

本发明公开了一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法及系统，通过在汽车溃缩区内部安装可充气式气囊，并利用微型电子阀门动态调节气体流通速度，实现了气囊刚度的自适应调整；在高速碰撞场景下，系统快速建立高刚度支撑，限制车身过度变形，保障乘员生存空间；在低速碰撞场景下，系统维持较低刚度，使车身发生可控塑性变形以吸收动能，降低车辆结构损伤程度，有效解决了单一刚度无法适应多种碰撞工况的问题，显著提升了车辆在各类碰撞及侧翻风险下的综合安全性。

摘要附图

采集车辆运行时的纵向速度矢量、横向速度矢量、相对接近率以及路面附着系数



基于所述纵向速度矢量和横向速度矢量计算合成速度，并结合所述相对接近率确定时间至碰撞指标，进而计算侧翻风险概率和碰撞能量预估



根据所述侧翻风险概率和碰撞能量预估生成综合风险指数，并依据所述综合风险指数确定目标刚度曲线和对应的气体流量需求



依据所述气体流量需求规划微型电子阀门的开度序列，并根据预设的时间补偿因子调整充气起始时刻



驱动所述微型电子阀门按照开度序列向溃缩区内部的气囊注入气体，实时监测气囊内部压力并与目标刚度曲线进行比对反馈



在判定碰撞结束后，启动受控泄压流程释放气囊内部气体，直至残余压力降至安全阈值以下并锁定阀门

1. 一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法, 其特征在于, 包括:

采集车辆运行时的纵向速度矢量、横向速度矢量、相对接近率以及路面附着系数;

基于所述纵向速度矢量和横向速度矢量计算合成速度, 并结合所述相对接近率确定时间至碰撞指标, 进而计算侧翻风险概率和碰撞能量预估;

根据所述侧翻风险概率和碰撞能量预估生成综合风险指数, 并依据所述综合风险指数确定目标刚度曲线和对应的气体流量需求;

依据所述气体流量需求规划微型电子阀门的开度序列, 并根据预设的时间补偿因子调整充气起始时刻;

驱动所述微型电子阀门按照开度序列向溃缩区内部的气囊注入气体, 实时监测气囊内部压力并与目标刚度曲线进行比对反馈;

在判定碰撞结束后, 启动受控泄压流程释放气囊内部气体, 直至残余压力降至安全阈值以下并锁定阀门。

2. 根据权利要求 1 所述的一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法, 其特征在于, 所述采集车辆运行时的纵向速度矢量、横向速度矢量、相对接近率以及路面附着系数, 包括:

利用惯性测量单元和车轮转速信号解算出纵向速度矢量和横向速度矢量;

利用雷达回波数据计算当前距离与相对接近率;

结合轮胎滑移率和车身倾斜角估算当前路面的有效附着系数和

车辆侧倾角；

对所有传感器数据进行时间同步校正，消除偏置误差和随机噪声分量。

3. 根据权利要求 1 所述的一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法，其特征在于，所述基于所述纵向速度矢量和横向速度矢量计算合成速度，并结合所述相对接近率确定时间至碰撞指标，包括：

将纵向速度矢量和横向速度矢量进行矢量合成得到合成速度；

利用相对接近率计算所述时间至碰撞指标，并根据所述合成速度动态调整预警阈值；

基于所述合成速度和重心高度计算离心力矩与恢复力矩的比值，从而得出侧翻风险概率；

利用等效碰撞质量和相对碰撞速度计算碰撞能量预估，并将所述碰撞能量预估划分为轻微、中等和严重三个等级。

4. 根据权利要求 1 所述的一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法，其特征在于，所述根据所述侧翻风险概率和碰撞能量预估生成综合风险指数，包括：

将时间至碰撞指标的倒数、侧翻风险概率以及归一化后的碰撞能量预估进行加权求和得到综合风险指数；

从预设库中调取与碰撞能量预估等级对应的目标刚度曲线；

基于理想气体状态方程和连续性方程，利用目标刚度曲线反推出每一时刻所需的气体流量需求；

利用孔口流量公式的逆函数将气体流量需求映射为微型电子阀

门的开度序列。

5. 根据权利要求 1 所述的一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法, 其特征在于, 所述依据所述气体流量需求规划微型电子阀门的开度序列, 包括:

根据管路长度和气体压缩性计算时间补偿因子;

用预测的碰撞发生时刻减去所述时间补偿因子得到调整后的充气起始时刻;

在充气过程中, 利用比例积分微分控制思想比较目标压力与实际压力的误差;

根据所述误差动态调整微型电子阀门的开度增量, 以维持目标刚度曲线的变化趋势。

6. 根据权利要求 1 所述的一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法, 其特征在于, 所述驱动所述微型电子阀门按照开度序列向溃缩区内部的气囊注入气体, 包括:

控制高压气瓶电磁阀开启, 释放高压气体进入输气管路并流入溃缩区内部的气囊;

利用安装在溃缩区车架上的应变片实时监测气囊对车身的反作用力和车架形变量;

根据所述反作用力和车架形变量推算气囊的实测刚度, 并将其与目标刚度曲线进行比较;

若所述实测刚度低于目标刚度曲线, 则增大微型电子阀门的开度; 若高于目标刚度曲线, 则减小微型电子阀门的开度。

7. 根据权利要求 1 所述的一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法, 其特征在于, 所述在判定碰撞结束后, 启动受控泄压流程释放气囊内部气体, 包括:

监测车身加速度和位移变化率, 当车身加速度小于加速度阈值且位移变化率小于位移变化率阈值时判定碰撞结束;

根据车内是否有人员被困的情况动态调整受控泄压流程的泄压速率;

控制泄压阀门按指数衰减规律逐步释放气体;

当气囊内部残余压力降至安全阈值以下时, 锁定泄压阀门防止异物进入。

8. 根据权利要求 1 所述的一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

将所述合成速度、时间至碰撞指标、侧翻风险概率、目标刚度曲线、实际压力曲线、微型电子阀门开度序列以及碰撞持续时间记录到非易失性存储器中。

9. 根据权利要求 1 所述的一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法, 其特征在于, 所述溃缩区内部的气囊安装在车架纵梁区域或发动机舱内部空间, 所述微型电子阀门加装于所述气囊上, 所述微型电子阀门能够连续调节开度以改变气囊内部气体的瞬时流入速度。

10. 一种用于实现如权利要求 1-9 任意一项所述方法的速度自适应预碰撞充气式侧翻防护系统, 其特征在于, 包括:

多维环境感知模块, 用于采集车辆运行时的纵向速度矢量、横向

速度矢量、相对接近率以及路面附着系数；

风险评估与策略规划模块,用于基于所述纵向速度矢量和横向速度矢量计算合成速度,并结合所述相对接近率确定时间至碰撞指标,进而计算侧翻风险概率和碰撞能量预估,生成综合风险指数,确定目标刚度曲线和对应的气体流量需求,规划微型电子阀门的开度序列；

执行控制模块,包括高压气源、输气管路、微型电子阀门以及溃缩区内部的气囊,所述溃缩区内部的气囊安装在车架纵梁区域或发动机舱内部空间,所述微型电子阀门加装于所述气囊上,所述执行控制模块用于驱动所述微型电子阀门按照所述开度序列向溃缩区内部的气囊注入气体,并实时监测气囊内部压力；

状态维持与数据记录模块,用于在判定碰撞结束后启动受控泄压流程,记录关键事件数据并进行系统自检与复位。

一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法及系统

技术领域

本发明涉及汽车技术领域，具体是涉及一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法及系统。

背景技术

现有技术中的汽车安全气囊主要安装在乘员舱内，用于碰撞发生后对乘员进行约束保护。然而，对于发生在车辆溃缩区（如车架纵梁、发动机舱内部）的碰撞，传统气囊无法介入车身结构的变形控制。这导致在高速碰撞时，溃缩区刚度不足，车身过度侵入乘员舱，威胁生存空间；而在低速碰撞时，固定刚度的结构吸能特性单一，往往造成不必要的严重结构损伤和高昂维修成本。此外，现有侧翻防护系统缺乏根据车速和碰撞严重程度动态调整气囊刚度的能力，无法兼顾不同速度下的生存率与损伤最小化需求。

发明内容

本发明旨在提供一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法及系统，有效解决了单一刚度无法适应多种碰撞工况的问题，显著提升了车辆在各种碰撞及侧翻风险下的综合安全性。

为达到以上目的，本发明采用的技术方案为：一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法，包括：

采集车辆运行时的纵向速度矢量、横向速度矢量、相对接近率以及路面附着系数；

基于所述纵向速度矢量和横向速度矢量计算合成速度，并结合所述相对接近率确定时间至碰撞指标，进而计算侧翻风险概率和碰撞能量预估；

根据所述侧翻风险概率和碰撞能量预估生成综合风险指数,并依据所述综合风险指数确定目标刚度曲线和对应的气体流量需求;

依据所述气体流量需求规划微型电子阀门的开度序列,并根据预设的时间补偿因子调整充气起始时刻;

驱动所述微型电子阀门按照开度序列向溃缩区内部的气囊注入气体,实时监测气囊内部压力并与目标刚度曲线进行比对反馈;

在判定碰撞结束后,启动受控泄压流程释放气囊内部气体,直至残余压力降至安全阈值以下并锁定阀门。

优选的,所述采集车辆运行时的纵向速度矢量、横向速度矢量、相对接近率以及路面附着系数,包括:

利用惯性测量单元和车轮转速信号解算出纵向速度矢量和横向速度矢量;

利用雷达回波数据计算当前距离与相对接近率;

结合轮胎滑移率和车身倾斜角估算当前路面的有效附着系数和车辆侧倾角;

对所有传感器数据进行时间同步校正,消除偏置误差和随机噪声分量。

优选的,所述基于所述纵向速度矢量和横向速度矢量计算合成速度,并结合所述相对接近率确定时间至碰撞指标,包括:

将纵向速度矢量和横向速度矢量进行矢量合成得到合成速度;

利用相对接近率计算所述时间至碰撞指标,并根据所述合成速度动态调整预警阈值;

基于所述合成速度和重心高度计算离心力矩与恢复力矩的比值，从而得出侧翻风险概率；

利用等效碰撞质量和相对碰撞速度计算碰撞能量预估，并将所述碰撞能量预估划分为轻微、中等和严重三个等级。

优选的，所述根据所述侧翻风险概率和碰撞能量预估生成综合风险指数，包括：

将时间至碰撞指标的倒数、侧翻风险概率以及归一化后的碰撞能量预估进行加权求和得到综合风险指数；

从预设库中调取与碰撞能量预估等级对应的目标刚度曲线；

基于理想气体状态方程和连续性方程，利用目标刚度曲线反推出每一时刻所需的气体流量需求；

利用孔口流量公式的逆函数将气体流量需求映射为微型电子阀门的开度序列。

优选的，所述依据所述气体流量需求规划微型电子阀门的开度序列，包括：

根据管路长度和气体压缩性计算时间补偿因子；

用预测的碰撞发生时刻减去所述时间补偿因子得到调整后的充气起始时刻；

在充气过程中，利用比例积分微分控制思想比较目标压力与实际压力的误差；

根据所述误差动态调整微型电子阀门的开度增量，以维持目标刚度曲线的变化趋势。

优选的,所述驱动所述微型电子阀门按照开度序列向溃缩区内部的气囊注入气体,包括:

控制高压气瓶电磁阀开启,释放高压气体进入输气管路并流入溃缩区内部的气囊;

利用安装在溃缩区车架上的应变片实时监测气囊对车身的反作用力和车架形变量;

根据所述反作用力和车架形变量推算气囊的实测刚度,并将其与目标刚度曲线进行比较;

若所述实测刚度低于目标刚度曲线,则增大微型电子阀门的开度;若高于目标刚度曲线,则减小微型电子阀门的开度。

优选的,所述在判定碰撞结束后,启动受控泄压流程释放气囊内部气体,包括:

监测车身加速度和位移变化率,当车身加速度小于加速度阈值且位移变化率小于位移变化率阈值时判定碰撞结束;

根据车内是否有人被困的情况动态调整受控泄压流程的泄压速率;

控制泄压阀门按指数衰减规律逐步释放气体;

当气囊内部残余压力降至安全阈值以下时,锁定泄压阀门防止异物进入。

优选的,所述方法还包括:

将所述合成速度、时间至碰撞指标、侧翻风险概率、目标刚度曲线、实际压力曲线、微型电子阀门开度序列以及碰撞持续时间记录到

非易失性存储器中。

优选的，所述溃缩区内部的气囊安装在车架纵梁区域或发动机舱内部空间，所述微型电子阀门加装于所述气囊上，所述微型电子阀门能够连续调节开度以改变气囊内部气体的瞬时流入速度。

另一方面，本发明提出一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护系统，包括：

多维环境感知模块，用于采集车辆运行时的纵向速度矢量、横向速度矢量、相对接近率以及路面附着系数；

风险评估与策略规划模块，用于基于所述纵向速度矢量和横向速度矢量计算合成速度，并结合所述相对接近率确定时间至碰撞指标，进而计算侧翻风险概率和碰撞能量预估，生成综合风险指数，确定目标刚度曲线和对应的气体流量需求，规划微型电子阀门的开度序列；

执行控制模块，包括高压气源、输气管路、微型电子阀门以及溃缩区内部的气囊，所述溃缩区内部的气囊安装在车架纵梁区域或发动机舱内部空间，所述微型电子阀门加装于所述气囊上，所述执行控制模块用于驱动所述微型电子阀门按照所述开度序列向溃缩区内部的气囊注入气体，并实时监测气囊内部压力；

状态维持与数据记录模块，用于在判定碰撞结束后启动受控泄压流程，记录关键事件数据并进行系统自检与复位。

与现有技术相比，本发明的有益效果在于：

本发明通过在汽车溃缩区内部安装可充气式气囊，并利用微型电子阀门动态调节气体流通速度，实现了气囊刚度的自适应调整；在高

速碰撞场景下，系统快速建立高刚度支撑，限制车身过度变形，保障乘员生存空间；在低速碰撞场景下，系统维持较低刚度，使车身发生可控塑性变形以吸收动能，降低车辆结构损伤程度，有效解决了单一刚度无法适应多种碰撞工况的问题，显著提升了车辆在各类碰撞及侧翻风险下的综合安全性。

附图说明

图 1 为本发明速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法的流程图；

图 2 为本发明速度自适应预碰撞充气式侧翻防护系统的框图。

具体实施方式

以下描述用于揭露本发明以使本领域技术人员能够实现本发明。以下描述中的优选实施例只作为举例，本领域技术人员可以想到其他显而易见的变型。

如图 1 所示，本发明提出一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法，核心在于将传统的安全气囊概念从乘员舱内部延伸至汽车溃缩区内部，即车架纵梁区域及发动机舱内部空间。通过主动干预车辆结构本身的力学响应特性，实现对碰撞能量耗散过程的动态调控。利用微型电子阀门对气囊内部气体流通进行毫秒级的动态调节，从而改变气囊内部的瞬时刚度，使其能够根据预估的碰撞严重程度自动匹配最优的吸能曲线。

在高速度碰撞场景下，系统倾向于快速建立高刚度支撑以限制车身过度变形，保障乘员生存空间；而在较低速度碰撞场景下，系统则允许气囊缓慢充气并维持较低刚度，使车身结构发生可控的塑性变形

以吸收动能。

本发明采用基于微型电子阀门的动态调节，能够根据控制信号连续调节开度，其开度变化直接关联到气囊内部压力的上升速率。当车辆处于正常行驶状态时，这些微型电子阀门保持关闭或微开状态，确保气囊处于非激活的松弛状态，不影响车辆的日常操控性能。一旦传感器检测到潜在的侧翻风险或碰撞前兆，系统立即启动预充气程序，此时阀门的开度开始根据实时计算出的碰撞等级进行动态调整。

这种调整不仅涉及充气量的多少，更涉及气体流速的快慢，进而决定了气囊刚度的建立速度。在高速碰撞瞬间，阀门迅速全开或保持大孔径，允许大量高压气体在短时间内涌入气囊，使其迅速膨胀并具备极高的抵抗变形的能力；而在低速碰撞或轻微剐蹭场景中，阀门则保持较小的开度，限制气体流入速度，使气囊呈现软性缓冲特性，避免刚性冲击对车辆结构造成二次损伤。

本实施例中的速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法，具体包括：

采集车辆运行时的纵向速度矢量、横向速度矢量、相对接近率以及路面附着系数；具体包括：利用惯性测量单元和车轮转速信号解算出纵向速度矢量和横向速度矢量；利用雷达回波数据计算当前距离与相对接近率；结合轮胎滑移率和车身倾斜角估算当前路面的有效附着系数和车辆侧倾角；对所有传感器数据进行时间同步校正，消除偏置误差和随机噪声分量。

通过融合惯性测量单元、车轮转速、雷达回波及轮胎滑移率等多

源数据，本方案实现了对车辆运动状态与路面环境的高精度感知。利用时间同步校正消除偏置误差和随机噪声分量，确保了纵向速度、横向速度及相对接近率等关键参数的实时准确性。这种多维数据的精确解算与清洗，为后续碰撞风险预测提供了可靠依据，有效避免了因传感器数据不同步或漂移导致的误判，从而显著提升了系统在复杂工况下对侧翻风险和碰撞严重度的评估精度，保障了气囊充气策略的及时性与有效性。

基于纵向速度矢量和横向速度矢量计算合成速度，并结合相对接近率确定时间至碰撞指标，进而计算侧翻风险概率和碰撞能量预估；具体包括：将纵向速度矢量和横向速度矢量进行矢量合成得到合成速度；利用相对接近率计算时间至碰撞指标，并根据合成速度动态调整预警阈值；基于合成速度和重心高度计算离心力矩与恢复力矩的比值，从而得出侧翻风险概率；利用等效碰撞质量和相对碰撞速度计算碰撞能量预估，并将碰撞能量预估划分为轻微、中等和严重三个等级。

通过矢量合成获取真实行驶速度，结合动态预警阈值精准计算时间至碰撞指标，有效解决了单一速度参数在复杂路况下预警滞后的问题。基于离心力矩与恢复力矩比值的侧翻风险概率计算，实现了对车辆姿态稳定性的量化评估，显著提升了侧翻预判的灵敏度。将碰撞能量划分为轻微、中等和严重三个等级，为系统后续自适应调整气囊刚度提供了明确的分级依据，确保在高速碰撞时迅速建立高支撑以保障生存空间，而在低速碰撞时维持低刚度以减少车身损伤，实现了防护策略的精细化匹配。

根据侧翻风险概率和碰撞能量预估生成综合风险指数,并依据综合风险指数确定目标刚度曲线和对应的气体流量需求;具体包括:将时间至碰撞指标的倒数、侧翻风险概率以及归一化后的碰撞能量预估进行加权求和得到综合风险指数;从预设库中调取与碰撞能量预估等级对应的目标刚度曲线;基于理想气体状态方程和连续性方程,利用目标刚度曲线反推出每一时刻所需的气体流量需求;利用孔口流量公式的逆函数将气体流量需求映射为微型电子阀门的开度序列。

通过加权融合时间至碰撞指标、侧翻风险概率及碰撞能量,构建了多维度的综合风险指数,实现了对碰撞态势的全局量化评估。基于此指数调取匹配的目标刚度曲线,确保了气囊响应特性与碰撞严重程度高度契合。利用气体状态方程和孔口流量公式逆解算出的开度序列,将抽象的刚度需求转化为精确的阀门控制指令,实现了从风险感知到物理执行的无缝衔接。

依据气体流量需求规划微型电子阀门的开度序列,并根据预设的时间补偿因子调整充气起始时刻;具体包括:根据管路长度和气体压缩性计算时间补偿因子;用预测的碰撞发生时刻减去时间补偿因子得到调整后的充气起始时刻;在充气过程中,利用比例积分微分控制思想比较目标压力与实际压力的误差;根据误差动态调整微型电子阀门的开度增量,以维持目标刚度曲线的变化趋势。

通过引入时间补偿因子,精准抵消了气体在管路传输及压缩过程中的滞后效应,确保气囊充气动作与预测碰撞时刻完美同步,杜绝了因响应延迟导致的防护失效。结合比例积分微分控制思想实时修正阀

门开度，有效克服了气压波动和管路阻力变化带来的干扰，使气囊内部压力能够严格跟踪预设的目标刚度曲线。这种前馈补偿与反馈调节相结合的机制，实现了充气过程的平滑过渡与高精度动态控制，保证了气囊在极短时间内建立符合预期的支撑刚度，显著提升了侧翻防护的可靠性和对乘员的保护效果。

驱动微型电子阀门按照开度序列向溃缩区内部的气囊注入气体，实时监测气囊内部压力并与目标刚度曲线进行比对反馈；具体包括：控制高压气瓶电磁阀开启，释放高压气体进入输气管路并流入溃缩区内部的气囊；利用安装在溃缩区车架上的应变片实时监测气囊对车身的反作用力和车架形变量；根据反作用力和车架形变量推算气囊的实测刚度，并将其与目标刚度曲线进行比较；若实测刚度低于目标刚度曲线，则增大微型电子阀门的开度；若高于目标刚度曲线，则减小微型电子阀门的开度。

溃缩区内部的气囊安装在车架纵梁区域或发动机舱内部空间，微型电子阀门加装于气囊上，微型电子阀门能够连续调节开度以改变气囊内部气体的瞬时流入速度。

通过实时监测车架应变与反作用力，构建了气囊实测刚度的闭环反馈机制，实现了对充气过程的动态精准修正。利用微型电子阀门的连续调节能力，系统能够即时消除因气体流动特性变化或外部干扰导致的刚度偏差，确保气囊在碰撞冲击下严格遵循预设的目标刚度曲线。

在判定碰撞结束后，启动受控泄压流程释放气囊内部气体，直至

残余压力降至安全阈值以下并锁定阀门；具体包括：监测车身加速度和位移变化率，当车身加速度小于加速度阈值且位移变化率小于位移变化率阈值时判定碰撞结束；根据车内是否有人员被困的情况动态调整受控泄压流程的泄压速率；控制泄压阀门按指数衰减规律逐步释放气体；当气囊内部残余压力降至安全阈值以下时，锁定泄压阀门防止异物进入。

通过多维参数（加速度与位移变化率）判定碰撞结束时机，避免了过早泄压导致救援通道受阻或过晚泄压影响后续操作。引入基于人员被困状态的动态泄压速率策略，实现了先救命后救援的自适应逻辑：在确保人员安全的前提下快速释放压力以辅助救援，或在确认无风险时平稳泄压。指数衰减式泄压有效防止了气囊瞬间回弹产生的二次冲击或气流紊乱，而残余压力锁定机制则彻底杜绝了异物侵入和气体泄漏隐患，显著提升了事故后的车辆安全性及救援效率。

进一步的，本方法还包括：将合成速度、时间至碰撞指标、侧翻风险概率、目标刚度曲线、实际压力曲线、微型电子阀门开度序列以及碰撞持续时间记录到非易失性存储器中。

通过全维度关键数据（运动状态、控制指令及响应曲线）的完整记录，构建了高保真的事故档案。这不仅为碰撞机理分析、气囊算法迭代优化及系统故障溯源提供了详实的实证依据，还满足了法律法规对事故数据记录的合规性要求。

另一方面，本发明提出一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护系统，如图 2 所示，包括：

多维环境感知模块,用于采集车辆运行时的纵向速度矢量、横向速度矢量、相对接近率以及路面附着系数;

风险评估与策略规划模块,用于基于所述纵向速度矢量和横向速度矢量计算合成速度,并结合所述相对接近率确定时间至碰撞指标,进而计算侧翻风险概率和碰撞能量预估,生成综合风险指数,确定目标刚度曲线和对应的气体流量需求,规划微型电子阀门的开度序列;

执行控制模块,包括高压气源、输气管路、微型电子阀门以及溃缩区内部的气囊,所述溃缩区内部的气囊安装在车架纵梁区域或发动机舱内部空间,所述微型电子阀门加装于所述气囊上,所述执行控制模块用于驱动所述微型电子阀门按照所述开度序列向溃缩区内部的气囊注入气体,并实时监测气囊内部压力;

状态维持与数据记录模块,用于在判定碰撞结束后启动受控泄压流程,记录关键事件数据并进行系统自检与复位。

进一步的,上述系统中的各模块在执行时还用于实现上述一种速度自适应预碰撞充气式侧翻防护方法的其他步骤,如下:

步骤一: 多维环境感知与初始状态数据采集

本步骤聚焦于对车辆运行环境的全面感知,这是后续所有决策的基础。系统通过部署在车辆前部、侧方及底盘的多源传感器网络,实时采集车辆的速度矢量、加速度分量、路面摩擦系数以及周围障碍物的相对运动信息,这些原始数据构成了系统判断潜在风险的输入端。

传感器阵列包括毫米波雷达、激光雷达、高清摄像头以及安装在车架关键节点的应变片和加速度计,它们协同工作,形成一个立体的

感知场域。在车辆行驶过程中，这些数据以高频次被同步采样，确保系统能够捕捉到瞬时的速度变化和微小的姿态偏移。

步骤 1.1：车辆纵向速度与横向速度矢量的解算

在采集到车轮转速信号和惯性测量单元（IMU）的原始数据后，首先需要解算出车辆当前的纵向速度 v_x 和横向速度 v_y 。这两个速度分量是判断碰撞类型和严重程度的首要依据。系统利用卡尔曼滤波算法对传感器数据进行融合处理，消除噪声干扰，得到平滑的速度矢量。解算公式如下：

$$v_{total} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} ;$$

其中， v_{total} 表示车辆的合成速度大小， v_x 为沿车身纵轴方向的线速度， v_y 为沿车身横轴方向的线速度。该公式表明，只有当合成速度达到一定阈值时，系统才会判定存在较高的碰撞风险。若 v_{total} 低于预设的安全阈值 v_{safe} ，系统则维持待机状态，不触发任何预警动作。此步骤输出的速度矢量将作为后续步骤中计算相对速度和碰撞能量的基础输入。

步骤 1.2：障碍物相对距离与接近率的实时测定

基于雷达和激光雷达回波数据，系统实时计算前方或侧方障碍物与车辆之间的直线距离 d 以及两者之间的相对接近率 $\dot{d}$ 。接近率定义为距离随时间的变化率，其数值直接反映了碰撞的紧迫程度。计算公式为：

$$\dot{d} = \frac{d(t) - d(t - \Delta t)}{\Delta t} ;$$

其中， $d(t)$ 为当前时刻 t 的距离， $d(t - \Delta t)$ 为上一采样周期 $t - \Delta t$ 的距离， Δt 为采样时间间隔。该公式直观地描述了物体靠近车辆的速度。若 $\dot{d}$ 为正值且数值较大，说明障碍物正在快速逼近，系统需立即提高警戒级别。此步骤测定的接近率 $\dot{d}$ 将直接传递给步骤二，用于修正碰撞预测模型中的时间参数。

步骤 1.3：路面附着系数与车辆姿态角的联合估算

除了速度和距离，路面的摩擦特性以及车辆当前的姿态角也是决定碰撞后果的关键因素。系统结合轮胎滑移率数据和车身倾斜角传感器，估算当前路面的附着系数 μ 以及车辆的侧倾角 ϕ 。路面附着系数直接影响车辆在紧急避让时的最大减速度和转向稳定性，而侧倾角则预示着侧翻的风险等级。估算过程基于以下力学平衡方程：

$$\mu_{eff} = \frac{a_{lat}}{g \cdot \cos(\theta)};$$

其中， a_{lat} 为实测的横向加速度， g 为标准重力加速度， θ 为车身相对于水平面的倾斜角。该公式通过横向加速度反推路面提供的最大摩擦力，从而得出有效的附着系数 μ_{eff} 。此步骤得出的附着系数和姿态角将作为步骤三中判断车辆是否具备稳定性的依据，防止在低附着路面上误判碰撞风险。

步骤 1.4：传感器数据的时间同步与误差校正

由于不同传感器的采样频率和数据传输延迟存在差异，必须对所有采集到的数据进行时间对齐和误差校正，以保证后续计算的准确性。系统采用统一的时间戳机制，将所有数据映射到同一时间基准 T_0 上。对于存在漂移的传感器数据，利用历史校准数据进行补偿。校正

后的数据流满足以下关系：

$$D_{corrected}(t) = D_{raw}(t) - E_{bias}(t) - E_{noise}(t);$$

其中， $D_{corrected}(t)$ 为校正后的数据值， $D_{raw}(t)$ 为原始传感器读数， $E_{bias}(t)$ 为随时间变化的偏置误差， $E_{noise}(t)$ 为随机噪声分量。这一步骤确保了输入到后续逻辑的数据是纯净且同步的，避免了因数据不同步导致的误判。校正后的数据集将作为步骤二中碰撞模型构建的唯一输入源，保证模型的可靠性。

步骤二：碰撞风险预测与严重度初步评估

在完成了多维环境感知与数据采集之后，本步骤进入第二阶段，即对即将发生的碰撞进行风险预测和严重度初步评估。这一阶段的核心任务是将步骤一中获取的物理量转化为具有实际意义的风险指标。系统不再仅仅关注单一的速度或距离参数，而是将这些参数组合成一个综合的风险指数，用以判断碰撞的不可避免性以及可能造成的后果。

步骤 2.1：基于时间至碰撞（TTC）的动态阈值设定

利用步骤一中获得的相对接近率 $\dot{d}$ 和当前距离 d ，系统计算时间至碰撞（Time to Collision, TTC）指标。TTC 是衡量碰撞紧迫性的核心参数，定义为当前距离除以相对接近率。然而，考虑到不同车速下的反应时间差异，系统采用动态阈值策略来设定预警线。计算公式为：

$$TTC = \frac{d}{\max(\dot{d}, \epsilon)} ;$$

其中， ϵ 为一个极小的正数，用于防止分母为零的情况发生。系

统根据步骤一中的合成速度 v_{total} 动态调整预警阈值 $TTC_{threshold}$, 其关系式为:

$$TTC_{threshold} = T_{base} + k \cdot (v_{total} - v_{ref}) ;$$

其中, T_{base} 为基础预警时间, k 为速度敏感系数, v_{ref} 为参考速度。这意味着在高速行驶时, 系统会提前更早地发出预警, 因为高速下的制动距离更长。此步骤计算出的动态 TTC 值将作为步骤三中判定碰撞等级的第一依据。

步骤 2.2: 侧翻风险概率的数学建模

针对侧翻防护的特殊需求, 系统需要评估车辆在当前行驶状态下发生侧翻的概率。这涉及到车辆的重心高度、轮距宽度以及步骤一中的横向加速度和侧倾角。系统构建了一个侧翻风险函数, 该函数综合考虑了离心力矩与恢复力矩的比值。侧翻风险概率 P_{roll} 的计算公式如下:

$$P_{roll} = \sigma \left(\frac{m \cdot a_{lat} \cdot h_{cg}}{k \cdot w} - \beta \right) ;$$

其中, m 为车辆质量, h_{cg} 为重心高度, w 为轮距宽度, k 为悬挂刚度系数, β 为侧翻临界阈值, σ 为 Sigmoid 激活函数, 用于将线性输出映射到 0 到 1 的概率区间。该公式表明, 当横向加速度过大或重心过高时, 侧翻风险将显著增加。此步骤得出的概率值将指导步骤四中气囊布置的优先级, 高风险区域优先充气。

步骤 2.3: 碰撞能量预估与分类

基于步骤一中的速度数据和步骤二中的 TTC 指标, 系统进一步预

估碰撞瞬间可能释放的动能。碰撞能量 E_{impact} 是决定气囊充气强度的重要参数。系统采用简化的质点碰撞模型进行估算，公式为：

$$E_{impact} = \frac{1}{2} m_{eff} \cdot v_{rel}^2 ;$$

其中， m_{eff} 为等效碰撞质量， v_{rel} 为相对碰撞速度。系统根据计算出的 E_{impact} 将碰撞分为三个等级：轻微、中等和严重。分级标准基于预设的能量阈值 E_{low} 和 E_{high} 。若 $E_{impact} < E_{low}$ ，则为轻微碰撞；若 $E_{low} \leq E_{impact} < E_{high}$ ，则为中等碰撞；若 $E_{impact} \geq E_{high}$ ，则为严重碰撞。这一分类结果将直接决定步骤五中气囊刚度的目标值，不同的等级对应不同的刚度曲线。

步骤 2.4：综合风险指数的生成与权重分配

最后，系统将上述各个维度的评估结果整合为一个综合风险指数 R_{total} 。该指数不仅包含了碰撞的可能性，还涵盖了碰撞的严重性和侧翻风险。系统采用加权求和的方式生成该指数，公式为：

$$R_{total} = w_1 \cdot \frac{1}{TTC} + w_2 \cdot P_{roll} + w_3 \cdot \frac{E_{impact}}{E_{max}} ;$$

其中， w_1, w_2, w_3 分别为各项指标的权重系数，且满足 $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ 。 E_{max} 为系统设计的最大可承受碰撞能量。该公式体现了系统对不同风险因素的权衡，例如在高速直道碰撞中，TTC项的权重较高；而在弯道行驶中，侧翻风险项的权重则相应提升。生成的综合风险指数 R_{total} 将作为步骤三的最终输入，用于触发具体的防护动作。

步骤三：气囊充气策略的自适应规划

在完成碰撞风险预测与严重度评估后，本步骤进入第三阶段，即制定具体的气囊充气策略。这一阶段的任务是根据步骤二输出的综合风险指数 R_{total} 和碰撞等级，规划气囊的充气路径、气体流量以及阀门开度变化曲线。不同于传统的定速充气，本策略强调自适应和预碰撞，即在碰撞发生前的短暂窗口期内，预先调整气囊的状态，使其在碰撞瞬间达到最佳的保护效果。策略的制定必须兼顾保护乘员和减少车身损伤的双重目标，这需要精确控制气囊内部的压力变化率。

步骤 3.1：目标刚度曲线的确定

根据步骤二中确定的碰撞等级，系统从预设库中调取对应的目标刚度曲线 $K_{target}(t)$ 。该曲线描述了气囊在不同时间点应达到的刚度值。对于严重碰撞，目标曲线表现为快速上升的高刚度平台；对于轻微碰撞，目标曲线则表现为缓慢上升的低刚度斜坡。刚度曲线的数学表达形式为：

$$K_{target}(t) = K_{min} + (K_{max} - K_{min}) \cdot (1 - e^{-\lambda t});$$

其中， K_{min} 为最小刚度， K_{max} 为最大刚度， λ 为刚度增长速率常数，由碰撞等级决定。在严重碰撞模式下， λ 取值较大，使得曲线迅速攀升；在轻微碰撞模式下， λ 取值较小，曲线平缓上升。此步骤确定的目标刚度曲线将作为步骤四中阀门控制的基准参照。

步骤 3.2：气体流量需求的动态计算

为了实现步骤三中确定的目标刚度曲线，系统需要计算每一时刻所需的气体流量 $Q(t)$ 。气体流量与气囊内部压力 $P(t)$ 的变化率成正比，同时也受气囊体积 $V(t)$ 的影响。基于理想气体状态方程和连续

性方程，流量需求的计算公式为：

$$Q(t) = \frac{dV(t)}{dt} + V(t) \cdot \frac{1}{P(t)} \cdot \frac{dP(t)}{dt} ;$$

其中， $\frac{dV(t)}{dt}$ 为气囊体积膨胀速率， $\frac{dP(t)}{dt}$ 为压力变化率。系统利用步骤三的步骤 3.1 中的刚度曲线反推出所需的压力变化率，进而计算出精确的流量需求。该公式确保了气体供给与气囊膨胀及压力建立过程的完美匹配。计算出的流量需求 $Q(t)$ 将直接转化为步骤五中阀门开度的控制指令。

步骤 3.3：微型电子阀门开度规划

基于步骤三中计算出的气体流量需求 $Q(t)$ ，系统规划微型电子阀门的开度序列 $\alpha(t)$ 。阀门开度与流量之间呈非线性关系，通常遵循流体力学中的孔口流量公式。系统通过查表法或经验公式将流量需求映射为阀门开度，公式如下：

$$\alpha(t) = f^{-1} \left(\frac{Q(t)}{C_d \cdot A_{max} \cdot \sqrt{\frac{2(P_{source} - P(t))}{\rho}}} \right) ;$$

其中， f^{-1} 为流量特性的逆函数， C_d 为流量系数， A_{max} 为阀门最大通流面积， P_{source} 为气源压力， ρ 为气体密度。该公式建立了流量需求与阀门几何尺寸之间的定量联系。通过求解该方程，系统得出了每一时刻阀门应处的开度位置。此步骤生成的开度序列 $\alpha(t)$ 将作为步骤六中执行机构的直接控制信号。

步骤 3.4：充气时序的预加载调整

考虑到气体从气源传输到气囊存在延迟，以及阀门响应存在滞

后，系统必须在步骤三的末尾对充气时序进行预加载调整。这意味着实际的充气指令要提前于理论上的最佳时刻发出。系统引入一个时间补偿因子 Δt_{comp} ，该因子取决于管路长度和气体压缩性。调整后的充气起始时间 t_{start} 为：

$$t_{start} = t_{collision_predict} - \Delta t_{comp};$$

其中， $t_{collision_predict}$ 为步骤二中预测的碰撞发生时刻。通过减去补偿时间，系统确保在碰撞发生的瞬间，气囊已经建立了预期的刚度和压力。这一调整保证了整个防护动作的时效性，使得步骤四中的执行动作能够精准地在关键时刻发挥作用。

步骤四：气囊充气执行与压力动态调控

本实施例的第四阶段是具体的执行环节，即根据步骤三制定的策略，驱动微型电子阀门开启，向溃缩区内部的气囊注入气体，并实时监控和调整内部压力。这一阶段的核心挑战在于如何在极短的时间内实现高精度的压力控制，既要避免充气过快导致气囊爆裂或对车身造成刚性冲击，又要防止充气过慢导致无法提供足够的支撑。系统通过闭环反馈控制，不断修正阀门开度，确保气囊的实际状态始终跟踪步骤三设定的目标轨迹。

步骤 4.1：气源压力释放与初始充气

在接收到步骤三发出的充气指令后，系统首先控制高压气瓶的电磁阀开启，释放储存的高压气体进入输气管路。初始阶段，气体流速较快，气囊开始迅速膨胀。此时，微型电子阀门根据步骤三规划的初始开度 $\alpha(t_{start})$ 进行节流控制。初始充气阶段的压力 P_{init} 满足以下关

系：

$$P_{init}(t) = P_{source} \cdot \left(1 - e^{-\frac{C_v \cdot \alpha(t)}{V_{cavity}} \cdot t}\right);$$

其中， C_v 为阀门流量系数， V_{cavity} 为气囊初始容积。该公式描述了在恒定气源压力下，气囊内部压力随时间和阀门开度变化的规律。系统通过监测压力传感器反馈的 $P_{init}(t)$ ，验证初始充气是否符合预期。若偏差超出允许范围，系统将立即调整阀门开度。此步骤建立的初始压力状态将作为后续动态调节的基础。

步骤 4.2：基于压力反馈的阀门微调

随着充气的进行，气囊内部压力逐渐升高，与气源压力的压差减小，导致自然流量下降。为了维持步骤三设定的压力变化率 $\frac{dP}{dt}$ ，系统需要根据实时压力反馈对阀门开度进行微调。控制律采用比例积分微分（PID）控制思想，但简化为以下形式：

$$\Delta\alpha(t) = K_p \cdot (P_{target} - P_{actual}) + K_i \cdot \int (P_{target} - P_{actual}) dt$$

其中， K_p 和 K_i 为比例和积分增益系数， P_{target} 为步骤三设定的目标压力， P_{actual} 为传感器实测压力。该公式通过比较目标值与实测值的误差，动态调整阀门开度的增量 $\Delta\alpha(t)$ 。这种闭环控制确保了即使在实际工况中存在泄漏或温度变化，气囊也能维持在理想的压力水平。微调后的阀门开度将实时更新，继续指导气体的流入。

步骤 4.3：溃缩区刚度实时监测与反馈

除了压力监测，系统还通过安装在溃缩区车架上的应变片实时监测气囊对车身的支撑效果，即气囊的等效刚度。刚度监测值 K_{meas} 可

以通过应力-应变关系推算出来。系统将其与步骤三的目标刚度 K_{target} 进行比较，若发现偏差，则反向调整充气策略。监测公式为：

$$K_{meas}(t) = \frac{F_{reaction}(t)}{\delta(t)} ;$$

其中， $F_{reaction}(t)$ 为气囊对车架的反作用力， $\delta(t)$ 为车架的形变量。该公式直观地反映了气囊当前的支撑能力。如果 K_{meas} 低于 K_{target} ，说明气囊尚未完全展开或压力不足，系统需增大阀门开度；反之则减小开度。这一反馈回路确保了气囊刚度的建立过程与碰撞能量吸收的需求高度一致。

步骤 4.4：气体分流与局部压力均衡

在多气囊布局的情况下，系统还需要考虑气体在不同气囊腔室之间的分配，以确保整个溃缩区的压力均衡。步骤四的这一步骤负责控制各腔室间的连通阀门，实现压力的动态均衡。均衡过程遵循流体静力学原理，最终各腔室压力趋于一致。均衡后的压力 P_{eq} 可近似表示为：

$$P_{eq} = \frac{\sum(P_i \cdot V_i)}{\sum V_i} ;$$

其中， P_i 和 V_i 分别为第 i 个腔室的压力和体积。通过控制连通阀门的开度，系统可以加速或延缓这一均衡过程，以适应不同的碰撞形态。例如，在单侧碰撞时，系统可能暂时阻断另一侧的连通，集中气体供应。

步骤五：碰撞发生后的状态维持与泄压控制

当碰撞实际发生后，本实施例进入第五阶段，即状态维持与泄压

控制。这一阶段的任务是在碰撞持续期间保持气囊的支撑刚度，防止车身进一步侵入乘员舱；同时在碰撞结束或确认无需继续支撑时，迅速泄放气体，以便救援人员进入车内。这一阶段的控制逻辑同样基于步骤四的实时反馈，但侧重点从建立刚度转变为维持刚度和适时释放。系统必须准确判断碰撞的持续时间，避免过早泄压导致保护失效，也要避免过晚泄压阻碍救援。

步骤 5.1：碰撞持续时间判定与刚度维持

系统通过监测车身加速度和位移的变化率来判断碰撞是否仍在持续。只要检测到持续的减速度或位移增加，系统就判定碰撞正在进行，此时必须维持气囊的高刚度状态。维持策略要求阀门保持特定的开度，以补充因气体压缩或泄漏造成的压力损失。维持公式为：

$$\alpha_{maintain}(t) = \alpha_{peak} \cdot \left(1 - \eta \cdot \frac{t - t_{impact}}{T_{dur}} \right) ;$$

其中， α_{peak} 为峰值开度， η 为衰减系数， t_{impact} 为碰撞开始时刻， T_{dur} 为预计碰撞持续时间。该公式确保在碰撞过程中，气囊不会因压力波动而失去支撑力。系统实时计算当前的 $\alpha_{maintain}$ ，并据此调整阀门状态。这一过程确保了在整个碰撞事件期间，溃缩区始终处于受控的吸能状态。

步骤 5.2：碰撞结束信号识别

当车身加速度恢复到接近零，或者位移变化率显著降低时，系统判定碰撞已经结束。识别信号来源于步骤五中监测到的加速度和位移数据。系统采用滑动平均滤波来消除振动干扰，确保信号的准确性。识别条件为：

$$|a(t)| < a_{threshold} \quad \text{AND} \quad |\dot{\delta}(t)| < \delta_{rate_threshold} ;$$

其中, $a_{threshold}$ 为加速度阈值, $\delta_{rate_threshold}$ 为位移变化率阈值。只有当这两个条件同时满足并持续一定时间后, 系统才认为碰撞已结束。这一判断是触发泄压程序的前提, 防止在碰撞尚未结束时错误泄压。识别结果将直接决定步骤六中泄压阀门的开启时机。

步骤 5.3: 受控泄压流程启动

一旦确认碰撞结束, 系统立即启动受控泄压流程。泄压不是简单的打开阀门, 而是按照预设的速率逐步释放气体, 以避免气囊突然塌陷对救援人员或车内人员造成二次伤害。泄压速率 R_{vent} 由系统根据车内情况 (如是否有人被困) 动态调整。泄压过程中的压力变化遵循指数衰减规律:

$$P(t) = P_{final} + (P_{current} - P_{final}) \cdot e^{-R_{vent} \cdot (t - t_{end})} ;$$

其中, P_{final} 为最终残留压力, $P_{current}$ 为泄压开始时的压力, t_{end} 为碰撞结束时刻。该公式描述了压力随时间平稳下降的过程。系统通过控制泄压阀门的开度来实现这一速率。

步骤 5.4: 残余压力监测与安全锁定

在泄压过程中, 系统持续监测气囊内的残余压力。当压力降至安全阈值 P_{safe} 以下时, 系统锁定泄压阀门, 防止外部异物进入或气体意外回流。同时, 系统记录最终的泄压曲线, 用于后续的事故分析。安全锁定的条件是:

$$P(t) \leq P_{safe} \implies \text{Lock Valve} ;$$

其中, P_{safe} 为一个极低的压力值, 确保气囊完全松弛。这一锁

定机制保证了系统在事故后的安全性，防止因气囊未完全泄放而导致车门无法正常开启。锁定后的状态将作为整个防护过程的最终状态，等待救援人员的进一步操作。

步骤六：数据记录与系统复位准备

本实施例的第六阶段是数据的记录与系统的复位准备。在碰撞防护过程结束后，系统需要将整个事件的详细数据保存下来，以便后续的事故重建和分析。同时，系统需要进行自检和复位，为下一次可能的碰撞事件做好准备。这一阶段虽然发生在物理防护动作之后，但对于系统的长期可靠性和事故责任认定至关重要。系统通过内置的非易失性存储器记录关键参数，并在完成记录后进入待机模式。

步骤 6.1：关键事件数据的全程记录

系统调用存储模块，将步骤一至步骤五中的所有关键数据写入非易失性存储器。记录的内容包括：碰撞前的速度矢量、TTC 值、侧翻概率、目标刚度曲线、实际压力曲线、阀门开度序列以及最终的碰撞持续时间。记录格式采用二进制编码，确保数据的完整性和防篡改性。记录过程遵循以下逻辑：

$$Data_{log} = \{v_{pre}, TTC, P_{roll}, K_{path}, P_{real}, \alpha_{seq}, T_{dur}\};$$

式中括号内列举了所有被记录的变量集合。这些数据构成了事故发生的完整证据链，能够为事故原因分析提供详实依据。记录完成后，系统将数据标记为已保存，防止重复写入覆盖旧数据。

步骤 6.2：系统自检与故障诊断

在数据记录完成后，系统立即启动自检程序，检查传感器、阀门、

气源及控制器是否存在故障。自检内容包括传感器零点漂移检测、阀门动作灵活性测试以及气密性检查。自检结果通过以下逻辑判断：

$$Status_{check} = \bigwedge_{i=1}^n (Test_i == Pass) ;$$

其中， $\bigwedge$ 表示逻辑与运算， $Test_i$ 代表第 i 项测试项目。只有当所有测试项目均通过时，系统状态才判定为正常。若发现任何一项失败，系统将点亮故障指示灯，并限制气囊功能，防止在下次事故中失效。

步骤 6.3：系统复位与待机模式切换

如果自检通过，系统将复位所有控制参数，清除临时缓存，并重新初始化传感器采样频率。复位过程包括将阀门开度归零、重置压力计数器以及恢复默认的目标刚度曲线。复位完成后，系统自动切换回待机模式，准备接收新的环境感知数据。待机模式的特征是低功耗运行，仅保留核心传感器的监控功能。复位状态的标志位更新为：

$$Mode_{status} = Standby ;$$

这一状态转换标志着本次防护循环的结束，系统重新回到待命状态，等待下一次潜在的碰撞威胁。

步骤 6.4：远程数据传输与云端同步

最后，系统通过车载通信模块将事故数据上传至云端服务器。数据传输包含加密后的事故报告，内容涵盖碰撞等级、系统响应时间及故障代码。传输协议采用安全的 HTTPS 通道，确保数据隐私。传输成功的标志为收到服务器的确认回执。若传输失败，系统将本地暂存数

据，待网络恢复后重试。这一联网功能使得整个防护系统具备了自我进化的能力，通过积累海量数据不断提升防护的精准度。

以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解，本发明不受上述实施例的限制，上述实施例和说明书中描述的只是本发明的原理，在不脱离本发明精神和范围的前提下本发明还会有各种变化和改进，这些变化和改进都落入要求保护的本发明的范围内。本发明要求的保护范围由所附的权利要求书及其等同物界定。

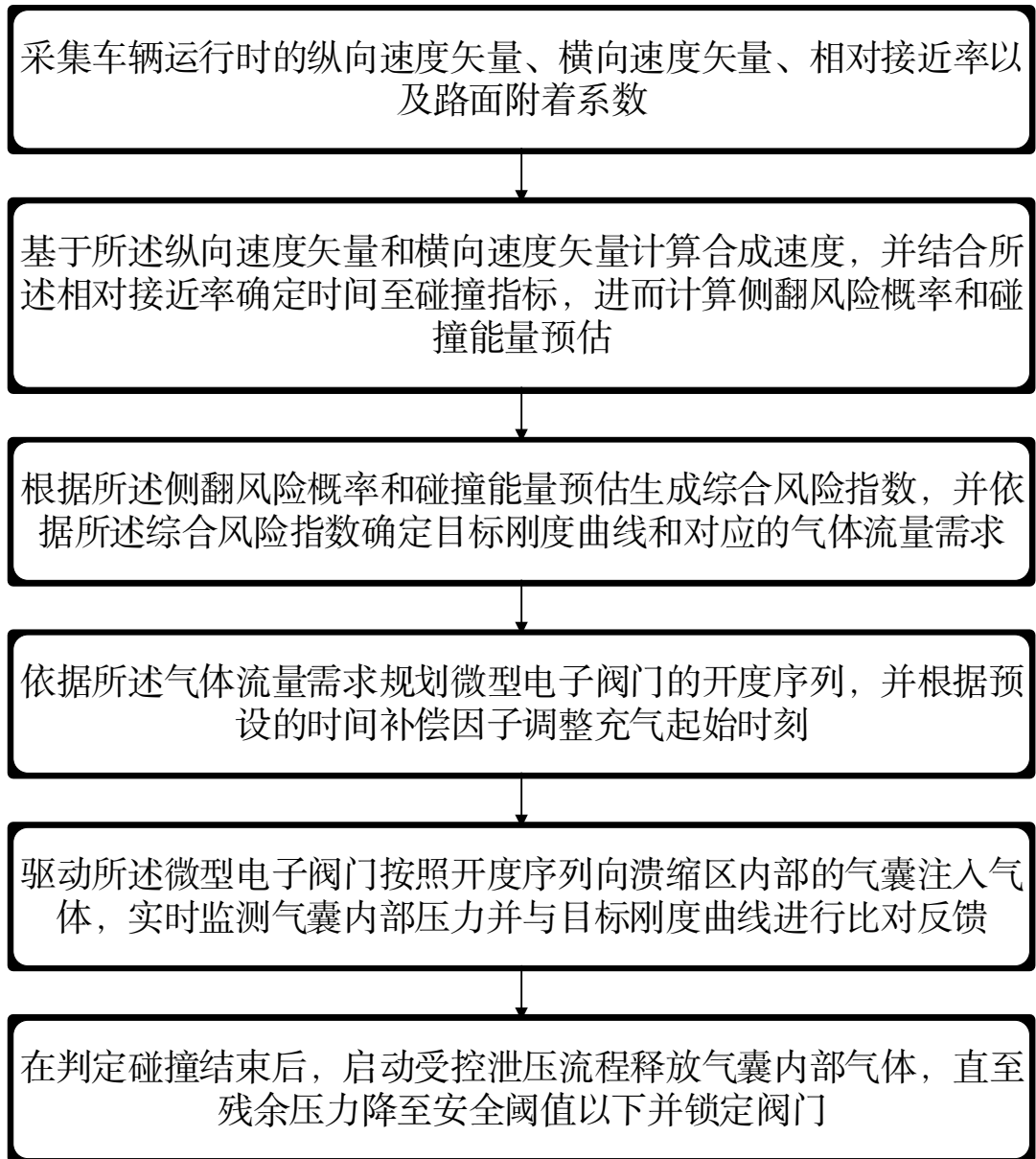


图 1

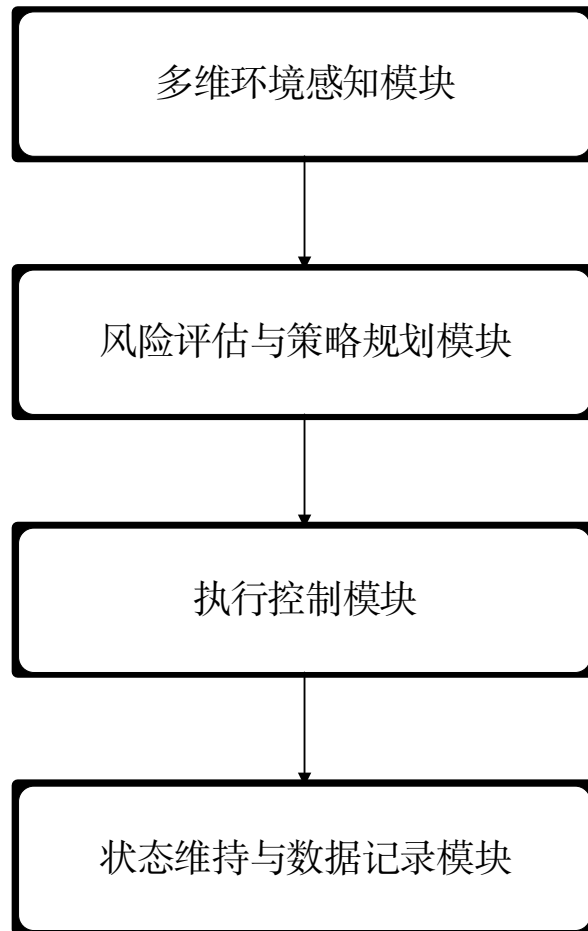


图 2