

某乘用车MPV电动滑移门 齿轮齿条传动结构的合理布置与分析

赖延文

广西京达科有限公司 广西柳州 545000

摘要：旨在探讨MPV乘用车电动滑移门中齿轮齿条传动结构的设计、分析与优化，解决传统传动结构存在的噪声大、运动平稳性不足、使用寿命短（柔性传动）等问题。齿轮齿条传动结构作为实现电动滑移门精准控制与平稳运行的核心部件，其设计的合理性、布置优化直接影响到整个车门系统的性能表现。主要通过对该结构的基本受力计算、啮合特性、材料选择、噪声控制及静力学分析特点进行阐述分析，有效得出一种高效、低噪、长寿命的电动滑移门机械驱动的解决方案。

关键词：MPV；滑移门；齿轮齿条传动；布置优化；静力学分析

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.03.006

汽车乘用车市场日益加速竞争的今天，汽车的外观性、可靠性、耐用性成为了消费者追求的重点，其中汽车电滑门作为MPV乘用车中高端配置，不仅给乘客提供上下车的舒适性和便捷性，而且提升了乘用车本身的智能化。随着汽车智能驾驶逐步成熟以及汽车市场的需求提高，汽车电动滑门传动结构优化与分析成为汽车设计与制造领域一个重要方向。

MPV电动滑移门齿轮齿条传动系统合理布置原则

电动滑移门齿轮齿条传动系统的合理布置应当是在满足功能性（如运动性能）和可靠性要求的基础上，通过优化设计实现高效、低噪、长寿命的目标。设计时应综合考量各项因素，以确保最终设计既经济又实用。电动滑移门齿轮齿条传动系统设计合理布置原则总结三大方面考虑。

1.空间优化与质量

结合某MPV乘用车已经上市，内部空间有限，齿轮齿条传动系统内包括齿轮、齿条以及相关连接部件的尺寸和布局必须要紧凑设计，以最小化去降低对车内空间的影响。同时兼顾零件的轻量化设计，这不仅有助于提高燃油效率，还能减少对滑门运动机构的负担。因此，选择轻质而强度高的材料（铝合金或高强度塑料）对于齿轮齿条传动系统至关重要。

2.平稳静音性与耐久可靠性

为了提升乘客体验，传动系统应设计有良好的减振和降噪措施。这可能包括使用带有消声材料的齿轮、优化齿轮齿形以减少啮合噪声，以及采用低摩擦材料或润滑系统。考虑到滑移门频繁的使用需求，系统必须能够承受长期的磨损和环境变化（如温度波动、湿度等）。选择耐磨材料、合理的应力分布设计

及防锈处理都是必要的。

3.维护便利性

设计时应考虑后期的维护和检修，确保齿轮齿条组件易于检查和更换。

电动滑移门齿轮齿条布置方案与设计分析

1.齿轮齿条传动结构布置与设计

电动滑移门齿轮齿条结构包括执行器（减速电动机）作为动力输出、中间动力传递的齿轮以及车身导轨齿条组成，齿轮齿条在车身与车门布置方案以及动力传递如图1所示。

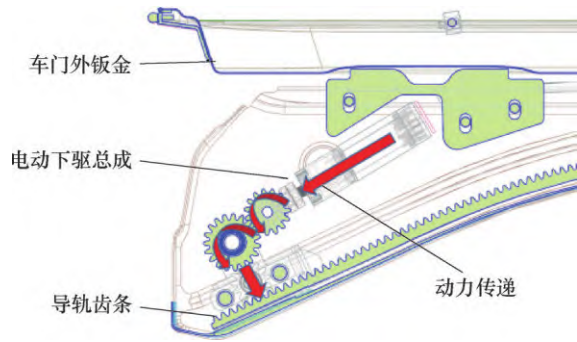


图1 齿轮齿条车身布置方案

其中，执行器（减速电动机）以及中间动力传递的齿轮将作为电动下驱总成的内部零部件，电动下驱动摆臂总成通过螺栓与车门外钣金固定连接，而导轨齿条将设计为一个整体零件通过螺栓与车身脚踏钣金固定连接，并取代原先的手动下导轨，由此形成了从动力输出到执行传动的半开环结构。由于车身对滑移门的下摆臂运动空间的限制，同时为了要实现滑移门手自一体功能，依据周卜军等在2009中国汽车工程学会年会论文集中报告《中滑门关闭力的分析及改进》中“AUDIT”主观评价电动滑移门水平关闭力在38N以下为用户可接受，因此，齿轮布置满足传动比的同时要减少齿轮的数量，本次动力传递的齿轮取三级减速传动以减少关门时的阻力，输出速比1.4，动力端减速电动机额定输出负载4N·m。根据公式

$$F_t = T \times i \times \eta / r$$
 (1)

式中 T ——减速电机额定输出扭矩；

i ——总速比；

η ——传动效率 ($\eta=0.9$) ；

r ——齿轮在齿条的滚动半径。

数值带入公式（1）可以得到滑移门额定驱动力 $F_t=193.84\text{N}$ ，该数值大于实测12度坡滑移门拉力（140N），且该设计的齿轮与齿条之间满足连续转动条件 $\varepsilon\alpha\geq[\varepsilon\alpha]$ ，其中 $[\varepsilon\alpha]$ 为1.1~1.2。而齿轮与齿条安装满足标准节圆与分度圆重合，节线与分度线重合，如图2所示满足齿轮齿条啮合原理，即 $\alpha'=\alpha$ ，因此该布置方案可靠合理。

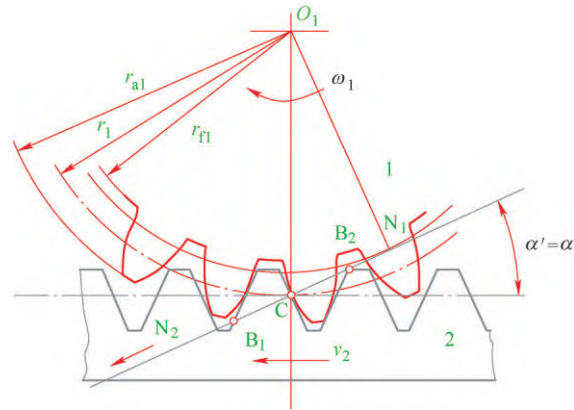


图2 齿轮齿条啮合原理

2.系统传动材料选择与有限元分析

本方案的齿轮齿条传动虽然平稳可靠，但缺点就是噪声问题突出，要想汽车电滑门齿轮齿条传动结构能实现低噪、耐用的特点，就必须分析齿轮传动噪声产生的主要机制，重合度是影响齿轮传动噪声产生的一个因素^[1]，当然齿轮齿条运行过程中也会产生一定的频率振动，这是由于滑移门在设计过程中下导轨的承重轮与车身导轨之间在Y向投影存在一个角度 θ ，如图3所示。

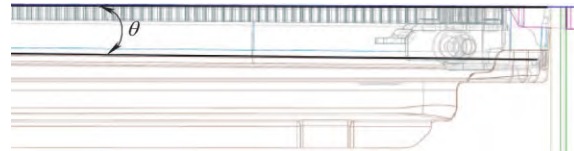


图3 汽车下导轨Y向投影

经数模测量分析角度 $\theta=10^\circ$ ，这就使得原手动滑移门在平坡下由于重力带来的分力，手动滑移门在不借助外力情况下车门依旧能平稳关闭，这就产生了齿轮齿条在运行过程中摩擦产生振动带来的噪声，这也是噪声来源关键机制。通过文献[2]提供的方法，采

用复合材料方案来抑制齿轮齿条传动过程中产生的噪声和振动，从图4曲线数据发现复合材料齿轮通过FFT（快速傅立叶变换）随时间变化的加速度转换为自然弯曲频率的力有所降低，这就表明复合材料通过其独特的物理特性（减震降噪特性）有效地吸收了振动能量，减少振动传递，从而降低齿轮运转过程中产生的噪声。同时，复合材料具有耐磨、自润滑性和较高的内耗性能等优点，能有效吸收振动能量，广泛应用在汽车传动装置。

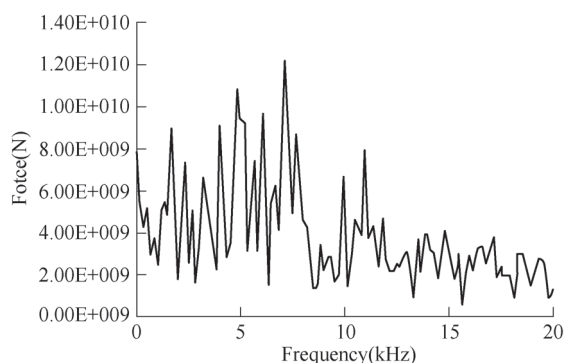


图4 齿轮复合材料力弯曲频率

本文中的齿轮齿条算例基于Solidworks Simulation实现，计算实例中，通过输入齿轮的几何参数建模生成齿轮，同时依据重合度等参数之后进行装配校验，取其中一对啮合的齿轮与导轨齿条进行分析，材料选择PA12+5%玻纤，齿轮齿数 $z_1=13$ ，齿条截取部分齿数 $z_2=29$ ，模数 $m=2$ ，弹性模量 $E=262\text{ MPa}$ ，泊松比 $\nu=0.34$ ，压力角 $\alpha=20^\circ$ 的标准圆柱直齿轮进行轮齿变形量与时变啮合刚度静应力学分析。再者依据公式得到齿轮作用在齿条的力矩。

$$M=K_a FL \quad (2)$$

式中 K_a ——安全系数（取1.66）；

F —— 12° 滑移门拉力；

L ——齿轮半径。

将数值带入公式（2）可得到齿轮力矩 $M=3.02\text{ N}\cdot\text{m}$ 。通过以上数据代入软件分析计算得到齿轮齿条啮合静应力分析图解（见图5）。

齿条与齿轮静应力有限元分析的结果可以看出，齿条与齿轮复合材料屈服应力均小于材料本身安全系数范围内的许用弯曲应力，因此，复合材料以及齿轮模数选择符合设计要求。同时，复合材料的使用也意味着该结构达到轻量化、经济性设计的要求。

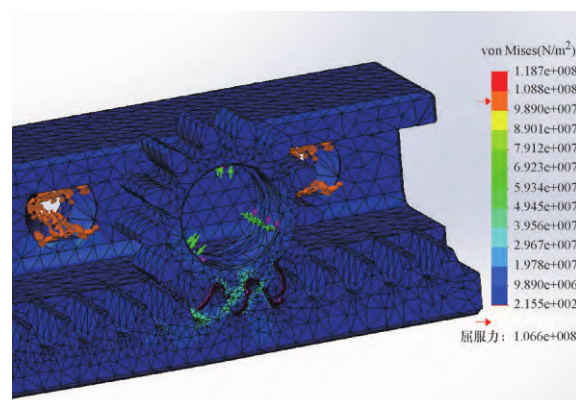


图5 齿轮齿条啮合静应力分析

3. 工艺装配流程

本次电动滑移门齿轮齿条电动下驱动摆臂（以下称为电动下驱）方案在设计过程中考虑到电动下驱在车门总装线试制与批量生产的装配工艺环节，流程如图6所示。

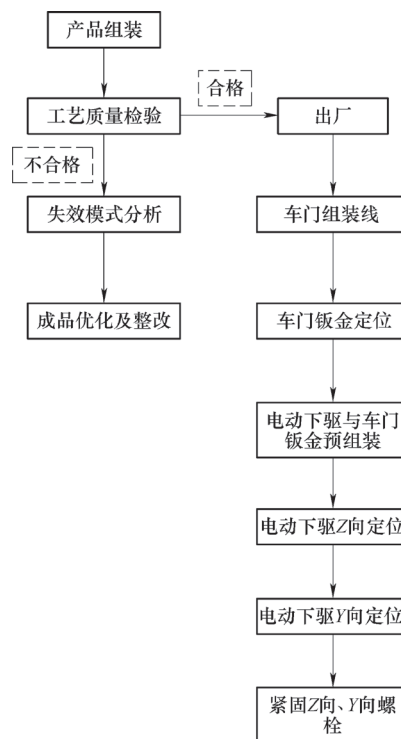


图6 车门与电动滑移门齿轮齿条驱动摆臂工艺流程

该流程图有助于识别电动下驱与车门装配生产过程中的工艺流程环节，分析生产效率，为后续工艺改进和生产线平衡提供依据，从而提高生产效率和降低成本。同时本设计兼顾了后期的维护与更换，有效避免后期生产和维护造成不必要经济损失，本次设计是在充分利用手动下摆臂（见图7）运动空间基础上设计

的一款实现内部传动与外部承重一体的电动下驱总成（见图8），通过图7和图8可知，在后期的维护中电动下驱安装方式与手动下摆臂一致，即两者都通过螺栓与车门钣金相连接，确保零部件组件易于检查和更换，达到利于维护与更换设计的原则。

该流程图有助于识别电动下驱与车门装配生产过程中的工艺流程环节，分析生产效率，为后续工艺改进和生产线平衡提供依据，从而提高生产效率和降低

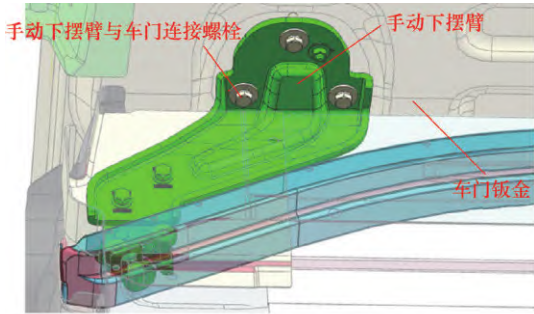


图7 滑移门手动下摆臂

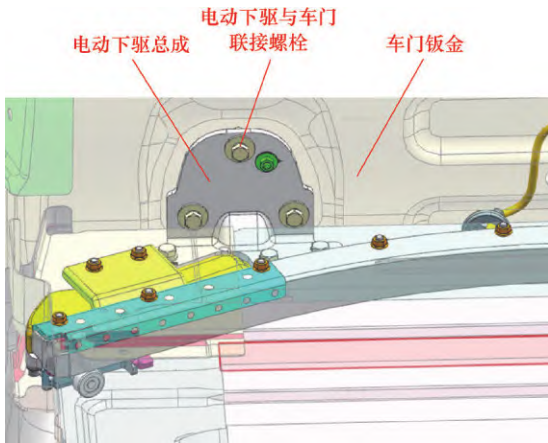


图8 滑移门下导轨电动下驱总成

成本。

结语

本文主要分析乘用车MPV电动门齿轮齿条传动结构设计布置、分析以及工艺的合理性，该方案的实现有助于推动汽车滑移门技术的不断进步，该齿轮齿条传动方案相比市场上电动滑移门钢丝绳、同步带传动具有高负载、高耐磨、自润滑及去张紧的特点。但也面临一些潜在的问题，比如噪声问题可能会随着使用的时间和环境的影响日渐突出，从长远角度分析改善噪声问题也成了该方案优化的主要方向，这就需要技术从多角度分析，比如从结构、材料、压力角、重合度、精度、齿廓修形和齿向修形等多方位思考和实践，以此解决该噪声问题，为后续该方案进步和技术积累提供了重要的参考价值^[3]。

参考文献：

- [1] 王庆文，程建荣. 发动机变速器齿轮的降噪改进设计 [J]. 机械制造，2001（12）：12-14.
- [2] Hyunwoong, Kim, Cheol, et al. 新型钢和塑料复合材料齿轮的轻量化设计和降噪分析[J]. 汽车轻量化产业链，2019, 20（4）：749-754
- [3] 吴勇军，王建军，韩勤锴，等. 基于接触有限元分析的斜齿轮齿廓修形与实验 [J]. 航空动力学报，2011，26（2）：409-415. DOI:10.13224/j.cnki.jasp.2011.02.006.
- [4] 曹东江，尚鹏，赵阳. 基于Matlab的渐开线变位直齿轮时变啮合刚度计算分析 [J]. 机械传动，2022，46（5）：100-107. DOI:10.16578/j.issn.1004.2539.2022.05.014. **AUTO1950**

汽车工艺师 2025年 第3期 广告目次 Advertisement Catalogue

单位名称	查询编号	位置
汽车工艺师		封面
金粉商城	8000	封二
《汽车工艺师》杂志订阅	0001	封三
公益广告	8000	封底
中国机床工具工业协会	5198	1
公益广告	8000	2