

光滑不锈钢圆型材紊流摩擦系数研究

叶盛英

(华南农业大学食品科学系, 广州, 510642)

摘要 在雷诺数(Re)为 $(1 \sim 12) \times 10^4$ 范围内, 对饮料厂的卫生配管系统所用的光滑不锈钢圆型材进行了紊流摩擦系数的测试。在此基础上, 分析了常用的6个经验公式计算值与实测值的误差, 并提出了该种管子紊流摩擦系数经验公式。结果表明, 舍维列夫式、全苏热工研究所式、布拉修斯式计算值与实测值基本一致, 本文的经验式、上述3式的计算值与实测值的剩余方差分别为 2.611×10^{-7} , 2.841×10^{-7} , 4.651×10^{-7} 及 5.069×10^{-7} 。

关键词 光滑不锈钢圆型材; 紊流摩擦系数

中图分类号 TS 272.3; TQ 022.125

饮料生产线需要安装许多与工艺物料、中间制品、添加剂及制成品直接接触的输送管道, 一般称为卫生配管。其费用占整个设备费和生产费用的较大比例。因生产费用主要是每年消耗在克服管路阻力的能量费用, 所以在设计卫生配管时, 除按工艺要求, 并从卫生的角度来考虑管路布置和管子材质外, 主要是依据管道本身的水头损失来选取管子尺寸, 以图减少设备投资和能耗。

由于饮料厂卫生配管一般多在中、低压(一般在 $0.2 \sim 0.6$ MPa)工作, 而且压力变化幅度不大, 故多采用薄壁不锈钢管。近年来, 广东省许多饮料厂在卫生配管上, 除个别部位由于工艺要求采用进口的无缝薄壁不锈钢管外, 大部份采用本省生产的不锈钢圆型材。它的原料是厚为1 mm左右的盘状不锈钢带料, 经不锈钢焊管生产线的成型、焊接、打磨、定径、切断以及内外壁抛光等工序而成。因壁薄, 一根6 m长的标准管只有10 kg左右, 这不仅减轻了管系的重量, 便于支撑定位, 而且节约了大量不锈钢材。另外, 这种薄壁管可通过涨接形式, 实现管道联接多样化(叶盛英, 1993)。

长期以来, 人们一直在探求光滑管道紊流阻力的规律性, 已获得不少计算公式。目前, 在设计饮料厂卫生配管时, 只能借用这些公式。但这些公式是否适用? 用来计算光滑不锈钢圆型材紊流摩擦系数精确度是多少? 尚无报道。

本文在对不锈钢圆型材进行水力试验研究基础上, 就前人光滑紊流阻力公式对不锈钢圆型材光滑紊流阻力的计算的适用性进行验证和分析比较, 并对试验数据进行回归处理, 得到光滑不锈钢圆型材紊流摩擦系数计算经验公式。为今后饮料生产线卫生配管的工程设计、设备选材等方面更经济合理提供一定的依据。

1 实验材料、装置及方法

1.1 实验材料

实验采用两种不同直径的不锈钢圆型材各两根, 管子尺寸及参数见表1。这些管子

1993-12-07 收稿

内表面的纵缝焊线均不存在焊渣及凸点。

表 1 实验管子尺寸及参数值

管号	管子规格		实测内径/mm	直线度/mm·m ⁻¹	管总长/mm	两测压点距离/mm
	公称直径/mm	壁厚/mm				
1#	25.4	1	23.5±0.1	<2	2 000	1 783
2#	38	1	36.5±0.2	<2	3 195	2 814

1.2 实验装置及方法

实验装置的流程如图 1 所示,水从水槽流入离心水泵,经阀门 B(阀门 A 关闭),文丘利流量计,及调节阀 C、D 返回水槽,测试 1# 管子时,旋开调节阀 C,关闭调节阀 D;测试 2# 管子时,旋开调节阀 D,关闭调节阀 C。

被测试管子的流量大小可通过调节阀 C、D 开启度得到,流量值大小由计量槽、计时器以及文丘利流量计求得。管道阻力损失用 π 型压差计测取,指示液为水-空气。水温用铜-康铜热电偶及电位计求得。

把压差计测出两截面的静压强差值代入达西-威斯巴赫(Darcy-Weisbush)式,就可求出这一条件下的摩擦系数(λ),然后改变流量(即改变雷诺数),测出其它 Re 值时的摩擦系数,就得到管子的 $\lambda \sim Re$ 关系。

考虑到当 Re 值到 1.2×10^5 时,被测试的管内流速已达 4 m/s,而工业输送液体在 3 m/s 以下(吴迪胜等,1988),故本试验 Re 值范围定为 $1 \times 10^4 \sim 12 \times 10^4$ 。

2 实验结果与分析

2.1 实验结果及经验公式建立

将 2 组不同直径的管子实验所测到摩擦系数与雷诺数标绘在 $\lg(100\lambda) \sim \lg(Re)$ 座标纸上,如图 2。这些点均落在模迪(L.F.Moody)图的光滑紊流线(由普朗特-卡门式计算绘出)以上。把偏离这条线最远的点代入柯列勃

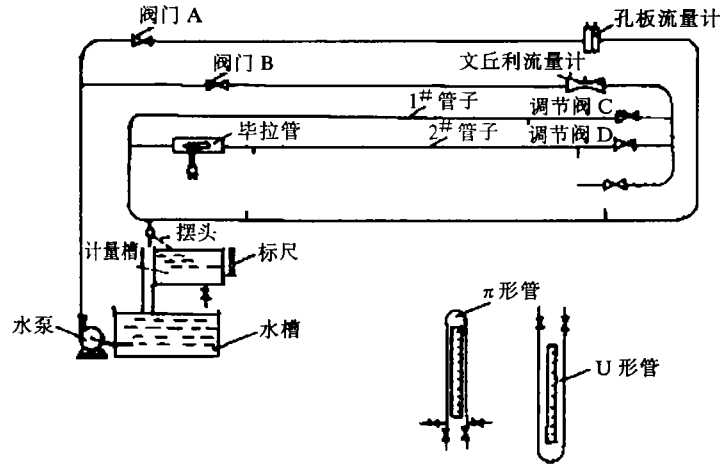


图 1 实验装置流程图

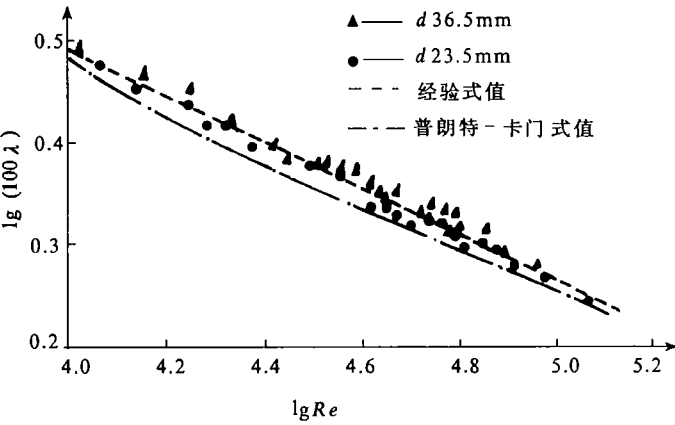


图 2 实验结果图

洛克式(C. F. Colebrook, 1939), 可得当量绝对粗糙度为 1.12×10^{-2} mm。说明这种不锈钢圆型材光滑程度与无缝的黄铜管、铅管基本相同。

由图 2 关系及实验数据, 进行一元线性回归, 得适合光滑不锈钢圆型材紊流摩擦系数计算经验公式即:

$$\lambda=0.2348Re^{-0.2206}$$

其相关系数 $r_{\text{计}}=0.9875$, 大于 $r_{0.01}=0.393$ 。即此回归方程有99%的把握在一定范围内是可靠的。 $F_{\text{计}}=39.254$, 大于 $F_{0.01}=7.31$ 。说明回归效果高度显著。

2.2 实测值与 7 个经验公式的比较

为了说明本文经验公式和前人光滑紊流摩擦系数计算公式对实测值的计算精确度, 对实测值与计算值进行剩余方差计算, 计算公式和方差计算结果见表 2。并把计算式描述曲线与实测点比较, 结果见图 3,4,5。可看出:

表 2 几个经验公式及方差计算结果⁽¹⁾

编号	作者	公式	剩余方差 $S=\sum(\lambda_i-\lambda)^2/(n-2)$
1	布拉修斯 (Blasius)	$\lambda=0.3164Re^{-\frac{1}{4}}$ (Colebrook, 1939)	5.069×10^{-7}
2	舍维列夫 (шевелев ф. А.)	$\lambda=0.25Re^{-0.226}$ (武汉水利电力学院, 1959)	2.841×10^{-7}
3	全苏热工研究所	$\lambda=1.01(\lg Re)^{-2.5}$ (乌根秋斯, 1953)	4.651×10^{-7}
4	麦克菲逊 (McPherson)	$\lambda=133.4C^{-1.85} \cdot Re^{-0.148} \cdot \nu^{-0.148}$ (日本土木学会, 1971)	2.034×10^{-6}
5	华士敦 (Weston)	$\lambda=0.0126+(0.01739-0.108D)/\sqrt{\nu}$ (日本土木学会, 1971)	1.760×10^{-5}
6	克纳柯夫	$\lambda=(1.8 \lg Re-1.5)^{-2}$ (王焕德, 1980)	1.020×10^{-6}
7	试验回归式	$\lambda=0.2348Re^{-0.2206}$	2.611×10^{-7}

(1) 表中: λ —摩擦系数计算值; Re —雷诺数; λ_i —实测值; ν —运动粘度 (m^2/s); D —管子内径 (m); n —实测值总数; ν —流体速度 (m/s); c —与管壁粗糙度有关系数 (光滑管为 150~160)

采用华士敦 (Weston) 公式的计算值比实测值都要大, 最大相对误差绝对值达 32%, 绝大多数点的相对误差在 15% 以上。采用麦克菲逊 (McPherson) 公式, 当 C 取 150 时, Re 值越小, 实测值与公式值误差就越大, 当 $Re=1.074 \times 10^4$ 时, 相对误差绝对值达到 13.5%; 而在 $Re=5 \times 10^4$ 时, 有几个实测点落在曲线里, 但大部分实测点在曲线之上。克纳柯夫公式计算值基本上小于实测值。

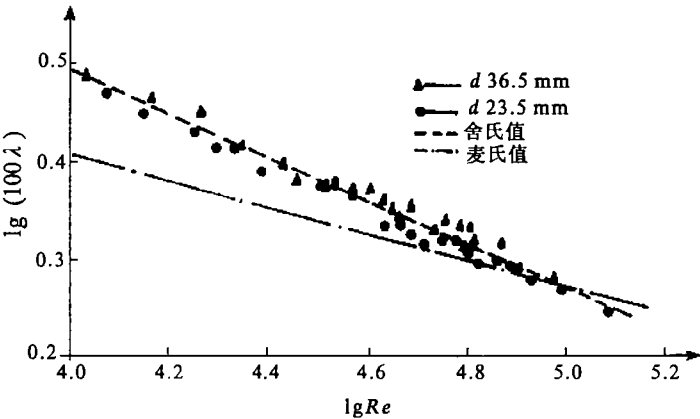


图 3 实测值与舍维列夫式、麦克菲逊式比较图

试验回归式、舍维列夫式、全苏热工研究所式及布拉修斯式的计算结果与实测值基本一

致。从剩余方差值可知,试验回归式计算精度最高,其次为舍氏式,再其次为全苏热工研究所式。

3 结论与讨论

3.1 不锈钢圆型材的内表面的当量绝对粗糙度小于 1.12×10^{-2} mm,其光滑程度与无缝的黄铜管、铅管基本相同。

3.2 通过对实测数据回归,得到适用于计算光滑不锈钢圆型材紊流摩擦系数的经验式,即 $\lambda = 0.2348Re^{-0.2206}$ 此式计算精确度最高,舍维列夫公式次之。

3.3 本研究结果可适用于饮料生产线卫生配管管道输送工程设计及设备制造选材。不锈钢圆型材管道输送非牛顿流体食品(如果浆、奶油等)的摩擦系数还有待于进一步研究。

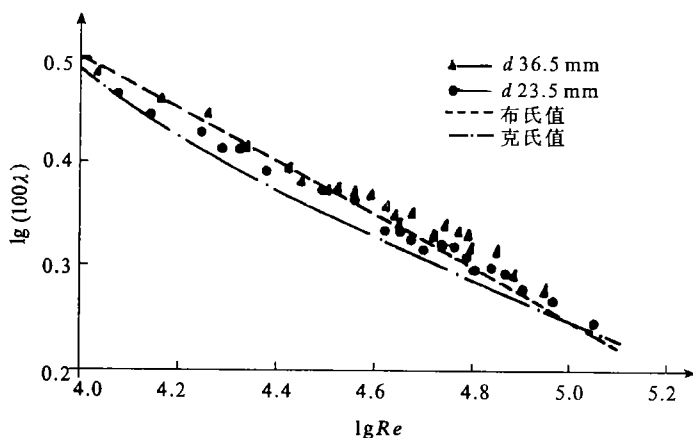


图4 实测值与布拉修斯式、克纳柯夫式比较图

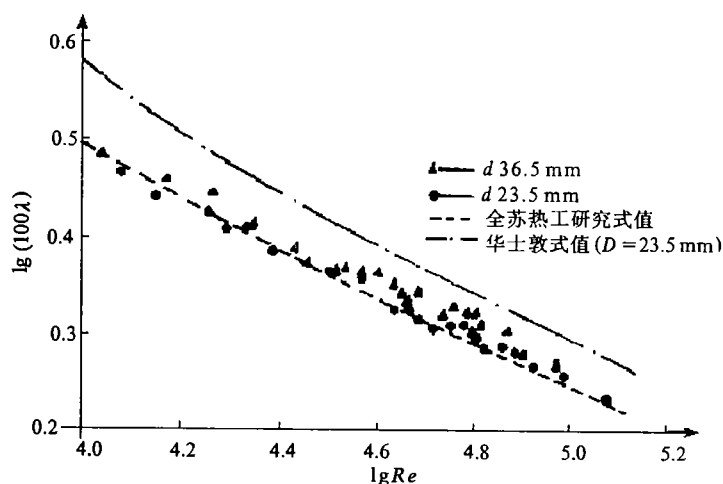


图5 实测值与全苏热工研究所式、华士敦式比较图

参考文献

- 王焕德. 1980. 流体力学和流体机械. 北京: 中国农业机械出版社, 104 ~ 105
- 日本土木学会. 1971. 水力公式集: 下集. 铁道部科学研究院水工水文研究室译. 北京: 人民铁道出版社, 15 ~ 21
- 叶盛英. 1993. 浅谈果(蔬)汁生产线卫生配管系统. 广东农机, (3): 18 ~ 22
- 吴迪胜, 蒋家俊, 皮耐安. 1988. 化工基础. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 21
- 乌根秋斯 A.A. 1953. 水力学和水力机械. 周鹏等译. 北京: 中国工业出版社, 177
- 武汉水利电力学院. 1959. 水力学. 北京: 水利电力出版社, 239 ~ 240
- Colebrook. C. F. 1939. Turbulent flow in pipes with particular reference to the transition between the smooth and rough pipe laws. J Inst Civ Eng Lond, 11:133 ~ 156

STUDY ON THE TURBULENT FLOW FRICTION FACTOR OF SMOOTH STAINLESS STEEL CIRCULAR-SHAPED TUBE

Ye Shengying

(Dept. of Food Sci., South China Agr. Univ., Guangzhou, 510642)

Absrtact

The turbulent flow friction factor of smooth stainless steel circular-shaped tubes used in the hygienic pipe system of a beverage factory was measured within the range of Reynolds Numbers 10 000 to 120 000. Based on these experiments, the error in the values of friction factor measured in the experiments vs. those of friction factor calculated from six formulas commonly used was analysed, and an empirical equation for the turbulent flow friction factor with this kind of tube was developed. The results showed that the data obtained from the experiments were basically identical with the values calculated from the formulas of Шевелев ϕ . A. . The All Soviet Union Research Institute of Thermodynamics, and Blasius. The mean square of residuals of the empirical equation in this paper and the three formulas mentioned above with the measured values were 2.611×10^{-7} , 2.841×10^{-7} , 4.651×10^{-7} , 5.069×10^{-7} , respectively.

Key words smooth stainless steel circular-shaped tube; turbulent flow friction factor