

# 燃气轮机计量阀的研究与设计

姜 军 吴巧梅 牛 凯

吴忠仪表智能控制装备技术有限公司（吴忠仪表有限责任公司） 宁夏 吴忠 751100

**摘 要：**燃气轮机计量阀作为燃气轮机的“油门”，能精确控制供给燃气轮机的燃料气流量，实现燃气轮机转速精准控制，保证天然气稳定输送。本文以步进电机、V型球阀、旋转变压器、以及伺服控制模块为核心器件，通过闭环控制方式保证燃气轮机计量阀在输气管道工程广泛应用。该产品在100℃高温环境可靠运行，步进电机采用16细分驱动和闭环控制原理保证控制系统的精度小于0.5%。采用运动控制芯片和电机驱动芯片组合式驱动，运动控制芯片直接处理主控芯片目标值，提高步进电机的响应速度，保证系统的运行时间小于0.5s。

**关键词：**燃气轮机计量阀；高温环境；响应速度；高精度控制

燃气轮机计量控制阀主要由V型球阀、步进电机、旋转变压器、伺服控制模块和壳体组成如图1。步进电机作为燃气轮机计量阀的动力输出单元，其输出轴与V型球芯轴直接相连，当步进电机旋转时，带动V型球芯转动，V型球芯的旋转角度直接影响输送天然气的流量，同时旋转变压器会将V型球阀的实际旋转角度回传控制系统，形成闭环控制以确保燃气轮机计量阀的控制精度。

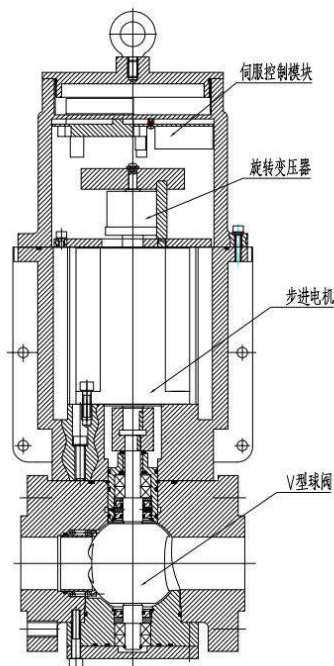


图1 燃气轮机计量阀整机结构

## 1 阀体结构

燃气轮机计量阀阀体为整体铸件结构，减少泄漏点、提高整机承压性能；阀座采用低活塞效应设计，保证密封性能；球芯采用整球V型窗口设计。V型窗口球芯调节流量大，具有剪切作用，自动清洁阀座上的杂质，

延长使用寿命。球芯轴与步进电机输出轴一体式连接设计，消除机械结构间隙，提高阀门定位精度<sup>[5]</sup>。

## 2 控制系统

控制系统硬件主要由开关电源模块、线性电源模块、MCU、ADC模块、DAC模块、CAN通讯模块、解码芯片、角度控制芯片和电机驱动芯片组成，如图2。

供电方面，开关电源模块为整个控制系统供电，外部输入DC24V电源，经过降压后产生9V、5V和3.3V的直流电压供系统内各个模块使用。通信方面，燃气轮机计量阀有两种通信方式，一种为Spartan主控芯片可以通过ADC模块接收4-20mA的电流信号，并由DAC模块向外输出4-20mA的电流信号；另一种为Spartan主控芯片通过Can总线通讯模块，直接以数字信号的形式与外部通信。控制使能方面，Spartan主控芯片通过SPI接口发送指令给角度控制芯片TMC429及步进电机驱动芯片TMC262，控制角度输出步进方向和步数，再由电机驱动芯片输出步进电流驱动步进电机转动；电机底部的旋转变压器由解码电路励磁，最后返回两组电压，分别与电机转角成正弦和余弦函数关系，并经过解码芯片AU6802N1将电机输出轴角度信息反馈给主芯片。

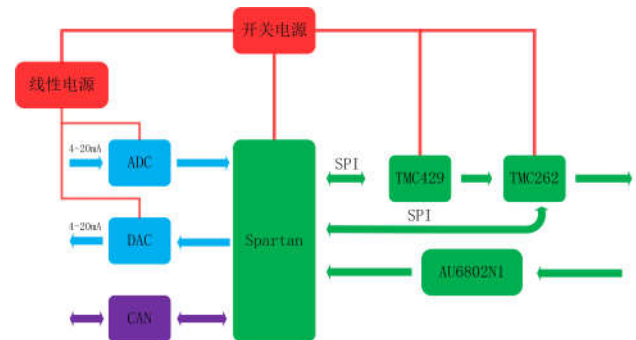


图2 控制系统硬件架构与实物图

### 2.1 闭环控制原理

为消除外部干扰以及开环控制中器件损坏所带来的误差，保证燃气轮机计量阀的控制精度，采用闭环控制形式，如图3，闭环控制系统能够消除由外部扰动或系统内部变化而造成的偏差系统，具有抑制干扰的能力，对系统元件特性变化不敏感，并能改善系统的响应特性。在控制逻辑中主控单元实际得到的是系统输入的目标旋转角度和实际旋转角度的差值信息，只要实际旋转角度没有到达或者超过目标角度，系统将不断修正动作直到实际旋转角度等于输入目标角度。

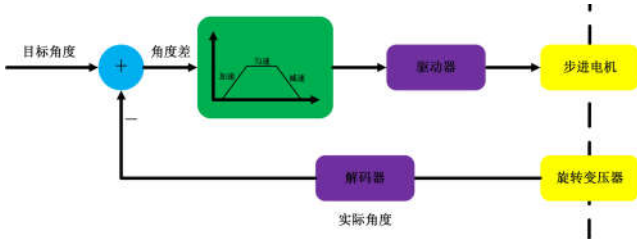


图3 闭环控制原理图

### 2.2 系统控制流程

燃气轮机计量阀的控制系统在功能上可分为通信单元、自检单元、角度解算单元、角度控制单元、电机驱动单元和实时角位置解算单元如图4。工作时外部控制指令通过通信单元进入主控芯片，通信单元向自检单元发送自检命令，自检单元检查电机自身的运行状态，并将自检信息反馈给通信单元，同时外部指令通过通信单元传达到角度解算单元，角度解算单元将目标角度发送给角度控制单元。如自检通过，自检单元将对角度控制单元使能，角度控制单元接收目标角度信息以及旋变装置传来的输出轴绝对旋转角度，并经运算后以步进脉冲的形式发送给驱动单元。驱动单元驱动电机转动并由机械传动结构带动V型球阀转动。

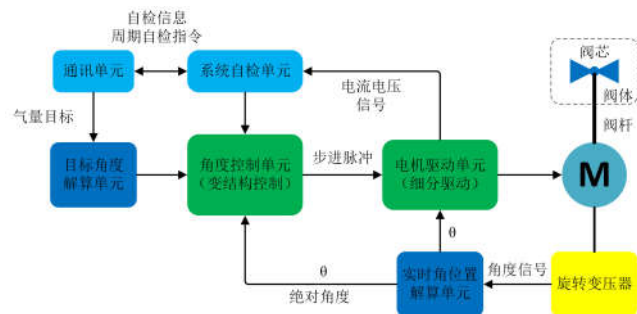


图4 系统控制流程图

## 3 产品功能特点

本文所述燃气轮机计量阀，为适应燃气运输过程中的实际情况，主要具有耐受温度高、响应速度快和控制精度高等特点<sup>[1]</sup>。

### 3.1 耐受温度高

实际工况下燃气轮机计量阀与燃气轮机同在一个封闭的空间工作，当燃气轮机运行时会产生大量热量，封闭的空间温度会高于100℃，这种情况对系统元件的耐热能力和系统的散热能力有一定的要求。

为保证元器件和控制系统在高温环境下的稳定性，采用加装独立散热片装置，在大功率芯片对应位置贴导热硅贴片（如图5），导热硅贴片与散热片接触，散热片与壳体接触，可将对应芯片的产热以及步进电机温升快速传导壳体外部，保证系统正常运行<sup>[2]</sup>。

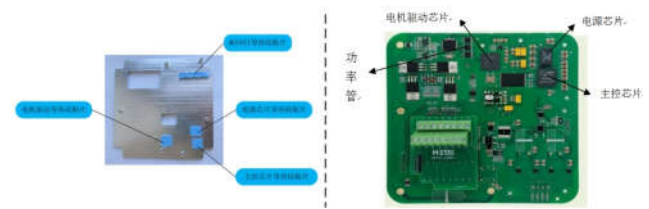


图5 散热片

### 3.2 响应速度快

本系统采用步进电机驱动，在电机控制方面本系统除了采用驱动芯片TMC262以外，还使用了运动控制芯片TMC429（如图6）。主控芯片并不是通过在SPI总线直接发送命令给驱动芯片TMC262，而是将命令发送到专用运动控制器芯片TMC429上，再由控制器芯片TMC429发送指令到驱动芯片TMC262来控制步进电机，这样的驱动架构能够使电机具有更快的响应速度<sup>[3]</sup>。经测试本系统单次目标角度的使能时间小于0.5s。

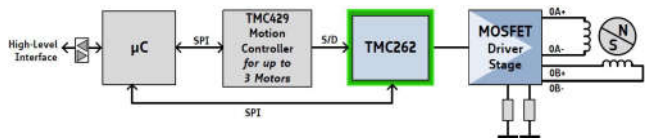


图6 步进电机驱动形式图

### 3.3 控制精度高

本系统通过将步进电机原始机械步距角16等分如图7，实现控制系统每个脉冲信号驱动步进电机角度为0.1125。通过细分驱动实现了步进电机机械步距角更精确控制。

在反馈回路中，主控芯片并不直接接收旋转变压器输出的两组电压信号，而是通过解码芯片AU6802N1<sup>[4]</sup>将模拟信号转变数字信号在进行处理，解码得到的角度如公式1所示：

$$\theta_s = \frac{2\pi}{2^n} \quad (1)$$

上式中 $\theta_s$ 为反馈回路采集的实际角度，n为解码芯片工作位数，本次采用的AU6802N1以12位解码，由上式可

知，反馈回路单位反馈角度为0.09度，与步进电机细分驱动得到的0.1125度相比反馈回路的单位反馈角度更小，也反映了系统的实际控制精度。

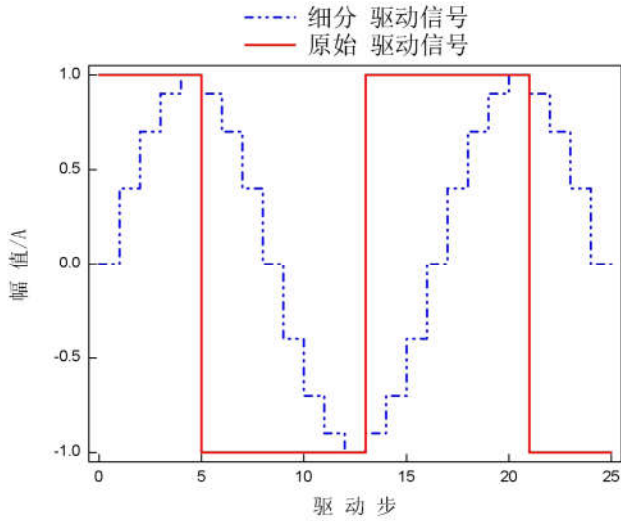


图7 步进电机细分驱动电流变化图

#### 4 结论

本文提出的燃气轮机计量阀，主要具有耐受温度高、响应速度快、控制精度高的特点并且同时具备多种通讯方式，既填补了此类阀体在国内的产品空白，打破了天然气输管线这一领域关键设备长期被国外企业垄断的局面；又降低了燃气运输管线的构建成本，大大提高了天然气使用的稳定性和可靠性。

#### 参考文献

- [1]牛泽亭.浅谈GE燃气轮机MARKVI控制系统[J].中国化工贸易.2014,(13).DOI:10.3969/j.issn.1674-5167.2014.13.064.
- [2]管伟诗,赵轶飞,任贵龙,等.大流量气体燃料调节阀的试验研究[J].应用科技.2001,(5).7-9.
- [3]李勇辉.GE燃气轮机MARK VI控制系统研究及调试[J].浙江大学电气工程学院.2007.
- [4]卢俊明,杨征瑞.金属带锯机床进给计量阀的设计与研究[J].液压气动与密封(3期):13-15.
- [5]姜伟,杨显锋,徐春龙,等.高压共轨系统高压泵进油计量阀仿真研究[J].车用发动机,2015,No.220(05):27-33.