

MPV 汽车自动滑门系统研究

俞岳平¹, 李国富², 朱立力²

(1. 宁波职业技术学院 海天学院, 浙江 宁波 315800; 2. 宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 自动滑门系统是高端 MPV 汽车的重要子系统, 也是智能化汽车部件的重要发展方向。基于对 MPV 汽车自动滑门工作流程及其主要功能的分析, 探讨了自动滑门系统的传动机构、自动拉门锁紧机构、开门释放机构以及电控系统等核心部件的工作原理与设计要求, 提出了 MPV 汽车自动滑门系统的结构设计思想, 并研究了自动滑门与车身间的重力及侧翻力两类平衡力系。

关键词: 自动滑门; 功能部件; 结构设计; 平衡力系

中图分类号: U463.83⁺4

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2014) 02-0064-05

汽车自动滑门是较复杂的机电一体化系统, 也是智能化汽车部件的重要发展方向。由于有利于方便车门开关, 提升汽车的自动化程度和品质, 自动滑门系统在 MPV 等汽车产品中得到了越来越多的应用, 并逐渐受到国内外研究者的关注。卫原平等^[1]面向汽车电动滑移门系统的创新与智能化, 研究了电动滑移门系统开发过程涉及的造型、内部空间与性能、电控技术、操作性能等关键技术。张勇强等^[2]从降低系统开发成本, 缩短开发周期出发, 给出了电动滑门系统的开发流程, 并简要介绍了电动滑门系统功能规范的制定方法。曾良才等^[3]在分析电动滑移门控制要求的基础上, 设计了一种基于电机控制的新型电动滑移门驱动系统。朱庆成等^[4]通过建立中滑门虚拟样机有限元分析模型, 对中滑门开启性能进行了分析与优化。徐济慈等^[5]依据自动滑移门的耐久性试验要求, 研究了相关试验装置的具体实现方式。Osamura 等^[6]设计了一种闭环控制的电动滑门参考模型, 并通过仿真和实验证明其可行性。

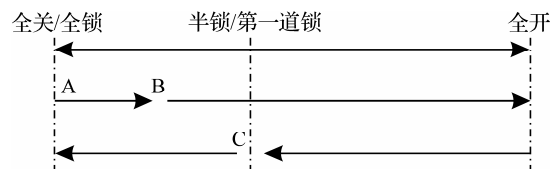
虽然国内外有关汽车自动滑门的研究已取得一些进展, 但总体仍十分有限, 尤其是涉及自动滑门具体核心功能部件的系统性研究还不多见。面向汽车产品功能需求的自动滑门系统研究, 对于高端汽车产品及智能化汽车产品的开发与设计,

都有着极为重要的现实意义。

1 MPV 汽车自动滑门功能设计

1.1 自动滑门工作流程分析

自动滑门的核心功能是通过电机驱动控制代替手工, 自动打开和关闭笨重的滑门, 其主要工作流程如图 1 所示。自动滑门关闭过程中, 电控单元 (ECU) 接收到关闭滑门的指令后, 依次完成以下两个动作来实现滑门的关闭: 首先控制自动滑门驱动电机将滑门缓缓拉至半锁位置, 之后, 启动自动滑门锁紧功能, 使其到达第二道锁, 即全关位置, 实现自动关闭。此时滑门锁体上的锁舌和车身柱板上的锁环锁合在一起, 滑门被牢固地锁合在全关位置。自动滑门的开门过程是自动关闭的逆过程, ECU 接收到自动滑门开启指令后, 首先控制锁紧电机完成锁舌脱离锁环的动作, 使滑门处于自由滑行状态, 接着, ECU 启动自动开门功能, 将自动滑门缓缓拉至全开位置。



A: 解锁, 滑门释放; B: 滑门启动自动滑动; C: 自动滑门锁紧。

图 1 自动滑门开关门位置及动作描述

1.2 自动滑门的功能设计

1.2.1 锁紧与释放功能

汽车自动滑门在完成关闭动作时,车身门框上静止的锁环或锁柱与运动门锁上的卡板开口相撞,使得卡板旋转卡住锁环,并被棘爪止回,进入半锁位置,在该位置时,滑门虽已合上,但并没有完全锁紧。随着滑门继续运动,锁环继续推动卡板旋转,并再次被棘爪止回,进入全锁位置,此时,锁环与卡板彻底卡死,滑门完全关紧。进行开门动作时,首先必须通过电机带动棘爪反向转动,释放卡板,再沿滑门运动方向拉动滑门,使卡板与锁环脱离,滑门才可以实现自由运动。开门动作可以启动的前提条件是中央门锁未上锁。通过机械机构切断电机和锁体止回棘爪的连接,或者切断开门电机的供电路线,可以实现中央门锁锁止滑门。

1.2.2 全开位置保持功能

由于汽车可能在不同地形条件下启动开门动作,为了保证滑门在全开位置的可靠性,通常设有弹性夹紧机构,当车身处于向下倾斜状态时,夹紧机构启动,通过摩擦力及压迫力增大滑门关闭的运动阻力,防止滑门轻易移动。近来有些新型汽车,如TOYOTA的HANCE,在下滑道设置了棘轮棘爪机构,称为open-holder,该装置可以将滑门锁死在全开位置,只有通过拉锁或软轴把棘爪拉开后才可以释放open-holder,这种更加完善的设计可以使自动滑门的关闭动作更加安全。

1.2.3 锁止、解锁与送电功能

带有滑门的车型一般都具有中控锁自动上锁和滑门上锁状态反馈功能,自动上锁是指操作者无须直接操作中锁,而是通过车体控制模块,以电动的形式,利用电机等执行元件间接地切断内外侧把手和锁体止回棘爪的连接,达到锁止状态。当车体控制模块发出自动上中控锁指令后,滑门的上锁状态反馈系统将反馈是否已经安全上锁信号,控制模块确认是否可靠锁止。

通常自动滑门是在上完第一道锁之后,才通过一个多点的触点机构进行能量和信号的传递,自动滑门的电信号接受、电信号反馈以及其他相关设备工作都需要自动滑门必须有送电功能,送电由用于给滑门的自动拉门锁紧机构和其他用电设备供电的送电机构完成。

2 MPV汽车自动滑门核心部件分析

2.1 自动滑门的主要功能部件

依据自动滑门系统的功能,自动滑门的关键部件主要包括传动机构、自动拉门锁紧机构和电控单元(ECU)。其中,传动机构可以实现滑门的自动滑动,完成门的打开和关闭,自动拉门锁紧机构的作用是将处于第一道锁的滑门锁紧到全关位置,电控单元则是滑门有序和安全实现自动功能的保障。此外,自动滑门系统还有一些其他重要部件,主要包括开门释放机构、防夹部件、送电机构等,其中开门释放机构是将锁体上的棘爪拉开,使锁舌脱离锁环,让滑门释放处于自由状态的执行机构;防夹部件是为了防止自动滑门在关闭时人或物体受夹,送电机构则用于给滑门上的自动拉门锁紧机构和其他用电设备供电。

2.2 自动滑门主要机构

2.2.1 传动机构

传动机构是自动滑门滑行动作的执行机构,通过滑门自动滑行实现门的打开和关闭。目前应用于自动滑门上的传动机构原理大体可以分为同步带传动、线索传动和齿轮齿条传动三种,其中以同步带传动较为常见。同步带传动具有与齿轮传动一样的平稳性,采用同步带传动形式的自动滑门具有运动平稳、噪声小的特点,同时,其较高的传动效率降低了对动力源的功率需求,可以减小作为动力源的电机功率,进而缩小整个传动系统的体积,使其结构更加紧凑。采用同步带传动形式时,为了使其传动顺畅,同时防止运动过程出现跳齿,一般都需要进行预紧或者是张紧。但自动滑门传动中一般没有明显的预紧或张紧装置,比较经典的设计是使滑门在整个开关门的运动过程中能够保证同步带始终处于一定的张紧状态,这样可以省略张紧机构,但滑门滑轨必须和自动滑门的传动机构同步设计,其中涉及的参数相对较多,大体与导轨形状、传动机构各传动轮中心位置等有关,这也是同步带传动在自动滑门传动机构上应用受到限制的一个重要原因。

2.2.2 自动拉门锁紧机构

自动拉门锁紧机构需要将处于第一道锁位置(半锁状态)的滑门锁紧到全关位置的全锁状态。出

于防水要求,车门在全关状态时需要通过密封条的变形来保证其密封性。由于车门在由半锁状态到全锁状态的运动过程中,需要克服车门密封条变形带来的反作用力,这种变形反作用力增加了车门从半锁到全锁的运动难度,设计时需要对此微小距离变化过程作出特殊处理。目前的自动滑门主要有增加专门自动拉门锁紧机构和大幅度增加滑门滑行驱动电机功率裕度两种解决方式,前者较典型车型有NISSAN的QUEST以及TOYOTA的PREVIA等,后者则有GM的GL8 FIRSTLAND等。自动拉门锁紧机构主要是一组棘轮棘爪机械结构,在电机等动力源的驱动下,完成棘轮的拉门锁紧运动和棘爪对棘轮的止回,棘轮的运动将滑门牵引到全关位置,由棘爪的止回将滑门固定在全关位置。

2.2.3 开门释放机构

开门释放机构实质上是代替操作者完成拉滑门把手的动作,其具体功能是将锁体上的棘爪拉开,使锁舌脱离锁环而使滑门释放处于自由状态,以准备完成自动开门动作。开门释放机构采用一个微型直流电机经机械减速及运动变换,实现拉开棘爪的动作,汽车自动中控锁的自动上锁和解锁机构与开门释放机构的原理非常相似,市场上GM的GL8 FIRSTLAND等车型的开门释放机构与自动中控锁的上锁、解锁机构则完全相同。

2.3 自动滑门的控制部件

2.3.1 电控单元

电控单元ECU是为了在保证人身和财产安全的前提下尽可能地实现自动门的智能化,提高可操作性,保障自动滑门的自动功能有序、安全进行。电控单元通过分析处理自动滑门系统中的相关数据、发送控制指令,完成自动滑门的一系列功能,具有自动拉门锁紧机构的自动滑门电控单元除门运动控制外,还增加了自动拉门锁紧机构的控制。自动滑门系统中,其传动机构、防夹部件等重要组成部分都需要电控单元完成信号的接受与分析处理,以及指令的发出与控制,而自动拉门锁紧机构的控制则是依靠电控单元接受与发出动作指令,控制相应电机的启停和换向实现的。

2.3.2 送电机构

滑门的自动拉门锁紧机构和其他用电设备需

要送电机构供电,送电机构主要有坦克链形式和门碰形式。坦克链形式主要利用坦克链内腔约束按固定轨迹运动的柔韧导线,防止导线打结和受伤。坦克链形式的送电机构在汽车自动滑门上应用时,基本不受导线数量的限制,整个系统控制比较连贯,但其安装相对复杂,且由于汽车部件对可靠性和寿命都有很高的要求,所以设计时还应注意导线弯曲疲劳损坏。门碰形式的送电机构用于实现与滑门中央门锁的能量和信号传递时,由于滑门内部增加了自动拉门锁紧机构,需要增加与车身联系的电源线和信号线,导致门碰上的导线数量增加。虽然门碰形式的送电机构结构简单,安装方便,但其只有在滑门关闭点附近才能送电,车门打开后,滑门上的电器就将与车身失去联系。另外,由于受体积限制,且要保证门碰碰上时接触良好,也使送电机构的导线数量受到限制。

2.3.3 防夹部件

自动滑门在关门过程中遇到偶然出现的障碍物时,需要通过对当前或是潜在的运动阻滞进行检测与识别,进而完成预定防夹处理,实现对人或物体的有效保护,其主要有直接防夹和间接防夹两种方式。直接防夹方式由检测元件或与其联系的探测机构直接探测滑门运动路径上是否存在障碍物,直接防夹方式识别偶然性阻滞并做出处理的速度快,在微动开关或传感器可靠安装及正常工作情况下,相对于间接防夹方式而言更加安全。由于汽车产品的可靠性要求高,汽车钣金件结构复杂,很难仅凭精确合理布置传感器实现直接防夹。间接防夹通过控制器实时监测自动滑门电气系统中与负载相关的参数信息及其变化状况,并依据这些参数信息的变化来判断是否出现偶然性阻滞事件,以此判断自动滑门的工作状态。间接防夹不需要检测元件与障碍物直接相关,使传感器的布置更为灵活方便,对传感器安装工艺的要求显著降低,所以,目前市场上成品汽车的自动滑门大多采用间接防夹处理方式。

3 MPV 汽车自动滑门结构设计

3.1 MPV 汽车自动滑门的主要结构形式

MPV 汽车一般有三种类型的车门,包括驾驶座和副驾驶座两侧的侧开门,车尾的后开门,还有

中间 B 柱和 C 柱之间的中开门, 其中, 中开门数量根据车型不同, 其数量可能有所不同, 有的只有一侧配备中门, 有的两侧分别配备 1 个中门. 由于 MPV 汽车车型较大, 乘客主要是从中开门上下车, 所以, 国内外 MPV 汽车几乎都把中开门设计成滑动形式的滑门, 这种设计可以减少车门在打开时所占的空间, 机械方面的设计也更简单. 由于中开门大而笨重, 设计成滑门形式, 可免去类似前开门等形式车门带来的车门重心离支点太远, 产生过大倾覆力矩的缺点, 在机械结构上可以减少加强钣筋的数量, 使 MPV 汽车的设计更加协调.

3.2 自动滑门的结构设计

汽车自动滑门是与车身整体分离的一个独立结构(图 2), 其通过图 2 中 4、6、5 此 3 个上、中、下连接支架, 以及安装在支架上的三组滑轮组, 分别与固结在图 2 所示的 1、3、2 车身上、中、下 3 个滑道相连, 实现车门固定和运动轨迹限制.

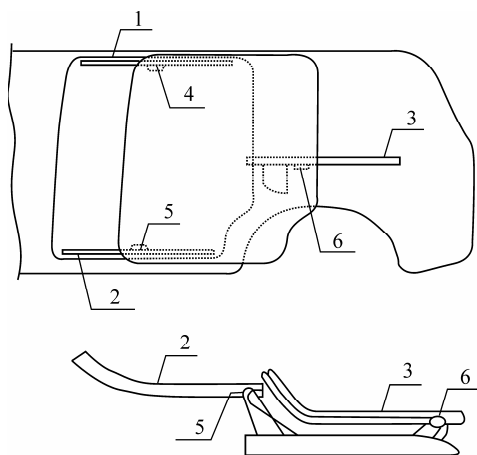


图 2 汽车自动滑门构成

固结于车身的上、中、下 3 个滑道的中段与后段为直线, 其前端向车内作弧形弯曲, 这种曲线使滑门在完成开门动作时, 先作向外(与车身垂直)和向后与车身平行的复合运动, 待车门移离车身后, 再向后做直线运动. 关门时, 滑门的运动轨迹则相反, 滑门先向前运动, 待车门移至门口时, 做向内和向前的复合运动, 将车门“收回”到车身上, 这种运动轨迹可以提高车门与车身闭合的密封性. 因此, 滑门在打开状态时, 是“悬挂”在车身外的, 而在关闭状态时, 则是“镶嵌”在车身上, 与车身成为一体. 当然, 滑门构造的特殊性对整车的造型有一定的限制, 还需要更加完善的理论支撑, 以实

现滑门造型、内部空间及性能的最优.

3.3 自动滑门平衡力系设计

自动滑门与车身之间存在重力和侧翻力两类平衡力系, 图 3 是重力平衡力系分析示意图. 滑门的上滑轮组一般只有水平面转动的导向滑轮, 而中、下滑轮组则具有垂直面转动的承重滑轮, 所以, 滑门的重量完全由中、下滑道内的承重滑轮支撑.

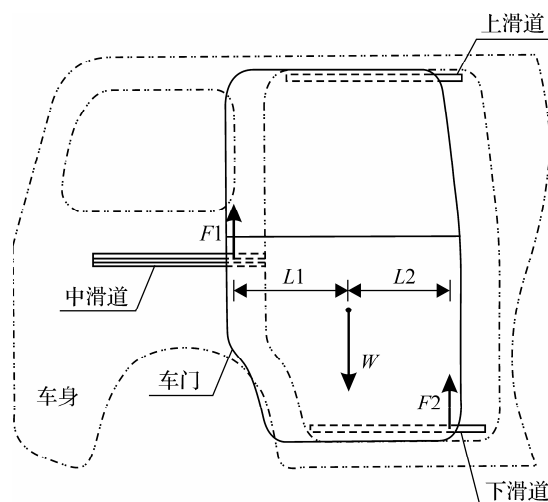


图 3 自动滑门重力平衡分析

设滑门重力为 W , 重心到中、下滑轮的水平距离分别为 L_1 和 L_2 , 建立静力平衡方程, 可得平衡滑门重力的中、下承重滑轮承受的正压力分别为:

$$F_1 = W \times L_2 / (L_1 + L_2), \quad (1)$$

$$F_2 = W \times L_1 / (L_1 + L_2). \quad (2)$$

侧翻力平衡分析示意图如图 4 所示.

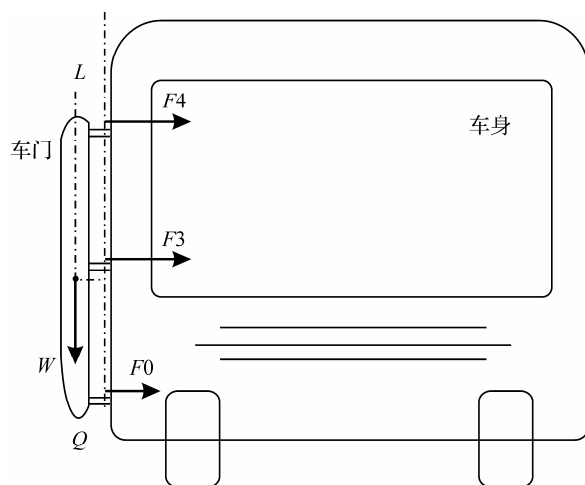


图 4 自动滑门侧翻力平衡分析

滑门因受重力作用, 有围绕下承重滑轮与下滑道之间的滚动摩擦接触点 Q 做侧翻旋转的趋势,

假定车门重力为 W , 重心到 Q 点的水平距离为 L , 则侧翻力矩为:

$$M = W \times L. \quad (3)$$

侧翻力矩由上、中、下滑轮组的导向滑轮与滑道垂直翻边之间的滚动摩擦接触点提供的水平方向反力 F_4 、 F_3 、 F_0 所形成的阻力矩平衡, 设 F_3 、 F_4 、 F_0 的作用点到 Q 点的距离分别为 L_3 、 L_4 、 L_0 , 建立力矩平衡方程, 可得平衡关系:

$$M = F_0 \times L_0 + F_3 \times L_3 + F_4 \times L_4. \quad (4)$$

(1)~(4)式重力和侧翻力系平衡条件, 对于确定自动滑门的尺寸及结构分布有非常重要的参考作用, 已在实际生产中用于确定滑门尺寸及结构分布.

4 结语

汽车自动滑门已在 MPV 汽车中得到了广泛的应用, 作为 MPV 汽车的重要机电一体化子系统, 其设计与应用存在较大的技术难度. 对 MPV 汽车自动滑门工作流程、主要功能及其核心部件设计要求的分析和研究, 有利于完善 MPV 汽车自动滑门系统设计思想, 实现其造型、内部空间及性能的优

化. 对自动滑门与车身之间的重力、侧翻力平衡力系的研究表明, 重力和侧翻力系平衡条件是确定汽车自动滑门尺寸及结构分布的重要依据. 目前相关设计及思想已应用于生产实际, 并在 MPV 汽车自动滑门批量生产中取得了较好的经济效益.

参考文献:

- [1] 卫原平, 李俊海, 曾良才. 汽车电动滑移门系统开发关键技术研究[J]. 汽车工程学报, 2012(3):228-234.
- [2] 张勇强, 赵福全, 丁勇, 等. 电动滑门技术的研究与应用[J]. 农业装备与车辆工程, 2011(3):42-44.
- [3] 曾良才, 卫原平, 沈建东. 电动滑移门驱动系统设计[J]. 上海汽车, 2012(2):27-29.
- [4] 朱庆成, 王军杰. 某微型车中滑门开启性能分析与优化[J]. 机械设计与制造, 2011(6):149-151.
- [5] 徐济慈, 王宇峰. 汽车电动滑移门耐久性试验装置的研究[J]. 上海汽车, 2011(6):19-21.
- [6] Osamura K, Kobayashi S, Hirata M, et al. Power assist control for slide doors[C]. Proceedings of the SICE Annual Conference, 2007:1718-1722.

Research: MPV Power Sliding Door System

YU Yue-ping¹, LI Guo-fu², ZHU Li-li²

(1.Hai Tian Colleg, Ningbo Polytechnic, Ningbo 315800, China;

2.Faculty of Mechanical Engineering and Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Power sliding door system is an important subsystem of high-end MPV cars, representing the R&D trend for intelligent car parts. Based on the analysis of the MPV power sliding door workflow and its main function, the working principle and the design requirements for the core components are discussed, including the transmission mechanism, automatic lock mechanism, electronic control unit, etc. Moreover, the structure designing concept of the MPV power sliding door system is proposed, and the two balance states about gravity and the force of steering between the power sliding door and the car body are also studied.

Key words: power sliding door; functional unit; structural design; balanced system of force

(责任编辑 章践立)