

# 汽车点烟器按压式触发结构力学特性分析与优化研究

徐建

瑞安市科创汽车部件有限公司 浙江温州 325000

**【摘要】**汽车点烟器作为车内传统功能部件，其按压式触发结构的可靠性直接影响使用体验与行车安全。本文以汽车点烟器按压式触发结构为研究对象，基于结构力学理论与材料力学分析方法，系统探讨该结构的组成形式与力学传递路径，重点分析按压过程中弹性元件的形变特性、锁止机构的受力状态及接触界面的应力分布规律。通过对结构力学特性的理论解析，识别出触发滞涩、回位失效等常见问题的力学根源，并从材料选型、结构参数匹配及曲面优化三个维度提出针对性优化策略。研究结果表明，合理匹配弹簧刚度与锁止斜面角度，选用高强度耐磨复合材料，可有效提升触发结构的力学稳定性与使用寿命，为汽车点烟器及同类按压式结构的设计优化提供理论参考。

**【关键词】**汽车点烟器；按压式触发结构；力学特性；结构优化；弹性形变

Mechanical Characteristic Analysis and Optimization Study of the Press-Trigger Mechanism in Automotive Lighters

Xu Jian

ru, Anshan Kechuang Automotive Components Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang 325000

**【Abstract】**As a traditional in-vehicle functional component, the reliability of an automotive lighter's press-trigger mechanism directly impacts user experience and driving safety. This study investigates the press-trigger mechanism using structural mechanics theory and material analysis methods to systematically examine its structural composition and mechanical energy transfer pathways. Key analyses include the deformation characteristics of elastic elements during pressing, the stress distribution in locking mechanisms, and contact interface stress patterns. Through theoretical modeling, the study identifies the mechanical root causes of common issues such as trigger lag and return mechanism failure, proposing targeted optimization strategies across three dimensions: material selection, structural parameter optimization, and surface design refinement. Results demonstrate that optimal spring stiffness-matching with locking slope angles and the use of high-strength wear-resistant composite materials significantly enhance mechanical stability and service life, providing valuable theoretical insights for designing and optimizing automotive lighters and similar press-trigger mechanisms.

**【Key words】**car cigarette lighter; press-type triggering mechanism; mechanical properties; structural optimization; elastic deformation

## 一、引言

汽车点烟器自诞生以来，始终是车内不可或缺的功能性部件，其核心作用是通过电阻加热实现点烟功能，随着汽车产业的发展，虽衍生出电源扩展功能，但按压式触发结构作为其核心操作机构，未发生本质性变化。该结构的工作可靠性直接关系到用户使用体验，若出现按压滞涩、触发不灵敏或回位故障等问题，不仅影响功能实现，甚至可能因结构卡滞导致持续加热引发安全隐患。在汽车零部件设计日益追求轻量化、高可靠性的当下，对按压式触发结构的力学特性进行深入分析，成为提升产品质量的关键环节。目前，行业内对该结构的研究多集中于生产工艺改进，针对其力学传递机制与结构优化的理论研究相对匮乏，导致部分产品存在设计冗余或力学性能不足的问题。因此，从理论层面解析按压式触发结构的力学特性，识别结构设计中的薄弱环节，进而提出科学的优化方案，对于完善汽车零部件设计理论体系，提

升产品市场竞争力具有重要的现实意义。

## 二、汽车点烟器按压式触发工作原理

按压式触发结构的工作过程可分为按压触发、锁止保持、加热完成回位三个阶段，各阶段通过力学状态的变化实现功能转换。在按压触发阶段，用户施加的轴向压力通过按压组件传递至主复位弹簧，使弹簧产生压缩形变并储存弹性势能，同时按压组件带动导向柱同步运动，导向柱外侧的斜面结构与锁止爪接触，推动锁止爪克服辅助弹簧的弹力发生侧向形变，当按压组件运动至最低点时，锁止爪在辅助弹簧的作用下复位，与棘轮表面的齿形结构完全啮合，实现锁止状态的建立，此时点烟器的加热元件与电源接通，进入加热模式。在锁止保持阶段，锁止机构需持续承受主复位弹簧的弹性回复力，该力通过按压组件传递至棘轮，使棘轮对锁止爪产生轴向拉力，而锁止爪与壳体支撑结构的限位面接触，

形成稳定的力学平衡体系,确保锁止状态的持续保持,直至加热元件达到设定温度,温度控制机构触发动作,推动锁止爪再次发生形变,解除与棘轮的啮合状态。在加热完成回位阶段,锁止机构的啮合关系解除后,主复位弹簧储存的弹性势能瞬间释放,推动按压组件沿导向轨迹快速向上运动,带动加热元件与电源断开连接,同时按压组件恢复至初始位置,完成一次完整的工作循环。整个工作过程中,各部件的运动精度与力学传递效率直接决定了触发结构的工作可靠性,任何一个环节的力学特性异常都可能导致工作故障的发生。

### 三、按压式触发结构力学特性理论分析

#### 3.1 按压过程力学传递特性分析

按压过程是触发结构力学传递的起始阶段,该阶段的力学特性主要表现为多部件间的力传递与形变协调,其核心是用户施加的操作力与各弹性元件形变力的平衡与转换。根据力学平衡原理,用户施加的按压作用力需要克服多重阻力才能完成触发动作,这些阻力主要包括主复位弹簧被压缩产生的初始弹力、锁止爪与导向柱接触过程中产生的滑动摩擦力,以及锁止爪被推动发生侧向形变时形成的弹性阻力,此外还包括由部件加工误差导致装配间隙不均匀而产生的附加阻力。主复位弹簧的弹力会随着按压行程的增加而逐渐增大,这一变化符合弹性体受力形变的基本规律。锁止爪与导向柱间的摩擦力大小与接触面上的正压力及材料摩擦系数相关,在导向柱斜面结构的作用下,正压力会随按压行程增加呈现非线性变化,使得摩擦力也随之发生非线性波动。锁止爪的弹性阻力则由其材料特性与形变程度决定,当导向柱推动锁止爪形变时,阻力逐渐增大,直至锁止爪越过导向柱最大直径位置后,阻力才开始缓慢减小。在整个按压过程中,力的传递效率与各部件结构参数密切相关,导向柱斜面角度过大易导致阻力急剧增加,提升操作难度;角度过小则会延长按压行程,降低操作便捷性,因此需要寻求最优的参数匹配。

#### 3.2 锁止状态力学平衡分析

锁止状态是点烟器实现加热功能的关键阶段,该阶段的力学核心是建立稳定的平衡体系,确保在主复位弹簧弹性回复力作用下,锁止机构不发生意外分离。此时,锁止爪与棘轮的啮合面成为主要受力界面,棘轮受到主复位弹簧传递的向上拉力,该拉力可分解为沿啮合面切线方向和垂直于啮合面的两个分力。切线方向的分力具有使棘轮相对于锁止爪滑动的趋势,因此锁止机构的稳定性取决于该分力与啮合面间静摩擦力的平衡关系:当切线分力小于等于静摩擦力时,锁止状态保持稳定;当切线分力超过静摩擦力时,会发生“滑齿”现象,导致锁止失效。静摩擦力的大小与接触面上的正压力及静摩擦系数相关,而摩擦系数则由接触材料属性及表面加工质量决定。啮合面的角度参数对力学平衡状态具有决定性影响,这个角度通常被称为锁止角,锁止角的大小直接

关系到两个分力的比例分配。实践表明,锁止角的正切值需小于等于摩擦系数,才能确保锁止机构稳定,这一结论为锁止机构参数设计提供了核心理论依据。

#### 3.3 回位过程动力学特性分析

回位过程是触发结构完成工作循环的关键阶段,该阶段的力学特性以弹性势能快速释放为核心,表现为按压组件的加速运动与各部件间的冲击碰撞。当温度控制机构触发锁止爪形变解除啮合关系后,主复位弹簧储存的弹性势能瞬间转化为按压组件的动能,推动按压组件以一定加速度向上运动。加速度大小与弹簧弹力、运动阻力及按压组件质量相关,弹簧弹力越大、阻力越小、组件质量越轻,加速度则越大。在回位初期,弹簧形变量最大,弹力最强,按压组件加速度达到峰值,运动速度快速提升;随着弹簧逐渐复位,弹力减小,加速度随之降低,当弹力与阻力相等时,按压组件达到最大速度;此后弹力继续减小,加速度变为负值,组件开始减速,直至弹簧恢复初始长度,组件停止运动。回位过程中的冲击碰撞主要发生在按压组件与壳体支撑结构的限位台阶接触瞬间,碰撞冲击力大小与组件运动速度及缓冲结构相关,冲击力过大易导致部件塑性形变或表面损伤,影响结构使用寿命。此外,回位过程的运动平稳性还与导向机构精度相关,若导向套与导向柱配合间隙过大,会导致组件在回位过程中出现径向摆动,增加部件间摩擦损耗,降低回位精度。因此,在结构设计中需合理控制配合间隙,并可在限位部位设置缓冲结构,减少冲击损伤。

#### 3.4 接触界面应力分布特性分析

按压式触发结构的接触界面主要包括按压组件与导向套的配合面、锁止爪与棘轮的啮合面、弹簧与支撑面的接触面,这些界面的应力分布特性直接影响结构的磨损程度与使用寿命。根据接触力学理论,两个弹性体的接触应力分布符合赫兹接触理论,其最大接触应力与接触压力、部件的曲率半径及材料的弹性模量相关。在按压组件与导向套的配合面,由于两者属于间隙配合,接触形式为线接触,应力主要集中在导向柱的外表面与导向套的内表面,当按压组件发生径向偏移时,应力会集中在局部区域,导致表面磨损加剧。锁止爪与棘轮的啮合面属于面接触,应力分布相对均匀,但由于该界面需承受周期性的压力与摩擦力,容易出现疲劳磨损与粘着磨损,尤其是在高温环境下,材料的硬度降低,磨损速度会显著加快。弹簧与支撑面的接触面属于点接触,接触面积小,应力集中现象明显,长期使用后会在支撑面形成压痕,导致弹簧的安装位置偏移,影响弹簧的力学性能。

### 四、按压式触发结构常见问题及力学根源分析

#### 4.1 常见功能故障表现

通过对汽车点烟器按压式触发结构故障案例的统计分析,其常见故障主要表现为以下四种类型:一是按压滞涩,表现为用户按压过程中感受到明显的阻力波动,操作不顺畅,严重时出现按压卡滞,无法完成触发动作;二是锁止失

效,即按压后无法保持锁止状态,按压组件自动回位,导致加热功能无法实现;三是回位延迟,加热完成后按压组件不能及时回位,需手动辅助操作,存在安全隐患;四是结构疲劳损坏,表现为长期使用后按压组件出现松动、锁止爪变形或弹簧失效,导致整个触发结构无法正常工作。这些故障不仅影响用户的使用体验,还可能因回位延迟导致加热元件过热,引发车内火灾等安全事故,因此必须从力学角度深入分析其根源,为优化设计提供依据。

#### 4.2 故障力学根源解析

按压滞涩问题的力学根源主要包括两个方面:一方面是各运动部件间的摩擦力异常增大,当导向柱与导向套的配合间隙过小,或表面加工精度不足存在毛刺、划痕时,会导致滑动摩擦力急剧增大,出现按压阻力波动;另一方面是弹性元件的力学特性不稳定,若主复位弹簧存在刚度不均匀或弹性形变不一致的问题,会导致按压过程中弹力变化不连续,形成顿挫感。锁止失效的核心力学根源是锁止机构的平衡条件被破坏;此外,锁止爪的弹性形变过大或材料疲劳导致刚度降低,也会使啮合深度不足,无法形成稳定的锁止效果。回位延迟问题主要由回位动力不足或阻力过大引起,当主复位弹簧的刚度系数过小,储存的弹性势能不足以克服回位过程中的各种阻力时,会导致回位速度减慢;若导向机构存在严重的磨损或卡滞,会使运动阻力显著增大,同样导致回位延迟。结构疲劳损坏的力学根源是部件长期承受周期性的交变应力,当应力值超过材料的疲劳极限时,会在部件的薄弱部位产生疲劳裂纹,逐渐扩展导致结构失效。

### 五、按压式触发结构优化策略

#### 5.1 基于力学特性的材料选型优化

材料的力学性能是决定触发结构整体性能的基础,针对不同部件的受力特点进行针对性的材料选型优化,可有效提升结构的力学稳定性与使用寿命。对于按压组件,需同时满足轻量化与高强度的要求,传统的金属材料虽然强度较高,但重量较大,容易增加回位过程的惯性力,建议选用高强度工程塑料,如玻纤增强聚酰胺,该材料不仅具有优异的拉伸强度与冲击韧性,还具有良好的耐磨性与耐温性,可有效降低部件重量,减少回位冲击。锁止爪作为承受交变应力与摩擦作用的核心部件,材料的弹性极限与疲劳强度至关重要,建议选用马氏体不锈钢,通过调质处理提升材料的硬度与弹性模量,确保在反复形变过程中不发生永久变形,同时其表面形成的氧化膜可提高耐磨性,降低摩擦系数。主复位弹簧需具备稳定的弹性性能与抗疲劳性能,建议选用琴钢丝,该

材料具有极高的抗拉强度与弹性极限,经过低温时效处理后,可显著提升疲劳寿命,避免长期使用后出现弹性衰减。

#### 5.2 接触界面与曲面优化

接触界面的优化是降低磨损、提升运动顺畅性的关键,通过对接触曲面的结构优化与表面处理,可有效改善应力分布特性。在锁止爪与棘轮的啮合面优化方面,将传统的平面接触改为弧形接触,增大接触面积,使应力分布更加均匀,降低局部最大应力;同时对啮合面进行抛光处理,表面粗糙度控制在  $Ra0.4$  以下,降低摩擦系数,减少粘着磨损。在导向柱与锁止爪的接触曲面优化方面,将导向柱的斜面设计为平滑的圆弧过渡曲面,避免出现尖角结构,使锁止爪的受力由集中力变为分散力,减少局部应力集中,延缓疲劳损坏。在弹簧与支撑面的接触优化方面,在支撑面设置半球形凹槽,与弹簧的端部形成面接触,替代传统的点接触,增大接触面积,降低接触应力,避免支撑面出现压痕。此外,对所有运动部件的表面进行磷化处理或涂覆耐磨涂层,如二硫化钼涂层,可进一步提升表面硬度与耐磨性,形成持久的润滑效果,减少环境因素对接触界面的影响。

### 六、结论

汽车点烟器按压式触发结构作为典型的机械联动机构,其力学特性直接决定了工作可靠性与使用寿命,通过对该结构的组成形式、工作原理及力学特性的系统分析,可得出以下结论:按压式触发结构的力学传递过程具有明显的阶段性特征,按压阶段需实现力的平稳传递与弹性势能储存,锁止阶段需建立稳定的力学平衡体系,回位阶段需确保弹性势能的高效释放,各阶段的力学特性相互关联,任何一个环节的参数异常都可能导致故障发生。锁止角、弹簧刚度、配合间隙及材料摩擦系数是影响结构力学性能的关键因素,弹簧刚度需与操作力及回位需求相匹配,配合间隙需控制在合理范围以降低摩擦阻力。针对按压滞涩、锁止失效等常见故障,从材料选型及曲面优化两个维度提出的优化策略,可有效改善结构的力学特性,提升可靠性与使用寿命。

本文的研究为汽车点烟器按压式触发结构的设计优化提供了理论依据,但研究主要基于理论分析,后续可结合有限元仿真与实验测试,进一步验证优化方案的有效性,同时可拓展研究温度、振动等车载环境因素对结构力学特性的影响,为产品的可靠性设计提供更全面的支撑。随着汽车智能化的发展,按压式触发结构可能与电子控制技术相结合,未来的研究可关注机电一体化触发结构的力学特性与控制策略,适应汽车零部件的发展趋势。

### 参考文献

- [1]曹磊,王洋,任红民. 汽车点烟器外壳连续模结构设计与成形工艺优化[J]. 大科技,2018(11):181-182.
- [2]熊佳霖. 汽车点烟器外壳连续模结构设计与成形工艺优化[D]. 湖北:华中科技大学,2015.
- [3]杨浪. 基于汽车点烟器的加热装置[J]. 科学与信息化,2016(35):19-21.