



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410009688.6

[45] 授权公告日 2008 年 7 月 2 日

[11] 授权公告号 CN 100398799C

[22] 申请日 2004.10.20

[21] 申请号 200410009688.6

[73] 专利权人 北京交通大学

地址 100044 北京市西直门外上园村 3 号

[72] 发明人 郭林福 张欣 刘建华 芦畅

[56] 参考文献

CN1443935A 2003.9.24

WO9957426A1 1999.11.11

电控增压单一燃料 C-NG 发动机的试验研究. 陈志军, 张欣, 王浩. 小型内燃机与摩托车, 第 32 卷第 1 期. 2003

增压单燃料 CNG 发动机电控多点顺序喷射系统. 岑艳, 张欣. 柴油机, 第 2002 卷第 6 期. 2002

增压单燃料 CNG 发动机电控多点顺序喷射系统的研究. 岑艳, 张欣. 柴油机, 第 2002.6 期. 2002

LM1949 喷射阀驱动控制器. 国家半导体, 1. 1995

审查员 唐轶

[74] 专利代理机构 北京市商泰律师事务所

代理人 毛燕生

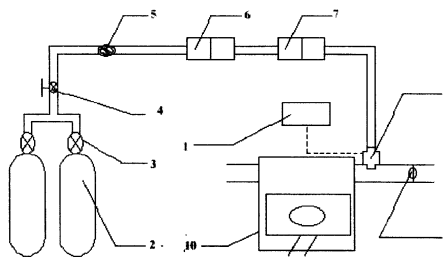
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 3 页

[54] 发明名称

一种天然气发动机电控多点顺序喷射系统的控制方法

[57] 摘要

一种天然气发动机电控多点顺序喷射系统及控制方法, 采用多点顺序喷射方式, 由软件严格控制 CNG 喷射量、喷射始点与进排气门和活塞运动的相位关系, 对每一个气缸定时定量供气, 根据发动机转速和负荷大小准确地控制空燃比。电控单元 ECU 根据各种传感器检测到的发动机运行状态参数, 计算出所需要的 CNG 喷射脉宽, 输出与该脉宽具有相应定时关系的电脉冲信号用以控制 CNG 喷射阀的开启时刻和开启持续时间, 实现最佳空燃比的控制, CNG 喷射脉宽计算采用不规则喷射脉谱, 将过程中实际测得的工况节点作为脉谱节点, 对于不同转速, 进气压力的划分间隔可以不同。本发明改进喷气阀驱动电路, 功率消耗减少, 散热量减少, 散热器的体积减小, 电路的稳定性和可靠性提高。



1、一种天然气发动机电控多点顺序喷射系统的控制方法，采用多点顺序喷射方式，由软件控制 CNG 喷射量、喷射始点与进排气门和活塞运动的相位关系，对每一个气缸定时定量供气，根据发动机转速和负荷大小准确地控制空燃比，电控单元 ECU 根据各种传感器检测到的发动机运行状态参数，计算出 CNG 喷射脉宽，输出与该脉宽具有相应定时关系的电脉冲信号控制 CNG 喷射阀的开启时刻和开启持续时间，其特征在于：CNG 喷射脉宽计算采用不规则喷射脉谱，即脉谱的控制节点并不是等间隔选取，而是将过程中实际测得的工况节点作为脉谱节点。

## 一种天然气发动机电控多点顺序喷射系统的控制方法

### 技术领域

本发明涉及一种天然气发动机电控多点顺序喷射系统及控制方法。

### 背景技术

目前，国内的车用CNG发动机都是将原有的汽油机或柴油机进行改装而成的，按CNG的燃烧特点专门设计、制造的发动机还比较少。对于CNG发动机，其燃料供给系统按控制方式可分为进气总管混合器方式、进气总管单点喷射方式、进气歧管多点喷射方式以及缸内直喷式等几种方式。混合器式CNG供给系统对CNG供给量的控制精度不高，不能准确控制空燃比，发动机排放性能改善有限，并且由于发动机充气效率降低，因而影响了发动机的动力性和经济性。进气管单点喷射系统存在着燃气通道传播延迟较长以及对空气充量系数影响较大的缺点，从而影响了发动机整体排放指标的提高。而多点燃料喷射装置按各缸喷射起始时刻的不同，又可分为同时喷射、分组喷射和顺序喷射等三种方式。同时喷射虽然控制较简单，但各缸喷射时刻不能达到最佳，造成各缸混合气品质不均匀；分组喷射中混合气品质好于同时喷射，但依然不能达到准确控制；顺序喷射可实现喷射时刻和喷射持续时间的精确控制，可以使空燃比的稀限扩大，实现一定程度的稀薄燃烧，有利于降低发动机的排放特性，并改善发动机的燃料经济性。所以目前柴油机改装单燃料CNG发动机一般采用顺序喷射方式。

而很多的喷气阀驱动电路仅是简单采用了电压控制的MOSFET管。在喷射信号到来之后，电磁阀线圈和MOSFET管中的电流开始上升，当电磁力克服了电磁阀弹簧的弹力之后，电磁阀开启，但通过电流仍然继续上升到由电源电压和电路阻抗确定的最大电流，并且这一最大电流将一直持续到喷射信号结束时为止。这样该电路工作时就要消耗较多的能量，并且MOSFET管和电磁阀线圈的发热量也明显增加，这将加大散热的难度，并可能降低元器件和系统工作的稳定性和可靠性。

### 发明内容

为了克服现有技术的不足，本发明提供一种天然气发动机电控多点顺序喷射系统及控制方法，本发明主要解决的问题是取消原柴油机的燃油供给系统及喷油泵、喷油器等零部件，增加了CNG供气系统，采用进气门处喷射供气方式，将燃料喷射阀安装在进气管根部，这样燃料喷射阀不直接受气缸内高温高压作用，使其设计与制造容易进行，同时也容易安装，无须对发动机结构做大的改动。

本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：

一种天然气发动机电控多点顺序喷射系统，有电控单元 ECU、高压气瓶、手动阀、总控阀、过滤器、减压阀、电磁阀、燃料喷射阀、节气门、发动机和相应的管道，手动阀连接高压气瓶通过管道连接过滤器，过滤器通过管道连接减压阀，减压阀通过管道连接电磁阀，电磁阀通过管道连接燃料喷射阀，燃料喷射阀连接电控单元 ECU；燃料喷射阀安装在发动机进气管根部，节气门为安装在进气管内的蝶形阀。

一种天然气发动机电控多点顺序喷射系统控制方法，采用多点顺序喷射方式，由软件严格控制 CNG 喷射量、喷射始点与进排气门和活塞运动的相位关系，对每一个气缸定时定量供气，根据发动机转速和负荷大小准确地控制空燃比。电控单元 ECU 根据各种传感器检测到的发动机运行状态参数，计算出所需要的 CNG 喷射脉宽，输出与该脉宽具有相应定时关系的电脉冲信号用以控制燃料喷射阀的开启时刻和开启持续时间，从而实现最佳空燃比的控制，CNG 喷射脉宽计算采用不规则喷射脉谱，将过程中实际测得的工况节点作为脉谱节点，对于不同转速，进气压力的划分间隔可以不同。

本发明的有益效果是，取消原柴油机的燃油供给系统及喷油泵、喷油器等零部件，采用进气门处喷射供气方式，将天然气喷射阀安装在进气管根部，使其设计与制造容易进行，安装容易，实用且成本低。改进燃料喷气阀驱动电路，使其功率消耗比原有电路减少，同时电路的散热量也随之减少，散热器的体积减小，电路的稳定性和可靠性提高。控制方式采用多点顺序喷射方式，实现对每一个气缸定时定量供气，并根据发动机转速和负荷大小准确地控制空燃比。

**附图说明**

下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

图 1 本发明的 CNG 发动机燃气供给系统。

图 2 多点顺序喷射的时序。

图 3 本发明喷气阀驱动电路原理图。

图 4 主程序的流程图。

图 5 A/D 转换子程序流程图。

图 6 限速子程序流程图。

图 7 串口接收中断子程序流程图。

图 8 串口发送子程序流程图。

图 9 定时器输入捕捉中断子程序流程图。

### 具体实施方式：

下面结合附图对本发明的实施进行进一步描述如下：本发明是这样实现的。该系统主要由电控单元 1（见图 1）、高压气瓶 2、手动阀 3、总控阀 4、过滤器 5、减压阀 6、电磁阀 7、燃料喷射阀 8、节气门 9、发动机 10 和相应的管路等组成。CNG 以 20MPa 的压力储存在高压气瓶 2 内，发动机 10 工作时，打开气瓶手动阀门 3，CNG 流过总控阀 4，并经过过滤器滤 5 去除气体燃料中的杂质。CNG 流经减压阀 6 减压至所要求的低压，进入气轨，最后在电控单元的控制下通过气轨上的喷气电磁阀 7（型号：SP-21，贵州红林机械有限公司）喷入进气管的根部，在进气管内 CNG 与空气混合，随着进气门的开启，混合后的气体被吸入气缸内。在压缩过程中 CNG 与空气在气缸中进一步混合，当活塞运行到压缩上止点时，火花塞点火引燃缸内混合气。燃料喷射阀 8 安装在发动机进气管根部，节气门 9 是一个安装在进气管内的蝶形阀，它用来调节不同工况下的空气进气量。

高压气瓶、手动阀、总控阀、过滤器一起构成天然气气柜，由天海工业有限公司提供。减压阀的型号为 G28，是意大利 LANDI 公司的产品，电磁阀集成在减压阀上。燃料喷射阀的型号为 SP-21，是贵州红林机械有限公司的产品。节气门位于进气管中，是发动机的零部件，由发动机厂家提供。

电控单元 ECU 共设计了八路输入信号，包括一路数字信号和七路模拟信号。

其中数字信号是发动机转速和凸轮轴位置信号；模拟信号包括节气门位置信号、冷却水温度信号、氧传感器信号、进气管温度信号和进气管压力信号。电控单元 ECU 够根据各种传感器检测到的发动机运行状态参数，按照预定的控制策略计算出所需要的 CNG 喷射脉宽，然后输出与该脉宽具有相应定时关系的电脉冲信号用以控制燃料喷射阀 8 的开启时刻和开启持续时间，从而实现最佳空燃比的控制，使发动机优化运行，达到节省燃料与改善排放的目的。

本发明进行电控单元 ECU 的硬件设计，包括微控制器模块的设计和输入、输出通道的设计。

本发明针对 CNG 发动机的喷气电磁阀 7 设计了新型的驱动电路，该电路在电磁阀启动瞬间能提供大电流，而在喷气电磁阀 7 开启后采用小的保持电流，有效地降低了功耗和发热量。改进喷气电磁阀 7 驱动电路，使其功率消耗比原有电路减少，特别是在喷射脉宽较大时，电路的功率消耗仅约为原电路的一半。这使电路的散热量也随之减少，散热器的体积减小，电路的稳定性和可靠性提高。

本发明的方法控制方式采用多点顺序喷射方式，由软件严格控制 CNG 喷射量、喷射始点与进排气门和活塞运动的相位关系，实现对每一个气缸定时定量供气，并根据发动机转速和负荷大小准确地控制空燃比。

系统包括采集、控制等多种功能，对应着多个中断源，需根据控制功能的特点和重要程度选择优先级。由于系统中对 CNG 喷射量的控制决定系统的工作状态，而且出现紧急情况时，及时控制燃料喷射阀 8，保证它的实时输出，所以它的优先级必须设置为最高。在主程序中进行各路中断的设置，最后开启中断进入等待状态，在中断到来时转入中断服务程序中。根据发动机控制功能的需要，本发明在控制软件中将发动机的使用工况分为：起工况、怠速工况、全负荷工况、急加速工况、急减速工况和普通工况。通过节气门位置以及发动机转速判断发动机处于何种工况，并设置相应的工况标志。

本发明的电控单元 ECU 采用的是 MC9S12DP256 芯片，该芯片单片正常模式下的基本电路包括系统电路、电源电路、时钟电路及复位电路等。输入通道接口电路将系统中各种传感器信号分别进行采样、处理和变换后，将信号输入到单

片机的相应端口，完成电控单元对发动机运行工况和状态的实时检测。输出通道将微控制器与执行机构联系起来，它将电控单元 ECU 做出的控制决策信号，经隔离、功率放大等环节，转变为控制信号以驱动执行机构工作。本控制系统的执行机构是高速 CNG 喷射阀，由于采用多点顺序喷射，共有六个喷射阀。光电耦合器的应用可隔离输出通道对单片机产生的干扰。

本发明方法通过中断方式实现 CNG 多点顺序喷射功能，控制对象是喷射提前角和喷射持续时间（即喷射脉宽）。中断源是发动机转速和曲轴位置信号（见图 2）。波形 A 是中断源也就是转速和凸轮轴位置传感器信号的输出波形。它是由两个窄脉冲和五个宽脉冲组成的周期信号。第一个窄脉冲的上升沿标志着第 1 缸的压缩上止点前  $40^\circ$  曲轴转角，往后五个宽脉冲的上升沿依次是 5、3、6、2、4 缸的压缩上止点前  $40^\circ$  曲轴转角。

由六缸发动机工作循环可知：当第 1 缸活塞运行到压缩上止点时，第 6 缸活塞位于进气上止点位置。波形 B 表示的是对应于波形 A 的进气上止点的波形示意图。有缸号的脉冲上升沿是进气上止点前  $40^\circ$  曲轴转角。从图 2 可以看出，6、2、4、1、5、3 缸的进气上止点和 1、5、3、6、2、4 缸的压缩上止点一一对应。图中波形 C 到 H 对应于第 1 缸至第 6 缸的控制输出波形。

转速和凸轮轴位置信号传感器信号上升沿进入微控制器后触发中断，在中断中首先进行判缸和同步处理，启动本次喷射阀 8 的喷射延迟控制，如果是第 1 缸上升沿触发的中断，那么处理的将是第 6 缸的喷射延迟控制，然后计算下一个缸的喷射延迟时间，以此类推。其次，根据不同的工况处理喷射脉宽。最后，计算转速，为下一次控制做准备。

而对于喷射阀驱动电路（见图 3），INJ11 节点接电阻 R19，电阻 R19 连接光电耦合器 01，光电耦合器 01 的另一端的两路分别接电源和电阻 R4、芯片 LM1949，芯片 LM1949 的 TIME 端接电阻 R20 和电容 C35，电阻 R20 和电容 C35 的另一端分别接电源和地；芯片 LM1949 的 OUT 和 COMP 端并联电容 C36 其 OUT 端接功率晶体管 Q1 的基极，功率晶体管 Q1 的集电极和发射极并联二极管 D10，其集电极为 INJ1 节点，其发射极连接芯片 LM1949 的 SENIN 端和电阻 R14，电阻 R14 的另一

端接芯片 LM1949 的 S-GND 端。6 个上述的电路分别控制 6 个喷射阀。

本发明采用输出 PWM 信号的方式来控制电磁阀 7，并在软件上采取措施，在喷射开始时，PWM 信号采用较大的占空比，保证电磁阀 7 的开启，在电磁阀 7 开启后，减小 PWM 输出信号的占空比，使通过电磁阀 7 线圈的平均电流减小。本发明采用一种能够实现电流随电磁阀 7 开启状态而自动改变的专用芯片 LM1949（即图 3 中的 U1）。电磁阀 7 线圈的负极接到图 3 中 INJ1 节点上，当微控制器的喷气输出信号加到 INJI1 节点上时，功率晶体管 Q1 导通，线圈通电。芯片 LM1949 可以通过外部电阻设定电磁阀 7 线圈回路电路所需的最大电流，当电路中通过的电流达到该最大值之后，立即将电流降为原来的 1/4，然后用斩波恒流的方式保持该电流值直到喷射信号结束。此外，该芯片还可以通过外部电阻和电容设定最长的开启时间，如果开启时间超过这个值，电路将自动关闭，这可以起到在 MCU 发生故障时保护功率管和电磁阀 7 的作用。

控制 CNG 发动机运转的基本脉谱图是以对应若干工况（节点）的离散数据存入电控单元 ECU 中的，当发动机的工况不在节点上时，要通过线性内插法计算出 CNG 的基本喷射量。本喷射脉谱与传统脉谱的不同点是，在本发明中采用不规则喷射脉谱，即脉谱的控制节点并不是等间隔选取，而是将试验过程中实际测得的工况节点作为脉谱节点。以转速和进气压力（ $n, p$ ）表征工况为例，在喷射脉谱制取过程中，对于不同的转速，进气压力的划分间隔可以不同。这样在制取喷射脉谱的试验过程中，一方面不必将每一转速下的进气压力都等间隔划分，这样可以减少试验工作量，另一方面不用对实验数据进行归一化处理，在以后的发动机运行过程中进行查脉谱插值时，可以降低累积误差。

本发明在软件设计中采用了模块化设计思想，将大量重复使用的程序独立出来，设计成一系列的模块在各处被调用，可以节省大量的程序存储单元，也便于程序的修改、调试和移植。

基本功能模块主要包括输入信号检测与处理模块、控制计算模块、输出驱动模块以及保护模块等。信号检测与处理模块的主要功能是将输入的模拟信号进行 A/D 转换以及从霍尔传感器信号中提取同步判缸信号和转速信号等。控制计



算模块的主要功能是根据发动机的运行工况确定喷射时序、喷射时刻和喷射脉宽，它是整个软件系统的核心模块，包括工况判断以及查脉谱表等子程序。输出驱动模块的功能是对输出的喷射控制指令进行实时处理，在准确的喷射时刻进行输出。保护模块的功能主要包括超速保护及系统状态检查等。高层管理模块主要是串口通信模块，它的功能是完成电控喷射系统与开发系统监控 PC 机之间的数据交换。

为满足发动机喷射控制系统实时性要求高的特点，主程序（见图 4）仅进行初始化、系统状态检查、查表计算等实时性要求不高的工作，对喷射脉宽的定时输出、串口接收通信等则采用中断方式处理，这样可以有效地增强控制软件的实时性。

采用的计算机主程序步骤是：

步骤 1：寄存器和变量的初始化，

步骤 2：A/D 转换子程序，

步骤 3：限速子程序；

步骤 4：系统状态检查子程序；

步骤 5：串口发送子程序；

步骤 6：循环转至步骤 2。

其他工作则由 A/D 转换子程序（见图 5）、限速子程序（见图 6）、串口接受中断子程序（见图 7）、串口发送子程序（见图 8）和定时器输入捕捉中断子程序等子程序（见图 9）来完成。

A/D 转换子程序：

步骤 1：A/D 转换子程序入口，

步骤 2：选择 A/D 转换通道，开始转换；

步骤 3：判断转换完成否；未完成则循环步骤 3；

步骤 4：完成则返回主程序。

限速子程序：

步骤 1：限速子程序入口，

步骤 2: 判断转速是否大于 2300r/m, 若是转入步骤 3, 若非则转入步骤 4;

步骤 3: 切断供气总阀, 转入步骤 6;

步骤 4: 判断转速是否小于 2200r/m, 若是转入步骤 5, 若非则转入步骤 6;

步骤 5: 打开供气总阀;

步骤 6: 返回主程序。

串口接受中断子程序:

步骤 1: 串口接受中断入口,

步骤 2: 接受一字节至暂存单元;

步骤 3: 判断接受寄存器是否已空, 若非则循环步骤 3, 若是转入步骤 4;

步骤 4: 判断是否全部数据接收完, 若非则循环步骤 2, 若是转入步骤 5;

步骤 5: 判断数据头是否正确, 若非则转入步骤 8, 若是转入步骤 6;

步骤 6: 判断数据尾是否正确, 若非则转入步骤 8, 若是转入步骤 7;

步骤 7: 将接收数据赋给相应变量;

步骤 8: 返回主程序。

串口发送子程序:

步骤 1: 串口发送子程序入口,

步骤 2: 判断是否开始发送; 若非则转入步骤 6, 若是转入步骤 3;

步骤 3: 发送一字节,

步骤 4: 判断本字节是否发送完, 若非则循环步骤 4, 若是转入步骤 5;

步骤 5: 判断是否全部数据发送完, 若非则转入步骤 3, 若是转入步骤 6;

步骤 6: 返回主程序。

定时器输入捕捉中断子程序:

步骤 1: 定时器输入捕捉中断入口,

步骤 2: 判断是否第一次中断; 若非则转入步骤 4, 若是转入步骤 3;

步骤 3: 记录本次输入捕捉时间, 转入步骤 24;

步骤 4: 判断是否缸信号, 若非则转入步骤 6, 若是转入步骤 5;

步骤 5: 判断信号处理; 转入步骤 24;

- 步骤 6: 判断转速是否小于 76rpm, 若非则转入步骤 8, 若是转入步骤 7;
- 步骤 7: 设置停车标志; 转入步骤 24;
- 步骤 8: 启动本次喷射延迟控制;
- 步骤 9: 计算下次喷射延迟时间;
- 步骤 10: A/D 转换;
- 步骤 11: 判断是否启动工况, 若是转入步骤 12, 若非则转入步骤 13;
- 步骤 12: 启动工况处理, 转入步骤 22;
- 步骤 13: 判断是否怠速工况, 若是转入步骤 14, 若非则转入步骤 15;
- 步骤 14: 怠速工况处理, 转入步骤 22;
- 步骤 15: 判断是否满负荷工况, 若是转入步骤 16, 若非则转入步骤 17;
- 步骤 16: 满负荷工况处理, 转入步骤 22;
- 步骤 17: 判断是否急加速工况, 若是转入步骤 18, 若非则转入步骤 19;
- 步骤 18: 急加速工况处理, 转入步骤 22;
- 步骤 19: 判断是否急减速工况, 若是转入步骤 20, 若非则转入步骤 21;
- 步骤 20: 急减速工况处理, 转入步骤 22;
- 步骤 21: 常用工况处理,
- 步骤 22: 喷射脉宽赋值;
- 步骤 23: 计算转速;
- 步骤 24: 返回主程序。

系统状态检查原理如图 9 所示。图中工况判断及处理是通过发动机转速和进气压力判断出工况, 并按当前工况的控制策略计算出所需的喷射脉宽。本发明的电控喷射系统软件中, 定时器输入捕捉中断是由发动机转速和凸轮轴位置传感器发出的脉冲上升沿触发的, 是发动机电控系统的控制基准。发动机每个工作循环该传感器会产生七个上升沿, 就会产生七次输入捕捉中断。这些上升沿中有一个是判缸信号, 通过对它的识别可以得知发动机当前工作的缸信号, 从而可知气缸喷射时序。另外六个上升沿代表发动机各缸进气冲程上止点前 40 度曲

---

轴转角，是 CNG 喷射的控制基准信号，在该中断到来时，电控单元 ECU 根据喷射提前角计算出此时刻距离开始喷射时刻的延迟时间，并对输出比较端口进行设置，使其能在预定喷射时刻发出控制信号，驱动 CNG 喷射阀进行正常喷射。

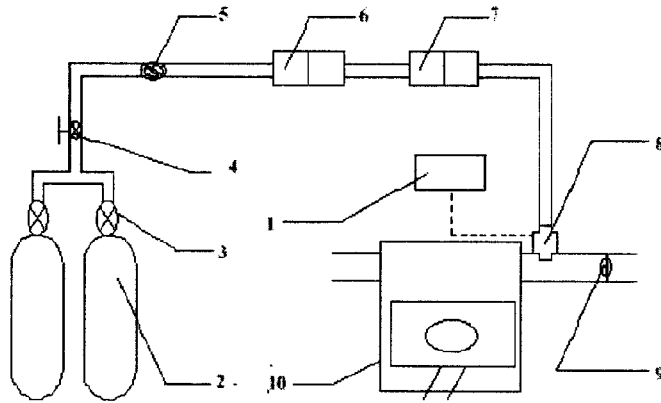


图1

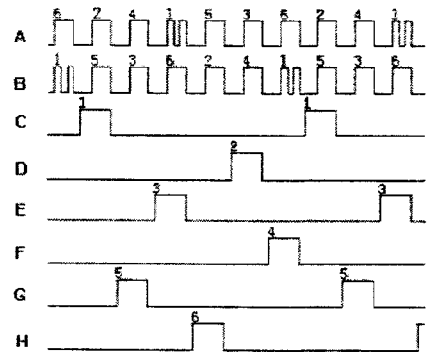


图2

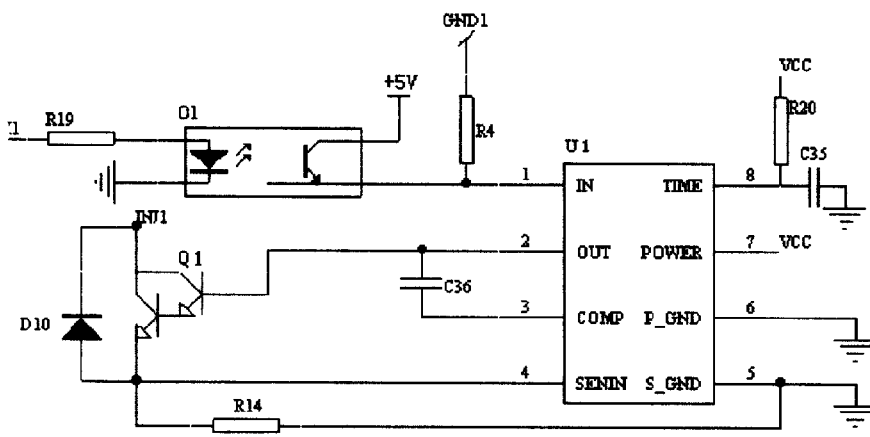


图3

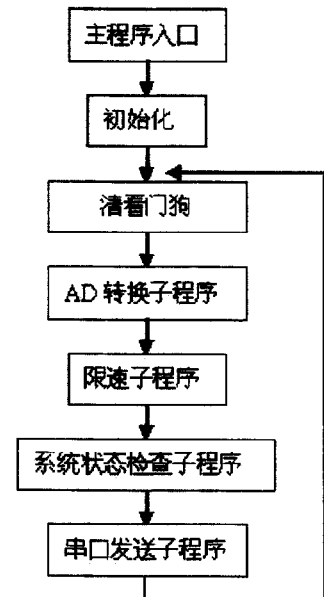


图4

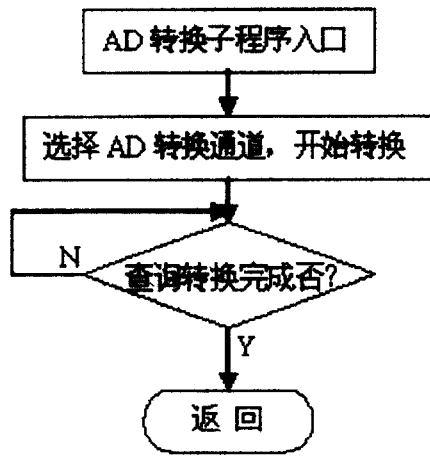


图 5

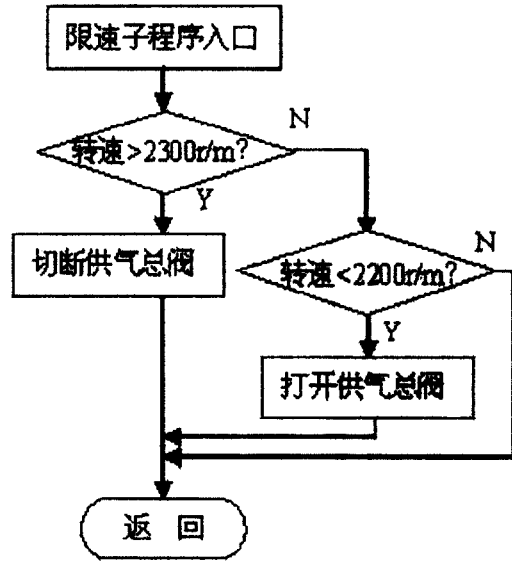


图 6

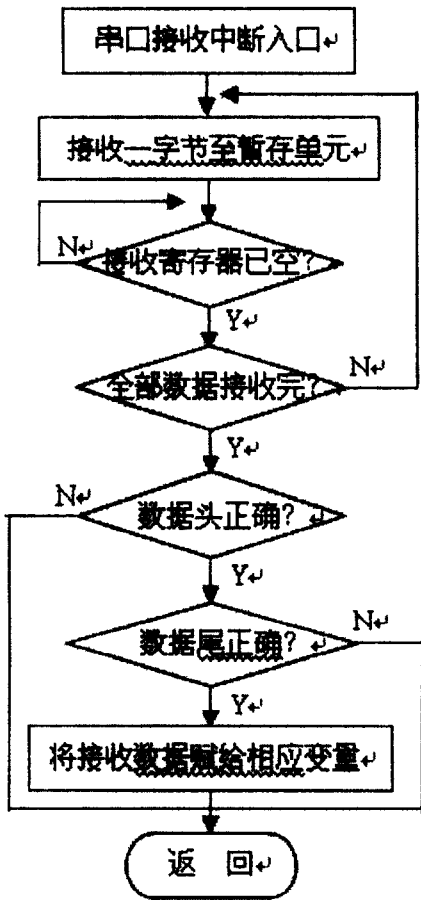


图 7

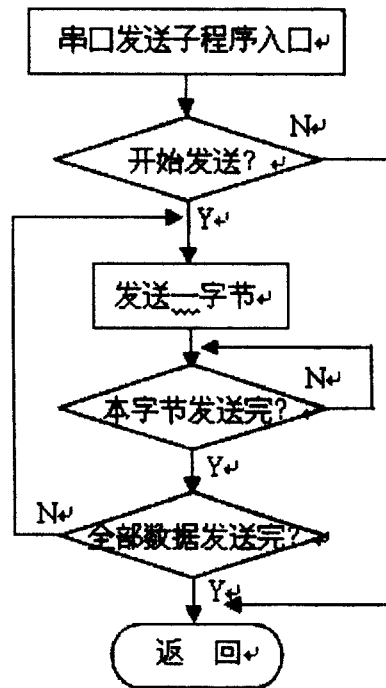


图 8

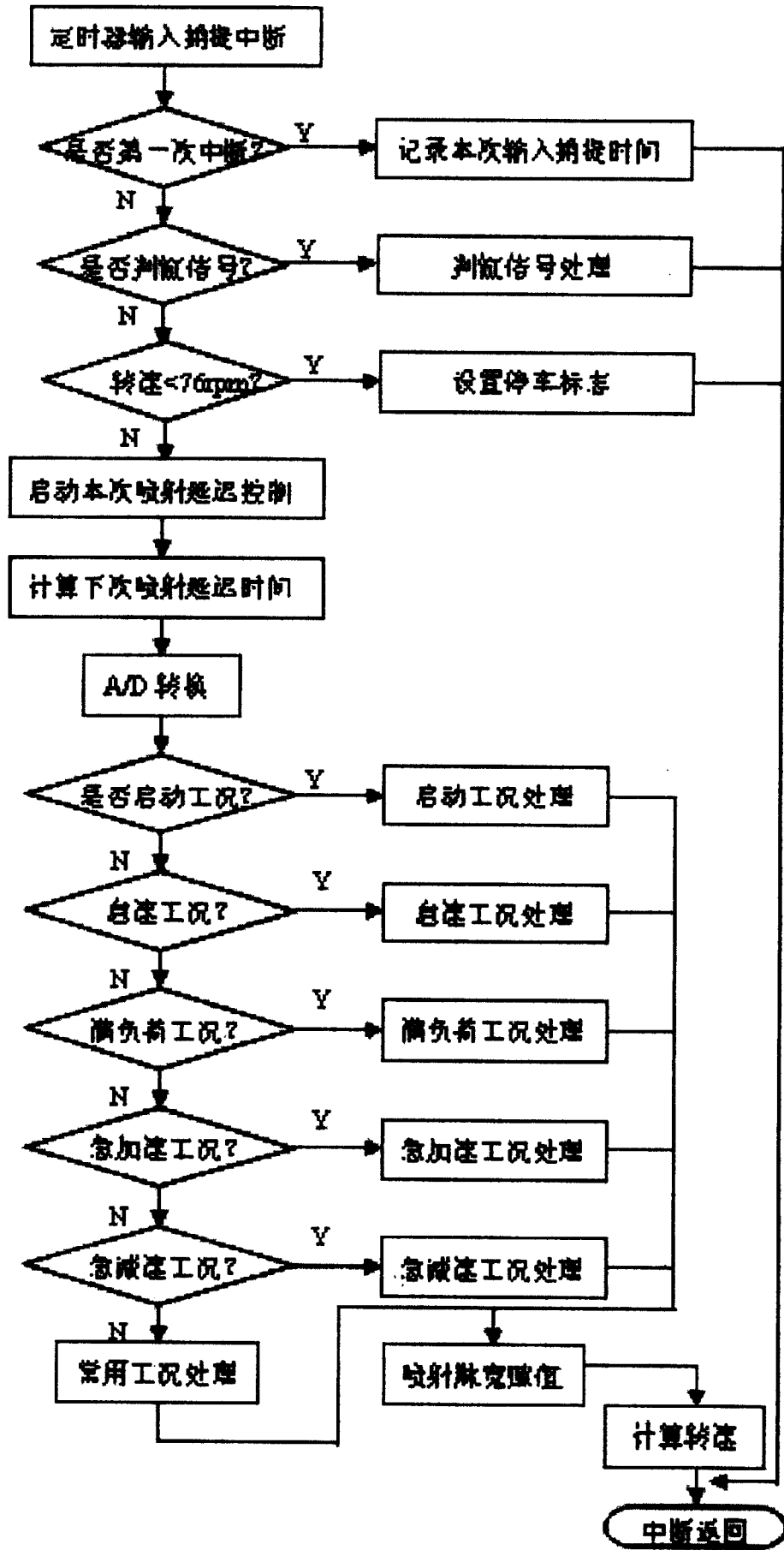


图 9