

# 第三章

## 轨道几何形位（几何尺寸）

# § 3—1 概述

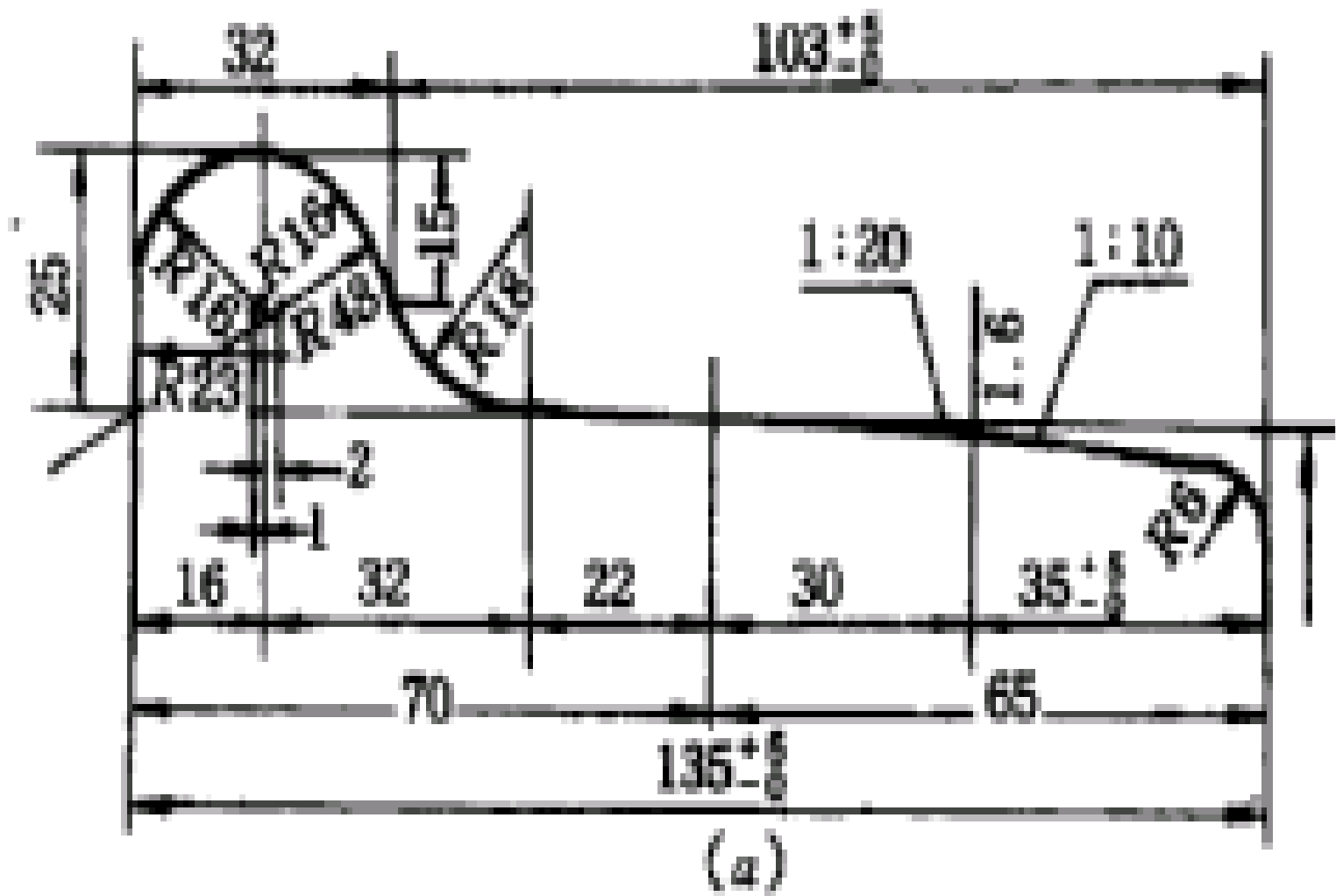
# 一、定义

- 轨道几何形位是指：
  - 轨道各部分的几何形状；
  - 相对位置；
  - 基本尺寸。

## 二、分类:

- 1、从轨道平面位置来看:
  - 轨道由:
    - 直线;
    - 曲线;
    - 缓和曲线: 一般在直线与圆曲线之间有一条曲率渐变的缓和曲线相连接。
  - 要求: 轨道的方向必须正确, 直线部分应保持笔直, 曲线部分应具有相应的圆顺度。
  - 原因?

- 2、从轨道横断面上来看：
- 轨道的几何形位包括轨距、水平、外轨超高和轨底坡。
  - 轨距及轨距加宽：
    - 轨道的两股钢轨之间应保持一定的距离，为保证机车车辆顺利通过小半径曲线，曲线轨距应考虑加宽。
  - 水平：
    - 两股钢轨的顶面应置于同一水平面或保持一定水平差。
  - 超高：
    - 曲线上外轨顶面应高于内轨顶面，形成一定超高度，以使车体重力的向心分力得以抵消其曲线运行的离心力。
  - 轨底坡：
    - 轨道两股钢轨底面应设置一定的轨底坡，使钢轨向内倾斜，以保证锥形踏面车轮荷载作用于钢轨断面的对称轴。



- 3、从轨道的纵断面上看：
- 轨道的几何形位包括轨道的前后高低。
  - 钢轨顶面在纵向上应保持一定的平顺度，为行车平稳创造条件。高速列车要求线路高平顺性。

# 三、意义:

- 轨道几何形位正确与否，对机车车辆的安全运行、乘客的旅行舒适度、设备的使用寿命和养护费用起着决定性的作用：
  - 1、影响安全性的因素：
    - 轨距、水平、轨向、外轨超高等；
    - 这些几何形位超限是产生机车车辆掉道、爬轨以及倾覆的直接因素。
  - 2、影响旅行舒适度的因素：
    - 有轨距、轨向、外轨超高顺坡及其变化率、缓和曲线线形、前后高低等；
    - 这些几何形位因素直接影响机车车辆的横向及竖向的加速度，产生相应的惯性力，在高速铁路和快速铁路中，随着运行速度的提高，该影响特别显著。



### - 3、影响设备使用寿命和养护费用的几何形位因素：

- 包括轨距、轨向、水平、前后高低和外轨超高等；
- 这些因素对钢轨的磨耗和轨道各部件的受力有较大影响，直接影响养护维修的工作量和费用。

● 事实上，各种因素相互影响，不能截然分开。另外，还有复合型不平顺。

# §3-2 轨道几何形位的基本要素:

- 轨道的几何形位按照静态与动态两种状况进行管理。
  - 静态几何形位:
    - 是轨道不行车时的状态，采用道尺等工具测量。
  - 动态几何形位:
    - 是行车条件下的轨道状态，采用轨道检查车测量。
- 本课程仅介绍轨道几何形位的静态作业验收标准，其余内容可参见《铁路线路维修规则》。

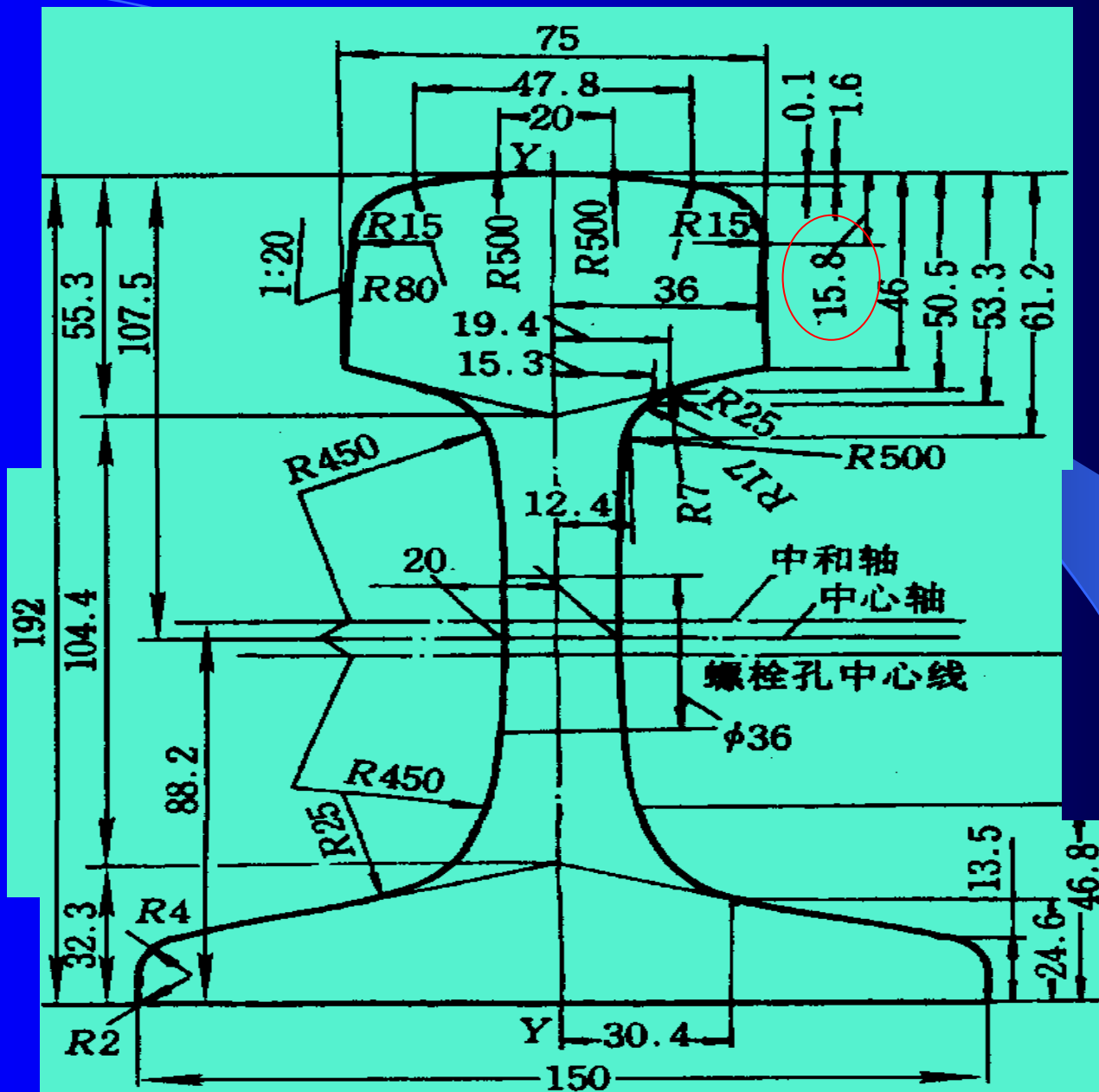
# 一、轨距：

- 标准轨距：1435mm。
- 容许偏差：+6，-2mm；（一般铁路）
- 轨距变化应和缓平顺，其变化率：
  - 正线到发线不应超过 2 ‰（规定递减部分除外），站线和专用线不得超过 3 ‰，即在 1m长度内的轨距变化值：
    - 正线、到发线不得超过2 mm，站线和专用线不得超过3mm。
- 秦沈客运专线、京秦线：+3，-2mm——较难保持。
- 高速时有的建议+2，-2mm。

# 量测方法:

- 我国《技规》规定轨距测量部位在钢轨顶面下16 mm处（里侧）。
- 为什么？





75kg/m 钢轨(尺寸单位:mm)



2006/09/19 16:12

- 轨距是钢轨顶面下16mm范围内两股钢轨作用边之间的最小距离。
- 因为钢轨头部外形由不同半径的复曲线所组成，钢轨底面设有轨底坡，钢轨向内倾斜，车轮轮缘与钢轨侧面接触点发生在钢轨顶面下10~16 mm之间。



# 其他种类:

- 宽轨距:

- $> 1435\text{mm}$ , 如前苏联 $1524\text{mm}$ , 也有其它国家:  $1600, 1676\text{mm}$ 。

- 窄轨距:

- $< 1435\text{mm}$ ,  $1067\text{mm}$  (台湾),  $1000\text{mm}$  (如昆局开远分局),  $600\text{mm}$ 等 (有的采用三条轨——适应不同车辆要求)

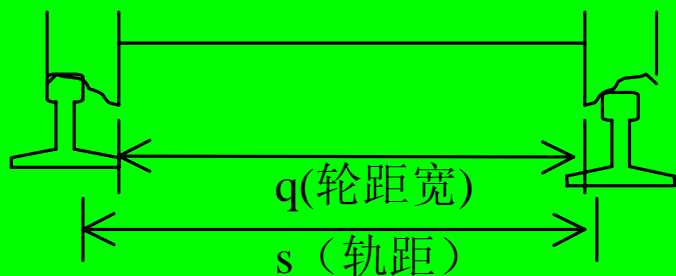




东方红 088

# 游间： $e=s-q$

- $q$  (轮距宽)
- $s$  (轨距)
- 对列车平稳性和轨道的稳定性有重要影响（思考：太大、太小均不利——原因??）。



游间的计算

## 二、水平（横向水平）：

- 水平是指线路左右两股钢轨顶面的相对高差。
- 水平用道尺（气泡）或其它工具测量。

- 线路维修时，两股钢轨顶面水平误差不得超过规定值。
  - 《铁路线路维修规则》规定：
    - 两股钢轨顶面水平的容许偏差，正线及到发线不得大于4mm，其它站线不得大于5mm。允许误差： $\pm 4\text{mm}$ （站间 $\pm 5\text{mm}$ ）。
  - 两股钢轨顶面的水平偏差值，沿线路方向的变化率不可太大。在1m距离内，这个变化不可超过1mm，否则即使两股钢轨的水平偏差不超过允许范围，也将引起机车车辆的剧烈摇晃。

- 二种性质不同的钢轨水平偏差，对行车的危害程度也不相同：

- 水平差：

- 这就是在一段规定的距离内，一股钢轨的顶面始终比另一股高，高差值超过容许偏差值。

- 三角坑：

- 其含义是在一段规定的距离内，先是左股钢轨高于右股，后是右股高于左股，高差值超过容许偏差值，而且两个最大水平误差点之间的距离，不足18 m。——为什么重要？？

# 原因：

- 如果在延长不足18 m的距离内出现水平差超过4 mm的三角坑. 将使同一转向架的四个车轮中, 只有三个正常压紧钢轨, 另一个形成减载或悬空。
- 如果恰好在这个车轮上出现较大的横向力, 就可能使浮起的车轮只能以它的轮缘贴紧钢轨, 在最不利的情况下甚至可能爬上钢轨, 引起脱轨事故。
- 因此, 一旦发现, 必须立即消除。



### 三、前后高低（纵向水平）：

- 轨道沿线路方向的竖向平顺性称为前后高低。
- $\pm 4\text{mm}/10\text{m}$ 弦长（站线： $\pm 6\text{mm}/10\text{m}$ ）
- 目视平顺。

- 静态不平顺:

- 新铺或经过大修后的线路，即使其轨面是平顺的，但是经过一段时间列车运行后，由于路基状态、捣固坚实程度、扣件松紧、枕木腐朽和钢轨磨耗的不一致性，就会产生不均匀下沉，造成轨面前后高低不平，即在有些地段（往往在钢轨接头附近）下沉较多，出现坑洼，这种不平顺，称为静态不平顺；

- 动态不平顺:

- 有些地段，从表面上看，轨面是平顺的，但实际上轨底与铁垫板或轨枕之间存在间隙（间隙超过2mm时称为吊板），或轨枕底与道碴之间存在空隙（空隙超过2mm时称为空板或暗坑），或轨道基础弹性的不均匀（路基填筑的不均匀，道床弹性的不均匀等），当列车通过对，这些地段的轨道下沉不一致，也会产生不平顺，这种不平顺称为动态不平顺。

- 随着高速铁路的发展，动态不平顺已广泛受到关注。尤其是高速（为什么？）。

- 高速—高平顺性—施工、设计、养护均应考虑——尤其线下基础的稳定（秦沈、胶新线）。

# 轨道前后高低不平顺，危害：

- 列车通过这些地方时，冲击动力增加，加速道床变形，从而更进一步扩大不平顺，加剧机车车辆对轨道的破坏，形成一个恶性循环过程。
- 静态不平顺易于发现和整治。动态不平顺不易发现，不好整治。——高速应关注。

## 四、（轨向）方向：

- 轨向：是指轨道中心线在水平面上的平顺性。
- 严格地说，经过运营的直线轨道并非直线，而是由许多波长 10~20 m 的曲线所组成，因其曲度很小，故通常不易察觉。若直线不直则必然引起列车的蛇行运动。

- 线路方向对行车的平稳性具有特别重要的影响。相对轨距来说，轨道方向往往是行车平稳性的控制性因素。只要方向偏差保持在容许范围以内，轨距变化对车辆振动的影响就处于从属地位。高速要求更高。
- 在无缝线路地段，若轨道方向不良，还可能在高温季节引发胀轨跑道事件（轨道发生明显的不规则横向位移），严重威胁行车安全。

# 量测方法:

- 直线： $\pm 4\text{mm}/10\text{m}$ （站线及专用线： $\pm 5\text{mm}/10\text{m}$ ）——设计中曲线应大于20m，取10m整倍数。
- 曲线：正矢20m弦，矢度查表。（大机作业用激光来量测），具体量测：先分点：10m弦一个点。



- 目视平顺。
- 目前需要小型测试设备的必要性——部分接触式及非接触式研制产品——有待完善。
- 提速、客运专线曲线半径可否依据正矢反算？——京秦线——接收单位——要补偿（差几十）。



## 算例：

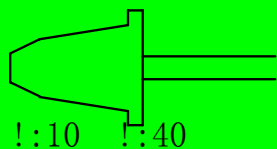
- 容许偏差：弦测法客运专线 $\pm 3\text{mm}$ ，20m弦长。
- 曲线： $R=10000\text{m}$ ，实设应为： $f=5\text{mm}$ ；
- 正常范围：2~8mm.
  
- $R^2=10^2+(R-f)^2$
- 近似： $R=50000/f$
- 计算得出：
- $R=25000\text{m}\sim 6250\text{m}$ 均为正常。
- 曲线长度及偏角、圆顺性合适即可。

## 五、轨底坡（列车平稳性来设）

- 由于车轮踏面与钢轨顶面主要接触部分是 $1/20$ 的斜坡，为了使钢轨轴心受力，钢轨也应有一个向内的倾斜度，因此轨底与轨道平面之间应形成一个横向坡度，称之为轨底坡。

# 设置方式:

- 垫板——一般对木枕，板本身已做好轨底坡；
- 轨枕承轨台（砵枕）：枕上已设计好。
- 轨底向里倾：原来为1:20，但车轮踏面磨耗到一定程度变为1:40，现部规范：采用1:40



# 设置正确与否：

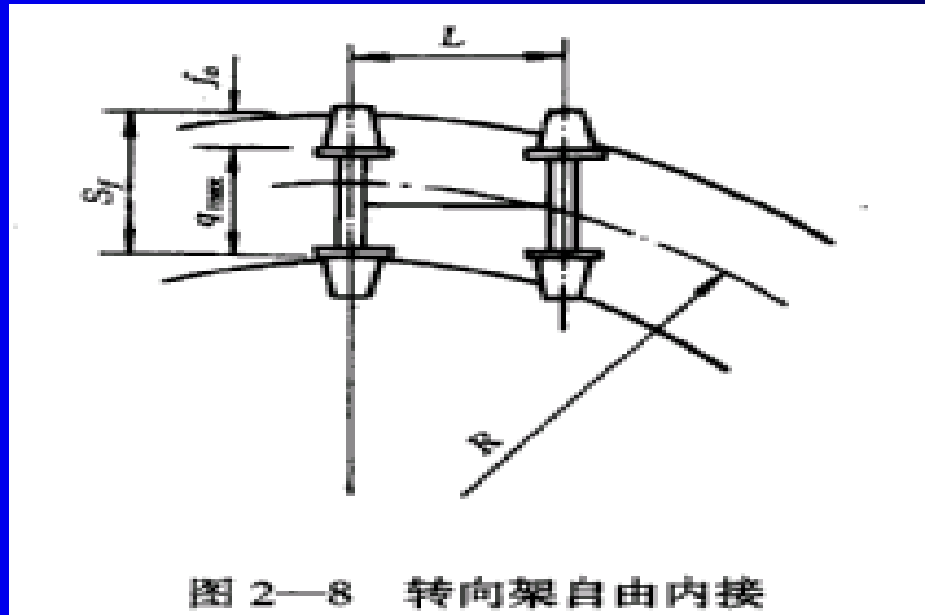
- 可依钢轨顶面车轮碾压形成的光带位置来判定。
- 如何判定？
  - 若光带偏离轨顶中心向内，轨底坡设置不足；
    - 反之，则过大；
    - 居中，合适。

## 六、曲线轨距加宽：

- 机车车辆进入曲线轨道时，仍然存在保持其原有行驶方向的惯性，只是受到外轨的引导作用方才沿着曲线轨道行驶。
- 在小半径曲线，为使机车车辆顺利通过曲线而不致被楔住或挤开轨道，减小轮轨间的横向作用力，以减少轮轨磨耗，轨距要适当加宽。

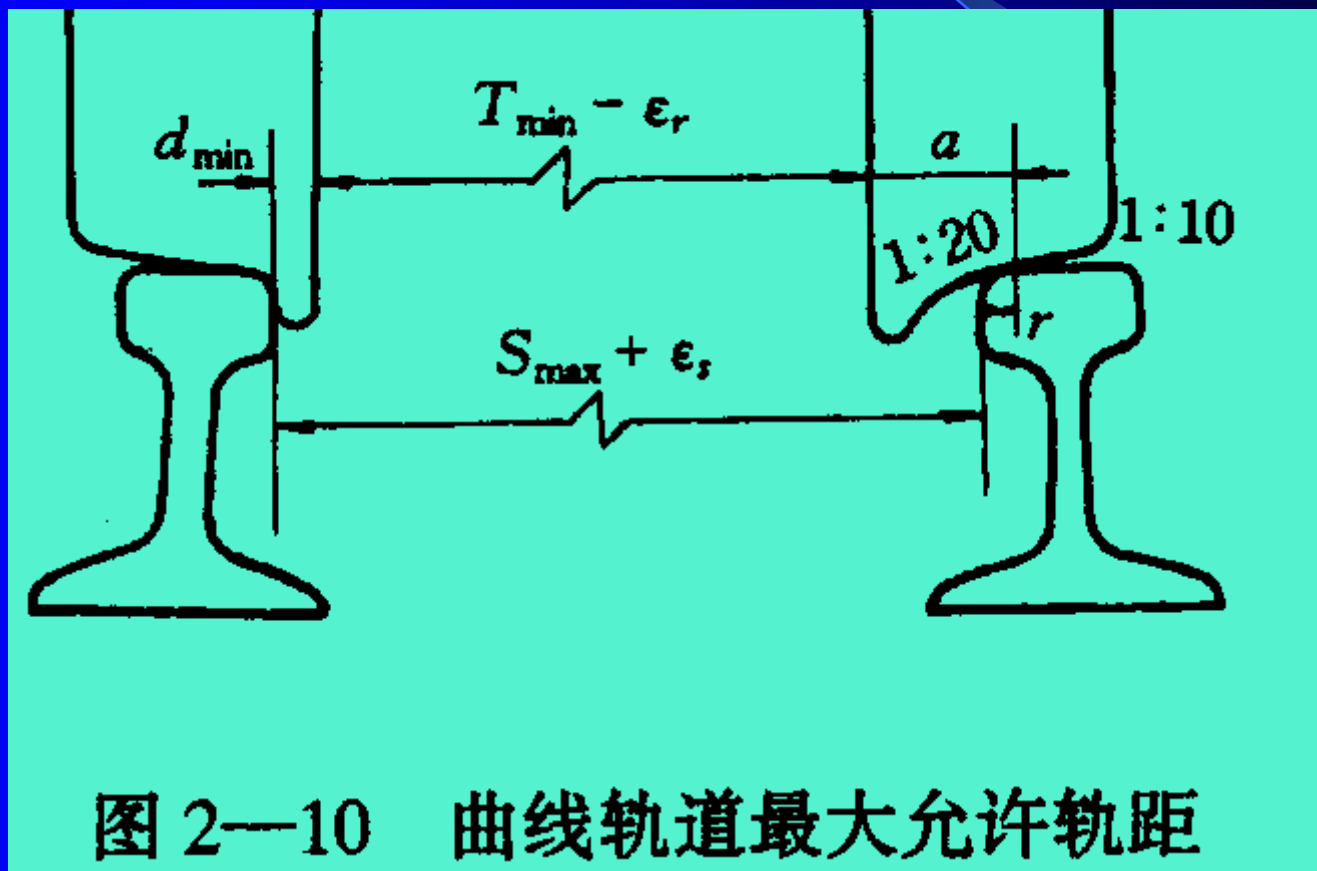
# 机车车辆通过曲线的内接形式：

- 斜接（一个转向架前外、后内轮与轨接触）；
- 自由内接（前外接，其余不接，后轴重合于垂直半径）；
- 楔形内接（前后外轮接）；
- 正常强制内接：为避免楔形内接，对楔形内接所需轨距加宽 $1/2$ 个直线轨道最小游间。



# 轨距加宽必须满足如下原则：

- 1. 保证占列车大多数的车辆能以自由内接形式通过曲线；
- 2. 保证固定轴距较长的机车通过曲线时，不出现楔形内接，但允许以正常强制内接形式通过；
- 3. 保证车轮不掉道，即最大轨距不超过容许限度(最大允许轨距的确定原则：一侧紧靠，另一侧与变坡点接触。考虑了车轴的弯曲、弹性挤开量、钢轨的廓形)。





# 其他的具体表达式自学 (p46~49)

# 方法：

- 加宽轨距：
  - 系将曲线轨道内轨向曲线中心（圆心）方向移动，曲线外轨的位置则保持与轨道中心半个轨距的距离不变。
  - 曲线轨距的加宽值与机车车辆转向架在曲线上的几何位置有关。
- 半径较小时，需要加宽：
  - 一般 $<350\text{m}$ 时， $s=1435+e$ ，  
e值： $R=350\text{m}\sim 300\text{m}$ ，一般 $e=5\text{mm}$   
 $R<300\text{m}$ ： $e=15\text{mm}$ ；专用线、长轨运输的线路尚有其它加宽。
- 思考：大半径需要加宽吗？
- 对列车运行稳定性、轨道寿命不利——高速一般不加宽。

- 径向转向架列车，轨道是否需要加宽？  
如直线电机车辆。
- 日本一需要。加拿大一不需要、磨耗！

## 七、曲线外轨超高：

# 外轨超高的作用及设置方法：

- 原因：

- 机车车辆在曲线上行驶时，由于惯性离心力作用，将机车车辆推向外股钢轨，加大了外股钢轨的压力，使旅客产生不适，货物移位等。
- 因此需要把曲线外轨适当抬高，使机车车辆的自身重力产生一个向心的水平分力，以抵消惯性离心力，达到内外两股钢轨受力均匀和垂直磨耗均等，满足旅客舒适性和安全性。

- 外轨超高度：是指曲线外轨顶面与内轨顶面水平高度之差。
- 在设置外轨超高方法：
  - 外轨提高法：是保持内轨标高不变而只抬高外轨的方法。
  - 线路中心高度不变法：是内外轨分别各降低和抬高超高值一半而保证线路中心标高不变的方法。
- 应用：前者使用较普遍，后者仅在建筑限界受到限制时才采用——如隧道内整体道床。

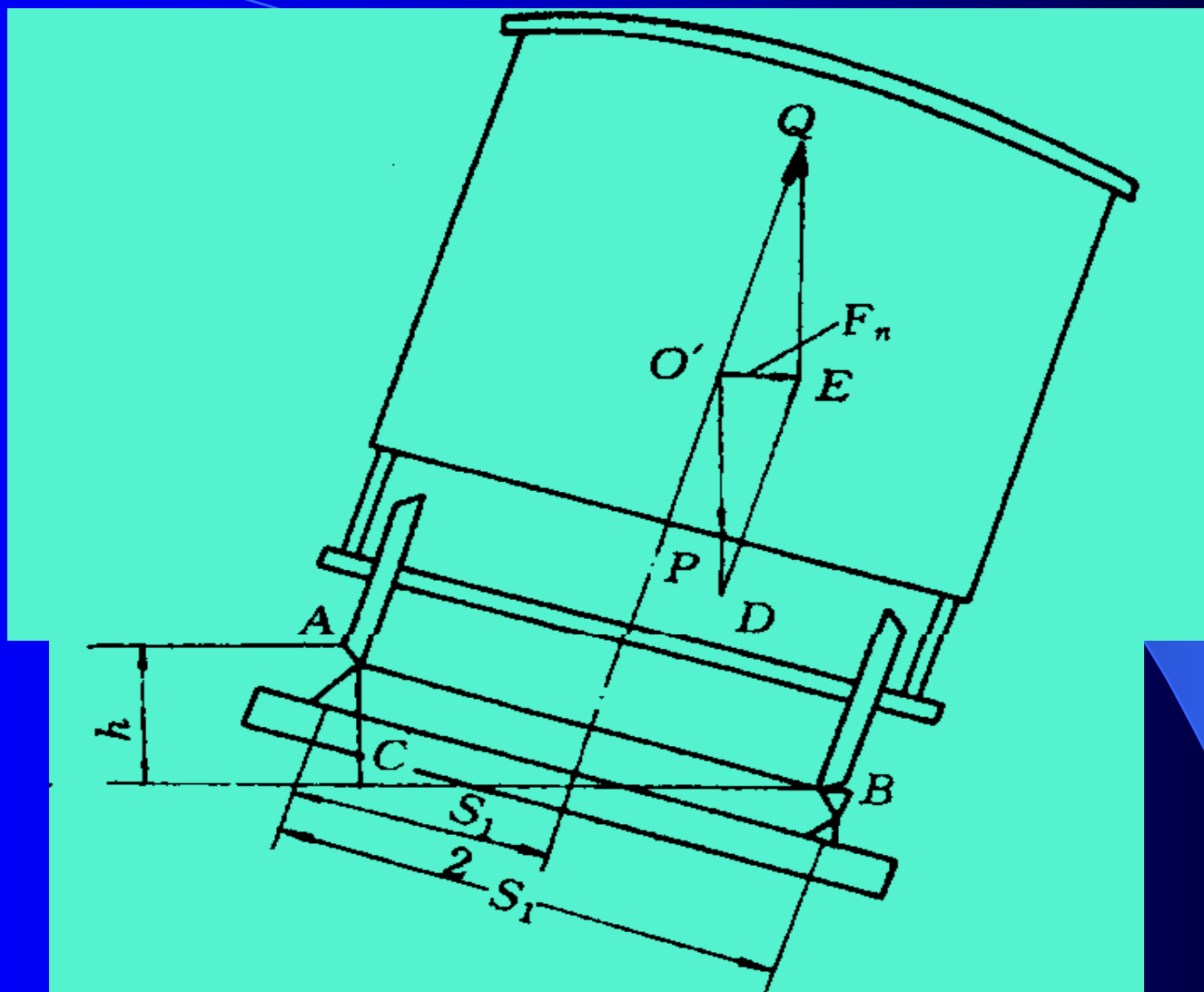


图 2—11 曲线外轨超高计算图

# (一) 基本公式

离心力:  $J = m \frac{V^2}{R}$  (舒适度影响)

由于  $\tan \theta$  (斜角) 相同 (利用离心力与重力分力相等), 并近似取:  $CB=AB=S$ , 由此可得:

$$F_n/mg = h/s$$

$$m \frac{V^2}{R} = G \frac{h}{s}, G=mg$$

因此  $h = \frac{sv^2}{gR}$

近似计算:  $s=1500\text{mm}$

$g=9.81\text{m/s}^2$ ,  $v$ ——速度 (m/s) ——化为 (km/h)

$$\text{所以: } h = \frac{1500v^2}{9.81 \times 3.6^2 R} = 11.8 \frac{v^2}{R}$$

$V$ ——km/h

$R$ ——m 注意工程公式中的量纲

$h$ ——mm

实设超高:  $h = 11.8 \frac{v_0^2}{R}$ ,

$$v_0 = \sqrt{\frac{\sum NQV^2}{\sum NQ}}$$



- 上面的公式为既有公式，全面考虑了每一次列车的速度及重量影响。

- $V_0$ ——平均速度——左右轨受力应持平
- $N$ ——列车趟数； $Q$ ——每列车重量
- $V$ ——每列车速度

● 对于新线：仅有 $V_{max}$ ，设 $V_0=0.8V_{max}$

$$h=7.6 \frac{v_{max}^2}{R}$$

超高应有一定的限值：

- $maxh=150mm$  (双线)，车体高，则小些；  
 $maxh=125mm$  (单线)。
- 思考：单线铁路超高设置过大会如何？

# 过大：

- 上下行速度不一；
- 上下行运量差异；
- 低速车对内轨偏压大；
- 稳定性差（即使停车也不应倾覆）。

(二) 未被平衡的离心加速度，欠超高和余（过）超高

$$11.8 \frac{v_{\max}^2}{R} - h = \Delta h \text{ (欠超高)}, \quad h \text{ —— 实设}$$

$$h - 11.8 \frac{v_{\min}^2}{R} = \Delta h' \text{ (余超高, 过超高)}$$

$v_{\max}$  为通过列车的最高行车速度,  $v_{\min}$  为通过列车的最低行车速度

限值: (1)  $\Delta h$  —— 与旅客舒适度有关。应限制未被平衡的离心加速度  $a \leq [\alpha]$

- ②过超高  $\Delta h'$ ：考虑钢轨的受力(旅客的舒适度也考虑)来确定限值（接触应力）。
  - 当钢轨出现压溃时，现场不得已调整超高（尤其内轨）。
- 我国规定：一般：未被平衡的离心加速度  $[\alpha]=0.4\sim 0.5\text{m/s}^2$ （欠超  $\Delta h=60\sim 75\text{mm}$ ）。  
困难  $[\alpha]=0.6\text{m/s}^2$ （ $\Delta h=90\text{mm}$ ）
  - $\Delta h' \leq 50\text{mm}$
- 问题：如何依上述限值算出欠、余超高量的？（教材P57—自学：分清最高及最低行车速度，过、欠超高依据未被平衡的离心加速度确定。）
- $H, \Delta h, \Delta h' \rightarrow$ 以5mm为整值，如78.5取80等等(设置、量测方便)。

# 另一个角度，速度限值的确定：

若已知：R, h,  $\Delta h$ ,  $\Delta h \rightarrow V_{\max}, V_{\min}$

$$11.8 \frac{v_{\max}^2}{R} = h + \Delta h$$

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{(h + \Delta h)R}{11.8}} \quad (\text{舒适速度})$$

$$11.8 \frac{v_{\min}^2}{R} = h - \Delta h'$$

$$V_{\min} = \sqrt{\frac{(h - \Delta h')R}{11.8}} \quad (\text{速度越低，轨头易出现压溃，强度要求速度})$$

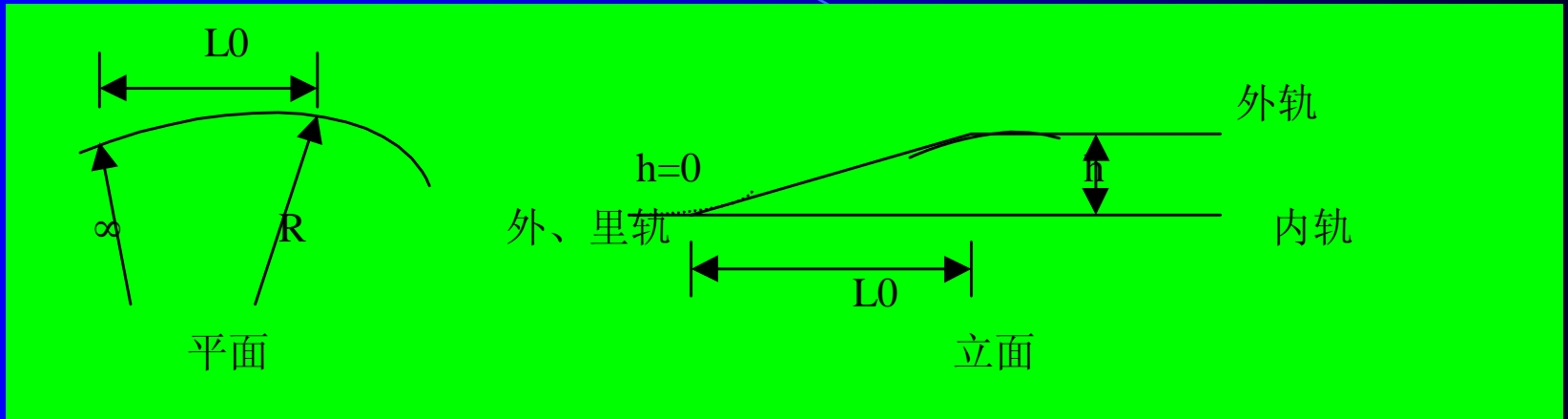
- 上述 $V_{\max}, V_{\min}$ 并非安全速度（低于、高于有时也安全）——仅是依舒适、强度定的值。

# 八、缓和曲线

# (一) 设置目的

- 1、目的:
- ①在曲线到直线，直线到曲线上，为使作用力不突变（平面） $\rho = (\rightarrow \infty) \rightarrow R$
- ②能够使超高在缓和曲线上逐步完成——长度要求





$L_0$ ——缓和曲线长度

## 2、主要形式：

- 三次抛物线（我国常用）  $y = \frac{x^3}{6c}$
- 高次抛物线（4，5，7次抛物线）
- 三角函数线（正弦曲线）——日本高速线才用
- 广深线前，3次与7次实际铺设测试证明，相差不大，我国无论高速、低速均采用三次抛物线。

### 3、讨论：高速线路的缓和曲线设置条件、方法？

- (1)  $L_0$ 足够长；
- (2) 顺坡两端要圆顺：现我国采用圆曲线来过渡

$$y = \frac{x^3}{6c}$$

$c$ ——缓和曲线曲率半径变化率。

$c=Rl_0$ ,  $L_0$ 缓和曲线的长度,  $R$ 为圆曲线半径。

保证了缓和曲线的曲率变化率为常量。

## (二) 缓和曲线长度的确定

- 1. 安全：由安全原则确定长度（缓和曲线上，车转向架一端两轮贴着钢轨顶面；另一端两轮，在外轨上的车轮贴着轨顶面，而在内轨上的车轮是悬空的。——爬轨）：

$$h_0 \text{（悬空高度）} > h_{\min} \text{（轮缘最小高度）}$$

则不安全。

$$\text{需满足： } L_{\max} * i = h_0 < h_{\min}$$

$$\text{即： } l_0 \geq h/i$$

若取：  $h_{\min} = 25\text{mm}$ ，  $l_{\max} = 4\text{m}$ ， 则  $i = 6\text{‰}$

（ $i$ 为超高变化率）。在锦州局脱轨实验表明， $i = 2.66\text{‰}$ ，即易产生脱轨。

所以建议：  $i \leq 1\text{‰}$ （一般）

$i \leq 2\text{‰}$ （困难）

## 2. 舒适：由旅客舒适角度确定长度

列车上升速度有限制： $h/t$

$$t = \frac{l_0}{V_{\max}}$$

$$\text{即：} \frac{hv_{\max}}{l_0} \leq [u], \therefore l_0 \geq \frac{hv_{\max}}{[u]}$$

我国规定（运营铁路）：一般 $[u]=28\text{mm/s}$

困难 $[u]=40\text{mm/s}$  (p64 书中有误)

因此：

$$\text{一般：} l_0 \geq \frac{hv_{\max}}{3.6 \times 28} = \frac{hv_{\max}}{100.5} \approx \frac{hv_{\max}}{100}$$

$$\text{困难：} l_0 \geq \frac{hv_{\max}}{3.6 \times 40} = \frac{hv_{\max}}{144}$$

$V_{\max}$ ——km/h； $h$ ——mm

当  $h$  以米计，

$$\text{一般：} l_0 = 10hv_{\max}$$

$$\text{困难：} l_0 = 7hv_{\max} \text{（有的规程上也这样规定）}$$

（计算结果取 10 整倍数，长度不短于 20m，两缓和曲线间的圆曲线长度应不短于 20m。  
新线设计：有的规范上 $[u]$ 值取 32mm/s（困难 40mm/s）等， $l_0$ 的计算公式也略有改变。

# 既有线提速困难地段用

- $l_0 = 8hv_{\max}$

# § 3—3 高速或提速线路重要 几何参数的确定

# 一、最小曲线半径的确定（取整50m倍数）

- ——为何不能太小？
- 利用取允许极限值的方法来推导最小半径：

(一) 客运专线：考虑旅客的舒适，考虑欠超高， $\Delta h$ ——欠超高

$$(h + \Delta h)_{\max} = 11.8 \frac{v_{\max}^2}{R_{\min}} \Rightarrow R_{\min} = 11.8 \frac{v_{\max}^2}{(h + \Delta h)_{\max}}$$

(二) 客、货混跑线路， $\Delta h$ ——欠超高， $\Delta h'$ ——余（过）超高

$$\text{客车：} (h + \Delta h)_{\max} = 11.8 \frac{v_{\max}^2}{R_{\min}}$$

$$\text{货车：} (h - \Delta h')_{\max} = 11.8 \frac{v_{\min}^2}{R_{\min}} \quad \text{相减} (\Delta h + \Delta h')_{\max} = 11.8 \frac{v_{\max}^2 - v_{\min}^2}{R_{\min}}$$

$$\text{所以：} R_{\min} = 11.8 \frac{v_{\max}^2 - v_{\min}^2}{(\Delta h + \Delta h')_{\max}}$$



# 例:

- $v_{\max}=200\text{km/h}$ ,  $h_{\max}=150\text{mm}$ ,  
 $\Delta h=75\text{mm}$ ,  $\Delta h'=50\text{mm}$ ,  $v_{\min}=100\text{km/h}$

$$\text{客运专线: } R_{\min} = 11.8 \frac{200^2}{150 + 75} = 2098\text{m}$$

$$\text{客货混跑: } R_{\min} = 11.8 \frac{200^2 - 100^2}{75 + 50} = 2832\text{m}$$

- 由此可知，客货混跑线路展线较长，较客运专线的造价要高。高速：法、日——客运专线（高速）；德——客货混运。  
广深线曾考虑混跑线路（后客运专线）：由于货车速度随意性， $V$ 小，轴重大，使线路状况极差，客车 $160\text{km/h}$ 时，运行极不稳定。
- 目前在考虑客运专线跑货车——秦沈线（低轴重）。

- 因此，干线提速时，货车也应提速，否则线路状况较差。
- 提速后直线脱轨：机车车辆转向架性能欠差（货车）。
- 120km/h的混跑货车（轴重可能25吨）正在研制，思考：会有哪些问题？

# 考虑：

- 车体性能；
- 轨道加强——曲线等；
- 装载均匀及检测方法；
- 岔区、桥梁、路基结构的性能。
- .....

# 新建客运专线不同速度下的推荐圆曲线半径

速度 (km/h)	350/200	250/140 (250/160)	200/120 (兼容100km/h、轴重 18t货物列车)
项目			
推荐hq+hg	110 ~ 90	100 ~ 70	80 ~ 50
推荐R (m)	9000 ~ 11000	5000 ~ 7000 (4500/6500)	3500 ~ 6000

## 讨论：

(1) 若当： $R, h, \Delta h, \Delta h'$ 一定时  
(或改造有困难)，线路不动， $V$ 仍须提速，怎么办？

# 摆式列车：

- 摆式列车：  
有源式：

- 特点：主动式-主要有传感控制系统及执行机构组成；

- 主要有：瑞典x—2000；意大利(Pendolino)，倾角可达 $\alpha = 6.5^\circ, 10^\circ$ 等

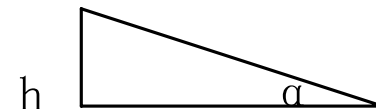
- 无源式：

- 特点：被动式—无传感与控制部分，靠特殊悬挂装置实车体自动向内倾斜；

- 主要有：西班牙，倾角最大仅 $\alpha = 3.5^\circ$

- 利用此车可以在已有线路状况下，提速。摆式列车相当于增加了超高——京沪方案之一。

增加超高量： 设原  $\sin \alpha = h/s = 150/1500$ ,  $\alpha = 5.7^\circ$



$$h' = 1500 \times \sin \alpha \begin{cases} \alpha = 6.5^\circ \rightarrow h' = 166.98 \text{mm} \\ \alpha = 3.5^\circ \rightarrow h' = 91.6 \text{mm} \end{cases}$$

$$\text{则摆式列车最大运行速度} = \sqrt{\frac{(h + h' + \Delta h)R}{11.8}}$$

行车速度提高的百分比 A 为：

$$A = \sqrt{\frac{h + h' + \Delta h}{h + \Delta h}} - 1$$

(2) 摆式列车:  $h'$ ,  $V_{\max}$ 均改变, 对轨道有何影响?

对轨道影响不大。

思考: 是否能跑摆式列车决定于哪些因素?



- ①限界是否允许：桥、隧、线间距；
- ②速度是否能允许：能提高多少（毕竟有效）；
- ③经济是否允许：广深线使用摆式列车（租的）；
- 讨论：过大的曲线半径可否好？
- 养护维修、管理、铺设、经济，必要性。

径向转向架：容许的半径可更小些——温哥华直线电机车辆（80km/h, 半径70m）。

# 作业:

- ①列车速度 $V_{\max}=200\text{km/h}$ ,  $V_{\min}=80\text{km/h}$  允许的欠超高  $\Delta h=90\text{mm}$ , 允许的过超高  $\Delta h' =50\text{mm}$ , 求最小曲线半径 $R_{\min}$ 和该曲线应该的超高。
- ②若采用摆式列车, 摆角 $3.5^\circ$  和  $6.5^\circ$ , 问这时列车分别提高速度百分之多少?

## 二、夹直线与圆曲线的最小长度

- 思考：为什么限制长度？

- 夹直线长度（两圆曲线之间的直线）过去认为可以放下一个车即可，即： $L=18\sim 20\text{m}$ ；
- 但是，当提速以后，发现这个规定是不合理的，因此轮逐渐抬高或降低，会出现轮对的横摆，摇头等振动尚未平稳（平静）下来，在进入新的曲线地段后，会附加运动，对列车平稳运行不利。（车体振动不叠加原则）
- 由国外测试知：轮对（或车辆）通过曲线后尚须摆动 $t=1\sim 1.5$ 秒（有的略大一与车辆性能、线路状况、激扰时间有关，我国既有车体一般 $1.12\text{s}$ ）。由此可知：
  - 由 $L/V_{\text{max}}\geq 1\sim 1.5$ 秒，知：
$$L\geq (0.28\sim 0.42) V_{\text{max}}$$
$$V_{\text{max}}\text{——km/h, } L\text{—m。}$$

# 1、国内外情况介绍:

国别	日本	德国		法国	中国(过去专家意见)		
$V_{max}$ (km/h)	200~250	200	250 ~ 270	270 ~ 300	160	300	350
$L$ (m)	0.42 $V_{max}$	0.4 $V_{max}$	0.6 $V_{max}$	0.67 $V_{max}$	0.625 $V_{max}$	0.93 $V_{max}$	0.80 $V_{max}$
	不科学、不合理						

我国： $V=120\sim 160\text{km/h}$ ,	$\left\{ \begin{array}{l} \text{一般 } l=100\text{m 推得：} \\ V=160\text{km/h, } l=0.625V_{\text{max}} \\ V=140, l=0.710V_{\text{max}} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{困难： } l=80\text{m, 推得：} \\ V=160, l=0.5 V_{\text{max}} \\ V=140, l=0.57 V_{\text{max}} \end{array} \right.$

- 由此可知：
  - 我国规定以夹直线长度越长越好来制定的。
- 说明：
  - 但是，会造成工程的浪费。应科学些。
  - 无把握，保守，研究不够。
- 圆曲线长度同理。

## 2、既有线改造：

- 由于在曲线改造工程中，夹直线或圆曲线长度延长时，两端线路变化较大，改造工程较大。
- 某些专家建议：
  - 我国快速线（ $\leq 160$ ），一般： $L \geq 0.5V_{\max}$ ；  
困难： $L \geq 0.4V_{\max}$ （应科学研究、有依据）。
- 《既有线提速技术条件》（试行）（ $\leq 160$ ）：
  - 夹直线及圆曲线长度一般地段为 $0.8V_{\max}$ ，困难地段为 $0.5V_{\max}$ ，并取整为10m的倍数。



### 3、客运专线线路的夹直线、圆曲线最小长度(与既有线有矛盾)

设计速度 (km/h)	200	250	350
L (m)	$0.7V_{\max}$ $(0.5V_{\max})$	$0.7V_{\max}$ $(0.5V_{\max})$	$0.8V_{\max}$ $(0.6V_{\max})$

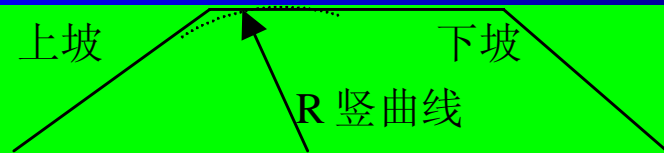
# 三、限制坡度和竖曲线半径

# (一) 限制坡度

- (一) 限制坡度：
  - 客货混运（一般线路）：6‰，12‰，33‰等；
  - 客运专线：国外有的40‰，隧道20‰.
  - 为何客运专线反而限坡变大？
    - 混跑时货车较重，起动、制动都困难，所以限坡较小；
    - 高速客运专线轴重轻、牵引力大（条件不容许时，可加大）。
    - 也不能太大，速度影响，耗能大。
- 京沪高速建议：12‰→20‰（一般→困难：速度、节能）
- 关于独轨交通、磁悬浮、缆索交通（60%）及直线电机限制坡度（60‰）（受牵引方式的限制）。

## (二) 竖曲线半径

- 与普通线路一样，高速与提速线路相邻坡度差大于千分之一，应设置竖曲线，限制向上离心加速度。
- 两竖曲线间的夹直线仍要注意长度不能太短，思考：原因？



# 确定条件

(国外实测：日本东海道新干线)：

1. 舒适条件：

离心加速度：
$$\frac{V_{\max}^2}{R_v} \leq [\alpha]$$

$$R_v \geq \frac{V_{\max}^2}{[\alpha]} \quad \text{借鉴国外 } [\alpha] = 0.2 \sim 0.37 \text{ m/s}^2$$

$$\text{所以： } R_v \geq (0.2 \sim 0.4) V_{\max}^2$$

2. 安全条件：

向上离心力：
$$\frac{Q}{g} \frac{V_{\max}^2}{R_v} \leq 0.1Q \text{ (一般认为)}; \quad Q \text{ — 重力}; g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$R_v \geq \frac{V_{\max}^2}{0.1g} = 0.08 V_{\max}^2$$

所以，控制条件为舒适条件，安全条件可不考虑。

- 京沪建议:  $V_{\max} \geq 300 \text{ km/h}$ ,

$$RV = 25000\text{m}$$

$$250 \leq V_{\max} < 300 \text{ km/h},$$

$$RV = 20000\text{m},$$

$$160 \leq V_{\max} < 250 \text{ km/h},$$

$$RV = 15000\text{m}$$

$$V_{\max} < 160 \text{ km/h}, \quad RV = 10000\text{m}$$

京沪线上可能有过路的中、低速车。所以应合理确定RV(目前京沪技术文件仍在讨论中)。

# 客运专线线路竖曲线半径（与前面的较为一致）

满足旅客舒适度要求的  $\alpha_{sk}$  不宜大于  $0.4m/s^2$

客运专线不同速度下的最小竖曲线半径

设计速度 (km/h)	200	250	350
最小竖曲线半径 (m)	15000	20000	25000

## 运行安全性要求的竖曲线半径

设计速度目标 (km/h)	250	300	350
竖曲线半径 (m)	5200	7400	9900

两者取大者。



其他问题：如限界、线间距  
等，此处略。

# 本章小结

- 掌握轨道几何形位的基本要素及特征，重点掌握曲线外轨超高、曲线加宽、缓和曲线等理论和计算方法。
- 掌握我国发展高速或提速铁路时对轨道几何形位的相关规范及制定原理。
- 重点：轨道几何形位的要素及特征；高速或提速铁路对轨道几何形位的特殊要求。

# 作业：

- 1、举例说明静态不平顺与动态不平顺的差异。
- 2、提速及高速线路为什么要对夹直线与圆曲线的最小长度进行限制？

