

中小功率内燃机 第2部分：试验方法

1 范围

本文件规定了中小功率内燃机（标定功率不大于560 kW）的试验方法。

本文件适用于道路车辆、船舶、农用拖拉机和林业机械、工程机械、发电机组、排灌机械用中小功率内燃机（以下简称内燃机），其它目前尚无适用标准的中小功率内燃机也可参照执行。

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。

- GB 384—1981 石油产品热值测定法
- GB/T 1147.1—202x 中小功率内燃机 第1部分：通用技术条件
- GB/T 1859(所有部分) 往复式内燃机 声压法声功率级的测定
- GB/T 3821 中小功率内燃机 清洁度限值 and 测定方法
- GB/T 5741—2008 船用柴油机排气烟度测量方法船用柴油机排气烟度测量方法
- GB/T 6072.1—2008 往复式内燃机 性能 第1部分：功率、燃料消耗和机油消耗的标定及试验方法 通用发动机的附加要求
- GB/T 6072.3—2008 往复式内燃机 性能 第3部分：试验测量
- GB/T 7184—2023 往复式内燃机 振动评定方法
- GB/T 9486 柴油机 稳态排气烟度及测定方法
- GB/T 9487—2008 柴油机自由加速排气烟度的测量方法
- GB/T 9911 船用柴油机辐射的空气噪声测量方法
- GB/T 10398—2008 小型汽油机 振动评级和测试方法
- GB/T 12542—2009 汽车热平衡能力道路试验方法
- GB 14762—2008 重型车用汽油发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法（中国III、IV阶段）
- GB 15097—2016 船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）
- GB/T 15371—2023 往复式内燃机 曲轴轴系扭转振动评定方法
- GB/T 17619—1998 机动车电子电器组件的电磁辐射抗扰性限值和测量方法
- 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 17692—2024 汽车用发动机净功率测试方法
- GB 18047—2017 车用压缩天然气
- GB/T 18297—2024 汽车发动机性能试验方法
- GB 18352.6—2016 轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）
- GB/T 18655—2018 车辆、船和内燃机 无线电骚扰特性用于保护车载接收机的限值和测量方法
- GB/T 19055—2024 汽车发动机可靠性试验方法
- GB 19757—2005 三轮汽车和低速货车加速行驶车外噪声限值及测量方法（中国I、II阶段）
- GB/T 20651.1 往复式内燃机 安全 第1部分：压燃式发动机
- GB/T 20651.2 往复式内燃机 安全 第2部分：点燃式发动机

- GB 20891—2014 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）
- GB/T 21404—2022 内燃机 发动机功率的确定和测量方法 一般要求
- GB 26133—2010 非道路移动机械用小型点燃式发动机排气污染物排放限值和测量方法（中国第一、第二阶段）
- GB/T 28046.2—2019 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第2部分：电气负荷
- GB/T 28239—2020 非道路用柴油机燃料消耗率限值及试验方法
- GB/T 37170—2018 固定式燃气发动机安全技术规范
- GB/T 37692—2019 非道路移动机械用小型点燃式发动机工况法燃料消耗率限值与测量方法
- GB/T 38750.1—2020 往复式内燃机能效评定规范 第1部分：柴油机
- GB/T 38750.2—2020 往复式内燃机能效评定规范 第2部分：汽油机
- CB/T 3253—2013 船用柴油机技术条件
- CB/T 3254（所有部分） 船用柴油机台架试验
- CB/T 3256—2013 船用柴油机振动评级
- CB/T 3325—2013 船用柴油机轴系扭转振动评级
- JB/T 4198.2 工程机械用柴油机 第2部分：性能试验方法
- JB/T 4198.3 工程机械用柴油机 第3部分：可靠性、耐久性试验
- CB/T 4389.7—2013 船舶设备环境参数测量方法 第7部分：霉菌
- CB/T 4389.5—2013 船舶设备环境参数测量方法 第5部分：盐雾
- JB/T 5135.2—2013 通用小型汽油机 第2部分：台架性能试验方法
- JB/T 5135.3—2013 通用小型汽油机 第3部分：可靠性、耐久性试验与评定方法
- JB/T 5144 工程机械用汽油机 性能试验方法
- JB/T 8127 内燃机 燃油加热器
- JB/T 10629—2006 燃气机 通用技术条件和试验方法
- JB/T 11323—2013 中小功率柴油机 可靠性评定方法
- JB/T 13553—2018 柴油机 热平衡试验方法
- JB/T 14238—2023 绿色设计产品评价技术规范 柴油发动机
- QC/T 731—2005 汽车用起动机技术条件
- QC/T 29106—2014 汽车电线束技术条件

3 术语和定义

GB/T 6072.1—2008、GB/T 6072.3—2008、GB/T 1147.1—202X、JB/T 10629—2006界定的术语和定义适用于本文件。

4 试验条件

- 4.1 试验前制造厂应提供包括内燃机技术参数、连接接口、安装说明等信息的技术文件，试验样机应符合产品图样和技术文件的要求。
- 4.2 试验样机应装有产品技术文件或有关标准规定的全部附件或与应装备附件相当的替代设备。若试验时不装尾气净化器、排气消声器、排气管等排气管路附件，制造厂技术文件中指定的排气背压不大于 20 kPa，则试验装置的排气背压与制造厂技术文件中指定的排气背压偏差应小于 1 kPa；制造厂技术文件中指定的排气背压大于 20 kPa，则试验装置的排气背压与制造厂技术文件中指定的排气背压偏差应小于 5 %。试验时试验样机装有全部排气管路附件时，排气背压按上述要求执行。

- 4.3 试验前内燃机允许按制造厂提供的磨合规范进行磨合，磨合时间应不超过 45 h。
- 4.4 标准基准状况，功率和燃料消耗率的换算，以及试验设备精度均应符合 GB/ 6072.1—2008、GB/T 6072.3—2008 及其它相关标准的规定。非道路用柴油机加权燃料消耗率测量时，若环境状况不是标准环境状况，不对加权燃料消耗率进行修正；其余用途用内燃机试验时的环境大气状况（大气压力和进气温度）如偏离标准基准状况，需进行换算，并在试验报告中予以说明。
- 4.5 试验用燃料和机油应符合有关标准或内燃机制造厂使用说明书的规定。可燃气体应符合 JB/T 10629—2006 中 4.3 或 GB/T 18047 的规定。
- 4.6 除与传动装置(如液压机构、换向机构)制成一体或带有发电机的内燃机不能分开试验外，一般只对内燃机进行试验。
- 4.7 试验时内燃机的燃料、机油、进气空气和冷却介质温度（包括中冷器的冷却介质进口温度）等均应符合内燃机制造厂使用说明书或其他有关专业标准的规定。
- 4.8 试验时内燃机的燃料进/出口压力（气体、汽油机除外）、进气阻力、中冷器阻力等均应符合内燃机制造厂使用说明书或其他有关专业标准的规定，试验时试验样机应装有空滤及相应进气管路或替代装置，在额定功率工况点时试验样机的进气阻力与制造厂技术文件中指定的进气阻力偏差应小于 0.5 kPa。
- 4.9 试验时，可因试验条件和项目需要对内燃机进行调整。
- 4.10 电控高压共轨内燃机试验时需具备与试验机型相适应的线束、匹配有相应 ECU 数据的电控单元（ECU）及其对应的电控系统及其它附件。

5 试验和检查项目

内燃机的试验和检查项目由各专业标准规定。如无规定时，可参照表 1 进行。

表1 试验和检查项目

序号	参考章条号	试验、检查项目	试验类别		
			定型试验	出厂试验	抽查试验
1	7.1	起动性能试验	√	√（常温）	√（常温）
2	7.2	调速性能试验	√	▽	▽
3	7.3	负荷特性试验	√	▽	▽
4	7.4	标定功率试验	√	√	√
5	7.5	燃料消耗率试验	√	▽	√
6	7.6	速度特性试验	√	▽	▽
7	7.7	使用特性试验	▽	▽	▽
8	7.8	万有特性试验	√	▽	▽
9	7.9	标定功率工作稳定性试验	√	▽	√
10	7.10	空载特性试验	√	×	▽
11	7.11	最低可调空载转速测定（若适用）	√	√	√
12	7.12	最低满载持续转速测定	▽	▽	▽
13	7.13	各缸工作均匀性试验	√	▽	▽
14	7.14	机械效率测定	√	▽	▽
15	7.15	热平衡试验	▽	×	×
16	7.16	噪声测定	√	▽	√
17	7.17	排气烟度测定	√	▽	√

序号	参考章条号	试验、检查项目	试验类别		
			定型试验	出厂试验	抽查试验
18	7.18	排气排放测定	√	▽	√
19	7.19	机械振动试验	▽	▽	▽
20	7.20	曲轴扭转振动试验	▽	▽	▽
21	7.21	活塞漏气量测定	▽	▽	▽
22	7.22	机油消耗率测定	√	▽	√
23	7.23	清洁度测定	▽	▽	√
24	7.24	本体有效热效率试验	▽	▽	▽
25	7.25	倾斜试验	▽	▽	▽
26	7.26	电磁兼容试验	√	▽	▽
27	7.27	可靠性试验	√	×	▽
28	7.28	耐久性试验	▽	×	▽
29	7.29	热冲击试验	▽	×	×
30	7.30	特殊性能试验	▽	▽	▽
31	7.31	电控系统试验	√	▽	▽
32	8.1	安全性能检查	√	√	√
33	8.2	各系统功能检查	√	▽	√
注1：√—需要进行的项目；×—可不进行的项目；▽—按需要选定的项目。 注2：在“√”及“▽”的项目中若包含多项内容时，也可择需进行部分内容。 注3：特殊性能试验系指发动机与从动机的匹配试验、内燃发电机组的并联运行及其它电气试验、船用发动机紧急换向试验、船用发动机最低稳定转速试验、双燃料发动机的燃料转换试验、在制造厂规定时间内的维修能力试验、在规定故障下（如增压器失效）的机动性能及发出规定功率的能力试验。 注4：功能检查系指超速限制装置、压力和温度异常的故障自动保护和报警装置等功能和能力检查、起动系统验收试验前后操作能力检查、换向机构或倒车减速机构和离合器的功能检查、重要零部件的运行温度检查、曲柄臂的挠度检查、发动机在支座上的稳定性检查、活塞和气缸组件及轴承在试验后的状况检查。 注5：可靠性试验应单独抽取2台样机进行试验。					

6 测量参数和要求

6.1 内燃机一般测量参数及其允许偏差，以及对测试仪器和设备的校验要求应按 GB/T 6072.3-2008 或相关标准的规定。具体测量可根据试验和检查项目的需要以及内燃机的结构可能性予以增减。部分测量位置参见表 2。

6.2 除试验项目要求测取参数的瞬时值外，各项参数均应在内燃机工况稳定运转 5 min 或排气温度、中冷后温度在 2min 内变化小于 3℃后测取（任一条件先达到即可），主要参数至少应测定 2 次，取其平均值。

表2 测量位置

序号	测量项目	测量位置
1	大气压（绝对）	在样机试验室内，不受阳光直射和热辐射处测量
2	压缩压力	在火花塞孔、预热塞孔、喷油器孔、示功阀等处测量
3	最高爆发压力	在火花塞孔，示功阀或专门设置的测量孔等处测量
4	进气压力（内燃机或增压器或扫气泵进气口空气绝对压力）及进气压力降	在距进气管进口不超过100 mm处测量（增压器或扫气泵则在其进气口或靠近进气口直管段处测量），测量口与管壁齐平
5	增压器或扫气泵出口空气绝对压力	在其出口或靠近出口不超过100 mm的直管段处测量，测量口与管壁齐平
6	中冷器后空气绝对压力	在其出口处附近的直管段处测量
7	排气压力（内燃机排气总管或涡轮增压器后的排气绝对压力）	在距内燃机排气总管出口或涡轮增压器排气出口75 mm处测量，测量口与管壁齐平
8	涡轮增压器燃气进口绝对压力	在排气总管出口到涡轮增压器燃气进口之间的直管段处测量，测量口与管壁齐平
9	曲轴箱压力	在曲轴箱上部测量
10	机油压力	在滤清器后或主油道入口处测量
11	冷却介质压力	水冷内燃机在冷却液出口处测量；风冷内燃机冷却空气压力测量位置由制造厂具体规定
12	燃料压力	在喷油泵进口处测量或按有关专业标准规定
13	冷却介质温度	水冷内燃机，在靠近冷却液出口或/和入口处测量；在中冷器冷却介质进口和出口处测量；风冷内燃机的冷却空气温度测量位置由制造厂具体规定
14	机油温度	在主油道或主油道入口处测量，也可在油底壳内测量
15	燃料温度	在喷油泵进口处测量或按有关专业标准规定
16	环境温度（进气温度）	中小功率内燃机在离进气管空气进口上游150 mm以内处测量；传感器应逆气流安装，端头位于气流中心，并进行热屏蔽
17 ^a	增压器或扫气泵出口空气温度	尽量靠近其出口不超过50 mm的直管段处测量，传感器逆气流方向插入管道，并使其端头位于其中心
18	中冷器后空气温度	尽量靠近其出口不超过50 mm的的直管段处测量，传感器逆气流方向插入管道，并使其端头位于其中心
19 ^a	排气支管排气温度	离气缸盖排气道出口端面50 mm内测量，传感器逆气流方向插入管道，并使其端头位于其中心
20 ^a	排气总管或涡轮增压器后的排气温度	离排气总管出口或涡轮增压器排气出口不大于2倍排气总管或增压器排气出口直径距离处测量，传感器逆气流方向插入管道，并使其端头位于其中心
21 ^b	涡轮增压器燃气进口温度	结构允许条件下，在尽量靠近燃气进口的直管段处测量，传感器逆气流方向插入管道，并使其端头位于其中心
^a 具有机油冷却器的内燃机，机油温度在靠近机油冷却器机油入口和出口两处测量。 ^b 序号 17、19、20、21 的测量，在不影响参数的准确度下，测温传感器允许按内燃机结构特点垂直于气流方向安装，传感器端头应位于管道中心。		

7 试验方法

7.1 起动性能试验

考查内燃机的起动性能是否符合有关专业标准和/或制造厂的规定。

蓄电池或贮气瓶起动能量和重复进行的次数应至少满足连续三次起动试验要求。

通用柴油机的起动试验方法可参照附录 A，车用发动机的起动试验方法可按GB/T 18297—2024的规定进行，非道路柴油机的起动性能试验方法按JB/T 4198.2的规定进行，通用小型汽油机的起动试验方法按JB/T 5135.2—2013的规定进行，其他用途的内燃机如没有专业标准可参照本文件规定进行。

试验时，按使用说明书规定加注冷却液(水冷内燃机)和机油。在专业标准和/或制造厂规定的起动环境温度下，按说明书规定的操作程序进行起动。接通起动开关，内燃机在15 s内应能自行运转，即为起动成功；若超过15 s未能自行运转，其间无断续着火声，即为起动失败；若其间有断续着火声，允许继续接通15 s(共30 s)，如能自行运转，亦为起动成功。若起动成功，则在30%~50%标定转速下运行2 min，停机，待介质温度恢复至设定要求，可进行下一次起动；若起动失败，可在2 min以后再进行下一次。共起动三次，有两次成功，则判定起动试验成功；前两次起动成功，可不进行第三次起动。

若有特殊要求的，起动能量和重复进行的次数按制造厂规定。

试验时，应记录起动辅助方式，测取环境状况参数，内燃机冷却介质和机油温度，起动次数、起动辅助工作时间、起动时间和曲轴瞬时转速，蓄电池电压、电流或贮气瓶压缩空气压力等。

7.2 调速性能试验

7.2.1 概述

考查内燃机的调速性能，包括转速波动率、调速率、转速恢复时间(稳定时间)等。

7.2.2 调速特性试验

试验时，将内燃机调定在标定工况或超负荷工况下稳定运转。卸去全部负荷，使其转速达到标定空载转速(亦即高怠速或最高空载转速)或超载转速时的最高可调转速(超负荷功率最高空载转速)，然后逐步增加负荷直至上述工况。在各档负荷下分别测定其稳定转速、扭矩、燃料消耗量等参数并绘制标定工况的调速特性曲线。

内燃机标定工况的标定调速率(稳定调速率)或超负荷工况的稳定调速率(参见图1、图2)，可分别按式(1)、式(2)计算：

$$\delta_{n_{st,r}} = \frac{n_{i,r} - n_r}{n_r} \times 100 \quad (\%) \dots\dots\dots (1)$$

$$\delta'_{n_{st,r}} = \frac{n_{i,ov} - n_{ov}}{n_{ov}} \times 100 \quad (\%) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$n_{i,r}$ ——标定空载转速(即高怠速或最高空载稳定转速)，单位为转每分钟(r/min)；

n_r ——标定转速，单位为转每分钟(r/min)；

n_{ov} ——超载转速，单位为转每分钟(r/min)；

$n_{i,ov}$ ——超载转速时的最高可调空载转速(最高空载稳定转速)，单位为转每分钟(r/min)。

注：装有全程制调速器的柴油机，应按其使用要求增做部分调速特性试验。将柴油机调定在要求工况下稳定运转，卸去全部负荷，使其转速达到空载转速，然后逐步增加负荷直至原来要求的工况。在各档负荷下分别测定转速、扭矩、燃料消耗量等参数。绘制部分调速特性曲线。

7.2.3 瞬时转速差(瞬时调速率)

7.2.3.1 突减负荷试验

内燃机先在标定工况或超负荷工况下稳定运转,然后突然卸去全部负荷,测定转速随时间的变化关系(图1)。

突减负荷瞬时转速差可按式(3)、式(4)计算:

$$\delta n + dyn = \frac{n_{d, \max} - n_r}{n_r} \times 100(\%) \quad (3)$$

$$\delta' n + dyn = \frac{n'_{d, \max} - n_{ov}}{n_{ov}} \times 100(\%) \quad (4)$$

式中:

$n_{d, \max}$ ——标定工况突减全部负荷时的上冲转速,单位为转每分钟(r/min);

$n'_{d, \max}$ ——超负荷工况突减全部负荷时的上冲转速,单位为转每分钟(r/min)。

7.2.3.2 突加负荷试验

内燃机先在最高空载转速或超负荷功率最高空载转速下稳定运转,然后突加全部负荷,测定转速随时间变化关系(图2)。

突加负荷瞬时转速差(瞬时调速率)可按式(5)、式(6)计算:

$$\delta n - dyn = \frac{n_{d, \min} - n_{i, r}}{n_r} \times 100(\%) \quad (5)$$

$$\delta' n - dyn = \frac{n'_{d, \min} - n_{i, ov}}{n_{ov}} \times 100(\%) \quad (6)$$

式中:

$n_{d, \min}$ ——标定工况突加全部负荷时的下冲转速,单位为转每分钟(r/min);

$n'_{d, \min}$ ——超负荷工况突加全部负荷时的下冲转速,单位为转每分钟(r/min)。

四冲程涡轮增压柴油机的突加负荷试验,当其标准环境状况发出的标定功率的平均有效压力超过800 kPa时应分段进行。第一次突加负荷的百分比可按有关标准或制造厂规定,也可由图3选取。

注:二冲程增压内燃机,瞬时转速差(调速率)的测定试验由制造厂和用户商定。

7.2.3.3 转速回复时间(稳定时间) ($t_{n, in}$, $t_{n, de}$)

在规定负荷变化后,转速偏离稳态转速波动率范围到再次持久进入新转速下规定的稳态转速波动率范围内的时间间隔为转速回复时间(见图1、图2)。

注: $t_{n, in}$ ——转速回复时间(加载), $t_{n, de}$ ——转速回复时间(减载)。

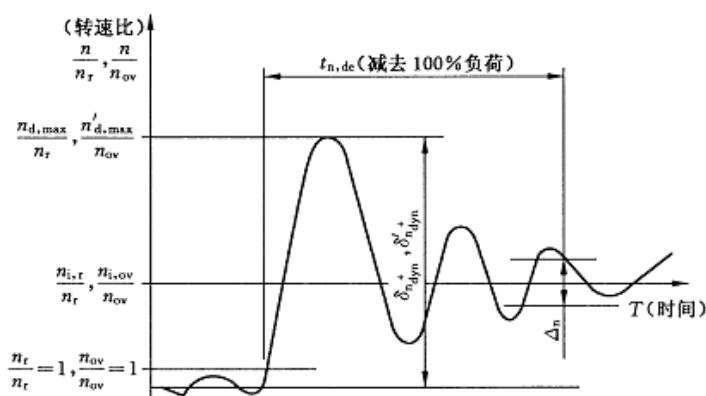


图1 突减负荷试验

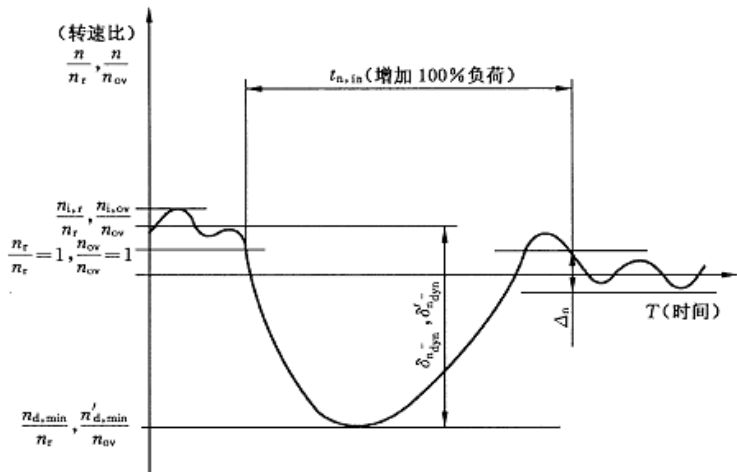


图2 突加负荷试验

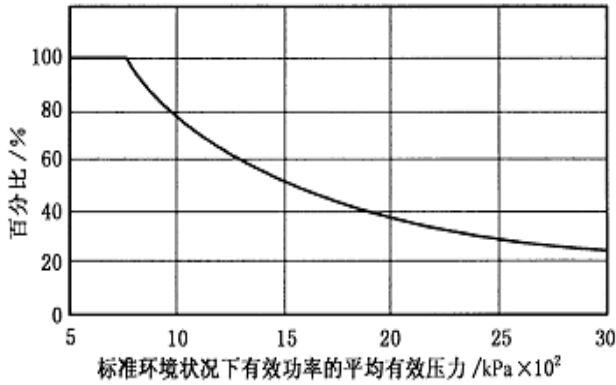


图3 现场环境状况下有效功率的第一次突加负荷百分比

7.2.3.4 稳态转速波动率(β_n)

内燃机的稳态转速波动率为恒定功率下转速在平均值上下波动的包迹宽度Δ_n(见图2)，用标定转速的百分率表示，按式(7)计算：

$$\beta_n = \frac{\Delta_n}{n_r} \times 100 \quad (\%) \dots\dots\dots (7)$$

式中：
Δ_n——恒定功率下转速在平均值上下波动的包迹宽度。

7.3 负荷特性试验

确定转速不变时内燃机的各项主要性能参数随负荷变化的规律。
试验时，内燃机保持在标定转速或有关标准规定的其他转速下，从小负荷开始，逐步增加负荷至最大，以相同步长设置不少于5个负荷工况点，在各负荷点分别测取内燃机的扭矩、燃料消耗量、排气温度等参数，从大到小再进行一次，取两次均值，制取负荷特性曲线。

7.4 标定功率试验

内燃机出厂试验时，检查内燃机能否发出铭牌所示功率。

试验时，各状态参数满足产品技术要求，将内燃机的转速调定在制造厂规定的最高空载转速(高怠速)，然后逐步增加负荷直至转速达到铭牌所示标定转速，检查内燃机实际所发出功率与铭牌所示功率的偏差是否满足GB/T 1147.1—20xx中4.3.2所规定±5 %的要求；车用内燃机按GB/T 17692-2024 的规定检查，当试验环境状况与标准环境状况有差异时，其功率应按GB/T 21404-2022第7章的规定进行修正。

7.5 燃料消耗率试验

根据各用途内燃机专业标准要求或产品技术要求测定内燃机燃料消耗率。

非道路用柴油机加权燃料消耗率和工程机械用柴油机燃料消耗率测定按GB 28239—2020的规定进行；燃气机热耗率的测定按JB/T 10629—2006中4.7的规定；通用小型汽油机的燃料消耗率的测定按GB/T 37692—2019的规定；工程机械用汽油机的燃料消耗率的测定按JB/T 5144的规定；绿色设计柴油机燃料消耗率应符合JB/T 14238的规定，各能效等级柴油机的燃料消耗率应符合GB/T 38750.1的规定，各能效等级汽油机的燃料消耗率应符合GB/T 38750.2 的规定；其它用途内燃机燃油消耗率的测定按GB/T 6072.1—2008的规定。

试验时，内燃机在标定工况或规定工况运转，用质量法(容积法)测量燃料消耗量，计算燃料消耗率，检查内燃机实际燃料消耗率与制造厂技术文件所示燃料消耗率的偏差应符合相关标准规定。

7.6 速度特性试验

确定内燃机的各项主要性能参数随转速变化的规律。

试验时，先将内燃机调定在标定工况稳定运转，固定燃料供给控制机构，然后逐步增加负荷，降低转速，分别测取各稳定转速下的扭矩、燃料消耗量、排气温度和烟度等参数。制取速度特性曲线。速度特性的扭矩储备率按式(8)计算：

$$\mu_m = \frac{M_{e\max} - M_{eb}}{M_{eb}} \times 100(\%) \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$M_{e\max}$ ——标定工况速度特性的最大扭矩，单位为千牛米(kN.m)；

M_{eb} ——标定功率时的扭矩，单位为千牛米(kN.m)。

汽油机和装有两级式调速器的柴油机可以根据用途需要增做部分负荷的速度特性试验，绘制相应的特性曲线。船用主机应按螺旋桨特性测试，转速从高到低依次开展。

7.7 使用特性试验

确定内燃机各项主要性能在整个运行区间分布特征的试验。

内燃机在台架上模拟动力装置配套使用特性(如船用主机的推进特性)而进行的试验。

试验方法按有关标准规定。

7.8 万有特性试验

确定内燃机各项主要性能参数相互关系的综合特性试验。

试验时，内燃机应根据用途，依次保持转速为标定转速或超负荷功率转速的一定百分比，分别进行负荷特性试验；汽油机及装有两极式调速器的柴油机也可依次保持功率为标定功率或超负荷功率的一定百分比，分别进行速度特性及部分负荷速度特性试验，测量转速、扭矩、燃料消耗量和排气温度等各项参数，制取万有特性曲线。

7.9 标定功率工作稳定性试验

确定内燃机在标定功率运转时，各项主要性能参数的稳定性。

试验时，内燃机应在标定功率下稳定持续运转，测量转速、扭矩、燃料消耗量、排气温度和烟度等主要参数，并绘制它们随时间而变化的关系曲线。稳定持续运转的时间按专业标准规定。

7.10 空载特性试验

确定内燃机空载时燃料消耗量随转速变化的关系。

试验时，内燃机不带负荷，转速从最高空载转速或超负荷功率最高空载转速逐步降至最低可调空载转速(最低空载稳定转速)，分别测取各稳定转速下的燃料消耗量。绘制空载特性曲线。

7.11 最低可调空载转速测定(最低空载稳定转速测定)

确定内燃机最低可调空载转速。

试验时，内燃机不带负荷，降低转速至最低可调空载转速，并在此转速下稳定运转时间不少于5 min。

7.12 最低满载持续转速测定(最低工作稳定转速)

确定内燃机的最低满载持续转速(最低工作稳定转速)。

试验时，内燃机的燃料供给控制机构保持在出厂调整的最大功率位置上，逐步降低转速至最低可稳定运转的转速，并能在该转速下稳定运转不少于5 min。

7.13 各缸工作均匀性试验

确定多缸内燃机气缸内各项工作参数均匀性。

测定缸数可按专业标准或制造厂规定。测定参数和试验方法可根据内燃机的具体要求和结构按下述

a)、b)选定或由有关标准规定，其结果应符合对应参数的技术规定。

试验时，应严格保持内燃机正常工作时的热状态。

a) 工作参数直接测定法

试验时，内燃机在标定工况下稳定运转，获取各缸的压缩压力、最高爆发压力、平均指示压力和排气温度等参数其中之一作为测试结果，按式(9)计算该项参数的不均匀率：

$$\varepsilon = \left| \frac{\rho_{\max}(\text{或}\rho_{\min}) - \rho_m}{\rho_m} \right| \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$\rho_{\max}(\text{或}\rho_{\min})$ ——某项参数的最大(或最小)值；

ρ_m ——各缸同项参数的算术平均值。

b) 单缸熄火法

试验时，先将内燃机调定在标定工况下稳定运转，然后轮流停止一缸工作，并使转速迅速恢复到标定转速，测量其有效功率。

某一缸的指示功率近似地按式(10)计算：

$$P_i = P_b - P_e \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

P_i ——第*i*缸的指示功率，单位为千瓦(kW)；

P_b ——标定功率，单位为千瓦(kW)；

P_e ——第*i*缸停止工作后内燃机的有效功率，单位为千瓦(kW)；

指示功率的不均匀率按公式(9)确定。

7.14 机械效率测定

确定内燃机在标定工况或其它规定工况下的机械效率。根据内燃机结构和试验条件选用下述a)～d)其中一种方法进行测定。

a) 单缸熄火法

方法同7.13中 b)，机械效率按式(11)计算：

$$\eta_m = \frac{P}{P_1 + P_2 + \cdots + P_i} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$P_1、P_2、\dots\dots P_i$ ——分别为规定或标定工况下第1、第2……第*i*缸的指示功率，单位为千瓦(kW)。

b) 电力测功机拖动法

内燃机在标定工况下或在其他规定工况下稳定运转，待达到热状态稳定后停止向各缸供给燃料(汽油机待剩余燃料烧尽后，还需切断点火电源)，随即用电力测功机以标定转速或所要求工况的转速拖动内燃机，测定电力测功机的拖动功率（取正数），即为内燃机的机械损失功率。

机械效率按式(12)计算：

$$\eta_m = \frac{P}{P + P_m} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

P ——规定工况下的有效功率(标定工况时为 P_b)，单位为千瓦(kW)；

P_m ——规定或标定工况的机械损失功率，单位为千瓦(kW)。

c) 油耗量线延长法

在标定转速或规定转速下作负荷特性试验，绘制燃料消耗量与有效功率的关系曲线 [$G_F=f(P)$]，近似直线部分延长与横坐标相交，则该点的横坐标即为标定转速或规定转速下的机械损失功率，机械效率按公式(12)计算。

d) 其他方法，如示功图法、惯性法等。

7.15 热平衡试验

测定内燃机燃料总热量的分配情况。

在内燃机标定工况或其它负荷工况进行，试验时，冷却液进/出口温度和机油进/出口油温度的控制精度均满足±0.5℃，测量计算冷却液温度差、机油温度差、燃料温度差等，连续三到五次取算术平均值，按有关标准计算有效功和冷却液、机油、燃料带走的热量，绘制能量分布图。

车用发动机按GB/T 12542—2009的规定进行，非道路用柴油机可按JB/T 13553—2018的规定，其他用途发动机按有关规定进行。

7.16 噪声测定

根据用途分别按GB/T 1859(所有部分)、GB/T 9911—2018、GB 19757—2005或其他有关标准的规定进行。

7.17 排气烟度测定

根据车用、船用、低速汽车用及非道路移动机械用等用途分别按GB/T 5741—2008、GB/T 9486、GB/T 9487—2008或其他有关标准的规定进行。燃气机的排气烟度按JB/T 10629—2006中4.12的规定。

7.18 排气排放测定

根据车用、船用、低速汽车用及非道路移动机械用等用途分别按GB 17691—2018、GB 15097—2016、GB 20891—2014、GB 26133—2010、HJ 1014—2020、GB 14762—2008或其他有关标准的规定进行。

7.19 机械振动试验

根据用途分别按GB/T 7184—2023、GB/T 10398—2008、CB/T 3256-2013或其他有关标准的规定进行。

7.20 曲轴扭转振动试验

根据用途分别按GB/T 15371—2008、CB/T 3325-2013或其他有关标准的规定进行。

7.21 活塞漏气量测定

车用发动机按GB/T 18297—2024标准规定进行，其他用途发动机按有关标准规定进行。

7.22 机油消耗率测定

确定内燃机在要求的工况下的机油消耗量、机油消耗率或机油燃料消耗百分比。

测定时，内燃机的运转工况应保持稳定。测定方法由有关标准规定。标定功率时的机油消耗，也可按附录B规定的方法进行。

注：对于采用注油润滑的内燃机，应单独进行气缸润滑机油消耗量、机油消耗率或机油燃料消耗百分比的测定。

7.23 清洁度测定

按 GB/T 3821或其它有关标准规定进行。

7.24 本体有效热效率试验

确定内燃机本体有效热效率的试验。

测试前，测试用燃料需按GB/T 384-1981标准测试25℃低热值Hu，测试用燃料采用符合GB 17691-2018附录D要求或符合GB 18352.6—2016附录K要求的基准燃料。

按GB/T 18297-2024第7章净功率试验的规定安装发动机附件，并按8.3功率试验的方法开展净功率试验，试验过程中记录燃料消耗量Ge并计算校正净功率Peo。按公式（13）和公式（14）计算内燃机本体热效率。其中额定转速、最大扭矩转速根据企业资料确定；本体最高有效热效率工况由企业指定，或通过万有特性筛查获取。

$$\eta_{eb} = \frac{3.6 \times 10^6}{H_u \times g_e}$$

..... (13)

$$g_e = \frac{Ge \times 10^3}{P_{eo}}$$

..... (14)

- 式中：
- η_{eb}——内燃机本体有效热效率，单位为百分比（%）；
 - H_u——燃料25℃低热值，单位为千焦每千克（kJ/kg）；
 - g_e——有效燃料消耗率，单位为克每千瓦小时[g/(kW.h)]；
 - P_{eo}——校正净功率，单位为千瓦（kW）；
 - G_e——燃料消耗量，单位为千克每小时（kg/h）。

7.25 倾斜试验

评定内燃机在规定横倾和纵倾条件下的工作情况，主要考察供油系统和润滑系统的工作是否正常。试验前，将内燃机置于正常水平位置，加注燃料和机油，使之刚好达到产品要求的许用下限。内燃机应在产品规定的横倾、纵倾最大角度下均布3个~6个角度。在每个角度下，按7.1正常起动后，在标定工况下稳定运行5 min，然后逐渐降低转速至最低稳定转速工况，运行5 min后停机。试验过程中随时观察内燃机的主油道压力、转速是否正常，如有异常立即中止试验。

7.26 电磁兼容试验

评定内燃机在电磁环境中正常运行并且不对环境中的其他设备产生超过限值的电磁干扰的能力。电磁辐射抗扰性按GB/T 17619—1998进行。电磁骚扰性根据GB/T 18655—2018进行。

7.27 可靠性试验

可靠性试验根据用途分别按GB/T 19055—2024、JB/T 11323、JB/T 5135.3、JB/T 4198.3、GB/T 3254或其他有关标准的规定进行。

7.28 耐久性试验

7.28.1 耐久试验根据内燃机用途，按下列四种规范进行。燃气机按 JB/T 10629—2006 的规定进行，船用柴油机按 GB/T 3254 的规定进行，小型通用汽油机按 JB/T 5135.3 的规定进行，工程机械用柴油机产品按 JB/T 4198.3 的规定进行。

规范 A——适用于轿车、中小型卡车、摩托快艇用内燃机，按表 3 规定，每2 h为一个循环，共运转500个循环，即1000 h。

规范 B——适用于大中型载重卡车、工程机械、拖拉机及农用内燃机，按表 4 规定，每8 h为一个循环，运转40个循环后按标定工况连续运转180 h，共500 h，即一个大循环。重复进行4个大循环，总运转时间为2000 h。

规范 C——适用于矿用载重汽车、农用拖拉机、农用动力用内燃机，按表 5 规定，每8 h为一个循环，运转40个循环后按110%标定功率、标定转速连续运转180 h，共500 h，即一个大循环。重复进行4个大循环，总运转时间为2000 h。

规范 D——适用于固定动力、电站、铁路工程机械、农用排灌用内燃机，按110%标定功率、标定转速连续运转，总运转时间为2000 h。

注：单缸功率大于或等于73.6 kW的柴油机在按规范 C、D试验时，其总运转时间允许减少，但应不少于1000 h。

表3 耐久试验规范 A

序号	工况		时间 min
	标定转速 %	标定功率 %	
1	最大扭矩时的转速	最大扭矩时的功率	58
2	最低可调空载转速(低怠速)	0	2
3	100	100	58
4	标定空载转速	0	2

表4 耐久试验规范 B

序号	工况		时间 min
	标定转速 %	标定功率 %	
1	100	90	300
2	100	100	120
3	标定空载转速	0	5
4	最大扭矩时的转速	最大扭矩时的功率	45
5	最低可调空载转速(低怠速)	0	10

表5 耐久试验规范 C

序号	工况		时间 min
	标定转速 %	标定功率 %	
1	100	90	120
2	100	100	300
3	标定空载转速	0	5
4	最大扭矩时的转速	最大扭矩时的功率	45
5	最低可调空载转速(低怠速)	0	10

7. 28. 2 耐久试验前，发动机应先进行全面的性能试验，试验项目如下：
- a) 起动性能试验；
 - b) 各缸工作均匀性试验；
 - c) 机械效率测定；
 - d) 负荷特性或速度特性或推进特性试验(视内燃机用途而定)；
 - e) 调速特性试验；
 - f) 空载特性和最低可调空载转速(低怠速)试验；
 - g) 船用主机的换向、倒转、停缸、停增压器和最低满载持续转速(最低工作稳定转速)试验；
 - h) 安全装置试验；
 - i) 排气烟度测定；
 - j) 噪声测定；
 - k) 机油消耗量测定；
 - l) 其他性能试验：根据内燃机设计任务书和技术文件的要求测定机械振动、曲轴扭转振动，进行背压试验机废气排放测定等。

7. 28. 3 耐久试验后，应对上述 a)、d)、e)、f)、i) 和 k) 六项进行性能复试。

7. 29 热冲击试验

主要适用于使用工况频繁变动的汽车、工程机械等用途的发动机，考核该类发动机受热零部件是否因热冲击而损坏或失效。

热冲击实验前、后应进行7.28.2中d)、e)、f)、i)和四项性能试验和性能复试。

注：耐久试验和热冲击试验后、性能复试前，允许对气门间隙、喷油压力和供油提前角进行调整。

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/335043301331011304>