

变海拔下米勒循环对柴油机及 DPF 性能的影响

彭益源¹, 李 青², 陈贵升², 李春敏¹, 贺 如², 张 涵²

(1. 云内动力股份有限公司, 昆明 650501; 2. 昆明理工大学 云南省内燃机重点实验室, 昆明 650500)

摘 要: 基于某高压共轨柴油机建立了一维热力学仿真模型, 对 DPF 选型进行了优化, 并分析了不同海拔下米勒循环对柴油机及 DPF 性能的影响。结果表明, 选择非对称结构以及适当增加载体目数都有利于降低 DPF 压降, 同时可降低 DPF 对柴油机动力性、经济性及原始排放的影响。进气门早关可以降低柴油机有效燃油消耗率, 提高热效率, 降低 NO_x 排放, 但会导致颗粒物排放增加; 同时可降低 DPF 压降, 提高 DPF 捕集效率, 且随海拔升高, 进气门早关的时刻越小, 作用越明显。在低海拔条件下, 进气门晚关策略对柴油机动力性、经济性及排放特性均影响不大; 在高海拔条件下, 适当增加进气门晚关时刻可以改善柴油机性能。

关键词: 柴油机; 米勒循环; 海拔; 颗粒物捕集器; 性能

中图分类号: TK442 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2022.02.09

Effects of Miller Cycle on Diesel Engines and DPF Performance at Different Altitudes

PENG Yiyuan¹, LI Qing², CHEN Guisheng², LI Chunmin¹, HE Ru², ZHANG Han²

(1. Kunming Yunnei Power Co., Ltd., Kunming 650501, China; 2. Yunnan Key Laboratory of Internal Combustion Engine, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: A one-dimensional thermodynamic simulation model was established for a high pressure common-rail diesel engine, and the DPF selection was optimized. The results show that the selection of asymmetric structure and the increase of carrier number are beneficial to the reduction of DPF pressure drop, and the effect of DPF on the power performance, fuel economy and emissions of the diesel engine can be minimized. Early intake valve closing (EIVC) can reduce effective fuel consumption, improve thermal efficiency and reduce NO_x emission; however, it will lead to increased particulate emission. Meanwhile, the DPF pressure drop can be reduced and DPF capture efficiency can be improved as well. With the increase of altitude, the earlier closing of the intake valve leads to more obvious results. At a low altitude, the late intake valve closure strategy has little effect on power performance, fuel economy and emissions. At a high altitude, the diesel engine performance can be improved by closing the intake valve even later.

Keywords: diesel engine; miller cycle; altitude; diesel particulate filter; performance

收稿日期: 2021-03-21 改稿日期: 2021-04-28

基金项目: 国家自然科学基金(51866004); 基于天然气缸内分层与热力学状态耦合控制的诱导燃烧机理研究

参考文献引用格式:

彭益源, 李青, 陈贵升, 等. 变海拔下米勒循环对柴油机及 DPF 性能的影响[J]. 汽车工程学报, 2022, 12(2): 180-190.

PENG Yiyuan, LI Qing, CHEN Guisheng, et al. Effects of Miller Cycle on Diesel Engines and DPF Performance at Different Altitudes[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2022, 12(2): 180-190. (in Chinese)



柴油机因其热效率高、经济性好、功率输出大等优点而被广泛应用,但同时也带来了较为严重的环境污染问题。为了缓解柴油机排放带来的环境污染问题,世界各国均不断加严排放法规对其加以限制。在有效控制柴油机排放的前提下,提高柴油机热效率是未来柴油机发展的重点和难点^[1]。

米勒循环技术不仅可以有效降低柴油机 NO_x 排放,还能通过改变有效压缩比来提高发动机热效率^[2-3]。米勒循环技术通过控制进气门的关闭时刻来实现发动机有效压缩比的变化^[4-5]。当前,米勒循环技术在柴油机上应用相对较少,汽油机已经普遍采用了米勒循环技术。米勒循环技术应用在汽油机上可以取消节气门,以减少泵气损失,提高充气效率^[6]。GONCA等^[7-8]研究了燃油蒸汽喷射对米勒循环柴油机排放性能和动力性能的影响,发现蒸汽喷射虽然会使米勒循环柴油机 NO_x 排放降低并减少碳排放,但同时也会使柴油机动力性和经济性下降,CO和HC排放增加。CUI Yi等^[9]认为涡轮增压可使米勒循环柴油机动力性提高,且不会增加 NO_x 排放。张炯等^[10]指出米勒循环柴油机匹配增压中冷能有效增大柴油机的负荷范围。WU等^[11]指出高效的增压器是米勒循环发动机提高动力性且有效控制排放的重要手段。以上研究者均致力于通过米勒循环同时实现对柴油机排放、热效率的改善,并一致认为高效的增压器可以进一步达到效果。BISHOP等^[12]认为海拔的升高会使柴油机动力下降,辛志鹏等^[13]认为柴油机颗粒捕集器(Diesel Particulate Filter, DPF)会使柴油机油耗升高,动力性能下降。

以往的研究者分别考虑海拔、米勒循环和DPF对柴油机性能的影响进行了分析。而米勒循环柴油机在实际应用过程中同样需要考虑海拔和DPF对柴油机的影响,以及海拔和DPF对米勒循环作用效果的影响。因此,海拔耦合米勒循环对柴油机以及DPF性能的研究十分必要。本文在前人的研究基础上,通过一维热力学仿真方法对米勒循环耦合海拔对柴油机及DPF的性能影响进行了深入研究,在不同海拔下对耦合的米勒循环进行优化,以使发动机

效率和DPF捕集效率同时达到最优效果。对米勒循环柴油机在国六背景下加载DPF的实际应用过程具有一定的指导作用。

1 模型构建与验证

1.1 模型构建

本研究所用DPF均采用壁流式碳化硅(SiC)载体,该材料具有耐高温性好、热膨胀系数小、抗疲劳等优点^[14]。图1为DPF内部结构示意图,排气从进口孔道流入,经过多孔介质壁面从相邻的出口孔道流出,DPF壁面的多孔介质结构通过重力沉积、惯性碰撞、扩散拦截等方式将颗粒物捕集下来。图2为非对称DPF截面示意图。

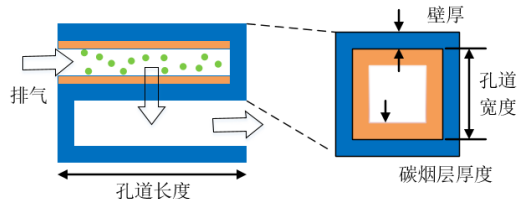


图1 DPF内部结构示意图

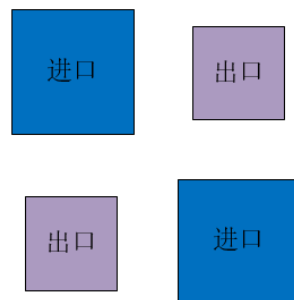


图2 非对称DPF截面示意图

排气在DPF孔道内满足质量守恒、能量守恒、动量守恒三大定律,如式(1)~(3)所示。

连续性方程如式(1)所示:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial c}{\partial x} + c \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\rho c}{F} \frac{F}{dx} = 0. \quad (1)$$

动量方程如式(2)所示:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + c \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + f \frac{c^2}{2|c|} \frac{4}{D} = 0. \quad (2)$$

能量方程如式(3)所示:

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) - a^2 \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) - \rho(\kappa - 1)(q + cf \frac{c^2}{2|c|} \frac{4}{D}) = 0. \quad (3)$$

式中：进口截面的流体流速、密度、压力和管截面积分别由 C 、 ρ 、 P 、 F 表示； f 为摩擦因数； q 为单位质量流体的传热率； D 为当量直径 $D=\sqrt{4F/\pi}$ 。详细的 DPF 模型构建方法参见文献 [15]。

热力学模型基于某四缸四冲程柴油机进行构建，其主要技术参数见表 1。

表 1 发动机相关参数

项目	参数
发动机型式	直列 4 缸、增压中冷、高压共轨燃油系统
缸径/mm×行程/mm	92×94
压缩比	16.6
排量/L	2.5
标定功率 P/kW	54(2 400 r/min)
最大转矩 T_{max}/Nm	262(1 700~1 900 r/min)

由于传统的韦伯经验燃烧模型精度较低，已经无法满足当前柴油机技术的开发与研究，所以本文中的燃烧模型采用准维燃烧模型。准维燃烧模型是采用以时间为唯一自变量的常微分方程，通过热力学原理对缸内燃烧过程进行分析，对燃烧空间进行分区处理，其预测精度大大提高。

发动机缸内的传热主要为燃烧室壁面与工质之间的热量交换。活塞顶面、气缸盖底面等燃烧室壁面与工质的热量交换 Q_w 可以通过壁面的平均温度 T_w 和工质对燃烧室壁面的瞬时平均换热系数 α_y 计算得到。

根据传热学牛顿公式，单位曲轴转角的换热量可以表示为：

$$\frac{dQ_w}{d\varphi} = \sum_{i=1}^3 \frac{dQ_{wi}}{d\varphi} = \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^3 \alpha_{gi} \cdot A_i (T - T_{wi}) \quad (4)$$

式中： ω 为角速度； α_{gi} 为瞬时平均换热系数； A 为换热面积； T 为气缸内工质瞬时温度； T_w 为壁面的平均温度； $i=1$ 是气缸盖； $i=2$ 为活塞； $i=3$ 为气缸套。

泵气损失如式 (5) 所示：

$$p_{mep} = \frac{\sum_{i=1}^{\#cylinders} \int_{180}^{180} \frac{P_i dV}{V_{disp,i}}}{\#cylinders} = \frac{\sum_{i=1}^{\#cylinders} p_{mepc_i}}{\text{cylinders}} \quad (5)$$

式中： p_{mepc_i} 为第 i 缸的缸内平均有效压力； P 为瞬时气缸压力； V_{disp} 为气缸单缸排量。

柴油机耦合 DPF 的一维热力学仿真模型如图 3 所示，更加详细的模型构建方法参见文献 [16]。

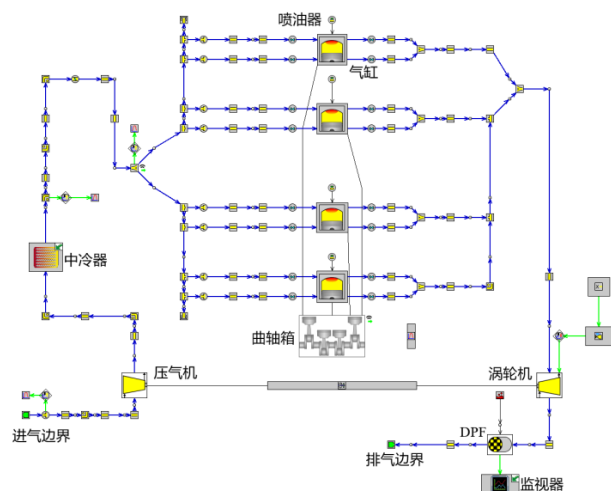


图 3 柴油机耦合 DPF 的一维热力学仿真模型

米勒循环通过控制进气门的早关 (EIVC) 和晚关 (LIVC) 来改变进气量。图 4、图 5 分别为模型中 (M0~M-30) EIVC 和 (M0~M30) LIVC 策略对应的气门升程曲线。

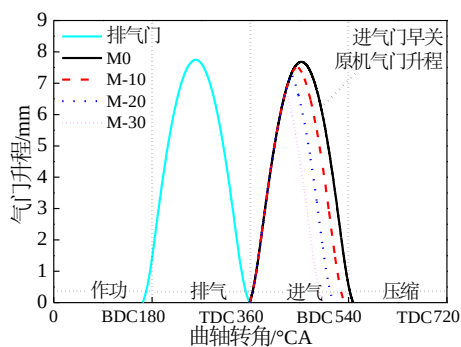


图 4 EIVC 的气门升程曲线

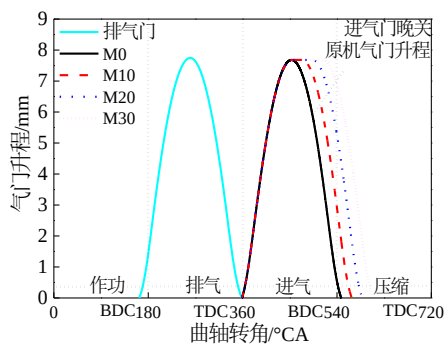
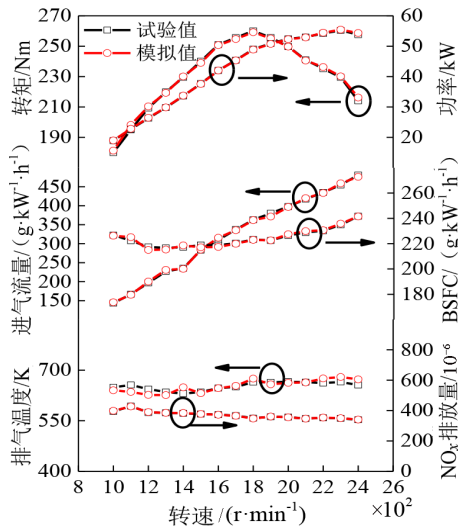


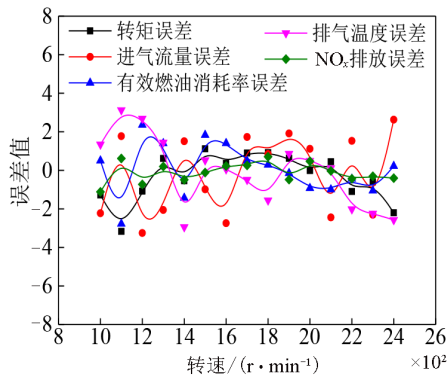
图 5 LIVC 气门升程曲线

1.2 一维热力学模型验证

为了保证模型计算的准确性,需要对模型进行可靠性验证。模型验证时DPF的碳载量设置为2 g/L。图6分别为柴油机转矩、功率、进气流量、有效燃油消耗率(BSFC)、排气温度及 NO_x 排放的模拟值与试验值对比,各工况下模拟值与试验值精度匹配均较高;图7为DPF碳烟加载过程的模型验证,由于试验中载体经过多次再生,不可避免存在残余灰分,而模拟中初始灰分设置为0 g/L,所以压降的试验值略高于模拟值,但差异较小且趋势一致。为进一步验证DPF碳烟模型,在碳载量为2 g/L的条件下,对不同工况下DPF压降再次进行验证,如图8所示,误差均在8%以内。说明本文所构建的模型相对可靠,可用于仿真计算。



(a)模拟值与试验值



(b)模拟值与试验值误差

图6 模拟值与试验值对比

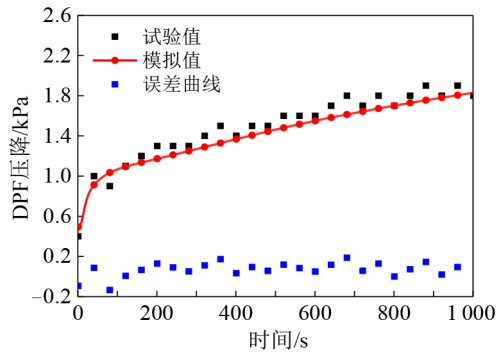


图7 DPF碳烟加载过程验证

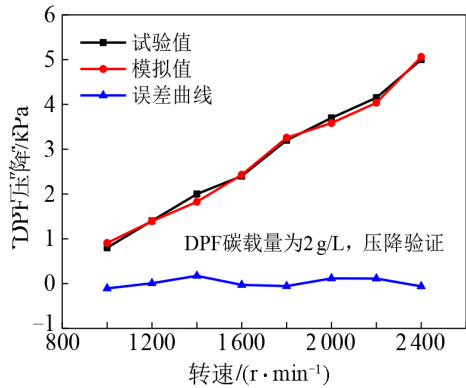


图8 不同工况下DPF压降对比

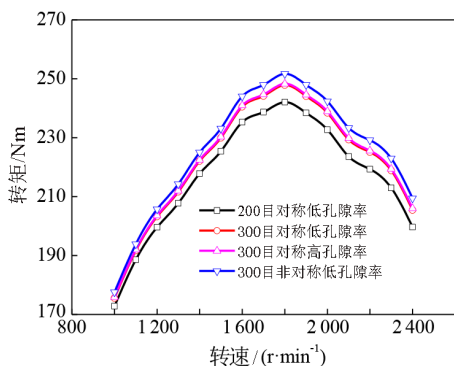
2 不同DPF结构对柴油机性能的影响

DPF会导致柴油机的排气背压增加,从而对柴油机性能造成影响,但不同结构的DPF对柴油机性能的影响存在差异,较大碳烟和灰分加载时,差异会更大。本节内容对碳烟量为6 g/L,灰分量为20 g/L的条件下,不同结构DPF对柴油机性能的影响进行了研究,DPF相关参数见表2。

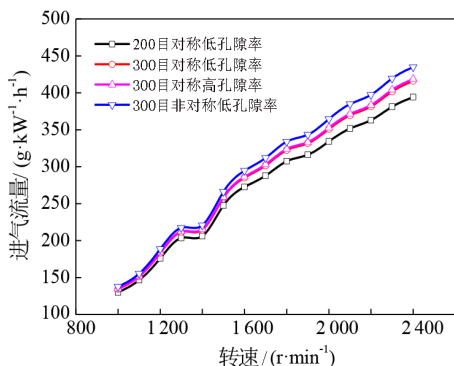
表2 四种碳化硅载体参数

	方案1	方案2	方案3	方案4
目数	200	300	300	300
结构型式	对称	对称	对称	非对称
壁厚/mm	0.3440	0.2545	0.2525	0.2660
孔隙率/%	43.75	43.01	48.68	43.58
中值孔径/ μm	5~30	5~30	5~50	5~30

图9为DPF对柴油机动力性的影响,其中方案4转矩最大,方案1转矩最低。这是由于200目载体单个孔道累积的碳烟和灰分更多,产生的排气背压更大,使进气量减少(图9b),燃烧变差,柴油机的动力性下降。



(a) 不同结构 DPF 对柴油机转矩的影响

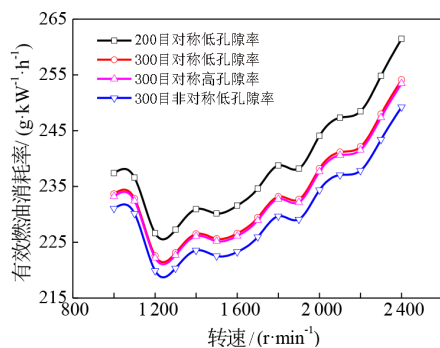


(b) 不同结构 DPF 对柴油机进气流量的影响

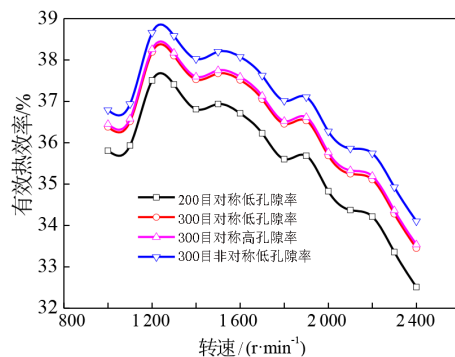
图 9 不同结构 DPF 对柴油机动力性的影响

图 10 为不同结构 DPF 对柴油机经济性的影响。方案 1 有效燃油消耗率最高，方案 4 最低（图 10a），这是由于 200 目载体排气背压的增大会使缸内残余废气量增加，新鲜进气量减少，燃料燃烧不充分，燃烧效果变差，导致有效燃油消耗率升高。方案 1 的有效热效率最低，方案 4 有效热效率最高（图 10b），这是因为 200 目 DPF 排气背压较高导致缸内燃烧效果变差，排气温度增加（图 10c），能量损失变大，热效率下降。

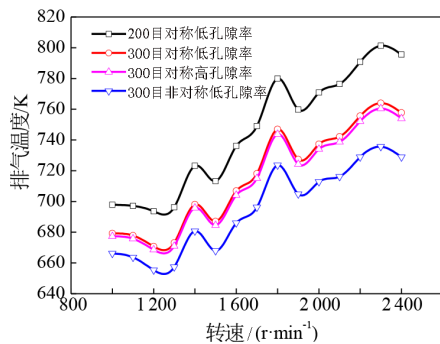
图 11a 为不同结构 DPF 对柴油机排放特性的影响，虽然搭载 200 目 DPF 的柴油机缸内温度有所升高，但进气量的减小破坏了缸内的富氧环境，其中氧浓度的下降是产生 NO_x 的主要原因，因此，搭载 200 目 DPF 的柴油机 NO_x 排放最低。图 11b 为 DPF 对柴油机碳烟排放的影响，由于碳烟的产生条件为高温缺氧，刚好与 NO_x 的生成条件相反，因此，搭载 200 目 DPF 的柴油机碳烟排放量最大。



(a) 不同结构 DPF 对柴油机有效燃油消耗率的影响



(b) 不同结构 DPF 对柴油机有效热效率的影响

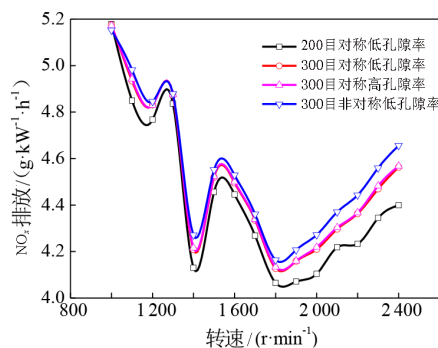
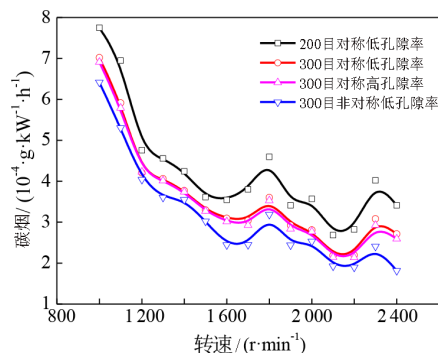


(c) 不同结构 DPF 对柴油机排气温度的影响

图 10 不同结构 DPF 对柴油机经济性的影响

图 12 为不同结构 DPF 压降对比，200 目对称低孔隙率 DPF 压降最大，300 目非对称低孔隙率 DPF 压降最小。说明非对称结构 DPF 压降特性优于对称结构 DPF，适当增加 DPF 目数有利于提高 DPF 容灰能力，降低 DPF 压降。

综合以上 4 个方案 DPF 对柴油机动力、经济性、排放特性的影响，发现方案 4 的 DPF 对柴油机性能影响最小。因此，本文采用 300 目非对称孔载体进行变海拔下米勒循环对柴油机及 DPF 性能的影响研究。

(a) 不同结构 DPF 对柴油机 NO_x 排放的影响

(b) 不同结构 DPF 对柴油机碳烟排放的影响

图 11 不同结构 DPF 对柴油机排放特性的影响

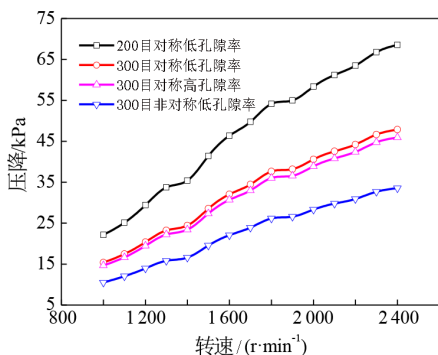


图 12 不同结构 DPF 压降对比

3

EIVC 与 LIVC 对柴油机燃烧、排放特性及 DPF 性能的影响

3.1 不同海拔下 EIVC 对柴油机及 DPF 性能的影响

针对柴油机 2 400 r/min 全负荷工况，研究了 ELVC 耦合海拔对柴油机性能的影响，通过更改发动机进气参数以模拟不同海拔下 EIVC 对柴油机及 DPF 性能的影响，见表 3。

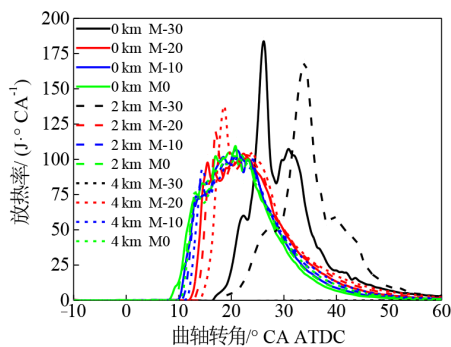
图 13 为不同海拔条件下 EIVC 对柴油机动力性的影响，同一海拔条件下，随着进气门的提前关

表 3 不同海拔条件下进气参数

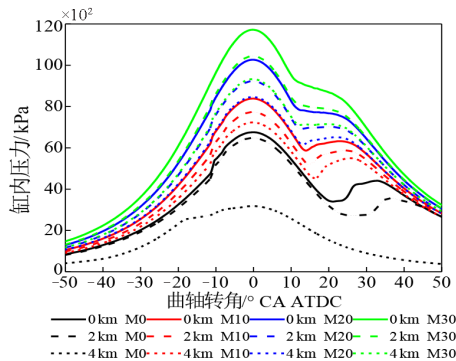
海拔高度/m	大气压力/kPa	大气温度/°C
0	101	28
2 000	80	22
4 000	60	2

闭，柴油机的放热率增加且放热始点滞后（图 13a）。这是因为进气门提前关闭减小了进气量，压缩终点缸内压力降低，滞燃期延长，着火时刻推迟。但同时滞燃期形成了更多的均匀混合气，预混燃烧程度增加导致放热迅速。相同米勒度下，海拔升高同样会使放热始点推迟，这是因为海拔上升也会导致进气量减小，增加预混燃烧程度。

相同米勒度条件下，缸内压力随海拔升高逐渐下降；同一海拔条件下，随着米勒度的增加，缸内压力逐渐下降（图 13 b）。这是由于海拔的升高和进气门提前关闭都使进气量减小，从而降低了缸内最大压力。在 4 km 海拔耦合 M-30 时，发动机已经发生失火现象。



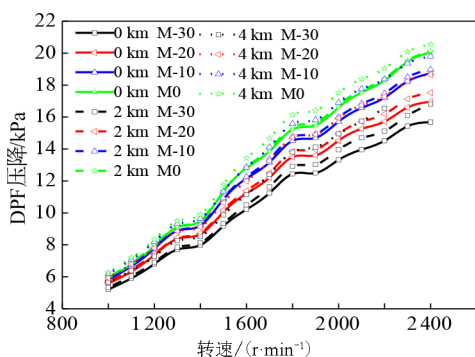
(a) EIVC 对柴油机放热率的影响



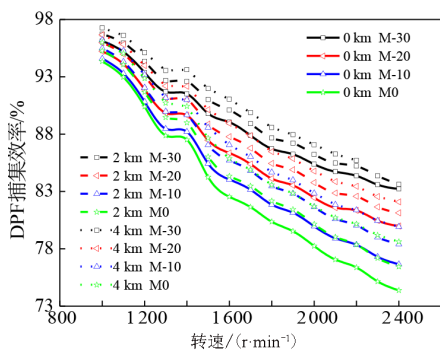
(b) EIVC 对柴油机缸内压力的影响

图 13 不同海拔条件下 EIVC 对柴油机动力性的影响

图 14 为不同海拔条件下 EIVC 对 DPF 性能的影响。由图 14a 可知, 随着进气门的提前关闭, DPF 的压降逐渐降低。这是由于进气门早关时刻增加, 排气流量减小, 排气流速降低, 流经载体孔道内部和壁面的摩擦阻力减小, 所以产生的压降减小。在同一米勒度下, 海拔上升会导致 DPF 压降增大, 这是因为随着海拔的升高燃烧性能变差, 颗粒物的生成量增加, DPF 内部形成的碳烟滤饼层变厚, DPF 压降增加。由图 14b 可知, 海拔的升高和进气门早关时刻增加都会使 DPF 的捕集效率提高。这是由于随着海拔的增加和米勒度的增加, 排气温度也随之上升, 排气的气体粘度变大, 微粒的布朗运动加强, 并且排气颗粒物增加时碳烟饼层变厚, 碳烟饼层的过滤作用增强, 所以捕集效率提高。



(a) DPF 压降对比



(b) DPF 捕集效率对比

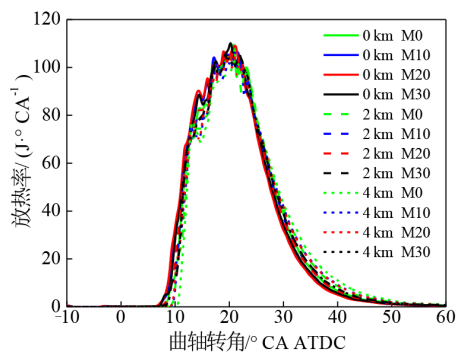
图 14 不同海拔条件下 EIVC 对 DPF 性能的影响

综合 EIVC 和海拔对柴油机及 DPF 性能的影响, 随着海拔增加, 应当减小气门早关时刻以增加进气量, 促进缸内燃烧。

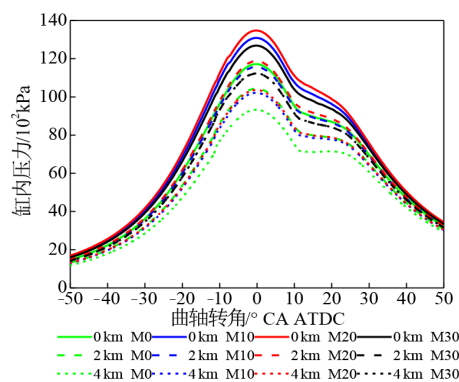
3.2 不同海拔下 LIVC 对柴油机及 DPF 性能的影响

针对 2 400 r/min 全负荷工况, 研究了 LIVC 耦合海拔对柴油机及 DPF 性能的影响。

图 15 为不同海拔条件下 LIVC 对柴油机动力性的影响, 图 15a 为 LIVC 对缸内放热率的影响不大。0 km 和 2 km 条件下, 随着进气门晚关时刻的增加, 缸内压力先上升后下降 (图 15b)。这是因为增加进气门关闭时刻有利于提高进气量, 改善缸内燃烧品质, 增大缸内压力, 但过度增加进气门晚关时刻会导致压缩比降低, 减小缸内压力。4 km 条件下, 随着进气门晚关时刻增加, 缸内压力一直增加, 这是因为 4 km 条件下大气浓度下降较大, 进气门晚关时刻增加提高进气量的效果大于因进气门晚关时刻增加而导致有效压缩比降低的作用。



(a) LIVC 对柴油机放热率的影响

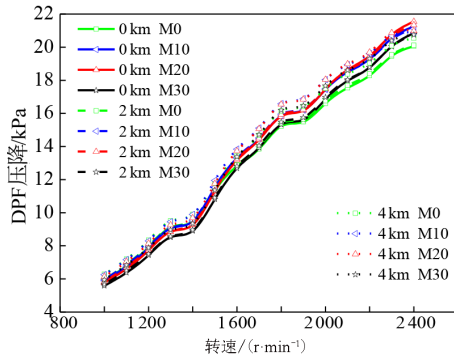


(b) LIVC 对柴油机缸内压力的影响

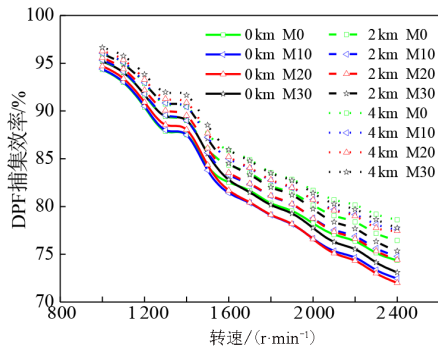
图 15 不同海拔条件下 LIVC 对柴油机动力性的影响

图 16 所示为不同海拔条件下 LIVC 对 DPF 性能的影响, LIVC 策略和海拔对 DPF 压降影响不大 (图 16a)、由图 16b 可知, 在同一海拔条件下, 随着进气门晚关时刻增加, 捕集效率先下降后上升;

相同米勒度条件下, 海拔升高, DPF 捕集效率提高。主要原因是排气温度越高, 微粒扩散加强, 捕集效率提高。



(a)DPF 压降对比



(b)DPF 捕集效率对比

图 16 不同海拔条件下 LIVC 对 DPF 性能的影响

综合 LIVC 和海拔对柴油机及 DPF 性能的影响, 随着海拔增加, 应适当增加气门晚关时刻, 在提高进气量和降低有效压缩比之间折衷考虑。

3.3 海拔及米勒时刻对 2 400 r/min 全负荷工况下柴油机性能的影响

针对 2 400 r/min 全负荷工况, 研究了 0~4 km 海拔耦合米勒时刻对柴油机及 DPF 性能的影响 (M-30 在 4 km 海拔时失火, 因此不考虑 M-30)。由图 17 可知, 相对于原机, EIVC 可以提高发动机动力性, M-20 耦合 2 km 以下海拔达到最优, 随着海拔的升高发动机的动力性也随之下降。LIVC 策略使柴油机动力性先下降后升高。

图 18 为米勒循环耦合海拔对柴油机经济性的影响。EIVC 可以降低有效燃油消耗率, M-20 策略下, 在海拔 2.5 km 以上柴油机的经济性能开始下

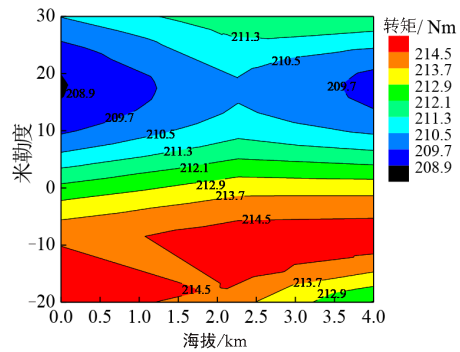
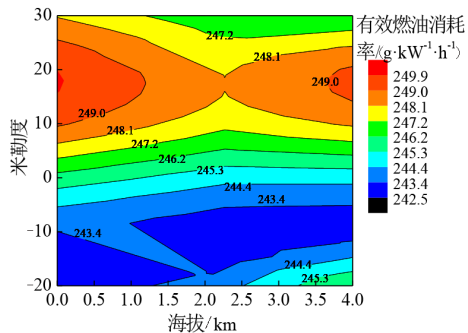
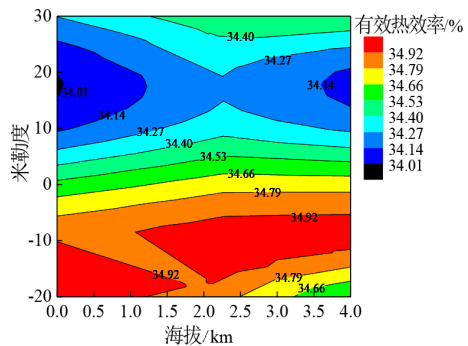


图 17 转矩对比



(a) 有效燃油消耗率对比



(b) 有效热效率对比

图 18 米勒循环耦合海拔对柴油机经济性的影响

降。这是由于高海拔地区大气稀薄, 如果过早地提前关闭进气门会使缸内进气量不足, 燃烧性能变差, 经济性下降。而 LIVC 在 M10、M20 策略下, 相比于原机都使柴油机经济性能下降; M30 策略下柴油机经济性能开始上升且高于原机。说明要达到提高柴油机经济性的效果, 匹配 LIVC 需要米勒度大一些, 而 EIVC 米勒度需要小一些。

由图 19 可知, EIVC 减少了缸内进气量, 使混合气变浓, 同时缸内残余废气增加, 缸内气体热容量降低, 导致排气温度升高。而 LIVC 策略由于增

加了进气门晚关时刻,可以提高进气流量,缸内气体热容增加且燃烧效果更好,排气温度降低。

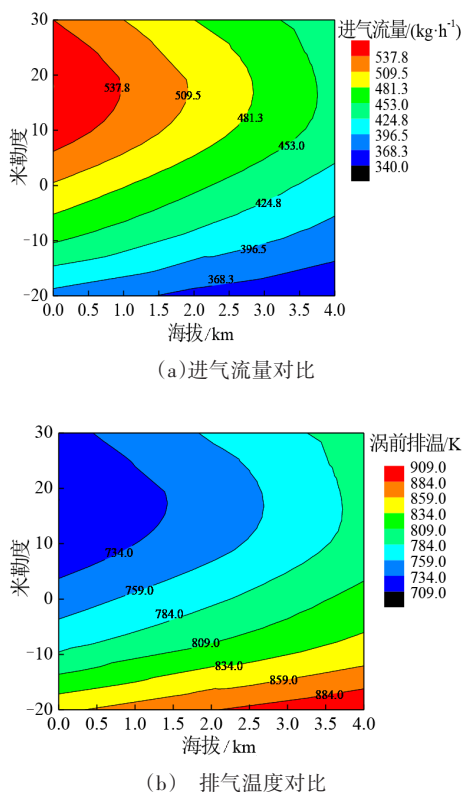


图 19 米勒循环耦合海拔下进气流量、排温对比

由图 20a 可知,增加进气门早关时刻和海拔的升高均会导致传热损失增加。传热损失主要与缸内温度以及燃烧持续期有关,进气门早关时刻增加,缸内废气量增加,气体温度压力增加,滞燃期缩短,缸内最高燃烧温度下降,传热损失降低。进气门晚关时刻增加,缸内气体的温度、压力均下降,使滞燃期延长,预混燃烧程度增加,缸内燃烧温度上升,传热损失增加。

由图 20b 可知,海拔 4 km 耦合 M-20 与海拔 0 km 耦合 M20 的排气损失均较大,这是因为高海拔条件下,增加进气门早关时刻会导致进气量急剧下降,缸内混合气过浓导致温度过高,排气损失增加;而低海拔条件下,增加进气门晚关时刻将提高进气量,使滞燃期延长,同样会提高缸内温度,排气损失增加。

由图 20c 可知,随着海拔的升高泵气损失降低,

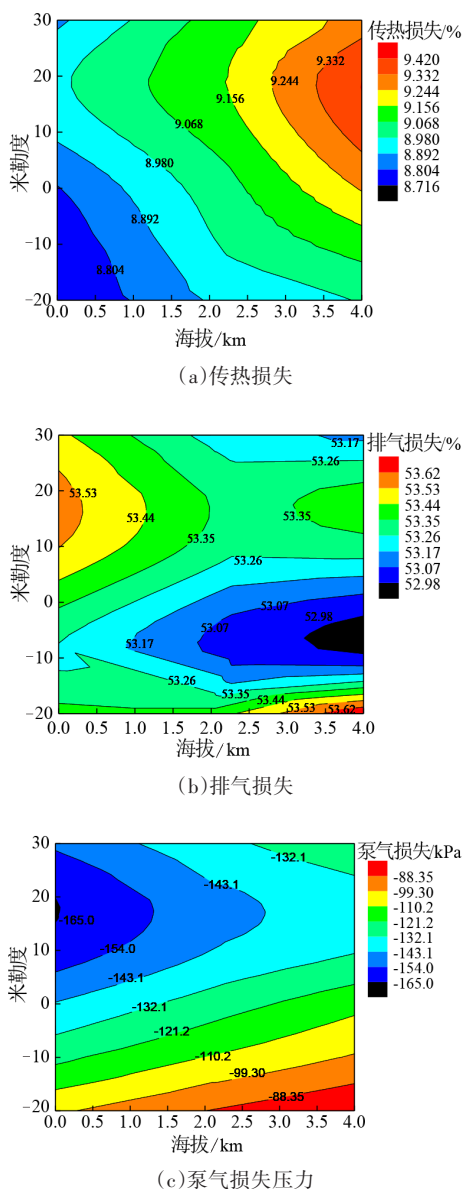


图 20 米勒循环耦合海拔对柴油机能量分配的影响

推迟进气门关闭时刻会使进气量增加,同时 DPF 导致的排气背压增加,泵气损失增加。随着海拔增加,虽然大气压力下降会使泵气损失呈增加的趋势,但缸内进气量降低,扫气作用下降,残余废气增加,排气压力下降,泵气损失下降。

图 21 为米勒循环耦合海拔对柴油机机械效率的影响,随着进气门关闭时刻的提前,柴油机的机械效率逐渐增大。这是由于进气门关闭时刻提前可以降低柴油机传热损失、排气损失、泵气损失,机械效率提高。

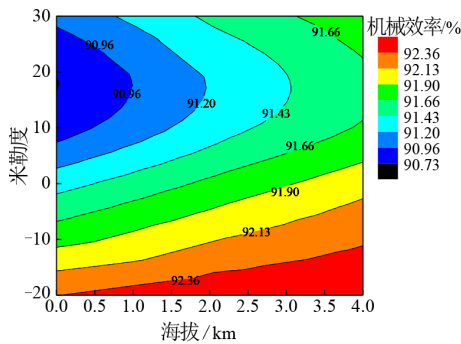


图21 米勒循环耦合海拔对机械效率的影响

图22为米勒循环耦合海拔对柴油机排放特性的影响。由图22a可知,海拔的增加以及进气门提前关闭会使柴油机碳烟排放增加,这是因为进气门提前关闭和海拔增加都会导致进气量减少,缸内创造出高温缺氧的条件,有利于碳烟的生成。

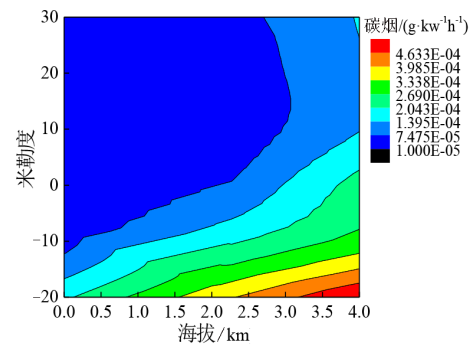
与碳烟的形成相反,推迟进气门关闭时刻以及海拔降低均有利于进气,缸内氧浓度增加,NO_x生成量增加(图22b)。

4 结论

(1) 适当增加DPF目数以及采用非对称结构有利于增大载体容灰能力,降低DPF压降,同时降低对柴油机动力性、经济性及排放特性的影响。

(2) 高海拔耦合EIVC低米勒度、低海拔耦合EIVC高米勒度可改善柴油机的动力性、经济性和排放特性,同时可降低DPF压降,提高DPF的捕集效率。

(3) 低海拔耦合LIVC策略在M10、M20时会使柴油机经济性、动力性、热效率下降,高海拔耦



(a) 碳烟排放对比

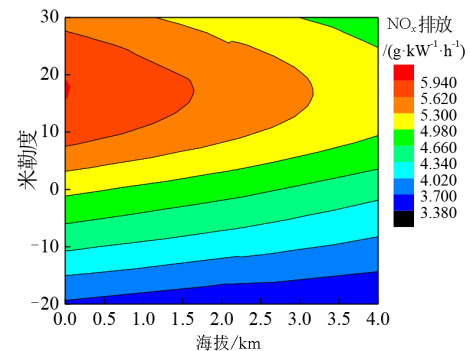
(b) NO_x排放对比

图22 米勒循环耦合海拔对柴油机排放特性的影响

合M30时作用效果相反;LIVC策略在低转速时可以降低DPF压降,提高DPF的捕集效率,高转速则相反。

(4) 在2400 r/min全负荷工况下,不同海拔下米勒循环对柴油机性能影响存在较大差异。EIVC策略下,随着海拔的升高耦合低米勒度可使柴油机性能达到最优;LIVC策略下,高米勒度耦合高海拔可改善柴油机性能。

参考文献 (References)

- [1] 苏万华,张众杰,刘瑞林,等.车用内燃机技术发展趋势[J].中国工程科学,2018,20(1):97-103.
SU Wanhua, ZHANG Zhongjie, LIU Ruilin, et al. Development Trend of Automotive Internal Combustion Engine Technology [J]. Chinese Engineering Science, 2018, 20(1): 97-103. (in Chinese)
- [2] LI Tie, GAO Yi, WANG Jiasheng, et al. The Miller Cycle Effects on Improvement of Fuel Economy in a Highly Boosted, High Compression Ratio, Direct-Injection Gasoline Engine: EIVC vs. LIVC [J]. Energy Conversion and Management, 2014, 79: 59-65.
- [3] GONCA G, SAHIN B, PARLAK A, et al. Theoretical and Experimental Investigation of the Miller Cycle Diesel Engine in Terms of Performance and Emission Parameters [J]. Applied Energy, 2015, 138: 11-20.
- [4] 姚若禹.米勒循环模式对柴油机性能影响的计算与试验研究[D].武汉:华中科技大学,2013.
YAO Ruoyu. Calculation and Experimental Study on the Effect of Miller Cycle Mode on Diesel Engine Performance [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013. (in Chinese)
- [5] 杨帅,冯志炜,赵治国,等.不同米勒循环方式对柴油

- 机工作过程影响的一维模拟分析[J]. 吉林大学学报(工学版), 2018, 48(5): 1444-1454.
- YANG Shuai, FENG Zhiwei, ZHAO Zhiguo, et al. One Dimensional Simulation Analysis of the Influence of Different Miller Cycles on the Working Process of Diesel Engine [J]. Journal of Jilin University (Engineering), 2018, 48 (5): 1444-1454. (in Chinese)
- [6] 谢宗法, 孔超, 王建昕, 等. 发动机全可变液压气门机构进气性能的研究[J]. 内燃机学报, 2009, 27(5): 435-439.
- XIE Zongfa, KONG Chao, WANG Jianxin, et al. Research on Intake Performance of Engine Fully Variable Hydraulic Valve Mechanism [J]. Journal of Internal Combustion Engine, 2009, 27(5): 435-439. (in Chinese)
- [7] GONCA G, SAHIN B, PARLAK A, et al. The Effects of Steam Injection on the Performance and Emission Parameters of a Miller Cycle Diesel Engine [J]. Energy, 2014, 78: 266-275.
- [8] GONCA G, SAHIN B, UST Y, et al. Comparison of Steam Injected Diesel Engine and Miller Cycled Diesel Engine by Using Two Zone Combustion Model [J]. Journal of the Energy Institute, 2015, 88(1): 43-52.
- [9] CUI Yi, DENG Kangyao. Thermodynamic Model and Optimization of a Miller Cycle Applied on a Turbocharged Diesel Engine [J]. Journal of Thermal Science and Technology, 2014, 9(1): JTST0001.
- [10] 张炯. 基于进气门早关的柴油机进气和燃烧特性的试验研究[D]. 济南: 山东大学, 2016.
- ZHANG Jiong. Experimental Study on the Inlet and Combustion Characteristics of Diesel Engine Based on Early Closing of Intake Valve [D]. Jinan: Shandong University, 2016. (in Chinese)
- [11] WU C, PUZINAUSKAS P V, TSAI J S. Performance Analysis and Optimization of a Supercharged Miller Cycle Otto Engine [J]. Applied Thermal Engineering, 2003, 23: 511-521.
- [12] BISHOP G A, MORRIS J A, STEDMAN D H, et al. The Effects of Altitude on Heavy-Duty Diesel Truck On-Road Emissions [J]. Environmental Science & Technology, 2001, 35(8): 1574-1578.
- [13] 辛志鹏. 柴油机微粒捕集器的性能仿真与试验研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- XIN Zhipeng. Performance Simulation and Experimental Study of Diesel Particulate Catcher [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2014. (in Chinese)
- [14] 何柏林, 孙佳. 碳纤维增强碳化硅陶瓷基复合材料的研究进展及应用[J]. 硅酸盐通报, 2009, 28(6): 1197-1202.
- HE Bolin, SUN Jia. Progress and Application of Carbon Fibers Reinforced Silicon Carbide Ceramic Matrix Composites [J]. Notice of Silicate, 2009(6): 1197-1202.
- [15] 沈颖刚, 吕誉, 陈春林, 等. 非对称孔结构载体对DPF及柴油机性能的影响研究[J]. 内燃机工程, 2018, 39(6): 31-38.
- SHEN Yinggang, LYU Yu, CHEN Chunlin, et al. Research on the Influence of Asymmetric Hole Structure Carrier on DPF and Diesel Engine Performance [J]. Internal Combustion Engine Engineering, 2018, 39(6): 31-38. (in Chinese)
- [16] 朱文霞. 基于进气组分设计的柴油机工作过程与喷油策略数值模拟研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2017.
- ZHU Wenxia. Numerical Simulation Study on Working Process and Injection Strategy of Diesel Engine Based on Intake Component Design [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2017. (in Chinese)

作者简介



陈贵升 (1970-), 男, 重庆大足人, 博士, 教授, 主要从事柴油机燃烧及后处理排放控制技术研究。

Tel: 18213553813

E-mail: cgs_yly@163.com