

# 油雾喷射碰壁过程中油膜形成的数值模拟分析

张志伟, 王长周, 宋锦春, 陈建文

(东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110819)

**摘要:** 利用 FLUENT 仿真软件对油雾喷射碰壁过程中油膜的形成进行数值模拟, 模拟条件如下: 喷射速度  $v$  分别为 30, 80, 100 和 120 m/s; 油雾颗粒粒径  $d$  分别为 3, 5, 7 和 10  $\mu\text{m}$ ; 喷雾距离  $D$  为 50 和 65 mm. 在上述条件下得到油膜厚度等高图, 从而得出喷射速度、油雾颗粒粒径、喷雾距离对油膜厚度和油膜比率的影响. 模拟结果表明: 喷雾距离增加时油膜厚度和油膜比率都减少; 在喷雾距离为 50 mm 时, 速度为 80 m/s 的油膜厚度和油膜比率比较理想; 同样条件下, 油雾颗粒粒径在 5  $\mu\text{m}$  左右时, 油膜厚度和油膜比率较大.

**关键词:** 油膜; 油雾润滑; 凝缩嘴; 喷射速度; 喷雾距离; 油膜厚度; 油膜比率

**中图分类号:** TH 117.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-3026(2011)02-0285-03

## Numerical Simulation Analysis of Formation of Fluid Film in the Process of Oil Mist Spraying Against the Metal Plate

ZHANG Zhi-wei, WANG Chang-zhou, SONG Jin-chun, CHEN Jian-wen

(School of Mechanical Engineering & Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China.

Corresponding author: CHEN Jian-wen, E-mail: jwchen@mail.neu.edu.cn)

**Abstract:** The factors which affect the oil film formation when the oil mist is spraying against the metal plate were studied via a numerical simulation with the software FLUENT, then the contour maps of oil film thickness were plotted. In the simulation the spray speeds were 30, 80, 100 and 120 m/s; the oil drop sizes were 3, 5, 7 and 10  $\mu\text{m}$ ; and the spraying distances were 50 and 65 mm. The results showed that the oil film thickness and film forming ratio both decrease with increasing spraying distance, and both are comparatively perfect when the spraying distance is 50mm with the spray speed 80 m/s. Meanwhile, both become bigger when the oil drop size is about 5  $\mu\text{m}$ .

**Key words:** film; oil mist lubrication; constricting nozzle; spray speed; spraying distance; film thickness; film forming ratio

在油雾润滑系统中,从凝缩嘴喷出的油雾颗粒到达润滑点后,会有一部分油雾飞溅而不能在润滑点形成油膜,这样既浪费能源又影响润滑效果.液滴撞击固体壁面时,液滴所拥有的动能大小对液滴碰壁后的运动状态有很重要的作用,此外液滴直径、撞击速度、壁面形状、表面粗糙度、喷雾距离、表面张力和黏度等对碰壁结果也有一定的影响<sup>[1-2]</sup>.本文主要讨论喷雾速度、油雾颗粒粒径、喷雾距离对壁面形成油膜的影响.数值模拟的

数学模型详见文献[3-4].

### 1 数值模拟

模拟油雾润滑系统中的喷雾碰壁采用 FLUENT 提供的离散相模型(DPM),离散相模型属于欧拉-拉格朗日型模型<sup>[5]</sup>.将空气看做连续相,通过求解时均 N-S 方程得到,而离散相的求解则是通过跟踪已经求解过的连续相中的大量具有代表性的液滴得到.离散相提供的模型有喷雾

模型、碰撞聚合与破碎模型、动态曳力模型和壁面油膜模型等。

### 1.1 速度对成膜的影响

当液滴以一定速度撞击壁面时,液滴受到挤压,与壁面的接触面积增大,液滴内部形成极高压力:首先在液滴与壁面接触面上产生压缩激波,然后激波逐渐向液滴内部传播,激波后接触面附近原来被压缩的液体膨胀,沿壁面迅速向外扩展<sup>[6]</sup>。当液滴撞击动能更大时,扩展液膜继续

在收缩与扩展之间波动,导致液膜破碎,一部分液体从波峰被甩出形成飞溅小液滴,其余液体逐渐达到平衡状态形成贴壁油膜<sup>[7-8]</sup>。

计算条件:喷雾距离为 50 mm,粒径服从 R-R 分布,喷射源平均油雾颗粒粒径为 3 μm,垂直喷雾,喷射速度分别为  $v=30,80,100,120$  m/s。油膜厚度等高图如图 1 所示;油膜厚度与油膜比率见表 1。

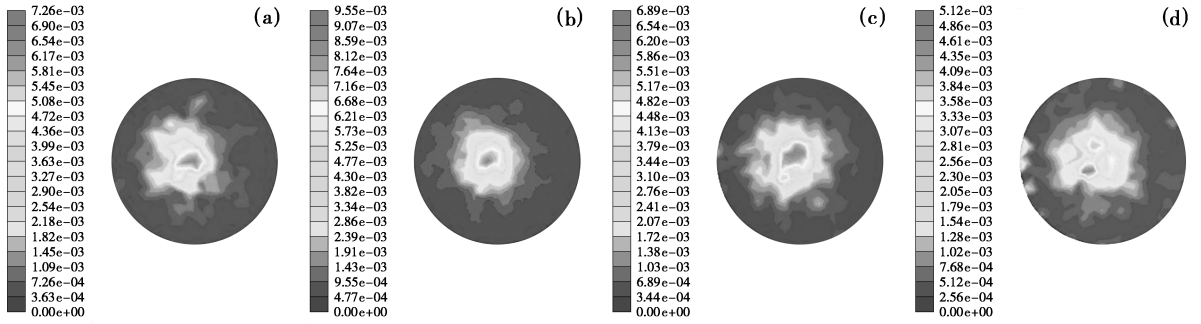


图 1 不同喷雾速度油膜厚度等高图

Fig.1 Contour maps of film thickness at different spray speeds

(a)— $v=30$  m/s; (b)— $v=80$  m/s; (c)— $v=100$  m/s; (d)— $v=120$  m/s.

表 1 不同速度油膜厚度和油膜比率

Table 1 Film thickness and the film forming ratio at different speeds

速度/(m·s <sup>-1</sup> )	30	80	100	120
油膜比率/%	57.3	71.5	71.6	58.8
油膜厚度/μm	7.26	9.55	6.89	5.12

可以看出,喷雾速度为 80 m/s 时的油膜厚度和油膜比率比较大,而且油膜分布比较均匀。

### 1.2 粒径对成膜的影响

计算条件:喷雾距离 50 mm,垂直喷雾,喷射速度 80 m/s,油雾颗粒粒径  $d=3,5,7,10$  μm。油雾粒径对成膜的影响见图 2 和表 2。

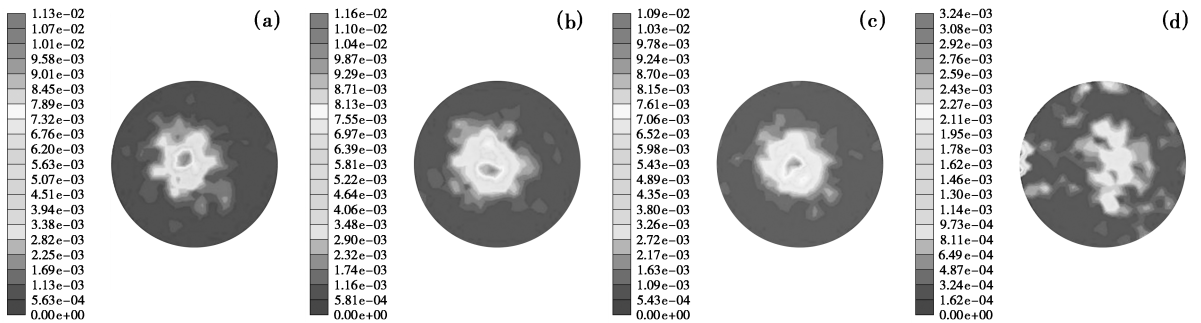


图 2 不同油雾粒径油膜厚度等高图

Fig.2 Contour maps of film thickness with different oil drop sizes

(a)— $d=3$  μm; (b)— $d=5$  μm; (c)— $d=7$  μm; (d)— $d=10$  μm.

表 2 不同粒径的油膜厚度和油膜比率

Table 2 Film thickness and film forming ratio with different oil drop sizes

粒径/μm	3	5	7	10
油膜比率/%	70.1	81.5	71.6	22.4
油膜厚度/μm	11.3	11.6	10.9	1.62

### 1.3 喷雾距离对成膜的影响

在实际油雾润滑系统中,由于受设备结构形式的限制,从凝缩嘴到润滑点的距离(喷雾距离)不能过小。当喷雾距离为 65 mm,速度分别为 80, 100 和 120 m/s 时油膜厚度等高图如图 3 所示。

当喷雾距离分别为  $D=50$  和 65 mm 时,速度与油膜厚度和油膜比率的关系如图 4 和图 5 所示。

由图 2 和表 2 可以看出,油雾颗粒粒径在 5 μm 左右时的油膜厚度和油膜比率较大。

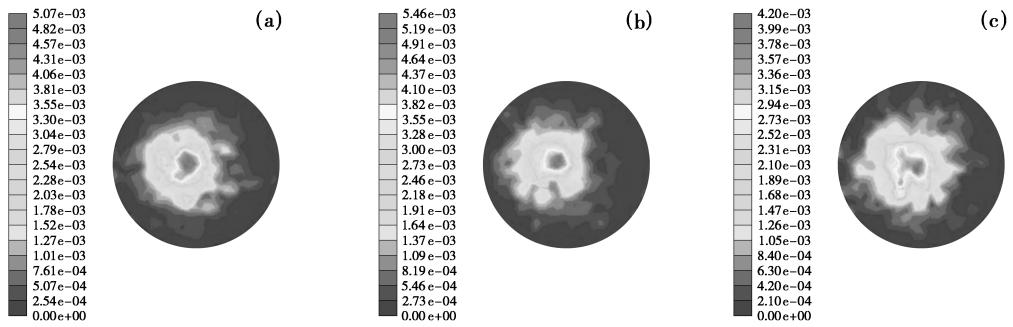


图 3 喷雾距离为 65 mm 时油膜厚度等高图

Fig.3 Contour maps of film thickness when spraying distance is 65 mm

(a)— $v=80\text{ m/s}$ ; (b)— $v=100\text{ m/s}$ ; (c)— $v=120\text{ m/s}$ .

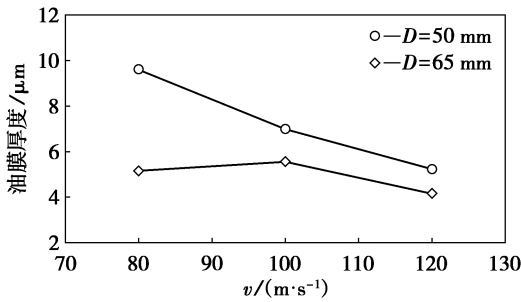


图 4 油膜厚度—喷雾速度曲线图

Fig.4 Film thickness vs. spray speed

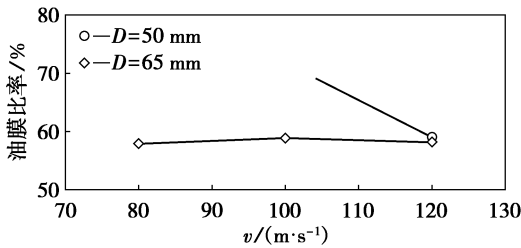


图 5 油膜比率—喷雾速度曲线图

Fig.5 Film forming ratio vs. spray speed

由图 4 和图 5 可以看出,喷雾距离增加后,油膜厚度和油膜比率减少很多,而且提高喷雾速度对油膜的形成影响不大;为此考虑增大粒径来改善油膜的质量.表 3 为不同粒径的最大油膜厚度和油膜比率.

表 3 喷雾距离为 65 mm 时不同粒径的油膜厚度和油膜比率

Table 3 Film thickness and film forming ratio with different oil drop sizes when spraying distance is 65 mm

粒径/ $\mu\text{m}$	3	5	7	10
油膜比率/%	59.1	66.8	68.2	38.1
油膜厚度/ $\mu\text{m}$	6.01	7.63	9.83	5.11

从表 3 可以看出,增加喷雾距离,油雾颗粒直径在  $7\ \mu\text{m}$  时,油膜厚度和比率都较大;因此,增大粒径的方法可以使油膜厚度和油膜比率有明显的增加.

## 2 结 论

1) 在喷雾距离 50 mm,油雾喷射速度  $80\text{ m/s}$

左右时,油膜厚度和油膜比率比较理想.在同样的喷雾距离下,油雾喷射速度设定为  $80\text{ m/s}$ ,当油雾颗粒直径为  $5\ \mu\text{m}$  时,油膜较厚,且分布较均匀,油膜比率较高.

2) 增大粒径可以使油膜厚度和油膜比率增加.

## 参考文献:

- [1] 王中伟,傅茂林.液雾碰壁对环形喷嘴雾化质量的影响[J].燃烧科学与技术,1998,4(2):177—181.  
(Wang Zhong-wei, Fu Mao-lin. Influence of spray impinging upon wall on atomization quality [J]. *Journal of Combustion Science and Technology*, 1998, 4(2):177—181.)
- [2] Estrade J P, Carentz H, Lavergne G. Experimental investigation of dynamic binary collision of ethanol droplets—a model for droplet coalescence and bouncing [J]. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 1999, 20(5):486—491.
- [3] 文华.基于 CFD 的柴油机喷雾混合过程的多维数值模拟 [D].武汉:华中科技大学,2004.  
(Wen Hua. Multi-dimensional numerical modeling of spray mixing process in diesel engines based on CFD [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004.)
- [4] 廖春明.柴油机喷雾场可视化研究及数值模拟 [D].大连:大连理工大学,2006.  
(Liao Chun-ming. Visible research on diesel spray field and numerical simulation [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2006.)
- [5] 杨延平.电喷汽油机冷启动附壁油膜研究 [D].上海:上海交通大学,2008.  
(Yang Yan-ping. Research on the wetted fuel film in electrical controlled injection gasoline engine during cold starting [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2008.)
- [6] Ashgriz N, Poo J Y. Coalescence and separation binary collisions of liquid drips [J]. *Journal of Fluid Mechanics*, 1990, 221:183—204.
- [7] Brazier-Smith P R, Jennings S G, Latham J. The interaction of falling rain drops: coalescence [J]. *Proceedings of the Royal Society of London*, 1972, 326:393—408.
- [8] Chesters A K. The modeling of coalescence processes in fluid liquid dispersions—a review of current understanding [J]. *Transactions on IchemE*, 1991, 69:259—270.