

进气温度对汽油机早燃发生频次的影响研究

周延瑞 伍俊 丛日振 李强

宁波吉利罗佑发动机零部件有限公司

摘要: 本文通过对一款增压汽油机在台架和夏季高温环境下进行不同进气温度下的早燃测试, 过程中记录发动机转矩和早燃次数, 对比分析高进气温度对发动机早燃发生频次的影响。结果表明, 发动机在高进气温度条件下, 早燃发生频次明显提高, 实测发生频次增加 10.5 倍。

关键词: 进气温度; 早燃; 台架; 整车试验

0 前言

目前国内外乘用车广泛采用增压发动机, 且高强度化、小型化趋势日趋明显, 不可避免地带来了早燃问题。为了深入分析进气温度和冷却液温度对早燃发生概率的影响, 本文阐述专项台架和整车早燃试验, 测试发动机在正常和劣化两种条件下的早燃发生频次, 为发动机早燃研究提供指导。

1 发动机选择

本次试验选用了一款涡轮增压直列四缸发动机, 详细参数见表 1。

表 1 发动机参数

项目	基本参数
型式	四冲程、直列、直喷、水冷、双平衡轴、增压中冷
压缩比	9.8 : 1
排量 /mL	1799
额定功率 / [kW/r/min]	135/5500
最大转矩 / [N · m/r/min]	300/1750 ~ 4000
怠速转速 / (r/min)	700 ± 30
机油牌号	壳牌 SN 5W-40
燃油牌号	RON 93 号及以上无铅汽油

为了增加早燃发生概率和便于研究, 试验用发动机压缩比为 10, 试验前对影响早燃的相关零部件进行了检测, 全部满足设计要求, 主要检测项包括: 发动机压缩比、气道滚流比、活塞燃烧室容积、气缸盖燃烧

室容积和气缸压缩压力等。

2 试验方法

试验包括发动机台架专项早燃试验和发动机搭载整车早燃专项测试两部分, 台架试验包括正常和劣化两种状态试验边界, 整车早燃试验为吐鲁番夏季高温环境下早燃验证试验。

正常试验边界: 进气歧管气体温度 25 °C, 冷却液温度 95 °C。

劣化试验边界: 进气歧管气体温度 65 °C, 冷却液温度 110 °C。

2.1 台架专项早燃试验

发动机按照磨合规范正常磨合并测试性能, 确认发动机正常后进行专项早燃测试。早燃耐久试验工况按照表 2 依次进行, 用 INCA 记录早燃次数。

2.2 整车专项早燃试验

台架早燃试验结束后将发动机搭载至整车上, 并在吐鲁番高温环境下进行整车专项早燃测试, 试验条件按照当地温度环境进行。

试验时间为吐鲁番 2023 年 6 月 29 日至 7 月 11 日, 期间平均最高温度约 40 °C, 平均最低温度约 29 °C, 环境温度变化情况如图 1 所示, 试验地点在七泉湖公路坡道, 累计 6.1 km。

试验方法: 车辆原地怠速 2 min, 手动档模式, 节气门全开加速, 起步后快速升至高档位, 使发动机转速处于 2000 r/min 以下大负荷区域工作, INCA 记录早燃次数。

表 2 早燃试验工况

序号	工况	运行时间	序号	工况	运行时
1	4000 r/min60% 负荷	30 min	7	800 r/min 10 N·m	30 min
2	1500 r/min 全负荷	单缸 10 万循环	8	1750 r/min 全负荷	单缸 10 万循环
3	800 r/min 10 N·m	30 min	9	4000 r/min 60% 负荷	30 min
4	1500 r/min 全负荷	单缸 10 万循环	10	2000 r/min 全负荷	单缸 10 万循环
5	4000 r/min60% 负荷	30 min	11	800 r/min 10 N·m	30 min
6	1750 r/min 全负荷	单缸 10 万循环	12	2000 r/min 全负荷	单缸 10 万循环

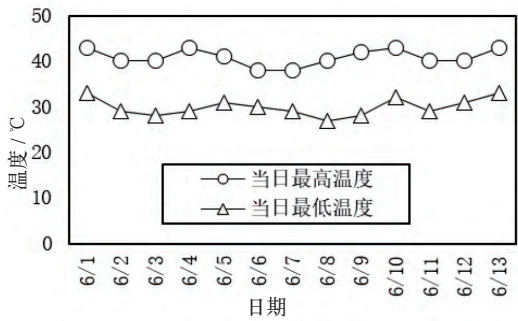


图 1 吐鲁番环境温度变化

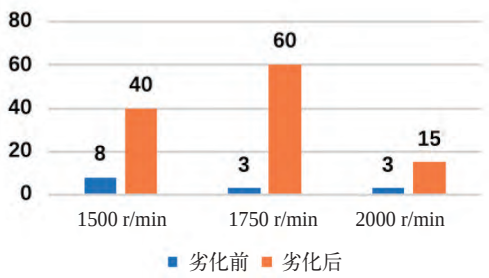


图 3 劣化前后早燃次数

3 试验结果及数据分析

3.1 台架早燃试验结果

台架早燃测试结果如图 2 所示，为发动机早燃发生次数之和，劣化前发动机累计发生早燃 11 次，劣化条件下早燃次数增加至 115 次，增加约 10.5 倍，说明劣化条件下早燃发生概率大幅增加。

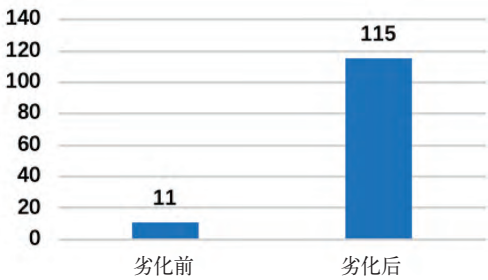


图 2 台架早燃测试结果

图 3 为不同转速早燃发生次数，1500 r/min 早燃次数增加 5 倍，1750 r/min 早燃次数增加 20 倍，2000 r/min 早燃次数增加 5 倍，从各转速早燃情况可以看出劣化条件下早燃发生频次大幅提升。

图 4 为发动机 1500 r/min 劣化前后发动机最大扭矩对比，可以看出劣化条件下发动机转矩无法达到正常条件水平，转矩较正常条件下低约 30 N·m，原因为 ECU 通过爆燃传感器监控到爆燃严重且频次较高，出于保护发动机的目的，修正点火角，导致发动机转矩

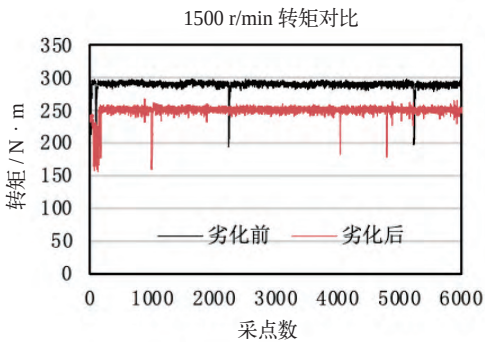


图 4 1500 r/min 劣化前后发动机最大扭矩

偏低。

图 5 为发动机 1750 r/min 劣化前后发动机最大扭矩对比，可以看出劣化条件下发动机转矩无法达到正常条件水平，转矩较正常条件下低约 20 N·m，原因为 ECU 通过爆燃传感器监控到爆燃严重且频次较高，出于保护发动机的目的，修正点火角，导致发动机转矩偏低。

图 6 为发动机 2000 r/min 劣化前后发动机最大扭矩

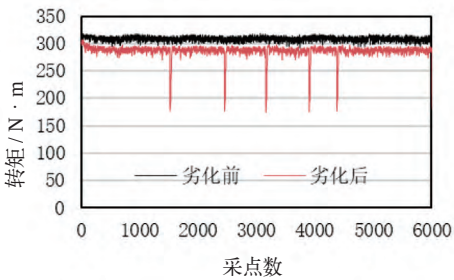


图 5 1750 r/min 劣化前后发动机最大扭矩对比

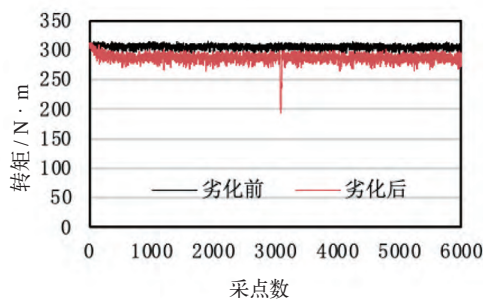


图6 2000 r/min 劣化前后发动机最大转矩对比

矩对比,可以看出劣化条件下发动机转矩无法达到正常条件水平,转矩较正常条件下低约 20 N·m,原因为 ECU 通过爆燃传感器监控到爆燃严重且频次较高,出于发动机保护,修正点火角,导致发动机转矩偏低。

3.2 整车早燃试验结果

本次整车早燃测试,共进行 8 个循环爬坡测试,早燃结果见表 3,累计发生 23 次早燃,发生早燃时发动机转速在 1600 ~ 1800 r/min 之间,进气歧管内气体温度 57 ~ 59 °C,进气歧管内压力 97 ~ 113 kPa,发动机爆燃推角最大 12° CA。

表3 整车早燃试验结果

循环数	早燃次数	车速/(km/h)	档位	发动机转速/(r/min)	进气歧管温度/°C	进气歧管压力/kPa	最大爆燃推角/(° CA)
第1循环	7	80	6	1600	59	110	12
第2循环	3	84	6	1700	57	110	12
第3循环	1	73	6	1770	58.5	104	12
第4循环	1	84	6	1700	58	108	12
第5循环	4	82	6	1700	57	105	12
第6循环	1	79	6	1800	57	113	12
第7循环	3	78	6	1700	58	102	12
第8循环	3	77	6	1600	58	97	12

图 7 为整车早燃试验发生早燃时的发动机转矩,可以看出,在早燃发生时发动机转矩在 150 ~ 250 N·m 之间,处于发动机中等负荷偏上,但未达到外特性最大转矩。

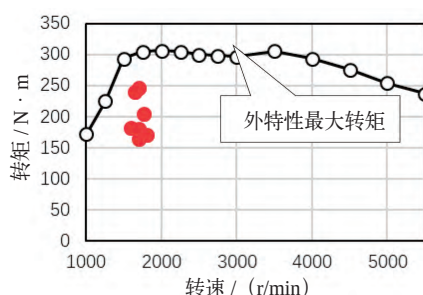


图7 早燃时的发动机转矩

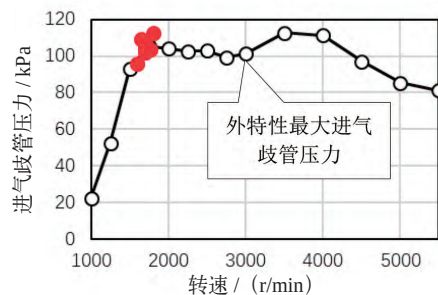


图8 早燃时的发动机进气歧管压力

图 8 为整车早燃试验发生早燃时的发动机进气歧管压力,可以看出,早燃发生时进气歧管压力已超过正常条件下发动机最大转矩时的进气歧管压力,说明高进气温度条件下,为了实现较高的发动机转矩输出,增压器工作剧烈,使进气歧管内压力明显增加,但由于气体温度高,进气歧管压力达到一定值以后发生早燃。

图 9 为整车爬坡工况发动机各缸爆燃推角表现,可以看出每个气缸都存在连续性爆燃现象,爆燃推角最大 12° CA,说明高进气温度条件下,发动机爆燃和早燃发生概率明显增加。

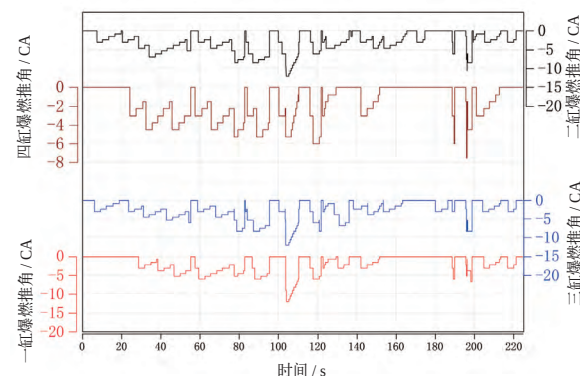


图9 爬坡工况发动机各缸爆燃推角

4 结论

(1) 台架早燃试验中,正常条件下早燃次数较少,劣化条件下,发动机早燃发生频次明显增加,可达 10 倍以上。

(2) 台架早燃试验中,正常条件下发动机性能正常,劣化条件下,由于高进气温度导致爆燃严重,发动机无法达到目标转矩。

(3) 整车早燃试验中,夏季高温环境下,发动机进气歧管内温度和压力较高,早燃和爆燃频次明显增加。

(下转第 41 页)

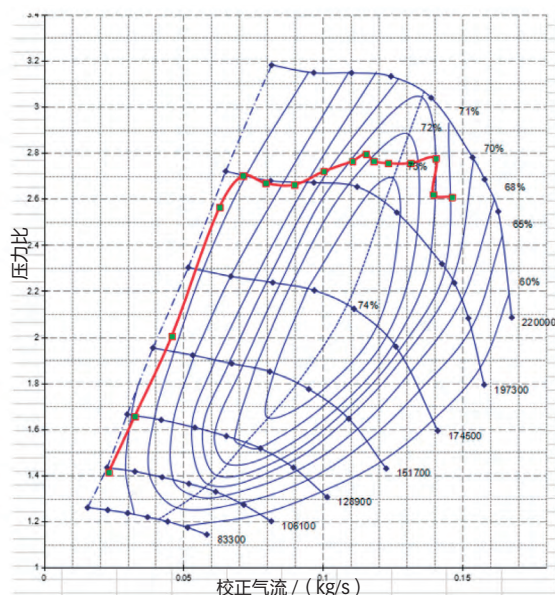


图4 1号增压器匹配结果

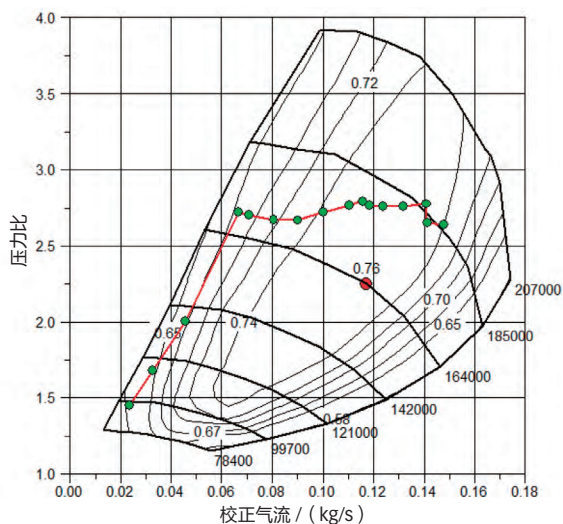


图5 2号增压器匹配结果

机中高速性能,与当前增压器联合运行曲线、匹配状态结果比较一致。

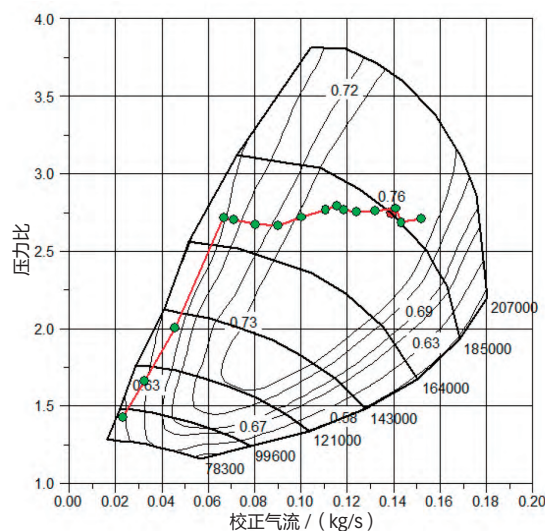


图6 3号增压器匹配结果

3 结论

基于BOOST仿真分析软件,我们搭建并标定了某柴油发动机热力学仿真分析模型,标定误差在5%以内,校核了仿真模型的准确性。

相同功率、转矩目标和边界条件下,2号增压器和3号增压器下发动机匹配的比油耗优于1号增压器。

经过优化匹配分析,3款增压器匹配结果下:2号增压器喘振裕度最大,2号和3号增压器转速裕度相当,1号增压器喘振裕度和转速裕度最小,容易出现喘振和超速现象。

综上所述,2号增压器在3款增压器中匹配结果最好,有利于发动机性能开发和指标达成。

参考文献:

- [1] 周龙保. 内燃机学[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [2] 李志, 龙岩, 王建昕. 增压汽油机中早燃和超级爆燃的研究进展. 汽车安全与节能学报[J], 2015.6(1):17-29.
- [3] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 18297-2013 汽车发动机性能试验方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2013.

(上接第37页)

参考文献

- [1] 周龙保. 内燃机学[M]. 北京:机械工业出版社, 1999.
- [2] 李元平, 平银生, 尹琪. 增压缸内直喷汽油机早燃及超级爆燃试验研究[J]. 内燃机工程, 2012, 33(5):63-66.