

团体标准

T/CICEIA XXX-XXXX

车用天然气发动机 爆震试验方法

Vehicle natural gas engines - Knock test method

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

目 次

前 言.....II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 试验要求..... 1

5 试验方法..... 3

6 试验数据处理..... 4

附 录 A（资料性） 发动机技术规格及试验技术参数..... 5

附 录 B（资料性） 试验用市售天然气成分记录..... 6

附 录 C（规范性） 基准燃料的技术要求..... 7

附 录 D（资料性） 试验测量参数记录表..... 8

图 1 天然气发动机爆震试验系统..... 2

图 2 爆震散点云图..... 4

表 A.1 发动机技术规格..... 5

表 A.2 发动机试验技术参数表..... 5

表 B.1 试验用市售天然气成分记录..... 6

表 C.1 基准燃料 G_R 的技术参数..... 7

表 C.2 基准燃料 G_{20} 的技术参数..... 7

表 D.1 试验测量参数记录表..... 8

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工业协会提出。

本文件由中国内燃机工业协会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：潍柴动力股份有限公司、XXX、XXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX。

本文件为首次发布。

车用天然气发动机 爆震试验方法

1 范围

本文件规定了车用天然气发动机的爆震试验要求、试验方法、试验数据处理等。

本文件适用于M₂、M₃、N₁、N₂和N₃类及总质量大于3500kg的M₁类汽车装用的天然气发动机。装用以甲醇、氢气作为燃料的点燃式发动机参照执行。

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 11122 柴油机油

GB/T 11062 天然气 发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法

GB/T 13610 天然气的组成分析 气相色谱法

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 汽车发动机及驱动电机净功率测试方法

GB 18047 车用压缩天然气

GB 29743.1 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

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

爆震 knock

点燃式发动机缸内末端混合气的快速自燃现象，通常伴随缸内压力的波动以及明显的金属敲击声。

3.2

示功图 indicator diagram

气缸内工质在整个工作循环内压力变化的图形。

3.3

甲烷值 methane number, MN

衡量点燃式发动机所用气体燃料抗爆性能的数值。

3.4

爆震压力峰值 knock pressure peak, KP

缸内压力经过高通滤波后得到的高频压力信号的峰值。

4 试验要求

4.1 仪器设备要求

天然气发动机爆震试验系统，包括发动机、爆震传感器、缸压采集系统、电力测功机、发动机控制单元（ECU）、数据采集系统等（如图 1），相关设备要求如下：

- 试验用发动机应按经企业规定程序批准的产品图样和技术文件制造要求，零部件和附件应符合有关标准或产品图样规定；
- 电力测功机、数据采集系统应符合 GB 17691-2018 中附录 C 的要求；
- 缸压采集系统中缸压传感器的灵敏度系数偏差应 $\leq 5\%$ ，安装时传感器头部端面与燃烧室壁面宜齐平，减少通道效应的影响；
- 缸压采集系统中编码器的角度采样精度应 $\leq 0.1^\circ$ CA；
- 缸压采集系统整体测量链阻抗应大于 $10^{12} \Omega$ ，防止出现信号失真或者无信号；
- 试验仪器设备检定周期各企业根据自身情况确定，但不宜超 1 年；

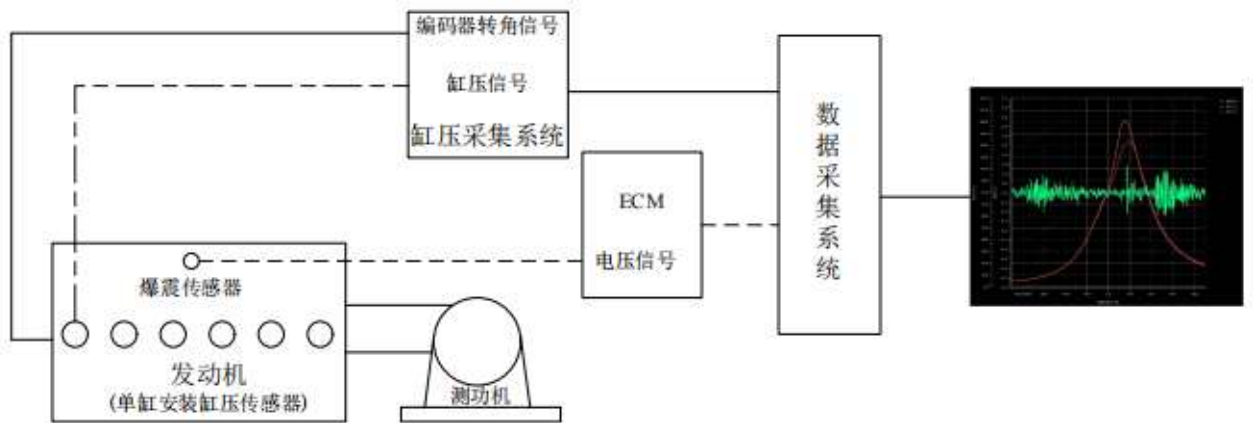


图 1 天然气发动机爆震试验系统

4.2 环境要求

试验环境应满足以下要求：

- 环境温度：20℃~30℃；
- 环境湿度：40% RH~60% RH；
- 环境压力：90 kPa~110 kPa

实际环境条件应在试验报告中注明。

4.3 试验用油液要求

试验用发动机机油以及冷却液的牌号和规格，应符合制造厂所制定的技术条件或满足以下规定：

- 机油应符合 GB 11122 的规定；
- 冷却液应符合 GB 29743.1 的规定。

4.4 其他要求

天然气发动机爆震试验还应满足以下要求：

- 试验过程中发动机不应出现故障；
- 发动机与测功机的连接应最大限度减小引起发动机燃烧或机体振动；
- 试验用天然气发动机冷却液温度根据制造厂技术文件控制，冷却液温度控制精度 $\pm 2^\circ\text{C}$ ；
- 带中冷器的机型，中冷后气温根据制造厂技术文件控制，温度控制精度 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

5 试验方法

5.1 试验准备

5.1.1 试验前准备工作如下：

- a) 参照附录 A 表 A.1 查核并记录发动机的关键参数信息；
- b) 试验前，发动机应按照表 A.2 要求调整发动机运行条件并按照制造厂推荐规范磨合并充分预热后方可开始试验；
- c) 对于有爆震控制功能的天然气发动机，试验前关闭爆震控制功能，并将爆震传感器电压信号单独接入数据采集系统中；
- d) 试验前应按照 GB 17692-2024 中附录 C 的要求安装天然气发动机附件。

5.1.2 试验用燃料应为符合 GB 18047 要求的市售燃料，参照附录 B 表 B.1 记录天然气成分。具体要求如下：

- a) 对于按照 GB 17691-2018 附录 M 规定，能适应市场上任何组分燃料的天然气发动机，应使用附录 C 中规定的基准燃料 G_R 与 G_{20} 进行试验；
- b) 对于按照 GB 17691-2018 附录 M 规定，限定燃料范围的天然气发动机，应根据制造厂申报燃料情况进行试验；
- c) 对于 a) 所述天然气发动机，也可根据制造厂要求，使用甲烷值不超过 80 的第三种市售天然气进行试验，试验结果可作为评价爆震一致性的基础。

5.2 外特性试验

外特性试验步骤如下：

- a) 天然气发动机外特性试验在油门全开位置进行；
- b) 根据制造厂技术文件要求，在最低稳定工作转速和额定转速之间，每隔 100 r/min 进行一次试验；
- c) 待转速、扭矩、机油温度、冷却液温度等技术文件要求参数至少持续稳定后 3 min，方可开始参数记录（参数记录参照表 D.1）。同时，测量发动机每一曲轴转角的气缸压力，得到缸内压力的角度域信号 $p_c(\phi)$ ，气缸压力记录循环数不少于 300 个循环；
- d) 根据 5.1.2 中的要求，更换燃料后重复上述步骤 a) -c)。

5.3 爆震试验

爆震试验步骤如下：

- a) 根据制造厂技术文件要求，发动机运行在最低稳定工作转速，选取 75%负荷点、50%负荷点进行试验；
- b) 待转速、扭矩、机油温度、冷却液温度等技术文件要求参数至少持续稳定后 3 min，方可开始参数记录（参数记录参照表 D.1）。同时，测量发动机每一曲轴转角的气缸压力，得到缸内压力的角度域信号 $p_c(\phi)$ ，气缸压力记录循环数不少于 300 个循环；
- c) 发动机转速增加 100 r/min，重复步骤 a) -b)，直至发动机转速达到额定转速；
- d) 根据 5.1.2 中的要求，更换燃料后重复上述步骤 a) -c)。

6 试验数据处理

6.1 外特性试验数据处理

外特性数据处理步骤如下：

- 绘制发动机关键参数（如功率、扭矩、最大爆发压力等）随转速变化的外特性曲线，根据制造厂技术文件规定分析发动机运行是否正常；
- 绘制不同转速下的气缸压力示功图，分析发动机燃烧是否正常；
- 绘制不同转速下，所采集的燃烧循环中不同燃烧参数的曲线，燃烧参数包括不限于最大爆发压力等。按式（1）计算单缸燃烧参数的不均匀度。

$$\varepsilon = \left| \frac{\rho_{\max}(\text{或}\rho_{\min}) - \rho_{\text{avg}}}{\rho_{\text{avg}}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\rho_{\max}(\text{或}\rho_{\min})$ ——记录循环中某项燃烧参数的最大（或最小）值；

ρ_{avg} ——记录循环中某项燃烧参数的算术平均值。

6.2 爆震试验数据分析

对记录循环中的缸压信号进行高通滤波后，按式（2）计算爆震压力峰值 KP_n 。

$$KP_n = |p_{hp}|_{\max, n} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

n ——循环数；

p_{hp} ——气缸压力的高通滤波值。

对记录循环中的爆震传感器电压信号按式（3）进行积分得到爆震强度 KI 。

$$KI_n = \int_0^{720} |u(\varphi)| d\varphi \dots\dots\dots (3)$$

式中：

n ——循环数；

$u(\varphi)$ ——爆震传感器电压信号随曲轴转角值。

如图2所示，针对所有燃烧循环，以 KP_n 为横坐标轴，以 KI_n 为纵坐标轴，绘制散点云图，分析得出该受试机型爆震情况，制造厂家可综合发动机制造水平、公差以及强度，确定 KP 值，进一步分析该机型的爆震可靠性。

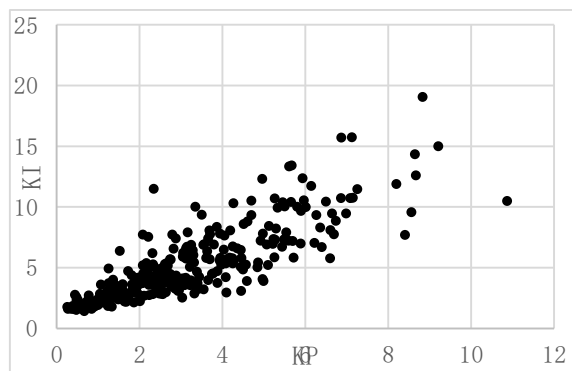


图 2 爆震散点云图

附 录 A

(资料性)

发动机技术规格及试验技术参数

A.1 天然气发动机技术规格

表A.1~表A.2为发动机技术规格及试验技术参数记录表。

表 A.1 发动机技术规格

结构型式和技术参数	
制造厂家	
型号	
气缸数-缸径×行程	
排量 (L)	
压缩比	
额定功率/额定转速 (kW/(r/min))	
最大扭矩 (N·m/(r/min))	
最低稳定工作转速	
点火正时曲线 (说明方式如提前角/转速)	
机油型号	
冷却液型号	

表 A.2 发动机试验技术参数表

试验技术参数	
进气阻力 (kPa)	
进气温度 (℃)	
进气湿度 (%)	
排气背压 (kPa)	
燃气供给压力 (kPa)	
燃气供给温度 (℃)	
中冷后进气温度, 如有 (℃)	

附 录 B
(资料性)
试验用市售天然气成分记录

B.1 试验用市售天然气成分记录

试验用市售天然气成分记录表见表B.1。

表 B.1 试验用市售天然气成分记录

组分	单位	检测结果	试验方法
甲烷	%mol		GB/T 13610
乙烷	%mol		
丙烷	%mol		
异丁烷	%mol		
正丁烷	%mol		
异戊烷	%mol		
正戊烷	%mol		
正己烷	%mol		
氮气	%mol		
氧气	%mol		
氢气	%mol		
一氧化碳	%mol		
二氧化碳	%mol		
含硫量	mg/m ³	-	GB/T 11061
高位发热量（20℃，101.3 kPa）	MJ/m ³		GB/T 11062
低位发热量（20℃，101.3 kPa）	MJ/m ³		
密度（20℃，101.3 kPa）	kg/m ³		

附录 C
(规范性)
基准燃料的技术参数

C.1 天然气基准燃料技术参数

天然气基准燃料技术参数见表C.1~表C.2。

表 C.1 基准燃料 G_R 的技术参数

特性/组分	单位	基准	限值		试验方法
			最小	最大	
甲烷	%mol	87	84	89	GB/T 13610
乙烷	%mol	13	11	15	
余量 ¹	%mol	-	-	1	
含硫量 ²	mg/m ³	-	-	10	GB/T 11061
注1：余量为惰性组分和C ₂₊ 的总量。					
注2：含硫量为在标准状态（20℃和101.3 kPa）下试验的值。					

表 C.2 基准燃料 G₂₀ 的技术参数

特性/组分	单位	基准	限值		试验方法
			最小	最大	
甲烷	%mol	100	99	100	GB/T 13610
余量 ¹	%mol	-	-	1	
含硫量 ²	mg/m ³	-	-	10	GB/T 11061
注1：余量为惰性组分和C ₂₊ 的总量。					
注2：含硫量为在标准状态（20℃和101.3 kPa）下试验的值。					

附 录 D
(资料性)
试验测量参数记录表

D.1 试验测量参数记录

试验测量参数记录信息见表D.1。

表 D.1 试验测量参数记录表

环境温度：	环境湿度：			大气压力：			
测量参数	1	2	3	4	5	6	7
转速（r/min）	800	900	1000	……			
扭矩（N·m）							
功率（kW）							
燃气质量流量（kg/h）							
最大爆发压力（MPa）							
进气压力（kPa）							
进气温度（℃）							
进气湿度（%）							
排气背压（kPa）							
中冷前气温（℃）							
中冷后气温（℃）							
中冷前气压（kPa）							
中冷后气压（kPa）							
出水温度（℃）							
进水温度（℃）							
排气温度（℃）							
机油压力（kPa）							
机油温度（℃）							