

基于 GT-POWER 的某 1.5L 缸内直喷汽油机性能预测

刘阳^{1,2} 刘亚奇^{1,2} 邱腾蛟^{1,2} 李东辉^{1,2} 李亮^{1,2} 张智学^{1,2}

(1, 长城汽车股份有限公司技术中心, 河北保定市 071000;

2, 河北省汽车工程技术研究中心, 河北保定市 071000)

摘要: 基于某样机, 以提高性能、降低油耗为目标, 进行某 1.5L 缸内直喷涡轮增压汽油机的性能开发。过程中使用 GT-POWER 软件, 对压缩比、进排气型线及点火角和气门正时等进行优化选型。最终在满足性能目标要求及限制条件的基础上确定了压缩比、进排气型线等的方案。

关键词: GT-POWER、预测模型、CVVL、压缩比

Abstract: To improve the performance and reduce fuel consumption, GWM developed a new 1.5L turbocharged GDI engine based on a benchmarking engine. During the engine development process, GT-POWER software was used to optimize engine compression ratio, intake and exhaust valve profiles, spark and valve timing etc. The simulation result shows that power and fuel consumption target can be reached. And finally compression ratio and valve profiles were confirmed for the new engine.

Key words: GT-POWER, Prediction model, CVVL, Compression ratio

1. 前言

为了应对越来越严苛的排放法规, 及满足用户对经济性的追求。长城公司进行了某 1.5L 缸内直喷涡轮增压汽油机的开发。通过使用 GT-POWER 软件中的 EngCylCombSITurb、EngCylFlow、EngCylKnock 及 EngCylTWallSoln 等模块, 对压缩比、进排气型线等进行优化选型, 以实现 135kW/5500~6300rpm、285Nm/1300~4000rpm 的性能目标, 及 220g/(kWh) 的最低比油耗目标。

2. 基础模型的校核

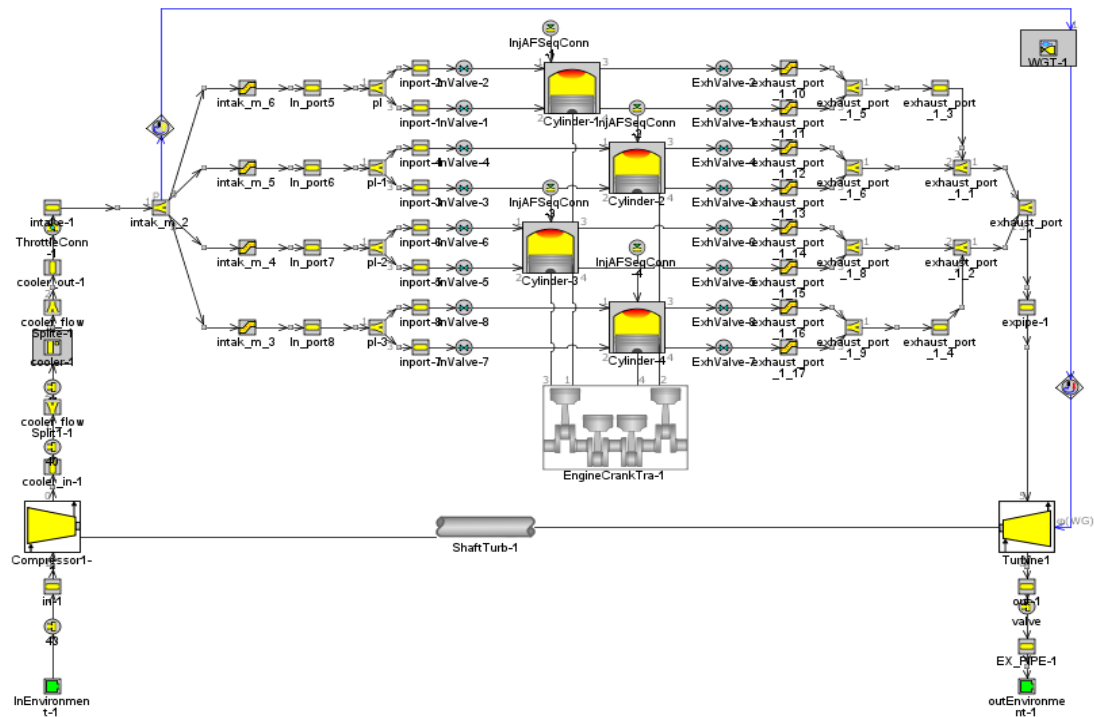


图1 样机 GT-POWER 模型

根据样机的结构尺寸及试验数据搭建并校核样机的 GT-POWER 模型，如图 1 所示。下图 2 为样机校核的部分结果及爆震指数。

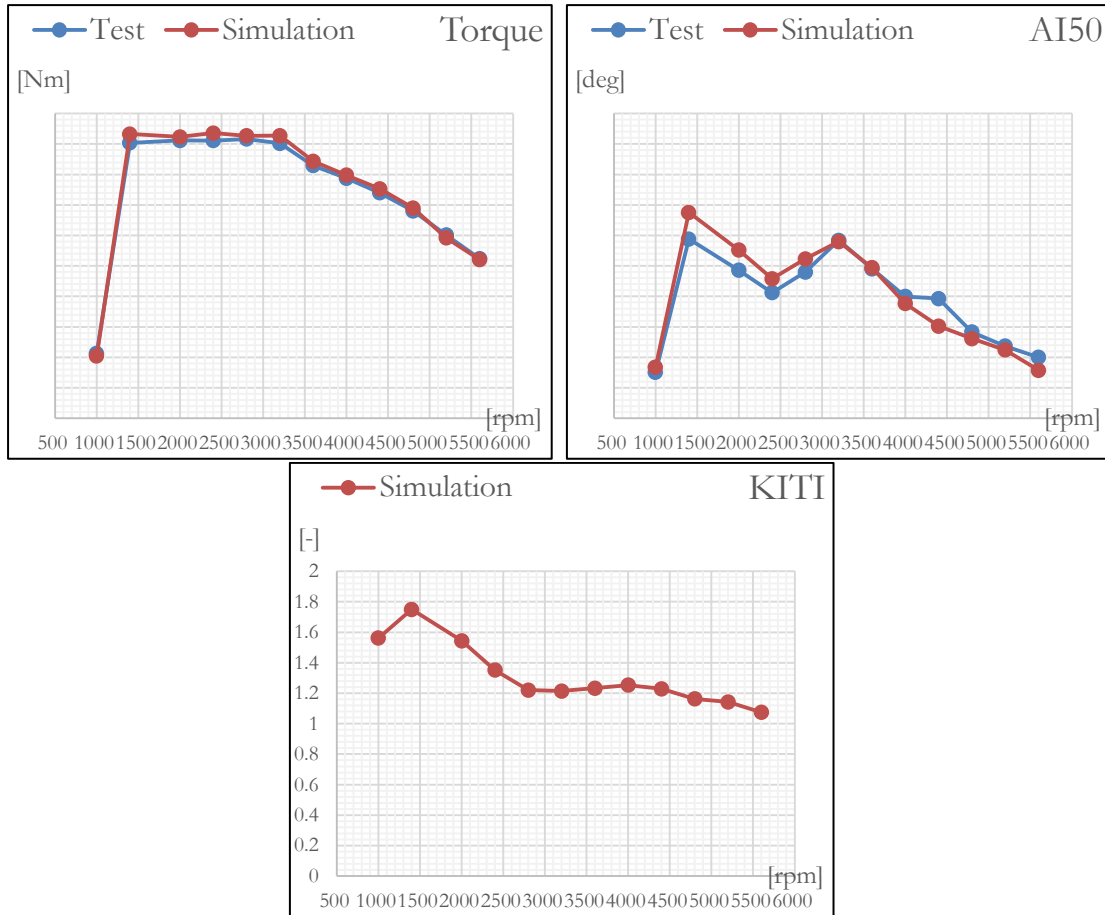


图 2 样机校核结果

通过对 EngCylCombSITurb、EngCylFlow 等模型的标定，计算出来的 AI50 与试验值的最大误差为 1.82deg。其中 KITI 为使用 EngCylKnock 模型计算出来的爆震指数。模型校核结果满足误差需求，能够用于新机型的性能预测。

3. 性能预测结果分析

性能预测过程中，使用爆震控制模块，结合上述 KITI 值，实现对点火角的自动优化。同时，过程中通过 DOE 的方法，对压缩比、进排气型线、气门正时、增压压力等参数进行扫点计算。

3.1 额定功率点性能预测

在额定功率点主要通过对排气型线及压缩比等参数的优化，进行性能的预测。计算设置情况如下表 1 所示。

表 1 额定功率点性能预测计算设置

工况	型线	压缩比	进气门正时	排气门正时	增压压力	点火角
[-]	[-]	[-]	[deg]	[deg]	[bar]	[deg]
6300rpmW OT	In195_Ex180	9.5~11.0/0.5	-60~0/10	0~60/10	1.7~2.5/0.05	爆震控制
	In195_Ex210					

3.1.1 In190_Ex180 时的预测结果

如图 3 所示，在额定功率点使用 In195_Ex180 的型线组合时，除了压缩比 11 时的功率低于目标值外，其余压缩比均能实现 135kW 的功率目标。

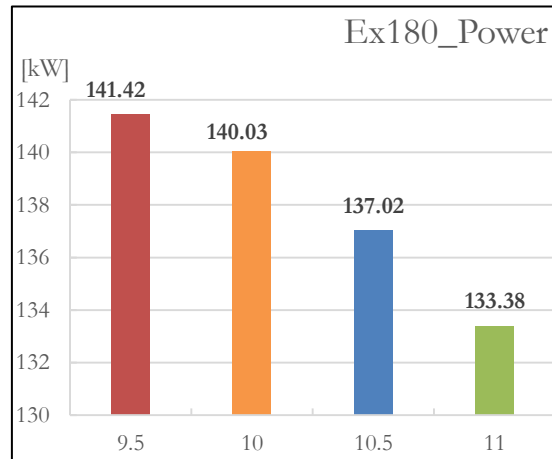


图 3 额定功率点使用 Ex180 时各压缩比下所能实现的最大功率

表 2 额定功率点使用 Ex180 时各压缩比下实现最大功率时的参数组合

Profile	CR	P_IA	VVT_I	VVT_E	SPK	Power	P_B_TC	T_B_TC	P_A_TC
		[bar]	[deg]	[deg]	[deg]	[kW]	[bar]	[C]	[bar]
In195 Ex180	9.5	2.25	-20	10	-7	141.42	3.71	922.65	1.6
	10	2.1	-10	10	-5	140.03	3.57	924.18	1.59
	10.5	2.05	-10	10	-3.4	137.02	3.45	924.69	1.56
	11	1.95	-10	10	-3.2	133.38	3.19	909.49	1.49

3.1.2 In190_Ex210 时的预测结果

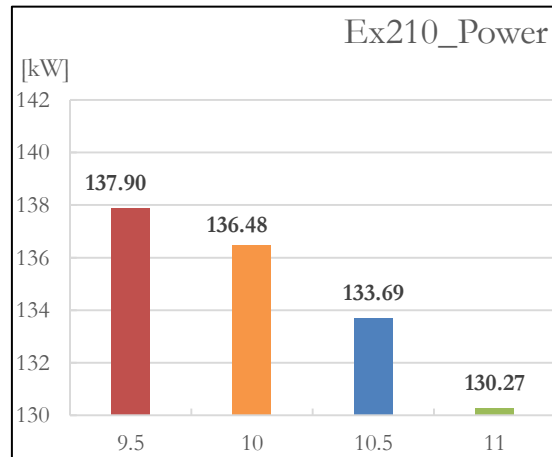


图 4 额定功率点使用 Ex210 时各压缩比下所能实现的最大功率

如图 4 所示, 在额定功率点使用 In195_Ex210 的型线组合时, 只有压缩比为 9.5 和 10.0 时的功率能够实现 135kW 的功率目标。

表 3 额定功率点使用 Ex210 时各压缩比下实现最大功率时的参数组合

Profile	CR	P_IA	VVT_I	VVT_E	SPK	Power	P_B_TC	T_B_TC	P_A_TC
		[bar]	[deg]	[deg]	[deg]	[kW]	[bar]	[C]	[bar]
In195 Ex210	9.5	2.15	-10	20	-6.4	137.9	3.54	916.09	1.58
	10	2.05	0	20	-4.3	136.48	3.45	920.11	1.58
	10.5	2	0	20	-2.9	133.69	3.33	919.08	1.55
	11	1.9	0	20	-2.8	130.27	3.08	902.2	1.48

3.1.3 In190_Ex180 VS In190_Ex210

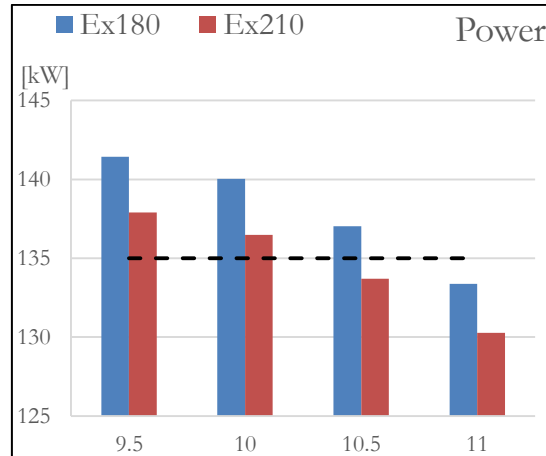


图 5 Ex180 和 Ex210 所能实现的最大功率的对比

如图 5 所示，通过使用 In190_Ex180 和 In190_Ex210 两种型线组合，各压缩比下所能实现的最大功率的对比可以看出，型线 In190_Ex180 对发动机性能更有利。使用型线 In190_Ex180 能在更大的压缩比范围内实现功率目标。

3.2 低速扭矩点性能预测

与额定功率点类似，通过对排气型线及压缩比等参数的优化，进行低速扭矩点的性能预测。计算设置情况如下表 4 所示。

表 4 低速扭矩点性能预测计算设置

工况	型线	压缩比	进气门正时	排气门正时	控制目标扭矩	点火角
[-]	[-]	[-]	[deg]	[deg]	[Nm]	[deg]
1300rpm WOT	In195_Ex180	9.5~11.0/0.5	-60~0/10	0~60/10	285	爆震控制
	In195_Ex210					

3.2.1 In190_Ex180 时的预测结果

如图 6 所示，在低速扭矩点使用 In195_Ex180 的型线组合时，各压缩比下所能实现的最大扭矩都不能满足 285Nm 的目标需求。

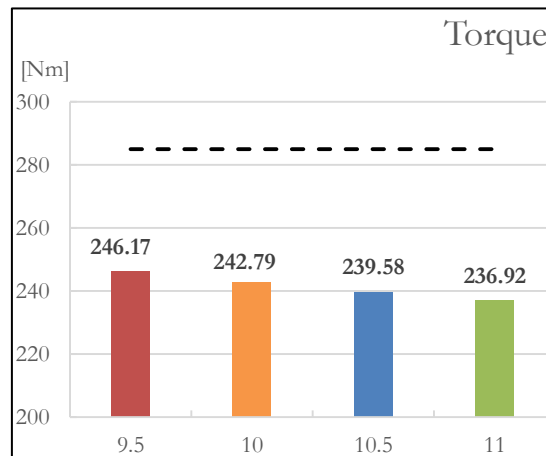


图 6 低速扭矩点使用 Ex180 时各压缩比下所能实现的最大扭矩

表 5 低速扭矩点使用 Ex180 时各压缩比下实现最大扭矩时的参数组合

Profile	CR	P_IA	VVT_I	VVT_E	SPK	Torque	WGD
[-]	[-]	[bar]	[deg]	[deg]	[deg]	[Nm]	[mm]
In195 Ex180	9.5	2.05	-10	40	10.4	246.17	0
	10	2.03	-10	40	11	242.79	0
	10.5	2.02	-10	40	11.7	239.58	0
	11	2.02	-10	40	12.4	236.92	0

3.2.2 In190_Ex210 时的预测结果

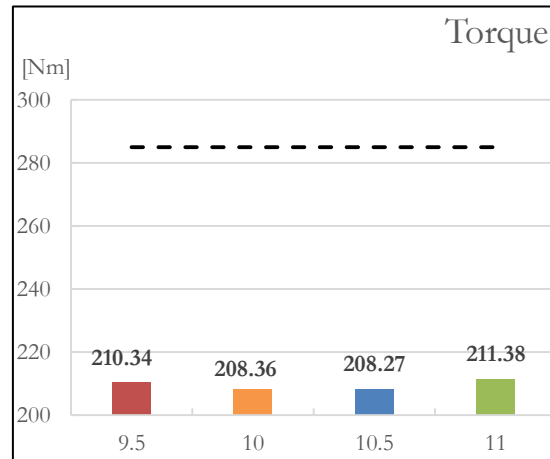


图 7 低速扭矩点使用 Ex210 时各压缩比下所能实现的最大扭矩

表 6 低速扭矩点使用 Ex210 时各压缩比下实现最大扭矩时的参数组合

Profile	CR	P_IA	VVT_I	VVT_E	SPK	Torque	WGD
[-]	[-]	[bar]	[deg]	[deg]	[deg]	[Nm]	[mm]
In195 Ex210	9.5	1.94	-10	0	7.3	210.34	0
	10	1.9	-10	0	7.3	208.36	0
	10.5	1.92	-20	0	8.4	208.27	0
	11	2.03	-20	0	10.8	211.38	0

如图 7 所示，在低速扭矩点使用 In195_Ex210 的型线组合时，各压缩比下所能实现的最大扭矩都不能满足 285Nm 的目标需求。

3.2.3 In190_Ex180 VS In190_Ex210

如图 8 所示，通过使用 In190_Ex180 和 In190_Ex210 两种型线组合，各压缩比下所能实现的最大扭矩的对比可以看出，虽然使用这两套型线都不能够实现 285Nm 的扭矩目标。但是使用型线 In190_Ex180 时，在各压缩比所能实现的最大扭矩都要比使用型线 In190_Ex210 时的大。型线 In190_Ex180 在低速扭矩点的表现更好，更容易实现扭矩目标。

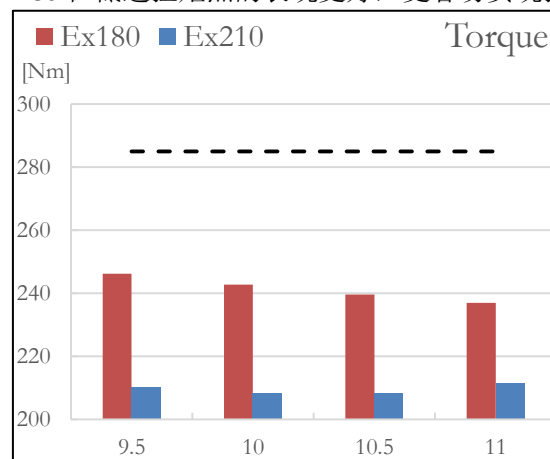


图 8 Ex180 和 Ex210 所能实现的最大扭矩的对比

3.2.4 In190_Ex180+eBoost 时的预测结果

参考上述计算结果，基于 In190_Ex180 的型线，配合使用电子增压器后，如图 9 所示，各压缩比下都能够实现 285Nm 的扭矩目标。

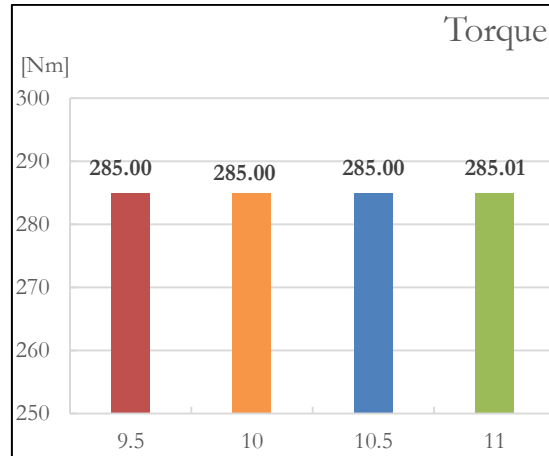


图 9 Ex180+eBoost 时各压缩比所能实现的最大扭矩

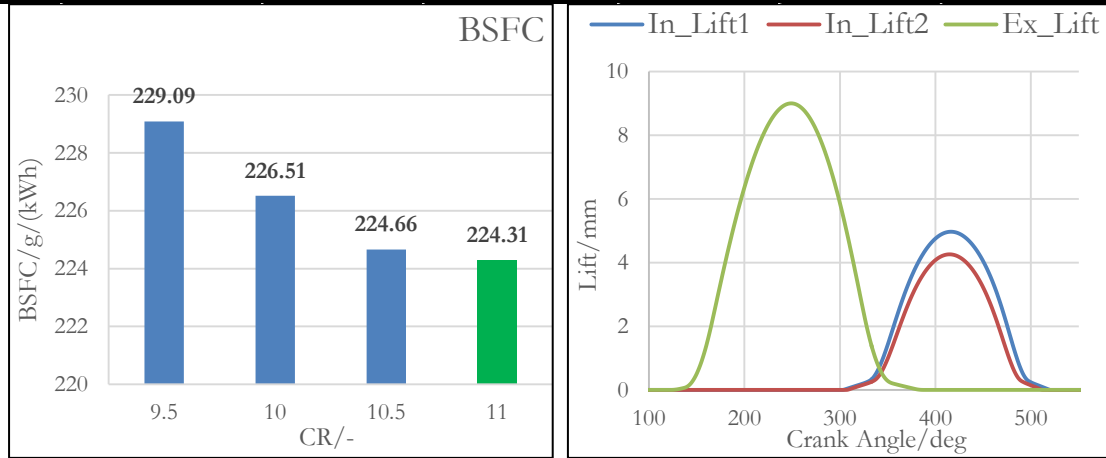
3.3 最佳油耗点性能预测

在最佳油耗点主要是通过对进气 CVVL 型线及排气型线和压缩比等参数的优化, 进行油耗的预测。计算设置情况如下表 7 所示。其中的偏心轴角度是进气 CVVL 机构的偏转角度。不同的偏心轴角度对应的是不同的进气升程、持续期和异步情况。

表 7 最佳油耗点性能预测计算设置

3.3.1 In190_Ex180 时的预测结果

工况	型线	偏心轴角度	压缩比	进气门正时	排气门正时	增压压力	点火角
[-]	[-]	[deg]	[-]	[deg]	[deg]	[bar]	[deg]
2800rpm 12.0bar	In195_Ex180 In195_Ex210	0~200/10	9.5~11.0/0.5	-60~0/10	0~60/10	1.0~1.5/0.1	爆震控制



(a)

(b)

图 10 最佳油耗点使用 Ex180 时各压缩比下所能实现的最低油耗

表 8 最佳油耗点使用 Ex180 时各压缩比下实现最低油耗时的参数组合

Speed	CR	BMEP	Offset Angle	BSFC	BP	VVT_I	VVT_E	SPK	AI50	Pmax	APmax
[rpm]	[-]	[bar]	[deg]	[g/kWh]	[bar]	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]	[bar]	[deg]
2800	9.5	12.03	130	229.09	1.5	-60	30	-18.1	8.21	68.64	14.45
	10	12.03	120	226.51	1.5	-60	30	-16.5	8.96	69.5	15.24
	10.5	12.02	90	224.66	1.5	-50	40	-14.6	9.56	69.74	15.85
	11	12.04	90	224.31	1.5	-50	40	-11.375	12.52	65.66	18.89

如图 10 所示,配合 Ex180 的型线,当压缩比 11.0 时能够达到的最低油耗为 224.31g/(kWh),未能实现 220g/(kWh)的最低比油耗目标。此时进气 CVVL 机构的偏心轴角度为 90°; 如图所示有异步。

3.3.2 In190_Ex210 时的预测结果

如图 11 所示,配合 Ex210 的型线,当压缩比 10.5 时能够达到的最低油耗为 227.23g/(kWh),未能实现 220g/(kWh)的最低比油耗目标。此时进气 CVVL 机构的偏心轴角度为 110°; 如图所示同样有异步。

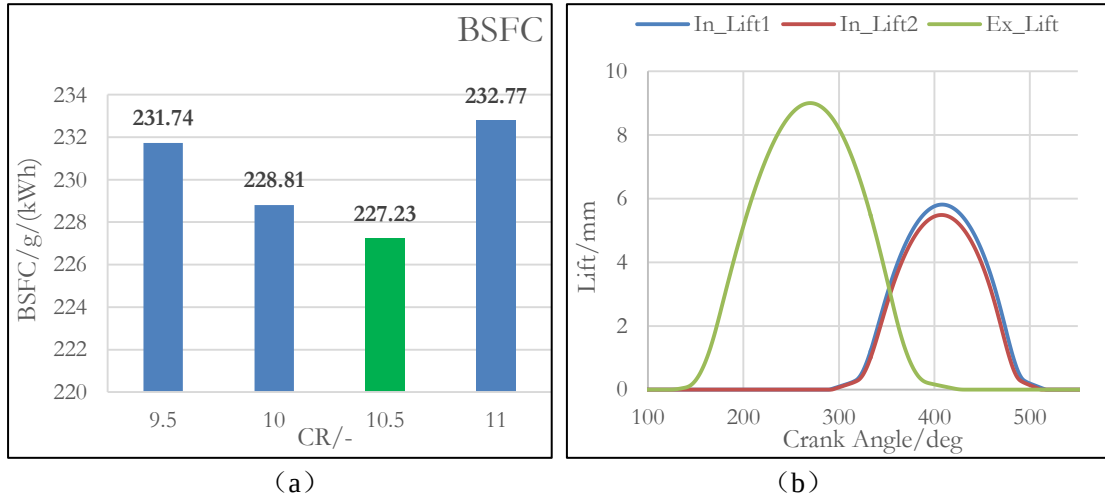


图 11 最佳油耗点使用 Ex210 时各压缩比下所能实现的最低油耗

表 9 最佳油耗点使用 Ex210 时各压缩比下实现最低油耗时的参数组合

Speed	CR	BMEP	Offset Angle	BSFC	BP	VVT_I	VVT_E	SPK	AI50	Pmax	APmax
[rpm]	[-]	[bar]	[deg]	[g/kWh]	[bar]	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]	[bar]	[deg]
2800	9.5	12	190	231.74	1.2	0	30	-14.6	11.55	63.63	17.68
	10	12.03	110	228.81	1.5	-60	40	-16	9.09	68.56	15.52
	10.5	12.05	110	227.23	1.5	-60	40	-13.75	10.79	67.36	17.18
	11	12.03	120	232.77	1.5	-60	40	-7.5	17.81	56.39	23.98

3.3.3 In190_Ex180 VS In190_Ex210

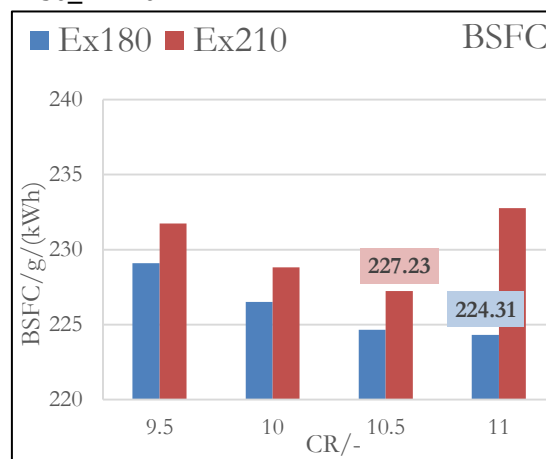


图 12 Ex180 和 Ex210 所能实现的最低比油耗的对比

如图 12 所示,进气 CVVL 分别配合 Ex180 和 Ex210 的排气型线,所能达到的最低油耗分别为 224.31g/(kWh)和 227.23g/(kWh),均未能实现 220g/(kWh)的最低比油耗目标。而且当进气 CVVL 配合 Ex180 的排气型线时,各压缩比的最低油耗都要比配合 Ex210 的排气型线

时低。进气 CVVL 配合 Ex180 的排气型线更有利于实现 220g/(kWh)的最低比油耗目标。

4. 总结

根据额定功率点、低速扭矩点及最佳油耗点的计算结果，当进气 CVVL 型线搭配排气持续期 180deg 的型线时，更有利于功率、扭矩和比油耗目标的实现。结合上述预测结果，综合考虑功率和油耗，最终选取压缩比 10.5，型线 In190_Ex180 的组合，且在最佳油耗点进气 CVVL 机构的偏心轴偏转角度为 90°。

5. 参考文献

- [1] GT-SUITE Engine Performance Application Manual VERSION 2016
- [2] 周龙保，内燃机学（第三版）[M]，北京：机械工业出版社，2015