

# 不同吨位商用车ESC触发条件的比较研究

贾安涛

洛阳拖拉机研究所有限公司 河南 洛阳 471000

**摘要:** 本文对比分析了不同吨位商用车电子稳定控制系统(ESC)的触发条件。研究选取了轻型、中型及重型商用车作为研究对象,在模拟紧急操控场景下,评估了各车型的ESC触发灵敏度与响应速度。结果表明,随着商用车吨位的增加,ESC触发条件设计得更严格,以有效应对高吨位车辆在高速行驶或紧急避障时的失控风险,确保行车安全。

**关键词:** 不同吨位商用车; ESC触发条件; 比较

引言: 随着商用车行业的快速发展,车辆安全性成为关注焦点。电子稳定控制系统(ESC)作为提升商用车行驶稳定性的关键技术,其触发条件对于保障行车安全至关重要。本研究旨在深入探讨不同吨位商用车ESC触发条件的差异,通过对比分析,为优化ESC系统性能、提高商用车行驶安全性提供理论依据与实践指导,进一步推动商用车安全技术发展。

## 1 ESC系统概述

### 1.1 ESC系统基本原理

(1) ESC系统的工作原理。ESC(电子稳定控制系统)是一种先进的主动安全系统,旨在通过实时监测车辆的动态状态并在必要时进行主动干预,以确保行驶稳定性和安全性。其工作原理基于传感器收集的车辆状态数据,这些数据被电子控制单元(ECU)分析处理,以判断车辆是否处于稳定状态。一旦ECU检测到车辆有失控的趋势,如过度转向或转向不足,它会立即通过液压控制单元(HCU)调整车轮的制动力或发动机的输出扭矩,从而稳定车辆。(2) ESC系统的主要组成部分及其功能。ESC系统主要由传感器、ECU、HCU和执行器等部分组成。传感器包括轮速传感器、偏航率传感器、侧向加速度传感器等,它们负责收集车辆的行驶状态数据。ECU是系统的核心,负责数据分析、决策和控制指令的发出。HCU则根据ECU的指令,通过调整制动压力或发动机扭矩来实现对车辆的稳定控制。执行器则包括制动器、发动机管理系统等,它们根据HCU的指令执行具体的稳定控制动作<sup>[1]</sup>。

### 1.2 ESC系统对商用车安全性能的影响

(1) ESC系统如何提高商用车行驶稳定性。ESC系统通过实时监测车辆的动态状态并在必要时进行主动干预,可以显著提高商用车的行驶稳定性。在紧急情况下,如急转弯或湿滑路面行驶时,ESC系统能够迅速识别车辆的失

控趋势,并通过调整车轮制动力或发动机扭矩来纠正车辆的行驶轨迹,确保车辆稳定行驶。(2) ESC系统在预防侧翻、侧滑等事故中的作用。ESC系统在预防商用车侧翻、侧滑等事故中发挥着至关重要的作用。当车辆出现侧翻或侧滑的趋势时,ESC系统能够迅速响应,通过调整车轮制动力来产生必要的横摆力矩,以纠正车辆的姿态并稳定行驶。这种主动干预能力能够显著降低商用车在复杂路况下发生侧翻或侧滑事故的风险,从而提高行驶安全性。

## 2 不同吨位商用车ESC触发条件分析

### 2.1 吨位分类与选择

#### 2.1.1 商用车吨位分类标准

商用车按照总质量(GVW)通常可分为三大类:轻型商用车(总质量 $\leq 3.5$ 吨)、中型商用车(3.5吨 $<$ 总质量 $\leq 12$ 吨)和重型商用车(总质量 $>12$ 吨)。这种分类方式被全球多数汽车制造商和监管机构所采用,主要基于车辆的结构特点、用途及法规要求。轻型商用车主要包括小型货车和轻型客车,常用于城市物流和短途运输;中型商用车涵盖中型卡车和城市公交车,适用于区域配送和公共交通;重型商用车则包括重型卡车、长途客车和特种车辆,主要用于长途货运和大规模人员运输<sup>[2]</sup>。

在ESC系统研究中,这种分类尤为重要,因为不同吨位车辆的动力学特性差异显著。轻型商用车质量相对较小,质心高度较低,转向灵活性高;中型商用车质量增加,质心高度有所提升,惯性增大;重型商用车则具有极高的质量和较高的质心位置,转向惯性和稳定性挑战更为突出。这些差异直接影响ESC系统的标定和触发条件设置。

#### 2.1.2 代表性研究车型选择

本研究选取了三类具有市场代表性的商用车作为研究对象:对于轻型商用车,选择市场上占有率高的3吨级厢式货车,该车型广泛应用于城市物流;中型商用车选

择8吨级中型卡车，作为区域配送的主力车型；重型商用车则选取40吨级重型牵引车，代表长途货运的典型配置。这些车型在各自细分市场中具有技术先进性和市场代表性，其ESC系统由主流供应商提供，能够反映当前行业的技术水平。

选择这些车型时还考虑了驱动形式（前驱、后驱、全驱）、轴距、悬挂类型等关键参数，确保研究结果具有可比性和普遍意义。所有测试车辆均配备符合欧盟ECER13或美国FMVSS136标准的ESC系统，且处于良好的技术状态，轮胎磨损程度相近，胎压符合制造商标准。

## 2.2 ESC触发条件概述

### 2.2.1 ESC系统触发的基本条件

电子稳定控制系统（ESC）的触发基于多参数实时监测与综合判断，主要考量因素包括：（1）车速阈值：ESC通常在车速超过20km/h时激活，不同厂商设置略有差异。车速直接影响车辆动力学状态，高速时ESC干预更为敏感。（2）转向角度与速率：通过方向盘转角传感器监测驾驶员的转向意图，结合转向速率判断是否存在过度转向或不足转向风险。典型触发阈值为转向角度超过预期值15%以上。（3）侧向加速度：通过惯性测量单元（IMU）监测车辆实际侧向加速度，当超过设定阈值（通常为0.3-0.5g）时可能触发ESC干预。（4）横摆角速度：比较实际横摆率与预期横摆率的偏差，当偏差超过预设值（如10-15°/s）时，系统判定车辆失稳。（5）车轮滑移率：监测各驱动轮与非驱动轮之间的转速差，识别潜在的侧滑或甩尾风险。这些参数通过车辆CAN总线实时传输至ESC控制单元，经过复杂的算法处理，综合判断是否需要介入以及介入的程度。现代ESC系统每秒可进行数百次这样的计算与判断，响应时间通常在100-300毫秒内<sup>[3]</sup>。

### 2.2.2 ESC触发与车辆稳定性的关系

ESC触发条件设置直接关系到车辆稳定性控制的及时性与有效性。过于敏感的触发可能导致系统频繁干预，影响驾驶舒适性和燃油经济性；而过于保守的设置则可能错过最佳干预时机，增加失控风险。稳定性边界理论指出，ESC系统实质上是在车辆接近物理稳定性极限前进行预防性干预。通过实时监测车辆状态与驾驶员指令之间的差异，ESC能够在轮胎附着力的非线性区域进行精确

控制，保持车辆在安全包络线内。研究表明，合理设置的ESC系统可以将商用车侧翻事故减少50%以上，将方向失控事故减少约40%。触发条件与车辆动态特性的匹配尤为关键。例如，高重心车辆对侧向加速度更为敏感，而长轴距车辆对横摆角速度的变化反应较慢。ESC算法需要考虑这些车辆特异性参数，进行差异化的阈值设置和控制策略优化。

## 2.3 不同吨位商用车ESC触发条件的比较研究

### 2.3.1 测试方法与条件

本研究采用控制变量法，在相同的测试场地（平坦沥青路面，摩擦系数0.8-0.9）、相似环境条件（温度15-25°C，风速 < 5m/s）下，对三类商用车进行标准化测试。主要测试项目包括：（1）正弦停滞测试：以递增的车速进行正弦转向操作，记录ESC首次干预时的车速、转向角度和侧向加速度。（2）阶跃转向测试：在恒定车速下突然施加大幅转向输入，测量ESC响应时间和干预强度。（3）低附着路面测试：在 $\mu$ -split路面（一侧摩擦系数0.3，另一侧0.7）进行加速和制动操作，观察ESC对车轮滑移的控制效果。所有测试由专业试车员操作，使用相同的测试设备和数据采集系统（包括RTK-GPS、IMU和车轮力传感器），确保数据可比性。每种测试重复5次，取平均值作为最终结果。

### 2.3.2 触发阈值比较分析

测试数据显示，不同吨位商用车的ESC触发阈值存在系统性差异：（1）轻型商用车表现出较高的侧向加速度触发阈值（平均0.48g），转向角度阈值相对较低（25°）。这与轻型车辆较高的轮胎附着力和灵活的转向特性相符。ESC干预以制动单侧前轮为主，干预强度中等。（2）中型商用车的侧向加速度阈值降至0.41g，转向角度阈值升至32°。系统更早介入，且干预策略更复杂，常结合发动机扭矩控制和多轮制动。这与中型车辆较高的重心和较大的转动惯量有关。（3）重型商用车显示出最低的侧向加速度阈值（0.35g）和最高的转向角度阈值（38°）。ESC系统极为敏感，轻微的不稳定迹象就会引发强干预，包括全车制动和发动机功率大幅限制。这反映了重型车辆极高的翻车风险和长轴距带来的转向响应滞后特性。如表1。

表1 不同吨位商用车ESC触发阈值比较

参数	轻型商用车	中型商用车	重型商用车
侧向加速度阈值 (g)	0.48	0.41	0.35
转向角度阈值 (°)	25	32	38
典型干预延迟 (ms)	150	180	220
主要干预方式	单轮制动	多轮制动+扭矩控制	全车制动+功率限制

### 2.3.3 吨位影响的机理分析

吨位对ESC触发条件的影响主要通过以下物理机制实现：（1）质量惯性效应：车辆质量直接决定其惯性特性。重型车巨大的质量使其改变运动状态需要更大的力，但一旦开始失控，动能也更大，更难纠正。这要求ESC系统更早介入，以预留足够的安全裕度。（2）重心高度影响：随吨位增加，车辆重心通常升高。重心高度与侧翻阈值成反比关系，可用以下公式表示：侧翻临界加速度 $a = g \times T / (2h)$ ，其中T为轮距，h为重心高度。重型商用车较高的重心使其更容易达到侧翻阈值，因此ESC需要更保守的设置。（3）轮胎载荷特性：重型车轮胎承受极大垂直载荷，导致其侧偏刚度相对降低，在相同侧向力下产生更大的侧偏角。这使得重型车更容易出现转向不足或过度，需要ESC更积极地干预。（4）轴距与转向几何：长轴距车辆转向响应较慢，横摆率建立需要更长时间。ESC系统需要适应这种动态特性，调整触发时机和控制策略。此外，商用车的载荷状态（空载/满载）会显著改变车辆动力学参数，现代先进的ESC系统能够通过载荷传感技术或参数估计算法实时调整触发阈值，这也是不同吨位车辆ESC标定差异的重要原因之一。

## 3 影响ESC触发条件的因素分析

### 3.1 车辆结构参数影响

#### 3.1.1 车辆质量、轴距、质心高度等结构参数对ESC触发条件的影响

车辆质量是影响ESC触发条件的关键因素。较重的车辆具有更大的惯性，因此需要更大的外力才能改变其运动状态，这可能导致ESC系统的触发阈值相应提高。轴距的长短也会影响车辆的操控性和稳定性。长轴距车辆通常具有更好的直线行驶稳定性，但在转弯时可能更容易出现过度转向，从而触发ESC系统。质心高度同样对ESC触发条件有重要影响。高质心车辆更容易受到侧风、路面不平等因素的影响，导致侧倾或侧滑，进而触发ESC系统进行干预。

#### 3.1.2 结构参数与ESC触发阈值之间的关系

结构参数与ESC触发阈值之间存在复杂的关系。一般来说，车辆质量越大、轴距越长、质心越高，ESC系统的触发阈值可能越高。这是因为这些结构参数增加了车辆

行驶过程中的稳定性挑战，需要更强的外力或更显著的动态变化才能触发ESC系统进行响应。然而，这种关系并非绝对，还受到车辆悬挂系统、轮胎规格、ESC系统调校等多种因素的影响<sup>[4]</sup>。

### 3.2 行驶工况影响

#### 3.2.1 不同道路条件、天气条件对ESC触发条件的影响

道路条件如路面平整度、坡度、弯道半径等，都会影响车辆的行驶稳定性和ESC系统的触发条件。例如，湿滑路面会降低轮胎与地面的摩擦力，增加侧滑风险，从而更容易触发ESC系统。恶劣天气条件如强风、暴雨、大雪等，也会对车辆的行驶稳定性构成挑战，增加ESC系统的触发概率。

#### 3.2.2 复杂工况下ESC系统的适应性及其优化策略

在复杂工况下，ESC系统需要具备良好的适应性和优化策略以确保车辆行驶安全。例如，通过调整ESC系统的控制算法和参数，可以使其在不同路况和天气条件下具有更好的稳定性和响应速度。此外，结合先进的传感器技术和车辆动态监测手段，可以实时监测车辆状态并进行预警和干预，进一步提高ESC系统的适应性和安全性。

### 结束语

综上所述，通过对不同吨位商用车ESC触发条件的比较研究，我们深入了解了吨位对ESC系统触发机制的影响。研究揭示了随着商用车吨位的增加，ESC触发条件需更为严格以确保行车安全的必要性。本研究成果为商用车ESC系统的优化设计提供了有价值的参考，有望推动行业标准的提升与安全技术的发展。未来，我们将继续探索更多影响ESC性能的因素，为商用车安全贡献力量。

### 参考文献

- [1]王磊.基于不同载荷状态的商用车ESC控制策略研究[J].汽车工程,2020,(05):50-51.
- [2]刘昭度.重型商用车电子稳定性控制系统门限值确定方法[J].吉林大学学报,2021,(08):73-74.
- [3]陈慧.基于车辆参数自适应的商用车ESC控制算法[J].同济大学学报,2020,(04):56-57.
- [4]赵治国.不同总质量商用车ESC控制策略比较[J].汽车技术,2022,(06):66-67.