

# 基于 CONVERGE 的油嘴流动计算

## Simulation of Nozzle Inflow Based on CONVERGE

钟博、李海洋、张清林、杨海涛

(中国一汽无锡油泵油嘴研究所, 江苏 无锡 214036)

ZHONG Bo, LI Haiyang, Zhang Qinglin, Yang Haitao

(FAW Wuxi Fuel Injection Equipment Research Institute, Wuxi 214063, China)

**摘要:** 本文对燃油物性进行测量, 并以此为输入参数, 在 CONVERGE 软件中开展了油嘴流动计算。结果表明, 基于测量物性的计算质量流量明显高于基于 C14H30 的计算结果, 燃油密度是影响质量流量的主要参数。同时随着燃油温度的升高, 基于测量物性的质量流量逐渐降低, 而基于 C14H30 的质量流量有所升高。

**关键词:** 燃油物性、油嘴、流动特性、CONVERGE

**Abstract:** In this paper, fuel properties were measured and used for nozzle inflow simulation in CONVERGE software. The result show, the mass flow calculated by measured properties is significantly higher than the result calculated by C14H30, the density is the key parameter affects mass flow calculation; With the fuel temperature increase, the mass flow calculated by measured properties gradually decreases, while the mass flow calculated by C14H30 is increase.

**Key words:** Fuel property, nozzle, flow characteristic, CONVERGE

## 1 引言

油嘴流动计算中, 燃油物理性质作为 CFD 计算的前期输入参数, 是油嘴流动计算开展的基础。燃油物性参数直接影响着燃油雾化、扩散、液滴破碎及蒸发过程。在常规油嘴流动喷雾计算中, 常选用替代燃油 (C14H30) 的物理性质作为物性输入参数进行计算。由于 C14H30 物理性质与柴油物理性质并不完全一致, 因而会影响计算结果的准确性和可靠性。

为分析燃油物理性质对流动计算结果的影响, 本文基于 CONVERGE 软件, 开展了油嘴流动计算, 并考虑实际燃油、试验用油的不同, 分别开展了多种燃油的物性测量, 并将测量结果应用到油嘴流动 CFD 计算中。

## 2 计算模型

本文以某自主共轨喷油器为计算对象, 开展了相应的 CFD 计算分析。

2.1 几何结构及计算网格

图 1 所示为油嘴几何结构，本喷油器喷孔为 8 孔圆周均布排列，在喷油轴向方向，喷孔呈上下两层分布，如图 1 所示，分布于上层的喷孔标记为上层孔，分布于下层的喷孔标记为下层孔。计算网格设置针阀密封面上侧网格尺寸为 0.1mm，针阀密封面以下网格尺寸为 0.0125mm。计算网格总数约为 43 万

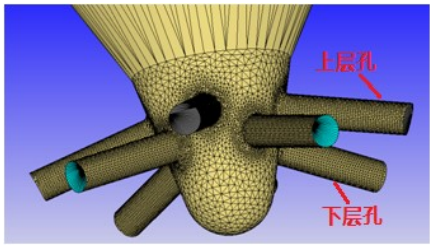


图 1 喷油器几何模型

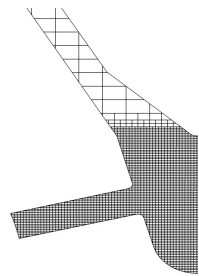


图 2 油嘴计算网格

2.2 模型设置

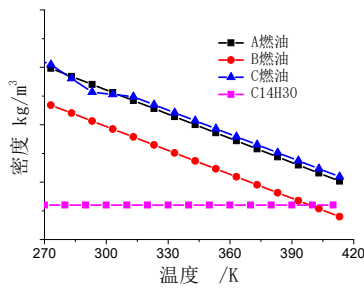
计算选在了喷油压力 120MPa、喷油背压 30bar 工况，由于油嘴内流为瞬态高湍流强度的流动，选择 k-epsilon 湍流模型对计算域的湍流进行求解；同时选择 VOF 模型对喷孔内的空化现象进行模拟。

| 参数     | 设置值                        |
|--------|----------------------------|
| Solver | Transient                  |
| 湍流模型   | k-epsilon 模型               |
| 空化模型   | VOF                        |
| 算法     | PISO，自适应时间步长               |
| 边界设置   | 压力入口：120MPa<br>压力出口： 30bar |

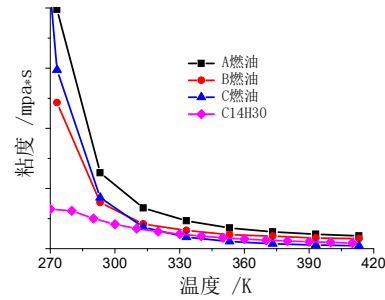
2.3 燃油物性

由于在喷油器油嘴试验测量中常用的燃油与实际应用的燃油有一定不同，因此为分析不同燃油间物性的差别及其对喷油器流动的影响，本文选取了三种燃油开展燃油物性的测量，分别记为 A 燃油、B 燃油和 C 燃油。

在流动计算中，燃油密度和粘度是影响计算结果的关键参数，图 3 所示为计算中常用替代燃料 C14H30 与 A 燃油、B 燃油、C 燃油间密度和粘度的比较，由图可知，在常规计算中常设置 C14H30 密度为定值，而通过测量可知燃油密度均随温度的增大而降低，其中 A 燃油和 C 燃油密度较大，B 燃油密度次之，C14H30 的密度明显低于以上各燃油的密度。图 3（b）所示各燃油粘度随温度的增大而逐渐降低，比较各燃油间粘度的变化，表明 A 燃油的粘度最大，且其随温度的变化幅度最大；而 C14H30 的粘度变化幅度相对较小。本文以各物性的测量值为输入参数开展了油嘴流动的计算分析。



(a) 燃油密度随温度变化曲线



(b) 燃油粘度随温度变化曲线

图 3 不同燃油间物性比较

### 3 计算结果分析

#### 3.1 燃油物性对油嘴流动特性的影响

图 4 所示为不同燃油物性下各喷孔流量计算结果, 比较上下层喷孔流量表明, 上层喷孔流量明显低于下层喷孔, 其主要原因为燃油流经上层喷孔时流动转向的转弯半径较小, 使上层喷孔位置的流动分离趋势增加, 从而使其流量系数降低。

比较不同燃油物性间喷孔流量表明, B 燃油流量最大, A 燃油流量略低于 C 燃油, 且高于 B 燃油和 C14H30 的流量。分析其原因表明, A 燃油和 C 燃油密度相近, 但其粘度高于 C 燃油, 因此其质量流量略低于 C 燃油, 而比较 B 燃油与 C14H30 的流量, 表明 B 燃油密度明显高于 C14H30, 虽其粘度高于 C14H30, 但最终质量流量高于 C14H30 流量, 因此燃油密度对喷孔质量流量的影响作用高于粘度的影响。进一步比较不同燃油间上下层喷孔的流量表明, 采用真实燃油物性计算所得的上下层喷孔间的流量偏差高于 C14H30, A 燃油和 C 燃油的上下层喷孔流量相差达 8%, 而 C14H30 的上下层喷孔流量相差为 7.3%。

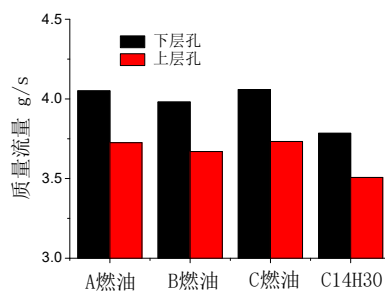


图 4 燃油温度 300K 时上下层喷孔流量比较

图 4 所示为各喷孔间空化分布图, 比较上下层喷孔间空化分布, 表明上层喷孔的空化明显高于下层喷孔, 上层喷孔的上壁面区域空化气相浓度明显高于下层喷孔, 从而使上层喷孔流通面积降低, 流量系数减小, 这与上下层喷孔的流量差别相一致。而比较不同燃油间喷孔的空化表明, 各燃油下空化发生区域基本一致, 表明燃油物性的变化主要对空化强度产生影响, 而对空化发生区域的影响较小。

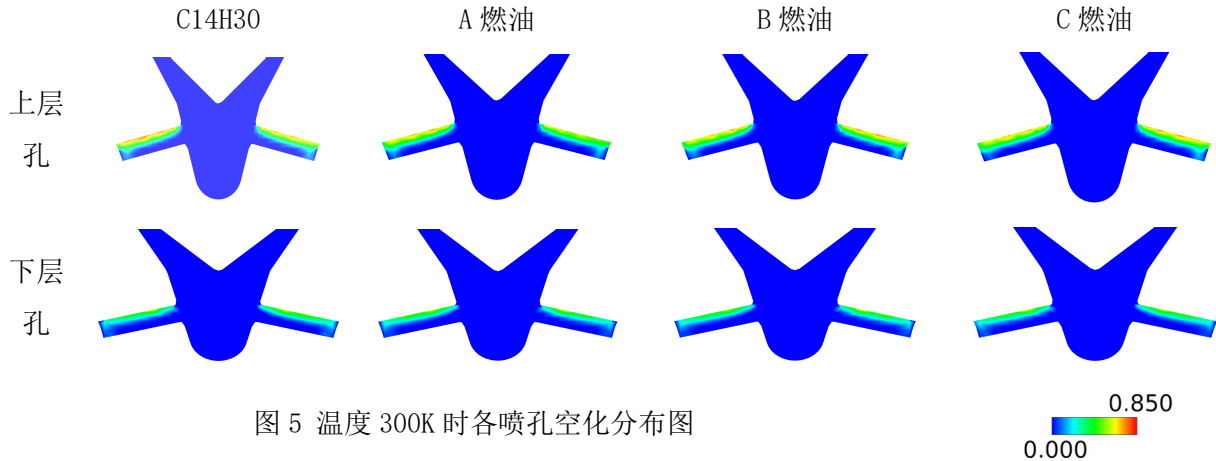


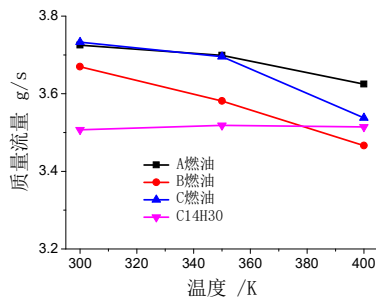
图 5 温度 300K 时各喷孔空化分布图

### 3.2 不同温度下燃油物性的影响分析

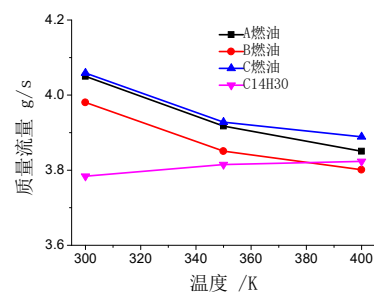
通过对燃油物性的测量表明燃油物性随温度的变化明显，且在共轨喷油器的工作过程中燃油温度也有较大幅度的变化，因此本文对不同燃油温度下的油嘴流动进行分析。

图 6 所示为不同燃油温度下喷孔流量变化曲线，由图可知，C14H30 燃油流量随温度的升高略有提高，油温由 300K 升至 400K 时，C14H30 燃油上层喷孔流量升高 0.2%、下层喷孔流量上高 1%，其主要原因为，随着温度的升高 C14H30 密度不变，而其粘度降低，有利于流动速度的提高，使体积流量略有提高，进而提高质量流量。

而 A 燃油、B 燃油和 C 燃油的流量则随温度的升高而降低，油温由 300K 升至 400K 时 A 燃油、B 燃油和 C 燃油的上层喷孔流量分别降低了 2.7%、5.5%和 5.2%，下层喷孔流量则分别降低了 4.9%、4.5%和 4.2%。各燃油流量的降低应主要与其密度的降低相关，随着温度的升高虽粘度降低，在一定程度上有利于体积流量的提高，但其密度呈线性降低，因此其质量流量有明显降低。



(a) 上层孔



(b) 下层孔

图 6 不同温度下各喷孔质量流量比较

图 7 所示为油温 350K 和 400K 时各喷孔的空化分布图，由图可知在各温度条件下，上层孔与下层孔间的空化均保持有较大差别。与 300K 时各喷孔空化区域比较可知，随着温度的升高，空化强度略有增加，特别在上层喷孔的上壁面区域，随着温度的升高，空化气相浓度有所增大。比较各燃油间的空化强度，

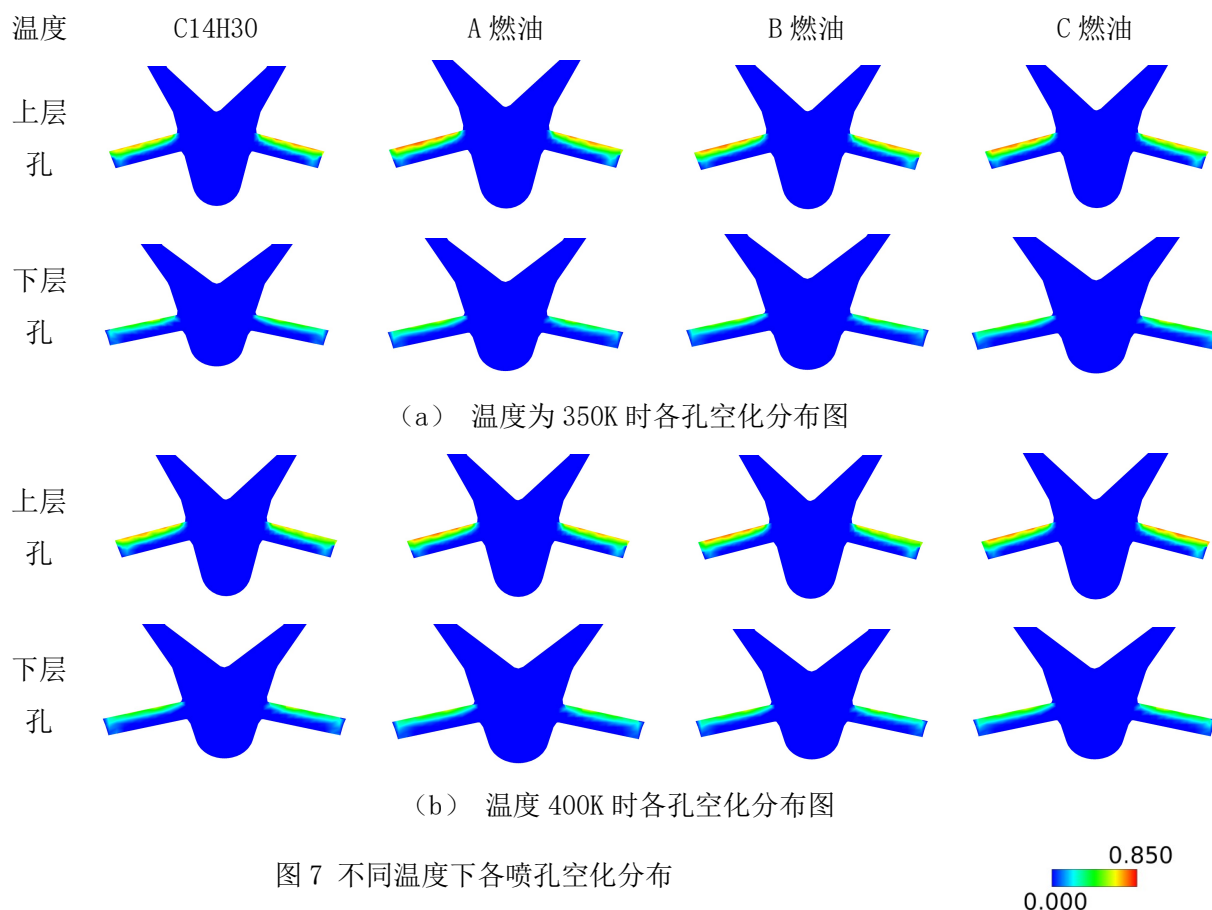


图 7 不同温度下各喷孔空化分布

## 4 结论

采用 Converge 软件建立了油嘴计算模型，并基于对燃油物性的测量结果，开展了不同燃油物性下的油嘴流动计算。计算结果表明：

- 1) 采用真实测量的燃油物性计算所得质量流量均高于基于 C14H30 物性时的结果，其中 A 燃油和 C 燃油的质量流量最高，C14H30 的质量流量最低。燃油质量流量的变化主要受其密度的变化影响。
- 2) 随着燃油温度的提高，采用 A 燃油、B 燃油和 C 燃油物性计算的质量流量逐渐降低；而采用 C14H30 物性时计算的质量流量有所升高。

## 5 参考文献

- [1] 杨海涛, 钟博, 吴月等. 喷孔入口圆角对喷孔内流与喷雾特性的影响研究. 现代车用动力, 2017, 1:1-6.
- [2] 张建明, 张卫刚, 王亚伟等. 柴油高压物理特性的研究. 高压物理学报, 2005, 3:41-44.