

一种燃气流量控制阀的设计

唐金峰

浙江三国精密机电有限公司 浙江慈溪 315300

摘要: 在新常态的经济形势下, 智能化已经成为厨电发展的一大趋势, 因此我们需要不断创新, 为用户带去更加舒适的体验。智能化的家电产品能够极大的方便我们的生活, 燃气灶具作为厨房中必不可少的一部分, 智能化的实现也是非常有意义的。如何实现燃气灶具智能化, 流量控制阀显然是其中的重中之重。

关键词: 厨电; 燃气流量; 流量控制; 阀

1. 燃气灶具用电控燃气流量控制阀概述

燃气灶具顾名思义与燃气相关, 故安全成为了其设计的第一要求。传统燃气灶具用户在使用过程中经常会出现一些安全事故, 而搭载着电控燃气流量控制阀的智能灶具则可以避免一些悲剧发生。一般燃气灶具用电控燃气流量控制阀由阀芯和阀体共同作用, 通过步进电机带动阀芯改变开口面积来控制流量。区别于普通手动旋塞阀的部分: 增加了步进电机实现了电控, 但是由于普通旋塞阀阀芯流量控制角度太少, 难以实现流量的稳定控制, 故阀芯处从一个孔变为 2 个以上的孔对应各个控制档位。缺点是, 阀芯孔和孔之间切换, 孔和孔之间的位置是实心的, 切换时会出现火焰会出现忽上忽下的情况, 也难以实现火焰的精确稳定控制。同时, 由于旋塞阀结构加入润滑脂后其的阻力很大, 马达体积又较小, 较快的速度下, 难以产生足够大的转矩去驱动阀芯, 故其反应速度不是很快, 很容易影响用户的体验。

2. 电控燃气流量控制阀设计

本次研究设计的燃气灶具用电控燃气流量控制阀的结构如图 1 所示, 主要分成 3 个部分, 由燃气流量控制部分, 动力传动部分, 燃气密封部分组成。



图 1 本次研究的电控燃气流量控制阀结构

2.1 电控燃气流量控制阀的原理

2.1.1 流量控制原理

根据伯努利方程: $P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho gh_1 = \text{常量}$, 进气口的能量和等于出气口的能量和可以转换成: $P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho gh_2$, 理想流体不可压缩流态下, 可以得到公式 $v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$ 。

根据连续性公式: $Q=AV$, 结合其他的影响因素, 可得到公式 $Q=CAV$ 。

综上可得到公式:

$$Q = CA\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

P: 进气口压力, 单位为帕斯卡 (Pa)

ρ : 燃气密度, 单位为立方米每千克 (Kg/m^3)

v: 出气口 (碰嘴侧) 流速, 单位为米每秒 (m/s)

g: 重力加速度, 单位为米每二次方秒 (m/s^2)

h: 高度, 单位为米 (m)

Q: 燃气流量, 单位为立方米每秒 (m^3/s)

C: 流量系数, 与流量系数有关的因子有流体粘度, 流体温度, 流体压力, 流体的流动特征, 阀结构的阻挡, 流体接触壁的粗糙度等等, 一般需要通过实验得出。

通过上面的公式可以看到, 流量和流道有效面积成正比, 也就是说流道有效面积越大, 流量就越大。

2.1.2 流体流动特征的确定

确定流体的流动特征, 本次设计燃气流量控制阀应用于天然气中, 根据 GB16410 要求天然气灶具使用环境为 2000Pa。使用普通燃气流量阀碰嘴尺寸, 外环火碰嘴尺寸

1.5mm, 外环火碰嘴尺寸 0.75mm, 可以通过计算雷诺数来判定流体的流动特性。

判定流体的流动特性依据, 在管流中, 雷诺数小于 2300 的流动是层流, 雷诺数等于 2300 ~ 4000 为过渡状态, 雷诺数大于 4000 时的是湍流。

雷诺数计算公式:

$$Re = \frac{\rho V d}{\mu}$$

d: 管径, 单位为米 (m)

η : 流体粘度, 单位为帕斯卡·秒 (Pa·s)

ρ : 流体密度, 单位为立方米每千克 (Kg/m³)

V: 流速, 单位为米每秒 (m/s)

因天然气 90% 以上是甲烷, 以甲烷代替天然气粘度, 查表为 1.1×10^{-6} Pa·s

$Re = 0.648 \times 74.7 \times 0.002 / (1.1 \times 10^{-6}) = 88010 \gg 4000$, 可确定此流动特征为湍流。

有效面积的确定

在流量公式 $Q = CA \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$ 中, 面积 A 不仅仅是流量槽的截面积或者是碰嘴孔的面积, 它其实是一个合成面积, 在这里我们称它为有效面积。它的推导过程如下:

从燃气管道到减压阀或者是从燃气储气罐容器出发, 经过电控燃气流量阀, 通过管道, 从喷嘴射出, 在这个过程中整个流道的总压力降也就 ΔP 为各流道节流口的压力降 ΔP_i 之和, 即

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \Delta P_i$$

根据公式 $Q = CA \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$, 可以得到压力降公式为:

$$\Delta P = \frac{\rho Q^2}{2 A^2}$$

因各流道节流口的流量是一致的, 密度由流体本身决定, 故可以得到有效面积的公式:

$$\frac{1}{A^2} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{A_i^2}$$

从上面公式可以看到, 有效面积是流量槽截面积, 喷嘴孔面积, 其他较小的节流口面积共同作用产生。也就是说流量的大小除了流量槽截面积, 碰嘴孔面积外, 还与其他小

流道, 有着息息相关的关系, 设计时需要着重考虑。

2.1.3 热负荷和燃气流量的关系

当然燃气流量的设定是基于智能燃气灶具所需的热负荷要求得出的, 燃气热负荷与燃气流量的换算公式为:

$$W = \frac{1}{3.6} \times Q H_1$$

W: 热负荷, 单位为千瓦 (KW)

Q: 燃气流量, 单位为立方米每小时 (m³/h)

H₁: 燃气低热值, 单位为兆焦耳每立方米 (MJ/m³)

公式中燃气低热值为燃气本身的特性, 故从上面公式可以得出灶具热负荷与燃气流量成正比, 且燃气流量直接决定了灶具的热负荷, 当然实际热负荷还需要考虑热效率。灶具热负荷是考量灶具合规非常重要的一项测试, 可见燃气流量准确的重要性。

2.2 电控燃气流量控制阀的设计

本次研究设计的电控燃气流量控制阀, 为自主创新的一种流量控制结构, 同时其具有中国特色的使用环境, 如燃气流量大, 存在内环火, 双重密封、阀体高度尺寸低等特点, 故设计之初, 我们做了大量的计算, 有限元分析, 测试, 不断纠偏。

本电控燃气流量控制阀设计主要分成 3 个部分, 由燃气流量控制部分, 动力传动部分, 燃气密封部分组成, 本次重点研究燃气流量控制部分。

本次研究设计的电控燃气流量阀的燃气流量控制部分通过三个部分进行控制, 分别为固定盘, 可动盘, 阀体。控制的原理为: 可动盘的转动, 来调节燃气流道截面积的变化, 进而进行燃气流量的调节, 具体为:

固定盘与可动盘配合, 来调整总的燃气流量。

阀体与可动盘配合, 来调整内外环流量的切换时间。

固定盘是该结构最为核心的部件, 控制着整个电控燃气流量控制阀的流量变化曲线。它的整体形状为圆形, 有一凸出结构。固定盘下端有一条形槽, 该槽即为流量槽。槽的一端有一孔状结构, 用于联通固定盘上端和流量槽的燃气, 孔状结构之上有一个圆角, 该圆角大小, 对流量系数影响非常大, 上端有三个条状凸起, 作用是用于固定压簧, 避免可动盘转动时的震动移动压簧, 造成压簧堵住流量孔, 进而导致流量输出不稳定。中间一个圆孔, 与圆盘凸起处的凹槽共同作用, 用于定位整个固定盘。

可动盘是该结构中的转动部件，它的转动直接控制着阀体的开关和流量的大小。它的整体形状为圆形，有一凸出结构，该结构作用是用于机械归零，自动找正。可动盘的重心有一腰型孔，其作用是与传动轴配合，用于带动可动盘整体转动。可动盘下方也有一流量槽，其作用为传输被可动盘控制后的燃气，使其传输到被要求的智能燃气灶具的燃烧器外环侧出气口和内环侧出气口。可动盘流道的一侧有一开孔，它的一侧与固定盘的流道共同作用，调整着燃气流量的大小。

此结构此处的阀体上结构为两个扇形孔，该扇形孔分别连接着智能燃气灶具的燃烧器内环测流道和外环测流道，它们之间的角度关系，决定着智能燃气灶具的燃烧器内环测控制的角度。

此设计优点：①采用成型的方式，成型流量槽，一致性高，且便于质量控制；②固定盘可设置流量槽，便于实现流量连续控制；③可动盘和阀体为金属件接触，可实现密封效果，增加安全性。

2.3 流量测试结果

前期理论计算和有限元分析之后，我们进行实际电控燃气流量控制阀样品的制作，并进行了实际流量的测试，进一步确认了流量是否符合要求，测试结果如图2。

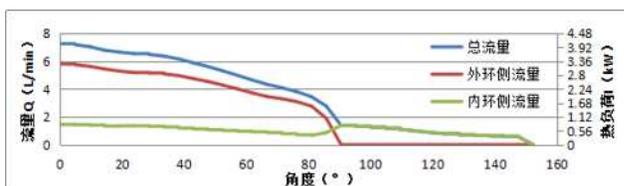


图2 流量变化实测数据

2.3.1 测试方法

因燃气不可直接排到空气中存在安全隐患，故需要用压缩空气进行代替，燃气流量的变化曲线需要通过对两者密度的不同导致的流量不同进行换算才能得到。下面是具体的测试方法：

在输入侧进口侧，通入被稳压过的2000Pa的压缩空气，启动流量计，开始记录压缩空气的流量，在未开阀前显示流量为零，燃气流量控制阀的自吸阀接口，接入DC12V电压，自吸阀打开。在燃气流量控制阀的步进电机接口处，通过传输线与步进电机驱动器连接，驱动器设置参数主要为每次按轻触开关步进电机旋转3°，开始进行流量测试，并记录输

出侧的两个气压表的气压变化。

2.3.2 测试结果对比

将燃气流量的实测结果与燃气流量数值计算的流量变化曲线，燃气流量的有限元分析的流量变化曲线，放到同一张图表上进行分析，发现三者的结果基本是一致的。其中实测值在20°左右的地方出现了轻微的下凹，原因是可动盘转动过程中，出现孔和孔联通转到孔和流道联通的过程影响，不过对线性的影响较小，可以忽略。另外，在内外环火小到外环火无内环火大过程中，即90°左右的地方有限元值和实测值均出现了一个斜坡状的变化，而计算值则是在90°处垂直变化，原因是内外环火切换过程中，因碰嘴有效面积变化导致的流量变化所致，不影响线性连续控制，具体详见图3。

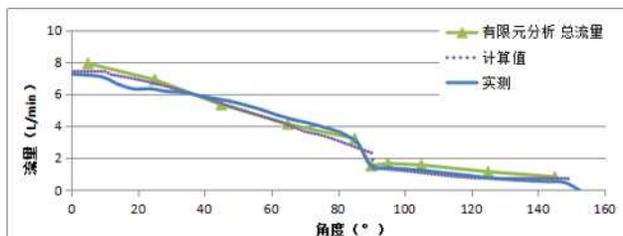


图3 流量计算值、有限元分析值、实测值三者对比图

2.4 试火测试

通过对步进电机的控制，来改变流道的截面积的大小，通过截面积的大小，来改变通过电控燃气流量控制阀的燃气流量，燃气流量的变化，直接影响大火焰的大小，通过对火焰变化的记录，最终确认结果为本次研究设计的燃气流量控制阀对火焰燃烧的调节效果符合最初的设定目标，即燃气流量连续线性控制，且可内外环火同时控制。

3. 结语

本文以智能燃气灶具的市场需求为背景，针对现有燃气流量控制阀无法连续线性控制的问题，提出了一种全新的燃气流量控制结构，并具体设计了一种电控燃气流量控制阀。希望这种新的电控燃气流量控制阀能够帮助提升现代燃气灶具的智能化水平。

参考文献

- [1] 唐金峰, 一种燃气具用电动流量控制阀 [P]. CN104896127A.2015-05-15.
- [2] 吴谢军. 关于阀芯孔对燃气灶热负荷的影响分析 [J]. 当代化工研究. 2019,(3).

- [3] 唐金峰, 一种电动气流量控制阀 [P].CN206592612U. 作 .2016,(14).
2017-02-24. [5] 李栋, 燃气调压器流量计算分析 [J]. 煤气与热力,
[4] 徐啸宇付彦喆. 智能安全节能燃气灶设计 [J]. 电子制 2018,38(5).