

GPF 被动再生烧蚀影响因素分析

刘子强

联合汽车电子有限公司,上海 201206

摘要:为解决某车辆汽油机颗粒捕集器(gasoline particulate filter,GPF)烧蚀故障,在台架上进行断油试验模拟被动再生,设定不同的 GPF 碳载量和转速回落时间,分析其对再生过程中 GPF 入口温度、出口温度及床温的影响,研究 GPF 被动再生的最佳控制条件,试验和车辆道路测试验证结果表明:GPF 床温超过载体耐受温度,容易导致内部烧蚀,影响 GPF 正常工作;将最大碳载量为 5 g 作为 GPF 被动再生的控制条件,可有效解决该发动机 GPF 烧蚀故障问题。

关键词:GPF 烧蚀;被动再生;碳载量

中图分类号:TK417

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2022)05-0078-04

引用格式:刘子强.GPF 被动再生烧蚀影响因素分析[J].内燃机与动力装置,2022,39(5):78-81.

LIU Ziqiang. Analysis of influencing factors of GPF passive regeneration ablation[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2022,39(5):78-81.

0 引言

轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段)提高了汽油直喷(gasoline direct injection,GDI)发动机颗粒物排放标准,其中 I 型试验排放限值(6a 阶段)规定粒子数量(particle number,PN)限值为 6×10^{11} 个/km,颗粒物(particulate matter,PM)质量限值为 4.5 mg/km,6b 阶段 PN 限值为 6×10^{11} 个/km,PM 限值为 3 mg/km^[1]。由于 GDI 发动机缸内混合气不均匀,燃烧不充分,部分燃油在缸壁呈液相形态,挥发后直接由排气管排出,产生碳烟,且 GDI 发动机压缩比较高,容易造成机油及燃油添加剂燃烧,产生灰分^[2]。GDI 发动机排放的颗粒物主要是直径较小的碳烟及灰分,发动机自身燃烧技术难以达到国六对 PN 和 PM 的限值要求^[3],汽油机颗粒捕集器(gasoline particulate filter,GPF)后处理技术可有效降低 PM 排放,满足国六排放标准。

GPF 的材料一般是堇青石,耐受温度为 1100~1400 °C。GPF 由具有一定孔密度陶瓷材料制成的蜂窝状多孔过滤器,内部交替封堵,通过拦截、扩散、惯性、重力等方式,捕集发动机尾气中的碳烟及灰分,捕集效率达 90%,有效降低 PN 和 PM,减少尾气污染^[4-5]。

随着汽车运行里程的增加,GPF 捕集 PM 增多,存储体积减少,发动机排气背压及阻力升高,油耗增加,功率及转矩下降,需定期燃烧积聚的颗粒,清空 GPF,进行再生^[6-8]。GPF 再生过程控制包括再生监控和再生控制,首先判断车辆 GPF 碳载量是否达到再生需求值,一旦满足再生需求,发动机电子控制单元(electronic control unit,ECU)对进气系统及燃油喷射系统闭环控制,确保 GPF 安全有效再生。再生过程中还需根据当前运行工况输出目标空燃比和目标再生温度,通过降低空燃比、增加氧流量、推迟点火角、提高排气温度,燃烧 GPF 中累积的碳颗粒^[9-11]。

GPF 再生分为主动再生和被动再生,主动再生是 ECU 通过干预点火角及空燃比,提高后燃期燃烧温度,增加喷油量,燃烧累积碳颗粒^[12-14]。被动再生指在车辆行驶过程中,驾驶员松掉油门踏板,发动

收稿日期:2022-03-04

作者简介:刘子强(1978—),男,吉林松原人,工程师,主要研究方向为发动机匹配及诊断,E-mail:ziqiang.liu@uaes.com。

机开始断油,节气门开度在怠速位置,断油减速过程中,车辆在惯性力作用下继续前行,ECU 根据车辆运行参数及行驶工况等因素确定当前回油转速(即当发动机的转矩不足以推动车辆前行,发动机有熄火风险时的转速),当发动机转速下降至设定回油转速时,ECU 控制节气门开度增大,大量氧气进入 GPF,混合气偏稀,碳颗粒燃烧剧烈,实现 GPF 再生。本文中针对某车辆 GPF 烧蚀现象,分析故障原因,测量不同碳载量不同回落时间下 GPF 入口温度、出口温度、床温,研究 GPF 满足国六排放标准要求的最佳控制条件。

1 故障分析

某车辆 GPF 故障灯点亮,拆解后发现 GPF 中心位置有烧蚀现象,更换加装热电偶的新 GPF,进行车辆低转速大负荷累碳驾驶试验,并测量断油时 GPF 入口温度与 GPF 床温变化,如图 1 所示。由图 1 可知:车辆断油时,激发被动再生,GPF 入口温度为 670 °C,再生过程中 GPF 床温迅速上升,峰值接近 1400 °C。测得断油时 GPF 碳载量为 8 g,拆解 GPF,出现类似烧蚀现象。烧蚀原因主要是被动再生过程中,碳颗粒燃烧温度过高,GPF 中心位置温度超过耐受温度。

影响被动再生过程 GPF 温度变化的主要因素是最大碳载量和断油后转速回落时间。最大碳载量指在车辆断油再生后,GPF 最高床温不超过 1100 °C 时的碳载量。断油后转速回落时间指发动机从开始断油到转速下降至回油转速的时间。

2 试验方案及分析

根据该发动机台架基本测试数据,发动机开始被动再生时,转速为 5200 r/min,转矩为 127 N·m,GPF 入口最大温度为 730 °C,记录 GPF 被动再生过程中发动机转速、节气门开度及空燃比的变化,如图 2、3 所示。由图 2、3 可知:GPF 被动再生过程中,发动机转速从 5200 r/min 降低到怠速,节气门开度从 100%降到 0,空燃比从 1 升至最大 32。

设置 GPF 碳载量分别为 4、5 g,进行快速累碳台架试验,当达到再生需求时,ECU 控制发动机断油,GPF 被动再生,测量不同转速回落时间下 GPF 入口温度、GPF 床温、GPF 出口温度的变化。具体试验过程如下:1)每次试验前对空载的 GPF 称质量,确定基准质量;2)每次试验以相同的低转速大负荷工况快速累碳,通过 GPF 压差、累碳时间及 AVL 483 积分值综合估计累碳质量为 4 g(第 2 组试验为 5 g),并拆下 GPF 称质量,确定累碳质量;3)调整转速为 5200 r/min,转矩为 127 N·m 进行

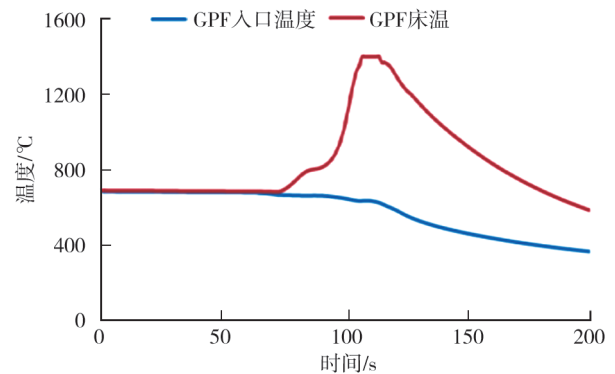


图 1 车辆断油时 GPF 温度变化

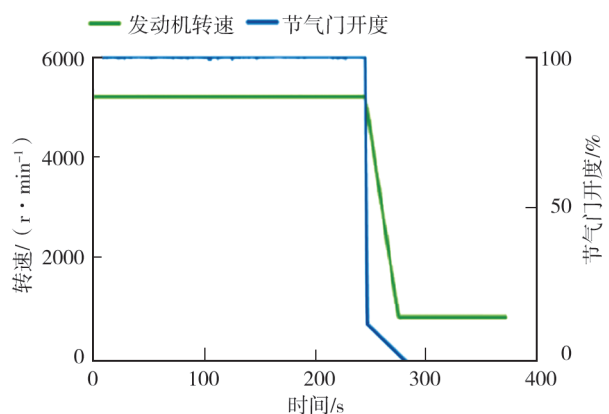


图 2 被动再生过程发动机转速与节气门开度变化

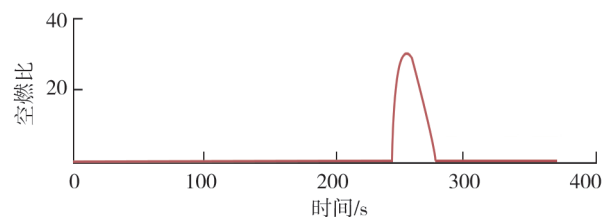


图 3 被动再生过程空燃比变化

被动再生,等待 GPF 入口温度稳定在 730 °C 左右;4)更改 ECU 回油转速,调整不同的转速回落时间,进行断油操作;5)转速回落到回油转速后,ECU 控制发动机恢复供油,GPF 再生;6)再次断油后恢复供油,清除 GPF 碳载量,以便进行下次试验;7)重复以上步骤 3 次,调整转速回落时间分别为 20、30、40 s。碳载量为 4 g 时不同被动再生转速回落时间下 GPF 温度测试曲线如图 4 所示。

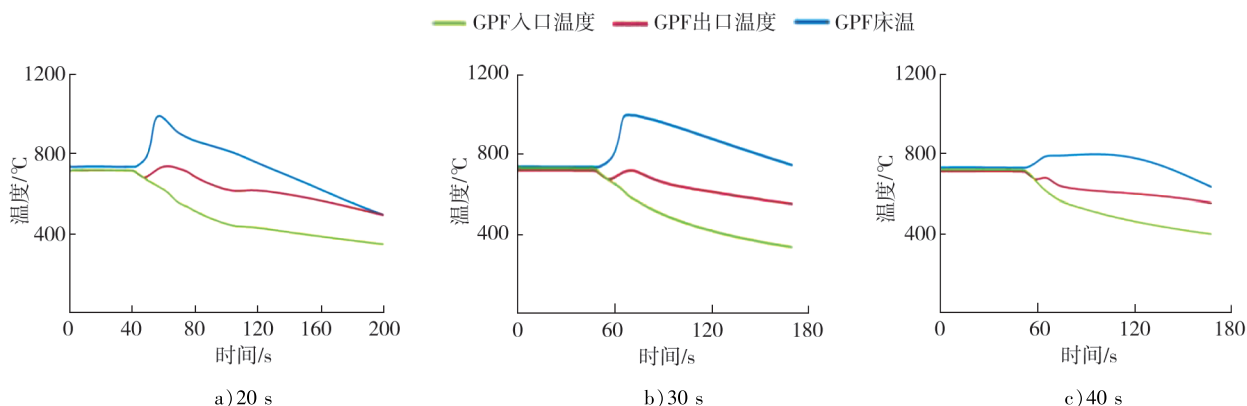


图 4 碳载量 4 g 时不同被动再生转速回落时间下 GPF 温度测试曲线

由图 4 可知:碳载量为 4 g 被动再生时,GPF 内部发生剧烈的燃烧反应,不同转速回落时间下 GPF 温度变化趋势整体一致,GPF 床温有明显上升;GPF 入口温度由于排气流量减小,在断油后缓慢下降;GPF 出口温度基本变化不大,持续一段时间后下降;GPF 出口温度与 GPF 床温存在差别,随着回落时间的增加,持续增加的排气流量带走部分热量,最高床温下降;碳载量为 4 g 时在不同转速回落时间下最高 GPF 床温为 980 °C,没有达到耐受温度 1100 °C 的限值。

GPF 碳载量为 5 g 断油被动再生时,测量不同转速回落时间下 GPF 入口温度、GPF 床温、GPF 出口温度的变化,具体试验过程与 4 g 断油被动再生时相同,但快速累碳量为 5 g,转速回落时间分别调整为 10、30、40 s。碳载量为 5 g 时被动再生不同转速回落时间下 GPF 温度测试曲线如图 5 所示。

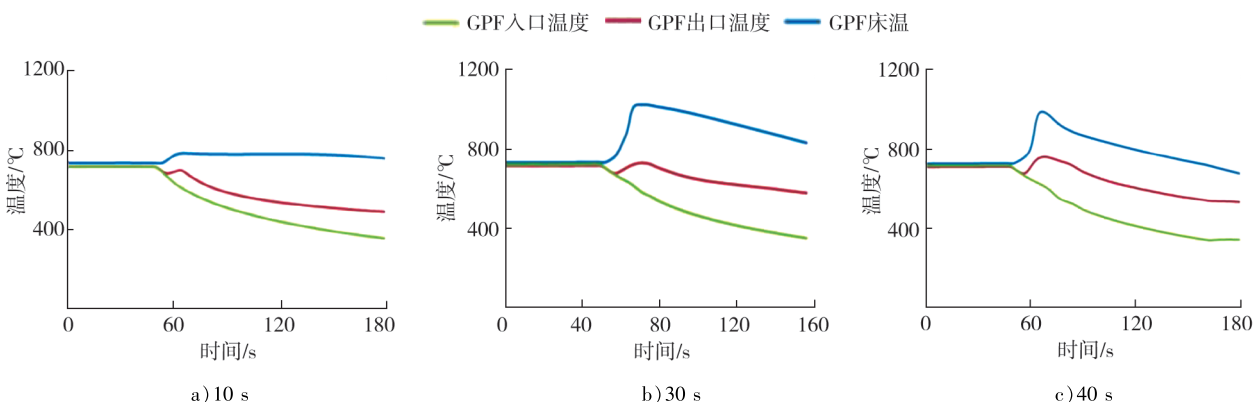


图 5 碳载量 5 g 时不同被动再生转速回落时间下 GPF 温度测试曲线

由图 5 可知,碳载量为 5 g 被动再生时 3 种 GPF 温度的变化趋势和碳载量 4 g 时基本一致,但 GPF 最高床温升高,回落时间为 30 s 时 GPF 床温最高,为 1025 °C,考虑到累碳模型的相对偏差为 5%,该温度接近载体耐受温度 1100~1400 °C。

由于不同的转速回落时间影响转矩波动、点火角等,与车辆行驶性能密切相关,不能将转速回落时间作为限定条件,故 GPF 碳载量 5 g 作为被动再生的限制条件。当 ECU 控制器检测到 GPF 碳载量大于 5 g 时,不再触发被动再生,使床温低于 1100 °C 的限值。采用更新数据后的 ECU 控制器进行车辆测试,监测被动再生过程中 GPF 床温均低于 1100 °C,不再发生 GPF 烧蚀,有效解决故障问题。

3 结语

该车型台架模拟试验中 GPF 最大碳载量为 5 g 时,GPF 床温最高,接近耐受温度,有烧蚀风险;汽油机 ECU 控制器将 GPF 最大碳载量为 5 g 作为被动再生的控制条件,有利于准确地控制被动再生,解决 GPF 烧蚀故障,满足国六排放标准。

参考文献:

- [1] 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,2016.
- [2] 范明哲,张宾,ALEXANDER S,等. 汽油机 GPF 碳载量模型和再生策略的试验研究[J]. 内燃机与动力装置,2018,35(6):1-10.
- [3] 周龙保. 内燃机学[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [4] 帅石金,董哲林,郑荣,等. 车用汽油机颗粒物生成机理及排放特性研究进展[J]. 内燃机学报,2016,34(2):105-116.
- [5] 朱小慧,陈鹏,方俊华. 燃料特性和工况对直喷汽油机微粒排放的影响[J]. 上海交通大学学报,2017,51(1):69-75.
- [6] 李配楠,程晓章,骆洪燕,等. 基于国六标准的汽油机颗粒捕集器(GPF)的试验研究[J]. 内燃机与动力装置,2017,34(1):1-5.
- [7] 胡璋林. GPF 断油再生控制研究[J]. 汽车电器,2021(8):37-39.
- [8] 杨冬霞,夏文正,袁新波,等. 催化型汽油机颗粒过滤捕集器催化剂设计与应用性能研究[J]. 内燃机工程,2020,41(1):86-92.
- [9] POZZATO G, ARUNACHALAM H, ONORI S. Continuum scale modeling of exhaust gas transport in gasoline particulate filters:an applicability regime approach[C]//Proceedings of 2017 American Control Conference. Seattle, USA; IEEE, 2017:5398-5403.
- [10] ARUNACHALAM H, POZZATO G, HOFFMAN M A, et al. Modeling the thermal and soot oxidation dynamics inside a ceria-coated gasoline particulate filter[J]. Control Engineering Practice, 2020, 94:109-202.
- [11] MANSOUDI M, HEIBEL A. Predicting pressure drop of wall-flow diesel particulate filters-theory and experiment[C]//Proceedings of 2000 SAE World Congress. Detroit, USA; SAE International, 2000:184-194.
- [12] 杨世东,许巧云,孔永平,等. 轻型汽油车国 6b 后处理 GPF 匹配与问题研究[J]. 化学工程与装备,2019(9):155-156.
- [13] 李树宇. 汽油机颗粒捕集器(GPF)应用匹配参数研究[J]. 柴油机设计与制造,2020,26(2):22-25.
- [14] 禹文林,叶文龙,龙会游,等. 轻型汽油车实际行驶污染物排放的影响因素[J]. 汽车安全与节能学报,2020,11(1):135-142.

Analysis of influencing factors of GPF passive regeneration ablation

LIU Ziqiang

United Automotive Electronic Systems Company, Shanghai 201206, China

Abstract: In order to solve the ablation failure of the gasoline particulate filter (GPF), the fuel cut-off test on the bench is used to simulate the passive regeneration, set different carbon load and speed fall back time of the GPF, analyze the influence of the inlet temperature, outlet temperature and bed temperature of the GPF, investigate the optimal control conditions for the passive regeneration of the GPF. The results of the experiment and the vehicle road test validate shows that the GPF bed temperature is higher than the carrier tolerance temperature, which will easily lead to internal ablation and affect the normal operation of GPF. Taking the maximum carbon load of 5 g as the control condition of passive regeneration of GPF, the ablation failure of GPF can be effectively solved.

Keywords: GPF ablation; passive regeneration; carbon load

(责任编辑:郎伟锋)