

废气涡轮增压与汽油机匹配的模拟分析

The simulation about Turbocharger Matching with Gasoline Engine

马为 张小燕

(长安汽车工程研究院 重庆 401120)

摘要：本文对一款现有四缸汽油机进行废气涡轮增压器匹配的模拟分析。主要进行了增压器的选取、中冷器模型的建立、爆震预测模型的建立及分析。通过分析得出了增压器匹配时要关注的问题。同时还进行了增压后发动机爆震情况的预测，并且分析了推迟点火提前角和减小压缩比对发动机爆震倾向和发动机动力性的影响。

关键词：汽油机 增压器 匹配 爆震

Abstract : In this paper , an existing four-cylinder gasoline engine matching with exhaust gas turbocharger is simulated . The mainly work is the selection of the turbocharger , establishing in the intercooler model and the forecast model of knock and knock analysis . Through the analysis , we will know what should be of concern in the turbocharger matching . At the same time , knock is also forecasted , and we analysis the effect of engine power and knock tendency through postponement of the ignition advance angle and reducing the compression ratio .

Key words : gasoline engine turbocharger matching knock

发动机增压技术是提高发动机动力性、经济性的一种有效方法。要实现这一目标必须使发动机和增压器实现最佳的匹配。采用先进的模拟仿真技术可以大大减小试验次数，缩短开发时间、节约成本、提高开发的一次成功率。

本文利用 GT-POWER 软件进行增压器匹配的模拟分析。该软件可以进行增压器匹配各个环节的模拟。包括增压器模型的建立、中冷器模型的建立、爆震监测模型的建立分析以及增压器与发动机匹配稳态和瞬态各个状态下的模拟分析。本文简要介绍了如何进行在非增压基础机基础上利用 GT-POWER 软件进行增压器匹配以及一种简单的软件预测发动机爆震的方法和爆震消除方法。

1、基础机 GT-POWER 模型

本分析是针对在已有的发动机上进行的增压器匹配模拟分析，所以基础机模型必须经过详细标定且能够反应出实际发动机的状态。基础机模型如图 1

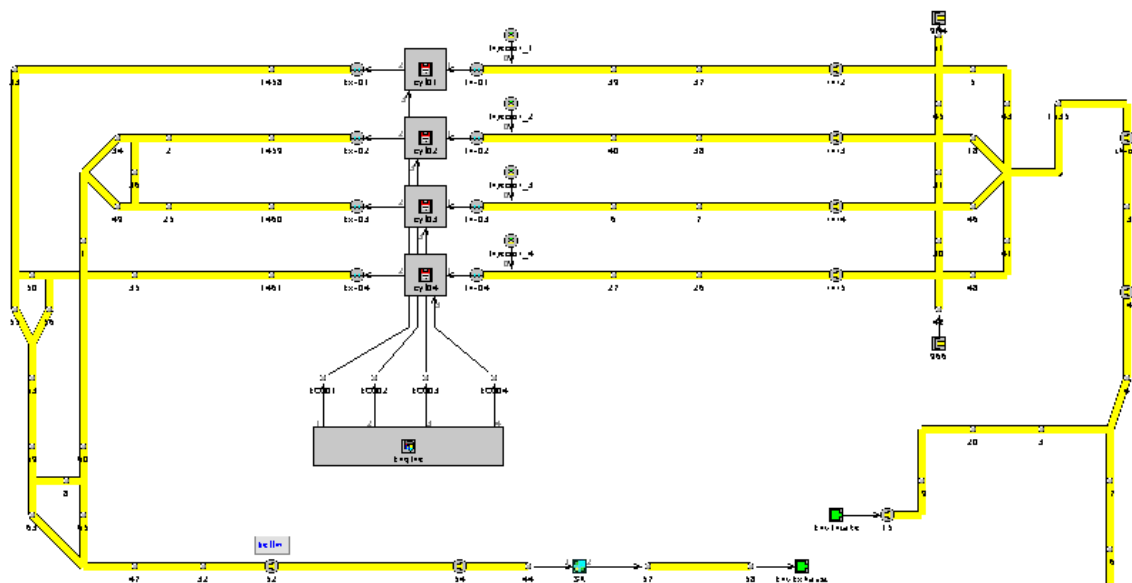


图 1 基础机 GT-POWER 模型

2、建立发动机增压器匹配分析模型

在确保基础机 GT-POWER 发动机模型是经过详细标定且能够反映实际发动机状态的前提下。在原机的基础上建立增压器模型、放气阀控制模型、中冷器模型以及爆震监测模型。图 2.1 为包含各个部分的增压发动机模型。

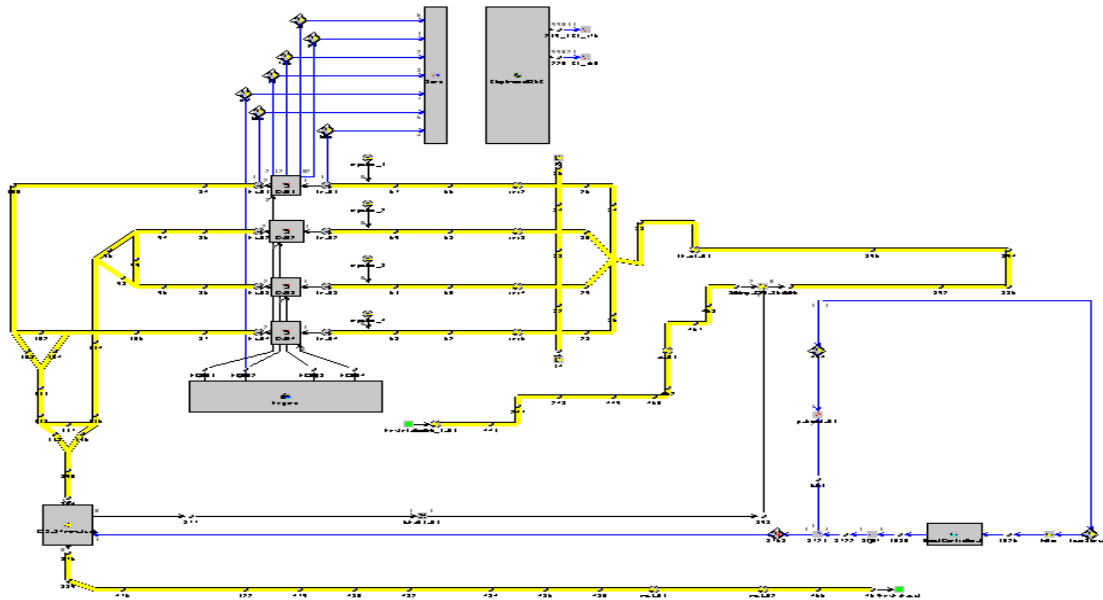


图 2.1 增压机 GT-POWER 模型

2.1 增压器模型的建立

对增压器厂家提供的压气机和涡轮机 map 进行一定的折合运算,然后将处理过的 map 数据输入到 GT-POWER 的增压器模型中。放气阀采用 PID 控制。通过监测进气总管的压力。当进气总管处的压力大于增压压力目标值时,放气阀就打开以保证增压压力不变,并且压力越大放气阀开度越大;当进气总管压力不大于增压压力目标值时,放气阀不打开。

2.2 增压器分析

分别进行增压压力为 1.4bar、1.6bar 及 1.8bar 时增压器的匹配分析。从多组增压压力中选出压气机增压压力既能够满足增压需求又能够实现开发目标的增压压力。匹配过程中增压器应该满足的要求如下：

- 运行线位于压气机高效率区,与喘振线有一定裕度,一般当压气机效率低于 55%时就认为压气机阻塞；
- 运转范围内不会出现过高的排温；
- 运转范围内增压器转速不能超过限定值；
- 发动机的特性线是否在涡轮机和压气机的高效区。

当厂家所提供增压器不能满足要求时,可以通过调整涡轮机和压气机的流量和压比来进行匹配。

喘振：一定转速下,流量减小到一定程度出现的工作不稳定现象,对应的是我们输入的压气机特性的最左边的边界。

阻塞：一定转速下,流量增大到一定程度后,流量就再也不增加了,即某一部分流体流速达到音速流通。

超速：增压发动机的功率未达到标定值时,增压器的转速已经达到了允许的最大值。

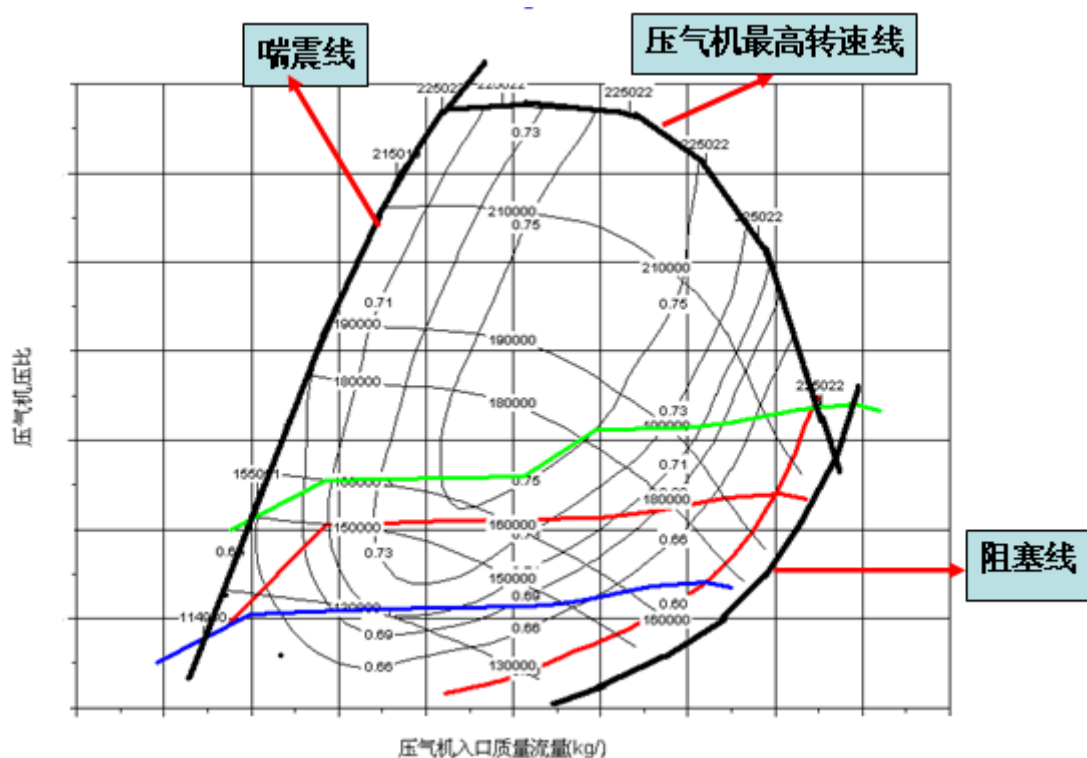


图 2.2 汽油机与涡轮增压器联合运行线

图 2.2 为增压压力为 1.6bar 时增压器与发动机的联合运行线,由上图可以看出当增压压力为 1.6 时,压气机既没有超速又没有发生阻塞,同时联合运行线与喘震线有一定裕度,所以该增压器能够与该发动机进行良好匹配。

2.3 中冷器模型建立及分析

对于概念设计时, GT-POWER 中冷器模型一般借用相似机型的中冷器模型。只要其压力损失在合适的范围之内并且通过中冷器后气体温度能够控制在一定范围之内就可以。同时通过 GT-POWER 分析所得压力降曲线及流量温度曲线可以为中冷器的设计提供边界条件。

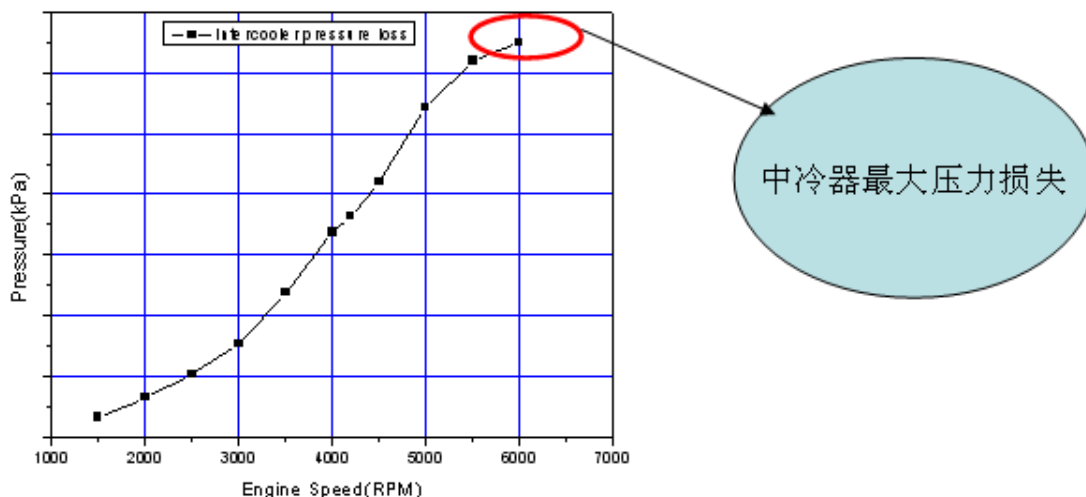


图 2.3 中冷器压力损失

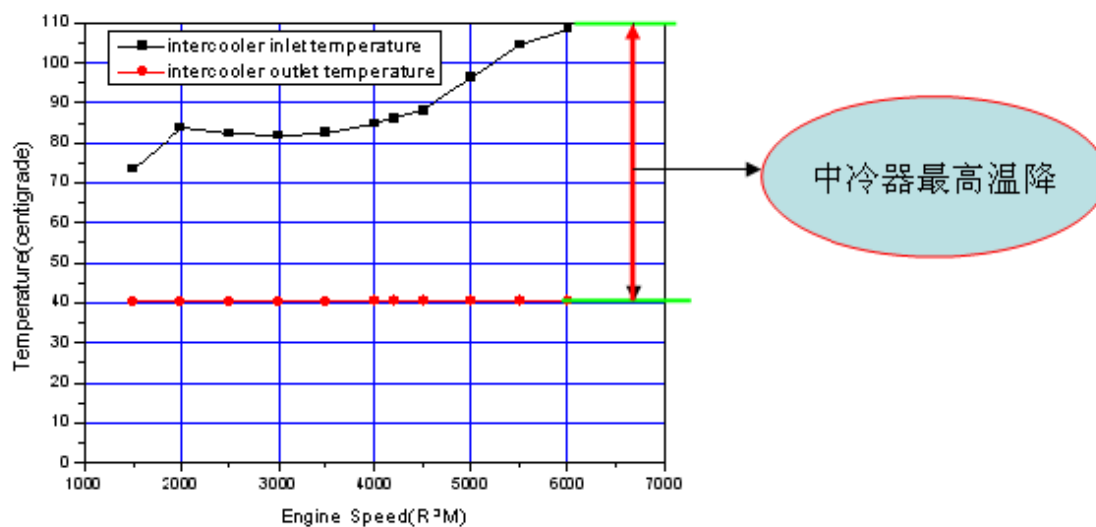


图 2.4 中冷器进出口温度

3、爆震分析

通过增压技术虽然可以提高发动机的动力经济性,但同时增压后由于发动机缸内压力和温度的升高使其产生爆震。本文分析时模拟了爆震这一现象。通过建立爆震监测模型对发动机爆震这一现象进行了预测。同时还通过改变压缩比和点火提前角来分析其对发动机爆震的影响。

3.1 爆震模型的建立及分析

本文通过 John B. Heywood 《Internal Combustion Engine Fundamentals》书中爆震理论建立了 GT-POWER 爆震监测模型。(如图 3.1) 模型上用数字标识的地方为监测模型输入输出参数。

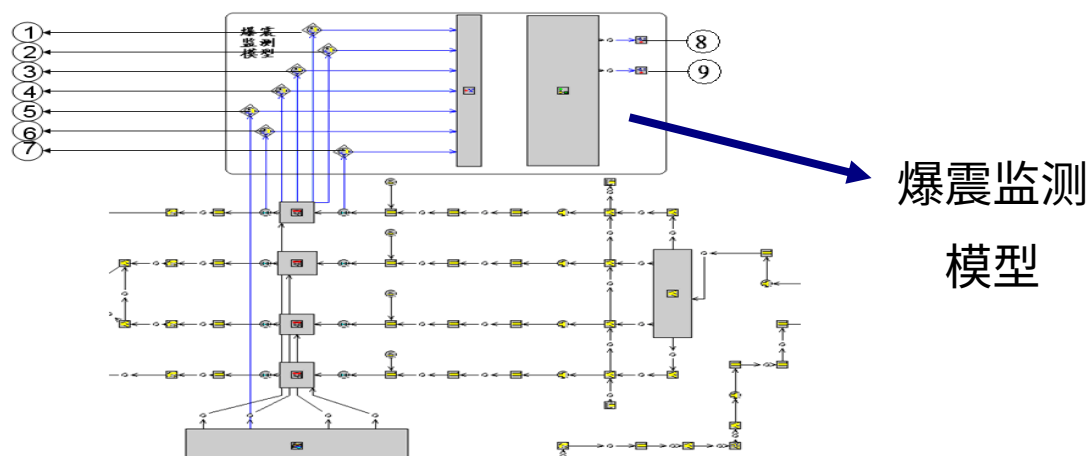


图 3.1 GT-POWER 爆震监测模型

对于现有一般发动机，其基本上处于爆震的边缘。分析时我们以此为参照，将用该模型监测到的增压机的爆震指数与非增压基础机的爆震指数进行对比，当增压机的爆震指数大于非增压基础机时我们就认为该机发生爆震，如果增压机的爆震指数小于或接近于非增压基础机时，我们就认为该机不发生爆震或发生轻微爆震。

3.2 压缩比对爆震影响敏感度分析

本次分析分别对压缩比为 8.5、9、9.5、10 时进行分析，从分析结果可以看出压缩比每减小 0.5 发动机的扭矩下降近 2N.m，功率下降超过 1kW。同时爆震指数也在减小。从分析结果也可以看出，减小压缩比是降低爆震倾向的一种有效方法，但是压缩比也不能够任意减小，因为压缩比的减小势必会造成发动机动力性能的下降，所以最终压缩比还要结合开发目标、缸压等参数来确定。

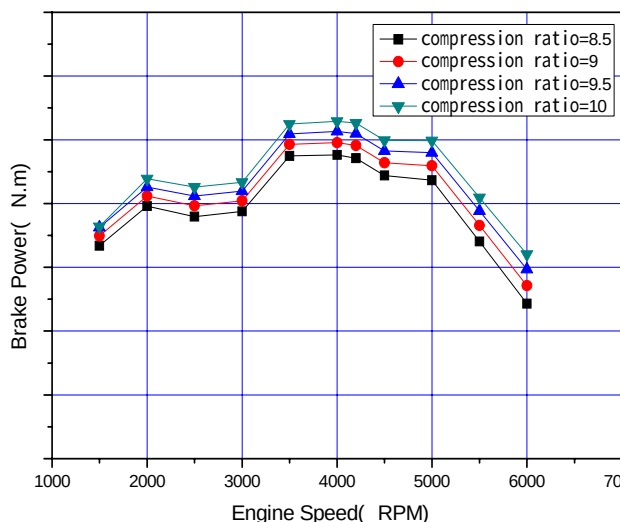


图 3.2 扭矩随压缩比变化

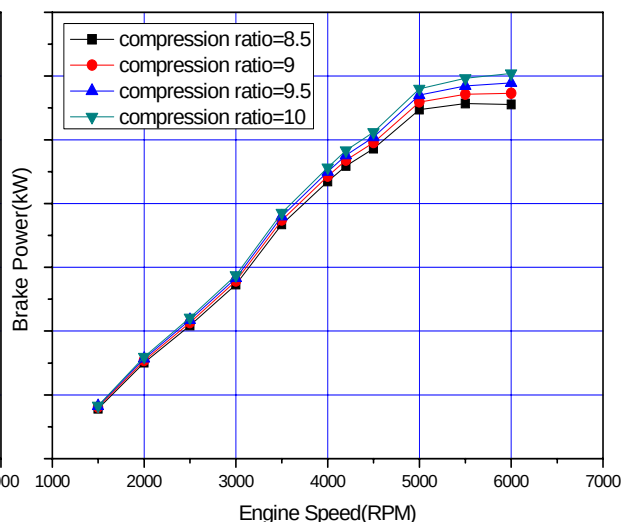


图 3.3 功率随压缩比的变化

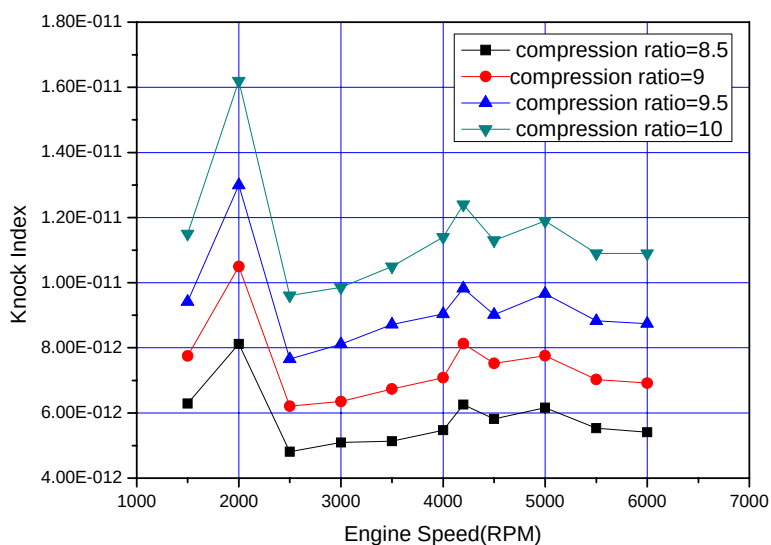


图 3.4 爆震指数随压缩比的变化

3.3 点火提前角对爆震影响敏感度分析

在 GT-POWER 软件中, 点火提前角的改变可以通过调整 GT-POWER 软件燃烧模型中 50% 燃烧时所对应的曲轴转角来进行。本分析在原机的基础上对点火提前角分别推迟 2° 、 4° 、 6° 、 8° 进行模拟计算。从计算结果可以看出点火提前角每推迟 2° 发动机的扭矩会下降 1N.m, 功率会下降近 1kW,但同时发动机的爆震情况得到一定改善。具体的点火提前角的调整应结合模拟分析结果和经验来综合考虑。

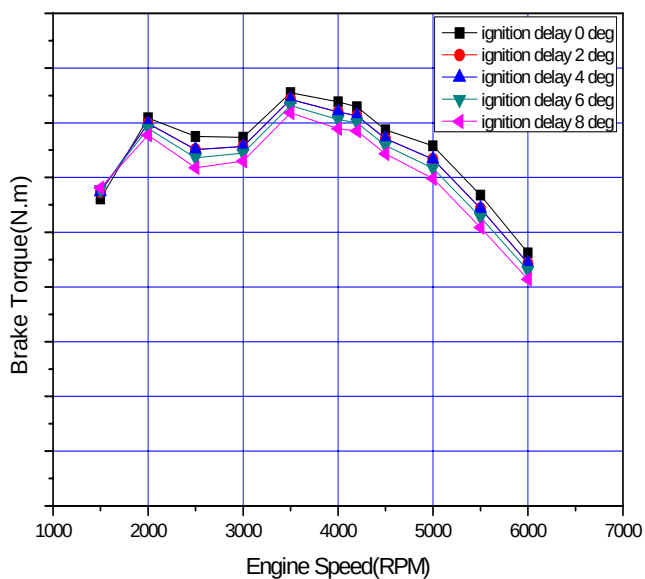


图 3.5 功率随点火提前角变化

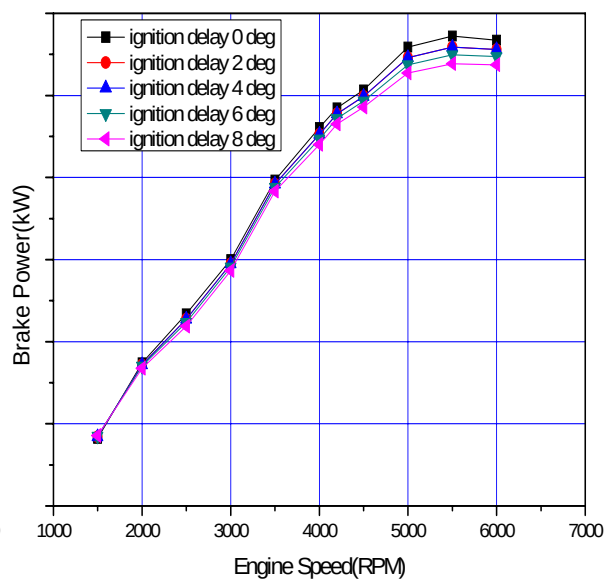


图 3.6 扭矩随点火提前角变化

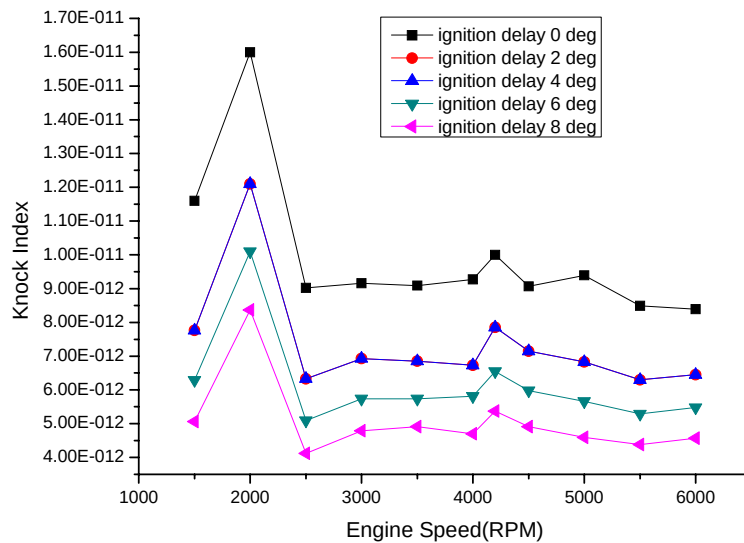


图 3.7 爆震倾向随点火提前角变化

5、总结

本文结合一款已有汽油机对增压器匹配的过程进行了研究。主要是在概念设计时利用 GT-POWER 软件针对增压器的选取、中冷器的确定以及增压后发动机的爆震倾向进行分析。从分析结果可以看出减小压缩比和推迟点火提前角发动机的动力性能都有所下降，同时发动机的爆震倾向也得到一定程度的控制。所以分析时要结合压缩比和点火提前角综合考虑，最终确定一个合适的压缩比和点火提前角。通过以上分析最终要达到在开发目标实现的前提下尽量减小增压发动机的爆震倾向。发动机爆震是一个复杂的过程，GT-POWER 分析只能看出爆震的趋势，实际的爆震还要靠试验来验证。

参考文献

- [1] John B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw-Hill, Inc. 1998
- [2] 周龙保, 内燃机学, 机械工业出版社, 北京, 2005.1
- [3] 芮鹏, 高强度柴油机性能优化及可调涡轮增压系统匹配的仿真研究, 北京交通大学, 2007(5)