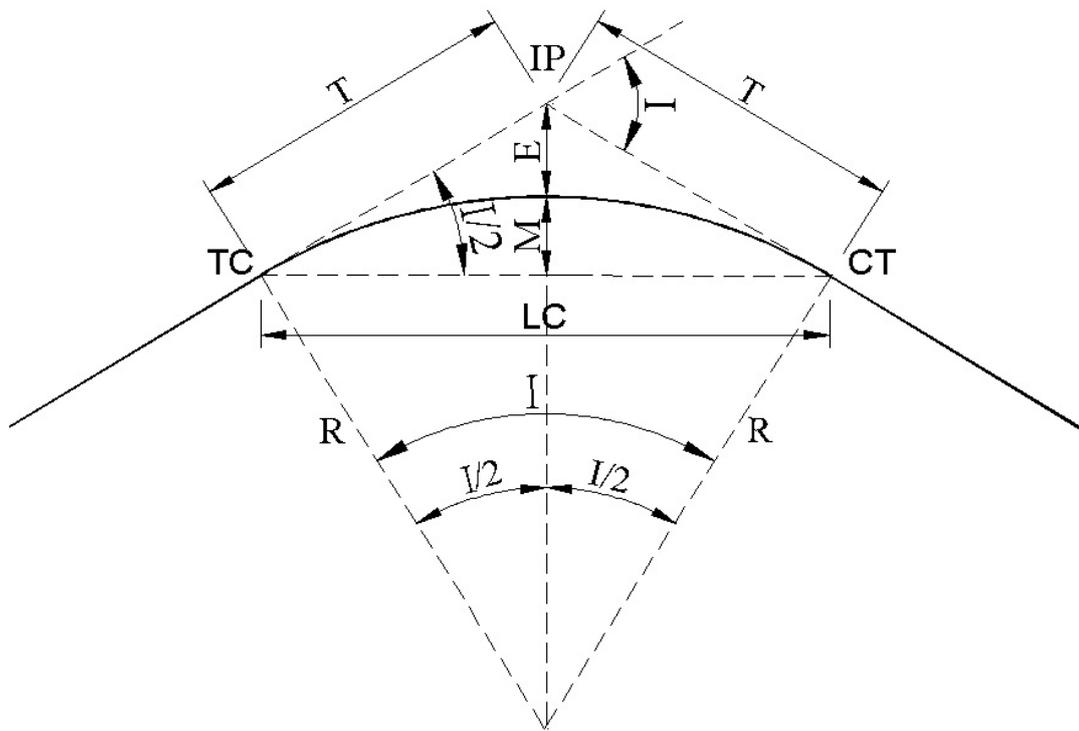


## Lecture #3

### 4.1 曲線

曲線 (curve) 可分為平面曲線與豎曲線二大類，曲線線型如圖 4-2 所示。曲線之形狀又可區分為單曲線、複曲線及反向曲線等。為確保列車運轉之圓滑，在圓曲線與直線之間則插入介曲線。



(a) 單曲線

圖 4-2 平面曲線

#### 4.1.2 曲線各部名稱

曲線各部名稱；參考圖 4-2。

1. 曲線起點：曲線之開始點，簡稱 TC，BC 或稱 PC。
2. 曲線終點：曲線之終點，簡稱 CT，EC 或稱 PT。
3. 切線交點 (切線交叉點)：即二切線相交之點，簡稱 PI；又稱 IP。
4. 交角 (切線角度)：即二切線間相交之角度，簡稱 IA、I 或以  $\Delta$  表示。
5. 半徑：為曲線之半徑，以 R 表示。
6. 切線長度：以 TL 或 T 表示。
7. 曲線長度：圓弧之長度，即 BC 至 EC 之距離以 CL 表示。
8. 長弦：圓弧中弦之長度，即 BC 至 EC 之直線距離，以 LC 表示。

9. 中距：即長弦之中點至圓弧之距離，以  $M$  表示。
10. 外距：即半徑之延長線，亦即圓弧之中點至  $IP$  之距離，以  $E$  或  $SL$  表示。
11. 偏角：為切線與弦所交之角，其度數必等於該弧所割中心角之半。
12. 介曲線起點，簡稱  $PTS$  或稱  $TS$ 。
13. 介曲線與曲線連接點：簡稱  $PSC$  又稱  $SC$ 。
14. 曲線與介曲線連接點：簡稱  $PCS$  又稱  $CS$ 。
15. 介曲線終點稱為  $PST$  又稱  $ST$ 。

### 4.1.3 曲線表示法

曲線可以曲度或半徑表示，分述如下：

1. 曲度表示法 (designation by degree)：公制 (metric system) 以弦長 20 公尺所對之圓心角表述。英尺制係以弦長 100 英尺所對之圓心角表述 (請參照圖 4-4)。
2. 半徑表示法 (designation by radius) 公制按半徑之公尺數表述，英尺制按半徑之英尺數表述。

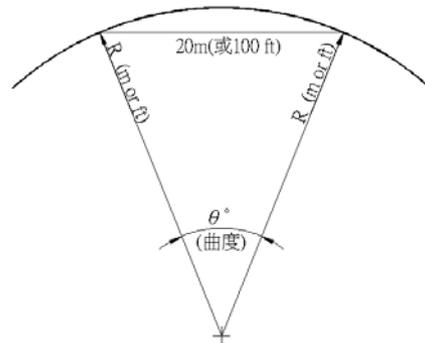


圖 4-4 曲線表示法

#### 4.2.2 超高理論

### ◎ 台鐵超高計算(平衡超高)

重力與離心力之合力垂直於路線中心線

$$\tan \theta = \frac{F}{W} = \frac{C}{G}$$

離心力  $F = mv^2 / R$  , 重量  $W = mg$

軌距  $G = 1067\text{mm}$  ,  $g = 9.8\text{m/sec}^2$

$$\text{平衡超高 } C (\text{mm}) = \frac{1067V^2}{127R} = 8.4 \frac{V^2}{R} = 0.0073V^2D$$

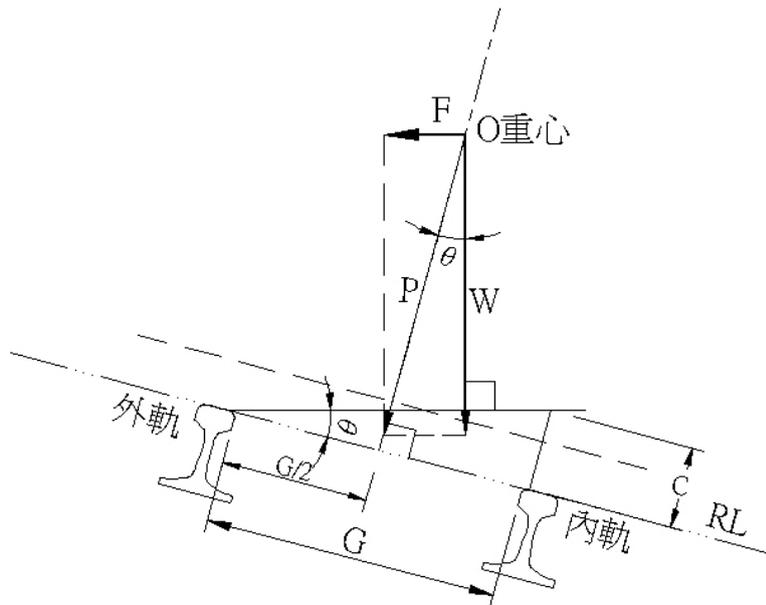


圖 4-13 平衡超高

### ◎ 理論最大超高度

鐵路車輛停在軌道上，當一軌逐漸增高(超高)車輛重心移向內軌。當超高度增大至使車輛將傾未傾前之狀態，此時車輛重心恰落在內軌上，此超高度稱之。

$$\tan \theta = \frac{G/2}{H} = \frac{C'}{G}$$

當台鐵車輛重心高度  $H = 1700\text{mm}$

$$\text{理論最大超高度 } C' (\text{mm}) = \frac{1067/2 * 1067}{1700} \approx 335\text{mm}$$

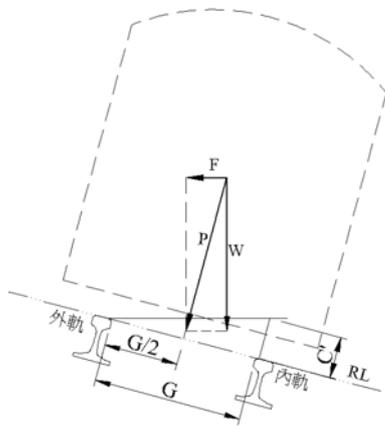


圖 4-14 理論最大超高

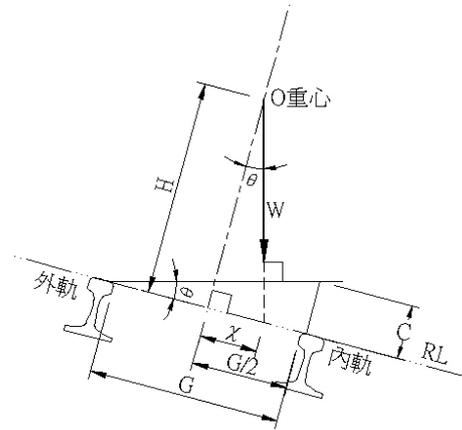


圖 4-15 超高造成的車輛重心偏移

### ◎ 車輛傾倒之安全係數(f)

$$f = \frac{\text{理論最大超高度}}{\text{實際超高度}} = \frac{C'}{C} = \frac{G^2}{2CH}$$

$$\tan \theta = \frac{\chi}{H} = \frac{C}{G}, \quad \chi = \frac{CH}{G} = \frac{1}{f} \times \frac{G}{2}$$

$\chi$  = 停在曲線之車輛重心向內軌之偏移量

一般安全係數  $f=3$ ，台鐵實用最大超高度=105 mm；停在曲線之車輛重心經過內軌與軌道中心線之三分點。

## ◎列車速率與傾倒安全率

$$\tan(\alpha - \theta) = \frac{\chi}{H} \quad , \quad \tan(\alpha - \theta) = \frac{\tan \alpha - \tan \theta}{1 + \tan \alpha \tan \theta}$$

$$\text{當 } V > V_0 \quad , \quad \chi = H \left( \frac{V^2 - V_0^2}{127R} \right) = \frac{G}{2f}$$

$\chi$  = 合力偏離軌道中心而向外軌側之距離

$$f = \frac{G}{2H} \left( \frac{127R}{V^2 - V_0^2} \right) = \frac{G}{2H} \left( \frac{1}{\frac{V^2}{127R} - \frac{C}{G}} \right)$$

$$V = \sqrt{127R \left( \frac{G}{2fH} + \frac{C}{G} \right)}$$

傾倒安全率須比靜止時略大，一般取  $f=4$ 。

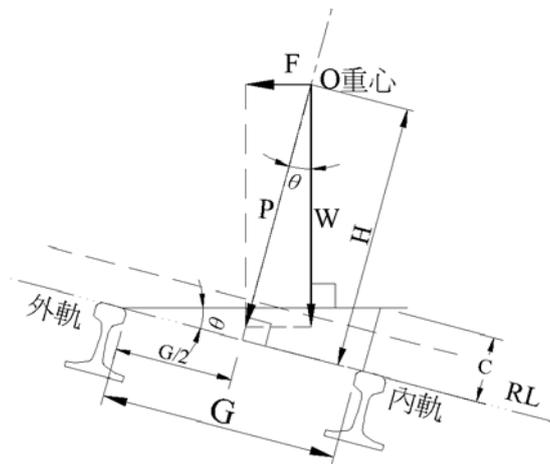


圖 4-16 列車速度與傾倒安全率

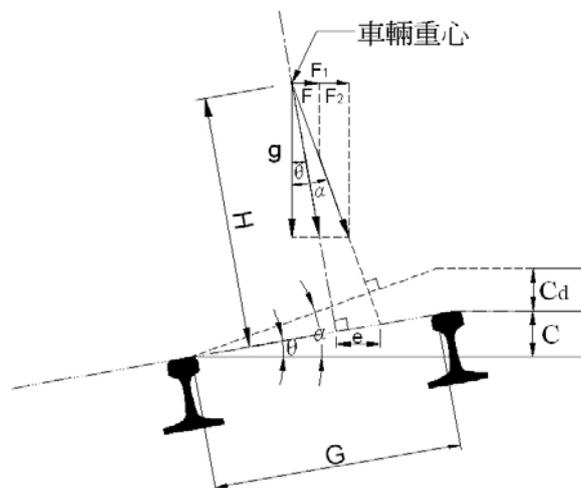


圖 4-44 超高不足

## ◎超高不足量

$$C_d = C_v - C = 8.4 \frac{V^2 - V_0^2}{R}$$

$$\left(\frac{C_d}{G}\right) \approx \frac{\chi}{H}, \quad \chi = \text{合力偏離軌道中心之距離, 不得大於 } 1/8G$$

$$C_d \leq \frac{G^2}{8H}, \quad C_d \leq \frac{1067^2}{8(1700)} = 84\text{mm}$$

台鐵一般列車最大  $C_d=50\text{mm}$ ，電氣列車  $C_d=60\text{mm}$

## ◎超高修正

$$C = \frac{GV^2}{127R}, \quad G = 1067 + \text{公差} + \text{軌距加寬} + x_1 + x_2$$

$x_1 + x_2$  為左右軌距線至車輪踏面中心之間距

較進步之軌道水準尺改量  $\theta$  角, 則無需修正

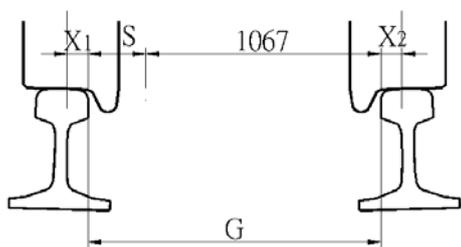


圖 4-17 超高修正值舉例

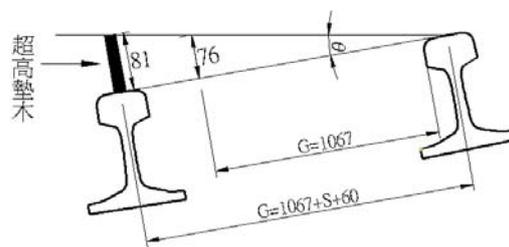


圖 4-18 修正超高採用的軌距

## ◎曲線限速理論

$$V_1 \leq \sqrt{127R \left( \frac{G}{2fH} + \frac{C}{G} \right)}$$

$$(1) f = 4, G = 1067\text{mm}, H = 1700\text{mm}, C = 105\text{mm}$$

$$V_1 \leq 4.74\sqrt{R} \text{ (一般路線)}$$

$$(2) f = 4, G = 1067\text{mm}, H = 1700\text{mm}, C = 0\text{mm}$$

$$V_1 \leq 3.16\sqrt{R} \text{ (道岔附帶曲線)}$$

※請參閱課本表 4-5 曲線限速

## ◎介曲線長度

$$L_1 \geq nC \quad , \quad L_2 \geq aCV \quad , \quad L_3 \geq a'C_dV$$

台鐵常用之常數 n, a, a' 值：

	特甲級及甲級線	乙級線	特殊路線
n	0.8	0.6	0.4
a	0.01	0.008	0.006
a'	0.009	0.009	0.007

(1)  $L_1 \geq nC$

考慮車輛因三點支承問題

$$\frac{1}{n} = \frac{f}{\ell} = \frac{\text{最小上浮量} - \text{高低養護公差}}{\text{固定軸距}} = \frac{20 - 9}{4600} \approx \frac{1}{400}$$

(2)  $L_2 \geq aCV$

台鐵規定單位時間超高增加量  $\leq 29, 35, 46 \text{ mm/sec}$

$$L_2 = 0.278V \left[ \frac{C}{29}, \frac{C}{35}, \frac{C}{46} \right] \approx [0.01, 0.008, 0.006]CV$$

(3)  $L_3 \geq a'C_dV$

台鐵規定離心加速度增加率  $\leq 0.03 \text{ g/sec}$

$$L_3 = 0.278V \frac{C_d g}{G (0.03g)} \approx 0.009C_d V$$

表 4-11 各國鐵路緩和曲線長度計算

線 別	客車 $V_{max}$	貨車 $V_{max}$	介曲線線形	介曲線 長度計算	超高變化率(mm/s)
日本東海道新幹線	210		正弦半波	$L_1=1.0C$ $L_2=0.062CV$ $L_3=0.075C_dV$	45
日本山陽 新幹線	260		正弦半波	$L_1=1.0C$ $L_2=0.0097CV$ $L_3=0.0117C_dV$	45
法國一級幹線 巴黎~里昂 巴黎~圖盧茲	140~160 250~300 200	70~120 70~120	三次拋物線	$L=C/i$	40~70
德國一級幹線 慕尼黑~奧格斯堡	200~300	80~100	S 曲線或正弦	$L=C/i$	28~35
義大利 羅馬~佛羅倫斯	250	80		$L=C$	
臺灣 高鐵 (HSR)	300		正弦半波	$L_1=0.0087CV$ $L_2=0.0109C_dV$ $L_3=C$ $L_4=150$	50~60
臺灣 臺鐵 (TRA)	130	60	三次拋物線	$L_1=0.8C$ $L_2=0.01CV$ $L_3=0.009C_dV$	特甲級 29

#### 4.4.1 軌距加寬的必要性

鐵路車輛構造上平行剛結之車軸，稱為固定軸，最外兩固定軸的間距稱固定軸距。通常車輛均有兩根以上車軸承受車架，該固定車軸二根以上在曲線上行駛時，欲圓滑通過每根車軸皆須與軌道成直角，即與曲線半徑的方向相同。然車輛在結構上，至少有兩軸以上固定於車架，通過曲線時有一軸或兩軸不能與軌道成直角，使車輪對鋼軌保持某種角度進行。此情形下，車輪與鋼軌間發生壓力使軌距擴大、鋼軌及車輪外緣發生磨耗，甚至道釘被擠出，結果增加列車行駛阻力、使車輪旋轉困難影響乘車舒適感或造成脫軌。因此鋪設曲線軌道時為使車輪圓滑通過，依曲線半徑之大小將軌距向圓心方面略予拓寬；該拓寬超過正常軌距之幅度，稱為軌距加寬。

#### 4.4.3 軌距加寬原理

##### 1. 概述

曲線半徑、固定軸距及車輪橫向移動等條件決定軌距加寬。欲定曲線上行駛車輪之確實位置，情形複雜實有困難，故加寬度之算式除由理論上考慮外，尚須考慮實驗數值：

- (1) 二根固定軸中心線與曲線中心線所作之最大偏倚為加寬之基準數值。固定軸距以使用中之最大值計算。

(2) 車輛於曲線上行駛時，車輛中心線方向與曲線中心線所成之最大偏倚，由實驗得知，不發生於固定軸距中心而發生於其四分之三處。恰如 1.5 倍固定軸  $d$  之假想軸距在軌道中進行圓形運動。令  $R$  為曲線半徑， $S$  為最大偏倚量即加寬度，示意如圖 4-31 所示，

由幾何學得：

$$R + \frac{G}{2} \cong R$$

$$\left(\frac{3}{4}d\right)^2 = R^2 - (R - S)^2$$

$$\therefore \left(\frac{3}{4}d\right)^2 = 2RS - S^2$$

$$\because S^2 \ll 2RS, \text{ 可令 } S^2 = 0$$

$$\text{得 } \left(\frac{3}{4}d\right)^2 = 2RS$$

$$\therefore S = \frac{9d^2}{32R}$$

最大固定軸距  $d=4.6m$  時，

$$S = \frac{9 \times 4.6^2}{32R}$$

$$\therefore S \cong \frac{6}{R} \text{ (單位 } m)$$

$$\text{或 } S \cong \frac{6000}{R} \text{ (單位 } mm)$$

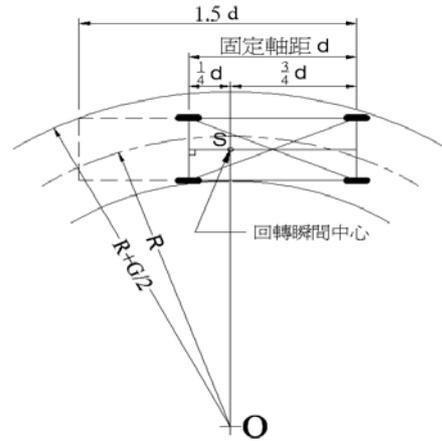


圖 4-31 軌道加寬原理

..... (式 4-1)

..... (式 4-2)