

YCD4B54 系列柴油机的开发与研制

谭克诚¹, 许冠能²

(1. 柳州铁道职业技术学院 汽车技术学院, 广西 柳州 545007;
2. 广西汽车拖拉机研究所, 广西 柳州 545007)

摘要: 设计和研制 YCD4B54 柴油机, 并针对研制过程中的技术要求、工艺流程, 以及存在的技术关键与难点进行系统分析. 结果表明: YCD4B54 系列柴油机针对性地集成了多种机内处理技术, 采用废气涡轮增压与中冷技术, 能强化柴油机的动力; 采用电控高压共轨燃油喷射系统, 能提高喷油速率和燃油雾化水平; 采用排气再循环+柴油氧化催化器+颗粒氧化催化器(EGR+DOC+POC)后处理技术方案, 能保证柴油机具有良好的动力性和燃料经济性.

关键词: 柴油机; 排放控制; 动力性; 燃烧效率; 内处理技术

中图分类号: U 464.172

文献标志码: A

汽车工业是国民经济中重要的支柱产业, 具有产业链长、关联度高、就业面广、消费拉动大等特点. 然而, 汽车工业的迅猛发展与社会能源消耗及环境污染的矛盾日益增加. 为了科学协调发展, 世界各国纷纷制定相关的法律法规, 对汽车的燃油消耗和尾气排放进行控制^[1]. 我国也加快了机动车污染防治工作的步伐, 陆续出台多项排放法规^[2]. 排放达标成为汽车和发动机进入市场的先决条件, 而汽车排放控制的关键在于发动机的排放控制水平^[3]. 与同类产品相比, YCD4B54 系列柴油机具有大功率、大扭矩、低油耗、低排放、稳定可靠等特点, 符合 GB 17691—2005《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段)》中第Ⅳ阶段排放限值的要求, 主要作为 5~8 t 的轻型卡车及 7~8 m 的中型客车的配套动力, 也可作为低速货车、工程机械、拖拉机和发电机组的配套动力^[4]. 基于此, 本文对 YCD4B54 系列柴油机的开发与研制进行研究.

1 技术要求与工艺流程

YCD4B54 系列柴油机为立式、直列、水冷、四冲程、直喷式等型式, 湿式缸套、四缸, 缸径为 95 mm, 活塞行程为 105 mm, 总排量为 2.977 L, 气缸中心距为 116 mm. 其主要性能指标: 标定功率为 85 kW; 标定转速为 $3\,200\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$; 最大扭矩 $\geq 300\text{ N}\cdot\text{m}$; 转速 $\leq 2\,200\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$; 噪声 $\leq 115\text{ dB(A 级)}$; 排放符合 GB 19756—2005《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段)》中第Ⅳ阶段要求.

应用 CAD/PDM 计算机技术进行零部件设计, 并绘制整套图样, 进行样机试制和样机台架性能试验及调整. 在台架性能试验成功的基础上, 进行可靠性试验及装车道路试验. 通过改进完善, 可达到预期效果^[5-6].

2 研制过程

YCD4B54 系列柴油机的研制过程有以下 6 个步骤.

1) 市场调研和总体方案的制订及论证. 柴油机新产品需经过设计、试制、试验、定型鉴定, 才能进行

调查与研究,再批量生产,投放市场. 为保证新产品的竞争力和研发的成功,在进行周密的市场分析的基础上,确定总体方案和实施细节,保证项目目标的顺利实现.

2) 零部件设计和出图. 充分利用计算机网络系统和 CAD 应用技术的优势^[7],完成 YCD4B54 系列柴油机的全套零部件设计和图纸输出工作.

3) 样机试制、热试、性能试验和整改. 项目组优先完成体积较大、结构较复杂、试制周期较长的零件设计,如缸体、缸盖等. 尽早将这类零部件的图纸陆续提供给公司进行备料、制模. 这样的协作可以缩短新产品的开发试制周期^[8]. 样机装配完成后,进行热试和性能试验,便于发现问题,并进行整改完善.

4) 生产线改造、样机台架性能试验和装车道路性能试验. 产品经热试和整改,性能基本稳定后,转入生产线改造及样机台架性能试验、装车道路性能试验. 其中,台架性能试验的前期主要是进行性能开发及排气再循环+柴油氧化催化器+颗粒氧化催化器(EGR+DOC+POC)后处理技术方案的匹配优选^[9],力求在尽可能降低排放的基础上兼顾动力性和经济性. 在这个阶段,设计、试制、攻关几乎同步展开,使 YCD4B54 系列柴油机的各项性能技术指标达到优化平衡. 当性能调试完成后,按 GB/T 19055—2003《汽车发动机可靠性试验方法》的规定进行了 1 000 h 混合负荷及 300 h 冷热冲击可靠性试验,并根据 QC/T 526—1999《汽车发动机定型试验规程》进行装车道路试验^[10]. 试验结果表明:YCD4B54 系列柴油机的各项性能技术指标均达到或优于项目合同的要求.

5) 实施产业化和规模化生产. YCD4B54 系列柴油机通过可靠性试验验证确认后,项目组人员及时将整理好的产品图样等技术文件资料移交给相关公司进行产业化生产,完成生产线改造和产业化批量生产.

6) 资料整理和项目验收鉴定准备. YCD4B54 系列柴油机投入生产后,项目组负责完成项目资料的整理工作,并进行产品的持续改进工作.

3 关键技术点分析

3.1 排放问题

柴油机的排放问题主要有以下 2 点.

1) 柴油机排放污染物的控制. 柴油机排放的污染物主要是排气管排出的废气,少量来自曲轴箱通风、燃油箱通风及泄漏^[11-13]. 控制柴油机排放可以从燃油的组分、柴油机气缸内燃烧过程控制和机外控制^[14]等 3 个方面着手. 其中,气缸内燃烧过程既影响排气污染物的组成,又决定了柴油机的动力性能及其他性能. 因此,机内控制最为关键. YCD4B54 系列柴油机有针对性地集成了多种机内处理技术,优化设计缸盖及配气机构,采用废气涡轮增压与中冷技术,强化柴油机的动力.

喷油系统中适当推迟喷油提前角,以降低最高燃烧温度和最高爆发压力,并缩短高温高压的持续时间,破坏 NO_x 形成的条件. 为弥补由此而引起的动力下降,采用电控高压共轨燃油喷射系统,提高喷油速率和燃油雾化水平,精确控制循环喷油量、喷油正时,配合强涡流进气道及 ω 燃烧室,以提高燃烧的速度,让燃烧产生的热能尽可能地推动活塞做功,实现既减少 NO_x 的生成量,又保证发动机的动力性和经济性的目的.

2) 柴油机排气污染物的后处理. 由于柴油机燃烧产生的 PM 和 NO_x 是一对相互矛盾的产物,在降低一方的同时,必然会提高另一方的排放^[15-16]. 国内发动机厂大都采取 EGR+DOC+POC 和 SCR 处理技术. 综合考虑目标市场和成本控制需要,项目研制的 YCD4B54 系列柴油机采用相对成本增加较少的 EGR+DOC+POC 后处理技术方案. EGR 废气再循环降低了燃烧温度,有效地降低排气中的 NO_x,由于燃烧效果变差,HC 和 CO 体积分数高于国家法规要求. DOC 的作用主要是通过催化剂将尾气中的 HC 和 CO 氧化为 CO₂ 和水,实现 HC 和 CO 达标. 同时,可以将 NO_x 氧化为 NO₂,并释放热量.

3.2 油耗强化程度和可靠性

随着新油耗法规的实施,降低油耗成为汽车生产厂家必须面对的重要问题. 发动机作为汽车的最大总成件之一,对油耗的降低起着关键作用. 除了提高燃烧效率,减少自身体积和质量,提高强化程度也是降低正常油耗的有限方法. 此外,发动机的可靠性也关系到汽车产品的整体质量.

针对这些问题, YCD4B54 系列柴油机改进外围零部件的布置, 降低整机高度, 缩小宽度, 减少体积, 使结构更紧凑, 提高强化程度, 降低整机质量, 提高发动机的适配性; 采用有限元分析优化零部件结构, 降低质量, 提高可靠性; 采用活塞强制冷却, 降低活塞工作温度, 提高活塞和活塞环的使用寿命, 进一步提高整机可靠性^[17].

4 项目技术性能指标和水平

4.1 发动机研制技术水平

发动机研制技术水平, 如表 1 所示. 表 1 中: l 为气缸中心距; V_L 为气缸排量; P_e 为标定功率; n 为标定转速; T_{\max} 为最大扭矩; n_{\max} 为最大扭矩转速; G_{\max} 为最大扭矩工况燃油耗; L_{PN} 为噪声; η 为机油燃油消耗比.

表 1 发动机研制技术水平
Tab. 1 Technical level of engine development

序号	项 目 名 称	技术指标	样机实际指标
1	型号	YCD4B54	YCD4B54-115
2	型式	立式、直列、水冷、四冲程、直喷式	立式、直列、水冷、四冲程、直喷式
3	气缸型式	湿式缸套	湿式缸套
4	缸数-缸径 \times 行程/mm	4-95 \times 105	4-95 \times 105
5	l /mm	116	116
6	进气方式	增压中冷	增压中冷
7	V_L /L	2.977	2.977
8	P_e /kW	85.0	86.1
9	n /r \cdot min ⁻¹	3 200	3 200
11	T_{\max} /N \cdot m	≥ 300.0	305.5
12	n_{\max} /r \cdot min ⁻¹	$\leq 2\ 200$	2 200
13	G_{\max} /g \cdot (kW \cdot h) ⁻¹	≤ 220.0	211.0
14	排放	符合国Ⅳ标准要求	符合国Ⅳ标准要求
15	L_{PN} /dB	≤ 115	114
16	η /%	≤ 0.30	0.06

4.2 发动机功率试验曲线和负荷特性曲线

- 由发动机功率试验曲线和负荷特性曲线, 可以得到以下 2 点结论.
- 1) 总功率试验和负荷特性技术要求. 在标定转速为 3 200 r \cdot min⁻¹时, 最大功率 ≥ 85 kW; 最大扭矩 ≥ 300 N \cdot m⁻¹, 最大扭矩转速 $\leq 2\ 200$ r \cdot min⁻¹; 最大扭矩工况燃油消耗率 ≤ 220 g \cdot (kW \cdot h)⁻¹; 最低燃油消耗率 ≤ 210 g \cdot (kW \cdot h)⁻¹. 以上所测数据均符合(或优于)设计时的技术要求.
- 2) 净功率试验和负荷特性技术要求. 在标定转速为 3 200 r \cdot min⁻¹时, 最大功率 ≥ 80 kW; 最大扭矩 ≥ 290 N \cdot m⁻¹, 最大扭矩转速 $\leq 2\ 200$ r \cdot min⁻¹; 最大扭矩工况燃油消耗率 ≤ 230 g \cdot (kW \cdot h)⁻¹; 最低燃油消耗率 ≤ 220 g \cdot (kW \cdot h)⁻¹. 以上所测数据均符合(或优于)设计时的技术要求.

5 结论

YCD4B54 系列柴油机针对性地集成了多种机内处理技术, 采用废气涡轮增压与中冷技术, 强化柴油机的动力; 采用电控高压共轨燃油喷射系统, 提高喷油速率和燃油雾化水平, 精确控制循环喷油量、喷油正时, 配合强涡流进气道及 ω 燃烧室, 以提高燃烧的速度, 让燃烧产生的热能尽可能地推动活塞做功, 实现既减少 NO_x 的生成量, 又保证发动机的动力性和经济性的目的^[18]; 采用相对成本增加较少的 EGR+DOC+POC 后处理技术方案, 最大限度兼顾了经济性和排放的平衡问题, 力求在满足排放要求的情况下, 保证柴油机拥有良好的动力性和燃料经济性.

排气后处理采用 EGR+DOC+POC 技术方案, 动力性相比 SCR 方案差, 燃油消耗量也比后者有所增加. 改进方法是进一步完善机内燃烧技术, 同时, 也可根据客户的要求在满足成本控制的条件下, 换用

SCR 方案进行解决.

参考文献：

[1] 汽车工程手册编辑委员会. 汽车工程手册(基础篇)[M]. 北京:人民交通出版社,2001:35-36.

[2] 李兴虎. 汽车环境保护技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006:4-5.

[3] 蒋述刚. 电控发动机开发装置的研制[J]. 内燃机工程,2000,3(2):16-17.

[4] 叶勇,朱若艳. 基于有限元分析的结构优化设计方法[J]. 重型机械科技,2004,6(4):5-7.

[5] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ阶段): GB 18352. 3—2005[S]. 北京:中国标准出版社,2005:26-27.

[6] 汽车工程手册编辑委员会. 汽车工程手册[M]. 北京:人民交通出版社,2001:116-117.

[7] 房怀英,洪尚任,杨建红. 克林贝格螺旋锥齿轮的建模与仿真[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2004,25(1):67-70.

[8] 郭南国. 计算机辅助技术在机械工程设计中的应用[J]. 华侨大学学报(自然科学版),1995,16(1):83-85.

[9] 霍宏煜. 车用柴油机电控喷油系统控制软件的研究[D]. 长春:吉林工业大学,1997:52-53.

[10] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(Ⅱ): GB 18352. 2—2001[M]. 北京:中国标准出版社,2001:8-9.

[11] 卓斌,刘启华. 车用汽油机燃料喷射与电子控制[M]. 北京:机械工业出版社,1999:12-13.

[12] 卢强,孙平,顾勤,等. 柴油机微粒排放控制技术的研究进展[J]. 拖拉机与农用运输车,2005,3(2):43-46.

[13] 蒋玉珍. 一种新的发动机性能测控仪的设计[J]. 内燃机工程,1999(1):31-32.

[14] 张跃涛,王绍光,张云龙. 发动机自动化性能试验及标定系统[J]. 清华大学学报(自然科学版),2001,41(8):94-96.

[15] 郑小松. 电子控制汽油喷射系统的研究[J]. 小型内燃机,1990,3(1):22-23.

[16] 徐翔,杜传进. 柴油机排放 NO_x 后处理技术[J]. 重型汽车,2005,1(1):24-26.

[17] 江祖望. 汽车车架强度分析及计算机软件设计[J]. 华侨大学学报(自然科学版),1991,12(1):73-79.

[18] 郑亚青. 大型造船门式绳牵引并联起重机器人的机构设计与运动学位置逆解分析[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2009,20(4):366-370.

Research and Development of YCD4B54 Series Diesel Engine

TAN Kecheng¹, XU Guanneng²

(1. Automotive Technology Institute, Liuzhou Railway Vocational College, Liuzhou 545007, China;
2. Guangxi Truck Research Institute, Liuzhou 545007, China)

Abstract: In this paper, the YCD4B54 diesel engine are designed and developed, and the technical requirements, process and the exist key technology and difficulty in the development process are analyzed systematically. The results showed that the YCD4B54 series diesel engine is integrated many internal processing technologies, the use of exhaust gas turbo-charger and inter-cooled technology can strengthen the power of diesel engine, and the high pressure common rail electric control system can increase the fuel injection rate and fuel atomization level. Adopting the post processing technical scheme of exhaust gas recirculation+diesel oxidation catalyst+particulate oxidation catalyst (EGR+DOC+POC), it can ensure the diesel engine has good power performance and fuel economy. .

Keywords: diesel engine; emission control; power performance; combustion efficiency; internal treatment technology

(责任编辑：钱筠 英文审校：杨建红)