

## Lecture #5

### ◎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，

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

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

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

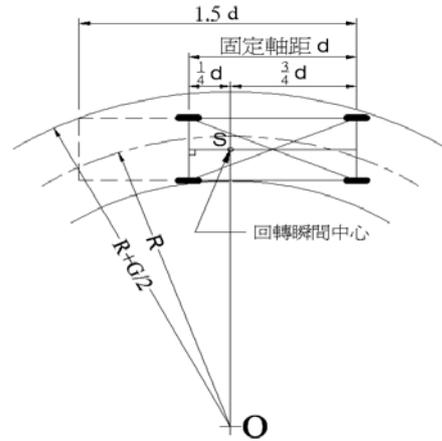


圖 4-31 軌道加寬原理

$$\dots\dots\dots \text{ (式 4-1)}$$

$$\dots\dots\dots \text{ (式 4-2)}$$

線上雖無軌距加寬，但輪緣外面間距離與軌距之間，為避免鋼軌與輪緣間發生壓軋及車輪旋轉困難，留有相當餘裕。軌距  $G$  之最小值依規定可小  $4mm$ ，為  $1,063mm$ ，輪緣外面間距  $F$  之最大值係  $1,054 mm$ ，即考慮餘裕最小時亦尚有  $9mm$ ，一般情形下，必有  $10mm$  以上餘裕。故通常採用上式所得值減去  $5\sim 10mm$ ，如臺鐵曾經採用：

$$S = \frac{6000}{R} - 5 \text{ (mm)} \dots\dots\dots \text{ (式 4-3)}$$

嗣後考慮軌距加寬若較上式求出之數稍小，不但可減少車輛動搖，對軌道養護亦有利，因此將係數  $6,000$  改為  $5,000$ ，成為：

$$S = \frac{5000}{R} - 5 \text{ (mm)} \dots\dots\dots \text{ (式 4-4)}$$

然加寬度須有最大限制，因軌距加寬若過大，車輪易掉進軌距內。加寬度為

30mm 時，鋼軌與車輪之關係圖。由該圖知加寬度為 30mm 時，在最危險情形下車輪仍有 26mm 在軌面上，尚無危險，因此規定軌距加寬不得大於 30mm，目前再改為 20mm。

前項加寬度除道岔外，在介曲線長度等於或大於 5 公尺時應於介曲線全長內遞減之，在未設介曲線之複曲線或側線曲線上，應於曲線終點沿較大半徑之曲線或直線 5 公尺長度內遞減。

## 4.6 路線坡度

### 4.6.1 坡度

路線雖以水平為理想，但如強求水平，有時須增加土方或隧道長度等，故應視地形加以適當坡度。坡度為水平距離與垂直高差之比，如水平距離為 1,000 公尺，垂直高差 10 公尺，則稱為 10/1000（千分之十）坡度，以 10‰ 表示。路線坡度影響機車牽引重量、行車速度、路線養護及行車費用等甚鉅，故選擇路線時以平坦為宜。列車行駛上坡時，所受坡度阻力；參考錯誤！找不到參照來源。為：

$$R_g = W \cdot \sin \alpha$$

$$\because \alpha \approx 0$$

$$\sin \alpha \approx \tan \alpha$$

$$R_g \approx W \cdot \tan \alpha = W \cdot \theta / 1000 \quad \dots\dots\dots \text{(式 4-5)}$$

式中  $R_g$ ：坡度阻力（噸）  
 $W$ ：列車重量（噸）  
 $\alpha$ ：坡度之角度

**例**：若列車運轉於水平路線時，每公噸重量以 5 公斤牽引力即可拉動，行駛於 10/1000 上坡度之路線，則每公噸重量須另加 10 公斤（ $R_g = 1000 \times 10/1000 = 10$  公斤）之牽引力，共需 15 公斤之牽引力始能拉動。

當坡度太陡阻力太大時，列車運轉須限制機車之牽引重量或列車速度，有時為補救該項坡度阻力，甚或需要輔助機車協助。

從路線養護觀點言，坡度區間須裝設防爬器（anti-creeper）等防爬裝置，且採取該項措施亦無法完全防止爬行，每年仍須調整鋼軌縫寬二次左右。又於坡度變化點須插入豎曲線，路線養護較一般區間複雜。

坡度區間如有平面曲線，因須加算曲線阻力，限制坡度必須折減方可，一般折減量為  $\frac{600}{R}$ ，詳見 9.2 節。

**例**：甲級線之限制坡度為 10 ‰，在該坡度區間若有半徑 400 公尺之曲線存在，則須折減坡度  $\frac{600}{R} = \frac{600}{400} = 1.5 \text{ ‰}$ ，因此限制坡度為  $10 - 1.5 = 8.5 \text{ ‰}$ 。

考慮列車出發阻力、車輛之手推作業及防止停放車輛溜逸等，站內路線之坡度須

嚴格限制。站內限制坡度區域本以包括站內（進站號誌機間）全部為理想，但為節省工程費用定為兩終端道岔間之路線。

若終端道岔外方係下坡道，為防止手推車輛逸走，自道岔外方起最少留設 20 公尺寬裕以供貨車兩輛的調車之用。

臺鐵將路線之坡度規定如次：

1. 正線上之坡度不得大於下列規定限度（不包括曲線坡度折減率在內）
  - (1) 特甲級及甲級線：丘陵區千分之十，山岳區千分之廿五。但在丘陵區於進入都會區地下時，兩端引道部份因受地形限制，得增至千分之十二。
  - (2) 乙級線：千分之卅五。
  - (3) 電車專用路線：千分之卅五。
  - (4) 無道床橋樑：千分之七。
  - (5) 站內正線：坡度在兩終端道岔（道岔外方如係下坡道時應自道岔外 20 公尺之地點起算）間及列車停留區域內為千分之三點五，新建之站場為千分之二。但不摘掛車輛之正線，得增至千分之十。（不包括曲線坡度折減率在內）。
2. 側線上之坡度不得大於千分之三點五，但駝峰式調車線或不停放車輛之側線，不在此限。
3. 曲線之坡度折減率千分之  $600/R$ （ $R$  為半徑之公尺數），側線上曲線得不予折減。
4. 隧道長度超過 300 公尺者，其坡度除有特殊情形外，不得超過千分之十五，隧道及側溝應有千分之三的最小坡度。
5. 隧道內除有特殊情形外，不得設置凸坡。

例題：

## 2.6###軌距加寬###

99.6 以下何項條件不是決定軌距加寬之因素？

(A)車輛固定軸距 (B)車輛最大軸重 (C)曲線半徑 (D)車輪橫向移動

98.22 下列四個軌道路線具有不同之曲線半徑，請問何者之軌距加寬量最小？

(A)200 m (B)250 m (C)300 m (D)400 m

98.37 軌道於曲線路段必須適量加寬，請問此超寬度應加於何處？

(A)往外軌處加寬 (B)往內軌處加寬（向圓心方向）

(C)內外軌各分一半加寬度 (D)外軌處加寬1/3量，其餘加寬在內軌道

98.21 傳統列車在構造上皆為固接之車軸，其在曲線上行駛時之特性，下列何者正確？

(A)前軸內輪緊貼內軌轉動 (B)前軸外輪緊貼外軌轉動

(C)後軸外輪緊貼外軌轉動 (D)前軸與後軸之前輪皆緊貼外軌轉動

98.5 台鐵之軌距為窄軌，其軌距為1067 mm，今某路段之曲線半徑為300公尺，則此路段之軌距應為：

(A)1067 mm (B)1087 mm (C)1077 mm (D)1072 mm

## 2.7###介曲線###

99.42 對於介曲線之敘述，何者錯誤？

(A)通常位於直線與圓曲線間，亦稱為緩和曲線 (B)提供車輛由直線進入圓曲線超高與軌距加寬漸變

(C)增加旅客乘車時之舒適感 (D)介曲線與曲線連接點簡稱ST

98.44 常見之鐵路緩和曲線有四次拋物線、三次拋物線、雙扭曲線、克羅梭曲線、正弦遞減曲線等多種，請問台鐵採用下列何者？

(A)克羅梭曲線 (B)三次拋物線 (C)二次拋物線 (D)雙扭曲線

97.5 以三次拋物線佈設的介曲線會引起列車通過時較大的動搖，原因在於其超高度及曲率之變化為直線。請問為何三次拋物線之曲率變化為一直線？

(A) 線型之微小線段近似直線 (B) 三次拋物線之斜率為一定值

(C) 三次拋物線之二次微分為一定值 (D) 三次拋物線之斜率變化率固定

97.6 行車過程中，曲率半徑不同的路段會產生不同的側向力，不同的超高度也會使車身有不同程度的傾斜。能夠讓側向力與傾斜度平順改變的路線，才是舒適度高的好路線。這通常是透過下列那一類線型來達成？

(A) 圓曲線 (B) 介曲線 (C) 直線 (D) 反向曲線

## 2.8###路線坡度###

98.39 為避免列車滑溜，同時減少列車停開時受坡度之影響，車站內軌道之坡度應加以限制，例如台鐵規定車站內正線之坡度不得大於：

(A)3.5 % (B)3.5 ‰ (C)4 ‰ (D)5 ‰

99.25 依據鐵路修建養護規則對於曲線坡度折減率規定，軌距一千零六十七公厘者為千分之六百/R。已知特甲級線之最陡坡度規定為25‰，若某上坡路段有半徑400公尺之曲線，則該曲線路段之限制坡度為何？

(A)25‰ (B)24.5‰ (C)24‰ (D)23.5‰

- 一、假設有一台鐵軌道線形，曲率半徑=1500公尺，實際超高度=100mm。令車輛向外傾倒的安全係數=4，車輛重心高度=1700mm。(15%)
- (a) 試決定列車在此曲線上之容許最高速度。
- (b) 若曲線之最高速度定為 160kph，試以台鐵甲級線之規定，決定緩和曲線所需的長度。

表一 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

六、填充題與簡答：

- 1、 台鐵介曲線長度之決定公式中，有考慮車輛因\_\_\_\_\_而上浮出軌之問題、並規定了單位時間超高增加量與\_\_\_\_\_增加率之上限值。