

MH

中华人民共和国民用航空行业标准

MH/T XXXX.2—XXXX

# 航空涡轮发动机润滑油性能测试方法 第2部分：气相结焦倾向

Testing method for performance of aviation turbine engine lubricating oils—  
Part 2: Vapor phase coking propensity

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国民用航空局 发布



## 目 次

前言 .....	II
引言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 方法概述 .....	1
5 仪器设备 .....	1
5.1 气相结焦测定仪 .....	1
5.2 测试管 .....	1
5.3 电子天平 .....	2
5.4 分析天平 .....	2
5.5 带锯 .....	2
5.6 烘箱 .....	2
6 试剂与耗材 .....	2
6.1 清洗剂 .....	2
6.2 水 .....	2
7 测试准备 .....	2
7.1 清洗 .....	2
7.2 样品准备 .....	2
7.3 测试管准备 .....	2
8 测试步骤 .....	3
9 数据处理与报告 .....	3
9.1 测试管结焦物质量 .....	3
9.2 涡轮滑油消耗量 .....	3
9.3 酸值变化 .....	4
9.4 运动粘度变化率 .....	4
9.5 结焦温度范围 .....	4
9.6 结果报告 .....	4
附录 A（规范性）气相结焦测定仪 .....	5
附录 B（规范性）结焦温度范围计算 .....	6

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是MH/T XXXX《航空涡轮发动机润滑油性能测试方法》的第2部分。MH/T XXXX已经发布了以下部分：

- 第1部分：高温轴承沉积性能；
- 第2部分：气相结焦倾向；
- 第3部分：高速齿轮承载能力。

本文件由中国民用航空局航空器适航审定司提出。

本文件由中国民航科学技术研究院归口。

本文件起草单位：中国民用航空总局第二研究所。

本文件主要起草人：汪必耀、夏祖西、黄致尧、杜澜、杨智渊、苏正良、曾萍、刘建刚、王海保、吴钰繁。

## 引 言

航空涡轮发动机润滑油性能测试是评价航空润滑油性能的科学方法，MH/T XXXX旨在为航空涡轮润滑油在发动机特定部件上的相关性能提供统一的测试方法，拟由三个部分构成。

——第1部分：高温轴承沉积性能。目的在于规定航空涡轮发动机润滑油在发动机轴承上的沉积性能测试方法。

——第2部分：气相结焦倾向。目的在于规定航空涡轮发动机润滑油油雾/空气两相混合物在通气管内产生结焦倾向的测试方法。

——第3部分：高速齿轮承载能力。目的在于规定在特定温度、流量和转速测试条件下，航空涡轮发动机润滑油承载能力的测试方法。

本次对MH/T XXXX.2的制定，聚焦于航空涡轮发动机润滑油气相结焦倾向测试方法，使航空涡轮发动机润滑油高温管部件结焦性能评价有据可依。



# 航空涡轮发动机润滑油性能测试方法

## 第2部分：气相结焦倾向

### 1 范围

本文件规定了航空涡轮发动机润滑油（以下简称“涡轮滑油”）油雾/空气两相混合物在通气管内产生结焦倾向的测试方法，包括仪器设备、试剂耗材、测试准备、测试步骤、测试数据处理和结果报告。本文件适用于涡轮滑油气相结焦性能的测试。

### 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。

- GB/T 265 石油产品运动粘度测定法和动力粘度计算法
- GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法
- GB/T 7304 石油产品酸值的测定 电位滴定法
- GB/T 24511 承压设备用不锈钢和耐热钢钢板和钢带

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**航空涡轮发动机润滑油 aviation turbine engine lubricating oils**

主要以多元醇脂类化合物为基础油，添加多种添加剂调和而成的用于航空涡轮发动机的润滑油。

#### 3.2

**气相结焦 vapor phase coking**

油雾/空气混合状态下的涡轮滑油在发动机高温通气管内形成碳沉积物的过程。

### 4 方法概述

涡轮滑油气相结焦倾向测试是将规定质量的涡轮滑油加入三颈烧瓶，加热并通入干燥空气，油蒸汽通过高温加热的测试管，在测试管内壁形成碳沉积物。记录测试前后测试管质量、涡轮滑油酸值和运动粘度，并报告测试管积碳生成量、涡轮滑油消耗量、酸值变化值和运动粘度变化率，以及结焦温度范围。

### 5 仪器设备

#### 5.1 气相结焦测定仪

气相结焦测定仪由三颈烧瓶、加热炉、加热套、供气单元以及温度控制单元等组成，各单元组成应符合附录A的要求。

其中三颈烧瓶应为圆底，容量2000 mL，24/40型接头；进气管应使用磨砂玻璃材质，24/40型接头，并与供气单元软管连接；热电偶应包括304型不锈钢护套，护套直径约3.2 mm，测量温度范围不小于1 °C~400 °C，精度为1 °C；加热炉加热功率应不低于1200 W，炉外径约21.5 cm，炉高约17.5 cm。

#### 5.2 测试管

测试管长度应为 $(165 \pm 1)$  mm，外径应为 $(12.5 \pm 0.1)$  mm，壁厚应为 $(1.25 \pm 0.05)$  mm，材质应符合GB/T 24511规定的06Cr19Ni10不锈钢。

### 5.3 电子天平

感量不低于0.1 g。

### 5.4 分析天平

感量不低于0.1 mg。

### 5.5 带锯

使用能切开测试管的带锯，过程中不应产生高温破坏结焦物。

### 5.6 烘箱

控温范围（100±2）℃。

## 6 试剂与耗材

### 6.1 清洗剂

分析纯石油醚，沸程为（60~90）℃。

### 6.2 水

测试用水不应低于GB/T 6682中规定的3级水要求。

## 7 测试准备

### 7.1 清洗

7.1.1 用清洗剂或水清洗三颈烧瓶、热电偶、进气管并干燥。

7.1.2 使用沾有清洗剂的硬毛刷清洗加热炉中管壁，除去测试残留物，直至刷毛无颜色变化。

### 7.2 样品准备

7.2.1 应准备不低于2 L的测试涡轮滑油作为测试样品。

7.2.2 使用电子天平称量（900±0.1）g 测试样品并装入三颈烧瓶中，再称量装有测试样品的三颈烧瓶总质量，精确到0.1 g，记录为  $M_0$ 。

7.2.3 按照 GB/T 7304 的方法测定样品的酸值，记录为  $TAM$ 。

7.2.4 按照 GB/T 265 的方法测定样品在 40℃ 下的运动粘度，记录为  $V_0$ 。

### 7.3 测试管准备

7.3.1 将测试管浸没于装有清洗剂的超声波清洗机中，清洗至少 15 min，直至无肉眼可见杂质。

7.3.2 将洗净的测试管放入（100±2）℃的烘箱中恒温至少 30 min，取出测试管放入干燥器中冷却至室温。

7.3.3 使用分析天平对测试管进行称重，精确至 0.1 mg，重复 7.3.2 步骤直至连续两次质量差不超过 0.5 mg，计算两次平均值，记录为初始质量  $m$ 。

7.3.4 按照表 1 要求在测试管外壁标注 6 支热电偶的安装位置。

表1 热电偶安装位置

单位为厘米

热电偶编号	热电偶探头与测试管底端的距离
1	3.0±0.1
2	5.5±0.1
3	8.0±0.1
4	10.5±0.1
5	13.0±0.1
6	15.5±0.1

## 8 测试步骤

### 8.1 按以下步骤进行测试管安装并开展测试。

- 按照表 1 要求安装 6 支热电偶。
- 将装好热电偶的测试管固定在加热炉顶部，确保加热炉与保温层连接部位无明显缝隙。
- 将装有测试样品的三颈烧瓶放入加热套。
- 将进气管和热电偶分别放入三颈烧瓶两侧斜口，使进气管端部和热电偶探头浸没至液面以下，浸没深度低于液面以下三分之二，连接三颈烧瓶与加热炉底部的金属管。
- 连接通气软管与进气管，启动供气单元。
- 启动设备，按照表 2 要求设置测试条件，确认涡轮润滑油中有气泡产生。三颈烧瓶温度和加热炉温度应在 1 h 内稳定至表 2 要求。
- 测试条件稳定后，记录测试样品温度和加热炉温度、空气流量，记录测试开始 1.5 h、9 h 及测试结束前 0.5 h 时 6 支热电偶温度，计算平均值，记录为  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_6$ 。
- 关闭电源和进气单元。

表2 测试参数

参数	指标
涡轮润滑油温度, °C	204±1
加热炉温度, °C	371±1
空气流量, mL/min	765±5
测试时间, h	18±0.1

### 8.2 按以下步骤进行测量与记录。

- 待测试样品冷却至室温，取出测试管并浸没于清洗剂中静置至少 30 min。
- 将测试管放入 (100±2) °C 的烘箱中恒温至少 30 min，取出测试管放入干燥器中冷却至室温。
- 对测试管进行称重，精确至 0.1 mg，重复 8.2 b) 步骤直至连续两次质量差不超过 0.5 mg，计算两次平均值，记录为质量  $m$ 。
- 取出三颈烧瓶，称量三颈烧瓶和样品总质量，精确到 0.1 g，记录为  $M$ 。
- 观察并记录三颈烧瓶内壁是否出现积碳、漆膜等现象。
- 观察并记录样品是否出现积碳、分层或沉淀等现象。
- 按照 GB/T 7304 的方法测定样品的酸值，记录为  $TAN$ 。
- 按照 GB/T 265 的方法测定样品 40 °C 的运动粘度，记录为  $V_2$ 。
- 用带锯沿轴向切开测试管，观察结焦物形态。

## 9 数据处理与报告

### 9.1 测试管结焦物质量

结焦物质量  $\Delta m$  见公式 (1)：

$$\Delta m = m_2 - m_1 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\Delta m$ ——结焦物质量，单位为毫克 (mg)；

$m_2$ ——测试后测试管的最终质量，单位为毫克 (mg)；

$m_1$ ——测试前测试管的初始质量，单位为毫克 (mg)。

### 9.2 涡轮润滑油消耗量

涡轮润滑油消耗量  $\Delta M$  见公式 (2)：

$$\Delta M = M_1 - M_2 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\Delta M$ ——涡轮润滑油消耗量，单位为克 (g)；

$M_1$ ——测试前三颈烧瓶和样品的总质量，单位为克 (g)；

$M_2$  ——测试后三颈烧瓶和样品的总质量，单位为克（g）。

### 9.3 酸值变化

酸值变化 $\Delta TAN$ 按公式（3）计算：

$$\Delta TAN = TAN_2 - TAN_1 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$\Delta TAN$  ——酸值变化值，单位为毫克氢氧化钾每克（mgKOH/g）；

$TAN_2$  ——测试后样品的酸值，单位为毫克氢氧化钾每克（mgKOH/g）；

$TAN_1$  ——测试前样品的酸值，单位为毫克氢氧化钾每克（mgKOH/g）。

### 9.4 运动粘度变化率

运动粘度变化率 $\Delta V\%$ 按公式（4）计算：

$$\Delta V\% = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\Delta V\%$  ——运动粘度变化率；

$V_2$  ——测试后样品的运动粘度（40℃），单位为平方毫米每秒（ $\text{mm}^2/\text{s}$ ）；

$V_1$  ——测试前样品的运动粘度（40℃），单位为平方毫米每秒（ $\text{mm}^2/\text{s}$ ）。

### 9.5 结焦温度范围

按附录B计算样品的结焦温度范围，记录为（ $T_{\min} \sim T_{\max}$ ）。

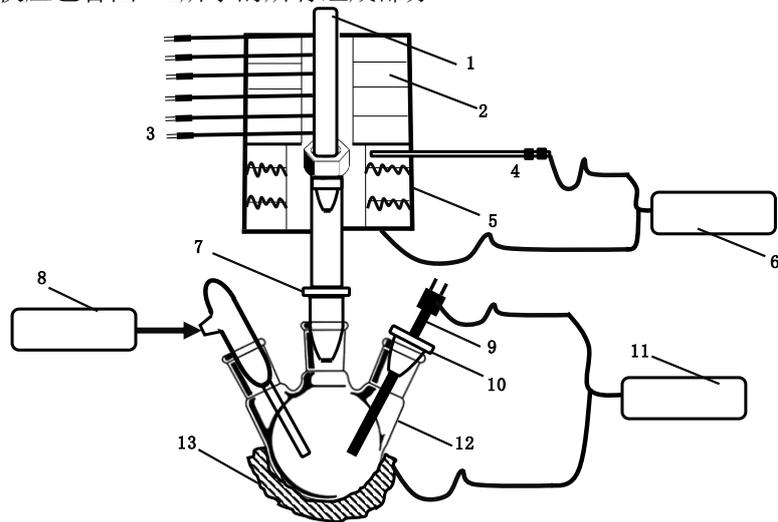
### 9.6 结果报告

结果应包括以下内容：

- a) 测试管结焦物质量，mg；
- b) 涡轮滑油消耗量，g；
- c) 酸值变化，mgKOH/g；
- d) 运动粘度变化率，%；
- e) 结焦温度范围，℃；
- f) 除上述报告内容外，还包括三颈烧瓶内壁是否出现积碳、漆膜等现象，测试后样品是否出现积碳、分层或沉淀等现象。

附录 A  
(规范性)  
气相结焦测定仪

气相结焦测定仪应包含图A. 1所示的所有组成部分。



标引序号说明:

- 1 —— 测试管;
- 2 —— 保温层;
- 3 —— 测试管热电偶;
- 4 —— 加热炉热电偶;
- 5 —— 加热炉;
- 6 —— 温度控制单元;
- 7 —— 聚四氟乙烯适配管;
- 8 —— 供气单元;
- 9 —— 测试油热电偶;
- 10 —— 套塞;
- 11 —— 温度控制单元;
- 12 —— 三颈烧瓶;
- 13 —— 加热套。

图A. 1 气相结焦测定仪

**附录 B**  
**(规范性)**  
**结焦温度范围计算**

在坐标纸上标出6支热电偶在测试管上的位置，见图B.1。最低结焦温度 $T_{\min}$ 、最高结焦温度 $T_{\max}$ 计算步骤如下。

- a) 若结焦物最高点位于第一只热电偶下方（不常见），则记录  $T_{\min} > T_1$ 。
- b) 若结焦物最高点位于第六只热电偶上方（不常见），则记录  $T_{\min} < T_6$ 。
- c) 若结焦物最高点位于第一只热电偶与第六只热电偶之间（计算取结焦物最高点位于第  $i$  只和第  $i+1$  只热电偶之间），则  $T_{\min}$  的计算方法见公式 (B.1)。
- d) 若结焦物最低点位于第一只热电偶下方（不常见），则记录  $T_{\max} > T_1$ 。
- e) 若结焦物最低点位于第六只热电偶上方（不常见），则记录  $T_{\max} < T_6$ 。
- f) 若结焦物最低点位于第一只热电偶与第六只热电偶之间（计算取结焦物最低点位于第  $j$  只和第  $j+1$  只热电偶之间），则  $T_{\max}$  的计算方法见公式 (B.2)。

$$T_{\min} = T_i - (T_i - T_{i+1}) \frac{L_e}{L_i} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

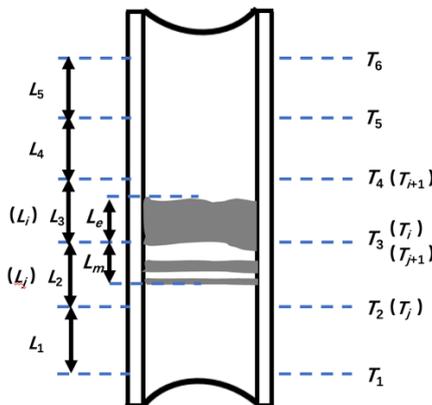
- $T_{\min}$  ——最低结焦温度，单位为摄氏度（℃）；
- $T_i$  ——第  $i$  只热电偶测试温度，单位为摄氏度（℃）；
- $T_{i+1}$  ——第  $i+1$  只热电偶测试温度，单位为摄氏度（℃）；
- $L_e$  ——结焦物最高点与其下方最近热电偶间距，单位为毫米（mm）；
- $L_i$  ——第  $i$  只热电偶与上方热电偶间距，单位为毫米（mm）。

$$T_{\max} = T_{j+1} + (T_j - T_{j+1}) \frac{L_m}{L_j} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

- $T_{\max}$  ——最高结焦温度，单位为摄氏度（℃）；
- $T_{j+1}$  ——第  $j+1$  只热电偶测试温度，单位为摄氏度（℃）；
- $T_j$  ——第  $j$  只热电偶测试温度，单位为摄氏度（℃）；
- $L_m$  ——结焦物最低点与其上方最近热电偶间距，单位为毫米（mm）；
- $L_j$  ——第  $j$  只热电偶与上方热电偶间距，单位为毫米（mm）。

计算结果精确至1℃，切开后的两部分测试管均应计算结焦温度， $T_{\min}$ 取其中较低值， $T_{\max}$ 取其中较高值，报告结焦温度范围（ $T_{\min} \sim T_{\max}$ ）。



标引序号说明：

- $L_1$  ——第1只热电偶与第2只热电偶间距；
- $L_2$  ——第2只热电偶与第3只热电偶间距；
- $L_3$  ——第3只热电偶与第4只热电偶间距；

- $L_4$  ——第4只热电偶与第5只电偶间距；
- $L_5$  ——第5只热电偶与第6只电偶间距；
- $L_i$  ——第*i*只热电偶与上方热电偶间距；
- $L_j$  ——第*j*只热电偶与上方热电偶间距；
- $L_e$  ——结焦物最高点与其下方最近热电偶间距；
- $L_m$  ——结焦物最低点与其上方最近热电偶间距；
- $T_1$  ——第1只热电偶温度；
- $T_2$  ——第2只热电偶温度；
- $T_3$  ——第3只热电偶温度；
- $T_4$  ——第4只热电偶温度；
- $T_5$  ——第5只热电偶温度；
- $T_i$  ——第*i*只热电偶测试温度；
- $T_{i+1}$  ——第*i*+1只热电偶测试温度；
- $T_j$  ——第*j*只热电偶测试温度；
- $T_{j+1}$  ——第*j*+1只热电偶测试温度。

图B. 1 测试管测试温度点位置

