

中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 0759—2005

内燃机油低温油泥和抗磨损性能评定法 (程序 V E 法)

Test method for evaluation of automotive engine oils
for inhibition of deposit formation and wear
(Sequence- V E method)

2005-04-11 发布

2005-09-01 实施

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 方法概要	3
5 意义和用途	3
6 设备	3
7 试验发动机	4
7.1 发动机零件	4
7.2 发动机安装时所需新零件	4
7.3 可多次使用的零件	4
7.4 本方法所用的专门制造的发动机零件	4
7.5 发动机专用安装测量设备	5
7.6 各种发动机零件的准备	7
7.7 溶剂和清洗剂	8
7.8 试验发动机安装准备	8
7.9 组装发动机	11
7.10 发动机上台架	12
8 发动机流体——供/排系统	13
8.1 进气系统	13
8.2 燃油系统	13
8.3 机油系统	13
8.4 冷却系统	14
9 测量装置	14
9.1 温度	14
9.2 压力	15
9.3 流速	16
9.4 排气	16
9.5 燃油消耗	16
9.6 转速和载荷	16
10 实验室其他设备	17
10.1 点火枪	17
10.2 量筒	17
11 试验台架标定	17
12 试验步骤	17
12.1 试验准备	17
12.2 发动机操作步骤	19
12.3 正式试验	19

12.4	试验中的一些说明	21
12.5	定期测量	22
12.6	试验结束	24
13	试验结果说明	24
13.1	评分室	24
13.2	评分件的放置	24
13.3	试验结果的评定	25
14	试验有效性评估	26
14.1	排气中 NO_x 的平均水平	26
14.2	试验机油分析	26
14.3	窜气流速	26
14.4	进气歧管真空度	27
14.5	燃油消耗率	27
14.6	机油消耗	27
14.7	停机	27
14.8	偏差百分比	27
14.9	状态转换	28
15	试验报告	28
16	精密度和偏差	28
16.1	非参比油精密度	28
16.2	参比油精密度	28
16.3	偏差	29
附录 A	(规范性附录)试验燃料的技术要求	30
附录 B	(资料性附录)发动机装配和测量记录表	31
附录 C	(资料性附录)程序 VE 评分表	38
附录 D	(资料性附录)内燃机油低温油泥和抗磨损性能评定法(程序 VE 法)试验报告	50
附录 E	(资料性附录)程序 VE 试验记录表	55
附录 F	(资料性附录)程序 VE 取样、加油和调整液面	56
附录 G	(资料性附录)机油分析	56

前 言

本标准修改采用美国试验与材料协会标准 ASTM D5302 - 00a《点燃式汽油内燃发动机在低温轻负荷条件下评价汽车发动机油抗沉积物形成、抗磨损性能的标准试验方法》。

本标准根据 ASTM D 5302 - 00a 重新起草。

为了更适合我国国情，本标准在采用 ASTM D 5302 - 00a 时进行了修改。这些技术性差异用垂直单线标识在它们所涉及的条款的页边空白处。本标准与 ASTM D 5302 - 00a 的主要技术差异如下：

——本标准的引用标准采用我国现行标准，无相应标准的引入其实质性内容。

——本标准的试验燃油采用程序 V D 的试验燃油。

——本标准将标定试验由每半年一次改成每十五次试验标定一次。

为使用方便，本标准还做了如下编辑性修改：

——去掉了关键词一章。

——重复性和再现性的文字表述按我国的习惯表述进行了修改。

本标准的附录 A 为规范性附录。本标准的附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F 和附录 G 均为资料性附录。

本标准由中国石油化工集团公司提出。

本标准由中国石油化工股份有限公司石油化工科学研究院归口。

本标准起草单位：中国石油化工股份有限公司石油化工科学研究院。

本标准主要起草人：李少玉、刘顺涛、耿彪、卢文彤。

内燃机油低温油泥和抗磨损性能评定法(程序 V E 法)

1 范围

- 1.1 本标准规定了评定内燃机油油泥、漆膜等沉积物生成的倾向和抗磨损性能的方法。
- 1.2 本标准适用于评定汽油机油(如:SG、SH、GF-1、SJ/GF-2)的低温油泥和抗磨损性能。
- 1.3 本标准涉及某些有危险性的材料、操作和设备,但无意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应建立适当的安全和保护措施并确定有适用性的管理制度。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注明日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准。然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注明日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 258 汽油、煤油、柴油酸度测定法

GB/T 259 石油产品水溶性酸及碱测定法

GB/T 260 石油产品水分测定法

GB/T 265 石油产品运动粘度测定法和动力粘度计算法

GB/T 380 石油产品硫含量测定法(燃灯法)

GB/T 503 汽油辛烷值测定法(马达法)

GB/T 511 石油产品和添加剂机械杂质测定法(重量法)

GB/T 5096 石油产品铜片腐蚀试验法

GB/T 5487 汽油辛烷值测定法(研究法)

GB/T 6536 石油产品蒸馏测定法

GB/T 8017 石油产品蒸气压测定法(雷德法)

GB/T 8018 汽油氧化安定性测定法(诱导期法)(GB/T 8018—87, eqv ISO 6246:1981)

GB/T 8019 车用汽油和航空燃料实际胶质测定法(喷射蒸发法)

GB/T 8020 汽油铅含量测定法(原子吸收光谱法)

GB/T 8926 用过的润滑油不溶物测定法

GB/T 11132 液体石油产品烃类测定法(荧光指示剂吸附法)

SH/T 0174 芳烃和轻质石油产品硫醇定性试验法(博士试验法)(SH/T 0174—92(2000), eqv ISO 5275:1979)

SH/T 0474 用过汽油机油中稀释汽油含量测定法(气相色谱法)

3 术语和定义

下列术语和定义应用于本标准。

3.1

空燃比 air-fuel ratio

进入发动机燃烧室混合气中的空气和燃油的质量比。

3.2

曲轴箱窜气 blowby

发动机运转时，从燃烧室窜入曲轴箱中的燃烧产物、未燃烧的燃油和空气的混合气。

3.3

油泥 sludge

主要由燃油燃烧产物、润滑油氧化产物和水所形成的沉积物。这种沉积物不能从发动机零件上流下来，但可以用软布擦掉。

3.4

漆膜 varnish

一种又硬又干且不溶于油的沉积物。这种沉积物一般有光泽，用软布擦不掉，但可以用某些有机溶剂洗掉。

3.5

积炭 carbon

一种硬而脆的黑色沉积物。可目测其厚度和结构。

3.6

自由环 free piston ring

当活塞从垂直转到水平位置时，靠自身的重量或手指的轻微压力能自由落入环槽内的活塞环。

3.7

紧环 tight piston ring

活塞环在槽内不能自由移动，但用手指中等压力可将其压入或推入环槽，这一过程不发生环回弹现象。

3.8

粘环 stuck piston ring

活塞环部分或全部卡死在环槽中，用中等手指力不能将其移动。粘环分冷粘环和热粘环两种。

3.8.1

冷粘环 cold-stuck piston ring

活塞环在发动机运转时是自由的，而当活塞和活塞环冷却到室温时才粘结。它的特征是活塞环和气缸壁接触表面的全圆周上有连续的磨光表面。

3.8.2

热粘环 hot-stuck piston ring

活塞环在发动机运转时就已粘结，它的特征是活塞环和气缸壁接触表面的某些部分有漆膜或积炭。

3.9

堵塞 clogging

沉积物在流体通道边缘聚积而使流体的流动受到阻碍。

3.10

杂质 debris

在发动机中，并非人为导入发动机中的固体污染物或磨损产物。

3.11

爆震 knock

由于空气和燃油混合自燃引起的非正常燃烧。

3.12

划痕 scoring

一种严重的磨损形式，特征为沿其滑动方向有严重的痕迹或沟槽形成。

3.13

磨损 wear

相对运动零件表面上的材料的位移或损失。通常是机械作用、化学作用或两者共同作用的结果。

3.14

空气质量比 lambda

发动机运转时，对一特定燃油，实际进入的空气质量与按化学计量所需的理论空气质量的比值。

3.15

闭路空气质量比(LAMBDA)控制系统 closed-loop lambda control system

通过一个全闭环系统反馈 LAMBDA 的测量信号，并利用测量信号通过改变燃油喷嘴脉冲宽度改变燃油输入的系统。

3.16

开环空气质量比(LAMBDA)控制系统 open-loop lambda control system

根据人工测得的排气中 CO 与 O₂ 的含量，人工调节燃油喷嘴脉冲宽度的系统。

3.17

富油 enrichment

燃油消耗率大于化学计量的燃油消耗率。

3.18

低温、轻负荷条件 low-temperature, light-duty conditions

机油和冷却液平均温度低于一般的加热温度且平均发动机转速和功率输出低于典型公路行驶的数值。

3.19

爬坡 ramping

从一种操作状态改变为另一种操作状态时，给某参数设定的变化速率。

3.20

擦伤 scuffing

由于金属与金属接触或外来材料的因素，使零件表面粗糙化。其特征是在相对运动的一个或两个表面上有刮伤或金属粘着现象。

4 方法概要

4.1 每一台试验发动机是由许多新零件组装而成的，安装过程中的所有方面均有详细要求。

4.2 将 2.3L 内燃发动机安装在可控制转速、载荷和其他多种控制参数的台架上。

4.3 发动机共计运转 288h，其中包括 72 个循环，每个循环 4h，每个循环由三个阶段组成。

4.4 每一循环中改变操作条件，其特征为低温、中温和轻负荷操作条件的转换。

4.5 为加速沉积物的形成和提高发动机的磨损，与发动机常规操作相比，显著提高了窜气中的氮氧化物含量和进入曲轴箱的窜气量，两个阶段转换为明显的富油状态。

4.6 试验结束，通过解体发动机、测量沉积物和磨损来评价试验油的性能。

5 意义和用途

5.1 本试验方法通过精心选定试验条件，加速沉积物的形成和磨损，以评价内燃机油抑制形成沉积物和降低磨损的能力。

5.2 本方法与其他方法一起，定义了汽油机油的性能。

5.3 本方法所用发动机代表了现代众多汽车所用发动机，但并不完全代表所有发动机。外推试验结果时，应考虑此因素，并将强化的操作条件一并考虑。

6 设备

6.1 试验用 Ford 汽车公司生产的 2.3L 四冲程四缸直列发动机，其特点为上置式凸轮轴、涡流快速燃烧缸头设计、电子燃油点火。

- 6.2 发动机试验台架可控制发动机转速、负荷、空燃比、各种温度以及其他参数。
 6.3 利用适当的空气控制设备控制进气温度和进气湿度。
 6.4 使用适宜的燃油供油系统。

7 试验发动机

7.1 发动机零件

Ford 汽车公司提供。

7.2 发动机安装时所需新零件

缸头、缸头螺栓、凸轮轴、凸轮轴轴承、凸轮轴驱动带、摇臂、液压挺杆、进排气门、气门杆油封、活塞、活塞环、活塞销、连杆轴瓦、主轴瓦、机油泵、机油滤清器、PCV 阀、火花塞、垫片和密封件。

7.3 可多次使用的零件

缸体(一般用 2 次, 依缸套的磨损定)、气门弹簧、从动轴、连杆、前密封盖、燃油控制线、曲轴点火控制器、进气歧管、节流阀、凸轮轴驱动件、水泵驱动件、曲轴、燃油喷嘴、点火模块、点火线、机油泵滤网、加油管、定时链条和水泵。

7.4 本方法所用的专门制造的发动机零件

7.4.1 进气帽

进气帽的形状见图 1。

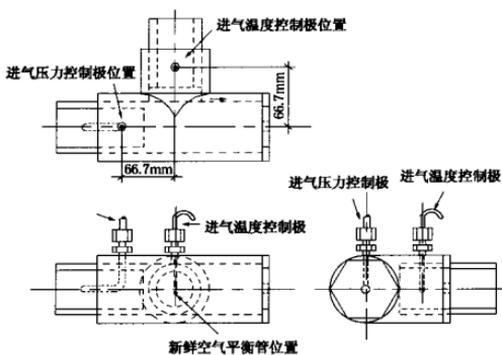


图 1 进气帽

7.4.2 凸轮轴挡板

专为连接凸轮轴承座制造的, 挡板边缘与摇臂罩间的间隙可使一定量的机油喷射到挡板与摇臂罩上。因挡板尺寸对试验苛刻度有影响, 故挡板尺寸的精确度非常重要(见图 2)。

7.4.3 加油管

尺寸不做具体规定。

7.4.4 油尺管

用一管接头替换原有的油尺管。新换管接头应为长约 150mm 并加丝扣拧至发动机缸体上。

7.4.5 油尺

用图 3 所示的专用油尺测量油底壳中的机油液面。

7.4.6 油底壳

用图 4 所示的专用油底壳。

7.4.7 飞轮定时指示器

一个可调点火定时指示点的托盘。在上止点(TDC)前(BTDC)和上止点(TDC)后(ATDC)刻有26~30刻度线,刻度分值为1度。

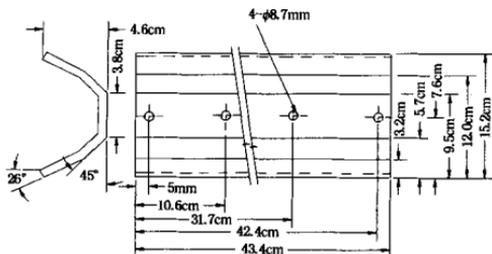


图2 凸轮轴挡板

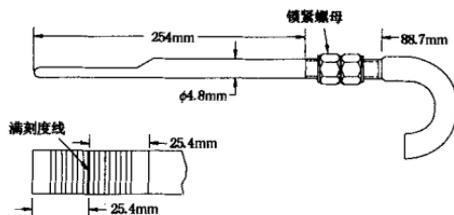


图3 油尺

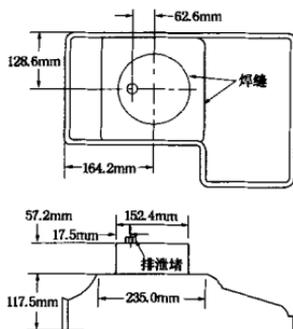


图4 油底壳

7.4.8 摇臂罩

用不锈钢制作并加有水套。

7.5 发动机专用安装测量设备

7.5.1 凸轮轴、摇臂硬度测量设备及其保持架

使用可测量硬度范围为HRC50~HRC60的硬度测量仪测量凸轮轴凸耳和摇臂硬度。保持架应保证对这些零件在特定点的测量精度和重复性。

7.5.2 凸轮轴油孔流速测量设备

使用空气流速测量仪测量凸轮轴油孔堵塞程度。此测量仪需控制静态压力为 2.49kPa。由于测量值是流量的相对减少量，所以应主要考虑其重复性而非绝对值。

7.5.3 摇臂和连杆轴瓦称重天平

使用精度为 0.1mg 的精密天平。

7.5.4 气门弹簧标定设备

用合适的设备测量和筛选安装前的气门弹簧。标定设备的精度为 2%，分辨率为 4.45N。

7.5.5 气门杆和导管测量设备

用一般汽车维修工具测量气门杆和导管的间隙。

7.5.6 连杆加热器

活塞销与连杆是过盈配合。用合适的连杆加热器安装活塞销，防止活塞变形。

7.5.7 缸体应变板

磨缸时，在缸体上安装图 5 所示的应变板，以减小缸体的不圆度和锥度。

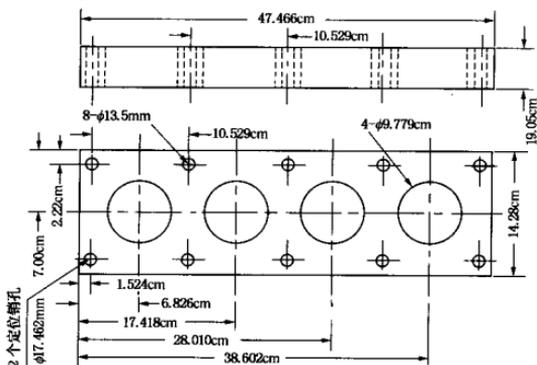


图 5 应变片

7.5.8 珩磨机

用 Sunnen CK-10 或 CV-616 珩磨机。

7.5.9 缸套表面测量仪

用于测量磨缸后的缸套表面粗糙度。测量仪的测量范围为 0.0002mm ~ 0.0005mm。

7.5.10 缸套测量定位器

用于测量缸套尺寸(见图 6)，保证准确定位。

7.5.11 活塞环定位器

切环时用活塞环定位器可保证压缩环在缸套中的准确定位。

7.5.12 切环器

用来调整活塞环的搭口间隙。

7.5.13 油泵标定仪

用于标定发动机机油泵。油泵标定仪至少每 3 月标定一次，标定方法由实验室自定。

7.5.14 PCV 阀流速测量仪

试验前用 PCV 阀流速测量仪校验 PCV 阀的流速，试验后测量其堵塞状况，流速测量仪应精确至满刻度的 5%，分辨率为 0.047L/s。每 6 个月需对 PCV 阀流速测量仪进行标定。

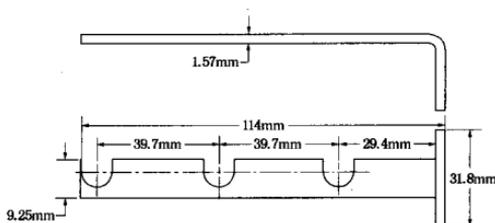


图6 缸套测量定位器

7.5.15 发动机定时标定探头

利用发动机定时标定探头，在第一缸的上止点(TDC)标定曲轴链条和飞轮。

7.5.16 安装发动机所用工具

凸轮轴皮带松紧调节工具、气门弹簧安装工具、发动机防冻塞起拔器、凸轮轴和从动轴密封起拔器等。

7.6 各种发动机零件的准备

7.6.1 发动机组装和测量区域环境

发动机组装和测量区域的空气中不含尘埃。为保证零件尺寸测量的重复性，室温应基本保持恒定($\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内)。为防止在发动机零件上形成水滴，相对湿度低于75%。

7.6.2 机油泵

为保证每次试验的机油流速一致应对机油泵进行标定。将机油泵装在油泵标定仪上，加入试验油，循环加热至 $51.7^{\circ}\text{C} \pm 2.8^{\circ}\text{C}$ 。将机油泵转速调至 $1250\text{r}/\text{min} \pm 10\text{r}/\text{min}$ 并将流速控制在 $0.420\text{L}/\text{s} \pm 0.006\text{L}/\text{s}$ 。调整调节阀弹簧使油泵出口压力为 $414\text{kPa} \pm 7\text{kPa}$ 。

7.6.3 油泵取样管及滤网

清洗取样管、滤网并检查滤网是否已损坏。

7.6.4 节气门体

试验前拆开并彻底清洗节气门体，将碟型阀从节气门体轴上取下，拆下节气门体塑料轴封并将所有零件用化油器清洗剂清洗，零件被彻底清洗干净用压缩空气吹干后，进行安装。为便于安装，向轴封表面点一些试验油。节气门体使用时间不作限制，当内孔与碟型阀的间隙增大到使节气门在第三阶段不能控制转速、载荷、和空燃比时，应更换碟型阀或节气门体。

7.6.5 进气歧管

进气歧管由三部分组成：上进气歧管、下进气歧管和进气歧管隔板。每次试验前将进气歧管拆下用化油器清洗剂彻底清洗，然后用热水(温度在 60°C 以上)冲洗并用压缩风烘干。进气歧管可循环使用。

7.6.6 摇臂罩

试验前，检查摇臂罩内表面。若摇臂罩内表面清浄性评分低于10，则用0#砂纸轻轻打磨内表面，然后用溶剂冲洗并吹干。使用前用热水(温度在 60°C 以上)加磷酸钠清洗液冲洗摇臂罩冷却液夹套。

7.6.7 凸轮轴挡板

试验前，检查凸轮轴挡板表面。若凸轮轴挡板清浄性评分低于10，则用0#砂纸轻轻打磨，然后用溶剂油冲洗并吹干。

7.6.8 油底壳

试验前，检查油底壳内表面。若油底壳内表面清浄性评分低于10，则用0#砂纸轻轻打磨，然后

用溶剂冲洗并吹干。

7.6.9 PCV 阀

用 7.5.14 所述的 PCV 阀流速测量仪测量并记录 PCV 阀的流速。测量在 27kPa ~ 61kPa 的真空中下进行。流速不在 1.13L/s ~ 1.37L/s 范围的 PCV 阀不能用。

7.6.10 水泵驱动系统

只能使用程序 V E 台架所用的皮带轮以保证水泵的适宜转速。

7.6.11 燃油喷嘴

每四次试验更换一套燃油喷嘴。

7.7 溶剂和清洗剂

7.7.1 溶剂(190 溶剂油)。

7.7.2 乙酸乙酯。

7.7.3 Penmul L460。

7.7.4 正戊烷。

7.7.5 磷酸三钠清洗剂。

7.7.6 草酸。

7.7.7 Oakite 811。

7.7.8 化油器清洗剂。

7.7.9 防锈剂。

7.8 试验发动机安装准备

7.8.1 挑选试件

新旧试件的选用见 7.2 条和 7.3 条。

7.8.2 发动机测量

发动机测量见附录 B。

7.8.3 安装时试件的润滑

安装时用试验油润滑所有发动机零件。

7.8.4 密封材料

不做具体规定,但硅基密封胶和密封胶带的使用应特别注意。因为前者可提高废机油中的硅含量,后者的碎片可能会堵塞机油润滑系统的油孔。

7.8.5 垫片

发动机组装时每次均用新垫片。

7.8.6 缸头

7.8.6.1 缸头的改造

为使发动机对油品试验具有较好的苛刻度和重复性,对原发动机的缸头进行的改进见图 7。

7.8.6.2 缸头的清洗

拆下凸轮轴末端塞,用溶剂冲洗并用压缩风吹干。吹干后重新安装凸轮轴末端塞。

7.8.6.3 气门导管

对每个气门进行测量并记录气门杆与导管的间隙。间隙范围为:排气 0.048mm ~ 0.081mm;进气 0.036mm ~ 0.069mm。间隙可通过逐个适配或对导管扩孔进行调整。

7.8.6.4 凸轮轴轴瓦

确保轴瓦孔与主油道座套孔对准。在座套顶部开 $\phi 6.02\text{mm}$ 的孔,以备紧固凸轮挡板。

7.8.6.5 凸轮轴

a. 测量凸耳高度和升程。严禁使用升程超出 6.012mm ~ 6.073mm 范围的凸轮轴。

b. 测量凸耳硬度。在距前边角 1.3mm 处测量凸耳硬度并作记录。

c. 测量油槽的深度和宽度。测量记录第 2 号和 3 号凸耳油槽的深度和宽度。利用式(1)和式(2)计算油槽公称深度和公称宽度。

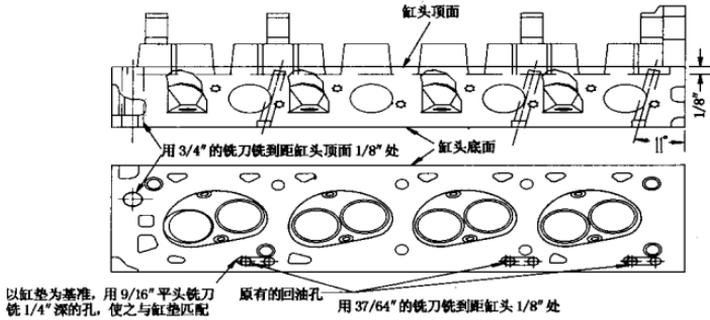


图 7 改进的缸头

$$H = \frac{G + D}{2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$I = \frac{E + R}{2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- H ——油槽公称深度，mm；
- G ——油槽最大深度，mm；
- D ——油槽最小深度，mm。
- I ——油槽公称宽度，mm；
- E ——油槽最大宽度，mm；
- R ——油槽最小宽度，mm。

油槽公称深度必须在 0.99mm ~ 1.19mm 间，油槽公称宽度必须在 1.32mm ~ 1.60mm 间，禁用超出尺寸范围的凸轮轴。

d. 测量凸耳孔。测量记录每个凸耳油孔的直径，直径范围为 1.19mm ~ 1.40mm。可对耳孔进行加工以满足尺寸要求。对加工后仍不合格的凸轮轴严禁使用。

e. 测量轴颈通孔。测量并记录第 2, 3 号轴颈通孔直径，直径范围为 2.95mm ~ 3.15mm。可对通孔进行加工以满足尺寸要求。对加工后仍不合格的凸轮轴严禁使用。

7.8.7 摇臂

用乙酸乙酯清洗每个摇臂并用压缩风吹干。测量并记录每个摇臂的硬度和重量。硬度测量点应位于凸轮轴末端支点与凸耳接触的部位。测量点位于凸轮轴角的接触点 2.5mm 的范围内并靠近摇臂的中心线。硬度低于 HRC57 的摇臂弃用。

7.8.8 气门弹簧

7.8.8.1 自由长度

气门弹簧的自由长度应为 48.3mm ~ 50.8mm。

7.8.8.2 不圆度

气门弹簧的最大不圆度为 1.91mm。

7.8.8.3 载荷

如果气门弹簧的自由长度和不圆度在要求的范围内，在标定仪上测量没有组装的气门弹簧载荷。

将气门弹簧压至 $29.5\text{mm} \pm 0.8\text{mm}$ ，此时载荷应为 $740\text{N} \pm 20\text{N}$ 。

7.8.8.4 安装

用试验油对每一个气门油封和气门杆润滑。将密封小心放于导管上，安装已筛选过的气门弹簧和气门座。安装时不可施加过重的力，用力过大将损坏气门油封。安装后的弹簧高度范围为 $38.8\text{mm} \sim 40.4\text{mm}$ 。

7.8.9 缸体

7.8.9.1 缸体的准备

拆掉所有的油塞与防冻塞，除去冷却液夹套中影响冷却液流动的铸造杂质。去掉位于缸体的内部在机油分离器出口的金属挡板。用 3.18mm ($1/8\text{in}$) 和 12.7mm ($1/2\text{in}$) 的丝锥分别对油尺口和加油口攻丝。

7.8.9.2 缸体的清洗

用热水(温度在 60°C 以上)彻底冲洗并用压缩风吹干。

7.8.9.3 缸体的珩缸

在缸体上安装一个旧缸头垫片，安装应变板，分两步拧紧螺栓(力矩为 $75\text{Nm} \pm 7\text{Nm}$)，然后用角度校正仪顺时针方向拧 $90^\circ \sim 100^\circ$ 。根据所选的活塞尺寸按表 1 条件进行珩缸。珩缸结束后按要求切环(标记好环、活塞所对应的气缸)。上述工作完成后对缸头进行清洗，洗掉所有的机油和冷却液通道的残留物。最后用含 10% (V/V) 试验油的溶剂喷洗并用压缩风吹干。注意：不要将溶剂喷入冷却液通道。

表 1 珩磨机型号和参数选择

参 数	珩磨机型号	
	CK-10	CV-616
磨头转速/(r/min)	155	170
磨头冲程频率/(次/min)	46	57
磨石选择		
$0.20\mu\text{m} \sim 0.36\mu\text{m}$	EHU-525(粗)	
	JHU-820(细)	
$0.38\mu\text{m} \sim 0.51\mu\text{m}$	EHU-525(粗)	
	JHU-625(细)	

7.8.9.4 表面粗糙度

用 0.76mm 触点形貌仪测量每个缸套表面，在缸套直立方向的上、中、下位置记录粗糙度测量结果。定期标定形貌仪。

7.8.9.5 缸套测量

用缸套架(见图 7)在每缸第二压缩环行程范围内，从横、纵两个方向测量缸套上、中、下位置的尺寸，记录缸套的平均直径并计算适合每缸的活塞尺寸。

上述工作完成后，对缸头进行清洗，洗掉所有的机油和冷却液通道的残留物。最后用含 10% (V/V) 试验油的溶剂喷洗并用压缩风吹干。注意：不要将溶剂喷入冷却液道。

7.8.10 活塞

7.8.10.1 检查镀锡层质量

弃用任何镀锡层剥落或起皱的活塞，弃用活塞裙部变色较多或面积较大的活塞。

7.8.10.2 测量

测量并记录在活塞销中线处的活塞直径(垂直活塞销中线)，并测量活塞裙部顶端的直径。用测得

的活塞直径确定活塞和缸套间的配合间隙。活塞锥度由活塞直径和活塞裙部的直径差计算得来，锥度应为正值并不超过 0.038mm。

7.8.10.3 挑选

挑选活塞使之与相应缸套的间隙为 0.036mm ~ 0.056mm。

7.8.11 活塞环

7.8.11.1 挑选

挑选与活塞公称尺寸相配的合适活塞环。例如：0.15mm 的活塞环对应 0.20mm 的活塞；0.45mm 的活塞环对应 0.50mm 的活塞。

7.8.11.2 搭口间隙调整

用活塞环定位器调整第一环和第二环的搭口间隙，以保证窜气量在规定的范围内。一般调整范围为 1.2mm ~ 2.4mm。

7.8.11.3 安装

去掉活塞环的毛刺，把压缩环和油环安装到相应的活塞上，两个开口相互交叉 180 度。两个开口应朝向发动机的前部和后部。

7.8.11.4 测侧向间隙

活塞环侧向间隙不要求。但为易于控制窜气量，侧向间隙应为 0.025mm ~ 0.075mm。

7.8.12 连杆

测量并记录连杆大头的油孔直径。油孔直径要求范围为 1.57mm ~ 1.72mm，可对油孔进行加工以满足规定的要求。

7.8.13 活塞销

在连杆加热器中加热连杆小头，将活塞销插入活塞和连杆中并使活塞销位于连杆的中心。

7.8.14 连杆轴瓦

将连杆瓦分别做上位置标记，分别用溶剂和戊烷冲洗并用压缩风吹干，称量并记录每片瓦的重量。

7.8.15 曲轴

仔细检查轴颈，用 320 号或 400 号砂纸沾少许试验油摩擦。测量并记录轴颈直径，轴颈的最大不圆度应小于 0.015mm。

7.9 组装发动机

7.9.1 组装曲轴和各种缸体零件

安装所有主油道油塞，安装主轴瓦和曲轴，主轴瓦座拧紧力矩为 $115\text{Nm} \pm 7\text{Nm}$ 。主轴瓦间隙要求为 0.038mm ~ 0.051mm，允许间隙为 0.020mm ~ 0.066mm。安装前盖板。

7.9.2 从动轴

安装从动轴和从动轴带轮。

7.9.3 活塞

在相应的缸套中安装活塞，测量并记录连杆瓦间隙。间隙要求为 0.038mm ~ 0.051mm。允许间隙为 0.020mm ~ 0.066mm。

7.9.4 机油系统零件

安装机油泵、油泵取样管和滤网，安装油底壳。

7.9.5 缸头

在缸体上安装缸头，用新缸头紧固螺栓上紧。缸头垫片不允许使用任何密封材料或抗粘着化合物。用试验油润滑紧固螺栓，按图 14 所示顺序紧固螺栓。

7.9.6 安装其他零配件

凸轮轴、锁片，凸轮轴驱动带轮，摇臂，凸轮轴驱动带，凸轮轴挡板并检查其不要与摇臂罩面接

触, 摇臂罩, 水泵, 曲轴点火示踪器, 皮带轮, 进气歧管等。

7.10 发动机上台架

7.10.1 台架系统

发动机试验台架应能控制发动机转速、负荷、空燃比、各种温度以及其他参数。发动机的前面高于后面。飞轮的摩擦面与垂直方向成 $4.0^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$ 夹角, 并保证发动机在 750r/min 和 2500r/min 的转速下振动最小。发动机除与测功机、水泵连接外, 不得连接其他外部设施。

7.10.2 排气歧管

7.10.2.1 安装水冷排气歧管

7.10.2.2 排气取样和排气背压测量装置

安装排气取样和排气背压探测管。检查所有排气系统的连接并保证牢靠。排气取样和排气背压探测管只要能可用可一直使用。

7.10.3 燃油控制系统

7.10.3.1 燃油板安装

将燃油喷嘴安装至燃油板和进气歧管的下半部分。将控制线束连接至燃油喷嘴上, 喷嘴偶对连接使 1 缸和 4 缸、2 缸和 3 缸平行。只要喷嘴喷出的燃油形状和流速没有异常, 燃油喷嘴可重复使用多次。目前还没有燃油喷嘴的使用寿命、燃油流速或喷射形状的专门要求。上一次使用时出现异常燃烧的喷嘴再次使用时应进行清洗。不同制造商生产的喷嘴清洗剂 and 流量测量装置均可使用。发动机运转时不得使用喷嘴清洗剂。

7.10.3.2 喷嘴脉冲

无论曲轴在什么位置, 曲轴每转动一周脉冲对分别启动一次。试验的第 1 阶段脉冲宽度为 7.000ms ~ 7.500ms (燃油压力约为 262kPa); 试验的第 2 阶段为 6.700ms ~ 7.200ms (燃油压力约为 262kPa); 试验的第 3 阶段为 2.500ms ~ 3.500ms (燃油压力约为 207kPa)。

7.10.4 点火系统

采用自动电子点火系统。

7.10.4.1 火花塞

安装新的 Motorcraft AWSF-44 或 AWSF-44C 火花塞, 火花塞间隙为 1.07mm ~ 1.17mm, 安装力矩为 $7\text{N}\cdot\text{m} \sim 14\text{N}\cdot\text{m}$ 。

7.10.5 曲轴箱通风系统

7.10.5.1 机油分离器

用内径 31.8mm、长为 38mm 的聚乙烯软管连接摇臂罩和机油分离器。使分离器接头底部和摇臂罩的上部保持 $139.7\text{mm} \pm 6.4\text{mm}$ 的距离。机油分离器与摇臂罩应平直无弯。整个试验过程中应保持分离器系统垂直, 若有必要可加一个托架支撑分离器。

7.10.5.2 PCV 阀

安装一个经标定的 PCV 阀。将 PCV 阀弯头与内径为 9.53mm 的软管连接。试验过程中保持 PCV 阀呈直立状。

7.10.5.3 进气帽接头

将一个内径为 15.88mm 的透明软管与进气帽接头相连(当已用软管有破损时用新软管)。

7.10.5.4 三通阀

安装一个干净的三通阀并与 PCV 阀软管相连, 将 PCV 阀的软管与三通阀和进气歧管相连。安装后软管拐弯处不允许出现扁平处。

7.10.6 加油管与油标尺

安装加油管和图 3 所示的油标尺。

7.10.7 进气件

安装节气门体和进气帽。

7.10.8 检查台架上所有的外部软管并更换不能使用的软管。检查所有可能影响流量的截门，检查所有接头，保证牢靠。

8 发动机流体——供/排系统

8.1 进气系统

系统应能提供流量为 38L/s，湿度、温度、压力满足试验要求的空气。湿度测量点以后的空气温度要高于露点温度，输气管要有保温措施，以防止空气中的水分冷凝在管壁上而降低进气的实际湿度。进入发动机的空气必须过滤。

8.2 燃油系统

8.2.1 按表 2 对燃油的有关参数进行分析，将分析结果与附录 A 质量指标进行对比。分析结果应在要求偏差范围内。

表 2 燃油分析

参数	允许偏差(±)	参数	允许偏差(±)
蒸气压/kPa	6.9	90%蒸发温度/℃	4.4
总硫含量/(g/L)	0.003	终馏点/℃	0.6
胶质含量/(mg/100mL)	1.0	以下参数必须分析:	
馏程		颜色	透明
初馏点/℃	8.8	水	痕迹
10%蒸发温度/℃	5.6	铅/(g/L)	小于 0.003
50%蒸发温度/℃	6.1	氧化安定性	…

8.2.2 在试验过程中保持燃油压力稳定且不低于 186kPa，燃油温度低于燃油的初馏点。燃油供给系统见图 8。每次试验约需 2385L 燃油。

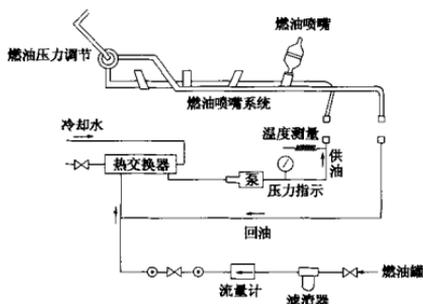


图 8 燃油供给系统

8.3 机油系统

8.3.1 系统描述

为减少台架与台架间试验苛刻度的差异，各台架机油系统的管线、热交换器的布置应完全一致。机油热交换器必须垂直安置，并让机油和冷却水逆向流动。在本方法中，虽然对管线的长度未作规

定，但是，整个外部系统的容量应在 530mL±90mL 内。外部机油系统不能使用铜质材料。

8.3.2 试验用油

进行一次试验至少需 7.6L 新油。为防止意外损耗，一般提供 20L 油。

8.3.3 热交换器

选用的热交换器尽量降低外部机油系统的容积。热交换器具有适当的控温能力(余量不应过大)。

8.3.4 系统清洗

试验前彻底清洗外部机油冷却系统。

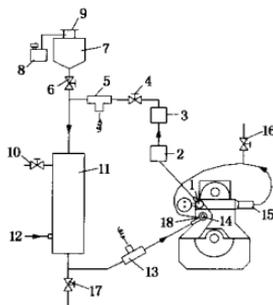
8.3.5 发动机预润滑设备

发动机装配完毕，建议用电钻驱动油泵将主油道中充满油。

8.4 冷却系统

8.4.1 发动机冷却系统

根据试验要求控制发动机冷却液流速和出口温度。发动机冷却液的系统压力保持在 69kPa ± 6.9kPa(在冷却液罐的最高点测量系统压力)。发动机冷却系统流程图见图 9。



- | | | | |
|---------------|------------|----------------|---------------|
| 1—热电偶； | 6—冲洗隔离板； | 11—热交换器； | 16—空气排放阀； |
| 2—观察窗； | 7—罐； | 12—冷却水供给； | 17—冷却系统空气排放阀； |
| 3—文氏流量计； | 8—溢流阀； | 13—冷却液进口控制热电偶； | 18—连接水泵进口回流管。 |
| 4—流量控制阀； | 9—罐盖； | 14—发动机水泵； | |
| 5—冷却液出口流量控制阀； | 10—冷却水控制阀； | 15—进气歧管； | |

图 9 发动机冷却系统流程

冷却液由防锈剂和去离子水或蒸馏水配成，其中每 15L 水加 470mL 的防锈剂。

8.4.2 摇臂罩冷却系统

检查并清洗整个摇臂罩冷却系统。如果摇臂罩的冷却夹套沉积物较多，冲洗整个冷却系统。根据试验要求控制摇臂罩冷却液流速和进口温度(系统压力低于 6.9kPa，以防止损坏夹套)。摇臂罩系统流程图见图 10。

冷却液由防锈剂和去离子水或蒸馏水配成，其中每 15L 水加 470mL 的防锈剂。

8.4.3 排气歧管冷却系统

用冷却水冷却排气歧管。不能将冷却液从发动机冷却夹套流经排气管。为防止由于冷却不充分引起高温，建议加低水压和低水流保护装置。

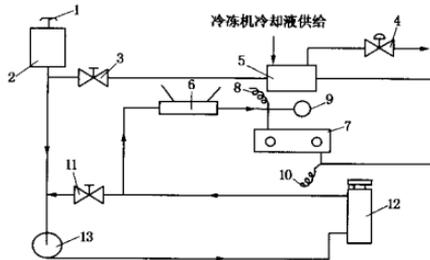
9 测量装置

9.1 温度

9.1.1 设备

采用 J 型或 T 型热电偶，其测量精度和分辨率应满足试验要求。安装时，热电偶的端部应在被测

介质流的中心线上。各测量点位置如下：



- | | | | |
|--------------|--------------|-----------|-------|
| 1—冷却液罐帽； | 5—阶段1和3热交换器； | 9—压力测量系统； | 13—泵。 |
| 2—冷却液罐； | 6—流量测量装置； | 10—出口热电偶； | |
| 3—压力控制阀； | 7—摇壁盖； | 11—流量控制阀； | |
| 4—冷冻机冷却液控制阀； | 8—进口热电偶； | 12—外加热器； | |

图 10 摇臂罩冷却系统流程

9.1.2 测量位置

发动机冷却液进口——在与冷却液管截面的垂点处，距水泵 300mm~400mm。

发动机冷却液出口——在冷却液管线中部，距缸头 25.4mm 范围内。

发动机油进口——在同缸体连接接口板的中部。

发动机油出口——热交换器底部接近交叉口的中部。

进气——在进气管垫片的中部。

摇臂罩冷却液进口——在接近摇臂罩交叉接头中部。

排气歧管——在位于排气歧管上部的垂直交叉口中部。

9.1.3 热电偶的标定

每三次试验标定发动机机油进口、冷却液出口、摇臂罩、进气热电偶。其他测温点的热电偶至少 180 天标定一次。

9.2 压力

9.2.1 设备

测量仪器和传感器的测量精度和分辨率应满足试验要求。

9.2.2 测量位置

进气歧管真空度——在进气歧管的上部。

机油压力——测量机油滤清器接口、进口和缸头后部的机油压力，可用一个多点转换开关，用一个压力传感器测量这三个点的压力。也可分别接传感器测量。

摇臂罩冷却液压力——在冷却液进口交叉接头处。

燃油压力——在燃油管线进口。

进气压力——在进气帽处。若用流体压力表，应防止液体流入进气帽中。

曲轴箱压力——在油面尺管处力。传感器应能测量正压和负压。若用流体压力表，应防止液体流入曲轴箱。

排气背压——在排气取样头的下部。在排气歧管上安装取样和排气背压测量头，并在探头和传感器间安装一个集水器以收集排气中的水分。

发动机冷却液压力——在冷却液流经发动机最高处。保持发动机冷却液压力为 $69\text{kPa} \pm 6.9\text{kPa}$ 。

9.2.3 标定

每三次试验后标定进气压力、排气背压、摇臂罩和发动机冷却液的压力传感器。其他的压力传感

器至少每 180 天标定一次。

9.3 流速

除了发动机冷却液和窜气流速外，对测量仪器未作具体规定。但流速的测量系统的精度和分辨率应满足试验要求。

9.3.1 发动机冷却液

通过测量文氏流量计两端的压力降确定发动机冷却液流速。控制流量时，压力降应为 4.5kPa。

9.3.2 摇臂罩冷却液

摇臂罩的冷却液流量按试验条件要求控制。

9.3.3 窜气

用孔板流量计测量窜气流速。此仪器含 5 个孔，9.53mm 的孔为本试验测量孔。测量时，曲轴箱压力应调到 $0\text{Pa} \pm 25\text{Pa}$ 。

9.3.4 流量计的标定

每次参比油试验前均需对发动机和摇臂罩的冷却液流速进行标定。标定时，可用试验台架上安装的系统标定流量计，也可以将流量计拆下一个涡轮流量计在 1 阶段操作条件下进行标定。试验室所用的窜气流量计每 6 个月标定一次。试验室用于标定流量计的标准流量计每年标定一次。窜气系统的温度测量仪每 6 个月标定一次。

9.4 排气

使用图 11 所示的排气分析仪器测量排气中的 O_2 、 CO 和 NO_x 含量。

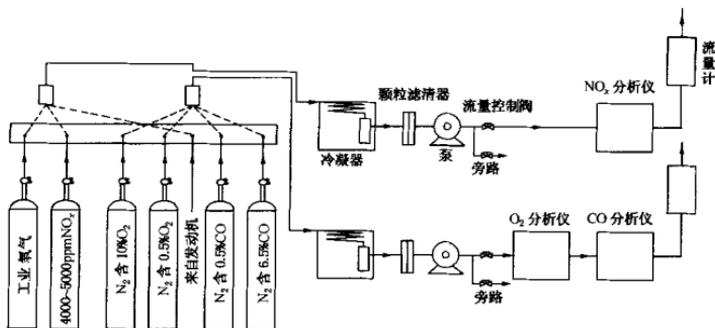


图 11 排气分析仪器

仪器的反应时间是影响测量结果的重要因素。测量 CO 的仪器要求测量范围为 0~20%，本方法中应测量 2 阶段切换到 3 阶段和 3 阶段切换到 1 阶段时的 CO 值。为减少仪表的反应时间， CO 探测仪应尽量靠近台架。

9.5 燃油消耗

用燃油消耗测量仪测量发动机的燃油消耗。如果用体积型的燃油消耗测量仪应有温度补偿并用质量型的流量仪进行标定。台架的流量仪在标定时其标定精度在 1% 范围内。

9.6 转速和载荷

9.6.1 控制系统

发动机的转速和负荷控制系统应能满足试验条件和阶段转换爬坡要求。1 阶段和 2 阶段时要求参数控制在要求的 0.4% 以内。使用部分或全部闭环系统控制转速和负荷。部分闭环系统是通过改变测功机激磁稳定速度并通过改变发动机节流阀位置控制负荷；全部闭环系统是通过改变测功机负荷稳定

速度并通过改变发动机节流阀位置控制转速。

9.6.2 标定

每次试验至少用静载标定一次载荷和读数系统。

10 实验室其他设备

10.1 点火枪

使用一个感应式点火枪测量点火定时。

10.2 量筒

容量, 500mL、1L, 分度值 10mL。

11 试验台架标定

试验台架经过 15 次正式试验后, 用参比油对台架进行标定。未满足标机要求查找原因并解决后再进行参比油试验。

12 试验步骤

12.1 试验准备

12.1.1 发动机冷却系统冲洗

12.1.1.1 用如下方法冲洗发动机冷却系统(利用图 12 所示清洗车, 循环泵保证清洗剂和以 95L/min \pm 19L/min 流速流动), 至少每 6 个月在 66℃ 条件下, 标定发动机冷却液冲洗车冷却液流速。

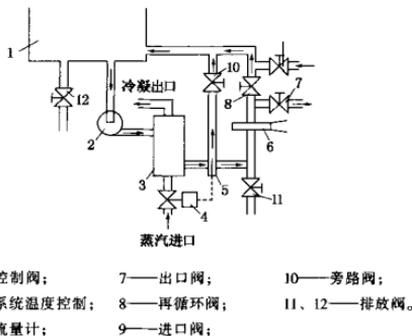


图 12 发动机冷却系统清洗车

12.1.1.2 将冲洗车出口软管连到水泵进口, 冲洗车进口连至发动机冷却液出口。

12.1.1.3 在发动机冷却夹套和冲洗车中加软化水并循环, 使水温达到 66℃ \pm 6℃。

12.1.1.4 打开冲洗车的自循环阀, 关闭进出口阀, 使冲洗车与发动机脱开。

12.1.1.5 在冲洗车中按每升水中加 23g 草酸的比例加入草酸。

12.1.1.6 使草酸在冲洗车中混合 2min。打开冲洗车到发动机的进出口阀, 关闭冲洗车自循环阀。

以 1.6 L/s \pm 0.3L/s 流速循环冷却系统, 在温度达到 66℃ \pm 6℃后, 冲洗循环冷却系统 45min。

12.1.1.7 从发动机和冲洗车中放净清洗剂, 以 95 L/min \pm 19L/min 流速的软化水(水温应低于 43.7℃)冲洗车和发动机至无清洗剂。

12.1.1.8 关闭发动机冷却系统和冲洗车排放阀。在发动机冷却夹套和冲洗车中加入软化水, 使其在发动机内循环到 66℃ \pm 6℃温度。

12.1.1.9 打开冲洗车的自循环阀, 关闭进出口阀门与发动机脱开。

12.1.1.10 在冲洗车系统中按每升水中加 3.8g 碳酸钠的比例加入碳酸钠。

12.1.1.11 使碳酸钠在冲洗车中混合 2min, 打开到发动机的进出口阀门, 关闭自循环阀门, 在 $66^{\circ}\text{C} \pm 6^{\circ}\text{C}$ 温度条件下, 以 $1.6\text{L/s} \pm 0.3\text{L/s}$ 流速循环 45min。

12.1.1.12 从发动机和冲洗车中放出碳酸钠, 以 $95\text{L/min} \pm 19\text{L/min}$ 流速的软化水(水温应低于 43.7°C)冲洗发动机和冲洗车直至进出口的 pH 值相同。

12.1.1.13 放净冷却系统的液体, 取下一个或更多的防冻塞检查冷却夹套。缸体壁应干净无沉积物。尽快安装一个新防冻塞以防生锈。若冷却夹套中仍有沉积物, 重新清洗。

12.1.1.14 尽快向发动机和摇臂罩中加入预调好的冷却液, 以防冷却液夹套生锈。

12.1.2 试验机油的初始加入量

向曲轴箱中加入 $3.67\text{L} \pm 0.03\text{L}$ 试验油。

12.1.3 发动机预润滑

顺时针转动机油泵使缸头主油道有油压显示。预润滑时, 至少转动曲轴 2 周, 保证曲轴在发动机启动时已得到润滑。

12.1.4 发动机磨合步骤

12.1.4.1 实验室中应无尘, 环境温度和湿度不作要求, 风扇或通风应远离发动机。

12.1.4.2 按 A 阶段磨合(见表 3), 启动发动机并在 750r/min 下调节点火定时为 BTDC 28° 。

12.1.4.3 在 A 阶段过程中, 调整定时为 BTDC 28° 并使机油和冷却液温度达到 46°C 。调整燃油喷嘴脉冲宽度使排气中的 CO 含量最大为 6.5%。排除发动机和摇臂罩冷却液中的气体。

表 3 程序 VE 磨合条件

条 件	阶 段		
	A	B	C
时间/min	10	40	40
发动机转速/(r/min)	1500 ± 25	2500 ± 10	750 ± 25
发动机负荷/kW	1.50 ± 0.37	25.00 ± 0.37	0.75 ± 0.37
发动机冷却液出口温度/ $^{\circ}\text{C}$	46.1^{a}	85.0 ± 1.1	46.1 ± 1.1
发动机机油进口温度/ $^{\circ}\text{C}$	46.1^{a}	98.9 ± 1.1	46.1 ± 1.1
摇臂罩冷却液进口温度/ $^{\circ}\text{C}$	29.4^{a}	85.0 ± 1.1	29.4 ± 1.1
摇臂罩冷却液流量/(L/min)	7.6 ± 0.7	—	7.6 ± 0.7
摇臂罩冷却液压力/kPa	—	< 68.9	< 68.9
燃油压力 ^b /kPa	—	186 ~ 276	186 ~ 276
排气中的 CO/% (体积分数)	≤ 6.5	≤ 0.4	6.5 ± 0.5
排气中的 O ₂ /% (体积分数)	—	0.8 ~ 1.2	< 0.7

^a 目标值;
^b 压力应稳定在规定的范围内。

12.1.4.4 运转 35 分钟后记录 B 阶段、C 阶段所有参数。此外, 记录燃油压力和摇臂罩冷却液压力。

12.1.4.5 每一阶段开始, 调整燃油喷嘴脉冲宽度, 使排气中的 CO 和 O₂ 达到规定值。(注意: 发动机一般状态转换后大约需 15min 达到稳态; 长时间在富油条件下操作将导致燃油稀释并改变试验苛刻度)

12.1.4.6 磨合试验的爬坡要求见表 4。

表 4 程序VE磨合爬坡要求

A 阶段到 B 阶段	
发动机转速	0.5min ~ 1.5min 内必须达到 2490r/min
发电机负荷	0.5min ~ 2min 内必须达到 25.0kW ± 0.37kW
发动机机油进口温度	7min, 满足 52.8℃ ~ 61.7℃; 25min, 必须达到 97.8℃
发动机冷却液出口温度	8.5min, 满足 61.7℃ ~ 75.0℃; 13min ± 2min, 必须达到 83.9℃
摇臂罩冷却液进口温度	2min, 大于 35.0℃; 6.5min, 满足 51.7℃ ~ 62.8℃; 13 min ± 2min, 必须达到 83.9℃
B 阶段到 C 阶段	
发动机转速	0.5min ~ 2min, 必须达到 775r/min
发电机负荷	0.5min ~ 2min, 必须达到 0.75kW ± 0.37kW
发动机机油进口温度	6.5min, 满足 65.0℃ ~ 80.6℃; 13min ± 2min, 必须达到 47.2℃
发动机冷却液出口温度	3.5min, 满足 55.0℃ ~ 76.1℃; 7min ± 2min, 必须达到 47.2℃
摇臂罩冷却液进口温度	6.5min, 满足 51.7℃ ~ 62.8℃; 10min, 大于 35.0℃; 13 min ± 2min, 必须达到 30.6℃

12.1.5 油标尺的标定

完成 A 阶段后, 关掉发动机, 立即断开进气。20min 后, 确定油标尺满刻度值并用镙帽锁紧。

12.1.6 发动机磨合试验后工作

完成 C 阶段, 关掉发动机, 去掉机油滤清器。20min 后检查并记录机油液面。不许调整油尺。这是为了磨合后检查燃油稀释程度, 并不作为计算试验过程中的机油消耗。

12.2 发动机操作步骤

12.2.1 启动发动机

按照下面详述的步骤启动发动机。注意: 发动机启动前, 应确认发动机排气歧管中有冷却水。若无冷却水, 会引起排气歧管过热损坏。

12.2.1.1 打开点火回路、保护回路、燃油调整系统、燃油泵和摇臂罩冷却液泵。

12.2.1.2 设定燃油喷嘴脉冲宽度并连接进气管。

12.2.1.3 启动发动机。发动机启动后, 脉冲宽度应尽快回到磨合时 C 阶段设定的宽度。

12.2.1.4 燃油、启动和节流阀控制系统的设定应保证在 10s 内启动发动机。由于点火式发动机需要富油启动, 一般热启动或冷启动时, 有必要将脉冲宽度设为 1 阶段或 2 阶段的脉冲宽度(见 7.10.3.2)。

12.2.1.5 若发动机启动困难, 应查找原因(点火问题、燃油过浓或过稀等)。不要频繁启动发动机, 频繁启动发动机会增加机油的燃油稀释并增大发动机磨损。发动机启动时不能在进气帽处加燃油。

12.3 正式试验

启动发动机进行正式试验。每小时按附录 E 的形式记录试验参数。正式试验运转条件见表 5、表 6。

表 5 程序VE正式试验运转条件

参 数		阶 段		
		1	2	3
时 间/min		120	75	45
发动机负荷	转速/(r/min)	2500 ± 10	2500 ± 10	750 ± 25
	功率/kW	25.00 ± 0.37	25.00 ± 0.37	0.75 ± 0.37

表 5(续)

参 数		阶 段		
		1	2	3
发动机机油	进口温度/℃	68.3±1.1	98.9±1.1	46.1±1.1
	泵压力/kPa	记录	记录	记录
	主油道压力/kPa	记录	记录	记录
	泵与主油道压差/kPa	记录	≤103.4 ^a	记录
	缸头压力/kPa	记录	记录	记录
	主油道与缸头压差/kPa	记录	记录	记录
发动机冷却液	出口温度/℃	51.7±1.1	85.0±1.1	46.1±1.1
	进出口温差/℃	记录	记录	记录
	流量/(L/min)	56.8±1.9	记录	—
	歧管出口温度/℃	记录	记录	记录
摇臂罩冷却液	进口温度/℃	29.4±1.1	85.0±1.1	29.4±1.1
	流量/(L/min)	7.6±0.7	记录	7.6±0.7
进 气	温度/℃	32.2±1.1	32.2±1.1	32.2±2.8
	湿度/(g/kg)	11.43±0.71	11.43±0.71	11.43±0.71
	压力/kPa	50±25	50±25	50±25
发动机呼气系统	校正后的漏气/(L/min)	56.6±7.1	—	—
	曲轴箱压力/Pa	记录	记录	记录
	进气真空度/kPa	24~34	24~34	记录
点火与燃料	点火正时/(°)(BTDC)	28±1	28±1	28±1
	燃油消耗速率/(kg/h)	记录	记录	记录
	燃油压力/kPa	记录	记录	记录
排气分析	O ₂ /(体积分数)	0.8~1.2	0.8~1.2	小于0.7
	CO/(体积分数)	小于0.4 ^b	小于0.4 ^b	6.5±0.5
	NO _x /ppm	—	记录	—
^a 1~6 循环要求;				
^b 在操作条件下,燃油压力保持 186kPa ~ 276kPa 间一恒定值。				

表 6 程序 VE 试验爬坡要求

3 阶段到 1 阶段	
发动机转速	25s ~ 40s, 达到 1600r/min; 55s ~ 75s, 达到 2490r/min
发动机扭矩	50s, 为 9.5N·m ~ 29.1N·m; 70s ~ 90s, 达到 61.01N·m; 85s ~ 105s, 达到 88.19N·m
CO	10s, < 10%; 30s, 10% ~ 15%; 60s ~ 85s, 达到 10%; CO 曲线峰点为 12.7% ~ 15.3%; 90s, < 5%
发动机机油进口温度	5min, 52.8℃ ~ 61.7℃; 10min ± 2min, 67.2℃
发动机冷却液出口温度	4min, 50.6℃

表 6(续)

1 阶段到 2 阶段	
发动机机油进口温度	6.5min, 79.4℃; 13min ± 2min, 97.8℃
发动机冷却液出口温度	4.5min, 63.3℃ ~ 75.0℃; 9min ± 2min, 83.9℃
摇臂罩冷却液进口温度	6.5min, 51.7℃ ~ 68.3℃; 13 ± 2min, 83.9℃
2 阶段到 3 阶段	
发动机转速	55s, 1500r/min ~ 1750r/min; 105s ~ 125s, 775r/min
发动机扭矩	10s ~ 30s, 60.01N·m; 55s, 9.5 ~ 27.1N·m
CO	0s ~ 30s, < 1%; 35s, 10.0% ~ 15.5%; 50s ~ 75s, 10.0%, CO 曲线峰点为 13.0% ~ 15.5%
发动机机油进口温度	6.5min, 65.0℃ ~ 80.6℃; 13min ± 2min, 47.2℃
发动机冷却液出口温度	3.5min, 55.0℃ ~ 76.1℃; 7min ± 2min, 47.2℃
摇臂罩冷却液进口温度	6.5min, 51.7℃ ~ 62.8℃; 10min, > 35.0℃; 13min ± 2min, 30.6℃

12.4 试验中的一些说明

12.4.1 正常停机步骤

每次正常停机时遵循如下步骤:

- 调整发动机转速至 750r/min;
- 关掉点火;
- 降低进气压力至大气压。

12.4.2 发动机非正常停机

每次停机时遵循如下步骤:

- 调整发动机转速至 750r/min;
- 关掉点火和摇臂盖冷却液泵;
- 降低进气压力至大气压。

30min 的机油液面检查时间是方法允许的正常停机时间, 已计入试验时间。但可能为了对机器进行必要的维护而停机所用时间, 应作为非正常停机时间写入最后的试验报告中。

12.4.3 循环操作的一般描述

a) 如表 5 所示, 试验由三个阶段构成。三个阶段组成一个循环。每个循环 4h, 共计 72 个循环 288h。24h 完成连续 6 个循环, 每 6 个循环调整机油液面(见附录 F)。

b) 爬坡时的参数变化速率要求见表 6。转速、温度和载荷的变化速率以及阶段转化间的富油状态都影响油泥形成和磨损。因此, 调整好第 2 阶段至第 3 阶段和第 3 阶段至第 1 阶段转换时的转速、载荷、排气中的 CO 和 O₂ 含量。试验 12h ~ 48h 时需记录这些参数。若台架进行标定试验, 还应记录 240h ~ 288h 时的这些参数。

12.4.4 进气歧管真空度

发动机载荷、空燃比、点火定时和发动机磨损等多个因素影响进气歧管真空度。所以, 它不是一个特别控制参数, 但可用于监测发动机运转状况。进气歧管真空度在第 1 阶段向第 2 阶段转换时, 尽管发动机转速、载荷和 LAMBDA 相同, 但进气歧管真空度值一般降低, 这是由于进气歧管的进气温度较高, 进气密度降低所致。发动机磨合阶段, 试验的前几个循环进气真空度一般较高。若发动机磨损较大, 随着试验的进行, 进气真空度降低。若进气歧管真空度超出了方法要求的范围, 可能表示载荷、点火定时、排气组成或多个因素共同所致。

12.4.5 燃油消耗率

整个试验过程中，燃油消耗率应保持相对稳定。和进气真空度一样，燃油消耗率不是一个特别控制参数，而是用于监测发动机运转状况。燃油消耗率高，将使缸套、凸轮轴和摇臂磨损增大。整个试验过程中，燃油消耗率应保持低于 8.2kg/h。

尽管第 1 阶段和第 2 阶段的发动机转速、载荷和空燃比相同，但第 1 阶段的燃油消耗率比第 2 阶段的大，这是由于第 2 阶段的操作温度高提高了发动机的效率。稳态时的燃油波动大可能表示燃油系统或供油系统有问题。

12.4.6 爆震

爆震表明燃烧不正常并会引起发动机的快速损坏。如果发生爆震，应尽快采取措施改正。发动机载荷、点火定时、空燃比及控制系统的异常都可能引起爆震。

12.4.7 排气组分含量

排气中的 CO、O₂ 和 NO_x 含量反应燃烧是否正常。

CO 含量高，表明进入发动机的燃油多。CO 含量低，表明进入发动机的燃油少；取样管的空气泄漏、PCV 阀堵塞严重或燃油控制系统有问题等都将影响 CO 的读数或引起错误读数。

O₂ 含量高，通常是由点火不正常或排气取样管泄漏或测量系统有问题所致。燃油喷嘴或点火问题可引起点火不正常。

与其他发动机相比，程序 VE 试验时排气中 NO_x 含量高。在废气中增加 NO_x，提高了试验苛刻度。整个试验中的 NO_x 含量应一致。每次试验 NO_x 水平应比较一致。排气中的 NO_x 含量主要受燃烧的温度影响。NO_x 的含量受多个因素的影响，缸头、凸轮轴、点火定时和空燃比对 NO_x 的影响较大。载荷和发动机操作温度对 NO_x 的影响较小。NO_x 的测量精度对取样管的流速敏感。

12.4.8 曲轴箱压力

窜气流速和 PCV 阀流量对曲轴箱压力有影响。曲轴箱压力高通常是由窜气流速高或 PCV 阀的流量损失大所致。曲轴箱压力低或呈负压通常是由窜气流速低或 PCV 阀堵塞所致。

12.4.9 机油压力

机油粘度和操作温度影响机油压力。机油压力一般在 1 阶段最高，在 3 阶段最低，整个试验过程中机油压力应保持一致，除非机油的粘度有明显增大。机油泵出口压力和发动机主油道压力差异较大表明外部系统有障碍或轴承间隙较大。发动机主油道机油压力与缸头主油道压力差异较大表明缸头垫阻碍机油流动或流向 PCV 阀板的流速增大。发动机主油道与缸头主油道压力差比正常低，表明凸轮轴耳孔堵塞引起通过凸轮轴的机油流速降低。

12.4.10 机油温度

机油温度的差异主要受冷却液流速的影响，在试验过程中一般是稳定的。冷却液流速或温度测量系统出问题可引起机油温度波动。

12.5 定期测量

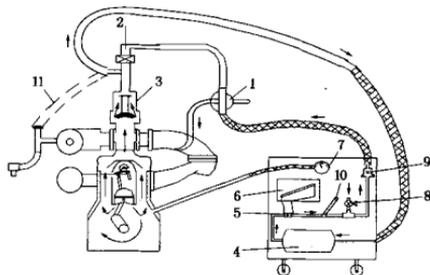
12.5.1 窜气流速测量

在每一循环的 1 阶段的第二小时内测量并记录窜气流速。发动机在此阶段应运行平稳且窜气温度至少为 32℃，窜气温度与平均室温温差不应大于 4.6℃。窜气流速测量装置如图 13 所示。一般每个循环只测一次窜气流速。偶尔多测是确定或证实窜气流速测量装置的问题和发动机的问题。记录多余的测量并作解释。最后在试验报告的附加操作条件中应含这些数据。

12.5.1.1 测量步骤

- 完全打开窜气测量仪放气阀。
- 将输出管线与三通阀相连。
- 窜气测量仪入口管接至进气呼吸器的软管上。
- 将三通阀从发动机 PCV 阀转到测量窜气仪上的模拟 PCV 阀。

- e. 将窜气测量仪压力传感器接至油尺插管处。
- f. 调整放气阀保持曲轴箱压力为 $0\text{Pa} \pm 25\text{Pa}$ 。
- g. 记录压差，窜气温度和压力表压力。
- h. 断开窜气测量仪压力传感器并重新装上油尺管压帽。



- | | | | |
|-----------|--------|-------------|-----------|
| 1—不锈钢三通阀； | 4—缓冲罐； | 7—曲轴箱压力指示计； | 10—测热电偶； |
| 2—PCV 阀； | 5—量孔计； | 8—调节阀； | 11—漏气回流管。 |
| 3—油分离器； | 6—压力计； | 9—模拟 PCV 阀； | |

图 13 漏气测量装置

- i. 断开窜气测量仪入口管接至进气呼吸器的软管，把进气呼吸器的软管接至呼吸器上。
- j. 断开输出管线，将三通阀转置发动机 PCV 阀。
- k. 计算窜气流速。用式(3)将数据校正为标准条件下的数据。

$$Q = V \times [18.844(P/11675 + 9/5T + 32)]^{0.5} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- Q ——校正的窜气流速，L/min；
 V ——窜气流速，L/min；
 P ——压力表压力，kPa；
 T ——窜气温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

12.5.2 点火定时测量

每三个循环的第 1 阶段测量并记录点火定时。

12.5.3 排气分析

记录排气中 CO 和 O_2 的含量。排气中 CO 和 O_2 含量应在第 1 阶段的发动机油和冷却液温度达到温度条件后立即测量(进入状态约 15min 后)。每 24h 测量并记录第 2 阶段的 NO_x 含量。

12.5.4 更换 PCV 阀

在第 48h、96h、144h、192h 和 240h 测量机油液面时更换 PCV 阀。保存旧 PCV 阀，用于试验后测量堵塞状况。

12.5.5 加油、取油样

按附录 F 加机、取油样。每 12h 补加机油一次，每 24h 取机油油样。试验中不许另外添加新机油。

12.5.5.1 取油样步骤

- a) 用量杯取 150mL 新油。发动机转至第 3 阶段后的 15min 内，取 150mL 死区油至含新油的量杯中。
- b) 从发动机中取 60mL 分析油样。标上试验号、时间、已试验小时数和机油号，以示区别。
- c) 除了第 288h 外，每一次取油样时均要将 a 步量取的 300mL 新旧混合机油倒入发动机，注意防

止任何形式的机油损失。

d) 288h 时不加机油，这样使最后放出的机油作为 288h 的油样。

12.5.5.2 测量机油液面步骤

- a) 发动机转至 3 阶段后，加入 150mL 新油。
- b) 在 3 阶段条件下运转 10min。
- c) 关掉点火但摇臂罩的冷却液泵不关。
- d) 将进气压力转为大气压。
- e) 发动机停机 20min 后，测量并记录机油液面。
- f) 若前 192h 的机油液面比 360mL 低，则由于机油消耗太大，试验无效。
- g) 若机油液面高于满刻度，取出足量的机油以达到满刻度。
- h) 若机油液面在或低于满刻度，不取油。
- i) 在记录纸上记录所有的操作。
- j) 按要求换 PCV 阀。
- k) 第 1 阶段开机前，按第 3 阶段的转速和载荷运行 5min。
- l) 按要求进入下一循环操作。

12.5.6 窜气量调整

如果平均窜气量超过了规定范围，可以通过增大或减少活塞压缩环的搭口间隙来调整窜气量。一次试验可作两次间隙调整（一次换新环和重新切环或两次均为重新切环）。调整环搭口间隙前，测量并记录所用环的搭口间隙尺寸，以用于试验结束后计算环的搭口间隙增量。

12.5.6.1 窜气量大的调整

若窜气量大，只能在试验的前 48h 内调整一次，将压缩环换成搭口间隙小的新环。

12.5.6.2 窜气流速低的调整

窜气量低，可在试验的前 120h 内最多作两次调整。可通过增大压缩环的搭口间隙来实现。在调整中，除了位于环间隙中间的沉积物，不得清除任何沉积物。

12.5.7 窜气调整时发动机的拆装（试验结束前）

发动机拆开时，应将油底壳中的机油尽量放净并保存待重新装机。保证所有影响试验结果的零件上的沉积物不被破坏。重新装机时，最多可用 180mL 最近一次检查油面时的油样润滑发动机零件而不能新试验油。发动机组装完后，加入从油底壳放出的试验油。

12.6 试验结束

试验最后一个循环结束后，立刻放掉发动机和摇臂罩中的冷却液。6h 后，放净机油并解体发动机。

13 试验结果说明

13.1 评分室

清洁无尘。除了活塞、摇臂罩和缸体，所有的发动机零件应在光照度为 3800lx ~ 5400lx 的冷白荧光灯下评分，背景和邻近壁面应是不反光的白色。活塞、摇臂罩是在光照度为 3800lx ~ 6500lx 的荧光灯下，背对 100% 的白色板进行评分。缸体是用一个带冷白荧光的 15W 的裸灯泡进行评分。

13.2 评分件的放置

评分件最少放置 4h 使机油流出，不能人为使机油尽快流出。评分件具体放置形式如下：

摇臂罩垂直放置（夹套表面与地平面垂直）。

凸轮轴挡板垂直放置（挡板上部表面与地面垂直）。

气缸盖排气口表面向下放置。

前密封套与在发动机安装时的位置相同放置。

油底壳呈 45°角，机油盘向下放置。
 机油滤网与发动机组装时一样放置。
 发动机缸体面向天花板。

13.3 试验结果的评定

按照附录 C 的评分表内容，对评分件进行评分。除本标准专门的规定外，参照 SH/T0510《汽油机油发动机试验评分法》的规定评分。

13.3.1 沉积物评分

13.3.1.1 油泥评分

对摇臂罩、凸轮挡板、油底壳、曲轴前密封盖、气缸盖上表面、气缸体下表面进行油泥评分。

平均发动机油泥评分是摇臂罩、凸轮挡板、油底壳、曲轴前密封盖、气缸盖上表面、气缸体下表面六个油泥评分的算术平均值。

13.3.2 漆膜评分

完成油泥评分后，用 25mm 宽的软布，从一个方向稍微用力地擦去要进行漆膜评分处的油泥，直到没有油泥为止。对摇臂罩、凸轮挡板、油底壳及活塞裙部、气缸壁进行评分。

平均发动机漆膜评分是活塞裙部、摇臂罩、凸轮挡板、油底壳和气缸壁五个漆膜评分的算术平均值。

13.3.3 堵塞评定

13.3.3.1 机油滤网的堵塞

评定油泥和残渣堵塞滤网的百分率。

13.3.3.2 油环的堵塞

评定四个活塞的油环堵塞百分率，计算平均堵塞率。

13.3.3.3 凸轮油孔的堵塞率

按式(4)计算凸轮油孔的堵塞率。

$$M = (I - F) / I \times 100 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

M ——凸轮轴油孔堵塞率，%；

I ——初试流速，L/min；

F ——最后流速，L/min。

孔堵塞被定义为孔流速降低大于 80%。

13.3.3.4 PCV 阀的堵塞率

按式(5)计算 PCV 阀的堵塞率。

$$N = (I - F) / I \times 100 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

N ——PCV 阀堵塞率，%；

I ——初试流速，L/min；

F ——最后流速，L/min。

13.3.4 粘结的评定

13.3.4.1 压缩环粘结的评定

按 3.8 术语评定压缩环的粘结程度。

13.3.4.2 液压挺杆柱塞粘结的评定

记录粘结的个数。

13.3.5 磨损测量

13.3.5.1 凸轮磨损

测量凸轮从基圆到顶部的高度，试验前后的高度差即为磨损量。

13.3.5.2 摇臂失重

用乙酸乙酯清洗并吹干。称量摇臂重量并根据试验前的称量结果计算摇臂失重。

13.3.5.3 连杆轴瓦失重

用溶剂清洗并吹干。称量轴瓦重量并根据试验前的称量计算轴瓦失重。

13.3.5.4 活塞环磨损

彻底清洗活塞环端面，待其装到缸体后，测量环间隙。计算环间隙增大。对试验过程中对环间隙的任何调整均应作补偿。

13.3.5.5 缸套磨损量

在第二压缩环行程范围，在缸套上、中、下部进行横向测量。根据试验前后的测量结果计算磨损。

13.3.6 油样分析

按附录 G 的内容对油样进行分析。

13.3.7 机油中的燃油稀释量

对 12h、108h、204h 和 288h 的机油油样，用 SH/T 0474 方法测定稀释汽油含量。

13.3.8 不溶物

对试验 108h、204h 和 288h 取的机油油样作戊烷不溶物分析。

13.3.9 其他沉积物

13.3.10 活塞内冠顶评分

对四个活塞内冠顶进行评分。

13.3.11 环岸沉积物评分

与比色板比较分别对四个活塞的一环岸、二环岸(两个压缩环间的区域)和油环岸(油环和第二个环间的区域)上沉积的积碳和漆膜进行评分。对低于 1.0(优点评分)的碳分为两类：重碳和轻碳。重碳指与其周围表面相比，碳的堆积更多并有抛光或擦亮。将重碳的优点分定为 0.0。将其他部位的碳视为轻碳并评为 0.75(优点)。对由于拆机时造成的沉积物的变化以其相邻的未改变区域的评分为准。不可将已有变化的部位评分按干净评分。

14 试验有效性评估

14.1 排气中 NO_x 的平均水平

NO_x 平均水平应在最近 10 个标定试验的 NO_x 平均值之内(允许偏差为 600 μ g/g)。NO_x 的值降低太多，可导致油泥苛刻度下降。

14.2 试验机油分析

14.2.1 铁和铜含量

试验油样中铁和铜的含量可反应试验过程中的磨损状况。凸轮轴、摇臂、缸套的磨损增大导致铁含量升高。铁含量增大可能会引起油泥增多。尽管油样中的铁含量是线性提高，但其中的铁含量变化仍能反映磨损的变化。铜的含量基本为一常数，除非连杆轴瓦失重太多。

14.2.2 硅含量

硅含量反映外部杂质或密封材料的污染。若发现硅含量较高，检查油中是否含有硅胶、进气是否干净、发动机组装时，各部件是否清洗干净、装油样的容器是否干净。

14.2.3 燃油稀释

燃油稀释反映燃油对油底壳中机油的稀释程度。油底壳机油的燃油稀释对试验苛刻度有影响，稀释太多将促进磨损并增大油泥。燃油稀释的重复性只能在同一个试验室内用同一个分析仪器和同一种方法得出的结果进行比较。比正常的燃油稀释高时应查明原因。

14.3 窜气流速

窜气流速应为 $0.83\text{L/s} \sim 1.06\text{L/s}$ 。试验的 48h ~ 192h 间最多 12 个窜气的读数可比 1.06L/s 大。48h ~ 192h 的窜气流速高于 1.06L/s (实测窜气流速 - 1.06L/s) 的总和不应大于 1.2L/s 。前 192h 的窜气流速最多不应超过 16 个低于 0.83L/s 的。前 192h 的窜气流速低于 0.83L/s (0.83L/s - 实测窜气流速) 的总和不应超过 1.6L/s 。

14.4 进气歧管真空度

进气真空度出现异常, 应查找原因。读数不正常可能由于进气真空度测量系统、发动机组装、排气背压、发动机转速、发动机载荷和空燃比的异常所致。

14.5 燃油消耗率

试验的任何时间, 燃油消耗率均不能超过 8.2kg/h 。

14.6 机油消耗

试验的前 192h 机油最后液面不应低于 360mL 。若机油液面在后续的试验时间内低于 360mL , 查明原因。

14.7 停机

尽量减少停机次数。整个试验停机次数不应超过 12 次。尽量减少停机时间, 且总的停机时间不得超过 100h。

14.8 偏差百分比

14.8.1 偏差百分比按式(6)计算

$$DP = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{M_i}{0.5R} \times \frac{T_i}{D} \right]}{n} \times 100 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- DP——偏差, %;
- M_i ——第 i 点试验参数与方法要求极限的偏差量;
- R——试验参数的范围;
- T_i ——第 i 点试验参数超出要求极限的持续时间, s;
- n——超限次数;
- D——试验阶段的持续时间, s。其值如下:

主要试验参数	除数(D)
机油进口温度	288
冷却液出口温度	288
点火定时	288
排气中的氧(1阶段和2阶段)	234
排气中的CO(3阶段)	48
次要试验参数	除数(D)
发动机转速	288
功率	288
摇臂罩冷却液流速(1阶段和2阶段)	198
排气背压(1阶段和2阶段)	234
特殊参数	除数(D)
冷却液流速	144
摇臂罩进口	288

14.8.2 超过以下偏差的均为无效试验

主要试验参数	2.5%
--------	------

次要试验参数

5.0%

14.9 状态转换

从第2阶段转到第3阶段和从第3阶段转到第1阶段时,任何不能满足表6所列的转速、扭矩、CO、O₂数值的试验均无效。

15 试验报告

报告格式见附录D。

16 精密度和偏差

按下述规定判断试验结果的可靠性(95%的置信水平)。

16.1 非参比油精密度

16.1.1 重复性(*r*)

由于同一个发动机、同一个台架和同一个试验室进行非参比油试验受到限制,用本试验方法没有进行类似的非参比油试验。目前以参比油试验重复性来估计非参比油的试验的重复性。

16.1.2 再现性(*R*)

本方法的非参比油试验的精确度是由方法使用者递交的数据统计而得的。每一套数据均由一个发动机的两个或更多的试验结果获得。每一套数据可能是在同一试验室或不同试验室用任何一批试验燃油得到的。表7的统计数据是美国1992年4月1日至1994年9月30日期间试验的各种发动机沉积物和磨损参数,经筛选250次的结果后得出的。

表7 非参比油精密度

未转化的试验结果		
项 目	再 现 性	
	标准偏差	再现性
平均发动机漆膜(优点评分)	0.35	0.98
平均活塞漆膜(优点评分)	0.25	0.70
转化的试验结果		
项 目	再 现 性	
	标准偏差	再现性
平均发动机油泥评分(AES)[-ln(9.65 - AES 优点评分)]	0.56	1.57
摇臂罩油泥评分(RCS)[-ln(9.65 - RCS 优点评分)]	0.51	1.43
平均凸轮磨损(ACW)(-mils)	0.71	1.60
最大凸轮磨损(MCW)[ln(mils)]	1.02	2.86

注:此数据是由美国ASTM统计计算的,放在平均凸轮磨损和最大凸轮磨损采用英制单位。

16.2 参比油精密度

16.2.1 重复性(*r*)

同一操作者使用同一仪器在相同的操作条件下,对同一试样测定得到的两个结果之差不能超过表8中的值。

16.2.2 再现性(*R*)

不同操作者在不同的实验室,对同一试样测定得到的两个结果之差不能超过表8中的值。

16.3 偏差

因为油样性能仅在规定条件下确定，没有绝对标准偏差，故不可能取得油样性能的偏差。

表 8 参比油精密度

未转化的试验结果				
项 目	重复性		再现性	
	标准偏差	重复性	标准偏差	再现性
平均发动机漆膜(优点评分)	0.26	0.73	0.28	0.78
平均活塞漆膜(优点评分)	0.25	0.70	0.24	0.67
转化的试验结果				
项 目	重复性		再现性	
	标准偏差	重复性	标准偏差	再现性
平均发动机油泥评分(AES)[-ln(9.65 - AES 优点评分)]	0.48	1.34	0.48	1.34
摇臂罩油泥评分(RCS)[-ln(9.65 - RCS 优点评分)]	0.50	1.40	0.52	1.46
平均凸轮磨损(ACW)/(mils) ^{1/2}	0.56	1.57	0.56	1.57
最大凸轮磨损(MCW)/(mils) ^{1/2}	0.83	2.32	0.83	2.32

注：此数据是由美国 ASTM 统计计算的，故在平均凸轮磨损和最大凸轮磨损采用英制单位。

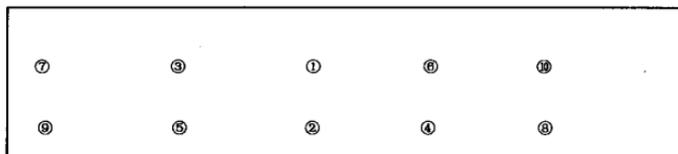


图 14 缸头螺栓加力顺序

附 录 A
(规范性附录)

试验燃料的技术要求

项 目		质量指标	试验方法
研究法辛烷值(RON)	不小于	95	GB/T 5487
抗爆指数(RON + MON)/2	不小于	90	GB/T 5487、GB/T 503
铅含量/(g/L)	不大于	0.005	GB/T 8020
馏程			
10%蒸发温度/℃	不高于	70	GB/T 6536
50%蒸发温度/℃	不高于	120	
90%蒸发温度/℃	不高于	190	
终馏点/℃	不高于	205	
残留量和损失量/%	不大于	3.5	
蒸气压/kPa	不大于	80	GB/T 8017
实际胶质/(mg/100mL)	不大于	5	GB/T 8019
诱导期/min	不小于	480	GB/T 8018
硫含量/(质量分数)	不大于	0.10	GB/T 380
博士试验		通过	SH/T 0174
铜片腐蚀(50℃,3h)/级	不大于	1	GB/T 5096
水溶性酸或碱		无	GB/T 259
酸度/(mgKOH/100mL)	不大于	3	GB/T 258
机械杂质及水分		无	GB/T 511 和 GB/T 260
组成/(体积分数)			GB/T 11132
烷烃和环烷烃		41 ~ 43	
烯 烃		12 ~ 14	
芳 烃		45 ~ 47	

附 录 B
(资料性附录)

发动机装配和测量记录表

试 验 油 _____

缸体试验次数 _____

活 塞 型 号 _____

组 装 测 量 日 期 _____

组 装 者 _____

表 B.1 缸径测量

气缸号	位置	横向直径/mm (LD)	纵向直径/mm (TD)	平均内径(ABD)/mm (中 TD + 下 TD)/2	不圆度(LD - TD)/mm (≤ 0.025 mm)	圆柱度/mm (≤ 0.038 mm)
1	上					
	中					
	下					
2	上					
	中					
	下					
3	上					
	中					
	下					
4	上					
	中					
	下					

表 B.2 活塞测量

气缸号	活塞直径的可接受范围/mm ($ABD^* - 0.056 - ABD - 0.036$)	选定活塞的直径/mm		选定活塞的 圆柱度/mm (≤ 0.038 mm)
		垂直于活塞 销中心线	活塞裙部末 端横向	
1	~			
2	~			
3	~			
4	~			

* ABD——平均气缸套内径。

表 B.3 压缩环搭口测量

气缸号	第一环 (1.2mm ~ 2.4mm)	第二环 (1.2mm ~ 2.4mm)	侧间隙(0.025mm ~ 0.075mm)	
			第一环	第二环
1				
2				
3				
4				

表 B.4 重调压缩环搭口间隙和磨损

气缸号	环名	__h 环搭口 间隙/mm	重切后环搭口 间隙/mm	__h 环搭口 间隙/mm	重切后环搭口 间隙/mm	因磨损搭口 增加/mm
1	第一环					
	第二环					
2	第一环					
	第二环					
3	第一环					
	第二环					
4	第一环					
	第二环					

表 B.5 主轴径和主轴瓦测量

轴径号	水平直径(HD)/mm (60.91mm ~ 60.94mm)	垂直直径(VD)/mm (60.91mm ~ 60.94mm)	不圆度(VD - HD)/mm (≤ 0.015 mm)	主轴瓦间隙/mm (0.020mm ~ 0.066mm)
1				
2				
3				
4				
5				

表 B.6 主轴径和连杆瓦测量

轴径号	水平直径(HD)/mm (51.98mm ~ 52.00 mm)	垂直直径(VD)/mm (51.98 mm ~ 52.00 mm)	不圆度(VD - HD)/mm (≤ 0.015 mm)	连杆瓦间隙/mm (0.020mm ~ 0.066mm)
1				
2				
3				
4				

表 B.7 主轴瓦测量

主轴瓦桶号	垂直直径(VD)/mm
1	
2	
3	
4	

表 B.8 连杆瓦测量

连杆瓦桶号	垂直直径(VD)/mm
1	
2	
3	
4	

表 B.9 机油泵标定

油泵转速, 1250r/min \pm 10r/min	
油泵流速, 2.5L/min \pm 0.1L/min	
油温, 52°C \pm 3°C	
油泵压力, 2.9kPa \pm 0.5kPa	
油泵号	

表 B.10 连杆油孔直径

连杆号	直径/mm (1.57mm ~ 1.72mm)
1	
2	
3	
4	

表 B.11 凸轮孔直径

凸轮	孔直径/mm(1.194mm ~ 1.397mm)
1排	
1进	
2排	
2进	
3排	
3进	
4排	
4进	

表 B.12 凸轮硬度

凸轮	凸轮硬度值/HRC(\geq HRC50)
1排	
1进	
2排	
2进	
3排	
3进	
4排	
4进	

表 B.13 凸轮轴磨损

凸 轮		根部到凸轮顶部高度/mm
1 排	试验前	
	试验后	
	差	
1 进	试验前	
	试验后	
	差	
2 排	试验前	
	试验后	
	差	
2 进	试验前	
	试验后	
	差	
3 排	试验前	
	试验后	
	差	
3 进	试验前	
	试验后	
	差	
4 排	试验前	
	试验后	
	差	
4 进	试验前	
	试验后	
	差	
最大磨损量		
平均磨损量		

表 B.14 摇臂失重

摇 臂		质量/g
1 排	试验前	
	试验后	
	差	
1 进	试验前	
	试验后	
	差	
2 排	试验前	
	试验后	
	差	
2 排	试验前	
	试验后	
	差	
3 排	试验前	
	试验后	
	差	
3 进	试验前	
	试验后	
	差	
4 排	试验前	
	试验后	
	差	
4 进	试验前	
	试验后	
	差	
最大失重		
平均失重		

表 B.15 凸轮高 6.012mm ~ 6.073mm

凸轮位置	凸轮根到尖(BH)/mm	基圆(BC)/mm	尖高(BH - BC)/mm
1 排			
1 进			
2 排			
2 进			
3 排			
3 进			
4 排			
4 进			

表 B.16 凸轮轴油槽尺寸测量

	油孔直径/mm (2.946mm ~ 3.150mm)	槽深/mm(0.991mm ~ 1.194mm)			槽宽/mm (1.321mm ~ 1.600mm)
		最大	最小	平均	
前					
后					

表 B.17 凸轮轴油孔流速测量 在 $2.49\text{kPa} \pm 0.05\text{kPa}$ 下

	1	2	3	4	5	6	7	8
试验前								
试验后								

表 B.18 连杆瓦失重

连杆号		上瓦重/g	下瓦重/g	总失重/mg
1	试验前			—
	试验后			—
	差			
2	试验前			—
	试验后			—
	差			
3	试验前			—
	试验后			—
	差			
4	试验前			—
	试验后			—
	差			
最大失重:				
平均失重:				

表 B.19 气门弹簧测量

弹簧位置	自由长度/mm (48.26mm ~ 51.054mm)	安装高度/mm (39.624mm \pm 0.762 mm)	将安装前弹簧压至 $29.464\text{mm} \pm 0.762\text{mm}$ 的力/N(760N \pm 40N)	不圆度/mm ($\leq 1.9812\text{mm}$)
1 排				
1 进				
2 排				
2 进				
3 排				
3 进				
4 排				
4 进				

表 B.20 气门杆和导管间隙

阀门	导管直径(GD)/mm (8.720mm~8.745mm)	阀杆直径(SD)/mm	间隙(GD-SD)/mm
		排气:(8.664mm~8.682mm) 进气:(8.677mm~8.694mm)	排气:(0.048mm~0.081mm) 进气:(0.036mm~0.069mm)
1排			
1进			
2排			
2进			
3排			
3进			
4排			
4进			

表 B.21 摇臂硬度

摇臂号	摇臂硬度/HRC(\geq HRC57)
1排	
1进	
2排	
2进	
3排	
3进	
4排	
4进	

表 B.22 缸径目标值

缸号	直径/mm
1	
2	
3	
4	

表 B.23 凸轮轴承支座供油

支座号	供油孔/mm	凸轮喷油槽/mm			
		试验前		试验后	
		宽	深	宽	深
1					
2					
3					
4					
5					

表 B.24 PCV 阀流速测量

		初始流速测量		最后流速测量		平均流速	
		60.8	27.0	60.8	27.0	60.8	27.0
0h 安装的 PCV 阀 1							
安装前	压差/kPa					—	
	流速/(L/min)						
拆下后	压差/kPa					—	
	流速/(L/min)						
48h 安装的 PCV 阀 2							
安装前	压差/kPa					—	
	流速/(L/min)						
拆下后	压差/kPa					—	
	流速/(L/min)						
96h 安装的 PCV 阀 3							
安装前	压差/kPa					—	
	流速/(L/min)						
拆下后	压差/kPa					—	
	流速/(L/min)						
144h 安装的 PCV 阀 4							
安装前	压差/kPa					—	
	流速/(L/min)						
拆下后	压差/kPa					—	
	流速/(L/min)						
192h 安装的 PCV 阀 5							
安装前	压差/kPa					—	
	流速/(L/min)						
拆下后	压差/kPa					—	
	流速/(L/min)						
240h 安装的 PCV 阀 6							
安装前	压差/kPa					—	
	流速/(L/min)						
拆下后	压差/kPa					—	
	流速/(L/min)						

附 录 C
(资料性附录)

程序 V E 评分表

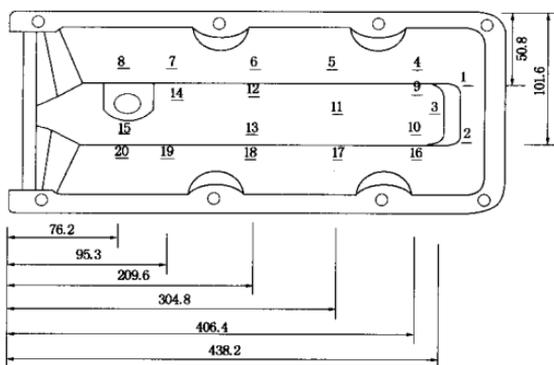
送样单位_____

活塞型号_____

试验日期_____

评分员_____

摇臂罩油泥评分



说明：摇臂罩顶面评分位置离边 19.1mm 或中点

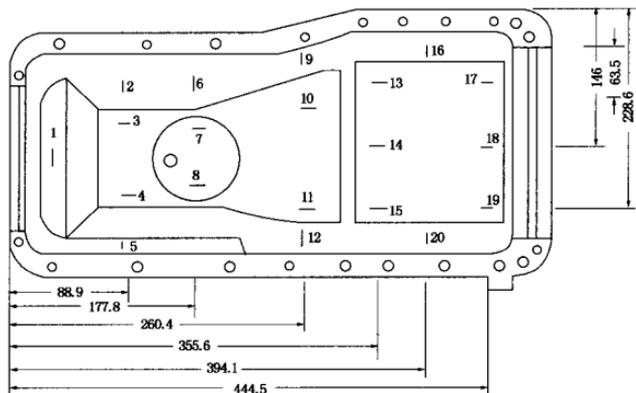
摇臂罩垂直评分位置离盖底 69.9mm

厚度尺寸按(一)取向

深度等级	评分位置																				合计点数	覆盖面积/%	体积系数			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
干净																										
1/4A																										
1/2A																										
3/4A																										
A																										
AB																										
B																										
BC																										
C																										
D																										
E																										
F																										
G																										
H																										
I																										
J																										
总 计																										

摇臂罩油泥评分：

油底壳油泥评分



说明：评分位置点 3、4 离油底壳边 25.4mm

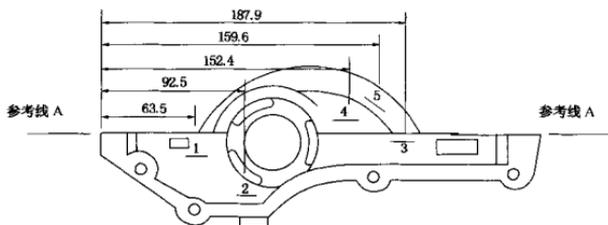
评分位置点 7、8 离油底壳边 19.1mm

厚度尺寸按(—)取向

深度等级	评分位置																				合计点数	覆盖面积/ %	体积系数			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
干净																										
1/4A																										
1/2A																										
3/4A																										
A																										
AB																										
B																										
BC																										
C																										
D																										
E																										
F																										
G																										
H																										
I																										
J																										
																						总计				

油底壳油泥评分：

曲轴前挡板油泥评分



说明：评分位置 1 在参考线 A 以下 19.1mm

评分位置 2 在参考线以下 38.1mm

评分位置 3 在参考线以下 6.4mm

评分位置 4 在参考线以上 12.7mm

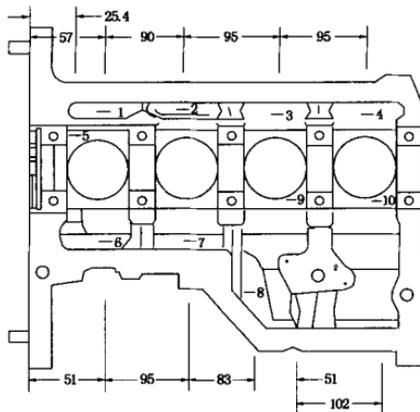
评分位置 5 在参考线以上 38.1mm

厚度尺寸按(—)取向

深度等级	评分位置					合计点数	覆盖面积/%	体积系数
	1	2	3	4	5			
干净								
1/4A								
1/2A								
3/4A								
A								
AB								
B								
BC								
C								
D								
E								
F								
G								
H								
I								
J								
总数								

曲轴前挡板油泥评分：

气缸体下表面油泥评分



说明：评分位置 1、2、3、4 离安装缸垫内表面 25.4mm

评分位置 5、6、7 离缸筒 12.7mm

评分位置 8、9 离安装缸垫内表面 28.6mm

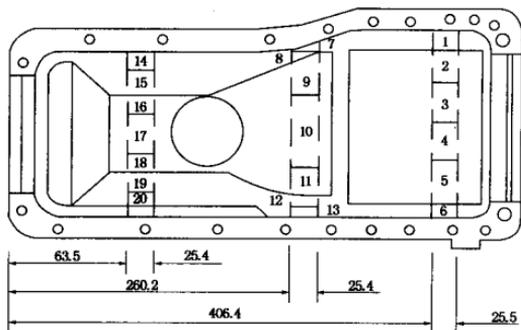
评分位置 10 离安装缸垫内表面 25.4mm

厚度尺寸按(—)取向

深度等级	评分位置										合计点数	覆盖面积/%	体积系数	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
干净														
1/4A														
1/2A														
3/4A														
A														
AB														
B														
BC														
C														
D														
E														
F														
G														
H														
I														
J														
总数														

气缸体下表面油泥评分：

油底壳漆膜评分

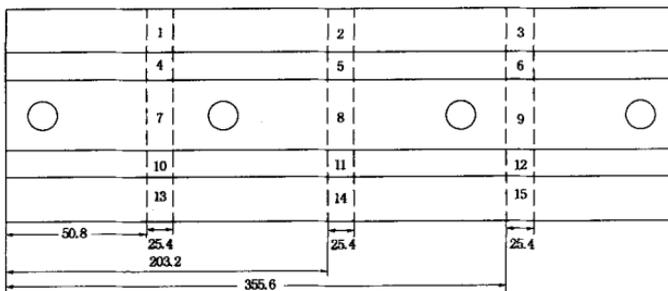


范围	得分
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

范围	得分
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

油底壳漆膜评分:

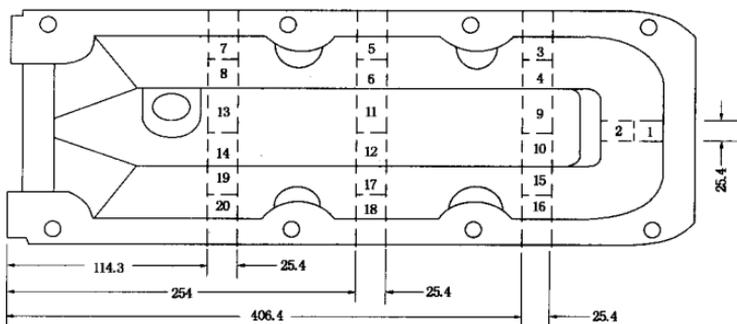
凸轮挡板漆膜评分



范 围	得 分
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	

凸轮挡板漆膜评分：

摇臂罩漆膜评分

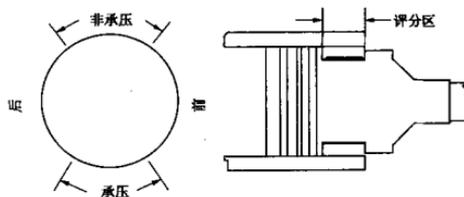


范围	得分
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

范围	得分
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

摇臂罩漆膜评分：

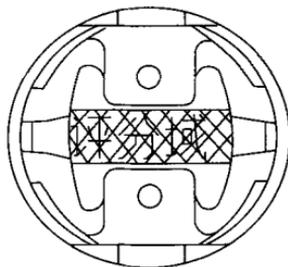
活塞裙部漆膜评分



活 塞 号	承 压 面	非 承 压 面	平 均
1			
2			
3			
4			
平 均			

活塞裙部漆膜评分：

活塞内顶漆膜评分



活 塞 号	评 分
1	
2	
3	
4	

活塞内顶漆膜评分：

活塞环粘结

活塞号	第一环	第二环	油环
1			
2			
3			
4			
总热粘结			
总冷粘结			

O = 自由环; T = 紧环; H = 热粘结环; C = 冷粘结环; 油环冷粘结或自由。

进气阀评分

阀号	评分
1	
2	
3	
4	

机油滤网堵塞

杂质/%	油泥/%

气缸壁漆膜评分

气缸号	区域				平均
	承压	非承压	前	后	
1					
2					
3					
4					
总 数					

凸轮油孔堵塞

油孔号	试验前流速/ (L/min)	试验后流速/ (L/min)	堵塞/%
1进			
1排			
2进			
2排			
3进			
3排			
4进			
4排			

液压挺杆粘结

挺杆号	局部粘结	粘 结
1进		
1排		
2进		
2排		
3进		
3排		
4进		
4排		
5进		
5排		
总数		

环岸沉积物评定

活塞号	一环岸	二环岸	油环岸
1			
2			
3			
4			
平均评分			

附录 D
(资料性附录)

内燃机油低温油泥和抗磨损性能评定法
(程序 V E 法)
试验报告

送样单位：
油样名称：
试验编号：
试验日期：
试验方法：
试验时间：
试验燃油：
试验单位：
评分员：
试验室负责人：
室主任：

D1 程序VE试验

D1.1 简介

程序VE试验用于评定内燃机油油泥、漆膜等沉积物生成倾向和抗磨损性能。内燃机油性能是通过试验后发动机零部件表面油泥、漆膜的评分及阀系、活塞环和连杆轴瓦的磨损测量来评价的。

试验用FORD 2.3L直列式、四缸发动机。发动机的特征是顶置凸轮轴、快速燃烧的气缸盖设计、电子点火燃料喷射。试验所用燃油是不含清净剂的无铅汽油。

D1.2 试验方法概述

试验前将发动机完全解体，严格按照试验方法规定用溶剂清洗、测量、重新组装。试验台架配有功率吸收系统并能对发动机转速、负荷、有关各点温度、压力以及其他操作参数进行测量和控制。

试验包括72次重复的4h循环试验，共288h。每一循环分三个阶段。第一阶段，发动机在中等转速、负荷、机油和冷却液温度下，贫油状态运行120min；第二阶段，发动机的转速和负荷同阶段一，提高机油及冷却液温度，贫油状态运行75min；第三阶段，发动机在怠速、低油温、低冷却液温度和富油状态下运行45min。

试验结束后，发动机在试验台架上保持6小时，然后放出发动机内的润滑油，拆机检查有关零部件并进行评分。

D1.3 试验后检查项目

试验结束后解体发动机，在评分室内按方法规定，对有关零部件进行下述各项评分。

- (1) 油泥评分：摇臂罩、凸轮挡板、油底壳、曲轴前密封盖、气缸盖上表面、气缸体下表面。
- (2) 漆膜评分：活塞裙部、摇臂罩、凸轮挡板、油底壳、气缸壁。
- (3) 堵塞评分：机油泵滤网、PCV阀、凸轮轴油道、油环。
- (4) 粘结评分：活塞环、液压挺杆。
- (5) 磨损评分：凸轮、摇臂、连杆瓦。
- (6) 油样分析。

D1.4 试验条件

参 数		阶 段		
		1	2	3
时 间/min		120	75	45
发动机	转速/(r/min)	2500 ± 10	2500 ± 10	750 ± 25
	功率/kW	25.00 ± 0.37	25.00 ± 0.37	0.75 ± 0.37
发动机机油	进口温度/℃	68.3 ± 1.1	98.9 ± 1.1	46.1 ± 1.1
	泵压力/kPa	记录	记录	记录
	主油道压力/kPa	记录	记录	记录
	泵与主油道压差/kPa	记录	小于 103.4°	记录
	缸头压力/kPa	记录	记录	记录
	主油道与缸头压差/kPa	记录	记录	记录
发动机冷却液	出口温度/℃	51.7 ± 1.1	85.0 ± 1.1	46.1 ± 1.1
	进出口温差/℃	记录	记录	记录
	流量/(L/min)	56.8 ± 1.9	记录	—
	歧管出口温度/℃	记录	记录	记录

(续)

参 数		阶 段		
		1	2	3
时 间/min		120	75	45
摇臂罩冷却液	进口温度/℃	29.4±1.1	85.0±1.1	29.4±1.1
	流量/(L/min)	7.6±0.7	记录	7.6±0.7
进 气	温度/℃	32.2±1.1	32.2±1.1	32.2±2.8
	湿度/(g/kg)	11.43±0.71	11.43±0.71	11.43±0.71
	压力/kPa	50±25	50±25	50±25
发动机呼气系统	校正后的漏气/(L/min)	56.6±7.1	—	—
	曲轴箱压力/Pa	记录	记录	记录
	进气真空度/kPa	24~34	24~34	记录
点火与燃料	点火正时/(°)(BTDC)	28±1	28±1	28±1
	燃油消耗速率/(kg/h)	记录	记录	记录
	燃油压力/kPa	记录	记录	记录
排气分析	O ₂ /%(体积分数)	0.8~1.2	0.8~1.2	小于0.7
	CO/%(体积分数)	小于0.4 ^b	小于0.4 ^b	6.5±0.5
	NO _x /ppm	—	记录	—

^a1~6循环要求;
^b在操作条件下,燃油压力保持186kPa~276kPa间一恒定值。

D1.5 试验评分结果

1. 油泥评分

摇臂罩	
凸轮挡板	
气缸盖上表面	
前盖板	
缸套	
油底壳	
平均发动机油泥	

2. 漆膜评分

活塞裙部	
摇臂罩	
凸轮挡板	
缸壁	
油底壳	
平均发动机漆膜	

3. 磨损

凸轮最大磨损/mm	
凸轮平均磨损/mm	
摇臂最大失重/mg	
摇臂平均失重/mg	
第一环搭口间隙增量/mm	
第一环搭口间隙平均增量/mm	
连杆瓦平均失重/mg	
连杆瓦最大失重/mg	

4. 堵塞评价

机油滤网油泥堵塞率/%	
机油滤网杂质堵塞率/%	
油环堵塞率/%	
PCV网(在60.8kPa时测定)堵塞率/%	
PCV网(在27.0kPa时测定)堵塞率/%	
凸轮通油孔堵塞个数	

5. 粘结

挺杆粘结数	
压缩环热粘结数	
油环粘结数	

6. 其他评价

进气阀沉积物	
平均漏气量流速/(L/min)	
机油耗量/mL	

D2 程序VE试验操作条件

参 数	第 1 阶段			第 2 阶段			第 3 阶段		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
发动机转速/(r/min)									
发动机功率/kW									
发动机机油进口温度/℃									
机油泵压力/kPa									
主油道机油压力/kPa									
泵与主油道压差/kPa									
缸头机油压力/kPa									
主油道与缸头压差/kPa									
发动机冷却液出口温度/℃									
发动机冷却液进口温差/℃									
发动机冷却液流量/(L/min)									
排气歧管冷却液出口温度/℃									
摇臂罩冷却液进口温度/℃									
摇臂罩冷却液流量/(L/min)									
进气温度/℃									
进气湿度/(g/kg)									
进气压力/kPa									
校正后的窜气流速/(L/min)									
曲轴箱压力/Pa									
进气歧管真空度/kPa									
点火正时/(°)(BTDC)									
燃油消耗速率/(kg/h)									
排气背压/kPa									
排气中 O ₂ 含量/%									
排气中 CO 含量/%									

D3 磨损、堵塞测量记录

位置	凸轮磨损/ mm	凸轮油孔堵塞率 (空气流量减少)/%	摇臂失重/ mg	气门弹簧弹力/ N
1 排气				
1 进气				
2 排气				
2 进气				
3 排气				
3 进气				
4 排气				
4 进气				

D4 机油耗量记录

循环	试验时间	油耗/mL	液面高度
6	23h35min		
12	47h35min		
18	71h35min		
24	95h35min		
30	119h35min		
36	143h35min		
42	167h35min		
48	191h35min		
54	215h35min		
60	239h35min		
66	263h35min		
72	287h35min		
总油耗/mL			

D5 油样分析

试验小时/ h	Fe 含量/ %(质量分数)	Cu 含量/ %(质量分数)	40℃粘度/ (mm ² /s)	稀释汽油含量/ %(质量分数)	戊烷不溶物/ %(质量分数)
新油					
12					
108					
204					
288					

D6 特殊维修事项记录

试验时间/h	试验阶段	停机时间/h	停机原因	解决方法	备注

D7 照片

油底壳、摇臂罩、凸轮挡板、活塞承压面和非承压面(最差和平均各一个)、机油滤网、摇臂(最差和最好各一个)、凸轮轴凸耳(最差和最好)。

附录 E
(资料性附录)

程序 VE 试验记录表

试验油编号	送样单位												试验日期												第 页	
记录时间																										
循环																										
阶段	1	1	2	3	1	1	2	3	1	1	2	3	1	1	2	3	1	1	2	3	急速					
阶段时间/min	60	60	75	45	60	60	75	45	60	60	75	45	60	60	75	45	60	60	75	45	10	35				
操作者																										
累积时间/h:min																										
EngSpeed 发动机转速/(r/min)																										
Load 发动机负荷/kg																										
Power 发动机功率/kW																										
Torque 发动机扭矩/(N·m)																										
ClinInT 发动机冷却进口温度/℃																										
ClinOutT 发动机冷却出口温度/℃																										
ClinDifT 发动机冷却进出口温差/℃																										
OilInT 机油进口温度/℃																										
OilOutT 机油出口温度/℃																										
Int, AirT 进气温度/℃																										
RAC InT 摇臂罩冷却液进口温度/℃																										
AmbientT 大气温度/℃																										
MarManT 排气歧管冷却液温度/℃																										
FuelRaT 燃油温度/℃																										
DynoOutT 测功机冷却出口温度/℃																										
LoadCelT 负载池温度/℃																										
DewPoint 进气露点温度/℃																										
Humidity 进气湿度/(g/kg)																										
OilPumpP 机油泵压力/kPaG																										
OilGulyP 机油主油道压力/kPaG																										
OilHeadP 缸头机油压力/kPaG																										
Oil(P-C) 油压差/kPaG																										
Oil(P-H) 油压差/kPaG																										
FuelP 燃油压力/kPaG																										
ManflidP 进气歧管压力/kPaV																										
CoolantP 冷却液压力/kPaG																										
ExhaustP 排气背压/kPaA																										
BarometP 大气压力/kPaA																										
IntAirP 进气压力/kPaG																										
CrankspP 曲轴箱压力/kPaG																										
FuelRate 燃油消耗速率/(kg/h)																										
Coolflow 冷却液流量/(L/min)																										
RACFlow 摇臂罩冷却液流量/(L/min)																										
窜气压力/kPa(表压)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1. 加 150 mL 新油					
窜气流速/(L/min)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2. 10 min 后关掉发动机					
窜气温度/℃	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3. 20 min 后检查油尺刻度					
大气压力/kPaA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4. 调整机油液面至满刻度					
窜气流速校正系数	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
校正后的窜气流速/(L/min)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
点火定时/(°)(BTDC)			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X						
排气中 O ₂ 含量/%																										
排气中 CO 含量/%																										
排气中 NO _x 含量/ppm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						

附录 F
(资料性附录)

程序 VE 取样、加油和调整液面

循环	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72
试验时间/h	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204	216	228	240	252	264	276	288
1. 取死区油 150mL		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X
2. 取 60mL 分析油样 (288h 取 40mL)		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X
3. 加回 1 步死区油		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X
4. 加 150mL 新油																								
5. 关掉发动机	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
6. 20min 后检查液面	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
7. 计量油刻度: 满刻度用“0”表示, 高于满刻度用“+”mL 数表示, 低于满刻度用“-”表示	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
8. 在步骤 1 开始前 5min 启动发动机	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
9. 放出油量: 记放油 mL 数, 使刻度在满位置“0”上, 未放记录为 0	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
10. 最后油面为满刻“0”或完成第 9 步骤后的刻度	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
11. 操作人签名																								

注意: 若 10 步的机油液面低于 360mL, 停止试验。

附录 G
(资料性附录)

机油分析

试验小时/ h	Fe 含量/ %(质量分数)	Cu 含量/ %(质量分数)	40℃粘度/ (mm ² /s)	稀释汽油含量/ %(质量分数)	戊烷不溶物/ %(质量分数)
0(新油)					
12					
108					
204					
288					