



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

纵断面设计

汽车的动力特性与纵坡（1）

主讲：严战友 副教授

目录



在线开放课程

- 1. 汽车的驱动力
- 2. 汽车的行驶阻力
- 3. 汽车的行驶条件
- 4. 汽车的动力因数
- 5. 汽车的行驶状态



道路是为汽车行驶服务的，要满足汽车在道路上行驶安全、迅速、经济、舒适、低公害的要求，就必须从驾驶者、汽车、道路、交通管理等方面来保证。在上述因素中，道路的线形设计与汽车行驶特性最为密切。因此，在道路线形设计时，需要研究汽车在道路上的行驶特性及其对道路设计的具体要求，这是道路线形设计的理论基础。

道路线形设计要保证：

- 1 保证汽车行驶的稳定性，即保证安全行车，不翻车、不倒溜、不侧滑，这就需要合理设置纵横坡度、弯道，以及保证车轮与地面的附着力等。
- 2 尽可能提高车速。

3 保证道路行车畅通，即保证汽车不受阻或少受阻。这就需要有足够的视距和路面宽度、合理地设置平竖曲线，以及减少道路交叉等。

4 尽量满足行车舒适，即采用符合视觉舒适要求的曲线半径，注意线形与景观的协调、沿线的植树绿化等。

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**。汽车行驶的驱动力来自它的**内燃发动机**，其传力过程如下：

在发动机里热能转化为机械能 → 有效功率 N → 曲
轴旋转（转速为 n ），产生扭矩 M → 经变速和传动，
将 M 传给驱动轮，产生扭矩 M_K → 驱动汽车行驶。

1. 发动机曲轴扭矩 M

发动机特性曲线：如将发动机的功率 N 、扭矩 M 与曲轴转速 n 之间的函数关系以曲线表示，
则该曲线称为发动机特性曲线。

发动机外特性曲线:如果发动机节流阀全开,
即高压油泵在最大供油量位置, 则此特性曲线称为
发动机外特性曲线;

发动机部分负荷特性曲线:如果节流阀部分开
启, 即部分供油, 则称此特性曲线为发动机部分负
荷特性曲线。

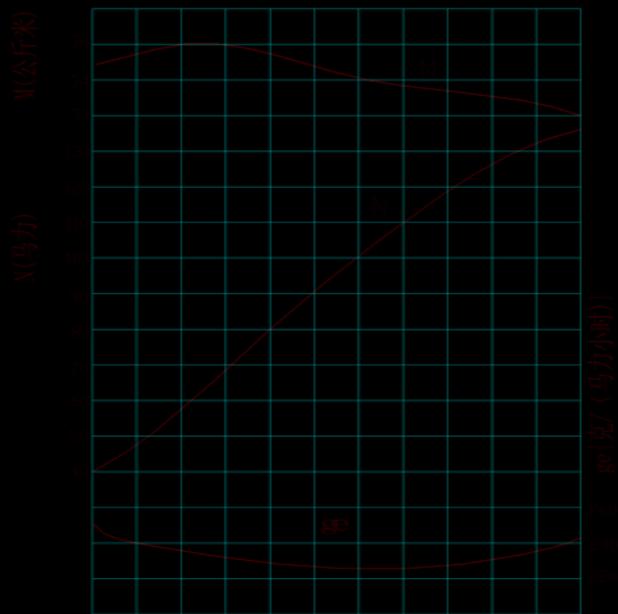
对于不同类型的发动机，其输出的功率不同，故产生的扭矩也不同。它们之间的关系如下：

$$N = \frac{Mn}{9549} \quad M = \frac{9549N}{n} \quad (N.m)$$

式中：**M**——发动机曲轴的扭矩（**N.m**）；

N——发动机的有效功率（**KW**）；

n——发动机曲轴的转速（**r/min**）。



东风EQ6100—I型发动机外特性曲线

有时未给定发动机特性曲线，只给出最大功率 N_{MAX} 及其对应的曲轴转速 n_N ，则可通过下面的经验公式近似地计算发动机的功率曲线 $N=N(n)$ ，即：

$$N = N_{MAX} \left[\frac{n}{n_N} \right]^2 \left(\frac{n}{n_N} \right)^3 \quad (KV \text{ 型})$$

如果同时给定最大功率 N_{MAX} 及其对应的曲轴转速 n_N ，以及最大扭矩 M_{MAX} 及其对应的曲轴转速 n_M ，则可用下式直接计算扭矩曲线 $M=M(n)$ ，即：

$$M = M_{MAX} \left(\frac{n - n_M}{n_N - n_M} \right)^2 \left(\frac{n_N}{n} \right)^3$$

2. 驱动轮扭矩 M_K

汽车车轮分为驱动轮和从动轮。驱动轮上有发动机传来的扭矩 M_K ，在 M_K 的作用下驱使车轮滚动向前。而从动轮上无扭矩作用，它的滚动是驱动轮上的力经车架传至从动轮的轮轴上而产生运动。

式中： M_K —— 驱动轮扭矩 (N.m)；
 M —— 发动机曲轴扭矩 (N.m)；
 γ —— 总变速比， $\gamma = i_0 i_k$ ；
 i_0 —— 传动器变速比，见表2-1；
 i_k —— 变速箱变速比，见表2-1；
 η_T —— 传动系统的机械效率，一般载重汽车取
0.80~0.85,小客车取 0.85~0.95。

此时，驱动轮上的转速 $n_K = n/\gamma$ ，相应的车速 V 为：

$$V = \frac{160 n}{1000 \gamma} \quad (\text{km/h})$$

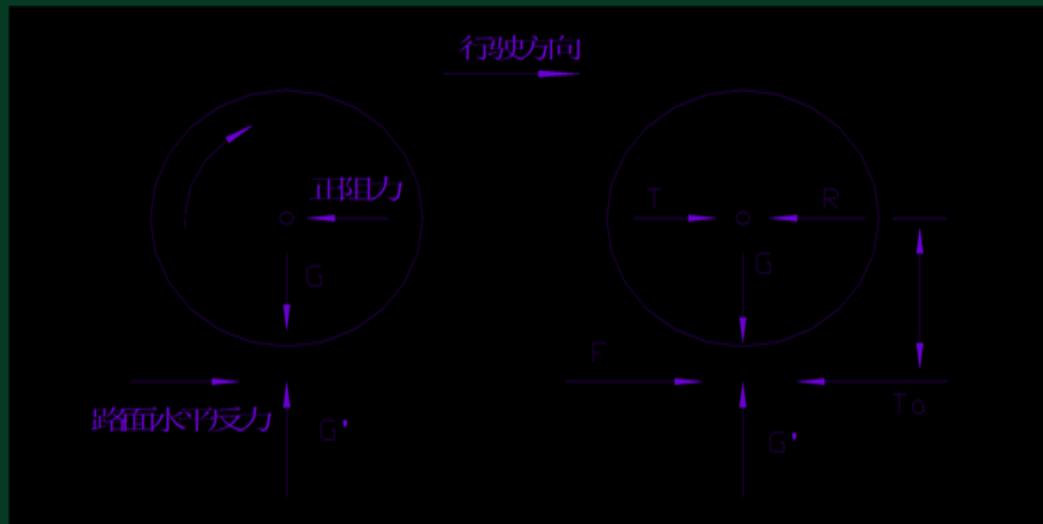
式中： V ——汽车行驶速度 (km/h)；

n ——发动机曲轴转速 (r/min)；

r ——车轮工作半径 (m)，即变形半径，它与内胎气压、外胎构造、路面刚性与平整性、以及荷载有关，一般取 $r=(0.93\sim 0.96)r_0$ ；

r_0 ——未变形半径。

3 汽车的驱动力



汽车驱动轮受力分析



把驱动轮上的扭矩 M_K 用一对力偶 T_a 和 T 代替， T_a 作用在轮缘上与路面水平反力 F 相抗衡， T 作用在轮轴上推动汽车前进，称为驱动力（或牵引力），与汽车行驶阻力 R 相抗衡。驱动力可按下式计算：



上式为驱动力T与扭矩M之间的函数关系式。
同样可推导出驱动力T与功率N之间的关系式为：

$$T = \frac{N}{V} \quad (7)$$

汽车的行驶阻力



在线开放课程

汽车在行驶过程中需要不断克服各种阻力，这些阻力有的来自空气的阻力，有的来自道路摩擦力，有的来自汽车上坡行驶时产生的阻力，有的来自汽车变速行驶时克服惯性的阻力，这些阻力可以分为空气阻力、道路阻力和惯性阻力，下面分述之。

1.空气阻力

汽车在行驶过程中所受的空气阻力主要包括：

- (1) 迎面空气质点的压力；
- (2) 车后真空吸力；
- (3) 空气质点与车身表面的摩擦力。

由空气动力学的研究与试验结果可知，空气阻力 R_w 可以用下式计算：

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

式中： K —空气阻力系数，

ρ —空气密度，一般 $\rho = 1.2258(\text{N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4)$ ；

A —汽车迎风面积，即正投影面积（ m^2 ）；

v —汽车与空气的相对速度（ m/s ），可近似地取汽车行驶速度。

汽车的空气阻力系数与迎风面积 表2-3

车 型	迎风面积A (m ²)	空气阻力系数K
小客车	1.4~1.9	0.32~0.50
载重车	3.0~7.0	0.60~1.00
大客车	4.0~7.0	0.50~0.80

将车速 $v(\text{m/s})$ 化为 $V(\text{km/h})$ ，并化简得
：



对于汽车挂车的空气阻力，一般可按每节挂车的空气阻力为其牵引车空气阻力的20%计算。

- 2.道路阻力

由道路给行驶的汽车产生的**行驶阻力**，主要包括**滚动阻力**和**坡度阻力**。

- (1) 滚动阻力

车轮在路面上滚动所产生的阻力，称为滚动阻力。一般情况下，滚动阻力与汽车的总重力成正比，若坡道倾角为 α 时，其值可按下式计算：

$$R_f = G \sin \alpha$$

由于坡道倾角一般较小，认为，则

$$R_f = Gf \quad (\text{N})$$

式中： R_f ——滚动阻力 (N)；

G ——车辆总重力 (N)；

f ——滚动阻力系数，见表2-4。

(2) 坡度阻力

汽车在坡道倾角为 α 的道路上行驶时，车重 G 在平行路面方向的分力为 $G \sin \alpha$ ，上坡时它与汽车前进方向相反，阻碍汽车的行驶；而下坡时与前进方向相同，助推汽车行驶。坡度阻力可用下式计算：

$$R_p = G \sin \alpha$$

因坡道倾角一般较小，认为 $\sin \alpha \approx i$ ，则

$$R_i = Gi$$

式中： R_i ——坡度阻力 (N)；

G ——车辆总重力 (N)；

i ——道路纵坡度，上坡为正，下坡为负。

道路阻力为滚动阻力与坡度阻力之和，可按下式计算

$$R_R = G(f + i)$$

式中： R_R ——道路阻力 (N)；
 $f+i$ ——统称道路阻力系数。

3、惯性阻力

汽车变速行驶时，需要克服其质量变速运动时产生的惯性力和惯性力矩，统称为惯性阻力。

汽车的质量分为平移质量和旋转质量（如飞轮、齿轮、传动轴和车轮等）两部分。在汽车变速运动时，平移质量产生惯性力，旋转质量产生惯性力矩。

平移质量的惯性力 $R_{Y1} = m \frac{G}{g} a$

旋转质量的惯性力矩 $R_{Y2} = \sum I \frac{d\omega}{dt}$

式中： I ——旋转部分的转动惯量；

$\frac{d\omega}{dt}$ ——旋转部分转动时的角加速度。

为简化计算，一般给平移质量惯性力乘以大于1的系数 δ ，来近似代替旋转质量惯性力矩的影响，即：

$$R_{\text{阻}} + \delta \frac{G}{g} a = 0 \quad (20)$$

式中： $R_{\text{阻}}$ ——惯性阻力 (N)；
 G ——车辆总重力 (N)；
 g ——重力加速度 (m/s^2)；
 a ——汽车的加速度（正值）或减速度（负值）
(m/s^2)；
 δ ——惯性力系数，其值可用下式计算

δ_1 ——汽车车轮惯性力影响系数，一般 $\delta_1=0.03\sim0.05$

；

δ_2 ——发动机飞轮惯性力的影响系数，一般小客车
 $\delta_2=0.05\sim0.07$ ，载重汽车 $\delta_2=0.04\sim0.05$ ；

i_k ——变速箱的速比，查表2-1。

$\delta_1 \delta_2 i_k$



这样，汽车的总行驶阻力 R 为

$$R = R_a + R_r + R_i + R_g$$

在上述几种阻力中，空气阻力和滚动阻力永为正值，亦即在汽车行驶的任何情况下都存在；坡度阻力当上坡时为正值，平坡为零，下坡为负值；而惯性阻力则是：加速为正值，等速为零，减速为负值。

1. 汽车的运动方程式

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。

当驱动力与汽车总行驶阻力相等的时候，称为驱动平衡。其驱动平衡方程式（即汽车运动方程式）为：

驱动力 = 总行驶阻力

如果节流阀部分开启，要对驱动力T进行修正。修正系数用U表示，称为负荷率。即：

$$T = U \frac{M \eta}{r}$$

式中：U——负荷率，取U=80~90%。

将有关公式代入式（2-12），则汽车的运动方程为

$$: \quad \frac{M \eta}{r} = \frac{M \eta}{r} \frac{1}{215} \frac{1}{g} \quad (23)$$

2. 汽车的行驶条件

要使汽车行驶，必须具有足够的驱动力来克服各种行驶阻力。即：

$$F \geq R$$

上式是汽车行驶的必要条件，即驱动条件。

汽车能否正常行驶，还要受轮胎与路面之间附着条件的制约。即汽车正常行驶的充分条件是驱动力小于或等于轮胎与路面之间的附着力，即

(2-15)

$$T \leq \phi G_K$$

式中： G_K ——驱动轮荷载，一般情况下，小汽车为总重的50~65%；载重汽车为总重的65~80%；

ϕ ——附着系数，查表2-5。

二 / 汽车的动力特性及加、减速行程



在线开放课程

汽车的动力性能系指汽车所具有的加速、上坡、最大速度等性能。汽车的动力性越好，速度就越高，所能克服的行驶阻力也就越大。主要介绍汽车的最高速度、最小稳定速度以及汽车的加、减速行程，为道路的纵断面设计提供依据。

汽车理论

一、 汽车的动力因数

上式等号左端（即驱动力与空气阻力之差）称为**汽车力后备驱动力**，其值与汽车的构造和行驶速度有关；等号右端为**道路阻力RR**与**惯性阻力RI**之和，其值主要与动力状况和汽车的行驶方式有关，将右端行驶阻力表达式代入，得：

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

将上式两端同时除以车辆总重G，得：

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

令上式右端为D，即

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

D称为动力因数，它表征某种类型的汽车在海平面高程上，满载的情况下，每单位车重克服道路阻力和惯性阻力的性能。将有关公式代入式（2-17），得

$$D = \frac{TRU}{G} = \frac{K^2 A V^2}{G r G 2 K 15}$$

$$D = \frac{K^2 A V^2}{G r G 2 K 15}$$

显然， D 可以表示为车速 V 的二次函数，即

$$D = \frac{1}{2} a V^2 + b V + c$$

式中

$$a = \frac{1}{2} \frac{D_0^3 (M_{max} + K) A}{G M_{max}^2} \quad b = \frac{1}{2} \frac{D_0^3 (M_{max} + K) A}{G M_{max}^2}$$

$$c = \frac{3 D_0^3 (M_{max} + K) A}{2 G M_{max}^2}$$

$$W = \frac{1}{2} \frac{M_{max}^2}{r G} \left[\frac{M_{max}^2}{M_{max}^2} \right]$$

为使用方便，可用曲线表示 D 与 V 的函数关系，称为动力特性图。表2-6为东风EQ-104载重汽车原始数据，图2-4为东风EQ-104载重汽车的动力特性图。利用该图可以查出各排挡下不同车速对应的动力因数数值。

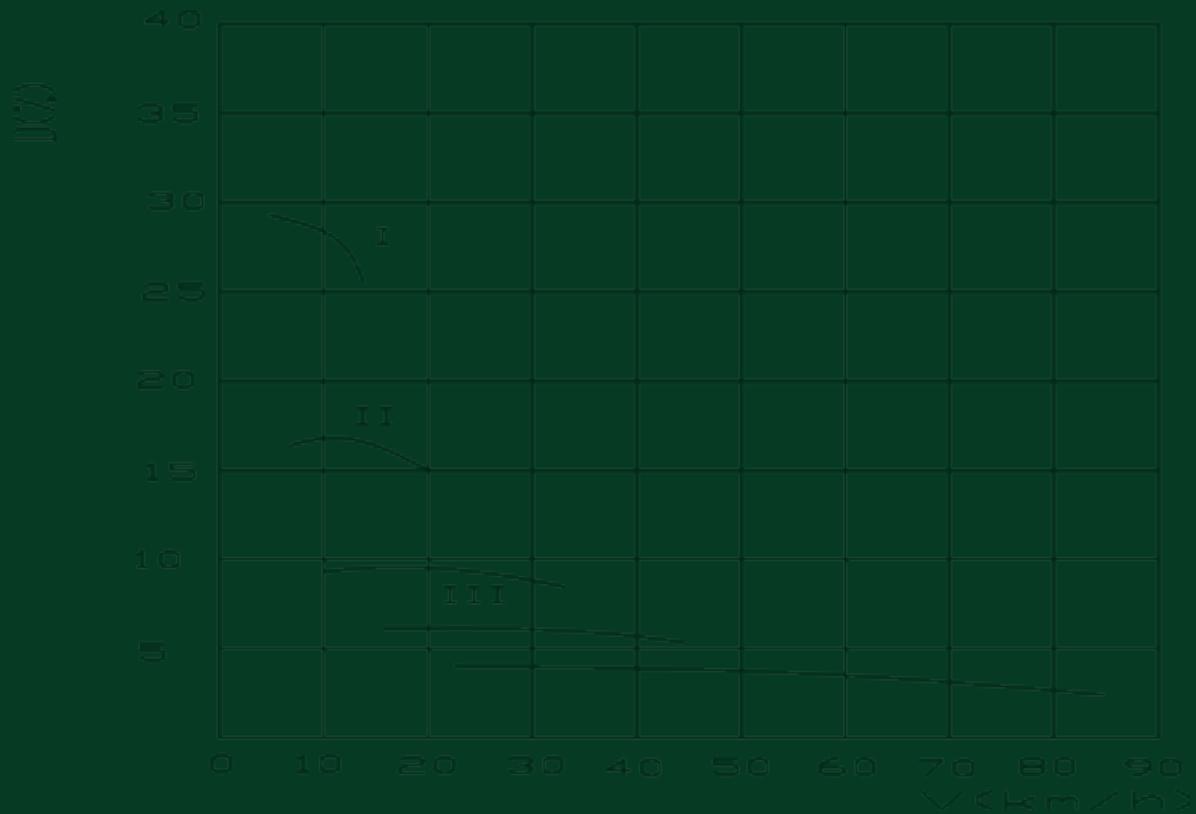


图 2-4 东风 EQ-140 动力特性图



东风EQ-140 原始计数数据

表 2-6

项目	计算参数	单位
M_{max}	352.8	N.m
M_N	316	N.m
n_N	3000	r/min
n_M	1300	r/min
G	91135	N
K	0.9	
A	4.185	m^2
r	0.49	m
l_0	6.33	
δ_1	0.03	
δ_2	0.04	



动力因数和动力特性是按海平面及汽车满载情况下的标准值绘制的。若道路所在地不在海平面上，汽车也不是满载，由于海拔增高，气压降低，使发动机的输出功率、汽车的驱动力及空气阻力都随之降低。所以，应对动力因数进行修正，方法是给D乘上一个修正系数 λ ，即

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

$$\lambda = \xi \frac{G}{G'}$$

式中： ξ ——海拔系数，见图2-5；
 G ——满载时汽车的总重力 (N)；
 G' ——实际装载时汽车的总重力 (N)。

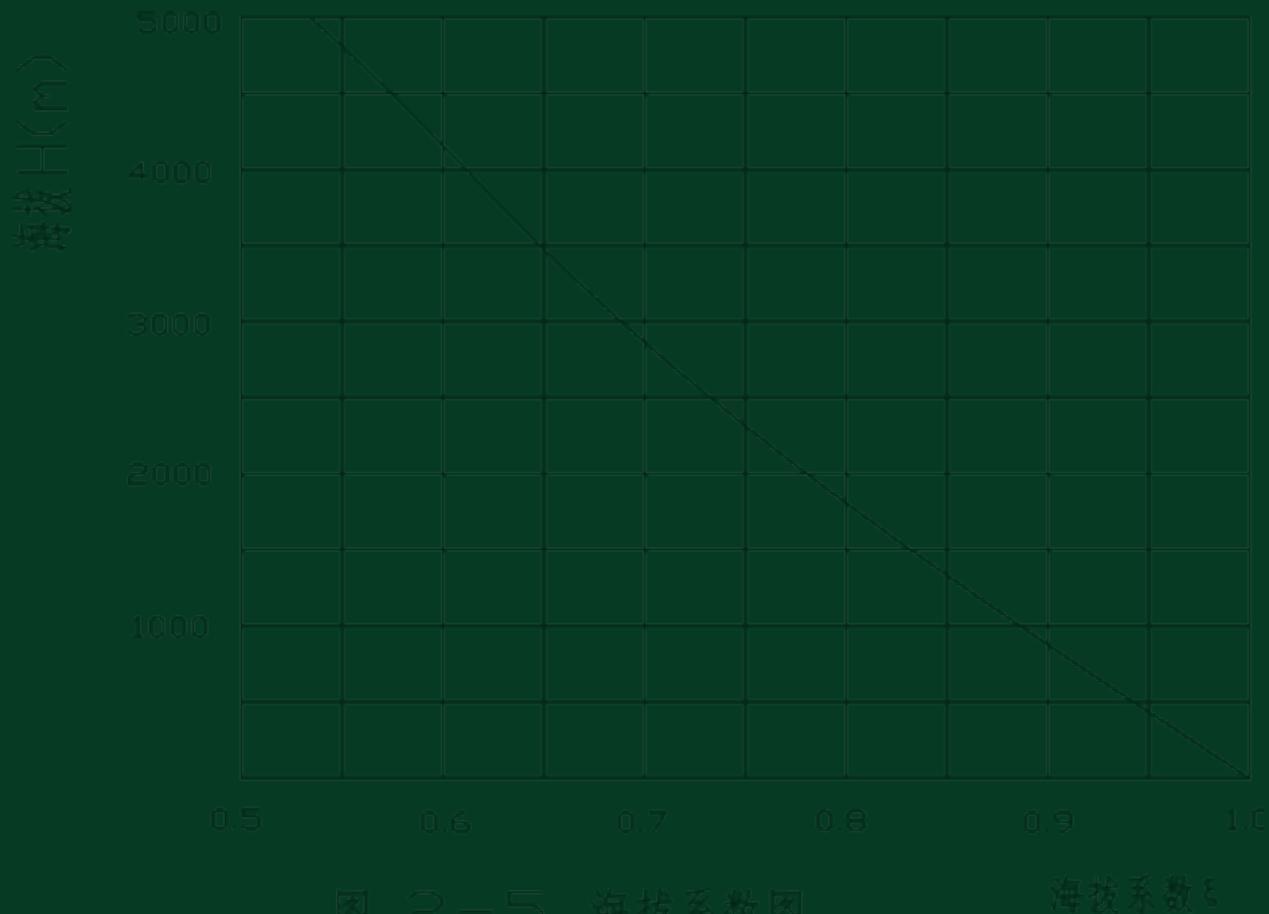


图 2-5 海拔系数图

海拔系数 ϵ 

二、汽车的行驶状态

1 道路阻力系数

由式（2-19）可得
$$a = \frac{\lambda g}{\delta} (D - \Psi)$$

式中： Ψ ——道路阻力系数

$$\Psi = \frac{f + i}{\lambda}$$

汽车的行驶状态有以下三种情况：

当 $\psi < D$ 时 $a > 0$ 加速行驶

当 $\psi = D$ 时 $a = 0$ 等速行驶

当 $\psi > D$ 时 $a < 0$ 减速行驶

2、平衡速度

汽车等速行驶的速度称为平衡速度，用 V_P 表示，可用下述方法求得：

$$P = Gf + kv + kv^3$$

$$P - Gf = kv + kv^3$$

$$V_P = \sqrt[3]{\frac{P - Gf}{k}}$$

3.临界速度（最小稳定速度）

每一排挡都存在各自的**最大动力因数**

Dmax，与之对应的速度称为**临界速度（最小稳定速度）**，用**V_K**表示。某一排挡的**临界速度**

可从**动力特性图**上查得，也可用下式计算：

由**dD/dV=0**，得

$$V_K = \frac{Q}{2P}$$

4.最高速度

汽车的最高速度是指节流阀全开、满载的情况下，在表面平整坚实的水平路面上作稳定行驶时的最大速度。每一排挡都有各自的最高速度，可按下式计算：

$$V_{\max} = \frac{0.377 n_{\max}}{\gamma} \quad (\text{km/h})$$

式中： n_{\max} ——汽车发动机的最大转数 (r/min)。

在每一排挡下，汽车都有最高速度和最小稳定速度，二者差值越大，表示汽车对道路阻力的适应性越强。



三、汽车的爬坡能力

1 爬坡能力

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最大纵坡度。因 $a=0$ ，由式（2-19）可得

$$i = D_f$$

在每一排挡下，汽车的爬坡能力都不相同。一般来说，排挡越低，爬坡能力越强。

2、最大爬坡能力

汽车的最大爬坡能力是用最大爬坡坡度来衡量的。最大爬坡坡度是指汽车在坚硬路面上用最低挡作等速行驶时所能克服的最大坡度。由于最低挡爬坡能力大，坡道倾角 α 也大，此时，应该用下式计算，即

$$P_{\max} = \frac{D}{\cos \alpha} - G \sin \alpha$$

$$D = G \cos \alpha$$

式中： α_{Imax} ——最低挡所能克服的最大坡道倾角；
 f ——滚动阻力系数；
 D_{Imax} ——最低挡的最大动力因数。
则，最大爬坡坡度为

$$i_{\text{max}} = f + \alpha_{\text{max}}$$

小结



在线开放课程

- 1. 汽车的驱动力
- 2. 汽车的行驶阻力
- 3. 汽车的行驶条件
- 4. 汽车的动力因数
- 5. 汽车的行驶状态