

部署智慧交通信息采集系统



活动:

通过部署智慧交通信息采集系统，掌握压电传感器、超声波传感器、气敏传感器的功能和应用。

环节一 情境描述

智慧交通系统是指将传感器技术、数据通信技术、卫星定位导航技术、图形图像处理技术、电子控制技术等信息技术有效地运用到地面交通运输管理体系中，通过安装在道路上和车内的传感器，实时采集某区域内的道路交通状况，以及车辆、驾驶员的违章情况，以提高交通运输效率，减少交通事故，降低能源消耗，减轻环境污染。

智慧交通系统如图 3-0-1 所示。

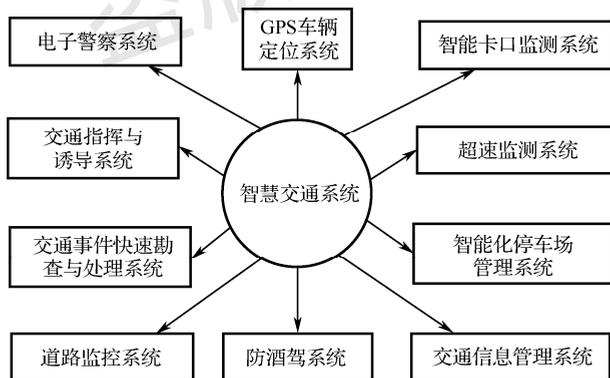


图 3-0-1 智慧交通系统

其中，电子警察系统可通过安装在地下的压电传感器检测到汽车压线情况，通过高清摄像头抓拍车辆违章图片，并对相关信息进行存储和处理；智能化停车场管理系统可通过超声波传感器实时检测车位上是否停有车辆，更新车辆停泊信息，使进入停车场的车辆能快速找到停放位置；防酒驾系统可通过酒精测试装置检测驾驶员呼出气体中的酒精含量，谨防驾驶员酒后开车，以保证道路安全。



任务思维导图

本任务思维导图如图 3-0-2 所示。

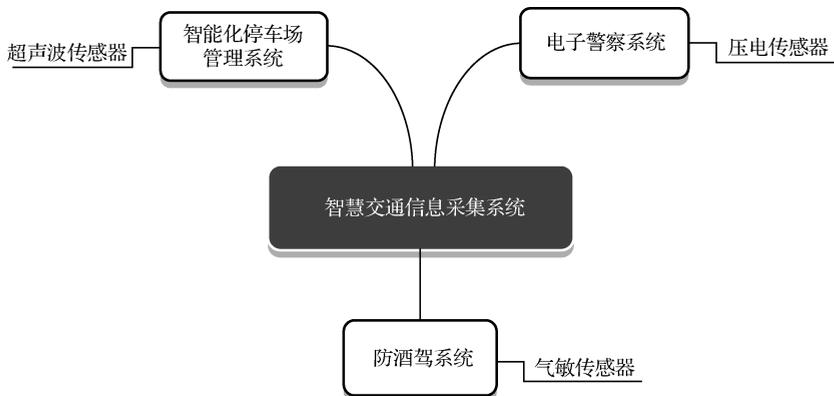


图 3-0-2 智慧交通信息采集系统思维导图

环节二 信息收集

活动一 装调电子警察系统

在众多交通违法行为中，闯红灯是造成交通混乱、引发交通事故的重要因素之一。电子警察系统可通过压电传感器、地感线圈、高清摄像头、网络化数据传输与处理设备，不间断地自动检测、记录机动车辆的闯红灯、压线、超速等违章行为，供交管部门执法时参考，实现交通监控和治理，改善交通环境。

电子警察系统如图 3-1-1 所示。该系统的前端部分由红绿灯、压电传感器、地感线圈、车检器、抓拍摄像头等组成，后端部分由电子警察服务器、操作终端等设备组成。

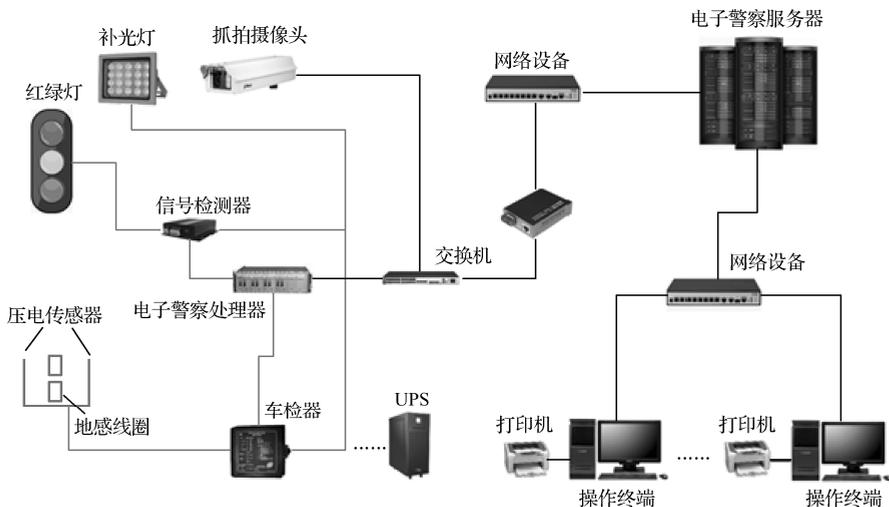


图 3-1-1 电子警察系统

在每一车道上，沿车辆行驶方向安装两个压电传感器及一个地感线圈，如图 3-1-2 所示。压电传感器作为抓拍摄像头的触发器，安装在十字路口的红绿灯线前 2m 左右，两个传感器的间距为 1m 左右；由高温导线绕制而成的地感线圈安装在两个压电传感器之间。

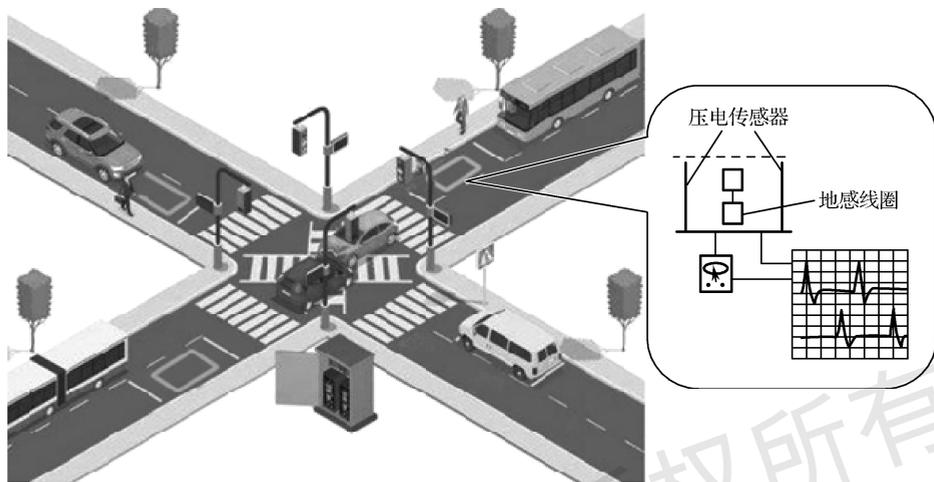


图 3-1-2 安装在十字路口的传感器及轮胎信号检测示意图

当汽车前轮通过压电传感器时，轮胎作用力使压电传感器产生一个与该力成正比的电脉冲信号，并且输出的周期与轮胎停留在传感器上的时间相同。

车检器安装在路边机箱内，与道路上的传感器相连。车检器监测车辆通过压电传感器时所产生的电脉冲信号，并利用两个压电传感器依次发送的信号计算出车辆通过压电传感器时的车速等数据。在红灯亮的时段，车检器若识别出有车辆经过且车速大于预设值，则迅速触发抓拍摄像头对压线车辆拍摄第一张照片。当汽车后轮通过压电传感器时，车检器触发摄像头拍摄第二张照片。在汽车通过路口，到达对面时，摄像头拍摄第三张照片。抓拍所得的车辆影像信息和电子警察处理器收集到的车辆信息，经公共网络中的网络设备上传到后台的电子警察服务器，由交管部门工作人员在操作终端完成违章告知、罚单打印等处理。

在整个系统中，压电传感器是识别车辆闯红灯行为、保障电子警察系统监测能力的关键部件之一，一般采用压电薄膜电缆结构，如图 3-1-3 所示。压电传感器内的压电材料为螺旋缠绕的扁平 PVDF 压电薄膜，屏蔽网采用铜线编织，外层为铜合金材料管护套。压电传感器的扁平结构对路面弯曲、邻近车道及接近车辆的弯曲波所产生的道路噪声具有良好的抑制能力。压电薄膜柔性好、响应快、灵敏度高、测压范围大，且安装简单，只需要在地下挖一小槽，将压电薄膜安装在路面下。小槽对路面的损坏很小，能和路面轮廓保持较好的一致性，可以更好地阻止路面弯曲，降低邻近车道造成的道路噪声。

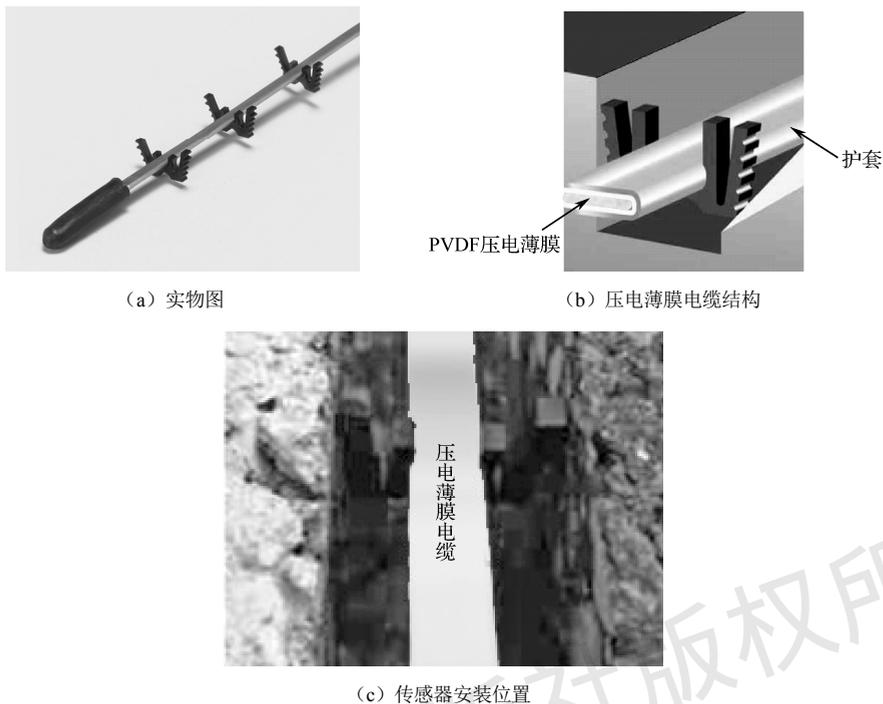


图 3-1-3 压电传感器的结构及安装位置

一、认知压电传感器

压电传感器是以某些电介质的压电效应为基础的一种传感器。在外力作用下，电介质表面会产生一定量的电荷。外力越大，产生的电荷就越多。压电传感器的输出信号有电压和电荷两种，其组成框图如图 3-1-4 所示。

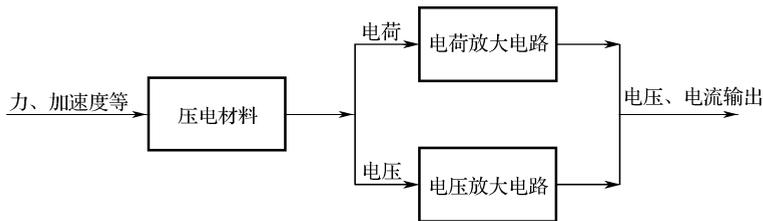


图 3-1-4 压电传感器组成框图

压电材料既是敏感元件，又是转换元件。这种传感器具有响应频带宽、灵敏度高、信噪比大、工作可靠、质量轻、结构简单等优点，在工业、军事、民用等领域应用广泛。

1. 压电传感器的结构和工作原理

(1) 压电传感器的结构

压电材料分为压电晶体、压电陶瓷、高分子压电材料三类。根据不同测量需求，压电材料的选择不同，压电传感器的外形也不同，图 3-1-5 为几种常见的压电传感器。



图 3-1-5 常见的压电传感器

(2) 压电传感器的工作原理

压电元件受到一定方向的压力或拉力时，内部将产生极化现象，在相对的两个表面会产生一定量的极性相反的电荷，去掉外力后，压电元件将恢复到不带电的状态，这种现象称为压电效应。压电效应可将机械能转换为电能。

图 3-1-6 给出了压电元件在各种受力条件下所产生的电荷情况。从图中可以看出，压电元件表面电荷的极性与受力的方向有关。

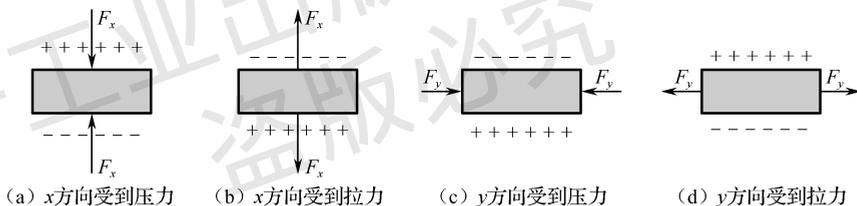


图 3-1-6 压电元件在各种受力条件下所产生的电荷情况

若在压电元件的极化方向上施加交变电场，压电元件就会产生机械变形，去掉电场后，压电元件的变形也随之消失，这种现象称为电致伸缩效应，也称逆压电效应。电致伸缩效应可将电能转换为机械能。压电效应的可逆性如图 3-1-7 所示。

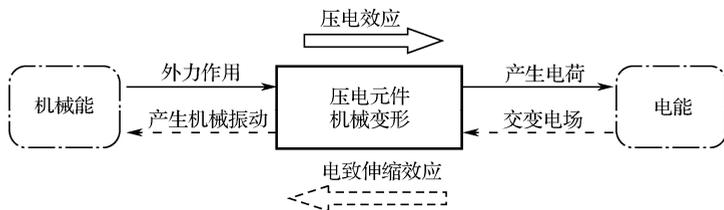


图 3-1-7 压电效应的可逆性



想一想

阐述压电传感器的两种效应。

(3) 压电材料

压电材料可分为压电晶体、压电陶瓷和高分子压电材料三大类。其中，压电晶体一般指压电单晶体；压电陶瓷则泛指压电多晶体；高分子压电材料即有机压电材料，如聚偏二氟乙烯（PVDF）等。

① 压电晶体。

自然界中有 20 多种晶体具有压电效应，其中最具代表性、应用最广的是石英晶体。石英晶体性能非常稳定，在 20~200℃ 范围内压电常数的变化率只有 0.0001/℃，膨胀系数仅为钢的 1/30。压电晶体作为压电传感器中常用的一种压电材料，通常应用在标准传感器、高精度传感器中或环境温度较高的场合，而一般的测量中多采用压电陶瓷做压电元件。

② 压电陶瓷。

压电陶瓷是人造的多晶体压电材料，其压电机理与压电晶体不同。它由无数细微的电畴组成，电畴即分子自发极化的小区域。在极化前，各个电畴在晶体中的排列方向杂乱，多晶体自发极化时各电畴的作用相互抵消，所以压电陶瓷本身为中性，无压电效应。压电陶瓷只有做了极化处理后，才具有压电效应。

使用中如果在压电陶瓷上加一个与极化方向平行的外力使其产生压缩形变，电极上吸附的自由电荷就会增多（充电），即压电陶瓷产生压电效应，其中充电电荷的多少与外力大小成正比。

目前压电陶瓷制造工艺相当成熟，采用改变配方或掺杂微量元素的方式能大幅改变压电材料的技术性能以适应各种要求。

通常情况下，压电陶瓷的压电常数比石英晶体大得多，制造成本也很低，因而目前压电元件大多采用压电陶瓷制成。

③ 高分子压电材料。

高分子压电材料为近年来发展很快的一种新型材料，它是一种柔软的压电材料，不易破碎，具有很好的防水性，经极化处理后呈现出压电特性，其动态响应范围大，频率响应范围为 0.1~10⁹Hz。有的材料压电常数比压电陶瓷大十几倍，其中以 PVF₂ 和 PVDF 的最大。有的材料输出脉冲电压可以直接驱动 CMOS 集成门电路。这些优点都是其他压电材料不具备的。高分子压电材料一般用在测量精度要求高的场合。

三类压电材料的对比见表 3-1-1。

表 3-1-1 三类压电材料的对比

类 型	压 电 晶 体	压 电 陶 瓷	高 分 子 压 电 材 料
典型材料	石英晶体	锆钛酸铅、钛酸钡、铌酸盐、 铈镁酸铅等	聚偏二氟乙烯、聚氟乙烯、改性聚 氯乙烯等
性能	压电常数变化率极小，膨胀系数 极小，线性范围宽，性能稳定，重 复性好，固有频率高，动态特性好。 不足之处是压电常数较小	压电常数远大于石英晶体；工 艺特性良好，可按需制成各种形 状；成本低	压电常数较大；动态响应范围和频 率响应范围较大；拉制成薄膜或管状 工艺简单，制造成本低。不足之处： 机械强度低，不耐高温，温度灵敏度 低，不宜暴晒，易老化
应用	适用于标准传感器、高精度传感 器或环境温度较高的场合	为大多数压电传感器所采用	适用于测量力学、电声、水声、超 声波等信号的传感器

选择压电材料时通常要从以下几个方面加以考虑。

第一，要确保材料有较大的压电常数，保证实现较好的能量转换；第二，材料要有较高的机械强度、较大的机械刚度、较宽的线性范围和较高的固有频率，即有良好的机械性能；第三，材料要有较高的电阻率和较大的介电常数，以较好地防止电荷泄漏，即有较好的电气性能；第四，材料要有较高的居里温度和较宽的工作温度范围，即有较好的温度稳定性；第五，压电效应不应随时间而蜕变，即具有良好的时间稳定性。



想一想

电子警察系统中的压电传感器采用的是哪一类压电材料？

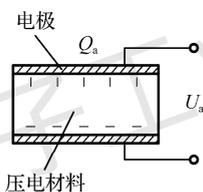
2. 压电传感器相关电路

(1) 等效电路

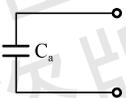
压电元件等效电路如图 3-1-8 所示。当压电元件受到外力作用时，两个相对的表面上会累积等量异性电荷，可将它们视为电容器的两个极板，两表面间的压电材料可看作电介质，两极板间的电压则为

$$U_a = \frac{Q_a}{C_a}$$

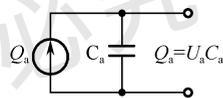
式中， C_a 为两极板间的电容量， Q_a 为电容器积累的电荷量。



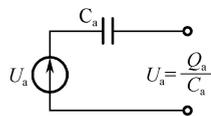
(a) 电荷产生器



(b) 电容器



(c) 等效电荷源



(d) 等效电压源

图 3-1-8 压电元件等效电路

在压电传感器中，为了提高灵敏度，往往采用多个压电片构成一个压电组件，其中最常用的是两片结构。两个压电片的连接方式可分为串联和并联，如图 3-1-9 所示。如果按相同极性粘贴，则相当于两个压电片串联，输出电荷量与单片电荷量相等，输出电容量为单片电容量的一半，输出电压是单片电压的两倍。若按不同极性粘贴，则相当于两个压电片并联，输出电容量为单片电容量的两倍，极板上的电荷量是单片电荷量的两倍，但输出电压与单片电压相等。压电片通常采用并联连接方式，可以增大输出电荷量，提高检测灵敏度。

需要注意的是，压电片在加工时接触面很难打磨得绝对平整，为保证压电片间全面均匀接触，事先要使压电片有一定的预应力，但预应力不能太大，否则将影响压电传感器的灵敏度。



(a) 压电片串联



(b) 压电片并联

图 3-1-9 压电片连接方式

此外，只有在交变外力的作用下，压电传感器的电荷才能不断得到补充，为测量电路提供一定的电流，即压电传感器只能测量动态量，不适于测量静态量。

(2) 测量电路

在实际测量时，压电传感器除了连接测量电路，还需要连接测试仪表和显示仪表等，因此传感器实际的等效电路还须考虑连接电缆电容 C_c 、放大器的输入电阻 R_i 和输入电容 C_i 等形成的负载阻抗对电路的影响；加之空气总有一定的湿度，压电元件也非理想元件，其内部存在泄漏电阻 R_a 。因此，压电传感器实际测量电路如图 3-1-10 所示。

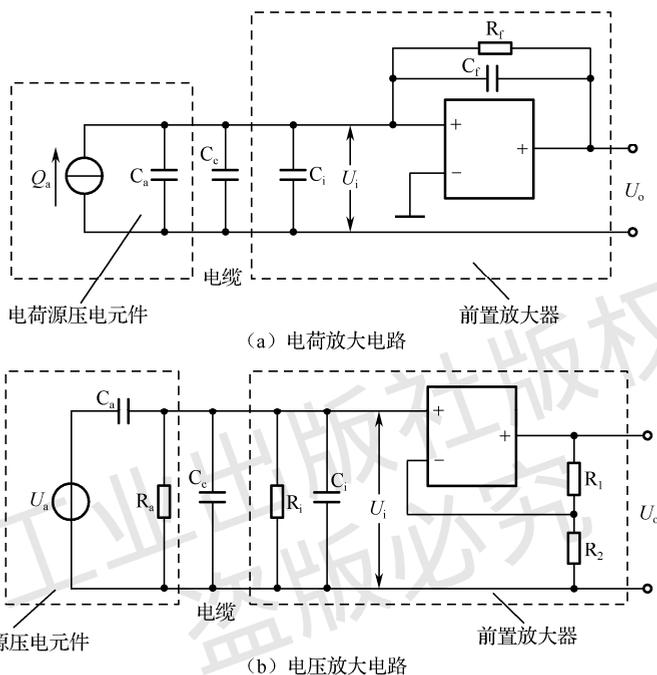


图 3-1-10 压电传感器实际测量电路

测量电路通常要先经过一个高输入阻抗的前置放大器。前置放大器主要起阻抗匹配和信号放大作用。信号经放大、检波、指示电路处理后，被送至数据分析或显示装置。

① 电荷放大电路。

在图 3-1-10 (a) 中，前置放大器接有反馈电容 C_f ，具有高输入阻抗、高增益、深度负反馈等特点，其输入阻抗高达 $10^{10} \sim 10^{12} \Omega$ ，输出阻抗小于 100Ω ，能将高内阻的电荷源转换为低内阻的电压源。输出 U_o 只与传感器的电荷量和反馈电容有关，与电缆电容无关。由于运算放大器的输入阻抗极高，放大器的输入端几乎没有分流，因此，与电压放大电路相比，可略去传感器的固有电阻 R_a 和放大器的输入电阻 R_i 。

为使放大器稳定工作，减小零漂，通常在反馈电容 C_f 的两端并联一个大电阻 R_f ，形成直流负反馈，以稳定放大器的直流工作点。此时，电荷放大电路的输出电压仅与传感器的电荷量及放大器的反馈电容有关，而与连接电缆无关，更换连接电缆时不会影响传感器的灵敏度。

② 电压放大电路。

电压放大电路中虚线框内的电路为传感器自身的电压源等效部分，放大电路的时间常数由电阻和电容决定。因为传感器的绝缘电阻极大，所以放大器的输入电阻越大，电路时间常

数越大，系统的低频响应越好。电压放大电路的电容增大，传感器灵敏度一定降低，所以传感器到放大器间的连接电缆长度不能随意改变。

与电荷放大电路相比，电压放大电路结构简单，元件少，价格低，工作可靠。但是，电缆长度对传感器测量精度的影响较大，这在一定程度上限制了压电传感器在某些场合的应用。



想一想

电压放大电路中为什么不能随意改变电缆长度？对于压电片的两种接法，输出电压、电容有什么不同？

3. 压电传感器的应用

压电传感器在外力作用下，无须外界提供电源就有电压输出，随着固态电子器件与集成电路的迅速发展，超小型电压放大器完全可以直接装入传感器中。压电传感器可用于压力、质量、加速度等物理量的测量，目前广泛应用于工程力学、生物医学、电声学等领域。

(1) 加速度计

加速度计是利用某些物质，如石英晶体的压电效应制成的，由压电晶片、质量块、电极、外壳、基座等组成，如图 3-1-11 所示。

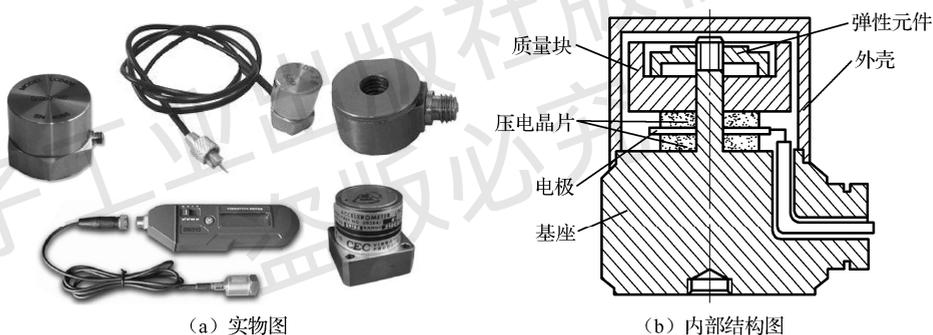


图 3-1-11 加速度计

压电晶片安装在基座上，上面加一质量块，用弹性元件将压电晶片压紧。测量前将加速度计的基座固定在被测物上，被测物运动时，带动加速度计做同步运动，这时质量块将产生一个与加速度成正比的惯性力作用于压电晶片，使压电晶片受力而产生电荷。被测物的加速度发生变化，压电晶片产生的电荷量也随之变化。当被测物振动频率远低于压电晶片的谐振频率时，压电晶片输出的电荷量或电压与被测物的加速度成正比，经电荷放大电路或电压放大电路便可测出加速度。

加速度计动态范围大，频率范围宽，受外界干扰小，坚固耐用，不需要外接电源，适于检测高频信号，因其结构简单，能做得极小，故广泛应用于消费电子、汽车、航空航天、武器系统等领域的倾斜度检测、运动检测、定位检测等。

(2) 玻璃破碎报警装置

玻璃破碎报警装置利用压电传感器对振动敏感的特性制成，广泛应用于文物保管、贵重商品保管等场合，其外观与内部结构如图 3-1-12 所示。

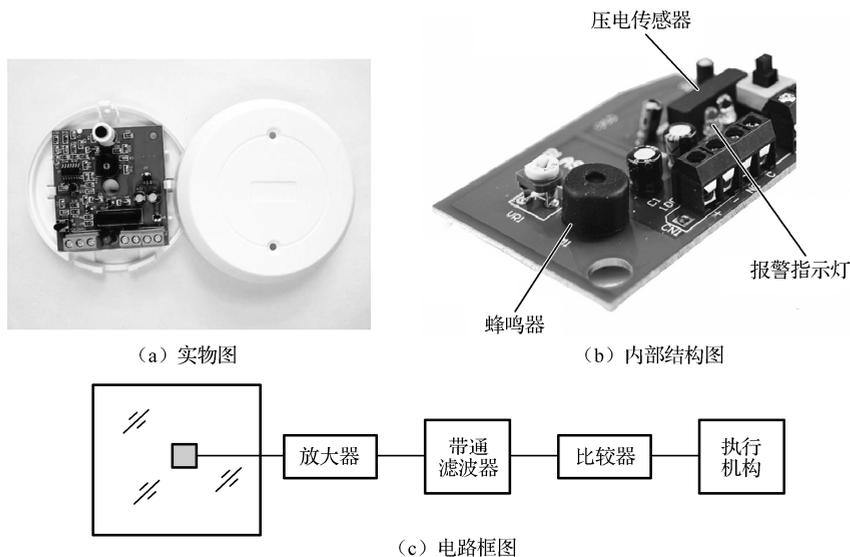


图 3-1-12 玻璃破碎报警装置

将玻璃破碎报警装置牢固地贴在玻璃上。玻璃被撞击或者破碎时，将产生几千赫兹至几万赫兹的振动波。报警装置内的压电传感器（压电薄膜）感受到这种剧烈的振动波，便在其表面产生一定量的电荷，输出窄脉冲报警信号。带通滤波器滤除其他频段的信号，保留玻璃振动频率范围内的信号，通过比较器比较后，利用高于设定的阈值的传感器信号驱动报警执行机构工作，进行声光报警。

(3) 动态称重系统

动态称重系统是在不影响车辆正常行驶的情况下，通过在行车道路上埋设称重传感器来自动获得和检测车辆载重信息的装置，如图 3-1-13 所示。

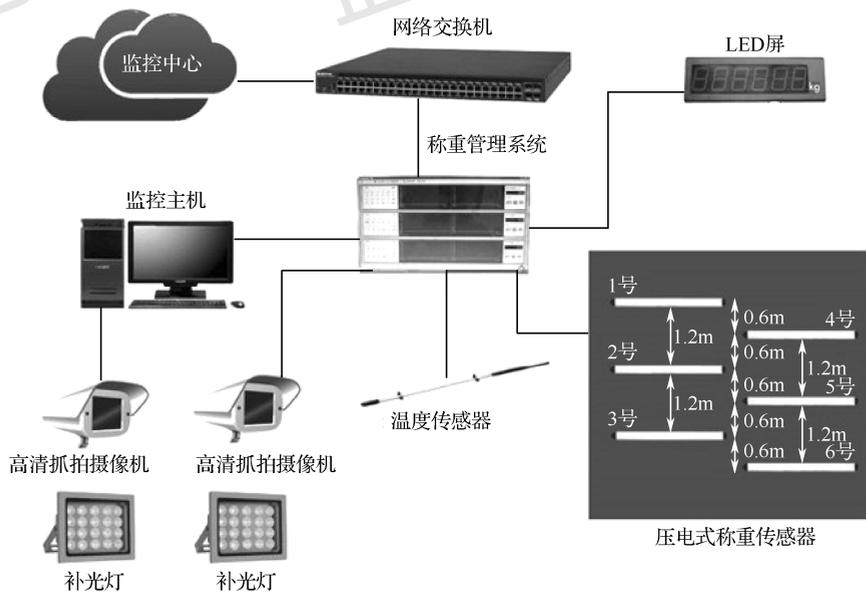


图 3-1-13 动态称重系统



(b) 压电式称重传感器的安装位置

图 3-1-13 动态称重系统 (续)

动态称重系统主要由压电式称重传感器、称重管理系统、监控主机、高清抓拍摄像机、LED 屏等构成。

在称重区埋设压电式称重传感器及温度传感器，并将每个传感器与系统主机相连。当车辆驶入称重区时，压电式称重传感器将受到轮胎对它所产生的压力，并将其转换为模拟电信号，经由 A/D 转换器将模拟电信号转换为数字信号，存储于系统主机内。同时，系统主机也会收到温度传感器所采集到的温度信号。系统主机利用滤波算法对采集到的称重信号进行降噪滤波预处理，去除干扰信号的影响，得到真实的车辆载重信号，然后利用动态称重算法处理车辆载重信号，得出车辆载重数，并识别车辆轴数、轮胎个数、行驶速度等参数，自动判断车辆是否超载。当出现超载情况时，通过高清抓拍摄像机抓拍车牌，并将相关信息显示在 LED 屏上，同时将相关数据存入称重管理系统或进行报警处理，从而实现全自动车辆载重监控。

(4) 带压电式雨滴传感器的自动汽车刮水器

汽车在雨雪天气行驶时，雨雪对车窗的遮盖会妨碍驾驶员的视线，引发危险。带压电式雨滴传感器的自动汽车刮水器具有很好的车窗雨雪清理效果。图 3-1-14 (a) 是压电式雨滴传感器的结构图，图 3-1-14 (b) 为传感器模块，图 3-1-14 (c) 为雨滴的检测过程。

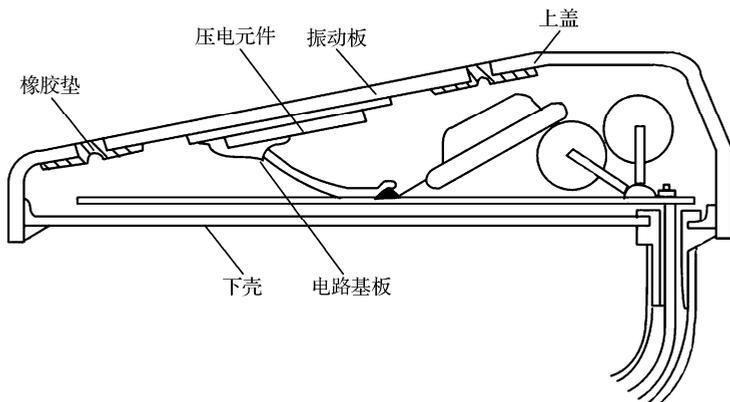
压电式雨滴传感器由振动板、压电元件、电路基板、橡胶垫、上盖、下壳等构成。整个汽车刮水器的结构框图如图 3-1-14 (d) 所示。振动板接收雨滴冲击的能量后按自身固有振动频率发生弯曲振动，并将振动传递给内侧的压电元件，致使压电元件产生压电效应，即将振动板传来的振动转换成电压，电压大小与加到振动板上的雨滴能量成正比，一般为 0.5~300mV。

压电式雨滴传感器输出的电压信号经放大和转换，输出反映雨量大小的电压波形，最终系统按电压的大小自动设定刮水器的工作时间间隔，控制刮水器的动作。

(5) 车床动态切削力测量装置

研究车床切削力的变化规律有助于分析切削过程，对实际生产有重要的指导意义。

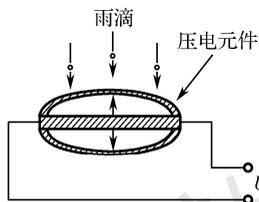
车床动态切削力测量装置测量准确度高，安装方便，它由压电式动态力传感器、刀架、车刀、放大器、记录仪等组成，如图 3-1-15 所示。



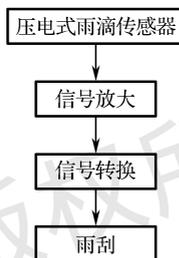
(a) 压电式雨滴传感器的结构图



(b) 传感器模块

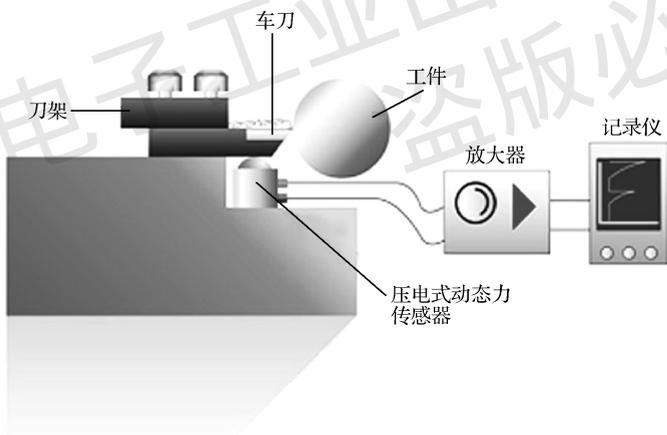


(c) 雨滴的检测过程



(d) 汽车刮水器结构框图

图 3-1-14 带压电式雨滴传感器的自动汽车刮水器



(a) 装置结构



(b) 压电式动态力传感器

图 3-1-15 车床动态切削力测量装置

车刀对工件进行切削操作时，因工件的转动而使车刀受到振动力，该振动力直接作用在压电式动态力传感器上，传感器将振动力转换成电信号输出至放大器，由放大器放大后，在记录仪上显示电信号的变化。通过观察记录仪上电信号的变化可得出振动力的变化，从而测出动态切削力。

二、完成电子警察系统的装调

本活动通过模拟监控路口汽车闯红灯的场景，完成电子警察系统的装调。当汽车通过装

有红绿灯的路口时，若是绿灯，则不触发闪光灯闪烁，即不对汽车进行拍照；若是红灯，则触发闪光灯闪烁，即对汽车进行拍照。电子警察系统的构成如图 3-1-16 所示。

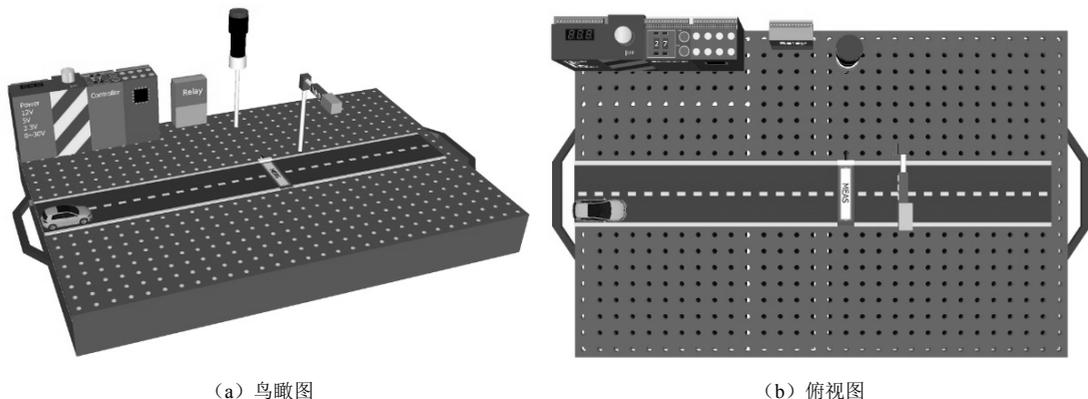


图 3-1-16 电子警察系统的构成

1. 系统工作原理

本活动采用的 PVDF 压电传感器（型号为 IPS-7216）如图 3-1-17 所示。压电薄膜固定在车道上，当汽车通过压电传感器时，汽车轮胎对压电薄膜施加压力，使压电传感器产生电荷，压电薄膜产生微弱电压，经放大后通过电压比较器输出电压脉冲信号，获得汽车信息。

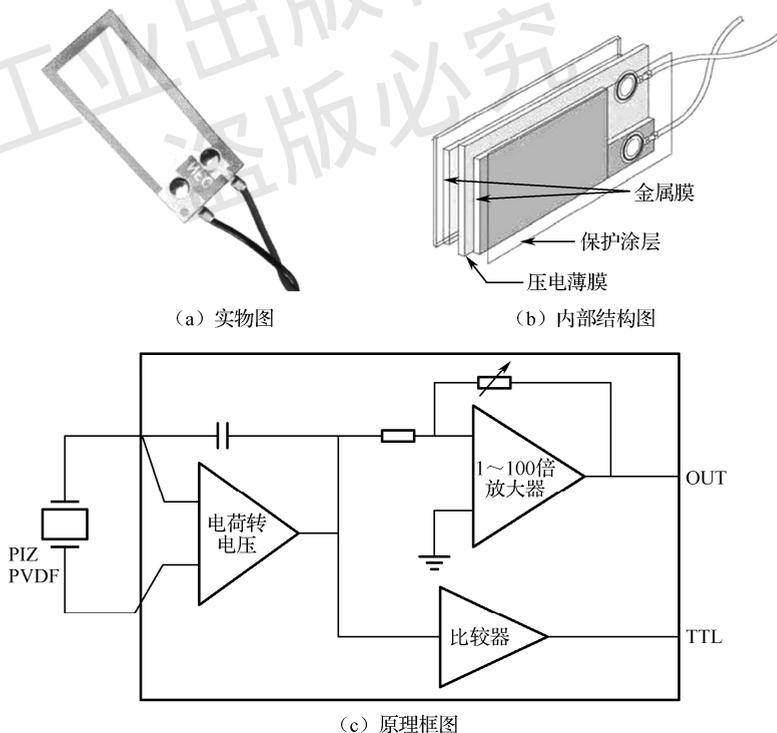


图 3-1-17 PVDF 压电传感器

2. 装调过程

(1) 检测元器件

电子警察系统元器件清单见表 3-1-2。将表中元器件准备好后，测试元器件性能是否正常。

表 3-1-2 电子警察系统元器件清单

序号	名称	型号/规格	数量
1	PVDF 压电传感器	IPS-7216	1
2	压电信号放大电路套件	PVA103	1
3	OLED 显示模块	SSD1306/12864/0.96 英寸	1
4	声光报警器	22sm/12V	1
5	控制器	ATMEGA2560	1
6	继电器	松乐 SRD/12V	1
7	信号灯	—	1
8	LED 闪光灯	—	1
9	模拟汽车	—	1
10	交通道路贴	—	1
11	电源	12V/5V/30W	1
12	万用表	—	1
13	示波器	—	1
14	导线	—	若干

(2) 装调系统

系统内的模块外形图如图 3-1-18 所示。

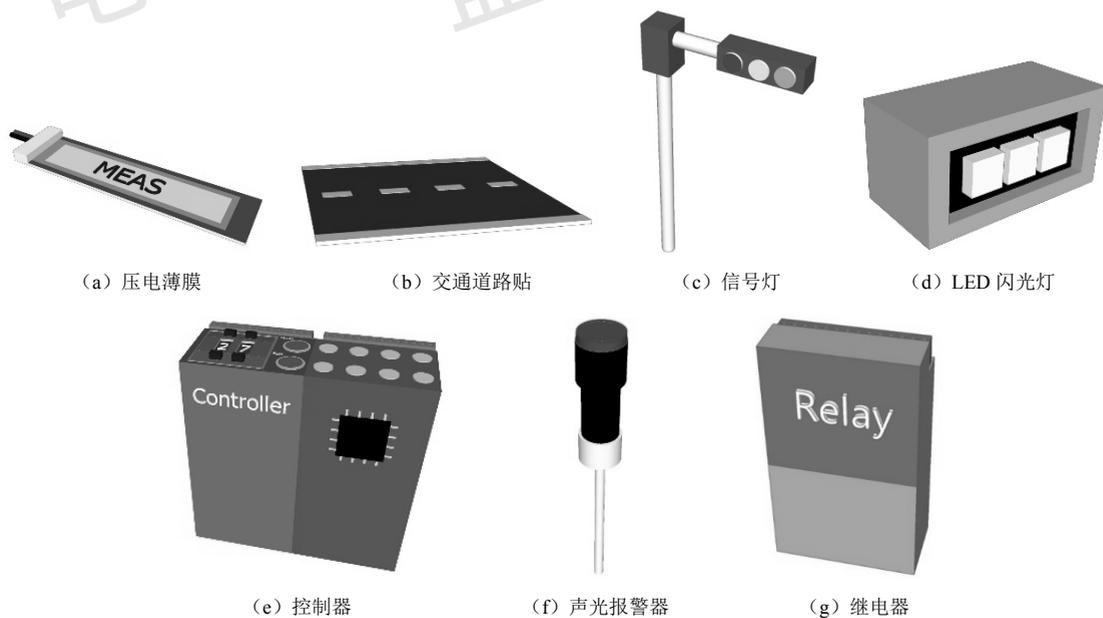


图 3-1-18 系统内的模块外形图

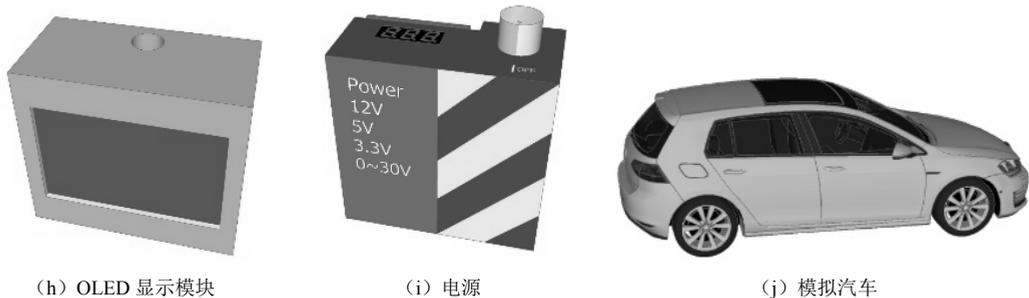


图 3-1-18 系统内的模块外形图 (续)

① 装配压电信号放大电路套件。

步骤一：将压电信号放大电路套件按照装配图进行焊接、装配。

步骤二：将压电信号放大电路板与控制器和声光报警器连接起来。

② 搭建系统。

步骤一：安装控制器、OLED 显示模块和声光报警器。

步骤二：安装交通道路贴及信号灯。

步骤三：铺设压电薄膜。

步骤四：安装 LED 闪光灯（模拟拍照系统）。

步骤五：将信号灯、传感器开关板、LED 闪光灯连接到控制器。

步骤六：将声光报警器连接到继电器，将继电器连接到控制器。

③ 调试系统。

步骤一：将控制器上的项目拨码开关设置为 3，活动拨码开关设置为 1。

步骤二：设置红绿灯时间、报警响应时间、拍照响应时间。

步骤三：信号放大模块有 VCC、TTL、OUT、GND 四个端口，其中 TTL 为比较器输出端，比较电压为 0.6V，输出 TTL 方波。在无振动时，信号放大模块输出约 2V 电压，有振动时输出正负波动电压信号。图 3-1-19 为轻敲压电薄膜时示波器显示的波形。接入 5V 电源，轻敲压电薄膜，使用示波器观察 OUT 端输出信号。

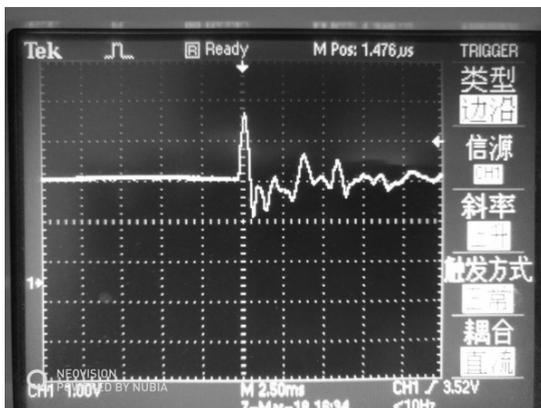


图 3-1-19 轻敲压电薄膜时示波器显示的波形

步骤四：模拟汽车正常通行和闯红灯的场景，观察 LED 闪光灯闪烁情况。

④ 注意事项。

- (a) PVDF 压电传感器信号很弱，极易受到周围电场干扰，使用时应尽量远离干扰源。
- (b) PVDF 压电传感器属于薄膜类传感器，不可折叠，以免造成传感器损坏。



想一想

LED 闪光灯的闪烁取决于哪些因素？

活动总结

本活动以装调电子警察系统为目标，对电子警察系统的作用、组成、结构以及系统中压电传感器的安装方法和基于压电传感器的车辆闯红灯违章检测过程进行了介绍。

本活动对压电传感器的组成、结构、工作原理、测量电路进行了详细讲解。压电传感器是以某些电介质的压电效应为基础的一种传感器。压电元件受到一定方向的压力或拉力时，在相对的两个表面会产生一定量的极性相反的电荷，去掉外力后，压电元件将恢复到不带电的状态，这种现象称为压电效应。

压电传感器的输出信号较弱，直流响应差，需要采用电压放大电路、电荷放大电路等测量电路来产生能够驱动负载的输出。压电传感器具有响应频带宽、灵敏度高、信噪比大、工作可靠、质量轻、结构简单等优点，因而应用广泛。

活动测试

一、填空题

1. 压电材料分为_____、_____和_____三类。
2. 压电元件受到一定方向的压力或拉力时，内部将产生极化现象，在相对的两个表面会产生一定量的极性相反的电荷，去掉外力后，压电元件将恢复到不带电的状态，这种现象称为_____；若在压电元件的极化方向上施加交变电场，压电元件就会产生机械变形，去掉电场后，压电元件的变形也将随之消失，这种现象称为_____。
3. 压电传感器可等效为一个_____和一个电容_____，也可等效为一个_____与电容_____。
4. 压电传感器的输出须先经过前置放大电路处理，前置放大电路有_____和_____两种形式。
5. 压电传感器使用_____放大电路时，输出电压几乎不受连接电缆长度变化的影响。
6. 电压放大电路的_____不能随意改变。
7. 压电传感器采用前置放大电路的目的是_____。
8. 当压电式加速度计固定在试件上而承受振动时，质量块产生一可变量，作用在压电晶片上，由于_____效应，在压电晶片两表面上就有_____产生。

二、选择题

1. 某些物质受到一定方向的外力作用时，其表面会产生电荷，去掉外力就会恢复到不带电的状态，这种现象称为（ ）。
 - a. 压电效应
 - b. 磁致伸缩效应
 - c. 霍尔效应
 - d. 压磁效应

2. 压电材料是压电传感器的（ ）。
 - a. 敏感元件
 - b. 转换元件
 - c. 敏感元件和转换元件
 - d. 普通元件
3. 压电传感器目前多用于测量（ ）。
 - a. 静态的力或压力
 - b. 动态的力或压力
 - c. 位移
 - d. 温度
4. 两个压电元件串联与单片相比说法正确的是（ ）。
 - a. 串联时输出电压不变，电荷量与单片相同
 - b. 串联时输出电压增大一倍，电荷量与单片相同
 - c. 串联时电荷量增大一倍，电容量不变
 - d. 串联时电荷量增大一倍，电容量为单片的一半
5. 当运算放大器放大倍数很大时，压电传感器输入电路中的电荷放大器的输出电压与（ ）成正比。
 - a. 输入电荷
 - b. 反馈电容
 - c. 电缆电容
 - d. 放大倍数
6. 下列描述中正确的是（ ）。
 - a. 压电传感器在使用电荷放大器时，连接电缆长度会影响系统测量精度
 - b. 使用电荷放大器时，其输出电流与传感器的输入电荷成正比
 - c. 使用电荷放大器时，其输出电压与传感器的输入电压成正比
 - d. 压电传感器在使用电压放大器时，连接电缆长度会影响系统测量精度
7. 下列描述中不正确的是（ ）。
 - a. 压电晶体具有良好的温度稳定性，常用于高精度测量
 - b. 压电陶瓷压电常数大，灵敏度高，制造工艺成熟，是目前最稳定的压电材料
 - c. 新型压电材料既具有压电特性又具有半导体特性，适合集元件与线路于一体，研制成新型集成压电传感器测试系统
 - d. 压电陶瓷成形工艺性好，成本低廉，利于广泛应用
8. 压电片受力的方向与产生电荷的极性（ ）。
 - a. 无关
 - b. 有关

活动二 装调智能化停车场管理系统

智能化停车场管理系统能使驾驶员快速找到车位、完成停车，还能大幅度提高车位的利用率。智能化停车场管理系统如图 3-2-1 所示。

智能化停车场管理系统包括每个车位上方安装的超声波传感器、区域显示屏、辅助快速停车的引导单元、库外导向牌、管理中心等，具有远程车位检索、可用车位提示、自动进行停车导航等诸多功能。

超声波传感器是智能化停车场管理系统的重要组成部分，常用的超声波传感器如图 3-2-2 (a) 所示。超声波传感器安装在每个车位的正上方，如图 3-2-2 (b) 所示。

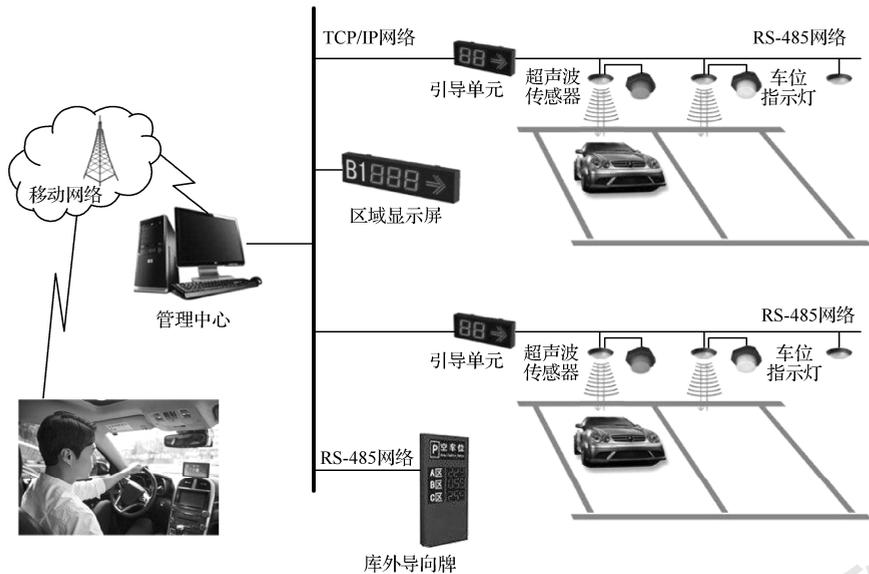
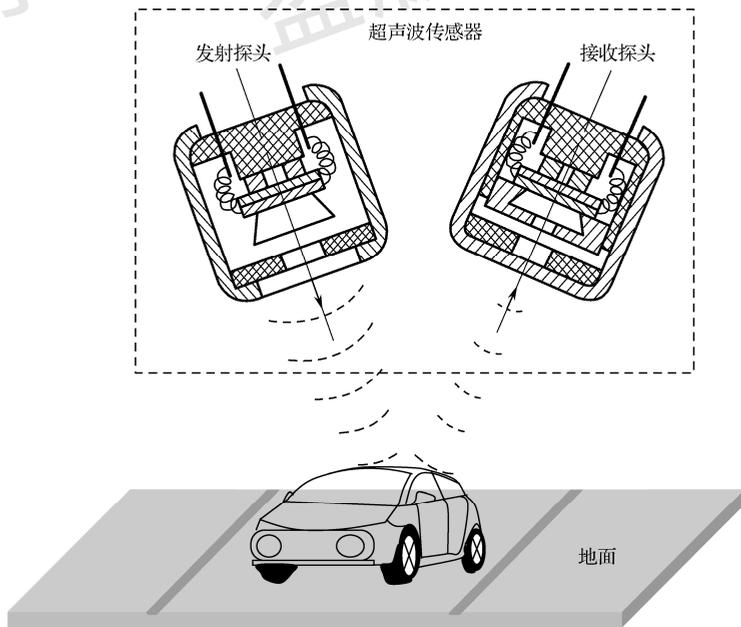


图 3-2-1 智能化停车场管理系统



(a) 实物图



(b) 安装示意图

图 3-2-2 超声波传感器

当有车停泊在车位上时，发射探头发射的超声波到达车顶后经过车顶反射到接收探头，接收探头接收衰减后的超声波反射信号并将其转换为电信号，电信号经电路处理，再经 RS-485 网络、TCP/IP 网络传送至管理中心，由管理中心主机完成数据分析及系统的整体监控，获得车位占用信息；如果车位上没有停泊车辆，发射探头发射的超声波将被地面反射，接收探头接收的超声波强度就会降低，传至管理中心的信号就会减小，系统由此就可判断出当前车位未被占用。

管理中心主机控制停车场区域显示屏、引导单元、库外导向牌对当前空闲车位的位置、编号等信息进行实时显示，引导驾驶员入场后快速完成停车操作。一些停车场的管理中心还通过移动网络与一些云平台的 App 对接，将车位信息发往车主手机、导航仪等智能终端上，支持车主远程进行车位检索、预订和停车导航等，既能为车主提供高效、舒心的停车体验，又提高了车位的利用率。

一、认知超声波传感器

超声波是一种振动频率高于声波的机械波，具有频率高、波长小、反射能力强、方向性好等优点。超声波对液体、固体的穿透能力很强，尤其是在不透明固体中，超声波可穿透几十米。超声波遇到杂质或分界面会发生反射，形成反射波，利用这一特性可制成超声波传感器。

超声波传感器包括产生超声波的发射探头和接收超声波的接收探头，其中发射探头利用的是压电晶体的电致伸缩效应，压电晶体在电压的激励下发生振动，产生超声波向外发射，将电能转换为机械能；接收探头则基于压电晶体的压电效应，压电晶体在超声波的作用下产生电荷，将机械能转换为电能，因此超声波传感器属于典型的双向传感器，如图 3-2-3 所示。

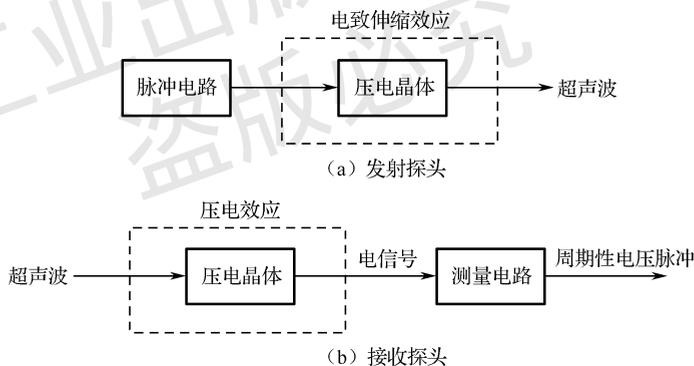


图 3-2-3 超声波传感器的组成

1. 超声波传感器的工作原理与性能指标

(1) 超声波

次声波、声波、超声波和微波是按频率划分的，如图 3-2-4 所示。声波指人耳可辨别的声音信号，其频率为 20Hz~20kHz；次声波的频率低于 20Hz；超声波超出了人耳听觉范围，其频率高于 20kHz。

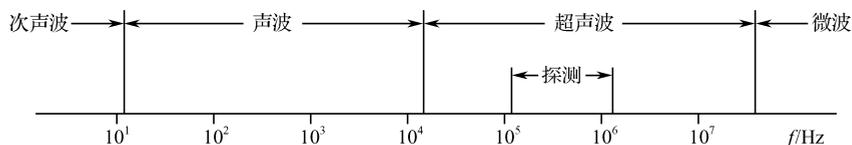


图 3-2-4 次声波、声波、超声波与微波

(2) 超声波的物理性质

① 指向性。

超声波的指向性又称超声波的束射性或定向性。由于频率极高、波长小、能量集中，超声波在传播时能集中于一个方向。超声波的频率越高，指向性越好。

② 超声波的反射、折射和衰减。

当超声波从一种介质传播到另一种介质时，在两介质的分界面上将发生反射和折射，如图 3-2-5 所示。其中，能返回原介质的称为反射波，透过介质表面能在另一种介质内继续传播的称为折射波。在某些情况下，超声波还能产生表面波。各种波型都符合反射和折射定律。

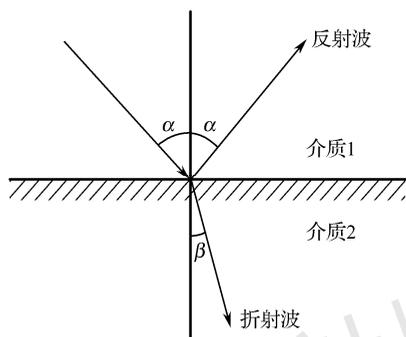


图 3-2-5 超声波的反射和折射

超声波衰减是指超声波在介质内传播时随传播距离的增加而减弱的现象。引起超声波衰减的原因主要有两点：一是超声波束在不同声阻抗介质的交界面上发生折射、反射及散射等现象，使主声束方向上的能量减弱；二是因为介质的黏滞性（内摩擦力）和温度等因素的影响，超声波的部分能量被吸收。

③ 强穿透性。

当超声波波长远远小于传感器探头的直径时，超声波近似为平面波，方向性更为明显，显现出很强的穿透能力，能穿透几米厚的钢板而能量损失很小，可在气体、液体、固体、固熔体等介质中有效传播，甚至能在许多介质中进行上百米的远距离传播。

④ 温度特性。

超声波的传播速度与温度有关。在使用时，如果温度变化不大，则可认为其传播速度基本不变。如果测距精度要求很高，则应通过温度补偿的方法加以校正。

(3) 超声波传感器的工作原理

采用换能装置实现电能和超声波的转换，通过发射超声波和接收超声波的方式进行信号检测的装置称为超声波探头或者超声波换能器。超声波探头按工作原理分为压电式、磁致伸缩式、电磁式等多种，其中压电式超声波探头为主流。

超声波发射探头和接收探头构成超声波传感器，探头结构如图 3-2-6 所示。超声波探头的核心部件是压电晶片。从发射探头的引脚输入高频脉冲电信号时，压电晶片因电致伸缩效应发生变形而产生振动，振动频率在 20kHz 以上，由此形成了超声波。发射探头的压电晶片上粘贴了锥形共振盘，以增强方向性。超声波经锥形共振盘共振放大后定向发射出去。

发射探头发射的超声波遇到障碍物后立即发生反射，接收探头接收到反射的超声波后，其内部的压电晶片产生压电效应（出现反复变形），通过锥形共振盘将超声波转换成微弱的电

振荡信号，在阻抗匹配器处进行噪声滤除，经后继电路的信号放大，得到系统所需要的控制信号。

在收发分体的超声波传感器中，探头发射的超声波频率和接收的超声波频率应匹配。在实际应用中，压电式超声波传感器的发射探头和接收探头多做成一体。

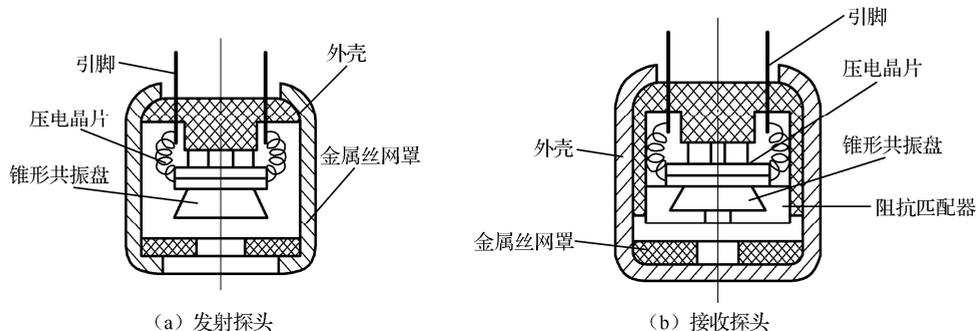


图 3-2-6 超声波探头结构

几种典型的超声波探头如图 3-2-7 所示。



图 3-2-7 几种典型的超声波探头

超声波探头按入射声束方向可分为直探头和斜探头。直探头按内部晶片数量又可分为单晶直探头和双晶直探头。单晶直探头、双晶直探头和斜探头的结构如图 3-2-8 所示。

单晶直探头发出的超声波垂直投射到被测件内，经过界面反射到探头。单晶直探头的发射与接收是分时进行的，其测量精度低，控制电路复杂，主要用于检测与检测面平行的缺陷，如板材、铸件、锻件的检测等。

双晶直探头是两个单晶直探头的组合体，两个压电晶片安装在同一个壳体内，一个用于发射超声波，另一个用于接收超声波。两晶片之间用一个吸声能力强、绝缘性能好的薄片加以隔离。发射与接收可以同时进行。双晶直探头虽然结构复杂，但检测精度比单晶直探头高，控制电路比单晶直探头简单，且杂波少、盲区小，检测范围可调，主要用于检测近表面缺陷。

斜探头是将压电晶片粘贴在与底面呈一定角度（如 30° 、 45° 等）的有机玻璃斜楔块上，当斜楔块与不同材料的被测介质（被测件）接触时，超声波按一定角度倾斜入射到被测介质中，在介质中经多次反射到达接收探头。

斜探头又分为横波斜探头和纵波斜探头。横波斜探头主要利用横波进行检测，是入射角在第一临界角与第二临界角之间且折射波为纯横波的探头，主要用于检测与检测面垂直或呈一定角度的缺陷，广泛用于焊缝、管材、锻件的检测。纵波斜探头是入射角小于第一临界角

的探头，主要利用小角度的纵波进行缺陷检验，或在横波衰减过大的情况下，利用纵波穿透能力强的特点进行纵波斜入射检验。

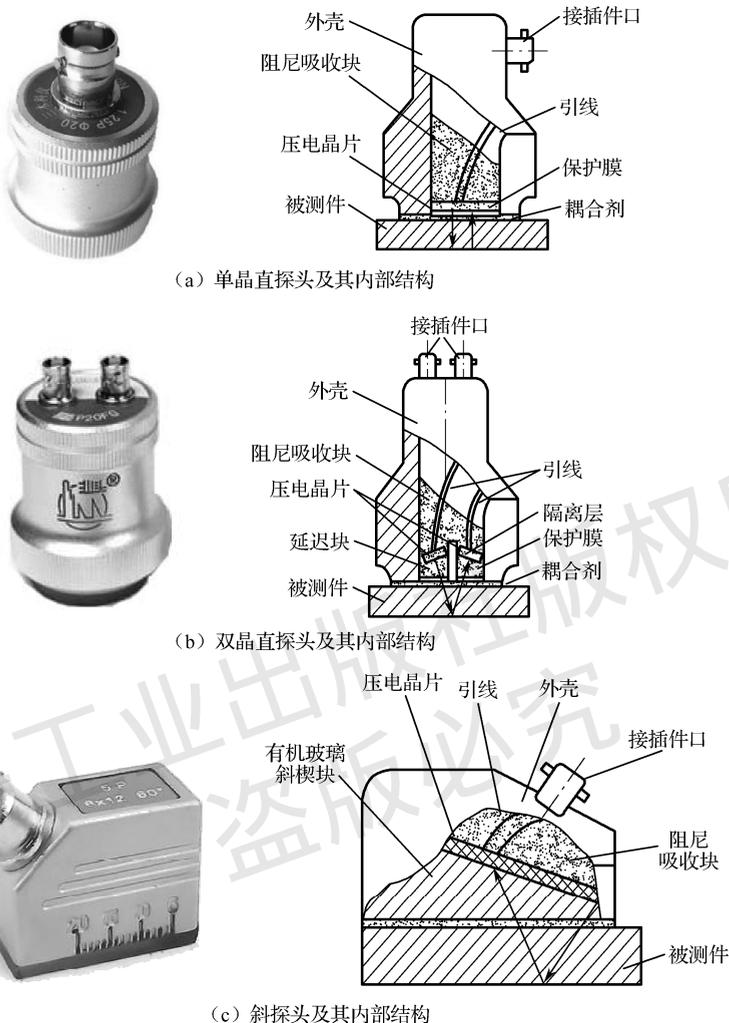


图 3-2-8 超声波探头的结构

超声波探头与被测物接触时，探头与被测物之间存在一空气薄层，这会引入强烈的杂乱反射波，给检测造成干扰，同时会造成很大的衰减。因此，必须将接触面之间的空气排除，使超声波能顺利地入射到被测物中。一般在被测物表面涂抹一层耦合剂，起到排除空气、传递超声波的作用。

在实际应用中，超声波传感器多采用双晶直探头，即一个传感器既可以发射超声波，又可以接收超声波。超声波传感器可以进行非接触式测量，不受外界光及电磁场等因素的干扰，在恶劣的环境中具有很强的适应能力，因而应用广泛。

此外，根据一些特殊需求，超声波探头还有表面波探头、聚焦探头、冲水探头、水浸探头、空气传导探头、专用探头等多种类型。

(4) 超声波传感器的性能指标

选择和评价超声波传感器时主要关注频率特性、指向性、灵敏度和工作温度等指标。

① 频率特性。

发射探头与接收探头的灵敏度均从振子的共振中心频率向两边逐渐降低，常见的共振中心频率有 23kHz、40kHz、75kHz、200kHz、400kHz 等。

当加到振子两端的交流电压频率等于振子的共振中心频率时，探头输出的能量最大，检测灵敏度也最高。应用时一定要用频率接近振子共振中心频率的交流电压来驱动超声波传感器。

② 灵敏度。

探头的灵敏度主要取决于振子的制作材料。压电材料的机电耦合系数大，探头的灵敏度高。

③ 指向性。

超声波有较好的指向性，在遇到两种介质的分界面时能产生明显的反射和折射现象。超声波传感器工作频率越高，指向角就越小，则越适合于检测。

④ 工作温度。

超声波传感器的工作温度由压电材料的居里温度决定。超声波传感器振子所用材料的居里温度一般较高。一般来讲，工作温度越高，传感器的中心频率、灵敏度、输出声压电平越低。在工作温度波动大的环境中使用超声波传感器时，需要对传感器进行温度补偿。

2. 超声波传感器电路

以分离式反射型应用为例，超声波传感器电路如图 3-2-9 所示。单片机控制电路产生频率为 40kHz 的脉冲电信号，经脉冲发送电路放大后送到发射探头，引起发射探头中的压电晶片产生电致伸缩效应，向外发射超声波。超声波传播至待测物后，反射至接收探头，使接收探头中的压电晶片产生压电效应，从而产生周期性的脉冲电信号，该信号经接收电路放大，再与标准振荡电路产生的脉冲电压信号匹配处理后送至单片机控制电路。

将超声波发射到超声波接收经过的时间 T 和超声波传播速度 C 代入公式 $S = C \times T / 2$ ，便可计算出传感器与被测物体间的距离 S 。

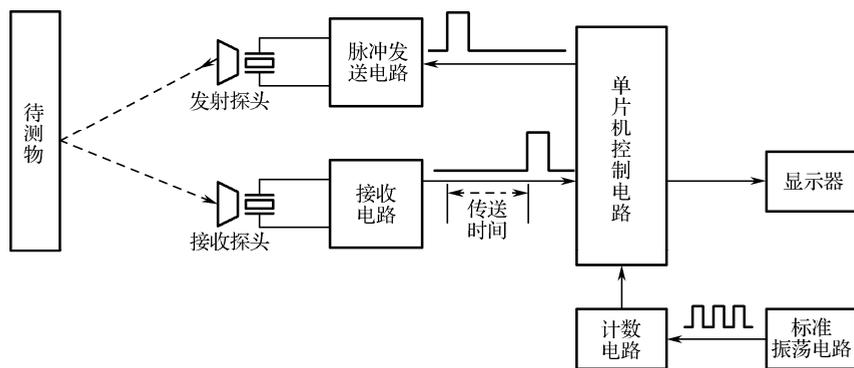


图 3-2-9 超声波传感器电路



想一想

结合超声波传感器电路，简述超声波测距的原理。

3. 超声波传感器的应用

超声波传感器的应用有两种基本类型，即透射型和反射型，如图 3-2-10 所示。

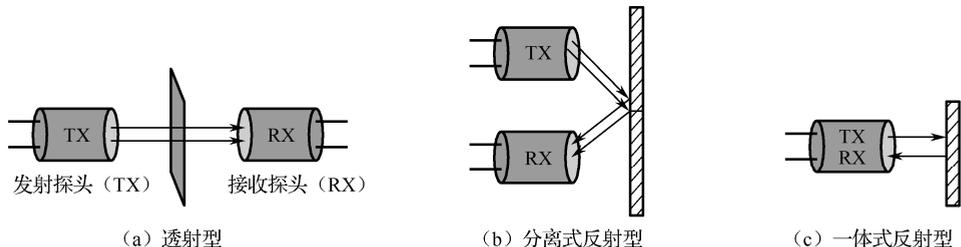


图 3-2-10 超声波传感器应用分类

透射型是指将发射探头和接收探头分别置于被测物体的两侧，一般用于遥控器、防盗报警器、接近开关等。反射型是指将发射探头和接收探头安装在被测物体的一侧，根据发射探头与接收探头是否合为一体又可分为分离式反射型和一体式反射型，一般用于测距、测液位或物位、金属探伤及测量材料厚度等。

(1) 超声波报警器

超声波报警器可以判断被探测区域内无人、动物或其他物体在移动，其控制范围较大，可靠性高，应用广泛。

超声波报警器原理图如图 3-2-11 所示，其工作原理基于超声波的多普勒效应。发射器向被探测区域发射频率为 40kHz 左右的等幅超声波，接收器接收反射回来的超声波。

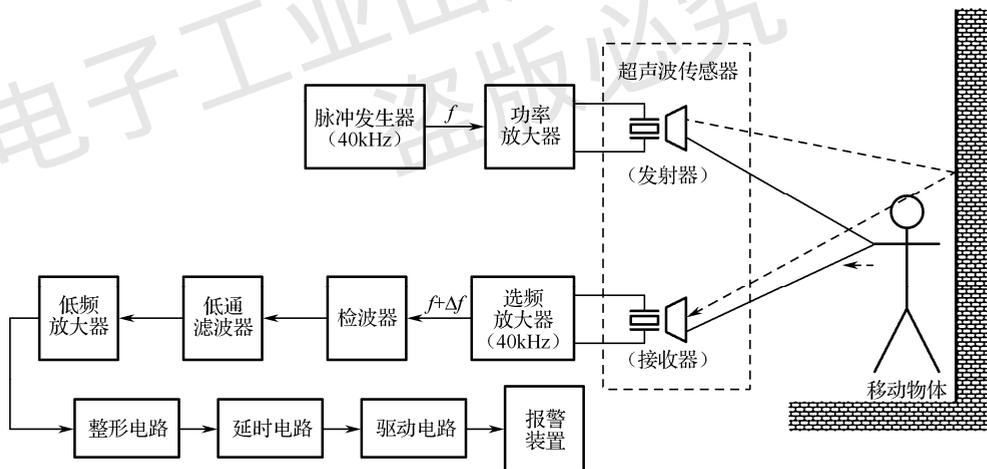


图 3-2-11 超声波报警器原理图

在没有移动物体进入被探测区域时，反射回来的超声波是等幅的。当有移动物体进入被探测区域时，反射回来的超声波不再等幅，如图 3-2-12 所示。其频率偏移量正比于物体移动速度。接收器将接收到的信号转换为低频信号，经放大、整形后，送入延时电路，经过一段时间的延时后，驱动报警装置报警。延时电路能有效地防止因外界短暂干扰（如尖脉冲）信号而产生的误动作。

发射器和接收器放置在不同位置的报警器称为收发分置型超声波报警器，这种报警器检测范围大。发射器和接收器安装在同一壳体内的报警器称为收发合置型超声波报警器，其超

声波分布具有一定方向性，一般为面向椭圆形分布区域进行检测。

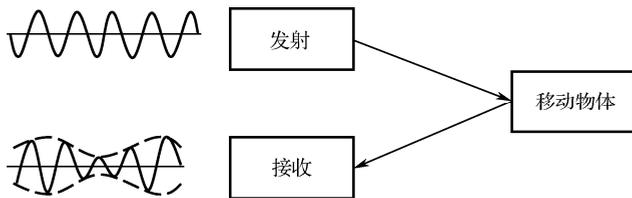


图 3-2-12 传感器发射与接收波形

(2) 超声波测厚仪

超声波测厚仪如图 3-2-13 所示，超声波测厚仪主要由探头和主机组成。探头采用双晶探头，主机电路由发射电路、接收电路、单片机处理电路及显示电路组成。

发射电路产生高频信号，通过发射探头转换为超声波信号发射出去。超声波经材料底部反射后被接收电路接收，通过单片机处理电路生成厚度数值后，送往液晶显示器显示。材料越厚，超声波在材料中传播的时间越长，根据传播时间便可测得材料厚度。

超声波测厚仪可测量金属、非金属材料的厚度，具有测量准确、便捷、无污染等优点。



图 3-2-13 超声波测厚仪

(3) 超声波液位计

超声波液位计如图 3-2-14 所示。超声波液位计由超声波探头、反射小板、电子开关、直筒等组成。超声波探头安装在液罐上方，与罐底的距离固定为 H ，与待测液面的距离固定为 h_1 ；反射小板安装在距离超声波探头 h_0 处，用于液位校准；直筒用来汇集超声波信号，提高测量精度。

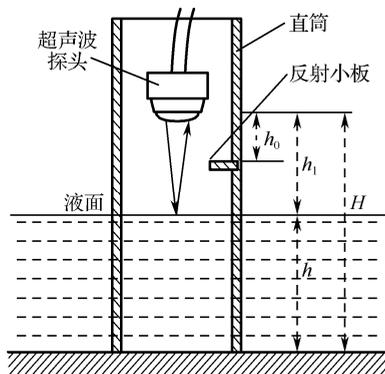


图 3-2-14 超声波液位计

当电子开关触点连接到发射电路时，探头发出的超声波信号在直筒构成的密闭通道内传播；然后电子开关迅速切换到接收电路，超声波遇到被测液面后发生反射，部分反射信号被探头接收并转换成电信号，送至接收电路进行放大、滤波处理，计时电路停止计时。

超声波从发射到反射回来的传播时间与探头到被测液面的距离成正比，计算公式为

$$h_1 = C \times t / 2$$

式中， h_1 为超声波探头与液面之间的距离； C 为超声波传播速度； t 为超声波从发射到反射回来的传播时间。将 h_1 代入公式 $h = H - h_1$ ，即可得到液面高度 h 。

(4) 倒车雷达

倒车雷达通常由超声波探头（发射器和接收器）、主机、显示器（或蜂鸣器）等部分构成，如图 3-2-15 所示。

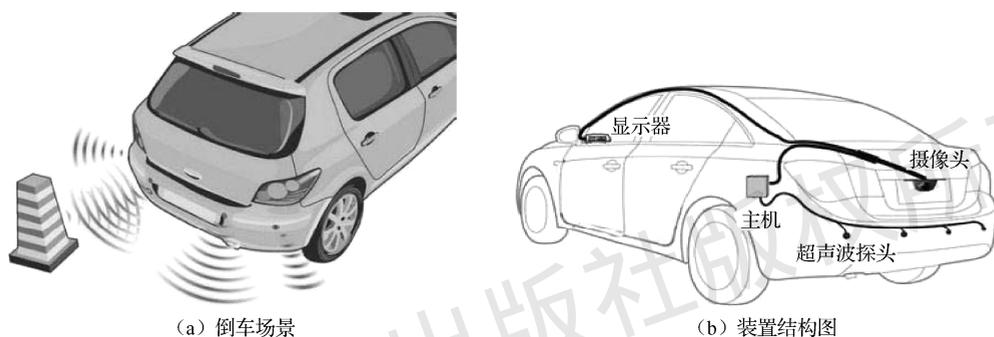


图 3-2-15 倒车雷达

超声波发射器和接收器一般并排安装在汽车尾部，电路部分安装于驾驶室内，两者采用 5m 左右的带状屏蔽电缆连接在一起。使用屏蔽电缆主要是为了屏蔽外界干扰，以避免倒车雷达的电子电路产生误动作。

当汽车倒车时，倒车雷达便开始工作，超声波发射器发射超声波信号，一旦车后方出现障碍物，超声波被障碍物反射，超声波接收器就会接收到反射信号，然后通过主机对反射信号进行处理来判断障碍物所处位置及其和车身之间的距离，最后由显示器显示图像或通过蜂鸣器报警。

想一想

倒车雷达系统中为什么要安装多个超声波探头？

(5) 超声波探伤仪

超声波探伤属于无损探伤技术，主要用于检测板材、管材、锻件等材料中的缺陷（如裂缝、夹渣、气孔等）。超声波探伤具有检测灵敏度高、速度快、成本低等优点，因而在生产实践中得到了广泛的应用。

超声波探伤仪如图 3-2-16 所示。因被探工件的形状和材质、探伤目的、探伤条件等因素的不同，需要使用不同形式的探头，图中展示的是接触型直探头。

测量时将探头放于被测工件上，并在工件上来回移动检测。探头发出的超声波以一定速度向工件内部传播，如果工件中没有缺陷，则超声波传到工件底部才发生反射，从而产生始

脉冲 (T) 和底脉冲 (R)。如果工件中有缺陷, 则一部分超声波在缺陷处反射回来, 另一部分超声波继续传至工件底部再发生反射, 从而产生始脉冲 (T)、底脉冲 (R) 及缺陷脉冲 (F)。通过比较, 可以判断工件内是否存在缺陷, 以及缺陷的大小、性质和位置。

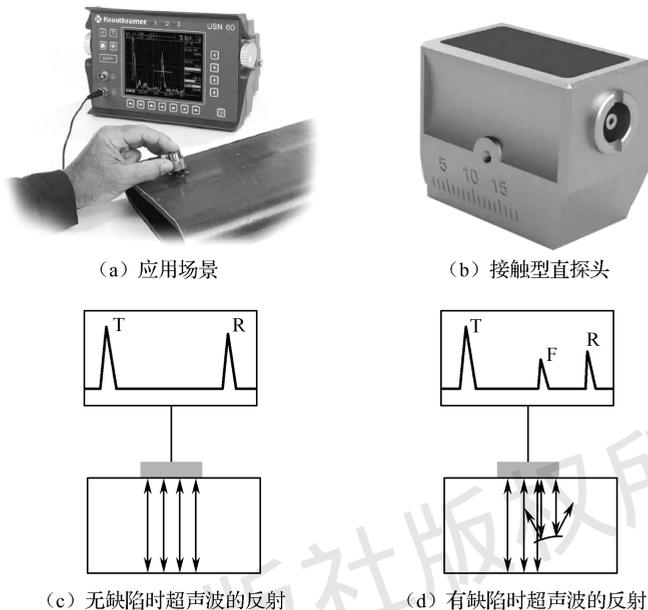


图 3-2-16 超声波探伤仪



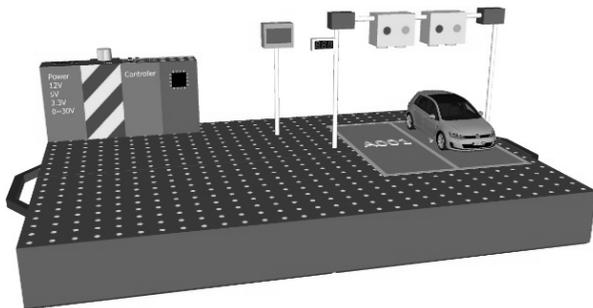
想一想

为什么有缺陷时超声波的反射情况会和无缺陷时有明显的不同? 分析两种情况下回波的形成过程。

二、装调智能化停车场管理系统

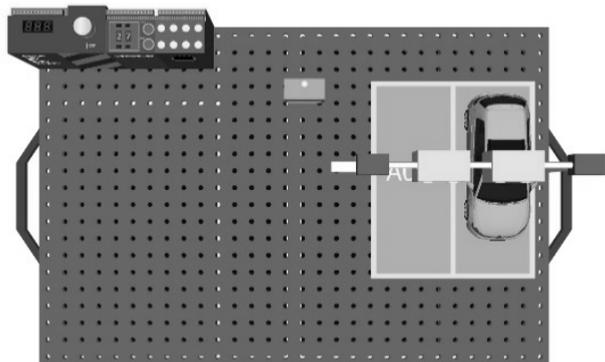
智能化停车场管理系统的构成如图 3-2-17 所示。

系统采用超声测距的方式检查车位上是否停有车辆。当检测到车位上停有车辆时, 车位指示灯显示红色; 当检测到车位上没有车辆时, 车位指示灯显示绿色。当车辆进入车位时, 车位显示牌上的车位数减少; 当车辆离开车位时, 车位显示牌上的车位数增加。



(a) 鸟瞰图

图 3-2-17 智能化停车场管理系统的构成



(b) 俯视图

图 3-2-17 智能化停车场管理系统的构成 (续)

1. 系统工作原理

超声波测距原理图如图 3-2-18 所示。

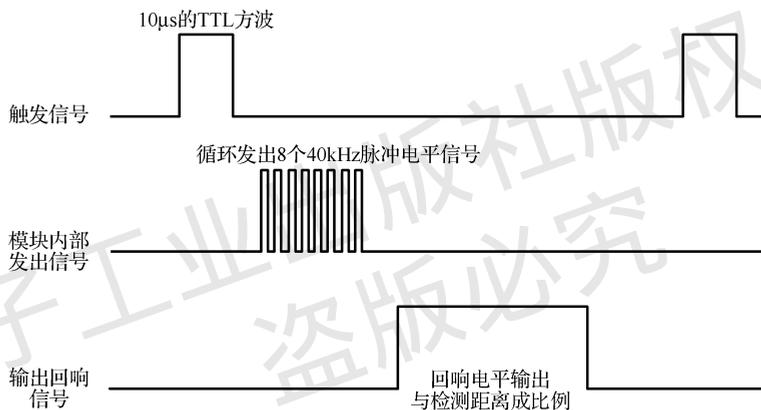


图 3-2-18 超声波测距原理图

接通电源后，通过脉冲触发引脚向超声波测距模块输入一个 $10\mu\text{s}$ 的高电平 TTL 方波；方波输入结束后，模块会自动发出 8 个 40kHz 脉冲电平信号，并迅速将回波引脚由 0 变为 1（切换至高电平），同时启动定时器开始计时；超声波遇到障碍物形成的输出回响信号被模块接收后，回波引脚由 1 变为 0（重新切换回低电平），且停止定时器计时。定时器记录的回波引脚处于高电平的时间即超声波由发射到返回的总时长。根据超声波在空气中的传播速度（ 344m/s ），即可计算出超声波自发射到返回所经历的行程，该行程除以 2 就是所要测的距离，通过该距离判断车位占用情况。

2. 装调过程

(1) 检测元器件

智能化停车场管理系统元器件清单见表 3-2-1。将表中元器件准备好后，测试元器件性能是否正常。

表 3-2-1 智能化停车场管理系统元器件清单

序号	名称	型号/规格	数量
1	超声波测距传感器	—	2
2	车位显示模块套件	—	2
3	OLED 显示模块	SSD1306/12864/0.96 英寸	1
4	控制器	ATMEGA2560	1
5	车位标志条	—	2
6	模拟车辆	—	2
7	车位门架	—	1
8	电源	12V/5V/30W	1
9	万用表	—	1
10	示波器	—	1
11	导线	—	若干

(2) 装调系统

智能化停车场管理系统模块外形图如图 3-2-19 所示。

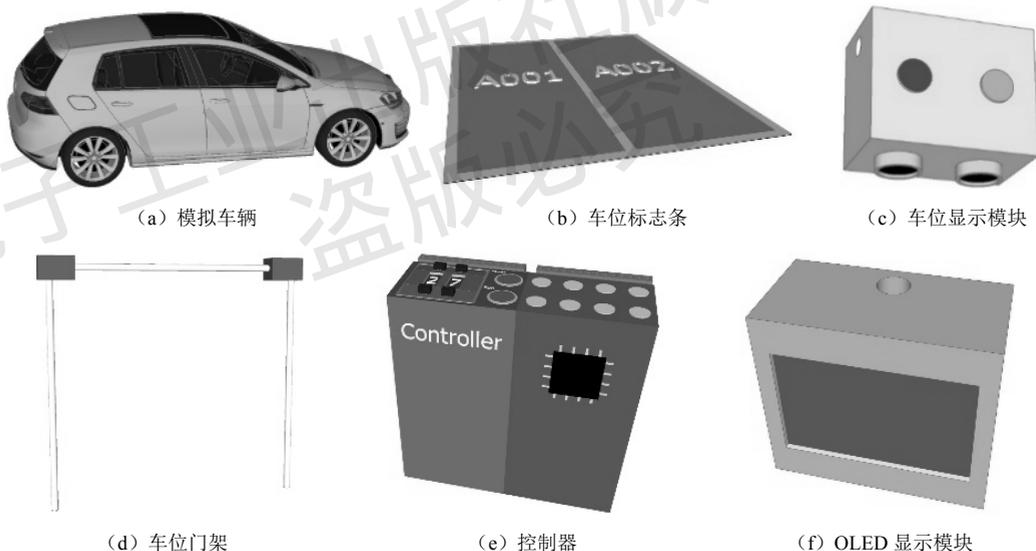


图 3-2-19 智能化停车场管理系统模块外形图

① 装配车位显示模块套件。

步骤一：将车位显示模块套件按照装配图进行焊接、装配。

步骤二：将车位显示模块电路板与控制器连接起来。

② 搭建系统。

步骤一：搭建停车场环境，安装车位标志条。

步骤二：安装车位门架和超声波测距传感器。

步骤三：安装控制器和 OLED 显示模块。

步骤四：将超声波测距传感器、OLED 显示模块连接到控制器。

③ 调试系统。

步骤一：将控制器上的项目拨码开关设置为 3，活动拨码开关设置为 2。

步骤二：通电运行系统，调整超声波测距传感器灵敏度。

步骤三：设置停车场车位信息。

步骤四：模拟车辆停放过程，观察系统工作情况。

步骤五：使用示波器观察超声波接收探头的频率信号。

④ 注意事项。

(a) 发射模块和接收模块之间应有一定的距离，如果距离太近，接收模块可能无法接收到发射模块的信号，从而导致测距失败。

(b) 模块有 2cm 的盲区，注意避让。

(c) 模块供电电压范围为 3~5.5V。



想一想

该系统可以采用什么传感器来代替超声波传感器检测车位信息？

活动总结

本活动以装调智能化停车场管理系统为目标，对智能化停车场管理系统的作用、组成、结构，以及系统中超声波传感器的安装方法和系统工作过程进行了介绍。

本活动对超声波的概念和特性，以及超声波传感器的组成、结构、工作原理、性能指标、电路进行了详细说明。超声波传感器利用超声波的特性研制而成，由发射探头和接收探头构成。发射探头中的压电晶片在电压的激励下发生电致伸缩效应，产生超声波向外发射；接收探头基于压电晶片的压电效应，将接收到的超声波转换成电荷，实现超声波感知。

活动测试

一、填空题

1. 超声波超出了人耳听觉范围，其频率大于_____，遇到杂质或分界面会发生反射，形成_____。
2. 超声波发射探头利用_____效应，是一种将_____能转换为_____能的装置；超声波接收探头利用_____效应，是一种将_____能转换为_____能的装置。
3. 超声波具有很好的_____、在两介质的分界面上发生_____和_____的能力、较强的_____性。
4. 从发射探头的引脚输入_____时，压电晶片会发生变形而产生振动，振动频率在_____以上，由此形成超声波。
5. 超声波传感器的应用有两种基本类型，即_____和_____。
6. 超声波传感器对物位的测量是根据超声波在分界面以上的_____特性而进行的。

二、选择题

1. 下列对超声波的描述中不正确的是（ ）。
 - a. 超声波频率高、波长小
 - b. 超声波绕射能力强、方向性好
 - c. 超声波的穿透能力很强，在固体中可穿透几十米
2. 超声波接收探头基于压电晶片的_____，在超声波的作用下将_____转换为_____。（ ）
 - a. 压电效应 电能 机械能
 - b. 电致伸缩效应 机械能 电能
 - c. 压电效应 机械能 电能
 - d. 电致伸缩效应 电能 机械能
3. 超声波频率极高，波长小，能量集中，具有很好的指向性。下列不是描述超声波指向性的选项是（ ）。
 - a. 超声波的束射性
 - b. 超声波的定向性
 - c. 超声波能在均匀介质中按直线方向传播
 - d. 超声波在两介质的分界面上将发生反射和折射
4. 下列描述中不正确的是（ ）。
 - a. 超声波可以在空气、液体和固体中传播
 - b. 超声波探头不能与被测物相接触
 - c. 超声波束在不同介质的交界面上发生折射、反射及散射等现象时，主声束方向上的能量减弱
 - d. 当超声波波长远远小于传感器探头的直径时，超声波的方向性更为明显，显现出很强的穿透能力
5. 进行工件近表面缺陷检测应采用（ ）。
 - a. 单晶直探头
 - b. 双晶直探头
 - c. 斜探头
 - d. 以上三种探头均可
6. 将发射探头和接收探头分别置于被测物体两侧的是（ ）超声波传感器。
 - a. 透射型
 - b. 反射型
 - c. 分离式反射型
 - d. 一体式反射型
7. 下列不属于反射型超声波传感器应用的是（ ）。
 - a. 接近开关
 - b. 测量材料厚度
 - c. 防盗报警器
 - d. 遥控器
8. 关于超声波传感器应用案例的描述错误的是（ ）。
 - a. 超声波报警器通过检测反射回来的超声波信号的幅度和频率变化来判断是否出现活动目标
 - b. 超声波测厚仪根据超声波在板材中的传播时间来计算材料厚度
 - c. 超声波液位计的液位测量原理与超声波测厚仪的厚度测量原理大体相同
 - d. 超声波探伤仪只能采用接触式直探头
9. 超声波传感器单晶直探头利用超声波的（ ）特性测量材料厚度。
 - a. 投射
 - b. 折射
 - c. 反射
 - d. 衰减

活动三 装调防酒驾系统

驾驶员酒后开车行为直接危害自己和他人生命安全乃至公共交通安全，防止酒驾是交通管理和监控中的一个重要部分。在智慧交通系统中配置防酒驾系统，可以有效地防止酒后驾驶行为。防酒驾系统如图 3-3-1 所示。

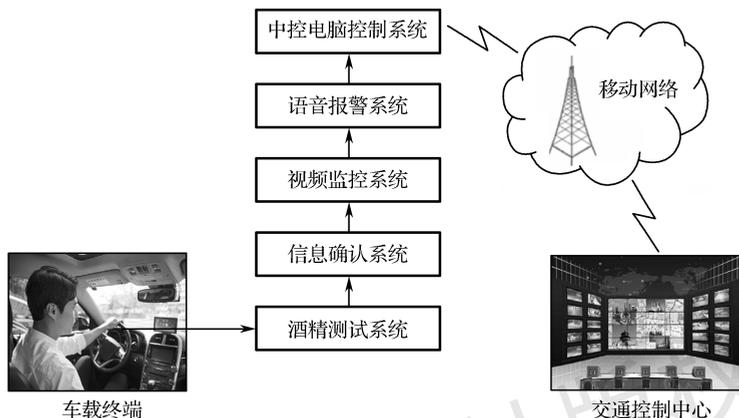


图 3-3-1 防酒驾系统

酒精测试系统安装在驾驶座前方的方向盘附近，用于检测驾驶员呼出气体中的酒精含量。信息确认系统收集驾驶员体表特征信息，对驾驶员是否存在酒驾的情况进行判断，根据判断结果决定是否正常启动汽车。视频监控系统实时采集车内情况并传送至中控电脑控制系统和语音报警系统。中控电脑控制系统通过移动网络与交通控制中心进行信息交互。酒精测试系统的主要部件是酒精测试仪。常用酒精测试仪如图 3-3-2 所示。酒精测试仪的关键部件是气敏传感器。



图 3-3-2 常用酒精测试仪

一、认知气敏传感器

气敏传感器能将检测到的气体类别、成分和浓度转换成电信号，由此获得被测气体的相关信息，实现检测、监控、报警功能。气敏传感器组成框图如图 3-3-3 所示。



图 3-3-3 气敏传感器组成框图

下面以烧结型气敏传感器为例介绍气敏传感器的内部结构,如图 3-3-4 所示。这种传感器是将测量电极和加热器埋在金属氧化物气敏材料中,经加热成形后低温烧结而成的。目前最常用的是氧化锡(SnO_2)烧结型气敏传感器。

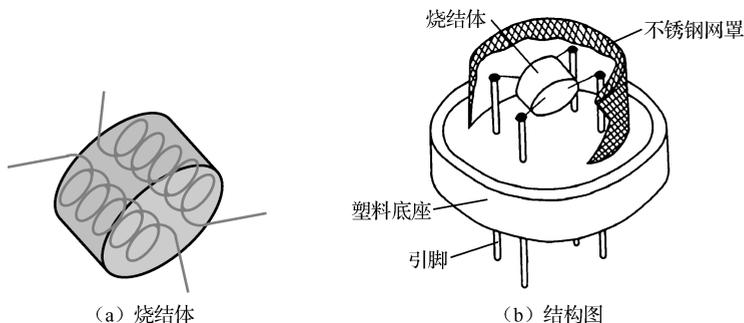


图 3-3-4 烧结型气敏传感器内部结构

1. 气敏传感器简介

(1) 气敏传感器的结构

由于被测气体种类繁多,性质各不相同,因此气敏传感器的种类也很多。如图 3-3-5 所示为气敏传感器实物图。



图 3-3-5 气敏传感器实物图

(2) 气敏传感器的分类

气敏传感器种类繁多。近年来,随着半导体材料和加工技术的迅速发展,实际应用最多的是半导体气敏传感器。半导体气敏传感器按照半导体与气体的相互作用是在表面还是在内部可分为表面控制型和体控制型两类;按照半导体变化的物理特性,半导体气敏传感器可分为电阻式和非电阻式。电阻式半导体气敏传感器具有灵敏度高、体积小、价格低、使用及维修方便等特点,因此被广泛使用。各种半导体气敏传感器的性能比较见表 3-3-1。

表 3-3-1 各种半导体气敏传感器的性能比较

分 类	主要物理特性	类 型	气 敏 元 件	检 测 对 象
电阻式	电阻	表面控制型	SnO_2 、 ZnO 等的烧结体、薄膜、厚膜	可燃性气体
		体控制型	$\text{La}_{1-x}\text{SrCoO}_3$ 、 $\text{T-Fe}_2\text{O}_3$ 、氧化钛（烧结体）、氧化镁、 SnO_2	酒精、可燃性气体、氧气
非电阻式	二极管整流特性	表面控制型	铂-硫化镉、铂-氧化钛（金属-半导体结型场效应管）	氢气、一氧化碳、酒精
	晶体管特性		铂栅、钨栅 MOS 场效应管	氢气、硫化氢

(3) 气敏传感器的工作原理

目前实际使用的大多为电阻式半导体气敏传感器，本活动主要介绍此类传感器。

电阻式半导体气敏传感器简称气敏电阻，其核心部分是金属氧化物半导体。当半导体被加热到稳定状态时，气体接触半导体表面而被吸附，被吸附的气体分子在半导体表面扩散，一部分被蒸发掉，另一部分因发生热分解而形成化学吸附。当半导体分子的亲和力小于吸附分子的亲和力时，吸附分子将从半导体夺得电子而形成负离子吸附，这类气体被称为氧化型气体或电子接收性气体，如 O_2 。如果半导体的亲和力大于吸附分子的亲和力，吸附分子将向半导体释放电子而形成正离子吸附，这类气体被称为还原型气体或电子供给性气体。

当氧化型气体被吸附到 N 型半导体上，或还原型气体被吸附到 P 型半导体上时，将使半导体载流子减少，电阻值增大。当还原型气体被吸附到 N 型半导体上，或氧化型气体被吸附到 P 型半导体上时，将使半导体载流子增多，电阻值减小。而且，当气体浓度发生变化时，其阻值也将变化。所以，根据半导体阻值的变化可以判断吸附气体的种类和浓度。

气敏传感器工作时必须加热，一般加热至 $200\sim 400^\circ\text{C}$ 。加热的目的是加速气体吸附和脱出，烧去气敏元件表面的污垢，提高其灵敏度和响应速度。不同的加热温度对不同的被测气体有选择作用。为了进一步提高气敏传感器对某些气体成分的选择性，有的半导体材料中还掺入了催化剂，如钯 (Pd)、铂 (Pt)、银 (Ag) 等，添加的物质不同，能检测的气体也不同。

(4) 气敏传感器的加热方式

气敏传感器的加热方式有直热式和旁热式两种，因而形成了直热式和旁热式气敏传感器。直热式气敏传感器是将加热丝、测量丝直接埋入 SnO_2 、 ZnO 粉末中烧结而成的，其结构如图 3-3-6 所示，工作时加热丝通电，测量丝用于测量器件阻值。

把加热丝放置在陶瓷绝缘管内，在管外涂上梳状电极作为测量极，再在电极外涂上气敏半导体材料，就构成了旁热式气敏传感器，其结构如图 3-3-7 所示。

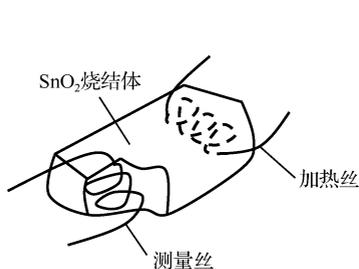


图 3-3-6 直热式气敏传感器的结构

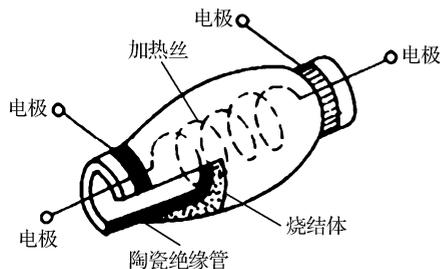


图 3-3-7 旁热式气敏传感器的结构

直热式气敏传感器制造工艺简单、成本低、功耗小，可以在高电压回路中使用。它的缺点是热容量小，易受环境气流的影响，测量电路与加热电路相互干扰，加热丝在加热与不加热两种情况下产生膨胀与冷缩，容易造成器件接触不良。

旁热式气敏传感器克服了直热式结构的缺点，使测量极和加热极分离，而且加热丝不与气敏材料接触，避免了测量回路和加热回路的相互影响；器件热容量大，降低了环境温度对器件加热温度的影响，所以其稳定性、可靠性比直热式气敏传感器好。



想一想

简述电阻式半导体气敏传感器的工作原理。

2. 气敏传感器相关电路

(1) 测量电路

气敏传感器测量电路如图 3-3-8 所示。测量电路中有两组电源，一组为加热回路电源，另一组为测量回路电源。在实际应用中，一般采用一组电源同时为加热回路和测量回路供电。

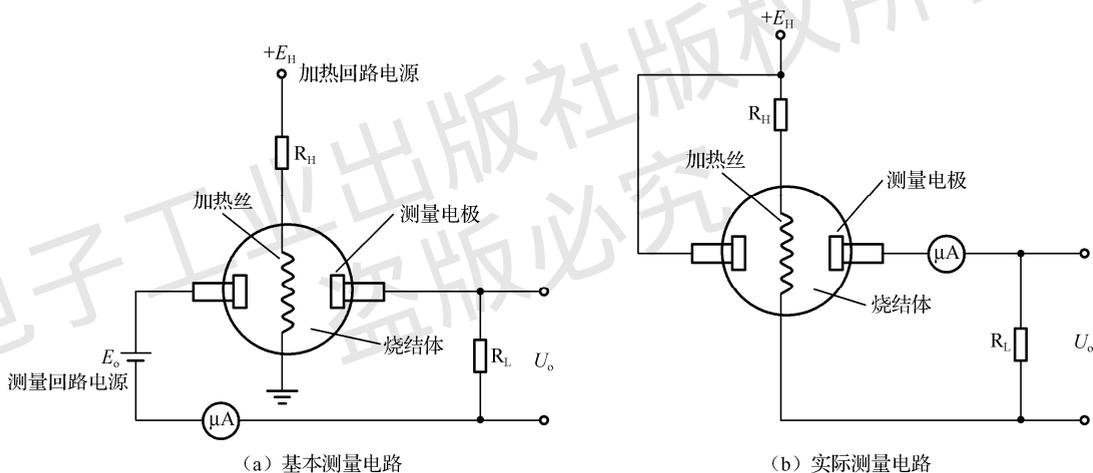


图 3-3-8 气敏传感器测量电路

(2) 温度补偿电路

气敏传感器的电阻值与温度和湿度有关。当温度和湿度较低时，气敏传感器的电阻值较大；温度和湿度较高时，气敏传感器的电阻值较小。因此，即使气体浓度相同，气敏传感器的电阻值也会不同，需要进行温度补偿。

常用的温度补偿电路如图 3-3-9 所示。在比较器 IC 的反相输入端接入负温度系数的热敏电阻 R_T 。当温度降低时，气敏传感器 AF30L 的电阻值增大， R_T 的电阻值也增大，使比较器的基准电压减小；当温度升高时，气敏传感器的电阻值减小， R_T 的电阻值也减小，使比较器的基准电压增大，从而达到温度补偿的目的。

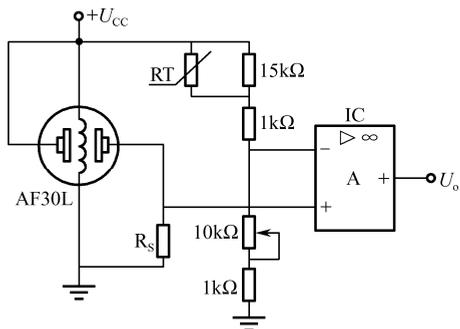


图 3-3-9 常用的温度补偿电路



想一想

气敏传感器为什么需要加热回路?

3. 气敏传感器的应用

气敏传感器主要用于易燃、易爆、有毒、有害气体的检测，实现预报和自动控制功能。

(1) 瓦斯报警器

瓦斯报警器主要用来检测瓦斯主要成分甲烷的浓度，在矿井中使用较多，它由探测器和控制器两部分组成，如图 3-3-10 所示。其中，探测器的主要部件是气敏传感器。通过探测器对甲烷浓度进行检测，控制器接收检测结果并显示出来，一旦甲烷浓度超过报警点，便进行报警。

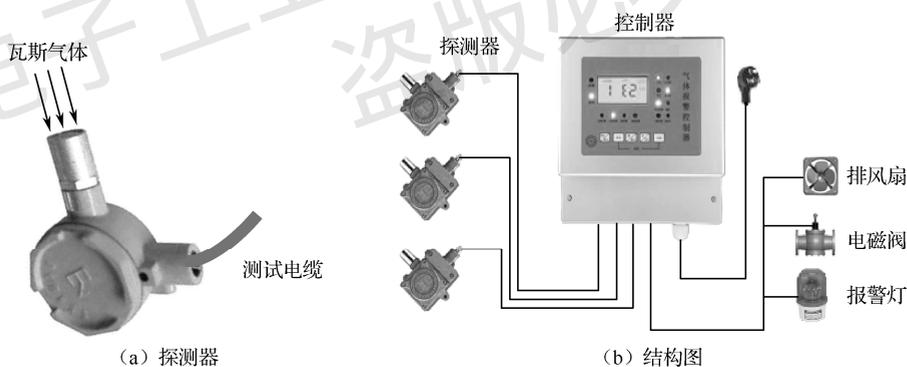


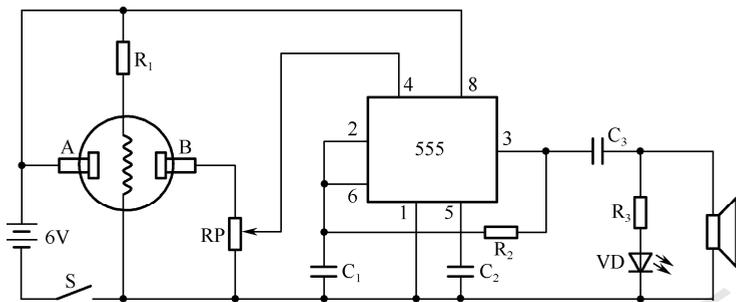
图 3-3-10 瓦斯报警器

(2) 家用燃气报警器

家用燃气报警器是检测家庭厨房天然气浓度的报警装置，如图 3-3-11 所示。它由气敏传感器和电位器 RP 组成气体检测电路，时基电路 555 及其外围元件组成多谐振荡器，如图 3-3-11 (b) 所示。调节电位器，可设定天然气的浓度上限值。当无燃气泄漏时，气敏传感器 A、B 之间的电导率很小，电位器滑动触点的输出电压小于 0.7V，555 集成电路的 4 脚被强行复位，振荡器处于不工作状态，报警器不发声。当周围空气中有天然气，且其浓度超过设定值时，气敏传感器 A、B 之间的电导率迅速增大，555 集成电路的 4 脚变为高电平，振荡器起振，报警器开始报警，提醒人们采取相应的措施，以防止事故发生。



(a) 实物图



(b) 测量电路

图 3-3-11 家用燃气报警器

(3) 汽车尾气检测仪

汽车尾气检测仪是一种用来检测汽车尾气中各种气体含量的设备，如图 3-3-12 所示。使用时启动停在路边的汽车，将测试管插入汽车排气管中，由安装在检测设备内的气敏传感器检测汽车尾气中的各种气体含量，通过显示仪显示检测结果，通过打印机打印出纸质结果。



图 3-3-12 汽车尾气检测仪

(4) 火灾烟雾传感器

火灾烟雾传感器通常为无线报警器，常用于消防管理、安全防范系统中。火灾烟雾传感器如图 3-3-13 所示。它可以安装在天花板上或者墙面上。



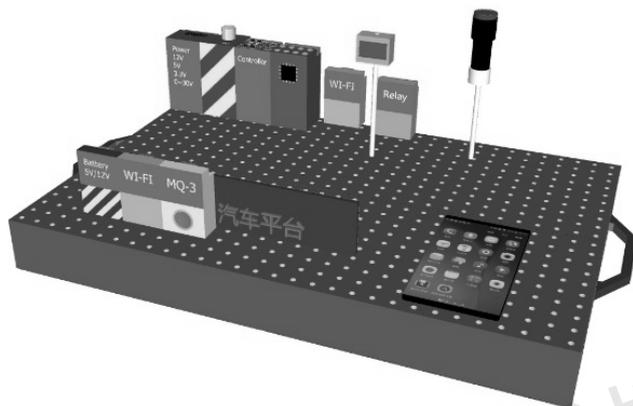
图 3-3-13 火灾烟雾传感器



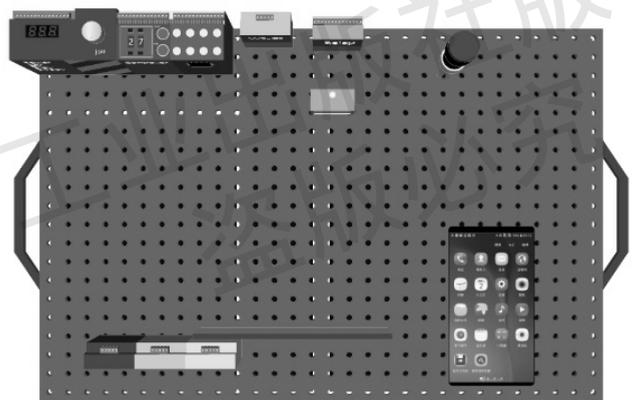
当火灾烟雾传感器处于工作状态时，工作指示灯每隔一段时间闪烁一次，表示传感器工作正常。当探测到初期明火或者烟雾达到一定浓度时，传感器发出报警信号。

二、装调防酒驾系统

本活动将完成防酒驾系统的装调，防酒驾系统的构成如图 3-3-14 所示。



(a) 鸟瞰图



(b) 俯视图

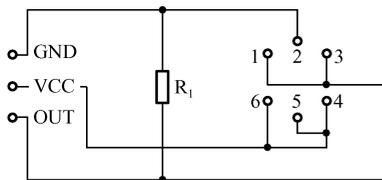
图 3-3-14 防酒驾系统的构成

1. 系统工作原理

MQ 系列气敏传感器可检测一氧化碳、酒精、天然气、氢气、烟雾等的浓度，这里使用 MQ-3 酒精浓度气敏传感器，如图 3-3-15 所示。其中，2、5 引脚为加热电路端，1、3、4、6 引脚为测试端， R_1 是负载电阻。



(a) 实物图



(b) 引脚连线图

图 3-3-15 MQ-3 酒精浓度气敏传感器

图 3-3-16 为酒精浓度测试模块电路图，气敏传感器的电阻值随着酒精浓度的变化而变化，输出的电压信号通过电压比较电路转换为数字信号，触发报警器报警。

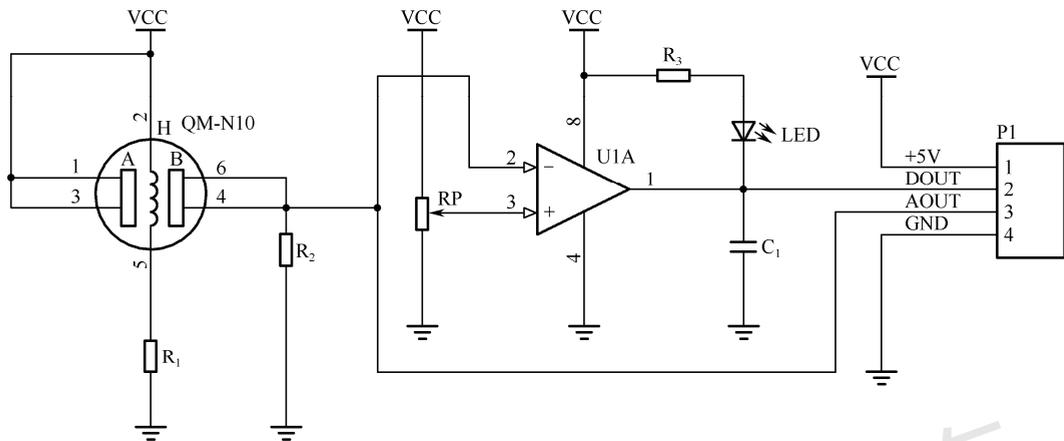


图 3-3-16 酒精浓度测试模块电路图

2. 装调过程

(1) 检测元器件

防酒驾系统元器件清单见表 3-3-2。将表中元器件准备好后，测试元器件性能是否正常。

表 3-3-2 防酒驾系统元器件清单

序号	名称	型号/规格	数量
1	酒精浓度气敏传感器套件	—	1
2	OLED 显示模块	SSD1306/12864/0.96 英寸	1
3	声光报警器	22sm/12V	1
4	控制器	ATMEGA2560	1
5	继电器	松乐 SRD/12V	1
6	4 路 A/D 转换模块	ADS1118	1
7	Wi-Fi 模块	ESP8266	1
8	电源	12V/5V/30W	1
9	万用表	—	1
10	导线	—	若干

(2) 装调系统

防酒驾系统模块外形图如图 3-3-17 所示。

① 装配酒精浓度气敏传感器套件。

步骤一：将酒精浓度气敏传感器套件按照装配图进行焊接、装配。

步骤二：将酒精浓度气敏传感器电路板与控制器和声光报警器连接起来。

② 搭建系统。

步骤一：安装控制器和 OLED 显示模块。

步骤二：安装酒精浓度测试模块，DOUT 输出端连接到控制器，AOUT 输出端连接到

4 路 A/D 转换模块，4 路 A/D 转换模块连接到控制器。

步骤三：将 Wi-Fi 模块连接到控制器。

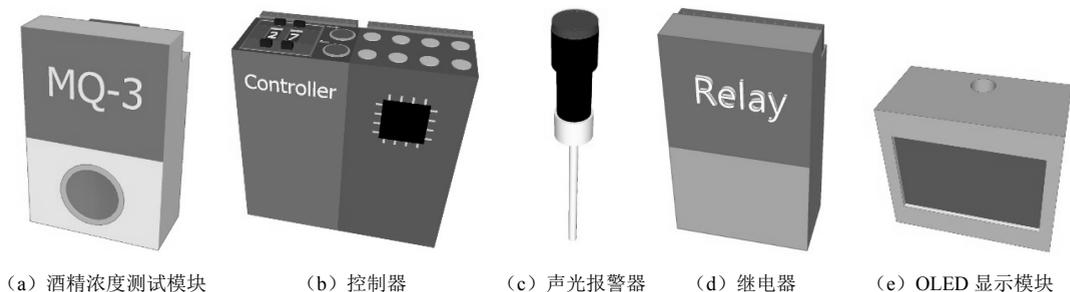


图 3-3-17 防酒驾系统模块外形图

③ 调试系统。

步骤一：将控制器上的项目拨码开关设置为 3，活动拨码开关设置为 3。

步骤二：接通电源，运行系统。

步骤三：用万用表测量气敏传感器测试端电阻值。

步骤四：将气敏传感器放在无被测气体的地方，顺时针调节电位器，直到指示灯亮，然后逆时针转半圈，使指示灯不亮。如果用气敏传感器接近被测气体，指示灯亮；离开被测气体，指示灯熄灭，就证明气敏传感器是好的。

步骤五：调节酒精测试模块灵敏度，对气敏传感器进行标定。

步骤六：将 Wi-Fi 模块连接到无线网，在手机中安装监控 App，利用 App 监控实时酒驾信息。

④ 注意事项。

(a) 传感器应通电 20s 后再测量数据，这样所测数据才准确。

(b) 传感器发热属于正常现象，但发烫则不正常。



想一想

如何调节气敏传感器的灵敏度？

活动总结

本活动以装调防酒驾系统为目标，对防酒驾系统的作用、组成、结构进行了简单描述。

本活动对气敏传感器的组成、结构、工作原理、测量电路及应用进行了详细介绍。气敏传感器能将检测到的气体类别、成分和浓度转换成电信号，由此获得被测气体的相关信息，实现检测、监控、报警功能。气敏传感器分为电阻式和非电阻式，目前用得比较多的是电阻式气敏传感器。

气敏传感器的测量电路中有两组电源，一组为加热回路电源，另一组为测量回路电源。在实际应用中，一般采用一组电源同时为加热回路和测量回路供电。

本活动采用模块搭接的方式模拟防酒驾系统，涉及系统工作原理及装调过程等内容。

活动测试

一、填空题

1. 气敏传感器是一种将检测到的_____、_____、_____转换成电信号的传感器。
2. 按照半导体变化的物理特性，半导体气敏传感器可分为_____和_____。
3. 电阻式半导体气敏传感器利用_____的改变来反映被测气体的浓度。
4. 气敏传感器内的_____使气敏传感器工作在高温状态，加速_____和氧化_____，以提高_____和_____。
5. 气敏传感器的基本测量电路中有两组电源，一组是_____，用来_____；另一组是_____，用来_____。
6. 气敏传感器采用加热丝加热的目的是_____。
7. 气敏传感器的电阻值与_____和_____有关，因此需要进行_____，以消除它们的影响。
8. 气敏传感器有_____和_____两种加热方式。
9. 在半导体材料中掺入催化剂，可以提高气敏传感器对某些气体成分的_____。

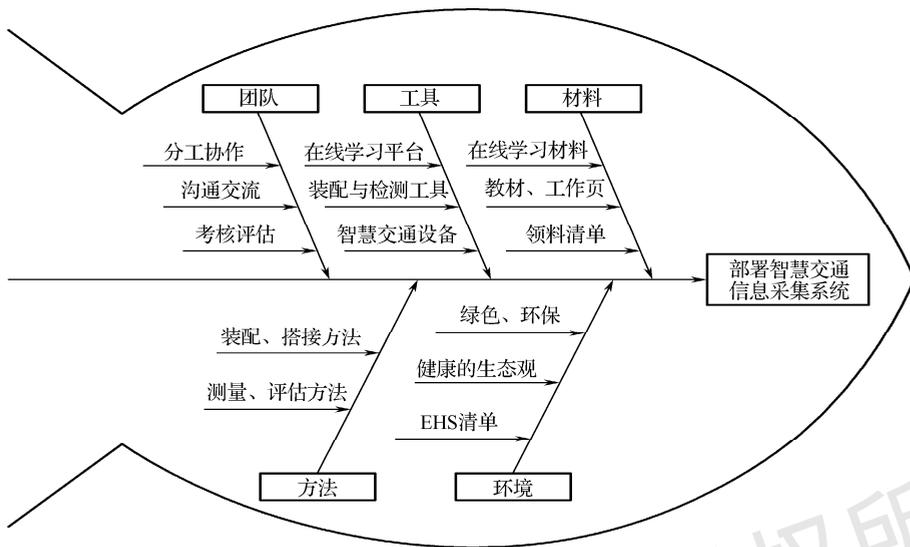
二、选择题

1. 气敏传感器通常采用（ ）材料。
 - a. 金属
 - b. 半导体
 - c. 绝缘体
2. 加快气体反应速度最关键的部件是（ ）。
 - a. 敏感元件
 - b. 加热丝
 - c. 催化剂
3. 检测气体浓度的传感器是（ ）。
 - a. 电容传感器
 - b. 气敏传感器
 - c. 超声波传感器
4. 针对不同的被测气体，掺入不同的（ ）可提高气敏传感器的选择性和灵敏度。
 - a. 催化剂
 - b. 加热丝
5. 气敏传感器广泛应用于（ ）。
 - a. 防灾报警
 - b. 温度测量
 - c. 液位测量
6. 大气污染监测采用（ ）传感器。
 - a. 热敏
 - b. 光敏
 - c. 气敏

环节三 分析计划

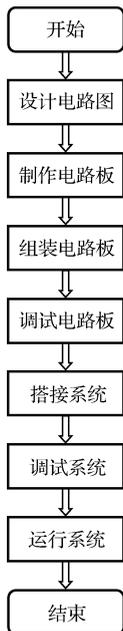
本环节将对任务进行认真分析，形成简易计划书。简易计划书包括鱼骨图、“人料机法环”一览表和相关附件。

1. 鱼骨图



2. “人料机法环”一览表

人 员	
教师发布如下任务： ● 安装一套智慧交通信息采集系统 ● 运行智慧交通信息采集系统 以小组为单位完成任务，角色分配和任务分工与完成追踪表见附件 1	
材 料	仪器/工具
● 讲义、工作页 ● 在线学习资料 ● 材料图板 ● 领料清单（看板教学的卡片），具体见附件 2	● 依据在信息收集环节中学习到的知识，准备需要的工具和机器装备 ● 在线学习平台 ● 工具清单（看板教学的卡片），具体见附件 3
方 法	环境/安全
● 依据在信息收集环节中学习到的技能，参考控制要求选择合理的调试流程 ● 制定 1~3 种方法，流程图见附件 4	● 绿色、环保的社会责任 ● 可持续发展的理念 ● 健康的生态观 ● EHS 清单（看板教学的卡片）



环节四 任务实施

任务实施前，应参考分析计划环节的内容，全面核查人员分工、材料、工具是否到位，确认系统调试流程和方法，熟悉操作要领。

任务实施过程中，应认真记录每个学生完成任务的情况，严格落实 EHS 的各项规程，填写下面的 EHS 落实追踪表。

EHS 落实追踪表			
	通用要素摘要	本次任务要求	落实评价
环境	评估任务对环境的影响		
	减少排放与有害材料		
	确保环保		
	5S 达标		
健康	配备个人劳保用具		
	分析工业卫生和职业危害		
	优化人机工程		
	了解简易急救方法		
安全	安全教育		
	危险分析与对策		
	危险品注意事项		
	防火、逃生意识		

任务结束后，应严格按照 5S 要求进行收尾工作。

环节五 检验评估

1. 任务检验

对任务成果进行检验，完成下面的检验报告。

序号	检验（测试）项目	记录数据	是否合格
			合格（ ）/不合格（ ）

2. 教学评价

利用评价系统完成教学评价。

