式温度计时，如果它的测温刻度露出恒温浴的液面，就依照公式(A.1)计算温度计液柱露出部分的补正数 Δt ，才能准确地量出液体的温度：

$$\Delta t = k \cdot h(t_1 - t_2) \quad (\text{A.1})$$

式中：

k ——常数，水银温度计采用 $k=0.00016$ ，酒精温度计采用 $k=0.001$ ；

h ——露出在浴面上的水银柱或酒精柱高度，用温度计的度数表示；

t_1 ——测定粘度时的规定温度，°C；

t_2 ——接近温度计液柱露出部分的空气温度，°C（用另一只温度计测出）；

试验时取 t_1 减去 Δt 作为温度计上的温度读数。

A.5 操作步骤

A.5.1 将粘度计调整成为垂直状态，要利用铅垂线从两个相互垂直的方向去检查毛细管的垂直情况。将恒温浴调到规定的温度，把装好试样的粘度计浸在恒温浴内，经恒温如附表 6 规定的时间。试验的温度必须保持恒温到 0.1 °C。

表 A.2 粘度计在恒温浴中的恒温时间

试验温度 (°C)	恒温时间 (min)
80, 100	20
40, 50	15
20	10
0~-50	15

A.5.2 利用毛细管粘度计管身 1 口所套着的橡皮管将试样吸入扩张部分 3，使试样液面稍高于标线 a，并且注意不要让毛细管和扩张部分 3 的液体产生气泡或裂隙。

A.5.3 此时观察试样在管身中的流动情况，液面正好达到标线 a 时，开动秒表；液面正好流到标线 b 时，停止秒表。试样的液面在扩张部分 3 中流动时，注意恒温浴中正在搅拌的液体要保持恒定温度，而且扩张部分中不应出现气泡。

A.5.4 用秒表记录下来的流动时间，应重复测定至少四次，其中各次流动时间与其算术平均值的差数应符合如下的要求：在温度 100 ~ 15 °C 测定粘度时，这个差数不应超过算术平均值的 ±0.5%，在低于 15 ~ -30 °C 测定粘度时，这个差数不应超过算术平均值的 ±1.5%；在低于 -30 °C 测定粘度时，这个差数不应超过算术平均值的 ±2.5%；然后，取不少于三次的流动时间所得的算术平均值作为试样的平均流动时间。

A.6 计算

A.6.1 在温度 t 时，试样的运动粘度 ν_t (mm²/s) 按公式 (A.2) 计算：

$$\nu_t = c \times t_t \quad (\text{A.2})$$

式中：

c ——粘度常数，mm²/s²；

t_t ——试样的平均流动时间。

A.6.2 按 GB 1884《石油和液态石油产品密度测定法（密度计法）》（见附录 B）和 GB 1885《石油计量换算表》测定试样在温度 t 时的密度 ρ_t (g/cm³)。

A.6.3 在温度 t 时，试样的动力粘度 η_t (mPa·s) 按公式 (A.3) 计算：

$$\eta_t = v_t \times \rho_t \quad (\text{A.3})$$

式中：

v_t ——在温度 t 时，试样的运动粘度， mm^2/s ；

ρ_t ——在温度 t 时，试样的密度， g/cm^3 。

附录 B
(规范性目附录)
密度试验

B.1 参考标准

GB/T 1884-2000《原油和液体石油产品密度实验室测定法（密度计法）》。

B.2 仪器

B.2.1 密度计量筒

由透明玻璃、塑料或金属制成，其内径至少比密度计（B.2.2）外径大 25 mm，其高度应使密度计在试样中飘浮时，密度计底部与量筒底部的间距至少有 25 mm。

塑料密度计量筒应不变色并应抗侵蚀，不影响被测物质的特性。此外，长期暴露在日光下，不应变得不透明。

注：为了倾倒方便，密度计量筒边缘应有斜嘴。

B.2.2 密度计

玻璃制，应符合 SH/T 0316 和表 B.1 中给出的技术要求。

B.2.3 恒温浴

其尺寸大小应能容纳密度计量筒，使试样完全浸没在恒温浴液体表面以下，在试验期间，能保持试验温度在±0.25 °C以内。

型 号	单 位	密度范围	每支单位	刻度间隔	最大刻度误差	弯月面修正值
SY-02	kg/m ³	600~1 100	20	0.2	±0.2	+0.3
SY~05	(20℃)	600~1 100	50	0.5	±0.3	+0.7
SY-10		600~1 100	50	1.0	±0.6	+1.4
SY-02	g/cm ³	0.600~1.100	0.02	0.000 2	±0.000 2	+0.000 3
SY-05	(20℃)	0.600~1.100	0.05	0.000 5	±0.000 3	+0.000 7
SY-10		0.600~1.100	0.05	0.001 0	±0.000 6	+0.001 4

注：可以使用 SY- I 型或 SY- I 型石油密度计。

表 B.1 密度计技术要求

B.2.4 温度计

范围、刻度间隔和最大刻度误差见表 B.2。

B.2.5 玻璃或塑料搅拌棒

长约 450 mm。

范围, °C	刻度间隔	最大误差范围
-1~38	0.1	±0.1
-20~102	0.2	±0.15

注：可以使用电阻温度计，只要它的准确度不低于上述温度计的不确定度。

表 B.2 温度计技术要求

B.3 步骤

B.3.1 检查密度计的基准点确定密度计的刻度是否处于干管内的正确位置，如果刻度已移动，应废弃这只密度计。

B.3.2 把试样转移到温度稳定、清洁的密度计量筒中，避免试样飞溅和生成空气泡，并要减少轻组分的挥发。

B.3.3 用一片洁净的滤纸除去试样表面形成的所有气泡。

B.3.4 将盛有试样的密度计量筒垂直地放在没有空气流动的地方，在整个试验期间，环境温度变化应不大于 ± 2 °C。当环境温度的变化大于 ± 2 °C，应使用恒温浴，以免温度变化太大。

B.3.5 用合适的温度计或搅拌棒作垂直旋转运动搅拌试样，使整个量筒中试样的密度和温度达到均匀。记录温度接近到 0.1 °C。

B.3.6 把合适的密度计放入液体中，达到平衡位置时放开，让密度计自由地漂浮，要注意避免弄湿液面以上的干管。把密度计按到平衡点以下 1 mm 或 2 mm，并让它回到平衡位置，观察弯月面形状，如果弯月面形状改变，应清洗密度计干管，重复此项操作直到弯月面形状保持不变。

B.3.7 对于不透明粘稠液体，要等密度计慢慢地沉入液体中。

B.3.8 对透明低粘度液体，将密度计压入液体中约两个刻度，再放开。由于干管上多余的液体会影响读数，在密度计干管液面以上部分应尽量减少残留液。

B.3.9 在放开时，要轻轻的转动一下密度计，使它能在离开量筒壁的地方静止下来自由飘浮。要有充分的时间让密度计静止，并让所有气泡升到表面，读数前要除去所以气泡。

B.3.10 当使用塑料量筒时，要用湿布擦拭量筒外壁，以除去所有静电。（使用塑料量筒常形成静电荷，并可能防止密度计自由飘浮。）

B.3.11 当密度计离开量筒壁自由飘浮并静止时，按 7.12 或 7.13 读取密度计刻度值，读到最接近刻度间隔的 1/5。

B.3.12 测定透明液体，先使眼睛稍低与液面的位置，慢慢的升到液面，先看到一个不正的椭

圆，然后变成一条与密度计刻度相切的直线（见图 B.1）。密度计读数为液体下弯月面与密度计刻度相切的那一点。

B.3.13 测定不透明液体，使眼睛稍高于液面的位置观察（见图 B.2）。密度计读数为液体上弯月面与密度计刻度相切的那一点。

注：如使用 SY-I 或 SY-II 型石油密度计，任读取液体上弯月面与密度计干管相切处的刻度；使用金属密度计量筒测定完全不透明试样时，要确保试样液面装满到距离量筒顶端 5 mm 以内，这样才能准确读取密度计读数。

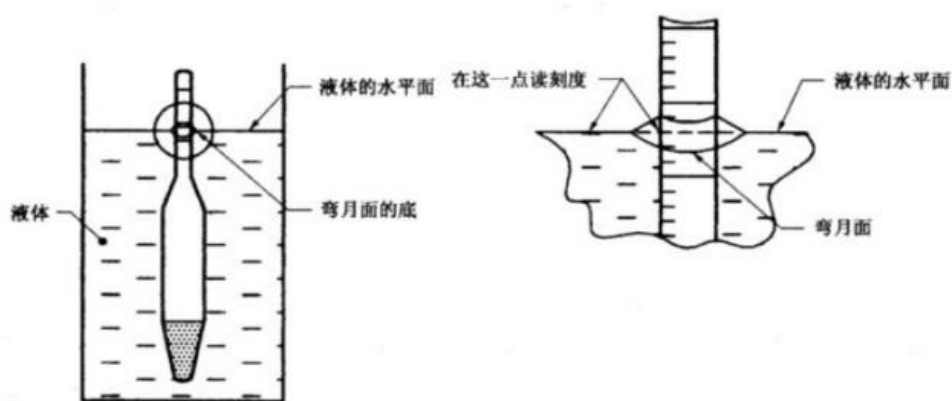


图 B.1 透明液体的密度计刻度读数

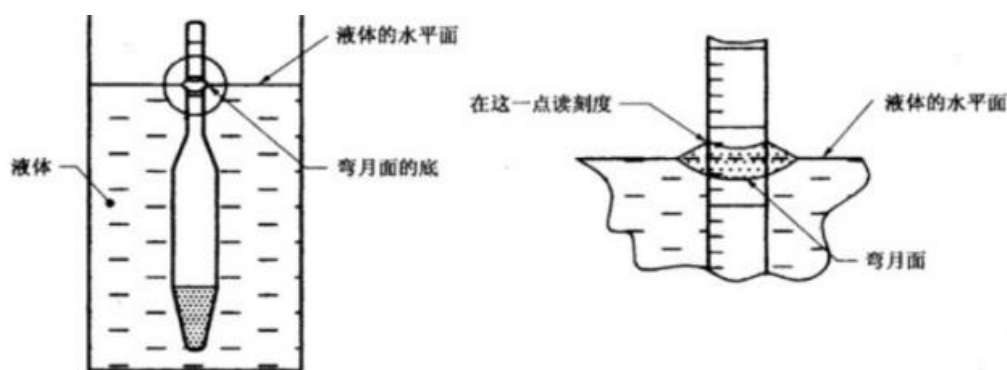


图 B.2 不透明液体的密度计刻度读数

B.3.14 记录密度计读数后，立即小心的取出密度计，并用温度计垂直地搅拌试样。记录温度接近到 0.1 °C，如这个温度与开始试验温度相差大于 0.5 °C，应重新读取密度计与温度计读数，直到温度变化稳定在 ± 0.5 °C以内。如果不能得到稳定的温度，把密度计量筒及其内容物放在恒温浴内，再从 B.3.4 重新操作。

B.4 计算

B.4.1 对观察到的温度计读数作有关修正后，记录到接近 0.1 °C。

B.4.2 对于密度计读数是按液体下弯面检定的，对不透明液体，应按表 1 中给出的弯月面修正值对观察到的密度计读数做弯月面修正。

B.4.3 对观察到的密度计读数作有关修正后，记录到 0.1 kg/m³(0.0001 g/cm³)。

B.4.4 按不同的试验油品，用 GB/T 1885 中的表 59A、表 59B 或表 59D 把修正后的密度计读数换算到 20°C 下标准密度。

a) 原油：表 59A；

b) 石油产品：表 59B；

c) 润滑油：表 59D。

注：（1）密度由 kg/m³ 换算到 g/cm³ 或 g/mL 应除以 10³；

（2）20 °C 密度与 15 °C 密度之间相互换算，可使用 GB/T 1885 中的表 E1 和表 E2。

附录 C

(规范性附录)

水活性试验

C.1 参考标准

参考国标 GB 5009.238-2016《食品安全国家标准 食品水分活度的测定》水分活度仪扩散法进行测定，此标准规定了“康卫氏皿扩散法”和“水分活度仪扩散法”。其中，康卫氏皿扩散法适用食品水分活度的范围为 0.00 ~ 0.98；水分活度仪扩散法的范围为 0.60 ~ 0.90。

C.2 原理：利用饱和盐溶液校正过的水分活度（Aw）测定仪器在一定温度下对样品中的蒸汽压力的变化，来确定水分活度。

水分活度也可称作等效平衡相对湿度(ERH)，在物理化学上是指：在一定温度下，样品的水分蒸汽压 p 与纯水的蒸汽压 po 的比值；而空气相对湿度是空气中的蒸汽压与饱和水蒸汽压的比值。因此，当蒸汽和温度平衡时，样品的水分活度就等同于样品所处的密闭环境中的空气相对湿度。

$$\text{即：} Aw = \frac{p}{p_0} = \frac{ERH(\%)}{100}$$

C.3 仪器

C.3.1 恒温恒湿箱

C.3.2 水活性测试仪

C.3.3 控温检测池

C.4 操作步骤

C.4.1 水活性测试仪校正：用三种饱和盐溶液分别倒入水活度测定装置内，插入水活性测试仪，启动真空泵 5 ~ 10 分钟。放入已设定好温湿度的恒温恒湿箱内，连接好水活性测试仪测量电缆，缓慢松开通气阀至压力平衡，分别观察同一温度下水活性测试仪读数与盐溶液的标称值比较，记录水活性测试仪显示值确定标定误差。

标准盐饱和溶液 Aw 值与温度的关系见表 C.1；标准盐饱和溶液标定装置流程图见图 C.1。

饱和盐溶液	试剂质量 ¹⁾ /g	温度/℃	水分活度	扩展不确定度
氯化锂	≥ 220	20	0.113	0.003
		25	0.113	0.003
		30	0.113	0.003
乙酸钾	≥ 740	20	0.231	0.003
		25	0.225	0.004
		30	0.216	0.006
氯化镁	≥ 150	20	0.331	0.002
		25	0.328	0.002
		30	0.324	0.002
碳酸钾	≥ 300	20	0.432	0.004
		25	0.432	0.004
		30	0.432	0.005
溴化钠	≥ 260	20	0.591	0.005
		25	0.576	0.004
		30	0.560	0.004

表 C.1 标准盐饱和溶液 A_w 值与温度的关系

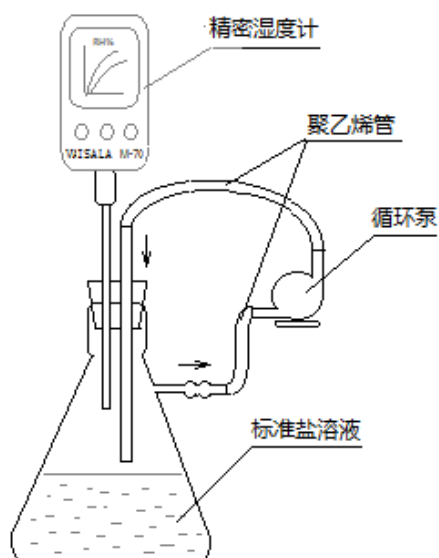


图 C.1 水活性测试仪校正示意图

C.4.2 油品测定：将待测油品装入检测装置的恒温槽中，再将水活性测试仪安装在恒温槽上部，连接好测试数据线，开机待温度恒定后稳定 15 min 左右，进行 a_w 值测量。重复测定两次，两个结果之差应不大于 0.005，结果取两次平均值。

附录 D
(规范性附录)
微水试验

D.1 参考标准

GB/T 11133-2015《石油产品、润滑油和添加剂中水分含量的测定 卡尔费休库仑滴定法》。

D.2 仪器

D.2.1 卡尔费休库仑测定仪：市售各种型号的自动卡尔费休库仑滴定仪器。由滴定池、铂电极、磁力搅拌器和控制单元部分组成。

D.2.2 水分蒸发器：市售各种型号的自动水分蒸发器。

D.2.3 注射器适应于标有精确刻度的玻璃注射器或一次性注射器将试样注入到滴定池中。注射器针头（带有鲁尔锥形接头的皮下注射用针头）的长度能够保证穿过进样口隔膜后能浸入到阳极试样页面以下。针头的针孔应尽可能的小，但应保证在吸样时不会出现反压或是堵塞的情况。注射器的型号如下所述：

D.2.3.1 容量 10 μL 的注射器：能够精确到 0.1 μL ，

D.2.3.2 根据表 1 选择下列容量的注射器：250 μL ，精确到 10 μL ；500 μL ，精确到 10 μL ；1 mL，精确到 0.01 mL；2 mL，精确到 0.01 mL；3 mL，精确到 0.01 mL。

D.2.4 天平：感量为 0.1 mg。

D.3 试剂和耗材

D.3.1 蒸馏水：符合 GB/T 6682 中二级水的要求。

D.3.2 二甲苯：分析纯，水含量小于 300 mg/kg，使用前经过分子筛干燥。

D.3.3 卡尔费休试剂：市售的用于卡尔费休滴定的标准试剂。

D.3.4 阳极电解液：由市售的卡尔费休阳极试剂与二甲苯按体积比 6:4 混合而成。

D.3.5 阴极电解液：市售的新配置的标准阴极电解液。

D.3.6 如果样品中含有酮类物资，使用市售的专门用于此类物质水含量测定的卡尔费休试剂。

D.3.7 正己烷：分析纯，水含量小于 200 mg/kg，使用前经分子筛干燥。

D.3.8 白油：分析纯

D.3.9 5A 分子筛：粒径为 1.70 mm ~ 2.36 mm。

D.4 试验前准备

D.4.1 实验室环境应控制相对湿度，如空气湿度较大时，应开启抽湿机，使实验室相对湿度

在 40% 以下。

D.4.2 密封卡尔费休库仑滴定仪的各个接口和连接处，防止空气中的湿气进入仪器。

D.4.3 把油样加入清洗干净的油浴锅中，打开油浴锅电源开关，设置温度为需测定的温度。

D.5. 步骤

D.5.1 取样

根据样品的预计水含量，按照表 D.1 选择试样的进样量。

预计水含量	试样进样量/g(或 mL)	预计滴定出的水的质量/ μg
10 mg/kg~100 mg/kg(或 $\mu\text{g/mL}$)	3.0	30~300
100 mg/kg~500 mg/kg(或 $\mu\text{g/mL}$)	2.0	200~1 000
0.02%~0.1%	1.0	200~1 000
0.1%~0.5%	0.5	500~2 500
0.5%~2.5%	0.25	1 250~6 250

表 D.1 基于试样预计水含量的试样进样量

D.5.2 将配制好的电解液加入滴定单元中，开启仪器，预滴定试剂达到滴定终点。

D.5.3 按下面的步骤将试样加入到滴定池中：

D.5.3.1 选取一个洁净、干燥并具有合适容量的注射器，吸取并丢弃至少 3 次试样。然后立即吸取一份试样，用一张干净的滤纸擦净针头后称重，精确到 0.1 mg。将注射器针头穿过仪器进样口隔膜，浸入阳极液面以下，启动滴定并注入试样。抽出注射器，用一张滤纸擦净针头，称重，精确到 0.1 mg。达到终点后，记录滴定出的水的微克数。（如果样品中的水含量未知，为避免过长的滴定时间和试剂消耗，可以加入少量样品进行试验。根据滴定结果调整试样的进样量）

D.5.3.2 滴定结束后，当背景电流或者滴定速率恢复到稳定的读数时，按照 D5.3.1 的步骤继续进行试验。

D.5.4 当发生以下情况时更换电解液

D.5.4.1 背景电流值持续很高且不稳定。

D.5.4.2 阳极区域出现分层或油样覆盖了电极表面。

D.5.4.3 注入滴定池中的试样量超过了阳极隔间中溶液总体积的四分之一。

D.5.4.4 滴定池中的电解液超过一个星期未换。

D.5.4.5 当仪器显示错误信息：直接或间接的建议更换电解液。

D.5.4.6 注入 10 μL 纯水样品的测量结果超出 $10000 \mu\text{g} \pm 200 \mu\text{g}$ 的范围。

D.5.5 如果滴定池被试样污染，需用二甲苯彻底的清洗阳极和阴极部分。不应丙酮或其它酮类物质清洗。电极隔膜的堵塞，会导致仪器发生故障。

D.5.6 如果样品过于黏稠而很难被注射器吸收，可以先把试样放入干燥洁净的瓶中，称量瓶子、滴管和试样的质量。然后用适当的方法例如滴管，迅速转移合适数量的试样至滴定池内。重新称量瓶子、滴管和试样质量，并按照 D.5.3 的步骤进行滴定。

D.5.7 记录仪器显示的微水含量。

附录 E
(规范性附录)
介电常数试验

E.1 参考标准

GB/T 5654-2007《液体绝缘材料 相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量》。

E.2 仪器

E.2.1 油介质损耗及电阻率测试仪

E.2.1.1 其原理示意图如下图 E.1

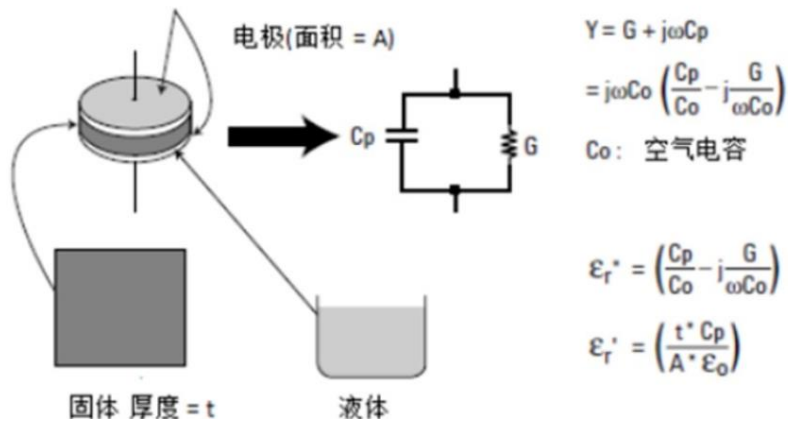


图 E.1 油介质损耗及电阻率测试仪原理示意图

E.3 操作步骤

E.3.1 将测量信号线和温度信号线按照仪器使用说明书连接好。

E.3.2 将地线与设备连接好，接通电源线，打开电源开关，显示设备主界面。

E.3.3 将油样注入测试油杯内，一般油杯有两个口，粗口是注油口，细口是液位管，用于显示液面的高度，我们在注油之前应打开主界面中的漏油开关，让被测油样将油杯进行清洗，当清洗完毕后点击漏油开关，关闭排油系统，当油样进液口和液位管高度持平时即可进行测试。

E.3.4 在试验条件界面进行试验参数设定，把样品信息输入到对应界面，然后按开始测定。

E.3.5 测试完成后仪器自动读出结果并按打印按钮打印出结果。

E.3.6 用平行样再测一次，两次测试结果之差应不大于±0.05，然后取两次测量的平均值为最终结果。

附录 F
(规范性附录)
含水率试验

F.1 参考标准

GB/T 260-2016《石油产品水含量的测定 蒸馏法》。

F.2 仪器

F.2.1 概述

仪器包括玻璃蒸馏瓶、带刻度的玻璃接收器、回流冷凝器和加热器。蒸馏瓶、接收瓶和冷凝器之间应采用适当的方式密封连接，最好采用磨口连接，典型的装配示意图见图 F.1 和图 F.2。

F.2.2 蒸馏瓶

短颈玻璃容器，其短颈接口适合连接接收器的回流管，容器的容量一般为 500 mL，也可以使用 1000 mL 和 2000 mL 的容器。

F.2.3 接收器

接收器的规格列于表 F.1 中。根据预计的样品量和水含量选择试验所需的蒸馏瓶和接收器型号。如果接收的水量超过 25 mL，可采用带旋塞的 25 mL 接收器，将超出刻度的水放入 10 mL 带刻度的量筒中。10 mL 锥形接收器分精密锥形和标准锥形两种。10 mL 精密锥形接收器适用于产品规格有痕迹指标的试样，刻度在 0.3 mL 以下设有十等分的刻线；0.3 mL ~ 1.0 mL 之间设有七等分的刻线；1.0 mL ~ 10 mL 之间每分度为 0.2 mL（见图 F.3）。

F.2.4 冷凝器

长度为 400 mm 的直式水冷凝器。

F.2.5 加热器

玻璃蒸馏瓶可以使用电加热器，选配有磁力搅拌的电加热器可以防止溶液的暴沸。

F.2.6 天平

感量为 0.1 g。

F.2.7 量筒

F.2.7.1 10 mL 带刻度量筒：分度值为 0.2 mL。

F.2.7.2 100 mL 带刻度量筒：分度值为 1 mL。

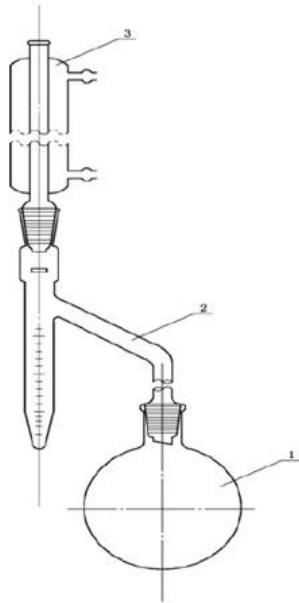


图 F.1 未带旋塞接收器蒸馏装置

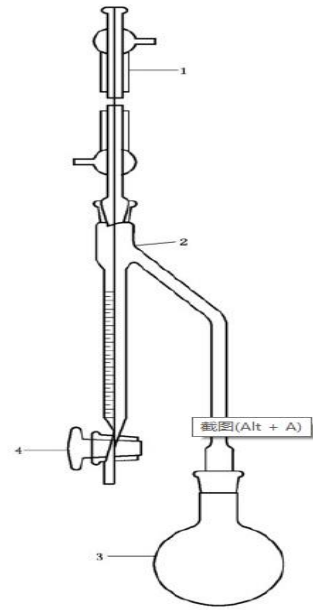


图 F.2 带旋塞接收器蒸馏装置

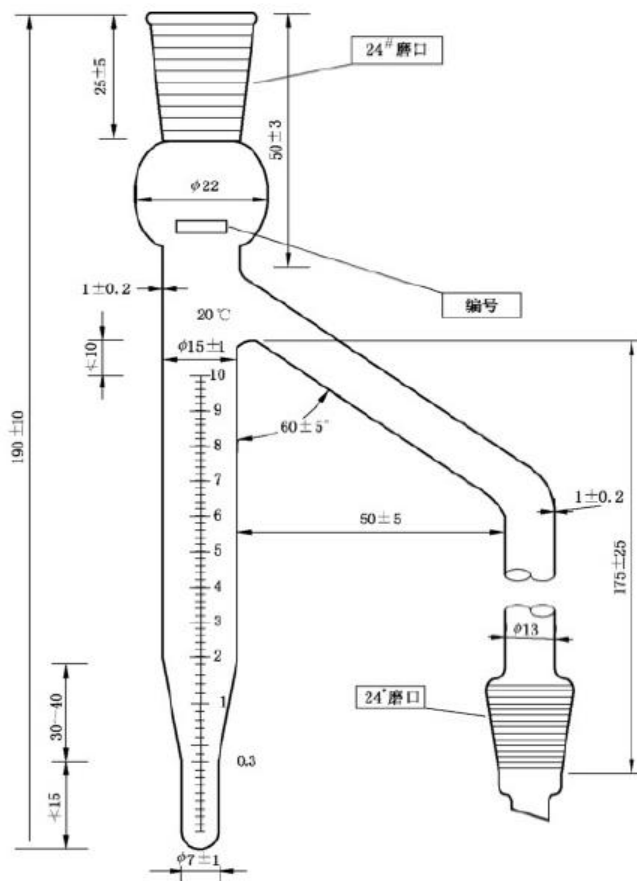


图 F.3 10 mL 精密锥形接收器 (单位为毫米)

接收器的体积/mL	2	5	10						25	
刻度范围/mL	0~2	0~5	0~0.3	>0.3~1	>1~10	0~1	>1~10	0~10	0~1	>1~25
最小分度值/mL	0.05	0.05	0.03	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2
最大刻度误差/mL	0.025	0.05	0.03	0.05	0.1	0.05	0.1	0.1	0.05	0.1
接收器底部形状	圆形	圆形	精密锥形(见图 3)			标准锥形		圆形	锥形	
接收器刻度部分长度/mm	85~105	120~140	85~105			120~140		120~140	140~160	

表 F.1 接收器的规格要求

F.3 试剂

根据试样的不同使用不同的抽提溶剂，可参考表 F.3。溶剂在使用前应脱水和过滤，按 F.4.2.9~F.4.2.12 的步骤测定溶剂的水含量，测定结果应为“无”。

F.3.1 芳烃溶剂

以下所列芳烃溶剂可用：

工业级以上的二甲苯（混合二甲苯）；

体积分数 20% 工业级的甲苯和体积分数 80% 工业级的二甲苯（混合二甲苯）的混合溶剂；

石油馏分按照 GB/T 6536 进行测试，其在 125 °C 的馏出量不超过体积分数 50%，且 160 °C 的馏出量不少于体积分数 20%，且在 20 °C 时的密度不低于 852 kg/m³。

F.3.2 石油馏分溶剂

石油馏分溶剂按照 GB/T 6536 进行测试，其体积分数 5% 的馏出温度在 90 °C ~ 100 °C，且体积分数 90% 的馏出温度在 210 °C 以下。

注：可选用符合 GB/T 15894-2008 中 90 °C ~ 120 °C 的石油醚，或将 90 °C ~ 120 °C 的石油醚与符合 GB 1992-2006 中 1 号或 2 号的溶剂油，按适当比例调配成符合上述要求的石油馏分溶剂。

F.3.3 石蜡基溶剂

下面所列的不含水的石蜡基溶剂可以使用：

石油醚（轻质石油烃），其沸点范围在 100 °C ~ 120 °C 之间；

2,2,4-三甲基戊烷（异辛烷），纯度 95% 以上。

F.4 操作步骤

F.4.1 校验和回收率试验

F.4.1.1 概述

初次使用前，按照 F.4.1.2 校验接收器的精度。使用蒸馏装置前按照 F.4.1.3 做回收试验。

F.4.1.2 校验

初次使用前，需要校验接收器刻度的精度，使用一个可读至 0.01 mL 的微量滴定管，或者使用一个 5 mL 微量移液管，根据所需，每次以 0.03 mL 或 0.05 mL 的增量将蒸馏水添加到接收器中，对可能用到的刻度进行校验。如果加入的水值与读出的水值之差超出 0.05 mL（对 10 mL 精密锥形接收器在 0.0 ~ 0.3 mL 刻度间，如果加入的水值与读出的水值之差超出 0.03 mL），则接收器不能使用。

F.4.1.3 回收率试验

在使用蒸馏装置测定水分之前，需要对整改蒸馏装置做水的回收试验。根据 F.2.2 所列的 500 mL ~ 2000mL 的蒸馏瓶相应加入 250 mL ~ 1000 mL 的二甲苯（3.1）按 F.4.2.4 ~ F.4.2.13 进行操作。蒸馏完成后，弃掉接收瓶中的溶剂，待蒸馏瓶冷却后，按表 F.2 要求用移液管将适量的蒸馏水直接加入蒸馏瓶中，按 F.4.2.4~F.4.2.13 进行操作。若接收器中得到的水的体积符合表 F.2 中允许的误差，则表明试验仪器符合要求。

如果试验结果超出表 F.2 中的允许误差，检测蒸馏过程中是否存在蒸汽泄露、蒸馏速度过快、接收器校准不准确，或有湿气进入的现象。消除这些影响因素后，重新进行校验，并重复回收试验。

20 °C时接收器的容量	20 °C时添加在蒸馏器中的水量	20 °C时回收水分的允许限值
2	1.00	1.0±0.025
5	1.00	1.0±0.025
5	4.50	4.5±0.025
10	1.00	1±0.1
10	5.0	5±0.25
25	12.0	12±0.25

表 F.2 回收水分的允许限值（单位：mL）

F.4.2 取样

F.4.2.1 概述

取样定义为从管线、罐或其它系统中获得有代表性的试验试样，并将其放入实验室试验用的容器中。

F.4.2.2 实验室试样

除非另有规定，取样应按照 GB/T 4756、GB/T 27867 或 SH/T 0229 进行。

试样用的试样量根据预期的水含量来确定，要求水的回收率不应超过接收器刻度的上限。除非接收器带有旋塞，可将超出刻度的水放入 10 mL 带刻度量筒里。

F.4.2.3 试验试样的准备

除按 GB/T 4756、GB/T 27867 或 SH/T 0229 的规定进行之外，还需按下述步骤制备试样。

F.4.2.3.1 易碎的固体试样，要完全磨碎并混合均匀。试验所需试样要从中获取。

F.4.2.3.2 液体试样要在原装容器内混匀，必要时加入混匀。样品的混合时间、混合力度（速度）以及搅拌器距样品容器底部的高度，都应按附录 A 进行操作，使样品达到分析要求。样品的体积和水含量均不应超过附录 A 中规定的最大值。

注：如果对按照 F.4.2.3.1 和 F.4.2.3.2 混合后的试样的均匀度有疑虑，在测定试样时，如果试样量与预期水含量相适配，可一次测定全部试样。如果试样量大，不能一次测定，则至少取出 3 份的测试试样，并将 3 次测定结果记录在测试报告中，结果的平均值作为试样水含量的结果。

F.4.2.4 试样标定测试前均需按 F.4.2.3 步骤混匀。

F.4.2.5 根据试样类型，取适量的试样，准确至 $\pm 1\%$ ，按 F.4.2.6 或 F.4.2.7 要求转入蒸馏瓶中。

F.4.2.6 对流动的液体试样，用量筒量取适量的试样，用一份 50 mL 和两份 25 mL 选好的抽提溶剂（见表 F.3），分次冲洗量筒，将试样全部转移到蒸馏瓶中。在试样倒入蒸馏器或每次冲洗后，应将量筒完全沥净。

表 F.3 被测试样与其相匹配的抽提溶剂

抽提溶剂的种类	被测样品
芳烃溶剂	焦油、焦油制品
石油馏分溶剂	燃料油、润滑油、石油磺酸盐、乳化油品
石蜡基烃溶剂	润滑脂

F.4.2.7 对于固体或黏稠的样品，将试样直接称入蒸馏瓶中，并加入 100 mL 所选用的抽提溶剂（见表 F.3）。对于水含量低的样品，需要增加称重量，所以抽提溶剂的量也需要大于 100 mL。

注：在使用 10 mL 接收器测试试样时，如果水含量大于 10%，可以减少试样量，使蒸馏出的水量不超过 10 mL。

F.4.2.8 如果所测试样有指标“痕迹”的要求时，使用 10 mL 精密锥形接收器（见图 F.3）。试样量为 100 g 或 100 mL，加入溶剂量为 100 mL。

F.4.2.9 磁力搅拌可以有效防止暴沸，也可在蒸馏器中加入玻璃珠或助沸材料，以减轻暴沸。

F.4.2.10 按图 F.1 或图 F.2 组装蒸馏装置，通过估算样品中的水含量，选择适当的接收器，确保蒸汽和液体相接处的密封。冷凝管及接收器需清洗干净，已确保蒸处的水不会粘到管壁上，而全部流入接收器底部。在冷凝管顶部塞入松散的棉花，以防止大气中的湿气进入。在冷凝管的夹套中通入循环冷却水。

F.4.2.11 加热蒸馏瓶，调整试样沸腾速度，使冷凝管中冷凝液的馏出速率为 2 滴/s ~ 9 滴/s。继续蒸馏至蒸馏装置中不再有水（接收器内除外），接收器中的水体积在 5 min 内保持不变。如果冷凝管上有水环，小心提高蒸馏速率，或将冷凝水的循环关掉几分钟。

F.4.2.12 待接收器冷却至室温后，用玻璃棒或聚四氟乙烯，或其他合适的工具将冷凝管和接收器壁粘附的水分拨移至水层中。读出水体积，精确至刻度值。

F.4.2.13 如果使用新的一批溶剂，需按 F.4.2.9 ~ F.4.2.12 的步骤测定试验所需的溶剂，水含量测定结果应为“无”。

F.5 计算

根据试样的量取方式，按公式 (F.1)、公式 (F.2) 或公式 (F.3) 计算水在试样中的体积分数 φ (%) 或质量分数 ω (%)。

$$\varphi = \frac{V_1}{V_0} \times 100\% \quad (\text{F.1})$$

$$\varphi = \frac{V_1}{m/\rho} \times 100\% \quad (\text{F.2})$$

$$\omega = \frac{V_1 \rho_{\text{水}}}{m} \times 100\% \quad (\text{F.3})$$

式中：

V_0 ——试样的体积，单位为毫升 (mL)；

V_1 ——测定试样时接收器中的水分，单位为毫升 (mL)；

m ——试样的质量，单位为克 (g)；

ρ ——试样 20 °C 的密度，单位为克每立方厘米 (g/cm³)；

$\rho_{\text{水}}$ ——水的密度，取值为 1.00 g/cm³。

注：试样中如果存在挥发性水溶性物质，也会以水的形式测定出来。