

# 进气歧管喷水技术对汽油机性能影响计算分析

## The Effect of Water Injection into Intake Manifold on Performance of a Gasoline Engine

尹伊郡 刘金玉 王占峰 尚上 马俊杰

(中国第一汽车股份有限公司技术中心)

**摘要:**为提升汽油机的燃油经济性和动力性,通过GT-Power搭建进气歧管喷水发动机模型,研究该技术对油耗和扭矩的影响。计算结果表明,进气歧管喷水技术可以降低汽油机爆震倾向和排气温度,从而通过使用最优点火提前角和理论空燃比使得油耗改善和动力性提升。

**关键词:**进气歧管喷水 油耗改善 GT-Power 爆震

**Abstract:**To improve economy and dynamic of gasoline engine,a water injection into intake manifold gasoline engine model was set up by GT-Power which can simulate the effect of the technology of water injection into intake manifold on fuel consumption and torque of a gasoline engine.Results show that the knock tendency and exhaust temperature were decreased with the introduction of water injection into intake manifold. And lower fuel consumption and more stronger power were acquired by using an optimal ignition timing and a stoichiometric air-fuel ratio.

**Key words:** Water Injection into Intake Manifold, Reduce Fuel Consumption, GT-Power, Knocking

### 1 研究背景

随着CO<sub>2</sub>排放法规限值日益严格,各种节能减排技术应运而生。Downsize技术成为降低油耗非常重要的技术措施,而汽油机Downsize程度受到缸内爆震限制。汽油机在外特性等大负荷工作区域为抑制缸内爆震倾向,通常采取推迟点火提前角和λ加浓的措施,由此造成缸内燃烧效率下降、油耗恶化。本文探索一种新型技术的应用来抑制缸内的爆震倾向,运用GT-Power软件研究进气歧管喷水技术对汽油机额定功率点、最大扭矩点及2000rpm全负荷的经济性和动力性的影响规律。

### 2 进气歧管喷水技术理论基础

进气歧管喷水技术利用水比热容较大的物理特性,吸收缸内燃烧释放的热量,降低缸内燃烧温度,实现汽油机低温燃烧,降低缸内换热损失,提高有效热效率。同时,进气歧管喷水技术还可以抑制缸内爆震倾向,降低排气温度,通过对空燃比和点火提前角进行优化,实现全Map化学当量比、最优点火角燃烧。由于爆震倾向的减弱,还可以进一步提高汽油机压缩比,提高燃烧效率,降低油耗。

### 3 计算模型及计算方法

### 3.1 计算模型

本文使用某款四缸自然吸气汽油机进行模拟计算。发动机最大功率 80kW，最大扭矩 156Nm，压缩比 10.8。计算模型中，喷水喷嘴设置在每缸进气歧管中心位置，喷射物设置为可压缩液体 H<sub>2</sub>O。使用爆震模型对燃烧进行预测。计算模型见图 1。

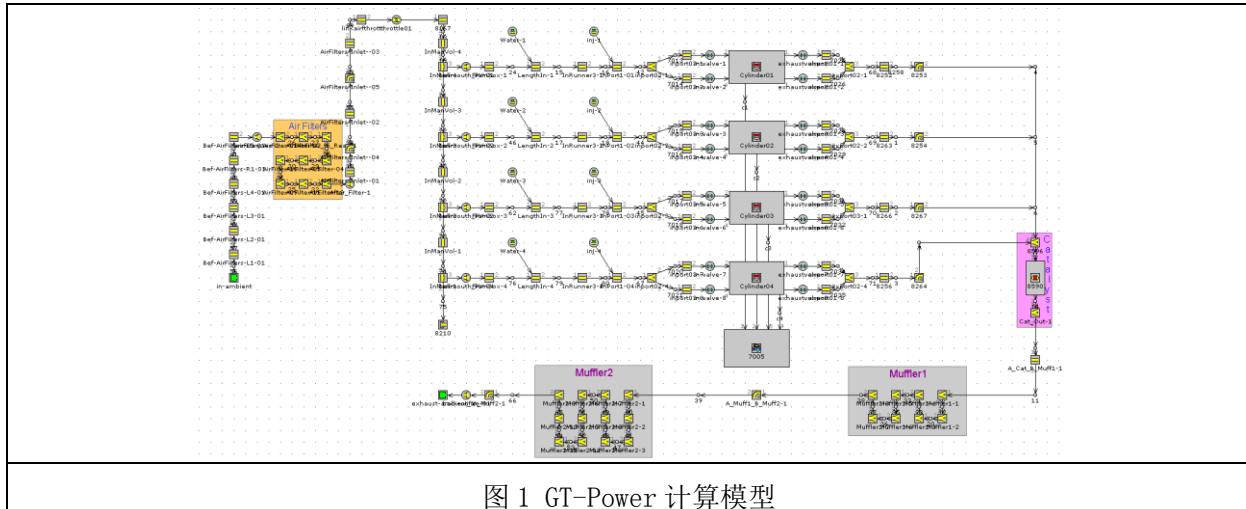


图 1 GT-Power 计算模型

### 3.2 计理工况

选择发动机额定功率点 5500rpm 全负荷、最大扭矩点 3800rpm 全负荷和强烈爆震工况点 2000rpm 全负荷共三个工况点进行模拟计算。

### 3.3 计理工况

1. 保持点火角、空燃比、VVT 等设置不变，研究进气歧管喷水量对动力性、燃油经济性、缸内燃烧、排气温度等参数的影响。

2. 保持 VVT 等设置不变，在不同进气歧管喷水量情况下调整点火角、空燃比，将发动机保持在爆震边界（参数 Knock Induction Time Integral 值等于 1，小于 1 不发生爆震，大于 1 发生爆震），同时使发动机排气温度与进气歧管不喷水时保持一致。如果调整点火角使燃烧重心达到 8° ATDC，发动机仍未发生爆震，则不再继续提前点火角。如果空燃比调整为理论空燃比后发动机排温仍未升高至与不喷水情况一致，则不再继续增大空燃比。

## 4 计算结果

### 4.1 额定功率点 5500rpm 全负荷

在保持点火角、空燃比等参数不变（见图 2-3）情况下，随着进气歧管喷水量的增大，燃烧重心推迟（见图 4），燃烧速度减慢（见图 5），缸内爆震倾向减弱（见图 6），排气温度降低（见图 7）。由于爆震倾向的减弱和排气温度的降低，对点火角和空燃比进行优化（见图 2-3）使发动机工作在爆震边界、排气温度与不喷水情况保持一致（见图 6-7）。点火提前角的增大使燃烧重心从 15° ATDC 提前至 8° ATDC（见图 1、4），空燃比从 10.8 减稀至 14.6（见图 2）。功率点 5500rpm 全负荷的经济性和动力性均随喷水量的增大呈先改善后恶化的趋势（见图 8-9）。

分析认为，燃烧效率受燃烧速度影响，而燃烧速度与点火角、燃烧重心直接相关。在燃烧重心没有达到  $8^{\circ}$  ATDC 之前，点火提前角增大使燃烧重心提前，抵消了由此导致的滞燃期延长，加快了燃烧速度。当燃烧重心达到  $8^{\circ}$  ATDC 之后，点火提前角增大导致滞燃期延长，燃烧速度减慢。燃烧速度随喷水量的增大呈先加快后减慢趋势（见图 5）是导致经济性和动力性呈先改善后恶化的根本原因。综合考虑动力性和经济性，选择空水比（空气量与喷水量的比值）28.7，此时扭矩 145.2Nm，提高 3.9%；BSFC 277.4g/kW·h，降低 23.3%。计算结果表明，额定功率点采用进气歧管喷水技术可以大幅度改善油耗，同时扭矩也得到改善。

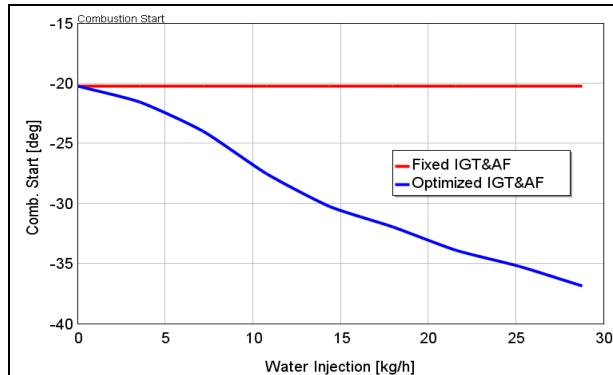


图 2 喷水量与点火角关系

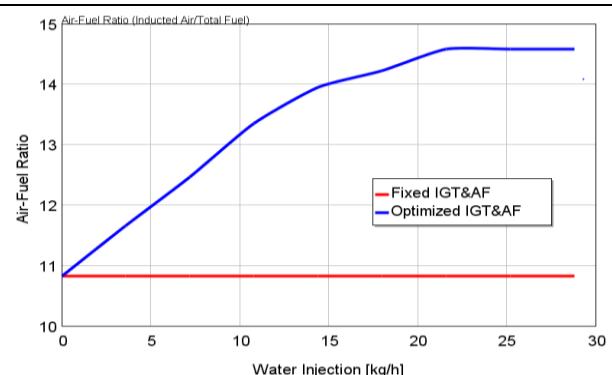


图 3 喷水量与空燃比关系

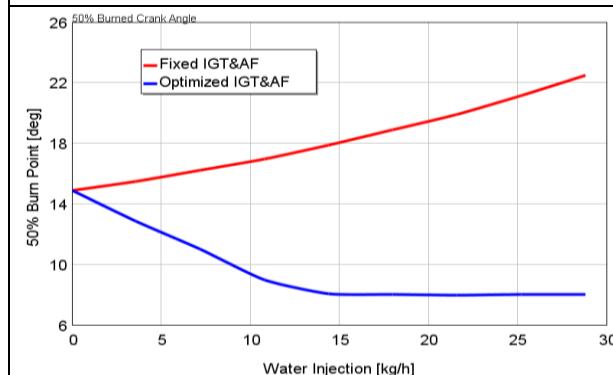


图 4 喷水量与燃烧重心关系

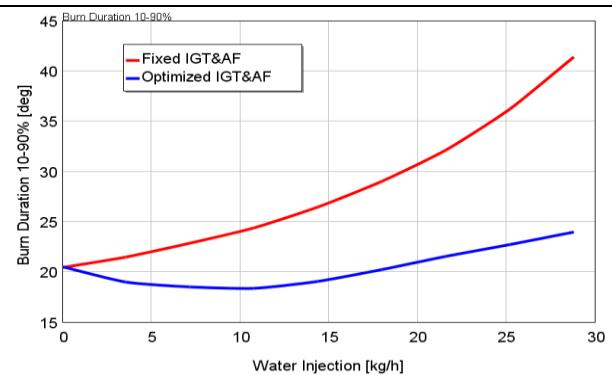


图 5 喷水量与燃烧速度关系

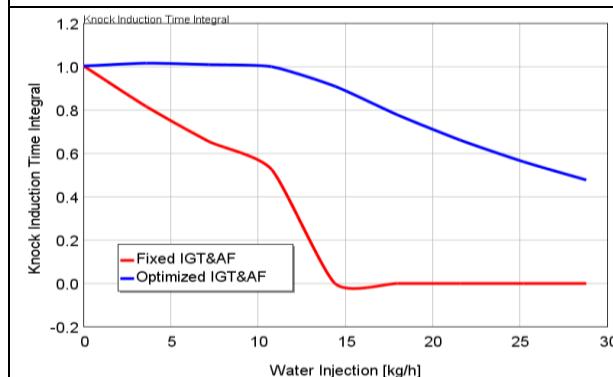


图 6 喷水量与爆震关系

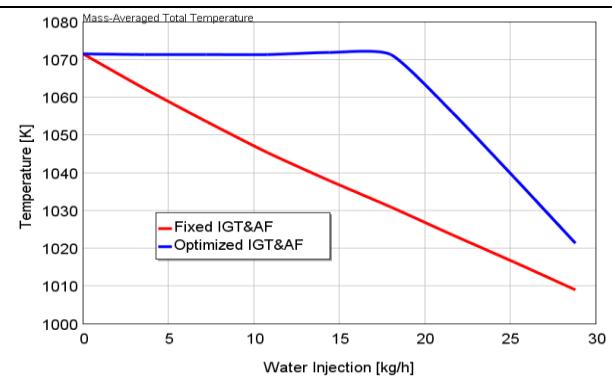


图 7 喷水量与排温关系

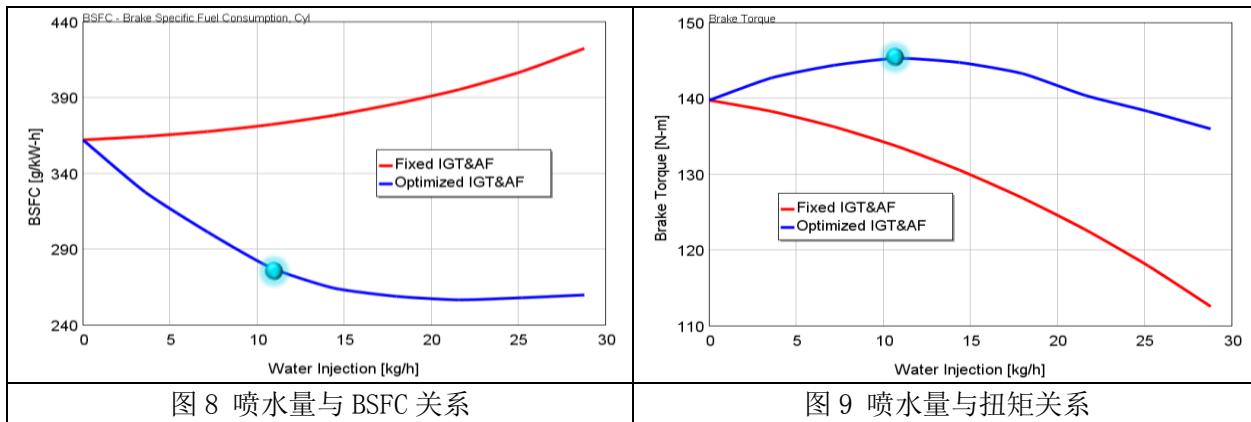


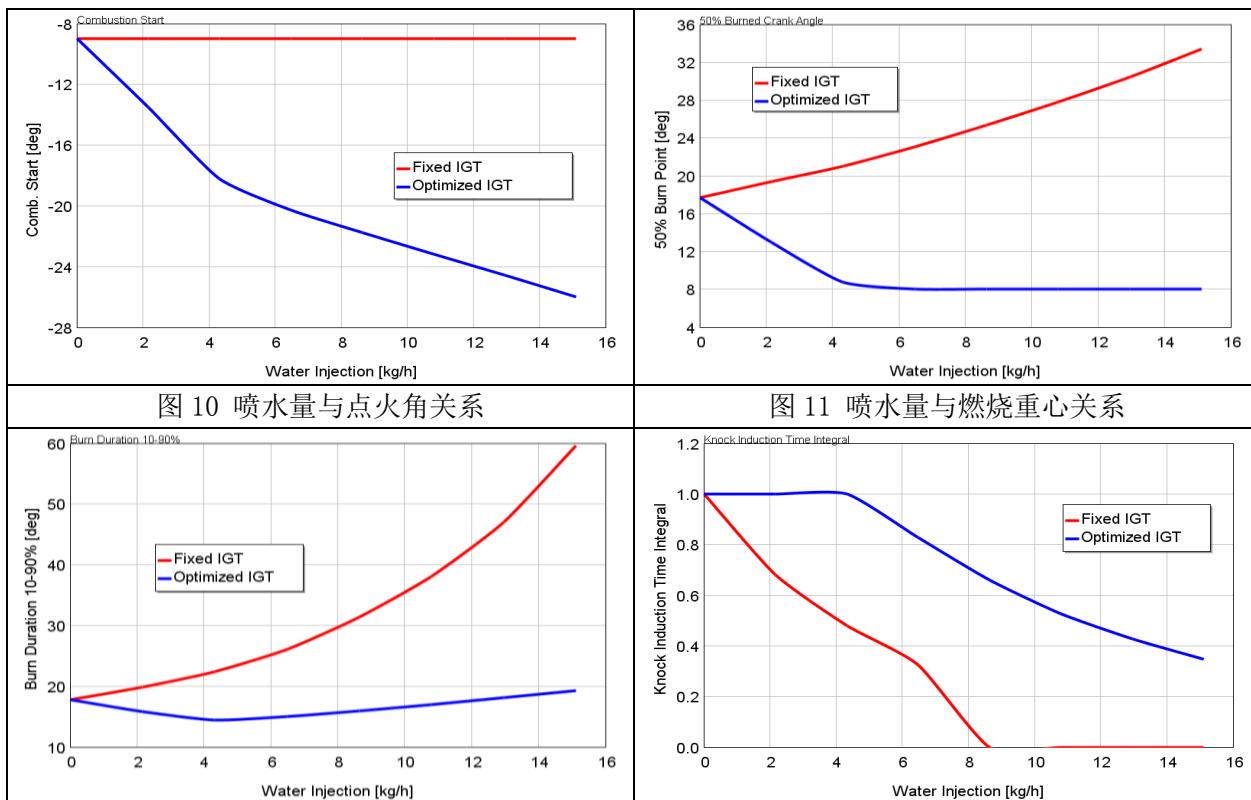
图 8 喷水量与 BSFC 关系

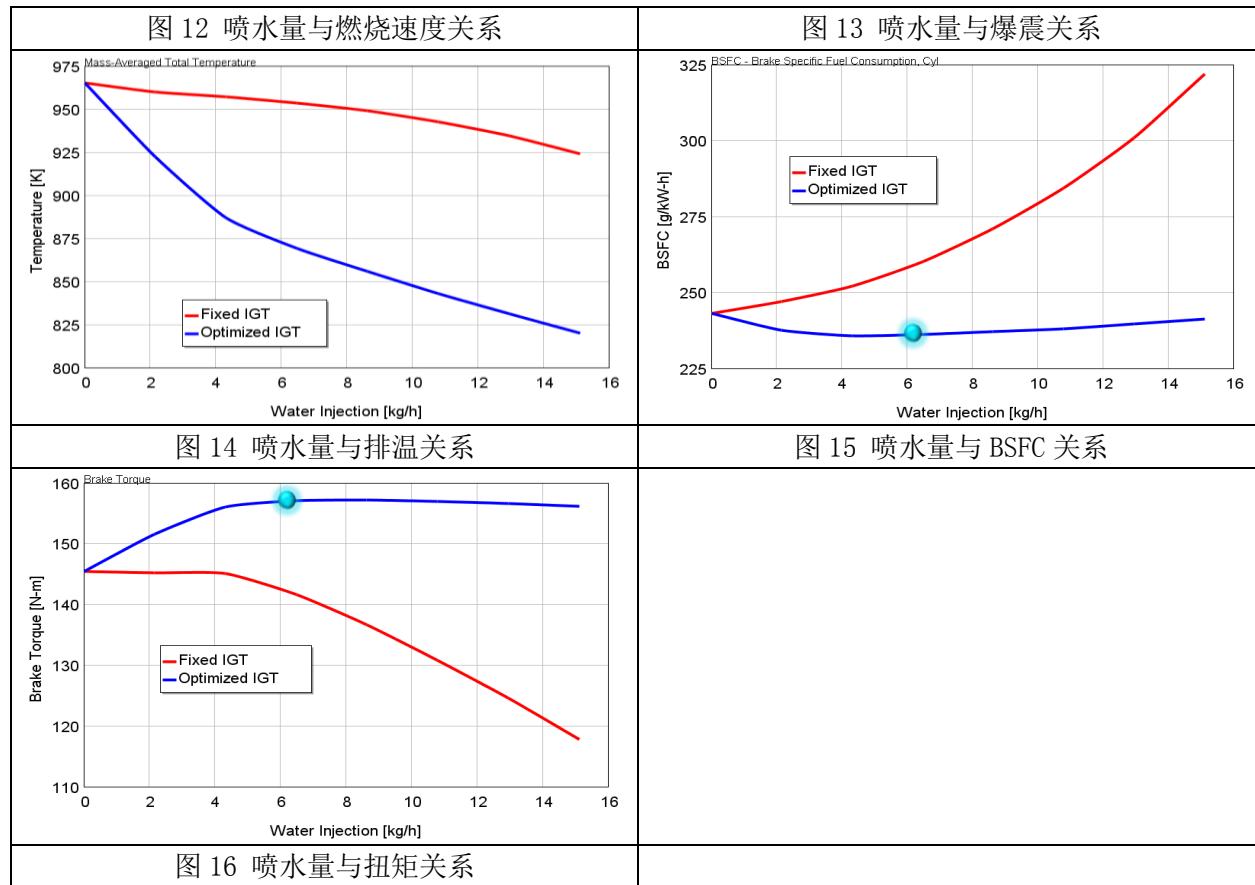
图 9 喷水量与扭矩关系

#### 4.2 爆震强烈工况 2000rpm 全负荷

在保持点火角等参数不变（见图 10）情况下，随着喷水量的增大，燃烧重心推迟（见图 11），燃烧速度减慢（见图 12），爆震倾向显著下降（见图 13），同时排气温度降低（见图 14）。由于爆震倾向的减弱，优化点火角使发动机工作在爆震边界（见图 13），点火提前角的增大使燃烧重心从 18° ATDC 提前至 8° ATDC（见图 10-11）。2000rpm 全负荷的经济性和动力性均随喷水量的增大呈先改善后恶化的趋势（见图 15-16）。

综合考虑动力性和经济性，选择空水比 15.8，此时扭矩 157Nm，提高 8.1%；BSFC 236.2g/kW·h，降低 2.9%。该工况点动力性改善程度大于额定功率点，主要原因在于该工况点爆震倾向严重，喷水后点火角和燃烧重心提前的幅度较大。经济性改善程度小于额定功率点，主要原因在于该工况点排气温度较低，空燃比加浓程度较低。计算结果表明，爆震强烈工况采用进气歧管喷水技术可以较大幅度提高发动机低速扭矩，同时在一定程度上降低油耗。

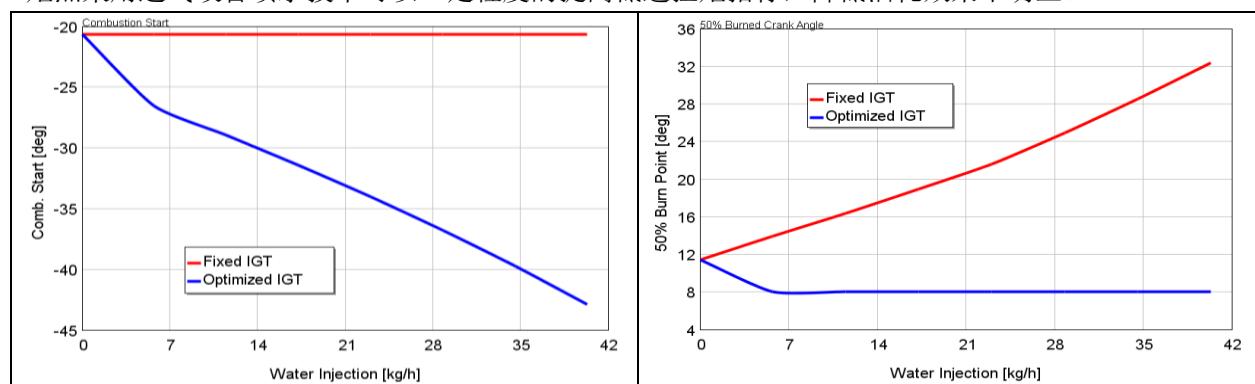


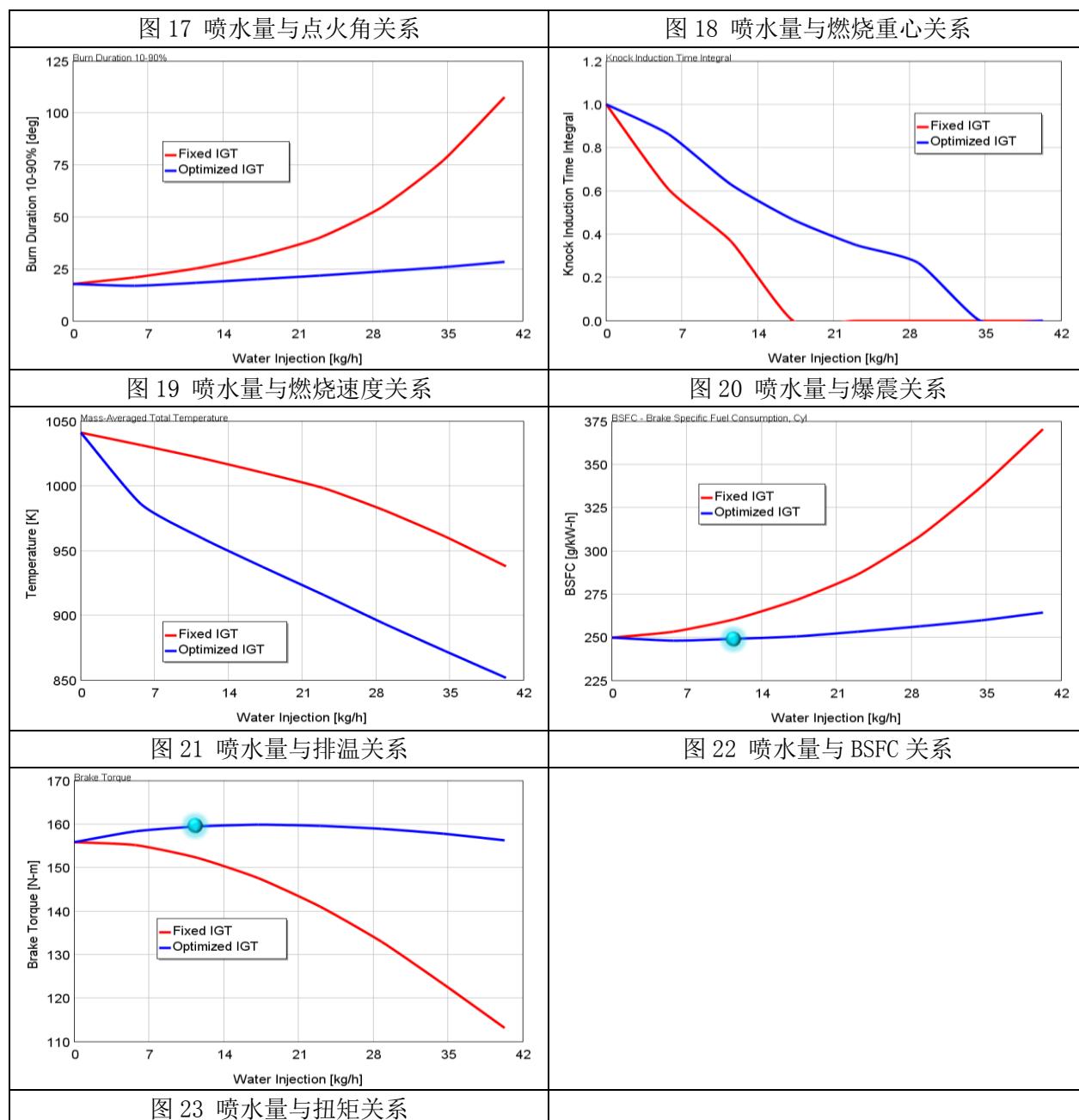


#### 4.3 最大扭矩点 3800rpm 全负荷

在保持点火角等参数不变（见图 17）情况下，随着喷水量的增大，燃烧重心推迟（见图 18）、燃烧速度减慢（见图 19），爆震倾向显著下降（见图 20），同时排气温度降低（见图 21）。由于爆震倾向的减弱，优化点火角使发动机工作在爆震边界（见图 20），点火提前角的增大使燃烧重心从 11.4° ATDC 提前至 8° ATDC（见图 17-18）。3800rpm 全负荷的经济性和动力性均随喷水量的增大呈先改善后恶化的趋势（见图 22-23）。

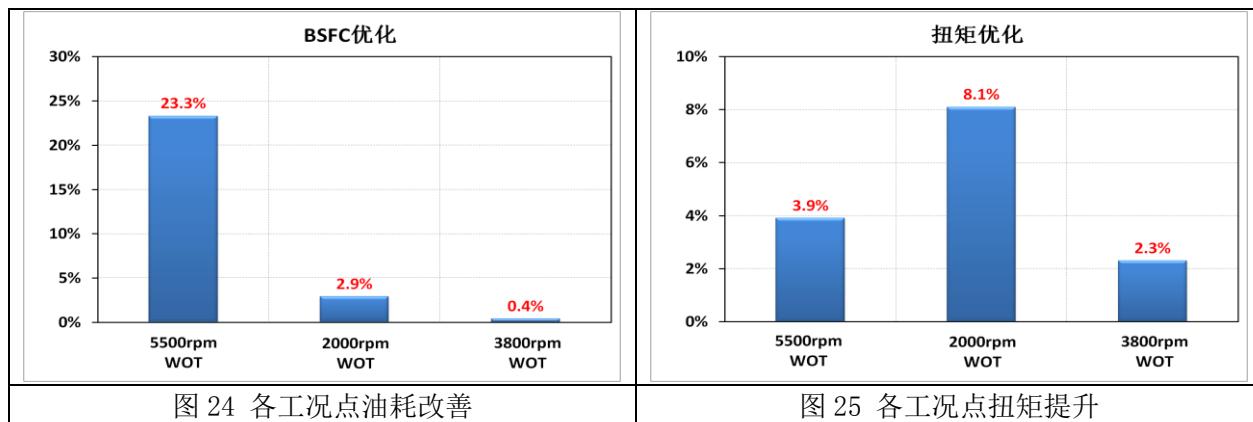
综合考虑动力性和经济性，选择空水比 18.2，此时扭矩 159.4Nm，提高 2.3%；BSFC 248.9g/kW·h，降低 0.4%。该工况点动力性和经济性改善程度均小于额定工况点和 2000rpm 全负荷，原因在于该工况点爆震倾向较弱、空燃比加浓程度较小，喷水技术带来的改善程度较小。计算结果表明，最大扭矩点采用进气歧管喷水技术可以一定程度的提高低速扭矩指标，降低油耗效果不明显。





#### 4.4 计算结果小结

进气歧管喷水技术对油耗改善效果：额定功率点 > 2000rpm 全负荷 > 最大扭矩点，对动力性改善效果：2000rpm 全负荷 > 额定功率点 > 最大扭矩点（见图 24-25）。对于经济性改善，进气歧管喷水技术的作用主要是通过降低排温，减稀空燃比；对于动力性改善，该技术的作用主要是通过降低爆震倾向，增大点火提前角。



## 5 结论

进气歧管喷水技术可以有效降低爆震倾向和排气温度，通过优化点火角和空燃比实现动力性和经济性的同时改善。外特性等大负荷工况点随着喷水量的增大呈先改善再恶化的趋势。使用进气歧管喷水技术，CA4GB16 汽油机额定功率点油耗改善 23.3%，扭矩提高 3.9%；2000rpm 外特性油耗改善 2.9%，扭矩提高 8.1%；最大扭矩点油耗改善 0.4%，扭矩提高 2.3%。进气歧管喷水技术还有许多亟待解决的问题，如水份与可燃气体的混合、缸盖的腐蚀、机油稀释、冬季水的储存供给等。

## 6 参考文献

- [1] 王建昕编 《汽车发动机原理》 清华大学出版社 2011
- [2] J. C. Livengood, P. C. Wu. Correlation of Autoignition Phenomena in Internal Combustion Engines and Rapid Compression Machines, 5th Symposium (International) on Combustion, 1957
- [3] Simon Brewster, Don Railto. The Effect of E100 Water Content on High Load Performance of a Spray Guide Direct Injection Boosted Engine, SAE, 2007