

MH

中华人民共和国民用航空行业标准

MH/T XXXX—XXXX

航空器发动机排放测量和评估

Aircraft Engine Emissions Measurement and Evaluation

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国民用航空局 发布

目 次

前 言.....	4
引 言.....	5
1 范围	6
2 规范性引用文件	6
3 术语和定义	6
4 缩略语	7
5 航空器发动机排放合格审定指南	7
附 录 A 基准增压比的测量	9
A.1 概述.....	9
A.2 测量.....	9
附 录 B 烟排放评估	10
B.1 引言与定义.....	10
B.2 烟排放的测量.....	10
B.3 由实测数据计算发烟指数.....	13
B.4 向局方报告数据.....	14
附 录 C 用于气态排放物的仪器和测量技术.....	15
C.1 引言	15
C.2 定义.....	15
C.3 所需数据.....	16
C.4 系统的总体布置.....	17
C.5 部件说明.....	17
C.6 一般测试程序	22
C.7 计算.....	24
附 录 D 用于航空器涡轮发动机排放测试的燃料规范.....	30
附 录 E 用于带加力燃烧的燃气涡轮发动机气态 排放物的仪器和测量技术	31
E.1 引言	31
E.2 定义.....	31
E.3 所需数据	32
E.4 系统的总体布置	33
E.5 部件说明	33
E.6 一般测试程序	39
E.7 计算	42
附 录 F 气态排放物、烟和微粒物质排放物的合规程序.....	49
F.1 概述.....	49
F.2 合规程序	49
F.3 失败时的程序	51
附 录 G 用于非挥发性微粒物质排放的 仪器和测量技术.....	52
G.1 引言.....	52

G.2 定义、缩略语和符号	52
G.3 所需数据	56
G.4 非挥发性微粒物质采样和测量系统的总体布置	58
G.5 一般测试程序	62
G.6 计算	65
G.7 关于非挥发性微粒物质采样系统的要求和建议	70
G.8 非挥发性微粒物质质量仪和校准规范	74
G.9 挥发性微粒去除器和非挥发性微粒物质数量仪的规范和校准	82
G.10 系统运行程序	85
附录 H 估算非挥发性微粒物质系统损失修正的程序	92
H.1 概述	92
H.2 定义、缩略语和符号	92
H.3 所需数据	95
H.4 非挥发性微粒物质系统损失修正方法和计算程序	95
H.5 报告和限制	99
H.6 确定非挥发性微粒物质采样和测量系统各组件渗透分数的程序	100
附录 I 气态排放物参数的计算 — 基础、测量值修正和备选数值法	104
I.1 符号	104
I.2 排放指数和空气/燃料比参数的计算基础	105
I.3 分析公式	106
I.4 替代方法 — 数字法	107
附录 J 带加力燃烧的燃气涡轮发动机气态排放物参数的计算 — 基础、测量值修正和备选数值法	109
J.1 符号	109
J.2 排放指数和空气/燃料比参数的计算基础	111
J.3 分析公式	112
J.4 替代方法 — 数值解法	113

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国民用航空局航空器适航审定司提出。

本文件由中国民航科学技术研究院归口。

本文件起草单位：中国民用航空适航审定中心。

本文件主要起草人：宋建宇、张森、查筱晨、涂杰、刘佳鑫、吴晶峰。

引 言

MH/T XXXX面向航空器发动机排放测量与评估需求，在民用航空规章CCAR-34部之外，进一步明确了发动机基准增压比测量方法和烟雾排放评估方法的审定指南，明确了用于气态排放物和带加力燃烧的燃气涡轮发动机气态排放物、非挥发性微粒物质排放的仪器和测量技术要求，提供了气态排放物、烟和微粒物质排放物的符合性程序，阐明了气态排放物参数计算相关的基础、测量值修正和备选数值法，以及带加力燃烧的燃气涡轮发动机气态排放物参数计算的基础、测量值修正和备选数值法，给出了航空器涡轮发动机排放测试的燃料规范以及估算非挥发性微粒物质系统损失修正方法。

航空器发动机排放测量和评估

1 范围

本文件规定了航空器发动机排放需满足的测量和评估要求，民用航空规章CCAR-34部中明确的航空器发动机排放测量和评估要求并未包含在本文件中。

本文件适用于航空器发动机排放合格审定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

国际民用航空公约附件16环境保护第II卷
ICAO Doc 9501环境技术手册第II卷

航空器发动机排放
航空器发动机排放合格审定程序

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

加力燃烧 Afterburning

一种采用燃烧后的空气供给燃烧系统（全部的或部分的）的发动机工作模式。

3.2

进近阶段 Approach phase

根据发动机以进近运行模式工作的时间确定的运行阶段。

3.3

爬升阶段 Climb phase

根据发动机以爬升运行模式工作的时间确定的运行阶段。

3.4

制造日期 Date of manufacture

证实某架航空器或某台发动机符合型号要求的发文日期或同等文件的发文日期。

3.5

衍生型 Derivative version

与原型号审定发动机为同一家族的航空器燃气涡轮发动机，它保持了原型号的基本核心发动机及燃烧室设计特点，并且经局方判定没有其他因素的变更。

3.6

等效程序 Equivalent procedure

等效程序是指一种试验或分析程序。虽然按照局方的技术判断，等效程序不同于本文件中规定的程序，但实际上可得出与规定程序相同的排放等级。

注：一些等效程序记录在《环境技术手册》(Doc 9501 号文件)第II卷一《航空器发动机排放审定程序》中。所有等效程序及其使用须经局方批准。

3.7

排气喷口 Exhaust nozzle

在对排气排放气流不是混合的（例如在某些涡扇发动机中）燃气涡轮发动机进行燃气排放物采样时，所考虑的喷口是仅用于燃气发生器（核心）气流的喷口。然而，如果排气排放气流是混合的，所考虑的燃气喷口则为总的出气口。

3.8 非挥发性微粒物质 (nvPM) Non-volatile particulate matter

存在于燃气涡轮发动机排气管出口平面、当加热到 350°C 时不挥发的排放微粒。

3.9

氮氧化物 Oxides of nitrogen

气体样本中一氧化氮和二氧化氮含量的总和，计算时将一氧化氮看做处于二氧化氮形式。

3.10

额定推力 Rated thrust

对于对发动机排放，指局方批准的，以国际标准大气海平面静态为条件在不使用喷水的正常运行条件下可用于起飞的最大推力。推力用千牛顿表示。

3.11

基准增压比 Reference pressure ratio

当发动机在国际标准大气海平面静态条件下达到起飞推力额定功率时，压气机最后一级压气机排气平面处的平均总压与压气机进气平面处的平均总压之比。

注：在附录A中给出了测量该基准增压比的方法。

3.12

烟 Smoke

排气排放物中遮蔽光传输的含碳物质。

3.13

发烟指数 Smoke Number

量化烟排放的无量纲数。

3.14

起飞阶段 Take-off phase

根据发动机以额定推力工作的时间确定的运行阶段。

3.15

滑行/地面慢车 Taxi/ground idle

从推进式发动机最初启动到开始起飞滑跑之间以及从跑道转出到所有推进式发动机最终关车之间的滑行和慢车运行阶段。

3.16

未燃烧的碳氢化合物 Unburned hydrocarbons

气体样本中所含的各类和各分子量的碳氢化合物的总和，计算时将其看做处于以甲烷形式。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CO	一氧化碳
D_p	在基准排放的着陆与起飞循环中排放出的任何气态污染物的质量
F_n	在国际标准大气（ISA）海平面条件下给定运行模式的推力
F_{00}	额定推力（见定义）
F^*_{00}	使用加力燃烧下的额定推力
HC	未燃烧的碳氢化合物（见定义）
NO	一氧化氮
NO ₂	二氧化氮
NO _x	氮氧化物（见定义）
nvPM	非挥发性微粒物质（见定义）
SN	发烟指数（见定义）
π_{00}	基准增压比（见定义）

5 航空器发动机排放合格审定指南

发动机基准增压比的测量应按照本文件附录A的规定进行。

烟雾排放评估应按照本文件附录B的规定进行。

用于气态排放物的仪器和测量技术应符合本文件附录C的规定；

用于航空器涡轮发动机排放测试的燃料应符合本文件附录D所规定的燃料规范。

用于带加力燃烧的燃气涡轮发动机气态排放物的仪器和测量技术应符合本文件附录E的规定；

气态排放物、烟和微粒物质排放物的符合性程序应符合本文件附录F的规定。

用于非挥发性微粒物质排放的仪器和测量技术应符合本文件附录G的规定；

估算非挥发性微粒物质系统损失修正应按照本文件附录H规定的程序进行。

气态排放物参数计算相关的基础、测量值修正和备选数值法应符合本文件附录I的规定，带加力燃烧的燃气涡轮发动机气态排放物参数计算的基础、测量值修正和备选数值法应符合本文件附录J的规定。

当申请人使用不同于以上所规定的方法表明环境保护要求符合性时，应按规定申请获得局方批准。

附录 A

基准增压比的测量

注：见ICAO附件16卷II附录1

A.1 概述

1.1 须使用一台有代表性的发动机来确定增压比。

1.2 基准增压比须使用下述方法导出：将一个或多个实测增压比与修正到标准日外界压力的发动机推力相关联，并在标准日额定起飞推力下加入此关联。

A.2 测量

2.1 总压须在最后一级压气机排气平面和第一级压气机前端面摆放至少 4 个探头来测量，从而将气流面积分为4 等份，取 4 个所得值的平均值。

注：压气机排气总压可以用在最靠近压气机排气平面的位直测得的总压或静压求得。然而，如果发动机的设计使得无法摆放上述探头进行排放测试，则局方可以批准用替代手段来估计压气机的排气总压。

2.2 须在使用最少一台发动机进行型号审定测试及任何相关的发动机部件测试和分析期间，确定必要的关因素。

2.3 程序须得到局方的认可。

附录 B 烟排放评估

注：见ICAO附件16卷II附录2

B.1 引言与定义

注：本附录规定的程序涉及代表性排气样本的获取、将这些样本传输到排放物测量系统中以及由排放物测量系统对其加以分析。

下列词语和符号在本附录中使用时，具有赋予它们的如下含义：

B.1.1 样本基准大小

通过 16.2 kg/m² 受污染的滤芯面积，造成滤芯材料内反映发烟指数特征的反射系数变化的样本质量。

B.1.2 样本大小

所选的排气样本，其质量大小（以被占污的滤芯表面积每平方米千克表示）处于本附录B.5.3 h) 所规定的范围内，当通过滤芯材料时，会造成反射系数变化，从而给出 SN 参数值。

B.1.3 样本体积

所选样本体积（以立方米表示），其按本附录 3 计算出的等效质量与上述采样大小的定义相符合。

B.1.4 SN

发烟指数：无量纲术语，用于根据基准质量的排气样本对滤芯的占污情况来量化烟排放值，并用 0 到 100 刻度分级（见本附录 C）。

B.1.5 SN'

如本附录C中所定义的，从不一定为样本基准大小的单个烟样本得出的发烟指数。

B.1.6 W

根据样本的体积、压力和温度的测量值计算出的以千克计的单个排气样本的质量（见本附录C）。

B.2 烟排放的测量

B.2.1 烟排放的采样探头

采样探头必须满足以下要求：

- a) 与排气排放样本接触的探头材料须是不锈钢或是其他非反应性材料。
- b) 如果使用多孔采样探头：
 - 1) 则所有采样孔须具有相等直径；和
 - 2) 采样探头设计须保证至少通过探头组件压力降的 80% 发生在孔口处。
- c) 采样位置数不得少于 12 个。
- d) 采样平面须在发动机性能考虑所允许的情况下，尽可能靠近发动机排气管出口平面，但在任何情况下须位于距出口平面 0.5 倍排气管直径的范围内。

e) 申请人须通过详细研究向局方提供证据，证明建议的探头设计和位置确实可为每一规定的推力设定值提供代表性样本。

B. 2. 2 烟排放物的采样管路

2.2.1 须通过一根内径为 4.0 至 8.5 mm 的管子，走尽可能最短的路径（在任何情形下不长于 25 m），将样本从 探头输送到样本收集系统内。除了把燃气从发动机排气温度冷却到管路控制温度所需的那段距离外，管路温度须保持在 60°C至 175°C之间，且稳定度为 $\pm 15^\circ\text{C}$ 。

2.2.2 采样管路须尽可能是“直通”的。任何必要的弯折其半径须是管子内径 10 倍以上。管子的材料须是不易 积聚微粒物质或静电的。

注：不锈钢或以渗碳为底基的聚四氟乙烯（PTFE）可满足这些要求。

B. 2. 3 烟分析系统

注：这里描述的方法基于对某一滤芯在被给定质量的排气样本流沾污时造成的反射率下降进行的测量。

为获取必要的被沾污的滤芯样本所用的系统其各个部件须按图 A2-1 中以简图形式显示的方式排列。为便于读表，可以绕过体积表安装一个备选旁通管。系统的主要部件须满足下列要求：

a) 样本大小的测量：须采用一块湿态或干态正位移体积表来测量样本体积，精确到 $\pm 2\%$ 。这块表进口处的 压力和温度也须测量，分别精确到 0.2%和 $\pm 2^\circ\text{C}$ ；

b) 样本流边的测量：样本流速须保持在 $14 \pm 0.5 \text{ L/min}$ 的数值上，且用于此目的的流量计须能够使这一测量的精度达到 $\pm 5\%$ ；

c) 滤芯和芯筒：滤芯芯筒须用耐腐蚀材料制成并具有图 A2-1 所示的气流通道构型。滤芯材料须为 4 号Whatman 型或局方批准的任何同等产品；

d) 活门：如图 A2-1所示，须配备4个活门元件：

1) 活门A须为速动全流量型分流器，使进入的样本能够被号导通过测量滤芯或绕过旁通管路或关断器；

注：根据已直而定，活门A可由两个互锁活门组成，以提供所要的功能。

2) 活门 B 和 C 须为节流活门，用于确定系统的流速；

3) 活门 D 须为关断活门，使得滤芯芯筒能被隔离；所有的活门须用耐腐蚀材料制成；

e) 真空泵：此泵须具备相对于大气压力-75 kPa 的无流真空能力；其标准温度和压力下的全流速不得少于26 L/min；

f) 温度控告：到滤芯芯筒的分析仪内穿采样管子的温度须保持在 60°C至 175°C温度之间并具有 $\pm 15^\circ\text{C}$ 的稳定度；

注：目的是为了防止进入滤芯芯筒之前和进入后形成水冷凝。

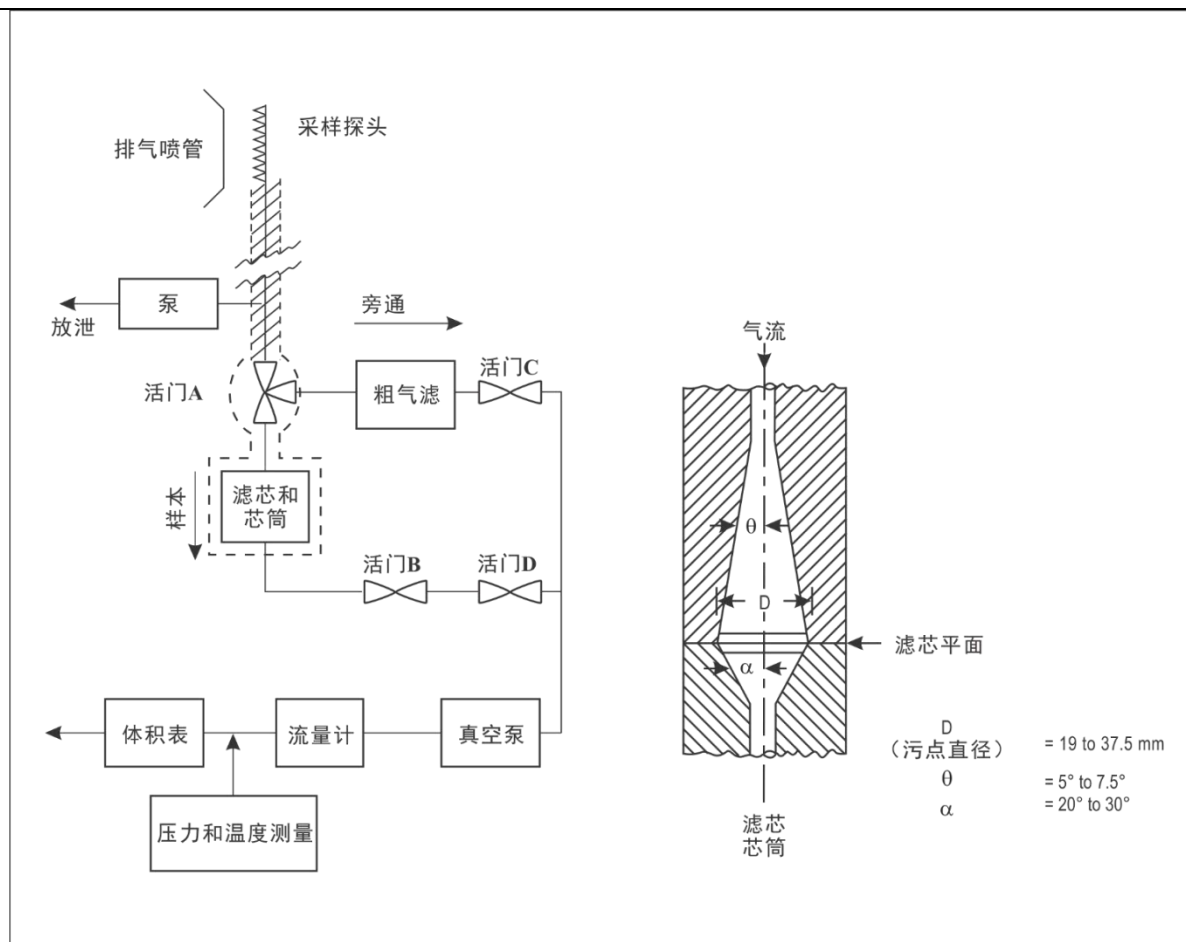


图 A2-1 烟分析系统

g) 如果希望通过探头抽取比通过滤芯芯筒更高的样本流速，则可在探头和活门 A 之间放置一个备选的流体分离器（图 A2-1），用以放掉多余的气流。放泄管须尽可能靠近探头排气口，且不得影响采样系统在探头总成上保持所需的 80% 压力降的能力。放泄流也可送往二氧化碳分析仪或整个排放分析系统。

h) 如果使用流体分离器，须通过测试证明流体分离器不会改变通往滤芯芯筒的烟量。这可以通过反转流体分离器的出口管，并证明在该方法的精度内烟量不变来实现。

i) 渗漏性：子系统须满足下述测试的要求：

- 1) 将洁净的滤芯材料卡在芯筒内；
- 2) 关闭活门 A，全开活门 B，C 和 D；
- 3) 将真空泵运转一分钟以达到平衡状态；
- 4) 继续打泵并测量五分钟内通过流量表的流速。此流速不得超过 1 L/min(按标准温度和压力)，并且在此标准达到之前不得使用系统。

j) 反射计：须使用满足国际标准化组织 ISO 5-41 号标准的仪器测量滤芯材料的扩散反射密度。照在滤纸上的反射计光束不得超过 $D/2$ 或小于 $D/10$ ，此处的 D 是图 A2-1 中规定的滤芯污点的直径。

B. 2. 4 燃料规范

燃料须符合附录 D 的规范。

B. 2. 5 烟测量程序

B. 2. 5. 1 发动机运行

2.5.1.1 须在合适的并适当配有高精度性能测试设备的静态测试设施上运转发动机。

2.5.1.2 须按局方批准的推力设定值进行测试。发动机须在每一设定值上稳定运转。

B. 2. 5. 2 渗漏和洁净检查

须在全部样本传输管路和活门预热并达到稳定后，才进行测量。做系列测试前，须按如下所述检查系统是否渗漏和洁净：

a) 渗漏检查：隔离探头，堵住样本管路端头，按 2.3 h) 的规定进行渗漏测试，只是活门 A 要打开并置于“旁通”位，活门 D 要关闭且渗漏极限为 0.4 L/min(按标准温度和压力)。恢复探头与管路的互连；

b) 洁净检查：

1) 打开活门 B、C 和 D

2) 运转真空泵，并交替地将活门 A 置于“旁通”和“样本”位，使用洁净空气将整个系统净吹 5 分钟；

3) 将活门 A 置于“旁通”位；

4) 关闭活门 D 并将洁净的滤芯材料卡入芯筒，打开活门 D；

5) 将活门 A 置于“样本”位，待每平方米滤芯有 50 kg 空气通过滤芯材料后，将其恢复到“旁通”位；

6) 按本附录第3节所述测量最终过滤芯污点的 SN；

7) 如果此 SN 超过 3，则须清洁系统 (或用其他方式进行矫正)，直到得到低于 3 的值。在达到这些渗漏和洁净检查的要求之后，系统才可使用。

B. 2. 5. 3 烟测量

烟的测量须与其他测量分开进行，除非此时测得的烟值远低于限制值，或者能够证明同时测量烟和气态排放物所得到的烟值是有效的，在此情况下，烟的测量可与气态排放物测量同步进行。在任何情况下，均须严格遵守 2.2.2 中详述的采样管路弯折的半径要求。须设置烟分析子系统并使其符合 2.3 的规格。参照图 A2-1，须进行以下主要操作来获取被占污滤芯的样品：

a) 在探头放置好，发动机正在运转时，活门 A 不得置于无流状态，否则会促使管路中微粒聚集；

b) 将活门 A 置于“旁通”位，关闭活门 D 并将洁净的滤芯卡入芯筒。当发动机处于或接近于要求的运行状态且活门 C 调到流速为 14 ± 0.5 L/min 时，在旁通状态下继续抽取排气样本至少 5 分钟；

c) 打开活门 D 并将活门 A 置于“样本”位，利用活门 B 再次将流速调到 b) 中设定的值； d) 将活门 A 置于“旁通”位并关闭活门 D，将洁净的滤芯材料卡入芯筒；

e) 当发动机稳定在某一状态时，让样本在 d) 中设定的值下流动 1 分钟；

f) 打开活门 D，将活门 A 置于“样本”位，必要时再次调节流速，并让所选的样本体积量 (见 h)) 流过，然后把活门 A 调回到“旁通”位并关闭活门 D；

g) 将被占污的滤芯放置在一旁等待分析，将洁净的滤芯卡入芯筒；

h) 所选的样本大小须使每平方米滤芯所通过的排气量在 12 至 21 kg 范围内，并且须包含每平方米滤芯的排气量为 16.2 kg 或在此值上下的样本。每一发动机运行状态下的样本数量不得少于 3，必要时须重复 e) 至 g) 的操作。

B. 3 由实测数据计算发烟指数

3.1 须使用 2.3 中规定的反射计来分析按照 2.5.3 中描述的步骤获取的被占污的滤芯样品。所用底板材料须是黑色的，其绝对反射率不少于 3%。须使用每一被占污的滤芯的绝对反射率读数 R_S ，以下述公式计算反射率减小值：

$$SN' = 100(1 - R_S / R_W)$$

式中， R_W 为洁净滤芯材料的绝对反射率。

3.2 各种样本的质量须以下述公式计算：

$$W = 0.348 PV/T \times 10^{-2} \text{ (kg)}$$

式中， P 和 T 分别为紧靠体积表上游测得的样本压力帕斯卡值及温度开尔文值。 V 是实测样本体积的立方米数。

3.3 对于每一发动机状态，如样本大小的范围高于或低于基准值，则须将 SN' 和 W 的各个值制成 SN' 对 $\log W/A$ 的标绘图，其中 A 是滤芯占污面积 (m^2)。须使用最小二乘法直线拟合术，估算 $W/A = 16.2 \text{ kg/m}^2$ 的 SN' 值并作为该台发动机模式的发烟指数 (SN) 报告。当仅用基准大小的值采样时，则所报告的 SN 须是各单项 SN' 值的算术平均数。

B. 4 向局方报告数据

须向局方报告实测数据。此外，还须报告每一测试中的下列数据：

- a) 样本温度；
- b) 样本压力；
- c) 采样条件下的实际样本体积；
- d) 采样条件下的实际样本流速；和
- e) 渗漏和洁净检查的证明（见 2.5.2）。

附录 C

用于气态排放物的仪器和测量技术

注：见ICAO附件16卷II附录3

C.1 引言

注：本附录中规定的程序涉及代表性排气样本的获取、这些样本向排放物测量系统的传输及由该系统对其进行的分析。这些程序不适用于带加力燃烧的发动机。所推荐的方法代表的是最现成可用和最为成熟的做法。

C.2 定义

下列词语在本附录中使用时，具有赋予它们的如下含义：

C.2.1 精度

某一测量值与独立确定的真值接近的程度。

C.2.2 空气/燃料比

通过发动机热部件的空气质量流量除以进入发动机的燃料质量流量。

C.2.3 校准气体

用于仪器校准、调节和定期检查的高精度基准气体。

C.2.4 气体浓度

气体混合物中所含有关成分的体积分数——用体积百分比或百万分率表示。

C.2.5 火焰电离探测器

一种氢气-空气扩散火焰探测器，它能够产生在名义上与单位时间内进入火焰的碳氢化合物的质量流速成正比的信号——一般情况下假设能对进入火焰的碳原子数量作出响应。

C.2.6 干扰

由于出现不同于待测气体（或蒸气）的成分而引起的仪器响应。

C.2.7 噪声

仪器输出的随机变化，它与仪器对之作出响应的样本的特性无关，并且能够由其漂移特性辨识出来。

C.2.8 非色散红外线分析仪

一种通过吸收红外线能量，选择性地测量具体成分的仪器。

C.2.9 百万分率（ppm）

每百万单位体积的气体混合物中所含某一成分气体的单位体积气体浓度。

C.2.10 百万分率碳（ppmC）

在甲烷当量基础上测得的碳氢化合物的摩尔分数乘以 106。因此，1 ppm 甲烷表示为 1 ppmC。要将碳氢化合物的 ppm 浓度转换为 ppmC 当量值，则用 ppm 气体浓度乘以该气体每一摩尔中碳原子数。例如，1 ppm 丙烷可换算成 3 ppmC 的碳氢化合物；1 ppm 的己烷可换算成 6 ppmC 的碳氢化合物。

C. 2. 11 基准气体

一种规定和已知成分的气体混合物，以此作为基础，以说明仪器对气体的气体浓度作出响应的仪表响应。

C. 2. 12 可重复度

在不调整所用仪器的情况下，在短期内对一给定的不变样本进行重复测量可再次产出的量值所具有的接近程度。

C. 2. 13 分辨率

在测量中能够探测到的最小变化。

C. 2. 14 响应

随着样本气体浓度的变化而出现的仪器输出信号的变化。

C. 2. 15 稳定度

在某一给定时段内对一给定的不变样本进行重复测量，其产生的量值所能保持的接近程度。零漂移当仪器用于无待测成分的气体时，仪器的输出相对于设定的零点所产生的时间关联性偏离。零气体用于建立仪器调零或无响应调节的气体。

C. 3 所需数据

C. 3. 1 气态排放物

须确定下列排放物的气体浓度：

- a) 碳氢化合物类（HC）：排气中出现的所有碳氢化合物的合并估算值。
- b) 一氧化碳（CO）。
- c) 二氧化碳（CO₂）。

注：二氧化碳不是受控告的发动机气态污染物，但为了计算和检查的目的，需要知道二氧化碳的浓度。

- d) 氮氧化物（NO_x）：两种氧化物即一氧化氮（NO）和二氧化氮（NO₂）总合的估算值；和
- e) 一氧化氮（NO）。

C. 3. 2 其他信息

为了使排放物的测量数据规格化和量化发动机的测试特性，须提供下列补充信息：

- a) 进口温度；
- b) 进口湿度；
- c) 大气压力；
- d) 燃料的氢/碳比；和
- e) 其他所需的发动机参数（例如：推力、转子速度、涡轮温度和燃气发生器空气流量）。

这些数据须按本附录C.2.1 段所述的那样，通过直接测量或计算获得。

C. 3. 2. 1 补充数据的规格

正如本附录C.2 段所要求的，除了实测样本组分气体浓度，还须提供以下数据：

- a) 进口温度：在位于一倍发动机进气平面直径内的某一点测得的总温，精度到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 进口湿度（kg 水/kg 干空气）：在发动机前方距进气平面50米内的某一点测得，精度为：
 - 1) 环境空气湿度大于或等于 0.00634 kg 水/kg 干空气时，精度为读数的 $\pm 5\%$ ，或
 - 2) 环境空气湿度小于 0.00634 kg 水/kg 干空气时，精度为 ± 0.000317 kg 水/kg 干空气；
- c) 大气压力：在距发动机测试位置 1 km 之内测量，并视需要根据测试台的高度修正，精度到 ± 100 Pa；

- d) 燃料质量流量：直接测量，精度到 $\pm 2\%$ ；

e) 燃料氢/碳比：定义为 n/m ，其中 C_mH_n 为测试中所用燃料的当量碳氢化合物代表式并参照发动机燃料型号分析加以评估。

- f) 发动机参数：

1) 推力：直接测量，精度到审定测试中使用的起飞功率的 $\pm 1\%$ 和最小推力的 $\pm 5\%$ ，这些点之间会有线性变化；

2) 转速：直接测量，精度到至少 $\pm 0.5\%$ ；

3) 燃气发生器气流量：参照发动机性能校准确定，精度到 $\pm 2\%$ 。

须在每一发动机排放测试设定值上确定 a)、b)、d) 和 f) 参数，而 c) 参数须在排放测试中以不少于 1 小时的间隔确定。

C.4 系统的总体布置

不得使用脱水剂、干燥剂，集水器或相关设备处理流入氮氧化物分析仪和碳氢化合物分析仪的排气样本。第 5 节 叙述了对各部件子系统的要求，但下面的清单给出了一些限定性条件及可作出的变化：

a) 假设每一个子系统包括有必要的流量控制、调节和测量机构。

b) 是否需要加入一个放泄泵和/或一个热样本泵取决于达到样本传输时间和分析子系统样本流速要求的能力。而这又取决于排气样本驱动压力和管路损失。一般认为，在某种发动机运行条件下，这些泵通常是必要的。

c) 热泵相对于气体分析子系统的位置可以根据需要改变。（例如，一些碳氢化合物分析仪包含有热泵，因此，可以判定能够用于系统热泵的上游。）

注：图 A3-1 是排气采样与分析系统的示意图，典型地说明了排放物测试的基本要求。

C.5 部件说明

注：下面是发动机排气排放物测量系统中主要元件的一般性说明和规格。本附录第 5.2.1、5.3.1 和 5.4.1 段中载有所需的史多细节。

C.5.1 采样系统

C.5.1.1 采样探头

采样探头必须满足以下要求：

a) 与排气排放物样本接触的探头材料须是不锈钢或其他非反应性材料。

b) 如果使用多孔采样探头：和

1) 则所有采样孔须具有相等直径；和

2) 采样探头设计须保证至少通过探头组件压力降的 80%发生在孔口处

c) 采样位置数不得少于 12 个。

d) 采样平面须在发动机性能考虑所允许的情况下，尽可能靠近发动机排气管出口平面，但在任何情况下须位于距出口平面 0.5 倍排气管直径范围内。

e) 申请人须通过详细研究向局方提供证据，证明建议的探头设计和位置确实可为每一规定的推力设定值提供代表性样本。

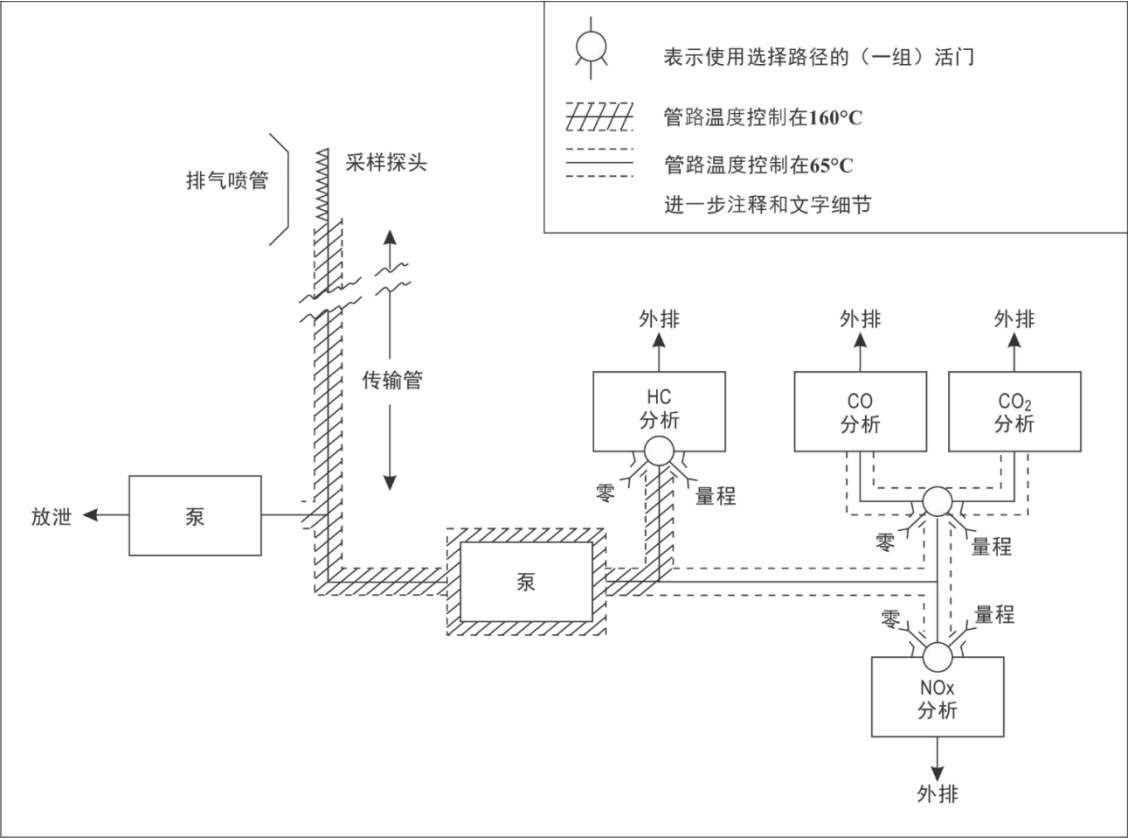


图 A3-1 采样和分析系统示意图

C. 5. 1. 2 采样管路

须通过一根内径为 4.0 至 8.5mm 的管子，走尽可能最短的路径且使用能使传输时间少于 10 秒的流速，将样本从 探头输送到分析仪中。管路温度须保持在 160°C±15°C，除了 a)把发动机排气温度冷却至管子控制温度所需的那段距 离，和 b)把样本供给到一氧化碳、二氧化碳和氮氧化物分析仪的支管。该支管路温度须保持在 65°C±15°C。当采样测 量一氧化碳、二氧化碳和氮氧化物成分时，管子须用不锈钢或以渗碳为底基的聚四氟乙烯（PTFE）制成。

C. 5. 2 碳氢化合物分析仪

须使用在其电极之间流过与进入氢火焰的碳氢化合物质量比率成正比电离电流的加热的火焰电离探测器

（FID），来测量总的碳氢化合物样本成分。分析仪须被认为包括用于控制样本温度和流速、样本旁通、燃料及稀释气 体并且能够进行有效量程和零校准检查的部件。

注：本附录第 5.2.1 段给出了完整的规格。

C. 5. 2. 1 碳氢化合物分析仪的规格

注：正如本附录第 5.2 段所述，此分析仪的测量元件是火焰电离探测器(FID)，在探测器中，全部样本流或有代表性的部分样本流被引入以氢为燃料的火焰中。在将电极适当定位后，即可产生随着进入火焰中碳氢化合物的质量流率而变化的电离电流。此电流参照一适合的零位被放大和调定量程，以提供输出响应，作为对以 ppmC 当量表示的碳氢化合物气体浓度的测量数据。

注：关于校准和测试气体的信息见本附录第 6.2.4 和 6.3.3 段。

5.2.1.1 概述

预防措施：规定的性能规格通常是对分析仪满刻度来说的。部分刻度上的误差可能会占读数中的较大的比例。在做测量准备时须考虑到这类增量的相关性和重要性。如果有更好的性能，则须采取适当的预防措施。

所用的仪器须能够使探测器和样本处理部件的温度保持在不低于 150℃的某一定点温度上。在探测器响应已经优化，且仪器通常已稳定的情况下，主要规格点须为：

- a) 总量程：相应量程中的 0 到 5 000 ppmC。
- b) 分辨率：所取量程满刻度的 0.5%以上或 0.5 ppmC，取其中大者。
- c) 可重复性：所取量程满刻度的±1%以上或±0.5 ppmC，取其中大者。
- d) 稳定度：在 1 小时时段内，所取量程满刻度的±2%以上或±1.0 ppmC，取其中大者。 e) 零漂移：在 1 小时时段内，所取量程满刻度的±1%以下或±0.5 ppmC，取其中大者。
- f) 噪声：0.5 Hz 及其以上，所取量程满刻度的±1%以下或±0.5 ppmC，取其中大者。
- g) 响应时间：从样本进入分析系统到获得 90%的最终读数不得超过 10 秒。
- h) 线性度：每个量程内对空气中丙烷的响应须呈线性，且变动在满刻度的±2%以内，否则，须进行校准修正。

5.2.1.2 协同效应

应用中，有两个性能方面可能影响测量的精度：

氧气响应（由于这一效应，对于恒定的实际碳氢化合物气体浓度，样本中出现的不同比例的氧气会给出不同指示的碳氢化合物气体浓度）；和

碳氢化合物相对响应（由于这一响应，对于以当量 ppmC 表示的同一样本碳氢化合物气体浓度会有不同的响应，这取决于碳氢化合物的种类或各种类的混合情况）。

氧气效应和碳氢化合物相对响应的大小须按下列方法确定并做相应限制：

氧气响应：按如下所述，用两种已知相对精度为±1%、气体浓度约为 500 ppmC 的丙烷混合物进行响应测量：

- a) 10 ±1%为氧气其余为氮气中的丙烷；和
- b) 21 ±1%为氧气其余为氮气中的丙烷。

如果 R1 和 R2 分别为规格化响应，则 $(R1 - R2)$ 须小于 R1 的 3%。

不同碳氢化合物响应：按如下所述，用四种已知相对精度为±1%、气体浓度约为 500 ppmC 的空气中的不同碳氧化合物的混合物进行响应测量：

- a) 零空气中的丙烷；
- b) 零空气中的丙烯；
- c) 零空气中的甲苯；和
- d) 零空气中的正乙烷。

如果 Ra, Rb, Rc 和 Rd 分别为规格化响应（相对于丙烷），则 $(Ra - Rb)$ 、 $(Ra - Rc)$ 和 $(Ra - Rd)$ 须各小于 Ra 的 5%。

5.2.1.3 探测器响应的优化和校准

5.2.1.3.1 须执行制造商关于程序初始设置所需附属服务与供应的细则，并使仪器处于稳定状态。所有设定值的调整均须包含对零的反复检查和必要的修正。将空气中约 500 ppmC 的丙烷混合物作为样本，须

首先确定燃料流量变化的响应特性，然后在接近最佳燃料流量时确定稀释空气流变化的响应特性，以选出最佳值。然后，须按上文所述确定氧气响应和不同的碳氢化合物响应。

5.2.1.3.2 须通过以满刻度的约 30%、60%和 90%的气体浓度将丙烷加入到空气样本中，检查每一分析仪量程的线性。任何这些点与最小二乘方直线（与这些点和零相拟合）产生的最大响应偏差不得超过满刻度值的 $\pm 2\%$ 。如果超过，则须为运行使用制备一条校准曲线。

C. 5. 3 一氧化碳和二氧化碳分析仪

须使用非色散红外线分析仪来测量这些成分，其设计须能够在平行基准与样本气室这些气体的每一成分的气室或气室组处于适当的光敏状态之间做差能吸收。此分析子系统须包括所有必要的控制和处理样本、零及量程气流的功能。无论选用何种测量基础（湿的或干的），温度控制都须与其相对应。

注：本附录第 5.3.1 段给出了完整的规格。

C. 5. 3. 1 一氧化碳和二氧化碳分析仪的规格

5.3.1.1 建议：本附录第 5.3 段总结了用于单独测量排气样本中一氧化碳和二氧化碳气体浓度的分析子系统的特性。仪器是基于平行基准与样本气囊的非色散吸收红外到线放射原理。通过使用叠加样本囊或改变电子线路或两者一起用，来获得所需敏感度范围。通过使用气体吸收过滤器、光学过滤器或同时使用二者（但应使用光学过滤器），可以将具有重叠吸收频带的气体所产生的干扰降至最低。

注：关于校准和测试气体的信息见本附录第 6.2.4 和 6.3.3 段。

5.3.1.2 预防措施：规定的性能规格通常是对分析仪满刻度来说的。部分刻度上的误差可能会占读数中的较大的比例。在做测量准备时须考虑到这类增量的相关性和重要性。如果有更好的性能，则须采取适当的预防措施。

5.3.1.3 主要性能规格须为：

一氧化碳分析仪

a) 总量程：相应量程中的 0 到 2 500 ppm。

b) 分辨率：所取满刻度量程的 0.5%以上或 1 ppm，取其中大者。

c) 可重复度：所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以上或 ± 2 ppm，取其中大者。

d) 稳定度：在 1 小时时段内，所取满刻度量程的 $\pm 2\%$ 以上或 ± 2 ppm，取其中大者。

e) 零漂移：在 1 小时时段内，所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 2 ppm，取其中大者。

f) 噪声：0.5 Hz 及其以上，所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 1 ppm，取其中大者。

g) 干扰：对于指示的一氧化碳气体浓度，须按如下所述实施限制：

1) 小于 500 ppm / %乙烯气体浓度

2) 小于 2 ppm / %二氧化碳气体浓度

3) 小于 2 ppm / %水蒸气 *。如果不能遵守二氧化碳和/或水蒸气的干扰限制，则须确定、报告和应用相应的修正因子。

5.3.1.4 建议：应始终应用二氧化碳和水蒸气引起的干扰限制的修正因子。注：应用干扰效应适当修正因子的方法见附录 I 第 3 和 4 节。

二氧化碳分析仪

a) 总量程：相应量程中的 0%到 10%。

b) 分辨率：所取满刻度量程的 0.5%以上或 100 ppm，取其中大者。

c) 可重复度：所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以上或 ± 100 ppm，取其中大者。

d) 稳定度：在 1 小时时段内，所取满刻度量程的 $\pm 2\%$ 以上或 ± 100 ppm，取其中大者。e) 零漂移：在 1 小时时段内，所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 100 ppm，取其中大者。f) 噪声：0.5 Hz 及其以上，所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 100 ppm，取其中大者。

g) 须检查氧气对二氧化碳分析仪响应所起的效应。对于氧气从 0%到 21%的变化时, 给定二氧化碳气体浓度响应的变化不得超过读数的 2%。如果无法遵守此限制, 则须使用适当的修正因子。

5.3.1.5 建议: 应始终应用氧气对二氧化碳分析仪响应影响的修正因子。

注: 确定氧气影响的适当修正因子的程序见《环境技术手册》。(Doc 9501 号文件) 第 II 卷 — 《航空器发动机排放审定程序》。

一氧化碳和二氧化碳分析仪

a) 响应时间: 从样本进入分析系统到获得 90%的最终读数不得超过 10 秒。

b) 样本温度: 正常运行模式是用于分析处于(未处理)“湿”状态的样本。这要求样本囊和与此子系统中样本相接触的所有其他成分保持在不低于 50°C 的温度, 稳定度为 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。允许选择在干的基础(具有合适的集水器)上做一氧化碳和二氧化碳的测量, 在这种情况下, 允许使用未加热的分析仪并取消了水蒸气干扰限制, 但需要对入口水蒸气和燃烧后生成的水做后续修正。

c) 校准曲线:

1) 须使用已知气体浓度约为满刻度的 0%, 30%, 60%和 90%的校准气体, 在整个工作量程上检查具有线性信号输出特性的分析仪。任何这些点与一条与这些点和零相拟合的最小二乘方直线产生的最大响应偏差不得超过满刻度值的 $\pm 2\%$ 。如果超过, 则须为运行使用制备一条校准曲线。

2) 对于具有非线性信号输出特性的分析仪和那些不符合上面给出的线性要求的分析仪, 须使用已知气体浓度约为满刻度的 0%、30%、60%和 90%的校准气体为所有工作量程制备校准曲线。如果必要, 须使用额外混合物来适当限定曲线形态。

C. 5. 4 氮氧化物分析仪

须使用化学发光法来测量一氧化氮的气体浓度, 根据此方法, 对样本中一氧化氮同加入的臭氧发生反应时发射出的辐射强度进行的测量即是对一氧化氮气体浓度的测量。测量前, 须在一个具有所需效率的转化器内将二氧化氮成分转化为一氧化氮。总的氮氧化物测量系统须包括所有必要的流量、温度及其他的控制器, 并便于进行例行的零和量程校准检查以及转化器效率的检查。

注: 本附录第 5.4.1 段给出了完整的规格。

C. 5. 4. 1 氮氧化物分析仪的规格

注: 关于校准和测试气体的信息见本附录第 6.2.4 和 6.3.3 段。

5.4.1.1 正如本附录第 5.4 段所述, 须通过用于测量一氧化氮与臭氧反应所发出的辐射的化学发光技术来测量氮氧化物的气体浓度。这种方法对于二氧化氮不敏感, 因此, 须使样本通过一个转化器, 在该转化器中, 二氧化氮先被转化为一氧化氮, 然后再测量总的氮氧化物。一氧化氮原有浓度和总的氮氧化物的气体浓度都须记录。这样一来, 根据差值, 便可得出二氧化氮的气体浓度。

5.4.1.2 所用仪器须配齐所有必要的流量控制部件, 诸如调压器、活门、流量表等。与样本气体接触的材料须限于那些能够耐氮氧化物腐蚀的材料, 诸如不锈钢、玻璃等。各处的样本温度都须保持在与局部压力相一致的数值上, 以避免水的冷凝。

预防措施: 规定的性能规格通常是对分析仪满刻度来说的。部分刻度上的误差可能会占读数中的较大的比例。在做测量准备时须考虑到这类增量的相关性和重要性。如果有更好的性能, 则须采取适当的预防措施。

5.4.1.3 为在稳定在 2°C 以内的外界温度中工作的仪器确定的主要性能规格须为:

a) 总量程: 相应量程中的 0 到 2 500 ppm

b) 分辨率: 所取满刻度量程的 0.5%以上或 1 ppm, 取其中大者。

c) 可重复度: 所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以上或 ± 1 ppm, 取其中大者。

d) 稳定度：在 1 小时时段内，所取满刻度量程的 $\pm 2\%$ 以上或 ± 1 ppm，取其中大者。

e) 零漂移：在 1 小时时段内，所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 1 ppm，取其中大者。

f) 噪声：在 2 小时时段内，0.5 Hz 及其以上，所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 1 ppm，取其中大者。

g) 干扰：对含二氧化碳和水蒸气的样本的抑制，须按如下所述加以限制：

1) 小于读数的 0.05%/每一百分点的二氧化碳气体浓度；

2) 小于读数的 0.1%/每一百分点的水蒸气气体浓度。如果不能遵守二氧化碳和/或水蒸气的干扰限制，则须确定、报告和应用相应的修正因子。

5.4.1.4 建议：应始终应用二氧化碳和水蒸气引起的干扰限制的修正因子。

注：应用干扰效应适当修正因子的方法见附录I 第 3 和 4 节。

h) 响应时间：从样本进入分析系统到获得 90%的最终读数不得超过 10 秒。

i) 线性：所取满刻度量程的 $\pm 2\%$ 以上或 ± 2 ppm，取其中大者。

j) 转化器：其设计和使用须能使样本中存在的二氧化氮转化为一氧化氮。转化器不得影响样本中原有的一氧化氮。

转化器的效率不得低于 90%。此效率值须用于将实测样本的二氧化氮值（即 $[\text{NO}_x]_c - [\text{NO}]$ ）修正到如果效率不是 100%可能得出的数值。

C.6 一般测试程序

C.6.1 发动机运行

6.1.1 发动机须在合适的并适当配有高精度性能测试设备的静态测试设施上运转。

6.1.2 须按局方规定的推力设定值进行排放物测试。发动机须在每一推力设定值上稳定运转。

C.6.2 主要仪器的标准

注：本校准的总的目的是确认稳定性和线性。

6.2.1 申请人须使局方确信，分析系统的校准在测试时是有效的。

6.2.2 对于碳氢化合物分析仪，这种校准须包括检查探测器的氧气和不同碳氢化合物响应是否在本附录第 5.2.1

段所规定的极限内。还须检查和验证二氧化氮/一氧化氮转化器的效率，以符合本附录第 5.4.1 段的要求。

6.2.3 须采用下列程序检查每一分析仪的性能（使用本附录第 6.2.4 和 6.3.3 段中规定的校准和测试气体）：

a) 导入零气体并仪器调零，酌情记录设定值；

b) 对于运行中使用的每一量程，导入（标称）90%量程的满刻度偏转（FSD）气体浓度的校准气体；相应调节仪器增益并记录其设定值；

c) 导入约 30%，60%和 90% 量程的满刻度偏转气体浓度并记录分析仪的读数；

d) 在零、30%、60%和 90%气体浓度点处拟合出一条最小二乘方直线。对于以其基本形式使用的未做输出线性化的一氧化碳或二氧化碳分析仪，在断定需要时，须使用额外的校准点拟合出一条从相关数学公式得出的最小二乘方曲线。如果任何一点偏离满刻度值的 2%以上或一氧化碳分析仪的 ± 1 ppm，二氧化碳分析仪的 ± 100 ppm，取其中大者，则须为运行制备一条校准曲线。

6.2.4 校准气体

表A3-1 校准气体表

分析仪	气体	精度*
碳氢化合物	零空气中的丙	±2%或 ±0.05 ppm**
(HC) 二氧化	烷 零空气中的二	±2%或 ±100 ppm**
碳 (CO ₂) 一	氧化碳 零空气中	±2%或 ±2 ppm**
氧化碳 (CO)	的一氧化碳 零氮	±2%或 ±1 ppm**
* 使用 95%以上的置信区间。		
** 取其中大者。		

在正常运行使用中需要用上述气体做分析仪的例行校准。

6.2.4.1 一氧化碳和二氧化碳校准气体可以进行单一混合或作为双成分混合物进行混合。假如可以保证混合物的 稳定度，则可以使用零空气中的一氧化碳、二氧化碳和丙烷三成分混合物。

6.2.4.2 为一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物分析仪规定的零气体须为零空气（包括用 20%至 22%的氧气与氮气 混合成的“人造”空气）。对于氮氧化物分析仪，须使用零氮气作为零气体。两种零气体中的杂质须限制在小于以下 气体浓度：

- 碳 1 ppm
- 一氧化碳 1 ppm
- 二氧化碳 100 ppm
- 氮氧化物 1 ppm

6.2.4.3 申请人须确保供应的商品气体确实符合此规格，或供应商有此规定。

C. 6. 3 运行

6.3.1 只有在全部仪器和样本传输管路预热并达到稳定，且完成了下述检查后，才能进行测量：

a) 渗漏检查：在做一系列测试前，须检查系统是否渗漏，方法是隔离探头和分析仪，连接并操作一个真 空泵，以证实系统在标准温度和压力下的渗漏流速小于 0.4 L/min。此真空泵须具备相对于大气压力-75 kPa 的无流真空能力；其标准温度和压力下的全流速不得少于 26 L/min；

b) 洁净度检查：将气体采样系统与探头隔离，并将采样管端头与零气源相连接。将系统预热到做碳 氢化 合物测量所需的工作温度。操作样本流量泵，并把流速调到进行发动机排放物测试时所用的流速。记 录碳氢化合物分析仪的读数。此读数不得超过发动机慢车排放水平的 1%或 1 ppm（二者均表示为甲 烷），取其中大者。

6.3.1.1 建议：在测量分析仪隔离的情况下，应在发动机启动和关闭时进行采样探头的反冲洗。

注：反冲洗确保采样系统中不会出现明显的燃料污染。

注：如果由于各种其他源在发动机入口处的环境空气中存在显著水平的排放样本，则可能对发动机排气的水平 产生影 响。在这种情况下，可能需要监测这些样本并在报告的排放水平中说明该环境空气质量。

6.3.1.2 建议：如果需要说明报告的排放水平上环境空气质量的程序，则应使用该程序，但须经 局方批准。

6.3.2 须采用下列程序进行运行测量：

- a) 加入合适的零气并对仪器做必要的调节；
- b) 对所取量程加入适当的标称 90%满刻度偏转气体浓度的校准气体，相应调整和记录增益设定值；
- c) 当发动机稳定在所需的推力设定值上时，继续运转发动机并观察污染物的气体浓度，直至获得一个 须 予以记录的稳定读数；

d) 在测试结束时以及在测试中以不大于 1 小时的间隔对零点和校准点进行重检。如果任何一点的变化 超过所取量程的满刻度的±2%，则须将仪器恢复到其规格内，重复进行测试。

6.3.3 测试气体

表A3-2 测试气体表

分析仪	气体	精度*
碳氢化合物（HC）	10 ±1%为氧气其余为零氮气中的丙烷	±1%
碳氢化合物（HC）	21 ±1%为氧气其余为零氮气中的丙烷	±1%
碳氢化合物（HC）	零空气中的丙烯	±1%
碳氢化合物（HC）	零空气中的甲苯	±1%
碳氢化合物（HC）	零空气中的正乙烷	±1%
碳氢化合物（HC）	零空气中的丙烷	±1%
二氧化碳（CO ₂ ）	零空气中的二氧化碳	±1%
二氧化碳（CO ₂ ）	零氮气中的二氧化碳	±1%
一氧化碳（CO）	零空气中的一氧化碳	±1%
氮氧化物（NO _x ）	零氮气中的一氧化氮	±1%

* 使用95%以上的置信区间。

需要用上述气体做本附录第5.2.1、5.3.1和5.4.1段中的测试。

6.3.3.1 一氧化碳和二氧化碳校准气体可以进行单一混合或作为双成分混合物进行混合。假如可以保证混合物的 稳定度，则可以使用零空气中的一氧化碳、二氧化碳和丙烷三成分混合物。

6.3.3.2 为一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物分析仪规定的零气体须为零空气（包括用 20%至 22%的氧气与氮气 混合成的“人造”空气）。对于氮氧化物分析仪，须使用零氮气作为零气体。两种零气体中的杂质须限制在小于以下 气体浓度：

- 碳 1 ppm
- 一氧化碳 1 ppm
- 二氧化碳 100 ppm
- 氮氧化物 1 ppm

6.3.3.3 申请人须确保供应的商品气体确实符合此规格，或供应商有此规定。

C. 6. 4 碳平衡检查

每一测试须包含一项检查，以查明由合成样本的总碳气体浓度（除去烟）估算出的空气/燃料比是否与基于滑行/ 地面慢车模式下精确度为±15%之内以及其他所有模式（见 7.1.2）下精确度为±10%的发动机空气/燃料比所估算的值相一致。

C. 7 计算

C. 7. 1 气态排放物

7.1.1 概述 所做的分析性测量须是从其各自分析仪在一系列燃烧室进口温度（TB）下及四种着陆和起飞运行模式下探测到的各种气态排放物的气体浓度。须使用 7.1.2 的计算法或本附录 A 第 4 节中规定的替代方法确定每一种气态污染物的 实测排放指数（EI）。为计及与基准大气条件的偏离，须使用 7.1.3 中规

定的修正法。请注意，在适当的情况下，为计及实测发动机与基准标准发动机的偏离，也可使用这些修正法（见附录 6 第 1f 段）。然后须把燃烧室进口温度（TB）用做关联参数，运用 7.2 中的程序确定与标准日条件下的基准标准发动机在四种着陆和起飞运行模式下运行相对应的排放指数和燃料流量。

7.1.2 基本参数

$$EI_p(\text{成分 } p \text{ 的排放指数}) = \frac{\text{所产生的 } p \text{ 的质量(g)}}{\text{所用燃料的质量(kg)}}$$

$$EI(\text{CO}) = \left(\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_{\text{C}} + (n/m) M_{\text{H}}} \right) \left(1 + [\text{CO}_2]_b (P_0/m) \right)$$

$$EI(\text{HC}) = \left(\frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_{\text{C}} + (n/m) M_{\text{H}}} \right) \left(1 + [\text{CO}_2]_b (P_0/m) \right)$$

$$EI(\text{NO}_x) \text{ as } \text{NO}_2 = \left(\frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_{\text{C}} + (n/m) M_{\text{H}}} \right) \left(1 + [\text{CO}_2]_b (P_0/m) \right)$$

$$\text{空气/燃料比} = P_0/m \left(\frac{M_{\text{AIR}}}{M_{\text{C}} + (n/m) M_{\text{H}}} \right)$$

式中

$$P_0/m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{\text{vol}} - [[\text{CO}_2]_b Z/2])}$$

和

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x])[HC] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$

MAIR 干空气分子质量 = 28.966 g 或在适当的情况下 = (32 [O₂]_b + 28.156 4 [N₂]_b + 44.011 [CO₂]_b)

g

MCO 一氧化碳分子质量 = 28.011 g

MHC 排气碳氢化合物 (视同甲烷) 的分子质量 = 16.043 g

MNO₂ 二氧化氮分子质量 = 46.008 g

MC 碳原子质量 = 12.011 g

MH 氢原子质量 = 1.008 g

[O₂]_b 干空气中的氧气的体积气体浓度 = 0.209 5

[N₂]_b 干空气中的氮气+稀有气体体积气体浓度 = 0.790 2

[CO₂]_b 干空气中的二氧化碳的体积气体浓度 = 0.000 3

[HC] 湿排气碳氢化合物的平均体积比气体浓度，表示为碳

[CO] 湿排气样本中一氧化碳的平均体积比气体浓度

[CO₂] 湿排气样本中二氧化碳的平均体积比气体浓度

[NO_x] 湿排气样本中一氧化氮和二氧化氮的平均体积比气体浓度 = [NO + NO₂] [NO] 湿排气样本中一氧化氮的平均体积比气体浓度

[NO₂] 湿排气样本中二氧化氮的平均体积浓度 = $\frac{([\text{NO}_x]_c - [\text{NO}])}{\eta}$

[NO_x]_c 通过二氧化氮/一氧化氮转化器后湿排气样本中一氧化氮的平均体积比气体浓度
二氧化氮/一氧化氮转化器的效率

hvol 外界空气的湿度，水体积/干空气体积

m 特性燃料分子中的碳原子数

n 特性燃料分子中的氢原子数

x 特性排气碳氢化合物分子中的碳原子数

y 特性燃气碳氢化合物分子中的氢原子数

n/m 值即所用燃料中的氢原子与碳原子之比，是通过燃料类型分析评估出的。须在每一设定条件下测量外界空气的湿度 hvol。在排气碳氢化合物特征化 (x,y) 不存在相反证据的情况下，将使用 $x = 1$, $y = 4$ 的数值。如果使用干或半干的一氧化碳和二氧化碳测量值，则首先须将这些值转换成等效的湿气体浓度。

注：转换为等效的湿气体浓度的方法见附录I第3和4节。

7.1.3 按基准条件修正排放指数

7.1.3.1 须对在所有相关发动机运行模式下测得的发动机所有污染物的排放指数进行修正，以计及实际测试的进口空气的温度和压力条件与基准大气条件（海平面国际标准大气）的偏离。在适用的情况下，为了计及所测试的发动机与基准标准发动机的偏离，也可使用这些修正法（见附录6，第1f段）。湿度的基准值须为 0.00634 kg 水/kg 干空气。因此，修正后的 $EI = K \times$ 实测的 EI ，式中 K 的广义化表达式是：

$$K = (PB_{ref}/PB)^a \times (FAR_{ref}/FAR)^b \times \exp((TB_{ref} - TB)/c) \times \exp(d[h_{mass} - 0.00634])$$

PB 实测燃烧室进口压力；

TB 实测燃烧室进口温度；

FARB 燃烧室的燃料/空气比；

hmass 外界空气湿度，kg 水/kg 干空气；

Pref 国际标准大气海平面压力；

Tref 国际标准大气海平面温度；

PBref 与国际标准大气海平面条件下的 TB 相关联的测试发动机（或基准发动机，如果按基准发动机修正了数据）的燃烧室进口处的压力；

TBref 国际标准大气海平面条件下测试发动机（或基准发动机，如果按基准发动机修正了数据）的燃烧室进口处温度。此温度是与每一模式中规定的每一推力值相联系的温度；

FARref 在国际标准大气海平面条件下测试发动机（或基准发动机，如果按基准发动机修正了数据）的燃烧室内的燃料/空气比；

a,b,c,d 特定常数，依每一污染物和每一种发动机类型而变。燃烧室进口参数最好测量得出，但也可用适当的公式从外界条件计算得出。

7.1.3.2 使用 7.2 中推荐的曲线拟合技巧将排放指数与燃烧室进口温度相关联，可有效地去除广义化方程式中的 $\exp((TB_{ref} - TB)/c)$ 项，而且在大多数情况下， (FAR_{ref}/FAR) 项可认为是单位 1。对于一氧化碳和碳氢化合物的排放指数，许多测试机构已经确认，湿度项很接近于单位 1，可从表达式中去除，而且 (PB_{ref}/PB) 项的指数接近于单位一。因此，

修正后的 $EI(CO) =$ 由 $(PB/PB_{ref}) \times EI(CO)$ 对 TB 曲线导出的 EI

修正后的 $EI(HC) =$ 由 $(PB/PB_{ref}) \times EI(HC)$ 对 TB 曲线导出的 EI

修正后的 $EI(NO_x) =$ 由 $EI(NO_x) \times (PB_{ref}/PB)^{0.5} \times \exp(19[h_{mass} - 0.00634])$ 对 TB 曲线导出的 EI

如果这种推荐的一氧化碳和碳氢化合物排放指数修正法不能提供令人满意的关联，可以使用由成分测试中导出的参数形成的替代方法。

任何其他用于修正一氧化碳、碳氢化合物和氮氧化物排放指数的方法均须得到局方的批准。

C. 7.2 控制参数函数(D_p 、 F_{oo} 、 π)

7.2.1 定义

D_p 在基准排放着陆和起飞循环中排放出的任何气态污染物的质量。

F_{oo} 额定推力（见第 I 部分第 1 章，定义）

F_n 着陆和起飞运行模式 n 下的推力（kN）

W_f 国际标准大气海平面条件下的基准标准发动机的燃料质量流速 (kg/s)。

W_{fn} 着陆和起飞运行模式 n 中的国际标准大气海平面条件下的基准标准发动机燃料质量流速。

π 当发动机在国际标准大气海平面静态条件下产生起飞推力额定值时，压气机中最后一级压气机排气平面处的平均总压与压气机进口平面处的平均总压之比。

7.2.2 须为每一着陆和起飞运行模式获得每种污染物的排放指数 (EIn)，该指数要按基准大气条件进行修正，必要时按基准型标准发动机进行修正 (EIn (修正的))。为了确定慢车模式，至少需要有三个测试点。须在基准大气条件下为每一种气态污染物确定下列关系：

- a) EI (修正的) 与 TB 之间；
- b) W_f 与 TB 之间；和
- c) F 与 TB 之间；

注：图 A3-2 a)、b) 和 c) 描绘了这些关系。

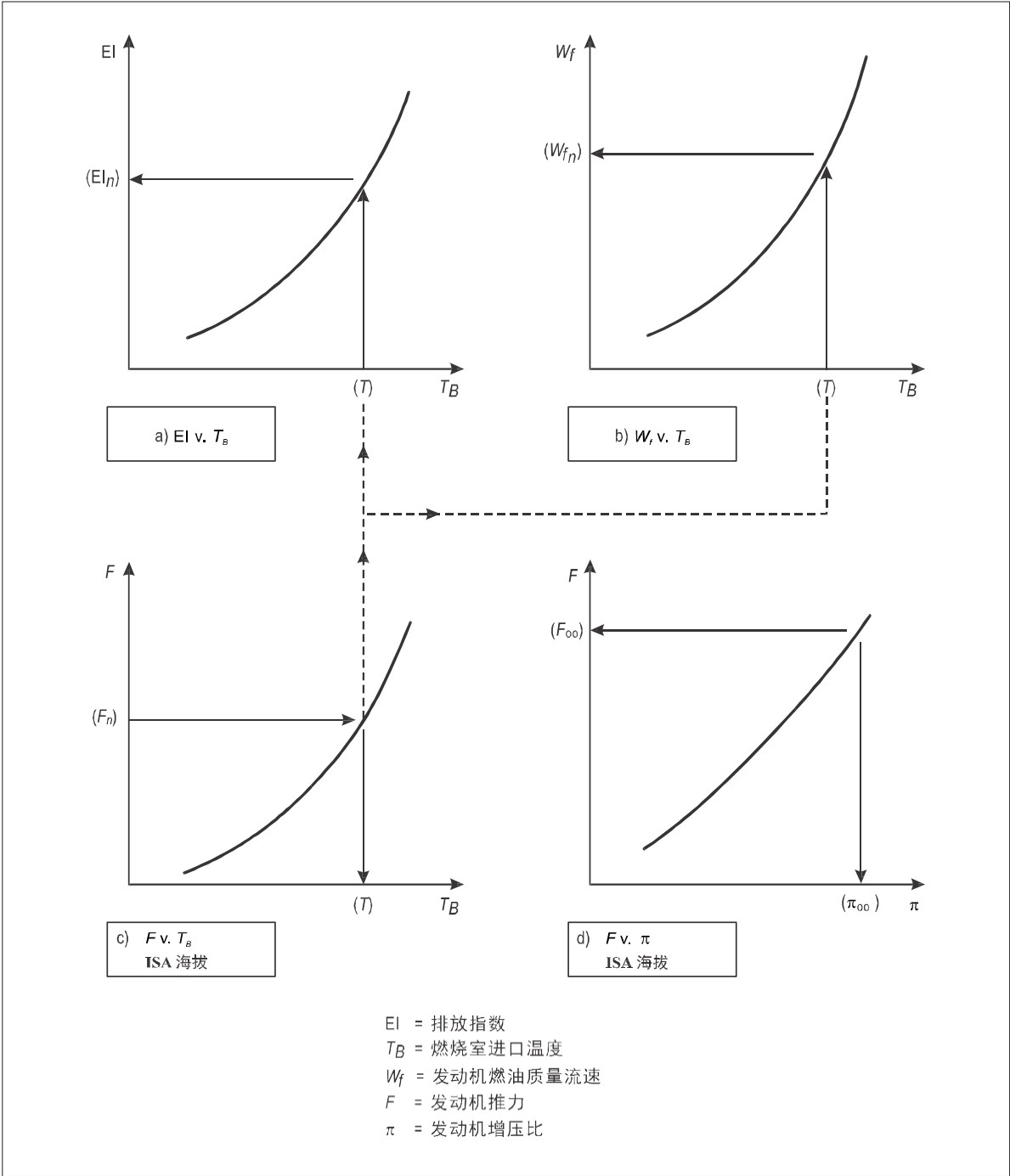
注：b) 和 c) 中的关系可以直接根据发动机数据建立，亦可从验证过的发动机性能模型中导出。

7.2.2.1 基准发动机被定义为：基本按照发动机型号生产标准构型出的，并具备有充分代表性的运行和性能特性的发动机。

7.2.2.2 制造商还须向局方提供所有必要的发动机性能数据以证实这些关系，以及在国际标准大气海平面外界条件下的：

- a) 额定推力 (F_{00})；和
- b) 基准增压比 (π_{00})。

注：图 A3-2 d) 描绘了这些关系。



图A3-2 计算程序

7.2.3 在四种着陆和起飞运行模式下对每一种气态污染物的 EI（修正的）进行的估算须符合下述一般程序：

-
- a) 在基准大气条件下，确定对应于四种着陆和起飞运行模式 n 的 F_n 值下的燃烧室进口温度 (TB) (图A3-2 c)；
- b) 由 EI (修正的) /TB 特性 (图 A3-2 a) 确定对应于 TB 的 E_{In} 值；
- c) 由 W_f /TB 特性 (图 A3-2 b) 确定对应于 TB 的 W_{fn} 值；
- d) F记录 F_{00} 和 $_{00}$ 的值 (图A3-2 d)；
- e) 为每一污染物计算 $D_p = \sum (E_{In})(W_{fn})(t)$ ，其中： t 着陆和起飞循环模式的时间 (min)；
- W_{fn} 燃料质量流速 (kg/min)；和
- f) 构成基准着陆和起飞循环的全组模式的求和。

注：尽管上面描述的方法为要求的方法，但局方可以接受使用可代表所示曲线的数学表达式的等效数学程序，如果此表达式已经使用认可的曲线拟合技巧导出。

附 录 D 用于航空器涡轮发动机排放测试的燃料规范

注：见 ICAO 附件 16 卷 II 附录 4

除局方同意的偏离和必要的修正外，测试期间使用的燃料须符合本附录的规格。不得出现为抑制烟雾而使用的添加剂（如有机金属化合物）。

性质	值的许可范围
15°C时的密度kg/m ³	780 ~ 820
蒸馏温度，°C	
10%沸点	155 ~ 201
最终沸点	235 ~ 285
燃烧净热值，MJ/kg	42.86 ~ 43.50
芳烃含量，体积百分比	15 ~ 23
萘烃含量，体积百分比	0.0 ~ 3.0
烟点，mm	20 ~ 28
氢，质量百分比	13.4 ~ 14.3
硫，质量的百万分率	小于3 000
-20°C时的动力黏度，mm ² /s	2.5 ~ 6.5

附录 E 用于带加力燃烧的燃气涡轮发动机气态排放物的仪器和测量技术

注：见 ICAO 附件 16 卷 II 附录 5

E.1 引言

注：本附录中规定的程序涉及代表性排气样本的获取、这些样本向排放物测量系统的传输及由该系统对其进行的分析。这些程序仅用于采用加力燃烧时。所建议的方法代表的是现成可用和最为成熟的现代做法。已经认识到，需要针对到界条件作出修正，有了修正方法后，将会作出规定。同时，采用加力燃烧时所用的任何修正方法应得到审定当局的批准。

E.2 定义

下列词语在本附录中使用不加进一步解释时，具有赋予它们的如下含义：

E.2.1 精度

某一测量值与独立确定的真值接近的程度。

E.2.2 校准气体

用于仪器校准、调节和定期检查的高精度基准气体。

E.2.3 浓度

气体混合物中所含有关成分的体积分数 — 用体积百分比或百万分率表示。

E.2.4 火焰电离探测器

一种氢气—空气扩散火焰探测器，它能够产生在名义上与单位时间内进入火焰的碳氢化合物的质量流速成正比的信号 — 一般情况下假设能对进入火焰的碳原子数量作出响应。

E.2.5 干扰

由于出现不同于待测的气体（或蒸气）的成分而引起的仪器响应。

E.2.6 噪声

仪器输出的随机变化，它与仪器对之作出响应的样本的特性无关，并且能够由其漂移特性辨识出来。

E.2.7 非色散红外线分析仪

一种通过吸收红外线能量，选择性地测量具体成分的仪器。

E.2.8 百万分率（ppm）

每百万单位体积的气体混合物中所含某一成分气体的单位体积浓度。

E.2.9 百万分率碳（ppmC）

在甲烷当量基础上测得的碳氢化合物的摩尔分数乘以 106。因此，1 ppm 甲烷表示为 1 ppmC。要将碳氢化合物的 ppm 浓度转换为 ppmC 当量值，则用 ppm 浓度乘以该气体每一摩尔中碳原子数。例如，1 ppm 丙烷可换算成 3 ppmC 的碳氢化合物；1 ppm 的己烷可换算成 6 ppmC 的碳氢化合物。

E. 2. 10 喷气流

所有的发动机外部排气流，包括与排气相混的外界空气。

E. 2. 11 基准气体

一种规定的和已知成分的气体混合物，以此作为基础，以说明仪器对气体浓度作出响应的仪表响应。

E. 2. 12 可重复度

在不调整所用仪器的情况下，在短期内对一给定的不变样本进行重复测量可再次产生的量值所具有的接近程度。

E. 2. 13 分辨率

在测量中能够探测到的最小变化。

E. 2. 14 响应

随着样本浓度的变化而出现的仪器输出信号的变化。而且输出信号与给定的样本浓度相对应。 稳定度 在某一给定时段内对一给定的不变样本进行重复测量，其产生的量值所能保持的接近程度。 零漂移 当仪器用于无待测成分的气体时，仪器的输出相对于设定的零点所产生的时间关联性偏离。 零气体 用于建立仪器调零或无响应调节的气体。

E. 3 所需数据

E. 3. 1 气态排放物

须确定下列排放物的浓度：

a) 碳氢化合物类 (HC)：排气中出现的所有碳氢化合物的合并估算值。 b) 一氧化碳 (CO)。

c) 二氧化碳 (CO₂)。

注：二氧化碳不被视为一种污染物，但是，为了计算和检查的目的，需要知道其浓度。

d) 氮氧化物 (NO_x)：两种氧化物即一氧化氮 (NO) 和二氧化氮 (NO₂) 总和的估算值。

e) 一氧化氮 (NO)。

E. 3. 2 其他信息

为了使排放物测量数据规格化和量化发动机的测试特性，除了第 3 章 3.4 的要求外，还须提供以下方面的其他信息：

- 进口温度；
- 进口湿度；
- 大气压力；
- 相对于发动机排气轴的风的向量；
- 燃料的氢/碳比；
- 发动机安装细节；
- 其他所需的发动机参数（例如：推力、转子速度、涡轮温度）；

— 污染物浓度数据和统计验证参数。

这些数据须按本附录第 3.2.1 段所述的那样，通过直接测量或计算获得。

3.2.1 补充数据的规格

正如本附录第 3.2 段所要求的，除了实测样本组分浓度，还须提供以下数据：

- a) 进口温度：在位于一倍发动机进气平面直径内的某一点测得的总温，精度到 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；
- b) 进口湿度（kg 水/kg 干空气）：在发动机前方距进气平面 15m 内的某一点测得，精度为读数的 $\pm 5\%$ ；
- c) 大气压力：在距发动机测试位置 1km 之内测量，并视需要根据测试台的高度修正，精度到 $\pm 100\text{ Pa}$ ；
- d) 燃料质量流量：直接测量，精度到 $\pm 2\%$ ；
- e) 燃料氢/碳比：定义为 n/m ，其中 C_mH_n 为测试中所用燃料的当量碳氢化合物代表式并参照发动机燃料型号分析加以评估。

f) 发动机参数：

1) 推力：直接测量，精度到审定测试中使用的起飞功率的 $\pm 1\%$ 和最小推力的 $\pm 5\%$ ，这些点之间会有线性变化；

2) 转速：直接测量，精度到至少 $\pm 0.5\%$ ；

3) 燃气发生器气流量：参照发动机性能校准确定，精度到 $\pm 2\%$ 。须在每一发动机排放测试设定值上确定 a)、b)、d) 和 f) 参数，而 c) 参数须在排放测试中以不少于 1 小时的间隔确定。

E. 4 系统的总体布置

由于使用加力燃烧的发动机的排气喷气流具有化学反应性，所以，有必要确保实测的排放物确实与那些实际排入周围大气中的排放物相一致。可以通过在离发动机足够远的下游对喷气流进行采样做到这一点，在这里排气已经冷却到不发生化学反应的温度。不得使用脱水剂、干燥剂，集水器或相关设备处理流入氮氧化物分析仪和碳氢化合物分析仪的排气样本。第 5 节叙述了对各部件子系统的要求，但下面的清单给出了一些限定性条件及可作出的变化：

a) 假设每一个子系统包括有必要的流量控制、调节和测量机构；

b) 是否需要加入一个放泄泵和/或一个热样本泵取决于达到样本传输时间和分析子系统样本流速要求的能力。而这又取决于排气样本驱动压力和管路损失。一般认为，在某种发动机运行条件下，这些泵通常是必要的；和

c) 热泵相对于气体分析子系统的位置可以根据需要改变。（例如，一些碳氢化合物分析仪包含有热泵，因此，可以判定能够用于系统热泵的上游。）

注：图 A5-1 和 A5-2 是排气采样和分析系统的示意图，典型地说明了排放物测试的基本要求。

E. 5 部件说明

注：注：下面是发动机排气排放物测量系统中主要元件的一般性说明和规格。本附录第 5.2.1、5.3.2 和 5.4.1 段中载有所需的史多细节。

E. 5. 1 采样系统

5.1.1 采样探头

- a) 探头的构造须使探头能够在喷气流的直径上的各个位置处抽取单个样本。不允许有混杂样本。
- b) 与样本接触的材料须是不锈钢的，其温度须保持在不低于 60°C 的值上。

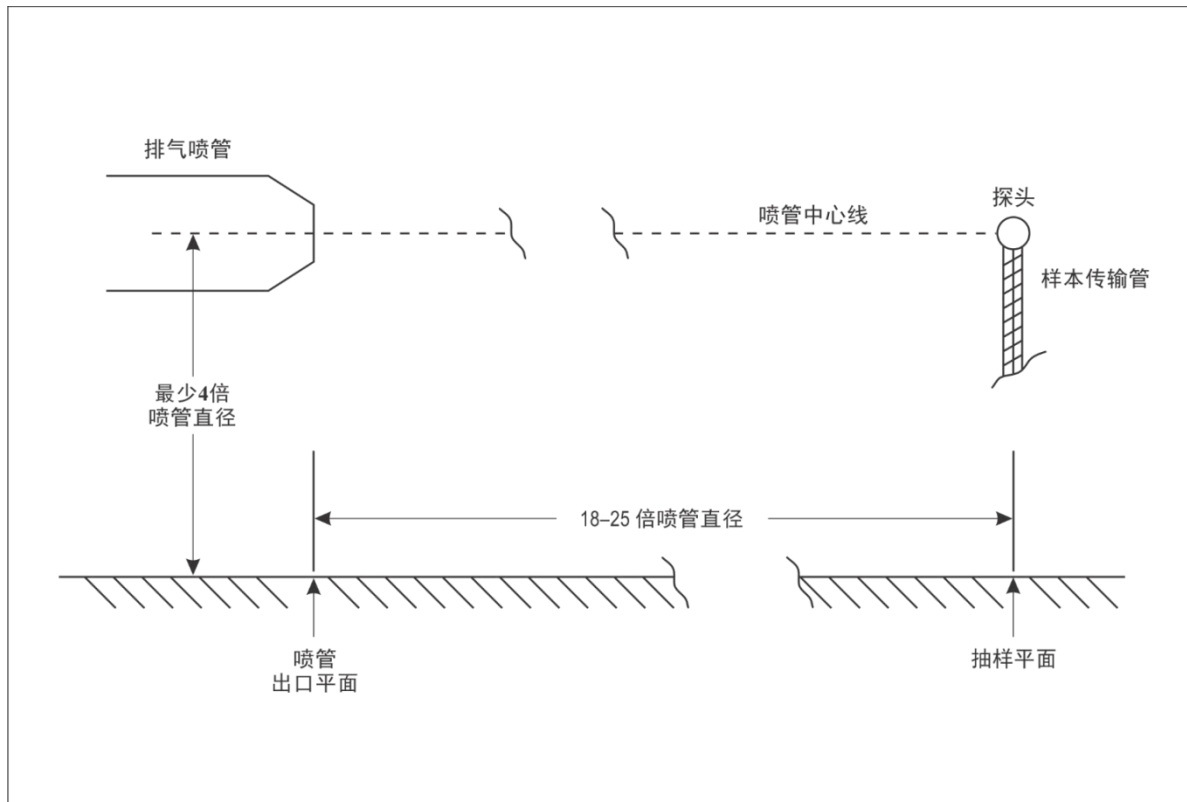


图 A5-1 排气采样系统示意图

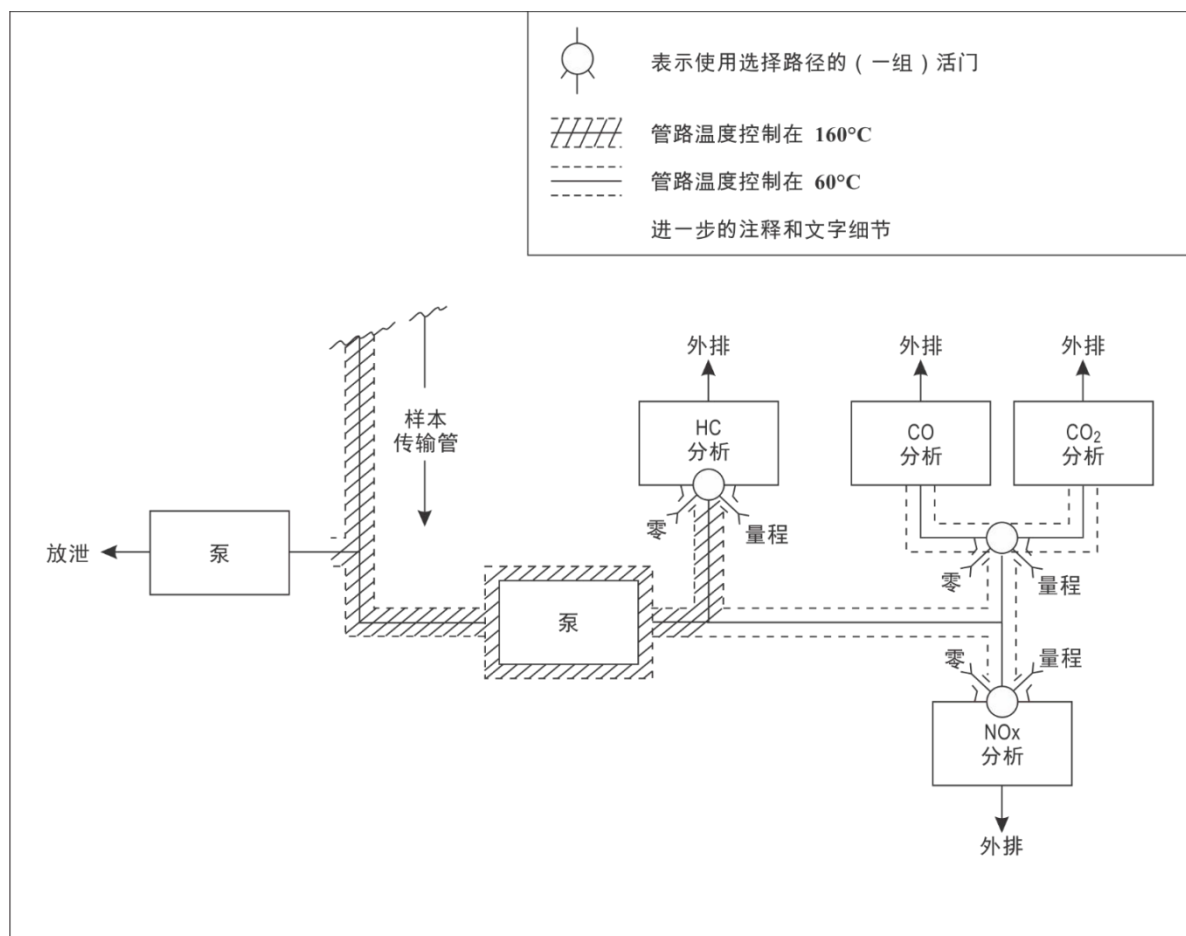


图 A5-2 样本传输和分析系统示意图

c) 采样平面须与发动机喷口的中心线投影相垂直，并且须尽可能地靠近与喷口出口平面相距 18 倍喷口直径的位置处（与 7.1.2 相一致），但在任何情况下都不得超过 25 倍的喷口直径。喷口出口直径须满足发动机最大功率条件。在出口与采样平面之间（包括这些面），沿发动机喷口的中心线投影径向距离上须有至少 4 倍喷口出口直径的无障碍区。

d) 采样点的最小数目须等于 11。位于发动机 X 距离处的测量平面须分成三个部分：以围绕排气流的因为界，其半径如下：

$$R1 = 0.05X \quad R2 = 0.09X$$

而且，每一个部分须提取最少 3 个样本。每个部分样本数之差须小于 3。在离此轴最远处提取的样本须取自位于 0.11X 和 0.16X 之间的半径上的某一点。

5.1.2 采样管路

须通过一根内径为 4.0 至 8.5 mm 的管子，走尽可能最短的路径且使用能使传输时间少于 10 秒的流速，将样本从探头传输到分析仪中。管路温度须保持在 $160^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ (稳定度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$)。当采样测量碳氢化合物、一氧化碳、二氧化碳和氮氧化物成分时，管子须用不锈钢或以渗碳为底基的聚四氟乙烯制成。

E. 5.2 碳氢化合物分析仪

须使用在其电极之间流过与进入氢火焰的碳氢化合物质量比率成正比的电离电流的加热的火焰电离探测器（FID），来测量总的碳氢化合物样本成分。分析仪须被认为包括用于控制样本温度和流速、样本旁通、燃料及稀释气体并且能够进行有效量程和零位校准检查的部件。

注：本附录第 5.2.1 段给出了完整的规格。

5.2.1 碳氢化合物分析仪的规格

注：正如本附录第 5.2 段所述，此分析仪的测量元件为火焰电离探测器（FID），在探测器中，全部样本流或有代表性的部分样本流被引入以氢为燃料的火焰中。在将电极适当定位后，即可产生随着进入火焰中的碳氢化合物质量流量率而变化的电离电流。此电流参照一个适当的零位被放大和调定量程，以提供输出响应，作为对以 ppmC 当量表示的碳氢化合物浓度的测量数据。

注：关于校准和测试气体的信息见本附录第 6.3.4 和 6.4.3 段。

5.2.1.1 概述

预防措施：规定的性能规格通常是对分析仪满刻度来说的。部分刻度上的误差可能会占读数中的较大的比例。在做测量准备时须考虑到这类增量的相关性和重要性。如果有更好的性能，则须采取适当的预防措施。

所用的仪器须能够使探测器和样本处理部件的温度保持在 155C 至 165C 量程内的某一定点温度上，并且具备 $\pm 2C$ 的稳定度。在探测器响应已经优化，且仪器通常已稳定的情况下，主要规格点须为：

- a) 总量程：相应量程中的 0 to 500 ppmC。
- b) 分辨率：所取量程满刻度的 0.5% 以上或 0.5 ppmC，取其中大者。
- c) 可重复性：所取量程满刻度的 $\pm 1\%$ 以上或 ± 0.5 ppmC，取其中大者。
- d) 稳定度：在 1 小时时段内，所取量程满刻度的 $\pm 2\%$ 以上或 ± 1 ppmC，取其中大者。
- e) 零漂移：在 1 小时时段内，所取量程满刻度的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 0.5 ppmC，取其中大者。
- f) 噪声：0.5 Hz 及其以上，所取量程满刻度的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 0.5 ppmC，取其中大者。
- g) 响应时间：从样本进入分析系统到获得 90% 的最终读数不得超过 10 秒。
- h) 线性：每个量程内对空气中丙烷的响应须呈线性，变动在满刻度的 $\pm 2\%$ 以内，否则，须进行校准修正。

5.2.1.2 协同效应

注：应用中，有两个性能方面可能影响测量的精度：

- a) 氧气效应（由于这一效应，对于恒定的实际碳氢化合物浓度，样本中出现的不同比例的氧气会给出不同指示的碳氢化合物浓度）；和
- b) 碳氢化合物相对响应（由于这一效应，对于以当量 ppmC 表示的同一样本碳氢化合物浓度会有不同的响应，这取决碳氢化合物的种类或各种类的混合情况）。

上述效应大小应按下列方法确定并做相应限制。

氧气响应：按如下所述，用两种已知相对精度为 $\pm 1\%$ ，浓度约为 500 ppmC 的丙烷做响应测量：

- 1) 10 $\pm 1\%$ 为氧气其余为氮气中的丙烷

2) $\pm 1\%$ 为氧气其余为氮气中的丙烷

如果 R_1 和 R 分别为规格化响应, 则 $(R_1 - R_2)$ 须小于 R_1 的3%。

不同碳氢化合物响应: 按如下所述, 用四种已知相对精度为 $\pm 1\%$, 浓度约为500ppmC的空气中的不同碳氢化合物做响应测量:

a) 零空气中的丙烷

b) 零空气中的丙烯

c) 零空气中的甲苯

d) 零空气中的正乙烷

如果 R_a 、 R_b 、 R_c 和 R_d 分别为规格化响应(相对于丙烷), 则 $(R_a - R_b)$ 、 $(R_a - R_c)$ 和 $(R_a - R_d)$ 须各小于 R_a 的5%。

5.2.1.3 探测器响应的优化和校准

5.2.1.3.1 须执行制造商关于程序初始设置所需附属服务与供应的细则, 并使仪器处于稳定状态。所有设定值的调整均须包含对零的反复检查和必要的修正。将空气中约500 ppmC的丙烷混合物作为样本, 须首先确定燃料流量变化的响应特性, 然后在接近最佳燃料流量处确定稀释空气流变化的响应特性, 以选出最佳值。然后, 须按上文所述确定氧气响应和不同碳氢化合物响应。

5.2.1.3.2 须通过以满刻度的约30%、60%和90%的浓度将丙烷加入到空气样本中, 检查每一分析量程的线性。任何这些点与一条最小二乘方直线(与这些点和零相拟合)产生的最大响应偏差不得超过满刻度值的 $\pm 2\%$ 。如果超过, 则须为运行使用制备一条校准曲线。

E. 5.3 一氧化碳和二氧化碳分析仪

须使用非色散红外线分析仪来测量这些成分, 其设计须能够在平行基准与样本气囊这些气体的每一成分的气囊或气囊组处于适当的光敏状态之间做差能吸收。此分析子系统须包括所有必要的控制 and 处理样本、零及量程气流的功能。无论选用何种测量基础(湿的或干的), 温度控制都须与其相对应。

注: 本附录第5.3.1段给出了完整的规格。

5.3.1 一氧化碳和二氧化碳分析仪的规格

注: 本附录第5.3段总结了用于单独测量排气样本中一氧化碳和二氧化碳浓度的分析子系统的特性。仪器是基于平行基准与样本气囊的非色散吸收红外放射原理。通过使用叠加样本囊或改变电子线路或两者一起用, 来获得所需敏感度范围。通过使用气体吸收过滤器和/或光学过滤器, 或同时使用二者(但应使用光学过滤器)可以将具有重叠吸收频带的气体所产生的干扰降至最低。

注: 关于校准和测试气体的信息见本附录第6.3.4和6.4.3段。

预防措施: 规定的性能规格通常是对分析仪满刻度来说的。部分刻度上的误差可能会占读数中的较大的比例。在做测量准备时须考虑到这类增量的相关性和重要性。如果需要有更好的性能, 则须采取适当的预防措施。

主要性能规格须为:

一氧化碳分析仪

a) 总量程: 相应量程中的0到2 500 ppm。

b) 分辨率: 所取满刻度量程的0.5%以上或1 ppm, 取其中大者。

c) 可重复度: 所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以上或 ± 2 ppm, 取其中大者。

- d) 稳定度：在1小时时段内，所取满刻度量程的 $\pm 2\%$ 以上或 ± 2 ppm，取其中大者。
- e) 零漂移：在1小时时段内，所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 2 ppm，取其中大者。
- f) 噪声：0.5 Hz及其以上，所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 1 ppm，取其中大者。
- g) 干扰：对于指示的一氧化碳浓度，须按如下所述实施限制：
 - 1) 小于500 ppm / %乙烯浓度
 - 2) 小于2 ppm / %二氧化碳浓度
 - 3) 小于2 ppm / %水蒸气（在做“干”测量时不必使用）。

如果不能遵守二氧化碳和/或水蒸气的干扰限制，则须确定、报告和应用相应的修正因子。

注：为了与好的做法保持一致，建议在所有情况下都采用这类修正程序。

二氧化碳分析仪

- a) 总量程：相应量程中的0%到10%。
- b) 分辨率：所取满刻度量程的0.5%以上或100 ppm，取其中大者。
- c) 可重复度：所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以上或 ± 100 ppm，取其中大者。

d) 稳定度：在1小时时段内，所取满刻度量程的 $\pm 2\%$ 以上或 ± 100 ppm，取其中大者。 e) 零漂移：在1小时时段内，所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 100 ppm，取其中大者。 f) 噪声：0.5 Hz及其以上，所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 100 ppm，取其中大者。

g) 须检查氧气对二氧化碳分析仪响应所起的效应。对于氧气从 0%到 21%的变化时，给定二氧化碳浓度响应的变化不得超过读数的 2%。如果无法遵守此限制，则须使用适当的修正因子。

注：为了与好的做法保持一致，建议在所有情况下都采用这类修正程序。

一氧化碳和二氧化碳分析仪

- a) 响应时间：从样本进入分析系统到获得 90%的最终读数不得超过 10 秒。

b) 样本温度：正常运行模式是用于分析处于(未处理)“湿”状态的样本。这要求样本囊和与此子系统中样本相接触的所有其他成分保持在不低于 50°C的温度，稳定度为 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。允许选择在干的基础(具有合适的集水器)上做一氧化碳和二氧化碳的测量，在这种情况下，允许使用未加热的分析仪并取消了水蒸气干扰限制，但需要对入口水蒸气和燃烧后生成的水做后续修正。

- c) 校准曲线：

i) 须使用已知浓度约为满刻度的 0%，30%，60%和 90%的校准气体，在整个工作量程上检查具有线性信号输出特性的分析仪。任何这些点与一条与这些点和零相拟合的最小二乘方直线产生的最大响应偏差不得超过满刻度值的 $\pm 2\%$ 。如果超过，则须为运行使用制备一条校准曲线。

ii) 对于具有非线性信号输出特性的分析仪和那些不符合上面给出的线性要求的分析仪，须使用已知浓度约为满刻度的 0%、30%、60%和 90%的校准气体为所有工作量程制备校准曲线。如果必要，须使用额外混合物来适当限定曲线形态。

E. 5. 4 氮氧化物分析仪

须使用化学发光法来测量一氧化氮的浓度，根据此方法，对样本中一氧化氮同加入的臭氧发生反应时发射出的辐射强度进行的测量即是对一氧化氮浓度的测量。测量前，须在一个具有所需效率的转化器

内将二氧化氮成分转化为一氧化氮。总的氮氧化物测量系统须包括所有必要的流量、温度及其他的控制器，并便于进行例行的零和量程校准检查以及转化器效率的检查。

注：本附录第 5.4.1 段给出了完整的规格。

5.4.1 氮氧化物分析仪的规格

注：关于校准和测试气体的信息见本附录第 6.3.4 和 6.4.3 段。

5.4.1.1 正如本附录第 5.4 段所述，须通过用于测量一氧化氮与臭氧反应所发出的辐射的化学发光技术来测量氮氧化物的浓度。这种方法对于二氧化氮不敏感，因此，须使样本通过一个转化器，在该转化器中，二氧化氮先被转化为一氧化氮，然后再测量总的氮氧化物。一氧化氮原有浓度和总的氮氧化物的浓度都须记录。这样一来，根据差值，便可得出二氧化氮的浓度。

5.4.1.2 所用仪器须配齐所有必要的流量控制部件，诸如调压器、活门、流量表等。与样本气体接触的材料须限于那些能够耐氮氧化物腐蚀的材料，诸如不锈钢、玻璃等。各处的样本温度都须保持在与局部压力相一致的数值上，以避免水的冷凝。

预防措施：规定的性能规格通常是对分析仪满刻度来说的。部分刻度上的误差可能会占读数中的较大的比例。在做测量准备时须考虑到这类增量的相关性和重要性。如果有更好的性能，则须采取适当的预防措施。

5.4.1.3 为在稳定在 2C 以内的外界温度中工作的仪器确定的主要性能规格须为：

- a) 总量程：相应量程中的 0 到 2500 ppm。
- b) 分辨率：所取满刻度量程的 0.5% 以上或 1 ppm，取其中大者。
- c) 可重复度：所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以上或 ± 1 ppm，取其中大者。
- d) 稳定度：在 1 小时时段内，所取满刻度量程的 $\pm 2\%$ 以上或 ± 1 ppm，取其中大者。
- e) 零漂移：在 1 小时时段内，所取满刻度量程的 $\pm 1\%$ 以下或 ± 1 ppm，取其中大者。
- f) 噪声：在 2 小时时段内，0.5 Hz 及其以上，所取满刻度量程的 $\pm 1.0\%$ 以下或 ± 1 ppm，取其中大者。
- g) 干扰：对含二氧化碳和水蒸气的样本的抑制，须按如下所述加以限制：
 - 小于读数的 0.05% / 每一百分点的二氧化碳浓度；
 - 小于读数的 0.1% / 每一百分点的水蒸气浓度。

如果不能遵守二氧化碳和/或水蒸气的干扰限制，则须确定、报告和应用相应的修正因子。

注：为了与好的做法保持一致，建议在所有情况下都采用这类修正程序。

- h) 响应时间：从样本进入分析系统到获得 90% 的最终读数不得超过 10 秒。
- i) 线性：所取满刻度量程的 $\pm 2\%$ 以上或 ± 2 ppm，取其中大者。
- j) 转化器：其设计和使用须能使样本中存在的二氧化氮转化为一氧化氮。转化器不得影响样本中原有的一氧化氮。

转化器的效率不得低于 90%。

此效率值须用于将实测样本的二氧化氮值（即 $[\text{NO}_x]_c - [\text{NO}]$ ）修正到如果效率不是 100% 可能得出的数值。

E. 6 一般测试程序

E. 6. 1 发动机运行

发动机须在合适的并适当地配有高精度性能测试设备的露天静态测试设施上运转，而且此设施还须符合 5.1 中规定的采样探头的安装要求。须按照局方规定的功率设定值进行测试。发动机须在每一设定值上稳定运转。

E. 6. 2 环境空气条件

6.2.1 须在发动机在测试条件下做测试运转时，检查环境空气中一氧化碳、碳氢化合物、二氧化碳及氮氧化物的浓度。异常的高浓度意味着不正常状态，诸如排气往复循环、燃料溢出或测试区域存在某些其他不需要的排放源，对此须酌情予以纠正或避免。

注：作为指南，正常的到界空气中的二氧化碳浓度为 0.03%，而且在正常条件下，到界空气中的一氧化碳和碳氢化合物的浓度水平不可能超过 5 ppm，而氮氧化物的浓度水平不可能超过 0.5 ppm。

6.2.2 还须避免诸如降水或过大风速等极端天气条件。

E. 6. 3 主要仪器的校准

注：本校准的总的目的是确认稳定性和线性。

6.3.1 申请人须使局方确信，分析系统的校准在测试时是有效的。

6.3.2 对于碳氢化合物分析仪，这种校准须包括检查探测器的氧气和不同碳氢化合物响应是否在本附录第 5.2.1段所规定的极限内。还须检查和验证二氧化氮/一氧化氮转化器的效率，以符合本附录第 5.4.1 段的要求。

6.3.3 须采用下列程序检查每一分析仪的性能（使用本附录第 6.3.4 和 6.4.3 段中规定的校准和测试气体）：

- a) 导入零气体并仪器调零，酌情记录设定值；
- b) 对于运行中使用的每一量程，导入（标称）90%量程的满刻度偏转（FSD）浓度的校准气体；相应调节仪器增益并记录其设定值；
- c) 导入约 30%、60%和 90%量程的满刻度偏转浓度并记录分析仪的读数；
- d) 在零、30%、60%和 90%浓度点处拟合出一条最小二乘方直线。对于以其基本形式使用的未做输出线性化的一氧化碳和/或二氧化碳分析仪，在断定需要时，须使用额外的校准点拟合出一条从相关数学公式得出的最小二乘方曲线。如果任何一点偏离满刻度值的 2%以上（或±1 ppm*，取其中大者），则须为运行制备一条校准曲线。

6.3.4 校准气体

表A5-1 校准气体表

分析仪	气体	精度*
碳氢化合物（HC）	零空气中的丙烷	±2%或 ±0.05 ppm**
二氧化碳（CO ₂ ）	零空气中的二氧化碳	±2%或 ±100 ppm**
一氧化碳（CO）	零空气中的一氧化碳	±2%或 ±2 ppm**
氮氧化物（NO _x ）	零氮气中的氮氧化物	±2%或 ±1 ppm**

* 使用 95%以上的置信区间。

** 取其中大者。 在正常运行使用中需要用上述气体做分析仪的

例行校准。

6.3.4.1 一氧化碳和二氧化碳校准气体可以进行单一混合或作为双成分混合物进行混合。假如可以保证混合物的稳定度，则可以使用零空气中的一氧化碳、二氧化碳和丙烷三成分混合物。

6.3.4.2 为一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物分析仪规定的零气体须为零空气（包括用 20%至 22%的氧气与氮气混合成的“人造”空气）。对于氮氧化物分析仪，须使用零氮气作为零气体。两种零气体中的杂质须限制在小于以下浓度：

碳 1 ppm

一氧化碳 1 ppm

二氧化碳 100 ppm

氮氧化物 1 ppm

6.3.4.3 申请人须确保供应的商品气体确实符合此规格，或供应商有此规定。

E. 6. 4 运行

6.4.1 只有在全部仪器和样本传输管路预热并达到稳定，且完成了下述检查后，才能进行测量：

a) 渗漏检查：在做一系列测试前，须检查系统是否渗漏，方法是隔离探头和分析仪，连接并操作一个性能类似于烟测量系统所用真空泵的真空泵，以证实系统在正常温度和压力下的渗漏流速小于 0.4 L/min；

b) 洁净度检查：将气体采样系统与探头隔离，并将采样管端头与零气源相连接。将系统预热到做碳氢化合物测量所需的工作温度。操作样本流量泵，并把流速调到进行发动机排放物测试时所用的流速。记录碳氢化合物分析仪的读数。此读数不得超过发动机慢车排放水平的 1%或 1 ppm（二者均表示为甲烷），取其中大者。

注：当探头在发动机排气道内但没做排放物测试时，在发动机运转期间反冲采样管路是一种推荐做法，它可以确保不出现明显的污染。

注：在测试开始和结束时以及在测试中以至少每小时一次的频率进行进气质量监控也是一种推荐做法。如果认为污染量大，则应该加以注意。

6.4.2 须采用下列程序进行运行测量：

a) 加入合适的零气体并对仪器做必要的调节；

b) 对所取量程加入适当的标称 90%满刻度偏转浓度的校准气体，相应调整和记录增益设定值；

c) 当发动机稳定在所需的运行状态和采样位置时，继续运转发动机并观察污染物的浓度，直至获得一个须予以记录的稳定读数。在同样的发动机运行状态下，对其余的每个采样位置重复此测量程序；

d) 在测试结束时以及在测试中以不大于 1 小时的间隔对零点和校准点进行复检。如果任何一点的变化超过所取量程的满刻度的 $\pm 2\%$ ，则须将仪器恢复到其规格内，重复进行测试。

6.4.3 测试气体

表A5-2 测试气体表

分析仪	气体	精度*
碳氢化合物 (HC)	10 ±1%氧气其余为零氮气中的丙烷	±1%
碳氢化合物 (HC)	21 ±1%氧气其余为零氮气中的丙烷	±1%
碳氢化合物 (HC)	零空气中的丙烯	±1%
碳氢化合物 (HC)	零空气中的甲苯	±1%
碳氢化合物 (HC)	零空气中的正乙烷	±1%
碳氢化合物 (HC)	零空气中的丙烷	±1%
二氧化碳 (CO ₂)	零空气中的二氧化碳	±1%
二氧化碳 (CO ₂)	零氮气中的二氧化碳	±1%
一氧化碳 (CO)	零空气中的一氧化碳	±1%
氮氧化物 (NO _x)	零氮气中的一氧化氮	±1%

* 使用95%以上的置信区间。

需要用上述气体做本附录第5.2.1、5.3.1和5.4.1段中的测试。

6.4.3.1 一氧化碳和二氧化碳校准气体可以进行单一混合或作为双成分混合物进行混合。假如可以保证混合物的稳定度，则可以使用零空气中的一氧化碳、二氧化碳和丙烷三成分混合物。

6.4.3.2 为一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物分析仪规定的零气体须为零空气（包括用 20%至 22%的氧气与氮气混合成的“人造”空气）。对于氮氧化物分析仪，须使用零氮气作为零气体。两种零气体中的杂质须限制在小于以下浓度：

碳 1 ppm

一氧化碳 1 ppm

二氧化碳 100 ppm

氮氧化物 1 ppm

6.4.3.3 申请人须确保供应的商品气体确实符合此规格，或供应商有此规定。

E. 7 计算

E. 7. 1 气态排放物

7.1.1 概述 所做的分析性测量须是在发动机相关的加力燃烧模式下在采样平面各个位置上各类污染物的浓度。除了对这些基本参数做记录外，还须按下述要求计算和报告其他参数。

7.1.2 对测量值的分析和验证

a) 在每一发动机设定值下，在不同探头采样位置测得的浓度必须得做如下算数平均：

$$C_{i\text{ moy}} = \sum_{j=1}^n C_{ij}$$

式中

$\sum_{j=1}^n$ 所用采样位置的总数 n 的求和。

C_{ij} 在第 j 个采样位置测得的样品 i 的浓度。

$C_{i\text{ moy}}$ 样品 i 的平均浓度。所有的干浓度测量值须转成真的湿浓度。（见附录 J）

$$r_i = \frac{n \sum_{j=1}^n C_{ij} CO_{2j} - \sum_{j=1}^n CO_{2j}}{\sqrt{(\{n \sum_{j=1}^n (CO_{2j})^2 - (\sum_{j=1}^n CO_{2j})^2\} \{n \sum_{j=1}^n C_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n C_{ij})^2\})}}$$

每一污染物的测量质量将通过用下面的关联系数 r_i 与二氧化碳的各测量值做比较来确定。接近 1 的 r_i 值表明，整个采样阶段所得到的测量值已足够稳定并且其曲线为高斯曲线。若 r_i 值小于 0.95，则须在离航空器发动机更远的采样平面处重做测量。在测量过程本身完成之后，要像前面所述的那样，进行同样的计算和证明。

7.1.3 基本参数

对于每一发动机运行模式下的测量值，每一气态样品的平均浓度均按 7.1.2 所示进行估算，并已按附录 B 所示对干样本测量值和/或干扰做了必要修正。这些平均浓度用来计算下列基本参数：

$$EI_p(\text{成分 } p \text{ 的排放指数}) = \frac{\text{所产生的 } p \text{ 的质量(g)}}{\text{所用燃料的质量(kg)}}$$

$$EI(\text{CO}) = \left(\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{CO}}}{M_c + (n/m) M_H} \right) \left(1 + [\text{CO}_2]_b \left(\frac{P_0}{m} \right) \right)$$

$$EI(\text{HC}) = \left(\frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_c + (n/m) M_H} \right) \left(1 + [\text{CO}_2]_b \left(\frac{P_0}{m} \right) \right)$$

$$EI(\text{NOx}) \text{ as } \text{NO}_2 = \left(\frac{[\text{HC}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} \right) \left(\frac{10^3 M_{\text{HC}}}{M_c + (n/m) M_H} \right) \left(1 + [\text{CO}_2]_b \left(\frac{P_0}{m} \right) \right)$$

$$\text{空气/燃料比} = \frac{P_0}{m} \left(\frac{M_{\text{AIR}}}{M_c + (n/m) M_H} \right)$$

式中

$$\frac{P_0}{m} = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{\text{vol}} - [(\text{CO}_2)_b Z / 2])}$$

和

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x])[\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$

M_{AIR} 干空气分子质量 = 28.966 g 或在适当情况下 = (32 R + 28.156 4 S + 44.011 T) g

M_{HC} 排气碳氢化合物（视同甲烷）的分子质量 = 16.043 g

M_{CO} 一氧化碳分子质量 = 28.011 g M_{NO_2}

二氧化氮分子质量 = 46.088 g M_c

碳原子质量 = 12.011 g

M_H 氢原子质量 = 1.008 g

R 正常情况下干空气中的氧气的体积浓度 = 0.209 5

S 正常情况下干空气中的氮气+稀有气体的体积浓度 = 0.709 2

T 正常情况下干空气中的二氧化碳的体积浓度 = 0.000 3 [HC]

湿排气碳氢化合物的平均体积比浓度，表示为碳

[CO] 湿一氧化碳的平均体积比浓度

[CO₂] 湿二氧化碳的平均体积比浓度

[NO_x] 湿氮氧化物的平均体积比浓度 = [NO + NO₂]

[NO] 湿排气样本中一氧化氮的平均体积比浓度

[NO₂] 湿排气样本中二氧化氮的平均体积比浓度

$$= ([\text{NOx}]_c - [\text{NO}]) / \eta$$

$[\text{NOx}]_c$ 通过二氧化氮/一氧化氮转化器后湿排气样本中一氧化氮的平均体积比浓度

η 二氧化氮/一氧化氮转化器的效率

h_{vol} 外界空气的湿度，水体积/干空气体积

m 特性燃料分子中的碳原子数

n 特性燃料分子中的氢原子数

x 特性排气碳氢化合物分子中的碳原子数

y 特性排气碳氢化合物分子中的氢原子数

n/m 值即所用燃料中的氢原子与碳原子之比，是通过燃料类型分析评估出的。须在每一设定条件下测量外界空气的湿度 h 。在排气碳氢化合物特征化 (x, y) 不存在相反证据的情况下，将使用 $x = 1$, $y = 4$ 的数值。如果使用干或半干的一氧化碳和二氧化碳测量值，则首先须按附录 B 所示，将这些值转换成对等的湿浓度。该附录中还载有需要时使用的干扰修正公式。

注：7.1.4 和 7.2 给出的程序仅适用于不用加力燃烧的测试。对于使用加力燃烧的测试，经局方批准后可使用类似的程序。

7.1.4 按基准条件修正排放指数 须对在所有相关发动机运行模式下测得的发动机所有污染物的排放指数进行修正，以计及实际测试的进口空气的温度和压力条件与基准条件（海平面国际标准大气）的偏离。湿度的基准值须为 0.00634 kg 水/kg 干空气。

因此，修正后的 EI = K × 实测 EI，式中 K 的广义化表达式是：

$$K = (P_{\text{Bref}}/P_B)^a \times (FAR_{\text{ref}}/FAR_B)^b \times \exp([T_{\text{Bref}} - T_B]/c) \times \exp(d[h_{\text{vol}} - 0.00634])$$

P_B 实测燃烧室进口压力；

T_B 实测燃烧室进口温度；

FAR_B 燃烧室燃料/空气比；

h_{vol} 外界空气的湿度，水体积/干空气体积；

P_{ref} 国际标准大气海平面压力；

T_{ref} 国际标准大气海平面温度；

P_{Bref} 与国际标准大气海平面条件下的 T_B 相关联的测试发动机（或基准发动机，如果按基准发动机修正了数据）的燃烧室进口处的压力；

T_{Bref} 在国际标准大气海平面条件下测试发动机（或基准发动机，如果按基准发动机修正了数据）的燃烧室进口处的温度。此温度是与每一模式中规定的每一推力值相联系的温度；

FAR_{ref} 在国际标准大气海平面条件下测试发动机（或基准发动机，如果按基准发动机修正了数据）的燃烧室 内的燃料/空气比；

a, b, c, d 特定常数，依每一污染物和每一种发动机类型而变。燃烧室进口参

数最好测量得出，但也可用适当的公式从外界条件计算得出。

7.1.5 使用推荐的曲线拟合技巧将排放指数与燃烧室进口温度相关联，可有效地去除广义化方程式中的 $\exp [(T_{Bref} - T_B)/c]$ 项，而且在大多数情况下， (FAR_{ref}/FAR_B) 项可认为是单位一。对于一氧化碳和碳氢化合物的排放指数，许多测试机构已经确认，湿度项很接近于单位一，可从表达式中去除，而且 (P_{Bref}/P_B) 项的指数接近单位一。

因此，修正后的 $EI(CO) = \text{由 } (P_B/P_{Bref}) \cdot EI(CO) \text{ 对 } T_B \text{ 曲线导出的 } EI$

修正后的 $EI(HC) = \text{由 } (P_B/P_{Bref}) \cdot EI(HC) \text{ 对 } T_B \text{ 曲线导出的 } EI$

修正后的 $EI(NO_x) = \text{由 } EI(NO_x) (P_{Bref}/P_B)^{0.5 \exp(19[hvol - 0.00634])} \text{ 对 } T_B \text{ 曲线导出的 } EI$

如果这种推荐的一氧化碳和碳氢化合物排放指数修正法不能提供令人满意的关联，可以使用由成分测试中导出的参数形成的替代方法。

任何其他用于修正一氧化碳、碳氢化合物和氮氧化物排放指数的方法均须得到局方的批准。

E. 7.2 控制参数函数(D_p 、 F_{oo} 、 π)

7.2.1 定义

D_p 在基准排放着陆和起飞循环中排放出的任何气态污染物的质量。

F_{oo} 有关局方批准的，以国际标准大气海平面静态为条件在不使用喷水的正常运行条件下可用于起飞的最大推力。

π 当发动机在国际标准大气海平面静态条件下产生起飞推力额定值时，压气机中最后一级压气机排气平面处的平均总压与压气机进口平面处的平均总压之比。

7.2.2 须在每一个等效的修正推力条件下，为所需的着陆和起飞发动机运行模式的慢车、进近、爬升和起飞设定值 (n) 获得每种污染物的排放指数 (EI)，该指数要按照 7.1.4 所示的基准外界大气，必要时按基准发动机进行压力和湿度（适当时）修正。为了确定慢车模式，至少需要有三个测试点。须为每一种污染物确定下列关系：

a) EI 与 T_B 之间；和

b) W_f （发动机燃料质量流速）与 T_B 之间；和

c) F_n （按国际标准大气海平面条件修正的）与 T_B （按国际标准大气海平面条件修正的）之间；

注：图 A5-3 a)、b) 和 c) 描绘了这些关系。

当测试发动机不是“基准”发动机时，可以用从基准发动机获得的关系 b) 和 c)，将数据修正到“基准”发动机条件。基准发动机被定义为：基本上按照局方审定和认可的发动机说明构型，可代表谋求取得审定的发动机型号的发动机。制造商还须向局方提供所有必要的发动机性能数据以证明这些关系，以及国际标准大气海平面外界条件下的：

d) 最大额定推力 (F_{oo})；和

e) 最大额定推力下的发动机增压比 (π_{oo})。

注：图 A5-3 d) 描绘了这些关系。

7.2.3 对于按基准外界条件修正后的每一所需发动机模式设定值下的每一污染物的 EI 进行的估算，须符合下述一般程序：

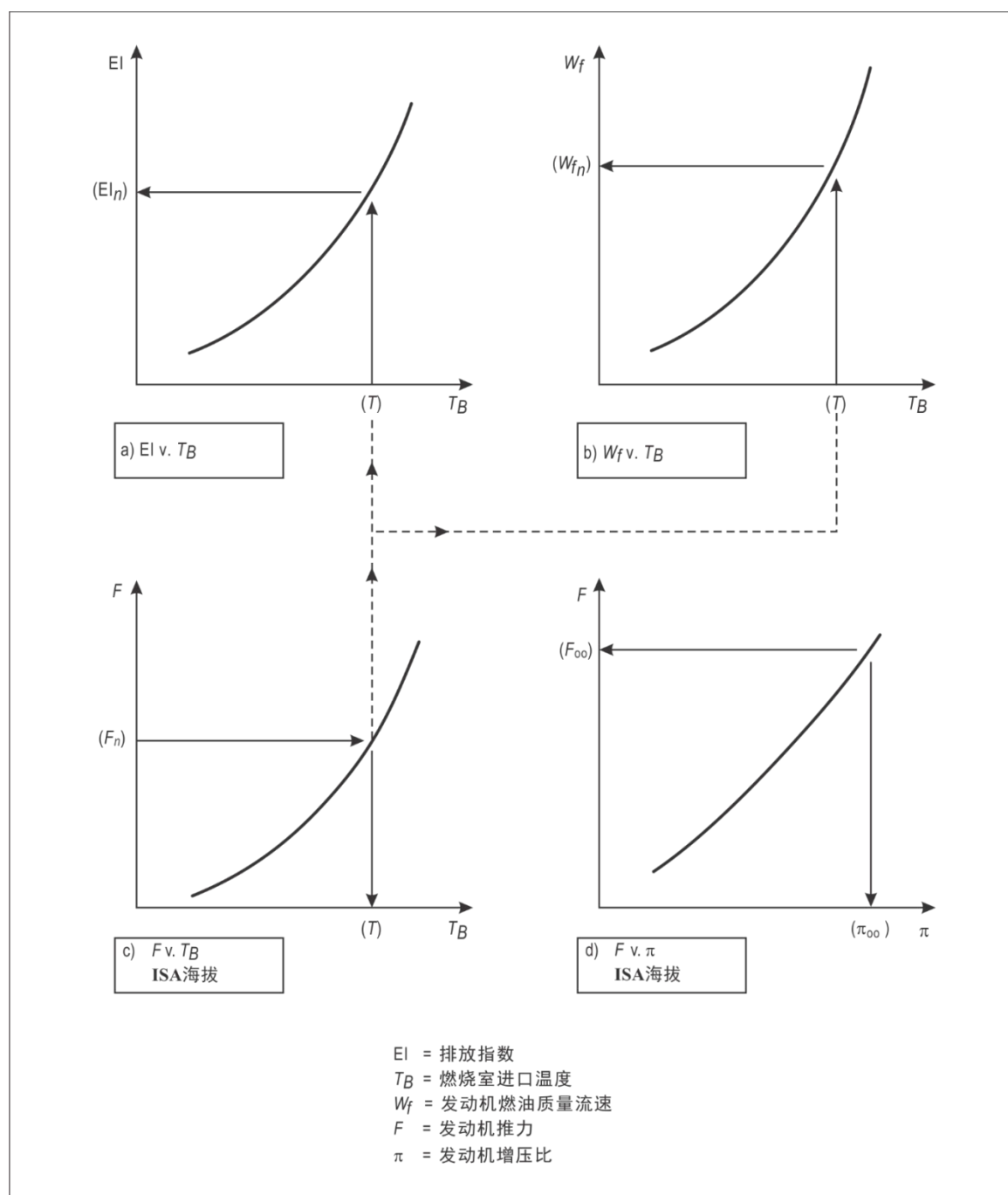
- a) 在每一模式的国际标准大气推力条件 F_n 下，确定等效燃烧室进口温度 (T_B) (图 A5-3 c)；
- b) 由 EI/T_B 特性 (图 A5-3 a)) 确定对应于 T_B 的 EIn 值；
- c) 由 Wf/T_B 特性 (图 A5-3 b)) 确定对应于 T_B 的 Wfn 值；
- d) 记录国际标准大气最大额定推力和增压比值。它们分别为 F_{00} 和 π (图 A5-3 d)
- e) 为每一污染物计算 $Dp = L (EIn) (Wfn) (t)$ ，式中：

t 着陆和起飞模式中的时间(min)

Wfn 燃料质量流速 (kg/min)

L 构成基准着陆和起飞循环的全组模式的求和。

7.2.4 尽管上面描述的方法为推荐的方法，但局方可以接受使用可代表所示曲线的数学表达式的等效数学程序，如果此表达式已经使用认可的曲线拟合技巧导出。



图A5-3 计算程序

附录 F 气态排放物、烟和微粒物质排放物的合规程序

注：见 ICAO 附件 16 卷 II 附录 6

F.1 概述

须遵守下述一般原则，以证明符合第 III 部分 2.2、2.3、3.2、3.3 和 4.2 所阐明的规定水平。

- a) 须允许制造商为审定测试选择任何数量的发动机，如果需要，包括单台发动机；
- b) 局方须考虑到审定测试过程中得到的全部结果；
- c) 须至少总共做三次发动机测试，所以，如果只用单台发动机进行审定，就必须对其至少做三次测试；
- d) 如果对某台发动机 (i) 做几次测试，则这些测试的算术平均值 (Xi) 须被视为该台发动机 (i) 的平均值。这样，审定结果就是各台测试发动机所获得的值 (Xi) 的算术平均值；
- e) 制造商须向局方酌情提供 ICAO 附件 16 卷 II 第 III 部分 2.4、3.4、4.2 和/或 4.3 中规定的信息；
- f) 提交测试的发动机须具有能代表取证发动机型号的排放物特征。然而，须至少有一台发动机基本上是按照该发动机型号的生产标准构型的并具备有充分代表性的运行及性能特征。这些发动机中的一台须被宣布为基准标准发动机。根据这台基准标准发动机对其他测试发动机进行修正的方法须得到国家审定当局的批准。针对外界影响对测试结果进行修正的方法须是附录 C 第 7.1.3 段、附录 5 第 7.1.4 段或附录 G 第 6 节中概述的方法。

F.2 合规程序

F.2.1 气态排放物和发烟指数

如果实测的并经修正（按基准标准发动机和基准外界条件）的所有测试发动机各个数值的平均值在除以根据表 A6-1 所示的测试发动机数量 (i) 所确定的适当系数转换成某一特征值时不超过规定数值，则局方须发予合规证书。

注：发烟指数或气态排放物的特征值是所有测试发动机的实测并且仅就气态排放物而言，根据基准标准发动机和基准大气条件做适当修正后的平均值，除以表 A6-1 所示的对应于测试发动机数量的因子之后得到的数值。

表A6-1 用于确定特征值的因子

测试发动机 数量 (i)	一氧化碳	碳氢化合物	氮氧化物	发烟指数	非挥发性 微 颗粒物质量 浓 度	着陆和起飞时 非挥发性 微 颗粒物质量	着陆和起飞时 非挥发性 微 颗粒物数量
1	0.814 7	0.649 3	0.862 7	0.776 9	0.776 9	0.719 4	0.719 4
2	0.877 7	0.768 5	0.909 4	0.852 7	0.852 7	0.814 8	0.814 8
3	0.924 6	0.857 2	0.944 1	0.909 1	0.909 1	0.885 8	0.885 8
4	0.934 7	0.876 4	0.951 6	0.921 3	0.921 3	0.901 1	0.901.1
5	0.941 6	0.889 4	0.956 7	0.929 6	0.929 6	0.911 6	0.911 6
6	0.946 7	0.899 0	0.960 5	0.935 8	0.935 8	0.919 3	0.919 3
7	0.950 6	0.906 5	0.963 4	0.940 5	0.940 5	0.925 2	0.925 2
8	0.953 8	0.912 6	0.965 8	0.944 4	0.944 4	0.930 1	0.930 1
9	0.956 5	0.917 6	0.967 7	0.947 6	0.947 6	0.934 1	0.934 1
10	0.958 7	0.921 8	0.969 4	0.950 2	0.950 2	0.937 5	0.937 5
10 台以上	$1 - \frac{0.13059}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0.24724}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0.09678}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0.15736}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0.15736}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0.19778}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0.19778}{\sqrt{i}}$

F.2.2 微粒物质排放物

2.2.1 如果所有接受测试发动机的最大非挥发性微粒物质质量浓度值的平均值在除以根据表 A6-1 所示的由接受测试发动机的数量(i)所确定的适当系数转换成某一特征值后不超过规定数值，则局方须发予合规证书。

注：最大非挥发性微粒物质质量浓度的特征值是所有接受测试发动机的最大值的平均值，除以表 A6-1 所示的与接受测试发动机的数量相对应的因子后得到的数值。

2.2.2 如果所有接受测试发动机的非挥发性微粒物质质量的平均值以及非挥发性微粒物质数量排放物的平均值在除以根据表 A6-1 所示的由接受测试发动机的数量 (i) 所确定的适当系数转换成某一特征值后不超过规定数值，则局方须发予合规证书。

注：非挥发性微粒物质质量和非挥发性微粒物质数量排放物的特征值为所有接受测试、所有发动机的平均值，这些平均值由与接受测试发动机的数量相对应的因子所划分，如表 A6-1 所示。

F.2.3 特征值

确定发动机排放物特征值所需的因子，见表 A6-1。

F.3 失败时的程序

3.1 建议：在审定测试失败时，并不一定意味着该发动机型号不符合要求，但可能意味着向局方提供的合规可信度不够高，即低于百分之九十。因此，应该允许制造商提供发动机型号合规的补充证据。

3.2 如果某发动机型号审定测试失败，局方须允许制造商对审定发动机做补充测试（如果制造商愿意）。如果所得的总的结果仍显示，该发动机型号不符合审定要求，则须允许制造商根据其愿望对尽可能多的额外发动机进行测试。然后，须将最终的测试结果与以前的所有数据一并考虑。

3.3 如果结果仍然不行，须允许制造商选择一台或多台发动机进行改装。须检查所选发动机在未改装前所做测试的结果，而且，须做进一步的测试以便至少获得三次测试的数据。对于每一台发动机须确定这些测试的平均值，并称之为“改装前平均值”。

3.4 然后，可以对发动机进行改装，改装后的发动机至少须做三次测试，其平均值在每一情况下须称为“改装后平均值”。“改装后平均值”须与“改装前平均值”进行比较，给出相对改进值，然后将其用于上次审定测试结果中，以确定是否达到合规要求。在开始测试任何改装后的发动机之前，须确定改装是否符合相应的适航要求。

3.5 须反复进行此程序，直到证明合规，或撤回了发动机型号申请。

附录 G 用于非挥发性微粒物质排放的仪器和测量技术

注：见 ICAO 附件 16 卷 II 附录 7

G.1 引言

注：本附录中的程序涉及关于获取具有代表性的涡轮发动机非挥发性微粒物质（nvPM）排气样本、将它们输送到非挥发性微粒物质采样和测量系统并由该系统对其进行分析的指导原则。这些程序不适用于带加力燃烧的发动机。

G.2 定义、缩略语和符号

G.2.1 定义

下列词语在本附录中使用时，具有赋予它们的如下含义：

G.2.1.1 精度

某一测量值与独立确定的真值接近的程度。

G.2.1.2 微粒的空气动力学直径

单位密度的等效球体达到与实际微粒相同的最终沉降速度时的直径，也称为“经典空气动力学直径”。

G.2.1.3 校准气体

用于仪器校准、调节和定期检查的高精度基准气体。

G.2.1.4 催化汽提器

一种通过氧化去除挥发性物质的催化装置。

G.2.1.5 具备相关资质的实验室

根据不时修订的 ISO/IEC 17025:2005 或等效标准建立、实施和维护一个与其活动范围相称的质量体系的测试和校准实验室，该实验室设计和实施一项设备校准方案，以确保其进行的校准和测量都可追溯到国际单位制（SI）。该实验室不需要通过 ISO/IEC 17025:2005 正式认证。

G.2.1.6 旋风分离器

通过旋转和重力手段将大于规定的空气动力学直径的微粒分离出去。规定的空气动力学切割粒径与穿透旋风分离器的特定大小的微粒百分比相关。

G.2.1.7 扩散火焰燃烧气溶胶源

一种采用给定的产生气载微粒物质燃料的扩散火焰燃烧的装置。

G.2.1.8 微粒的电迁移直径

在电场中达到与实际微粒完全相同的运动速度的球体的直径。

G.2.1.9 元素碳（EC）

在进行热光透射（TOT）分析时，在惰性气体中将滤芯样本加热到 870°C 时未从该样本中去除的具有吸光能力的碳，不包括炭。

G. 2. 1. 10 气体浓度

气体混合物中所含有关成分的体积分数。

G. 2. 1. 11 非挥发性微粒物质 (nvPM)

存在于燃气涡轮增压发动机排气管出口平面、当加热到 350°C 时不挥发的排放微粒。

G. 2. 1. 12 有机碳 (OC)

在进行热光透射 (TOT) 分析时, 当石英纤维滤芯样本加热到 870°C 时氮中挥发的碳。包括一些材料热解过程中形成的炭。

G. 2. 1. 13 微粒损失

微粒在输送通过采样系统过程中的损失。这种损失是由各种不同的沉积机理引起的, 其中一些机理与粒径相关。

G. 2. 1. 14 微粒质量浓度

每单位样本体积的微粒质量。

G. 2. 1. 15 微粒质量排放指数

所用的每单位燃料质量排放的微粒质量。微粒数量浓度 每单位样本体积的微粒数量。

G. 2. 1. 16 微粒数量排放指数

所用的每单位燃料质量排放的微粒数量。

G. 2. 1. 17 粒径分布

一个数值列表或数学函数, 其按照粒径来表示微粒数量浓度。

G. 2. 1. 18 百万分率 (ppm)

每百万单位的气体混合物 (含有某一气体) 体积中该气体的单位体积气体浓度。

G. 2. 1. 19 渗透分数

采样系统某一组件下游微粒浓度与上游微粒浓度之间的比值。

G. 2. 1. 20 可重复性

在不调整所用仪器的情况下, 在短期内对一给定的不变样本进行重复测量可再次产出的量值所具有的接近程度。

G. 2. 1. 21 质量体系

一种管理系统, 指具备相关资质的实验室在必要的范围内记录其政策、制度、方案、程序和指示, 以确保测试和/或校准结果的质量。

G. 2. 1. 22 分辨率

在测量中能够探测到的最小变化。

G. 2. 1. 23 响应

随着样本浓度的变化而出现的仪器输出信号的变化。

G. 2. 1. 24 上升时间

当基准物质最初以基本状态突然施加到自动测量系统时，输出信号从输出信号最终变化的 10%到 90%所需的时间。（这个术语仅适用于在线分析仪）

G. 2. 1. 25 稳定度

在某一给定的时间段内对一给定的不变样本进行重复测量，其产生的量值所能保持的接近程度。

G. 2. 2 缩略语

CPC	凝聚微粒计数器
EC	元素碳
FS	分析仪的全量程范围
GL	气体管路
HEPA	高效微粒空气过滤器，H13 级，可去除至少 99.97%的邻苯二甲酸二辛脂微粒（0.3 μm 直径）
ID	内径
ISA	国际标准大气（ISO 2533:1975）
LOD	检测极限
NMI	国家计量研究所
nvPM	非挥发性微粒物质（见定义）
nvPMmi	非挥发性微粒物质质量仪
nvPMni	非挥发性微粒物质数量仪
PTFE	聚四氟乙烯
slpm	每分钟标准升（在标准温度和压力条件下每分钟的升
数） STP	在标准温度为0°C、压力为101.325 kPa 下的仪器条件
TOT	热光透射
VPR	挥发性微粒去除器
VRE	挥发性物质去除效率

G. 2. 3 符号

[CO]	湿排气样本中一氧化碳的平均体积比气体浓度
[CO ₂]	未稀释的湿排气样本中二氧化碳的平均体积比气体浓度
[CO ₂] _b	干空气中的二氧化碳气体体积浓度= 0.0003
[CO ₂] _{dil1}	第一稀释阶段后湿二氧化碳的平均体积比气体浓度

[CO ₂]dil2	第二稀释阶段后湿二氧化碳的平均体积比气体浓度
度	
[CO ₂]S	未稀释的湿、半干或干排气样本中二氧化碳的平均体积比气体浓度
DF	稀释因子 = (稀释前样本浓度) / (稀释后样本浓度)
DF1	第一阶段稀释因子 = [CO ₂] / [CO ₂]dil1
DF1_S	采用直接采样的 [CO ₂]S 和 [CO ₂]dil1 计算的第一阶段稀释因子
DF2	由具备相关资质的实验室校准的第二阶段(挥发性微粒去除器)稀释因子
D _m	非挥发性微粒物质的电迁移直径, nm
D _{xy, at z nm}	可检测出xy% (检测效率) 的z 粒径微粒的空气动力学直径
E _{Imass}	针对热泳损失修正后的非挥发性微粒物质质量排放指数, 以毫克/kg 燃料为单位
E _{I_{num}}	针对热泳损失和燃料构成修正后的非挥发性微粒物质数量排放指数, 以数量/kg 燃料为单位
F	特定运行模式下的推力
H	燃料中的氢含量 (质量百分比)
[HC]	湿排气样本中碳氢化合物的平均体积比气体浓度, 表示为碳
k _{fuel_M}	针对非挥发性微粒物质质量排放指数的燃料构成修正因子
k _{fuel_N}	针对非挥发性微粒物质数量排放指数的燃料构成修正因子
k _{thermo}	收集部分热泳损失修正因子
[NO]	湿排气样本中一氧化氮的平均体积比气体浓度
[NO ₂]	湿排气样本中二氧化氮的平均体积比气体浓度
[NO _x]	湿排气样本中一氧化氮和二氧化氮的平均体积比气体浓度= [NO]+[NO ₂]
M _C	碳原子质量 = 12.011
M _H	氢原子质量 = 1.008
m	特性燃料分子中的碳原子数
n	特性燃料分子中的氢原子数
nvPM _{mass}	针对采样系统收集部分中的稀释和热泳损失进行修正后的标准温度和压力仪器条件下的非

	挥发性 微粒物质质量浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$\text{nvPM}_{\text{mass_STP}}$	在标准温度和压力仪器条件下稀释的非挥发性微粒物质质量浓度
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{nvPM}_{\text{num_STP}}$	在标准温度和压力仪器条件下稀释的非挥发性微粒物
	质数量浓度，数量/ cm^3
T_{line}	采样管路壁温度
T_1	稀释器1 进口壁温度 $^{\circ}\text{C}$
T_{EGT}	发动机实测的或根据性能推导出的发动机排气管出口平面气体温度 $^{\circ}\text{C}$
t_{90}	90%响应时间（进口浓度发生变化与检测器达到其最终信号的 90%之间的时间）
α	燃料的原子氢碳比 = n/m ，其中 C_mH_n 为测试中所用燃料的当量碳氢化合物代表式并参照发动机燃 料型号分析加以评估。
$\eta_{\text{VPR}}(\text{D}_m)$	用于 D_m 微粒的挥发性微粒去除器的微粒渗透分数

G. 3 所需数据

G. 3. 1 非挥发性微粒物质排放

3.1.1 为了计算非挥发性微粒物质的质量和数量排放，须确定下列浓度：

- a) 非挥发性微粒物质质量： $\text{nvPM}_{\text{mass_STP}}$ ；
- b) 非挥发性微粒物质数量： $\text{nvPM}_{\text{num_STP}}$ ；
- c) 二氧化碳（CO2）： $[\text{CO}_2]$ 和 $[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}$ ；
- d) 一氧化碳（CO）： $[\text{CO}]$ ；
- e) 碳氢化合物（HC）： $[\text{HC}]$ ； 和
- f) 氮氧化物（NOx）： $[\text{NO}_x]$ 、 $[\text{NO}]$ 、 $[\text{NO}_2]$ 。

注：关于所需数据的指导材料见《环境技术手册。(Doc 9501 号文件) 第 II 卷 — 《航空器发动机排放审定程序》。

3.1.2 为系统可操作性检查之目的，须确定以下排放物的浓度： 二氧化碳（CO2）: $[\text{CO}_2]_{\text{S}}$

G. 3. 2 其他信息

为了规范排放测量数据和界定发动机测试特性，须提供附录 C 第 3.2 段和表 A7-1 和表 A7-2 数据中所列的补充信息。

表A7-1 外界非挥发性微粒物质要求

所需的数据	单位
-------	----

外界的非挥发性颗粒物质量浓度 ($\text{nvPM}_{\text{mass_STP}}$)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
外界的非挥发性颗粒物数量浓度 ($\text{DF}_2 \times \text{nvPM}_{\text{num_STP}}$)	微粒/ cm^3

表A7-2 非挥发性微粒物质采样系统和测量参数要求

参数	单位
探头进口温度 ($T_{\text{engine_exit}}$) 等于根据性能预测的发动机出口排气温度 T_{EGT}	°C
所测量的稀释器1进口温度 (T_1)	°C
各个流速 (所测量的模块3和模块4流速; 模块1、模块2的实际估算流速)	slpm
模块1-4的各个管子内径	mm
模块1-4的各个长度	m
模块1-4的各个管壁温度	°C
模块1采样管的总弯折角度	度
旋风分离器 D_{50} 切割粒径 (制造商规范)	nm
旋风分离器锐利度 (制造商规范)	小数
稀释器1的四个渗透值 (见第7.2.5段表A7-4)	小数
挥发性微粒去除器校准的四个渗透值 (见第9.1.1.6段表A7-9)	小数
凝聚微粒计数器校准的两个计数效率	小数
第一阶段稀释因子, DF_1	
第二阶段 (挥发性微粒去除器) 稀释因子, DF_2	
进行 DF_1 修正的微粒质量浓度: $DF_1 \times \text{nvPM}_{\text{massSTP}}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
进行 DF_1 和 DF_2 修正的微粒数量浓度: $DF_1 \times DF_2 \times \text{nvPM}_{\text{numSTP}}$	微粒/ cm^3

注: 非挥发性微粒物质采样和测量系统的模块见图 A7-1 和表 A7-3。

G. 4 非挥发性微粒物质采样和测量系统的总体布置

G. 4. 1 非挥发性微粒物质采样和测量系统

4. 1. 1 非挥发性微粒物质采样和测量系统须包含三个部分, 分为五个模块:

- 收集部分 (模块 1);
- 传输部分 (模块 2、3 和 4); 和
- 测量部分 (模块 5)。

注: 非挥发性微粒物质采样和测量系统的概述见图 A7-1 和表 A7-3。

注: 关于该系统每个模块的史多详细要求和建议见本附录的第 7、8、9 和 10 段。

4. 1. 2 模块1至4须满足如下要求:

- 采样管路须尽可能直通。

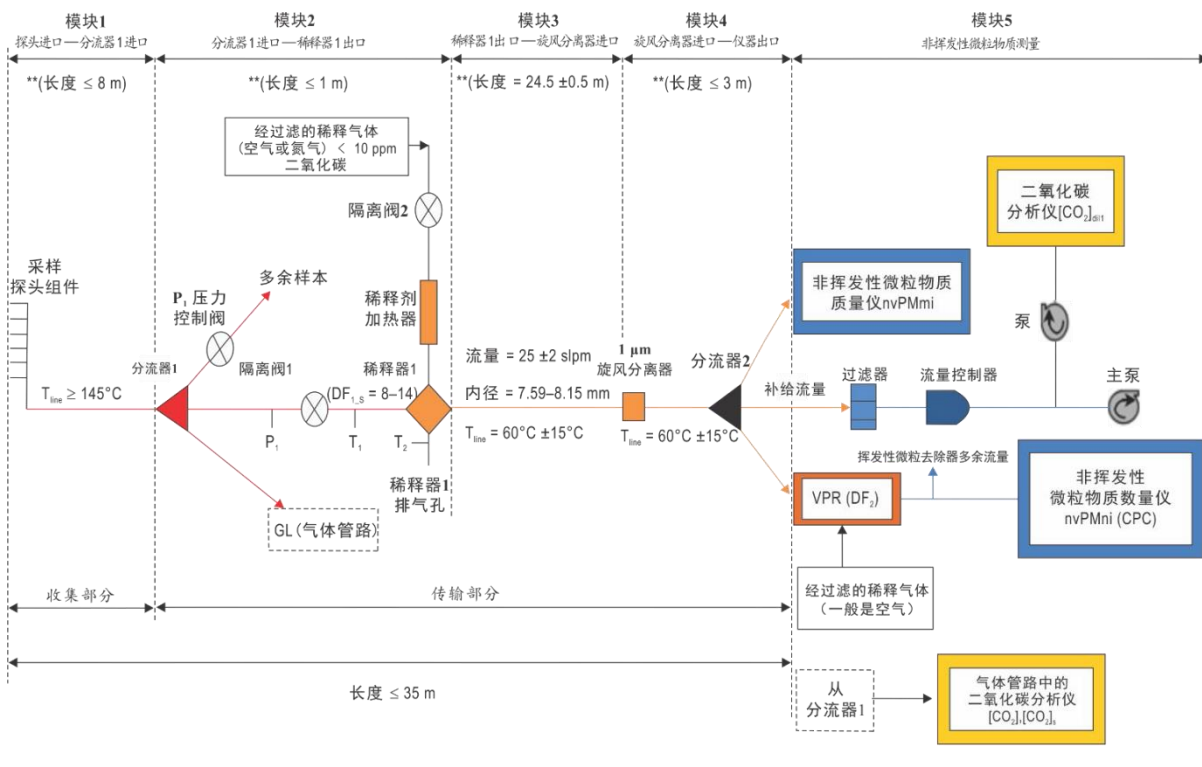
b) 采样管路从探头端部到测量仪进口处的总长度不得超过35m。此总长度不等于各采样模块最大允许 长度的总和。详细的长度要求见本附录第 7 段和图 A7-1 所示。

4. 1. 3 建议: 以下是关于模块 1 到 4 的建议:

- 管件数量应尽量少并应由不锈钢材料告成, 带有一个光滑的孔。

b) 穿板接头管件的数量应尽量少并应绝热以尽量减少热梯度。

注：指导材料见《环境技术手册》。（Doc 9501 号文件）第 II 卷 —《航空器发动机排放审定程序》。



图A7-1 非挥发性微粒物质采样和测量系统示意图

表A7-3 非挥发性微粒物质采样和测量系统术语概述

术语		描述
模块1	采样探头组件	用于获得具有代表性的航空器发动机排气样本的单点或多点祀状硬件。
	连接线	将样本从探头输送至分流器 1 进口的管线长度。
模块2	分流器1	流量分流器组件，可控制微粒和气体采样系统的样本分离。还可提供一个流路（多余样本）以减轻和控制采样管路压力。
	P ₁ 压力控制阀	用于控制稀释器1进口处压力的阀门。
	P ₁	稀释器 1 进口压力；当进口压力高于外界压力时通过压力控制阀进行调节。
	T ₁	计算模块1和2热泳微粒损失所需的稀释器1进口处采样管温度。
	隔离阀1	使微粒系统与气体管路样本隔离并得以进行气体管路（包括探头）的渗漏检查和传输部分的洁净度检查。
	隔离阀2	稀释器1的稀释剂切断阀。
	稀释器1	喷射型稀释器，它向模块3的进口提供一个接近外界水平的压力。可在开始阶段稀释传输部分中的非挥发性微粒物质样本（第一阶段稀释，DF ₁ ），以尽可能减少微粒凝结，并且可用于降低样本温度，以尽可能减少热泳损失。
	经过滤的稀释气体	用于稀释器1的压缩气体（氮气或空气）。
	稀释剂加热器	在稀释剂进入稀释器 1 之前对其进行加热。
	稀释器1 排气孔	可向大气中排出多余的稀释样本以保持稀释器 1 排气处的压力接近外界水平并防止传输部分超压。
	T ₂	监测稀释器1出口温度的排气流温度。
GL		气体管路。一个经加热的区，用于输送排气样本供气排放测量使用。
模块3	加热的采样管路	标准化采样区。确保可在离发动机一定安全距离的地方开展测量。
模块4	1 μm 旋风分离器	去除并非由燃烧产生的大微粒并有助于防止仪表堵塞。
	分流器2	流量分流器组件，可提供进行非挥发性微粒物质质量和数量浓度测量的样本流路和一个第三流路，以确保维持模块 3 的总体系统流速。
模块5	过滤器	微粒过滤器，可防止流量控制器的堵塞和损坏。
	流量控制器	通过控制补给流量使模块 3 保持恒定流速。
	主泵	为补给流量提供吸力。
	二氧化碳分析仪	测量稀释样本中的[CO ₂] _{di1} 。
	nvPMmi	非挥发性微粒物质质量仪
	挥发性微粒去除器（DF ₂ ）	在非挥发性微粒物质数量仪之前去除挥发性物质和进一步稀释样本（第二阶段稀释，DF ₂ ）的设备。
	经过滤的稀释气体	用于挥发性微粒去除器的稀释气体（氮气或空气）。
	nvPMni（CPC）	是一种凝聚微粒计数器的非挥发性微粒物质数量仪。

4.1.4 模块 2 至 4 须满足如下要求：

- a) 采样管路任何必要弯折的半径须是管路内径 10 倍以上。
- b) 不得有大于内径的 15%的前向台肩。
- c) 采样管路内径中大于 15%的改变须仅出现在分流器流路的接口处。
- d) 内径小于或等于 15%的差异须视为没有变化。

4.1.5 建议：对于模块 2 至 4，采样管路应主动加热到整个管件。如不可行，采样管路应尽可能加热到接近下一个加热元件并且将整个管件绝热。

G.4.2 收集部分

4.2.1 模块 1 是由探头/祀状硬件和连接线组成。它须满足如下要求：

- a) 采样探头材料须是不锈钢或其他非反应性耐高温材料。
- b) 如果使用多孔采样探头：
 - 1) 则所有采样孔须具有相等直径；和
 - 2) 采样探头的设计须保证通过采样探头组件的压力降至少 80%发生在孔口处。
- c) 采样位置数不得少于 12 个。
- d) 采样平面须在发动机性能所允许的情况下，尽可能靠近发动机排气管出口平面，但在任何情况下须位于出口平面 0.5 倍喷嘴直径的范围内。
- e) 申请人须通过详细研究向局方提供证据，证明建议的探头设计和位置确实可为每一规定的推力设定值提供代表性样本。

注：关于代表性测量程序的指导材料见《环境技术手册》。（Doc 9501 号文件）第 II 卷 — 《航空器发动机排放审定程序》。

G.4.3 传输部分

4.3.1 在模块 2 的进口处，分流器 1 组件须将样本分成传输部分管路、用于测量未稀释的二氧化碳、一氧化碳、碳氢化合物和氮氧化物的气体管路以及多余样本管路。

注：如果需要的话，这种布置还允许按照附录 2 中规定的程序将气体管路用于测量发烟指数。

4.3.2 传输部分管路的布置须使非挥发性微粒物质样本可以：

- a) 通过稀释器 1，这是一种喷射型稀释器，可吸号、稀释和冷却样本；
- b) 通过模块 3；和
- c) 通过一个旋风分离器和模块 4 的分流器 2，然后进入模块 5 的测量部分。

G.4.4 测量部分

4.4.1 非挥发性微粒物质质量测量

4.4.1.1 非挥发性微粒物质质量仪须满足本附录第 8.1 段的要求。

4.4.1.2 非挥发性微粒物质质量仪的每个样式和型号均须从仪器制造商或其他具备相关资质的测试和校准实验室获得相关证书，确认该非挥发性微粒物质质量仪样式和型号符合本附录表 A7-5 中所列的性能规范。

4.4.2 非挥发性微粒物质数量测量

4.4.2.1 挥发性微粒去除器和非挥发性微粒物质数量仪（CPC）须符合本附录第 9.1 段中的要求。

4.4.2.2 非挥发性微粒物质数量浓度须使用一个由挥发性微粒去除器（VPR）和凝聚微粒计数器（CPC）（非挥发性微粒物质数量仪）串联组成的系统来确定。挥发性微粒去除器包括一个稀释系统（DF2）和一个去除挥发性物质的设备。

4.4.2.3 挥发性微粒去除器和凝聚微粒计数器的每个样式和型号均须从仪器制造商或其他具备相关资质的测试和校准实验室获得相关证书，确认每个设备的样式和型号均符合本附录第 9.1 段中所列的性能规范。

4.4.3 补给流路

a) 须有一个补给流路，以便将通过模块3的样本流速保持在一个恒定水平，并且可以对稀释样本中的二氧化碳浓度进行测量。

b) 补给流路须包含一个泵、流量控制器和二氧化碳分析仪。

c) 建议：应该在流量控制器上游安装一个微粒过滤器，以防止损坏部件。

G.5 一般测试程序

G.5.1 校准与维护

5.1.1 所有仪器均须按照制造商的指导材料加以维护。

5.1.2 非挥发性微粒物质采样和测量系统须至少每年一次或按制造商的建议，对非挥发性微粒物质采样和测量系统进行如下校准和维护：

a) 旋风分离器收集容器须进行清空和清洁。

b) 稀释器 1 孔口喷嘴须进行清洗。

c) 补给流量控制器和非挥发性微粒物质质量仪、非挥发性微粒物质数量仪和挥发性微粒去除器的进口流速须通过一个国家计量研究所可追踪的流量计进行校准。

d) 建议：所有的校准流边都应该在分析仪全量程的5%范围内。

e) 压力传感器须通过一个国家计量研究所可追踪的压力传感器进行校准。

f) 建议：所有的校准压力测量都应该在分析仪全量程的2%范围内。

5.1.3 非挥发性微粒物质质量仪

a) 非挥发性微粒物质质量仪须每年由具备相关资质的实验室进行校准，以便符合本附录第 8.5 段规定的校准要求。

b) 非挥发性微粒物质质量仪的硬件或软件发生影响数据采集和处理的改变后，该仪器须符合本附录第 8.1段中 列的要求。

注：指导材料见《环境技术手册》（Doc 9501 号文件）第 II 卷 — 《航空器发动机排放审定程序》。

5.1.4 挥发性微粒去除器

a) 挥发性微粒去除器须每年由具备相关资质的实验室进行校准，以便符合本附录第 9.2.1 段中规定的校准要求。

b) 如果挥发性微粒去除器包含一个催化汽提器，它的更换周期须符合制造商指导材料的要求

c) 非挥发性微粒去除器的硬件或软件发生影响数据采集和处理的改变后，该仪器须符合本附录第 9.1.1 段中所列的要求。

5.1.5 非挥发性微粒物质数量仪（凝聚微粒计数器）

a) 非挥发性微粒物质数量仪须每年由具备相关资质的实验室进行校准，以便符合本附录第 9.2.2 段中规定的校准要求。

b) 非挥发性微粒物质数量仪的工作液须是正丁醇，并须按照制造商的指导材料进行更换。

c) 非挥发性微粒物质数量仪的硬件或软件发生影响数据采集和处理的改变后，该仪器须符合本附录第 9.1.3 段中所列的要求。

注：指导材料见《环境技术手册》（Doc 9501 号文件）第 II 卷 — 《航空器发动机排放审定程序》。

5.1.6 气体分析仪

a) 二氧化碳、一氧化碳、碳氢化合物和氮氧化物分析仪须根据附录 3 的程序进行校准。

b) 用于稀释器 1 游的二氧化碳分析仪的零校准气体中的二氧化碳杂质须小于 10 ppm。

注：关于稀释器 1 下游二氧化碳分析仪的二氧化碳杂质规范不同于附录 3 第 6.2 段中的相关规定。

c) 建议：用于稀释器 1 的稀释剂应该与用于二氧化碳分析仪的零校准气体相同。

G.5.2 发动机运行

5.2.1 发动机须在合适的并适当配有高精度性能测试设备的静态测试设施上运转。

5.2.2 须按局方规定的推力设定值进行非挥发性微粒物质排放测试。发动机须在每一设定值上稳定运转。

G.5.3 碳平衡

每一测试须包含一项检查，以查明由合成样本的总碳浓度(除去烟)估算出的空气/燃料比是否与基于滑行/地面慢车模式下精度为±15%以及所有其他运行模式下精度为±10%的发动机空气/燃料比所估算的值相一致。

注：关于使用等效程序的指导材料见《环境技术手册》（Doc 9501 号文件）第 II 卷 — 《航空器发动机排放审定程序》。

G.5.4 非挥发性微粒物质采样和测量系统的运行

5.4.1 在进行一系列发动机测试之前，须满足如下要求：

a) 须按照本附录第 10.1 和 10.2 段中所述的程序进行收集部分的渗漏和洁净度检查。

b) 须按照本附录第 10.3 段所述程序进行挥发性微粒去除器稀释因子（DF2）检查。

c) 传输部分洁净度检查须按照本附录第 10.3 段所述的程序进行。

注：传输部分洁净度检查也可作为非挥发性微粒物质仪表零位检查的一种有效手段。

5.4.2 须采用下列程序进行气体管路和稀释器 1 下游的气体测量：

a) 加入适当的零校准气体并对仪器做必要的调节。

b) 对所取量程加入适当的标称 90%满刻度浓度的校准气体，并相应地调整和记录增益设定值。

5.4.3 在进行一系列发动机测试期间，须满足如下要求：

a) 只有在所有仪器和样本传输管路预热并达到稳定之后，才能进行非挥发性微粒物质测量。

b) 如果非挥发性微粒物质采样系统的任何部件或模块是新更换的、上次使用后进行了清洁或先前用于 发动机排气采样以外的目的，那么在获得非挥发性微粒物质测量数据之前，非挥发性微粒物质采样系统须在任何发动机功率条件下进行航空器发动机排气采样至少30分钟。

注：去除稀释器 1 孔口的烟尘堵塞不算是 b) 中所定义的清洗过程。

c) 须进行非挥发性微粒物质质量仪制造商所建议的可操作性检查。

d) 进行非挥发性微粒物质数量测量须满足如下要求：

1) 须将挥发性微粒去除器加热至 $350^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ 。

2) 如果挥发性微粒去除器中使用一个催化汽提器，稀释剂须含有至少10%的氧气。

3) 非挥发性微粒物质数量仪工作液要达到制造商所要求的水平。

4) 非挥发性微粒物质数量仪饱和器和冷凝器已达到适当的工作温度。

e) 须进行非挥发性微粒物质数量仪制造商所建议的可操作性检查。

f) 须在发动机测试开始和结束时按照本附录第10段中所述的程序进行外界非挥发性微粒物质测量。

注：到界测量也可作为非挥发性微粒物质数量仪响应检查的一种有效手段。

g) 须在测试结束时以及在测试中以不大于1小时的间隔对气体分析仪零点和校准点进行重检。如果任 何一点的变化超过分析仪全量程的 $\pm 2\%$ ，则须在仪器恢复到其规格内之后，重复进行测试。

5.4.3.1 建议：应该在发动机启动和关闭时使用绝缘的测量分析仪对模块1进行反冲洗。注：反冲洗确保采样系统中不会出现明显的燃料污染。

5.4.4 在进行发动机非挥发性微粒物质测量时，须满足如下要求：

a) 如果稀释器 P1 进口是在亚大气压压力下，须关闭稀释器 P1 进口的压力控制阀，并须关闭可选的切断阀(如安装)。

b) 须持续测量气体管路二氧化碳浓度和稀释器1下游的二氧化碳浓度 ($[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}$)，并将其用于实时验证 DF_1 ($\text{DF}_{1\text{S}}$) 并将其控制在8至14范围内。 $\text{DF}_{1\text{S}}$ 定义如下：

$$\text{DF}_{1\text{S}} = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}}$$

注： $\text{DF}_{1\text{S}}$ 的计算不需要湿基二氧化碳浓度。

c) 须通过将非挥发性微粒物质质量仪和挥发性微粒去除器的补给流速与进口流速相加来监测模块 3中的样本流速是否维持在 $25 \text{ slpm} \pm 2 \text{ slpm}$ 。

d) 当发动机运行和测量的非挥发性微粒物质及 $[\text{CO}_2]_{\text{dil1}}$ 浓度在所要求的推力设定值稳定下来时，须将 至少 30 秒的数据平均后记录下来。

e) 如果非挥发性微粒物质质量仪没有进行样本压力测量，须在分流器 2 出口与补给流路进口之间的位置测量该压力并记录下来。

f) 如果非挥发性微粒物质数量仪没有进行样本压力测量，须在挥发性微粒去除器出口与非挥发性微粒物质数量仪进口之间的位置测量该压力并记录下来。

G.6 计算

G.6.1 非挥发性微粒物质质量浓度和非挥发性微粒物质质量和数量排放指数方程式

这一程序用于计算在空气中燃烧碳氢化合物燃料的航空器燃气涡轮发动机所排放的非挥发性微粒物质质量浓度以及非挥发性微粒物质质量和数量排放指数（EIs）。所有方程式使用的均为在标准温度和压力仪器条件下的非挥发性微粒物质质量浓度和数量浓度。如果不是这种情况，用户须按照仪器制造商所建议的程序，将报告的浓度修正为在标准温度和压力仪器条件下的浓度。

6.1.1 非挥发性微粒物质质量浓度 非挥发性微粒物质质量浓度（nvPM_{mass}）代表针对第一阶段稀释因子（DF₁）和收集部分热泳微粒损失进行修正

后每单位体积发动机排气样本中的微粒质量。须通过下面的方程式计算这一浓度：

$$\text{nvPM}_{\text{mass}} = \text{DF}_1 \times \text{nvPM}_{\text{mass_STP}} \times k_{\text{thermo}}$$

6.1.2 非挥发性微粒物质质量和数量排放指数 非挥发性微粒物质质量和数量排放指数（EI_{mass} 和 EI_{num}）代表针对各自的稀释因子、收集部分热泳微粒损失和它们各自的燃料构成修正因子进行修正后每单位质量的燃料消耗（以千克为单位）中发动机排气微粒的质量（以毫克为单位）和数量。须通过下面的方程式计算这些指数：

$$\text{EI}_{\text{mass}} = \frac{22.4 \times \text{nvPM}_{\text{mass_STP}} \times 10^{-3}}{\left([\text{CO}_2]_{\text{dil1}} + \frac{1}{\text{DF}_1}([\text{CO}] - [\text{CO}_2]_{\text{b}} + [\text{HC}])(M_{\text{c}} + \alpha M_{\text{H}})\right)} \times k_{\text{thermo}} \times k_{\text{fuel_M}}$$
$$\text{EI}_{\text{num}} = \frac{22.4 \times \text{DF}_2 \times \text{nvPM}_{\text{num_STP}} \times 10^6}{\left([\text{CO}_2]_{\text{dil1}} + \frac{1}{\text{DF}_1}([\text{CO}] - [\text{CO}_2]_{\text{b}} + [\text{HC}])(M_{\text{c}} + \alpha M_{\text{H}})\right)} \times k_{\text{thermo}} \times k_{\text{fuel_N}}$$

[CO₂]、[CO] 和 [HC] 须进行计算。

注1：[CO₂]、[CO] 和 [HC] 的计算方法载于附录A。

注2：上面的EI方程式中使用的常数22.4是在标准温度和压力条件下1摩尔空气的体积(以升为单位)，四舍五入到小数点后一位。

注3：关于使用等效程序的指导材料见《环境技术手册》(Doc9501号文件)第II卷—《航空器发动机排放审定程序》。

G.6.2 非挥发性微粒物质排放的修正因子

6.2.1 收集部分中非挥发性微粒物质热泳损失的修正 收集部分中非挥发性微粒物质热泳损失的修正须使用以下方程式来确定：

$$k_{\text{thermo}} = \left(\frac{T_1 + 273.15}{T_{\text{EGT}} + 273.15} \right)^{-0.38}$$

如果 $T_{EGT} < T_1$ ，则 $k_{thermo} = 1$

注：指导材料见《环境技术手册》（Doc 9501 号文件）第 II 卷 — 《航空器发动机排放审定程序》。

6.2.2 针对燃料构成的修正 针对燃料构成的修正须使用以下公式来确定：

$$k_{fuel_M} = \exp \left\{ \left(1.08 \frac{F}{F_{oo}} - 1.31 \right) (13.8 - H) \right\}$$

$$k_{fuel_N} = \exp \left\{ \left(0.99 \frac{F}{F_{oo}} - 1.05 \right) (13.8 - H) \right\}$$

注：指导材料见《环境技术手册》（Doc 9501 号文件）第 II 卷 — 《航空器发动机排放审定程序》。

G.6.3 控制参数函数

排放指数须归一到国际标准大气海平面条件下基准标准发动机的燃烧室进口温度。

6.3.1 定义 基准标准发动机：基本按照发动机型号生产标准构型出的，并具备有充分代表性的运行和性能特性的发动机。

F_{oo} 额定推力（见第I部分第1章，定义）

F_n 与所报告的非挥发性微粒物质排放相关的运行模式 n 下的推力（kN）

W_f 国际标准大气海平面条件下的基准标准发动机的燃料质量流速（kg/s）

W_{fn} 着陆和起飞运行模式 n 中的国际标准大气海平面条件下的基准标准发动机燃料质量流速。

TB 燃烧室进口温度

6.3.2 须在基准标准发动机 TB 下为每一着陆和起飞运行模式获得非挥发性微粒物质质量和数量排放指数。为了确定慢车模式，至少需要有三个测试点。对于每一着陆和起飞运行模式，须获得其在国际标准大气条件下相应的燃料流量。须确定在国际标准大气基准条件下的下列关系，以便可以计算出非挥发性微粒物质质量和数量排放指数：

a) EI 与 TB 之间；和

b) W_f 与 TB 之间；和

c) F_n 与 TB 之间；

注1：图A7-2 a)、b)和c)描绘了这些关系。

注 2：b)和 c)的关系可以根据发动机测试数据直接确定，亦可从验证过的发动机性能模型中导出。

G.6.4 计算程序

对在报告的运行模式下非挥发性微粒物质的质量和数量排放指数（参照 TB ）进行的估算须遵循下述一般程序：

a) 确定在基准大气条件下对应于所报告的运行模式 n 的 F_n 值下的燃烧室进口温度（ TB ）（图 A7-2 c)）；

b) 根据 EI/TB 特性（图 A7-2 a)）确定对应于 TB 的 EIn 值；

c) 根据 W_f/TB 特性（图 A7-2 b)）确定对应于 TB 的 W_{fn} 值；

用 $LTO_{mass} = \sum (EI_{mass_n})(W_{fn})(t)$ 计算，其中：

t 模式中的时间(min)；

W_{fn} 燃料质量流速(kg/min)；和

I 构成基准着陆和起飞循环的全组模式的求和。

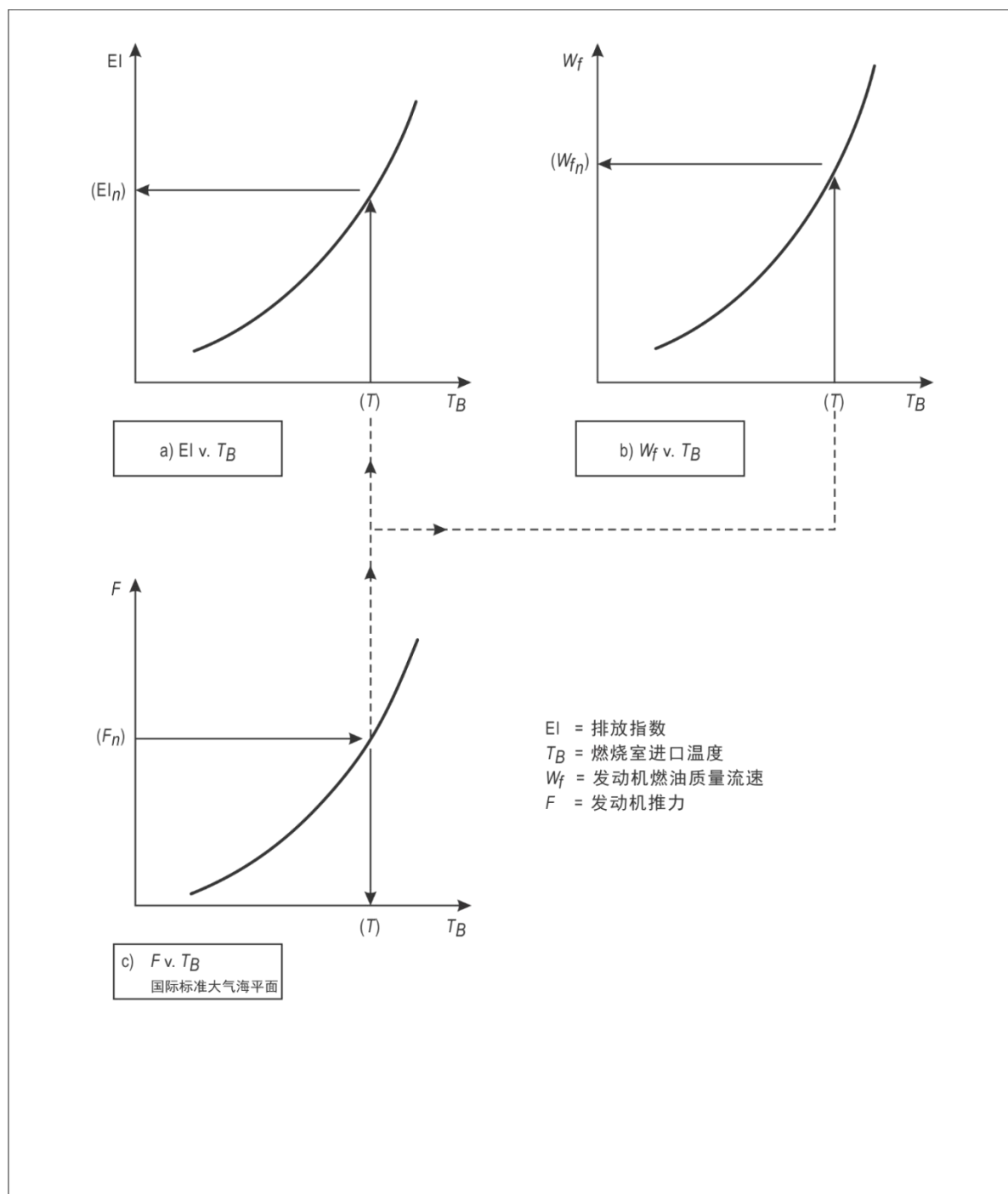
d) 用 $LTO_{num} = \sum(EI_{num_n})(W_{fn})(t)$ 计算，其中：

t 模式中的时间(min)；

W_{fn} 燃料质量流速 (kg/min)； 和

I 构成基准着陆和起飞循环的全组模式的求和。

注：尽管上面描述的方法为要求的方法，但局方可以接受使用可代表所示曲线的数学表达式的等效数学程序，如果此表达式是使用认可的曲线拟合技巧导出的话。



图A7-2 作为几个发动机参数的函数的涡轮发动机非挥发性微粒物质排放指数

G.7 关于非挥发性微粒物质采样系统的要求和建议

G.7.1 模块 1：探头进口 — 分流器 1 进口

7.1.1 模块 1 须满足如下要求：

- a) 须通过一根内径为 4.0 至 8.5mm 的管子按照尽可能最短的路径将样本从探头传输到模块 2。
- b) 采样管路温度须保持在大于或等于 145℃。
- c) 从探头进口到分流器 1 进口的长度须小于或等于 8m。

G.7.2 模块 2：分流器 1 进口 — 稀释器 1 出口

7.2.1 模块 2 须满足如下要求：

- a) 模块 2 须包含分流器 1 和稀释器 1。
- b) 采样管路材料须可确保最大限度减少微粒物质的积聚或静电。

注：不锈钢或电接地渗碳聚四氟乙烯可满足这些要求。

- c) 模块 2 从分流器 1 进口到稀释器 1 出口的长度不得超过 1 m。
- d) 模块 2 须包含隔离阀 1 以便进行气体管路的渗漏检查。

7.2.2 分流器 1 须满足如下要求：

- a) 分流器 1 须由不锈钢制成。
- b) 分流器 1 本体温度须维持在大于或等于 145℃。
- c) 分流器 1 须将发动机排气样本分为三个流路。
- d) 相对于输入流的分流角须具有切合实际的锐度，但不得超过 35°。
- e) 非挥发性微粒物质样本流路须尽可能直通并尽可能短。
- f) 分流器 1 的内部几何形状须满足如下要求：

- 1) 内壁上无前向台肩；
- 2) 从分流器 1 出口到稀释器 1 进口的内径无改变；
- 3) 气体管路内径 = 4 至 8.5 mm；和
- 4) 多余样本管路内截面面积大于或等于探头端部的总进口面积。

7.2.3 隔离阀 1 须满足如下要求：

- a) 隔离阀 1 须位于分流器 1 出口和稀释器 1 进口之间。
- b) 隔离阀 1 须是全通路，没有大于内径 15% 的前向台肩。
- c) 隔离阀 1 的密封件须是干燥的，能耐 175℃ 高温。

7.2.4 非挥发性微粒物质采样系统模块 2 的管壁温度 (T1)，在稀释器 1 混合平面的 5 cm 范围内，须维持在大于或等于 145℃，如图 A7-3 所示。

7.2.5 稀释器 1 须满足如下要求：

- a) 稀释器 1 须是一个喷射型稀释器。
- b) 稀释器 1 进口的内径须大于或等于 7.59 mm。
- c) 须按照制造商的规定控制稀释剂流量。
- d) 实时稀释器 1 稀释因子须控制在 8 到 14 的范围内。

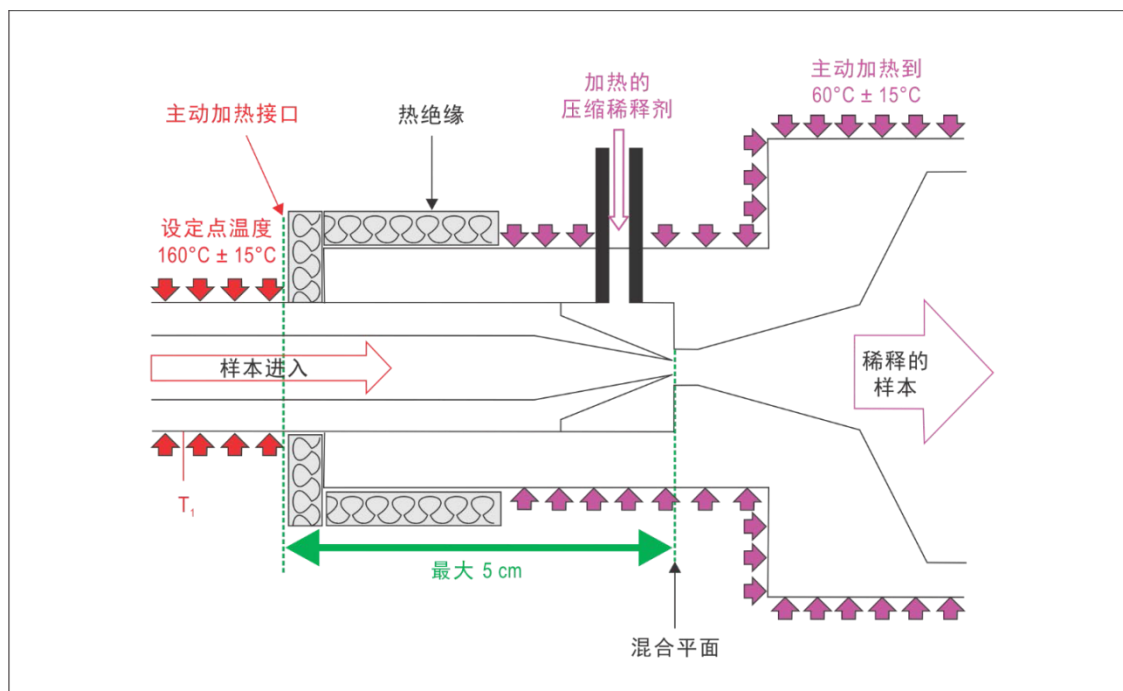
注：最小稀释因子是最大限度地减少非挥发性微粒物质凝结所必要的，而最大稀释因子是将稀释样本保持在仪器测量范围内所必要的。

注：可通过用多余样本流路上的压力控告阀控告 P_1 或通过调整稀释剂气流来调节 DF_1 。

- e) 稀释器 1 排气孔须向外界敞开（相当于发动机进口压力）。
- f) 稀释器 1 本体须加热到 $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ ，如图 A7-3 所示。
- g) 稀释剂须是氮气或空气，经高效微粒空气过滤器过滤并包含少于 10 ppm 的二氧化碳。
- h) 须将稀释剂加热，以便在稀释器 1 排气孔处将稀释的非挥发性微粒物质样本温度维持在 $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ (T2)。
- i) 稀释器 1 的微粒渗透须满足表 A7-4 所示的最低要求。

表A7-4 稀释器1微粒渗透分数（传输效率）的最低要求

微粒电迁移尺寸（直径）	15 nm	30 nm	50 nm	100 nm
最小微粒渗透分数	80 %	90 %	90%	90%



图A7-3 带加热接口的喷射型稀释器1进口的实例截面

7.2.5.1 建议：为了尽量减少对 DF1 可操作范围的影响，应该将稀释器 1 排气管的压力降尽可能保持在最低限度。

7.2.5.2 建议：应该实施一项安全措施，以防止当稀释剂不流动时稀释加热器过热。

7.2.6 气体管路

7.2.6.1 气体管路和气体排放分析仪须符合附录 3 中的规范。

注：非挥发性微粒物质采样和测量系统的收集部分(模块 1)符合附录 3 中的规范。

7.2.6.2 为了确定非挥发性微粒物质排放指数，须在气体管路同时进行一氧化碳、碳氢化合物和氮氧化物气体浓度测量。

注：指导材料见《环境技术手册。(Doc 9501 号文件)第 II 卷 — 《航空器发动机排放审定程序》。

7.2.6.3 为了确定 DF1_S，须在进行非挥发性微粒物质测量的同时在气体管路进行二氧化碳（干、半干或湿）浓度测量。

7.2.7 多余样本管路

7.2.7.1 须使用一个具有足够内部空间的合适的压力控制阀将稀释器 1 进口 (P1) 处的采样管路压力保持在接近 当地的环境空气压力。当该阀完全关闭时，须能够保持相对于环境的 -75kPa 真空压力。

7.2.7.2 建议：应该将一个具有足够内部空间以避免系统背压的可选的切断阀加装到压力控告阀的下游，以防止 分流器 1 在亚大气压条件下出现渗漏。

G.7.3 模块 3：稀释器 1 出口 — 旋风分离器进口

7.3.1 采样管路须满足如下要求：

- a) 采样管路材料须为电接地渗碳聚四氟乙烯。
- b) 建议：采样管路应该符合 ISO 8031 中的防静电规范。
- c) 采样管路内径须在 7.59 mm 到 8.15 mm 之间。

注：考虑到制造公差，采样管路的内径规格对应于到径尺寸为 3/8 英寸和 7/16 英寸，壁厚都是 0.035 英寸；以及到径尺寸为 10 mm，壁厚是 1 mm 的市售管路。

- d) 管路须为 $24.5\text{ m} \pm 0.5\text{ m}$ 长，没有任何不必要的管件，最多由三个部分组成。
- e) 盘绕的采样管路弯折半径须大于 0.5 m。
- f) 须通过主动加热将采样管路温度保持在 $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ 。
- g) 样本流量须保持在 $25\text{ slpm} \pm 2\text{ slpm}$ 。

G.7.4 模块 4：旋风分离器进口 — 仪器进口

7.4.1 旋风分离器

旋风分离器须满足如下要求：

- a) 旋风分离器的材料须为不锈钢。
- b) 旋风分离器须加热到 $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ 。
- c) 旋风分离器进口和出口内径与采样管路进口和出口内径之间的差异须小于 15%。
- d) 样本流速为 25 slpm 下的旋风分离器的性能须满足如下规范：
 - 1) 切割粒径： $D_{50} = 1.0\mu\text{m} \pm 0.1\mu\text{m}$ ；
 - 2) 锐度： $(D_{16}/D_{84})^{0.5}$ 小于或等于 1.25；和
 - 3) 压力降： ΔP 小于或等于 2 kPa。

7.4.2 分流器 2

分流器 2 须满足如下要求：

- a) 分流器 2 本体材料须为不锈钢。
- b) 分流器 2 须加热到 $60^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ 。
- c) 分流器 2 须将样本分成三个流路以便将稀释的非挥发性微粒物质样本送至：
 - 1) 非挥发性微粒物质质量仪；
 - 2) 挥发性微粒去除器；和
 - 3) 补给流量。
- d) 相对于输入流的分流角须具有切合实际的锐度，但不得超过 35° 。
- e) 所有非挥发性微粒物质流路须尽可能短。
- f) 分流器 2 的几何形状须满足如下要求：

- 1) 内壁上无前向台肩；
- 2) 从分流器 2 出口到非挥发性微粒物质质量仪进口的内径无改变；和
- 3) 从分流器 2 出口到挥发性微粒去除器进口的内径无改变。

7.4.3 测量系统接口

连接非挥发性微粒物质质量仪和挥发性微粒去除器的采样管路须满足如下要求：

- a) 采样管路材料须为不锈钢或电接地渗碳聚四氟乙烯。
- b) 建议：如果采样管路使用的是电接地渗碳聚四氟乙烯，它应该符合 ISO 8031 中的防静电规范。
- c) 采样管路须加热到 $60\text{C}\pm 15\text{C}$ 。
- d) 采样管路与仪器进口之间的内径无变化。

e) 从旋风分离器进口到非挥发性微粒物质质量仪和挥发性微粒去除器进口的每一管路的总长度须尽可能短，不得超过 3 m。

G. 7.5 模块 5：非挥发性微粒物质的测量

7.5.1 补给流量

7.5.1.1 补给流路部件须满足如下要求：

a) 主泵和流量控制器须使通过模块 3 的样本的总体流速（补给流量、非挥发性微粒物质质量仪和挥发性微粒去除器的流速总和）保持在一个恒定水平，即在比外界压力最多低 10 kPa 的情况下 $25\text{slpm}\pm 2\text{slpm}$ ；

b) 在进行非挥发性微粒物质测量时，二氧化碳分析仪须持续测量稀释器 1 下游的二氧化碳浓度 $[\text{CO}_2]\text{dil1}$ 。

注 1：根据采样系统的构造，可能会有多个流量控告器和泵。

注 2：指导材料见《环境技术手册》（Doc 9501 号文件）第 II 卷 —《航空器发动机排放审定程序》。7.5.1.1.1 建议：应在流量控告器上游安装微粒过滤器，以防止损坏部件。

7.5.1.2 如果非挥发性微粒物质质量仪没有进行样本压力测量，须在通向补给流路的分流器 2 出口处测量该压力。

7.5.1.3 二氧化碳分析仪须满足如下要求：

a) 二氧化碳分析仪须安装在流量控制器后面；

b) 二氧化碳分析仪须符合附录 3 第 5.3 段“一氧化碳和二氧化碳分析仪”和“二氧化碳分析仪”这两个标题下给出的性能规范 a) 除外。

7.5.1.3.1 建议：二氧化碳分析仪的总量程应该比气体管路上使用的二氧化碳分析仪低约 10 倍。

G. 8 非挥发性微粒物质质量仪和校准规范

注1：在附录7 本节中，用元素碳(EC) 质量来代表非挥发性微粒物质质量。相关指导见《环境技术手册》（Doc 9501 号文件）第II 卷 —《航空器发动机排放审定程序》。

注2：本附录第8.2 段对热光透射(TOT) 这一基准测量方法进行了详细描述。此方法通常由校准实验室采用； 预计航空器发动机制造商不一定会采用这种方法。

注3：附录7 本节中使用以下ISO 参考资料：国际标准化组织，《空气质量— 定义和确定自动测量系统的性能 特性》，(ISO 9169: 2006 年)。

G. 8. 1 规范

非挥发性微粒物质质量仪的每个样式和型号均须从仪器制造商或其他具备相关资质的测试和校准实验室获得相关证书，确认该仪器：

- a) 须有 0 µg/m3 到 1000 µg/m3 或更大的测量范围；
- b) 须有 1 µg/m3 或更高的分辨率；
- c) 须是对挥发性微粒物质不敏感；和

注 1：挥发性微粒物质是在温度低于或等于 350°C时挥发的燃烧废气物质。
注 2：当非挥发性微粒物质质量仪符合表 A7-3 中的核查性能规范时，使符合本规范。

- d) 符合表 A7-5 中所列的性能规范。

注 1：表 A7-5 中提及的均为 ISO 9169，其中带有星号的是指对该性能规范做了修改，具体见本附录第 8.4 段所述。
注 2：这些性能规范反映了可以使用热光透射(TOT) 作为基准测量方法加以验证的数量限度。热光透射法在本 附录第 8.2 段中作了描述。
注 3：只有表 A7-5 中的精度性能规范需要在本附录第 8.5 段中所述的年度校准程序中予以考虑和应用。

表A7-5 非挥发性微粒物质质量仪（nvPMmi）的性能规范

性能规范	值(等于或小于)	测定方法
可重复性	10 µg/m³	ISO* 6.4.5.3，见第8.4 段所述
零漂移	10 µg/m³/hr	ISO 6.6（仅用于CO），见第8.4 段所述
线性度	15 µg /m³	ISO* 6.4.5.4，见第8.4 段所述
检测极限（LOD）	1 µg/m³	ISO* 6.4.5.5，见第8.4 段所述
上升时间	2 秒	ISO 6.3，见第8.4 段所述
采样间隔	1 秒	ISO 2.1.7，见第8.4 段所述
精度	± 10 %	非挥发性微粒物质质量仪质量浓度与元素碳质量浓度之间的线性回归斜率，见第8.3.2.8段所述
核查	± 16 %	航空器涡轮排气仪器和校准来源核查，见第 8.3 段所述

G. 8. 2 热光透射（TOT）法

须采用热光透射（TOT）作为证明非挥发性微粒物质质量仪的每个样式和型号符合其性能规范并对非挥发性微粒 物质质量仪进行校准的基准测量方法。通过这种方法可以确定非挥发性微粒物质样本中的元素碳和有机碳。

8.2.1 概述

8.2.1.1 热光透射分析仪须是一个实验室仪器[带有一个火焰电离检测器（FID）]或是一个半连续仪器[带有一个 非色散红外探测器（NDIR）]。

8.2.1.2 热光透射法须使用表 A7-6 中规定的温度分布状况。

注：关于热光透射法的指导材料见《环境技术手册》(Doc 9501 号文件) 第II 卷——《航空器发动机排放审定程序》。

8.2.2 试剂和材料

8.2.2.1 须使用下列试剂：

a) 试剂级的（99%或更高）蔗糖水溶液，使用超纯 H₂O I 型或等效物稀释，以产生每毫升溶液 0.1 到 3 毫克碳；

b) 氮气 — 纯度 5.0（大于 99.999%）； c) 氢气 — 纯度 4.5（大于 99.995%）；

d) 零空气（含有少于 0.2 ppm 的碳氢化合物）；

e) 经审定的含 10%氧气的氮气与氧气混合物；和

f) 经审定的含 5%甲烷的氮气与甲烷混合物。

8.2.2.2 须使用下列材料：

a) 对于实验室仪器，仪器须配有一个用于切取一块 1.0 cm² 或 1.5 cm² 的矩形滤膜的金属冲头；

b) 对于半连续仪器，仪器须配有一个用于切取两块 2.0 cm² 的因形滤膜的金属冲头；

c) Pall Tissuquartz[™]石英纤维滤膜，或等效物；和 d) 10 微升注射器

8.2.2.3 滤膜的制备 根据所使用的仪器，滤膜须按如下方法制备：

a) 对于手动采样和分析而言，在采样并贮存在密封容器之前，所有石英纤维滤膜须在 550°C或以上高温的 马弗炉中预烧 12 个小时；或者在大于或等于 800°C的马弗炉中预烧 1 到 2 个小时；或

b) 对于半连续分析仪而言，用于测量的滤膜须能够执行至少一个如表 A7-6 中所述的完整测量周期。

表A7-6 热光透射法分析周期所需的温度分布状况

载气	温度 (°C)	温度时间 (秒)
100%氮气	310	80
	475	80
	615	80
	870	110
	550	45
含10%氧气的氮气	550	45
	625	45
	700	45
	775	45
	850	45
	870	60
	930	120
含5%甲烷的氮气	0	120

8.2.3 样本的制备

8.2.3.1 样本滤膜须放置在干净的铝宿表面上。

注：可以使用异丙醇或丙酮清洁铝范表面。在这种情况下，应在使用前让残留溶剂从其表面蒸发掉。或者范片在使用前可以通过在马弗炉中烘烤进行清洁。

8.2.3.2 须从滤膜上切取一块有代表性的样品。在滤膜操作中，须遵循良好的实验室规范。

8.2.4 校准与质量控制

8.2.4.1 在进行任何热光透射分析之前，须采用 1 年内可追溯的传输标准对控制烤箱温度的温度传感器进行校准。

8.2.4.2 如果使用实验室仪器，须校准火焰电离检测器的响应。校准须符合如下程序：

- a) 准备由不含有机物的蔗糖水溶液组成的外部校准标准物；
- b) 将 10 微升溶液分散在从新的预先烘烤过的干净石英滤膜上切取下来的小片滤膜上；
- c) 分析至少三个方法空白样本和三个蔗糖溶液样本，以确保仪器校准显示碳的理论质量的回收率达到 95% 至 105%（所测得的微克碳/分散的微克碳）。

8.2.4.3 如果使用半连续仪器，须校准非色散红外探测器的响应。校准须符合以下程序：

- a) 准备由不含有机物的蔗糖水溶液组成的外部校准标准物；
- b) 将 10 微升溶液分散在从插入石英半管底部的一个单独的预置“船形”滤膜上切取下来的小片滤膜上；
- c) 分析至少三个方法空白样本和三个蔗糖溶液样本，以确保仪器校准显示碳的理论质量的回收率达到 95% 至 105%（所测得的微克碳/分散的微克碳）。

8.2.4.4 如果滤膜分析需要一天以上，每天都须进行一次质量控制检查，做法通常是用储备的蔗糖溶液分散在滤膜上并相应地进行分析。结果须在碳的理论质量的 95% 到 105% 范围内。

注：方法空白是不添加蔗糖的一种预烧石英滤膜，但处理方式一样。

8.2.5 测量

须采用下列程序进行测量：

- a) 须按照制造商的建议操作热光透射分析仪。
- b) 将样本部分放入样本烤箱；
- c) 确定元素碳和有机碳质量(μg)：注：热光透射分析仪的结果以 μg 碳/ cm^2 为单位进行报告。
- d) 最终样本结果须始终是经过空白修正的：

1) 对于实验室仪器，现场空白包含以与样本相同的方式(不同的是没有空气通过滤膜)处理的预烧石英纤维滤膜。空白样本中单位面积承载的元素碳质量大于或等于 $0.3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 时表示有污染。

2) 对于半连续分析仪，须在不通过任何样本气体的情况下对内部滤膜进行测量。

e) 最终样本结果须始终是经气相有机碳产物修正的。进行这种修正的操作条件(持续时间和流速)须与用于样本采集的条件相同。根据所使用的仪器，须采用如下程序：

1) 对于实验室分析，须采用由一个特氟隆滤膜后跟一个预烧后备石英滤膜，或者由一个预烧石英滤膜后跟一个预烧后备石英滤膜组成的采样设备，并且后备滤膜须按照表 A7-6 中的规定进行分析。如果在后备滤膜上发现有机碳，须将其从样本滤膜上发现的有机碳中减去。

2) 对于半连续分析, 须在分析仪之前将特氟隆滤膜插入采样设备中。如果在测量时发现有机碳, 须将其从样本测量期间发现的有机碳中减去。

8.2.6 计算

对于实验室仪器:

a) 用滤膜的滤床面积 (cm²) 乘以所报告的元素碳承载结果 (μg/cm²) 来计算每个滤膜样本上元素碳的总质量 (μg) (W_{EC});

b) 为空白进行 a) 中的相同计算, 并计算在平均空白中发现的质量 (W_b); 和

c) 计算在标准温度和压力条件下采样的空气体积 (V, 以 m³ 为单位) 中的元素碳质量浓度 (CEC):

$$C_{EC} = \frac{W_{EC} - W_b}{V} (\mu g / m^3)$$

注 1: 半连续仪器提供元素碳质量浓度作为报告结果。

注2: 关于热光透射法原理的指导材料见《环境技术手册》(Doc 9501 号文件) 第II卷—《航空器发动机排放 审定程序》。

G. 8.3 证明符合性能规范的程序

注: 本节所述的程序用于证明非挥发性微粒物质质量仪的每个样式和型号符合其性能规范。

须采用本附录第 8.2 段所述的热光透射法证明符合表 A7-5 中所列的性能规范。须使用以下两种源来进行测量: 扩散火焰燃烧气溶胶源和燃气涡轮发动机非挥发性微粒物质排气源。

8.3.1 扩散火焰燃烧气溶胶源

注: 指导材料见《环境技术手册》(Doc 9501 号文件) 第 II 卷 —《航空器发动机排放审定程序》。

8.3.1.1 扩散火焰燃烧气溶胶源

为了证明非挥发性微粒物质质量仪符合要求且进行了年度校准, 扩散火焰燃烧气溶胶源须由用于产生扩散火焰 的装置的型号、使用的燃料和操作设置来确定。

8.3.1.2 建议:

a) 当选择和操作不同的扩散火焰燃烧气溶胶源时, 应加以注意, 因为对于不同的扩散火焰燃烧气溶胶源 装直, 非挥发性微粒物质质量仪校准因子(仪器响应和热光透射基准之间的关系) 可能会发生变化。

b) 应使用单个扩散火焰燃烧气溶胶源, 以展示非挥发性微粒物质质量仪符合表 A7-5 中对重复性、零 漂移、线性度、上升时间和精度性能规范的要求。

8.3.1.3 用于校准非挥发性微粒物质质量仪的扩散火焰燃烧气溶胶源 用于校准非挥发性微粒物质质量仪的每个扩散火焰燃烧气溶胶源须证明符合表 A7-5 中的验证性能规范 (适用于第 8.3.2 和 8.3.3 段)。

8.3.2 使用扩散火焰燃烧气溶胶源进行测量

8.3.2.1 该测量系统须包含:

a) 一个扩散火焰燃烧气溶胶源;

b) 一个使用高效微粒空气过滤器过滤的稀释剂来控制目标元素碳质量浓度的稀释系统;

- c)安装在热光透射仪器和非挥发性微粒物质质量仪上游的一个以 1μm 作为切割粒径的旋风分离器；
- d) 符合本附录第 7.4.2 d)和 f) 段的要求的分流器组件；

注：《环境技术手册》(Doc9501 号文件) 第II 卷 —《航空器发动机排放审定程序》提供了一个等 效程序。

- e) 连接手动石英过滤采样器或元素碳/有机碳半连续分析仪和非挥发性微粒物质质量仪的不锈钢或防静电管。所有管子的材料、长度以及从分流点到仪器进口的温度均须相同；和
- f) 建议：如果使用防静电管，管子应符合 ISO 8031 中的防静电规范。

8.3.2.2 根据热光透射测量所使用的仪器，须满足如下要求：

- a)如果是人工采样并且使用的是实验室分析仪，须使用装在不锈钢过滤支架中的一个预烧石英滤膜，该支架须有一个半角三12.5°、在实际操作条件下以小于或等于 0.5 m/s 的膜面速度运行的锥形进口 截面。滤膜的滤床直径须足够大，以便从每个滤膜上都可以切取至少一块样本。对于所收集到的每 个石英滤膜样本，须从中切取至少一块进行分析；或
- b) 如果使用热光透射半连续分析仪，须以小于或等于 0.5 m/s 的膜面速度进行操作。

8.3.2.3 须在表 A7-7 中规定的不同水平的目标元素碳质量浓度下进行测量。所获得的元素碳质量浓度须在规定的目标质量浓度的 20 %的范围内。

8.3.2.4 在每个浓度水平，取样的时长须差不多一样，以确定一个可重复的元素碳过滤载荷。元素碳过滤载荷须 为 12 ± 5 μg/cm2。

8.3.2.5 ISO 9169 中定义的平均时间须与滤膜收集时间相同。

8.3.2.6 通过热光透射法确定的平均元素碳含量须大于或等于总碳的 80 %。

8.3.2.7 须使用通过热光透射法获得的元素碳质量浓度和非挥发性微粒物质质量仪的质量浓度确定本附录第 8.4段中规定的参数，这些参数可用于证明符合表 A7-5 中的可重复性和线性度性能规范。

8.3.2.8 使用表 A7-7 中的测试次数和本附录第 8.5.5 段中规定的程序校准非挥发性微粒物质质量仪。确定表 A7-5 中的精度性能规范，须使用根据热光透射确定的非挥发性微粒物质质量仪质量浓度和元素碳质量浓度之间的线性回 归斜率。

表A7-7 非挥发性微粒物质质量仪符合规范和扩散火焰燃烧气溶胶源验证的元素碳质量载荷参数

目标浓度(μg/m³)	仪器证书 (测试次数)	使用一个新的扩散火焰燃烧 气溶胶源进行校准 (测试次数)
0（空转）	6	3
50	6	0
100	6	3
250	0	3
500	6	3

8.3.3 使用航空器发动机非挥发性微粒物质排气源进行测量

8.3.3.1 测量用于证明表 A7-5 中的非挥发性微粒物质质量仪的验证性能规范，以验证仪器和一个用于校准非挥 发性微粒物质质量仪的扩散火焰燃烧气溶胶源的组合。对于燃气涡轮发动机非挥发性微粒物质

排气源，须使用第 8.3.2.1 c)、d)、e) 和 8.3.2.2 段中规定的测量系统以及一个使用经高效微粒空气过滤器过滤过的稀释剂的稀释系统重复第 8.3.2.4 至 8.3.2.5 段中的操作。

8.3.3.2 建议：应该进行充分的稀释，以防止采样管路中出现水凝结。

8.3.3.3 须针对至少三种不同推力水平获得至少四个数据点，并且须使用上文规定的非挥发性微粒物质采样系统对其中一个推力水平进行重复测量。须在至少三个目标浓度下进行测量，每个浓度与下一个浓度之间须至少相差 1.5 倍，至少须有一个浓度高于 120 µg/m³，并且至少须有一个浓度低于 120 µg/m³。这四个数据点的元素碳过滤载荷须在 2.5 µg/cm² 和 17 µg/cm² 之间。

8.3.3.4 须使用通过热光透射法获得的元素碳质量浓度和非挥发性微粒物质质量仪的质量浓度证明符合表 A7-5 中规定的验证性能规范。

8.3.3.5 发动机测试燃料须是《氏用航空喷气燃油供应手册》（Doc 9977 号文件）第 3 章第 3.2 段所列的航空涡轮发动机燃料之一。对于这至少四个数据点，须使用相同的燃料。

G. 8. 4 仪器性能的计算

8.4.1 须按照 ISO 9169 第 6.6、6.3 和 2.1.7 段的规定，分别确定非挥发性微粒物质质量仪的性能参数——零漂移、上升时间和样本率。

8.4.2 须在每个浓度水平进行连续 6 次测量来确定非挥发性微粒物质质量仪在 95%置信区间的可重复性参数：

$$S_{ri}^2 = S_{Yi}^2 - \Delta^2 S_{Ci}^2$$

其中

$$S_{Yi}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{i,j} - \bar{Y}_i)^2}{(n-1)}$$

S_{Ci} 浓度水平为 i 时 $C_{i,j}$ 中 j 的标准偏差

$Y_{i,j}$ 仪器对基准物质 $C_{i,j}$ 的测量结果

$C_{i,j}$ 浓度水平为 i 时基准物质浓度的第 j 个瞬间

$\bar{Y}_i$ $Y_{i,j}$ 的平均值

n 在每个浓度水平连续测量的次数（最少 6 次）

用于失拟检验的回归函数的斜率，该斜率可通过以下方程式加以确定。

$$E_{i,j} = Y_{i,j} - (\Gamma + \Delta \times C_{i,j})$$

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_{i,j}}{n}$$

其中

$E_{i,j}$ $C_{i,j}$ 与 $Y_{i,j}$ 之间的差值；

E_i $E_{i,j}$ 中 j 的平均值；和

r 用于失拟检验的回归函数的截距。

8.4.3 建议：如果按照此种程序确定的可重复性为负值，可重复性应报告为“显著好于 $\Delta \cdot s^2_{Ci}$ ”。

注：如果按照此种程序确定的可重复性为负值，说明元法将测量方差与基准物质的变丰区分开来，应重复进行测试，并在测试时更多地关注基准物质源的稳定性(扩散火焰燃烧气溶胶源流量和压力设定值)以及确定基准物质水平时的精度(热光透射法载荷和程序)。

8.4.4 须按照 ISO 9169 第 6.4.5.4 段的规定来确定非挥发性微粒物质质量仪的线性度，但须通过以下公式来确定残值：

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_{i,j}}{n}$$

8.4.5 须按照 ISO 9169 第 6.4.5.5 段的规定来确定非挥发性微粒物质质量仪的检测极限。如果当样本中没有微粒

时仪器不进行测量，则须使用一个略高于零的非挥发性微粒物质质量浓度 C_{LOD} ，以使仪器产生常规读数。在这种情况下，检测极限的计算公式为：

$$Y_{LOD,0.95} = \bar{Y}_{LOD} - C_{LOD} + 2 \times t_{v,0.95} \times S_{LOD}$$

其中

$Y_{LOD,0.95}$ 在 95%置信区间的检测极限；

$\bar{Y}_{LOD}$ Y_{LODj} 平均值；

C_{LOD} C_{LODj} 平均值；

$t_{v,0.95}$ 在95%置信区间的双侧Student 因子，自由度 $v=n-1$ ；

S_{LOD} 与平均 Y_{LOD} 相关联的标准偏差。

注：在平均时间内进行的连续测量所用到的基准物质可能是不同的。因此，确定的每个基准物质的值也可能不同，尽管这一值众所周知是通过热光透射法确定的。对 ISO 9169 的定义作了修改，以适应这种变化性。

G. 8. 5 校准

8.5.1 每年须采用本附录第 8.3.1.3 段所述的经核查的扩散火焰燃烧气溶胶源，第 8.2 段中所述的热光透射法和第 8.3.2.1 和 8.3.2.2 段所述的系统设备对非挥发性微粒物质质量仪进行校准。

8.5.2 须在表 A7-8 中规定的不同水平的目标元素碳质量浓度下进行测量。所获得的元素碳质量浓度须在规定的 目标质量浓度的±20 % 的范围内。

表A7-8 校准样品的碳质量载荷参数

目标浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	年度校准 (测试次数)
0(空转)	3
50	0
100	3
250	3
500	3

8.5.2.1 建议：应在 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 处测试二个点，用于年度校准。

8.5.3 在每个浓度水平，取样的时长须差不多一样，以确定一个可重复的元素碳过滤载荷。元素碳过滤载荷须为 $12 \pm 5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。

8.5.4 ISO 9169 中定义的平均时间须与滤膜收集时间相同。

8.5.5 须使用通过热光透射法获得的元素碳质量浓度和非挥发性微粒物质质量仪的质量浓度确定通过仪器校准收集到的数据点的最佳拟合度。须采用以下线性最小二乘法来确定比例因子 b ，以调整非挥发性微粒物质质量仪所报告的非挥发性微粒物质质量浓度：

$$b = \frac{\sum \frac{y_i}{x_i}}{n}$$

其中

x_i 浓度水平为 i 时的非挥发性微粒物质质量仪测量结果；

y_i 浓度水平为 i 时的热光透射元素碳质量浓度；和

b 最佳拟合直线斜率。

注 1：一旦将比例因子 b 适用于浓度水平为 i 时的非挥发性微粒物质质量仪对应于元素碳热光透射结果调整后的仪器读数的斜率从数学上讲等于 1.0，显然将满足表 A7-5 中的斜率要求。

注 2：由于热光透射元素碳检测的可重复性预计会存在不确定性，在相同或不同的实验室重复上述过程可能产生不同的斜率，而仪器的响应没有任何变化。表 A7-5 中的精度性能规范旨在应对这种变化性。

8.5.6 建议：在每次年度校准之前，应在表 A7-8 所列的测试次数 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的元素碳质量浓度下对每个质量仪的性能进行“校前测试”评估。通过这一评估，将可以追溯至先前进行过的仪器校准，并且可以对现有的校准常数和新的校准常数进行对比。

G.9 挥发性微粒去除器和非挥发性微粒物质数量仪的规范和校准

G.9.1 规范

9.1.1 挥发性微粒去除器的规范

9.1.1.1 挥发性微粒去除器（VPR）的每个样式和型号均须从仪器制造商或其他具备相关资质的测试和校准实验室获得相关证书，确认其符合下列性能规范。

9.1.1.2 挥发性微粒去除器稀释因子（DF2）须满足如下要求：

a) 须调整 DF2，以便将微粒数量浓度维持在凝聚微粒计数器（CPC）单一计数模式，并且把凝聚微粒计数器进口处的样本温度降至 10°C 至 35°C 之间。

b) DF2 的变化率须小于 10%。

9.1.1.3 蒸发挥发性物质的加热区的温度须保持在 $350^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ 。

9.1.1.4 如果挥发性微粒去除器包含多个加热阶段，额外温度控制须为挥发性微粒去除器制造商规定的运行温度的 $\pm 15^\circ\text{C}$ 。

9.1.1.5 样本压力控制须满足如下要求：

a) 压力控制装置须允许将稀释样本在外界（凝聚微粒计数器排气）压力 ± 15 kPa 范围内传送至凝聚微粒计数器。

b) 压力不得超过 105 kPa。

9.1.1.6 挥发性微粒去除器在每个稀释设定值的最小容许微粒渗透分数须满足表 A7-9 所列的规范。

表A7-9 挥发性微粒去除器在四种粒径情形下的最小容许渗透分数

电迁移粒径, D_m	15 nm	30 nm	50 nm	100 nm
最小渗透分数, $v_{PR}(D_m)$	0.30	0.55	0.65	0.70

9.1.1.7 挥发性微粒去除器的挥发性物质去除效率（VRE）须该满足超过 99.5%的电迁移直径为 30 nm、进口浓度至少为 10 000 微粒物质/cm³ 的四十烷（CH₃(CH₂)₃₈CH₃，纯度超过 95%）微粒被移除。当挥发性微粒去除器在其最低稀释设定值和制造商建议的运行温度下运行时，须证明其满足这一挥发性物质去除效率。

9.1.1.8 如果挥发性微粒去除器中使用了一个催化汽提器，则稀释剂须至少包含 10%的氧气。

9.1.2 挥发性微粒去除器与凝聚微粒计数器之间的接口连接挥发性微粒去除器出口和凝聚微粒计数器进口的管子须满足如下要求：

- a) 该材料须为导电性。
- b) 该管子的内径须大于或等于 4 mm。
- c) 管子内的样本的停留时间须小于或等于 0.8 秒。

9.1.3 凝聚微粒计数器的规范

9.1.3.1 凝聚微粒计数器的每个样式和型号须从仪器制造商或其他具备相关资质的测试和校准实验室获得相关证书，确认其符合下列各节所列的性能规范。

9.1.3.2 须允许适用最高达 10%修正率的重合修正函数。重合修正函数不得使用任何算法来纠正或者规定计数效率。

9.1.3.3 微粒计数须满足如下要求：

a) 计数模式须为单一计数模式。不允许在测光模式中使用凝聚微粒计数器。因此，为确保可以使用单一计数模式，须根据需要加大 DF2。

b) 计数精度须为根据可追溯标准（ISO 27891）从 2000 微粒/cm³ 至单一微粒计数模式上限这个范围的 $\pm 10\%$ 。

c) 10 nm 电迁移直径下的计数效率须大于或等于 50%，15nm 电迁移直径下的计数效率须大于或等于 90%。

d) 须使用 Emery 油气溶胶确定计数效率。

9.1.3.4 发动机运行稳定后，数据采集速率须大于或等于 1.0 Hz，最小间隔须为 30 秒。

9.1.3.5 微粒数量浓度须在标准温度和压力条件下报告为微粒/cm³。如果报告值代表的不是标准温度和压力条件下的情况，则凝聚微粒计数器进口处绝对压力的测量精度须优于 2%，以便可以按照制造商的指导原则将数量浓度修正至标准温度和压力条件。

9.1.3.6 在浓度低于 100 微粒/cm³ 情况下，分辨率须优于 0.1 微粒/cm³。

9.1.3.7 上升时间须少于 4 秒。

9.1.3.8 样本流速须为全流速。不允许内部分流。

9.1.3.9 工作液须为正丁醇。

9.1.3.10 响应须为线性。

9.1.4 系统要求 从挥发性微粒去除器进口通过凝聚微粒计数器的 t₉₀ 须等于或小于 10 秒。

G.9.2 校准

9.2.1 挥发性微粒去除器

建议：在每次进行挥发性微粒去除器校准之前，应该在单一 DF2 设定值下对该挥发性微粒去除器进行“校前测试”验证，这一设定值应为用于航空器涡轮发动机测量的一个典型数值。此项验证工作应包括确定在所选择的 DF2 设定值下的挥发性微粒去除器的稀释因子以及确定渗透分数和挥发性物质去除效率。

9.2.1.1 DF2 校准须满足如下要求：

a) 须按照挥发性微粒去除器制造商的规定，在挥发性微粒去除器的每个稀释设定值对 DF2 进行校准。

b) 建议：应该由具备相关资质的实验室使用诸如二氧化碳等痕量气体或者利用流量测量方法进行 DF2 校准。

9.2.1.2 挥发性微粒去除器微粒渗透分数校准须满足如下要求：

a) 挥发性微粒去除器微粒渗透分数须在 350°C 以及该去除器的每个稀释设定值下使用 15nm、30 nm、50 nm 和 100 nm 电迁移直径的固体微粒进行测量。所有四种粒径都须有至少 5000 微粒/cm³ 传送至挥发性微粒去除器。如果用煤烟生成微粒，则可能需要被加热至 350°C 的一个热预处理装置，以便 仅将非挥发性微粒物质传送至挥发性微粒去除器。

b) 须在挥发性微粒去除器的上游和下游对微粒浓度进行测量，并且凝聚微粒计数器的计数效率须大于或等于 90%，达到 15nm。

须按照以下公式确定挥发性微粒去除器的渗透分数：

$$\eta_{VPR}(D_m) = \frac{DF_2 \times N_{out}(D_m)}{N_{in}(D_m)}$$

其中

$N_{in}(D_m)$ D_m 微粒的上游微粒数量浓度；和

$N_{out}(D_m)$ D_m 微粒的下游微粒数量浓度。

d) $N_{in}(D_m)$ 和 $N_{out}(D_m)$ 须参照相同的温度和压力条件。

e) 建议：挥发性微粒去除器应该作为一整套装置进行校准。

9.2.1.3 挥发性微粒去除器的挥发性物质去除效率

挥发性物质去除效率须用计数效率大于或等于 90%、达到 30nm 的凝聚微粒计数器进行确定，如下所示：

$$VRE(D_{30}) = 100 \times \left[1 - \frac{DF_2 \times N_{out}(D_{30})}{N_{in}(D_{30})} \right]$$

其中

$VRE(D_{30})$ D_{30} 微粒的挥发性物质去除效率；

$N_{in}(D_{30})$ D_{30} 微粒的上游微粒数量浓度；

$N_{out}(D_{30})$ D_{30} 微粒的下游微粒数量浓度；和 D_{30}

微粒电迁移直径为30nm的微粒。

b) $N_{in}(D_{30})$ 和 $N_{out}(D_{30})$ 须参照相同的温度和压力条件。

9.2.2 凝聚微粒计数器的校准

9.2.2.1 凝聚微粒计数器校准须能追溯到标准校准方法（ISO 27891）：通过在同时对静电分类校准微粒进行取样时，对在校准的凝聚微粒计数器与已经校准过的气溶胶静电计的响应进行比较。

9.2.2.2 建议：在每次进行凝聚微粒计数器校准之前，应对该计数器进行验证（“校前测试”）。

9.2.2.3 须使用如下程序进行校准和验证：

a) 须使用电迁移直径为 10 和 15nm 的微粒来校准凝聚微粒计数器的探测效率。凝聚微粒计数器在 10nm 下的计数效率须大于或等于 50%，15nm 下的计数效率须大于或等于 90%。

b) 校准气溶胶须为 Emery 油。

G. 10 系统运行程序

G. 10.1 收集部分和气体管路渗漏检查

10.1.1 渗漏检查程序 在进行一系列发动机测试之前，须按如下程序检查收集部分和气体管路是否渗漏：

a) 使用隔离阀 1、P1 压力控制阀以及可选择的切断阀（如果安装）将气体管路与非挥发性颗粒物测量部分隔离开；

b) 隔离探头和分析仪；

c) 连接并操作真空泵，以证实渗漏流速。

d) 真空泵须具备相对于大气压力-75 kPa 的无流真空能力；其标准温度和压力下的全流速不得小于 26 L/min。

10.1.2 渗漏检查要求

渗漏流速须小于 0.4 slpm。

G. 10.2 收集部分和气体管路洁净度检查

只有使用完全的气体非挥发性微粒物质 EI 计算方法才可以进行这一检查。

10.2.1 洁净度检查程序 须按如下程序对收集部分和气体管路进行洁净度检查：

- a) 使用隔离阀 1 和 P1 压力控制阀将气体管路与非挥发性微粒物质测量部分隔离开；
- b) 将气体管路与探头隔离开，并将该采样管路端头与零气源相连接；
- c) 将系统加热至进行碳氢化合物测量所需的工作温度；
- d) 操作样本流量泵，并将流速调至进行发动机排放测试时所用的流速。
- e) 记录碳氢化合物分析仪的读数。

10.2.2 洁净度检查要求

10.2.2.1 碳氢化合物读数不得超过发动机慢车排放水平的 1%或者 1 ppm（二者均表示为碳），以其中大者为准。

注：如果由于各种其他源在发动机入口处的环境空气中存在显著水平的排放样本，则可能对发动机排气排放样本的水平产生影响。在这种情况下，可能需要监测这些样本并在报告的排放水平中说明该环境空气质量。

10.2.2.2 建议：如果需要说明报告的排放水平上环境空气质量的程序，则应使用该程序，但须经局方批准。

G. 10.3 传输部分洁净度/渗漏检查

注 1：如果传输部分的组件被污染，或者传输部分、测量部分或二者同时有渗漏，可能导致洁净度检查失败。

注 2：系统渗透将导致外界空气微粒被吸入系统。

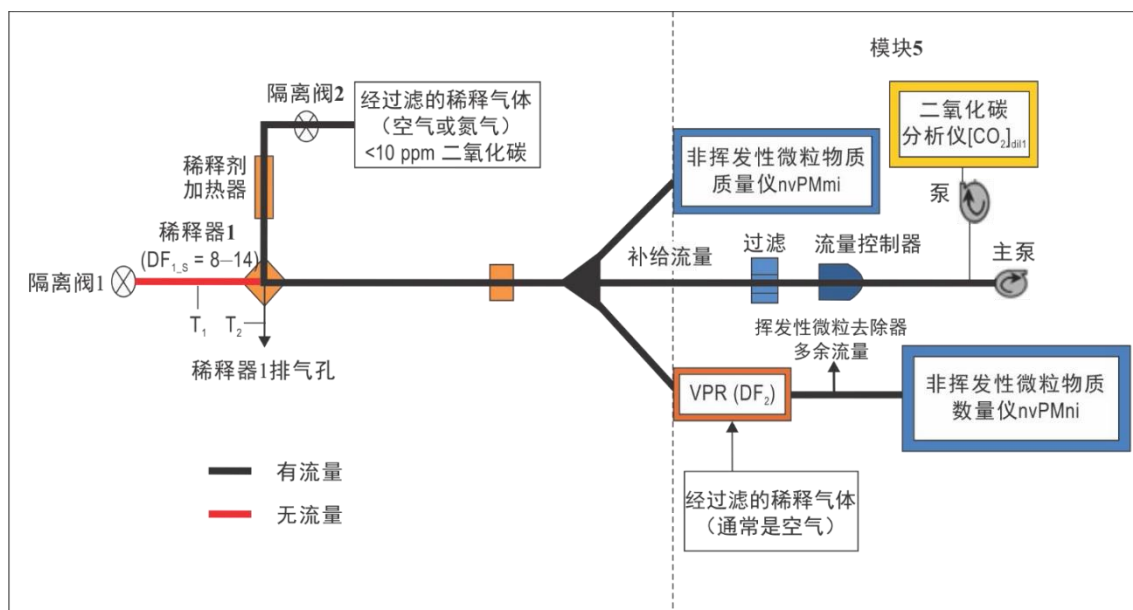
10.3.1 洁净度/渗漏检查程序

10.3.1.1 在进行一系列发动机测试之前，须使用如下程序对传输部分进行洁净度和渗漏检查：

- a) 在隔离阀 1 关闭的情况下，将经过滤的稀释剂通过稀释器 1；
- b) 分流器 2 每个流路内的流速须等于发动机测试过程中使用的流速。
- c) 将 DF2 设定为挥发性微粒去除器的最低设定值。

10.3.1.2 在所测得的非挥发性微粒物质质量和数量浓度稳定后，记录至少 30 秒长度的数据。

注：传输部分洁净度检查的流程图见图 A7-4。



图A7-4 传输部分洁净度检查流程图

10.3.2 洁净度/渗漏检查要求

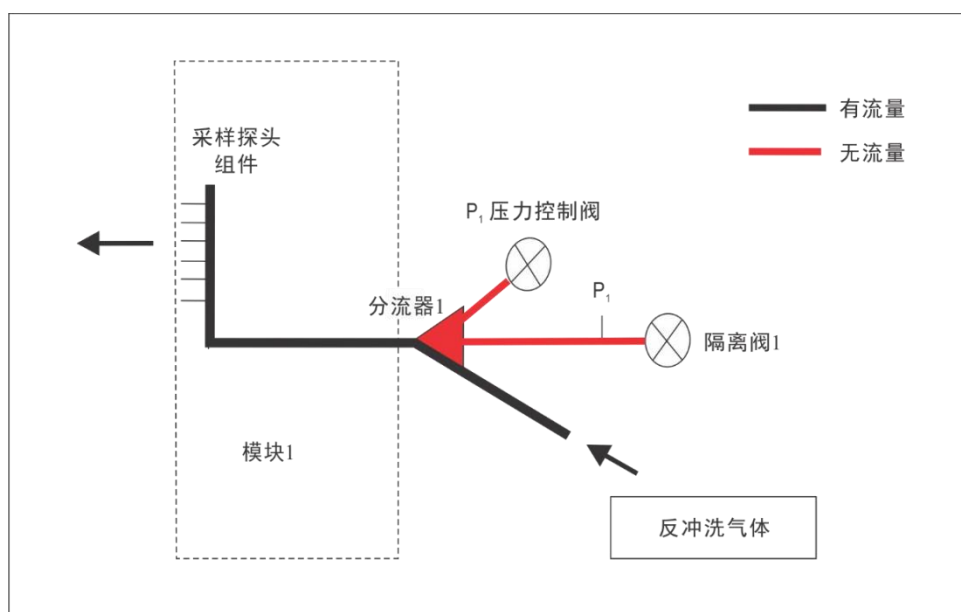
10.3.2.1 30 秒平均非挥发性微粒物质质量浓度 (nvPMmass_STP) 须小于 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

10.3.2.2 30 秒平均非挥发性微粒物质数量浓度 (nvPMnum_STP) 须小于 $2.0 \text{ 微粒}/\text{cm}^3$ 。

10.3.2.3 建议：如果洁净度检查失败，应该首先检查系统是否有渗漏。如果未检测出渗漏，应检查并清洁旋风分离器收集容器。如果洁净度检查再次失败，则可能需要清洁或史换采样系统的一些组件。

G. 10. 4 收集部分的反冲洗

建议：为保持模块 1 采样探头和管路不留下未燃烧的燃料，应按照图 A7-5 所示，在发动机启动和关闭时对模块 1 进行反冲洗。



图A7-5 模块1反冲洗流程图

G. 10.5 外界非挥发性微粒物质测量

10.5.1 概述

10.5.1.1 须在发动机测试之前和之后获取代表发动机空气进口处情况的外界非挥发性微粒物质质量和数量浓度，所报告的值须为两次测量结果的平均值。

注 1：对于封闭式测试室，由于发动机启动前存在其他非挥发性微粒物质源，测试室内非挥发性微粒物质水平可能升高。在这种情况下，获得具有代表性的到界非挥发性微粒物质测量结果可能需要用环境空气冲洗测试室。

注 2：指导材料见《环境技术手册》(Doc 9501 号文件) 第 II 卷 —《航空器发动机排放合格审定程序》。

10.5.2 外界非挥发性微粒物质采样程序

须通过下列两种方法之一对代表发动机空气进口情况的外界非挥发性微粒物质质量和数量浓度进行采样测量：10.5.2.1 方法 1 — 通过稀释器 1 排气孔采样

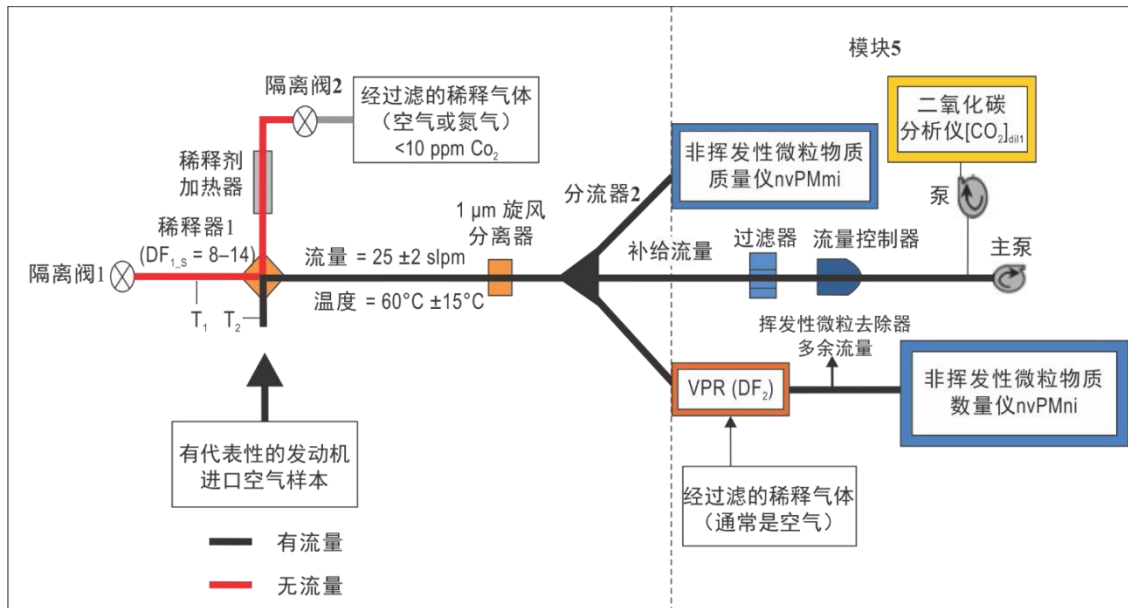
须使用非挥发性微粒物质采样和测量系统通过稀释器 1 排气孔进行采样。

当通过稀释器 1 排气孔进行采样时，须采取以下程序：

- 通过关闭隔离阀 2，关掉对稀释器 1 的稀释剂供应，并确保隔离阀 1 是关闭的；
- 建议：当稀释剂流路被关闭时，应该采取保护措施，避免稀释剂加热器过度加热；
- 确保分流器 2 每个流路内的流速等于发动机测试时要使用的流速；
- 在所测得的非挥发性微粒物质质量和数量浓度稳定后，记录至少三分钟长度的数据。

注：用方法 1 进行到界非挥发性微粒物质测量的流程图见图 A7-6。

只有当排气孔排气位置可代表发动机进口空气的情况时才可使用这一方法。



图A7-6 外界微粒空气测量流程图

10.5.2.2 方法 2 — 使用另到一个非挥发性微粒物质测量系统

10.5.2.2.1 另外一个外界非挥发性微粒物质采样和测量系统须满足如下要求：

- 外界非挥发性微粒物质采样系统须符合本附录第 7.3 段中关于模块 3 和模块 4 的采样系统要求。
- 非挥发性微粒物质质量仪、挥发性微粒去除器以及非挥发性微粒物质数量仪须符合本附录第 8 和 9 段中的规定。
- 外界非挥发性微粒物质采样系统进口须位于距发动机进气平面 50 米之内的地方。

10.5.2.2.2 当使用另外一个非挥发性微粒物质采样和测量系统进行采样时，须采取以下程序：

- 确保分流器 2 每个流路内的流速等于发动机测试中要使用的流速。
- 在所测得的非挥发性微粒物质质量和数量浓度稳定后，记录最少三分钟长度的数据。

10.5.3 外界微粒测量要求

10.5.3.1 须报告针对 $DF (2 \times DF_2 \times nvPMnum_STP)$ 进行修正后的三分钟平均非挥发性微粒物质质量浓度 ($nvPMmass_STP$) 和非挥发性微粒物质数量浓度。

注：到界的非挥发性微粒物质质量浓度水平可能在非挥发性微粒物质质量仪的检测极限之下。

10.5.3.2 建议 1：非挥发性微粒物质数量仪测得的针对 DF_2 修正后的平均浓度值应大于洁净度检查测量值的 10 倍。如果检查失败，应该对系统的运行(阀的位置、流边、压力和温度)进行验证，并重复进行测量。

注：如果由于各种其他源在发动机入口处的环境空气中存在显著水平的排放样本，则可能对发动机排气排放样本的水平产生影响。在这种情况下，可能需要在报告的非挥发性微粒物质排放水平中说明该环境中的非挥发性微粒物质。

10.5.3.2.1 建议：如果需要对所报告的排放水平进行环境空气质量说明的程序，则应使用该程序，但须经审定当局批准。

G. 10.6 挥发性微粒去除器稀释因子校准检查

10.6.1 须通过使用下列装置和方法，对发动机测试过程中预期的挥发性微粒去除器稀释因子（DF2）进行检查：

a) 符合附录 3 第 5.3 段的二氧化碳气体分析仪；

b) 二氧化碳纯度为 2.0（大于 99.0%）的经审定的高浓度二氧化碳气体或作为可接受稀释剂与氮气或零空气混合的二氧化碳气体；

注：指导材料见《环境技术手册》(Doc 9501 号文件) 第 II 卷一《航空器发动机排放审定程序》。

c) 用一个三通接头将二氧化碳气体分析仪与挥发性微粒去除器出口连接，以防止二氧化碳样本增压过度；

d) 用一个三通接头将高浓度二氧化碳气体与挥发性微粒去除器进口连接，并通过流量控制阀使得挥发性微粒去除器的进口压力与发动机测试中的压力相同；

e) 使得挥发性微粒去除器进口处样本的流速和压力与发动机测试期间所使用的流速和压力相同。

注：挥发性微粒去除器稀释因子检查流程图见图 A7-7。

10.6.2 须使用下列程序对挥发性微粒去除器稀释因子（DF2）进行检查：

a) 将挥发性微粒去除器加热并确保达到工作温度。

b) 检查挥发性微粒去除器进口是否正在吸号样本流。

c) 相应地加热二氧化碳分析仪，并准备做数据记录。

d) 将适当的零校准气体加入到二氧化碳分析仪中，并对仪器进行必要的调节。

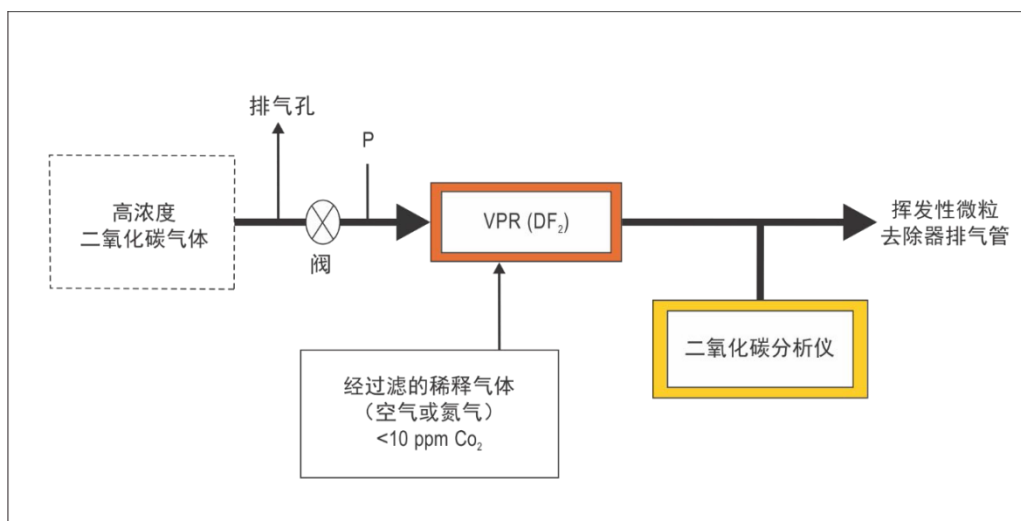
e) 对所取量程将适当的标称 90%满刻度浓度的校准气体加入到二氧化碳分析仪中，并相应地调整和记录增益设定值。

f) 确保有足够的样本流到二氧化碳分析仪(可能需要在二氧化碳分析仪上游安装一个泵)。

g) 使高浓度二氧化碳气体流至挥发性微粒去除器进口，确保在挥发性微粒去除器进口上游的排气孔有多余流量。

h) 将挥发性微粒去除器设定在一个稀释因子设定值上。

i) 调整挥发性微粒去除器进口处的流量控制阀，形成一个压力降，以便模拟在发动机测试时用非挥发性微粒物质数量仪开展测量操作期间挥发性微粒去除器进口处的低于室温的样本压力。



图A7-7 挥发性微粒去除器稀释因子检查方法

j) 用二氧化碳气体分析仪对挥发性微粒去除器的排气流进行采样。

k) 在二氧化碳气体分析仪的读数稳定后，在三分钟的时段之内记录至少七个二氧化碳浓度数据点，并计算平均值。

l) 计算 DF2 平均值，即二氧化碳测量结果的平均值与经审定的二氧化碳气体浓度之间的比值。

m) 对发动机测试中要使用的每一挥发性微粒去除器稀释设定值重复上述第 10.6.2 h) 至 10.6.2 l) 段。

10.6.3 须将计算出的 DF2 平均值与具备相关资质的实验室校准结果进行比较。如果差异：

a) 小于或者等于 $\pm 10\%$ ，须使用具备相关资质的实验室校准的 DF2 值。

b) 大于 $\pm 10\%$ ，须由具备相关资质的实验室通过校准重新确定挥发性微粒去除器的 DF2 值。

注：关于使用同等程序的指导材料见《环境技术手册》(Doc 9501 号文件) 第II 卷 — 《航空器发动机排放审定 程序》。

附录 H 估算非挥发性微粒物质系统损失修正的程序

注：见 ICAO 附件 16 卷 II 附录 8

本附录所述的程序涉及非挥发性微粒物质（nvPM）采样和测量系统损失修正因子的确定，但不包括附录G数据报告中所包含的收集部分热泳损失。

非挥发性微粒物质采样和测量系统的实施需要最长达 35 m 的一条很长的采样管路，并且包含若干采样和测量系统组件，这可能会导致大量的微粒损失，其中非挥发性微粒物质质量可能损失约 50%，非挥发性微粒物质数量可能损失约 90%。微粒的损失量与尺寸相关，因此取决于发动机的运行条件、燃烧室技术，可能还有其他因素。通过本附录所述的程序可以对微粒损失进行估算。

本附录中的方法使用了附录G所规定的数据和测量结果。未在本附录中加以定义的符号和定义见附录 G。

H.1 概述

1.1 在非挥发性微粒物质采样和测量系统中，微粒会因沉积机理而损失在采样系统管壁上。这些损失有的与粒径相关，有的不相关。与粒径不相关的收集部分的热泳损失在附录G的 6.2.1 中进行了说明。

1.2 非挥发性微粒物质采样和测量系统的整体微粒损失（收集部分的热泳损失除外）被称为系统损失。

1.3 需要将非挥发性微粒物质的粒径分布考虑在内，因为微粒损失机理是与粒径相关的。这种与粒径相关的损失可量化为渗透出采样和测量系统的给定粒径微粒含量。

H.2 定义、缩略语和符号

H.2.1 定义

下列词语在本附录中使用时，具有赋予它们的如下含义：

H.2.1.1 微粒的空气动力学直径

单位密度（1 g/cm³）的等效球体达到与实际微粒相同的沉降速度时的直径，也称为“空气动力学直径”。

H.2.1.2 具备相关资质的实验室

根据不时修订的国际标准化组织标准 ISO/IEC 17025:2005 或等效标准建立、实施和维护一个与其活动范围相称的质量体系的测试和校准实验室，该实验室设计和实施一项设备校准方案，以确保其进行的校准和测量都可追溯到国际单位制（SI）。该实验室不需要通过 ISO/IEC 17025:2005 正式认证。

H.2.1.3 旋风分离器

通过旋转和重力手段将大于规定的空气动力学直径的微粒分离出去。规定的空气动力学切割粒径与穿透旋风分离器的微粒百分比相关。

H.2.1.4 微粒的电迁移直径

在电场中达到与实际微粒完全相同的运动速度的球体的直径。

H.2.1.5 非挥发性微粒物质（nvPM）

存在于燃气涡轮增压发动机排气管出口平面、当加热到 350℃时不挥发的排放微粒。

H. 2. 1. 6 微粒损失

微粒在输送通过采样或测量系统成分过程中的或因仪器性能造成的损失。采样和测量系统损失是由各种不同的沉积机理号起的，其中一些机理与粒径相关。

H. 2. 1. 7 微粒质量浓度

每单位样本体积的微粒质量。

H. 2. 1. 8 微粒质量排放指数

所用的每单位燃料质量排放的微粒质量。微粒数量浓度 每单位样本体积的微粒数量。

H. 2. 1. 9 微粒数量排放指数

所用的每单位燃料质量排放的微粒数量。

H. 2. 1. 10 粒径分布

一个数值列表或数学函数，其按照粒径来表示微粒数量浓度。

H. 2. 1. 11 渗透分数

采样系统某一组件下游微粒浓度与上游微粒浓度之间的比值。

H. 2. 2 缩略语

CPC	凝聚微粒计数器
EENEP	发动机排气管出口平面 nvPMmi
	非挥发性微粒物质质量仪
nvPMni	非挥发性微粒物质数量仪 nvPM
	非挥发性微粒物质（见定义）
slpm	每分钟标准升（在标准温度和压力条件下每分钟的升数）
STP	在标准温度为0℃、压力为101.325 kPa 下的仪器条件 VPR
	挥发性微粒去除器

H. 2. 3 符号

C_c	$1 + \frac{2\lambda}{D_m} \times (1.165 + 0.483 \times e^{-\frac{0.997D_m}{2\lambda}})$ ，无量纲的 Cunningham 滑动修正因子
D	$\frac{\kappa_B \times (273.15 + T_i) \times C_c}{3 \times \pi \times \mu \times D_m \times 10^{-4}} \times 10^7$ ，微粒扩散系数， cm^2/s
DF_1	第一阶段稀释因子

DF ₂	经校准的第二阶段（挥发性微粒去除器）稀释因子
D _m	非挥发性微粒物质的电迁移直径，nm
D _{mg}	非挥发性微粒物质电迁移粒径分布的几何平均直径，nm D _{xy} , at z
nm	可检测出xy%（检测效率）的z粒径微粒的空气动力学直径
EI _{mass}	针对收集部分热泳损失和燃料组分修正后的非挥发性微粒物质质量排放指数，以毫克/kg 燃料为 单位
EI _{num}	针对收集部分热泳损失和燃料组分修正后的非挥发性微粒物质数量排放指数，以数量/kg 燃料为 单位
f _{ign} (D _m)	含有几何标准差σ _g 和几何平均直径D _{mg} 参数的对数正态分布函数
f _N (D _m)	发动机排气管出口平面微粒数量对数正态分布函数
ID _i	采样管路第i段的内径，mm
k _B	1.3806 × 10 ⁻¹⁶ ，玻尔兹曼常数，（g·cm ² ）/（s ² ·K）
k _{SL₋mass}	未进行收集部分热泳损失修正的系统损失 EI _{mass} 修正因子
k _{SL₋num}	未进行收集部分热泳损失修正的系统损失EI _{num} 修正因子 k _{thermo}
	附录G的6.2.1所述的收集部分热泳损失修正因子
nvPM _{num_EP}	未针对收集部分热泳损失进行修正的发动机排气管出口平面的非挥发性微粒物质数量浓度估算 值。
nvPM _{mass_EP10}	针对直径在10 nm和1000 nm之间的微粒的发动机排气管出口平面的非挥发性微粒物质质量浓 度估算值，微克/m ³
nvPM _{num_EP10}	针对直径在10 nm和1000 nm之间的微粒的发动机排气管出口平面的非挥发性微粒物质数量浓 度估算值，数量/cm ³
nvPM _{mass_STP}	在标准温度和压力仪器条件下稀释的非挥发性微粒物质质量浓度，微克/ m ³
nvPM _{num_STP}	在标准温度和压力仪器条件下稀释的非挥发性微粒物质数量浓度，数量/cm ³
P _i	采样管路第 i th 部分的载气压力，kPa
Q _i	采样管路第i段的载气流，slpm
Re	$\frac{2 \times \rho_{\text{gas}} \times Q_i}{3 \times \pi \times \mu \times ID_i}$ ，载气的雷诺数
R _{MN} (D _m)	计算得出的非挥发性微粒物质质量浓度估算值与非挥发性微粒物质数量浓度估算值的比例
T _i	采样管路第i段的载气温度，°C
0	测量的和计算的稀释修正非挥发性微粒物质质量和数量浓度之间的相对差异的平方和
ri _{mass} (D _m)	未包含收集部分热泳损失的电迁移粒径 D _m 的非挥发性微粒物质质量整体采样和测量系统渗透 分数
ri _{num} (D _m)	未包含收集部分热泳损失的电迁移粒径 D _m 的非挥发性微粒物质数量整体采样和测量系统渗透 分数
rii(D _m)	采样和测量系统第i组件的电迁移粒径D _m 的渗透分数
ribi(D _m)	采样和测量系统第i组件采样管路弯折处的电迁移粒径D _m 的渗透分数
λ	$67.3 \times \left(\frac{273.15 + T_i}{296.15} \right)^2 \times \left(\frac{101.325}{P_i} \right) \times \left(\frac{406.55}{T_i + 383.55} \right)$ ，载气平均自由程，nm
μ	载气黏度，（g/cm·s）
ρ	假定的非挥发性微粒物质有效密度，g/cm ³
ρ _{gas}	$\frac{29 \times P_i}{8314 \times (273.15 + T_i)}$ 载气密度 g/cm ³

σ_g

假定的对数正态分布几何标准差

H.3 所需数据

H.3.1 非挥发性微粒物质排放

为了计算系统损失修正因子，需要附件 7 中规定的以下浓度：

- a) 非挥发性微粒物质质量浓度：nvPM_{mass_STP}；
- b) 非挥发性微粒物质数量浓度：nvPM_{num_STP}；

H.3.2 其他信息

需要附录G第 3.2 段中所列的补充信息来执行计算程序。

H.4 非挥发性微粒物质系统损失修正方法和计算程序

H.4.1 概述

注：关于用于估算系统损失修正因子方法的概略图解见图 A8-1。

注：关于迭代计算程序的图解见图 A8-2。

4.1.1 对系统损失修正因子的估算须基于下列假设：发动机排气出口面的非挥发性微粒物质的有效密度为一个常数、呈对数正态分布、几何标准差为一个固定值、无凝结，限制计算方法限制章节中所述的非挥发性微粒物质质量和数量浓度，以及最小粒径的界限为 10 nm。

4.1.1.1 系统损失修正方法须使用 1 g/cm³ 的微粒有效密度。

4.1.1.2 在系统损失修正方法中须使用几何标准差为 1.8 的单模式对数正态分布。

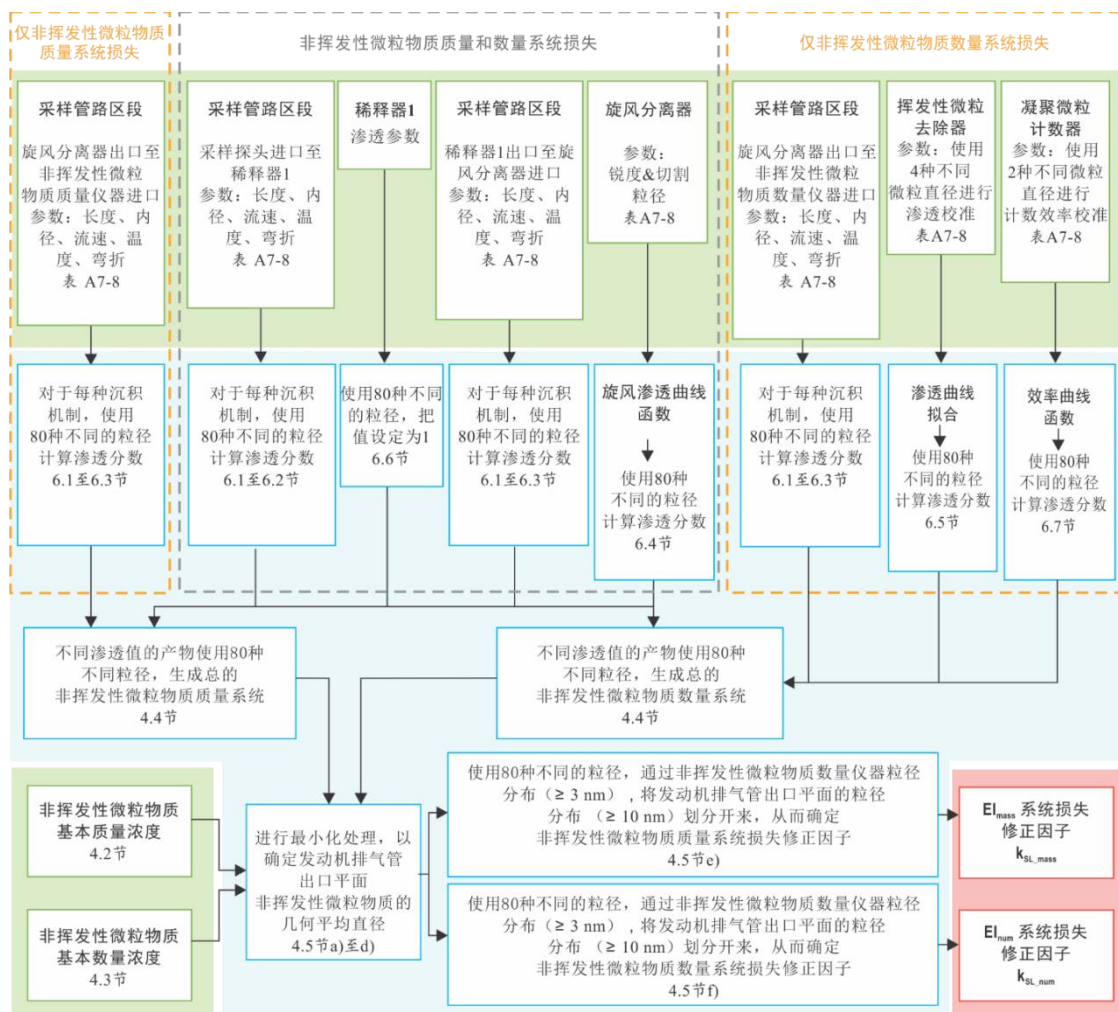
4.1.1.3 使用以下公式计算出的发动机排气管出口平面的非挥发性微粒物质数量密度：

$$k_{SL_num} \times k_{thermo} \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP}$$

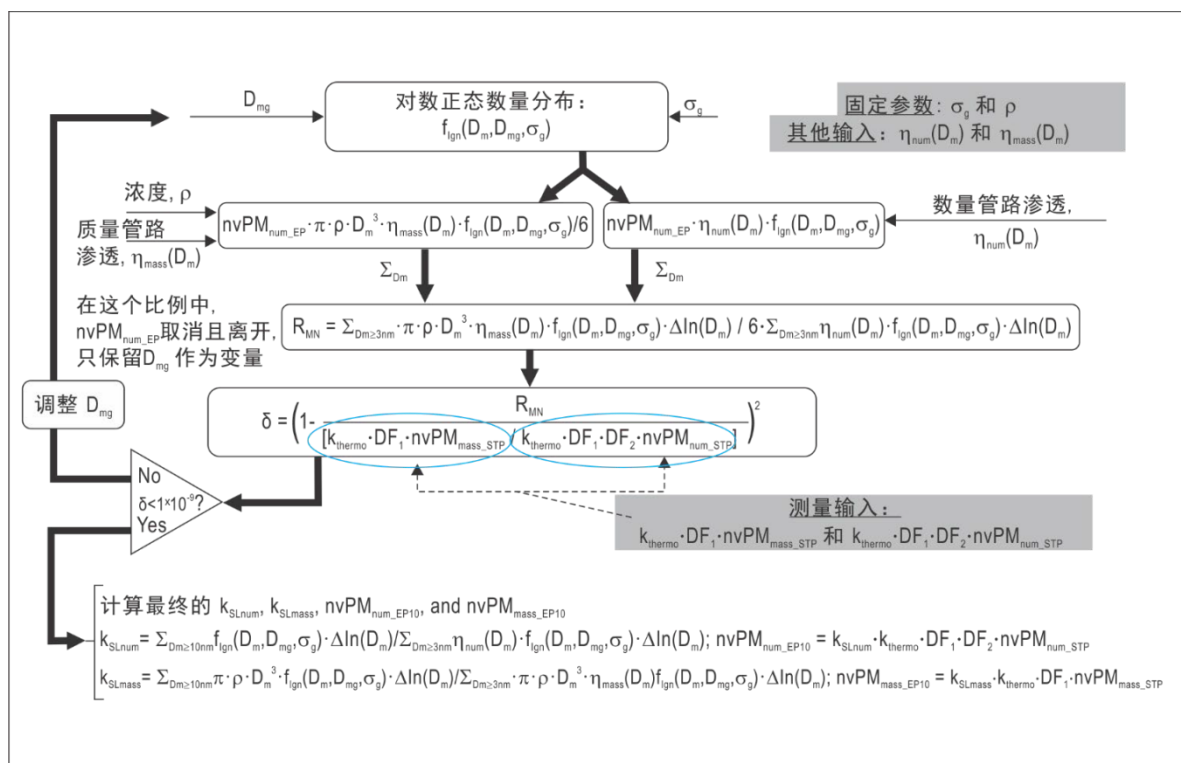
大于 108 微粒/cm³，可能会发生凝结，且这种情况须向局方报告。

注：系统损失修正方法未考虑非挥发性微粒物质数量密度因凝结而变小的情况。

注：系统损失修正方法未考虑渗透漂移。对于符合附录 7 的非挥发性微粒物质测量系统而言，这么做被认为是无关紧要的。



图A8-1 非挥发性微粒物质系统损失修正法的流程框图。绿框部分显示了模型输入参数，蓝框部分显示了模型计算，外部的红框显示了计算输出系统损失修正因子



图A8-2 确定系统损失修正因子的迭代式计算程序图解

H. 4. 2 非挥发性微粒物质基本质量浓度

须使用附录G第 6.1.1 节中规定的以下方程式来计算非挥发性微粒物质基本质量浓度 ($nvPM_{mass}$):

$$nvPM_{mass} = k_{thermo} \times DF_1 \times nvPM_{mass_STP}$$

H. 4. 3 非挥发性微粒物质基本数量浓度

非挥发性微粒物质基本数量浓度 ($nvPM_{num}$) 代表针对第一阶段稀释因子 (DF_1)、第二阶段稀释因子 (DF_2) 和收集部分热泳微粒损失进行修正后每单位体积发动机排气样本中的微粒数量, 须通过下面的方程式来计算:

$$nvPM_{num} = k_{thermo} \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP}$$

H. 4. 4 非挥发性微粒物质渗透函数

4.4.1 采样系统渗透函数是单次渗透与计数效率函数的产物。表 A8-1 提供了所需的非挥发性微粒物质渗透与计数效率函数, 且使用第 6 节中描述的程序来计算。

4.4.2 针对直径为 D_m 的微粒的质量仪的采样系统渗透须用下面的方程式来计算:

η_{mass}(D_m) = η₁ × η_{b1} × η₂ × η_{b2} × η₃ × η_{b3} × ... × η_{dil} × η_{eye}

4.4.3 针对直径为 D_m 的微粒的数量仪的采样系统渗透须用下面的方程式来计算：

η_{num}(D_m) = η₁ × η_{b1} × η₂ × η_{b2} × η₃ × η_{b3} × ... × η_{dil} × η_{eye} × η_{VPR} × η_{CPC}

4.4.4 与粒径不相关的非挥发性微粒物质质量和数量采样系统热泳损失须用下面的方程式来计算：

η_{thermo} = η_{th1} × η_{th2} × η_{th3} × ...

注：附录 7 的 6.2.1 中规定了收集部分的热泳损失 k_{thermo}，它不包括在这一计算中。

表A8-1 非挥发性微粒物质采样和测量系统各部件所需的渗透分数

标志	描述非挥发性微粒物质采样和测量系统的微粒运输函数
ri _i (D _m)	采样系统第 i th 段的扩散性渗透分数
ri _{bi} (θ _i)	因采样系统第 i th 段中的弯折而产生的渗透分数
ri _{thi}	因采样系统第 i th 段中的热泳而产生的渗透分数
ri _{dil} (D _m)	稀释器1 的渗透分数
ri _{cyc} (D _m)	旋转分离器的渗透分数
ri _{VPR} (D _m)	挥发性微粒去除器的渗透分数
ri _{CPC} (D _m)	凝聚微粒计数器计算效率

H. 4. 5 系统损失修正因子的计算

须使用法代程序来计算针对非挥发性微粒物质质量(kSL_{mass})和非挥发性微粒物质数量(kSL_{num})的系统损失修正因子：

a) 使用下面的的方程式估算几何平均直径的初始值：

D_{mg} = $\sqrt[3]{\frac{6 \times DF_1 \times nvPM_{mass_STP}}{\pi \times \rho \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP}}} \times 10^3$

注：用上面的方程式计算的算数平均直径提供了用于迭代程序的几何平均直径 D_{mg} 的初始值。如 使用为输入而规定的单位，计算得出的微粒直径的单位将是 nm。

b) 使用从步骤 a) 得出的 D_{mg} 值并使用以下方程式，计算非挥发性微粒物质质量估算值与非挥发性微粒物 质数量估算值之间的比例：

R_{MN}(D_{mg}) = $\frac{\sum_{D_m>3nm}^{1000nm} \eta_{mass}(D_m) \times \frac{\pi \rho D_m^3}{6} \times e^{\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right)^2 \times \Delta \ln(D_m)}}{\sum_{D_m>3nm}^{1000nm} \eta_{num}(D_m) \times e^{\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right)^2 \times \Delta \ln(D_m)}}$

其中，指数函数来自对数正态分布函数，

$$f_{\text{ign}}(D_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\ln(\sigma_g)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(D_m)-\ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)}\right)^2}$$

$\Delta \ln(D_m) = \frac{1}{n} \times \frac{1}{\log_{10}(e)}$ 是基本自然对数中粒径分档的宽度； e 是欧拉常数， n 是每10倍粒径的粒径分档数

c) 使用下列方程式，确定非挥发性微粒物质质量测量值与估算值的比例与非挥发性微粒物质数量测量值与估算值的比例之间的相对平方差值 δ

$$\delta = \left\{ 1 - \frac{R_{MN}(D_{mg}) \times 10^{-9}}{[(k_{thermo} \times DF_1 \times nvPM_{\text{mass_STP}})/(k_{thermo} \times DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{\text{num_STP}})]} \right\}^2$$

d) 使用不同的 D_{mg} 值重复步骤 b) 至 c)，直至 δ 降至 1×10^{-9} 以下。须使用与 δ 这一最小值相关的 D_{mg} 来计算系统损失修正因子。

e) 使用下列方程式计算非挥发性微粒物质质量系统损失修正因子：

$$k_{SL_{\text{mass}}} = \frac{\sum_{D_m > 3nm}^{1000nm} (D_m^3) \times e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(D_m)-\ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)}\right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}{\sum_{D_m > 3nm}^{1000nm} \eta_{\text{mass}}(D_m) \times D_m^3 \times e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(D_m)-\ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)}\right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}$$

用 $k_{SL_{\text{mass}}}$ 乘以 EI_{mass} 得出系统损失修正后的 $nvPM$ 排放指数。

f) 使用下列方程式计算非挥发性微粒物质数量系统损失修正因子：

$$k_{SL_{\text{num}}} = \frac{\sum_{D_m > 3nm}^{1000nm} \times e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(D_m)-\ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)}\right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}{\sum_{D_m > 3nm}^{1000nm} \eta_{\text{num}}(D_m) \times e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(D_m)-\ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)}\right)^2} \times \Delta \ln(D_m)}$$

用 $k_{SL_{\text{num}}}$ 乘以 EI_{num} 得出系统损失修正后的 $nvPM$ 排放指数。

g) 在这一计算中须使用 3 nm 至 1 000 nm 粒径范围内的至少 80 种不同粒径或使用将会产生局方同意的等效结果的最小分档数。

注 1：对于 80 种不同粒径，每 10 倍粒径的粒径分档数 n 是 32（见上文关于 $\Delta \ln(D_m)$ 的定义）。

注 2：计算系统损失修正因子总和，分子从 10 nm 开始，分母从 3 nm 开始。

注 3：可通过使用商业用途的软件程序来执行计算程序。

H. 5 报告和限制

注 1：第 4.1 段中所述的系统损失修正因子计算方法已给出，以使就在航空器涡轮发动机非挥发性微粒物质排放中观测到的范围广泛的非挥发性微粒物质和数量浓度给出可接受的结果。但是，也存在广泛的、已被确认的非挥发性微粒物质质量和数量浓度，在这些情况下，分析的输入内容可能缺少保真度，使用该计算方法也无法得出高质量报告。

注 2：与第 4.1.1 段中要求的计算方法所使用的假设存在的任何差异都会导致系统损失修正因子出现差异。类似地，计算方法使用的数据方面的差异将导致系统损失修正因子出现差异。数据方面的差异可能是因为粒径分布、采样系统或仪器的缘故。此到，采样和测量系统失真，如浓度低时可能从壁上脱落，可能会产生无效的系统损失修正因子。方法方面的限制归因于输入数据，而不是计算方法。

H. 5.1 适用的质量浓度范围

5.1.1 如果 $nvPM_{\text{mass_STP}}$ 低于 3 微克/ m^3 ，申请人须确认预测的发动机排气管出口平面的 D_{mg} 处于 5.3 中的适用范围内。

5.1.2 建议：对于本附录中的计算或其他等效方法未得出 5.3 中规定的合理数值（例如当使用系统损失方法计算出的发动机排气管出口平面的几何平均直径小于 7 nm 或大于 100 nm），或当系统损失方法没有收敛，应针对着陆和起飞运行模式使用替代性的估算系统损失修正因子的方法，但须得到局方的批准。

注 1：当 $nvPM_{\text{mass_STP}}$ 低于 3 微克/ m^3 ，使用本方法估算系统损失修正因子可导致估算的系统损失修正因子存在高度的

不确定性。

注 2：关于高质量非挥发性微粒物质浓度，目前还没有已知的限制，只要经过审核，非挥发性微粒物质质量浓度 读数在使用的nvPMmi 的范围内。

H. 5. 2 适用的数量浓度范围

5.2.1 如果发现在nvPMni 处测量的、针对稀释（DF1 和DF2）和收集部分热泳损失而修正过的非挥发性微粒物质数量浓度低于或等于测量的周边数量浓度，申请人须确认预测的发动机排气管出口平面的D_{mg} 处于5.3 中的适用范围内。

5.2.2 建议：对于本附录中的计算或其他等效方法未得出5.3 中规定的合理数值（例如当使用系统损失方法计算 出的发动机排气管出口平面的几何平均直径小于7 nm 或大于100 nm），或当系统损失方法没有收敛的情况，应针对 着陆和起飞运行模式使用替代性的估算系统损失修正因子的方法，但须得到局方的批准。

注：对于 nvPMni，目前还没有已知的关于非挥发性微粒物质低浓度的限制。根据凝聚微粒计数器制造商的报告，凝聚微粒计数器检测极限为1微粒/cm³。关于凝聚微粒计数器处于单一技术模式的要求限制了高数量的浓度测量。如果发 动机排气管出口平面的非挥发性微粒物质数量浓度高于 10⁸ 微粒/cm³，可能会发生微粒凝结。在系统损失计算方法中不考虑凝结现象。

H. 5. 3 适用的几何平均直径预测值

注：航空器燃气涡轮发动机排气管出口平面的几何平均直径预测在7nm 至100nm 的范围内。

5.3.1 如果系统损失的计算方法预测出发动机排气管出口平面的几何平均直径小于7 nm 或大于100 nm，和/或 如果系统损失的计算方法预测出发动机排气管出口平面的不符合收敛准则（0 大于1×10⁻⁹）的几何平均直径，那么， kSL_{mass} 和 kSL_{num} 的结果须由局方审查，以确定以下的建议是否适用。

5.3.2 建议：对于本附录中的计算或其他等效方法未得出合理数值（例如当使用系统损失方法计算出的发动机 排气管出口平面的几何平均直径小于7 nm 或大于100 nm），或当系统损失方法没有收敛，应针对着陆和起飞运行模 式使用替代性的估算系统损失修正因子的方法，但须得到局方的批准。

注：如果计算得出的发动机排气管出口平面的几何平均直径小于 20 nm，将导致因最小合并粒径临界值而低估的 系统损失因子。当发动机排气管出口平面的D_{mg} 三JO 的m 时，这种低估对kSL_{num} 的影响可能是很大的。

H. 6 确定非挥发性微粒物质采样和测量系统各组件渗透分数的程序

为计算一定粒径范围内的微粒的非挥发性微粒物质运输效率，须计算非挥发性微粒物质采样和测量系统的 每个组件的渗透分数，计算时至少使用80 种不同粒径或将产生局方同意的等效结果（3 至1000nm）的最少数量的不同粒径。

注：进行本附录中的渗透分数的计算所需的非挥发性微粒物质的测量和采样系统参数载于附录 G 第 3.2 段。

H. 6. 1 区段扩散性渗透分数

须使用以下方程式计算电迁移粒径为 D_m 之处的采样系统各区段的扩散性损失的渗透值

$$\eta_i(D_m) = e^{\frac{-\pi \times ID_{ti} \times L_i \times V_{d,diff}}{Q_i}}$$

其中

L _i	采样管路第i段的长度， m
V _{d,diff} ， Sc，	0.0118 × Re ^{$\frac{7}{8}$} × Sc ^{$\frac{1}{3}$} × D/ID _{ti} ， 沉积速度， m/s $\frac{\mu}{\rho_{gas}} \times 10^3$ ， 载气的施密特数
ID _{ti}	采样管路第 i 段的内径， mm

Q_i 采样管路第 i 段的载气流量, slpm

H. 6.2 区段上弯折处的渗透分数

弯折处的渗透分数分为Re 大于5 000 的湍流和Re 小于或等于5 000 的层流, 其中Re 为雷诺数。对于层流(包 括过渡区)而言, 须按照如下公式, 在电迁移粒径为 D_m 的地方, 计算因区段的采样运输管路的弯折而导致的渗透:

$$\eta_{bi}(D_m) = 1 - 0.01745 \times Stk \times 8b_i$$

对于湍流而言, 因按照如下公式计算样因本运输管路弯折而产生的渗透:

$$\eta_{bi}(D_m) = e^{-0.04927 \times Stk \times 8b_i}$$

其中

无量纲斯托克斯数

$$Stk = \frac{Q_i \times C_c \times \rho \times D_m^2 \times 10^{-3}}{27 \times \pi \times \mu \times ID_i^3},$$

θ_{bi} 采样管路第 i 段的总弯折角度, 度

H. 6.3 区段的热泳损失

因采样管路壁温度低于燃气温度而发生的热梯度造成了在采样管路表面沉积了另外的微粒和热泳损失。须使用 以下方程式计算热泳损失(收集部分中的热泳除外):

$$\eta_{thi} = \left[\frac{T_{linei} + 273.15}{T_{gasi} + 273.15} \right]^{Pr \times K_{th}} \times \left[1 + \left(\frac{T_{gasi} + 273.15}{T_{linei} + 273.15} - 1 \right) \times e^{-\frac{\pi \times ID_i \times h_{gas} \times L_i}{\rho_{gas} \times Q_i \times C_p}} \right]^{Pr \times K_{th}}$$

其中

T_{gasi} 采样燃气温度, °C
 T_{linei} 管路壁温度, °C
 h_{gas} 载气对流热传递系数, (W/(m² K))

C_p 恒压载气比热, (J/(kg K))
 Pr 普朗特数

$$K_{th} = \frac{2 \times C_s \times C_c}{1 + 3 \times C_m \times K_n} \left[2 + \frac{1}{(k_{gas}/k_p) + C_t \times K_n} \right]^{-1} \text{ 热泳系数}$$

C_s 1.17, 滑动系数
 C_m 1.14, 煤烟的动量
 C_t 2.18, 导热系数
 k_{gas} 载气的导热性, ($Wm^{-1}K^{-1}$)
 K_n $2A D_m$, 克努森数
 k_p $0.2 Wm^{-1}K^{-1}$, 微粒的导热性。

注：根据附录7第6.2.1段，考虑了收集部分和挥发性微粒去除器热泳损失。与附录7中的规范相一致的系统使用了目前不需要针对热泳损失而修正的仪器和区段，因此， thi 将有效地等于 1.0。

H. 6. 4 旋风分离器的渗透函数

须使用以下方程式来计算旋风分离器的渗透函数：

$$\eta_{cyc}(D_m) = 1 - \int_{x>0}^{D_m} \frac{e^{-\frac{(\ln x - \mu_{cyc})^2}{2\sigma_{cyc}^2}}}{x\sigma_{cyc}\sqrt{2\pi}} dx$$

其中

μ_{cyc} $\ln(D_{50})$; 和
 σ_{cyc} $\ln(D_{16}/D_{84})^{0.5}$

注 1：现代计算机电子表格应用程序的函数库内有内直累积对数正态分布函数，可用来生成旋风分离器的渗透函数。

注 2：对于大多数燃气涡轮发动机的应用， D_m 将小于 300 nm。在这种情况下，旋风渗透函数实际上将等于 1.0。

H. 6. 5 挥发性微粒去除器渗透函数

注：可使用校准实验室提供的对四挥发性微粒去除器校准渗透点的拟合结果为优 (R^2 大于 0.95) 的光滑函数，取代根据下文所述计算程序确定的函数。

挥发性微粒去除器内的微粒损失是由于扩散和热泳这两个因素引起的。热泳因子 $riVPR_{th}$ 为常数。扩散因子 $riVPR_{di}$ 可根据层流内扩散导致的标准微粒损失来确定。须使用以下方程式估算总的挥发性微粒去除器渗透函数：

$$\eta_{VPR} = \eta_{VPRth} \times \begin{cases} 1 - 5.5 \times \Psi^{\frac{2}{3}} + 3.77 \times \Psi & \Psi < 0.007 \\ 0.819 \times e^{-11.5\Psi} + 0.0975 \times e^{-70.1\Psi} + 0.0325 \times e^{-179\Psi} & \Psi > 0.007 \end{cases}$$

其中

$$\Psi = \frac{D \times L_{VPR} \times 100}{Q_{VPR}}, \text{沉积参数}$$

L_{VPR} 挥发性微粒去除器的有效长度, m
 Q_{VPR} 挥发性微粒去除器的载气流, slpm T_{VPR}
 挥发性微粒去除器的温度, °C ri_{VPRth}
 挥发性微粒去除器的热泳损失

须通过改变挥发性微粒去除器的有效长度(L_{VPR})和热泳损失因子(ri_{VPRth})将挥发性微粒去除器渗透函数(ri_{VPR})与所测得的四个渗透点的数据进行拟合。须通过将测得的挥发性微粒去除器渗透 $ri_{VPRmeas}$ 和计算得出的渗透函数之间的平方差的相对总和 0_{VPR} 最小化来计算这一拟合。

$$\delta_{VPR} = \sqrt{\sum_{D_m} \left(\frac{\eta_{VPRmeas}(D_m) - \eta_{VPR}(D_m)}{\eta_{VPRmeas}(D_m)} \right)^2}$$

注：计算显示小于 0.08 的 0_{VPR} 值可使得与所测得的渗透值的拟合程度为优。

H. 6. 6 稀释器 1 渗透函数

所有粒径下的稀释器1 渗透函数应为一个常数 $ridil(D_m)=1$ 。

H. 6. 7 凝聚微粒计数器的计数效率

6.7.1 须使用根据下列公式用双参数S 形函数确定出的两个凝聚微粒计数器计数效率来确定凝聚微粒计数器计数效率的连续函数：

$$\eta_{CPC} = 1 - e^{-\ln(2) \times \left[\frac{D_m - D_0}{D_{50} - D_0} \right]}$$

其中，

$$D_0 = \frac{\alpha_{10} D_{15} - \alpha_{15} D_{10}}{\alpha_{10} - \alpha_{15}}$$

$$D_{50} = \frac{(\alpha_{15} + 1) D_{10} - (\alpha_{10} + 1) D_{15}}{\alpha_{15} - \alpha_{10}}$$

$$\alpha_i = \frac{\ln(1 - \eta_{CPC,i})}{\ln 2}, \text{ i=10nm 或者 15nm}$$

$$D_{10} = 10\text{nm}$$

$$D_{15} = 15\text{nm}$$

$\eta_{CPC,10}$, 10nm 处的计数效率

$\eta_{CPC,15}$, 15nm 处的计数效率

6.7.2 如果连续函数的估算凝聚微粒计数器计数效率低于零，则计数效率须设置为零。

附录 I 气态排放物参数的计算 — 基础、测量值修正和备选数值法

注：见 ICAO 附件 16 卷 II 附录 A

I.1 符号

AFR	空气/燃料比、干空气的质量流速与燃料的质量流速之比
EI	排放指数；每一单位燃料质量流速的排气中气态排放生成物的质量流速 $\times 10^3$
K	湿测量气体浓度与干(冷凝后)测量气体浓度之比
L, L	二氧化碳干扰下的分析仪干扰系数
M, M	水干扰下的分析仪干扰系数
MAIR	干空气分子质量 = 28.966 g，或在适当情况下，= (32 R + 28.156 4 S + 44.011 T) g
MCO	一氧化碳分子质量 = 28.011 g
MHC	排气碳氢化合物分子质量，视作甲烷 = 16.043 g
MNO2	二氧化氮分子质量 = 46.008 g
MC	碳原子质量 = 12.011 g
MH	氢原子质量 = 1.008 g
P1	每摩尔燃料的排气样本中二氧化碳的摩尔数
P2	每摩尔燃料的排气样本中氮气的摩尔数
P3	每摩尔燃料的排气样本中氧气的摩尔数
P4	每摩尔燃料的排气样本中水的摩尔数
P5	每摩尔燃料的排气样本中一氧化碳的摩尔数
P6	每摩尔燃料的排气样本中碳氢化合物的摩尔数
P7	每摩尔燃料的排气样本中二氧化氮的摩尔数
P8	每摩尔燃料的排气样本中一氧化氮的摩尔数
PT	$P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 + P7 + P8$
P0	在初始的空气/燃料混合物中，每摩尔燃料的空气摩尔数
Z	3.4 中使用和定义的符号
[O2]b	干空气中氧气的体积气体浓度 = 0.209 5
[N2]b	干空气中氮气+稀有气体的体积气体浓度 = 0.790 2
[CO2]b	干空气中二氧化碳的体积气体浓度 = 0.000 3
[CO2]	湿排气样本中的二氧化碳的平均体积比气体浓度
[CO]	湿排气样本中的一氧化碳的平均体积比气体浓度
[HC]	湿排气碳氢化合物的平均体积比气体浓度，表示为碳
[NO]	湿排气样本中的一氧化氮的平均体积比气体浓度
[NO2]	湿排气样本中的二氧化氮的平均体积比气体浓度 = $([NO_x]_e - [NO])/\eta$
[NOx]	湿排气样本中的一氧化氮和二氧化氮的平均体积比气体浓度 = $[NO + NO_2]$
[NOx] _c	通过二氧化氮/一氧化氮转化器之后湿排气样本中的一氧化氮的平均体积比气体浓度
[] _d	冷凝后排气样本中的平均体积比气体浓度
[] _m	修正仪器前指示的平均体积比气体浓度测量值
h_{vol}	外界空气湿度，水体积/干空气体积
h_d	从“干燥器”或“冷凝器”出来的排气样本的湿度，水体积/干样本体积
m	特性燃料分子中的碳原子数
n	特性燃料分子中的氢原子数
x	特性排气碳氢化合物分子中的碳原子数
y	特性排气碳氢化合物分子中的氢原子数

二氧化氮/一氧化氮转化器的效率

1.2 排放指数和空气/燃料比参数的计算基础

2.1 假设原有燃料和空气混合物与采样的排气排放物最终状态之间的平衡可用下面的方程式代表：

$$C_m H_n + P_0 [O_2]_b (O_2) + [N_2]_b (N_2) + [CO_2]_b (CO_2) + h_{vol} (H_2O) = P_1 (CO_2) + P_2 (N_2) + P_3 (O_2) \\ + P_4 (H_2O) + P_5 (CO) + P_6 (C_3H_y) + P_7 (NO_2) + P_8 (NO)$$

由此，根据定义，所需的参数可表示为

$$EI(CO) = P_5 \left(\frac{10^3 M_{CO}}{m M_C + n M_H} \right) \\ EI(HC) = x P_6 \left(\frac{10^3 M_{HC}}{m M_C + n M_H} \right) \text{ 表示为甲烷当量} \\ EI(NO_x) = (P_7 + P_8) \left(\frac{10^3 M_{NO_2}}{m M_C + n M_H} \right) \text{ 表示为二氧化氮当量} \\ AFR = P_0 \left(\frac{M_{AIR}}{m M_C + n M_H} \right)$$

2.2 燃料碳氢化合物的组成值 (m 、 n) 根据燃料规范或分析指定。如果这样确定的只有 n/m 比，则可以指定 $m = 12$ 。干空气的组分 ($[O_2]_b$ 、 $[N_2]_b$ 、 $[CO_2]_b$) 的摩尔分数通常被用做推荐的标准值，但是也可指定替代值，但需遵守 $[O_2]_b + [N_2]_b + [CO_2]_b = 1$ 的限制并经局方批准。

2.3 外界空气湿度 h_{vol} 为每一测试条件下的实测值。对于排气碳氢化合物的特征值 (x 、 y) 若没有相反的证据，建议指定 $x = 1$ 和 $y = 4$ 。

2.4 其余未知数的确定需要解算下面这组线性联立方程式，其中 (1)至 (4)由基本原子守恒关系导出，(5)至(9)代表气态生成物的气体浓度关系。

$$m + [CO_2]_b P_0 = P_1 + P_5 + x P_6 \dots\dots\dots (1)$$

$$n + 2 h_{vol} P_0 = 2 P_4 + y P_6 \dots\dots\dots (2) \quad 2[O_2]_b$$

$$+ 2[CO_2]_b + h_{vol}) P_0 = 2 P_1 + 2 P_3 + P_4 + P_5 + 2 P_7 + P_8 \dots\dots\dots (3) \quad 2[N_2]_b P_0 = 2 P_2$$

$$+ P_7 + P_8 \dots\dots\dots (4)$$

$$[CO_2] P_T = P_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$[CO] P_T = P_5 \dots\dots\dots (6)$$

$$[HC] P_T = x P_6 \dots\dots\dots (7)$$

$$[NO_x]_c P_T = P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8)$$

$$[NO] P_T = P_8 \dots\dots\dots (9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (10)$$

上面这组条件方程式组是为在所有实测气体浓度都是真实的情况下使用的，即不受干扰效应制约或无需对样本干燥做修正。实际上，在一氧化碳、氮氧化物和一氧化氮测量中通常存在相当程度的干扰效应，因此，常常选择在干或部分干的基础上测量二氧化碳和一氧化碳。2.5 和 2.6 中叙述了对相关方程式的必要调整。

2.5 样本中二氧化碳和水的存在是造成干扰效应的主要原因，它又以基本上不同的方式影响一氧化碳和氮氧化物分析仪。一氧化碳分析仪易出现零漂移效应，氮氧化物分析仪易出现敏感度的变化，它们表示如下：

$$[\text{CO}] = [\text{CO}]_m + L[\text{CO}_2] + M[\text{H}_2\text{O}]$$

$$\text{和} [\text{NOx}]_c = [\text{NOx}]_{cm} (1 + L'[\text{CO}_2] + M'[\text{H}_2\text{O}])$$

当需要修正干扰效应时，它们变(6)、(8)和(9)三个式子为以下替代方程式：

$$[\text{CO}]_m P_T + L P_1 + M P_4 = P_5 \dots\dots\dots (6A)$$

$$[\text{NOx}]_{cm} (P_T + L' P_1 + M' P_4) = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8A)$$

$$[\text{NO}]_m (P_T + L' P_1 + M' P_4) = P_8 \dots\dots\dots (9A)$$

2.6 选择在干或部分干的基础上（即让样本的湿度降为 h_d ）测量二氧化碳和一氧化碳的气体浓度，需要使用如下的调整后的条件方程式：

$$[\text{CO}_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots\dots\dots (5A)$$

和

$$[\text{CO}]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5$$

然而，如 2.5 所述，一氧化碳分析仪也可能受到干扰效应的影响，因此，整个一氧化碳测量气体浓度替代方程变为

$$[\text{CO}]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + L P_1 + M h_d (P_T - P_4) = P_5 \dots\dots\dots (6B)$$

1.3 分析公式

1.3.1 概述

可简化方程式(1)至(10)以产生正如附录 C 第 7.1 段给出的排放指数和空气/燃料比参数的分析公式。当假设所有的气体浓度测量都是对“湿”样本的，而且无需干扰修正或类似处理的情况下，这种简化就是一个逐步去除根 P_0 、 P_1 至 P_8 、 P_T 的过程。实际上，常常选择在“干”或“半干”的基础上做二氧化碳和一氧化碳气体浓度的测量；而且，也常常发现有必要做干扰修正。本附录第 3.2、3.3 和 3.4 段给出了在上述各类情况下使用的公式。

1.3.2 3 将干气体浓度测量值转换为湿基测量值的方程式

湿气体浓度 = $K \times$ 干气体浓度；即

$$[] = K []_d$$

当一氧化碳和二氧化碳是在“干”基上确定时，使用下面 K 的表达式：

$$K = \frac{\{4 + (n/m)[CO_2]_b + ([n/m][CO_2]_b - 2h_{vol})([NO_2] - (2[HC]/x)) + (2 + h_{vol})([y/x] - [n/m])[HC]\}(1 + h_d)}{(2 + h)\{2 + (n/m)(1 + h_d)([CO_2]_d + [CO]_d)\} - ([n/m][CO_2]_b - 2h)(1 - [1 + h_d][CO]_d)}$$

1.3.3 干扰修正

一氧化碳和/或氮氧化物及一氧化氮测量值在用于上面的分析方程式之前，可能需要做样本二氧化碳和水浓度所致干扰的修正。正常情况下，这类修正用下面的一般方式表示：

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO_2]_d + M(h_d/(1 + h_d))$$

$$[NO] = [NO]_m (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

$$\eta[NO_2] = ([NOx]_{cm} - [NO]_m)(1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

1.3.4 样本水成分估算方程式

样本中水的浓度

$$[H_2O] = \frac{([n/2m] + h_{vol}[P_0/m])([CO_2] + [CO] + [HC])}{1 + [CO_2]_b(P_0/m)} - \left(\frac{y}{2x}\right)[HC]$$

式中

$$P_0/m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{vol} - [[CO_2]_b Z/2])}$$

和

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x])[HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}$$

应该指出，此估值是各种分析气体浓度读数的函数，其自身可能就需要做水干扰修正。为获得更好的精度，需要在这些情况下使用一种重复程序，对水浓度做连续的重复计算，直至达到所要的稳定度。使用一种替代性的数值解法 (4) 可避免这种麻烦。

1.4 替代方法 — 数字法

4.1 作为上文3中归纳的分析程序的替代方法，对于每一套测量值，使用数字计算机利用方程数值解法(1)到(10)，就可很容易得到排放指数、燃料/空气比、修正后的湿气体浓度等。

4.2 在方程组(1)至(10)中，用适用于特定测量系统的替代方程(5A)、(6A)等中的任一方程来代替，实际的气体浓度测量值，以计及干扰修正和/或干燥后的样本测量值。

4.3 随处都有合适的简单二维矩阵方程解法计算机程序，将其用于这一目的既方便又灵活，并易于纳入和识别任何样本干燥选择，以及干扰或其他修正。

附录 J 带加力燃烧的燃气涡轮发动机气态排放物参数的计算 — 基础、测量值修正和备选数值法

注：见 ICAO 附件 16 卷 II 附录 B

J.1 符号

AFR	空气/燃料比、干空气的质量流速与燃料的质量流速之比
EI	排放指数；每一单位燃料质量流速的排气中气态排放生成物的质量流速 $\times 10^3$
K	湿测量浓度与干（冷凝后）测量浓度之比
L, L'	二氧化碳干扰下的分析仪干扰系数
M, M'	水干扰下的分析仪干扰系数
M_{AIR}	干空气分子质量 = 28.966 g，或在适当情况下， $= (32 R + 28.156 4 S + 44.011 T) \text{ g}$
M_{CO}	一氧化碳分子质量 = 28.011 g
M_{HC}	排气碳氢化合物分子质量，视作甲烷 = 16.043 g
M_{NO_2}	二氧化氮分子质量 = 46.008 g
M_{C}	碳原子质量 = 12.011 g
M_{H}	氢原子质量 = 1.008 g
P_0	在初始的空气/燃料混合物中，每摩尔燃料的空气摩尔数
P_1	每摩尔燃料的排气样本中二氧化碳的摩尔数
P_2	每摩尔燃料的排气样本中氮气的摩尔数
P_3	每摩尔燃料的排气样本中氧气的摩尔数
P_4	每摩尔燃料的排气样本中水的摩尔数
P_5	每摩尔燃料的排气样本中一氧化碳的摩尔数
P_6	每摩尔燃料的排气样本中碳氢化合物的摩尔数
P_7	每摩尔燃料的排气样本中二氧化氮的摩尔数
P_8	每摩尔燃料的排气样本中一氧化氮的摩尔数
P_{T}	$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$

R	正常情况下干空气中氧气的体积浓度=0.209 5
S	正常情况下干空气中氮气+稀有气体的体积浓度= 0.790 2
T	正常情况下干空气中二氧化碳的体积浓度=0.000 3
Z	3.4 中使用和定义的符号
$[\text{CO}_2]$	排气样本中的二氧化碳的平均体积比浓度 $[\text{CO}]$
	排气样本中的一氧化碳的平均体积比浓度 $[\text{HC}]$
	排气样本中的碳氢化合物的平均体积比浓度 $[\text{NO}]$
	排气样本中的一氧化氮的平均体积比浓度 $[\text{NO}_2]$
	排气样本中的二氧化氮的平均体积比浓度
$[\text{NO}_x]$	排气样本中的一氧化氮和二氧化氮的平均体积比浓度
$[\text{NO}_x]_c$	通过二氧化氮/一氧化氮转化器之后排气样本中的一氧化氮的平均体积比浓度
$[\text{NO}_2]$	平均值 $==([\text{NO}_x]_c - [\text{NO}])/\eta$
$[\]_d$	冷凝后排气样本中的平均体积比浓度
$[\]_m$	修正仪器前指示的平均体积比浓度测量值
h_{vol}	外界空气湿度，水体积/干空气体积
h_d	从“干燥器”或“冷凝器”出来的排气样本的湿度，水体积/干样本体积
m	特性燃料分子中的碳原子数
n	特性燃料分子中的氢原子数
x	特性排气碳氢化合物分子中的碳原子数
y	特性排气碳氢化合物分子中的氢原子数
η	二氧化氮/一氧化氮转化器的效率

J.2 排放指数和空气/燃料比参数的计算基础

2.1 假设原有燃料和空气混合物与采样的排气排放物最终状态之间的平衡可用下面的方程式代表：

$$C_m H_n + P_0[R(O_2) + S(N_2) + T(CO_2) + h_{vol}(H_2O)] = P_1(CO_2) + P_2(N_2) + P_3(O_2) \\ + P_4(H_2O) + P_5(CO) + P_6(C_x H_y) + P_7(NO_2) + P_8(NO)$$

由此，根据定义，所需的参数可表示为

$$EI(CO) = P_5 \left(\frac{10^3 M_{CO}}{m M_c + n M_H} \right)$$

$$EI(HC) = x P_6 \left(\frac{10^3 M_{HC}}{m M_c + n M_H} \right) \text{ 表示为甲烷当量}$$

$$EI(NO_x) = (P_7 + P_8) \left(\frac{10^3 M_{NO_2}}{m M_c + n M_H} \right) \text{ 表示为二氧化氮当量}$$

$$AFR = P_0 \left(\frac{M_{AIR}}{m M_c + n M_H} \right)$$

2.2 燃料碳氢化合物的组成值 (m 、 n) 根据燃料规范或分析指定。如果这样确定的只有 n/m 比，则可以指定 $m=12$ 。干空气的组分 (R 、 S 、 T) 的摩尔分数通常被用做推荐的标准值，但是也可指定替代值，但需遵守 $R+S+T=1$ 的限制并经局方批准。

2.3 外界空气湿度 h_{vol} 为每一测试条件下的实测值。对于排气碳氢化合物的特征值 (x 、 y)，若没有相反的证据，建议指定 $x=1$ 和 $y=4$ 。

2.4 其余未知数的确定需要解算下面这组线性联立方程式，其中(1)至(4)由基本原子守恒关系导出，(5)至(9)代表气态生成物的浓度关系。

$$m + TP_0 = P_1 + P_5 + xP_6 \dots\dots\dots (1)$$

$$n + 2hP_0 = 2P_4 + yP_6 \dots\dots\dots (2)$$

$$(2R + 2T + h_{vol})P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \dots\dots\dots (3)$$

$$2SP_0 = 2P_2 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (4)$$

$$[CO_2] P_T = P_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$[CO] P_T = P_5 \dots\dots\dots (6)$$

$$[HC] P_T = xP_6 \dots\dots\dots (7)$$

$$[NO_x]_c P_T = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8)$$

$$[NO] P_T = P_8 \dots\dots\dots (9)$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots\dots\dots (10)$$

上面这组条件方程式组是为在所有实测浓度都是真实的情况下使用的，即不受干扰效应制约或无需对样本干燥 做修正。实际上，在一氧化碳、氮氧化物和一氧化氮测量中通常存在相当程度的干扰效应，因此，常常选择在干或部 分干的基础上测量二氧化碳和一氧化碳。本附录第 2.5 和 2.6 段中叙述了对相关方程式的必要调整。

2.5 样本中二氧化碳和水的存在是造成干扰效应的主要原因，它又以基本上不同的方式影响一氧化碳和氮氧化物分析仪。一氧化碳分析仪易出现零漂移效应，氮氧化物分析仪易出现敏感度的变化，它们表示如下：

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

和

$$[NO_x]_c = [NO_x]_{cm} (1 + L^*[CO_2] + M^*[H_2O])$$

当需要修正干扰效应时，它们变(6)、(8)和(9)三个式子为以下替代方程式：

$$[\text{CO}]_m P_T + L P_1 + M P_4 = P_5 \dots\dots\dots (6A)$$

$$[\text{NOx}]_{cm} (P_T + L' P_1 + M' P_4) = \eta P_7 + P_8 \dots\dots\dots (8A)$$

$$[\text{NO}]_m (P_T + L' P_1 + M' P_4) = P_8 \dots\dots\dots (9A)$$

2.6 选择在干或部分干的基础上（即让样本的湿度降为 h_d ）测量二氧化碳和一氧化碳的浓度，需要使用如下的调整后的条件方程式：

$$[\text{CO}_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots\dots\dots (5A)$$

和

$$[\text{CO}]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5$$

然而，如 2.5 所述，一氧化碳分析仪也可能受到干扰效应的影响，因此，整个一氧化碳测量浓度替代方程变为

$$[\text{CO}]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + L P_1 + M h_d (P_T - P_4) = P_5 \dots\dots\dots (6B)$$

J. 3 分析公式

J. 3.1 概述

可简化方程式 (1) 至 (10) 以产生正如附录 5 第 7.1 段给出的排放指数和空气/燃料比参数的分析公式。在假设所有的浓度测量都是对“湿”样本的，而且无需干扰修正或类似修正处理的情况下，这种简化就是一个逐步去除根 P_0 、 P_1 至 P_8 、 P_T 的过程。实际上，常常选择在“干”或“半干”的基础上做二氧化碳和一氧化碳浓度的测量；而且，也常常发现有必要做干扰修正。本附录第 3.2、3.3 和 3.4 段给出了在上述各类情况下使用的公式。

J. 3.2 将干浓度测量值转换为湿基测量值的方程式

湿浓度 = $K \times$ 干浓度；即

$$[] = K []_d$$

当一氧化碳和二氧化碳是在“干”基上确定时，使用下面 K 的表达式：

$$K = \frac{\{4 + (n/m)[\text{CO}_2]_b + ([n/m][\text{CO}_2]_b - 2h_{vol})([\text{NO}_2] - (2[\text{HC}]/x)) + (2 + h_{vol})([y/x] - [n/m][\text{HC}])\}(1 + h_d)}{(2 + h)\{2 + (n/m)(1 + h_d)([\text{CO}_2]_d + [\text{CO}]_d)\} - ([n/m][\text{CO}_2]_b - 2h)(1 - [1 + h_d][\text{CO}]_d)}$$

J. 3.3 干扰修正

一氧化碳和/或氮氧化物及一氧化氮测量值在用于上面的分析方程式之前，可能需要做样本二氧化碳和水浓度所致干扰的修正。正常情况下，这类修正用下面的一般方式表示：

$$[\text{CO}] = [\text{CO}]_m + L[\text{CO}_2] + M[\text{H}_2\text{O}]$$

$$[\text{CO}]_d = [\text{CO}]_{md} + L[\text{CO}_2]_d + M(h_d/(1 + h_d))$$

$$[\text{NO}] = [\text{NO}]_m (1 + L'[\text{CO}_2] + M'[\text{H}_2\text{O}])$$

$$\eta[\text{NO}_2] = ([\text{NOx}]_{cm} - [\text{NO}]_m)(1 + L'[\text{CO}_2] + M'[\text{H}_2\text{O}])$$

J. 3. 4 样本水成分估算方程式

样本中水的浓度

$$[H_2O] = \frac{([n/2m] + hvol[P_0/m])([CO_2] + [CO] + [HC])}{1 + T\left(\frac{P_0}{m}\right)} - (y/2x)[HC]$$

式中

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + hvol - [TZ/2])}$$

和

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x])[HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}$$

应该指出，此估值是各种分析浓度读数的函数，其自身可能就需要做水干扰修正。为获得更好的精度，需要在这 些情况下使用一种重复程序，对水浓度做连续的重复计算，直至达到所要的稳定度。使用一种替代性的数值解法 (4) 可避免这种麻烦。

J. 4 替代方法 — 数值解法

4.1 作为上文3中归纳的分析程序的替代方法，对于每一套测量值，使用数字计算机利用方程数值解法(1)至(10)，可得到排放指数、燃料/空气比、修正后的湿浓度等。

4.2 在方程组(1)至(10)中，用适用于特定测量系统的替代方程(5A)、(6A)等中的任一方程来代替，实际的浓度测量值，以计及干扰修正和/或干燥后的样本测量值。

4.3 可用二维矩阵方程解法计算机程序，将其用于这一目的既方便又灵活，并易于纳入和识别任何样本干燥选择，以及干扰或其他修正。