

《仪器系统设计》第十二讲

涡街流量计

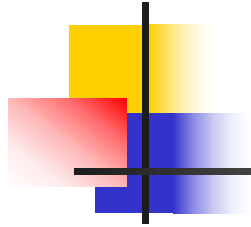


仪器科学与工程系专业必修课

主讲： 宋开臣 教授

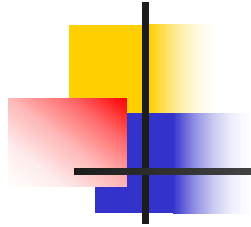
kcsong@zju.edu.cn

13600513662



涡街流量计讲座内容

- 一. 涡街流量计工作原理
- 二. 涡街信号的检测方法
- 三. 信号处理及电路设计
- 四. 气体质量流量检测



一. 涡街流量计工作原理

- 1、流量计简介
- 2、卡曼涡街现象
- 3、漩涡发生体
- 4、涡街流量计的组成

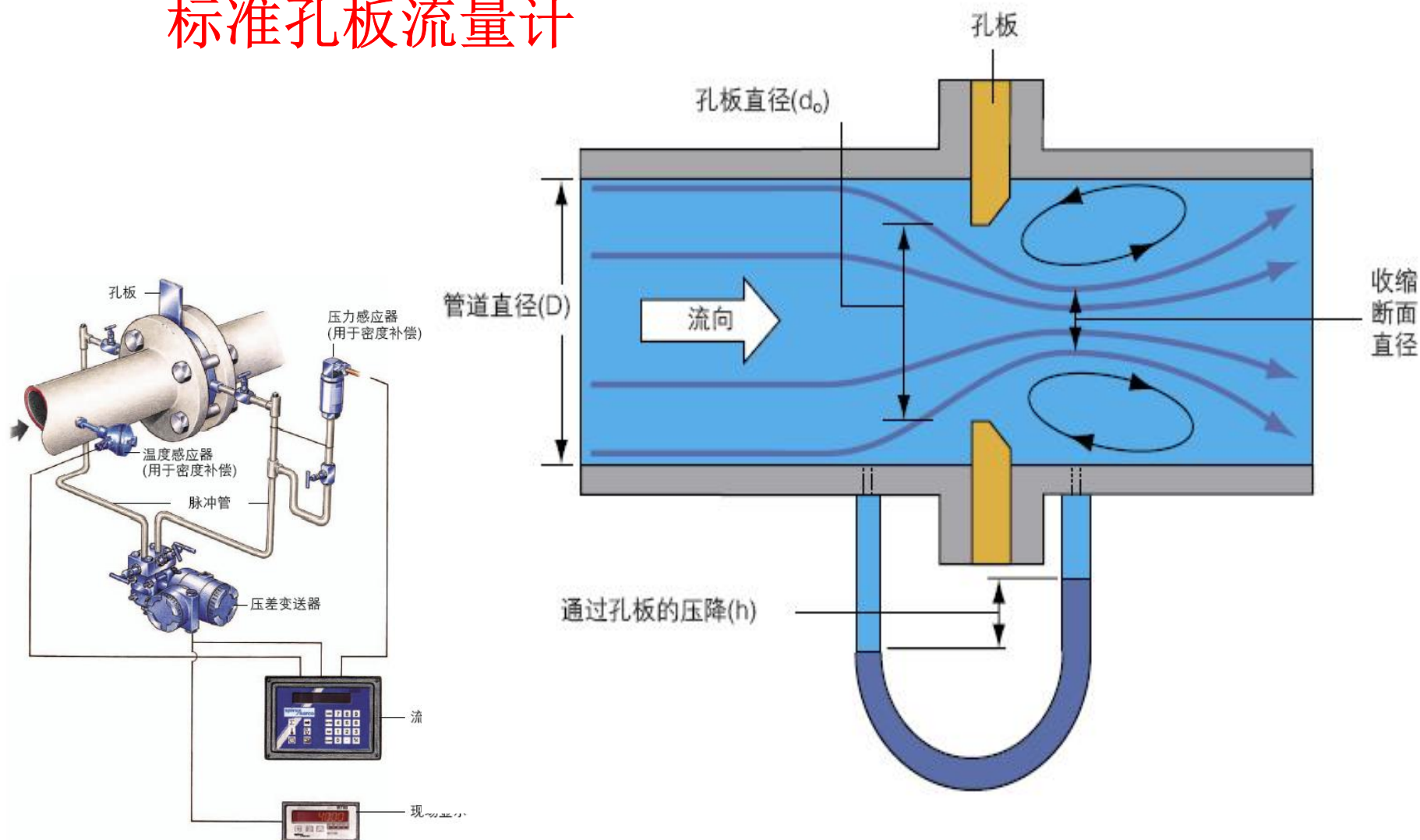


1、流量计简介

- **流量**是指单位时间内流经封闭管道或明渠有效截面的流体量，又称**瞬时流量**。当流体量以体积表示时称为**体积流量**，单位是 m^3/s ；当流体量以质量表示时称为**质量流量**，单位是 kg/s 。
- 流过通道内流体的总量称为**累计流量**，常用**体积累计流量** m^3 和**质量累计流量** kg 。
- 进行流量测量的仪表统称为**流量计**。流体是多样化的，如气体、液体、混合流体；还有流体的温度、压力、流量均有较大的差异，再者测量准确度要求也各不相同。因此，导致了流量计的多样性，流量计量也是最复杂的一种。

1、流量计简介

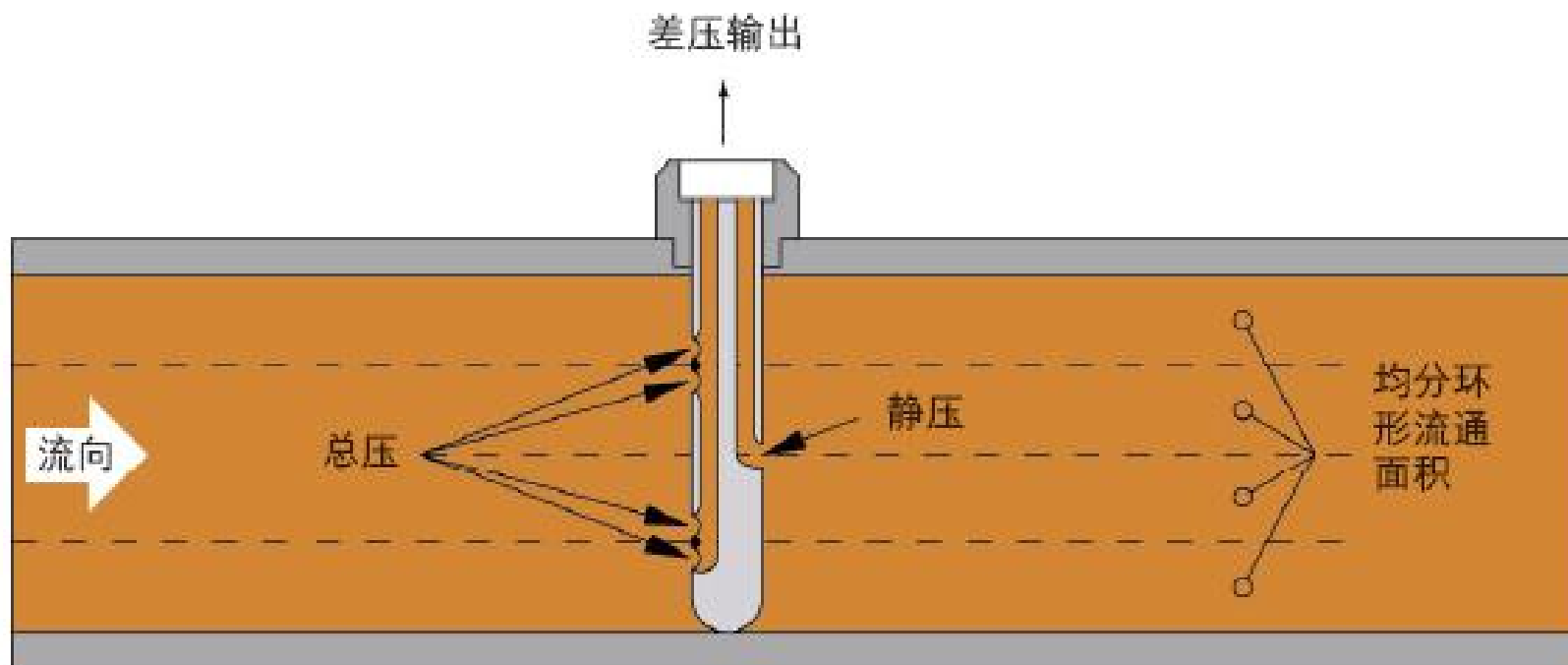
标准孔板流量计



1、流量计简介

均速管流量计

（国外称Annubar、Torbar、Probar、verabar等）



1、流量计简介

V型锥流量计(塔型流量计)

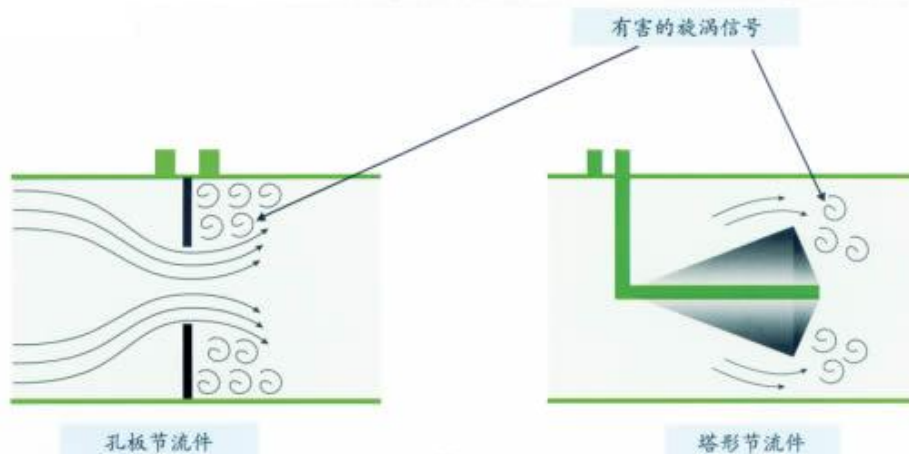
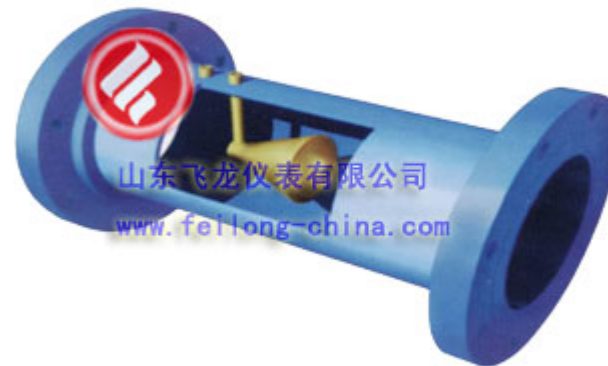
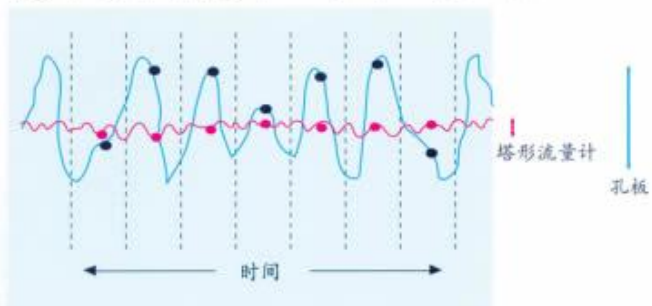


图4

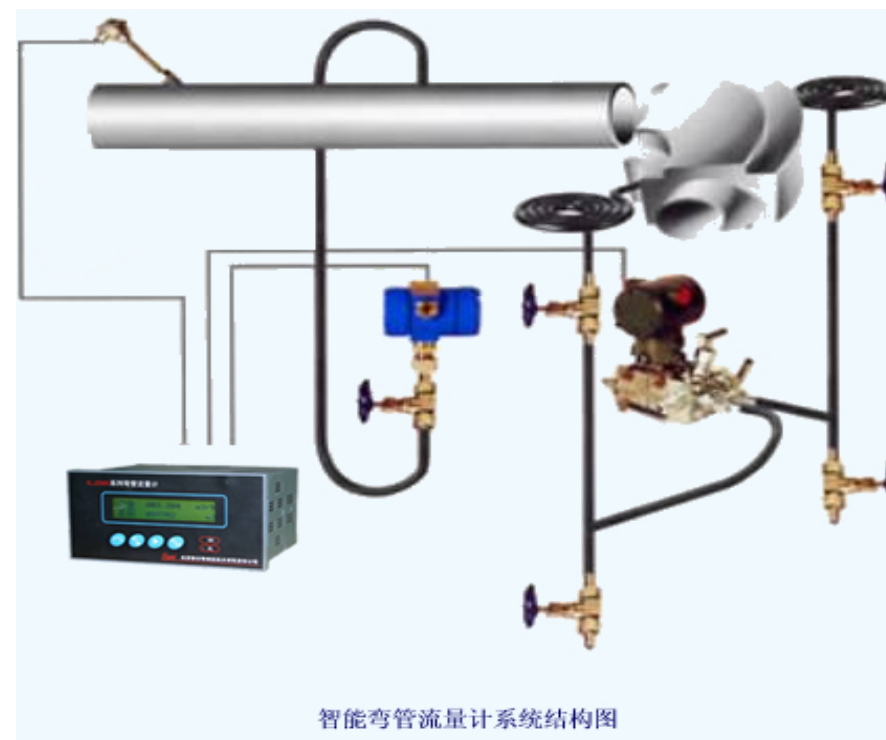
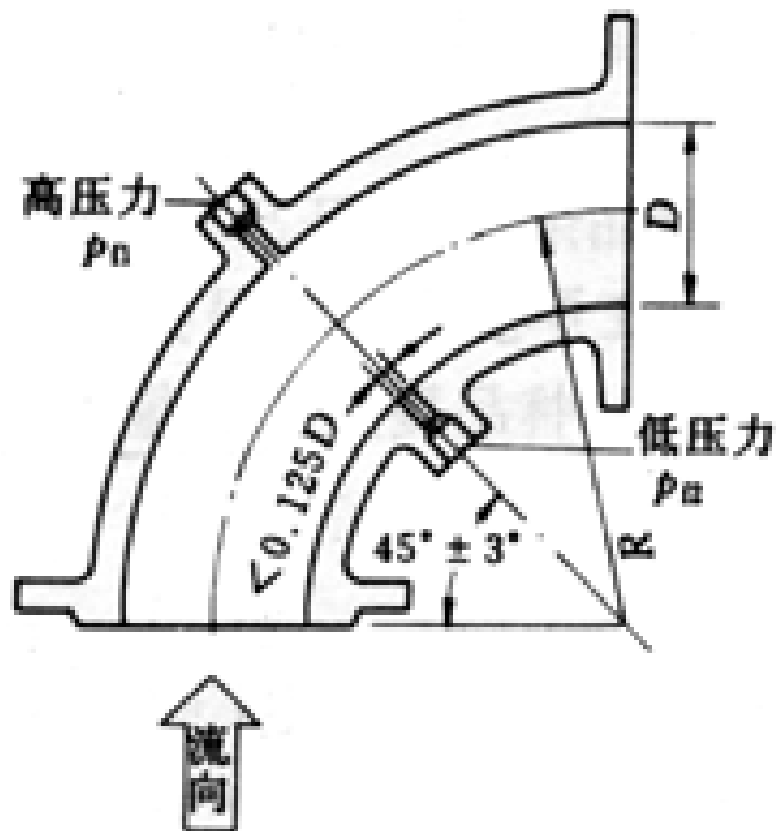
塔形 (V形锥) 流量计 ● 与孔板 ● 噪声比较



山东飞龙仪表有限公司
www.fellong-china.com

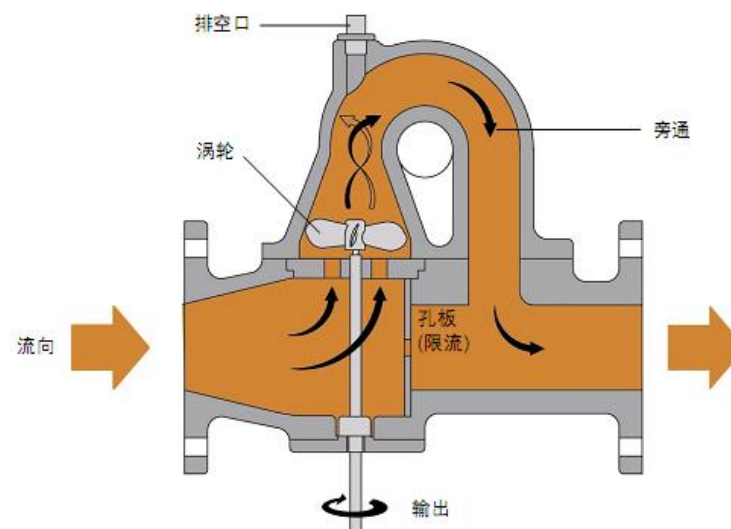
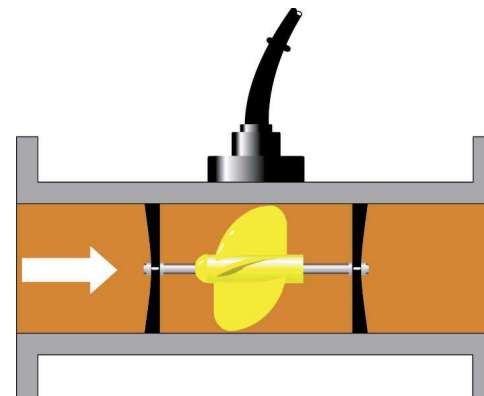
1、流量计简介

弯管流量计



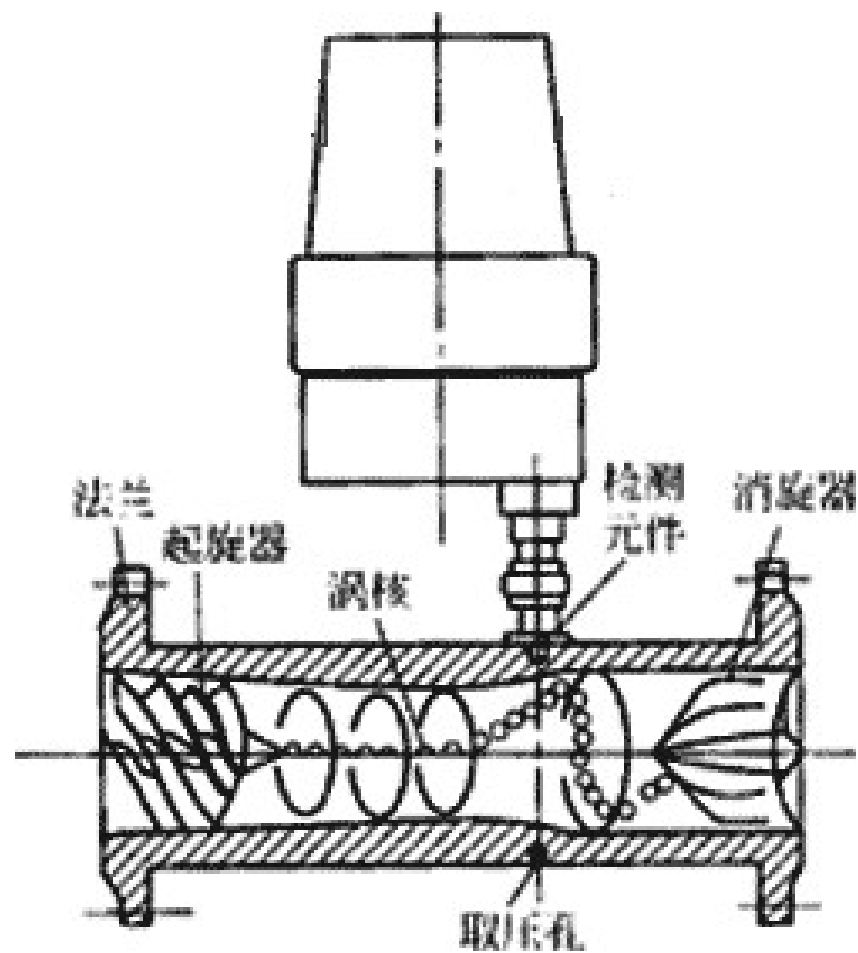
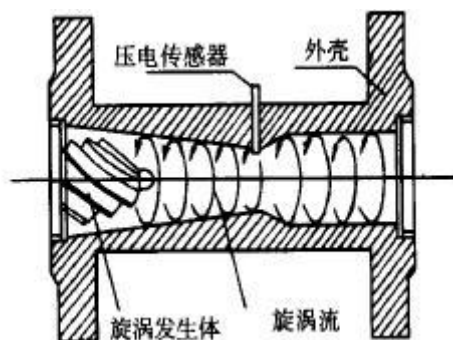
1、流量计简介

旋翼式流量计



1、流量计简介

旋进漩涡流量计



www.hh1718.com

中国仪器仪表网

2、卡曼涡街现象

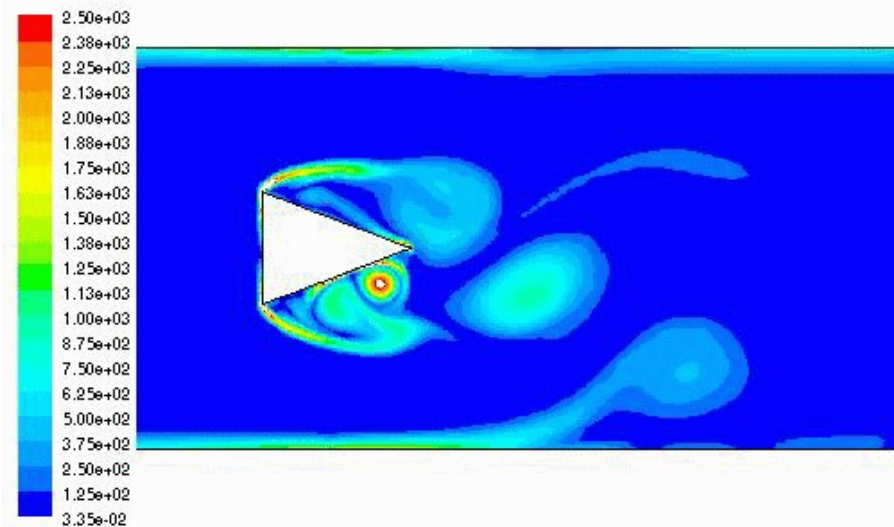
卡曼涡街（卡门涡街） (Karman vortex street)

流体横向流过柱体时，
在柱体背面的两侧交替
产生旋涡，且在脱离
后形成旋涡尾流的现象。

形成条件：
存在障碍物，使流体受阻后
动能与压能相互转换



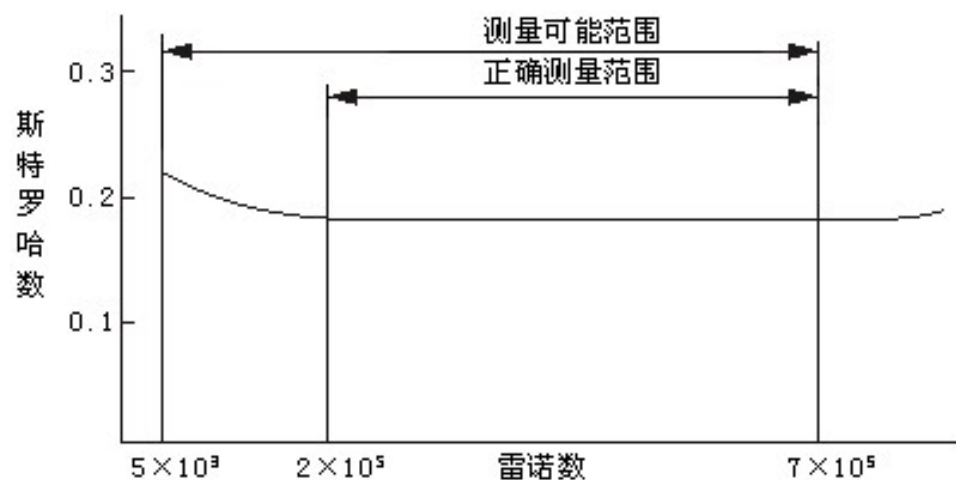
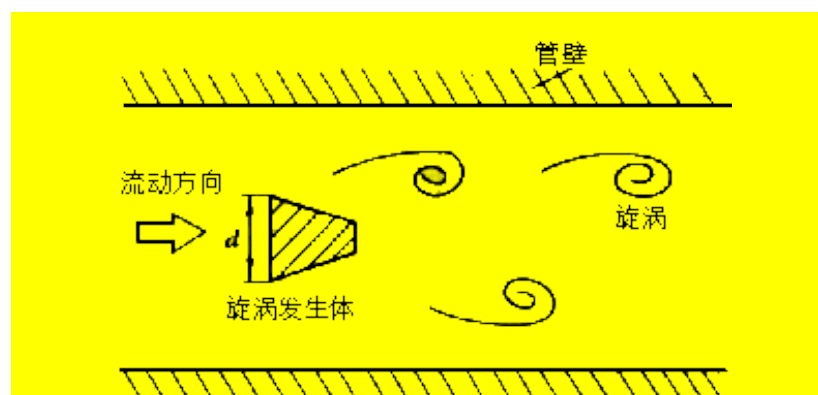
……冯·卡门……雷诺数为 105 时圆柱后的卡门涡街



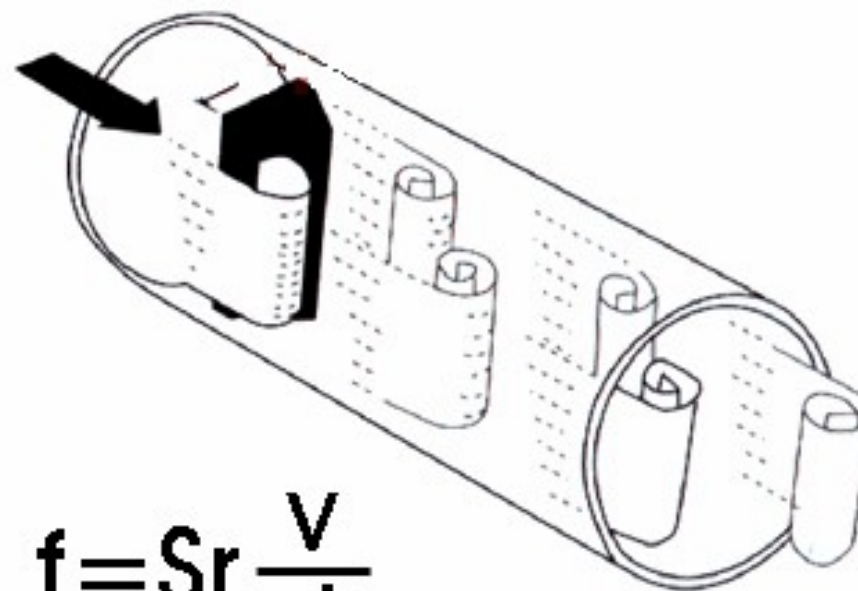
Contours of Vorticity Magnitude (1/s) (Time=2.5050e+00)
FLUENT 6.2 (2d, segregated, lam, unsteady) Aug 18, 2005

2、卡曼涡街现象

涡街流量计基本原理



斯特罗哈数和雷诺数的关系



$$f = Sr \frac{v}{d}$$

式中：

f : 一侧涡流分频率

v : 柱侧流速

d : 柱体迎流面宽度

Sr : 斯特劳哈尔数



2、卡曼涡街现象

雷诺数的定义：

$$Re \equiv \frac{v\rho D}{\mu}$$

ρ 流体密度， μ 为动力粘度， v 为流场的特征速度， D 是特征长度。对外流问题， v 、 D 一般取远前方来流速度和物体主要尺寸(如机翼展长或圆球直径)；内流问题则取通道内平均流速和通道直径。

普通航空飞机：5 000 000

小型无人机：400 000

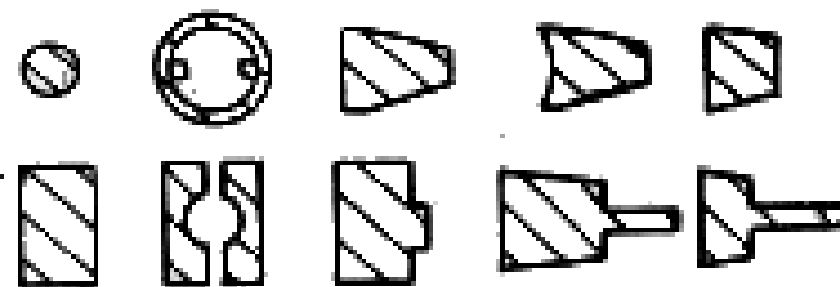
海鸥：100 000

滑翔蝴蝶：7000

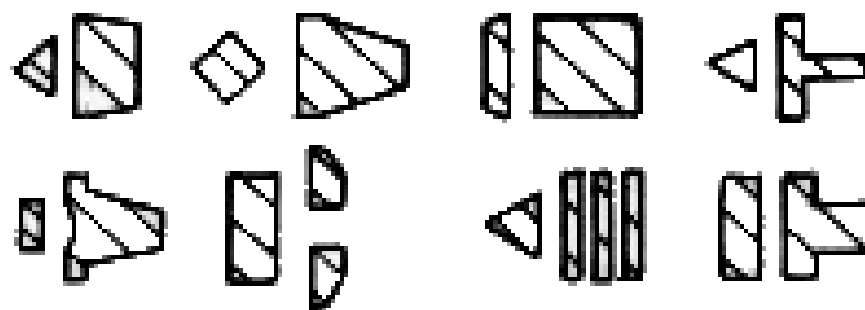
3、漩涡发生体

漩涡发生体的形状

单钝体



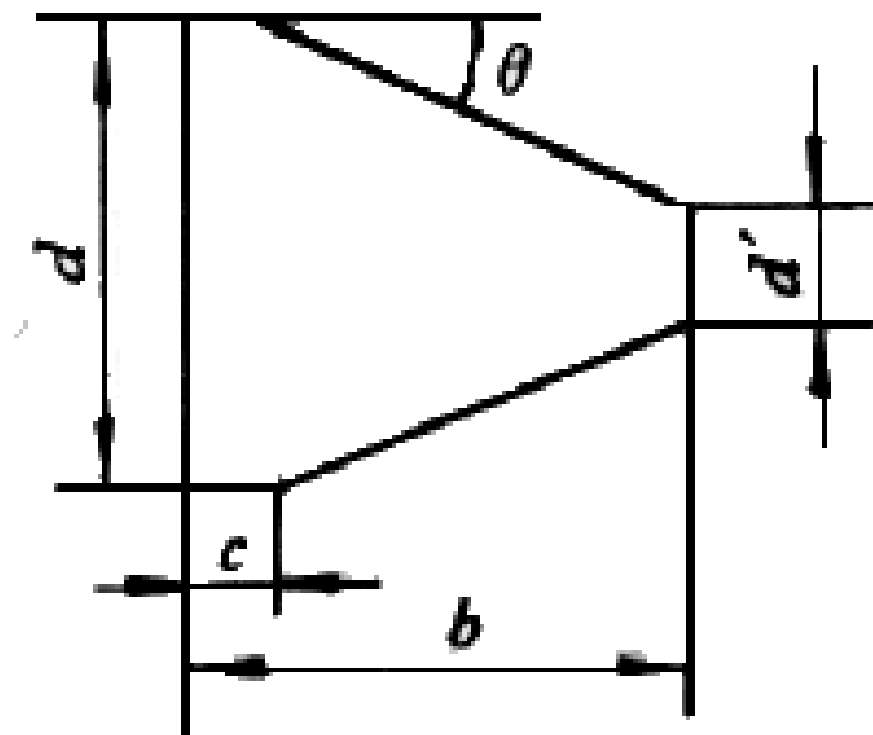
双钝体和多钝体





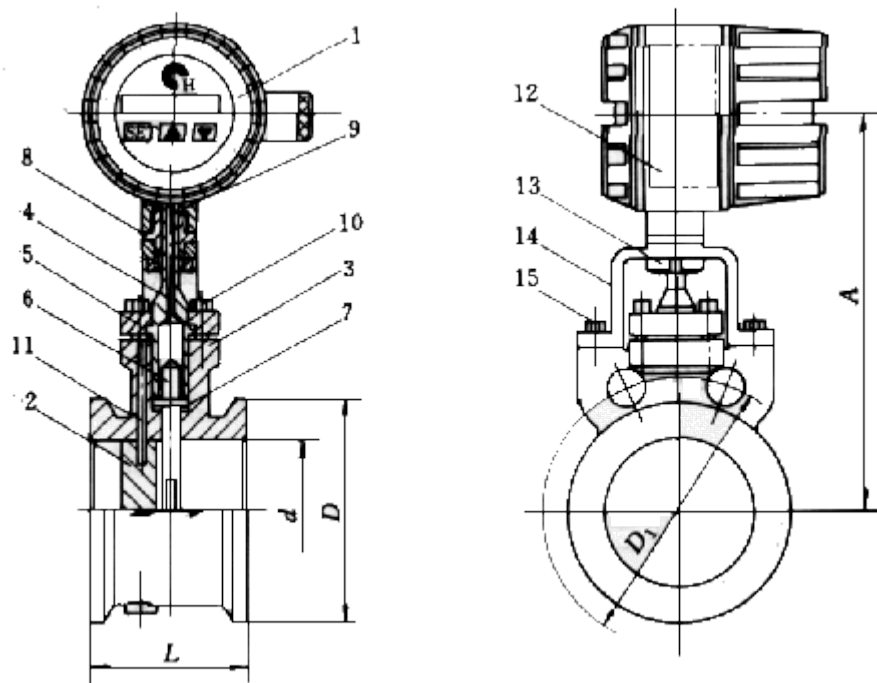
3、漩涡发生体

三角发生体的形状



4、涡街流量计组成

日本横河涡街流量计的结构



1-表头组；2-三角柱；3-表体；4-联轴；5-压板；6-探头；7-密封垫；8-接头；
9-密封垫圈；10-螺栓；11-销；12-铭牌；13-圆螺母；14-支架；15-螺栓

4、涡街流量计组成

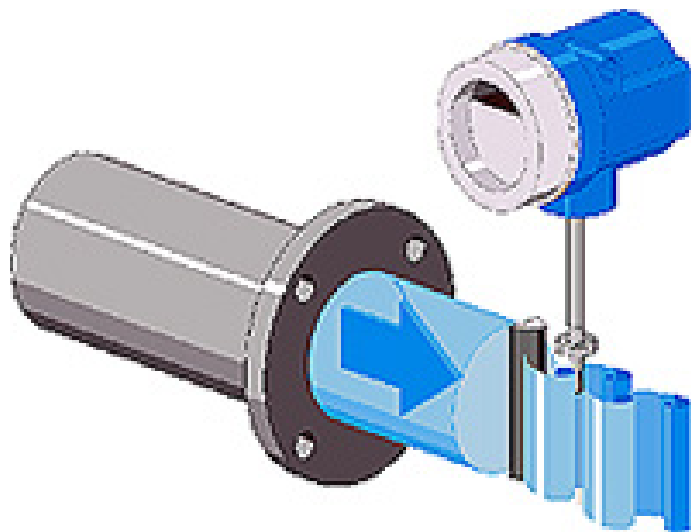
涡街流量计的实物图片



二. 涡街信号的检测方法

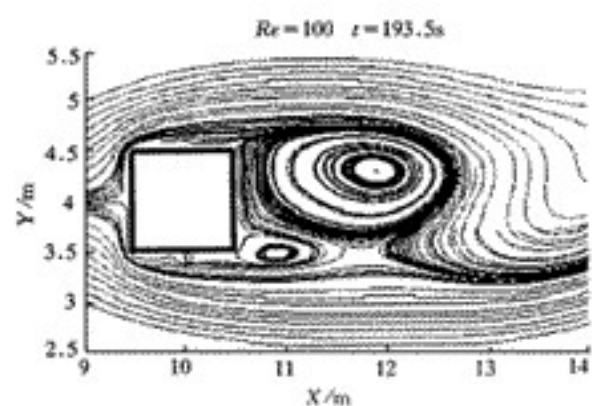
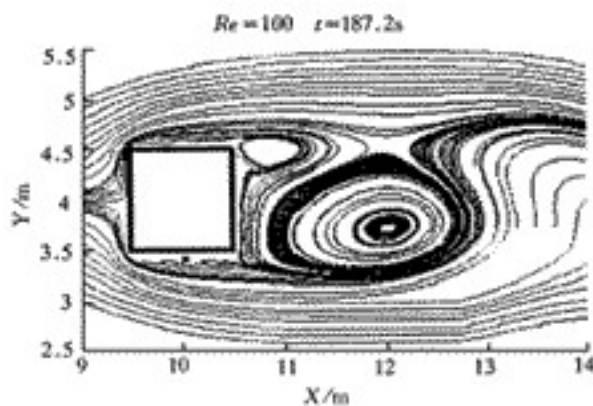
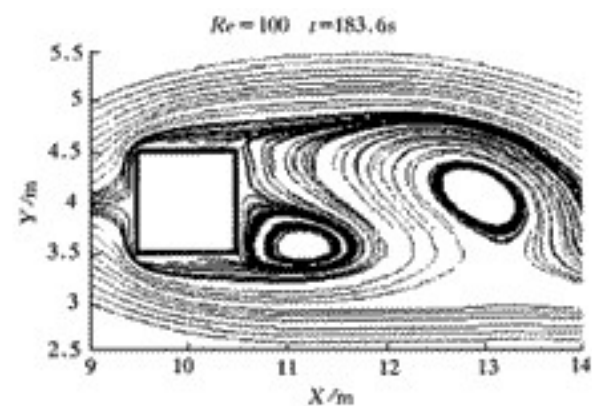
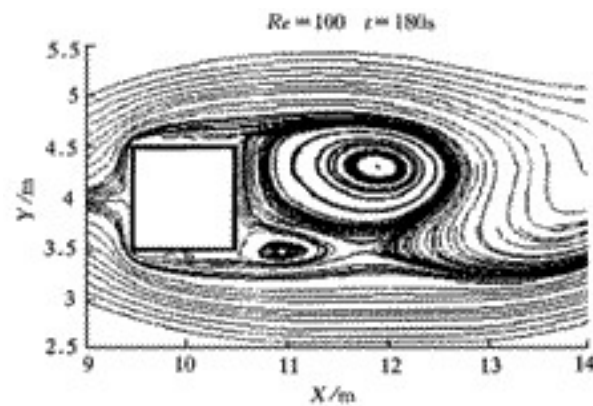
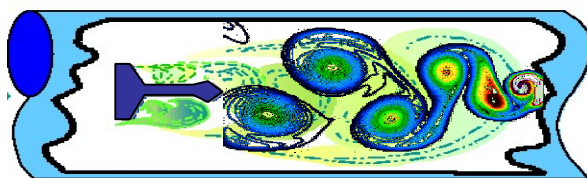
1、涡街信号的特点

2、压电式传感器



1、涡街信号的特点

涡街流场的等压曲线描述

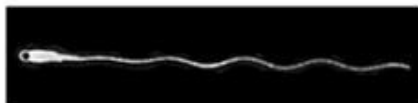


1、涡街信号的特点

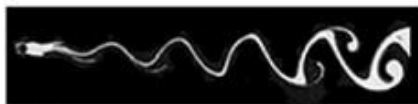
不同雷诺数下的
涡街流场的描述



$Re=32$



$Re=55$



$Re=65$



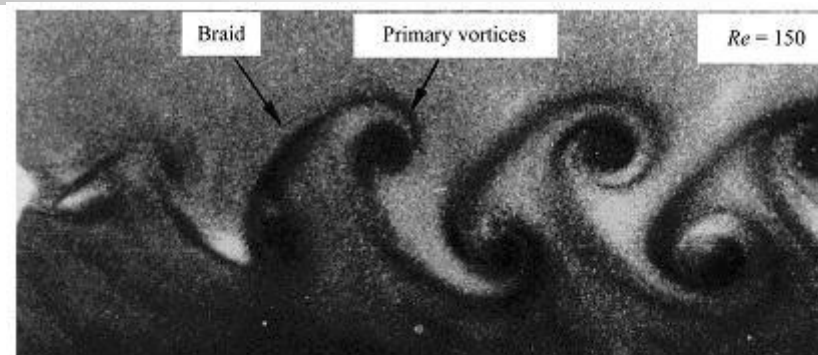
$Re=73$



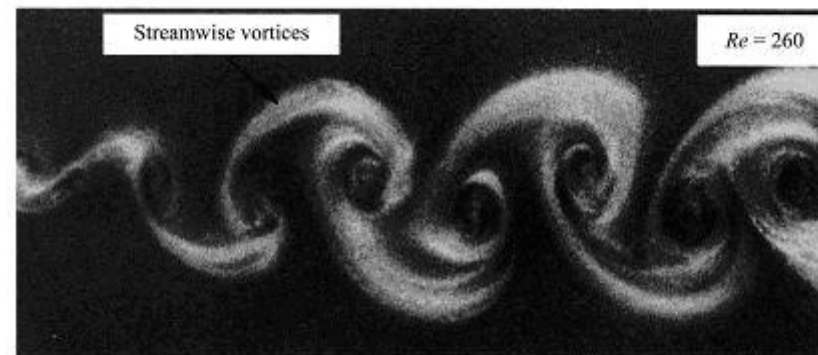
$Re=102$



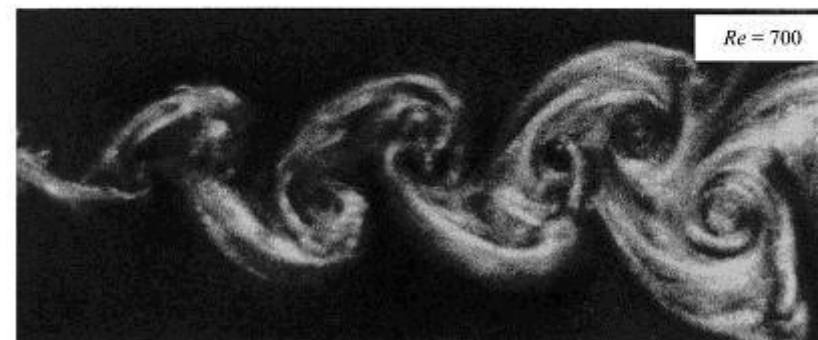
$Re=161$



$Re = 150$



$Re = 260$



$Re = 700$

2、压电式传感器

产生涡街信号

涡街信号产生原理：
压电传感器检测有无涡旋的压力变化，将
涡旋的有无转换为脉冲信号，达到涡旋的
计数进而测算流量的目的

涡街流量计压电传感器外形

压电传感器：压电陶瓷会随着形变而改变自身的阻值，将其放入一
空腔中，在周围注入绝缘的刚性材料如玻璃传导形变

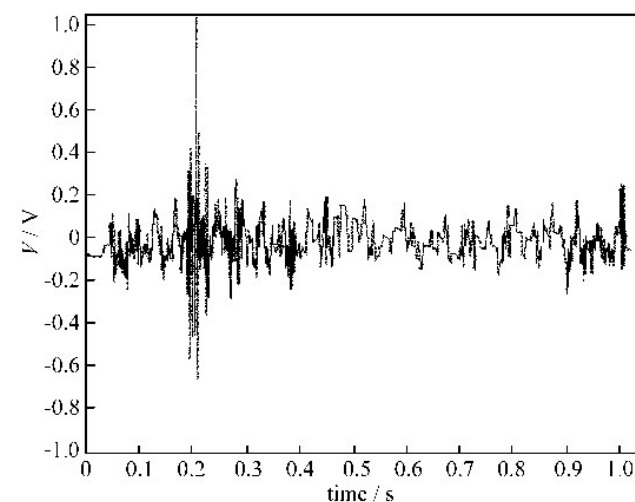
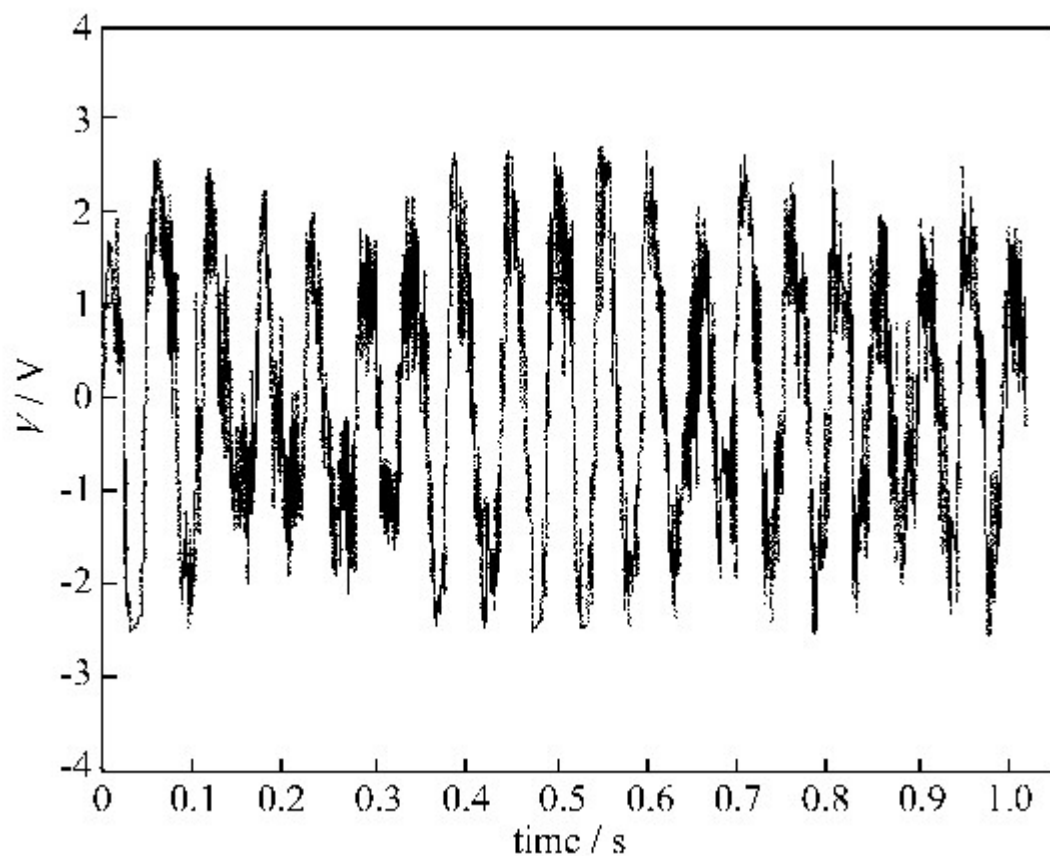


alibaba.com.cn

2、压电式传感器

受机械干扰影响明显

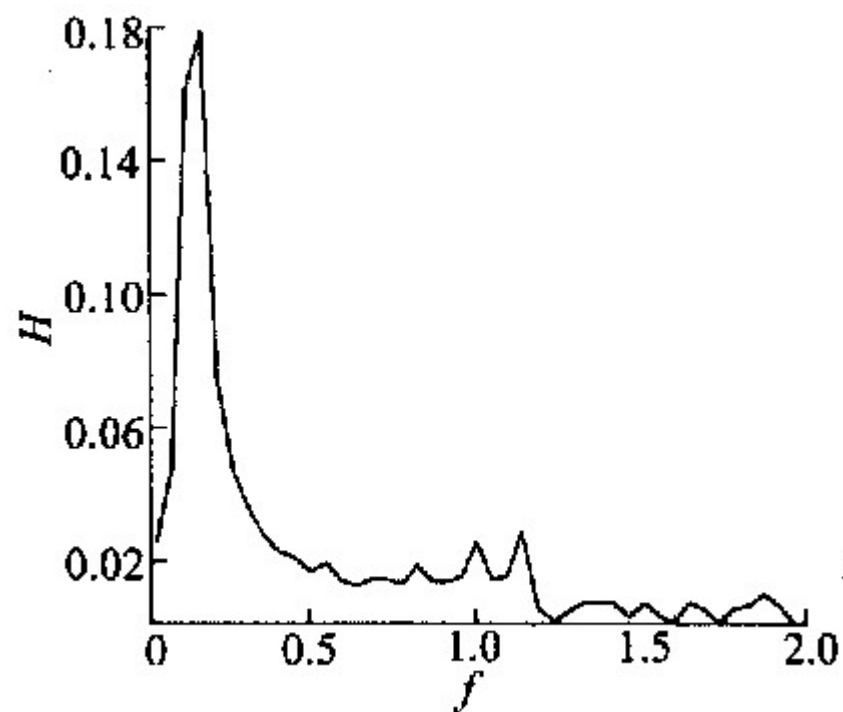
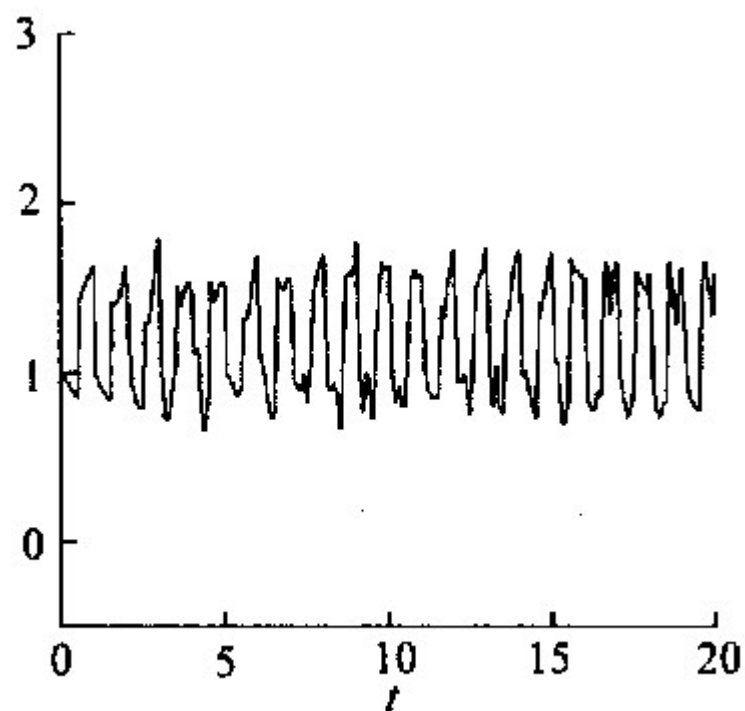
压电传感器输出的信号波形

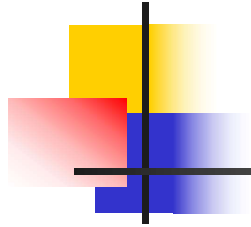


帶有敲擊的
传感器输出

2、压电式传感器

压电传感器输出信号频谱





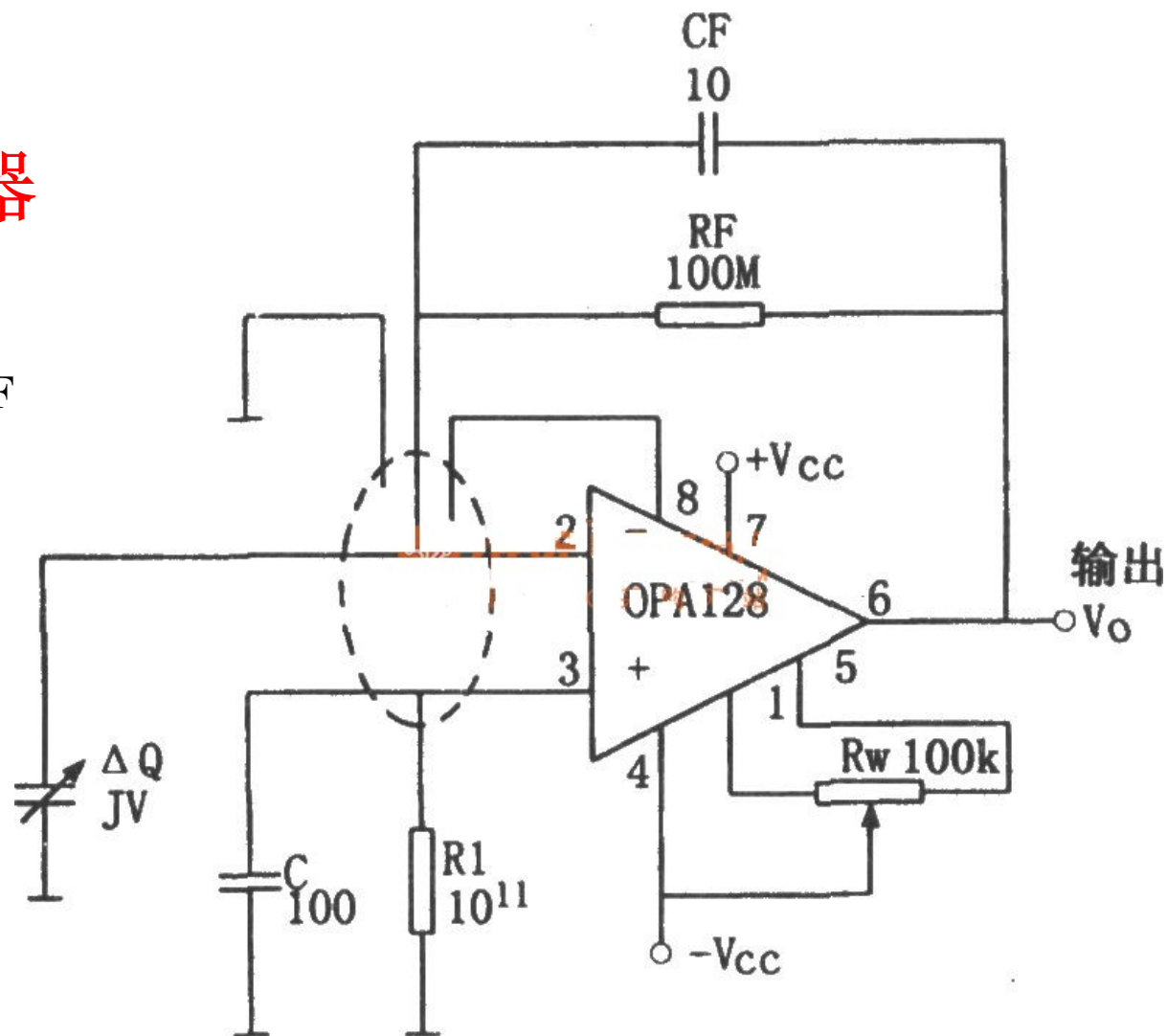
三. 信号处理及电路设计

- 1、前置放大电路（电荷放大器）
- 2、滤波电路
- 3、限幅放大电路
- 4、整形电路（施密特触发器）
- 5、涡街信号处理实例

1、前置放大电路（电荷放大器）

电荷放大器

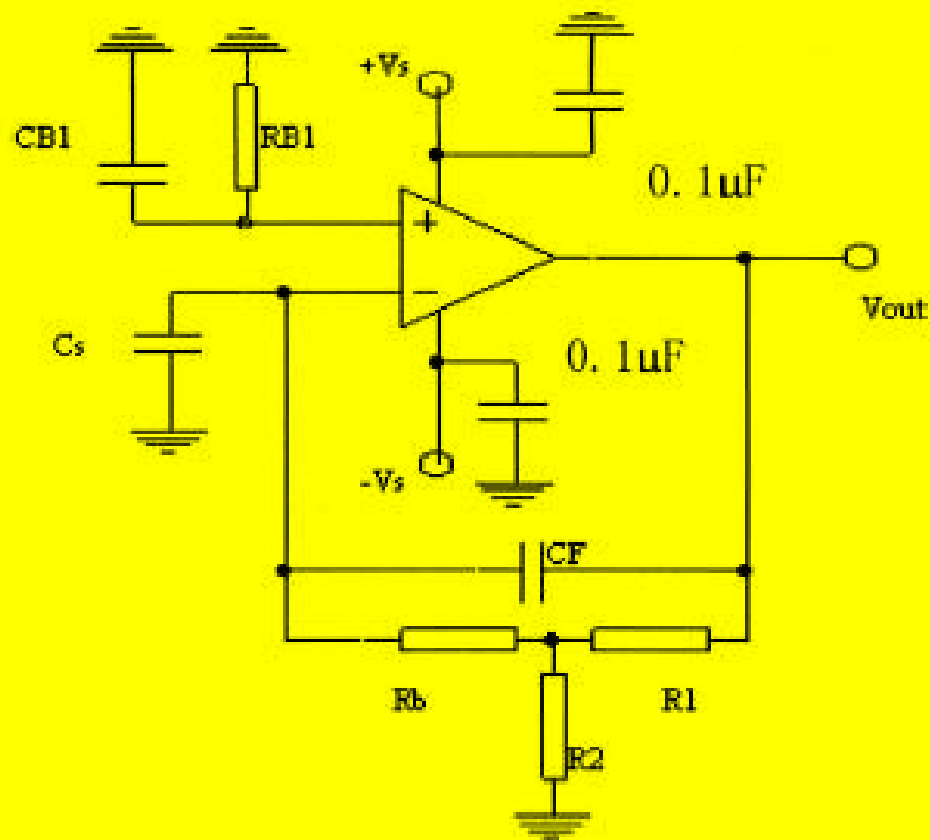
$$V_o = \Delta Q / C_F$$



1、前置放大电路（电荷放大器）

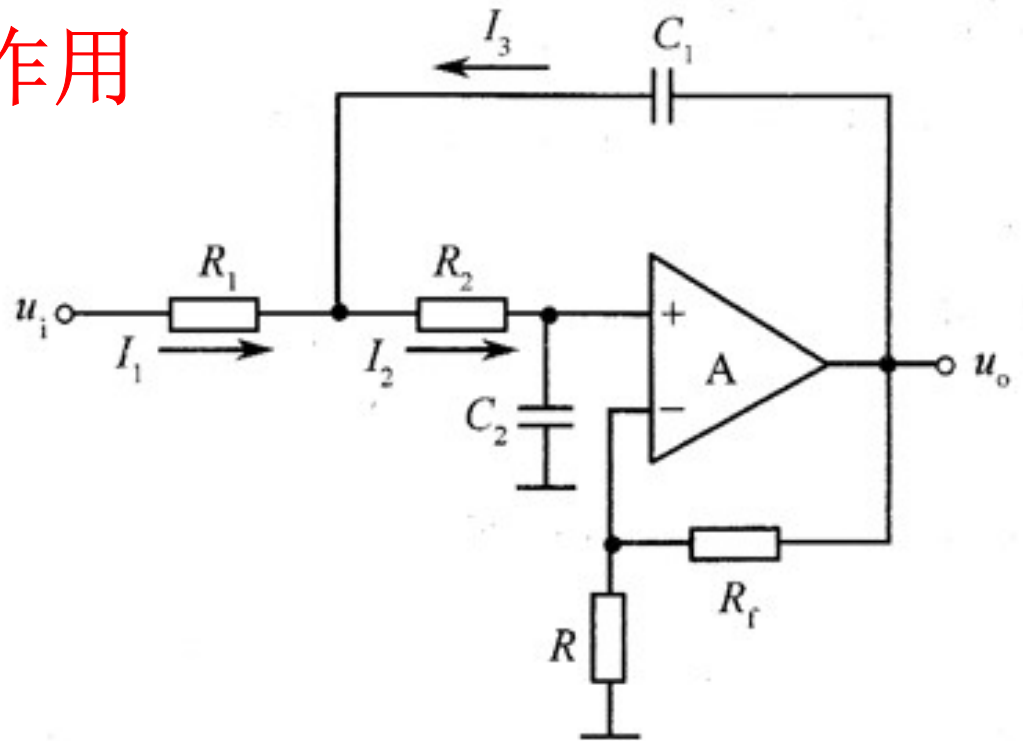
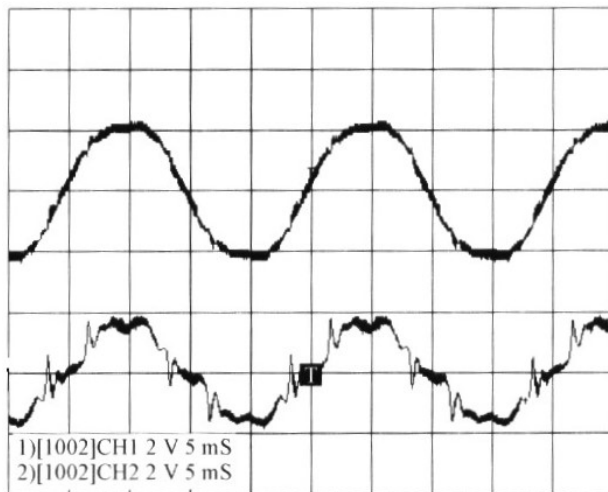
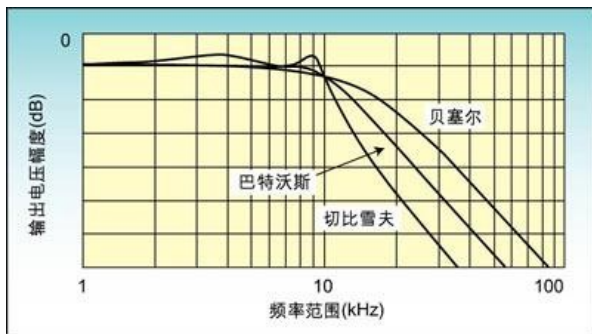
具有高输入阻抗 的电荷放大器

电荷放大器专门用于放大压电器件的电荷信号，这类放大电路的信号源内阻极高，因而要求电荷放大器具有极高的输入阻抗和极低的偏置电流；通常意义下的高阻抗放大电路无法使用，需要采用静电型运算放大器



2、滤波电路

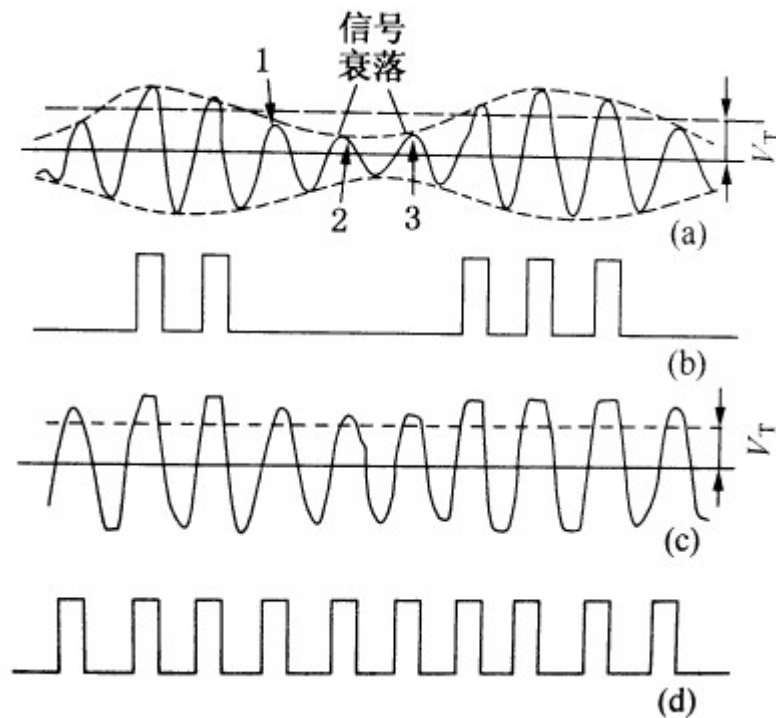
低通滤波电路的作用



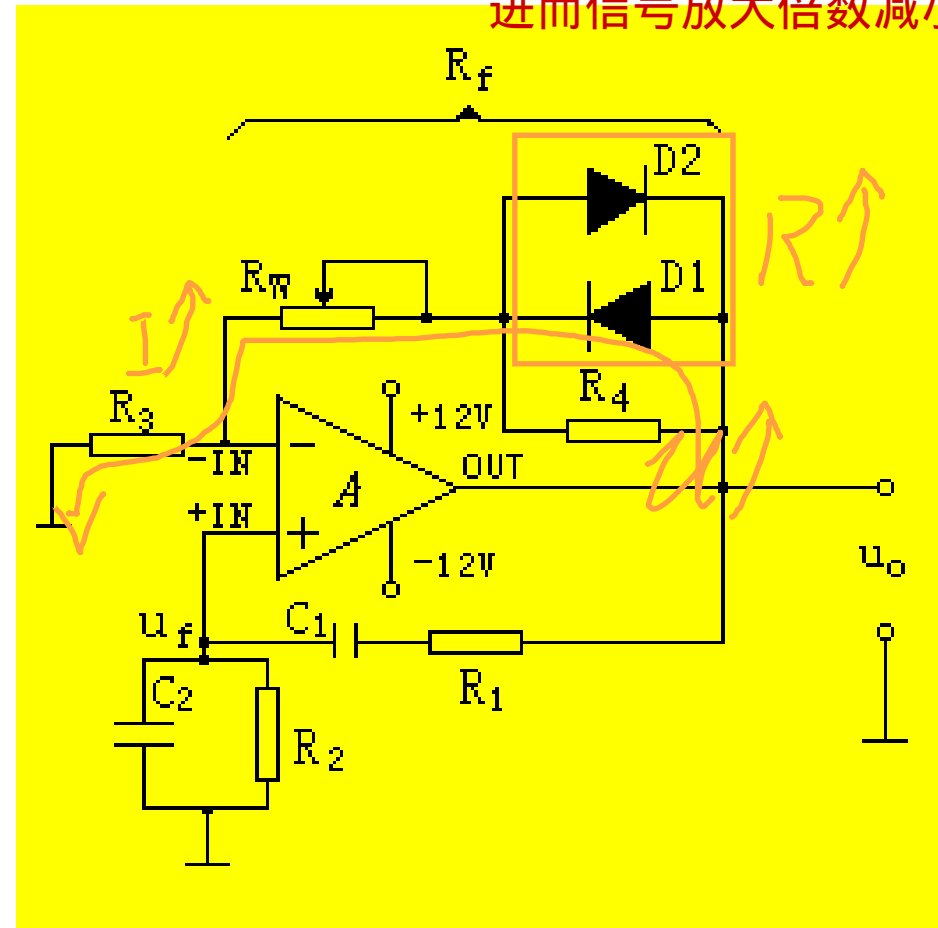
二阶巴特沃斯低通

3、限幅放大电路

二极管限幅放大电路

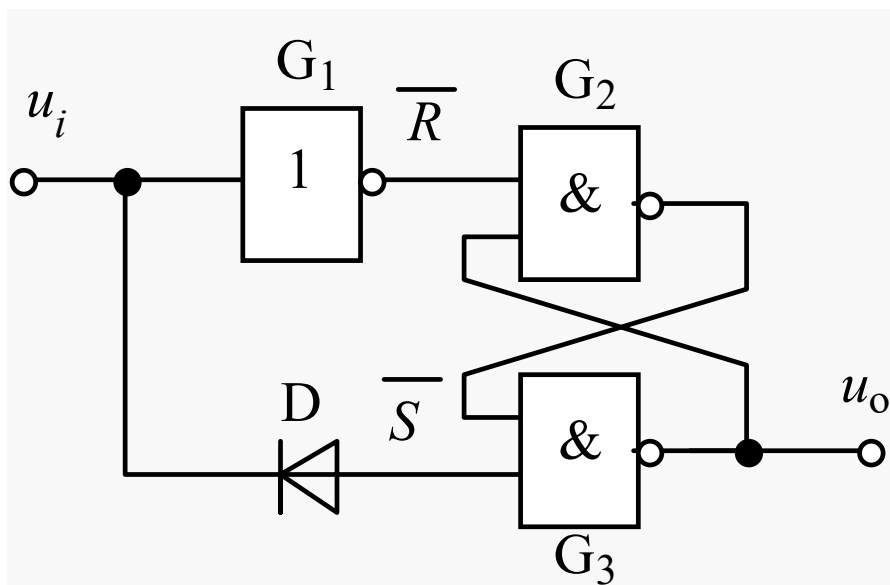


电路中的二极管作为动态电阻：
当输出电压增大时，
流经二极管的电流会增大，
二极管的等效电阻减小
进而信号放大倍数减小

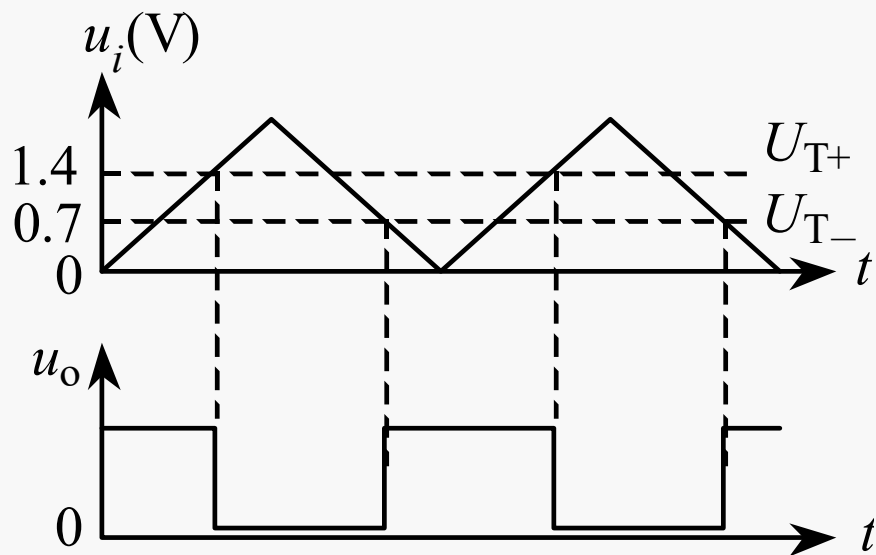


4、整形电路（施密特触发器）

施密特触发器是一种能够把输入波形整形成为适合于数字电路需要的矩形脉冲的电路。



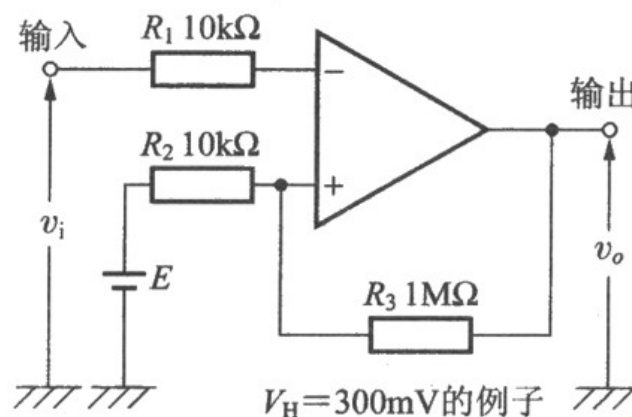
(a) 电路



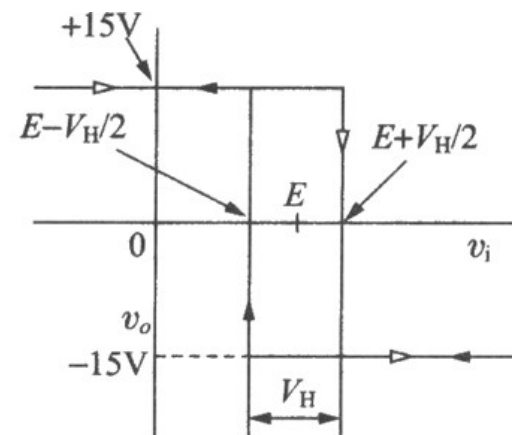
(b) 工作波形

4、整形电路（施密特触发器）

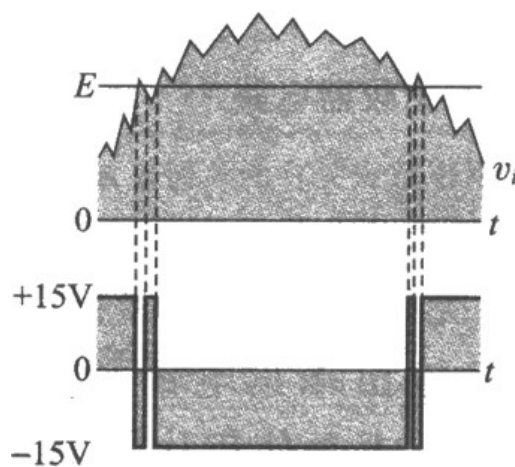
用运放构成的
施密特触发器



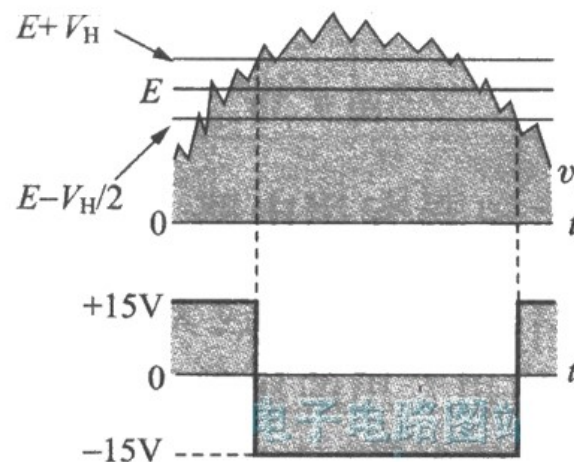
(a) 基本电路



(b) 迟滞与不敏感带



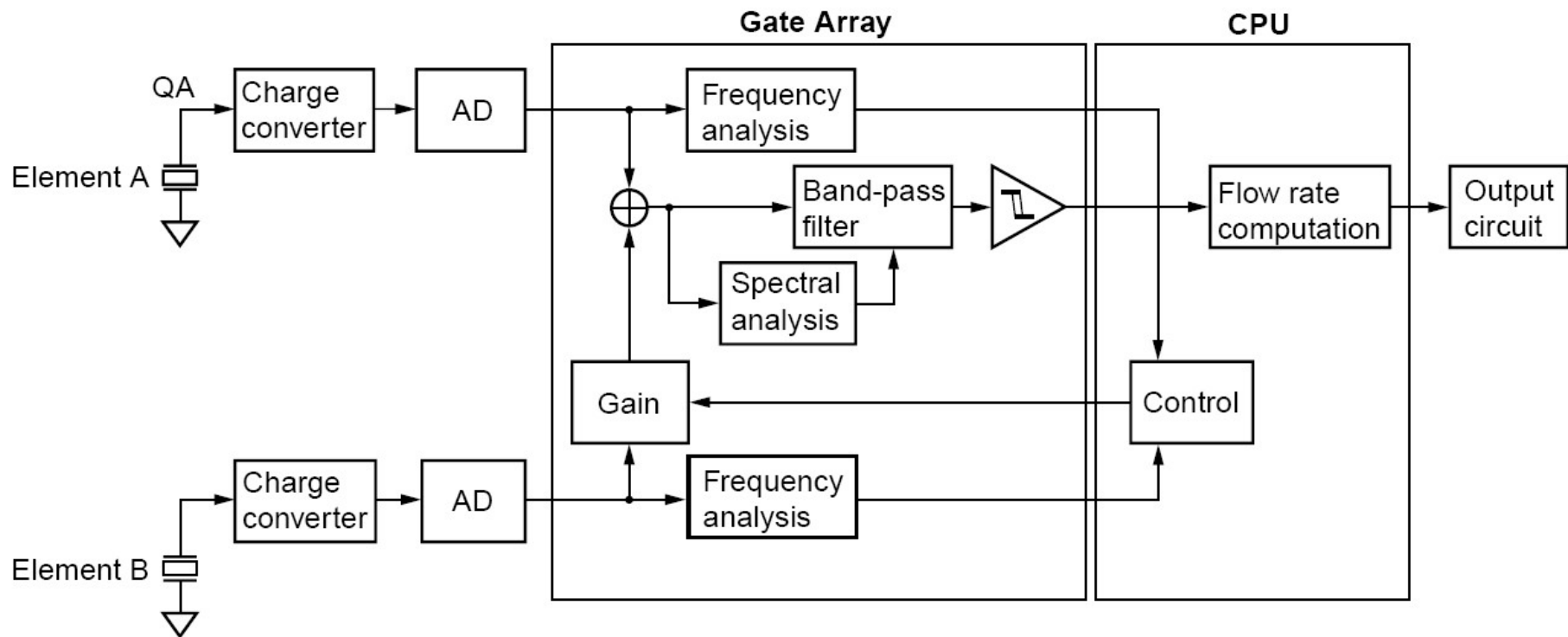
(c) 无迟滞时的输出波形

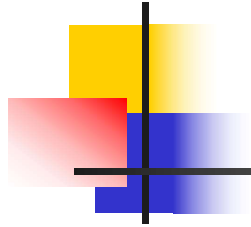


(d) 有迟滞时的输出波形

5、涡街信号处理实例

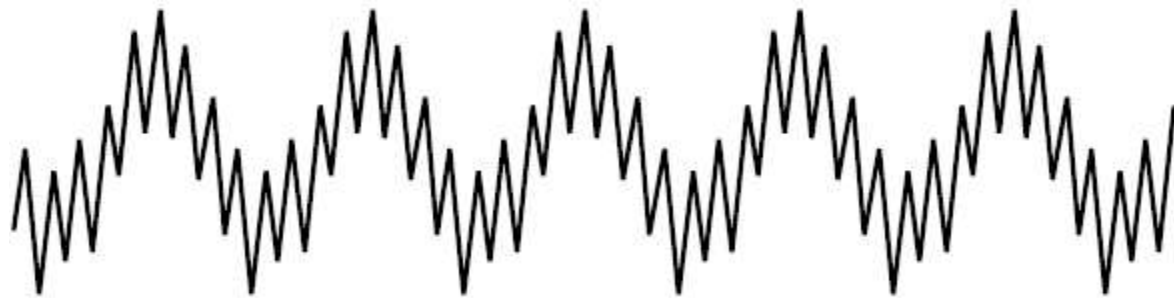
日本横河机电产品信号处理流程：





5、涡街信号处理实例

自适应滤波技术（中等流量）



自适应滤波前

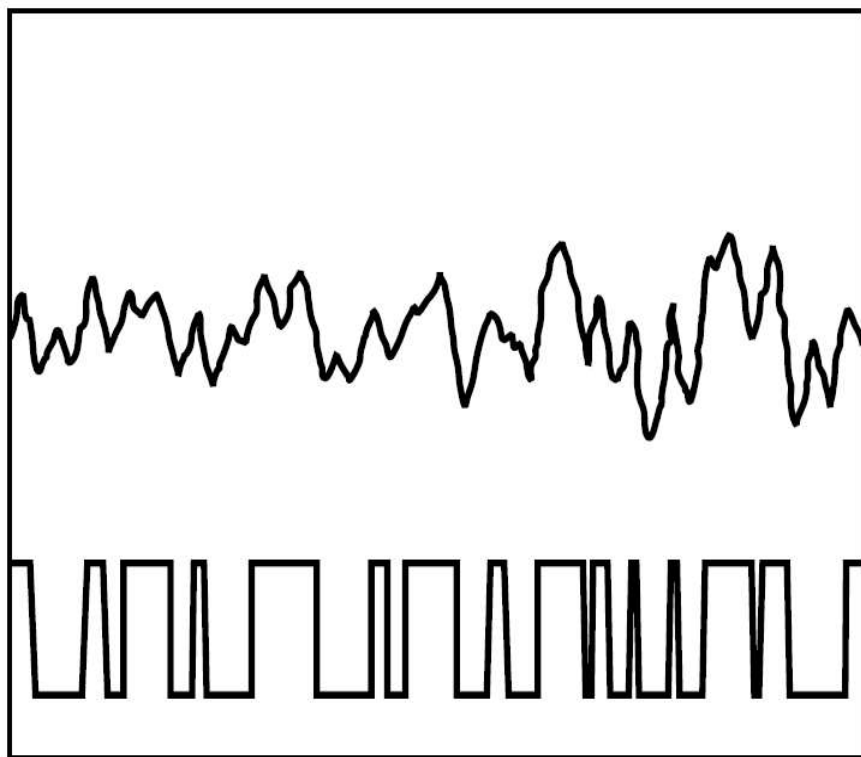


自适应滤波后

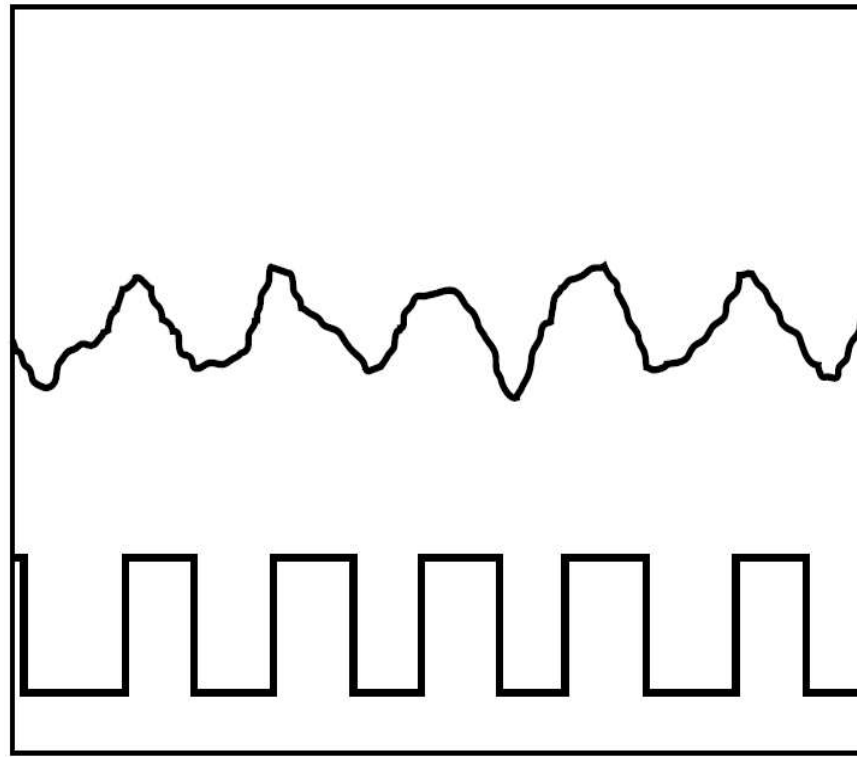


5、涡街信号处理实例

自适应滤波技术（小流量）



自适应滤波前

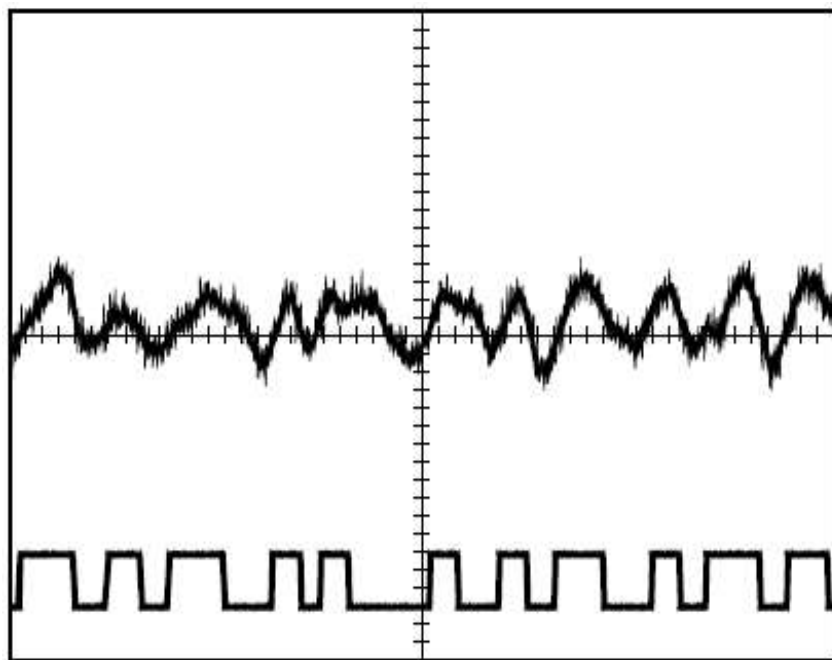


自适应滤波后

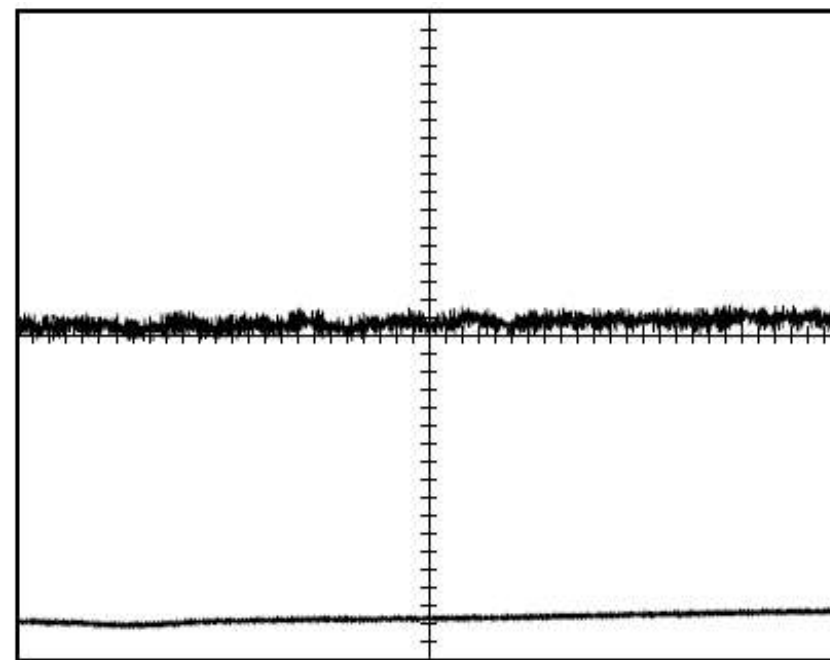


5、涡街信号处理实例

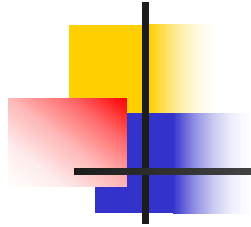
自适应噪声抑制技术（无流量）



无自适应噪声抑制



自适应噪声抑制



四. 气体质量流量检测

- 1、一体化气体流量计
- 2、温度和压力检测电路
- 3、质量流量计算（温压补偿）

1、一体化气体流量计

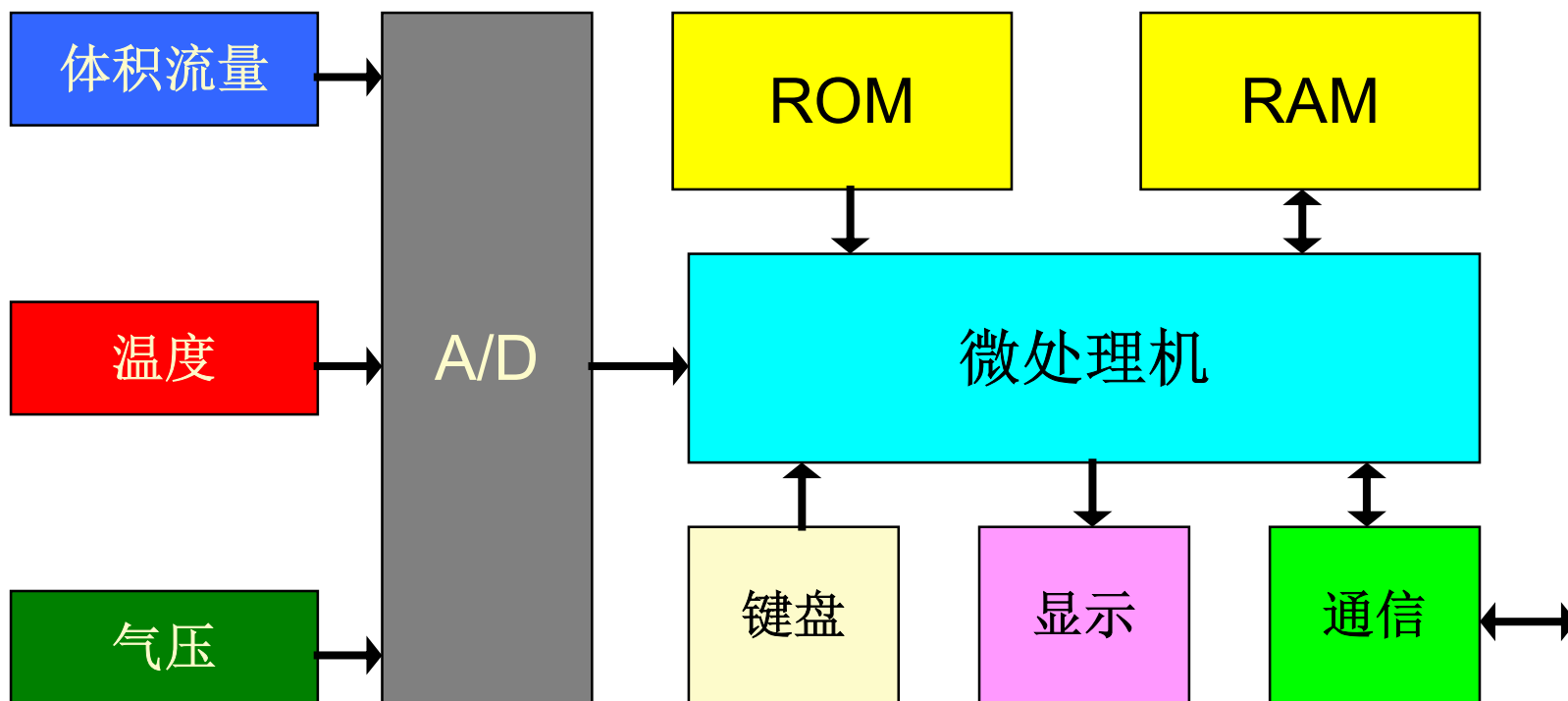
具有温度和压力补偿的气体流量计

温压补偿涡街流量计安装现场



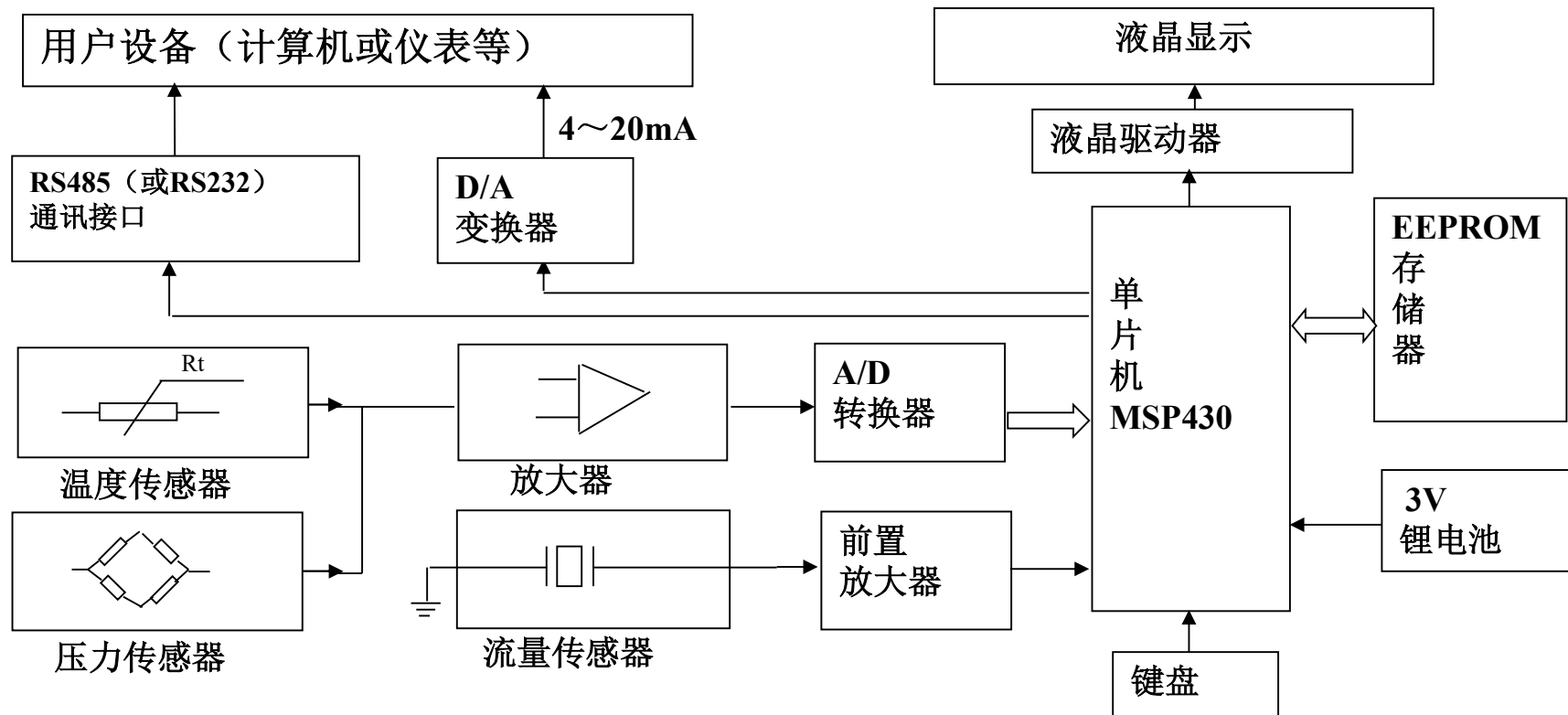
1、一体化气体流量计

一体化气体流量计的组成



1、一体化气体流量计

具有温压补偿的流量计原理框图



1、一体化气体流量计

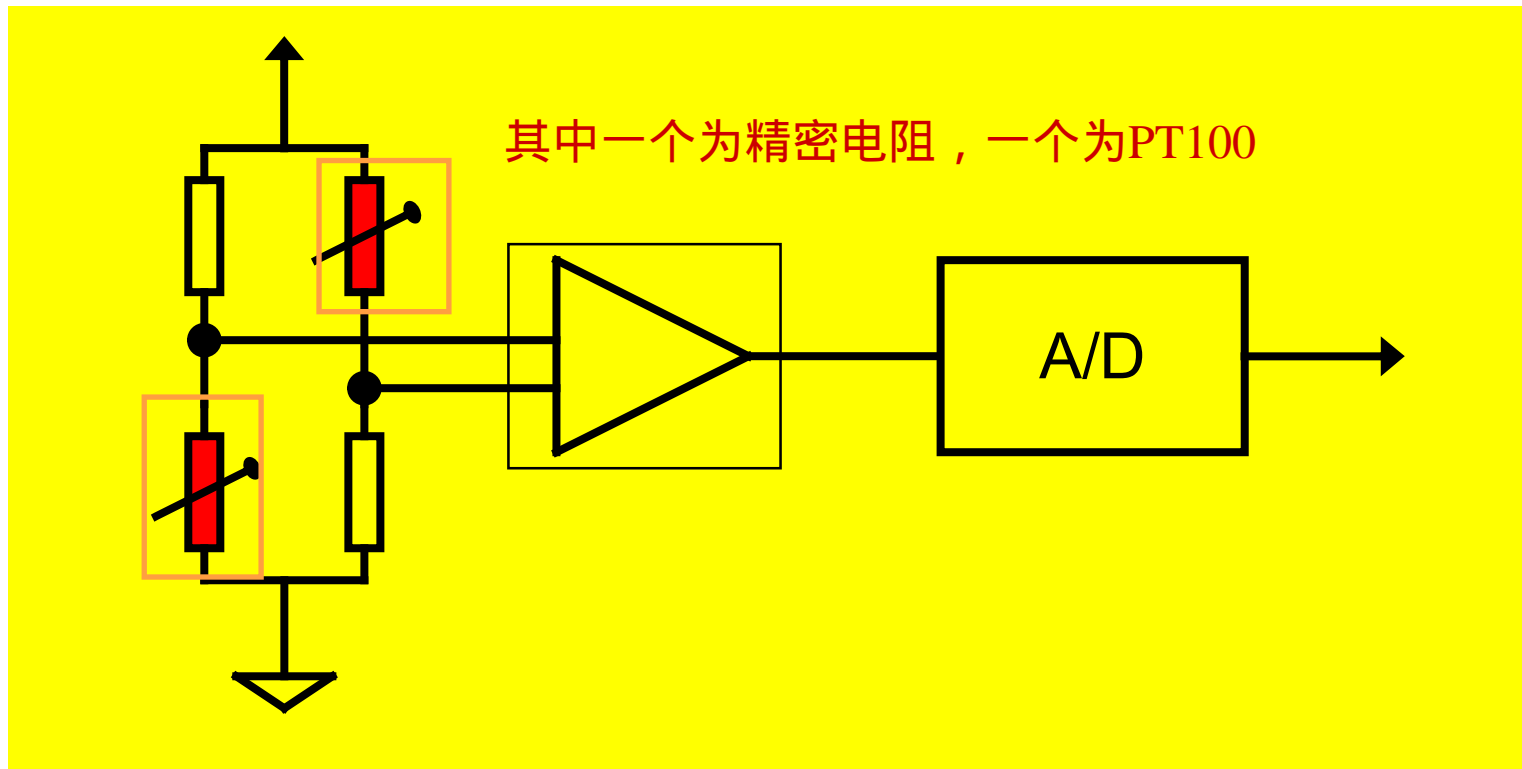
具有温压补偿一体化的流量计



2、温度和压力检测电路

温度测量的方法1:

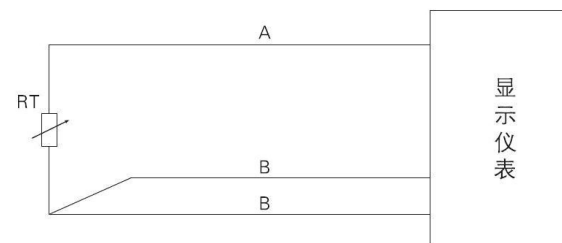
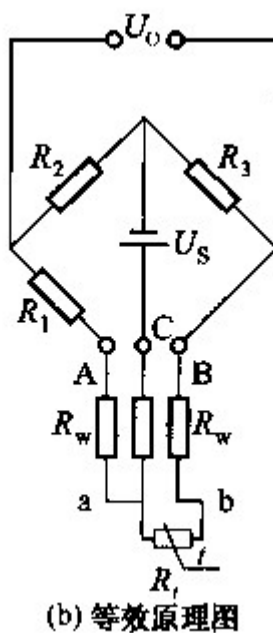
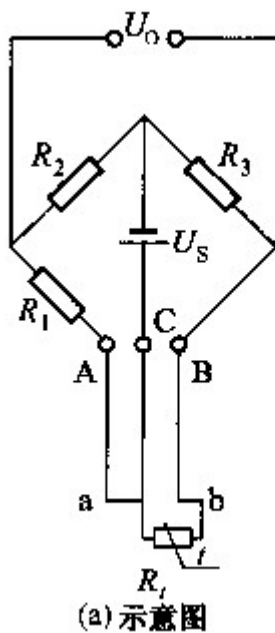
热敏电阻PT100，电桥放大，A/D转换



2、温度和压力检测电路

温度测量的方法2:
热敏电阻**PT100**，三线制电桥放大

可以近似消除引线电阻
见热电阻三线制.pdf

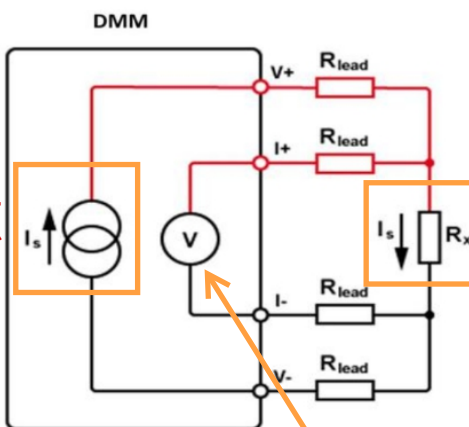
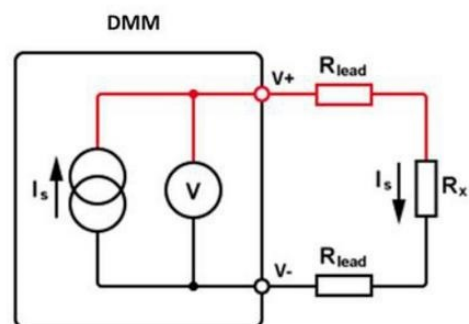


2、温度和压力检测电路

温度测量的方法3:

热敏电阻PT100，四线制电桥放大

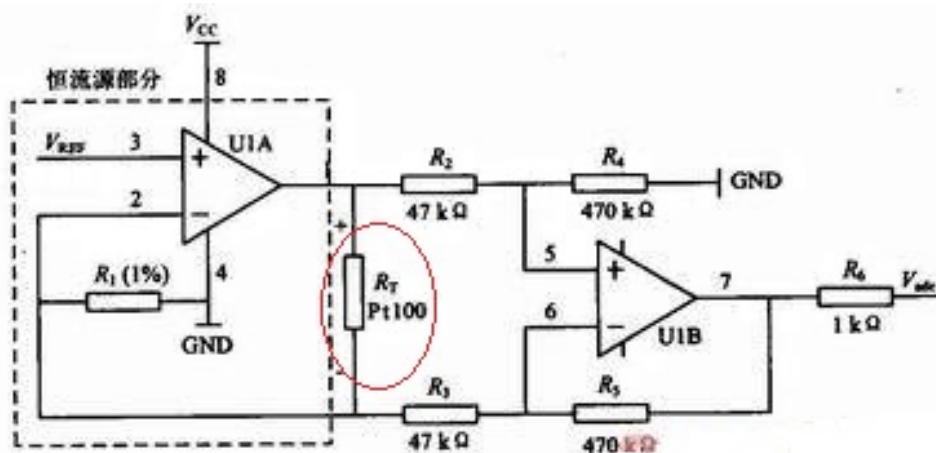
可以完全消除引线电阻



恒流源

两端电压与导线电阻无关
 $U_r = I_s \cdot R_x$

采用输入电阻很高的放大器，
导线上的电阻就被忽略了

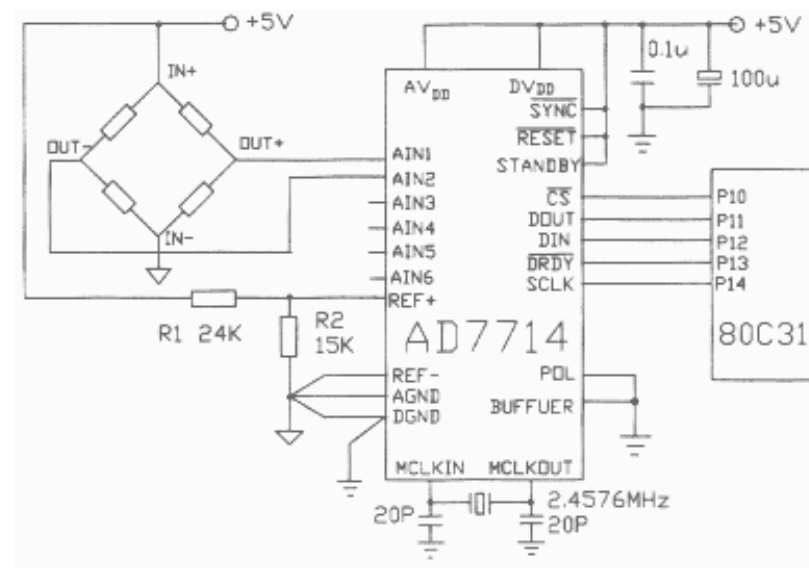
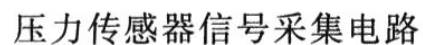


2、温度和压力检测电路

气体压力传感器：
常用扩散硅压力传感器



扩散硅压力传感器，四线或五线制电桥





3、质量流量计算（温压补偿）

液体流量计

体积+温度补偿

气体流量计

体积+温度补偿+压力补偿

| | | |
|----|------|----------------|
| 例： | 蒸汽计量 | 检测蒸汽质量流量 |
| | 燃气表 | 计量燃气体积流量（压力恒定） |
| | 呼吸计 | 监测临床病人呼吸次数 |

3、质量流量计算（温压补偿）

气态方程

$$M = k \times P \times V / T \quad (\text{理想气体})$$

实际应用时的非线性

多项式补偿

$$a_3 \times M^3 + a_2 \times M^2 + a_1 \times M + a_0$$

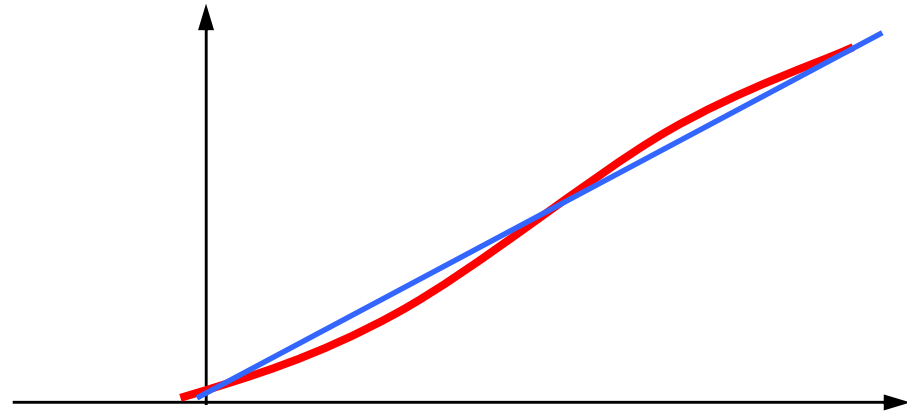
$$\text{变形: } M \times (M \times (M \times a_3 + a_2) + a_1) + a_0$$

基本运算：乘加 ($ax + b$)

查表法补偿

用折线来逼近曲线

建转折点表





参考资料

《涡街流量计》 姜仲霞等
中国石化出版社





课后作业

- 1、表示流量大小的单位有哪些？
- 2、描述卡曼涡街的物理现象及其形成条件。
- 3、简述压电式涡街流量传感器的信号产生原理。
- 4、画出电荷放大器和限幅放大器的典型电路图。
- 5、简述三线制电桥电路消除引线电阻影响的原理。
- 6、简述四线制恒流方式测温电路消除引线电阻影响的原理。