

# 标准孔板流量计上下游测量管维护方法研究

刘 辉, 王川洪

中石油西南油气田分公司重庆气矿, 重庆

收稿日期: 2024年6月24日; 录用日期: 2024年7月19日; 发布日期: 2024年7月31日

## 摘 要

标准孔板流量计计量装置是确定天然气产量和质量的关键设备, 其上下游测量管内壁的光洁度对计量装置的精度和稳定性至关重要。通过建立标准孔板流量计流场分析模型, 定量分析了不同管径、不同测量管粗糙度对孔板计量精度的影响, 并优化设计了励磁振动除垢装置, 通过实验研究确定了最优操作条件, 证明了该测量管维护方法的有效性。该新型装置可以有效保障天然气计量系统的安全性、高效性、标准性, 减轻员工的劳动强度, 降低运行维护费用, 具有较好的安全效应和广泛的应用前景。

## 关键词

标准孔板流量计, 测量管, 维护, 粗糙度, 流出系数

# Research on the Maintenance Method of Upstream and Downstream Measuring Tubes of Standard Orifice Flowmeter

Hui Liu, Chuanhong Wang

Chongqing Gas Mine, Southwest Oil and Gas Field Branch, PetroChina, Chongqing

Received: Jun. 24<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jul. 19<sup>th</sup>, 2024; published: Jul. 31<sup>st</sup>, 2024

## Abstract

The standard orifice flowmeter metering device is a key equipment for determining the output and quality of natural gas. The smoothness of the inner wall of the upstream and downstream measuring tubes is crucial to the accuracy and stability of the metering device. By establishing a flow field analysis model for a standard orifice flowmeter, the influence of different pipe diameters and different measuring tube roughness on the orifice metering accuracy is quantitatively analyzed, and the excitation vibration descaling device is optimized and designed. The optimal

operating conditions are determined through experimental research, and the effectiveness of the measuring tube maintenance method is proved. This new device can effectively ensure the safety, efficiency, and standardization of the natural gas metering system, reduce the labor intensity of employees, and reduce the cost of operation and maintenance. It has a good safety effect and a broad application prospect.

## Keywords

Standard Orifice Flowmeter, Measuring Tube, Maintenance, Roughness, Outflow Coefficient

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在《用标准孔板流量计测量天然气流量》(GB/T21446-2008)标准中,明确了孔板夹持器和前后测量管的安装要求[1][2]。在生产现场,将孔板的清洁、检测作为对计量装置维护的主要工作内容,通过对孔板的清洗、检查、和更换,使孔板满足计量标准规定的技术要求,提高计量的准确性。但是,在实际生产中,杂质不仅附着在孔板表面,同时也附着在前后测量管内表面,造成对计量准确度的影响。原料气、净化气中夹带污物和粉尘,随着气流在管线内流动,杂质不断与测量管接触,附着在测量管内表面,直接影响管壁内的表面光洁度[3][4]。要清除管道内表面杂质,必须在停产,泄放管段内的压力后才能进行。然而,当前还没有要求对计量装置前后测量管的维护,针对测量管表面粗糙度变化对计量准确度的影响也少有报道[5][6]。因此,本研究开展测量管粗糙度变化对计量准确性影响研究,探寻高级孔板计量装置上下游测量管维护方法很有必要。

## 2. 测量管内壁粗糙度对计量误差

标准孔板流量计测量流量是基于流体流动的节流原理,利用流体流经节流装置时产生的压力差来实现流量测量的。实践证明,节流件前后的压差信号  $\Delta p$  与流量  $Q$  有如下的关系[7][8]:

$$Q = A_d \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} d^2 \varepsilon F_z \sqrt{\frac{1}{G_r T_1}} \sqrt{P_1 \Delta P} \quad (1)$$

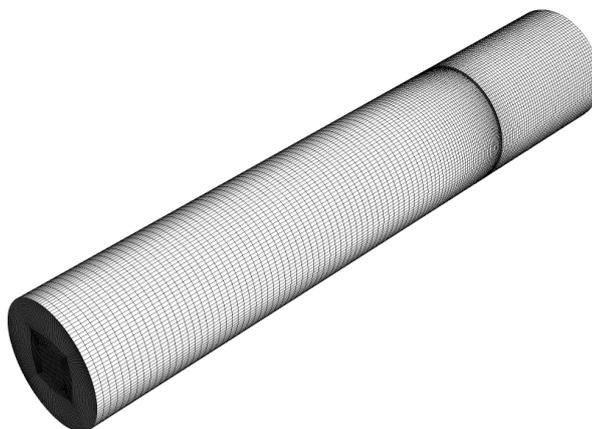
式中,  $Q_n$  为日标准体积流量,  $m^3/d$ ;  $A_d$  为日流量系数,其值为 4.703391;  $d$  孔板开口直径,  $T_1$  为上游气温度,  $K$ ;  $P_1$  为上游绝对静压力,  $MPa$ ;  $\Delta P$  为压差,  $Pa$ ;  $G_r$  天然气真实相对密度;  $C$  为流出系数。

流出系数  $C$  是流过节流装置的实际流量值与理论流量值之比。在工程中,流量系数  $C$  的稳定值被统一设为 1。但是,不同的工况有不同的流量系数的数值。随着计算机技术的快速发展,可以通过仿真模拟来开展测量管粗糙度对计量的影响分析,具体分析步骤如下:

- 1) 结合仿真模拟软件,建立孔板流量计的流场分析模型;
- 2) 设置流量边界和压力边界,数值一定;然后更改管径和粗糙度,由此获得不同管径、不同粗糙度下的压降和流量;
- 3) 结合获得的参数,将流量、压力、温度、压降等数值代入式(1),反算得到不同工况条件下的流出系数  $C$ 。

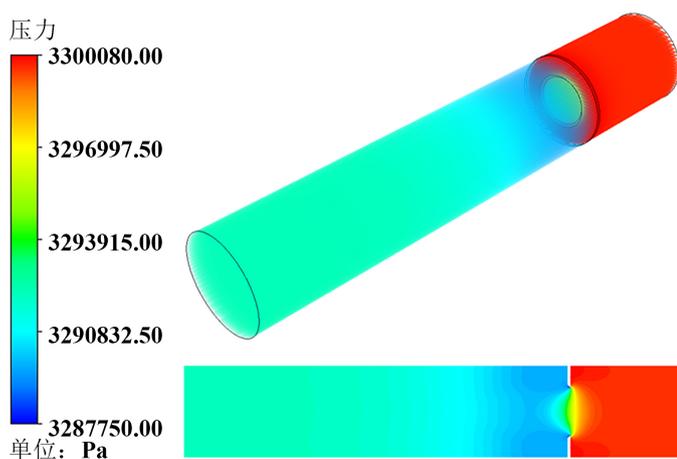
获得在一定管道粗糙度下压降和流量的对应关系,再结合式(1)可以获得真实工况下的流出系数  $C$ 。

基于上述步骤,运用 Ansys Workbench 软件建立孔板模型,采用标准  $k-\epsilon$  模型对湍流场进行模拟[9] [10]。同时依据工程实例,介质为天然气,边界条件中的入口条件设定为质量入口,出口条件设定为压力出口。采用 Ansys Workbench 自带的基于压力的耦合求解器进行求解。标准孔板流量计网格划分结果如图 1 所示。



**Figure 1.** Standard orifice flowmeter grid division (aperture ratio is 0.5)  
**图 1.** 标准孔板流量计网格划分(孔径比为 0.5)

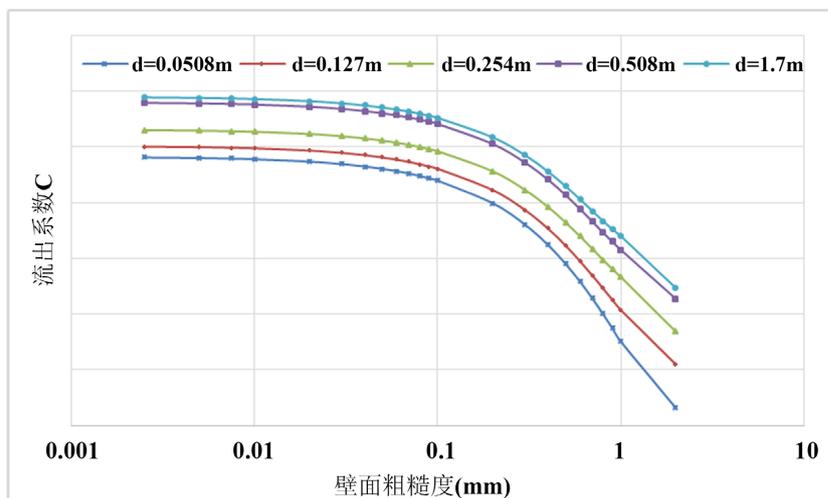
经计算,获得的压力分布结果如图 2 所示。因此,结合模拟结果,可以通过流量与压降的关系,反算出不同工况下对应的流出系数。



**Figure 2.** Pressure distribution cloud map  
**图 2.** 压力分布云图

图 3 表征了不同管壁粗糙度与流出系数  $C$  的对应关系。由于计量管段内有污物沉积,一方面减少了通道横截面,另一方面增加了管壁的粗糙度,在两者的作用下,实际流出系数变小。另外,由图 3 可知,随着管径的降低,管壁粗糙度对流出系数的影响越大。

在实际工程中,孔板流量计的流出系数设置为 1,而实际流出系数受管壁粗糙度的影响。管壁越粗糙,流出系数越小,数值小于 1。流出系数变小,实际气流量应减少,但是由于高级孔板计量装置中流出系数一般设置为 1,这就使得孔板计量装置的计量偏差增大。因此,对于天然气计量来说,研究保持管道内壁的光洁度的方法和措施就非常有必要。



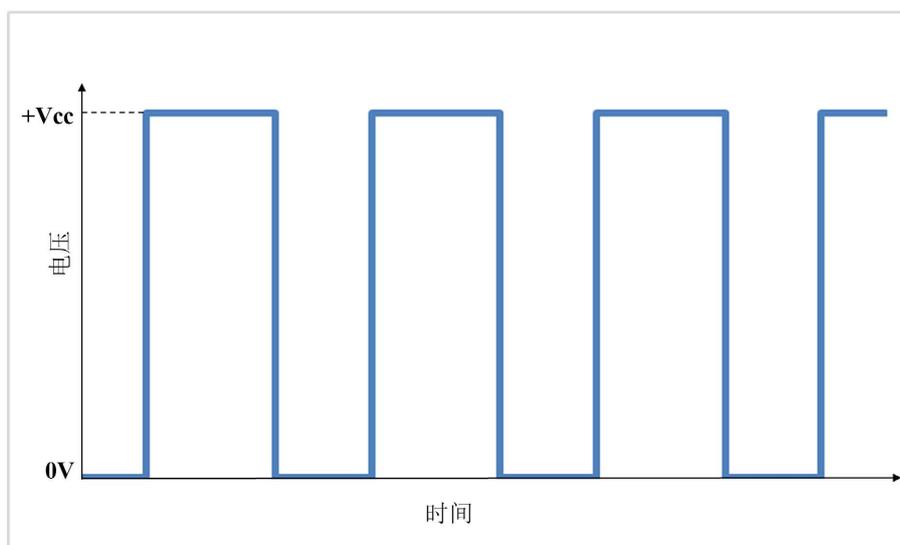
**Figure 3.** Corresponding relationship between different tube wall roughness and out-flow coefficient C (aperture ratio is 0.5)

**图 3.** 不同管壁粗糙度与流出系数 C 的对应关系(孔径比为 0.5)

### 3. 新型的励磁振动除垢装置设计

通过前面的分析可以发现, 管道内壁光洁度好时, 气体通过管道的速度变得更加稳定, 而且计量误差也会减小。同时, 管道内壁光洁度好也能减少污垢的积累, 保证气体流量通畅。因此, 养护管道内壁光洁度有助于保持计量装置的精度和稳定性。为此, 本研究提出了一种新型的励磁振动除垢装置。

#### 3.1. 工作原理



**Figure 4.** square wave generator waveform

**图 4.** 方波发生器波形图

励磁的主要作用是产生或控制磁场的强度和方向, 从而实现对于磁性物质的操控和利用。方波发生器作为一种电子电路, 它可以产生一种特殊的波形, 即是方波, 如图 4 所示。利用方波发生器可以产生稳定的电流频率, 将稳定的电流通过线圈转换为产生频率与强度可控的磁场。方波表示的是正弦波和无

限波的总和。在同一个时间之内，它在固定的最小值和最大值之间以规则频率交替显示振幅。方波发生器通常用于电子设备以及信号的处理，而方波是矩形波的特例。方波发生器原理就是利用频率的不同产生不同的信号。比如方波发生器用来产生频率为 20 Hz~200 kHz 的正弦信号(低频)。除具有电压输出外，有的还有功率输出。所以用途十分广泛，可用于测试或检修各种电子仪器设备中的低频放大器的频率特性、增益、通信频带，也可用作高频信号发生器的外调制信号源。

因此，利用方波的特点，研制励磁振动除垢装置，如图 5 所示。利用方波发生器可以产生稳定的电流频率，将稳定的电流通过线圈转换为产生频率与强度可控的磁场。在磁场内放置弹簧与冲击头，即可在方波发生器产生的电流为波峰时形成磁场吸引冲击头，将电能转换为冲击头的动能与弹簧的弹性势能；在波谷时断电，将弹簧的势能全部转化为冲击头的动能，冲击头撞击管道时通过惯性将动能传递至管道内。以特定的频率产生电流时，使分布在管道四周的冲击头同时撞击，产生振动，使管道内壁的结垢分散、脱落。

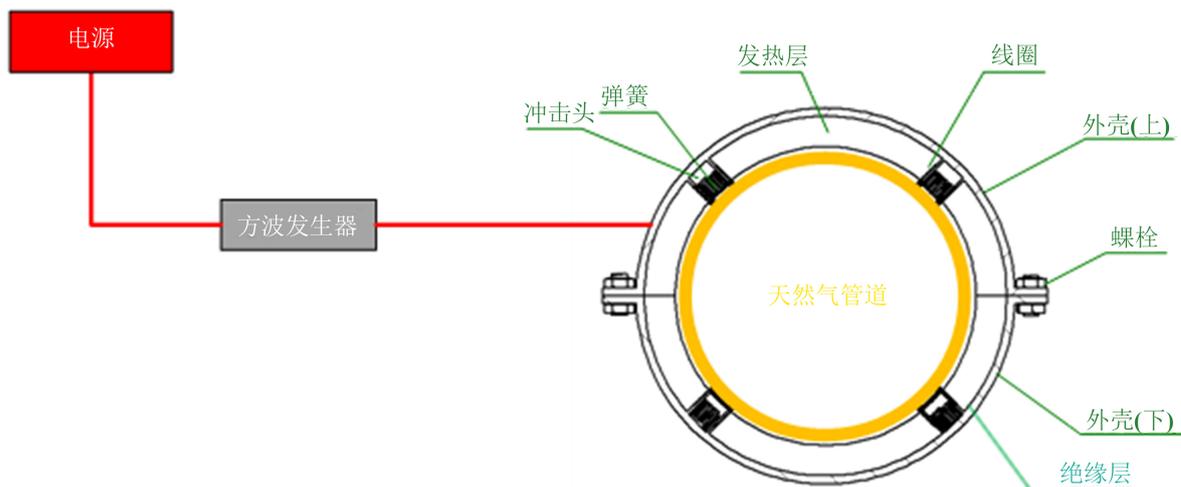


Figure 5. Schematic diagram of magnetic vibration descaling device  
图 5. 励磁振动除垢器原理图

### 3.2. 励磁振动除垢器结构

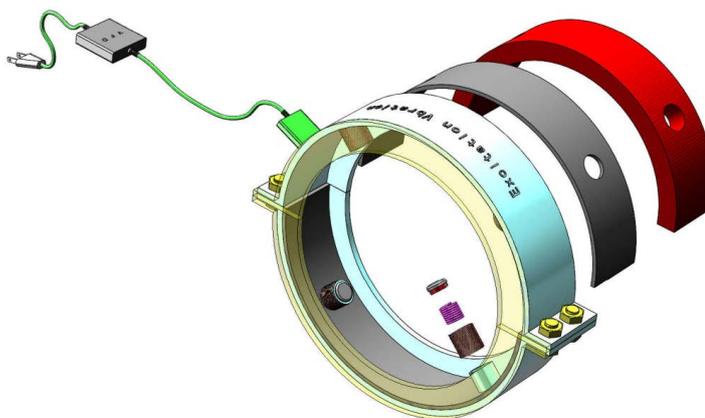


Figure 6. Excitation vibration descaling device assembly view  
图 6. 励磁振动除垢器装配视图

励磁振动除垢器结构如图6所示,其主要由电源接口、方波发生器、螺栓、外壳(共2部分)、绝缘层、发热层、弹簧与冲击头所组成,其中电源接口提供电流;方波发生器将常见交流电源转换为频率可控的电流;绝缘层防止内部线圈通电时,外壳带电发生危险;发热层加热管道与其内壁结垢,使其更容易在振动时脱落;线圈利用方波发生器产生的电流产生稳定可控的磁场,吸引冲击头、压缩弹簧;弹簧在线圈通电时将冲击头的动能转变为自生势能储存,并在磁场消失时释放;冲击头在线圈产生磁场时利用自身动能为媒介将电能转换为弹性势能,在磁场消失时撞击管道,形成振动,将结垢振掉。

## 4. 新型的励磁振动除垢装置应用评价

### 4.1. 实验装置

实验装置如图7所示。实验装置由管道(DN50)、励磁振动除垢装置、便携式吹扫机组成。



Figure 7. Excitation vibration descaling test bench

图7. 励磁振动除垢实验台架

### 4.2. 实验材料

根据粘附物的特征,用淤泥、铁锈以及沙砾配置了粘附物,如图8所示。



Figure 8. Adhesive material used in the experiment

图8. 实验用粘附物

### 4.3. 实验方法

首先, 配置好的粘附物称重( $m_1$ ), 粘附到管道内壁; 然后, 调节励磁振动除垢装置参数; 待一段时间(5 min、10 min、15 min、20 min、25 min、30 min、35 min、40 min、50 min、60 min)后, 运用便携式吹扫机进行管道吹扫, 称量从管道出口处出来的物品重量  $m_2$ 。最终利用  $(m_1 - m_2) \times 100\% / m_1$  来计算除垢效率, 实现对装置除垢效果的评价。

### 4.4. 实验结果分析

实验结果如图 9 和图 10 所示, 随着频率的增加, 除垢效果提升。在不同频率下, 除垢最优时长有所不同。20 kHz 最优除垢时长为 40 min; 40 kHz 最优解堵时长为 25 min。因此, 通过实验证明了励磁振动除垢装置的有效性, 推荐的运用条件: 操作时长为 25 min, 振动频率为 40 kHz。

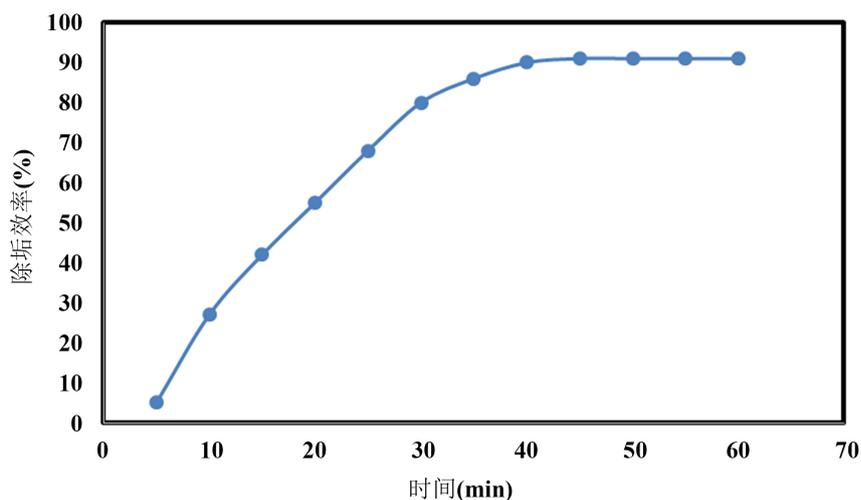


Figure 9. Descaling efficiency over time (20 kHz)

图 9. 除垢效率随时间的变化(20 kHz)

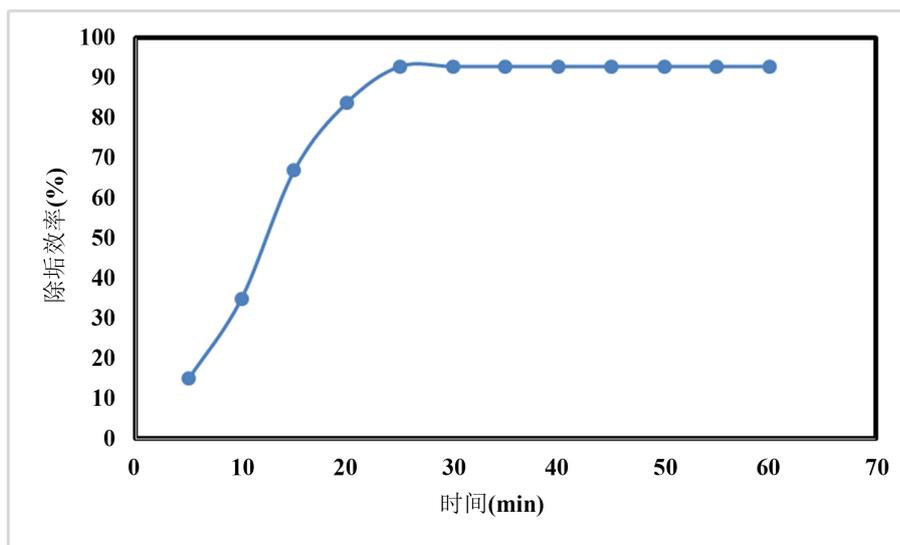


Figure 10. Descaling efficiency over time (40 kHz)

图 10. 除垢效率随时间的变化(40 kHz)

#### 4.5. 装置评价

通过实验证明：该装置安装简便，快捷，只需将励磁振动装置安装于管道外壁即可工作；成本低、设备能耗低，励磁振动装置结构简单，总体能耗只需维持四个铜线圈产生合适强度的磁场即可长时间工作；安全环保，该装置不会对环境或人员造成伤害；该装置所有操作均在管道外进行，可以保证在不停工停产的情况下进行作业。

#### 5. 结论

1) 基于气动力学基本原理，构建了与现场高度吻合的孔板计量装置内流场三维模型，分析了内部流场的特征，计算获得了不同粗糙度条件下的流出系数。在同一管径条件下，管壁越粗糙，流出系数越小，数值小于1。

2) 在实际工况条件下，由于计量管段内有污物沉积，一方面减少了通道横截面，另一方面增加了管壁的粗糙度，在两者的作用下，实际流出系数变小，但是由于高级孔板计量装置中流出系数一般设置为1，这就使得孔板计量装置的计量偏差增大。

3) 当前针对天然气计量管道除垢技术相对缺乏的现状，依据天然气计量管道内除垢的适配程度，本研究设计了一种新型励磁振动除垢装置，该装置具有除垢效果显著、总成本低廉、操作方便等优点。

4) 对励磁振动除垢装置进行了设计和制造，并完成了室内试验，通过实验证明了偏心振动除垢装置的有效性，推荐的运用条件：操作时长为25 min，振动频率为40 kHz。

#### 参考文献

- [1] Xu, S., Nixon, M., Beall, J., Wiklund, D. and Peluso, M. (2021) Process Variability Reduction in Flow Control and Wedge Flowmeter Performance Evaluation. *Control Engineering Practice*, **110**, Article 104780. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2021.104780>
- [2] 黄黎明. 中国天然气质量与计量技术建设现状与展望[J]. 天然气工业, 2014, 34(2): 117-122.
- [3] 田园, 李亚茜, 沈群. 并联孔板计量装置流量动态重分配规律研究[J]. 天然气与石油, 2023, 41(3): 6-13.
- [4] 李红文. 孔板流量测量装置异变流场在线诊断与修正[D]. 天津: 天津大学, 2015.
- [5] 周少玺. 孔板流量计在瓦斯抽采计量中的误差来源分析[J]. 能源与环保, 2018, 40(2): 128-130.
- [6] 杨红. 影响标准孔板流量计计量精度因素的定量分析研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2012.
- [7] 朱小龙, 韩涛翼. 典型槽式孔板流量计的数值模拟研究[J]. 能源化工, 2018, 39(2): 7-12.
- [8] 华兰. 城市燃气用标准孔板流量计计量精度研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2014.
- [9] Dong, J., Jing, C., Peng, Y., Liu, Y., Ren, H. and Liu, X. (2018) Study on the Measurement Accuracy of an Improved Cemented Carbide Orifice Flowmeter in Natural Gas Pipeline. *Flow Measurement and Instrumentation*, **59**, 52-62. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2017.12.008>
- [10] Huang, S., Ma, T., Wang, D. and Lin, Z. (2013) Study on Discharge Coefficient of Perforated Orifices as a New Kind of Flowmeter. *Experimental Thermal and Fluid Science*, **46**, 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.11.022>