

道路平面设计



道路平面设计

第一节 概述

第二节 直线

第三节 圆曲线

第四节 缓和曲线

第五节 平面形设计

第六节 行车视距

第七节 道路平面设计成果



第一节 概述

- 一、道路的表现形式
- 二、汽车行驶轨迹与道路平面线形



第一节 概述

一、道路的表现形式

(一) 实际形态:

■1、**道路**是一个三维空间的实体。它是由路基、路面、桥梁、涵洞、隧道和沿线设施所组成的线形构造物。

■2、**路线**：是指道路中线的空间位置。



一、道路线形的表达方式:

- (二) 数学表达方式: 空间三维实体

$$z = ax^n + by^m + c$$

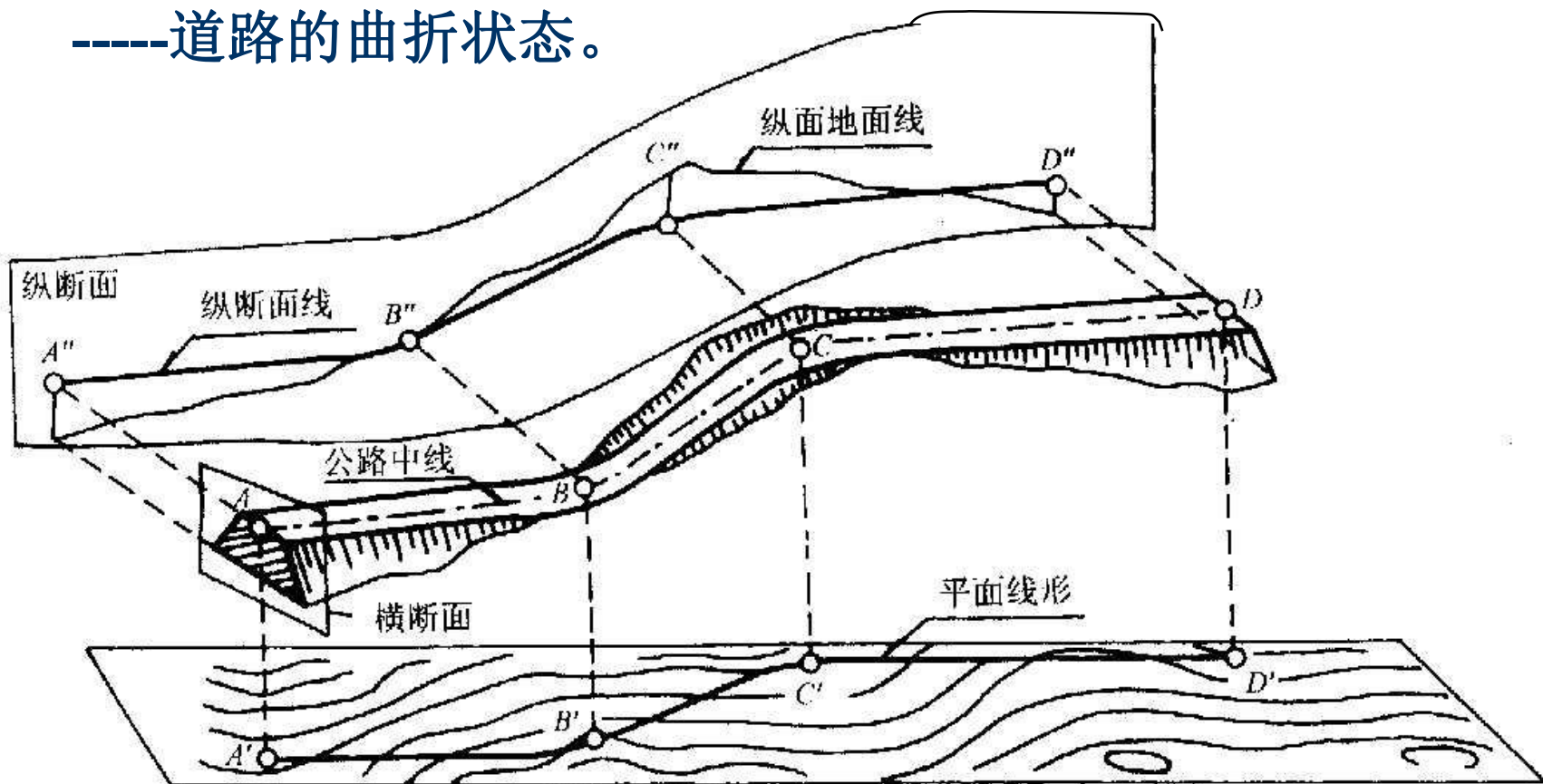


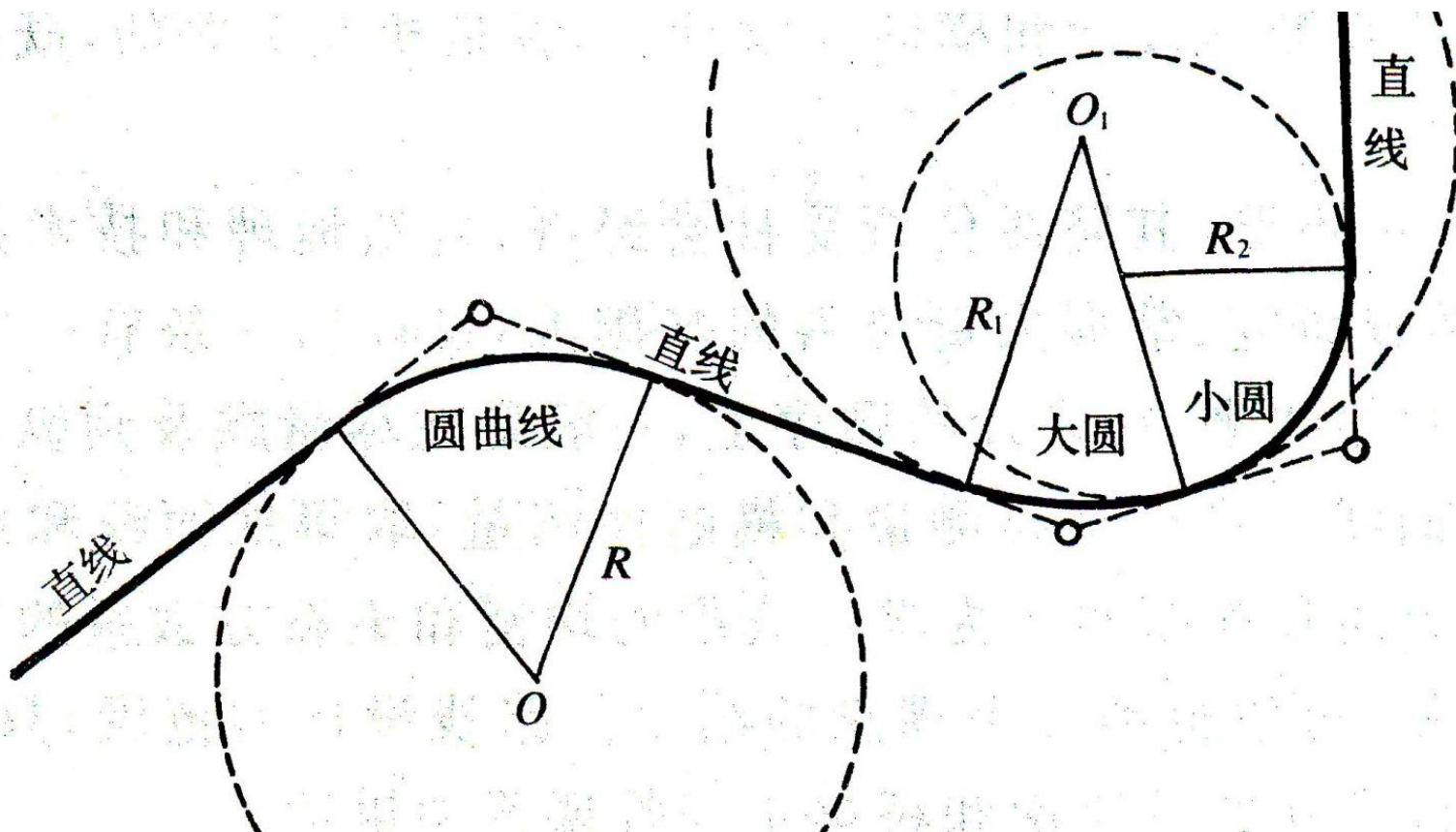
一、道路的表现形式

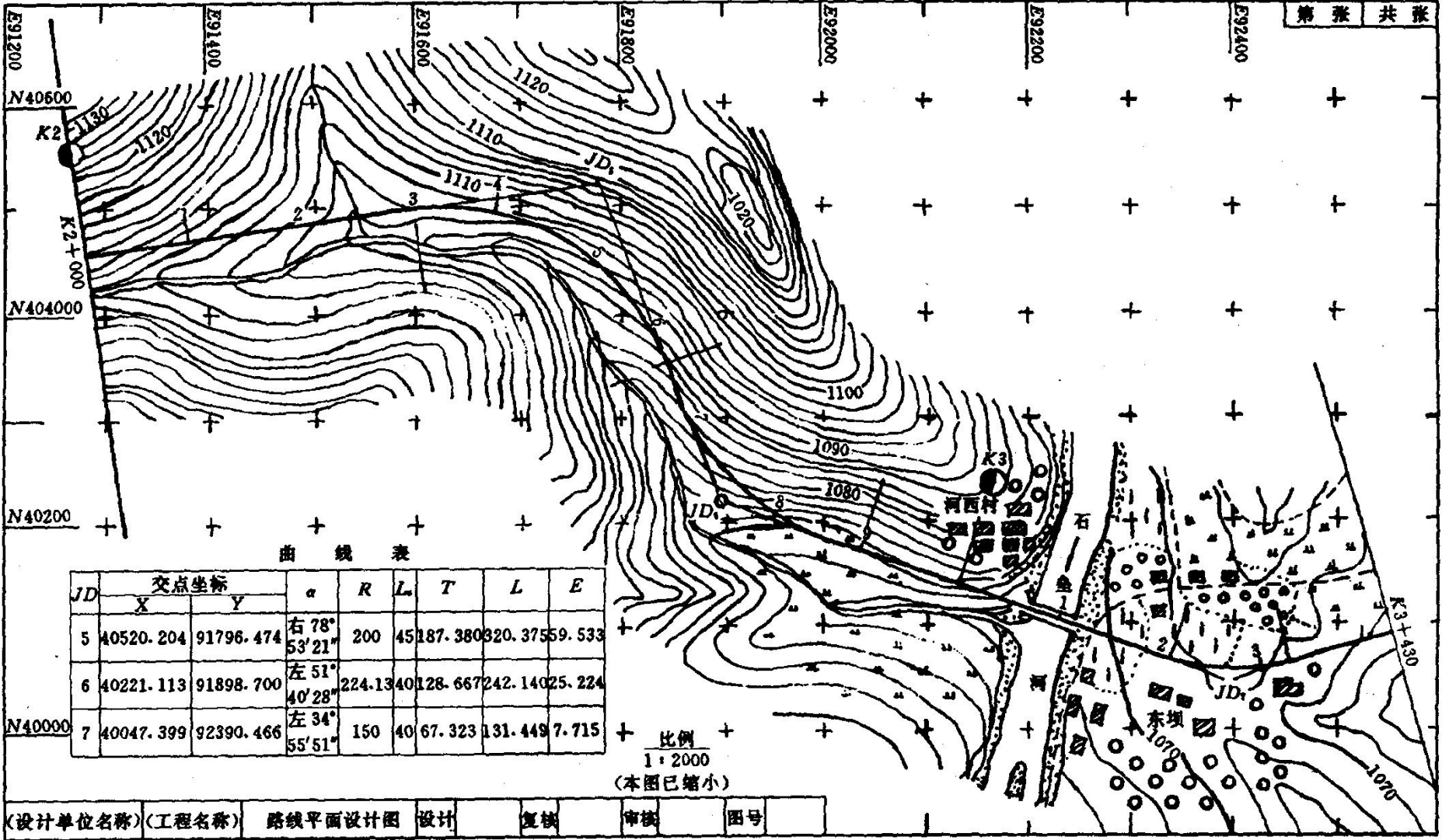
(三) 工程表达形式

路线平面(horizontal):道路中线在水平面上的投影

-----道路的曲折状态。







(设计单位名称) (工程名称) 路线平面设计图 设计 复核 审核 图号

图2.26 公路路线平面图

一、道路的表现形式

■ (三) 线形设计

- 1、**路线设计**：确定路线空间位置和各部分几何尺寸的工作。
- 2、**路线平面设计**：研究道路的基本走向及线形的过程。
- 3、**路线纵断面设计**：研究道路纵坡及坡长的过程。
- 4、**路线横断面设计**：研究路基断面形状的过程。



第一节 概述

- 一、道路的表现形式
- 二、汽车行驶轨迹与道路平面线形



二、汽车行驶轨迹与道路平面线形

(一) 汽车行驶轨迹

汽车行驶轨迹的几何特征：

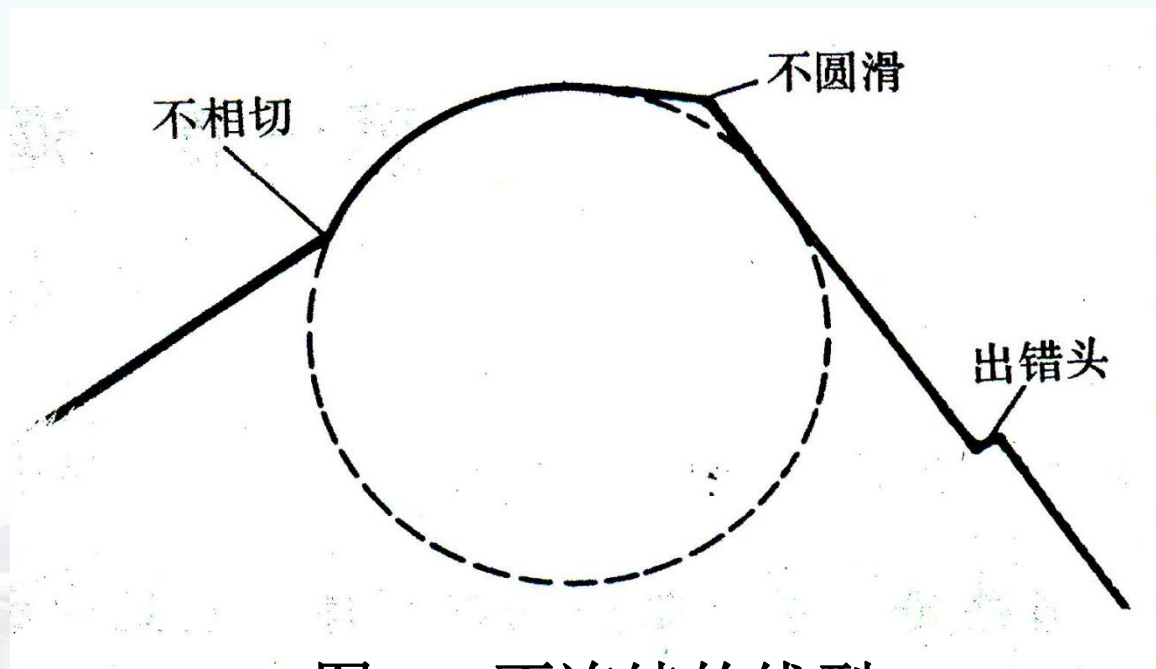
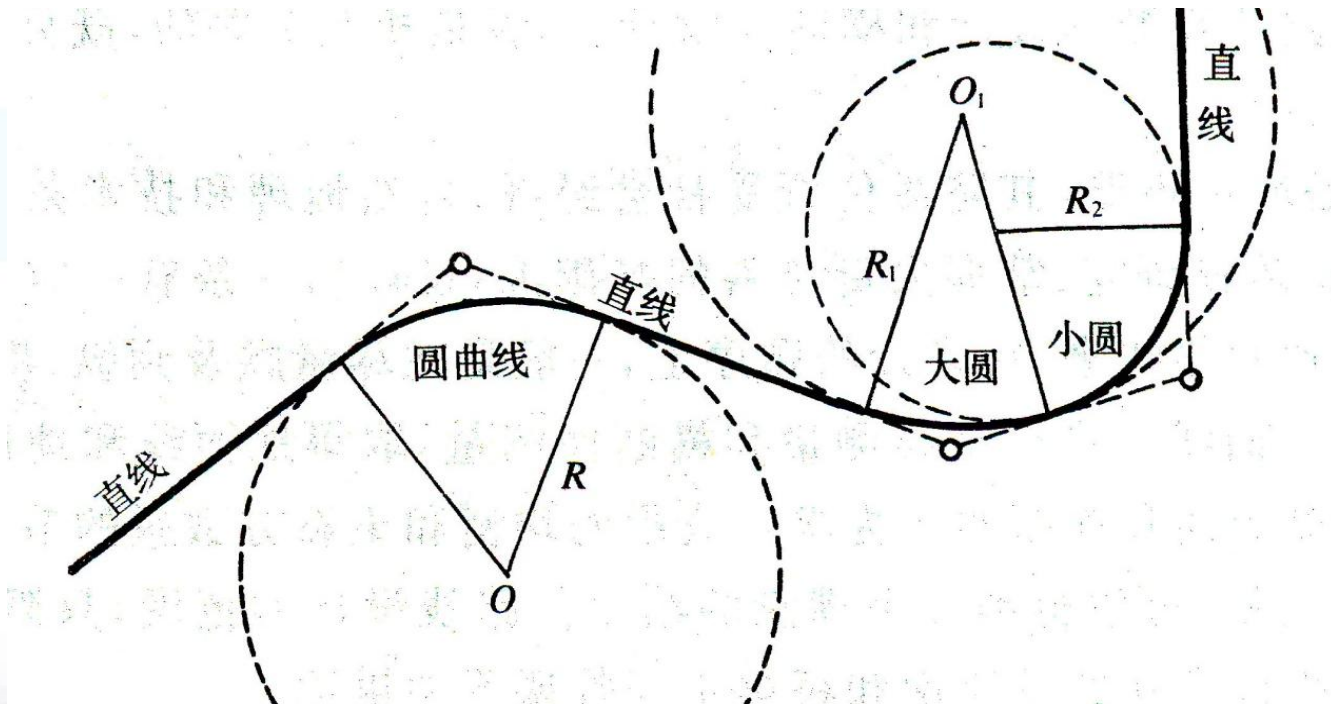


图2-1 不连续的线型



(1) 这个轨迹是连续的和圆滑的，即在任何一点上不会出现错头和破折；



几何线形图



(2) 其曲率是连续的---轨迹上任一点不出现两个曲率的值。

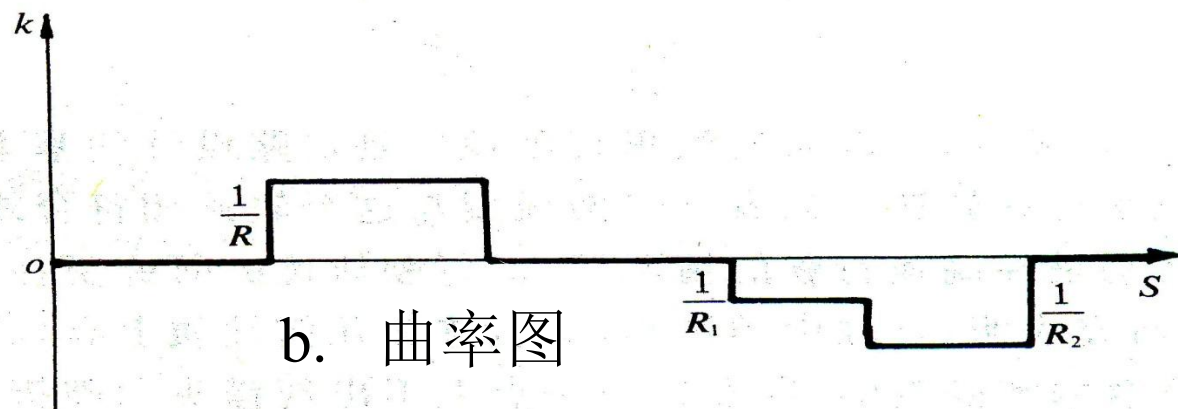
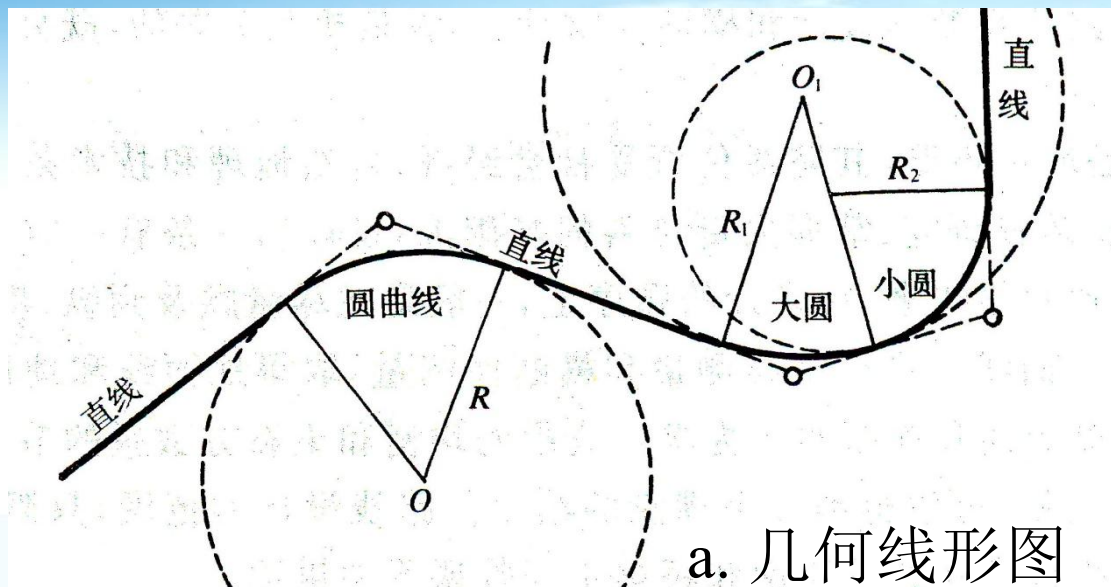
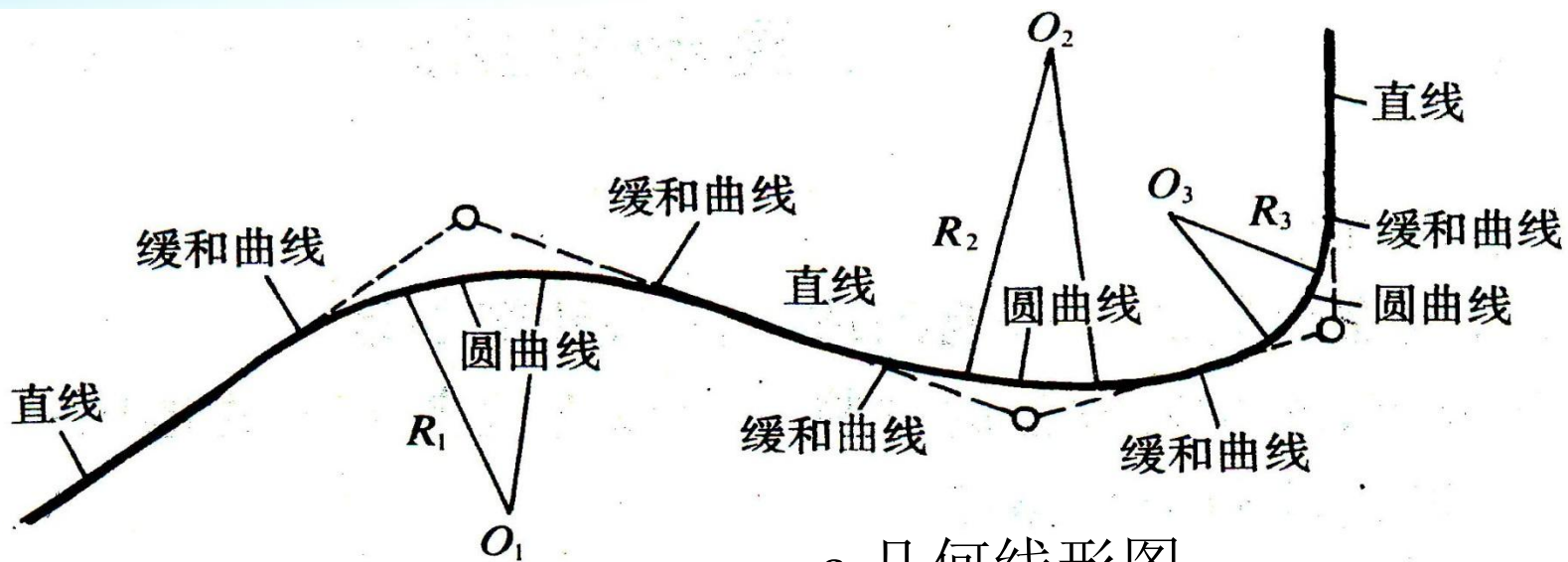
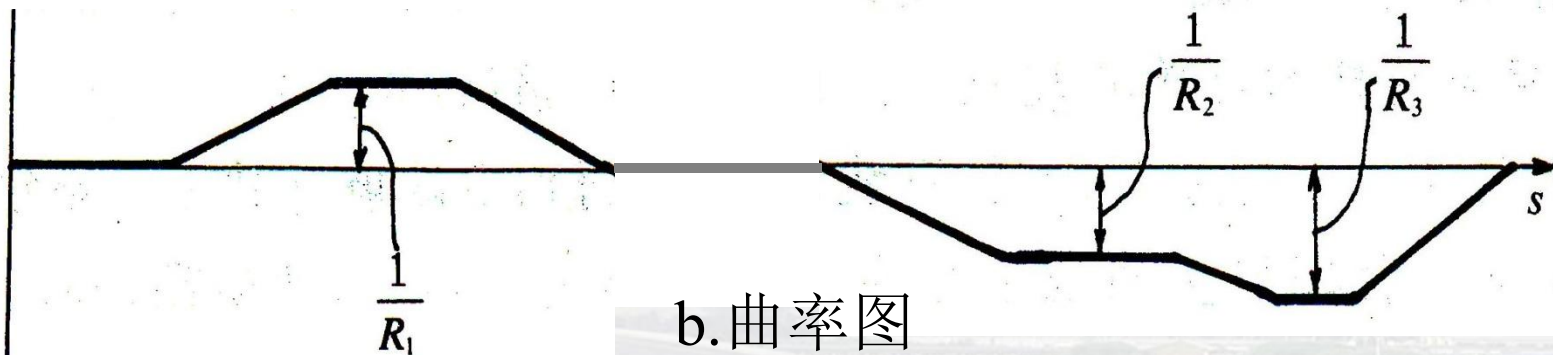


图2-2 曲率不连续的路线





a.几何线形图

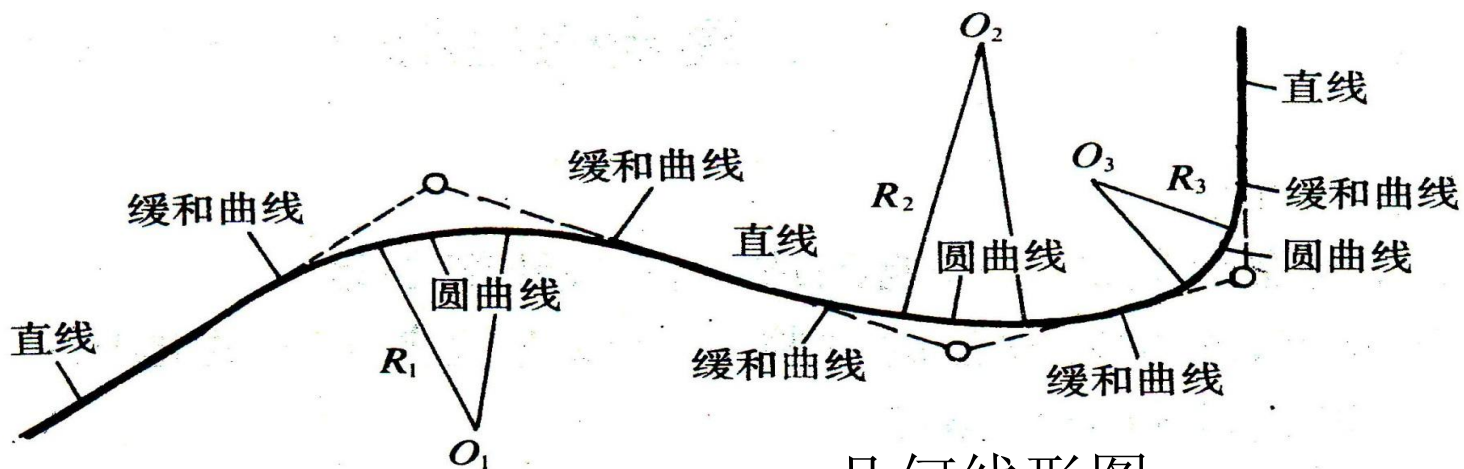


b.曲率图

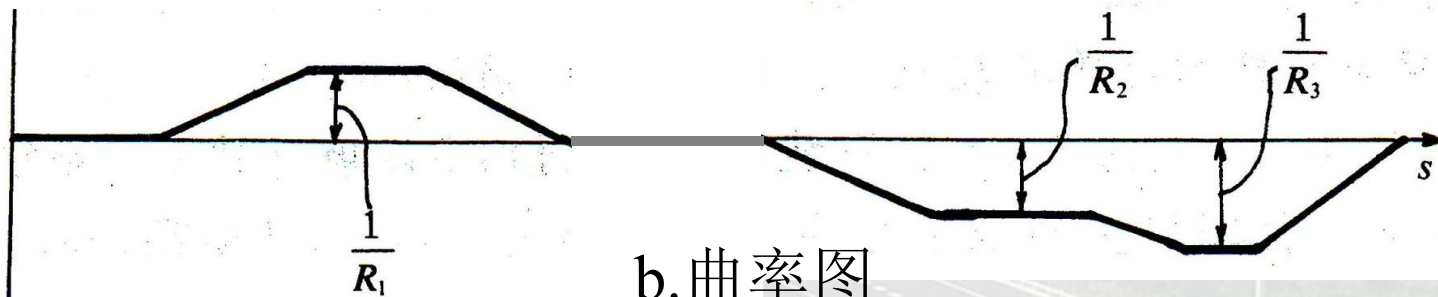
图2-3 曲率连续的平面线形



(3) 其曲率的变化率是连续的，即轨迹上任一点不出现两个曲率变化率的值。



a.几何线形图



b.曲率图

二、汽车行驶轨迹与道路平面线形

• (二) 平面线形要素

行驶中汽车的导向轮与车身纵轴之间有三种关系：

1. 角度为零：
2. 角度为常数：
3. 角度为变数：

与上述三种状态对应的汽车行驶轨迹线为：

1. 曲率为0——**直线**
2. 曲率为常数——**圆曲线**
3. 曲率为变数——**缓和曲线**

所以，**直线、圆曲线和缓和曲线**，称为“**平面线形三要素**”



第二章 平面设计

第一节 概述

第二节 直线

第三节 圆曲线

第四节 缓和曲线

第五节 平面形设计

第六节 行车视距

第七节 道路平面设计成果



第二节 直线

一、直线的特点

二、直线的运用



一、直线的特点

• (一) 直线的优点

- 1、两点之间直线距离最短，直捷；
- 2、通视条件好；
- 3、便于测设；
- 4、汽车在直线上行驶受力简单，方向明确，操作简易。

• (二) 直线的缺点

- 1、直线线形大多难于与地形相协调，若长度运用不当，不仅破坏了线形的连续性，也不便达到线形设计自身的协调。
- 2、过长的直线易使驾驶人感到单调、疲倦。
- 3、过长的直线难以目测车间距离。



第二节 直线

一、直线的特点

二、直线的运用



二、直线的运用

(一) 宜采用直线线形的路段：

- (1) 不受地形、地物限制的平坦地区或山间的开阔谷地；
- (2) 市镇及其近郊，或规划方正的农耕区等以直线条为主的地区；
- (3) 长的桥梁、隧道等构造物路段；
- (4) 路线交叉点及其前后；
- (5) 双车道公路提供超车的路段。



二、直线的运用

(二) 当采用长的直线线形时，应注意的问题：

- (1) 在直线上纵坡不宜过大，因长直线再加下陡坡更易导致高速度。
- (2) 长直线与大半径凹竖曲线组合为宜，这样可以使生硬呆板的直线得到一些缓和。
- (3) 道路两侧过于空旷时，宜采取植不同树种或设置一定建筑物、雕塑、广告牌等措施，以改善单调的景观。
- (4) 长直线或长下坡的尽头的平曲线，除曲线半径、超高、视距等必须符合规定外，还必须采取设置标志、增加路面抗滑能力等安全措施。



二、直线的运用

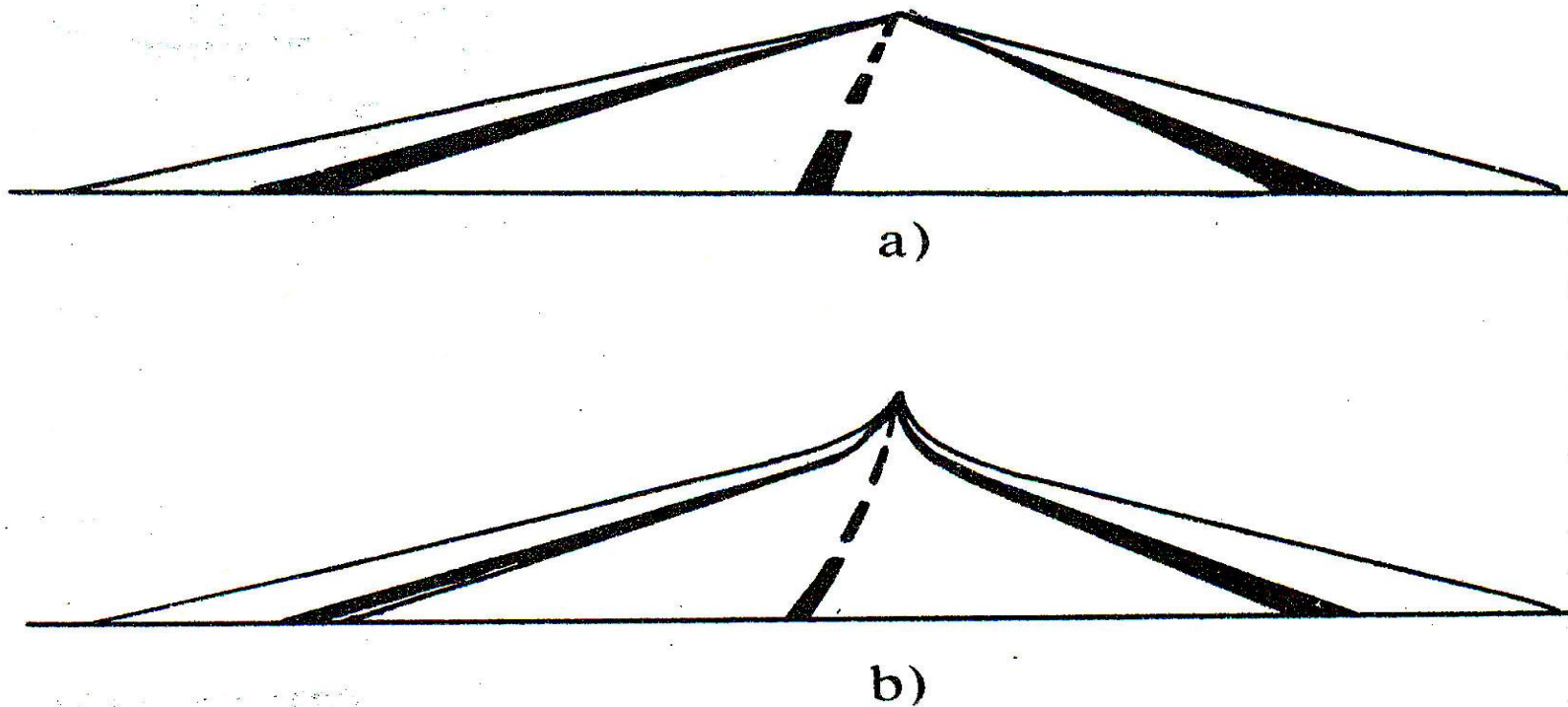


图2-5 长直线与凹形竖曲线组合

a)长直线与直坡组合 b)长直线与凹形竖曲线组合



二、直线的运用

(三) 长直线长度问题：

1、长直线的长度

- 我国《标准》规定：直线的最大与最小长度应有所限制。一条公路的直线与曲线的长度设计应合理。
- 1) 日本、德国规定长直线的长度（以米计）以72秒行程控制，即为**20V**（计算行车速度，km/h）。我国也一般采用此值。
- 2) 美国以**3分钟控制，即50V**（m）
- 3) 前苏联长直线长度可为**8公里**
- 长直线具体多长仍是个在研究的课题。公路线形首先考虑的不是在平面线形上尽量多采用直线，或者是必须由连续的曲线所构成，而是必须采用与自然地形相协调的线形。做到**宜直则直，宜曲则曲**。
- 合理利用地形和采用长直线。

■ 2、直线长度过长时注意以下问题：

■ 长直线可以采用，只需注意：

■ （1）与交通工程设施及工程结合，如距离却认定标志、门式标志等。

■ （2）绿化美化

■ （3）线形合理组合，直线尽头尽量接大的曲线

■ （4）长直线与大的凹形竖曲线组合，以抵消距离确

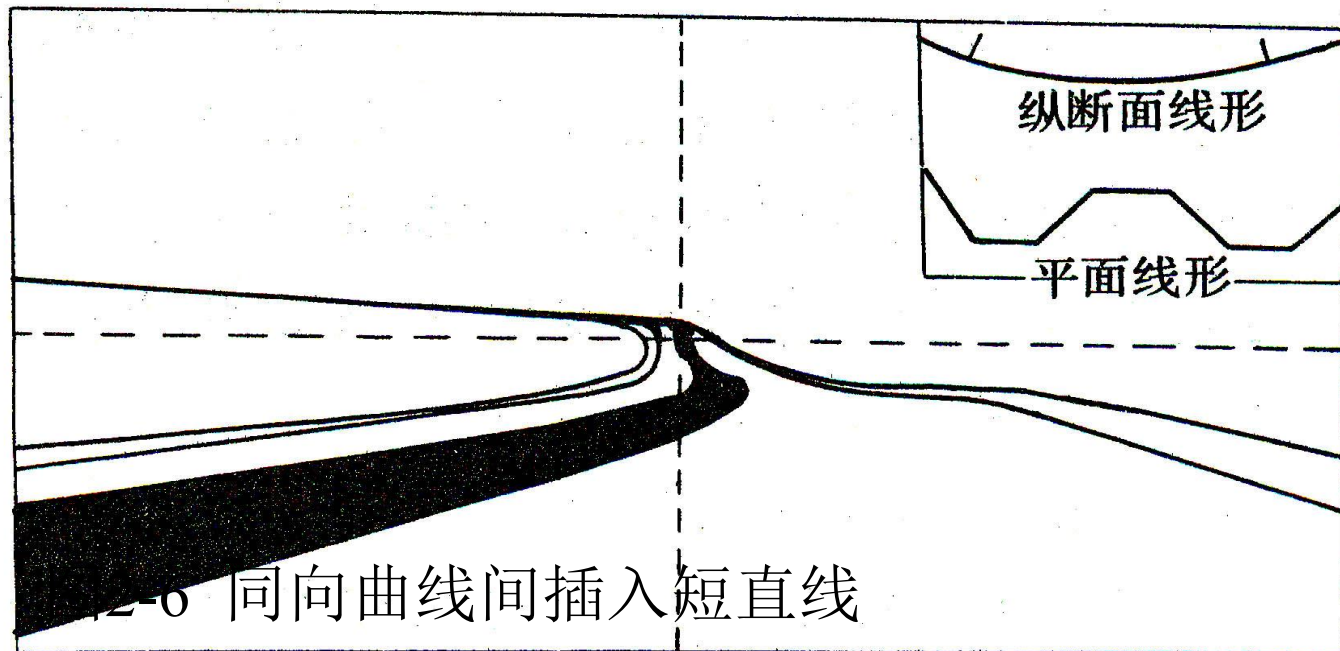
认不足



二、直线的运用

(四) 直线的最小长度

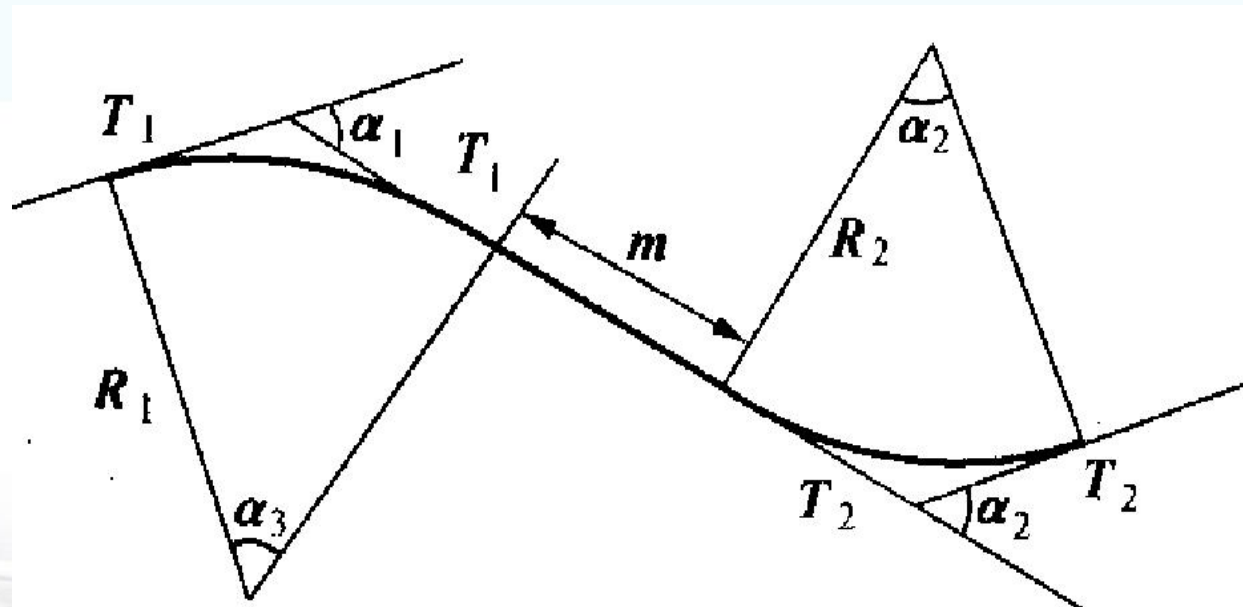
- 1. 同向曲线间的直线最小长度
- 《规范》：设计速度大于或等于60km/h时，同向曲线间的最短直线长度以不小于设计速度的6倍为宜（ $6V$ ）。





2. 反向曲线间的直线最小长度

为满足超高和加宽的过渡等，《规范》规定：设计速度大于或等于60km/h时，反向曲线间最小直线长度（以m计）以不小于设计速度（km/h）的2倍为宜（ $2V$ ）。



3. 设计速度小于或等于40km/h时，可参照上述规定执行。

第二章 平面设计

第一节 概述

第二节 直线

第三节 圆曲线

第四节 缓和曲线

第五节 平面形设计

第六节 行车视距

第七节 道路平面设计成果



第二节 圆曲线

- 一、圆曲线的特点与几何元素
 - (一) 圆曲线的特点
 - (二) 圆曲线的表达方式
 - (三) 圆曲线的几何元素
 - (四) 曲线主点里程桩号计算
- 二、圆曲线半径
 - (一) 圆曲线半径确定的理论依据——汽车行驶的横向稳定性
 - (二) 圆曲线半径理论最小值的计算
- 三、圆曲线的最大半径
- 四、圆曲线半径值的选用



一、圆曲线的特点与几何元素

(一) 圆曲线的特点

- 1、任一点的曲率半径 R =常数，曲率 $1/R$ =常数，故测设和计算简单。
- 2、任一点都不不断改变方向，比直线更能适应地形的变化，尤其是有不同半径的多个圆组成的复曲线、回头曲线等。
- 3、汽车在圆曲线上行驶受到离心力的作用，往往比直线上行驶多占用道路宽度。
- 4、汽车在小半径圆曲线内侧行驶时，视觉条件差。视线受到路堑或其它障碍物的影响较大。
- 5、可循性好、线形美观。

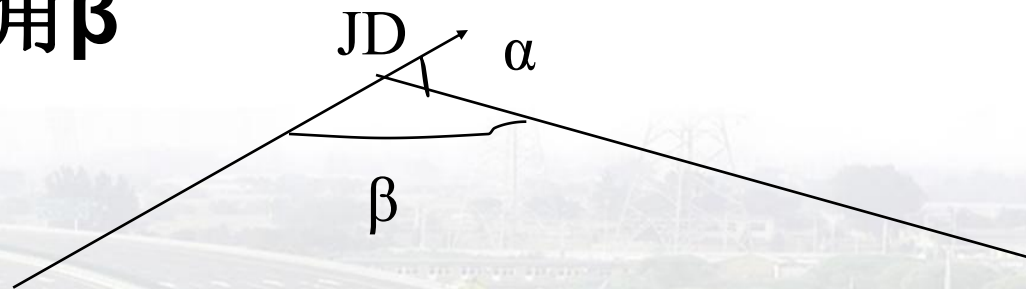


一、圆曲线的特点与几何元素

(二) 圆曲线的表达方式

- 以圆曲线半径 R 及转角 α 表示
- R 表示曲线的大小（值的大小后面专题讨论）
- α 表示转弯方向及急缓
- α 值可量、算
- 1、测量右角 β

计算 α



$$\beta = \text{后视} - \text{前视}$$

$$\alpha_z = \beta - 180$$

$$\alpha_y = 180 - \beta$$

2、用坐标计算 α

当已知相邻两JD的坐标时，以测量学知识可计算



一、圆曲线的特点与几何元素

(三) 圆曲线的几何元素

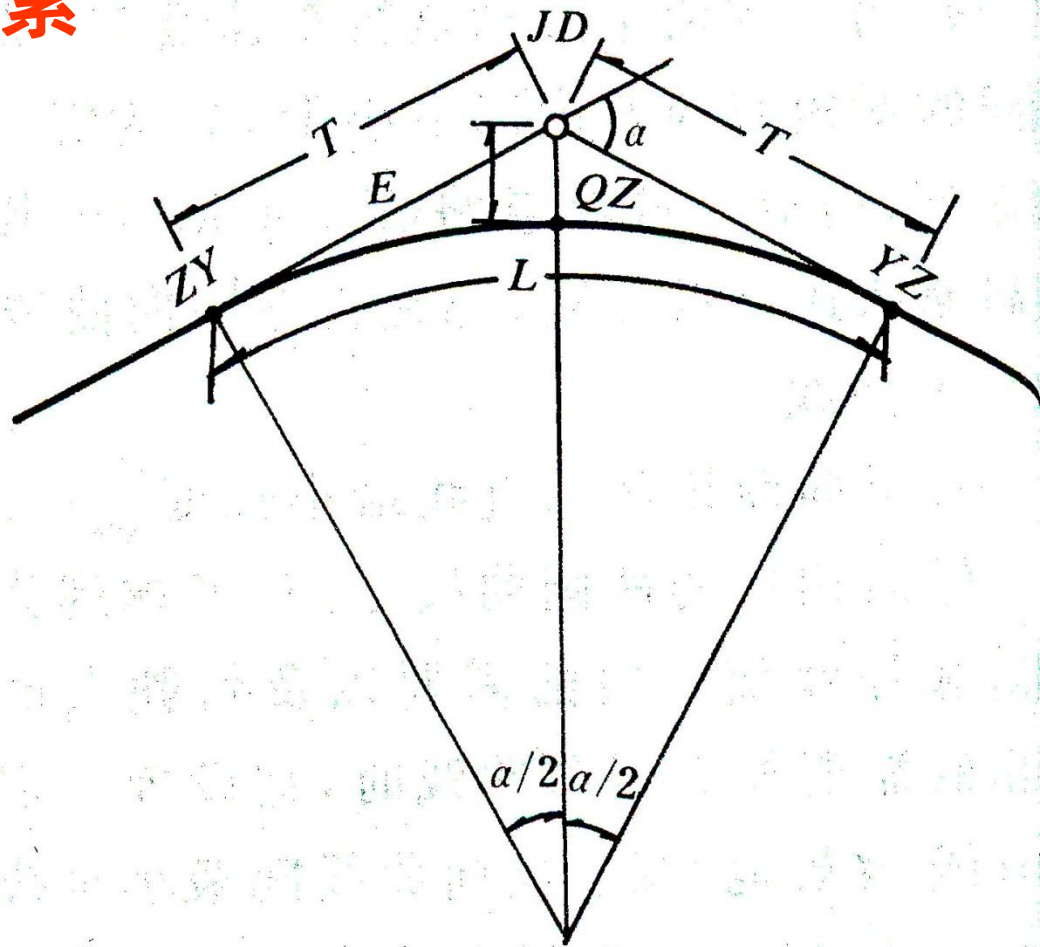
切线值: $T = R \tan \frac{\alpha}{2}$

曲线值: $L = \frac{\pi}{180} \alpha R$

外距值: $E = R(\sec \frac{\alpha}{2} - 1)$

切曲差: $J = 2T - L$

方程式:
$$\begin{cases} x = l - \frac{l^3}{6R^2} \\ y = \frac{l^2}{2R} - \frac{l^4}{24R^3} \end{cases}$$



一、圆曲线的特点与几何元素

■ (四) 曲线主点里程桩号计算:

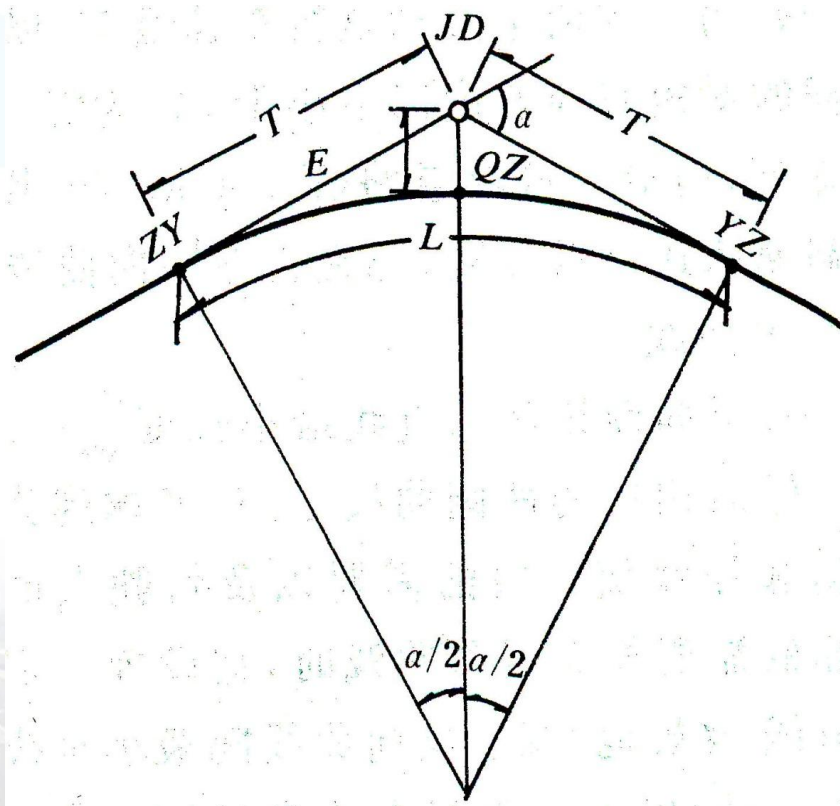
- 计算基点为交点, 记为 JD , 里程桩号为 $K \text{##} + \text{###.##}$,

$$ZY = JD - T$$

$$YZ = ZY + L$$

$$QZ = ZY - L/2$$

$$JD = QZ + J/2$$



第二节 圆曲线

- 一、圆曲线的特点与几何元素
 - (一) 圆曲线的特点
 - (二) 圆曲线的表达方式
 - (三) 圆曲线的几何元素
 - (四) 曲线主点里程桩号计算
- 二、圆曲线半径
 - (一) 圆曲线半径确定的理论依据——汽车行驶的横向稳定性
 - (二) 圆曲线半径理论最小值的计算
- 三、圆曲线的最大半径
- 四、圆曲线半径值的选用



第二节 圆曲线

二、圆曲线半径

(一) 圆曲线半径确定的理论依据——汽车行驶的横向稳定性

1、汽车曲线上行驶受到的附加力：离心力 F

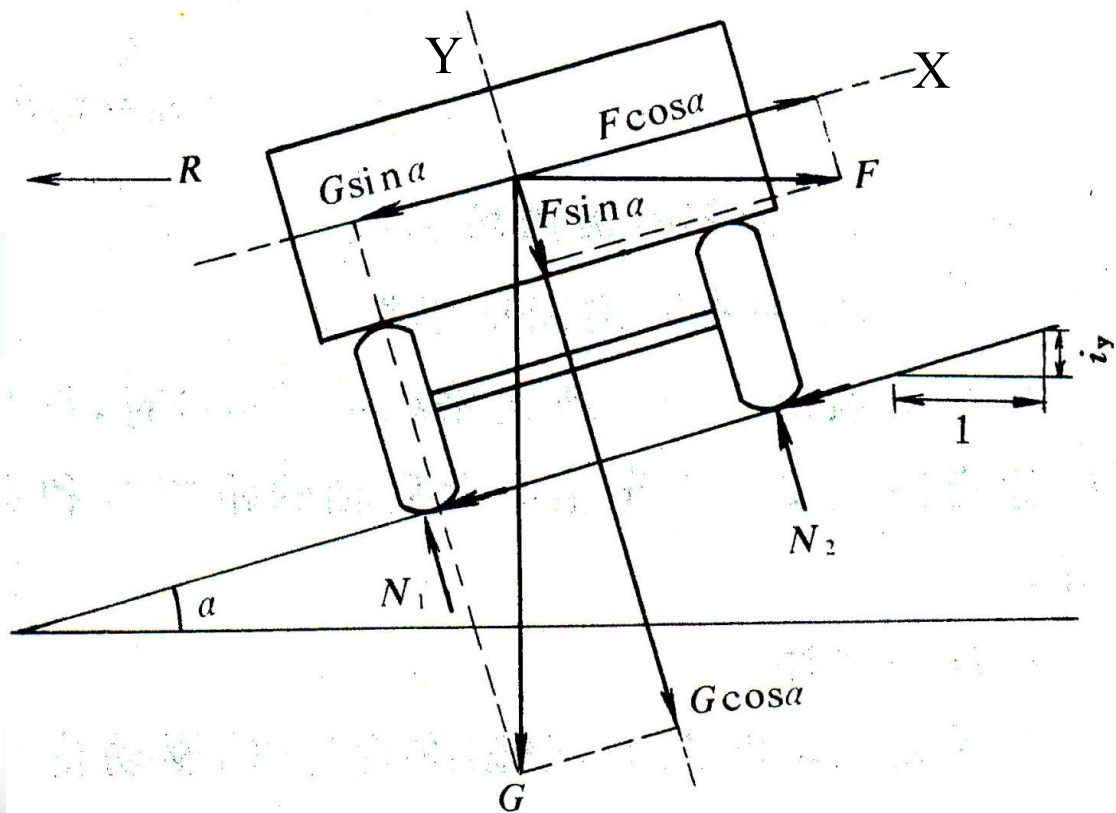


图 2-11 曲线上汽车的受力分析



- 在平曲线上行驶的汽车所受到的离心力为：

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

如上图。离心力作用于汽车的重心，方向背离圆心。

式中： G ——汽车所受重力(N)；

R ——圆曲线的半径(m)；

g ——重力加速度($9.81\text{m} / \text{s}^2$)；

v 、 V ——汽车的行驶速度，分别以(m / s)、(km / h)计。

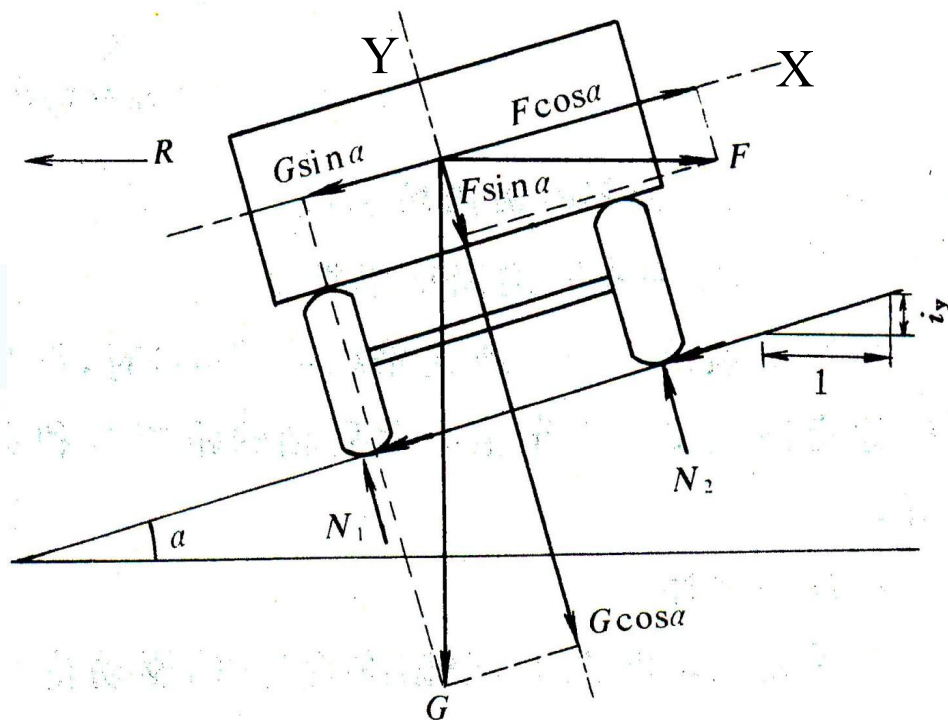
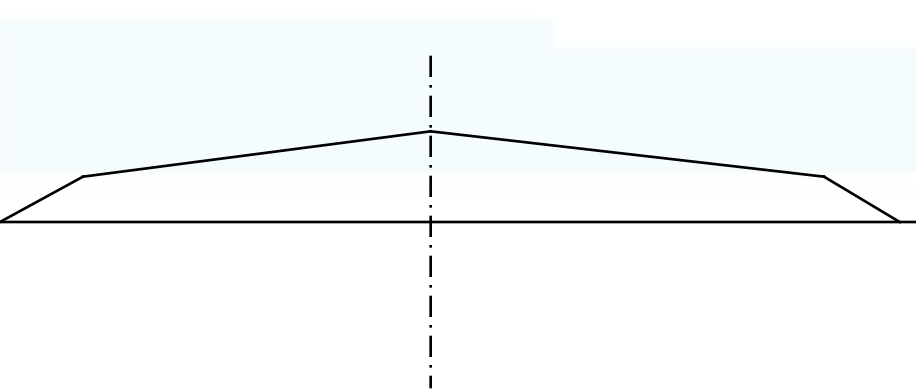
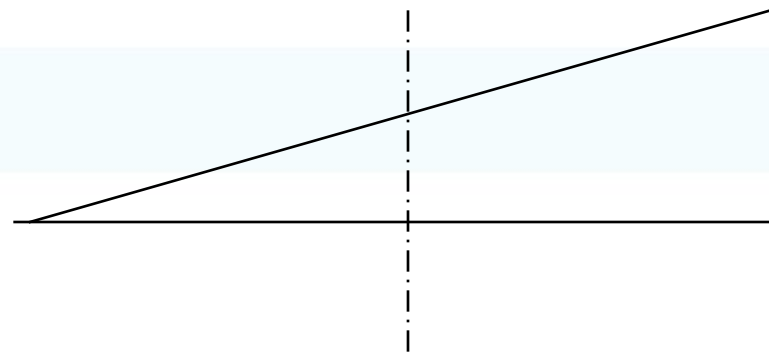


图 2-11 曲线上汽车的受力分析

• 2、抵消部分离心力的工程措施——超高



• 路拱——排水



超高——抵消部分离心力

直线段

圆曲线段??



• 3、汽车行驶中受到的横向力

- 沿着平行于路面的横向 x 和垂直于路面的竖向 y 对离心力 F 和汽车重力 G 进行分解，可得下式：

$$\text{横向力} \quad X = F \cos \alpha - G \sin \alpha$$

$$\text{竖向力} \quad Y = F \sin \alpha + G \cos \alpha$$

由于路面的横向倾角 α 一般很小， $\sin \alpha \approx \tan \alpha = i_y$ ， $\cos \alpha \approx 1$ ， i_y 称为横向超

高坡度(也称超高率)。因此可以得到横向力为：

$$X = F - G i_y = \frac{G v^2}{g R} - G i_y = G \left(\frac{v^2}{g R} - i_y \right)$$

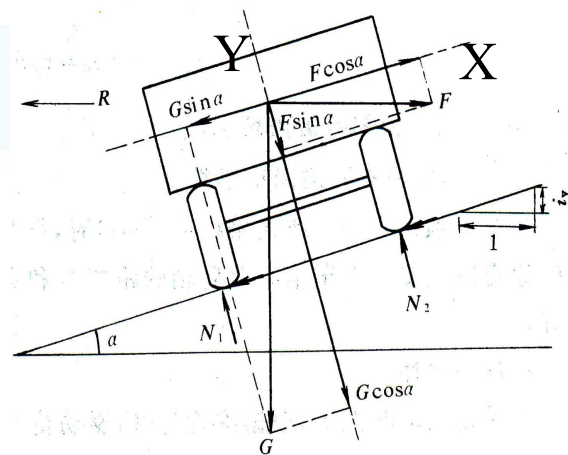


图 2-11 曲线上汽车的受力分析



- 在汽车行驶的过程中，横向力 X 是一个不稳定的因素，为了表示汽车所受横向力的程度，一般采用单位车重所受的横向力这个概念，也就是用横向力系数来衡量汽车所受横向力的程度，即：

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

- 将车速(m / s)变成(km / h)，可以得到：

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

- 此式表达了横向力系数和车速、平曲线半径以及超高率之间的关系。从中可以看到，横向力系数越大，则汽车行驶的稳定性的越差。



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

对前式变化，则有：

$$R = \frac{V^2}{127(\mu + i_y)} \quad V = \sqrt{127R(\mu + i_y)}$$

式中： V ——设计速度，（km/h）；

μ ——横向力系数；

i_y ——超高横坡度。

从圆曲线半径计算可知，当设计车速 V 一定时，影响圆曲线半径的因素有两个，即横向力系数 μ 和超高横坡度 i_y 。



4. 横向稳定性分析

汽车在离心力的作用下有可能产生如下两种失稳：

横向倾覆、横向滑移

1) **横向倾覆**：汽车在平曲线上行驶时，由于横向力的作用，使汽车绕外侧车轮触地点产生向外横向倾覆。

临界状态：汽车内侧车轮支反力 N_1 为0。

倾覆力矩等于或大于稳定力矩。

产生条件为横向力 X 产生的倾覆力矩

大于车重所产生的稳定力矩。

• 倾覆力矩： Xh_g

• 稳定力矩： $Y \frac{b}{2} = (Fi_y + G) \frac{b}{2} \approx G \frac{b}{2}$

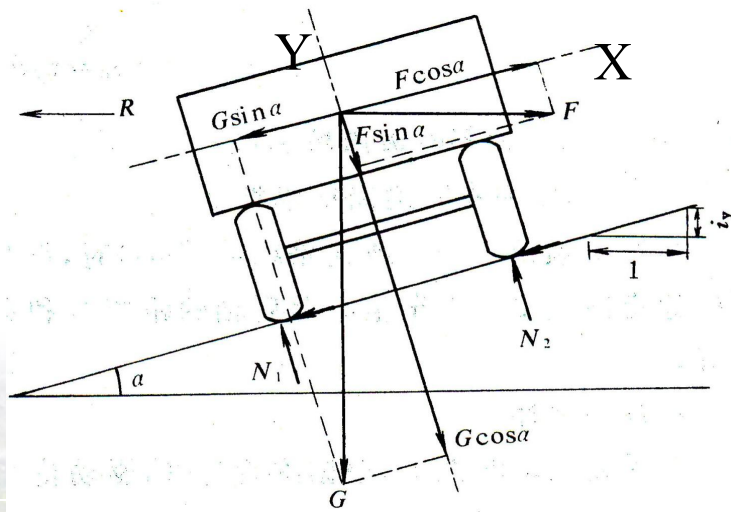


图 2-11 曲线上汽车的受力分析



稳定、平衡条件

$$Xh_g \leq G \frac{b}{2} \quad \text{两边分别除以 } G, \text{ 得: } \mu = \frac{X}{G} \leq \frac{b}{2h_g}$$

• 代入前式

$$R = \frac{V^2}{127(\mu + i_y)}$$

有:

$$R \geq \frac{V^2}{127\left(\frac{b}{2h_g} + i_y\right)} \quad V = \sqrt{127R\left(\frac{b}{2h_g} + i_y\right)}$$



$$V = \sqrt{127R(b/2h_g + i_y)}$$

$$R \geq \frac{V^2}{127(\frac{b}{2h_g} + i_y)}$$

•说明:

•1) $\mu = \frac{X}{G} \leq \frac{b}{2h_g}$, R 为定值时, 汽车在曲线上行驶的最大速度。

•2) $\mu = \frac{X}{G} \leq \frac{b}{2h_g}$, v 为定值时, 汽车稳定行驶曲线的最小半径。

•3) 若 $V > V_{max}$, $R < R_{min}$ 则汽车将倾覆。



• 2) 横向滑移

- 横向滑移：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。
- 滑移条件：横向力大于轮胎和路面之间的横向附着力。

极限平衡条件： $X = Y\varphi_h = (F \sin \alpha + G \cos \alpha)\varphi_h \approx G\varphi_h$

得：
$$\mu = \frac{X}{G} = \varphi_h$$

代如前式
$$R = \frac{V^2}{127(\mu + i_y)}$$

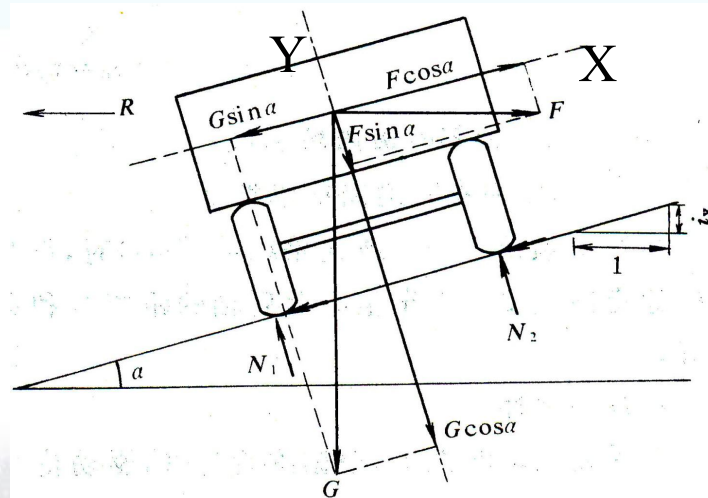


图 2-11 曲线上汽车的受力分析

有：
$$R \geq \frac{V^2}{127(\varphi_h + i_y)}$$

或
$$V = \sqrt{127R(\varphi_h + i_y)}$$



■ 说明:
$$R \geq \frac{V^2}{127(\phi_h + i_y)} \quad \text{或} \quad V = \sqrt{127R(\phi_h + i_y)}$$

- 1) 当 $\mu = \phi_h$ 、 R 为定值时, 汽车在曲线上行驶的最大速度
- 2) 当 $\mu = \phi_h$ 、 V 为定值时, 汽车稳定行驶的曲线最小半径。
- 若 $V > V_{max}$, $R < R_{min}$ 则汽车将倾覆。



3) 横向稳定性的保证

• 由 $R_{\min} \geq \frac{V^2}{127(\frac{b}{2h_g} + i_y)}$ 或 $R_{\min} \geq \frac{V^2}{127(\varphi_h + i_y)}$

• 倾覆与滑移何者先出现取决于 $\mu = \frac{X}{G} = \varphi_h$ $\mu = \frac{X}{G} \leq \frac{b}{2h_g}$

若: $\varphi_h < \frac{b}{2h_g}$ 则滑移先于倾覆 ✓

若: $\varphi_h > \frac{b}{2h_g}$ 则滑移先于倾覆



- 对于现代的汽车，轮距宽，重心低。

一般：
$$\frac{b}{2h_g} \approx 1$$

- 而摩擦系数 φ_h ： $\varphi_h < 0.5$

即：
$$\varphi_h < \frac{b}{2h_g}$$
 滑移先于倾覆。

所以在道路设计中若能保障汽车不滑移，则同时就保证了倾覆稳定性。



• 二、圆曲线半径

(二) 圆曲线半径最小值的计算

$$R = \frac{V^2}{127(\mu + i_y)}$$

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(\mu_{\max} + i_{y\max})}$$



(二) 圆曲线半径最小值的计算

- 1. 横向力系数 μ
- (1) 危及行车安全
- 汽车能在弯道上行驶的基本前提是轮胎不在路面上滑移，这就要求横向力系数 μ 低于轮胎与路面之间所能提供的横向摩阻系数 φ_h ：
- $$\mu \leq \varphi_h$$
- φ_h 与车速、路面种类及状态、轮胎状态等有关，一般在干燥路面上约为0.4~0.8，在潮湿的黑色路面上汽车高速行驶时，降低到0.25~0.40。路面结冰和积雪时，降到0.2以下，在光滑的冰面上可降到0.06（不加防滑链）。

(2) 增加驾驶操纵的困难

弯道上行驶的汽车，在横向力作用下，弹性的轮胎会产生横向变形，使轮胎的中间平面与轮迹前进方向形成一个横向偏移角。其存在增加了驾驶困难。当 $\delta > 5^\circ$ 时，一般司机就难于保障方向上的稳定性。

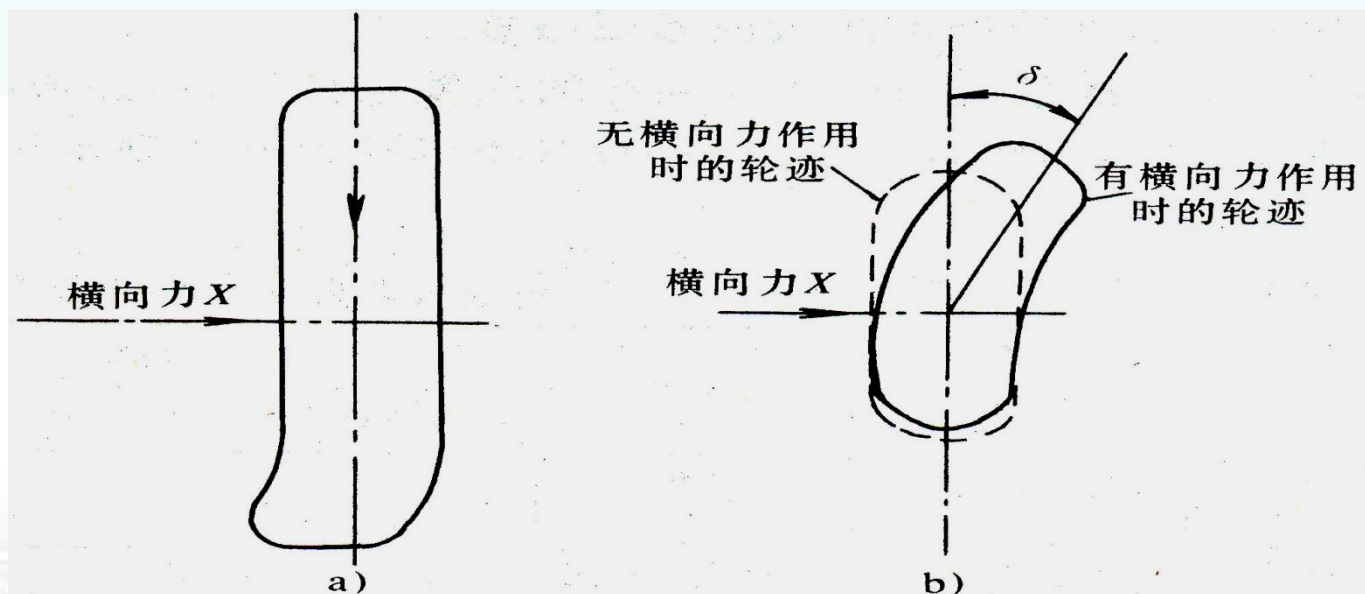
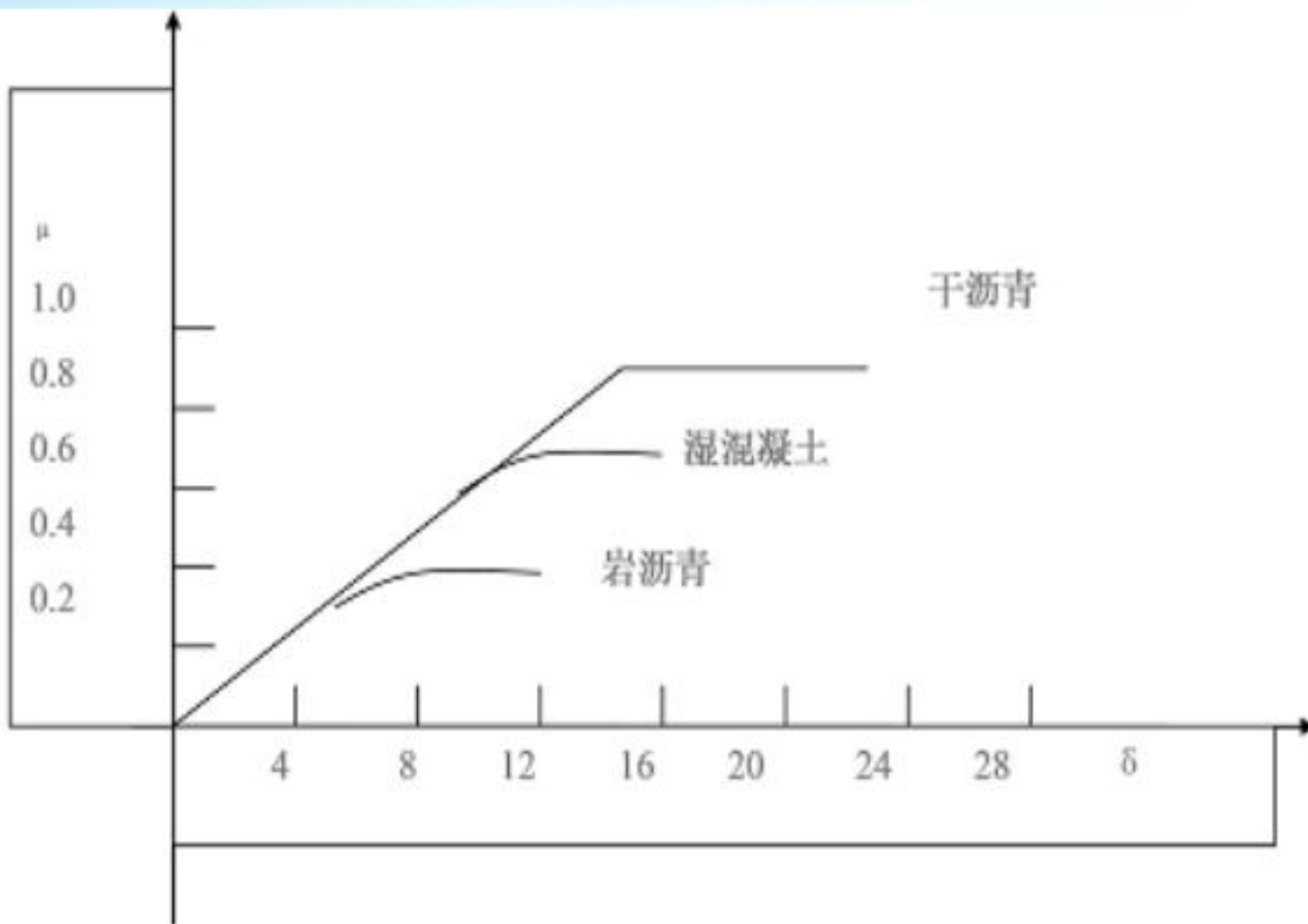


图2-15 汽车轮胎的横向偏移角
a) 轮胎横向变形 b) 轮迹的偏移角





$$\mu \leq 0.25$$



(3) 增加燃料消耗和轮胎磨损

μ 使车辆的燃油消耗和轮胎磨损增加。

横向力系数 μ	燃料消耗 (%)	轮胎磨损 (%)
0	100	100
0.05	105	160
0.10	110	220
0.15	115	300
0.20	120	390



(4) 旅行不舒适

- μ 值的增大，乘车舒适感恶化。
 - 当 $\mu < 0.10$ 时，不感到有曲线存在，很平稳；
 - 当 $\mu = 0.15$ 时，稍感到有曲线存在，尚平稳；
 - 当 $\mu = 0.20$ 时，已感到有曲线存在，稍感不稳定；
 - 当 $\mu = 0.35$ 时，感到有曲线存在，不稳定；
 - 当 $\mu = 0.40$ 时，非常不稳定，有倾车的危险感。



μ 的舒适界限，由0.11到0.16随行车速度而变化，设计中
对高、低速路可取不同的数值。

美国AASHTO认为 $v \leq 70 \text{ km/h}$ 时 $\mu = 0.16$ ， $v = 80 \text{ km/h}$ 时，
 $\mu = 0.12$ 是舒适感的界限。

综合考虑各种因素公路 μ 值规定如下：

设计速度 km/h	120	100	80	60	40	30	20
横向力系数 μ	0.10	0.12	0.13	0.15	0.15	0.16	0.17

综合考虑各种因素城市道路 μ 值规定如下：

设计速度 km/h	100	80	60	50	40	30	20
横向力系数 μ	0.14	0.14	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16



(二) 圆曲线半径最小值的计算

■ 2. 关于最大超高 i_y :

■ 1) 气候的影响

■ 既要照顾到快车又要兼顾慢车及停车的情况即 $V=0$ 。由:

$$R = \frac{V^2}{127(\mu + i_y)} \quad \text{有: } i_y + \mu = 0 \quad i_y = -\mu$$

■ 即: $i_{y(\max)} \leq \varphi_w$

式中: φ_w ——一年中气候恶劣季节路面的横向摩阻系数

路面干燥时: 0.4~0.8

路面潮湿时: 0.25~0.40

路面结冰和积雪时: 0.2~0.3或更小。

2) 安全感上的要求

- a、过大有心理压力。
- b、对于山区及非机动车较多的道路都要求要小些。
- 一般 $i_y \geq 0.1$ (10%)
- 《标准》规定：公路最大超高值

公路等级	高速、一级公路	二、三、四级公路
一般地区	10%或8%	8%
积雪寒冷地区	6%	

城市道路最大超高值

设计速度 km/h	100, 80	60、50	40、30、20
最大超高率	6%	4%	2%

(二) 圆曲线半径最小值的计算

3、最小半径值的计算

《标准》中规定的最小平曲线半径是汽车在曲线部分能安全而又顺适的行驶的条件而确定的。

- 最小平曲线半径的实质是汽车行驶在公路曲线部分时，所产生的离心力等横向力不超过轮胎与路面的摩阻力所允许的界限，并使乘车人感觉良好的曲线半径值。



1) 极限最小半径

- 是各级公路按设计速度行驶的车辆能保证安全行车的最小允许半径。

$$R = \frac{V^2}{127(\mu + i_y)}$$

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(\mu_{\max} + i_{y\max})}$$



公路圆曲线极限最小半径值

设计速度 V (km/h)		120	100	80	60	40	30	20
横向力系数 μ_{max}		0.10	0.12	0.13	0.15	0.15	0.16	0.17
最大 超高 i_{max}	10 (%)	570	360	220	115	50	30	15
	8 (%)	650	400	250	125	60	30	15
	6 (%)	710	440	270	135	60	35	15

城市道路圆曲线极限最小半径值

设计速度 (km/h)		100	80	60	50	40	30	20
极限 值	横向力系数 μ	0.14	0.14	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16
	路面横坡度 i_h	0.06	0.06	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02
	计算值	394	252	149	98	70	39	17
	R 采用值	400	250	150	100	70	40	20

2) 一般最小半径

(1) 一般最小半径理论计算值

一般最小半径是指各级公路按设计速度行驶的车辆能保证安全、舒适行车的最小允许半径。

$$R = \frac{V^2}{127(\mu + i_y)}$$



公路圆曲线最小半径“一般值”

设计速度 (km/h)	120	100	80	60	40	30	20
横向力系数 μ	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05
超高值 i_y	0.06	0.06	0.07	0.08	0.07	0.06	0.06
一般最小半径 (m)	1000	700	400	200	100	65	30

城市道路圆曲线最小半径“一般值”

设计速度 (km/h)		100	80	60	50	40	30	20
一般值	横向力系数 μ	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
	路面横坡度 i_h	0.06	0.06	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02
	计算值	620	397	265	184	145	81	36
	R采用值	650	400	300	200	150	85	40

(2) 一般最小半径经验值

- 一般最小半径从国内调研资料看，行车安全及舒适感基本能得到保证。但不少省区认为《标准》规定的一般最小半径对应的超高值偏大，最小半径不适宜作为一般控制条件，一般最小半径的**推荐值**宜按2%超高对应半径控制比较符合实际如下表。

公路一般最小半径推荐值

公路等级	高速、一级公路				二、三、四级公路				
设计速度km/h	120	100	80	60	80	60	40	30	20
半径值 $R(m)$	3200	2200	1500	900	1500	900	450	270	140

- 圆曲线半径较小时，车辆行驶速度一般会有所降低。但对于陡的下坡路段，往往由于汽车的动量关系，容易导致车辆加速行驶，造成圆曲线上车速增高，影响行车安全。因此，公路平面必须设置小于一般最小半径的小半径曲线时，应根据纵坡设置情况适当加大曲线半径。

3) 不设超高的最小半径

- 圆曲线半径较大时，离心力就很小，可以不设置超高，而允许设置与直线段相同的双向横坡的路拱形式。

$$\text{离心力 } F=mv^2/R$$

- 为行车舒适，必须把横向力系数控制到最小值。

$$R = \frac{V^2}{127(\mu + i_y)}$$

路拱横坡度 $\leq 2\%$ 时，当路拱横坡为 1.5% 时， μ 值采用 0.035 ；当路拱横坡为 2.0% 时， μ 值采用 0.040 ；路拱横坡度 $> 2\%$ 时，路拱横坡度为 2.5% 时， μ 值采用 0.040 ；当路拱横坡为 3.0% 时， μ 值采用 0.045



公路不设超高圆曲线最小半径

设计速度 (km/h)		120	100	80	60	40	30	20
横向力系数 μ	$i_h=1.5\%$	0.035						
	$i_h=2.0\%$	0.040						
	$i_h=2.5\%$	0.040						
	$i_h=3.0\%$	0.045						
路拱 $\leq 2.0\%$		5500	4000	2500	1500	600	350	150
路拱 $> 2.0\%$		7500	5250	3350	1900	800	450	200

城市道路不设超高圆曲线最小半径

设计速度 (km/h)	100	80	60	50	40	30	20
横向力系数 μ	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
路面横坡度 i_h	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
计算值	1675	1072	603	419	268	151	67
R 采用值	1600	1000	600	400	300	150	70

第二节 圆曲线

- 一、圆曲线的特点与几何元素
 - (一) 圆曲线的特点
 - (二) 圆曲线的表达方式
 - (三) 圆曲线的几何元素
 - (四) 曲线主点里程桩号计算
- 二、圆曲线半径
 - (一) 圆曲线半径确定的理论依据——汽车行驶的横向稳定性
 - (二) 圆曲线半径理论最小值的计算
- 三、圆曲线的最大半径
- 四、圆曲线半径理论最小值的选用

三、圆曲线的最大半径

- 当圆曲线的半径大到一定程度时，其几何性质和行车条件与直线无太大区别，容易给驾驶员造成判断上的错误反而带来不良后果，同时也无谓增加计算和测量上的麻烦。所以《规范》规定圆曲线最大半径不宜超过**10000m**。



第二节 圆曲线

- 一、圆曲线的特点与几何元素
 - (一) 圆曲线的特点
 - (二) 圆曲线的表达方式
 - (三) 圆曲线的几何元素
 - (四) 曲线主点里程桩号计算
- 二、圆曲线半径
 - (一) 圆曲线半径确定的理论依据——汽车行驶的横向稳定性
 - (二) 圆曲线半径理论最小值的计算
- 三、圆曲线的最大半径
- 四、圆曲线半径理论最小值的选用



四、圆曲线半径理论最小值的选用

公路平曲线半径标准规定值

设计速度 (km/h)		120	100	80	60	40	30	20	
圆曲线半径值	极限最小值 (m)	650	400	250	125	60	30	15	
	一般最小值 (m)	理论计算值	1000	700	400	200	100	65	30
		经验推荐值	3200	2200	1500	900	450	270	140
	不设超高最小值(m)	路拱 $\leq 2.0\%$	5500	4000	2500	1500	600	350	150
		路拱 $> 2.0\%$	7500	5250	3350	1900	800	450	200
最大值 (m)		10000							

道路平面设计时，应根据沿线地形、地物等条件，选定半径既要满足技术要求，又要注意经济适用；既不能盲目采用高标准（大半径）而过分增加工程量，也不能仅考虑眼前通行要求而采用低标准。要合理选择。

城市道路平曲线半径标准规定值

设计速度 (km/h)		100	80	60	50	40	30	20	
不设超高最小半径 (m)	横向力系数 μ	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	
	路面横坡度 i_h	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	
	计算值	1675	1072	603	419	268	151	67	
	R采用值	1600	1000	600	400	300	150	70	
设超高最小半径 (m)	一般值	横向力系数 μ	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
		路面横坡度 i_h	0.06	0.06	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02
		计算值	620	397	265	184	145	81	36
		R采用值	650	400	300	200	150	85	40
	极限值	横向力系数 μ	0.14	0.14	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16
		路面横坡度 i_h	0.06	0.06	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02
		计算值	394	252	149	98	70	39	17
		R采用值	400	250	150	100	70	40	20

• 实际设计中圆曲线半径的选用原则

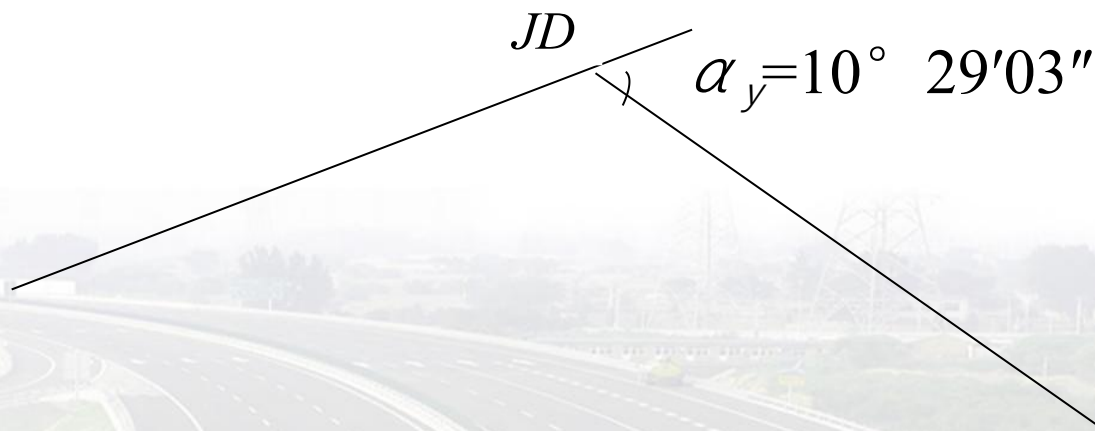
- 在公路设计中，现场地形、地物复杂多变，圆曲线半径的选取受多种因素的制约，一般按下列原则选用：
 - 1、在适应地形的情况下应选用较大的圆曲线半径。
 - 2、在确定圆曲线半径时，应注意：
 - (1) 一般情况下宜采用超高为2%~4%的圆曲线半径。
 - (2) 地形条件受限制时，应采用大于或接近于圆曲线最小半径的“一般值”，或推荐值。
 - (3) 地形条件特殊困难而不得已时，方可采用圆曲线最小半径的“极限值”。
 - (4) 应同前后线形要素相协调，使之构成连续、均衡的曲线线形。
 - (5) 应同纵面线形相配合，必须避免小半径圆曲线与陡坡相重合。

作业

- 2-1 如果弯道的半径很小，路面横坡 i_y 不适当，汽车的论距 b 较窄，装载重心高度 h_g 又过大，车速 V 很高，则汽车有倾覆的可能性。试分析汽车在开始倾覆是上述诸因素的关系。
- 设 $b=1.7\text{m}$ ， $h_g=1.8\text{m}$ ， $R=50\text{m}$ ， $i_y=-0.03$ （反超高），求倾覆时的临界速度 V 。
- 2-2 在气候良好，交通量不大时，部分汽车司机会采用较设计速度更高的速度，得别是在低速道路上。据测一些艺高胆大的司机采用的 μ 可大至0.3。问在半径为50m，超高率为0.06的弯道上，这类汽车的时速可高至若干公里？
- 2-3 在冰雪覆盖的光滑路面上，一般司机会降低车速，以保持转弯时 μ 不超出0.07，以策安全。问在半径为50m，超高率为0.06的弯道上，这类汽车的时速可高至若干公里？



- 2-4 某道路交点布置如图，已知交点里程桩号为K3+118.35， $\alpha_y=10^\circ 29'03''$ 。现要求外距E控制在0.84m，试确定平曲线半径（不设缓和曲线），且推算主点桩里程。



第二章 平面设计

第一节 概述

第二节 直线

第三节 圆曲线

第四节 缓和曲线

第五节 平面形设计

第六节 行车视距

第七节 道路平面设计成果



第四节 缓和曲线

一、缓和曲线与汽车行驶轨迹

- (一) 缓和曲线
- (二) 回旋线作缓和曲线

二、缓和曲线的长度及参数

- (一) 缓和曲线的最小长度:
- (二) 缓和曲线参数A值的确定
- (三) 缓和曲线的省略

三、最小曲线长的控制

- (一) 控制理由
- (二) 曲线定义
- (三) 控制指标



一、缓和曲线与汽车行驶轨迹

(一) 缓和曲线

1、引自 铁路

2、定义 完成过渡行驶的曲线

3、作用

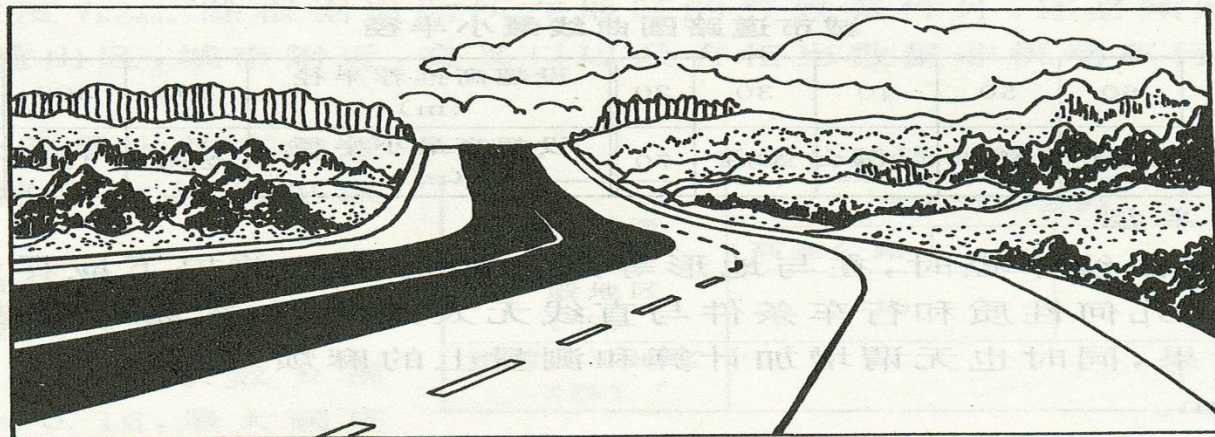
(1) 离心加速度逐渐变化，旅客感觉舒适

(2) 超高及加宽过渡

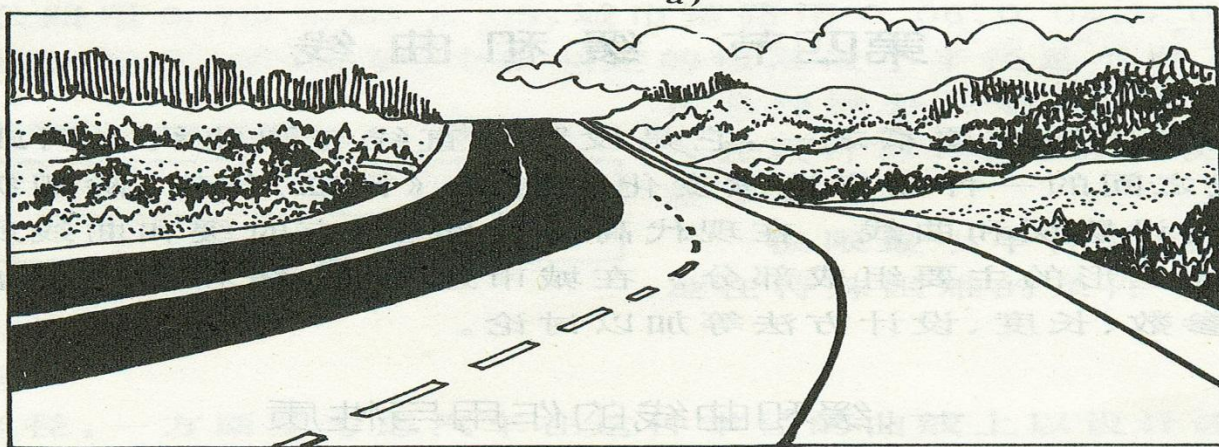
(3) 曲率连续变化，便于车辆行驶

(4) 与圆曲线配合得当，增加线形美观





a)



b)

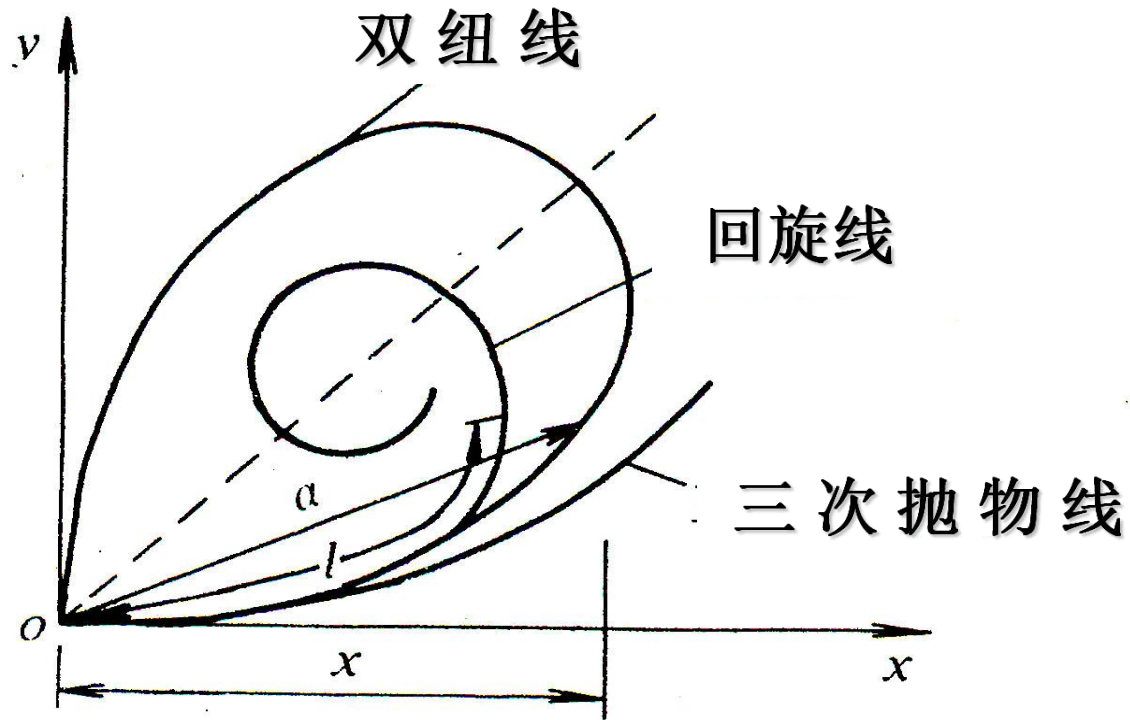
图2-9 直线与曲线连接效果图

a) 不设缓和曲线感觉曲线扭曲 b) 设置缓和曲线后感觉平顺美观



4、缓和曲线的形式

1) 回旋线



2-10 缓和曲线形式



• (1) 回旋线方程

回旋线是曲线长度成比例变化的曲线。这一性质与汽车由直线进入圆曲线（或相反）的轨迹相符。故我国《规范》以回旋线作为缓和曲线，其基本公式为：

- $$r \times l = A^2 \quad (r \times l = C)$$

- 式中： r ——回旋线上某点的曲率半径（m）；

- l ——回旋线上某点到原点的曲线长（m）；

- A ——回旋线的参数。 A 表征回旋线曲率变化的缓急程度。



(2) 回旋线的相似性

- 回旋线的曲率是连续变化的，而且其曲率的变化与曲线长度的变化呈线性关系。
- 可以认为回旋线的形状只有一种，只需改变参数 A 就能得到不同大小的回旋曲线。
- A 相当于回旋线的放大系数，回旋线的这种相似性对于简化其几何要素的计算和编制曲线表很有用处。
- $A=1$ 的回旋线称为单位回旋线。



2) 三次抛物线

- 将 $rl=C$ 中的弧长 l 用其在横轴上的投影 x 代替，则得到三次抛物线的方程式：

$$r = \frac{C}{x}$$

式中： $C=RL_s$

3) 双纽线

将 $rl=C$ 的弧长用曲线弦长来代替，则得双纽线方程：

$$r = \frac{C}{a}$$

双纽线的极角为 45° 时，曲线半径最小。此后半径增大至原点，全程转角达到 270° 。可用于回头曲线、立交匝道等转角较大、半径较小处



4) 回旋曲线、三次抛物线和双纽线线形比较：

- 回旋曲线、三次抛物线和双纽线在极角较小（ $5^{\circ} \sim 6^{\circ}$ ）时，几乎没有差别。
- 随着极角的增加，三次抛物线的长度比双纽线的长度增加的较快，而双纽线的长度又比回旋线的长度增加得快些。
- 回旋线的半径减小得最快，而三次抛物线则减小的最慢。从保证汽车平顺过渡的角度看，三种曲线都可以作为缓和曲线。
- 此外，也有使用 n 次（ $n \geq 3$ ）抛物线、正弦形曲线、多圆弧曲线作为缓和曲线的。但世界各国使用回旋曲线居多，我国《标准》推荐的缓和曲线也是回旋线。



第四节 缓和曲线

一、缓和曲线与汽车行驶轨迹

(一) 缓和曲线

(二) 回旋线作缓和曲线

二、缓和曲线的长度及参数

(一) 缓和曲线的最小长度:

(二) 缓和曲线参数A值的确定

(三) 缓和曲线的省略

三、最小曲线长的控制

(一) 控制理由

(二) 曲线定义

(三) 控制指标



第四节 缓和曲线

- 一、缓和曲线与汽车行驶轨迹
- （一）缓和曲线
- （二）回旋线作缓和曲线



(二) 回旋线作缓和曲线

1、汽车行驶轨迹

- 考察汽车由直线进入圆曲线的行驶轨迹，假定汽车等速行驶，司机匀速转动方向盘时，当方向盘转动角度为 φ 时，前轮相应转动的角速度为 ω ，它们之间的关系为：

- $\omega = d\varphi/dt$

- 行驶轨迹曲线的形状取决于 ω 的变化速率。

- 又 $\varphi = d/r$ 则： $d\varphi = d/r$

- 又 $V = dl/dt$ 则： $dt = dl/v$

- 所以： $\omega = vd/dr dl$

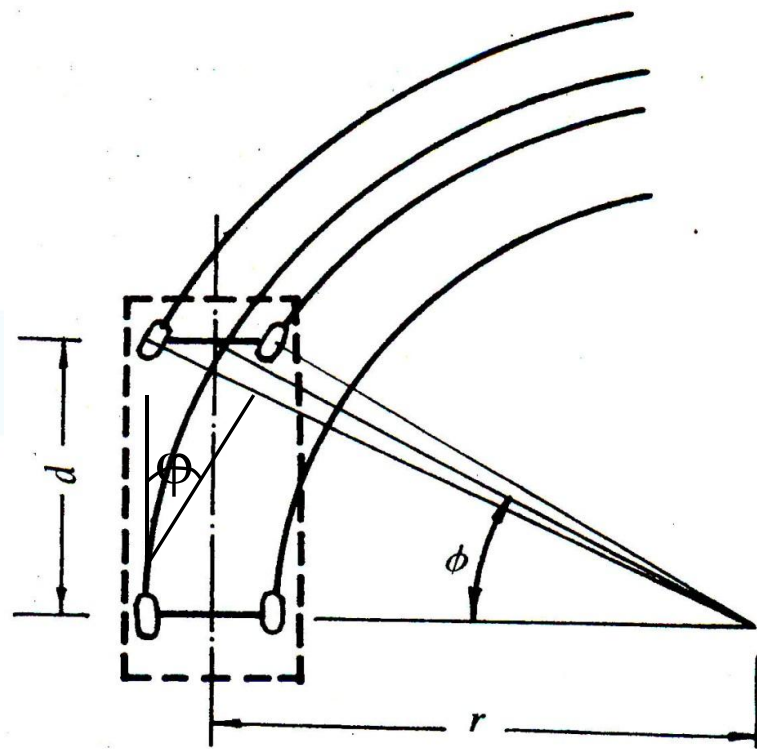


图2-11 汽车的转弯行驶

$$\omega = d\varphi/dt = vd/drdl \quad (v = dl/dt \quad \varphi = d/r \text{ 即 } d\varphi = d/dr)$$

设 φ : 从 $0 \sim \varphi$ 均匀变化, 即 $\omega = d\varphi/dt = \text{常数}$

则有: $1/drdl = c$ 即: $rl = C$

或如下推演:

汽车前轮的转向角为 φ

- φ 是在 t 时间后方向盘转动的角度, $\varphi = \omega t$;
- 轨迹曲率半径:

$$r = \frac{d}{\tan \varphi}$$

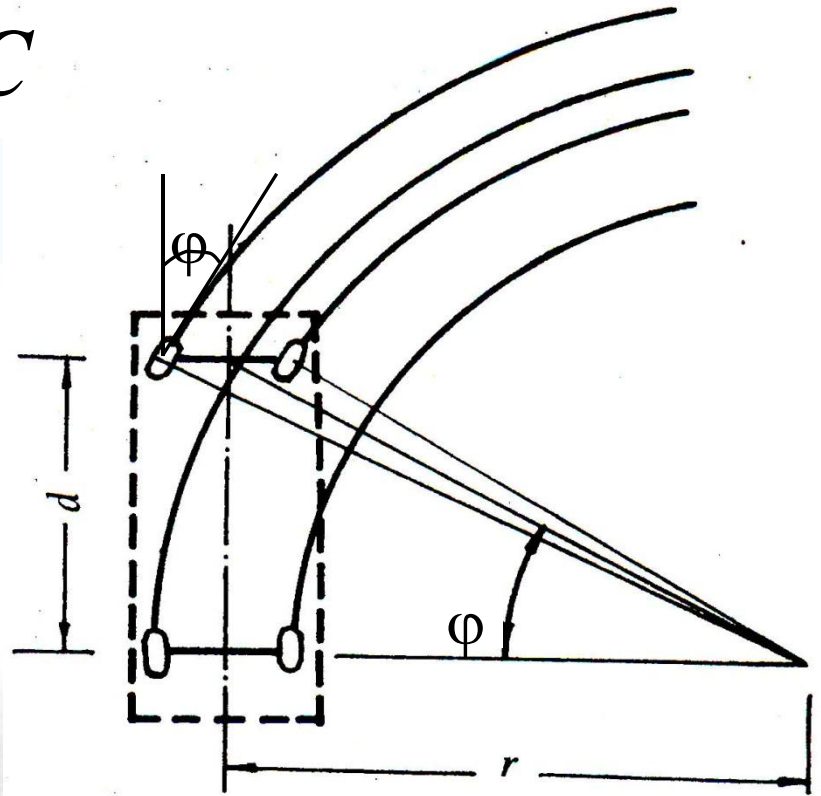


图2-11 汽车的转弯行驶



由于 φ 很小，可近似地认为：
$$r = \frac{d}{\operatorname{tg} \varphi} \approx \frac{d}{\varphi} = \frac{d}{\omega t}$$

■汽车以 v (m / s) 等速行驶，经时间 t 以后，其行驶距离（弧长）为 l ：
$$l=vt \quad (\text{m})$$

$$t = \frac{d}{\omega r} \qquad l = \frac{vd}{\omega r} = \frac{vd}{\omega} \cdot \frac{1}{r}$$

$$\text{令 } C = \frac{vd}{\omega} \qquad \text{则 } l = \frac{C}{r} \quad \text{或} \quad rl = C$$

■汽车匀速从直线进入圆曲线（或相反）其行驶轨迹的弧长与曲线的曲率半径之乘积为一常数，这一性质与数学上的回旋线正好相符。

2、回旋线的参数值A的应用范围： $rl=C(A^2)$

- 缓和曲线起点：回旋线的起点， $l=0$ ， $r=\infty$ ；
- 缓和曲线终点： $l=L_s$ ， $r=R$ ，
- 则 $RL_s=C(A^2)$ ，即回旋线的参数值为： $RL_s=C$ 或

$$A = \sqrt{RL_s}$$

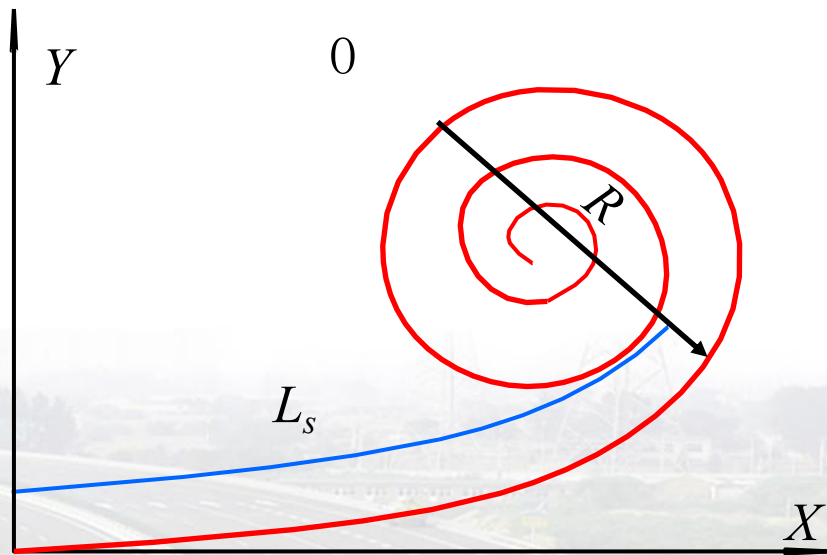


图2-12 螺旋线



3、用回旋线作为缓和曲线存在的问题

- 汽车行驶轨迹有三特点，即轨迹曲线是连续的；曲线的曲率是连续的；曲率的变化率是连续的。
- 用回旋线作为缓和曲线，曲率的变化率是不连续的。

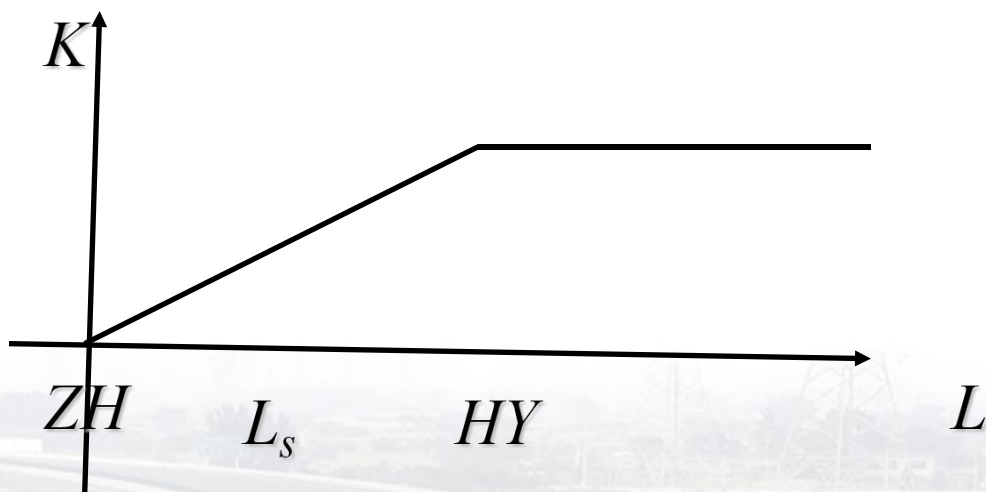


图2-13 曲线的曲率图



4、回旋线的数学表达式：

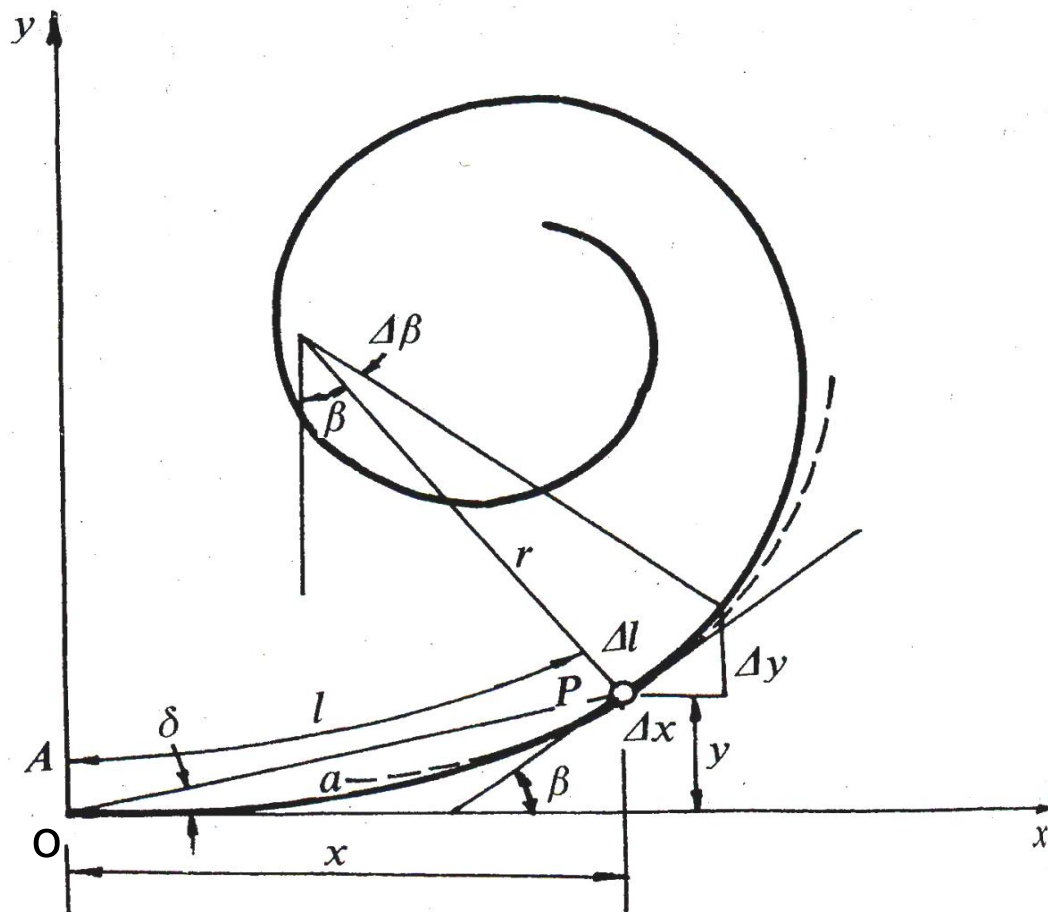
- $dl = r \cdot d\beta$
- $dx = dl \cdot \cos\beta$
- $dy = dl \cdot \sin\beta$

由微分方程推导回旋线的直角坐标方程：

以 $rl=A^2$ 代入得：

$$dl = \frac{A^2}{l} \cdot d\beta$$

$$\text{或 } l \cdot dl = A^2 \cdot d\beta$$



2-14 回旋线起点切线

- 当 $l=0$ 时, $\beta=0$ 。
- 对 $l \cdot dl = A^2 \cdot d\beta$ 积分得:

$$\frac{l^2}{2} = A^2 \beta \quad \beta = \frac{l^2}{2A^2}$$

$$\text{由 } \beta = \frac{l^2}{2A^2} = \frac{\left(\frac{A^2}{r}\right)^2}{2A^2} = \frac{A^2}{2r^2}$$

$$\text{得 } r = \frac{A}{\sqrt{2\beta}}$$

式中: β —回旋线上任一点的切线方向与x轴的夹角。

对回旋线微分方程组中的 dx 、 dy 积分时, 可把 $\cos\beta$ 、 $\sin\beta$ 用泰勒级数展开, 然后用代入 β 表达式, 再进行积分。

■ dx, dy 的展开:

$$\begin{aligned} dx &= \cos \beta \cdot dl = \left(1 - \frac{\beta^2}{2!} + \frac{\beta^4}{4!} - \frac{\beta^6}{6!} + \dots\right) dl & (\beta = \frac{l^2}{2A^2}) \\ &= \left[1 - \frac{1}{2!} \left(\frac{l^2}{2A^2}\right)^2 + \frac{1}{4!} \left(\frac{l^2}{2A^2}\right)^4 - \frac{1}{6!} \left(\frac{l^2}{2A^2}\right)^6 + \dots\right] dl \\ &= \left(1 - \frac{l^4}{8A^4} + \frac{l^8}{384A^8} - \frac{l^{12}}{720 \times 64A^{12}} + \dots\right) dl \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= \sin \beta \cdot dl = \left(\beta - \frac{\beta^3}{3!} + \frac{\beta^5}{5!} - \frac{\beta^7}{7!} + \dots\right) dl \\ &= \left[\frac{l^2}{2A^2} - \frac{1}{6} \left(\frac{l^2}{2A^2}\right)^3 + \frac{1}{120} \left(\frac{l^2}{2A^2}\right)^5 - \frac{1}{5040} \left(\frac{l^2}{2A^2}\right)^7 + \dots\right] dl \\ &= \left(\frac{l^2}{2A^2} - \frac{l^6}{48A^4} + \frac{l^{10}}{3840A^{10}} - \frac{l^{14}}{5040 \times 128A^{14}} + \dots\right) dl \end{aligned}$$

对 dx 、 dy 分别进行积分：

$$\begin{aligned}x &= \int dx = \int \cos \beta dl = \left(1 - \frac{l^4}{8A^4} + \frac{l^8}{384A^8} - \frac{l^{12}}{720 \times 64A^{12}} + \dots\right) dl \\&= \int \left(1 - \frac{l^4}{8A^4} + \frac{l^8}{384A^8} - \dots\right) dl \\&= l - \frac{l^5}{40A^4} + \frac{l^9}{3456A^8} - \dots = l - \frac{l^5}{40A^4} + \dots\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y &= \int dy = \int \sin \beta dl = \left(\frac{l^2}{2A^2} - \frac{l^6}{48A^4} + \frac{l^{10}}{3840A^{10}} - \frac{l^{14}}{5040 \times 128A^{14}} + \dots\right) dl \\&= \int \left(\frac{l^2}{2A^2} - \frac{l^6}{48A^4} + \frac{l^{10}}{3840A^{10}} - \dots\right) dl \\&= \frac{l^3}{6A^2} - \frac{l^7}{336A^6} + \frac{l^{11}}{42240A^{10}} - \dots = \frac{l^3}{6A^2} - \frac{l^7}{336A^6} + \dots\end{aligned}$$

$$x = l - \frac{l^5}{40 A^4} + \frac{l^9}{3456 A^8} - \dots$$

$$= l - \frac{l^5}{40 (rl)^2} + \frac{l^9}{3456 (rl)^4} - \dots$$

$$= l - \frac{l^3}{40 r^2} + \frac{l^5}{3456 r^4} - \dots$$

$$y = \frac{l^3}{6 A^2} - \frac{l^7}{336 A^6} + \frac{l^{11}}{42240 A^{10}} - \dots$$

$$= \frac{l^3}{6 (rl)} - \frac{l^7}{336 (rl)^3} + \frac{l^{11}}{42240 (rl)^5} - \dots$$

$$= \frac{l^2}{6 r} - \frac{l^4}{336 r^3} + \frac{l^6}{42240 r^5} - \dots$$



- 在回旋线终点处, $l = L_s$, $r = R$, $A^2 = RL_s$

$$\begin{aligned} X &= L_s - \frac{L_s^5}{40 A^4} + \frac{L_s^9}{3456 A^8} - \dots \\ &= L_s - \frac{L_s^3}{40 R^2} + \frac{L_s^5}{3456 R^4} - \dots = L_s - \frac{L_s^3}{40 R^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= \frac{L_s^3}{6 A^2} - \frac{L_s^7}{336 A^6} + \frac{L_s^{11}}{42240 A^{10}} + \dots \\ &= \frac{L_s^2}{6 R} - \frac{L_s^4}{336 R^3} + \frac{L_s^6}{42240 R^5} + \dots = \frac{L_s^2}{6 R} - \frac{L_s^4}{336 R^3} \end{aligned}$$

- 回旋线终点的切线方向与x轴夹角 β_0 计算公式:

$$\beta_0 = \frac{L_s}{2A^2} = \frac{L_s}{2R}$$



5、回旋线的几何要素

1) 回旋线各要素的计算公式

■ (1) 基本公式: $r \cdot l = A^2$,

■ (2) 任意点 P 处的曲率半径: $r = \frac{A^2}{l} = \frac{l}{2\beta} = \frac{A}{\sqrt{2\beta}}$

■ (3) P 点的回旋线长度: $l = \frac{A^2}{r} = A\sqrt{2\beta} = 2r\beta$

■ (4) P 点的切线方向与 x 轴的夹角

$$\beta = \frac{l^2}{2A^2} = \frac{l}{2r} = \frac{A^2}{2r^2}$$



- (9) 长切线长:

$$T_L = x - \frac{y}{\tan \beta}$$

- (10) 短切线长:

$$T_K = \frac{y}{\sin \beta}$$

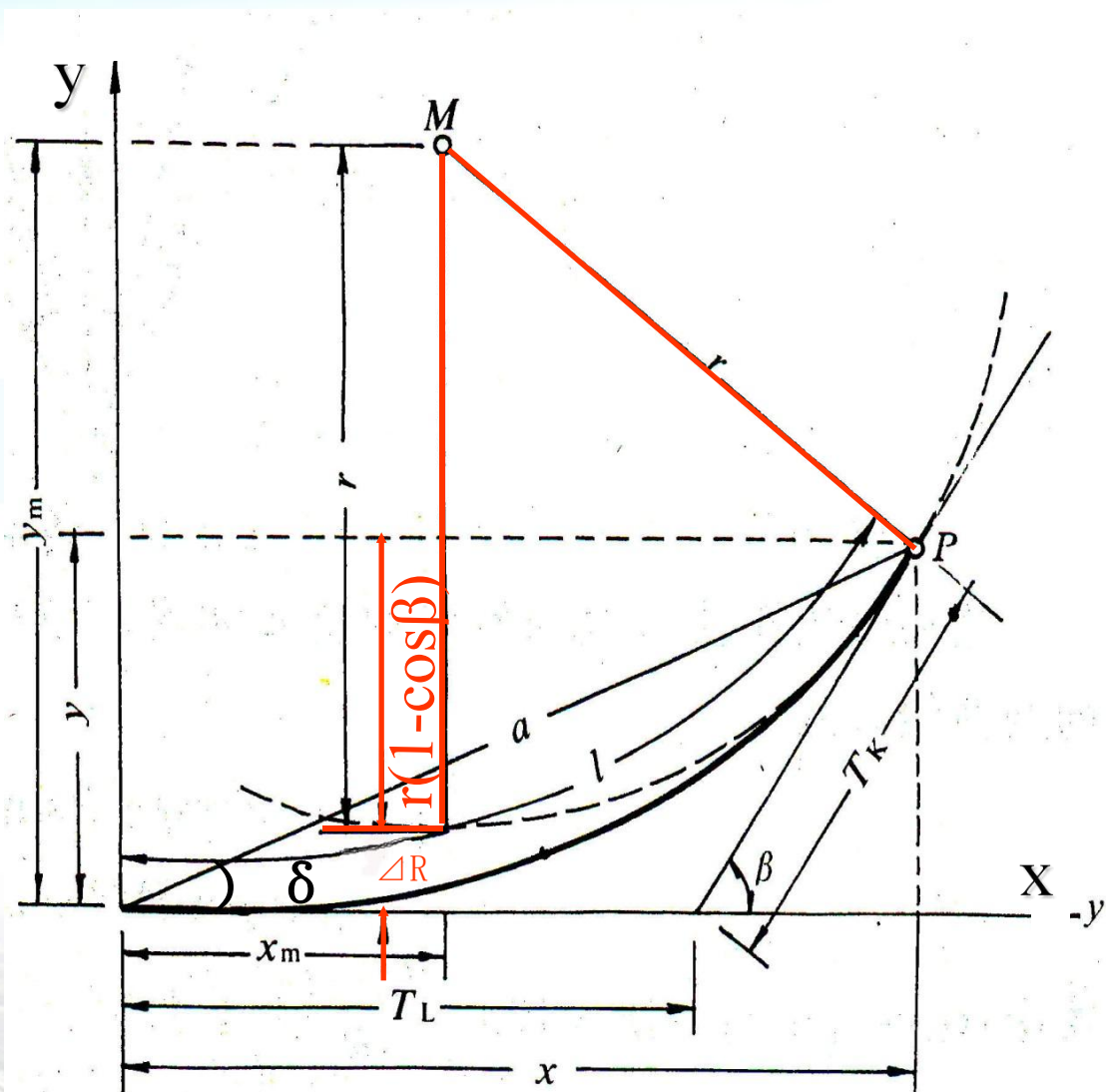


图 2-15 回旋线要素



2) 有缓和曲线的道路平曲线几何要素:

- 道路平面线形三要素的基本组成是: 直线-回旋线-圆曲线-回旋线-直线。其几何元素的计算公式如下:

切线增加值: $q = x_0 - r \sin \beta_0 = \frac{L_s}{2} - \frac{L_s^3}{240R^2} \quad (m)$

曲线内移值: $\Delta R = \frac{L_s^2}{24R} - \frac{L_s^4}{2384R^3} \quad (m)$

螺旋角: $\beta_0 = \frac{L_s}{2A^2} = \frac{L_s}{2R} = 28.6479 \frac{L_s}{R} \quad (\text{度})$



主点里程桩号计算方法:

- 计算基点为交点, 记为 JD , 里程桩号为 $K###+####.##$,

$$ZH = JD - T_h$$

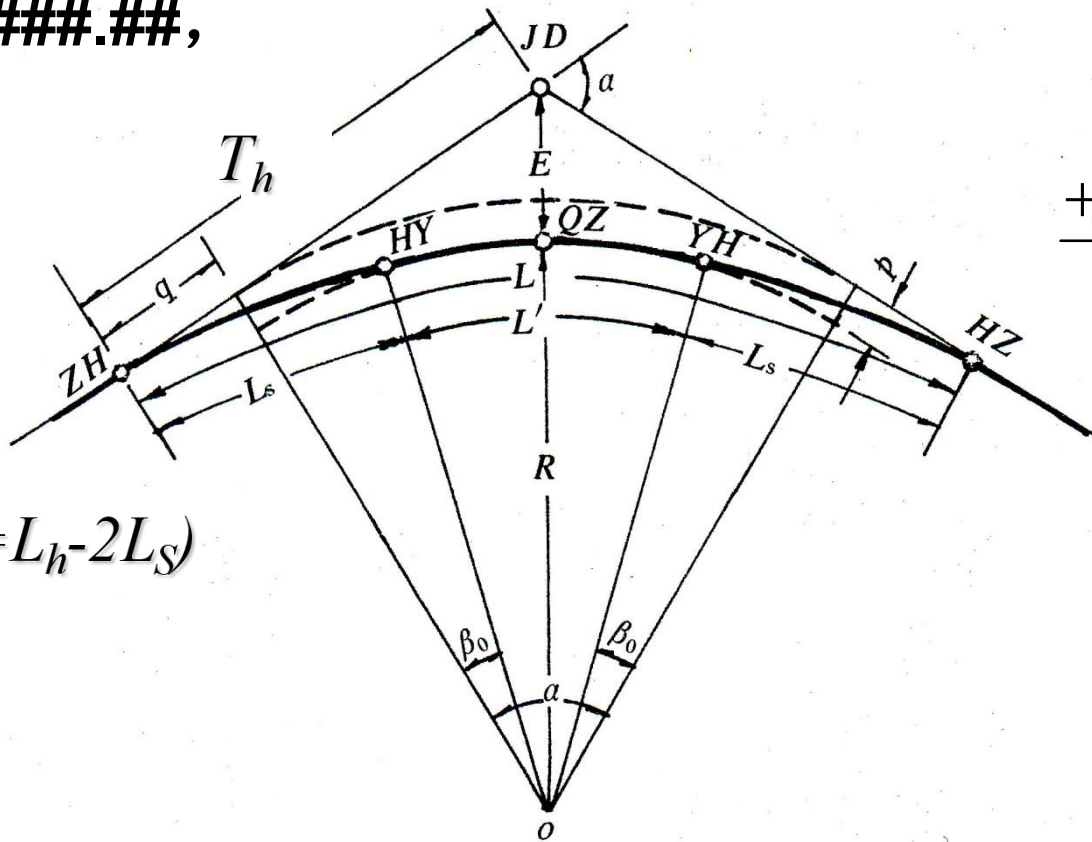
$$HY = ZH + L_s$$

$$YH = HY + L_y (= L_h - 2L_s)$$

$$HZ = YH + L_s$$

$$QZ = HZ - L_h / 2$$

$$JD = QZ + J_h / 2$$



$$\begin{aligned} & JD \\ & - \frac{T_h}{ZH} \\ & + \frac{L_s}{HY} \\ & + \frac{L_y (= L_h - 2L_s)}{YH} \\ & + \frac{L_s}{HZ} \\ & - \frac{L_h / 2}{QZ} \\ & + \frac{J_h / 2}{JD} \end{aligned}$$

图2-16 基本型曲线



6、现场敷设

1) 切线支距法敷设曲线计算方法:

①用切线支距法敷设回旋线的公式:

$$x = l - \frac{l^5}{40A^4} = l - \frac{l^5}{40R^2L_S^2}$$

$$y = \frac{l^3}{6A^2} - \frac{l^7}{336A^6} = \frac{l^3}{6RL_S} - \frac{l^7}{336R^3L_S^3}$$

■ l ——回旋线上任意点 M 至缓和曲线起点的弧长 (m) 。



②切线支距法敷设带有回旋线的圆曲线公式:

$$x=q+R\sin\varphi_m(m) \quad y=p+R(1-\cos\varphi_m) \quad (m)$$

式中:

$$\varphi_m = \alpha_m + \beta_0 = 28.6479 \left(\frac{2l_m + Ls}{R} \right) \quad (^\circ)$$

l_m ——圆曲线上任意点M至缓和曲线终点的弧长 (m) ;

α_m —— l_m 所对应的圆心角 (rad) 。

$$\alpha_m = \frac{l_m}{R}$$

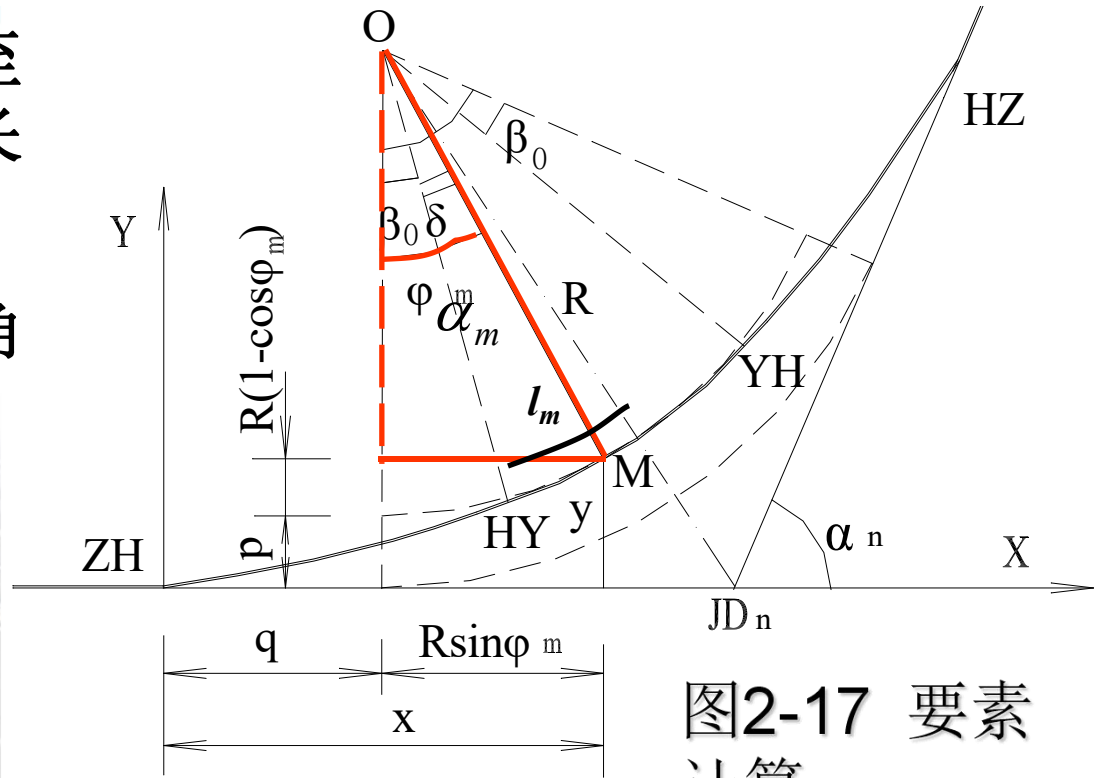


图2-17 要素计算



2) 偏角法敷设曲线

- 偏角法有支镜于交点及曲线起终点法之分。
- (1) 支镜于交点时

偏角为:
$$\gamma = \arctg \frac{y}{T - x}$$

玄长为:
$$s = \sqrt{y^2 + (T - x)^2}$$

- (2) 支镜于曲线起终点

偏角为:
$$\gamma = \arctg \frac{y}{x}$$

玄长为:
$$s = \sqrt{y^2 + x^2}$$



3) 坐标法

- 坐标法是当前生产中常用的方法，工具由*GPS*仪、全站仪，坐标的计算在测量学中有较详细地讲解，其详见测量学。



第四节 缓和曲线

一、缓和曲线与汽车行驶轨迹

- (一) 缓和曲线
- (二) 回旋线作缓和曲线

二、缓和曲线的长度及参数

- (一) 缓和曲线的最小长度
- (二) 缓和曲线参数A值的确定
- (三) 缓和曲线的省略

三、最小曲线长的控制

- (一) 控制理由
- (二) 曲线定义
- (三) 控制指标



二、缓和曲线的长度及参数

(一) 缓和曲线的最小长度——考虑因素

1、离心加速度的变化率不过大（旅客感觉舒适）：

汽车行驶在缓和曲线上，其离心加速度将随着缓和曲线曲率的变化而变化，若变化过快，将会使旅客有不舒适的感觉。

离心加速度的变化率 a_s ：

$$a_s = \frac{a}{t} = \frac{v^2}{Rt}$$

在等速行驶的情况下：

$$t = \frac{Ls}{v}$$

$$a_s = \frac{v^3}{RLs} = 0.0214 \frac{V^3}{RLs}$$



■ 满足乘车舒适感的缓和曲线最小半径

$$\text{由 } a_s = \frac{v^3}{RLs} = 0.0214 \frac{V^3}{RLs}$$



■ 山区及特殊地区取0.75或0.7

■ 我国公路规范一般建议 $a_s \leq 0.6$



$$L_{s \min} = \frac{R}{0.6}$$

2、行驶时间不过短

缓和曲线不管其参数如何，都不可使车辆在缓和曲线上的行驶时间过短而使司机驾驶操纵过于匆忙。一般认为**汽车在缓和曲线上的行驶时间至少应有3s**

$$L_{S_{\min}} = vt = \frac{V}{3.6} \times 3 = \frac{V}{1.2} \quad (m)$$

- 《标准》按行驶时间不小于3s的要求制定了各级公路缓和曲线最小长度，如表2-8。
- 《城规》制定了城市道路的最小缓和曲线长度，如表2-9。



3、行车道外侧因超高产生的附加坡度不过大

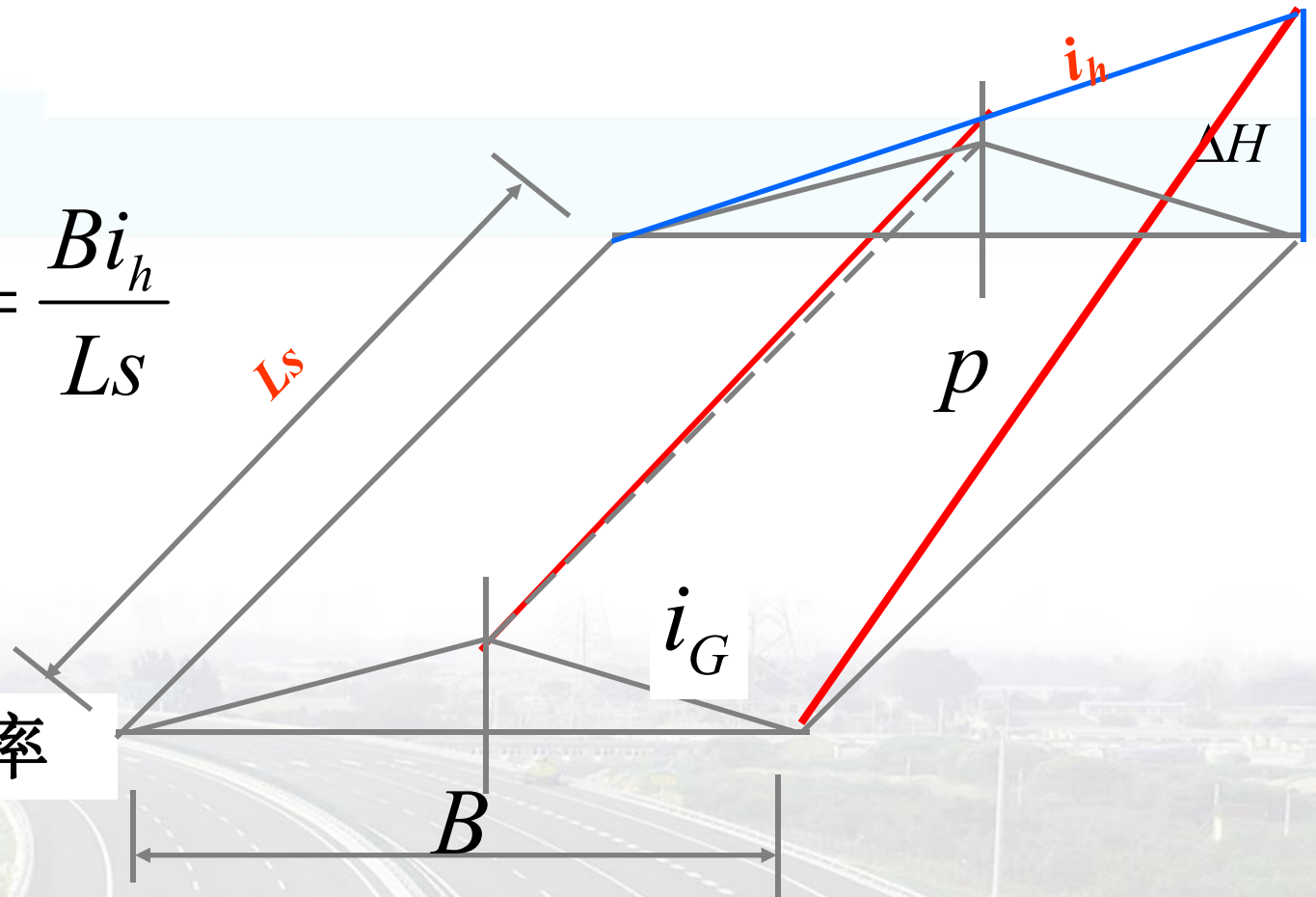
(1) 绕路面内边缘线旋：

■ 附加纵坡：

$$p = \frac{\Delta H}{L_s} = \frac{B i_h}{L_s}$$

$$L_s = \frac{B i_h}{p}$$

p —超高渐变率

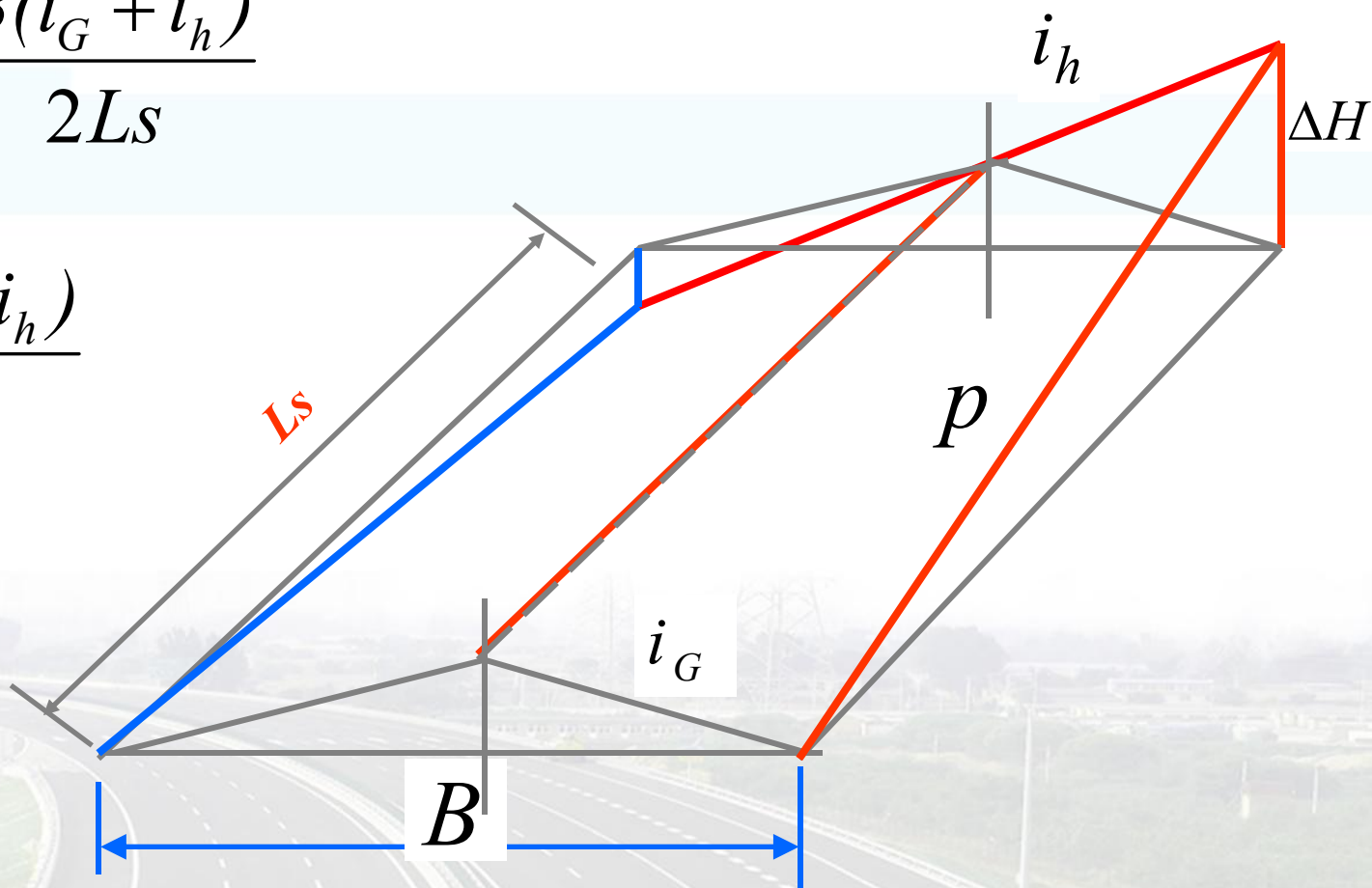


(2) 绕路面中线旋转:

■ 附加纵坡 :

$$p = \frac{\Delta H}{L_s} = \frac{B(i_G + i_h)}{2L_s}$$

$$L_s = \frac{B(i_G + i_h)}{2p}$$



由于缓和曲线上设有超高缓和段，如果缓和段太短，则会因路面急剧地由双坡变为单坡而形成一种扭曲的面，对行车和路容均不利。《规范》规定了适中的超高渐变率。

超高渐变率 p 的规定

设计速度 (km/h)	超高旋转轴位置	
	中线	边线
120	1/250	1/200
100	1/225	1/175
80	1/200	1/150
60	1/175	1/125
40	1/150	1/100
30	1/125	1/75
20	1/100	1/50



4、满足视觉的要求

- 考察司机的视觉，当回旋曲线很短，其回旋线切线角（或称缓和曲线角） β 在 3° 左右时，曲线极不明显，在视觉上容易被忽略。
- 回旋线过长 β 大于 29° 时，圆曲线与回旋线不能很好协调。
- 适宜的缓和曲线角是 $\beta=3^\circ \sim 29^\circ$ 。

- 因为：
$$\beta_0 = \frac{L_s}{2A^2} = \frac{L_s}{2R} = 28.6479 \frac{L_s}{R} (\text{度})$$

- 将 $\beta_0=3^\circ$ 和 $\beta_0=29^\circ$ 分别代入上式，则 A 的取值范围为：

$$\frac{R}{9} \leq L_s \leq R$$



- **缓和曲线长度应满足的四个条件：**

- 1、离心加速度的变化率不过大（旅客感觉舒适）
- 2、行驶时间不过短
- 3、行车道外侧因超高产生的附加坡度不过大
- 4、满足视觉的要求

- **四个条件控制的有效性：**

- 1、原则：那个条件计算所得的缓和曲线长度长，那个条件控制有效。
- 2、计算过程：
 - 1）按最小行驶时间计算，取5（或10）的整倍数；
 - 2）验算其余条件。



缓和曲线长度的计算

V		120	100	80	60	40	30	20
$V/1.2$		100	83	67	50	33	25	17
取整		100	85	70	50	35	25	20
R_{min}		650	400	250	150	60	30	15
$a_s = \frac{v^3}{RLs} = 0.0214 \frac{V^3}{RLs}$		0.56	0.53	0.56	0.62	0.66	0.66	0.77
i_G		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
B		8.25	8.25	8	7	7	6	6
p	$i_h(10\%)$	1/202	1/250	1/162	1/113	1/78		
	$i_h(8\%)$						1/70	1/51
规定值 (m)		100	85	70	50	35	25	20

• 高速公路回旋线最小长度建议值

• 设计速度 (km/h)	120	100	80	60
• 极限最小半径 (m)	650	400	250	125
• 回旋线最小长度 (m)	130	120	100	60



二、缓和曲线的长度及参数

- (一) 缓和曲线的最小长度:
- (二) 缓和曲线参数 A 值的确定
- (三) 缓和曲线的省略



(二) 缓和曲线参数A值的确定

- 回旋线参数表达式： $A^2 = R \cdot L_s$
- 以离心加速度的变化率来确定最小缓和曲线参数A：

$$\alpha_s = 0.0214 \frac{V^3}{RL_s} = 0.0214 \frac{V^3}{A^2} \quad A = \sqrt{\frac{0.0214}{\alpha_s}} \sqrt{V^3}$$

- 从视觉条件要求确定A：
- 考察司机的视觉，当回旋曲线很短，其回旋线切线角（或称缓和曲线角） β 在 3° 左右时，曲线极不明显，在视觉上容易被忽略。
- 回旋线过长 β 大于 29° 时，圆曲线与回旋线不能很好协调。
- 适宜的缓和曲线角是 $\beta=3^\circ \sim 29^\circ$ 。



由 $\beta_0=3^\circ \sim 29^\circ$ 推导出合适的A值:

$$\beta_0 = 28.6479 \frac{L_s}{R} \quad L_s = \frac{R\beta_0}{28.6479}$$

$$A = \sqrt{RL_s} = R \sqrt{\frac{\beta_0}{28.6479}}$$

- 将 $\beta_0=3^\circ$ 和 $\beta_0=29^\circ$ 分别代入上式, 则A的取值范围为:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$



回旋线参数A的确定:

经验证明，当R在100m左右时，通常取 $A=R$ ；当 $R < 100m$ ，则选择 $A \geq R$ 。在圆曲线半径较大时， $R \geq 3000m$ ， $A < R/3$ 。

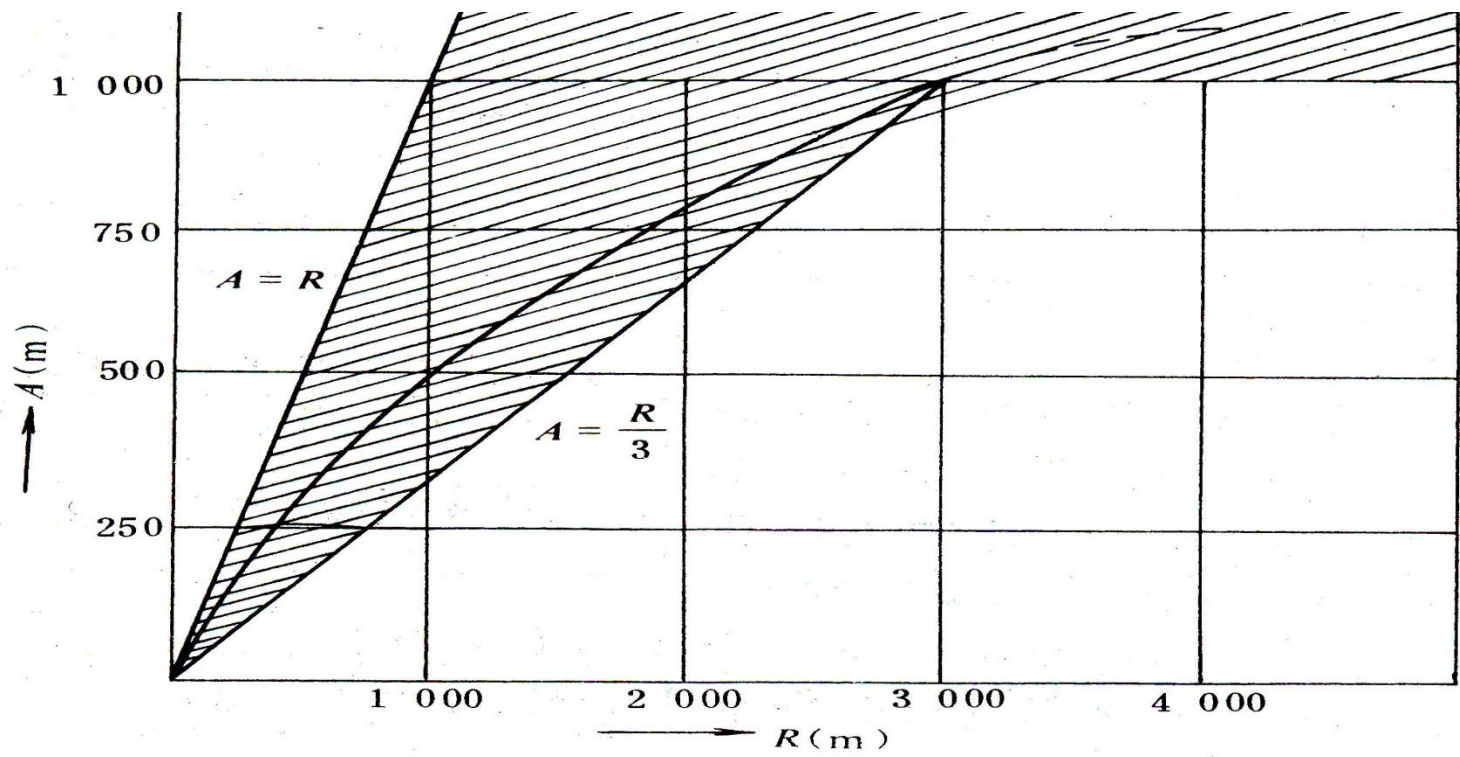


图2-18 A与R的关系



二、缓和曲线的长度及参数

- (一) 缓和曲线的最小长度:
- (二) 缓和曲线参数 A 值的确定
- (三) 缓和曲线的省略



(三) 缓和曲线的省略

- 在直线和圆曲线间设置缓和曲线后，圆曲线产生了内移，其位移值为 ΔR ， $\Delta R = L_s^2 / (24R)$ 。

在 L_s 一定的情况下， ΔR 与圆曲线半径成反比，当 R 大到一定程度时， ΔR 值将会很小。这时缓和曲线的设置与否，线形上已经没有什么差异。

一般认为当 $\Delta R \leq 0.10$ 时，即可忽略缓和曲线。如按3s行程计算缓和曲线长度时，若取 $\Delta R = 0.10$ ，则不设缓和曲线的临界半径为：

$$R_h = \frac{L_s^2}{24\Delta R} = \frac{1}{24 \times 0.10} \left(\frac{V}{1.2} \right)^2 = 0.289V^2$$



表11 受内移值0.10m控制时应设缓和曲线的最大半径

设计速度 (km/h)		120	100	80	60	50	40	30
最小曲线半径 (m)	计算值	4162	2890	1850	1040	723	462	260
	取整值	4200	3000	1800	1000	700	500	260

- 由上表可知，设缓和曲线的临界半径比不设超高的最小半径小。考虑到缓和曲线还有完成超高和加宽的作用，一般设与不设缓和曲线受是否设置超高控制。



《公路路线设计规范》规定可不设缓和曲线的情况：

- (1) 在直线和圆曲线间，当圆曲线半径大于或等于《标准》规定的“不设超高的最小半径”时；
- (2) 复曲线不同的圆曲线间，当小圆半径大于或等于“不设超高的最小半径”时；
- (3) 复曲线中小圆半径大于表12中所列半径，且符合下列条件之一时：

表12 复曲线中的小圆临界曲线半径

设计速度(km/h)	120	100	80	60	40	30
临界曲线半径(m)	2100	1500	900	500	250	130

①小圆曲线按规定设置相当于最小回旋线长的回旋线时，其大圆与小圆的内移值之差不超过0.10m。

②设计速度 $\geq 80\text{km/h}$ 时，大圆半径(R_1)与小圆半径(R_2)之比小于1.5。

③设计速度 $< 80\text{km/h}$ 时，大圆半径(R_1)与小圆半径(R_2)之比小于2。

(4) 四级公路可不设缓和曲线。



《城市道路路线设计规范》规定可不设缓和曲线的情况：

- 1、当圆曲线半径大于或等于不设缓和曲线的最小半径时。
- 2、当设计速度大于等于40km/h时，半径不同的同向圆曲线径相衔接处，应设置缓和曲线。但受地形限制并符合下列条件之一时，可以不设缓和曲线：
 - (1)小圆半径大于或等于表2.9所列的不设缓和曲线的最小半径时；
 - (2)小圆半径小于不设缓和曲线的最小半径，但大圆与小圆的内移值之差小于或等于0.1m；
 - (3)大圆半径与小圆半径之比值小于或等于1.5；
- 3、当设计速度小于40km/h时，可以不设缓和曲线，但直线长度应满足缓和最小长度的要求。

第四节 缓和曲线

一、缓和曲线与汽车行驶轨迹

- (一) 缓和曲线
- (二) 回旋线作缓和曲线

二、缓和曲线的长度及参数

- (一) 缓和曲线的最小长度：
- (二) 缓和曲线参数A值的确定
- (三) 缓和曲线的省略

三、最小曲线长的控制

- (一) 控制理由
- (二) 曲线定义
- (三) 控制指标



三、最小曲线长的控制

• (一) 控制理由

- 1、操纵安全，汽车在曲线的道路上行驶时，若曲线很短，则驾驶员操作方向盘频繁而紧张，这在高速行驶的情况下是危险的。
- 2、减小离心力的变化率
- 3、当偏角很小时，产生错觉， R 显小， L 显短



三、最小曲线长的控制

- (一) 控制理由
- (二) 曲线定义
- (三) 控制指标



三、最小曲线长的控制

- (二) 曲线定义
- 1、平曲线：在平面线形中路线转向处曲线的总称，包括圆曲线和缓和曲线。
- 2、圆曲线：道路平面走向改变方向或竖向改变坡度时所设置的连接两相邻直线段的圆弧形曲线
- 3、缓和曲线：平面线形中，在直线与圆曲线、圆曲线与圆曲线之间设置的曲率连续变化的曲线

三、最小曲线长的控制

- (一) 控制理由
- (二) 曲线定义
- (三) 控制指标



(三) 控制指标

•1、圆曲线最小长:

•圆曲线的最小长度一般要求有 $3s$ 的行程。

设计速 (km/h)	120	100	80	60	40	30	20	
圆曲线最小长度(m)	最小值	100	85	70	50	35	25	20
	一般值	200	160	140	100	70	50	40



• 2、平曲线最小长

一般情况以6秒行程控制

$$L_{\min} = v \cdot t = V \cdot t / 3.6 = 1.667V \quad (m)$$

设计速 (km/h)	120	100	80	60	40	30	20	
平曲线最 小长度(m)	最小值	200	170	140	100	70	50	40
	一般值	600	500	400	300	200	150	100



3、特殊曲线（小偏角曲线 $\alpha \leq 7$ 度）

- (1) 小偏角范围： $\alpha \leq 7$ 度，若小于2度以2度计
- (2) 控制指标：以6秒行程为基数，按 $7/\alpha$ 的比率增大
即： $L = vt = Vt/3.6 = 1.667V \times 7/\alpha = 11.7V/\alpha$

V	120	100	80	60	40	30	20
L	$1400/\alpha$	$1200/\alpha$	$1000/\alpha$	$700/\alpha$	$500/\alpha$	$350/\alpha$	$280/\alpha$



平曲线最大长度

平曲线最大长度应能够为驾驶者的心理所承受，不致引起驾驶疲劳。

对设计速度 $\geq 80\text{km/h}$ 高速公路平曲线最大长度按汽车在曲线上行驶的时间进行控制，“一般值”按 90s 控制，“最大值”按 150s 控制。

平曲线最大长度建议值

设计速度 (km/h)		120	100	80
平曲线 最大长度(m)	一般值	3000	2400	2000
	最大值	5000	4000	3300



- [例题1] 一平原区某二级公路，设计速度为80km/h，有一弯道 $R=250\text{m}$ ，交点 JD 的桩号为 $K17+568.38$ ，转角，试计算该曲线上设置缓和曲线后的五个基本桩号。

- 解：1. 缓和曲线长度 L_s

- 平原区二级公路计算行车速度为80 (km/h) ， 则

$$L_s = 0.036 \frac{V^3}{R} = 0.036 \times \frac{80^3}{250} = 73.73(m)$$

$$L_s \geq \frac{V}{3.6} \times 3 = \frac{80}{3.6} \times 3 = 66.67(m)$$

$$L_s = \frac{R}{9} \sim R = \frac{250}{9} \sim 250 = 27.78 \sim 250(m)$$

- 取整数，采用缓和曲线长75 (m) (《标准》规定： $V=80$ (km/h) 时，最小缓和曲线长为70m)。

- 2. 圆曲线的内移值 ΔR

$$\Delta R = \frac{75^2}{24 \times 250} - \frac{75^4}{2688 \times (250)^3} = 0.94(m)$$



- 3. 总切线长 T_h
- 先求 $q = \frac{75}{2} - \frac{75^3}{240 \times (250)^2} = 37.27(m)$
- 所以 $T_h = (250 + 0.94)tg19^\circ15' + 37.47 = 87.63 + 37.47 = 125.10(m)$

- 4. 曲线总长度 L_h

$$\beta = \frac{L}{2R} \rho = \frac{75}{2 \times 250} \times 57.2958 = 8^\circ35'39.72''$$

$$L_h = 250 \times (38^\circ30' - 2 \times 8^\circ35'39.72'') \times \frac{1}{\rho} + 2 \times 75 = 92.99 + 150 = 242.99(m)$$

- 满足表2-14关于平曲线最小长度的规定，其中圆曲线长度为92.99 (m)，符合表2-15所列圆曲线最小长度70m的规定。
- 5. 五个基本桩号
- 超距。所以，由QZ桩号算出的JD桩号为，与原来的JD桩号相同，说明计算无误。



第二章 平面设计

第一节 概述

第二节 直线

第三节 圆曲线

第四节 缓和曲线

第五节 平面形设计

第六节 行车视距

第七节 道路平面设计成果



第五节 平面线形设计

一、平曲线线形设计一般原则

二、平面线形要素的组合类型



第五节 平面线形设计

一、平曲线线形设计一般原则

(一) 平面线形应直捷、连续、顺适，并与地形、地物相适应，与周围环境相协调

(二) 行驶力学上的要求是基本的，视觉和心理上的要求对高速路应尽量满足

- 高速公路、一级公路以及设计速度 $\geq 60\text{km/h}$ 的公路，应注重立体线形设计，尽量做到线形连续、指标均衡、视觉良好、景观协调、安全舒适。

- 设计速度 $< 40\text{km/h}$ 的公路，首先应在保证行车安全的前提下，正确地运用平面线形要素最小值。



(三) 保持平面线形的均衡与连贯

1. 长直线尽头不能接以小半径曲线。特别是在下坡方向的尽头更要注意。

若由于地形所限小半径曲线难免时，中间应插入中等曲率的过渡性曲线，并使纵坡不要过大。

表 10 曲线路段上允许车速与曲线前的允许直线长度

曲线路段上的安全车速(km/h)	曲线前直线段的长度(m)
30	300
40	300
50	300
60	450
70	600
80	800

2. 高、低标准之间要有过渡。

同一等级的道路由于地形的变化在指标的采用上也会有变化，或同一道路按不同设计速度的各设计路段之间会形成技术指标的变化，高低指标之间的变化过程要有过渡。

（四）应避免连续急弯的线形

这种线形给驾驶者造成不便，给乘客的舒适也带来不良影响。设计时可在曲线间插入足够长的直线或回旋线。



（五）平曲线应有足够的长度

1、汽车驾驶员在操纵方向盘时不感到困难

汽车在公路的任何线形是行驶的时间均不宜短于3s，以使驾驶操作不显的过分紧张。这样平曲线一般最小长度为9s行程，至少6s行程（凸型曲线），条件受限时亦不应少于3~4s。

2、缓和曲线上离心加速度的变化率不超过规定值。



各级公路最小平曲线长度

设计速度 (km/h)	120	100	80	60	40	30	20
一般值 (m)	1000	850	700	500	350	250	200
最小值 (m)	200	170	140	100	70	50	40

3、转角 θ 小于7度时的平曲线长度

当路线转角等于或小于 7° 时，应设置较长的平曲线，其长度应大于下表中规定的“一般值”。当地形条件及其它特殊情况限制时，可采用表中的“最小值”。

公路转角等于或小于7度时的平曲线长度

设计速度 (km/h)	120	100	80	60	40	30	20
一般值 (m)	$1400/\theta$	$1200/\theta$	$1000/\theta$	$700/\theta$	$500/\theta$	$350/\theta$	$280/\theta$
最小值 (m)	200	170	140	100	70	50	40

第五节 平面线形设计

一、平曲线线形设计一般原则

二、平面线形要素的组合类型



二、平面线形要素的组合类型

1、基本型

- 按直线—回旋线—圆曲线—回旋线—直线的顺序组合的线形。

- 适用场合：交点间距不受限。

- 从线形的协调性出发，宜将回旋线、圆曲线、回旋线长度之比设计成1:1:1。

- 满足设置基本型曲线的几何条件：

$$\alpha \geq 2\beta$$

- (为路线转角，为缓和曲角)

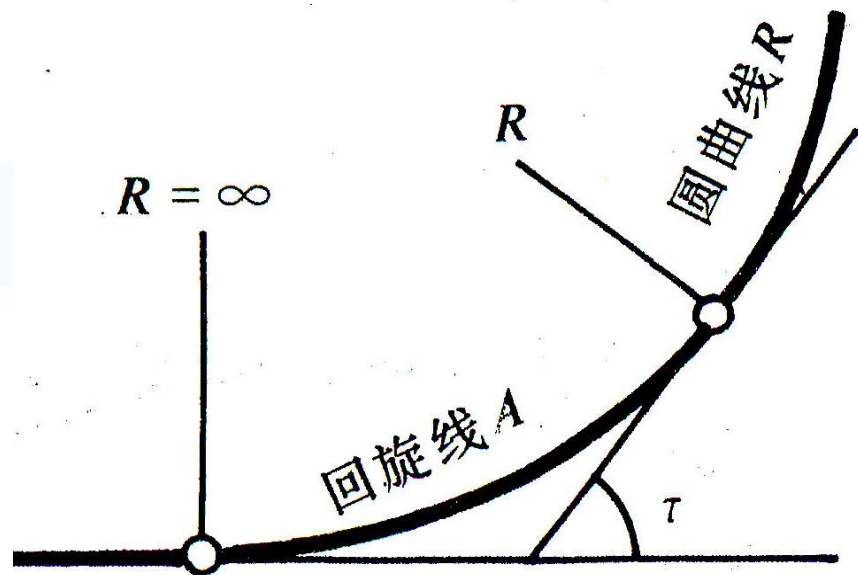


图2.18 基本型



2、S 型

- 用两段反向回旋线连接两个反向圆曲线的组合。
- 适用场合：交点间距受限（交点间距较小）。

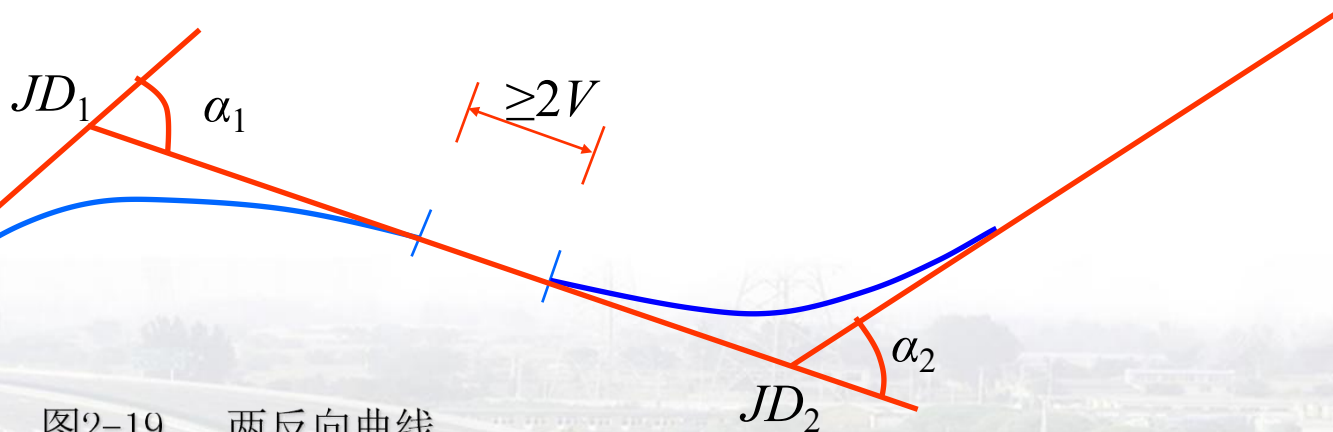


图2-19 两反向曲线



S型曲线相邻两个回旋线参数 $A_1=A_2$ 最好；当不相等时， A_1 与 A_2 之比应小于2.0，以小于1.5为宜。

在S型曲线上，两个反向回旋线以径相连接为宜。不得已插入直线时，必须尽量地短，其短直线的长度或重合段的长度应符合下式：

$$l \leq \frac{A_1 + A_2}{40} \quad (m)$$

■式中： l ——反向回旋线间短直线或重合段的长度。

两圆曲线半径之比不宜过大，以 $R_1/R_2=1\sim 3$ 为宜。 R_2 为小圆曲线半径(m)；

R_1 为大圆曲线半径(m)。

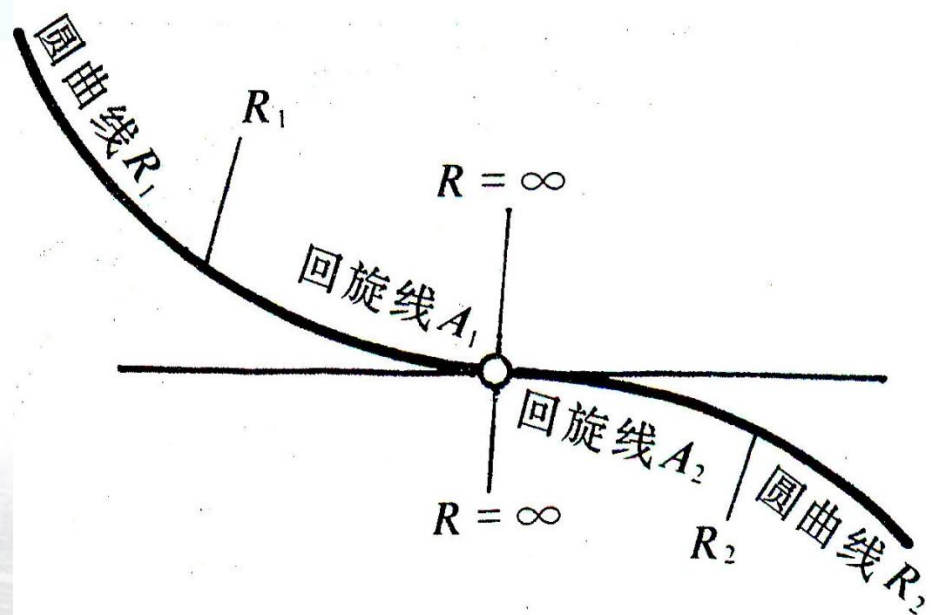


图2.20 S型

3、卵型

- 用一个回旋线连接两个同向圆曲线的组合。
- 适用场合：交点间距受限（交点间距较小）。

(1) 卵型上的回旋线参数 A 不应小于该级公路关于回旋线最小参数的规定，同时

宜在下列界限之内

$$\frac{R_2}{2} \leq A \leq R_2$$

式中： A —回旋线参数；
 R_2 —小圆半径（ m ）。

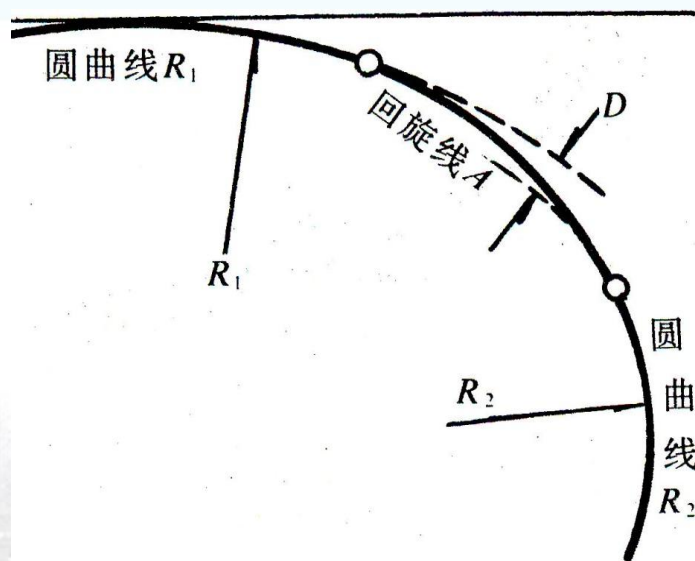


图2-21 卵型



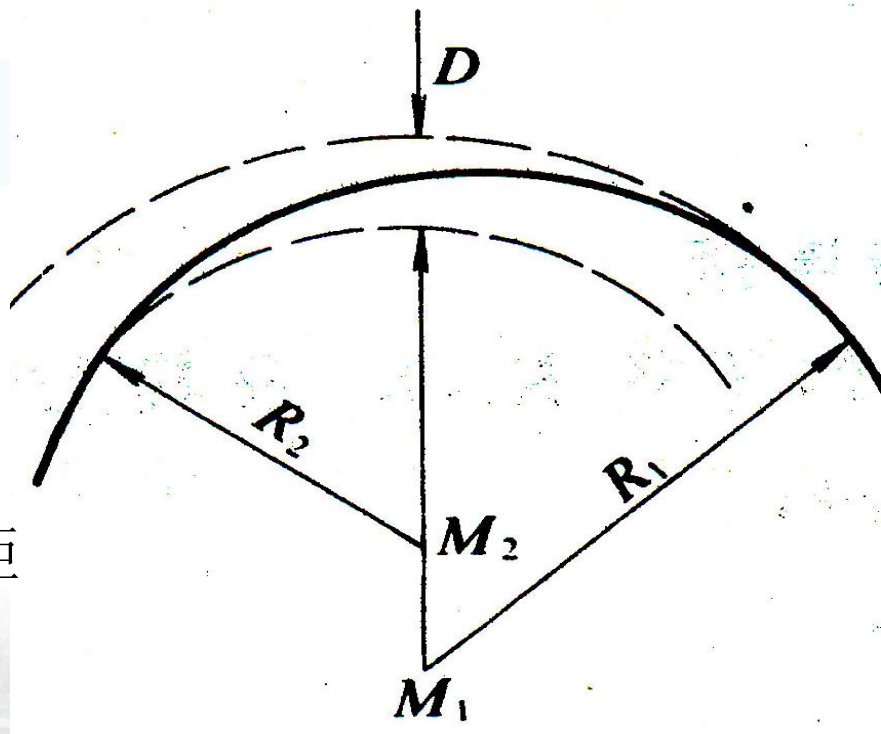
(2) 两圆曲线半径之比宜在下列界限之内：

$$0.2 \leq \frac{R_2}{R_1} \leq 0.8$$

(3) 两圆曲线的间距，
宜在下列界限之内：

$$0.003 \leq \frac{D}{R_2} \leq 0.03$$

式中： D ——两圆曲线最小间距
(m)。





4、凸型

- 两个同向回旋线间不插入圆曲线而径相衔接的组合。
- 凸型曲线的回旋线的参数及其连接点的曲率半径，应分别符合容许最小回旋线参数和圆曲线一般最小半径的规定。

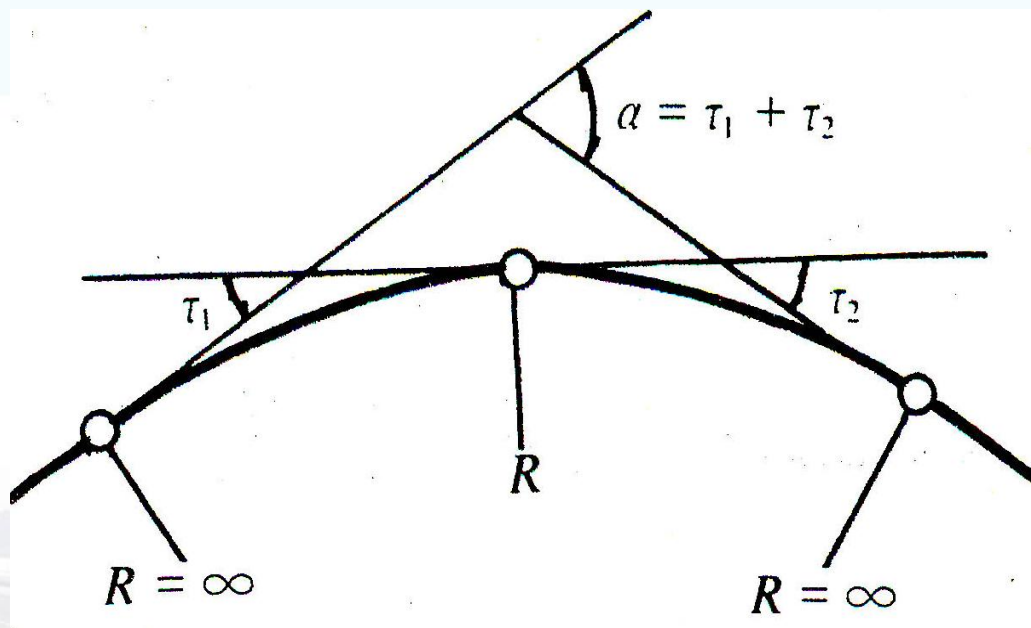


图2.22 凸型



5、C型

- 同向曲线的两回旋线在曲率为零处径相衔接的线形组合。
- 其连接处的曲率为0，也就是 $R=\infty$ ，相当于两基本型的同向曲线中间直线长度为0。

适用场合：交点间距受限（交点间距较小）。C型曲线只有在特殊地形条件下方可采用。

适用条件：地形特殊处、立交匝道等。

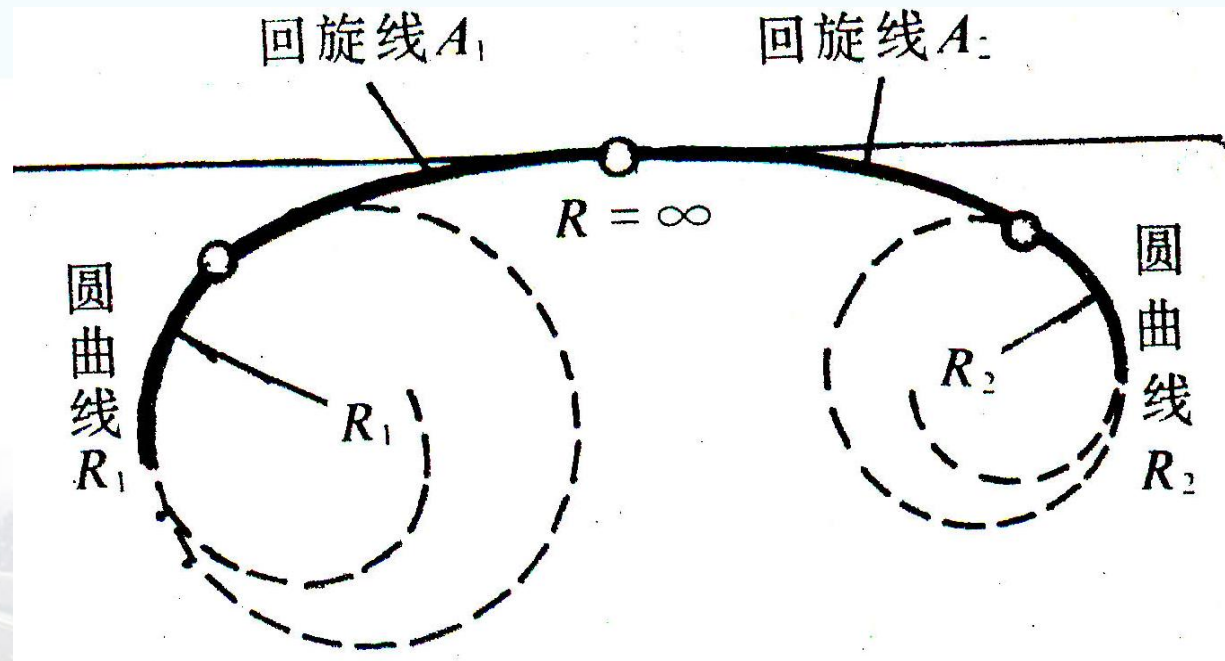


图2-23 C型组合

6、复合型

两个以上同向回旋线间在曲率相等处相互连接的线形。

- 两个回旋线参数之比宜为：

$$A_2 : A_1 = 1 : 1.5$$

- 复合型回旋线除了受地形和其它特殊限制的地方外一般很少使用，多出现在互通式立体交叉的匝道线形设计中。

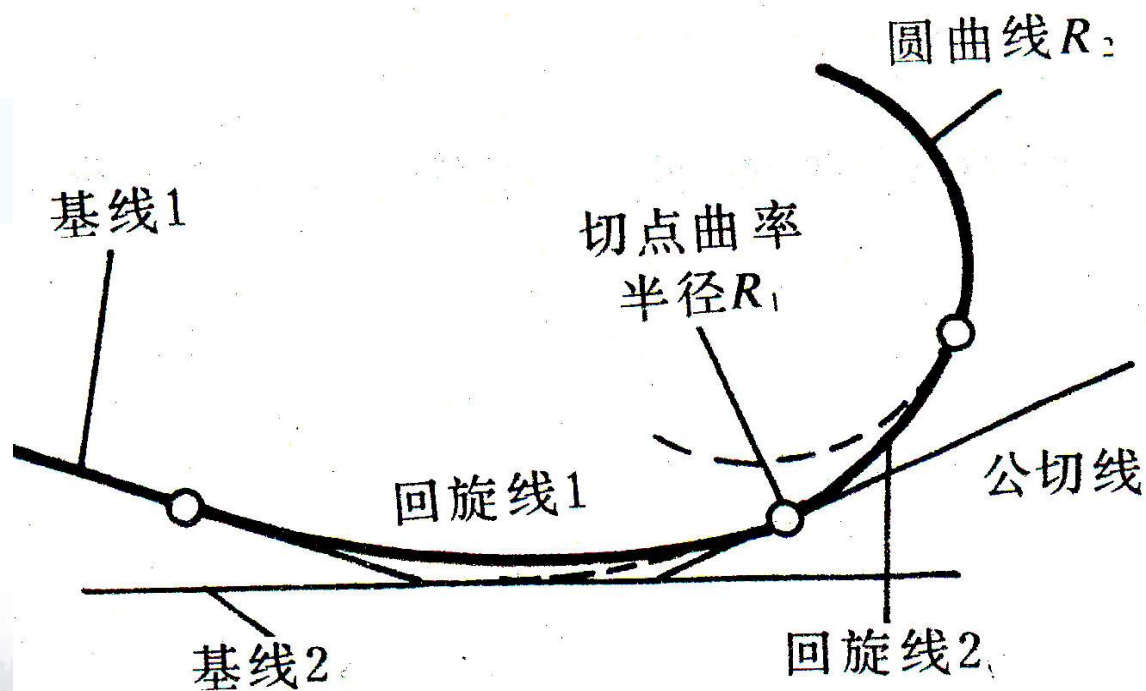


图 2.24 “复合型”组合



第二章 平面设计

第一节 概述

第二节 直线

第三节 圆曲线

第四节 缓和曲线

第五节 平面形设计

第六节 行车视距

第七节 道路平面设计成果



第六节 行车视距及其保证

一、视距的类型

二、视距计算

三、行车视距的保证

四、各级公路对视距的要求



第六节 行车视距及其保证

一、视距的类型

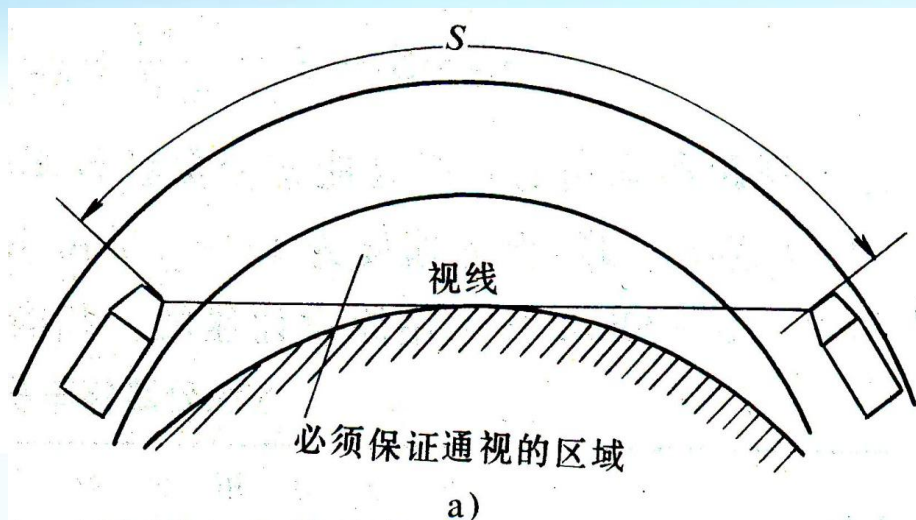
1. 行车视距定义：为了行车安全，驾驶人员应能随时看到汽车前面相当远的一段路程，一旦发现前方路面上有障碍物或迎面来车，能及时采取措施，避免相撞，这一必需的距离称为行车视距。

行车视距是否充分，直接关系到行车的安全与迅速，它是道路使用质量的重要指标之一。

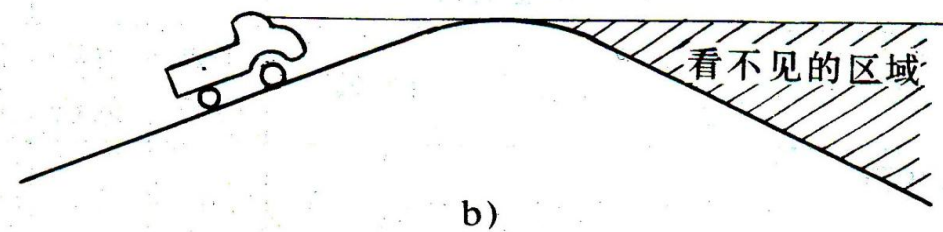


2.可能存在视距问题的情况:

- 平面上: 平曲线(暗弯)、平面交叉处



- 纵断面: 凸竖曲线



- 凹竖曲线(下穿式立交)

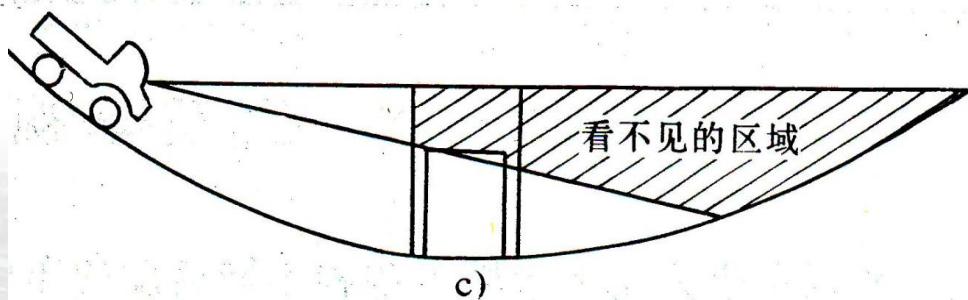


图 3-23 影响行车视距的地点

a)平面视距; b)纵断面视距; c)桥下视距



3. 行车视距分类:

(1) **停车视距:** 为了行车安全, 驾驶人员应能随时看到汽车前面相当远的一段路程, 一旦发现前方路面上有障碍物或迎面来车, 及时采取刹车措施, 避免相撞, 这一必需的距离称为停车视距。

(2) **会车视距:** 在同一车道上两对向汽车相遇, 从相互发现时起, 至同时采取制动措施使两车安全停止, 所需的最短距离。

(3) **错车视距:** 在没有明确划分车道线的双车道道路上, 两队向行驶的车辆相遇, 发现后即采取减速避让措施安全错车所需的最短距离。

(4) **超车视距:** 在双车道公路上, 后车超越前车时, 从开始驶离原车道之处起, 至可见逆行车并能超车后安全驶回原车道所需的最短距离。



第六节 行车视距及其保证

一、视距的类型

二、视距计算

三、行车视距的保证

四、各级公路对视距的要求



二、视距计算

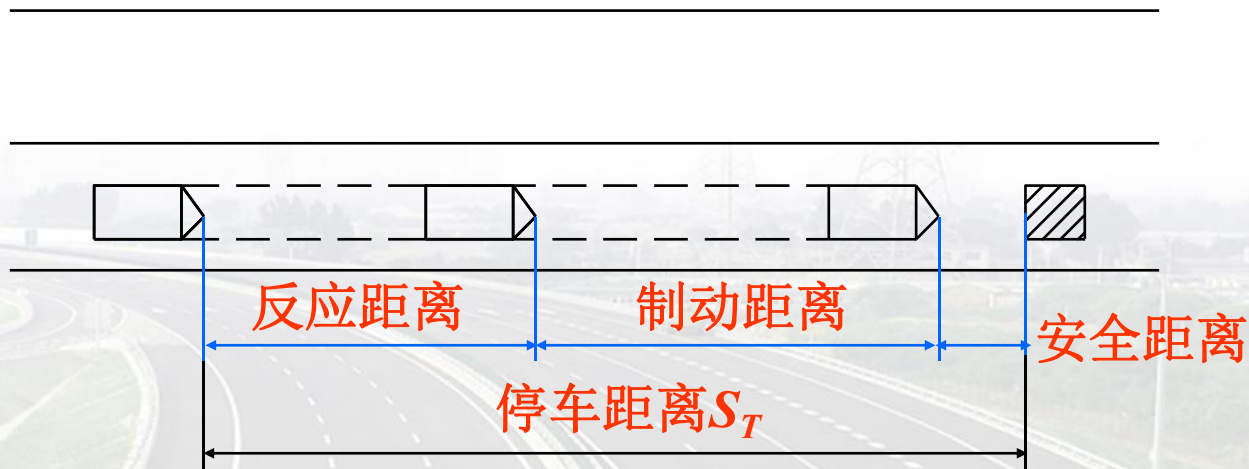
☆目高（视线高）：是指驾驶人员眼睛距地面的高度，规定以车体较低的小客车为标准，采用1.2m。

☆物高：路面上障碍物的高度，一般取0.10m

（一）停车视距

1、定义：停车视距是指驾驶人员发现前方有障碍物后，采取制动措施使汽车在障碍物前停下来所行驶的最短距离。

2、停车视距构成：



3、停车视距的计算

(1) 反应距离：是当驾驶人员发现前方的障碍物，经过判断决定采取制动措施的那一瞬间到制动器真正开始起作用的那一瞬间汽车所行驶的距离。

感觉时间为1.5s；

制动反应时间（制定生效时间）取1.0s。

感觉和制动反应的总时间 $t=2.5s$ ，

在这个时间内汽车行驶的距离为

$$S_1 = \frac{V}{3.6} t$$



(2) 制动距离：是指汽车从制动生效到汽车完全停住，这段时间内所走的距离。

$$S_2 \times G \times (\varphi + i + f) = \frac{1}{2} m (v_1^2 - v_2^2)$$

$$S_2 \times (\varphi + i + f) = \frac{v_1^2}{2g} = \frac{V_1^2}{254} \quad S_2 = \frac{V_1^2}{254(\varphi + \psi)}$$

(3) 停车视距 S_T ：（考虑一定的安全距离）

$$S_T = S_1 + S_2 = \frac{Vt}{3.6} + \frac{V^2}{254(\varphi + \psi)}$$



停车视距计算表

设计速度 V	120	100	80	60	40	30	20
行车速度 V_1	102	85	68	54	36	30	20
φ	0.29	0.30	0.31	0.33	0.38	0.44	0.44
S_1	70.7	58.9	47.1	37.4	24.9	20.8	13.8
S_2	141.3	94.8	58.7	34.8	13.4	8.1	3.5
S_{1+S_2}	212	153.7	105.8	72.2	38.3	29.9	20
标准值	210	160	110	75	40	30	20



(二) 会车视距 S_h :

1、定义：会车视距是在同一车道上两对向汽车相遇，从相互发现时起，至同时采取制动措施使两车安全停止，所需的最短距离。

2、会车视距构成：

- (1) 反应距离：双向驾驶员及车辆
- (2) 制动距离：双向车辆
- (3) 安全距离：双向车辆保持间距

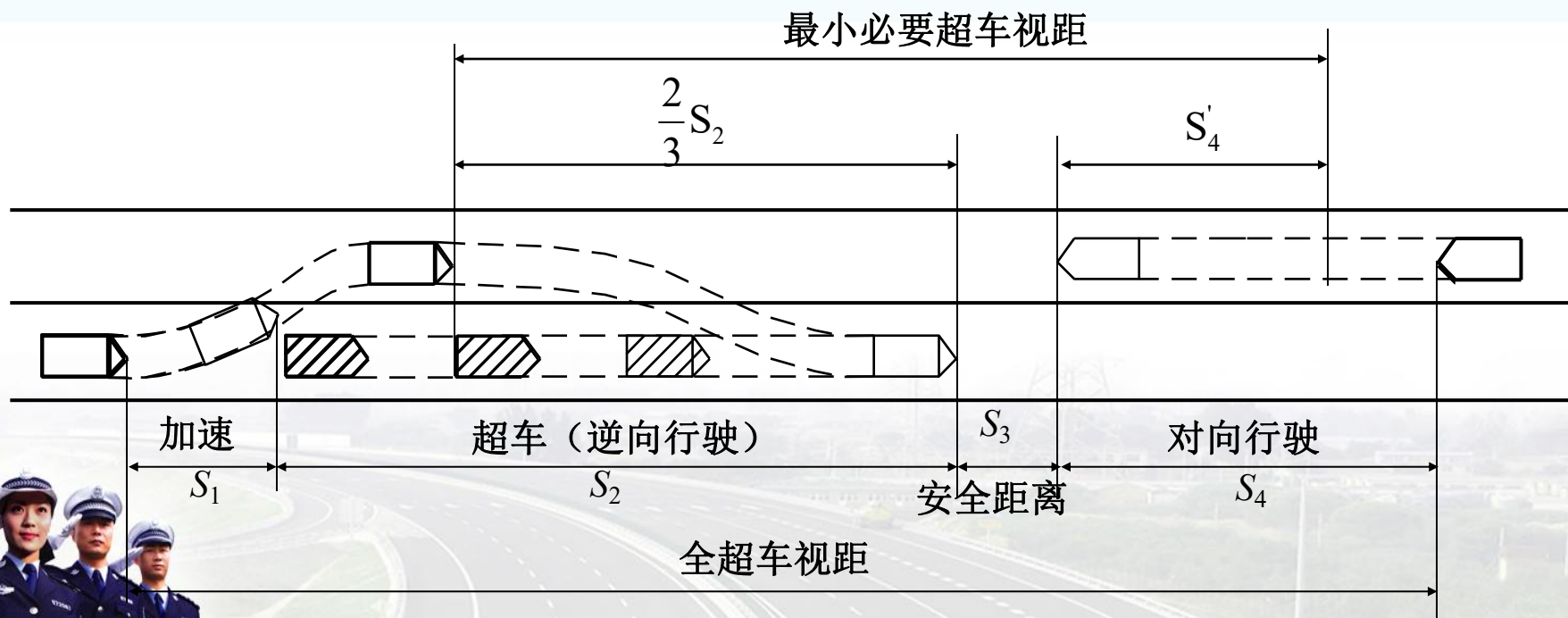
因此，会车视距 S_h 约等于2倍停车视距。



(三) 超车视距

1. 定义：在双车道公路上，后车超越前车时，从开始驶离原车道之处起，至可见逆行车并能超车后安全驶回原车道所需的最短距离。

2、超车视距的构成：



设计速度 V	100	80	60	40	30	20
被超车车速 V_0	80	60	45	30	20	15
加速时间 t_1	4.5	4.2	3.7	3.1	2.9	2.7
平均加速度 α	0.66	0.65	0.63	0.61	0.60	0.60

3、超车视距的计算:

超车视距的全程可分为四个阶段:

(1) 加速行驶距离 S_1

当超车汽车经判断认为有超车的可能, 于是加速行驶移向对向

车道, 在进入该车道之前所行驶距离为 S_1 :

$$S_1 = \frac{V_0}{3.6} t_1 + \frac{1}{2} a t_1^2$$

式中: V_0 ——被超汽车的速度(km/h), 较设计速度低5~20km/h;

t_1 ——加速时间(s), 2.9~4.5S ;

a ——平均加速度(m/s^2), 0.60~0.66。



(2) 超车汽车在对向车道上行驶的距离 S_2

$$S_2 = \frac{V}{3.6} t_2$$

设计速度 V	100	80	60	40	30	20
行使时间 t	11.4	10.4	9.5	8.5	8.0	7.5

(3) 超车完了时，超车汽车与对向汽车之间的安全距离 S_3 :

$S_3=15\sim 100\text{m}$

设计速度 V	100	80	60	40	30	20
安全距离 S	80	60	40	25	20	15



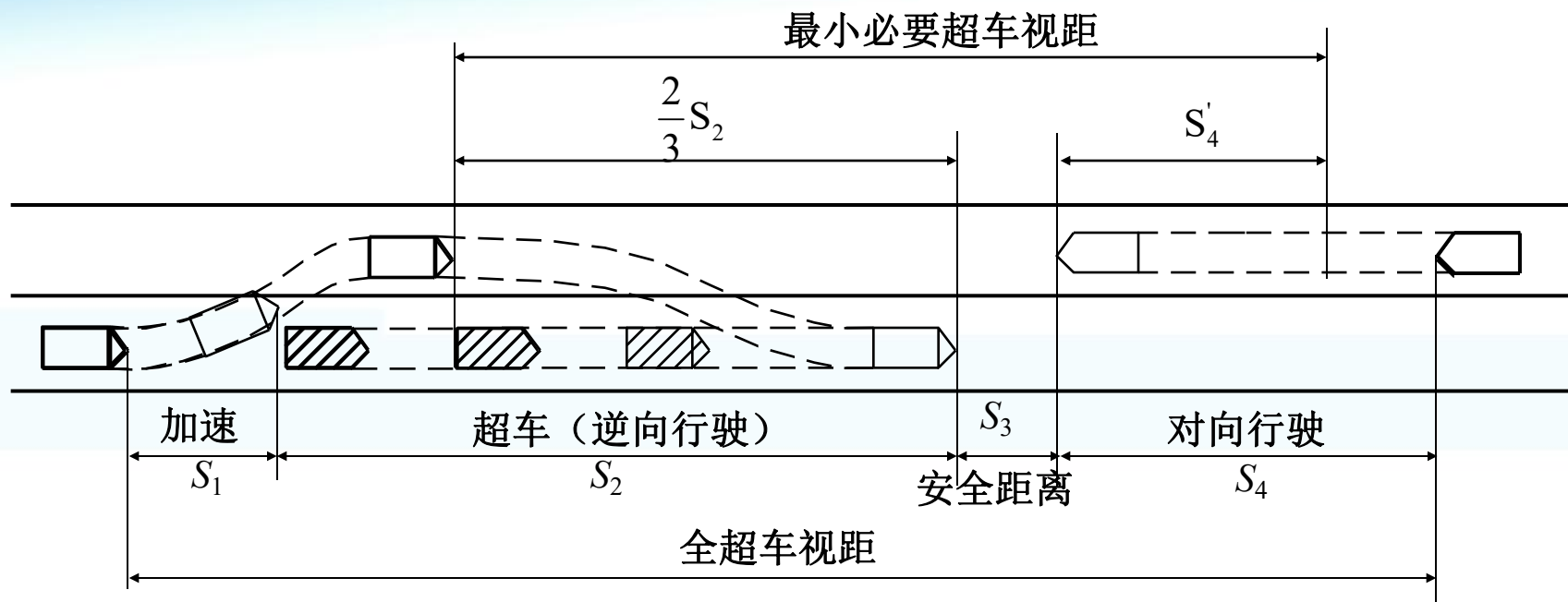
(4) 超车汽车从开始加速到超车完了时对向汽车的行驶距离 S_4 :

$$S_4 = \frac{V}{3.6} (t_1 + t_2)$$

以上四个距离之和是比较理想的全超车过程，全超车视距为： $S_{超} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$



- 最小必要超车视距为：



- 对向汽车行驶时间大致为 t_2 的 $2/3$ ，

$$S_4' = \frac{2}{3} \cdot t_2 \cdot \frac{V}{3.6}$$

- 理想的超车视距为：

$$S_{超} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4'$$

- 最小必要的超车视距：

$$S_{超} = \frac{2}{3} \cdot S_2 + S_3 + S_4'$$

超车视距计算

设计速度 V		100	80	60	40	30	20
被超车车速 V_0		80	60	45	30	20	15
平均加速度 α		0.66	0.65	0.63	0.61	0.60	0.60
S_1	t_1	4.5	4.2	3.7	3.1	2.9	2.9
	$S_1=t_1V_0/3.6+at_1^2/2$	107	76	50	28	19	14
S_2	t_2	11.4	10.4	9.5	8.5	8.0	7.5
	$S_2=t_2V/3.6$	317	230	159	95	67	42
S_3		80	60	40	25	20	15
$S_4=V/3.6 \times (t_1+t_2)$		442	324	220	129	91	58
$2/3*S_2$		211	154	106	63	45	28
$S_4'=2/3 \times t_2 \times V/3.6$		211	154	106	63	45	28
小 $H_C=2/3 \times S_2 + S_3 + S_4'$			368	252	151	110	71
全 $H_C=S_1+S_2+S_3+S_4'$			520	355	211	151	99

各设计车速下的超车视距

设计速度 (km/h)	80	60	40	30	20
一般值 (m)	550	350	200	150	100
最小值 (m)	350	250	150	100	70

一般情况下，具有干线功能的二级公路应在**3分钟**的行驶时间内，提供一次满足超车视距要求的超车路段，超车路段的总长度以不小于路线总长度的**10%~30%**为宜。其他双车道公路可根据情况间隔设置具有超车视距的路段。

第六节 行车视距及其保证

一、视距的类型

二、视距计算

三、行车视距的保证

四、各级公路对视距的要求



三、行车视距的保证

对于纵断面的凸型竖曲线以及下穿立交的凹型竖曲线视距问题，在规定竖曲线最小半径时已经作了考虑，只要满足规范最小竖曲线半径的要求，也就同时满足了竖曲线上视距的要求。所以，在视距检查中，应重点注意道路平面的“暗弯”，即曲线内侧有树木、房屋、边坡等阻碍驾驶员的视线，处于隐蔽地段的平曲线，交叉口处。

★平曲线视距检查方法：

- ①视距包络曲线法
- ②最大横净距法

(一) 视距包络曲线法

从汽车行驶轨迹的不同位置引出一系列视线，它们的弧长等于视距 S ，与这些线相切的曲线称为视距曲线。

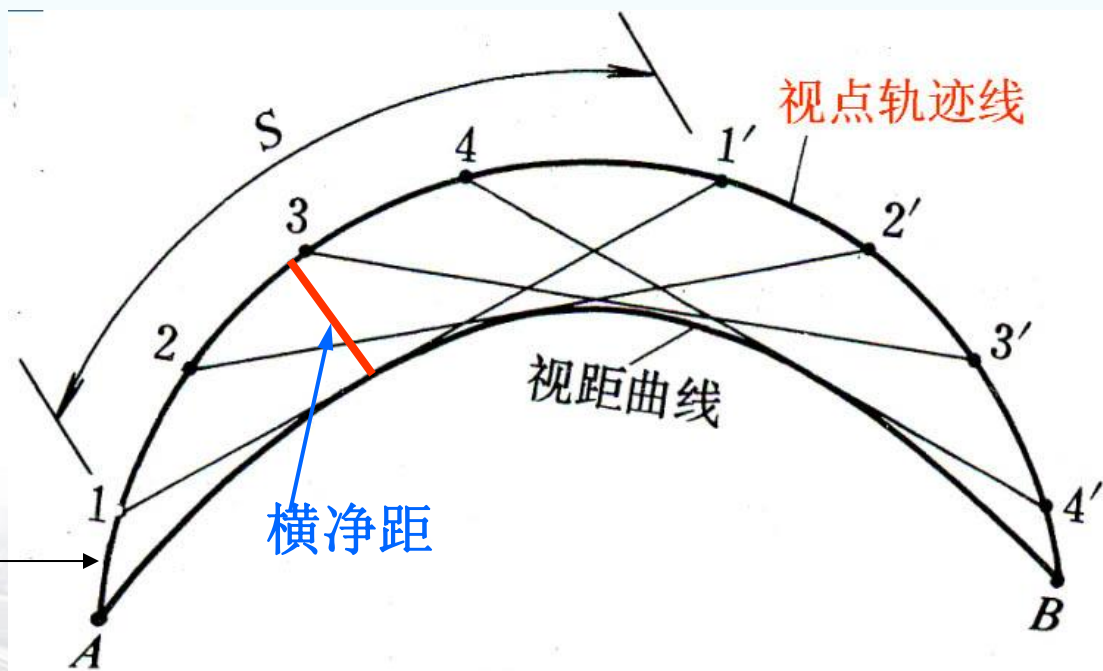
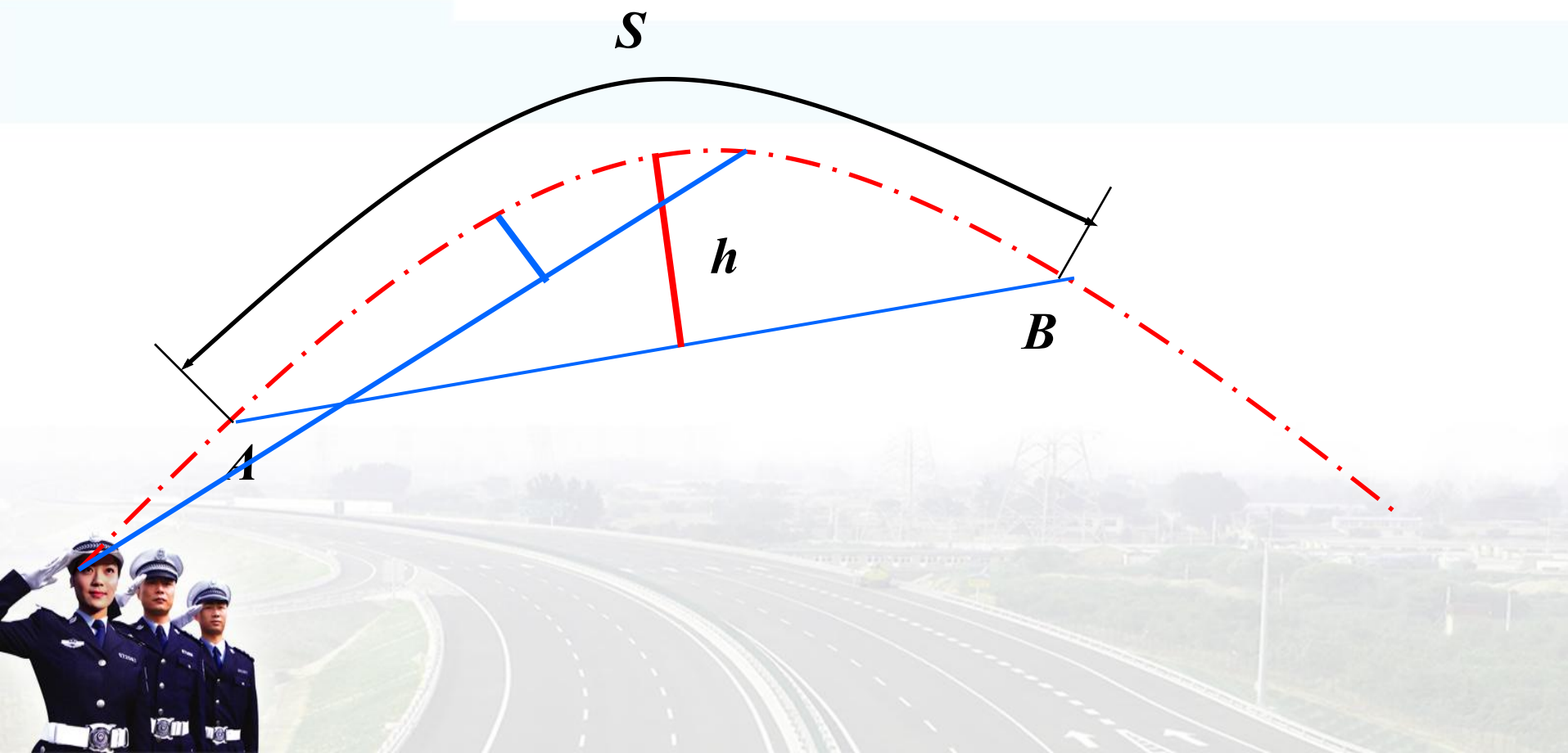


图2-20弯道内侧应保证通视的区域

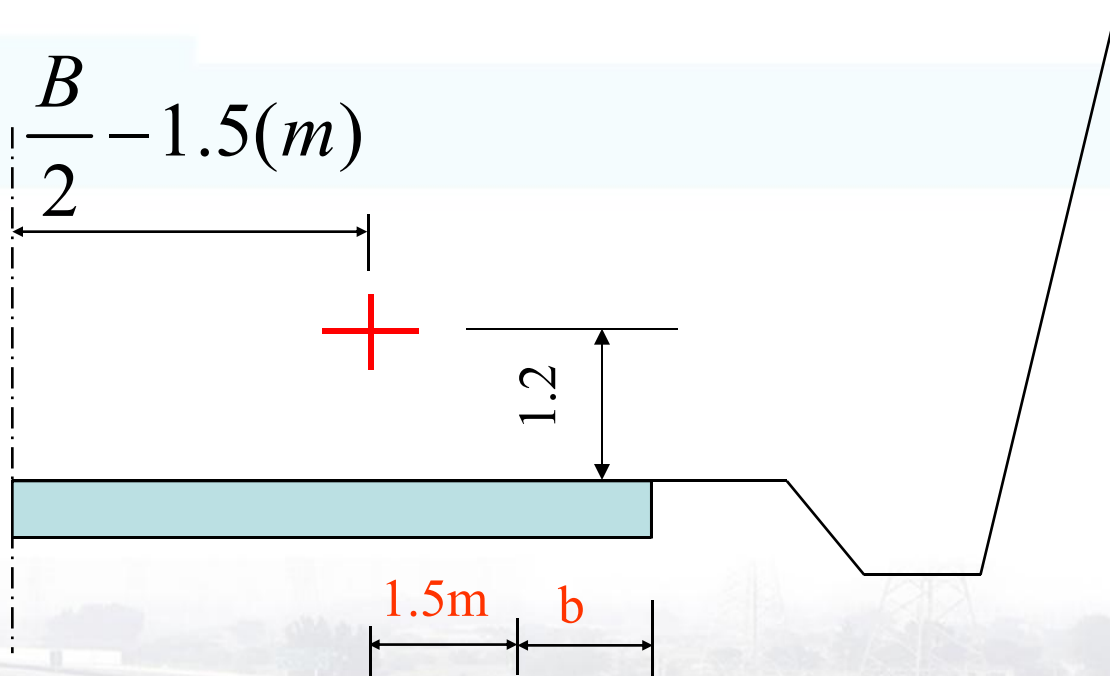


(二) 横净距及其计算

- **横净距**：在弯道各点的横断面上，汽车行驶轨迹线与视距线之间的最大距离叫横净距。



- 驾驶员视点位置：
- 平面：距未设加宽的路面外边缘 $1.5m$ ，
- 或距路中线 $B/2-1.5$ (m)



• 高度： $1.2m$



最大横净距计算方法:

1、不设回旋线的横净距计算:

(1) $L > S$:

$$h = R_s - R_s \cos \frac{\gamma}{2} = R_s \left(1 - \cos \frac{\gamma}{2}\right)$$

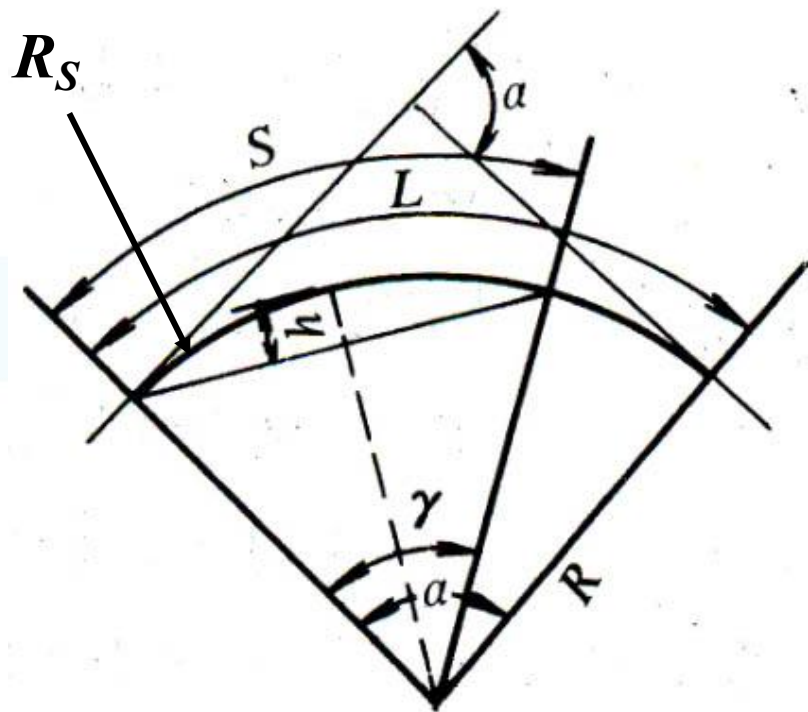
$$\gamma = \frac{180}{\pi} \frac{S}{R_s}$$

式中: R_s —行车轨迹线半径

$$R_s = R - \frac{B}{2} + 1.5$$

将 $\cos \gamma/2$ 按三角级数展开, 并整理得:

$$h = \frac{S^2}{8R_s}$$



(2) $L < S$:

$$h_1 = R_s - R_s \cos \frac{\alpha}{2} = R_s (1 - \cos \frac{\alpha}{2})$$

$$h_2 = \frac{S - L}{2} \sin \frac{\alpha}{2}$$

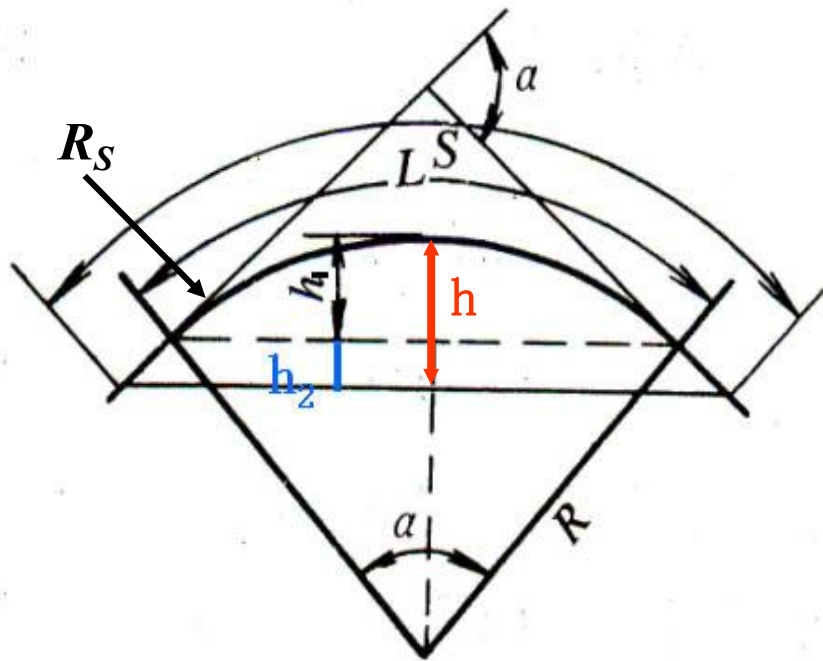
$$h = h_1 + h_2 = R_s (1 - \cos \frac{\alpha}{2}) + \frac{S - L}{2} \sin \frac{\alpha}{2}$$

式中： L ——曲线内侧行驶轨迹线长度

$$L = \frac{\pi}{180} \alpha R_s$$

整理上式得：

$$h = \frac{L}{8R_s} (2S - L)$$

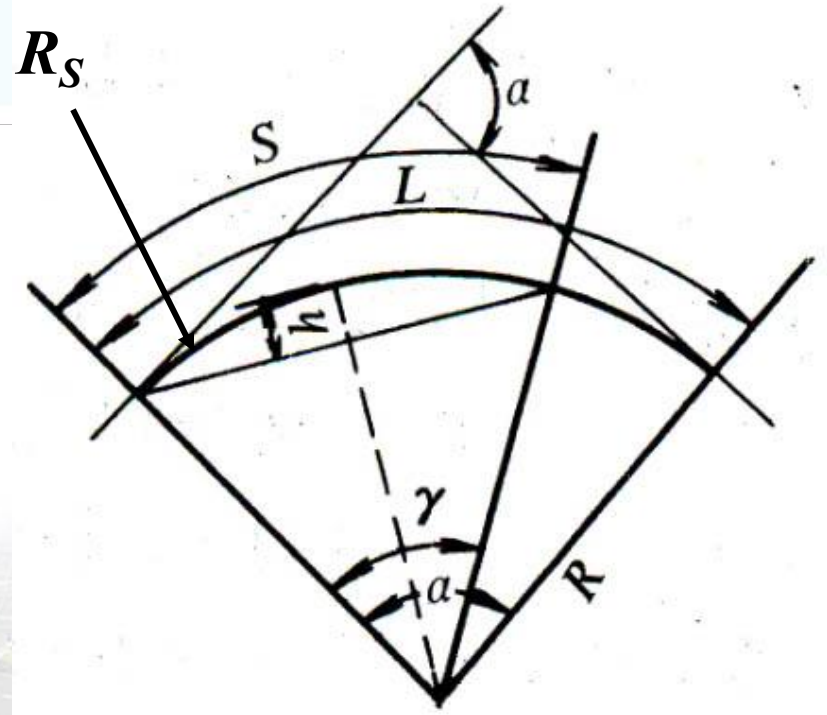


2、设回旋线的横净距计算：

分三种情况，一是圆曲线长 $L' > S$ ，二是曲线总长 $L > S > L'$ ，三是曲线总长 $L < S$

(1) 圆曲线长 $L' > S$

$$h = \frac{S^2}{8R_S}$$



(2) 曲线总长 $L > S > L'$

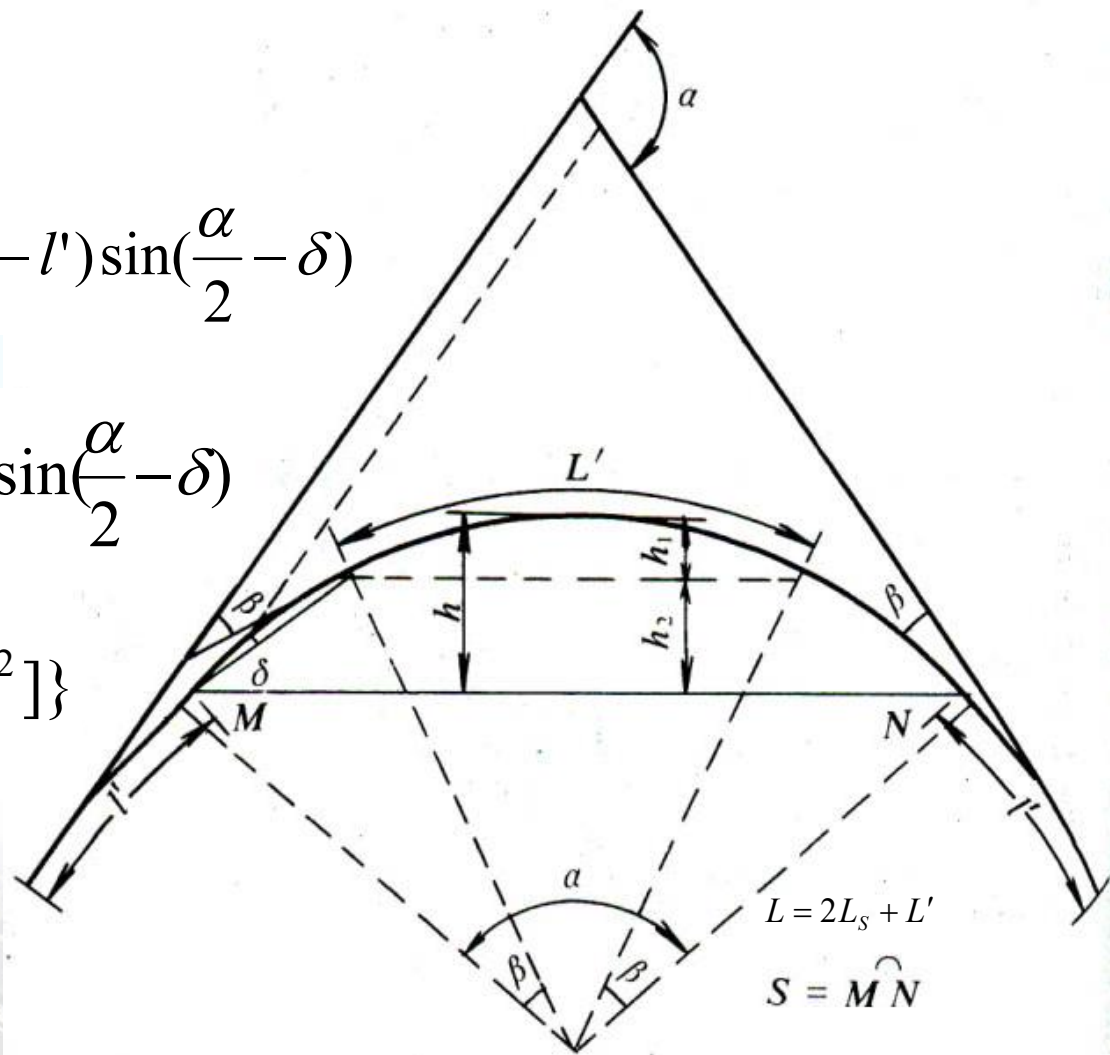
$$h = h_1 + h_2$$

$$h_1 = R_s \left(1 - \cos \frac{\alpha - 2\beta}{2}\right) \quad h_2 = (L_s - l') \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \delta\right)$$

$$h = R_s \left(1 - \cos \frac{\alpha - 2\beta}{2}\right) + (L_s - l') \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \delta\right)$$

$$\delta = \arctg \left\{ \frac{L_s}{6R_s} \left[1 + \frac{l'}{L_s} + \left(\frac{l'}{L_s}\right)^2 \right] \right\}$$

$$l' = \frac{1}{2}(L - S)$$



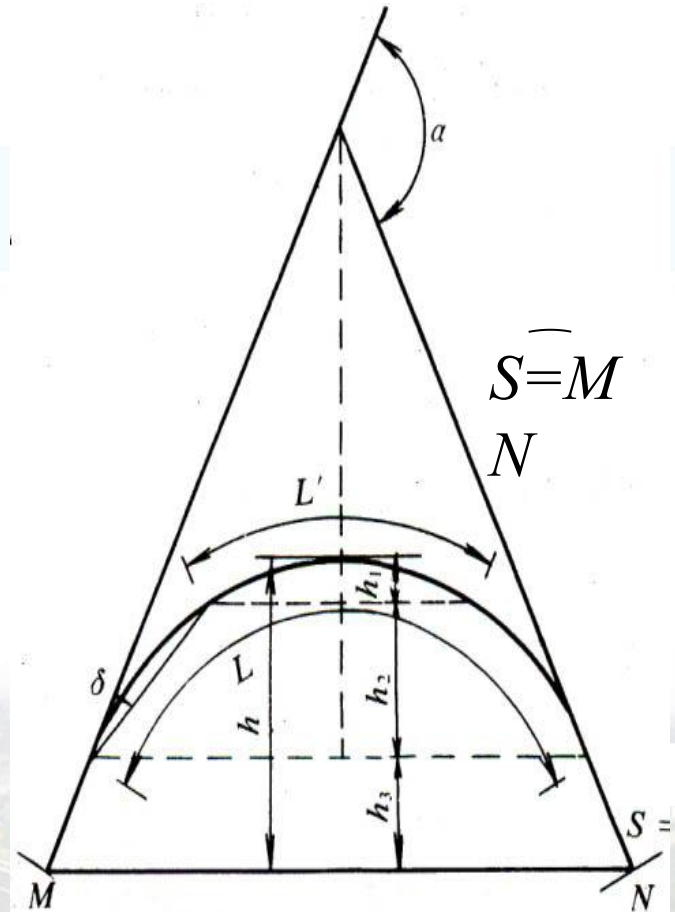
(3) 曲线总长 $L < S$ $h = h_1 + h_2 + h_3$

$$h_1 = R_s \left(1 - \cos \frac{\alpha - 2\beta}{2}\right)$$

$$h_2 = L_s \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \delta\right) \quad h_3 = \frac{S - L}{2} \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$h = R_s \left(1 - \cos \frac{\alpha - 2\beta}{2}\right) + L_s \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \delta\right) + \frac{S - L}{2} \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$\delta = \arctg \frac{L_s}{6R_s}$$



(三) 保证行车视距的工程措施:

1. 清除障碍物:

(1) 清除视距包络曲线与行车轨迹线间的全部障碍物。

适用: 连续障碍物的清除, 如路堑边坡等。

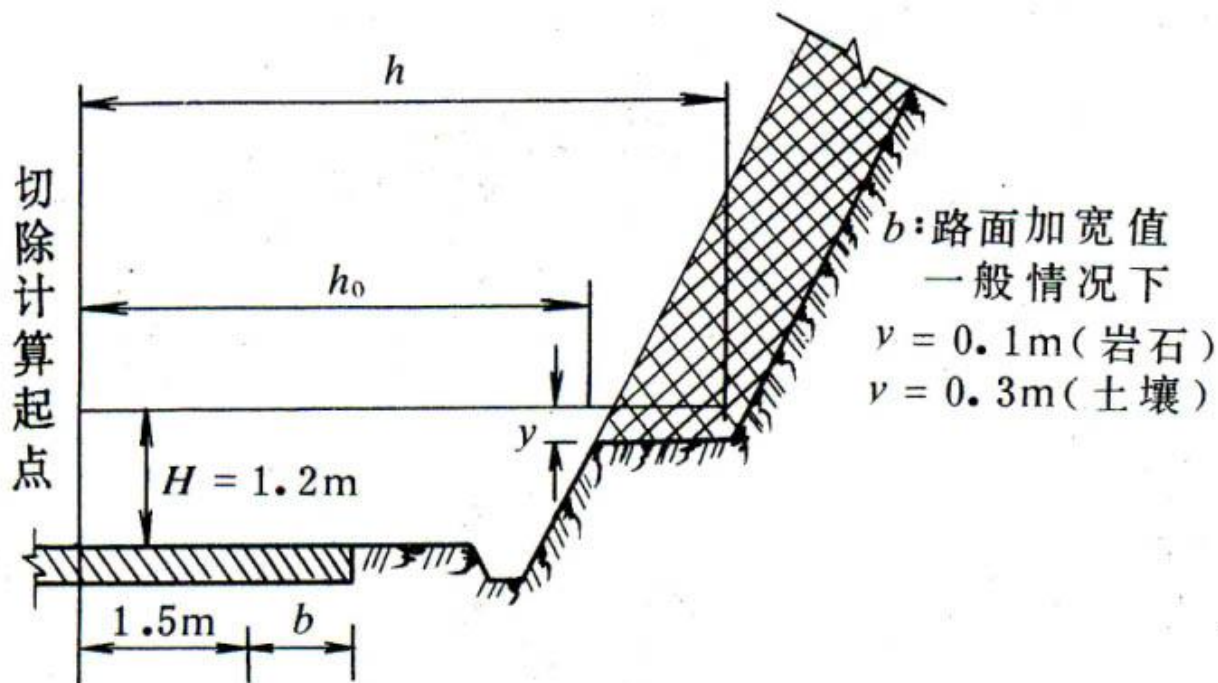
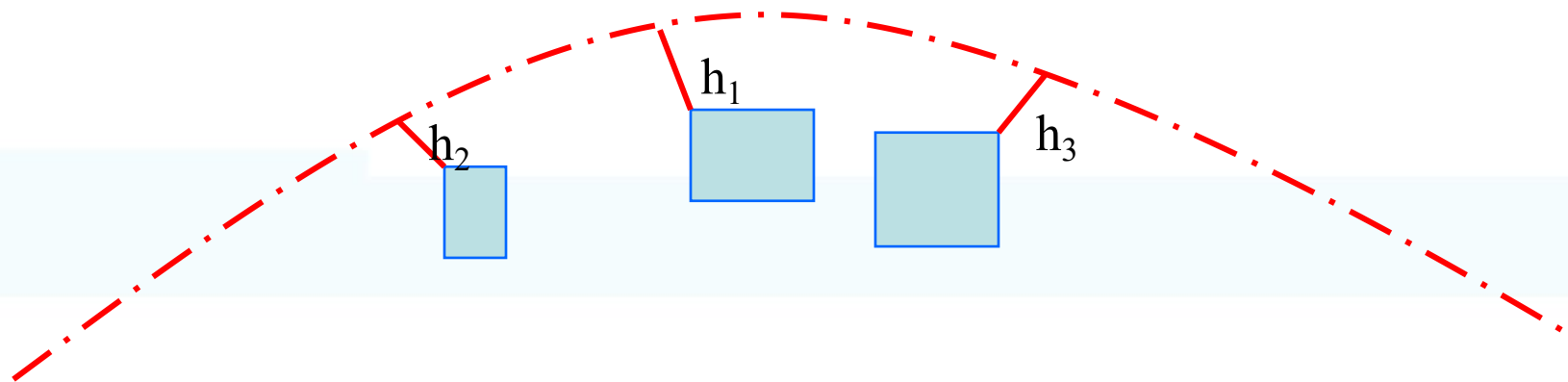


图 5-2~ 挖视距台断面

(2) 清除距离行车轨迹线小于最大横净距的障碍物。

适用：分散障碍物，如独立建筑物等。



2. 分道行驶：

二、三、四级公路，在工程特殊困难，或受其它条件限制路段，若保证**2倍**停车视距不可能，则必须满足停车视距，同时必须采用严格的分道行驶措施。如设分道线、分隔带、分隔桩；或设成两条分离的单车道。

•3.其他措施



第六节 行车视距及其保证

一、视距的类型

二、视距计算

三、行车视距的保证

四、各级公路对视距的要求



四、各级公路对视距的要求

1. 高速公路、一级公路应满足停车视距。
2. 二、三、四级公路的视距应满足会车视距的要求，其长度应不小于停车视距的两倍。

工程特殊困难或受其它条件限制的地段，可采用停车视距，但必须采取分道行驶措施。

3. 二、三、四级公路还应在适当间隔内设置满足超车视距“一般值”的超车路段。当地形及其它原因不得已时，超车视距长度可适当缩减，最短不应小于所列的低限值。

在二、三级公路中，宜在3min的行驶时间里，提供一次满足超车视距的超车路段。一般情况下，不小于总长度的10%~30%，并均匀布置。

第二章 平面设计

第一节 概述

第二节 直线

第三节 圆曲线

第四节 缓和曲线

第五节 平面形设计

第六节 行车视距

第七节 道路平面设计成果



第七节 道路平面设计成果

1. 设计表：直线、曲线及转角表
逐桩坐标表
路线固定表
总里程及断链桩表等。

2、设计图：路线平面设计图
道路平面布置图
道路占地图



一、道路平面设计的表格

(一) 直线、曲线及转角表

《直线、曲线及转角表》全面地反映了路线的平面位置和路线平面线形的各项指标，它是道路设计的主要成果之一。详见[直线、曲线及转角表示例](#)。

平面线形设计成果：

- 路线各交点桩号 JD
- 半径 R
- 缓和曲线长度 L_s
- 公路偏角 α
- 交点坐标 (X, Y) 等。



(二) 逐桩坐标表

1、坐标系统的采用：

(1) 采用统一的高斯正投影 3° 带平面直角坐标系；

(2) 采用高斯正投影 3° 带或任意带平面直角坐标系，投影面可采用1985年国家高程基准、测区抵偿高程面或测区平均高程面；

(3) 在已有平面控制网的地区，应尽量沿用原有的坐标系，如精度不合要求，也应充分利用其点位，选用其中一点的坐标及含此点的方位角，作为平面控制的起算依据。



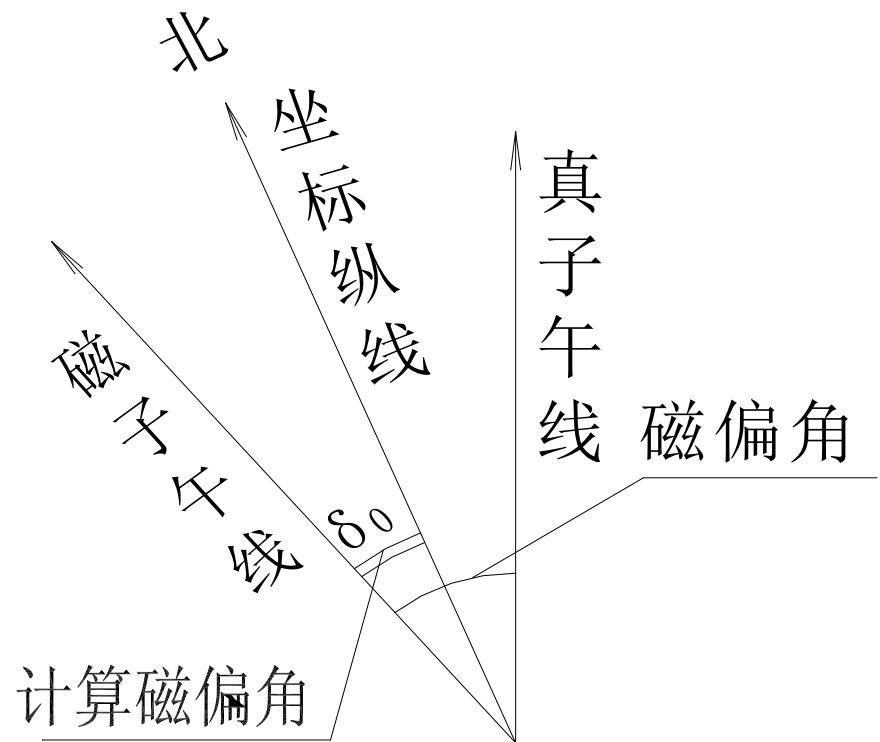
2、 路线的计算方位角：

路线的计算方位角是指路线前进方向与坐标纵线方向的夹角。

$$\phi = \omega - \delta_0$$

式中： ω —磁方位角；

δ_0 —计算磁偏角。

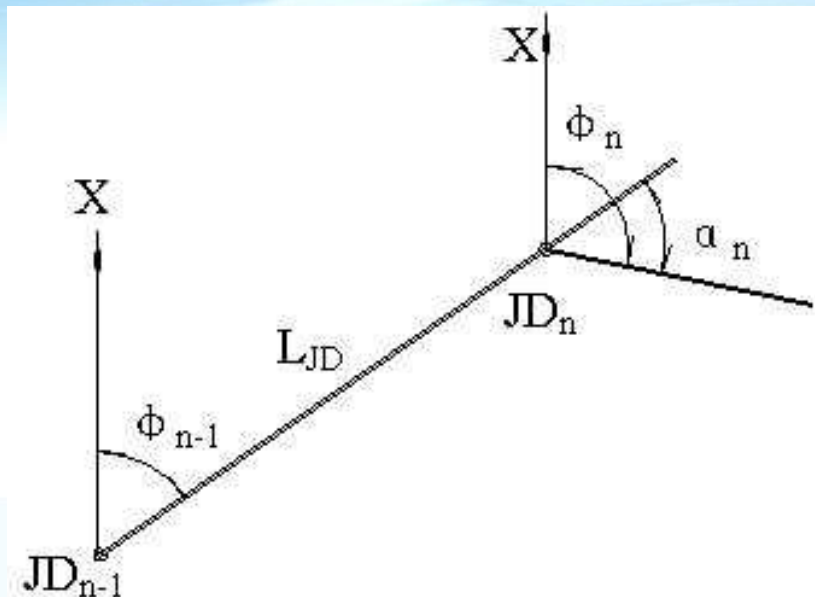


[逐桩逐桩坐标表.doc](#) [坐标表](#)



3. 计算交点坐标:

- $X_n = X_{n-1} + L_{JD} \cos \varphi_{n-1}$
- $Y_n = Y_{n-1} + L_{JD} \sin \varphi_{n-1}$



- 式中: X_n —— JD_n 的 X 坐标 (N 坐标);
- Y_n —— JD_n 的 Y 坐标 (E 坐标);
- L_{JD} ——交点间距 (JD_{n-1} 到 JD_n 间距);

$$L_{JD} = JD_n - JD_{n-1} + J_{n-1}$$

- φ_{n-1} —— JD_{n-1} 的计算方位角; $\varphi_n = \varphi_{n-1} + \alpha_n$

(其中, α_n 右偏取“+”值, 左偏取“-”值)。



二、道路平面设计图

1、路线总体布置图

路线总体布置图示例

2、路线平面设计图

路线平面设计图应示出沿线的地形、地物、路线位置及里程桩号、断链、平曲线主要桩位等。

公路路线平面图示例

城市道路平面图见课本*P66*

3 道路用地图。



作业

1、平面线形三要素是什么？各有什么特点？

2、直线的适用场合，长短直线的概念及实际如何应用。

3、圆曲线半径确定的理论依据是什么？标准中有几种规定值？实用中如何选择曲线半径？

4、缓和曲线的作用是什么？

5、什么是视距？分几种？不同视距在什么情况下需要满足？

6、三要素有那几种组合形式？

7、如果弯道的半径 R 很小，路面横坡 i_h 不适当，汽车的轮距 b 较窄，装载重心 h_g 又过大，车速 V 很高，则汽车有倾覆的可能性。试分析汽车开始倾覆时上述诸因素的关系。

设 $R=50m$ ， $b=1.7m$ ， $h_g=1.8m$ ， $i_h = -0.03$ （反超高）

求倾覆时的临界速度 V ？

8、在冰雪覆盖的光滑路面上，一般司机会降低车速以保持转弯时不超出 0.07 以保证安全。问在半径为 50 ，超高率为 0.06 的弯道上，时速不超过多少公里？



9、在气候良好，交通量不大时，部分汽车会采用较设计车速更高的速度，特别是在低速路上。据测一些胆大的司机采用的横向力系数可大至0.3。问在半径，超高率为0.06的弯道上，这类汽车的时速可高至多少？

10、一条二级平原区路线，JD的里程为k5+146.94，偏角 $\alpha_y=45^\circ 25'30''$ ，缓和曲线长度 $L_S=35m$ ，半径 $R=150m$ 。

计算：（1）计算曲线要素？

（2）推算主点桩里程？

（3）缓和曲线上10一桩，圆曲线上15一桩分别用支距法及偏角法计算放桩数据。

11、已知平原区某二级公路有一弯道，偏角 $\alpha_y=13^\circ 38'42''$ ，半径 $R=800m$ ， $JD=K5+136.53$ 。计算确定缓和曲线长度及曲线主点里程桩号。

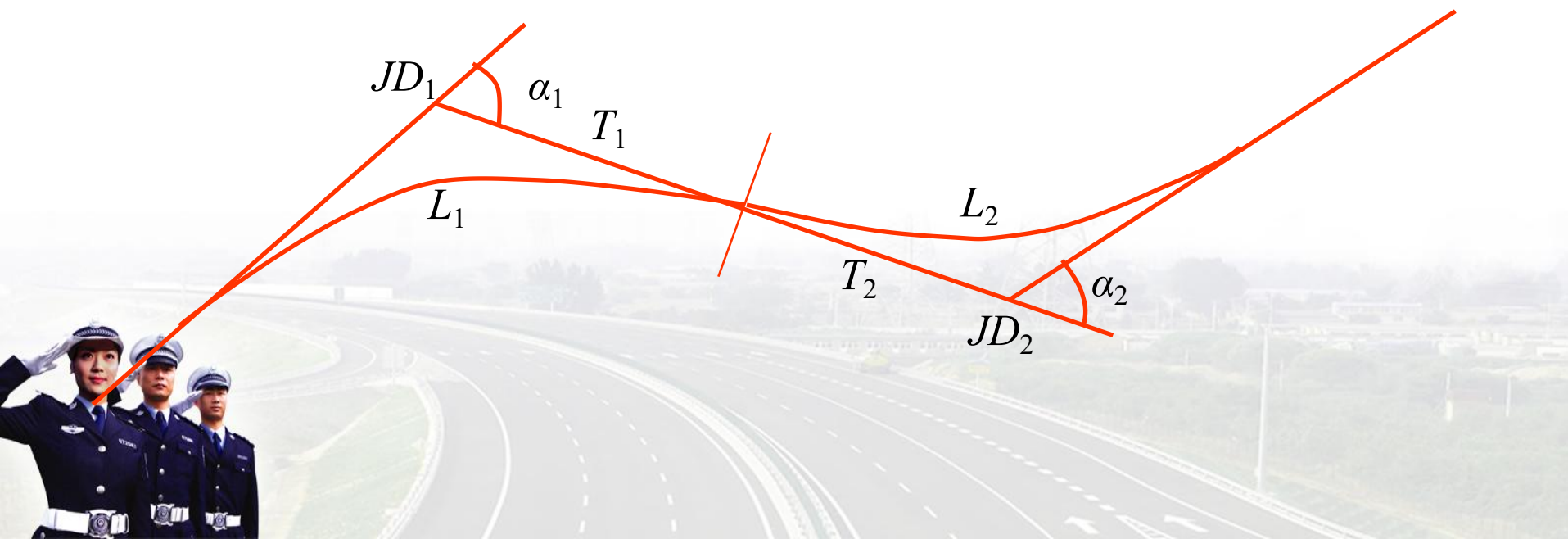


作业题：

- 已知平原区某二级公路有一弯道，偏角 $\alpha_y=13^\circ 38'42''$ ，半径 $R=800\text{m}$ ， $JD=K5+136.53$ 。
计算确定缓和曲线长度及曲线主点里程桩号。



- 例：平原区某公路有两个交点间距为407.54m， $JD_1=K7+231.38$ ，偏角 $\alpha_1=12^\circ 24'20''$ （左偏），半径 $R_1=1200\text{m}$ ； JD_2 为右偏， $\alpha_2=15^\circ 32'50''$ ， $R_2=1000\text{m}$ 。
- 要求：按S型曲线计算 L_{s1} 、 L_{s2} 长度，并计算两曲线主点里程桩号。



■例：平原区某公路有两个交点间距为 407.54 m ， $JD_1=K7+231.38$ ，偏角 $\alpha_1=12^\circ 24'20''$ （左偏），半径 $R_1=1200\text{ m}$ ； JD_2 为右偏， $\alpha_2=15^\circ 32'50''$ ， $R_2=1000\text{ m}$ 。

■要求：按S型曲线计算 Ls_1 、 Ls_2 长度，并计算两曲线主点里程桩号。

■解：（1）计算确定缓和曲线长度 Ls_1 、 Ls_2 ：

■令两曲线的切线长相当，则取 $T_1=407.54/2=203.77\text{ m}$

■按各线形要素长度1：1：1计算 Ls_1 ：

■ $Ls_1=\alpha R/2=12.2420 \times \pi/180 \times 1200/2=129.91$

■ 取 $Ls_1=130\text{ m} < 407.54/2=203.77\text{ m}$

■则经计算得， $T_1=195.48\text{ m}$



- $203.77-195.48=8.29$ ，即 T_1 计算值偏短。
- 切线长度与缓和曲线长度的增减有近似1/2的关系，
- $L_{s1}=130+2\times 8.29=146.58$ ，取 $L_{s1}=140m$ 。
- 则计算得， $T_1=200.49m$
- $T_2=407.54-T_1=407.54-200.49=207.05$
- 按1: 1: 1计算 L_{s2} ：
- $L_{s2}=\alpha R/2=15.3250\times 3.1415926/180\times 1000/2=135.68$
- 计算切线长 T_2 得， $T_2=204.45m$
- $207.05-204.45=2.60$
- 取 $L_{s2}=135.68+2\times 2.60=140.88$
- 计算得， $T_2=207.055m$
- $207.05-207.055=-0.005$
- 取 $L_{s2}=140.88-2\times 0.005=140.87$



■ JD_1 曲线要素及主点里程桩号计算

■ $R_1=1200$ $Ls_1=140$ $\alpha_1=12.2420$

■ $T_1=200.49$ $L_1=399.82$ $E_1=7.75$ $J_1=1.15$

■ $JD_1=K7+231.38$

■ $ZH_1=K7+030.89$

■ $HY_1=K7+170.89$

■ $QZ_1=K7+230.80$

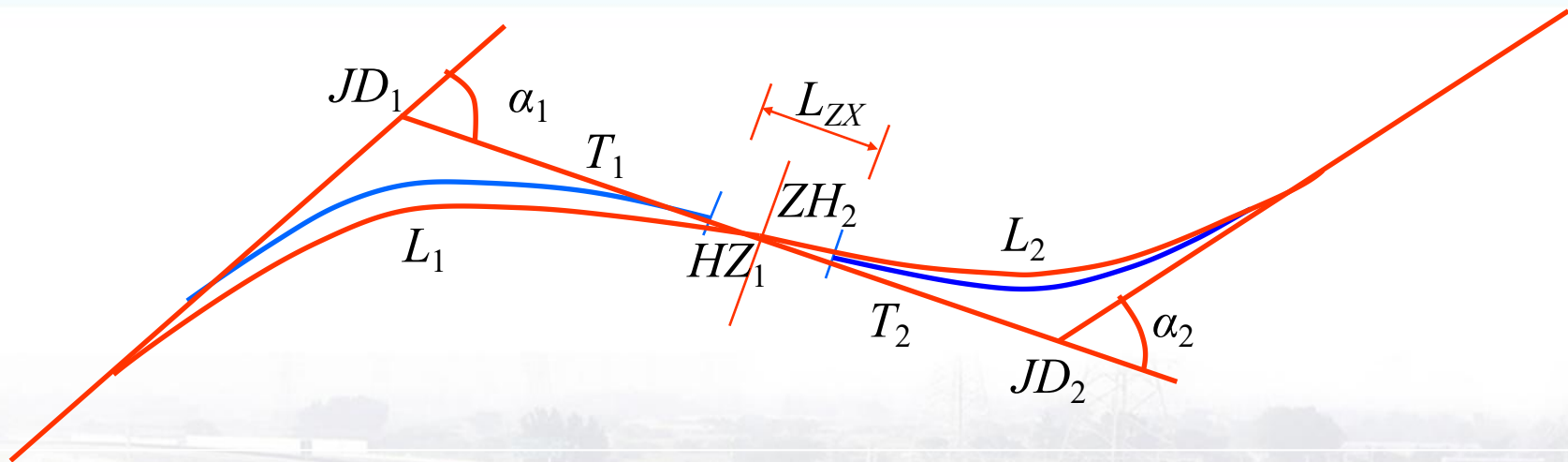
■ $YH_1=K7+290.71$

■ $HZ_1=K7+430.71$



JD_2 里程桩号计算:

- $JD_2 = JD_1 + \text{交点间距} - J_1$
- $= HZ_1 + \text{曲线间直线长度} + T_2$



$$JD_2 = JD_1 + 407.54 - J_1 = 7231.38 + 407.54 - 1.15 = K7 + 637.77$$



JD_2 里程桩号计算:

- $JD_2 = K7 + 637.77$
- $R_2 = 1000 \quad Ls_1 = 140.87 \quad \alpha_2 = 15.3250$
- JD_2 曲线要素及主点里程桩号计算
- $T_2 = 207.05 \quad L_2 = 412.22 \quad E_2 = 10.11 \quad J_2 = 1.88$
- $JD_2 = K7 + 637.77$
- $ZH_2 = K7 + 430.72$
- $HY_2 = K7 + 571.59$
- $QZ_2 = K7 + 636.83$
- $YH_2 = K7 + 702.07$
- $HZ_2 = K7 + 842.94$



作业:

- 平原区某公路有两个交点间距为 $371.82m$ ， $JD_1=K15+385.63$ ，偏角 $\alpha_1=20^\circ 19'52''$ （右偏），半径 $R_1=700m$ ， JD_2 为右偏， $\alpha_2=17^\circ 05'32''$ ， $R_2=850m$ ，试按S型曲线计算 L_{S1} 、 L_{S2} 长度，并计算两曲线主点里程桩号。

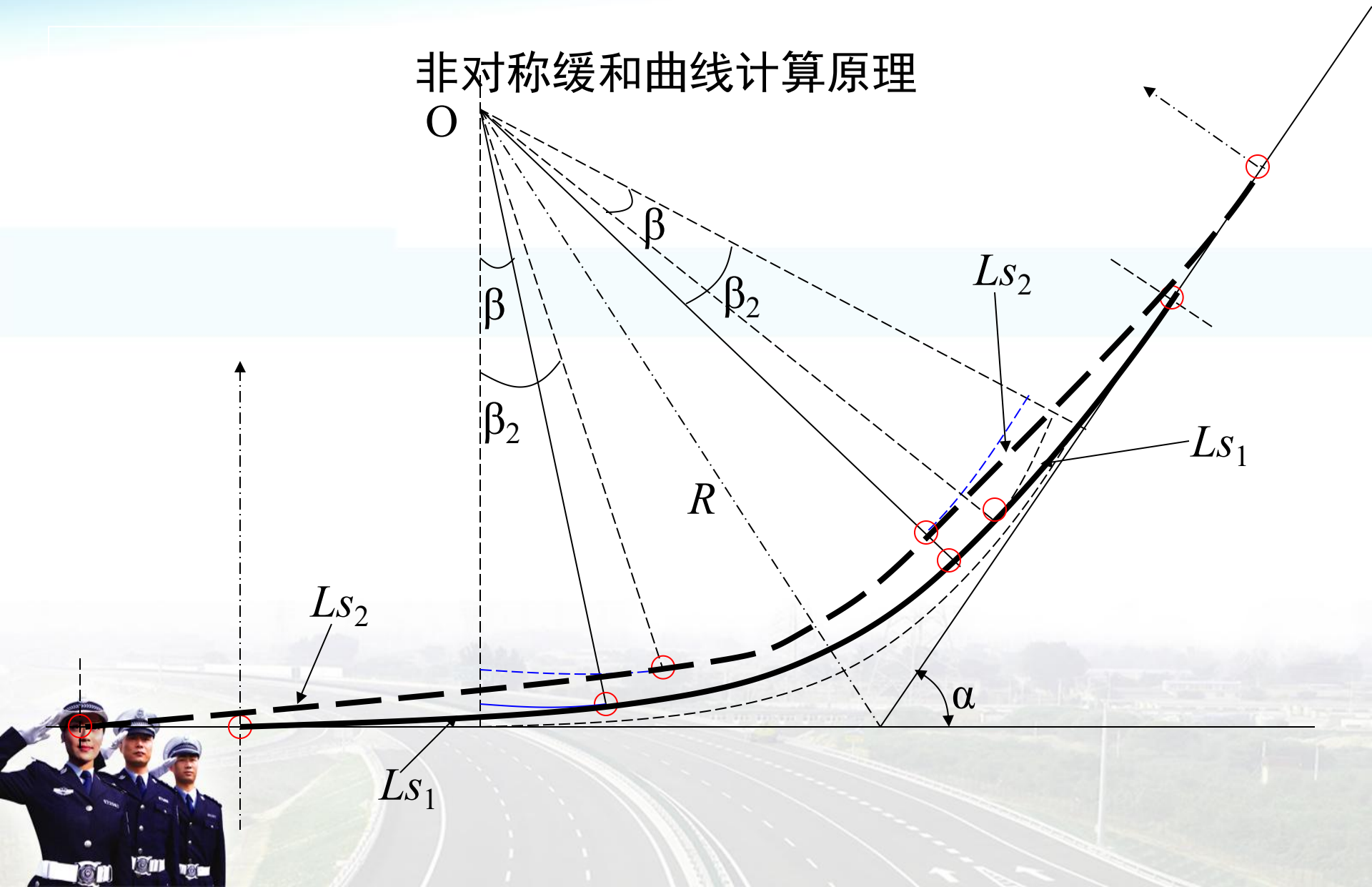


附：非对称缓和曲线计算方法

- 公路平面线形基本要素是由直线、圆曲线和缓和曲线三个要素构成的。
- 《规范》规定，基本型也可使用非对称的缓和曲线，以适应周围地形地物。
- （一）计算原理
- 缓和曲线采用的线型一般为回旋线，其性质满足 $r \cdot l = C$ （常量）。公路设计中定义该常量 C 为回旋线参数 A ，且 $A^2 = R \cdot L_s$ 。这样当圆曲线半径 R 和缓和曲线长度 L_s 确定时，参数 A 就是定值，圆曲线的内移值 p ，也就是定值。



非对称缓和曲线计算原理



(二) 采用的测设方法

- **平移圆心法**：平移圆心使圆曲线到两条切线的距离分别等于两个内移值，这样设计的平曲线位置相对于切线是不对称的。
- **调整缓和曲线参数法**：保持圆心位置不变而通过调整缓和曲线参数 A 值来实现非对称缓和曲线设计。

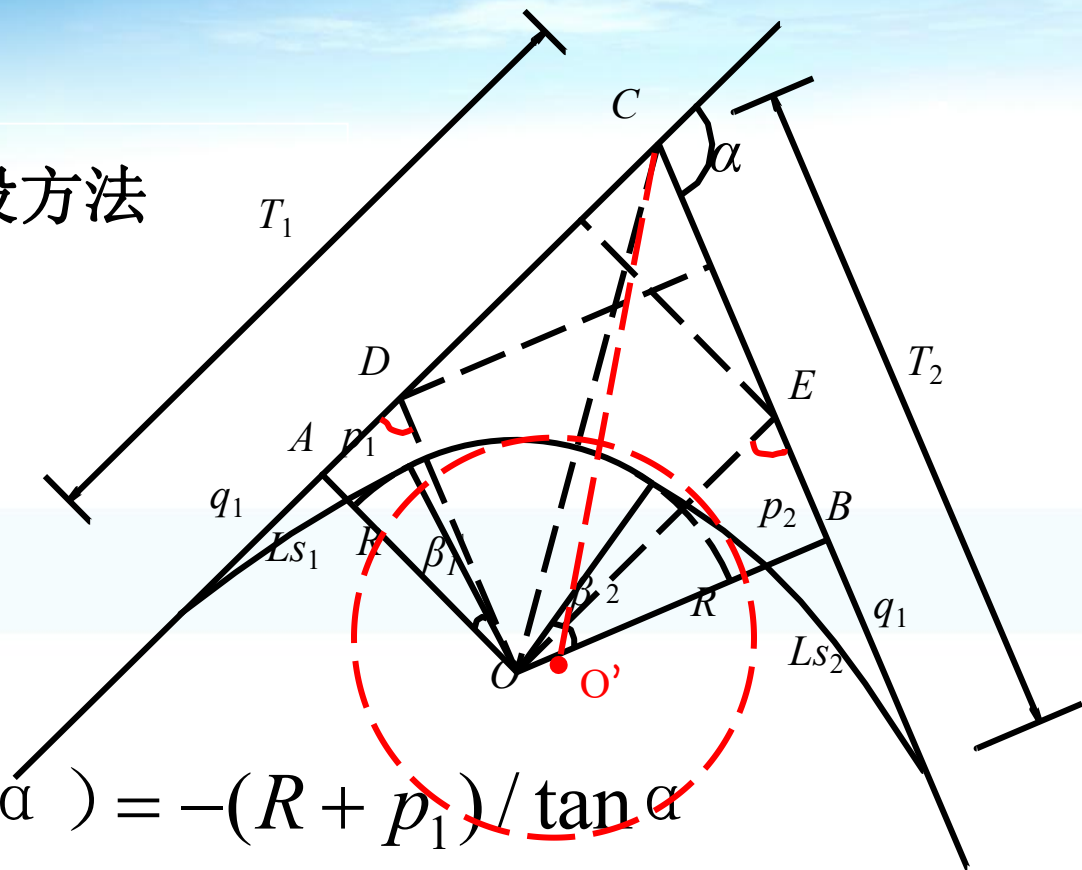


(二) 采用的测设方法

• 1. 平移圆心法

$$T_1 = q_1 + \overline{AD} + \overline{DC}$$

$$T_2 = q_2 + \overline{BE} + \overline{EC}$$



$$\overline{AD} = (R + p_1) / \tan(\pi - \alpha) = -(R + p_1) / \tan \alpha$$

$$\overline{DC} = (R + p_2) / \sin(\pi - \alpha) = (R + p_2) / \sin \alpha$$

$$T_1 = q_1 - (R + p_1) / \tan \alpha + (R + p_2) / \sin \alpha$$

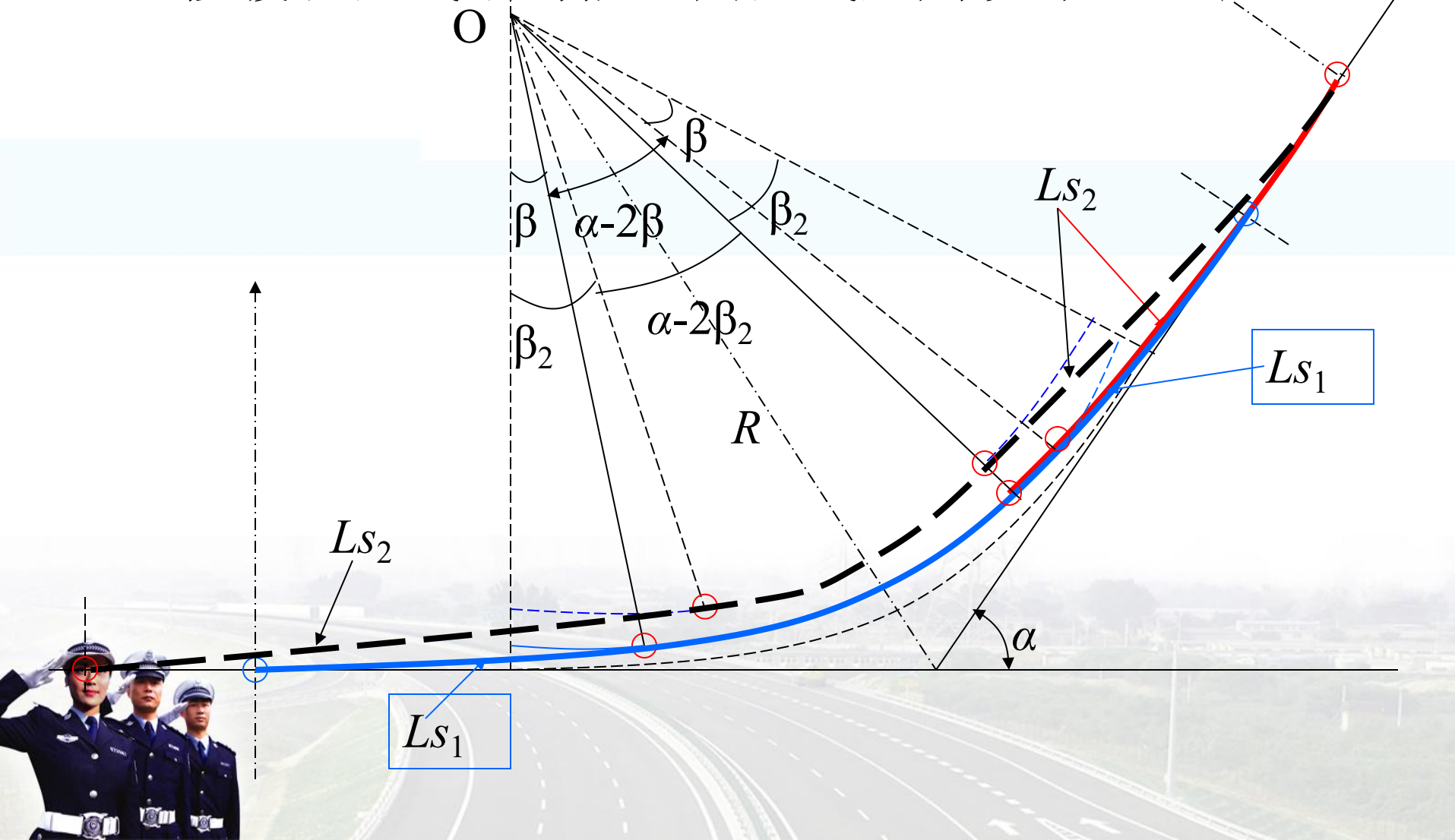
$$T_2 = q_2 - (R + p_2) / \tan \alpha + (R + p_1) / \sin \alpha$$

$$L = (\alpha - \beta_1 - \beta_2)R + Ls_1 + Ls_2 = \alpha R + \frac{Ls_1}{2} + \frac{Ls_2}{2}$$



2. 调整缓和曲线参数法

- 按缓和曲线平均插入圆曲线原则设计:



- (1) 计算原理

- 设第一缓和曲线长度为 Ls_1 ，第二缓和曲线长度为 Ls_2 ，且 $Ls_1 < Ls_2$ ，则

$$p_1 = \frac{Ls_1^2}{24R}, q_1 = \frac{Ls_1}{2} - \frac{Ls_1^3}{240R^2}, \beta_1 = \frac{Ls_1}{2R}$$

$$p_2 = \frac{Ls_2^2}{24R}, q_2 = \frac{Ls_2}{2} - \frac{Ls_2^3}{240R^2}, \beta_2 = \frac{Ls_2}{2R}$$

缓和曲线参数： $A_1^2 = RLs_1$ ， $A_2^2 = RLs_2$



- 缓和曲线参数: $A_1^2 = R L s_1$, $A_2^2 = R L s_2$
- 因为 $L s_1 \neq L s_2$, 所以 $A_1 \neq A_2$, $p_1 \neq p_2$,
- [方法] 令 $p_2 = p_1$, 由 p_2 反推缓和曲线参数 A_2 , 再进行缓和曲线计算。

■ 因为 $y = \frac{l^3}{6A^2} - \frac{l^7}{336A^6}$ 所以 $Y_2 = \frac{L s_2^3}{6A_2^2}$

$$A_2^2 = \frac{L s_2^3}{6Y_2}, A_2 = \sqrt{\frac{L s_2^3}{6Y_2}}$$

$$p_2 = Y_2 + R(\cos \beta_2 - 1) = p_1$$

$$Y_2 = p_1 - R(\cos \beta_2 - 1)$$

$$X_2 = L s_2 - \frac{L s_2^5}{40 A_2^4}, q_2 = \frac{L s_2}{2} - \frac{L s_2^5}{240 A_2^4}$$



(2) 几何要素计算:

上、下半支曲线分别按 Ls_1 和 Ls_2 单独计算。

- 切线长: 上半支 $T_1 = (R + p_1) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + q_1$
- 下半支 $T_2 = (R + p_2) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + q_2$
- 曲线长: 上半支 $L_1 = \left(\frac{\alpha}{2} - \beta_1\right)R + Ls_1 = \frac{\alpha}{2}R + \frac{Ls_1}{2}$
- 下半支 $L_2 = \left(\frac{\alpha}{2} - \beta_2\right)R + Ls_2 = \frac{\alpha}{2}R + \frac{Ls_2}{2}$
- 曲线总长 $L = L_1 + L_2$
 $= (\alpha - \beta_1 - \beta_2)R + Ls_1 + Ls_2$
 $= \alpha R + \frac{Ls_1}{2} + \frac{Ls_2}{2}$
- 外距: $E = (R + p_1) \sec \frac{\alpha}{2} - R$
- 校正值: $J = T_1 + T_2 - L$



习题:

- 已知某二级公路有一弯道，偏角 $\alpha=12^{\circ} 38'42''$ ，半径 $R=800m$ ， $Ls_1=120$ ， $Ls_2=150$ ， $JD=K5+136.53$ 。计算曲线主点里程桩号。



例题：

- 已知平原区某二级公路有一弯道，偏角 $\alpha_{\text{右}}=15^{\circ} 28' 30''$ ，半径 $R=600m$ ，缓和曲线长度 $L_s=70m$ ， $JD=K2+536.48$ 。
- 要求：（1）计算曲线主点里程桩号；
- （2）计算曲线上每隔 $25m$ 整桩号切线支距值。
- 解：（1）曲线要素计算：

$$p = \frac{L_s^2}{24R} = \frac{70^2}{24 \times 250} = 0.340$$

$$q = \frac{L_s}{2} - \frac{L_s^3}{240R^2} = \frac{70}{2} - \frac{70^3}{240 \times 250^2} = 34.996$$



■ (1) 曲线要素计算:

$$T = (R + p) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + q = (250 + 0.340) \operatorname{tg} \frac{15.2830}{2} + 34.996 = 116.565$$

$$L = \frac{\pi}{180} \alpha R + L_s = \frac{\pi}{180} \times 15.2830 \times 250 + 70 = 232.054$$

$$E = (R + p) \operatorname{sec} \frac{\alpha}{2} - R = (250 + 0.340) \operatorname{sec} \frac{\alpha}{2} - 250 = 5.865$$

$$J = 2T - L = 2 \times 116.565 - 232.054 = 1.077$$



- (2) 主点里程桩号计算:
- 以交点里程桩号为起算点: $JD = K2+536.48$
- $ZH = JD - T = K2+536.48 - 116.565 = K2+419.915$
- $HY = ZH + L_s = K2+419.915 + 70 = K2+489.915$
- $QZ = ZH + L/2 = K2+419.915 + 232.054/2 = K2+535.942$
- $HZ = ZH + L = K2+419.915 + 232.054 = K2+651.969$
- $YH = HZ - L_s = K2+651.97 - 70 = K2+581.969$



• (3) 计算曲线上每隔25m整桩号的切线支距值:

• 列表计算曲线25m整桩号: $ZH= K2+419.915$

• $K2+425$ $K2+450$ $K2+475$ $K2+500$...

平曲线切线支距计算表

桩号	计算切线支距					
	l	缓和曲线		$\phi_m(^{\circ})$	圆曲线	
		x_s	y_s		x_c	y_c
ZH+419.9	0	0	0			
K2+425	5.085	0.000	0.000			
K2+450	30.085	0.108	0.108			
HY+489.9	70	1.361	1.361			
K2+500	10.085	2.033	2.033	4.3053	2.033	2.033
K2+525	35.085	4.428	4.428	6.6926	4.428	4.428



计算切线支距值：

- (1) $LCZ=K2+425$ (缓和曲线段) ,

$$ZH=K2+419.915$$

- $l=2425-2419.915=5.085$

$$x = l - \frac{l^5}{40A^4} = l - \frac{l^5}{40R^2L_s^2} = 5.085 - \frac{5.085^5}{40 \times 250^2 \times 70^2} = 5.085$$

$$y = \frac{l^3}{6A^2} = \frac{l^3}{6RL_s} = \frac{5.085^3}{6 \times 250 \times 70} = 0.000$$



- (2) $LCZ=K2+500$, $HY=K2+489.915$ (圆曲线段)
- $l_m=2500-2489.915=10.085$

$$\varphi_m = \alpha_m + \beta_0 = 28.6479 \left(\frac{2l_m + Ls}{R} \right) = 28.9479 \left(\frac{2 \times 10.085 + 70}{250} \right) = 4.3053^\circ$$

- $x=q+R\sin\varphi_m = 34.996+250\sin 4.3053=80.038(m)$
- $y=p+R(1-\cos\varphi_m)=0.34+250(1-\cos 4.3053) = 2.033(m)$



作业：

- 1、用级数展开法计算 p 、 q 的表达式。
- 2、已知平原区某一级公路有一弯道，偏角 $\alpha_{左}=16^{\circ} 36'42''$ ，半径 $R=1000m$ ， $JD=K7+153.63$ 。
- 要求：（1）计算曲线主点里程桩号；
- （2）计算曲线上每隔25m整桩号的切线支距值（列表计算）。

