ICS 49.020
CCS V 35

MH

中华人民共和国民用航空行业标准

MH/T 6129—2024

航空发动机排放测量和评估

Aircraft engine emissions measurement and evaluation

2024-03-12 发布　　2024-03-12 实施

中国民用航空局　发布

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、中国民航科学技术研究院、中国航发商用航空发动机有限责任公司。

本文件主要起草人：宋建宇、张森、贾蓓、王妙颖、陈翘楚、查筱晨、沈洋、杨卓君、涂杰、刘佳鑫、吴晶峰。

MH

引　言

本文件面向航空器发动机排放测量与评估需求，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、烟雾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。

航空发动机排放测量和评估

1 范围

本文件规定了航空发动机排放需满足的烟雾、气态排放物、非挥发性微粒物质的测试和评估要求。

本文件适用于航空发动机排放合格审定测试与评估。

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。

ICAO Annex 16 Volume II 环境保护--航空器发动机排放（Environmental protection—Aircraft engine emissions）

ICAO Doc 9977 民用航空喷气燃油供应手册（Manual on civil aviation jet fuel supply）

ISO 5-4 摄影和印刷技术.密度测量.第4部分:反射密度的几何条件（Photography and graphic technology—Density measurements—Part 4: Geometric conditions for reflection density）

ISO 8031 橡胶和塑料软管及软管组件电阻和电导率的测定（Rubber and plastics hoses and hose assemblies—Determination of electrical resistance and conductivity）

ISO 9169 空气质量-定义和确认自动测量系统的性能特性(Air quality—Definition and determination of performance characteristics of an automatic measuring system)

ISO 27891 气溶胶粒子数浓度——冷凝粒子计数器的校准（Aerosol particle number concentration—Calibration of condensation particle counters）

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

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ICAO Doc 9501《环境技术手册》第II卷《航空器发动机排放审定程序》中。所有等效程序及其使用应经批准。

3.3

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

存在于燃气涡轮发动机排气管出口平面、当加热到350 ℃时不挥发的排放微粒。

3.4

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。

注：计算时将一氧化氮看做处于二氧化氮形式。

3.5

额定推力 rated thrust

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。

注：额定推力用千牛顿表示。

3.6

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。

3.7

烟雾 smoke

排气排放物中遮蔽光传输的含碳物质。

3.8

发烟指数 smoke number

量化烟雾排放的无量纲数。

3.9

滑行/地面慢车 taxi/ground idle

从发动机最初起动到开始起飞滑跑之间以及从跑道转出到所有发动机最终关车之间的滑行和慢车运行阶段。

3.10

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。

注：计算时将其看做处于以甲烷形式。

3.11

样本基准大小 sample reference size

每平方米滤纸烟痕面积上通过16.2 kg样气的取样量。

3.12

样本大小 sample size

以每平方米滤纸烟痕面积上通过样气的千克（kg）数来表示。

注：所选的排气样本，其质量大小（以被沾污的滤芯表面积每平方米千克表示）处于所规定的范围内，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。

3.13

样本体积 sample volume

所选样本体积（以立方米表示），其按第7章计算出的等效质量与**样本大小**（3.12）的定义相符合。

3.14

精度 accuracy

某一测量值与独立确定的真值接近的程度。

3.15

空气/燃料比 air/fuel ratio

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。

3.16

校准气体 calibration gas

用于仪器校准、调节和定期检查的高精度基准气体。

3.17

气体浓度 gas concentration

气体混合物中所含有关成分的体积分数。

注：用体积百分比或百万分率表示.

3.18

火焰电离探测器 flame ionization detector

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。

3.19

干扰 interference

由于出现不同于待测气体（或蒸气）的成分而号起的仪器响应。

3.20

噪声 noise

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。

3.21

非色散红外线分析仪 non-dispersive infrared analyser

一种通过吸收红外线能量，选择性地测量具体成分的仪器。

3.22

百万分率 parts per million (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。

3.23

百万分率碳 parts per million carbon (ppmC)

在甲烷当量基础上测得的碳氢化合物的摩尔分数乘以10^6。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的已烷可换算成6 ppmC的碳氢化合物。

3.24

基准气体 reference gas

一种经专门配制和已知成分的气体混合物，用来表示仪器对所测气体浓度响应的基准。

3.25

可重复度 repeatability

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，各测量值所具有的接近程度。

3.26

分辨率 resolution

在测量中能够探测到的最小变化。

3.27

响应 response

随着样本气体浓度的变化而出现的仪器输出信号的变化。

3.28

稳定度 stability

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。

3.29

零飘移 zero drift

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。

3.30

零气体 zero gas

一种用于建立仪器零点或无响应的调整仪器用的气体，简称零气。

3.31

喷气流 plume

所有的发动机外部排气流，包括与排气相混的外界空气。

3.32

微粒的空气动力学直径 aerodynamic diameter of a particle

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”。

3.33

催化汽提器 catalytic stripper

一种通过氧化去除挥发性物质的催化装置。

3.34

具备相关资质的实验室 competent laboratory

根据不定期修订的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/IEC17025:2005正式认证。

3.35

旋风分离器 cyclone separator

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。

3.36

扩散火焰燃烧气溶胶源 diffusion flame combustion aerosol source

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。

3.37

微粒的电迁移直径 electrical mobility diameter of a particle

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。

3.38

元素碳 elemental carbon (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 ℃时未从该样本中去除的具有吸光能力的碳，不包括焦炭。

3.39

有机碳 organic carbon (OC)

在进行热光透射（TOT）分析时，在氦气中将石英纤维样本滤芯加热到870 ℃时挥发的碳。包括一些材料热解过程中形成的焦炭。

3.40

微粒损失 particle loss

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。

3.41

微粒质量浓度 particle mass concentration

每单位样本体积的微粒质量。

3.42

微粒质量排放指数 particle mass emissions index

所用的每单位燃料质量排放的微粒质量。

3.43

微粒数量浓度 particle number concentration

每单位样本体积的微粒数量。

3.44

微粒数量排放指数 particle number emissions index

所用的每单位燃料质量排放的微粒数量。

3.45

渗透分数 penetration fraction

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。

3.46

粒径分布 particle size distribution

用一系列的粒径数据或者粒径的数学函数来表示微粒的数量浓度。

3.47

质量体系 quality system

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。

3.48

上升时间 rise time

〈在线分析仪〉当基准物质以初始状态瞬时通入自动测量系统时，当输出信号从终值的10%变化至90%所需的时间。

4 符号和缩略语

4.1 符号

下列符号适用于本文件。

[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。

$[CO_2]_S$：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）。

DF_1：第一阶段稀释因子=$[CO_2]/[CO_2]_{dil1}$。

DF_{1_S}：采用直接采样的 [CO2]S 和 [CO2]dil1 计算的第一阶段稀释因子。

DF_2：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：空气动力学直径为 z nm 的微粒的检出效率为 xy%。

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浓度。

$[NO_2]$：湿排气样本中二氧化氮的平均体积浓度。

$[NO_x]$：湿排气样本中一氧化氮和二氧化氮的平均气体浓度=$[NO]+[NO_2]$。

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，单位为 μg/m^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，单位为 μg/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，单位为数量/cm^3。

T_{Line}：采样管路壁温度。

T_1：稀释器 1 进口壁温度℃。

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℃。

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。

$\eta_{VPR}(D_m)$：用于 D_m 微粒的挥发性微粒去除器的微粒渗透分数。

D_{mg}：非挥发性微粒物质电迁移粒径分布的几何平均直径，单位 nm。

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。

$f_{lgn}(D_m)$：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_{ti}：采样管路第 i 段的内径，单位为 mm。

k_B：1.3806×10^{-16}，玻尔兹曼常数，单位为（$g\cdot cm^2$)/($s^2\cdot K$)。

k_{SL_mass}：未进行收集部分热泳损失修正的系统损失EImass 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EInum 修正因子。

k_{thermo}：10.6.2 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，单位为微克/m^3。

P_i：采样管路第 i 部分的载气压力，单位为 kPa。

Q_i：采样管路第i 段的载气流，单位为 slpm。

$R_{MN}(D_m)$：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，单位为℃。

δ：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。

$\eta_{mass}(D_m)$：未包含收集部分热泳损失的电迁移粒径 Dm 的非挥发性微粒物质质量整体采样和测量系统渗透分数。

$\eta_{num}(D_m)$：未包含收集部分热泳损失的电迁移粒径 Dm 的非挥发性微粒物质数量整体采样和测量系统渗透分数。

$\eta i(D_m)$：采样和测量系统第i 组件的电迁移粒径 D_m 的渗透分数。

$\eta bi(D_m)$：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。

μ：载气粘度,（g/cm·s）。

ρ：假定的非挥发性微粒物质有效密度，单位为 g/cm^3。

σ g：假定的对数正态分布几何标准差。

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×10^3。

K：湿测量气体浓度与干（冷凝后）测量气体浓度之比。

M_{AIR}：干空气分子质量=28.966 g，或在适当情况下，=(32*R*+28.1564*S*+44.011*I*) 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_{NO2}：二氧化氮分子质量=46.008 g。

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：$P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6+P_7+P_8$。

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。

$[O_2]_b$：干空气中氧气的体积气体浓度=0.2095。

$[N_2]_b$：干空气中氮气+稀有气体的体积气体浓度=0.7902。

$[NO_x]_c$：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。

$[\quad]_d$：冷凝后排气样本中的平均体积比气体浓度。

$[\quad]_m$：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。
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。
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。
CO：一氧化碳。
Dp：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。
Fn：在国际标准大气（ISA）海平面条件下给定运行模式的推力。
F_{OO}：额定推力。
$F*_{OO}$：使用加力燃烧下的额定推力。
HC：未燃烧的碳氢化合物。
NO：一氧化氮。
NO_2：二氧化氮。
NO_x：氮氧化物。
SN：发烟指数。
SN’：发烟指数。
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。
π_{oo}：基准增压比。

4.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。
nvPM：非挥发性微粒物质（Non-volatile particulate matter）
CPC：凝聚微粒计数器（Condensation Particle Counter）
EC：元素碳（Elemental Carbon）
FS：分析仪的全量程范围（Full Scale Range of the Analyzer）
GL：气体管路（Gas Line）
HEPA：高效微粒空气过滤器，H13 级，可去除至少 99.97%的邻苯二甲酸二辛酯微粒(0.3μm 直径)（High Efficiency Particle Air Filter）
ID：内径（Internal diameter）
ISA：国际标准大气（ISO 2533:1975)（International Standard Atmosphere）
LOD：检测极限（Limit of Detection）
NMI：国家计量研究所（National Metrology Institute）
nvPMmi：非挥发性微粒物质质量仪 （Non-volatile Particulate Matter Mass Instrument）
nvPMni：非挥发性微粒物质数量仪 （Non-volatile Particulate Matter Number Instrument）
PTFE：聚四氟乙烯（Polytetrafluoroethylene）
slpm：每分钟标准升（在标准温度和压力条件下每分钟的升数）（Standard Litres Per Minute）
STP：在标准温度为 0℃、压力为 101.325 kPa 下的仪器条件 （Standard Temperature and Pressure）
TOT：热光透射（Thermal Optical Transmittance）
VPR：挥发性微粒去除器（Volatile Particle Remover）
VRE：挥发性物质去除效率（Volatile Removal Efficiency）
EENEP：发动机排气管出口平面 （Engine Exhaust Nozzle Exit Plane）
FSD：满刻度偏转（Full-Scale Deflection）

5 基准增压比的测量

5.1 一般要求

应使用一台有代表性的发动机开展基准增压比的测量。

基准增压比应使用下述方法推导得出：

a) 确定实测增压比与修正到标准大气条件下发动机推力的关系；

b) 根据该关系和额定起飞推力确定基准增压比。

5.2 测量

总压应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。

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，则经批准可用替代手段来估计压气机的排气总压。

应在型号审定测试期间使用最少一台发动机及任何相关的发动机部件进行测试和分析，确定基准增压比与相应发动机推力的关系。

程序应得到认可。

6 烟雾排放评估

6.1 概述

本章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。

6.2 烟雾排放的测量

6.2.1 烟雾排放的采样探头

采样探头应满足以下要求：

a) 与排气排放样本接触的探头材料应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) 则所有采样孔应具有相等直径；

2) 采样探头设计应保证至少 80%的压力降发生在探头组件的孔口处。

c) 采样位置数不应少于 12 个。

d) 采样平面应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，但在任何情况下应位于距出口平面 0.5 倍排气管直径的范围内。

e) 应通过详细研究提供证据，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。

6.2.2 烟雾排放物的采样管路

应以最短路径（在任何情形下不长于25 m）通过一根内径为4.0 mm～8.5 mm的管子，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，管路温度应保持在60 ℃至175 ℃之间，且温度上下浮动应在±15℃范围内。

采样管路应尽可能是“直通”的。任何必要的弯折其半径应是管子内径10倍以上。管子的材料应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。

6.2.3 烟雾分析系统

为获取必要的被沾污的滤芯样本所用的系统其各个部件应按图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。系统的主要部件应满足下列要求。

a) 样本大小的测量：应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±2%。这块表进口处的压力和温度也应测量，分别精确到 0.2%和±2 ℃。

b) 样本流边的测量：样本流速应保持在（14±0.5） L/min 的数值上，且用于此目的的流量计应能够使这一测量的精度达到±5%。

c) 滤芯和芯筒：滤芯芯筒应用耐腐蚀材料制成并具有图 1 所示的气流通道构型。滤芯材料应为 4 号 Whatman 型或经批准的任何同等产品。

d) 活门：如图 1 所示，应配备 4 个活门元件：
   1) 活门 A 应为快速作动全流量型分流器，使进入的样本能够被引导通过测量滤芯或绕过旁通管路或关断器；
   2) 活门 B 和 C 应为节流活门，用于调节系统的流速；
   3) 活门 D 应为关断活门，使得滤芯芯筒能被隔离；所有的活门应用耐腐蚀材料制成。

注：活门A可由两个互锁活门组成，以提供所要的功能。

e) 真空泵：此泵在零流量时的抽空能力应不低于 75 kPa；其标准温度和压力下的全流速不得少于 26 L/min。

f) 温度控制：到滤芯芯筒的分析仪内来流取样管路的温度应保持在 60 ℃至 175 ℃温度之间并具有±15 ℃的稳定度；温度控制目的是为了防止进入滤芯芯筒之前和进入后形成水冷疑。

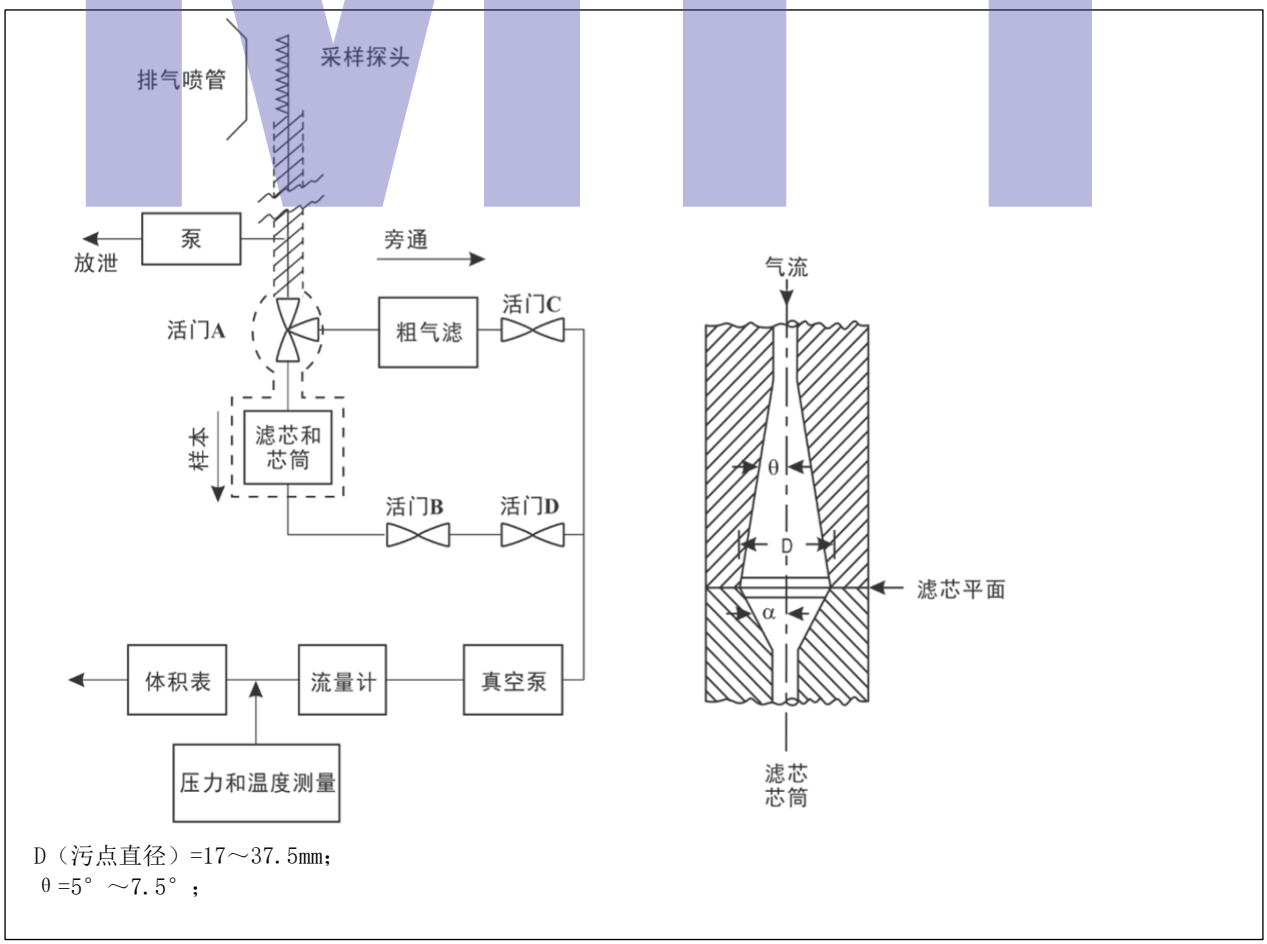
g) 若需通过探头抽取比通过滤芯芯筒更高的样本流速，则可在探头和活门 A 之间放置一个备选的流体分离器（图 1），用以放掉多余的气流。放泄管应尽可能靠近探头排气口，且不得影响采样系统在探头总成上保持所需的 80%压力降的能力。放泄流也可送往二氧化碳分析仪或整个排放分析系统。

h) 如果使用流体分离器，应通过测试证明流体分离器不会改变通往滤芯芯筒的烟雾量。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雾量不变来实现。

i) 渗漏性：子系统应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：应使用满足 ISO 5-4 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 1 中规定的滤芯污点的直径。

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。



D（污点直径）=17～37.5mm；
θ=5°～7.5°；

α=20°～20°。

图1　烟雾分析系统

6.2.4　燃料规范

燃料应符合附录A的要求。

6.2.5　烟雾测量程序

6.2.5.1　发动机运行

应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。
应按批准的推力设定值进行测试。发动机应在每一设定值上稳定运转。

6.2.5.2　渗漏和洁净检查

应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，应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 6.2.3 i) 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) 按本章第 3 节所述测量最终过滤芯污点的 SN’；
   7) 如果此 SN’超过 3，则应清洁系统（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。

6.2.5.3　烟雾测量

烟雾的测量应与其他测量分开进行，除非此时测得的烟雾值远低于限制值，或者能够证明同时测量烟雾和气态排放物所得到的烟雾值是有效的，在此情况下，烟雾的测量可与气态排放物测量同步进行。在任何情况下，均应严格遵守6.2.2中详述的采样管路弯折的半径要求。应设置烟雾分析子系统并使其符合6.2.3的规格。参照图1，应进行以下主要操作来获取被沾污滤芯的样品。

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 L/min±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) 将被沾污的滤芯放置在一旁等待分析，将洁净的滤芯卡入芯筒。
h) 所选的样本大小应使每平方米滤芯所通过的排气量在 12 kg～21 kg 范围内，并且应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，必要时应重复 e)至 g)的操作。

6.3　由实测数据计算发烟指数

应使用6.2.3中规定的反射计来分析按照6.2.5.3中描述的步骤获取的被沾污的滤芯样品。所用底板材料应是黑色的，其绝对反射率不少于3%。应使用每一被沾污的滤芯的绝对反射率读数RS，以下述公式计算反射率减小值：

$$SN'=100(1-RS/RW) \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

RW——为洁净滤芯材料的绝对反射率。

各种样本的质量应以下述公式计算：

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

式中：

P——紧靠体积表上游测得的样本压力帕斯卡值；

T——紧靠体积表上游测得的样本温度开尔文值；

V——实测样本体积的立方米数。

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，则应将SN'和W的各个值制成SN'对logW/A的标绘图，其中A是滤芯沾污面积（m2）。应使用最小二乘方直线拟合术，估算W/A=16.2 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应是各单项SN'值的算术平均数。

6.4 数据报告

数据报告中应包含下列数据：

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；
e) 渗漏和洁净检查的证明；
f) 发烟指数。

7 气态排放物的测量和仪器要求

7.1 概述

本章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。

7.2 测量数据

7.2.1 气态排放物

应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：二氧化碳不是受控制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（NOx）：两种氧化物即一氧化氮（NO）和二氧化氮（NO2）总合的估算值。
e) 一氧化氮（NO）。

7.2.2 其他信息

7.2.2.1 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，应提供下列补充数据：

a) 进口温度；
b) 进口湿度；
c) 大气压力；

d) 燃料的氢/碳比；
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）。
这些数据应通过直接测量或计算获得。

7.2.2.2 正如所要求的，除了实测样本组分气体浓度，还应提供以下数据。
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±0.5 ℃。
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±5%；
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±2%；
e) 燃料氢/碳比：定义为 n/m，其中 CmHn 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±1%和最小推力的±5%，这些点之间会有线性变化；
2) 转速：直接测量，精度到至少±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±2%。
应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)参数应在排放测试中以不少于1小时的间隔确定。

7.3 气态排放物测试系统总体要求

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。本章7.4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。）
图2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。

7.4 气态排放物测试系统部件要求

7.4.1 采样系统

7.4.1.1 采样探头

采样探头应满足以下要求。
a) 与排气排放物样本接触的探头材料应是不锈钢或其他非反应性材料。
b) 如果使用多孔采样探头：
1) 则所有采样孔应具有相等直径；
2) 采样探头设计应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) 采样平面应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，但在任何情况下应位于距出口平面 0.5 倍排气管直径范围内。
e) 应通过详细研究提供证据，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。

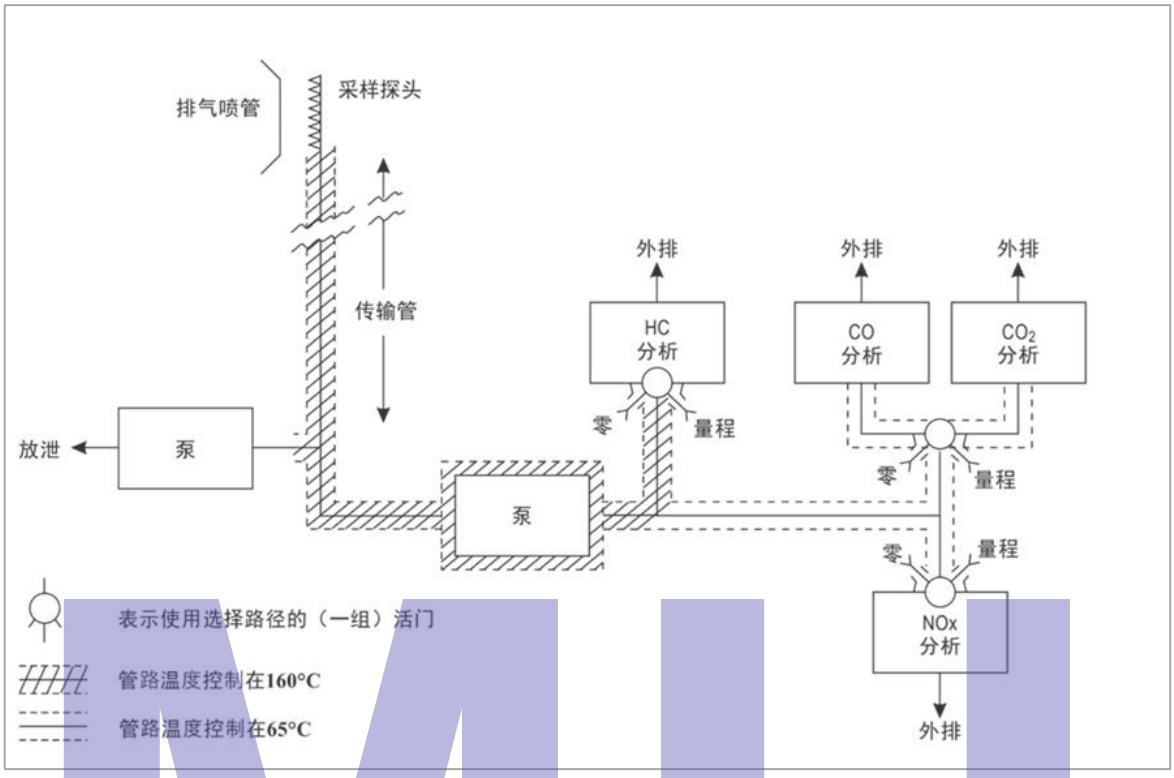


图2　采样和分析系统示意图

7.4.1.2　采样管路

应通过一根内径为4.0 mm～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，将样本从探头输送到分析仪中。管路温度应保持在160 ℃±15 ℃，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；

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。

该支管路温度应保持在65 ℃±15 ℃。当采样测量一氧化碳、二氧化碳和氮氧化物成分时，管子应用不锈钢或以渗碳为底基的聚四氟乙烯（PTFE）制成。

7.4.2　碳氢化合物分析仪

7.4.2.1　一般要求

7.4.2.1.1　应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。分析仪应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：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。

7.4.2.1.2　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。在做测量准备时应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，则应采取适当的预防措施。

7.4.2.2　性能规格

所用的仪器应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，主要规格点应为：

a)　总量程：相应量程中的 0 ppmC～5000 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应呈线性，且变动在满刻度的±2%以内，否则，应进行校准修正。

7.4.2.3 协同效应

7.4.2.3.1 应用中，有两个性能方面可能影响测量的精度：
a) 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）；
b) 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）。

7.4.2.3.2 氧气效应和碳氢化合物相对响应的大小应按下列方法确定并做相应限制：
a) 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：
   1) 10±1%为氧气其余为氮气中的丙烷；
   2) 21±1%为氧气其余为氮气中的丙烷。
   如果 R1 和 R2 分别为正常响应，则（R1-R2）应小于 R1 的 3%。
b) 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：
   1) 零空气中的丙烷；
   2) 零空气中的丙烯；
   3) 零空气中的甲苯；
   4) 零空气中的正乙烷。
   如果 Ra，Rb，Rc 和 Rd 分别为正常响应（相对于丙烷），则（Ra-Rb）、（Ra-Rc）和（Ra-Rd）应各小于 Ra 的 5%。

7.4.2.4 探测器响应的优化和校准

7.4.2.4.1.1 应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应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，应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，应按上文所述确定氧气响应和不同的碳氢化合物响应。

7.4.2.4.1.2 应通过以满刻度的约 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±2%。如果超过，则应为运行使用制备一条校准曲线。

7.4.3 一氧化碳和二氧化碳分析仪

7.4.3.1 一般要求

7.4.3.1.1 应使用非色散红外线分析仪来测量这些成分，其设计应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。

7.4.3.1.2 此分析子系统应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），温度控制都应与其相对应。

7.4.3.1.3 仪器是基于平行基准与样本气囊的非色散吸收红到线放射原理，通过使用叠加样本囊或改变电子线路或两者一起使用，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），可将具有重叠吸收频带的气体所产生的干扰降至最低。

7.4.3.1.4 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。在做测量准备时应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，则应采取适当

的预防措施。

7.4.3.2 性能规格

7.4.3.2.1 一氧化碳分析仪主要性能规格应为：

a) 总量程：相应量程中的 0 ppm～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±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±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±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±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，应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，则应确定、报告和应用相应的修正因子。

7.4.3.2.2 一氧化碳分析仪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12.3和12.4节。

7.4.3.2.3 二氧化碳分析仪主要性能规格应为：

a) 总量程：相应量程中的 0%～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±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±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±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±1%以下或±100 ppm，取其中大者；
g) 应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，则应使用适当的修正因子。

7.4.3.2.4 二氧化碳分析仪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ICAO Doc 9501《环境技术手册》第II卷《航空器发动机排放审定程序。

7.4.3.2.5 一氧化碳和二氧化碳分析仪主要性能规格应符合以下要求。

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 ℃的温度，稳定度为±2 ℃。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) 应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±2%。如果超过，则应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，应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，应使用额外混合物来适当限定曲线形态。

7.4.4 氮氧化物分析仪

7.4.4.1 一般要求

7.4.4.1.1 应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，应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。

7.4.4.1.2 总的氮氧化物测量系统应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。

7.4.4.1.3 应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，应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应记录。这样一来，根据差值，便可得出二氧化氮的气体浓度。

7.4.4.1.4 所用仪器应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应限于那些能够耐氮氧化物腐蚀的材料，诸如不锈钢、玻璃等。各处的样本温度都应保持在与局部压力相一致的数值上，以避免水的冷凝。

7.4.4.1.5 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。在做测量准备时应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，则应采取适当的预防措施。

7.4.4.2 性能规格

7.4.4.2.1 为在稳定在 2℃以内的外界温度中工作的仪器确定的主要性能规格应符合以下要求。

a) 总量程：相应量程中的0 ppm～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±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±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±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±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，应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，则应确定、报告和应用相应的修正因子。
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±2%以上或±2ppm，取其中大者。
j) 转化器：其设计和使用应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。

7.4.4.2.2 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12.3 和 12.4 节。

7.4.4.2.3 转化器的效率不得低于 90%。此效率值应用于将实测样本的二氧化氮值（即[NOx]c - [NO]）修正到如果效率不是 100%可能得出的数值。

7.5 测试程序

7.5.1 一般要求

7.5.1.1 发动机应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。

7.5.1.2 应按规定的推力设定值进行排放物测试。发动机应在每一推力设定值上稳定运转。

7.5.2 主要仪器的校准

7.5.2.1 本校准的总的目的是确认稳定度和线性。

7.5.2.2 应表明分析系统的校准在测试时是有效的。

7.5.2.3 对于碳氢化合物分析仪，这种校准应包括检查探测器的氧气和不同碳氢化合物响应是否在7.4.2.1 所规定的极限内。还应检查和验证二氧化氮/一氧化氮转化器的效率，以符合 7.4.4.2 的要求。

7.5.2.4 应采用下列程序检查每一分析仪的性能（使用 7.5.2.5 和 7.5.3.4 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，应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，则应为运行制备一条校准曲线。

7.5.2.5 校准气体见表 1。

表1 校准气体表

分析仪	气体	精度[a]
碳氢化合物（HC）	零空气中的丙烷	±2%或±0.05 ppm[b]
二氧化碳（CO_2）	零空气中的二氧化碳	±2%或±100 ppm[b]
一氧化碳（CO）	零空气中的一氧化碳	±2%或±2 ppm[b]
氮氧化物（NOx）	零氮气中的氮氧化物	±2%或±1 ppm[b]
注：在正常运行使用中需要用上述气体做分析仪的例行校准。		
[a] 使用 95%以上的置信区间。 [b] 取其中大者。		

7.5.2.6 一氧化碳和二氧化碳校准气体可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，则可使用零空气中的一氧化碳、二氧化碳和丙烷三成分混合物。

7.5.2.7 为一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物分析仪规定的零气体应为零空气（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，应使用零氮气作为零气体。两种零气体中的杂质应限制在小于以下气体浓度：

a) 碳 1 ppm；
b) 一氧化碳 1 ppm；
c) 二氧化碳 100 ppm；
d) 氮氧化物 1 ppm。

7.5.3 运行

7.5.3.1 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，应检查系统是否渗漏，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。此真空泵应具备相对于大气压力-75 kPa 的零流量时的抽真空能力；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。

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

注1：反冲洗确保采样系统中不会出现明显的燃料污染。

注2：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。

7.5.3.3 如果需要说明报告的排放水平上环境空气质量的程序，则应使用下列程序进行运行测量，但应经批准。

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，直至获得一个应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%，则应将仪器恢复到其规格内，重复进行测试。

7.5.3.4 测试气体见下表：

表2 测试气体表

分析仪	气体	精度[a]
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（CO2）	零空气中的二氧化碳	±1%
二氧化碳（CO2）	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（NOx）	零氮气中的一氧化氮	±1%
注：需要用上述气体做7.4.2.1、7.4.3.1和7.4.4.1段中的测试。		
[a] 使用 95%以上的置信区间。		

7.5.3.5　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。

7.5.3.6　为一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物分析仪规定的零气体应为零空气（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，应使用零氮气作为零气体。两种零气体中的杂质应限制在小于以下气体浓度：

a)　碳 1 ppm；
b)　一氧化碳 1 ppm；
c)　二氧化碳 100 ppm；
d)　氮氧化物 1 ppm。

7.5.4　碳平衡检查

每一测试应包含一项检查，以查明由合成样本的总碳气体浓度（除去烟雾）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7.5.1）下精确度为±10%的发动机空气/燃料比所估算的值相一致。

7.6　计算

7.6.1　气态排放物

7.6.1.1　所做的分析性测量应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。应使用 7.55.1 的计算法或本章第 3 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）。为计算与基准大气条件的偏离，应使用 7.5.1 中规定的修正法。请注意，在适当的情况下，为计算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。然后应把燃烧室进口温度（TB）用做关联参数，运用 7.5.2 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。

7.6.1.2　基本参数如下：

$$\mathrm{EI_p}(\text{成分 p 的排放指数}) = \frac{\text{所产生的 p 的质量(g)}}{\text{所用燃料的质量(kg)}} \quad (3)$$

$$\mathrm{EI(CO)}=\left(\frac{[\mathrm{CO}]}{[\mathrm{CO_2}]+[\mathrm{CO}]+[\mathrm{HC}]}\right)\left(\frac{10^3 \mathrm{M_{CO}}}{\mathrm{M_C}+(\mathrm{n}/\mathrm{m})\mathrm{M_H}}\right)\left(1+[\mathrm{CO_2}]_b\left(\mathrm{P_0}/\mathrm{m}\right)\right) \quad (4)$$

式中：

$[\mathrm{CO}]$　——湿排气样本中一氧化碳的平均体积比气体浓度；
$[\mathrm{CO_2}]$　——湿排气样本中二氧化碳的平均体积比气体浓度；
$[\mathrm{HC}]$　——湿排气碳氢化合物的平均体积比气体浓度，表示为碳；
$\mathrm{M_{CO}}$　——一氧化碳分子质量=28.011 g；
$\mathrm{M_C}$　——碳原子质量=12.011 g；
n　——特性燃料分子中的氢原子数；
m　——特性燃料分子中的碳原子数；

$^{n}/_{m}$ ——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

M_H ——氢原子质量=1.008 g；

$[CO_2]_b$ ——干空气中的二氧化碳的体积气体浓度=0.0003。

$$EI(HC) = \left(\frac{[HC]}{[CO_2]+[CO]+[HC]}\right)\left(\frac{10^3 M_{HC}}{M_C+(^{n}/_{m})M_H}\right)\left(1+[CO_2]_b\left(^{P_0}/_{m}\right)\right) \quad (5)$$

式中：

M_{HC} ——排气碳氢化合物(视同甲烷)的分子质量=16.043 g。

$$EI(NO_x)\ as\ NO_2 = \left(\frac{[HC]}{[CO_2]+[CO]+[HC]}\right)\left(\frac{10^3 M_{HC}}{M_C+(^{n}/_{m})M_H}\right)\left(1+[CO_2]_b\left(^{P_0}/_{m}\right)\right) \quad (6)$$

$$空气/燃料比 = {}^{P_0}/_{m}\left(\frac{M_{AIR}}{M_C+(^{n}/_{m})M_H}\right) \quad (7)$$

式中：

M_{AIR}——干空气分子质量。

一般，M_{AIR}=28.966 g，或在适当的情况下：

$$M_{AIR} = (32[O_2]_b + 28.1564[N_2]_b + 44.011[CO_2]_b)\ g \quad (8)$$

式中：

$[O_2]_b$——干空气中的氧气的体积气体浓度=0.2095；

$[N_2]_b$——干空气中的氮气+稀有气体体积气体浓度=0.7902。

$$P_0/m = \frac{2Z-n/m}{4(1+h_{vol}-[[CO_2]_b Z/2])} \quad (9)$$

式中：

h_{vol} ——外界空气的湿度，水体积/干空气体积。

$$Z = \frac{2-[CO]-([2/x]-[y/2x])[HC]+[NO_2]}{[CO_2]+[CO]+[HC]} \quad (10)$$

式中：

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；

$[NO_2]$——湿排气样本中二氧化氮的平均体积浓度。

$$[NO_2] = \frac{([NO_x]_c-[NO])}{\eta} \quad (11)$$

式中：

$[NO_x]_c$ ——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；

$[NO]$ ——湿排气样本中一氧化氮的平均体积比气体浓度；

η ——二氧化氮/一氧化氮转化器的效率。

$$[NO_x] = [NO + NO_2] \quad (12)$$

式中：

$[NO_x]$——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。

7.6.1.3 应在每一设定条件下测量外界空气的湿度h_{vol}。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，则首先应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12.3和12.4。

7.6.1.4 按基准条件修正排放指数如下：

应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。湿度的基准值应为0.00634 kg水/kg干空气。因此，修正后的EI=K×实测的EI，式中K的广义化表达式是：

$$K = (PBref/PB)a \times (FARref/FARB)b \times \exp([TBref-TB]/c) \times \exp(d[hmass-0.00634]) \quad (13)$$

式中：

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；

PB ——实测燃烧室进口压力；

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。

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；

FARB ——燃烧室的燃料/空气比；

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；

TB ——实测燃烧室进口温度；

hmass ——外界空气湿度，kg水/kg干空气。

7.6.1.5 使用 7.6.2 中推荐的曲线拟合方法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((TBref–TB)/c)项，而且在大多数情况下，(FARref/FARB)项可认为是 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 1，可从表达式中去除，而且(PBref/PB)项的指数接近于 1。因此：

——修正后的 EI(CO)=由(PB/PBref)xEI(CO)对 TB 曲线导出的 EI；

——修正后的 EI(HC)=由(PB/PBref)xEI(HC)对 TB 曲线导出的 EI；

——修正后的 EI(NOx)=由 EI(NOx)x(PBref/PB)0.5xexp(19[hmass–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。

7.6.1.6 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应得到批准。

7.6.2 参数计算(Dp、Foo、π)

7.6.2.1 Dp 为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。Foo 为额定推力。Fn 为着陆和起飞运行模式 n 下的推力（kN）。Wf 为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）。Wfn 为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 为当发动机在额定起飞推力（国际标准大气海平面静态条件下产生）时，压气机中最后一级排气平面处的平均总压与进口平面处的平均总压之比。

7.6.2.2 应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。应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) Wf 与 TB 之间；

c) F 与 TB 之间。

图 3a)、b)和 c)描绘了这些关系。图 3b)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。

7.6.2.3 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。

7.6.2.4 制造商还应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（Foo）；

b) 基准增压比（πoo）。

图 3d)描绘了这些关系。

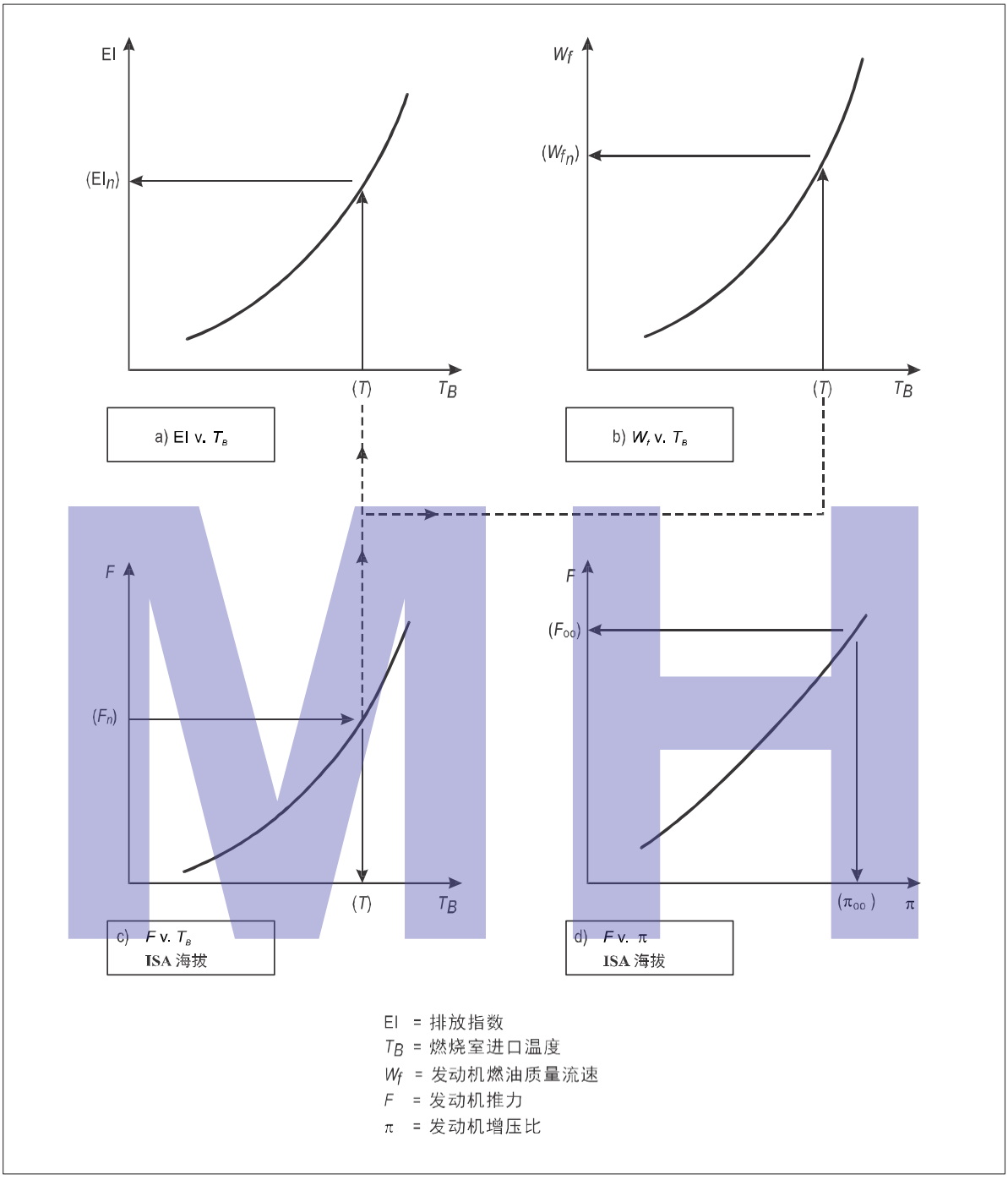


图3 计算程序

7.6.2.5 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）进行的估算应符合下述一般程序：

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 Fn 值下的燃烧室进口温度（TB）（图 3c））；
b) 由 EI（修正的）/TB 特性（图 3a））确定对应于 TB 的 EIn 值；
c) 由 Wf/TB 特性（图 3b））确定对应于 TB 的 Wfn 值；
d) F 记录 Foo 和πoo 的值（图 3d））；
e) 为每一污染物计算 Dp=∑(EIn) (Wfn) (t)，其中：t 为着陆和起飞循环模式的时间（min）；Wfn 为燃料质量流速（kg/min）；

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。

通过上述参数计算得出了Dp值，与发动机额定推力共同确定出气态排放物的度量值。

8 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

8.1 概述

本章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，需要针对外界条件作出修正，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。

8.2 所需数据

8.2.1 气态排放物

应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(NOx)：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)。

8.2.2 其他信息

8.2.2.1 为了使排放物测量数据规格化和量化发动机的测试特性，还应提供以下方面的其他信息：

a） 进口温度；

b） 进口湿度；

c） 大气压力；

d） 相对于发动机排气轴的风的向量；

e） 燃料的氢/碳比；

f） 发动机安装细节；

g） 其他所需的发动机参数（例如：推力、转子速度、涡轮温度）；

h） 污染物浓度数据和统计验证参数。

这些数据应按8.2.2段所述的那样，通过直接测量或计算获得。

8.2.2.2 补充数据的规格如下：

正如8.2.2段所要求的，除了实测样本组分浓度，还应提供以下数据：

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±0.5 ℃；

b） 进口湿度（kg 水/kg 干空气）：在发动机前方距进气平面 15 m 内的某一点测得,精度为读数的±5%；

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±2%；

e） 燃料氢/碳比：定义为 n/m，其中 CmHn 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±1%和最小推力的±5%，这些点之间会有线 性变化；

2） 转速：直接测量，精度到至少±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±2%。应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)参数应在排放测试中以不少于 1 小时的间隔确定。

8.3 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。8.4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。）

图4 和图5 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。

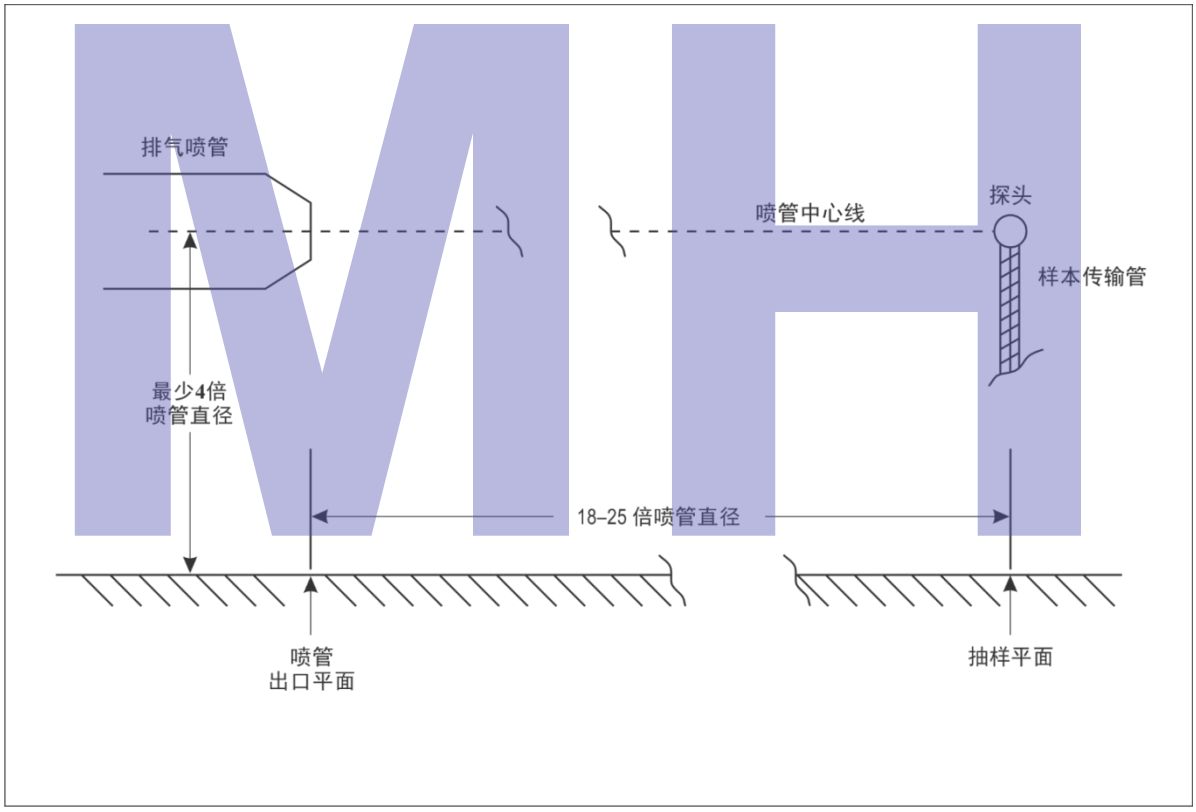


图4 排气采样系统示意图

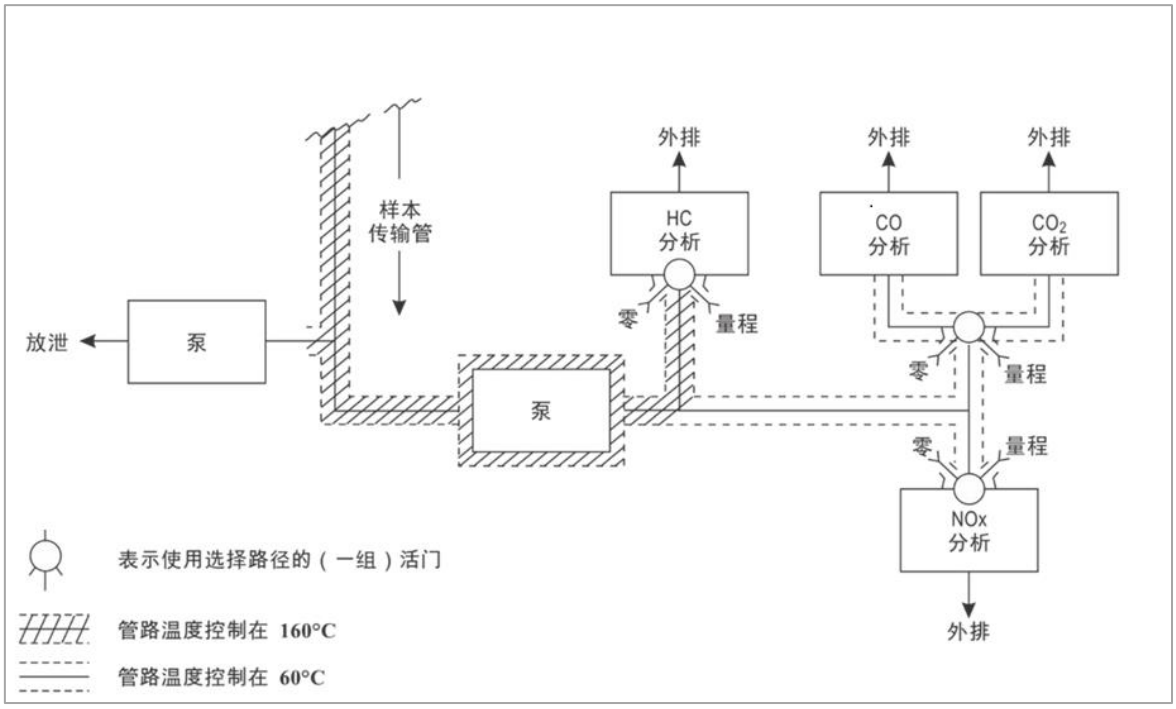


图5　样本传输和分析系统示意图

8.4　部件说明

8.4.1　采样系统

8.4.1.1　采样探头

采样探头应满足以下要求。

a)　探头的构造应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。不应有混杂样本。

b)　与样本接触的材料应是不锈钢的，其温度应保持在不低 60 ℃的值上。

c)　采样平面应与发动机喷口的中心线投影相垂直，并且应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，但在任何情况下都不得超过 25 倍的喷口直径。喷口出口直径应满足发动机最大功率条件。在出口与采样平面之间，沿发动机喷口的中心线投影径向距离上应有至少 4 倍喷口出口直径的无障碍区。

d)　采样点的最小数目应等于 11。

e)　位于发动机 X 距离处的测量平面应分成三个部分：以围绕排气流轴的因为界，其半径如下：

$$R1 = 0.05X \quad (14)$$

$$R2 = 0.09X \quad (15)$$

每一个部分应提取最少 3 个样本。每个部分样本数之差应小于 3。在离此轴最远处提取的样本应取自位于 0.11X 和 0.16X 之间的半径上的某一点。

8.4.1.2　采样管路

应通过一根内径为4.0 mm～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。管路温度应保持在160℃±15℃(稳定度±10℃)。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，管子应用不锈钢或以渗碳为底基的聚四氟乙烯制成。

8.4.2　碳氢化合物分析仪

8.4.2.1　一般要求

8.4.2.1.1　应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。分析仪应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：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。

8.4.2.1.2 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。在做测量准备时应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，则应采取适当的预防措施。

8.4.2.1.3 所用的仪器应能够使探测器和样本处理部件的温度保持在 155℃～165℃量程内的某一定点温度上，并且具备±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，主要规格点应为：

a) 总量程：相应量程中的 0～500 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±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 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：每个量程内对空气中丙烷的响应应呈线性，变动在满刻度的±2%以内，否则，应进行校准修正。

8.4.2.2 协同效应

8.4.2.2.1 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；
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。

8.4.2.2.2 上述效应大小应按下列方法确定并做相应限制。

a) 氧气响应：按如下所述，用两种已知相对精度为±1%，浓度约为 500 ppmC 的丙烷做响应测量：
   1) 10±1%为氧气其余为氮气中的丙烷；
   2) 21±1%为氧气其余为氮气中的丙烷。
   如果 R1 和 R 分别为正常响应，则（R1－R2）应小于 R1 的 3%。
b) 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%，浓度约为 500 ppmC 的空气中的不同碳氢化合物做响应测量：
   1) 零空气中的丙烷；
   2) 零空气中的丙烯；
   3) 零空气中的甲苯；
   4) 零空气中的正乙烷。
   如果 Ra、Rb、Rc 和 Rd 分别为正常响应（相对于丙烷），则（Ra-Rb）、（Ra-Rc）和（Ra-Rd）应各小于 Ra 的 5%。

8.4.2.3 探测器响应的优化和校准

8.4.2.3.1 应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应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，应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，应按上文所述确定氧气响应和不同碳氢化合物响应。

8.4.2.3.2 应通过以满刻度的约 30%、60%和 90%的浓度将丙烷加入到空气样本中，检查每一分析仪量程的线性。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±2%。如果超过，则应为运行使用制备一条校准曲线。

8.4.3 一氧化碳和二氧化碳分析仪

8.4.3.1 一般要求

8.4.3.1.1 应使用非色散红外线分析仪来测量这些成分，其设计应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。此分析子系统应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），温度控制都应与其相对应。

8.4.3.1.2 仪器是基于平行基准与样本气囊的非色散吸收红到线放射原理。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。

8.4.3.1.3 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。在做测量准备时应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，则应采取适当的预防措施。

8.4.3.2 性能规格

8.4.3.2.1 一氧化碳分析仪主要性能规格应为：

a) 总量程：相应量程中的 0 ppm～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±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±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±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±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，应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，则应确定、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。

8.4.3.2.2 二氧化碳分析仪主要性能规格应为：

a) 总量程：相应量程中的 0%～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±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±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±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±1%以下或±100 ppm，取其中大者；
g) 应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，则应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。

8.4.3.2.3 一氧化碳和二氧化碳分析仪主要性能规格应符合以下要求。

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℃的温度，稳定度为土 2℃。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) 应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±2%。如果超过，则应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，应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，应使用额外混合物来适当限定曲线形态。

8.4.4 氮氧化物分析仪

8.4.4.1 一般要求

8.4.4.1.1 应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，应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。

8.4.4.1.2 总的氮氧化物测量系统应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。

8.4.4.1.3 应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，应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应记录。这样一来，根据差值，便可得出二氧化氮的浓度。

8.4.4.1.4 所用仪器应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应限于那些能够耐氮氧化物腐蚀的材料，诸如不锈钢、玻璃等。各处的样本温度都应保持在与局部压力相一致的数值上，以避免水的冷凝。

8.4.4.1.5 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。在做测量准备时应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，则应采取适当的预防措施。

8.4.4.2 性能规格

8.4.4.2.1 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应符合以下要求。

a） 总量程：相应量程中的 0 ppm～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±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±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±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±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，应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浓度；

2） 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，则应确定、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±2%以上或±2 ppm，取其中大者。

j） 转化器：其设计和使用应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。

8.4.4.2.2 转化器的效率不得低于 90%。此效率值应用于将实测样本的二氧化氮值（即[NOx]c-[NO]）修正到如果效率不是 100%可能得出的数值。

8.5 一般测试程序

8.5.1 发动机运行

发动机应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，而且此设施还应符合8.4.1中规定的采样探头的安装要求。应按照规定的功率设定值进行测试。发动机应在每一设定值上稳定运转。

8.5.2 环境空气条件

8.5.2.1 应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，对此应酌情予以纠正或避免。

注：作为指南，正常的外界空中的二氧化碳浓度为0.03%，而且在正常条件下，外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。

8.5.2.2 还应避免诸如降水或过大风速等极端天气条件。

8.5.3 主要仪器的校准

8.5.3.1 本校准的总的目的是确认稳定度和线性。

8.5.3.2 应表明分析系统的校准在测试时是有效的。

8.5.3.3 对于碳氢化合物分析仪，这种校准应包括检查探测器的氧气和不同碳氢化合物响应是否在8.4.2.1 所规定的极限内。还应检查和验证二氧化氮/一氧化氮转化器的效率，以符合 8.4.4 的要求。

8.5.3.4 应采用下列程序检查每一分析仪的性能（使用 8.5.3 和 8.5.4 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，应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），则应为运行制备一条校准曲线。

8.5.3.5 校准气体如表 3：

表3 校准气体表

分析仪	气体	精度[a]
碳氢化合物（HC）	零空气中的丙烷	±2%或±0.05 ppm[b]
二氧化碳（CO2）	零空气中的二氧化碳	±2%或±100 ppm[b]
一氧化碳（CO）	零空气中的一氧化碳	±2%或±2 ppm[b]
氮氧化物（NOx）	零氮气中的氮氧化物	±2%或±1 ppm[b]
注：在正常运行使用中需要用上述气体做分析仪的例行校准。		
[b] 使用 95%以上的置信区间。 [c] 取其中大者。		

8.5.3.6 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。

8.5.3.7 为一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物分析仪规定的零气体应为零空气（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，应使用零氮气作为零气体。两种零气体中的杂质应限制在小于以下浓度：

a) 碳 1 ppm；
b) 一氧化碳 1 ppm；
c) 二氧化碳 100 ppm；
d) 氮氧化物 1 ppm。

8.5.4 运行

8.5.4.1 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，应检查系统是否渗漏，方法是隔离探头和分析仪，连接并操作一个性能类似于烟雾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1：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2：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。

8.5.4.2 应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，直至获得一个应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重检。如果任何一点的变化超过所取量程的满刻度的±2%，则应将仪器恢复到其规格内，重复进行测试。

8.5.4.3 测试气体如表 4。

表4 测试气体表

分析仪	气体	精度[a]
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（NOx）	零氮气中的一氧化氮	±1%
注：需要用上述气体做8.4.2、8.4.3和8.4.4段中的测试。		
[d] 使用 95%以上的置信区间。		

8.5.4.4 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。

8.5.4.5 为一氧化碳、二氧化碳和碳氢化合物分析仪规定的零气体应为零空气（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，应使用零氮气作为零气体。两种零气体中的杂质应限制在小于以下浓度：

a） 碳 1 ppm；

b） 一氧化碳 1 ppm；

c） 二氧化碳 100 ppm；

d） 氮氧化物 1 ppm。

8.6 计算

8.6.1 气态排放物

8.6.1.1 概述

所做的分析性测量应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，还应按下述要求计算和报告其他参数。

8.6.1.2 对测量值的分析和验证

在每一发动机设定值下，在不同探头采样位置测得的浓度应得做如下算数平均：

$$C_i \cdot moy = \sum_{j=1}^{n} C_{ij} \quad (16)$$

式中：

C_{ij}——在第j个采样位置测得的样品i的浓度。

$C_i \cdot moy$——样品i的平均浓度。

所有的干浓度测量值应转成真的湿浓度。

$$\eta = \frac{n\sum_{j=1}^{n} C_{IJ}CO_{2j} - \sum_{j=1}^{n} CO_{2j}}{\sqrt{(\{n\sum_{j=1}^{n}(CO_{2j})^2 - (\sum_{j=1}^{n} CO_{2j})^2\}\{n\sum_{j=1}^{n} C_{ij}{}^2 - (\sum_{j=1}^{n} C_{ij})^2\})}} \quad (17)$$

每一污染物的测量质量将通过用下面的关联系数η与二氧化碳的各测量值做比较来确定。接近1的η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η值小于0.95，则应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。

8.6.1.3 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8.6.1.2所示进行估算，并已按第6章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：

$$EI_p(\text{成分 p 的排放指数}) = \frac{\text{所产生的 p 的质量(g)}}{\text{所用燃料的质量(kg)}} \quad (18)$$

式中：

$$EI(CO) = \left(\frac{[CO]}{[CO_2]+[CO]+[HC]}\right)\left(\frac{10^3 M_{CO}}{M_C + (n/m)M_H}\right)\left(1 + [CO_2]_b\left(P_0/m\right)\right) \quad (19)$$

式中：

$[CO]$ ——湿排气样本中一氧化碳的平均体积比气体浓度；

$[CO_2]$ ——湿排气样本中二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；

M_{CO} ——一氧化碳分子质量=28.011 g；

M_C ——碳原子质量=12.011 g；

n ——特性燃料分子中的氢原子数；

m ——特性燃料分子中的碳原子数；

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

M_H ——氢原子质量=1.008 g；

$[CO_2]_b$ ——干空气中的二氧化碳的体积气体浓度=0.0003。

$$EI(HC) = \left(\frac{[HC]}{[CO_2]+[CO]+[HC]}\right)\left(\frac{10^3 M_{HC}}{M_C + (n/m)M_H}\right)\left(1 + [CO_2]_b\left(P_0/m\right)\right) \quad (20)$$

式中：

M_{HC}——排气碳氢化合物(视同甲烷)的分子质量=16.043 g。

$$EI(NOx)\ \text{as}\ NO_2 = \left(\frac{[HC]}{[CO_2]+[CO]+[HC]}\right)\left(\frac{10^3 M_{HC}}{M_C + (n/m)M_H}\right)\left(1 + [CO_2]_b\left(P_0/m\right)\right) \quad (21)$$

$$\text{空气/燃料比} = P_0/m\left(\frac{M_{AIR}}{M_C + (n/m)M_H}\right) \quad (22)$$

式中：

M_{AIR}——干空气分子质量。

一般，M_{AIR}=28.966 g，或在适当的情况下：

$$M_{AIR} = (32R + 28.1564S + 44.011T)\ g \quad (23)$$

式中：

R——正常情况下干空气中的氧气的体积浓度=0.2095；

S——正常情况下干空气中的氮气+稀有气体的体积浓度=0.7092；

T——正常情况下干空气中的二氧化碳的体积浓度=0.0003。

$$P_0/m = \frac{2Z-n/m}{4(1+h_{vol}-[[CO_2]_b Z/2])} \quad (24)$$

式中：

h_{vol} ——外界空气的湿度，水体积/干空气体积。

$$Z = \frac{2-[CO]-([2/x]-[y/2x])[HC]+[NO_2]}{[CO_2]+[CO]+[HC]} \quad (25)$$

式中：

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；

$[NO_2]$——湿排气样本中二氧化氮的平均体积浓度。

$$[NO_2] = \frac{([NO_x]_c-[NO])}{\eta} \quad (26)$$

式中：

$[NO_x]_c$ ——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；

[NO] ——湿排气样本中一氧化氮的平均体积比气体浓度；

η ——二氧化氮/一氧化氮转化器的效率。

$$[NO_x] = [NO + NO_2] \quad (27)$$

式中：

$[NO_x]$——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。

应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，则首先应按第6章所示，将这些值转换成对等的湿浓度。该章中还载有需要时使用的干扰修正公式。

注：8.6.1.4 和 8.6.2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，经批准后可使用类似的程序。

8.6.1.4 按基准条件修正排放指数

8.6.1.4.1 应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。湿度的基准值应为0.00634 kg 水/kg 干空气。

8.6.1.4.2 修正后的 EI=K×实测 EI，式中 K 的广义化表达式是：

$$K = (PBref/PB)a \times (FARref/FARB)b \times \exp([TBref-TB]/c) \times \exp(d[h_{vol}-0.00634]) \quad (28)$$

式中：

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；

PB ——实测燃烧室进口压力；

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。

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；

FARB ——燃烧室的燃料/空气比；

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；

TB ——实测燃烧室进口温度；

h_{vol} ——外界空气湿度，水体积/干空气体积。。

8.6.1.4.3 使用推荐的曲线拟合方法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，（FARref/FAR_B）项可认为是 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 1，可从表达式中去除，而且（P_{Bref}/P_B）项的指数接近 1。因此：

——修正后的 EI(CO)=由(P_B/P_{Bref})•EI(CO)对 T_B 曲线导出的 EI；

——修正后的 EI(HC)=由(PB/PBref)•EI(HC)对 T_B 曲线导出的 EI；

——修正后的 EI(NOx)=由 EI(NOx)$(P_{Bref}/P_B)^{0.5\ exp}$ (19[hvol - 0.00634])对 T_B 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。

8.6.1.4.4 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应得到批准。

8.6.2 参数计算(Dp、Foo、π)

8.6.2.1 *Dp* 为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。*Foo* 为经批准的，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 为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。

8.6.2.2 应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 8.6.1.4 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。应为每一种污染物确定下列关系：

a) EI 与 T_B 之间；

b) Wf（发动机燃料质量流速）与 T_B 之间；

c) Fn（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。

图6 a)、b)和c)描绘了这些关系。

8.6.2.3 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。制造商还应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：

a) 最大额定推力(Foo)；

b) 最大额定推力下的发动机增压比(π_{oo})。

图6 d)描绘了这些关系。

8.6.2.4 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，应符合下述一般程序：

a) 在每一模式的国际标准大气推力条件 Fn 下，确定等效燃烧室进口温度(TB)（图 6c)）；

b) 由 EI/T_B特性（图 6a)）确定对应于 T_B的 EIn 值；

c) 由 Wf/T_B特性（图 6b)）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_{OO} 和 π（图 6d)；

e) 为每一污染物计算：

$$Dp = \mathrm{L}(\mathrm{EI}n)(W_{fn})(t) \quad \cdots\cdots (29)$$

式中：

W_{fn}——燃料质量流速(kg/min)；

t——着陆和起飞模式中的时间(min)。

注：尽管上面描述的方法为推荐的方法，但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。

通过上述参数计算得出了Dp值，与发动机额定推力共同确定出气态排放物的度量值。

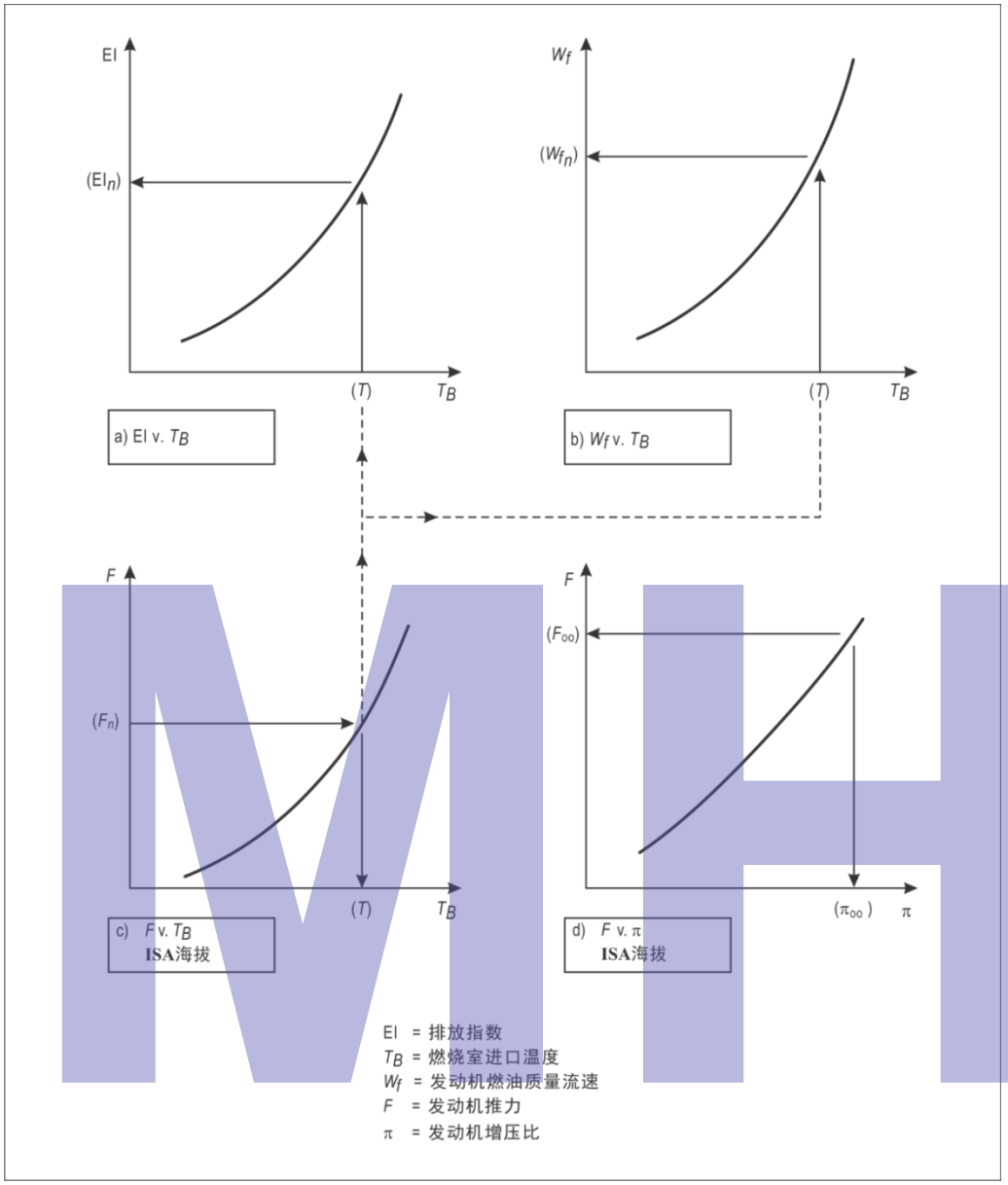


图6 计算程序

9 气态排放物、烟雾和微粒物质排放物的符合性要求

9.1 一般要求

应遵守下述一般原则，以证明符合ICAO附件16卷II第III部分2.2、2.3、3.2、3.3和4.2所阐明的规定水平。

a) 应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) 应考虑到审定测试过程中得到的全部结果；
c) 应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，就应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)应被视为该台发动机(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) 制造商应酌情提供 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；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/616005133155010104