



石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

网络精品课程

# 铁路选线设计

## 作用于列车上的力

主讲：廖英英

# 上章内容回顾

- 设计年度

近期和远期、初期

## 2. 线路设计所需的运量参数

铁路运量、运输周转量、货运密度、货流比、货运波动系数、客流波动系数和列车对数

## 3. 通过能力和输送能力的计算

单线和双线铁路通过能力

## 4. 铁路的主要技术标准

正线数目、牵引种类、机车类型、牵引质量、限制坡度、最小曲线半径、机车交路、到发线有效长度和闭塞类型等

# 第三章 牵引计算

- 第一节 作用于列车上的力
- 第二节 列车运动方程式
- 第三节 牵引质量计算与检算
- 第四节 运行速度与运行时分

# 第三章 牵引计算

## • 教学目的

1. 掌握牵引质量的含义。
2. 掌握各种力的计算方法，为列车运动方程及其求解打下基础。
3. 建立列车运动方程式，并由此求解牵引质量
4. 了解列车运行时分计算方法

## • 教学重点与难点

1. 各种力的计算方法和取值要求
2. 合力曲线、运行时分计算



# 概述

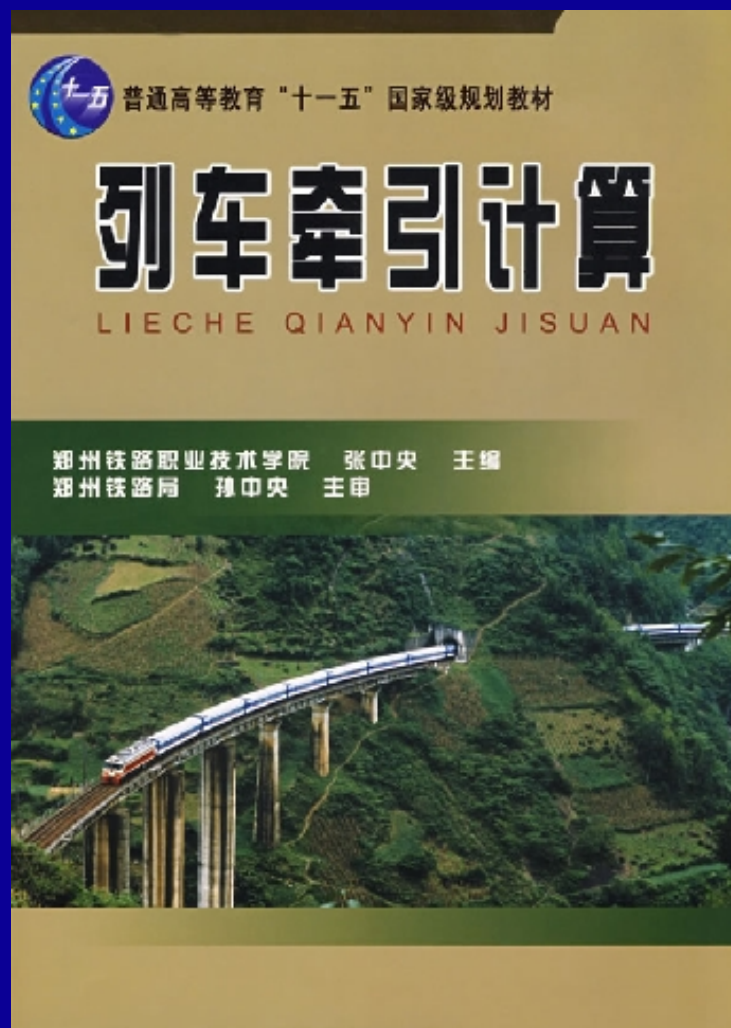
什么是**列车牵引计算**？

是一门铁路**应用学科**

以力学的基本原理为**基础**

**研究**作用在列车上的与列车运动有关的各种外力

**分析**这些力与列车运动的关系



# 概述

## 问题包括：

- 列车运行时间；运行速度；牵引质量；机车能耗标准；列车制动问题

## 意义：

- 1.是运输组织的依据；
- 2.是机车牵引特性改进和配置、机车运用、铁路选线设计、经济评估以及信号机布置等的基础  
因此，是铁路重要的**专业基础学科**之一。

# 《列车牵引计算规程》（简称《牵规》）

我国现行《列车牵引计算规程》是**1998**年公布实施。

规定了牵引计算方法及所用主要技术参数，是确定牵引质量、运行速度和运行时间的**依据**，是计算机车用电、油、煤、水消耗量的**基础**。



# 第一节 作用于列车上的力

## 主要内容

- 一、牵引力
- 二、列车运行阻力
- 三、列车制动力





# 作用在列车上的力

列车由机车及车列（若干车辆连挂在一起）组成。



东风11型机车牵引旅客列车

# 作用在列车上的力

高速列车为提高牵引力而不增加轴重，将动力设备分散配置在多个车辆中，称有动力的车辆为**动车**，没有动力的车为**拖车**。



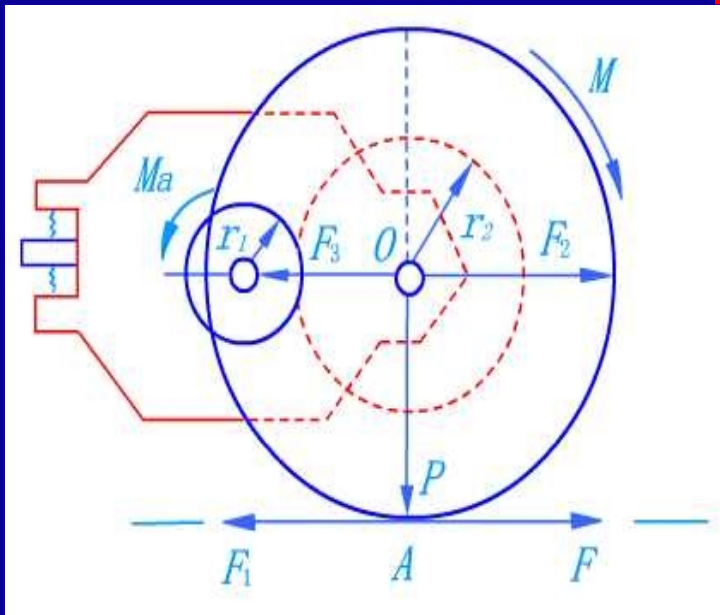
作用在列车上的、与列车运动有关的力：

牵引力；列车运行阻力；列车制动力

# 一、牵引力

牵引力与列车运行方向相同，并可由司机根据需要控制。

## (一) 牵引力的形成与限制



动力装置

电能或化学能

机械能（扭矩）

传动装置

动轮

钢轨

牵引力

动轮轮周上的切向反作用力

# 一、牵引力

## 黏着牵引力

——受轮轨间黏着力限制的机车牵引力。

## "空转"

——轮周牵引力大于轮轨间的黏着力时

## "引发后果"

牵引力大幅降低，轮轨剧烈磨耗。



# 一、牵引力

结论（黏着牵引力限制）

轮周牵引力  $F$  ~~为~~ 黏着牵引力  $F_{\mu}$ ;



## (二) 牵引特性曲线

牵引特性

——机车(动车)牵引力与运行速度之间的关系

$$F=f(V)$$

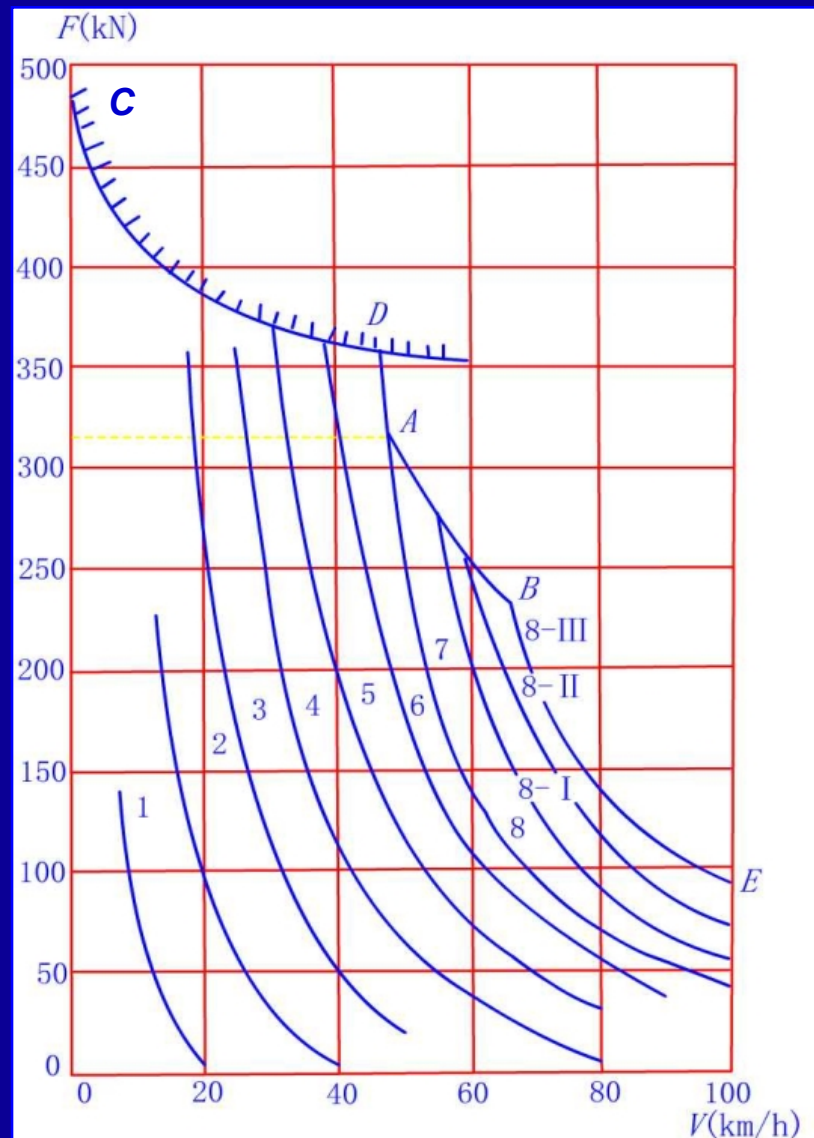
牵引特性曲线

——表示这种关系的曲线图

纵轴——牵引力

横轴——速度

通过牵引性能试验得到。



## (二) 牵引特性曲线

### 用途:

- 查取机车在不同速度的牵引力
- 司机据此选取适合的操纵方式
- 是评定和比较机车牵引性能的依据。



《牵规》中给出各类常用机车的牵引特性参数及牵引性能曲线。

## 二、列车运行阻力

### 列车阻力

——列车运行时与外界作用产生的与列车运行方向相反、阻碍列车运行且不受司机控制的外力。

以 $W$ 表示，单位为N

列车阻力 $W =$  机车阻力 $W'$  + 车辆阻力 $W''$

单位阻力——机车、车辆或列车的单位重量所受的阻力， $\omega'$ 、 $\omega''$ 、 $\omega$ 。单位为N/kN。



## 二、列车运行阻力

根据性质阻力可分为：

- 基本阻力
- 附加阻力
- 起动阻力

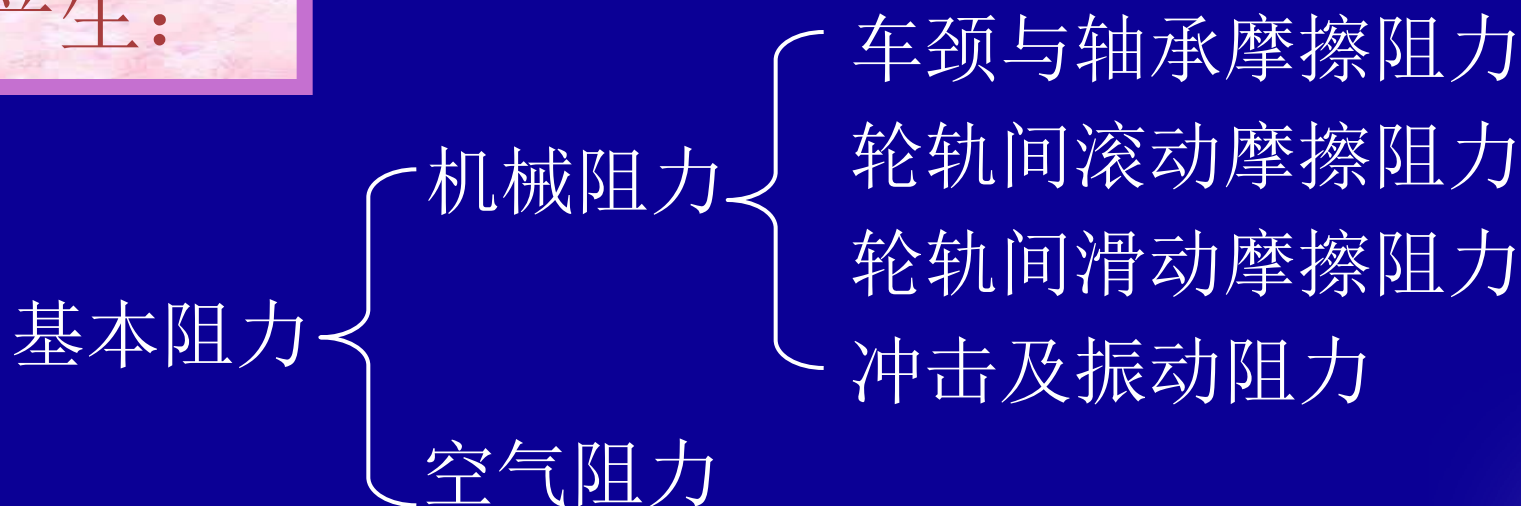


## 二、列车运行阻力

### (一) 基本阻力

——列车在空旷地段沿平直轨道运行时所遇到的阻力。

产生：



在列车运行中总是存在的。

## 二、列车运行阻力

### (1) 机车和车辆单位基本阻力的计算

试验公式形式：

$$W_0 = a + bV + cV^2 \quad (\text{N/kN})$$

常数a、b、c由试验确定，



## 二、列车运行阻力

电力机车

SS<sub>1</sub>、SS<sub>3</sub>、SS<sub>4</sub>型



客车

25B、25G型客车 ( $V_{\max}=140\text{km/h}$ )



货车

滚动轴承（重车）



空货车（不分车型）



## 二、列车运行阻力

我国CRH系列动车组的单位基本阻力公式如下：

$$CRH_1 \quad \ddot{w} = 0.0016v^2 + 0.0001v + 0.0001 \quad 46$$

$$CRH_2 \quad \ddot{w} = 0.0016v^2 + 0.0001v + 0.0001 \quad 14$$

$$CRH_3 \quad \ddot{w} = 0.0016v^2 + 0.0001v + 0.0001 \quad 32$$

$$CRH_5 \quad \ddot{w} = 0.0016v^2 + 0.0001v + 0.0001 \quad 15$$

## 二、列车运行阻力

(2) 列车基本阻力与列车平均单位基本阻力

列车基本阻力:

$$W = Pw_0 + Gw_1 \quad (\text{N})$$

式中， $P$ 、 $G$ 分别为机车质量和牵引质量(t)。

列车平均单位基本阻力为:

$$w = \frac{W}{AG} = \frac{Pw_0 + Gw_1}{AG} \quad (\text{N/kN})$$

## 二、列车运行阻力

### (二) 附加阻力

——列车在线路上运行时受到额外的阻力，取决于线路情况(如坡道、曲线、隧道等)。

包括：

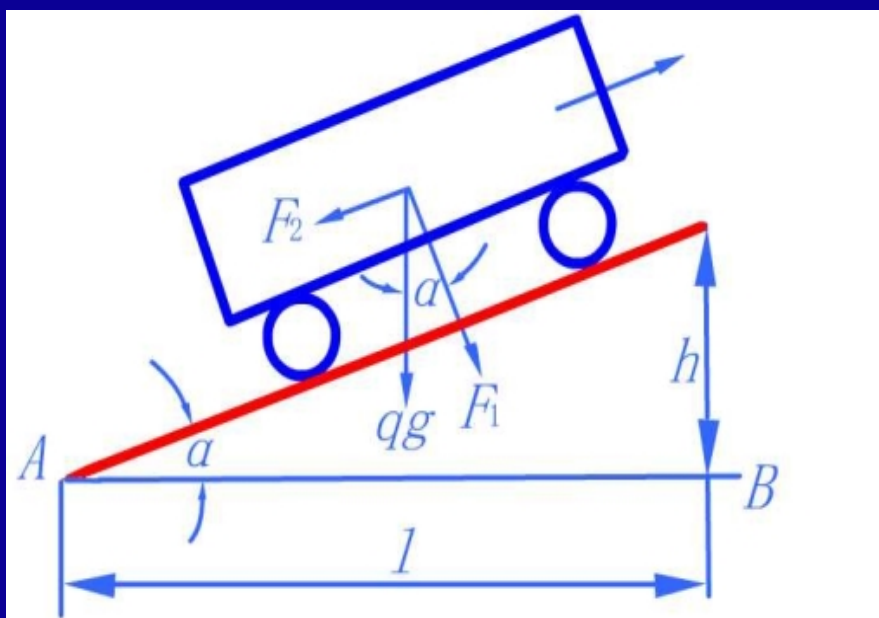
坡道附加阻力；  
曲线附加阻力；  
隧道附加阻力。



## 二、列车运行阻力

### 1. 坡道附加阻力

——列车在坡道上运行时，其重力产生垂直和平行于轨道的两个分力，平行于轨道的分力。



$$w_i = i \text{ (N/kN)}$$

列车上坡时，阻力是正值；  
列车下坡时，阻力是负值。



## 二、列车运行阻力

### 2. 曲线附加阻力

——列车在曲线上运行时，相对于同样条件下在直线上运行所额外受到的阻力。

产生：

- 摩擦；滑动

影响因素：

- 曲线参数
- 机车车辆走行部参数
- 运行速度



## 二、列车运行阻力

计算公式（试验公式）：

普通铁路：

$$w_r = \frac{600}{R} \quad (\text{N/kN})$$

或

$$w_r = \frac{1.05\alpha}{L_y} \quad (\text{N/kN})$$

式中， $R$ 、 $\alpha$ 、 $L_y$ 分别为曲线半径(m)、转角( $^\circ$ )和圆曲线长度(m)。

## 二、列车运行阻力

### 3. 隧道附加阻力

——列车在隧道内运行时，作用于列车上的空气阻力较空旷地段大，增加的空气阻力称为~。

❖❖ **为什么**空气受隧道制约未能散；车辆外形结构的原因气产生紊流，导致空气与列车表面及隧道表面的摩擦。



## 二、列车运行阻力

### 1. 附加阻力换算坡度

因为坡道附加阻力 $w_i = i$  (N/kN)，可认为列车在曲线上行驶所产生的曲线附加阻力是在一个坡度 $i_r$ 的坡道上行驶时产生，且：



其中， $i_r$ 、 $i_s$  分别称为**曲线、隧道附加阻力换算坡度**，或称为**曲线、隧道当量坡度**。

## 二、列车运行阻力

### 2. 加算坡度及列车平均单位阻力

加算坡度  $i_j$

- 指线路纵断面上坡段的坡度  $i$  与该坡道上的曲线、隧道等附加阻力换算坡度之和。

$$i_j = i + i_r + i_s \quad \text{‰}$$

- 对应的单位加算阻力为：

$$W_j = W_i + W_r + W_s \quad \text{N}$$

## 二、列车运行阻力

### (三) 起动阻力

——列车在低速起动阶段受到的包括基本阻力和起动附加阻力在内的阻力称为起动阻力。

产生：

- 列车停留后起动时，轴颈与轴承的摩擦阻力、轮轨滚动阻力增大
- 列车起动时，要求有较大的加速力以克服列车的静态惯性力。

## 三、列车制动力

——为使列车减速或停车，由司机操纵制动装置产生的与列车运行方向相反的外力。

### 制动方式

制动力

摩擦制动——闸瓦制动和盘形制动（空气制动）

动力制动——电阻制动、再生制动和液力制动

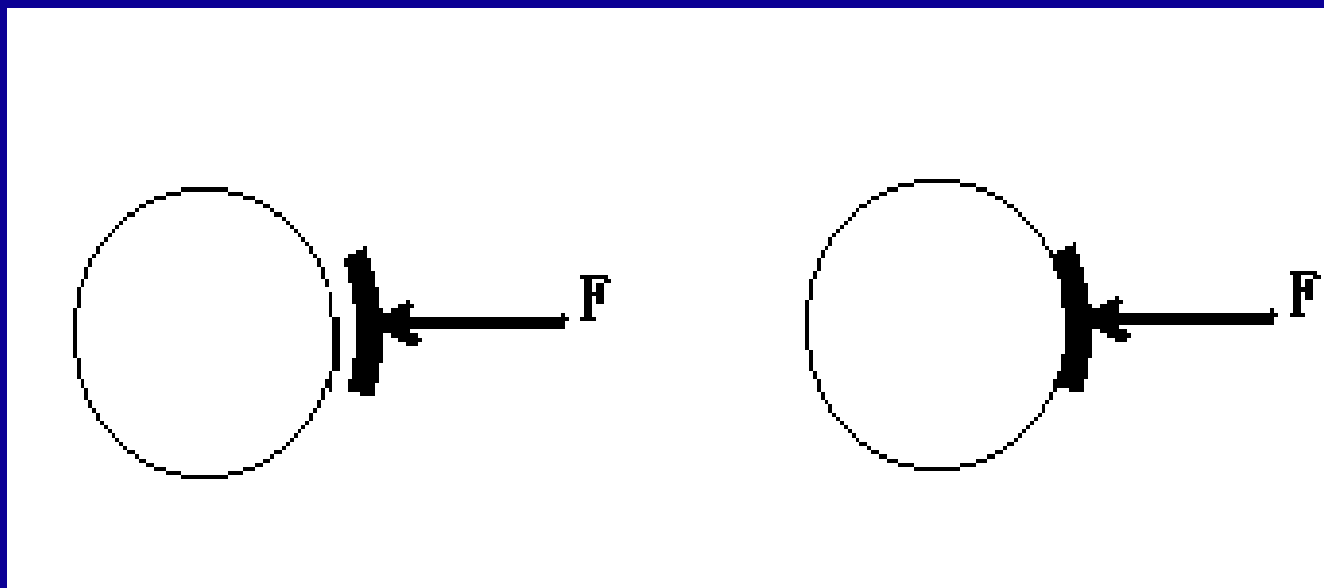
电磁制动——磁轨制动和涡流制动

动力制动只是在机车和动车上才有，所以并不能代替空气制动而只能作为一种辅助的制动。

# 三、列车制动力

## (1) 摩擦制动

- 闸瓦制动（踏面制动）。
- 常速机车车辆采用这种制动方式。



在制动时抱紧车轮踏面，通过摩擦使车轮停止转动



## 三、列车制动力

- 盘形制动
- 盘形制动避免了车轮踏面磨耗并提高了制动力，目前高速客车采用的制动方式。



- 闸瓦制动和盘形制动方式因利用压缩空气为动力，故也称为空气制动。

# 小 结

## 作用在列车上的力

