



中國儀器儀表學會



仪表与节能论文集

第二册

仪器仪表节能应用技术交流会

1984年6月 天津

仪表与节能论文集(二)

目 录

物 料 计 量

明渠流量计	许智培 乔 中 (1)
多路气体流量计算装置的研制	张宝芬 吴淑荣 (5)
圆型与菱型均速管流量计特性的比较	毛新业 (12)
LV-50型液体旋涡流量计	赵家扬 陈进雄 (20)
湿蒸汽流量测量	邵长春 (25)
CW-612-Y型双波纹管差压计	诸银兴 (31)
测量气体的流量仪表在机械工业能源计量中的应用	邵瑞华执笔 (40)
动态轨道衡一种新的检测方法的探讨	关兆铭 (46)

电能计量与管理

畸变网络的时域解析及其在计算机上的实现	杨秉炎 陆佐铭 (56)
PS-10型三相单相数字功率电能表研制	王登科 徐建国 (66)
《铝电解生产过程电能计量及电解槽阳极电压自动调整装置》试验 研究报告	王仲元李春江秦武保 (70)
数字电能表	石怡田 (77)
高精度开口式直流大电流比较仪	任士焱 (82)
防磁式直流互感器	沈阳铝镁设计研究院电力室 (86)
数字式多路最大需用电量电表	严龙仁 叶剑兰 (92)

燃 烧 过 程 分 析

一种新型节能仪表——燃烧效率分析仪	李迎春 胡 延 (99)
电容法测定飞灰可燃物的试验研究	徐德兴 赵晓玲 (104)
CJ 型氧分析器在玻璃窑、水泥窑上的应用	施元赛 (109)

自能控制与节能系统

现代加热炉过程控制技术及其数学模型	陈南岳 (115)
交叉限幅在玻璃窑炉控制中的收效	杨永泰 高元益 (127)
直吹式煤粉工业锅炉的氧校正空燃比燃烧控制	张峻岭 (137)
微型机控制旁插自焙电解槽系统	吕国华 (144)
4T/h 以下小型工业锅炉自控装置	廖胜云 (151)

7501200 20-7HT 5/005 ZD-065 型微机与 DDZ-II 型仪表综合控制系统

综合控制系统应用于连续加热炉燃烧控制的方法	傅丰伟 邹 迅 (157)
在合成 NH_3 生产中 II 循环吹出的自动控制	姜仁杰 (164)
2~4T/H 工业燃煤锅炉机械型自控装置	孟宪忠 (169)
单回路微型机控制器在节能上的应用	郑晓斌 (175)
油罐烃蒸汽回收装置自控技术	李明林 (182)
“蒸汽—烟气”送风调节系统	李德林 (188)
炼油厂加热炉约束控制系统评价	解怀仁 (196)
玻璃熔炉控制中的重油粘度控制系统及玻璃液位控制系统	石振远 (201)
提高锅炉自动控制的节能效益及其实施	马承基 (210)
精馏塔的一种节能控制系统——热值控制系统	李宝俊 (215)
分程控制在节能中的应用	程琳璋 纪 纲 (219)
调节伐的低 S 运行与节能	罗秀来 章锡康 田学民 (223)
选择调节阀压力降大小的探索	戴公白 (232)
降低调节阀上能耗的尝试	田学民 (235)
ZGJ-1 型加煤自动称量及记录装置	朱根兴 张圣宾 (241)
交流论文目录	(246)

7501200

(25) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(26) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(27) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(28) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(29) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(30) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(31) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(32) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(33) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(34) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(35) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(36) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(37) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(38) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(39) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(40) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(41) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(42) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(43) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(44) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(45) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(46) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(47) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(48) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(49) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(50) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(51) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(52) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(53) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(54) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(55) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(56) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(57) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(58) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(59) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(60) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(61) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(62) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(63) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(64) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(65) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(66) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(67) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(68) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(69) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(70) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(71) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(72) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(73) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(74) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(75) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(76) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(77) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(78) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(79) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(80) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(81) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(82) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(83) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(84) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(85) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(86) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(87) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(88) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(89) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(90) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(91) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(92) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(93) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(94) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(95) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(96) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(97) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(98) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(99) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(100) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超

7501200

20-7HT

5/005

(99) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(101) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(102) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(103) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(104) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(105) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(106) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(107) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(108) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(109) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(110) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(111) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(112) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(113) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(114) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(115) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(116) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(117) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(118) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(119) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(120) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(121) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(122) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(123) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(124) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(125) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(126) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(127) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(128) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(129) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(130) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(131) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(132) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(133) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(134) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(135) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(136) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(137) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(138) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(139) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(140) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(141) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(142) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(143) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(144) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(145) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(146) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(147) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(148) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(149) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(150) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(151) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(152) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(153) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(154) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(155) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(156) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(157) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(158) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(159) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(160) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(161) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(162) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(163) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(164) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(165) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(166) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(167) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(168) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(169) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(170) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(171) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(172) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(173) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(174) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(175) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(176) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(177) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(178) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(179) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(180) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(181) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(182) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(183) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(184) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(185) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(186) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(187) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(188) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(189) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(190) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(191) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(192) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(193) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(194) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(195) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(196) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(197) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(198) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(199) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超
(200) 梁启超 梁启超	梁启超 梁启超

物料计量

明渠流量计

许智培 乔 中

(国营 265 厂)

工业或农业灌区的引水以及工厂废水或污水的排水一般都属于自然流水,水路为非溢流状态。在这种自由水位的情况下,现有的电磁流量计、差压式流量计等圆形管道满水用的流量计都不适用,在这样的水路上,按照流量的大小,脏污的程度,容许水头损失和水路形状等不同情况,多数使用堰式流量计。我们研制成功的 LM-1 型明渠流量计就是和各种堰相配合,测量明渠中流量大小的自动化检测仪表,它将明渠中的水位转换成与其成线性关系的流量后在现场进行显示和积算。

近几年来,在国外,明渠流量计的发展较快,出现了各种型式的明渠流量计,制造厂家也逐渐增多[1]。就其测量原理而言,有电容式的,浮子式的以及超声波式的,国外随着微处理机的发展和普遍使用,目前明渠流量计采用超声波原理测量液位再配以微处理机进行信号处理是较为普遍的[2]。我国明渠流量计的研究工作尚在开始阶段,对于明渠流量的测量主要是用流速仪测流速或用自记水位计记录水位。前者只能在有固定边界的测流断面上进行,并需架设测流桥,后者则需要修筑量水建筑物以形成固定的水位、流量关系,但是无论那种方法,都需要对所测原始资料进行繁复的计算和整理工作才能得到瞬时流量值或某一时段的过水总量(即累积流量),因此研制明渠流量的自动化检测仪表对明渠的测流工作是十分必要的。

目前常见的堰口有矩形、梯形、V形三种,国际标准化组织于1977年又推荐了薄壁堰,1978年推荐了平坦V型堰,由于堰口形状的不同,水位、流量关系也不同。例如,矩形和梯形堰以及收缩薄壁矩形堰的流量正比于水位的 $3/2$ 次方,而V形和平坦V型堰的流量正比于水位的 $5/2$ 次方[3][4]。总之,不管堰口的形状如何,它们总有一个确定的水位、流量关系式,从而根据关系式,通过对明渠水位的测量可以达到测量流量的目的。

一、明渠流量计电容式传感器的 原理和结构形式

我厂研制的明渠流量计的传感器采用电容式传感器,由于电容式传感器简单且没有可动部件,已被广泛地应用于工业仪表上,为了利用传感器实现水位、流量的线性化,采用电容

式传感器比采用钢丝绳或刚性直杆将浮子的垂直运动转换为在传感器中的转动，再通过凸轮和联杆将水位和流量之间的关系线性化更为简单、可靠，与超声原理相比较，由于通过电容式传感器可以直接将水位和流量关系线性化，因而也就使电子线路比采用超声原理的电子线路大大简化，从而使维修方便，成本降低。

明渠流量计的电容式传感器是由一根不锈钢圆棒作为中心电极，外面套上聚四氟乙烯套管组成一个圆柱形电容器，圆柱形电容器的电容为〔5〕：

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 h}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

式中 ϵ_0 为真空的绝对介电系数，其值为 $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ 库/伏·米，若 h 的单位取厘米， C 的单位取微微法，则上式可写作：

$$C = \frac{5\epsilon h}{9 \ln \frac{R_2}{R_1}} \quad (1)$$

式中： ϵ ——聚四氟乙烯的介电系数， h ——水位的高度， R_2 ——聚四氟乙烯套管的外径， R_1 ——中心电极直径。

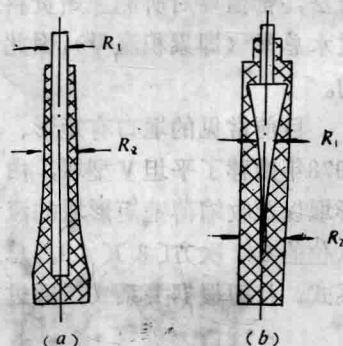
对于不同形状的堰口，其水位、流量关系可用下式表示：

$$Q = Kh^m \quad (2)$$

式中： Q ——过堰流量（米³/秒）， h ——过堰水深（米）， K ——流量系数， m ——指数。

由（2）式根据明渠中的最大流量，可以得到流量线性变化时所对应的水位高度 h 的值，将此水位高度 h 代入（1）式就可求出假定 C 在整个 h 范围内线性变化时的 R_2 值（当 R_1 = 定值的情况下）或 R_1 值（当 R_2 = 定值的情况下），图 1 就是这两种情况下的电容式传感器的结构示意图。

这两种结构形式的电容式传感器都可以将水位和流量之间的关系线性化，因为明渠中水位的变化小的只有 200 毫米左右，大的可达 1.5 米甚至更高，因而传感器的聚四氟乙烯套管可采用压铸成形的办法，也可采用分段加工然后用粘结剂粘结或焊接的方法将分段的聚四氟乙烯套管联结成一根整体，根据上述（1）、（2）两个公式计算出的数据，加工后，传感器的精度可达 1% 左右。当然除了采用上述非线性杆式传感器外，也可采用绳索式的电容传感器，即根据（2）式按线性流量变化所计算出的不相等高度 h 中绕以等长的直径均匀的聚四氟乙烯导线，这样制成的电容式传感器当然毫无问题也能把流量和水位的非线性关系转换成线性电容量的输出。对于图 1（b）的结构，加工工艺难度较大，而绳索式传感器因为容易在盘绕线表面堆积污物而影响测量精度，因此采用如图 1（a）的传感器结构形式是比较好的。



（a） R_1 = 定值时电容式传感器示意图

（b） R_2 = 定值时电容式传感器示意图

图 1

二、明渠流量计转换器的工作原理

明渠流量计的设计要求就是如何使符合明渠水位、流量关系的水力学公式具体化，由于电容式传感器简单地将明渠中过流流量和水位的非线性关系转换成与流量成正比的线性电容量的输出，这样就大大简化了转换器的电子线路，使整个仪表具有简单、可靠、维修方便、成本低等优点，明渠流量计的方框原理图如图 2 所示。

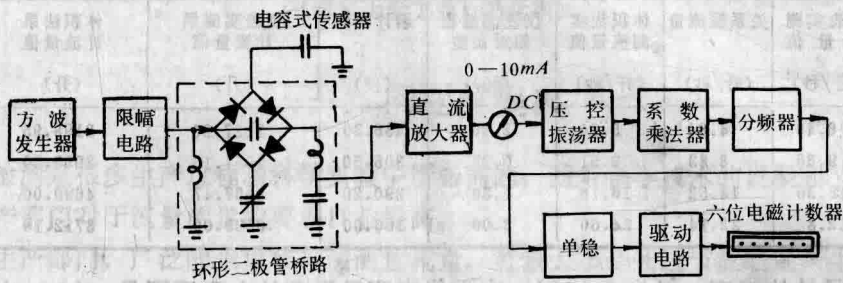


图 2 明渠流量计方框原理图

0—10mA.DC 即为瞬时流量指示值，六位电磁计数器为流量的累计数，北京石景山发电厂 1 号量水堰为收缩矩形堰，堰宽 $B = 3.5$ 米，最大过水流量为 $5\text{ m}^3/\text{s}$ ，安装在观测井上的 LM-1 型明渠流量计的积算速度为 1800 字/小时，约 20 天位满，实际上积算器不可能一直工作在输入 10mA 的情况下，所以位满日期将比 20 天要长。仪表的直流电源设计成交、直流两用供电方式，以适应远郊渠道电力供应不能保证或边缘地区没有电力电网的情况。

三、明渠流量计的运行情况及其误差分析

LM-1 型明渠流量计于 1983 年 3 月 11 日在北京市永定河引水管理处所属的石景山发电厂供水渠 1 号量水堰安装运行，至今已有半年多时间，仪表投入运行后由永引管理处派专人每日观测一次，现将仪表记录的运行数据摘抄一小部分列入表 1。

表 1

日 期	时 间	水位(M)	关系线流量 (M^3/s)	仪表流量 指示值 (M^3/s)	仪表满量程 相对误差 (%)	仪表日水量 指示值 (M^3)	关系线 日水量 (M^3)	仪表累积水 量满量程相 对误差 (%)
3.13	9:30	0.18	0.44	0.50	1.20	45890	46699	0.18
3.23	9:10	0.37	1.40	1.40	0	119530	117144	1.61
3.27	8:50	0.42	1.69	1.65	0.80	134390	169790	0.47
4.14	7:40	0.43	1.75	1.70	1.00	128510	138700	2.43
4.23	8:20	0.43	1.75	1.70	1.00	136100	127700	0.63
8.4	8:30	0.58	2.74	2.65	1.80	239550	249800	1.44
8.16	8:00	0.63	3.10	3.00	2.00	253620	260700	1.24
8.31	7:48	0.38	1.45	1.45	0	119720	111900	1.45
9.1	8:00	0.36	1.34	1.40	1.20	120940	118100	1.38
9.20	8:00	0.34	1.23	1.20	0.60	107550	106300	0.15

从半年多的运行情况看，仪表运行稳定，精度也在原设计指标的 3% 以内。为了进一步证实仪表的精确度，我们制造了一台最大流量为 60 升/秒量程的明渠流量计在北京市水利科学研究所水工实验厅制作的一个 1:10 的石电 1 号量水堰的水工模型上进行测量，与用体积法测量的流量值相比较，其误差也在 3% 的精度范围之内，其数据如表 2 所示。

在水工方面，用体积法来量水，被认为是较为理想的精确测量方法，从表 2 的数据可以看出，明渠流量计的测量值同体积法的测量值相比较，其误差也没有超过 3%。

表 2

水 位 (毫米)	仪表实测 流 量 值 (升/秒)	关系线流量 (升/秒)	体积法实 测流量值 (升/秒)	仪表满量程 相对误差 (%)	累计时间 (秒)	仪表实测累 计流量值 (升)	体积法累 计流量值 (升)	仪表累积水 量满量程相 对 误 差 (%)
39.4	6.48	4.84	5.04	2.40	436.30	2827.20	2198.95	2.40
58.8	9.66	8.83	9.51	0.25	305.50	2951.13	2905.30	0.63
81.90	15.36	14.52	16.16	1.30	290.20	4457.47	4690.00	1.33
108.50	22.8	22.14	24.60	3.00	150.90	3520.00	3712.14	2.12

明渠流量计的精度一般为 3~5%，产生仪表测量误差的主要原因是：（1）电容式传感器由于加工及工艺的关系本身有约 1% 的误差；（2）水位、流量公式 $Q = Kh^m$ 中，K 实际上是 h 的函数，但是为了设计计算方便起见，往往把它取作常数，例如石电 1 号量水堰的水位、流量公式简化为 $Q = 1.77Bh^{3/2}$ ，因而也存在着一定的误差；（3）现场安装时，由于传感器的零位不能准确地置于水位的零位以及堰口和水工建筑物的建筑误差而引起测量误差；（4）电子线路约有 0.2~0.5% 的误差。

明渠流量计是由北京市水利局提出的一项科研任务，主要是解决工业上明渠供水的计量问题，由于北京市用水一直比较紧张，明渠水量的计量问题一直没有解决，因而不但使供需双方的计量收费发生矛盾，而且往往造成能源的浪费，因此明渠流量计的研制成功不仅解决了明渠水量的计量问题，而且在节约用水方面有着十分重要的意义。另外随着国家工业的发展，工业废水排放量的规章制度的建立，明渠流量计在环保事业方面一定也能起到十分重要的作用。

参 考 文 献

[1] 内山、辉胤，《计测技术》1980,8(8)。明渠水路流量计

[2] Editors: H. H. Dijkstra, E. A. Spencer. Flow measurement of fluids; M. Kazahaya, D. Meiklejohn and P. A. DE Long. An ultrasonic open channel flowmeter with microprocessor.

[3] John Hall. Instruments & Control systems. 1978.2. Vol. 51 No.2. P. 20. Flowmeters-matching applications and devices.

[4] 安徽省水文总站 吴征中 程志斌 国际标准“薄壁堰”“平坦 V 型堰”简介及评价

[5] H. H. 曼苏罗夫, B. C. 波波夫著, 张冠生等译, 理论电工学 P. 8、P. 226.

多路气体流量计算装置的研制

张宝芬 吴淑荣

(清华大学工业自动化系)

一、问题的提出

流量检测是很多生产过程和科学实验中所必需的。随着科学技术的发展和节能工作的需要,各生产部门对于流量测量的要求日益提高。

工业生产部门,广泛的采用节流法测量流量。流量大小是通过节流装置产生的差压信号测出,在设计节流装置开孔尺寸时,都是以被测介质在额定工况下的参数(介质的温度、压力)和常用流量为依据。将那些随工况变化而改变的参数也同样取相对应的定值计入流量公式的常数项。即:

$$Q = C \sqrt{\Delta P}$$

其中: Q ——体积流量;

C ——常数项;

ΔP ——压差。

因此在用节流法测流量时如果介质的温度和压力变化较大,或流量变化范围较大都将引起测量的误差。

在实际生产过程中,特别是做为能源的水蒸汽、天然气、煤气等介质的输送过程,介质的流量、温度和压力都可能在很宽的范围内变化,要实现流量的准确测量,必须考虑对工况变化时的流量测量值进行校正。对于这个问题有关方面多有讨论,并逐渐的得到了工业部门的普遍重视。

目前使用的节流式流量仪表,其刻度只考虑流量与差压值的单一对应关系,但由流量方程式分析则不然,可压缩介质节流装置的流量方程式为:

$$Q_N = A \cdot \alpha_0 \cdot \gamma_{re} \cdot \varepsilon \cdot d_t^2 \cdot \sqrt{\Delta h / \rho} \quad \text{NM}^3/\text{h}$$

式中: Q_N ——气体在标准状态下的体积流量, NM^3/h ;

A ——常系数;

α_0 ——管径流量系数;

γ_{re} ——粗糙度修正系数;

d_t ——工作温度下节流件开孔直径, mm ;

ε ——流束膨胀系数;

Δh ——节流件前后差压值, mmH_2O ;

ρ ——介质密度, kg/m^3 。

在变动工况下, α_0 , γ_{re} , ε , d_t , ρ 均可随介质的流量、压力和温度而变动, 其中以 ρ 最为显著。为此, 国内有些部门采用单元组合仪表等对 ρ 进行了校正, 一个节流装置配用一套校正系统。但这种校正方法有一定的局限性, 随着计算机的发展, 国外使用了配有微处理器的仪表对流量测量值进行校正, 得到了较好的效果。

为了更准确的测量流量以达到节能的目的, 我们对采用单板机进行流量值的全面校正的方法做了一些探索, 利用单板机的数据处理功能, 可以把变工况下各个变化因素的影响作为修正系数对流量值进行全面的校正。具有这种校正功能的仪表, 可以准确的给出实际工况下流量的大小, 及时提供能源消耗的情况, 使运行人员可以有效的管理, 合理利用能源, 提高经济效益。也可以省去大量的数据处理工作, 以减轻计量人员繁琐的计算劳动。“多路气体流量计算装置”(以下简称装置)的研制给流量测量值的校正提供了很大的方便。它可以设置不同的软件, 可同时检测, 校正和处理八个对象所提供的信息, 对多余管路, 多种介质(水蒸汽, 天然气, 煤气等)进行准确的流量测量。

二、流量校正因素的基本考虑

本装置的实际对象为孔板测量天然气流量, 所以根据天然气流量测量考虑校正因素的选择。

参照天然气计量规程, 孔板的流量方程式写成诸因素的修正系数形式如下:

$$Q_N = A \cdot \alpha_0 \cdot \gamma_{re} \cdot \varepsilon \cdot d_t^2 \cdot F_Y \cdot F_G \cdot F_z \cdot F_T \cdot \sqrt{(P_f + P_a) \cdot \Delta h}$$

其中: F_Y ——雷诺数修正系数;

F_G ——比重修正系数*;

F_z ——气体偏离理想气体定律时的修正系数, 又称超压缩系数;

F_T ——气体温度修正系数;

P_f ——工作压力 kgf/cm²;

P_a ——大气压力 取1kgf/cm²。

对以上各参数分析处理的方法如下:

1. 雷诺数修正系数 F_Y

$$F_Y = \frac{\alpha}{\alpha_0}$$

α ——流动状态下的流量系数。

在常用流量时, α 一般为常数。但在流量较小时, α 可能变化, $F_Y \neq 1$ 。我们采用试算法算出相应的 F_Y , 可对 α 进行修正, 从而可以扩大流量测量范围。我们的处理方法是算出假设的 F_Y , γ_{re} 为 1 时的流量值 Q'_N , 可求 $Re = 426 \frac{G Q'_N}{D \cdot \eta}$ (其中: η ——气体的动力粘度, 存入 $\eta(P, t)$ 表, 可由工作压力 P_f 和工作温度 t 查出 η) 再查表求出 F_Y 。

2. 比重修正系数 F_G *

$$F_G = \frac{1}{\sqrt{G}}$$

* 天然气规程中仍采用比重数据, 故此处仍用比重修正而未用密度修正。

当重度不为 1 时对 G (比重) 的修正。

天然气成份在长期使用中有变化, 目前的计量工作为三个月取样一次。我们采用手动给定器, 引入比重修正值, 采入信号后 F_G 可算出。

3. 超压缩系数 F_z

$$F_z = \frac{1}{\sqrt{z}}$$

z 为天然气的压缩系数, 随着气体的工作压力和工作温度而变化, $z = f(P_f, t)$, 由 P_f, t 可查 z , 算出 F_z 。

4. 气体温度修正系数 F_T

$$F_T = \sqrt{\frac{293.15}{T}}, \quad T = t + 273.15^\circ\text{C}$$

由温度 t 的输入信号可算出 F_T 。

5. 流束膨胀系数 ε 的修正

ε 随气体的工作流量和压力变化, 我们存入 $\varepsilon = f(P_f, \Delta h)$ 的表格, 由 Δh 和 P_f 的输入信号可查 ε 。

6. 粗糙度修正系数 γ_{Re}

当 Re 较小时 $\gamma_{Re} \approx 1$, $\gamma_{Re} = f(D/K, Re)$, (D ——管道直径、 K ——相对粗糙度), 我们设定 D/K , 存入 $\gamma_{Re} = f(Re)$ 表, 可以由 Re 查 γ_{Re} 。

7. 孔板开孔直径 d_t 的计算:

$$d_t = d_{20} [1 + \lambda d (t - 20)]$$

设定 λ_d (孔板材料膨胀系数) 可由温度 t 的输入信号算出 d_t 。

8. 压力的影响

在计算式中压力直接影响 Q_N 值, 直接引入计算即可。

现用一条管道的实际数据为例, 对以上诸因素修正与否对 Q_N 值的影响程度做以比较, 其数据如下:

介质压力变化范围: $3 \sim 34 \text{ kgf/cm}^2$

温度变化范围: $-10 \sim +40^\circ\text{C}$

比重变化范围: $0.57 \sim 0.67$

若工作点选择在 $P_f = 19 \text{ kgf/cm}^2$, $t = 15^\circ\text{C}$

常用差压: $\Delta h = 2080 \text{ mmH}_2\text{O}$, $G = 0.621$

(1) 比重变化的影响:

G 实际值	G 取值(不变)	$\Delta G/G \%$	$\Delta Q_N/Q_N \%$
0.670	0.621	-7.31	3.87
0.621	0.621	0.00	0.00
0.570	0.621	8.95	-4.19

(2) ε 变化影响:

Δh	P_f	ε 修正后	ε 取值	$\Delta \varepsilon/\varepsilon \%$	$\Delta Q_N/Q_N \%$
2800	3	0.9741	0.9957	2.22	2.22
2440	12	0.9924	0.9957	0.33	0.33
2080	19	0.9957	0.9957	0.00	0.00
1720	27	0.9973	0.9957	-0.16	-0.16
1350	34	0.9983	0.9957	-0.26	-0.26

(3) 压缩系数的影响:

P_f kgf/cm ²	t °C	Z 修正后	Z 取值	$\Delta Z/Z$ %	$\Delta Q_N/Q_N$ %
3	-10	0.984	0.946	-3.86	1.99
3	15	0.989	0.946	-4.35	2.25
3	40	0.993	0.946	-4.73	2.45
19	-10	0.928	0.946	1.94	-0.96
19	15	0.946	0.946	0.00	0.00
19	40	0.959	0.946	-1.36	0.69
34	-10	0.875	0.946	8.11	-3.83
34	15	0.907	0.946	4.3	-2.08
34	40	0.930	0.946	1.72	-0.85

(4) 温度影响:

t °C	F_T	F_T 工作点	$\Delta Q_N/Q_N$ %
-10	1.055	1.009	-4.36
0	1.036	1.009	-2.61
15	1.009	1.009	0.00
20	1.000	1.009	0.90
40	0.968	1.009	4.29

(5) 压力影响:

$P_f + P_a$	$(P_f + P_a)$ 工作点	$\Delta P/P$ %	$\Delta Q_N/Q_N$ %
35	20	-43.9	-24.4
28	20	-28.6	-15.5
20	20	0.00	0.00
13	20	58.8	24.0
4	20	400	124

综合以上分析, 这些因素影响而产生的误差是相当可观的。引入修正系数之后, 必然大大提高流量测量的准确度。据此, 我们在软件设计中引入了计算式中各项修正系数。

三、装置的描述

本装置共有五个部分。(1) 多路选择与 A/D 转换板; (2) 主机板; (3) 显示报警和操作板; (4) 电源板; (5) 打印机(框图附后)。

1. 本装置具有的功能:

① 可巡回检测八条管道压力、压差、温度、比重四参数。主机板逐个引入各个修正系数, 计算出精确流量值。送至显示板进行瞬时流量和累积流量的显示。

② 压力、压差信号与 DDZ-II 型变送器配套, 输入 0—10ma 的标准信号。温度信号由电阻温度计引入, 比重信号定期手动给定。

③ 设有压力、流量上、下限越限报警(灯光及音响)。并可随时选择显示八条管路中任何一条的瞬时流量或累积流量。

④ 八小时定时打印出各管道的累积流量。

2. 本装置为显示仪表形式, 其面板如图 1。

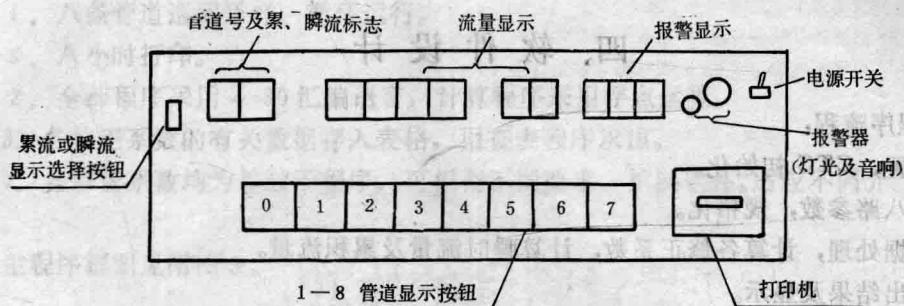


图1 面板布置图

电源开关接通, 装置自动启动。流量显示为指数形式 (即浮点显示), 尾数四位, 指数 2 位。累流或瞬流显示由显示选择按钮给定。报警信号除灯光及音响外, 用数字显示给出报警管道号以及报警量标志 (流量报警为 A, 压力报警为 P), 越限标志 (上限为 H, 下限为 L)。

3. 装置采用 $\mu C-Z80/I$ 型单板机作为中心处理器, 它完成检测及运算等多种功能。主机板为 Z-80CPU, 有 16K 随机存贮器 RAM, 16K 可写只读存贮器 EPROM, CTC 定时器和 PIO 接口。

全部软件程序写入 EPROM 固化, 开机后程序自动执行。

4. 八道四参数测量信号通过多路选择开关及模/数转换单元送至主机板的数据总线。A/D 转换采用 ADC0809 八位模/数转换芯片, 由 CPU 直接发出指令, 打开 I/O 接口, 采八路参数。

5. 显示、选择、报警组成的操作显示单元与主机板由 PIO 连接。

6. 抗干扰采用“装置”双层屏蔽浮地; 电源入口加低通滤波器; 信号入口加电容滤波和低通滤波。

7. 打印机为 TP801P 型, 自配控打程序, 由 CTC 中断服务程序执行打印。

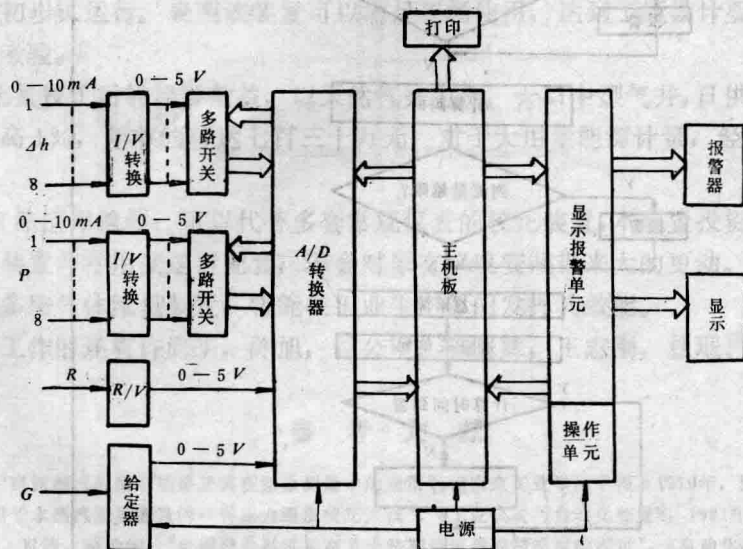
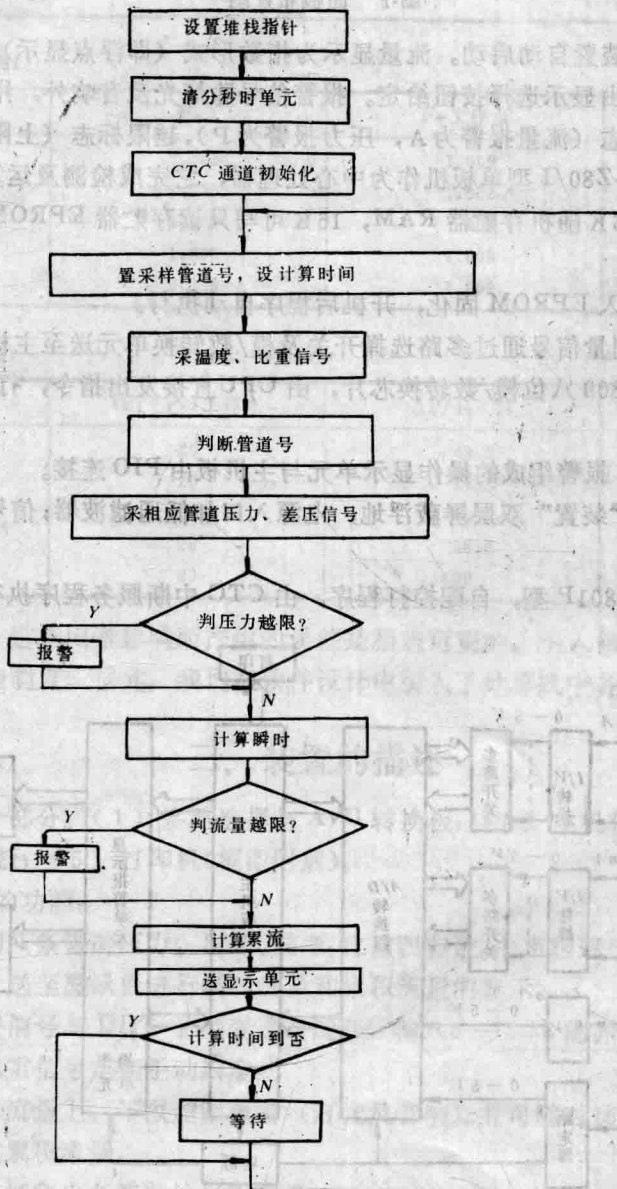


图2 装置方框图

四、软件设计

1. 主程序流程:

- a. 预置, CTC 初始化。
- b. 取八路参数, 规格化。
- c. 数据处理, 计算各修正系数, 计算瞬时流量及累积流量。
- d. 输出结果及显示。
- e. 越限判断及报警。



附图3 主程序流程图

- f. 八条管道巡回采样, 循环运行。
- g. 八小时打印。
2. 全部程序采用 Z-80 汇编语言, 计算程序采用浮点运算。
3. 各修正系数的有关数据存入表格, 用查表程序求出。
4. 各修正系数均为单独子程序, 可根据不同要求, 扩展软件, 适应不同介质的流量修正计算。

主程序框图见附图 3。

五、结 论

1. 本装置在实验室测验, 用标准信号源输入, 其显示值与手算值比较, 在各种变动工况下, 二者偏差不大于 $\pm 1\%$ 。

采用标准电流信号输入装置, 将流量显示值与手算结果进行了比较, 实测数据比较如下:

Δh	P_f	t	Q_N 手算	Q_N 不修正计算	$\Delta Q_N/Q_N$ %	Q_N 装置显示值	$\Delta Q_N/Q_N$ %	备注
2500	24	30	28501	28244	-0.90	28530	-0.10	
		15	28244	28244	0.00	28085	-0.56	
		5	28886	28244	-2.22	28730	-0.54	
	34	0	35279	28244	-14.94	35065	-0.61	
		25	29358	28244	-3.80	29238	-0.41	
	27	20	29693	28244	-4.88	29549	-0.49	
	19	10	25317	28244	11.56	25177	-0.55	
	11	10	19300	28244	46.34	19206	-0.49	

2. 本装置在四川川西北矿区天然气采气站进行了短期试运行试验。

经过现场初步试运行, 表明该装置可以满足现场使用, 达到了原设计要求。以后将做较长时间的运行考验。

3. 实现流量校正后的经济效益, 以天然气井为例, 一口中型气井, 日供气量 2 千万 M^3 , 测量精度每提高 1%, 年节约可达七百三十万元, 对于大用量能源计量, 经济效益是十分显著的。

4. 采用 8 路巡回检测, 可以代替多套常规仪表的校正装置, 本装置投资相当于 8 套系统的 1/4。由于装置与常用变送器配套, 不会对原有仪表安装带来大的更动。

我们认为多路气体流量装置, 将能在工业生产部门发挥其效能。

参加本项工作的还有许海平, 陈旭, 付公望, 陈晓辉, 王志刚, 杜珉、袁涛等同志。

参 考 文 献

- [1] 钱仲韩“高压蒸汽的数学模型及其在流量测量中的应用”。《南京工业学院学报》1979年, No3。
- [2] 黄峨“用于水蒸汽流量测量的一种压力温度校正系统”, 《工业仪表与自动化装置》, 1981年, No3。
- [3] 张宝芬、袁涛、蒋劭年, “应用微处理机提高节流法测量流量的精确度的探讨”, 《自动化技术》1983年, No1。
- [4] 李世昌“关于节能流量测量技术的发展与应用”, 仪表学会学术讨论会资料, 1983年3月。
- [5] “天然气标准孔板计量方法”, 石油部标准。

- [6] “流量测量节流装置的设计安装和使用”。
- [7] “Z-80 汇编语言程序设计”，重庆科技情报所，1981年。
- [8] “ μ C-Z80单板机用户手册”，福建电子技术研究所。

圆型与菱型均速管流量计特性的比较

毛 新 业

(重庆工业自动化仪表研究所)

均速管流量计(国外称为 Annubar, 直译阿纽巴)是一种新型的节能仪表(图1)。它具有压损小、制造成本低、安装维护简便等突出的优点。在厉行节能的今天,已引起国内外广泛地注意,不少工厂使用了这种流量计,取得了较好的节能效果(能耗不到孔板的 1/10,在大管径下节能效果尤为突出)。

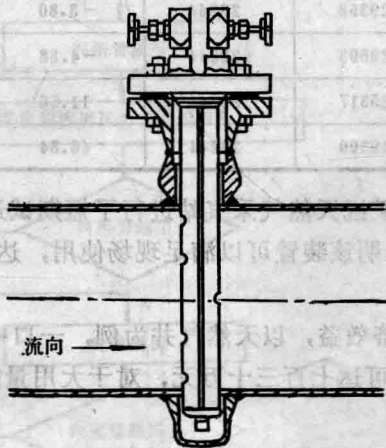


图1 均速管流量计

符号

W

W_m

y

R

n

R_o

K

$\bar{K}_A$

$\bar{K}_B$

意 义

管道中任一点的流速

管道中心最大的流速

测点至管壁的距离

管道的半径

指数, 取决于雷诺数

雷诺数

流量系数

圆截面A型均速管的平均流量系数

圆截面B型均速管的平均流量系数

S
S*
Y
Y'
Y''
X
P
P_s

前驻点 (总压测量点)
理论上的“后驻点”(背压测量点)
圆柱体上的分离点
圆柱体上的分离点
圆柱体上的分离点
流体的流动方向
管道中的静压
管道中的总压

一、测量原理

均速管流量计是在六十年代末期,根据皮托管测速原理发展而来的一种插入式仪表。由于现代化工业的要求,企业有向大型化发展的趋势,工业现场上的管道直径日益增大,难以保证有足够长的等截面直管道,流场不符合规范的要求。因此用皮托管测量管道中某特定流速来推算流量的方法准确度较低;而用速度面积法 (ISO3354, ISO3966) 逐点探测管道中某一截面的流速分布又过于繁琐,况且,皮托管不仅输出差压太小,又易于堵塞,显然不适用于工业检测。均速管流量计则针对上述缺陷进行了改进,既测多点的流速,又可以一次读数,输出的差压也较皮托管大得多。

均速管流量计的测量原理是将一根中空直管沿直径方向插入管道 (如图 2 所示),正对流向按近似积分理论确定测点位置,钻四个 (或多对孔) 孔,检测流体的总压。由于管道中流速不相等,各孔所测总压值也不相等,它们在均速管内平均后经总压引出管,高压接头接到差压计高压一端。在背向流向一侧钻一个孔 (图 3 b) 或多个孔 (图 3 a),这个背压要比管道中实际的静压低得多,因而可输出一个比皮托管大得多的差压。静压或直接由静压引出管经低压接头再接差压计低压端 (b 型),或在均速管内平均后再引出 (a 型)。差压计所测差压的平方与流量成正比。

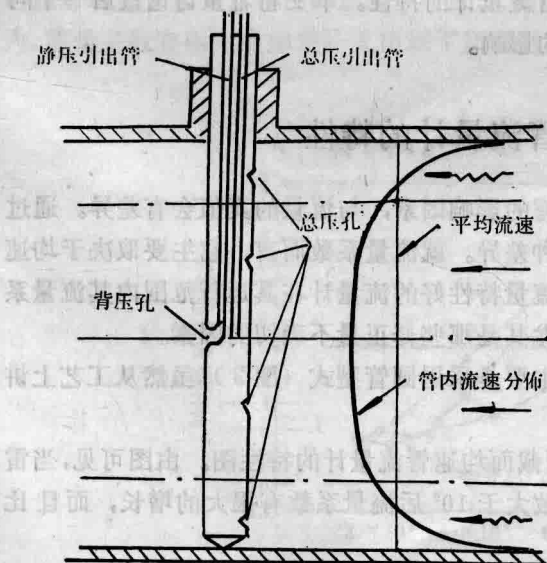


图2 均速管流量计测量原理

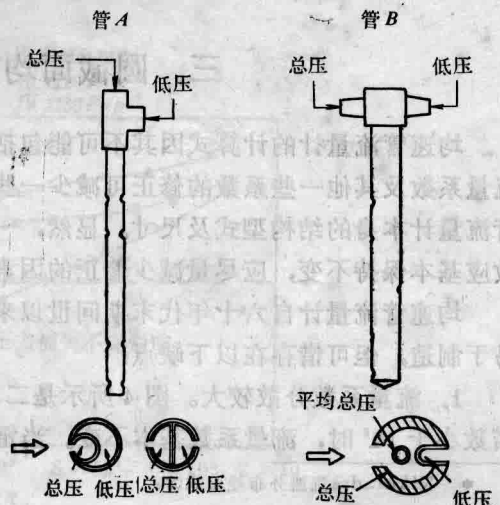


图3 两种圆截面均速管流量计

二、研制中的问题

七十年代末期以来,在国外均速管流量计已有商品出售(如 Dieterich 等公司)。同时也公布了部分技术资料,但这并不能说明均速管流量计已发展到了尽善的地步,应该说它还有不少问题值得进一步探索,如:

1. 总压孔的位置

均速管流量计总压孔的位置是根据管内充分发展紊流的流速分布决定的,所用的流速分布数学模型为 Nikuradse 的经验公式*, 这个公式在 $y > 0.8R$ 时与实际情况偏离很大,而自 Nikuradse 经验式问世以来,已有不少中外学者对充分发展紊流进一步进行了测试研究,提出了更为确切的公式[2],因而有可能利用这些成果确定总压孔的位置,使其更准确合理。

2. 在非充分发展紊流条件下的应用

安装均速管流量计时,至今仍要求和其他流量计一样在其前后有较长的等截面直管道。现在初步研究[3]表明,在非充分发展紊流(即等直段不够长)的条件下,均速管流量计也能给出稳定的输出值,只是输出值的大小将取决于管内流速的状况。这无疑是个令人感兴趣的问题,由于工业管道往往不可能确保足够的等直段长度,因而进一步研究在非充分发展紊流下如何用多点来逼近实际的流速分布将有很大的实用价值。

3. 流动特性

由于管道内流速分布不等于常数,因此均速管各总压检测孔所测的总压是不相等的,在检测杆内将会形成内流[4]。而均速管流量计内的取压管是不对称的,可能对输出值会造成影响。其次,均速管流量计的检测杆从工艺出发,都不是流线型截面,当流体流过它时会产生分离,分离点的位置将影响背压的大小,也就是输出值的大小。如果在测量范围内均速管流量计的分离点位置不确定,必将恶化均速管流量计的特性[1]。

上述问题都值得进一步探讨,以提高均速管流量计的特性。本文将着重讨论最后一个问题,即:检测杆截面形状对均速管流量计特性的影响。

三、圆截面均速管流量计的特性

均速管流量计的计算式因其不可能包括所有的影响因素,与流量的真值会有差异。通过流量系数及其他一些系数的修正可减少一些这种差异。就流量系数而言,它主要取决于均速管流量计本身的结构型式及尺寸。显然,一个流量特性好的流量计在其运行范围内其流量系数应基本保持不变,应尽量减少修正的因素,尤其是那些修正量不确切的因素。

均速管流量计自六十年代末期问世以来,主要是采用圆管型式(图3),虽然从工艺上易于制造,但可惜存在以下缺点:

1. 流量系数分散较大。图4所示是二种圆截面均速管流量计的特性图。由图可见,当雷诺数小于 10^5 时,流量系数基本不变。当雷诺数大于 10^5 后流量系数有很大的增长,而且比

* Nikuradse 流速分布经验式为:

$$W = W_m \left(\frac{y}{R} \right)^{\frac{1}{n}}$$