



# 第六章 汽车通过性 及平顺性

## § 6-1 汽车通过性

定义：汽车在一定载荷下，以足够高的平均速度通过坏路或无路地带（松软地、砂地、雪地、坎坷路面）和克服各种障碍的能力。

### 一、在松软路面上汽车的驱动力和挂钩牵引力

#### 1. 驱动力

剪切力——对汽车的推力——驱动力

附着力——土壤的“类型”及“状态”

摩擦性 粘性 水份 温度

(1) 摩擦性土壤

驱动力（推力）

$$F_t = G_a \cdot \operatorname{tg} \phi$$

式中： $\phi$  ——土壤颗粒间摩擦角。

(2) 粘性土壤

驱动力（推力）

$$F_t = AC$$

式中： $A$  ——驱动车轮接地面积；

$C$  ——粘性土壤的粘聚系数。

实际上的土壤为上述两者之综合。

土壤基本类型	粘土含量 (%)
砂 土	0~3
亚砂土	3~12
亚粘土	12~18
重粘土	18~25
粘 土	25~100

$$F_t = A_C + G_a \cdot tg\varphi$$

式中：A、W ——汽车结构参数；

C、 $tg\varphi$  ——试验数据。

将上式除以接地面积A： $\frac{F_e}{A} = \frac{A_C}{A} + \frac{G_0 tg\varphi}{A}$

土 壤	C kg/cm <sup>2</sup>	$tg\varphi$
含水少的粘性土壤，干土路	0.5~1.5	0.27~0.3
塑性状态的粘性土	0.3~1	0.2~0.4
小颗粒干砂土	0.03~0.1	0.4~0.7

$$F_{e\max} = A_{\tau\max} = AC + wtg\varphi$$

实际上,  $\tau$  取决于剪切变形量。

$j$ — $x$  (接触面长度呈线性关系)

$J$ — $j$  有两种类型:

①脆性土壤——出现驼峰

例如压实的砂、冻土、冻雪。

②疏松土壤——逐渐接近  $\tau_{\max}$

例如松砂, 湿透粘土, 干土, 大多数受扰动的公路。

整个接触面单位抗剪平均值:

$$\tau_{\max} = C + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad \bar{\tau} \approx 0.8 \sim 0.95 \tau_{\max}$$

## 2. 挂钩牵引力

汽车在松软地带行驶时, 表征通过性的参数不是  $F_e$  而是  $F_d$  (挂钩牵引力)。

$$F_d = F_e - F_r$$

式中:  $F_r$  ——土壤阻力;

$F_r$  ——包括压实阻力  $F_{rc}$  和推土阻力  $F_{rb}$ 。

①压实阻力

由土力学可知

$$P = KZ^n$$

式中:  $P$  ——单位压力;

$Z$  ——土壤沉陷量 (变形量);

$n$  ——与土壤性质有关指数;

$k$  ——与土壤性质和支承面有关系数。

K与两个因素有关，很复杂，所以改为下式：

$$P = \left( \frac{K_c}{b} + k_\varphi \right) Z^n$$

式中： $K_c$ ——土壤粘聚变形系数；

$K_\varphi$ ——土壤摩擦变形系数；

$b$ ——印迹短轴宽度；

$n$ ——土壤沉陷指数， $n=0\sim 1$ 。

试验 代表轮胎接地面积的平板均匀压入土壤的曲线。

$n < 1$  松软土壤

$n > 1$  硬实土壤

例：

	湿度%	n	$K_e$	$K_\varphi$	$C_{kpa}$	$\varphi$
砂土壤	15	0.7	5.27	1515.04	1.72	29°
	22	0.2	2.56	43.12	1.38	38°
粘土壤	38	0.5	13.19	692.15	4.14	13°
	55	0.7	16.03	1262.53	2.07	10°

压实阻力与变形量成正比。

视车轮为刚性车轮。

N水平力:

$$F_{rc} = \int_0^{Z_0} pb \cdot r \sin \theta d\theta$$

$$\because pr \sin \theta d\theta = pdz$$

$$\therefore F_{rc} = \int_0^{Z_0} Pbdz$$

$$\text{即 } F_{rc} = b \int_0^{Z_0} \left( \frac{K_c}{c} + K_\varphi \right) Z^n dz = b \left( \frac{K_c}{b} + K_\varphi \right) \frac{Z_0^{n+1}}{n+1}$$

$$\text{②推土阻力: } F_{rb} = b(CZ_0 K_{pc} + 0.5Z_0^2 r_c K_{pr})$$

式中:  $Z_0$  ——沉陷量;  
 $r_c$  ——土壤比重;  
 $C$  ——粘聚系数。

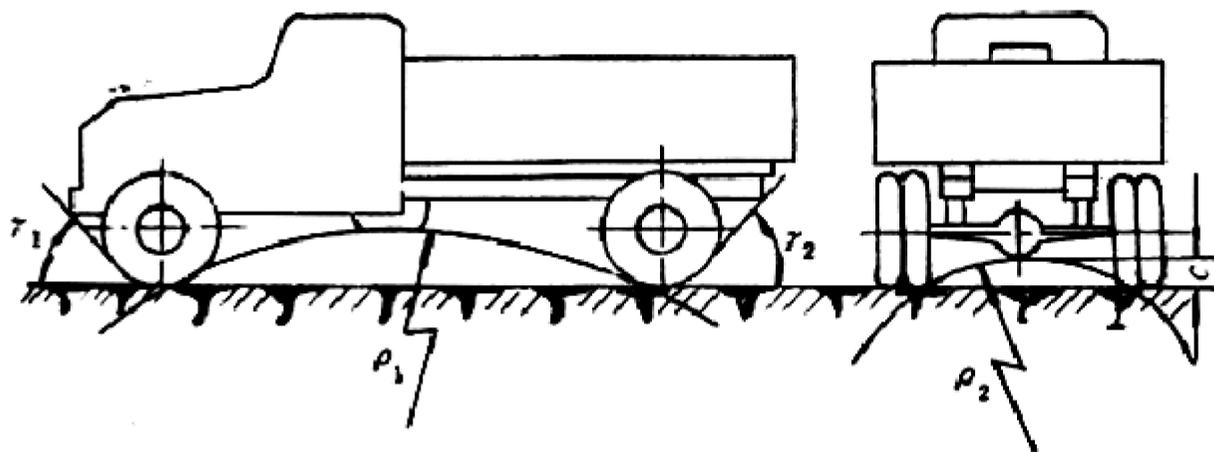
$$K_{pc} = (N_c - \text{tg} \varphi) \cos^2 \varphi$$

$$K_{pr} = \left( \frac{2N_r}{\text{tg} \varphi} + 1 \right) \cos^2 \varphi$$

$N_c$ 、 $N_r$  土壤承载系数可查出。

$$F_d = F_t - F_r = F_c - F_{rc} - F_{rb}$$

## 二、通过性几何参数



汽车通过性的几何参数

$\gamma_1$ -接近角； $\gamma_2$ -离去角； $\rho_1$ -纵向通过半径； $\rho_2$ -横向通过半径； $c$ -最小离地间隙

### 1. 最小离地间隙

汽车除车轮外，最低点与路面距离——顶起失效。

### 2. 纵向通过半径

前后轮与两轴间最低点相切圆半径——顶起失效。

### 3. 接近角与离去角

车身后最低点向前轮引切线，切线与地面之间的夹角为接近角——触头失效。

车身后部最突出点向后轮引切线，切线与地面的夹角为离去角——托尾失效。

#### 4. 最小转弯半径

汽车机动性指标对通过性影响很大，表征汽车通过狭窄弯道和绕过障碍的能力。

汽车机动性指标：

前外轮最小转弯半径	$R_H$
转弯宽度	$A$
突伸距	$a$

$$R_H = A - a - b + R_B$$

式中， $R_B$  后内轮转弯半径。

#### 5. 车轮工作半径

克服垂直障碍物和越过壕沟的能力。

例如  $4 \times 2$   $b \approx r$ ， $4 \times 4$   $b \approx 1.2r$ ，其中**b**为壕沟宽。

### 三、影响汽车通过性的因素

#### 1. 汽车的最大驱动力

越野行驶 → 行驶阻力大 → 单位驱动力大

$$F_d = F_t - F_r \quad \frac{F_t}{G_a} = \frac{M_e \cdot i_k \cdot i'_k \cdot i_0 \cdot \eta_r}{G_a r}$$

其中： $i'_k$  为分动器传动比。

- 提高发动机功率
- 提高传动比（分动箱）
- 限载

## 2. 行驶速度

行驶车速低——车轮滑转的可能性↓——通过性↑

$$a. V_{a \min} = 0.377 \frac{n_{a \min} \cdot r_r}{i_k \cdot i_k' \cdot i_0} \quad (\text{km/h})$$

式中： $n_{a \min}$ ——发动机最低稳定转速。

b. 查表得：车越重 $V_{a \min}$  越低。

## 3. 汽车轮胎

### a. 轮胎尺寸

轮胎直径↑—— $f$ ↓（接触面积↑ 单位压力↓ 车辙↓）

但，车轮惯性↑ 重心↑ 价格↑  $i$ ↑

轮胎宽度↑  $\phi$  ↑  $f$ ↑

例如拱型轮胎。

B约为 $\phi$ 的0.5~0.6倍，接地面积↑1.5~3倍。

	普通胎	拱形胎	
对地压力	60-90kpa	350kpa	
	0.54	0.74	耕地含水15-20%
	0.73	0.61	沙土含水20%
	0.3	0.48	小颗粒雪

### b. 轮胎花纹

干松土壤——封闭形花纹——封闭摩擦—— $\varphi \uparrow$

粘性土壤——轮刺高，沟深——抓着力 $\uparrow$ ，脱泥—— $\varphi \uparrow$

例如**11.40—700**拱形胎，一凹槽抓土**3840cm<sup>3</sup>**，而同样尺寸普通轮胎仅为前者的**1/130**。

### c. 轮胎气压

$p_{\omega} \downarrow$  接地**F** $\uparrow$  比压 $\downarrow$  **f** $\downarrow$   $\varphi \uparrow$

当车轮通过不同路面时，要求不同的  $p_{\omega}$ ，故有“中央充气系统”，但结构复杂，可靠性差，应用不广。

## 4. 汽车车轮

a. 轮距： 相等——车辙重合——**f** $\downarrow$

b. 前后轮压： 前轮单位压力 $<$ 后轮单位压力——**f** $\downarrow$

c. 驱动车轮数目： 数目 $\uparrow$ ，**G <sub>$\varphi$</sub>**  $\uparrow$ ，**F <sub>$\varphi$</sub>**  $\uparrow$

d. 车轮半径： **r** $\uparrow$  越过垂直障碍和壕沟能力 $\uparrow$

从动轮越台阶高度：

$$h_{w\max} = r \left( 1 - \frac{G_1}{\sqrt{F_t^2 + G_1^2}} \right) \quad (6-1)$$

4×2驱动轮克服垂直障碍物  $h_{w\max}$   
 $G_2 \sin \alpha = G_2 \cdot \cos \alpha \cdot \varphi$        $\operatorname{tg} \alpha = \varphi$

即

$$\varphi = \frac{\sqrt{r^2 - (r - h_w)^2}}{r - h_w}$$

经整理:

$$h_{w\max} = r \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{\varphi^2 + 1}} \right)$$

(6-2)

试验表明, 垂直障碍:  
4×2汽车为  $\frac{2}{3}r$  , 4×4汽车为  $r$ 。

### 5. 液力传动

提高发动机工作稳定性 }  
消除传动系扭振现象 } 稳定低速行驶,  $f \downarrow \varphi \uparrow$

### 6. 差速器

当有差速作用时:  $F_t = (z\varphi)_{\min} + (z\varphi)_{\min}$   
当无差速作用时:  $F_t = (z\varphi)_{\min} + (z\varphi)_{\max}$

### 7. 悬架

独立悬架, 附着性能  $\uparrow$ , 离地间隙  $\downarrow$

### 8. 拖挂

动力因数下降  
相对附着重量下降



## 9. 驾驶方法

- 1) 低速稳定直线行驶，少换档。
- 2) 行驶到好路时提高车速。
- 3) 合理使用自锁差速器。
- 4) 涉水时应保护电气，曲轴箱通风和空滤器及排气管。

## 四、汽车通过性的牵引力与支承参数

汽车通过性不仅取决于几何参数还与牵引支承参数有关。  
若通过坏路车速低，则  $F_{\omega}$  不计

$$F_{\varphi} \leq f_{t \max} \leq F_{\varphi}$$

若通过平坦道路：
$$Gf \leq \left( \frac{M_e i_o \cdot i_k \cdot \eta_t}{r} \right)_{\max} \leq G_{\text{附}} \varphi$$

即 
$$f \leq D_{\max} \leq \frac{G_{\text{附}}}{G} \varphi$$

可见， $f$ 、 $\varphi$ 、 $\frac{G_{\text{附}}}{G}$ 、 $D$  为主要牵引支承参数。由于  $f$ 、 $\varphi$

与单位压力  $P$  密切相关，所以习惯上把  $P$  当成主要参数。

### 1. 单位压力P

$$P = \frac{G}{F \cdot 10^3} \text{ KPa}$$

式中：G——车轮法向载荷（N）；

F——车轮与路面接触面积（m<sup>2</sup>）。

在硬路上：4×2型载重车      180~540 kPa  
              4×4型载重车      170~400 kPa

### 2. $D_{\max}$

$D_{\max}$  ↑ 克服道路阻力 ↑

	D	附重
一般载重汽车	3~4.5	0.65~0.75
越野载重汽车	6~8	1.0

### 3. 相对附重