

基于 GT-POWER 仿真的车辆排气系统 怠速噪声优化

刘湃, 胡冬杰, 朱廉洁

(泛亚汽车技术中心有限公司, 上海 200129)

摘要: 针对某 1.5 L 自然吸气发动机, 为了能在项目开发前期有效预防并优化其排气系统怠速噪声, 通过试验记录怠速工况下发动机转速、缸压、空燃比、排气系统温度和尾管噪声等数据, 基于此建立 GT-POWER 怠速开关空调工况发动机声源模型, 再将 GT-POWER 计算怠速尾管噪声与试验所测尾管噪声比较, 优化消音器结构并预测怠速噪声水平。结果表明, GT-POWER 仿真计算怠速尾管噪声整体声压级及前 3 个峰值与试验测试结果较吻合, 整体声压级最大相差 2.29 dB(A), 误差 3.96%, 且试验结果 [59.8 dB(A)] 满足怠速尾管噪声不超过 60 dB(A) 的要求; 前 3 个峰值最大相差 2.48 dB(A), 误差 5.23%, 峰值对应的 2、4、6 阶频率 (29、58、87 Hz) 能完好对应; 所建 GT-POWER 怠速噪声模型可推广应用于后续该发动机及其新车型排气系统声学开发。

关键词: 汽车; 自然吸气发动机; 排气系统; 消音器; 怠速噪声; GT-POWER

中图分类号: U464.134

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)02-0008-04

在排气系统前期 NVH(噪声、振动与声振粗糙度)性能开发中, 在搜集完动力总成参数、整车声学要求、完成排气系统布置后, 由于没有样车和发动机, 主要通过 GT-POWER 等声学软件仿真获取系统的声学性能。张利等利用 GT-Power 软件的声学模块对某轿车排气消声器进行方案设计与优化, 在满足排气压力损失的情况下, 消除车内共鸣音, 降低尾管怠速噪声。高东东等通过台架试验进行标定, 建立发动机全油门工况 GT-POWER 声源模型, 并对整车进排气系统与发动机进行耦合噪声分析。汤海娟等为降低某款轿车排气噪声, 采取增加玻璃棉、调整消声器内部管路和隔板的穿孔率与穿孔位置等措施, 提升消声器的降噪性能, 并利用 GT-POWER 软件分析其传递损失。费标求等通过 WAVE 软件对排气系统后消声器进行仿真优化, 车内噪声在 2 500 r/min 左右时降低 2 dB(A), 解决了某车型存在的低频轰鸣和怠速扑扑声。林胜等应用 GT-POWER 软件对汽车排气系统噪声进行分析, 改进排气系统结构, 设计问题频率传递损失更好的消声器, 优化排气系统低频阶次轰鸣声。可见, 采用 GT-POWER 可有效模拟排气系统尾管噪声并指导优化消音器内部结构。但目前发动机声源 GT-POWER 模型往往提供的是各转速下 WOT(全油门)工况, 仿真计算的工况往往是 1 000~6 000 r/min, 对于怠速开关空调工况(如 700~1 000

r/min)这个客户实际较常用的怠速低频工况却少有通过前期 GT-POWER 仿真计算, 仅凭经验布置一些降低怠速低频噪声的消声结构而无定量计算, 往往在开发中后期在样车阶段甚至是量产之后逐渐暴露出怠速低频噪声问题, 造成设计多次迭代、试验多次验证、模具更改等大量人力、物力资源浪费。该文采用 GT-POWER 软件对某 1.5 L 自然吸气发动机乘用车排气系统怠速噪声进行优化。

1 整车怠速噪声试验

1.1 发动机怠速参数测试

以某 1.5 L 自然吸气发动机乘用车为研究对象, 为建立怠速工况 GT-POWER 声学模型, 通过试验, 在怠速工况下采用 INCA 设备记录发动机参数, 包括发动机转速、空燃比、进气流量、缸内压力、点火提前角、排气歧管各点温度等, 利用这些参数标定 GT-POWER 发动机怠速工况声源模型。

1.2 排气系统温度测试

温度对排气消音器性能的影响十分显著, 排气系统从三元催化器出口到排气尾管, 怠速工况下表面温度可能为 600~100 °C, 声波的波长和频率也会随着温度变化而改变, 如果不考虑温度对 GT-POWER 仿真的影响, 测试误差将会非常大。

试验过程中, 在排气系统布置 16 个热电偶传感器, 分别记录排气管壁面温度及管路内部气体温度,

用于 GT—POWER 排气系统模型的设置。排气系统温度传感器布置见图 1、图 2。



图 1 排气系统温度传感器布置

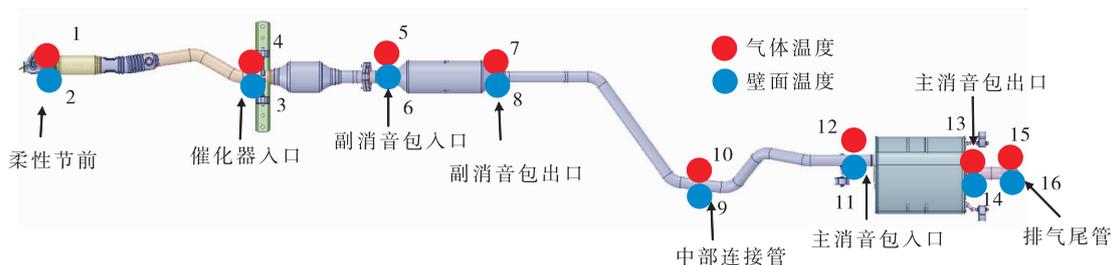


图 2 排气系统温度传感器布置位置示意图



图 3 排气尾管噪声测试麦克风位置

1.3 排气尾管噪声测试

为消除外界环境噪声对测试结果的影响,试验测试在整车消声室内进行。起动试验车辆处于怠速状态,待发动机转速和水温稳定后开始测试。测试工况分为怠速关空调和怠速开空调,由于 D 挡下车辆负载通常较大,怠速噪声更大,重点考察 D 挡下尾管噪声。排气尾管噪声测点布置见图 3,采用 LMS 振动噪声测试系统测试 2 种工况下车内各测点噪声。该车型 D 挡开空调工况下排气尾管噪声要求不大于 60 dB(A)。

2 试验结果及怠速 GT—POWER 模型的建立

2.1 发动机怠速工况性能参数(见表 1)

2.2 排气系统怠速工况温度

表 2 为 D 挡开关空调工况下排气系统总成各位置的温度,包含气体温度及壁面温度,其中位置编号与图 2 对应。将各工况测试温度赋给 GT—POWER 排气系统相应位置,建立图 4 所示发动机怠速声源、三元催化器及含消音器内部结构的排气系统 GT—POWER 模型。表 3 为发动机及排气系

表 1 某 1.5 L 发动机怠速性能实测数据

工况	发动机转速/ ($r \cdot \text{min}^{-1}$)	空燃比	进气流量/ ($\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$)	进气歧管 压力/kPa	进气歧管温度/ $^{\circ}\text{C}$	点火提前角/ deg	排气歧管温度/ $^{\circ}\text{C}$
D 挡关空调	730	1	2.6	435	37	0.7	504
D 挡开空调	870	1	6.1	781	45	-2.0	609

表 2 排气系统怠速工况下测试温度 $^{\circ}\text{C}$

位置 编号	温度		位置 编号	温度	
	D 挡	D 挡		D 挡	D 挡
	关空调	开空调		关空调	开空调
1	392	399	9	97	104
2	188	194	10	147	155
3	163	167	11	84	92
4	283	288	12	122	133
5	244	248	13	65	72
6	131	140	14	55	58
7	192	198	15	50	55
8	131	136	16	47	48

统部分参数设置。

2.3 排气尾管怠速噪声测试与仿真

怠速开关空调工况下排气系统尾管噪声试验结果与仿真数据对比见图 5、图 6 和表 4。

由图 5、图 6 和表 4 可知:1) 开关空调工况下排气系统尾管总声压级试验数据与仿真数据分别相差 1.73、2.29 dB(A),较吻合,且试验结果满足怠速尾管噪声不超过 60 dB(A)的要求。2) 各阶次噪声试验数据与仿真数据最大相差 2.48 dB(A),最大误差 5.23%,且前 3 个峰值对应的 2、4、6 阶(频率分别为

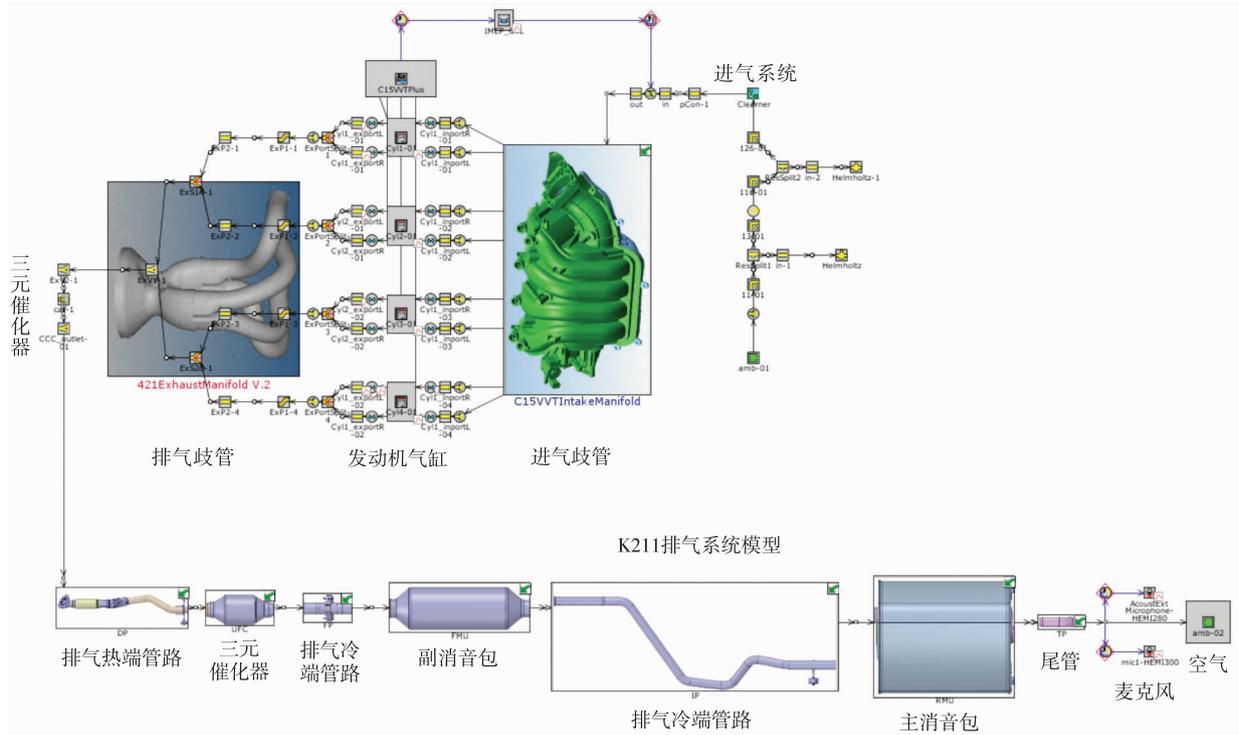


图4 发动机怠速声源及排气系统GT-POWER模型

表3 发动机怠速工况GT-POWER部分参数设置

发动机参数名称	参数值	
	D挡 关空调	D挡 开空调
排气气门正时角/(°)	250	246
进气气门正时角/(°)	485	495
发动机转速/(r·min ⁻¹)	730	870
大气压/kPa	100.4	100.4
大气温度/°C	25	25
催化器温度控制/°C	800	800
仿真离散长度/mm	30	30
气体温度控制/°C	450	450
进气歧管几何参数/mm	36	36
摩擦平均有效压力/kPa	0.65	0.65
中冷器迭代计算初始温度/°C	110	110
初始油温/°C	102	102
中冷器传热系数/[W·(m ² ·K) ⁻¹]	1 044	1 044
中冷器油温传热系数/[W·(m ² ·K) ⁻¹]	783	783
缸壁传热系数/[W·(m ² ·K) ⁻¹]	1 827	1 827
热传导调节因子	1	1
50%燃烧对应的正时角/(°)	25	32
燃烧持续角/(°)	23	30.5

29、58、87 Hz)噪声较吻合,说明通过发动机参数标定GT-POWER模型可反映这些频率特征,采用

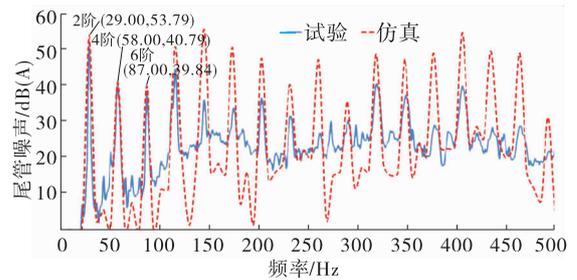


图5 排气系统尾管噪声试验结果与仿真数据对比 (怠速关空调)

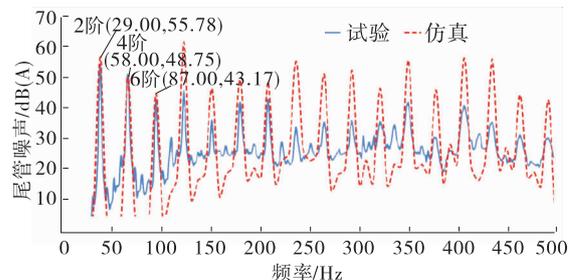


图6 排气系统尾管噪声试验结果与仿真数据对比 (怠速开空调)

该发动机开发其他新车型的前期可有针对性地布置调音元件来优化怠速声学性能。3) 相对于关空调工况,开空调工况下总声压级上升约2 dB(A),主要为4阶(58 Hz)噪声,上升9.78 dB(A)。4) 总声压级及各阶次噪声的试验结果与仿真值均存在一定差

异,特别是100 Hz以上峰值及声压级数据。主要原因是低频的模拟受环境影响较小,而中高频的模拟受环境影响较大;而且尾管噪声试验是在转毂上进

行整车测试,受整车结构辐射(如后备箱和后保险杠)影响,而GT-POWER仿真环境模拟的是发动机台架测试,不受整车结构辐射影响。

表4 怠速噪声测试结果与GT-POWER仿真值对比

工况	项目	频率/Hz	排气系统尾管噪声/dB(A)		差值/dB(A)	误差/%
			试验	仿真		
怠速关空调	整体声压级	—	57.89	60.18	2.29	3.96
	2阶声压级	29	51.31	53.79	2.48	4.83
	4阶声压级	58	40.19	40.79	0.60	1.49
	6阶声压级	87	37.86	39.84	1.98	5.23
怠速开空调	整体声压级	—	59.80	61.53	1.73	2.89
	2阶声压级	29	53.42	55.78	2.36	4.42
	4阶声压级	58	49.97	48.75	-1.22	2.44
	6阶声压级	87	41.63	43.17	1.54	3.70

3 结论

通过试验数据标定建立某1.5 L自然吸气发动机怠速GT-POWER声源模型,将排气系统尾管试验测试结果与GT-POWER仿真数据相比,整体声压级及前3个峰值较吻合,且试验结果满足怠速尾管噪声不超过60 dB(A)的要求,峰值对应的2、4、6阶频率可以对应。GT-POWER声源模型可用于后续该发动机及其新车型排气系统消音器的声学开发,对消声器结构优化起到指导作用,可大大减少样件制作数量,加快开发周期,减少研发费用投入。

参考文献:

- [1] 冯晓柠.某车型排气系统振动与噪声优化研究[D].长沙:湖南大学,2019.
- [2] 刘继光,石爱娟.乘用车排气系统消声器的优化设计[J].黑龙江科学,2021(1):90-91.

- [3] 张利,胡光辉,汤海娟,等.基于GT-POWER的汽车排气系统噪声优化设计[J].汽车实用技术,2017(12):224-228.
- [4] 高东东,范习民,王金立.基于GT-POWER模型的某整车进排气系统噪声分析及优化[J].汽车零部件,2016(9):11-16.
- [5] 汤海娟,胡光辉.基于GT-POWER软件的排气系统噪声分析与改进[J].客车技术与研究,2015,37(6):20-43.
- [6] 费标求,赵要珍,曹诚,等.基于WAVE仿真的排气系统低频噪声优化[J].上海汽车,2018(5):7-10.
- [7] 林胜,段龙杨,翁建生,等.基于GT-POWER优化排气系统阶次轰鸣噪声[J].汽车实用技术,2017(24):110-125.
- [8] 林尚锦,刘淑玉,庞士明,等.某混合动力汽车怠速排气噪声研究及设计优化[J].汽车科技,2021(6):73-77.

收稿日期:2021-07-05

关于假冒杂志网站和邮箱的声明

目前互联网上出现以《公路与汽运》杂志名义建立的官方网站和投稿邮箱,它们盗用“公路与汽运”的名称,非法向外征稿并收取审稿费、版面费,严重损害了本刊的权益和声誉。为避免广大作者和读者上当受骗,本刊郑重声明:

1 本刊没有官网,也从未以任何方式授权其他单位和个人在互联网上建立网站,互联网上以“公路与汽运”名义建立的网站都是假冒的,此类网站上发布的信息及由此造成的一切后果均与本刊无关。

2 本刊唯一的投稿邮箱是 gongluyuqiyun@163.com,除此之外的任何以本刊名义设立的邮箱都是假冒的。本刊目前没有收取审稿费。

3 本刊强烈谴责这种假冒《公路与汽运》杂志名义、损害本刊和作者、读者权益的违法行为,并保留依法追究其法律责任的权利。

特此声明。