

《陶瓷窑炉用天然气流量计在线校准规范》 行业计量校准规范

编制说明

校准规范编制组

二零二五年十月

《陶瓷窑炉用天然气流量计在线校准规范》 行业计量校准规范编制说明

一、任务来源

根据《工业和信息化部办公厅关于印发 2024 年行业计量技术规范制修订计划的通知》（工厅科[2024]602 号）的要求，《陶瓷窑炉用天然气流量计在线校准规范》（JJFZ(建材)004-2024）列入 2024 年行业计量技术规范制修订计划，由广州能源检测研究院等负责起草工作。

二、规范起草的背景、目的与意义

建筑陶瓷行业是国民经济的重要组成部分，经过近 40 年的高速发展，我国成为世界上最大的建筑陶瓷生产国和消费国，建筑陶瓷的产量占世界总产量的 60%以上，产量、消费量多年稳居世界第一。高速发展的同时，行业消耗了大量的资源和能源，产生了大量的温室气体。据测算，建筑陶瓷行业每年消耗原料 1.5 亿~2 亿吨，消耗能源 4000 万~6000 万吨标准煤，二氧化碳直接排放量 0.9 亿~1.4 亿吨，间接排放量约 0.4 亿吨。在当前碳达峰碳中和背景下及双碳战略目标的推动下，陶瓷行业正处于发展方式调整期，节能减排、绿色低碳、可持续化发展是企业实现低碳化发展的关键。随着陶瓷企业煤改气范围及进程持续扩大，使用天然气的陶瓷企业数量会越来越多。天然气作为清洁低碳的化石能源，在陶瓷企业能源绿色低碳转型中发挥着重要作用。助力建筑陶瓷行业碳达峰碳中和目标的实现背景下，陶瓷行业使用天然气是必然的趋势，陶瓷行业利用天然气规模将会持续扩大。

在陶瓷生产企业中烧成工序能耗最大，占总能耗的 60%以上。陶瓷窑炉作为陶瓷企业最关键的热工设备，根据 GB 17167-2006《用能单位能源计量器具配备和管理要求》对重点耗能设备的要求，陶瓷企业配置天然气流量计计量窑炉燃料消耗已非常普遍。由于陶瓷生产企业一旦生产，窑炉就无法停产，天然气流量计作为陶瓷窑炉的核心计量器具，拆卸运输非常困难，送到实验室校准难度很大。天然气流量计关系到陶瓷窑炉能耗计量准确与否，其在线校准问题成为陶瓷生产企业急需解决的问题。规范制定后，可以使陶瓷生产企业无需停产拆卸即可实现天然气流量计量值溯源，方便陶瓷生产企业，为陶瓷生产企业节约大量的人力物力。

三、规范编制的原则和依据

1、规范编制原则

本规范以 JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》为基础性规范进行编写。

本规范结合陶瓷窑炉用天然气流量计的实际应用情况而制定，参考了 JJG 643《标准表法流量标准装置检定规程》、JJG 1030《超声流量计检定规程》对测量标准计量性能的要求及 GB/T 18604《用气体超声流量计测量天然气流量》对检定环境条件的要求。对陶瓷窑炉用天然气流量计示值误差、重复性等计量特性以及校准方法等方面提出科学、合理的要求。

本规范所用术语与 JJG 643《标准表法流量标准装置检定规程》、

JJF1001《通用计量术语及定义》、JJG 1030《超声流量计检定规程》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》、GB 17167《用能单位能源计量器具配备和管理通则》、GB/T 18604《用气体超声流量计测量天然气流量》名词术语及定义保持相一致。此外，本规范还采用了仅适用本规范的专用术语和定义。

为了使规范既有先进性、又广泛适应实际使用情况，编制组在制定过程中，力求按照以下原则，完成规范的起草工作：

(1) 力求与国际建议、国家检定规程、国家标准接轨，保证其具有先进性、法制性和一致性；

(2) 在校准用计量标准器的选择上，综合考虑量值准确、便于量值溯源、现场适应性强、经济实用、性能可靠等因素；

(3) 在校准方法的设计上，既要能体现出主要的技术指标，又力求实用、操作简便；

(4) 在规范实施中要保证其具有可操作性和经济性。

在上述原则的基础上，考虑到陶瓷窑炉用天然气流量计的特殊性，本规范对陶瓷窑炉用天然气流量计示值误差、重复性校准等计量特性和校准方法提出了合理的要求。

2、编制依据

JJG 643 标准表法流量标准装置

JJG 1030 超声流量计检定规程

JJF 2216 电磁流量计在线校准规范

GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则

四、规范的构成

《陶瓷窑炉用天然气流量计在线校准规范》依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》等相关要求，由九个章节和四个附录组成：1 范围、2 引用文件、3 概述、4 计量特性、5 校准条件、6 校准项目和校准方法、7 校准结果表达、8 复校时间间隔、附录 A 校准证书内页格式、附录 B 校准数据原始记录、附录 C 采用标准表法（串联移动式在线校准标准装置）校准结果的不确定度分析示例、附录 D 采用标准表法（外夹式超声流量计）校准结果的不确定度分析示例，确保了本校准规范的科学性、规范性和可操作性。

五、规范的编制过程

2024 年 9 月成立了由广州能源检测研究院牵头组成的编制组。编制组首先进行了大量的文献调研，搜集了许多国内陶瓷窑炉用天然气流量计有关的技术标准，包括国内部分生产厂家的技术说明书。在编制过程中又参考了相关国际建议、国家计量检定规程、国家标准的有关要求，经过了多方面细致的工作和研究讨论，于 2025 年 1 月拟定出校准规范的初稿。于 2025 年 2 月开展大量验证性试验工作，随后通过征求陶瓷窑炉用天然气流量计生产厂家和使用单位对初稿的意见。于 2025 年 10 月形成《陶瓷窑炉用天然气流量计在线校准规范》的征求意见稿。

2025 年 X 月-X 月，《陶瓷窑炉用天然气流量计在线校准规范》公开征求意见。

2025 年 X 月，形成《陶瓷窑炉用天然气流量计在线校准规范》送审稿。

2026 年 X 月 X 日，《陶瓷窑炉用天然气流量计在线校准规范》专家审定。

2026 年 X 月 X 日，形成《陶瓷窑炉用天然气流量计在线校准规范》报批稿，上报报批。

六、主要内容编制说明

6.1 适用范围

规范适用于陶瓷窑炉用天然气流量计的在线校准。

流量计是指示被测流体流量和（或）在选定的时间间隔内流体总量的仪表，在建材工业中广泛用于天然气等能源物质计量。陶瓷窑炉用天然气流量计，根据测量原理进行分类，有利用流体动量原理的数显靶式流量计、利用流体振荡原理的涡街流量计、利用伯努利定理差压式智能弯管流量计等。陶瓷窑炉用天然气流量计由一次装置和二次装置组成，按一次装置和二次装置的组合型式流量计可分为一体型和分体型。陶瓷窑炉用天然气流量计主要用于测量天然气的瞬时流量和累积流量。

6.2 计量特性

规范对陶瓷窑炉用天然气流量计示值误差、重复性等计量特性进行了规定。

(1) 示值误差

天然气流量计示值误差通常用相对误差表示，示值最大允许误差见表 1。

表 1 天然气流量计最大允许误差

准确度等级	1.0	1.5	2.0	2.5
最大允许误差	±1.0%	±1.5%	±2.0%	±2.5%

(2) 重复性

天然气流量计的重复性应不超过相应准确度等级规定的最大允许误差限绝对值的1/2。

6.3 校准环境条件

对校准和使用有较大影响的校准环境条件进行了规定。具体如下：

(1) 环境条件一般应满足：

环境温度：（0～45）℃；

相对湿度：（35～95）%；

大气压力：（86～106）kPa。

(2) 在防爆区域开展在线校准工作时，所有设备设施及工具应符合相关安全防爆要求。

(3) 电源满足现场工况要求。

(4) 场地满足安全操作要求。

(5) 外界磁场对标准器和被校天然气流量计的影响可忽略。

(6) 机械振动和噪声对标准器和被校天然气流量计的影响可忽略。

(7) 直管段应满足被校天然气流量计对直管段的要求。

6.4 计量配套设备

考虑到量值溯源的可行性和主要设备和配套设备的最大允许误差，具体要求如表2所示。

表 2 校准用仪器设备

校准方法	设备名称		测量范围	最大允许误差或 准确度等级
标准表法 (串联移动式在线 校准装置)	主要 设备	校准装置流量范围应与被校天然气流量计的流量范围相适应，校准装置的扩展不确定度应小于或等于被校天然气流量计最大允许误差绝对值的 1/2。		
	配套 设备	压力测量、数据采集、信号处理、数据处理及通讯不确定度所引起的流量测量不确定度应不超过在线校准装置扩展不确定度的 1/5。否则，装置合成标准不确定度应考虑压力测量、数据采集、信号处理、数据处理及通讯所引起的不确定度。		
标准表法 (外夹式 超声流量 计)	主要 设备	超声流量计	DN(50~3000)mm	不低于 0.5 级
	配套 设备	游标卡尺	300mm	±0.04mm
		钢卷尺	20m	不低于 1 级
		电子秒表	0~1h	±0.1s
		测厚仪	0~100mm	±0.1mm

6.5 校准项目

对陶瓷窑炉用天然气流量计计量特性所规定的示值误差和重复性项目进行校准。

6.6 校准方法说明

根据当前陶瓷窑炉用天然气流量计现场实际条件，选用标准表法（串联移动式在线校准装置）、标准表法（外夹式超声流量计）进行校准。其具体方法如下：

（一）标准表法（串联移动式在线校准装置）

采用计量准确度高的流量计作为标准表的移动式在线校准装置（以下简称移动式装置），适用于口径为 DN(10~100)mm 的天然气流量计在线校准。

1.1 移动式装置的组成和特点

移动式装置主要由标准流量计、压力变送器、试验管路与阀门、信号处理与控制系统等组成，具有结构紧凑、易于移动、适合现场使用等特点。串联移动式装置校准图如图 1 所示。

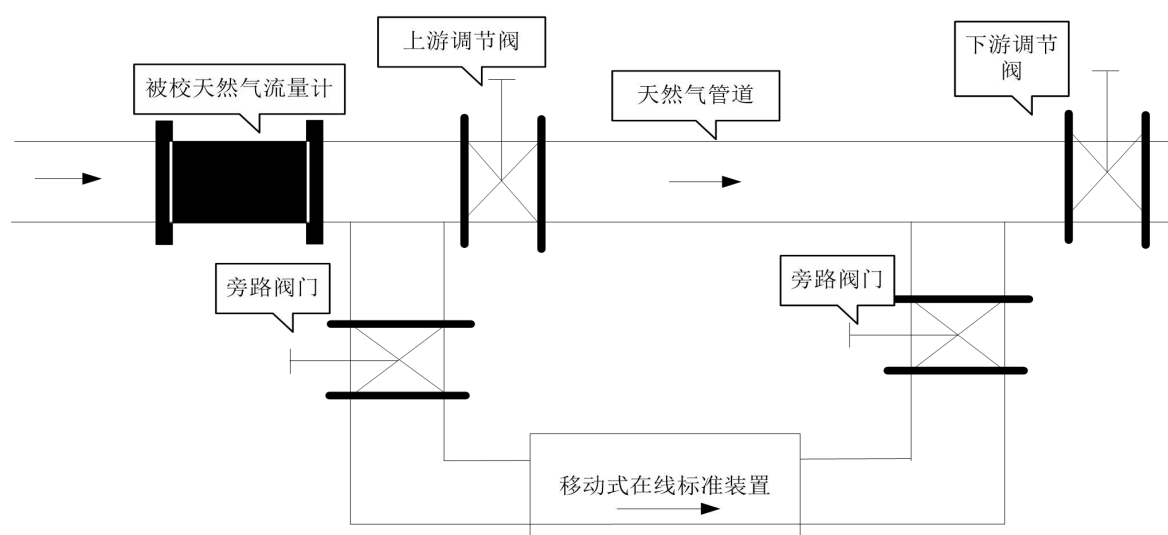


图 1 串联移动式装置校准图

(1) 系统组成与工作原理

移动式装置的工作原理是基于流体力学的连续性方程，将移动式装置与试验管路串联，以其中的标准表为标准器，使流体在相同时间

间隔内连续通过标准流量计和被校天然气流量计，比较二者输出的流量值，从而确定被校天然气流量计的计量性能。

(2) 使用方法

a) 将移动式装置与被校天然气流量计旁路管道口连接，关闭被校天然气流量计下游第一个阀门，打开旁路阀门及移动式装置所有标准流量计所在管路阀门，使移动式装置与被校天然气流量计串联连接。

b) 根据现场实际工作条件下的流量大小，使工作介质同时流过被校天然气流量计和标准流量计。

c) 在校准前，应按使用要求对被校天然气流量计和标准流量计进行零点调整，调整时传感器测量工作介质应处于静止状态。

d) 操作调节阀，使流量达到实际工作条件下的流量点，稳定一段时间后开始校准，同步记录标准流量计和被校天然气流量计的初始输出值，经过设定的一段时间后，再记录相应的输出值。

(3) 注意事项

a) 在校准过程中 开闭截止阀或旁路阀门需缓慢操作。

b) 移动式装置应在校准的流量范围内使用，工作压力不得超过设计值。

c) 校准时严禁移动式装置和工艺管线排污或放空。

d) 操作人员必须现场随时监控移动式装置的运行状态：移动式装置是否稳固、系统管线有无泄漏、仪表和阀门运行是否正常、控制系统运行是否稳定。如有异常应立即通知工艺操作人员采取停机等措施，排除异常后方可继续校准。

e) 校准结束后，排空移动式装置和连接管道内工作介质，确认安全后方可移动装置。

1.2 校准准备工作

(1) 将移动式装置移至校准现场，确认其外观正常、连接稳固、电源断开、阀门处于关闭状态。

(2) 将移动式装置与在线的被校天然气流量计串联连接，确认整个管道及连接部位牢固无泄漏，确认供电电源正常，压力变送器、控制设备、调节阀及测量设备等与电源连接正常。

(3) 开启移动装置，在被校天然气流量计实际工作的流量点运行一段时间（一般不少于 5 min），保证校准管线和流量计充满天然气，然后停止运行，关闭所有标准流量计所在管路阀门，按照被校天然气流量计的使用说明书进行零点调整。

1.3 示值误差校准

(1) 根据被校天然气流量计的流量范围，调节流量至现场实际工作所需的校准点或客户指定校准点，待流量稳定后同步采集标准流量计和被校天然气流量计信号，记录被校天然气流量计累积流量 Q_1 和标准流量计累积流量 Q_{s1} ，经过一定的校准时间 t 后停止采集，记录被校天然气流量计累积流量 Q_2 和标准流量计累积流量 Q_{s2} ，完成 1 次校准。

(2) 每个流量点校准 3 次。

(3) 其它流量点按照上述（1）和（2）步骤进行，直到完成全部校准。

单次校准累积流量示值误差为：

$$E_{ij} = \frac{(Q_2 - Q_1) - (Q_{s2} - Q_{s1})}{(Q_{s2} - Q_{s1})} \times 100\% \quad (1)$$

天然气流量计第 i 流量点示值误差按式（2）计算。

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_{ij}}{n} \quad (2)$$

式中：

n —第 i 流量点的校准次数， $n \geq 3$ 。

天然气流量计示值误差按式（3）计算。

$$E = (E_i)_{\max} \quad (3)$$

式中：

$(E_i)_{\max}$ —取各流量点示值误差的最大值。

1.4 重复性校准

天然气流量计第 i 流量点重复性 $(E_r)_i$ 按式（4）计算

$$(E_r)_i = \frac{(E_{ij})_{\max} - (E_{ij})_{\min}}{d_n} \quad (4)$$

式中：

$(E_{ij})_{\max}$ —取第 i 流量点示值误差的最大值；

$(E_{ij})_{\min}$ —取第 i 流量点示值误差的最小值；

d_n —极差系数。

极差系数值见表 3。

表3 d_n 数值表

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_n	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

天然气流量计重复性按式（5）计算。

$$E_r = [(E_r)_i]_{\max} \quad (5)$$

式中：

$[(E_r)_i]_{\max}$ —取各流量点重复性的最大值。

(二) 标准表法（外夹式超声流量计）

采用外夹式超声流量计作为标准表，适用于口径为 DN50mm 以上的天然气流量计在线校准。

2.1 标准表的溯源和使用要求

应对标准表超声流量计所有换能器进行溯源，溯源的流量范围应覆盖被校天然气流量计现场校准的流量范围。标准表现场使用应有满足要求的直管段，并与被校天然气流量计进行串联安装。

2.2 管径测量

用量具在标准表换能器安装位置附近的同一截面上等角分布测量 m 次外直径，或测量 m 次外周长计算出外直径，其平均值 D 按式（6）计算：

$$D = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{m} \quad (6)$$

式中：

m —测量次数， $m \geq 4$ ；

D_i —第 i 点测得的管道外直径或计算出的外直径。

2.3 壁厚测量

在标准表每个换能器安装位置上的四角和中间分布 5 个点，使用测厚仪测量管道壁厚，并取其平均值。

2.4 安装距离

将以上管道参数输入标准表内，得出标准表换能器安装距离 L 。

2.5 其它情况

对无法测量的参数，如管道材质、衬里材料、厚度等，根据技术资料现场确认。

2.6 标准表的安装

(1) 安装位置

换能器安装在天然气流量计上游或下游直管侧（上游直管段一般大于 $10D$ ；下游直管段一般大于 $5D$ ），当上游有阀门等阻件时，直管段长度至少还要延长 $3D\sim 5D$ ，当安装位置不满足直管段要求时，须在校准报告中注明。注意避开可能产生电磁干扰或外部管径锈蚀严重的位置。标准表法（外夹式超声流量计）工作原理如图 2 所示。

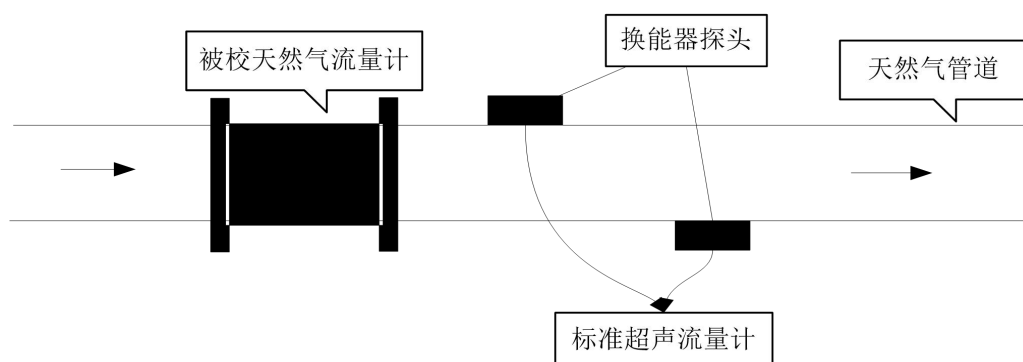


图 2 标准表法（外夹式超声流量计）工作原理图

(2) 调整和校验

将信号调试到最佳状态，一般应包括：

a) 零点检查：具备停流条件的管道，检查流量计的零点流量；不具备静态零点检查设定条件时，可进行动态零点检查设定。零点调整包括自动调零和手动零点偏移设置；

b) 阻尼设定：适当的阻尼设定可用来精确观察测量值的变化过

程；

c) 其它工作参数的设定：如有必要可设定模拟输出、显示单位、流量范围、报警信息等内容。

2.7 示值误差校准

(1) 根据现场实际情况确定校准流量点，每个流量点校准次数不少于 3 次。现场无法调节流量时可采用在不同的时段进行校准。流量点一般选择 1~3 个。

(2) 每次校准，当标准流量计的流量稳定，其流量最大值与最小值之差小于 5%时，同时读取并记录天然气流量计和标准流量计的示值。标准流量计应使用自动采集信号的方式，读取一段时间的瞬时流量平均值或累积流量。若读取的数值为瞬时流量，被校天然气流量计应每隔 10s 进行读数，至少读取 20 个数值，取其平均值；若读取的数值为累积流量，天然气流量计应保证大于最小读数的 1000 倍或读数至少 10min 的累积流量。

(3) 天然气流量计每个流量点单次校准的示值相对误差 E_{ij} 按式 (7) 计算。

$$E_{ij} = \frac{q_{ij} - (q_s)_{ij}}{(q_s)_{ij}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

q_{ij} —第 i 流量点第 j 次校准时的天然气流量计示值（瞬时或累积质量流量）；

$(q_s)_{ij}$ —第 i 流量点第 j 次校准时的标准流量值（瞬时或累积质量流量）。

天然气流量计第 i 流量点示值误差按式（2）计算。

天然气流量计示值误差按式（3）计算。

2.8 重复性校准

天然气流量计第 i 流量点重复性按式（4）计算。

天然气流量计重复性按式（5）计算。

6.7 复校时间间隔

根据目前国内计量校准的惯例，建议复校时间间隔不超过一年。

七、试验验证

在本规范的编制过程中，参考了 JJG 643《标准表法流量标准装置检定规程》、JJG 1030《超声流量计检定规程》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》、GB 17167《用能单位能源计量器具配备和管理通则》、GB/T 18604《用气体超声流量计测量天然气流量》等规定的相关内容，广州能源检测研究院牵头，广州计量检测技术研究院、广东省清远市质量计量监督检测所等参与陶瓷窑炉用天然气流量计在线校准试验，实验结果表明：

1. 本规范提出的计量技术要求和校准结果满足陶瓷窑炉用天然气流量计使用企业对计量校准的要求。

2. 本规范校准规定的计量标准器及辅助的配备，能够符合大多数计量技术部门及陶瓷窑炉用天然气流量计使用企业实际应用需求，并能非常便捷地满足量值溯源的要求。

3. 本规范规定的校准程序和测量不确定分析，在操作上可行。

4. 本规范规定的记录和校准结果表达方式，便于管理。

因此：本规范适用于现阶段陶瓷窑炉用天然气流量计的校准。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

九、行业计量技术规范中涉及专利的声明

本规范未涉及专利等知识产权问题。

十、与现行相关法规、规章及相关计量技术规范的协调性

本规范与有关的现行法规、规章及相关计量技术规范没有冲突。

十一、其他应予说明的事项

无。

校准规范编制组

2025 年 10 月