

# 6V132 柴油机充量转换技术仿真研究

## Simulation of air transform technology on 6V132 diesel engine

章振宇 赵长禄 顾宁宁

(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 6V132 柴油机充量更换技术的实现方案; 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-SUITE 的 6V132 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充量更换仿真模型, 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 6V132 采用充量更换技术能提高其在冷起动性能, 及低速低负荷工况下的燃油经济性。

**Abstract:** In this paper, the schemes of air transform technology of the 6V132 turbo-charged diesel engine were analyzed. Realization of different technical programs were studied. Then the mode of 6V132 turbo-charged diesel engine base on GT-SUITE 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 schemes 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.

**关键词:** 柴油机、GT-SUITE、充量转换、串联、并联

**Key words:** diesel engine、GT-SUITE、air transform、in series、parallel connection

### 1、引言

大功率柴油机工作在低负荷工况下, 燃油经济性差, 同时大功率柴油机冷启动困难, 充量转换是在发动机停缸的基础上将停缸内的压缩空气导入工作缸内, 从而改善柴油机冷启动性能以及低负荷工况下的燃油经济性。

停缸与充量转换很早就被用来提高柴油机冷起动性能, 改善柴油机在部分负荷或小负荷工况下的燃烧。例如德国的 MTU 公司的 396-03 系列增压柴油机, 其压缩终了温度可以提高  $70^{\circ}\text{C}$ , 压缩比提高 3<sup>[1]</sup>。

但是以往对充量转换技术的运用都局限于低压缩比增压柴油机, 同时压缩空气回流的方式十分单一, 发动机性能提升的空间较小。

增压柴油机起动时起动转速低, 在气缸上也没有形成有效的油膜, 气缸内漏气量明显增加 (约为压缩开始时气缸内充量的 80%-85%), 这些都使柴油机的冷起动非常困难, 燃烧也不好<sup>[1][2][3]</sup>。采用充量更换的方式将停缸 (供气缸) 的压缩空气通入工作缸, 用来解决此类问题。

为了保证供气压力和正确的配气相位, 供气缸必须比充气缸提早  $50^{\circ}$  -  $120^{\circ}$  曲轴转角, 即充气缸开始压缩, 供气缸已经处于压缩阶段。供气时刻应该在充气缸进气门刚关闭的时刻。

本论文提出两种可行的气体回流方案，并利用 GT-SUITE 对各方案进行仿真研究。

## 2、充量转换的原理和实现方案

### 2.1 充量转换的有效性

发动机停缸后，空气在气缸内被压缩，这部分空气在压缩的时候要消耗发动机的功，其

$$h = c_p T \quad (2-1)$$

有用功：

$$E_{x,Q} = h \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \quad (2-2)$$

取缸内平均温度  $\bar{T}=806.556\text{K}$ ， $T=1050\text{K}$ ，出口温度

$T_0=400\text{K}$ ，

带入以上公式计算得到有用功：

$$E_{x,Q}=2210\text{kJ/kg}$$

发动机消耗曲轴机械功压缩空气，压缩空气中的有用功十分可观，如何回收这部分有用功，对降低发动机的功率损失十分关键。

### 2.2 充量更换的实现

对于 6V132 增压柴油机，停缸后一侧气缸停止工作充当机械增压器压缩空气，压缩后的空气可以分别导入压气机前和压气机后，这样就相当于采用一个机械增压器与一个涡轮增压器复合增压。

将压缩的空气引入压气机前相当于将机械增压器与涡轮增压

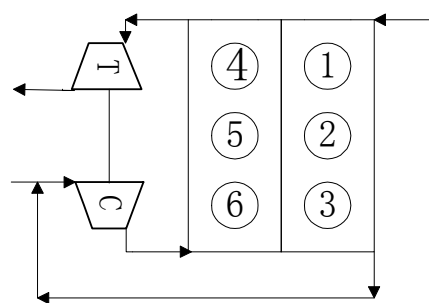


图 2-1 (a) 串联方案

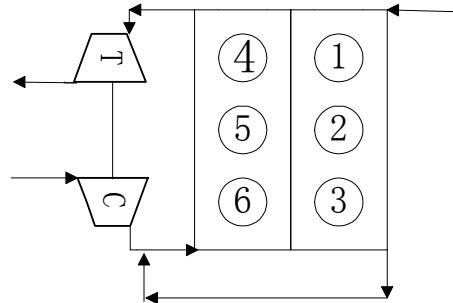


图 2-1 (b) 并联方案

器串联使用，而将压缩的空气引入压气机后则相当于将机械增压器与涡轮增压器串联使用，如图 2-1 所示。

实现充量更换需要对发动机做出调整：发动机采用相继增压系统，两侧气缸使用两个相对独立的增压器；发动机一侧气缸供油停止，同时为了保持发动机动力变化在一个很小的范围，增加工作一侧气缸的循环供油量。

建立并标定 6V132 柴油机的仿真模型，初始边界使用实验测量值。模型的标定主要是从放热率、外特性、空气流量进气压力的角度来考察，结果如图 2-2 所示，校核结果表示发动机模型能准确模拟发动机在不同工况下的工作状态。

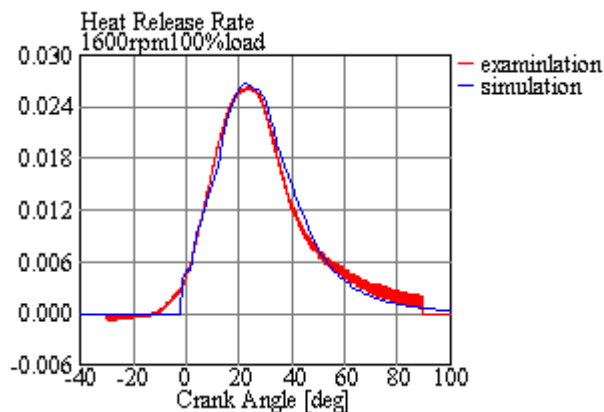


图 2-2 (a) 典型工况放热率校核

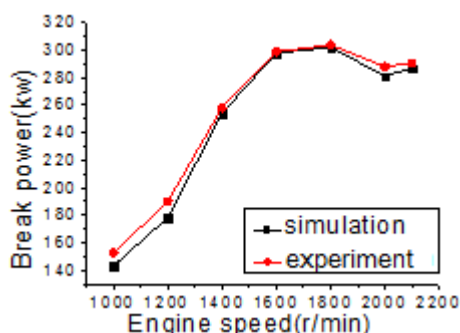


图 2-2 (b) 外特性校核

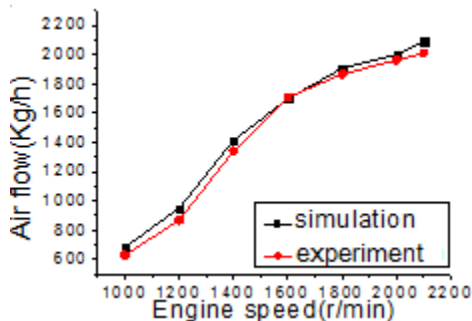


图 2-2 (c) 空气流量校核

在此基础上，建立两种方案的 GT-POWER 仿真模型如图 2-3 所示，图 2-3 (a) 所示为串联方案仿真模型，发动机停止工作一侧通过旁通阀转换成自然吸气式的空气泵，压缩后的空气导入工作气缸压气机前、单向阀后，通过压气机的压缩后进入工作气与燃油混合燃烧；图 2-3 (b) 所示为并联方案，压缩空气直接导入工作端压气机后，进入气缸。在气缸中被压缩的空气在导气管中充分膨胀，为了降低压力损失，避免回流时压缩气缸内气流相互干扰，本文采用脉冲涡轮增压系统，在此不做详细叙述。

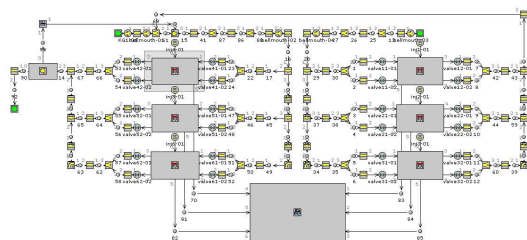


图 2-3 (a) 串联方案

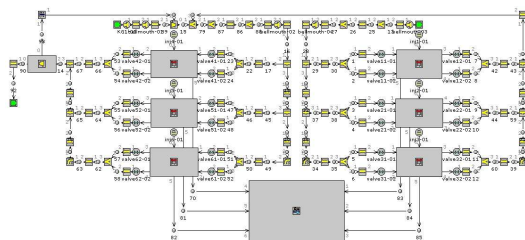


图 2-3 (b) 并联方案

两种方案从不同的角度，用串联方案是从保证进气压力的角度，而并联方案是从保证进气流量的角度出发，增加发动机的空气流量，配合增加工作气缸的循环供油量，保证发动机的有效功率。

### 3、仿真结果与分析

#### 3.1 供气缸损失分析

供气气缸中, 发动机进气过程存在换气损失同时空气压缩膨胀过程存在传热损失, 图 3-1 所示为供气气缸在 2100r/min、50%工况下气缸 log P-log V 图, 由图 3-1 可见供气缸内的损失主要来自于换气损失, 传热损失所占比例较小。

供气气缸进气门打开以后, 进气压力为大气压, 泵气功为负, 这是换气损失大的原因之一。

供气缸排气门打开后, 压缩空气通过导气管导入进气系统, 这时进气系统的压力较大。当发动机工作在相当较大的负荷工况下进气系统压力可能大于正常工作时涡前压力, 自由排气所占的曲轴转角降低强制排气所占曲轴转角上升。这就要求活塞消耗更大的功来排出气体, 因此换气损失会相对增加。

图 3-2 所示为 2100r/min、50%负荷工况下原机、串联方案、并联方案曲轴输出扭矩的对比。原机振动频率大, 但振幅较小。并联方案发动机输出扭矩振幅大于串联方案。

两种停缸、供气方案扭矩平稳性较差, 发动机扭矩加剧。

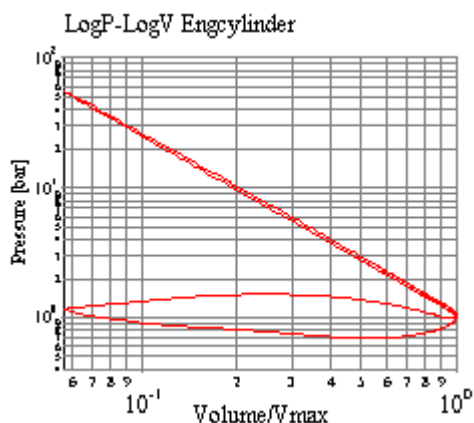


图 3-1 供气缸 log P-log V 图

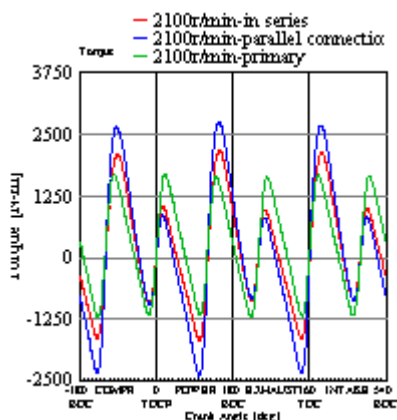


图 3-2 串联并联方案瞬时扭矩对比

#### 3.2 工作缸指示功分析

工作气缸中, 由于停缸后循环供油量增加缸内的指示功明显上升, 图 3-3 所示为两种方案工作气缸中平均指示压力的对比。

串联充量更换发动机工作气缸内平均指示压力明显高于并联充量更换发动机, 这是由于串联方案中压缩空气经过压气机压缩后压力进一步升高保证了进气压力。燃油在气缸中燃烧更充分。

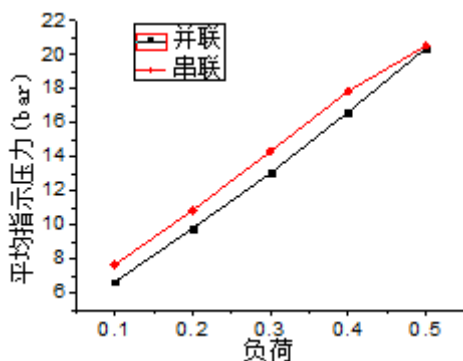


图 3-3 两种充量更换方案工作气缸 IMEP 对

### 3.3 发动机性能分析

图 3-4 所示为两种充量更换的方案发动机与原机模型在 2100r/min、1000r/min 负荷特性对比，发动机负荷控制在 50%负荷以下。

图 3-4 (a) 所示为 2100 r/min 充量更换发动机与原机的负荷特性对比，串联充量更换发动机的燃油消耗率低于并联充量更换发动机和原机，当负荷小于 20%时并联充量更换发动机的燃油消耗率低于原机，当负荷大于 20%时并联充量更换发动机燃油消耗率高于原机。

这是由于高速工况下，原机的循环进气量不足导致其指示效率降低，而采用串联方案的

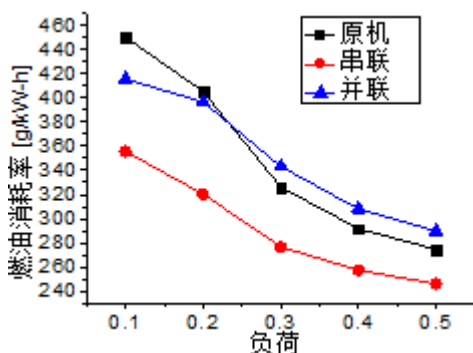


图 3-4 (a) 2100r/min 工况下负荷特

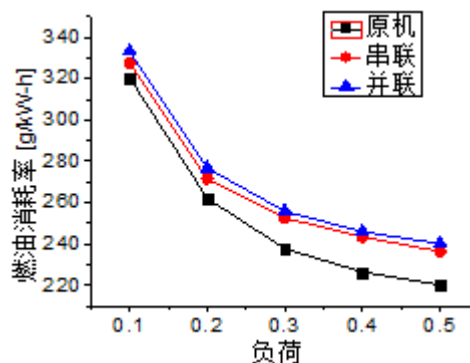


图 3-4 (b) 1000r/min 工况下负荷特性

充量更换发动机保证了进气压力,提高其循环进气量,指示效率高于原机,因此其燃油消耗率偏低。而处于高速低负荷工况下的并联充量更换发动机进气量较大,当负荷增加时进气量得不到保证空燃比下降,指示效率低。

图 3-4 (b) 所示为 1000r/min 充量更换发动机与原机的比,可见充量更换技术使得发动机的性能恶化。

这是由于低速工况下充量更换发动机进气量小于原机,同时由于扭矩平稳性较差导致机械效率低。从而发动机燃油消耗率较高。

## 4、结论

- 1、6V132 柴油机停缸、充量更换后,供气气缸泵气缸为负,换气损失增加。
- 2、6V132 柴油机停缸、充量更换后,工作气缸内指示功提高,其中串联方案工作缸内指示功高于并联方案。
- 3、高速低负荷工况下,串联方案可明显提高柴油机的燃油经济性。当负荷低与 20%的时候并联方案也可提高柴油机燃油经济性。
- 4、停缸、充量更换使得发动机,扭矩输出频率降低、振幅增加,曲轴系扭振加剧。

## 5、参考文献

- [1] 魏春源,张卫正,葛云珊. 高等内燃机学[M] , 北京理工大学出版社 2001
- [2] Watanabe, E. and I. Fukutani, "Cylinder cutoff of 4-stroke cycle engines at part-load and idle", SAE Paper 820156, 1982.
- [3] Jost, Kevin, "Mercedes-Benz launches cylinder cutout", Automotive Engineering International magazine, January 1999.
- [4] Sandford, M. , J. Allen, and R. Tudor. Reduced fuel consumption and emissions through cylinder deactivation [ J ]. SAE 984014