



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103625462 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 12

(21) 申请号 201310332347. 1

B60W 20/00 (2006. 01)

(22) 申请日 2013. 08. 01

(71) 申请人 河南科技大学

地址 471003 河南省洛阳市涧西区西苑路
48 号

(72) 发明人 徐立友 刘孟楠 周志立 王伟
李晴 方树平 刘海亮 游昆云
王心彬

(74) 专利代理机构 郑州睿信知识产权代理有限
公司 41119

代理人 陈浩

(51) Int. Cl.

B60W 10/06 (2006. 01)

B60W 10/08 (2006. 01)

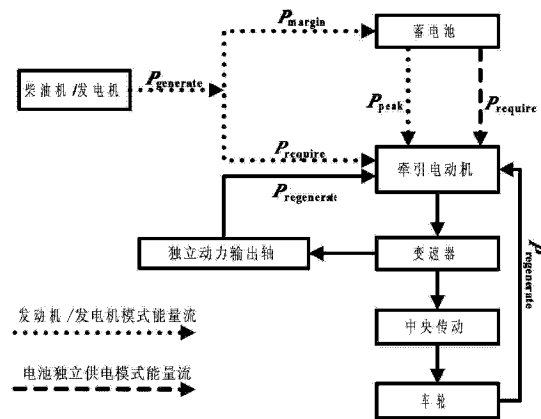
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

节能型串联混合动力拖拉机的控制方法

(57) 摘要

本发明涉及节能型串联混合动力拖拉机的控制方法,以牵引电动机作为发动机,以柴油机/发电机组作为主能源系统,以蓄电池组或蓄电池/超级电容组作为辅助能源系统,柴油机/发电机在经济性运行下,主能源系统发出电功率定值,驱动牵引电动机高效运行,当电功率定值大于牵引电动机需求电功率时,由辅助能源系统储存多余电功率;当辅助能源系统 SOC 值高于设定值时,主能源系统停止工作,由辅助能源系统单独供能;本发明以柴油机/发电机在经济运行下供电而不是根据拖拉机功率需求供电,使柴油机/发电机中的柴油机始终运行在其有效燃油消耗率最小工况点附近,能量使用效率高、油耗较低、实现了节能减排。



1. 节能型串联混合动力拖拉机的控制方法,以牵引电动机作为发动机,以柴油机/发电机组作为主能源系统,以蓄电池组或蓄电池/超级电容组作为辅助能源系统,其特征在于:柴油机/发电机在经济性运行下,主能源系统发出电功率定值,驱动牵引电动机高效运行,当电功率定值大于牵引电动机需求电功率时,由辅助能源系统储存多余电功率;当辅助能源系统 SOC 值高于设定值时,主能源系统停止工作,由辅助能源系统单独供能。

2. 根据权利要求 1 所述的节能型串联混合动力拖拉机的控制方法,其特征在于,当拖拉机工作出现负载功率突增时,由辅助能源系统提供负载突变电功率。

3. 根据权利要求 2 所述的节能型串联混合动力拖拉机的控制方法,其特征在于,所述驱动牵引电动机高效运行的方法步骤如下:

(1) 采集拖拉机油门踏板开度及档杆位置信号;

(2) 根据油门踏板开度及档杆位置信号求得期望牵引力、期望输出转矩;

(3) 第一种方式:根据期望输出转矩以电动机效率的数学模型为优化目标进行搜索寻优,得到电动机效率最大时的期望输出转速;或者是第二种方式:采用针对电动机效率的实验并进行回归分析得到相关最高效率的分段函数,根据期望牵引力求得的期望车速,根据当前传动比得到该期望车速下的期望输出转速;

(4) 将期望输出转速、期望输出转矩输入电动机控制器,对电动机的运行进行控制。

4. 根据权利要求 3 所述的节能型串联混合动力拖拉机的控制方法,其特征在于:所述步骤(2)中是根据油门踏板开度大小占踏板最大开度的比例估算驾驶员期望输出转矩,设踏板深度为 A,最大开度为 B, n 档位下的最大有效牵引力为 $F_{\max, n}$,此时期望牵引力大小估算

为: $F_{\text{want}} = \frac{B \cdot N}{A \cdot (N-1)} \cdot F_{\max, n}$ 根据当前传动比得到该期望牵引力下的期望输出转矩。

5. 根据权利要求 4 所述的节能型串联混合动力拖拉机的控制方法,其特征在于,所述步骤(3)的第一种方式中以牵引电动机效率的理论数学模型作为目标函数,对以期望牵引力为中心的正负 $F_{\text{want}} \pm F$ 为范围采用智能区域搜索算法进行搜索寻优,得到搜索范围内使目标函数最优即电动机效率最高时的工作点 $(F_{\text{best}}, V_{\text{best}})$,其中 $F_{\text{best}} \in (F_{\text{want}} - F, F_{\text{want}} + F)$,以 V_{best} 代替 F_{want} 下的使牵引电动机最高效率运行的期望车速,当前传动比得到该期望车速下的期望输出转速。

6. 根据权利要求 5 所述的节能型串联混合动力拖拉机的控制方法,其特征在于,所述智能区域搜索算法为鱼群算法、蚁群算法或粒子群算法。

7. 根据权利要求 4 所述的节能型串联混合动力拖拉机的控制方法,其特征在于,所述步骤(3)的第二种方式是通过设计实验绘制不同档位下电动机的运行效率曲线,通过采集电机台架试验以及负载试验数据绘制等效率曲线的方式得到一条平滑的曲线,使该曲线通过电机运行高效率曲线区域;采集曲线上的点,进行回归分析,拟合相关函数,以得到不同档位下的分段函数。

8. 根据权利要求 3-7 中任一项所述的节能型串联混合动力拖拉机的控制方法,其特征在于,所述步骤(4)之后,定时采集拖拉机油门踏板开度及档杆位置信号,判断是否需要重新进行期望输出转速的计算,如果是,则重新执行步骤(2)至(4),电动机控制器采用新的期望输出转速进行控制;如果不是,电动机控制器采用上次的期望输出转速进行控制。

9. 根据权利要求 8 所述的节能型串联混合动力拖拉机的控制方法,其特征在于,对是否需要重新进行期望输出转速的计算是首先判断档杆位置是否变化,若是变化则需重新计算,若是没有变化则再采用关于踏板开度、踏板开度变化率构成的模糊规则进行判断。

节能型串联混合动力拖拉机的控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种节能型串联混合动力拖拉机的控制方法。

背景技术

[0002] 节能和环保是我国以及当今世界工业技术领域的两个重要主题。应对今天世界范围内的能源短缺问题与温室气体排放问题,节能和高效成为了现代工业产品的主流趋势。拖拉机作为现代农业生产的主要动力,担当着诸如农田建设、犁耕、中耕、植保、收获等农业任务。我国的拖拉机保有量逐年增加,2010 年底,全国大中型拖拉机保有量近 400 万台,小型拖拉机保有量近 2000 万台。尽管我国农业机械化在“十一五”期间取得了长足发展,但与发达国家相比仍有较大差距,整体水平依然不高;与在工业化、城镇化深入发展中同步推进农业现代化的重大要求相比尚存诸多差距;与建设社会主义新农村的任务要求还不相适应,面临诸多矛盾和问题,“十二五”规划明确提出,经济有效,节约资源、保护环境为农业机械技术的发展目标之一。

[0003] 由于我国农业经济特点与发达国家存在许多差异,农业机械产品对于节能和高效的需求更大。混合动力拖拉机作为传统拖拉机向纯电动拖拉机过渡的产品,具有易于在原产品上改装,且易改装为纯电动拖拉机的优点。相较传统拖拉机,混合动力拖拉机具有多种能源系统,可实现灵活多变的能量管理,为能源的高效利用提供了可能性;且由于电能的参与,可节省一部分燃油消耗。相较纯电动拖拉机,混合动力拖拉机具有更好的续航能力,在电池技术和充电技术取得更大技术突破之前,混合动力拖拉机对于实际生产的意义更大。

[0004] 现有的串联混合动力拖拉机研究尚处于技术储备阶段,国内尚无相关产品出现,主流企业也并未进行相关开发;相关高校只是理论研究,并且多数处于针对并联混合模式以及整车设计方法的研究阶段,对于控制系统的研究尚未开展。对比混合动力汽车的控制方式,针对转速和转矩作为动力输出的车辆动力学系统,汽车作为交通工具,其路况相比拖拉机较好,而且使用串联混合动力的汽车的目标主要在于节能减排,通常用于城市交通工具,工况主要变化在于车速,对于转矩的变化通常不大。而车速取决于驾驶员意图,所以采用这种基于转矩的控制方式将导致整车辆牺牲车速的灵活变化,无法使用于汽车。而本发明所述的运行模式和控制方法适用于车速变化较小而转矩变化较大的拖拉机系统。相比电控系统,其核心 ECU 关键在于信号处理模块,国内之所以 ECU 方面技术相对国外落后的原因就是在于电控技术的类似于专家系统的控制系统的处理模块没有掌握核心技术,专家系统的建立很复杂。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种节能型串联混合动力拖拉机控制方法,使传动系统中的牵引电动机始终以效率较高的工况运行,提高燃油使用效率,实现节能减排。

[0006] 为实现上述目的,本发明的节能型串联混合动力拖拉机的控制方法,以牵引电动机作为发动机,以柴油机/发电机组作为主能源系统,以蓄电池组或蓄电池/超级电容组作

为辅助能源系统,柴油机 / 发电机在经济性运行下,主能源系统发出电功率定值,驱动牵引电动机高效运行,当电功率定值大于牵引电动机需求电功率时,由辅助能源系统储存多余电功率;当辅助能源系统 SOC 值高于设定值时,主能源系统停止工作,由辅助能源系统单独供能。

[0007] 进一步的,当拖拉机工作出现负载功率突增时,由辅助能源系统提供负载突变电功率。

[0008] 所述驱动牵引电动机高效运行的方法步骤如下:

[0009] (1) 采集拖拉机油门踏板开度及档杆位置信号;

[0010] (2) 根据油门踏板开度及档杆位置信号求得期望牵引力、期望输出转矩;

[0011] (3) 第一种方式:根据期望输出转矩以电动机效率的数学模型为优化目标进行搜索寻优,得到电动机效率最大时的期望输出转速;或者是第二种方式:采用针对电动机效率的实验并进行回归分析得到相关最高效率的分段函数,根据期望牵引力求的期望车速,根据当前传动比得到该期望车速下的期望输出转速;

[0012] (4) 将期望输出转速、期望输出转矩输入电动机控制器,对电动机的运行进行控制。

[0013] 所述步骤(2)中是根据油门踏板开度大小占踏板最大开度的比例估算驾驶员期望输出转矩,设踏板深度为 A,最大开度为 B, n 档位下的最大有效牵引力为 $F_{\max, n}$,此时期望牵引力大小估算为:

$$F_{\text{want}} = \frac{B \cdot N}{A \cdot (N-1)} \cdot F_{\max, n}$$
 根据当前传动比得到该期望牵引力下的期望输出转矩。

[0014] 所述步骤(3)的第一种方式中以牵引电动机效率的理论数学模型作为目标函数,对以期望牵引力为中心的正负 F kN ($F_{\text{want}} - F$, $F_{\text{want}} + F$) 为范围采用智能区域搜索算法进行搜索寻优,得到搜索范围内使目标函数最优即电动机效率最高时的工作点 (F_{best} , V_{best}),其中 $F_{\text{best}} \in (F_{\text{want}} - F, F_{\text{want}} + F)$,以 V_{best} 代替 F_{want} 下的使牵引电动机最高效率运行的期望车速,当前传动比得到该期望车速下的期望输出转速。

[0015] 所述智能区域搜索算法为鱼群算法、蚁群算法或粒子群算法。

[0016] 所述步骤(3)的第二种方式是通过设计实验绘制不同档位下电动机的运行效率曲线,通过采集电机台架试验以及负载试验数据绘制等效率曲线的方式得到一条平滑的曲线,使该曲线通过电机运行高效率曲线区域;采集曲线上的点,进行回归分析,拟合相关函数,以得到不同档位下的分段函数。

[0017] 所述步骤(4)之后,定时采集拖拉机油门踏板开度及档杆位置信号,判断是否需要重新进行期望输出转速的计算,如果是,则重新执行步骤(2)至(4),电动机控制器采用新的期望输出转速进行控制;如果不是,电动机控制器采用上次的期望输出转速进行控制。

[0018] 进一步的,对是否需要重新进行期望输出转速的计算是首先判断档杆位置是否变化,若是变化则需重新计算,若是没有变化则再采用关于踏板开度、踏板开度变化率构成的模糊规则进行判断。

[0019] 本发明的节能型串联混合动力拖拉机控制方法,以柴油机 / 发电机在经济运行下供电而不是根据拖拉机功率需求供电,使柴油机 / 发电机中的柴油机始终运行在其有效燃油消耗率最小工况点附近,能量使用效率高、油耗较低、实现了节能减排。

[0020] 基于拖拉机的电动机模型以及整车数学模型,使传动系统中的牵引电动机始终以效率较高的工况运行,智能处理部分可采用单片机实现,则实验的投入成本、开发成本较小,而且适用于我国拖拉机电控技术不发达的现状,且无须开发庞大的专家系统,控制结果可以使电动机始终运行在效率最高区域附近,可以显著提高电传动效率,解决大马力串联混合动力拖拉机从事轻载作业时效率低的问题。

附图说明

- [0021] 图 1 是本发明实施例的控制方法原理图；
- [0022] 图 2 是本发明实施例的 SOC 控制策略原理图；
- [0023] 图 3 是本发明实施例的所用控制系统示意图；
- [0024] 图 4 是本发明实施例的某 180 马力拖拉机所配牵引电机一档下理论运行特性图；
- [0025] 图 5 是本发明实施例的某 180 马力拖拉机所配牵引电机三档下理论运行特性图；
- [0026] 图 6 是本发明实施例的逻辑模糊控制器控制流程图；
- [0027] 图 7 是踏板开度变化率隶属度函数表示图；
- [0028] 图 8 是踏板开度隶属度函数标示图。
- [0029] 图 1 中的标记含义如下：
- [0030] $P_{generate}$ 表示柴油机 / 发电机组以柴油机最小有效燃油消耗率工况运行下所发出的电功率； $P_{require}$ 表示高效运行模式下的工作需求功率； P_{margin} 表示高效模式运行下柴油机 / 发电机发出的多余电功率； P_{peak} 表示负载突变功率需求； $P_{regenerate}$ 表示再生制动功率。
- [0031] 图 3 中的标记含义如下：
- [0032] 1 表示油门踏板；2 表示踏板位置传感器；3 表示通信总线；4 表示逻辑模糊控制器；5 表示电机控制器；6 表示牵引电动机；7 表示智能处理模块；8 表示变速器输出轴；9 表示轮速传感器；10 表示转矩传感器；11 表示变速器；12 表示变速器输入轴；13 表示倒档位置传感器；14 表示 4 档位置传感器；15 表示 3 档位置传感器；16 表示 2 档位置传感器；17 表示 1 档位置传感器；18 表示离合器。

具体实施方式

[0033] 一、节能型串联混合动力拖拉机控制方法

[0034] 节能型串联混合动力拖拉机控制方法以牵引电动机作为发动机,以柴油机 / 发电机组作为主能源系统,以蓄电池组或蓄电池 / 超级电容组作为辅助能源系统,柴油机 / 发电机在经济性运行下,主能源系统发出电功率定值,驱动牵引电动机高效运行,当电功率定值大于牵引电动机需求电功率时,由辅助能源系统储存多余电功率;当辅助能源系统 SOC 值高于设定值时,主能源系统停止工作,由辅助能源系统单独供能。当拖拉机工作出现负载功率突增时,由辅助能源系统提供负载突变电功率。上述“/”表示“和”的意思。

[0035] 如图 1 所示的串联混合动力拖拉机中,以混合动力拖拉机的柴油机 / 发电机组作为主能源系统,其中,柴油机始终以其最小燃油消耗率下的工况运行,运行过程中,主能源所发电功率 $P_{generate}$ 基本恒定。以蓄电池组或蓄电池 / 超级电容组作为辅助能源系统。驱动系牵引电动机通过控制模块控制始终运行在高效工况附近,由于电机的高效工况并不是全负荷工况,因此该模式下运行的拖拉机能量流无法平衡,高效运行的电动机未必总能完

全消耗主能源所供电能,会产生柴油机 / 发电机发出的多余电功率 P_{margin} 。因此使用辅助能源系统储存这部分能量,并储存再生制动产生的能量。结合图 2 所示 SOC 控制策略,在当其 SOC 值高于设定值时,柴油机 / 发电机组停止工作,由辅助能源系统单独供能,将这部分储存的能量释放出来。图 2 中 SOC_{low} 指设定的电能存储装置的最小荷电量, SOC_{top} 指设定的最大荷电量。

[0036] 上述控制方法可适用于采用手动变速器的串联混合动力拖拉机 ;或用于在保留动力桥和车身结构的基础上以现有传统机型为装机对象的串联混合动力传动系。下面给出具体的采用该控制方法的串联混合动力拖拉机的使电动机高效运行的控制系统及控制方法。

[0037] 二、节能型串联混合动力拖拉机的电动机高效运行控制系统

[0038] 节能型串联混合动力拖拉机的电动机高效运行控制系统如图 3 所示,控制系统包括踏板 1、踏板位置传感器 2、通信总线 3、逻辑模糊控制器 4、电机控制器 5、牵引电动机 6、智能处理模块 7、变速器输出轴 8、转速传感器 9、转矩传感器 10、变速器 11、变速器输入轴 12、倒档位置传感器 13、4 档位置传感器 14、3 档位置传感器 15、2 档位置传感器 16、1 档位置传感器 17 和离合器 18。

[0039] 智能处理模块 7 采用寻优搜索算法对以期望牵引力为中心正负某范围牵引力内的电动机效率进行寻优或者采用针对电动机效率的实验并进行回归分析得到相关最高效率的分段函数,得到电动机效率最大时的期望输出转速连同期望转矩输入电动机控制器 ;智能处理模块 7 可分析期望牵引力下使电动机高效运行的行驶速度,以便得出电机高效运行下的参照输出转速 ;踏板位置传感器 2、档杆位置传感器(包括 1-4 档及倒档位置传感器)、逻辑模块控制器 4 和智能处理模块 7 之间采用 CAN 总线作为通信总线 3。

[0040] 逻辑模块控制器 4 包括模糊化算法模块、推理模块、解模糊模块。

[0041] 转速传感器采用磁电式转速传感器,安装于变速器输出轴旁边,通过间接测量的方法,测量行驶速度信号,并以此信号作为控制过程的反馈信号之一 ;转矩传感器采用金属电阻应变片转矩传感器,安装于变速器输出轴上,其弹性元件为转轴,转轴的应变可以引起应变片的电阻发生改变,从而可通过间接测量的方式得到负载牵引力信号,并以此信号作为控制过程的反馈信号之一 ;转速传感器和转矩传感器输出连接电动机控制器。

[0042] 踏板位置传感器采用磁阻式角度传感器,安装于踏板位置,提取瞬间油门踏板的位置信号,将其转化为电信号传递给控制模块,逻辑模糊控制器 4 和智能处理模块 7 凭此信号得出踏板开度变化大小和变化率大小 ;1 档位置传感器、2 档位置传感器、3 档位置传感器、4 档位置传感器和倒档位置传感器采用压电式传感器,贴于档杆导向框板各档位置槽内侧,当档杆进入该档位的槽内时,触碰挤压压电传感器,产生此时的档杆位置信号。

[0043] 三、节能型串联混合动力拖拉机的电动机高效运行控制方法

[0044] 节能型串联混合动力拖拉机的电动机高效运行控制方法的步骤如下 ;

[0045] (1) 通过踏板位置传感器和档杆位置传感器分别采集拖拉机油门踏板开度及档杆位置信号,并将信号通过 CAN 总线上传给逻辑模糊控制器和智能处理模块 ;

[0046] (2) 智能处理模块根据油门踏板开度及档杆位置信号求得期望牵引力、期望输出转矩 ;

[0047] (3) 根据期望输出转矩以电动机效率的数学模型为优化目标进行搜索寻优,得到电动机效率最大时的期望输出转速 ;

[0048] (4) 将期望输出转速、期望输出转矩输入电动机控制器,对电动机的运行进行控制。

[0049] 步骤(2)中是根据油门踏板开度大小占踏板最大开度的比例估算驾驶员期望输出转矩(此处期望转矩是指中央传动处转矩,可以理解为车轮处输出转矩需求;由于电动机的输出转矩于车轮后桥处输出转矩之间,在达到附着极限之前的差别为主减速器和变速器的速比作用,二者之间为定比关系。)。具体方法为,以某 180 马力拖拉机为例,设计其传动系统为:某 156kW 柴油机 / 发电机组作为其主能源,某 130kW 电动机作为其发动机,匹配蓄电池组或蓄电池 / 超级电容组作为辅助电源,以国内某品牌 180 马力拖拉机为装机对象,保留其车桥及车身部分,对其设计 4 档变速器进行功率变换。经理论分析计算和计算机仿真,此串联混合动力传动系满足原机性能需求。根据档杆位置信号判断当前工况所处档位,根据此档位下的有效牵引力范围,如图 4、图 5 所示,以其踏板最大开度对应该档位下的最大有效牵引力,以 $1/N$ 踏板开度对应其牵引力最小值,以中间的 $(N-1)/N$ 踏板开度范围对应其期望牵引力变化范围。如驾驶员踏板深度为 A (根据具体使用的踏板位置传感器得到),最大开度为 B , n 档位下的最大有效牵引力为 $F_{\max,n}$,此时驾驶员的期望牵引力大小可估算为:

$$F_{\text{want}} = \frac{B \cdot N}{A \cdot (N-1)} \cdot F_{\max,n}$$

根据当前传动比可以得到该期望牵引力下的期望输出转矩。

[0050] 步骤(3)中以牵引电动机效率的理论数学模型作为目标函数,对以期望牵引力为中心的 $\pm F$ kN(此处的 F 是需要综合具体使用机型电驱动系统配套电动机的特性和混合动力拖拉机的牵引特性考虑确定的,由于本发明所述为一般性方法,仅以 F 代替具体机型使用本发明所述优化方法的搜索半径)($F_{\text{want}} - F, F_{\text{want}} + F$)为范围采用智能区域搜索算法进行搜索寻优,得到搜索范围内使目标函数最优即电动机效率最高时的工作点($F_{\text{best}}, V_{\text{best}}$),其中 $F_{\text{best}} \in (F_{\text{want}} - F, F_{\text{want}} + F)$,以 V_{best} 代替 F_{want} 下的使牵引电动机最高效率运行的期望车速,如图 4、5 所示,可看出基于智能区域搜索算法的寻优方法结果可以提供接近最高效率的期望车速参考值。根据当前传动比得到该期望车速下的期望输出转速。智能区域搜索算法可使用鱼群算法、蚁群算法或粒子群算法等收敛速度快、鲁棒性好的区域性寻优算法,算法具体参数的设定根据使用对象进行匹配设定,由于这些智能区域搜索算法皆为现有的成熟算法,故不在此赘述。

[0051] 基于电机效率的数学模型,以直流电机为例来说明。

[0052] 电流与电动机产生的转矩成正比,引入铜耗常数 k_c ,铜耗为:

$$P_c = k_c T_c^2$$

[0054] 电动机的铁耗正比于磁场频率,磁场频率较高时会导致更多的磁化和消磁过程,将导致更多的磁滞损耗;还会导致更高的磁通量的变化率,因此也将增大由电磁感应产生的涡流。磁通量的变化率正比于转子的角速度,引入铁耗常数 k_i ,电动机的铁耗为:

$$P_i = k_i \omega_r$$

[0056] 由摩擦和风阻引起的功率损失 P_M 为:

$$P_M = T_f \omega_r + k_w \omega_r^3$$

[0058] 式中: T_f 为摩擦力矩 Nm, k_w 是相关于转子形状大小的常数。

[0059] 电机功率输出为： $P_{out} = \frac{T_L \omega_r}{9550}$ ，

[0060] 电机功率输入为： $P_{in} = P_{out} + P_c + P_i + P_M + C$ ，

[0061] 式中： C 为电动机的固有损失 kW。

[0062] 电动机效率为： $\eta_m = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{T_L \omega_r}{9550 [T \omega_r + k_c T_e^2 + (k_i + T_f) \omega_r + k_w \omega_r^3 + C]}$

[0063] 上式就是采用有刷直流电机时的寻优目标函数，即为所基于的电动机效率数学模型。其中的常数在针对不同机型时需要通过对电机的损耗实验进行标定。

[0064] 步骤(4)之后，在求得电动机效率最大时的期望输出转速，并输入电动机控制器进行控制，使得电动机运行在效率最大后，定时采集拖拉机油门踏板开度及档杆位置信号，保持 Q 秒一次对寻优过程的初始化判断，以保证在 Q 秒内复杂多变的外界工况下累积的牵引力变化导致的期望速度的累积差异得到纠正，提高实用精度。

[0065] 初始化的判断，通过逻辑模糊控制器根据踏板位置变化率以及档杆位置变化情况推测驾驶员意图，判断是否遇到负载牵引力突变工况，并根据驾驶员意图决定是否立刻重新对寻优过程进行初始化，根据采集相关传感器的信号重新进行寻优。逻辑模糊控制器的逻辑规则如下表 1 所示。

[0066] 表 1 模糊规则

		踏板开度变化率		
		小	中	大
踏板开度	小	Hold	Hold	Hold
	中	Hold	Init	Init
	大	Hold	Init	Init

[0068] 逻辑部分认为，当档杆位置发生变化时，负载牵引力发生突变，寻优过程需要进行初始化；档杆位置没有发生变化时，则根据表 1 所示的模糊规则进行初始化判断，如图 6 所示。

[0069] 表 1 中大、中、小，由于不同的踏板结构和行程的差异，无法做出具体的范围划分，现给出做出归一化处理后的范围，用模糊控制原理的隶属度函数表示其范围，具体如图 7 所示踏板开度变化率隶属度函数，如图 8 所示踏板开度隶属度函数。

[0070] 本拖拉机的电动机高效运行控制方法的第三步还可以采用以下方式实现：通过设计实验绘制不同档位下电动机的运行效率曲线，通过采集电机台架试验以及负载试验数据（如采集其运行点、等效率点，绘制等效率曲线）的方式得到一条平滑的曲线，使该曲线通过电机运行高效率曲线区域；采集曲线上的点，进行回归分析，拟合相关函数，以得到不同档位下的分段函数。采用这种针对电动机效率的实验并进行回归分析得到相关最高效率的分段函数，根据期望牵引力求的期望车速，根据当前传动比得到该期望车速下的期望输出转速。

[0071] 可以设计关于电动机运行效率的实验，以输入电功率和输出机械功率之间的关系作为实验目的。采用控制转矩的方法改变输出转速，寻找某一转矩下电机运行效率最高的转速（具体电机不同的调速方式不同）。以转矩范围为 $0 \sim 700\text{Nm}$ 的电动机为例，设定 10Nm 进行一次实验，进行 70 组上述实验，可以对这 70 组数据采用最小二乘法的原理进行回归

处理。具体拟合成何种函数需要根据哪种函数对这些实验结果(散点)的契合度更好,可以采用多项式函数、高斯函数以及傅立叶函数等。拟合的手段比较丰富,可以采用最小二乘法进行,也可以采用软件如 spss 和 matlab 等进行拟合。提供一种函数拟合方法:如使用 matlab 软件进行拟合,在 command 窗口键入 cftool 命令,将实验结果建立 m 文件,在工具箱中进行拟合。

[0072] 以某款 180 马力的采用串联混合动力传动系统的拖拉机为例来详细说明本拖拉机的电动机高效运行控制系统及控制方法。按照如图 1 所示的系统进行布置,传感器位置按照拖拉机的电动机高效运行控制系统中所述进行安装。

[0073] 驾驶员 A 驾驶该拖拉机进行犁耕作业,位于驾驶员脚踏板位置处的传感器通过采集某时间内的踏板开度得到关于踏板开度、踏板开度变化以及踏板开度变化率的信号:U、 ΔU 和 dU 。此时智能处理模块根据踏板开度信号 U 判断驾驶员的期望转矩 T_1 ,并根据此转矩对数学模型为优化目标进行寻优,得到其效率最大时的期望转速信号 n_1 ,并以此信号结合上述的期望转矩 T_1 通过总线输入电机控制器对电动机的运行进行控制。由于智能处理模块的寻优过程不是连续的,设定一个寻优初始化周期为 Q 秒,即为 Q 秒执行一次寻优,重新确定下一个 Q 秒内的期望转速。如本例中,如果第一个 Q 秒内没有发生工况突变的话,则在第一个 Q 秒内以 n_1 始终作为期望转速。在第二个 Q 秒内有期望转速 n_2 ,假设此时遇到坡耕地,拖拉机工况发生突变,驾驶员猛踩踏板,期望转矩发生较大改变,此时如果依然使用 n_2 作为期望转速的话将无法保证电动机的效率,因此此时需要立刻寻优过程初始化,重新确定期望转速;判断何时寻优初始化就需要依靠图 1 中所述的模糊控制模块,依靠踏板位置传感器发出的踏板开度变化及其变化率信号 ΔU 和 dU 信号以及档杆位置传感器发出的信号 H,如果档位改变则输出高电平,认为档杆位置改变即为驾驶员判断外界有功率突变,通过模糊控制器以及门限电路结合图 6 中的逻辑规则以及表 1 中的模糊规则综合判断是否需要寻优初始化,门限在于判断档杆位置信号 H 高低电平。如果需要则在第二个 Q 秒内以重新寻优的期望转速 n_2' 代替 n_2 输入电机控制器进行控制。

[0074] 寻优结果对某 4 前进档拖拉机的采用上述模式的寻优仿真结果如图 4、5 所示,图中星号表示拖拉机运行工况点,可以清楚地看到,其运行点均处于效率最高附近。

[0075] 最后所应说明的是:以上实施例仅用以说明而非限定本发明的技术方案,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解;依然可以对本发明进行修改或者等同替换,而不脱离本发明的精神和范围的任何修改或局部替换,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

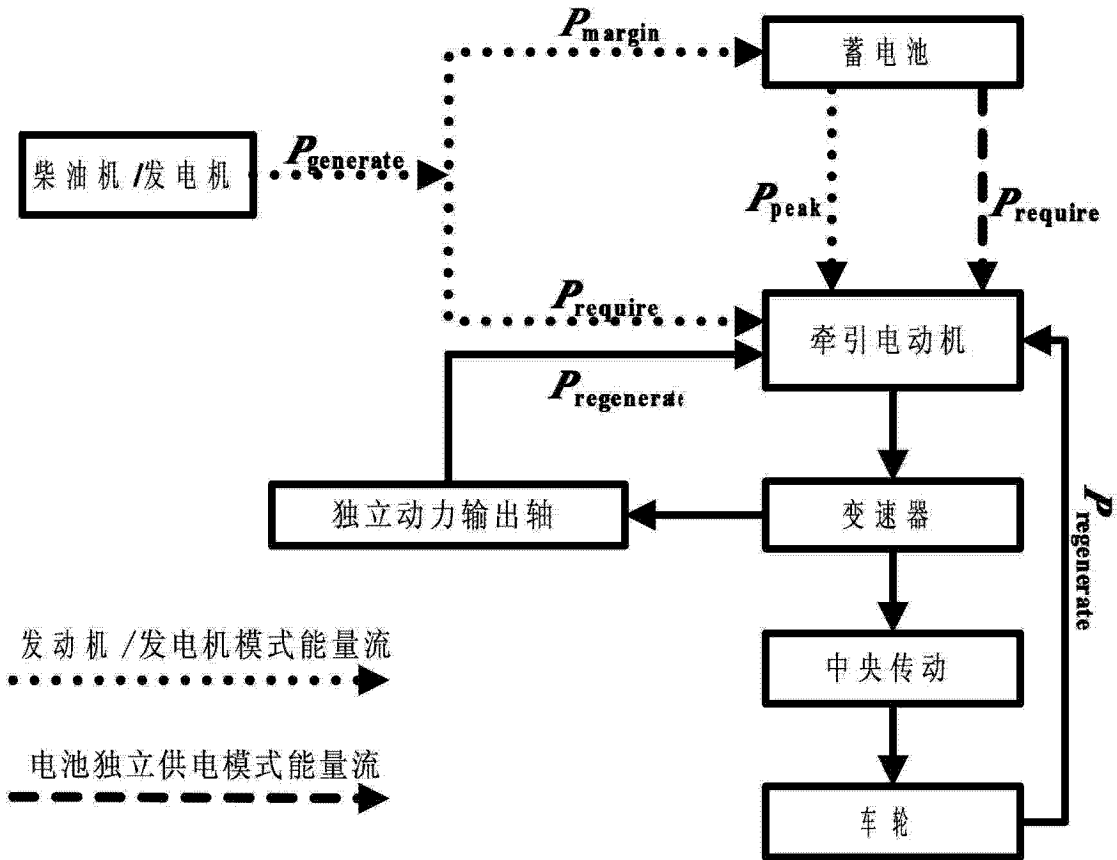


图 1

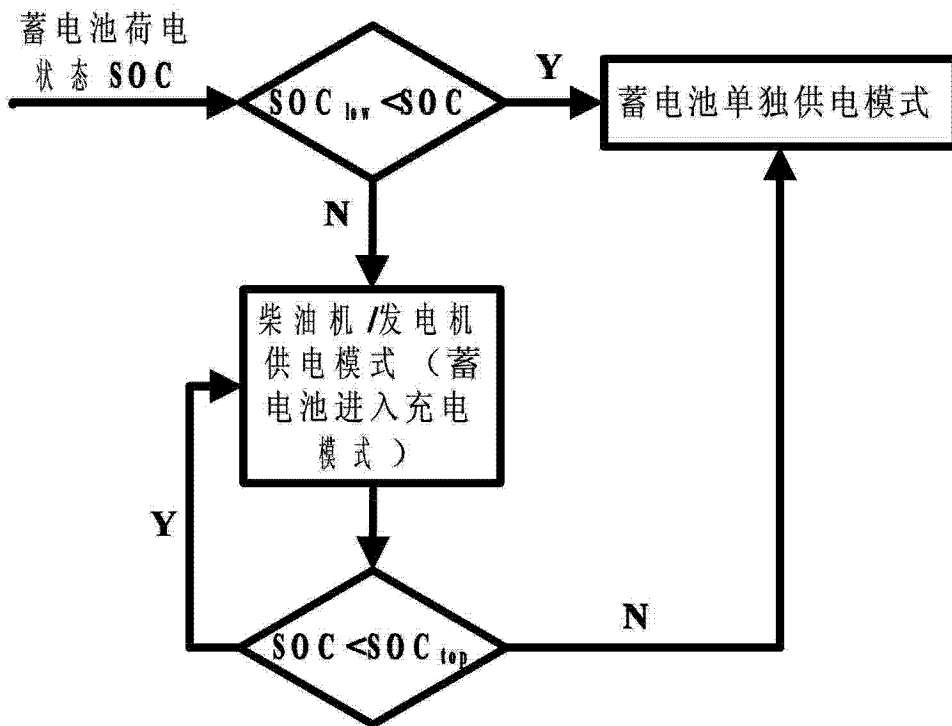


图 2

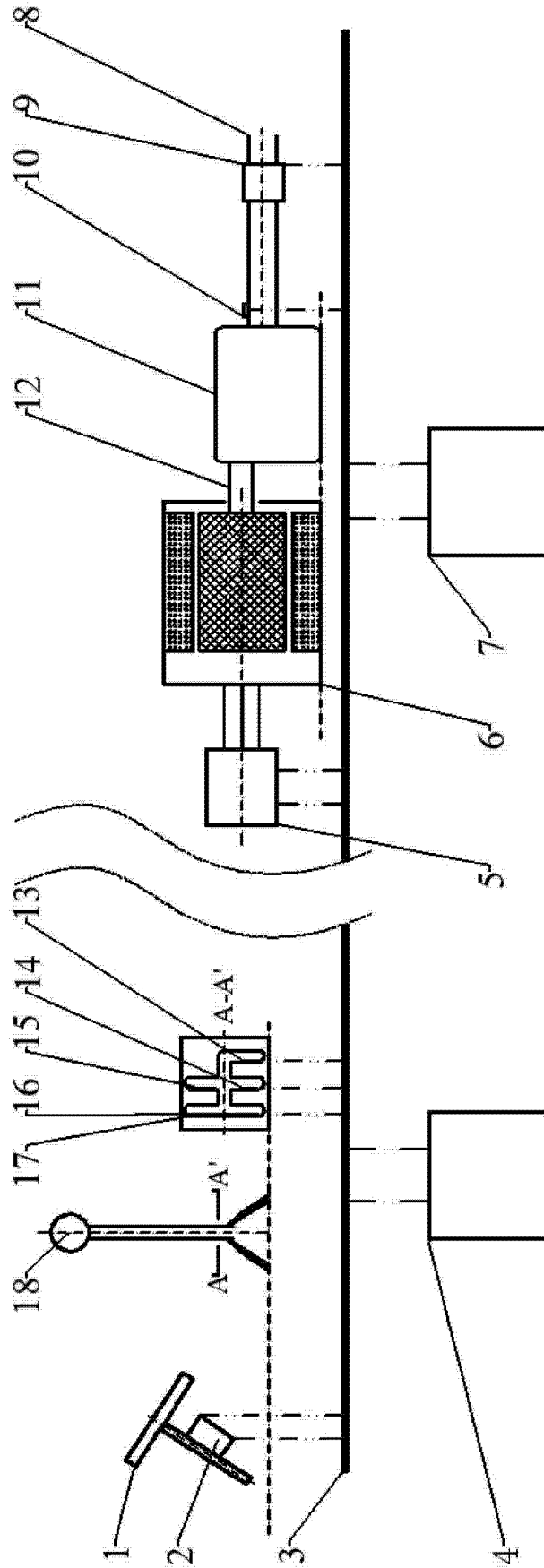


图 3

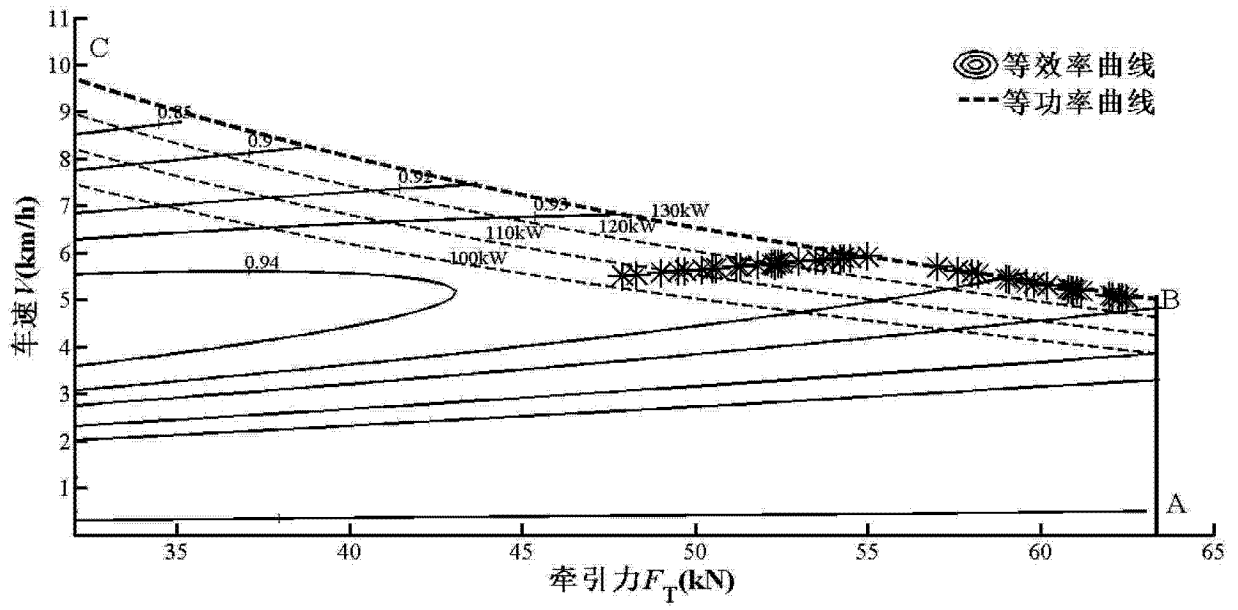


图 4

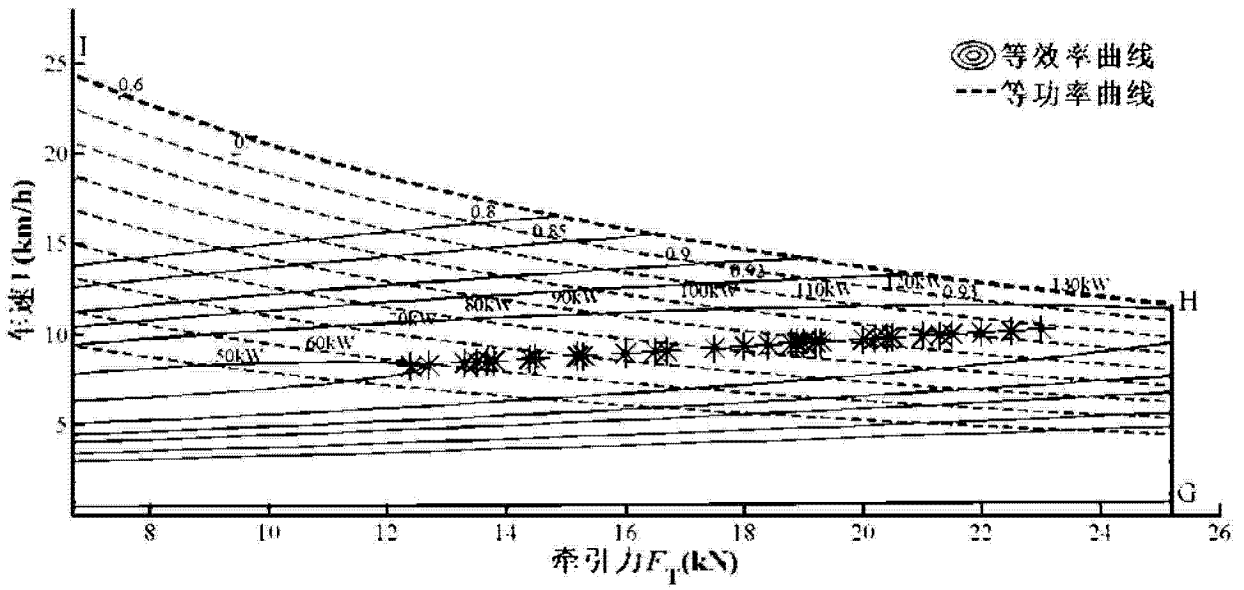


图 5

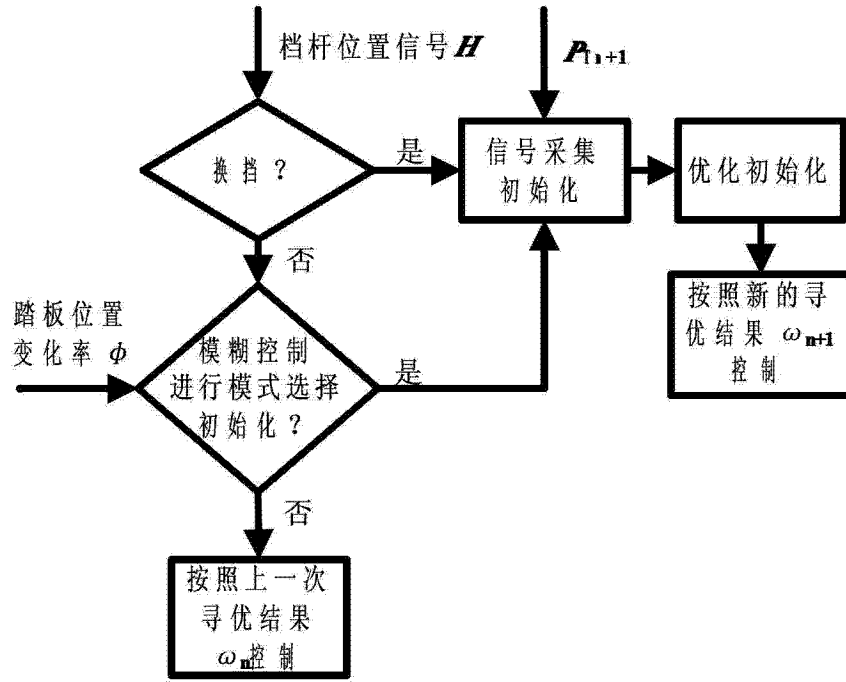


图 6

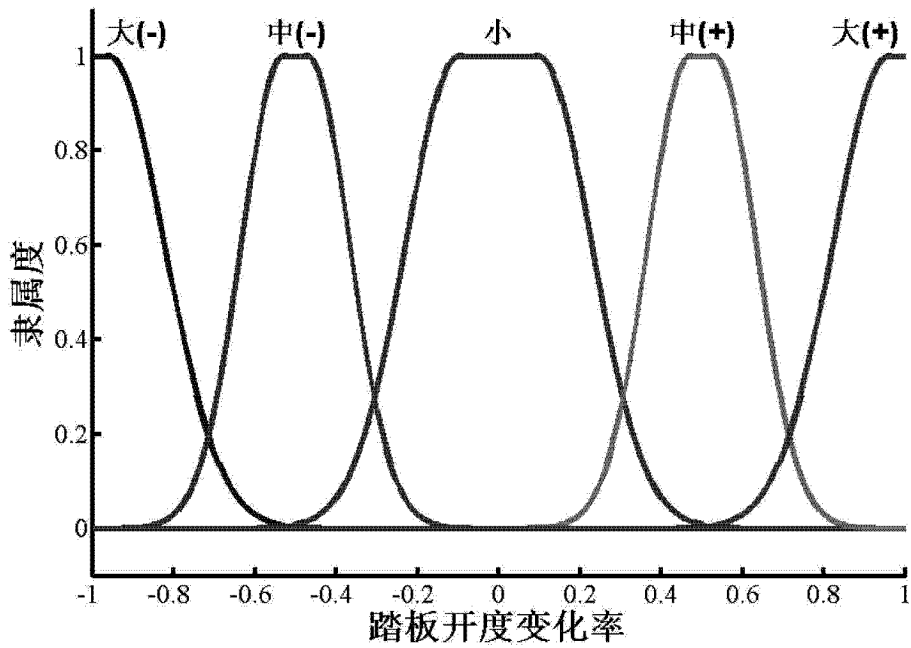


图 7

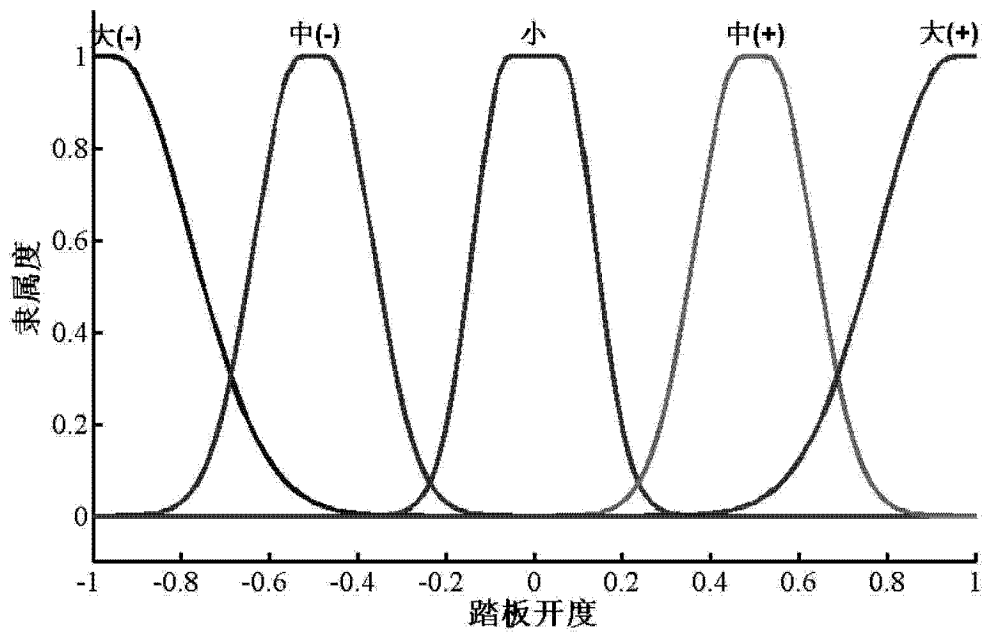


图 8