

系统与附件

天然气发动机进气装置的设计开发

张 猛, 王 奔, 王福冬, 季有锋

(华菱星马汽车(集团)股份有限公司, 安徽 马鞍山 243001)

摘 要: 针对天然气发动机进气装置存在的问题, 设计了一种带双防喘振阀的进气装置, 有效减小了进气系统的振动, 改善了发动机瞬态响应性能, 避免了喘振现象的发生, 延长了发动机使用寿命。经 CFD 流场分析和相关试验验证, 该进气装置切实可行, 已进入批量生产。

关键词: 防喘振; 流量系数; 节气门; 瞬态响应

中图分类号: TK432 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2017)04-0036-03

Design and Development of Air Inlet Units for Natural Gas Engines

Zhang Meng, Wang Ben, Wang Fudong, Ji Youfeng

(Hualing Xingma Automobile (Group) Co., Ltd., Anhui Maanshan 243001)

Abstract: Aiming at the existing problems of air inlet units for natural gas engines, a new kind of inlet unit featuring double anti-surge valves was designed, which effectively reduced the vibration of the air inlet system, improved the transient response performance of engines and avoided surge, thus prolonged the service life of engines. Through CFD flow field analysis and relative experimental verification, the air inlet unit is demonstrated to be feasible, and have realized mass production.

Key words: anti-surge; flow coefficient; throttle; transient response

0 引 言

随着环保问题日益突出, 以及发动机技术的不断发展, 国家对发动机的排放要求越来越高。柴油机燃烧时形成的废气多, 排放水平高, 现越来越多的汽车使用天然气作为燃料。这些天然气发动机在经济型、环保性等诸多方面虽有很大提升, 但是也存在若干问题, 如: 由于气体机进气系统上串联零件较多, 易形成悬臂, 加大振动。气体燃料须预先与空气混合, 不能保证喷出的燃料都进入燃烧室, 瞬态响应迟缓。气体机在运行时容易发生喘振, 此种现象会引起发动机振动加大, 排气温度升高, 严重时会发生放炮, 气流中断, 而发生熄火停车。所以须要设计一种合理的气体机进气装置, 有效减小进气系统振动, 改善发动机瞬态响应, 避免喘振现象的发生, 延长发动机使用寿命。

目前气体机多采用节气门布置在混合器之后的方式, 这种布置使气体燃料从混合器喷出后在进入

燃烧室前必须经过节气门, 低速时可燃气体溢满整个进气系统管道, 不能保证全部进入燃烧室燃烧, 造成燃料不完全燃烧; 燃料喷出点距离燃烧室距离太远, 瞬态响应迟缓。

现有技术中一般利用既有的电子节气门对喘振稍加控制: 当驾驶人员在发动机大负荷时急松脚踏板, ECM (发动机引擎控制器) 根据减速触发信号, 激活燃料切断功能, 在切断燃料供给的同时电子节气门保持一定的开度, 保证尚有部分气体进入发动机气缸, 保证增压器进气侧后部气体压力不至于升得太快。但此种方法节气门开度较小, 增压器后部气流在通过节气门时受阻, 增压后压力依然有可能在短时间内持续增大, 依然可能导致增压器喘振。

1 天然气发动机进气装置设计开发

1.1 具体方案说明

进气系统零件布置见图 1。从图 1 可以看出: 气体机的节气门、混合器等零件布置在气体机进气

歧管入口前部。进气歧管上留有节气门支架安装孔。进气歧管入口连接进气连接弯管，进气连接弯管与混合器相连，混合器之前连接节气门。节气门、混合器、进气连接弯管形成悬臂，这些零件受到振动损坏会直接影响气体发动机的正常运转。在节气门前安装有节气门支架，节气门支架固定在进气歧管的相应安装孔上，将悬臂支撑起来，避免发动机运行时悬臂产生大幅振动。

混合器安装在节气门之后，混合器与进气歧管之间采用一很短的进气连接弯管连接。经过模拟计算和实际验证，此种连接方式既能保证空气与燃料混合良好，提高稳态工作性能，也使得燃料无须经过节气门，直接进入进气连接弯管与进气管内部，不至于扩散至整个进气系统，从而使燃料得到合理经济地利用。同时混合器与燃烧室之间的距离极短，提升了发动机的瞬态性能，加速或减速时都能迅速响应，操纵性能更好。

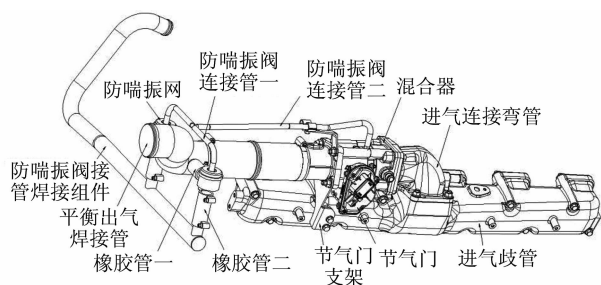


图1 进气系统零件布置图

喘振阀布置见图2。节气门与混合器之间引出一根防喘振阀接管二，防喘振阀接管二与防喘振阀接管一互通，连接至防喘振阀压力感应接头；防喘振阀通过橡胶管二与防喘振阀接管焊接组件相通，防喘振阀接管焊接组件连接增压器进气侧增压前管路；节气门前部通过胶管与平衡出气焊接管相连，平衡出气焊接管与防喘振阀之间通过橡胶管一相连，平衡出气焊接管连接增压器进气侧增压后管路。

当用户突然采取制动时，发动机突然降速，节气门趋于关闭，在涡轮增压器和节气门之间会产生很大的背压，此时节气门后进气连接弯管与进气歧管内会形成负压，防喘振阀接管二将节气门后低压力反馈到防喘振阀接头上，此时双侧防喘振阀会开启，将增压器进气侧增压后的高压气体通过平衡出气焊接管和橡胶管一经由橡胶管二和防喘振阀接管焊接组件导回至增压器进气侧增压前管路，释放了增压器进气侧增压后的气体压力，使气体发动机避免了喘振。喘振阀原理流程见图3。

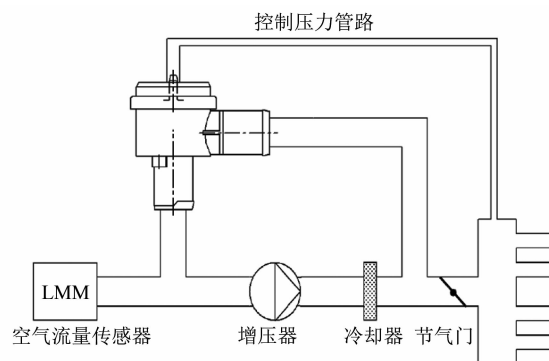


图2 喘振阀布置图

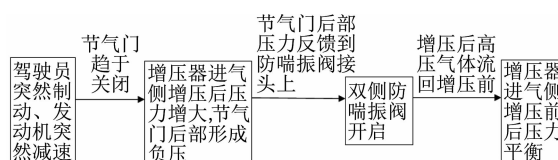


图3 喘振阀原理流程图

1.2 CFD 模拟分析

采用 Fire 软件对进气系统气体流动进行分析，如图4和图5所示。可见所设计的方案的气体混合效果较好，各处的速度均匀性较一致，没有出现喘振现象，较好地满足了发动机对进气系统的要求。

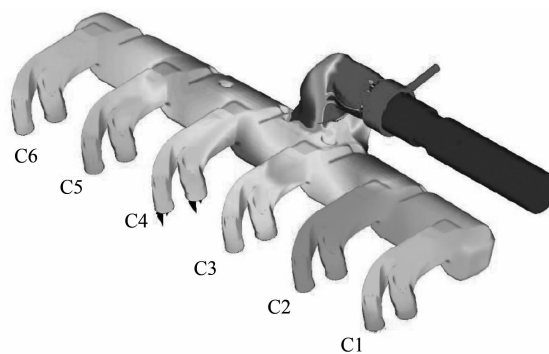


图4 进气系统气体速度分布（上侧）

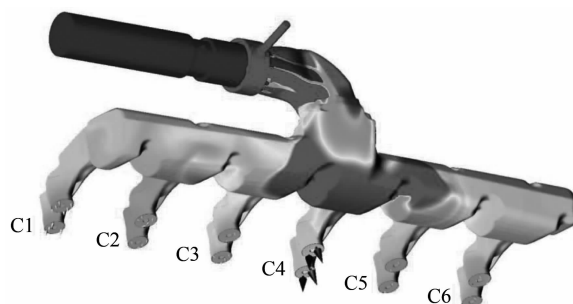


图5 进气系统气体速度分布（下侧）

1.3 进气装置测试

根据项目开发要求，采用内燃机气道稳流试验台，依照涡流比计算方法，测量各缸进气道的相关参数，包括进气流量系数、涡流比。测试原理如图

6 所示。

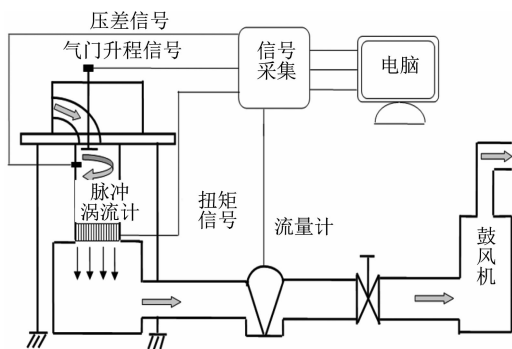


图 6 气道稳流试验台测量原理图

不带防喘振阀及带防喘振阀的发动机各缸进气道不同升程开度下的性能参数分别如图 7、图 8 所示。

从试验数据可以看出：相对于原方案，改进后的方案各缸的涡流比和流量系数没有出现很大波动，均匀性较好，满足了发动机的性能要求。并且在耐久试验过程中没有出现零件损坏，证明了此种进气装置的可靠性。

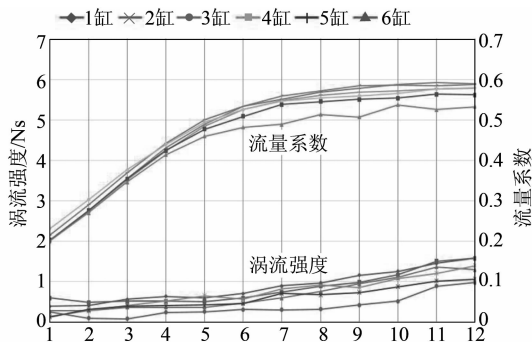


图 7 各缸进气道不同升程开度下的流量系数和涡流强度（不带防喘振阀）

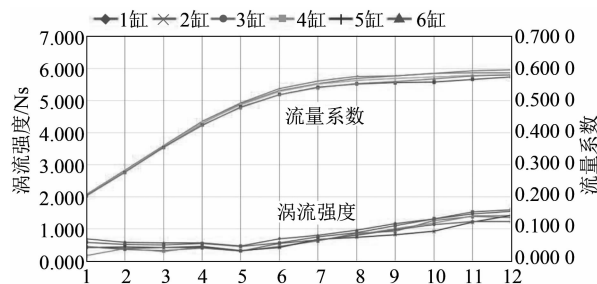


图 8 缸盖各缸进气道不同升程开度下的流量系数和涡流强度（带防喘振阀）

2 结 论

本文开发的带有双防喘振阀的进气装置有效避免了气体发动机的进气波动，减小了对发动机性能和排放的影响。安装有此进气装置的天然气发动机通过了试验台架的验证，已经批量生产并得到市场的良好反馈，满足新一代高功率，低排放气体发动机的设计要求。

参考文献

- [1] 叶昌, 张振东, 刘钰, 等. 单缸发动机进气特性仿真与实验研究 [J]. 上海理工大学学报, 2014, 36 (6): 562-565.
- [2] 王磊, 马建, 杨志刚, 等. 旋流式进气系统性能分析及设计方法 [J]. 内燃机工程, 2017, 38 (1): 88-93.
- [3] 朱智富, 马朝臣, 张志强, 等. 车用涡轮增压器喘振判断方法的研究 [J]. 内燃机工程, 2010, 31 (4): 59-62.
- [4] 许元默, 帅石金, 王建昕. 电喷汽油机进气歧管的 CAD/CFD 设计 [J]. 汽车工程, 2002, 24 (4): 314-317.

MAN 为美国海岸警卫队近海巡逻舰提供动力支持

美国海岸警卫队正在进行的近海巡逻舰升级项目会淘汰 13 艘“Famous”级和 14 艘“Reliance”级快艇，是美国海岸警卫队历史上最大的船舶采购订单。美国海岸警卫队选用了 MAN 的 28/33 STC 发动机作为其新近海巡逻舰的动力系统。

MAN 四冲程业务负责人 Lex Nijssen 说：“我们非常高兴能赢得这个重要的订单，这是美国海岸警卫队首次订购 MAN28/33D STC 发动机。海军和政府部门对发动机的相继增压（STC）概念的理解和欢迎程度不断加深，其固有的动力特性在苛刻的应用条件下能提供良好的机动性。”

每条新的舰（长 110 m）由两台 MAN16V28/33D STC 发动机带动，转速 1 000 ($r \cdot \min^{-1}$) 时功率为 7 280 kW。28/33D STC 发动机设计紧凑，具有高功率-重量比，完全符合 IMO Tier II（Tier III，带 SCR）和 EPA Tier 2 法规。

MAN 的合作者和许可经销商 Fairbanks Morse Engine (FME) 公司将在其威斯康星州的 Beloit 工厂生产和测试该发动机，位于佛罗里达州巴拿马城的 Eastern Shipbuilding Group Inc 公司将设计和建造该近海巡逻舰。美国海岸警卫队现已订购了 9 艘船，并计划订购共计 25 艘。第 1 艘船计划将于 2021 年交付。

（白春艳 编译）