

§ 4.8 流速传感器

§ 4.8.1 电阻式旋桨流速传感器

结 构 传感器由旋桨、电极、转轴、轴承及测杆所组成。旋桨采用比重接近于1的工程塑料，按一定的曲度扭制而成。中间安装轴尖，固定在间距可调的宝石轴承上。其结构如图4.8.1所示。

工作原理 当旋桨置于被测水流中时，由于桨叶的迎水面和背水面流速不同，因而在水流方向形成压差，产生推力，引起旋桨转动。由于轴尖与轴承之间存在机械摩擦阻力，流速 V 与旋桨在单位时间内的转数 n 之间的关系为

$$V = an + \sqrt{bn^2 + c} \quad (4.8-1)$$

式中 a 、 b 、 c —与结构有关的常数。

由上式可知，机械阻力在低流速范围内影响较大，随着流速增高，影响明显降低。只要选取合适的旋桨材料和一定的扭曲度，旋桨的启动流速可以做到较小， $V-n$ 关系曲线的弯曲部分不甚明显，较为接近 $V = Kn + c$ 的线性关系。

在旋桨框架内嵌镶有两个T型不锈钢电极。电极间存在着水电阻，此电阻随着旋桨的位置而变化。当塑料旋桨尾部遮挡电极时，极间水电阻比不遮挡时为大。因此，旋桨在水中转动一周，极间水电阻将周期地变化两次。通过导线接入测量电路，产生的电压幅度随桨叶转动而产生周期性的变化，将其转换为脉冲信号送入频率计中。这样，可通过测量旋桨的转速而换算得出水流的流速。

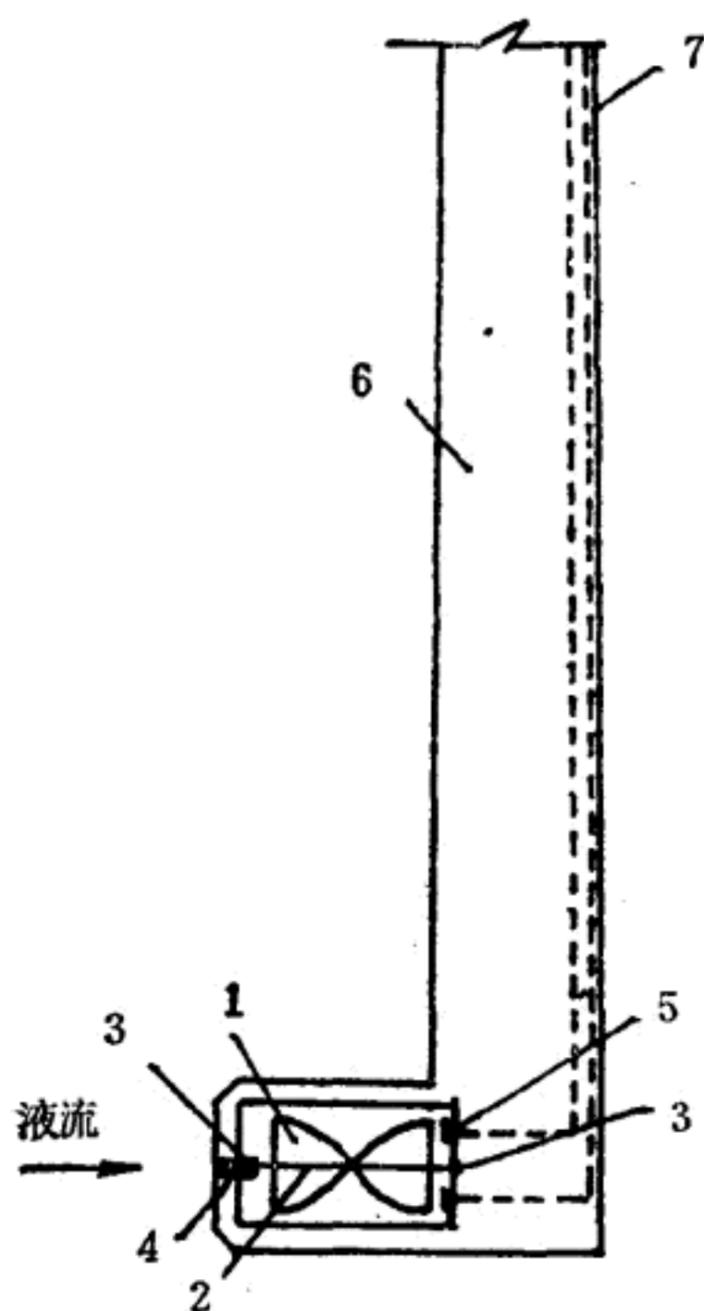


图 4.8.1 电阻式旋桨流速传感器结构图

1. 旋桨 2. 转轴 3. 宝石轴承 4. 微调螺丝
5. 不锈钢电极 6. 塑料测杆 7. 测量导线

电 路 电阻式旋桨流速仪的电路方框图如图4.8.2所示。

由测量导线引出的水电阻接在文氏电桥振荡器的输出变压器上，作为振荡器的交流负载。振荡器的振幅受极间水电阻的调制而形成调幅波，经放大、检波、整形后，取出两倍于

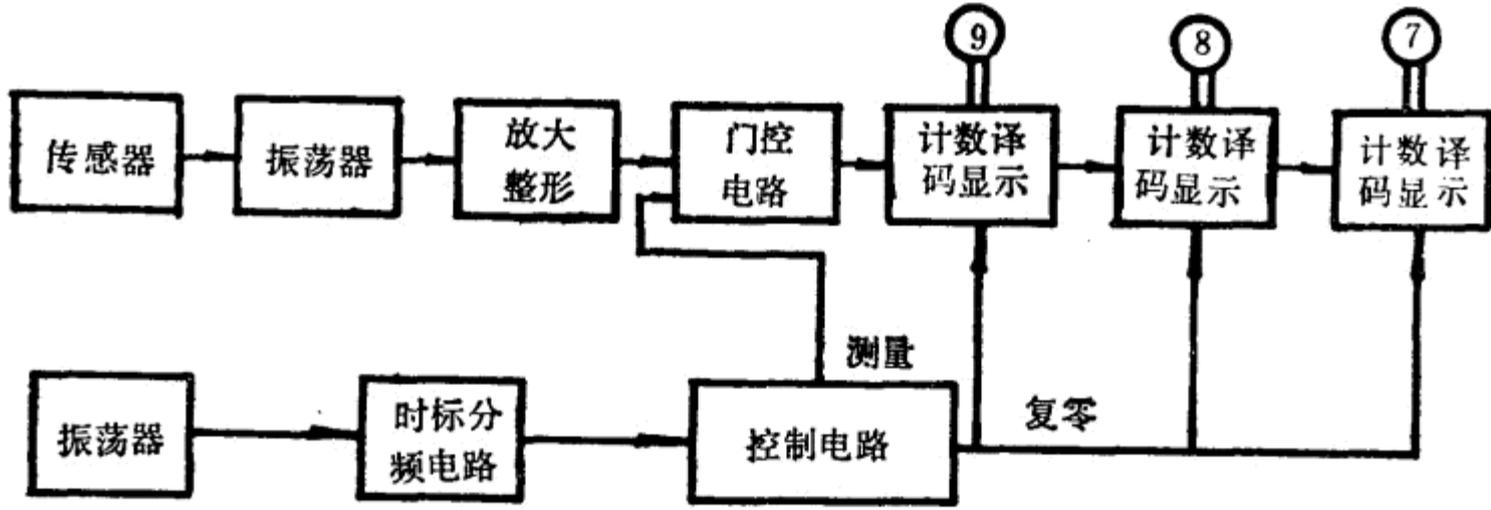


图 4.8.2 电阻式旋桨流速仪电路方框图

旋桨转动次数的电脉冲信号，在控制电路作用下，定时记录下旋桨的转速。

旋桨是流速的敏感元件。旋桨的材料选择、叶面的扭曲度以及制造安装工艺，将直接影响流速测量的灵敏度、重复性和稳定性。

电阻式旋桨流速仪在清水中测流速被广泛使用。它能施测 0.02~4.00 米/秒 范围的流速，使用甚为方便。但是，由于旋桨体积较大，对水流的扰动较大，因此在水质较差的场合，例如在含沙水流及含有纤维物质的水流中使用，将影响其测量的准确性。

§ 4.8.2 光电式流速传感器

结 构 传感器由光源、光敏元件、光导纤维、带有反光片的叶轮、转轴、轴承、微调螺丝、螺母、测量框架及测杆所组成。其结构如图 4.8.3 所示。

工作原理 在叶轮的一个叶片边缘上贴上一层极薄的反光片。叶轮在水流或气流的推动下转动一周，对光导纤维传输的光线反光一次。其反射光线经光导纤维传至传感器上方，由光敏三极管接收，再经光电变换后产生一个电脉冲信号，即可由计数电路记下光电脉冲数，从而测出流体中的流速。

电 路 光电式流速仪电路方框图如图 4.8.4 所示。

电路工作原理除前置放大器外，其它部分与电阻式旋桨流速仪的原理大致相同。由于利用标定曲线的线性段，按 $V = Kn + c$ 计算流速，因此一般在电路中加入 K 值变换器及预置 c 值的方法，将记录的旋桨或叶轮的转速直接换算成流速。仪器中显示的数字即为实际流速值。

从光电式流速传感器的结构上来说，关键技术问题是在直径为 0.5 cm 左右的圆形测杆中穿入一股光导纤维丝。如光导纤维出现断丝现象，将出现黑斑，影响测量的光强。光源电压的波动，势必引起光强的变化而造成不必要的干扰信号。此外，叶轮的加工工艺也是决定传感器灵敏度及稳定性

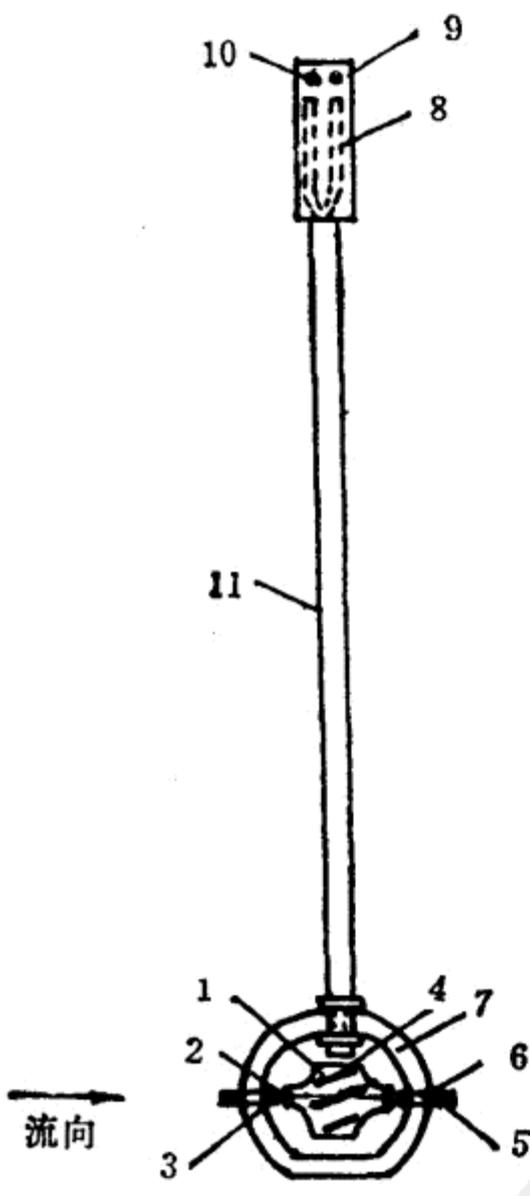


图 4.8.3 光电式流速传感器结构图

- 1. 叶轮 2. 宝石轴承 3. 轴尖
- 4. 反光镜片 5. 轴尖螺丝 6. 轴尖螺母
- 7. 框架 8. 光导纤维 9. 光敏元件
- 10. 光源 11. 测杆

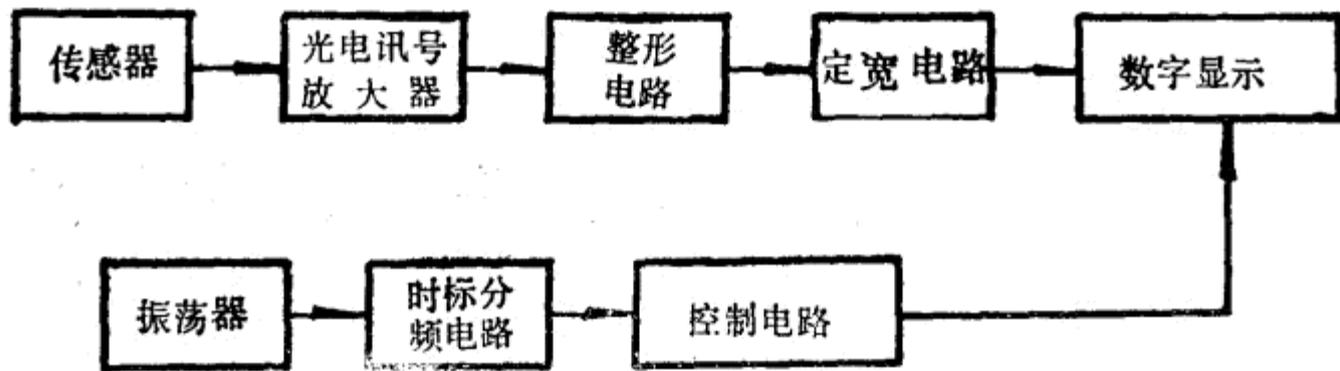


图 4.8.4 光电式流速仪电路方框图

的重要因素。

光电式流速传感器的光源、光敏三极管均安装在支杆上端。由于光源发出的光线及叶轮的反射光均通过光导纤维进行传输，因此叶轮部分可做得较小，从而减小了对流场的干扰作用。同时，由于叶轮采用压模制成，工艺比较成熟，标定曲线比较一致，重复性好。又由于采用记录光电脉冲信号，其引线长度对测量结果影响甚微，便于集中检测。因此，这种流速传感器应用广泛。但在含纤维状杂质多的流体中使用将影响测量精度。

§4.8.3 电磁式流速传感器

结 构 传感器由电磁线圈、电极、传输导线和测杆组成。整个探头用环氧树脂封成一个整体，无转动部分，对水质无特殊要求。其结构如图 4.8.5 所示。

工作原理 导体在磁场中作切割磁力线运动时，在导体上将产生感应电动势。图 4.8.5 中传感器内的磁芯被激励后产生交变磁场。因为水是一种导体，当水流垂直于电极方向运动时，将切割磁芯顶端的磁力线，在电极两端形成感应电动势。该测量信号通过导线接至检测仪表中。

当传感器的结构及磁芯、激励电源等确定之后，磁感应强度 B 即为定值，电极间水体长度 L 也被固定。因此，水体流动时产生的感应电动势 ε 与流速 V 成线性关系，与流向的夹角 θ 成正弦关系，即

$$\varepsilon = BLV \sin\theta \times 10^{-8} (\text{伏}) \quad (4.8-2)$$

如将感应电动势产生的微弱信号放大后记录下来，经标定即可得出相应的流速。

电 路 电磁流速仪的电路方框图如图 4.8.6 所示。

一定频率的方波信号送入激励器进行功放并作为采样脉冲。激励器产生的方波电流在传感器中产生相应频率的交变磁场。当水体垂直电极 $A-A$ 流动时产生的感应电动势 ε 经输入级送入放大器，框图中前置放大器起阻抗变换作用，由于流速感应信号极为微弱，因此，要求主放级具有高放大倍数、高噪声抑制性及高抗干扰能力。

放大后的信号经采样、倒相、相加后加以鉴相，鉴相后的信号经低通滤波器进一步平滑后送入直流放大器，从而得出流速信号的测量结果。

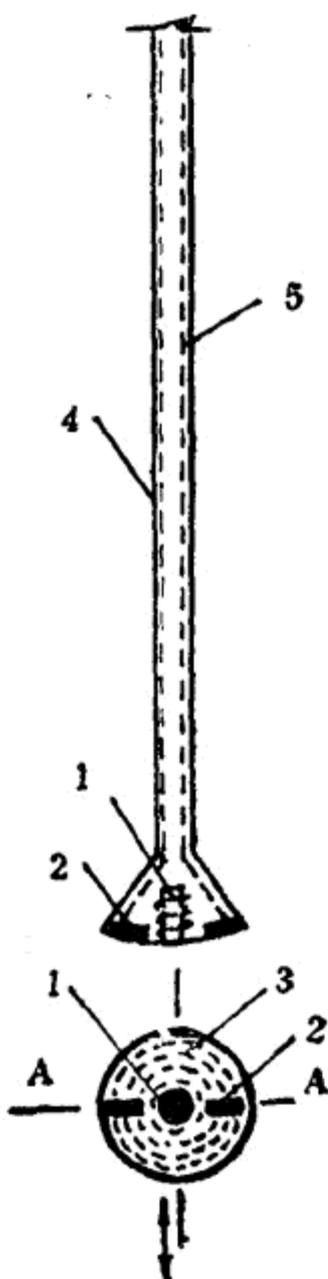


图 4.8.5 电磁式流速传感器结构图

1. 磁芯 2. 电极 3. 电磁线圈
4. 测杆 5. 测量电缆

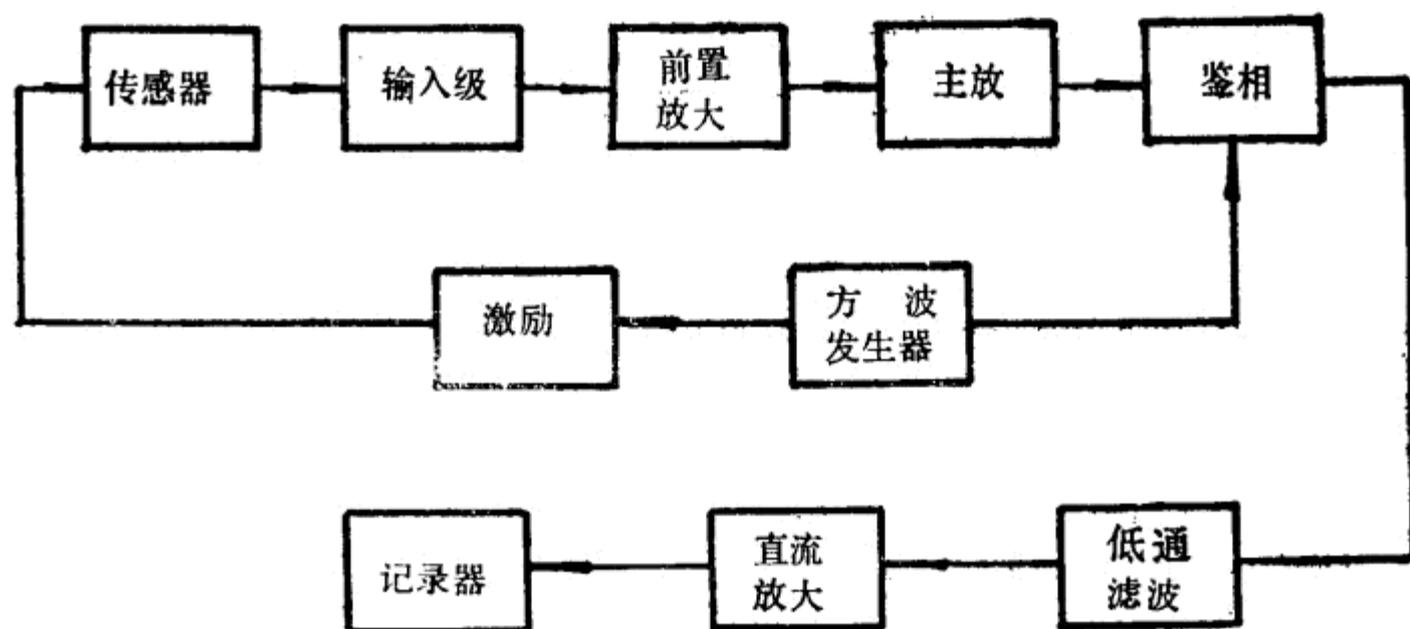


图 4.8.6 电磁式流速仪电路方框图

应用电磁式流速仪测量导电液体流速时，干扰问题是主要问题。因为，干扰信号不仅成份复杂而且幅度大，有时甚至比有用的流速信号大得多，以至使仪器无法工作。因此，放大器性能指标以及低通滤波器的设计至关重要。同时，传感器结构形式的选择以及磁场激励方式的确定要给予足够的重视。

电磁流速仪传感器的显著特点是，在传感器中没有转动部分，对水质无特殊要求。此外，该传感器不仅可以施测平均流速，而且可以感应脉动流速。它是一种有发展前途的新型传感器。但是它对测量环境有较高的要求，试验场地不能有电磁场的干扰，传感器表面不能有气泡或油污。否则，将影响测量结果。这一点在使用中必须给予足够的重视。

§ 4.8.4 热膜式流速传感器

结 构 在 $70\mu\text{m}$ 的圆柱形耐热石英丝上，用阴极溅射技术敷上一层极薄的白金膜作为导电发热材料，在其上面再敷上一层 $0.5\sim 2\mu\text{m}$ 的石英薄膜，作为导体与流体之间的绝缘层。整个感应元件直径约为 0.15mm ，长度约为 2mm 左右，将石英薄膜烧结在陶瓷绝缘支架上，再接上测量支杆。目前，热膜传感器常用的型式有两种，一种是与流向正交的热线，用于测量一个方向的脉动流速，另一种是一一对与流向近似成 $\pm 45^\circ$ 交叉排列成“ \times ”形的热线，可用来测量二维脉动流速。传感器结构如图 4.8.7 所示

工作原理 将热膜置于被测流体中，通以电流加热，加热的金属膜由于热传导和流体流动所引起的热损耗而使温度变低，热膜电阻发生变化。流体的流速越大，强迫对流造成的热损耗越大，金属膜电阻也越大。有关的理论公式参阅式 (4.7—3)。

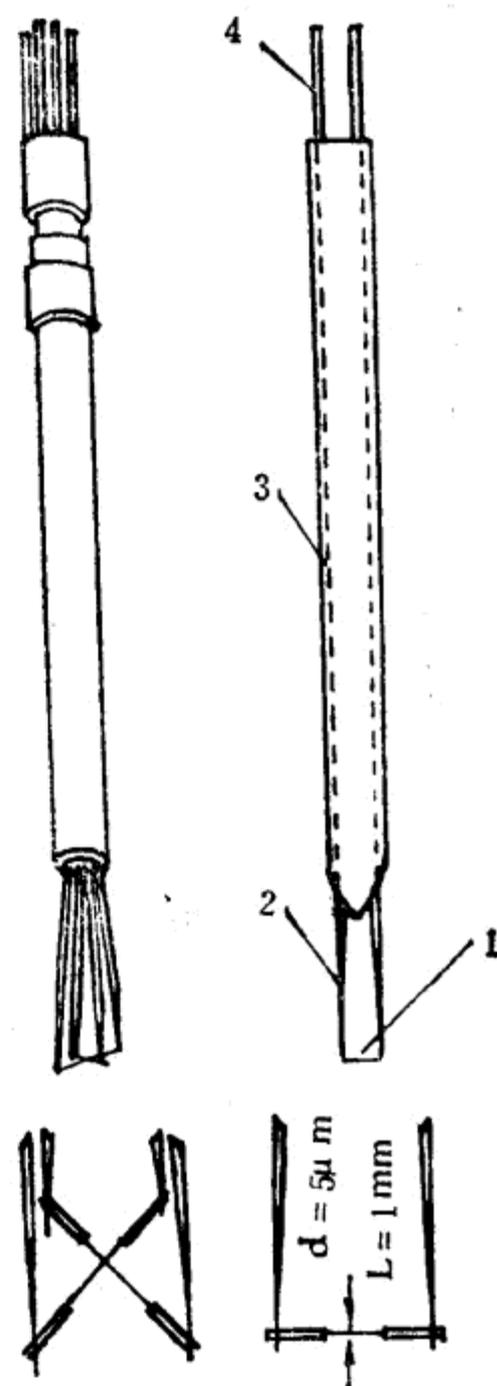


图 4.8.7 热膜式流速仪传感器结构图

1. 热膜 2. 陶瓷支架 3. 不锈钢管 4. 镀电接点

如果随着流体流速的变化及时地改变加在热膜上的电流 I 的大小,保持热膜上的温度不变,从而保持热膜上电阻 R_H 不变。这时,测量加热电流的大小,即可对应测出液体的流速。

电 路 热膜式流速仪的电路方框图如图 4.8.8 所示。

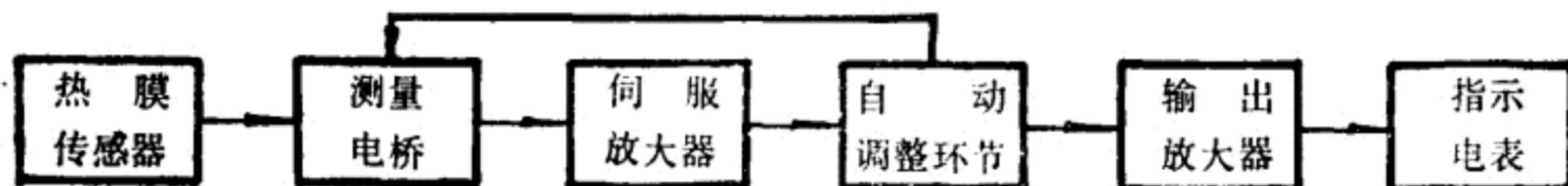


图 4.8.8 热膜式流速仪电路方框图

将热膜接入测量电桥中,作为电桥的一个臂。当流速为零时,调整电桥平衡,放大器输出为零。当热膜在流速作用下,强迫对流引起热损耗,热膜温度 T_f 下降,热膜电阻 R_H 将发生变化,电桥失去平衡,产生一个偏差电压,输入伺服放大器进行放大。该放大器采用开环回路,放大倍数可高达 $10^5 \sim 10^6$ 数量级。即使桥路输出端只有微伏级的电压变化,放大后的讯号也能推动自动调整环节,输出反馈电压以改变桥路工作电压,保持热膜温度恒定。与此同时,调整环节输出一定的电压加至输出放大器。经比较、放大后输出作为测量讯号指示。因此,可根据事先绘制好的流速—电压率定曲线求出流体的流速值。

在热膜传感器制作中,必须正确选用材料和合理的几何尺寸,要解决热交换、导热材料特性、保护层的绝缘性能、溅射敷膜技术及点焊工艺的问题,才能保证仪器的测量灵敏度、精确度和稳定性。

热膜流速仪的探头体积很小,灵敏度高,频率响应迅速,是目前测量气流和水流紊动流速的重要仪器。尤其在气流测量中使用更为广泛。由于探针体积极小,可以测出紊流边界层的流速。该仪器的测量范围为 $1\text{cm/s} \sim 20\text{m/s}$ 。使用场合广泛。但是,由于它毕竟还是接触式测量,对流场仍有一定的干扰作用,使用有一定的局限性。

除上述介绍的几种流速传感器外,还有激光流速仪传感器及超声流速仪传感器。它们均利用多普勒原理所制成。其原理参阅 § 4.9。