

性能与排放

基于 CFD 分析的某四缸机进气 EGR 混合均匀性研究

梁保权

(广西玉柴机器股份有限公司, 广西 玉林 537005)

摘要: 各缸 EGR 率的均匀一致性控制, 对于发动机 NO_x 排放达标至关重要。针对某四缸柴油机设计了 4 种不同 EGR 结构方案, 并采用 AVL FIRE 软件分别对其进行 EGR 混合均匀性模拟分析。分析表明: 进气接管朝发动机中间, EGR 管从进气接管侧方伸入的结构, 其 EGR 均匀一致性最好。为后续的设计奠定了基础。

关键词: 柴油机; 废气再循环; 均匀一致性; NO_x ; 排放

中图分类号: TK423.4⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2017)04-0014-04

Research on EGR Homogeneous Charge of a Four-Cylinder Engine Based on CFD

Liang Baoquan

(Yuchai Machinery Co., Ltd., Guangxi Yulin 537005)

Abstract: The EGR rate uniformity of each cylinder is crucial to the compliant of NO_x emissions standard. Four different EGR structure layouts were designed for a type of four-cylinder diesel engine, and the AVL FIRE software was employed to carry out simulation analysis on the EGR homogeneous charge. The results show that the middle-side structure that arranges the inlet connecting pipe towards the middle of the engine, and the EGR pipe connected to the side of inlet connecting pipe has the best EGR uniformity. The research results lay the foundation for further design.

Key words: diesel engine; EGR; uniformity; NO_x ; emissions

0 引言

NO_x 是柴油机有害排放物之一, 会形成酸雨, 破坏环境, 损害人体健康, 所以世界上各国家或地区都出台了严格的排放法规, 对发动机的 NO_x 排放进行严格控制, 如表 1 所示为欧洲轻型车排放法规^[1,2]。

根据 NO_x 燃烧生成的机理, 采用 EGR 技术可有效降低 NO_x 生成。EGR 系统将柴油机燃烧产生的小部分废气再送回气缸参与燃烧, 由于废气的含氧量低, 其具有的惰性将会延缓燃烧过程, 燃烧速度降低可使燃烧室中的压力形成速率放缓, 从而可以减少 NO_x 的产生^[3-5]。而各气缸 EGR 率均匀一致性的控制, 对于发动机的排放达标至关重要。

表 1 欧洲轻型车排放法规

排放标准	HC + NO_x / ($\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$)	CO / ($\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$)	PM / ($\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$)	实施日期
欧 I	1.13	3.16	0.18	1993 年
欧 II	0.7	1.0	0.08	1996 年
欧 III	0.56	0.64	0.05	2000 年
欧 IV	0.30	0.50	0.025	2005 年
欧 V	0.23	0.50	0.005	2009 年
欧 VI	0.17	0.50	0.005	2014 年

本文研究对象为某四缸直列增压柴油机, 采用外部 EGR 循环结构。共设计了 4 种不同的 EGR 管路方案。利用 AVL FIRE 软件分别对其进行动态三维模拟仿真, 通过对比分析, 寻找最优的方案, 为后续的设计开发提供理论依据。

收稿日期: 2016-07-21

作者简介: 梁保权(1981-), 男, 工程师, 主要研究方向为柴油机设计与开发, E-mail: liangbaoquan_gx@163.com。

1 EGR 系统设计方案

如图 1~4 所示，根据开发要求，设计了 4 种不同的进气接管和 EGR 管设计方案，其布置特点如表 2 所示。图 1 中，c1、c2、c3、c4 分别对应第 1、2、3、4 缸的进气口。设计方案决定了整机的管路布置走向。

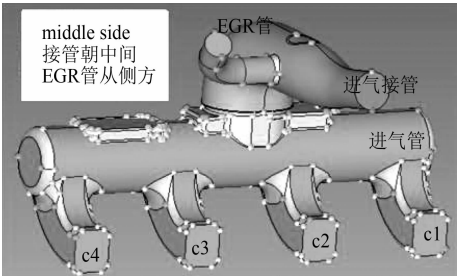


图 1 middle-side 设计方案

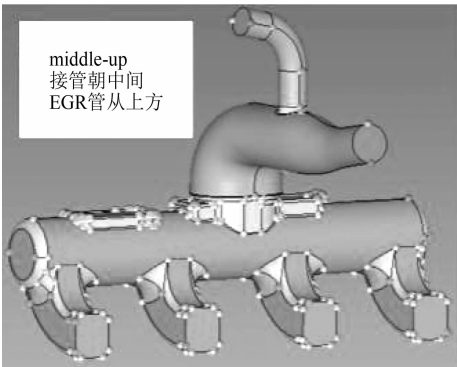


图 2 middle-up 设计方案

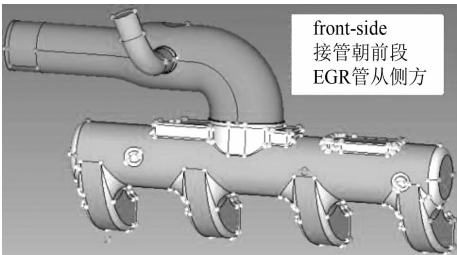


图 3 front-side 设计方案

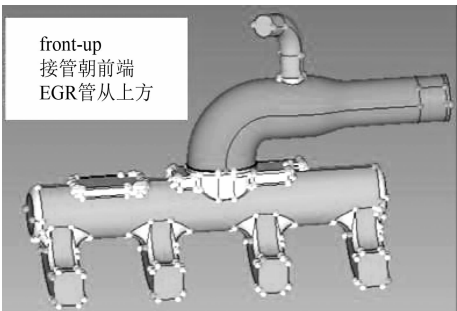


图 4 front-up 设计方案

表 2 进气结构和 EGR 管设计说明

方案	进气接管	EGR 管
middle-side	朝发动机中间	从进气接管侧方伸入
middle-up	朝发动机中间	从进气接管上方伸入
front-side	朝发动机前端	从进气接管侧方伸入
front-up	朝发动机前端	从进气接管上方伸入

2 计算模型和边界条件

2.1 计算模型

采用 UG 软件生成 EGR 进气系统三维模型；将 UG 模型导入 FIRE 软件，使用自动网格生成器 FAME HYBRID 生成网格，总网格数约为 200 万个。计算网格模型如图 5 所示。将空气入口和各缸歧管口各延长 80 mm，再将延长段网格与进气系统网格通过 arbit 工具连接，这样能保证各个进出口的网格垂直于气流方向，有利于计算结果的稳定^[6]。

计算使用的湍流模型为 $k-\varepsilon$ 两方程湍流模型，近壁面处采用壁面函数法。

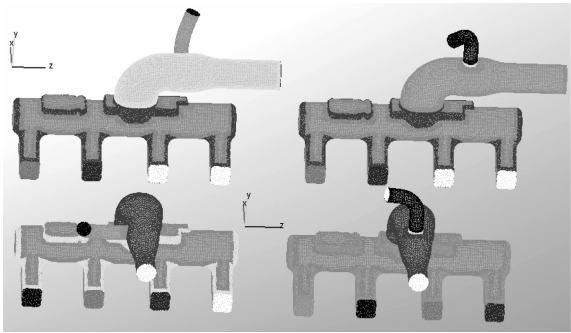


图 5 EGR 系统三维网格图

2.2 边界条件

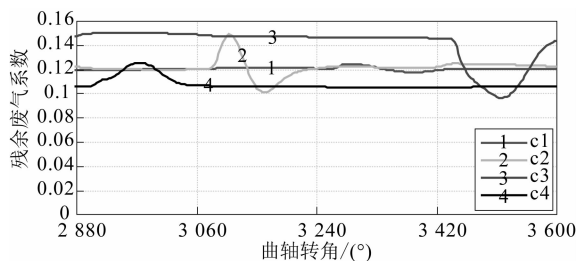
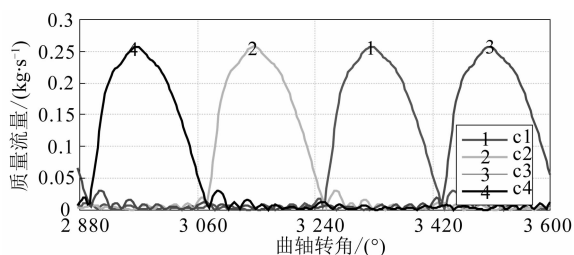
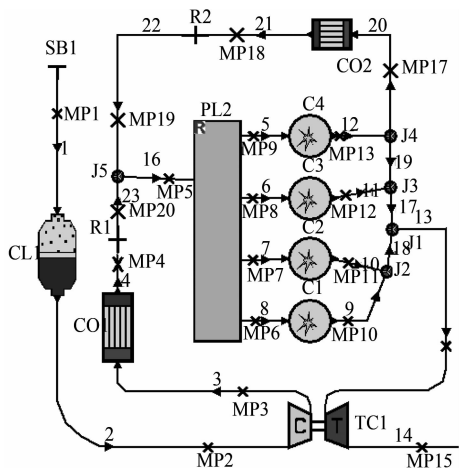
计算所需边界条件来自发动机一维热力学计算，该机热力学一维模型如图 6 所示。通过计算得到进气系统各进出口的周期性边界条件，然后进行三维瞬态 CFD 计算，最后得到进气歧管各出口 EGR 率随曲轴转角的变化关系曲线。

3 计算结果与分析

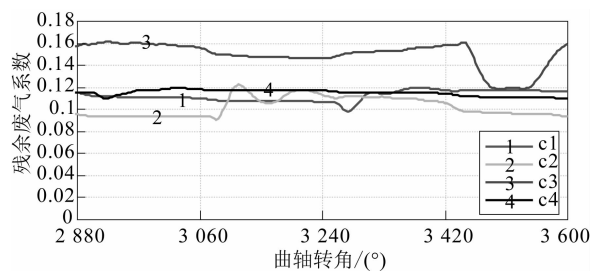
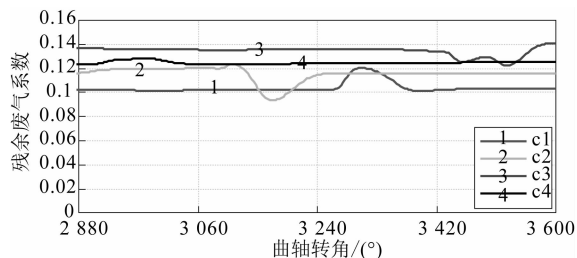
3.1 一维计算结果

通过 FIRE 软件计算的 2D Results 可得到：各测量面瞬态质量流量、测量面平均当量比和测量面当量比均匀度；再根据质量加权计算公式得出一个循环内的平均当量比；最后得出各缸的当量比偏差。计算结果如图 7~13 所示。

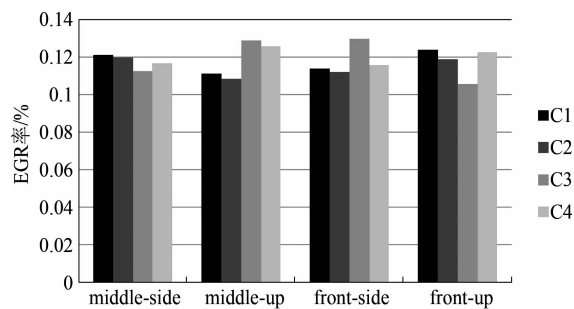
从图 7 可以看出：发动机工作时，各缸总体的进气质量基本一致。



从图 8 可以看出: middle-side 方案中, c3 即第 3 缸的残余废气系数 (RGF) 波动较大, 在 $3\ 500\ ^{\circ}\text{CA}$ 附近, RGF 降低至 9.5%。



从图 11 可以看出: front-up 方案中, c3 缸的 RGF 波动较大, 在 3 500 °CA 附近, RGF 降低至 9.5%; 第 2 缸的 RGF 在 3 000 ~ 3 300 °CA 时波动也较大, 波动范围 10% ~ 14%。



3.2 三维计算结果

气接管的进气混合流动的动态过程。图 14 ~ 17 为曲轴转角为 3 000 °CA 时，废气在进气管内部混合情况的云图。

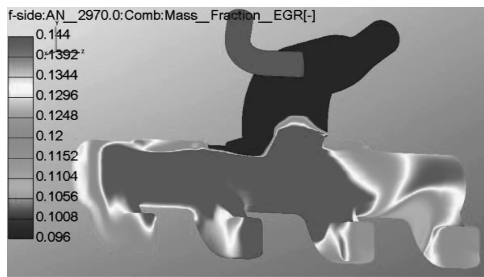


图 14 middle-side 方案 EGR 混合云图

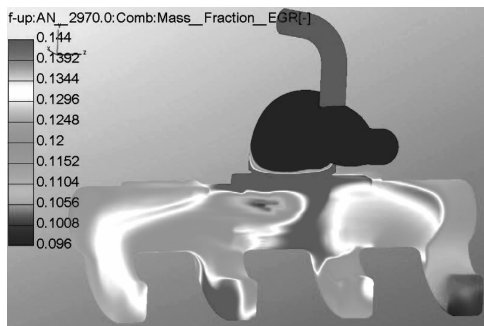


图 15 middle-up 方案 EGR 混合云图

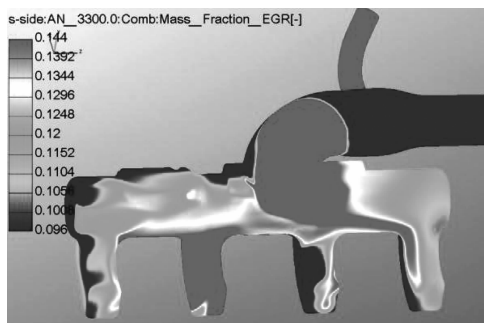


图 16 front-side 方案 EGR 混合云图

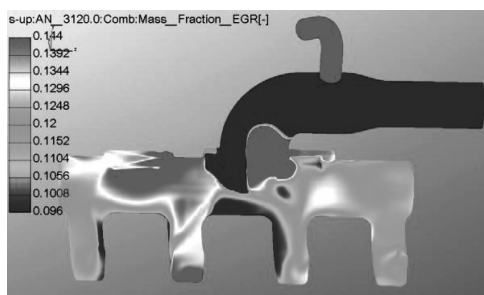


图 17 front-up 方案 EGR 混合云图

从图中可以看出：middle-side 方案的各缸 EGR 混合较为均匀。三维计算结论与一维计算结果相符合。

4 结 论

(1) 接管朝发动机中间的方案 EGR 均匀性较好，接管朝前端的方案较差。

(2) 接管朝发动机中间的方案中，EGR 管从侧面伸入时 EGR 均匀性较好，从上方伸入时较差。

(3) 接管朝发动机前端的方案中，EGR 管从侧面和从上方伸入的最大偏差值差不多。只是侧面伸入时 c_3 的 EGR 率最大，上方伸入时 c_3 的 EGR 率最小。

(4) 综上所述，建议选用均匀性最好的 middle-side 方案，也即进气接管朝发动机中间，EGR 管从进气接管侧方伸入的方案，接管朝前端的方案尽量不用。

参考文献

- [1] 帅石金, 唐韬, 赵彦光, 等. 柴油车排放法规及后处理技术的现状与展望 [J]. 汽车安全与节能学报, 2012, 3 (3): 200-217.
- [2] 李献菁. 生物柴油-乙醇混合燃料发动机性能和排放 [D]. 南宁: 广西大学, 2007.
- [3] 刘宏杰, 邓康耀, 王真, 等. EGR 计算降低低速二冲程柴油机 NO_x 排放的计算研究 [J]. 柴油机, 2016, 38 (3): 11-16.
- [4] YOKOMURA H, KOUKETSU S, KOTOOKA S, et al. Transient EGR control for a turbocharged heavy duty diesel engine [C]. SAE Paper 2004-01-0120.
- [5] 平银生, 张逸敏, 蔡东波, 等. 利用 EGR 降低柴油机排放的研究 [J]. 内燃机工程, 2000, 21 (4): 6-10.
- [6] 沈照杰. 车用柴油机燃烧过程分析及 EGR 分层研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2013.