

## 第二章 汽车行驶特性

本章主要介绍汽车的动力性能和行驶特性，为道路线形设计作准备。





## 第二章 汽车行驶特性

---

第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

第二节 汽车的动力特性

第三节 汽车的行驶稳定性



## 第二章汽车行驶特性

### 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

#### 一、牵引力 (tractive force)

##### 1. 汽车发动机的基本指标

- ①. 有效功率 $N$  : 单位时间内具有的做功的能力。(KW)
- ②. 转速 $n$  : 发动机曲轴单位时间内的旋转次数 (n/min)
- ③. 扭矩 $M$  : 发动机产生于曲轴上的转动力矩。(N·m)
- ④. 转动角速度 $\omega$  : 单位时间内曲轴转动的角度 (rad/s)

# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 一、牵引力 (tractive force)

1. 汽车发动机的基本指标
2. 发动机曲轴扭矩及外特性曲线

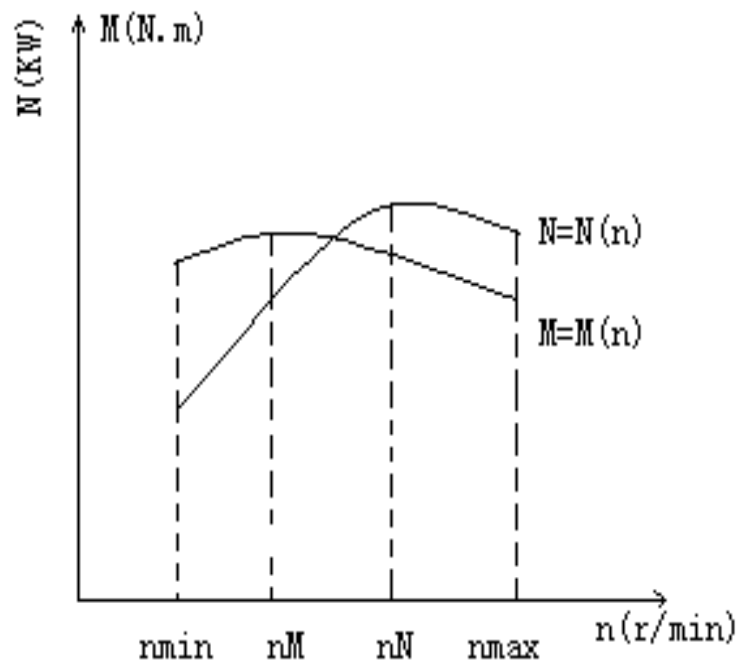
由图可见:

①. 当 $n=n_{min}$ , 为最小稳定工作转速

②. 当 $n$ 增大时,  $N$ ,  $M$ 都增大。  
当 $N=nM$ 时,  $M=M_{max}$

③. 当 $n=n_N$ 时,  $N=N_{max}$

④. 当 $n>n_N$ 时,  $N$ 下降。



某发动机外特性曲线

# 第二章 汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 一、牵引力 (tractive force)

#### 3. 汽车动力的传递

##### (1). 汽车的传力机构

①. 离合器

②. 变速器

③. 传动轴

④. 主传递器

①. 离合器：平稳起步，顺利换档。

# 第二章 汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 一、牵引力 (tractive force)

#### 3. 汽车动力的传递

##### (1). 汽车的传力机构

①. 离合器

②. 变速器

③. 传动轴

④. 主传递器

①. 离合器：平稳起步，顺利换档。

②. 变速器：改变曲轴扭矩(转速)，退档。

# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 一、牵引力 (tractive force)

#### 3. 汽车动力的传递

##### (1). 汽车的传力机构

①. 离合器

②. 变速器

③. 传动轴

④. 主传递器

①. 离合器：平稳起步，顺利换档。

②. 变速器：改变曲轴扭矩(转速)，退档。

③. 传动轴：动力传递。

# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 一、牵引力 (tractive force)

#### 3. 汽车动力的传递

##### (1). 汽车的传力机构

①. 离合器

②. 变速器

③. 传动轴

④. 主传递器



①. 离合器：平稳起步，顺利换档。

②. 变速器：改变曲轴扭矩(转速)，退档。

③. 传动轴：动力传递。

④. 主传递器：进一步降低从传动轴传递来的转速，增大扭矩；改变传动轴旋转方向。



# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 一、牵引力 (tractive force)

#### 3. 汽车动力的传递

##### (1). 汽车的传力机构

变速比—变速器进出两端转速之比

$$i_k = \frac{n}{n_1}$$

曲轴转速  
变速器输出转速

主传动比—变速器输出转速与驱动轮转速之比

$$i_0 = \frac{n_1}{n_k}$$

驱动轮上的转速

车型一定时，主传动比是常数。

# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 一、牵引力 (tractive force)

#### 3. 汽车动力的传递

#### (2). 发动机扭矩传递



①. 发动机扭矩M传递至万向节头上的扭矩  $M_n = M \cdot i_k \cdot \eta_k$  变速器机械效率

②. 万向节头的扭矩传递至驱动轮上的扭矩  $M_k = M_n \cdot i_0 \cdot \eta_0$  主传动器机械效率

# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 一、牵引力 (tractive force)

#### 3. 汽车动力的传递

#### (2). 发动机扭矩传递



所以 
$$M_k = M \cdot i_0 \cdot i_k \cdot \eta_k \cdot \eta_0 = M \cdot i_k \cdot i_0 \cdot \eta$$

$\eta$  载重汽车为0.8-0.85, 小汽车为0.85-0.95

例如: 解放牌CA-10B

$$i_0 = 7.63, \quad \eta = 0.80 - 0.85, \quad r = 0.482\text{m} (0.459)$$

$i_k = 6.24, 3.32, 1.9, 1.0, 0.81, 6.7$  (分别为: 一、二、三、四、五、倒档)

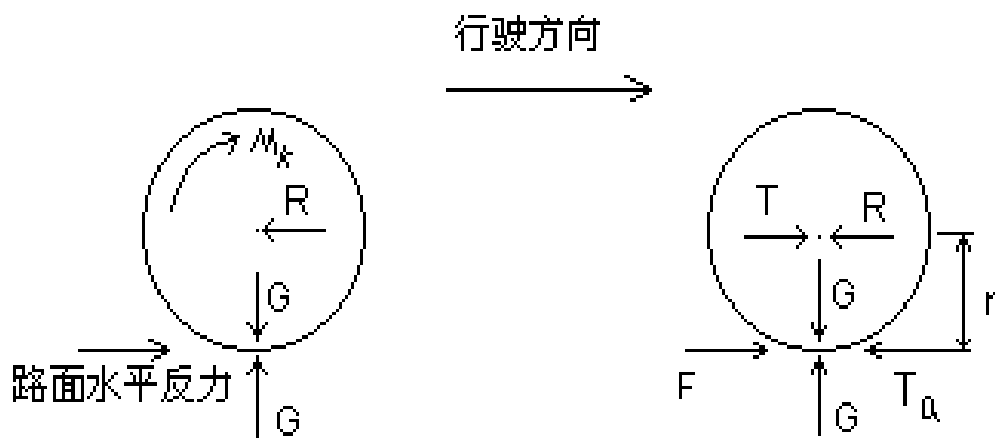
# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 一、牵引力 (tractive force)

#### 4. 牵引力的产生和计算

把驱动轮上的扭矩 $M_k$ 用一对力偶 $T_a$ 和 $T$ 表示。 $T$ 克服 $R$ ，即为牵引力。



汽车驱动轮受力分析

则： $T = \frac{M_k}{r} = \frac{M_i i_0 \eta}{r}$  将速度式代入得：

$$T = 0.377 \frac{n}{V} \eta \cdot M$$

## 第二章汽车行驶特性

### 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

#### 一、牵引力 (tractive force)

#### 4. 牵引力的产生和计算

$$T = 0.377 \frac{n}{V} \eta \cdot M$$

可见:

①.  $V \nearrow, T \searrow$ 。因此，速度和牵引力不可得兼。故汽车采用几各排档。

②. 低档时， $i_k$ 较大， $T$ 较大， $V$ 较小。  
高档时， $i_k$ 较小， $T$ 较小， $V$ 较大

③. 同一排档下， $V/V_{\max} = N/N_{\max}$ 。

# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 二. 汽车的行驶阻力 (resistance force)

滚动阻力

坡度阻力

空气阻力

惯性阻力

1. 滚动阻力 (rolling resistance) : 车轮滚动时轮胎与路面之间的摩擦阻力, 是由于轮胎与路面变形引起的。

$f$  与路面的种类、行驶车速、轮胎性质有关

$$R_f = f \cdot G$$

#### ①. 路面种类:

路面类型	水泥及沥青混凝土路面	表面平整的黑色碎石路面	碎石路面	干燥平整的土路	潮湿不平 整的土路
$f$ 值	0.01~0.02	0.02~0.025	0.03~0.05	0.04~0.05	0.07~0.15

# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 二. 汽车的行驶阻力 (resistance force)

滚动阻力

坡度阻力

空气阻力

惯性阻力

1. 滚动阻力 (rolling resistance) : 车轮滚动时轮胎与路面之间的摩擦阻力, 是由于轮胎与路面变形引起的。

②. 行驶车速: 受车速影响较大。

$V < 50$  时,  $f$  变化较小。

$V > 100$  时,  $f$  增加较快。

$V = 150 - 200$  时,  $f$  急剧增大。

③. 轮胎性质: 胎压, 轮胎材料, 结构。

$$R_f = f \cdot G$$

# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 二. 汽车的行驶阻力 (resistance force)

滚动阻力

坡度阻力

空气阻力

惯性阻力

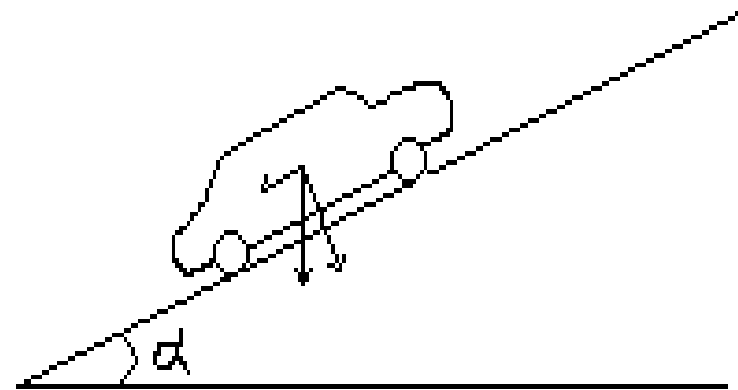
2. 坡度阻力 (grade resistance) : 汽车爬坡时, 重力的分力对行车的阻力。

$$R_i = \pm G \cdot \sin \alpha$$

由于公路纵坡  $\alpha$  较小 ( $\alpha < 5^\circ$ ) 所以

$$\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx i$$

$$R_i = G \cdot i$$





# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 二. 汽车的行驶阻力 (resistance force)

滚动阻力

坡度阻力

空气阻力

惯性阻力

2. 空气阻力 (aerodynamic resistance)：汽车在行驶中，由于迎面空气质点的压力，车后的真空吸力及空气质点与车身表面的摩擦力对行车产生的阻力，总称为空气阻力。

$$R_w = \frac{1}{2} K A \rho v^2$$

将车速  $v$  (m/s) 化为  $V$  (Km/h) 并化简，得

$$R_w = \frac{K A V^2}{21.15}$$

$K$ ——空气阻力系数，它与汽车的流线型有关，可查阅有关资料

# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 二. 汽车的行驶阻力 (resistance force)

滚动阻力

坡度阻力

空气阻力

惯性阻力

2. 惯性阻力 (inertia resistance) : 汽车变速行驶时, 需要克服其质量运动时产生的惯性力和惯性力矩称为惯性阻力

平移质量的惯性力

$$R_{I_1} = ma = \frac{G}{g} a$$

旋转质量的惯性力矩

$$R_{I_2} = \sum I \frac{d\omega}{dt}$$

$I$  — 旋转部分的转动惯量;

$\frac{d\omega}{dt}$  旋转部分转动的角加速度。

# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 二. 汽车的行驶阻力 (resistance force)

滚动阻力

坡度阻力

空气阻力

惯性阻力

2. 惯性阻力 (inertia resistance) : 汽车变速行驶时, 需要克服其质量运动时产生的惯性力和惯性力矩称为惯性阻力

旋转质量组成部分较多, 且各部分的转动惯量和角加速度不同, 计算比较复杂, 为方便计算, 一般给平移质量惯性力乘以大于1的系数, 来代替旋转质量惯性力矩的影响。

$$R_I = \delta \frac{G}{g} a \quad (\text{N})$$

$\delta$  — 惯性力系数 (或旋转质量换算系数)。

$$\delta = 1 + \delta_1 + \delta_2 i_k^2$$

# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 三. 汽车的运动方程与行驶条件

#### 1. 汽车的运动方程

汽车在道路上行驶时，必须有足够的驱动力来克服各种行驶阻力。当驱动力与各种行驶阻力之代数和相等的时候，称为牵引平衡。其牵引平衡方程式(也称汽车的运动方程式)为

$$T = R_f + R_i + R_w + R_I$$

# 第二章汽车行驶特性

## 第一节 汽车的驱动力及行驶阻力

### 三. 汽车的运动方程与行驶条件

#### 2. 汽车的行驶条件

(1). 必要条件（即驱动条件）

(2). 充分条件（附着条件）

各类路面上附着系数的平均值

路面类型	路面状况			
	干燥	潮湿	泥泞	冰滑
水泥混凝土路面	0.7	0.5	/	/
沥青混凝土路面	0.6	0.4	/	/
过渡式及低级路面	0.5	0.3	0.2	0.1

# 第二章汽车行驶特性

## 第二节 汽车的动力特性

### 一. 汽车的动力因数

$$T = R_f + R_i + R_w + R_I$$

$$T - R_w = R_f + R_i + R_I$$

有效驱动力，其值与汽车构造和行驶速度有关

汽车在道路上行驶时的道路阻力和惯性阻力之和，其值主要与道路状况和汽车的行驶方式有关

$$T - R_w = G(f + i) + \delta \frac{G}{g} a$$

$$\frac{T - R_w}{G} = (f + i) + \frac{\delta}{g} a$$

$$D = \frac{T - R_w}{G}$$

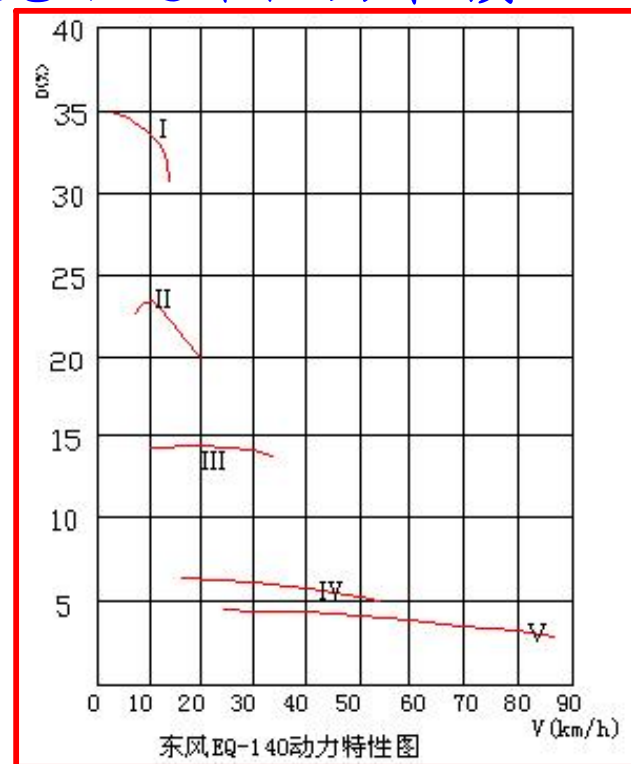
# 第二章汽车行驶特性

## 第二节 汽车的动力特性

### 一. 汽车的动力因数

**动力因数**：单位车重的有效牵引力。它表征某型汽车在海平面高程上，满载情况下，每单位车重克服道路阻力和惯性阻力的性能。

为使用方便，也可用曲线表示  $D$  与  $V$  的函数关系，称为动力特性图。



# 第二章汽车行驶特性

## 第二节 汽车的动力特性

### 二. 动力因数的修正

方法是给  $D$  乘以一个修正系数  $\lambda$  , 即

$$\lambda D = (f + i) + \frac{\delta}{g} a$$

$\lambda$  称为动力因数的海拔荷载修正系数, 为  $\lambda = \xi \frac{G}{G'}$

$\xi$  —海拔系数  $\xi = (1 - 2.26 \times 10^{-5} H)^{5.3}$



# 第二章汽车行驶特性

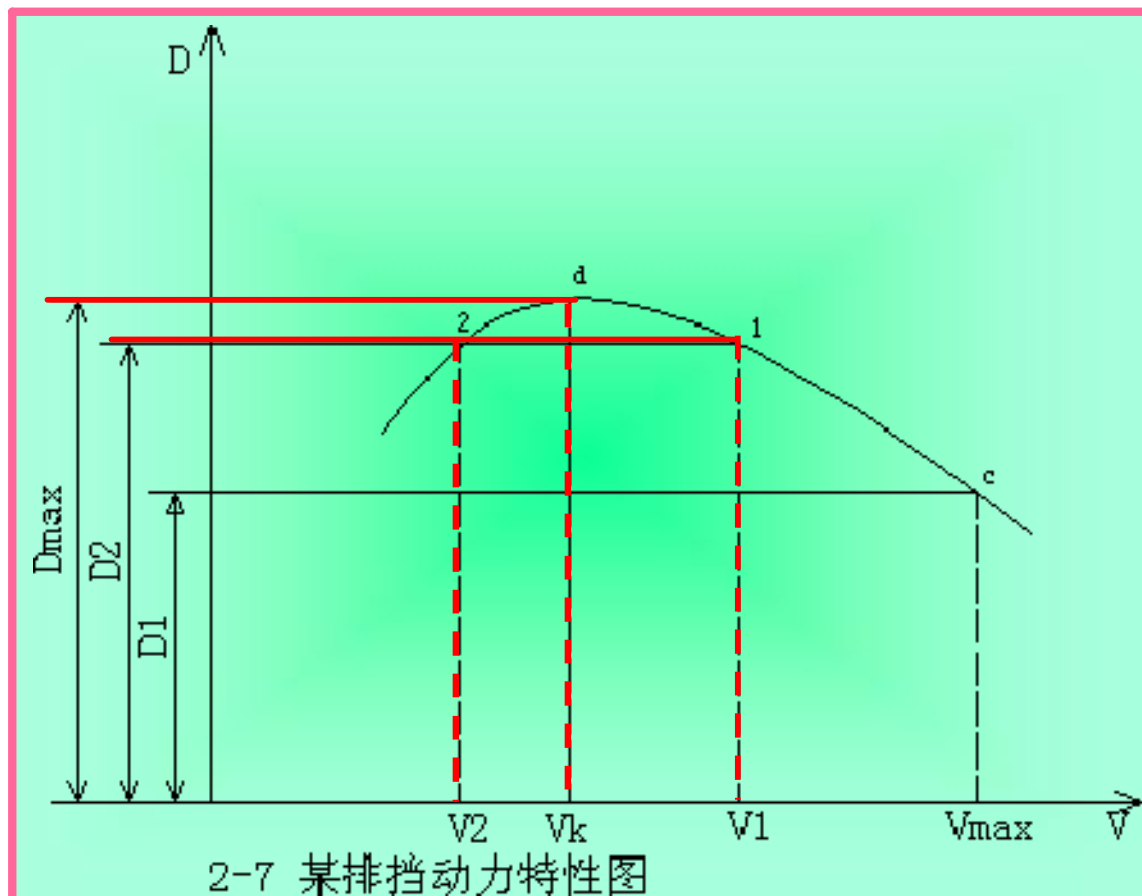
## 第二节 汽车的动力特性

### 三. 汽车的行驶状况

由动力特性曲线可见

(1). 每一排档都存在各自的最大因数 $D_{max}$ ，与之对应的速度称作临界速度，用 $V_k$ 表示。

(2). 若汽车以某一排档作等速行驶( $D_2$ )时，汽车可采用 $V_1$ 或 $V_2$ 的任一速度行驶

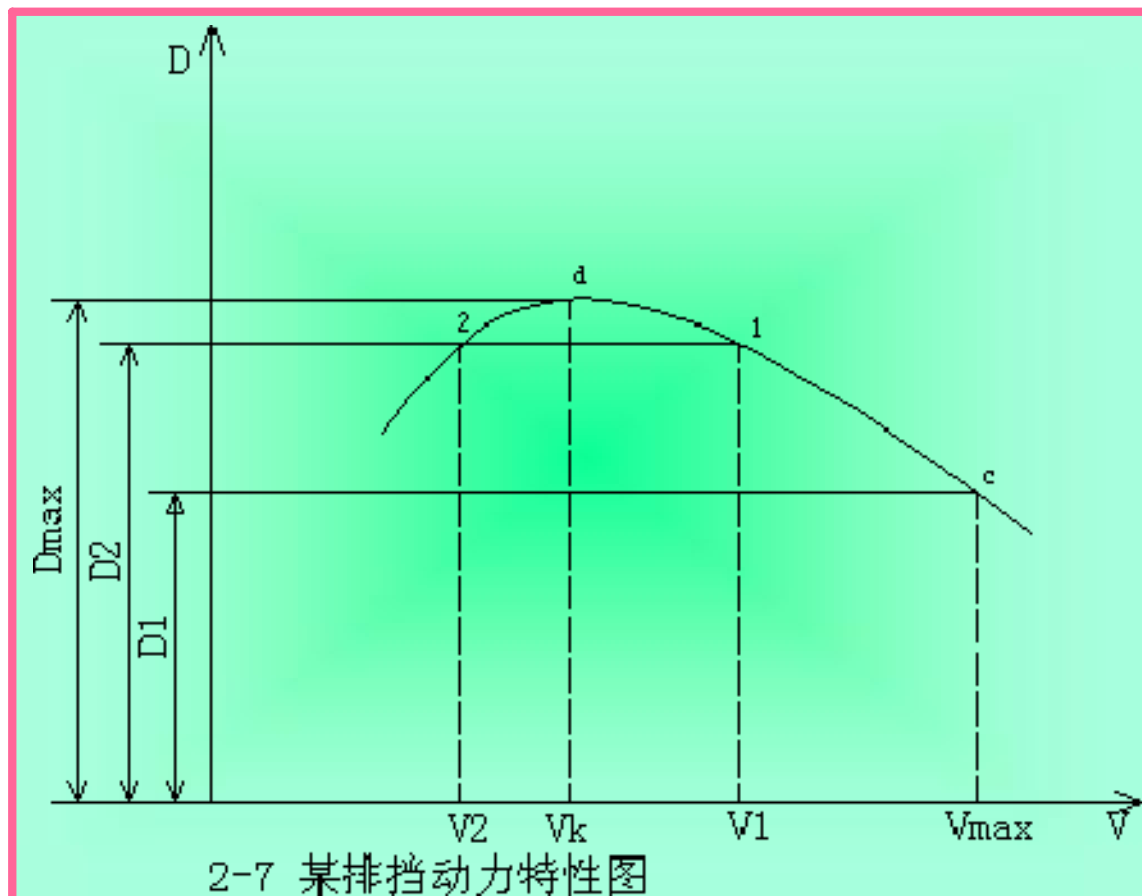


# 第二章汽车行驶特性

## 第二节 汽车的动力特性

### 三. 汽车的行驶状况

(3). 当采用  $V_1 > V_k$  的速度行驶时，若道路阻力额外增加，汽车可在原来排档上降低车速，以获得最大  $D$  值来克服额外阻力，待阻力消失后可立即提高到原  $V_1$  的速度行驶。这种行驶状态称为 **稳定行驶**

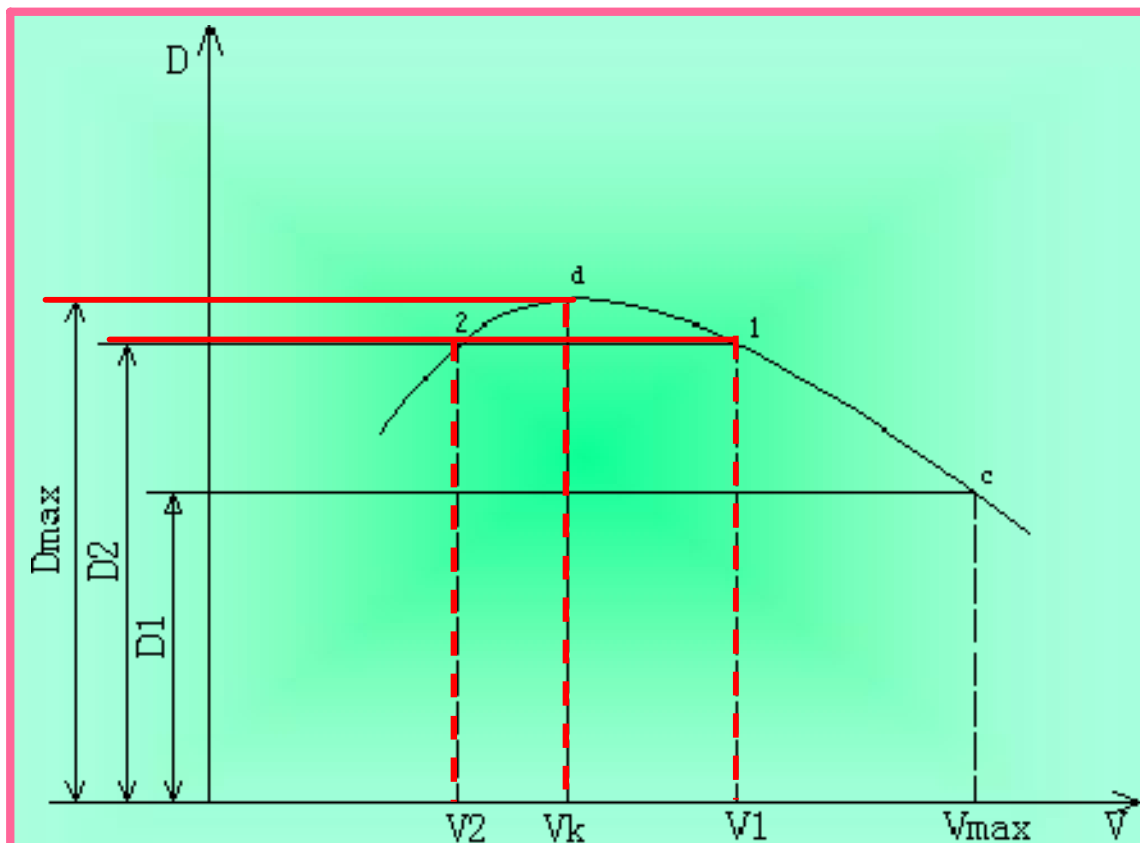


# 第二章汽车行驶特性

## 第二节 汽车的动力特性

### 三. 汽车的行驶状况

(4). 当汽车采用  $V_2 < V_k$  的速度行驶时，若道路阻力额外增加，汽车减速行驶而  $D$  值随之减小，如果此时不换挡或开大节流阀，汽车将因发动机熄火而停驶。这种行驶状态叫**不稳定行驶**。



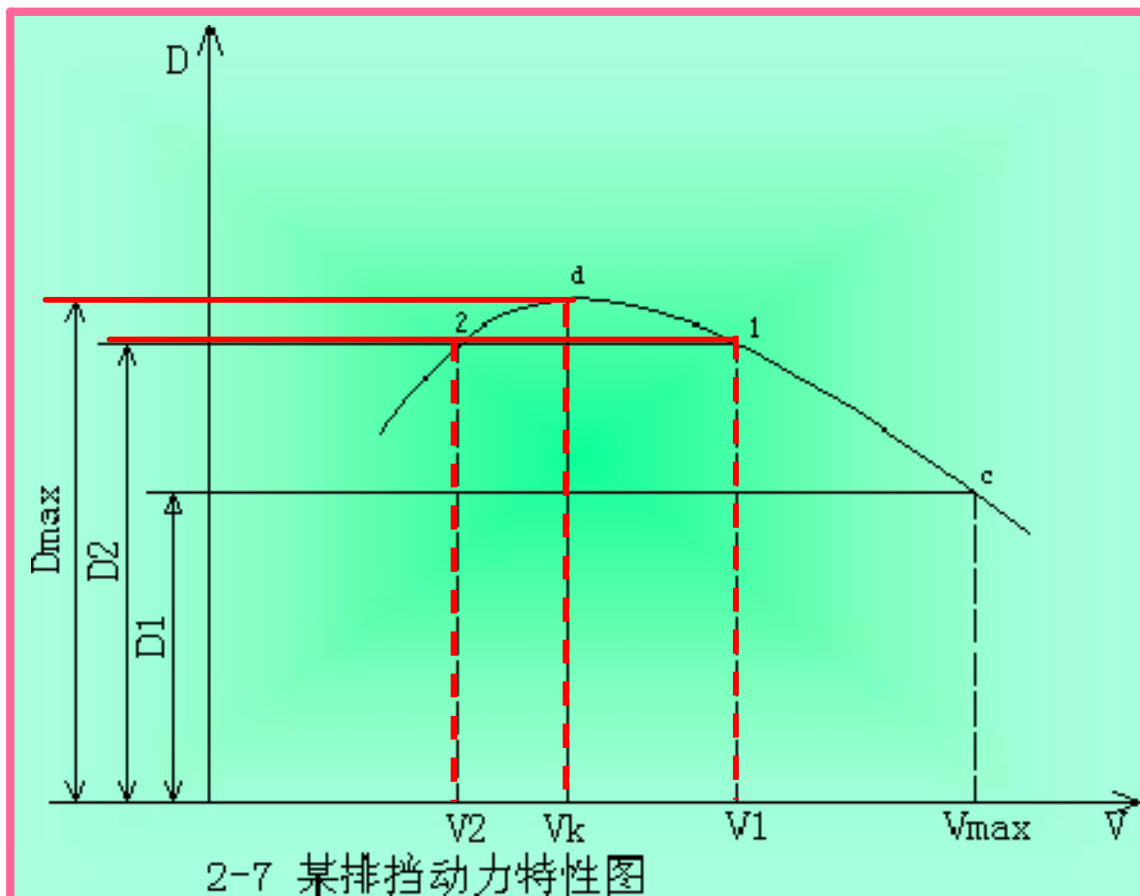
2-7 某排挡动力特性图

# 第二章汽车行驶特性

## 第二节 汽车的动力特性

### 三. 汽车的行驶状况

(5). 临界速度 $V_k$ 是汽车稳定性时的极限速度。一般情况下汽车都采用大于某一排档的临界速度 $V_k$ 作为行驶速度，以便克服额外阻力而连续行驶。



# 第二章汽车行驶特性

## 第二节 汽车的动力特性

### 四. 爬坡能力

(1). 汽车的爬坡能力是指汽车在良好路面上等速行驶时克服了其它行驶阻力后所能爬上的纵坡度。因  $a = 0$ ，则

$$i = \lambda D - f$$

(2). 最大爬坡度系指汽车在坚硬路面上用最低档作等速行驶时所能克服的最大坡度。由于最低档爬坡能力大，坡道倾角也大，此时  $\cos a < 1$ ， $\sin a \neq \operatorname{tga} = i$ ，

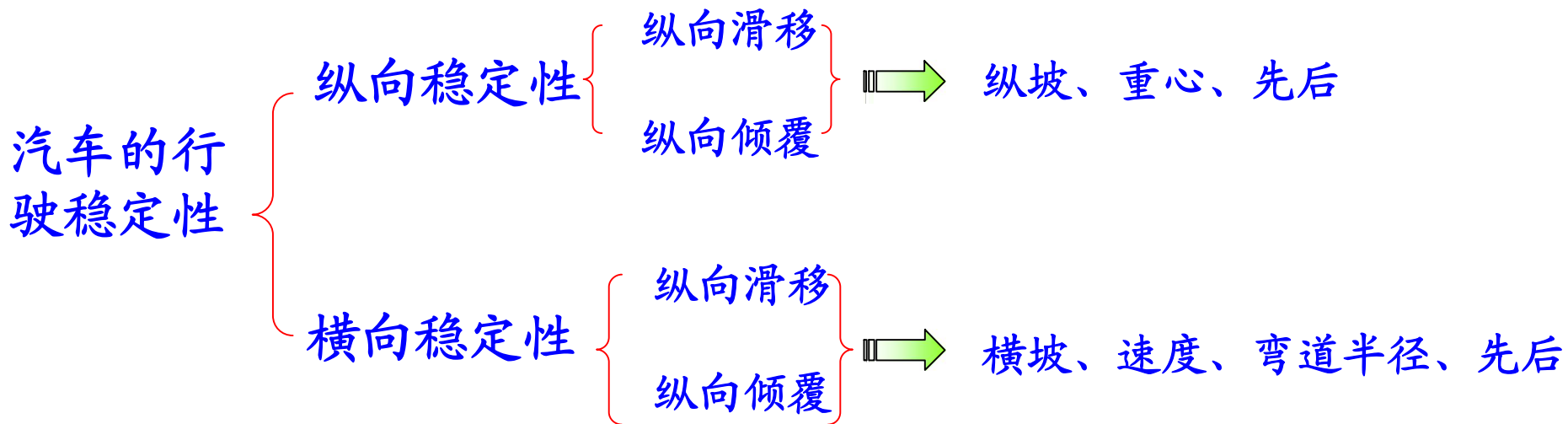
应该用下式计算  $\lambda D_{\max} = f \cos a + \sin a$

解此三角函数方程式，得

$$a_{1\max} = \arcsin \frac{\lambda D_{1\max} - f \sqrt{1 - \lambda^2 D_{1\max}^2 + f^2}}{1 + f^2}$$

# 第二章 汽车行驶特性

## 第三节 汽车的行驶稳定性



# 第二章汽车行驶特性

## 第三节 汽车的行驶稳定性

### 一. 汽车行驶的纵向稳定性

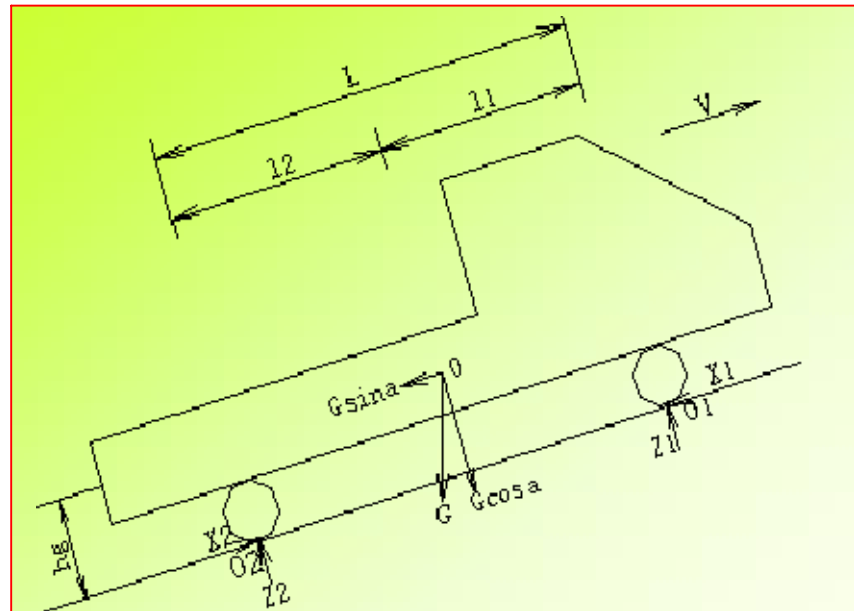
#### 1. 纵向倾覆

(1). 产生纵向倾覆的临界状态是汽车前轮法向反作用力为零。

此时，汽车可能绕  $O_2$  点发生倾覆现象。对  $O_2$  点取矩，并  $Z_1 = 0$  得

$$Gl_2 \cos \alpha_0 - Gh_g \sin \alpha_0 = 0$$

$$i_0 = \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{l_2}{h_g}$$



2-10 汽车等速上坡受力示意图

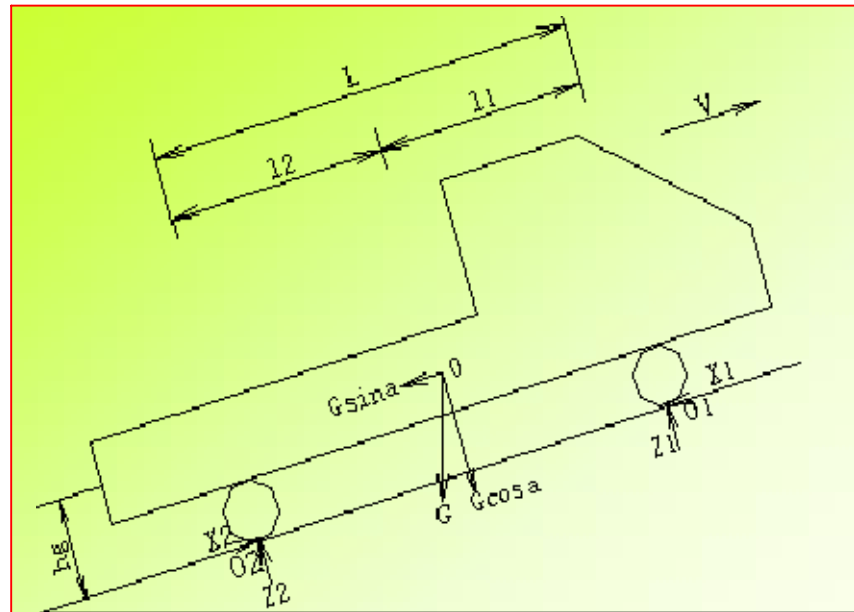
# 第二章汽车行驶特性

## 第三节 汽车的行驶稳定性

### 一. 汽车行驶的纵向稳定性

#### 1. 纵向倾覆

(2). 纵向倾覆的稳定性主要与汽车重心至后轴的距离  $l_2$  和重心高度  $h_g$  有关。 $l_2$  愈大,  $h_g$  愈低, 纵向稳定性愈好。



2-10 汽车等速上坡受力示意图



# 第二章汽车行驶特性

## 第三节 汽车的行驶稳定性

### 一. 汽车行驶的纵向稳定性

#### 2. 纵向滑移

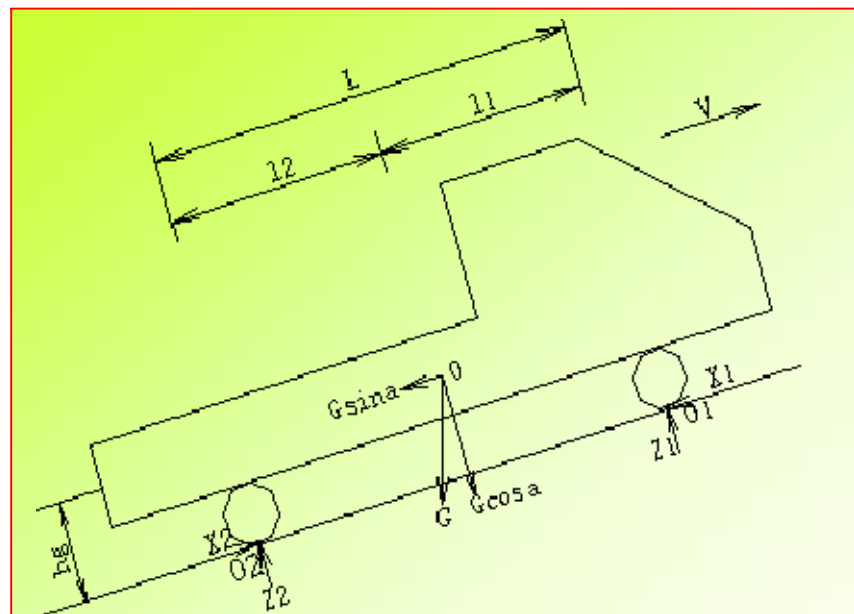
(1). 对后轮驱动的汽车，根据附着条件，驱动轮不产生滑移的临界状态是：

$$G \sin \alpha_0 = \varphi G_k$$

因为， $\sin \alpha_\varphi \approx \text{tg} \alpha_\varphi = i_\varphi$  则

$$i_\varphi = \text{tg} \alpha_\varphi = \frac{G_k}{G} \cdot \varphi$$

(2). 当道路纵坡度  $i \geq i_\varphi$  时，汽车可能产生纵向滑移。



2-10 汽车等速上坡受力示意图

# 第二章汽车行驶特性

## 第三节 汽车的行驶稳定性

### 一. 汽车行驶的纵向稳定性

#### 3. 纵向稳定性的保证

保证纵向倾覆和滑移的条件分别是：

$$i_0 = \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{l_2}{h_g}$$

$$i_\varphi = \operatorname{tg} \alpha_\varphi = \frac{G_k}{G} \cdot \varphi$$

比较以上两式，发现  $i_\varphi < i_0$  因此发生倾覆之前先发生滑移。

# 第二章汽车行驶特性

## 第三节 汽车的行驶稳定性

### 一. 汽车行驶的纵向稳定性

结论:

①. 汽车在坡道上行驶时, 在发生纵向倾覆之前, 首先发生纵向滑移现象。为保证汽车行驶的纵向稳定性, 道路设计应满足不产生纵向滑移为条件。所以, 汽车行驶时纵向稳定性的条件为:

$$i < i_{\varphi} = \frac{G_k}{G} \varphi$$

②. 由于重心高度  $h_g$  的增大而破坏纵向稳定性条件, 所以, 应对汽车装载高度有所限制。

# 第二章汽车行驶特性

## 第三节 汽车的行驶稳定性

### 二. 汽车行驶的横向稳定性

#### 1. 汽车在平曲线上受力分析

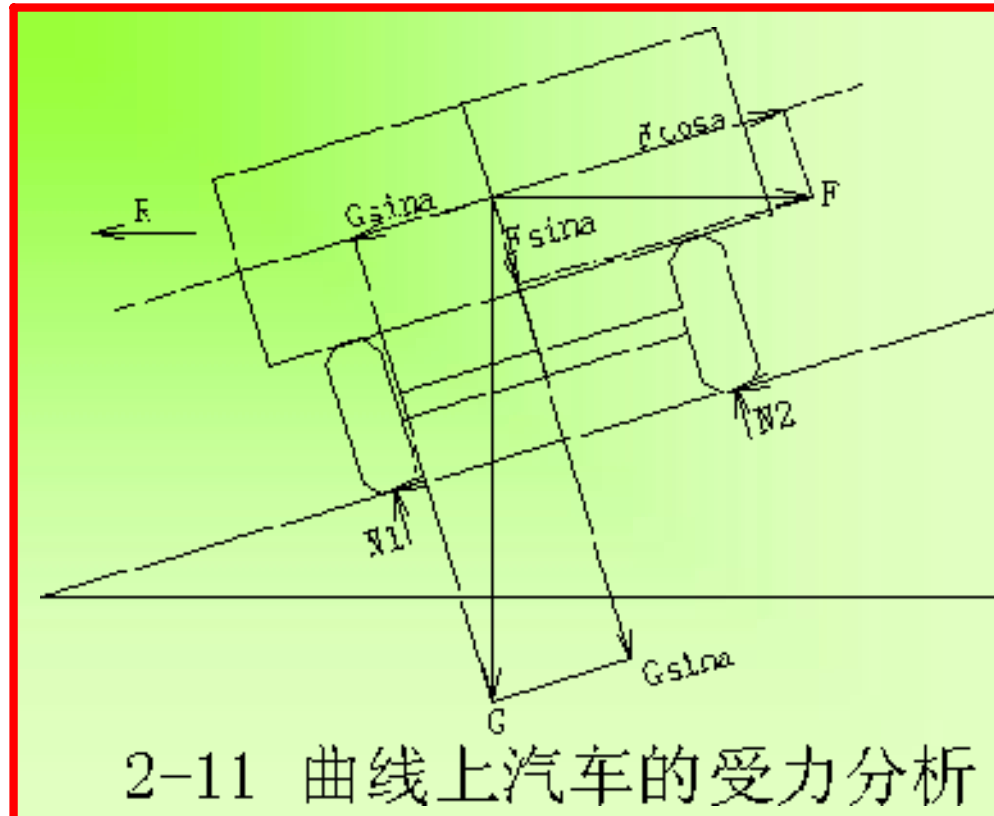
汽车在平曲线上行驶时产生的离心力为:

$$F = \frac{Gv^2}{gR}$$

将离心力与汽车重力分解为平行于路面的横向力和垂直于路面的竖向力, 即

$$X = F \cos \alpha - G \sin \alpha$$

$$Y = F \sin \alpha + G \cos \alpha$$



2-11 曲线上汽车的受力分析

# 第二章汽车行驶特性

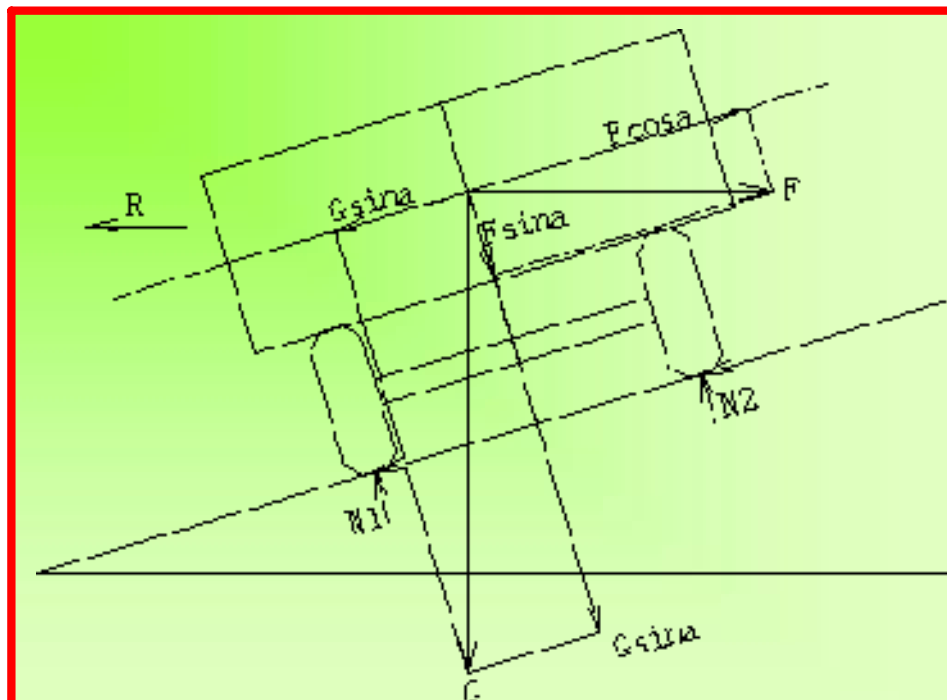
## 第三节 汽车的行驶稳定性

### 二. 汽车行驶的横向稳定性

#### 1. 汽车在平曲线上受力分析

由于路面横向倾角  $\alpha$  一般很小，则， $\cos\alpha \approx 1$ ， $\sin\alpha \approx \text{tg}\alpha = i_h$  其中称  $i_h$  为横向超高坡度（简称超高率），所以

$$X = F - Gi_h = \frac{Gv^2}{gR} - Gi_h = G\left(\frac{v^2}{gR} - i_h\right)$$



2-11 曲线上汽车的受力分析

# 第二章汽车行驶特性

## 第三节 汽车的行驶稳定性

### 二. 汽车行驶的横向稳定性

#### 1. 汽车在平曲线上受力分析

- ①. 横向力是汽车行驶的不稳定因素，竖向力是稳定因素。
- ②. 采用横向力系数来衡量稳定性程度，其意义单位车重的横向力，即

$$X = F - Gi_h = \frac{Gv^2}{gR} - Gi_h = G \left( \frac{v^2}{gR} - i_h \right)$$

$$X = G \left( \frac{v^2}{gR} - i_h \right)$$

$$\mu = \frac{X}{G} = \frac{v^2}{gR} - i_h$$

$$\mu = \frac{V^2}{127R} - i_h$$

# 第二章汽车行驶特性

## 第三节 汽车的行驶稳定性

### 二. 汽车行驶的横向稳定性

#### 2. 横向倾覆条件分析

为使汽车不产生倾覆，必须使倾覆力矩小于或等于稳定力矩

即

$$Xh_h \leq Y \frac{b}{2} = (Fi_h + G) \frac{b}{2}$$

因  $Fi_h$  比  $G$  小得多，可略去不计，则

$$Xh_h \leq G \frac{b}{2}$$

$$\mu = \frac{X}{G} \leq \frac{b}{2h_g}$$

$$R \geq \frac{V^2}{127 (\mu + i_h)}$$

# 第二章汽车行驶特性

## 第三节 汽车的行驶稳定性

### 二. 汽车行驶的横向稳定性

#### 3. 横向滑移条件分析

汽车在平曲线上行驶时，因横向力的存在，可能使汽车沿横向力的方向产生横向滑移。为使汽车不产生横向滑移，必须使横向力小于或等于轮胎和路面之间的横向附着力，即

$$X \leq Y\varphi_h \approx G\varphi_h$$

$$\mu = \frac{X}{G} \leq \varphi_h$$

式中： $\varphi_h$  — 横向附着系数，一般 =  $(0.6 \sim 0.7) \varphi$



# 第二章汽车行驶特性

## 第三节 汽车的行驶稳定性

### 二. 汽车行驶的横向稳定性

#### 4. 横向稳定性的保证

①. 汽车在平曲线上行驶时的横向稳定性主要取决于横向力系数数值的大小。

②. 横向倾覆和滑移的条件分别是：

$$\mu = \frac{X}{G} \leq \frac{b}{2h_g}$$

$$\mu = \frac{X}{G} \leq \varphi_h$$

一般  $b \approx 2h_g$ , 即  $\frac{b}{2h_g} \approx 1$ , 而  $\varphi_h < 0.5$  所以  $\varphi_h < \frac{b}{2h_g}$ 。



# 第二章汽车行驶特性

## 第三节 汽车的行驶稳定性

### 二. 汽车行驶的横向稳定性

结论:

①. 在发生横向倾覆之前先产生横向滑移现象，为此，在道路设计中应保证汽车不产生横向滑移，同时也就保证了横向倾覆的稳定性。

②. 装载过高时可能发生倾覆现象