



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 8190.1—2010/ISO 8178-1:2006  
代替 GB/T 8190.1—1999

---

## 往复内燃机 排放测量 第1部分：气体和颗粒排放物的 试验台测量

**Reciprocating internal combustion engines—Exhaust emission measurement—  
Part 1: Test-bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions**

(ISO 8178-1:2006, 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
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 符号和缩略语 .....	3
5 试验条件 .....	6
6 试验燃料 .....	8
7 测量设备和待测数据 .....	8
8 分析仪的校正 .....	16
9 颗粒测量系统的校正 .....	24
10 定容取样(CVS)全流稀释系统的校正 .....	25
11 运行工况(试验循环) .....	27
12 试验运行 .....	28
13 气体和颗粒排放物的数据评定 .....	29
14 气体排放物的计算 .....	30
15 颗粒排放物的计算 .....	36
16 气体排放物的测定 .....	38
17 颗粒物的测定 .....	46
附录 A (规范性附录) 排气质量流量和/或燃烧空气质量流量的计算 .....	62
附录 B (资料性附录) 排气质量流量计算程序表示例 .....	76
附录 C (资料性附录) 热计算(输送管) .....	79
附录 D (资料性附录) 系统等效性的确定 .....	82
附录 E (资料性附录) 燃料特定参数 .....	83
附录 F (规范性附录) 碳流量检验 .....	88
参考文献 .....	90

## 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 1 部分。

本部分等同采用 ISO 8178-1:2006《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》(英文版)。

本部分等同翻译 ISO 8178-1:2006。

为便于使用，本部分作了如下编辑性修改：

- “本国际标准”一词改为“本部分”；
  - 删除了国际标准前言；
  - 对本部分中采用的其他国际标准，凡是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；
  - 由于正文中没有引用 GB/T 6072.1、ISO 31-0 和 ISO 16183 标准，因此在第 2 章规范性引用文件清单中删除了这些标准，ISO 9096 在正文中不是规范性引用，因此改为参考文献。
- 本部分是对 GB/T 8190.1—1999 的修订，本部分与 GB/T 8190.1—1999 的主要区别是：
- 增加了“定容取样(CVS)全流稀释系统的校正”一章；
  - 增加了“排气质量流量计算程序表示例”、“燃料特定参数”和“碳流量检查”这三个资料性附录；
  - 删除了原版本中“发动机功率测试所需安装的设备附件”、“非甲烷碳氢截断器测量法的效率和修正”和“13.4 中系数  $u$ 、 $v$ 、 $w$  的计算公式”这三个规范性附录。

本部分自发布之日起代替 GB/T 8190.1—1999。

本部分的附录 A 和附录 F 为规范性附录，附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 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、上海柴油机股份有限公司、北汽福田汽车股份有限公司、广西玉柴机器股份有限公司、潍柴动力股份有限公司、雪龙集团有限公司、江苏江淮动力股份有限公司。

本部分主要起草人：谢亚平、计维斌、庄国钢、陆子平、崔华标、李云强、张佩莉、张丽丽、王宏、苏怀林、张超建、瞿俊鸣。

本部分所代替标准的历次版本发布情况：

- GB/T 8190.1—1987, GB/T 8190.1—1999。

# 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

### 1 范围

GB/T 8190 的本部分(以下简称本部分)规定了往复式内燃机稳态工况下气体和颗粒排放物的试验台测量和评定方法,以确定每种排气污染物的加权值。各种发动机负荷和转速的组合反映了发动机的不同用途(见 GB/T 8190.4)。

本部分适用于移动运输和固定用往复式发动机,但不包括主要用于道路行驶的车用发动机。GB/T 8190 的本部分适用于诸如土方机械、发电机组和其他用途的发动机。

在限定情况下,发动机可在试验台上按照 GB/T 8190.2 现场试验标准进行试验。但这只能在有关各方商定的情况下进行。应该承认在这些条件下获得的数据不可能与以前或将来按 GB/T 8190 的本部分试验所获得的数据完全相同。因此建议,只有对产量非常有限的诸如极大型船用或发电机组用发动机才选用这种方案。

对于有附加要求(例如职业卫生、安全条例、电厂规程)的机械用发动机,可能需要补充另外的试验条件和特殊的评定方法。

对于无法使用试验台或要求了解发动机在使用中的实际排放状况时,使用 GB/T 8190.2 中规定的现场试验规程和计算方法则比较合适。

### 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 6379.1—2004 测量方法与测量结果的准确度(正确度与精密度) 第 1 部分:总则与定义(ISO 5725-1:1994, IDT)

GB/T 6379.2—2004 测量方法与测量结果的准确度(正确度与精密度) 第 2 部分:确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法(ISO 5725-2:1994, IDT)

GB/T 8190.4 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(GB/T 8190.4—2010, ISO 8178-4:2007, IDT)

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

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

GB/T 19000—2008 质量管理体系 基础和术语(ISO 9000:2005, IDT)

GB/T 21404—2008 内燃机 发动机功率的确定和测量方法 一般要求(ISO 15550:2002, IDT)

GB/T 21405—2008 往复式内燃机 发动机功率的确定和测量方法 排气污染物排放试验的附加要求(ISO 14396:2002, IDT)

ISO 5167-1:2003 用差压计插入全流圆形截面管道测量流体流量 第 1 部分:一般原则和要求

SAE J 1088:1993 小型多用途发动机气体污染物排放测量用试验规程

SAE J 1151:1991 气体色谱仪的甲烷测量

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

#### 3.1

##### 颗粒物 particulates

用清洁过滤空气稀释排气,使在紧靠主滤纸上游处测得的气体温度大于 315 K(42 °C)和小于或等于 325 K(52 °C)时,在规定的过滤介质上所采集到的物质。

注 1: 颗粒物主要由碳、凝结的碳氢化合物、硫酸盐及缔合水所组成。

注 2: 本部分定义的颗粒物,在组分和重量方面与用热过滤法(例如 ISO 9096)直接从未稀释排气中取样的颗粒或尘埃有本质上的不同。业已证明,本部分所述颗粒物测量只对含硫量小于 0.8%的燃料有效。

注 3: 为了反映美国和欧盟的最新法规要求,对 GB/T 8190.1—1999 要求的过滤纸温度进行了修改,但目前按照 GB/T 8190.1—1999 要求制造的装置仍可使用。

#### 3.2

##### 部分流稀释法 partial flow dilution method

从总排气流中分离出部分原排气,与适量稀释空气混合后通入颗粒取样过滤纸的过程。

注: 见 17.2.1,图 10~图 18。

#### 3.3

##### 全流稀释法 full-flow dilution method

用稀释空气与总排气流混合后,分离出部分稀释排气进行分析的过程。

注: 在许多全流稀释系统中,通常都对这部分预稀释排气进行二次稀释,使在颗粒过滤纸处达到合适的样气温度(见 17.2.2,图 19)。

#### 3.4

##### 等动态取样 isokinetic sampling

保持探头处的平均样气速度等于排气流的平均速度,以控制排气样气流量的过程。

#### 3.5

##### 非等动态取样 non-isokinetic sampling

控制排气样气流量,使其与排气流速度无关的过程。

#### 3.6

##### 多对滤纸法 multiple-filter method

每个试验循环工况使用一对过滤纸的过程。

注: 工况加权系数在取样后的试验数据评定阶段进行考虑。

#### 3.7

##### 单对滤纸法 single-filter method

所有试验循环工况均使用一对过滤纸的过程。

注: 工况加权系数须在试验循环颗粒取样阶段用调整样气流量和/或取样时间进行考虑。该方法要求密切注意取样持续时间和流量。

#### 3.8

##### 比排放 specific emissions

以克/(千瓦·小时)表示的质量排放。

注: GB/T 8190 的本部分所述范围内的许多机型,在制造或认证时尚不知道发动机在使用时所安装的辅助装置。当不宜按 GB/T 21405 规定的条件进行发动机试验时(例如,若发动机和变速箱组成一体),发动机只能用其他所装辅助装置进行试验。在这种情况下,测功器应按 5.3 和 12.5 的规定进行调整。辅助装置的损耗应不超过最大实测功率的 5%。如超过 5%,则须经有关各方同意后方可进行试验。

## 3.9

**有效功率 brake power**

当发动机只装有在试验台上运行所必需的标准辅助装置时在曲轴或其相当零件处所测得的功率。

## 3.10

**辅助装置 auxiliaries**

GB/T 21405 中所列设备和装置。

## 4 符号和缩略语

## 4.1 一般符号

符号	术 语	单 位
$A/F_{st}$	理想空燃比	1
$A_p$	等动态取样探头的横截面积	$m^2$
$A_r$	原子质量	g
$A_x$	排气管横截面积	$m^2$
$C_c$	本底修正浓度	ppm%(V/V)
$C_d$	稀释空气浓度	ppm%(V/V)
$C_x$	排气浓度(下标表示组分)	ppm%(V/V)
$D$	稀释系数	1
$E_{CO_2}$	$NO_x$ 分析仪的 $CO_2$ 熄火	%
$E_E$	乙烷效率	%
$E_{H_2O}$	$NO_x$ 分析仪的水熄火	%
$E_M$	甲烷效率	%
$E_{NO_x}$	$NO_x$ 转化器效率	%
$e_{PT}$	颗粒排放	$g/(kW \cdot h)$
$e_x$	气体排放(下标表示组分)	$g/(kW \cdot h)$
$\lambda$	过量空气系数( $A/F_{st}$ ), $kg(\text{干空气})/kg(\text{燃料})$	1
$\lambda_{Ref}$	基准状况下的过量空气系数	1
$f_a$	实验室大气系数	1
$f_c$	碳系数	1
$f_{fd}$	干基排气流量计算用燃料特定系数	1
$f_{fb}$	干-湿基浓度计算用燃料特定系数	1
$f_{fw}$	湿基排气流量计算用燃料特定系数	1
$H_a$	进气绝对湿度, $g(\text{水})/kg(\text{干空气})$	$g/kg$
$H_d$	稀释空气绝对湿度, $g(\text{水})/kg(\text{干空气})$	$g/kg$
$i$	表示某单个工况的下标	1
$k_f$	碳平衡计算用燃料特定系数	1
$k_{hd}$	柴油机 $NO_x$ 的湿度修正系数	1
$k_{hp}$	汽油机 $NO_x$ 的湿度修正系数	1

符号	术 语	单 位
$k_p$	颗粒的湿度修正系数	1
$k_{wa}$	进气的干-湿基修正系数	1
$k_{wd}$	稀释空气的干-湿基修正系数	1
$k_{we}$	稀释排气的干-湿基修正系数	1
$k_{wr}$	原排气由干基至湿基的修正系数	1
$M$	发动机在试验转速时扭矩对最大扭矩的百分数	%
$M_r$	克分子质量	g
$m_d$	通过颗粒取样过滤器的稀释空气样气质量	kg
$m_{i,d}$	采集的稀释空气中颗粒样品质量	mg
$m_l$	采集的颗粒样品质量	mg
$m_{sep}$	通过颗粒取样过滤器的稀释排气样气质量	kg
$p_A$	泵出口处的绝对出口压力	kPa
$p_o$	发动机进气空气的饱和蒸汽压力	kPa
$p_b$	总气压	kPa
$p_d$	稀释空气的饱和蒸汽压力	kPa
$p_r$	冷却器后的水蒸气压	kPa
$p_s$	干气压	kPa
$P$	未修正的有效功率	kW
$P_{aux}$	试验安装的、但并非 GB/T 21405 所要求的辅助装置所吸收的标定总功率	kW
$P_m$	在试验条件下(见 12.5),发动机试验转速时的最大实测或标定功率	kW
$q_{mad}$	干基进气空气质量流量	kg/h
$q_{maw}$	湿基进气空气质量流量	kg/h
$q_{mdw}$	湿基稀释空气质量流量	kg/h
$q_{medf}$	湿基当量稀释排气质量流量	kg/h
$q_{mew}$	湿基排气质量流量	kg/h
$q_{mf}$	燃料质量流量	kg/h
$q_{mdew}$	湿基稀释排气质量流量	kg/h
$q_{mgas}$	某一气体排放的质量流量	g/h
$q_{mPT}$	颗粒质量流量	g/h
$r_d$	稀释比	1
$r_o$	等动态探头与排气管的横截面积之比	1
$R_s$	进气相对湿度	%
$R_d$	稀释空气相对湿度	%
$r_h$	火焰离子化检测器(FID)响应系数	1
$r_m$	甲醇的 FID 响应系数	1

符号	术 语	单 位
$r_x$	亚音速喉口与进口绝对静压之比	1
$r_y$	亚音速喉口直径 $d$ 与进口管内径之比	1
$\rho$	密度	kg/m <sup>3</sup>
$S$	测功器设定值	kW
$T_a$	进气绝对温度	K
$T_d$	绝对露点温度	K
$T_{ref}$	绝对基准温度(燃烧空气:298 K)	K
$T_c$	中冷空气绝对温度	K
$T_{cref}$	中冷空气绝对基准温度	K
$V_m$	摩尔容积	l
$W_i$	加权系数	1
$W_{fe}$	有效加权系数	1

#### 4.2 燃料成分符号

$w_{ALF}$	燃料含 H 量,%质量
$w_{BET}$	燃料含 C 量,%质量
$w_{GAM}$	燃料含 S 量,%质量
$w_{DEL}$	燃料含 N 量,%质量
$w_{EPS}$	燃料含 O 量,%质量
$\alpha$	(H/C)摩尔比
$\beta$	(C/C)摩尔比
$\gamma$	(S/C)摩尔比
$\delta$	(N/C)摩尔比
$\epsilon$	(O/C)摩尔比

注:质量含量与摩尔比之间的转换见附录 A 的公式(A.3)~公式(A.12)。

#### 4.3 化学组分符号和缩略语

ACN	乙腈
Cl	碳 1 当量碳氢化合物
CH <sub>4</sub>	甲烷
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	乙烷
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	丙烷
CH <sub>3</sub> OH	甲醇
CO	一氧化碳
CO <sub>2</sub>	二氧化碳
DNP	二硝基苯肼
DOP	邻苯二甲酸二辛脂
HC	碳氢化合物
HCHO	甲醛
H <sub>2</sub> O	水
NH <sub>3</sub>	氨

NMHC	非甲烷碳氢化合物
NO	一氧化氮
NO <sub>2</sub>	二氧化氮
NO <sub>x</sub>	氮氧化物
N <sub>2</sub> O	一氧化二氮
O <sub>2</sub>	氧
RME	菜子油甲脂
SO <sub>2</sub>	二氧化硫
SO <sub>3</sub>	三氧化硫

4.4 缩略语

CFV	临界流量文丘里管
CLD	化学发光检测器
CVS	定容取样
ECS	电化学传感器
FID	火焰离子化检测器
FTIR	傅里叶变换式红外线分析仪
GC	气相色谱
HCLD	加热型化学发光检测器
HFID	加热型火焰离子化检测器
HPLC	高压液相色谱
NDIR	不分光红外线分析仪
NMC	非甲烷截断器
PDP	容积泵
PMD	顺磁检测器
PT	颗粒物
UVD	紫外线检测器
ZRDO	二氧化锆传感器

5 试验条件

5.1 发动机试验状况

5.1.1 试验状况参数

应测量发动机进气绝对温度  $T_a$  (以 K 表示) 和干气压  $p_s$  (以 kPa 表示), 并按下列规定确定参数  $f_a$ :

a) 压燃式发动机

自然吸气和机械增压式发动机

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right) \times \left(\frac{T_a}{298}\right)^{0.7} \dots\dots\dots (1)$$

带或不带进气中冷的涡轮增压式发动机

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{0.7} \times \left(\frac{T_a}{298}\right)^{1.5} \dots\dots\dots (2)$$

b) 火花点燃式发动机

$$f_a = \left(\frac{99}{p_s}\right)^{1.2} \times \left(\frac{T_a}{298}\right)^{0.6} \dots\dots\dots (3)$$

注: 式(1)~式(3)与联合国欧洲经济委员会(ECE)、欧洲经济共同体(EEC)和美国环保局(EPA)排放法规中的公式相同, 但和 ISO 的功率修正公式不同。

### 5.1.2 试验有效性

参数  $f_a$  应在如下范围内方可认为试验有效:

$$0.93 \leq f_a \leq 1.07 \quad \dots\dots\dots (4)$$

试验应在参数  $f_a$  为 0.96~1.06 之间时进行。

### 5.2 增压中冷发动机

应记录增压空气温度,该温度在标定功率转速和全负荷时,应在制造厂规定的最高增压空气温度 $\pm 5$  K 之内。冷却介质温度至少为 293 K(20 °C)。

如果使用试验室装置或外部鼓风机,则在标定功率转速和全负荷时,增压空气温度应调定在制造厂规定的最大增压空气温度 $\pm 5$  K 之内。上述调定点的增压空气冷却器的冷却液温度和冷却液流量在整个试验循环内均不得改变。

增压空气冷却器的容量应根据良好的工程惯例和车辆/机械的典型用途来确定。

### 5.3 功率

比排放测量是以 GB/T 21405 所规定的不修正的有效功率为基础。

发动机应带有运行所必需的辅助装置(如风扇、水泵等)。如果在试验台架上无法或不宜安装这些辅助装置时,应确定这些辅助装置所吸收的功率,并从实测发动机功率中予以扣除。

试验时应拆除某些仅因机器运行需要而安装在发动机上的辅助设备。诸如:

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

详见 3.9 和 GB/T 21405。

如未拆除辅助装置,则为了按 12.5 计算测功器的设定值,应确定其在试验转速时所吸收的功率,除非这些辅助装置与发动机组成一体(比如风冷发动机的冷却风扇)。

### 5.4 具体试验条件

#### 5.4.1 发动机进气系统

应使用发动机进气系统或试验室装置,当采用清洁空气滤清器,在标定功率转速和全负荷时,进气阻力应在制造厂规定的最大值 $\pm 300$  Pa 范围内。

如果发动机装有与其组成一体的进气系统,则试验时应使用该系统。

注:进气阻力应在标定转速和全负荷时调定。

#### 5.4.2 发动机排气系统

应使用发动机排气系统或试验室装置,在标定功率转速和全负荷时,排气背压应在制造厂规定的最大值 $\pm 650$  Pa 范围内。排气系统应符合 7.5.4、17.2.1 和 17.2.2 中对排气管(EP)规定的排气取样要求。

如果发动机装有与其组成一体的排气系统,则试验时应使用该系统。

如果发动机装有排气后处理装置,排气管直径应与使用时相同,至少为装有后处理装置的膨胀段开始进口处上游管径的 4 倍。从排气歧管法兰或涡轮增压器出口至排气后处理装置的距离应与在车辆上的布置相同或在制造厂规定的距离范围内。排气背压或阻力应符合上述要求,并可用阀门加以调节。在模拟试验和发动机特性试验期间可拆除后处理容器,用装有无活性催化剂支架的相当容器来代替。

注:排气阻力在标定转速和全负荷时调定。

#### 5.4.3 冷却系统

应使用具有足够容量的发动机冷却系统,使发动机保持在制造厂规定的正常工作温度。

#### 5.4.4 润滑油

应记录试验用润滑油的规格,并随试验结果一起写入报告。

5.4.5 可调化油器

对于装有有限可调化油器的发动机,发动机应在两极限位置进行试验。

5.4.6 曲轴箱呼吸器

当作为发动机总排放的一部分而要求测量开式曲轴箱系统的曲轴箱排放时,应将曲轴箱排放引入排气系统后处理装置(如有)的下游和取样点的上游。并应保持足够距离,以确保曲轴箱排放与发动机排气能进行充分混合。

6 试验燃料

燃料特性影响发动机排气污染物的排放。因此,应确定试验用燃料特性、记录并随试验结果写进试验报告。当使用 GB/T 8190.5 中指定的燃料作为基准燃料时,应提供该燃料代码和性能分析;对于所有其他燃料,应记录的特性见 GB/T 8190.5 中相应通用性能分析数据表上所列的项目。

燃料温度应按制造厂的推荐。燃料温度应在喷油泵进口处或按制造厂的规定进行测量,并记录测量位置。

试验用燃料按试验目的进行选择。除非有关各方另有商定,燃料应按表 1 选定。当不能提供合适基准燃料时,可使用性能与基准燃料非常接近的燃料并应说明该燃料的特性。

表 1 燃料选择

试验目的	有关方面	燃料选择
定型试验 (认证)	1. 认证机构 2. 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	1. 制造厂或供应商 2. 用户或检测单位	按制造厂规定的商用燃料 <sup>a</sup>
研究/开发	下列一个或几个单位:制造厂、研究机构、燃料和润滑油供应商等	按试验目的选用
<sup>a</sup> 用户和检测单位应注意,使用商用燃料进行排放试验时不必符合使用基准燃料时所规定的限值。		

7 测量设备和待测数据

7.1 总则

送试发动机所排放的气体 and 颗粒组分,应按第 16 章和第 17 章所述方法进行测量。这两章叙述了推荐的气体排放分析系统(见第 16 章)和颗粒稀释及取样系统(见第 17 章)。

如能得到等效结果,也可采用其他系统和分析仪。系统的等效性应根据所考虑的系统与本部分已认可的一种系统用 7 对(或更多)样气作比对研究后确定。“结果”系指具体循环的加权排放值。比对试验应在同一试验室的同一试验单元内、在同一发动机上,按同一时间进行。所用试验循环应是 GB/T 8190.4 中的适当循环或 C1 循环。样气对平均值的等效性应由在上述试验单元内和发动机试验条件下所测得的 F-检验和 t-检验的统计值确定(见附录 D),离群值除外。比对试验所用系统应在试验前说明,并经有关各方同意。

当在标准系统中采用新系统时,应按 GB/T 6379.1 和 GB/T 6379.2 所述,根据再现性和重复性的计算确定等效性。

发动机在测功器上进行排放试验时,应使用下列设备。GB/T 8190 的本部分不包括流量、压力和温度测量设备的细节,只在 7.4 中给出这些设备进行排放试验时所必需的准确度要求。

7.2 测功器技术要求

所用发动机测功器,其特性应能完成 GB/T 8190.4 中所述的相应试验循环。

测量扭矩和转速用的测试设备应使轴功率的测量准确度保持在给定的限值范围内。可能需要进行附加的计算。测量设备的准确度应不超过 7.4 中所给出的最大公差值。

### 7.3 排气流量

#### 7.3.1 总则

排气流量应按 7.3.2~7.3.6 中所述方法之一测定。

#### 7.3.2 直接测量法

排气流量可用诸如下列设备直接测量：

- 压差计，如流量喷嘴（见 ISO 5167）；
- 超声波流量计；
- 涡街流量计。

应注意避免测量误差影响排放值的误差。诸如应根据仪器制造商的建议和良好的工程惯例将测试设备仔细安装到发动机排气系统中。尤其是测试设备的安装不得影响发动机的性能和排放。流量计应满足 7.4 规定的准确度要求。

#### 7.3.3 空气和燃料测量法

本法涉及空气流量和燃料流量的测量。

所用空气流量计和燃料流量计的准确度应符合 7.4 的规定。排气流量计算如式(5)：

$$q_{mew} = q_{maw} + q_{mf} \quad \dots\dots\dots (5)$$

#### 7.3.4 燃料流量和碳平衡法

本法系采用碳平衡法，按照下列公式，由燃料消耗量、燃料组分和排气浓度计算排气质量（见 A.3.2.3.1）：

$$q_{mew} = q_{mf} \times \left\{ \left[ \frac{\frac{w_{BET} \times w_{BET} \times 1.4}{\left( \frac{1.4 \times w_{BET}}{f_c} + w_{ALF} \times 0.08936 - 1 \right) \times \frac{1}{1.293} + f_{fd}}}{f_c \times f_c} + w_{ALF} \times 0.08936 - 1 \right] \times \left( 1 + \frac{H_a}{1000} \right) + 1 \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$f_{fd}$ ——根据公式(A.20)~公式(A.23)求得；

$H_a$ ——每 kg 干空气对应的水量 g，单位为克每千克(g/kg)；

$f_c$ ——根据公式(A.64)求得：

$$f_c = (c_{CO_2d} - c_{CO_2ad}) \times 0.5441 + \frac{c_{COd}}{18522} + \frac{c_{HCw}}{17355} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$c_{CO_2d}$ ——原排气中干 CO<sub>2</sub> 浓度，%；

$c_{CO_2ad}$ ——环境空气中干 CO<sub>2</sub> 浓度，%；

$c_{COd}$ ——原排气中干 CO 浓度，单位为 ppm；

$c_{HCw}$ ——原排气中湿 HC 浓度，单位为 ppm。

注：也可选用氧平衡法，见 A.3.3。

#### 7.3.5 示踪测量法

本法涉及排气中示踪气浓度的测量。

将已知量的惰性气体(如：纯氮气)作为示踪剂注入排气流中。该示踪气经混合后被排气所稀释，但不会在排气管中发生反应。然后从排气样气中测取示踪气。

为了保证示踪气能充分混合，排气取样探头应位于示踪气注入处下游至少 1 m 或 30 倍排气管径处，以较大值为准。当示踪气从发动机上游注入时，如果将示踪气浓度与基准浓度比较后证实已完全混合，则可将取样探头位置靠近示踪气注入处。

应将示踪气流量调定到使混合后的示踪气浓度位于示踪气分析仪的满刻度以内。

排气流量计算如下：

$$q_{meW} = \frac{q_{rt} \times \rho_{eW}}{60 \times (c_{mix} - c_a)} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- $q_{meW}$ ——排气质量流量,单位为千克每秒(kg/s)；
- $q_{rt}$ ——示踪气流量,单位为立方厘米每分钟( $cm^3/min$ )；
- $c_{mix}$ ——示踪气混合后的浓度,单位为 ppm；
- $\rho_{eW}$ ——排气密度,单位为千克每立方米( $kg/m^3$ )；
- $c_a$ ——进气空气中示踪气的本底浓度,单位为 ppm。

示踪气本底浓度  $c_a$  可由试验开始前和试验结束后立即测得的本底浓度的平均值确定。

当本底浓度低于最大排气流量时示踪气混合后浓度  $c_{mix}$  的 1% 时,该本底浓度可忽略不计。

整套测量系统应满足对排气流量的准确度要求,并按 8.6 进行校正。

### 7.3.6 空气流量和空-燃比测量法

本法是利用空气流量和空-燃比来计算排气质量。瞬时排气质量流量的计算如下：

$$q_{meW} = q_{maw} \times \left(1 + \frac{1}{A/F_{st} \times \lambda}\right) \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$$A/F_{st} = \frac{138.0 \times \left(\beta + \frac{\alpha}{4} - \frac{\epsilon}{2} + \gamma\right)}{12.011 \times \beta + 1.00794 \times \alpha + 15.9994 \times \epsilon + 14.0067 \times \delta + 32.065 \times \gamma} \dots (10)$$

$$\lambda = \frac{\beta \times \left(100 - \frac{c_{CO} \times 10^{-4}}{2} - c_{HC} \times 10^{-4}\right) + \left[\frac{\alpha}{4} \times \frac{1 - \frac{2 \times c_{CO} \times 10^{-4}}{3.5 \times c_{CO_2}}}{1 + \frac{c_{CO} \times 10^{-4}}{3.5 \times c_{CO_2}}} - \frac{\epsilon}{2} - \frac{\delta}{2}\right] \times (c_{CO_2} + c_{CO} \times 10^{-4})}{4.764 \times \left(\beta + \frac{\alpha}{4} - \frac{\epsilon}{2} + \gamma\right) \times (c_{CO_2} + c_{CO} \times 10^{-4} + c_{HC} \times 10^{-4})} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- $A/F_{st}$ ——理想空-燃比,单位为千克每千克(kg/kg)；
- $\lambda$ ——过量空气系数；
- $c_{CO_2}$ ——干  $CO_2$  浓度, %；
- $c_{CO}$ ——干 CO 浓度,单位为 ppm；
- $c_{HC}$ ——HC 浓度,单位为 ppm。

注：燃料组分为  $C_\beta H_\alpha S_\gamma N_\delta O_\epsilon$  时,  $\beta=1$ 。对于不含碳的燃料(如:氢),不能使用公式(10)和公式(11)。

空气流量计应满足 7.4 中规定的准确度要求,所用  $CO_2$  分析仪应满足 7.5.3.3 中规定的技术要求,整套系统应满足对排气流量的准确度要求。

凡能满足 7.5.3.13 要求的空-燃比测量设备,诸如氧化锆型传感器等,均可用于过量空气系数的测量。

### 7.3.7 总稀释排气流量

当采用全流稀释系统时,应用 PDP 或 CFV(见 17.2.2)来测量总稀释排气( $q_{mdeW}$ )流量。准确度应符合 9.2 之规定。

### 7.4 准确度

所有测量仪器的校正应能溯源至国家(国际)标准,并符合表 2 和表 3 中规定的要求。

注：分析仪的校正要求见 8.5。

应按仪器制造商或 GB/T 19000 的要求,根据内部审核程序对仪器进行校正。表 2 和表 3 中规定的偏差系指包括数据采集系统在内的最终记录值。

表 2 测量发动机相关参数用仪器的允许偏差

序号	测量仪器	允许偏差
1	发动机转速	读数的±2%或发动机最高转速值的±1%,以较大值为准
2	扭矩	读数的±2%或发动机最大扭矩值的±1%,以较大值为准
3	燃料消耗量 <sup>a</sup>	发动机最大燃料消耗量的±2%
4	空气消耗量 <sup>a</sup>	读数的±2%或发动机最大空气消耗量的±1%,以较大值为准
5	排气流量 <sup>a</sup>	读数的±2.5%或发动机最大排气流量的±1.5%,以较大值为准
<sup>a</sup> 本部分所述排气污染物排放计算,在某些情况下是基于不同的测量和/或计算方法。由于排气污染物排放计算的总允差是限定的,所以,用于相应公式中的某些参数项的允许值必须小于 GB/T 21404--2008 表 4 所规定的允差。		

表 3 测量其他基本参数用仪器的允许偏差

序号	参数	允许偏差
1	温度≤600 K	±2 K 绝对值
2	温度>600 K	读数的±1%
3	排气压力	±0.2 kPa 绝对值
4	进气空气负压	±0.05 kPa 绝对值
5	大气压力	±0.1 kPa 绝对值
6	其他压力	±0.01 kPa 绝对值
7	相对湿度	±3%绝对值
8	绝对湿度	读数的±5%
9	稀释空气流量	读数的±2%
10	稀释排气流量	读数的±2%

## 7.5 气体组分的确定

### 7.5.1 分析仪一般技术要求

#### 7.5.1.1 一般技术要求

分析仪的量程应与测量排气组分浓度所要求的准确度相适应(见 7.5.1.2)。分析仪在使用时应使所测浓度位于满刻度的 15% 和 100% 之间。

如果满刻度为 155 ppm(或 ppmC)或以下,或如果使用的读数装置(计算机、数据记录器)在小于满刻度 15% 的情况下仍具有足够的准确度和分辨率,则在小于满刻度 15% 时的浓度也是可接受的。在这种情况下,应进行附加校正以确保校正曲线的准确度。

设备的电磁兼容性(EMC)应使附加误差达到最小。

#### 7.5.1.2 准确度

分析仪在整个量程内(0 除外)的值不得比名义校正点的值大读数的±2%或满刻度的±0.3%,以较大值为准。准确度应根据 8.5.5 所规定的校正要求确定。

注:本部分中的准确度是指分析仪读数与使用校正气时的名义校正值(=真值)的偏差。

#### 7.5.1.3 精密度

精密度是指对一定校正气或量距气的 10 次重复响应的 2.5 倍标准偏差,当每次所用量程大于

100 ppm(或 ppmC)时,不得大于满刻度浓度的±1%,或用于 100 ppm(或 ppmC)以下时,应小于每次量程的±2%。

#### 7.5.1.4 噪声

在整个使用量程内,分析仪在任何 10 s 时间内对零气和校正气或量距气的峰-峰响应值应不超过满刻度的 2%。

#### 7.5.1.5 零点漂移

零点响应是指在 30 s 时间间隔内对零气的平均响应(包括噪声在内)。零点响应在 1 h 时间内的漂移在最小使用量程时应小于满刻度的 2%。

#### 7.5.1.6 量距漂移

量距响应的定义为在 30 s 时间间隔内对量距气的平均响应(包括噪声在内)。量距响应在 1 h 内的漂移在最小使用量程时应小于满刻度的 2%。

#### 7.5.2 气体干燥

排气可能在湿或干的状态下测量。如果使用气体干燥装置,则该装置对所测气体组分的影响应最小。不能采用化学干燥剂除去样气中的水分。

#### 7.5.3 分析仪

##### 7.5.3.1 总则

7.5.3.2~7.5.3.12 规定了所使用的测量规则。测量系统的详细说明见第 16 章。应使用下列仪器来分析待测气体。对于非线性分析仪允许使用线性化电路。

##### 7.5.3.2 一氧化碳(CO)分析

一氧化碳分析仪应是不分光红外线(NDIR)吸收型。

##### 7.5.3.3 二氧化碳(CO<sub>2</sub>)分析

二氧化碳分析仪应是不分光红外线(NDIR)吸收型。

##### 7.5.3.4 氧(O<sub>2</sub>)分析

氧分析仪应是顺磁检测器(PMD)、二氧化锆(ZRDO)或电化学传感器(ECS)型。

对诸如稀薄燃烧火花点燃式发动机,当 HC 和 CO 浓度较高时,不要使用二氧化锆传感器。

电化学传感器应补偿 CO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 干扰。

##### 7.5.3.5 碳氢化合物(HC)分析

碳氢化合物分析仪应是加热型火焰离子化检测器(HFID),检测器、阀、管路系统等需要加热,以保持气体温度在 463 K±10 K(190 °C±10 °C)范围内。对甲醇燃料发动机,应符合 7.5.3.12.3 的温度要求。对于气体燃料发动机或火花点燃式发动机的稀释试验,碳氢化合物分析仪也可选用非加热型火焰离子化检测器(FID)。

##### 7.5.3.6 非甲烷碳氢化合物(NMHC)分析

###### 7.5.3.6.1 总则

这种方法取决于甲烷(CH<sub>4</sub>)的浓度,它对气体燃料比对液体燃料更合适。

###### 7.5.3.6.2 气体色谱(GC)法

从根据 7.5.3.5 测得的碳氢化合物中减去用气体色谱仪(GC)在 423 K(150 °C)条件下分析出的甲烷来测定非甲烷碳氢化合物。

###### 7.5.3.6.3 非甲烷截止(NMC)法

用与 7.5.3.5 所述火焰离子化检测器(FID)相同的方法操作 NMC,减去碳氢化合物中的甲烷来测定非甲烷成分。

###### 7.5.3.7 氮氧化物(NO<sub>x</sub>)分析

如果按干基测量,氮氧化物分析仪应为带 NO<sub>2</sub>/NO 转换器的化学发光检测器(CLD)或加热型化学发光检测器(HCLD)。如果按湿基测量,若能满足水熄光检查(见 8.9.3.2),应使用 HCLD,且转换器

温度应保持在 328 K(55 °C)以上。对于 CLD 和 HCLD,在进行干基测量时通向转换器和在湿基测量时通向分析仪的采样通道壁面温度均应保持在 328 K~473 K(55 °C~200 °C)范围内。

#### 7.5.3.8 二氧化硫(SO<sub>2</sub>)分析

二氧化硫排放应根据所用燃料的含硫量来计算。因为经验表明,对二氧化硫使用直接测量法不能得到较精确的结果:

$$q_{\text{mSO}_2} = q_{\text{mf}} \times w_{\text{GAM}} \times 20 \quad \dots\dots\dots(12)$$

注:对二氧化硫采用计算法是假定硫 100%转化,并且只限于不带后处理系统的发动机。在此情况下,二氧化硫可按仪器供应商的使用说明进行测量。由于测量二氧化硫相当困难,而且尚未完全证实适用于排气测量,因此,需事先征得有关各方同意。

#### 7.5.3.9 氨(NH<sub>3</sub>)分析

氨应按 7.5.3.7 所述的化学发光检测器(CLD),用两只不同转换器来测量。对于 NO<sub>x</sub> 和 NH<sub>3</sub> 的总量应采用 973 K(700 °C)的高温转换器。

当仅测量 NO<sub>x</sub> 时,应采用 573 K(300 °C)的低温转换器。两测量结果之差就是氨浓度。这种方法的响应时间较长(大约 10 min)。

另外,可按仪器供应商的使用说明使用傅立叶变换式红外线(FTIR)分析仪或不分光紫外线谐振分析仪(NDUVR)。由于这一技术尚未完全证实适用于排气测量,因此,需事先征得有关各方同意。这种方法的响应时间比双转换器法要短得多。

#### 7.5.3.10 一氧化二氮(N<sub>2</sub>O)分析

可按仪器供应商的使用说明使用傅立叶变换式红外线(FTIR)分析仪或不分光红外线分析仪。由于这一技术尚未完全证实适用于排气测量,因此,需事先征得有关各方同意。

#### 7.5.3.11 甲醛(HCHO)分析

测定甲醛时应将排气样气,最好按稀释排气,通过一装有乙腈(ACN)溶液和二硝基苯胍试剂(DNPH)的冲击器,或通过涂有 2,4-DNPH 的二氧化硅滤筒。采集的样气应使用高压液相色谱(HPLC)法用紫外线在 365 nm 波段检测分析。

也可按照仪器供应商的使用说明,用傅立叶变换式红外线(FTIR)分析仪测量。

#### 7.5.3.12 甲醇(CH<sub>3</sub>OH)分析

##### 7.5.3.12.1 总则

可按仪器供应商的使用说明使用傅立叶变换式红外线(FTIR)分析仪。由于这一技术尚未完全证实适用于排气测量,因此,需事先征得有关各方同意。

##### 7.5.3.12.2 气相色谱(GC)法

测定甲醇时应将排气样气通过一装有去离子水的冲击器。样气应采用气相色谱(GC)法用火焰离子化检测器(FID)进行分析。

##### 7.5.3.12.3 加热型火焰离子化检测(HFID)法

应在 385 K±10 K(112 °C±10 °C)时用丙烷校正加热型火焰离子化检测器(HFID)。甲醇响应系数须按 8.8.5 规定在样气浓度范围内按几种浓度确定。

#### 7.5.3.13 空-燃比测量

按照 7.3.6 规定用于确定排气流量的空-燃比测量设备应是宽量程的空-燃比传感器或氧化锆型的 λ 传感器。

传感器应直接安装在排气温度足够高的位置,以防止产生凝结水。

内装电子元件的传感器,其准确度应符合下列要求:

$\lambda < 2$	读数的 ±3%
$2 \leq \lambda < 5$	读数的 ±5%
$5 \leq \lambda$	读数的 ±10%

为了达到上述规定的准确度,应按仪器制造商的规定对传感器进行校正。

#### 7.5.4 气体排放物的取样

气体排放物的取样探头应安装在距排气系统出口上游至少 0.5 m 或 3 倍排气管径处,以较大值为准,并应靠近发动机,以确保探头处的排气温度至少为 343 K(70 °C)。

在装有分岔式排气歧管的多缸机的情况下,探头进口应位于足够远的下游处,以确保样气能代表所有气缸的平均排放量。对于装有分组式排气歧管的多缸机,诸如“V”型发动机的布置,允许从每组歧管单独取样,然后计算平均排放量。也可使用业已证明与上述方法有对应关系的其他方法。在计算排放量时应使用总排气质量流量。

如果排气后处理系统影响排气组分,则应在该装置下游处抽取排气样气。

对于火花点燃式发动机,排气取样探头应位于消声器的高压侧,而尽可能远离排气口。为确保发动机排气在抽样前能充分混合,可在消声器出口与取样探头间插入一混合箱。混合箱内腔容积应不小于试验发动机气缸排量的 10 倍,且其长、宽、高尺寸应大致相等。混合箱应尽可能小,并尽可能接近发动机。从混合箱出来的排气管应至少伸出取样探头位置外 610 mm,并且管径应足够大以使背压达到最小。混合箱的内表面温度应高于排气露点,建议最低温度为 65 °C。

对于船用发动机,探头进口位置应避免吸入用于冷却、调节或降噪而喷入排气系统的水分。

当采用全流稀释系统测定颗粒物时,也可测定稀释排气中的气体排放物。取样探头应靠近稀释通道中的颗粒取样探头(见 17.2.2,图 19,DT 和 PSP)。

对于压燃式发动机,应从稀释通道中直接取样来测量 HC 和 NO<sub>x</sub> 排放。而 CO 和 CO<sub>2</sub> 排放则可选用直接测量或将样气引入取样袋中,然后测量取样袋中的浓度来确定。

对于火花点燃式发动机和气体燃料发动机,所有排放组分都可选用直接从稀释通道中测量或将样气引入取样袋中,然后测量取样袋中的浓度来测定。

### 7.6 颗粒物的测定

#### 7.6.1 总则

颗粒物测定需要采用稀释系统。应使用部分流稀释系统或全流稀释系统进行稀释。稀释系统的流量应大到足以能完全消除稀释和取样系统中的凝结水,并使紧靠过滤器座上游处的稀释排气温度保持在 315 K(42 °C)~325 K(52 °C)之间。允许在进入稀释系统前对稀释空气进行湿度控制;如果稀释空气的湿度较大,除湿将特别有用。稀释空气在紧靠稀释通道进口附近的温度应高于 288 K(15 °C)。

目前按 GB/T 8190.1—1999 建立的系统不必符合上述对过滤器的温度要求。

对于部分流稀释系统,应按 7.5.4 规定,根据 17.2.1 图 10~图 18 中排气管(EP)和取样管(SP)的布置,将颗粒取样探头安装在靠近气体取样探头的上游处。

部分流稀释系统是从发动机排气气流中抽取一部分原排气样气,然后将稀释空气引入样气中,测量已稀释样气中的颗粒排放物。因此必须非常精确地测定稀释比。可采用不同的取样方法,而所用取样型式则决定了所要采用的硬件和程序(见 17.2.1)。

为了确定颗粒物质量,要求配置颗粒取样系统、颗粒取样过滤器、微克级天平以及可控制温度和湿度的称重室。对于颗粒物取样,可采用下列两种方法。

多对滤纸法,要求对试验循环的每个工况使用一对滤纸(见 7.6.2.3),该方法允许采用不太严格的取样程序,但使用的滤纸较多。

单对滤纸法,对试验循环的全部工况只使用一对滤纸(见 7.6.2.3)。试验取样阶段应特别注意取样时间和流量,但试验循环只需要一对滤纸。

#### 7.6.2 颗粒取样过滤器

##### 7.6.2.1 过滤器技术要求

要求采用碳氟化合物涂层的玻璃纤维滤纸或碳氟化合物薄膜滤纸。所有各类滤纸对 0.3 μm 的邻二甲酸二辛酯(DOP)的采集效率在气体迎面速度为 35 cm/s 时至少应为 95%,在迎面速度为 100 cm/s

时,至少应为 99%。当在实验室与实验室之间或制造商与管理机构之间进行比对试验时,应使用相同性质的滤纸。

#### 7.6.2.2 滤纸尺寸

颗粒物过滤纸的最小直径为 47 mm(污染直径为 37 mm)。允许采用较大直径的滤纸(见 7.6.2.5)。

#### 7.6.2.3 主滤纸和副滤纸

试验过程中如果采集效率大于 99%(见 7.6.2.1),用一张滤纸;如果采集效率在 95%和 99%之间,则用一对串联布置的滤纸(一张为主滤纸,一张为副滤纸)对稀释排气进行取样。副滤纸应放置在主滤纸下游不超过 100 mm 处,但不应与主滤纸接触。滤纸可单独称重或把两张滤纸的污染面相向放置、成对进行称重。

#### 7.6.2.4 滤纸迎面速度

通过滤纸的气体迎面速度应达到 35 cm/s~100 cm/s,从试验开始至结束,压力降的增加应不大于 25 kPa。

#### 7.6.2.5 滤纸荷重

对于单对滤纸法,滤纸荷重应为  $0.338 \mu\text{g}/\text{mm}^2$  滤纸面积。要求的最小滤纸荷重为  $0.065 \mu\text{g}/\text{mm}^2$  滤纸面积。表 4 列出了最常用的滤纸尺寸。

对于多对滤纸法,所有滤纸的总荷重为上述相应值与总工况数平方根的乘积。

表 4 最小滤纸荷重

滤纸直径/ mm	推荐荷重/ mg	要求最小荷重/ mg
47	0.6	0.11
70	1.3	0.25
90	2.1	0.41
110	3.2	0.62

### 7.6.3 称重室和分析天平的技术要求

#### 7.6.3.1 称重室条件

在对所有滤纸进行调温和称重期间,用于对颗粒滤纸进行调温和称重的称重室(房)的温度应保持在  $295 \text{ K} \pm 3 \text{ K}$  ( $22 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ),湿度保持在露点  $282.5 \text{ K} \pm 3 \text{ K}$  ( $9.5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ )和相对湿度应为  $45\% \pm 8\%$ 。

#### 7.6.3.2 基准滤纸称重

在颗粒滤纸稳定化过程中,称重室内应无任何大气污染物(诸如灰尘等)沉积在滤纸上。允许称重室偏离 7.6.3.1 所列要求,只要偏离持续时间不超过 30 min 即可。只有当称重室达到所需技术要求后,才能允许工作人员进入称重室。在对取样滤纸称重的 4 h 内,至少还应对两张不用的基准滤纸或基准滤纸对进行称重(最好同时进行)。基准滤纸的尺寸和材料应与取样滤纸相同。

如果基准滤纸(或基准滤纸对)的平均质量在取样滤纸两次称重之间的变化超过  $10 \mu\text{g} + 5\%$  实际试验时的颗粒物荷重,绝对上限值为  $40 \mu\text{g}$ ,则所有取样滤纸应作废,并重做排放试验,或者选择对该滤纸重复进行循环,使其在基准滤纸公差相应较大时,达到较高的颗粒物荷重。

如果称重室不符合 7.6.3.1 提出的稳定性要求,但基准滤纸(对)的称重符合上述要求,则发动机制造商可认为取样滤纸的质量合格,或否定该试验,在调整称重室控制系统后,再重做试验。

#### 7.6.3.3 分析天平

用来测定所有滤纸质量的分析天平的精密度(标准差)应为  $20 \mu\text{g}$  和分辨率为  $10 \mu\text{g}$  (1 位数 =  $10 \mu\text{g}$ )。对于直径小于 70 mm 的滤纸,精密度和分辨率应分别为  $2 \mu\text{g}$  和  $1 \mu\text{g}$ 。

#### 7.6.3.4 静电效应的消除

为了消除静电效应,滤纸应在称重前进行中和处理,例如用钋中和器或有类似作用的装置。

#### 7.6.4 对颗粒物测量的附加要求

在稀释系统和从排气管到过滤器座之间的取样系统中,所有与原排气或稀释排气接触的零件,务须能使颗粒物沉降和变异最少。所有零件应使用与排气组分不起反应的导电材料制成,并应接地,以防产生静电效应。

### 8 分析仪的校正

#### 8.1 一般要求

每种分析仪应根据需要经常进行校正,以满足本部分的准确度要求。以下所述为 7.5.3 中所述分析仪应使用的校正方法。

#### 8.2 校正气

##### 8.2.1 总则

应遵守所有校正气的储存期限。

应记录制造商规定的校正气失效期。

##### 8.2.2 纯气

各种气体要求的纯度由下列给定的杂质限值所规定。操作时应备有下列气体:

——纯氮(杂质 $\leq 1$  ppmC, $\leq 1$  ppmCO, $\leq 400$  ppmCO<sub>2</sub>, $\leq 0.1$  ppmNO);

——纯氧(纯度 $>99.5\%$ 体积 O<sub>2</sub>);

——氢-氮混合气(40% $\pm 2\%$ 氢,其余为氮)(杂质 $\leq 1$  ppmC, $\leq 400$  ppmCO);

——纯合成气(杂质 $\leq 1$  ppmC, $\leq 1$  ppmCO, $\leq 400$  ppmCO<sub>2</sub>, $\leq 0.1$  ppmNO)(氧含量为 18%~21%体积)。

##### 8.2.3 校正气和量距气

应备有下列化学成分的混合气:

——C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 和纯合成空气(见 8.2.2);

——CO 和纯氮;

——NO<sub>x</sub> 和纯氮(在该校正气中所含 NO<sub>2</sub> 的量应不超过 NO 含量的 5%);

——O<sub>2</sub> 和纯氮;

——CO<sub>2</sub> 和纯氮;

——CH<sub>4</sub> 和纯合成空气;

——C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 和纯合成空气。

注:只要各气体互不反应,允许使用其他气体组合。

校正气和量距气的实际浓度必须在标称值的 $\pm 2\%$ 以内。所有校正气浓度均以体积为基准(体积百分数或体积 ppm)。

##### 8.2.4 气体分配器的使用

用作校正和量距的气体也可借助精密的混合装置(气体分配器),用纯氮气或纯合成空气稀释的方法来获得。混合装置的准确度应使混合后的校正浓度准确至 $\pm 2\%$ 以内。这一准确度意味着用于混合的原始气浓度的准确度应至少在 $\pm 1\%$ 以内(可溯源至国家或国际气体标准)。对每次使用混合装置时的校正均应在 15%至 50%满刻度之间进行检验。

混合装置也可选用具有线性特性的仪器来检查,例如,使用 NO 气体的化学发光检测器(CLD)。调节仪器的量距值时应将量距气直接连在仪器上,在原有的设定值下检查混合装置,并将标称值与仪器的实测浓度进行比较。使每一点的偏差均在标称值的 $\pm 1\%$ 以内。但是,气体分配器的线性度不能用原先就是用该气体分配器进行线性化处理的气体分析仪来检验。

##### 8.2.5 氧干扰气体

氧干扰检验气应含有 350 ppmC $\pm 75$  ppmC 碳氢化合物的丙烷。其浓度值应使用总碳氢化合物+

杂质的色谱分析法或动态混合法按校正气公差来确定。氮气是主要的稀释剂,其余为氧气。表5列出了汽油机和柴油机试验所需的混合气:

表5 氧干扰检验气

适用范围	O <sub>2</sub> 浓度/%	余量
柴油机	21(20~22)	氮气
柴油机和汽油机	10(9~11)	氮气
柴油机和汽油机	5(4~6)	氮气
汽油机	0(0~1)	氮气

### 8.3 分析仪和取样系统的操作程序

分析仪的操作程序应按照仪器制造商的启动和使用说明书的规定进行。并应包括8.4~8.9所规定的最低要求。对于诸如GC和HPLC等实验室仪器需符合8.5.4的要求。

### 8.4 泄漏试验

应对系统进行泄漏试验。将探头从排气系统拆下,用塞子堵住端部,启动分析仪取样泵。在初步稳定以后,所有流量计读数应为零。如不为零,应检查取样管路并排除故障。

真空侧的最大允许泄漏量应为系统受检部分在用流量的0.5%。在用流量可用分析仪流量和旁通流量来估算。

另一种方法是采用浓度分步改变法,在取样管开始处将转换开关由零气转换到量距气,假如经过适当时间后读数显示浓度低于输入浓度,则表示需要校正或有泄漏问题。

### 8.5 校正程序

#### 8.5.1 仪器总成

校正仪器总成并用标准气检验校正曲线,所用气体流量应与排气取样时相同。

#### 8.5.2 预热时间

预热时间应按制造商的推荐,如无规定,推荐分析仪的预热时间至少为2 h。

#### 8.5.3 不分光红外线分析仪(NDIR)和加热型火焰离子化检测器(HFID)

必要时可对NDIR分析仪进行调节,并使HFID分析仪的燃烧火焰达到最佳(见8.8.1)。

#### 8.5.4 气相色谱仪(GC)和高压液相色谱仪(HPLC)

按照良好的实验室惯例和制造商的推荐值对这两种仪器进行校正。

#### 8.5.5 校正曲线的绘制

- 应校正每一常用工作量程。
- 使用纯合成空气(或氮气)将CO、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和HC分析仪调至零位。
- 将适宜校正气通入分析仪,记录读数值,并绘制校正曲线。
- 分析仪的校正曲线应在整个工作量程范围内至少用6个大致均匀分布的校正点(零除外)来绘制。最高标称浓度应等于或大于满刻度的90%。
- 校正曲线用最小二乘法计算。可使用最佳拟合线或非线性方程。
- 校正点与最小二乘最佳拟合线之差不得大于读数的±2%或满刻度的±0.3%,以较大值为准。
- 必要时,应重新检验零位设定,并重复校正程序。

#### 8.5.6 代用校正方法

如能证明代用技术(例如计算机、电控量程开关等)能提供同样准确度,则可使用这些代用方法。

#### 8.5.7 校正的检验

在每次分析前均应按下程序对每一常用工作量程进行检验。

应使用零气和标称值大于80%满刻度量程的量距气来检验校正。

若所考虑的两点其实测值与标定基准值之差不大于满刻度的±4%,可修改调整参数。如若不然,

则应检验量距气或按 8.5.5 确定新的校正曲线。

8.6 排气流量测量用示踪气分析仪的校正

示踪气浓度测量用分析仪应用标准气进行校正。

校正曲线应在整个工作量程范围内至少用 6 个大致均匀分布的校正点(零除外)来确定。最高标称浓度应等于或大于满刻度的 90%。校正曲线由最小二乘法求得。

校正点与最小二乘最佳拟合线之差不得大于读数的 ±2% 或满刻度的 ±0.3%，以较大值为准。

试验运行前,应用零气和标称值大于分析仪 80% 满刻度的量距气对分析仪进行调零和量距。

8.7 NO<sub>x</sub> 转换器的效率试验

8.7.1 引言

用于将 NO<sub>2</sub> 转换成 NO 的转换器的效率按 8.7.2~8.7.9 的规定进行试验(见图 1)。

8.7.2 试验装置

利用图 1 所示试验装置(参见 7.5.3.7)及以下程序,用臭氧发生器试验转换器的效率。

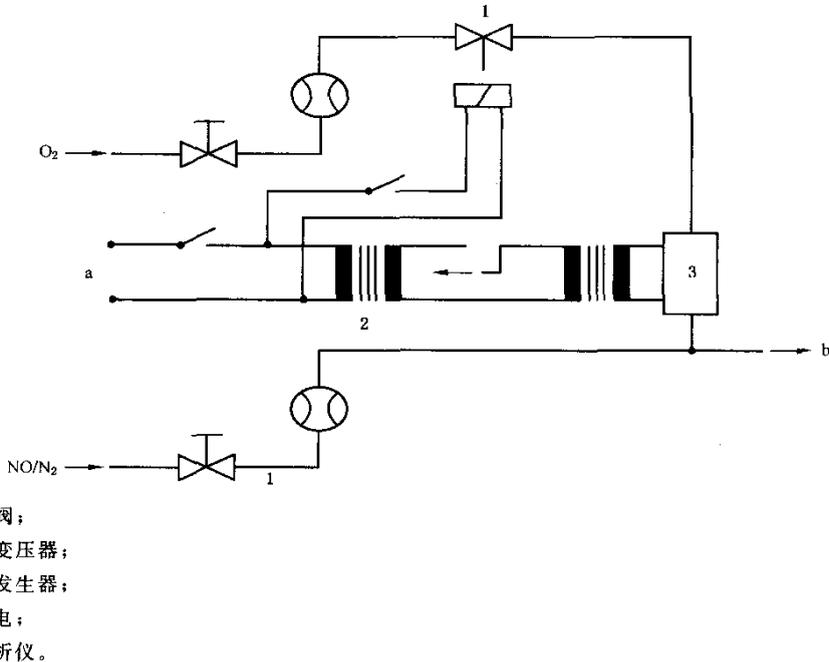


图 1 NO<sub>2</sub> 转换器效率试验装置示意图

8.7.3 校正

应根据制造商的技术规范,使用零气和量距气(量距气的 NO 含量必须达到工作量程的 80% 左右,混合气中 NO<sub>2</sub> 浓度须小于 NO 浓度的 5%)在最常用工作量程范围内校正化学发光检测器(CLD)和加热型化学发光检测器(HCLD)。NO<sub>x</sub> 分析仪应置于 NO 模式,以使量距气不通过转换器。记录指示浓度。

8.7.4 计算

NO<sub>x</sub> 转换器的效率按式(13)计算:

$$E_{NO_x} = \left(1 + \frac{a-b}{c-d}\right) \times 100 \dots\dots\dots (13)$$

式中:

a——按 8.7.7 所测 NO<sub>x</sub> 浓度;

b——按 8.7.8 所测 NO<sub>x</sub> 浓度;

$c$ ——按 8.7.5 所测 NO 浓度；

$d$ ——按 8.7.6 所测 NO 浓度。

#### 8.7.5 加氧

通过三通阀,将氧气或零空气连续通入气流,直到指示浓度比 8.7.3(分析仪置于 NO 模式)所给定的指示校正浓度小 20%左右时为止。

记录指示浓度( $c$ )。在整个过程中臭氧发生器始终处于停激状态。

#### 8.7.6 激活臭氧发生器

激活臭氧发生器以产生足够的臭氧,使 NO 浓度降低到 8.7.3 中给定的校正浓度的 20%左右(最低 10%)。记录指示浓度( $d$ )(分析仪置于 NO 模式)。

#### 8.7.7 NO<sub>x</sub> 模式

然后将 NO 分析仪转换到 NO<sub>x</sub> 模式,使混合气(由 NO、NO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 组成)通过转换器。记录指示浓度( $a$ )(分析仪置于 NO<sub>x</sub> 模式)。

#### 8.7.8 停激臭氧发生器

停止激活臭氧发生器,将 8.7.7 所述混合气通过转换器进入检测器。记录指示浓度( $b$ )(分析仪置于 NO<sub>x</sub> 模式)。

#### 8.7.9 NO 模式

在停激臭氧发生器的情况下将分析仪转换到 NO 模式,并切断氧或合成空气的气流。分析仪的 NO<sub>x</sub> 读数不得偏离按 8.7.3 所测值的±5%以上(分析仪置于 NO 模式)。

#### 8.7.10 试验间隔期

在每次校正 NO<sub>x</sub> 分析仪前均应测试转换器的效率。

#### 8.7.11 效率要求

转换器的效率应不低于 90%,但推荐最好高于 95%。

在分析仪最常用量程范围内,如 NO<sub>x</sub> 转换器不能按 8.7.3 要求使 NO 浓度由 80%降低到 20%,则应使用所能降低的最大量程范围。

### 8.8 火焰离子化检测器(FID)的调整

#### 8.8.1 检测器响应的最佳化

应按仪器制造商的规定调节 FID。可使用丙烷-空气量距气,使最常用工作量程范围内的响应最佳化。

在制造商推荐的燃料和空气流量的情况下,将 350 ppmC±75 ppmC 量距气通入分析仪,根据量距气响应与零气响应之差确定出一定燃料流量下的响应。燃料流量应在高于和低于制造商技术要求的范围内进行渐增调节。记录这些燃料流量下的量距气响应和零气响应。然后将量距气响应与零气响应之差绘制成曲线,并将燃料流量调整到曲线的高响应区。这仅仅是对流量的初步调定,其后可能还需要根据 8.8.2 和 8.8.3 中碳氢化合物响应系数和氧干扰检验的结果使其进一步最佳化。

如果氧干扰或碳氢化合物响应系数不能满足下列技术要求,则应按 8.8.2 和 8.8.3 要求,对每种流量在高于和低于制造商技术要求的范围内对空气流量进行渐增调节。

也可选择按美国汽车工程师学会(SAE)论文 770141(见参考文献)中规定的程序进行优化。

#### 8.8.2 碳氢化合物响应系数

分析仪应按 8.5 用丙烷-空气和纯合成空气进行校正。

分析仪在启用前或大修期后应测定响应系数。某种碳氢化合物的响应系数( $r_1$ )等于 FID 的 C1 读数与以 ppmC1 表示的气瓶气体浓度之比。

试验气体的浓度应足以使响应值达到约 80%满刻度的程度。该浓度在按重量标准以体积表示时的准确度应为±2%。另外应预先将气瓶置于 298 K±5 K(25 °C±5 °C)温度下调温处理 24 h。

所用试验气体和推荐的相对响应系数范围如下:

——甲烷和纯合成空气： $1.00 \leq r_b \leq 1.15$ 。

——丙烯和纯合成空气： $0.90 \leq r_b \leq 1.1$ 。

——甲苯和纯合成空气： $0.90 \leq r_b \leq 1.1$ 。

以上各值均以丙烷和纯合成空气的  $r_b=1$  为准。

8.8.3 氧干扰检验

分析仪在启用前和大修期后应进行氧干扰检验。

选择量程范围时应使氧干扰检验气落在上半个 50% 以内。试验时应按要求调定加热炉温度。氧干扰检验气按 8.2.5 的规定。

- a) 将分析仪调零。
- b) 对于汽油机,用混有 0% 氧气的量距气对分析仪进行量距;对于柴油机,则用混有 21% 氧气的量距气对分析仪进行量距。
- c) 重新检验零气响应。如果变化大于满刻度的 0.5%,则重复步骤 a) 和 b)。
- d) 通入 5% 和 10% 氧干扰检验气。
- e) 再次检验零气响应。如果变化大于满刻度的  $\pm 1\%$ ,则重新进行试验。
- f) 计算步骤 d) 中每种混合气的氧干扰(%O<sub>2</sub> 干扰)如下:

$$\%O_2 \text{ 干扰} = \frac{(B - \text{分析仪响应})}{B} \times 100 \dots\dots\dots(14)$$

式中:

$$\text{分析仪响应} = \frac{A}{\text{在 A 时的 \% 满刻度}} \times \text{在 B 时的 \% 满刻度}$$

式中:

A——步骤 b) 所用量距气的碳氢化合物浓度,以百万分之 C 计(微升/升);

B——步骤 d) 所用氧干扰检验气的碳氢化合物浓度(ppmC)。

$$(\text{ppmC}) = \frac{A}{D} \dots\dots\dots(15)$$

式中:

D——分析仪对 A 响应的满刻度百分数。

- g) 试验前所有要求的氧干扰检验气的氧干扰百分数(%O<sub>2</sub> 干扰)应小于  $\pm 3\%$ 。
- h) 如果氧干扰大于  $\pm 3\%$ ,应对每一流量重复 8.8.1 的步骤,在高于和低于制造商技术要求的范围内渐增调节空气流量。
- i) 如果在调整空气流量后氧干扰仍大于  $\pm 3\%$ ,应改变燃料流量和取样流量,并对每一新设定值重复 8.8.1 的步骤。
- j) 如果氧干扰仍大于  $\pm 3\%$ ,则应在试验前修理或更换分析仪、FID 燃料或燃烧器空气。用修理或更换过的仪器或气体重复 a)~i) 的步骤。

8.8.4 非甲烷截止器(NMC)的效率

8.8.4.1 总则

NMC 是通过氧化除甲烷以外的所有碳氢化合物,以去除样气中的非甲烷碳氢化合物(NMHC)。理想情况是,对甲烷的转换率为 0%,而以乙烷为代表的碳氢化合物的转换率为 100%。

为了精确测量 NMHC,应测定这两种转换效率,并用于计算 NMHC 排放的质量流量(见 14.4)。

8.8.4.2 甲烷效率

使甲烷校正气在旁通和流过 NMC 时流经火焰离子化检测器(FID),记录这两种情况下的浓度。按式(16)确定甲烷效率:

$$E_M = 1 - \frac{C_{\text{有截止器}}}{C_{\text{无截止器}}} \dots\dots\dots(16)$$

式中:

$C_{\text{有截止器}}$ —— $\text{CH}_4$  流过 NMC 时的 HC 浓度;

$C_{\text{无截止器}}$ —— $\text{CH}_4$  旁通 NMC 时的 HC 浓度。

#### 8.8.4.3 乙烷效率

使乙烷校正气在旁通和流过 NMC 时流经 FID,记录这两种情况下的浓度。按式(17)确定乙烷效率:

$$E_E = 1 - \frac{C_{\text{有截止器}}}{C_{\text{无截止器}}} \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中:

$C_{\text{有截止器}}$ —— $\text{C}_2\text{H}_6$  流过 NMC 时的 HC 浓度;

$C_{\text{无截止器}}$ —— $\text{C}_2\text{H}_6$  旁通 NMC 时的 HC 浓度。

#### 8.8.5 甲醇响应系数

当要使用 FID 分析仪分析含甲醇的碳氢化合物时,应先确定分析仪的甲醇响应系数( $r_m$ )。

用微升注射器将已知量的甲醇( $a$ ,单位为 mL)注入隔片注射器的加热混合区内[395 K(122 °C)],蒸发后用已知量的零级空气( $b$ ,单位为  $\text{m}^3$ )将其吹入特脱拉袋内。空气量应达到使袋中的甲醇浓度能反映排气样气中的浓度范围。

用 FID 分析取样袋中样气,并按式(18)计算响应系数:

$$r_m = \frac{x_{\text{FID}}}{c_{\text{SAM}}} \quad \dots\dots\dots(18)$$

式中:

$r_{\text{FID}}$ ——FID 读数,单位为 ppmC;

$c_{\text{SAM}}$ ——取样袋中甲醇浓度,单位为 ppmC,由  $a$  和  $b$  求得:

$$c_{\text{SAM}} = 594 \times a/b。$$

### 8.9 CO、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、O<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub> 和 N<sub>2</sub>O 分析仪的干扰作用

#### 8.9.1 总则

除所分析的那种气体外,其他气体也会以多种方式干扰读数。在不分光红外线分析仪(NDIR)和顺磁检测器(PMD)仪器中出现的正干扰,会使干扰气体产生与被测气体相同的作用,但影响程度较小。在 NDIR 仪器中出现的负干扰是由于干扰气体扩大了被测气体的吸收带所致。而在化学发光检测器(CLD)仪器中出现的负干扰则是由于干扰气体的熄光作用所产生。分析仪在启用前或大修期后须按 8.9.2 和 8.9.3 所述进行干扰检验,但每年至少应检验一次。

#### 8.9.2 CO 分析仪的干扰检验

水和 CO<sub>2</sub> 会干扰 CO 分析仪的性能。因此,应在室温下,使试验时所用最大工作量程为 80%~100%满刻度浓度的 CO<sub>2</sub> 量距气从水中冒泡流出,并记录分析仪的响应值。当量程等于或大于 300 ppm 时,分析仪的响应值应不大于满刻度的 1%,而当量程小于 300 ppm 时应不大于 3 ppm。

#### 8.9.3 NO<sub>x</sub> 分析仪的熄光检验

与化学发光检测器(CLD)[和加热型化学发光检测器(HCLD)]分析仪有关的两种气体是 CO<sub>2</sub> 和水蒸气。这些气体的熄光响应与其浓度成正比,因此需要使用试验方法来测定按照试验经验在最高预期浓度下的熄光值。

##### 8.9.3.1 CO<sub>2</sub> 熄光检验

将最大工作量程为 80%~100%满刻度浓度的 CO<sub>2</sub> 量距气通入 NDIR 分析仪,记录 CO<sub>2</sub> 值作为 A。然后用 NO 量距气将其稀释到约 50%,并通入 NDIR 和(H)CLD,分别记录 CO<sub>2</sub> 和 NO 值,作为 B 和 C。然后切断 CO<sub>2</sub>,只让 NO 量距气通过(H)CLD,记录 NO 值,作为 D。

按公式(19)计算熄光值:

$$E_{CO_2} = \left[ 1 - \left( \frac{C \times A}{(D \times A) - (D \times B)} \right) \right] \times 100 \quad \dots\dots\dots(19)$$

式中:

- A——用 NDIR 测定的未稀释 CO<sub>2</sub> 浓度, %;
- B——用 NDIR 测定的稀释 CO<sub>2</sub> 浓度, %;
- C——用(H)CLD 测定的稀释 NO 浓度, 单位为 ppm;
- D——用(H)CLD 测定的未稀释 NO 浓度, 单位为 ppm。

也可选用诸如动态混合/掺混等其他方法来稀释和量化 CO<sub>2</sub> 和 NO 量距气的值。

**8.9.3.2 水熄光检验**

这种检验只适用于湿气体浓度的测量。水熄光计算必须考虑用水蒸气稀释 NO 量距气并使混合气的水蒸气浓度接近预计的试验浓度。

将常用工作量程为 80%~100%满刻度浓度的 NO 量距气通过(H)CLD, 记录 NO 值, 作为 D。然后使 NO 量距气在温度为 298 K±5 K(25 °C±5 °C)的水中冒泡流出, 通入(H)CLD, 记录 NO 值, 作为 C。测定并记录水温。测定与起泡器水温(F)相对应的混合气饱和蒸汽压力, 记录为 G。计算混合气的水蒸气浓度(H, 单位为%)如式(20):

$$H = 100 \times \left( \frac{G}{p_v} \right) \quad \dots\dots\dots(20)$$

按式(21)计算预期的稀释 NO 量距气(在水蒸气中)的浓度(D<sub>e</sub>):

$$D_e = D \times \left( 1 - \frac{H}{100} \right) \quad \dots\dots\dots(21)$$

对于柴油机排气, 预期试验时排气中最大水蒸气浓度(单位为%)应按照燃料原子 H : C 为 1.8 : 1 的假设, 根据排气中最大 CO<sub>2</sub> 浓度 A 估算如式(22):

$$H_m = 0.9 \times A \quad \dots\dots\dots(22)$$

记录 H、D<sub>e</sub> 和 H<sub>m</sub>。

水熄光值按式(23)计算:

$$E_{H_2O} = 100 \times \left( \frac{D_e - C}{D_e} \right) \times \left( \frac{H_m}{H} \right) \quad \dots\dots\dots(23)$$

式中:

- D<sub>e</sub>——预期稀释的 NO 浓度, 单位为 ppm;
- C——稀释的 NO 浓度, 单位为 ppm;
- H<sub>m</sub>——最大水蒸气浓度, %;
- H——实际水蒸气浓度, %。

注: 由于在熄光计算中未考虑 NO<sub>2</sub> 在水中的吸收, 所以对该检验来说很重要的是要使 NO 量距气中所含的 NO<sub>2</sub> 浓度应尽量最低。

**8.9.3.3 最大允许熄光值**

最大允许熄光值如下:

- 对于所有干式 CLD 分析仪, 应证实对预期的最高水蒸气浓度(即本节后面计算的“% H<sub>2</sub>O 预期”), 脱水技术可使 CLD 湿度保持小于或等于 5 g 水/kg 干空气(或约 0.008% H<sub>2</sub>O), 即在 3.9 °C 和 101.3 kPa 时的相对湿度(RH)为 100%。这一湿度要求也相当于在 25 °C 和 101.3 kPa 时的相对湿度(RH)约为 25%。这可通过测量加热式除湿器出口处的温度或测量紧靠 CLD 上游处的湿度来证实。如果只有除湿器的气流流入 CLD, 则也可测量 CLD 的排气湿度。
- 对于原排气测量, 按 8.9.3.1 的 CO<sub>2</sub> 熄光值为满刻度的 2%。
- 按 8.9.3.2 的水熄光值为满刻度的 3%。
- 对于稀释排气测量, CO<sub>2</sub> 和水的综合熄光值为 2%。

8.9.4 O<sub>2</sub> 分析仪干扰

除氧气外,其他气体对顺磁检测器(PMD)分析仪产生的仪器响应比较弱。通常排气组分的氧当量见表 6 所示。

表 6 氧当量

气体	氧当量/%
二氧化碳(CO <sub>2</sub> )	-0.623
一氧化碳(CO)	-0.354
一氧化氮(NO)	+44.4
二氧化氮(NO <sub>2</sub> )	+28.7
水(H <sub>2</sub> O)	-0.381

如要进行高精度测量,则要用式(24)修正实测的氧浓度:

$$\text{干扰} = \frac{(\text{氧当量} \% \times \text{实测浓度})}{100} \dots\dots\dots(24)$$

对二氧化锆传感器(ZRDO)和电化学传感器(ECS)分析仪,除氧以外其他气体所产生的仪器干扰应按仪器供应商的使用说明和良好的工程惯例进行补偿。

8.9.5 用红外(IR)和紫外(UV)测量技术对 NH<sub>3</sub> 和 N<sub>2</sub>O 测量通道的交叉干扰检验补偿

8.9.5.1 确定 NH<sub>3</sub> 分析仪(NDUVR 方法)交叉干扰的修正程序

一氧化氮(NO)和二氧化氮(NO<sub>2</sub>)存在交叉干扰。如果交叉干扰超过满刻度的 2%,则应用测量设备测量两种组分,并对分析仪读数进行补偿。

8.9.5.2 交叉干扰的检验

向分析仪输入 NO 和 NO<sub>2</sub> 校正气,以进行交叉干扰补偿。对每种组分,要在从零至最高预期干扰气浓度之间按照相同间隔,至少用 5 种不同的校正气浓度进行补偿检验。NH<sub>3</sub> 读数与零气读数的最大偏差在常用量程范围内应小于满刻度的±2%。如果偏差较大,应对响应的干扰组分制定新的修正曲线,然后用于分析仪读数。可使用单混气体,也可使用含有两种或两种以上干扰气的混合气。

8.9.5.3 交叉干扰修正曲线的制定程序

8.9.5.3.1 NO 交叉干扰

将测量过程中所用 NO 分析仪量程上均匀分布的至少 5 种不同 NO 浓度的校正气通入 NH<sub>3</sub> 分析仪。记录 NO 标称值及 NH<sub>3</sub> 实测浓度。用最小二乘法拟合作为相应的拟合函数(例如多项式拟合函数) $f(\text{NO})$ ,求出用于补偿 NO 交叉干扰的修正曲线。拟合点数至少须比拟合参数多 2 个(例如对于 4 阶多项式至少需有 7 个拟合点)。修正值  $\text{NH}_3\text{-已补偿} = \text{NH}_3\text{-未补偿} - f(\text{NO})$  在分析仪零气读数范围内应不超过满刻度的±1%。

8.9.5.3.2 NO<sub>2</sub> 交叉干扰

NO<sub>2</sub> 的交叉干扰检验程序与 NO<sub>2</sub> 量距气的程序相同。结果得到修正曲线  $f(\text{NO}_2)$ 。

用于确定交叉干扰补偿曲线的校正气应该是单混气。不允许使用含有两种或两种以上干扰气的混合气来绘制交叉干扰补偿曲线。

应用测量系统完成下列补偿计算: $\text{NH}_3\text{-已补偿} = \text{NH}_3\text{-未补偿} - f(\text{N=}) - f(\text{NO}_2)$

补偿曲线确定以后,应按 8.9.5.2 规定的程序来检验交叉干扰补偿。

8.9.5.4 确定 NO<sub>2</sub> 分析仪交叉干扰的修正程序[不分光红外线分析法(NDIR)]

CO<sub>2</sub>、CO 和 NO 存在交叉干扰,而某些碳氢化合物的干扰则较小。

8.9.5.5 检验交叉干扰

将 CO、CO<sub>2</sub>、NO 和 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 用校正气通入分析仪中,以进行交叉干扰补偿。对于每种组分,要在从零至最高预期干扰气浓度之间按照相同间隔至少用 5 种不同的校正气浓度进行补偿检验。NO<sub>2</sub> 读数

与零气读数的最大偏差在常用量程范围内应小于满刻度的±2%。如果偏差较大,应对相应的干扰组分制定新的修正曲线,然后用于分析仪读数。允许使用单混气,也可使用含有两种或两种以上干扰气的混合气。

#### 8.9.5.6 交叉干扰修正曲线的制定程序

##### 8.9.5.6.1 CO 交叉干扰

将测量过程中所用 CO 分析仪量程上均匀分布的至少 5 种不同 CO 浓度的校正气通入 N<sub>2</sub>O 分析仪。记录 CO 标称值及实测 N<sub>2</sub>O 浓度。用最小二乘法拟合作为相应的拟合函数(例如多项式拟合函数) $f(\text{CO})$ ,求出用于补偿 CO 交叉干扰的修正曲线。拟合点数至少须比拟合参数多 2 个(例如对于 4 阶多项式至少需有 7 个拟合点)。

修正值  $N_2O_{\text{已补偿}} = N_2O_{\text{未补偿}} - f(\text{CO})$  在分析仪零气读数范围内应不超过满刻度的±1%。

##### 8.9.5.6.2 CO<sub>2</sub>、NO 和 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 的交叉干扰

对 CO<sub>2</sub>、NO 和 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 用相同程序进行交叉干扰检验。结果分别得到修正函数  $f(\text{CO}_2)$ 、 $f(\text{NO})$  和  $f(\text{C}_3\text{H}_8)$ 。

用于确定交叉干扰补偿曲线的校正气应该是单混气。不允许使用含有两种或两种以上干扰气的混合气来绘制交叉干扰补偿曲线。

应用测量系统完成下列补偿计算:

$$N_2O_{\text{已补偿}} = N_2O_{\text{未补偿}} - f(\text{CO}_2) = -f(\text{CO}) - f(\text{NO}) - f(\text{C}_3\text{H}_8)$$

补偿曲线确定以后,应按 8.9.5.5 规定的程序来检验交叉干扰补偿。

#### 8.10 校正间隔期

应按 8.5 规定至少每 3 个月,或当系统经检修或更换后可能影响校正时对分析仪进行校正。

### 9 颗粒测量系统的校正

#### 9.1 总则

为了达到 GB/T 8190 的本部分所要求的准确度,应经常对测量系统各元器件进行校正。本章叙述了对 7.6 和第 17 章中所述各元器件所需使用的校正方法。

#### 9.2 校正程序

##### 9.2.1 流量测量

气体流量计或流量测量仪的校正应可溯源至国际和/或国家标准。

如果气体流量用差压流量测量法测定,最大差值误差应使  $q_{\text{meas}}$  的准确度在±4%以内(参见 17.2.1, 图 10~图 18 下的排气分析仪说明)。该值可用各仪器误差的均方根进行计算。

##### 9.2.2 排气分析仪

如果稀释比是通过测量 CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>x</sub> 浓度来确定,则排气分析仪应按 8.5.5 进行校正。

##### 9.2.3 碳流量检验

为了检查测量和控制问题,并检验部分流稀释系统的运行状态,极力推荐用实际排气进行碳流量检验。至少每当安装新的发动机或试验室布局有重大改变时都应进行碳流量检验。

发动机应在最大扭矩和转速或其他能产生 5%以上 CO<sub>2</sub> 的稳定工况下运行。部分流取样系统应在稀释系数大约为 15:1 的状况下运行。

若要进行碳流量检验,应使用附录 F 所规定的程序。碳流量应根据公式 F.1、F.2 和 F.3 进行计算。所有碳流量宜一致,误差在 6%以内。

#### 9.3 检验部分流状况

应根据 17.2.1 中图 10~图 18 下方对排气管说明的要求,如适用,检验和调整排气速度和压力波动范围。

#### 9.4 校正间隔期

应至少每年一次或当系统经检修或更换后可能影响校正时对流量测量仪进行校正。

### 10 定容取样(CVS)全流稀释系统的校正

#### 10.1 总则

应使用精确的流量计和节流装置来校正 CVS 系统。测量在不同的节流设定值下通过该系统的流量,并测量系统的控制参数以及与流量的关系。

可使用各种类型的流量计,例如已校正过的文丘里管、层流流量计和涡轮流量计等。

#### 10.2 容积泵(PDP)的校正

##### 10.2.1 总则

应同时测量所有与泵有关的参数、以及与泵串联的校正用文丘里管的相关参数。绘制计算流量(在泵进口处绝对压力和温度下的流量,单位为  $\text{m}^3/\text{min}$ ),随泵参数具体组合值的相关函数的变化图。确定泵流量和相关函数的线性方程。如果 CVS 是多速驱动,则应对所使用的每种流量范围进行校正。

校正期间应保持温度的稳定性。

校正用文丘里管与 CVS 泵之间的所有管道及连接处的泄漏应低于最低流量点(最大节流和最低泵速点)的 0.3%。

##### 10.2.2 数据分析

应采用按制造商规定方法测得的流量计数据计算每个节流设定值(至少 6 个)时的空气流量( $Q_s$ ),单位为  $\text{m}^3/\text{min}$ 。然后按下列公式将空气流量转换成在泵进口处绝对温度和压力下的泵流量( $V_0$ ),单位为  $\text{m}^3/\text{r}$ 。

$$V_0 = \frac{Q_s}{n} \times \frac{T}{273} \times \frac{101.3}{p_A} \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中:

$Q_s$ ——标准状况(101.3 kPa, 273 K)下的空气流量,单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$T$ ——泵进口处温度,单位为开(K);

$p_A$ ——泵进口处绝对压力,单位为千帕(kPa);

$n$ ——泵转速,单位为转每秒(r/s)。

考虑到泵压力变化和泵滑移率之间的相互影响,应按式(26)计算泵转速、泵进出口压差和泵出口绝对压力之间的相关函数( $X_0$ ):

$$X_0 = \frac{1}{n} \times \sqrt{\frac{\Delta p_p}{p_A}} \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中:

$\Delta p_p$ ——泵进出口压差,单位为千帕(kPa);

$p_A$ ——泵出口绝对压力,单位为千帕(kPa)。

用最小二乘法线性拟合得到下列校正公式:

$$V_0 = D_0 - m \times (X_0) \quad \dots\dots\dots (27)$$

$D_0$  和  $m$  分别表示回归线的截距和斜率常数。

对于多速 CVS 系统,不同泵流量范围内所绘制的校正曲线应该大致互相平行,而且截距值( $D_0$ )随泵流量范围的减小而增加。

根据公式所得计算值应在  $V_0$  实测值的  $\pm 0.5\%$  以内。 $m$  值将随泵的不同而改变。颗粒物的超时流入将使泵的滑移减少,致使  $m$  值降低。因此,在泵投入使用、大修后、以及系统总体检验显示滑移率发生变化时均应进行校正。

10.3 临界流量文丘里管(CFV)的校正

10.3.1 总则

CFV 的校正以临界流量文丘里管的流量方程为基础。气体流量(Q<sub>s</sub>)是进口压力和温度的函数:

Q\_s = k\_v \* p\_A / sqrt(T) ..... (28)

式中:

- k\_v — 校正系数;
p\_A — 文丘里管进口处的压力,单位为千帕(kPa);
T — 文丘里管进口处的温度,单位为开(K)。

10.3.2 数据分析

应采用按制造商规定方法测得的流量计数据计算每个节流设定值(至少8个)时的空气流量(Q\_s),单位为 m^3/min。根据每个设定值的校正数据计算校正系数如下:

k\_v = Q\_s \* sqrt(T) / p\_A ..... (29)

式中:

- Q\_s — 标准状况(101.3 kPa, 273 K)下的空气流量,单位为立方米每秒(m^3/s);
T — 文丘里管进口处温度,单位为开(K);
p\_A — 文丘里管进口处绝对压力,单位为千帕(kPa)。

为了确定临界流量范围,应绘制 k\_v 随文丘里管进口处压力的变化图。对于临界(阻流)流量, k\_v 有一相对恒定值。当压力降低(真空度增加)时,文丘里管不再阻流,并使 k\_v 降低,这表明 CFV 是在允许范围外运行。

应计算临界流量区域内最少8点处的平均 k\_v 值和标准差。标准差不得超过平均 k\_v 值的±0.3%。

10.4 亚音速文丘里管(SSV)的校正

10.4.1 总则

SSV 的校正以亚音速文丘里管的流量方程为基础。气体流量(Q<sub>SSV</sub>)是进口压力和温度以及 SSV 进口和喉口间压力降的函数,如下所示:

Q\_SSV = A\_0 \* d^2 \* C\_d \* p\_A \* sqrt(1/T \* (r\_x^1.4286 - r\_x^1.7143) \* (1/(1 - r\_y^4 \* r\_x^1.4286))) ..... (30)

式中:

- A\_0 — 常数和单位转换的集合, A\_0 = 0.006 111, SI 单位为 [m^3/min] \* [K^0.5] \* [1/mm^2];
d — SSV 的喉口直径,单位为米(m);
C\_d — SSV 的流出系数;
p\_A — 文丘里管进口处绝对压力,单位为千帕(kPa);
T — 文丘里管进口处温度,单位为开(K);
r\_x — SSV 喉口与进口绝对静压之比, r\_x = 1 - (Δp/p\_A);
r\_y — d 与进口管子内径(D)之比, r\_y = d/D。

10.4.2 数据分析

应采用按制造商规定方法测得的流量计数据计算每个节流设定值(至少16个)的空气流量(q<sub>v,SSV</sub>),单位为 m^3/min。然后根据每个设定值的校正数据计算流出系数(C<sub>d</sub>)如下:

C\_d = q\_v,SSV / (d^2 \* p\_A \* sqrt(1/T \* (r\_x^1.4286 - r\_x^1.7143) \* (1/(1 - r\_y^4 \* r\_x^1.4286)))) ..... (31)

式中:

$q_{vssv}$ ——标准状况(101.3 kPa, 273 K)下的空气流量,单位为立方米每分钟( $m^3/min$ );

$T$ ——文丘里管进口处温度,单位为开(K);

$d$ ——SSV 的喉口直径,单位为米(m);

$r_x$ ——SSV 喉口与进口绝对静压之比,  $r_x = 1 - (\Delta p/p_A)$ ;

$r_y$ —— $d$  与进口管子内径( $D$ )之比,  $r_y = d/D$ 。

为了确定亚音速流量,应绘制 SSV 喉口处的流出系数( $C_d$ )随雷诺数( $Re$ )的变化图。用下列公式计算 SSV 喉口处的雷诺数( $Re$ ):

$$Re = A_1 \frac{q_{vssv}}{d\mu} \dots\dots\dots (32)$$

式中:

$A_1$ ——常数和单位转换的集合,  $A_1 = 25.551\ 52 \left(\frac{1}{m^3}\right) \left(\frac{min}{s}\right) \left(\frac{mm}{m}\right)$ ;

$q_{vssv}$ ——标准状况(101.3 kPa, 273 K)下的空气流量,单位为立方米每秒( $m^3/s$ );

$d$ ——SSV 的喉口直径,单位为米(m);

$\mu$ ——气体的绝对黏度或动力黏度,单位为千克每米秒( $kg/m \cdot s$ ),按式(33)计算:

$$\mu = \frac{bT^{\frac{3}{2}}}{S+T} = \frac{bT^{\frac{1}{2}}}{1+\frac{S}{T}} \dots\dots\dots (33)$$

式中:

$b$ ——经验常数 =  $1.458 \times 10^6 \frac{kg}{msK^{\frac{1}{2}}}$ ;

$S$ ——经验常数 = 110.4 K。

由于  $Q_{ssv}$  是雷诺数  $Re$  公式中的输入项,因此,开始计算时,应首先设定校正用文丘里管的  $Q_{ssv}$  或  $C_d$  的初始值,然后重复计算直至  $Q_{ssv}$  收敛。判断收敛的方法是应精确到每一点的 0.1% 或更好。

对于亚音速流量区域内的最少 16 个点,由求得的校正曲线拟合方程所计算的  $C_d$  值应位于每个校正点实测  $C_d$  值的  $\pm 0.5\%$  以内。

## 10.5 系统总体检验

### 10.5.1 总则

应在正常运行状况下向系统输入已知质量的污染气体,确定 CVS 取样系统和分析系统的总准确度。然后对污染物进行分析,并按 14.5 计算其质量,但丙烷要用系数 0.000 472 来代替 HC 的 0.000 479。应使用下列两种技术之一进行测量。

### 10.5.2 用临界流量孔板计量

将已知量的纯气(一氧化碳或丙烷)通过已校正的临界流量孔板输入 CVS 系统。如果进口压力足够高,则用临界流量孔板调节的流量与孔板出口压力无关(临界流动)。将 CVS 系统按常规排放试验方式运行约 5 min~10 min。用常用设备(取样袋或积分法)分析样气,并计算气体质量。如此测定的质量应在已知注入气体质量的  $\pm 3\%$  以内。

### 10.5.3 用重量法计量

测定装有一氧化碳或丙烷气的小筒质量,精度保持在  $\pm 0.01$  g 以内。使 CVS 系统按常规排放试验方式运行约 5 min~10 min,同时将一氧化碳或丙烷注入该系统。用微分称重法测定流出的纯气量。用常用设备(取样袋或积分法)分析样气,并计算气体质量。如此测定的质量应在已知注入气体质量的  $\pm 3\%$  以内。

## 11 运行工况(试验循环)

见 GB/T 8190.4。

12 试验运行

12.1 取样滤纸的制备

应在试验前至少 1 h 将每张(对)滤纸放在一个盖住但不密封的培替氏培养皿里,置于称重室内进行稳定化处理。在稳定化过程结束时,称取每张(对)滤纸的重量并记录其自重。然后将该张(对)滤纸存放在盖住的培替氏培养皿或滤座中,供试验时使用。如该张(对)滤纸从称重室取出后的 8 h 内没有使用,则必须在使用前重新称重。

12.2 测试设备的安装

仪器和取样探头应按要求安装。当采用全流稀释系统稀释排气时,应将尾管接在系统上。

12.3 起动稀释系统和发动机

起动并预热稀释系统和发动机,使全部温度和压力在全负荷、标定转速时达到稳定(稳定化准则见 GB/T 21404—2008 中 6.2.4.3.2)。

12.4 稀释比的调整

起动颗粒取样系统,对单对滤纸法应按旁通方式运行(对多对滤纸法可任选)。稀释空气的颗粒本底值可将稀释空气通入颗粒过滤器来测定。若用已经过滤的稀释空气,则可在试验前、中或后的任何时间内测定一次。若稀释空气未经过滤,则须至少在循环开始、结束和接近中间的三个时间测定,并取其平均值。

调整稀释空气,使滤纸在每个工况时的最高表面温度不超过 325 K(52 °C)。总稀释比不小于 4。

对 CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>x</sub> 浓度控制系统,应在每次试验开始和结束时,测定稀释空气的 CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>x</sub> 含量。试验前后所测稀释空气的 CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>x</sub> 的本底浓度应分别在 100 ppm 或 5 ppm 以内。

当使用稀释排气分析系统时,应在整个试验程序中将抽取的稀释空气注入取样袋中,以测定各气体组分的相关本底浓度。至少可在循环开始、结束和接近中间的三个时候测取连续(无取样袋)本底浓度,然后确定平均值。如发动机制造商要求,也可略去本底浓度的测量。

12.5 试验点的确定

应按 5.4.1 和 5.4.2 将进气阻力和排气背压的设定值调整到制造商规定的上限值。

为了计算规定试验工况时的扭矩值,应通过实验测定在规定试验转速下的最大扭矩值。对不是在全负荷扭矩曲线的某一转速范围内运行的发动机,应由制造商标定在试验转速下的最大扭矩。

发动机在每个试验工况的设定值应用式(34)计算:

$$S = \left( (P_m + P_{aux}) \times \frac{M}{100} \right) - P_{aux} \dots\dots\dots (34)$$

式中:

S——测功器设定值,单位为千瓦(kW);

P<sub>m</sub>——试验工况下(由制造商规定),发动机在试验转速时的最大实测或标定功率,单位为千瓦(kW);

P<sub>aux</sub>——试验安装的,但并非 GB/T 21405 所要求的辅助装置所吸收的标定总功率,单位为千瓦(kW);

M——试验工况规定的扭矩,%。

12.6 分析仪的检查

将排放分析仪置零并进行量距。

12.7 试验循环

试验循环按 GB/T 8190.4 规定。该循环考虑了发动机的大小和用途的变化。

12.7.1 试验顺序

发动机应按 GB/T 8190.4 中相应试验循环的每个工况进行运行。

以下所示公差仅适用于排放数据采集期内、颗粒物和气袋取样期间。

a) 对采用测功器转速控制试验型测试的发动机

在初始过渡期后试验循环的每个工况期间,规定转速应保持在标定转速的 $\pm 1\%$ 或 $\pm 3 \text{ r/min}$ 以内,以较大值为准,但低怠速时应保持在制造商规定的公差范围内。规定扭矩则应保持在使整个测量期间的平均扭矩处在试验转速下最大扭矩值的 $\pm 2\%$ 以内。

b) 对采用测功器负荷控制试验型测试的发动机

在初始过渡期后试验循环的每个工况期间,规定转速应保持在标定转速的 $\pm 2\%$ 或 $\pm 3 \text{ r/min}$ 以内,以较大值为准,但在任何情况下都应保持在 $\pm 5\%$ 以内,而低怠速时应保持在制造商规定的公差范围内。

在要求扭矩为试验转速下最大扭矩的 $50\%$ 或以上的试验循环工况期间,在数据采集期间的规定平均扭矩应保持在要求扭矩值的 $\pm 5\%$ 以内。在要求扭矩为试验转速下最大扭矩的 $50\%$ 以下的工况期间,在数据采集期间的规定平均扭矩应保持在要求扭矩值的 $\pm 10\%$ 或 $\pm 0.27 \text{ N}\cdot\text{m}$ 以内,以较大值为准。

### 12.7.2 分析仪响应

至少应在每工况的最后 $3 \text{ min}$ 期间使排气流过分析仪,将分析仪的输出记录在纸带记录仪上或用等效的数据采集装置进行测量。若用气袋取样测定稀释 $\text{CO}$ 和 $\text{CO}_2$ (见7.5.4),则应在每工况的最后 $3 \text{ min}$ 期间将样气送入袋中,然后对袋内样气进行分析和记录。

### 12.7.3 颗粒取样

可用单对滤纸法或多对滤纸法进行颗粒取样(见7.6)。

由于两种方法的结果可能稍有差别,因此在测量结果中应说明所使用的方法。

对单对滤纸法,在考虑试验循环程序中所规定的工况加权系数时,应使抽取的样气与每循环工况的排气质量流量成正比。这可通过适当调整样气流量、取样时间和/或稀释比来达到,以符合15.6中有效加权系数的准则。

取样应尽可能在每工况的最后进行。每工况的取样时间,对单对滤纸法至少为 $20 \text{ s}$ ;对多对滤纸法至少为 $60 \text{ s}$ 。有关试验工况持续时间的补充说明见GB/T 8190.4。对于没有旁通功能的系统,每工况的取样时间,对单对滤纸法和多对滤纸法都应至少为 $60 \text{ s}$ 。

### 12.7.4 发动机工况

待发动机稳定后,应测量每工况的转速和负荷、进气温度、燃料流量和空气或排气流量。

如果不可能测量排气流量或燃烧空气时,则可用碳-氧平衡法来计算这些参数(见7.3.6和附录A)。

应记录计算所需的一切补充数据(见第13章)。

## 12.8 重验分析仪

排放试验后,应使用零气和相同量距气来重验分析仪。若两次测量结果之差小于 $2\%$ ,则可认为试验合格。

## 12.9 试验报告

试验报告应包括GB/T 8190.6所指定的数据。

# 13 气体和颗粒排放物的数据评定

## 13.1 气体排放物

为评定气体排放物,应求出每工况最后 $60 \text{ s}$ 内记录纸的平均读数值,并根据记录纸的平均读数和相应的校正数据确定每工况内 $\text{HC}$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{NMHC}$ ( $\text{NMC}$ 法)、 $\text{NH}_3$ 和 $\text{CH}_3\text{OH}$ ( $\text{FID}$ 法)的平均浓度。如使用取样袋,则应根据取样袋读数和相应的校正数据确定取样袋中的平均浓度。如能保证数据采集等效,也可使用不同的记录形式。

如需测定平均本底浓度,则应根据取样袋的稀释空气读数或根据平均连续(无取样袋)本底读数和相应的校正数据求出。

当对 HCHO 和 CH<sub>3</sub>OH 使用冲击器或吸收盒取样法时,则应根据 GC 和 HPLC 分析法所测冲击器或吸收盒(见图 7 和图 8)内 HCHO/CH<sub>3</sub>OH 的数量和通过冲击器或吸收盒的样气总体积测定其浓度和本底浓度(如用)。

13.2 颗粒排放物

为评定颗粒物,应记录每工况通过滤纸的总样气质量( $m_{sep}$ )。

应将滤纸放回称重室至少调温处理 1 h,但不得超过 80 h,然后称重。记录滤纸总重并减去其自重(见 12.1)。

如需本底修正,应记录通过滤纸的稀释空气质量( $m_d$ )和颗粒物质量( $m_{t,d}$ )。如进行多次测量,则应计算每次测量的  $m_{t,d}/m_d$  的商,并取其平均值。

14 气体排放物的计算

14.1 总则

图 2 列出了各种可能的若干排放计算导则。

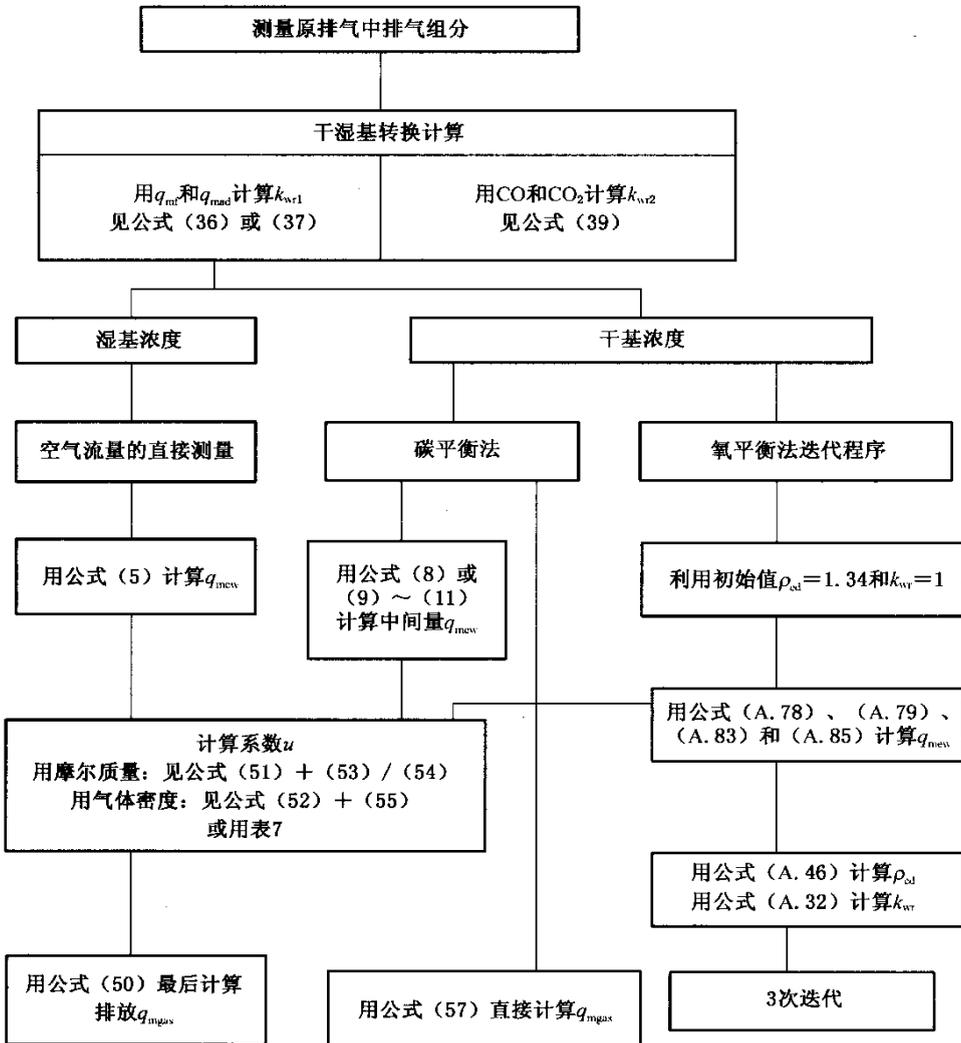


图 2 原排气中排气组分的测量

14.2 排气流量的确定

应根据 7.3.2~7.3.7 确定每工况的排气流量( $q_{mew}$ )。

当用全流稀释系统时,应根据 7.3.7 确定每工况的总稀释排气流量( $q_{mdew}$ )。

14.3 干/湿基修正

若排放不是按湿基测得,则应按下列公式之一将实测浓度转换到湿基值。公式推导见附录 A。

$$c_w = k_w \times c_d \quad \dots\dots\dots (35)$$

a) 对于原排气

1) 完全燃烧

$$k_{w1} = \left[ 1 - \frac{1.244\ 2 \times H_a + 111.19 \times w_{ALF} \times \frac{q_{mf}}{q_{mad}}}{773.4 + 1.244\ 2 \times H_a + \frac{q_{mf}}{q_{mad}} \times f_{fw} \times 1\ 000} \right] \times 1.008 \quad \dots\dots (36)$$

或

$$k_{w1} = \left[ 1 - \frac{1.244\ 2 \times H_a + 111.19 \times w_{ALF} \times \frac{q_{mf}}{q_{mad}}}{773.4 + 1.244\ 2 \times H_a + \frac{q_{mf}}{q_{mad}} \times f_{fw} \times 1\ 000} \right] \div \left( 1 - \frac{p_t}{p_b} \right) \quad \dots (37)$$

$$f_{fw} = 0.055\ 594 \times w_{ALF} + 0.008\ 002\ 1 \times w_{DEL} + 0.007\ 004\ 6 \times w_{EPS} \quad \dots (38)$$

2) 不完全燃烧

当存在相当数量未燃烧或部分燃烧的组分(CO, H<sub>2</sub>)时,应使用下列公式求出(推导见附录 A):

$$k_{w2} = \frac{1}{1 + \alpha \times 0.005 \times [c_{CO_2d} + c_{COd}] - 0.01 \times c_{H_2d} + k_{w2} - \frac{p_t}{p_b}} \quad \dots\dots (39)$$

以及

$$c_{H_2d} = \frac{0.5 \times \alpha \times c_{COd} \times (c_{COd} + c_{CO_2d})}{c_{COd} + 3 \times c_{CO_2d}} \quad \dots\dots\dots (40)$$

注:公式(39)和(40)中 CO 和 CO<sub>2</sub> 浓度以百分数(%)表示。

b) 对于稀释排气

$$k_{w1} = \left( 1 - \frac{\alpha \times c_{CO_2w}}{200} \right) - k_{w1} \quad \dots\dots\dots (41)$$

或

$$k_{w2} = \left\{ \frac{(1 - k_{w1})}{1 + \frac{\alpha \times c_{CO_2d}}{200}} \right\} \quad \dots\dots\dots (42)$$

c) 对于稀释空气

$$k_{wd} = 1 - k_{w1} \quad \dots\dots\dots (43)$$

$$k_{w1} = \frac{1.608 \times \left[ H_d \times \left( 1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \times \left( \frac{1}{D} \right) \right]}{1\ 000 + \left\{ 1.608 \times \left[ H_d \times \left( 1 - \frac{1}{D} \right) + H_a \times \left( \frac{1}{D} \right) \right] \right\}} \quad \dots\dots\dots (44)$$

d) 对于进气空气(若不同于稀释空气)

$$k_{wa} = 1 - k_{w2} \quad \dots\dots\dots (45)$$

$$k_{w2} = \frac{1.608 \times H_a}{1\ 000 + (1.608 \times H_a)} \quad \dots\dots\dots (46)$$

式中:

$H_a$ 、 $H_d$ ——进气空气和稀释空气的绝对湿度,单位为克每千克(g/kg)。

注:  $H_a$ 、 $H_d$  可用通用公式由相对湿度、露点、蒸汽压或干/湿球的测量值得得。

14.4 NO<sub>x</sub> 的湿度和温度修正

因 NO<sub>x</sub> 排放与大气状况有关,应采用下列公式中给出的系数对 NO<sub>x</sub> 浓度进行大气温度和湿度修正,当湿度在 0 g/kg 和 25 g/kg 之间时这些系数方才有效。

若经有关各方同意,也可使用其他湿度基准值代替 10.71 g/kg,并应随同计算结果一起写入报告。

若能证明正确或有效,经有关各方同意,也可使用上述湿度范围以外的其他修正公式。在下述公式中,  $T_a$  表示在空气滤清器入口处的大气温度,  $H_a$  表示在空气滤清器入口处的大气湿度。

将水或蒸汽喷入增压器中(空气增湿)被认为是一种排放控制手段,因此在湿度修正时不予考虑,增压中冷器内的凝结水会改变增压空气的湿度,因此在湿度修正时应予考虑。

a) 压燃式发动机

$$k_{hd} = \frac{1}{1 - 0.0182 \times (H_a - 10.71) + 0.0045 \times (T_a - 298)} \dots\dots\dots(47)$$

式中:

$T_a$ ——空气温度,单位为开(K);

$H_a$ ——进气空气湿度,单位为克每千克(g/kg)。

b) 增压中冷压燃式发动机,可用下列替代公式:

$$k_{hd} = \frac{1}{1 - 0.012 \times (H_a - 10.71) - 0.00275 \times (T_a - 298) + 0.00285 \times (T_{sc} - T_{scRef})} \dots\dots\dots(48)$$

式中:

$T_{sc}$ ——中冷空气温度;

$T_{scRef}$ ——制造商规定的中冷空气基准温度。

注 1: 其他变量的说明见 a)。

c) 点燃式发动机

$$k_{hp} = 0.6272 + 44.030 \times 10^{-3} \times H_a - 0.862 \times 10^{-3} \times H_a^2 \dots\dots\dots(49)$$

注 2: 变量说明见 a)。

14.5 排放质量流量计算

14.5.1 原排气

应根据污染物的原浓度、表 7 中的  $u$  值和按照 14.5.1.1 求得的排气质量流量计算每工况的排放质量流量。如果按干基测量浓度,则应先按 14.3 对浓度值进行干-湿基修正然后再作进一步计算。

另外事先如经有关各方同意,也可选用 14.5.1.2 中的精确公式计算质量排放。若试验所用燃料不是表 7 所规定的燃料,则在燃用多种燃料运行或有异议时必须采用精确公式。

14.5.1.1 基于表列值的计算方法

应采用以下公式:

$$q_{mgas} = u_{gas} \times c_{gas} \times q_{mew} \dots\dots\dots(50)$$

式中:

$q_{mgas}$ ——某一组分的气体排放质量流量;

$u_{gas}$ ——排气组分密度与排气密度之比;

$c_{gas}$ ——原排气中各组分浓度,单位为 ppm;

$q_{mew}$ ——排气质量流量,单位为千克每小时(kg/h)。

为了计算 NO<sub>x</sub>, 应使用按 14.4 确定的湿度修正系数 k<sub>hd</sub> 或 k<sub>bp</sub>, 若适用。

如果未按湿基进行测量, 则应按 14.3 将所测浓度转换成湿基浓度。

表 7 列出了基于理想气体性质下各种燃料所选排气组分的 u 值。

### 14.5.1.2 基于精确公式的计算方法

使用公式(50)计算质量排放, 应用下列公式代替表列值计算 u<sub>gas</sub>。并假设在下列公式中公式(50)中的浓度 c<sub>gas</sub> 的测量单位或转换后的单位为 ppm。

$$u_{\text{gas}} = \frac{M_{\text{rgas}}}{M_{\text{r,e}} \times 1\,000} \dots\dots\dots (51)$$

或

$$u_{\text{gas}} = \frac{\rho_{\text{gas}}}{\rho_e \times 1\,000} \dots\dots\dots (52)$$

式中:

ρ<sub>gas</sub> = M<sub>rgas</sub>/22.414 或从表 7 中选用(基于理想气体性质)。

表 7 给出了若干排气组分的密度 ρ<sub>gas</sub> 值。在假定为完全燃烧情况下可求得一般燃料组分 C<sub>β</sub>H<sub>α</sub>O<sub>ε</sub>N<sub>δ</sub>S<sub>γ</sub> 的排气克分子质量 M<sub>r,e</sub> 如下:

M<sub>r,e</sub> =

$$\frac{1 + \frac{q_{mi}}{q_{maw}}}{\frac{q_{mi}}{q_{maw}} \times \frac{\frac{\alpha}{4} + \frac{\epsilon}{2} + \frac{\delta}{2}}{12.011 \times \beta + 1.007\,94 \times \alpha + 15.999\,4 \times \epsilon + 14.006\,7 \times \delta + 32.065 \times \gamma} + \frac{H_a \times 10^{-3}}{2 \times 1.007\,94 + 15.999\,4} + \frac{1}{M_{r,a}}} \dots\dots\dots (53)$$

或对于不完全燃烧:

$$M_{r,e} = \frac{M_{\text{rHC}} \times c_{\text{HCw}}}{10^6} + \frac{28.01 \times c_{\text{COw}}}{10^6} + \frac{44.01 \times c_{\text{CO}_2\text{w}}}{10^2} + \frac{46.01 \times c_{\text{NO}_x\text{w}}}{10^6} + \frac{32 \times c_{\text{O}_2\text{w}}}{10^2} + \frac{2.016 \times c_{\text{H}_2\text{w}}}{10^2} + 18.01 \times (1 - k_{\text{wr}}) + \frac{28.01}{100} \times \left[ 100 - \frac{c_{\text{HCw}}}{10^4} - \frac{c_{\text{COw}}}{10^4} - c_{\text{CO}_2\text{w}} - \frac{c_{\text{NO}_x\text{w}}}{10^4} - c_{\text{O}_2\text{w}} - c_{\text{H}_2\text{w}} - 100 \times (1 - k_{\text{wr}}) \right] \dots\dots\dots (54)$$

求得排气密度 ρ<sub>e</sub> 如下:

$$\rho_e = \frac{1\,000 + H_a + 1\,000 \times \left( \frac{q_{mi}}{q_{mad}} \right)}{773.4 + 1.243\,4 \times H_a + f_{\text{tw}} \times 1\,000 \times \left( \frac{q_{mi}}{q_{mad}} \right)} \dots\dots\dots (55)$$

式中:

$$f_{\text{tw}} = 0.055\,594 \times w_{\text{ALF}} + 0.008\,002\,1 \times w_{\text{DEL}} + 0.007\,004\,6 \times w_{\text{EPS}} \dots\dots\dots (56)$$

当用碳平衡法时:

$$q_{\text{mgas}} = \frac{M_{\text{rgas}} \times c_{\text{gas}} \times q_{\text{mi}}}{M_{\text{rf}} \times \left[ (c_{\text{CO}_2\text{w}} - c_{\text{CO}_2\text{aw}}) + \frac{c_{\text{COw}} + c_{\text{HCw}}}{10^4} \right] \times 10} \dots\dots\dots (57)$$

式中 c<sub>CO</sub> 和 c<sub>HC</sub> 单位为 ppm, c<sub>CO<sub>2</sub></sub> 单位为百分比体积。

公式(58)的推导见 A.2.2.2。

$$M_{\text{rf}} = \alpha \times A_{\text{tH}} + \beta \times A_{\text{tC}} + \gamma \times A_{\text{tS}} + \delta \times A_{\text{tN}} + \epsilon \times A_{\text{tO}} \dots\dots\dots (58)$$

### 14.5.2 稀释排气

应根据污染物的稀释浓度、表 8 中的 u 值和稀释排气质量流量计算每工况的排放质量流量如下。

如果按干基测量浓度,则应先按 14.3 对浓度值进行干/湿基修正,然后再作进一步计算。

$$q_{\text{mgas}} = u_{\text{gas}} \times c_{\text{gas,c}} \times q_{\text{mdew}} \quad \dots\dots\dots (59)$$

式中:

$u_{\text{gas}}$ ——排气组分密度与稀释排气密度(相当于空气密度)之比;

$c_{\text{gas,c}}$ ——稀释排气中各组分的本底修正浓度,单位为 ppm;

$q_{\text{mdew}}$ ——稀释排气质量流量,单位为千克每秒(kg/s)。

表 8 列出了基于理想气体性质下各种燃料所选排气组分的  $u$  值。

$$c_c = c - c_d \times \left[ 1 - \frac{1}{D} \right] \quad \dots\dots\dots (60)$$

$$D = \frac{FS}{c_{\text{CO}_2} + (c_{\text{CO}} + c_{\text{HC}}) \times 10^{-4}} \quad \dots\dots\dots (61)$$

或

$$D = \frac{FS}{c_{\text{CO}_2}} \quad \dots\dots\dots (62)$$

式中:

$$FS = 100 \times \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{2} + \gamma + 3.76 \left( 1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\epsilon}{2} + \gamma \right)} \quad \dots\dots\dots (63)$$

$\alpha, \gamma, \epsilon$  是指燃料  $\text{CH}_2\text{O}_x\text{S}_y$  的组成。

对于柴油,  $FS=13.4$ 。

表 7 原排气的系数  $u_{\text{gas}}$  和燃料特定参数

燃料和对应 $\rho_c / (\text{kg}/\text{m}^3)$		气体							
		NO <sub>x</sub>	CO	HC	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	HCHO	CH <sub>3</sub> OH
		$\rho_{\text{gas}} / (\text{kg}/\text{m}^3)$							
		2.053	1.250	*	1.963 6	1.427 7	0.716	1.340	1.430
		系数 $u_{\text{gas}}^b$							
柴油	1.294 3	0.001 586	0.000 966	0.000 479	0.001 517	0.001 103	0.000 553	0.001 035	0.001 104
菜子油甲脂	1.295 0	0.001 585	0.000 965	0.000 536	0.001 516	0.001 102	0.000 553	0.001 035	0.001 104
甲醇	1.261 0	0.001 628	0.000 991	0.001 133	0.001 557	0.001 132	0.000 568	0.001 062	0.001 134
乙醇	1.275 7	0.001 609	0.000 980	0.000 805	0.001 539	0.001 119	0.000 561	0.001 050	0.001 121
天然气 <sup>c</sup>	1.266 1	0.001 621	0.000 987	0.000 558 <sup>d</sup>	0.001 551	0.001 128	0.000 565	0.001 058	0.001 129
丙烷	1.280 5	0.001 603	0.000 976	0.000 512	0.001 533	0.001 115	0.000 559	0.001 046	0.001 116
丁烷	1.283 2	0.001 600	0.000 974	0.000 505	0.001 530	0.001 113	0.000 558	0.001 044	0.001 114
汽油	1.297 7	0.001 582	0.000 963	0.000 481	0.001 513	0.001 100	0.000 552	0.001 032	0.001 102

a 与燃料有关。  
 b 当  $\lambda=2$ , 干空气, 273 K, 101.3 kPa 时。  
 c 对于质量组成 C=66%~76%; H=22%~25%; N=0%~12%,  $u$  值精确至 0.2% 以内。  
 d 基于  $\text{CH}_{2.93}$  的 NMHC 值(对于总 HC, 应使用  $\text{CH}_4$  的  $u_{\text{gas}}$  系数)。

表 8 稀释排气的系数  $u_{gas}$  和燃料特定参数

燃料 ( $\rho_c = 1.293 \text{ kg/m}^3$ )		气体							
		NO <sub>x</sub>	CO	HC	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	HCHO	CH <sub>3</sub> OH
		$\rho_{gas} / (\text{kg/m}^3)$							
		2.053	1.250	*	1.963 6	1.427 7	0.716	1.340	1.430
		系数 $u_{gas}^b$							
柴油		0.001 588	0.000 967	0.000 480	0.001 519	0.001 104	0.000 553	0.001 036	0.001 106
菜子油甲脂		0.001 588	0.000 967	0.000 537	0.001 519	0.001 104	0.000 553	0.001 036	0.001 106
甲醇		0.001 588	0.000 967	0.001 105	0.001 519	0.001 104	0.000 553	0.001 036	0.001 106
乙醇		0.001 588	0.000 967	0.000 795	0.001 519	0.001 104	0.000 553	0.001 036	0.001 106
天然气 <sup>c</sup>		0.001 588	0.000 967	0.000 584 <sup>d</sup>	0.001 519	0.001 104	0.000 553	0.001 036	0.001 106
丙烷		0.001 588	0.000 967	0.000 507	0.001 519	0.001 104	0.000 553	0.001 036	0.001 106
丁烷		0.001 588	0.000 967	0.000 501	0.001 519	0.001 104	0.000 553	0.001 036	0.001 106
汽油		0.001 588	0.000 967	0.000 483	0.001 519	0.001 104	0.000 553	0.001 036	0.001 106

a 与燃料有关。  
 b 假定稀释排气密度=空气密度。  
 c 对于质量组成 C=66%~76%; H=22%~25%; N=0%~12%,  $u$  值精确至 0.2% 以内。  
 d 基于 CH<sub>2.93</sub> 的 NMHC 值(对于总 HC, 应使用 CH<sub>4</sub> 的  $u_{gas}$  系数)。

14.5.3 非甲烷碳氢化合物(NMHC)浓度的确定

$C_{NMHC}$  的确定取决于所用方法(见 16.5)。在两种情况下都应确定 CH<sub>4</sub> 浓度并从 HC 浓度中减去如下:

- a) 气相色谱法(GC)

$$C_{NMHC} = C_{HC} - C_{CH_4} \dots\dots\dots (64)$$

- b) 非甲烷截止器(NMC)法

$$C_{NMHC} = \frac{C_{HC(\text{无截止器})} \times \langle 1 - E_M \rangle - C_{HC(\text{有截止器})}}{E_E - E_M} \dots\dots\dots (65)$$

式中:

- $C_{HC(\text{有截止器})}$  —— 样气流过 NMC 时的 HC 浓度;
- $C_{HC(\text{无截止器})}$  —— 样气从 NMC 旁通时的 HC 浓度;
- $E_M$  —— 按 8.8.4.2 确定的甲烷效率;
- $E_E$  —— 按 8.8.4.3 确定的乙烷效率。

14.6 比排放计算

按下列方法计算所有各组分的排放:

$$g_{AS_x} = \frac{\sum_{i=1}^n (q_{m\ gas_i} \times W_{fi})}{\sum_{i=1}^n (P_i \times W_{fi})} \dots\dots\dots (66)$$

式中:

$q_{mgssi}$ ——某一组分气体的排放质量流量。

$$P = P_m + P_{aux} \quad \dots\dots\dots (67)$$

式中:

$P_m$ ——各工况下的实测功率;

$P_{aux}$ ——各工况下安装在发动机上的辅助装置所消耗的功率。

上述计算中所用加权系数和工况数( $n$ )按 GB/T 8190.4 的规定。

15 颗粒排放物的计算

15.1 颗粒物的湿度修正系数

由于柴油机的颗粒物排放与大气状况有关,因此颗粒物浓度应用下式中给出的系数  $k_p$  对大气湿度进行修正。

若经有关各方同意,也可用其他湿度基准值代替 10.71 g/kg,并应随同计算结果一起写入报告。

若能证明正确或有效,也可使用其他修正公式。

$$k_p = \frac{1}{[1 + 0.0133 \times (H_a - 10.71)]} \quad \dots\dots\dots (68)$$

式中:

$H_a$ ——进气空气湿度,单位为克每千克(g/kg)。

15.2 部分流稀释系统

应按下列步骤确定最终所需报告的颗粒物排放试验结果。由于可使用各种方式控制稀释比,因而需使用不同方法计算  $q_{medf}$ 。所有计算均以取样期间各工况的平均值为基础。

15.2.1 等动态系统

见 17.2.1 图 10 和图 11。

$$q_{medf} = q_{mew} \times r_d \quad \dots\dots\dots (69)$$

而:

$$r_d = \frac{q_{mdw} + (q_{mew} \times r_a)}{q_{mew} \times r_a} \quad \dots\dots\dots (70)$$

式中  $r$  相当于等动态探头横截面积  $A_p$  与排气管横截面积  $A_T$  之比:

$$r_a = \frac{A_p}{A_T} \quad \dots\dots\dots (71)$$

15.2.2 带 CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>x</sub> 浓度测量的系统

见 17.2.1 图 12、图 14~图 16。

对于  $q_{medf}$ ,使用公式(69)和

$$r_d = \frac{c_{Ew} - c_{Aw}}{c_{Dw} - c_{Aw}} \quad \dots\dots\dots (72)$$

式中:

$c_{Ew}$ ——原排气中示踪气的湿基浓度;

$c_{Dw}$ ——稀释排气中示踪气的湿基浓度;

$c_{Aw}$ ——稀释空气中示踪气的湿基浓度。

应按 14.3 将所测干基浓度转换成湿基浓度。

15.2.3 带 CO<sub>2</sub> 测量和使用碳平衡法的系统

见 17.2.1 图 13。

用下列公式计算  $q_{medf}$  :

$$q_{medf} = \frac{k_f \times q_{mf}}{c_{(CO_2)_D} - c_{(CO_2)_A}} \dots\dots\dots(73)$$

式中:

$c_{(CO_2)_D}$ ——稀释排气中  $CO_2$  浓度;

$c_{(CO_2)_A}$ ——稀释空气中  $CO_2$  浓度。

浓度以湿基的体积百分数表示。

因此,

$$r_d = \frac{k_f \times q_{mf}}{q_{mew} \times [c_{(CO_2)_D} - c_{(CO_2)_A}]} \dots\dots\dots(74)$$

在上述公式中,  $k_f$  可根据 A.4 用下述最终公式确定:

$$k_f = \omega_{BET} \times 2.4129 \dots\dots\dots(75)$$

### 15.2.4 带流量测量的系统

见 17.2.1 图 17 和图 18。

对于  $q_{medf}$  见公式(69)。

$$r_d = \frac{q_{mdew}}{q_{mdew} - q_{mdw}} \dots\dots\dots(76)$$

### 15.3 全流稀释系统

颗粒排放试验报告中的结果按下列步骤确定。所有计算均以取样期间各工况的平均值为基础。对于全流稀释系统,用  $q_{mdew}$  作为  $q_{medf}$ 。

### 15.4 颗粒物质量流量的计算

计算颗粒物质量流量如下:

a) 对于单对滤纸法

$$q_{mPT} = \frac{m_f}{m_{sep}} \times \frac{\overline{q_{medf}}}{1\ 000} \dots\dots\dots(77)$$

$$\overline{q_{medf}} = \sum_{i=1}^n q_{medfi} \times W_{fi} \dots\dots\dots(78)$$

$$m_{sep} = \sum_{i=1}^n M_{sepi} \dots\dots\dots(79)$$

$i=1, \dots, n$

b) 对于多对滤纸法

$$q_{mPTi} = \frac{M_{fi}}{m_{sepi}} \times \frac{q_{medfi}}{1\ 000} \dots\dots\dots(80)$$

$i=1, \dots, n$

$PT_{mass}$  系在整个试验循环内由取样期间各工况的平均值累加求得。

可对颗粒物质量流量进行如下本底修正(见 12.4)。

c) 对采用本底修正的单对滤纸法

$$q_{mPT} = \left\{ \frac{m_f}{m_{sep}} - \left[ \frac{m_{f,d}}{m_d} \times \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{1}{D_i} \right) \times W_{fi} \right] \right\} \times \frac{\overline{q_{medf}}}{1\ 000} \dots\dots\dots(81)$$

d) 对采用本底修正的多对滤纸法

$$q_{mPTi} = \left\{ \frac{m_{fi}}{m_{sepi}} - \left[ \frac{m_{f,d}}{m_d} \times \left( 1 - \frac{1}{D} \right) \right] \right\} \times \frac{q_{medfi}}{1\ 000} \dots\dots\dots(82)$$

式中  $D$  根据公式(61)和(62)计算而得。如果没有测量稀释  $\text{CO}_2$  浓度,也可用根据 15.2.1~15.2.4 确定的稀释比  $r_d$  来代替部分流稀释系统的  $D$ 。

如果进行多次测量,则应用  $\frac{\overline{m_{f,d}}}{m_d}$  来代替  $\frac{m_{f,d}}{m_d}$ 。

15.5 比排放的计算

颗粒物比排放按下列方法计算。

a) 对于单对滤纸法

$$e_{PT} = \frac{q_{mPT}}{\sum_{i=1}^n P_i \times W_{fi}} \dots\dots\dots (83)$$

b) 对于多对滤纸法

$$e_{PT} = \frac{\sum_{i=1}^n q_{mPTi} \times W_{fi}}{\sum_{i=1}^n P_i \times W_{fi}} \dots\dots\dots (84)$$

式中:

$$P_i = P_{mi} + P_{auxi} \dots\dots\dots (85)$$

参见 GB/T 8190.1—1999 公式(39)。

15.6 有效加权系数

对于单对滤纸法,各工况的有效加权系数  $W_{fei}$  按下列方法计算:

$$W_{fei} = \frac{m_{sep_i} \times \overline{q_{medf}}}{m_{sep} \times q_{medf}} \dots\dots\dots (86)$$

$i = 1, \dots, n$

有效加权系数值应在 GB/T 8190.4 所列加权系数的  $\pm 0.005$ (绝对值)以内。

16 气体排放物的测定

16.1 总则

16.2~16.6 和图 3~图 10 详细叙述了推荐的取样和分析系统。由于各种布置都能得到相同的结果,因此无需与这些插图完全一致。也可增加一些部件,诸如仪表、阀门、电磁阀、泵和开关等,以提供更多的数据和协调各部件系统的功能。但对无法保持某些系统准确度的其他部件,则可根据良好的技术判断予以删除。

16.2 主要排气组分  $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{HC}$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{O}_2$

对测定原排气或稀释排气中气体排放物的分析系统,根据以下使用方法进行叙述:

- 用 HFID 或 FID 测定碳氢化合物;
- 用 NDIR 测定一氧化碳和二氧化碳;
- 用 HCLD、CLD 或等效仪器测定氮氧化物;
- 用 PMD、ECS 或 ZRDO 测定氧气。

对于原排气(见图 3),可用一个取样探头或用紧靠在一起而内部分流至不同分析仪的两个取样探头抽取所有组分的样气。必须注意在分析系统的任何位置都不得使排气组分出现凝结(包括水和硫酸)。

对于稀释排气(见图 4),应使用与抽取其他组分不同的取样探头来抽取碳氢化合物样气,除非所有分析仪都使用一个公用取样泵,并且取样管路系统是根据良好的工程惯例来设计。必须注意在分析系统的任何位置都不得使排气组分出现凝结(包括水和硫酸)。

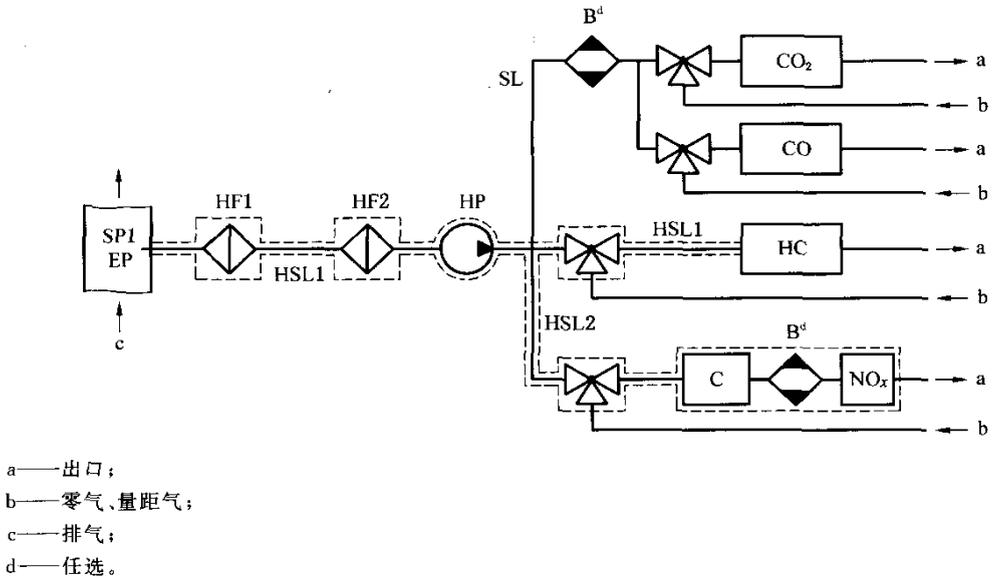


图 3 用于分析原排气中 CO、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HC 和 O<sub>2</sub> 的系统流程图

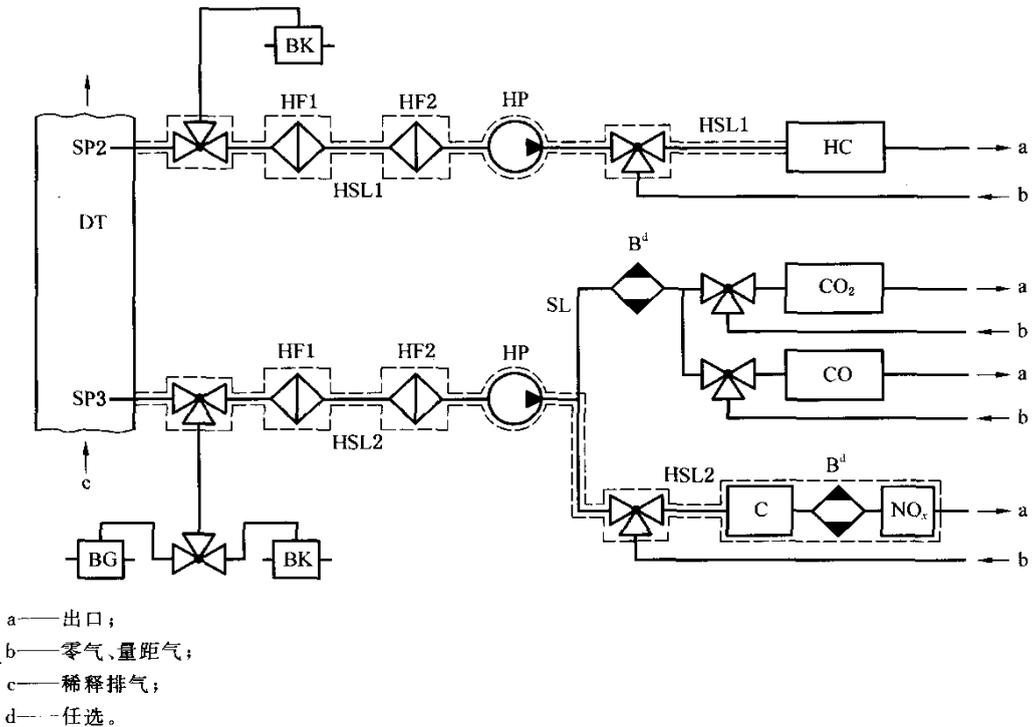


图 4 用于分析稀释排气中 CO、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HC 和 O<sub>2</sub> 的系统流程图

图 3 和图 4 部件：

总则——必须使取样路径内的所有部件保持在各系统所规定的温度范围内。

EP——排气管(仅限于图 3)

DT——稀释通道(仅限于图 4)

详见 17.2.2。

SP1——原排气取样探头(仅限于图 3)

推荐用一根直的、末端封闭的多孔不锈钢探头,其内径应不大于取样管内径,探头壁厚不大于 1 mm,在三个不同径向平面内至少有 3 个小孔,其大小应能抽取大致相同的样气流量。探头应至少伸入排气管 80% 直径。

注:如果排气脉冲或发动机振动会改变取样探头,则经有关各方商定可增加探头壁厚。

SP2——稀释排气 HC 取样探头(仅限于图 4)

探头应:

- 规定为加热型取样管路 HSH1 前端 254 mm~762 mm 处;
- 最小内径为 5 mm;
- 安装在稀释通道 DT 内(见 17.2.2,图 19)、稀释空气和排气充分混合处(即排气进入稀释通道处下游约 10 倍管径处);
- 远离(径向)其他探头和通道壁,使其不受任何尾流或涡流的影响;
- 加热使探头出口处的气流温度提高到  $463\text{ K} \pm 10\text{ K}$  ( $190\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ );对甲醇燃料发动机应达到  $385\text{ K} \pm 10\text{ K}$  ( $112\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ );
- 若用 FID 进行测量,则不加热(冷态)。

SP3——稀释排气 CO、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 取样探头(仅限于图 4)

探头应:

- 与 SP2 处于同一平面;
- 远离(径向)其他探头和通道壁,使其不受任何尾流或涡流的影响;
- 对整个长度进行加热和保温,使温度不低于 328 K (55 °C),以免水分凝结。

HSL1——加热型取样管

取样管路将样气从单只探头处输送到分流点和 HC 分析仪。

取样管路应:

- 最小内径为 5 mm,最大内径为 13.5 mm;
- 由不锈钢或聚四氟乙烯(PTFE)制成。

a) 对于非甲醇燃料发动机

若取样探头处排气温度等于或低于 463 K (190 °C),则在每个单独控制的加热部位测量时,应使壁温保持在  $463\text{ K} \pm 10\text{ K}$  ( $190\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ );

若取样探头处排气温度高于 463 K (190 °C),应使壁温高于 453 K (180 °C);

在紧靠加热型过滤器 F2 和 HFID 之前,应使气体温度保持在  $463\text{ K} \pm 10\text{ K}$  ( $190\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ )。

b) 对于甲醇燃料发动机

若取样探头处排气温度等于或低于 385 K (112 °C),则在每个单独控制的加热部位测量时,应使壁温保持在  $385\text{ K} \pm 10\text{ K}$  ( $112\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ );

若取样探头处排气温度高于 463 K (190 °C),应使壁温高于 375 K (102 °C);

在紧靠加热型过滤器 F2 和 HFID 之前,应使气体温度保持在  $385\text{ K} \pm 10\text{ K}$  ( $112\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ )。

HSL2——加热型 NO<sub>x</sub> (和 NH<sub>3</sub>) 取样管路

取样管路应:

——当使用冷却槽 B 时,在转换器 C 之前、当不用冷却槽 B 时在分析仪之前,应使管壁温度保持在 328 K~473 K (55 °C~200 °C);

——由不锈钢或聚四氟乙烯(PTFE)制成。

注:由于取样管路的加热仅用于防止水分和硫酸的凝结,故取样管路的温度将取决于燃料的含硫量。

SL——CO、(CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>) 取样管路

应由聚四氟乙烯(PTFE)或不锈钢制成。可以是加热型或不加热型。

BK——本底气袋(任选;仅限于图 4)

用于本底浓度的测量。

BG——取样袋(任选;仅限于图 4,CO 和 CO<sub>2</sub>)

用于样气浓度的测量。

HF1——加热型预过滤器(任选)

温度应与 HSL1 或 HSL2 相同。

HF2——加热型过滤器

用于在分析仪前滤除样气中的固体颗粒物,其温度应与 HSL1 或 HSL2 相同,需要时,可更换过滤器。

HP——加热型取样泵

应将泵加热到 HSL1 或 HSL2 的温度。

HC

测定碳氢化合物的加热型火焰离子化检测器(HFID),对于非甲醇燃料发动机,温度应保持在 453 K~473 K(180 °C~200 °C);而对于甲醇燃料发动机,温度应保持在 375 K~395 K(102 °C~122 °C)。

CO、CO<sub>2</sub>

用 NDIR 分析仪测定一氧化碳和二氧化碳。

NO

用 CLD 或 HCLD 分析仪测定氮氧化物。若使用 HCLD 分析仪,则应使温度保持在 328 K~473 K(55 °C~200 °C)。

C——转换器

在用 CLD 或 HCLD 进行分析前,先用转换器将 NO<sub>2</sub> 催化剂还原成 NO。

O<sub>2</sub>

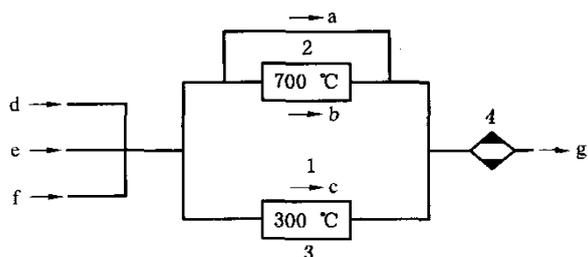
用 PMD、ZRDO 或 ECS 分析仪测定氧气。

B——冷却槽

用于将排气样气冷却后析出水分。应用冰或制冷器使冷却槽温度保持在 273 K~277K(0 °C~4 °C)。不管分析仪是否如 8.9.2 和 8.9.3 所确定的那样受水蒸气干扰,冷却槽均可任选。如用冷凝法除水,应在水分离器内或其下游处监测样气的温度或露点。样气温度或露点应不高于 280 K(7 °C)。不得使用化学干燥剂去除样气中的水分。

### 16.3 氨分析

如果排气中(例如来自 SCR——选择性催化还原——设备中的 NH<sub>3</sub> 气源)存在氨(NH<sub>3</sub>),推荐采用图 5 所述测量系统。高温转换器 C1 将 NH<sub>3</sub> 氧化成 NO,测得的“C”值是 NH<sub>3</sub> 和 NO<sub>x</sub> 的总和。低温转换器 C2 不会氧化 NH<sub>3</sub>,而是将 NO<sub>2</sub> 还原成 NO。测得的“A”值是 NO<sub>x</sub>。C 和 A 的差相当于 NH<sub>3</sub> 值。通过再增加一个转换器及连接管路可将该系统整合为 16.2 中图 3 和图 4 所述的分析系统。计算程序与其他排气组分相同,见 14.5 所述。



- |           |  |          |
|-----------|--|----------|
| 1——HSL2;  | a——B(NO 测量);                               | e——零气;   |
| 2——C1;    | b——C(NO <sub>x</sub> +NH <sub>3</sub> 测量); | f——量距气;  |
| 3——C2;    | c——A(NO <sub>x</sub> 测量);                  | g——至分析仪。 |
| 4——B(任选); | d——样气;                                     |          |
- 注: A-B=NO<sub>2</sub> 含量;C-A=NH<sub>3</sub> 含量。

图 5 测量 NO<sub>x</sub>/NH<sub>3</sub> 用转换器系统流程图

图 5 部件：

C1——高温转换器

C1 温度应保持在 953 K~993 K(680 °C~720 °C)。

C2——低温转换器

C2 温度应保持在 553 K~593 K(280 °C~320 °C)。

B——冷却槽(任选)

用于将排气样气冷却后析出。应用冰或制冷器使冷却槽温度保持在 273 K~277 K(0 °C~4 °C)。不管分析仪是否如 8.9.2 和 8.9.3 所确定的那样受水蒸气干扰,冷却槽均可任选。不得使用化学干燥剂去除样气中的水分。

### 16.4 甲烷分析

甲烷(CH<sub>4</sub>)分析有两种方法。

#### 16.4.1 气相色谱(GC)法(图 6)

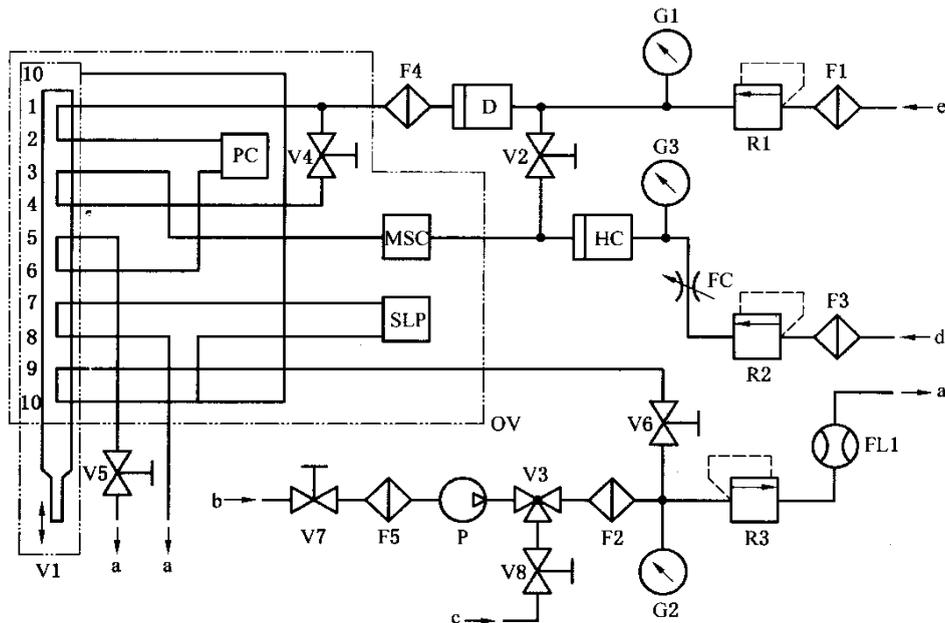
具体方法详见 SAE J 1151。

当使用 GC 法时,将少量所测样气在惰性载气的冲扫下注入分析柱。分析柱根据样气各组分的沸点将其分离后,按不同时间从分析柱洗提出来。然后通过检测器,根据不同浓度发出电信号。这是一种非连续分析技术。

对于 CH<sub>4</sub>,应使用带 FID 的自动化 GC 装置。将抽取的排气样气通入样袋内,从中抽取一部分样气将其注入 GC 内。样气在波拉帕克(Porapak)色谱柱内被分离成两部分(CH<sub>4</sub>/空气/CO 和 NMHC/CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O)。分子筛柱将空气和 CO 中的 CH<sub>4</sub> 分离出来后通入 FID。从一次注入样气到下次注入样气的一个完整循环可在 30 s 内完成。

图 6 表示用于常规测定 CH<sub>4</sub> 的典型 GC 流程图。

根据良好的技术判断,也可使用其他气相色谱法。



- a——出口;
- b——样气;
- c——量距气;
- d——空气进口;
- e——燃料进口。

图 6 甲烷分析(GC 法)用流程图

图 6 部件:

PC——波拉帕克色谱柱

波拉帕克数  $N$  为 180/300  $\mu\text{m}$ (50/80 目),柱长 610 mm $\times$ 内径 2.16 mm。初次使用前应使用载气在 423 K(150  $^{\circ}\text{C}$ )下至少调温处理 12 h。

MSC——分子筛柱

13X 型,250/350  $\mu\text{m}$ (45/60 目),柱长 1 220 mm $\times$ 内径 2.16 mm。初次使用前应使用载气在 423 K(150  $^{\circ}\text{C}$ )下至少调温处理 12 h。

OV——保温炉

用于在分析仪工作时使各色谱柱和阀门保持稳定温度,并在 423 K(150  $^{\circ}\text{C}$ )下对各色谱柱进行调温处理。

SLP——样气圈

具有足够长度、使容积可达约 1  $\text{cm}^3$  的不锈钢管。

P——泵

将气样送达气相色谱仪。

D——干燥器

内装分子筛,用以除去载气中可能存在的水分和其他杂质。

HC——火焰离子化检测器(FID)

用于测定甲烷浓度。

V1——样气注入阀

用于注入样气。应具有余隙容积小、气密性好并可加温到 423 K(150  $^{\circ}\text{C}$ )的特点。

V3——切换阀

用于切换量距气、样气,或截流。

V2、V4、V5、V6、V7、V8——针阀

用于调定系统中各流量。

R1、R2、R3——压力调节器

用于分别控制燃料(即载气)、样气和空气流量。

FC——流量毛细管

用于控制流进 FID 的空气流量。

G1、G2、G3——压力表

用于分别监测燃料(即载气)、样气和空气流量。

F1、F2、F3、F4、F5——过滤器

烧结型金属过滤器以防止砂粒进入泵或仪表。

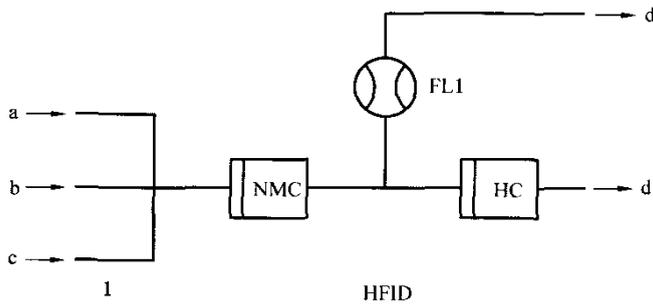
FL1——流量计

用于测量样气旁通流量。

#### 16.4.2 非甲烷截止器(NMC)法(见图 7)

截止器将除  $\text{CH}_4$  以外的所有碳氢化合物氧化成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ,以便样气通过 NMC 时,使 HFID 只检测出  $\text{CH}_4$ 。通常 HC 取样管路(见 16.2,图 3 和图 4)应配备有气流切换装置,使气流能交替地通过或绕过截止器。进行非甲烷试验时,应在 FID 上观测这两个数值,并作好记录。

试验工作开始前应在等于或高于 600 K(327  $^{\circ}\text{C}$ )的温度下,确定出截止器在代表排气流状况的含水量时对  $\text{CH}_4$  和  $\text{C}_2\text{H}_6$  催化作用的特征值。应该了解取样排气流的露点和含  $\text{O}_2$  量。不用对原先所采(袋装)样气中的非甲烷部分进行评定。记录 FID 对  $\text{CH}_4$  的相对响应。



- 1——HSL1;
- a——零气;
- b——量距气;
- c——样气;
- d——出口。

图 7 甲烷分析(NMC法)流程图

图 7 部件:

NMC——非甲烷截断器

用于氧化除甲烷以外的所有碳氢化合物。

HC

加热型火焰离子化检测器(HFID),用于测定 HC 和 CH<sub>4</sub> 浓度。其温度应保持在 453 K~473 K (180 °C~200 °C)。

FL1——流量表

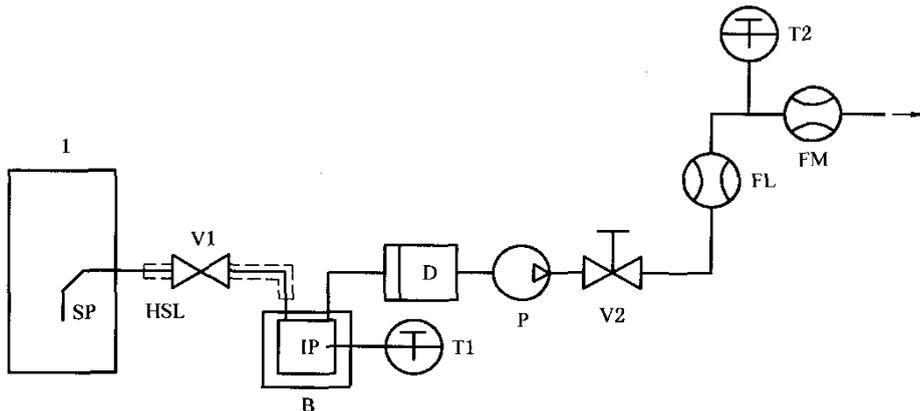
用于测量样气旁通流量。

### 16.5 甲醇分析

在 7.5.3.12 所述甲醇分析法中,本节叙述气相色谱(GC)法(见图 8)。

将排气样气通入两只串联的、用冰冷却、含有去离子水的冲击器。取样时间和流量应使初级冲击器内的 CH<sub>3</sub>OH 至少达到 1 mg/L 的推荐浓度。在二级冲击器内 CH<sub>3</sub>OH 浓度应不超过总采集量的 10%。这些要求不适用于本底测量。

根据已制定的气相色谱程序,试验后最好在 24 h 内将冲击器内的样气注入 GC 仪内。若不能在 24 h 内进行分析,则在分析前应将样气存放在 277 K~283 K(4 °C~10 °C)阴凉处。将 CH<sub>3</sub>OH 从其他组分中分离出来后用 FID 进行检测。用已知量的 CH<sub>3</sub>OH 标准气校正色谱仪。



- 1——排气管或稀释通道。

图 8 甲醇分析用流程图

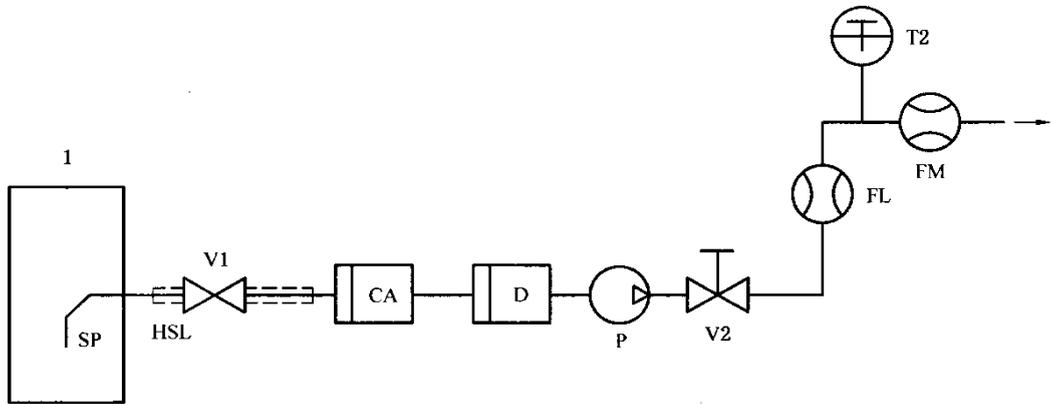
## 16.6 甲醛分析

见图 9。

当使用高压液相色谱(HPLC)时,将少量所测样气在惰性液体的压力冲扫下注入分析柱。按照与气相色谱(GC)法相同的一般规则,对样气组分进行分离、洗提和检测。与气相色谱法一样,这不是一种连续分析技术。

将排气样气通入两只串联的、用冰冷却、装有二硝基苯肼(DNPH)试剂的乙腈(ACN)溶液的冲击器或通过涂有 2,4-二硝基苯肼衍生物(2,4-DNPH)的二氧化硅盒。推荐采集器内甲醛(HCHO)浓度至少为 1 mg/L。

试验后,最好在 24 h 内将采集器内的样气注入 HPLC 仪内。若不能在 24 h 内进行分析,则在分析前应将样气存放在 277 K~283 K(4 °C~10 °C)阴凉处。用梯度洗提法(图 9)将甲醛(HCHO)从其他羰基化合物中分离出来后,用 365 nm 紫外线(UV)检测器进行检测。高压液相色谱(HPLC)仪的校正则用 CHO-DNPH 衍生物的标准样品进行。



1——排气管或稀释通道。

图 9 甲醛分析用流程图

图 8 和图 9 部件:

SP——取样探头

对于原排气,推荐使用一根直的、末端封闭的多孔不锈钢探头,其内径应不大于取样管内径,探头壁厚不大于 1 mm,在三个不同径向平面上至少有 3 个小孔,其大小应能抽取大致相同的样气流量。探头应至少伸入排气管 80% 直径。按照 7.5.4 之规定,探头应靠近 HC/CO/NO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 取样探头。

对于稀释排气,探头应与 HC、CO/NO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub> 及颗粒取样探头一样,位于稀释通道 DT 同一平面(见 17.2.2,图 19),但应与其他探头保持足够距离,并使通道壁不受尾流或涡流的影响。

HSL——加热型取样管

HSL 的温度应在混合气最大露点和 394 K(121 °C)之间。只要样气采集装置(IP)紧靠取样探头(SP),不致因 HSL 内的冷凝而损失样气,则可省去加热 HSL。

IP——冲击器(对甲醛可任选)

用于采集样气中的甲醇或甲醛。冲击器应用冰或制冷器冷却。

CA——盒式采集器(限于甲醛,任选)

用于采集样气中的甲醛。

B——冷却槽

用于冷却冲击器。

D——干燥器(任选)

用于去除样气中的水分。

P——取样泵

V1——电磁阀

用于将样气导入采集装置。

V2——针阀

用于调节通过采集装置的样气流量。

T1——温度传感器

用于监测冷却槽的温度。

T2——温度传感器(任选)

用于监测样气温度。

FL——流量表(任选)

用于测量通过采集装置的样气流量。

FM——流量测量装置

气体流量表或其他流量仪,用于在取样期间测量流过采集装置的流量。

## 17 颗粒物的测定

### 17.1 总则

17.2 和 17.3 及图 10~图 21 详细叙述了推荐的稀释和取样系统。由于各种布置都能得到相同的结果,因此无需与这些插图完全一致。也可增加一些部件,诸如仪表、阀门、电磁阀、泵和开关等,以提供更多的数据和协调各部件系统的功能。但对无法保持某些系统准确度的其他部件,则可根据良好的技术判断予以删除。

### 17.2 稀释系统

#### 17.2.1 部分流稀释系统(图 10~图 18)

所述稀释系统是以稀释部分排气流为基础。分流排气和其后的稀释过程可用不同形式的稀释系统来完成。在随后的颗粒物采集中,是将全部稀释排气或仅仅部分稀释排气通过颗粒取样系统(见 17.3,图 20)。第一种方法称为总量取样型,第二种方法称为分量取样型。

稀释比的计算取决于所用系统的形式,推荐使用下列形式:

#### 等动态系统(图 10 和图 11)

该系统流入输送管的气流与总排气流在气体流速和/或压力上应相匹配,因此要求取样探头处的排气流应均匀、无扰动。通常可使用一只共振器和在取样点上游安置一根直的引流管来达到。然后就可根据诸如管径这类容易测量的值计算分流比。应该指出的是,等动态仅仅用于和气流状况相匹配而不是和粒径分布相匹配。后者一般并无必要,因为颗粒尺寸很小,能随流体流线流动。

#### 带浓度测量的流量控制系统(图 12~图 16)

这种系统是通过调整稀释空气流量和总稀释排气流量,从总排气流中采集样气。根据发动机中自然存在的示踪气,诸如 CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>x</sub> 的浓度来确定稀释比。稀释排气和稀释空气中的示踪气浓度是实测的,而原排气中的浓度既可直接测定,也可在已知燃料组分的情况下,根据燃料流量和碳平衡公式确定。这种系统可用已计算的稀释比(图 12 和图 13)或用流入输送管(图 14~图 16)的流量来控制。

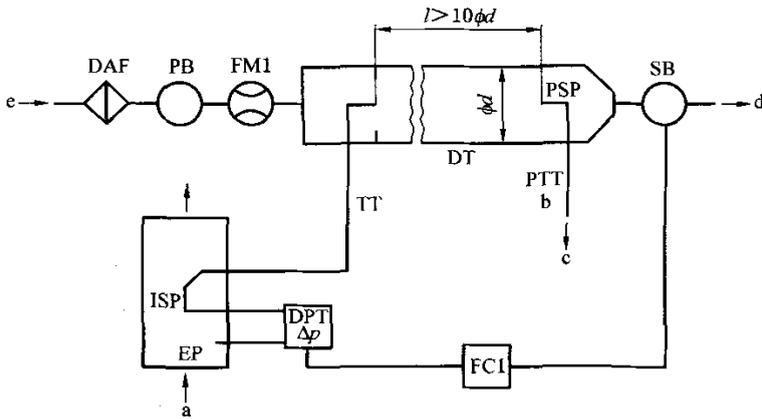
#### 带流量测量的流量控制系统(图 17~图 18)

这种系统是通过设定稀释空气流量和总稀释排气流量,从总排气流中采集样气。根据这两个流量之差来确定稀释比。要求准确校正两只流量表的相对流量值,因为两流量的相对值在高稀释比(15 及以上)时会产生很大的误差。控制流量非常简单,需要时可用保持稀释排气流量不变,而只改变稀释空气流量的办法控制流量。

注:推荐使用部分流稀释系统,不仅仅是因为它比全流稀释系统经济有效,还由于对“大、中型”发动机,在台架和现场试验时都不可能实现全流稀释,并且对其他发动机来说,还受到现场种种条件的限制。

为了发挥部分流稀释系统的优点,必须注意避免在输送管内可能存在颗粒损失的问题,以保证从发动机排气中采集到具有代表性的样气,并测定分流比。

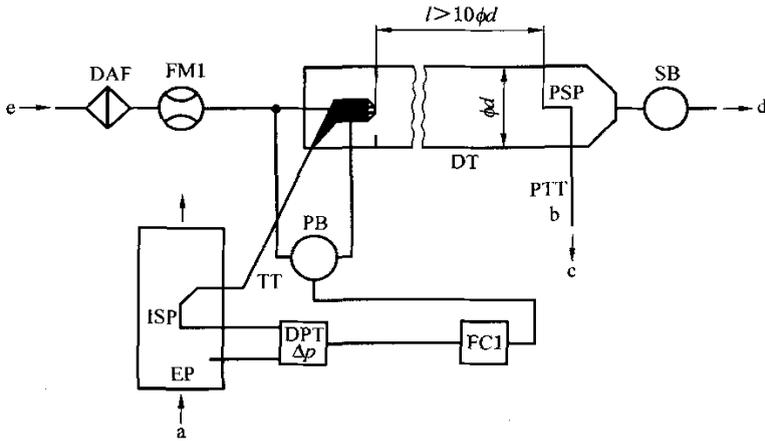
以上所述系统均需考虑这些关键方面。



- a——排气；
- b——见图 20；
- c——至颗粒取样系统；
- d——出口；
- e——稀释空气。

排气管 EP 中的原排气，通过等动态取样探头 ISP 和输送管 TT 输送至稀释通道 DT。用差压传感器 DPT 测量排气管和探头入口间的排气差压。将该信号输送至流量控制器 FC1，以控制抽气泵 SB，使探头顶部的差压为零。在这种条件下，EP 和 ISP 内的排气流速均相同，并且流过 ISP 和 TT 的气流是排气流量中的一个恒定分数（分流）。分流比用 EP 和 ISP 的横截面积来确定。稀释空气流量用流量测量装置 FM1 测定。然后根据稀释空气流量和分流比计算稀释比。

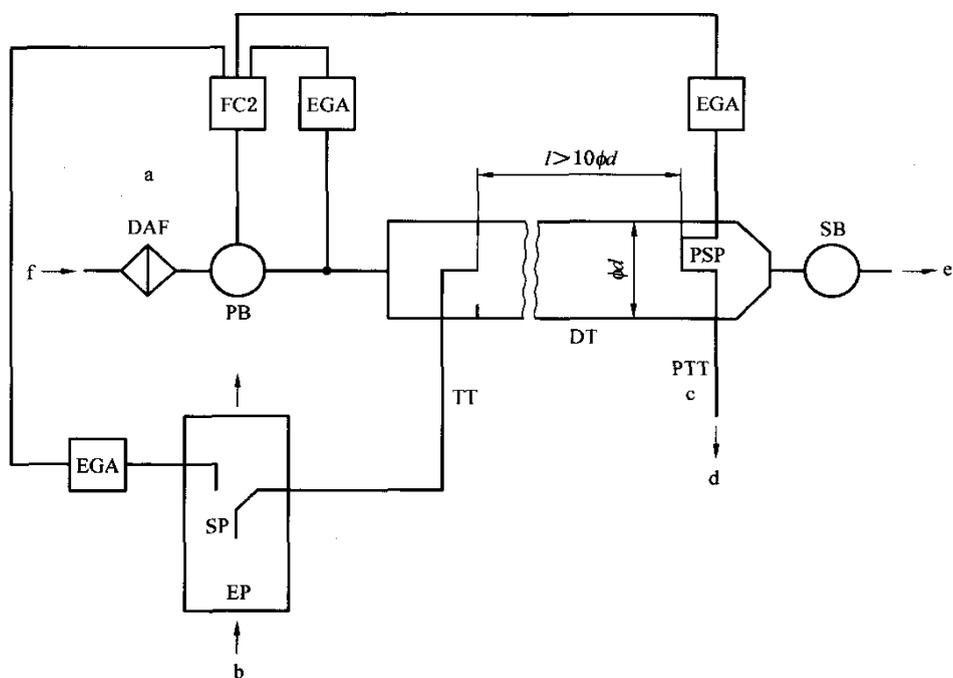
图 10 带等动态探头和分量取样的部分流稀释系统(SB 控制)



- a——排气；
- b——见图 20；
- c——至颗粒取样系统；
- d——出口；
- e——稀释空气。

排气管 EP 中的原排气，通过等动态取样探头 ISP 和输送管 TT 输送至稀释通道 DT。用差压传感器 DPT 测量排气管和探头入口间的排气差压。将该信号输送至流量控制器 FC1，以控制抽气泵 SB，使探头顶部的差压为零。这可通过采集一小部分稀释空气来实现，该稀释空气流量已经用流量测量装置 FM1 测定，然后用风动量孔输送至 TT。在这种条件下，EP 和 ISP 内的排气流速均相同，并且流过 ISP 和 TT 的气流是排气流量的一个恒定分数（分流）。分流比用 EP 和 ISP 的横截面积来确定。稀释空气由抽气泵 SB 抽吸并经 DT 吸入，在 DT 进口处用 FM1 测量流量。然后根据稀释空气流量和分流比计算稀释比。

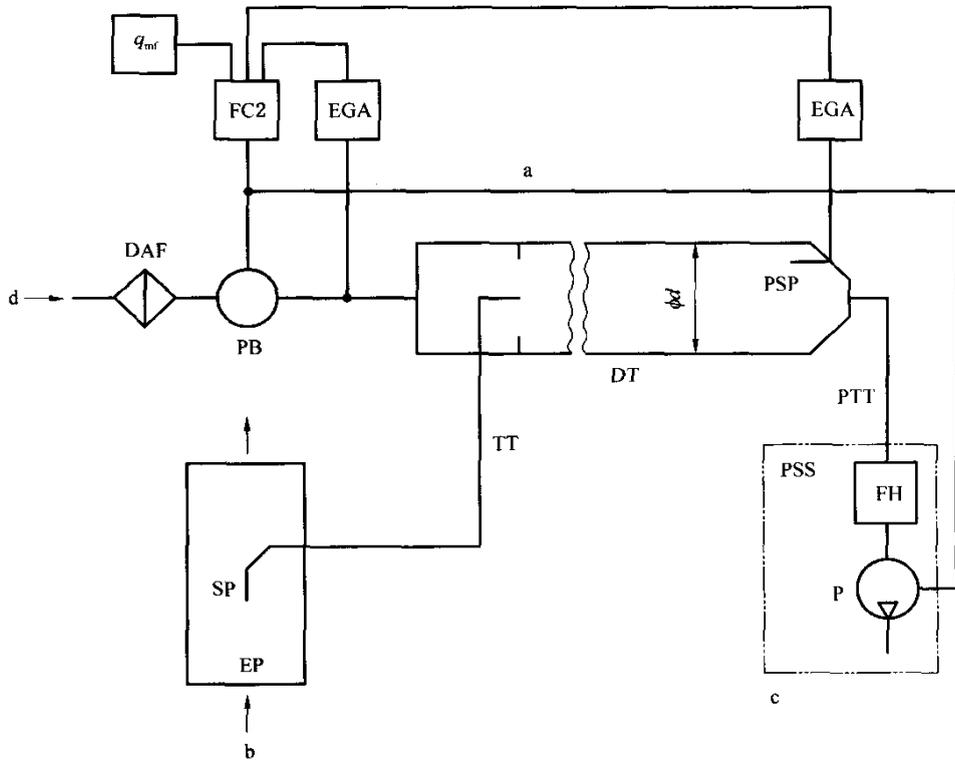
图 11 带等动态探头和分量取样的部分流稀释系统(PB 控制)



- a——任选至 PB 或 SB;
- b——排气;
- c——见图 20;
- d——至颗粒取样系统;
- e——出口;
- f——稀释空气。

排气管 EP 中的原排气,通过取样探头 SP 和输送管 TT 输送至稀释通道 DT。用排气分析仪 EGA 测量原排气、稀释排气以及稀释空气中示踪气(CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>x</sub>)的浓度。将该信号输送至流量控制器 FC2,以控制高压鼓风机 PB 或抽气泵 SB,使 DT 中保持所要求的排气分流和稀释比。然后根据原排气、稀释排气以及稀释空气中示踪气的浓度来计算稀释比。

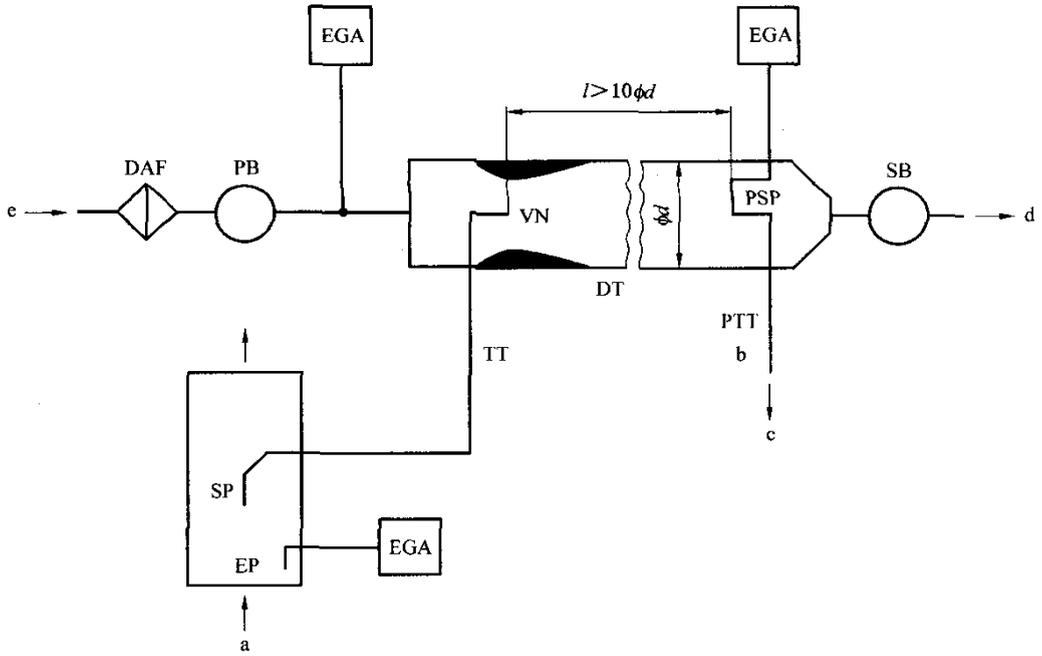
图 12 带 CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>x</sub> 浓度测量和分量取样的部分流稀释系统



- a——任选至 P;
- b——排气;
- c——见图 20;
- d——稀释空气。

排气管 EP 中的原排气,通过取样探头 SP 和输送管 TT 输送至稀释通道 DT。用排气分析仪 EGA 测量稀释排气及稀释空气中 CO<sub>2</sub> 的浓度。将 CO<sub>2</sub> 和燃料流量  $q_{mf}$  信号输送至流量控制器 FC2 或颗粒取样系统(见图 20)的流量控制器 FC3。FC2 控制高压鼓风机 PB,FC3 控制取样泵 P(见图 20),从而调节进出系统的流量,使 DT 中保持所要求的排气分流和稀释比。然后利用碳平衡假设,根据 CO<sub>2</sub> 浓度和燃料流量  $q_{mf}$  计算稀释比。

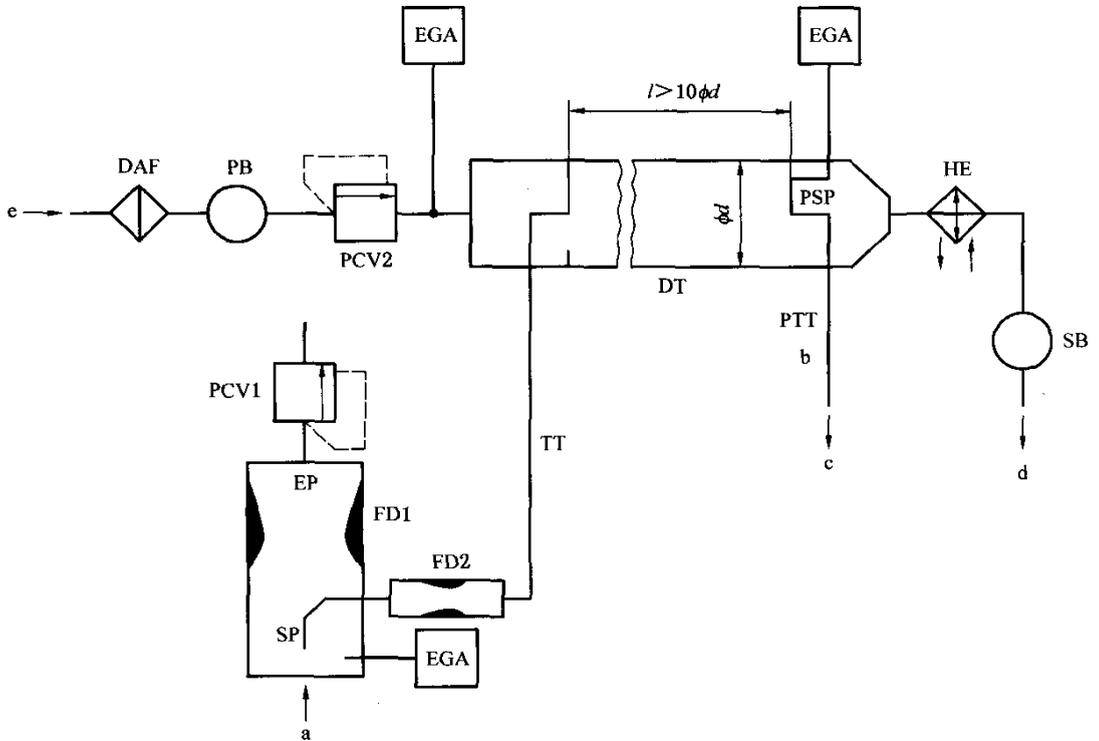
图 13 带 CO<sub>2</sub> 浓度测量、碳平衡和总量取样的部分流稀释系统



- a——排气；
- b——见图 20；
- c——至颗粒取样系统；
- d——出口；
- e——稀释空气。

排气管 EP 中的原排气，受稀释通道 DT 中文丘里管产生负压的作用，通过取样探头 SP 和输送管 TT 输送至稀释通道 DT。通过 TT 的气体流量取决于文丘里管区域的动量交换，因此受到 TT 出口处气体绝对温度的影响。所以，对于一定通道流量下的排气分流不是恒定不变，低负荷时的稀释比要稍低于高负荷时的稀释比。用排气分析仪 EGA 测量原排气、稀释排气以及稀释空气中示踪气(CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>x</sub>) 的浓度，然后根据所测值来计算稀释比。

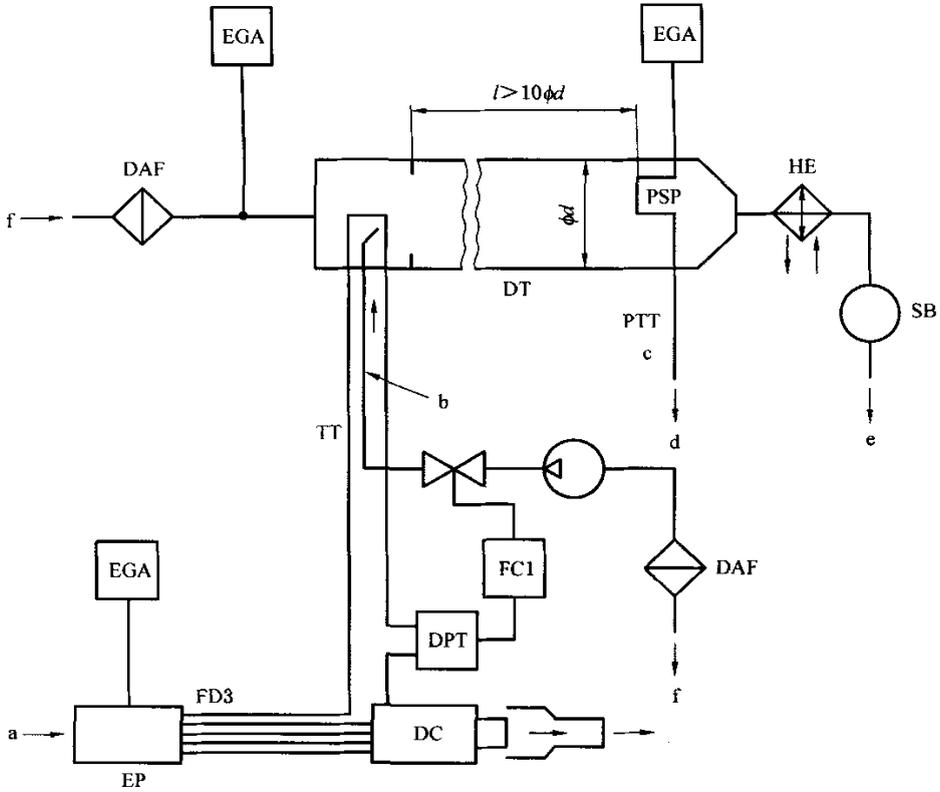
图 14 带单文丘里管、浓度测量和分量取样的部分流稀释系统



- a—排气；
- b—见图 20；
- c—至颗粒取样系统；
- d—出口；
- e—稀释空气。

排气管 EP 中的原排气，通过取样探头、输送管 TT 以及装有一套喷管或文丘里管的流量分流器输送至稀释通道 DT。第一个流量分流器 (FD1) 位于 EP 中，第二个流量分流器 (FD2) 位于 TT 中。此外，必须有两只压力控制阀 (PCV1 和 PCV2)，以便通过控制 EP 背压和 DT 中的压力来保持排气分流恒定。PCV1 位于 EP 中 SP 的下游，PCV2 位于高压鼓风机 PB 和 DT 之间。用排气分析仪 EGA 测量原排气、稀释排气和稀释空气示踪气 (CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>x</sub>) 的浓度。这些浓度对于检查排气分流是必需的，并可用来调节 PCV1 和 PCV2，以便对分流进行精确控制。然后根据示踪气浓度来计算稀释比。

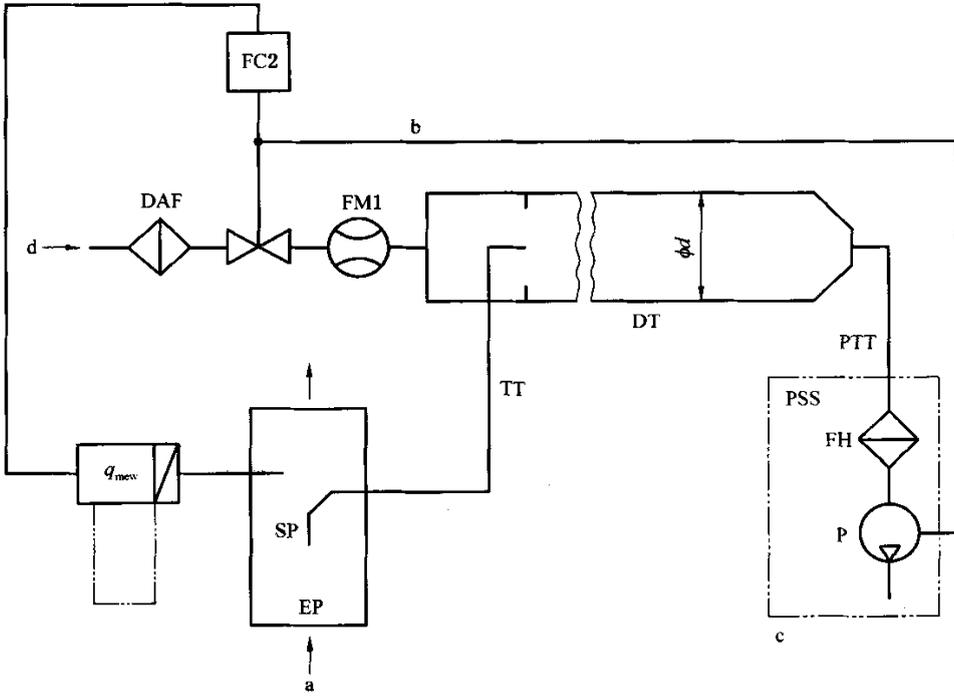
图 15 带双文丘里管或双喷管、浓度测量和分量取样的部分流稀释系统



- a——排气；
- b——新鲜空气喷入；
- c——见图 20；
- d——至颗粒取样系统；
- e——出口；
- f——稀释空气。

排气管 EP 中的原排气，利用由许多安装在 EP 中具有相同尺寸（相同直径、长度和弯曲半径）的管子组成的流量分流器 FD3，通过输送管 TT 输送至稀释通道 DT。排气通过其中一根管子导入 DT，而通过其余管子的排气则流入缓冲室 DC。因此，可由总管数来确定排气分流。为了控制恒定分流，要求缓冲室 DC 和输送管 TT 出口间用差压传感器 DPT 测定的差压为零。通过在输送管 TT 出口处将新鲜空气喷入稀释通道 DT 可使差压为零。用排气分析仪 EGA 测量原排气、稀释排气和稀释空气示踪气（CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>2</sub>）的浓度。这些浓度对于检查排气分流是必需的，并可用以控制喷射空气流量，以便对分流进行精确控制。然后根据示踪气浓度来计算稀释比。

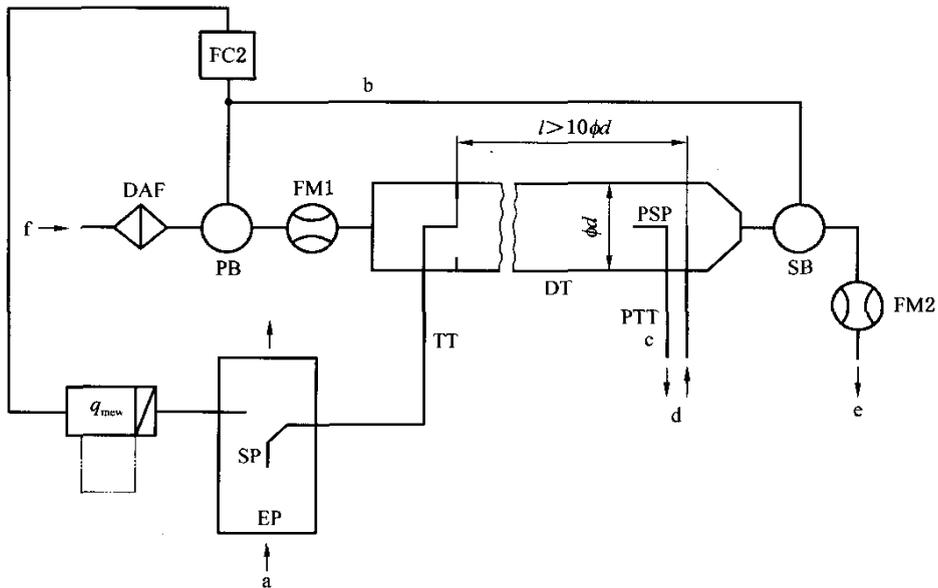
图 16 带多管分流、浓度测量和分量取样的部分流稀释系统



- a——排气；
- b——任选 P(PSS)；
- c——见图 20；
- d——稀释空气。

排气管 EP 中的原排气，通过取样探头 SP 和输送管 TT 输送至稀释通道 DT。用颗粒取样系统中的流量控制器 FC3 和取样泵 P(见图 20)调节通过稀释通道的总气流。流量控制器 FC2 可用  $q_{mew}$ 、 $q_{mew}$  或  $q_{mf}$  作指令信号控制稀释空气流量，以达到所要求的排气分流。流入 DT 的样气流量是总流量与稀释空气流量之差。用流量测量仪 FM1 测量稀释空气流量，用颗粒取样系统中的流量测量仪 FM3(见图 20)测量总流量。然后根据这两个流量计算稀释比。

图 17 带流量控制和总量取样的部分流稀释系统



- a——排气；
- b——至 PB 或 SB；
- c——见图 20；
- d——至颗粒取样系统；
- e——出口；
- f——稀释空气。

排气管 EP 中的原排气，通过取样探头 SP 和输送管 TT 输送至稀释通道 DT。排气分流和流入 DT 的气流由调节高压鼓风机 PB 和抽气泵 SB 流量(或转速)的流量控制器 FC2 进行控制。这种控制之所以有可能是因为由颗粒取样系统采集的样气会返回到 DT 内。 $q_{mew}$ 、 $q_{maw}$  或  $q_{mi}$  可用作 FC2 的指令信号。用流量测量仪 FM1 测量稀释空气流量，用流量测量仪 FM2 测量总流量。然后根据这两个流量计算稀释比。

图 18 带流量控制和分量取样的部分流稀释系统

图 10~图 18 部件：

EP——排气管

排气管可隔热。为了减少排气管的热惯量，推荐排气管壁厚与直径之比不大于 0.015。所用柔性管段的长度与直径之比应限制在 12 以下。为减少惯性沉降，应尽量减少弯管数。若系统中设有试验台消声器，则也可将该消声器隔热。

对于等动态系统，在距离取样探头顶端上游至少 6 倍管径和下游至少 3 倍管径范围内，排气管应无弯头、弯管和管径突变。除怠速工况外，取样区域的气体流速应高于 10 m/s。排气压力波动应不超过平均值的  $\pm 500$  Pa。除了采用底盘型排气系统(包括消声器和后处理装置)外，任何减少压力波动的措施均不应改变发动机的性能或使颗粒产生沉降。

对于不使用等动态探头的系统，建议在距离取样探头顶端上游 6 倍管径至下游 3 倍管径处为直管段。

SP——取样探头(图 12~图 18)

最小内径应为 4 mm。排气管与探头的直径比最小应为 4。探头应是一沿排气管中心线、面向排气上游的开口管子，或如 16.2 图 3 中所述的 SP1 多孔探头。

ISP——等动态取样探头(图 10 和图 11)

等动态取样探头应安装在排气管中心线上，面向排气上游，以符合 EP 段的气流状况，并能提供一定比例的原排气。其最小内径应为 12 mm。

等动态排气分流需要一控制系统,以保持 EP 与 ISP 的差压为零。在这些条件下,EP 和 ISP 中的排气流速完全相同,并且通过 ISP 的质量流量是排气流量的一个恒定分数。ISP 应与差压传感器 DPT 连接。利用流量控制器 FC1 控制 EP 与 ISP 之间的差压为零。

FD1、FD2——分流器(图 15)

在排气管 EP 和输送管 TT 中分别装有一套文丘里管或喷管,以提供一定比例的原排气样气。为了实现比例分流,需要采用一个由两只压力控制阀 PCV1 和 PCV2 组成的控制系统控制 EP 和 DT 中的压力。

FD3——分流器(图 16)

在排气管 EP 中装有一组管子(多管组件),用以提供一定比例的原排气样气。其中一根管子将排气输入稀释通道 DT,而其他管子将排气送至缓冲室 DC。这些管子应具有相同的尺寸(直径、长度、弯曲半径相同)以使排气分流取决于总管数。为了实现比例分流,需要采用一控制系统,以保持多管组件进入 DC 的出口端与 TT 出口端的压差为零。在这些条件下,EP 与 FD3 中的排气流速均成比例,并且 TT 中的流量是排气流量的一个恒定分数。这两个出口端应与差压传感器 DPT 连接。利用流量控制器 FC1 控制差压为零。

EGA——排气分析仪(图 12~图 16)

可使用 CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>x</sub> 分析仪(CO<sub>2</sub> 分析仪只能采用碳平衡法)。这些分析仪应像测定气体排放物的分析仪那样进行校正。可使用一台或几台分析仪确定浓度差。

测量系统的准确度应能使  $q_{\text{medi}}$  的准确度在 ±4% 以内。

TT——输送管(图 10~图 18)

输送管应做到:

- 尽可能短,且其长度不大于 5 m;
- 直径等于或大于探头直径,但不大于 25 mm;
- 出口端位于稀释通道中心线上并指向下游。

若管长为 1 m 以下,应使用最高导热系数为 0.05 W/(m·K)的材料来隔热,其径向绝热厚度应与探头直径相当。若管长大于 1 m,则应隔热并加热,使管壁最低温度为 523 K(250 °C)。

另外,所需输送管壁温也可通过附录 C 所示的标准传热计算来确定。

DPT——差压传感器(图 10、图 11 和图 16)

差压传感器应有 ±500 Pa 或以下的量程。

FC1——流量控制器(图 10、图 11 和图 16)

对于等动态系统(图 10 和图 11),需要采用流量控制器来保持 EP 和 ISP 之间的差压为零。其调节方法如下:

- a) 在每个工况期间,控制抽气泵 SB 的转速或流量,并使压力鼓风机 PB 的转速或流量保持恒定(图 10);或
- b) 调节抽气泵 SB 使稀释排气的质量流量为一恒定值,并控制压力鼓风机 PB 的流量,从而控制输送管 TT 末端区域的排气样气流量(图 11)。

在压力控制系统中,控制回路内的误差应不超过 ±3 Pa,稀释通道内的压力波动应不超过平均值的 ±250 Pa。

对于多管系统(图 16),为了达到比例分流,需要用流量控制器使多管组件出口与输送管出口之间的差压为零。这可通过控制输送管 TT 出口处喷入稀释通道 DT 的空气流量来调节。

PCV1、PCV2——压力控制阀(图 15)

对双文丘里管/双喷管系统,为了达到比例分流需要采用两只压力控制阀,以控制 EP 背压和 DT 中的压力。这些阀应位于 EP 中 SP 的下游和 PB 与 DT 之间。

DC——缓冲室(图 16)

应将缓冲室安装在多管组件的出口处,以使排气管 EP 中的压力波动降到最小。

VN——文丘里管(图 14)

文丘里管安装在稀释通道 DT 内,以使输送管 TT 的出口区产生一负压。通过 TT 的气体流量由喉管区内的动量转换确定,并且基本上与压力鼓风机 PB 的流量成正比,从而得到恒定的稀释比。由于动量转换受 TT 出口处温度和 EP 与 DT 间压差的影响,所以低负荷时的实际稀释比要比高负荷时稍低。

FC2——流量控制器(图 12、图 13、图 17 和图 18;任选)

流量控制器可用于控制压力鼓风机 PB 和/或抽气泵 SB 的流量。它可与排气、进气或燃料流量信号和/或 CO<sub>2</sub> 或 NO<sub>x</sub> 的压差信号相连接。

当使用增压空气时(图 17),FC2 可直接控制空气流量。

FM1——流量测量装置(图 10、图 11、图 17 和图 18)

气体流量计或其他流量仪系用于测量稀释空气的流量。若将压力鼓风机 PB 校正后用来测量流量,则 FM1 可任选。

FM2——流量测量装置(图 18)

气体流量计或其他流量仪用于测量稀释空气的流量。若将抽气泵 SB 校正后用来测量流量,则 FM2 可任选。

PB——压力鼓风机(图 10~图 15 和图 18)

用于控制稀释空气流量。PB 可连接到流量控制器 FC1 或 FC2 上。当使用蝶形阀时,就不要用 PB。如经过校正,则 PB 可用于测量稀释空气流量。

SB——抽气泵(图 10~图 12、图 15、图 16 和图 18)

仅用于分量取样系统。若经过校正,则 SB 可用来测定稀释排气流量。

DAF——稀释空气过滤器(图 10~图 18)

建议将稀释空气进行过滤和炭洗,以消除本底碳氢化合物。稀释空气的温度应高于 288 K (15 °C),并可除湿。如发动机制造厂要求,可根据良好的工程惯例抽取稀释空气样气来测定本底颗粒水平,然后将其从稀释排气的实测值中减去(见 12.4)。

DT——稀释通道(图 10~图 18)

稀释通道:

- 应有足够长度,以使排气和稀释空气能在紊流条件下充分混合;
- 应由不锈钢制成;
- 对于分量取样式,其直径至少应为 75 mm;
- 对于总量取样式,其直径至少应为 25 mm;
- 在排气进入稀释通道前,如空气温度不超过 325 K(52 °C),可采用直接加热或预热稀释空气的方法使壁温不大于 325 K(52 °C);
- 可隔热。

发动机排气应与稀释空气充分混合。对于分量取样系统,在系统投入使用后,应在发动机运转时用通道的 CO<sub>2</sub> 分布图来检查混合质量(至少 4 个等间距的测点)。如果需要,可使用一混合喷管。

注:若稀释通道(DT)附近大气温度低于 293 K(20 °C),应采取预防措施避免颗粒失落在稀释通道的冷壁上。因此,推荐按上面给出的温度范围对通道进行加热和/或隔热。

在发动机高负荷时,可采用诸如循环风扇那样不太剧烈的方法来冷却稀释通道,只要冷却介质的温度不低于 293 K(20 °C)。

HE——热交换器(图 15 和图 16)

热交换器应有足够的容量,以使抽气泵(SB)入口处的温度保持在试验期间实测平均工作温度的 ±11 K 以内。

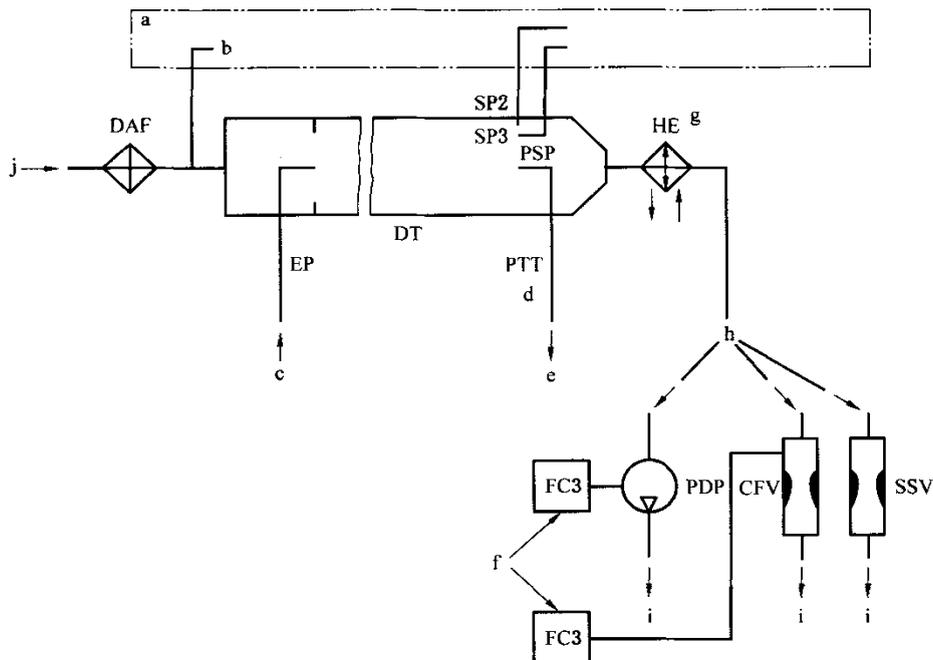
## 17.2.2 全流稀释系统

见图 19。

这是一种基于采用定容取样(CVS)原理稀释全部排气的稀释系统。应测量排气与稀释空气混合气的总容积。可使用PDP或CFV系统进行测量。

将稀释排气样气通入颗粒取样系统(见17.3,图20和图21),随后进行颗粒采集。若直接进行采集,就称为单级稀释。若将样气通入第二稀释通道内再次进行稀释,则称为双级稀释。当用单级稀释不能使滤纸表面温度达到要求时,则可用双级稀释。虽然双级稀释系统是稀释系统的一部分,但由于它具有典型颗粒取样系统的大多数部件,因而在17.3图21中称之为颗粒取样系统的一种变型。

气体排放物也可在全流稀释系统的稀释通道内测定。因此,图19中表示了气体组分的取样探头但没有图示说明。对主要排气组分、甲醇和甲醛的有关要求,分别在16.2、16.5和16.6中说明。



- a——分析仪系统,见图4;
- b——本底;
- c——排气;
- d——见图20;
- e——至颗粒取样系统,见图20,或至DDS,见图21;
- f——若使用电子流量补偿EFC;
- g——任选;
- h——或;
- i——出口;
- j——稀释空气。

全部原排气与稀释空气在稀释通道DT内混合。稀释排气的流量用容积泵PDP或临界流量文丘里管CFV测量。热交换器HE或电子流量补偿器EFC可用作比例颗粒取样和流量测定。由于颗粒质量的测定是以总稀释排气流量为基础。因此无需计算稀释比。

图19 全流稀释系统

图19 部件:

EP——排气管

从发动机排气歧管、涡轮增压器出口或后处理装置到稀释通道的排气管长度应不大于10 m。如果该系统长度超过4 m,则超出的全部管路应予隔热。但如果使用管系式烟度计,则烟度计可除外。隔热

层径向厚度至少应为 25 mm。隔热材料在 673 K 时的导热系数应不大于 0.1 W/(m·K)。为了减少排气管的热惯量,推荐排气管壁厚与直径之比不大于 0.015。所用柔性管段的长度与直径之比应限制在 12 以下。

**PDP——容积泵**

PDP 容积泵根据泵的转数和泵的排量计量总稀释排气流量。不应用容积泵或稀释空气进气系统人为降低排气系统背压。当使用 PDP 系统工作时,所测排气静背压应在同样发动机转速和负荷下不接 PDP 时所测排气静背压的±1.5 kPa 以内。当不使用流量补偿时,紧靠 PDP 前的排气混合气温度应在试验期间所测平均工作温度的±6 K 以内。只有当 PDP 入口处温度不超过 325 K(50 °C)时,才可使用流量补偿。

**CFV——临界流量文丘里管**

CFV 通过保持阻流状态流动(临界流动)来测量总稀释排气流量。使用 CFV 装置工作时所测排气静背压应在同样发动机转速和负荷下不接 CFV 时所测排气静背压的±1.5 kPa 以内。当不使用流量补偿时,紧靠 CFV 前的排气混合气温度应在试验期间所测平均工作温度的±11 K 以内。

**SSV——亚音速文丘里管**

SSV 利用亚音速文丘里管气体流量随进口压力和温度以及文丘里管进口与喉口间压力降的变化来测量总稀释排气流量。SSV 工作时测得的排气静背压应在同样发动机转速和负荷下不接 SSV 时所测排气静背压的±1.5 kPa 以内。当不使用流量补偿时,紧靠 SSV 前的排气混合气温度应在试验期间所测平均工作温度的±11 K 以内。

**HE——热交换器(若使用电子流量补偿 EFC,可任选)**

热交换器应具有足够容量,以便使温度保持在上述要求的范围内。

**EFC——电子流量补偿(若使用热交换器 HE,可任选)**

若 PDP 或 CFV 入口处的温度不能保持在上述规定范围内,则需要采用流量补偿系统才能在颗粒系统中进行连续流量测量和控制比例取样。为此,需要用连续测得的流量信号来相应修正通过颗粒取样系统内颗粒过滤器的样气流量(见图 20 和图 21)。

**DT——稀释通道**

稀释通道:

- 直径应小到可产生紊流(雷诺数大于 4 000),长度应大到能使排气和稀释空气充分混合。可使用混合喷管;
- 直径应至少为 75 mm;
- 可隔热。

应将发动机排气引向稀释通道进口下游,并使之与空气充分混合。

当采用单级稀释时,来自稀释通道的样气被输送到颗粒取样系统(见 17.3,图 20)。PDP 或 CFV 的气流容量应足以使紧靠主颗粒过滤器前的稀释排气温度保持在 315 K(42 °C)~325 K(52 °C)之间。

当采用双级稀释时,来自稀释通道的样气被输送到二次稀释通道,经进一步稀释后,通入取样过滤器(17.3,图 21)。PDP 或 CFV 的气流容量应足以使 DT 内的稀释排气流在取样区的温度保持小于或等于 464 K(191 °C)。二次稀释系统应提供足够的二级稀释空气以使紧靠在颗粒过滤器前的二次稀释排气流温度保持在 315 K(42 °C)~325 K(52 °C)之间。

**DAF——稀释空气过滤器**

建议将稀释空气进行过滤和炭洗,以消除本底碳氢化合物。稀释空气的温度应为 288 K(15 °C),并可除湿。如发动机制造厂要求,可根据良好的工程惯例从稀释空气中抽取样气来测定本底颗粒水平,然后可将其从稀释排气的测量值中减去(见 12.4)。

**PSP——颗粒取样探头**

探头是 PTT 的前端部分。

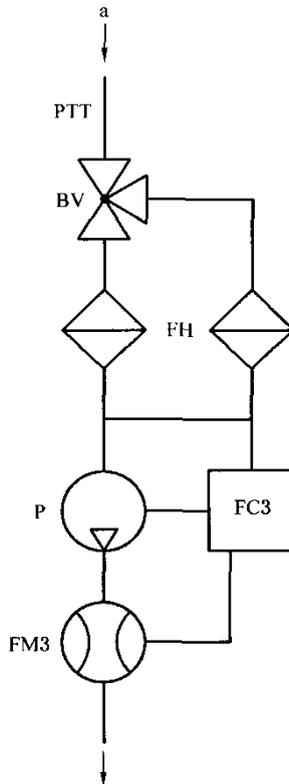
- 应面向气流上游、安装在稀释空气与排气充分混合处,即安装在稀释系统稀释通道 DT 的中心线上(见 17.2),距排气进入稀释通道部位下游约 10 倍管径处;
- 内径至少应为 12 mm;
- 可采用直接加热或预热稀释空气的方法使壁温加热到不大于 325 K(52 °C),只要在排气进入稀释通道前空气温度不超过 325 K(52 °C);
- 探头可隔热。

### 17.3 颗粒取样系统

见图 20 和图 21。

需要用颗粒取样系统将颗粒采集到颗粒过滤器上。在部分流稀释、总量取样的情况下,当稀释排气的全部样气均流经过滤器时,稀释系统(见 17.2.1,图 13 和图 17)和取样系统通常组成一整体装置。在部分流稀释或全流稀释、分量取样的情况下,当仅有部分稀释排气流经过滤器时,稀释系统(见 17.2.1,图 10~图 12、图 14~图 16 和图 18,17.2.2,图 19)和取样系统通常成为两个不同装置。在 GB/T 8190 的本部分中,可把全流稀释系统的两级稀释系统(见图 21)看作是典型颗粒取样系统的一种变型(见图 20)。该两级稀释系统具有颗粒取样系统的全部主要部件,如过滤器座和取样泵,以及还有一些稀释装置,如稀释空气输气管和二次稀释通道。

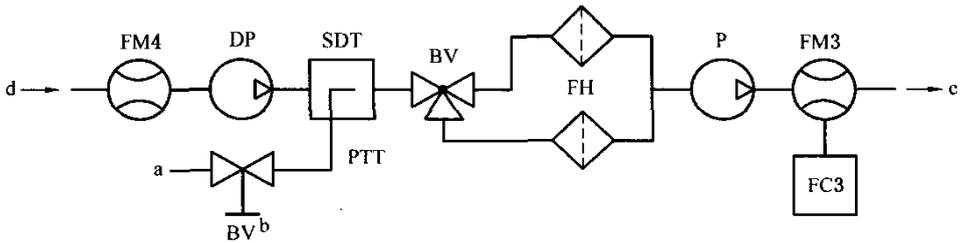
为了避免对控制回路产生任何影响,建议在整个试验过程中都要开动取样泵。对单对滤纸法,应采用一旁通系统使样气在预定时间通入取样过滤器。应尽量减少切换过程对控制回路的干扰。



a——来自稀释通道 DT(见图 10、图 16、图 18 和图 19)。

用取样泵 P 通过颗粒取样探头 PSP 和颗粒输送管 PTT 从部分流或全流稀释系统的稀释通道 DT 中抽取稀释排气样气。样气通过装有颗粒取样滤纸的过滤器座 FH。用流量控制器 FC3 控制样气流量。若采用电子流量补偿 EFC(见图 19),则用稀释排气流量作为 FC3 的指令信号。

图 20 颗粒取样系统



- a——来自稀释通道 DT(见图 19)；
- b——任选；
- c——出口；
- d——稀释空气。

稀释排气样气从全流稀释系统的稀释通道 DT 经颗粒取样探头 PSP 和颗粒输送管 PTT 被输送到二次稀释通道 SDT,作再次稀释。然后样气通入装有颗粒取样滤纸的过滤器座 FH。稀释空气流量通常是恒定的,而样气流量由流量控制器 FC3 控制。若采用电子流量补偿 EFC(见图 19),则用总稀释排气流量作为 FC3 的指令信号。

图 21 两级稀释和颗粒取样系统(仅限于全流稀释系统)

图 20 和图 21 部件:

PSP——颗粒取样探头

颗粒取样探头,图中未示出,是颗粒输送管 PTT 的前端部分。

探头:

- 应面向气流上游、安装在稀释空气与排气充分混合处(见 17.2),距排气进入稀释通道部位下游约 10 倍通道管径处;
- 内径至少应为 12 mm;
- 可采用直接加热或预热稀释空气的方法使壁温加热到不大于 325 K(52 °C),只要在排气进入稀释通道前空气温度不超过 325 K(52 °C);
- 可隔热。

PTT——颗粒输送管

长度不得超过 1 020 mm,应尽可能短。

该尺寸适用于:

- 部分流稀释分量取样型和全流单级稀释系统、从探头顶端至过滤器座的部分;
- 部分流稀释总量取样型、从稀释通道末端至过滤器座的部分;
- 全流两级稀释系统、从探头顶端至二次稀释通道的部分。

颗粒输送管:

- 可采用直接加热或预热稀释空气的方法使壁温加热到不大于 325 K(52 °C),只要在排气进入稀释通道前空气温度不超过 325 K(52 °C);
- 可隔热。

SDT——二次稀释通道(仅限于图 21)

二次稀释通道管径至少应为 75 mm,并有足够长度,以便使二次稀释样气至少有 0.25 s 的滞留时间。主过滤器座 FH 应位于 SDT 出口 300 mm 范围内。

二次稀释通道:

- 可采用直接加热或预热稀释空气的方法使壁温加热到不大于 325 K(52 °C),只要在排气进入稀释通道前空气温度不超过 325 K(52 °C);
- 可隔热。

## FH——过滤器座

应满足 7.6.2.3 的要求。

## 过滤器座：

- 可采用直接加热或预热稀释空气的方法使壁温加热到不大于 325 K(52 °C)，只要在排气进入稀释通道前空气温度不超过 325 K(52 °C)；
- 可隔热。

对于主过滤器和备用过滤器，如果使用，可采用单只过滤器壳或分开的过滤器壳。

## P——取样泵

若不采用 FC3 进行流量修正，颗粒物取样泵应位于离通道足够远的地方，以便使进气温度保持恒定( $\pm 3$  K)。

## DP——稀释空气泵(仅限于图 21)

稀释空气泵的安装位置应以 298 K $\pm$ 5 K(25 °C $\pm$ 5 °C)的温度提供二次稀释空气。

## FC3——流量控制器

在无其他措施时，应使用流量控制器对颗粒样气流量在样气通路中的温度和背压变化进行补偿。若采用电子流量补偿 EFC(见图 19)，则需用流量控制器。

## FM3——流量测量装置

若不采用 FC3 进行流量修正，则用于测量颗粒样气流量的气量计或流量计应位于离取样泵 P 足够远的地方，以便使进入的气体温度保持恒定( $\pm 3$  K)。

## FM4——流量测量装置(仅限于图 21)

测量稀释空气流量用的气量计或流量计的安装位置应能使进气温度保持恒定( $\pm 3$  °C)。

## BV——球阀(任选)

球阀内径应不小于颗粒输送管 PTT 的内径，其切换时间小于 0.5 s。

注：若 PSP、PTT、SDT 和 FH 附近的环境温度低于 293 K(20 °C)，应采取预防措施避免颗粒失落在这些部件的冷壁上。因此，建议对这些部件进行加热或隔热，使它们的温度保持在各自推荐的范围内。

在发动机高负荷时，可采用诸如循环风扇那样不剧烈的方法来冷却上述部件，只要冷却介质温度不低於 288 K(15 °C)。

附 录 A  
(规范性附录)

排气质量流量和/或燃烧空气质量流量的计算

注：附录 A 中的公式没有转换成 SI 符号。

### A.1 通则

附录 A 中给出的公式适用于理想化学计算以及由排气和燃料组分进行的排气质量流量计算。

所有与体积有关的量纲均按标准状况(0 °C, 101.32 kPa)确定。

附录 A 中所用符号与正文部分相同。

CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 和 N<sub>2</sub> 组分所用浓度单位为体积百分比,其他则用 ppm。

附录 A 中所用符号和缩略语(第 4 章中给出的除外)见表 A.1。

表 A.1 符号和缩略语

符号	术语	单位
$q_v$	体积流量	m <sup>3</sup> /h
$q_{vew}$	湿排气体积流量	m <sup>3</sup> /h
$q_{vaw}$	湿进气空气体积流量	m <sup>3</sup> /h
$q_{ved}$	干排气体积流量	m <sup>3</sup> /h
$q_{vad}$	干进气空气体积流量	m <sup>3</sup> /h
$q_{mgas}$	各种气体排放的质量流量	g/h
$w_{ox}$	干进气空气的氧含量	% mass
$w_{inert}$	干进气空气的惰性气体含量	% mass

### A.2 燃料燃烧的理想化学计算;燃料特定系数

#### A.2.1 理想化学计算的基本数据

本附录公式中的基本数据尽可能用原子质量、摩尔质量和摩尔体积等表示。这些数据的具体数值通常仅在最后的公式中列出。这样做的好处是可更容易地理解公式的推导过程。而且,用一般公式而不是用具体数值表示,还可更好地适应由于所用数据手册不同而使数据略有差异的事实。基本数据的具体数值见表 A.2。

表 A.2 原子质量、摩尔质量和摩尔体积

名称	符号	数值	单位
氢原子质量	$A_{rH}$	1.007 94	g/atom
碳原子质量	$A_{rC}$	12.011	g/atom
硫原子质量	$A_{rS}$	32.065	g/atom
氮原子质量	$A_{rN}$	14.006 7	g/atom
氧原子质量	$A_{rO}$	15.999 4	g/atom
水摩尔质量	$M_{rH_2O}$	18.015 34	g/mol
二氧化碳摩尔质量	$M_{rCO_2}$	44.01	g/mol

表 A.2 (续)

名称	符号	数值	单位
一氧化碳摩尔质量	$M_{rCO}$	28.011	g/mol
氧气摩尔质量	$M_{rO_2}$	31.998 8	g/mol
氮气摩尔质量	$M_{rN_2}$	28.011	g/mol
一氧化氮摩尔质量	$M_{rNO}$	30.008	g/mol
二氧化氮摩尔质量	$M_{rNO_2}$	46.01	g/mol
二氧化硫摩尔质量	$M_{rSO_2}$	64.066	g/mol
水摩尔体积	$V_{mH_2O}$	22.401	L/mol
二氧化碳摩尔体积	$V_{mCO_2}$	22.262	L/mol
一氧化碳摩尔体积	$V_{mCO}$	22.408	L/mol
氧气摩尔体积	$V_{mO_2}$	22.392	L/mol
氮气摩尔体积	$V_{mN_2}$	22.390	L/mol
一氧化氮摩尔体积	$V_{mNO}$	22.391	L/mol
二氧化氮摩尔体积	$V_{mNO_2}$	21.809	L/mol
二氧化硫摩尔体积	$V_{mSO_2}$	21.891	L/mol

假设不存在可压缩性效应,可将发动机进气/燃烧/排气过程中的所有气体都看作是理想气体,并且此后的体积计算均以该假设为基础。因此,根据阿伏加德罗假设,这些气体的摩尔体积都为 22.414 L/mol (见表 A.3)。

注 1: 气体的摩尔体积是分子间碰撞时相互作用的函数。理想气体分子间的碰撞仅仅是物理撞击,而真实气体分子间在碰撞时还有冯-德-华尔兹(Van-der-Waals)力的相互作用。这一作用会减少真实气体的摩尔体积。在混合气中,比较理想的气体与比较真实的气体之间也会发生碰撞,这些碰撞具有非常理想的特性。对于废气排放来说,几乎完全是理想气体的氮气的浓度最高,因此,真实气体分子间只有极少的碰撞发生。

表 A.3 GB/T 8190 的本部分中所用摩尔体积

名称	符号	数值	单位
水摩尔体积	$V_{mH_2O}$	22.414	L/mol
二氧化碳摩尔体积	$V_{mCO_2}$	22.414	L/mol
一氧化碳摩尔体积	$V_{mCO}$	22.414	L/mol
氧气摩尔体积	$V_{mO_2}$	22.414	L/mol
氮气摩尔体积	$V_{mN_2}$	22.414	L/mol
一氧化氮摩尔体积	$V_{mNO}$	22.414	L/mol
二氧化氮摩尔体积	$V_{mNO_2}$	22.414	L/mol
二氧化硫摩尔体积	$V_{mSO_2}$	22.414	L/mol

对于燃烧的理想化学计算,假设干进气空气的组分如下:

a) 惰性气体浓度

$$w_{inert} = 76.8\% \text{ mass}, 79.0\% \text{ vol.}$$

注 2: 惰性气体中的  $CO_2$ , 其质量浓度为 0.061%, 体积浓度为 0.04%。

b) 氧气浓度

$$w_{ox} = 23.2\% \text{ mass}, 21.0\% \text{ vol}$$

A. 2. 2 通用公式

A. 2. 2. 1 与组分有关的公式

根据组分的体积浓度[ppm]计算质量浓度  $c_{m\text{gas}}$  [mg/m<sup>3</sup>]:

$$c_{m\text{gas}} = c_{v\text{gas}} \times \rho_{\text{gas}} \dots\dots\dots (\text{A. 1})$$

式中:

$\rho_{\text{gas}}$ ——组分的气体密度[kg/m<sup>3</sup>].

气体密度  $\rho_{\text{gas}}$  [kg/m<sup>3</sup>]可根据基本数据分子质量  $M_{r\text{gas}}$  [g/mol]和摩尔体积  $V_{m\text{gas}}$  [L/mol]来计算:

$$\rho_{\text{gas}} = \frac{M_{r\text{gas}}}{V_{m\text{gas}}} \dots\dots\dots (\text{A. 2})$$

A. 2. 2. 2 与燃料有关的公式

燃料的化学式可写成  $C_\beta H_\alpha S_\gamma N_\delta O_\epsilon$ 。燃料组分数据  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$  被定义为 H、C、S、N 和 O 相对于 C 的摩尔比(燃料化学式  $CH_\alpha S_\gamma N_\delta O_\epsilon$  相当于每个分子有一个碳原子)。使用每个分子有一个碳原子的关系是因为对实际燃料每个平均燃料分子的实际碳原子数是不可知的。这一关系不适用于非碳燃料。燃料组分数据  $w_{\text{ALF}}, w_{\text{BET}}, w_{\text{GAM}}, w_{\text{DEL}}$  和  $w_{\text{EPS}}$  定义为 H、C、S、N 和 O 的质量百分比(%). 下列公式给出了两组数据之间的转换关系(当  $\beta=1$  时):

$$\alpha = \frac{\frac{w_{\text{ALF}}}{A_{r\text{H}}}}{\frac{w_{\text{BET}}}{A_{r\text{C}}}} = 11.9164 \times \frac{w_{\text{ALF}}}{w_{\text{BET}}} \dots\dots\dots (\text{A. 3})$$

$$\beta = \frac{\frac{w_{\text{BET}}}{A_{r\text{C}}}}{\frac{w_{\text{BET}}}{A_{r\text{C}}}} = 1 \dots\dots\dots (\text{A. 4})$$

$$\gamma = \frac{\frac{w_{\text{GAM}}}{A_{r\text{S}}}}{\frac{w_{\text{BET}}}{A_{r\text{C}}}} = 0.37464 \times \frac{w_{\text{GAM}}}{w_{\text{BET}}} \dots\dots\dots (\text{A. 5})$$

$$\delta = \frac{\frac{w_{\text{DEL}}}{A_{r\text{N}}}}{\frac{w_{\text{BET}}}{A_{r\text{C}}}} = 0.85752 \times \frac{w_{\text{DEL}}}{w_{\text{BET}}} \dots\dots\dots (\text{A. 6})$$

$$\epsilon = \frac{\frac{w_{\text{EPS}}}{A_{r\text{O}}}}{\frac{w_{\text{BET}}}{A_{r\text{C}}}} = 0.75072 \times \frac{w_{\text{EPS}}}{w_{\text{BET}}} \dots\dots\dots (\text{A. 7})$$

$$w_{\text{ALF}} = \frac{\alpha \times A_{r\text{H}} \times 100}{M_{r\text{f}}} \dots\dots\dots (\text{A. 8})$$

$$w_{\text{BET}} = \frac{\beta \times A_{r\text{C}} \times 100}{M_{r\text{f}}} \dots\dots\dots (\text{A. 9})$$

$$w_{\text{GAM}} = \frac{\gamma \times A_{r\text{S}} \times 100}{M_{r\text{f}}} \dots\dots\dots (\text{A. 10})$$

$$w_{\text{DEL}} = \frac{\delta \times A_{r\text{N}} \times 100}{M_{r\text{f}}} \dots\dots\dots (\text{A. 11})$$

$$w_{\text{EPS}} = \frac{\epsilon \times A_{r\text{O}} \times 100}{M_{r\text{f}}} \dots\dots\dots (\text{A. 12})$$

式中:

$M_{r\text{f}}$ ——平均燃料分子  $C_\beta H_\alpha S_\gamma N_\delta O_\epsilon$  的分子质量。

$$M_{r\text{f}} = \alpha \times A_{r\text{H}} + \beta \times A_{r\text{C}} + \gamma \times A_{r\text{S}} + \delta \times A_{r\text{N}} + \epsilon \times A_{r\text{O}} \dots\dots\dots (\text{A. 13})$$

**A. 2.2.3 与饱和蒸汽压有关的公式**

根据联邦年鉴(Federal Register)计算以温度  $t[^\circ\text{C}]$  为函数的饱和蒸汽压  $p_a[\text{kPa}]$ :

$$\begin{aligned}
 p_a = & \exp[-12.150\,799 \times \ln(t) - 8\,499.22 \times t^{-2} - 7\,423.186\,5 \times t^{-1} + \\
 & 96.163\,514\,7 + 0.024\,917\,646 \times t - 1.316\,011\,9 \times 10^{-5} \times t^2 - \\
 & 1.146\,045\,4 \times 10^{-8} \times t^3 + 2.170\,128\,9 \times 10^{-11} \times t^4 - \\
 & 3.610\,258 \times 10^{-15} \times t^5 + 3.850\,451\,9 \times 10^{-18} - \\
 & 1.431\,7 \times 10^{-21} \times t^7] \dots\dots\dots(\text{A. 14})
 \end{aligned}$$

下列简化公式可得出相同结果:

$$\begin{aligned}
 p_a = & (4.856\,884 + 0.266\,008\,9 \times t + 0.016\,889\,19 \times t^2 - 7.477\,123 \times 10^{-5} \times t^3 + \\
 & 8.105\,25 \times 10^{-6} \times t^4 - 3.115\,221 \times 10^{-8} \times t^5) \times \frac{1\,013.2}{760} \dots\dots\dots(\text{A. 15})
 \end{aligned}$$

**A. 2.2.4 与碳烟浓度有关的公式**

利用米拉-相关法(MIRA-Correlation),由波许烟度值  $SN$  计算碳烟浓度  $c_{cw}[\text{mg}/\text{m}^3, \text{湿排气中}]$ :

$$\begin{aligned}
 c_{cw} = & (0.009\,769\,83 \times SN + 0.023\,441\,6 \times SN^2 - 0.007\,283\,58 \times SN^3 + \\
 & 0.001\,646\,18 \times SN^4 - 0.000\,089\,546\,4 \times SN^5) \times 1\,000 \dots\dots\dots(\text{A. 16})
 \end{aligned}$$

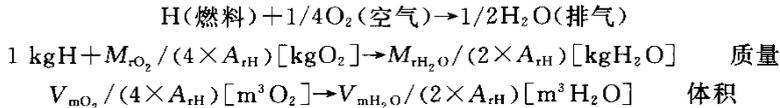
**A. 2.3 燃料理想化学燃烧的反应方程和公式**

**A. 2.3.1 总则**

A. 2.3 叙述了含有 H、C、S、N 和 O 的燃料燃烧时的理想化学计算。按气体化合物的标准体积,计算反应物之间的质量关系。对于每个已燃烧元素,给出了最终增加的体积(排气体积-空气体积)。这些增加的体积之和就是增加的总体积  $f_{tw}$ 。

在此基础上,进一步推导出与排气相关数据的公式(干-湿基转换系数,理想化学燃烧空气需要量和燃料特定系数  $f_{id}$ )。

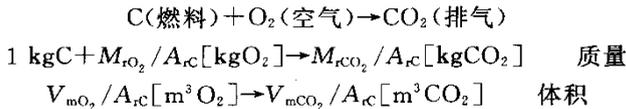
**A. 2.3.2 氢燃烧**



燃烧产生的附加体积:

$$(2 \times V_{m\text{H}_2\text{O}} - V_{m\text{O}_2}) / (4 \times A_{r\text{H}}) = (2 \times 22.414 - 22.414) / (4 \times 1.007\,94) = 5.559\,4 [\text{m}^3/\text{kgH}]$$

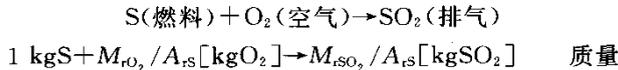
**A. 2.3.3 碳燃烧**



燃烧增加的体积:

$$(V_{m\text{CO}_2} - V_{m\text{O}_2}) / A_{r\text{C}} = (22.414 - 22.414) / 12.011 = 0 \quad [\text{m}^3/\text{kgC}]$$

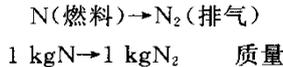
**A. 2.3.4 硫燃烧**



燃烧增加的体积:

$$(V_{m\text{SO}_2} - V_{m\text{O}_2}) / A_{r\text{S}} = (22.414 - 22.414) / 32.065 = 0 [\text{m}^3/\text{kgS}] \quad \text{体积}$$

**A. 2.3.5 氮反应**



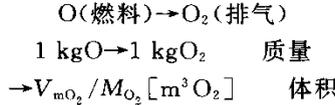
$$\rightarrow V_{mN_2}/M_{rN_2} [m^3 N_2] \quad \text{体积}$$

燃烧增加的体积:

$$V_{mN_2}/M_{rN_2} = 22.414/28.01 = 0.80021 \quad [m^3/kgN]$$

**A. 2.3.6 燃料氧的考虑**

由于上述公式中其他燃料元素的燃烧是以消耗空气氧来计算,无需用燃料氧进行燃烧,因此可认为燃料氧是以气态分子的形式释放到排气中:



燃烧增加的体积:

$$V_{mO_2}/M_{rO_2} = 22.414/31.9988 = 0.70046 \quad [m^3/kg]$$

**A. 2.3.7 增加的总体积  $f_{fw} [m^3/kg \text{ 燃料}]$**

进一步用燃料-特定常数  $f_{fw} [m^3, \text{每 kg 燃料从燃烧空气到湿排气的体积变化}]$  和干排气的相应值  $f_{fd}$  计算干-湿基的修正系数和排气密度(见 A. 2.4 和 A. 2.5)。加上 A. 2.3.2~A. 2.3.6 中给出的燃料元素燃烧所增加的体积可计算出  $f_{fw}$ :

$$f_{fw} = 0.055594 \times w_{ALF} + 0.0080021 \times w_{DEL} + 0.0070046 \times w_{EPS} \quad \dots\dots (A. 17)$$

由此可计算排气体积流量  $V_{ew}$  如下:

$$q_{vew} = q_{vaw} + q_{mf} \times q_{fw} \quad \dots\dots\dots (A. 18)$$

$f_{fw}$  也可用于计算湿排气密度  $\rho_{ew}$  和干-湿基系数  $k_{wr}$ 。

**A. 2.3.8 由  $f_{fw}$  计算系数  $f_{fd}$**

可用系数  $f_{fd}$  计算干排气体积流量如式(A. 19):

$$q_{ved} = q_{vad} + f_{fd} \times q_{mf} \quad \dots\dots\dots (A. 19)$$

$f_{fd}$  始终是负值,这就是说干排气的体积总是小于进气空气的体积。

根据(A. 19),可推导出公式(A. 20):

$$f_{fd} = \frac{q_{ved} - q_{vad}}{q_{mf}} \quad \dots\dots\dots (A. 20)$$

应从燃烧( $q_{mf} \times f_{fw}$ )所产生的总体积变化中除去燃烧产生的水蒸气体积,该体积计算如下:

$$f_{fd} = \frac{q_{vad} + q_{mf} \times f_{fw} - \frac{w_{ALF} \times q_{mf} \times V_{mH_2O}}{100 \times 2 \times A_{rH}} - q_{vad}}{q_{mf}} \quad \dots\dots\dots (A. 21)$$

$$f_{fd} = f_{fw} - \frac{w_{ALF} \times V_{mH_2O}}{200 \times A_{rH}} = f_{fw} - w_{ALF} \times 0.11118 \quad \dots\dots\dots (A. 22)$$

$$f_{fd} = -0.055593 \times w_{ALF} + 0.0080021 \times w_{DEL} + 0.0070046 \times w_{EPS} \quad \dots\dots (A. 23)$$

**A. 2.3.9 理想化学燃烧空气需要量  $A/F_{st}$**

根据 A. 2.3.2~A. 2.3.6 所述燃料元素反应,可按下式计算理想化学燃烧的空气需要量(即 1 kg 燃料燃烧所需空气质量):

$$A/F_{st} = \left( \frac{w_{BET}}{A_{rC}} + \frac{w_{ALF}}{4 \times A_{rH}} + \frac{w_{GAM}}{A_{rS}} - \frac{w_{EPS}}{2 \times A_{rO}} \right) \times \frac{M_{rO_2}}{w_{ox}} \quad \dots\dots\dots (A. 24)$$

利用值  $1/w_{ox}$  可将所需氧气质量换算成所需空气质量,从而也就考虑了空气中的惰性气体组分。

具体数值为:

$$A/F_{st} = \left( \frac{w_{BET}}{12.011} + \frac{w_{ALT}}{4.03176} + \frac{w_{GAM}}{32.06} - \frac{w_{EPS}}{31.9988} \right) \times 1.382 \quad \dots\dots\dots (A. 25)$$

A.2.4 干-湿基修正系数  $k_{wr}$  的计算

A.2.4.1 理想化学燃烧

利用干-湿基修正系数  $k_{wr}$  将实测干基浓度换算成湿基基准状况下的浓度。 $k_{wr}$  也是干、湿基排气体积流量之商：

$$k_{wr} = \frac{C_{gasw}}{C_{gasd}} = \frac{q_{ved}}{q_{vev}} = 1 - \frac{q_{vH_2O}}{q_{vev}} \quad \dots\dots\dots (A.26)$$

下标“gas”是指各种气体组分(例如 CO)。此处的  $q_{vH_2O}$  应理解为是排气中在气体分析系统的冷却槽中冷凝后、在测量前从排气中去除掉的水分。将进气空气中的水分加上燃烧生成的水分、再减去冷却槽后仍然存在的水分,即可计算  $q_{vH_2O}$ 。

$$q_{vH_2O, \text{进气空气}} = \frac{q_{mad} \times H_a \times V_{mH_2O}}{1\,000 \times M_{rH_2O}} \quad [m^3/h] \quad \dots\dots\dots (A.27)$$

$$q_{vH_2O, \text{燃烧形成}} = \frac{w_{ALF} \times q_{mf} \times V_{mH_2O}}{100 \times 2 \times A_{rH}} \quad [m^3/h] \quad \dots\dots\dots (A.28)$$

$$q_{vH_2O, \text{冷却槽后剩余}} = \frac{q_{mad}}{1.293} \times \frac{p_r}{p_b} \quad [m^3/h] \quad \dots\dots\dots (A.29)$$

式中：

$p_r$ ——冷却槽后的水蒸气分压；

$p_r/p_b$ ——水蒸气的摩尔分量(=冷却器后水蒸气的体积分量)；

干空气的密度为  $1.293 \text{ kg/m}^3$ 。

$$q_{vev} = q_{vaw} + q_{mf} \times f_{fw} \quad \dots\dots\dots (A.30)$$

$$k_{wr} = 1 - \frac{\frac{q_{mad} \times H_a \times V_{mH_2O}}{1\,000 \times M_{rH_2O}} + \frac{w_{ALF} \times q_{mf} \times V_{mH_2O}}{100 \times 2 \times A_{rH}} - \frac{q_{mad} \times p_r}{1.293 \times p_b}}{\frac{q_{mad} \times H_a \times V_{mH_2O}}{1\,000 \times M_{rH_2O}} + \frac{q_{mad}}{1.293} + q_{mf} \times f_{fw}} \quad \dots\dots\dots (A.31)$$

将分子和分母除以  $1\,000/q_{mad}$ , 并代入摩尔体积、分子质量和原子质量的已知值,则可导出如下公式：

$$k_{wr} = 1 - \frac{1.244\,2 \times H_a + 111.187 \times w_{ALF} \times \frac{q_{mf}}{q_{mad}} - 773.4 \times \frac{p_r}{p_b}}{773.4 + 1.244\,2 \times H_a + \frac{q_{mf}}{q_{mad}} \times f_{fw} \times 1\,000} \quad \dots\dots\dots (A.32)$$

注1：在 GB/T 8190.1—1999 中,干-湿基系数  $k_{wr}$  按公式(A.33)用中间的燃料特定常数  $f_{th}$  计算。

$$f_{th} = \frac{111.119 \times w_{ALF}}{773.4 + \frac{q_{mf}}{q_{mad}} \times f_{fw} \times 1\,000} \quad \text{并且 } k_{wr} = \left(1 - f_{th} \times \frac{q_{mf}}{q_{mad}}\right) - k_{w2} + \frac{p_r}{p_b} \quad \dots\dots\dots (A.33)$$

注2：不用  $f_{th}$  概念是因为  $f_{th}$  不仅与燃料,而且也与  $\lambda$  有关,并且还因为公式(A.31)或(A.32)有更好的精度。

A.2.4.2 不完全燃烧

排气中的水含量和干-湿基系数  $k_{wr}$  可根据排气组分按下述方法进行计算。

考虑到 H/C 比  $\alpha$ (假定  $\beta=1$ ) 和一个水分子含有两个氢原子的事实,水浓度(单位为%)可直接由  $CO_2$  和 CO 浓度求得。此外,对于排气中的氢含量,则应将其减去,因为燃料中相应的那部分氢不会形成水。而且还必须考虑到进气空气中的水分和气体冷却器后仍然存在的水分。

$$c_{H_2O, \text{燃烧}, d} = 0.5 \times \alpha \times \left(c_{CO_2, d} + \frac{c_{CO, d}}{10^4}\right) - c_{H_2, d} \quad \dots\dots\dots (A.34)$$

$$k_{wr} = \frac{q_{ved}}{q_{vev}} = \frac{q_{ved}}{q_{ved} + q_{vH_2O, \text{燃烧}, d} + q_{vH_2O, a} - q_{vH_2O, \text{冷却器后}}} \quad \dots\dots\dots (A.35)$$

式中  $H_2O$ 、 $H_2$  和  $CO_2$  浓度用百分比表示,CO 浓度用 ppm 表示。

$$k_{wr} = \frac{1}{1 + \frac{q_{vH_2O, 燃烧,d}}{q_{ved}} + \frac{q_{vH_2O, ad}}{q_{ved}} - \frac{q_{vH_2O, 冷却器后}}{q_{ved}}} \dots\dots\dots (A. 36)$$

$$k_{wr} = \frac{1}{1 + \frac{c_{H_2O, 燃烧,d}}{100} + \frac{c_{H_2O, ad}}{100} - \frac{c_{H_2O, 冷却器后}}{100}} \dots\dots\dots (A. 37)$$

$$k_{wr2} = \frac{1}{1 + \alpha \times 0.005 \times \left[ c_{CO_2,d} + \frac{c_{CO,d}}{10\,000} \right] - 0.01 \times c_{H_2,d} + k_{w2} - \frac{p_r}{p_b}} \dots\dots\dots (A. 38)$$

式中:

$k_{w2}$ ——进气空气中水分,可由式(A. 39)求得:

$$k_{w2} = \frac{1.608 \times H_a}{1\,000 + (1.608 \times H_a)} \dots\dots\dots (A. 39)$$

式中:

$H_a$ ——进气空气湿度,单位为 g 水/kg 干空气。

根据 SAE J 1088 用下列公式由水气平衡原理推算出氢的浓度:

$$c_{H_2,d} = \frac{0.5 \times \alpha \times \frac{c_{CO,d}}{10^4} \times \left( \frac{c_{CO,d}}{10^4} + c_{CO_2,d} \right)}{\frac{c_{CO,d}}{10^4} + 3 \times c_{CO_2,d}} \dots\dots\dots (A. 40)$$

或

$$c_{H_2, [\%vol.]} = \frac{0.5 \times \alpha \times c_{CO, [\%vol.]} \times (c_{CO, [\%vol.]} + c_{CO_2, [\%vol.]})}{c_{CO, [\%vol.]} + 3 \times c_{CO_2, [\%vol.]}} \dots\dots\dots (A. 41)$$

这种计算  $k_{wr}$  的方法尤其适用于浓燃料-空气混合气(高 CO 值)的情况,而且也适用于不直接测量空气流量的排放测量,因为用公式(A. 32)计算  $k_{wr}$  时是假设为理想化学燃烧,并且需要有  $q_{mad}$  的数据。

### A. 2.5 利用 $f_{fw}$ 和 $f_{fd}$ 计算干、湿排气密度

排气密度可由排气质量流量除以排气体积流量求得:

$$\rho_{ew} = \frac{q_{mew}}{q_{vew}} = \frac{q_{maw} + q_{mf}}{q_{vaw} + f_{fw} \times q_{mf}} \quad [kg/m^3] \dots\dots\dots (A. 42)$$

$$\rho_{ew} = \frac{q_{mad} + \frac{H_a \times q_{mad}}{1\,000} + q_{mf}}{\frac{q_{mad}}{1.293} + \frac{q_{mad} \times H_a \times V_{mH_2O}}{1\,000 \times M_{rH_2O}} + f_{fw} \times q_{mf}} \dots\dots\dots (A. 43)$$

$$\rho_{ew} = \frac{1\,000 + H_a + 1\,000 \times \frac{q_{mf}}{q_{mad}}}{773.4 + 1.243\,4 \times H_a + 1\,000 \times f_{fw} \times \frac{q_{mf}}{q_{mad}}} \dots\dots\dots (A. 44)$$

计算干排气的密度:

$$\rho_{ed} = \frac{q_{med}}{q_{ved}} = \frac{q_{mad} + q_{mf} \times \left( 1 - \frac{w_{ALF}}{100} \times \frac{M_{rH_2O}}{2 \times A_{rH}} \right)}{q_{vad} + f_{fd} \times q_{mf}} \quad [kg/m^3] \dots\dots\dots (A. 45)$$

$$\rho_{ed} = \frac{q_{mad} + q_{mf} \times \left( 1 - \frac{w_{ALF}}{100} \times \frac{M_{rH_2O}}{2 \times A_{rH}} \right)}{\frac{q_{mad}}{1.293} + f_{fd} \times q_{mf}} = \frac{q_{mad} + q_{mf} \times (1 - w_{ALF} \times 0.089\,36)}{\frac{q_{mad}}{1.293} + f_{fd} \times q_{mf}} \dots\dots\dots (A. 46)$$

**A.3 由排气组分计算排气质量流量(对含 C、H、S、N 和 O 元素的燃料采用碳氧平衡法)**

**A.3.1 引言**

本附录采用碳氧平衡法计算排气质量流量,以便能在不测量空气流量和排气流量的情况下进行排放计算。在 GB/T 8190.1 附录 A 的本版本中计算公式与干排气中的浓度有关,而 GB/T 8190.1—1999 中的计算公式与湿排气有关。之所以进行这种转换,是因为采用干基方法可使排气质量流量的计算有较高的精度,尤其对不完全燃烧比较严重的情况更是如此(小型汽油机)。

排气质量流量的计算也可用于对实测质量流量的比较,以便为试验结果的可信度提供检验方法。

空气流量的实测值与计算值之间的偏差较小表明 CO<sub>2</sub> 或 O<sub>2</sub> 值正确(取样系统无泄漏)、空气流量测量正确(发动机与空气流量测量装置间的联接管路无泄漏)和燃料测量正确。

空气流量的实测值与计算值之间有差异表明存在以下差错。

- a) 实测空气流量比碳平衡法的计算值低:
  - 排气取样系统有泄漏(可能性最大);或
  - 空气测量设备有泄漏(可能性居中);或
  - 燃料流量值太高(可能性较小,怠速工况除外)。
- b) 实测空气流量比碳平衡法的计算值高:
  - 排气分析仪的校正错误;或
  - 空气测量设备的校正错误;或
  - 燃料流量值太低。

注: b) 中三种情况的可能性比 a) 中三种情况要小。

当用碳或氧平衡法进行排放计算时,排气取样系统的泄漏对结果不会有严重影响。这是因为排气浓度太低被排气质量流量的计算值相应太高所补偿,致使这些影响互相抵消。

对于 A.3.2 和 A.3.3 的运算,是假设燃料消耗、燃料组分和排气组分浓度均为已知。这适用于 H、C、S、O 和 N 元素按已知比例组成的燃料。

**A.3.2 根据碳平衡法计算排气质量流量**

**A.3.2.1 总则**

本节中给出了两种形式的碳平衡法:迭代计算(多步)法和一步计算法。在 GB/T 8190.1 的本版本中增加了一步法,因为它使用起来要比多步法容易。

**A.3.2.2 碳平衡:迭代计算法**

如下一节所述,  $q_{med}$  的计算需要有  $\rho_{ed}$  和  $k_{wr}$  值,其本身与  $q_{med}$  值有关,从而就与  $q_{med}$  的计算结果有关。因此,在下述方法中将应用迭代(或多步)计算法。利用  $\rho_{ed}$  和  $k_{wr}$  的初始值(例如 1.34 kg/m<sup>3</sup> 和 1)计算  $q_{med}$  值;由此计算  $q_{med}$  值,再由这些值计算  $\rho_{ed}$  和  $k_{wr}$  值。根据这些几乎已经很精确的  $\rho_{ed}$  和  $k_{wr}$  值,在利用相同公式进行下面迭代计算时,所有数据值就已足够精确,因此在大多数情况下就不必再进行第三次迭代计算。

**A.3.2.2.1 排气质量流量计算公式**

根据碳平衡法可用下列公式计算排气质量流量:

$$q_{med} = \frac{q_{mf} \times w_{BET} \times \rho_{ed} \times 10^4}{A_{rc} \times \left\{ \left[ \frac{(c_{CO_2,d} - c_{CO_2,ra}) \times 10^4}{V_{mCO_2}} + \frac{c_{CO,d}}{V_{mCO}} \right] \times \frac{1}{1 - \frac{p_r}{p_b}} + \left( \frac{c_{HCw}}{V_{mHC}} + \frac{c_{Cw}}{A_{rc}} \right) \times \frac{1}{k_{wr}} \right\}} \dots\dots\dots (A.47)$$

$$q_{md} = q_{med} - q_{mf} \times \left( 1 - \frac{w_{ALF}}{100} \times \frac{M_{rH_2O}}{2 \times A_{rH}} \right) = q_{med} - q_{mf} \times (1 - w_{ALF} \times 0.08936) \dots\dots\dots (A.48)$$

$$q_{med} = q_{mad} \times \left(1 + \frac{H_a}{1\,000}\right) + q_{mf} \quad \dots\dots\dots (A.49)$$

将具体数值代入公式(A.47),得出以下不完全燃烧用计算公式:

$$q_{med} = \frac{q_{mf} \times w_{BET} \times \rho_{ed} \times 832.57}{\left\{ \left[ (c_{CO_2} - c_{CO_2,sa}) \times 446.1 + \frac{c_{COd}}{22.414} \right] \times \frac{1}{1 - \frac{p_r}{p_b}} + \left( \frac{c_{HCw}}{22.414} + \frac{c_{Cw}}{12.011} \right) \times \frac{1}{k_{wr}} \right\}} \quad \dots\dots\dots (A.50)$$

而对完全燃烧:

$$q_{med} = q_{mf} \times \frac{\rho_{ed} \times 1.866\,3}{(c_{CO_2d} - c_{CO_2,sa})} \quad \dots\dots\dots (A.51)$$

将公式(A.50)、(A.48)和(A.49)合并成一个公式,并进行一些简化[忽略未燃烧的碳烟和假设冷却器温度固定为4℃,即 $1/(1 - p_r/p_b) = 1.008$ ],得出如下比较容易使用的湿排气质量流量计算公式:

$$q_{mew} = q_{mf} \times \left\{ \left[ \frac{w_{BET} \times \rho_{ed}}{(c_{CO_2d} - c_{CO_2,sa}) \times 0.540 + \frac{c_{COd} + \frac{c_{HCw}}{k_{wr}}}{10\,000} \times 0.540} + w_{ALF} \times 0.089\,36 - 1 \right] \times \left(1 + \frac{H_a}{1\,000}\right) + 1 \right\} \quad \dots\dots\dots (A.52)$$

对于典型柴油燃料燃烧  $w_{BET} = 86.2\%$  质量和  $\rho_{ed} = 1.329$  (过量空气系数为2),可得出下列更简化的公式:

$$q_{mew} = q_{mf} \times \left\{ \left[ \frac{1}{(c_{CO_2d} - c_{CO_2,sa}) \times 0.004\,71 + \frac{c_{COd} + \frac{c_{HCw}}{k_{wr}}}{10\,000} \times 0.004\,71} + w_{ALF} \times 0.089\,36 - 1 \right] \times \left(1 + \frac{H_a}{1\,000}\right) + 1 \right\} \quad \dots\dots\dots (A.53)$$

**A.3.2.2.2 公式推导**

由燃料输入发动机的碳(g/h)是

$$q_{mf} \times w_{BET} \times 10 \quad \dots\dots\dots (A.54)$$

由进气空气输入发动机的碳(g/h)是  $q_{mCO_2,sa}$  (见公式 A.57)。

从发动机输出的碳(单位为 g/h)是

$$q_{mCO_2} \times \frac{A_{rC}}{M_{rCO_2}} + q_{mCO} \times \frac{A_{rC}}{M_{rCO}} + q_{mHC} \times \frac{A_{rC}}{M_{rHC}} + q_{mC} \quad \dots\dots\dots (A.55)$$

利用下列公式可计算各气体组分,单位为 g/h:

$$q_{mCO_2} = \frac{M_{rCO_2} \times 10}{V_{mCO_2} \times \rho_{ed}} \times \frac{c_{CO_2d}}{1 - \frac{p_r}{p_b}} \times q_{med} \quad \dots\dots\dots (A.56)$$

在公式(A.56)中,CO<sub>2</sub> 质量排放量由其体积乘以该气体密度的商(CO<sub>2</sub>/干排气)求得。CO<sub>2</sub> 气体密度以分子量/分子体积的形式给出。同样其他组分也可按类似方法采用这些主要公式计算:

$$q_{mCO_2,sa} = \frac{M_{rCO_2} \times 10}{V_{mCO_2} \times \rho_{ed}} \times \frac{c_{CO_2,sa}}{1 - \frac{p_r}{p_b}} \times q_{med} \quad \dots\dots\dots (A.57)$$

$$q_{mCO} = \frac{M_{rCO}}{V_{mCO} \times \rho_{ed} \times 1\,000} \times \frac{c_{COd}}{1 - \frac{p_r}{p_b}} \times q_{med} \quad \dots\dots\dots (A.58)$$

$$q_{mHC} = \frac{M_{rHC}}{V_{mHC} \times \rho_{ed} \times 1\,000} \times \frac{c_{HCw}}{k_{wr}} \times q_{med} \quad \dots\dots\dots (A.59)$$

$$q_{mc} = \frac{1}{\rho_{ed} \times 1\,000} \times \frac{c_{Cw}}{k_{wr}} \times q_{med} \quad \dots\dots\dots (A.60)$$

达到平衡状态时(输入碳=输出碳)得出:

$$q_{mf} \times w_{BET} \times 10 = \frac{q_{med} \times A_{rc}}{\rho_{ed} \times 1\,000} \times \left[ \frac{(c_{CO_2,d} - c_{CO_2,a}) \times 10^4}{V_{mCO_2} \times \left(1 - \frac{p_r}{p_b}\right)} + \frac{c_{COd}}{V_{mCO} \times \left(1 - \frac{p_r}{p_b}\right)} + \frac{c_{HCw}}{V_{mHC} \times k_{wr}} + \frac{c_{Cw}}{A_{rc} \times k_{wr}} \right] \quad \dots\dots\dots (A.61)$$

公式(A.61)可转换成公式(A.62),以便根据碳平衡计算  $q_{med}$ :

$$q_{med} = \frac{q_{mf} \times w_{BET} \times \rho_{ed} \times 10^4}{A_{rc} \times \left[ \frac{(c_{CO_2,d} - c_{CO_2,a}) \times 10^4}{V_{mCO_2} \times \left(1 - \frac{p_r}{p_b}\right)} + \frac{c_{COd}}{V_{mCO}} + \frac{c_{HCw}}{k_{wr} \times V_{mHC}} + \frac{c_{Cw}}{k_{wr} \times A_{rc}} \right]} \quad \dots\dots\dots (A.62)$$

**A.3.2.3 碳平衡:一步计算法**

由于采用多步计算法不是太方便,本节中将两次迭代步骤合并成一个最终公式来计算排气质量流量,这样就能实现一步计算法。对于所有受试燃料组分,一步法的计算结果在多步法的±0.2%以内。

**A.3.2.3.1 公式的应用**

可用下列一步法公式计算湿排气的质量流量:

$$q_{mew} = q_{mf} \times \left\{ \frac{\frac{w_{BET} \times w_{BET} \times 1.4}{\left(\frac{1.4 \times w_{BET}}{f_c} + w_{ALF} \times 0.089\,36 - 1\right) \times \frac{1}{1.293} + f_{fd}} + w_{ALF} \times 0.089\,36 - 1}{f_c \times f_c} \times \left(1 + \frac{H_a}{1\,000}\right) + 1 \right\} \quad \dots\dots\dots (A.63)$$

式中:

$$f_c = (c_{CO_2,d} - c_{CO_2,a}) \times 0.544\,1 + \frac{c_{COd}}{18\,522} + \frac{c_{HCw}}{17\,355} \quad \dots\dots\dots (A.64)$$

也可用下列更简单的公式:

$$q_{mew} = q_{mf} \times \left[ \frac{w_{BET} \times w_{BET} \times 1.4}{(1.082\,8 \times w_{BET} + f_{fd} \times f_c) \times f_c} \times \left(1 + \frac{H_a}{1\,000}\right) + 1 \right] \quad \dots\dots\dots (A.65)$$

注:公式(A.65)是公式(A.63)的简化形式,不会明显影响计算精度。

**A.3.2.3.2 公式推导**

a) 用公式(A.50)计算  $q_{mad}/q_{mf}$  的商,并将公式(A.50)改写为(A.66)。

$$q_{med} = \frac{q_{mf} \times w_{BET} \times \rho_{ed} \times 832.57}{\left[ (c_{CO_2} - c_{CO_2,a}) \times 446.1 + \frac{c_{COd}}{22.414} \right] \times \frac{1}{1 - \frac{p_r}{p_b}} + \left( \frac{c_{HCw}}{22.414} + \frac{c_{Cw}}{12.011} \right) \times \frac{1}{k_{wr}}} \quad \dots\dots\dots (A.66)$$

当  $p_b = 1\,013$  mbar,  $p_r = 7.5$  mbar(冷却器温度为 4 °C),或  $1/(1 - p_r/p_b) = 1.008$ ,  $k_{wr} = 0.93$  和  $c_{Cw} = 0$  时,上述公式可简化为:

$$q_{med} = \frac{q_{mf} \times w_{BET} \times \rho_{ed}}{(c_{CO_2,d} - c_{CO_2,a}) \times 0.544\,1 + \frac{c_{COd}}{18\,522} + \frac{c_{HCw}}{17\,355}} = \frac{q_{mf} \times w_{BET} \times \rho_{ed}}{f_c} \quad \dots\dots\dots (A.67)$$

式中:

$$f_c = (c_{CO_2,d} - c_{CO_2,a}) \times 0.544\,1 + \frac{c_{COd}}{18\,522} + \frac{c_{HCw}}{17\,355}; \quad \dots\dots\dots (A.68)$$

$$q_{mad} = q_{med} - q_{mf} \times \left(1 - \frac{w_{ALF}}{100} \times \frac{M_{H_2O}}{2 \times A_{rH}}\right) = q_{med} - q_{mf} \times (1 - w_{ALF} \times 0.089\,36); \quad \dots\dots\dots (A.69)$$

$$\frac{q_{\text{mad}}}{q_{\text{mf}}} = \frac{w_{\text{BET}} \times \rho_{\text{ed}}}{f_c} + 0.089\ 36 \times w_{\text{ALF}} - 1 \quad \dots\dots\dots (\text{A. 70})$$

b) 利用公式(A. 70)的  $q_{\text{mad}}/q_{\text{mf}}$  比值计算干排气密度  $\rho_{\text{ed}}$ 。

将公式(A. 46)稍加转换,

$$\rho_{\text{ed}} = \frac{q_{\text{mad}} + q_{\text{mf}} \times \left(1 - \frac{w_{\text{ALF}}}{100} \times \frac{M_{\text{rH}_2\text{O}}}{2 \times A_{\text{rH}}}\right)}{\frac{q_{\text{mad}}}{1.293} + f_{\text{td}} \times q_{\text{mf}}} = \frac{q_{\text{mad}} + 1 - 0.089\ 36 \times w_{\text{ALF}}}{\frac{q_{\text{mad}}}{1.293 \times q_{\text{mf}}} + f_{\text{td}}} \quad \dots\dots\dots (\text{A. 71})$$

再将公式(A. 70)代入得到:

$$\rho_{\text{ed}} = \frac{\frac{w_{\text{BET}} \times \rho_{\text{ed,p}}}{f_c} + 0.089\ 36 \times w_{\text{ALF}} - 1 + 1 - 0.089\ 36 \times w_{\text{ALF}}}{\left(\frac{w_{\text{BET}} \times \rho_{\text{ed,p}}}{f_c} + 0.089\ 36 \times w_{\text{ALF}} - 1\right) \times \frac{1}{1.293} + f_{\text{td}}} \quad \dots\dots\dots (\text{A. 72})$$

最后得到

$$\rho_{\text{ed}} = \frac{\frac{w_{\text{BET}} \times \rho_{\text{ed,p}}}{f_c}}{\left(\frac{w_{\text{BET}} \times \rho_{\text{ed,p}}}{f_c} + 0.089\ 36 \times w_{\text{ALF}} - 1\right) \times \frac{1}{1.293} + f_{\text{td}}} \quad \dots\dots\dots (\text{A. 73})$$

在此公式中,  $\rho_{\text{ed,p}}$  是干排气密度的初始值(推荐值:  $\rho_{\text{ed,p}} = 1.34$ ), 在此经过精确计算求得最终值  $\rho_{\text{ed}}$ , 供下一步继续使用。

c) 在计算排气质量流量中使用  $\rho_{\text{ed}}$ 。

将公式(A. 48)和(A. 49)合并得到:

$$q_{\text{mew}} = q_{\text{mad}} \times \left(1 + \frac{H_a}{1\ 000}\right) + q_{\text{mf}} = [q_{\text{med}} - q_{\text{mf}} \times (1 - w_{\text{ALF}} \times 0.089\ 36)] \times \left(1 + \frac{H_a}{1\ 000}\right) + q_{\text{mf}} \quad \dots\dots\dots (\text{A. 74})$$

用下式代入:

$$q_{\text{med}} = \frac{q_{\text{mf}} \times w_{\text{BET}} \times \rho_{\text{ed}}}{f_c} \quad \dots\dots\dots (\text{A. 75})$$

进一步转换为:

$$q_{\text{mew}} = q_{\text{mf}} \times \left\{ \left[ \frac{w_{\text{BET}} \times \rho_{\text{ed}}}{f_c} - (1 - w_{\text{ALF}} \times 0.089\ 36) \right] \left(1 + \frac{H_a}{1\ 000}\right) + 1 \right\} \quad \dots\dots\dots (\text{A. 76})$$

将公式(A. 73)中的  $\rho_{\text{ed}}$  代入该公式就得到 A. 3. 2. 3. 1 中给出的最终公式。

### A. 3. 3 氧平衡, 迭代计算法

#### A. 3. 3. 1 总则

与理论排气质量流量相比, 氧平衡法的偏差要稍大一些(可达 1%, 而碳平衡法小于 0. 2%)。因此应优先采用碳平衡法。但氧平衡法可作为其他方法的一种单独检验。

#### A. 3. 3. 2 公式应用

根据氧平衡法可用下式计算排气质量流量。

$$q_{\text{med}} = q_{\text{mf}} \times \left\{ \frac{\left(1 - \frac{w_{\text{ALF}}}{100} \times \frac{M_{\text{rH}_2\text{O}}}{2 \times A_{\text{rH}}}\right) \times w_{\text{ox}} \times 10 + 10 \times f_2 - 10 \times w_{\text{EPS}}}{w_{\text{ox}} \times 10 - \frac{f_1}{1\ 000 \times \rho_{\text{ed}}}} \right\} \quad \dots\dots\dots (\text{A. 77})$$

经过置换可转化为下列公式:

$$q_{\text{med}} = q_{\text{mf}} \times \frac{(1 - 0.089\ 36 \times w_{\text{ALF}}) \times w_{\text{ox}} + f_2 - w_{\text{EPS}}}{w_{\text{ox}} - \frac{f_1}{10\ 000 \times \rho_{\text{ed}}}} \quad \dots\dots\dots (\text{A. 78})$$

$$q_{\text{mew}} = q_{\text{mad}} \times \left(1 + \frac{H_a}{1\ 000}\right) + q_{\text{mf}} \quad \dots\dots\dots (\text{A. 79})$$

公式(A. 77)和(A. 78)中所用的  $f1$  和  $f2$  规定如下:

$$f1 = \left( 10\,000 \times \frac{M_{rO_2} \times c_{CO_2d}}{V_{mO_2}} - \frac{A_{rO}}{V_{mCO}} \times c_{COd} \right) \times \frac{1}{1 - \frac{p_r}{p_b}} + \frac{\left( \frac{A_{rO}}{V_{mNO}} \times c_{NOw} + \frac{2 \times A_{rO}}{V_{mNO_2}} \times c_{NO_2w} - \frac{3 \times A_{rO}}{V_{mHC}} \times c_{HCw} - \frac{2 \times A_{rO}}{A_{rC}} \times c_{Cw} \right)}{k_{wr}} \dots\dots (A. 80)$$

和

$$f2 = w_{ALF} \times \frac{A_{rO}}{2 \times A_{rH}} + w_{BET} \times \frac{2 \times A_{rO}}{A_{rC}} + w_{GAM} \times \frac{2 \times A_{rO}}{A_{rS}} \dots\dots\dots (A. 81)$$

当完全燃烧时可简化为:  $f1_{完全} = \left( 10\,000 \times \frac{M_{rO_2}}{V_{mO_2}} \times c_{O_2d} \right) / \left( 1 - \frac{p_r}{p_b} \right) \dots\dots\dots (A. 82)$

代入具体数值后为:

$$f1 = \frac{14\,276 \times c_{O_2d} - 0.713\,8 \times c_{COd}}{1 - \frac{p_r}{p_b}} + \frac{0.713\,8 \times c_{NOw} + 1.427\,6 \times c_{NO_2w} - 2.141\,4 \times c_{HCw} - 2.664\,1 \times c_{Cw}}{k_{wr}} \dots\dots (A. 83)$$

当完全燃烧时可简化为:

$$f1 = \frac{14\,276 \times c_{O_2d}}{1 - \frac{p_r}{p_b}} \dots\dots\dots (A. 84)$$

$$f2 = w_{ALF} \times 7.936\,7 + w_{BET} \times 2.664\,1 + w_{GAM} \times 0.997\,9 \dots\dots\dots (A. 85)$$

### A. 3. 3. 3 公式推导

由空气和燃料输入发动机的氧[g/h]为

$$q_{mad} \times w_{ox} \times 10 + q_{mf} \times w_{EPS} \times 10 \dots\dots\dots (A. 86)$$

通过计算各含氧排气组分的氧含量,可由下式得出发动机输出的总氧量(自由氧和化学结合氧)

$$q_{mO_2} + q_{mCO_2} \times \frac{2 \times A_{rO}}{M_{rCO_2}} + q_{mCO} \times \frac{A_{rO}}{M_{rCO}} + q_{mNO} \times \frac{A_{rO}}{M_{rNO}} + q_{mNO_2} \times \frac{2 \times A_{rO}}{M_{rNO_2}} + q_{mSO_2} \times \frac{2 \times A_{rO}}{M_{rSO_2}} + q_{mH_2O} \times \frac{A_{rO}}{M_{rH_2O}} \dots\dots\dots (A. 87)$$

利用下列公式可计算各气体组分,单位为 g/h。

$$q_{mO_2} = \frac{M_{rO_2} \times 10}{V_{mO_2} \times \rho_{ed}} \times \frac{c_{O_2d}}{1 - \frac{p_r}{p_b}} \times q_{med} \dots\dots\dots (A. 88)$$

$$q_{mCO} = \frac{M_{rCO}}{V_{mCO} \times \rho_{ed} \times 1\,000} \times \frac{c_{COd}}{1 - \frac{p_r}{p_b}} \times q_{med} \dots\dots\dots (A. 89)$$

$$q_{mNO} = \frac{M_{rNO}}{V_{mNO} \times \rho_{ed} \times 1\,000} \times \frac{c_{NOw}}{k_{wr}} \times q_{med} \dots\dots\dots (A. 90)$$

$$q_{mNO_2} = \frac{M_{rNO_2}}{V_{mNO_2} \times \rho_{ed} \times 1\,000} \times \frac{c_{NO_2w}}{k_{wr}} \times q_{med} \dots\dots\dots (A. 91)$$

$$q_{mCO_2} = \frac{M_{rCO_2}}{A_{rC}} \times q_{mf} \times w_{BET} \times 10 - q_{mCO} \times \frac{M_{rCO_2}}{M_{rCO}} - q_{mHC} \times \frac{M_{rCO_2}}{M_{rHC}} - q_{mC} \times \frac{M_{rCO_2}}{A_{rC}} \dots\dots (A. 92)$$

$$q_{mH_2O} = \frac{M_{rH_2O}}{2 \times A_{rH}} \times q_{mf} \times w_{ALF} \times 10 - q_{mHC} \times \frac{M_{rH_2O}}{M_{rHC}} \dots\dots\dots (A. 93)$$

$$q_{mSO_2} = \frac{M_{rSO_2}}{A_{rS}} \times q_{mf} \times w_{GAM} \times 10 \quad \dots\dots\dots (A.94)$$

$$q_{mHC} = \frac{M_{rHC}}{V_{mHC} \times \rho_{ed} \times 1000} \times \frac{c_{HCw}}{k_{wr}} \times q_{med} \quad \dots\dots\dots (A.95)$$

$$q_{mC} = \frac{1}{\rho_{ed} \times 1000} \times \frac{c_{Cw}}{k_{wr}} \times q_{med} \quad \dots\dots\dots (A.96)$$

由平衡状态(输入氧=输出氧)得出:

$$q_{mad} \times w_{ox} \times 10 + q_{mf} \times w_{EPS} \times 10 = \frac{q_{med}}{1000 \times \rho_{ed}} \times \left\{ \frac{M_{rO_2} \times c_{O_2d} \times 10000}{V_{mO_2}} - \frac{A_{rO} \times c_{COd}}{V_{mCO}} + \frac{A_{rO} \times c_{NOw}}{V_{mNO}} + \frac{2 \times A_{rO} \times c_{NO_2w}}{V_{mNO_2}} - \frac{3 \times A_{rO} \times c_{HCw}}{V_{mHC}} - \frac{2 \times A_{rO} \times c_{Cw}}{A_{rC}} \right\} + 10 \times q_{mf} \times \left( w_{ALF} \times \frac{A_{rO}}{2 \times A_{rH}} + w_{BET} \times \frac{2 \times A_{rO}}{A_{rC}} + w_{GAM} \times \frac{2 \times A_{rO}}{A_{rS}} \right) \quad \dots\dots\dots (A.97)$$

通过确定以下系数:

$$f1 = \frac{M_{rO_2} \times c_{O_2d} \times 10000}{V_{mO_2}} - \frac{A_{rO} \times c_{COd}}{V_{mCO}} + \frac{A_{rO} \times c_{NOw}}{V_{mNO}} + \frac{2 \times A_{rO} \times c_{NO_2w}}{V_{mNO_2}} - \frac{3 \times A_{rO} \times c_{HCw}}{V_{mHC}} - \frac{2 \times A_{rO} \times c_{Cw}}{A_{rC}} \quad \dots\dots\dots (A.98)$$

$$f2 = \left( w_{ALF} \times \frac{A_{rO}}{2 \times A_{rH}} + w_{BET} \times \frac{2 \times A_{rO}}{A_{rC}} + w_{GAM} \times \frac{2 \times A_{rO}}{A_{rS}} \right) \quad \dots\dots\dots (A.99)$$

并利用公式(A.48),则可将公式(A.97)转换成下列公式:

$$q_{med} = q_{mf} \times \left\{ \frac{\left( 1 - \frac{w_{ALF}}{100} \times \frac{M_{rH_2O}}{2 \times A_{rH}} \right) \times w_{ox} \times 10 + 10 \times f2 - 10 \times w_{EPS}}{w_{ox} \times 10 - \frac{f1}{1000 \times \rho_{ed}}} \right\} \quad \dots\dots\dots (A.100)$$

该公式与开头给出的公式(A.77)相同。

#### A.4 燃料特定系数的推导

下列公式是部分流颗粒测量系统采用碳平衡法所必需的(见15.2.3)。

$$q = \frac{k_f \times q_{mf}}{q_{mew} \times (c_{CO_2d} - c_{CO_2,a})} \quad \dots\dots\dots (A.101)$$

和

$$q_{medf} = \frac{k_f \times q_{mf}}{c_{CO_2d} - c_{CO_2,a}} \quad \dots\dots\dots (A.102)$$

$q_{medf}$ 是指在相当全流稀释通道(相同稀释比)中稀释排气的质量流量。

该碳平衡法假设由燃料输入发动机的碳为:

$$q_{mf} \times w_{BET} \times 10 [g/h] \quad \dots\dots\dots (A.103)$$

等于在稀释排气中输出的碳,后者可用下列方法由稀释排气中的CO<sub>2</sub>浓度(减去稀释空气中的CO<sub>2</sub>浓度)求得:

$$\frac{q_{medf}}{\rho_{ew,d}} \times (c_{CO_2d} - c_{CO_2,a}) \times \frac{A_{rC} \times 10}{V_{mCO_2}} \quad \dots\dots\dots (A.104)$$

连同公式A.102可将平衡状态(输入=输出)转换成下列 $k_f$ 的计算公式:

$$k_f = \frac{w_{BET} \times V_{mCO_2} \times \rho_{ew,d}}{A_{rC}} \quad \dots\dots\dots (A.105)$$

稀释排气密度  $\rho_{ew,d}$  可由干稀释空气密度 ( $1.293 \text{ kg/m}^3$ ) 及稀释空气中的水分求得:

$$\rho_{ew,d} = 1.293 \times k_{we} + \frac{M_{rH_2O}}{V_{mH_2O}} \times (1 - k_{we}) \dots\dots\dots (A.106)$$

系数  $k_{we}$  由 14.3 确定。

当在干稀释空气和高稀释比 ( $\rho_{ew,d} = 1.293 \text{ kg/m}^3$ ) 以及  $V_{mCO_2} = 22.414$  和  $A_{rc} = 12.011$  时, 可得出下列简化公式:

$$k_t = w_{BET} \times 2.4129 \dots\dots\dots (A.107)$$

图 A.1 给出了在各种不同可能情况下, 排气污染物排放计算公式的使用指南。

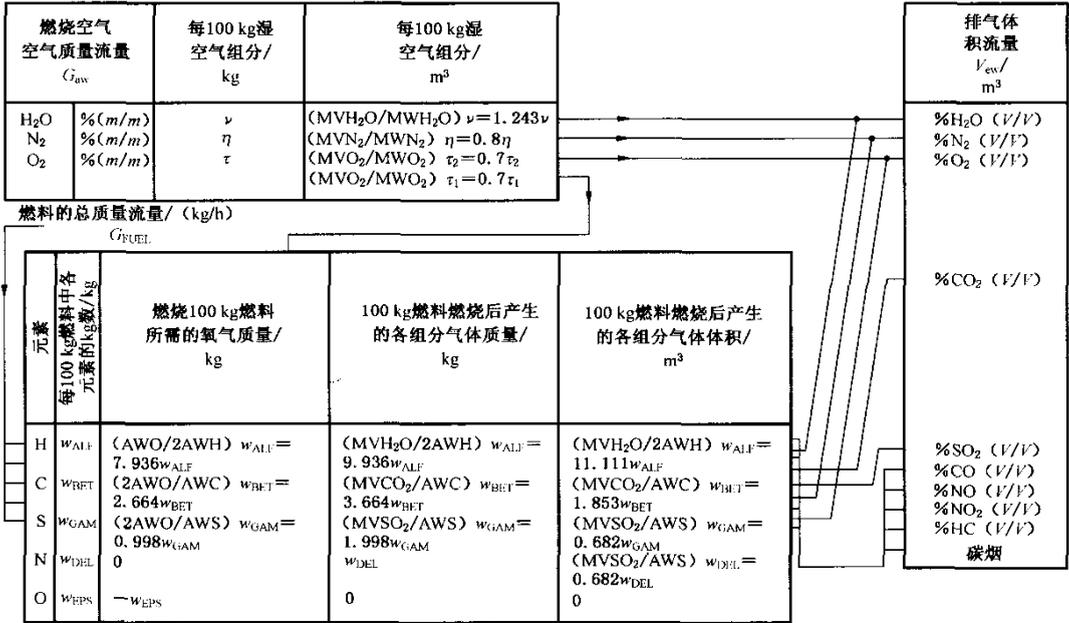


图 A.1 空气-燃料-排气

附录 B  
(资料性附录)

排气质量流量计算程序表示例

根据附录 A 由排气和燃料组分计算排气质量流量的程序表示例见表 B.1。

可利用本程序表按附录 A 的规定由燃料组分、进气空气组分(包括湿度)和排气组分来计算排气质量流量。计算采用碳和氧平衡法。碳平衡法有单步法(新方法)和多步法(旧方法)两种。用完全燃烧所得数据检查这两种计算方法的结果显示,单步碳平衡法的精度高于 0.1%,多步碳平衡法的精度一般为 0.12%,氧平衡法的精度通常为 0.5%。

在表 B.1 中,无阴影部分为输入数据,有阴影部分为计算结果。

表 B.1 排气质量流量计算示例

基本数据	原子质量/摩尔质量/(g/mol)		摩尔体积/(L/mol) (O,C,1 013 mbar)	
H	1.007 94			
C	12.011 00			
S	32.060 00			
N	14.006 70			
O	15.999 40			
Ar	39.900 00			
H <sub>2</sub> O	18.015 34		22.401 0	
CO <sub>2</sub>	44.010 00		22.262 0	
O <sub>2</sub>	31.998 80		22.392 0	
NO <sub>2</sub>	46.008 00		21.809 0	
惰性气体	28.145 40		22.390 1	

燃料组分	%质量	以 C 计的 摩尔比	进气空气 组分	氧	τ 干	%质量	23.20
氢	13.45	1.852 9		惰性气体	η 干	%质量	76.80
碳	86.50	1.000 0		燃料特 定系数	A/F <sub>st</sub>		kg/kg
硫	0.05	0.000 2	f <sub>iw</sub>			0.738 2	
氮	0.00	0.000 0	f <sub>ia</sub>			-0.757 8	
氧	0.00	0.000 0	k <sub>f</sub>			207.30	
			M <sub>it</sub>		g		
发动机类型(1 为柴油 机,2 为汽油机)	1						

表 B.1 (续)

测量参数	符号	单位	公式	数值									
总大气压	$p_b$	kPa		1 013.0	1 013.0	1 013.0	1 013.0	1 013.0	1 013.0	1 013.0	1 013.0	1 013.0	1 013.0
进气空气相对湿度	$R_a$	%		30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
进气空气温度	$T_{AYD}$	℃		25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
冷却槽温度	$T_{冷却器}$	℃		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
CO 干	CO <sub>D</sub>	ppm		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>x</sub> 干	NO <sub>x</sub> D	ppm		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>x</sub> 湿	NO <sub>x</sub> W	ppm		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HC 湿	HCW	ppmCl		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO <sub>2</sub> 干	CO <sub>2</sub> D	%体积		15.171	7.341	4.851	3.627	2.900	2.418	2.075	1.818	1.619	1.460
O <sub>2</sub> 干	O <sub>2</sub> D	%体积		0.000	10.768	14.192	15.874	16.875	17.538	18.010	18.362	18.636	18.855
波许(滤纸式)烟度值	SN			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
燃料质量流量	$q_{mf}$	kg/h		10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
进气空气的饱和蒸汽压	$p_a$	mbar	A.14	31.69	31.69	31.69	31.69	31.69	31.69	31.69	31.69	31.69	31.69
进气空气湿度	$H_a$	g/kg	38	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89	5.89
冷却器后的水蒸气压	$p_r$	mbar	A.14	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58
碳烟浓度	$c_{cw}$	mg/m <sup>3</sup>		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 B.1 (续)

碳平衡法(一步程序)	符号	单位	公式	数值									
系数 C	$f_c$		A. 64	8.223 5	3.967 9	2.614 7	1.949 7	1.554 4	1.292 4	1.105 9	0.966 5	0.858 2	0.771 8
排气质量流量(湿基)	$q_{mew}$	kg/h	A. 63	156.47	302.98	449.66	596.37	743.10	889.85	1 036.61	1 183.38	1 330.15	1 476.94
排气质量流量(湿基)	$q_{mew}$	kg/h	A. 65	156.55	302.93	449.55	596.24	742.96	889.69	1 036.44	1 183.20	1 329.96	1 476.74
空气质量流量(湿基)	$q_{maw}$	kg/h		146.47	292.98	439.66	586.37	733.10	879.85	1 026.61	1 173.38	1 320.15	1 466.94
空气质量流量(干基)	$q_{mad}$	kg/h	A. 48	145.61	291.27	437.08	582.93	728.81	874.70	1 020.60	1 166.50	1 312.42	1 458.35
排气密度(干基)	$\rho_{ed}$	kg/m <sup>3</sup>	A. 46	1.367 1	1.328 7	1.316 5	1.310 6	1.307 0	1.304 6	1.303 0	1.301 7	1.300 7	1.299 9
排气密度(湿基)	$\rho_{ew}$	kg/m <sup>3</sup>	A. 44	1.292 4	1.290 5	1.289 8	1.289 5	1.289 3	1.289 1	1.289 0	1.288 9	1.288 9	1.288 8
干-湿基修正系数	$k_{wr}$			0.874 7	0.934 4	0.955 2	0.965 7	0.972 1	0.976 4	0.979 5	0.981 8	0.983 6	0.985 0
NO <sub>x</sub> 湿度修正系数(柴油机)	$k_{hd}$			0.974 7	0.928 5	0.914 0	0.906 9	0.902 7	0.900 0	0.898 0	0.896 5	0.895 4	0.894 5
NO <sub>x</sub> 湿度修正系数(汽油机)	$k_{hp}$			0.856 7	0.856 7	0.856 7	0.856 7	0.856 7	0.856 7	0.856 7	0.856 7	0.856 7	0.856 7
CO 质量流量	$q_{mCO}$	g/h		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HC 质量流量	$q_{mHC}$	g/h		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NO <sub>x</sub> 质量流量	$q_{mNO_x}$	g/h		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO <sub>2</sub> 质量流量	$q_{mCO_2}$	g/h		31538.79	31568.53	31648.11	31734.05	31821.70	31910.00	31998.60	32087.36	32176.20	32265.10

附 录 C  
(资料性附录)  
热计算(输送管)

### C.1 输送管加热示例

输送管(TT)中的温度损失会引起载热体的沉降。沉降量可用奇特尔森(Kittelson)给出的公式来计算。

$$\left(\frac{c_e}{c_i}\right) = \left(\frac{T_e}{T_i}\right)^{0.38} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

$c_e$ ——出口颗粒浓度;

$c_i$ ——进口颗粒浓度;

$T_e$ ——出口气体温度;

$T_i$ ——进口气体温度。

后面公式(C.2)中所用参数如下。

$a$ ——热适应系数;

$A_w$ ——输送管壁面面积(表面);

$c_g$ ——输送管中气体速度(平均);

$c_p$ ——比热(恒压下),单位为焦耳每千克开(J/kg·K);

$d$ ——输送管直径;

$l$ ——输送管长度;

$m'$ ——质量流量,单位为千克每秒(kg/s);

$Nu$ ——努塞特(Nusselt)数;

$p$ ——气体压力,单位为千克平方米每秒(kg·m<sup>2</sup>/s);

$Pr$ ——普朗德(Prandtl)数;

$Q'$ ——气流热损失,单位为瓦(W);

$Re$ ——雷诺数;

$T_b$ ——气体(平均)温度;

$T_w$ ——壁面温度;

$\nu$ ——黏度,单位为平方米每秒(m<sup>2</sup>/s);

$\lambda$ ——气体的导热系数,单位为瓦每米开[W/(m·K)];

$\rho$ ——气体密度,单位为千克每立方米(kg/m<sup>3</sup>);

$\phi$ ——通过壁面的热流量,单位为瓦每平方米(W/m<sup>2</sup>)。

可用公式(C.2)计算输送管中的热流量。并假设输送管的横截面不变。

$$Nu = \frac{(a \times d)}{\lambda} = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4} [\text{第塔斯-波尔特(Dittus Boelter) 方程}] \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

$$Re = \frac{(c_g \times d)}{\nu} \dots\dots\dots (C.3)$$

$$Pr = \frac{(\nu \times p \times c_p)}{\lambda} \dots\dots\dots (C.4)$$

利用这些公式可计算热适应系数  $a$ 。

此外,考虑到输送管中的质量流量为:

$$m' = \rho \times c_g \times d^2 \times p/4 \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

输送管输入与输出之间气体的热损失为:

$$Q' = m' \times c_p \times (T_i - T_e) \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

由能量平衡,通过壁面的热流量必等于气体的能量损失。亦即

$$\phi = Q'/A_w \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

利用努塞特(Nusselt)数的另一个定义,可确定壁面温度与气体温度的差。

$$Nu = \frac{\phi \times d}{(T_w - T_b) \times l} \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

在下面示例中,假设载热体的沉降量小于5%,并根据下列条件进行计算。

$$c_e/c_i \geq 0.95$$

$$T_e/T_i \geq 0.872$$

$$T_e \geq T_i \times 0.872$$

### C.2 传热计算

假设完全紊流流动、管子光滑平顺;

排气温度=600 K= $T_{b1}$ (进口体积平均温度)。

当载热体沉降为5%时,样气最低许用出口温度:

$$T_{b2} = 600 \text{ K} \times (0.872) = 523.2 \text{ K}$$

$$\text{平均 } T_{b2} = \frac{600 + 523}{2} = 561.5 \text{ K}$$

在体积平均温度(561.5 K)状况下:

$$\rho = \text{密度} = 0.63 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 1\,043 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$\lambda = 0.044\,5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$Pr = 0.68$$

$$c_g = 52 \text{ m/s}$$

$$\eta = 4.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

附加数据:

输送管直径  $d = 0.012\,73 \text{ m}$

输送管长度  $l = 1.524 \text{ m}$

输送管管壁面积  $A_w = 0.060\,9 \text{ m}^2$

输送管横截面积  $A = 0.127\,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

通过输送管的质量流量:

$$m' = dm/dt = \rho \times c_g \times A_w = 0.63 \times 52 \times 0.000\,127\,2 = 0.004\,167 \text{ kg/s}$$

$$Re = \frac{c_g \times d}{\nu} = \frac{52 \times 0.012\,73}{4.4 \times 10^{-6}} = 15\,044.5$$

$$Nu = \frac{a \times l}{\lambda} = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4} = 0.023 \times (15\,044.5)^{0.8} \times (0.68)^{0.4} = 43.31$$

通过壁面的热损失计算如下:

$$T_b = \frac{(T_{b2} - T_{b1})}{2}$$

$$Q' = (dm/dt) \times c_p \times T_b = 0.004\,167 \times (1\,043) \times (523 - 600) = -334.65 \text{ W}$$

$$Q' = (Q) \times (A_w) = -334.65 \text{ W}$$

$$T_w - T_b = \frac{Q \times d}{Nu \times \lambda}$$

$$T_w - T_b = \frac{(-5\,495.17) \times (0.123\,73)}{(43.31) \times (0.044\,5)} = -36.29$$

$$T_w = -36.29 + 523.2 = 486.91\text{ K}$$

因此,在这一质量流量下,管壁温度应保持在 487 K 或以上。

推荐最高排气温度与输送管最低管壁温度间的关系如表 C.1。

**表 C.1 最高排气温度与输送管最低管壁温度间的推荐关系**

最高排气温度		最低管壁温度	
K	°C	K	°C
548	275	473	200
723	450	623	350
873	600	748	475

应在气体开始流过输送管之前确定管壁温度。推荐在任何排气温度下载热体的最大可能沉降量为 5%。这就要求输送管出口(至稀释通道)的排气样气流温度不得低于取样探头进口处排气温度的 87%。

**附录 D**  
**(资料性附录)**  
**系统等效性的确定**

根据 7.1 的规定,其他系统或分析仪(待选)如能得出相同结果,也可采用。系统等效性应根据 7 对样气(或更多)在待选系统和本标准所认可的某一基准系统之间,用适宜的试验循环进行比对试验后确定。所采用的等效性准则应是 F-检验和双方专家的 t-检验。

本统计方法的假设检验是,用基准系统测得的排放值的总体标准差和平均值应与用待选系统测得的排放值的标准差和总体平均值无差异。该假设检验以 F 值和 t 值的 5% 显著性水平为依据。表 D.1 给出了 7~10 对样本的临界 F 值和 t 值。如果按下列公式计算的 F 值和 t 值大于临界 F 值和 t 值,则该待选系统不等效。

应按照下列程序进行系统等效性的判定。下标 R 和 C 分别指基准系统和待选系统。

- a) 待选系统和基准系统最好同时平行进行至少 7 次试验,试验次数用  $n_R$  和  $n_C$  表示。
- b) 计算平均值  $x_R$  和  $x_C$  以及标准差  $s_R$  和  $s_C$ 。
- c) 按下列公式计算 F 值:

$$F = \frac{s_{较大}^2}{s_{较小}^2} \text{ (较大标准差应为分子)。}$$

- d) 按下列公式计算 t 值:

$$t = \frac{|x_C - x_R|}{\sqrt{(n_C - 1) \times s_C^2 + (n_R - 1) \times s_R^2}} \times \sqrt{\frac{n_C \times n_R \times (n_C + n_R - 2)}{n_C + n_R}}$$

- e) 将计算的 F 值和 t 值与表 D.1 中所列各种试验数所对应的临界 F 值和 t 值进行比较。如果要选择更大的样本数,可查阅 5% 显著性水平(95% 置信度)的统计表。
- f) 按下列公式确定自由度(df):

对于 F-检验:  $df = \frac{n_R - 1}{n_C - 1}$ ;

对于 t-检验:  $df = n_C + n_R - 2$ 。

**表 D.1 所选样本数的 F 值和 t 值**

样本数	F-检验		t-检验	
	df	F <sub>临界</sub>	df	t <sub>临界</sub>
7	6/6	4.284	12	2.179
8	7/7	3.787	14	2.145
9	8/8	3.438	16	2.120
10	9/9	3.179	18	2.101

- g) 按如下规则确定等效性:

——如果  $F < F_{临界}$  且  $t < t_{临界}$ , 则待选系统与 GB/T 8190 的本部分所述基准系统等效;

——如果  $F \geq F_{临界}$  且  $t \geq t_{临界}$ , 则待选系统与 GB/T 8190 的本部分所述基准系统不等效。

附录 E  
(资料性附录)  
燃料特定参数

表 E.1 燃料特定参数

燃料	组分		与过量空气系数 (EAF)无关的燃料 特定参数	干进气空气值							
	% 质量	摩尔比		排气密度		$k_{wr}$	$M_{rew}/$ (g/mol)	$f_{in}$			
				kg/m <sup>3</sup> (湿)	kg/m <sup>3</sup> (干)						
柴油	H	13.50	1.860 0	$A/F_{st}$	14.550 7	1.00	1.295 5	1.365 7	0.882 5	29.023	1.818 4
	C	86.49	1.000 0	$f_{fw}$	0.750 5	1.35	1.294 8	1.345 9	0.913 5	29.009	1.848 3
	S	0.01	0.000 0	$f_{fd}$	-0.750 4	2.00	1.294 3	1.328 1	0.943 2	28.996	1.877 0
	N	0.00	0.000 0	$k_t$	208.691 7	3.00	1.293 8	1.316 1	0.964 3	28.987	1.897 4
	O	0.00	0.000 0	$M_{fd}$	13.887 2	4.00	1.293 6	1.310 3	0.975 1	28.982	1.907 8
						5.00	1.293 5	1.306 8	0.981 6	28.979	1.914 1
菜子油	H	12.00	1.852 3	$A/F_{st}$	12.504 8	1.00	1.296 8	1.369 2	0.879 3	29.053	1.601 1
	C	77.20	1.000 0	$f_{fw}$	0.742 8	1.35	1.295 9	1.348 5	0.910 9	29.032	1.631 3
	S	0.00	0.000 0	$f_{fd}$	-0.591 4	2.00	1.295 0	1.329 9	0.941 3	29.012	1.660 4
	N	0.00	0.000 0	$k_t$	186.275 9	3.00	1.294 3	1.317 4	0.963 0	28.997	1.681 1
	O	10.80	1.105 0	$M_{fd}$	15.558 3	4.00	1.294 0	1.311 2	0.974 0	28.990	1.691 6
						5.00	1.293 8	1.307 5	0.980 7	28.985	1.698 0
甲醇	H	12.50	3.972 1	$A/F_{st}$	6.427 3	1.00	1.234 6	1.364 0	0.775 6	27.661	1.483 9
	C	37.50	1.000 0	$f_{fw}$	1.045 2	1.35	1.247 7	1.344 6	0.827 7	27.954	1.553 9
	S	0.00	0.000 0	$f_{fd}$	-0.344 6	2.00	1.261 0	1.327 2	0.888 07	28.252	1.625 1
	N	0.00	0.000 0	$k_t$	90.483 8	3.00	1.271 0	1.315 5	0.920 4	28.475	1.678 3
	O	50.00	1.001 0	$M_{fd}$	32.029 3	4.00	1.276 2	1.309 8	0.941 2	28.592	1.706 3
						5.00	1.279 4	1.306 4	0.954 0	28.664	1.723 5
乙醇	H	13.10	2.993 4	$A/F_{st}$	8.972 2	1.00	1.260 6	1.363 7	0.882 9	28.243	1.651 0
	C	52.15	1.000 0	$f_{fw}$	0.971 7	1.35	1.268 2	1.344 3	0.866 4	28.413	1.705 3
	S	0.00	0.000 0	$f_{fd}$	-0.484 8	2.00	1.275 7	1.327 1	0.909 4	28.581	1.759 0
	N	0.00	0.000 0	$k_t$	125.832 7	3.00	1.281 2	1.315 4	0.940 8	28.704	1.798 2
	O	34.75	0.500 2	$M_{fd}$	23.031 6	4.00	1.284 1	1.309 7	0.957 0	28.768	1.818 5
						5.00	1.285 8	1.306 3	0.966 9	28.806	1.830 9

表 E.1 (续)

燃料	组分		与过量空气系数 (EAF) 无关的燃料特定参数	干进气空气值							
	% 质量	摩尔比		排气密度		$k_{wr}$	$M_{rew}/$ (g/mol)	$f_{in}$			
				kg/m <sup>3</sup> (湿)	kg/m <sup>3</sup> (干)						
天然气	H	19.30	3.795 2	$A/F_{st}$	13.479 5	1.00	1.242 1	1.341 0	0.823 1	27.829	2.479 9
	C	60.60	1.000 0	$f_{iw}$	1.231 9	1.35	1.254 3	1.327 7	0.867 1	28.100	2.549 8
	S	0.00	0.000 0	$f_{id}$	-0.913 9	2.00	1.266 1	1.315 9	0.910 4	28.366	2.618 2
	N	18.20	0.257 5	$k_t$	146.221 7	3.00	1.274 8	1.308 0	0.941 7	28.559	2.667 9
	O	1.90	0.023 5	$M_{it}$	19.820 1	4.00	1.279 2	1.304 2	0.957 8	28.658	2.693 4
						5.00	1.281 9	1.301 9	0.967 6	28.718	2.708 9
丙烷	H	18.30	2.669 2	$A/F_{st}$	15.642 3	1.00	1.268 9	1.354 4	0.852 2	28.429	2.425 3
	C	81.70	1.000 0	$f_{iw}$	1.017 4	1.35	1.274 8	1.337 4	0.890 2	28.560	2.475 1
	S	0.00	0.000 0	$f_{id}$	-1.017 2	2.00	1.280 5	1.322 3	0.927 0	28.687	2.523 2
	N	0.00	0.000 0	$k_t$	197.133 9	3.00	1.284 5	1.312 3	0.953 2	28.778	2.557 6
	O	0.00	0.000 0	$M_{it}$	14.701 3	4.00	1.286 6	1.307 4	0.966 6	28.824	2.575 1
						5.00	1.287 9	1.304 4	0.974 8	28.852	2.585 8
丁烷	H	17.30	2.492 8	$A/F_{st}$	15.415 0	1.00	1.274 1	1.356 6	0.858 1	28.545	2.300 0
	C	82.70	1.000 0	$f_{iw}$	0.961 8	1.35	1.278 7	1.339 1	0.894 8	28.648	2.345 4
	S	0.00	0.000 0	$f_{id}$	-0.961 6	2.00	1.283 2	1.323 5	0.930 1	28.748	2.389 2
	N	0.00	0.000 0	$k_t$	199.546 8	3.00	1.286 4	1.313 0	0.955 4	28.819	2.420 5
	O	0.00	0.000 0	$M_{it}$	14.523 6	4.00	1.288 0	1.307 9	0.968 3	28.855	2.436 5
						5.00	1.289 0	1.304 9	0.976 1	28.877	2.446 1
汽油	H	12.20	1.694 4	$A/F_{st}$	13.940 1	1.00	1.302 1	1.369 0	0.889 3	29.173	1.647 1
	C	85.80	1.000 0	$f_{iw}$	0.692 3	1.35	1.299 9	1.348 3	0.918 7	29.122	1.673 3
	S	0.00	0.000 0	$f_{id}$	-0.664 1	2.00	1.297 7	1.329 8	0.946 8	29.073	1.698 3
	N	0.00	0.000 0	$k_t$	207.026 8	3.00	1.296 2	1.317 3	0.966 8	29.038	1.716 1
	O	2.00	0.017 5	$M_{it}$	13.998 8	4.00	1.295 4	1.311 1	0.976 9	29.021	1.725 2
						5.00	1.294 9	1.307 4	0.983 0	29.010	1.730 6

表 E.1 (续)

燃料	组分		与过量空气系数 (EAF)无关的燃料 特定参数	干进气空气值						
	% 质量	摩尔比		排气密度		$k_{wr}$	$M_{rew}/$ (g/mol)	$f_{th}$		
				kg/m <sup>3</sup> (湿)	kg/m <sup>3</sup> (干)					
氢气	H	100.00	$A/F_{st}$	34.209 8	1.00	1.099 7	1.257 1	0.659 3	24.639	11.872 8
	C	0.00	$f_{tw}$	5.559 4	1.35	1.143 1	1.268 2	0.737 6	25.610	12.432 5
	S	0.00	$f_{td}$	-5.558 6	2.00	1.187 2	1.277 2	0.817 1	26.598	13.001 6
	N	0.00	$k_t$	0.000 0	3.00	1.220 1	1.282 8	0.876 6	27.336	13.427 1
	O	0.00	$M_{rt}$	2.015 9	4.00	1.237 4	1.285 5	0.907 8	27.723	13.650 5
					5.00	1.248 1	1.287 1	0.927 0	27.962	13.788 2

表 E.2 进气空气湿度对燃料特定参数的影响

EAF	进气空气湿度, $H_a/(g/kg \text{ 干空气})$										
	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	10.7	12.0			
柴油	2.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.294 4	1.292 9	1.291 4	1.289 9	1.288 4	1.286 9	1.286 4	1.285 4
		$k_{wr}$		0.943 4	0.940 4	0.937 5	0.934 6	0.931 8	0.928 9	0.927 9	0.926 1
		$M_{rew}$	g/mol	28.999	28.854	28.708	28.564	28.421	28.278	28.228	28.137
	4.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.293 7	1.292 2	1.290 6	1.289 1	1.287 6	1.286 1	1.285 6	1.284 6
		$k_{wr}$		0.979 0	0.975 9	0.972 9	0.969 8	0.966 8	0.963 8	0.962 7	0.960 8
		$M_{rew}$	g/mol	28.983	28.835	28.688	28.542	28.396	28.251	28.200	28.108
菜子油	2.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.295 0	1.293 4	1.291 9	1.290 4	1.289 0	1.287 5	1.287 0	1.286 0
		$k_{wr}$		0.941 3	0.938 4	0.935 5	0.932 6	0.929 8	0.926 9	0.925 9	0.924 1
		$M_{rew}$	g/mol	29.012	28.866	28.722	28.578	28.436	28.294	28.244	28.153
	4.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.294 0	1.292 5	1.290 9	1.289 4	1.287 9	1.286 4	1.285 9	1.284 9
		$k_{wr}$		0.977 9	0.974 8	0.971 7	0.968 7	0.965 7	0.962 7	0.961 6	0.959 7
		$M_{rew}$	g/mol	28.990	28.842	28.695	28.549	28.404	28.259	28.208	28.116
甲醇	2.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.261 0	1.259 7	1.258 4	1.257 1	1.255 8	1.254 5	1.254 0	1.253 2
		$k_{wr}$		0.877 4	0.874 8	0.872 2	0.869 6	0.867 0	0.864 5	0.863 6	0.861 9
		$M_{rew}$	g/mol	28.252	28.119	27.987	27.855	27.724	27.594	27.548	27.465
	4.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.276 2	1.274 8	1.273 3	1.271 9	1.270 5	1.269 1	1.268 6	1.267 7
		$k_{wr}$		0.944 9	0.942 1	0.939 2	0.936 4	0.933 5	0.930 7	0.929 7	0.927 9
		$M_{rew}$	g/mol	28.592	28.450	28.310	28.170	28.031	27.893	27.845	27.756

表 E.2 (续)

EAF		进气空气湿度, $H_a$ /(g/kg 干空气)									
		0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	10.7	12.0		
乙醇	2.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.275 7	1.274 3	1.272 9	1.271 5	1.270 1	1.268 7	1.268 3	1.267 4
		$k_{wr}$		0.908 0	0.905 2	0.902 5	0.899 8	0.897 0	0.894 3	0.893 4	0.891 7
		$M_{rew}$	g/mol	28.581	28.442	28.304	28.167	28.030	27.894	27.846	27.759
	4.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.284 1	1.282 6	1.281 1	1.279 6	1.278 2	1.276 7	1.276 2	1.275 3
		$k_{wr}$		0.960 8	0.957 9	0.954 9	0.952 0	0.949 0	0.946 1	0.945 1	0.943 2
		$M_{rew}$	g/mol	28.768	28.623	28.479	28.337	28.195	28.054	28.004	27.913
天然气	2.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.266 1	1.264 7	1.263 4	1.262 0	1.260 6	1.259 2	1.258 8	1.257 9
		$k_{wr}$		0.908 4	0.905 5	0.902 8	0.900 0	0.897 2	0.894 5	0.893 5	0.891 7
		$M_{rew}$	g/mol	28.366	28.227	28.089	27.951	27.814	27.678	27.630	27.543
	4.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.279 2	1.277 7	1.276 2	1.274 8	1.273 3	1.271 9	1.271 4	1.270 4
		$k_{wr}$		0.961 6	0.958 6	0.955 6	0.952 7	0.949 7	0.946 8	0.945 8	0.943 9
		$M_{rew}$	g/mol	28.658	28.513	28.369	28.226	28.084	27.943	27.893	27.803
丙烷	2.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.280 5	1.279 0	1.277 6	1.276 1	1.274 7	1.273 2	1.272 7	1.271 8
		$k_{wr}$		0.926 2	0.923 3	0.920 4	0.917 6	0.914 8	0.912 0	0.911 0	0.909 2
		$M_{rew}$	g/mol	28.687	28.544	28.402	28.260	28.210	27.980	27.931	27.841
	4.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.286 6	1.285 1	1.283 6	1.282 1	1.280 6	1.279 1	1.278 6	1.277 7
		$k_{wr}$		0.970 5	0.967 5	0.964 4	0.961 4	0.958 4	0.955 5	0.954 4	0.952 5
		$M_{rew}$	g/mol	28.824	28.677	28.532	28.387	28.243	28.099	28.049	27.957
丁烷	2.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.283 2	1.281 7	1.280 2	1.278 8	1.277 3	1.275 9	1.275 4	1.274 5
		$k_{wr}$		0.929 5	0.926 6	0.923 8	0.920 9	0.918 1	0.915 3	0.914 3	0.912 5
		$M_{rew}$	g/mol	28.748	28.604	28.461	28.319	28.178	28.038	27.988	27.898
	4.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.288 0	1.286 5	1.285 0	1.283 5	1.282 0	1.280 5	1.280 0	1.279 0
		$k_{wr}$		0.972 2	0.969 1	0.966 1	0.963 0	0.960 0	0.957 1	0.956 0	0.954 1
		$M_{rew}$	g/mol	28.855	28.708	28.562	28.417	28.272	28.129	28.078	27.986
汽油	2.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.297 7	1.296 2	1.294 7	1.293 1	1.291 6	1.290 1	1.289 6	1.288 7
		$k_{wr}$		0.946 9	0.944 0	0.941 1	0.938 2	0.935 3	0.932 4	0.931 4	0.929 6
		$M_{rew}$	g/mol	29.073	28.927	28.781	28.636	28.492	28.349	28.299	28.207
	4.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.295 4	1.293 8	1.292 3	1.290 8	1.289 2	1.287 7	1.287 2	1.286 2
		$k_{wr}$		0.980 8	0.977 7	0.974 6	0.971 6	0.968 5	0.965 5	0.964 4	0.962 5
		$M_{rew}$	g/mol	29.021	28.872	28.725	28.578	28.432	28.287	28.236	28.144

表 E.2 (续)

EAF		进气空气湿度, $H_a$ /(g/kg 干空气)									
		0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	10.7	12.0		
氢 气	2.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.187 2	1.186 1	1.184 9	1.183 9	1.182 8	1.181 7	1.181 3	1.180 6
		$k_{wr}$		0.800 7	0.798 2	0.795 6	0.793 1	0.790 7	0.788 2	0.787 3	0.785 7
		$M_{rew}$	g/mol	26.598	26.472	26.348	26.224	26.101	25.978	25.935	25.856
	4.0	排气密度湿	kg/m <sup>3</sup>	1.237 4	1.236 1	1.234 8	1.233 5	1.232 2	1.230 9	1.230 5	1.229 6
		$k_{wr}$		0.911 6	0.908 8	0.906 0	0.903 3	0.900 5	0.897 8	0.896 9	0.895 1
		$M_{rew}$	g/mol	27.723	27.586	27.450	27.315	27.180	27.046	26.999	26.913

**附录 F**  
**(规范性附录)**  
**碳流量检验**

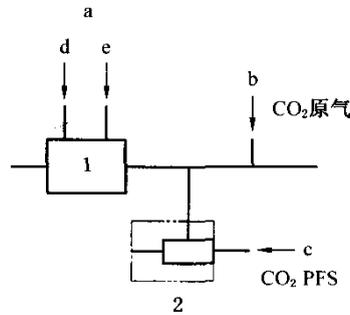
**F.1 引言**

排气中几乎只有极小部分的碳来自于燃料,而这部分碳又只有极少部分在排气中以 CO<sub>2</sub> 形式出现。这就是根据 CO<sub>2</sub> 测量对系统进行验证检查的基础。

由燃料流量可确定进入排气测量系统的碳流量。气体排放和颗粒取样系统中各取样点的碳流量可根据这些点的 CO<sub>2</sub> 浓度和气体流量来确定。

从这一意义上来说,发动机提供了一个已知来源的碳流量,观测该碳在排气管中和部分流颗粒取样系统出口处的流量就可检验泄漏程度和流量测量的准确度。这种检验的优点是各元器件都在发动机实际试验温度和流量条件下运行。

图 F.1 所示为用于检验碳流量的取样点。F.2~F.4 给出了各取样点碳流量的具体公式。



- 1——发动机;
- 2——部分流系统;
- a——位置 1;
- b——位置 2;
- c——位置 3;
- d——空气;
- e——燃料。

**图 F.1 碳流量检验用测量点**

**F.2 进入发动机的碳流量(位置 1)**

对于分子式为 C<sub>β</sub>H<sub>α</sub>O<sub>ε</sub> 的燃料,进入发动机的碳质量流量由式(F.1)确定:

$$q_{mCf} = \frac{12\beta}{12\beta + \alpha + 16\epsilon} \times q_{mf} \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

式中:

q<sub>mf</sub>——燃料的质量流量,单位为千克每秒(kg/s)。

**F.3 原排气(位置 2)中的碳流量**

发动机排气管中的碳质量流量由原排气中的 CO<sub>2</sub> 浓度和排气质量流量确定:

$$q_{mCe} = \left( \frac{c_{CO_2,r} - c_{CO_2,a}}{100} \right) \times q_{mew} \times \frac{12}{M_{r,e}} \quad \dots\dots\dots (F.2)$$

式中:

- $c_{\text{CO}_2, r}$ ——原排气中的湿 CO<sub>2</sub> 浓度, %;  
 $c_{\text{CO}_2, a}$ ——环境空气中的湿 CO<sub>2</sub> 浓度, %, 约为 0.04 %;  
 $q_{\text{mew}}$ ——湿基排气质量流量, 单位为千克每秒(kg/s);  
 $M_{r, e}$ ——排气分子质量。

如果测得的 CO<sub>2</sub> 浓度为干基浓度, 应按 14.3 将其转化为湿基浓度。

#### F.4 部分流稀释系统中的碳流量(位置 3)

对于部分流稀释系统, 须考虑分流比。碳流量由稀释 CO<sub>2</sub> 浓度、排气质量流量和样气流量确定:

$$q_{\text{mCp}} = \left( \frac{c_{\text{CO}_2, d} - c_{\text{CO}_2, a}}{100} \right) \times q_{\text{mdew}} \times \frac{12}{M_{r, e}} \times \frac{q_{\text{mew}}}{q_{\text{mp}}} \dots\dots\dots (\text{F.3})$$

式中:

- $c_{\text{CO}_2, d}$ ——稀释通道出口处稀释排气中的湿 CO<sub>2</sub> 浓度, %;  
 $c_{\text{CO}_2, a}$ ——环境空气中的湿 CO<sub>2</sub> 浓度, %, 约为 0.04 %;  
 $q_{\text{mew}}$ ——湿基排气质量流量, 单位为千克每秒(kg/s);  
 $q_{\text{mp}}$ ——进入部分流稀释系统的排气样气流量, 单位为千克每秒(kg/s);  
 $M_{r, e}$ ——排气的分子质量。

如果测得的 CO<sub>2</sub> 为干基浓度, 则应按 14.3 将其转化为湿基浓度。

参 考 文 献

- [1] GB/T 1883.1—2005 往复式内燃机 词汇 第1部分:发动机设计和运行术语(ISO 2710-1:2000,IDT).
- [2] GB/T 1883.2—2005 往复式内燃机 词汇 第2部分:发动机维修术语(ISO 2710-2:1999,IDT).
- [3] GB/T 8190.1—1999 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.
- [4] GB/T 8190.2—1999 往复式内燃机 排放测量 第2部分:气体和颗粒排放物的现场测量(idt ISO 8179-2:1996).
- [5] GB/T 8190.3—2003 往复式内燃机 排放测量 第3部分:稳态工况排气烟度的定义和测量方法(ISO 8178-3:1994).
- [6] 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).
- [7] GB/T 8190.8—2000 往复式内燃机 排放测量 第8部分:发动机系组的确定(ISO 8178-8:1996,IDT).
- [8] ISO 1585:1992 道路车辆 发动机试验规范 净功率.
- [9] ISO 2534:1998 道路车辆 发动机试验规范 总功率.
- [10] ISO/TR 3313:1998 封闭管道中流体流量的测量 流动颤动对流量测量仪的影响导则.
- [11] ISO 5167-1:2003 用差压计插入全流圆形截面管道测量流体流量 第1部分:一般原则和要求.
- [12] ISO 5167-2:2003 用差压计插入全流圆形截面管道测量流体流量 第2部分:孔板.
- [13] ISO 5167-3:2003 用差压计插入全流圆形截面管道测量流体流量 第3部分:喷嘴和文丘里喷嘴.
- [14] ISO 5167-4:2003 用差压计插入全流圆形截面管道测量流体流量 第4部分:文丘里管.
- [15] ISO 5168:2005 流体流量测量 不确定性的评估程序.
- [16] ISO/TR 7066-1:1997 流量测量仪使用和校正中不确定性的评估 第1部分:线性校准关系.
- [17] ISO 7066-2:1988 流量测量仪使用和校正中不确定性的评估 第2部分:非线性校准关系.
- [18] ISO 8178-9:2000 往复式内燃机 排放测量 第9部分:瞬态工况压燃式发动机排气烟度排放试验台测量的试验循环和试验程序.
- [19] ISO 8178-9:2000/Amd.1:2004 往复式内燃机 排放测量 第9部分:瞬态工况压燃式发动机排气烟度排放试验台测量的试验循环和试验程序 修订1.
- [20] ISO 8178-10:2000 往复式内燃机 排放测量 第10部分:瞬态工况压燃式发动机排气烟度排放现场测量的试验循环和试验程序.
- [21] ISO 8178-11:2006 往复式内燃机 排放测量 第11部分:瞬态工况非道路移动机械用发动机气体和颗粒排放物的试验台测量.
- [22] ISO 8665:1994 小型船舶 船用推进发动机和系统 功率测量和标定.
- [23] ISO 9096:2003 固定源排放 颗粒物质量浓度的人工确定.
- [24] ISO 9249:1989 土方机械 发动机试验规范 净功率.
- [25] ISO 10054:1998 内燃压缩点燃发动机 发动机稳态工况烟度测量仪 滤纸式烟度计.

- [26] ISO 11614:1999 往复压燃式发动机 测量排气消光度和确定排气光吸收系数的仪器。
- [27] CARB,法规制定,对非道路压燃式发动机法规的修订;2000年及其以后年份排放标准,合格要求和试验程序。
- [28] ICOMIA 标准号 34-88:1984 船用发动机排气排放测量的试验程序。
- [29] MARPOL1) 73/78:1998 附件VI,船舶空气污染防止法规和NO<sub>x</sub>技术规范。
- [30] SAE J 244:1992 柴油机进气和排气的流量测量。
- [31] SAE 论文 770141,汽车稀释排气中碳氢化合物测定用火焰离子化检测器的优化。
- [32] UN-ECE R24:1986 统一规定关于; I:关于压燃式(C. I.)发动机可见污染物的批准; II:关于安装了已型式批准过的C. I.发动机的车辆批准; III:关于安装有C. I.发动机的车辆其发动机产生的可见污染物排放的批准; IV:C. I.发动机的功率测量。
- [33] UN-ECE R49:2000 关于压燃式(C. I.)、天然气(NG)发动机及点火点燃式(P. I.)液化石油气(LPG)发动机、以及安装了(C. I.)式NG发动机和P. I.式LPG发动机的车辆的污染物排放之统一规定。
- [34] US美国联邦注册,CFR 第86部分第345章,道路用发动机,非道路移动用发动机气体和颗粒排放物的控制。
- [35] US美国联邦注册 第II部分EPA 40,CFR 第89、90、91部分,空气污染控制;火花点燃式船用汽油机;新的非道路用压燃式和火花点燃式发动机,Exemptions;法规。
- [36] US美国联邦注册,CFR 第96部分,非道路移动用发动机气体和颗粒排放物的控制。
- [37] US美国联邦注册第III部分,CFR 第89部分等,37kW及以上新型船用压燃式发动机空气污染物排放的控制;最终法规。
- [38] UN ECE R96 关于安装在农业和林业拖拉机上压燃式发动机(C. I.)其污染物排放批准的统一规定。
- [39] 88/77/EEC:1988 关于各成员国对车用柴油机采取相应措施的近似法律的理事会指令。
- [40] 97/68/EC:1998 欧盟议会和理事会1997年12月16日97/68/EC指令,关于各成员国对非道路移动机械用内燃机气体和颗粒物排放采取相应措施的统一法律。
-