



# 中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

## 往复式内燃机电控单元高温寿命试验方法

Reciprocating internal combustion engines high-temperature life test method for  
electronic control units

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2025.8）

在提交反馈意见时，请将您知道的先关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

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 试验条件..... 1

5 试验准备..... 2

6 试验方法..... 4

7 试验后功能检查..... 5

8 试验报告..... 6

附录 A （规范性） 工作模式要求 ..... 7

附录 B （资料性） 试验报告模板示例 ..... 8

附录 C （资料性） 试验方案设计示例 ..... 10

## 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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国内燃机标准化技术委员会（SAC/TC 177）归口。

本文件起草单位：XXX、XXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX。

# 往复式内燃机电控单元高温寿命试验方法

## 1 范围

本文件规定了往复式内燃机电控单元高温寿命试验的试验条件、试验准备、试验方法、试验后功能检查和试验报告的要求。

本文件适用于往复式内燃机电控单元高温寿命试验。

## 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，其最新的版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 28046.2 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 28046.4 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第4部分：气候负荷
- GB/T 34986 产品加速试验方法

## 3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

## 4 试验条件

### 4.1 通用环境条件

除非环境参数另有规定，所有试验应在表1规定的通用环境条件下进行。

表 1 通用环境条件

类型	参数
室温	(23±3) °C
相对湿度	(50%±5%) RH
气压	86 kPa~106 kPa
温度变化速率	0.5 °C/min~1 °C/min

### 4.2 试验设备

#### 4.2.1 数据采集要求

试验设备应满足数据采集功能要求，符合下列规定：

- a) 能够持续监控和记录电控单元输入输出信息，包括硬件、软件的采集值以及总线信息等；

- b) 采集频率大于 100 Hz，能够自动标记和记录数据；
- c) 试验期间使用同一数据采集设备。如有更换，需经过计量确认保证采集功能正常。

4.2.2 供电要求

应选用输出电流能力大于电控单元浪涌电流的稳压电源，并根据电控单元供电系统规格选用 14 V（12 V 系统）或 28 V（24 V 系统）进行供电，供电允许偏差在规定值的±0.1 V 以内。

4.2.3 负载要求

应选用真实负载装置，或与真实负载电气参数（如电阻、电感等）一致的模拟负载。

4.2.4 信号激励要求

信号激励的允许偏差应在输入信息规定值的±1%以内。

4.3 功能状态要求

试验过程中电控单元应始终保持功能状态正常，即所有输出信息均应符合表2规定，且满足样本零失效状态要求。

表 2 输出信息允许偏差和要求

参数类型	允许偏差和要求
电压	± 5%
电阻	± 5%
时序	符合技术规范要求
电流	± 5%
信息存储单元	正常读写
内部故障诊断	试验前后无新的故障码

5 试验准备

5.1 确定使用周期平均温度

单一电控单元使用周期温度根据周期内各个温度点及其相对应的持续时间计算获得，见公式（1）。对多电控单元使用周期温度加权平均，确定电控单元使用周期平均温度，见公式（2）。

$$T_{LC} = \frac{\sum_{i=T_{i\min}}^{T_{i\max}} T_i \times t_i}{\sum_{i=T_{i\min}}^{T_{i\max}} t_i} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$T_{LC}$

——单一电控单元使用周期温度，K；

$T_{i\max}$

——单一电控单元使用周期中最高温度，K；

$T_{i\min}$

——单一电控单元使用周期中最低温度，K；

- $T_i$  ——单一电控单元使用周期中的第*i*个温度，K；  
 $t_i$  ——单一电控单元使用周期中的第*i*个温度持续时间，h。

$$T_{FLC} = \frac{\sum_{r=1}^{n_r} T_{LC(r)} \times t_{LC(r)}}{\sum_{r=1}^{n_r} t_{LC(r)}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- $T_{FLC}$  ——电控单元使用周期平均温度，℃；  
 $n_r$  ——电控单元数量；  
 $T_{LC(r)}$  ——第*r*个电控单元使用周期温度，℃；  
 $t_{LC(r)}$  ——第*r*个电控单元使用周期时间，h。

## 5.2 计算样本数量

试验样本数量通过公式（3）计算。若计算的样本数量无法满足，可通过延长高温寿命试验时间的方式进一步降低样本数量。实际样本数量与试验延长时间关系见公式（4）：

$$n_{Test} = \frac{\ln(1-C)}{\ln R(t)} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- $n_{Test}$  ——高温寿命试验样本数量；  
 $C$  ——高温寿命试验结果置信度；  
 $R(t)$  ——电控单元设计寿命*t*的可靠度。

$$n_{TN} = n_{Test} \times s^\beta \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $n_{TN}$  ——高温寿命试验实际样本数量；  
 $\beta$  ——电控单元寿命威布尔分布形状参数，一般假设为1；  
 $s$  ——延长时间系数。

## 5.3 确定高温寿命试验温度

高温寿命试验温度应在高温工作极限内任意温度点选定，但不应低于电控单元使用周期平均温度。其中，高温工作极限可通过步进温度应力试验确定，步骤如下：

- 将所有电控单元试验样本放置在室温环境中，调整电控单元运行状态为工作循环模式（详见附录 A）并持续运行 0.5 h，确保电控单元功能状态正常；
- 调整运行状态为工作模式一（详见附录 A），并升高温度至温度许用上限。其中，温度许用上限可根据 GB/T 28046.4 中对于电控单元安装位置的试验要求确定；
- 调整运行状态为工作循环模式并持续运行 0.5 h，确保电控单元功能状态正常；
- 以 5℃ 的温度梯度步进增加，并在每个温度点持续运行 1 h。期间，持续监控和记录电控单元输出信息。直至电控单元功能状态出现异常时，停止步进；
- 以 3℃ 的温度梯度步进降低，并在每个温度点持续运行 1 h。期间，持续监控和记录电控单元输出信息。直至电控单元功能状态恢复正常时，停止步进温度应力试验并记录此温度点作为该电控单元极限温度；
- 根据步进应力试验结果记录，所有样本中极限温度的最低值即为电控单元高温工作极限。

## 5.4 计算试验时间

按照 GB/T 34986 规定, 结合阿伦尼斯温度应力模型进行高温寿命试验时间计算, 见公式 (5)、(6)。

$$AF = \exp\left(\frac{E_a}{k_B} \times \left(\frac{1}{T_{FLC}} - \frac{1}{T_{Test}}\right)\right) \dots\dots\dots (5)$$

$$t_{Test} = \frac{t_{FLC}}{AF} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- $AF$  ——高温寿命试验加速因子;
- $E_a$  ——激活能, 单位为电子伏特 (eV), 可参考GB 34986-2017附录D估计;
- $k_B$  ——波尔兹曼常数 ( $8.617385 \times 10^{-5}$  eV/K);
- $T_{Test}$  ——高温寿命试验温度, K;
- $t_{Test}$  ——高温寿命试验时间, h;
- $t_{FLC}$  ——设计寿命时间, h。

若已通过延长试验时间来降低样本数量, 则最终试验时间应根据相对应的延长时间系数进行调整, 见公式 (7)。

$$t_{TN} = t_{Test} \times S \dots\dots\dots (7)$$

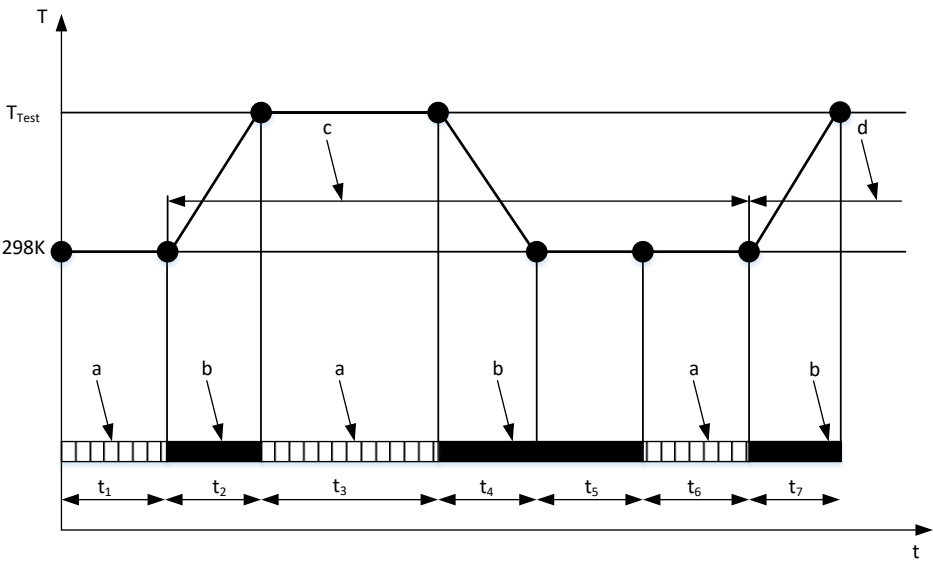
式中:

- $t_{TN}$  ——延长后高温寿命试验时间, h。

## 6 试验方法

往复式内燃机电控单元高温寿命试验循环参见图1, 温度和持续时间见表3, 具体步骤如下:

- a) 将电控单元放置在室温环境中, 调整电控单元运行状态为工作循环模式并持续运行 0.5 h, 确保电控单元功能状态正常;
- b) 调整运行状态为工作模式一, 并升高温度至高温寿命试验温度;
- c) 调整运行状态为工作循环模式, 并持续监控和记录电控单元输出信息, 确认电控单元功能状态;
- d) 当持续运行时间达到 100 h 时, 调整运行状态为工作模式一, 并降低温度至室温;
- e) 温度稳定 1 h 后, 调整运行状态为工作循环模式并持续运行 0.5 h。期间, 持续监控和记录电控单元输出信息, 确认电控单元功能状态;
- f) 在 8 h 内再次升高温度, 重复步骤 b) - 步骤 e);
- g) 直至电控单元功能状态异常或试验时间结束, 停止试验。



- 其中：
- $T$  ——温度，K；
  - $t$  ——时间，h；
  - $a$  ——工作循环模式；
  - $b$  ——工作模式一；
  - $c$  ——第一个循环；
  - $d$  ——第二个循环。

图 1 往复式内燃机电控单元高温寿命试验循环示例

表 3 往复式内燃机电控单元高温寿命试验循环的温度和持续时间

阶段	持续时间/h	温度/K
$t_1$	0.5	298
$t_2$	—	298 至 $T_{\text{Test}}$
$t_3$	100	$T_{\text{Test}}$
$t_4$	—	$T_{\text{Test}}$ 至 298
$t_5$	1	298
$t_6$	0.5	298
$t_7$	—	298 至 $T_{\text{Test}}$

7 试验后功能检查

7.1 一般要求

试验后功能检查应包含五点功能测试、防护等级测试和泄漏电流测试。若产品订购方认为必要，可以增加某些试验项目，并在试验报告中记录说明。

7.2 五点功能测试



应在  $(T_{\min}, U_{\min})$ 、 $(T_{\min}, U_{\max})$ 、 $(T_{\text{room}}, U_{\text{nom}})$ 、 $(T_{\max}, U_{\min})$ 、 $(T_{\max}, U_{\max})$  五个电压和温度条件下进行电控单元输出信息监控。

注：

$T_{\min}$  ——电控单元工作温度许用下限；

$T_{\max}$  ——电控单元工作温度许用上限；

$T_{\text{room}}$  ——室温；

$U_{\min}$  ——电控单元工作电压许用下限；

$U_{\max}$  ——电控单元工作电压许用上限；

$U_{\text{nom}}$  ——电控单元额定工作电压。

### 7.3 防护等级测试

应按照GB/T 4208进行防护等级试验。

### 7.4 泄漏电流测试

泄漏电流测试步骤如下：

- 将电控单元连接至可变电源，调整电源输出为额定工作电压；
- 调整电控单元运行状态为工作模式一；
- 使用测量设备（如万用表）测量电源的输出电流；
- 测量电流 10 s，并记录电压、电流数据。

## 8 试验报告

试验报告编制示例见附录B，应包括但不限于以下内容：

- 试验样品型号规格、生产单位及样品数量；
- 试验负载电气参数；
- 试验样本数量、电控单元使用周期平均温度、高温寿命试验温度及试验时间；
- 试验和测量设备的型号及精度；
- 测试设备更换或调整说明（如有）；
- 监控参数的波动范围；
- 试验后功能检查试验项目；
- 失效电控单元的试验时间及失效模式（如有失效）；
- 试验结论。

附录 A  
(规范性)  
工作模式要求

A.1 单一工作模式建立

对内燃机电控单元各领域的路谱等反馈数据分析拟合，建立电控单元各项工作模式，用于模拟电控单元的真实工作状态，见表A.1。

表 A.1 内燃机电控单元单一工作模式

工作模式	描述
工作模式一	给定一组电控单元输入信息，使其所有的输出电信号工作在与发动机下电休眠时相同的电气负荷。
工作模式二	给定一组电控单元输入信息，使其所有的输出电信号工作在与发动机启动（仅上电）时相同的电气负荷。
工作模式三	给定一组电控单元输入信息，使其所有的输出电信号工作在与发动机低怠速时相同的电气负荷。
工作模式四	给定一组电控单元输入信息，使其所有的输出电信号工作在与发动机处于常规负荷点时相同的电气负荷。常规负荷点的确定应满足： $\text{常规负荷点转速} = 0.75 \times \text{低怠速模式转速} + 0.35 \times \text{高怠速模式转速}$ 。确定电控单元常规负荷点转速后，其余输入信息应满足与常规负荷点转速相匹配的电气负荷。
工作模式五	给定一组电控单元输入信息，使其所有的输出电信号工作在与发动机处于满负荷点转速相匹配的电气负荷。
工作模式六	给定一组电控单元输入信息，使其所有的输出电信号工作在与发动机高怠速时相同的电气负荷。

A.2 工作循环模式建立

根据各工作模式在电控单元生命周期内的时间占比建立工作循环模式（见表A.2），每轮工作循环时间推荐为300 s，循环时间应不超过600 s。

表 A.2 工作循环模式

工作模式	循环占比/%	推荐值s
工作模式一	1	3
工作模式二	2	6
工作模式三	5	15
工作模式四	70	210
工作模式五	20	60
工作模式六	2	6

附录 B  
(资料性)  
试验报告模板示例

试验报告模板示例见表 B. 1–B. 6。

表 B. 1 给定试验环境温度下的试验数据及高温寿命数据

试验日期							
电控单元使用周期平均温度/K							
高温寿命试验温度/K							
高温寿命试验时间/h							
可靠度							
试验结果置信度							
样本数量							
运行时间/h		0					
样本状态	样本 1						
	样本 2						
	.....						
试验结论							

表 B. 2 电控单元循环工作模式数据

试验时间					
每轮工作循环时间					
信息设定		每轮循环时间占比	输入信息 1	输入信息 2	...
工作模式	工作模式一				
	工作模式二				

表 B. 3 测量设备数据

序号	设备名称	型号及编号	厂家	精度
1				
2				
.....				

表 B. 4 电控单元试验中监控数据

序号	监控数据	最大值	最小值	平均值
1				
2				
.....				

表 B.5 试验环境负载数据

序号	执行功能	是否为真实负载	负载电气参数
1			
2			
.....			

表 B.6 试验后检查项目

序号	检查项目	试验参数	试验结果
1			
2			
.....			

附录 C  
(资料性)  
试验准备设计示例

C.1 概述

某电控单元设计指标参数见表C.1。

表 C.1 电控单元设计指标

要求/样品属性	符号	指标	单位
设计寿命	$t_{FLC}$	20000	h
安装方式	—	发动机安装	—
可靠度	$R(t)$	0.9	—
置信度	$C$	0.9	—
温度许用上限	—	378	K

C.2 确定使用周期平均温度

根据电控单元的温度反馈数据确定使用周期平均温度，其中一块电控单元的使用周期温度数据见表C.2。其余使用周期温度分别为：338.11 K、336.38 K、331.36 K等，最终确定该电控单元的使用周期平均温度为336.65 K。

表 C.2 单一电控单元使用周期温度数据

温度范围	持续时间/h
268 K以下	0
268 K至278 K	7
278 K至288 K	13
288 K至298 K	22
298 K至308 K	144
308 K至318 K	489
318 K至328 K	2771
328 K至338 K	6657
338 K至348 K	5136
348 K至358 K	1769
358 K至368 K	1053
368 K至378 K	411
378 K至388 K	29
388 K以上	11

C.3 计算样本数量

计算该电控单元高温寿命试验的样本数量：

$$n_{Test} = \frac{\ln(1-C)}{\ln R(t)} \approx 22 \text{块}$$

根据实际情况，考虑到该电控单元的样件生产费用较高，仅有7块可进行高温寿命试验，无法满足22块样件的样件需求。对此，采用延长试验时间的方式来弥补样件数量的不足。经计算，延长时间系数为：

$$s = \sqrt[\beta]{n_{Test} / n_{TN}} = 3.14$$

C. 4 确定高温寿命试验温度

将参试的7块电控单元分别进行步进应力试验，结果见表C. 3，可确定该电控单元高温工作极限温度为402 K。结合试验资源安排，最终确定高温寿命试验温度为398 K。

表 C. 3 电控单元步进应力试验数据

样本编号	出现故障时温度/K	故障类型	是否可恢复	恢复时温度/K
1	408	电压模拟量采集出现较大波动	是	405
2	413	热电偶采集异常	是	410
3	413	电压模拟量采集出现较大波动	是	404
4	408	热电偶采集异常	是	402
5	408	热电偶采集异常	是	405
6	413	驱动误报故障	是	405
7	413	电流输出精度低	是	405

C. 5 计算试验时间

根据使用周期平均温度及高温寿命试验温度，计算该电控单元高温寿命试验时间：

$$AF = \exp(\frac{E_a}{k_B} \times (\frac{1}{T_{FLC}} - \frac{1}{T_{Test}})) = 24.18$$
$$t_{Test} = \frac{t_{FLC}}{AF} = 827 \text{ h}$$

通过延长试验时间降低样本数量，则延长后的高温寿命试验时间：

$$t_{TN} = t_{Test} \times s = 2596.78 \text{ h}$$