ICS 27.020
CCS J 92

团　　体　　标　　准

T/CSICE 002-2023

重型车用发动机污染物排放测量（高原）法

Measurement (plateau) method of emissions from heavy-duty vehicle engines

2023-12-04 发布　　2023-12-04 实施

中国内燃机学会　发 布

目　次

前　言 III
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　试验条件 2
4.1　环境要求 2
4.2　燃料、润滑油等要求 3
4.3　发动机试验台架要求 3
5　试验程序 3
5.1　发动机安装 3
5.2　发动机边界条件控制 3
5.3　曲轴箱排放 4
5.4　试验流程 4
6　试验结果 6
附录 A(规范性)　注意事项 7
A.1　燃料 7
A.2　机械安全 7
A.3　标气 7
附录 B(资料性)　发动机高原测试边界条件确认方法 8
B.1　概述 8
B.2　模拟法确认发动机边界条件 8
B.3　计算法确认发动机边界条件 8
附录 C(资料性)　进排气海拔模拟系统 11
C.1　概述 11
C.2　进排气海拔模拟系统原理 11
C.3　进排气海拔模拟系统要求 11
附录 D(资料性)　发动机高原排放循环台架污染物排放试验报告 13
D.1　HPSC 结果报告格式 13
D.2　HPTC 结果报告格式 13
D.3　WNTE 结果报告格式 14

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。

本文件由中国内燃机学会标准管理部提出。

本文件由中国内燃机学会归口。

本文件起草单位：中汽研汽车检验中心（昆明）有限公司、中国内燃机学会、中汽研汽车检验中心（天津）有限公司、天津大学、昆明理工大学、潍柴动力股份有限公司、广西玉柴机器股份有限公司、昆明云内动力股份有限公司、安徽江淮汽车股份有限公司。

本文件主要起草人：郑永明、胥峰、刘典云、杨国峰、裴毅强、雷基林、吴春玲、陈玮、李万洋、曹斌、何述超、邓伟、解礼兵、李世峰、吉江林、赵龙龙。

本文件于2023年首次发布。

重型车用发动机污染物排放测量（高原）法

警告：本标准的应用可能涉及到某些有危险性的材料、操作和设备，但未对与此有关的所有安全问题都提出建议。因此，用户在使用本标准之前有责任制定相应的安全和防护措施（见附录A），并确定相关规章限制的适用性。

1 范围

本文件规定了在高原环境下重型车装用压燃式发动机所排放的气态和颗粒污染物的测试方法；以及在高原环境下重型车装用以天然气（NG）或液化石油气（LPG）作为燃料的点燃式发动机所排放的气态污染物的测量方法。

本文件适用于压燃式或气体燃料点燃式车用发动机在发动机台架上开展高海拔排放测试，重型汽油机、非道路移动机械用发动机的高原排放测试也可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 11121—2006 汽油机油

GB 11122—2006 柴油机油

GB 17691—2018 重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）

GB 29518—2013 柴油发动机氮氧化物还原剂 尿素水溶液

GB 29743.1—2022 机动车冷却液 第1部分：燃油汽车发动机冷却液

3 术语和定义

GB 17691—2018中确立的及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

平原 plain

指海拔高度不高于1000米的地区。

3.2

高原 plateau

指海拔高度在1000米以上的地区。

3.3

最大瞬态性能转速 maximum transient performance speed

指最大净功率的70%所对应的最高发动机转速×1.02或扭矩降为0的转速的较小者。

3.4

平原瞬态性能曲线 plain transient performance curve

指在平原环境下按5.4.1的要求生成的瞬态性能曲线。

3.5

高原瞬态性能曲线 plateau transient performance curve

指在高原环境下按 5.4.1 的要求生成的瞬态性能曲线。

3.6

瞬态循环（WHTC） world harmonised transient cycle

指 GB 17691—2018 标准附录 C 中包含 1800 个逐秒变换工况的瞬态试验循环。

3.7

稳态循环（WHSC） world harmonised steady state cycle

指 GB 17691—2018 标准附录 C 中包含 13 个稳态工况的试验循环。

3.8

高原瞬态循环（HPTC） high plateau transient cycle

指本标准 5.4 条中规定的包含 1800 个逐秒变换工况的瞬态试验循环。

3.9

高原稳态循环（HPSC） high plateau steady state cycle

指本标准 5.4 条中规定的包含 13 个稳态工况的试验循环。

3.10

非标准循环（WNTE） world-harmonized not-to-exceed

指 GB 17691-2018 标准附录 E 中包含特定区域内随机工况的试验循环。

4 试验条件

4.1 环境要求

4.1.1 环境条件要求

大气压力：不低于 54 kPa

环境温度不高于按下式计算值：

$$T=-0.4514\times(101.3-P_b)+311$$

式中：

T——环境温度，K；

P_b——大气压力，kPa。

4.1.2 推荐试验环境条件

表 1 推荐试验环境条件

海拔高度/m	环境压力/kPa	环境温度/℃	环境湿度/%
0	101.3	25.0	50.0
1000	89.9	23.0	50.0
1900	80.5	21.0	50.0
2400	75.6	20.0	50.0
2700	72.8	19.5	50.0
3000	70.1	19.0	50.0
3500	65.8	18.0	50.0
4000	61.6	17.0	50.0

表 1（续）

海拔高度/m	环境压力/kPa	环境温度/℃	环境湿度/%
4500	57.7	16.0	50.0
5000	54.0	15.0	50.0
其中，环境压力（海拔）偏差在±2 kPa（200 米）以内，环境温度偏差在±3 ℃以内，环境湿度偏差在±10%以内。			

4.2 燃料、润滑油等要求

试验用燃料应是 GB 17691-2018 附录 D 规定的基准燃料或其他符合国家标准的市售燃料。试验用润滑油应满足 GB 11122-2006、冷却液应满足 GB 29743.1-2022、尿素水溶液应满足 GB 29518-2013 的要求，润滑油、冷却液以及尿素水溶液的牌号和规格，应符合生产企业的要求。

4.3 发动机试验台架要求

4.3.1 仪器仪表精度应符合GB 17691—2018标准对发动机试验测量精度的要求；

4.3.2 发动机进气温度、冷却液温度等，可通过温控设备精确控制；

4.3.3 具备满足 GB 17691—2018 标准要求的台架排放测试设备；

4.3.4 采用满足附录C或能够实现环境模拟功能的发动机试验台架时，海拔模拟误差不超过200米（模拟压力精度≤±2 kPa）。

5 试验程序

5.1 发动机安装

排放试验用辅件及设备安装应满足 GB 17691—2018 附录 CG 的要求。

5.2 发动机边界条件控制

5.2.1 中冷后温度控制

对增压发动机，如果采用了实验室增压空气冷却系统或外部鼓风机，发动机额定工况下的增压空气温度，应保持在生产企业规定的高原环境下最大值的±5 K 范围内；生产企业提供的高原环境下的最大值不应高于生产企业规定的平原环境下最大值，生产企业无法提供高原环境下的发动机边界条件控制要求的，测试机构可按照附录 B 的要求确认发动机边界条件。

除非出现增压空气冷却过度现象，否则在整个实验循环中不允许改变冷却介质的温度和流量。生产企业应在试验前根据实际装车的工程经验给出增压空气冷却容积，实验室应在整个试验循环中使用增压空气冷却器，且在排放试验开始前放净冷凝水。

对于非增压发动机无中冷后温度控制要求。

5.2.2 中冷压降控制

对增压发动机，如果采用了实验室增压空气冷却系统或外部鼓风机，发动机额定工况下的增压空气冷却系统压降，应保持在生产企业规定的高原环境下最大值的±1 kPa 范围内；生产企业提供的高原环境下的最大值不应高于生产企业规定平原环境下的最大值，生产企业无法提供高原环境下的发动机边界条件控制要求的，测试机构可按照附录 B 的要求确认发动机边界条件。

对于非增压发动机无中冷压降控制要求。

5.2.3 进气负压控制

应采用一套发动机进气系统或实验室系统，此系统能够控制发动机额定工况下的进气真空度，使其在生产企业规定的要求上限值的±0.3 kPa 范围内；生产企业提供的高原环境下的最大值不应高于生产企业规定的平原环境下最大值，生产企业无法提供高原环境下的发动机边界条件控制要求的，测试机构可按照附录 B 的要求确认发动机边界条件。测量位置由生产企业规定。

5.2.4 排气背压控制

应采用一套发动机或实验室的排气系统，此系统能够控制发动机额定工况下的排气背压，使其在规定的上限值的 80%～100%；生产企业提供的高原环境下的最大值不应高于生产企业规定的平原环境下最大值，生产企业无法提供高原环境下的发动机边界条件控制要求的，测试机构可按照附录 B 的要求确认发动机边界条件。如果规定的上限值≤5 kPa，则控制在规定的上限值的±1 kPa 内，排气系统应满足 GB 17691—2018 附录 CB 对排气取样的要求。

5.3 曲轴箱排放

发动机曲轴箱排放测量方法应满足 GB 17691—2018 附录 C 的要求。

5.4 试验流程

5.4.1 发动机瞬态性能曲线

发动机热机完成并稳定运转后，按照下列步骤进行发动机瞬态性能的测试：

a）发动机应卸载，并在怠速转速下运行；

b）发动机应在喷油泵全负荷设定及怠速转速的情况下运行；

c）发动机从怠速转速至最大瞬态性能转速的平均增加率为 8±1 (r/min)/s。或使用一个恒定的速率使怠速转速在 4～6 分钟内增加到最大瞬态性能转速。应以至少每秒一点的取样率对发动机转速和扭矩进行记录。为确定负扭矩，可以在瞬态性能测试后直接设定到最小油门，从最大瞬态性能转速降至怠速转速。

5.4.2 高原试验循环转速的形成

依据 GB 17691—2018 附录 C.6.4.6 的要求，基于发动机平原瞬态性能曲线生成 WHTC 循环的实际转速作为高原瞬态循环（HPTC）的实际转速。

依据 GB 17691—2018 附录 C.6.4.6 的要求，基于发动机平原瞬态性能曲线生成 WHSC 循环的实际转速作为高原稳态循环（HPSC）的实际转速。

5.4.3 高原试验循环扭矩的形成

高原试验循环的扭矩值应使用实际值，根据平原瞬态性能曲线和高原瞬态性能曲线，对应第 5.4.2 确定的各个实际转速，按照下列公式形成高原试验循环的实际扭矩：

$$M_{ref,i} = Min(M_{平原ref,i}，M_{高原max,i})$$

其中：

$$M_{平原ref,i} = M_{norm,i}/100 \times M_{平原max,i} + M_{f,i} + M_{r,i}$$

式中：

$M_{ref,i}$ ——高原实际扭矩，N·m；

$M_{平原\ ref,i}$——基于平原瞬态性能曲线确定的 WHTC 和 WHSC 循环实际扭矩，N·m；

$M_{高原\ max,i}$——高原瞬态性能曲线确定的最大扭矩值，N·m；

$M_{norm,i}$ ——GB 17691-2018 附录 CJ（WHTC）和表 C.1（WHSC）中的发动机测功机扭矩规范值百分比，是各个转速下的最大扭矩的标准百分比，%；

$M_{平原\ max,i}$——平原瞬态性能曲线确定的最大扭矩值，N·m；

$M_{f,I}$ ——应安装的附件/设备吸收的扭矩，N·m；

$M_{r,I}$ ——应拆除的附件/设备吸收的扭矩，N·m。

如果按照 GB 17691-2018 中 C.5.3.1 条和附件 CG 进行附件/设备的安装，$M_{f,i}$和 $M_{r,i}$均为 0。

为生成高原试验循环，反拖点（GB 17691-2018 附件 CJ 中的“m”）的负扭矩值应取实际值，由下列任一方法确定：

a）在相关转速点下，用高原瞬态性能曲线对应转速的正扭矩的 40%作为负扭矩；

b）在高原环境下从最大瞬态性能转速到怠速转速反拖发动机，进行负扭矩的发动机瞬态性能曲线测定；

c）在高原环境下的怠速和按 5.4.2 条计算的最大转速下反拖发动机确定负扭矩，并在这两点之间进行线性内插。

按上述方法生成的 HPTC 循环工况（扭矩值）如图 1、HPSC 循环工况如图 2。

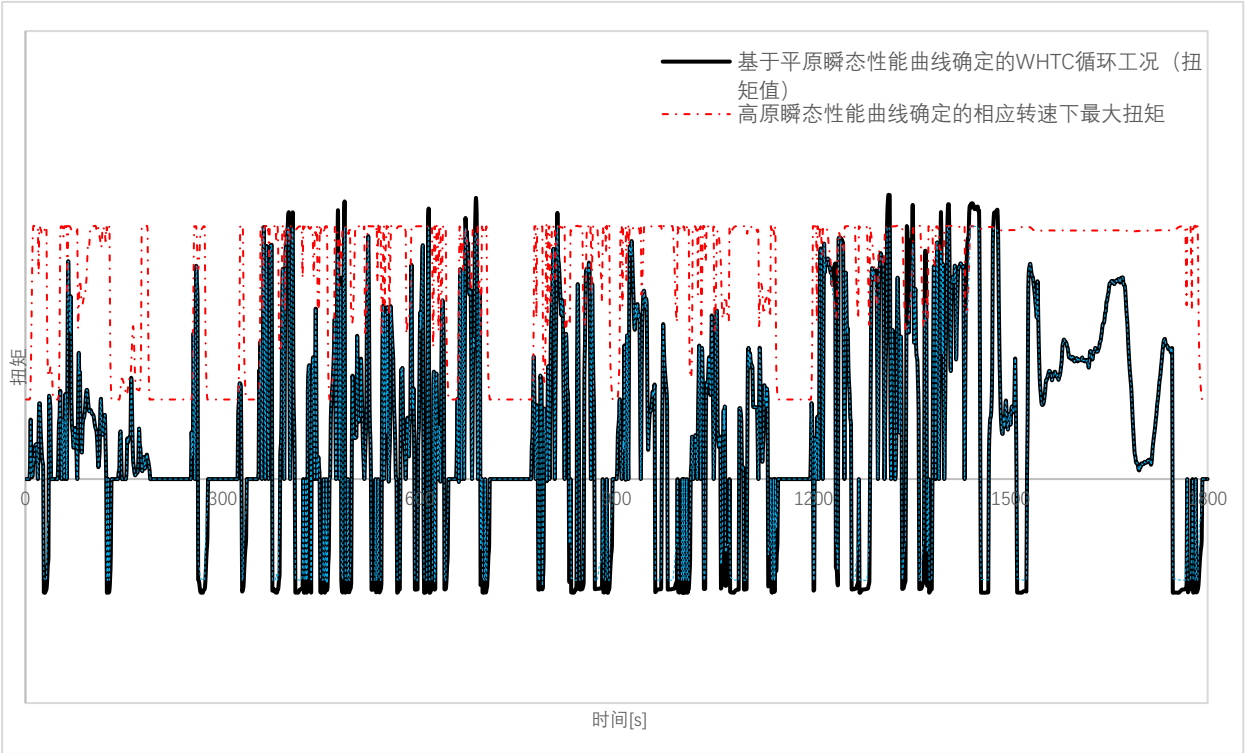


图 1 HPTC 高原工况(扭矩值)

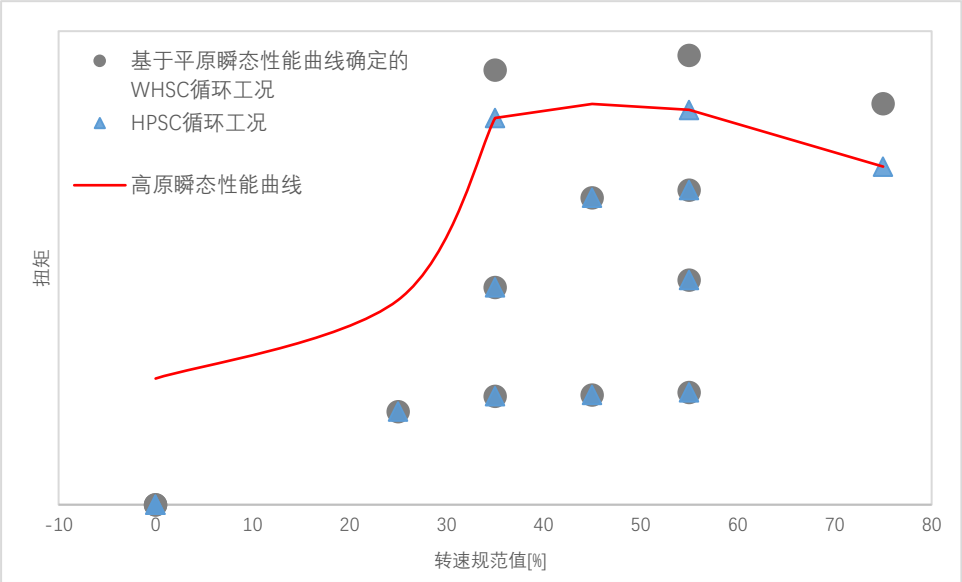


图 2　HPSC 高原工况

5.4.4　排放循环测试流程

HPTC 和 HPSC 的试验流程按照 GB 17691—2018 附录 C.6.3 WHTC 与 WHSC 的要求进行。

5.4.5　非标准循环测试要求

WNTE 的测试要求按照 GB 17691—2018 附录 E.6 的要求进行。

6　试验结果

按照GB 17691—2018中规定的方法计算试验结果，污染物排放的劣化按照GB 17691—2018附录H的要求确定，并按附录D的要求报告结果。

附 录 A
（规范性）
注意事项

A.1 燃料

规范燃油管路布置，设置燃油温度、压力、泄露监测与报警装置，减少因不安全因素造成的安全事件。

A.2 机械安全

发动机台架安装，做好紧固件安全状态标志，每次试验前做好点检，确保发动机各部件都处于安全链接状态。

A.3 标气

试验过程所用标气均需要单独存放，定期检查，标气间设置强制通风、气体浓度检查与报警装置，失效及不合规标气禁用。

附 录 B
（资料性）
发动机高原测试边界条件确认方法

B.1 概述

本附录描述了发动机高原测试时，边界条件确认方法。

B.2 模拟法确认发动机边界条件

发动机在完成台架搭载，通过海拔模拟装置将发动机的环境压力（进排气压力）模拟至平原状态，按生产企业的要求在发动机额定点锁定排气背压阀开度、进气负压阀开度、中冷压降阀开度及中冷后温度比例阀开度后，将海拔模拟至需要的高原环境开展试验。

B.3 计算法确认发动机边界条件

通过以下方法确定发动机在高原环境下额定点的排气背压、进气负压、中冷压降和中冷后温度。

B.3.1 压力损失与气体流量的关系

当系统一定时，气流经过系统产生的压降与气体体积流量和质量流量成正相关性，关系式如公式（B.1）：

$$\Delta P = k \times V_{流量} \times m_{气体} \quad \text{（B.1）}$$

其中：

$$V_{流量} = m_{气体} / \rho_{系统前} = m_{气体} / \left[（T_{标} \times P_{系统前} \times \rho_{标}） / （T_{系统前} \times P_{标}） \right] \quad \text{（B.2）}$$

式中：

ΔP ——系统压降；

k ——关系式的常数项；

$V_{流量}$ ——气体体积流量，m^3/min；

$m_{气体}$ ——气体质量流量，kg/min；

$\rho_{系统前}$——系统入口气体密度，kg/m^3；

$T_{标}$ ——标准温度，取 273.15 K；

$P_{系统前}$ ——系统入口压力，kPa；

$\rho_{标}$ ——在 101.13 kPa，273.15 K 下的气体密度，kg/m^3；

$T_{系统前}$ ——系统入口温度，K；

$P_{标}$ ——标准大气压力，取 101.13 kPa。

通过多次测量不同流量（应不少于 8 个点，且均匀分布）下的系统压降，并采用最小二乘法拟合不同体积流量与质量流量乘积与系统压降的方程（如图 A.1 所示），求解常数 k，同时 R^2 值应不小于 0.95。

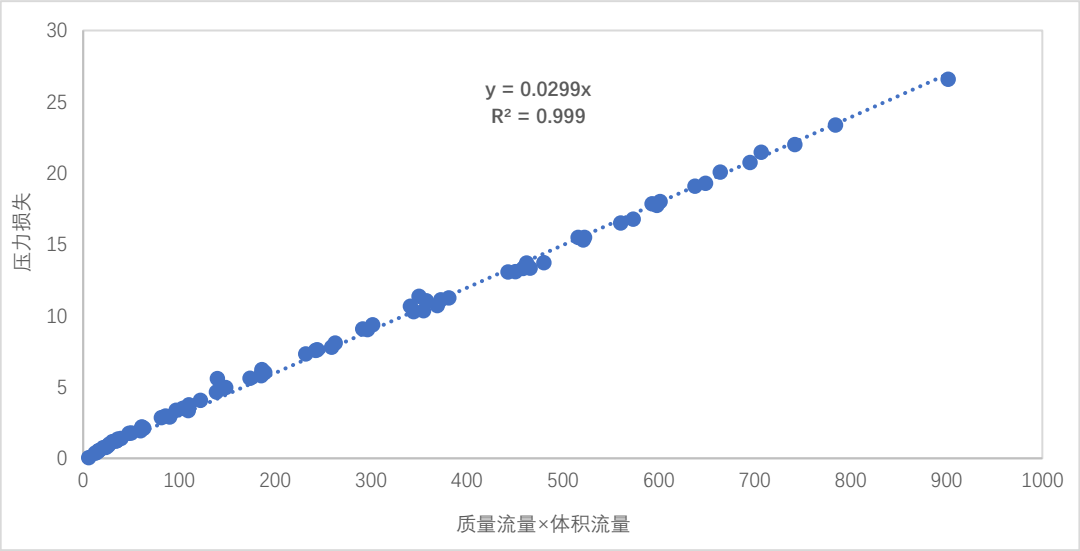


图 B.1　系统压降与气体流量的关系

B.3.2　高原环境下排气背压设置

在平原环境条件下，测试不同流量（至少 8 个工况点，且应包括最大压降点）下的排气系统压降，记录进气流量、燃油流量、排气系统入口压力/温度、排气系统出口压力/温度等参数，通过 B.3.1 描述的步骤求解公式（B.1）的常数项 k。

在高原环境下，按生产企业的要求在额定工况点，测量当前进气流量和燃油流量、排气系统入口压力/温度等参数，按 B.3.1 中的公式（B.2）计算排气体积流量，并代入排气系统压降与排气体积流量和质量流量乘积的公式（B.1）中，求解当前排气体积流量和质量流量乘积下的系统压降，按求解的压降设置排气背压。

B.3.3　高原环境下进气负压设置

在平原环境条件下，测试不同流量（至少 8 个工况点，且应包括最大压降点）下的进气负压，记录进气流量、进气系统入口压力/温度、进气系统出口压力/温度等参数，通过 B.3.1 描述的步骤求解公式（B.1）的常数项 k。

在高原环境下，按生产企业的要求在额定工况点，测量当前进气流量、进气系统入口压力/温度等参数，按 B.3.1 中的公式（B.2）计算进气体积流量，并代入进气系统压降与进气体积流量和质量流量乘积的公式（B.1）中，求解当前气体体积流量和质量流量下的系统压降，按求解的压降设置进气负压。

B.3.4　中冷压降及温度设置

对于增压中冷的发动机，应在平原环境条件下，测试不同流量（至少 8 个工况点，且应包括最大压降点）下的中冷压降，记录进气流量、中冷系统入口压力/温度、中冷系统出口压力/温度等参数，通过 B.3.1 描述的步骤求解公式（B.1）的常数项 k。

B.3.4.1　中冷压降的设置

在高原环境下，按生产企业的要求在额定工况点，测量当前进气流量、中冷系统入口压力/温度等参数，按 B.3.1 中的公式（B.2）计算进气体积流量，并代入中冷系统压降与进气体积流量公式（B.1）中，求解当前进气体积流量下的系统压降，按求解的压降设置中冷压降。

B.3.4.2 中冷后温度的设置

在高原环境下，假设发动机中冷器的散热能力与平原保持一致不变，则中冷后温度仅与中冷器的入口进气流量和入口进气温度成正相关，如公式（B.3）所示。

$$T_{中冷后} = a \times （m_{气体} \times T_{中冷前}） + b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots （B.3）$$

式中：

$T_{中冷后}$——中冷器出口进气温度，℃；

a、b——关系式的常数项；

$m_{气体}$——中冷器入口进气流量，kg/h；

$T_{中冷前}$——中冷器入口进气温度，℃。

对于增压中冷的发动机，应在平原环境条件下，测量不同中冷器入口进气流量和入口进气温度（应不少于8个点，且均匀分布）下的中冷器出口温度，求解常数项a、b，并代入公式（B.3）求解高原环境下额定工况点的中冷后温度。

附 录 C
（资料性）
进排气海拔模拟系统

C.1 概述

本附录描述了发动机进排气海拔模拟系统的基本要求。由于实现大气环境模拟的原理和方式有多种，故不要求完全符合本附录的配置要求，只要能够满足大气环境模拟的精度要求即可。

C.2 进排气海拔模拟系统原理

进排气海拔模拟系统原理如图 C.1，通过模拟发动机进气系统入口和排气系统出口空气压力达到等效模拟发动机所处海拔的目的，进气条件控制单元对发动机进气压力管路进行加压模拟，而排气条件控制单元对排气管路抽负压，并通过将进气管路与排气管路连通，实现进气压力与排气压力联动，同时通过前后节流阀实现模拟压力的精确调整，使发动机在变工况下进排气压力稳定，不同海拔对应环境压力如图 C.2。

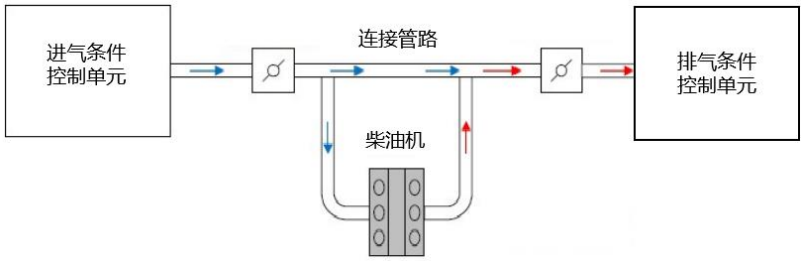


图 C.1 进排气海拔模拟系统原理

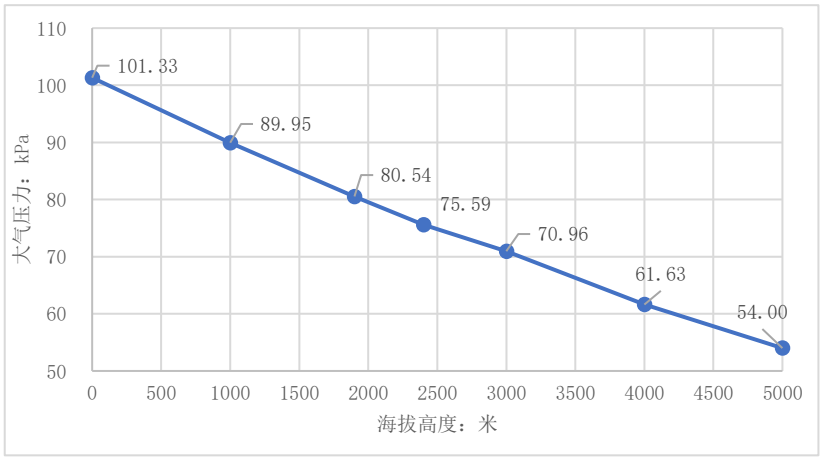


图 C.2 海拔与大气压力的关系

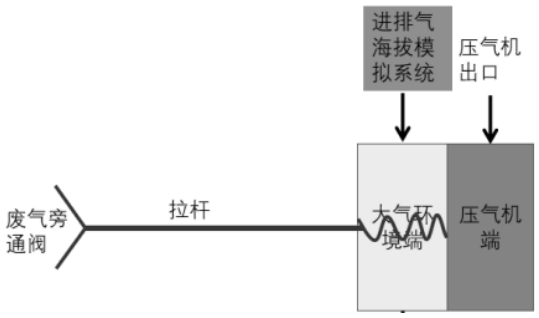
C.3 进排气海拔模拟系统要求

C.3.1 使用前的要求

进排气海拔模拟系统在每次使用前，应对管路内的残余废气进行吹扫。

C.3.2 对发动机增压器的要求

若发动机的增压器为废气涡轮增压器，运用进排气海拔模拟系统模拟发动机进排气压力时（不同于环境压力），应避免由于控制阀压气机端与大气环境端压力不一致，影响废气旁通阀的开启。例如可以通过调节涡轮增压器旁通阀拉杆长度调整旁通阀执行器中弹簧的预紧力，抵消涡轮增压器控制阀压气机端与大气环境端腔体的基准压力差；或如图 C.3 将废气旁通执行器大气环境端腔体接入进排气海拔模拟系统中，抵消腔体两端压力差，并保证大气环境端腔体压力与海拔模拟系统压力保持一致。



图C.3 涡轮增压器旁通控制阀

C.3.3 对发动机曲轴箱污染物排放测试的要求

运用进排气海拔模拟系统模拟发动机进排气压力时，若发动机曲轴箱为开式曲轴箱，应将曲轴箱排放量增加到尾气排放量中。例如曲轴箱排气被引入到后处理或排放控制装置的下游，且在排放取样探头的上游，并在取样前完成与发动机尾气排气的充分混合，但应保证发动机曲轴箱在整个海拔模拟排放试验过程中的密闭性，同时关注机油压力和液位变化情况，防止进行高海拔模拟时机油消耗过快导致润滑系统工作不正常。

附 录 D
（资料性）
发动机高原排放循环台架污染物排放试验报告

D.1 HPSC 结果报告格式

测试海拔：_____m（□模拟、□实地） 环境压力：_____kPa

检验项目	测试结果	劣化系数（指定）	测试劣化系数(乘或加)	劣化修正结果
CO/(mg/kW·h)				
NO_x/(mg/kW·h)				
THC/(mg/kW·h)				
NMHC/(mg/kW·h)				
CH_4/(mg/kW·h)				
NH_3/ ppm				
PM/(mg/kW·h)				
PN/(#/kW·h)				
CO_2/(g/kW·h)				
燃油消耗量/(g/kW.h)				

D.2 HPTC 结果报告格式

测试海拔：_____m（□模拟、□实地） 环境压力：_____kPa

检验项目	冷启动	热启动	加权结果	劣化系数（指定）	测试劣化系数(乘或加)	劣化修正结果
CO/(g/kW·h)						
NO_x/(mg/kW·h)						
THC/(mg/kW·h)						
NMHC/(mg/kW·h)						
CH_4/(mg/kW·h)						
NH_3/ppm						
PM/(mg/kW·h)						
PN/(#/kW·h)						
CO_2/(g/kW·h)						
燃油消耗量/(g/kW·h)						

D.3 WNTE 结果报告格式

测试海拔：_____m（□模拟、□实地）　　环境压力：_____kPa

检验项目	实测结果
CO/(mg/kW·h)	
THC/(mg/kW·h)	
NO_x/(mg/kW·h)	
PM/(mg/kW·h)	
CO_2/(g/kW·h)	