

现代工业企业自动化丛书

工业常用传感器选型指南

曲 波 肖圣兵 吕建平 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书系统地介绍了工业生产过程与控制中常用的各类传感器,如流量、压力、温度、物位、位移、称重等传感器,对每种传感器的工作原理只作简单介绍,重点阐述传感器的结构、特点、有关常用敏感元器件的性能参数及选用的基本原则,并介绍了传感器的实际应用技术,给出了有实用价值的应用实例,具有广泛的实用及参考价值。

本书可供工业企业工程技术人员参考,也可作为大专院校有关专业师生的参考书。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

书 名: 工业常用传感器选型指南

作 者: 曲波 肖圣兵 吕建平 编著

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

[http:// www .tup .tsinghua .edu .cn](http://www.tup.tsinghua.edu.cn)

印刷者: 北京密云胶印厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 12.25 字数: 291 千字

版 次: 2002 年 1 月 第 1 版 2002 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-04426-0 TP · 2601

印 数: 0001 ~ 4000

定 价: 20.00 元

《现代工业企业自动化丛书》编委会

名誉主任：张钟俊

顾问：吴钦炜

主任：白英彩

副主任：邵世煌 王行愚 吴启迪 孙廷才

编委：(按姓氏笔划)

于海川 王行愚 白英彩 孙振飞 孙廷才

江志道 刘元元 邵世煌 吴启迪 张兆琪

杨德礼 周德泽 柴天佑 虞孟起 魏庆福

序

当今世界先进工业国家正处于由“工业经济”模式向“信息经济”模式转变的时期,其中技术进步因素起着极为重要的作用,它在经济增长中占 70% ~ 80%。“以高新技术为核心,以信息电子化为手段,提高工业产品附加值”已经成为现代工业企业自动化重要的发展目标。从我国经济发展史来看,其工业经济增长主要是依靠投入大量资金和劳动力来实现的,尚未充分发挥技术进步在工业经济增长中的“二次效益倍增器”的作用。“如何加快发展电子信息技术、调整产业结构,适应世界经济发展需求”是当前我国工业企业自动化界研究的重要课题之一。

工业自动化是一门应用学科,它主要包括单机系统自动化、工业生产过程自动化和工业系统管理自动化等三个方面。企业自动化包括企业生产管理信息电子化、信息处理的自动化以及网络化。现代工业企业自动化涉及到自动化技术、计算机技术、通信技术、先进制造技术和管理学等诸多学科,它需要各学科的专家和工程技术人员通力合作,从而形成“多专业知识与技术集成”的现代工业自动化发展思路。目前工业企业自动化系统主要呈现开放性、集散性、智能性和信息电子化与网络化的特点。在现代工业企业自动化中,计算机控制技术充当了极为重要的角色,它是计算机技术和控制理论有机的结合。自动控制理论的发展是伴随着被控制对象的复杂性、不确定性等因素的研究成果而发展的,它由经典控制理论(频域方法)和现代控制理论(时域方法)发展到第三代控制理论——智能控制理论。计算机控制系统分为数据采集与处理系统、计算机在线操作指导控制系统、直接数字控制系统、监督控制系统、分级控制系统和集散控制系统以及分布式智能控制系统。从当前计算机技术和自动控制技术发展状况来看,高性能工业控制机系统、智能控制系统和基于网络系统的虚拟企业自动化系统将是未来工业企业自动化的重要发展方向。

从系统工程的角度来看,工业自动化技术研究与应用过程分为三个阶段:自动化技术研究阶段、科研成果向实用转化阶段和产品应用阶段。经过我国科技工作者半个世纪卓有成效的研究,在自动化技术研究与应用方面取得可喜的成绩,并给我国的工业自动化事业带来了深刻影响和变革,产生了巨大的社会和经济效益,其中有的技术已经接近或达到世界先进水平,但从应用以及成果向产品的转化的总体发展角度来看,仍存在着一些问题,仍需花大力气进一步探索和研究。例如,我国在工控机及其配套设备的生产方面尚需进一步构成规模经济;建立并发展企业网络及其协议和数据库集成技术,为全面实现我国“金企工程”提供技术和手段;开发系列的工控机软件包、实时操作系统,以提高工控机系统的总体水平;充分运用以工控机为核心的电子信息技术来改造我国各类传统工业的工装设备及产品;在我国的部分现代企业中大力倡导推行 MIS, MRP- 和 CIMS/ CIPS 以及信息网络系统,以提高企业管理水平和竞争能力等。在 20 世纪 40 年代,计算机刚问世不久,它的应用除在军事、政要部门之外,主要是在各传统工业领域的应用。在 60 年代 ~ 70 年代,各国的工业计算机应用极为普遍,促进了其工业企业自动化高速发展,而我国的工业企业自动化非但没有大踏步前进,反而停滞不前。到了 90 年代这个问题就显得十分严重了,因此我们必须“补上

这一课”。我们编写了《现代工业企业自动化丛书》(以下简称《丛书》,目前暂定42册,并根据实际需要不断增加新的书目),该《丛书》内容既包括工业生产过程自动化,又包括现代企业管理自动化技术,如基于总线工控机系统、工程数据库、CIMS/CIPS以及企业网络技术等。其编写原则为:“理论与实践密切结合,为实现工业企业自动化提供典型示范系统”。编委会特邀请了国内在该领域有扎实理论基础和富有实践经验的专家分别承担各分册的编审任务,以期在向读者展示国内外相关技术的最新成果和发展动态的同时,提供解决现代工业企业自动化的思路、方法、技术和设备等。

该《丛书》以工程技术人员为主要读者对象。我们相信该《丛书》的出版必将在推动我国工业企业自动化应用的普及和发展进程中起到积极的作用,为进一步提高我国工业企业自动化水平做出贡献。

清华大学出版社颇具魄力和眼光,高瞻远瞩,及时提出策划组织这套《丛书》的任务,他们为编好《丛书》做了认真、细致的准备工作,并为该丛书的出版提供了许多有利的条件,在此深表谢意。同时对于参加各分册编审任务的专家、学者所付出的艰辛劳动表示衷心感谢。编审《丛书》的任务十分繁杂而艰巨,加之时间仓促,书中出现疏漏、欠妥之处也是难免的,希望广大读者不吝赐教,以使我们逐步完善这个《丛书》系列。

中国科学院院士、上海交通大学教授

張鍾俊
1995年5月

前 言

现代工业生产与自动控制系统是以计算机为核心,以传感器为基础组成的。传感器是实现自动检测和控制的首要环节,没有精确可靠的传感器,就没有精确可靠的自动检测和控制。近年来,随着科学技术的发展,各种类型的传感器已应用到工业生产与控制的各个领域。本书以工业中常用的传感器为基础,重点介绍了传感器的结构、特点、有关常用敏感元器件的性能、参数以及相应的电路和适用的场合,对传感器的工作原理仅作了简单的介绍,目的是让读者学会如何选择和使用传感器,而不是去设计和制造传感器。书中还介绍了传感器在实际应用中的基本知识及应用实例,供学习时参考。

本书由曲波主编,第 2、第 8、第 10 章由肖圣兵编著,第 4、第 5、第 9 章由吕建平编著,其他由曲波编著。本书承蒙南京航空航天大学王厚枢教授审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编著者水平有限,难免会存在一些缺点和错误,敬请读者批评指正。

曲 波

2000 年 10 月

目 录

第 1 章 流量传感器.....	1
1.1 差压流量传感器	2
1.1.1 基本原理.....	2
1.1.2 孔板及取压装置.....	3
1.1.3 喷嘴.....	6
1.1.4 文丘里管.....	6
1.1.5 皮托管和均速管.....	7
1.1.6 靶式流量计.....	8
1.2 涡轮流量计	9
1.3 漩涡流量计.....	10
1.4 电磁流量计.....	13
1.5 超声流量计.....	16
1.5.1 传播时间式超声流量计	16
1.5.2 多普勒式超声流量计	17
1.6 容积式流量计.....	18
1.7 变面积式流量计.....	19
1.8 流量计选用时需要考虑的问题.....	20
第 2 章 压力传感器	23
2.1 电容式压力传感器.....	23
2.1.1 差动电容式压力传感器	23
2.1.2 硅电容式集成压力传感器	24
2.2 电感式压力传感器.....	25
2.2.1 变磁阻式电感压力传感器的工作原理	25
2.2.2 变磁导式压力传感器的工作原理	26
2.3 电阻应变片式压力传感器.....	26
2.3.1 电阻应变片的结构	26
2.3.2 电阻应变片的工作原理	26
2.4 压阻式半导体压力传感器.....	27
2.4.1 压阻式半导体压力传感器的工作原理	27
2.4.2 X 型硅压力传感器	28
2.5 压力传感器的选择与应用.....	30
2.5.1 压力传感器的主要性能参数	30
2.5.2 压力传感器应用实例	31

第 3 章	温度传感器	36
3.1	概述	36
3.2	膨胀式温度计	37
3.2.1	玻璃液体温度计	37
3.2.2	固体膨胀式温度计	39
3.2.3	压力式温度计	40
3.3	电阻式温度传感器	41
3.3.1	热电阻传感器	41
3.3.2	热敏电阻传感器	43
3.4	热电偶温度传感器	45
3.4.1	热电偶的工作原理和结构	45
3.4.2	热电偶的类型	46
3.4.3	补偿导线与冷端补偿	50
3.5	集成温度传感器	52
3.6	辐射式温度计	58
3.6.1	工作原理	58
3.6.2	辐射式高温计	58
3.6.3	光学高温计	59
3.6.4	光电高温计	60
3.7	温度传感器选用时需考虑的问题	61
第 4 章	物位传感器	63
4.1	电容式物位传感器	63
4.1.1	工作原理及特性	63
4.1.2	测量电路	64
4.2	静压式物位传感器	65
4.3	超声波物位传感器	66
4.4	微波物位传感器	67
4.5	光纤液位传感器	69
4.5.1	工作原理及特点	69
4.5.2	传感器的应用	70
第 5 章	位移传感器	72
5.1	电容式位移传感器	72
5.2	电感式位移传感器	75
5.2.1	结构类型	75
5.2.2	差动式电感传感器	76
5.3	变压器式位移传感器	79
5.4	电涡流式位移传感器	83
5.5	电阻式位移传感器	85

5 5 1	电位器式位移传感器	85
5 5 2	应变片式位移传感器	88
第 6 章	称重传感器	91
6.1	称重传感器的基本结构及性能.....	91
6.2	称重传感器选用时需考虑的问题.....	98
6.3	称重传感器的应用	100
第 7 章	气敏、磁敏传感器	104
7.1	半导体气敏传感器	104
7.1.1	基本工作原理.....	105
7.1.2	半导体气敏传感器的结构.....	106
7.1.3	SnO ₂ 气敏器件参数及测试电路	107
7.2	接触燃烧式气敏传感器	109
7.2.1	工作原理及结构.....	109
7.2.2	主要参数及应用	110
7.3	霍尔传感器	112
7.3.1	霍尔元件.....	112
7.3.2	霍尔集成电路.....	114
7.3.3	霍尔传感器的应用.....	117
7.4	磁敏电阻与磁敏传感器	118
7.4.1	磁敏电阻的工作原理与结构.....	118
7.4.2	磁敏电阻的基本特性及应用.....	120
7.5	磁敏二极管和磁敏三极管	122
7.5.1	磁敏二极管.....	122
7.5.2	磁敏三极管.....	124
第 8 章	红外光电传感器及红外线遥控器.....	127
8.1	红外线遥控的特点及基本原理	127
8.1.1	红外线遥控的特点.....	127
8.1.2	红外线遥控的基本原理.....	128
8.2	红外线遥控的基本器件	129
8.2.1	红外线发射器件.....	129
8.2.2	红外光敏二极管.....	133
8.2.3	红外光敏三极管	135
8.3	红外线遥控的应用实例	138
8.3.1	红外线纸张监控器.....	138
8.3.2	实用型电脑遥控系统.....	139
第 9 章	机器人传感器.....	144
9.1	概述	144
9.2	视觉传感器	146

9.3	听觉传感器	147
9.4	触觉传感器	148
9.5	滑觉传感器	151
9.6	接近觉传感器	153
第 10 章	传感器的实际应用技术	157
10.1	传感器的性能及应用.....	157
10.1.1	传感器的基本性能.....	157
10.1.2	传感器的应用领域.....	160
10.1.3	传感器应用系统的设计原则.....	161
10.2	传感器的干扰噪声及其控制.....	161
10.2.1	传感器电路中噪声的形成.....	162
10.2.2	干扰噪声的抑制措施.....	163
10.3	信号调理与转换技术.....	168
10.3.1	信号调理的功能.....	168
10.3.2	信号调理的常用电路和技术.....	169
10.3.3	信号转换电路.....	174
10.4	传感器信号的远距离传输.....	176
	主要参考文献.....	181

第 1 章 流量传感器

流量是工业生产过程及检测与控制中一个很重要的参数,凡是涉及到具有流动介质的工艺流程,无论是气体、液体还是固体粉料,都与流量的检测与控制有着密切的关系。

流量有两种表示方式:一种是瞬时流量即单位时间所通过的流体容积或质量;一种是累积流量,即在某段时间间隔内流过流体的总量。

检测流量的装置是多种多样的。从检测方法上说,可分为两大类,一类是直接检测,即从流量的定义出发,同时检测流体流过的体积(或重量)和时间;另一类是间接检测,即检测与流量或流速有关的其它物理参数并算出流量值。直接检测可以得到准确的结果,所得数据是在某一时间间隔内流过的总量。在瞬时流量不变的情况下,用这种方法可求出平均流量,但这种方法不能用来检测瞬时流量。一般流量检测装置是以间接检测为基础,然后用计算方法确定被测参数与流量之间的关系数据。

按流量计检测的原理,可分为差压流量计、转子流量计、容积流量计、涡轮流量计、漩涡流量计、电磁流量计和超声波流量计等等。由于目前使用的流量计有上百种,测量原理、方法和结构特性各不相同,正确地予以分类是比较困难的。一般来说,一种测量原理是不能适用于所有情况的,必须充分地研究测量条件,根据仪表的价格、管道尺寸、被测流体的特性、被测流体的状态(是气体、液体或蒸汽)、流量计的测量范围以及所要求的精确度来选择流量计,如表 1.1 所示。

表 1.1 流量计选择表

流量计名称	管道尺寸 / mm	气 体		液 体				浆 液		温度 /	压力 / kPa
		干 净	脏 污	干 净	粘 稠	脏 污	腐 蚀 性	含 纤 维	磨 蚀 的		
孔板										工艺过程的温度可达 540 , 变送器为 -20 ~ 120	41000k Pa 表压以下
锐边	> 40	++	×	++	×	+	+	×	×		
带搪磨过的	12 ~ 40	++		++	+	×	+	×	×		
测量管段											
整体(内藏)	< 12	++	×	++	++	×	+	×	×		
1/4 圆或锥形入口	> 40	×	×	++	++	+	+	×	×		
偏心	> 50	+	++	+	×	++	+	×	×		
圆缺	> 100	+	++	+	×	++	+	×	×		
环形	> 100	+	++	+	×	++	+	×	×		
靶式	> 12 ~ 100	++	++	++	++	++	+	×	×	同上	同上
文丘里管	> 50	++	+	++	+	+	+	+	+	同上	同上
喷嘴	> 50	++	+	++	+	+	+	×	×	同上	同上
皮托管	> 75	++	×	++	+	×	+	×	×	同上	同上

续表

流量计名称	管道尺寸 / mm	气 体		液 体				浆 液		温度 /	压力 / kPa
		干 净	脏 污	干 净	粘 稠	脏 污	腐 蚀 性	含 纤 维	磨 蚀 的		
均速管	> 25	++	+	++	×	×	+	×	×	同上	同上
电磁流量计	2.0 ~ 2000	×	×	++	++	++	++	++	++	180	10500
容积式流量计	> 300	++	×	++	×	×	+	×	×	气体:120 液体:315	10000
涡轮流量计	6 ~ 600	++	×	++	×	×	+	×	×	- 268 ~ 260	21000
超声流量计 传输时间式	> 12	×	×	++	+	×	++	×	×	- 180 ~ 260	与管道额定 值相同
多普勒式	> 12	×	×	×	+	++	++	++	++	- 180 ~ 120	
变面积式	75	++	×	++	++	×	+	×	×	玻璃: 200 金属管: 540	玻璃: 2400 金属: 5000
漩涡式	40 ~ 400	++	+	++	×	+	+	×	×	200	10500

注: ++:为此用途而设计; +:一般可用; ×:不是为此用途而设计的

1.1 差压流量传感器

在工业过程的测量与控制中,应用最广泛的是差压式流量计,在所有测量液体、气体和蒸汽流量的场合,绝大多数都选用了差压式流量计。这种流量计是用节流装置或其它检测元件与差压计配套使用来测量流量的,是一种比较成熟的产品,20世纪50年代以前,国外就广泛应用,由于它具有结构简单,使用寿命长,适应性强和价格较低等优点,因而占有很大的市场比例,在各种流量计中约占第一位。

产生差压的装置有许多种,如孔板、文丘里管、喷嘴、靶式流量计、皮托管和均速管等。目前,上述节流装置在我国和国际上都已标准化,它们在完全符合国家已定的设计、安装和使用规程的各项条件时,流量和差压之间的关系可不经个别校准,而在规定的误差范围内,直接用计算方法确定。

1.1.1 基本原理

所有差压式流量计所依据的基本原理都是伯努利的能量守恒方程。当流体通过设置在管道中的节流件时,造成流束局部收缩,其流速提高,压力减小。这个节流件两侧的压差与通过的流量有关,流量越大,压差越大,所以可以利用此压差来测量流量。

图 1.1 示出了节流孔板的工作原理。装在管

图 1.1 节流孔板的工作原理

道中的孔板是一片带有圆孔的薄板,孔的中心位于管子的中心线上。假定流体是不可压缩的,其粘性可以忽略不计,而且是稳流的,那么,对于通过截面 1 和截面 2 的流体,可由伯努利方程和连续方程来表示:

$$\frac{1}{2} v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} v_2^2 + p_2 \quad (1.1)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1.2)$$

式中, v_1, v_2 为截面 1、截面 2 处的平均流速;

p_1, p_2 为截面 1、截面 2 处的压力;

A_1, A_2 为截面 1、截面 2 处的横截面积;

为流体密度。

p_1, p_2 一般称为静压, $\frac{1}{2} v_1^2, \frac{1}{2} v_2^2$ 称为动压。

从式(1.1)和式(1.2)可求出流体体积流量 Q :

$$Q = A_2 v_2 = \frac{A_2}{1 - m^2} \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho} = \frac{A_2}{1 - m^4} \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho} \quad (1.3)$$

式中, $m = \frac{A_2}{A_1}$, 是节流前后横截面积之比;

为横截面 1, 2 是圆形时的直径比 d/D 。

式(1.3)是在理想情况下推导出来的,在实际应用中必须加上各种修正。从图 1.1 可以看出,流体经过节流机构以后,截面缩小了,由于流体存在惯性,所以缩小了的流束的最小横截面 A_2 应该是在距节流机构稍微往下远一点的地方,即 A_2 应比节流机构的开口面积 A_0 要小,这个现象叫做缩流。又由于流体存在粘性的影响,因此,必须对实用的节流机构在实际测定时加修正系数,同时,考虑到流体的可压缩性,也必须对式(1.3)进行可压缩性修正,由此,式(1.3)可表示为

$$Q = C_d A_0 \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho} \quad (1.4)$$

式中, C_d 为流量系数;

为膨胀修正系数或称压缩系数,通常在 0.9 ~ 1.0 之间。

由式(1.4)可知,只要能把节流机构前后的差压 $p_1 - p_2$ 取出来,就可以测出流量。流量与压差是非线性的平方根关系。如果差压降低到原差压的九分之一,则流量将减小到原流量值的三分之一。这样,对于一个差压上限固定的差压变送器来说,其测量的精确度是下降了。这就是差压式流量计的量程比最大是 4 : 1 的基本原因。

1.1.2 孔板及取压装置

孔板一般用于测量干净的液体、气体和低速蒸汽,在 50mm 和 50mm 以上的管线上,同心孔板是最普通的节流件。

1. 直角孔板

标准直角孔板如图 1.2 所示,一般用不锈钢制造。它的关键尺寸是 d ,其公差根据 d 值的不同而异。孔板的进口边缘应尖锐,严格直角,不可有毛刺、划痕或可见光,出口边缘也应无毛刺、划痕和明显伤痕。孔板安装时,必须垂直于管道轴线,其不垂直度不得大于 1°;它

的中心线和管道轴线间的不同心度不得大于 $0.015D(1/\sqrt{\epsilon} - 1)$ 。根据上下游取压的位置,孔板流量计的取压方式一般有:

角接取压——节流件前后取压孔在节流件与管壁形成的角上的位置,如图 1.3 所示;

图 1.2 标准直角孔板

图 1.3 角接取压标准孔板

法兰取压——前后取压孔均距节流件端面 25.4mm 位置处。如图 1.4 所示;

缩流取压——两个取压孔,一个在节流孔下游方向,选择缩流的横截面积最小处,根据值不同,约在 $0.34D \sim 0.84D$ 之间;一个在节流孔板的上游 $0.9D \sim 1.1D$ 处。

另外还有 D 和 $\frac{1}{2}D$ (径距)取压、管接取压 $2\frac{1}{2}D$ 和 $8D$ 。缩流取压已基本上由径距取压所代替,从而在孔径改变时,不需再改动取压口的位置。

角接取压方式又包括单独钻孔取压和环室取压两种(见图 1.3)。

图 1.4 法兰取压标准孔板

单独钻孔的角接取压形式,其前后取压孔直径 d_1 是相等的,与 d 有关。取压孔在内壁的出口边缘不应有倒角、毛刺和突出物。

环室取压时,环室位于节流件两侧,被两个法兰夹紧。前后环室与节流件端面形成前后环腔,压力就从宽度为 a 的环隙中量出。环室和节流件之间装有垫片,它将会增加 a 值,因此,垫片厚度应小于 $0.5\text{mm} \sim 1\text{mm}$ 。环室和法兰之间也有垫片。这些垫片在安装时,都不能突出管道内部,否则,将会带来测量误差,最高可达 $\pm 50\%$ 。

孔板流量计的总精确度在 $\pm 0.8\%$ 至 $\pm 5\%$ 之间,这与被测的流体以及是否在计算中进行了雷诺数校正、气体膨胀系数的校正以及对其它影响的校正有关。

2. $\frac{1}{4}$ 圆入口孔板与锥形入口孔板

如果管道的雷诺数 Re ($Re = \frac{\rho v L}{\mu}$, v 为流速, L 为长度, ρ 为流体密度, μ 为流体粘性系数) 小于 10^4 , 则可以把入口作成圆形(四分之一圆)或锥形,如图 1.5 所示。在低雷诺数下,对于入口边缘为直角的锐孔板来说,其流出量的变化可能会高达 30% ,而对于入口采取图 1.5 形状的孔板,影响仅为 $1\% \sim 2\%$,这就使 $\frac{1}{4}$ 圆与锥形入口孔板更适用于粘稠流体。

图 1.5 $\frac{1}{4}$ 圆和锥形入口孔板

3. 小管径孔板

当管道直径为 $12\text{mm} \sim 40\text{mm}$ 时,管道的粗糙度、孔板的偏心度以及入口边缘的尖锐度的影响都会被放大,从而使流出系数变得无法预计,所有的现象都表明,必须通过实验来确定它们的系数。对于这种小管径孔板,最好采用角接取压方式,孔板前后可以采用专门搪磨过的测量管组件。

4. 整体(内藏)孔板

当管道直径小于 12mm 时,如果被测的流体是洁净的,通常选用一种整体地安装在差压变送器内的小孔板,这种流量计的安装十分紧凑,未经标定的总精度通常在 $\pm 2\%$ 至 $\pm 5\%$

之间。

5. 偏心与圆缺孔板

如果被测的流体是气体,可把孔口开在管道下部,而对于液体,则把孔口开在管道的上部,这样,气体中所夹带的水或液体中所夹带的空气会通过孔板流走,而不会在孔板前聚集起来。如果在圆板上加工出圆缺的扇形开口,如图 1.6 所示,则也能让液体、气体或颗粒物料通过。在许多易出故障的场合,对这两种孔板的选择是很实用的,而且价廉。

图 1.6 偏心与圆缺孔板

图 1.7 角接取压标准喷嘴

1.1.3 喷嘴

一般对于高速(30m/s)的蒸汽流的流量测量多选用喷嘴。由于喷嘴的坚固性,在较高的温度和流速下,它要比孔板更稳定些。

标准喷嘴的横截面形状如图 1.7 所示。由带圆角的入口部分和与之衔接的圆筒部分组成。流体沿着喷嘴的曲面流动,所以在下游不发生缩流现象。流出系数取 0.9 左右,膨胀修正系数 大致在 0.9~1.0 之间,差压采用角接方式取出。

喷嘴的原始成本要比孔板高得多,但要比文丘里管低些,然而喷嘴的永久压损却比文丘里管高得多。在相同流量下,为产生同样压差而确定两种节流件的开孔尺寸时,喷嘴的压力损失大致与孔板相等。

1.1.4 文丘里管

文丘里管的形状如图 1.8 所示,流体从喷嘴圆滑地流经节流部分,经过圆筒部分后,文丘里管就逐渐成为喇叭型,为了防止流动的流体与管壁脱落,喇叭管的扩大角度一般在 15° 以下,流体能紧紧地沿管壁流动,不会产生涡流。由于粘性带来的能量损失较小,它的压力损失在各种节流机构中是最小的。因为不存在缩流,所以流出系数在 0.98~1.0 之间,差压的取出位置在节流部上游和圆筒部。由于流体中夹带的污物能通过各段流向下游而不会像孔板那样在节流件前堆积起来。因此,可以把这种产生差压装置的流量计用于脏污流的流量测量。最初是在大口径(150mm 以上)的水管和废水管上设计使用这种流量计的,随着一

种“通用文丘里管”的被采用,在较小口径管道上的应用也日益普遍。这种“通用文丘里管”是一种重量轻、总长短而又具有文丘里原理的各种优点的流量计。

图 1.8 文丘里管

当管道雷诺数超过 10^5 时,文丘里管的流出系数将是一个常数,它可以被预测。随着结构的不同,预测精度在 $\pm 0.5\%$ 至 $\pm 2\%$ 之间,除非容许流出系数有较差的精度,通常是不把文丘里管用于低雷诺数区的。

1.1.5 皮托管和均速管

1. 皮托管

当流体是干净的液体或气体(蒸汽),并且要求测量的花费不多时,对于大口径管道可以用皮托管,见图 1.9。对于皮托管,仅能检测由插入深度决定的那一点的流速。全压力与静压力之差的平方根与流速成正比。让皮托管的测量头在管道内横向移动,就能找到平均流速点的位置。利用此平均流速乘以管道横截面积就可以测量流量。

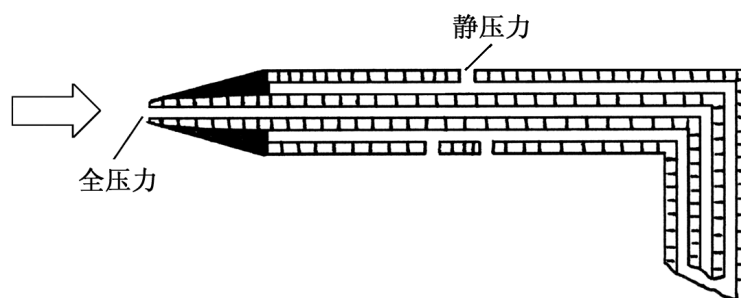


图 1.9 皮托管

2. 均速管

这是一种横跨管道的多孔皮托管,根据已公布的管道内轴向对称的速度分布,用数学方法确定各个取压孔的位置。这样就将差压值平均,因而,不必再确定平均流速点的位置。其结构与外观如图 1.10 所示。

由于这种流量计便于安装、价格便宜、永久压力损失很低和能插入正在运行的管道,对于大口径管道的流量测量,使用它是很方便的。目前对于干净的液体、气体和蒸汽,均速管已基本代替了皮托管。由于全压孔是朝向流动方向的,因此,当用均速管测脏污流体时,建议使用清洗梳。