JJG

中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 976—2024

透射式烟度计

Opacimeters

2024-02-07 发布　　2024-08-07 实施

国家市场监督管理总局 发布

透射式烟度计检定规程

Verification Regulation

of Opacimeters

JJG 976—2024
代替 **JJG 976—2010**

归 口 单 位：全国光学计量技术委员会

主要起草单位：厦门市计量检定测试院

江西省计量科学研究院

中国测试技术研究院

参加起草单位：成都驰达电子工程有限责任公司

浙江浙大鸣泉科技有限公司

佛山市南华仪器股份有限公司

本规程委托全国光学计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

江　涛（厦门市计量检定测试院）

管　锐（江西省计量科学研究院）

江　东（中国测试技术研究院）

参加起草人：

刘　　梅（成都驰达电子工程有限责任公司）

康　　野（浙江浙大鸣泉科技有限公司）

邱 长 缨（佛山市南华仪器股份有限公司）

上官荣海（厦门市计量检定测试院）

目　　录

引言 ……（Ⅱ）
1　范围……（1）
2　引用文件……（1）
3　术语和计量单位……（1）
4　概述……（2）
5　计量性能要求……（2）
5.1　标准光通道有效长度不透光度……（2）
5.2　光吸收系数……（3）
5.3　测量电路的响应时间……（3）
5.4　烟气温度示值误差……（3）
5.5　油温示值误差……（3）
5.6　发动机转速示值误差……（3）
6　通用技术要求……（3）
7　计量器具控制……（3）
7.1　检定条件……（3）
7.2　检定用设备……（3）
7.3　检定项目……（4）
7.4　检定方法……（5）
7.5　检定结果的处理……（7）
7.6　检定周期……（7）
附录A　标准中性滤光片透射比值 ……（8）
附录B　检定原始记录格式 ……（9）
附录C　检定证书/检定结果通知书内页信息及格式……（11）

引　　言

JJF 1002《国家计量检定规程编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规程修订工作的基础性系列规范。

本规程参考了 GB 3847—2018《柴油车污染物排放限值及测量方法（自由加速法及加载减速法）》和 GB 36886—2018《非道路柴油移动机械排气烟度限值及测量方法》对 JJG 976—2010 进行修订。与 JJG 976—2010 相比，除编辑性修改外主要变化如下：

——增加了引言；

——修改了“标准光通道有效长度不透光度”的术语（见 3.5）；

——修改了标准光通道有效长度不透光度的计算公式（见 3.5）；

——增加了“不一致性”的术语（见 3.7）；

——修改了标准光通道有效长度不透光度和光吸收系数的示值范围（见 5.1 和 5.2）；

——由对吸收比示值误差要求改为标准光通道有效长度不透光度的示值误差要求（见 5.1）；

——修改了烟气温度示值误差和油温示值误差的技术要求（见 5.4 和 5.5）；

——增加了通用技术要求的内容（见第 6 章）；

——中性滤光片改为：透射比约 0.86、0.78 和 0.50 的中性滤光片（见 7.2.1.1）；

——标准器中“数字式时间间隔测量仪”改为“响应时间测量仪”（见 7.2.3）；

——标准器中“恒温油槽”改为“干体炉或恒温油槽”（见 7.2.5）；

——修改了仪器漂移的检定方法（见 7.4.2.2）；

——修改了标准光通道有效长度不透光度示值误差的计算公式（见 7.4.2.3）；

——修改了光吸收系数 k 示值不一致性的计算公式（见 7.4.3.2）。

本规程历次版本发布情况为：

——JJG 976—2010；

——JJG 976—2002。

透射式烟度计检定规程

1 范围

本规程适用于分流式透射式烟度计的首次检定、后续检定和使用中检查。

2 引用文件

本规程引用了下列文件：

GB 3847—2018 柴油车污染物排放限值及测量方法（自由加速法及加载减速法）

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

3 术语和计量单位

3.1 透射比 transmittance

在光谱区间 400 nm～760 nm 范围内，从光源发出的光，透射光通量与入射光通量之比。按公式（1）计算。

$$\tau = \frac{\Phi}{\Phi_0} \tag{1}$$

式中：

τ ——透射比，1；

Φ ——透射光通量，lm；

Φ_0 ——入射光通量，lm。

3.2 吸收比 absorptance

在光谱区间 400 nm～760 nm 范围内，吸收的光通量（入射光通量与透射光通量之差）与入射光通量之比。按公式（2）计算。

$$N = \frac{\Phi_0 - \Phi}{\Phi_0} = 1 - \tau \tag{2}$$

式中：

N——吸收比，1。

3.3 光通道有效长度 effective optical path length

从光源发出的光到达烟度计光接收器所通过充满烟气的暗通道长度。单位为 m。用 L 表示。

3.4 标准光通道有效长度 standard effective optical path length

规定为 0.430 m 的光通道有效长度。用 L_s 表示。

3.5 标准光通道有效长度不透光度 opacity in the standard effective optical path length

为不同烟度计测量结果之间具备可比性，从光通道有效长度换算到标准光通道长度

的，以百分数表示的吸收比。按公式（3）计算。

$$N_s = \left[1 - e^{\frac{L_s}{L}\ln(1-N)}\right] \times 100 \tag{3}$$

式中：

N_s ——标准光通道有效长度不透光度，%；

L_s ——标准光通道有效长度，取 0.430 m；

L ——光通道有效长度，m；

N ——吸收比，1。

3.6 光吸收系数 absorption coefficient

由比尔-朗伯（Beer-Lambert）定律确定，表示光束被单位长度烟气衰减的系数。单位为 m^{-1}。按公式（4）计算。

$$k = -\frac{1}{L}\ln\tau = -\frac{1}{L}\ln(1-N) \tag{4}$$

式中：

k——光吸收系数，m^{-1}。

3.7 不一致性 inconsistency

光吸收系数 k 的示值与按照烟度计标准光通道有效长度不透光度 N_s 的示值计算得到的光吸收系数之间的差值。

4 概述

分流式透射式烟度计（以下简称“烟度计”）是用来连续测量压燃式发动机或装有压燃式发动机汽车的排气光吸收系数的仪器，也被称为不透光度计、不透光烟度计等。烟度计一般由取样探头、测量部件、控制系统和显示仪表等部分组成。它的测量原理如图 1 所示，一定光通量 Φ_0 的入射光通过一段特定长度的被测烟柱，用光接收器上所接收到的透射光通量 Φ 的强弱来评定排放可见污染物的程度。

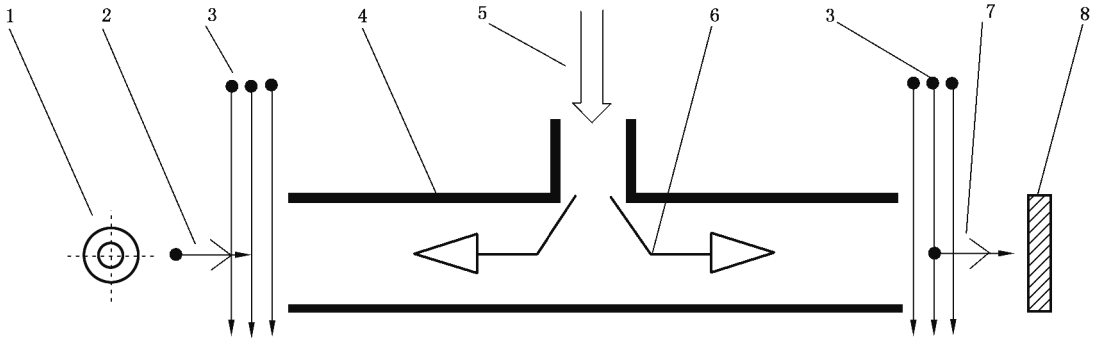

图 1 烟度计测量原理示意图

1—光源；2—入射光通量 Φ_0；3—风帘；4—光通道；

5—烟气入口；6—光通道内烟气；7—透射光通量 Φ；8—光接收器

5 计量性能要求

5.1 标准光通道有效长度不透光度

5.1.1　示值范围：至少应满足 0%～99.0%。

5.1.2　分辨力：不大于 0.1%。

5.1.3　示值误差（绝对量）：不超过±2.0%。

5.1.4　重复性（绝对量）：不大于 1.0%。

5.1.5　仪器漂移（绝对量）：30 min 内不超过 1.0%。

5.2　光吸收系数

5.2.1　示值范围：至少应满足（0～10.71）m^{-1}。

5.2.2　分辨力：不大于 0.01 m^{-1}。

5.2.3　示值不一致性：不大于 0.05 m^{-1}。

5.3　测量电路的响应时间

烟度计测量电路的响应时间：（0.9～1.1）s。

5.4　烟气温度示值误差

烟度计烟气温度示值误差不超过±2 ℃。

5.5　油温示值误差

若烟度计具备汽车发动机油温测量功能，油温示值误差不超过±2 ℃。

5.6　发动机转速示值误差

若烟度计具备发动机转速测量功能，发动机转速示值误差不超过±50 r/min。

6　通用技术要求

6.1　烟度计应有清晰的铭牌，标明名称、型号、生产单位、出厂编号、计量器具型式批准证书编号和制造日期。

6.2　烟度计铭牌或说明书中应给出光通道有效长度。

6.3　仪表显示应清晰，无影响测量的缺损。

6.4　各种调节旋钮、按钮操作灵活、平稳，锁定可靠，风帘风扇工作正常，不应有影响使用的缺陷。

6.5　应有数字通信接口。

7　计量器具控制

7.1　检定条件

7.1.1　环境条件

7.1.1.1　温度：（0～40）℃。

7.1.1.2　相对湿度：≤ 85%。

7.1.1.3　其他：无影响测量结果的光线或电磁干扰等。

7.2　检定用设备

7.2.1　标准中性滤光片。

7.2.1.1　透射比约为 0.86、0.78、0.50 各一片，不超过规定透射比的±0.02。

7.2.1.2　透射比值在光谱区间（470～650）nm 范围中实测透射比值，按明视觉函数加权计算，见附录 A。

7.2.1.3　透射比的扩展不确定度应不大于 0.006（k＝2）。

7.2.2　遮光片。

7.2.3　响应时间测量仪的测量误差不大于±20 ms。

7.2.4　数字温度计。

7.2.4.1　测量范围：（10～150）℃。

7.2.4.2　最大允许误差：±0.2 ℃。

7.2.5　干体炉或恒温油槽

7.2.5.1　测量范围：（0～120）℃。

7.2.5.2　温场均匀性：0.2 ℃。

7.2.5.3　温度波动度：±0.2 ℃/30 min。

7.2.6　发动机转速测量仪校准装置

7.2.6.1　测量范围：（500～6 000）r/min。

7.2.6.2　最大允许误差：±0.2%。

7.3　检定项目

检定项目如表 1 所示。

表 1　检定项目一览表

检定项目		首次检定	后续检定	使用中检查
通用技术要求		＋	＋	＋
标准光通道 有效长度不透光度	示值范围	＋	＋	＋
	分辨力	＋	－	－
	示值误差	＋	＋	＋
	重复性	＋	＋	＋
	仪器漂移	＋	＋	＋
光吸收系数	示值范围	＋	＋	＋
	分辨力	＋	－	－
	示值不一致性	＋	＋	＋
测量电路的响应时间		＋	－	－
烟气温度示值误差		＋	－	－
油温示值误差（仅适用带有油温测量功能的烟度计）		＋	＋	＋
发动机转速示值误差（仅适用带有发动机转速测量功能的烟度计）		＋	＋	＋
注：“＋”表示应检定项目，“－”表示可不检定项目。				

7.4 检定方法

7.4.1 通用技术要求

通过目测和手感，并根据使用说明书，对通用技术条件各项内容进行检查。

7.4.2 标准光通道有效长度不透光度 N_s

7.4.2.1 示值范围及分辨力

开机预热稳定后，调节烟度计不透光度 N_s的零位，插入遮光片，让光接收器被完全遮住，人工检视烟度计示值，观察其范围及显示分辨力。

7.4.2.2 仪器漂移

烟度计示值稳定后调节零位，插入透射比约为 0.78 的标准中性滤光片，读取烟度计不透光度 N_s的示值。每隔 10 min 读取烟度计不透光度 N_s的示值，连续 3 次。30 min内，4 次示值间的最大差值即为检定值。

7.4.2.3 示值误差

在烟度计的规定位置，依次插入 3 片标准中性滤光片，分别读取不透光度 N_s的示值。重复测量 3 次，取 3 次示值平均值作为检定值。按公式（5）计算示值误差。

$$\Delta N_{si} = \overline{N_{si}} - (1 - e^{\frac{L_s}{L}\ln\tau_i}) \times 100 \tag{5}$$

式中：

ΔN_{si}——第 i 检定点（i=1，2，3），不透光度 N_s示值误差，%；

$\overline{N_{si}}$ ——第 i 检定点，3 次不透光度 N_s示值的平均值，%；

τ_i ——第 i 检定点，标准中性滤光片透射比值。

7.4.2.4 重复性

用透射比约为 0.78 的标准中性滤光片插入烟度计的规定位置，读取烟度计不透光度 N_s的示值，重复测量 6 次，按公式（6）计算重复性。

$$r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{6}(N_{si} - \overline{N_s})^2}{5}} \tag{6}$$

式中：

r ——不透光度 N_s重复性；

N_{si}——第 i 次测量（i=1，2，3，4，5，6）的不透光度 N_s示值；

$\overline{N_s}$ ——重复测量 6 次不透光度 N_s的平均值。

7.4.3 光吸收系数 k

7.4.3.1 示值范围及分辨力

调节光吸收系数 k 零位。插入遮光片使光接收器被完全遮住时，观察烟度计的示值范围及分辨力。

7.4.3.2 光吸收系数 k 示值不一致性

在烟度计的规定位置，依次插入 3 片标准中性滤光片，分别读取不透光度 N_s的示值和光吸收系数 k 的示值，按公式（7）计算其不一致性。

$$\Delta k_i = \left| k_i - \left[-\frac{1}{L_s} \ln(1 - N_{si}) \right] \right| \tag{7}$$

式中：

Δk_i ——第 i 检定点，光吸收系数 k 示值不一致性，m^{-1}；

k_i ——第 i 检定点，烟度计光吸收系数 k 示值，m^{-1}；

N_{si} ——第 i 检定点，烟度计不透光度 N_s 示值。

7.4.4 测量电路的响应时间

将响应时间测量仪与被检烟度计数字通信接口连接，快速插入遮光片使光接收器被完全遮住的过程中，测量被检烟度计的不透光度 N_s 从 10％满量程到 90％满量程时的时间，即为测量电路响应时间。

7.4.5 烟气温度测量示值误差

将数字温度计传感器从烟气入口插入烟度计，读取烟度计烟气温度显示值和数字温度计测量的实际温度，按公式（8）计算烟气温度示值误差。

$$\Delta T = T - T_0 \tag{8}$$

式中：

ΔT ——烟气温度示值误差，℃；

T ——烟度计烟气温度的显示值，℃；

T_0 ——数字温度计测量的实际温度，℃。

7.4.6 油温示值误差

若烟度计具备油温测量功能，将烟度计油温测量传感器放在干体炉或恒温油槽中，干体炉或恒温油槽加温至约 80 ℃。当干体炉或恒温油槽加热到规定的温度点时分别读取干体炉或恒温油槽温度显示值和烟度计油温示值，按公式（9）计算油温示值误差。

$$\Delta t = t - t_0 \tag{9}$$

式中：

Δt ——油温示值误差，℃；

t ——烟度计油温显示值，℃；

t_0 ——干体炉或恒温油槽温度显示值，℃。

7.4.7 发动机转速示值误差

7.4.7.1 发动机转速测量仪校准装置开机预热。

7.4.7.2 将被检烟度计转速传感器安置在发动机转速测量仪校准装置规定的位置，将发动机转速测量仪校准装置分别设定为 1 500 r/min、2 000 r/min、2 500 r/min 和 3 000 r/min测量点时，读取被检烟度计的发动机转速示值。按公式（10）计算示值误差。

$$\Delta n_i = n_i - n_{0i} \tag{10}$$

式中：

Δn_i ——第 i 测量点（i = 1，2，3，4），烟度计发动机转速示值误差，r/min；

n_i ——第 i 测量点，烟度计发动机转速显示值，r/min；

n_{0i} ——第 i 测量点，发动机转速测量仪校准装置标准值，r/min。

7.5　检定结果的处理

经检定符合本规程要求的烟度计，发给检定证书。检定不合格的烟度计，发给检定结果通知书，并列出不合格项目及数据。

7.6　检定周期

烟度计的检定周期一般不超过1年。

附录 A

标准中性滤光片透射比值

标准中性滤光片透射比值按可见光区间（400～760）nm 范围中，（470～650）nm[①]每 10 nm 间隔区间的测得透射比值，按公式（2）加权计算而得：

$$\tau_i = \frac{\sum [\tau_{ij} \cdot V_j(\lambda)]}{\sum V_j(\lambda)} \tag{A.1}$$

式中：

τ_i ——第 i 片滤光片（i ＝ 1，2，3）的积分透射比；

τ_{ij} ——第 i 片滤光片、第 j 波长区间中间波长的透射比（j＝1，2，…，18）；

$V_j(\lambda)$ ——第 j 波长区间明视觉函数，见表 A.1。

表 A.1　不同波长区间明视觉函数

j	波长区间 nm	中间波长 nm	$V_j(\lambda)$	j	波长区间 nm	中间波长 nm	$V_j(\lambda)$
1	470～480	475	0.112 60	10	560～570	565	0.978 60
2	480～490	485	0.169 30	11	570～580	575	0.915 40
3	490～500	495	0.258 60	12	580～590	585	0.816 30
4	500～510	505	0.407 30	13	590～600	595	0.694 90
5	510～520	515	0.608 20	14	600～610	605	0.566 80
6	520～530	525	0.793 20	15	610～620	615	0.441 20
7	530～540	535	0.914 85	16	620～630	625	0.321 00
8	540～550	545	0.980 30	17	630～640	635	0.217 00
9	550～560	555	1.000 00	18	640～650	645	0.138 20

① 因为（400～470）nm 及（650～760）nm 区间中的明视觉函数 $V_j(\lambda)$ 小于 0.1，故忽略不计。

附录 B

检定原始记录格式

<table>
<tr><td>单位名称</td><td colspan="5"></td><td>设备编号</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">被检器</td><td>名称</td><td>透射式烟度计</td><td>型号规格</td><td></td><td>出厂编号</td><td></td></tr>
<tr><td>生产单位</td><td colspan="3"></td><td>光通道有效长度/m</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="6">主标准器</td><td colspan="2">名称</td><td>规格型号</td><td>仪器编号</td><td colspan="2">技术特征</td><td>证书编号</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>技术依据</td><td colspan="4"></td><td colspan="2">温度：　　℃</td><td>相对湿度：　　%</td></tr>
<tr><td>检定地点</td><td colspan="2"></td><td>检定结论</td><td></td><td colspan="2">证书编号</td><td></td></tr>
<tr><td>检定日期</td><td>年　月　日</td><td>有效期至</td><td>年　月　日</td><td>检定员</td><td></td><td>核验员</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">通用技术要求</td><td colspan="5">清晰的铭牌，标明名称、型号、生产单位等，并标明光通道有效长度</td><td colspan="2">□是　□否</td></tr>
<tr><td colspan="5">仪表显示应清晰，无缺损现象</td><td colspan="2">□是　□否</td></tr>
<tr><td colspan="5">各种调节旋钮、按钮应转动灵活、平稳、锁定可靠，风帘风扇转速正常</td><td colspan="2">□是　□否</td></tr>
<tr><td colspan="5">配置数字通信接口</td><td colspan="2">□是　□否</td></tr>
<tr><td>测量范围</td><td>不透光度 N_s/%</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">光吸收系数 k/m^{-1}</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>分辨力</td><td>不透光度 N_s/%</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">光吸收系数 k/m^{-1}</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">仪器漂移</td><td>时间/min</td><td>0</td><td>10</td><td>20</td><td>30</td><td colspan="2">最大漂移</td></tr>
<tr><td>不透光度 N_s/%</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">不透光度 N_s</td><td rowspan="2">标准滤光片透射比 τ</td><td rowspan="2">不透光度标准值/%</td><td colspan="4">标准光通道有效长度不透光度 N_s示值/%</td><td rowspan="2">示值误差/%</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>平均值</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

（续）

<table>
<tr><td rowspan="4">光吸收系数示值不一致性</td><td colspan="2">光吸收系数
k 示值/m^{-1}</td><td colspan="2">不透光度 N_s
示值/%</td><td colspan="2">由 N_s换算得到的
光吸收系数/m^{-1}</td><td colspan="2">不一致性/m^{-1}</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">N_s重复性/%</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>重复性 r</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>测量电路响应时间/s</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td>烟气温度标准值/℃</td><td colspan="4"></td><td colspan="3" rowspan="2">烟气温度示值误差/℃</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>烟气温度显示值/℃</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>油温标准值/℃</td><td></td><td colspan="2">油温显示值/℃</td><td></td><td colspan="3">油温示值误差/℃</td><td></td></tr>
<tr><td>转速测量仪标准值/（r/min）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3" rowspan="2">发动机转速示值误差/（r/min）</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>发动机转速示值/（r/min）</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

附录 C

检定证书/检定结果通知书内页信息及格式

C.1　检定证书/检定结果通知书内页应包含以下信息。

C.1.1　检定证书/检定结果通知书编号。

C.1.2　检定所用计量标准信息。

C.1.2.1　计量标准名称。

C.1.2.2　规格型号。

C.1.2.3　不确定度/准确度等级/最大允许误差。

C.1.2.4　证书编号。

C.1.2.5　检定证书有效期。

C.1.3　检定条件。

C.1.3.1　环境条件：温度、相对湿度等。

C.1.3.2　检定地点。

C.1.4　被检项目及检定结果。

C.1.5　检定不合格项说明（只用于检定结果通知书内页格式）。

C.1.6　页码。

C.1.7　可附加说明部分。

以上信息，除 C.1.7 条为可选择项，其余均为必备项。