

后喷对柴油机机油稀释的影响

孙振宇^{1,2}, 刘加超^{1,2}, 胡晓艳^{1,2}, 路庆振^{1,2}, 于淼淼^{1,2}

1. 内燃机可靠性国家重点实验室, 山东 潍坊 261061;

2. 潍柴动力股份有限公司, 山东 潍坊 261061

摘要:利用三维仿真软件 Fire 建立柴油机燃烧、喷雾及机油稀释模型, 分析远后喷、近后喷和喷油压力对机油稀释的影响。仿真结果表明: 将 1 次远后喷拆分为 2 次, 有利于降低喷雾贯穿距, 减小机油稀释率; 近后喷有利于提升缸内温度, 加快燃油蒸发, 降低机油稀释率; 2 次近后喷优于 1 次近后喷, 近后喷时刻不宜超过上止点后曲轴转角 60°; 适当提升远后喷压力, 有利于燃油雾化, 降低机油稀释率。该研究可以为发动机台架标定提供参考。

关键词:柴油机; 后喷; 机油稀释; 三维仿真; Fire

中图分类号:TK421.4

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2022)04-0019-05

引用格式:孙振宇, 刘加超, 胡晓艳, 等. 后喷对柴油机机油稀释的影响[J]. 内燃机与动力装置, 2022, 39(4): 19-23.

SUN Zhenyu, LIU Jiachao, HU Xiaoyan, et al. Influence of post injection on oil dilution of diesel engine[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2022, 39(4): 19-23.

0 引言

颗粒物(particulate matter, PM)是柴油机的主要污染物之一, 对人体健康造成巨大危害^[1-2]。柴油机颗粒捕集器(diesel particulate filter, DPF)可以有效降低 PM 排放, 但 DPF 再生是制约其发展的关键因素^[3-4]。DPF 再生方法分为被动再生和主动再生。被动再生方法是利用贵金属的催化作用降低微粒的起燃温度^[5], 进行连续的氧化再生, 被动再生存在再生速度慢、再生效率低等缺点; DPF 主动再生方法通常采用缸内后喷或排气管喷油的方式增加排气中未燃碳氢化合物的含量, 进而使其在柴油机氧化催化器(diesel oxidation catalyst, DOC)内氧化放热, 达到 DPF 再生温度 600 °C, 从而实现 DPF 再生。缸内后喷利用发动机原有的燃油喷射系统, 在远离上止点后的时刻喷入燃油, 不需要额外的辅助设备^[5]; 但是, 远离上止点喷油时部分燃油会直接撞击气缸, 留在缸壁上, 并沿缸壁进入油底壳, 稀释机油, 导致柴油机发生拉缸等故障^[6-7]。

利用后喷技术进行 DPF 再生, 同时降低机油稀释率已成为研究的热点。随着仿真技术的发展, 三维仿真软件 Fire 不仅可以模拟缸内的流动、喷雾及燃烧过程^[8-9], 还可以模拟后喷对机油稀释的影响。本文中利用 Fire 软件建立远后喷机油稀释模型, 仿真分析不同后喷策略对机油稀释的影响。

1 三维模型建立

仿真机型为小型高速柴油机, 其主要技术参数如表 1 所示。

收稿日期: 2021-06-30

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFB0103504)

第一作者简介: 孙振宇(1985—), 男, 山东济宁人, 工学硕士, 工程师, 主要研究方向为发动机性能仿真及整车虚拟标定, E-mail: sunzhenyu@weichai.com。

表 1 柴油机主要技术参数

气缸数	进气方式	标定转速/($r \cdot \min^{-1}$)	最大扭矩转速/($r \cdot \min^{-1}$)	燃油系统	轨压/MPa	排放水平
4	增压中冷	3200	1400~2400	电控高压共轨	180	国六

选取行车再生常用工况即发动机转矩为 $175 \text{ N} \cdot \text{m}$ 、转速为 1800 r/min 进行计算,计算从进气门关闭时刻开始,到排气冲程下止点后曲轴转角为 40° 时结束。模型未带气门和气道,不考虑排气过程气流运动对后喷燃油的影响,计算中曲轴转角为 720° 作为模型的压缩上止点。为了模拟缸套机油油膜,在模型中需要添加 Feeder 布油网格,模拟活塞环的布油过程,计算网格及 Feeder 的位置如图 1 所示。

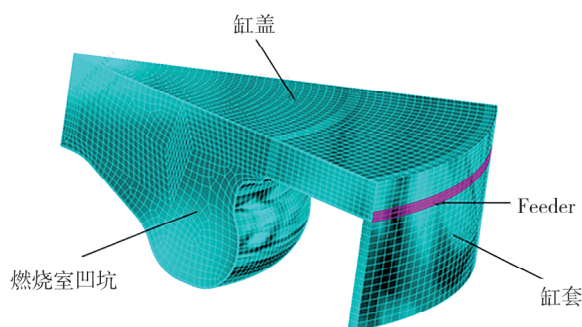


图 1 计算网格

计算采用 K-z-f 模型模拟缸内湍流, Coherent Flame Model 模型模拟燃烧;喷雾模型为离散液滴 (discrete droplet model, DDM) 模型,采用的子模型包括 WAVE 破碎模型、多组分蒸发模型和 Drag law 模型;Wall Film 模型模拟柴油油束撞击机油油膜的沉积、破碎过程,以及壁面燃油的蒸发及夹带过程。

2 后喷对机油稀释的影响分析

2.1 后喷次数

保持主喷提前角和喷油量不变,将远后喷由 1 次喷射调整为 2 次喷射,每次喷油量为 1 次喷射的一半,通过计算不同远后喷次数下机油中的燃油量,观察远后喷次数对机油稀释的影响,结果如表 2 所示。

表 2 不同远后喷次数的喷油参数及机油中的燃油量

远后喷射次数	主喷曲轴转角/ $(^\circ)$	主喷油量/mg	第 1 次远后喷曲轴转角/ $(^\circ)$	第 1 次远后喷油量/mg	第 2 次远后喷曲轴转角/ $(^\circ)$	第 2 次远后喷油量/mg	机油中燃油量/mg
1	718	4.80	860	0.570			0.061
2	718	4.80	860	0.285	869	0.285	0.034

由表 2 可知:与 1 次喷射相比,2 次喷射的机油中燃油质量由 0.061 mg 降低为 0.034 mg ,降幅为 44.3% 。

远后喷由 1 次喷射调整为 2 次喷射,油束贯穿距离变化如图 2 所示。由图 2 可知:2 次喷射时的贯穿距离比 1 次喷射时小。减少油束贯穿距离,可以减弱燃油束对壁面油膜的撞击,降低机油稀释率。

2.2 近后喷

在 2 次远后喷的基础上,增加 1 次近后喷,近后喷时刻对机油稀释的影响如表 3 所示。由表 3 可知:无近后喷时,机油中燃油质量为 0.034 mg ,在曲轴转角为 740° 增加 1 次近后喷,机油中燃油质量下降为 0.023 mg ;随着近后喷时刻推迟,机油中燃油质量先减小后增加,近后喷开启对应的曲轴转角为

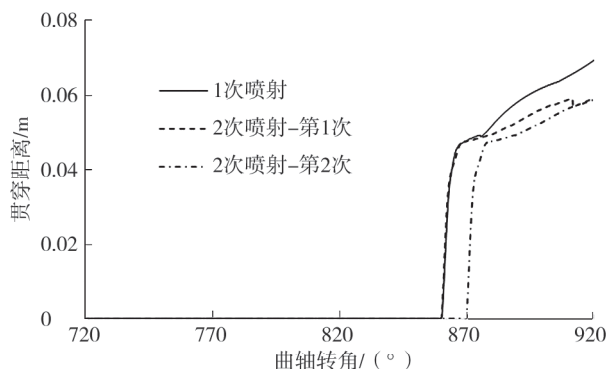


图 2 不同远后喷时的油束贯穿距离

760°~780°时,机油中燃油质量较小。

表3 有、无近后喷及1、2次远后喷射的喷油参数及机油中的燃油量

有无近后喷	主喷曲轴转角/(°)	主喷油质量/mg	近后喷曲轴转角/(°)	近后喷油质量/mg	第1次远后喷曲轴转角/(°)	第1次远后喷油质量/mg	第2次远后喷曲轴转角/(°)	第2次远后喷油质量/mg	机油中燃油质量/mg
无	718	4.8			860	0.285	869	0.285	0.034
有	718	4.8	740	0.74	860	0.285	869	0.285	0.023
有	718	4.8	760	0.74	860	0.285	869	0.285	0.018
有	718	4.8	780	0.74	860	0.285	869	0.285	0.018
有	718	4.8	800	0.74	860	0.285	869	0.285	0.022

不同近后喷时刻机油中的燃油质量随曲轴转角的变化曲线如图3所示,曲轴转角为860°时缸内温度场如图4所示。

由图3可知:主喷(曲轴转角为740°以前)结束后,附壁燃油质量为0,主喷并未造成燃油附壁;曲轴转角为820°时,4种不同喷射策略的近后喷都已经结束,近后喷造成缸内燃油附壁;其中,曲轴转角为800°时近后喷策略的附壁燃油质量最大。随着活塞下行,在曲轴转角为860°开启第1次远后喷,附壁燃油质量增加;在曲轴转角为869°开启第2次远后喷,附壁燃油质量继续增加;所有的后喷都结束之后,附壁燃油质量趋于稳定。随着活塞上行,附壁燃油将被活塞环刮入机油中,造成机油中燃油量增加。

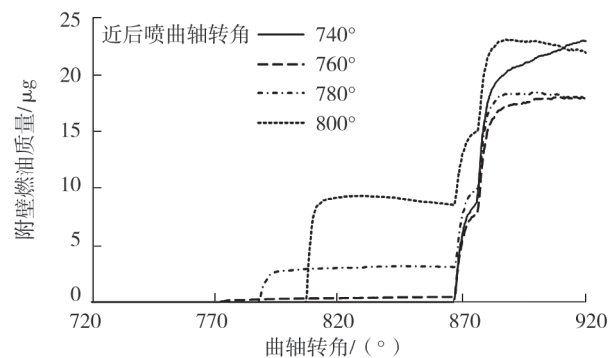


图3 不同近后喷时刻机油中燃油质量变化

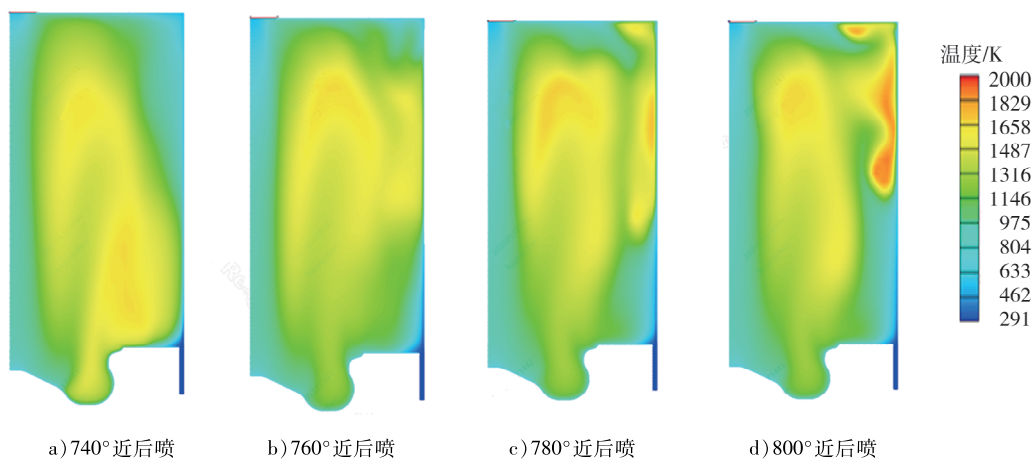


图4 远后喷时刻的缸内温度场

由图4可知:近后喷能够提升缸套附近燃烧温度,近后喷时刻越晚,远后喷开启时刻(曲轴转角为860°)缸套附近温度越高。缸套附近温度提升,有利于远后喷燃油的雾化与蒸发,减少机油中燃油量。但近后喷也能直接喷到缸套表面,造成机油稀释,随着近后喷的推迟,缸内温度下降,不利于近后喷燃油的蒸发与雾化,由近后喷造成的机油中燃油量增加。

近后喷次数由1次调整为2次,近后喷次数对机油稀释的影响和缸内温度的影响如表4和图5所示。由表4可知:近后喷次数由1次增加为2次,机油中燃油质量由0.023 mg下降为0.015 mg,下降幅

度为 35%。

表 4 不同近后喷次数下不同远后喷次数的喷油参数及机油中的燃油量

近后喷次数	主喷曲轴转角/ (°)	主喷油量/ mg	第 1 近后喷 曲轴转角/(°)	第 1 次近后喷 油量/mg	第 2 次近后喷 曲轴转角/(°)	第 2 次近后 喷油量/mg
0	718	4.8	无	0	无	0
1	718	4.8	无	0	780	0.74
2	718	4.8	740	0.74	780	0.74

近后喷次数	第 1 次远后喷 曲轴转角/(°)	第 2 次远后喷 曲轴转角/(°)	第 1 次远后 喷油量/ mg	第 2 次远后 喷油量/ mg	机油中燃油量/ mg
0	860	869	0.285	0.285	0.034
1	860	869	0.285	0.285	0.023
2	860	869	0.285	0.285	0.015

由图 5 可知:增加近后喷次数有利于提高燃烧后期缸内平均温度,曲轴转角为 860°时 2 次近后喷的缸内平均温度比 1 次近后喷高 157 °C,比没有近后喷高 279 °C,有利于远后喷燃油的雾化及蒸发^[10],因此机油中燃油质量降低。

2.3 喷油压力

喷油压力对机油稀释的影响受喷雾雾化和油束贯穿距离的共同作用。不同喷油压力下近后喷和不同远后喷次数的喷油参数及机油中的燃油量。

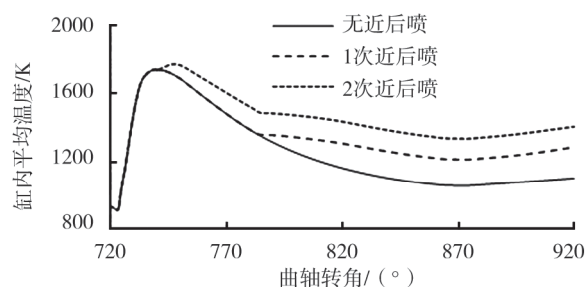


图 5 缸内平均温度

表 5 不同压力下近后喷和不同远后喷次数的喷油参数及机油中的燃油量

喷油压力/ MPa	主喷曲轴 转角/(°)	主喷油 量/mg	近后喷曲轴 转角/(°)	近后喷油 量/mg	第 1 次远后喷 曲轴转角/(°)	第 2 次远后喷 曲轴转角/(°)	第 1 次远后喷 油量/ mg	第 2 次远后喷 油量/mg	机油中燃油 量/mg
52	718	4.8	740	0.74	760	769	0.285	0.285	0.030
68	718	4.8	740	0.74	760	769	0.285	0.285	0.022
90	718	4.8	740	0.74	760	769	0.285	0.285	0.023

由表 5 可知:喷油压力由 52 MPa 提高至 68 MPa,远后喷燃油雾化起到主导作用,油滴索特平均直径减少^[11-13],燃油快速蒸发,减少了油束与机油膜的撞击量,机油中燃油质量减少,机油稀释得到有效改善;喷油压力继续提高至 90 MPa,油束贯穿距离增加起主导作用^[14-16],加剧油束撞击机油膜,因此机油稀释并未随着喷油压力的进一步提高而改善。

3 结论

1)将 1 次远后喷调整为 2 次远后喷能有效降低机油稀释率。

2)在上止点后增加 1 次近后喷,近后喷时刻推迟,机油中的燃油先减小后增大,在上止点后曲轴转角为 40°~60°时增加 1 次近后喷效果较好;2 次近后喷好于 1 次近后喷,机油中燃油质量下降 35%,1 次近后喷好于没有近后喷。

3)适当提高喷油压力,有利于降低机油稀释率。

参考文献:

- [1] 张鹏超,宋崇林,吴兆阳,等. DPF 主动再生过程中缸内远后喷策略对柴油机排放及 DOC 升温特性的影响[J]. 内燃机工程,2018,39(3):45-52.
- [2] 贺泓,翁端,资新运. 柴油机尾气排放污染控制技术综述[J]. 环境科学,2007,28(6):1169-1177.
- [3] 谭丕强,胡志远,楼狄明,等. 微粒捕集器再生技术的研究动态和发展趋势[J]. 车用发动机,2005(5):6-9.
- [4] TOORISAKA H, MINAMIKAWA J, NARITA H, et al. DPR developed for extremely low PM emissions in production commercial vehicles [C]//SAE 2004 World Congress & Exhibition. Detroit, USA:SAE International,2004.
- [5] 程晓章,查小辉,陈康,等. DPF 缸内次后喷再生效率和排放的试验研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2018,41(9):1153-1157.
- [6] 刘军,郭雪飞,黄国龙,等. 基于远后喷的 DPF 再生技术对发动机机油及拉缸性能研究[J]. 内燃机工程,2018,39(5):80-85.
- [7] 刘永长. 内燃机原理[M]. 武汉:华中理工大学出版社,2001.
- [8] 李进普,沈国华,任向飞,等. 高压共轨柴油机后喷对机油稀释影响的试验研究[J]. 柴油机,2015,37(4):11-13.
- [9] 程文明,傅文卫,龚英利. 柴油机喷雾和燃烧过程的多维数值模拟计算研究[J]. 车用发动机,2008(增刊1):52-56.
- [10] 虞育松,李国岫,刘建英. 燃烧室形状对直喷柴油机燃烧性能影响的三维数值模拟[J]. 北京交通大学学报,2007,31(4):115-119.
- [11] 周磊,解茂昭,贾明,等. 高压燃油喷雾雾化与蒸发过程的大涡模拟[J]. 内燃机学报,2010,28(3):241-246.
- [12] 邵利民,徐慧峰. 共轨系统参数对柴油机雾化特性影响的研究[J]. 装备制造技术,2019,(7):115-119.
- [13] 胡朝阳,薛冬新,宋希庚. 电控共轨系统降低排放的试验研究[J]. 内燃机工程,2009,30(4):34-37.
- [14] 侯玉晶. 高压喷射对轻型柴油机喷雾、燃烧及排放的影响[D]. 长春:吉林大学,2016.
- [15] 谭丕强,陆家祥,邓康耀,等. 喷油提前角对柴油机排放影响的研究[J]. 内燃机工程,2004,25(2):9-11.
- [16] 高常明,朱建荣,陈静,等. 柴油机机油老化问题研究[J]. 内燃机与动力装置,2019,36(5):10-14.

Influence of post injection on oil dilution of diesel engine

SUN Zhenyu^{1,2}, LIU Jiachao^{1,2}, HU Xiaoyan^{1,2}, LU Qingzhen^{1,2}, YU Miaomiao^{1,2}

1. State Key Laboratory of Engine Reliability, Weifang 261061, China;

2. Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, China

Abstract: The combustion, spray and oil dilution models are established by using 3D simulation software Fire to simulate the effect of late post injection, early post injection and injection pressure on oil dilution. The simulation results show that the separation of a single late post injection into double is benefit to reduce the spray penetration distance and oil dilution ratio. Early post injection can improve the temperature in cylinder, accelerate fuel evaporation and reduce oil dilution rate. Double early post injection is better than a single early post injection, and the early post injection time should not exceed 60° after TDC. The proper increase of late post injection pressure is benefit to fuel atomization and reduce oil dilution ratio. This study can provide a reference for engine bench calibration.

Keywords: diesel engine; post injection; oil dilution; 3D simulation; Fire

(责任编辑:刘丽君)