

第三章

过程装备控制技术的应用

过程检测技术

目 录

CONTENTS

■ 3.1

测量基本知识

■ 3.4

温度测量

■ 3.7

液位测量

■ 3.2

误差

■ 3.5

流量测量

■ 3.3

压力测量


■ 3.6

转速和转矩测量





■ 3.5 流量测量

- 一、概述
 - 二、孔板流量计
 - 三、转子流量计
 - 四、靶式流量计
 - 五、涡轮流量计
 - 六、电磁流量计
 - 七、超声波流量计
 - 八、椭圆齿轮流量计
- 

一. 概述

1. 流量的概念及单位

(1) 定义：

单位时间内，流过管道或设备某一截面的流体数量。

(2) 体积流量 Q ：

单位时间内，流过管道横截面的流体体积数。

$$Q = A \cdot W$$

式中：A---横截面积

W---流过该截面的平均流速



■ 3.5 流量测量

(3) 质量流量M:

单位时间内流过管道横截面的流体质量数。

$$M = A\rho W$$

式中: ρ ---流体密度

(4) 流体总量 (累积流量) :

某段时间内流过管道的流体总和。

流体总量单位: 吨 (t)、立方米 (m³)






■ 3.5 流量测量

2. 流量计分类：

(1) 速度式流量计：

以测量管道内流体的速度 W ，作为流量测量的依据。

速度式流量计有以下种类：

- 孔板流量计
 - 转子流量计
 - 靶式流量计
 - 涡轮式流量计
 - 电磁流量计
 - 超声波流量计
- 



■ 3.5 流量测量

(2) 容积式流量计

以测量单位时间内所排出的流体容积数量，作为流量依据。

椭圆齿轮流量计

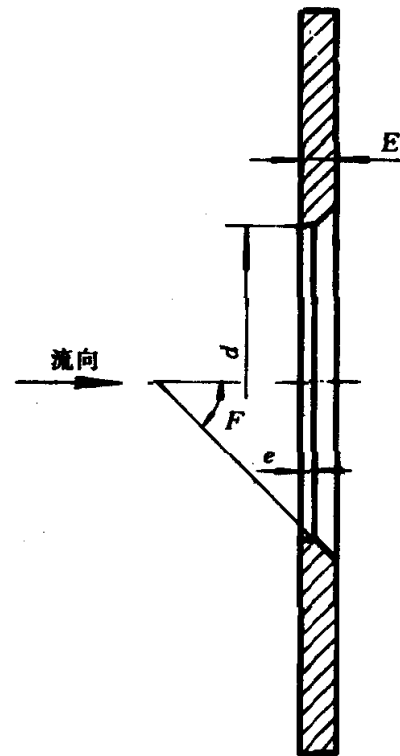


■ 3.5 流量测量

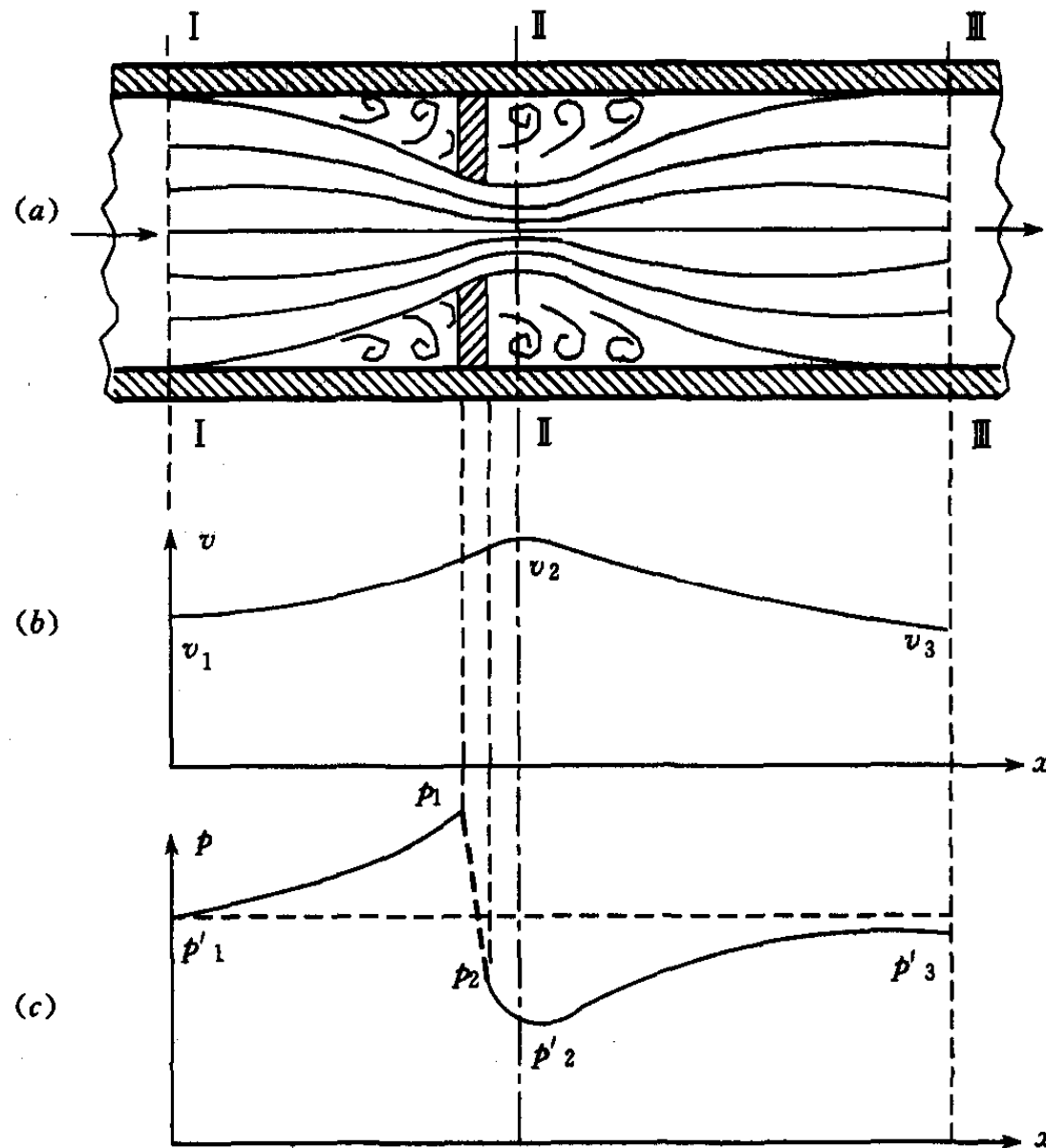
二. 孔板流量计

1. 测量原理：

以孔板作为节流元件，通过测量孔板两侧压差得到流量值。



■ 3.5 流量测量



设：

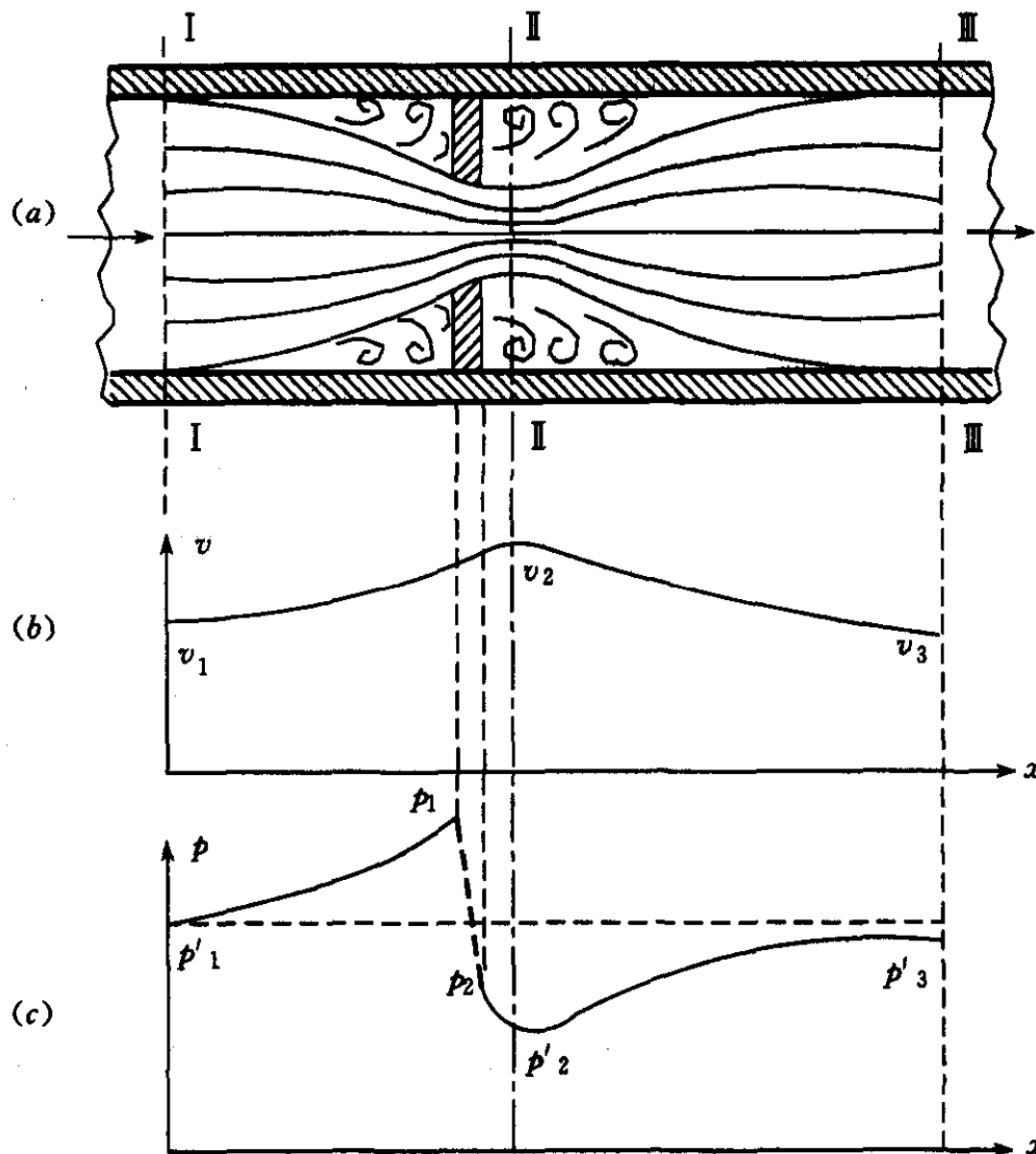
截面 I 流体静压力： p'_1

截面 II 流体静压力： p'_2

孔板前流体静压力： p_1

孔板后流体静压力： p_2

■ 3.5 流量测量



截面 I、II 处的压差：

$$\Delta p' = p'_1 - p'_2$$

孔板前后压差：

$$\Delta p = p_1 - p_2$$

由于截面 I、II 随流量变化，只能以 Δp 作为流量依据。

■ 3.5 流量测量

根据伯努利方程，对不可压缩的流体可导出压差与流量的关系：

$$Q = \alpha A_0 \sqrt{2/\rho \cdot (p_1 - p_2)}$$

$$M = Q\rho = \alpha A_0 \sqrt{2\rho \cdot (p_1 - p_2)}$$

ρ --- 流体密度

A_0 --- 孔板开孔面积

α --- 流量系数



■ 3.5 流量测量

α —由实验确定，标准孔板的 α 值可查表。

ρ —由实验确定，标准孔板的 ρ 值可查表。

不同节流装置的压力损失 δ_p :

孔板最大；

文丘里管最小；

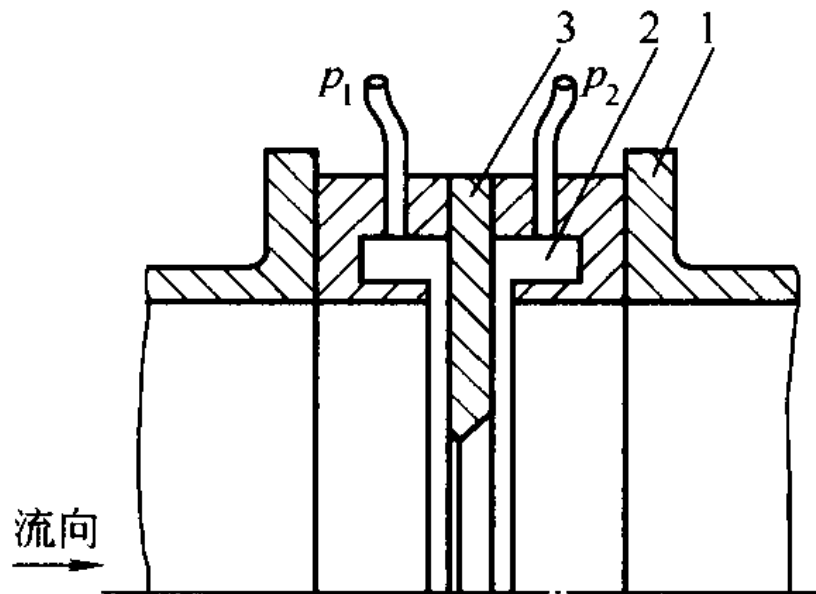
喷嘴居中。



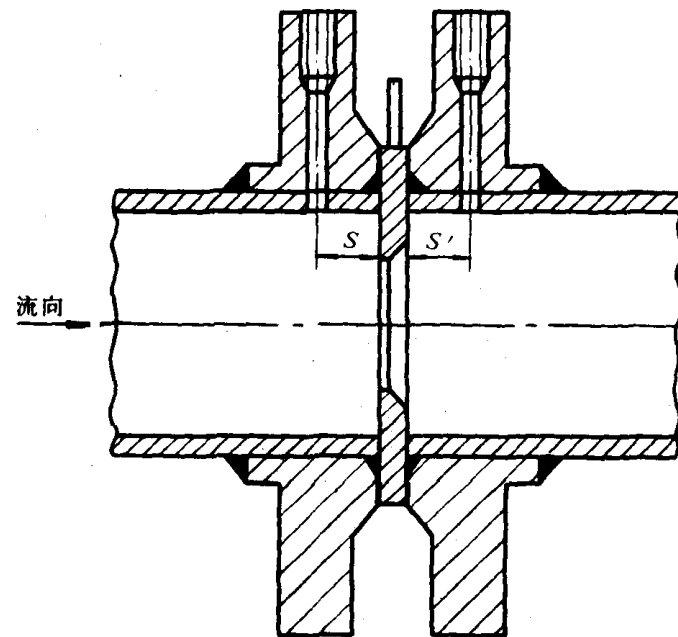
■ 3.5 流量测量

2. 取压方法:

(1) 环室取压法

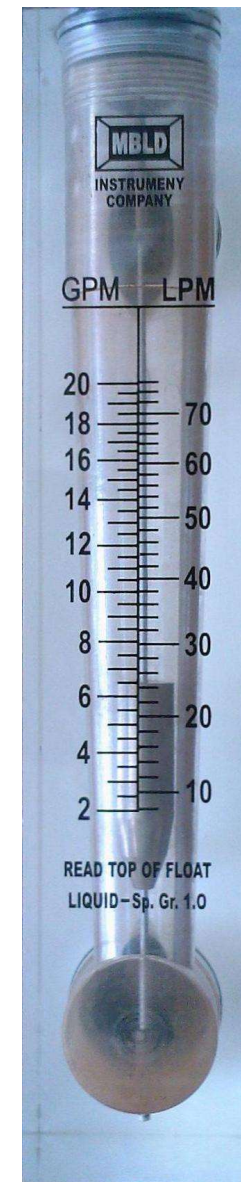
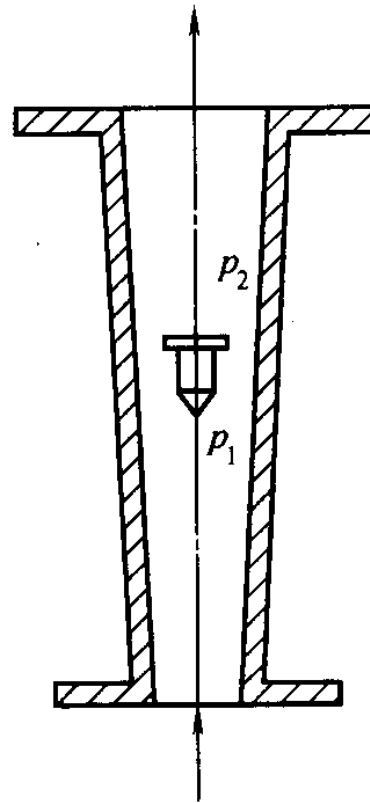


(2) 法兰取压法



■ 3.5 流量测量

三. 转子流量计



■ 3.5 流量测量

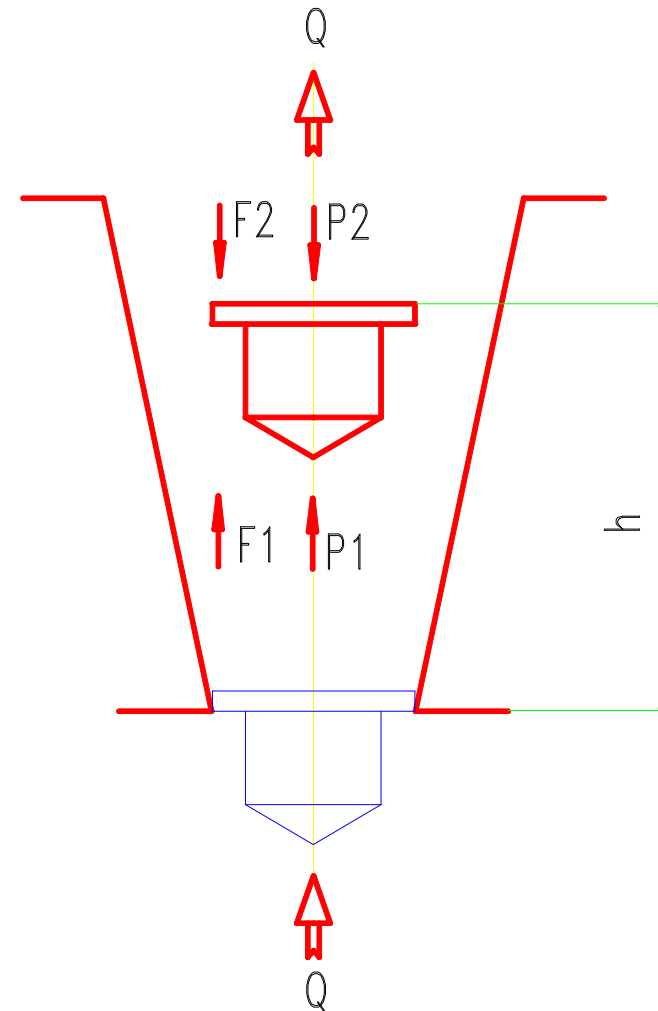
1. 测量原理:

转子的受力分析:

(1) 流体受到转子的节流作用，在转子的上下产生压差:

$$\Delta p = p_1 - p_2$$

F1--转子受到向上的推力



■ 3.5 流量测量

$$F_1 = (p_1 - p_2)A_n$$

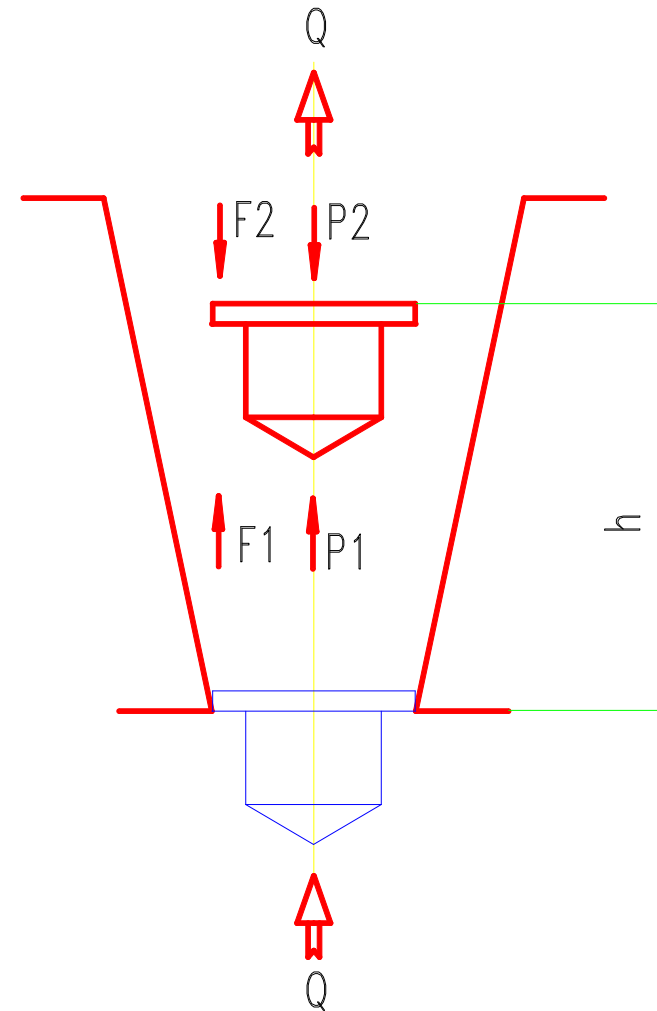
A_n — 转子的最大受力面积；

(2) 转子受自重和浮力的作用，产生向下的作用力 F_2 ：

$$F_2 = \rho_n g V_n - \rho g V_n = (\gamma_n - \gamma) V_n$$

γ_n, γ — 转子和流体的重度；

V_n — 转子的体积。



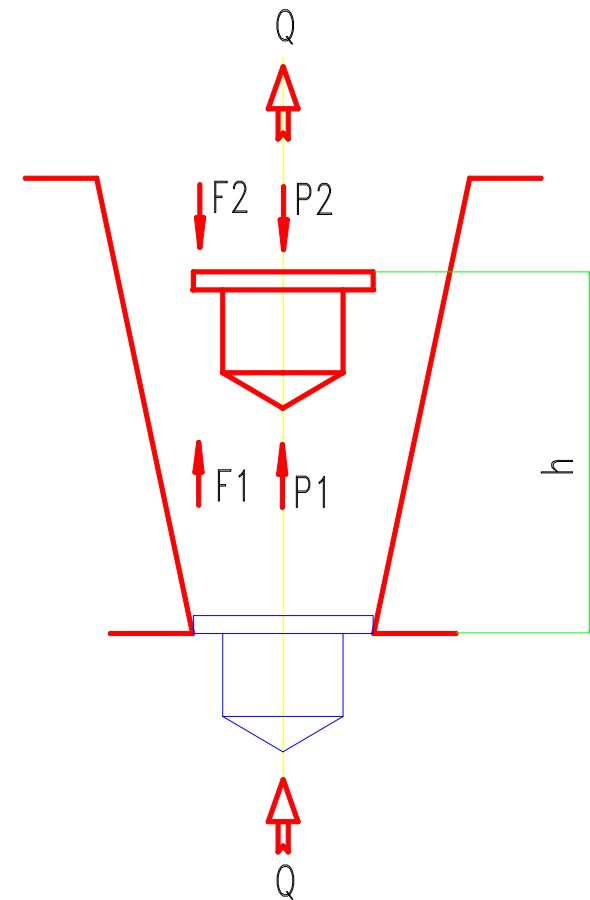
■ 3.5 流量测量

当F1和F2平衡时，转子静止在某一高度h，
 $F_1 = F_2$

$$F_1 = (p_1 - p_2)A_n \quad F_2 = (\gamma_n - \gamma)V_n$$

$$(p_1 - p_2)A_n = (\gamma_n - \gamma)V_n$$

$$p_1 - p_2 = \frac{V_n(\gamma_n - \gamma)}{A_n}$$



■ 3.5 流量测量

流体流过转子和锥形管的环隙时的压力损失为：

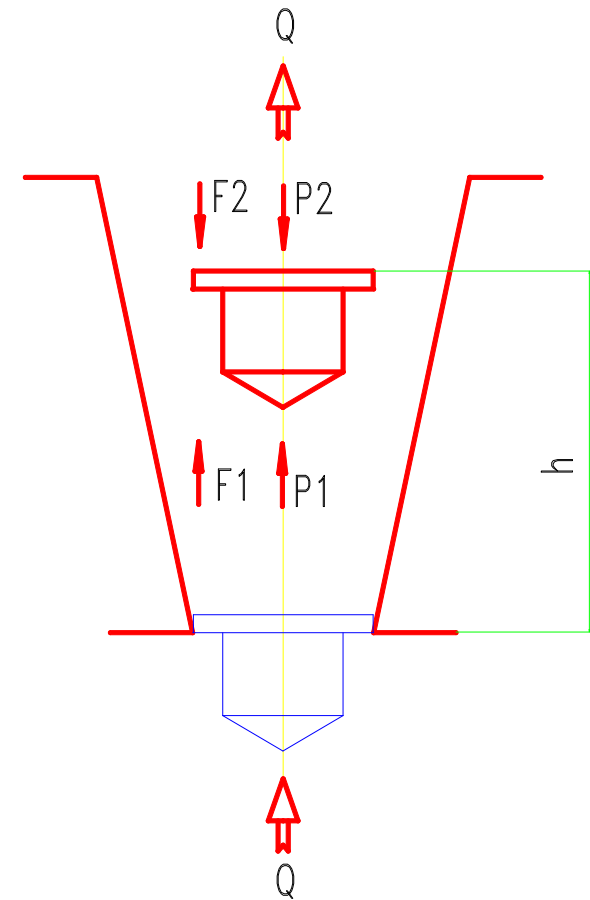
$$p_1 - p_2 = \xi \frac{W^2 \gamma}{2g}$$

式中：

ξ --- 阻力系数，与转子的形状，流体的粘度有关；

g --- 重力加速度；

W --- 流体流过环隙时的速度



■ 3.5 流量测量

由：

$$p_1 - p_2 = \xi \frac{W^2 \gamma}{2g}$$

$$p_1 - p_2 = \frac{V_n (\gamma_n - \gamma)}{A_n}$$

$$\xi \frac{W^2 \gamma}{2g} = \frac{V_n (\gamma_n - \gamma)}{A_n}$$

$$W = \sqrt{\frac{2gV_n(\gamma_n - \gamma)}{\xi\gamma A_n}}$$

■ 3.5 流量测量

$$W = \sqrt{\frac{2gV_n(\gamma_n - \gamma)}{\xi\gamma A_n}}$$

以 A_0 代表环隙面积,

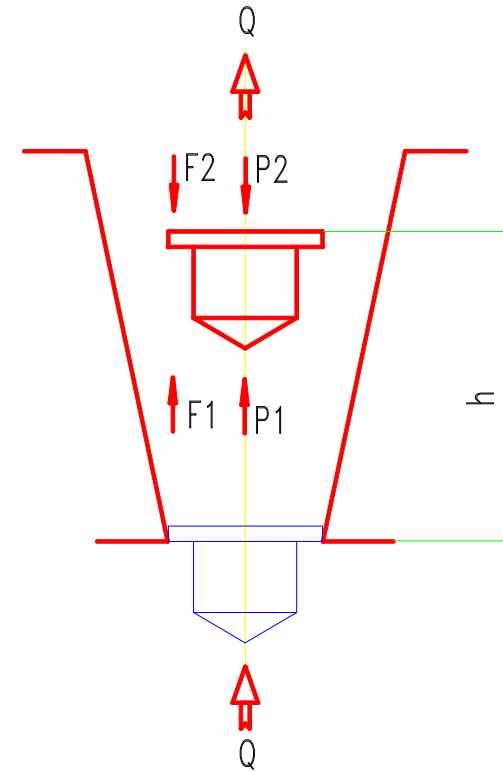
以 $\varphi = \sqrt{\frac{1}{\xi}}$ 作为修正系数,

体积流量基本方程式:

$$Q = WA_0 = \varphi A_0 \sqrt{\frac{2gV_n(\gamma_n - \gamma)}{\gamma \cdot A_n}}$$

质量流量基本方程式:

$$M = W\rho A_0 = \varphi A_0 \sqrt{\frac{2gV_n(\rho_n - \rho) \cdot \rho}{A_n}}$$



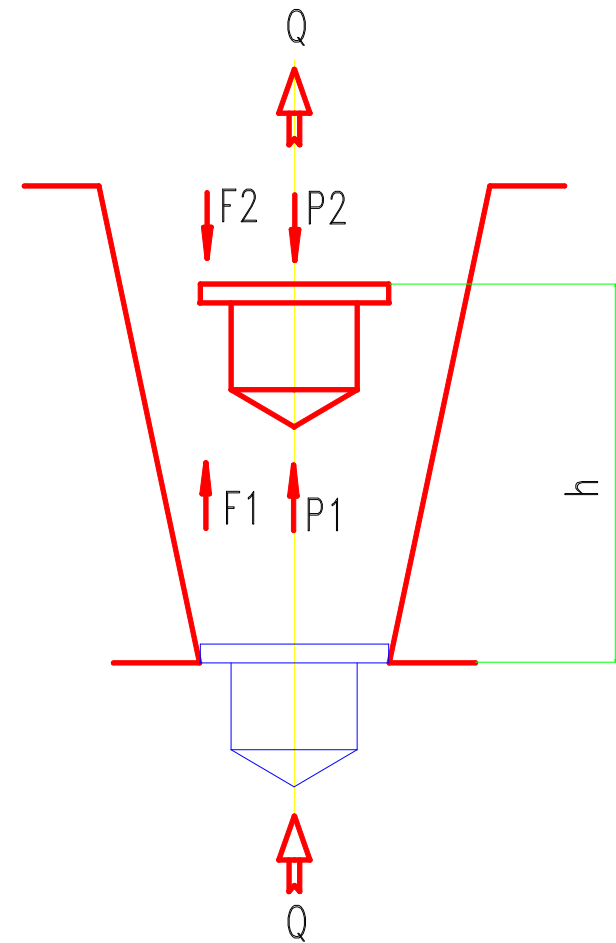
■ 3.5 流量测量

$$Q = WA_0 = \varphi \cdot A_0 \sqrt{\frac{2gV_n(\gamma_n - \gamma)}{\gamma \cdot A_n}}$$

φ --- 常数

流体流过转子流量计的流量只与转子和锥形管间的环隙面积 A_0 有关，
而 A_0 仅与转子高度有关。

$$Q \rightarrow A_0 \rightarrow h$$



2. 转子流量计的使用与换算

(1) 液体

$$Q_M = \sqrt{\frac{(\gamma_n - \gamma_M)}{(\gamma_n - \gamma_W)}} \cdot \frac{\gamma_W}{\gamma_M} \cdot \frac{\varphi_M}{\varphi_W} \cdot Q_W$$

式中：

Q_M , γ_M , φ_M --- 被测液体的体积流量，重度和修正系数

Q_W , γ_W , φ_W --- 以水刻度的体积流量，水重度和修正系数

■ 3.5 流量测量

(2) 气体：

$$Q_g = Q_a \sqrt{\frac{p_g T_a \gamma_a}{p_a T_g \gamma_g}}$$

式中：

Q_a p_a T_a γ_a ——出厂标定的基准状态流量值，绝对压力，绝对温度，空气重度。

Q_g p_g T_g, γ_g ---工作状态下的实际流量，绝对压力，绝对温度，气体基准状态的重度。



■ 3.5 流量测量

3. 孔板流量计与转子流量计的比较：

(1) 区别点：

孔板流量计：定节流截面、节流元件固定，以节流元件两侧压差来衡量流量的大小。

转子流量计：变节流截面、节流元件自由活动，压差固定，以节流元件移动的位移来衡量流量的大小。

(2) 共同点：

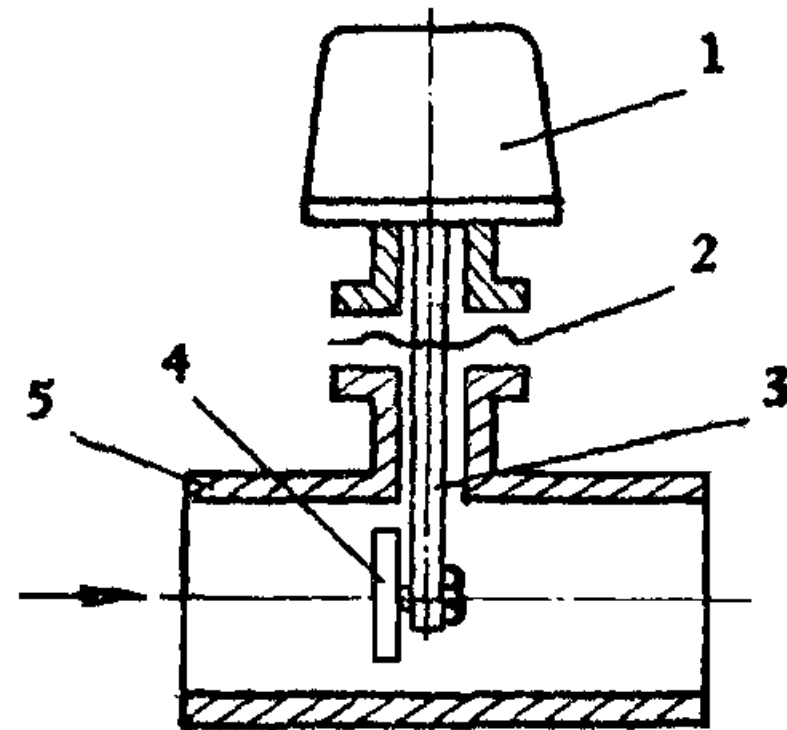
孔板流量计与转子流量计同属于节流原理测量流量。



四. 靶式流量计

1. 结构:

1-力平衡式差压变送器；2-密封膜片；3-杠杆；4-圆片形靶；5-管道。



2. 工作原理:

在流体通过时，靶子对流体有节流作用，靶子两侧的压差不同。

■ 3.5 流量测量

靶子对流体产生的压力损失：

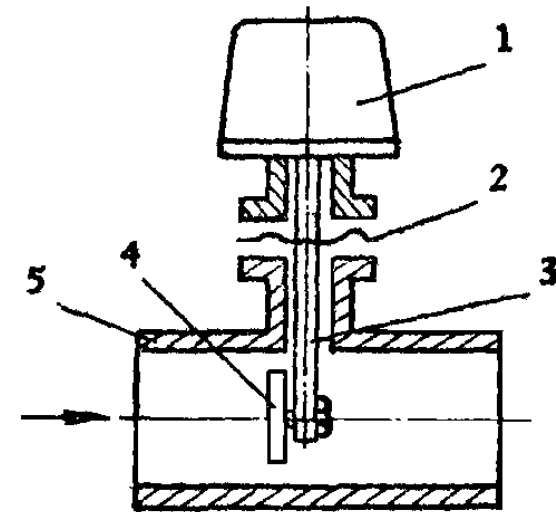
$$\Delta p = \xi \frac{\gamma W^2}{2g}$$

式中：

ξ --- 流体流动阻力系数

W --- 流体流过环隙的流速

γ --- 流体重度



■ 3.5 流量测量

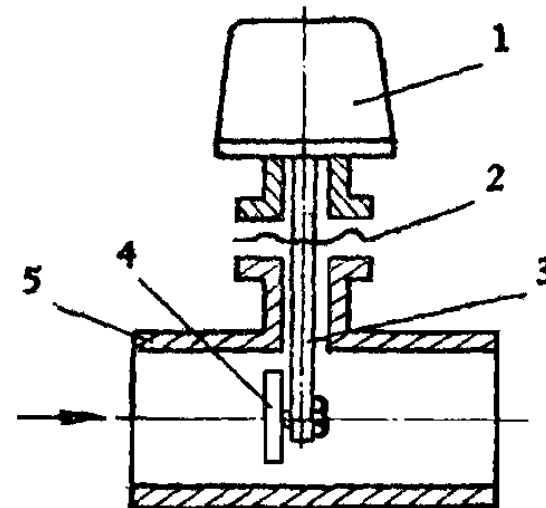
$$\Delta p = \xi \frac{\gamma W^2}{2g}$$

靶子的受力：

$$F = \Delta p A = \Delta p \frac{\pi}{4} d^2 = \xi \frac{\gamma W^2}{2g} \frac{\pi}{4} d^2$$

式中：d，A—靶的直径和面积

$$W = \sqrt{\frac{8 F g}{\xi \gamma \pi d^2}}$$



■ 3.5 流量测量

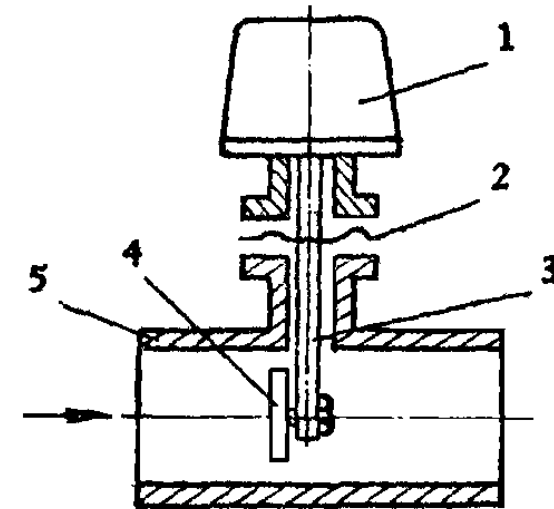
$$Q = WS = W \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

式中：S——环隙面积
D——管道内径

令：

$$K = \sqrt{\frac{\pi}{2\xi}}$$
$$Q = K \left(\frac{D^2 - d^2}{d} \right) \sqrt{\frac{Fg}{\gamma}}$$


$$W = \sqrt{\frac{8 Fg}{\xi \gamma \pi d^2}}$$



当K与流量计结构一定时，流量仅与靶子受力的平方根成正比。

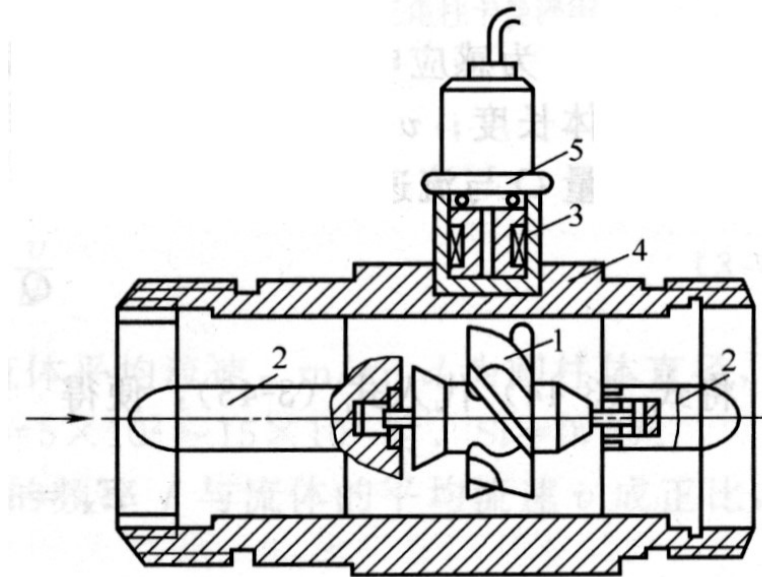
$$Q \rightarrow F$$

3. 特点:

- (1) K值受 Re 影响小, Re 较大时, K值比较稳定, 适合较大流量工作环境。
 - (2) 管道不易堵塞。
 - (3) 适用于介质含颗粒、易于结晶和粘稠度较大的流体。
- 

五. 涡轮流量计

1. 结构:



- (1) 涡轮 (2) 导流器 (3) 磁电式传感器
(4) 外壳 (5) 前置放大器

■ 3.5 流量测量

2. 工作原理:

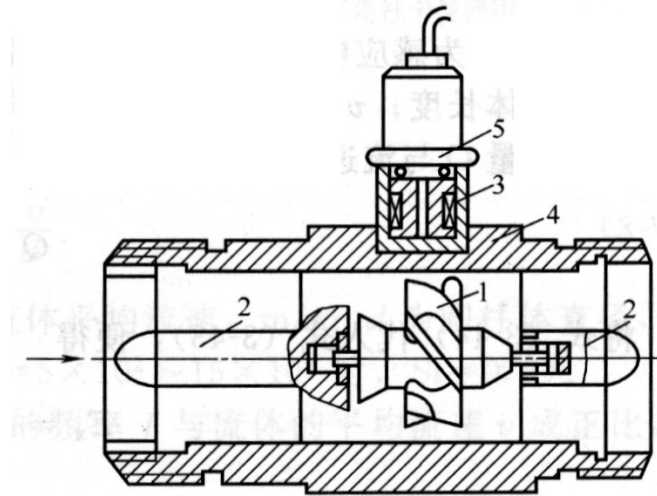
$$Q = \frac{f}{\xi} \quad [\text{L/s}]$$

式中:

Q ——流体的体积流量 [L/s];

f ——脉冲信号的频率 [Hz];

ξ ——仪表常数 [次/升]



$$Q \rightarrow n \rightarrow f$$




■ 3.5 流量测量

3. 安装使用：

- (1) 流量计上游应有15D长度的直管段；
- (2) 流量计下游应有5D长度的直管段。

4. 特点：

- (1) 精度高：0.5%；
 - (2) 压力损失小；
 - (3) 耐高压（6.0MPa）；体积小，
 - (4) 输出频率信号。
 - (5) 成本高。
- 

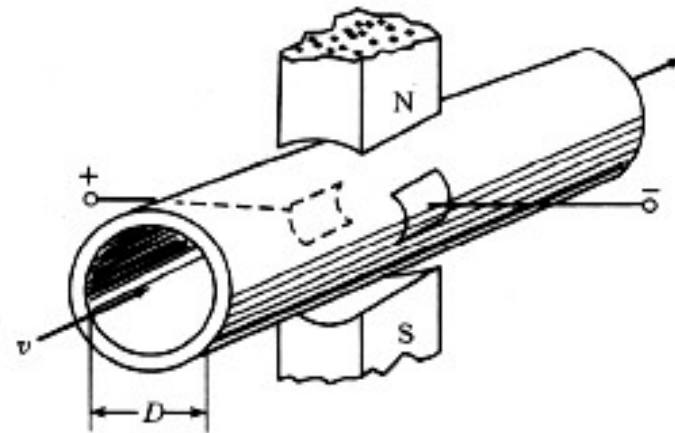
六. 电磁流量计

1. 法拉第电磁感应定律

导体在磁场中作切割磁力线的运动，会产生感应电动势。其大小与磁感应强度B、导体在磁场中的长度L和导体的运动速度成正比。

$$E = kBLW$$

式中：E——感应电动势；
B——磁感应强度；
L——导体在磁场中的长度；
W——导体的运动速度。



■ 3.5 流量测量

2. 电磁流量计结构及工作原理：

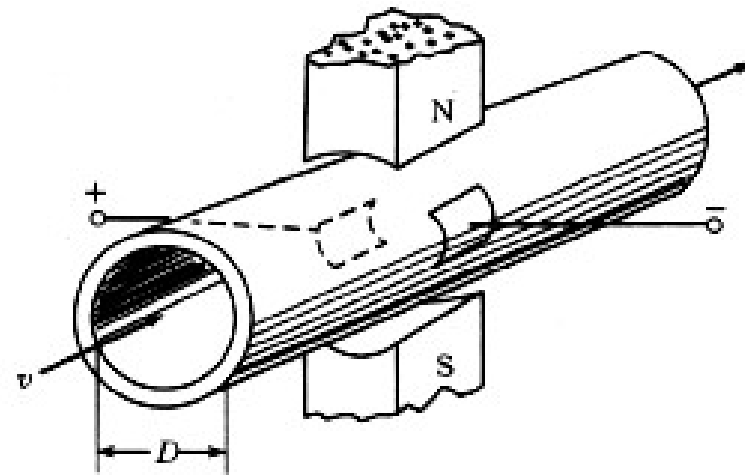
设：管道内径：D，

管道截面积： $\frac{\pi}{4}D^2$

$$Q = \frac{1}{4} \pi D^2 W$$



$$W = \frac{4}{\pi D^2} Q$$



■ 3.5 流量测量

$$W = \frac{4}{\pi D^2} Q$$

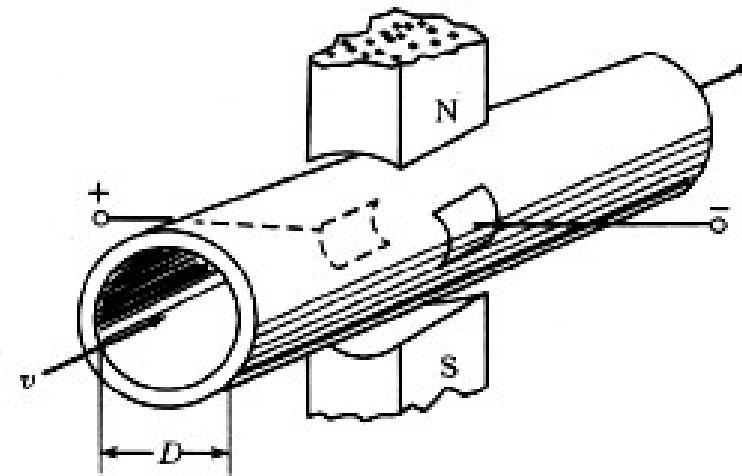
又: $E = kBLW$

在电磁流量计中L为管道直径

$$E = kBD \frac{4}{\pi D^2} Q$$

$$Q = \frac{\pi D}{4 kB} E$$

k——仪表的比例系数，B、D为常数，
感应电动势E与流量Q成正比。



$$Q \rightarrow E$$

■ 3.5 流量测量

LF410夹入连接式	LF430法兰连接式	LF490卫生型	F502非满管式
			
15,25,40,50,80,100,150,200(1/2",1",1-1/2",2",3",4",6",8")	15,25,40,50,80,100,150,200,250,300,350,400(1/2"to 16")	25,40,50,80,100(1",1-1/2",2",3",4")	150,200,250,300,350,400,500,600(6",8",10",12",14",16",20",24")

适用范围：流体应具有导电性，电导率必须大于 10^{-3}S/m ，蒸馏水和各种油类均不适用。

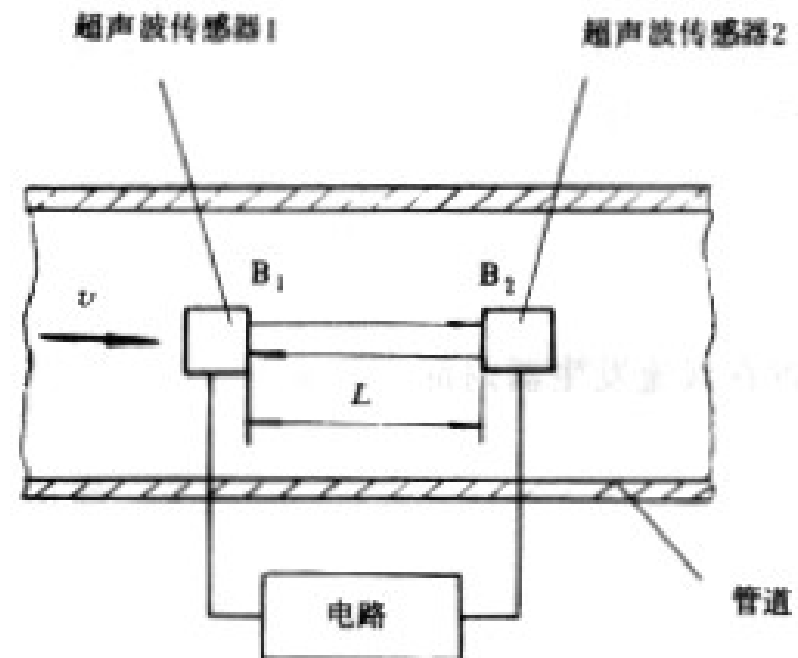
七. 超声波流量计

1. 工作原理： 超声波在流体中传输时，在静止流体中和流动流体中的传输速度不同；在流动流体中，顺流的传输速度和逆流的传输速度也不同。利用此特点能求出流体的速度。

设置两个传感器，每个传感器都能发射和接收。

顺流传输时间 t_1 ；

逆流传输时间 t_2



■ 3.5 流量测量

顺流传输时间 t_1 :

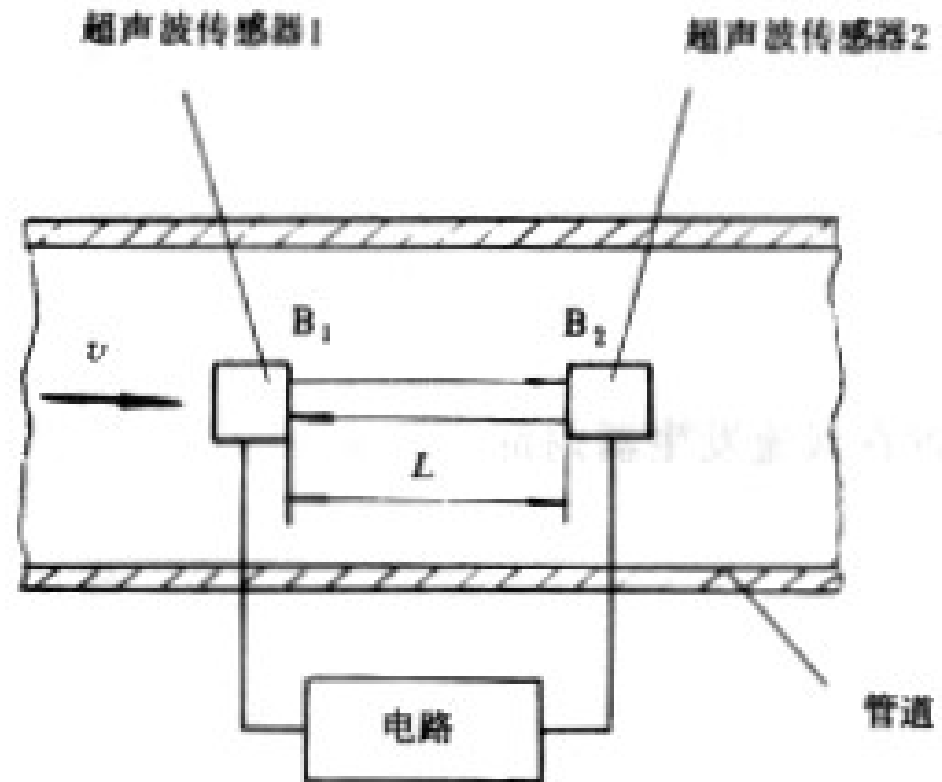
$$t_1 = \frac{L}{C + W}$$

逆流传输时间 t_2 :

$$t_2 = \frac{L}{C - W}$$

C — 流体静止时，超声波传输速度；

W — 流体的流动速度。



■ 3.5 流量测量

超声波在流体中顺流和逆流的时间差为：

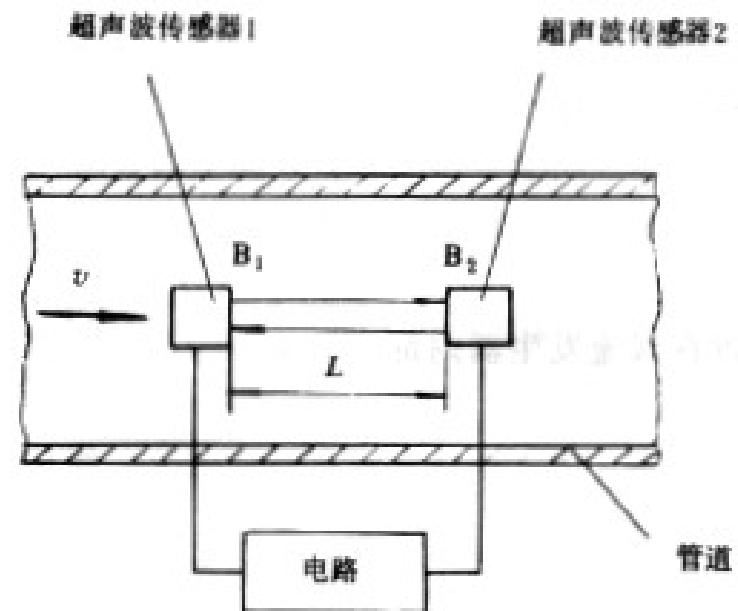
$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2LW}{C^2 - W^2}$$

由于流体的流速远小于超声波的速度，略去分母中W平方项：

$$\Delta t \approx \frac{2LW}{C^2}$$

所以：

$$W = \frac{C^2}{2L} \Delta t$$



■ 3.5 流量测量

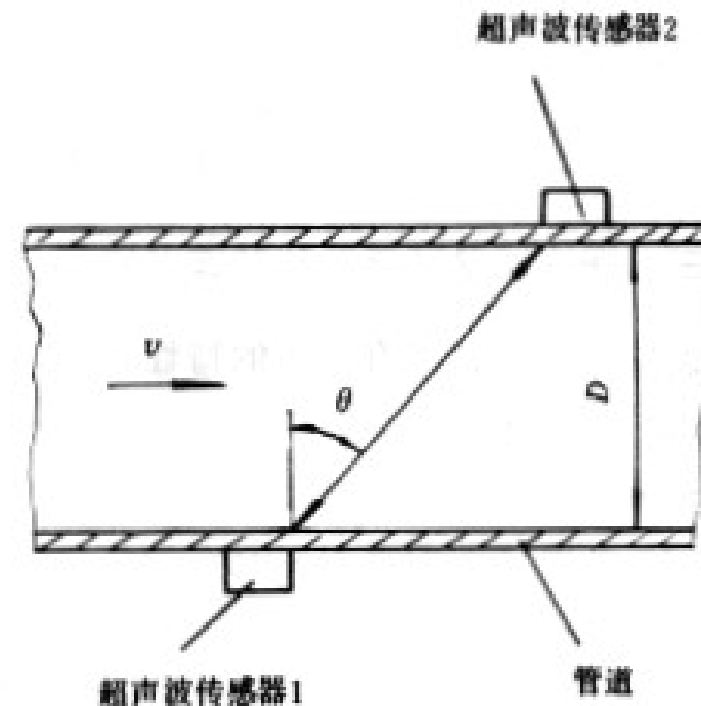
超声波流量计的结构：

传感器安装在管道外，以免影响流体流动。

$$t_1 = \frac{D / \cos \theta}{C + W \sin \theta} \quad t_2 = \frac{D / \cos \theta}{C - W \sin \theta}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 \approx \frac{2LW}{C^2}$$

$$W = \frac{C^2 \cdot \cos \theta}{2D \sin \theta} \cdot \Delta t$$






■ 3.5 流量测量

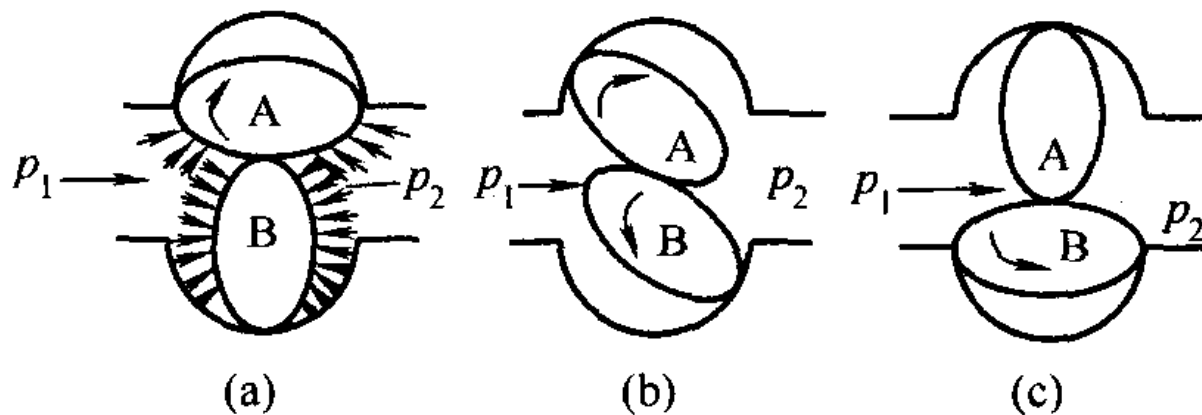
$$W = \frac{C^2 \cdot \cos \theta}{2 D \sin \theta} \cdot \Delta t$$

$$Q = W \cdot A = \frac{\pi D C^2 \cdot \cos \theta}{8 \sin \theta} \Delta t$$

$$Q \rightarrow \Delta t$$


八. 椭圆齿轮流量计

椭圆齿轮流量计是由计量箱和装在计量箱内的一对椭圆齿轮，与上下盖板构成一个密封的初月形空腔作为一次排量的计算单位。



$$Q \rightarrow n$$

■ 3.5 流量测量





本章结束

