

东方红 LR4M3-24 柴油机满足非道路国 II 排放技术

张怡军, 黄幼林, 皮道平, 徐信峰

(中国一拖(洛阳)柴油机有限公司, 河南洛阳 471004)

摘要: 简要介绍了国内外非道路排放控制法规及现状。针对法规要求开发了新一代东方红 LR4M3-24 柴油机。通过采用新结构活塞、喷油泵、喷油器等零部件及运用内部 EGR 技术, 使该型柴油机的排放指标全面达到《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法》(I、II 阶段)中的 II 阶段规定; 且动力性、油耗、噪声、等性能均有所提高。

关键词: 东方红 LR4M3-24 柴油机; 非道路机械; 排放; 开发

中图分类号: TK422 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2011)06-0010-03

Technologies of LR4M3-24 Type Dongfanghong Diesel Engine Satisfying Non-road National II Emissions Control Standard

Zhang Yijun, Huang Youlin, Pi Daoping, Xu Xinfeng

(YTO (LuoYang) Diesel Engine Co., Ltd, HenanLuoyang471004)

Abstract: The non-road national emissions control regulations and the status at home and abroad are briefly introduced. To satisfy the emissions regulations, the new LR4M3-24 type Dongfanghong diesel engine was developed. Through the structure redesign of piston, injection pump and injector and some other components, and by inner EGR technology, the new type of engine satisfies the regulations of "Limits and Measurement Methods for Exhaust Pollutants from Diesel Engines of Non-road Mobile Machinery (II)", and its power, fuel consumption, noise and some other performance parameters are improved also.

Keywords: LR4M3-24 type Dongfanghong diesel engine; non-road machinery; emission; development

0 引言

东方红柴油机以其良好的经济性和可靠性得到了广大使用者的认可, 目前在农业及工程领域得到了广泛应用。然而随着人们环保意识的日益增强, 发动机的排放问题日益受到重视。基于以上原因, 一拖(洛阳)柴油机有限公司决定开发一款高质量、低污染的东方红系列柴油机来满足国内非道路移动机械市场需求。本文以东方红 LR4M3-24 为例介绍东方红柴油机满足非道路国 II 排放所采取的技术方案。

1 国内外相关法规及现状

1.1 国外相关法规及现状

欧盟、美国、日本的非道路移动机械用压燃式发动机排放控制先后起步于上世纪九十年代中期, 现在基本处于各自的“第三”阶段, 少量机型处于“第二”阶段。以欧盟为例, 控制非道路移动机械用压燃式发动机的排放指令是 97/68/EC(1998 年 3 月 19 日开始实施), 从 2009 年 12 月 31 日开始对 $37 \text{ kW} \leq P < 560 \text{ kW}$ 的非道路移动机械用压燃式发动机分功率段实施第 III B 阶段的排放限值, 见表 1。

收稿日期: 2011-06-21; 修回日期: 2011-08-05

作者简介: 张怡军(1980-), 男, 工程师, 主要研究方向为内燃机设计与开发, E-mail: dcx2008haoyun@126.com。

表 1 欧盟非道路移动机械用压燃式发动机排气污染物限值(第 III B 阶段)

额定净功率 $P_{\max}/\text{kW}$	$\text{CO}/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	$\text{HC}/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	$\text{NO}_x/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	$\text{HC} + \text{NO}_x/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	$\text{PM}/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$
$130 \leq P_{\max} \leq 560$	3.5	0.19	2.0	—	0.025
$75 \leq P_{\max} < 130$	5.0	0.19	3.3	—	0.025
$56 \leq P_{\max} < 75$	5.0	0.19	3.3	—	0.025
$37 \leq P_{\max} < 56$	5.0	—	—	4.7	0.025

1.2 国内相关法规及现状

我国目前实施的 GB20891-2007. 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法(I、II 阶段) 主要参考了欧盟(指令 97/68/EC) 标准, 在其基础上新增了农业和渔业机械方面的要求。从

2010 年 10 月 1 日起执行第 II 阶段, 表 2 为 I、II 阶段排气污染物限值对比, 可见 II 阶段与 I 阶段限值相比, CO 排放量最高要求降低 40%, NO_x 排放量要求降低 24% ~ 35%, 颗粒物排放要求下降 20% ~ 63%。

表 2 我国非道路移动机械装用柴油机排气污染物限值 I、II 阶段对比

额定净功率 $P_{\max}/(\text{kW})$	$\text{CO}/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$		$\text{HC}/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$		$\text{NO}_x/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$		$\text{HC} + \text{NO}_x/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$		$\text{PM}/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	
	I 阶段	II 阶段	I 阶段	II 阶段	I 阶段	II 阶段	I 阶段	II 阶段	I 阶段	II 阶段
$130 \leq P_{\max} \leq 560$	5.0	3.5	1.3	1.0	9.2	6.0	—	—	0.54	0.2
$75 \leq P_{\max} < 130$	5.0	5.0	1.3	1.0	9.2	6.0	—	—	0.7	0.3
$37 \leq P_{\max} < 75$	6.5	5.0	1.3	1.3	9.2	7.0	—	—	0.85	0.4
$18 \leq P_{\max} < 37$	8.4	5.5	2.1	1.5	10.8	8.0	—	—	1.0	0.8
$8 \leq P_{\max} < 18$	8.4	6.6	—	—	—	—	12.9	9.5	—	0.8
$0 \leq P_{\max} < 8$	12.3	8.0	—	—	—	—	18.4	10.5	—	1.0

与国外同期柴油机相比, 国内柴油机普遍存在高排放、低比功率、高油耗、可靠性差等不足。目前国内的技术装备和相关工艺水平与国外同期水平相比也存在很大差距。内燃机企业的开发创新和技术储备严重不足, 特别是农业领域使用的柴油机差距更加明显。表 3 为目前国内外非道路移动机械用柴油机主要性能指标对比。

表 3 国内外非道路移动机械用柴油机主要性能指标对比

性能指标	国内	国外同类机型
升功率和平均有效压力	比国外低 10% ~ 20%	
可靠性/h	≥2 000	≥5 000
最低燃油消耗率/ $\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	≤220 ~ 245	≤200 ~ 230
噪声/ $\text{dB}(\text{A})$	比国外高 2 ~ 5	
排放水平	中国非道路标准 I 阶段(相当于欧盟 Stage I)	欧盟 Stage III B

因此专门为国内非道路市场开发一款高质量、低污染的专用发动机已经到了刻不容缓的地步。

2 东方红 LR4M3-24 型柴油机技术指标

东方红 LR4M3-24 型柴油机是一拖(洛阳) 柴油机有限公司与英国里卡多公司联合设计的最新产品。运用 CAD/UG 等三维技术和 CAE 分析技术对重要部件全面优化; 采用裙部多曲面加强结构的缸体, 运用干式缸套和活塞强制喷油冷却技术, 低涡流进气

道的整体缸盖, 全面提升了柴油机的使用可靠性; 运用国际最新的内燃机燃烧技术, 采用 P 系列或 J 系列喷油器, 优化匹配的燃油喷射系统, 使该机型的排放指标全面达到《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法》(I、II 阶段) 中的 II 阶段规定。主要设计技术指标见表 4。

表 4 主要设计技术指标

型号	LR4M3-24	
形式	直喷、直列、水冷、四冲程	
缸数—缸径 × 行程/ mm	4—110 × 125	
标定功率/转速/ $\text{kW}/(\text{r}/\text{min})$	60/2 400	
最低燃油消耗率	标定功率点	≤235
$/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	最大扭矩点	≤220
排放水平	中国非道路标准 II 阶段	

3 技术方案

3.1 新型燃烧室

对于直喷柴油机燃烧室, 其结构形状和位置影响进气涡流的分布和强度, 从而影响油气混合气的形成过程。新型燃烧室底部中央的凸起较大, 即成缩口 ω 形, 如图 1 所示, 可以提高空气利用率。顶部有微缩口, 在燃烧上止点后的膨胀行程中仍能保持较强的涡流, 对加强柴油机燃烧过程后期的扩散燃烧十分有利, 不致造成燃烧品质的严重恶化。缩口燃烧室提高了进气涡流的保持性, 燃烧过程中

在活塞顶燃烧室缩口内产生强烈的挤压涡流,与进气涡流一起形成复杂的空气运动,引发强烈的紊流,促进燃油与空气的混合,加速扩散燃烧,同时降低 PM 排放。

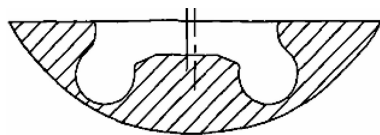


图 1 ω 形燃烧室

3.2 新型喷油泵

采用 PM 泵代替原有中型油泵,通过加大柱塞直径,提高喷射速率,提高油泵喷射压力,并通过在油泵上增加提前器系统,使柴油机在不同转速有相同的合适的供油提前时间。通过以上措施明显改善燃油和空气的混合,从而降低烟度和颗粒的排放,同时又可大大缩短着火延迟期,使柴油机工作柔和。

3.3 新型喷油器

喷嘴结构型式对柴油机的有害排放物特别是 HC 和 PM 中有机可溶成分 (SOF) 排放量的影响很大。采用 5×0.28 的多孔无压力室喷油器,在喷嘴流量一定的情况下,多孔数、小孔径喷嘴的喷射压力提高,燃油雾化良好,改善了燃烧效率。由于喷孔数的增加,使燃油在缸内的分布更加均匀,减少了局部燃烧高温点,降低了局部高温区的温度,明显降低 NO_x 排放的生成。

3.4 新型活塞环及缸套

缸套及活塞环的刚度、缸套网纹的形状、角度、深浅均影响其单位面积含油率和承载能力。采用硼铜替代钒钛材料,形成新型平台珩磨网纹,使缸套更加耐磨,且和活塞环之间密封更好。通过改进活塞环及缸套珩磨参数,采用新型平台珩磨网纹,减少了润滑油消耗量,从而降低了 PM 中 SOF 成分的排放。

3.5 内部 EGR 技术

EGR 技术是目前减少柴油机 NO_x 排放的首选。由于柴油机排放的废气是一种惰性气体,进气与再循环废气混合后将减少混合气体的含氧量,同时减小热容,降低了最高燃烧温度,从而可减少 NO_x

的形成量。

4 相关试验

4.1 性能试验

委托相关法定检验部门对 LR4M3-24 样机进行性能试验,试验结果表明:柴油机性能完全达到设计要求。样机的主要性能指标与设计指标的比较见表 5。样机的全负荷速度特性曲线如图 2 所示。

表 5 样机的主要性能指标与设计指标

项目	设计指标	实测指标
标定功率/转速/ $\text{kW}/(\text{r}/\text{min})$	60/2400	61/2400
最大扭矩/转速/ $(\text{N}\cdot\text{m})/(\text{r}/\text{min})$	$\geq 285/1650$	290/1650
全负荷最低燃油耗/ $\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	≤ 220	218
全负荷最大烟度/FSN	≤ 3.0	1.6
机油消耗率/ $\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	≤ 1.63	0.30
噪声 $L_w/\text{dB}(\text{A})$	≤ 114	112

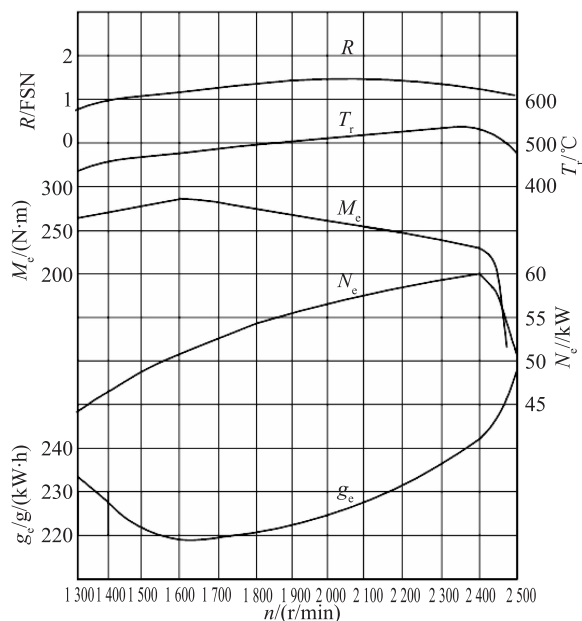


图 2 全负荷速度特性曲线

4.2 排放试验

委托相关法定检验部门对 LR4M3-24 样机进行排气污染物检测试验,检测结果表明柴油机排气污染物限值完全达到《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法》(I、II 阶段)中的 II 阶段规定。样机排气污染物的实测值与标准值比较见表 6。

表 6 排气污染物的实测值与标准值比较

$37 \leq P_{\max} < 75$	$\text{CO}/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	$\text{HC}/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	$\text{NO}_x/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$	$\text{PM}/\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$
标准值	5.0	1.3	7.0	0.4
测试结果	4.0	1.2	6.0	0.35

(下转第 28 页)

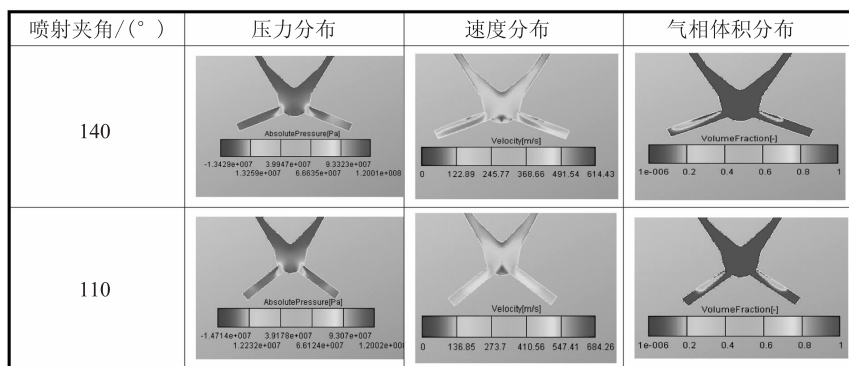


图 6 夹角分别为 110° 和 140° 的喷嘴 1、4 孔中心截面压力、速度、气相体积分布云图(左边为第 1 孔, 右边为第 4 孔)

3 结 论

(1) 在喷孔流通总面积相等情况下, 孔径较大、孔数较少的喷嘴在喷射初期压力场建立较慢, 燃油在喷孔内部平均流速较低, 喷孔直径减小后, 出口速度趋于均匀, 喷孔内空穴数量减少; 长径比增加之后, 喷孔内平均流速将会降低, 但喷孔的质量流量却有所增大; 随着喷射夹角的减小, 喷孔内压力梯度变化减小, 压力损失随之减小, 使有效流通面积得到了提高, 但孔内的平均流速有所降低。

(2) 喷嘴结构参数不同, 会使各喷孔内气穴产生的时刻、分布区域以及强度不一致, 最终影响各喷孔的流量特性, 并且传递到喷孔出口面, 对喷雾

特性产生影响。

参考文献

- [1] 夏兴兰等. 共轨喷油器主要结构参数对燃油流动和喷雾特性的影响[C]. 2010 年 AVL 用户大会论文集.
- [2] Han J S, Wang T C, Xie X B, etc. Dynamics of multiple-injection fuel sprays in a small-bore HDSI diesel engine[C]. SAE2000-01-1256, 2000.
- [3] 邵利民, 常汉宝. 喷嘴结构对多孔喷油器喷射特性影响的研究[J]. 内燃机工程, 2010(12).
- [4] 张建新, 施光林, 胡林峰. 高压共轨喷油器结构参数对喷油量特性影响的研究[J]. 现代车用动力, 2003(1).

(上接第 12 页)

5 结束语

LR4M3-24 型柴油机通过采用新结构活塞、喷油泵、喷油器等零部件及运用内部 EGR 技术, 使排放指标全面达到《非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法》(I、II 阶段) 中的 II 阶段规定; 具有动力性好、噪声低、节油显著、可靠性好等特点, 可广泛适用于非道路移动机械。

参考文献

- [1] GB20891-2007. 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法(中国 I、II 阶段)[S].
- [2] 周玉明. 内燃机废气排放及控制技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [3] 王志民. 柴油机排放控制技术的发展[J]. 内燃机工程, 2003(6): 18-21.
- [4] 丁雨林. 满足未来排放法规的非道路用柴油机技术[J]. MC 现代零部件, 2008(4): 46-48.
- [5] 谭艳辉. 浅谈非道路柴油机排放法规及装载机企业应对方法[J]. 工程机械, 2009, 40(2): 1-3.

勘 误

由于校对有误, 本刊 2011 年第 1、2、3 期误将编委会委员“姚寿广副校长”印成了“姚寿广校长”。特此更正, 并向其本人及读者致谦。

《柴油机》编辑部