

基于不同针阀运动速度的喷嘴内流特性数值模拟

Numerical Simulation of Nozzle Internal Flow Characteristics

Based on Different Needle Motion Velocity

陶一滔，赵文伯，胡宗杰，李治龙*

同济大学汽车学院

摘要: 由于目前缺乏针阀运动速度对喷嘴内流特性的影响相关研究, 本文采用 CONVERGE 软件, 对不同针阀抬升速度条件下的某喷嘴进行了燃油内流数值模拟, 结果发现, 较小的针阀抬升速度会在喷嘴压力室内更快建立压力, 产生较大的流动速度、湍动能, 相应产生更强的空穴现象。

关键词: 喷嘴针阀运动内流特性 CONVERGE

Abstract: Since the lack of research about the influence of needle motion velocity on the internal flow characteristics of injector nozzle, use CONVERGE to do numerical simulation of internal flow characteristics under the circumstances of different needle opening velocity. As results show, slower needle motion establishes pressure in sac more rapidly and increases flow velocity and turbulence kinetic energy, which consequently intensifies cavitation phenomenon.

Key words: Nozzle, Needle motion, Internal flow characteristics, CONVERGE

引言

随着我国汽车保有量迅猛增长^[1], 燃油消耗加快与尾气排放导致大气污染加剧。为了节省燃油消耗, 降低汽车排放, 优化发动机的喷雾及燃烧过程具有重要意义。发动机的燃烧过程直接受燃油喷射雾化效果影响, 而燃油的雾化效果又直接受到燃油在喷嘴内部流动特性的影响^[2-5], 故研究喷嘴的内部流动特性具有指导意义。

喷嘴内部针阀运动特性会对燃油的内部流动特性产生影响。解方喜等人^[6]针对某扩孔喷油器利用数值模拟研究了喷油嘴内的针阀运动对燃油的内流特性的影响, 结果发现, 在针阀开启初期, 针阀座与喷孔壁面间产生大量空穴, 而喷孔内部无明显空穴产生; 随着针阀进一步抬升, 空穴逐渐向喷孔出口发展。何志霞等人^[7]利用动网格技术对某柴油机喷嘴内流特性进行数值模拟研究, 得出了和上述相似的结论, 另外, 湍流强度随着针阀抬升而增强, 当针阀全开时, 湍流强度不再有明显增加。张现成等人^[8]对某高压旋流喷油器的内流特性进行数值模拟研究, 结果发现空穴的产生与流速具有紧密联系。F.J.Salvador 等人^[9]通过数值模拟研究了固定 10 个不同针阀升程条件下的柴油机喷嘴的内流特性, 发现高低针阀升程条件下, 燃油的质量流量变化规律不同, 经分析, 这是由于空穴特性不同导致的。另外, 根据流场分析, 对于高针阀升程, 空穴集中在喷孔上表面, 而对于低针阀升程, 空穴集中在喷孔下表面。Chuqiao Wang 等人^[10]通过 CFD 软件研究了针阀偏心对多孔柴油机喷嘴的各孔内流特性的影响。结果表明, 针阀的偏心会造成各喷孔内空穴分布、燃油喷射率的严重不均匀分布, 特别是在针阀升程较低时影响尤为明显。靠近针阀的喷孔, 由于燃油流通面减小, 阻塞增加, 故空穴现象相较于其他几个喷孔更强。随着针阀逐渐抬高, 不均匀程度有所降低, 各孔分布逐渐趋于相同。

作者简介: 陶一滔, 男, 硕士研究生. E-mail: taoyt_12345@163.com

*通讯作者: 李治龙, 男, 助理教授. E-mail: lizhilong@tongji.edu.cn

然而,关于针阀开启速度对于喷嘴燃油内部流动特性的影响,还缺乏相关研究,故研究不同针阀开启速度对内流特性的影响有重要意义。本文基于 CONVERGE 数值模拟软件,对某喷嘴在不同针阀开启速度条件下的燃油内流特性进行研究,从而为燃油喷射控制策略提供理论支持。

1. 数值模型及网格

本文基于 CONVERGE 中的 Spray G 数值模型进行研究,三维模型如图 1 所示。模型主要包括:入口边界,出口边界,喷嘴壁面,针阀,喷孔。其中,喷嘴壁面与针阀表面之间形成燃油流动通道,当针阀闭合时,针阀头部与阀座贴合,针阀头部与喷嘴壁面间形成压力室,截面图如图 2 所示。该喷嘴共有 8 个喷孔,每个喷孔形状、尺寸均一致,沿圆周均匀分布。

网格基础尺寸 dx , dy , dz 均为 0.3mm,在整个模型除喷嘴壁面与针阀挺杆表面以外,均采用自适应加密网格,加密级数为 1。

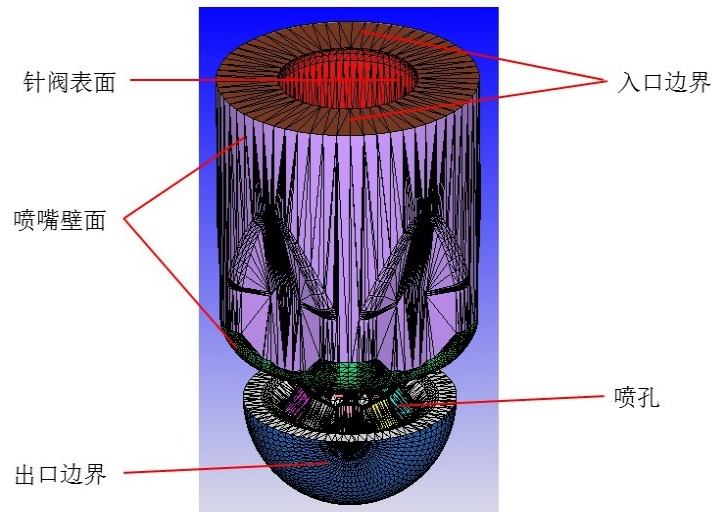


图 1 三维数值模型

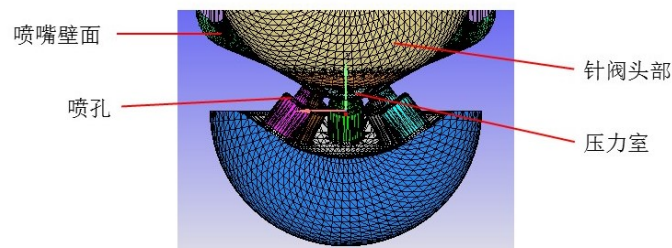


图 2 喷嘴截面

2. 边界及初始条件

入口边界压力为 20MPa，温度为 363.15K，物质为 99.998%的异辛烷和 0.002%的氮气，出口压力（即环境背压）为 0.6MPa，温度为 303K，物质为纯氮气。所有壁面的热边界条件为第一类边界条件，温度恒定为 363.15K，另外，除了针阀头部，其余所有壁面均为静止壁面，而针阀表面采用运动边界条件，针阀运动通过输入针阀运动曲线实现。本文采用三种不同的针阀升程曲线，并认为针阀无横向振动。三种不同的针阀升程曲线如图 3 所示。定义针阀抬升速度 $v=1238.1\mu\text{m}/\text{ms}$ 为工况 a，抬升速度 $v=776.1\mu\text{m}/\text{ms}$ 为工况 b，抬升速度 $v=565.2\mu\text{m}/\text{ms}$ 为工况 c，对比三种工况，相同的针阀升程高度条件下，内流特性情况。

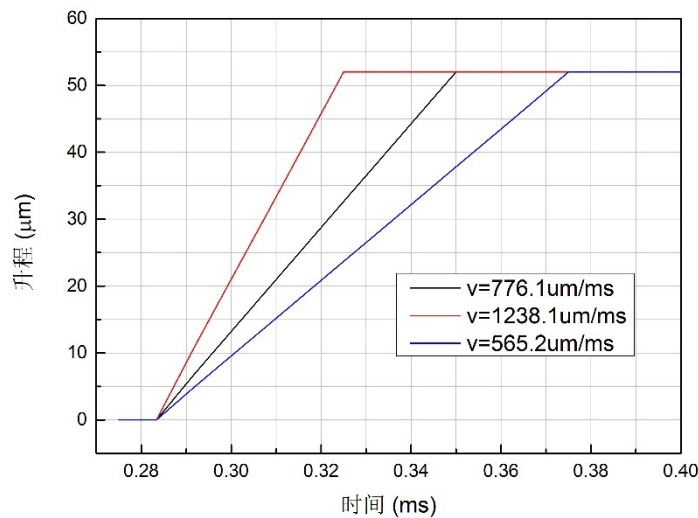


图 3 针阀升程曲线

3. 结果分析

本文分析相同的针阀升程条件下，不同针阀抬升速度对于喷嘴内部燃油流动特性的影响。由于 a、b、c 两种工况针阀抬升速度不同，故相同的针阀升程高度，对应三种工况的时刻不同，本文选取工况 a、b、c 的时刻点如表 1 所示。

表 1 相同升程不同抬升速度时刻选取

针阀升程/ μm	工况 a 时刻/ms	工况 b 时刻/ms	工况 c 时刻/ms
7.0212	0.288	0.292	0.296
16.3344	0.296	0.304	0.312
25.6476	0.304	0.316	0.328
34.9608	0.312	0.328	0.340

3.1 针阀抬升速度对压力的影响

针阀抬升速度对压力室的压力建立速率的影响如图 4 所示，图中时间的单位为 s，压力的单位为 Pa。在针阀抬升初期，工况 a 的压力室压力无明显变化，而工况 b 和工况 c 的压力室都建立起明显的压力；在针阀抬升中期，工况 a 压力室的压力较小，工况 c 的压力最大。这说明，针阀抬升速度越小，压力室的压力建立速率越大。

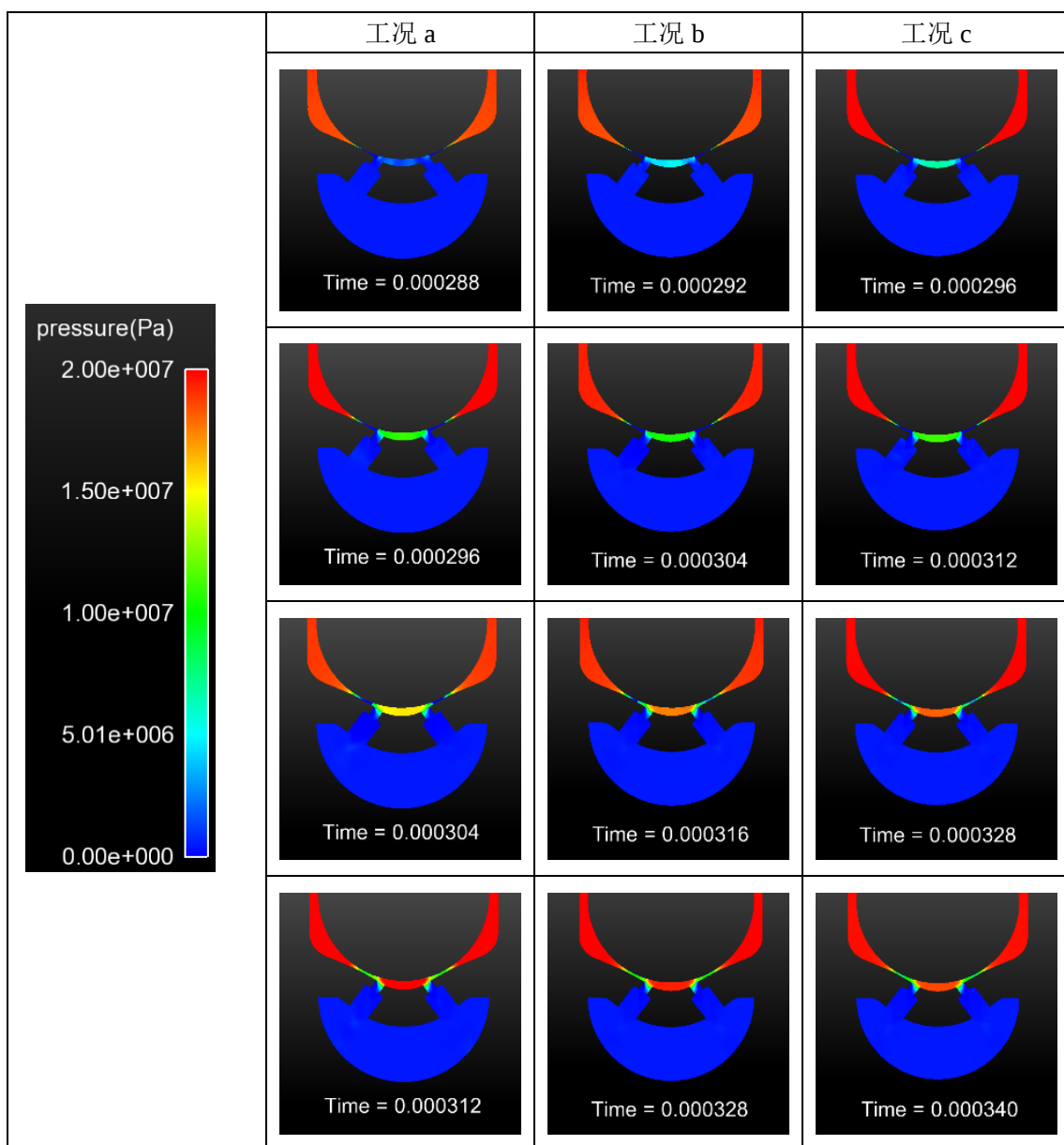


图 4 抬升速度对压力的影响

3.2 针阀抬升速度对流场的影响

针阀抬升速度对喷孔内部流场分布的影响如图 5 所示，图中的时间单位均为 s，速度单位为 m/s。在针阀抬升初期，工况 a 的较高速区域未充满整个喷孔，而工况 b 和工况 c 的较高速区充满了整个喷孔；在针阀抬升中期，工况 a 的较高速区延伸长度相较于工况 b 和工况 c 更短；在针阀抬升后期，工况 a 在沉孔处未形成明显回流区，工况 b 在右侧沉孔上表面处形成高速回流区，工况 c 在左右两侧沉孔上表面均形成高速回流区。以上分析表明，较低的针阀抬升速度会加大喷孔内部燃油流动速度。

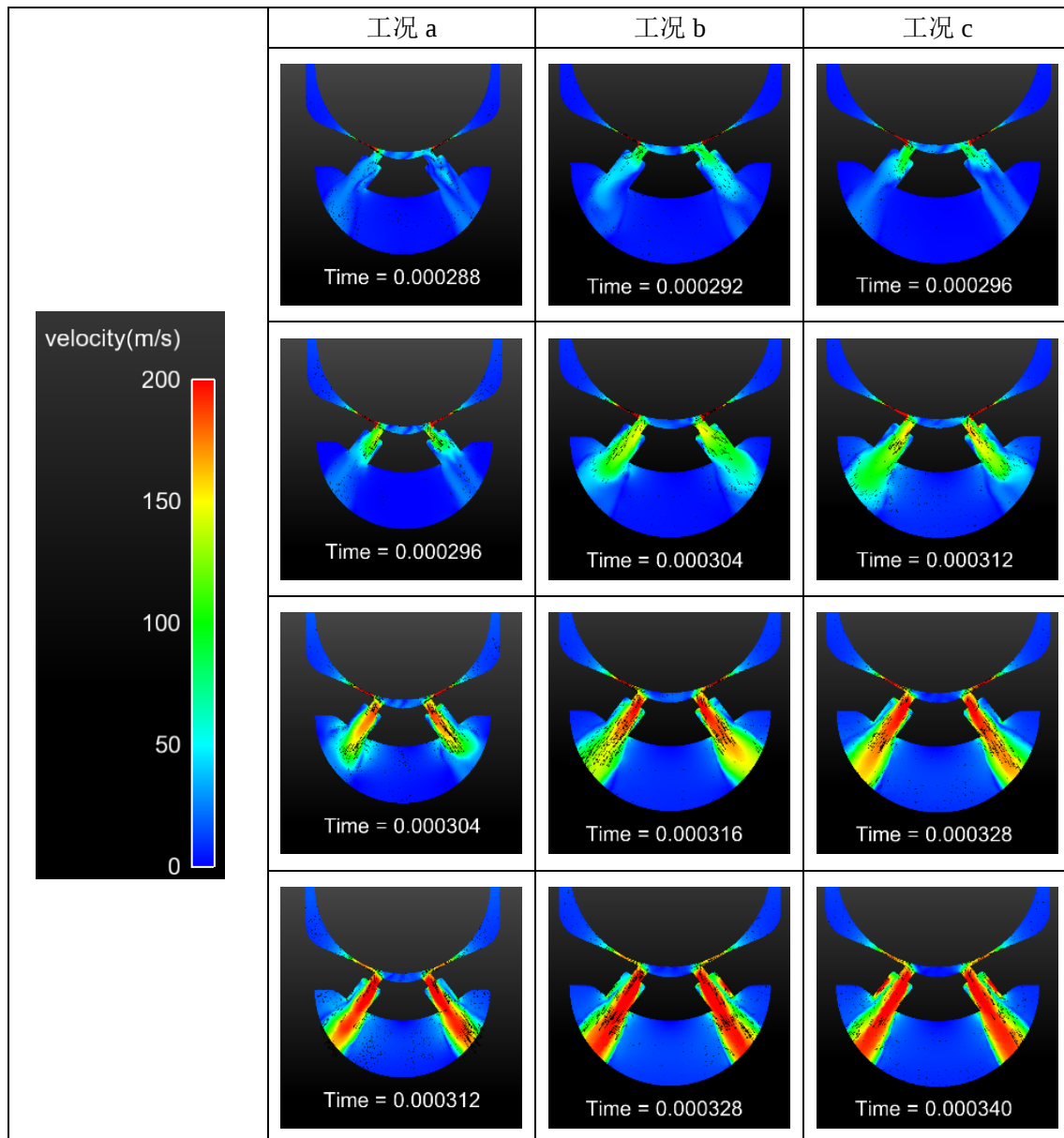


图 5 抬升速度对流场的影响

3.3 针阀抬升速度对湍动能的影响

针阀抬升速度对湍动能的影响如图 6 所示，图中的时间单位均为 s，tke 为湍动能，单位为 m^2/s^2 。在针阀抬升中期，工况 c 在沉孔处最先出现高湍动能区，而后是工况 b 出现高湍动能区，工况 a 在运动中期未出现明显的高湍动能区；针阀抬升后期，三种工况均产生了高湍动能区，但是，工况 c 的高湍动能区从沉孔延伸至计算域出口，而工况 a 的高湍动能区延伸长度明显最小。以上分析说明，较低的针阀抬升速度会形成更强的湍动能。

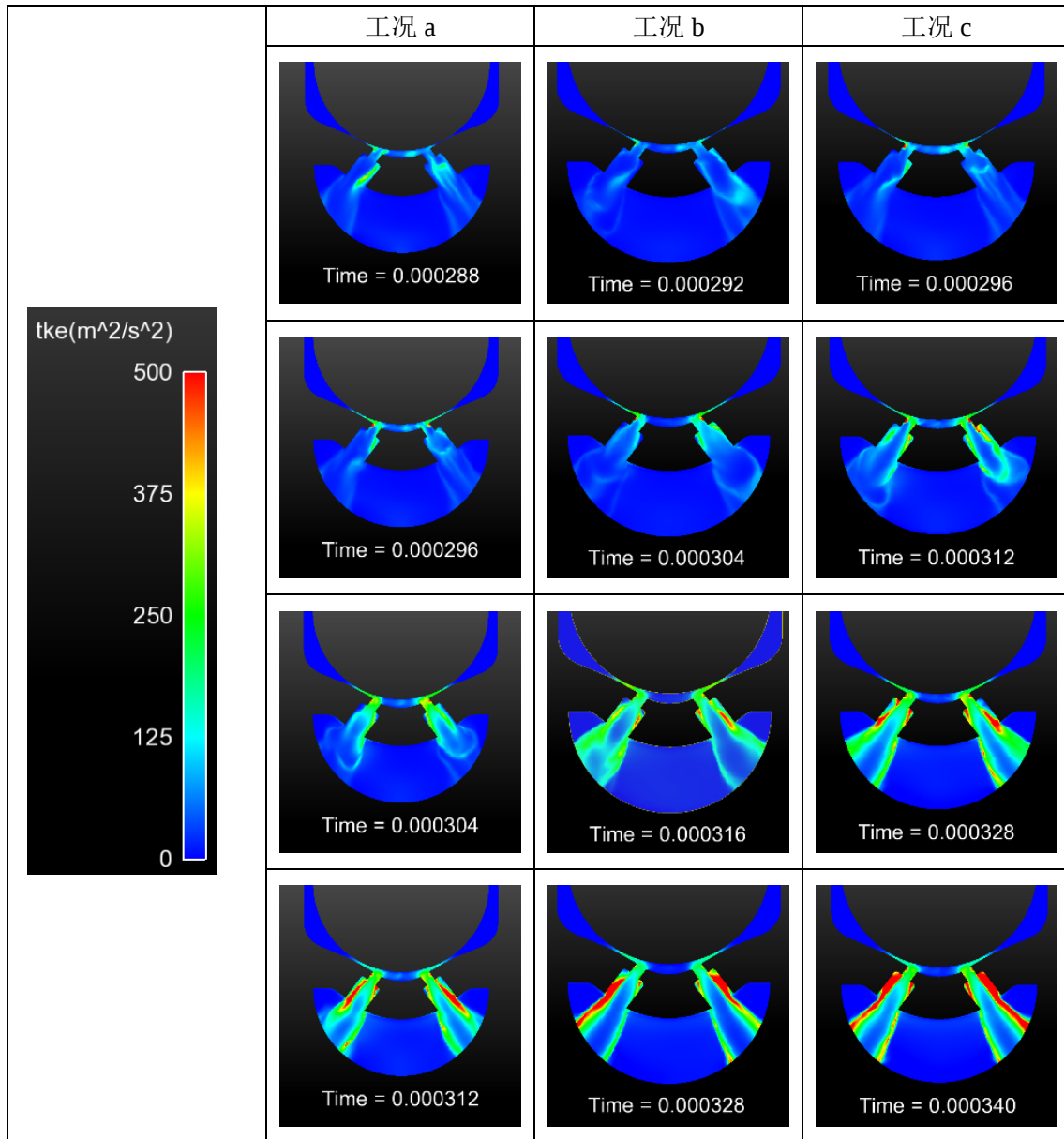


图 6 抬升速度对湍动能的影响

3.4 针阀抬升速度对空穴特性的影响

针阀抬升速度对喷孔内部燃油流动特性的影响如图 7 所示, 图中的时间单位均为 s, α 为空穴体积分数。在针阀抬升初期, 工况 a 和工况 b 喷孔入口处未形成空穴, 而工况 c 喷孔入口处形成明显的空穴; 随着针阀进一步抬升, 工况 a 和工况 b 开始形成空穴, 工况 c 空穴逐渐发展, 三种工况的空穴分布趋于一致。以上现象表明, 较低的针阀抬升速度更有利于喷孔内空穴的形成。另外, 三种工况条件下, 空穴均集中在喷孔上表面。

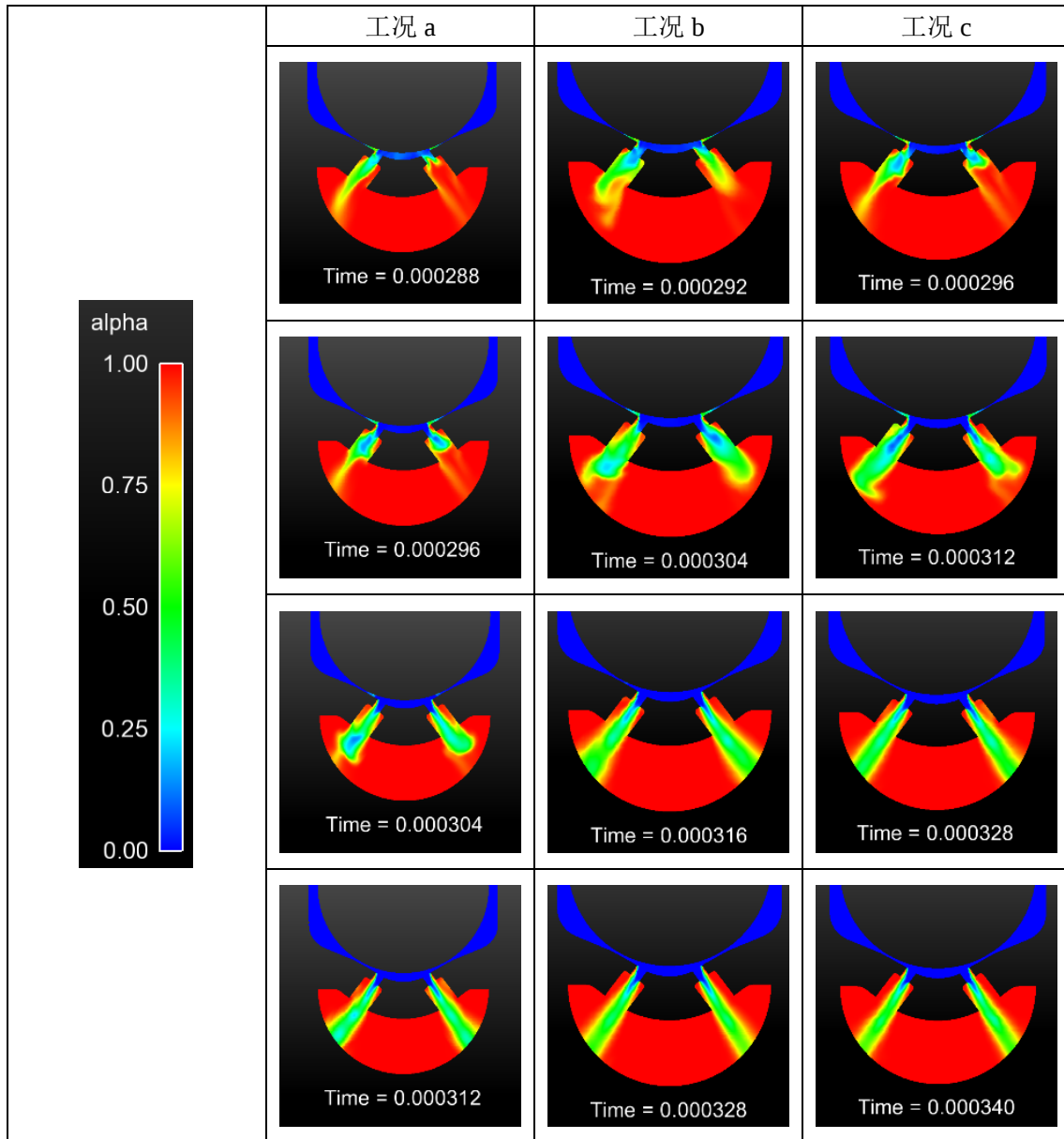


图 7 针阀抬升速度对空穴特性的影响

4. 总结

通过对比同样针阀升程高度,不同针阀抬升速度条件下的喷嘴内流特性,发现针阀抬升速度对于喷嘴压力室的压力建立、喷孔内部流场分布、湍动能强度、空穴发展均有影响:

1. 较小的针阀抬升速度会加快压力室的压力建立;
2. 较小的针阀抬升速度会加大喷孔内部燃油流动速度;
3. 较小的针阀抬升速度会形成更强的湍动能;
4. 较小的针阀抬升速度更有利于喷孔内空穴的形成,另外,空穴均集中在喷孔上表面。

5. 参考文献

- [1] 顾文娟. 我国汽车保有量快速增长对石油需求的影响研究[D]. 北京交通大学, 2016
- [2] Payri R, Salvador F J, Gimeno J, et al. Diesel nozzle geometry influence on spray liquid-phase fuel penetration in evaporative conditions[J]. Fuel, 2008, 87(7):1165-1176.
- [3] Ghiji M, Goldsworthy L, Brandner P A, et al. Numerical and experimental investigation of early stage diesel sprays[J]. Fuel, 2016, 175(1):274-286.
- [4] 张军, 何志霞, 王谦. 喷嘴形状对喷嘴内流及喷雾特性的影响研究[J]. 国外内燃机, 2017, 49(02):54-58
- [5] 刘芬. GDI 喷嘴内流及喷雾特性的研究[D]. 华中科技大学, 2012
- [6] 解方喜, 姚卓彤, 胡雪松, 等. 针阀运动和油压波动对燃油喷雾特性的影响[J]. 吉林大学学报(工), 2013, 43(4):897-902.
- [7] 何志霞, 钟汶君, 黄云龙, 等. 针阀运动对柴油机喷嘴瞬态流动特性的影响[J]. 内燃机学报, 2012(4):336-342.
- [8] 张现成, 许伯彦. 考虑针阀运动的 LPG 高压旋流喷油器内外流动过程的数值解析[J]. 内燃机学报, 2013(3):228-234.
- [9] Salvador F J, Martínez-López J, Caballer M, et al. Study of the influence of the needle lift on the internal flow and cavitation phenomenon in diesel injector nozzles by CFD using RANS methods[J]. Energy Conversion & Management, 2013, 66(3):246-256.
- [10] Chuqiao Wang, Adams M, et al. The influence of eccentric needle movement on internal flow and injection characteristics of a multi-hole diesel nozzle[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2018, 117:818-834.