

基于MSP430的金属探测器设计与实现

曾炼成 彭佳红 解志坚

(湖南农业大学信息科学技术学院, 湖南长沙, 410128)

【摘要】介绍了金属探测器的工作原理, 提出了一种对连续探测波形幅值采样量化的数字探测方法。分析了MSP430单片机内部的定时器和模数转换器特性, 讨论了MSP430实现探测波形幅值采样量化的原理。最后设计了以MSP430为核心处理器的嵌入式系统, 系统实现了探测波形幅值采样量化及其数字信号处理。该数字式金属探测器实测可以区分黑色与有色金属, 具有较高的灵敏度, 验证了探测方法的有效性。

【关键词】金属探测器 嵌入式系统 模数转换 MSP430单片机

一、引言

金属探测器在安检、地下和水中管线探测、寻宝等领域有着重要的应用。金属探测器经历了模拟到数字的发展过程, 但国内传统的地下金属探测器仍利用模拟电路进行检测和控制, 其电路复杂, 且整个系统易受外界环境因素的干扰; 工作期间需要频繁的复位和调校。

本文提出一种对连续正弦探测波形幅值采样量化的数字探测方法, 对MSP430单片机实现该探测方法的原理进行分析, 最后给出了具体的设计。该金属探测器利用MSP430内部的定时器和模数转换器实现探测波形幅值采样量化, 通过数字信号处理提高系统的灵敏度和抗干扰能力。

二、金属探测器原理及分析

金属探测器是基于电磁感应原理工作的, 依工作方式主要有脉冲感应型、VLF (very low frequency) 连续波型和LC振荡型三类。其中LC振荡型主要应用在小目标近距探测方面, 已较少使用, 目前广泛应用的金属探测器主要是脉冲感应型和VLF连续波型。

脉冲感应型和连续波型金属探测器都是通过探测被测金属感应电流产生的二次磁场确定被测金属的有无及种类。脉冲感应型金属探测器检测波形为随时间指数衰减的波形。由于脉冲感应型检测波形的特殊性, 在很大程度上限制了数字信号处理技术在脉冲感应型金属探测器中的应用。VLF连续波型检测波形为有特定相位滞后的正弦波, 当前有很多数字信号处理算

法适用于VLF连续波型, 连续波型金属探测器具有广阔的发展前景^[1]。

VLF连续波型金属探测器中, 接收线圈上的感生电压主要受介质的磁导率影响。铁磁性物质的磁导率很高, 即 $\mu \gg \mu_0$, 相对磁导率定义为 $\mu_r = \mu / \mu_0$, 如铸铁 μ_r 为200~400。非铁磁性物质的磁导率 μ 近似等于真空中的磁导率 μ_0 , 部分非铁磁性物质 $\mu_r < 1$, 如铜、银的相对磁导率 μ_r 分别为0.99990、0.999974。部分非铁磁性物质 $\mu_r > 1$, 如铂的相对磁导率 μ_r 为1.00026。

当铁磁性物质接近线圈时, 线圈间介质磁导率增大, 接收线圈上的感生电压显著增大。当 $\mu_r < 1$ 的非铁磁性物质(如铜、银)接近线圈时, 线圈间介质磁导率 μ 减小, 接收线圈上的感生电压值减小。当 $\mu_r > 1$ 的非铁磁性物质(如铂)接近线圈时, 线圈间介质磁导率 μ 增加, 接收线圈上的感生电压的电压幅值微弱增加。

综上所述, 金属探测器通过测量探测波形的幅值可以判断探测金属的有无及种类。

三、MSP430实现波形幅值采样量化的原理

1. MSP430单片机的特性

如图1所示为MSP430F13x的内部资源。MSP430单片机的核心是16位的处理器, 外围包括了看门狗、定时器、A/D转换器和I/O口等。众多的功能模块集成在MSP430内部, 简化了系统的硬件设计, 功能模块间可

以更灵活地相互控制。

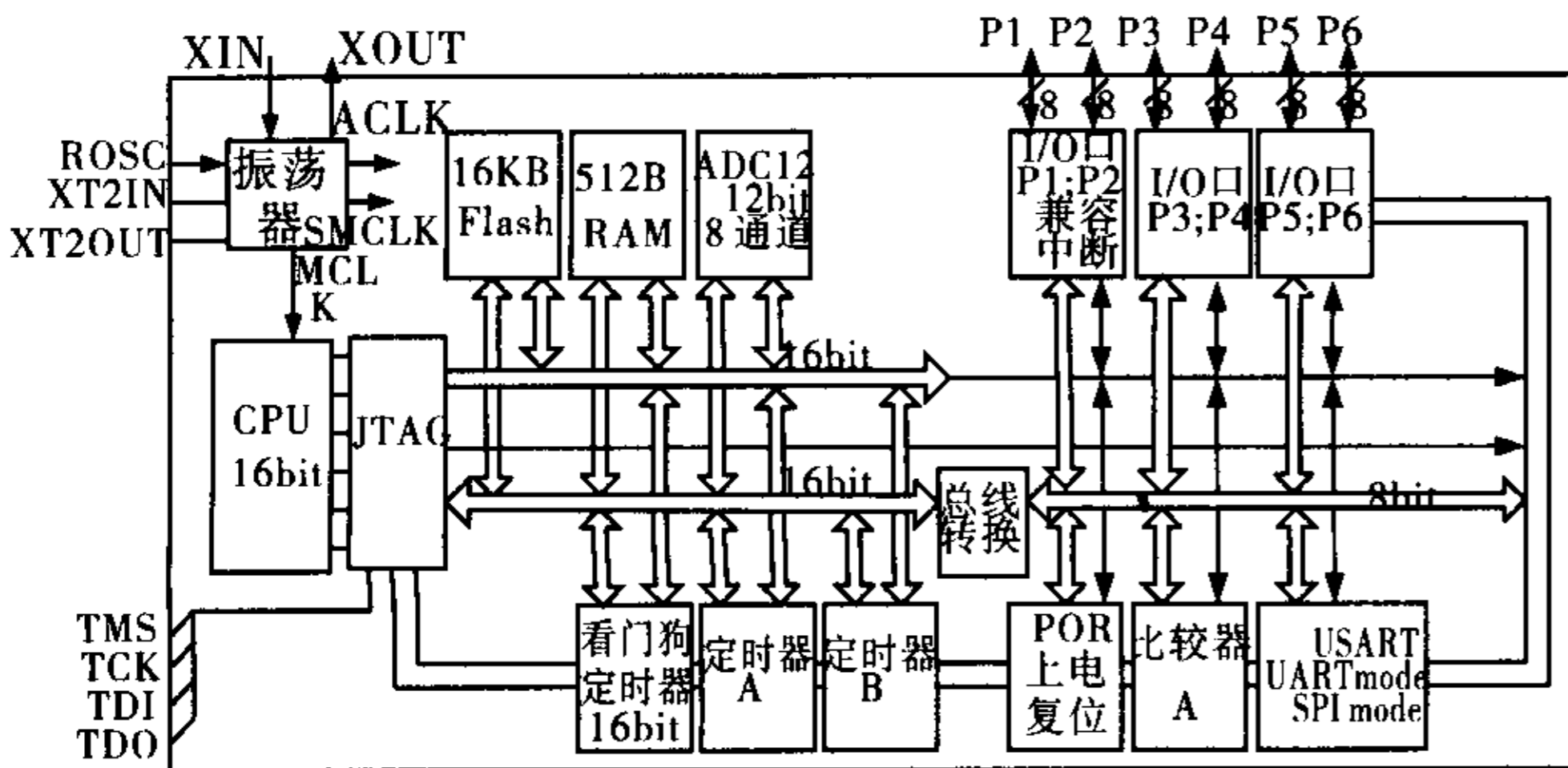


图1 MSP430F13x内部功能框图

MSP430单片机具有超低功耗、内部资源丰富的优点。MSP430单片机内置了多个定时器和模/数转换器简化系统设计；而16位运算能力支持采样量化数据的数字信号处理。

2、MSP430定时器A的特性

定时器A支持同时进行的多种时序控制、多个捕获、比较功能和多种输出波形（PWM）。MSP430F135的16位定时器Timer A具有3个捕获/比较寄存器（CCR0~CCR2）^[2]。

在定时器A的增/减计数模式中，定时器16bit计数器（TAR）先增计数至CCR0，TAR值等于CCR0值时，计数器开始减计数；TAR计数值等于0时，计数器开始增计数，TAR计数值周期变化如图2（a）所示。

定时器的捕获/比较寄存器CCR1和CCR2均工作于比较模式。当16bit计数器TAR计数值等于对应的捕获/比较寄存器值（CCR1或CCR2）时，对应的输出电平翻转。

设置CCR2值为CCR0值的一半，TA2将输出方波（见图2（b））。设置CCR1值为略小于CCR0值时，TA1将输出窄矩形波（见图2（c）），窄矩形波位于方波的中央。

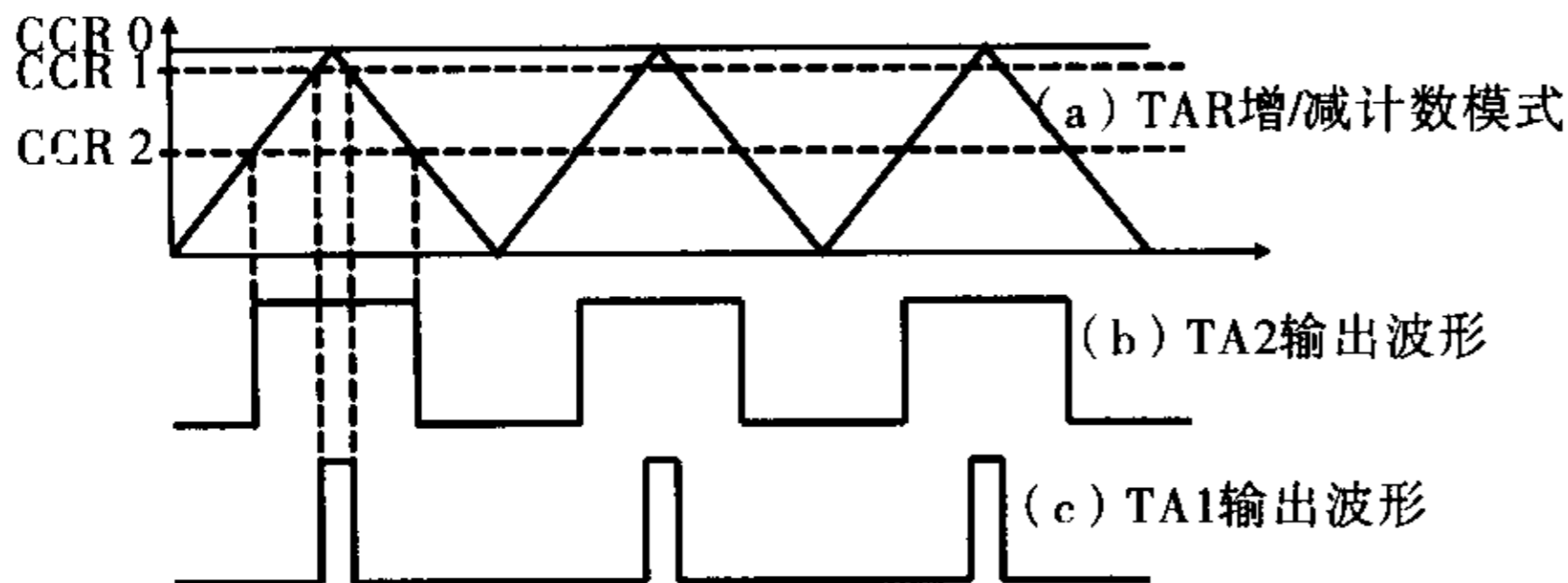


图2 Timer A计数模式与输出波形

3、MSP430模数转换器ADC12的特性

MSP430内置的ADC12具有最高超过200KHz的转换速率；可以软件或定时器控制的可编程采样时间；软件可选择片上1.5V或2.5V参考电压源；多个独立的可配

置的外部信号输入通道等特点^[3]。

ADC12是逐次逼近型模数转换器，它包含采样和量化两个过程。采样过程受控于采样控制信号。采样过程相当于对RC电路充电，其采样时间条件为：

$$t_{\text{sample}} > (R_s + 2k\Omega \times 9.011 \times 40\text{pF} + 800\text{ns}) \quad (1)$$

当RS=10kΩ时，tsample>5.13μs。采样时间远小于7KHz的探测信号周期（约140μs），可以认为是对探测波形的瞬时采样。

4、探测波形幅值采样量化的实现

MSP430中内置了16bit的定时器和12bit精度的模数转换器（ADC12）。在数字式探测器设计中，利用定时器A的TA2发生方波，定时器A的TA1发生窄矩形脉冲。TA1输出的窄矩形波位于方波的中央。TA2方波生成探测发射正弦波，TA1窄矩形波对应发射正弦波的波峰（如图3所示）。

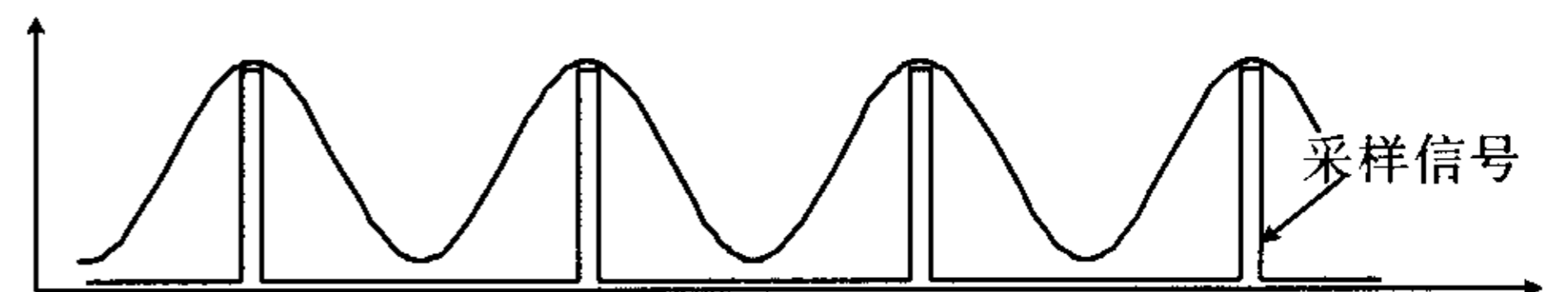


图3 接收波形幅值的采样量化

四、数字金属探测器的设计实现

1、数字金属探测器的硬件设计

MSP430单片机核心是16位微处理器，包括了看门狗、定时器、A/D转换器和I/O口等模块。MSP430单片机具有超低功耗特性、丰富的内部资源特性和较强的运算能力等优点。应用MSP430单片机设计数字探测器可以降低系统的复杂度和方便进行数字信号处理^[4]。

如图4所示，数字金属探测器由发射线圈、接收线圈、MSP430F135单片机和LCD字符液晶以及扬声器组成。MSP430F135单片机以定时器A的TA2发生频率约为7kHz的方波，在发射线圈上产生稳定的正弦波。接收线圈感生电压经放大输入至MSP430F135单片机内部模数转换ADC12。波形幅值采样量化后，经数字信号处理，数据及其相关信息在LCD字符液晶上显示，同时以定时器B脉宽调制（PWM）驱动扬声器发声来实时反应探测状况。

2、数字信号处理

数字金属探测器依据波形幅值变化判断地下金属的有无及种类。无探测金属状态下将接收信号的波形幅值存储为探测基准值，在探测过程中不断将探测信号的波形幅值与基准值比较来判断金属的有无及种类。

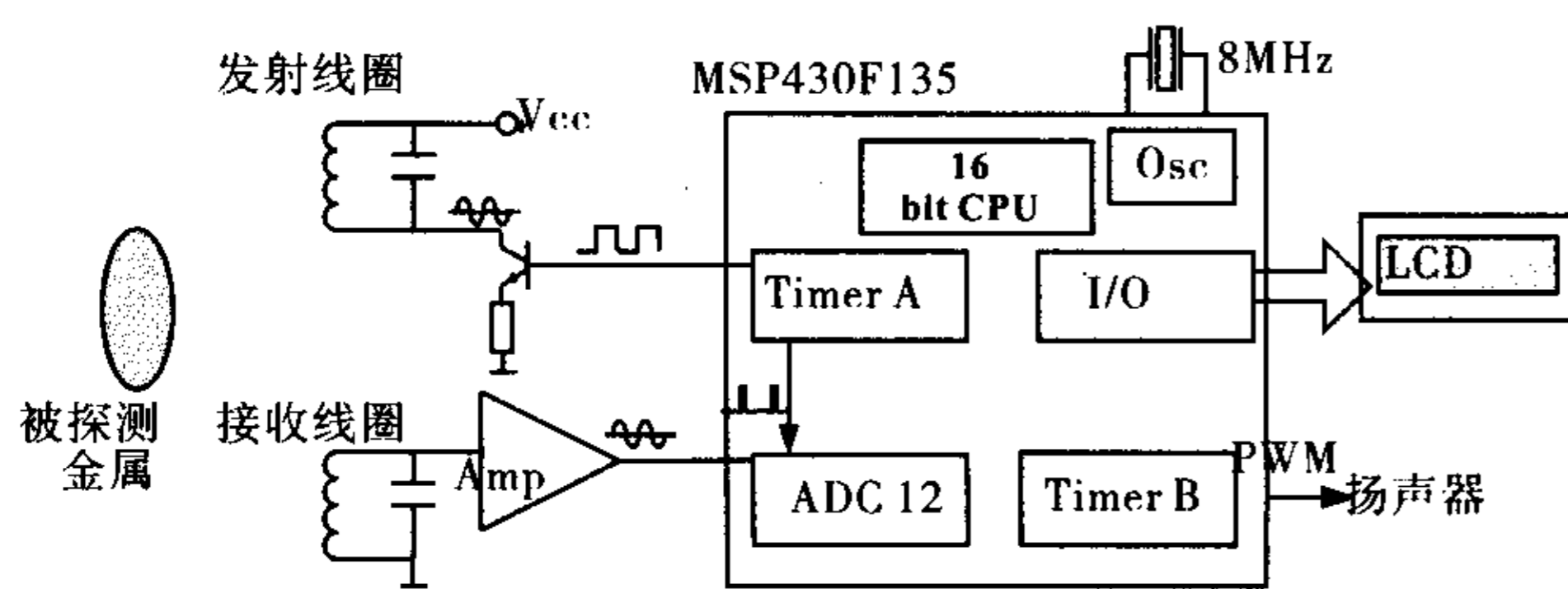


图4 数字金属探测器原理图

手持使用探测器探测地下金属时，通常是接近地面以数秒的周期缓慢移动探测盘。因此，在探测到地下金属时，探测信号波形幅值也以数秒的周期变化。MSP430单片机的采样量化次数约7000次/秒，简单可行的提高信噪比的信号处理方法是多次数值累加求平均。

探测接收信号中，加性噪声是不相关的，N次数值噪声累加求平均后幅值降低为原幅值的 $1/N$ 。而探测信号是相关的，信号累加求平均后幅值为其算术平均值。因而探测信号多次数值累加求平均可以有效的提高探测的灵敏度。但过长周期的累加，扬声器声音会呈现跳跃，不连贯而掩盖细节。

五、结束语

采用对探测波形进行波形幅值采样量化的探测方法，在每个正弦信号周期只需进行一次采样量化，有

(上接第55页)

对于第一种情况，电控系统可以控制，超速后柴油机停机保护，同时超速报警灯亮。对于第二种情况，应及时关掉断油电磁阀及电控系统电源，切断燃油供给。当超速现象出现时，我们一般无法迅速判断出是电控系统故障还是喷油泵柱塞卡死，所以，应及时关掉断油电磁阀及电控电源。

(4) 水温高报警

柴油机工作时需要进行适当冷却。冷却不足，可能会导致柴油机不能正常工作，甚至因零部件局部高温过热而破坏原来正常的配合间隙，甚至产生“拉缸”现象。针对此类问题，柴油机电控系统增加了水温过高保护功能，当系统检测水温高于水温高报警限时，电控系统水温高报警灯闪烁，同时减少供油量。

驾驶员观察到水温高报警后应及时停止行驶，并空载运行柴油机，同时缓慢补充冷却水，待水温降至正常温度后停机并检查水温高的具体原因。如果驾驶员未能及时观察到水温高报警，继续高负荷运行柴油机，而电控系统又在逐渐减少供油量，就容易造成柴

油机自动停机。此类问题出现后，应及时补充冷却水，同时在电控系统断电情况下空打马达，加速冷却水循环，防止“拉缸”现象出现。

【参考文献】

- [1] 蒋宇中, 周学军, 张曙霞. 连续波金属探测器电磁场模型的理论分析[J]. 海军工程大学学报, 2006.18(3): 34-37.
- [2] 沈建华, 杨艳琴, 翟晓曙. MSP430系列16位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [3] Texas Instruments. MSP430x1xxx Family User's Guide (Rev. F) [EB/OL]. <http://focus.ti.com/lit/ug/slau049f/slau049f.pdf>. 2007-4-13.

Chris Nagy. Embedded System Design Using TI

油机自动停机。此类问题出现后，应及时补充冷却水，同时在电控系统断电情况下空打马达，加速冷却水循环，防止“拉缸”现象出现。

四、结束语

柴油机自动停机的原因是多方面的，应多观察停机前的种种征兆，并结合电控系统报警情况多方面查找故障原因，待彻底排除故障后，方可重新启动柴油机。

【参考文献】

- [1] 汤姆·德恩顿. 汽车故障诊断高级教程[M]. 江苏: 江苏科学技术出版社, 2005年1月.
- [2] 王尚勇. 柴油机电子控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社 2005年1月.
- [3] 宋进桂. 国产轻型和微型客车电控系统故障诊断速查[M]. 北京: 机械工业出版社 2004年4月.
- [4] 杨明. 柴油机停机原因分析及防止措施[J]. 内燃机车, 2002(4): 39-41.
- [5] 薛汉忠. 康明斯柴油机停机困难故障的原因与排除[J]. 工程机械与维修, 2003年 2期 119-121.