

# 某型燃气轮机燃油及叶片角控制系统 方案与仿真

王兆铭<sup>1,2</sup>, 荣芹芳<sup>2</sup>, 郝彬彬<sup>2</sup>, 巴德纯<sup>1</sup>

(1. 东北大学 机械工程与自动化学院, 沈阳 110004;

2. 中航工业沈阳发动机设计研究所, 沈阳 110015)



王兆铭(1962), 男, 自然科学研究员, 从事航空发动机和燃气轮机控制系统研制、控制系统试验器设计及仿真试验研究工作。

收稿日期: 2010-12-11

**摘要:**提出了某型燃气轮机燃油及叶片角控制系统方案, 阐述了其工作原理, 建立了其仿真模型, 并进行了对其动态特性的仿真研究。仿真结果表明, 该系统方案设计合理, 可以满足某型燃气轮机台架试车使用要求。

**关键词:**燃气轮机; 燃油系统; 供油规律; 叶片角控制; 仿真

## Concept and Simulation of Fuel and Blade Angle Control System for a Gas Turbine

WANG Zhao-ming<sup>1,2</sup>, RONG Qin-fang<sup>2</sup>, HAO Bin-bin<sup>2</sup>, BA De-chun<sup>1</sup>

(1. Mechanical Engineering and Automation Institute, Northeastern University Shenyang 110004, China; 2. AVIC Shenyang Aeroengine Research Institute, Shenyang 110015, China)

**Abstract:** *The concept of fuel and blade angle control system for a gas turbine was proposed. The operational principle of the system was illustrated. The simulation models of the system was built, and its dynamical characteristics were simulated. The results show that its design concept is reasonable, and the system satisfy the requirements of the gas turbine testbed.*

**Key words:** gas turbine; fuel system; fuel law; blade angle control; simulation

## 0 引言

燃油系统是燃气轮机的重要组成部分, 其性能优劣对燃气轮机工作状态有直接影响。叶片角度控制精度对燃气轮机性能和安全起着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。

燃油及叶片角控制系统与电子控制器共同构成全权限数控系统。在该系统设计中, 仿真软件起到越来越重要的作用。据报道, 国外发动机控制系统的研制工作有 90% 以上是由数值仿真和回路仿真完成的。因此, 应用仿真软件可进行系统设计、分析和优化, 能够缩短燃气轮机研制周期, 降低研制成本。

本文提出了燃油及叶片角控制系统方案, 并采用 AMESim 仿真软件进行了供油规律及应急控制规律仿真分析, 为其详细结构设计提供了依据, 大大缩短了该系统研制周期。

## 1 燃油及叶片角控制系统方案

### 1.1 系统功能

(1) 与电子控制器共同实现从起动到最大状态的燃油流量控制;

(2)与电子控制器共同实现对低压0级、I级、II级和高压压气机静子叶片的角度控制;

(3)具有应急断油功能,保证燃气轮机在发生故障时紧急停车,或系统断电时快速切断燃气轮机的供油;

(4)限制系统最大压力,避免系统发生故障时压力过高;

(5)具有停车放油功能,即燃气轮机正常停车后,自动将燃油总管中的余油放至漏油箱。

## 1.2 系统方案

燃油及叶片角控制系统方案由高压燃油泵、燃油控制装置、放油电磁阀、安全阀和叶片角控制装置等元件组成,实现对燃油流量及叶片角等的控制。其原理如图1所示。

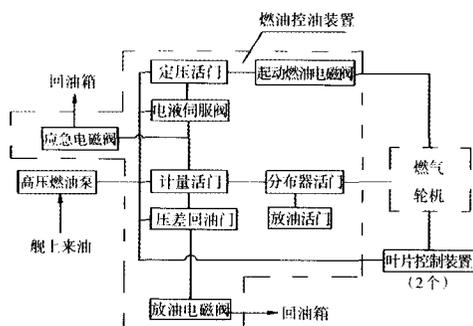


图1 系统方案工作原理

高压燃油泵安装在燃气轮机附件机匣上,与燃油控制装置和叶片控制装置通过管路连接,燃油控制装置及叶片控制装置与电子控制器构成全权限数控系统。高压燃油泵的功能是向燃油控制装置提供一定流量的高压燃油,满足燃油控制装置调节流量所需要的燃油流量和压力。燃油泵采用柱塞泵,作为定量泵使用,泵输出的流量与转速成正比。

燃油控制装置由计量活门、压差回油活门、电液伺服阀、定压活门、放气活门、应急电磁阀和放油电磁阀等元件组成,实现对燃油流量的控制。

压差回油活门保持计量活门前、后的压差恒定,使供油流量与计量活门的位置严格对应;电液伺服阀控制计量活门的开度,使计量活门稳定工作在需要的开度位置;放油活门用于发动机停车时将燃油总管中的燃油排至漏油箱,避免发动机内部积油;定压活门用于提供定压油;放气活门用于排出壳体内部的空气,消除空气对燃油系统性能的不利影响,内部还设有多个油滤,以保护内部的精密元件。

应急电磁阀正常工作时通电,将进、出口关闭,在正常停车或紧急停车时,应急阀断电使计量活门在短时间内关闭。

放油电磁阀正常工作时通电,停车时断电将分布器前的燃油快速放回低压区。放油电磁阀和应急阀单独工作时都具备迅速切断供油的能力,二者同时使用可以提高停车断油的可靠性。

叶片角控制装置采用4个电液伺服阀实现对风扇和压气机叶片角度的控制功能。

## 1.3 系统控制原理

### 1.3.1 流量控制原理

电子控制器按燃气轮机工作状态需求输出计量活门位移给定信号,并与计量活门位移反馈信号相比较,得到电液伺服阀控制电信号,电液伺服阀控制计量活门的开度,使计量活门稳定工作在需要的开度位置,达到控制燃气轮机在不同状态下所需燃油流量,构成闭环控制回路。

### 1.3.2 叶片角控制原理

由泵后高压油提供油源,电子控制器根据燃气轮机工作状态需求输出叶片角角度给定信号,与叶片角装置上的位移传感器反馈信号相比较后,得到电液伺服阀控制电信号,电液伺服阀控制作动筒腔压力,从而改变叶片角角度,构成闭环控制回路。系统控制原理如图2所示。

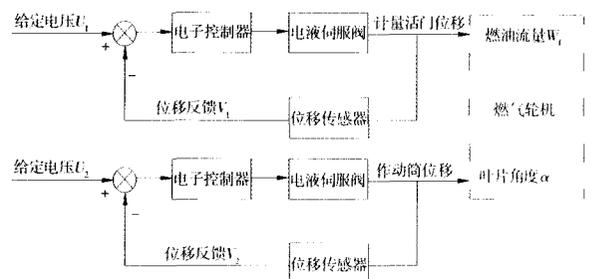


图2 系统控制原理

## 2 系统仿真研究

建立燃油及叶片角度控制系统仿真模型是研究燃气轮机控制系统的重要环节之一。利用仿真技术可以对控制系统的各项性能进行分析和评估<sup>[2]</sup>。本文采用AMESim软件建立系统仿真模型并进行仿真研究。AMESim软件采用模块化建模思想,提供了涵盖众多工程应用领域的大量模块,可以较为方便地实现高精度燃油系统仿真模型。大量工程经验表明,应用

AMESim 软件建立的仿真模型具有很高的精度,可满足燃气轮机燃油系统的仿真要求,其仿真结果对实际产品设计具有重要的参考价值。最终建立的 AMESim 仿真模型如图 3 所示。

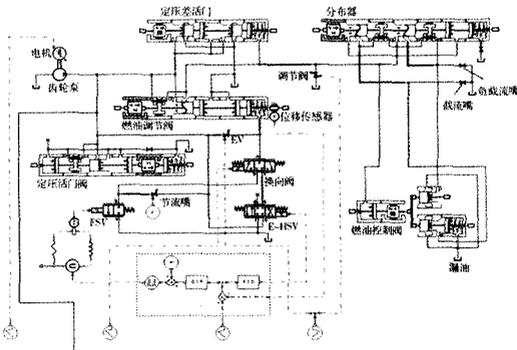


图 3 燃油及叶片角控制系统仿真模型

### 2.1 结构优化仿真

燃气轮机在起动阶段对控制系统有较高的性能要求,通过仿真研究了燃油系统在起动阶段的流量特性。仿真结果表明,燃油系统控油窗口的结构对流量特性有较大影响。最终优化得到控油窗口能够实现理想的流量特性,如图 4 所示。



图 4 控油窗口

### 2.2 计量活门动态控制特性仿真

电液伺服阀的流量对计量活门控制特性有显著影响。设定不同流量的电液伺服阀进行了计量活门动态阶跃性能仿真,以便得到合理范围的伺服阀流量。对 1 组伺服阀流量在不同转速下进行了阶跃特性仿真,得到了令人满意的结果。其中 1 种仿真曲线如图 5 所示。

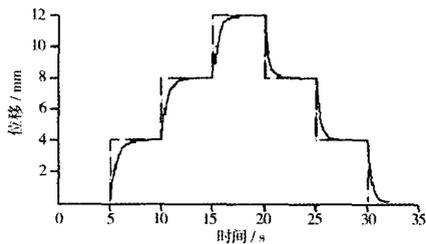


图 5 计量活门动态控制特性仿真

### 2.3 燃油控制装置流量特性仿真

分别在燃气轮机点火、慢车及最大转速下,进行流量特性仿真,模拟其在点火、起动、稳态、加减速和最大转速等工作状态下的流量。仿真结果表明,在不同转速下,供油流量控制稳定,性能良好,如图 6 所示。

### 2.4 燃油控制装置流量应急特性仿真

分别在点火、慢车及最大转速时,控制器给应急阀和放油阀断电,进行应急特性仿真。仿真结果表明,流量从稳态值下降至 0 的时间为 0.2 s 左右,可以保证燃气轮机在紧急状态下迅速切断供油,实现紧急停车,如图 7 所示。

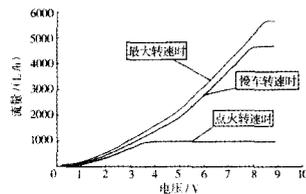


图 6 各转速流量特性仿真

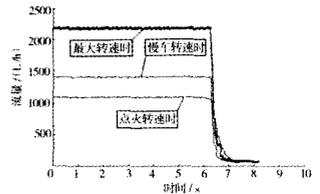


图 7 各转速应急控制特性仿真

## 3 结束语

本文介绍了某型燃气轮机燃油及叶片角控制系统方案,并采用 AMESim 软件开展了供油规律及应急控制规律的仿真研究。结果表明,该系统供油流量特性符合燃气轮机总体要求,控制稳定可靠;应急流量特性可以在紧急状态下迅速切断供油而紧急停车,保证了燃气轮机安全;燃油及叶片角控制系统可以满足燃气轮机台架试车使用要求。

### 参考文献:

- [1]廉筱纯,吴虎.航空发动机原理[M].西安:西北工业大学出版社,2005.
- [2]黄向华.控制系统仿真[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [3]刘长福,邓明.航空发动机结构分析[M].西安:西北工业大学出版社,2006.
- [4]樊思齐,徐芸华.航空推进系统控制[M].西安:西北工业大学出版社,1995.
- [5]徐薇莉,田作华.自动控制理论与设计[M].上海:上海交通大学出版社,2007.
- [6]林基恕.航空燃气涡轮发动机机械系统设计[M].北京:航空工业出版社,2005.