

工业流量计/流量发送器

作者: **Deepa Kalyanaraman**, 德州仪器 (TI) 终端设备
解决方案业务开发经理析工程师

引言

流量计是用于在某些应用中对液体、气体或者两者的混合物流量进行测量的一整套工具, 应用环境包括食品与饮料行业、石油与天然气生产工厂以及化工/制药厂。市场上在售的流量计种类繁多、五花八门。在为特定应用选择正确的流量计过程中, 液体特性 (单相还是双相, 粘稠度、浑浊度等)、流量剖面 (层流式、过渡型或者紊流等)、流量范围以及对于精确测量的需求, 都是我们需要注意的重要因素。另外, 其他一些因素也会影响我们的选择, 例如: 机械限制和输出连接方法等。流量计的总精确度, 在一定程度上取决于应用环境。压力、温度、流体和动态影响都可能会改变测量的结果。

工业用流量计的工作环境存在大量的噪声和高压脉冲源。这就意味着, 模拟前端(AFE) 需要工作在高共模电压下, 并拥有极好的噪声性能, 除此以外还要能够高精度地重复处理小电信号。4 到 20mA 的环路是流量发送器和流量控制设备之间最为常见的接口, 例如: 可编程逻辑控制器。流量发送器可以通过这种环路驱动, 也可以使用一条专用电源线路。专为使用这种环路而设计的一些流量发送器都具有极为严格的功率限制, 因为所有信号采集/处理和传输电子组件都需要在没有 4 到 20mA 环路的情况下单独工作。如 TI MSP430™ 和 TMS320C5000™ DSP 系列等超低功耗处理器, 结合高精度、低功耗 AFE 解决方案, 常常用于一些环路驱动型发送器。拥有许多数字连接特性 (例如: 过程现场总线 (PROFIBUS)、I/O 链路和/或无线连接等) 的发送器正越来越流行, 因为它们可以缩短启动时间, 并能够提供持续的监控和故障诊断。所有这些因素都极大地提高了自动环路的产生力和效率。

本文将概述四种最常见流量计的工作原理: 压差、电磁 (直读式频率计)、科里奥利 (Coriolis) 和超声波。最后一种包括多普勒频移和瞬时流量计。本文将介绍这些流量计的主要应用及其优缺点和系统设计考虑。

压差流量计

这种流量计的工作原理是伯努利原理 (Bernoulli's principle)。它对流动路径收缩的压差下降情况进行测量, 从而推导出流量速度。常见压差流量计类型有孔口流量计、皮托管流量计和文

丘里流量计。孔口流量计 (请参见图 1) 用于形成流动路径收缩。液体流过孔板的孔洞后, 根据质量守恒定律, 流过孔口的流量速度大于液体接近孔口时的速度。根据伯努利原理, 入口处的压力高于出口处的压力。对该压差进行测量, 通过计算体积流量, 便可直接得到流量速度。

压差流量计系统考虑因素

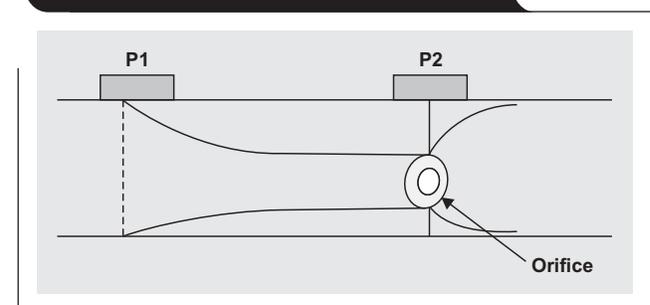
- 稳健和成熟的技术易于保养维护 (无移动部件)
- 适合于紊流测量
- 低流量测量的低准确度
- 使用优异的流量测量技术, 利用额外抽运能量克服始终存在的永久压力损失
- 下游和上游收缩头的管件、弯头和弯管布局要求严格

电磁流量计 (直读式频率计)

这种电磁流量计也称作直读式频率计, 基于法拉定律, 仅可用于测量导电液体流量。它使用两块激磁线圈磁铁在管道之间形成强磁场 (请参见图 2)。根据法拉定律, 流体流过管道时, 会引起小电压。位于管道之间的两个传感器电极, 将捕捉到该电压。流体的流动速率与所引起的电压大小成正比。

用于形成磁场的这两个线圈, 可通过 AC 或者 DC 电源激励。使用 AC 激励时, 线圈通过一个 50Hz AC 信号激励。这样做的优点是, 从系统所吸取的电流小于 DC 激励方法。但是, AC 激励方法易受到附近电源线和线路变压器的干扰。因此, 它会引起测量信号误差。另外, 零漂移是 AC 驱动系统的一个共有问

图 1 压差孔口流量计

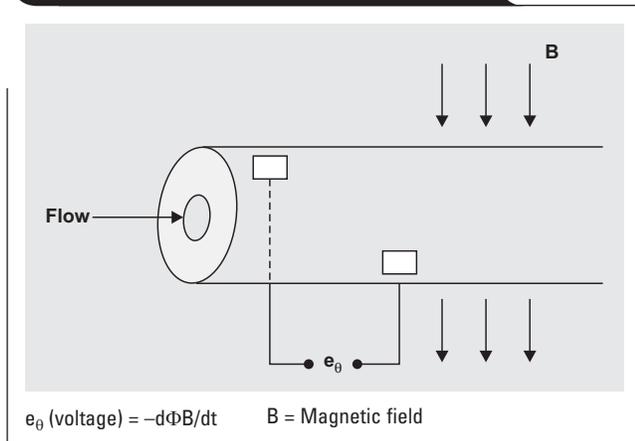


题，并且无法获得校准。使用DC激励时，应用于激磁线圈的电流极性会被定期反向，它常常被用作是一种降低电流需求和缓解 AC 驱动系统问题的方法。

电磁流量计（直接式频率计）系统考虑因素

- 仅可测量导电性大于10 μS/cm的流体，无法应用于石油、油和天然气行业，因为碳氢化合物导电性较差
- 传感器电极取决于流体导电性、管道结构和装置类型

图 2 电磁流量计



- 无系统压力损失，在一些不允许压力下降的应用中这一点至关重要，例如：低速流量应用
- 是腐蚀性和脏液体、料浆等的理想选择，其液相具有足够的导电性，流量计没有内部组件
- 拥有高精度，流量速度指示准确度在 ± 1% 范围内
- 成本更高

科里奥利流量计

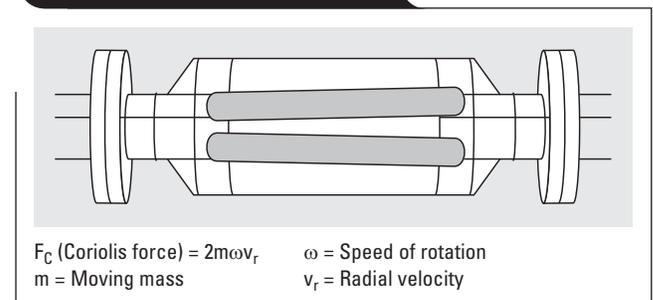
这是一种普遍使用的流量计，它直接对质量流速率进行测量。这种装置包括一个单直管或者一根双曲管（如图 3 所示）。单直管的结构更容易制造和维护，因为它承受更小的应力，但是它易受到干扰和噪声的影响。双曲管的结构可以消除所有噪声，因为两根管反相振荡。

在科里奥利流量计中，我们通过管道上强制形成一个强磁场，来让流体流过的管道以特殊的共振频率振荡。流体开始流过管道时，其受制于科里奥利力。管道的这种振荡运动强制施加于流体线性运动上，从而对管道施加扭曲力。这种扭曲力由管道两端的反向科里奥利加速度，以及流体对于垂直运动的抗力所产生。位于内侧和外侧的传感器电极，获取这种运动所产生的时间差。扭曲力产生的相移，便为对质量流动速率的测量结果。图 4 显示了典型的检测结果。

科里奥利流量计系统考虑因素

- 直接测量质量流动速率，消除了温度、压力和流量剖面对测量结果的影响
- 高精度
- 传感器可以同时测量流量速率和密度，因为管道的基本振荡频率取决于内部流动流体的密度
- 无法对夹带了颗粒物（带气体或者固体颗粒的液体；带有气泡的气体等）的流体流动速率进行测量，因为这些颗粒物会阻滞管道振荡，让其难以测量。

图 3 科里奥利流量计

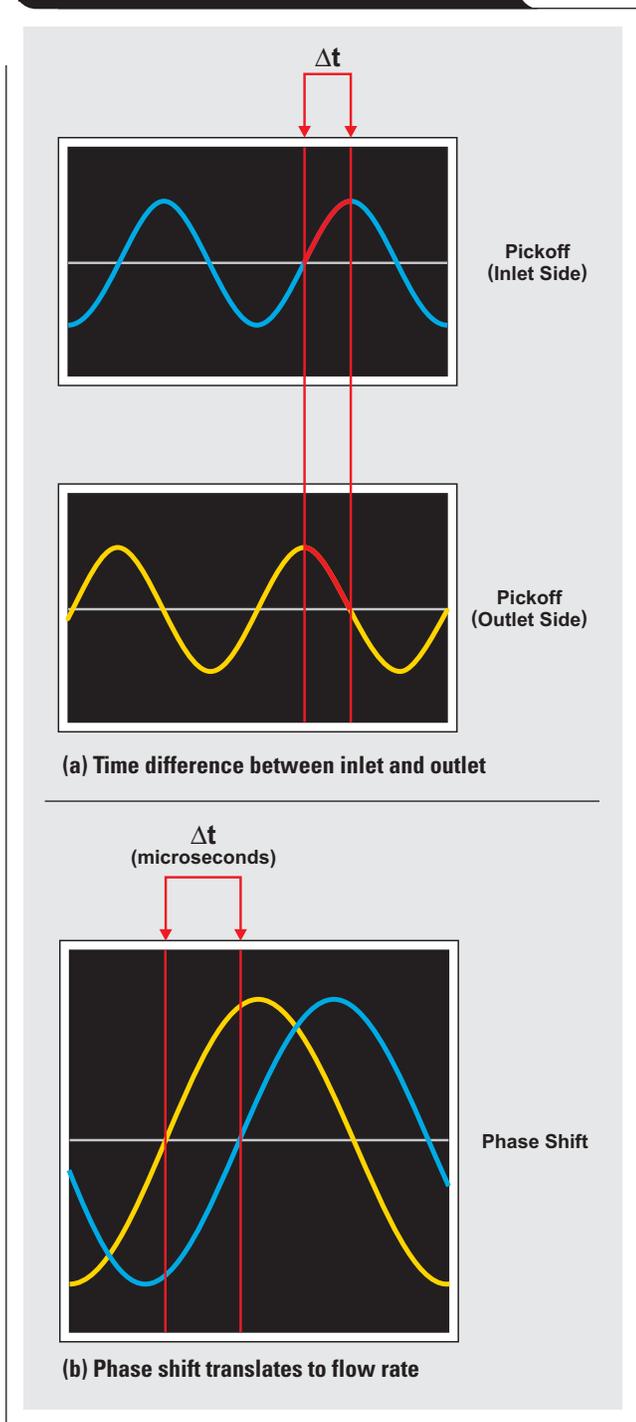


超声波流量计

多普勒频移流量计

顾名思义，多普勒频移流量计的原理是多普勒效应。这种流量计（请参见图 5）由一些发射和接收节点传感器组成。发射节

图 4 科里奥利流量计中传感器检测信号



点向流体发射一个0.5到10MHz的超声波，其以速度 v 移动。我们假设流体的颗粒或者气泡以相同速度移动。这些颗粒反射超声波，接收器接收到带有移频的反射超声波。利用发射超声波和接收超声波之间的频率差，便可测量流体速度。由于这种超声波流量计要求有足够的流体反射颗粒物，因此它对纯的单相流体无效。

瞬时流量计

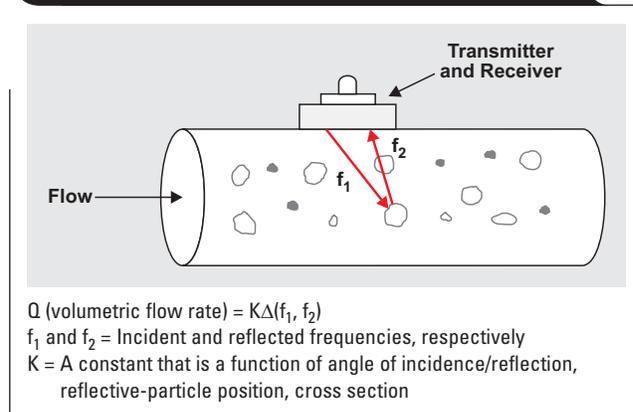
相反，瞬时超声波流量计则可用于极纯液体或者气体的测量。它由一对超声波传感器组成，这些传感器以相对于流体轴的角度成排放置（请参见图 6）。这些传感器（每个包含一个发射器/接收器对），交替向对方发射超声波。流过管道的流体会引起上游和下游传输波束瞬时之间的不同。对该瞬时差进行测量，便可得到流量速度。

瞬时差一般为纳秒级别。因此，不管是直接对时间进行测量，还是要进行频率差转换，都需要使用精密的电子组件才能完成这种测量工作。频率差转换更为普遍一些，它涉及对流动正反方向接收超声波之间频率差进行 FFT 分析。

超声波流量计系统考虑因素

- 多普勒频移流量计相对便宜
- 瞬时流量计是少数几种能够提供对非导电料浆和腐蚀性流体测量的技术之一
- 超声波流量计从外部夹住管道，从而允许在不切割或者断开管件的情况下进行安装，可将人员暴露在危险液体下的概率降至最低，并降低了系统污染。
- 超声波流量计的最大缺点是它对于流体流量剖面的依赖性；平均流速相同时，不同的流量剖面会得到不同的输出读数。

图 5 多普勒频移超声波流量计



结论

本文讨论了四种最常见流量计的工作原理。另外，我们还讨论了这四种流量计的主要应用和设计考虑因素，表 1 对此进行了概括。

市场上有大量的流量计解决方案，包括工业现场总线收发器接口、各种 AFE 和低功耗处理解决方案等。从市场上五花八门的各种技术和设计中为某种应用选择正确的流量计，是一项颇具

挑战性的工作。通过理解所用流体的属性，知道应用的流量速率和要求测量精确度，并清楚实际限制和工作条件以后，设计人员便能更加快速地缩小选择范围。

相关网站

www.ti.com/solution/flow_meter

图 6 瞬时超声波流量计

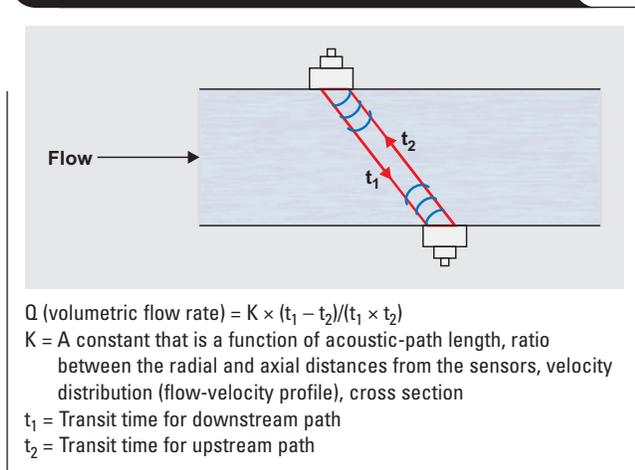


表 1 四种最常见流量计的特性

特性	压差	电磁	科里奥利	超声波
体积/质量测量	体积	体积	质量	体积
流体/流量速率	不适合低流速的气体	不适合气体流	不适合超高流速 (>20,000 l/min)	不适合气体流
颗粒流/料浆	有条件地适合	适合	有条件地适合	有条件地适合
液体/气体混合物	不适合	有条件地适合	有条件地适合	有条件地适合
液体导电性	完全适合	仅导电液体	完全适合	完全适合
食品和饮料 (可饮用品)	不适合	适合	适合	最适合非侵入式测量
安装/保养维护	易于安装; 要求定期清洁	中等安装难度; 最低维护	安装费用相当高; 相对免维护	易于安装和维护
典型精确度	满量程的 0.6 到 2%	读数的 0.2 到 1%	读数的 0.1 到 0.5%	多普勒频移流量计: 读数 1% 到满量程的 2% 瞬时流量计: 读数 0.35% 到满量程的 2%

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP 机动性处理器	www.ti.com/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity		
	德州仪器在线技术支持社区		www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2012 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司