

一体化差压流量计的优势与实施

俞旭波¹, 纪波峰², 纪纲²

(1. 中石化上海工程有限公司, 上海 200120; 2. 上海同欣自动化仪表有限公司, 上海 200070)

摘要: 介绍了差压式流量计分体式和一体式的优缺点和应用现状, 提出将节流件、变送器及附件按标准在工艺短管上安装好并标定后一体供货, 即组成一体式差压流量计, 既减小了安装误差, 缩短安装工时, 又提高了系统准确度。详细分析了一体化差压流量计的优势、注意点及实施方案。一体化差压流量计的应用是目前趋势之一。

关键词: 差压式流量计 分体式 一体化 信号传递失真 智能变送器

中图分类号: TH814⁺.5 文献标志码: B

Advantages and Implementation of integration differential pressure Flowmeter

Yu XuBo⁽¹⁾, Ji BoFeng⁽²⁾, Ji Gang⁽³⁾

(1. SINOPEC Shanghai Engineering Co., Ltd, Shanghai 200120, China;
2. Shanghai Tontion Automation Instrumentation Co., Ltd, Shanghai, 200070, China)

Abstract: The advantages, disadvantages and current states of split type and integration differential pressure flowmeter are introduced. It is proposed to install throttling element, transmitter and accessories in a short process pipe segment, calibrated according standard to compose an integration differential pressure flow meter to achieve with minimize installation errors, reducing installation shedule, and improving system accuracy. The advantages, notes and implementation plan of integration differential pressure flowmeter are discussed in detail. Application of integration differential pressure flowmeter is the trend in the future.

Keywords: Differential pressure flow meter; split type; Integration; Signal transmission distortion; Smart transmitter

差压式流量计的应用已有一百多年的历史。最早的差压式流量计由节流装置和差压计两个部分组成。由于差压计肩负显示流量值的任务, 大多安装在控制室, 在节流装置与差压计之间有长长的引压管相连, 易诱发泄漏、堵塞、结晶、差压信号传递失真等问题。五十多年前, 差压变送器出现, 将差压计的功能分解为独立的变送器和独立的指示仪, 从而使变送器的安装地点获得自由度, 人们大多将其安装在离节流装置不远而且维修方便的地点。自从 20 多年前变送器实现智能化, 变送器的精度更高, 体积更小, 可靠性更好, 基本做到免维护, 而且可在控制室内用手持终端等对其进行维护, 因此, 变送器的安装地点获得更大的自由度, 其中将其与差压发生器组合在一起是主要趋势。

1 提出问题

各种流量计都有分体式 and 一体式之分，所谓分体式，就是变送器（或转换器）与传感器相分离；一体式就是变送器（或转换器）与传感器包括附件、工艺短管合为一体。目前差压式流量计多采用一体化结构。

早期的差压式流量计，差压计与传感器相分离，是其唯一的结构形式^{[1][2]}，在组成差压式流量计的两个部分中，节流装置安装在工艺管道上，而差压计安装在操作人员易于观察流量示值的地方，客观上造成相互分离的局面。采用分离式的第二个原因是差压计体积大，一般无法将其与节流装置放在一起。变送器与节流装置相分离带来以下问题：

1) 增加安装工程量。因为差压计（或差压变送器）放置在远离节流装置（新国际标准和国家标准改称为差压装置）的地方，所以就引伸出差压变送器的安装和引压管的安装问题，以及伴热保温工程。

2) 很长的引压管带来介质泄漏、凝固、结晶以及差压信号传递失真等问题。

3) 此类引压管及变送器均在现场安装。由于要保持坡度，在介质为液体时管线最高点要安装气体收集器和排气阀，在介质为气体时管线最低点要安装沉降器和排污阀，很容易出问题。导致差压信号传递出现失真。

流量计是一种严重依赖于其安装质量的仪表，对于差压式流量计来说更是如此。世界最著名的仪表公司所生产的一流品质的产品，安装到使用现场后，也有一部分不能正常运行，无法获得准确的测量结果，究其原因，有很多是因为安装存在问题。

例如兰州某大型石化企业，有一套蒸汽流量计，每年冬季总是出现示值严重偏低的现象^[3]。经过分析研究发现，冬季示值较其他季节偏低的原因是冬季仪表加了伴热保温设施。拆开引压管保温层检查，发现伴热保温的蒸汽管敷设不对称。伴热用蒸汽管与正压管之间的距离太近，引起正压管内凝结水温度升得很高。而节流装置（传感器）与差压变送器之间的高度差又比较大，以致差压值比正常值低了很多。

又如中石化某分公司所属热电厂为相距 1km 处的化工事业部供过热蒸汽，管道 DN400mm，供方在这根管道的始端安装了一套 DN400 的孔板流量计，需方在这根管道的末端安装了一套相同直径(相同仪表厂制造，采用相同孔板计算书)的孔板流量计，但两套流量计投入运行后，需方对产品产量和蒸汽单耗进行定额计算，结果显示需方流量计指示是准确的。供方的流量计示值比需方低 15% 左右，反复检查这套仪表的各组成部分，均查不出问题。按有关规定应以供方表计计量结果进行财务结算，出现了五年的经济纠纷。

后来仪表维修工使用手持终端（操作器）用“凑数”的方法对供方流量计的差压变送器的零点进行迁移，当零点迁移了 6kPa（约-600mmH₂O）时两套仪表示值相符，而且蒸汽流量增大和减小的时候，两套表示值都基本相符。对这套流量计所包括的各台变送器、节流装置（传感器）及二次表反复校验多次，均是准

确的，功能也正常，另导压管多次排污扫线，不出现堵塞和泄漏现象，因而确认仪表本身不存在问题。

在明确该计量点的蒸汽温度压力参数、流量测量范围、差压上限、流体流向、差压装置取压方式、冷凝罐等情况后，根据现场径距取压，两取压口之间距离为600mm，刚巧与差压变送器迁移量相等这一情况，怀疑冷凝罐前正压管内可能积满凝结水，所以建议用户剥开该段管的保温层，检查该段管的表面温度和坡度是否符合规范要求。用户发现这段导压管是冷的，根部阀为 DN6 针形阀，而且所描述的坡度如图 1 所示^{[4][5]}。

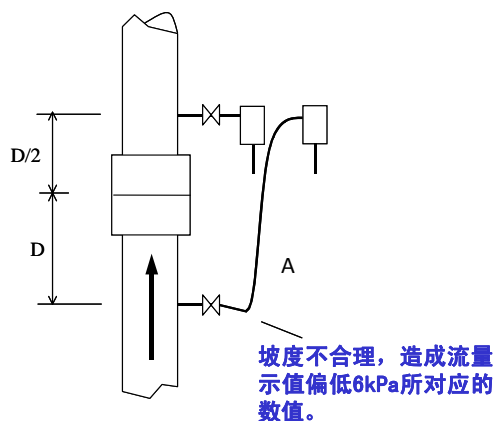


图 1 垂直管道上安装的径距取压差压装置

由图 1 可以断定，原应充满蒸汽的 A 管内，却已充满凝结水，凝结水在这段管内聚集是因为坡度不符合要求。引压管 A 从根部阀起没有按照规定的要求坡度连续爬高，反而向下倾斜，在最低点形成 U 形水封后再爬高，这段管的凝结水无法靠其重力顺畅地返回工艺主管，所以这段引压管是冷的。

引压管 A 内的凝结水，由于流体静力学的作用，对正压冷凝罐内的静压产生抽吸作用，从而使差压产生负方向 6kPa 的偏移。解决这一问题的方法是将 A 管垂直部分缩短一段（约 50mm），然后将下垂部分导压管整形，消除 U 形水封，改成如图 2 所示。仪表消除了差压信号的传递失真，从而做到供、需方表计示值基本相符。

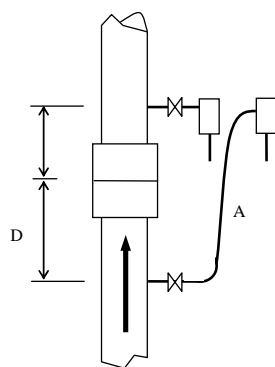


图 2 整改后的导压管走向

分析这类问题产生的原因:在做引压管线和伴热管的安装时,安装人员缺少实际经验,而仪表的安装要求较高,不仅要求不出现堵塞和泄漏,而且要熟悉安装规范和处理好技术细节,才能使流量计计量准确。

2. 一体化差压流量计的优势

在一体化差压流量计中,制造厂是专业化的,可按规定安装差压变送器、三阀组和差压装置。在仪表制造厂由专业人员按规范化图纸进行组装后整体出厂,杜绝了上面两个例子中所发生的相关问题。而流量计的现场安装工作无需引压管施工这一环节,安装工作量被大幅减少。

1) 一体化差压流量计是一个新的概念,是由专业制造厂整体组装的(包括检测元件、变送器及附件、工艺短管等),并可按用户要求的系统精度标定合格的差压流量计系统。

2) 由于由制造厂整体组装好,故在施工时可大幅缩短现场施工时间。

3) 一体化差压流量计系统可包括下列部件:

介质为液体时由节流装置、变送器(含阀组)、引压管、前后直管段组成;介质为气体时由节流装置、变送器(含阀组)、引压管、温度计、前后直管段组成;介质为蒸汽时由节流装置、变送器(含阀组)、引压管、平衡容器、温度计、前后直管段组成。其中前后直管段在标定时标定单位应按规范要求。在具体供货时的长度由用户及制造厂商协商决定。测蒸汽与测气体时的温度计配置根据需要决定。

4) 一体化差压流量计的所有仪表及测量组件按液体、气体、蒸汽的不同要求,并按 HG/T21581-2010《自控安装图册》安装好后整体发货(变送器可根据用户要求选用),保证了安装的准确性。

5) 一体化差压流量计的精度是按用户要求对系统整体标定,标定单位可以是专业制造厂,也可以是国家认可的专业计量机构。

6) 一体化的变送器可为普通的差压变送器,也可是具有温度、压力补偿功能的变送器或特殊补偿变送器(例如:密度补偿)。

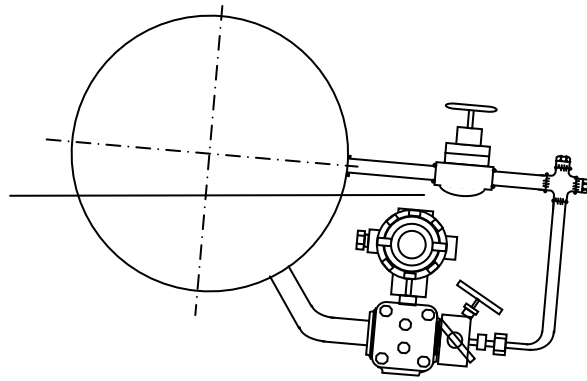
7) 一体化差压流量计的资料及标定报告中应特别注明“一体化”,即一体化差压流量计。

8) 一体化差压流量计的单位按用户要求可为质量流量,也可为体积流量。

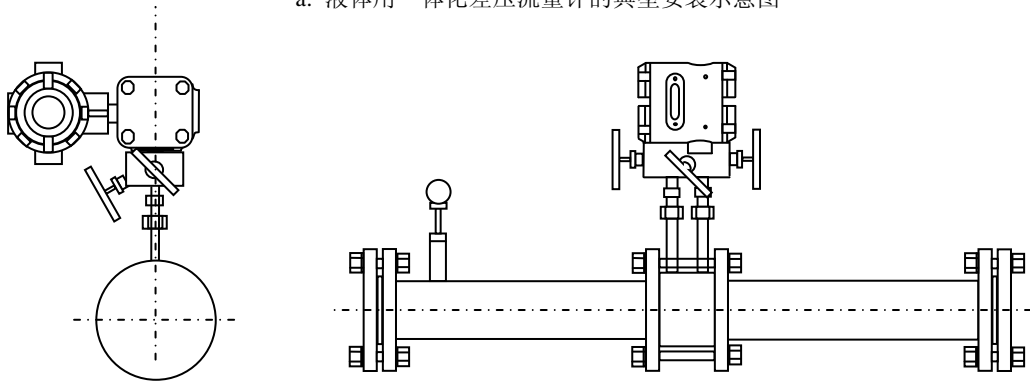
3. 一体化差压流量计实施中的注意事项

3.1 典型安装方式

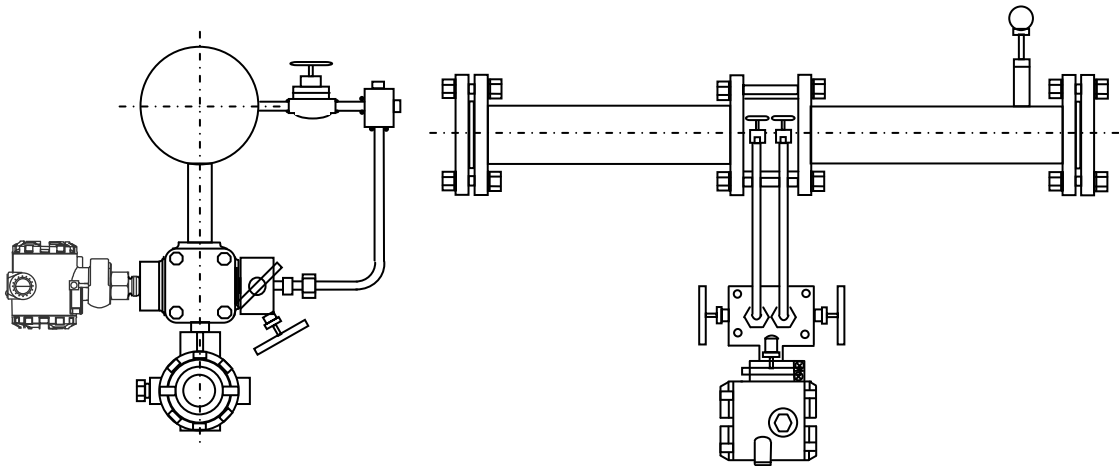
一体化差压流量计的典型安装方式(液体、气体、蒸汽)如图3所示。



a. 液体用一体化差压流量计的典型安装示意图



b. 气体用一体化差压流量计的典型安装示意图



c. 蒸汽用一体化差压流量计的典型安装示意图

图3 一体化差压流量计的典型安装示意图

3.2 智能化变送器优点

目前的变送器普遍实现了智能化，使得仪表人员不用到现场直接在控制室或流量显示仪表旁边用手持终端就可对变送器进行维护。例如，在工艺管道总阀关

闭后如果发现流量计不回零，或发现流量计需要改变量程，也可在控制室或仪表旁边对变送器进行校零操作或修改变送器测量范围^[6]。

3.3 分体式差压流量计的应用场合

变送器应用在高温管道及难以维修的场合，用户希望将其放在非防爆的场合，因此将变送器与节流件分离。分体式的优点：

1) 可以将差压计的安装地点选择在使用方便及易于读数的地方，例如地面、操作平台上、走道旁等。

2) 可将差压计放置在维修、操作方便的地方，例如差压装置安装在管廊上，差压变送器安装在地面上方 1m 处。

3) 可将差压计（变送器）安装地点选在环境条件良好的地方，例如有些火电厂的锅炉周围管道上分布了很多差压式流量检测点，但锅炉的钢平台上空间狭小，环境温度高，而且振动较大，操作维修也不方便，所以有的设计中将差压变送器、压力变送器等集中安装在变送器室，有的甚至在变送器室内装上空调，消除环境温度变化对变送器的影响。

3.4 引压管内径及长度的选取

在文献[7]中对不同的被测介质使用的引压管内径及极限长度做了规定^[7]，见表 1 所列。如引压管太长、太细，要注意下列问题：

1) 介质的差压信号在引压管内传递，在黏度较高时，由于介质与管道之间的粘滞作用，导致响应迟缓，引起动态误差。引压管长度越长，迟滞越严重，所以不能太长。

2) 引压管内的介质为液体时，液体中有时会析出气体，在开表投运时，原来充满管道的空气需排除，因此引压管除了要保证规定的坡度之外，还需保证管

道内径不能太小，否则气体不容易升腾到高点。

3) 当介质为气体时，气体中可能会有冷凝液析出。为了保证引压管内的冷凝液能顺畅地流到引压管低点的沉降器内，需要引压管内径足够大，否则冷凝液容易附着在引压管内，产生差压信号传递失真。在介质为潮湿气体时，尤其如此。

表 1 导压管的内径和长度 (mm)

导压管直径 (mm)	导压管长度 (mm)		
	<16 000	16 000~45 000	45 000~90 000
被测介质			
水、水蒸气、干气体	7~9	10	13
湿气体	13	13	13
低、中粘度的油品	13	19	25
脏液体或气体	25	25	38

3.5 增加阻尼器消除噪声级脉动流

一体化差压式流量计的引压管较短，在制造厂内一体化安装好后，现场不必安装。一体化将节流件与变送器等组合在一起后，由于引压管缩短后差压信号的噪声和脉动流会对测量结果带来影响。以下从两个方面来讨论：

1) 差压信号的噪声对流量测量的影响。

流体流过差压装置，在节流件出口处形成涡流，正是由于这个涡流的存在和节流件上游面压力的升高，才会有差压 ΔP 的产生。由于节流件出口处涡流的存在，使得 ΔP 总是夹带一定的噪声，这种噪声用快速响应的检测元件能清楚地观察到。

早期的差压计由于性能还不够完善，此类噪声对差压值的显示会有一些影响，例如使 U 形管差压计中的液面上下跳动，引起读数困难。现代的差压测量中，差压是平均值，而差压变送器中的充液膜盒有一定的阻尼滤波作用，所以在差压变送器的输出信号中已经观察不到这种噪声。

2) 目前的差压变送器中都有阻尼时间设置功能，更大幅度的噪声可以用数字滤波的方法来处理，既准确又方便，而且可供选择的阻尼时间常数范围较宽广，足以满足使用要求，不必用增加引压管长度的方法实现阻尼、滤波。

3) 脉动流动。在设计配管时要考虑：一体化差压流量计的检测元件（传感器）的上、下游要远离脉动源装置，如泵、搅拌器、调节阀等。必要时通过在脉动源与一体化差压流量计的检测元件（传感器）之间的工艺管道上增设阻尼器的方法来解决^{[4][8]}。

4. 差压流量计一体化的发展趋势

五十多年前，单元组合仪表出现以后，差压计的功能由显示单元和差压变送器等单元担任，其中显示仪表（以及后来的 DCS）安装在控制室内，而变送器则就近安装在距差压装置不远的巡检和维修方便的地方，使长距离敷设引压管线弊端大幅缓解。因变送器体积较大，故障率又高，维护工作量也大，将其与差压装置组装在一起会带来很多不便，于是，差压装置安装在管架上，变送器安装在距差压装置不远的平台上或地面上方维修方便的地方。

直到 20 世纪末，变送器制造器技术出现革命性飞跃之后，变送器的体积缩小，可靠性显著提高，基本实现免维护。目前，将变送器与阿牛巴差压发生器，变送器与调整孔板组装在一起国外亦在推广。一体化成为减少安装工程量，节约投资，提高系统品质的有效措施，为用户带来实际的利益，在国内亦越来越受到重视^[9]。

在一体化差压式流量计中，被组装在一起的，除了差压变送器之外，还有压力变送器、温度传感器、前后直管段，甚至还有整直器，如图 3 所示。

参考文献：

1. 孙淮清, 王建中. 流量测量节流装置设计手册[M].2 版. 北京: 化学工业出版社, 2005.
2. 蔡武昌, 孙淮清, 纪纲. 流量测量方法和仪表的选用[M].北京: 化学工业出版社, 2001.
3. 朱炳兴, 王森. 仪表工试题集 现场仪表分册[M].2 版. 北京: 化学工业出版社, 2002.
4. 纪纲. 流量测量仪表应用技巧[M].2 版. 北京: 化学工业出版社, 2003.: 252~253.
5. 纪纲, 纪波峰. 流量测量系统远程诊断集锦[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: .25~26.
6. 吴勤勤. 控制仪表及装置[M].4 版. 北京: 化学工业出版社, 2012: .200~217.
7. 河北省计量测试研究所, 中国船舶工业总公司研究院, 七一八研究所.. JJG640-1998 差压式流量计检定规程[S]. 北京: 中国计量出版社, 1999.
8. ISO. ISO /TR 3313:1998 Measurement of Fluid in Closed Conduits-Guidelines on the Effect of Flow Pulsations on Flow Measurement Instruments[S]. Switzerland:ISO, 1998.
9. 周人, 何衍庆. 流量测量和控制实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013: .57.
10. 薛润林, 刘红霞. 快速阻尼器在集气管压力自动调节中的应用[J]. 化工自动化及仪表, 2013, 4 (1): 108-109.

该文发表在《石油化工自动化》2014 年第 50 卷，第 2 期，第 17~20 页。

文章编号：1007-7324（2014）02-0017-04

作者简介

俞旭波，男，1968 年生，高级工程师，中石化上海工程公司自控首席工程师。主要从事自控设计和新技术应用研究。

TEL:13817578812

E-mail: yuxubo.ssec@sinopec.com

纪波峰，男，1971 年生，工程师，上海同欣自动化仪表有限公司工程师。主要从事流量仪表的开发与应用。著有《流量测量系统远程诊断集锦》（合著）。

[TEL:13311822280](tel:13311822280)

E-mail: jibofeng@163.com

纪纲，男，1941 年生，高级工程师，上海同欣自动化仪表有限公司高级工程师。长期从事自动化仪表开发和应用研究，发表论文五十余篇。专著有：《流量测量仪表应用技巧》、《流量测量系统远程诊断集锦》（合著）、《仪表常用数据手册》（合著）、《数字显示调节仪表应用原理及维修》（合著）、《流量测量方法和仪表的选用》（合著）。

[TEL:13901926182](tel:13901926182)

E-mail: 13901926182@139.com