



西南交通大学  
Southwest Jiaotong University

# 铁路信号基础

Basic of Railway Signal

轨道线路





# 主要内容

第一节 铁路线路的组成

第二节 线路的平面和纵断面

第三节 限界



# 铁路线路的组成

信号设备反映线路的状态，{转辙机(道岔)，轨道电路(钢轨)}，信号设备的设置就与线路有直接关系。

线路定义：

机车车辆走行的通路叫线路，是机车车辆和列车运行的基础。

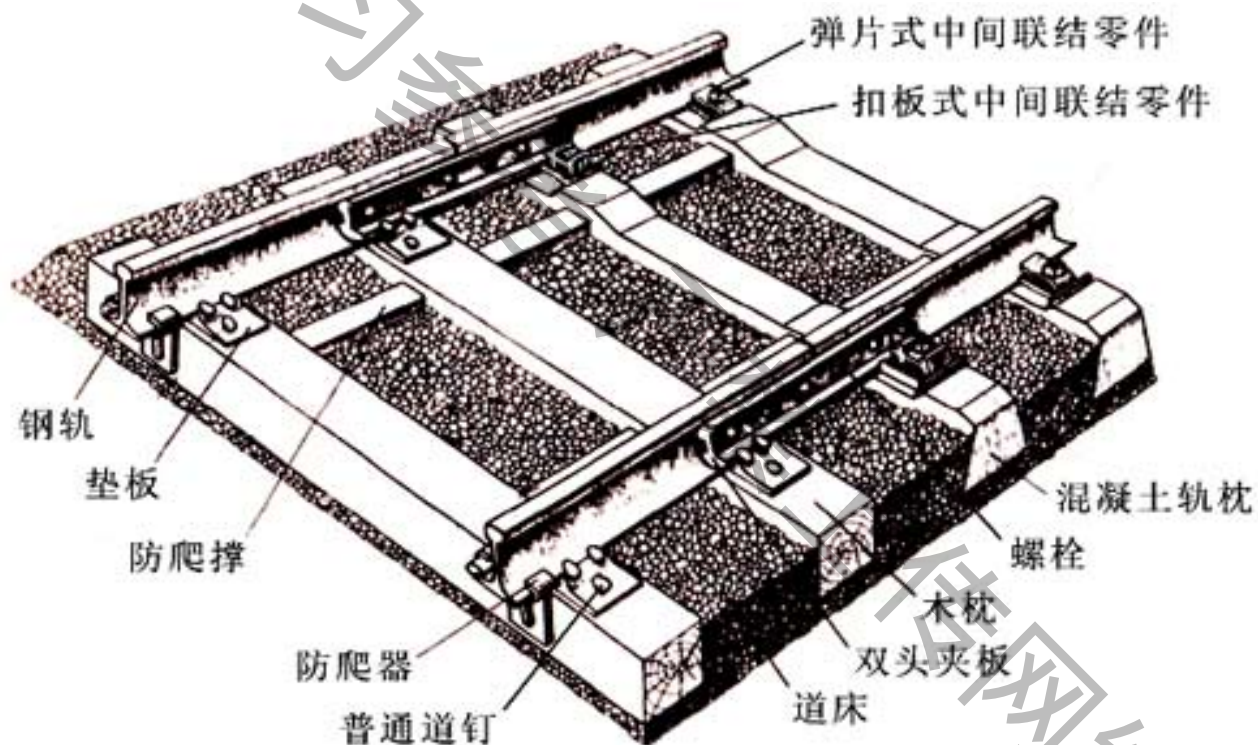
线路组成：

铁路线路是由路基、桥隧建筑物和轨道组成的一个整体工程结构。

# 有砟轨道

## 一、有砟轨道线路

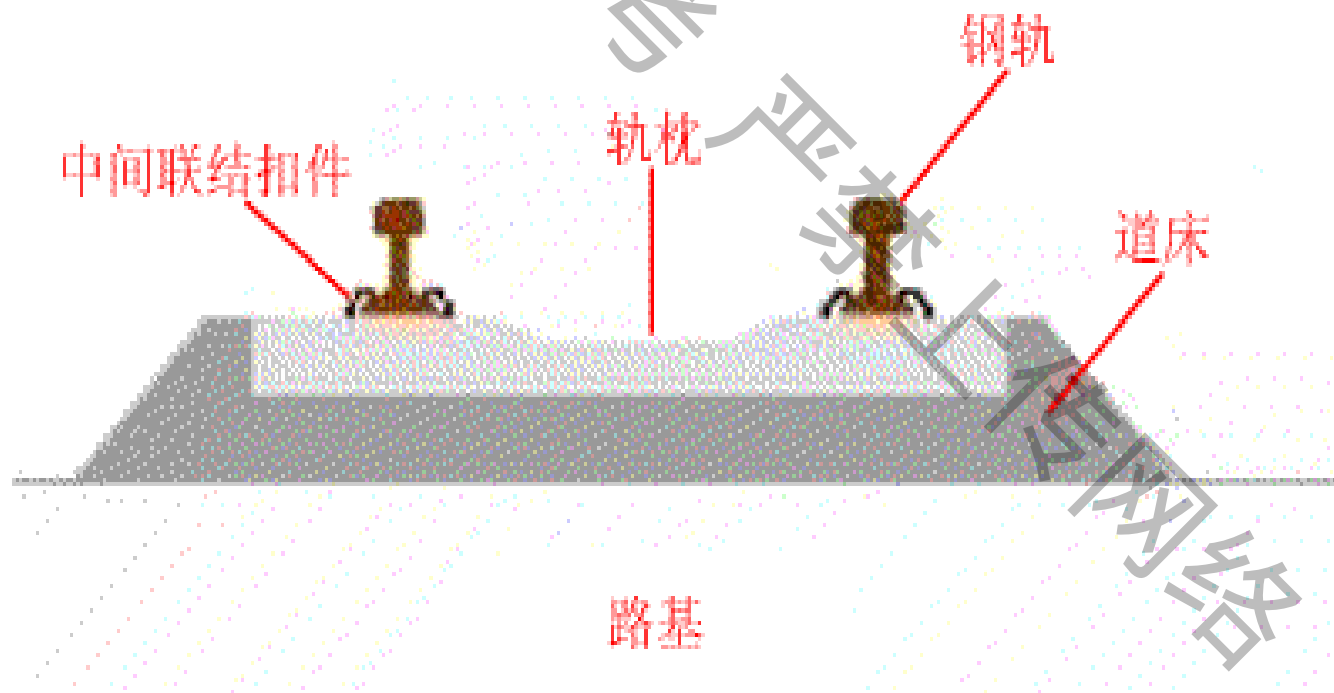
轨道定义：也称上部建筑，它由钢轨、轨枕、道床、道岔和联结零件、防爬设备等组成。如下图：



轨道的基本组成

## 1. 道床

定义：道床是铺设在路基面上的道碴(碎石或砂子)层。  
道床铺设于路基之上、轨枕之下，作为轨排的基础



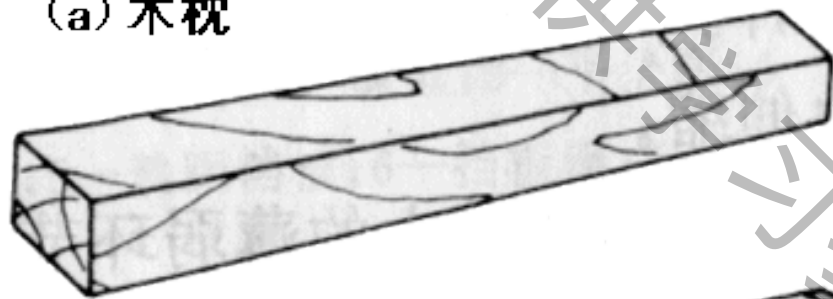
## 道床的作用

- 将机车车辆的荷载通过钢轨、轨枕并经过道床的扩散作用分散于路基面上，起着保护路基的作用；
- 具有良好的排水性能，这对减轻轨道的冻害和提高轨道的承载能力非常重要；
- 提供一定的弹性和浮力，起到缓冲和减振的作用；
- 用来保持轨道的平顺性和轨向，阻止轨枕移动钢轨。

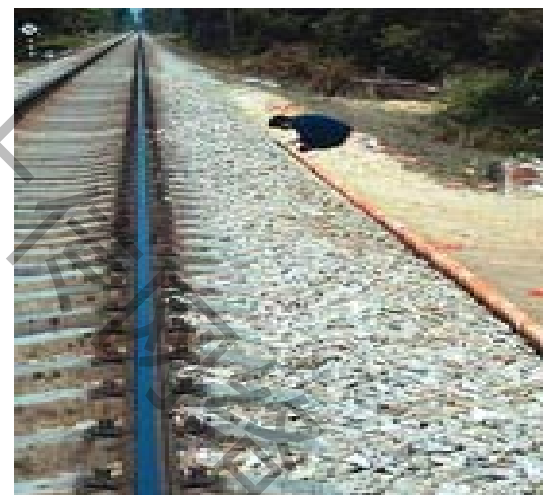
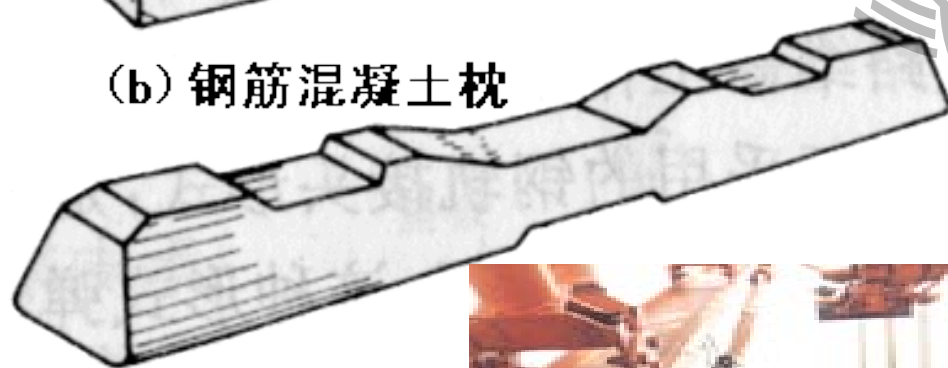
# 轨 枕



(a) 木枕



(b) 钢筋混凝土枕





## —轨枕的功用

- 支承钢轨
- 保持轨距和方向
- 传递压力

## —轨枕的分类

按材料可以分为：

木枕：木枕用量逐渐减少

混凝土枕：混凝土枕在我国铁路上广泛应用

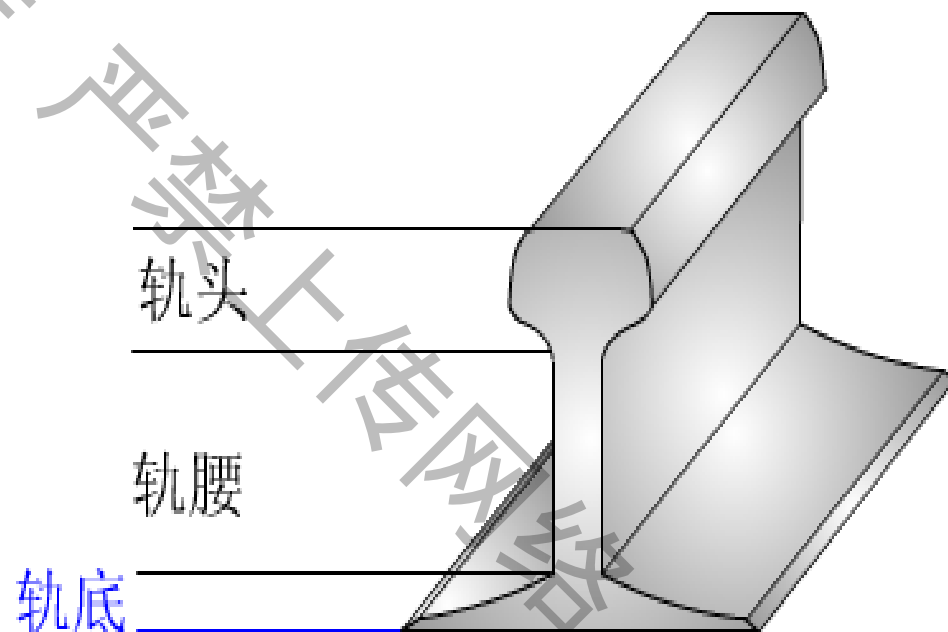


- 要求：电气绝缘，曲线处加装有轨距杆（电气绝缘）。
- 普通轨枕的长度：2.5m
- 道岔用的岔枕和桥梁上用的桥枕，长度2.6~4.85m
- 每公里线路轨枕的数量为：1440 ~ 1840根之间



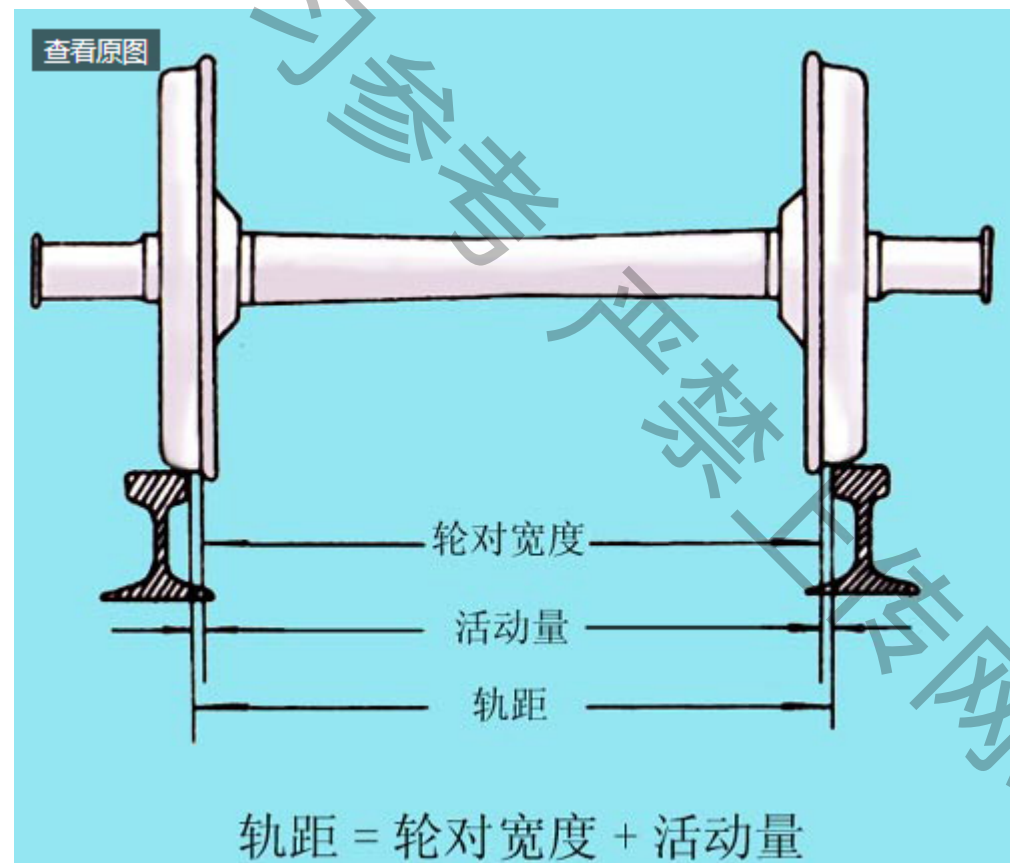
## —钢轨的功用

支撑并引导机车车辆的车轮，直接承受来自车轮的力，以及为车轮的滚动提供最小阻力的表面。(兼供轨道电路之用)



## — 轨距

直线轨距的标准是1435mm，允许误差为（+6，-2mm）。





## —钢轨类型

以每米钢轨重量来表示。75kg/m, 60kg/m, 50kg/m, 43kg/m。质量越大, 表示截面的强度特性越高。

## —钢轨长度

我国的标准采用25m和12.5m两种 (普通钢轨)

苏联的标准钢轨长度为25m, 德国为15m、60m、70m三种。

美国为11.89 ~ 23.96m

## — 钢轨接头处

可将相邻两根钢轨用夹板连接，夹板形状如图所示，也可采用焊接的方法将钢轨连接在一起。





- 钢轨接缝处必须保持的缝隙叫做轨缝。当温度变化使钢轨产生伸缩时，它可以起调节作用。
- 在装有轨道电路的区段，轨道电路的两端要在钢轨接缝处装上电气绝缘，叫做钢轨绝缘；
- 在轨道电路中间的钢轨接缝处，要用导接线把接缝两边的钢轨连接起来，以便使钢轨阻抗稳定不变，更好地导通信号电流。

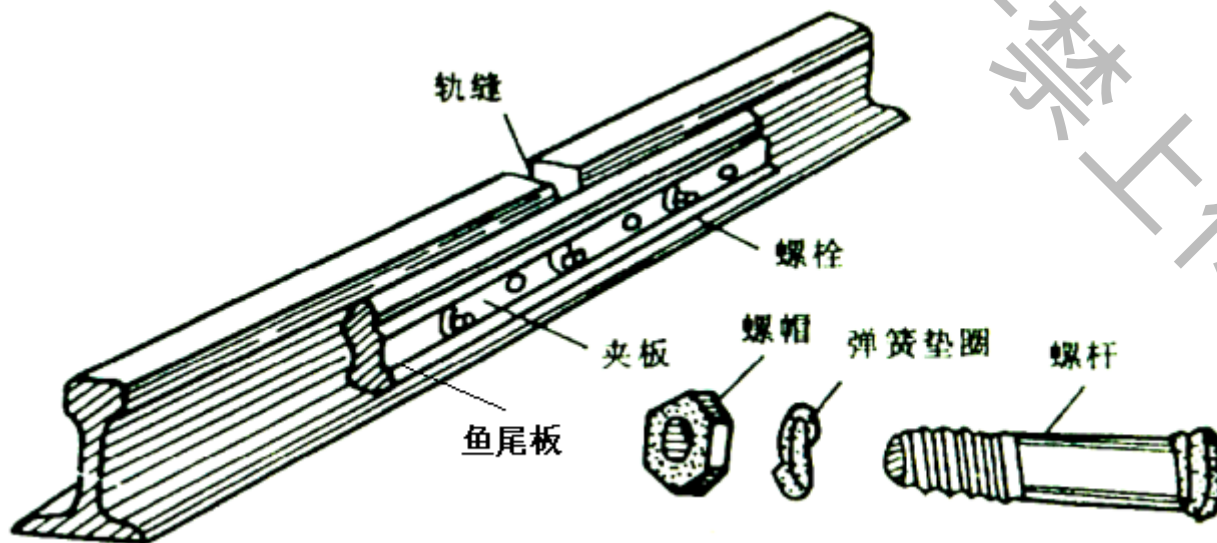


## 4. 联结设备

联结零件可分为：接头联结零件和中间连接零件

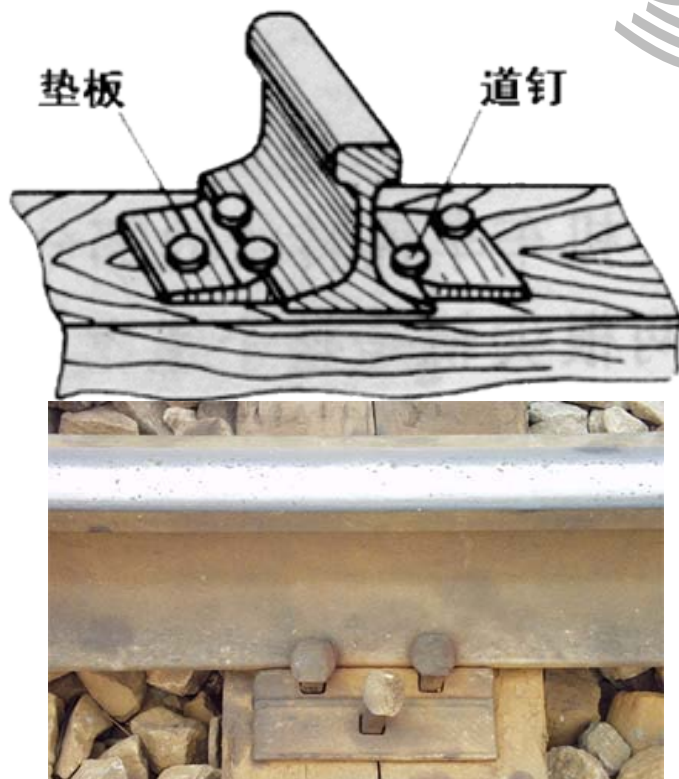
接头联结零件

- 作用：联结钢轨与钢轨间的接头；
- 组成：鱼尾板、螺栓、螺帽、弹性垫圈等。



## 中间联结零件

- 作用：将钢轨紧扣在轨枕上；
- 分类：木枕用和钢筋混凝土用。



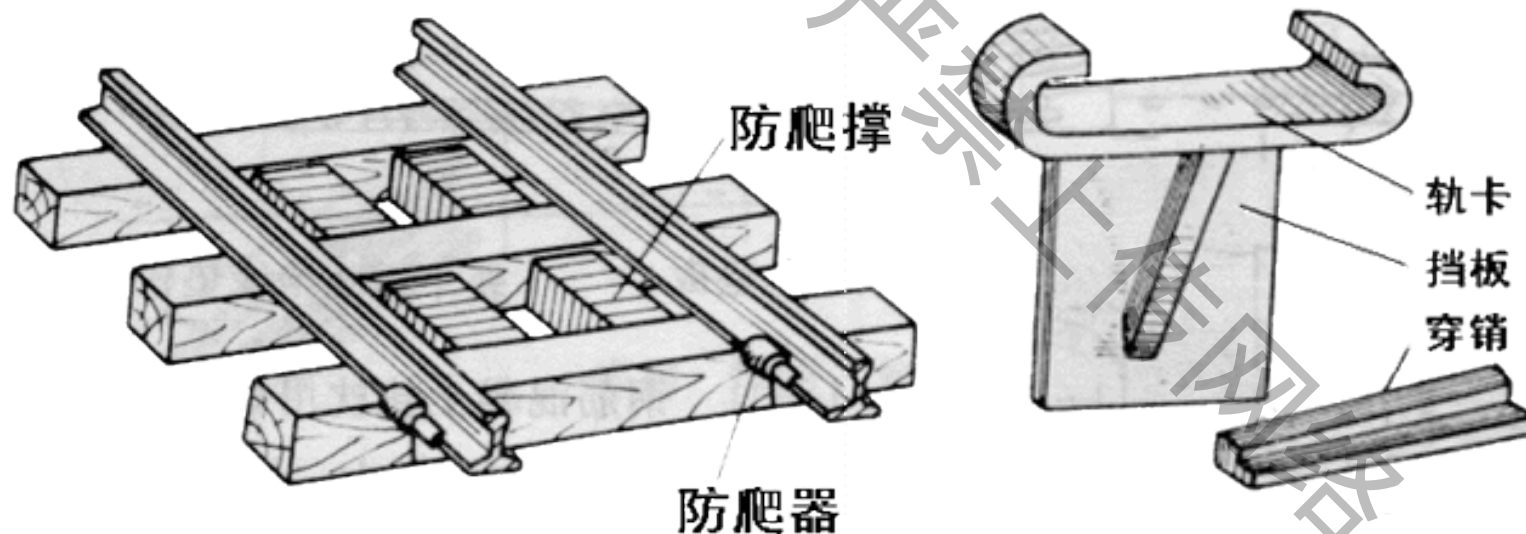


## 5. 防爬设备

**线路爬行**——因列车运行时纵向的作用，使钢轨甚至带动轨枕产生纵向移动，这种现象叫线路爬行。

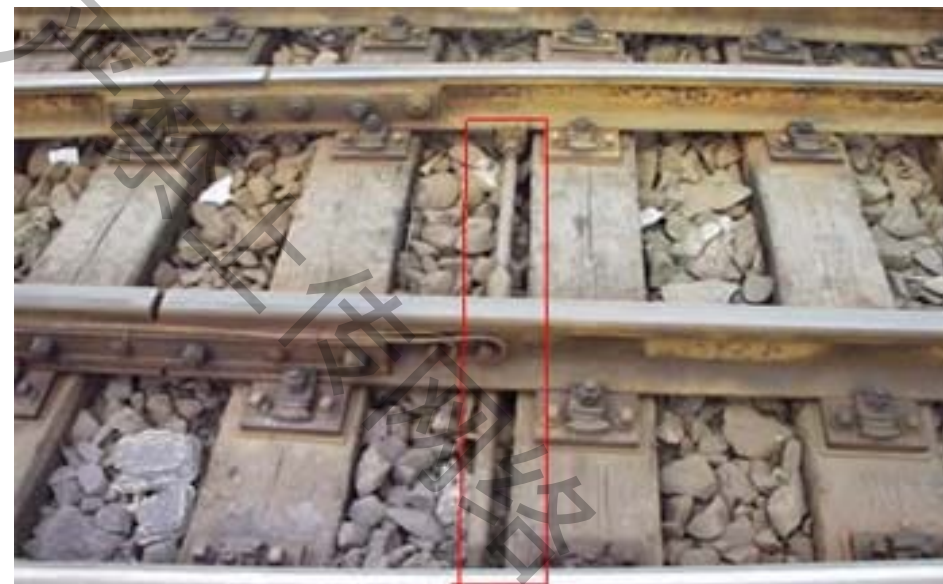
**危害**——轨缝不均，轨枕歪斜，对轨道造成极大破坏，危及行车安全。

**防爬措施**——安装防爬器和防爬撑。



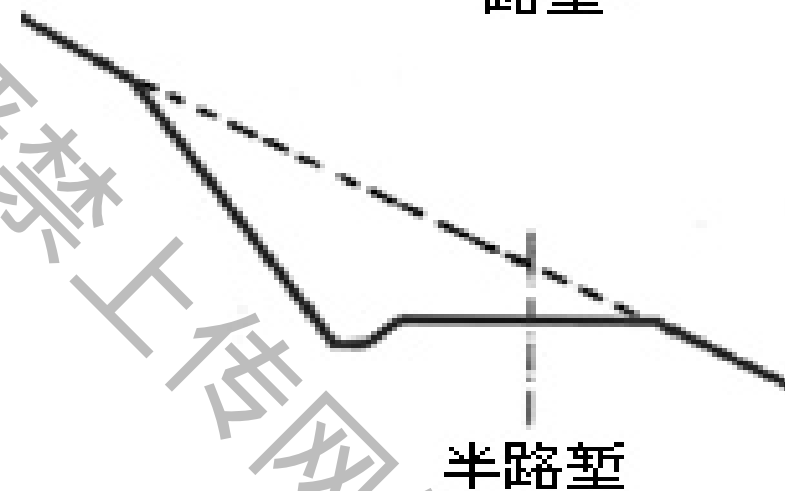
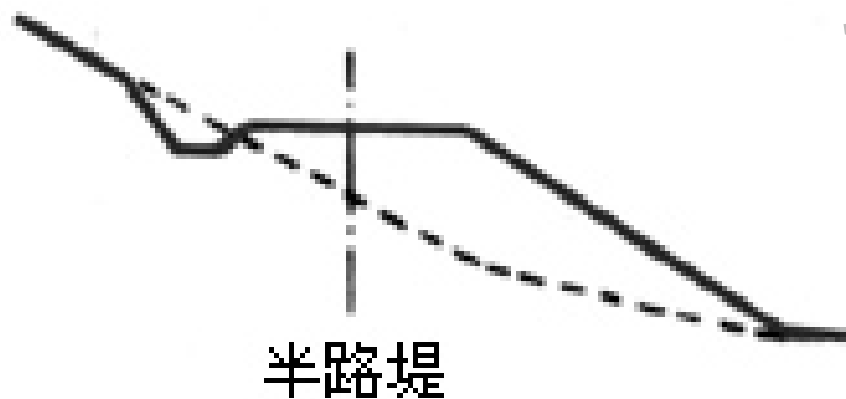
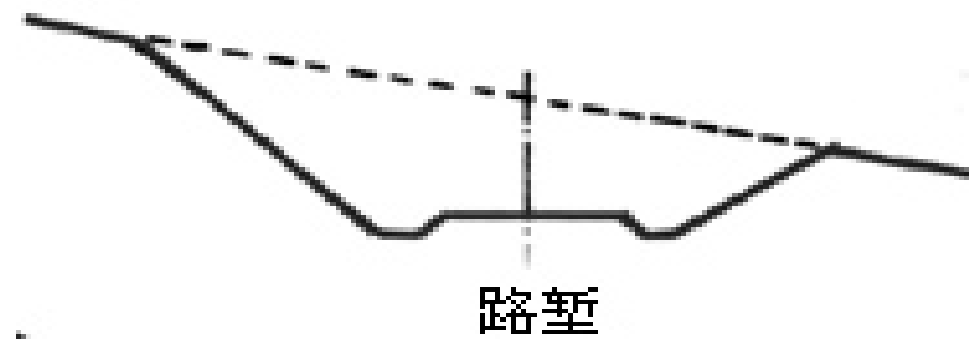
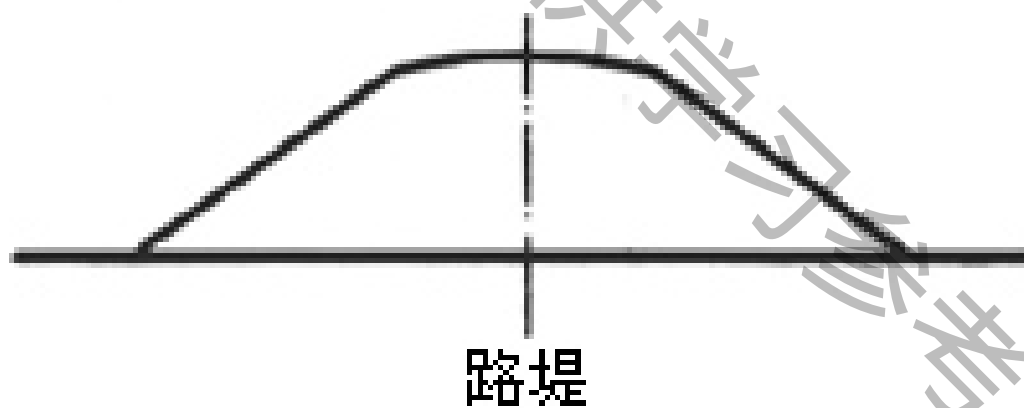


在曲线地段，由于列车横向力的作用，很容易引起轨距扩大。预防方法是采用轨距拉杆进行加固。



## 下部建筑

下部建筑由：路基（路堑及路堤）、桥梁、隧道、涵洞等设备组成，实际管理中，除路基之外，其他不属于“线路”范围。





# 桥梁

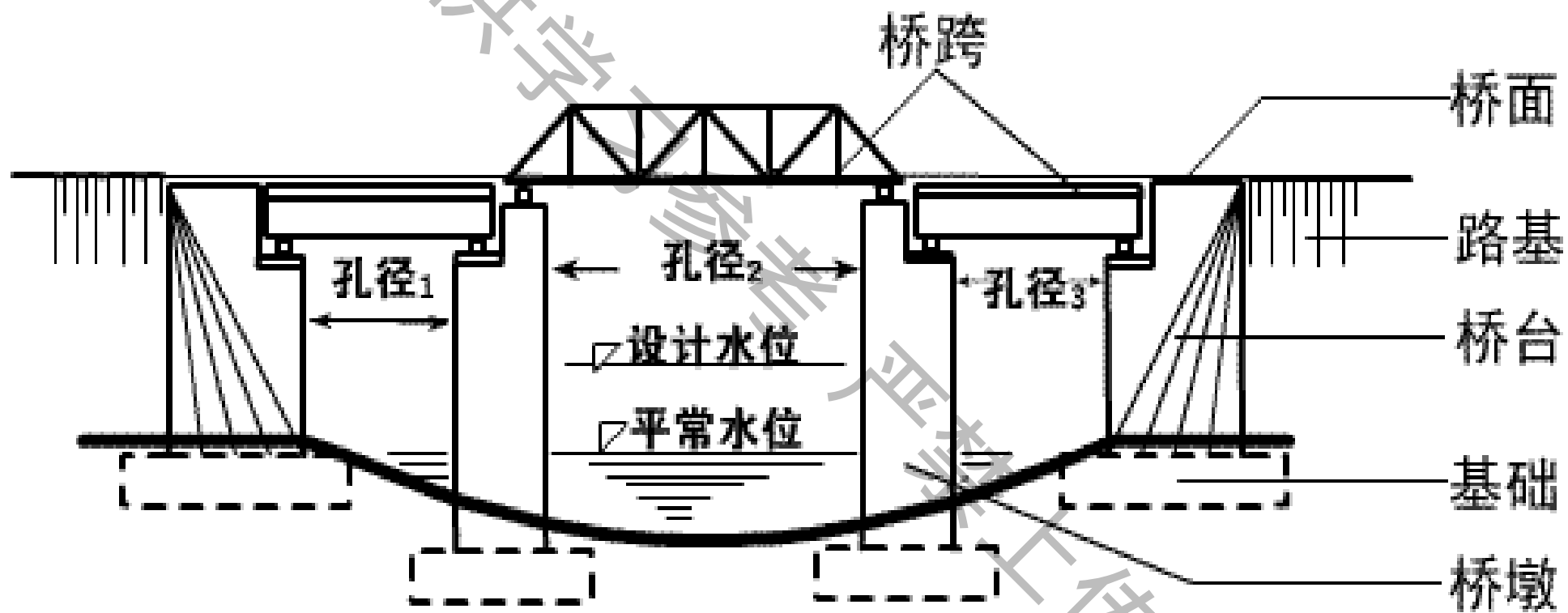
组成：桥面、桥跨结构、墩台及基础四部分组成

桥面：桥跨上铺设轨道的部分；

桥跨结构：桥梁承受载荷、跨越障碍的部分；

墩台：支撑桥梁结构的部分；

基础：墩台底部为基础。

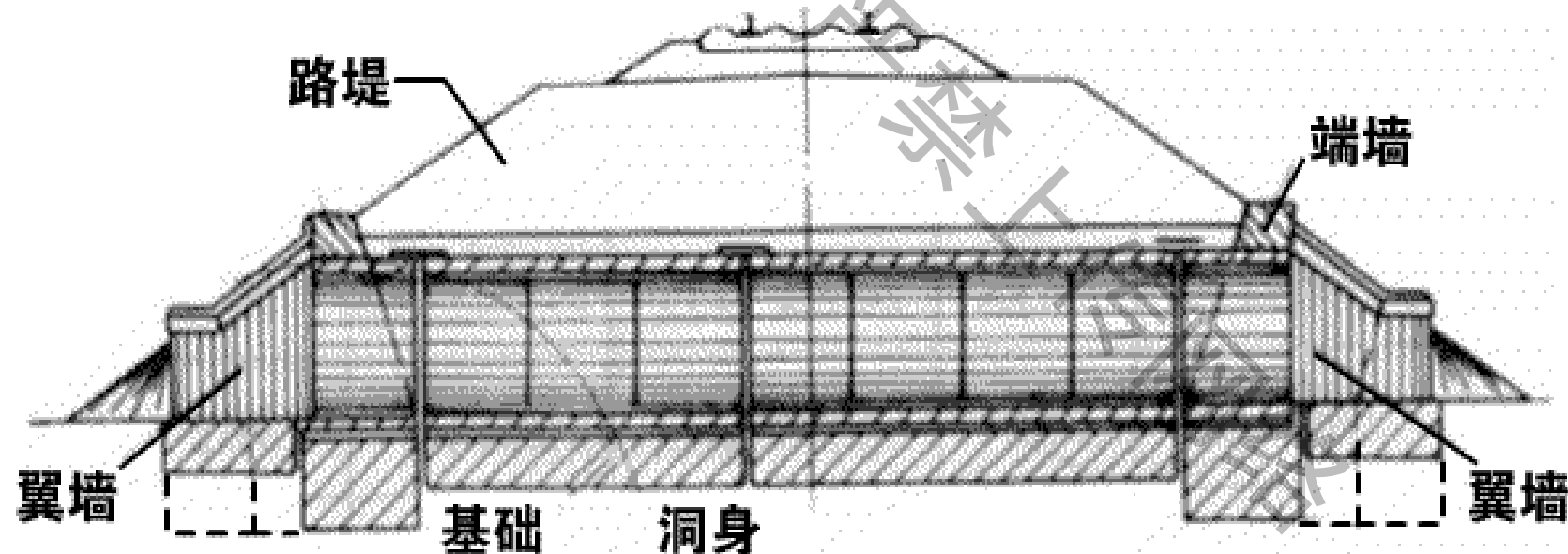


## 涵洞

涵洞设在路堤下部填土中，是用以通过水流的建筑物。

组成：洞身、基础、端墙、翼墙所组成。

按建筑材料不同分为：石涵、混凝土涵、钢筋混凝土涵、铁涵等；按涵洞截面形状分：矩形、圆形、拱形等。



## 隧道

大多建筑在山中，用以避免开挖很深的路堑，或修筑很长的迂回线。

组成：洞门、洞顶、内部衬砌等；

类型：山岭隧道、水底隧道及地下铁路。





## 二、无砟轨道线路

无砟轨道的轨枕本身是混凝土浇灌而成，而路基也不用碎石，铁轨、轨枕直接铺在混凝土路上。无砟轨道是当今世界先进的轨道技术，可以减少维护、降低粉尘、美化环境，而且列车时速可以达到200公里以上。





## 第二节 线路的平面和纵断面

### 第二节 线路的平面和纵断面

#### 一、铁路勘测设计的概念

勘测设计的概念：在建筑一条铁路之前，必须进行调查研究和勘探工作，并从若干个可供比较的方案中选出一个最优方案来进行设计。



## 铁路建设的三个阶段:

### 1、前期工作阶段

主要进行方案研究、初测和初步设计工作。

### 2、基本建设阶段

主要进行定测、技术设计和施工图设计，最后进行工程施工、验交投产。

### 3、投资效果反馈阶段

铁路运营若干年后，有建设单位会同有关部门，对工程质量、技术指标和经济效益等考察验证，以评价设计和施工质量

## 二、铁路等级及主要技术标准

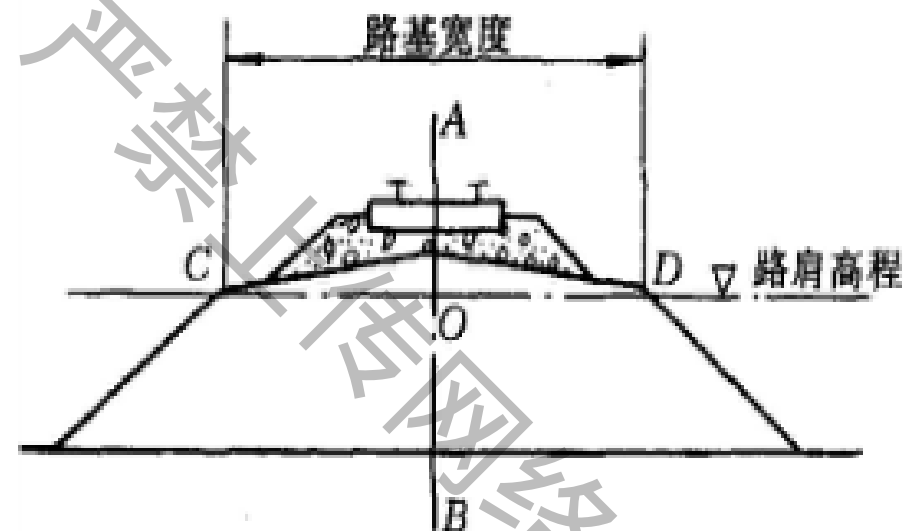
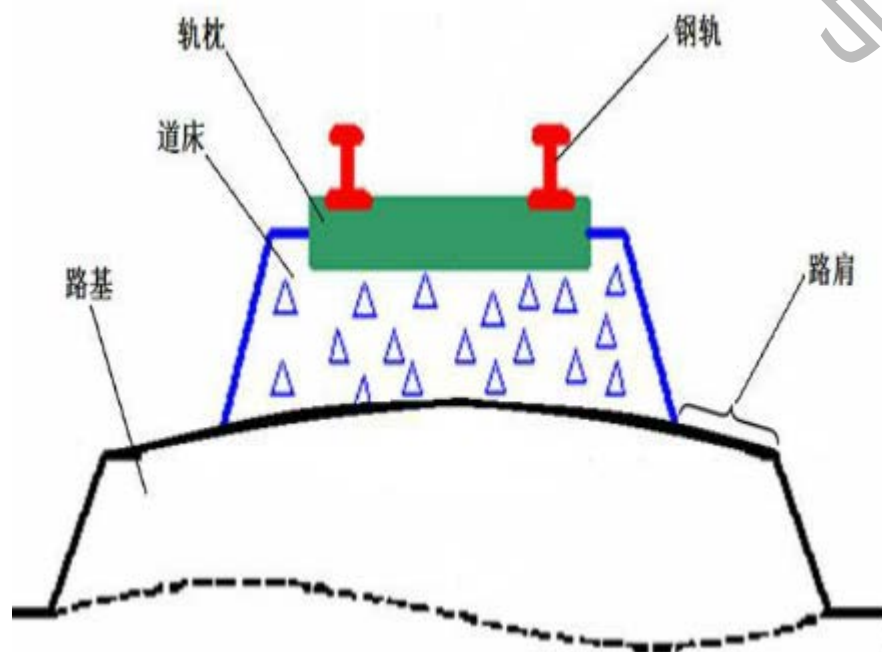
等 级	铁路在路网中的意义	远期年客货运量
I 级铁路	在路网中起骨干作用的铁路	$\geq 20\text{Mt}$
II 级铁路	1.在路网中起骨干作用的铁路	$< 20\text{Mt}$
	2.在路网中起联络、辅助作用的铁路	$\geq 10\text{Mt}$
III级铁路	为某一区域服务，具有地区运输性质的铁路	$< 10\text{Mt}$

铁路主要技术标准包括：正线数目、限制坡度、最小曲线半径、牵引种类、机车类型、机车交路、车站分布、到发线有效长度和闭塞类型等。这些标准是确定铁路能力大小的决定因素，一条铁路选用不同的标准对设计线的工程造价和运营质量有重大影响，同时又是确定设计线的工程标准和设备类型的依据。

### 三、平面图和纵断面图的简单表示

#### 1. 中心线

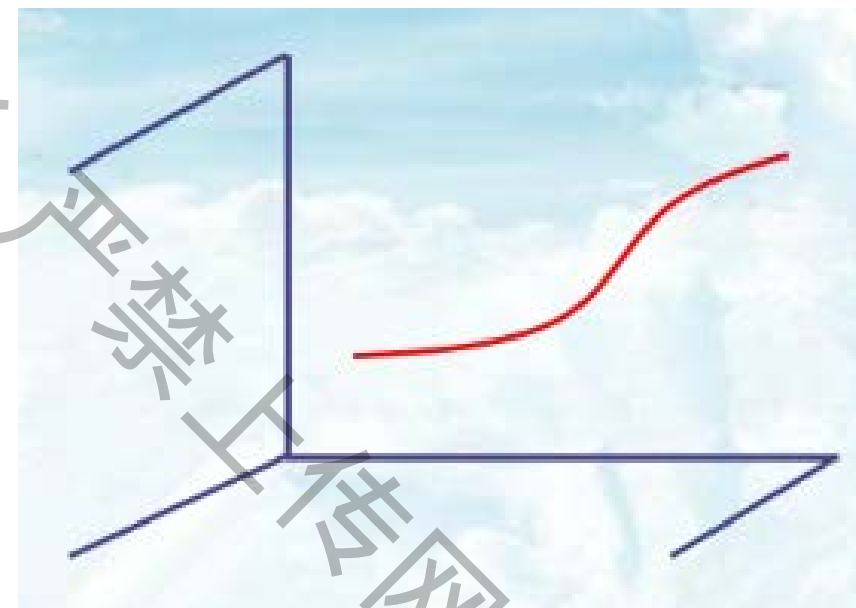
中心线是指线路横断面上距外轨半个规矩的铅垂线AB与两路肩水平线CD的交点O的纵向连线。



线路中心线在水平面上的投影，就是铁路线路的平面图；铁路中心线在垂直断面上的投影，叫做铁路线路的纵断面图。



线路平面



线路纵断面

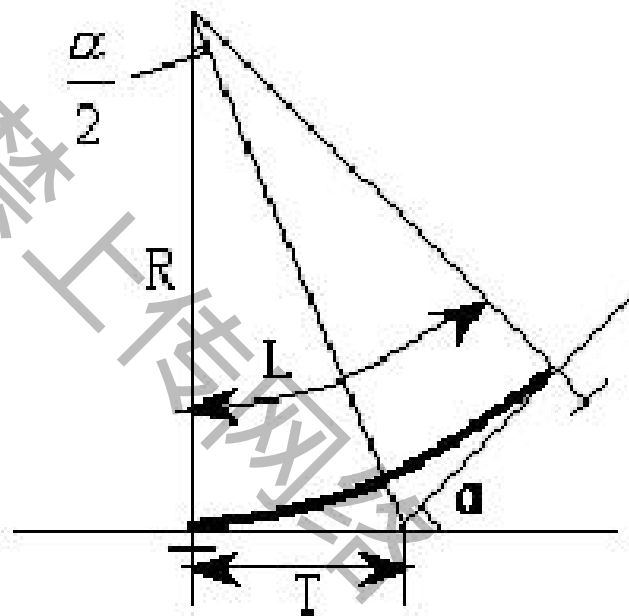
线路的平面由直线、曲线（圆曲线及缓和曲线）组成。

1、曲线要素。 铁路线路在转向处所设的曲线，圆曲线基本组成要素有：曲线半径R，曲线转角 $\alpha$ ，曲线长L，切线长度T；

缓和曲线长度 $L_0$ ——直线与圆曲线之间的过渡线。



线路曲线地段



## 2、曲线的计算（圆曲线）

不考虑缓和曲线时，直接根据数学公式可以得出：

切线长度：

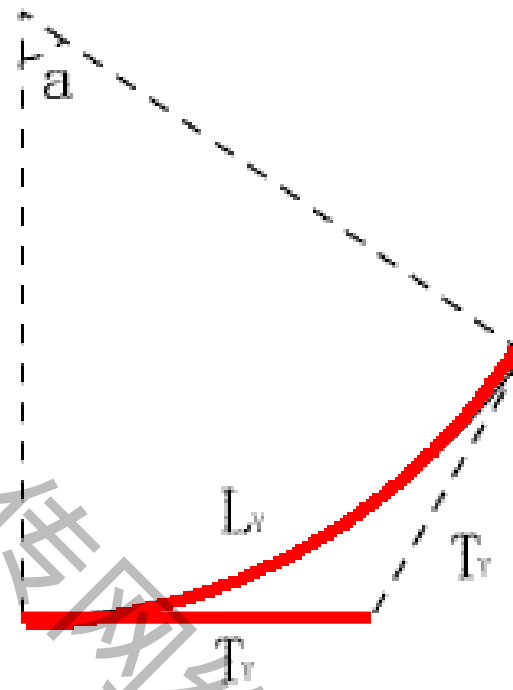
$$T = R \tan \frac{\alpha}{2} (m)$$

曲线长度：

$$L = \pi R \frac{\alpha}{180} (m)$$

1°的弧长：

$$L = \frac{\pi R}{180} (m)$$



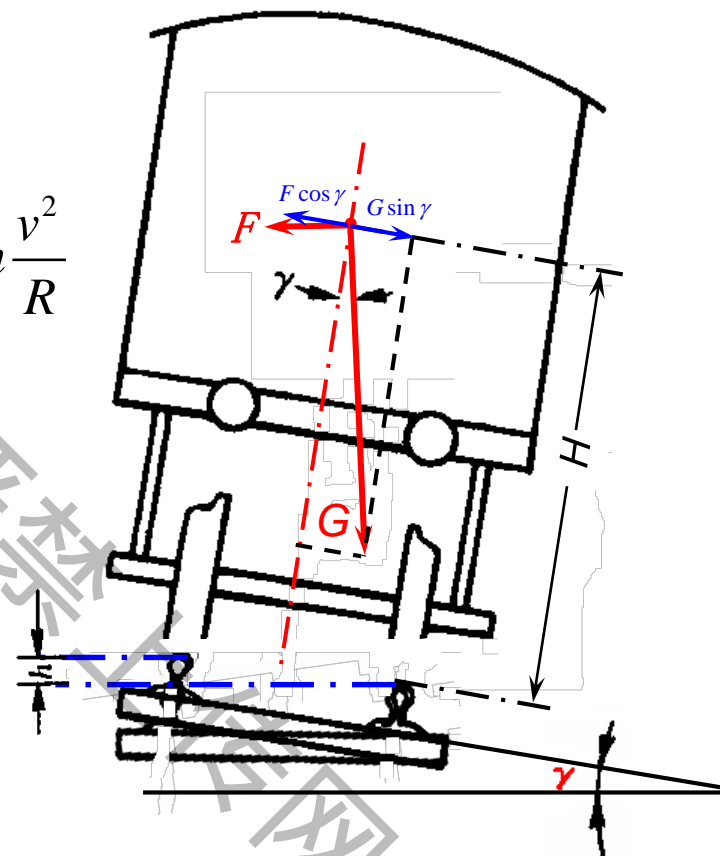


### 3、曲线地段的特点

#### (1) 外轨超高

为了平衡离心力，使内外两股钢轨受力均匀，垂直磨耗均等，旅客不因离心加速度而感到不适，将外轨抬高一定程度。

$$F = m \frac{v^2}{R}$$



外轨超高

## (1) 外轨超高

$$F \cos \gamma = G \sin \gamma \Rightarrow \frac{G v^2}{g R} \cos \gamma = G \sin \gamma$$
$$F = m \frac{v^2}{R} = \frac{G v^2}{g R} \quad \Downarrow \quad \tan \gamma = \frac{v^2}{g R}$$

在  $\gamma < 5^\circ$  时,  $\sin \gamma \approx \tan \gamma$

$$\tan \gamma \approx \sin \gamma = \frac{h}{S_1} = \frac{v^2}{g R} \Rightarrow h = \frac{S_1 v^2}{g R}$$

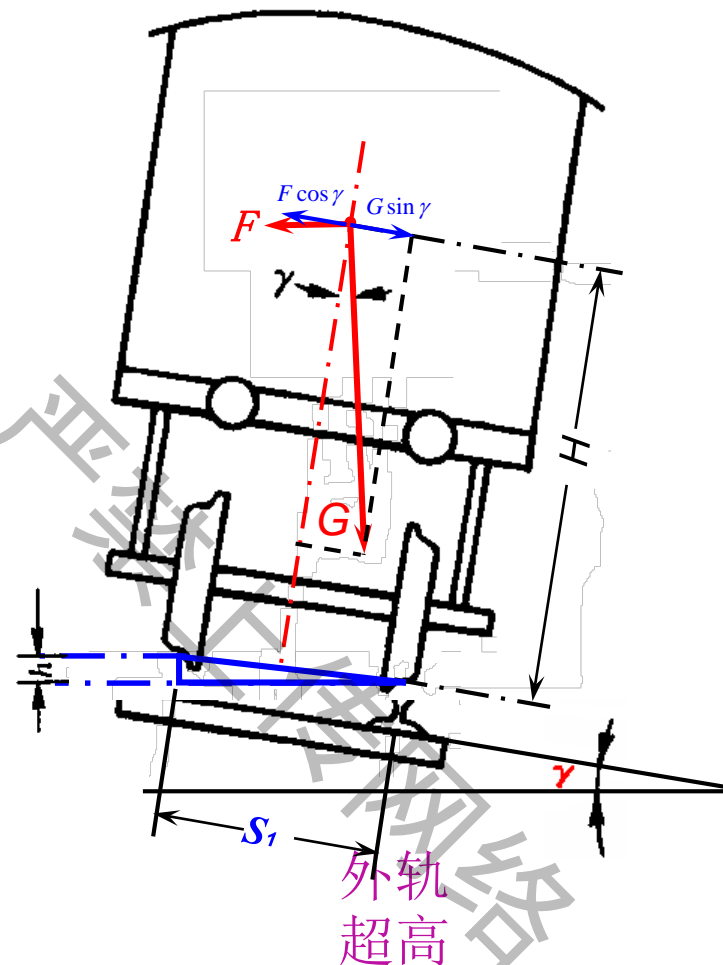
$S_1$  取  $1500 \text{ mm}$ ,  $v$  由  $\text{km/h} \rightarrow \text{m/s}$ , 则

$$h = 11.8 \frac{v^2}{R}$$

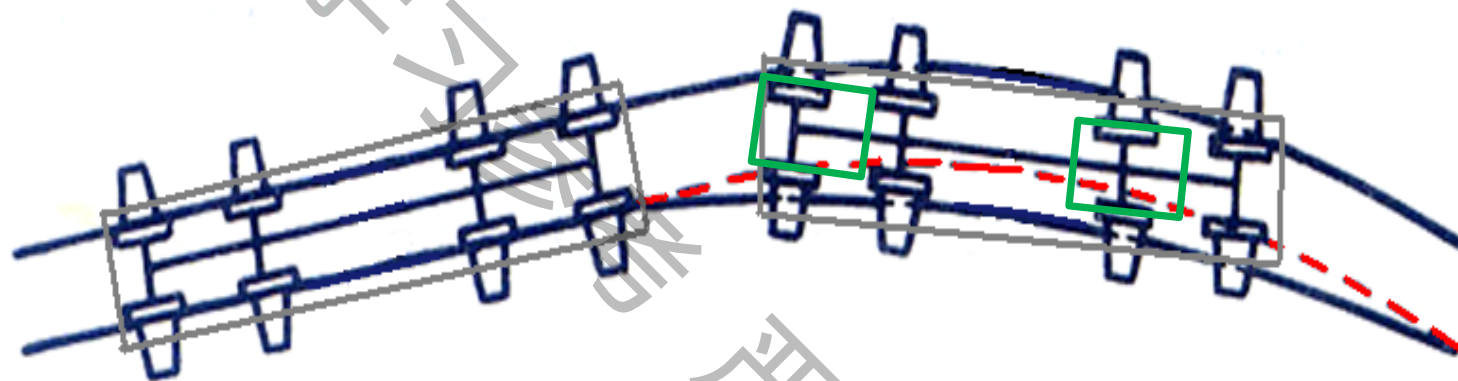
式中:  $h$ ——超高,  $\text{mm}$ ,

$v$ ——平均行驶速度,  $\text{km/h}$ ,

$R$ ——曲线半径,  $\text{m}$ 。



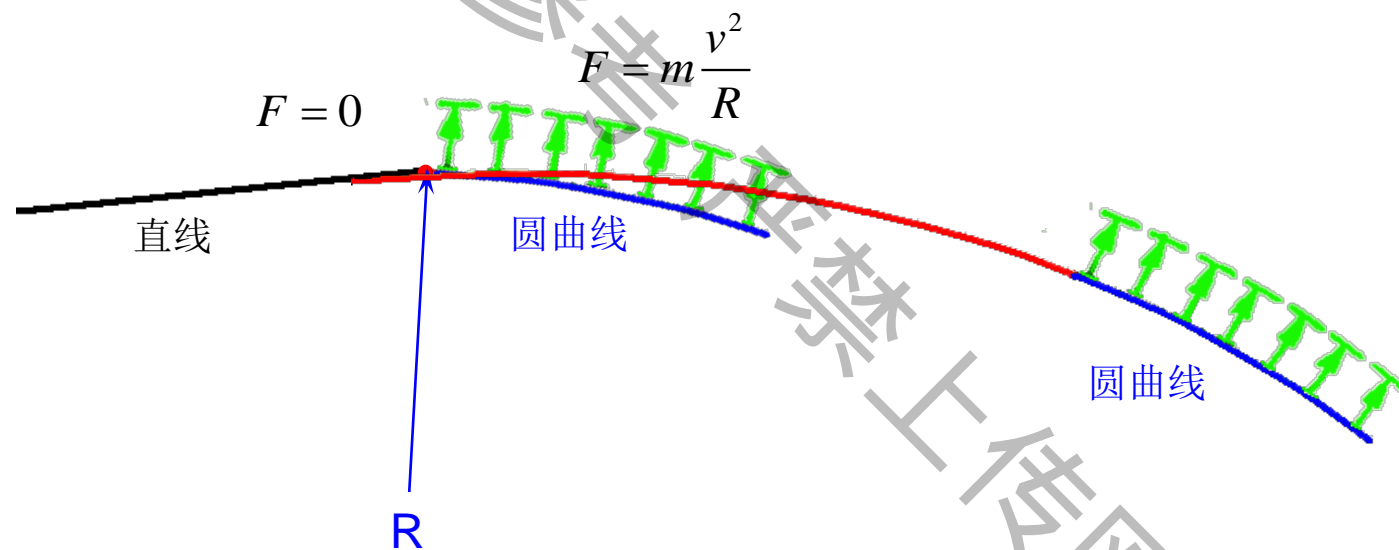
## (2) 轨距加宽



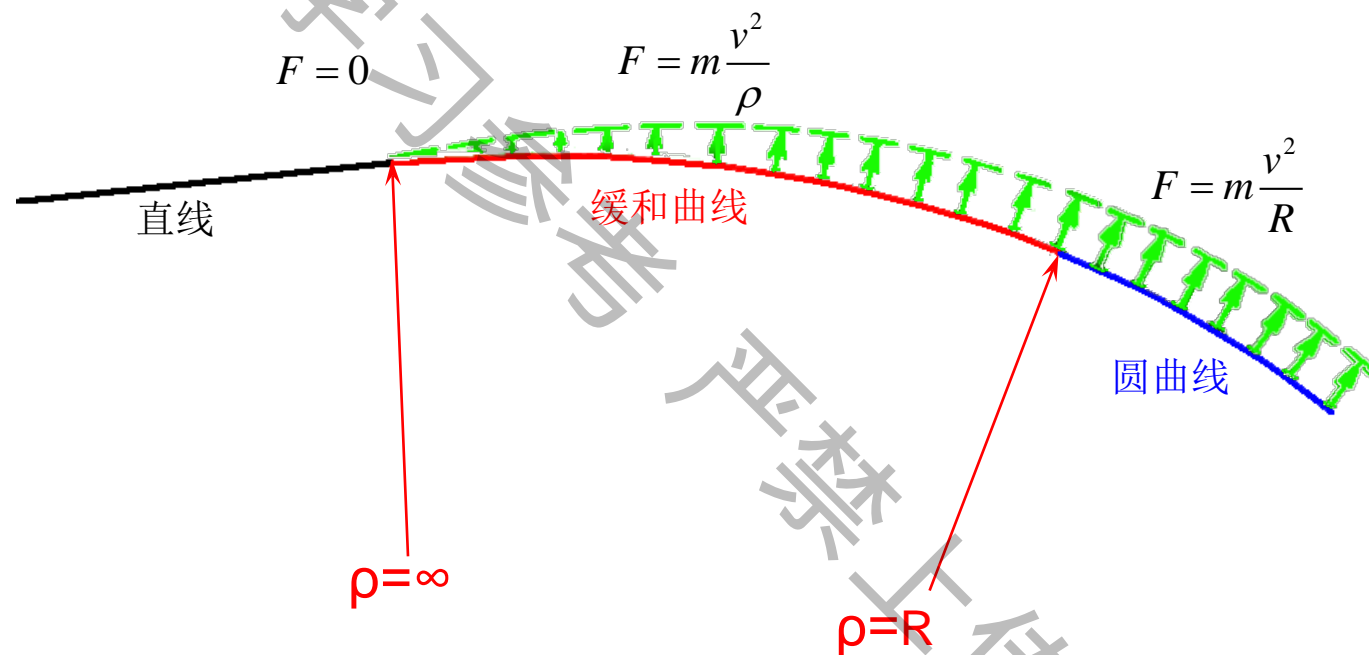
为防止轮对被轨道楔住或挤翻钢轨，对于小半径曲线的轨距要适当加宽( $R \leq 350\text{m}$ 时,  $\leq 15\text{mm}$ )，以使机车车辆能顺利通过曲线，并使钢轨与车轮间的横向力最小，减少轮轨间的磨耗。

## 4、缓和曲线

### (1) 设置缓和曲线的原因

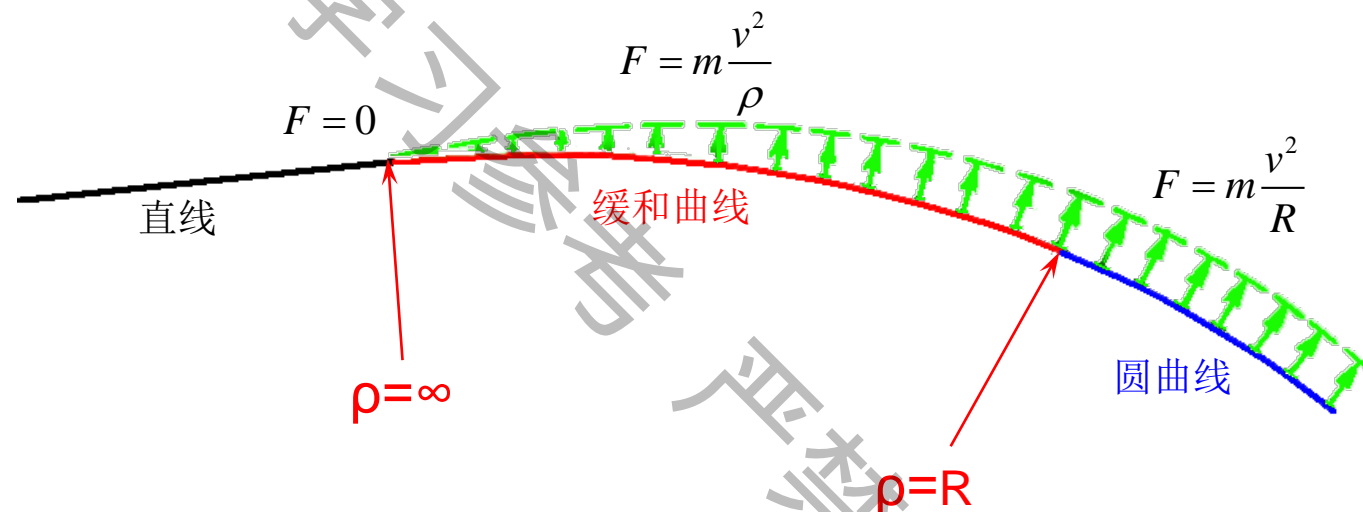


## (1) 设置缓和曲线的原因



为了使列车安全、平顺地由直线运行到圆曲线(或由圆曲线运行到直线)而在直线与圆曲线之间设置一个曲率半径逐渐变化的曲线称为缓和曲线。

## (2) 缓和曲线的特点



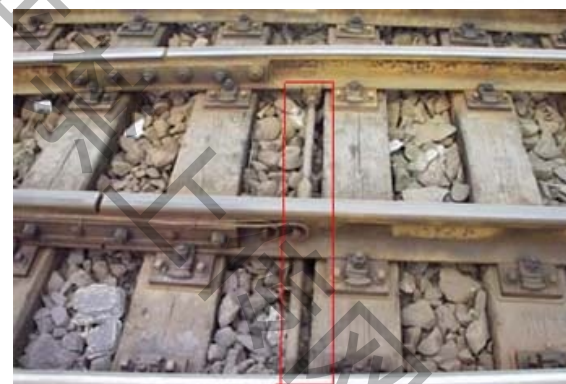
- ① 缓和曲线半径从 $\infty \rightarrow R$  (或  $R \rightarrow \infty$ ) ;
- ② 运行中列车的离心力逐渐 $\uparrow$  (或 $\downarrow$ ) ;
- ③ 缓和曲线轨距加宽逐渐 $\uparrow$  (或 $\downarrow$ ) ;
- ④ 缓和曲线外轨超高逐渐 $\uparrow$  (或 $\downarrow$ ) 。

## 5、曲线路段对运营的影响

- ▲ 限制列车运行速度;
- ▲ 增加轮轨磨耗;
- ▲ 增加轨道设备;
- ▲ 增加轨道养护维修费用。

$$h = 11.8 \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{hR}{11.8}}$$

$$\sqrt{(h_{\text{外}} + h_{\text{内}}) R}$$



## 6、曲线附加阻力

**曲线附加阻力：**机车车辆在曲线上运行时的阻力大于同样条件下直线上运行的阻力，其增大部分叫曲线附加阻力，简称曲线阻力。

**产生原因：**机车、车辆在曲线上运行时，轮轨间的纵向和横向滑动、轮缘与钢轨内侧面的摩擦增加，同时，由于转向架转向和侧向力作用，上下心盘等部分摩擦加剧。

经验公式：

$$\omega_r = \frac{600}{R} \text{ (N/KN)}$$

$\omega_r$  —— 单位曲线阻力 (N/KN)

$R$  —— 曲线半径 (m)

600 —— 据试验得出的数据。



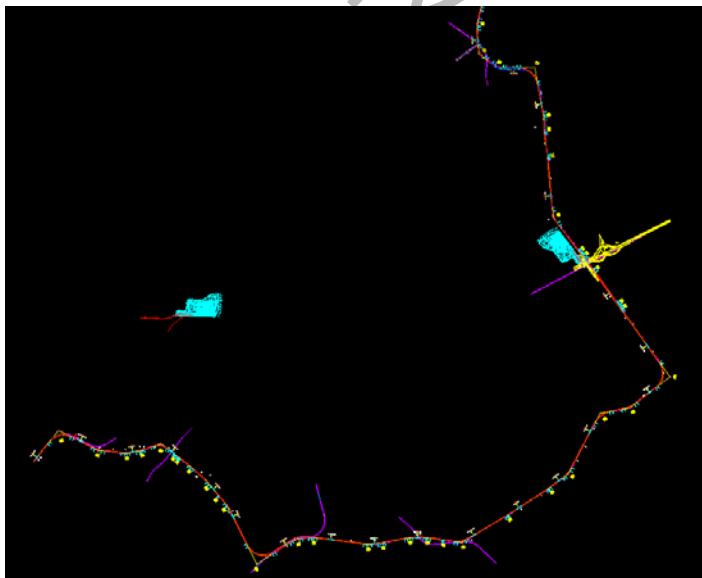
## 7、铁路线路平面图

用一定的比例尺，把线路中心线及其两侧的地面情况投影到水平面上，就是铁路线路平面图。

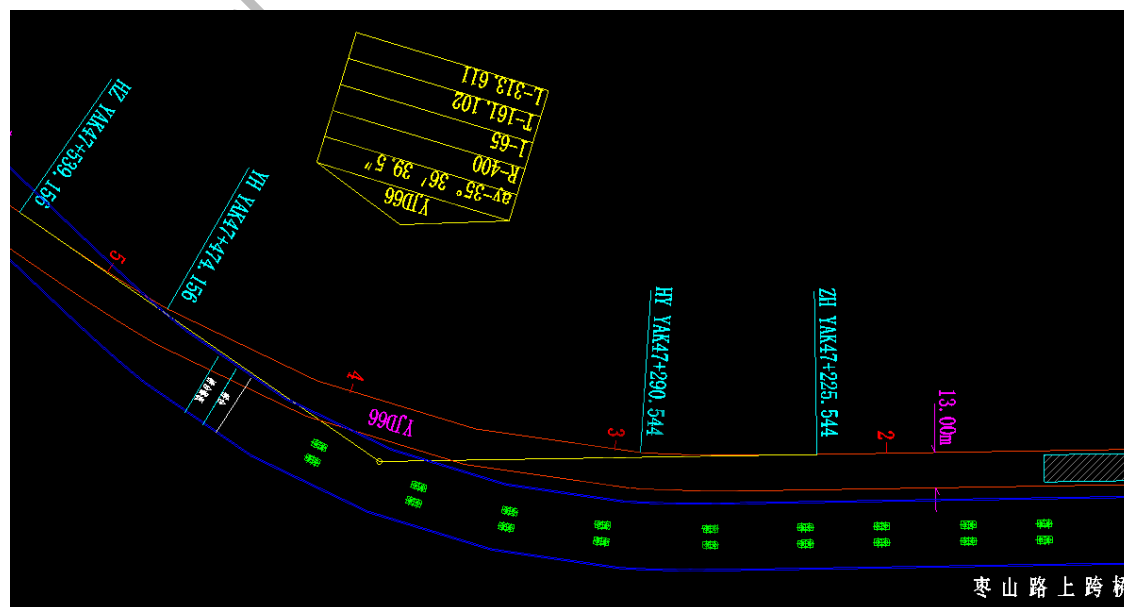
线路平面图和纵断面图是铁路勘测设计、施工和运营的重要文件。



线路平面图



线路平面图



为了保证线路的通过能力，并有一个良好的运营条件，区间正线最小曲线半径规定如下区间正线最小曲线半径。

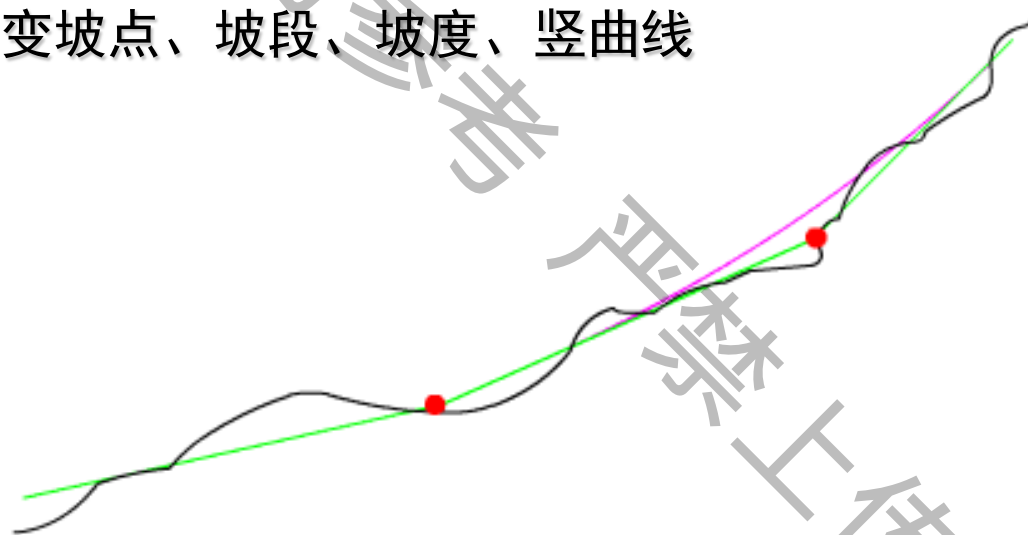
铁路等级	路段设计行车速度(km/h)	最小曲线半径(m)	
		一般	困难
I	160	2000	1600
	120	1200	800
	80	500	450
II	120	1000	800
	80	450	400
III	100	600	550
	80	400	

## 五、铁路线路纵断面

### 一、铁路线路纵断面

线路纵断面由**平道**、**坡道**及设于变坡点处的**竖曲线**组成。

#### 1、变坡点、坡段、坡度、竖曲线



**坡度**指以坡段终点对起点的高差与两点之间水平距离的比值。用千分数表示。

$$i = \frac{h}{l} \times 1000\text{‰} = 1000 \tan \alpha \text{‰}$$

## 2、坡道附加阻力

**坡道阻力**是机车、车辆的重力沿轨道下坡方向的分力。

数值上=**坡度的千分数** (N/KN)

$$W_i = Q \times \sin \alpha$$

$$\approx Q \times \tan \alpha (KN)$$

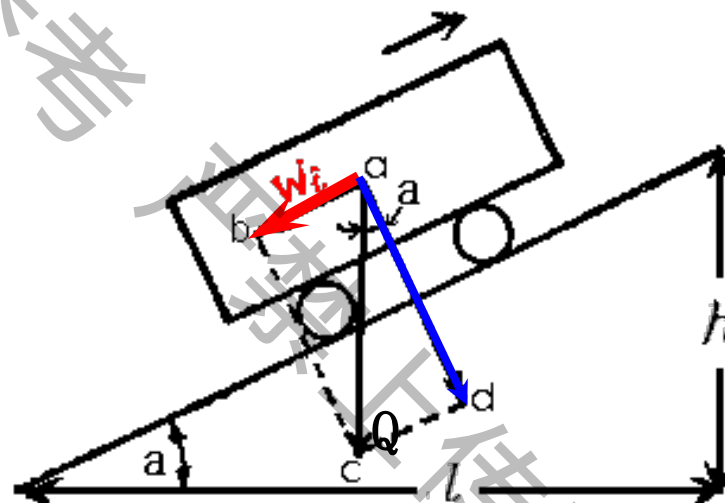
$$w_i = \frac{W_i \times 1000}{Q}$$

$$= \frac{Q \times \tan \alpha \times 1000}{Q}$$

$$= i (N/KN)$$

坡度的千分数分子

有正负区分



坡道坡度及坡道附加阻力示意图



## 结 论

- 1、机车车辆每一吨质量，上坡时所受的坡度阻力，近似等于用千分率表示的这一坡道坡度的十倍。
- 2、列车上坡时，坡度阻力为“+”，列车下坡时，坡度阻力为“-”。
- 3、坡度越大，上坡阻力越大，同一台机车 (在列车运行速度相同条件下) 所能牵引的列车重量则减小。



### 3、限制坡度、加力牵引坡度及动能坡度

#### (1) 限制坡度

**限制坡度**是这样一种坡度：在这个坡度上，一台机车牵引列车连续上坡运行时，列车运行速度最终能够稳定在机车计算速度的水平上。

限制坡度的选定，需要考虑以下问题：

首先，要确保列车运行速度不能过低。

其次，需考虑：铁路等级、地形条件、牵引种类、运输要求、邻线牵引定数。





## (2) 加力牵引坡度

在一条铁路线的全线范围内，地形是不相同的。有一般地段，有困难地段，还可能有特殊困难地段(如跨越山岭地段)。

在特殊困难地段，线路纵断面的设计有两个方案：

A.可以修建隧道穿过山岭；

B.也可以利用高坡(坡度值大于限制坡度数值的坡段)跨越山岭。在这个坡段上，列车必须以双机牵引或多机牵引。这种坡段称为**加力牵引坡段**。例如，我国京张铁路的关沟段和宝成铁路的宝凤段，都采用了加力牵引坡段。

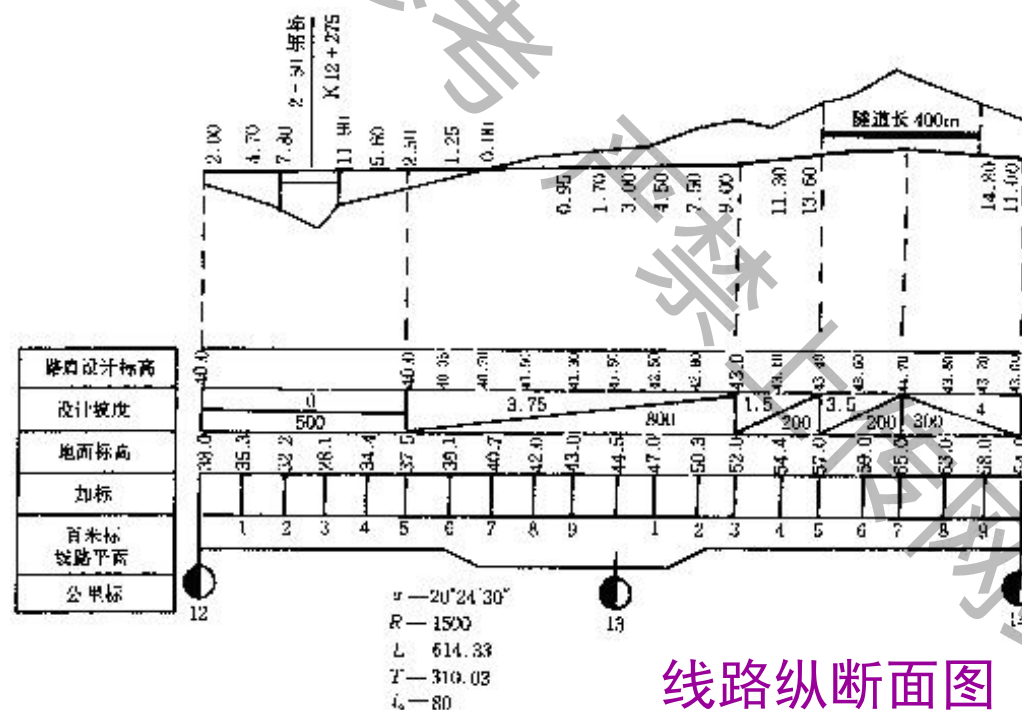


### (3) 动能坡度

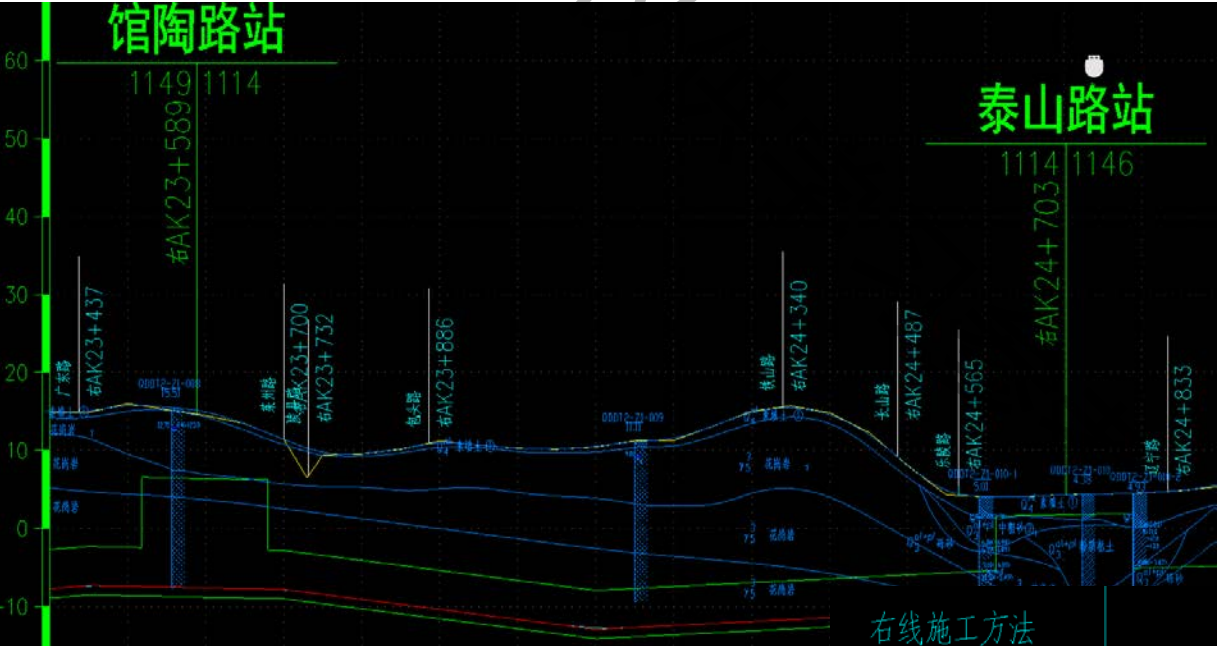
机车牵引按限制坡度计算的列车质量，利用列车的牵引力和积累的动能，以不低于机车的计算速度所闯过的、大于限制坡度的坡度称动能坡度。

## 4、铁路线路纵断面图

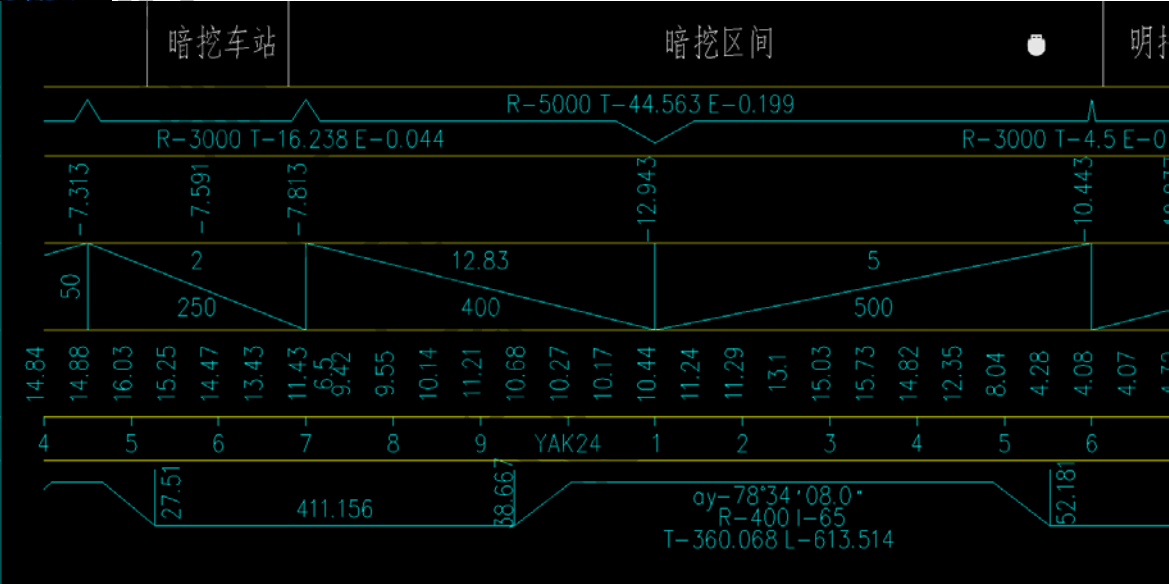
线路纵断面图是用一定的比例尺（水平方向为1:10000、垂直方向为1:1000）和规定的符号，把平面图上的线路中心线展直后投影到铅垂面上，并注有线路平面和纵断面有关资料的图。



线路纵断面图

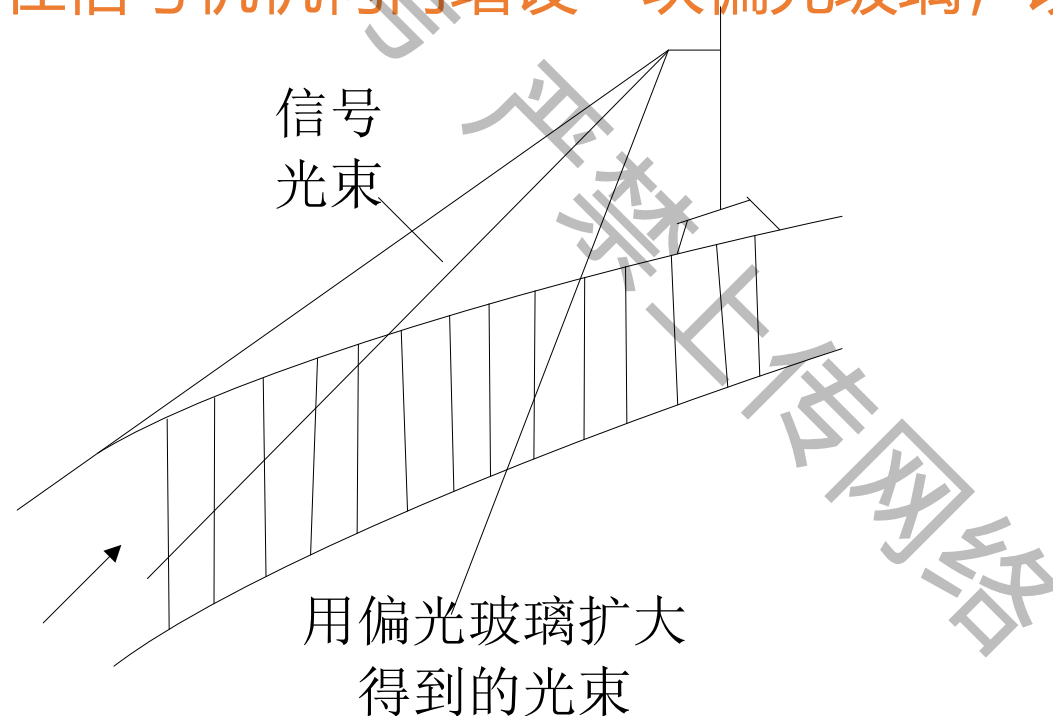


线路纵断面图



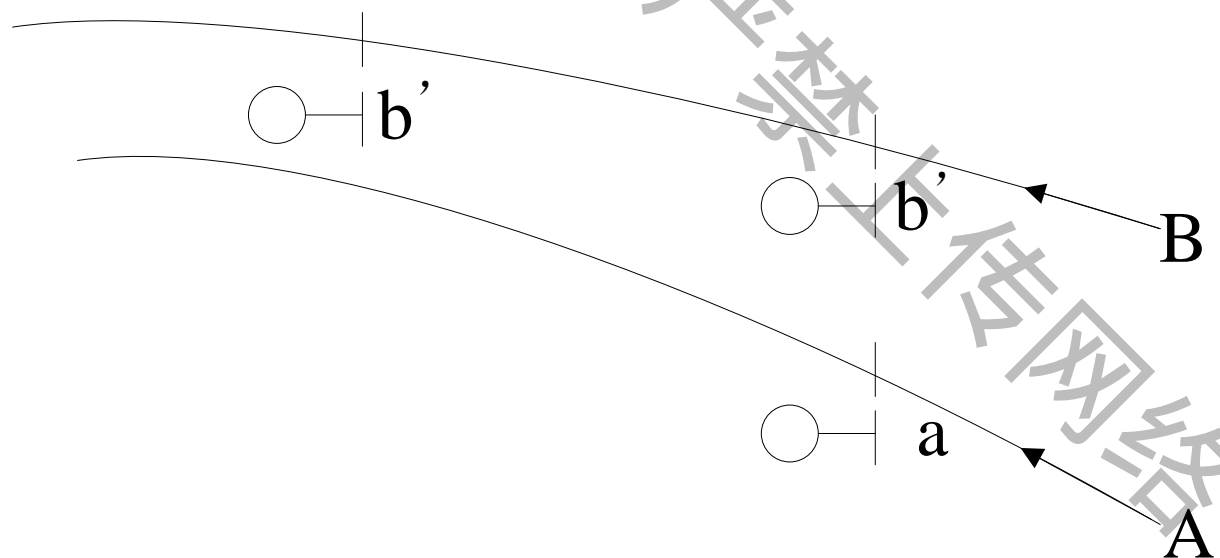
#### 四、线路平面与铁路信号的关系

曲线会影响信号机的显示距离。尽管信号光束的散角为上下 $2^\circ$ ，但在曲线处仍不能保证司机能连续地看到信号显示。为此，当信号机的设置位置避不开小半径的曲线时，有必要在信号机机构内增设一块偏光玻璃，以扩大信号光束的散角。



在曲线处不准一前一后设置信号机，必须并排设置，如图中信号机a和信号机b那样

信号机设在线路旁离开线路中心要有一定距离，要符合建议接近限界要求。因为曲线处的轨距有时加宽，信号机距曲线线路中心的距离也应该相应地加大



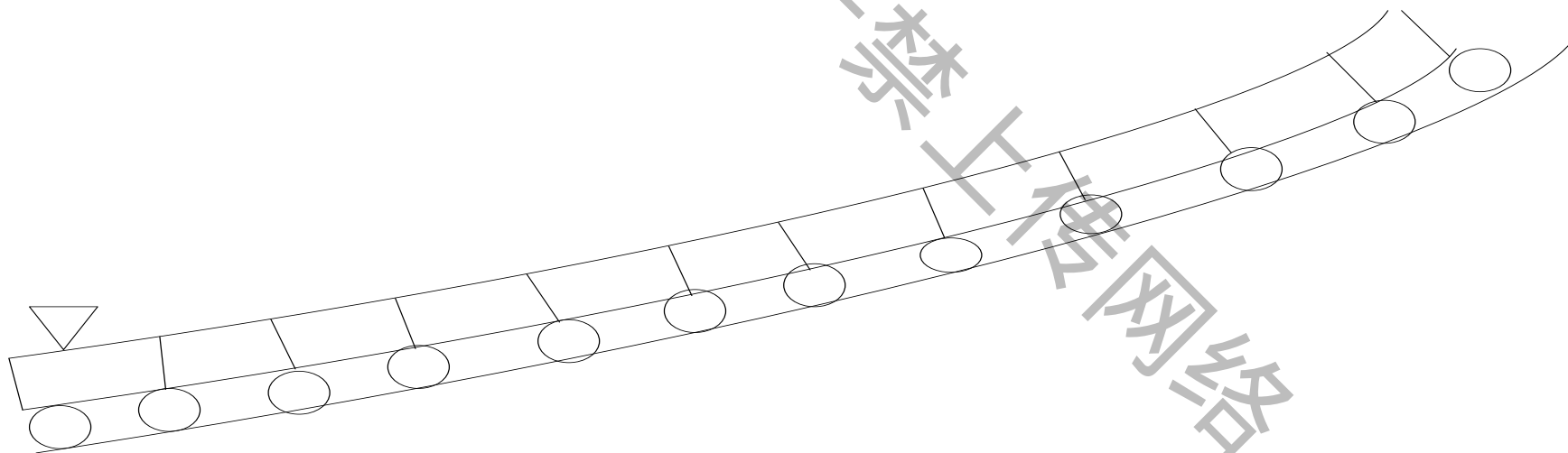
为了合理选用限制坡度，我国《铁路技术管理规程》规定如下：

铁路等级		牵引种类	
		电力	内燃
I	一般	6.0	6.0
	困难	15.0	12.0
II	一般	6.0	6.0
	困难	20.0	15.0
III	一般	9.0	8.0
	困难	25.0	18.0

在设置信号机时，信号机应避开设在比起动坡度还大的坡道上。

禁止把信号机设在凹形有害坡度的坡道上。

起动坡度和有害坡度的大小，都决定于牵引类型和牵引重量。其具体数值各铁路线不同。

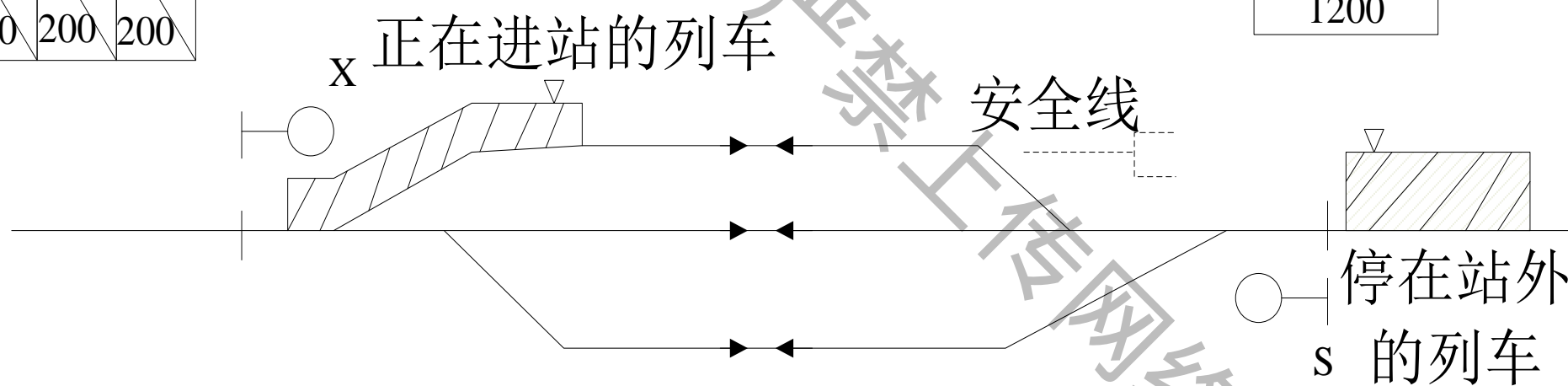




在进站信号机外方的制动距离(800m)范围内, 如果向车站方向有6‰及其以上的下坡道时, 则在接车股道末端无线路隔开设备的情况下, 禁止同时接发列车。

6	7	5
400	200	200

0
1200

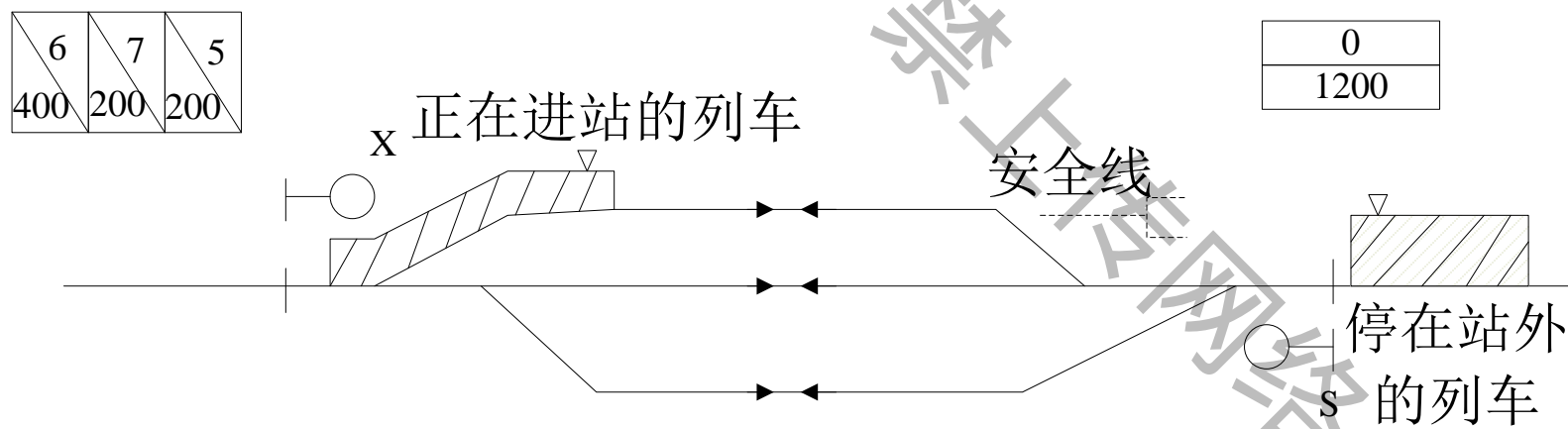


设坡段的实际长度为  $l(m)$ , 坡段的实际抬高米数为  $X$ , 则

$$X = \frac{i}{1000} l$$

图中的换算坡度为:

$$i^{\text{‰}} = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{800} = 6^{\text{‰}}$$



### 一、铁路限界

#### 1. 作用

确保机车车辆在铁路线路上运行的安全，防止机车车辆撞击临近线路的建筑物和设备。

#### 2. 定义

对机车车辆和接近线路的建筑物、设备所规定的不允许超过的轮廓尺寸线，称为限界。



### 3. 类别

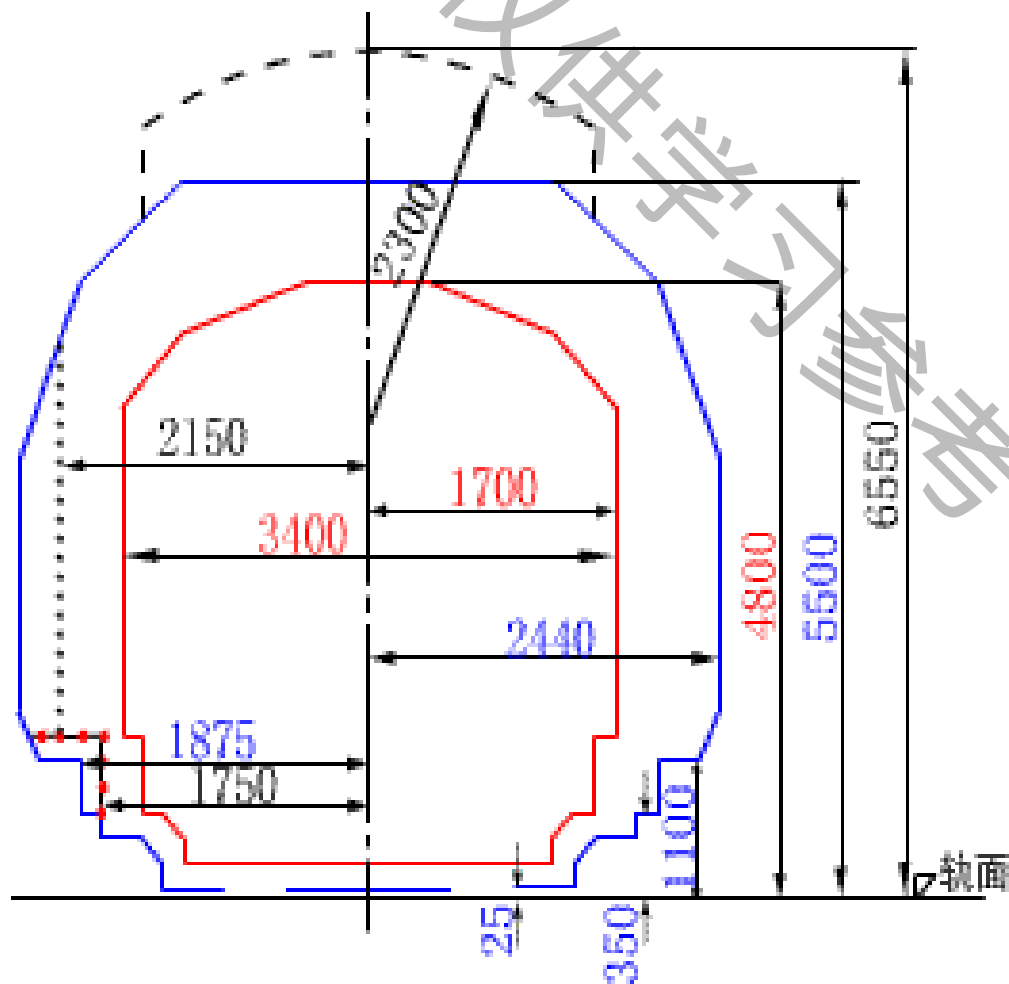
机车车辆限界：机车车辆横断面的最大极限。

建筑接近限界：邻近线路的建筑物和设备不得侵入的轨面上方横断面的最小尺寸

### 4. 安全空间：

建筑接近限界与机车车辆限界之间的空隙。

目的——为组织超限货物列车运行；为适应运行中列车横向晃动偏移和竖向上下振动，防止碰撞。



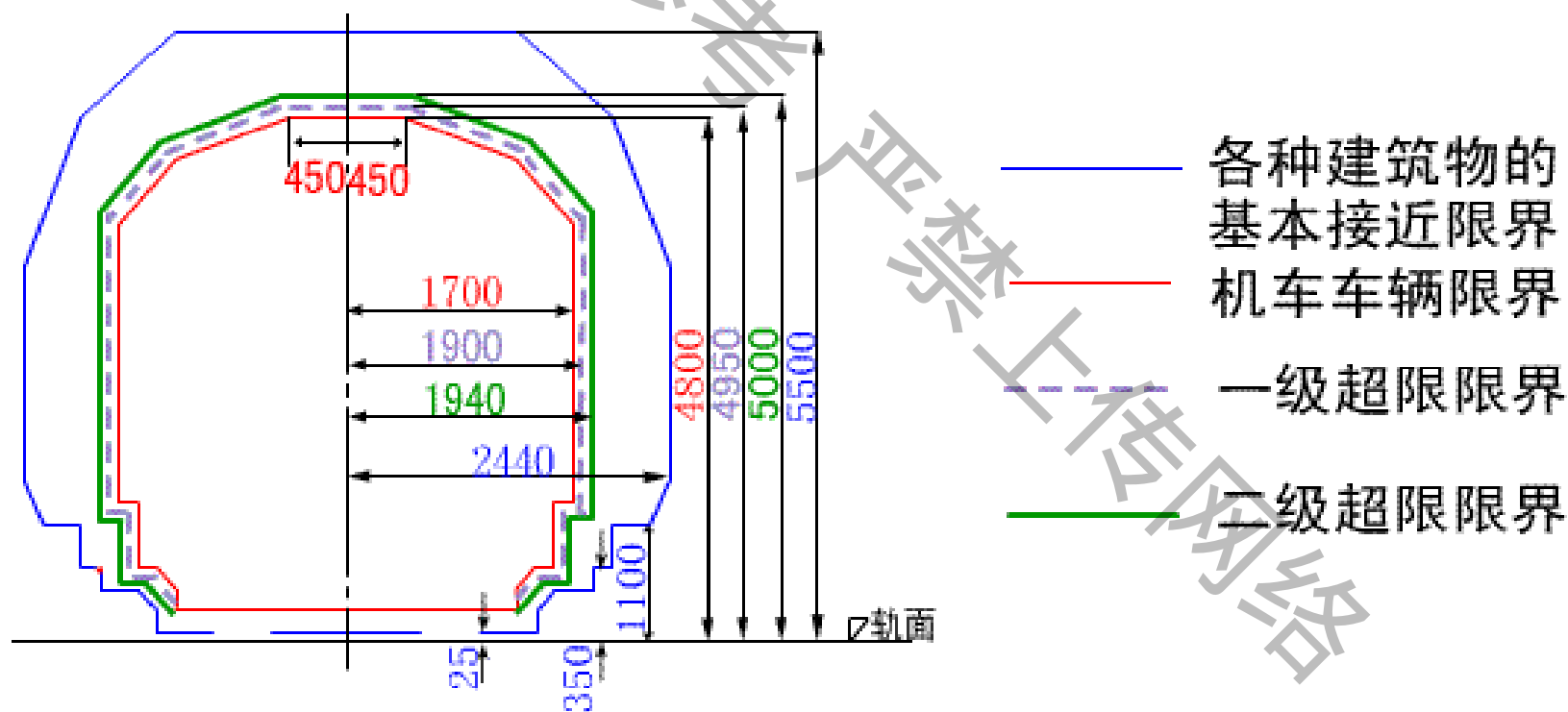
- 各种建筑物的基本接近限界
- 机车车辆限界
- ..... 信号机及水鹤
- 站台建筑接近限界 (正线不适用)
- 适用于电力机车牵引的线路的跨线桥, 天桥及雨棚等建筑物

机车车辆限界及直线建筑接近限界

## 5 超限限界

超限限界：货物任何部分的高度和宽度超过机车车辆限界时，称为超限限界。

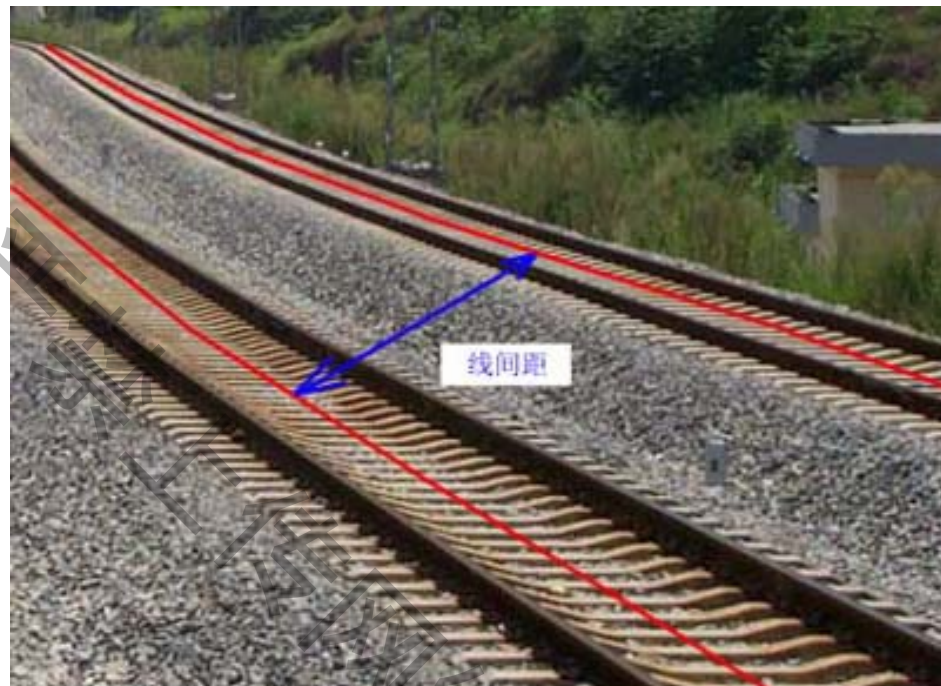
根据货物超限的程度可分为：一级超限、二级超限、超级超限。



## 二、 线间距

线间距是指两相邻线路中心线之间的距离。

线间距应能保证行车和车站工作人员工作时的安全，它是根据铁路限界、线路是否通过装载超限货物的列车，以及股道是否装设信号机、水鹤等设备，并考虑留有适当的余地来确定的。





## 最小线间距

站内正线与到发线之间、正线和到发线与其他站线之间的最小线间距为5米;

相邻两股道均需通过超限货物列车、线间设有高柱信号机时, 最小线间距应为5.3米;

此外, 复线区间正线的最小线间距规定为4米, 曲线部分的线间距应根据计算进行适当加宽。





## 决定线间距的因素：

- (1) 机车车辆限界；
- (2) 建筑限界；
- (3) 超限货物装载限界；
- (4) 设置在相邻线路间有关设备的计算宽度；
- (5) 在相邻线路间办理作业的性质。





西南交通大学  
Southwest Jiaotong University

# 谢谢

