

基于 GT-SUITE 的某大型增压柴油机配气相位及型线的优化计算

Valve Timing and Cam Profile Optimization of Turbocharged

Diesel Engine

刘俊龙 李卫 王晓艳 田红霞

潍柴动力股份有限公司

摘要:利用 GT-SUITE 软件对某矿用柴油发动机的配气相位及型线进行优化分析。通过对排气门开启角、进气门关闭角以及最大升程等参数的分析优化,提出改进方案,最终实现在常用工况区油耗在原机基础上降低 2.5g/(kW·h),使发动机的性能得到了很大程度的改善。

关键词: 配气相位、气门升程、油耗率、GT-SUITE

Abstract: The turbocharged diesel engine working process model is built up by the GT-SUITE software, in which the base cam profile and valve timing were calculated and analyzed, the optimum results were obtained. It was shown that the power performance of diesel engine was improved through the calculate results.

Key words: valve timing, cam profile, BSFC, GT-SUITE

1. 背景

配气相位对柴油机的充气性能有重要的影响,从而影响到柴油机的动力性、经济性和排放性能。在不同的转速、负荷工况下,发动机都有最佳的气门相位。因此,为了充分利用气流惯性,增加循环充量,提高充量系数,合理选择配气相位是很重要的。以往依靠研究人员的经验和大量试验工作来优化配气机构运动学和动力学特性的方法,周期长且浪费能源,已不能满足现代高效低污染柴油机研制工作的需要。利用数值仿真方法优化配气机构的运动学和动力学特性,不仅可以降低发动机的研发费用、节省人力、物力、缩短研制周期,而且可以掌握配气机构设计参数对其性能的影响关系,从而对发动机的设计和实验起到积极的指导作用。

在发动机中,表征配气相位的参数有排气早开角(EVO)、晚关角(EVC)和进气早开角(IVO)、晚关角(IVC)四个参数,其中以进气晚关角和排气早开角对柴油性能的影响较大,进气晚关角对充气效率的影响最大,而排气早开角对油耗率的影响最大;所以,在本文中将以这两个参数为主要变量,利用 GT-SUITE 软件进行建模计算,分析其对发动机性能的影响,优化得出最佳的排气门开启角和进气门关闭角,对优化后形成的气门升程曲线进行动力学校核,并对优化后的配气相位和凸轮型线进行计算对比。

2. 发动机模型的建立

根据发动机的实际结构建立发动机的一位热力学模型,将进排气管路采用 GEM3D 进行离散化处理,进排气门升程曲线及相位的参数导入到模型中,根据气缸的主要结构参数以及增压器的 MAP 数据建立相应的模型,建立好的发动机模型如图 1 所示。

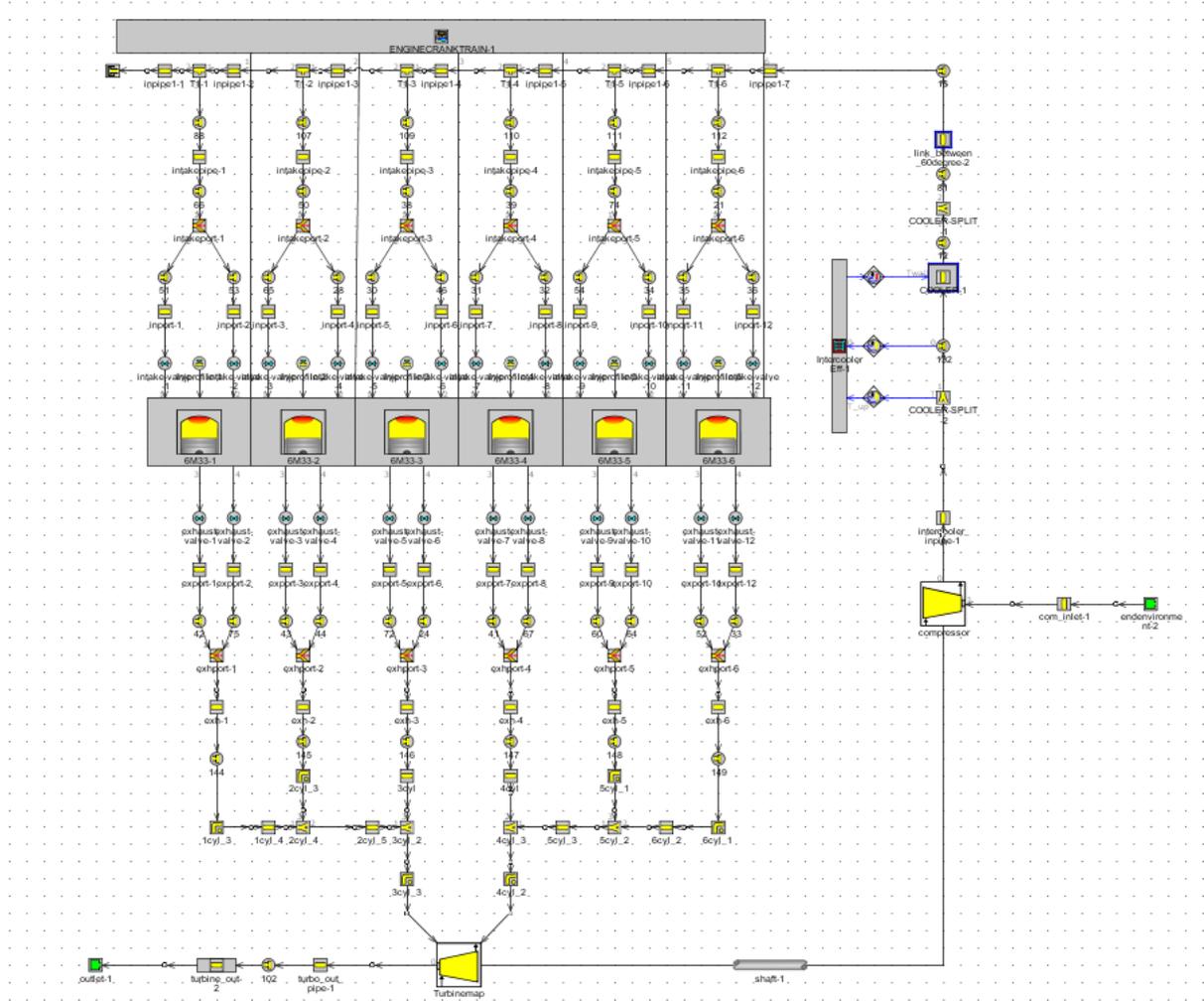


图1 目标机型的热力学模型

该发动机主要是针对常用工况进行优化，且常用工况为发动机的高速高负荷，从采集的路谱来看，常用工况为标定点的 100% 负荷，为了保证发动机的动力性，选取标定点和大扭矩点两个工况点的满负荷进行优化计算分析，计算中保证发动机在相应转速输出要求的功率。采用原该排量发电型机的相位和型线作为基础数据。

3. 配气相位的优化

进气晚关是利用了在进气过程中形成的气流惯性，实现向气缸的过后充气，可使得进气过程终了时，缸内压力等于或略高于进气管压力，从而增加缸内充量；但过大的进气门晚关角，会使得缸内气流倒流进入进气管的现象，使充气效率减小，也会影响有效压缩比，从而影响压缩终了温度，使发动机的冷起动困难。排气早开角越大，排气门开启越早，自由排气损失就越大，由于此时缸内压力在下止点前已降得足够低，所以强制排气损失减少；如果排气早开角较小，自由排气损失会减小，强制排气损失会增加，因此最有利的排气早开角应当使得两者损失之和最小，所以对原机的排气早开角也进行了优化计算。在计算中 EVO 的主要评价指标为油耗率，IVC 的主要评价指标为充气效率。进气门开启角和排气门关闭角两个参数保持原机不变，因为这两个角度的改变会引起活塞与气门之间安全间隙的改变。

为了研究排气门开启角 (EVO) 和进气门关闭角 (IVC) 两个相位角对发动机性能的影响, 在计算中采用定扭矩的形式对这两个角度进行 DOE 的组合计算, 其中排气门开启角 (EVO) 的 DOE 范围为 90° CA~ 140° CA, 间隔 5° CA; 进气门关闭角 (IVC) 的 DOE 范围为 560° CA~ 620° CA, 间隔 5° CA, 每个转速对应计算 143 个 case, 本次计算共计 286 个 case。

图 2 和图 3 分别为标定点和大扭矩点两个工况对应的油耗率的 DOE 组合计算结果, 从图 2 可以看出, IVC 对油耗率的影响较小, 主要是 EVO 对油耗率有较大的影响, 以油耗率为指标在标定点处最佳的 EVO 为 100° CA~ 110° CA 之间; 从图 3 可以看出, 在大扭矩点处的最佳 EVO 为 105° CA~ 115° CA 之间, 结合以标定点为最优并保证大扭矩点动力性推荐最佳 EVO 为 110° CA。

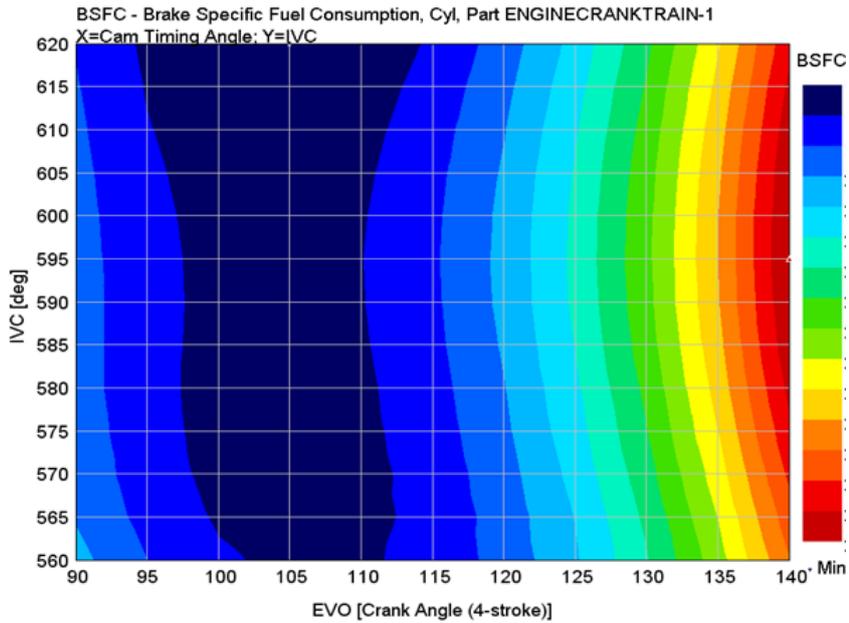


图 2 标定点工况 EVO 和 IVC 对油耗率的影响

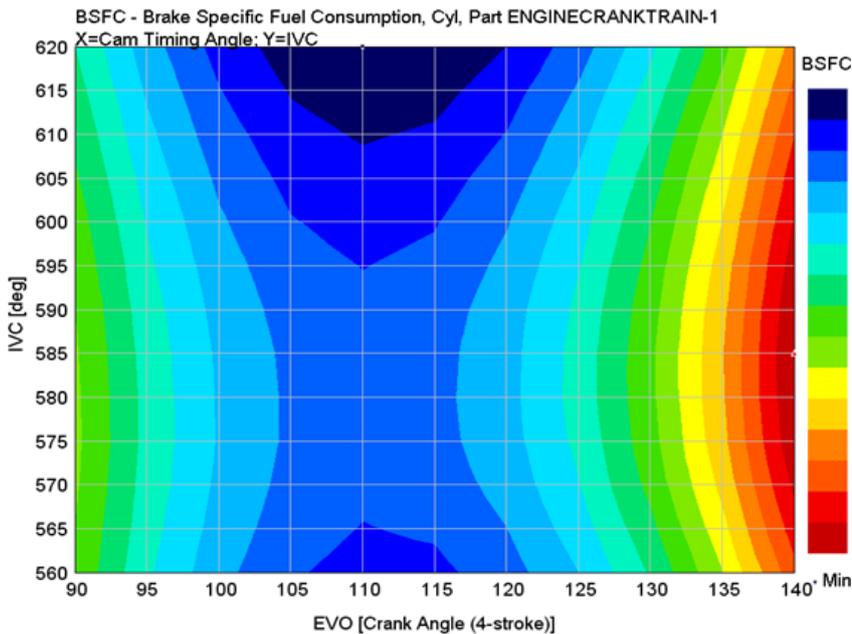


图 3 大扭矩点工况 EVO 和 IVC 对油耗率的影响

图 4 和图 5 分别为标定点和大扭矩点两个工况对应的充气效率的 DOE 组合计算结果, 从图 4 中可以看出 EVO 对充气效率的影响较小, 主要是 IVC 对充气效率有较大的影响, 以充气效率为指标在标定点处最佳的 IVC 为 595° CA~ 605° CA 之间; 从图 5 可以看出, 在大扭矩点处的最佳 IVC 为 585° CA~ 595° CA 之间, 结合以标定点为最优并保证大扭矩点动力性推荐最佳 IVC 为 595° CA。

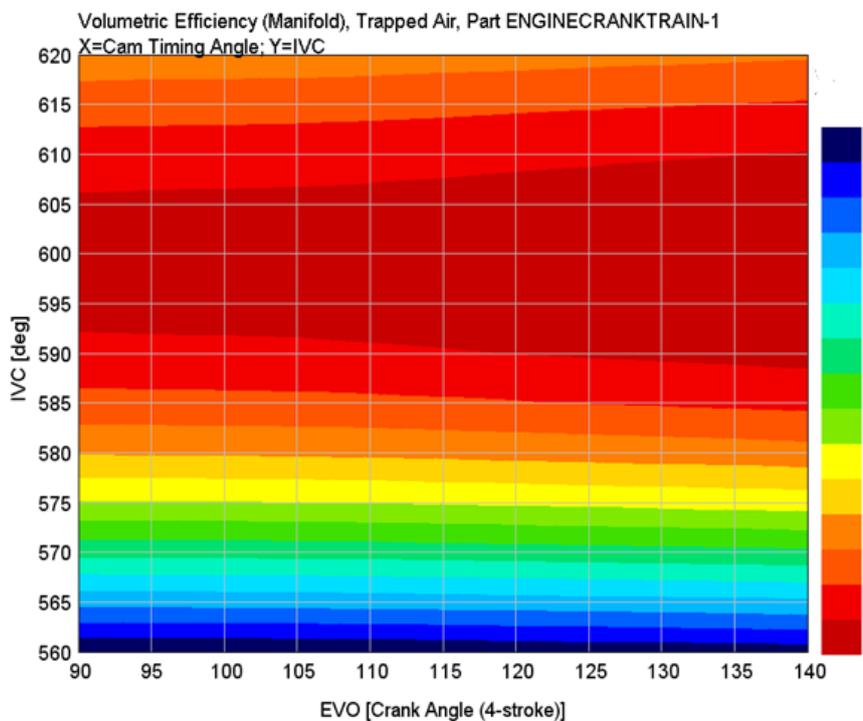


图 4 标定点工况 EVO 和 IVC 对充气效率的影响

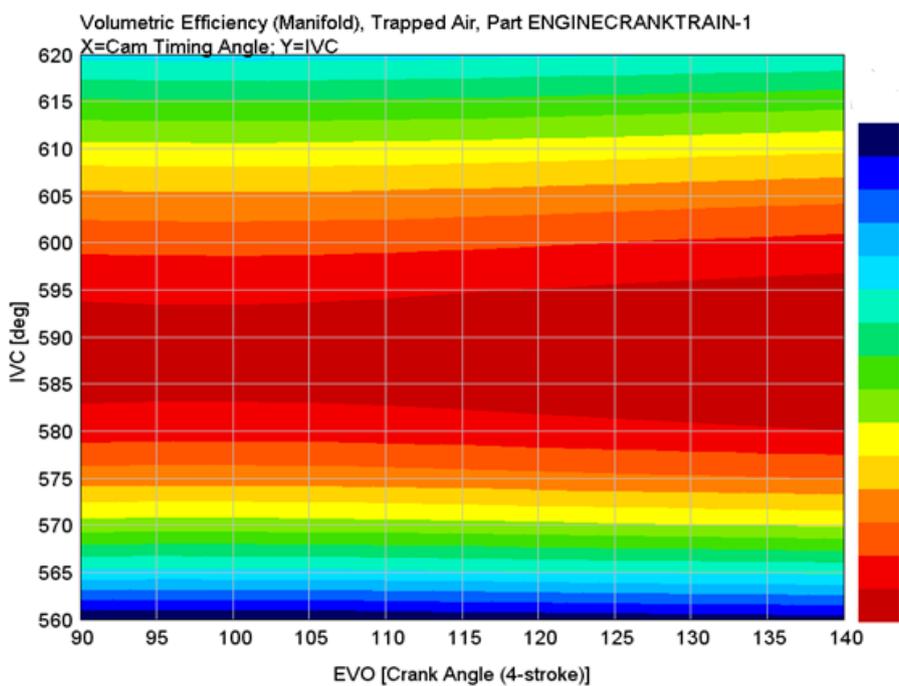


图 4 大扭矩点工况 EVO 和 IVC 对充气效率的影响

4. 气门升程曲线的优化与验证

在原先气门升程曲线的基础上根据优化后的相位角得到最新的气门升程曲线，由于受弹簧安全系数以及凸轮轴安装限制的影响，排气门最大升程保持原机水平不变，进气门最大升程可以进一步增加；将得到的最佳气门升程曲线经过动力学的相关仿真计算，确定满足动力学的要求，最终得到的气门升程曲线如图 5 所示，包括优化前后的气门升程曲线。

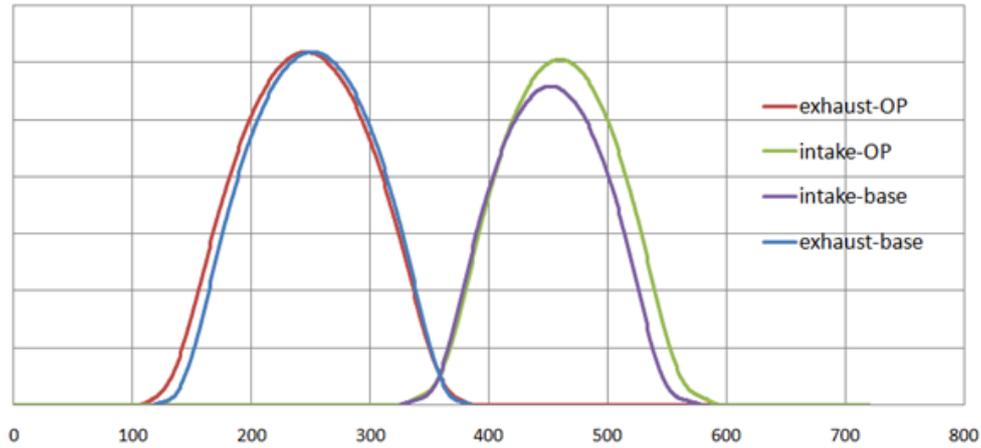


图 5 优化前后气门升程曲线的对比

将得到的最佳的气门升程曲线带入原机模型中进行计算对比分析，计算中采用定扭矩的形式，保证两条型线对比时达到相同的输出扭矩，并采用相同的增压器方案，油耗的对比结果如图 6 所示，从图中可以看出，优化后的型线在常用工况标定点处的油耗率降低 2.5g/kwh，在大扭矩点也有不同幅度的降低，但在大扭矩点以下的工况的油耗率都有不同程度的增加。

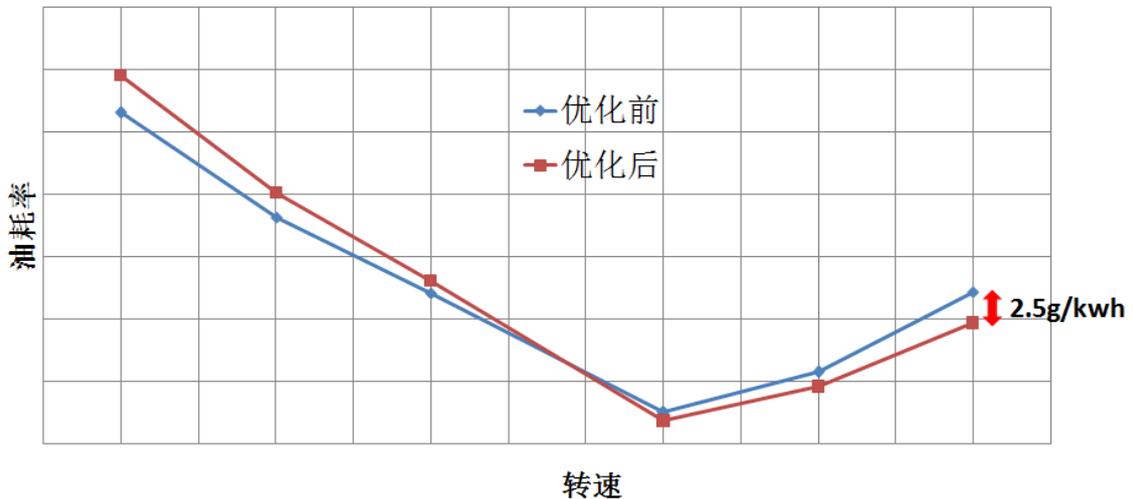


图 6 气门升程曲线优化前后外特性上油耗率的对比

5 结束语

通过对配气相位及型线的优化分析，得到以下结论：

- (1) 排气早开角对柴油机的油耗影响较大，主要是通过减小泵气损失实现的，优化后的排气门开启角为 110° CA，在标定点的油耗降幅可以达到 2.5 g/kWh ；
- (2) 进气关闭角对柴油机的充气效率影响较大，进气晚关角过大或过小都会很大程度上降低充气效率，通过优化计算得到最佳的进气关闭角为 595° CA；
- (3) 优化后的相位对应的最大气门升程曲线排气门最大升程超出了凸轮轴的安装要求，因此在性能优化时不仅要考虑性能还要考虑安装以及强度的要求；
- (4) 按优化后的配气相位和型线带入模型验证，在标定点处降低了 2.5 g/kWh ，在外特性上的低速工况的油耗率都有不同程度的升高，对于常用工况取得了较好的优化效果，使该柴油机的性能得到了很大的改善。

参考文献

- [1] 张学文, 毕玉华, 申立中, 等. 柴油机配气相位对柴油机性能影响的模拟仿真及优化 [C]. 内燃机科技—中国内燃机学会第八届学术年会论文集, 上海同济大学出版社, 2010.
- [2] 周龙保. 内燃机学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [3] GT-SUITE 帮助文档.