

一体化流速测量装置设计与工艺探究

冷飞国

上海立格仪表有限公司 上海 201109

摘要: 介绍一体化流速测量装置应用特点, 详细分析一体化流速测量装置结构组成与作用, 通过对各零部件结构设计、制造工艺进行探究, 避免用户在选择与使用上出现问题而导致不良后果, 同时也为国内流程工业变送器设计与制造工艺的发展与壮大提供一定参考作用。

关键词: 一体化流速测量; 单晶硅; 总压管; 静压管; 传感器

引言

在工业气体流速测量领域, 基于差压原理的传统测量方式需安装压力、温度、差压三台变送器, 不仅成本高昂, 安装调试也颇为复杂。一体化流速测量装置打破这一局限, 将压力、温度、差压测量功能集成于一体, 通过伯努利方程实现气体流速的精准计算。该装置广泛应用于环境监测、工业排放控制等关键领域, 是挥发性有机物浓度和排放总量连续监测系统 (VOCs) 与气态污染物和颗粒物浓度及排放总量连续监测系统 (CEMS) 中

的核心测量设备。不过, 其测量准确性受变送器精度、现场安装方式、气体介质特性及环境温度等多种因素共同影响, 因此对其结构设计、工作原理及安装工艺的深入研究尤为必要。

1 一体化流速测量装置结构

一体化流速测量装置由传感器模块、保护机箱模块、皮托管采集模块三大核心部分构成, 各模块分工明确又紧密协作, 共同保障测量的精准与稳定。如下图1:

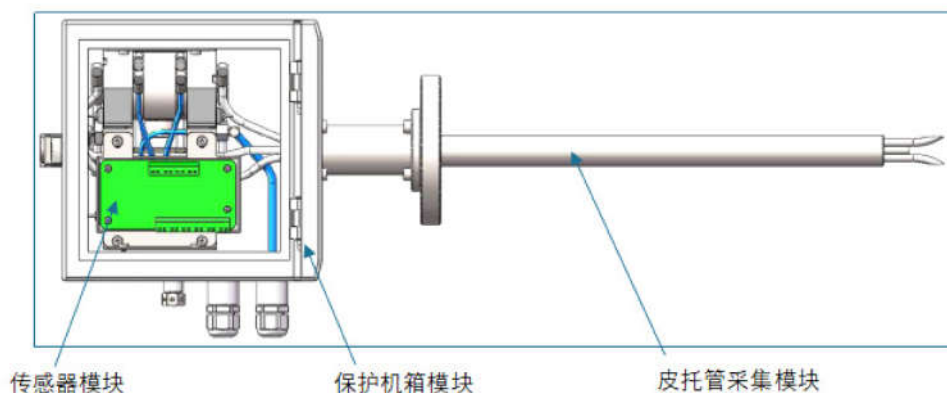


图1

图1中一体化流速测量装置由传感器模块、保护机箱模块、皮托管采集模块三大核心部分构成。传感器模块负责精准感知流速信息, 将其转化为可处理的电信号; 保护机箱模块为整个装置提供坚实的防护, 抵御外界环境的干扰与损害, 确保内部元件安全运行; 皮托管采集模块则通过科学设计, 有效采集流体数据。各模块分工明确又紧密协作, 在复杂多变的测量环境中, 共同保障测量的精准与稳定, 为相关领域的流速监测工作提供可靠支持^[3]。

作者简介: 冷飞国 (1981-), 男, 中级工程师, 一级注册计量师, 主要从事压力变送器结构设计、工艺开发、产品应用等工作。

2 皮托管采集模块设计与工艺

皮托管作为流速测量的前端感知部件, 由总压管、静压管、温度探头感应管和压力管组成。如下图2:

总压管正对流体流动方向, 用于捕获流体的总压 (动压+静压)。静压管反方向于流体方向, 用于测量流体的静压。温度探头感应管用于温度探头封装, 实时采集管道内温度值。压力引压管用于管道内压力获取, 实时测量流体的压力值。根据伯努利方程, 流体总压 ($P_{\text{总}}$) 与静压 ($P_{\text{静}}$) 的关系为:

$$P_{\text{总}} = P_{\text{静}} + \frac{1}{2} \rho v^2$$

其中： ρ 为流体密度（ kg/m^3 ）， v 为流速（ m/s ）。

通过测量总压与静压的差值（动压 $\Delta P = P_{\text{总}} - P_{\text{静}}$ ），可计算流速：

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

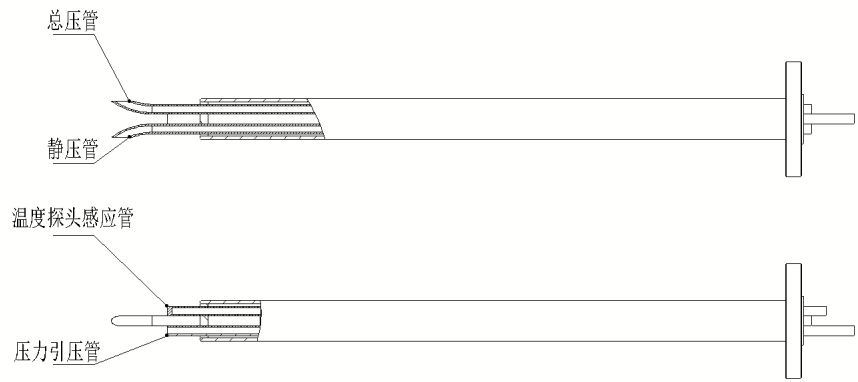


图2

在皮托管的设计与制造过程中，需严格把控多个关键参数：其一，总压管与静压管头部形状为半圆形，两半圆形头部横截面需保持平行，同时两管位置需在同圆对称轴线上，这样可以有效减少流动分离和湍流干扰；其二，支杆与管体连接处需平滑过渡，一般采用钎焊或高频焊进行固定且密封，这样可有效避免流体产生涡流，影响测量精度；其三，管体内部需光滑且无阻挡，确保流体进出顺畅，减少因阻挡影响导致实际测量值不稳定或不准确；其四，确保皮托管安装法兰孔位与总压管相对位置度，保证安装时总压管能严格对准流体流动的方向；其五，对于有油性或腐蚀性流体，需要对皮托管表面进行喷涂处理，一般进行PTFE或PFA喷涂，防止油性气体粘稠堵塞管口与管体腐蚀漏气。

3 保护机箱模块设计与工艺

保护机箱模块在一体化流速测量装置中扮演着至关重要的角色，是装置抵御外界恶劣环境的坚实屏障。其设计需精心考量，要具备足够的机械强度，以承受可能的碰撞、挤压等外力冲击，确保内部元件不受损伤。同时，还需注重环境适应性，能在不同温度、湿度、灰尘等复杂环境下稳定运行。此外，散热透气性能也不容忽视，合理的通风设计可有效散发内部热量，防止元件因过热而影响性能或损坏，从而全方位保障装置的可靠工作。

在防护等级方面，鉴于一体化流速测量装置常应用于室外复杂环境，保护机箱的防护标准至关重要，需达到IP65防尘防水要求。其机箱采用箱盖与箱体角链式连接设计，箱体设有排水沟槽以有效导流雨水。箱盖借助EPDM密封条与箱体紧密贴合，实现可靠密封。出线部分运用防水接头，而皮托管连接处也通过密封圈进行严密

处理，这些精心设计的细节共同构建起全方位的防护体系，确保装置在恶劣环境下稳定运行，精准测量^[1]。

由于现场管道存在水平与垂直等不同安装形式，为确保机箱密封效果，出线口需置于箱体下方。为此，保护机箱采用位置可调设计，通过在皮托管安装法兰上加工 8 个或 12 个螺纹孔，实现机箱按 45 度或 30 度旋转安装，以适配不同工况。

此外，为防止因环境温度变化导致箱体内外温差过大而产生冷凝水，机箱外部设置金属或塑料透气塞，在阻止雨水进入的同时，保证箱体内部良好的透气效果。

4 传感器模块设计与工艺

传感器模块是一体化流速测量装置的核心，直接决定测量的准确性与可靠性，其包含感应模块与控制模块两大部分。

感应模块由压力传感器、差压传感器和温度传感器组成，各传感器协同工作，将物理信号转化为电信号，为后续的流速计算提供数据基础。压力传感器与差压传感器采用高精度的单晶硅压阻式传感器，其敏感元件由纯度极高9N以上优良半导体材料单晶硅制成，利用压阻效应将压力变化转化为电阻值的变化。在设计过程中，需优化传感器的结构，利用压阻效应的可恢复性、高灵敏度、温度敏感性、静态与动态测量兼容性、线性与非线性响应等特点，采用惠斯通电桥电路对电阻变化进行测量，提高测量的灵敏度和稳定性。制造工艺上，通过精密的光刻、腐蚀等微加工技术，确保传感器的尺寸精度和性能一致性。同时，为了增强传感器的抗干扰能力和适应复杂工业环境的能力，需对传感器进行封装保护，采用全不锈钢焊接和高真空硅油灌封技术，防止外

界电磁干扰、湿气和机械振动对传感器性能的影响。为了保证差压传感器的长期稳定性,需对其进行严格的温度补偿和校准,通过在传感器内部集成温度传感器和补偿电路,消除温度变化对测量结果的影响。温度传感器通常选用铂电阻温度传感器(Pt100),铂电阻具有精度高、稳定性好、复现性强等优点。在设计时,要合理确定铂电阻的安装位置,确保其能准确测量流体的温度。

制造工艺方面,需对铂电阻进行精密绕制和老化处理,保证电阻值与温度的线性关系。此外,为了提高温度传感器的响应速度,可采用薄膜技术制作铂电阻,减少热阻,加快温度传递速度^[2]。

控制模块由电磁阀、逻辑电路和气路管道组成,其主要作用为实现流速测量过程中差压变送器漂移清零与皮托管采集管道堵塞处理,其原理如下图3:

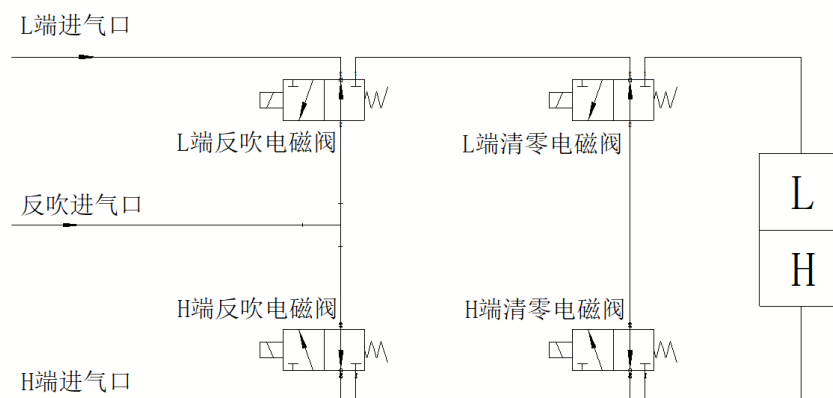


图3

逻辑电路内置智能算法,可实时监测差压变送器的输出信号,当检测到信号出现漂移时,自动触发清零程序,L端与H端清零电磁阀动作,断开皮托管总压管与静压管,同时使差压变送器L端与H端压力导通平衡,通过校准电路对传感器进行零点校准,确保测量数据的准确性。

针对皮托管采集管道可能出现的堵塞问题,逻辑电路控制电磁阀切换气路,定期向管道内通入清洁气体,对管道进行吹扫;L端反吹阀与H端反吹阀动作时,差压变送器传感器L端与H端为断开状态,防止过压导致差压变送器的损坏。同时,通过压力传感器实时监测管道内压力变化,一旦压力异常升高,即判断为管道堵塞,立即启动紧急疏通程序,避免因堵塞导致测量失效,从而实现流速测量的自动化与无人化操作,不仅保障测量结果可靠,还大幅降低维护成本与难度。

5 结论与展望

本研究围绕一体化流速测量装置各零部件的结构设计与制造工艺展开深入剖析,形成了一系列具有实用价值的成果,为提升装置性能、确保其在复杂工业环境下稳定运行奠定了技术基础。可靠的设计与先进的工艺能够显著延长产品使用寿命、提高测控精度,有效降低因测控故障导致的生产风险,保障工业生产安全高效。

然而,当前压力变送器在迈向高端化进程中面临诸多困境。行业内对其设计与工艺缺乏系统性认知,国内多数企业尚处于技术积累初期,技术整合与推广不足,致使国产变送器在高端市场竞争力较弱,与国际领先水平存在差距。

但随着国内变送器行业快速发展,在国家政策支持下,企业加大研发投入,国产变送器质量与技术水平显著提升,与国际差距持续缩小。未来,国产变送器有望在智能化、微型化及物联网融合等方向实现突破。通过融入人工智能、大数据等技术,实现设备智能运维;借助微纳加工与新材料,开发更小、更节能的装置;与物联网深度融合,实现数据实时共享,构建智能工业生态。相信在行业共同努力下,国产变送器将在国内外市场占据重要地位,为全球工业智能化发展贡献力量。

参考文献

- [1] HJ 76-2017 固定污染源烟气排放连续监测系统技术要求及检测方法 [S].
- [2] 宋进 陈超 沈琼. 空气采样器采样流量校准的实验研究[J]
- [3] 戈剑. 高稳定性高精度单晶硅 压力、差压变送器的实现 [J]