

大型燃气发动机起动系统设计与试验研究

张旭东, 袁应涛, 令晓波, 李焕英

(陕西柴油机重工有限公司 机电工程分公司, 陕西 兴平 713105)

摘要: 在原柴油机基础上研制了6缸燃气发动机, 其燃气进气方式为增压前预混, 如采用原压缩空气起动方式将无法实现该燃气发动机的可靠起动。对此研究了新型起动系统——三缸起动系统, 介绍了其工作原理和设计方案, 并针对该系统在试验中暴露的问题进行了改进设计。试验验证表明: 改进后的起动系统可保证该燃气发动机的可靠起动。

关键词: 燃气发动机; 起动系统; 试验

中图分类号: TK433.7; TK428 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2016)02-0034-02

Design and Experimental Tests on Starting System for Large Gas Engines

Zhang Xudong, Yuan Yingtao, Ling Xiaobo, Li Huanying

(Mechanical and Electrical Engineering Branch, Shaanxi Diesel Engine Heavy Industry Co., Ltd.,
Shaanxi Xingping 713105)

Abstract: A six cylinders gas engine was developed on the basis of traditional diesel engine design, and the gas intake of which requires pre-mixing before turbocharging. However, the traditional compressing starting system was not able to ensure the reliable start. Therefore, a new three cylinders starting system was developed. The mechanism, design, and improvements of designs were introduced. Experimental tests showed that improved starting systems could ensure the reliable start of gas engine.

Key words: gas engines; starting system; test

0 引言

近年来, 国际海事组织(IMO)对船用发动机废气排放的限制越来越严格, 2016年1月1日起, IMO Tier III 排放法规将生效。对此, 船用发动机厂商纷纷加紧相关技术研发, 寻求满足法规要求的技术解决方案, 其中气体燃料发动机已成为研发热点。

陕柴研发的某型6缸燃气发动机是在原柴油机的基础上改型设计, 燃气进气方式为增压器前预混。原型机采用压缩空气起动方式, 若燃气机采用原压缩空气起动方式, 则由于在起动阶段向各缸输送压缩空气, 过量新鲜空气进入气缸, 导致混合气变得稀薄, 无法可靠点燃, 燃气机无法起动。

目前, 燃气发动机起动系统一般采用电起动、空气马达起动和压缩空气起动三种方式。电起动和空气马达起动适用中小缸径高速发动机, 而压缩空气起动适用于大缸径中低速发动机, 利用起动能量通过空气燃气混合物的点火实现发动机正常起动。

基于尽量减少原型机结构改动及降低研制成本的考虑, 通过对原型机起动系统的结构、起动原理的分析, 提出相应的技术改进方案, 对起动空气管路进行改型设计, 采用合适的发动机控制策略来实现燃气发动机的可靠起动。

1 起动原理分析及起动空气系统改型设计

压缩空气起动系统的工作原理是: 将具有一定

收稿日期: 2015-10-29; 收稿日期: 2015-11-25

作者简介: 张旭东(1974-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为柴油机改进设计和燃气发动机研发, E-mail: sxddiesel@126.com。

压力的压缩空气,按照发动机的发火顺序,在工作行程时依次送入各个气缸,推动活塞,使发动机曲轴转动并达到起动转速,通过喷入燃烧室中的燃料自行发火燃烧,使发动机运转。

对于柴油机和采用多点喷射燃气进气的气体发动机,采用这种起动系统是可以实现可靠起动的。但对增压器前燃气预混进气方式的气体发动机,由于可燃气体进入气缸前已预先混合至燃烧比例,如进入气缸内再次与空气混合,则会造成混合气体稀薄而无法点燃。因此解决混合气体的可靠燃烧是实现燃气机可靠起动的关键。

1.1 三缸起动方案

为了保证所研发的六缸燃气机的正常起动,根据 V 型发动机单排起动方式,提出采用“三缸起动方案”,即起动燃气机时起动空气只充入其中的 3 个气缸,剩余 3 个气缸充入可点燃的燃气/空气混合气体,点火燃烧后产生初始动力,然后再切断之前的 3 个气缸起动空气的供应,这 3 个缸开始充入混合气体并点火燃烧,燃气机开始运行,从而实现燃气机的正常起动。

1.2 起动系统设计

根据上述三缸起动方案:1、4、5 缸充入压缩空气,2、3、6 缸充入混合气。将 2、3、6 缸中的起动阀更换为堵塞,使压缩空气不能进入 2、3、6 缸内。在起动阶段依靠 1、4、5 缸的起动能量使燃气机达到一定转速,利用 2、3、6 缸燃气/空气混合气体点火燃烧实现燃气机的可靠起动。

该起动系统工作原理如图 1 所示。

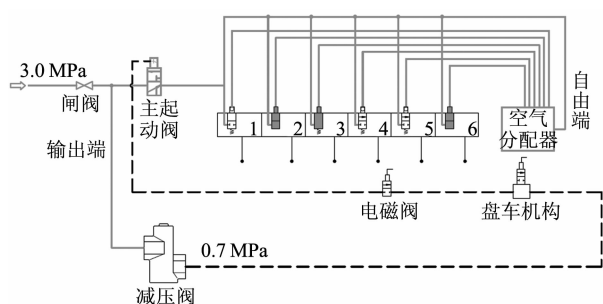


图 1 起动空气系统原理图

2 三缸起动系统试验验证及改进设计

2.1 三缸起动系统试验验证

依据上述技术方案完成施工图纸设计及零部件装配,进行燃气机起动系统试验验证。试验发现:

燃气机无法实现可靠自动起动,需要将 1、4、5 缸中任一缸手动盘车至其发火上止点后一定角度才能正常起动燃气机。分析其原因发现:起动空气是依据燃气机发火顺序,通过空气分配器到各缸并打开起动阀,压缩空气进入相应缸从而起动燃气机。但燃气机每次停车后再次起动时,不能确保压缩空气通过空气分配器进入 1、4、5 缸的任一缸,即可能与 2、3、6 缸中的某缸相通,致使压缩空气无法进入正确的气缸内并产生初始动力,使燃气机开始转动。因此,要保证燃气机可靠起动的关键是解决初始动力的问题。

2.2 三缸起动系统改进设计

为了解决初始动力问题,提出改进方案:将原 2、3、6 缸中的堵塞重新更换为起动阀,同时在连接 2、3、6 缸的起动阀管路中各增加一个电磁阀,电磁阀由控制系统控制其开/关,燃气机起动前电磁阀处于打开状态。燃气机起动开始阶段仍采用 6 缸起动方式产生初始动力,当燃气机起动达到一定转速后,通过控制系统检测燃气机转速,如达到设定转速,控制系统发出关闭电磁阀指令,切断通入 2、3、6 缸的压缩空气,混合气进入缸内点火燃烧,形成持续动力达到发火转速,最后关闭主起动电磁阀,切断通入所有气缸的压缩空气供应,此时,1、4、5 缸也充入混合气并点火燃烧,从而实现燃气机的可靠起动。改型设计原理如图 2 所示。

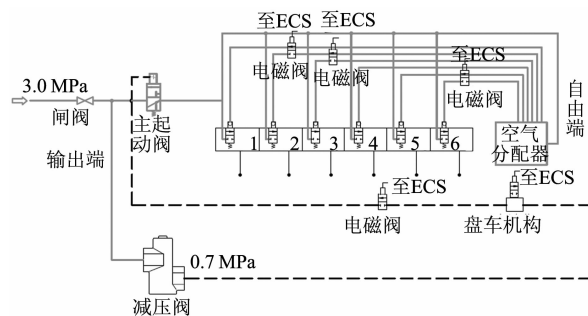


图 2 改进后的起动空气系统原理图

2.3 改进方案试验验证

改进后的燃气机起动系统试验验证表明:燃气机一次性成功起动点火,起动时间为 12 s,转速为 $134 (r \cdot \min^{-1})$,连续起动 6 次,起动时间均小于 15 s,转速大于 $120 (r \cdot \min^{-1})$ 。该型燃气机在后续的调试试验中已起动 200 余次,每次均能实现可靠起动。

(下转第 44 页)

Prony 模型: $g_i = 0.8$, $\tau_i = 0.000\ 1$; 橡胶密度设置为 $1\ 300\ (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$, 斜直法兰的材料为铸钢, $E = 2.09 \times 10^5\ \text{MPa}$, 泊松比 $\mu = 0.3$ 。

2.3 边界条件

橡胶部分与直法兰和斜法兰之间均采用 Tie 约束, 分别以与橡胶接触的直法兰和斜法兰平面为 Master Surface, 再以与直法兰、斜法兰接触的橡胶平面为 Slave Surface; 施加 Coupling 约束将斜法兰外圈与 set1 耦合, 直法兰与 set2 耦合; 加载时, set1 固定, 在 set2 上施加扭转载荷。

3 试验验证

本文采用七一一研究所的高弹性联轴器扭转性能试验台 (图 4) 进行 LS3110 高弹性联轴器橡胶弹性元件的扭转性能试验。

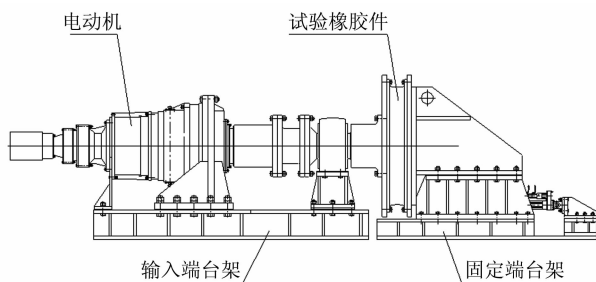


图 4 高弹性联轴器橡胶弹性元件扭转性能试验台

将橡胶弹性元件向圆心方向分别偏移 33、66、99 mm, 通过试验可以得到扭转刚度的放大系数。基于橡胶等强度理论和有限元仿真分析得到的扭转刚度放大系数与试验值的比较见表 1。

从表 1 可以看出, 在不同偏心值的情况下, 基

于橡胶等强度理论和有限元仿真分析方法得到的高弹性联轴器橡胶弹性元件的扭转刚度放大系数, 与试验得到的放大系数的误差在 7% 以内, 误差较小。采用这两种方法均可以预测同系列的高弹性联轴器在不同偏心值时扭转刚度的放大系数; 且简单快捷, 可在保证一定准确性的前提下, 省去加工设计试验夹具的工作。

表 1 不同偏心值时扭转刚度放大系数

偏心值/mm	理论计算	有限元仿真	试验结果	理论值与 试验值比较	仿真值与 试验值比较
33	1.25	1.22	1.24	0.8%	1.6%
66	1.62	1.52	1.59	1.9%	4.4%
99	2.17	1.91	2.05	5.9%	6.8%

4 结 论

本文分别基于橡胶等强度理论和有限元仿真分析方法, 预测高弹性联轴器弹性元件偏心后的扭转刚度放大系数, 预测值与试验值的误差较小, 验证了这两种方法在预测高弹性联轴器弹性元件偏心后的扭转刚度放大系数时具有一定的可行性, 可用于新型高弹性联轴器的设计开发。

参考文献

- [1] 谢华银, 高顶云. 弹性联轴器动态特性的试验研究 [J]. 传动技术, 2004, 14 (3): 10-16.
- [2] 奚曹良, 褚洪森. 高弹性联轴器橡胶弹性元件轴向力仿真分析 [J]. 振动与噪声控制, 2009, 29 (6): 72-75.
- [3] 顾智超, 高晓敏. 高弹性联轴器橡胶弹性元件温度场研究 [D]. 北京: 中国舰船研究院, 2012.

(上接第 35 页)

3 结论

针对大型燃气机实现可靠起动的目标, 开展了起动空气系统原理及技术方案分析, 以及控制策略改进设计及起动试验验证等工作。得到以下主要结论:

(1) 对于增压器前预混进气方式的燃气机采用压缩空气起动系统是可行的。

(2) 全新的三缸起动系统采用机械诱导起动原理, 合并采用发动机控制系统, 可实现大型燃气机的可靠起动。

(3) 该燃气机研发基于尽量减少对原型机结

构改动的宗旨, 因此研制成本降低, 具有一定的推广价值。

参考文献

- [1] 陈大荣. 船舶内燃机设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [2] 刘永长. 内燃机原理 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001.
- [3] T. Baufeld. Concept for conversion of SXD40/46 diesel engine to coal mine methane gas operation [R]. AVL, 2009.