

油路积碳清洗剂对小排量发动机经济性影响的试验研究

龚 击, 梁 巍, 卢柳青, 范 毅*

南宁学院交通运输学院, 南宁市新能源汽车动力传动系统工程技术研究中心, 广西 南宁

收稿日期: 2024年3月17日; 录用日期: 2024年4月11日; 发布日期: 2024年4月18日

摘 要

发动机积碳增多将使其燃烧不充分、运行不良, 影响汽车的经济性能。机械清除法虽然能清除积碳, 但对发动机零件存在损伤, 因此燃油添加剂成为降低积碳的有效手段。本研究通过台架试验测试一种油路积碳清洗剂对小排量发动机经济性的影响, 结果表明: 发动机负荷特性试验: 加入添加剂后油耗量平均值降幅为10.14%; 油耗率平均值降幅为5.17%。发动机速度特性试验: 800~2600 rpm常用转速下, 20%的节气门开度, 加入添加剂后油耗量平均值降幅为7.46%; 油耗率平均值降幅为2.18%。50%的节气门开度, 油耗量平均值降幅为6.80%; 油耗率平均值降幅为3.38%。发动机循环工况试验: 加入添加剂后油耗量平均值降幅为9.31%; 油耗率平均值降幅为6.31%。发动机双怠速工况试验: 加入添加剂后油耗量平均值降幅为8.70%; 油耗率平均值降幅为8.99%。试验的油路积碳清洗剂对小排量发动机的经济性提升明显, 油耗量平均降幅在6.80%~10.14%之间, 油耗率平均降幅在2.18%~8.99%之间。

关键词

积碳清洗剂, 发动机经济性, 发动机测控仪

Experimental Study on the Influence of Oil Carbon Deposition Cleaning Agents on the Economy of Small Displacement Engines

Ji Gong, Wei Liang, Liuqing Lu, Yi Fan*

Nanning Engineering Technology Research Center for Power Transmission System of New Energy Vehicle, College of Traffic and Transportation, Nanning University, Nanning Guangxi

Received: Mar. 17th, 2024; accepted: Apr. 11th, 2024; published: Apr. 18th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 龚击, 梁巍, 卢柳青, 范毅. 油路积碳清洗剂对小排量发动机经济性影响的试验研究[J]. 机械工程与技术, 2024, 13(2): 134-143. DOI: 10.12677/met.2024.132017

Abstract

The increase of carbon deposition in the engine will result in incomplete combustion and poor operation, which will affect the automobile economy. Although the mechanical cleaning method can remove carbon deposition, it does harm to engine parts, making fuel additives an effective means of reducing carbon deposition. In this study, the influence of an oil carbon deposition cleaning agent on the economy of small displacement engines was tested through bench test. The results showed that in the engine load characteristic test, the average fuel consumption decreased by 10.14% after adding additives, and the average fuel consumption rate decreased by 5.17%. The engine speed characteristic test was conducted at the common speed of 800~2600 rpm, with 20% throttle opening. The average fuel consumption decreased by 7.46% after adding additives, and the average fuel consumption rate decreased by 2.18%. When the throttle opening is 50%, the average fuel consumption decreased by 6.80% and the average fuel consumption rate decreased by 3.38%. In the engine cycle test, after adding additives, the average fuel consumption decreased by 9.31% and the average fuel consumption rate decreased by 6.31%. In the engine dual idle condition test, the average fuel consumption decreased by 8.70% after adding additives and the average fuel consumption rate decreased by 8.99%. The experimental oil carbon deposition cleaning agent has obviously improved the economy of small displacement engines, with the average decrease in fuel consumption ranging from 6.80% to 10.14% and the average decrease of fuel consumption ranging from 2.18% to 8.99%.

Keywords

Carbon Deposition Cleaning Agents, Engine Economy, Engine Measurement and Control Instrument

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

发动机运行过程中存在不完全燃烧或燃烧不完全的情况,发动机运行时间增长,积碳将随之增多[1]。消除积碳可以提升发动机动力性能来降低油耗,改善燃油经济性[2]。常见的积碳清除方法分为两大类:机械清除法[3] [4]、化学清洗法[5]。机械清除法需要将发动机零部件拆解后,用机械刀具对零部件表面进行物理刮除[3],对零件基体及表面存在潜在损伤。因此,化学清洗法成为研究的热点[5] [6] [7],油路积碳清洗剂是较好的方式之一,它也是一种燃油添加剂[8]。燃油添加剂对于在用车辆的排气污染物降低具有较好的效果,但在燃油经济性方面的效果有待评价[9];孟庆泉等人在船舶发动机上进行了长期实验,燃油添加剂与燃油的比值 1 L:14.6 t 的情况下,试验船相对省油 1.4% [10]。但不同的燃油添加剂对发动机性能的影响有所不同,部分添加剂对发动机零件存在腐蚀、效果不明等问题[11],因此寻求合适的油路积碳清洗剂,并进行直观评价是研究的重点,本研究通过试验手段测试一种积碳清洗剂对发动机性能的影响,以期在实际使用提供实践应用基础。

2. 试验设备及方案

2.1. 试验设备

本试验测试对象是一台 2019 年产的第三代日产 HR16 小排量发动机,其与发动机测控系统、电涡流

测功机、智能油耗仪、电喷发动机回油处理器等组装成试验台架见图 1，设备的具体型号见表 1。



Figure 1. Engine test bench
图 1. 发动机试验台架

Table 1. Table of the test equipment

表 1. 试验设备表

设备名称	型号	设备名称	型号
发动机	第三代日产 HR16	电喷发动机回油处理器	四川诚邦 ET2700
电涡流测功机	四川诚邦 GW160	油门励磁驱动仪	四川诚邦 ET2200
发动机测控系统	四川诚邦 ET2000	轴流风机	金葵 T40-4A
智能油耗仪	四川诚邦 ET2500		

2.2. 试验准备及方案

2.2.1. 试验准备

试验设备连接好确认安全无误之后，往空油箱中加入清洗剂，再把汽油加满，油路积碳清洗剂与燃油混合进入油箱，通过油泵进入油管、喷油嘴及燃烧室。清洗剂和汽油的比例为一支 250 ml 清洗剂适配 50 L 升汽油。为防止发动机在试验中出现故障，应该经过确认发动机起动运行台架能够正常起动后，再开始进行试验；使用一个瓶子用作储油器并通过接油管连接储油器上端和油箱，让油箱的油可以通过接油管进入储油器，储油器下端用接油管连接到智能油耗仪；通过接油管连接发动机与油耗仪；往油箱里加入试验所用汽油；准备就绪后，开始进行试验热机；完成全部前期准备工作并检查各项目符合试验安全注意事项的要求后，即可开始进行试验。

2.2.2. 试验方案

按照国家标准 GB/T 18297-2001《汽车发动机性能试验方法》进行，测量部位及精度遵循规定。通过发动机负荷特性试验、发动机速度特性试验、发动机循环工况试验、发动机双怠速工况测试等 4 种试验，每种试验分别针对无积碳清洗剂、有积碳清洗剂各进行 3 组测试降低测量误差，通过油耗量、油耗率评价清洗剂对发动机经济性的影响。

3. 积碳清洗剂对发动机经济性影响

3.1. 发动机负荷特性试验

测试发动机在 800 r/min、1000 r/min、1200 r/min、1400 r/min、1600 r/min 之间，每个转速在不同负荷下的油耗变化，过程中数据采集的时间为 5 秒，试验重复三次并保存数据后终止无添加剂的发动机负荷特性试验。之后重复以上步骤，进行有添加剂的试验。

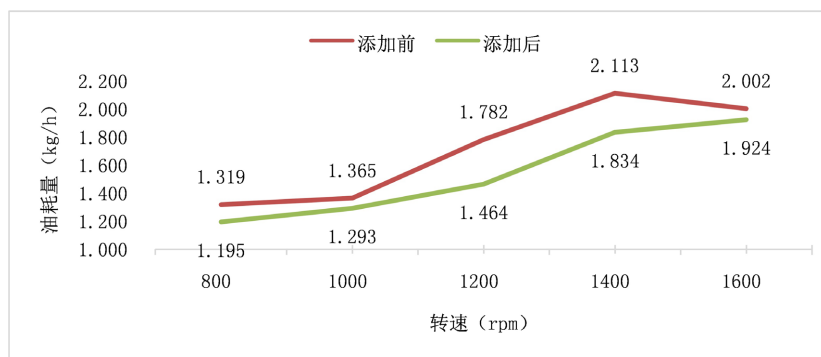


Figure 2. Diagram of comparison of fuel consumption in engine load characteristic test
图 2. 发动机负荷特性试验油耗量对比

图 2 可知, 无添加剂发动机负荷特性试验 3 次的油耗量最大值的平均值为 2.113 kg/h、最小值的平均值为 1.319 kg/h、整体平均值为 1.716 kg/h。加入添加剂之后发动机负荷特性试验 3 次的油耗量最大值的平均值为 1.924 kg/h、最小值的平均值为 1.195 kg/h、整体的平均值 1.542 kg/h。

油耗量最大值降幅为 $(2.113 - 1.924)/2.113 = 8.94\%$, 即加入添加剂之后油耗量的最大值在原来的基础上下降了 8.94%。油耗量最小值降幅为 $(1.319 - 1.195)/1.319 = 9.40\%$, 即加入添加剂之后油耗量的最小值在原来的基础上下降了 9.40%。油耗量平均值降幅为 $(1.716 - 1.542)/1.716 = 10.14\%$, 即加入添加剂之后油耗量的平均值在原来的基础上下降了 10.14%。

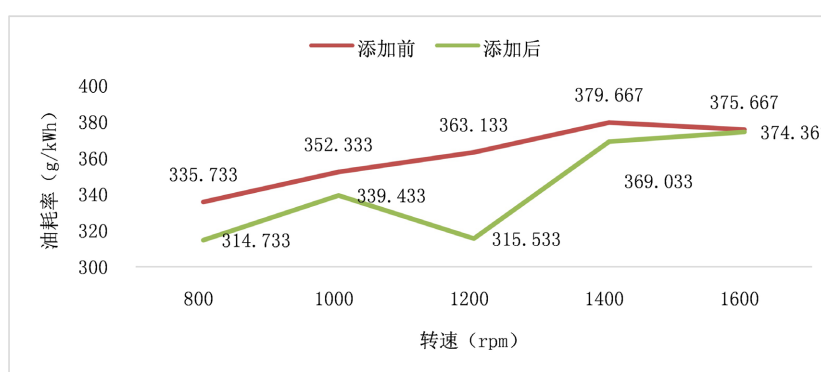


Figure 3. Diagram of comparison of fuel consumption rates in engine load characteristic test
图 3. 发动机负荷特性试验油耗率对比

图 3 可知, 无添加剂发动机负荷特性试验 3 次的油耗率最大值的平均值为 379.667 g/kWh、最小值的平均值为 335.733 g/kWh、整体平均值为 361.307 g/kWh。加入添加剂之后发动机负荷特性试验 3 次的油耗率最大值的平均值为 374.367 g/kWh、最小值的平均值为 314.733 g/kWh、整体的平均值 342.620 g/kWh。

油耗率最大值降幅为 $(379.667 - 374.367)/379.667 = 1.40\%$, 即加入添加剂之后油耗率的最大值在原来的基础上下降了 1.40%。油耗率最小值降幅为 $(335.733 - 314.733)/335.733 = 6.25\%$, 即加入添加剂之后油耗率的最小值在原来的基础上下降了 6.25%。油耗率平均值降幅为 $(361.307 - 342.620)/361.307 = 5.17\%$, 即加入添加剂之后油耗率的平均值在原来的基础上下降了 5.17%。从对比试验看, 油耗量降幅在 1200~1400 r/min 较好, 油耗率降幅在 1200 r/min 最佳, 因此保持发动机运转在良好的工况, 积碳清洗剂对经济性的提升明显。

3.2. 发动机速度特性试验

试验测试选取节气门开度在20%、50%两个值,每一个节气门开度下800 r/min、1000 r/min、1200 r/min、1400 r/min、1600 r/min、1800 r/min、2000 r/min、2200 r/min、2400 r/min、2600 r/min之间每个转速的油耗数据,过程中数据采集时间为5秒,试验重复三次并且将数据保存好后终止无添加剂的发动机速度特性试验。之后重复以上步骤,进行有添加剂的试验。

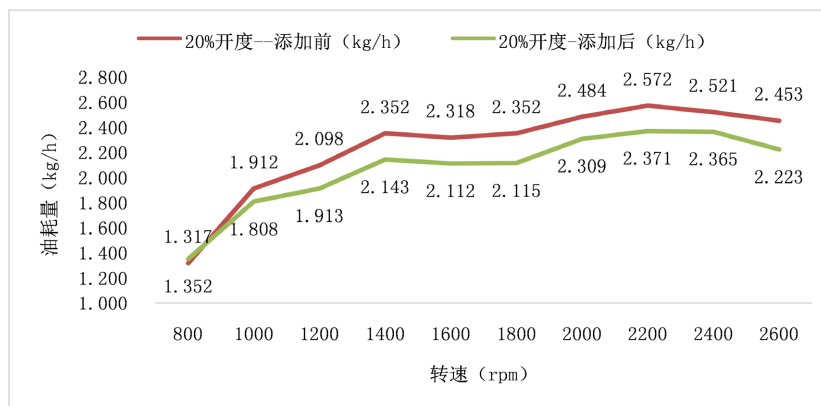


Figure 4. Diagram of comparison of fuel consumption in engine speed characteristic test with 20% throttle opening

图 4. 发动机速度特性试验 20%节气门开度时油耗量对比

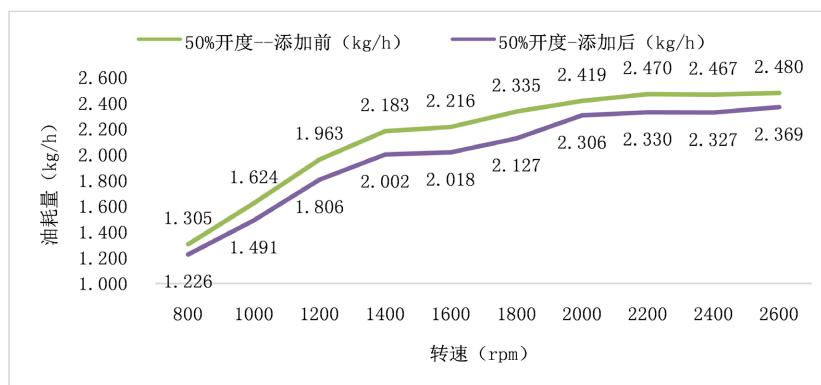


Figure 5. Diagram of comparison of fuel consumption in engine speed characteristic test with 50% throttle opening

图 5. 发动机速度特性试验 50%节气门开度时油耗量对比

图 4、图 5 可知, 20%的节气门开度、800~2600 rpm 常用转速下, 无添加剂发动机速度特性试验油耗量最大值为 2.572 kg/h、最小值为 1.352 kg/h、整体平均值为 2.238 kg/h。加入添加剂之后发动机速度特性试验油耗量最大值为 2.371 kg/h、最小值为 1.317 kg/h、整体的平均值 2.071 kg/h, 油耗量最大值降幅为 7.81%、最小值降幅为 2.59%、平均值降幅为 7.46%。

50%的节气门开度、800~2600 rpm 常用转速下, 无添加剂发动机速度特性试验油耗量最大值为 2.480 kg/h、最小值为 1.305 kg/h、整体平均值 2.146 kg/h。加入添加剂之后发动机速度特性试验油耗量最大值为 2.369 kg/h、最小值为 1.226 kg/h、整体的平均值 2.000 kg/h, 油耗量最大值降幅为 4.48%、最小值降幅为 6.05%、平均值降幅为 6.80%。

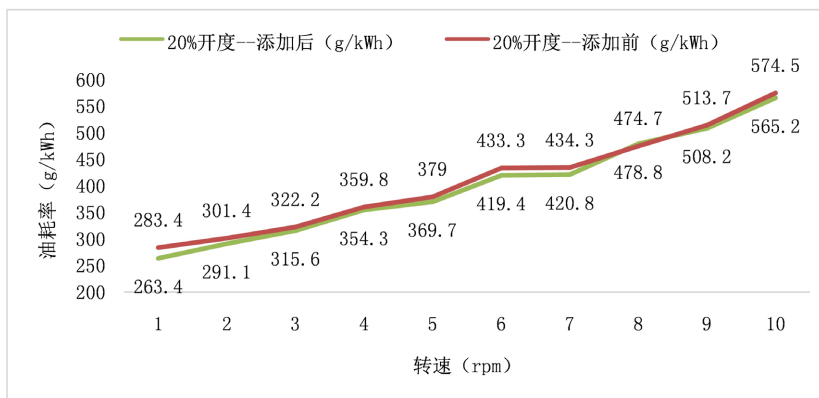


Figure 6. Diagram of comparison of fuel consumption rate in engine speed characteristic test with 20% throttle opening

图 6. 发动机速度特性试验 20%节气门开度时油耗率对比

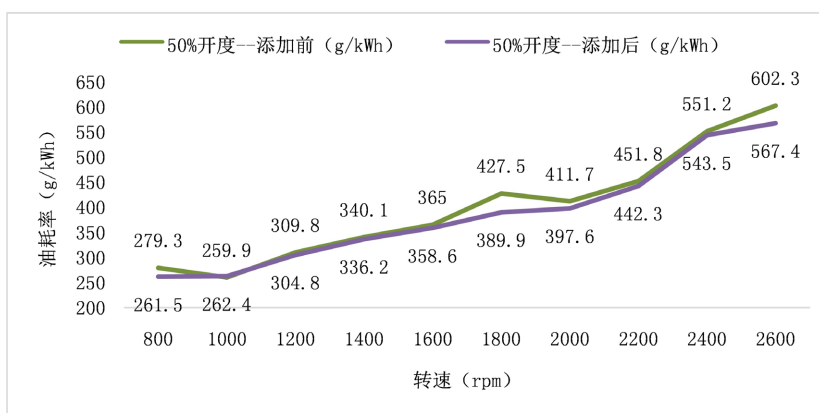


Figure 7. Diagram of comparison of fuel consumption rate in engine speed characteristic test with 50% throttle opening

图 7. 发动机速度特性试验 50%节气门开度时油耗率对比

图 6、图 7 可知，20%的节气门开度、800~2600 rpm 常用转速下，无添加剂发动机速度特性试验油耗率最大值为 574.5 g/kWh、最小值为 283.4 g/kWh、整体平均值为 407.6 g/kWh。加入添加剂之后发动机速度特性试验油耗率最大值为 565.2 g/kWh、最小值为 263.4 g/kWh、整体的平均值 398.7 g/kWh，油耗率最大值降幅为 1.62%、最小值降幅为 7.06%、平均值降幅为 2.18%。

50%的节气门开度、800~2600 rpm 常用转速下，无添加剂发动机速度特性试验油耗率最大值为 602.3 g/kWh、最小值为 279.3 g/kWh、整体平均值 399.9 g/kWh。加入添加剂之后发动机速度特性试验油耗率最大值为 567.4 g/kWh、最小值为 261.5 g/kWh、整体的平均值 386.4 g/kWh，油耗率最大值降幅 5.79%、最小值降幅为 6.37%、平均值降幅为 3.38%。速度特性中，在较为宽广的发动机转速区间内，积碳清洗剂对燃油经济性有较好的提升。

3.3. 发动机循环工况试验

试验将测试发动机在怠速、加速、减速、加速、减速、加速、减速、加速情况下的油耗情况，过程中数据采集时间为 5 秒，试验重复三次把数据保存好后终止无添加剂的循环工况测试。之后重复以上步骤，进行有添加剂的试验。

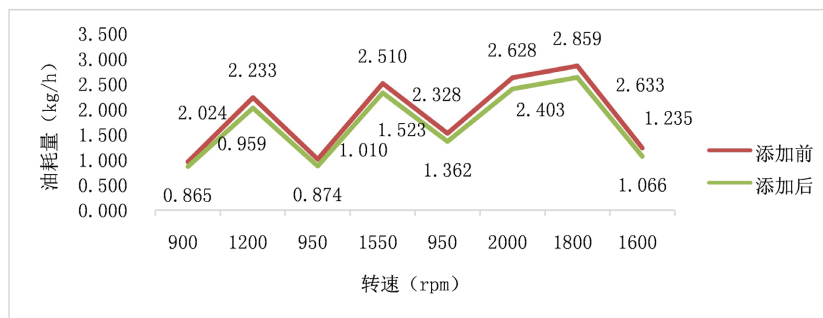


Figure 8. Diagram of comparison of fuel consumption in engine cycle test
图 8. 发动机循环工况试验油耗量对比

图 8 可知, 无添加剂发动机循环工况试验 3 次的油耗量最大值的平均值为 2.859 g/kWh、最小值的平均值为 0.959 g/kWh、整体平均值为 1.869 g/kWh。加入添加剂之后发动机循环工况试验三次的油耗量最大值的平均值为 2.633 g/kWh、最小值的平均值为 0.865 g/kWh、整体的平均值 1.695 g/kWh。

油耗量最大值降幅为 $(2.859 - 2.633)/2.859 = 8.23\%$, 即加入添加剂之后油耗量的最大值在原来的基础上下降了 8.23%。油耗量最小值降幅为 $(0.959 - 0.865)/0.959 = 9.80\%$, 即加入添加剂之后油耗量的最小值在原来的基础上下降了 9.80%。油耗量平均值降幅为 $(1.869 - 1.695)/1.869 = 9.31\%$, 即加入添加剂之后油耗量的平均值在原来的基础上下降了 9.31%。

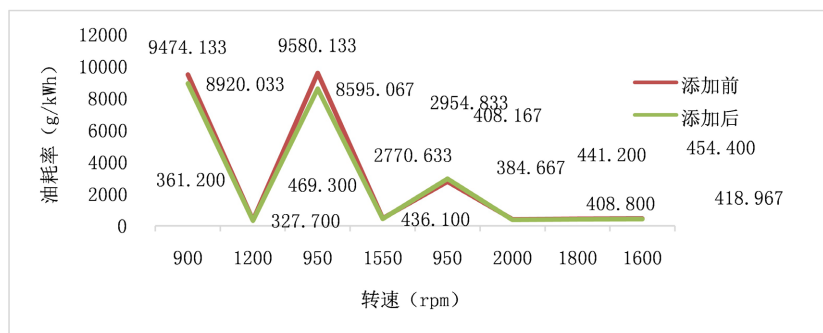


Figure 9. Diagram of comparison of fuel consumption rate in engine cycle test
图 9. 发动机循环工况试验油耗率对比

图 9 可知, 无添加剂发动机循环工况试验 3 次的油耗率最大值的平均值为 9580.133 g/kWh、最小值的平均值为 361.200 g/kWh、整体平均值为 2994.896 g/kWh。加入添加剂之后发动机循环工况试验 3 次的油耗率最大值的平均值为 8920.033 g/kWh、最小值的平均值为 327.700 g/kWh、整体的平均值 2805.771 g/kWh。

油耗率最大值降幅为 $(9580.133 - 8920.033)/9580.133 = 6.89\%$, 即加入添加剂之后油耗率的最大值在原来的基础上下降了 6.89%。油耗率最小值降幅为 $(361.200 - 327.700)/361.200 = 9.27\%$, 即加入添加剂之后油耗率的最小值在原来的基础上下降 9.27%。油耗率平均值降幅为 $(2994.896 - 2805.771)/2994.896 = 6.31\%$, 即加入添加剂之后油耗率的平均值在原来的基础上下降了 6.31%。

3.4. 发动机双怠速工况试验

验将测试发动机在 2000 r/min - 3500 r/min - 2000 r/min - 3500 r/min - 2000 r/min - 3500 r/min 下的燃油

消耗情况，过程中数据采集时间为 5 秒，试验重复三次并且将数据保存好后终止无添加剂的双怠速工况测试。之后重复以上步骤，进行有添加剂的试验。



Figure 10. Diagram of comparison of fuel consumption in engine dual idle condition test
图 10. 发动机双怠速工况试验油耗量对比

图 10 可知，无添加剂发动机双怠速工况试验 3 次的油耗量最大值的平均值为 3.747 g/kWh、最小值的平均值为 2.178 g/kWh、整体平均值为 2.931 g/kWh。加入添加剂之后发动机双怠速工况试验 3 次的油耗量最大值的平均值为 3.337 g/kWh、最小值的平均值为 1.935g/kWh、整体的平均值 2.676 g/kWh。

油耗量最大值降幅为 $(3.747 - 3.337)/3.747 = 10.94\%$ ，即加入添加剂之后油耗量的最大值在原来的基础上下降了 10.94%。油耗量最小值降幅为 $(2.178 - 1.935)/2.178 = 11.16\%$ ，即加入添加剂之后油耗量的最小值在原来的基础上下降了 11.16%。油耗量平均值降幅为 $(2.931 - 2.676)/2.931 = 8.70\%$ ，即加入添加剂之后油耗量的平均值在原来的基础上下降了 8.70%。



Figure 11. Diagram of comparison of fuel consumption rate in engine dual idle condition test
图 11. 发动机双怠速工况试验油耗率对比

图 11 可知，无添加剂发动机双怠速工况试验 3 次的油耗率最大值的平均值为 508.133 g/kWh、最小值的平均值为 407.400 g/kWh、整体平均值为 462.306 g/kWh。加入添加剂之后发动机双怠速工况试验 3 次的油耗率最大值的平均值为 461.800 g/kWh、最小值的平均值为 359.167 g/kWh、整体的平均值 420.761 g/kWh。

油耗率最大值降幅为 $(508.133 - 461.800)/508.133 = 9.12\%$ ，即加入添加剂之后油耗率的最大值在原来的基础上下降了 9.12%。油耗率最小值降幅为 $(407.400 - 359.167)/407.400 = 11.84\%$ ，即加入添加剂之后油耗率的最小值在原来的基础上下降 11.84%。油耗率平均值降幅为 $(462.306 - 420.761)/462.306 = 8.99\%$ ，即加入添加剂之后油耗率的平均值在原来的基础上下降了 8.99%。双怠速工况中，油耗量和油耗率在较为宽泛的转速范围内降幅明显，验证了燃油添加剂的效果。

4. 总结

根据 GB/T18297-2001《汽车发动机性能试验方法》，在发动机测试台架上对第三代日产 HR16 小排量发动机的经济性进行测试，以评价测试用的油路积碳清洗剂的效果。结果表明：

1) 发动机负荷特性试验：加入添加剂之后油耗量最大值降幅为 8.94%、最小值降幅为 9.40%、平均值降幅为 10.14%；油耗率最大值降幅为 1.40%、最小值降幅为 6.25%、平均值降幅为 5.17%。

2) 发动机速度特性试验：800~2600 rpm 常用转速下，20%的节气门开度，加入添加剂之后油耗量最大值降幅为 7.81%、最小值降幅为 2.59%、平均值降幅为 7.46%；油耗率最大值降幅为 1.62%、最小值降幅为 7.06%、平均值降幅为 2.18%。50%的节气门开度，油耗量最大值降幅为 4.48%、最小值降幅为 6.05%、平均值降幅为 6.80%；油耗率最大值降幅 5.79%、最小值降幅为 6.37%、平均值降幅为 3.38%。

3) 发动机循环工况试验：加入添加剂之后油耗量最大值降幅为 8.23%、最小值降幅为 9.80%、平均值降幅为 9.31%；油耗率最大值降幅为 6.89%、最小值降幅为 9.27%、平均值降幅为 6.31%。

4) 发动机双怠速工况试验：加入添加剂之后油耗量最大值降幅为 10.94%、最小值降幅为 11.16%、平均值降幅为 8.70%；油耗率最大值降幅为 9.12%、最小值降幅为 11.84%、平均值降幅为 8.99%。

试验的油路积碳清洗剂对小排量发动机的经济性提升明显，油耗量平均降幅在 6.80%~10.14%之间，油耗率平均降幅在 2.18%~8.99%之间。

通过不同的发动机经济性试验，油耗量平均降幅在 6.80%~10.14%之间，油耗率平均降幅在 2.18%~8.99%之间，试验的油路积碳清洗剂对小排量发动机的经济性提升明显。

基金项目

2021 年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目“非离子水基双性清洗剂的发动机动态特性研究”(2021KY1797)、2019 年度校级科研项目“基于非离子水基双性清洗剂的发动机特性研究”(2019XJ11)。

参考文献

- [1] 袁杰, 周云龙. 积碳对发动机性能的影响及处理分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2020, 10(8): 84-86.
- [2] 江伟, 夏兵. 积碳对燃油发动机性能影响分析[J]. 长春工业大学学报, 2020, 41(2): 180-187.
- [3] 祖力克亚·马合木提. 拖拉机零件清除污垢的方法[J]. 农机使用与维修, 2020(7): 103.
- [4] 李义才. 发动机再制造中铝合金活塞表面积碳清洗工艺的研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2020.
- [5] 霍金禄, 李晓华, 张铎, 等. 汽油添加剂对发动机燃烧和排放特性的影响[J]. 能源环境保护, 2023, 37(2): 178-186.
- [6] 黄楚棋. 工业清洗 VOCs 源头控制及航空发动机积碳微乳液清洗技术[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2022.
- [7] 黄鐸, 程莹东, 王金龙, 等. 清洁剂选型与复配对喷油器积碳影响的试验研究[J]. 内燃机与动力装置, 2022, 39(2): 61-66.
- [8] Kegl, T., Kralj, A.K., Kegl, B., et al. (2021) Nanomaterials as Fuel Additives in Diesel Engines: A Review of Current State, Opportunities, and Challenges. *Progress in Energy and Combustion Science*, 83, Article ID: 100897. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100897>

-
- [9] 潘相楠, 程波, 唐岚, 等. 燃油添加剂对汽车排放性能影响分析研究[J]. 交通节能与环保, 2020, 16(2): 1-3.
- [10] 孟庆泉, 徐鸿志, 张国儒. 燃油添加剂改善燃油性能试验[J]. 航海技术, 2020(1): 48-51.
- [11] 刘斌, 卢志美, 丁雨青, 等. 基于快速积碳的汽油清净增效剂评价方法研究[J]. 小型内燃机与车辆技术, 2022, 51(2): 45-49.