

Chemical industry commonly used gas flowmeter selection

Xianfeng Chen

Sinopec Engineering (Group) Company LuoYang R&D Center of Technology, Luoyang, Henan, 471003, China

Abstract

As core instrumentation in modern chemical engineering, gas flow meters are integral to every stage of production processes, underscoring their critical importance. Proper selection and standardized operation of these devices not only enhance measurement accuracy and provide reliable data for production control, but also effectively reduce resource waste, lower production costs, and ultimately strengthen corporate competitiveness and economic efficiency. This paper thoroughly analyzes the working principles and structural characteristics of four commonly used flow meter types in the chemical industry: differential pressure, vortex, turbine, and thermal flow meters. Through detailed comparative analysis, it provides targeted selection methodologies while highlighting key considerations essential during the selection process.

Keywords

chemical industry, gas flowmeter, selection, comparer

化工行业常用气体流量计比选

陈险峰

中石化炼化工程（集团）股份有限公司洛阳技术研发中心，中国·河南 洛阳 471003

摘 要

气体流量计作为现代化工行业的核心仪表设备，贯穿于生产流程的各个环节，其重要性不言而喻。精准选型与规范使用气体流量计，既能显著提升测量精度，为生产调控提供可靠依据，又能有效削减资源浪费，降低生产成本，进而增强企业的市场竞争力与经济效益。本文深入剖析了化工领域常用的压差式、涡街、涡轮及热式这四种流量计的工作原理、结构特性，通过详细对比，给出了针对性的选型方法，同时指出了选型过程中需着重考量的关键问题。

关键词

化工；气体流量计；选型；对比

1 引言

在现代化工行业中，气体流量计是保证生产顺利进行的关键仪表设备。从原料的输送与配比，到化学反应过程的监控，再到产品的质量检测，气体流量计应用于生产过程的各个环节，扮演着不可或缺的角色^[1]。例如，在合成氨生产中，氢气与氮气的流量比例需严格控制在 3:1 左右；天然气净化厂的克劳斯反应炉要求硫化氢与二氧化硫的配比为 2:1；在费托合成反应中，为保证产品质量需要将氢气与一氧化碳的比例控制在 2:1 至 3:1 之间。在这些生产过程中，若气体流量测量不准确，可能导致原料过量投入，不仅增加生产成本，还可能因反应失衡影响产品质量，造成额外的经济损失。气体流量计的合理选型和正确使用不仅能够提高测量精度，还能减少不必要的资源消耗，降低生产成本，提高企业

的经济效益。

目前化工行业常用的气体流量计包括：压差式流量计、涡街流量计、涡轮流量计、热式流量计等。

2 压差式流量计

2.1 工作原理

差压式流量计的工作原理基于流体力学中的伯努利方程和连续性方程^[2]。当流体流经节流元件

时，由于管道截面积突然变小，会在节流元件前后形成压力差，该压力差与流体流速存在确定关系，进而通过检测压力差大小间接获得流体流量。标准节流式流量计的基本公式为：

$$\text{质量流量: } M = \alpha \varepsilon A_d (2\rho\Delta P)^{1/2} \quad (1)$$

$$\text{体积流量: } Q = M/\rho \quad (2)$$

式中： α 为流量系数； ε 为流束膨胀系数； A_d 为工作状态下节流元件开孔面积； ρ 为节流元件上游侧取压处流体密度， ΔP 为标准节流元件上、下游侧规定的取压孔位置上所测得的静压力之差。

【作者简介】陈险峰（1977-），男，中国河南商丘人，本科，工程师，从事加氢反应器内构件过程强化技术开发及天然气深度净化脱硫技术研究。

2.2 结构特点

差压式流量计主要由节流元件、差压变送器和显示仪表等部分组成。节流元件是产生差压的关键部件，常见的节流元件有孔板、喷嘴、文丘里管等。孔板是一块具有圆形开孔的薄板，结构简单，加工方便，成本较低，但压力损失较大，对流体的适应性相对较弱；喷嘴的结构相对复杂，但其压力损失较小，测量精度较高，适用于测量高流速、清洁的流体；文丘里管的压力损失最小，对流体的适应性强，特别适用于大管径、低流速的流体测量。

差压变送器的作用是将节流装置产生的差压信号转换为标准的电信号（如4-20mA电流信号），以便传输给显示仪表或控制系统进行处理和显示。差压变送器通常采用电容式、电感式或压阻式等传感器技术，具有精度高、稳定性好、响应速度快等优点。

显示仪表用于接收差压变送器输出的信号，并根据预设的流量计算公式，将差压信号转换为流量值进行显示。显示仪表可以是指针式表头、数字式显示屏或与计算机控制系统相连的监控软件，实现流量的实时显示、累计计算、报警等功能。

3 涡街流量计

3.1 工作原理

涡街流量计的工作原理基于卡门涡街效应^[3]。当流体流经流量计内的旋涡发生体时，在旋涡发生体的下游两侧会交替产生两列有规则的旋涡，这些旋涡被称为卡门涡街。旋涡的产生频率与流体的流速之间存在着确定的关系，通过检测旋涡的频率，就可以计算出流体的流速，进而得到流体的流量。

涡街流量计通过检测元件来感知旋涡产生的压力变化或振动信号，并将其转换为电信号输出。常见的检测元件有压电晶体、差动电容等。以压电晶体检测元件为例，当旋涡产生时，会使压电晶体受到交变的压力作用，根据压电效应，压电晶体将产生与压力变化成正比的电荷信号，该电荷信号经过前置放大器的转换、整形和放大处理后，输出与旋涡同步成正比的脉冲频率信号，该脉冲频率信号就代表了流体的流量。

3.2 结构特点

涡街流量计主要由旋涡发生体、检测元件和转换器等部分组成。旋涡发生体是涡街流量计的核心部件之一，其形状和尺寸对涡街流量计的性能有着重要影响。常见的旋涡发生体形状有圆柱状、三角柱状、梯形等。不同形状的旋涡发生体在产生旋涡的稳定性、强度以及对流体的适应性等方面存在差异。三角柱状旋涡发生体具有结构简单、产生的旋涡强度较大、信号稳定性好等优点，在实际应用中较为广泛。

检测元件用于检测旋涡产生的信号，并将其转换为电信号输出。常见的检测元件有压电晶体、差动电容等，压电

晶体是利用压电效应，将旋涡产生的压力变化转换为电荷信号，差动电容则是通过检

测旋涡引起的电容变化来感知旋涡信号，检测元件的灵敏度和可靠性直接影响着涡街流量计的测量精度和稳定性。

转换器的作用是将检测元件输出的电信号进行处理和转换，使其成为便于显示、传输和控制的标准信号，如4-20mA电流信号、脉冲信号等。转换器通常包括前置放大器、滤波整形电路、数模转换器（DAC）、输出接口电路等部分。前置放大器用于对检测元件输出的微弱信号进行放大，提高信号的强度；滤波整形电路用于去除信号中的噪声和干扰，将信号整形为规则的脉冲信号；数模转换器将脉冲信号转换为模拟信号，以便与其他控制系统进行连接；输出接口电路则负责将处理后的信号输出到显示仪表、控制系统或上位机等设备。近年来，随着智能化技术的发展，一些涡街流量计的转换器还集成了微处理器、显示通信模块等功能，实现了流量的自动计算、显示、通信以及故障诊断等智能化功能。

4 涡轮流量计

4.1 工作原理

涡轮流量计的工作原理基于角动量守恒定律和流体动力学原理^[4]。当流体流经涡轮流量计时，流体的动能作用于涡轮叶片，使涡轮绕轴线旋转。涡轮的转速与流体的流速成正比，通过测量涡轮的转速，就可以推算出流体的流量。为了测量涡轮的转速，通常在流量计的外壳上安装有磁性传感器，当铁磁性涡轮叶片经过磁铁时，磁路的磁阻发生变化，从而产生感应信号。信号经放大器放大和整形后，送到计数器或频率计，显示总的积算流量。同时，将脉冲频率经过频率-电压转换以指示瞬时流量。涡轮的转速正比于流速，涡轮的转数正比于流过的总量。因此，通过测量传感器输出的脉冲频率，就可以计算出流体的瞬时流量和累积流量。

4.2 结构特点

涡轮流量计主要由涡轮、传感器、外壳等部分组成。涡轮是流量计的核心部件，通常由轻质、高强度的材料制成，如铝合金、不锈钢等，以减少惯性，提高响应速度。涡轮的叶片形状和数量对流量计的性能有重要影响。叶片的形状设计需要考虑流体的特性和流量范围，以确保在不同工况下都能有效地捕捉流体的动能，使涡轮稳定旋转。叶片数量的选择则需要在测量精度和阻力损失之间进行平衡，一般来说，叶片数量越多，测量精度越高，但阻力损失也会相应增大。

传感器用于检测涡轮的转速，并将其转换为电信号输出。传感器的灵敏度和可靠性直接影响着涡轮流量计的测量精度和稳定性。为了提高传感器的性能，除了采用高灵敏度的磁性材料外，还需要对传感器进行屏蔽和抗干扰处理，以减少外界干扰对信号的影响。

外壳用于保护内部组件，并提供流体流动的通道。外

壳的材质需要根据被测流体的性质来选择,对于腐蚀性流体,通常采用耐腐蚀的不锈钢或其他特殊材料制造外壳;对于高温流体,需要选择耐高温的材料,以确保外壳在恶劣工况下的强度和密封性。外壳的内部结构设计要保证流体能够均匀地流过涡轮,减少流场的畸变,从而提高测量精度。此外,外壳上还通常设置有连接法兰、安装支架等部件,以便于涡轮流量计的安装和固定。

5 热式流量计

5.1 工作原理

热式流量计的工作原理基于热扩散和热传导

原理^[9]。它通过测量流体与加热元件之间的热量传递来确定流体的流量。根据传热学理论,当流体流经加热元件时,流体将带走加热元件的热量,带走热量的多少与流体的流速和流量密切相关。

在热式流量计中,通常有一个加热元件以及一个温度传感器。加热元件将电能转化为热能,使自身温度升高。当流体流过加热元件时,流体与加热元件之间发生热量交换,加热元件的温度会因热量被带走而降低。温度传感器用于测量加热元件的温度变化,通过检测加热元件温度变化的速率或维持加热元件恒定温度所需的加热功率,就可以计算出流体的流量。

5.2 结构特点

热式流量计主要由热电阻、加热元件、传感器、信号处理单元和外壳等部分组成。热电阻是热式流量计中的关键部件之一,通常采用铂、铜等材料制成,具有较高的温度系数和稳定性。热电阻的作用是测量流体的温度,为流量计算提供温度参数。在测量过程中,热电阻的温度会随着流体温度的变化而变化,通过检测热电阻的电阻值变化,就可以得到流体的温度。例如,铂电阻的电阻值与温度之间存在近似线性关系,在一定温度范围内,其电阻值随温度的升高而增大,通过测量铂电阻的电阻值,并根据其温度-电阻特性曲线,就可以计算出流体的温度。

加热元件是热式流量计中产生热量的部件,常见的加热元件有电阻丝、加热膜等。电阻丝通常采用镍铬合金等材料制成,具有较高的电阻率和耐高温性能。加热膜则是通过在基片上沉积一层金属薄膜或半导体薄膜制成,具有结构紧凑、加热效率高等优点。

传感器用于检测加热元件与流体之间的热量传递情况,并将其转换为电信号输出。常见的传感器有热电偶、热敏电阻等。热电偶是利用两种不同金属材料的热电效应制成的,当热电偶的两端处于不同温度时,会产生热电势,热电势的大小与温度差成正比。热敏电阻则是一种对温度敏感的电阻元件,其电阻值随温度的变化而显著变化。

6 气体流量计选型与对比

气体的密度和粘度是影响气体流量计测量精度和性能的重要因素。不同类型的气体流量计对气体密度和粘度的敏感程度不同,在选型时需要充分考虑这些因素,以确保流量计能够准确、稳定地工作。在化工生产中,常常会遇到腐蚀性、易燃易爆等特殊气体,这些气体对气体流量计的材质和结构提出了特殊要求。选择合适的流量计材质和结构,不仅能够确保流量计的正常运行和准确测量,还能保障生产过程的安全和稳定。安装空间大小、管道口径、直管段长度等因素对气体流量计的安装和测量有着重要影响,在选型过程中必须予以充分考虑。

总而言之,在满足工艺生产需要的条件下,应尽量选用利于节能降耗的流量计。

7 结语

目前化工行业所用的气体流量计种类较多,选型时需综合考虑多种因素,如气体特性包括密度、粘度、腐蚀性、易燃易爆性等,工艺条件包括温度、压力,以及安装要求如安装空间、管道口径、直管段长度等,还有成本因素涵盖采购成本、运行成本和维护成本,这些都对流量计选型有着重要影响。精度与成本平衡上,要根据化工生产不同环节对精度的需求,综合考虑采购、运行和维护成本,选择性价比高的流量计。综上所述,在化工行业气体流量计选型中,需结合实际工况和要求,运用科学的选型方法,才能选择出最适合的气体流量计,实现气体流量的准确测量和控制,保障化工生产的高效、稳定、安全运行,提高企业的经济效益。

未来,随着化工行业的不断发展和技术的持续进步,气体流量计的研究将朝着更高精度、更宽量程、更强适应性、更低成本和更智能化的方向发展。一方面,需要不断深入研究新型测量原理和技术,开发适应复杂工况的高性能气体流量计;另一方面,要加强智能化技术在气体流量计中的应用,实现数据的深度挖掘与分析,提升设备的自动化、智能化水平。通过多学科交叉融合,推动气体流量计技术的创新发展,为化工行业的高效、绿色、安全发展提供更有力的技术支持。

参考文献

- [1] 马召辉. 常用气体流量计选型设计探讨[J]. 科技风,2019(9):225.
- [2] 徐伟清. 高纯气体流量测量中的仪表选型[J]. 石油化工自动化,2021,57(1):69-72.
- [3] 左英姣,邹明伟,刘颖晖,等. 一种高性能涡街流量计的研究与设计[J]. 自动化与仪器仪表,2024(8):329-332,337.
- [4] 李旭阳,万观军,严微微,等. 气体涡轮流量计结构优化研究[J]. 仪器仪表学报,2023,44(3):41-48.
- [5] 李学明. 热式气体流量计的研究与应用[J]. 仪器仪表用户,2020,27(11):99-101.