


汽车理论  
第一章 汽车的动力性  
第4节 **汽车操纵稳定性与悬架的关系**


教师：张冠军  
邮箱：zgjhuda@qq.com  
电话：18570327941

 汽车车身先进设计制造国家重点实验室


第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

 UNIVERSITY  
**本节要点**

- ◆ 弹性侧偏角、侧倾转向角和变形转向角
- ◆ 不同悬架及参数对汽车操纵稳定性的影响
- ◆ 改善汽车操纵稳定性的方法

 汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

 UNIVERSITY


**稳定性因素K：决定汽车响应的重要参数！**


$$K = \frac{m}{L^2} \left( \frac{a}{k_2} - \frac{b}{k_1} \right) \quad \text{或} \quad K = \frac{1}{a_y L} (\alpha_1 - \alpha_2)$$

上述公式忽略悬架、转向系、驱动力的作用


**侧偏角** → 整车质心位置  
轮胎无外倾角、载荷无变化、无驱动下的侧偏刚度

**实际情况复杂很多！**




 汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系


 UNIVERSITY

**实际上还需考虑的对侧偏角有影响的因素**

- 1) 前、后轴左、右两侧车轮的垂直载荷要发生变化；
- 2) 车轮有外倾角，由于悬架导向杆系的运动及变形，外倾角将随之变化；
- 3) 车轮上有切向反作用力；
- 4) 车身侧倾时悬架变形，悬架导向杆系和转向杆系将产生相应运动及变形。


 汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系


 UNIVERSITY

**汽车轮胎侧偏角还应考虑如下内容**

- 1) 弹性侧偏角 ( $F_z$ 变化和 $\gamma$ 等的变化引起的侧偏角 $\alpha$ 的变化)
- 2) 侧倾转向角 (车厢侧倾而导致前后轮转角的变化)；
- 3) 变形转向角 (悬架导向杆系变形引起的车轮转角的变化)

 汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

 UNIVERSITY

**一、车厢侧倾**

$$F = ks \rightarrow M = K_\phi \Phi$$


**1.车厢侧倾轴线**

- 1) 侧倾轴线：车厢相对于地面转动时的瞬时轴线；
- 2) 侧倾中心：侧倾轴线通过前、后轴处横断面上的瞬时转动中心；其位置由悬架导向机构决定，常用图解法确定。

**思考**

侧倾中心：取决于悬架的导向机构  
侧倾轴线：侧倾中心的连线

先确定侧倾轴线再确定侧倾中心  
还是先确定侧倾中心再确定侧倾轴线？

 汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

一、车厢侧倾

### 侧倾中心的确定

- ◆ 假定车厢不动，地面相对车厢的瞬时转动中心即为侧倾中心
- ◆ 先确定二轮瞬时中心及它们接地点的速度方向
- ◆ 把地面看成一个刚体，根据二轮接地点速度方向确定地面相对汽车运动的瞬心（即侧倾中心）

确定侧倾中心的原则

- ① 假定车厢不动，地面和车轮相对车厢转动；
- ② 假定车轮与地面间无相对滑动；
- ③ 对四连杆机构会用到三心定理。

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

7

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

一、车厢侧倾

### 三心定理

四连杆机构中相对两杆的相对运动瞬心是相邻两杆延长线的交点。

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

8

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

一、车厢侧倾

### 1) 单横臂独立悬架车厢的侧倾中心

图5-36 单横臂独立悬架上车厢的侧倾中心

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

9

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

一、车厢侧倾

### 2) 双横臂独立悬架的侧倾中心

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

10

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

一、车厢侧倾

### 双横臂独立悬架的等效单横臂悬架

以车轮相对车厢的运动瞬心为铰接点的单横臂悬架称为原独立悬架的**等效单横臂悬架**

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

11

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

一、车厢侧倾

### 悬架侧倾中心的注意事项

- ◆ 随车厢侧倾程度的增加，侧倾中心的位置是变化的
- ◆ 分析中没有考虑导向杆系铰接点中安装的**橡胶衬套**
- ◆ 没有考虑侧倾时碰到刚度较大的**缓冲块**
- ◆ 车厢侧倾会影响侧倾中心

上述分析只是侧倾中心的近似位置

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

12

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

一、车厢侧倾

## 2. 悬架的侧倾角刚度

定义：车厢侧倾时，单位车厢转角下，悬架系统给车厢总的弹性恢复力偶矩： $K_{\Phi r} = \frac{dT}{d\Phi_r}$

1) 悬架的线刚度

定义：车轮保持在地面上而车厢作垂直运动时，单位车厢位移下，悬架系统给车厢的总弹性恢复力： $K_1 = \frac{\Delta F}{\Delta s}$

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body (Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

一、车厢侧倾

(1) 非独立悬架

(2) 独立悬架

恢复力

弹性元件      导向杆系约束反力

$\Delta F = 2k_s \Delta s$

$K_1 = \frac{\Delta F}{\Delta s} = 2k_s$

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

一、车厢侧倾

用虚位移原理确定悬架侧倾角刚度

$\Delta Q = k_s \Delta s_s$

$\frac{\Delta s_s}{m} = \frac{\Delta s_t}{n} \quad \Delta s_s = \frac{m}{n} \Delta s_t$

$\Delta F'_Z n = \Delta Q m$

$= k_s \Delta s_s m$

$\Delta F'_Z = k_s \frac{m}{n} \Delta s_s$

$= k_s \left(\frac{m}{n}\right)^2 \Delta s_t$

$\frac{\Delta F'_Z}{\Delta s_t} = k_s \left(\frac{m}{n}\right)^2 \quad K_1 = 2k_s \left(\frac{m}{n}\right)^2$

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

一、车厢侧倾

用虚位移原理确定悬架侧倾角刚度

$(F'_Z - \frac{G_u}{2}) \delta s_t - Q \delta s_s = 0$

$(F'_Z - \frac{G_u}{2} + \Delta F'_Z) \delta s_t - (Q + \Delta Q) \delta s_s = 0 \implies \Delta F'_Z \delta s_t = \Delta Q \delta s_s$

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

一、车厢侧倾

用虚位移原理确定悬架侧倾角刚度

未涉及悬架的结构尺寸参数

适用于任何独立悬架

$\Delta F'_Z = \Delta Q \frac{\delta s_s}{\delta s_t}$

$\frac{K_1}{2} \Delta s_s = K_s \Delta s_s \frac{\delta s_s}{\delta s_t} \quad K_1 = 2K_s \frac{\Delta s_s}{\Delta s_t} \frac{\delta s_s}{\delta s_t}$

$\frac{\Delta s_s}{\Delta s_t} = \frac{\delta s_s}{\delta s_t} \quad K_1 = 2K_s \left(\frac{\delta s_s}{\delta s_t}\right)^2 \quad K_1 = 2k_s \left(\frac{m}{n}\right)^2$

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

一、车厢侧倾

## 2) 悬架的侧倾角刚度

$dT = \frac{1}{2} K'_1 B^2 d\Phi_r$

$K_{\Phi r} = \frac{1}{2} K'_1 B^2$

$K_1 = 2k_s \left(\frac{m}{n}\right)^2$

$K_{\Phi r} = \frac{1}{2} k_s \left(\frac{Bm}{n}\right)^2$

图5-41 利用等效弹簧概念计算悬架侧倾角刚度

一侧悬架的线刚度

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 3. 车厢侧倾角及侧倾力矩

$\Phi_r$

- 操纵稳定性
  - 侧倾角改变了外倾角 $\gamma$
  - 侧倾角改变了内外车轮的垂直载荷 $F_z$ , 从而改变侧偏刚度 $k$ 、侧偏角 $\alpha$
- 平顺性
  - $\Phi_r$ 大, 水平晃动大, 乘客**不稳定, 无安全感**
  - $\Phi_r$ 小,  $K_{\Phi r} \uparrow \rightarrow k_s \uparrow \rightarrow$ 地面不平时有冲击感

$$K = \frac{m}{L^2} \left( \frac{a}{k_2} - \frac{b}{k_1} \right)$$

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 3. 车厢侧倾角及侧倾力矩

$\Phi_r = \frac{M_{\Phi r}}{\sum K_{\Phi r}}$

在确定悬架总侧倾角刚度 $\sum K_{\Phi r}$ 时, 要综合考虑对操纵稳定性和平顺性的影响

侧倾力矩 $M_{\Phi r}$

- 悬挂质量离心力引起的侧倾力矩 $M_{\Phi r I}$
- 悬挂质量重力引起的侧倾力矩 $M_{\Phi r II}$
- 非悬挂质量的离心力引起的侧倾力矩 $M_{\Phi r III}$

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 1) 悬挂质量的离心力引起的侧倾力矩 $M_{\Phi r I}$

悬挂质量离心力, 悬挂质量, 悬挂质量重力, 侧倾力矩的确定

$$F_{sy} = m_s \frac{u^2}{R} = a_y G_s \quad M_{\Phi r I} = F_{sy} h$$

$$h \approx h_s - \overline{HN} = h_s - \left( \frac{h_1 b_1 + h_2 a_2}{L} \right)$$

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 2) 侧倾后悬挂质量重力引起的侧倾力矩 $M_{\Phi r II}$

图5-43 侧倾后悬挂质量重力引起的侧倾力矩

$$M_{\Phi r II} = G_s e \approx G_s h \Phi_r$$

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 3) 独立悬架中非悬挂质量的离心力引起的侧倾力矩 $M_{\Phi r III}$

$F'_1$ 和 $F'_r$ 对车身的力矩即为 $M_{\Phi r III}$

$$F'_1 \overline{NG} = \frac{F_{wy}}{2} r$$

$$F'_r = \frac{F_{wy}}{2} \frac{r}{\overline{NG}}$$

$$M_{\Phi r III} = -F'_1 \overline{EF}$$

$$= -F_{wy} r \frac{\overline{KF}}{\overline{NG}}$$

$$\frac{\overline{KF}}{\overline{NG}} = \frac{h_0 - r}{r}$$

$$M_{\Phi r III} = -F_{wy} (h_0 - r)$$

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

$\Phi_r = \frac{M_{\Phi r}}{\sum K_{\Phi r}}$

悬架总侧倾刚度 $\sum K_{\Phi r}$ 等于前、后悬架及横向稳定杆的侧倾角刚度之和

已知侧倾刚度和侧倾力矩, 即可求得车厢侧倾角

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

## 二、侧倾时垂直载荷在左右轮上的重新分配及其对稳态响应的影响

1. 侧倾时垂直载荷在左右轮上的重新分配
2. 左右轮垂直载荷再分配时轮胎的侧偏刚度

不足转向  $\rightarrow$  过多转向

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

25

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

## 二、侧倾时垂直载荷在左右轮上的重新分配及其对稳态响应的影响

### 1. 侧倾时垂直载荷在左右轮上的重新分配

> 工字形车架代表车厢，悬挂质量为 $M_s$ 。  
 > 工字形车架分别通过前、后悬架的侧倾中心 $m_{01}$ 和 $m_{02}$ 与前后轴相铰接，同时又通过前后悬架的弹性元件分别与前、后轴相连接。

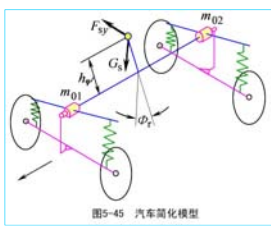


图5-45 汽车简化模型

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

26

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

## 二、侧倾时垂直载荷在左右轮上的重新分配及其对稳态响应的影响

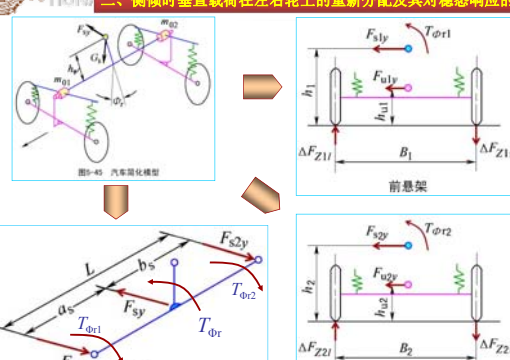


图5-45 汽车简化模型

前悬架

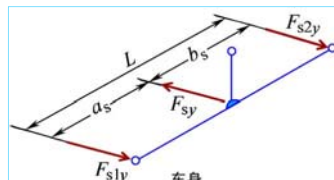
后悬架

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

27

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

## 二、侧倾时垂直载荷在左右轮上的重新分配及其对稳态响应的影响



车身

$$F_{sy} = F_{s1y} + F_{s2y}$$

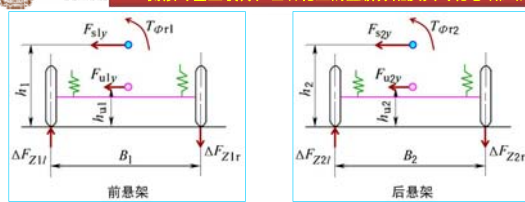
$$F_{s1y} = F_{sy} \frac{b_s}{L} \quad F_{s2y} = F_{sy} \frac{a_s}{L}$$

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

28

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

## 二、侧倾时垂直载荷在左右轮上的重新分配及其对稳态响应的影响



前悬架

后悬架

$$T_{\phi r1} = K_{\phi r1} \Phi_r$$

$$\Delta F_{Z1l} B_1 = F_{sy} \frac{b_s}{L} h_1 + T_{\phi r1} + F_{u1y} h_{u1}$$

$$\Delta F_{Z1r} = -\Delta F_{Z1l}$$

$$F'_{Z1l} = F_{Z1l} + \Delta F_{Z1l}$$

$$F'_{Z1r} = F_{Z1r} + \Delta F_{Z1r}$$

$$T_{\phi r2} = K_{\phi r2} \Phi_r$$

$$\Delta F_{Z2l} B_2 = F_{sy} \frac{a_s}{L} h_2 + T_{\phi r2} + F_{u2y} h_{u2}$$

$$\Delta F_{Z2r} = -\Delta F_{Z2l}$$

$$F'_{Z2l} = F_{Z2l} + \Delta F_{Z2l}$$

$$F'_{Z2r} = F_{Z2r} + \Delta F_{Z2r}$$

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

29

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

## 二、侧倾时垂直载荷在左右轮上的重新分配及其对稳态响应的影响

$$\Delta F_{Z1} = (F_{sy} \frac{b_s}{L} h_1 + K_{\phi r1} \Phi_r + F_{u1y} h_{u1}) / B_1 \quad \Phi_r = \frac{M_{\phi r}}{\sum K_{\phi r}}$$

离心力 $F_{sy}$ 越大  
质心越靠前 ( $b_s$ 越大)  
前侧倾中心越高 ( $h_1$ 越大)  
前悬架侧倾角刚度占总侧倾角刚度比例越大  
前轮距越小 $B_1$

↓

左前轮垂直载荷变化量越大

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

30

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

二、侧倾时垂直载荷在左右轮上的重新分配及其对稳态响应的影响

### 2. 左右轮垂直载荷再分配时轮胎的侧偏刚度

车身不侧倾时  $\alpha_0 = \frac{F_y}{2k_0}$

车身侧倾后  $\alpha_1 = \alpha_r = \alpha$

$F_y = k_l \alpha + k_r \alpha$

$\alpha = \frac{F_y}{k_l + k_r}$

$k'_0 = \frac{k_l + k_r}{2}$   $\alpha_0 = \frac{F_y}{2k'_0}$

$k_0 > k'_0 \rightarrow \alpha_0 < \alpha$

图5-46 左、右车轮垂直载荷再分配时轮胎的侧偏刚度

当车身侧倾严重时， $\alpha$ 是增大还是减小？

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

二、侧倾时垂直载荷在左右轮上的重新分配及其对稳态响应的影响

$\Delta F_{Z1} \uparrow \rightarrow \alpha_1 \uparrow \rightarrow$  汽车趋于增加不足转向

$\Delta F_{Z2} \uparrow \rightarrow \alpha_2 \uparrow \rightarrow$  汽车趋于减少不足转向

$\Delta F_{Z1} = (F_{sy} \frac{b_s}{L} h_1 + K_{\phi r1} \Phi_r + F_{u1y} h_{u1}) / B_1$

$\Delta F_{Z2} = (F_{sy} \frac{a_s}{L} h_2 + K_{\phi r2} \Phi_r + F_{u2y} h_{u2}) / B_2$

影响前后轴左右车轮垂直载荷变化量的因素

- ◆ 前后悬侧倾中心的位置
- ◆ 前后悬的侧倾角刚度
- ◆ 悬挂质量
- ◆ 非悬挂质量
- ◆ 质心位置

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

二、侧倾时垂直载荷在左右轮上的重新分配及其对稳态响应的影响

思考

- ◆ 如何通过改变前后轴左、右侧车轮垂直载荷的变化量来提高汽车的不足转向量？
- ◆ 横向稳定杆用在前后悬架对汽车稳态响应特性所起到的作用是否相同？

$\Delta F_{Z1} \uparrow \rightarrow \alpha_1 \uparrow \rightarrow$  汽车趋于增加不足转向

$\Delta F_{Z2} \uparrow \rightarrow \alpha_2 \uparrow \rightarrow$  汽车趋于减少不足转向

$\Delta F_{Z1} = (F_{sy} \frac{b_s}{L} h_1 + K_{\phi r1} \Phi_r + F_{u1y} h_{u1}) / B_1$

$\Delta F_{Z2} = (F_{sy} \frac{a_s}{L} h_2 + K_{\phi r2} \Phi_r + F_{u2y} h_{u2}) / B_2$

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

二、侧倾时垂直载荷在左右轮上的重新分配及其对稳态响应的影响

$\Delta F_{Z1} = (F_{sy} \frac{b_s}{L} h_1 + \frac{K_{\phi r1}}{K_{\phi r1} + K_{\phi r2}} M_{\phi r} + F_{u1y} h_{u1}) / B_1$

$\Delta F_{Z2} = (F_{sy} \frac{a_s}{L} h_2 + \frac{K_{\phi r2}}{K_{\phi r1} + K_{\phi r2}} M_{\phi r} + F_{u2y} h_{u2}) / B_2$

前悬架角刚度↑或后悬架角刚度↓

前轮垂直载荷变化量↑

$\alpha_1 \uparrow$

$K = \frac{1}{L a_y} (|\alpha_1| - |\alpha_2|) \uparrow$  不足转向增加

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 三、侧倾外倾——侧倾时车轮外倾角的变化

车厢侧倾时 $\gamma$ 的变化有三种可能

- 不变
- 沿 $F_y$ 侧倾
- 沿 $F_y$ 相反方向侧倾

外倾角的变化会引起外倾侧向力或轮胎侧偏角的变化

车轮外倾侧倾方向与地面侧向反作用力方向一致

车轮外倾侧倾方向与地面侧向反作用力方向相反

$F_y = F_{Ya} + F_{Yr}$

$\alpha = \frac{1}{k} (F_y - F_{Yr}) = \frac{F_y}{k} - \gamma \frac{k_y}{k}$

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 三、侧倾外倾——侧倾时车轮外倾角的变化

$\gamma$ 过大对汽车产生不良影响

影响轮胎与路面的良好接触

$\gamma$ 增大，影响最大地面侧向反力，降低极限侧向加速度

汽车轮胎

摩托车轮胎

转弯时外侧车轮应尽量垂直于地面

悬架设计

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

三、侧倾外倾——侧倾时车轮外倾角的变化

车轮外倾角 $\gamma$ 的确定

地面转过 $\phi$ 角

地面回到水平位置

地面转过 $\phi$ ,确定车轮相对于车厢外倾角 $\gamma'$ 。

地面回到水平位置确定车厢相对于地面产生侧倾角 $\phi$ ,时,轮胎外倾角 $\gamma''$ 。

$\gamma = \gamma' + \gamma''$

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

37

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

三、侧倾外倾——侧倾时车轮外倾角的变化

车厢侧倾时不同形式悬架所引起的车轮外倾角的变化

非独立悬架车身侧倾时,前轮外倾角不变

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

38

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

三、侧倾外倾——侧倾时车轮外倾角的变化

车厢侧倾时不同形式悬架所引起的车轮外倾角的变化

双横臂悬架前轮外倾角与地面侧向力方向相反,有增大侧偏角(绝对值)的作用

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

39

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

三、侧倾外倾——侧倾时车轮外倾角的变化

车厢侧倾时不同形式悬架所引起的车轮外倾角的变化

单纵臂悬架前轮外倾角与地面侧向力方向相反,有增大侧偏角(绝对值)的作用

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

40

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

三、侧倾外倾——侧倾时车轮外倾角的变化

车厢侧倾时不同形式悬架所引起的车轮外倾角的变化

单纵臂悬架前轮外倾角与地面侧向力方向

相同(小侧向加速度)  $|\alpha| \downarrow$

相反(大侧向加速度)  $|\alpha| \uparrow$

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

41

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

三、侧倾外倾——侧倾时车轮外倾角的变化

车厢侧倾所引起的车轮外倾角的变化可由下式计算

$$\gamma = \frac{\partial \gamma}{\partial \Phi_r} \Phi_r$$

$\frac{\partial \gamma}{\partial \Phi_r}$ ——侧倾外倾系数

单位车厢外倾引起的车轮外倾变化率

汽车行驶过程中,轮胎上下跳动

车轮外倾角不断变化

外倾侧向力影响直线形式稳定性

侧倾外倾角的设计要兼顾横摆角速度响应和直线行驶稳定性

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

42

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 四、侧倾转向

**侧倾转向：车厢侧倾所引起的前转向绕主销的转动、后轮绕垂直于地面轴线的转动，即车轮转角的变化**

后轴(非转向轴)：车厢侧倾时由于悬架导向杆系的运动学关系所产生的车轮转角

前轴(转向轴)：悬架导向杆系与转向杆系相互作用运动学关系所产生的车轮转角变化(侧倾干涉转向)

**轴转向：发生侧倾转向时，非独立悬架的车轴发生绕垂直轴线的转动**

**运动学侧偏：车轴和车轮绕垂直轴线的转动与车轮侧偏的效果一样，侧倾转向也叫运动学侧偏**

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 四、侧倾转向

**后悬架的侧倾转向对稳态转向特性的影响**

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 四、侧倾转向

**板簧悬架的轴转向**

**侧倾力作用结果**      无侧倾力作用

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 四、侧倾转向

图4-50 一双横臂独立悬架前轮定位参数的变化曲线

- ◆ 外侧悬架压缩，前束减少，车轮向外转
- ◆ 内侧悬架拉伸，前束增加，车轮向汽车中心转
- ◆ 该车侧倾转向引起了不足转向的增加

**侧倾转向是使汽车具有不足转向量的有效手段**

**不足侧倾转向**

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 四、侧倾转向

具有侧倾转向效应的汽车

↓

路面不平致车轮跳动

↓

车轮产生一定的转向角

↓

影响汽车直线行驶稳定性

图5-51 Nissan 240SX轿车多连杆独立悬架的前束变化曲线

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 四、侧倾转向

**车轮的侧倾转向角与车厢侧倾角的关系可以用下式表示**

$$\delta = \phi_r \frac{\partial \delta}{\partial \phi_r}$$

$\frac{\partial \delta}{\partial \phi_r}$  — 侧倾转向系数

单位车厢侧倾引起的车轮转角

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 五、变形转向—悬架导向装置变形引起的车轮转向角

- ◆ 变形转向：悬架导向杆系各元件在各种力、力矩作用下发生的变形，引起车轮绕主销或垂直于地面轴线的转动
- ◆ 转角称为变形转向角

变形转向是使汽车具有不足转向量的有效手段

- ✓ 不足变形转向角
- ✓ 过多变形转向角

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 五、变形转向

#### 1、侧向力变形转向角 $\delta_c$

估算侧向力变形转向角  $\delta_c = \frac{F_y}{1000} \frac{\partial \delta}{\partial F_y}$

$\delta_c$ — 变形转向角；  
 $\frac{\partial \delta}{\partial F_y}$ — 侧向力变形转向系数

- 对于转向轮，包含了转向系的变形效应
- 每kN侧向力产生的变形转向角

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 五、变形转向

转向时，一般希望承受主要载荷的外侧车轮有合适的不足变形转向角

前轮有减少前束的变形转向角  
后轮有增加前束的变形转向角

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 五、变形转向

图5-52 Nissan 240SX具有不足变形转向角的多杆式后悬架

图5-53 Nissan 240SX多杆式独立悬架的变形转向角

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 五、变形转向

#### 2、回正力矩变形转向角 $\delta_a$

各轮胎上都作用有回正力矩

悬架、车轮会发生扭转变形

回正力矩变形转向角 $\delta_a$

$$\delta_a = \frac{1}{100} \alpha N_a \frac{\partial \delta}{\partial T}$$

$\frac{\partial \delta}{\partial T}$ — 回正力矩变形转向系数  $N_a$ — 回正力矩系数

- 每100N·m回正力矩产生的变形转向角
- 每一度侧偏角产生的回正力矩

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 五、变形转向

#### 回正力矩引起的变形转向角

回正力矩作用的效果

前轴趋于增加不足转向  
后轴趋于减少不足转向

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

湖南大学 HUNAN UNIVERSITY

第4节 汽车操纵稳定性与悬架的关系

### 六、变形外倾—悬架导向装置变形引起的外倾角的变化

受到侧向力作用的独立悬架杆系的变形会引起车轮外倾角的变化

汽车车身先进设计制造国家重点实验室 (湖南大学)  
State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body(Hunan University)

55

湖南大学 HUNAN UNIVERSITY

湖南大学

求索

湖南大学<sup>56</sup>