

圆缺孔板节流式量水计 不同截径比量水特性的试验研究

林性粹

(水利系)

摘 要

作者在移植改进和试验PVC管、截径比0.5的圆缺孔板式量水计成果基础上,采用石棉水泥管制作的方法,进行了不同截径比量水特性的试验研究。结果表明,各截径比的流量系数及水压差与流量的关系较稳定,相对误差均 $<2.0\%$;不同截径比的测流精度均 $<3.0\%$;角接测压与等径距测压的流量系数相差甚微,测流精度接近,但前者测流界限稍宽,水头损失较大。

关键词: 圆缺孔板; 截径比; 流量系数; 测流精度; 水压差; 流量; 水头损失

目前国内尚无一种适用于低压管灌的量水装置,作者曾研究过两种形式^[1,2],其中一种为圆缺孔板节流式量水计。为深入了解这种量水计的量水特性,在采用PVC管、截径比0.5条件下,以及在该实验研究取得的成果基础上^[1],又选用石棉水泥管进行了不同截径比量水特性的试验研究,获得了较有价值的结果。

1 材料与方法

量水计改进结构如图1所示。量水计主体采用4.0m长石棉水泥管(恰为一根管),实际度量圆管内直径平均值 $\bar{D}=201.0\text{mm}$,变幅 $198.5\sim 203.5\text{mm}$,标准差 $\sigma=0.136$,相对均方差 $\sigma/\bar{D}=0.68\%$,则管内圆面积相对均方差 $\sigma_{\omega}=1.35\%$ 。量水计节流板采用厚5.0mmPVC硬塑板加工制作,其锐缘尺寸见图1a。安装时,先在石棉水泥管预定装设节流板部位处锯割一条与硬塑板厚相等的缝隙,然后把节流板嵌入缝隙内,并用高强粘结剂固定。节流板位置应距进水端2.6m,即取上游直管段长度为 $13.0D$ 。进行不同截径比试验时,可按设计要求变更节流板嵌入缝隙内的位置。

本文于1988年10月19日收到。

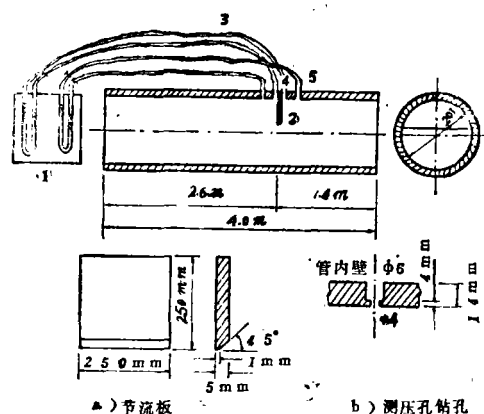


图1 圆缺孔板节流式量水计结构

1.测压管; 2.节流板; 3.引压管;
4.角接测压孔; 5.等径距测压孔

试验采用单独钻孔角接测压和等径距（距节流板上下游 $1.0D$ ）测压两种方式。测压孔偏角采用 20° 〔3〕。在量水计圆管（壁厚 14mm ）设置测压孔处，先用 $\phi 6$ 钻孔，深约 10mm ，再用 $\phi 4$ 钻通，然后将长约 50mm 、 $\phi 6$ 紫铜管插入钻孔内 10mm ，用高强粘结剂粘结牢固。这样既可保证测压孔径不大于 5mm ，同时又可保证量水计测压孔圆管内壁处光滑、平整而无毛刺，从而提高观测测压管水头的精确度（图1b）。

2 试验结果与分析

2.1 不同截径比 h/D 的流量系数 μ

经实测和统计分析，不同 h/D 的角接测压和等径距测压的 μ 及其相对应的最小界限雷诺数（ Re_{min} ）与最小量测流量（ Q_{min} ）均列于表1和图2中。

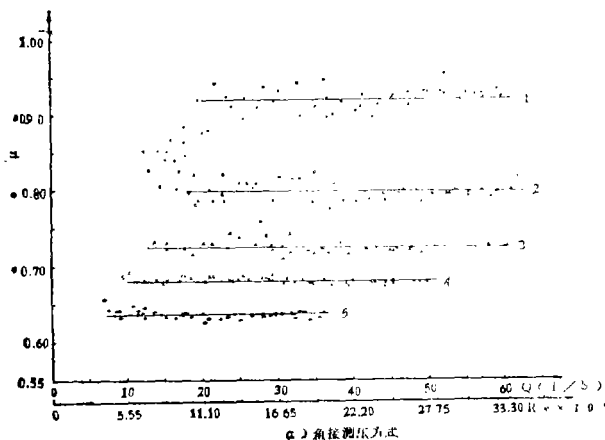
表1 不同 h/D 的 μ ， Re_{min} 和 Q_{min}

编 号	测压方式	$\frac{h}{D}$	可疑值剔除前				可疑值剔除后				Re_{min} ($\times 10^4$)	Q_{min} (L/S)
			n	$\bar{\mu}$	σ	$\frac{\sigma}{\bar{\mu}}$ (%)	n	$\bar{\mu}$	σ	$\frac{\sigma}{\bar{\mu}}$ (%)		
1	角 接	0.8	39	0.9216	0.0134	1.454	39	0.9216	0.0134	1.454	11.1	20
2		0.7	44	0.7986	0.0128	1.603	42	0.7989	0.0110	1.377	10.0	18
3		0.6	39	0.7248	0.0076	1.049	38	0.7243	0.0070	0.966	7.2	13
4		0.5	40	0.6813	0.0042	0.616	40	0.6813	0.0042	0.616	5.6	10
5		0.4	39	0.6382	0.0057	0.893	37	0.6372	0.0042	0.659	3.9	7
6	等 径 距	0.8	24	1.3057	0.0153	1.172	22	1.3059	0.0132	1.011	10.4	35
7		0.7	44	0.8620	0.0190	2.204	44	0.8620	0.0190	2.204	6.7	12
8		0.6	39	0.7461	0.0140	1.876	37	0.7457	0.0103	1.381	5.6	10
9		0.5	40	0.6841	0.0039	0.570	39	0.6843	0.0036	0.526	5.0	9
9		0.4	39	0.6311	0.0082	1.299	39	0.6311	0.0082	1.299	3.9	7

由表1和图2分析可知：

1) 所有试验数据经 t 检验（按机率95%， $t = 1.96$ ）和微机处理剔除不当值后， $\bar{\mu}$ 的 σ 最大为0.019，最小仅0.036，均 $< 2.0\%$ ； $\sigma/\bar{\mu}$ 最大 $< 2.3\%$ ，一般都 $< 1.5\%$ 。说明，实测的 $\bar{\mu}$ 相当稳定，剔除数据少，精度较高。

2) $\bar{\mu}$ 随 h/D 的增大而加快，且相邻两 h/D 的 $\bar{\mu}$ 也随 h/D 的增大，其间差异愈显著。如角接测压， $h/D = 0.5$ 与 $h/D = 0.6$ 间的



μ 值差为0.0430; $h/D=0.6$ 与 0.7间的 $\bar{\mu}$ 值差为0.0746; 0.7与 0.8间的 $\bar{\mu}$ 值差为0.1227。故实际应用时,需依不同 h/D 选用与其相对应的 $\bar{\mu}$,以提高量测流量的精度。

3) 不同 h/D , 等径距测压的 $\bar{\mu}$ 都比角接测压的 $\bar{\mu}$ 稍大,且随 h/D 的减小而相差渐小。但对同一 h/D , $\bar{\mu}$ 间差异甚微。如, $h/D=0.7$, 角接测压与等径距测压的 $\bar{\mu}$ 仅差0.0214; $h/D=0.5$ 时, 两者 $\bar{\mu}$ 值差为0.0030。说明, 测压孔位置对 $\bar{\mu}$ 有影响, 本试验因两种测压孔相距较近, 故同一 h/D 下的 $\bar{\mu}$ 相差甚小。

4) 据实测测压管压力线, 在等径距测压 $h/D=0.8$ 时, 设在节流板下游 $1.0D$ 的下游测压孔断面, 尚未处于流束完全收缩范围, 故所测量的压差值偏小, 使算得的 $\bar{\mu}>1$, 是合理的。但也说明, 当 $h/D\geq 0.8$ 时, 下游测压孔位置不妥, 应移至下游距节流板 $2.0D$ 左右处。

5) 本量水计实测的 Re_{min} 比文献^[3,4]中相应的 Re_{min} 小, 故量测的 Q_{min} 可更低, 测流范围更宽; 但在小流量下, h/D 愈大, 测压管内水面波动愈烈, 愈易造成较大的水压读数误差。因此, 对于小流量测量, 应选用较小的 h/D , 一般以采用 $h/D=0.5\sim 0.6$ 为宜。

6) 经统计分析和微机优选经验公式, 得出 h/D 与 $\bar{\mu}$ 的关系式为

$$\text{角接测压} \quad \bar{\mu} = 0.5374 \left(1 - \frac{h}{D}\right)^{-0.3328}, R = 0.9999 \quad (1)$$

$$\text{等径距测压} \quad \bar{\mu} = 0.5013 \left(1 - \frac{h}{D}\right)^{-0.4454}, R = 0.9975 \quad (2)$$

实测各 h/D 的 $\bar{\mu}$ 与式(1)和式(2)计算的 $\bar{\mu}$ 值间的比较见表2。由表2可看出, 角接测压, 两者 $\bar{\mu}$ 间的相对误差很小, 最大仅为0.65%; 等径距测压, 两者 $\bar{\mu}$ 最大相对误差也仅为0.82%。可以确定, 在 $h/D=0.4\sim 0.8$ 间, 用式(1)和式(2)计算的 $\bar{\mu}$ 可用于设计和实际量测流量时应用。

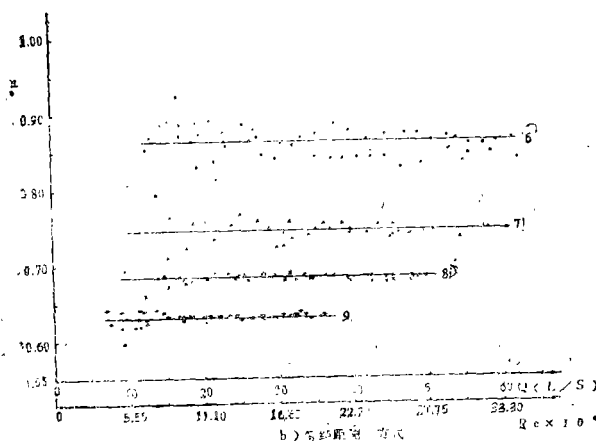


图2 各 h/D 的 $\mu \sim Q$ 和 $\mu \sim Re$ 关系

(图中绘线编号意义见表1)

表2 不同 h/D 实测的与计算的 $\bar{\mu}$ 值比较

测压方式	项 目	h/D				
		0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
角接	实测 $\bar{\mu}$	0.9216	0.7989	0.7243	0.6813	0.6372
	(1) 式计算的 $\bar{\mu}$	0.9182	0.8023	0.7290	0.6768	0.6370
	相对误差 (%)	0.37	0.42	0.65	0.65	0.03
等径距	实测 $\bar{\mu}$	1.3059	0.8620	0.7457	0.6843	0.6311
	(2) 式计算的 $\bar{\mu}$	—	0.8570	0.7539	0.6826	0.6294
	相对误差 (%)	—	0.58	0.82	0.25	0.27

2.2 不同截径比 h/D 的测流精度

测流精度取决于影响流量大小各组成部分的测流误差，通常可按下式计算

$$\sigma_Q = \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_w^2 + \left(\frac{1}{2} \sigma_{\Delta p}\right)^2} \quad (3)$$

式中： σ_Q ——测流误差。农田灌溉量水，一般要求 $\sigma_Q < 5.0\%$ ；

σ_u ——剔除可疑值后的 $\bar{\mu}$ 值相对均方差；

σ_w ——过流断面面积相对均方差；

$\sigma_{\Delta p}$ ——量测 ΔP 值的相对均方差，一般取 $\sigma_{\Delta p} = \pm 1.0\%$ 。

计算结果见表3，所有测流误差均 $< 3.0\%$ ，满足低压管灌量水精度（5.0%）的要求。

表3 不同截径比 h/D 的测流精度 σ_Q (%)

测压方式	h/D	σ_u (%)	σ_w (%)	$\sigma_{\Delta p}$ (%)	σ_Q (%)
角接	0.8	1.4540			2.002
	0.7	1.3769			1.946
	0.6	0.9665	1.3527	1.0	1.681
	0.5	0.6164			1.507
	0.4	0.6591			1.525
等径距	0.8	1.0108			1.707
	0.7	2.2042			2.956
	0.6	1.3813	1.3527	1.0	1.949
	0.5	0.5261			1.473
	0.4	1.2993			1.892

2.3 不同截径比 h/D 的 $\Delta P \sim Q$ 关系

圆缺孔板节流式量水计的基本流量公式为

$$Q = 3.478m\mu D^2 \sqrt{\Delta P}^{[3]} \quad (4)$$

式中: Q ——流量, m^3/S ; m ——截面比, 与截径比 h/D 有关^[1]; ΔP ——上、下游测压孔水压差, m 。

由表1剔除可疑值后各 h/D 的 $\bar{\mu}$ 值代入 (4) 式内所得出的 $\Delta P \sim Q\bar{\mu}$ 关系与用微机优选经验公式得出的 $\Delta P \sim Q_{\text{相关}}$ 关系 (见图3) 可知, 两者相对应吻合极佳, 最大相对误差, 角接为1.07%; 等径距为1.53%。说明, 各 h/D 的 $\Delta P \sim Q$ 关系曲线均具有足够高的精度, 可在低压管灌系统中设计该种量水计或使用它实际测量流量时查用。

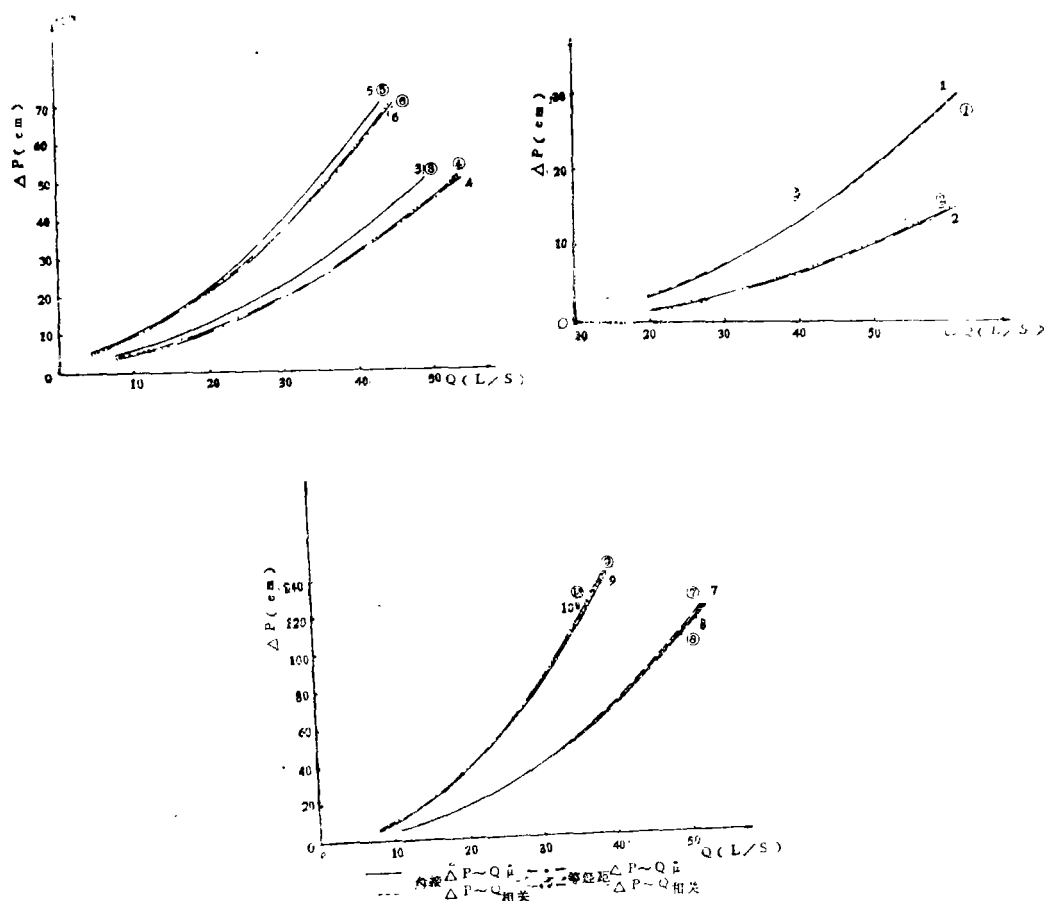


图3 不同 h/D 的 $\Delta p \sim Q$ 关系

2.4 不同截径比 h/D 的量水计水头损失 δ 。

通过对量水计测压管水头线的实测和分析可知, 测定水头损失的断面应选在: 上游 $\geq 2.0D$, 下游最小为 $6.0D$, 最好选在 $\geq (8.0 \sim 10.0)D$ 处为宜。本实验采用上游 $2.0D$ 、下游 $6.0D$ 或 $7.0D$ 实测 δ_F , 其将比实际的 δ_F 稍大, 但偏大甚微。从设计考虑, 对 δ_F 估算

表4 图3绘线意义

1 ①	$h/D=0.8$	角	$Q_{\overline{\mu}}=11.104 \triangle P^{0.5}$ $Q_{\text{相关}}=10.947 \triangle P^{0.505}$, $R=0.999$	2 ②	等	$Q_{\overline{\mu}}=15.792 \triangle P^{0.5}$ $Q_{\text{相关}}=16.134 \triangle P^{0.489}$, $R=0.997$
3 ③	$h/D=0.7$	接	$Q_{\overline{\mu}}=8.389 \triangle P^{0.5}$ $Q_{\text{相关}}=8.407 \triangle P^{0.449}$, $R=0.999$	4 ④	径	$Q_{\overline{\mu}}=9.057 \triangle P^{0.5}$ $Q_{\text{相关}}=9.289 \triangle P^{0.496}$, $R=0.999$
5 ⑤	$h/D=0.6$	测	$Q_{\overline{\mu}}=6.378 \triangle P^{0.5}$ $Q_{\text{相关}}=6.478 \triangle P^{0.498}$, $R=1.000$	6 ⑥	距	$Q_{\overline{\mu}}=6.565 \triangle P^{0.5}$ $Q_{\text{相关}}=6.637 \triangle P^{0.498}$, $R=1.000$
7 ⑦	$h/D=0.5$	压	$Q_{\overline{\mu}}=4.789 \triangle P^{0.5}$ $Q_{\text{相关}}=4.886 \triangle P^{0.494}$, $R=1.000$	8 ⑧	压	$Q_{\overline{\mu}}=4.806 \triangle P^{0.5}$ $Q_{\text{相关}}=4.807 \triangle P^{0.5}$, $R=1.000$
9 ⑨	$h/D=0.4$		$Q_{\overline{\mu}}=3.350 \triangle P^{0.5}$ $Q_{\text{相关}}=3.415 \triangle P^{0.495}$, $R=1.000$	10 ⑩		$Q_{\overline{\mu}}=3.313 \triangle P^{0.5}$ $Q_{\text{相关}}=3.284 \triangle P^{0.503}$, $R=1.000$

或取值稍大, 偏于安全, 是合理和允许的。

各 h/D 的 Q 及其相对应的 δ_P 试验数据均采用格拉布斯法 (置信度 $\alpha=2.5\%$) 和微机处理, 并优选经验公式, 结果见图4。由图4可知, 各 h/D 的 $\delta_P \sim Q$ 关系的相对误差随 h/D 减小而降低甚剧; 其中, $h/D=0.4 \sim 0.6$ 时, 经验公式计算的 δ_P 与实测的 δ_P 间误差很小, 最大相对误差 $<4.0\%$; $h/D=0.7 \sim 0.9$ 时, 最大相对误差 $<14.0\%$, 均可在量水计设计和实际量测流量中应用。对同一 Q , δ_P 随 h/D 的减小而急剧增大。故在设计量水计时, 应根据实际允许的 δ_P 和需量测的流量变幅选用适当的 h/D 。一般 h/D 愈小, 节流阻力愈大, δ_P 也递增愈快。若选用较大的 h/D , 虽节流阻力可减小, δ_P 增加平缓, 但测流精度将降低, 量水相对误差加大。因此, 在低压管灌系统中设计本量水计时, 以选用 $h/D=0.5 \sim 0.7$ 为宜。

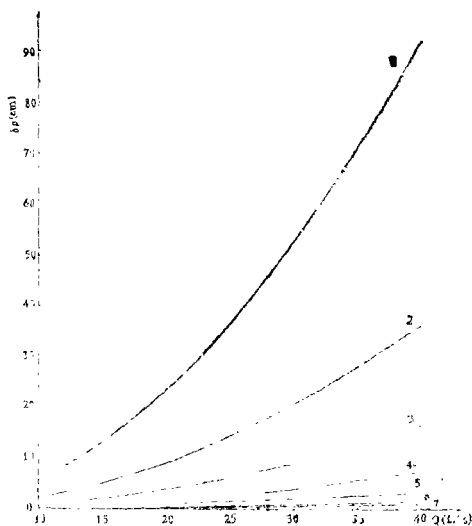


图4 不同 h/D 的 $\delta_P \sim Q$ 关系

表5 图4绘线意义

编号	h/D	$\delta_P \sim Q$ 关系	相关系数	最大相对误差 (%)	ξ
1	0.4	$\delta_P = 0.05750Q^{2.002}$	1.0	1.72	11.428
2	0.5	$\delta_P = 0.02162Q^{2.013}$	1.0	3.77	4.458
3	0.9	$\delta_P = 0.00727Q^{2.090}$	0.998	3.22	1.977
4	0.7	$\delta_P = 0.00377Q^{2.045}$	0.999	10.48	0.874
5	0.8	$\delta_P = 0.00245Q^{1.933}$	0.994	13.58	0.380
6	0.9	$\delta_P = 0.00089Q^{1.983}$	0.991	13.62	0.167
7	1.0	$\delta_P = 0.00211Q^{1.848}$	0.974	22.20	—

(无节流)

水力学中, 计算局部水头损失的通式为

$$\delta_P = \xi \frac{V^2}{2g} = \xi \left(\frac{Q}{\omega} \right)^2 \quad (5)$$

式中: δ_P ——局部水头损失, m;

ω ——过水断面面积, m^2 ;

ξ ——局部水头损失系数,

Q ——流量, m^3/S ;

V ——流速, m/S ;

g ——重力加速度, $g = 9.81\text{m}^2/\text{S}^2$ 。

由统计分析得出的局部水头损失系数平均值 ξ (图4) 可知, 各 h/D 的 ξ 为 0.1673~11.4281, ξ 随 h/D 减小而有规律地急剧增大, 其间关系经微机优选为

$$\bar{\xi} = 308.9631 e^{(-8.3791)(h/D)}, R = 0.9967 \quad (6)$$

各 h/D 实测的与用式 (6) 计算的 $\bar{\xi}$ 值的最大相对误差为 5.30%, 具有足够高的精度, 可用于设计。

3 设计应用与讨论

在低压管灌中, 设计本量水计时, 应依安设量水计的实际条件、管道流量变幅, 特别是需量测的 $Q_{\min}$ 和允许最大 δ_P 等因素, 选择适宜的 h/D , 即可按本文所改进的量水计结构, 确定各部分尺寸, 并应用本文所提供的成果资料。

例如, 某低压输水管道, $Q_{\min} = 15\text{L}/\text{S}$, $Q_{\max} = 40\text{L}/\text{S}$, 流量变幅为 2.67。该管道允许量水计在量测 $Q_{\max}$ 时, δ_P 不得 $> 30\text{cm}$ 。采用角接测压方式量测 ΔP 。于是, 根据表 1 和图 3 可知, 选定的 h/D 不得 > 0.6 , 但据图 4 可知, 选定的 h/D 不得 < 0.6 , 因此该量水计以选用 $h/D = 0.6$ 为宜。查表 1 知, $h/D = 0.6$ 时, $\bar{\mu} = 0.7243$; 并相对应用图 3 ③ $\Delta P \sim Q$ 曲线和图 4 ③ $\delta_P \sim Q$ 曲线。

通常, 圆缺孔板式量水计多采用单独钻孔角接测压; 因其结构简单, 量测误差小。如为配合使用农用分流水表, 则需采用等径距测压; 若等径距为 $1.0D$ 可应用本文结果; 若 $\neq 1.0D$, 则需另行标定流量系数及其它量水特性因素。

本量水计也可用于其它有压输水管道中测量流量。但若为中高压管道 (压力 > 20 千帕), 采用高强粘剂固定节流板和引压管嘴, 可能不可靠, 需验算和校核其强度及耐压能力。

王向明同学参加了试验, 朱凤书教授和贺正中高工给予极大支持和帮助, 应用了熊运章教授编制的 EDPS 程序谨致感谢!

参 考 文 献

- 1 林性粹. 水利水电技术, 1988 (4), 54—59
- 2 林性粹. 灌溉排水, 1988 (7), 42—48
- 3 上海工业自动化仪表研究所. 流量测量节流装置设计手册. 机械工业出版社, 1966
- 4 [日] 川田裕郎等人. 流量测量手册. 计展出版社, 1986
- 5 中国水利电力部农田水利司、江苏省水利厅. 灌区量水技术与设备, 1986

EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE BEHAVIOURS OF VARIOUS RATIOS OF SECTIONAL DIAMETERS OF ROUND ORIFICE PLATE THROTTLE WATER GAGE IN WATER MEASUREMENT

Lin Xincui

(Water Conserancy Department of Northwestern Agricultural University)

Abstract

The author of this paper carried out the experiments of the behaviours of various ratios of sectional diameters in water measurement by the means of making asbestos-cement pipes based on the achievement of transformation and improvement of PVC pipe test and the round orifice plate throttle water gage with the ratio of 0.5 sectional diameter. Research results indicated that the flow coefficients of various sectional diameter ratios and difference in water pressure in relation to flow were rather stable, and the relative errors were less than 2.0%. The accuracy of measured flow of various sectional diameter ratios were less than 3.0%. The errors of flow coefficients at angle joints and at iso-diameter distance are slight. The accuracy of flow measurement was close to. The former had the slight wider boundary for flow measurement, but water head loss was great.

Key words: round orifice plate, sectional diameter ratio, flow coefficient, flow measurement accuracy, water pressure difference, flow, water head loss