

# 一种复杂安全气囊控制系统设计

田 峰, 徐 成, 杨志邦

(湖南大学信息科学与工程学院, 长沙 410082)

**摘 要:** 设计一种基于飞思卡尔芯片技术的复杂安全气囊控制系统, 包括初始化模块、上电自检模块、安全气囊控制模块、实时自检模块和定时器模块。系统硬件采用 9S12 系列 16 位微控制器, 集成多个 MMA 系列微机电系统加速度传感器和 MC33797 点火驱动芯片。实验结果表明, 该系统具有较高的集成度、可靠性, 且实时性较好。

**关键词:** 安全气囊; 加速度传感器; 加速度阈值; 移动窗口积分

## Design of Complicated Airbag Control System

TIAN Zheng, XU Cheng, YANG Zhi-bang

(College of Information Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

**【Abstract】** This paper proposes a complicated airbag control system based on the Freescale's chip technology. It includes initial module, startup self-check module, airbag control module, real-time self-check module and timer modules. The system employs the 9S12 series 16 bit microcontroller, and integrates several MMA series Micro Electro Mechanical Systems(MEMS) based acceleration sensors and squib drivers MC33797. Experimental results show that the whole system has high level of integration and reliability, and has good real-time.

**【Key words】** airbag; acceleration sensor; acceleration threshold; moving window integral

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.02.008

### 1 概述

自 20 世纪 70 年代至今, 汽车安全气囊系统有了很大发展。目前乘客前排安全气囊已经在全球范围内成为新生产汽车的标准配置<sup>[1]</sup>。随着乘客对安全的考虑和要求越来越高, 汽车安全气囊系统的开发变得越来越复杂。在很多中高端车型上, 安全气囊系统不仅包括前向碰撞保护的 2 个气囊, 还包括前后排乘客的侧面碰撞保护气囊, 以及对头部和膝部保护的辅助系统, 而气囊个数的增加必然会导致气囊控制系统中点火回路数量以及控制复杂度地增加。与此同时, 车身周围碰撞检测传感器的数量和种类也在增加, 在高端汽车上用于探测碰撞加速度传感器的数量已经达到 6 个, 并且仍有增加趋势<sup>[2]</sup>。这无疑进一步增加安全气囊电控系统的复杂度。

随着车身传感器数量以及电路点火回路的增加, 安全气囊控制系统的电路变得越来越庞大, 控制算法变得越来越复杂, 因此, 设计具有强实时、高可靠性和稳定性的汽车安全气囊控制系统是一个极具挑战性的工作。

对于不同的车型, 安全气囊控制系统的设计不太一样, 而且大多数的设计方案, 尤其是其中的气囊控制算法, 被各大汽车厂商视为高度机密, 处于严格保密中。在国内为数不多的公开气囊电控系统设计方案中, 文献[3]采用摩托罗拉 MC68HC11E 系列的 8 位微控制器作为气囊电控系统的处理单元, 其有限的计算资源能限制系统功能扩展; 文献[4]采用 ARM Cortex-M3 系列 32 位微处理器, 虽然计算资源足够了, 但是其能够搭建的点火回路有限, 不适应更复杂的气囊系统; 文献[5-6]采用飞思卡尔的 4 通道点火驱动芯片 MC33797 来搭建多通道点火回路, 取得较好的效果。但是上述研究只对系统的部分功能进行阐述, 无法获知其系统的整体性能。本文针对某车型安全气囊控制系统应用需求, 设计一个基于飞思卡尔芯片技术的安全气囊电控系统。

### 2 系统硬件设计

#### 2.1 功能与需求

由于工作任务的特殊性, 汽车安全气囊控制系统除了必须具备基本的碰撞检测、点火控制功能以外, 还需要满足以下 3 点要求:

##### (1) 实时性

安全气囊电控系统是一个硬实时系统, 需要达到毫秒级的精度。气囊系统需要在碰撞发生后的某一个时间点上被引爆, 不能早也不能晚。如某车型要求在发生 50 km/h 正碰情况下, 在第 13 毫秒点爆安全带预紧器, 在第 15 毫秒点爆气囊。这对安全气囊电控系统的处理能力和控制算法都提出了很高的要求。

##### (2) 可靠性

由于气囊系统绝对不能被误引爆, 否则后果非常严重, 而汽车行驶的环境非常多样和复杂, 因此安全气囊电控系统必须有很强的抗干扰能力, 要能判断出各种路况下的颠簸、加减速等非碰撞的干扰情况。在发生碰撞时, 即使是在由于剧烈碰撞导致电控系统发生局部故障的情况下(如传感器失效、供电中断等), 也要求气囊系统能够及时准确地被引爆。

##### (3) 稳定性

汽车的使用寿命一般是 8 年~12 年, 在这样一段相对较长的时间内, 汽车安全气囊电控系统都要能够正常地工作,

**基金项目:** “核高基”重大专项“基于国产软件的汽车电子示范应用研究”(2009ZX01038-001-08); 国家自然科学基金资助项目“异构多核片上系统自适应实时任务调度机制及算法研究”(60973030)

**作者简介:** 田 峰(1983-), 男, 博士研究生, 主研方向: 嵌入式系统, 模式识别; 徐 成, 教授、博士生导师; 杨志邦, 博士研究生  
**收稿日期:** 2011-07-28      **E-mail:** jt.tianzheng@gmail.com

这就要求电控系统具有很好的稳定性。此外，还应具备故障预警和诊断的能力。电控系统需要能检测到任何可能造成点火失败的故障(如点火电压过低、气囊开/短路、传感器故障或灵敏度降低等)，并及时进行报警，同时还应提供故障诊断和定位的机制。

### 2.2 系统框架

图1是安全气囊控制系统的整体框架。

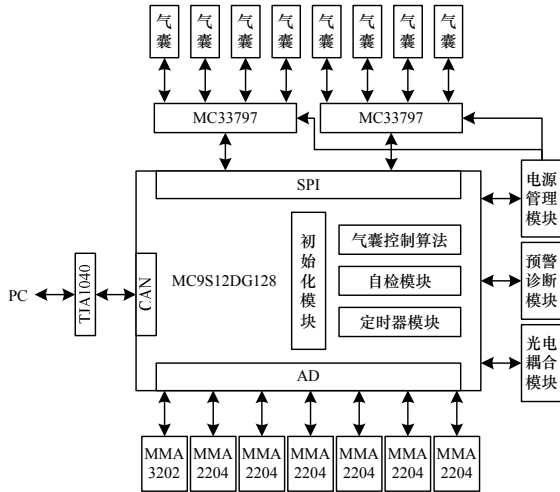


图1 安全气囊控制系统框架

硬件上主要由以下芯片构成：

(1)MC9S12DG128: 飞思卡尔 9S12 系列 16 位主微控制器，可运行在 40 MHz 总线频率上，具有 8 000 Byte 的 RAM，以及 128 000 Byte 的 Flash，2 000 Byte 的 EEPROM。16 通道 AD 转换，2 路兼容 CAN2.0a/b 协议 MSCAN 控制器，以及 2 路 SCI 和 2 路 SPI 通信口<sup>[7]</sup>。

(2)MC33797: 飞思卡尔 4 通道点火驱动芯片使用 SPI 总线，接受主微控制器控制<sup>[8]</sup>。

(3)MMA3202: 飞思卡尔加速度传感器芯片，X 轴、Y 轴双轴，其范围为 X 轴：-100g~100g( $g=9.8 \text{ m/s}^2$ ，即一个重力加速度值)，Y 轴：-50g~50g，这里用作为电控系统的本地安全传感器<sup>[9]</sup>。

(4)MMA2204: 飞思卡尔的加速度传感器芯片，X 轴，其范围为：-100g~100g，这里用作为车身四周的卫星传感器。

(5)TJA1040: 恩智浦的高速 CAN 总线收发器，传输速度最高可达 1 Mb/s。

系统主要实现如下功能：

(1)电源管理：支持 12 V±3 V 动态电压输入，点火电压可稳定至 12 V。

(2)实时性：采用 16 MHz 的振荡器，总线频率 24 MHz，点火控制时间精度可达到 200 μs。

(3)碰撞检测：本地配备有一个双轴的安全传感器，另外留有 6 个扩展接口，用于外接车身卫星传感器，可完成对正碰、侧碰和偏置碰 3 种类型碰撞的强度进行检测。

(4)点火控制：使用 2 个 4 通道点火驱动芯片，可同时对 8 个通道的气囊或安全带预紧器进行点火控制。

(5)自检和预警：包括上电自检和实时自检。实时自检周期为 1 s。系统共有 26 个 LED(Light Emitting Diode)灯用于对传感器、点火驱动、通信等模块的故障预警；另外配备 4 路光电隔离输入，并扩展 8 个通用 I/O 口。

(6)故障诊断：通过一路 CAN(Controller Area Network)总线与上位机进行通信，用于故障诊断和调试。通信内容包

括加速度信息、自检信息、碰撞与点火信息等。

### 2.3 传感器芯片

在安全气囊应用中，加速度传感器的性能非常重要。因为安全气囊应在什么时候弹出要迅速确定，所以加速度传感器必须在瞬间做出反应。通过采用可迅速达到稳定状态而不是振动不止的传感器设计可以缩短器件的反应时间。而且，根据定义，加速度传感器对任何初始点的加速非常敏感，而气囊运算法则需要从传感器的事故中，从其发出的数据中辨认出正确的碰撞信号，因此，传感器的输出信号往往都需要通过一个电子低通滤波(400 Hz)消除高频噪声。此外，加速度传感器还需要有完备的自检功能，以便在发生故障能及时预警。系统使用飞思卡尔公司的新一代 MMA 系列硅电容式微机械加速度传感器，它具有信号调理、4 阶低通滤波器和温度补偿功能，满量程零重力偏置和滤波截止频率由工厂设定，不需要外部器件，且具有全系统自检可验证系统功能<sup>[9]</sup>。

图2是系统中 MMA3202 双轴传感器的电路原理。输出引脚 XX 和 YY 分别记录了检测到的芯片横向和纵向的加速度值(电压模拟量)；STATUS 引脚反映了芯片的工作状态，当出现供电不足、频率不稳或校验失败时，STATUS 会变成高电平；输入引脚 ST 主要用来对芯片的微机电系统进行检测，当将 ST 引脚置高时，传感器中的电容检测单元会发生偏移，导致 XX、YY 引脚输出一个  $12g \pm 2g$  的偏移量，以此来检查传感器的灵敏度是否足够精准。其他引脚的定义为：NC：未定义，无需连接；Xout：X 轴方向加速度值输出；VSS：电源地输入；VDD：电源输入；AVdd：电源输入(模拟)；GND：地线；Yout：Y 轴方向的加速度值输出。

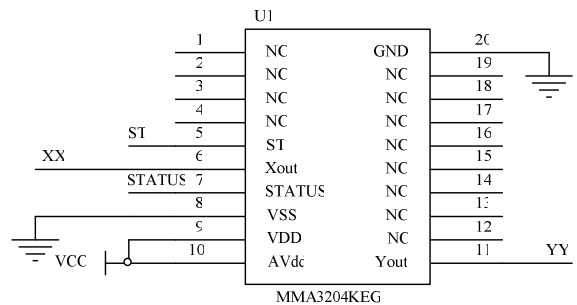


图2 MMA3202 双轴传感器的电路原理

### 2.4 点火驱动芯片

气囊点火回路是安全气囊控制系统的重要组成部分，其主要任务是在碰撞发生时，输出点火电流脉冲以引爆点火回路中的负载，比如气体发生器或者安全带预紧器。衡量点火回路性能的重要指标是要求其具有较高的可靠性，即在发生碰撞时即时有故障也能正常点火，而在发送非碰撞的干扰时不会误点火。

飞思卡尔的点火驱动芯片 MC33797 是完全针对汽车气囊模块点火诊断和开发的接口，其可以单独用于标准的 4 通道点火驱动，也可以用于多个芯片耦合状态下的点火控制回路驱动<sup>[10]</sup>。

MC33797 具有强大的自身故障诊断与系统控制功能，该芯片包含一个兼容 8 位串行外围接口(Serial Peripheral Interface, SPI)的接口，可用于实现微处理器与芯片的通信，微处理器可以通过 SPI 接口来设置并读取内部诊断的结果。其提供了丰富的自检诊断功能，点火回路电阻的大小、对电源或对地的短路、自身开路、点火电压范围、限流电阻大小、点火回路间的短路等都可以通过诊断命令进行检查。图3是系

统中 MC33797 芯片的电路原理。图 3 主要引脚定义为(x 表示数字 1 或者 2): VDD: 芯片的电源输入, 接 5 V; Vdiag\_x: 点火回路的电压输入, 接 12 V; SQB\_HI\_xA 和 SQB\_HI\_xB: 点火回路的高端输出, 直接与安全气囊相连; SQB\_LO\_xA

和 SQB\_LO\_xB: 点火回路的低端输出, 直接与安全气囊相连; FEN\_x: 芯片使能信号; /RST: 芯片复位信号; /CS、CLK、MISO、MOSI: 芯片 SPI 的控制信号; 其余引脚的详细说明请查阅 MC33797 官方数据手册。

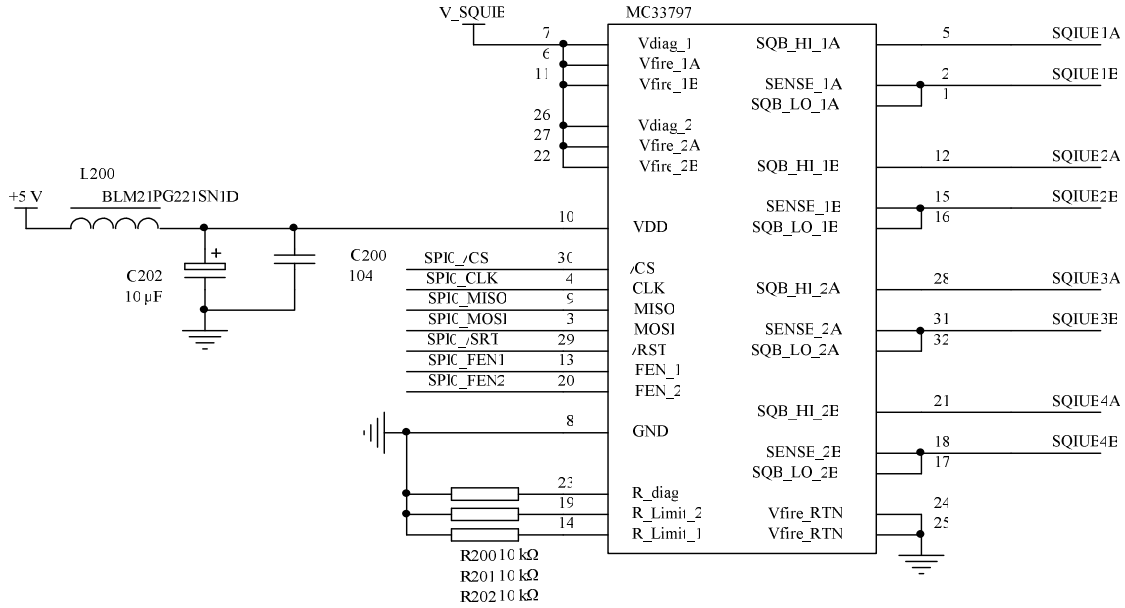


图 3 MC33797 芯片的电路原理

由图 3 可知, 本文系统采用 2 个标准连接的 MC33797 来搭建 8 个点火回路, 从而可以同时 对 8 个气囊进行点火操作。微控器可通过 SPI 接口配以相应的使能引脚(FEN)来选择需要触发的点火回路, 只有当相应通道被使能时, 发送的点火指令才有效。其中, FEN1 控制 SQB\_1A 和 SQB\_1B 的使能; FEN2 控制 SQB\_2A 和 SQB\_2B 的使能。图 4 给出常规的点火驱动芯片控制流程。其操作指令均以 8 位的 16 进制数形式进行发送, 如 80 指令和 81 指令分别表示对 MC33797 芯片的 SQB\_1 和 SQB\_1 进行使能延时设置, 详细的指令说明请查阅 MC33797 官方数据手册。

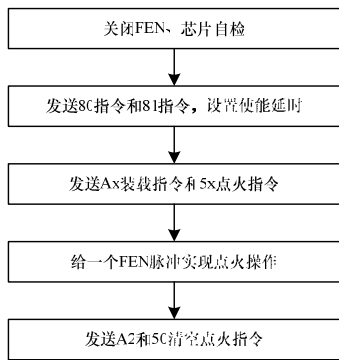


图 4 点火驱动芯片控制流程

### 3 系统软件设计

#### 3.1 整体流程

为满足安全气囊系统对实时性、可靠性和稳定性需求, 在设计软件系统时, 本文采用模块化的设计思想。其系统整体流程如图 5 所示。图 5(a)表示主程序, 其是一个死循环, 表示系统正常运行时它会一直循环执行, 当系统检测到碰撞进行点火操作后会停在图中的安全气囊控制模块中。图 5(b)、图 5(c)是 2 个定时器中断服务程序的执行流程。其中, adFlag 和 testFlag 是 2 个标志位, 分别通过定时器 1 和定时器 2 进行置位, 在主程序中若检测到有标志位为 1, 则进行相应操

作, 并清空标志位。testCount 变量用来计数, 以控制自检模块执行的时间间隔。

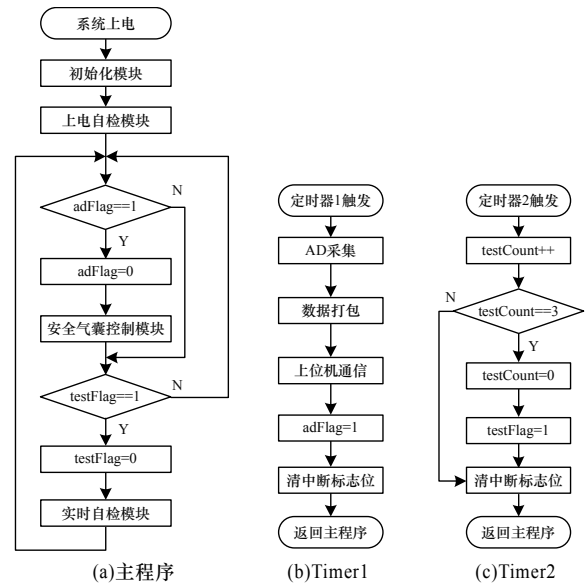


图 5 系统整体流程

由图 5 可知, 本文系统主要包含 5 个模块, 即初始化模块、上电自检模块、安全气囊控制模块、实时自检模块、定时器模块。其中, 初始化和上电自检模块只需执行一次, 气囊控制和实时自检模块需要周期性执行。初始化模块主要用于设置系统各个模块的工作模式, 并设置相关的系统参数。需要初始化的系统模块主要包括 PLL 模块、通用 I/O 端口、AD 转换控制器、定时器模块、CAN 控制器、SCI 控制器、SPI 控制器; 自检模块用来监控系统的运行状态, 确保在发生碰撞时系统能够做出及时而又正确的操作; 气囊控制模块是系统的核心部分, 主要进行碰撞检测和点火控制。定时器 Timer1 和 Timer2 完成安全气囊控制算法和实时自检功能。Timer1 触发周期为 200 μs, Timer2 的触发周期为 350 ms。

### 3.2 系统诊断

自检模块是保证系统能够稳定可靠运行的关键部分。自检内容涵盖系统的各个模块，主要有加速度传感器自检、点火驱动芯片自检、通信模块自检。自检类型主要有2种，即上电自检(即供电后系统的初始自检，只执行一次)和实时自检。具体如下：

(1)上电自检：在系统上电后需要对系统的各个模块进行一次全面的自检，内容主要包括通信自检、加速度传感器自检、点火芯片驱动自检和故障灯自检，在确认全部正常以后才能开始运行后面的安全气囊控制算法，而在确认系统正常之前需要一直提示系统故障。

(2)实时自检：在安全气囊控制算法运行过程中，需要周期性地对系统的各个模块进行自检，主要是加速度传感器自检和点火驱动芯片自检，确保系统正常运行。一旦发现故障，需要进行故障报警。

### 3.3 点火控制算法

气囊点火时间由点火控制算法确定，点火控制算法是安全气囊控制系统的精髓，将系统收集来经过处理的传感器信号进行运算和判断，确定汽车是不是发生严重的碰撞事故，判断其是不是需要点燃气囊。目前具有代表性的点火控制算法主要有加速度阈值法、速度变化量法、加速度梯度法、比功率法、移动窗积分法等<sup>[5]</sup>。

在实际设计点火控制算法时，必须以不同车身的碰撞波形及其抗干扰特性为依据，必须兼顾判别不同碰撞类型和抗干扰特性两方面，以达到灵敏度高、抗干扰能力强的性能要求。图6给出系统根据某车型碰撞特性设计的点火控制算法流程。

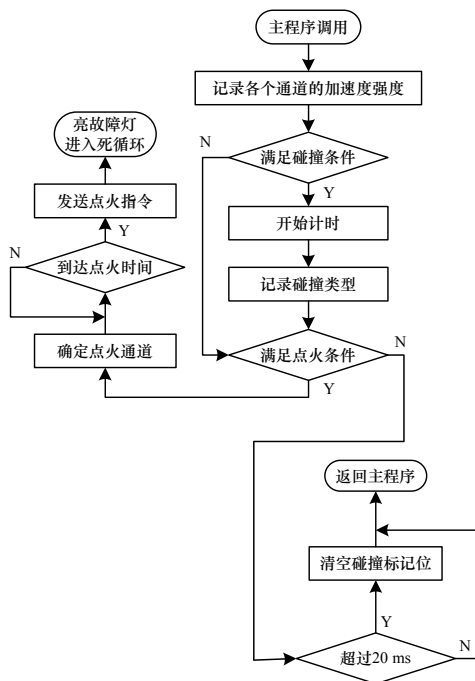


图6 点火控制算法流程

由图6可知，该算法采用加速度阈值法和移动窗积分法相结合的方法。根据所采集到的车身各个位置的加速度值，来判断汽车是否发生碰撞，以及是否需要进行点火操作，只有当2类判别同时满足时才会进行点火操作。在判断是否发生碰撞时，采用的是加速度阈值法，当加速度值连续5次同方向偏移超过3g(表示3个重力加速度)时，即认为发生了碰撞；而在判断是否需要点火时则采用移动窗积分法，即计算

最近10ms内加速度的积分值，当该值超过一个阈值时才认为需要点火。在确定需要点火以后，还需要对点火时间进行控制，以确保气囊在正确的时间点打开。

## 4 实验结果与分析

### 4.1 碰撞模拟

为了对安全气囊控制系统进行定性分析，自制一个碰撞小车。在小车的左前、右前、左侧、右侧4个位置安装4个真实的加速度传感器，同时外接8个模拟气囊模块，当系统发生点火操作时可以通过LED灯观察到。

首先对小车进行摇晃、震动、颠簸等测试，以模拟汽车加速、减速以及在真实路面上行走的情况，这个时候安全气囊一定不能引爆，否则就需要对算法进行修改。在上述测试通过之后，再对小车进行模拟正碰、侧碰、偏置碰等操作，通过上位机监控系统对碰撞类型和强度进行检测，通过模拟气囊观察是否完成了正确的点火操作。经过对算法参数进行多次调整后，最终完成系统定性分析，该过程能够保证系统在非碰撞干扰下不会造成误点火，在发生碰撞时能完成正确且及时的点火操作。

### 4.2 台车实验

模拟碰撞并不能模拟出真实碰撞的加速度波形，而台车实验可以输出给定波形的加速度曲线。为了测试系统在真实碰撞下的性能，本文进行台车实验。图7是实际台车实验中需要输出的加速度信号波形。用软件模拟汽车左侧B柱加速度传感器在发生50km/h速度正碰时产生的波形。

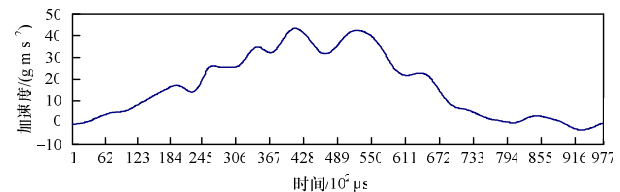


图7 台车实验输出的加速度信号波形

由图7可知，安全气囊控制系统可以在车辆发生碰撞后的5ms内检测到有碰撞发生，并在15ms左右发送气囊点火指令，这与该车型指定的最佳点火时间误差不超过0.5ms。图8、图9是单独提取本地加速度传感器检测的加速度数据后绘制的曲线。图8是单通道提取的加速度曲线(滤波前)，因为没有经过任何滤波，所以会有许多高频噪声；图9是单通道提取的加速度曲线(滤波后)，去掉了高频分量，曲线平滑许多。可将图9与台车实验指定波形(图7)进行比较，2条曲线是非常接近的。

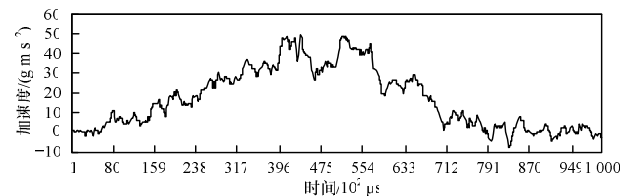


图8 单通道提取的加速度曲线(滤波前)

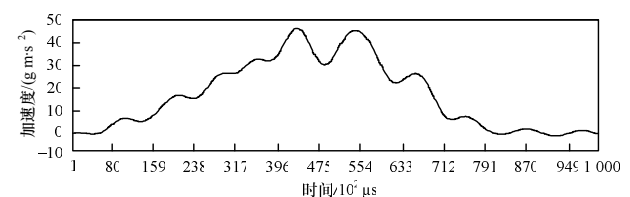


图9 单通道提取的加速度曲线(滤波后)

(下转第35页)