



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1240—2010

临界流文丘里喷嘴法气体流量 标准装置校准规范

Calibration Specification for Gas Flow Calibration Facility by
Means of Critical Flow Venturi Nozzles

2010-01-05 发布

2010-04-05 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和定义	(1)
4 概述	(2)
4.1 组成	(2)
4.2 工作原理	(2)
4.3 用途	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 装置绝对压力范围	(2)
5.2 装置流量范围	(2)
5.3 喷嘴流出系数	(3)
5.4 测温、测压仪表	(3)
5.5 计时器	(3)
5.6 湿度修正	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 工作介质条件	(3)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(3)
8 校准结果的表达	(4)
9 复校时间间隔	(4)
附录 A 期间核查	(5)
附录 B 湿度修正方法	(7)
附录 C 装置不确定度评定程序	(8)
附录 D 正压装置的校准	(10)
附录 E 校准证书数据页格式	(12)

本规范主要起草人:

李春辉 (中国计量科学研究院)

参加起草人:

徐英华 (中国计量科学研究院)

沈文新 (浙江省计量科学研究院)

张福元 (国家石油天然气大流量计量站南京分站)

庄 涛 (辽宁省计量科学研究院)

闫继伟 (河南省计量科学研究院)

丁月臣 (丹东市通博测控有限公司)

临界流文丘里喷嘴法气体 流量标准装置校准规范

Calibration Specification for Gas Flow

Calibration Facility by Means of

Critical Flow Venturi Nozzles

JJF 1240—2010

本规范经国家质量监督检验检疫总局于2010年1月5日批准，并自2010年4月5日起施行。

归口单位：全国流量容量计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：浙江省计量科学研究院

国家石油天然气大流量计量站南京分站

辽宁省计量科学研究院

河南省计量科学研究院

丹东市通博测控有限公司

本规范由全国流量容量计量技术委员会负责解释

临界流文丘里喷嘴法气体流量标准装置校准规范

1 范围

本校准规范适用于临界流文丘里喷嘴法气体流量标准装置（以下简称为装置）的校准及期间核查。

2 引用文献

GB/T 21188—2007/ISO 9300: 2005《用临界流文丘里喷嘴测量气体流量》

JJG 620—2008《临界流文丘里喷嘴检定规程》

JJG 643—2003《标准表法流量标准装置检定规程》

JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》

JJF 1004—2004《流量计量名词术语及定义》

JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》

使用本校准规范时，应注意使用上述所引用文献的现行有效版本。

3 术语和定义

3.1 临界流文丘里喷嘴 critical flow Venturi nozzle

用于测量气体流量，入口孔径逐渐减小到喉部后又逐渐扩大，喉部能够达到当地音速的测量管（以下简称为喷嘴）。

3.2 喉部 throat

喷嘴内径最小的部分。

3.3 流出系数 discharge coefficient, C_d

相同滞止参数下，流过喷嘴的实际质量流量 q_m 与理想气体一维、等熵地流过喷嘴的理想质量流量 $q_{m,i}$ 的比值，其表达式为

$$C_d = \frac{q_m}{q_{m,i}}$$

3.4 喉部雷诺数 throat Reynolds number, Re_{th}

以喷嘴喉部直径 d 作为特性尺寸，使用喷嘴入口滞止条件下气体动力黏度 μ_0 计算得到的雷诺数，计算公式为

$$Re_{th} = \frac{4q_{m,0}}{\pi d \mu_0}$$

3.5 临界背压比 critical back-pressure ratio, p_{cr}

当滞止参数一定，通过喷嘴的质量流量达到最大时，喷嘴出口处静态压力与其上游滞止压力之比的最大值。

3.6 负压装置 negative pressure facility

根据装置所使用喷嘴的数量、喉径大小及绝对压力范围确定装置的流量范围。

5.3 喷嘴流出系数

装置所采用喷嘴的流出系数应具有有效的检定或校准证书，其不确定度应满足装置的不确定度要求。

5.4 测温、测压仪表

温度测量仪表的分度值应不大于 0.1°C ，压力测量仪表的准确度等级一般优于 0.1 级。装置中所涉及的温度、压力等测量仪表均应具有有效的检定或校准证书。

5.5 计时器

计时器的分辨力需不大于 0.001 s ，应带有晶振信号输出口，且晶振 8 h 的稳定度一般优于 1×10^{-5} 。

计时器应具有包括晶振 8 h 稳定度及时间间隔的检定或校准证书。

5.6 湿度修正

如果工作介质不是干燥的空气，装置应具有湿度修正功能，湿度修正方法详见附录 B。

6 校准条件

6.1 环境条件

温度： $(5 \sim 35)^{\circ}\text{C}$ ；

压力： $(86 \sim 106)\text{ kPa}$ ；

相对湿度： $15\% \sim 95\%$ 。

6.2 工作介质条件

工作介质为空气。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目包括对装置的校准和期间核查，校准项目见表 1。

表 1 校准及期间核查校准项目一览表

检测项目	校准	期间核查
外观检查和资料审查	+	+
密封性试验	+	+
临界背压比试验	+	—
装置稳定性	+	—

注：“+”表示需检测项目；“—”表示可不检测项目。

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查和资料审查

用目测及资料审查的方法检查装置，测压孔、测温孔、直管段长度应符合有关规程

工作介质的滞止压力等于或低于大气压力的装置，称为负压装置。

3.7 正压装置 positive pressure facility

工作介质的滞止压力高于大气压力的装置，称为正压装置。

4 概述

根据装置气源滞止压力的不同，装置通常可分为负压装置和正压装置。本规范以负压装置为基础，对装置的校准内容及方法进行规范，正压装置的校准详见附录 D。

4.1 组成

负压装置的基本组成如图 1 所示。装置主要有喷嘴，滞止容器，测量喷嘴上游滞止温度、压力测量仪表，被校流量计处温度、压力测量仪表，计时器，对装置中设备进行控制及数据采集、处理的控制系统及其他一些辅助设备。

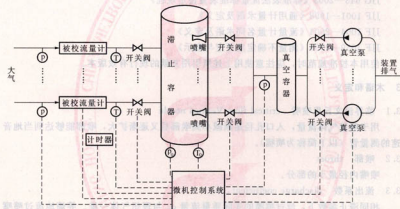


图 1 负压装置的基本组成示意图

4.2 工作原理

在相同时间间隔内，气体连续地流过喷嘴和被校流量计，由于质量守恒，通过喷嘴的质量流量和被校流量计的质量流量相同，比较两者的流量示值可以确定被校流量计的计量性能。

4.3 用途

装置用于气体流量计的检定、校准或测试。

5 计量特性

5.1 装置绝对压力范围

根据装置气源的压力形式确定装置的绝对压力范围。

5.2 装置流量范围

附录 A

期间核查

期间核查即是用简单实用的方法,对计量标准装置的某些参数在相邻两次校准期间内对其校准状态可信度进行的一种技术核查,在此,主要指对装置所能实现的气体流量计量的准确性所进行的周期性核查试验。

A.1 试验用流量计(或组)

为进行临界背压比及喷嘴组合试验,装置应配备重复性不低于装置标准不确定度,流量基本覆盖装置所使用单个喷嘴最小、最大质量流量的试验用流量计(或组)。

A.2 期间核查试验

试验用流量计(或组)在校准完成后的装置上进行校准试验。试验流量点不少于 3 个,每个流量点的试验次数不少于 6 次。一段时间后(此时间段由试验用流量计的性能决定,时间间隔应能保证流量计的性能保持在上次校准完成确定的准确度内)在相同的流量试验点进行相同的试验。

A.2.1 试验结果处理

(1) 试验流量点结果的不确定度 u_i

$$u_i = [u^2(q_n) + u^2(q_{fm}) + u_A^2(q_{fm,i,j}) + u_A^2(q_{fm,i,j+1})]^{1/2} \quad (\text{A.1})$$

式中: $u(q_n)$ ——喷嘴流量测量的相对标准不确定度;

$u(q_{fm})$ ——流量计流量测量的相对标准不确定度;

$u_A(q_{fm,i,j})$ ——第 i 个试验点,第 j 次试验时流量计流量测量的重复性;

$u_A(q_{fm,i,j+1})$ ——第 i 个试验点,第 $j+1$ 次试验时喷嘴流量测量的重复性。

(2) 流量计示值偏差 E_i

$$E_i = \left| \frac{q_{fm,i,j} - q_{fm,i,j+1}}{q_{fm,i,j}} \right| \times 100\% \quad (\text{A.2})$$

式中: $q_{fm,i,j}$ ——第 i 个试验点,第 j 次试验时流量计测量流量的平均值;

$q_{fm,i,j+1}$ ——第 i 个试验点,第 $j+1$ 次试验时流量计测量流量的平均值。

A.3 装置运行状况判断标准

当每个流量点测量结果的不确定度与流量计显示流量与流过喷嘴计算流量间偏差满足式(A.3)时,说明装置的运行状态良好。

$$E_i \leq 2u_i \quad (\text{A.3})$$

期间核查试验记录及结果处理见表 A.1。

或标准的设计要求,湿度修正方法应符合附录 B 的要求;装置的配套设备应符合 5.1~5.6 的要求。

7.2.2 密封性试验

启动控制设备,运行装置。开启喷嘴下游的真空泵,达到最低压力,关闭喷嘴前后的相关阀门,保持 5 min,装置滞止容器内绝对压力与绝对温度比值的变化率应不超过 0.1%。在工作压力下,装置各部件的连接处应无泄漏。

7.2.3 临界背压比试验

安装就位的喷嘴需在使用装置上进行临界背压比的实际测量。

将试验用流量计(或组)安装于装置上,连接喷嘴,开启装置中的真空泵,当背压比达到某一值,关闭真空泵,记录此时试验用流量计(或组)显示的流量值和背压比。背压比每增加某一个固定值,记录试验用表显示的流量值及背压比。当试验用流量计(或组)的流量示数附随开始下降时的背压比即为该喷嘴的临界背压比。

7.2.4 流量稳定性

通常采用空管,即未安装流量计情况下,对装置流量的稳定性进行测量。根据装置的流量范围,选取最大流量和最小流量,及中间不少于两个流量点,对装置流量的稳定性进行试验,将其流量稳定性最大的值作为装置的流量稳定性。每个试验点的测量时间不少于 60 s。

一次累计时间内连续测量 n ($n \geq 10$) 次流量 q_i ($i=1, 2, \dots, n$; $n \geq 10$), 计算其平均值:

$$\bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n} \quad (1)$$

流量稳定性:

$$S = \frac{1}{\bar{q}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (2)$$

8 校准结果的表达

校准试验完成后,按照本规范给出校准结果,开具相应的校准证书。

校准结果的不确定度分析详见附录 C,校准证书数据格式见附录 E。

9 复校时间间隔

装置的复校周期由委托方自定,根据喷嘴的检测周期建议为 5 年。

附录 B

湿度修正方法

采用 GB/T 21188—2007/ISO 9300: 2005 的湿度修正方法, 修正后的质量流量 $q_{m,h}$ 为

$$q_{m,h} = q_m \left[1 + x_{\text{CO}_2} (0.25 + 0.04732\pi) + \frac{\text{RH}AB}{100} \right] \quad (\text{B.1})$$

式中: x_{CO_2} ——空气中 CO_2 所占的摩尔分数 (如果未知, 可用 0.000 4);

RH——空气的相对湿度, %。

$$A = 0.127828\tau^3 - 0.789422\tau^2 + 1.63166\tau - 1.12818 \quad (\text{B.2})$$

$$\tau = \frac{T_0}{T_c}$$

T_0 ——喷嘴上游滞止温度;

T_c ——临界温度, $T_c = 132.530 \text{ K}$ 。

$$B = -0.000288749\pi^2 - 0.00191022\pi + 0.00569536 - \frac{0.0719995}{\pi} \quad (\text{B.3})$$

$$\pi = \frac{p_0}{p_c}$$

p_0 ——喷嘴上游滞止压力;

p_c ——临界压力, $p_c = 3.786 \text{ MPa}$ 。

表 A.1 期间核查试验记录及结果处理

试验时间:

试验流量点	第 1 个									第 2 个									第 3 个								
	1	2	3	4	5	6	平均值	标准 偏差		1	2	3	4	5	6	平均值	标准 偏差		1	2	3	4	5	6	平均值	标准 偏差	
试验次数																											
滞止温度																											
滞止压力																											
工质湿度																											
喷嘴流量																											
流量计处温度																											
流量计处压力																											
$q_{m(i)}$																											
$q_{m(i)+1}$																											
u_i 计算																											
E_i																											
结论:																											

附录 C

装置不确定度评定程序

由于喷嘴直接测量得到的是瞬时质量流量,但考虑累计体积流量方式的气体流量计在气体流量计量中大量使用,且其不确定度涵盖了此类装置中所使用仪表的全部不确定度,因此,在此以累计体积流量的不确定度作为装置的不确定度指标。

C.1 数学模型

系统总的累计体积流量:

$$Q_V = \sum_{i=1}^n q_{V,i} t \quad (\text{C.1})$$

单个喷嘴的体积流量为

$$q_V = C_d A_s C_s \frac{p_0 Z T}{p \sqrt{\frac{M T_0}{R}}} \quad (\text{C.2})$$

式中: C_d ——喷嘴的流出系数;
 A_s ——喷嘴的喉部面积;
 C_s ——喷嘴的流函数;
 Z ——压缩系数;
 R ——通用气体常数;
 M ——气体的摩尔质量;
 T ——被校流量计处温度;
 p ——被校流量计处压力。

C.2 不确定度计算

由公式 (C.2), 单个喷嘴体积流量的相对不确定度为

$$u_{r,q_V} = \{u_{r,C_d}^2 + \frac{1}{4}[u_{r,T_0}^2 + u_{r,M}^2 + u_{r,R}^2] + u_{r,p_0}^2 + u_{r,T}^2 + u_{r,A_s}^2 + u_{r,C_s}^2 + u_{r,Z}^2 + (C_s u_{r,p})^2\}^{0.5} \quad (\text{C.3})$$

式中: u_{r,C_d} ——喷嘴流出系数的相对标准不确定度;
 u_{r,T_0} ——喷嘴滞止温度测量的相对标准不确定度;
 $u_{r,M}$ ——摩尔质量的相对标准不确定度;
 $u_{r,R}$ ——通用气体常数的相对标准不确定度;
 u_{r,p_0} ——喷嘴滞止压力测量的相对标准不确定度;
 $u_{r,T}$ ——被校流量计处温度测量的相对标准不确定度;
 $u_{r,p}$ ——被校流量计处压力测量的相对标准不确定度;
 u_{r,A_s} ——喷嘴喉部面积的相对标准不确定度;

注: 当喷嘴实流标定时, 可忽略喷嘴喉部面积的相对标准不确定度。

u_{TC} ——临界流函数的相对标准不确定度；

u_{ε} ——压缩系数的相对标准不确定度；

 C_{θ} , u_{θ} ——湿度的灵敏度系数、相对标准不确定度

注：当湿度计最大允许误差不超过 $\pm 5\%$ 时，可忽略湿度的相对标准不确定度。

装置在使用时,将根据所需的流量使用单个、两个、多个至全部喷嘴组合。考虑各喷嘴流量间的相关性及其相应的灵敏度系数,装置的合成标准不确定度为

$$u_{rQ} = \{\max[u_{g_{ij}}(q_{V,i})]^2 + u_{rt}^2\}^{0.5} \quad (C.4)$$

其中: $\max [u_{q_{v,i}}(q_{v,i})]$ ——采用各喷嘴中最大的相对标准不确定度;

u_{tt} ——计时器的相对标准不确定度。

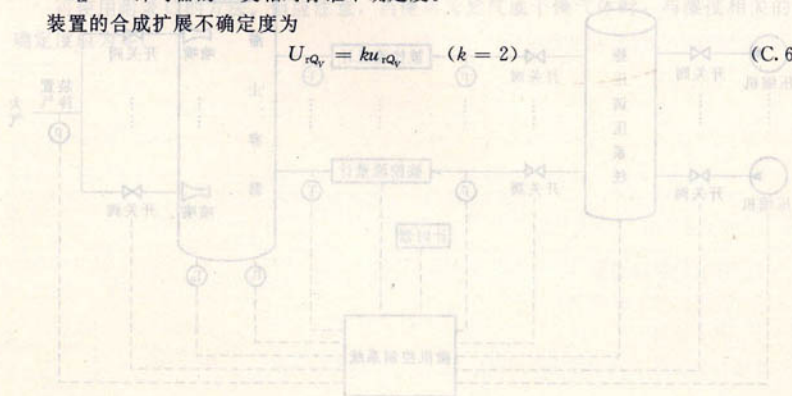
$$u_{\text{rel}} = [u_{\Delta}^2 + u_{\text{Pr}}^2]^{0.5} \quad (\text{C.5})$$

其中： u_{A_i} ——计时器的 A 类相对标准不确定度；

 u_{B_2} ——计时器的 B 类相对标准不确定度。

装置的合成扩展不确定度为

$$U_{r,0} = ku_{r,0} \quad (k = 2) \quad (C.6)$$



附录 D

正压装置的校准

校准规范的正文主要从负压装置的角度对装置的校准进行规范,本附录是在正文的基础上对正压装置的补充。

D.1 结构

正压装置的基本结构如图 D.1 所示。

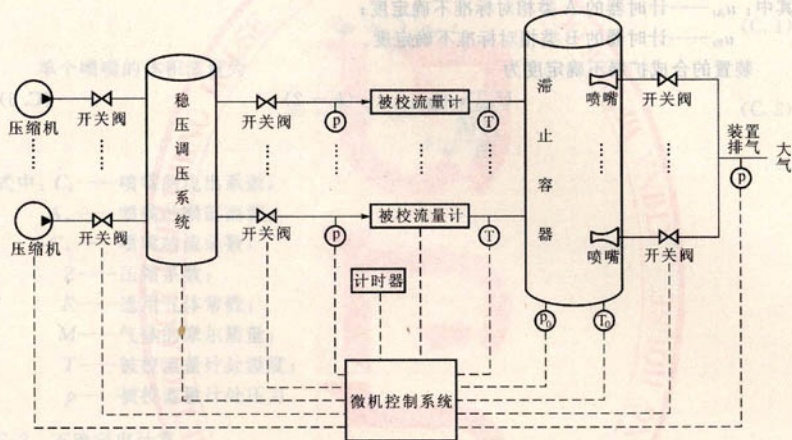


图 D.1 正压装置的基本组成示意图

D.2 流量计算

由式 (A.1), 通过喷嘴的实际质量流量 q_m 可表示为

$$q_m = C_d q_{mi} = C_d A \cdot C \cdot \frac{p_0}{\sqrt{\frac{RT_0}{M}}}$$

或

$$q_m = C_d q_{mi} = C_d A \cdot C_R \sqrt{p_0 \rho_0} \quad (\text{D.1})$$

对于天然气, 可使用质量通量代替临界流函数计算质量流量:

$$q_m = C_d A \cdot q_{mf} \quad (\text{D.2})$$

式中: q_{mf} ——质量通量, 可按 JJG 620—2008 的附录 C 进行计算。

D.3 流量稳定性

流量稳定性试验的要求如下：

- D.3.1 至少选取 3 个流量点，即：在使用的最大流量（最大压力下）和最小流量（最小压力下），以及中值流量（接近最大流量和最小流量的平均值）；
- D.3.2 每个流量点至少重复 6 次，每次试验时间不少于 60 s；
- D.3.3 当装置在不同流量区间的不确定度或准确度等级不同时，每段都需要进行相应的稳定性试验。

流量稳定性的计算同正文公式（2）。

D.4 装置不确定度计算

可使用附录 C 的方法。但应注意，当使用天然气或干燥气体时，与湿度相关的不确定度应为零。

流量点	流量点
流量点应至少选取 3 个，即：在使用的最大流量（最大压力下）和最小流量（最小压力下），以及中值流量（接近最大流量和最小流量的平均值）。每个流量点至少重复 6 次，每次试验时间不少于 60 s。当装置在不同流量区间的不确定度或准确度等级不同时，每段都需要进行相应的稳定性试验。	

附录 E

校准证书数据页格式

一、校准条件

(1) 校准介质

(2) 装置管径范围

二、校准结果

(1) 装置绝对压力范围

(2) 装置流量范围

(3) 装置所使用喷嘴参数: 编号、喉径、流出系数、雷诺数、不确定度等。

(4) 装置密封性

(5) 装置中喷嘴的临界背压比

喷嘴编号	临界背压比
注: 为保证通过喷嘴的流动为稳定的临界流, 喷嘴组合使用时, 其背压比应不大于所涉及喷嘴中临界背压比的最小值。	

(6) 装置流量稳定性

(7) 装置扩展不确定度

三、配套设备

给出装置所使用配套设备的型号、生产厂家等相关信息。

D.2 流量计算

由式 (A.1), 通过喷嘴的实际质量流量 q_v 可表示为

$$q_v = C_d q_{v0} = C_d A_0 C_p \sqrt{\frac{p_0}{RT_0}} \quad (D.1)$$

或

$$q_v = C_d q_{v0} = C_d A_0 C_p \sqrt{p_0} \quad (D.2)$$

对于天然气, 可使用流量系数代替临界流函数计算质量流量:

$$q_v = C_d A_0 \sqrt{p_0} \quad (D.3)$$

式中, q_v —— 流量, 可按 JJG 620—2008 的附录 C 进行计算。