

基于 GT-POWER 增压柴油机停缸技术仿真研究

The Research of Cylinder Deactivation Technology for Turbo Diesel Engine
based on GT-POWER

朱振夏 张付军 章振宇 王海燕

(军用车辆动力系统技术实验室, 北京理工大学, 100081)

摘要: 本文分析研究了增压柴油机停缸技术的实现方案; 分析了不同技术方案的实现途径; 进而建立并校核了基于 GT-POWER 的某型号 V6 增压柴油机仿真模型。在此基础上建立了不同技术方案的仿真模型, 仿真研究了各种技术方案的停缸模型, 对比找出了不同方案所对应的最佳工况范围, 并与原机模型对比分析了各种技术方案的优缺点。仿真研究结果表明某型号柴油机采用变排量技术能提高其在低速低负荷工况下的动力性和燃油经济性。

关键词: 增压、柴油机、停缸、GT-SUITE、GT-POWER

Abstract: In this paper, the schemes of cylinder deactivation technology of the turbo-charged diesel engine were analyzed. Realization of different technical programs was studied. Then the mode of V6 turbo-charged diesel engine base on GT-POWER was built up. And on this basis all of the schemes were established. After each technical scheme was simulated, the best working condition of every different scheme was found. Compared with the primary model, the advantages and disadvantages of each scheme were found. According to the result, the fuel economy of the cylinder deactivation diesel engine under the Low-load condition was improved obviously.

Key words: turbo-charger、diesel engine、cylinder deactivation、GT-POWER

1 引言

如何充分发挥发动机的动力性, 同时保证其经济性, 一直以来都是发动机研究所追求的目标。然而, 发动机中在实际运行中, 各个工况差别很大, 怎样使发动机在全部工况都能同时满足动力性和经济性要求, 也成为很多研究工作的重点。为了保证发动机在低负荷也有良好性能, 设计者主动缩小负荷范围, 或者使发动机运行线整体上移, 造成发动机高负荷时效率降低。实际上, 在全负荷时燃烧过程中放出来的热量很大一部分都以不同形式损失掉, 燃料所具有的热量的 30% 得到利用, 其余的 70% 则损耗掉。其中排放气体与辐射损耗约 42%, 冷却损耗 20%, 摩擦损失约为 8%^[1]。

文中提出了一种方法来兼顾发动机在高、低负荷下的性能。采用停缸技术可以提高低负荷工况下柴油机的单缸负荷率, 增大有用功比例, 同时提高其在低负荷下的机械效率。发动机停缸技术很早就被认为是改善燃油经济性的有效手段之一, 但是仅仅被用于非增压的汽油机, 在柴油机上的应用还非常有限。

停缸技术可以明显改善发动机在低负荷下的燃油经济性: 发动机停缸后, 燃烧室总表面

积的减少可降低燃烧过程的传热损失,从而提高了发动机的循环热效率和平均有效压力^[2]。该方法就是将发动机气缸分成常工作和间歇工作两部分,低负荷时使间歇工作的一组气缸不工作,而增加工作气缸的负荷率,使之经常保持在中、大负荷的经济油耗区运转,达到节油的目的。

本文基于 GT-SUITE 研究了某型号 V 型 6 缸增压柴油机的停缸技术。

2 停缸的实现方法

将气缸分为常工作组和间歇工作组两部分,正常工作时所有气缸一同工作,在特定工况下,常工作组气缸继续工作,间歇工作组气缸停止工作^[3]。对于 V 型 6 缸增压柴油机将一侧气缸作为工作组,另一侧作为间歇工作组,这样既保证停缸后发动机曲轴系统扭振相对较小,同时方便增压系统的匹配。发动机非工作组停止工作后,为了保持发动机的功率不变,需要增加工作组气缸中的循环喷油量;同时关闭非工作组气缸的气门,减小换气损失。

对于增压柴油机由于空气流量变化范围较大,停缸技术实施的难点之一在于增压系统的匹配设计。本论文分别采用了两级增压和相继增压系统,用于研究发动机停缸前后的性能变化。

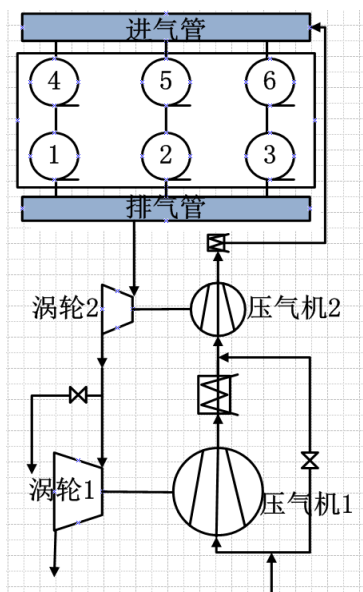


图 2-1 两级增压系统

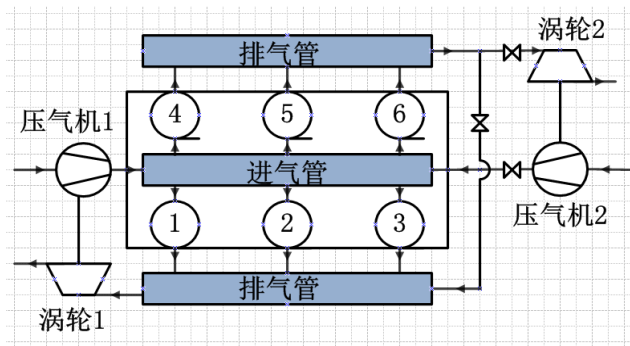


图 2-2 相继增压系统

两级增压就是将两个涡轮增压器串联起来使空气在两个增压器中相继被压缩以提高其压比（如图 2-1 所示），采用两级增压后，柴油机的流量范围比单级增压有所扩展。相继增压系统,是指采用多个增压器并联,并对所有(或部分)增压器进行控制^{[4][5]}。随着柴油机转速和负荷的增长,各增压器相继、按次序投入运行,当柴油机转速和负荷不断减小时,相继切出一台或多台增压器,使之停止运行如图 2-2 所示。

本论文重点研究各转速低负荷工况下停缸柴油机的性能,并对比原机找出最佳

工况点。基于以上讨论，建立并校核了增压柴油机的仿真模型。仿真模型如图 2-3 所示。

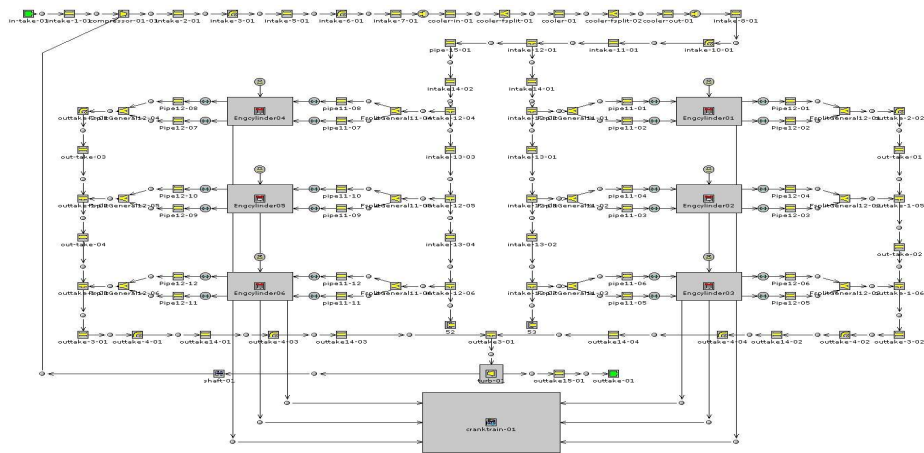


图 2-3 V 型 6 缸增压柴油机仿真模型

模型的校核主要是从缸内的循环压力变化、功率、燃油消耗率的角度出发、兼顾增压器与发动机的匹配。用 6 缸机台架试验数据来校核仿真模型：

图 2-4 (a) 所示为 1900/min 外特性点的缸内压力随曲轴角转角变化仿真结果与实验值对比，可见仿真结果与试验数据误差在允许范围内。

图 2-4 (b) 所示为仿真模型与试验的外特性对比，从结果上看仿真数据可以真实反映发动机各工况下的性能。

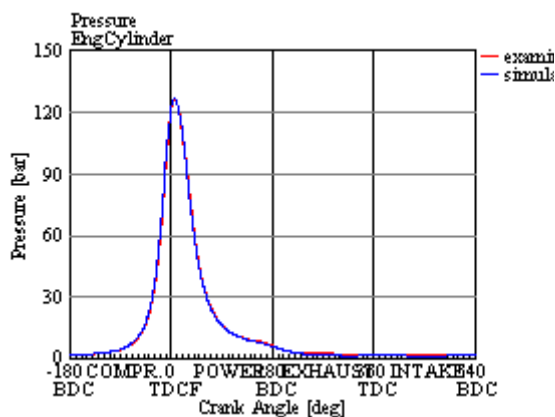


图 2-4(a) 缸内瞬时压力校核

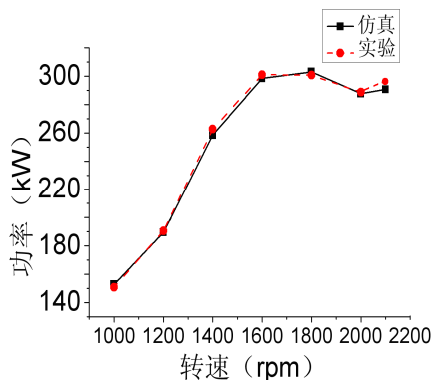


图 2-4(b) 外特性校核

在此基础上，分别采用两级增压和相继增压系统与发动机进行匹配，并进行发动机的停缸仿真计算。

采用两级增压系统是为了增加停缸后发动机的进气压力。同时为了提高压气机效率，在两个增压器后面都装有中冷器，这样就使整个压缩接近于等温过程，这时候气体等温流经开口系（进气管）技术功与过程热量相同，由于这时候 $P_1V_1 = P_2V_2$ ，

流动功 $(P_1V_1 - P_2V_2) = 0$ 技术功全部转化为压缩空气的压力势能和动能，仿真模型如

图 2-5 (a) 所示。

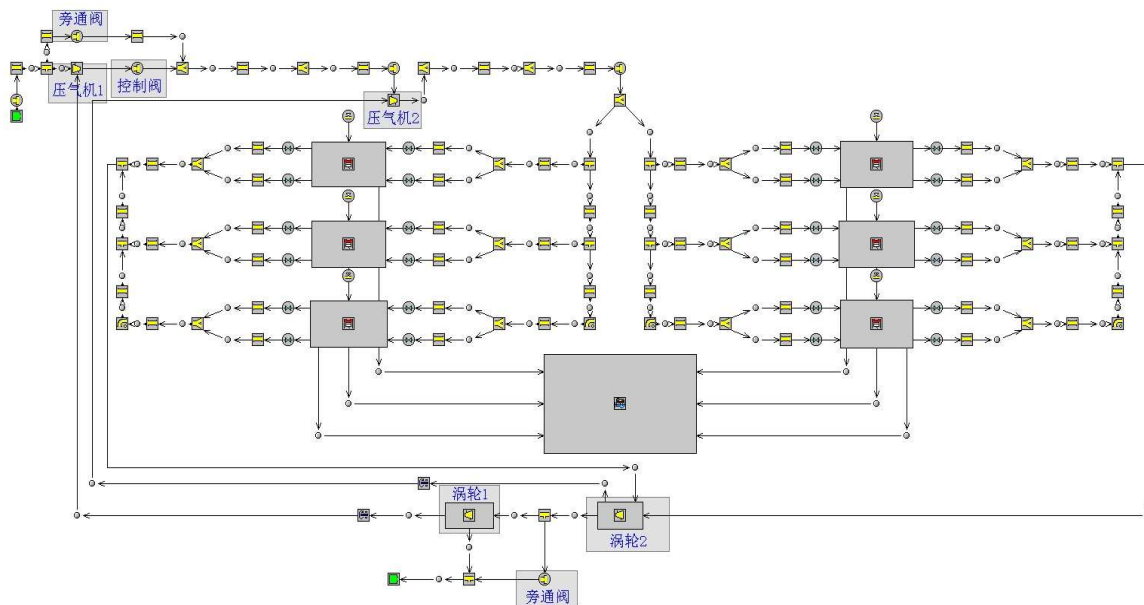


图 2-5 (a) 两级增压系统

采用相继增压系统的发动机，每排气缸使用一个增压器，停缸后一个增压器停止工作。仿真模型如图 2-5 (b) 所示。

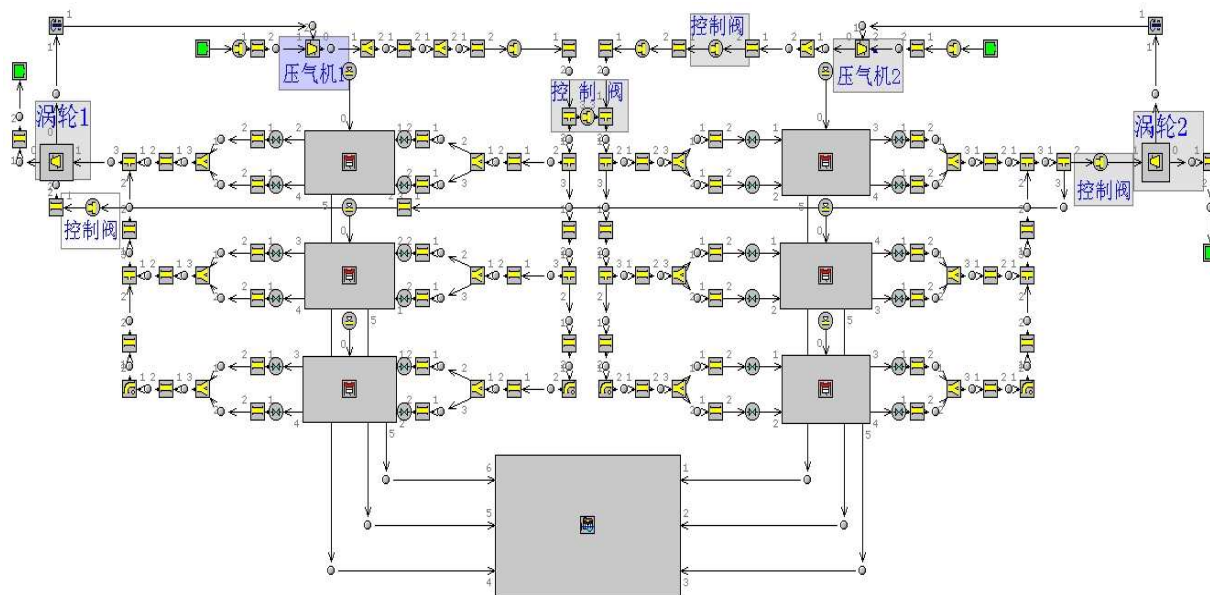


图 2-5 (b) 相继增压系统

3、结果分析

本论文分别选择典型工况点，考察各个工况下，每种方案性能。

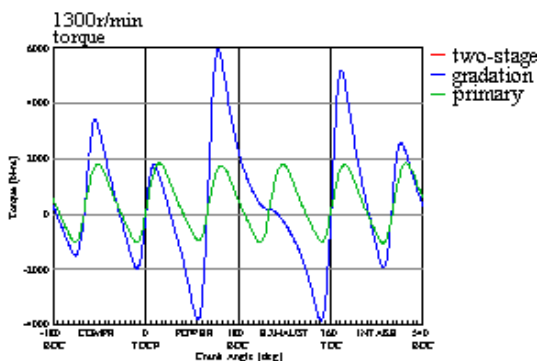


图 3-1 (a) 1300r/min 瞬时扭矩

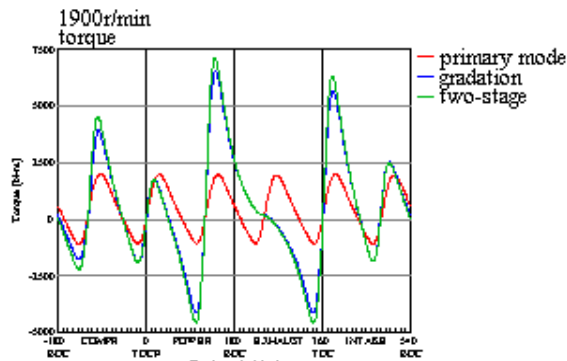


图 3-1 (b) 1900r/min 瞬时扭矩

图 3-1 所示为瞬时扭矩变化对比，在 1300r/min 下，相继增压系统的扭矩波动幅度较大，而两级增压系统扭矩基本与原状态一样（红线与绿线重合）。由于压气机在低速时工作效率较低，排气压力波动较大，使得各缸进气不均匀性增大，而两级增压系统可以增大每缸进气量，同时由于两级增压系统涡轮的排气阻力相对较大，使得发动机扭矩波动性减小。到了高速工况 1900r/min，由于两种方案停缸模式相同，进气压力和排气阻力影响相对减少，扭矩变化趋于一致。停缸发动机的扭矩波动远高于非停缸发动机，曲轴系统扭振明显上升，这对于发动机可靠性要求进一步提高。

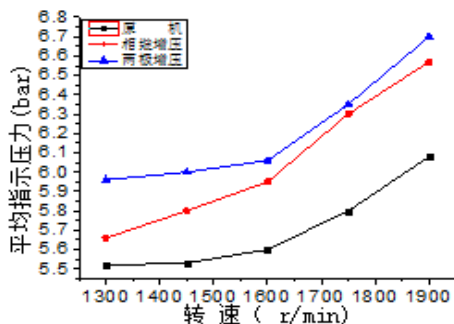


图 3-2 平均指示压力对比

停缸发动机缸内平均指示压力（IMEP）如图 3-2 所示，采用两级增压的停缸发动机缸内平均指示压力高于采用相继增压系统的停缸发动机，而原机的平均指示压力最低。

这种现象的原因是，采用两级增压系统的停缸发动机保证了发动机的进气压力始终处于较高值，而采用相继增压系统的发动机，停缸后进气压力下降。

停缸发动机与原机有效功率对比如

图 3-3 所示。低速工况下，采用两级增压系统的停缸发动机动力性在远高于采用相继增压系统的停缸发动机；在高速工况下，两者的差距变小。

由图 3-1(a)可见低速工况下采用相继增压系统的停缸发动机扭矩波动远大

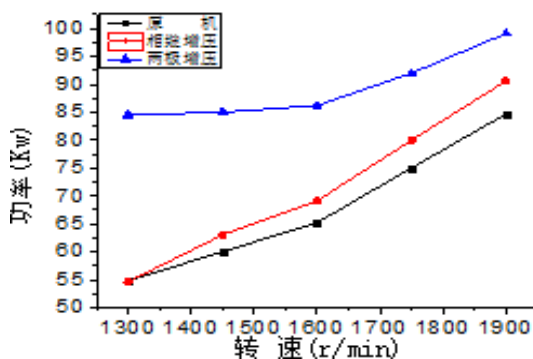


图 3-3 有效功率对比

于采用两级增压系统的停缸发动机，扭矩波动导致发动机机械效率降低。同时由于两级增压系统停缸发动机较相继增压系统停缸发动机，拥有较高的平均指示压力。因此采用两级增压系统的停缸发动机动力性更好。无论采用两级增压系统还是相继增压系统，停缸发动机动力性较原机都有明显的提升。

停缸发动机与原机经济性对比如图 3-4 所示。低速工况下停缸发动机燃油经济性明显优于原机，其中两级增压系统低速工况下的燃油经济性最优。

发动机效率受机械效率和指示效率共同影响。停缸发动机由于扭矩波动范围大，曲轴系统扭振大，机械效率下降。但是由于工作气缸内平均指示压力增大，指示效率增加，最终发动机效率上升，其中低速低负荷工况下，停缸发动机对燃油经济性提升更明显。

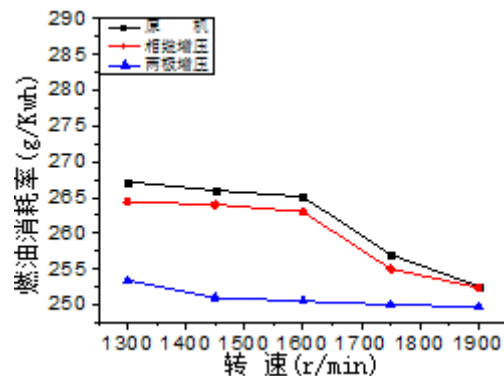


图 3-4 燃油经济性对比

4、结论

- 1、工作在低负荷工况下的增压柴油机采用停缸技术后发动机动力性、燃油经济性明显得到改善。
- 2、停缸发动机通过增加工作组气缸的循环供油量，使得工作缸内平均指示压力上升从而平均有效压力随之提高。发动机在低负荷工况下的动力性得到改善。
- 3、停缸导致发动机曲轴端扭矩频率降低，但振幅增大，发动机曲轴系扭振加剧。
- 4、因为采用两级增压系统的停缸发动机拥有相对较高的进气压力，保证了充足的进气量和高空燃比，使得平均指示压力高于采用相继增压系统的停缸发动机，因此燃油经济性也高于后者。

5、参考文献

- [1] 周龙保, 刘巽俊, 高宗英. 内燃机学 [M], 北京: 机械工业出版社 1999
- [2] Sanford, M., J. Allen, and R. Tudor. Reduced fuel consumption and emissions through cylinder deactivation [J]. SAE 984014
- [3] 杨妙梁. 可变排量发动机技术与停阀机构的发展动向(上) [J]. 汽车与配件, 2003 (38)
- [4] 朱大鑫. 涡轮增压与涡轮增压器. 兵器工业第七零研究所, 1997. 7
- [5] 陆家祥. 柴油机涡轮增压技术 (M), 机械工业出版社, 2004 年 3 月