

# 膜法富氧技术对高海拔柴油发动机性能的影响

熊云, 刘晓, 范林君, 许世海

(中国人民解放军陆军勤务学院, 重庆 401331)

**摘要:** **目的** 通过膜法富氧技术提高柴油发动机的高海拔使用性能。**方法** 以卷式富氧膜为富氧气体来源, 以发动机自身动力为动力来源, 设计出富氧装置制造富氧气体。采用并联进气方式, 在发动机进气系统增加旁通管路通过富氧装置为发动机补充富氧气体以提高进气的氧含量。通过高海拔发动机模拟台架和高海拔实装试验考察富氧技术对发动机性能的影响。**结果** 高海拔发动机模拟台架试验结果表明, 海拔的增加使发动机的高海拔使用性能明显下降, 与平原相比, 模拟海拔 5000 m 时, 柴油机功率平均下降 43.2%, 燃油消耗率平均增加 74.0%; 使用富氧技术后, 发动机的高海拔使用性能回复, 在模拟海拔 5000 m, 柴油机应用富氧装置后功率平均提高 9.9%, 燃油消耗率平均下降 8.4%。唐古拉泵站的柴油发电机高海拔实装表明, 使用富氧装置后, 平均单位发电量油耗下降 8.52%。试验过程中, 使用了富氧技术的发动机工作稳定、可靠。**结论** 膜法富氧技术运用于柴油机, 可有效提高柴油机的高海拔使用性能。

**关键词:** 高海拔; 柴油机; 膜法富氧; 油耗

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2017.10.006

**中图分类号:** TJ07; TK42

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2017)10-0031-04

## Effects of Membrane-based Oxygen-enrichment Technology on Performance of Diesel Engine at High Altitude

XIONG Yun, LIU Xiao, FAN Linjun, XU Shi-hai  
(Army Service College, PLA, Chongqing 401331, China)

**ABSTRACT: Objective** To improve the performance of diesel engine at high altitude by membrane-based oxygen-enrichment technology. **Methods** The spiral-wound oxygen-enriched membrane was used as the source of oxygen enriched air; the engine itself was used as the power source; and the oxygen-enriched device was designed to produce oxygen enriched inlet air. The parallel intake mode was used. The bypass pipeline was added to the engine intake system to supplement the engine with oxygen-enriched air to improve the oxygen content of the inlet air. Influences of oxygen enrichment technology on engine performance were investigated by high altitude engine simulation bench and high altitude real equipment test. **Results** The experimental results of high altitude engine simulation showed that the performance of the engine at high altitude obviously decreased with the increase of altitude. Compared with that on the plain, the power of the diesel engine dropped by 43.2 % and the fuel consumption increased by 74.0 % respectively. After using the oxygen enrichment technology, the performance of the engine at high altitude restored. At the simulated altitude of 5000 m, the power of the diesel engine increased by 9.9 %; and the fuel consumption rate decreased by 8.4 % on average. The test on the diesel generator of Tanggula pumping station showed that the average power consumption of the unit decreased by 8.52 % after the use of oxygen-enriched device. During the test, the engine with oxygen enrichment technology was stable and reliable. **Conclusion** The membrane-based oxygen-enrichment technology can effectively improve the performance of

diesel engine at high altitude.

**KEY WORDS:** high altitude; diesel engine; membrane-based oxygen-enrichment; fuel consumption

大部分油料装备选用发动机在设计选型时,都是按照海拔 1500 m 以下使用进行设计计算。当海拔超过 1500 m 时,由于空气稀薄,发动机工作状态恶化,达不到标定扭矩和功率<sup>[1-2]</sup>。随之造成油料装备技术指标达不到要求,降低了油料装备保障效能<sup>[3]</sup>,影响正常训练、作战和油料保障。

为提高发动机的高海拔使用性能,可以采用改变发动机设计<sup>[4-5]</sup>、使用含氧燃料<sup>[6-8]</sup>、使用高效燃料添加剂<sup>[9]</sup>等方法。富氧燃烧技术通过膜或其他分离手段提高进气中的氧含量,从而可以提高燃烧效率。富氧燃烧技术最早应用在使用重质燃料的锅炉上<sup>[10-11]</sup>,随着富氧燃烧技术的提高,其用途扩大<sup>[12-15]</sup>。先后有人将富氧燃烧技术应用于平原使用的天然气汽车和点燃式发动机中以提高发动机的动力性能<sup>[16-19]</sup>。为解决油料装备用发动机性能下降问题,文中尝试将富氧技术应用于高海拔用柴油发动机,通过增加发动机进气中氧含量的方法提高发动机的高海拔使用性能。

## 1 试验

### 1.1 发动机富氧技术的选择

深冷法、变压吸附法和膜法均可从空气中制备富氧气体,其中,膜法具有设备简单、操作方便和安全等优点,尤其当富集氧气要求浓度不高(<40%)时,经济效益明显。文中选用普瑞科尔的卷式膜作为富氧

气体来源,其性能见表 1。由表 1 中数据可见,卷式膜的富氧浓度虽低,富氧气体流量大,可满足发动机大进气量的实际需要。

表 1 普瑞科尔卷式膜的富氧效果

进气压力/MPa	氧气流量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	富氧浓度/%	氮气流量/ (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
0.15	5.43	24.33	9.89
0.20	5.00	23.84	12.14
0.25	8.66	24.40	10.91
0.30	8.36	24.05	12.89
0.35	11.92	23.96	11.31
0.40	11.07	23.85	10.93
0.45	15.36	24.04	12.94

### 1.2 富氧技术集成于发动机

以北内柴油机厂的 F6L913 发动机为试验发动机,为尽可能减少对原发动机进行结构上的改装,采用并联进气方式,即保持发动机原进气系统不变,在发动机进气系统增加旁通管路通过富氧辅助燃烧装置为发动机补充富氧气体,实现发动机进气含氧量增加。为避免增加额外动力设备,将富氧装置用真空泵、空气压缩机采用共轴式一体化设计,使富氧装置的動力取自原发动机。

发动机用富氧装置主体由风机增压模块、气体处理模块、管路和安装支架等组成,如图 1 所示。

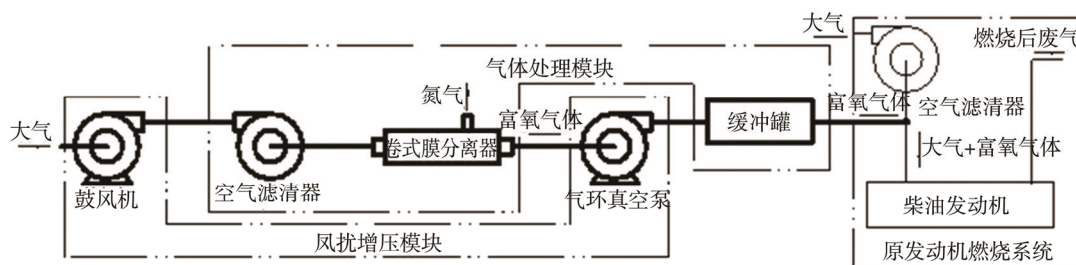


图 1 发动机用富氧装置原理流程

## 2 高海拔模拟试验和实地试验结果与分析

### 2.1 发动机台架试验

为考察富氧装置对发动机高海拔使用性能的影响,在军事交通学院军用动力机械高海拔环境实验室进行了高海拔发动机模拟台架试验,试验流程如图 2 所示。

进行了平原不使用富氧装置、模拟 5000 m 海拔

不使用富氧装置、模拟海拔 5000 m 使用富氧装置等三种工况下发动机的外特性试验。试验结果见图 3—图 4。从表 1 可知,海拔的增加使发动机的高海拔使用性能明显下降。与平原相比,模拟海拔 5000 m 时,F6L913 柴油机功率平均下降 43.2%,燃油消耗率平均增加 74.0%;使用富氧技术后,发动机的高海拔使用性能恢复,在模拟海拔 5000 m,F6L913 柴油机应用富氧装置后功率平均提高 9.9%,燃油消耗率平均下降 8.4%。

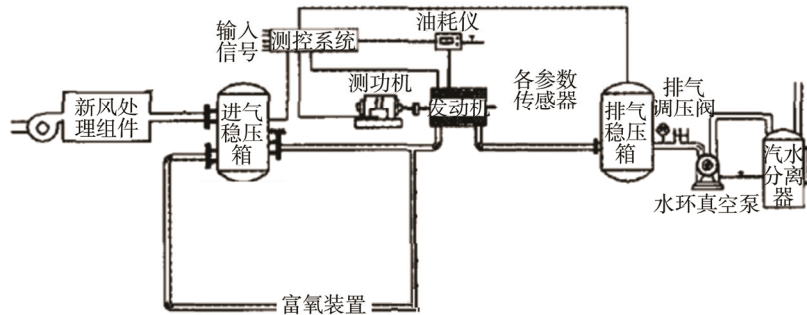


图 2 高海拔发动机模拟台架试验原理流程

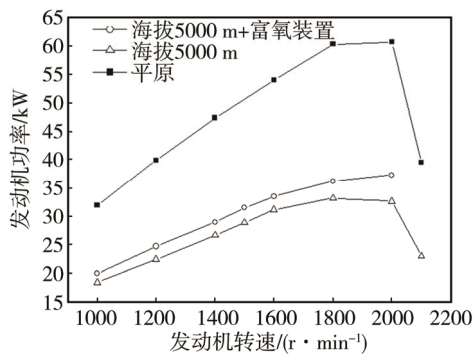
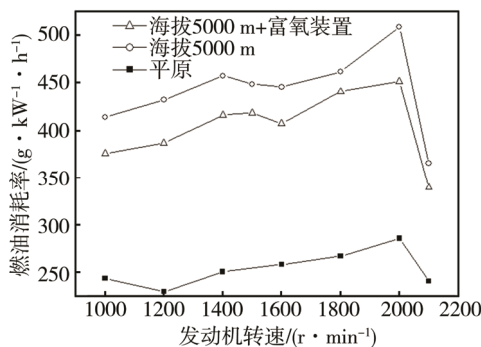


图 3 不同海拔下柴油机外特性功率对比



注：试验环境压力为 100 kPa；大气温度为 25 ℃；干球为 25 ℃ 湿球为 22 ℃；相对湿度为 83%；机油牌号为 0w-40；燃油牌号为 0#柴油

图 4 不同海拔下柴油机外特性燃料消耗率对比

## 2.2 实地试验

唐古拉山口海拔 5231 m，唐古拉泵站用 CAT 3306B 柴油机进行发电，在唐古拉泵站进行了富氧技术应用于 CAT 3306B 柴油机的高海拔实装试验。由于试验条件有限，无法直接测试发动机的动力和油耗，因此将富氧装置安装于柴油发电机系统后，通过测试使用富氧装置前后，柴油发电机连续工作 10 h 的发电量和油耗，来确定富氧技术对发动机性能的影响。试验过程中，使用了富氧技术的发动机工作稳定、可靠。

使用富氧装置前，柴油发电机连续工作 10 h 的发电量为 344 kW·h，累计油耗为 149.29 cm<sup>3</sup>，计算平均单位发电量油耗为 0.434 cm<sup>3</sup>/(kW·h)；使用富氧装置后，发电机连续工作 10 h 的发电量为 334 kW·h，

累计油耗为 132.45 cm<sup>3</sup>，计算平均单位发电量油耗为 0.397 cm<sup>3</sup>/(kW·h)。由此可知，使用富氧装置后，平均单位发电量油耗下降 8.52%。

## 3 结论

1) 将富氧技术集成于柴油发动机，成功实现了膜法富氧技术在发动机上的实际使用。

2) 在模拟海拔 5000 m 发动机台架试验中，使用富氧技术后，发动机的功率平均增加 11.8%，油耗平均降低 8.41%。

3) 富氧技术在 CAT 3306B 柴油机的高海拔实装试验结果表明，发动机油耗平均降低 8.52%。

膜法富氧技术应用于高海拔柴油机，可有效提高柴油机的高海拔使用性能。

## 参考文献：

- [1] SOARES S M C, SODRE J R. Effects of Atmospheric Temperature and Pressure on the Performance of a Vehicle[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D: Journal of Automobile Engineering, 2002, 216 (6): 473-477
- [2] 蔚亚. 高原环境对燃油发动机的影响[J]. 汽车实用技术, 2016(6): 171-172.
- [3] 李江. 海拔高度对发动机泵机组性能的影响[J]. 后勤工程学院学报, 2013, 29(5): 29-33.
- [4] 文雄, 董慷, 陈强. 提高面向高原地区的汽车发动机机油消耗适应性研究[J]. 装备制造技术, 2015(7): 181-184
- [5] 刘瑞林. 柴油机高原环境适应性研究[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2013.
- [6] 李晓然, 许世海. 模拟高原条件下含氧燃料对发动机性能的影响[J]. 石油学报(石油加工), 2016, 32(1): 215-220.
- [7] 张志才, 郭小川, 熊小龙. 高原地区柴油发动机燃用混合燃料的研究[J]. 石油学报(石油加工), 2015, 31(6): 1370-1375.
- [8] 吴娜, 赵武云. 高原地区双燃料发动机功率性能试验[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 49(6): 171-174.
- [9] 熊云, 陈然, 刘晓, 等. 高原环境下新型无灰助燃剂对

- 发动机性能的影响[J]. 石油学报(石油加工), 2016, 32(6): 1253-1259.
- [10] 张艳伟, 葛学利, 聂宇宏. 富氧燃烧锅炉炉膛内烟气辐射特性计算[J]. 锅炉技术, 2016, 47(5): 51-54.
- [11] 曾洁, 潘绍成. 35MW 富氧燃烧煤粉锅炉开发与研究[J]. 东方电气评论, 2016, 30(4): 24-28.
- [12] 张鑫, 仇广金, 李胜利. 富氧燃烧硫磺回收装置重要控制方案的探讨[J]. 石油化工自动化, 2017, 53(1): 30-32.
- [13] 田正学. 富氧燃烧点火技术在600MW超临界锅炉的应用[J]. 山东工业技术, 2017(5): 285-285.
- [14] 吴庆龙, 张兴豪, 周虹光. 富氧条件下低挥发分煤油点火试验研究[J]. 热力发电, 2016(9): 51-55.
- [15] 谢军, 任红灿, 李晓青. 富氧燃烧技术在天然气玻璃熔窑上的应用[J]. 建筑玻璃与工业玻璃, 2016(8): 21-24.
- [16] 刘利梁, 张虎. 进气掺氢与富氧燃烧对汽油机性能影响的试验研究[J]. 车用发动机, 2017(1): 70-74.
- [17] 周俊瑾, 沈颖刚, 徐波峰. 富氧燃烧对柴油机工作特性影响的试验研究[J]. 小型内燃机与车辆技术, 2016(4): 15-19.
- [18] 宇文巍, 戴晓江. 柴油机富氧燃烧的试验研究[J]. 黄金, 2016(8): 76-79.
- [19] 周明, 沈颖刚, 朱文霞. 富氧燃烧结合 EGR 技术控制柴油机排放的试验研究[J]. 小型内燃机与车辆技术, 2016, 45(6): 1-5.