

Abstract

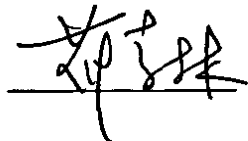
Destroying and blockading airport runway is one of the main ways to blockade airport. Using airfield blockage munitions is one of the most effective ways to prevent the enemy from using the airport. The anti-removal device of airfield blockage munitions can keep enemy's mine sweeping actions within limits, and prolong the blockage time and improve the blockage efficiency.

According as the analyses to movement characteristics and acceleration changing rules during mine sweeping, the electronic anti-removal principium based on double-axis acceleration sensor is put forwarded in this paper. Some experiments are designed to prove the principium. The results illuminate that the principium can improve the blockage efficiency effectively.

Keywords: acceleration sensor; electronic anti-removal device

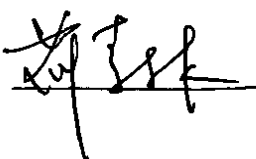
声 明

本学位论文是我在导师的指导下取得的研究成果，尽我所知，在本学位论文中，除了加以标注和致谢的部分外，不包含其他人已经发表或公布过的研究成果，也不包含我为获得任何教育机构的学位或学历而使用过的材料。与我一同工作的同事对本学位论文做出的贡献均已在论文中作了明确的说明。

研究生签名：  2006年12月5日

学位论文使用授权声明

南京理工大学有权保存本学位论文的电子和纸质文档，可以借阅或上网公布本学位论文的部分或全部内容，可以向有关部门或机构送交并授权其保存、借阅或上网公布本学位论文的部分或全部内容。对于保密论文，按保密的有关规定和程序处理。

研究生签名：  2006年12月5日

1 绪论

现代战争及未来战争，特别是高技术条件下的局部战争，夺取制空权是掌握战场主动权并赢得战争胜利的重要保障。在夺取战场制空权的斗争中，破坏和封锁敌方机场，可有效制约敌机动性。

破坏和封锁敌方机场最主要的是破坏和封锁机场的跑道，使其在短时间内无法使用从而降低敌战场机动能力。利用地雷来封锁机场（封锁雷）就是最有效的手段之一。敌为了解除封锁必会全力进行排雷，因此，封锁雷有必要具有反排能力，有效遏制敌人的排雷行动，延长对敌人的封锁。

防排通常是指防止敌人顺利排除地雷，防排机构作用方式通常采用拆爆、触爆等方式。拆爆是防止敌人打开地雷内部研究结构而采取的必要的手段；触爆是敌人将地雷搬移原有位置而采取的对触动敏感的一种方式。

常用的防排机构有钢珠敏感机构和水银开关防排机构。

钢珠敏感机构见图1.1，当有触动达到边界条件的时候钢球作为导体接通电路，通过累计计数的方式可以感知被触动。但这种机构很容易误判，如当地面的震动达到一定强度或意外冲击存在的时候，会导致敏感机构误判而触发雷体引爆。这种特性一旦被敌人掌握，防排也就变成敌人排雷的工具了。

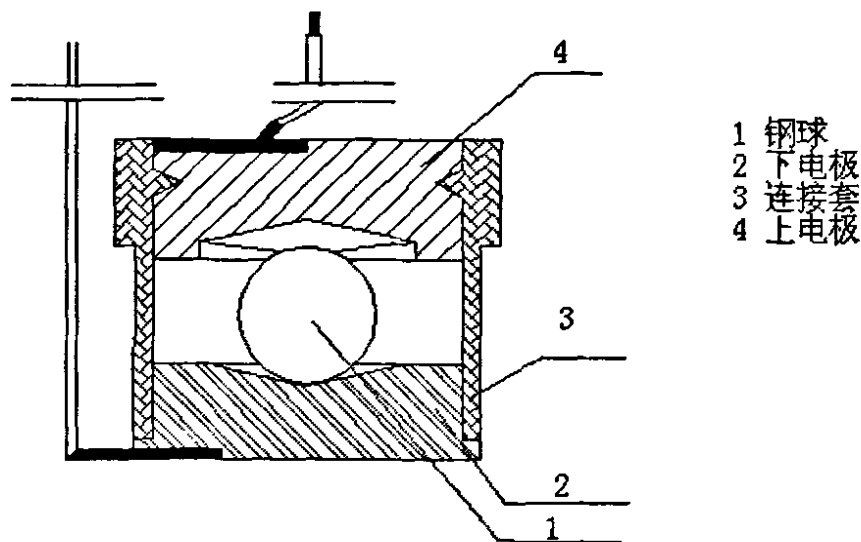


图 1.1 钢珠敏感机构

水银柱防排机构见图1.2，当地雷有倾斜的时候，水银柱会滑动，通过导体通电来传递信号，但这种机构同样存在类似以上的误判问题。当水银柱受到轻微

冲击时，很容易触发雷体。

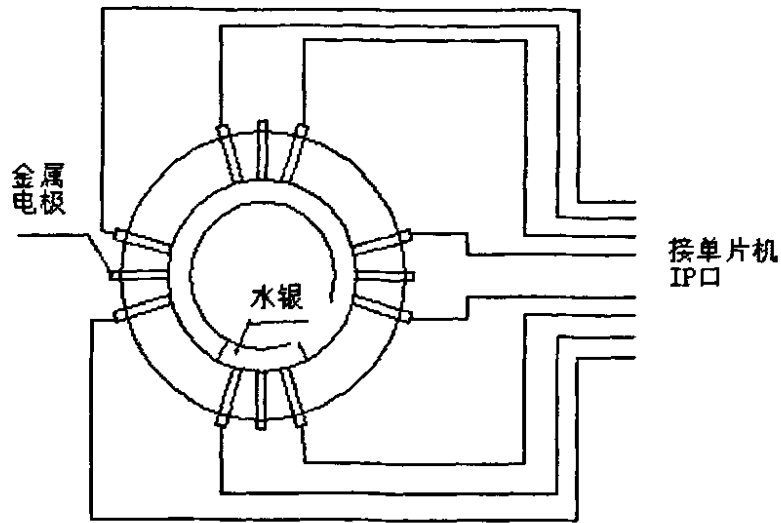


图 1.2 水银柱防排机构原理

因此，寻找一种性能可靠、稳定的防排机构具有很大的军事意义。这种防排系统要求安全可靠，让敌人难以捉摸，重要的是无有效排除的手段和方法，从而在心理上给敌人产生震慑。

目前，随着传感器技术的成熟，目标识别探测技术也日趋完善。利用加速度传感器，从目标特性分析着手，通过测试被移物体加速度的变化来识别物体的自身状态，可以达到较高的分辨率，有效防止机构误判，达到防排的目的。

本文主要是针对以上两种结构的缺陷而研究地雷中的智能型电子防排装置。电子防排装置的核心是电子防排系统，它是探测系统里的一部分，与其他探测系统相互配合，由中央控制系统统一控制，实现雷弹的探测起爆功能。

对电子防排装置而言，应对敌方各种排雷扫雷信息（拆卸、搬运、挖掘、推动等）进行辨识，获取有用信号。并可有效识别雨滴、枪击等干扰信号。从总体上说，电子防排装置应主要由以下几个系统组成：信号采集系统、信号处理及判别系统和雷弹起爆系统。根据排雷的几种假设方式（拆卸、搬运、挖掘等）设计相应的系统。当雷弹的运动状态改变时，弹体的加速度变化，防排装置启动。信号采集系统开始采集加速度信号。当信号采集系统通过内置相互垂直交叉的加速度传感器采集到信号后，传送到信号处理系统内，经系统的滤波、放大、A/D转化等处理后，再传送到信号判别系统中，经过相关算法（根据假设的几种排雷时加速度的变化特性而设计）处理得出相应的判别结果，根据结果决定是否传送

给雷弹起爆系统相应的信号触发引信而起爆。下图1.3为系统流程图：

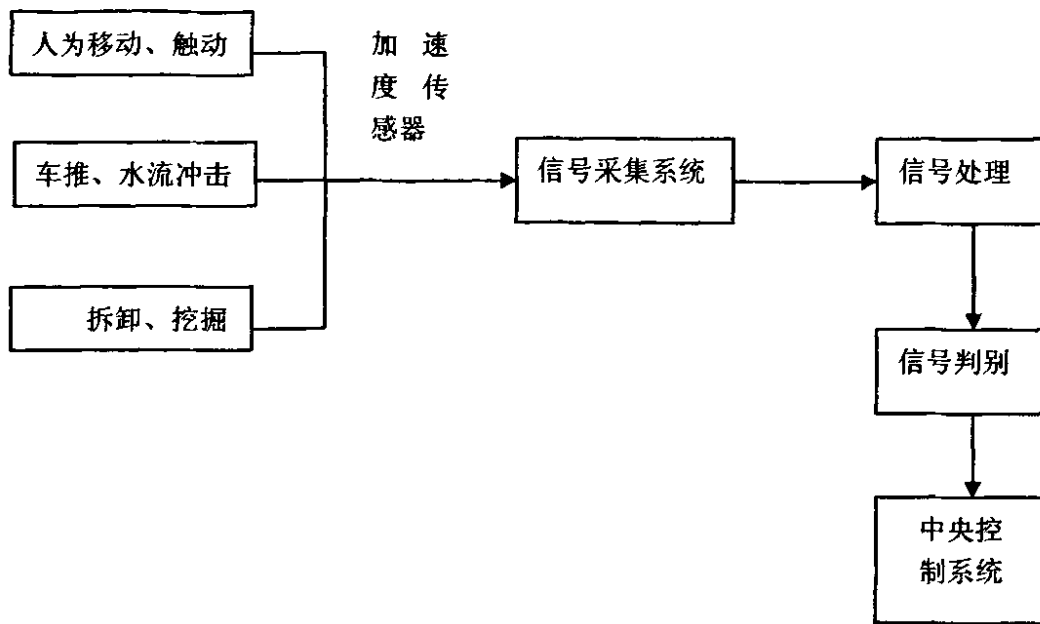


图1.3 系统流程图

在以上系统中，较难实现的是如何实现目标信号的采集和判别，这也是该机构的核心之所在。本课题采用一种数字式的电容加速度传感器集成电路来实现加速度信号的采集，采用外接的单片机电路来实现判别。之所以采用此种安排是出于经济性成本的考虑，采用集成式的单片机电路可有效降低成本，取得良好的性价比，但最重要的是可以满足识别弹体运动状态时系统的要求。

本文主要有以下内容：

(1) 目标特性的分析。主要根据弹体的加速度改变时的特征变化来分析此时弹体的运动状态。

(2) 目标特性的识别方案。主要从原理上阐述识别弹体运动状态的方法。

(3) 目标识别的实现。主要包括三方面内容：一方面是加速度信号的采集；另一方面是加速度信号的处理；三是采用比较可靠的方法进行加速度特征的识别。

(4) 试验验证。

2 目标特性分析

2.1 防排对象分析

当雷弹布撒到军用机场上后，敌人会想尽办法来排除雷弹，以减少被封锁时间。

目前对封锁机场弹药威胁最大的是排弹扫雷车辆、扫雷机器人与跑道自动修复车辆。

传统的扫雷车一般体积都比较庞大，而且采用履带式底盘，在机场上实施大面积扫雷不太可能，而且作用机理多数以嵌入地下压爆为主，不太适合于直接在机场跑道上排雷。即使用在机场跑道的排雷上面，封锁雷弹的顶部大锥角成型弹丸可以有效的对扫雷车底部进行有效的毁伤。此种情况下主要应考虑的是雷弹被扫雷车推离原始位置的问题。

有的扫雷车还带有爆破扫雷带，利用发射出的炸药带来开辟通路，封锁雷弹在遇到这种排雷的情况的时候，如果没有被引爆，则最有可能就是被推到两侧，因此，要求封锁雷弹具有能够识别出来被推移过程，并且不起爆，而且继续发挥封锁作用。

用于机场排雷比较可行的是扫雷机器人，扫雷机器人采用遥控或者线控等方式，其作用原理是抓拿起爆物到安全地点或者利用枪弹远距离摧毁。

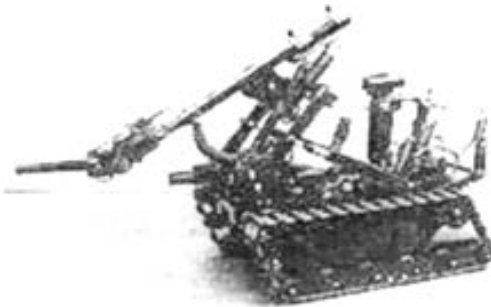


图 2.1 英国手推车 MK8 遥控车排雷机器人

该车防护性能较为薄弱，如果被弹片击中，只有通过维修才能继续工作。这对封锁雷弹提出的要求就是，在该车机器手抓拿雷弹的时候，雷弹应该能够及时识别出来并立即引爆，以增加对该扫雷机器人的毁伤概率。

具有防排功能的雷弹被触动一下不应该立即引爆，敌人很可能会误以为雷弹在挪动状态下不会起爆，在时局非常紧张的情况下，敌方也很可能铤而走险而用人工排雷，如果雷弹被人搬动，则雷弹需要适时爆炸。

综上所述,本课题设计中的防排所要针对的对象有人为的搬运、车辆的推动、排雷机器人的抓拿等情况。而这些情况都有个相同的特点,在这些情况发生时,都伴有加速度的变化,因此,考虑利用各种状态的加速度特征来识别出自身状态,不失为一种可行之法。

2.2 加速度计防排装置设计的可行性

物体运动都有自己不同的加速度特征,只要识别出加速度的特征,就可以判断某一类特定运动,因此,可以选用加速度计来完成运动状态的识别。

感知加速度需要加速度传感器,加速度传感器是将运动或重力转换为电信号的传感器,主要用于倾斜角、惯性力、冲击及振动等参数的测量。一般把加速度传感器与信号调理电路集成后制成的组件称为加速度计。加速度计在交通运输、医疗卫生、工业控制等领域有着极为广泛的应用。

加速度计的测量单位是 g , g 是指物体在只受重力的情况下,因重力作用而产生的加速度,称为重力加速度, $1g=9.8m/s^2$ 。例如,放置在桌面的物体承受 $1g$ 的重力加速度,人体运动的水平和垂直加速度范围为 $0\sim 2g$,汽车碰撞的加速度范围为 $5\sim 30g$ 。

加速度计的分类可按照测量范围分为低加速度计 ($<10g$) 和高加速度计 ($>10g$);按照测量轴的数目分为单轴、双轴或多轴加速度计,例如气囊应用中的双轴加速度计能同时检测前方及侧面两个方向的冲击;按照相应信号的性质分为直流型和交流型;此外,还可根据输出信号的性质分为模拟型(电压)和数字型(目前只有 PWM 输出)。

由于封锁雷弹主体部分为圆柱体,在施加了外界力后的运动状态具有多样性。多数运动是在地平面或者与地平面平行的平面上发生的,因此可以考虑研究与地平面平行的平面内的雷弹运动状态。考虑使用两个单轴加速度计垂直排列,两个都要安放在与地面平行的平面内。这就需要处理芯片接收到加速度计的输出信号后,进行数值转换,这样可以得到运动加速度的大小,而加速度方向则需要根据水平的两个加速度计综合判断。如果有适合的双轴加速度计,也可以用一个双轴加速度计代替两个单轴加速度计。

具体使用加速度计的原则是能够把任意一个方向的加速度分解成两个垂直方向的分加速度,如图 2.2 所示, $x-o-y$ 平面为与地面平行的平面, x 轴与 y 轴分

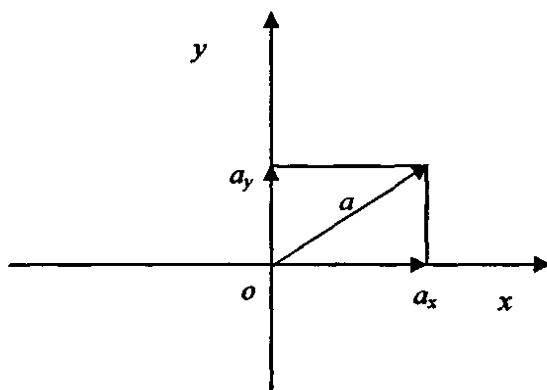


图 2.2 加速度分解图

别安放单轴加速度计,且单轴加速度计的测试方向要与 x 轴和 y 轴保持一致。当雷弹在 $x-o-y$ 平面内运动时无论加速度 a 在哪个方向上产生,都可以分解成 x 轴 y 轴上的两个分加速度 a_x 与 a_y ,且 a 的大小满足式(2.1)。

$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (2.1)$$

在考虑运用加速度计防排机构的情况下,只考虑水平面内的外力,对于与重力方向同向或者反向的力因与设计理念关系不大,暂不考虑。

2.3 防排对象运动特征分析

本文只考虑两种典型情况下弹体的加速度变化规律。两种典型情况为:人为搬动和车辆推动。

2.3.1 人为搬动

要分析人为搬动时弹体的运动状态,首先应分析人为搬动弹体时人体的运动状态。

步行运动是最常见的人体运动。人从站立静止状态向前迈第一步开始,加速度就产生了,如果是规则运动的话,运动规律比较明了,设人走路的每个周期分成四个时间段 t_1 , t_2 , t_3 , t_4 四个时段。设人走路时先出左脚。

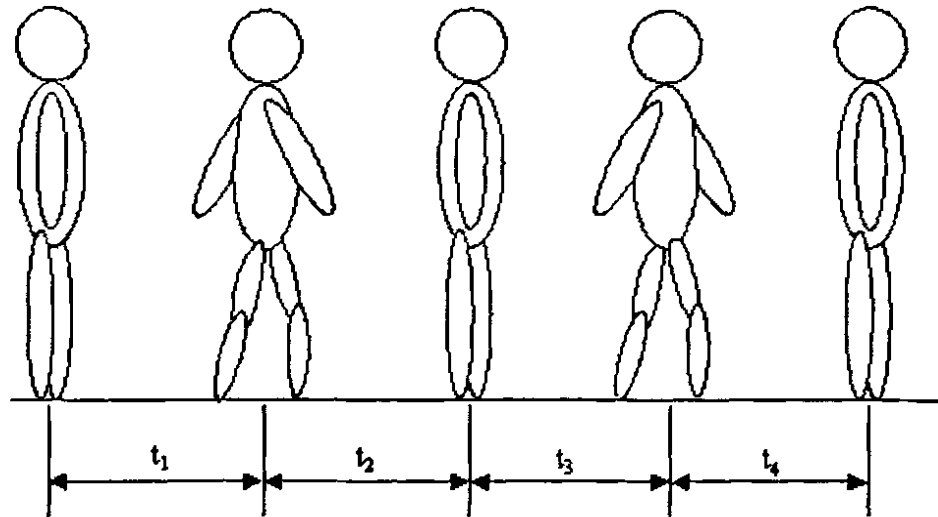


图 2.3 人走路时序图

t_1 , 从左脚伸出开始, 至左脚即将落地瞬间, 右脚准备离地

t_2 , 从左脚落地右脚离地瞬间开始, 至右脚刚好到达穿过身体重心与地面垂直的直线位置

t_3 , 从右脚伸出开始, 至右脚即将落地瞬间, 左脚准备离地

t_4 , 从右脚落地左脚离地瞬间开始, 至左脚刚好到达穿过身体重心与地面垂直的直线位置

设前进方向位正方向, $t_1 \sim t_4$ 时间段内, 人由静止开始运动, 左脚先出, 水平方向上外界给身体的力是由脚底与地面的静摩擦力提供的, 受力方向交替变化, 因此, 人体步行时的加速度呈周期性的正负交替变化。一个运动周期结束后, 下一个运动周期的开始时刻将在一定的速度基础上开始。

设人步行时, 每走一步定义为某只脚从蹬地开始至落地前一瞬间结束为一步, 则这一步经历的时间 $t = t_2 + t_3$ 。根据资料显示, 人行走的频率一般在 110 步/分钟 (1.8Hz), 跑步时的频率不会超过 5Hz, 如果一百米冲刺的速度跑的话一步大概 0.2s, 如果慢走的话一步大概 1s。实际测量正常步速走路, t 值为 0.57s。人正常步行的加速度不超过 $\pm 1g$ 。^[1]

如果人是跑动的话, 那么静摩擦力函数 f 会有一些变化, 可能在每一小段时间内 (比如 t_2) 没有到达最后时间时会突然减小到零, 因为人跑动的时候有一小段腾空的时间, 但加速度的正负变化规律是不变的。

为了讨论步行运动的力学机理, 下面对其力学特征作出简明的解释。如图

2.4 所示。

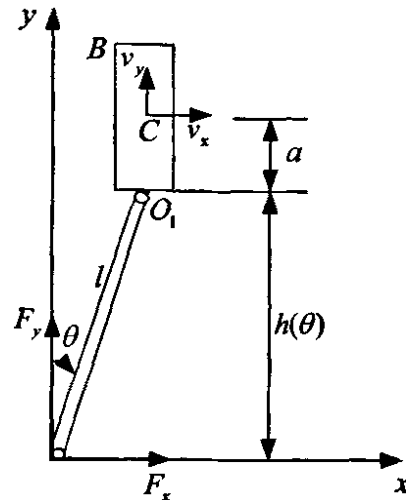


图 2.4 人体步行简化模型

以长度可伸缩的轻质杆 OO_1 表示人体腿部，一端 O_1 与表示人体躯干的刚体 B 相铰接。用此模型模拟人体在步行中双足交替（不离地）的运动。 h 为 O_1 到地面的垂直距离， $h = l \cos \theta$ ， a 为 B 质心到 O_1 的距离， v_x ， v_y 分别为质心的水平和垂直速度， F_x ， F_y 为地面的约束力。

以 O_1 点的最低高度 h_0 为特征长度，定义以下无量纲变量

$$\tau = \left(\frac{g}{h}\right)^{\frac{1}{2}} t, \quad \tilde{h} = \frac{h}{h_0}, \quad \tilde{v}_x = \frac{v_x}{(gh_0)^{\frac{1}{2}}}, \quad \tilde{v}_y = \frac{v_y}{(gh_0)^{\frac{1}{2}}}, \quad F = \frac{F_x}{mg}, \quad N = \frac{F_y}{mg}$$

及无量纲参数

$$\alpha = \frac{a}{h_0} \tag{2.2}$$

根据质心动量定理和相对于 O 点的动量矩定理，可列出系统的动力学方程

$$\left. \begin{aligned} \tilde{v}_x &= \tilde{h} \dot{\theta} / \cos^2 \theta + \dot{\tilde{h}} \tan \theta \\ \tilde{v}_y &= \dot{\tilde{h}} \\ \dot{\tilde{v}}_x &= F \\ \dot{\tilde{v}}_y &= N - 1 \\ \frac{d}{dt} [\tilde{v}_x (\tilde{h} + \alpha) - \tilde{v}_y \tilde{h} \tan \theta] &= \tilde{h} \tan \theta \end{aligned} \right\} \tag{2.3}$$

假设人体控制步行时质心保持同一高度，则有 $\tilde{h} = 1$ ，对上述方程组求解可得

$$\tilde{v}_x = (\dot{\theta}_0 + \gamma \tan^2 \theta)^{\frac{1}{2}}, \quad \tilde{v}_y = 0, \quad N = 1 \quad (2.4)$$

式中， $\gamma = (1 + \alpha)^{-1}$ 。

这样，人体质心的水平速度 \tilde{v}_x 和 θ 的函数关系如图 2.5 所示。此图说明：如果步行时维持质心高度不变，步行大致接近匀速运动。由式 (2.3) 可以看出：当水平约束恒定不变时，水平加速度的绝对值不变，在左右支撑腿交替时刻 $\theta = \pm\theta_m$ (θ 达最大值)，质心水平加速度方向发生突变。若脚底与地面间的静摩擦系数一定，则人体质心的水平加速度如图 2.6 所示。

此外，还需说明的是，当出现跑步即人体腾空现象时，法向约束力为零，法向加速度为重力加速度，法向速度不为零。

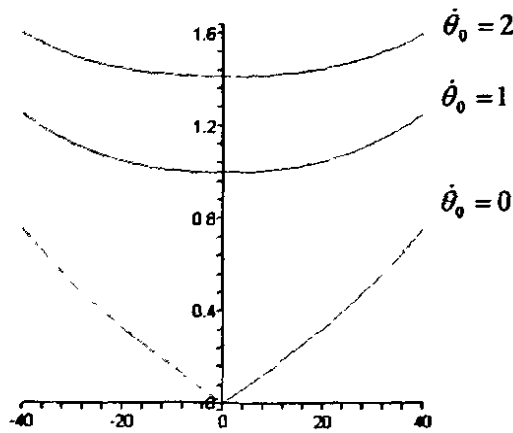


图 2.5 水平速度 \tilde{v}_x 与 θ 的关系

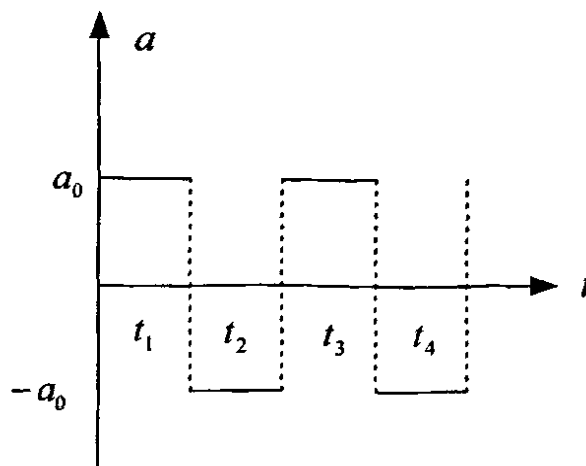


图 2.6 静摩擦系数一定时人体质心的水平加速度特征

假设人搬动雷体时，雷弹与人体固连，雷弹与人体同视为刚体，则雷弹的加速度特征与人体质心的加速度特征相同。

由于加速度计在采集数据的过程中会有响应延迟，因此，所采集到的加速度特征曲线不能完全与图 2.6 中所示曲线相同，弹体的加速度特征曲线应如图 2.7 所示。

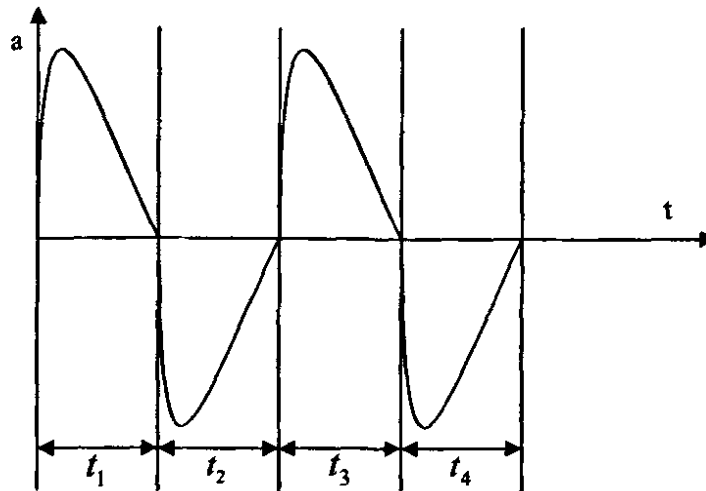


图 2.7 人步行加速度变化图

综上所述，当人为搬运雷弹的时候，对雷弹会产生加速度变化，加速度的变化规律是正向反向的加速度交替的变化。而且加速度 a 的值不会很大，一般在 $2g$ 以下^[2]。

2.3.2 车辆推动

封锁雷弹被车辆推动的情况分为四种：被安装有推铲的车辆推动、被车辆上的套索套住滑动、装在车上运输以及被排雷机器人移开。前两种同视为车辆推动。

雷弹被车辆推动过程的特点是，当雷弹被推铲推动或被套索拖动的时候，在很短的时间内，雷弹的运动状态发生有限的变化，速度和加速度有突变；在碰撞面上造成极高的压力，是一个随时间剧烈变化的动态过程。

根据弹体与车辆碰撞现象的特点以及计算的需要，做以下五点简化：

- (1) 计算车辆推动的过程分为两个阶段：碰撞阶段和推动碰撞。
- (2) 在弹体与车辆碰撞过程中，由于弹体所收到的冲击力非常大，空气阻力和摩擦力相对较小，因此，计算碰撞阶段弹体的加速度特征时只考虑冲击力的

作用。

(3) 由于弹体与车辆的碰撞过程历时很短，弹体在碰撞开始和碰撞结束时的位置基本上没有改变，因此，计算碰撞阶段弹体的加速度特征时忽略子弹的位移。

(4) 车辆和雷弹均做简化处理，假设二者材料性能相同，碰撞过程视为正碰撞。

(5) 碰撞过程中，根据力的相互作用原理，车辆受到的反作用力与弹体因碰撞产生的弹性力相等。根据相对运动原理，雷弹受车辆碰撞的过程可看成雷弹撞击车辆的过程。

设推动的方向为正方向，水平方向上外界对雷弹产生的力为机动车辆的推力或者牵引力和地面给雷弹的摩擦力。对于雷弹来说首先会产生一个比较大的正向冲击加速度，继而加速度减小，在 t_1 时刻达到与车辆相同的速度，加速度减为零。弹体受车辆水平推动和弹体撞击车辆时的受力情况如图 2.8、2.9 所示。

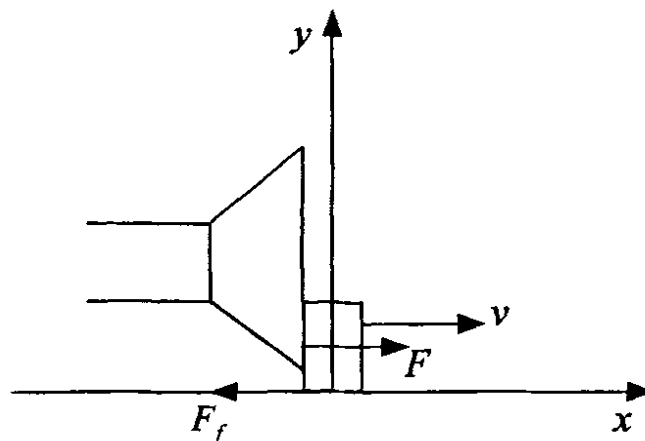


图 2.8 弹体水平碰撞受力图

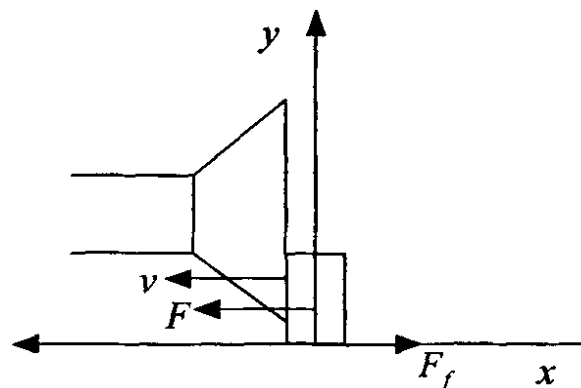


图 2.9 弹体水平碰撞受力图

在碰撞过程中，弹体的运动微分方程为：

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad 0 \leq t \leq \tau \quad (2.5)$$

其中， m ——弹体质量， x ——弹体在 x 轴方向的位移， k ——车辆（钢）的弹性系数，可通过实验测定， τ ——碰撞持续时间。

解此微分方程并考虑初始条件：当 $t=0$ 时， $x=0$ ， $\dot{x}=v_0$ （ v_0 为碰撞前弹体质心相对车辆的速度），可以求得碰撞过程中弹体的位移为：

$$x = v_0 \sqrt{\frac{m}{k}} \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) \quad (2.6)$$

对式（2.6）求二次导数即得弹体在与车辆碰撞过程中的冲击加速度为：

$$a = \ddot{x} = -v_0 \sqrt{\frac{k}{m}} \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) \quad (2.7)$$

式（2.7）中的负号说明加速度的方向与弹体相对车辆的速度相反。

所以，碰撞过程中的最大冲击力为：

$$F_{\max} = ma_{\max} = v_0 \sqrt{km} \quad (2.8)$$

碰撞持续时间为：

$$\tau = \pi \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.9)$$

由计算结果可以看出，碰撞过程中弹体受到的最大冲击力与弹体相对车辆的速度呈线性关系。

由于碰撞过程持续时间很短，弹体在很短的时间内速度达到车速 v_0 ，并同车一起做匀速运动，加速度衰减为零。整个过程的加速度特征曲线如图 2.10 所示。Auto—dyna 仿真结果如图 2.12 所示。

对于雷弹被敌方搬运到车上运走或者被排雷机器人的机械搬运的情况来说，如果雷弹与车辆没有相对运动，则弹体可被视为与车辆构成一体，车辆的运动特征与雷弹的相同。雷弹被排雷机器人抓起后，其运动特征也与排雷机器人的运动相同。由于加速度传感器在受到冲击后会有震荡的工作特性，所采集的加速度特征如图 2.11 所示。

一般情况是车辆或者机器人获得雷弹后，需要重新加速，这样就有了启动

加速度，启动加速度的特征也比较明显。其示意图与车推动的情况基本相同，只不过是 t_f 值会大一些。

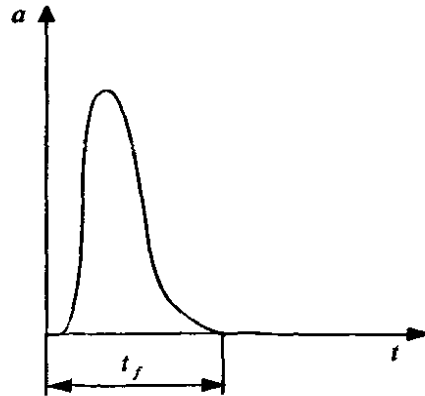


图 2.10 车辆推动时弹体的加速度特征曲线

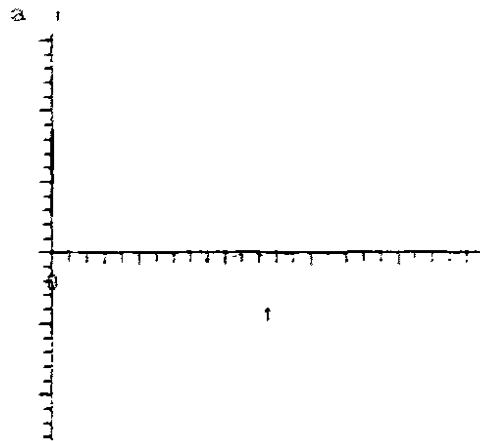


图 2.11 车辆推动时传感器的加速度输出特征曲线

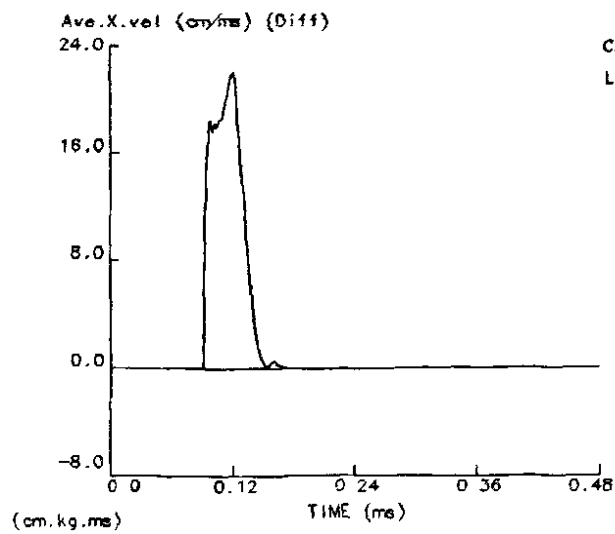


图 2.12 车辆推动时弹体的加速度特征曲线

综上所述，无论是车辆推动还是车辆或机器人搬运，弹体的加速度特征有

部分相似点，即在短时间内弹体受到较大的冲击力，其加速度的冲击响应较为明显，达到峰值后，加速度不断衰减直至为零。

2.4 本章小结

本章通过对敌排雷机理的分析，得出相应情况下弹体的加速度变化特征，只要根据加速度变化的特征制定出识别方案，就能得出弹体相应的运动状态，即可知道是哪种情况的排雷情况。

3 目标识别方案设计

3.1 识别方案分析

电子反排装置的设计理论是建立在对目标特性识别基础上的,因此,对目标特性识别总体方案的要求有以下几点:

(1) 可行性。该装置必须在实际中可行,能够在器件上得以实现。

(2) 可靠性。该装置必须保证一定的识别精度,如果不能保证一定的识别精度,就谈不上对目标的识别,也就不能满足封锁雷弹在战场上的需要。

(3) 低成本。本装置的设计要求之一就是要在满足对目标的有效识别的基础上尽可能的降低设计成本,增加本装置在实际应用中的可行性,满足大批量生产的要求。

根据目标(弹体)运动时的加速度特征,我们提出对目标识别的方案有以下三种:①根据目标加速度的大小范围来识别;②根据目标加速度的频谱特征来识别;③根据目标加速度大小变化趋势来识别。

(1) 如果根据目标加速度的大小变化区间来识别,那就需将不同运动状态下的加速度大小值划分为几个不同的区间,如人正常走动时的加速度为 $0\sim 2g$ 等。这种识别方案的优点在于:识别机理简单,在器件上也容易实现,只要通过加速度传感器测量目标的加速度,然后比较一下加速度落在哪个加速度区间内,就可以得到相应的目标运动状态。但这种目标识别方案的不足之处在于:精度低,很容易进行误判,这主要是基于某些运动状态的加速度区间跨度太大,两个或多个区间容易相混叠,因此无盘发生的可能性很大。这种识别方案的特点在于易实现,但精度低。

(2) 如果根据目标加速度的频谱特征来识别,那就需要用特殊的元器件记录目标运动状态变化时加速度的频谱特征,然后送入到单片机或计算机中进行分析处理。这种识别方案的优点在于:由于大多数运动状态下的频谱特征不尽相同,因此可以得到非常高的识别精度。但这种识别方案的不足之处在于:需要容量很大的寄存器来存储采集到的信号以及分析各种运动状态下加速度频谱特性的程序,而且需要计算速度很快的中央处理器来处理信号,以保证下一次采样信号不被冲掉;而且,在很多情况下采集的信号的频谱并不很完整,例如偏心碰撞情况下或车辆推动情况下,加速度变化的时间很短,所采集到的加速度信号频谱特征

很可能不是很明显,造成识别系统无法识别或误判。需要进一步说明的是这种识别方案由于高精度的识别特点所需要的电子器件很多、很复杂,所占用的空间大,因此,此种方案与低成本设计要求不符,也不符合雷弹尽可能少的占用雷体内的空间的、尽可能大的扩大载药量的设计准则。这种识别方案的特点在于精度高,但成本也高。

(3) 如果根据目标加速度大小变化趋势来识别,那就需要记录加速度变化时的几个特征,如加速度峰值的变化和符号的变化。这种识别方案的优点在于:可以通过几个简单的加速度特性来达到实现识别目标的运动状态,在器件上较易实现,而且可以达到一定的精度。但不足之处在于:很容易受到各种干扰,例如雨点的撞击和地面的振动。而且,精度比不上第二种识别方案。这种识别方案的特点在于易于实现而且可以保证一定的精度。

综上,根据电子反排装置低成本、一定精度的设计要求,结合雷弹的小体积、大载弹量的设计准则,我们选择第三种识别方案作为本电子反排装置的总体识别方案。根据这种设计方案,我们需要若干个加速度传感器来采集弹体的加速度信号,然后利用 A/D 转换器将模拟信号转换成数字信号,并将数据存入若干个寄存器内,最后用数个单片机来处理和分析数据。

在设计时,弹体在所有的情况均视为理想情况下的刚体运动。

3.2 识别方案

通过对各种运动状态下加速度进行分析,可以得知,几种典型情况下弹体的加速度特征有比较明显的特点,可以通过区分不同情况下加速度相应的特点来识别弹体的不同运动状态。

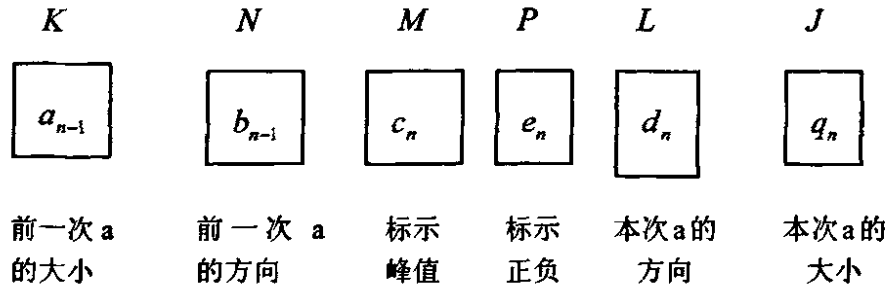
本文所采用的方法是实时测量两个垂直方向的加速度变化,并且将两个方向的加速度大小合成为物体真实运动的加速度大小。两个方向的加速度变化也作为我们判断的依据。

3.2.1 人为搬动

人搬动情况下雷弹水平方向的加速度变化与人的相同,从图 2.7 可以看出,但人走路快慢会影响加速度幅值和加速度方向交替的变化频率,因此,我们以加速度的正负交替作为这一运动的特征,并且加速度的大小作为参考量。加速度的变化特征简化为在一定的取样时间内,加速度的方向交替变化,并且在每一次交

替之前也就是方向没有变化前的小周期内，加速度的大小呈递减的规律。

为了能让防排装置中的信号识别系统识别这种加速度不断交替的特性，我们可设置几个数据寄存器 J 、 K 、 L 、 M 、 N 、 P ，分别存储前一次和本次加速度的大小和方向（数值上表示为正负），剩下的两个寄存器作为标识，一个标识加速度的峰值，另一个标识加速度方向的变化。另外也可以用同一寄存器寄存带方向标志的加速度数值，只是在比较时需另外引出作为数据最高位的方向位。



识别过程见图 3.1。

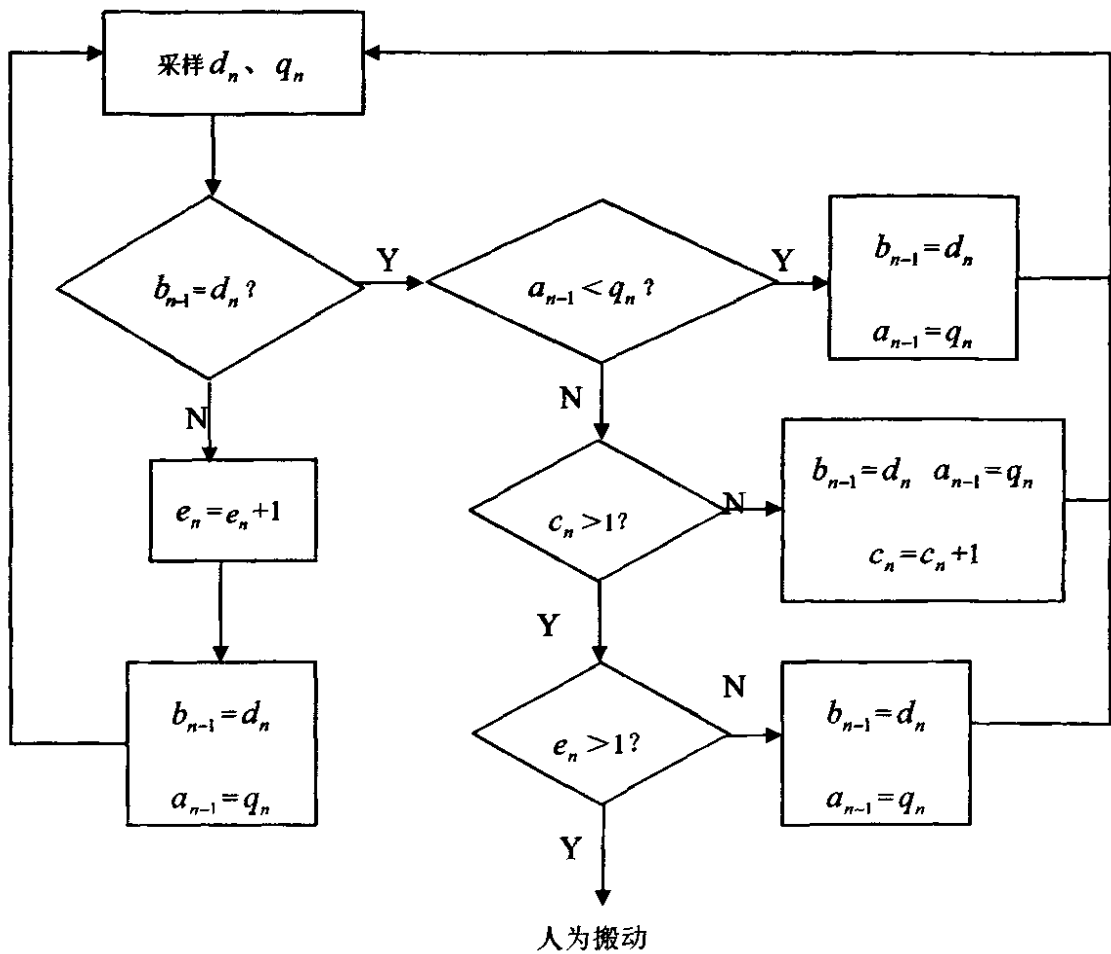


图 3.1 人为搬动时的判断识别方法

在以上判别过程中，需要说明以下几个问题：

(1) $c_n = c_n + 1$ 用来标识加速度的最大值，即峰值。

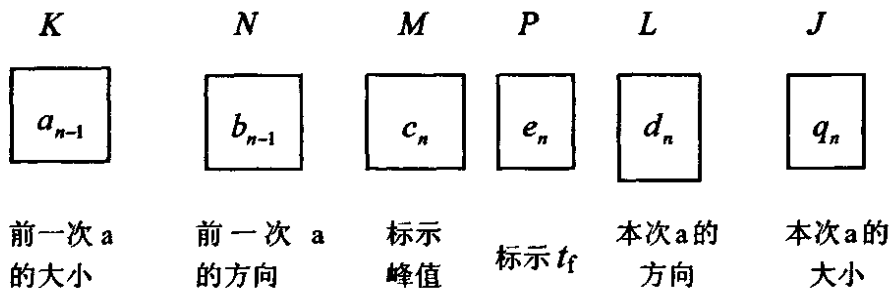
(2) $e_n = e_n + 1$ 用来标识加速度符号的变化，这样可以判别出加速度呈交替的特征。

(3) 当既达到峰值，又有正负交替时，就可判断为认为搬动。

3.2.2 车辆推动

被机动车辆推动的情况下，加速度变化呈减小的趋势（如图 2.10），且方向不变，最终加速度减小为零值时，说明已经达到或接近匀速直线运动状态。根据这种加速度特性，可先判断是否有峰值，然后再判断是否在持续一段时间后达到或接近零值。根据一般的汽车加速过程，如果将最高时速定为 40km/h 以内，我们可将 t_f （加速时间）定为 3s 以内。

我们可设置几个数据寄存器 J 、 K 、 L 、 M 、 N 、 P ，分别存储前一次和本次加速度的大小和方向（数值上表示为正负），剩下的两个寄存器作为标识，一个标识加速度的峰值，另一个标识加速时间的长短。



识别过程如图 3.2 所示。

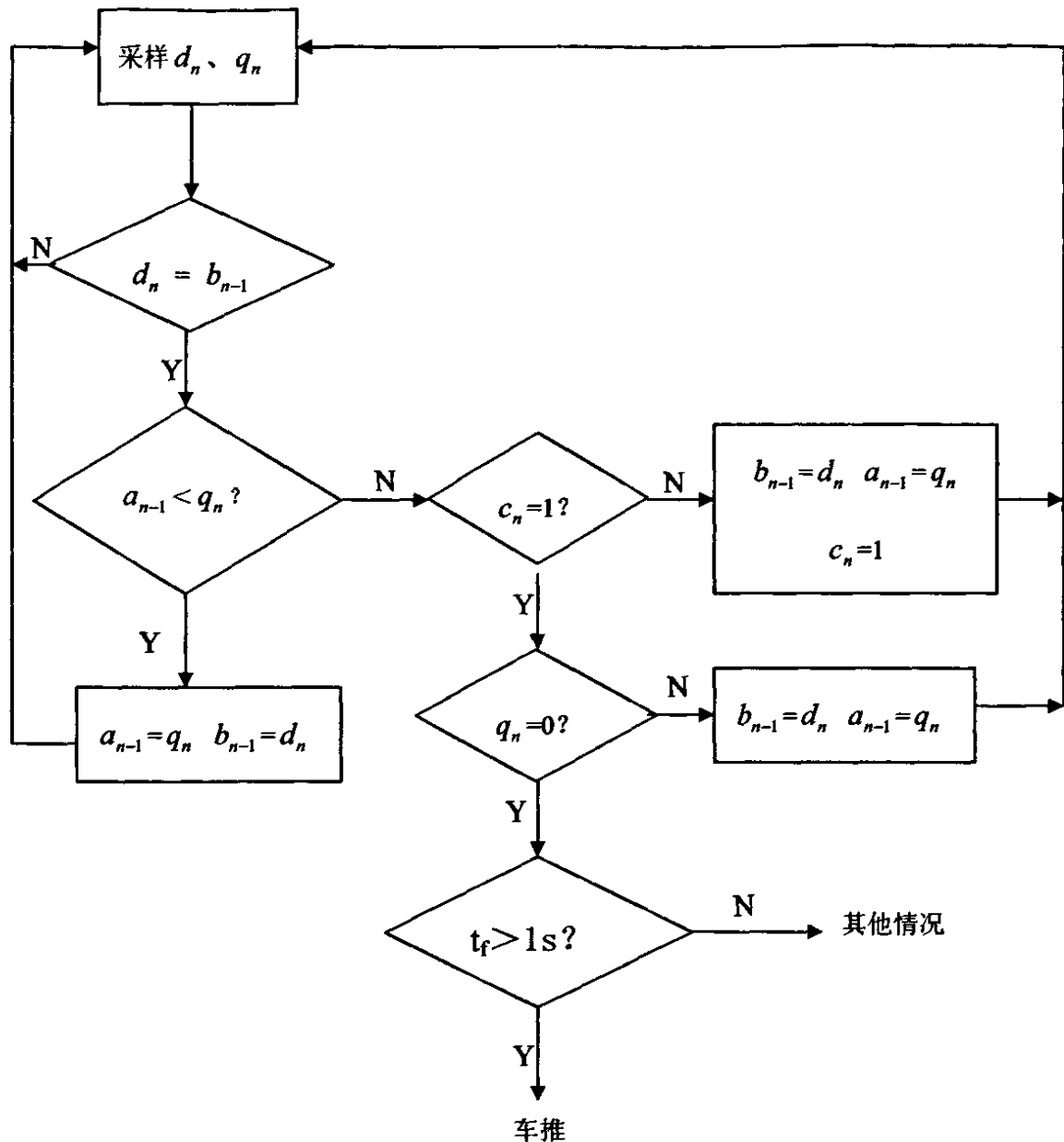


图 3.2 车辆推动时的判断识别方法

图 3.2 中有几点需要说明：

(1) $q_n = 0$ 是指 q_n 值在零值附近一定范围内时就可近似看为零，其具体范围为多少视实际情况而定，可在单片机编程时修改；

(2) $t_f > 1s$ 为否定情况时，我们就认为是干扰，如石头的轻微撞击等。在此种情况下，应视为非车辆推动或不予起爆。

(3) 在 $b_{n-1} = d_n$ 时，即采样的前后两次数据方向不同，此时可能是杂波，也可能是非车辆推动时的情况，可继续采样以确定，也可以不继续采样得出结论为

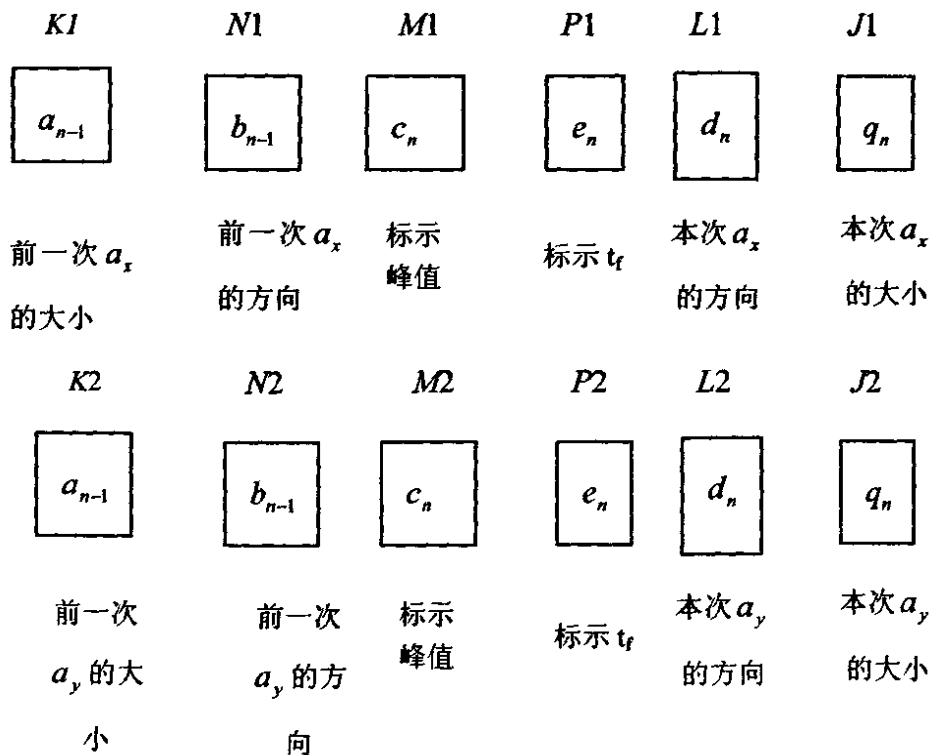
非车辆推动。

3.3.3 识别方案综合

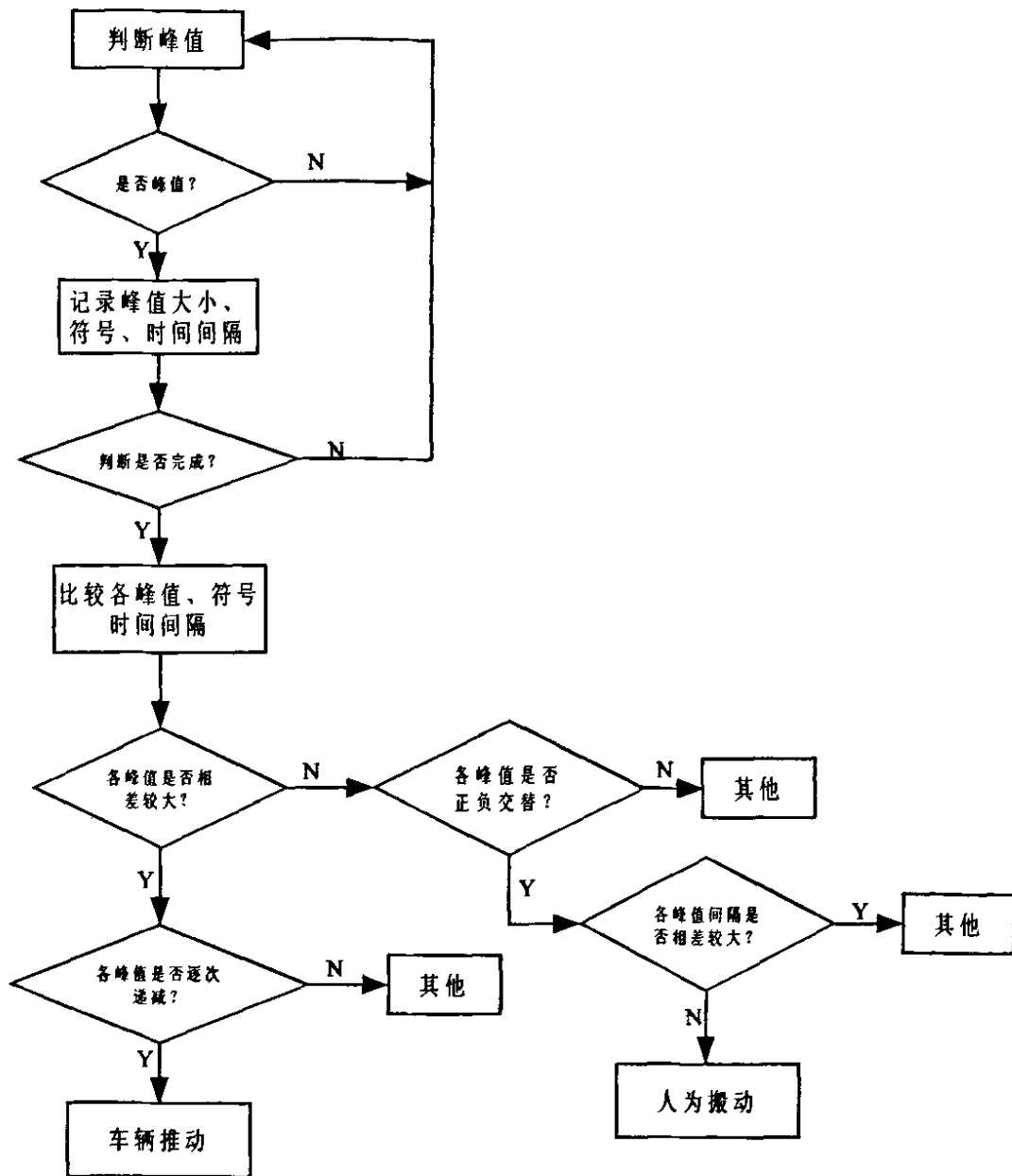
在以上章节中,根据两种不同的加速度特征总结出了不同运动形式的识别方案,但并未形成统一的、综合的识别方法,其中的任意一个识别方法只能识别特定的运动形式,而不能适用于识别另一种运动形式,因此,在反排装置中需要一个综合的、能有效识别两种不同运动类型的逻辑识别方案。我们可以根据加速度变化的特征将两种不同的运动类型分为两大类:①车辆推动和②人为搬动。

首先,从总体上,系统需要分别判断 X、Y 两轴上的加速度特征所对应的运动形式,得出初次判断结果,选择出结果属于两大类中的哪一类,然后再根据初次判断结果作进一步的判断,得出最终结果。

其次,在逻辑判断上,我们可根据实际在分别设置以下几个寄存器用来存储分别来自 X、Y 轴上的加速度数据:数据寄存器 J、K、L、M、N、P,分别存储前一次和本次加速度的大小和方向(数值上表示为正负),剩下的两个寄存器作为标识,一个标识加速度的峰值,另一个标识加速时间的长短。



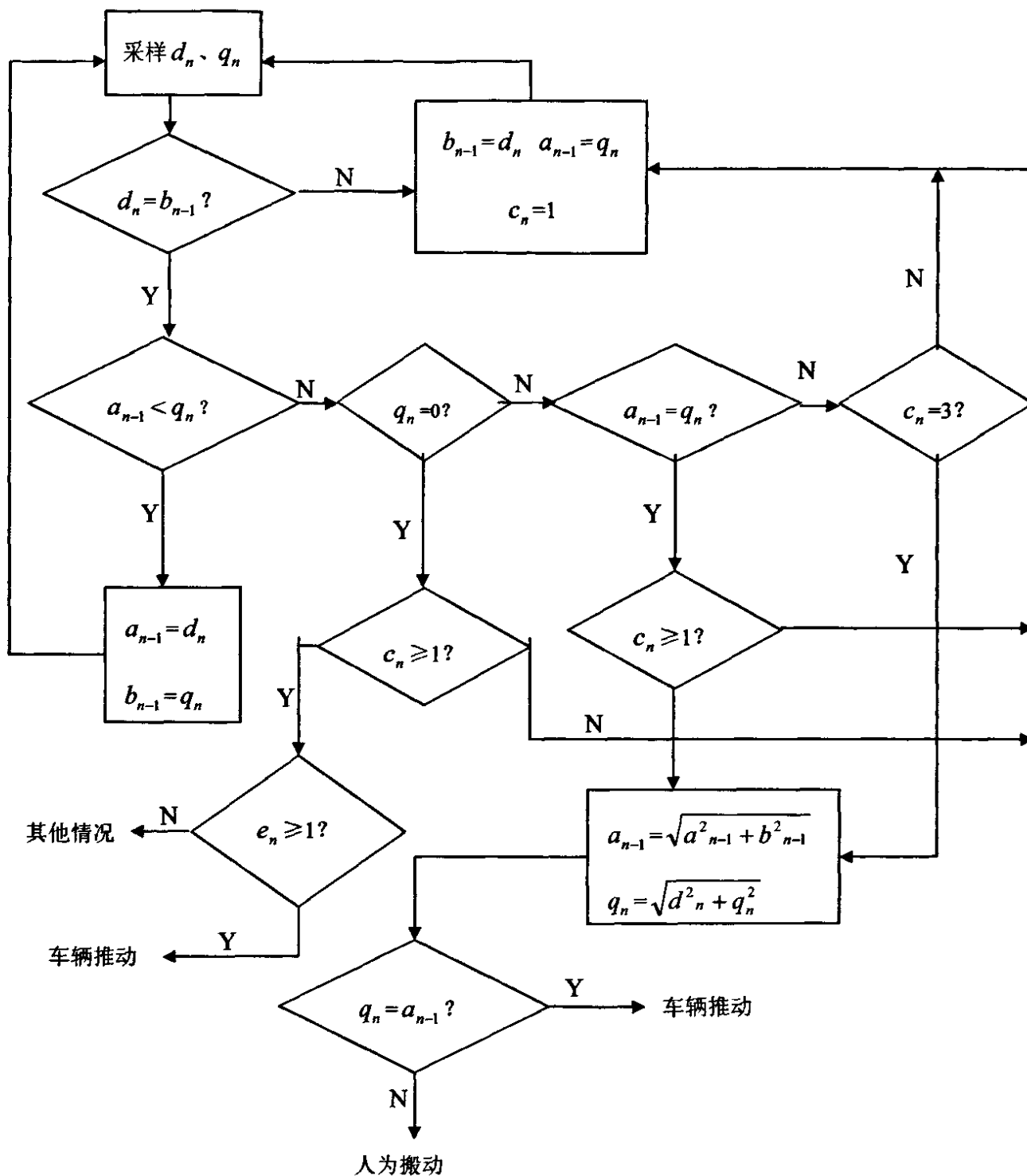
总体识别过程流程如图 3.3 所示。



3.3 总体识别原理框图

在实际中，在弹体运动状态发生改变与系统开始采样之间会有个延迟，因此可以设定系统在确定有加速度变化后，延迟 t 时刻然后进行采样， t 的大小可以更具实际情况确定。

识别过程见图 3.4。其中①、②意义分别为：①车辆推动 ②人为搬动



3.4 总体识别流程框图

3.3 本章小结

本章通过对目标加速度特性的分析制定了在对弹体在相应运动状态下的识别方法，并在最后制定出了总体上实现是别的综合识别方法，为下一章目标识别的实现提供了理论上的依据。

4 总体设计

4.1 总体方案

总体上，整个反排装置由数据处理系统和数据采集系统两大部分组成，并受弹体中中央控制器的控制。中央控制器对反排装置的控制主要反映在对装置发出启动指令，然后数据采集系统通过加速度传感器采集加速度信号，经过放大、A/D 转换后，将处理后的信号送入事先编辑好程序的单片机进行处理，最后得出识别结果。识别过程如图 4.1 所示。

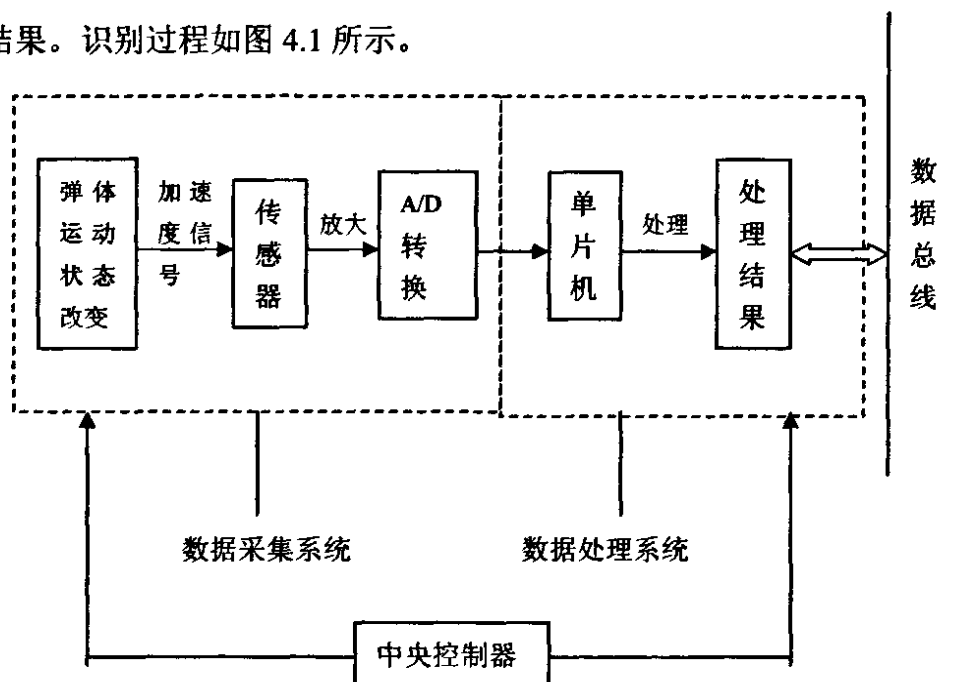


图 4.1 反排装置中目标识别过程方框图

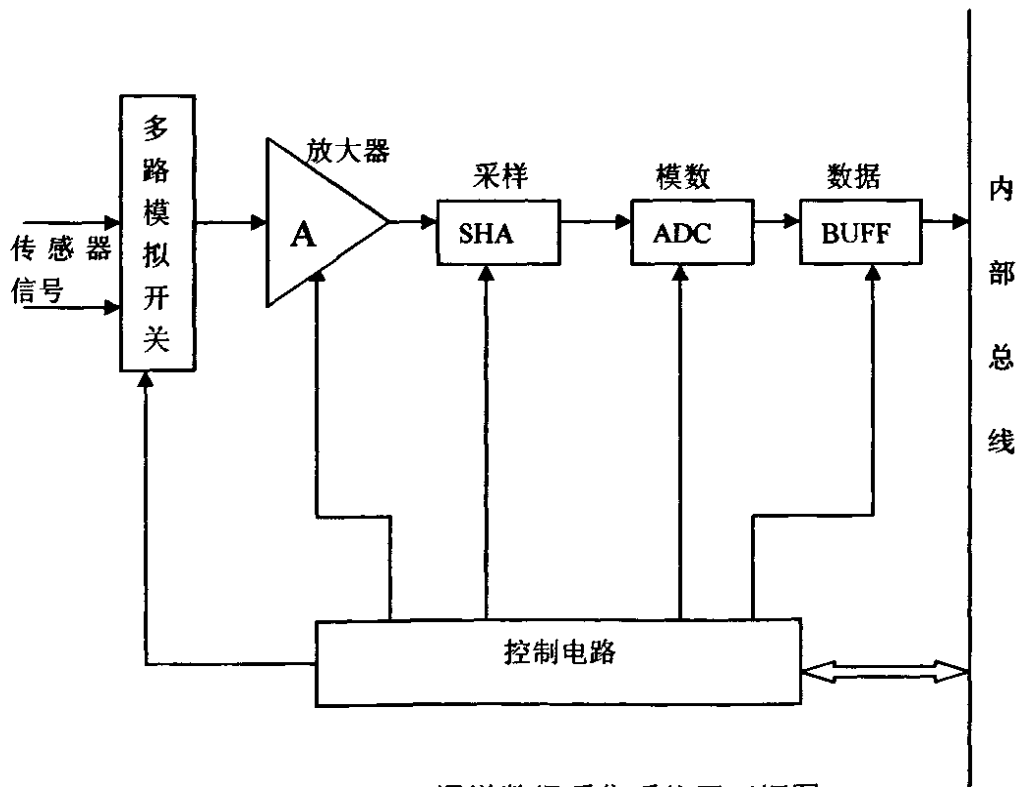
在数据采集系统中，首先要选择最为关键的加速度传感器，所选的传感器既要满足测量量程的需要，还必须满足在平面两个轴向方向上分别采集信号并相应输出。目前世界上的一般传感器都是由多片芯片组成来初步处理采集后的信号，而更为先进的传感器，如 ADI 公司开发的加速度计，采用的是较为先进的单片集成方法，在同一芯片上制作出加速度敏感元件和相应的信号调理电路。其次，要选择转换精度高而且转换速度快的 A/D 转换器。因为采集后的信号必须及时的送入 A/D 转换器内转换，然后送入单片机进行处理，如果转换速度太慢，则会有一些信号可能被漏掉。如果转换精度太低，则会影响判别结果。

在数据处理系统中，必须选择处理速度快，寄存量大的单片机。因为必须采集足够多的加速度信号才能有效识别目标（弹体）的运动特征，增加采集量可有效增加正确识别的几率。除此之外，单片机的处理速度必须要大于加速度计（或

数据采集系统)的信号采集速度,否则,前一次的加速度信号就会有可能还未来得及处理就被后面的信号冲掉了,漏掉本该处理的信号会大大降低系统正确识别弹体运动特征的几率

在反排装置中,为了能实现对弹体运动状态的判别,必须通过数据采集系统将待测信号经转换后输入单片机,因此,数据采集系统是外部信号进入信号识别系统的必经之路,是反排装置中必不可少的前向通道,而且,它也是本课题所设计的电子反排装置的重点。

数据采集系统要从一个或多个信号源中采集模拟信号,并将这些信号转换为数字形式。图 4.2 为一个本反排装置中的双通道(因为采集的信号为 X、Y 两轴向的加速度信号)数据采集系统原理框图。外部的模拟信号经多路模拟开关以一定方式按次送入前置放大器 A(有时是可程控的),经前置放大器和采样保持器 SHA 后进入模数转换器 ADC,转换成数字量后,通过缓冲器与仪表的总线联接。



4.2 双通道数据采集系统原理框图

可见,对于模拟信号的数据采集系统,基本环节或部件有:模拟多路转换器与信号调节器;采样/保持器;模拟/数字(A/D)转换器;通道控制电路。

数据采集系统中与传感器相连接的是信号调节器,它完成传感器初次输出模拟信号的调节任务。而模/数转换中的多路转换及信号调节则要将模拟信号变

换成直接满足模/数变换需要的信号电平及输入方式。为了减少动态数据测量的孔径误差（由于模拟量转换成数字量有一过程，对于一个动态模拟信号，在模/数转换器接通的孔径时间里，输入的模拟信号值是不确定的，从而引起输出的不确定性误差），对于快速动态信号应设置采样/保持电路以防止采样过程中信号发生变化。因此，模拟数据的采集及模/数变换通道设传感器时不仅仅是单纯选择 A/D 转换接口，要综合考虑从传感器到单片机数据输入的全过程。

在本反排装置中的数据采集系统包括：传感器、前置放大器、数模转换器、单片机。所有部件由单片机来控制，开始采样信号由上位机来发出，随后采样电路将所采集的信号数据送入总线。

4.2 硬件设计

硬件电路设计为本设计的核心部分，它不仅负责传感器信号的采集、处理、传输任务，而且负责接收上位机的控制命令、将采集的数据传送给上位机，并具有校验功能，从而使整个系统可靠、有序的工作。整个电路由加速度传感器信号采集电路、AVR 单片机解算控制电路、通信接口电路以及供电器件组成。电子防排装置加速度采集电路见附件一所示。

4.2.1 器件选择

4.2.1.1 微处理器选型

单片机是整个处理系统的核心，应该从具体的要求出发，选择合适的单片机型号，根据总体设计，传感器输入两路信号经过测量放大器放大后进入 A/D 转换为数字信号后由 DSP 进行处理。要求在规定的时间内完成对信号的采集和处理，包括以下几部分：信号的采集、信号的数字滤波、误差的自动补偿、滚转角的解算以及信号的存储，这就对 CPU 提出的很高的要求，因此必须采用高速度的数字信号处理器。

在数据处理系统中，必须选择处理速度快，寄存量大的单片机。因为必须采集足够多的加速度信号才能有效识别弹体的运动特征，增加采集量可有效增加正确识别的几率。除此之外，单片机的处理速度必须要大于加速度计（或数据采集系统）的信号采集速度，否则，前一次的加速度信号就有可能还未来得及处理就被后面的信号冲掉了，漏掉本该处理的信号会大大降低系统正确识别弹体运动特征的几率。

在设计中，我们选择了单片机 AT90S2513 作为数据处理系统的核心。

AT90S2313 是一款基于 AVR RISC 的低功耗 CMOS 8 位单片机。通过在一个时钟周期内执行一条指令；AT90S2313 可以取得接近 1M Ips/MHz 的性能，从而使设计人员可以在功耗和执行速度之间取得平衡。

AVR 核将 32 个工作寄存器和丰富的指令集联在一起。所有的工作寄存器都与 ALU（算逻辑单元）直接相连。允许在一个时钟周期内执行的单条指令。同时访问 2 个独立的寄存器。这种结构、提高了代码效率，使 AVR 得到了比普通 CISC 单片机高将近 10 倍的性能。

AT90S2313 具有以下特点：

(1) AVR RISC 结构

- 高性能、低功耗 RISC 结构
- 118 条指令，大多为单指令周期
- 32 个 8 位通用（工作）寄存器
- 工作在 10MHz 时具有 10Mips 的性能

(2) 数据和非易失性程序内存

- 2K 字节的在线可编程 Flash (擦除次数为 1, 000 次)
- 128 字节 SRAM
- 128 字节在线可编程 EEPROM (寿命为 100, 000 次)
- 程序加密位

(3) 外围 (peripheral) 特点

- 1 个可分频的 8 位定时器/计数器
- 1 个可分频、具有比较捕捉和 8/9/10 位 PWM 功能的 16 位定时器/计数器
- 片内模拟比较器
- 可编程的看门狗定时器（由片内振荡器产生）
- 全双工 UART

(4) 特别的 MCU 特点

- 低功耗空闲和掉电模式
- 内外部中断源

(5) 规范 (specification)

——低功耗、高速、CMOS 工艺

——全静态工作

(6) 4MHz、3V、25°C 条件下的功耗

——工作模式为 2.8mA

——空闲模式为 0.8mA

——掉电模式为 <1uA

(7) I/O 封装

——15 个可编程的 I/O 脚

——20 脚 PDIP 和 SOIC 封装

(8) 工作电压

——2.7~6.0V (AT90S2313-4)

——4.0~6.0V (AT90S2313-10)

(9) 速度

——0~4MHz (AT90S2313-4)

——0~10MHz (AT90S2313-10)

器件是以 ATMEC 的高密度、非易失性内存技术生产的。片内 Flash 可以通过 ISP 接口或通用编程器多次编程。通过将增强的 RISC 的 8 位 CPU 与 Flash 集成在一个芯片内, AT90S3213 为许多嵌入式控制应用提供了灵活而低成本方案。

AT90S2313 具有一整套的编程和系统开发工作; 宏汇编; 调试/仿真器, 在线仿真器和 SL-AVR 编程开发试验器。

4.2.1.2 A/D 转换器选型

A/D 转换器是将模拟量转换成数字量的器件。A/D 转换由采样、量化和编码三个过程组成。

采样过程是把输入的连续时间变化的模拟量离散化, 即变成时间域上断续的模拟量, 量化过程就是把采样取得的在时域上断续、但是在幅值上连续的模拟量进行量化, 即用相对于最小数字量的信号值的某个整数倍去表示该采样值, 编码是把已经量化的数字量用一定的代码表示输出, 通常采用二进制码。

在数据采集系统中, 对 A/D 转换器有以下要求: (1) 精度高; (2) 转换速度快。因为采集后的信号必须及时的送入 A/D 转换器内转换, 然后送入单片机

进行处理,如果转换速度太慢,则会有一些信号可能被漏掉。如果转换精度太低,则会影响判别结果。

在本设计中,我们采用 TI 公司的 TLC2543 12 位串行 A/D 转换器。

TLC2543 串行 A/D 转换器使用开关电容逐次逼近技术完成 A/D 转换过程。由于是串行输入结构,能够节省单片机 I/O 资源,且价格适中。其特点有:

- (1) 12 位分辨率 A/D 转换器;
- (2) 在工作温度范围内 $10\ \mu\text{s}$ 转换时间;
- (3) 11 个模拟输入通道;
- (4) 3 路内置自测试方式;
- (5) 采样率为 66kbps;
- (6) 线性误差+1LSB (max)
- (7) 有转换结束 (EOC) 出;
- (8) 具有单、双极性输出;
- (9) 可编程的 MSB 或 LSB 前导;
- (10) 可编程的输出数据长度。

TLC2543 是 12 位开关电容逐次逼近 A/D 转换器。逐次逼近比较式 A/D 转换器属于直接比较型。它是用一组基准电压与被测电压进行逐次比较,不断逼近,最后达到一致基准电压的大小,就表示了被测电压的大小。和被测电压相平衡的基准电压,以一定二进制数码输出,就实现了 A/D 转换过程。主要组成部分有:数字模拟转换器、比较器、移位寄存器、数据寄存器、时钟以及逻辑控制电路等。

逼近式 A/D 转换器的转换速度快,精度高,外用元器件也不多,是使用较广的一种转换电路。

4.2.1.3 传感器选型

在本设计中采用的加速度传感器是 ADI 公司的单片集成双轴加速度传感器 ADXL202,它的采样频率为 1KHz。在两种预先假设的运动中,人为搬动的周期大约为 0.57s,频率为 $2\text{Hz}^{[2]}$;车辆推动、弹片击中时的加速度信号频率大约为 1~10Hz,远远小于传感器的采集频率,因此,利用此传感器采集弹体运动的加速度信号完全符合采样定理,理论上可以利用此传感器采集加速度信号。

ADXL202 是一种低成本、低功耗、功能完善的双轴加速度传感器,其测量范

围为±2g。ADXL202 既能测量动态加速度(如振动加速度), 又能测量静态加速度(如重力加速度)。其内部结构如图 4.3 所示。

ADXL202 具有以下特点:

(1) ADXL202 是集双轴加速度传感器于一体的单块集成电路; 它既可测量动态加速度, 又可测量静态加速度;

(2) ADXL202 采用 14 引脚表面封装。有两种工作温度范围: 商业温度范围为 0℃~70℃, 工业温度范围为-40℃~+85℃。

(3) 具有脉宽占空比输出;

(4) ADXL202 的带宽可以通过电容 CX 和 CY 在 0.01Hz~5kHz 的范围内设定。其典型噪声值为 $500 \mu g / (\text{Hz})^{1/2}$, 60Hz 带宽时的分辨率为 5mg。

(5) 低功耗(<0.6mA); 60Hz 带宽时的分辨率为 5mg; 直流工作电压为+3V~+5.25V; 可承受 1000g 的剧烈冲击。

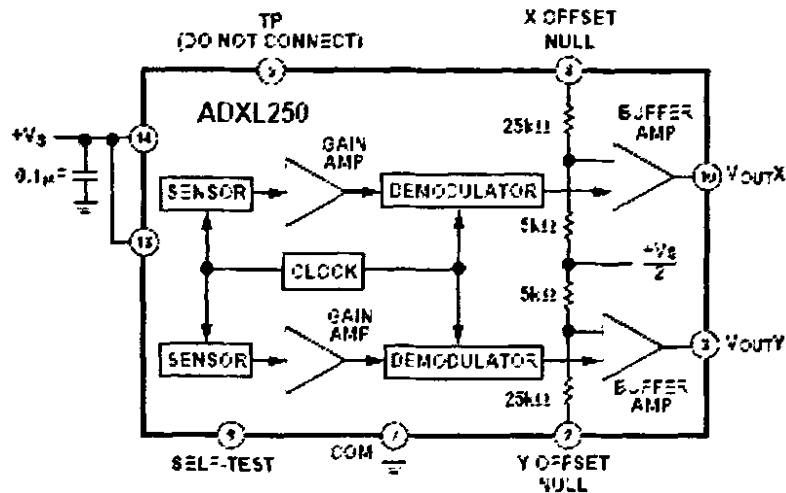


图 4.3 ADXL202 结构图

4.2.1.4 放大器芯片选型

由加速度传感器采集到的模拟信号在进行 A/D 转换前需进行放大, 因此需要选择适当的放大器, 要求放大器功耗小, 精度高。在本设计中选用贴片式放大器 OP296。

OP296 是一款精密运算放大器, 最大输入失调电压 0.325mV, 共模抑制比 110dB, 电源抑制比 120dB, 开环电压增益 88V/mV, 轨至轨输出, 输出电流 30mV, 带宽 15MHz, 压摆率 13Vu/s, 电源电压 ±1.35V~±6.0V 或 +2.7V~+12V, 每运放最大电源电流 0.85mA。

4.2.1.5 电源芯片选型

由于主要元器件工作电压均为+5V，而电源盒供电电压为+9~12V，因此需要将电压由+9~12V调到+5V。电源芯片78L05和LM336-5可以完成此工作。

78L05 是一款单片集成的三端稳压电源芯片，其工作特点有：工作电流100mA；内置的电路保护；低噪声；高精度，精度可达5%；输出电压+5V；工作温度-20℃~+85℃；性价比高，使用广泛。

LM336-5 是一种常用的基准二极管，其工作特点有：具有很小的动态电阻（仅有0.2Ω），在很小的工作电流下即有很硬的特性、在10μA电流下即可正常工作；温度系数低，典型值仅20ppm/℃、约25μV/℃，比普通稳压管低百倍以上；工作电压分别为1.235V、2.5V、5V且工作电压的离散性很小、仅1-2%，一般情况下具有互换性；价格便宜，因而得到广泛使用。

4.2.1.6 通讯芯片选型

数据的进一步处理、显示以及相应的处理都需要在上位机实现，因此，单片机需与PC机进行数据通讯。AT90S2312具有很强的串口通信能力，故可采用其串口实现与上位机的数据传输。

在进行串行通信时，需要计算机和外设之间共同遵守某种约定，即通信协议。RS232、RS422及RS485是串行通信的常用接口标准。RS232是美国电子工业协会EIA（Electronic Industrial Association）和Bell公司一起开发的于1969年颁布的通信协议。它适合传输速率在0~20KB/S范围内的通信，现已成为微机串行通信接口中广泛应用的一种标准。RS232规定，当数据传输速度小于0~20KB/S且电缆的电容负荷小于2500PF时，传输距离小于15m。本系统主要是利用系统所保存的数据对系统进行标定，因此并不要求实时传输，对速度要求不高，因此采用RS232异步通信方式。

为增加信号在线路上的传输距离和提高抗干扰能力，RS-232提高了信号的传输电平。该接口采用双极性信号，公共地线和负逻辑。对于发送端：-5V~-15V表示逻辑1，+5V~+15V表示逻辑0。对于接收端：电压低于-3V表示1，高于+3V表示0。它与单片机的逻辑电平不一致，因此在实际应用时，必须把微处理器的信号电平（TTL电平）转换为RS232电平，或者对两者进行逆转。MAX232芯片可以完成电平转换这一工作。

MAX232 芯片是 MAXIM 公司生产的低功耗、单电源双 RS232 发送/接收器,适用于各种 EIA -232E 和 V.28/ V.24 的通信接口。MAX232 芯片内部有一个电源电压变换器,可以把输入的+ 5V 电源变换成 RS-232C 输出电平所需± 10V 电压,所以采用此芯片。接口的串行通信系统只要单一的+5V 电源就可以 MAX232 外围需要 4 个电解电 C1、C2、C3、C4,是内部电源转换所需电容,其取值均为 $1\mu\text{F}/25\text{V}$,宜选用钽电容并且应尽量靠近芯 C5 为 $0.1\mu\text{F}$ 的去耦电容 MAX232 的引脚 T1IN、T2IN、R1OUT、R2OUT 为接 TTL/ CMOS 电平的引脚。引脚 T1OUT、T2OUT、R1IN、R2IN 为接 RS - 232C 电平的引脚。因此 TTL/ CMOS 电平的 T1IN、T2IN 引脚应接 MCS- 51 的串行发送引脚 TXD; R1OUT、R2OUT 应接 MCS - 51 的串行接收引脚 RXD1 与之对应的 RS-232C 电平的 T1OUT、T2OUT 应接 PC 机的接收端 RD; R1IN、R2IN 应接 PC 机的发送端 TD。

4.2.2 外围电路设计

通过系统设计和主要器件的误差估算,可以确定本数据采集系统的主要器件和系统的电路结构,接下来的工作就是根据所选择的器件和系统的构架进行相应的功能接口设计及印制电路板的设计,将各个独立的器件构成一个有相应功能的整体。

4.2.2.1 传感器外接电路

ADXL202 的电路设计包括选择信号周期设计、滤波电容(决定信号的频带)设计。

引脚连接如下:

VDD: ADXL202 有两个电压输入引脚 13 和 14。这两个引脚应直接与电源相连。

COM: ADXL202 有两个接地引脚 4 和 7。它们应直接相连并接地。

VTP: 该管脚应保持开路,不与其它任何管脚相连。

VDD 与 COM 引脚: 其间连接去耦电容 CDC, 使用 $0.1\mu\text{F}$, 形成电源去耦电路。

ST: 自检输入端,当 ST 接 VDD 时,将加一个静电压使传感器的中心电容极板发生偏转,等效于施加一个加速度力,帮助用户检查加速度计的功能。输出信号脉

宽占空比为 10%,相当于 80mg 的加速度。平时该引脚可开路,亦可与 COM 引脚相连。

XOUT、YOUT: 数据输出端。

ADXL202 使用 CX 和 CY 的设定频带:ADXL202 有两个 XFILT 和 YFILT 引脚,可外接电容来设定频带。电容必须安装在紧靠引脚处,用以去混叠和抑制噪声。3dB 带宽计算公式如下:

$$F-3dB=1/[2\pi(32k\Omega)\times C(X,Y)]$$

或简化为:

$$F-3dB=5\mu F/C(X,Y)$$

RFILT 可在额定值 32kΩ 的±25%范围内变动相应地,带宽也随之变化。另外,在任何情况下 C 的最小电容值为 1000uF。

利用 RSET 设定 DCM 的周期:有两个通道的 DCM 的周期是通过电阻 RSET 来设定。计算公式为:

$$T2=RSET(\Omega)/125M\Omega$$

125kΩ 的电阻将周期设定为 1ms 左右。器件可在周期 0.5ms~10ms 范围内运行。

本设计中,设置 RSET 为 125KΩ,采样周期为 1ms;去藕电容为 0.1μF;噪声为 13.7mg,噪声峰值为 54.8mg。

ADXL202 外接电路如图 4.4 所示。

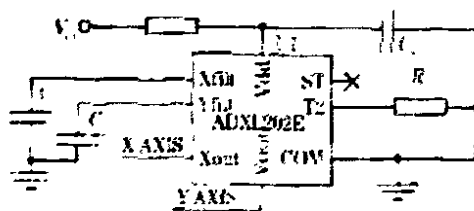


图 4.4 ADXL202 外接电路

4.2.2.2 单片机及 A/D 转换器外接电路

AT90S2313 的引脚配置图如图 4.5 所示。

Vcc、GND: 电源。

B 口: B 口是一个 8 位双向 I/O 口,每一个引脚都有内部上拉电阻(可单独选择)。PB0 和 PB1 还可作为片内模拟比较器的正(AIN0)负(AIN1)输入端。B

口的输出缓冲器能够吸收 2mA 的电流，可直接驱动 LED，当作为输入时，如果外部被拉低，由于上拉电阻的存在，引脚将输出电流。在复位过程中，B 口为三态，即使此时时钟还未起振。

D 口 (PD0~PD6)：D 口是一个带内部上拉电阻的 7 位双向 I/O 口。输出缓冲器能够吸收 20mA 的电流，当作为输入时，如果外部被拉低，由于上拉电阻的存在引脚将输出电流。在复位过程中，D 口为三态，及时此时时钟还未起振。

RESET：复位输入。超过 50ns 的低电平将引起系统复位，低于 50ns 的脉冲不能保证可靠复位。

XTAL1：振荡器放大器的输入端。

XTAL2：振荡器放大器的输出端。

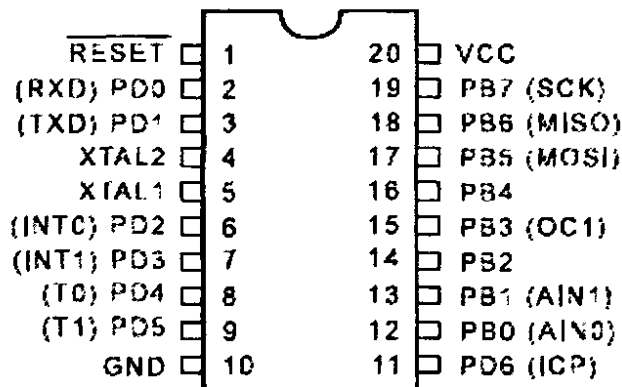


图 4.5 AT90S2313 引脚图

在整个电子反排装置的电路中，主要有单片机 AT90S2313、A/D 转换器 TLC2543、传感器 ADXL250 和一些外接电源。电路设计如下：由于传感器、A/D 转换器和单片机所需电压各不相同，因此需要用一个外接的电压转换器来把电源电压转换成各器件所需电压；电源盒供电电压为 +9~12V，经电源芯片将电压转换为 +5V，作为标准供电电压接入各个器件；精确参考电压芯片 REF195 为 A/D 转换器 TLC2543 提供参考电压，参考值为 +5V；REF195 第 6 引脚为参考电压输出端，与 TLC2543 第 14 脚相连，TLC2543 根据参考电压来进行 A/D 转换；TCM811 为单片机提供复位电压；OP296 为前置放大器，用来放大加速度信号电压，放大后的信号要与参考电压源的电压相匹配，第 1 和第 8 引脚为加速度信号放大后的输出端，分别与 TLC2543 的 9 脚、11 脚相连；加速度传感器 ADXL250 的第 3 和第 10 引脚为加速度信号输出接口，与 OP296 的 4 脚、6 脚相连；A/D 转换器的第 9 和 11 引脚为放大后加速度信号的输入接口，第 14 引脚为参考电压接口；单片

机 AT90S2313 的第 1 脚 RESET 端为复位电压接口，与 TCM811 相连，第 17 引脚为 A/D 转化后数字串行输入接口，与 TLC2543 相连，第 2、3、6、7、8、9、11 引脚为单片机处理数据后的结果输出接口；单片机 AT90S2313 的第 4、5 脚为外接晶振输入端，本设计外接晶振为 11.0592MHz。

单片机及 A/D 转换器外接电路如图 4.6 所示。

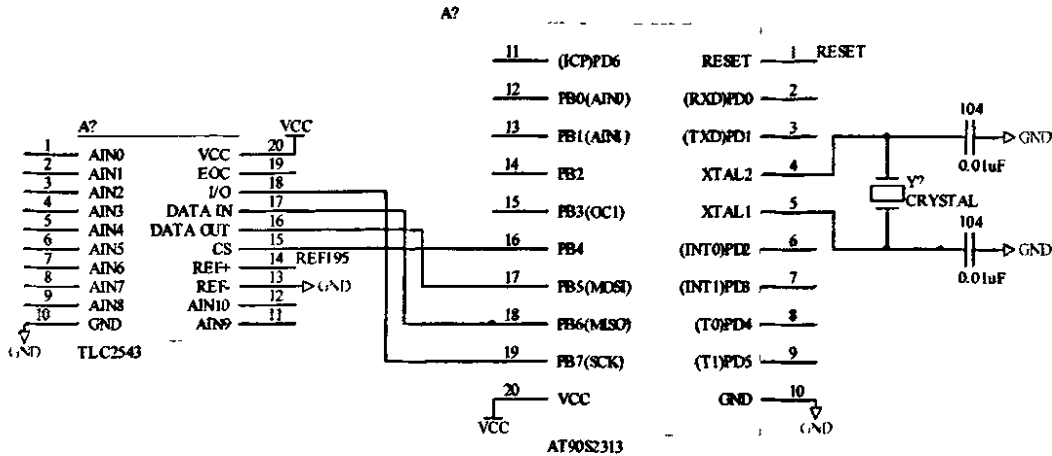


图 4.6 单片机及 A/D 转换器外接电路图

4.2.2.3 通讯接口设计

采用 MAX232 接口的硬件接口电路如图 4.7 所示。现选用其中一路发送/接收。R1OUT 接单片机的 RXD，T1IN 接 AT90S2313 的 TXD，T1OUT 接 PC 机的 RD，R1IN 接 PC 机的 TD，因为 MAX232 具有驱动能力，所以不需要外加驱动电路。

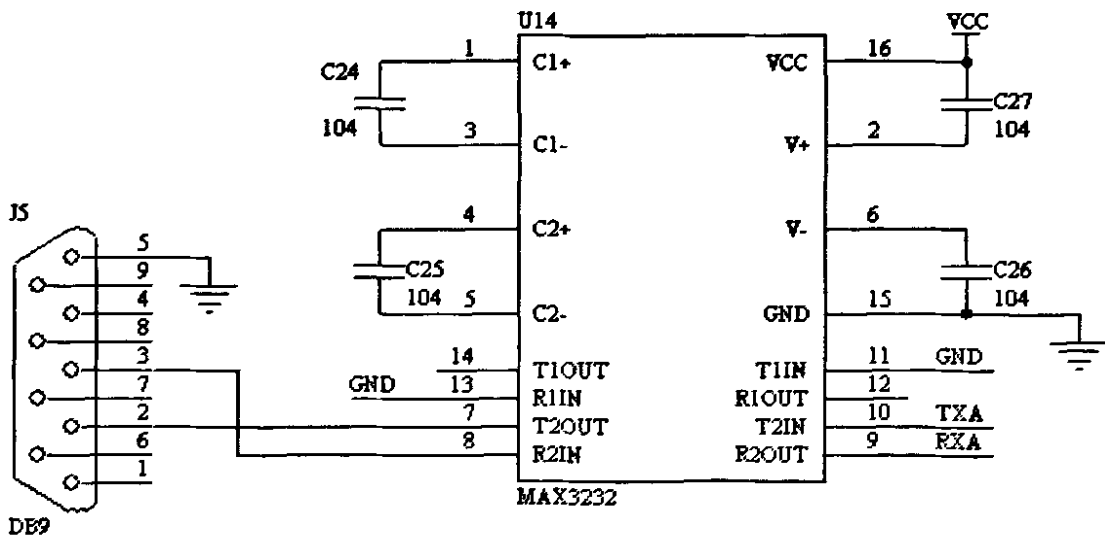


图 4.7 串口通讯接口电路

4.2.2.4 电源电路设计

电源电路设计如下：电源芯片输入端与电源盒输出端（输出电压 +9~12V），输出电压+5V，并接 100uF 电解电容或电位计接地；GND 端接地。具体连接如图 4.8、4.9 所示。

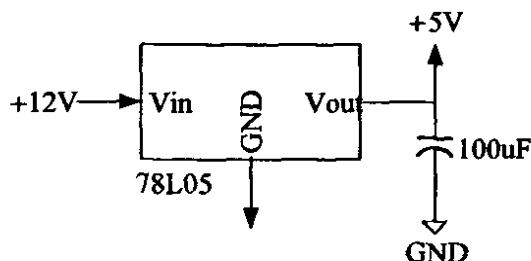


图 4.8 78L05 外接电路

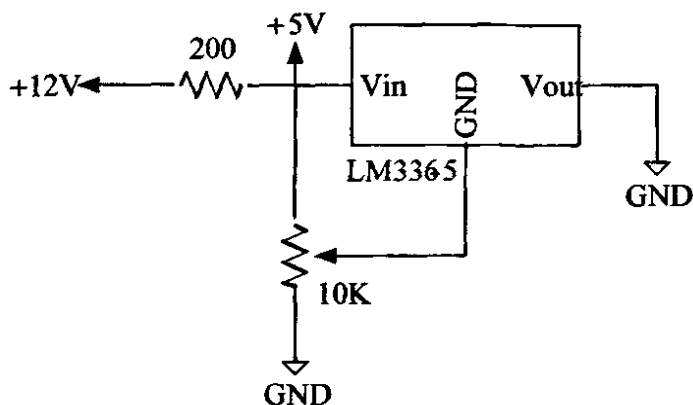


图 4.9 LM336-5 外接电路

4.2.2.5 重置电路设计

TCM811 是 4 引脚微控制器复位点路，是一款性价比高的系统监控电路，用来在数字系统中监控 VDD 和在需要时为主控制器提供复位信号。手动复位输入是用来重设复位监控器的，手动复位输入适于用作按钮开关复位。TCM811 使用时不需要外部其它器件。

复位输出在 VDD 低于复位电压门限值的 20μs 内激活。在 VDD 高于复位门限值后复位在最少 140ms 时间内保持有效。TCM811 复位输出低电平有效。TCM811 的有效输出可低至 VDD=1V。该器件是 4 引脚 SOT-143 封装，工作温度为-40℃~85℃。

TCM811 的特性如下：

- 精密监控 VDD 电压：2.0V, 2.8V, 3.0V, 3.3V 和 5.0V；

- 手动复位输入；
- 140ms 最小复位输出周期 ；
- 低功耗：6 μ A 工作电流(典型值) ；
- VDD 瞬变不产生复位；
- 小型 4 引脚 SOT-143 封装 ；
- 无需外部器件；
- 上拉/下拉复位输出；
- 温度范围：(商业级) -40 $^{\circ}$ C~85 $^{\circ}$ C；

重置电路设计如下：VCC 端接电源+5V；RSET 端串接一电阻，阻值 4.7K Ω ，然后接单片机的 RSET 端；GND 端接地。具体连接如图 4.10 所示：

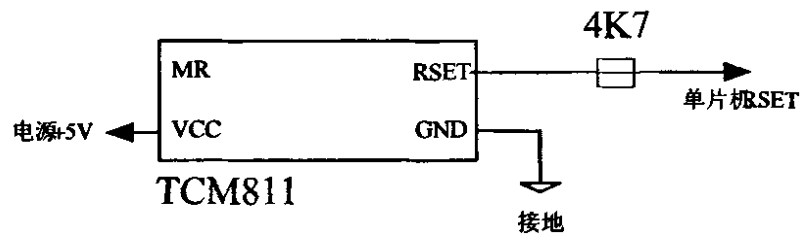


图 4.10 重置电路

4.2.3 PCB 设计

一个系统能否工作可靠，不仅取决于电路的设计，在很大程度上，印刷电路板的制作也是电路正常工作的决定性因素。系统在测试环境中不可避免地存在诸如电磁、温度、机械振动等多种因素的干扰。为了有效地防止这些干扰，在电路设计和电路板制作的过程中采取了一系列措施。

(1) 电路设计中相应措施

为电源去耦，在电路板电源入口处的电源线和地线之间并接去耦电容，并接的电容为 100 μ F 的电解电容和一个 0.1 μ F 的云母电容，并接大电容为了去掉低频干扰成分，并接小电容为了去掉高频干扰成分。电源去耦波形如图 4.11 所示。

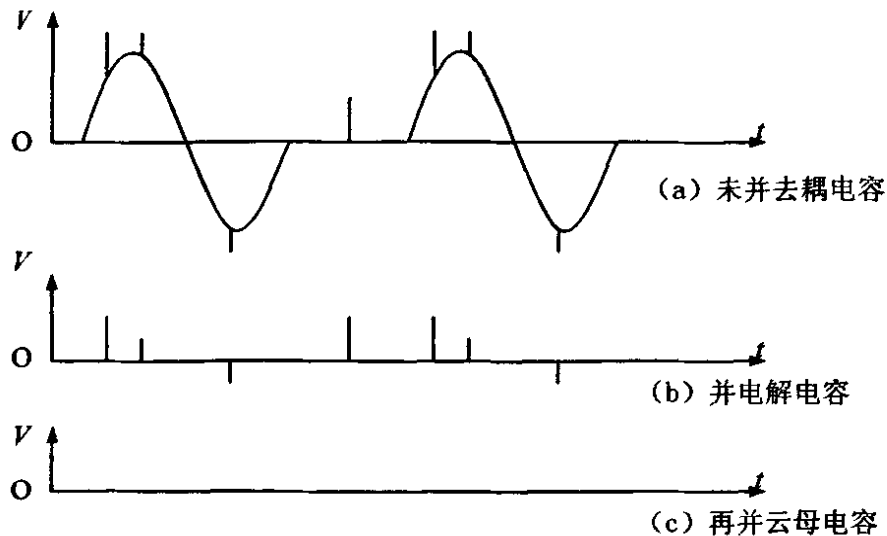


图 4.11 电源去耦波形

为防止电路中数字信号电平转换过程中产生的尖峰电流在信号传输线上和其他芯片内阻上产生的较大压降而造成干扰，为每个集成芯片都安置一个 $0.1\mu\text{F}$ 的去耦电容。

(2) 电路板设计注意的问题

在布线时，电源线要尽可能的宽，接地线则构成闭环路，形成梳子状，这样能降低阻抗，从而减少干扰。对于同一功能的电路，可将同一功能的元器件集中于一点接地，自成独立回路，这样地线电流便不会流到其他功能单元的回路中去，避免了

对其他单元的干扰，同时，数字电路的地和模拟电路的地也要分开，而后在将各功能单元的接地块汇总到电源地。对电路中主要的信号线应尽可能的宽和短，以及线间的距离也要尽可能的大。

经过以上的设计，电子防排装置数据采集组件实物如图 4.12 所示。

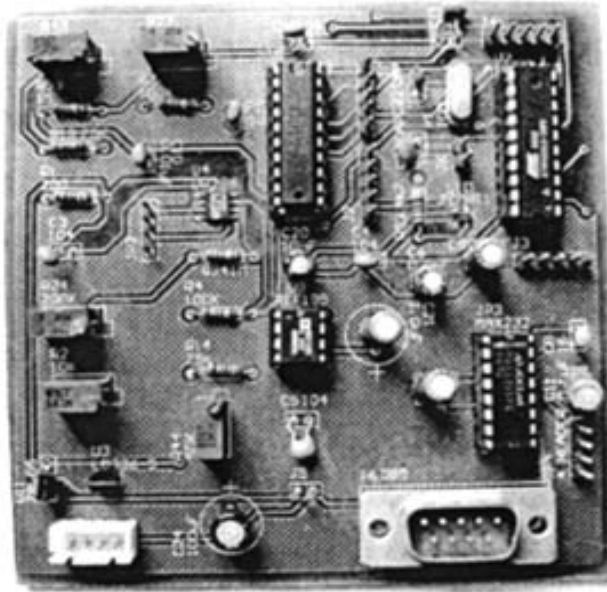


图 4.12 电子防排装置数据采集电路板

4.3 软件设计

硬件电路设计完成后, 还不能进行测量, 必须配有相应的软件才能完成需要实现的功能。对于同一个硬件电路, 如果植入的软件不一样, 它便可实现不同的功能, 而且某些硬件没有处理的问题可通过软件来实现。而实现同一功能的软件编写方法也可以不一样, 有优有劣, 好的软件, 能让系统可靠工作, 甚至能处理某些硬件异常, 而不要重新上电; 而不好的软件, 虽能实现功能, 但可能增加功耗, 对芯片的要求较高, 从而增加了预算, 等等。由此, 软件的设计是很重要的。

在本设计中, 由于数据要求在 PC 机上显示出来, 并由 PC 机实现监控功能, 因此可将软件分为下位机单片机软件以及上位机软件两大块。

4.3.1 系统软件总体设计

测试系统在上电复位之后, 根据测试目标的不同导致加速度的变化, 如果系统以同样的采样频率进行采样量化, 必然会导致弹体在受到高速冲击时采样点过少不能采集到关键点, 从而准确的描述出目标的运动姿态; 同样, 当弹体受到人为搬动时, 会导致采样点过密而对系统的资源占用较大, 从而降低系统的实时性。因此, 在设计中必须根据系统总体设计要求确定采样频率。采样频率的选取由上位机发送控制命令, 完成相应的测试功能。

由此可知, 系统上电复位在进行一些本身的初始化之后, 需要进入等待上位机命令的程序, 没有接收相应的命令或者命令错误, 它将一直处于等待状态。系

统“等待程序”用的方式是串口通讯方式，为了响应及时，串口通讯的接收方式采用中断工作方式。系统接收相应的命令后，跳转到串口中断服务程序，然后根据相应的命令进入相应的处理程序，包括数据采集和数据解算程序。系统采集和解算完成后将数据送给上位机用到的仍是串口通信，为发送方式，发送时，单片机处于主动状态，故将串口通信的发送设定为查询方式。

根据上述流程，将系统软件分为五个部分：

- (1) 系统初始化程序。根据系统硬件设计进行相应的时序和等待时间设置；
- (2) 系统控制程序。控制整个系统的工作流程，保证系统正常运行；
- (3) 数据处理程序。由于系统的误差和随机的干扰，采集来的数据还不能直接用于解算，需要进一步处理剔除系统误差和粗大误差，并进行补偿计算；
- (4) 解算程序。根据采集处理后得到的数据解算出实际加速度特征量。
- (5) 识别程序。根据解算得出的加速度特征量和相应的识别程序判别加速度特征，得出弹体的运动状态。

4.3.2 下位机软件设计

4.3.2.1 初始化

系统程序初始化主要是对系统的各种工作参数进行设置，使系统工作在一个明确的状态。主要涉及到系统的时钟倍频、I/O 口的设置、读写时序设置和系统通讯波特率设置。下面是一些简要初始化源代码：

```
void main(void)
{
    unsigned char a=0,iy=0,it=0;
    unsigned int yl=0,yh=0,datay=0;
    unsigned int sdy[14],sdt[14];
    PORTB=0x00;//打开 B 口
    DDRB=0x00; //B 口端清零
    PORTD=0x00; //打开 D 口
    DDRD=0x00;//D 口端清零
    TCCR0=0x01;
    TCNT0=0x00;
    TCCR1A=0x00;
```

```
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
OCR1H=0x00;
OCR1L=0x00;
GIMSK=0x00;
MCUCR=0x00;
TIMSK=0x00;
UCR=0x18;//打开串口
UBRR=0x19;//设置波特率为 119200
ACSR=0x80;//开中断
while (!(USR&0X80));//等待指令
    if(UDR==1) i=1;
    else if(UDR==2) i=0;
    UDR=0;
    USR|=0x80;
}
```

4.3.2.2 采样程序

当串口接受到正确的控制字后则根据控制字跳转到相应的信号采集程序，下面介绍信号采集程序的设计。

进入信号采集程序后先设置采样时间，进入等待状态,检测触发信号，一旦检测到触发信号，则触发 A/D 转换，A/D 采样结束后触发单片机的外部中断读取 A/D 转换数据并进行相应的处理，将处理结果写入外存储器，从中断返回等待定时器产生中断触发 A/D 转换开始。

数据采样流程图如图 4.13 所示。

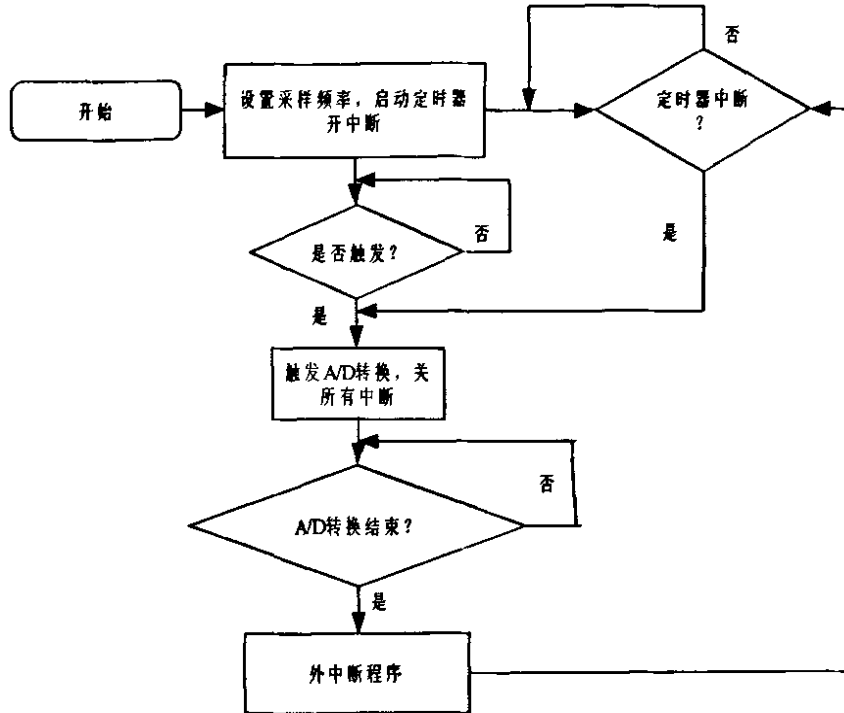


图 4.13 数据采集流程图

信号采集程序设计中主要考虑整个信号采集的过程中的时序匹配, 根据流程图的要求, 信号的采样时间间隔必须大于 A/D 转换的时间和单片机执行中断程序的时间之和, 而单片机的外中断程序主要包括了信号的读取和数据的解算处理和误差补偿, 因此对单片机的处理能力和程序的效率都提出了很高的要求。

数据采集程序如下所示:

```

unsigned short read2543(unsigned char port)
{
    unsigned char i=0;
    unsigned short data=0;
    port=port<<4;
    PORTB&=0x7f;// CLOCK=0;
    PORTB|=0x10;// CS=1;
    PORTB&=0xdf;// D_OUT=0;
    PORTB&=0xef;// CS=0;
    delay_us(20);// 延迟 20 微妙
    for(i=0;i<12;i++)
    {

```

```

        if(D_OUT) data|=0x01;
            a=(port&0x80);
        //D_IN=a;
        if(a) PORTB|=0x40;
        else PORTB&=0xbf;
        PORTB|=0x80;//CLOCK=1;
        delay_us(10);
        PORTB&=0x7f;//CLOCK=0;
        delay_us(10);
        port=port<<1;
        data=data<<1;
    }
    PORTB|=0x10;//CS=1;
    data>>=1;
    return data;
}

```

4.3.2.3 上传程序

AT90S2313 具有一个全双工的通用异步收发器，它能在使用较低频率的始终时产生 119200bps 的波特率。UART 可设置为 8 位或 9 位数据，具有帧错误检测和噪声滤波功能。AT90S2313UART 有 3 个独立的中断源：发送结束、发送数据寄存器空和接受结束。

本系统中，要保证通讯的成功，必须解决两个问题：一是串口的正确连接；二是设备同步，即同步发送设备和接收设备的工作节拍，以确保发送数据在接收端被正确读出。对于串口连接，需要将单片机的发送端与计算机的接受端相连，单片机的接受端与计算机的发送端相连。设备同步对通信双方有两个共同要求：一是通信双方必须采用统一的编码方法；二是通信双方必须能产生相同的传送速率。另外，通信双方对数据格式定义和数据位定义必须一致。这些都要求双方要遵守统一的通信协议。

本设计采用全双工通讯方式，数据的接收和发送相互独立。规定每一帧数据

为 10 个比特位，即 1 位起始位，8 位数据位，1 位结束位，由于系统的实时性体现在对弹体的加速度采样上，数据的上传在不影响数据正确收发的基础上应尽可能少的占用单片机的时间，因此要求采用较高的波特率，约定采用 119200b/s。

发送数据程序如下：

```

if(i==1)
{
    datax=read2543(2); //0 通道 12 位输出
    UDR=0x10;
    delay_ms(5);
    UDR=(datax>>8);
    while(!(USR&0x40));
    UDR=datax;
    delay_ms(5);
    datay=read2543(3); //1 通道 12 位输出
    UDR=0x20;
    UDR=(datay>>8);
    delay_ms(5);
    while(!(USR&0X40));
    UDR=datay;
    delay_ms(5);
}
    
```

4.3.3 上位机软件设计

上位机是以 PC 机位核心，处于整个系统的最顶层，运行于 Windows 操作系统上，它主要实现的功能有：接收下位机传送来的数据并将结果通过界面显示出来；预处理数据。为增强人机交流的友好性，使得整个操作过程简单、明了，上位机软件将采用交互式的用户界面。程序开发语言为 Microsoft 公司的 Visual Basic6.0。使用 Visual Basic 中通信控件可以方便的实现上位机和下位机的通讯。下面具体描述上位软件的实现过程。

4.3.3.1 界面显示设计

在上位机和下位机通信时,首先发出的是控制字命令,在菜单栏中采样时间、是否持续采样等设置;结果可通过数据栏或曲线的方式进行显示,点击相应命令,可进入相应显示界面。同时,为了方便管理,引进了 Visual Basic 中的 TreeView 控件。TextBox 控件区域为单片机发送上来数据的显示区域。

TreeView 控件是显示 Node 对象的分层列表,每个 Node 对象均由一个标签和可选的位图组成,它使用 ImageList 属性指定的 ImageList 控件来存储显示于 Node 对象的位图和图标。设计中 TreeView 控件主要用到了其 Node 属性。增加一个节点的方法为:

```
Dim Nodx As Node
```

```
Set Nodx = TreeView.Nodes.Add (relative, relationship, key, text, image, selectedimage)
```

relative 可选的。已存在的 Node 对象的索引号或键值。新节点与已存在的节点间的关系,可在下一个参数 relationship 中找到。

relationship 可选的。指定的 Node 对象的相对位置,如设置值中所述。

key 可选的。唯一的字符串,可用于用 Item 方法检索 Node。

text 必需的。在 Node 的名字。

image 可选的。在关联的 ImageList 控件中的图象的索引。

selectedimage 可选的。在关联的 ImageList 控件中的图象的索引,在 Node 被选中时显示。

4.3.3.2 Mscomm 控件实现上下位机通讯

在 Visual Basic 开发语言中,有一个专门用来处理串口通信的控件 MSComm 控件,此控件提供了下列两种方式来处理信息:

事件驱动。使用 OnComm 事件来实现,该方式是处理连接端口通信的一种有效方法。程序可以利用 MSComm 控件来侦测并处理通信事件及通信错误。可预先将程序写入控件的事件程序区块中,一旦事件发生即可自动执行该段程序。

查询方式。程序通过检查 CommEvent 属性的值来查询事件和错误。查询方式的进行可以利用定时器或 DO...LOOP 来进行。

使用 MSComm 控件的第一步是建立与串行口的连接,建立串行端口连接使

用的属性有:

CommPort: 设置或返回通信连接端口代号。程序必须指定要使用的串行端口的代号, Windows 系统会使用所设置的通信端口与外界通信。程序亦可经由此属性读回所使用的连接端口代号。但若将该值设置为系统中并不存在的 COM 端口, 将会产生错误。

Settings: 设置初始化参数。以字符串的形式设置或返回波特率、奇偶校验、数据位、停止位四个参数。其格式为“BBBB, P, D, S”, 其中 BBBB 为波特率, P 为校验方式, D 为数据位数, S 为停止位数。Settings 设置完成后, 所送出及收回的字符串便以此设置为主, 使用 RS-232 通信双方的 Settings 必须完全一样, 彼此才能顺利地通讯, 否则双方无法收到彼此所传送的信号。

PortOpen: 设置或返回通信连接端口的状态, 以及打开和关闭端口。使用串行端口之前必须先将要使用的串行端口打开; 而在使用完毕之后, 也必须执行关闭的操作。它是一个布尔值(取值范围为 True 或 False)。

在端口被打开后, 就创建了接收和发送缓冲区。为了管理这些缓冲区, MSComm 控件提供了一系列属性。

InBufferSize 和 OutBufferSize

InBufferSize 和 OutBufferSize 属性指定了为接收和发送缓冲区分配的内存数, 缺省值为 1024, 这两个值越大, 程序中可用的内存就越少, 但缓冲区太小, 缓冲区容易产生溢出。

Rthreshold 和 Sthreshold

Rthreshold 和 Sthreshold 属性表示在 OnComm 事件发生之前, 接收缓冲区或发送缓冲区中可以接收的字符数。OnComm 事件用来监视和响应通信状态的变化。如果将属性的值设置为 0, 则 OnComm 事件不发生。

InputLen

指定由串行端口读入的字符串长度。若 InputLen 属性为 0, 则在使用 Input 属性时, MSComm 将读出接收缓冲区中的所用内容。如果读取以定长数据块的形式格式化的数据时, 则需要将该属性设置为合适的值。

Input 和 Output

Input 属性用来保存和接收从接收缓冲区获取的数据。Output 属性用来向发

送缓冲区发出命令和数据。

InputMode

InputMode 置为如下常数: comInputModeText 或 comInputMode-Binary,即可分别以文本或二进制格式传入的数据。

OnComm 事件和 CommEvent 属性

可以使用 OnComm 事件和 CommEvent 属性捕捉并检查通信事件和错误的值。在发生通信事件时,将触发 OnComm 事件,CommEvent 属性的值将被改变。因此在发生 OnComm 事件的时候,可以检查 CommEvent 属性的值。

利用该控件设置通信参数如下:

`MSComm1.Settings = "4800,N,8,1"`

意义是波特率为 4800,无奇偶校验,8 为数据位,1 位停止位。

向下位发送命令控制字方式为:

`MSComm1.Output = Chr(2) + Chr(1) + Chr(65) + Chr(68)`

该表达式表示上位机发送测试周期命令。Chr(2)表示起始符 2,Chr(1)表示有用数据长度为 1,Chr(8)表示 16 进制命令控制字 8H,由协议可知为设置采样频率为 1.8KHZ,Chr(68)为校验和。其他发送命令格式类似。

上位机软件界面如图 4.14 所示:

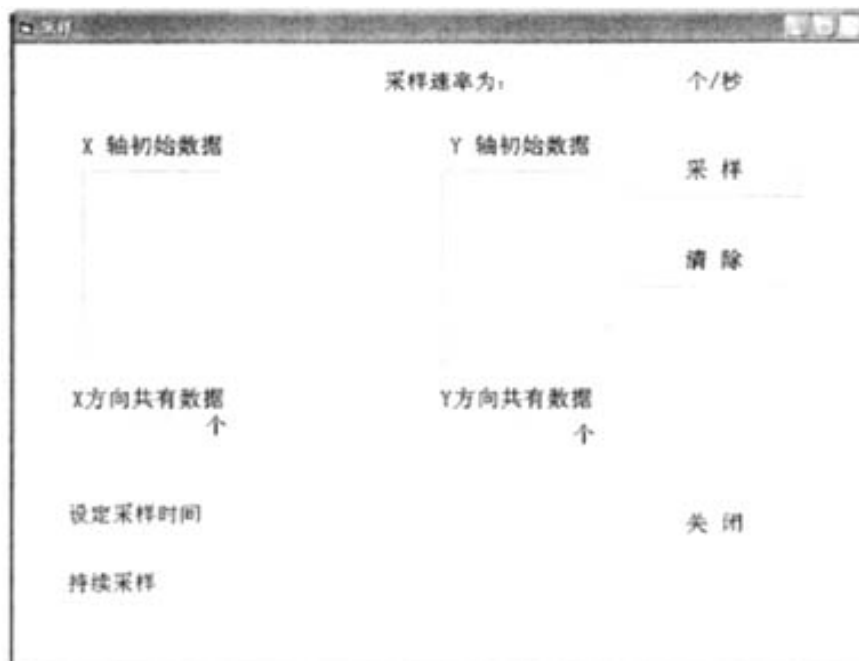


图 4.14 加速度采集界面

4.4 本章小结

本章根据电子防排装置的总体设计方案,依据弹体典型运动状态下的加速度特性,完成了电子防排装置的硬件和软件设计。硬件用来实现物理上的数据采集,保证实时采集;软件通过串口中断实现数据的采集的控制和实时处理,并根据各种误差的成因,设计了误差补偿程序,制定了通讯协议,保证上下位机的准确通信。整个装置的设计工作基本完成。

5 采样数据的预处理

数据采集系统在采集数据时,由于各种干扰的存在,使得系统采集到的数据偏离其真实数值。去掉采样数据中干扰成分的措施,除了在硬件电路上的防干扰的方法外,还可以进一步用软件对采样数据做预处理,使采样数据尽可能接近其真实值,以便使数据结果更加精确。

5.1 采样数据的数字滤波

由于测试实验现场的环境比较恶劣,干扰源较多,为了减少对采样数据的干扰,提高系统的性能,一般在进行数据处理之前,先要对数据进行数字滤波。

所谓“数字滤波”,就是通过特定的计算程序处理,较少干扰信号在有用信号中所占的比例,故实质上是一种程序滤波。数字滤波克服了模拟滤波器的不足,它与模拟滤波器相比具有以下几个优点:

(1) 由于数字滤波是程序实现的,因而不需要增加硬件设备,可以多个输入通道“共用”一个滤波程序。

(2) 由于数字滤波不需要硬件设备,因而可靠性高、稳定性好,各回路之间不存在阻抗匹配等问题。

(3) 数字滤波可以对频很低(如 0.01Hz)的信号实现滤波,克服了模拟滤波器的缺陷,而且通过改写数字滤波程序,可以实现不同的滤波方法或改变滤波参数,这比模拟滤波器的硬件要灵活方便。

在本设计中,对两种典型运动状态下的加速度特征进行采样,除了使用模拟滤波器外,还需要适时在程序后处理中使用数字滤波的方法,使数据进一步贴近真值。

本设计中使用的数字滤波方法有:中值滤波法、算术平均值法、一阶滞后滤波法和防脉冲干扰符合滤波法四种。

5.1.1 中值滤波法

所谓“中值滤波”,就是对某一个被测量连续采样 n 次(一般 n 取奇数),然后把 n 个采样值从小到大(或从大到小)排队,再取中值作为本次采样值。

中值滤波法,对于去掉脉动性质的干扰比较有效,但是,对快速变化过程的参数(如流量等)不宜采用。针对该种方法的缺陷,在车辆推动状态下的加速度采样不宜采用中值滤波,而人为搬动的情况宜采用中值滤波法。

在本设计中，只需改变程序中的外循环次数 n ，就可以推广到对任意次数采样值进行中值滤波。一般来说， n 的值不宜太大，否则滤波效果不好，且总的采样时间增长，在本设计中， n 取 5。

5.1.2 算术平均值法

算术平均值法是寻找这样一个 \bar{Y} 作为本次采样的平均值，使该值与本次各采样值间误差的平方和最小，即

$$E = \min[\sum_{i=1}^N e_i^2] = \min[\sum_{i=1}^N (\bar{Y} - X_i)^2] \quad (5.1)$$

由一元函数求极值原理的

$$\bar{Y} = \frac{1}{N} = \sum_{i=1}^N X_i \quad (5.2)$$

式中 \bar{Y} —— N 次采样值得算术平均值；

X_i ——第 i 次采样值；

N ——采样次数。

算术平均值法的特点是有一个平均值，信号在某一数值范围附近作上下波动，在这种情况下，仅取一个采样值作为依据显然是不准确的。算术平均法对信号的平滑程度完全取决于 N 。当 N 较大时，平滑度高，但灵敏度低；当 N 较小时，平滑度低，但灵敏度高。应视具体情况选取 N ，以便既少用计算时间，又达到好的效果。本设计的数据处理程序中， N 取 4。

5.1.3 一阶滞后滤波法

一阶滞后滤波法又称为惯性滤波法。惯性滤波是一种以数字形式实现低通滤波的动态滤波方法，它能很好的克服上述缺点，在滤波常数要求大的场合，这种方法尤为实用。

惯性滤波的表达式

$$Y_n = (1 - \alpha)\bar{X}_n + \alpha\bar{Y}_{n-1} \quad (5.3)$$

式中 \bar{X}_n ——第 n 次采样值；

\bar{Y}_{n-1} ——上次滤波结果输出值；

\bar{Y} ——第 n 次采样后滤波结果输出值;

α ——滤波平滑系数, $\alpha = \tau / (\tau + T_s)$

τ ——滤波环节的时间常数;

T_s ——采样周期。

通常采样周期 T_s 远小于滤波环节的时间常数 τ 。也就是输入信号的频率高, 而滤波器的时间常数相对大。 τ 、 T_s 的选择可根据具体情况而定, 只要被滤波的信号不产生明显的纹波即可。在本设计中, τ 取 0.78, T_s 取 0.02。

惯性滤波法适用于波动频繁的被测量的滤波, 能很好的消除周期性干扰。

5.1.4 防脉冲干扰复合滤波法

防脉冲干扰复合滤波法是将算术平均值法和中值滤波法合二为一, 即先用中值滤波法滤除由于脉冲干扰而有偏差的采样值, 然后把剩下的采样值做算术平均, 就可得出防脉冲干扰复合滤波法。其原理可用下式表示:

若 $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_N$ ($3 \leq N \leq 4$), 则

$$Y = (x_2 + x_3 + \dots + x_{N-1}) / (N - 2) \quad (5.4)$$

这种方法兼容了算术平均值法和中值滤波法的优点。它既可以去掉脉冲干扰, 又可对采样值进行平滑处理。在高、低速数据采集系统中, 它都能消弱干扰, 提高数据处理质量。

5.2 采样数据的平滑处理

一般来说, 数据采集系统采集到的数据中, 往往叠加有噪声。噪声有两大类: 一类为周期性的; 另一类为不规则的。前者的典型代表为 50Hz 的工频干扰, 后者的代表为随机信号。由于随机干扰的存在, 使得用采样离散数据绘成的曲线多呈现折线形状, 很不光滑。这表明采样数据中的高频成分比较丰富。为了消弱干扰的影响, 提高曲线的光滑度, 常常需要对采样数据进行平滑处理。本设计中采用的平滑方法有: 平均法和五点三次平滑法。

5.2.1 平均法

平均法分为简单平均法、加权平均法和直线滑动平均法。

1. 简单平均法

简单平均法的计算公式为

$$y(t) = \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N h(t)x(t-n) \quad (5.5)$$

式 (6.5) 又称为 $2N+1$ 点的简单平均。当 $N=1$ 时为 3 点简单平均，当 $N=2$ 时为 5 点简单平均。

2. 加权平均法

取滤波因子 $h(t) = (h(-N), \dots, h(0), \dots, h(N))$ ，要求

$$\sum_{-N}^N h(n) = 1$$

用 $h(t)$ 对 $x(t)$ 进行滤波得

$$y(t) = h(t)x(t) = \sum_{-N}^N h(t)x(t-n) \quad (5.6)$$

式 (6.6) 称为 $2N+1$ 点的加权平均公式， $y(t)$ 成为 $x(t)$ 的加权平均。也常将 $y(t)$ 称为 $x(t)$ 与 $h(t)$ 的卷积。

3. 直线滑动平均法

利用最小二乘法原理对离散数据进行线性平滑的方法，即为直线平滑平均法。其计算公式如下：

(1) 三点滑动平均 ($N=1$)

$$\begin{cases} y'_i = \frac{1}{3}(y_{i-1} + y_i + y_{i+1}) \\ y'_0 = \frac{1}{6}(5y_0 + 2y_1 - y_2) \\ y'_m = \frac{1}{6}(-y_{m-2} + 2y_{m-1} + 5y_m) \end{cases} \quad (5.7)$$

(2) 五点滑动平均 ($N=2$)

$$\begin{cases} y'_i = \frac{1}{5}(y_{i-2} + y_{i-1} + y_i + y_{i+1} + y_{i+2}) \\ y'_0 = \frac{1}{5}(3y_0 + 2y_1 + y_2 - y_4) \\ y'_1 = \frac{1}{10}(4y_0 + 3y_1 + 2y_2 + y_3) \\ y'_{m-1} = \frac{1}{10}(y_{m-3} + 2y_{m-2} + 3y_{m-1} + 4y_m) \\ y'_m = \frac{1}{5}(-y_{m-4} + y_{m-2} + 2y_{m-1} + 3y_m) \end{cases} \quad (5.8)$$

其中, $i = 2, 3, \dots, m - 2$ 。

5.2.2 五点三次平滑

取采样点列 (t_i, y_i) , 对采样点数据进行平滑处理。假设用 m 次多项式

$$y(t) = a_0 + a_1t + \dots + a_mt^m \quad (5.9)$$

来平滑所得到的采样值, 利用最小二乘法原理, 对 $2N + 1$ 组数据 (t_i, y_i) , 求其系数 a_j 。当取 $N=5, m=3$ 时, 五点三次平滑公式为:

$$\begin{cases} y'_1 = \frac{1}{70}[69y_1 + 4(y_2 + y_4) - 6y_3 - y_5] \\ y'_2 = \frac{1}{35}[2(y_1 + y_5) + 27y_2 + 12y_3 - 8y_4] \\ y'_3 = \frac{1}{35}[-3(y_1 + y_5) + 12(y_2 + y_4) + 17y_3] \\ y'_i = \frac{1}{35}[-3(y_{i-2} + y_{i+2}) + 12(y_{i-1} + y_{i+1}) + 17y_i] \\ \dots\dots \\ y'_{n-1} = \frac{1}{35}[2(y_{n-4} + y_n) - 8y_{n-3} + 12y_{n-2} + 27y_{n-1}] \\ y'_n = \frac{1}{70}[-y_{n-4} + 4(y_{n-3} + y_{n-1}) - 6y_{n-2} + 69y_n] \end{cases} \quad (5.10)$$

在本设计中, 由于采样点很多, 因此, 为对称起见, 除起始两点用 (5.10) 第一、二式, 末尾两点用第四、五式外, 中间各点均用 (6.10) 第三式进行平滑。相当于在每个子区间用不同的三次最小二乘多项式进行平滑。

5.3 本章小结

本章根据采样的结果, 总结了在本设计中所采用的几种数据与处理的方法, 并完成了对各种算法在程序上的实现, 使实验数据进一步接近真值, 为下一步识别算法的实现提供了保障。

6 误差分析与补偿

由于制造原因和环境因素的影响,进行弹体加速度测量不可避免会出现误差,根据各种误差的特点和性质的不同,误差可以分为系统误差、随机误差和粗大误差。系统误差是指在同一条件下多次测量同一测量值时,测量值保持不变,在条件改变后,测量值按照一定的规律变化的误差,这类误差是可以进行补偿的;而随机误差是在偶然条件下出现的误差,是不可修正的。

6.1 误差分析

造成加速度测量系统误差的原因有很多,主要有以下几种:制造误差、安装误差、元器件误差、使用环境改变造成的误差以及零温漂移等。

制造误差产生与多种因素有关,主要表现在三个方面:一是由于传感器本身的原因,由模拟电路和 A/D 转换的零位误差;二是由于传感器的灵敏度不相同引起的误差,称为灵敏度误差;三是由于制造时传感器的测量轴不正交引起的误差,称为正交误差。

安装误差是由于安装传感器时,不能保证传感器的测量轴与大地水平坐标系的轴平行而引起的误差。

零温漂移是由于器件的性能改变和环境温度的差异变化而出现的误差。

A/D 转换器还存在量化误差、失调误差、增益误差和非线性误差。

6.2 误差补偿

误差补偿通常分为 2 步:物理补偿和数学补偿。第一步是物理补偿,、系统分析及电路分析确定误差来源,包括加工误差、装配误差、电路及软件误差等,并建立其误差模型,以消除物理误差,提高精度。这种补偿方法通常在进行物理补偿后传感器的精度仍然难以满足要求。第二步是数学补偿,由于传感器研制、装配、安装完毕后,其误差源及量值通常是确定的,可以用数学补偿的方法来消除残差。

6.2.1 零位误差补偿

系统的零位误差可利用给定基准法进行校正,选用 A/D 转换器的任意两个通道作为参考输入通道,并分别提供给它们已知的直流参考电压作为输入(两个电压不能相同),通过读取相应的结果寄存器获取转换值,利用两组输入输出值求得 A/D 的校正增益和校正失调,然后利用这两个值对其他通道的转换数据进行补偿,获取 A/D 的校正增益和校正失调具体计算过程如下:获取已知输入参考电压信号

的转换值 y_1 和 y_2 ，由 A/D 的转换方程 $y = x \cdot ma + b$ (x 为 A/D 转换器的计数值， ma 为增益， b 为零位失调误差) 可求得 $b = y - x \cdot ma$ ，将误差 b 存储用于其他 A/D 转换通道数据修正，从而实现了系统的零位误差的补偿。

6.2.2 温度补偿

一般情况下传感器的信号经 A/D 转换变成一个数值，这个数值通常是不能直接作为这个参数的实际值，必须经过刻度，形成一组实验数据并把它保存下来或由这组实验数据拟合出一条曲线并将系数保存下来，在实测过程中再利用这组实验数据进行插值或利用这条拟合出的曲线方程将参数的原始值换算为实际值。

本文介绍的方法是上面所述方法的延伸。首先在仪器中增加温度传感器，然后在刻度过程中选几个温度点(一般为 4 个)，每个温度点下都记录一组实验原始数据 (n 个值)，经横向插值或拟合，根据特性的不同需采用不同的算法进行温漂校正。本文采用横纵向最小二乘拟合算法对试验结果进行温度补偿。

这种算法的特点是：在相同温度下，传感器的原始值与预测量参数的实际值之间的关系线性比较好或规律性较强；在预测量参数保持固定不变时，传感器的原始值与温度之间的关系线性也比较好或规律性较强。获得实验数据后，首先利用 4 个温度实验点的温度标准值 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 和温度原始值 T_{y1} 、 T_{y2} 、 T_{y3} 、 T_{y4} 进行最小二乘二次拟合运算，拟合出一条曲线：

$$y = a_1 + a_2x + a_3x^2 \tag{6.1}$$

用式(6.1) 可计算实测温度的实际值 T 。然后在温度实验点 1 下，利用这 n 个实验标准值 $p_1 p_2 \dots p_n$ 和原始值 $p_{y1} p_{y2} \dots p_{yn}$ 进行横向最小二乘 3 次拟合运算，拟合出一条曲线：

$$y = b_{11} + b_{12}x + b_{13}x^2 + b_{14}x^3 \tag{6.2}$$

式(6.2) 中， x 为数据的原始值， y 为数据的实际值。同样，在温度实验点 2、3、4 下也分别拟合出一条曲线，他们的系数形成如下所示的方阵：

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix}$$

再利用 4 个温度实验点对应 4 条曲线的第一个系数 b_1 b_2 b_3 b_4 和 4 个温度实验点的温度标准值 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 进行纵向最小二乘三次拟合运算, 拟合出一条曲线:

$$y = c_{11} + c_{12}x + c_{13}x^2 + c_{14}x^3 \quad (6.3)$$

式(6.3)中, x 为实测温度的实际值, y 为加入温度因素后的曲线方程中的第 1 个系数。同样道理, 可拟合出后 3 条曲线。

$$y = c_{21} + c_{22}x + c_{23}x^2 + c_{24}x^3 \quad (6.4)$$

$$y = c_{31} + c_{32}x + c_{33}x^2 + c_{34}x^3 \quad (6.5)$$

$$y = c_{41} + c_{42}x + c_{43}x^2 + c_{44}x^3 \quad (6.6)$$

将式(6.1)的系数 a_1 、 a_2 、 a_3 和式(6.3)、(6.4)、(6.5)、(6.6)的系数保存起来。在实际测量时, 调入这些系数, 首先将实测温度原始值 T 代入式(3) 求出实测温度的实际值 T , 再将 T 分别代入式(6.7)、(6.8)、(6.9)、(6.10), 求出加入温度因素后的曲线方程中的 4 个系数 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 :

$$b_1 = c_{11} + c_{12}T + c_{13}T^2 + c_{14}T^3 \quad (6.7)$$

$$b_2 = c_{21} + c_{22}T + c_{23}T^2 + c_{24}T^3 \quad (6.8)$$

$$b_3 = c_{31} + c_{32}T + c_{33}T^2 + c_{34}T^3 \quad (6.9)$$

$$b_4 = c_{41} + c_{42}T + c_{43}T^2 + c_{44}T^3 \quad (6.10)$$

进而得出加入温度因素后的曲线方程:

$$y = b_1 + b_2x + b_3x^2 + b_4x^3 \quad (6.11)$$

式(6.11)中, x 为数据原始值, y 为数据实际值。将实测数据原始值 a_y 代入式(6.11)中, 就可以求出经过温漂校正以后的实测压力的实际值 a :

$$a = b_1 + b_2a_y + b_3a_y^2 + b_4a_y^3 \quad (6.12)$$

6.2.3 剔除奇异项

采样数据中的奇异项是指采样数据序列中有明显错误(丢失或是粗大)的个别数据, 这些奇异项的存在, 会使数据处理后的误差大大增加。因此, 为了减小

误差，增加系统的精度，必须剔除采样数据中的奇异项。

剔除奇异项的方法一般可选用一阶差分法、多项式逼近和最小二乘法。在这里选用了常用的一阶差分法。一阶差分法判断奇异项的准则是：给定一个误差限 W ，若 t 时刻的采样值为 X_t ，预测值为 X'_t ，当 $|X_t - X'_t| > W$ 时，则认为此采样值是奇异项，从而加以剔除，用预测值代替本次采样值。本算法的关键是怎么推算 X'_t 和正确的选择 W 值。

预测值 X'_t 采用了一阶差分方程推算：

$$X'_t = X_{t-1} + (X_{t-1} - X_{t-2}) \tag{6.13}$$

其中 X'_t ——在 t 时刻的预测值；

X_{t-1} —— t 时刻前一个采样点的值；

X_{t-2} —— t 时刻前二个采样点的值。

此方法能有效的剔除采样数据序列中的随机干扰因素,明显的提高了系统的抗干扰能力。

6.3 提高性能的方法

6.3.1 提高分辨率的方法

(1) 折衷考虑噪声和带宽

可以通过牺牲带宽的方法来降低噪声，提高分辨率。在低速度、高分辨率应用中，数字滤波器非常有效。

(2) 调理 DAC

可以使用由微控制器控制的 DAC 调理电路提高分辨率。如图 6.1 所示。

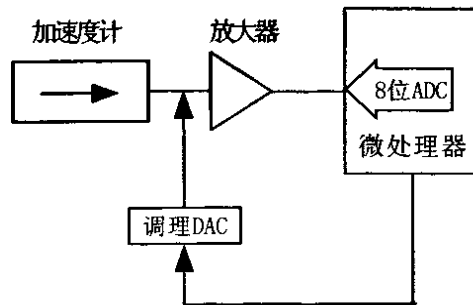


图 6.1 调理电路示意图

6.3.2 校正温漂的方法

(1) 带温度传感器的微控制器

利用温度传感器测量偏置漂移, 在只有重力作用下, 改变温度并记录加速度计输出, 构建出相应的补偿表或补偿公式后用微控制器进行硬件或软件补偿。由于 ADXL 加速度计的温度特性呈线性, 通常只需要测量 2 到 3 个温度点即可。

(2) 模拟校正电路

可以利用运算放大器及电热调节器构成加热电路, 将加速度计温度维持在恒定值或高于最大环境温度的某个值来解决温度漂移问题。对于带有片上温度传感器及片上可调放大器的加速度计。

(3) 晶体恒温槽

将加速度计置于晶体恒温槽中, 维持恒定的工作温度, 可以很好的减少温度漂移。

(4) 重新标定

当出现漂移时, 允许用户按“重置”按钮进行重新标定。

(5) 灵活设计

有时可以采取一些灵活的设计方法。可以通过添加电容将加速度计与信号调理电路交流耦合来消除漂移, 如图 6.2 所示。另一种较好的方法是加热法, 可以在加速度计上安装一个功率电阻, 可调运算放大器反相输入端接片上温度传感器, 同相输入端接固定电压, 输出控制电阻供电。

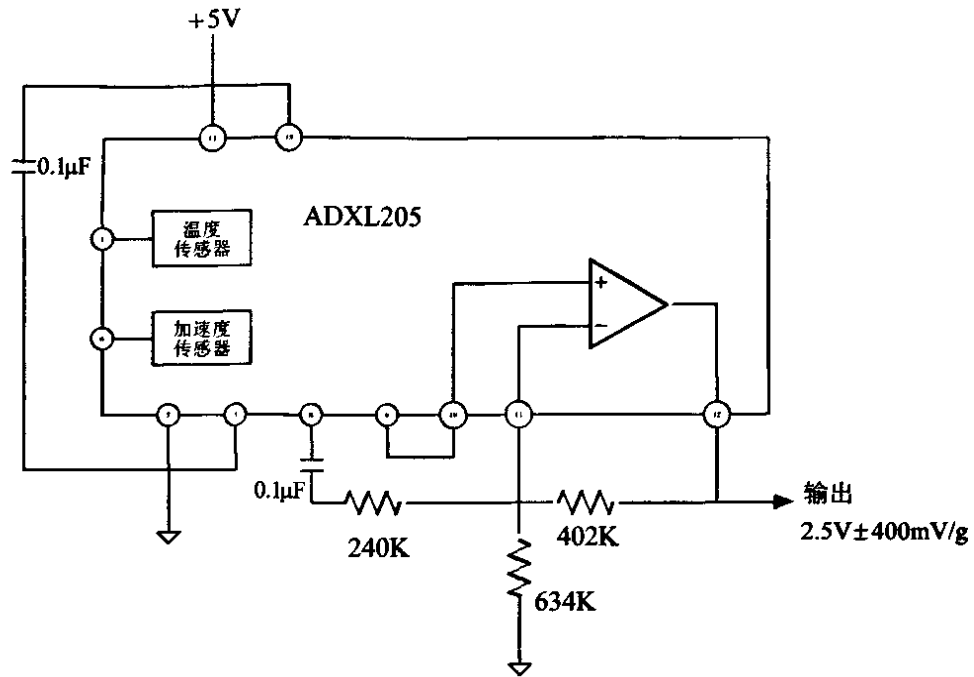


图 6.2 利用交流耦合进行温度补

6.3.3 信号恢复技术

可以使用带通滤波器从噪声中恢复信号，如果是多频率噪声，可利用快速傅里叶变换（FFT）恢复信号。FFT 实质上是一系列窄带滤波器，低速 FFT 可由 8 位为指令来实现。

6.3.4 减低功耗的方法

加速度计是低功耗器件，可以采取降低工作电压、适时导通/关断加速度计或使用软件进行处理来降低功耗。

降低电压是最直接、最简便的方法，但对于电压输出的加速度计会影响灵敏度及噪声性能。如果采样率较低，较好的方法是利用加速度计的导通/关断能力，即测量时导通，不测量时关断。

6.4 本章小结

本章针对系统的设计和运用，分析了系统主要的误差的来源以及误差的产生原因，并据此提出了一些有效的误差补偿的方法，使系统的精度得到了提高。

7 样机试验

软、硬件设计与调试成功后，需要到现场进行试验，通过实际测试各参数，对测出的数据作相应分析，以检验数据是否达到系统所要求的精度，并对数据进行分析，提出一些改进措施。

7.1 试验方案设计

7.1.1 试验目的

在室外试验场的条件下，测量硬件系统和软件程序的稳定性和正确性，同时检测在不同的干扰情况下，系统出现误差的大小以及系统对误差的校正能力，最终决定了系统的实用性和使用价值。

7.1.2 试验设备

电子防排试验设备清单如下：

电子防排装置电路板一块；加速度传感器一块；串口通讯电路板一块；封锁雷弹原理样机一枚；笔记本电脑一台；三菱越野车一部。

各试验设备性能参数设置如下：

电子防排装置：单片机片外晶振 11.0594MHz。

加速度计：双轴交替采样；采样率 300Hz。

串口通讯：波特率 119200bps；接口 com1。

封锁雷弹：直径 150mm；高度 270mm；重量 5kg。

三菱越野车：用来模拟车辆推动；速度 20Km/h。

7.1.3 试验步骤

本试验主要进行了人为搬动和车辆推动两个试验，采集并初步处理、分析数据，得到两种典型运动状态下封锁雷弹样机的加速度特征。根据以上要求及试验目的，试验步骤设计如下：

试验一：封锁雷弹原理样机在人为搬动状态下的加速度采样

- (1) 将加速度传感器、串口通讯电路板和电子反排装置电路板连接并通电。将电路板通电，根据预先设计好的通讯测试程序测试电路，确保电路运行正常后断电。
- (2) 将加速度传感器内嵌入封锁雷弹内，保证传感器与水平面平行放置。通电，测试传感器及通讯电路，确保电路运行正常后断电。

- (3) 在通电状态下,单击 PC 机上控制界面采样按钮,开始采样;由一人将封锁雷弹水平端起,并以 118 步/分钟的速度前行,5 秒钟后停下,采样停止。保存数据。
- (4) 将采样数据提交预处理程序进行处理。并显示加速度随时间的变化图像。

试验二:封锁雷弹原理样机在车辆推动状态下的加速度采样

- (1) 将加速度传感器、串口通讯电路板和电子反排装置电路板连接并通电。将电路板通电,根据预先设计好的通讯测试程序测试电路,确保电路运行正常后断电。
- (2) 将加速度传感器内嵌入封锁雷弹内,保证传感器与水平面平行放置。通电,测试传感器及通讯电路,确保电路运行正常后断电。
- (3) 在通电状态下,单击 PC 机上控制界面采样按钮,开始采样;一辆模拟排雷车辆的越野车以 15Km/s 的速度与封锁雷弹发生正碰,5 秒钟后停下,采样停止。保存数据。
- (4) 将采样数据提交预处理程序进行处理。并显示加速度随时间的变化图像。

试验图片如图 7.1、7.2 所示。

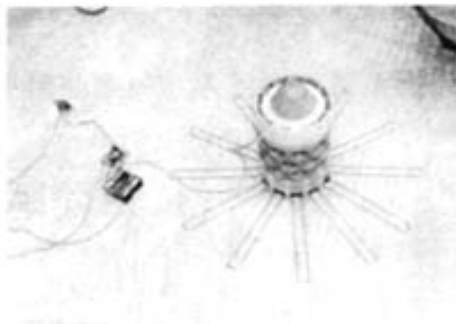


图 7.1 电子反排装置串口通讯测试



图 7.2 电子反排装置车辆推动

7.2 试验结果及分析

7.2.1 测试标定

在测量封锁雷弹的加速度前,需要对加速度传感器模数转换后的输出值进行标定,本次试验共测试三次,每次采样 400 点,标定结果如表 7.1 所示下:

表 7.1 加速度输出值标定结果统计

	第一次	第二次	第三次
0g	3609±6	3606±7	3607±6
1g	3800±7	3796±5	3792±7
-1g	3407±7	3402±5	3404±6

在对加速度传感器模数转换后的输出值进行统计计算后得出：采样值每变化 192 相当于实际加速度值变化 1g。ADXL202 最大采样范围为±2g，因此，采样输出值应在 3150~4100 范围内。

7.2.2 试验结果

试验测得弹体在人为搬动和车辆推动状态下两组加速度数据，随时间变化特征如图 7.3、7.4 所示。

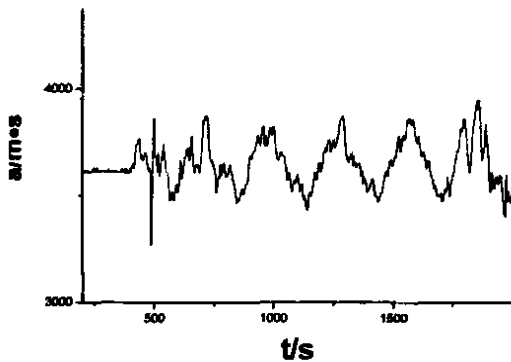


图 7.3 人为搬动

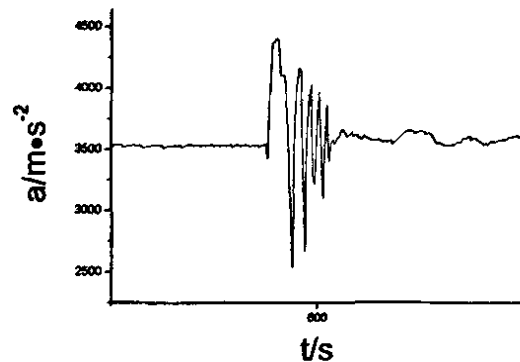


图 7.4 车辆推动

经预处理后，人为搬动和车辆推动的加速度特征如图 7.5、7.6 所示。

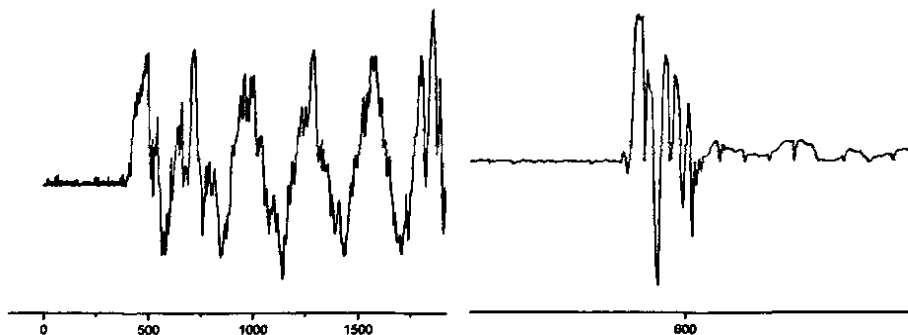


图 7.5 预处理后人为搬动加速度特征

图 7.6 预处理后车辆推动加速度特征

7.2.3 试验结果分析

从试验结果可以看出，人为搬动与车辆推动的存在明显的差异：

1. 人为搬动与车辆推动的加速度峰值大小差异明显：经计算，人为搬动时的加速度峰值在 $6.85\sim 8.9\text{ m/s}^2$ 之间，车辆推动时最大峰值已达到加速

度传感器的最大采样值。

2. 人为搬动与车辆推动的加速度变化规律差异明显：人为搬动时弹体的加速度数值呈周期性的正负交替；车辆推动时弹体的加速度在短时期迅速达到最大峰值后不断衰减；峰值的包络线呈不断减小的趋势。

从图可以看到图中的曲线因毛刺而显得不光滑，其原因是与加速度传感器的工作特性有关。

7.2.4 试验结论

根据对机场排雷的过程，人为搬动和车辆推动的两种运动状态理论分析和相关试验的结果，得出以下结论：

1. 人为搬动时弹体的加速度数值呈周期性的正负交替；峰值在有限范围内变化；
2. 车辆推动时弹体的加速度在短时期迅速达到最大峰值后不断衰减，衰减后的最终值相对最大峰值可以忽略不计；峰值的包络线呈不断减小的趋势；
3. 利用加速度变化规律识别物体运动状态是达到防排目的的一种有效方法。

7.3 本章小结

本章设计了电子反排装置在人为搬动和车辆推动状态下的加速度采集试验，并通过对试验数据进行分析，得出了如下结论：可通过分析两种运动状态下弹体的加速度特征达到识别弹体运动状态的目的。

结束语

本文根据封锁雷弹防排作战的需要,通过对封锁雷弹在不同运动状态下的加速度特征进行分析,初步设计了一个具有数据采集、处理和简单识别功能的电子反排装置,并进行了相应的样机试验。本文所完成的主要工作如下:

1. 分析了电子反排装置设计的必要性。
2. 根据作战的需要,从理论上分析了弹体在不同运动状态下的加速度特征,建立了模型,并进行了仿真计算。
3. 根据分析的结论,初步设计了不同运动状态下的简易识别方案。
4. 通过对下位机硬件系统的功能分析和总体设计方案的要求,完成了电子反排装置的硬件电路设计,包括时钟电路、复位电路、信号调理电路、模数转换电路、串口通讯电等。
5. 设计了电子反排装置的下位机与上位机的软件。通过对下位机编程实现了数据的采集、放大、模数转换和数据存储功能;利用 Visual Basic 对上位机编程,实现了上位机与下位机的通讯。
6. 总结了几种对所采集的原始数据进行预处理的方法。
7. 设计了样机试验。

本文所完成的工作为电子反排装置在实战中的使用建立了初步的基础,验证了使用的可行性,但还有以下几个问题尚需进行深入的研究:

1. 进一步完善采集与处理电路,提高微处理器的性能,可采用性能更高的 DSP 来代替功能单一的单片机。
2. 进一步完善识别方案和相关算法。
3. 进一步扩大识别范围,增加可在水冲、枪击、偏心碰撞状态下有效识别的功能。

综上所述,本文提出的电子反排装置和原理样机的设计能够实现封锁雷弹在典型运动状态下的简单识别;但是也具有一定的局限性,有待于在软硬件方面作进一步改进。

致 谢

本文是在导师王晓鸣教授和李文彬副教授的悉心指导下完成的。两位导师渊博的专业知识、严谨的治学态度、开阔的视野和崇高的敬业精神给学生留下了终身难忘的印象，在这两年的学习和课题研究中，我的每一点进步都离不开导师的指导和关怀。在论文完成之际，特向两位导师表示崇高的敬意和衷心的感谢，并祝两位导师永远身体健康，家庭幸福，桃李满天下！

感谢教研室孟新宇博士、于纪言博士、姚文进博士、柏杰锋博士、郑宇博士等同学和朋友在论文上给与的指点和建议；感谢教研室各位同学在我进行实验时给予我的无私帮助；柏杰锋博士在论文的录入上给与了具体的指导，在此表示深深的感谢。

感谢所有关心和帮助过我的老师、同学和朋友们！

参考文献

- [1] 庞晶等.基于 ADXL202 的计步器.电子世界, 2004 (2)
- [2] 2006 年陕西地区自行车摩擦力及功率测量的报告
- [3] 高光天.传感器与信号调理器件应用技术.第 1 版.北京: 科学出版社 (2002)
- [4] 张琦.排雷排爆机器人的现状及发展趋势.工兵装备研究.1998 (11): 33-34
- [5] 于纪言.封锁雷弹总体及探测系统研究: [硕士学位论文].南京: 南京理工大学, 2004
- [6] 郑秀媛.运动生物力学发展.北京: 国防工业出版社 (1998)
- [7] 郑秀媛.现代生物力学.北京: 国防工业出版社 (2002)
- [8] 刘鸿文.材料力学.第 3 版.北京: 高等教育出版社 (1996)
- [9] 刘红梅等.区域封锁子弹着地冲击响应的理论分析与数值模拟.2005 年弹药战斗部学术交流会论文集
- [10] Michael S.L.Hollis. Preliminary Design of a Range Correction Module for an Artillery Shell. ARL-MR-298, 1996.3
- [11] Michael S.L.Hollis. Design and Analysis of a Prototype Range Correction Device for a Mortar Projectile. ARL-MR-411, 1998.8.
- [12] Michael S.L.Hollis, Fred J.Brandon, Peter C.Muller. Design and Flight Test of a Prototype Range Control Module for an 81-mm Mortar. ARL-MR-463, 1999.9
- [13] 王儒策, 刘荣忠, 苏玳, 王晓鸣编.灵巧弹药的构造及作用.兵器工业出版社. 2001.6
- [14] 刘迎春等.现代新型传感器原理与应用.国防工业出版社. 1998
- [15] 崔来友等.人体运动学模型的研究.机械设计与研究, 2003.12
- [16] 张克彦编著. AVR 单片机实用程序设计.北京航空航天大学出版社, 2004
- [17] 黄任编著. AVR 单片机与 CPLD/FPGA 综合应用入门.北京航空航天大学出版社, 2004
- [18] 沈文等. AVR 单片机 C 语言开发入门指导.清华大学出版社, 2003
- [19] 金春林等. AVR 系列单片机 C 语言编程与应用实例.北京: 清华大学出版社, 2003
- [20] 沈嗣昌. 数字设计引论.北京: 高等教育出版社, 2002
- [21] 丁化成. AVR 单片机应用设计.北京: 北京航空航天大学出版社, 2002
- [22] 李勋. AVR 单片机应用技术.北京: 北京航空航天大学出版社, 2002
- [23] 沈红卫. 单片机应用系统设计实例与分析.北京: 北京航空航天大学出版社, 2003
- [24] 高光天等. 传感器与信号调理器件应用技术.北京: 科学出版社, 2002
- [25] 史斌星, 史佳. Visual Basic 贯通教程.清华大学出版社, 2003
- [26] 马明健, 周长城. 数据采集与处理技术.西安交通大学出版社, 2003
- [27] 邱关源. 电路.北京: 高等教育出版社, 1982
- [28] 杨志忠. 电子技术基础数字部分.北京: 中国电力出版社, 1999
- [29] 胡宴如. 电子技术基础模拟部分.北京: 中国电力出版社, 1999
- [30] 陶楚良. 数据采集系统及其器件.北京: 北京工业大学出版社, 1998
- [31] 黄贤武. 传感器原理与应用.北京科技大学出版社, 1999
- [32] 王栋. Visual Basic 程序设计.南京理工大学, 2000
- [33] 李永敏编著. 检测仪器电子电路.西北工业大学出版社. 1996.2
- [34] 阎石主编. 数字电子技术基础.高等教育出版社. 1997.12
- [35] 高鹏, 安涛编著. Protel 99 入门与提高.人民邮电出版社. 2005.7
- [36]
- [37] 陆坤, 奚大顺, 李之权, 张义中编著. 电子设计技术.电子科技大学出版社. 1997.7
- [38] 刘书明, 刘斌编著. 高性能模数与数模转换器件.西安电子科技大学出版社. 2000.1

- [39] 王成海, 董建友. AD7865 在电网数据采集中的应用. 电子技术. 2002 (8): 45~47
- [40] 苏涛, 蔺丽华, 卢光跃编著. DSP 实用技术. 西安电子科技大学出版社. 2002.6
- [41] 马明建, 周长城编著. 数据采集与处理技术. 西安交通大学出版社. 2003.4
- [42] 苏奎锋, 吕强, 耿庆锋, 陈圣捡编著. TMS320F2812 原理与开发. 电子工业出版社. 2005.4
- [43] 吴正毅编著. 测试技术与测试信号处理. 清华大学出版社. 2001.1
- [44] 谭浩强编著. C 程序设计. 清华大学出版社. 1998.2
- [45] 王栋编著. Visual Basic 程序设计. 南京理工大学. 2000.1
- [46] 李志军, 宋江鹏. TMS320F2812 慢速外设接口时序控制. 单片机与嵌入式系统应
- [47] Honeywell Magnetic Sensor Products user manual. Honeywell Application Note. 2001
- [48] Set/Reset Pulse Circuits for Magnetic Sensors. Honeywell Application Note. 2001
- [49] J.E.Lenz. A Review of Magnetic Sensors. Pricceedings of the IEEE. Vol78 no6. 1990 (6): 973~989
- [50] Michael J.Caruso . Application of Magnetic Sensors for Low cost compass Systems. Honeywell Application Note. 2001
- [51] H.Seidel, U.Fritsch. A Piezoresesitive Siticon Accelerometer with Monmlithically Integrated Cmos-circuitry . The 8th International Cniference on Solid-State Sensors . Stockholm,sweden,1995(6)
- [52] ADC Product data sheet . Four-channel,Simulataneous Sampling,Fast,14-BIT ADC AD7865. Analog Devices In. 2000
- [53] IS61LV25616AL Product data sheet . LOW VOLTAGE CMOS STATIC RAM. PRELIMINARY INFORMATION . 2005.12
- [54] W.Denne. Magnetic Compass Deviation and Correction. Brown,Son &Ferguson Ltd . 1998
- [55] ZhangJinSong Target Tracking Using the Interactive Multiple Model Method Journal of Beijing Institute of Technology, 1998, Vol. 7, No. 3
- [56] M.J.Caruso,L.s.Withanawasam. Vehicle Detection and Compass Application using AMR Magnetic Sensors . Expo Proceedings 1997(5)
- [57] 张春林. 高等机构学[M]. 北京:北京理工大学,1997.
- [58] 郭巧. 现在机器人学[M]. 北京:北京理工大学,1997.
- [59] Roger Bartlett . Sports Biomechanics :Reducing Injury and Improv2 ing Performance[M] . U K: E &FN Spon ,1999.
- [60] GB/ T17245 —1998 ,成年人人体质心标准[S] .
- [61] 孙桓,陈作模. 机械原理[M]. 北京:高等教育出版社,1996.
- [62] 安永植等. 管外移动机器人运动学分析[J]. 机械设计,1995 ,(1) :12~15.
- [63] 郑秀瑗等. 运动生物力学进展[M] . 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [64] Vadimir M. Zatsiorsky. Biomechanics in Sports [M] . London : Blackwell Science Ltd ,2000.
- [65] 吴秀清. 微型计算机原理与接口技术[M]1 合肥:中国科学技术大学出版社,1999
- [66] ESI Software. PAM2CRASH/ SAFE 2002 solver notes manual[M] . Paris : ESI ,2002.
- [67] WU Zuo2teng. Safety of vehicle[M] . Beijing :Mechanical Industry Press ,1988.
- [68] 龚 友,刘星荣,葛如海. 小型客车整车正面碰撞分析[J]. 江苏理工大学学报(自然科学版), 2000, 21(3) : 16 - 21.
- [69] GONG You,L IU Xing2rong, GE Ru2hai. An analysis ofthe full impact of the minibus [J]. Journal of J iangsuUniversity of Science and Technology (N atural ScienceEdition) , 2000, 21 (3) : 16 - 21. (in Chinese)

- [70] 霍尔斯特·皮佩特. 汽车车身技术[M]. 吴贤明译.北京:科学普及出版社, 1992. 20 - 41.
- [71] 陈晓东, 苏清祖, 程 勇, 等. 汽车侧碰移动变形壁障有限元模型的开发[J]. 汽车工程, 2003, 25 (3) :260 - 263.
- [72] CHEN Xiao2dong, SU Qing2zu, CHENG Yong, et al.The finite element modeling of moving deformable barrier for vehicle side impact [J]. Autom otive Engineering,2003, 25 (3) : 260 - 263. (in Chinese)