

为评估某天然气燃料发动机可行性，本文基于 AVL-BOOST 软件搭建相应汽油燃料发动机一维热力学仿真模型，在精标定模型的基础上，预测不同空燃比方案对应的天然气燃料发动机外特性；并结合用车地区，推算 100 km 用车成本，为天然气燃料发动机可行性提供指导和建议。

□ 安徽江淮汽车集团股份有限公司 孙影 周波

某天然气燃料发动机可行性分析

随着国家战略规划对于天然气的促进，天然气产品的市场占比逐渐提升，同时，天然气产品具有使用成本低、易于排放升级等特点，成为各大主机厂下一重点研究方向。

本文基于 AVL-BOOST 和 AVL_CRUISE 软件平台对某汽油燃料发动机采用天然气燃料后的整车循环油耗和动力性进行研究。汽油燃料发动机外特性和万有特性数据来自于试验台架采集，但缺少天然气燃料发动机外特性和万有特性数据，为保证研究工作顺利进行，在汽油发动机精标定热力学模型基础上对天然气燃料发动机外特性和万有特性数据进行仿真预测。获取天然气燃料发动机外特性和万有特性数据后，对其整车动力性经济性进行仿真预测，并结合用车地区，推算整车 100 km 用车成本。

汽油燃料发动机热力学模型搭建与校核

在 AVL-BOOST 软件中根据发动机进排气管路的实际几何尺寸以及空滤器、中冷器、增压器等元件特性参数搭建四缸汽油燃料发动机的一维热力学模型，如图 1 所示。新鲜气体从边界 SB1 吸入，经由管路 1 到空气滤清器 CL1，再经过管路 2 将气体引入压气机，压气机后经过管路 3 连接到中冷器 CO1，中冷器后再经过管路 4 连接到节气门 R1，出来再通过管路 5 进入到进气歧管的稳压腔 PL1。管路 6~9 代表进气歧管，管路 10~21 代表进气道，通过气道将气体引入到气缸 C1—C4。管路 22~33 代表排气道，35~39 代表排气歧管，通过歧管将燃烧后的气体引到涡轮机，涡轮机后通过管路 41 连接催化器 CAT1，然后经管路 40 连接出口边界 SB2。

根据台架测试外特性试验数据对一维热力学模型进行校核，使功率、转矩、比油耗、进气量、进气损失、排气背压等与试验数据吻合，如图 2 所示，且计算值与试验值差值均小于 3%，关键点小于 2%，证明该模型精度满足要求，可适用于后续热力学预测。

汽油燃料发动机热力学性能预测

本文主要对三种方案空燃比下天然气燃料发动机热力学性能进行仿真预测，方案一为借用汽油燃料发动机的空燃比，方案二为借用汽油燃料发动机

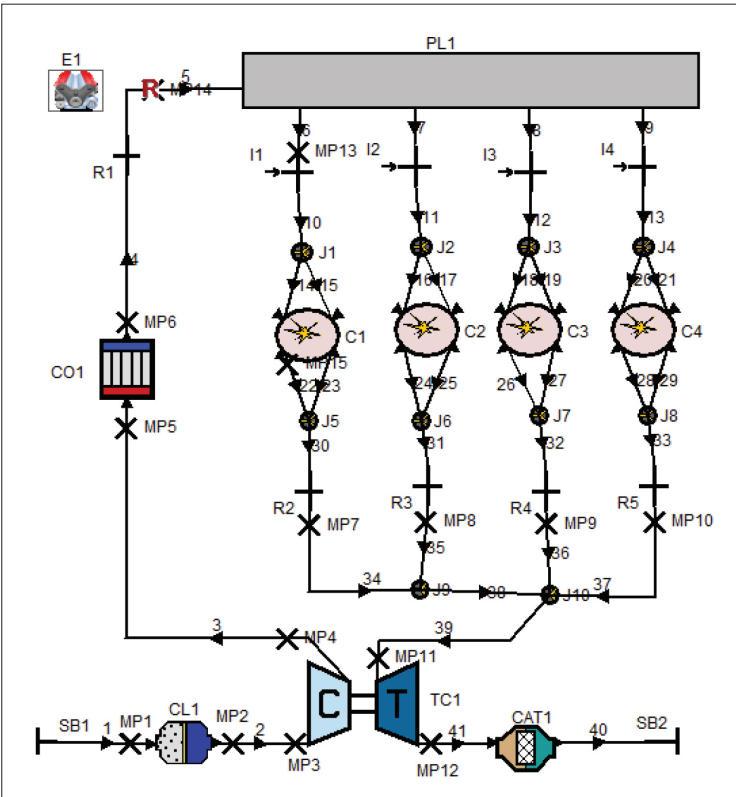


图 1 发动机热力学模型



的过量空气系数，方案三为使用天然气燃料理论空燃比 16.7，三种方案具体数值见表 1。

(1) 热力学结果分析

对三种空燃比方案对应的天然气燃料发动机热力学性能进行仿真预测时，保持相同的进排气计算边界及相同增压器工作状态的情况下，三种空燃比方案对应的热力学结果如图 3 所示。

1) 方案三空燃比下，涡轮排温过高，后面仅对方案一和方案二空燃比对应的整机及整车匹配动力性经济性进行仿真预测。

2) 更换天然气燃料后，方案一空燃比对应的额定净功率下降 11 kW，约 8.5%，方案二空燃比对应的额定净功率下降 5.6 kW，约 4.3%；方案一空燃比对应的最大净转矩下降 31.4 N·m，约 11%，方案二空燃比对应的最大净转矩下降 18.7 N·m，约 6.5%；方案一空燃比对应的外特性最低比油耗下降 0.5 g/kW·h，约 0.2%，方案二空燃比对应的外特性最低比油耗下降 44.5 g/kW·h，约 14%。

两款发动机整车性能预测

为对比该汽油燃料发动机和天然气燃料发动机在实车动力性经济性表现，现基于同一整车模型进行整车性能预测，如图 4 所示。

(1) 整车动力性结果分析

对最高车速、0 ~ 100 km/h 加速时间、爬坡度等动力性进行仿真预测，汽油燃料和天然气燃料仿真预测结果对比见表 2。

由于天然气燃料发动机动力性比汽油燃料发动机动力性有所下降，所以天然气燃料发

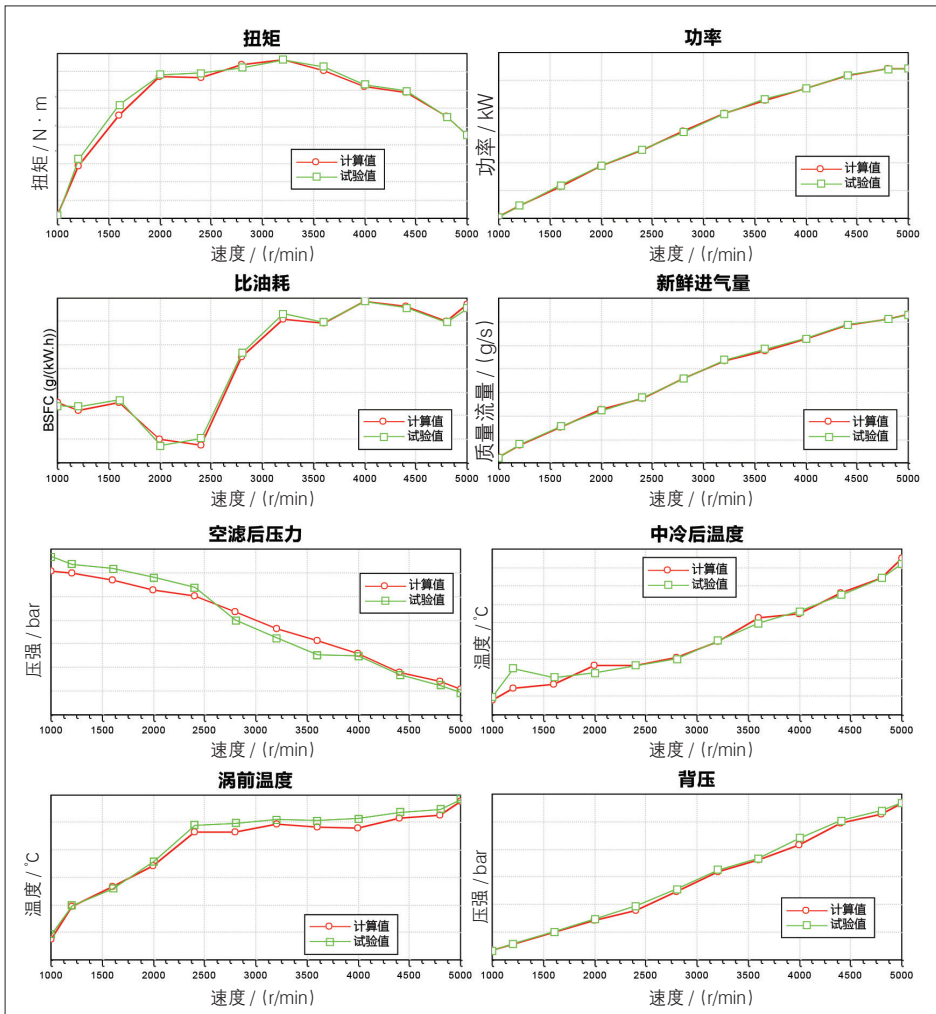


图 2 热力学模型标定结果

表 1 空燃比方案

转速 / (r/min)		5000	4800	4400	4000	3600	3200	2800	2400	2000	1600	1200	1000
空燃比	方案一	10.9	10.8	10.6	10.5	10.7	10.8	11.2	12.2	12.7	12.6	13.4	12.8
	方案二	12.4	12.3	12.1	11.9	12.1	12.3	12.7	13.8	14.4	14.3	15.2	14.6
	方案三	16.7											

表 2 整车动力性对比

项目		汽油燃料发动机	天然气燃料发动机 (方案一)	天然气燃料发动机 (方案二)
动力性	最高车速 / (km/h)	179	166.84	170.85
	0~100km/h 额定转速换挡 /s	14.96	17.84	16.93
	0~100km/h 2500r/min 换挡 /s	26.49	28.73	27.3
	爬坡度 (%)	≥ 30	≥ 30	≥ 30

表 3 整车经济性对比

项目		汽油燃料发动机	天然气燃料发动机 (方案一)	天然气燃料发动机 (方案二)
经济性	NEDC 综合油耗 / (L/100km)	10.37	—	—
	NEDC 综合气耗 / (m³/100km)	—	10.05	10.78

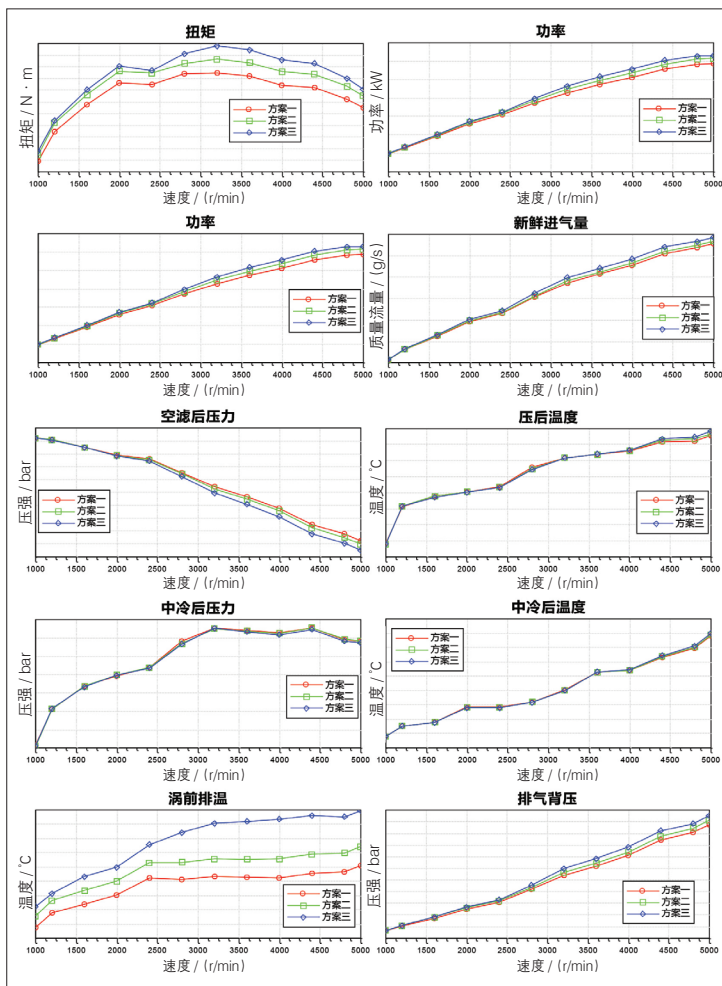


图3 三种空燃比方案对应的热力学结果

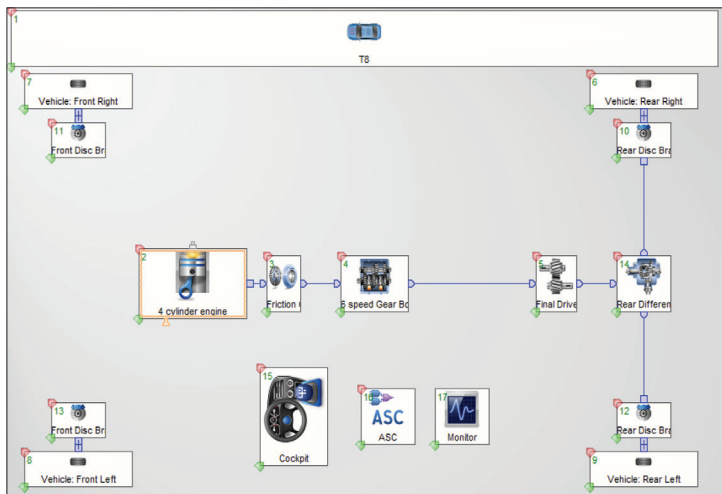


图4 整车匹配模型

表4 整车百公里用车成本对比

项目	汽油燃料发动机	天然气燃料发动机 (方案一)	天然气燃料发动机 (方案二)
燃料单价	8.14 元/L	3.06 元/m ³	
100km 用车成本	84.4 元	30.8 元	33.0 元

动机整车动力性表现比汽油燃料发动机略差，但驾驶性未出现明显恶化。

(2) 整车经济性结果分析

对整车 NEDC 循环综合油耗和气耗进行仿真预测，对比结果见表 3。考虑天然气车型需求量较大的为新疆地区，结合整车经济性仿真结果及新疆地区汽油、天然气价格，对不同燃料用车成本进行对比，见表 4，100km 用车成本降低至少约 60%。

结论

1) 本文基于 AVL_BOOST 软件搭建了发动机热力学模型并根据台架测试数据进行模型标定，模型精度满足要求，可适用于后续热力学预测。

2) 在不同空燃比方案下，预测天然气燃料发动机整机动 力性、经济性，结果显示，天 然气燃料发动机动力性有所 下降。

3) 基于 AVL_CRUISE 软件， 对不同燃料发动机整车匹配动 力性进行仿真预测，天然气燃 料发动机整车表现比汽油燃料 发动机略差，但驾驶性未出现 明显恶化。

4) 基于 AVL_CRUISE 软 件，对整车 NEDC 循环综合油 耗和气耗进行仿真预测，以天 然气车型需求量较大的新疆地 区为例，推算不同燃料发动机 100 km 用车成本，结果显示， 天然气燃料发动机降低至少约 60%。A1