

燃油喷射规律对缸内浓度场、流场的影响

Effect of Fuel Injection Rule on Concentration and Velocity field in Cylinder

段加全

一汽集团技术中心

摘要

本文利用商业流体力学软件 STAR-CD 对不同喷油规律下柴油机的缸内燃烧过程进行了模拟分析,对比分析了预喷和原机喷油规律对缸内燃油蒸汽浓度场、流场的影响

关键词: STAR-CD、柴油机、预喷、模拟

Abstract

The combustion process of diesel engine with different injection rules was simulated with a commercial computational fluid dynamics software STAR-CD.. The effects of pilot and original injection rules on fuel concentration and velocity field were compared and analyzed.

Keywords: STAR-CD、diesel engine、pilot injection、simulation

1、 CFD 数值模拟的意义

CFD 是计算流体动力学的简称,它是伴随着计算机、数值计算技术的进步而发展起来的。它周期短、见效快、成本低,能模拟各种不同工况的真实条件,还能对理想条件进行“模拟试验”,提出趋势预测。对目前应用最广泛的直接喷射式柴油机来说,喷油规律对燃烧过程的进展有重大影响^[1]。喷油规律对发动机的影响大都缺乏对柴油机工作过程微观层面的理解;此外,确定与发动机匹配的最优喷油规律周期长、成本高。而对发动机缸内过程进行数值模拟能提供缸内所有相关变量详尽而又完备的资料^[2,3],找出燃烧组织不利之处,并采取相应措施改善燃烧。

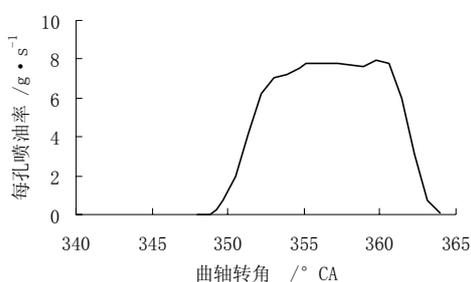
2、 模拟初始条件的设定及模型准确性验证

2.1 初始条件

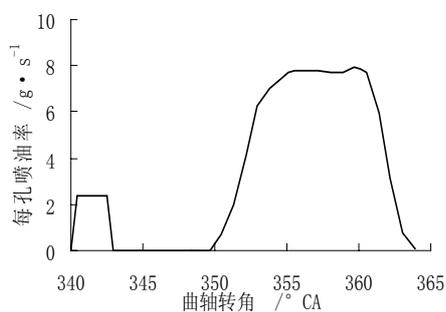
本研究对象为 CA6DL2-37 柴油机，所选用工况为 1400r/min、50% 负荷。

由于不是模拟完整的工作循环，故需给出计算起始点的缸内温度和压力。压力由实测得到。温度由计算得到。原机喷油规律由实测得到。带预喷的喷油规律由计算得到。查阅相关资料^[5]，五十铃认为预喷量/主喷量的值在 5%~8% 之间比较好，Bosch 的试验则表明应小于 2%。本文选 8% 和 2% 两种。理想的预喷、主喷间隔应使预喷的产物处于容易被主喷的初始燃油喷注卷吸的位置^[6]，本文选用小间隔（0.5° CA）和大间隔（5.5° CA）两种。

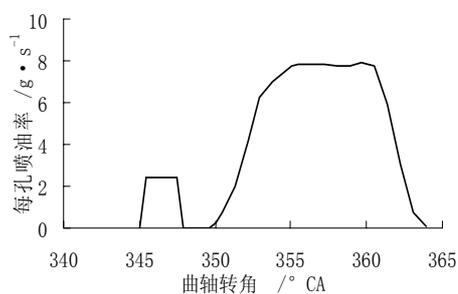
参考文献[7]，拟定模拟用喷油规律曲线如图 1：



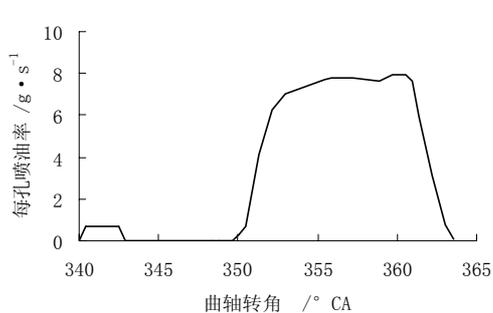
a) 原机



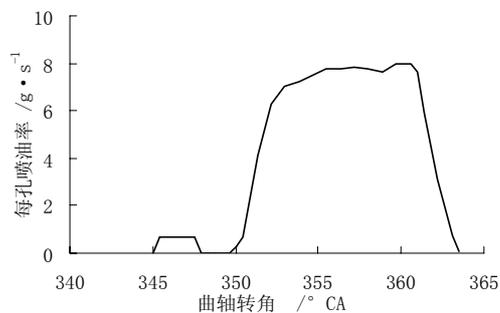
b) 8%，大间隔



c) 8%，小间隔



d) 2%，大间隔



e) 2%，小间隔

图 1 模拟研究中所用的喷油规律

2. 2 模型选择准确性验证

通过调整参数，使模拟输出的压力曲线和试验得到的压力曲线相接近。从图 2 中可以看出，模拟结果与试验结果吻合较好，说明所选模型和计算方法合理。

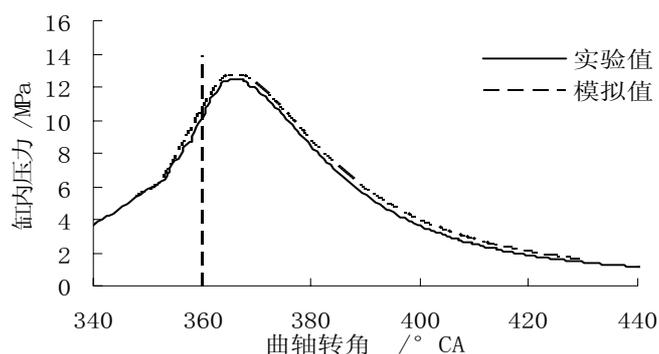


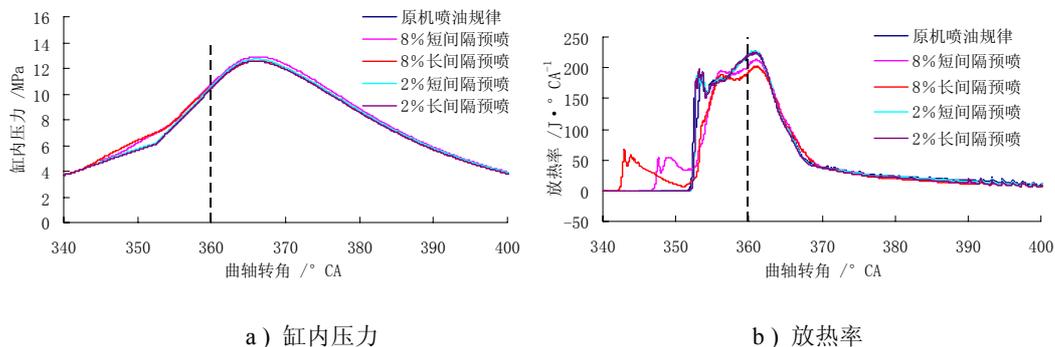
图 2 模拟计算结果与试验结果的比较

3、 模拟结果分析

3. 1 宏观参数

本文对 1400r/min、50% 负荷工况的原机喷油规律，8% 预喷量长、短间隔预喷，2% 预喷量长、短间隔预喷五个工况点进行数值模拟。

通过数值模拟，可以计算出缸压、放热率等宏观参数。



a) 缸内压力

b) 放热率

图 3 宏观参数计算结果

1 缸内压力

从模拟计算出的示功图上可看出各工况的压力峰值及峰值所在的曲轴转角都没有太大的差别。各工况的燃烧始点有所不同，8%预喷的燃烧始点早于原机喷油规律的，且长间隔的早于短间隔的，说明预喷燃油在主喷前已经着火，从放热率曲线能更清楚看到这一点。

2 放热率

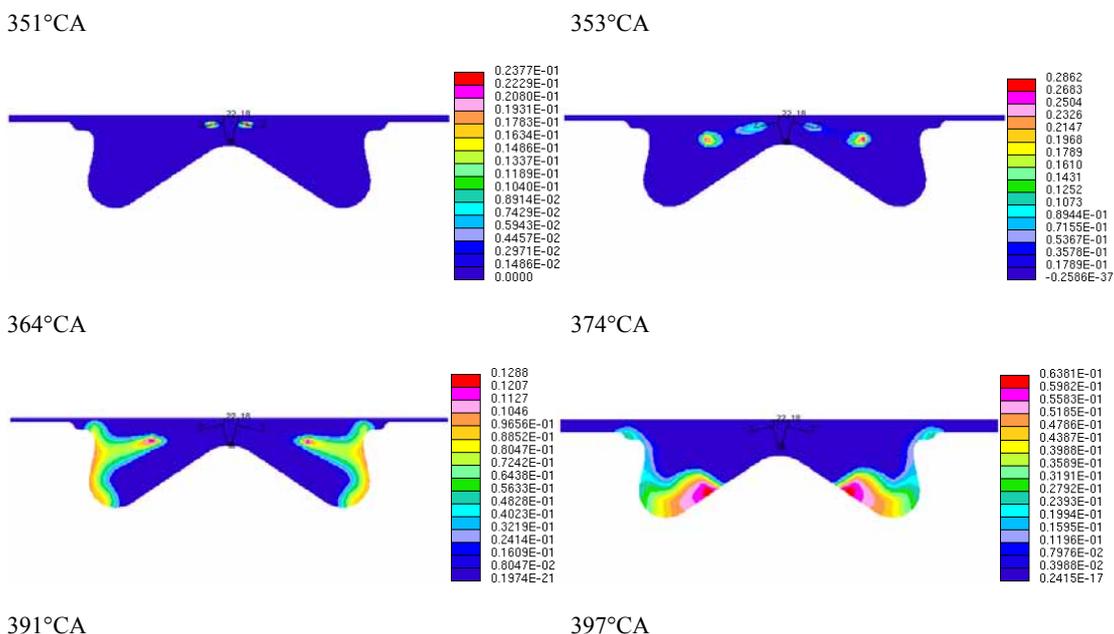
原机喷油规律工况的放热率曲线从开始燃烧到达到第一个峰的初始阶段斜率较大。8%预喷工况的放热率曲线第一个峰是由预喷燃烧造成的，峰值较小。这由于预喷阶段的喷油量小，形成的可燃混合气的量少。预喷燃烧使主喷初期雾较快，滞燃期缩短，抑制了的预混合燃烧，使燃烧初期的放热率相对较慢。可以看到8%预喷量的主喷初期燃烧放热率的斜率较低。2%预喷工况的放热率曲线和原机的相差不大。主要由于预喷燃油和主喷燃油一起燃烧，而没有在主喷前着火。

3. 2 微观参数

对计算结果进行后处理，可以显示各种微观场，如图4~11所示。

1 蒸汽浓度场

原机喷油规律工况



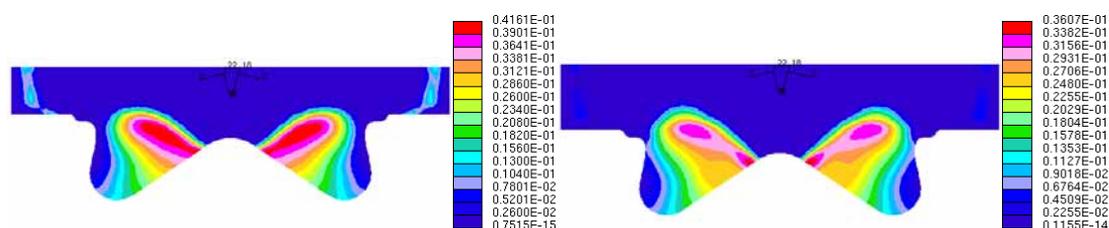


图 4 原机喷油规律工况的蒸汽浓度

喷油初期速度较小，易雾化；随后喷油速率增大，形成相对不易雾化油束主体；油束向前运动一段时间后，头部从油束剥离下来，达到某一贯穿距离之后才产生大量蒸汽；喷油接近结束时油束尾部也脱落雾化。蒸汽撞壁后沿壁面运动，一部分向上进入余隙，但伸入不多就被燃烧掉了，至 397°CA 时这部分蒸汽已燃烧殆尽；另一部分向下形成滚流，391°CA 时这部分蒸汽的剩余部分又运动到燃烧室上部。虽然它的量不大，但排放中的大部分 soot 却由它们产生。为组织更合理的缸内流动，改善燃烧，降低排放，优化燃烧室结构是值得深入模拟研究的课题。

8% 预喷量短间隔预喷工况

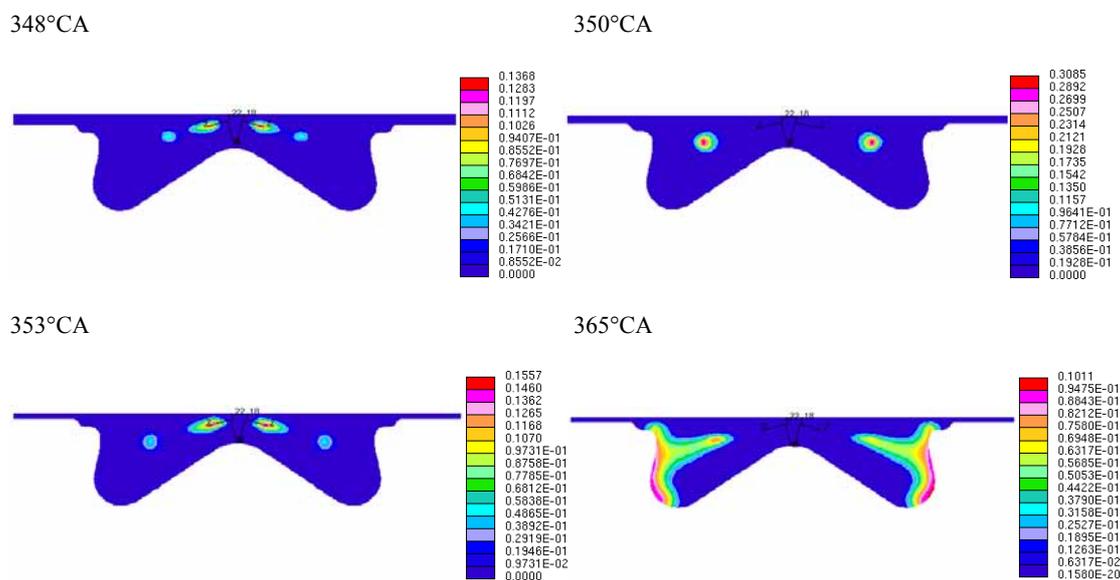


图 5 8% 预喷量短间隔预喷工况的蒸汽浓度

喷油过程明显分两个阶段。预喷燃油喷出后蒸汽增多，但随后发生着火，部分蒸汽燃烧掉了，预喷临近结束时尾部蒸发和燃烧都较快，于是在图中出现了预喷只剩下头部蒸汽的情形。总体来说，预喷阶段燃油喷油量，喷射速度小，贯穿距离较小，蒸汽没有到达壁面便已经接近燃尽。主喷阶段蒸汽与原机喷油规律的相似。

8%长间隔预喷工况由于预喷和主喷间隔较大，预喷部分有足够时间燃烧，到 351°CA 时，气缸内已经只有极少一部分蒸汽，且浓度很低。主喷燃油中、后期的雾化和短间隔的情况基本相同。

2%预喷量短间隔预喷工况

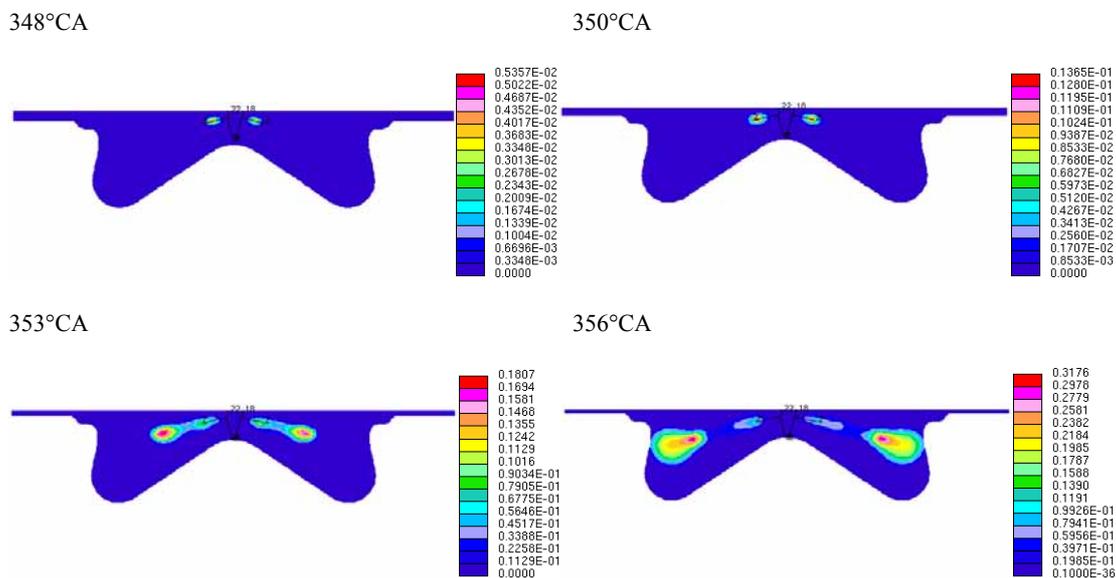


图 6 2%短间隔预喷工况的蒸汽浓度

2%短间隔预喷工况的蒸汽浓度在从预喷开始到 350°CA 主喷已经开始的区间内，缸内蒸汽浓度都很低，在主喷开始后蒸汽浓度的变化和原机基本相同，没有明显区别。

2%长间隔工况的与 2%短间隔工况的相似，不同之处在于长间隔工况在主喷开始前产生的蒸汽虽然也很少，但沿油束方向略有向前传播。

2 流场

原机喷油规律工况



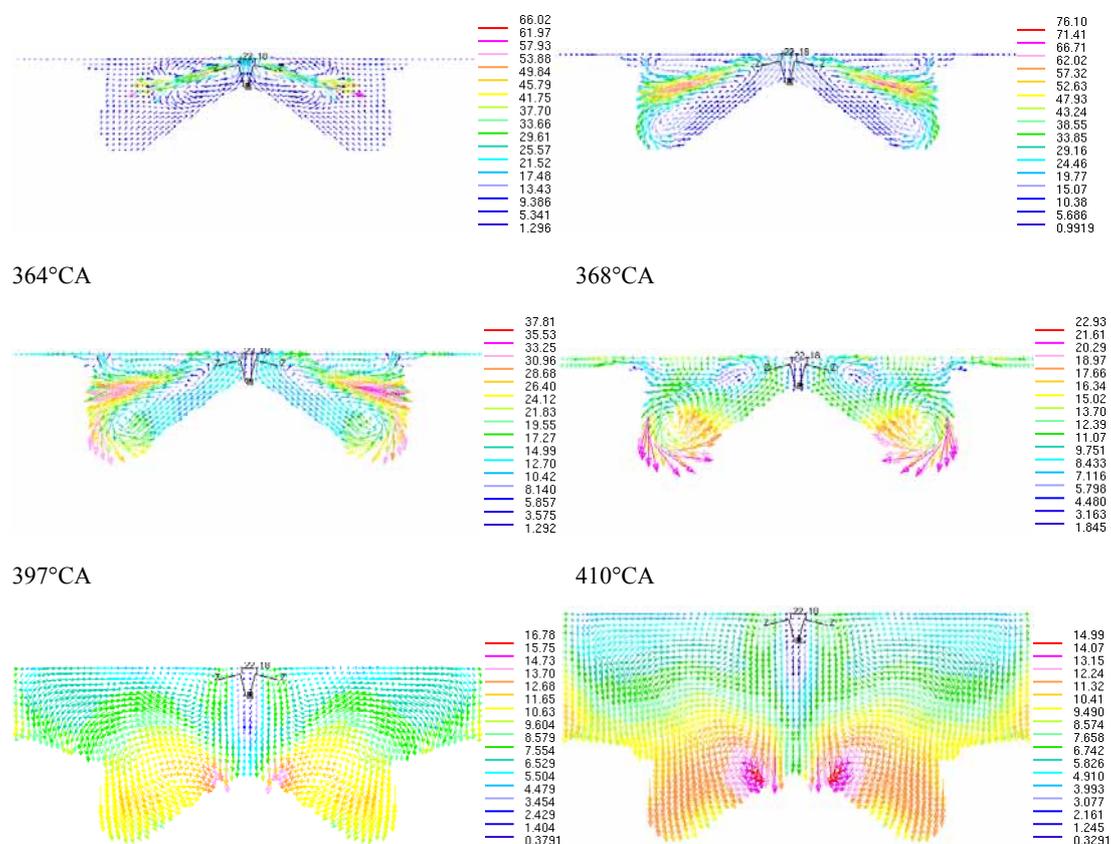


图 9 原机喷油规律工况的流场

燃油喷入气缸时，对缸内气体造成较大扰动。油蒸汽撞壁后分成两部分，速度都降低很多，向下的部分形成滚流且保持了相对较高的速度，这正是图 4 中蒸汽运动到燃烧室上部的原因；向上的部分速度较低且基本上都向余隙中运动。喷油中期油束速度较大，使得向下运动形成的滚流沿 ω 型壁面一直折回到喷油嘴附近，才又沿油束方向运动，到 364°CA 时油束根部速度大大降低，368°CA 时向下运动的滚流速度占了优势。总体来说滚流强度不断下降，最后几乎所有的气体都随活塞一起向下运动了。综上所述， ω 型凹坑形状与油束喷入角度及贯穿距离的匹配对形成滚流的位置强度等有很大的影响，从而对油气混合质量尤其在后期起着重要作用。

.8%预喷量短间隔预喷工况的流场随曲轴转角变化历程

347°CA 349°CA

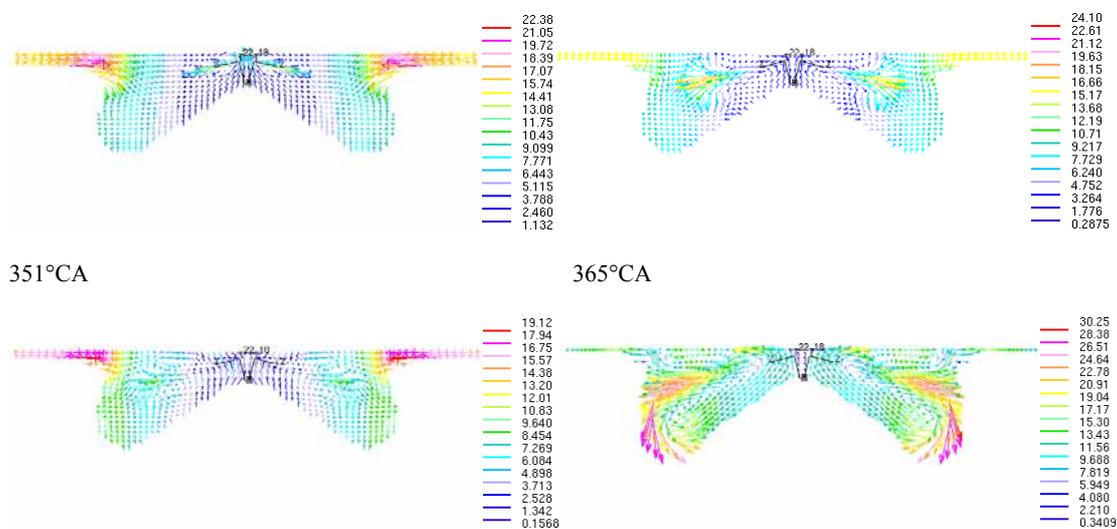
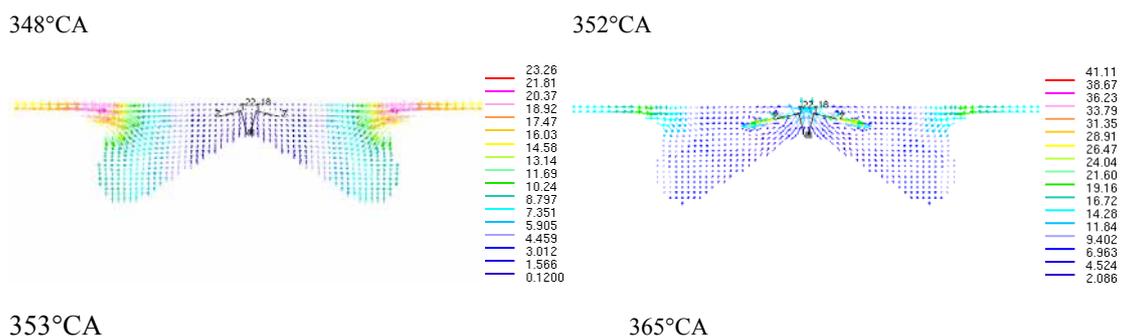


图 10 8%预喷量短间隔预喷工况的流场

可以看出，预喷对流场影响不大，贯穿距离比较短。这是由于预喷阶段的燃油量少，速度低，对缸内气体扰动小。预喷对缸内流场的影响只是前期的、局部的，从整体上来说影响不大。

8%长间隔工况的与短间隔的不同之处在于，长间隔工况的预喷对气体扰动基本消失以后主喷才开始，缸内流场变成较平稳一段时间以后，才有主喷速度出现。

.2%预喷量短间隔预喷工况的流场随曲轴转角变化历程



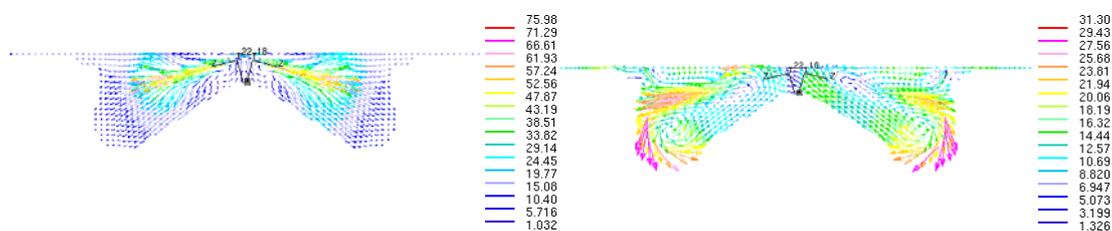


图 11 2%预喷量短间隔预喷工况的流场

由于预喷量太小，对缸内气流的扰动还没有活塞对气体的挤流运动强烈，预喷对整体的缸内流场几乎没有影响。2%长间隔预喷工况的变化历程和短间隔的极为类似，这里就不再重复叙述。

4、 总结

本文用 STAR-CD 对 CA6DL2-37 柴油机五个工况点的缸内燃烧情况进行了模拟研究，从模拟计算结果中发现：

1. 预喷可以降低预混合燃烧放热率峰值，减小燃烧初期放热率斜率，对抑制 NO_x 的生成有利。
2. 有预喷时，预喷速度小容易形成混合气，蒸汽没有到达壁面便已经接近燃尽。主喷蒸汽与原机情形相似。
3. 喷油速度很高，对缸内气体造成较大扰动。预喷对后期缸内流场影响不大。

5、 主要参考文献

- [1] 周龙保, 刘巽俊, 高宗英. 内燃机学. 机械工业出版社. 2005. 1
- [2] 沈俊, 傅立敏, 黎妹红, 王靖宇. CFD 软件及其在汽车领域的应用. 汽车研究与开发. 2000 年第 5 期, 26 ~ 28
- [3] 王锡斌, 蒋德明, 董学尧. 内燃机工作过程数值模拟中的 CFD. 拖拉机与农用运输车. 2002 年 4 期, 32 ~ 34
- [4] STAR-CD 通用流体分析软件包. 日本西迪阿特有限公司
- [5] 王钧效, 王桂华, 陆家祥, 张锦杨. 直喷式柴油机喷油率成型技术分析. 内燃机燃油喷射和控制. 2001. 2
- [6] 杨林, 卓斌, 肖文雍, 冒晓建, 王俊席. 高压共轨电控柴油机燃油预喷控制研究. 内燃

机.2004.3

- [7] 汪洋, 苏万华, 谢辉, 孙芳, 林铁坚, 裴毅强. 共轨蓄压式电控喷射系统的喷油规律对发动机燃烧特性及排放性能的影响. 内燃机学报. 2002.3