

直喷汽油机的喷雾标定及喷雾落点影响研究

Spry Calibration and Study of Spray Pattern influence of GDI Engine

广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院

武珊 韦静思 孙辉国 冶麟

摘要: 本文采用三维流体分析软件 CONVERGE, 对一款直喷汽油机的缸内流动和喷雾进行计算和分析。基于定容弹喷雾测试数据完成对喷雾的标定, 计算喷雾模型在贯穿距、SMD 和喷雾形态上与试验取得较好的一致性。在此基础上计算和分析了三个喷雾落点方案对缸内流场、壁面油膜和混合气分布的影响, 指导喷油器选型和喷雾优化。

关键词: 直喷 喷雾 缸内流场 油膜 混合气

Abstract: This paper simulated and analyzed in-cylinder flow and spray of a GDI engine by using CFD software CONVERGE. According to spray box test results, the spray model was calibrated. Penetration, SMD and figure were almost the same with the test results. Based on the calibrated spray model, three spray patterns were compared through simulation and analysis of in-cylinder flow, wall film and mixture distribution which helped the injector selection and optimization.

Key words: Direct injection; Spray; In-cylinder Flow; Film; Mixture

1. 引言

直喷汽油机 (GDI) 由于其良好的经济性和排放性能, 受到越来越多汽车厂商的青睐, 已逐渐成为汽车市场的主流发动机。

GDI 发动机将燃油直接喷射到气缸内, 相比气道喷射发动机, 面临着油气混合时间短、燃油碰壁等问题, 不合理的油束设计会导致缸内气流运动强度下降、壁面油膜量大、混合气不均匀, 直接影响发动机的油耗和排放。因此 GDI 发动机开发过程中, 油束匹配设计至关重要。

采用三维 CFD 仿真软件模拟缸内喷雾、油气混合及燃烧过程, 可以评价和分析缸内气流运动和壁面油膜量, 进行油束匹配分析和优化。本文采用缸内过程专用仿真软件 CONVERGE 模拟一款 GDI 发动机的缸内流动、喷雾和过程, 分析不同喷雾落点对缸内气流运动、混合气形成、壁面油膜等的影响, 指导喷油器选型和喷雾落点优化。

2. 计算模型和边界条件

研究对象为一台 1.5L 直列四缸增压直喷汽油机, 针对低速扭矩点 1500 全负荷, 采用 converge 进行缸内流动、喷雾计算和分析。

2.1 计算网格

基础网格尺寸 4mm, 缸内固定加密至 1mm, 进出口边界加密两层加密至 1mm, 油束附近加密至 0.5mm; 整个计算域应用自适应网格加密, 有效提高计算精度和保证计算时间。最大网格数约 120W, 压缩上止点网格数约 12W, 计算网格如图 1 所示。

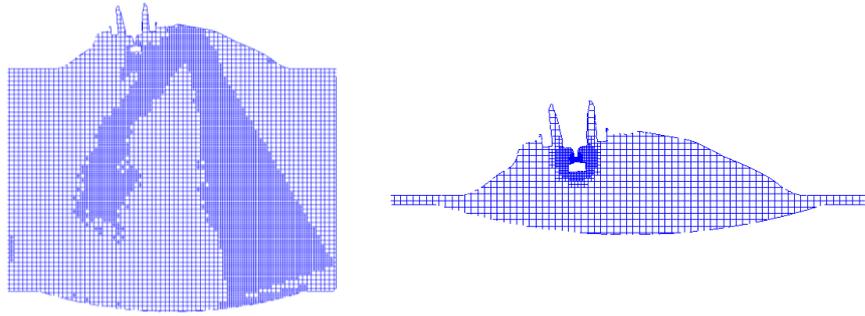


图 1 计算网格

2.2 边界条件

进排气边界如图 2 所示，由一维 GT-Power 提供，采用动态压力和温度边界；其余边界采用固定温度设置，温度值来源于温度场试验。

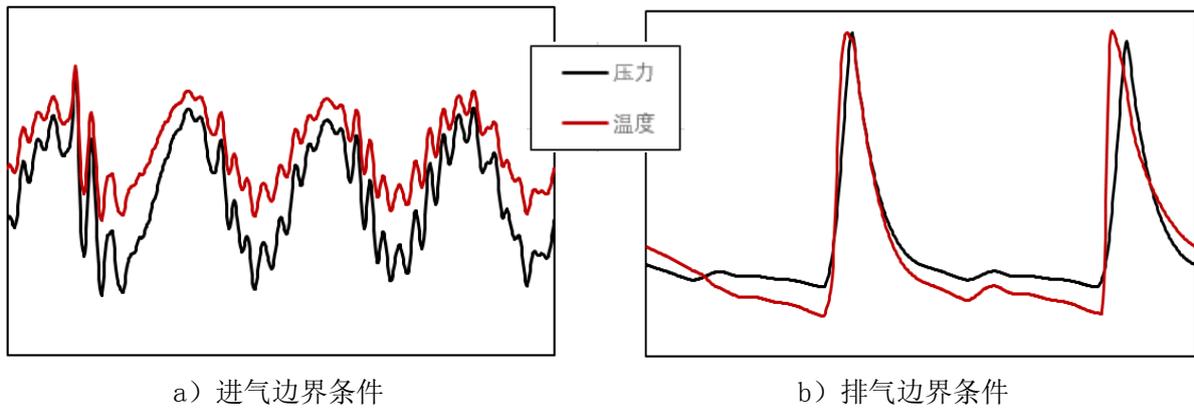


图 2 进排气边界条件

2.3 物理模型

物理模型设置如表 1。

表 1 物理模型

湍流模型	RNG k- ϵ RANS
壁面传热模型	0' Rourke and Amsden
液滴蒸发模型	Frossling model
喷雾破碎模型	KH-RT
燃烧模型	详细化学反应
数值算法	PISO

2.4 喷雾标定

喷雾模型的准确度对于直喷汽油机的缸内过程模拟至关重要，需要同时对喷雾粒径、贯穿距、形态均进行标定。

图 3 是经过标定后的仿真贯穿距和 SMD 与试验值对比，可以看出，标定后的喷雾参数与试验值基本一致。图 4 是 1.5ms 仿真和试验喷雾图像对比，仿真和试验非常接近。由此可知，标定后的喷雾模型能够准确描述喷雾过程，可以用于缸内过程计算。

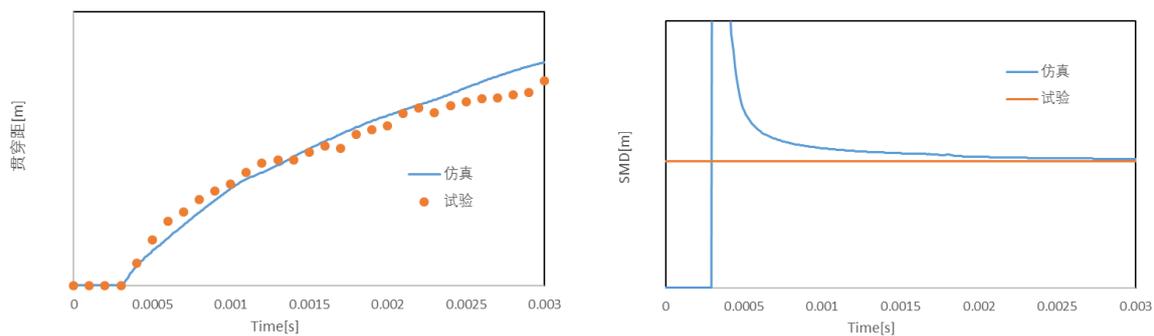


图3 喷雾贯穿距和 SMD

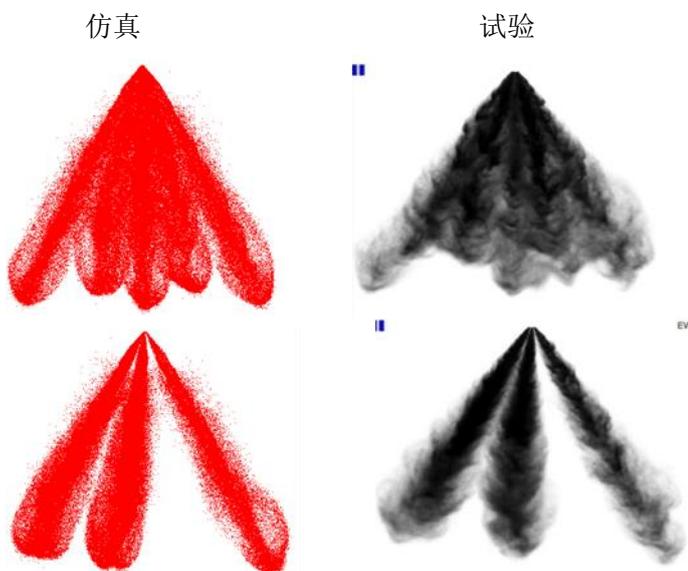


图4 喷雾形状对比

3. 计算结果与分析

油束匹配设计原则，增强缸内气流运动，尽量避免形成壁面油膜尤其是缸壁油膜，点火时刻在缸内形成高质量混合气。本文选用 1500rpm 全负荷工况点进行三种喷雾落点的对比分析，为喷油器选型和优化提供依据。

3.1 缸内流场分析

随着直喷压力的提高，喷雾对缸内气流运动的影响也越来越显著。油束设计不同，缸内的气流运动也随之改变。良好的油束设计能够促进缸内滚流，提高缸内湍流强度。

图 5 显示的是三个喷雾落点方案与无喷油计算的滚流比对比，三个喷雾落点方案都能有效增加缸内进气和压缩冲程的滚流比，喷油起到加强缸内气流运动的效果，同时缸内平均湍动能也显著增加（图 6）。

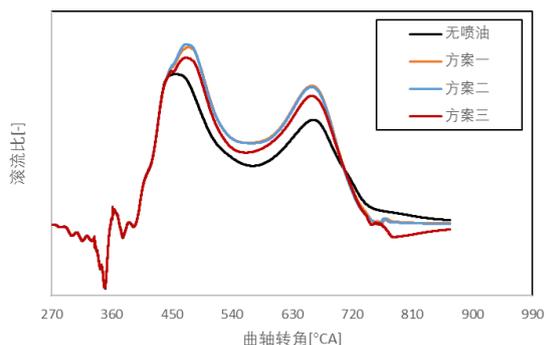


图 5 缸内滚流比

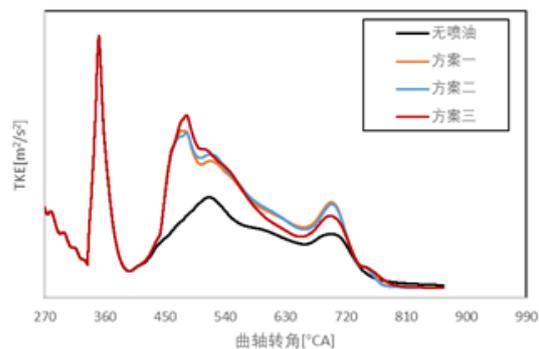


图 6 缸内平均湍动能

不同的喷雾落点方案对缸内气流的影响各不相同，落点方案一和方案二在布置上非常接近，因此滚流比和湍动能相当，而落点方案三滚流比低于另外两个方案。分析图 7 进气冲程的速度云图，方案三缸盖排气侧附近（红圈内）气流运动方向与缸内滚流运动方向不一致，导致缸内滚流比低于其余两个方案，这是由于落点方案三的油束布置偏向于气缸中心，不能带动排气侧的气流运动，导致缸内滚流比低于另外两个方案。

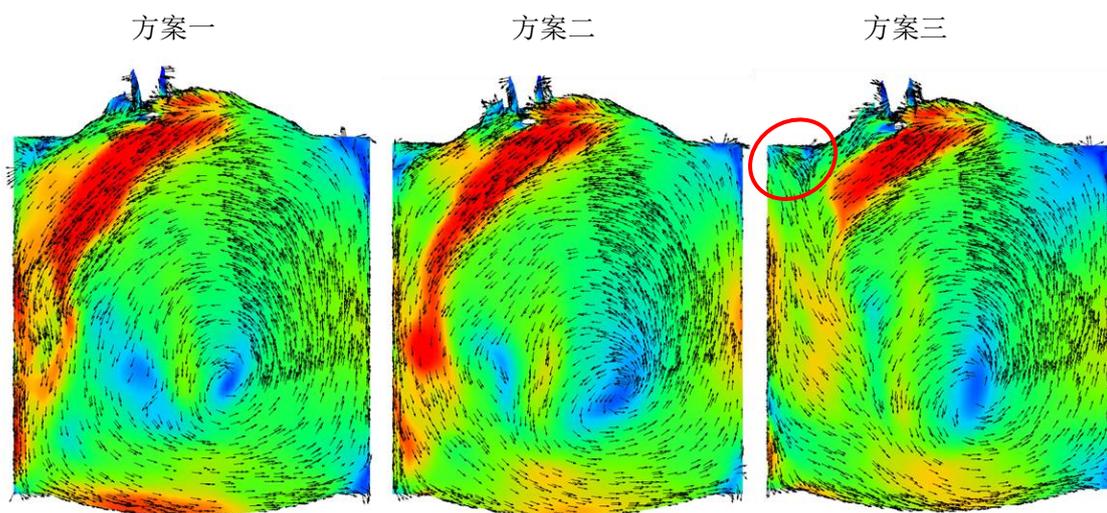


图 7 缸内速度云图

3.2 壁面油膜分析

壁面油膜会造成机油稀释、碳烟排放增加、早燃等，对发动机造成恶劣影响，因此壁面油膜量是评价油束匹配设计的最重要指标。

图 8 是三个落点方案的活塞和缸壁油膜质量对比曲线。活塞油膜主要在燃油喷射过程形成，燃油直接撞壁活塞，受气流运动影响较小；缸壁油膜在喷射结束后也有油膜形成，受到缸内气流运动的影响。三个方案缸盖油膜量相当，方案三的缸壁油膜量大大低于其他方案。

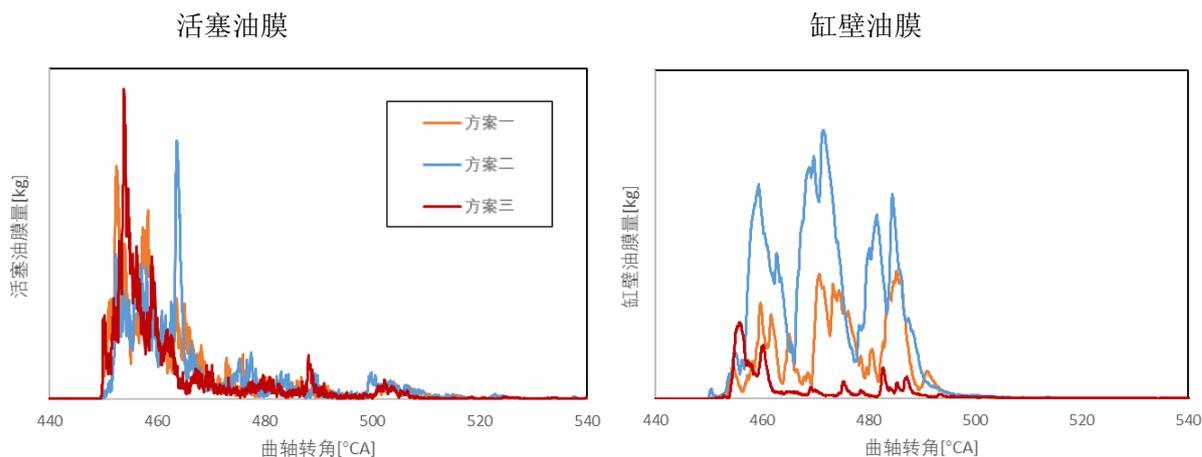


图 8 壁面油膜

3.3 混合气分布分析

混合气分布也是油束匹配设计的重要考察目标之一，混合气不均匀会导致燃烧效率低、排放差等，同时要保证火花塞附近的混合气浓度以提高点火稳定性。图 9 显示的是缸内混合气不均匀度对比，上止点（720° CA）缸内不均匀度都低于 5%，缸内混合气均匀性好。图 10 显示的是火花塞附近空燃比，三个方案略有差异，方案三火花塞附近混合气最浓。

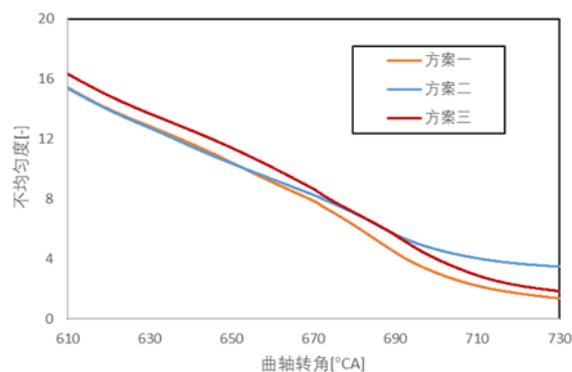


图 9 缸内混合气不均匀度

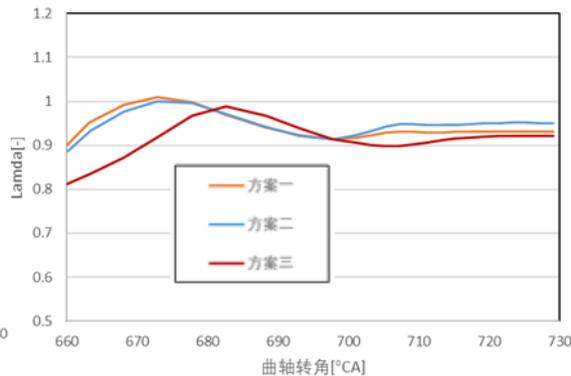


图 10 火花塞附近空燃比

综上对比三个喷油器落点布置对缸内气流运动、壁面油膜形成、缸内混合气浓度对比分析，方案三的壁面油膜量少，尤其是缸壁油膜量大大低于其余两个方案，缸内混合气均匀性好且在火花塞附近形成易于点火的混合气，虽然缸内气流运动略低，但滚流相比同类机型依然处于较高水平，综合考虑推荐选择方案三进行台架试验。

4. 结论

(1) 对比仿真喷雾模型与喷雾测试结果，仿真在喷雾贯穿距、SMD 和喷雾形态都取得与测试结果较好的一致性，该喷雾模型能够准确模拟喷油器的喷雾特性。

(2) 进行了三个喷雾落点的缸内流动和喷雾计算和分析，三个喷雾落点都能促进缸内气流运动，

壁面油膜量低，且混合气均匀性好，喷雾与燃烧室匹配度高。其中方案三缸壁油膜量低，且在点火时刻火花塞附近形成更易点火的混合气，推荐为优选方案进行台架验证。

5 参考文献

- [1] 解茂昭, 内燃机计算燃烧学[M], 大连理工大学出版社, 2005
- [2] 信曦等 二次喷射对直喷增压汽油机混合气形成与燃油湿壁影响的数值研究[J] 内燃机工程 2016, 37 (6): 144-150
- [3] 赵洪雪等 喷油时刻对增压小排量直喷汽油机碳烟生成的影响 2015 年 IDAJ 中国年会, 2015