



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 8190.9—2010/ISO 8178-9:2000

---

## 往复式内燃机 排放测量 第9部分：压燃式发动机瞬态工况排气 烟度的试验台测量用试验循环和测试规程

Reciprocating internal combustion engines—  
Exhaust emission measurement—  
Part 9: Test cycles and test procedures for test-bed measurement of  
exhaust gas smoke emissions from compression ignition  
engines operating under transient conditions

(ISO 8178-9:2000, IDT)

2010-11-10 发布

2011-03-01 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

## 目 次

前言 .....	I
引言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 符号和单位 .....	3
5 试验条件 .....	4
6 试验燃料 .....	5
7 测量设备和精度 .....	6
8 消光烟度计的标定 .....	7
9 试验运行 .....	8
10 数据评定和计算 .....	8
11 烟度测定 .....	11
附录 A (规范性附录) 非道路用变速运行发动机的试验循环 .....	15
附录 B (规范性附录) 非道路用恒速运行发动机的试验循环 .....	20
附录 C (资料性附录) 关于试验循环的注意事项 .....	24
附录 D (资料性附录) 计算程序示例 .....	25
附录 E (规范性附录) 船舶推进发动机的试验循环 .....	35
附录 F (规范性附录) 变速运行 F 类发动机(机车牵引)的试验循环 .....	39
参考文献 .....	42

## 前 言

GB/T 8190《往复式内燃机 排放测量》分为 11 个部分：

- 第 1 部分：气体和颗粒排放物的试验台测量；
- 第 2 部分：气体和颗粒排放物的现场测量；
- 第 3 部分：稳态工况排气烟度的定义和测量方法；
- 第 4 部分：不同用途发动机的稳态试验循环；
- 第 5 部分：试验燃料；
- 第 6 部分：测量结果和试验报告；
- 第 7 部分：发动机系族的确定；
- 第 8 部分：发动机系组的确定；
- 第 9 部分：压燃式发动机瞬态工况排气烟度的试验台测量用试验循环和测试规程；
- 第 10 部分：压燃式发动机瞬态工况排气烟度的现场测量用试验循环和测试规程；
- 第 11 部分：非道路移动机械用发动机瞬态工况下气体和颗粒排放物的试验台测量。

本部分是 GB/T 8190 的第 9 部分。

本部分等同采用 ISO 8178-9:2000/Amd1:2004《往复式内燃机 排放测量 第 9 部分：压燃式发动机瞬态工况排气烟度的试验台测量用试验循环和测试规程》(英文版)。

本部分等同翻译 ISO 8178-9:2000/Amd1:2004。为便于使用,本部分做了如下编辑性修改：

- “本国际标准”一词改为“本部分”；
- 删除了国际标准的前言；
- 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”。

本部分对 ISO 8178-9:2000 中采用的其他国际标准,凡已被采用为我国标准的,用我国标准代替相应的国际标准;未被采用为我国标准的,仍直接采用国际标准。

本部分的附录 A、附录 B、附录 E 和附录 F 为规范性附录,附录 C 和附录 D 为资料性附录。

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国内燃机标准化技术委员会(SAC/TC 177)归口。

本部分起草单位:上海内燃机研究所、广西玉柴机器股份有限公司、上海柴油机股份有限公司、常州出入境检验检疫局。

本部分主要起草人:陈云清、林铁坚、计维斌、邹强、岳晓平、瞿俊鸣、庄国钢、陆寿域、谢亚平、宋国婵。

## 引 言

目前世界上存在许多不同的烟度测量规程。有些烟度测量规程是为试验台测试设计的,用以认证或型式认证;另一些是为现场试验而设计的,用于监测和维修检测。不同的烟度测量规程并存能满足各种管理机构和工业部门的要求。烟度测量采用的两种典型方法是滤纸式烟度计法和消光烟度计法。

GB/T 8190 的本部分尽最大可能融合了现存烟度测量规程的主要技术特点。GB/T 8190 的第 4 部分规定了若干种确定非道路用发动机气体和颗粒排放的试验循环。GB/T 8190 第 4 部分中的试验循环是针对各类非道路机械的不同工作特征而设计的。同样,不同的烟度试验循环适用于不同类型的非道路用发动机和机械。在 GB/T 8190.4 中,允许用不同的稳态工况来表征和控制非道路用发动机的气体 and 颗粒排放。为了正确表征和控制各种用途发动机的烟度排放,需要采用瞬态试验循环。

GB/T 8190 的本部分用于压燃式发动机的烟度测量。本部分适用于转速或负荷或两者同时随时间变化的在瞬态工况下运行的发动机。应指出的是,保养完好的典型自然吸气发动机瞬态工况下的排气烟度通常与其稳态工况下的排气烟度相同。

只有消光烟度计可以用于 GB/T 8190 本部分规定的烟度测量,允许使用全流式或部分流式消光烟度计,本部分考虑了这两种类型消光烟度计响应时间的差异,但未考虑取样区温度不同而引起的任何差异。

附录 E 规定的试验循环代表了 GB/T 8190.4 中 E1、E2、E3 和 E5 循环所述用途的发动机。

附录 F 规定的试验循环代表了 GB/T 8190.4 中 F 循环所述用途的发动机。

# 往复式内燃机 排放测量

## 第 9 部分:压燃式发动机瞬态工况排气 烟度的试验台测量用试验循环和测试规程

### 1 范围

GB/T 8190 的本部分规定了在试验台上评定压燃式发动机排气烟度的试验循环和测试规程。

对于瞬态烟度试验循环应使用按消光原理工作的烟度计测量烟度。本部分旨在规定烟度试验循环以及测量和分析烟度的方法。采用消光原理测量烟度的详细规定可参见 ISO 11614:1999。本部分第 1 章~第 11 章规定的试验规程和测量方法适用于往复式内燃机。但每种用途的发动机只能使用本部分规定的一种试验循环进行评定。附录 A、附录 B、附录 E 和附录 F 各包含一种只适合于该附录范围所列特定用途的发动机。附录中规定的烟度试验循环亦可用于 GB/T 8190.4—2010 指定的发动机和机械类型。

对于某些非道路用发动机,必需进行现场烟度试验而不必进行试验台烟度试验。对于有附加要求(如职业健康和安全法规)的机械所用发动机,可能需要附加试验条件和专用评价方法。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 8190 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 2820.1 往复式内燃机驱动的交流发电机组 第 1 部分:用途、定额和性能(GB/T 2820.1—2009,ISO 8528-1:2008,IDT)

GB/T 2820.5 往复式内燃机驱动的交流发电机组 第 5 部分:发电机组(GB/T 2820.5—2009,ISO 8528-5:2005,IDT)

GB/T 6072.3 往复式内燃机 性能 第 3 部分:试验测量(GB/T 6072.3—2008,ISO 3046-3:2006,IDT)

GB/T 8190.1—2010 往复式内燃机 排放测量 第 1 部分:气体和颗粒排放物的试验台测量(ISO 8178-1:2006,IDT)

GB/T 8190.4—2010 往复式内燃机 排放测量 第 4 部分:不同用途发动机的稳态试验循环(ISO 8178-4:2007,IDT)

GB/T 8190.5 往复式内燃机 排放测量 第 5 部分:试验燃料(GB/T 8190.5—2005,ISO 8178-5:1997,IDT)

GB/T 8190.6 往复式内燃机 排放测量 第 6 部分:测量结果和试验报告(GB/T 8190.6—2006,ISO 8178-6:2000,IDT)

GB/T 8190.7—2003 往复式内燃机 排放测量 第 7 部分:发动机系族的确定(ISO 8178-7:1996,IDT)

GB/T 8190.8 往复式内燃机 排放测量 第 8 部分:发动机系组的确定(GB/T 8190.8—2003,ISO 8178-8:1996,IDT)

ISO 11614:1999 往复压燃式发动机 不透光测量仪器和排气光吸收系数的确定

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于 GB/T 8190 的本部分。

#### 3.1

##### 排烟 exhaust gas smoke

由燃烧或热解产生的悬浮在排气中的可见固体和/或液体颗粒。

注：黑烟(碳烟)主要由碳粒组成；蓝烟通常是由燃料或润滑油不完全燃烧产生的液滴形成的；白烟通常是由凝结水和/或液体燃油形成的；黄烟则由  $\text{NO}_2$  形成。

#### 3.2

##### 透光度 transmittance

$\tau$

光源射出的光线经过一段被烟气遮挡的通道后到达观察者或光检测器的那部分光线，用百分数表示。

#### 3.3

##### 消光度 opacity

$N$

光源射出的光线经过一段被烟气遮挡的通道后未能到达观察者或光检测器的那部分光线，用百分数表示。

注： $N=100-\tau$ 。

#### 3.4 光通道长度

##### 3.4.1

##### 光通道有效长度 effective optical path length

$L_A$

光源与光检测器之间被烟气遮挡的光通道长度，用  $m$  表示，该长度需要对由密度梯度和边缘效应引起的不均匀性进行修正。

注：光源到光检测器的总光通道长度中未被烟气遮挡的那部分光通道长度不计入光通道有效长度。

##### 3.4.2

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

$L_{AS}$

用于确保与规定消光度值进行有效比较的测量值。

注：确定  $L_{AS}$  值见 10.1.4。

#### 3.5

##### 光吸收系数 light absorption coefficient

$k$

度量烟柱或含烟样气遮挡光线能力的基本单位。

注：通常，光吸收系数用米的倒数( $\text{m}^{-1}$ )表示。光吸收系数是单位容积气体所含烟颗粒数、烟颗粒尺寸分布以及颗粒光吸收和光分散特性的函数。在没有蓝烟、白烟、黄烟或灰尘的情况下，所有柴油机排气样气的碳颗粒尺寸分布和光吸收/分散特性是相同的，所以光吸收系数主要是烟颗粒密度的函数。

#### 3.6

##### 比尔-朗伯特定律 Beer-Lambert law

描述光吸收系数( $k$ )、烟度参数透光度( $\tau$ )和光通道有效长度  $L_A$  之间物理关系的数学公式。

注：由于不能直接测量光吸收系数( $k$ )，所以在已知消光度( $N$ )或透光度( $\tau$ )和光通道有效长度  $L_A$  时，可以用比尔-

朗伯特定律计算光吸收系数( $k$ ),见式(1)和式(2):

$$k = \frac{-1}{L_A} \ln\left(\frac{\tau}{100}\right) \dots\dots\dots(1)$$

$$k = \frac{-1}{L_A} \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right) \dots\dots\dots(2)$$

3.7

**消光烟度计 opacimeter**

利用透光度法测量烟气特性的仪器。

3.7.1

**全流式消光烟度计 full-flow opacimeter**

所有排气都通过烟气测量室的仪器。

3.7.1.1

**管端型全流式消光烟度计 full-flow end-of-line opacimeter**

在排气管出口处测量全部排烟消光度的仪器。

注:这种消光烟度计的光源和光检测器位于靠近排气管开口端的烟气两侧。使用这种烟度计时,光通道有效长度由排气管结构决定。

3.7.1.2

**管内型全流式消光烟度计 full-flow in-line opacimeter**

在排气管内测量全部排烟消光度的仪器。

注:这种消光烟度计的光源和光检测器位于烟气两侧,并靠近排气管外壁。使用这种烟度计时,光通道有效长度由测量仪器决定。

3.7.2

**部分流式消光烟度计 partial-flow opacimeter**

从总排气流中采集一部分具有代表性的气样使之通过测量室的仪器。

注:这种消光烟度计的光通道有效长度是其设计结构的函数。

3.7.3 消光烟度计响应时间

3.7.3.1

**消光烟度计物理响应时间 opacimeter physical response time**

$t_p$

在小于0.01 s的时间内改变所测排气的光吸收系数时,原始 $k$ 信号达到满量程10%和满量程90%的时间差。

注:部分流式消光烟度计的物理响应时间取决于取样探头和输送管。关于物理响应时间的更多信息见 ISO 11614:1999 中 8.2.1 和 11.7.2 的规定。

3.7.3.2

**消光烟度计电路响应时间 opacimeter electrical response time**

$t_e$

在小于0.01 s的时间内,当光源被遮挡或完全熄灭时,仪器记录器输出信号或显示器达到满刻度10%和满刻度90%的时间差。

注:有关电路响应时间的更多信息见 ISO 11614:1999 中 6.2.6.2 的规定。

4 符号和单位

见表1。

表 1 GB/T 8190 本部分所用的符号和单位

符 号	术 语	单 位
$B$	贝赛尔功能常数	1
$C$	贝赛尔功能常数	1
$D$	贝赛尔功能常数	1
$E$	贝赛尔常数	1
$f_a$	大气系数	1
$f_c$	贝赛尔滤波器截止频率	$s^{-1}$
$k$	光吸收系数	$m^{-1}$
$k_{corr}$	经环境修正的光吸收系数	$m^{-1}$
$k_{obs}$	实测光吸收系数	$m^{-1}$
$K$	贝赛尔常数	1
$K_s$	烟度的环境修正系数	1
$L_A$	光通道有效长度	m
$L_{AS}$	标准光通道有效长度	m
$N$	消光度	%
$N_A$	光通道有效长度的消光度	%
$N_{AS}$	标准光通道有效长度的消光度	%
$p_{me}$	平均有效压力	kPa
$p_s$	干空气压力	kPa
$P$	发动机功率	kW
$S_i$	瞬态烟度值	$m^{-1}$ 或 %
$t_{Aver}$	总响应时间	s
$t_e$	消光计电路响应时间	s
$t_F$	贝赛尔功能的滤波器响应时间	s
$t_p$	消光烟度计物理响应时间	s
$\Delta t$	相邻烟度数据之间的时间(=1/采样速率)	s
$T_s$	发动机进气温度	K
$X$	预定的总响应时间	s
$Y_i$	贝赛尔平均烟度值	$m^{-1}$ 或 %
$\rho$	干空气密度	$kg/m^3$
$\tau$	透光度	%
$\Omega$	贝赛尔常数	1

5 试验条件

5.1 试验的环境条件

5.1.1 试验状态参数

应测量发动机以 K 计的进气绝对温度  $T_s$  和以 kPa 计的干空气压力  $p_s$ ，由公式(3)到公式(5)确定大气系数  $f_a$ 。

自然吸气和机械增压压燃式发动机及废气旁通阀作用的压燃式发动机：

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right) \times \left(\frac{T_s}{298}\right)^{0.7} \dots\dots\dots (3)$$

注：式(3)也适用于废气旁通阀只在试验循环段起作用的情况。若废气旁通阀在试验循环的任何时间段都不起作用



用,则应根据进气冷却的方式选用公式(4)或公式(5)。

不带增压空气冷却器或带空/空增压空气冷却器的涡轮增压压燃式发动机:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{0.7} \times \left(\frac{T_a}{298}\right)^{1.2} \dots\dots\dots (4)$$

带水/空空气冷却器的涡轮增压压燃式发动机:

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{0.7} \times \left(\frac{T_a}{298}\right)^{0.7} \dots\dots\dots (5)$$

### 5.1.2 试验有效性判定——试验条件

大气系数  $f_a$  应在如下范围内方可认为试验有效:

$$0.93 \leq f_a \leq 1.07 \dots\dots\dots (6)$$

注:推荐在  $f_a$  为 0.96 到 1.06 之间的条件下进行试验。

附加有效性判定按 7.3.2.3 和 A.3.2.2 的规定。

### 5.2 功率

试验时,应拆除安装在发动机上的仅为配套机械工作所需的辅助设备。诸如:

- 制动用空气压缩机;
- 动力转向泵;
- 空调压缩机;
- 液压驱动泵。

详见 GB/T 8190.1—2010 中的 5.3。

### 5.3 发动机进气系统

试验发动机所装进气系统,在使用清洁空气滤清器和发动机按相应用途的最大空气流量运行时,其进气阻力应在制造厂规定的上限值 $\pm 10\%$ 以内。

### 5.4 发动机排气系统

试验发动机所装排气系统,在发动机按相应用途的最大标定功率运行时,其排气背压应在制造厂规定的上限值 $\pm 10\%$ 以内。试验时可以带消声器,这将减少影响烟度测量的排气脉冲。因此采用消声器能使试验台烟度测量与现场烟度试验的相关性更好。消声器的结构(即容积)应代表试验发动机实际使用时的典型结构。

### 5.5 冷却系统

发动机所使用的冷却系统应具有足够冷却能力,以保证发动机在制造厂规定的正常工作温度范围内运转。

### 5.6 润滑油

应记录试验所用润滑油的规格,并写入试验报告内。

### 5.7 带增压空气冷却的发动机

应记录冷却介质温度和增压空气温度。

冷却系统应在制造厂规定的发动机转速和负荷下进行调整。进气温度和冷却器压力降应分别保持在制造厂规定值 $\pm 4\text{ K}$ 和 $\pm 2\text{ kPa}$ 以内。

### 5.8 试验燃料温度

试验燃料温度应符合制造厂的推荐值。若制造厂没有规定燃料温度,则燃料温度应为  $311\text{ K} \pm 5\text{ K}$ 。除使用重油的情况外,制造厂的规定温度应不大于  $316\text{ K}$ 。除非制造厂另有规定,燃料温度应在喷油泵入口处测量,并应记录测量位置。

## 6 试验燃料

燃料特性会影响发动机的烟气排放。因此,应测定和记录试验燃料的特性,并写入试验结果报告。

若使用 GB/T 8190.5 指定的燃料作为基准燃料,则应提供基准燃料的代号和分析。若使用其他燃料,则要记录 GB/T 8190.5 相应数据表中所列的特性。

应根据试验目的选择试验燃料。除非经有关各方同意,燃料应按表 2 选定。在没有合适基准燃料的情况下,可使用性能非常接近于基准燃料的替代燃料。替代燃料的特性应予以说明。

表 2 燃料选择

试验目的	有关方	燃料选择
定型试验(认证)	认证机构 制造厂或供应商	基准燃料,如已指定。 商用燃料,如未指定基准燃料
验收试验	制造厂或供应商 用户或检验员	按制造厂规定的商用燃料 <sup>a</sup>
研究/开发	一个或几个: —制造厂; —研究机构; —燃料和润滑油供应商等	要适合试验的目的
<sup>a</sup> 用户和检验员应注意,使用商用燃料进行排放试验不一定符合使用基准燃料时的规定限值。验收试验所用燃料的规格应在发动机制造厂技术文件的许用范围内。		

7 测量设备和精度

7.1 通则

发动机在测功器上进行烟度试验时应使用下列设备。GB/T 8190 的本部分未包括压力和温度测量装置的详细内容,只在 7.4 中给出了进行烟度试验时所必需的这些装置的精度要求。

7.2 测功器技术规格

所用发动机测功器的特性应能进行附录 A、附录 B、附录 E 和附录 F 所述的试验循环。试验循环的线性度要求只适用于使用电力测功器进行的试验。测量扭矩和转速的仪器应使运行试验循环所需的测量精度保持在附录 A、附录 B、附录 E 和附录 F 规定的限值范围以内。转速和扭矩的取样频率至少应为 1 Hz。测量设备的精度应不超过表 3 中给出的最大允许偏差。可以用能满足上述要求的其他发动机驱动设备来代替测功器。

7.3 烟度测量仪器

7.3.1 基本要求

瞬态烟度试验应使用消光型烟度计。允许使用的消光烟度计有三种类型:管内型全流式消光烟度计、管端型全流式消光烟度计和部分流式消光烟度计。这三种消光烟度计的技术规格见 GB/T 8190 本部分的第 11 章以及 ISO 11614:1999 的第 6 章和第 7 章。温度修正对瞬态烟度的有效性尚未得到确认,因此,GB/T 8190 的本部分未包括烟度测量结果的温度修正。

表 3 发动机有关参数测量仪器的允许偏差

测量参数	允许偏差 (基于发动机最大值的百分数) 按 GB/T 6072.3 的规定	标定间隔期/ 月
发动机转速	±2%	3
扭矩	±2%或±5 N·m <sup>a</sup>	3
功率	±3%	不要求
<sup>a</sup> 取较大者。		

### 7.3.2 消光烟度计的技术规格

#### 7.3.2.1 通则

烟度试验所用的烟度测量和数据处理系统应包括三个功能单元。这三个单元既可以是组合为一体的组件,也可以是由各单元相互连接而成的系统。这三个功能单元是:

- 满足本章要求的全流式或部分流式消光烟度计。详细技术规格见第 11 章和 ISO 11614:1999;
- 能执行 10.2、10.3 和附录 D 所述功能的数据处理单元;
- 记录和输出附录 A、附录 B、附录 E 和附录 F 规定烟度值的打印机和/或电子存储单元。

#### 7.3.2.2 线性度

线性度是指烟度计测量值与标定装置的基准值之差。线性度应不超过 2% 消光度。

#### 7.3.2.3 零点漂移

1 h 内或整个烟度测量试验期间(取其中时间较小者)的零点漂移应不超过 1% 消光度。

#### 7.3.2.4 消光烟度计的显示及其范围

为同时显示消光度和光吸收系数,消光烟度计应具有能准确测量被试发动机烟度的测量范围;其分辨率至少应为满刻度的 0.1%。

烟度计所选的光通道长度应与被测烟度水平相适应,使标定、测量和计算的误差减至最小。

#### 7.3.2.5 仪器响应时间

消光烟度计的物理响应时间应不超过 0.2 s,电路响应时间应不超过 0.05 s。

#### 7.3.2.6 部分流式消光烟度计的取样要求

取样条件应符合 11.3 的要求。

#### 7.3.2.7 光源

光源应符合 11.2 和 11.3 的要求。

#### 7.3.2.8 中密度滤光片

标定和检查消光烟度计所用中密度滤光片的读值应精确到  $\pm 1\%$  消光度,滤光片标称值应至少每年检查一次,其标定应可追溯至国家标准或国际标准。

注:中密度滤光片是精密装置,使用时容易损坏,应尽可能减少操作次数,必需时,应小心使用以避免弄脏或擦伤。

### 7.4 精度

所有测量仪器的标定都应可追溯至国际标准或国家标准(无国际标准时),并应符合表 3 的要求。

## 8 消光烟度计的标定

### 8.1 通则

消光烟度计应经常标定,以满足 GB/T 8190 本部分的精度要求。标定方法应按 8.2 的规定。

### 8.2 标定程序

#### 8.2.1 预热

应按制造厂的建议预热消光烟度计使之达到稳定状态。如消光烟度计装有防止光学器件免受碳烟污染的吹气系统,应激活该系统并按制造厂建议进行调整。

#### 8.2.2 线性度响应确定

在消光烟度计的消光度读数模式下,将光束无遮挡时,读数调整到  $0\% \pm 1\%$  消光度。

在消光烟度计的消光度读数模式下,遮挡所有光线使之不到达光检测器,读数调整到  $100\% \pm 1\%$  消光度。

采用消光度读数模式时,应按制造厂推荐定期校验消光烟度计的线性度。将一片符合 7.3.2.8 的要求并且消光度在 30% 到 60% 之间的中密度滤光片插入消光烟度计,记录读数值。仪器读数与中密度滤光片的消光度标称值之差应不大于  $\pm 2\%$ 。试验前应对线性度超过上述规定值的消光计进行修正。

9 试验运行

9.1 安装测量仪器

应按照仪器制造厂规定的程序将消光烟度计和取样探头安装在消声器或任何后处理装置的后面。并应符合 ISO 11614:1999 第 10 章的要求。

9.2 校验消光烟度计

校验零点和满刻度前,应按制造厂推荐预热消光烟度计使之达到稳定状态。若消光烟度计装有防止光学器件免受碳烟污染的吹气系统,应激活该系统并按制造厂推荐进行调整。

应在消光度读数模式下校验零点和满刻度,因为消光度刻度提供了两个确定的标定点 0% 消光度和 100% 消光度。然后,根据实测的消光度和仪器制造厂提供的  $L_A$  正确计算出光吸收系数,这时仪器返回至  $k$  读数模式。

光束无遮挡的情况下,将读数调整到 0%±1% 消光度。在所有光线被遮挡而不到达光检测器时,将读数调整到 100%±1% 消光度。

9.3 试验循环

发动机在考虑附录 C 指出的情况下,按附录 A、附录 B、附录 E 和附录 F 中规定的试验循环运转。

9.4 光通道有效长度( $L_A$ )的确定

光源到光检测器通道长度中未被烟气遮挡的那部分光通道长度不计入光通道有效长度。如果烟度计光束离排气管出口很近(在 0.07 m 内),则通过消光烟度计的烟柱横截面实质上与沿光束轴线方向的排气管出口尺寸相同。通常,可以通过直接测量排气管出口尺寸来确定光通道有效长度。为了获得准确到±2% 消光度的烟度修正结果,应以±6% 的准确度来确定  $L_A$ (消光度的最大误差出现在约 60% 消光度处,在较小和较大消光度时,允许以稍低的准确度来确定  $L_A$ )。对于最小的标准光通道有效长度(0.038 m),准确度为±6% 时  $L_A$  等于 0.002 m。

对于许多发动机来说,特别是现场试验时,通常很难接近和直接测量排气管出口。因此,如发动机制造厂无异议,可以用长度为 3 倍至最大 30 倍管径的套管来延长排气管。这种情况下,需要使接头处保持适当的密封,以避免空气稀释排气。

对于许多常用的排气管结构,由较易测量的排气系统外形尺寸来确定  $L_A$  可以达到足够的准确度。

10 数据评定和计算

10.1 数据评定

10.1.1 消光烟度计的一般要求

烟度取样频率最小应为 20 Hz。报告烟度值应采用消光度( $N$ )或光吸收系数( $k$ )。应根据需要将测得的烟度值(透光度)换成相应的烟度单位,并按光通道长度修正烟度测量值(见 10.1.2、10.1.3 和 10.1.4)。若需要,对光吸收系数进行空气密度修正(见 10.3)。然后按 10.2 和附录 D 规定用贝赛尔算法对烟度数据进行处理。

取样管长度应不影响烟度迹线产生(见 11.3)。但是,即使取样管长度不影响烟度迹线的形状,它可能会引起烟度产生时间与测量时间之间的延迟。烟度迹线分析应考虑到与排气系统内烟气输送相关的任何延迟。

烟度值计算按附录 A 的规定。

10.1.2 比尔-朗伯特关系式

比尔-朗伯特定律规定了透光度、光吸收系数和光通道有效长度  $L_A$  之间的关系,见公式(7)。

$$\frac{\tau}{100} = e^{-kL_A} \dots\dots\dots(7)$$

根据透光度和消光度的定义,两者的关系可用公式(8)表示。

$$N = 100 - \tau \quad \dots\dots\dots (8)$$

由公式(7)和(8)可得出关系式(9)和(10):

$$N_{AS} = 100 \times \left[ 1 - \left( 1 - \frac{N_A}{100} \right)^{\frac{L_{AS}}{L_A}} \right] \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$k = -\frac{1}{L_A} \times \ln \left( 1 - \frac{N_A}{100} \right) \quad \dots\dots\dots (10)$$

10.1.3 数据换算

将实测烟度值换算成相应的报告烟度单位分两步进行。由于所有消光烟度计的基本测量单位都是透光度,所以第一步是用公式(8)将透光度( $\tau$ )转换成测量用光通道有效长度下的消光度( $N_A$ )。对于大多数消光烟度计,这一步是在其内部进行的,用户看不到。

第二步是将  $N_A$  换算成报告所需单位:

若试验结果以消光度为单位,应利用公式(9)将测量用光通道有效长度下的消光度( $N_A$ )换算成标准光通道有效长度下的消光度( $N_{AS}$ )。

注:测量用光通道有效长度和标准光通道有效长度相同时, $N_{AS}$ 等于  $N_A$ ,不需要进行第二步换算。

若试验结果以光吸收系数为单位,应利用公式(10)进行换算。

10.1.4 光通道有效长度输入值

运用公式(10)时,需要用测量用光通道有效长度  $L_A$ 。运用公式(9)时,需要同时用到  $L_A$  和标准光通道有效长度  $L_{AS}$ 。

对于管端型全流式消光烟度计, $L_A$  为发动机排气管结构的函数。对于圆形横截面的直排气管, $L_A$  等于排气管内径。

对于部分流式(取样)消光烟度计和管内型全流式消光烟度计, $L_A$  是仪器测量室和吹气系统结构的固定函数。使用这种类型烟度计时,应采用仪器制造厂提供的技术规格数据来确定相应的  $L_A$  值。

通常, $L_A$  需要精确到 0.002 m 以内,以保证所得修正烟度值的准确度在 2%消光度以内。

消光度读数取决于仪器的光通道有效长度。由于限值都是以消光度百分数为单位的,因此必须以限值适用的标准光通道有效长度来表示。为进行有效的烟度数据比较,应按表 4 规定的标准光通道有效长度( $L_{AS}$ )报告排烟消光度结果。但可以在非标准光通道有效长度下测量排烟的消光度。

使用表 4 时不需要测量发动机功率。发动机功率可由发动机标签、用户手册或由发动机认证或型式认证的资料中获知。在发动机功率不确定的情况下,不能评定发动机是否符合以百分数表示的消光度限值。

表 4 标准光通道有效长度

发动机功率 $P /$ kW	标准光通道有效长度 $L_{AS} /$ m
$P < 37$	0.038
$37 \leq P < 75$	0.05
$75 \leq P < 130$	0.075
$130 \leq P < 225$	0.1
$225 \leq P < 450$	0.125
$P \geq 450$	0.15

10.2 贝赛尔算法

10.2.1 基本原理

贝赛尔算法用来由瞬时烟度读数计算其平均值。该算法既适用于以消光度计的烟度值也适用于以光吸收系数计的烟度值。但是,如果消光度低于 40%,该算法用于消光度时可能会有很小的误差。该算法模拟了一种低通二级滤波器,使用时需要通过迭代计算来确定各种系数。这些系数是消光计系统响应时间和采样频率的函数。因此,每当系统响应时间和/或采样频率发生变化时应重复进行 10.2.2 的计算。

10.2.2 滤波器响应时间和贝赛尔常数的计算

要求的滤波器响应时间( $t_F$ )是消光计系统物理响应时间和电路响应时间(见 3.7.3 的定义)以及预定总响应时间  $X$  的函数,可用公式(11)计算:

$$t_F = \sqrt{X^2 - (t_p^2 + t_c^2)} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

$t_p$ ——物理响应时间,单位为秒(s);

$t_c$ ——电路响应时间,单位为秒(s)。

假如  $t_p$  和  $t_c$  都远小于  $X$ (见 7.3.2.5),且  $t_p$  和  $t_c$  均远小于瞬态试验的持续时间,可以用公式(11)将不同消光烟度计调整到某一通用的响应时间。

计算滤波器截止频率( $f_c$ )以小于 0.01 s 从 0 到 1 的阶跃输入为基础(见附录 D)。响应时间的定义是贝赛尔输出达到该阶跃输入的 10%( $t_{10}$ )到该阶跃输入的 90%( $t_{90}$ )的时间。必须通过迭代计算,直到  $t_{90} - t_{10} \leq t_F$ 。用公式(12)进行  $f_c$  的第一次迭代计算:

$$f_c = \frac{\pi}{(10 \times t_F)} \dots\dots\dots (12)$$

贝赛尔常数  $E$  和  $K$  用公式(13)和公式(14)计算。

$$E = \frac{1}{1 + \Omega \times \sqrt{3 \times D} + D \times \Omega^2} \dots\dots\dots (13)$$

$$K = 2 \times E \times (D \times \Omega^2 - 1) - 1 \dots\dots\dots (14)$$

式中:

$$D = 0.618\ 034;$$

$$\Delta t = \frac{1}{\text{采样速率}};$$

$$\Omega = \frac{1}{[\tan(\pi \times \Delta t \times f_c)]}。$$

用  $E$  和  $K$  值,按式(15)计算阶跃输入  $S_i$  对应的贝赛尔响应时间  $X$ :

$$Y_i = Y_{i-1} + E \times (S_i + 2 \times S_{i-1} + S_{i-2} - 4 \times Y_{i-2}) + K \times (Y_{i-1} - Y_{i-2}) \dots\dots\dots (15)$$

式中:

$$S_{i-2} = S_{i-1} = 0;$$

$$S_i = 1;$$

$$Y_{i-2} = Y_{i-1} = 0。$$

时间  $t_{10}$  和  $t_{90}$  采用内插法确定。 $t_{90}$  与  $t_{10}$  的差确定了该  $f_c$  值的响应时间  $t_F$ 。如果该响应时间不够接近预定响应时间,应继续进行迭代计算直到实际响应时间与预定响应时间之差在 1% 以内为止,即:

$$|(t_{90} - t_{10}) - t_F| = 0.01t_F \dots\dots\dots (16)$$

第一次和第二次迭代计算的示例见附录 D。

10.2.3 贝赛尔平均烟度的计算

按 10.2.2 计算出相应的贝赛尔常数  $E$  和  $K$  后,按公式(15)用贝赛尔算法计算瞬态烟度曲线。

由于贝赛尔算法实质上是递归法,因此开始计算时需要  $S_{i-1}$ 、 $S_{i-2}$  的初始输入值和  $Y_{i-1}$ 、 $Y_{i-2}$  的初始输出值。假定这些值都为 0。

然后,用得出的贝赛尔平均烟度值计算附录 A 规定的相应烟度值。

### 10.3 环境修正

#### 10.3.1 通则

发动机型式认证(认证)时,大气系数  $f_a$  应在 0.98~1.02 范围内(见 5.1.2)。由于烟度与大气条件有较大关系,如  $f_a$  在 0.93~1.07 范围内,烟度值用公式(19)进行修正。但是,在  $f_a$  在 0.98~1.02 时可以不进行修正。

注:本章提供的空气密度修正公式反映了被试发动机/车辆对空气密度的常规敏感性。有些发动机对该修正公式预测的空气密度变化的敏感度较大,而有些发动机的敏感性则较小。因此将该修正公式应用于某些对空气密度敏感性不明确的发动机/车辆时,修正结果只能认为是近似值。建议管理机构在强制项目中采用此修正时要考虑:个别被试发动机/车辆对空气密度敏感性不十分明确,可能会与常规修正公式指出的敏感性有所不同。

#### 10.3.2 基准条件

10.3.3 的修正系数是由发动机进气干空气密度确定的。在基准温度为 298 K 和基准压力为 99 kPa (见 5.1.1)时基准干空气密度为 1.157 5 kg/m<sup>3</sup>。

#### 10.3.3 烟度的空气密度修正

该修正适用于以光吸收系数或“ $k$ ”表示的烟度值。该修正适用于贝赛尔平均峰值烟度,而不适用于原始烟度值。消光度值必须用公式(10)转换成  $k$ ,修正后可以再换算回消光度单位。这时,要用到公式(17)。

$$K_s = \frac{1}{19.952\rho^2 - 48.259\rho + 30.126} \quad \dots\dots\dots(17)$$

$$\rho = \frac{p_s \times 10^3}{287 \times T_s} \quad \dots\dots\dots(18)$$

利用公式(17),按公式(19)将附录 A 和附录 B 中的烟度值由以光吸收系数计的“实测值”计算出“修正值”。

$$k_{\text{corr}} = K_s \times k_{\text{obs}} \quad \dots\dots\dots(19)$$

### 10.4 试验报告

试验报告应包含 GB/T 8190.6 所规定的的数据。

## 11 烟度测定

### 11.1 通则

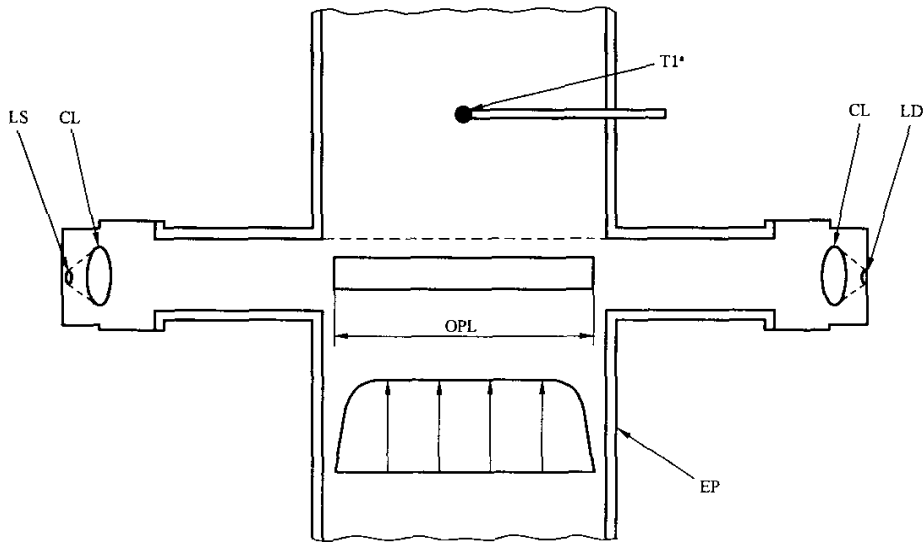
11.2、11.3 和图 1、图 2 详细描述了推荐的消光烟度计系统。由于不同的结构能产生相当的结果,因而不要求完全符合图 1 和图 2 的结构。可以采用诸如仪表、阀门、电磁阀、泵和开关等附加部件来提供附加信息和协调部件系统的功能。非系统精度要求所必须的其他部件可以根据合理的工程判断不予安装。

测量原理是:使光线通过某一规定长度的被测烟气,用到达光检测器的入射光线比例来评定烟气的遮光特性。视装置的结构而定,可以在排气管系中(管内型全流式消光计)、排气管端(管端型全流式消光计)或从排气管中采集部分样气(部分流式消光计)进行。为了烟度测量时由消光度确定光吸收系数,仪器制造商应提供仪器的光通道长度。

#### 11.2 全流式消光烟度计

可采用两种通用型全流式消光烟度计,见图 1。采用管内型消光烟度计时,测量的是排气管内整个排气烟粒的消光度,这种消光计的光通道有效长度是消光计结构的函数。

采用管端型消光烟度计时,测量的是排气管出口处整个排气烟粒的消光度。这种消光烟度计的光通道有效长度是排气管结构和消光计与排气管尾端距离的函数。



<sup>a</sup> 可选项。

图 1 全流式消光烟度计

图 1 中的零部件：

EP:排气管

采用管内型消光计时,在测量区域前后 3 倍排气管直径的长度范围内排气管直径应无变化。若测量区的直径大于排气管直径,推荐在测量区前加接一段收缩的管子。

采用管端型消光计时,排气管尾端 0.6 m 范围内其横截面应为圆形并应无弯头。排气管端口应光滑。消光烟度计应沿烟柱中心安装在离排气管端口 25 mm±5 mm 处。

OPL:光通道长度

消光计光源和光检测器之间被烟气遮挡的光通道长度,该长度需要对由密度梯度和边缘效应引起的不均匀性进行修正。光通道长度应由仪器制造商提供,并应考虑到采取阻挡碳粒措施(如吹气)的测量情况。若不知道光通道长度,应按 ISO 11614:1999 中 11.6.5 的规定来确定光通道长度。为正确确定光通道长度,要求排气流速最小应为 20 m/s。

LS:光源

光源应为色温在 2 800 K~3 250 K 范围内的白炽灯,或光谱峰值在 500 nm~570 nm 之间的绿色发光二极管。应采取使光源免受碳烟污染,这些措施不得影响制造商规定的光通道长度。

LD:光检测器

光检测器应为光电池或光电二极管(必要时可带滤光片)。采用白炽灯作为光源时,光检测器的峰值光谱响应特性应与人眼的光适应曲线相似,其最大响应的范围应为 550 nm~570 nm,在波长小于 430 nm 和大于 680 nm 时,其响应必须小于最大响应的 4%。应采取使光源免受碳烟污染,这些措施不得影响制造商规定的光通道长度。

CL:准直透镜

应将射出的光线准直成最大直径为 30 mm 的光束。光束射线应与光轴平行,平行度允差为 3° 以内。

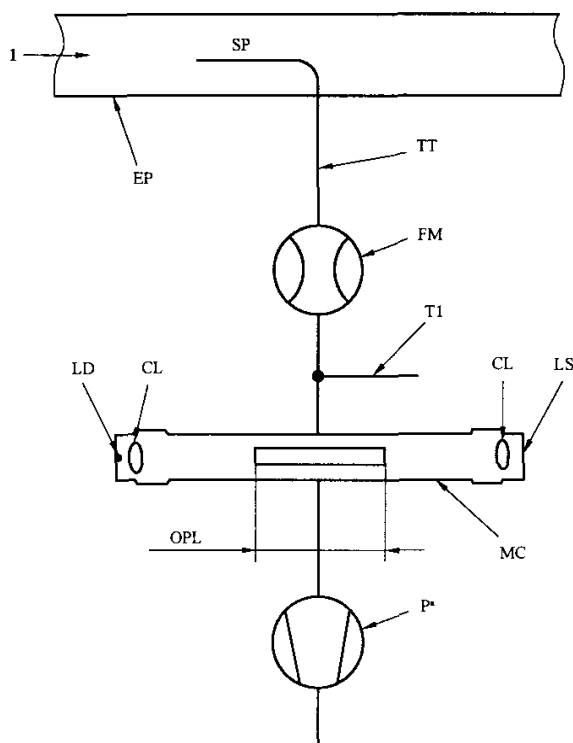
T1:温度传感器(可选)

用于监测试验时的排气温度。



### 11.3 部分流式消光烟度计

采用部分流式消光烟度计(图 2)时,要从排气管中抽取一部分具有代表性的样气使之经输送管流到测量室。这种消光烟度计的光通道有效长度是其结构的函数。11.2 中规定的响应时间适用于仪器制造商规定的消光烟度计最小流量。



1——排气。

\* 可选项。

图 2 部分流式消光烟度计

图 2 中的零部件:

EP:排气管

取样探头上游 6 倍管径与下游 3 倍管径长度范围内的排气管应为直管段。

SP:取样探头

取样探头应为一根开口端向排气上游的管子。它应大致位于排气管中心线,与排气管壁的间隙不得小于 5 mm。探头内径应确保获得具有代表性的排气气样,并使之有足够的流量通过消光烟度计。

TT:输送管

输送管应具有以下特性:

——尽可能短,并确保烟度计测量室入口处的烟气温度为  $373\text{ K} \pm 30\text{ K}$  ( $100\text{ }^\circ\text{C} \pm 30\text{ }^\circ\text{C}$ );

——管壁温度远高于排气的露点温度,以避免排气凝结;

——在整个长度范围内管径与取样探头管径相等;

——在仪器最小流量时,输送管的响应时间为 3.7.3 确定的物理响应时间  $t_p$  的一部分,应小于 0.05 s;

——对峰值烟度无明显影响。

FM:流量监测装置

用于监测进入测量室的流量。最大和最小流量应由仪器制造商规定,并应满足输送管 TT 响应时

间的要求及光通道长度规格的要求。如使用流量检测装置,可靠近取样泵 P 安装。

MC:测量室

测量室应具有无反射的内表面或等效的光学环境。应使测量室内由内部反射或散射作用产生的漫反射光对检测器的影响减至最少。

应确保流入测量室的烟气压力与大气压力之差小于 0.75 kPa。当设计不能达到该要求时,应将消光烟度计读数换算到大气压力下的数值。

测量室的壁温应保持在  $343\text{ K} \pm 5\text{ K}$  ( $70\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ ) 和  $373\text{ K} \pm 5\text{ K}$  ( $100\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ ) 之间,并应在所有情况下使之远高于排气的露点温度,以避免排气凝结。测量室应装有合适的温度测量装置。

OPL:光通道长度

消光烟度计光源和光检测器之间被烟气遮挡的那部分光通道长度。该长度需要对由密度梯度和边缘效应引起的不均匀性进行修正。光通道长度应由仪器制造商提供,它应考虑到采取阻挡碳粒措施(如吹气)的测量情况。若不知道光通道长度,应按 ISO 11614:1999 中 11.6.5 的规定来确定。

LS:光源

光源应为色温在  $2\ 800\text{ K} \sim 3\ 250\text{ K}$  范围内的白炽灯,或光谱峰值在  $500\text{ nm} \sim 570\text{ nm}$  之间的绿色发光二极管。应采取措施使光源免受碳烟污染,这些措施不得影响制造商规定的光通道长度。

LD:光检测器

光检测器应为光电池或光电二极管(必要时可带滤光片)。采用白炽灯作为光源时,光检测器的峰值光谱响应特性应与人眼的光适应曲线相似,其最大响应的范围应为  $550\text{ nm} \sim 570\text{ nm}$ ,在波长小于  $430\text{ nm}$  和大于  $680\text{ nm}$  时,其响应必须小于最大响应的 4%。应采取措施使光源免受碳烟污染,这些措施不得影响制造商规定的光通道长度。

CL:准直透镜

应将射出的光线准直成最大直径为  $30\text{ mm}$  的光束。光束射线应与光轴平行,平行度允差为  $3^\circ$  以内。

T1:温度传感器

用于监测测量室进口处的排气温度。

P:取样泵(可选件)

可以在测量室的下游加装一只取样泵,用它将样气送入测量室。

## 附 录 A (规范性附录)

### 非道路用变速运行发动机的试验循环

#### A.1 范围

本附录规定的烟度试验循环包括两部分：自由加速试验循环和加载加速试验循环。本烟度循环适用于 GB/T 8190.4—2010 中所述的 C1 类变速运行发动机。

瞬态烟度循环是稳态排放测量的补充，两者一起能用于控制所有工况下的烟度排放。此外，烟度试验旨在提供一种方法来确定发动机安装某种机械时的排放特性，它适用于制造厂和现场条件下的烟度测量。

GB/T 8190.4—2010 中所述的 C1 类发动机主要用于非道路车辆和柴油机驱动的非道路用工业装备。本附录范围所指的 C1 类发动机包括下列典型用途，但不限于此：

- 工业钻探装置、压缩机等；
- 工程机械，包括轮式装载机、推土机、履带式拖拉机、履带式装载机；
- 卡车式装载机、非公路卡车、液压挖掘机等；
- 农业机械、旋耕机；
- 林业机械；
- 自行式农用车辆(包括拖拉机)；
- 材料装卸机械；
- 叉车；
- 修路机械(汽车平路机、压路机、沥青平整机)；
- 扫雪机；
- 机场辅助设备；
- 架空升降机；
- 移动式起重机。

本附录所述瞬态烟度试验涉及的加速度可能并非所有发动机都能达到，或者可能不适用于某些用途的发动机。本附录范围所述发动机的最大标定功率达 1 500 kW。单缸或双缸发动机运行本试验循环时可能会特别困难。另外，单缸或双缸发动机可能会出现妨碍烟度可靠测量的排气脉冲，除非采用一个缓冲容积(消声器)。如经有关各方协商同意，特定的用途可采用特殊的试验规程。

#### A.2 术语和定义

##### A.2.1

**自由加速试验 free acceleration test**

使发动机克服其自身内部惯量包括飞轮的惯量从低怠速加速至高怠速的运转过程。

##### A.2.2

**自由加速时间 free acceleration time**

FAT

自由加速试验时发动机从高于低怠速 5% 加速到 95% 标定转速所需的时间，以 s 表示。该时间是瞬态加载试验时加速时间的基准。

### A. 2.3

#### 自由加速烟度 free acceleration smoke

FAS

A. 3. 2. 1e)所述一次自由加速试验所得的1 s最大贝赛尔平均烟度值和A. 3. 2. 1e)所述三次自由加速试验结果的平均值。

### A. 2.4

#### 瞬态加载试验 loaded transient test

使发动机按照由加载加速工况标定转速、全负荷工况和加载减速工况组成的明确规定的循环进行运转的过程。

注：要采用 $3\times\text{FAT}$ 、 $6\times\text{FAT}$ 和 $9\times\text{FAT}$ 三种不同的加载加速时间。

### A. 2.5

#### 峰值烟度 peak smoke value

PSV

瞬态加载试验时，三次加速工况中每一次加速工况的1 s最大贝赛尔平均烟度值，PSV有三个数值，对应的加速时间分别为 $3\times\text{FAT}$ 、 $6\times\text{FAT}$ 和 $9\times\text{FAT}$ 。

### A. 2.6

#### 加载减速烟度值 lug smoke value

LSV

瞬态加载试验时，加载减速工况期间1 s最大贝赛尔平均烟度值和三个试验值的平均值。

注：三次加载减速工况( $3\times\text{FAT}$ 、 $6\times\text{FAT}$ 和 $9\times\text{FAT}$ 加速的终点)是相同的，因此，预料会产生相同的结果。

### A. 2.7

#### 中间转速 intermediate speed

瞬态加载试验时加载减速工况的端点，其定义见GB/T 8190.4—2010中3.6。

## A. 3 试验循环

本试验规程采用了自由加速时间与9倍自由加速时间之间的多倍加速时间。这样做允许将烟度试验划分成若干种自由加速速率，它们是发动机在配套机械中经受自由加速时出现的典型自由加速速率，并且这样做还能将配套机械运行时出现的具有代表性的发动机加载加速率包括在内。采用多个加速时间能提供不同工况下的烟度值，便于采用GB/T 8190.7—2003和GB/T 8190.8中包含的系族和系组概念。不同的加速时间可能更适用于某些发动机和某些特定用途，如经有关各方同意，可以采用不同的加速时间。

### A. 3.1 发动机预热

发动机应在标定功率下预热，以保证发动机参数稳定在制造商推荐值范围内。

注：预热阶段还应确保实际测量不受前次试验排气系统中沉积物的影响。

### A. 3.2 自由加速试验

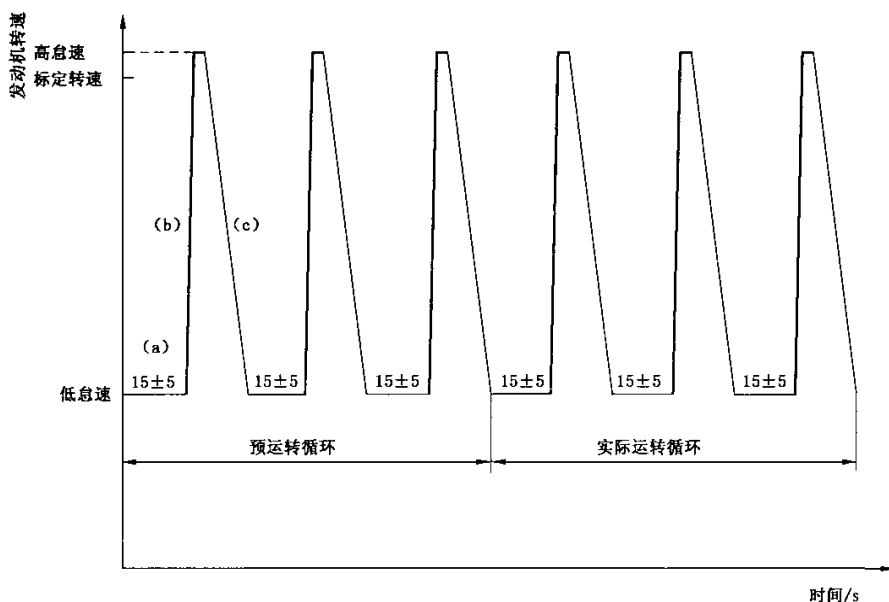
#### A. 3.2.1 通则

自由加速试验是本附录所述用途发动机试验循环的第一部分。发动机按A. 3.1预热后，应立即进行自由加速试验。自由加速试验是使发动机克服其自身内部惯量和飞轮产生的惯量从低怠速加速至高怠速的运转过程。受试发动机应装有飞轮和其他旋转部件以提供一个相当于被试发动机额定惯量范围下限的惯量。这样将能达到发动机与实际运行时出现的最快加速的FAT值，因此能控制最宽广条件下的烟度。自由加速试验应在发动机与测功器脱开的情况下进行。

注：允许用离合器使发动机与测功器脱开，只要随发动机一起旋转的那部分离合器的惯量不超过发动机总惯量的25%。若用测功器模拟零惯量，则允许发动机与测功器连接。经有关各方同意，自由加速试验亦可在连接测功器的情况下进行。

自由加速试验的基本步骤如下,如图 A.1 所示。

- 发动机在低怠速下稳定运转  $15\text{ s} \pm 5\text{ s}$ 。
- 将调速手柄快速移动到全开位置,并保持在该位置直到发动机达到调速器控制的高怠速(无负荷)。
- 将调速手柄移回到关闭位置,使发动机回复到低怠速。
- 重复上述步骤两次完成预运转,以清除排气系统的残余碳烟。
- 在 3 次预运转后,应重复上述各步骤直到 3 次连续的运转满足 A.3.2.2 规定的判据。



—— 油门关闭

—— 油门全开

(a)、(b)和(c)见 A.3.2.1 中各节的说明。

图 A.1 自由加速试验

#### A.3.2.2 自由加速试验有效性的判定

只有满足以下试验循环的要求时,自由加速试验的结果方可认为有效。

三次连续自由加速试验的 1 s 最大贝赛尔平均烟度的最大值与最小值的算术差不超过 5% 消光度。

试验有效性的其他判据按 5.1.2 环境(大气)条件有效性判据和 7.3.2.3(消光烟度计零点漂移)的规定。

#### A.3.2.3 自由加速时间(FAT)的确定

FAT 是加载加速时间的基准(A.3.4.2)。A.3.2.1 步骤 e) 中每次自由加速时的自由加速时间是指发动机转速从高于低怠速 5% 加速到 95% 标定转速的时间。FAT 是 A.3.2.1 步骤 e) 三次自由加速时间的平均值。

#### A.3.3 发动机再预热

将发动机重新与测功器相连接。使发动机在标定功率下预热,以使发动机的参数稳定在制造商推荐值范围内。

注:再预热阶段还应确保实际测量不受前次试验排气系统中沉积物的影响。

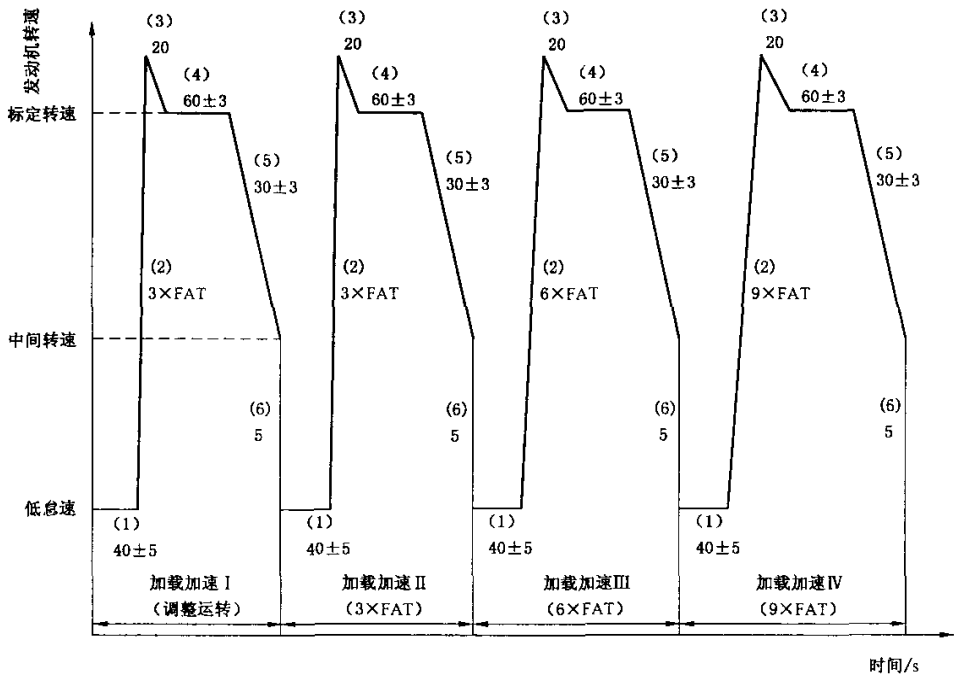
A.3.4 瞬态加载试验

A.3.4.1 通则

瞬态加载试验是本试验循环的第二部分,其试验的步骤按 A.3.4.3 的规定。应在发动机再预热后立即进行瞬态加载试验。试验顺序如图 A.2 所示。

A.3.4.2 瞬态加载试验时间

瞬态加载试验的加速时间是 A.3.2.3 规定的自由加速时间的倍数。发动机瞬态加载试验所用的加速时间为  $3 \times \text{FAT}$ 、 $6 \times \text{FAT}$  和  $9 \times \text{FAT}$ 。各个(FAT)时间是指发动机从高于低怠速 5% 加速到 95% 标定转速的时间。 $3 \times \text{FAT}$ 、 $6 \times \text{FAT}$  和  $9 \times \text{FAT}$  的值可圆整到秒。



—— 油门关闭

—— 油门全开

(1)、(2)、(3)、(4)、(5)和(6)见 A.3.4.3a)中各节的说明。

图 A.2 加载加速试验

A.3.4.3 瞬态加载试验规程

为提高试验结果的重复性,瞬态加载试验开始时要进行一次预运转循环。在预运转循环后随即进行三次加载加速循环,这三次循环间只是加载加速率有所不同。在加载加速后随即进行标定转速全负荷稳定运转。下面步骤 2)中的线性度规定只适用于电力测功器,旨在确保发动机不致在不正常状态下运行而产生较低的烟度值。另外,不允许倒拖发动机。瞬态加载试验步骤如下:

a) 预运转循环

- 1) 将转速控制手柄置于关闭位置,使发动机在低怠速下运转  $40 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ 。
- 2) 将转速控制手柄从低怠速快速移到全开位置,并保持在该位置。发动机从高于低怠速 5% 加速到 95% 标定转速的时间应为  $3 \times \text{FAT}$  秒。发动机转速与高于低怠速 5% 到 95% 标定转速之间应保持线性关系,其误差应在  $\pm 100 \text{ min}^{-1}$  或标定转速的  $\pm 5\%$  以内,取较大者。

- 3) 在发动机达到 95% 标定转速点 20 s 后,施加必要的测功器负荷使发动机在标定转速全负荷稳定工况下运转。
  - 4) 使标定转速全负荷运行状态保持  $60 \pm 5$  s。
  - 5) 按需要调节测功器,使发动机在全负荷条件下减速至中间转速。转速应保持线性变化,从加载减速开始至达到中间转速的时间应为  $30 \pm 3$  s。
  - 6) 在发动机达到中间转速后 5 s 内,将转速控制手柄移回到关闭位置,使发动机回复到低怠速。
- b) 3×FAT 加载加速  
重复 1)~6)。
  - c) 6×FAT 加载加速  
用 6×FAT 代替步骤 2) 中的加载加速时间重复 1)~6)。
  - d) 9×FAT 加载加速  
用 9×FAT 代替步骤 2) 中的加载加速时间重复 1)~6)。

重复上述步骤直到发动机转速、时间和线性度满足本条的要求,除非加速时间小于 0.5 s。

#### A.3.4.4 瞬态加载试验的替代规程

可以用三次“两循环”试验代替 A.3.4.3 所述的单次“四循环”试验来进行瞬态加载试验。这样就能在两次试验之间改变惯量,因而可以不使用计算机控制的测功器。每次试验只要按 A.3.4.3 规定的步骤 1)~6) 运行两遍。第一次试验时两个步骤的加载加速时间表均为 3×FAT。第二次试验时两个步骤的加载加速时间表均为 6×FAT。第三次试验时两个步骤的加载加速时间表均为 9×FAT。

### A.4 结果分析

#### A.4.1 通则

本章规定了自由加速试验和瞬态加载试验结果的分析方法。按照 10.2 所述的算法,本试验所用的许多消光计的烟度输出信号为  $X=0.5$  s 贝赛尔平均烟度值。对于这些烟度计,需要对信号作进一步处理以产生“ $X=1$  s”的烟度值,10.2.2 中公式(11)所用的  $(t_p^2 + t_e^2)$  值为 0.25。原始烟度结果分析时,对于那些未按 0.5 s 贝赛尔算法处理的原始烟度结果,分析时应采用代表该消光计的系统的  $(t_p^2 + t_e^2)$  值。

报告烟度值还应按 10.3 的规定进行环境修正。

#### A.4.2 峰值烟度(PSV<sub>F</sub>、PSV<sub>3</sub>、PSV<sub>6</sub>、PSV<sub>9</sub>)

应计算由自由加速的峰值烟度(PSV<sub>F</sub>)和三次加载加速的峰值烟度(PSV<sub>3</sub>、PSV<sub>6</sub>、PSV<sub>9</sub>)。这些烟度值是加速过程中出现的  $X=1$  s 贝赛尔平均烟度的最大值。务必确保所分析的烟度数据与加速过程中出现的时间相对应(见 10.1.1)。A.3.2.1 的步骤 b) 为自由加速过程。A.3.4.3 中 b)、c) 和 d) 或 A.3.4.4 中相当的步骤 2) 分别为加载加速的过程。

计算贝赛尔平均值的方法见 10.2 的规定。对于峰值烟度,公式(11)中的  $X$  值为 1 s。

#### A.4.3 加载减速烟度(LSV)

应计算三次瞬态加载试验中每次加载减速段的峰值烟度(LSV<sub>3</sub>、LSV<sub>6</sub>、LSV<sub>9</sub>)。这些烟度值是加载减速过程中出现的  $X=1$  s 贝赛尔平均烟度的最大值。务必确保所分析的烟度数据与加载减速过程出现的时间相对应(见 10.1.1)。A.3.4.3 中的 b)、c) 和 d) 的(或 A.3.4.4 中相当的步骤 5) 分别为加载减速过程。

计算贝赛尔平均值的方法见 10.2 的规定。对于加载减速烟度值,公式(11)中的  $X$  值为 1 s。

报告加载减速烟度(LSV)值为 LSV<sub>3</sub>、LSV<sub>6</sub>、LSV<sub>9</sub> 的平均值。

### A.5 结果报告

应报告下列烟度值:PSV<sub>F</sub>、PSV<sub>3</sub>、PSV<sub>6</sub>、PSV<sub>9</sub> 和 LSV。

附录 B  
(规范性附录)

非道路用恒速运行发动机的试验循环

B.1 范围

本附录范围内所述的发动机都不能或不会以变速方式运行。但是,有些恒速运行发动机可以经受快速而明显的负荷变化,由此可导致明显的烟度排放过程。

瞬态烟度试验循是稳态排放测量的补充,两者一起能用于控制所有工况下的烟度排放。此外,本烟度试验旨在提供一种方法来确定发动机安装在某种机械上的排放特性,它适用于在制造厂和现场条件下的烟度测量。

发动机(GB/T 8190.7—2003 中 5.2 规定的发动机系族中的基本型发动机)以最大燃油量进行试验意在产生最差的烟度排放。

本附录适用于 GB/T 8190.4—2010 第 8 章规定的 D2、G1 和 G2 类发动机,发动机的标定功率最大可达 1 500 kW。

典型用途如下,但不限于此:

- a) D2 类
  - 气体压缩机;
  - 间歇负载发电机组,包括船舶和机车用(非推进用)发电机组;
  - 草地养护机械;
  - 风笛;
  - 除雪设备;
  - 清扫机。
- b) G1 类
  - 手扶旋转式或滚筒式草坪剪草机;
  - 前置或后置发动机草坪剪草机;
  - 旋耕机;
  - 修边机;
  - 草坪清扫机;
  - 废物清除机;
  - 喷雾机;
  - 扫雪机;
  - 高尔夫球车。
- c) G2 类
  - 移动式发电机、水泵、电焊机组和空气压缩机;
  - 在发动机额定转速下工作的草地和园艺设备。

B.2 术语和定义

B.2.1

烟度试验 smoke test

在某一恒定的发动机转速下快速加载的试验。



**B. 2. 2****峰值烟度 peak smoke value**

PSV

加载试验时所得的三个最大的 1 s 贝赛尔平均烟度的平均值。

**B. 2. 3****稳态烟度值 steady-state smoke value**

SSSV

发动机稳态运行时记录的最大烟度值。

**B. 3 试验循环****B. 3. 1 发动机加载步骤**

本条规定了如何计算发动机要施加的阶跃负荷。该阶跃负荷是标称功率下平均有效压力( $p_{me}$ )的函数。恒速运行发动机用于发电机组时,标称功率应为发电机标定功率时的发动机功率,见 GB/T 2820.1 的规定。对于发电机组以外其他用途发动机,标称功率为制造厂规定的发动机标定功率。

发动机的  $p_{me}$  按式(B. 1)和式(B. 2)计算:

$$\text{四冲程发动机} \quad p_{me} = \frac{P \times 2\,000}{V_d \times N} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 1})$$

$$\text{二冲程发动机} \quad p_{me} = \frac{P \times 1\,000}{V_d \times N} \quad \dots\dots\dots (\text{B. 2})$$

式中:

$p_{me}$ ——平均有效压力,单位为千帕(kPa);

$P$ ——标称功率,单位为千瓦(kW);

$V_d$ ——排量,单位为升(L);

$N$ ——发动机转速,单位为转每秒(r/s)。

图 B. 1 和图 B. 2 规定了发动机应施加的负荷量(标称功率的百分数)与发动机  $p_{me}$  的关系。考虑到大多数恒速运行发动机的用途是发电机组,发动机施加的阶跃负荷就是 GB/T 2820.5 中对发电机规定的负荷。图 B. 1 适用于四冲程发动机,图 B. 2 适用于二冲程发动机。图 B. 1 或图 B. 2 给出的负荷即为 B. 3. 3 步骤 c) 要施加的负荷。

**B. 3. 2 发动机预热**

发动机应在标定功率下预热,以保证发动机参数稳定在制造商推荐值范围内。

注:预热阶段还应确保实际测量不受前次试验排气系统中沉积物的影响。

**B. 3. 3 烟度试验规程**

- a) 发动机预热运转后,立即以油量限定功率运转  $40 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ ,并记录烟度。
- b) 使发动机以 10% 标称功率运转  $40 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ 。
- c) 快速施加 B. 3. 1 规定的阶跃负荷。  
注:发动机接受阶跃负荷的时间取决于其用途。
- d) 使发动机在该负荷下运转  $40 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ 。
- e) 重复步骤 b)~d),完成三次运转循环。

**B. 4 结果分析****B. 4. 1 通则**

本章规定了烟度试验结果的分析方法。按照 10. 2 规定的算法,本试验所用的许多烟度计的烟度输

出信号为  $X=0.5\text{ s}$  的贝赛尔平均烟度。对于这些消光烟度计,需要对信号作进一步处理以产生“ $X=1\text{ s}$ ”的烟度结果,10.2.2 中公式(11)所用的  $(t_p^2+t_e^2)$  值为 0.25。对于那些未按 0.5 s 贝赛尔算法处理的原始烟度结果,分析时应使用代表该消光计系统的  $(t_p^2+t_e^2)$  值。

报告烟度值还应按 10.4 的规定进行环境修正。

**B.4.2 稳态烟度值(SSSV)**

SSSV 为 B.3.3 中步骤 a) 试验期间记录的最大烟度。稳态烟度值不需要进行贝赛尔平均。

**B.4.3 峰值烟度(PSV)**

确定 B.3.3 步骤 c) 三次重复运行期间出现的最大 1 s 贝赛尔平均烟度值。务必确保分析的烟度数据与施加负荷过程中出现的时间相对应(见 10.1.1)。PSV 为施加负荷试验期间测得的三个最大 1 s 贝赛尔平均烟度值的平均值。

**B.5 结果报告**

应报告下列烟度值:PSV 和 SSSV。

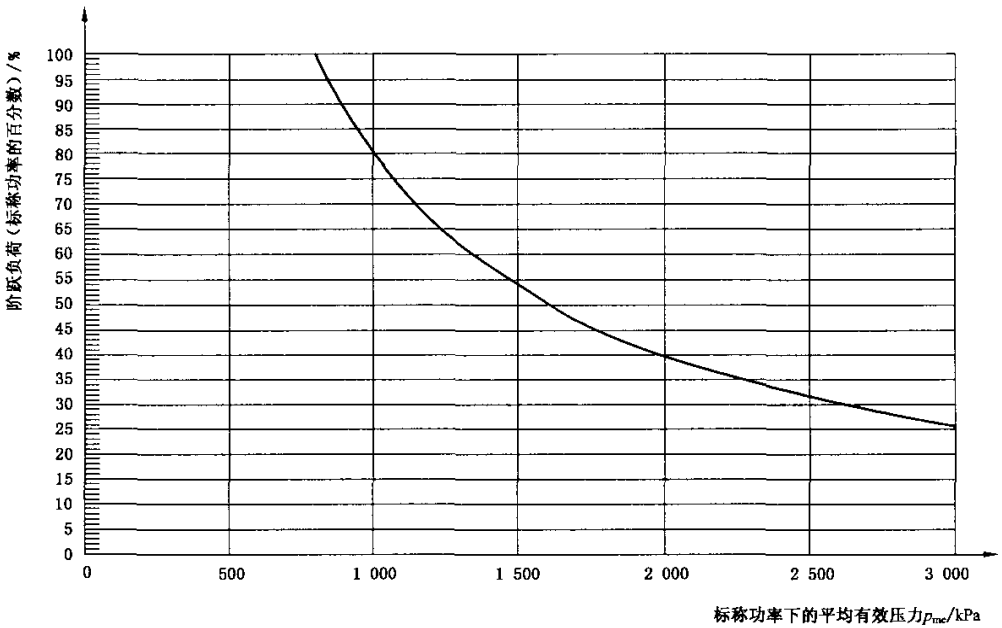


图 B.1 四冲程发动机施加的阶跃负荷

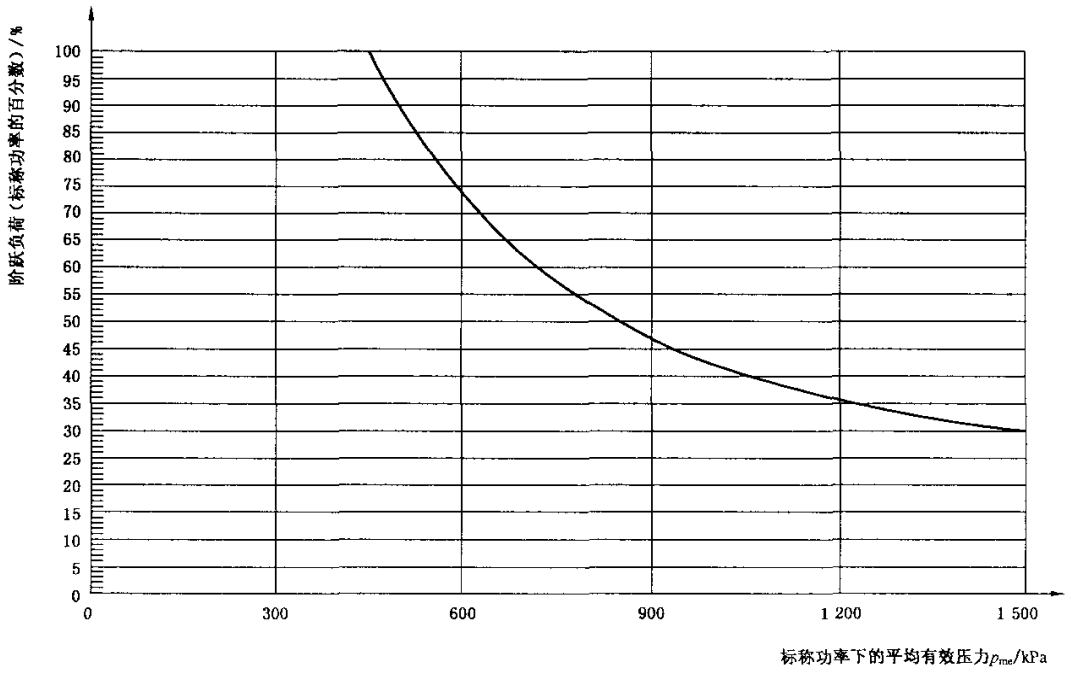


图 B.2 二冲程发动机施加的阶跃负荷

附录 C  
(资料性附录)

关于试验循环的注意事项

前面两个附录所述的烟度试验循环旨在产生实际使用条件下出现的代表性烟度。另外, GB/T 8190 本部分的测量方法适用于附录所涉及到的发动机。

附录 A 规定的试验循环代表了 GB/T 8190.4—2010 中 C1 类用途的发动机。附录 A 范围一章所述的发动机的最大标定功率可达 1 500 kW。附录 B 规定的试验循环代表了 GB/T 8190.4—2010 中 D2、G1 和 G2 类用途的发动机。可以预见,通过制定另外的附录,GB/T 8190 的本部分可扩大用于其他用途的发动机。

扩展至其他功率范围(如电站)和其他用途(如大型船舶或机车)需要慎重研究。需要更进一步确定加速率的界限(由于发动机尺寸不同)和引入其他运转工况(如发动机起动)。另外,有些发动机可能装有转速和/或负荷控制系统而使发动机无法按附录规定的循环进行试验运行,必须注意到这些控制系统或其中的一部分可能具有控制烟度的功能,因而可能需要特殊的试验规程来涉及这些情况。

附录 A 和附录 B 所述试验规程是专门针对发动机试验台测量的。可以认为这些试验将在“基本型”发动机上进行,所得结果适用于该系族(见 GB/T 8190.7)或系组(见 GB/T 8190.8)的所有发动机。在某些情况下(例如不适用系族或系组试验的船舶或电站用发动机),应对整个系族或系组的发动机进行逐一试验(监测)。这时,附录规定的烟度循环与此无关。这些大型发动机以质量不稳定的残余燃料运行时,宜优先采用现场烟度测量,能使烟度控制更准确。

对于汽缸数少(一缸、两缸或三缸)且共用一个排气管的发动机,烟度测量将会比较困难。这是由于排气压力和排气流量变化会对测量过程、测量准确度和重复性产生影响。

鉴于所有上述原因,应对附录 A 和附录 B 的运用界限予以充分考虑。对于超出附录界限的那些发动机的烟度试验,可能需要不同的试验循环和测量规程。

验证非常规尺寸测量仪器精度的研究工作正在进行之中。这一问题将会在 GB/T 8190 本部分的未来版本中予以考虑。

**附录 D**  
(资料性附录)  
计算程序示例

### D.1 范围

鉴于贝赛尔算法应用于滤波器是一种确定烟度的新平均方法。本附录对于贝赛尔滤波器作了说明,并给出了贝赛尔算法的设计示例和最终烟度值的计算示例。

贝赛尔算法的一些常数只与消光烟度计的结构和数据采集系统的采样速率有关。建议消光计生产厂家提供不同采样速率的贝赛尔常数,并建议用户使用这些常数来设计贝赛尔算法和计算烟度值。

### D.2 贝赛尔滤波器的一般说明

由于高频失真,原始消光度信号常会出现高离散迹线。为了消除高频失真,烟度试验需要用一种贝赛尔滤波器。贝赛尔滤波器本身是一种递归的二级低通滤波器,它能确保最快产生信号且无过冲。

各种消光烟度计对排气管中的某一原始烟气会显示出有延后的和各不相同的实测消光度迹线。消光度迹线的迟后及幅度主要取决于消光计测量室(包括排气取样管)的几何形状和消光计电路处理信号所需的时间。表征这两种影响的数值称之为作物理响应时间和电路响应时间,相当于每种型式的消光计有一个单独的滤波器。采用贝赛尔滤波器的目的是保证所有的消光计系统有一个统一的总滤波特性,包括:

- 消光计物理响应时间( $t_p$ );
- 消光计电路响应时间( $t_c$ );
- 所用贝赛尔滤波器的滤波器响应时间( $t_F$ )。

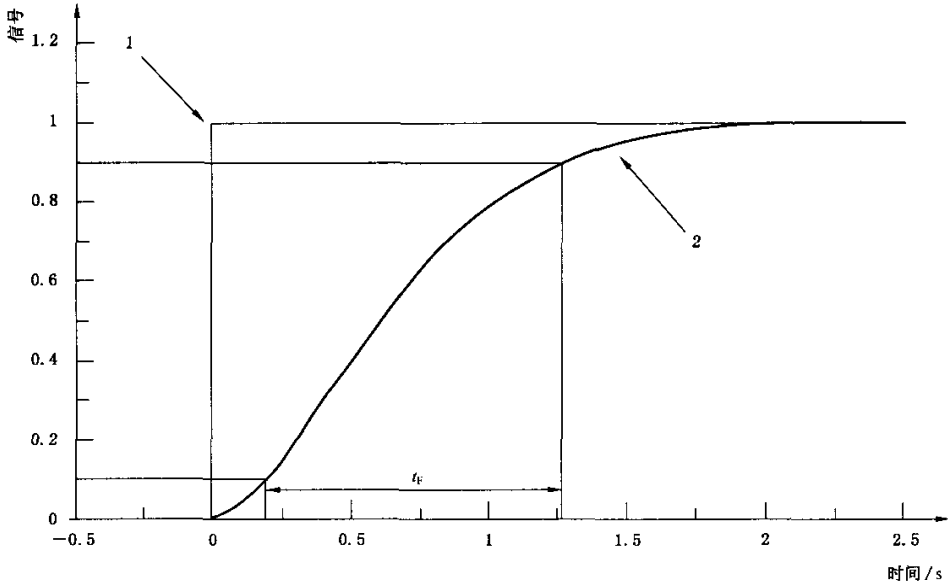
系统总响应时间( $X$ )由下式给出:

$$X = \sqrt{t_F^2 + t_p^2 + t_c^2}$$

各种类型消光计的系统总响应时间必须相同,以得出相同的烟度值。因此,贝赛尔滤波器应能使滤波器响应时间( $t_F$ )与各种消光计的物理响应时间( $t_p$ )和电路响应时间( $t_c$ )一起产生一个要求的总响应时间( $X$ )。由于  $t_p$  和  $t_c$  由各消光计给定,且在 GB/T 8190 的本部分中将  $X$  规定为 1 s(见 A. 2. 5 和 A. 2. 6),因此  $t_F$  可按下式计算:

$$t_F = \sqrt{X^2 - t_p^2 - t_c^2}$$

由定义可知,滤波器响应时间  $t_F$  为滤波后的输出信号从阶跃输入信号的 10% 升高到 90% 的上升时间。因此,贝赛尔滤波器的截止频率必须迭代到使贝赛尔滤波器的响应时间与要求的上升时间相符合。图 D. 1 所示为阶跃输入信号和贝赛尔滤波后输出信号的迹线以及贝赛尔滤波器的响应时间( $t_F$ )。



- 1——阶跃输入信号；
- 2——贝赛尔滤波后输出信号。

图 D.1 阶跃输入信号和滤波后输出信号的迹线

### D.3 贝赛尔算法的计算

#### D.3.1 通则

设计最终的贝赛尔滤波器算法是一个需要进行多次迭代循环的多步骤过程。根据第 10 章所述的迭代程序流程图如图 D.2 所示。

下面的示例中，在图 D.2 所示迭代程序的若干步骤中，贝赛尔算法是针对峰值烟度 (PSV，见 A.4.2) 设计的。LSV 的迭代程序与之完全相同。

对于消光计和数据采集系统，假设下列特征值为：

- 物理响应时间  $t_p$ : 0.15 s；
- 电路响应时间  $t_e$ : 0.05 s；
- 总响应时间  $X$ : 1 s(按 PSV 确定)；
- 采样速率: 150 Hz。

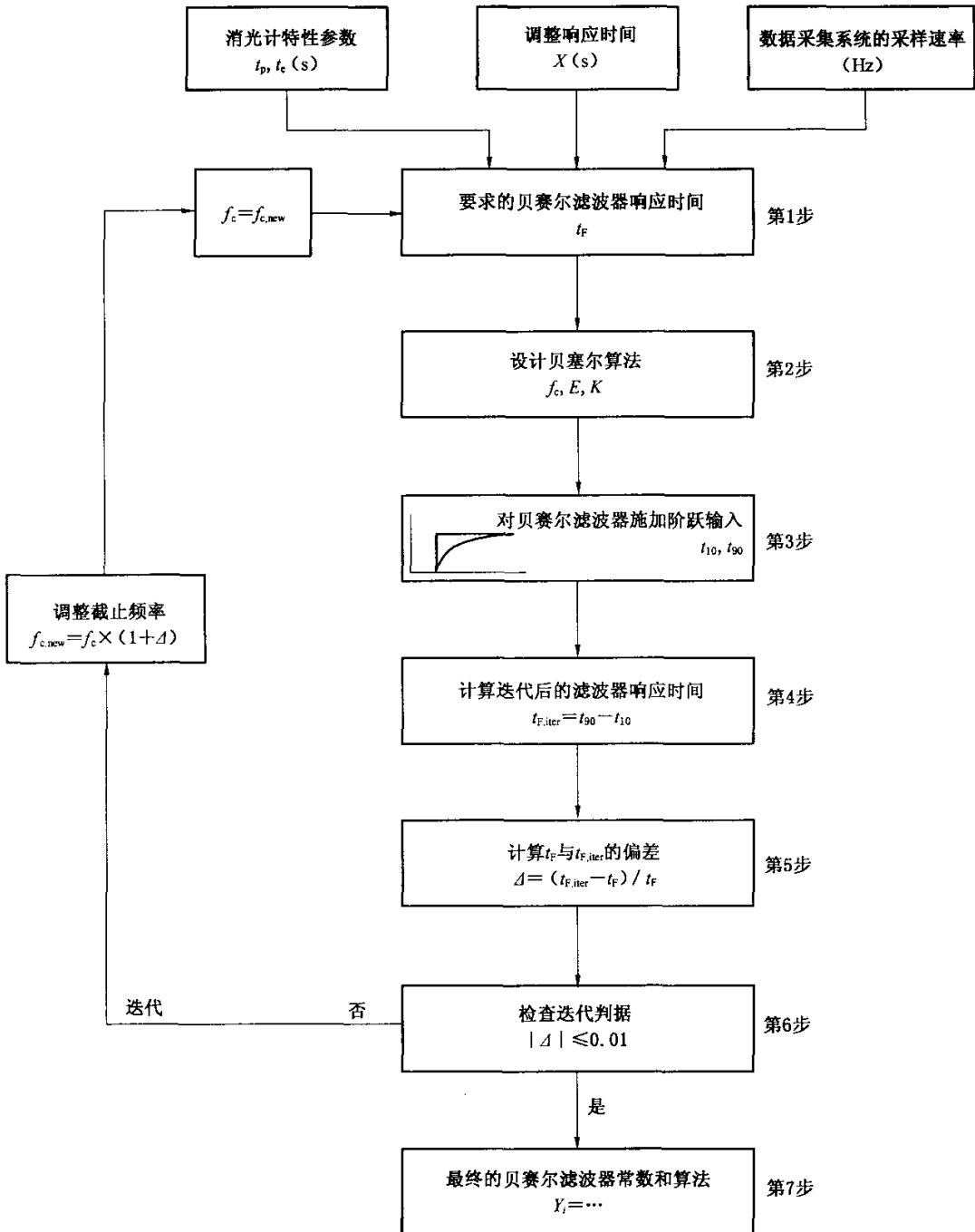


图 D.2 贝塞尔滤波器算法的迭代流程图

D.3.2 第 1 步:要求的贝塞尔滤波器响应时间  $t_F$

$$t_F = \sqrt{X^2 - (t_p^2 + t_c^2)}$$

$$t_F = \sqrt{1^2 - (0.15^2 + 0.05^2)} = 0.987\ 421\ \text{s}$$

**D.3.3 第2步:估算截止频率  $f_c$ , 计算第一次迭代的贝赛尔常数  $E$  和  $K$**

$$f_c = \pi / (10 \times t_F)$$

$$f_c = \pi / (10 \times 0.987\ 421) = 0.318\ 161\ \text{Hz}$$

$$\Delta t = 1/150$$

$$\Omega = 1 / \tan(\pi \times \Delta t \times f_c)$$

$$\Omega = 1 / \tan(\pi \times 1/150 \times 0.318\ 161) = 150.067\ 975$$

$$E = \frac{1}{1 + \Omega \times \sqrt{3 \times D} + D \times \Omega^2}$$

$$D = 0.618\ 034$$

$$E = \frac{1}{1 + 150.067\ 975 \times \sqrt{3 \times 0.618\ 034} + 0.618\ 034 \times 150.067\ 975^2} = 7.080\ 29 \times 10^{-5}$$

$$K = 2 \times E \times (D \times \Omega^2 - 1) - 1$$

$$K = 2 \times 7.080\ 29 \times 10^{-5} \times (0.618\ 034 \times 150.067\ 975^2 - 1) - 1 = 0.970\ 781$$

于是可得出贝赛尔算式:

$$Y_i = Y_{i-1} + E \times (S_i + 2 \times S_{i-1} + S_{i-2} - 4 \times Y_{i-2}) + K \times (Y_{i-1} - Y_{i-2})$$

$$Y_i = Y_{i-1} + 7.080\ 29 \times 10^{-5} \times (S_i + 2 \times S_{i-1} + S_{i-2} - 4 \times Y_{i-2}) + 0.970\ 781 \times (Y_{i-1} - Y_{i-2})$$

式中  $S_i$  表示阶跃输入信号值(“0”或“1”),  $Y_i$  表示滤波后的输出信号。

**D.3.4 第3步:对贝赛尔滤波器施加阶跃输入**

贝赛尔滤波器响应时间  $t_F$  定义为施加阶跃输入信号后滤波器输出信号从 10% 升高到 90% 的上升时间。为确定达到 10% 输出信号( $t_{10}$ )和 90% 输出信号( $t_{90}$ )的时间,必须用上述  $f_c$ 、 $E$  和  $K$  值对贝赛尔滤波器施加阶跃输入。

表 D.1 中列出了阶跃输入信号的序号、时间和数值以及第一次和第二次迭代所得的滤波后输出信号。接近  $t_{10}$  和  $t_{90}$  的点用黑体标识。

**表 D.1 阶跃输入信号值和第一次及第二次迭代循环的贝赛尔滤波后输出信号值**

序号 <i>i</i>	时间/ s	阶跃输入信号 $S_i$	滤波后输出信号 $Y_i$	
			第一次重复	第二次重复
-2	-0.013 333	0	0.000 000	0.000 000
-1	-0.006 667	0	0.000 000	0.000 000
0	0.000 000	1	0.000 071	0.000 084
1	0.006 667	1	0.000 352	0.000 416
2	0.013 333	1	0.000 908	0.001 074
3	0.020 000	1	0.001 731	0.002 046
4	0.026 667	1	0.002 813	0.003 321
5	0.033 333	1	0.004 146	0.004 891
24	0.160 000	1	0.067 884	0.078 788
25	0.166 667	1	0.072 823	0.084 448
26	0.173 333	1	0.077 882	0.090 237



表 D.1 (续)

序号 $i$	时间/ $s$	阶跃输入信号 $S_i$	滤波后输出信号 $Y_i$	
			第一次重复	第二次重复
27	0.180 000	1	0.083 056	0.096 149
28	0.186 667	1	0.088 339	0.102 178
29	0.193 333	1	0.093 728	0.108 318
30	0.200 000	1	0.099 218	0.114 564
31	0.206 667	1	0.104 804	0.120 911
32	0.213 333	1	0.110 482	0.127 352
33	0.220 000	1	0.116 248	0.133 884
34	0.226 667	1	0.122 097	0.140 500
35	0.233 333	1	0.128 025	0.147 197
36	0.240 000	1	0.134 029	0.153 969
37	0.246 667	1	0.140 104	0.160 811
174	1.160 000	1	0.859 856	0.896 087
175	1.166 667	1	0.862 443	0.898 336
176	1.173 333	1	0.864 994	0.900 548
177	1.180 000	1	0.867 510	0.902 723
178	1.186 667	1	0.869 990	0.904 863
179	1.193 333	1	0.872 436	0.906 967
180	1.200 000	1	0.874 846	0.909 036
181	1.206 667	1	0.877 223	0.911 071
182	1.213 333	1	0.879 565	0.913 072
183	1.220 000	1	0.881 874	0.915 038
184	1.226 667	1	0.884 149	0.916 972
185	1.233 333	1	0.886 392	0.918 872
186	1.240 000	1	0.888 601	0.920 740
187	1.246 667	1	0.890 779	0.922 575
188	1.253 333	1	0.892 924	0.924 379
189	1.260 000	1	0.895 037	0.926 151
190	1.266 667	1	0.897 120	0.929 603
191	1.273 333	1	0.899 170	0.929 603
192	1.280 000	1	0.901 191	0.931 284
193	1.286 667	1	0.903 180	0.932 934
194	1.293 333	1	0.905 140	0.934 556

表 D.1 的第一次迭代结果中,10%值出现在序号 30 和 31 之间,90%值出现在序号 191 和 192 之间。为计算  $t_{F,iter}$ ,  $t_{10}$  和  $t_{90}$  的准确值用相邻测量点的线性内插法由下式确定:

$$t_{10} = t_{lower} + \Delta t \times (0.1 - out_{lower}) / (out_{upper} - out_{lower})$$

$$t_{90} = t_{lower} + \Delta t \times (0.9 - out_{lower}) / (out_{upper} - out_{lower})$$

式中  $out_{upper}$  和  $out_{lower}$  分别表示相邻点的贝赛尔滤波后输出信号,  $t_{lower}$  为相邻时间点的时间,见表 1。

$$t_{10} = 0.200\ 000 + 0.006\ 667 \times (0.1 - 0.099\ 218) / (0.104\ 804 - 0.099\ 218) = 0.200\ 933\ s$$

$$t_{90} = 1.273\ 333 + 0.006\ 667 \times (0.9 - 0.899\ 170) / (0.901\ 191 - 0.899\ 170) = 1.276\ 071\ s$$

**D.3.5 第 4 步:计算第一次迭代的滤波器响应时间  $t_{F,iter}$**

$$t_{F,iter} = t_{90} - t_{10}$$

$$t_{F,iter} = 1.276\ 071 - 0.200\ 933 = 1.075\ 138\ s$$

**D.3.6 第 5 步:计算要求的滤波器响应时间与第一次迭代所得的滤波器响应时间的偏差,  $\Delta$**

$$\Delta = (t_{F,iter} - t_F) / t_F$$

$$\Delta = (1.075\ 138 - 0.987\ 421) / 0.987\ 421 = 0.088\ 834$$

**D.3.7 第 6 步:检查迭代判据**

要求  $|\Delta| = 0.01$ 。由于  $0.088\ 834 > 0.01$ ,不满足迭代判据,应进行下一步迭代循环。由  $f_c$  和  $\Delta$  按下式计算下一步迭代的截止频率:

$$f_{c,new} = f_c \times (1 + \Delta)$$

$$f_{c,new} = 0.318\ 161 \times (1 + 0.088\ 834) = 0.346\ 425\ Hz$$

用该截止频率从第 2 步开始进行第二次迭代循环。迭代必须重复进行直到满足迭代判据为止。

表 D.2 给出了第一次和第二次迭代的结果。

表 D.2 第一次和第二次迭代结果

参数	单位	第一次迭代	第二次迭代
$f_c$	Hz	0.318 161	0.346 425
$E$	1	$7.080\ 29 \times 10^{-5}$	$8.383\ 292 \times 10^{-5}$
$K$	1	0.970 781	0.968 199
$t_{10}$	s	0.200 933	0.184 259
$t_{90}$	s	1.276 071	1.178 348
$t_{F,iter}$	s	1.075 138	0.994 090
$\Delta$	1	0.088 834	0.006 754
$f_{c,new}$	Hz	0.346 425	0.348 765

**D.3.8 第 7 步:最终的贝赛尔算法**

当满足迭代判据时,按第 2 步计算最终的贝赛尔常数和最终的贝赛尔算法。在本示例中,第二次迭代后已满足迭代判据( $\Delta = 0.006\ 754 < 0.01$ )。然后,用最终算法确定平均烟度值(见 D.4)。

$$Y_i = Y_{i-1} + E \times (S_i + 2 \times S_{i-1} + S_{i-2} - 4Y_{i-2}) + K \times (Y_{i-1} - Y_{i-2})$$

$$Y_i = Y_{i-1} + 8.383\ 292 \times 10^{-5} \times (S_i + 2 \times S_{i-1} + S_{i-2} - 4 \times Y_{i-2}) + 0.968\ 199 \times (Y_{i-1} - Y_{i-2})$$

**D.4 烟度值计算**

**D.4.1 通则**

在以下示例中,给出了按 10.2.3 确定 PSV 最终烟度值的一般规程。在这种情况下,应采用按 D.3 设计的贝赛尔滤波器,它适用于按 10.1.2 的公式(10)由原始消光度信号换算的光吸收系数  $k$ 。如果用消光度报告试验结果,则可以将相同的滤波器算法直接用于原始消光度信号。LSV 的计算规程与之完全相同。

图 D.3 所示为一次加速过程的实测原始消光度信号  $N$  以及未滤波的和滤波后的光吸收系数  $k$  的迹线。图中还指出了滤波后  $k$  的迹线的最大值  $Y_{i,\max}$  (峰值)。表 D.3 和表 D.4 相应列出了序号  $i$ 、时间(采样速率 150 Hz)、原始消光度、未滤波  $k$  和滤波后  $k$  的数值。滤波是利用按 D.3 设计的贝赛尔算法的常数进行了。由于有大量数据,表中仅列出了烟度迹线开始段和峰值段的数值。

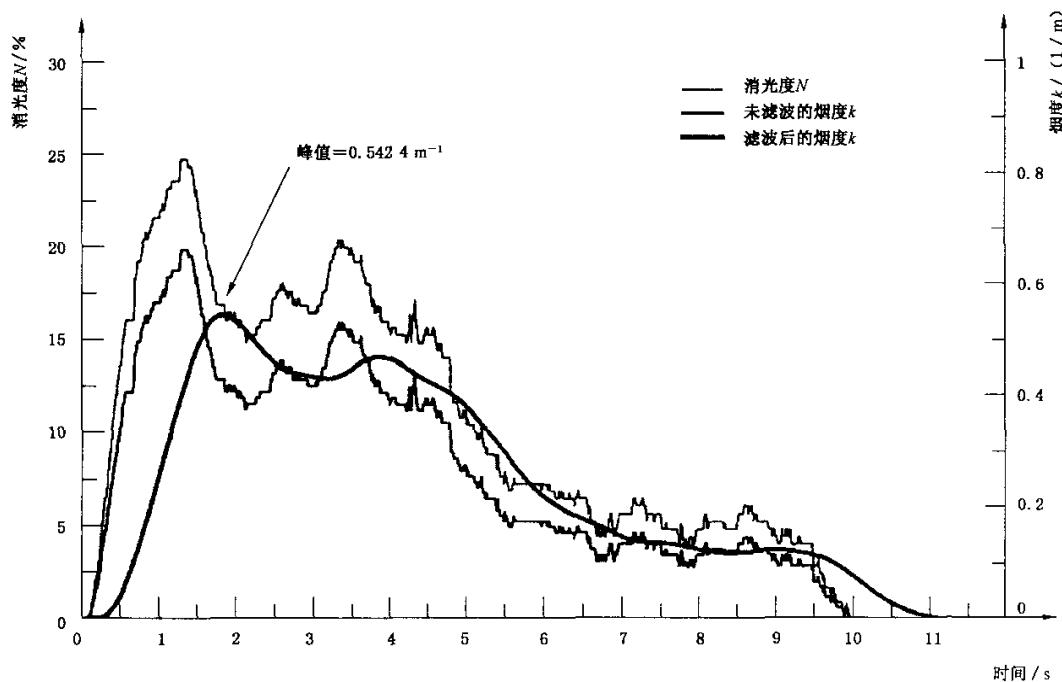


图 D.3 实测消光度  $N$  及以  $k$  表示的未滤波烟度和滤波后烟度的迹线

表 D.3 加载开始时的消光度值  $N$ 、未滤波  $k$  值和滤波后的  $k$  值

序号 $i$	时间/ s	消光度 $N/\%$	未滤波 $k$ 值/ $m^{-1}$	滤波后的 $k$ 值/ $m^{-1}$
-2	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000
-1	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000
0	0.000 000	0.000 000	0.000 000	0.000 000
1	0.006 667	0.020 000	0.000 465	0.000 000
2	0.013 333	0.020 000	0.000 465	0.000 000
3	0.020 000	0.020 000	0.000 465	0.000 000
4	0.026 667	0.020 000	0.000 465	0.000 001
5	0.033 333	0.020 000	0.000 465	0.000 002
6	0.040 000	0.020 000	0.000 465	0.000 002
7	0.046 667	0.020 000	0.000 465	0.000 003
8	0.053 333	0.020 000	0.000 465	0.000 004
9	0.060 000	0.020 000	0.000 465	0.000 005

表 D.3 (续)

序号 <i>i</i>	时间/ s	消光度 N/%	未滤波 <i>k</i> 值/ $m^{-1}$	滤波后的 <i>k</i> 值/ $m^{-1}$
10	0.066 667	0.020 000	0.000 465	0.000 006
11	0.073 333	0.020 000	0.000 465	0.000 008
12	0.080 000	0.020 000	0.000 465	0.000 009
13	0.086 667	0.020 000	0.000 465	0.000 011
14	0.093 333	0.020 000	0.000 465	0.000 013
15	0.100 000	0.192 000	0.004 469	0.000 015
16	0.106 667	0.212 000	0.004 935	0.000 018
17	0.113 333	0.212 000	0.004 935	0.000 023
18	0.120 000	0.212 000	0.004 935	0.000 029
19	0.126 667	0.343 000	0.007 990	0.000 037
20	0.133 333	0.566 000	0.013 200	0.000 047
21	0.140 000	0.889 000	0.020 767	0.000 062
22	0.146 667	0.929 000	0.021 706	0.000 083
23	0.153 333	0.929 000	0.021 706	0.000 110
24	0.160 000	1.263 000	0.029 559	0.000 144
25	0.166 667	1.455 000	0.034 086	0.000 187
26	0.173 333	1.697 000	0.039 804	0.000 240
27	0.180 000	2.030 000	0.047 695	0.000 305
28	0.186 667	2.081 000	0.048 906	0.000 383
29	0.193 333	2.081 000	0.048 906	0.000 475
30	0.200 000	2.424 000	0.057 067	0.000 580
31	0.206 667	2.475 000	0.058 282	0.000 701
32	0.213 333	2.475 000	0.058 282	0.000 837
33	0.220 000	2.808 000	0.066 237	0.000 989
34	0.226 667	3.010 000	0.071 075	0.001 158
35	0.233 333	3.253 000	0.076 909	0.001 345
36	0.240 000	3.606 000	0.085 410	0.001 551
37	0.246 667	3.960 000	0.093 966	0.001 780
38	0.253 333	4.455 000	0.105 983	0.002 032
39	0.260 000	4.818 000	0.114 836	0.002 311
40	0.266 667	5.020 000	0.119 776	0.002 618

表 D.4 PSV 附近的消光度值  $N$ 、未滤波  $k$  值和滤波后的  $k$  值

序号 $i$	时间/ $s$	消光度 $N/\%$	未滤波 $k$ 值/ $m^{-1}$	滤波后的 $k$ 值/ $m^{-1}$
259	1.726 667	17.182 000	0.438 429	0.538 748
260	1.733 333	16.949 000	0.431 896	0.539 244
261	1.740 000	16.788 000	0.427 392	0.539 689
262	1.746 667	160798 000	0.427 671	0.540 082
263	1.753 333	16.788 000	0.427 392	0.540 426
264	1.760 000	16.798 000	0.427 671	0.540 720
265	1.766 667	16.798 000	0.427 671	0.540 968
266	1.773 333	16.788 000	0.427 392	0.541 170
267	1.780 000	16.788 000	0.427 392	0.541 327
268	1.786 667	16.798 000	0.427 671	0.541 441
269	1.793 333	16.798 000	0.427 671	0.541 514
270	1.800 000	16.793 000	0.427 532	0.541 545*
271	1.806 667	16.788 000	0.427 392	0.541 538
272	1.813 333	16.783 000	0.427 252	0.541 493
273	1.820 000	16.780 000	0.427 168	0.541 411
274	1.826 667	16.798 000	0.427 671	0.541 293
275	1.833 333	16.778 000	0.427 112	0.541 140
276	1.840 000	16.808 000	0.427 951	0.540 954
277	1.846 667	16.768 000	0.426 833	0.540 737
278	1.853 333	16.010 000	0.405 750	0.540 486
279	1.860 000	16.010 000	0.405 750	0.540 199
280	1.866 667	16.000 000	0.405 473	0.539 877
281	1.873 333	16.010 000	0.405 750	0.539 519
282	1.880 000	16.000 000	0.405 473	0.539 128
283	1.886 667	16.010 000	0.405 750	0.538 704
284	1.893 333	16.394 000	0.416 406	0.538 251
285	1.900 000	16.394 000	0.416 406	0.537 769
286	1.906 667	16.404 000	0.416 685	0.537 262
287	1.913 333	16.394 000	0.416 406	0.536 731
288	1.920 000	16.394 000	0.416 406	0.536 176
289	1.926 667	16.384 000	0.416 128	0.535 598
290	1.933 333	16.010 000	0.405 750	0.534 997
291	1.940 000	16.010 000	0.405 750	0.534 373
292	1.946 667	16.000 000	0.405 473	0.533 726

表 D.4 (续)

序号 <i>i</i>	时间/ <i>s</i>	消光度 <i>N</i> /%	未滤波 <i>k</i> 值/ $\text{m}^{-1}$	滤波后的 <i>k</i> 值/ $\text{m}^{-1}$
293	1.953 333	16.010 000	0.405 750	0.500 055
294	1.960 000	16.212 000	0.411 349	0.532 364
295	1.966 667	16.394 000	0.416 406	0.531 654
296	1.973 333	16.394 000	0.416 406	0.530 927
297	1.980 000	16.192 000	0.410 794	0.530 184
298	1.986 667	16.000 000	0.405 473	0.529 424
299	1.993 333	16.000 000	0.405 473	0.528 648
300	2.000 000	16.000 000	0.405 473	0.527 854

<sup>a</sup> 粗黑体表示峰值。

D.4.2 计算未滤波 *k* 值(可选项)

本计算过程先将实测消光度值换算成光吸收系数值。如上所述,仅在需要以光吸收系数为单位报告最终烟度值时或要按 10.3.2 规定进行环境修正时才进行该换算。在本示例中,以序号 262(消光度  $N=16.798\%$ )及光通道长度  $L_A=0.43\text{ m}$  为例进行了换算。

$$k = -\frac{1}{L_A} \times \ln\left(1 - \frac{N_A}{100}\right)$$

$$k = -\frac{1}{0.43} \times \ln\left(1 - \frac{16.798}{100}\right) = 0.427\ 671\ \text{m}^{-1}$$

此值就是 D.4.3 给出的  $S_{262}$  值。

D.4.3 计算贝赛尔平均烟度值(滤波后的 *k* 值)

开始进行贝赛尔算法时,应将  $S_{i-1}$ 、 $S_{i-2}$ 、 $Y_{i-1}$  和  $Y_{i-2}$  设置为零。接着,按序号  $i=262$  所述的相同方法计算所有序号的烟度值,以得出表 D.4 所列滤波后的 *k* 值。以下数据是表 D.4 中摘录下来的。

$$\text{--- } S_{262} = 0.427\ 671\ \text{m}^{-1}$$

$$\text{--- } S_{261} = 0.427\ 392\ \text{m}^{-1}$$

$$\text{--- } S_{260} = 0.431\ 896\ \text{m}^{-1}$$

$$\text{--- } Y_{261} = 0.539\ 689\ \text{m}^{-1}$$

$$\text{--- } Y_{260} = 0.539\ 244\ \text{m}^{-1}$$

公式(15)中应采用 D.3 所得的贝赛尔常数。实际的未滤波 *k* 值相当于上述计算所得的  $S_{262}$  ( $S_i$ ) 值。 $S_{261}$  ( $S_{i-1}$ ) 和  $S_{260}$  ( $S_{i-2}$ ) 为前两个未滤波 *k* 值,  $Y_{261}$  ( $Y_{i-1}$ ) 和  $Y_{260}$  ( $Y_{i-2}$ ) 为前两个滤波后的 *k* 值。

$$Y_i = Y_{i-1} + E \times (S_i + 2 \times S_{i-1} - 4 \times Y_{i-2}) + K \times (Y_{i-1} - Y_{i-2})$$

$$Y_{262} = 0.539\ 689 + 8.383\ 292 \times 10^{-5} \times (0.427\ 671 + 2 \times 0.427\ 392 + 0.431\ 896 - 4 \times 0.539\ 244) + 0.968\ 199 \times (0.539\ 689 - 0.539\ 244)$$

$$= 0.540\ 082\ \text{m}^{-1}$$

整个烟度迹线中最大的滤波后的 *k* 值就是 PSV(根据加速工况不同为  $PSV_F$  或  $PSV_3$  或  $PSV_6$  或  $PSV_9$ )。本示例中最大值为序号 270 的  $0.541\ 545\ \text{m}^{-1}$ 。

LSV 的计算方法与之相同。

如上所述,若最终烟度以消光度为单位,贝赛尔算法直接适用于消光度 *N*,而不用转换为 *k* 值。另外,也可以如上计算后,再将 *k* 值转换为消光度。

## 附录 E (规范性附录)

### 船舶推进发动机的试验循环

#### E.1 总则

与道路用发动机和非道路移动机械用发动机相比,船用发动机工作时转速和扭矩组合的局限性要大得多,部分原因是由于船用发动机通常不配装变速箱,另外部分原因是由螺旋桨传送到水的动力传递物理特性决定的。

船用发动机扭矩与转速的关系有两种规律:由扭矩 $=f(n^2)$ 确定的螺旋桨规律(式中 $n$ 为曲轴转速)和恒定转速规律(类似于发电机用途),前者为固定节距螺旋桨或固定水流的情况,后者为可变节距螺旋桨的情况。这两种情况相当于 GB/T 8190.4—2010 中的 E1、E2、E3 和 E5 试验循环。因此,在这两种情况下,发动机负荷增加(转速增加或不增加)时烟度排放比较稳定,且烟度主要受负荷增加速率的影响。负荷增加速率则受各种自动限制措施的控制。

以功率增加速率为例,船用发动机的功率增加速率要比道路或非道路移动机械用发动机慢,这部分原因是由螺旋桨传送到水的动力传递物理特性决定的。在所有情况下,发动机将由依船舶的种类而定的管理或控制系统进行控制。这种“标准情况”也是最差的工作情况,它非常适合作为动态烟度测量的基准。带不同管理或控制装置的发动机可以组合成为不同的发动机系族或发动机系组,并可以按一种最差的工作情况对整个系族或系组的发动机进行试验。

在船舶上,安全是最重要的。因此,尽管自动控制是通常的惯例,但是对于那些因系统过载而需要降低其紧急危险性的紧急情况是例外。在这种紧急情况下,可能会因发动机较快加速而导致排烟增加。本附录没有考虑这种烟度增加的情况。

#### E.2 本烟度试验循环的适用对象

本附录规定的试验循环适用于 GB/T 8190.4—2010 中规定的 E1、E2、E3 和 E5 循环所涉及的发动机。决定是否使用本附录所述试验循环的因素是加载加速时间。考虑到发动机的管理或控制系统,该加载加速时间应为  $20 \pm 5$  s 或由制造厂规定。对于那些可以作为非道路移动机械用的发动机用作船舶推进发动机时可以有选择性地按附录 A 的规程进行试验。

以下是典型的适用对象:

E1:长度小于 24 m 的小船用柴油机(由试验循环 B 派生而来);

E2:长度不限的船舶推进用恒速重型发动机;

E3:长度不限的按螺旋桨规律运行的船舶推进用重型发动机;

E5:长度小于 24 m 的小型船用柴油机(按螺旋桨规律运行)。

本附录适用于标定功率最大至 1 500 kW 的发动机。

#### E.3 术语和定义

##### E.3.1

**瞬态加载试验(变速运行的发动机) test transient load**

使发动机按照加载加速工况和 80% 标定转速加载工况组成的确定循环的运转过程。

##### E.3.2

**瞬态加载试验(恒速运行发动机) test transient load**

使发动机在标定转速下按照由增加负荷工况和 50% 标定负荷工况组成的确定循环的运转过程。

### E. 3.3

#### 负荷增加时间(变速运行发动机) load-increase time

发动机从低怠速加速到 80% 标定转速所需的时间,在该加速时间内,发动机的负荷控制应使发动机扭矩与瞬态加载曲线相一致。

### E. 3.4

#### 负荷增加时间(恒速运行发动机) load-increase time

发动机在标定转速下从零负荷增加到 50% 标定功率所需的时间。

### E. 3.5

#### 瞬态加载曲线(变速运行发动机) transient-load curve

由扭矩 =  $f(n^2)$  确定的螺旋桨曲线,该曲线的终点为标定转速标定功率点。

### E. 3.6

#### 瞬态加载曲线(恒速运行发动机) transient-load curve

标定转速下的恒定转速曲线,该曲线的终点为标定功率点。

注:变量  $n$  为规定时间期间的曲轴转速。

### E. 3.7

#### 峰值烟度 peak smoke value

PSV

瞬态加载试验期间所得的三个 1.0 s 最大贝赛尔平均烟度值的平均值。

## E. 4 试验循环

### E. 4.1 通则

进行瞬态加载试验的烟度测量(详细规定见 E. 4.2 和 E. 4.3)时,无论是沿螺旋桨曲线还是在恒定转速下,发动机加载都应尽可能地快。负荷增加速率也即负荷增加时间由发动机管理或控制系统控制。

本试验循环适用于试验台测量和/或发动机安装在船舶上时的测量。

当在试验台上测量发动机烟度时,可以在覆盖发动机系族或发动机系组实际使用条件的范围内改变负荷增加时间,发动机系族和系组应符合 GB/T 8190.7—2003 和 GB/T 8190.8 的规定。

### E. 4.2 发动机预热

发动机应在制造厂推荐的标定功率下进行预热,使发动机参数达到稳定状态。

注:该预热阶段还应确保当前的测量不受前次试验的影响,并确保该预热阶段能形成试验的基准条件。

### E. 4.3 瞬态加载试验运行

#### E. 4.3.1 通则

瞬态加载试验应在完成 E. 4.2 预热运转后,立即进行。

#### E. 4.3.2 变速运行发动机

变速运行发动机瞬态加载试验是发动机克服扭矩 =  $f(n^2)$  的负荷从低怠速加速到 80% 标定转速。试验顺序如图 E.1 所示。

#### E. 4.3.3 恒速运行发动机

恒速运行发动机瞬态加载试验是使发动机从标定转速零负荷加载到标定转速 50% 标定功率。试验顺序如图 E.2 所示。

瞬态加载试验应从预运转循环开始,以提高试验结果的重复性。完成预运转循环后应立即进行三次增加负荷的试验循环。瞬态加载试验的顺序见 E. 4.3.4 和 E. 4.3.5。

#### E. 4.3.4 变速运行发动机的试验步骤

##### E. 4.3.4.1 预运转循环

预热运转循环如下:



- a) 手柄置于最小开度位置,使发动机在低怠速下以最低稳定负荷运转  $40 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ 。
- b) 按负荷/转速控制手柄从低怠速位置:
  - 1) 移动到某一开度位置,使发动机在  $20 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$  内达到 80% 标定转速;或
  - 2) 快速移动到全开位置,并保持在开度位置,使发动机在其管理或控制系统允许的时间内克服瞬态加载曲线的负荷加速到 80% 标定转速。
- c) 使发动机以 80% 标定转速和瞬态加载曲线给定的负荷保持  $60 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ 。
- d) 降低发动机负荷,使负荷/转速控制手柄回复到低怠速位置。

#### E. 4.3.4.2 测量运转循环

重复 E. 4.3.4.1 步骤 a) 到 d), 直到完成三次连续的试验和获得一致的结果。

#### E. 4.3.5 恒速运行发动机的试验步骤

##### E. 4.3.5.1 预运转循环

- a) 使发动机在标定转速以最低稳定负荷运转  $40 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ 。
- b) 在标定转速下,将负荷/转速控制手柄:
  - 1) 移动到某一开度位置,使发动机在  $20 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$  内达到 50% 标定负荷;或
  - 2) 快速移动到 50% 开度位置,并保持在开度位置,使发动机恒定转速下的负荷在其管理或控制系统允许的时间内增加到 50% 标定负荷。
- c) 使发动机在标定转速下以 50% 标定功率运转  $60 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ 。
- d) 降低发动机负荷,使负荷/转速控制手柄回复到标定转速空载位置。

##### E. 4.3.5.2 测量运转循环

重复 E. 4.3.5.1 步骤 a) 到 d), 直到完成三次连续的试验和获得一致的结果。

##### E. 4.3.6 瞬态加载试验有效性判定

只有在满足以下试验循环的要求时瞬态加速试验的结果方为有效。

三次连续的瞬态加载加速试验的最高与最低的 1 s 最大贝赛尔平均烟度值的算术差不超过 5% 消光度。

附加的试验有效性判定按 5.1.2 和 7.3.2.3 的规定。

## E. 5 结果分析

### E. 5.1 通则

本章规定了瞬态加载烟度试验的结果分析方法。本试验方法所用的许多烟度计的输出信号为相当于 10.2 所述算法的  $X=0.5 \text{ s}$  的贝赛尔平均烟度值。对于这些消光烟度计,需要对输出信号作进一步处理以产生相当于  $X=1 \text{ s}$  的结果,这时,10.2.2 中公式(11)所用的  $(t_p^2 + t_e^2)$  的值为  $0.5^2$ 。对于那些未按 0.5 s 贝赛尔算法处理的原始烟度值,分析时应采用能代表所用消光烟度计的  $(t_p^2 + t_e^2)$  值。

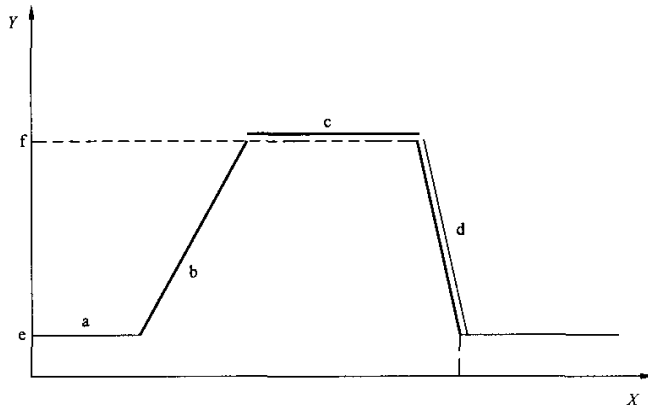
### E. 5.2 峰值烟度 (PSV)

确定 E. 4.3 所述三次重复试验中最大的 1 s 贝赛尔平均烟度值。注意应确保被分析的烟度数据与负荷增加时的时间相对应(见 10.1.1)。峰值烟度 PSV 是指每次增加负荷时测得的 1 s 最大贝赛尔平均烟度值的平均值。

计算贝赛尔平均烟度值的方法见 10.2 的规定。对于峰值烟度,公式(11)中的  $X$  值为  $1.0 \text{ s}$ 。

## E. 6 结果报告

应报告以下各项烟度值:  $PSV_1$ 、 $PSV_2$ 、 $PSV_3$  和  $PSV_a$  (即前三个烟度值的平均值)。还应报告三次试验(负荷增加时)的持续时间。图 E. 1 和图 E. 2 的时间间隔 a) 到 d) 分别参阅 E. 4.3.4.1 和 E. 4.3.5.1 的各项说明。



X——时间,单位为秒(s)。

Y——发动机转速。

a——“控制手柄”置于无负荷位置,40 s±5 s。

b——时间,20 s±5 s或按发动机制造厂的规定:

1) “控制手柄”置于某一开度位置;

2) “控制手柄”置于全开位置。

c——保持转速不变,60 s±5 s。

d——“控制手柄”回复到怠速位置,所需时间按发动机制造厂的规定。

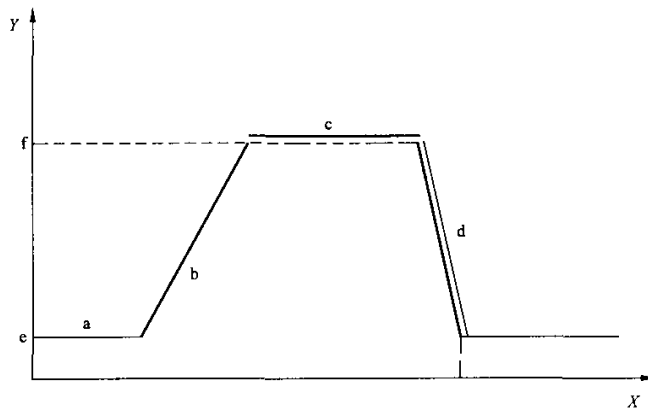
e——怠速。

f——80%标定转速。

a~d的时间间隔参阅 E. 4. 3. 4. 1。

注:视发动机的技术规格而定,线性斜度可能会与 E. 4. 1 的规定有一定的偏差。

图 E. 1 变速运行发动机的瞬态加载试验



X——时间,单位为秒(s)。

Y——发动机转速。

a——“控制手柄”置于无负荷位置,40 s±5 s。

b——时间,20 s±5 s或按发动机制造厂的规定:

1) “控制手柄”置于某一开度位置;

2) “控制手柄”置于全开位置。

c——保持转速不变,60 s±5 s。

d——“控制手柄”回复到无负荷位置,所需时间按发动机制造厂的规定。

e——0%负荷。

f——50%标定功率。

a~d的时间间隔参阅 E. 4. 3. 5. 1。

注:视发动机的技术规格而定,线性斜度可能会与 E. 4. 1 的规定有一定偏差。

图 E. 2 恒速运行发动机的瞬态加载试验

## 附录 F (规范性附录)

### 变速运行 F 类发动机(机车牵引)的试验循环

#### F.1 总则

克服发动机惯性矩(无负荷)的加速试验不适用于机车牵引用发动机,因为要避免机车车轮打滑,铁路牵引用发动机的油门响应不能像非道路用(C1)发动机那样快。当发动机加速时,铁路牵引用发动机不是快速打开油门,而是按照基于时间的负荷增加速率打开油门。带不同管理或控制系统的发动机可以组合成为不同的系族或系组,对于这些发动机,可以对整个系族或系组中最差工作情况的发动机进行试验。

在通常情况下,应将发动机安装在配备所有固定设备和测量仪器的试验台上进行试验。在某些情况下,可以不从机车上拆下发动机而用一种固定的试验台装置(例如负荷储存系统)吸收发动机产生的功率。

#### F.2 本试验循环的适用对象

本附录适用于标定功率最大至 1 500 kW 的发动机。

#### F.3 术语和定义

##### F.3.1

**瞬态加载试验 test under transient load**

使发动机按照由加载加速工况和标定转速全负荷工况组成的确定循环进行运转的过程。

##### F.3.2

**加载加速时间 acceleration time under load**

发动机从低怠速加速到标定转速所需的时间,在加速过程中发动机的负荷控制应使发动机的功率符合加速加载曲线。

注:加载加速时间由发动机管理或控制系统控制。

##### F.3.3

**加速加载曲线 acceleration load curve**

水力测功器固有的负荷曲线,近似遵循扭矩 $=f(n^2)$ 的规律,并代表了实际使用时的负荷曲线。

注:在采用发电机进行试验的情况下,应按扭矩 $=f(n^2)$ 的关系式。式中  $n$  为规定时间期内的曲轴转速。

##### F.3.4

**峰值烟度 peak smoke value**

PSV

瞬态加载试验中加速工况期间测得的三个最大的 1.0 s 贝赛尔平均烟度值的平均值。

#### F.4 试验循环

##### F.4.1 通则

试验时发动机应安装实际使用时配备的管理或控制系统。

##### F.4.2 发动机预热

发动机应按照制造厂的推荐在标定功率下进行预热,使发动机运转参数达到稳定状态。

注:该预热阶段还应确保当前的测量不受前次试验的影响,并确保能形成试验的基准条件。

### F.4.3 瞬态加载试验

#### F.4.3.1 通则

瞬态加载试验应在完成 F.4.2 的发动机预热后立即进行。瞬态加载试验是发动机克服负载从低怠速开始加速的运转过程。标定转速下加载曲线的终点应为发动机的标定功率。

#### F.4.3.2 瞬态加载的加速时间

本试验的加速时间由发动机管理或控制系统控制,加速时间应与铁路牵引实际使用时的发动机运转情况相符。由于发动机瞬态加载时的烟度排放会随加速时间的缩短而增加,因而对某一发动机系族或系组中加速时间不同的发动机进行验收试验时,可以将加速时间最短的那种发动机作为基准进行试验。

#### F.4.3.3 进行瞬态加载试验

##### F.4.3.3.1 通则

瞬态加载试验应从预运转循环开始,以提高试验结果的重复性。在完成预运转循环后应随即进行三次加载加速试验循环。加载加速循环后随即在标定转速全负荷稳定工况下进行运转。试验顺序见 F.4.3.3.2和 F.4.3.3.3。

##### F.4.3.3.2 预运转循环

- a) 将转速控制手柄置于最小开度(低怠速)位置,使发动机以最小稳定负荷运转  $40\text{ s} \pm 5\text{ s}$ 。
- b) 将负荷/转速控制手柄快速移动到全负荷/全速位置,使发动机克服某一负荷在发动机管理或控制系统允许的短时间内加速到 95% 标定转速。
- c) 在达到 95% 标定转速后 20 s 内,施加所需的测功器负荷使发动机在标定转速全负荷下稳定运转。  
注:在该稳定运转时间内,可能会出现超调情况。
- d) 保持标定转速全负荷运转  $60\text{ s} \pm 5\text{ s}$ 。
- e) 降低负荷,将负荷/转速控制手柄回复到低怠速位置。

##### F.4.3.3.3 测量运转循环

重复 F.4.3.3.2a)到 e),直到完成三次连续的试验和获得一致的结果为止。

##### F.4.3.4 瞬态加载试验有效性判定

只有在满足以下试验循环时,方可判定瞬态加载试验的结果有效。

三次连续的瞬态加载加速试验的最高与最低的 1 s 最大贝赛尔平均烟度值的算术差不超过 5% 消光度。

附加的试验有效性判定按 5.1.2 和 7.3.2.3 的规定。

### F.5 结果分析

#### F.5.1 总则

本章规定了瞬态加载试验的结果分析方法。本试验方法所用的许多消光烟度计的输出信号为相当于 10.2 所述算法的  $X=0.5\text{ s}$  的贝赛尔平均烟度。对于这些烟度计,需要对输出信号作进一步处理以产生相当于  $X=1\text{ s}$  的结果,这时,10.2.2 中公式(11)所用的  $(t_p^2 + t_e^2)$  的值为  $0.5^2$ 。对于那些未按 0.5 s 贝赛尔算法处理的原始烟度值,分析时应采用能代表所用消光烟度计的  $(t_p^2 + t_e^2)$  值。

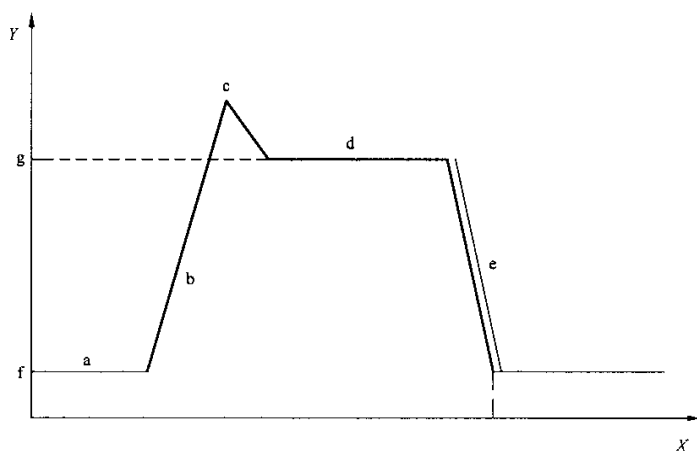
#### F.5.2 峰值烟度(PSV)

确定 F.4.3.3.2b)所述三次重复试验中最大的 1 s 贝赛尔平均烟度值。注意应确保被分析的烟度数据与负荷增加时的时间相对应(见 10.1.1)。峰值烟度 PSV 是指本次增加负荷时测得的 1 s 最大贝赛尔平均烟度值的平均值。

计算贝赛尔平均烟度值的方法见 10.2 的规定。对于峰值烟度,公式(11)中的  $X$  值为 1.0 s。

## F.6 结果报告

应报告以下各项烟度值： $PSV_1$ 、 $PSV_2$ 、 $PSV_3$  和  $PSV_4$ （即前三个烟度值的平均值）。还应报告三次试验（负荷增加时）的持续时间。



X——时间,单位为秒(s);

Y——发动机转速;

a——“控制手柄”置于怠速位置,  $40\text{ s} \pm 5\text{ s}$ ;

b——“控制手柄”置于全开位置,时间按发动机制造厂的规定;

c——“控制手柄”置于全开位置,  $20\text{ s}$ ;

d——“控制手柄”置于全开位置,  $60\text{ s} \pm 5\text{ s}$ ;

e——“控制手柄”回复到怠速位置;

f——怠速;

g——标定转速。

a~d的时间间隔参阅 F.4.3.3.2 的各项说明。

图 F.1 加载加速试验

参 考 文 献

- [1] GB/T 6072.1:2008 往复式内燃机 性能 第1部分:功率、燃料消耗和机油消耗的标定及试验方法 通用发动机的附加要求.
  - [2] SAE J1667 重型柴油机车辆急加速烟度试验规程.
  - [3] ECE No. 24 关于鉴定压燃式发动机可见污染物排放的统一指令.
  - [4] 72/306/EEC 关于采取措施控制在用车柴油机污染物排放的指令.
  - [5] 77/537/EEC 关于采取措施控制轮式拖拉机或林业拖拉机用柴油机污染物排放的指令.
-