

小型发动机活塞冷却喷射系统对排放的影响

俞晓璇¹, 齐斌², 王三波¹, 王海峰¹, 王炜¹, 岳季¹

1. 上汽通用东岳动力总成有限公司, 山东 烟台 264006;

2. 泛亚汽车技术中心, 上海 200120

摘要:为研究活塞冷却喷射系统对排放的影响,对取消整个活塞冷却喷射系统、取消活塞冷却喷嘴控制阀及正常安装冷却喷嘴和冷却喷嘴控制阀3种情况进行国六全球轻型车辆测试循环试验。试验结果分析表明:取消整个活塞冷却喷射系统和仅取消活塞冷却喷嘴电磁阀导致颗粒物(particulate matter, PM)、粒子数量(particle number, PN)、总碳氢化合物(THC)、CO排放升高,由于试验车辆原始状态排放水平较好,未超过国六b排放限值;取消整个活塞冷却喷射系统对PM、PN、CO排放影响较大;取消活塞冷却喷嘴控制阀对PM、PN、CO排放影响较小。考虑到车辆存在个体差异,在发动机硬件开发设计时建议只取消活塞冷却喷嘴电磁阀。

关键词:活塞冷却喷射系统;冷却喷嘴;排放;控制阀

中图分类号:TK423;TK421.5

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2021)06-0081-05

引用格式:俞晓璇,齐斌,王三波,等.小型发动机活塞冷却喷射系统对排放的影响[J].内燃机与动力装置,2021,38(6):81-85.

YU Xiaoxuan, QI Bin, WANG Sanbo, et al. Influence of piston cooling injection system on emission of a small gasoline engine[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2021, 38(6): 81-85.

0 引言

随着能源日益短缺、污染日益严重及排放标准逐渐严格,增压/直喷发动机的应用越来越广泛。增压和直喷技术提高了发动机充气效率和燃烧热效率,但更大的爆发压力和热效率使活塞受到的机械负荷和热负荷越来越大^[1-3]。活塞冷却喷射系统是一种活塞强制冷却手段,可改善发动机排放性能及怠速敲缸的噪声问题。目前关于活塞冷却喷射系统热负荷和噪声问题的研究较多^[2],而关于活塞冷却喷射系统对排放影响的研究相对较少^[4-7]。

在保证排放和性能的前提下优化发动机硬件设计是汽车制造企业一直追求的目标。本文中以一款小型增压发动机活塞冷却喷射系统为研究对象,设计活塞冷却喷射系统控制策略,并通过试验研究其对排放的影响规律,为发动机硬件优化设计提供参考。

1 活塞冷却喷射系统结构和控制策略

1.1 结构

活塞冷却喷嘴一般安装在缸体主油道分支上,内部为机械式阀门,当油压高于某一设计值时,阀门打开将机油喷射至活塞裙内部。在此油道分支的进油口处,安装活塞冷却喷嘴控制阀,控制活塞冷却喷嘴油道的通、断,实现特殊工况下活塞冷却喷嘴的开启和关闭。活塞冷却喷嘴、电磁阀与缸体上的相关油道组成了活塞冷却喷射系统,如图1所示。

收稿日期:2021-09-01

第一作者简介:俞晓璇(1985—),女,广西桂林人,工学硕士,工程师,主要研究方向为发动机电控系统开发,E-mail:12009272@qq.com。

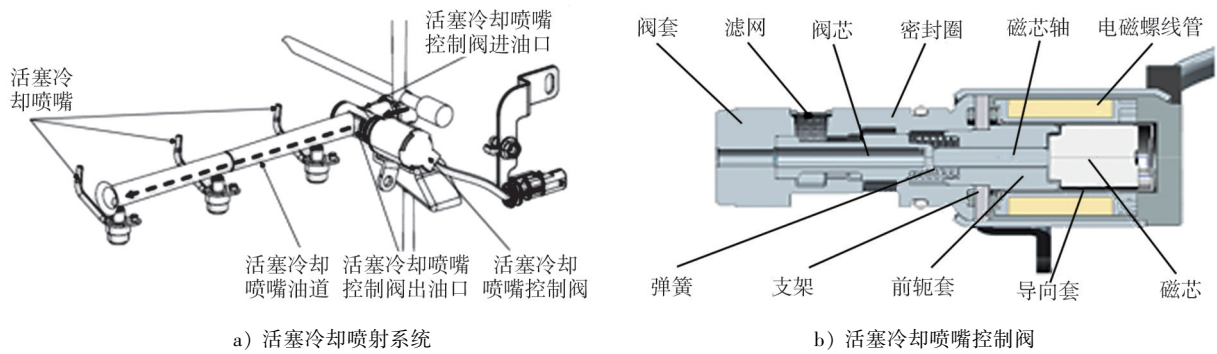


图1 活塞冷却喷射系统的结构图

1.2 控制策略

活塞冷却喷射系统控制策略如图2所示。活塞冷却喷射系统的控制主要依据发动机的转速与负荷,一般情况下,在发动机转速大于某阈值(通常约为3500 r/min),负荷大于某阈值(不同转速设置不同)时,活塞冷却喷嘴控制阀开启,机油压力高于机械阀预设压力,活塞冷却喷嘴打开。发动机处于低速、低负荷运转时,通过控制冷却喷嘴控制阀关闭,切断冷却喷嘴的喷射,以保证燃油经济性和降低排放;发动机机油温度较低时,关闭冷却喷嘴控制阀,切断冷却喷嘴的喷射,以降低活塞在低温下的噪音。另外,为了保证燃油经济性,可变油泵在部分负荷下切换成低压模式,在此模式下也需要关闭冷却喷嘴控制阀,停止冷却喷嘴的工作^[8-12]。

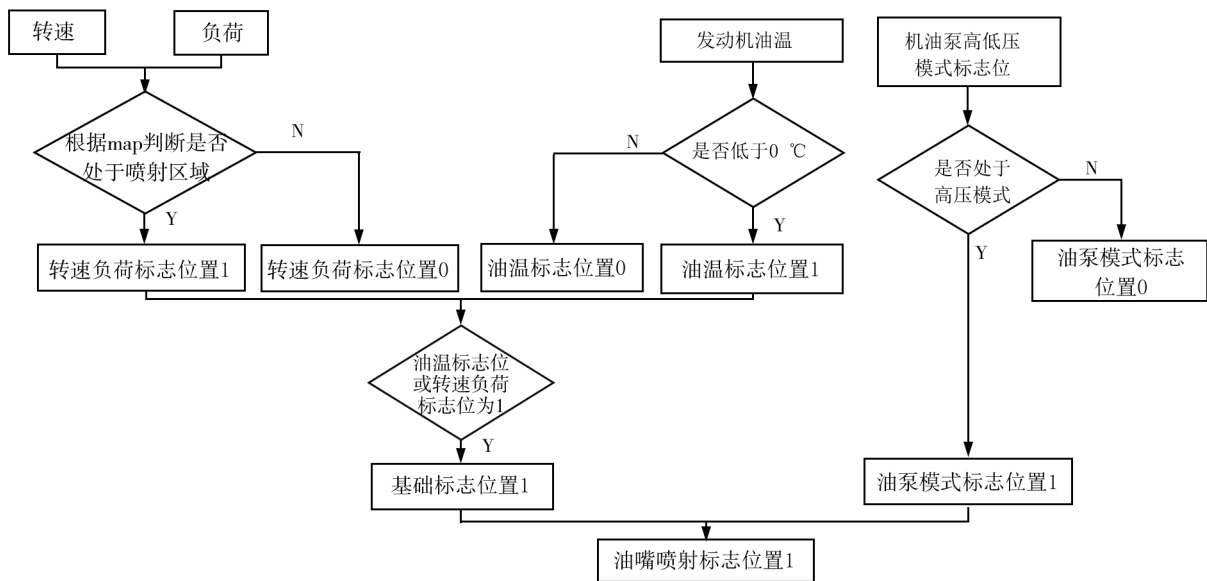


图2 活塞冷却喷射系统控制策略

2 试验方法

本文中研究用发动机为3缸、1.0 L、直喷、增压发动机,发动机最大扭矩为175 N·m,最大功率为85 kW。发动机装配分段式可变机油泵,机油冷却喷嘴为机械式,并搭配使用活塞冷却喷嘴控制阀控制油道的进油。应用车型整备质量为1125 kg,测试质量为1281 kg。

为了研究机油冷却喷嘴对排放的影响,对以下3种状态进行国六^[13]全球轻型车辆测试循环(worldwide harmonized light vehicles test cycle, WLTC)试验:1)取消整个活塞冷却喷射系统(包括活塞冷却喷嘴和活塞冷却喷嘴控制阀),记为状态1;2)取消活塞冷却喷嘴控制阀(仅取消冷却喷嘴控制阀),记为

状态2;3)正常安装活塞冷却喷嘴和冷却喷嘴控制阀,记为状态3。

在全工况下保持冷却喷嘴控制阀关闭,即在标定时强制关闭控制阀,以切断此油路的供油,达到类似取消整套系统的效果,模拟状态1。

在标定时直接关闭冷却喷嘴控制阀,活塞冷却喷嘴完全依靠内部机械阀进行开闭,机油压力大于某一阈值时打开,低于某一阈值时关闭,模拟状态2。

为减少试验过程中驾驶员操作带来的影响,每个状态进行2次试验,取平均值进行数据对比。

3 活塞冷却喷射系统对排放的影响

3.1 试验数据

WLTC 试验后,不同状态的总碳氢化合物(total hydrocarbon, THC)、非甲烷碳氢化合物(non-methane hydrocarbons, NMHC)、CO、NO_x、颗粒物(particulate matter, PM)、粒子数量(particle number, PN)排放实测结果如表1所示。

表1 不同状态下各污染物排放实测结果

| 状态 | THC 排放/ (mg·km ⁻¹) | NMHC 排放/ (mg·km ⁻¹) | CO 排放/ (mg·km ⁻¹) | NO _x 排放/ (mg·km ⁻¹) | PM 排放/ (mg·km ⁻¹) | PN 排放/ (10 ¹¹ 个·km ⁻¹) |
|----------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|--|
| 1 | 13.06 | 9.90 | 252.3 | 9.08 | 1.47 | 3.50 |
| 2 | 11.90 | 8.85 | 198.0 | 7.36 | 0.41 | 3.17 |
| 3 | 11.77 | 10.13 | 169.1 | 9.03 | 0.28 | 2.66 |
| 轻型车国六b限值 | 50.00 | 35.00 | 500.0 | 35.00 | 3.00 | 6.00 |

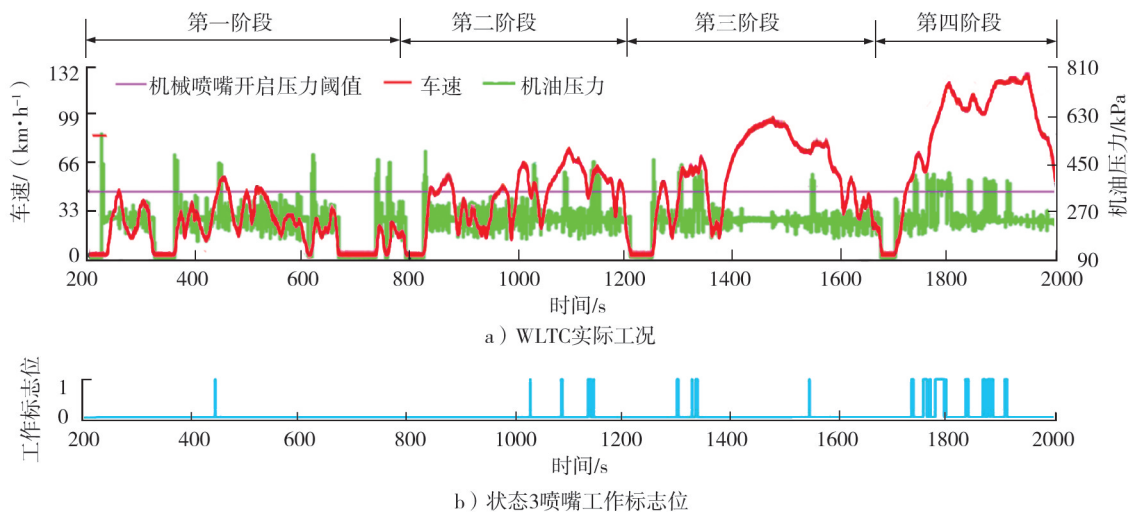
为准确评估各排放污染物的影响,用实测排放值与轻型车国六b标准限值的比值β表征该车辆某一污染物排放控制的实际水平,β越低则认为排放控制越好。不同状态下各污染物的β如表2所示。

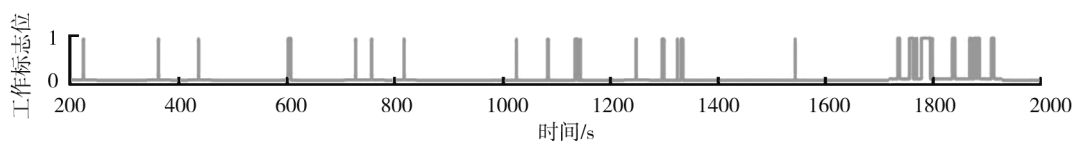
表2 3种状态下各污染物β %

| 状态 | β _{THC} | β _{NMHC} | β _{CO} | β _{NO_x} | β _{PM} | β _{PN} |
|----|------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 26.12 | 28.29 | 50.46 | 25.94 | 49.00 | 58.33 |
| 2 | 23.80 | 25.29 | 39.60 | 21.03 | 13.67 | 52.83 |
| 3 | 23.54 | 28.94 | 33.82 | 25.80 | 9.33 | 44.33 |

通过WLTC中活塞冷却喷嘴开启的状态对比分析不同状态下对于各排放污染物的影响,见图3。

图3中第一至第四阶段分别为低速、中速、高速和超高速阶段。





c) 状态2喷嘴工作标志位

图3 活塞冷却喷嘴工作状态对比

当喷嘴工作标志位为1时,冷却喷嘴控制阀打开,机油喷射到活塞上。所以,对于状态1,相当于喷嘴工作标志位全部设置为0,即活塞冷却喷嘴全程不打开;对于状态2,冷却喷嘴的开启主要取决于系统油压,油压高于机械喷嘴开启压力阈值,则打开,其余状态关闭冷却喷嘴。

3.2 结果分析

3.2.1 对THC、NMHC、NO_x排放的影响

由表2可知,THC、NMHC和NO_x的 β 较低,3种状态下均未超过30%,故对于试验车辆来说,活塞冷却喷射系统对THC、NMHC和NO_x排放的影响较小。

3.2.2 对PN排放的影响

表3为WLTC各阶段PN排放实测结果。由图3和表3可知:第一阶段正常喷油时间很短;取消活塞冷却喷射系统使得第一阶段活塞冷却喷嘴完全不喷油;而取消冷却喷嘴控制阀会使第一阶段喷油时间增加(油压高于机械喷嘴开启压力则会开启),即每次启动时均喷油,暖机效果恶化,使PN排放增加。因此过多和过少的喷油均导致第一阶段PN排放增加。

正常情况下在第二、第三阶段加速时会喷油,取消活塞冷却喷射系统后,活塞冷却变差,PN排放增加;取消冷却喷嘴控制阀与正常情况下喷嘴工作类似,只有中途进入自动起停工况,重新启动时喷嘴才恢复工作,所以整体来看对于PN排放影响相对较小。

第四阶段是正常情况下冷却喷嘴开启时间最长的阶段,较高的负载会使活塞热负荷增大,需要对活塞进行冷却,而取消活塞冷却系统使此阶段燃烧室温度升高,充气效率变差,PN排放升高;取消电磁阀只影响启动时喷嘴工作,对于PN影响相对不大。

3.2.3 对CO排放的影响

由表2可知,取消活塞冷却系统或者只取消冷却喷嘴电磁阀,会使活塞热负荷增大,燃烧不充分,导致CO排放显著提高。

综上所述,取消整个活塞冷却喷射系统, β_{PM} 、 β_{PN} 、 β_{CO} 分别升高39.7%、14.0%、16.6%,均超过正常状态的10%,影响较大;取消活塞冷却喷嘴控制阀, β_{PM} 、 β_{PN} 、 β_{CO} 分别升高4.3%、8.5%、5.8%,影响较小;但是由于车辆本身排放水平较好,PN、PM、THC、CO排放没有超过国六b标准限值。

4 结论

对比3种情况下排放试验数据,分析活塞冷却喷射系统对轻型车排放的影响。

1)取消整个活塞冷却喷射系统、取消活塞冷却喷嘴控制阀、正常安装活塞冷却喷嘴和冷却喷嘴控制阀3种状态下, β_{THC} 、 β_{NMHC} 和 β_{NO_x} 均小于30%,活塞冷却喷射系统对THC、NMHC和NO_x排放的影响较小。

2)取消整个活塞冷却喷射系统, β_{PM} 、 β_{PN} 、 β_{CO} 排放分别升高39.7%、14.0%、16.6%,均超过正常状态排放的10%以上,影响较大;取消活塞冷却喷嘴控制阀, β_{PM} 、 β_{PN} 、 β_{CO} 排放分别升高4.3%、8.5%、5.8%,

表3 WLTC各阶段PN排放实测结果 10¹¹个/km

| 状态 | 第一阶段 | 第二阶段 | 第三阶段 | 第四阶段 |
|----|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 25.00 | 13.50 | 19.30 | 24.20 |
| 2 | 14.90 | 1.90 | 1.29 | 1.10 |
| 3 | 8.60 | 1.49 | 1.25 | 2.32 |

影响较小;但是由于车辆本身排放水平较好,PN、PM、THC、CO 排放没有超过国六 b 标准限值。考虑到车辆存在个体偏差,建议只取消活塞冷却喷嘴电磁阀。

参考文献:

- [1] 常思勤. 汽车动力装置[M]. 北京:机械工业出版社, 2006.
- [2] 冯圆,杨瑞文,陈红兵,等. 增压发动机怠速敲缸噪声研究[J]. 车用发动机, 2013(3):75-78.
- [3] 李超,董朵,吕顺,等. 基于析因设计的活塞冷却喷嘴研究[J]. 内燃机与动力装置, 2016, 33(6):37-42.
- [4] 桂树国,谢暴,赵超,等. 某型发动机取消机油冷却喷嘴全速全负荷试验研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2016, 34(1):53-57.
- [5] KÖPPLE F, JOCHMANN P, HETTINGER A, et al. A novel CFD approach for an improved prediction of particulate emission in GDI engines by considering the spray-cooling on the piston[C]//SAE 2015 World Congress & Exhibition. Detroit, USA: SAE International, 2015.
- [6] ZHU N, DONG F, ZONG M J, et al. Simulation and optimization on oscillating cooling characteristics in high-enhanced piston oil cooling gallery[J]. SAE International Journal of Engines, 2017, 10(4):1993-1998.
- [7] 姜晓东,黄大勇. 活塞冷却喷嘴技术研究及设计改进[J]. 内燃机与动力装置, 2016, 33(1):68-71.
- [8] PAPADOPOULOS I, BECKER S, EHNIS H, et al. Influence of oil drain holes on oil emission of a turbocharged gasoline engine[J]. SAE International Journal of Engines, 2017, 10(4):1948-1953.
- [9] 贾新颖. 发动机活塞冷却喷嘴的设计、验证与故障分析浅谈[J]. 工艺设计改造及检测检修, 2018(15):93-94.
- [10] 徐小彬,李一,张小丽. 某发动机活塞冷却喷嘴特性研究[J]. 汽车实用技术, 2019(11):155-159.
- [11] 刘臣东,陈湘陵,李凯,等. 175 柴油机活塞冷却喷嘴效率研究[J]. 内燃机与配件, 2018(23):26-29.
- [12] 李飞,梁彦勇,陈佳,等. 发动机活塞冷却喷嘴的设计及开发[J]. 内燃机与配件, 2015(7):21-24.
- [13] 环境保护部. 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段):GB 18352. 6—2016[S]. 北京:中国环境出版社, 2017.

Influence of piston cooling injection system on emission of a small gasoline engine

YU Xiaoxuan¹, QI Bin², WANG Sanbo¹, WANG Haifeng¹, WANG Wei¹, YUE Ji¹

1. SAIC General Motors DongYue Powertrain Co.,Ltd., Yantai 264006, China;

2. Pan Asia Technical Automotive Center Co.,Ltd., Shanghai 200120, China

Abstract: In order to study the impact of piston cooling injection system on emission, the CHINA 6 light vehicle test is carried out under three conditions: canceling the whole piston cooling injection system, canceling the piston cooling nozzle control valve only and normal installation of cooling nozzle and cooling nozzle control valve. The analysis of test results shows that the cancellation of the whole piston cooling injection system and only the piston cooling nozzle control valve lead to the increase of particulate matter (PM), particle number (PN), total hydrocarbon (THC) and CO emissions, due to the good emission level of original test vehicle, which meets phase b of CHINA 6 emission limit. Canceling the whole piston cooling injection system has a great impact on PM, PN and CO emissions, while canceling the piston cooling nozzle control valve has little impact on PM, PN and CO emissions. Considering the individual differences of vehicles, it is recommended to cancel the piston cooling nozzle solenoid valve only in the development and design of engine hardware.

Keywords: piston cooling injection system; cooling injector; emission; control valve

(责任编辑:郎伟锋)