某中速柴油机装配结构改进型喷油器的试验研究

朱守全 高洋
（大连中车柴油机有限公司 辽宁 大连 116022）

摘要：在某型中速柴油机上进行了结构改进型喷油器与传统喷油器的对比试验，并完成了进一步的优化调整试验研究。试验结果表明，采用改进型喷油器后，燃油经济性得到改善；排气污染物中的碳氢化合物、一氧化碳及排气烟度明显降低。通过参数的调整，柴油机性能进一步提升。改进后的喷油器可作为该中速柴油机技术升级方案之一。

关键词：中速柴油机；结构改进；喷油器；试验研究

0 引言

喷油器是柴油机燃油喷射系统的关键部件之一，其对燃油雾化质量、油束分布等喷雾特性以及对喷射压力、喷油持续期等喷射特性有着重要影响，对柴油机的性能起着决定性的作用。而对喷油器结构（喷孔数、喷孔直径、压力室容积等）进行优化改进，可以达到改善油气混合，获得更优燃烧效率与排放性能的效果。本文就某型中速柴油机开展了结构改进型喷油器与传统喷油器的对比试验研究，并在此基础上进行了柴油机参数的调整试验研究。

1 试验环境的建立

1.1 试验样机与喷油器

试验用柴油机为某直列四冲程增压柴油机，增压空气和气缸套的冷却均为压力冷却水，样机采用电子控制单体式“泵 - 管 - 嘴”燃油喷射系统，额定转速为 1000r/min。试验用喷油器的主要技术参数如表 1 所示。

表 1 喷油器主要技术参数

喷油器类型	改进型 P1	传统型 P2
喷油器型式	孔式	孔式
偶件型式	针阀式	针阀式
总流通面积 /mm^2	1.114	1.218

1.2 试验仪器与设备

试验所用主要仪器及设备如表 2 所示。

表 2 试验仪器及设备

型号	仪器设备名称
AVL 611	燃烧分析仪
AMA i60	排气分析仪
AVL 415SE	烟度计
CMF050	燃油质量流量计
EPM-XP	爆发压力表
—	常规仪表及传感器

2 燃油经济性对比

柴油机按照表 3 中的试验工况运行，对比分析 P1、P2 两种喷油器下油耗差距，试验结果对比情况如图 1 所示，两种喷油器下管压曲线如图 2 所示。

由图 1 可以看出，P1 喷油器下燃油消耗率较 P2 喷油器低。经计算，标定工况下，P1 喷油器的燃油油耗率较 P2 喷油器的燃油油耗率下降约 1.5%。结合图 2 管压曲线可知，装配 P1 喷油器时油管压力高，燃油喷射压力大，燃油与空气混合质量好。也就是说，装配 P1 喷油器时缸内燃烧的更充分，燃烧效率更高，因此燃油经济性更优，

表 3 试验工况

转速 r/min	750	860	920	1000
负荷率 %	21.2	42	64	100

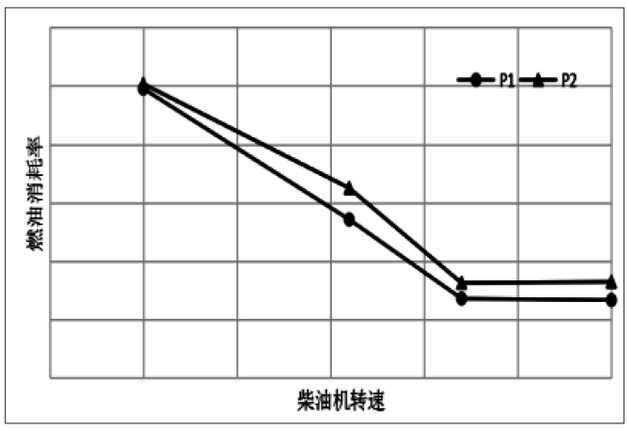

图 1 两种喷器下燃油消耗率对比

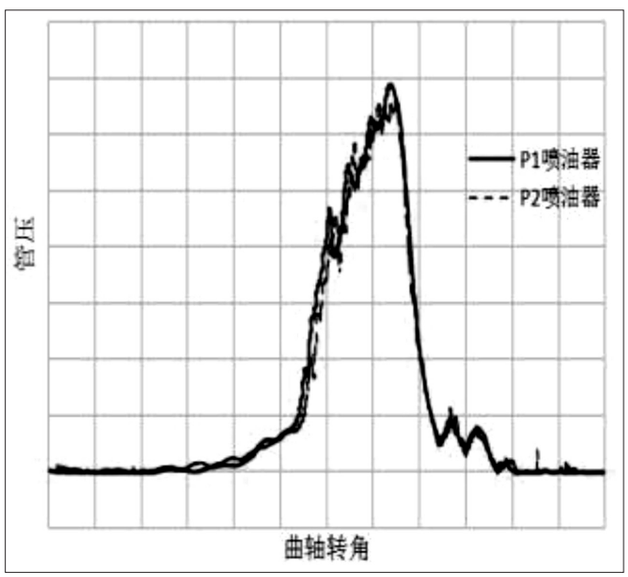

图 2 两种喷油器下管压曲线

67-96 综合 9月中 第26期 .indd 76 2022/3/10 16:28:02

油耗率更低。

3 排放试验研究

3.1 试验条件及工况

台架试验中，在相同的排气管密封条件，相同的压缩比，相同的供油提前角情况下完成了两种喷油器的排放试验，并按照相关标准规定的方法进行了排放计算，计算中考虑了对环境温度以及湿度的修正。

排放试验的试验工况如表 4 所示。

表 4 排放试验工况

转速 r/min	325	650	750	860	920	1000
负荷率 %	2.8	10.8	21.2	42	64	100

3.2 排放试验比较

按照上述试验条件进行两种喷油器的排放试验，并将试验结果进行对比分析，试验结果如图 3(a) ～图 3(d) 所示。

由图 3(a) ～图 3(d) 可以看出，改进型喷油器较传统喷油器相比，HC、CO、FSN 排放明显降低，NOx 排放量略有上升。相同供油提前角下，计算试验工况下 HC 加权比排放量下降约 67.6% ；加权烟度 FSN 下降约 72.3%。采用改进型喷油器后，燃油雾化质量提高，与空气混合的更好，燃烧效率更高，柴油机排放性能得以改善。而 NOx 排放浓度增加主要是由于缸内燃烧温度升高，促进了 NOx 的生成。

3.3 P1 喷油器的排放优化

采用改进型喷油器 P1 后，柴油机的含“碳”污染物排放得到较大改善。而鉴于上述试验结果中，NOx 排放有所上升，因此开展了进一步的优化调整试验，在其他排放物排放浓度满足排放限值的同时，降低 NOx 排放。

3.3.1 供油提前角的调整

一般来说，随着供油的推迟，预混合燃烧的燃油量减少，燃烧室内达到的最高燃烧温度降低，已燃气体在高温下的停留时间变短，导致 NOx 的排放降低。因此，可通过推迟供油正时的方式对 NOx 排放进行优化控制。对试验样机的主要排气污染物随供油提前角的变化进行了试验，结果如图 4 所示。

结果显示，随着供油的推迟，NOx 浓度下降明显，HC 浓度及 CO 浓度变化不大，FSN 略有上升。通过分析，排气烟度距限值要求还存在很大裕度，经综合评估后，本

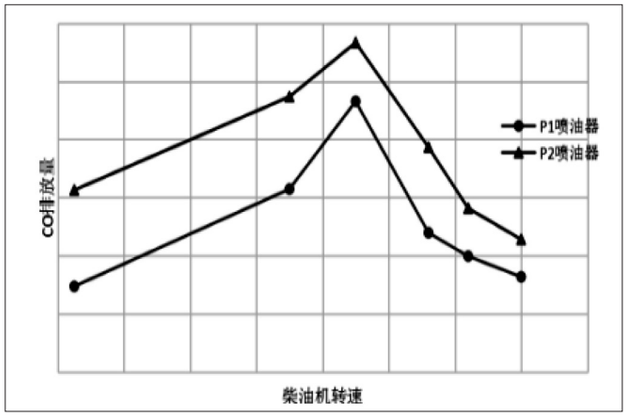

图 3(a) CO 排放对比

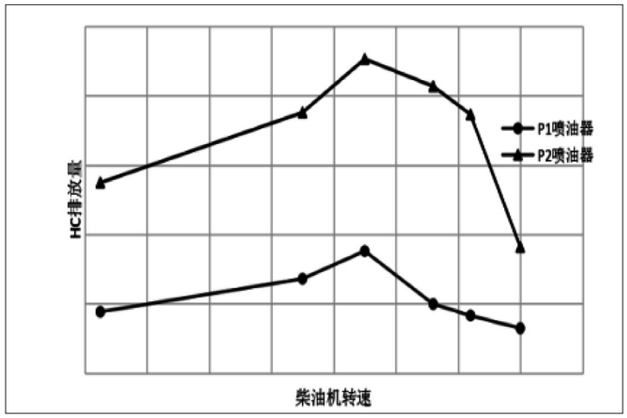

图 3(b) HC 排放对比

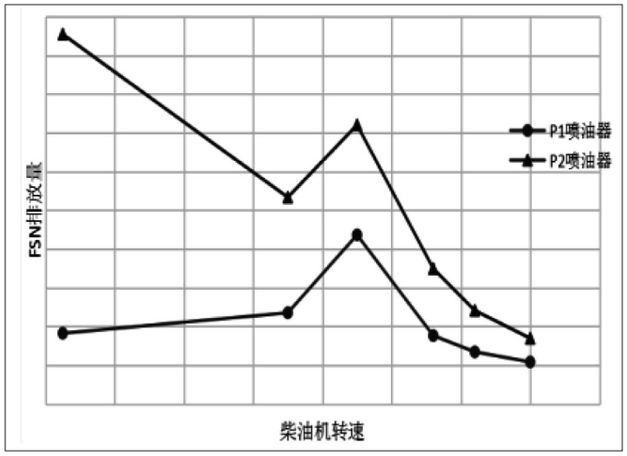

图 3(c) FSN 排放对比

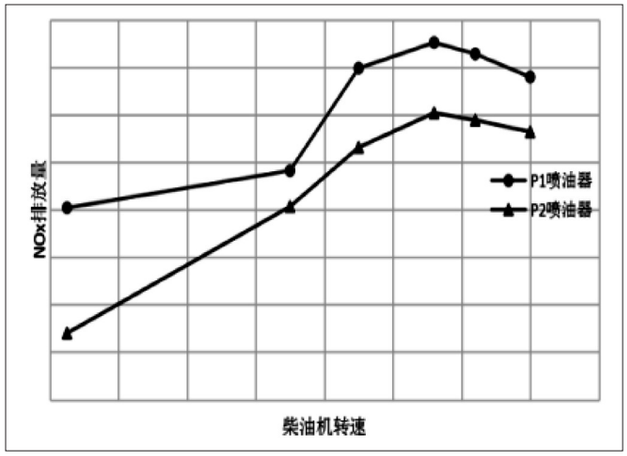

图 3(d) NOx 排放对比

67-96 综合 9月中 第26期 .indd 77 2022/3/10 16:28:03

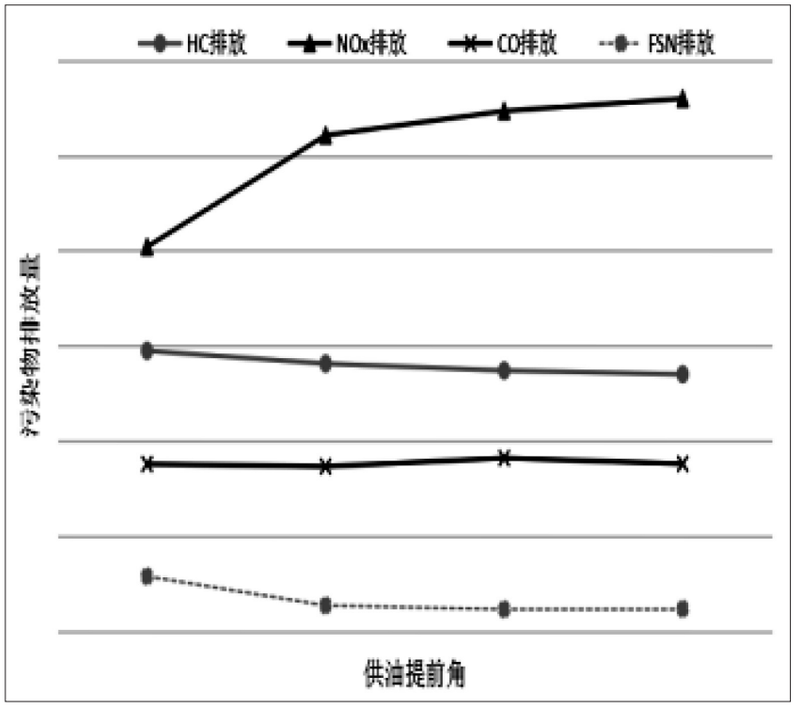

图 4 排放物浓度随供油提前角变化情况

样机通过推迟供油提前角，降低 NOx 排放浓度的方法是可行的。

推迟供油虽然降低了排放物中 NOx 的浓度，但由于供油提前角的推迟，柴油机后燃期变长，缸内最大燃烧压力下降，燃烧效率降低，燃烧经济性下降，油耗率有所增加。因此有必要作出进一步优化，以保证在满足排放标准的同时，尽可能的减少燃油消耗。

3.3.2 压缩比的调整

柴油机压缩比是反应气缸内气体被压缩程度的重要指标，压缩比的大小直接影响到柴油机的换热过程及燃烧品质，压缩比增大时，压缩终了的缸内压力，温度均升高，燃油经济性变好。因此，可通过适当提高压缩比的方式对油耗作出进一步的优化。

在不改变试验样机供油提前角的情况下，对其压缩比进行调整，并对其油耗进行对比研究，油耗对比结果如图 5 所示。

试验结果表明，通过适当提高压缩比，燃油经济性得以改善。这主要是由于压缩比提高后，使压缩终点的温度和压力升高，缩短了滞燃期，改善了燃烧性能，使燃烧更充分，缸内最大燃烧压力提升，整机热效率提高，油耗率下降。

结合提高压缩比及推迟几何供油的方法对柴油机性能进行综合评估，对比调整前后的燃油消耗及排放情况，对比结果如图 6 和图 7 所示。

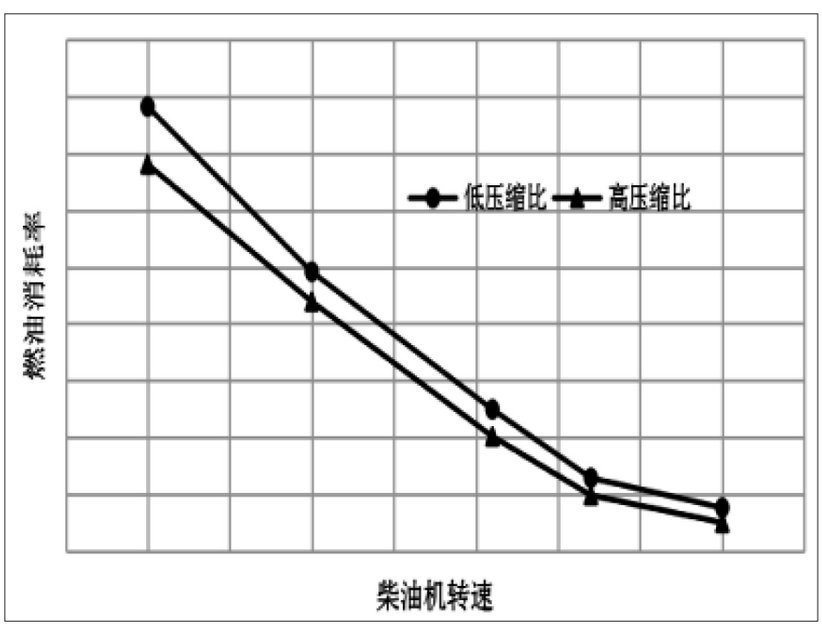

图 5 两种压缩比下油耗率

结果表明，调整后油耗率处于未进行任何调整时油耗与单方面提高压缩比而不改变几何供油始点时油耗之间的折中水平，即较未调整前油耗略有下降。NOx、HC、CO 排放浓度有所下降，也就是说，结合推迟几何供油及提高压缩比的方法可以使柴油机经济性及排放性能得到提升。

4 结语

（1）与传统喷油器相比，装配改进型喷油器后，由于燃油与空气的混合质量更好，燃烧效率更高，燃油消耗率下降，标定工况下节油率可达 1.5%。燃油经济性得到提升。

（2）采用改进型喷油器后，燃油雾化质量变好，燃烧效率高，燃烧更充分，可有效控制柴油机的“碳”排放。试验条件下 HC、CO 排放和排气烟度 FSN 得到明显改善。

（3）采用改进型喷油器，并结合推迟几何供油正时与调整压缩比的方法，柴油机经济性及排放性得到进一步提升。

参考文献：

[1] 许锋 . 内燃机原理教程 [M]. 大连：大连理工大学出版社 ,2011.

[2] 寇海亮 , 祖江陵 , 李恒 . 满足国 II 排放的 P 系列喷油器开发与应用 [J]. 拖拉机与农用运输车 ,2012(6):46-48.

（下转第 82 页）

67-96 综合 9月中 第26期 .indd 78 2022/3/10 16:28:03

其只保留了下头体的松开、夹紧和卧轴的松刀功能，取消了独立对端齿盘的松开、夹紧动作的控制。通常端齿盘外置结构铣头也可以具有卧轴中心吹气、卧轴外冷等功能。

此种铣头具体动作过程为：松、夹附件头动作由安装在连接盘内 4 个的松、夹油缸同时进油或回油实现；当铣头卧轴要实现旋转分度时，给松、夹铣头油缸下达松开附件头动作指令，但油缸无需完全松开，在下头体与上连接盘脱开一定距离时，油缸内设置的位置传感器发出到位信号，表示油缸在此位置时，位于下头体的下端齿盘与位于上连接盘的上端齿盘已脱开，油缸停止动作，此时机床可通过立主轴旋转带动附件头卧轴部分整体旋转，实现卧轴的自动旋转分度，分度精度仍由端齿盘的分度精度决定，到达预设角度后，松、夹附件头油缸拉紧，卧轴旋转定位动作完成。可见，端齿盘内置结构的铣头其松、夹附件头和松、夹端齿盘均由同一套油缸动作实现，只是执行不同功能时其油缸伸出程度不同。

从端齿盘外置结构的自动直角铣头结构和控制动作可以看出，其成本低、技术难度低、装配简单优势明显。但从图 3 可以直观地看出，其端齿盘直接外露，当长时间处于加工环境时，在松、夹附件洗头过程中不易防尘，且可能造成端齿盘磕伤，从而影响分度精度；在装调过程中铣头上母线不易调整，铣头下端齿盘结合面铲刮比较费时费力；其结构造成上、下端齿啮合面到铣头卧轴中心距离较长，导致其刚性以及稳定性相较没有端齿盘内置结构的铣头好。

4 结语

根据两种自动直角铣头的结构分析可以看出，端齿盘内置和端齿盘外置两种结构的优缺点显而易见。端齿盘内置的自动直角铣头结构精度好，刚性高，易调整、防尘好、稳定性高，但结构复杂，装配困难，对制造商要求高，成本高；端齿盘外置的自动直角铣头则在精度、刚性、稳定性和调整难易程度上均略逊一筹，但其结构简单、易于装配，所以可以选择的制造商更广泛、成本优势尤为明显。

综上所述，在自动直角铣头的选用过程中，如果更侧重要求整体的刚性和稳定性，成本足够的情况下，可选用端齿盘内置结构的直角铣头；如果更侧重控制采购成本，则建议选择端齿盘外置结构的直角铣头。

参考文献：

[1] 王陈伟 . 数控龙门机床用五面体中心出水直角铣头 [J]. 制造技术与机床 ,2017(01):157-158.

[2] 杨林 , 黄继春 , 李攀科 , 浦娇 .FANUC 柔性同步控制在自动分度直角铣头上的运用 [J]. 制造技术与机床 ,2018(11):184-188.

[3] 张州进 , 安永飞 , 符世忠 . 直角铣头 C 轴自动分度结构设计及应用 [J]. 机械设计 ,2021,38(S1):202-204.

[4] 王宏 , 席霞 , 潘耀庭 . 一种新型的数控镗铣床主轴系统设计 [J]. 组合机床与自动化加工技术 ,2009(04):64-66.

[5] 李阳 . 基于铣头静动态特性分析的龙门铣床切削参数确定及快速选取 [D]. 苏州 : 苏州大学 ,2018.

[6] 陈叶 . 全自动直角铣头结构设计及夹持系统优化研究 [D]. 苏州 : 苏州大学 ,2018.

[7] 高立国 , 蒋疆 , 张佳朋 . 直角铣头在五轴加工中的刀尖点补偿技术 [J]. 航天制造技术 ,2015(02):31-35.

作者简介：张慧芳（1982.01-），女，汉族，天津人，硕士，工程师，研究方向：龙门式数控镗铣床。

（上接第 78 页）

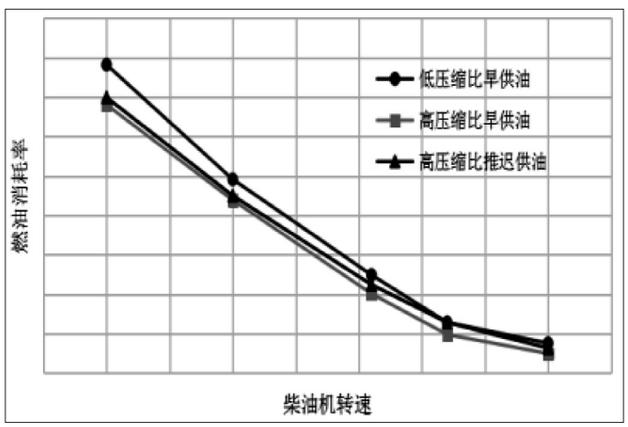

图 6 油耗对比

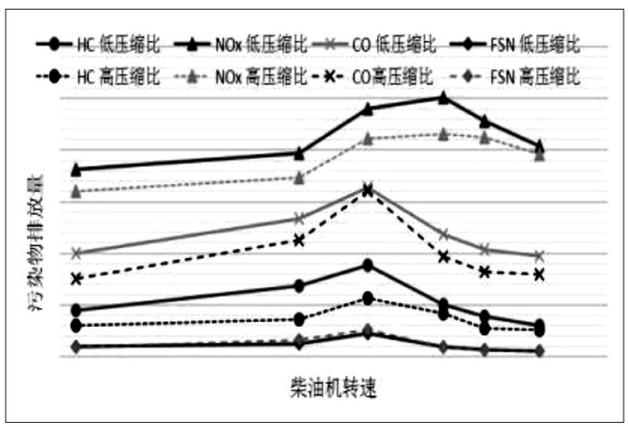

图 7 排放对比

[3] 徐凯 , 朱梅林 , 李兵 . 发动机排气污染物控制技术及发展趋势 [J]. 车用发动机 ,1998(6):7-12.

[4] 吕林 , 吴锦翔 , 高孝洪 . 排放法规给柴油机发展带来的挑战 [J]. 武汉交通科技大学学报 ,1999,23(3):234-238.

[5] 罗马吉 , 熊锋 , 颜伏伍 , 施祥 , 张超建 . 降低非道路用增压柴油机 NOx 和 PM 排放的试验研究 [J]. 内燃机工程 .2009(5):28-30+35.

[6] 褚建超 . 高压缩比柴油机晚喷燃烧特性研究 [D/OL]. 武汉 : 武汉理工大学 ,2015[2015-5-1].https://www.doc88.com/p-3945286866442.html?r=1.

作者简介：朱守全（1992.04-），男，汉族，吉林蛟河人，工程师，硕士，研究方向：柴油机性能计算与试验。

67-96 综合 9月中 第26期 .indd 82 2022/3/10 16:28:03