

# 第4章線形

1. 曲線

2. 超高度

3. 曲線限速

4. 軌距加寬

5. 介曲線

6. 路線坡度

7. 路線的不良條件湊合



龍井觀泉

龍吸三江併五湖，  
化為泉水似真珠。  
霖施六合閒仍卧，  
亦養千家潤不枯。  
洗我兩眸詩眼淨，  
沁人全付熱腸無。  
分他一勺龍應許，  
龍目雙睛空識吾。

清黃驥雲



# 曲線 按一下返回

(1) 曲線種類

(2) 曲線各部名稱

(3) 曲線表示法

(4) 曲線半徑與設計最高速度之關係

(5) 正線上曲線半徑之相關規定

(6) 側線上曲線半徑之相關規定

(7) 道岔附帶曲線半徑

(8) 站內正線沿月台部份之曲線半徑

# 曲線種類

## 平面曲線

1. 單曲線 (simple curve) ..... 為圓弧之一部份。
2. 複曲線 (compound curve) ..... 為兩個或三個不同半徑之圓弧連接成。
  - (1) 雙心複曲線 (two-center compound curve) 。
  - (2) 三心複曲線 (three-center compound curve) 。
3. 反向曲線 (reverse curve) 由兩個相反圓弧連接而成。
4. 介曲線 (spiral easement curve ; transition curve)

# 第4章 線形

鐵路線形 (alignment) 包括平面和縱斷面兩部份，除了必須確保行車安全、列車運轉平順與旅客乘車舒適感等需求外還需要考量降低興建與營運成本。因此最好路線應為直線且無坡度，但如此勢必增加地上物拆遷、工程難度與工程造價。因此曲線勢必發生，如何讓列車平穩舒適通過曲線地段；為軌道工程人員必備基本知識。

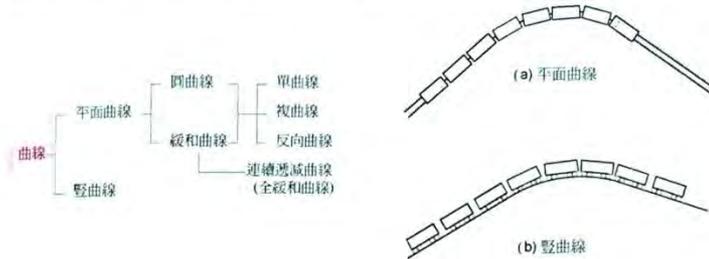


圖 4-1 路線線形

## 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 4-1 所示。豎曲線於 4.6 節詳述，本節此僅敘述平面曲線部份。

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。急彎曲線對列車運轉有甚大妨礙，故應儘可能採用大半徑之曲線。

### 4.1.1 曲線種類

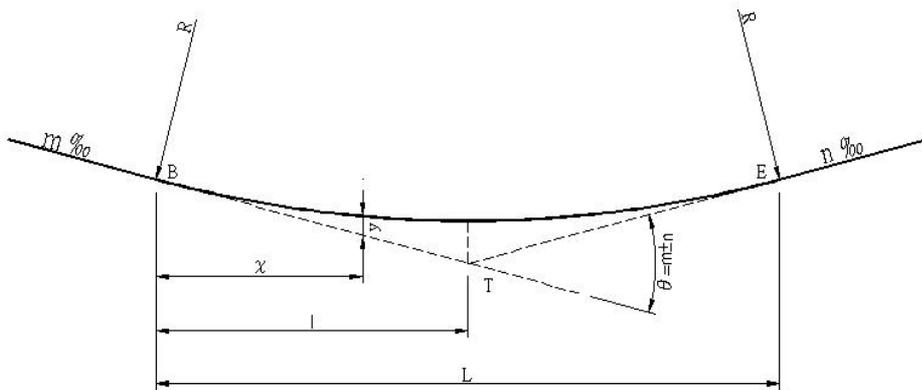
1. 平面曲線 (參考圖 4-2)：方向變化點所插入的曲線，包括下列各類：

- (1) 單曲線 (simple curve) ……為圓弧之一部份。
- (2) 複曲線 (compound curve) ……為兩個或三個不同半徑之圓弧連接而成。
  - ①. 雙心複曲線 (two-center compound curve)。
  - ②. 三心複曲線 (three-center compound curve)。
- (3) 反向曲線 (reverse curve) 由兩個相反圓弧連接而成。
- (4) 介曲線 (spiral easement curve ; transition curve) 為避免列車由直線直接進入加設有超高與軌距加寬之圓曲線時發生激烈振動，在直線與圓曲線間加設另一種曲線，使圓曲線之超高與軌距加寬在該曲線上遞減，該曲線稱為介曲線或緩和曲線。

# 曲線種類 [按一下返回](#)

豎曲線：

坡度變化點所插入的曲線。如圖所示：



# 曲線各部名稱

1. **曲線起點**：稱為point from tangent to curve簡稱TC，又稱beginning of curve簡稱BC或稱point of curve簡稱PC。
2. **曲線終點**：稱為point from curve to tangent簡稱CT，又稱end of curve簡稱EC或稱point of tangent簡稱PT。
3. **切線交點（切線交叉點）**：二切線相交之點，稱為point of intersection簡稱PI；又稱intersection point簡稱IP。
4. **交角（切線角度）**：稱為intersection angle簡稱IA、I或以 $\Delta$ 表示。
5. **半徑（radius）**：曲線之半徑，以R表示。
6. **切線長度（tangent length）**：以TL或T表示。

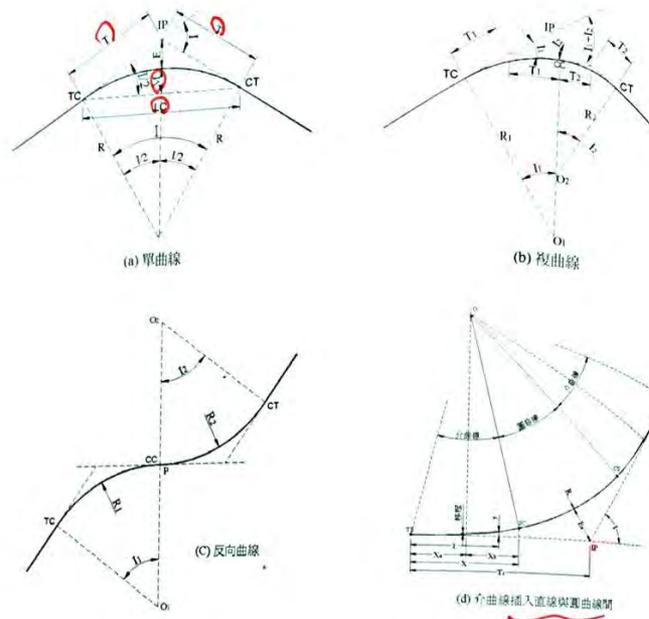


圖 4-2 平面曲線<sup>(5)</sup>

2. 豎曲線 (參考圖 4-3) : 坡度變化點所插入的曲線。

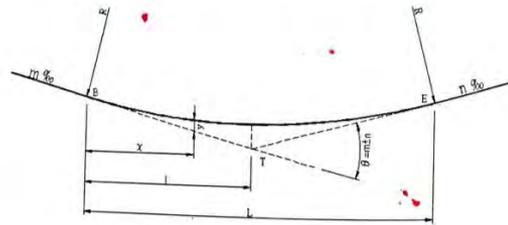


圖 4-3 豎曲線<sup>(5)</sup>

#### 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，稱為 point from tangent to curve 簡稱 TC<sup>(1)</sup>，beginning of curve 簡稱 BC 或稱 point of curve 簡稱 PC。

# 曲線各部名稱

7. **曲線長度 (curve length)** : 圓弧之長度，即BC至EC之距離以CL表示。
8. **長弦 (long chord)** : 圓弧中弦之長度，即BC至EC之直線距離，以LC表示。
9. **中距 (middle ordinate)** : 即長弦之中點至圓弧之距離，以M表示。
10. **外距 (external distance ; secant length)** : 即半之延長線，亦即圓弧之中點至IP之距離，以E或SL表示。
11. **偏角 (deflection angle)** : 為切線與弦所交之角，其度數必等於該弧所割中心角之半。

# 曲線各部名稱 [按一下返回](#)

12. **介曲線起點**，稱為point of tangent-spiral，簡稱**PTS**或稱**TS**。
13. **介曲線與曲線連接點**：稱為point of spiral curve簡稱**PSC**又稱point from spiral to curve簡稱**SC**。
14. **曲線與介曲線連接點**：稱為point of curve spiral簡稱**PCS**又稱point from curve to spiral簡稱**CS**。
15. **介曲線終點**稱為point of spiral tangent簡稱**PST**又稱point from spiral to tangent簡稱**ST**。

# 曲線表示法 [按一下返回](#)

1. **曲度表示法** (designation by degree)
2. **半徑表示法** (designation by radius)

2. 曲線終點：曲線之終點稱為 point from curve to tangent 簡稱 CT，又稱 end of curve 簡稱 EC 或稱 point of tangent 簡稱 PT。
3. 切線交點（切線交叉點）：即二切線相交之點，稱為 point of intersection 簡稱 PI；又稱 intersection point 簡稱 IP。
4. 交角（切線角度）：即二切線間相交之角度，稱為 intersection angle 簡稱 IA、I 或以  $\Delta$  表示。
5. 半徑（radius）：為曲線之半徑，以 R 表示。
6. 切線長度（tangent length）：以 TL 或 T 表示。
7. 曲線長度（curve length）：圓弧之長度，即 BC 至 EC 之距離以 CL 表示。
8. 長弦（long chord）：圓弧中弦之長度，即 BC 至 EC 之直線距離，以 LC 表示。
9. 中距（middle ordinate）：即長弦之中點至圓弧之距離，以 M 表示。
10. 外距（external distance；secant length）：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（deflection angle）：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，稱為 point of tangent-spiral，簡稱 PTS 或稱 TS。
13. 介曲線與曲線連接點：稱為 point of spiral curve 簡稱 PSC 又稱 point from spiral to curve 簡稱 SC。
14. 曲線與介曲線連接點：稱為 point of curve spiral 簡稱 PCS 又稱 point from curve to spiral 簡稱 CS。
15. 介曲線終點稱為 point of spiral tangent 簡稱 PST 又稱 point from spiral to tangent 簡稱 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）：公尺制按半徑之公尺數表述，英尺制按半徑之英尺數表述。

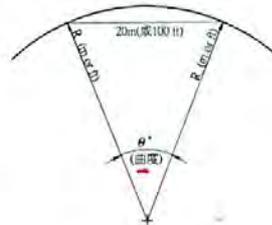


圖 4-4 曲線表示法

#### 4.1.4 曲線半徑與設計最高速度之關係

1. 「設計最高速度」指專業者考慮將來運輸體系做為正線之曲線半徑、坡度及路面寬的設計基礎之事業基本計畫所訂之列車最高速度。
2. 曲線半徑直接關係設計最高速度，其基本考量不論在普通鐵路或高速鐵路都是

# 曲線半徑與設計最高速度之關係

1. 設計最高速度做為正線之曲線半徑、坡度及路基面寬的基礎。
2. 曲線半徑直接關係設計最高速度，其基本考量不論在普通鐵路或高速鐵路都是相同念。
3. 曲線半徑與速度關係。[按一下返回](#)

相同理念。具體而言：關係建設費用、運輸體系、運輸環境之考量等等。因此普通鐵路曲線半徑選用所造成之曲線限速；以最高設計速度之 80% 以上來考量。但高速鐵路曲線地段通過速度則以最高設計速度之 100% 來考慮。

### 3. 曲線半徑與速度關係

曲線半徑與速度關係考量車輛傾覆、振動搖加速度限度等而訂出最大超高度、容許超高不足量之適用範圍。

「曲線半徑」之決定除考量該路線區間之軌道結構、軌道安全狀況、車輛之性能等，依最大超高度及超高不足量檢討後決定，可由(式 4-1)作基本計算決定曲線半徑。以普通鐵路與高速鐵路分別計算值如表 4-1 及表 4-2 所示：

$$R = GV^2 / g(C + C_d) \quad \dots\dots\dots (式 4-1)$$

式 R：曲線半徑 (m)

G：兩鋼軌間車輪支承距離 (mm)，高速鐵路採用 1500mm / 臺鐵可採用 1067mm

V：列車速度 (m/s)

g：重力加速度 (9.8 m/s<sup>2</sup>)

C：設定超高 (mm)

C<sub>d</sub>：超高不足量 (mm)

表 4-1 設計最高速度對應最小曲線半徑 (普通鐵路)

類別	設計最高速度 (A) km/h	曲線通過速度 (A)×80% km/h	曲線半徑	計算條件
傳統鐵路 (G=1067mm)	160	128	787	曲線速度 80% C=105 mm C <sub>d</sub> =70 mm
	130	104	519	
	110	88	372	
	90	72	249	
	70	56	151	
傳統鐵路 (G=1435mm)	160	128	771	曲線速度 80% C=150 mm C <sub>d</sub> =90 mm
	130	104	509	
	110	88	365	
	90	72	244	
	70	56	148	
台鐵 (G=1067mm)	160	128	834	曲線速度 80% C=105 mm C <sub>d</sub> =60 mm
	130	104	551	
	110	88	394	
	90	72	264	
	70	56	160	

表 4-2 設計最高速度對應最小曲線半徑 (高速鐵路)

類別	設計最高速度 (A) km/h	曲線通過速度 (A)×100% km/h	曲線半徑	計算條件
台灣高速鐵路 (G=1500mm)	350	350	6028	曲線無限速 C=180 mm C <sub>d</sub> =60 mm
	320	320	5039	
	290	290	4139	
	260	260	3327	
	230	230	2603	
	200	200	1968	
日本新幹線 (G=1500mm)	350	350	5358	曲線無限速 C=180 mm C <sub>d</sub> =90 mm
	300	300	3937	
	270	270	3189	
	240	240	2520	
	220	220	2117	
	200	200	1750	

# 正線上曲線半徑之相關規定

1. 臺鐵依『鐵路建設作業程序』第10條規定。
2. 依日本『在來線軌道設施實施基準』（2002年）第8條規定。
3. 依『新幹線軌道施設實施基準』（2002年）第6條規定。  
[按一下返回](#)

## 4.1.5 正線上曲線半徑之相關規定

## 1. 『臺灣鐵路管理局鐵路建設作業程序』第10條規定如下：

- (1) 正線上之曲線半徑，特甲級及甲級線不得小於 300 公尺。
- (2) 乙級線不得小於 200 公尺。

## 2. 依日本『在來線軌道設施實施基準』（2002年）第8條：對於正線上曲線半徑之規定如下：

- (1) 正線上之曲線半徑（道岔附帶曲線及沿月台曲線除外），應配合設計最高速度，在下列數值以上。

設計最高速度 (V)	最小曲線半徑(m)
$V \geq 110 \text{ km/h}$	800
$90 \text{ km/h} \leq V < 110 \text{ km/h}$	600
$70 \text{ km/h} \leq V < 90 \text{ km/h}$	400
$V < 70 \text{ km/h}$	300

- (2) 因地形上不允許時，可不依前項規定，但最小曲線半徑應在 160 公尺以上。
- (3) 依照曲線半徑、超高度及車輛各種數值，按下式計算推測脫軌係數比（貨物列車除外）在 1.2 以上；或雖在 1.2 以下，而於該曲線有設置防脫護軌時，得依該車輛的通過曲線性能之曲線半徑佈設，但不得小於 120 公尺。

$$\text{推測脫軌係數比} = \frac{\text{臨界脫軌係數}}{\text{推測脫軌係數}}$$

- (4) 除依照第 2 項及第 3 項以外，曲線半徑未滿 300 公尺而設有超高的圓曲線，需按前項規定所計算之推測脫軌係數比確認在 1.2 以上。但若設置防脫護軌可防止車輛向外軌側脫軌時，則可不依此規定。

## 3. 依『新幹線軌道設施實施基準』（2002年）第6條：對於正線上曲線半徑之規定如下：

- (1) 正線的曲線半徑（道岔附帶曲線及沿月台之曲線除外）應在 4,000 公尺以上。但副正線等的曲線半徑，原則上可按下述各項訂定。
  - ①. 副正線 …………… 1,000 公尺以上。
  - ②. 回送線及到開收容線 …………… 500 公尺以上。
- (2) 因地形限制時，可不依前項規定。當不考慮列車速度時可將最小曲線半徑減至 400 公尺。
- (3) 依照曲線半徑、超高度及車輛各種數值等，按下式計算推測脫軌係數比結果在 1.2 以上；或雖在 1.2 以下而於該曲線有防脫護軌時，則可以依照該車輛通過曲線性能之曲線半徑佈設曲，但不得小於 200 公尺。

$$\text{推測脫軌係數比} = \frac{\text{臨界脫軌係數}}{\text{推測脫軌係數}}$$

# 側線上曲線半徑之相關規定

1. 臺鐵依『鐵路建設作業程序』第10條規定。
2. 依日本『在來線軌道設施實施基準』（2002年）第11條規定。
3. 依『新幹線軌道施設實施基準』（2002年）第9條規定。  
[按一下返回](#)

【註】：

- ①. 「脫軌係數」指車輪與鋼軌間橫方向力與垂直方向力之比。
- ②. 「推測脫軌係數」指使用路線及車輛各種數值所計算之脫軌係數。
- ③. 「臨界脫軌係數」指以車輪形狀及曲線半徑依照理論計算之車輪從鋼軌開始向上浮起之脫軌係數。
- ④. 「推測脫軌係數比」指臨界脫軌係數與推測推軌係數之比。

#### 4.1.6 側線上曲線半徑之相關規定

1. 『臺灣鐵路管理局鐵路建設作業程序』第 10 條：「側線上之曲線不得小於 160 公尺，必要時，得縮減至 120 公尺，分岔或機車不進入者得縮減至 100 公尺」
2. 依日本『在來線軌道設施實施基準』(2002 年) 第 11 條：「側線的曲線半徑需 160 公尺以上。但因地形不允許時得減至 120 公尺以上，道岔內曲線時得為 100 公尺以上。」
3. 依『新幹線軌道設施實施基準』(2002 年) 第 9 條：「側線的曲線半徑應在 200 公尺以上。」

#### 4.1.7 道岔附帶曲線半徑

「道岔附帶曲線」指道岔內及因鋪設道岔關係；在其前後所產生之曲線。橫渡線 (crossing over) 係指位於不同路線間兩套道岔所組成，因為有反向曲線且中間夾短小直線，且一般道岔內曲線均無超高度及介曲線，通過道岔或橫渡線之速度均應加以限制。

##### 1. 『臺灣鐵路管理局鐵路建設作業程序』第 10 條：

- (1) 道岔內之曲線半徑，特甲級及甲級線得縮減至 160 公尺。乙級線及專為運轉貨物列車之正線，必要時其曲線半徑得縮減至 100 公尺。
- (2) 設置道岔前後之道岔外曲線半徑應大於前項規定。

##### 2. 依日本『在來線軌道設施實施基準』(2002 年) 第 8 條：

- (1) 正線上道岔附帶曲線，需配合設計最高速度，在下列數值以上。

設計最高速度	最小曲線半徑 (m)
速度超過 90 km/h	240
速度 90 km/h 以下	160

- (2) 無論前項規定如何，因地形上不允許時，最小曲線半徑得縮減至 100 公尺。
- (3) 道岔前方及後方的曲線半徑，可不依前項規定。但須較道岔內曲線半徑為大，且不得小於 120 公尺。

##### 3. 依『新幹線軌道設施實施基準』(2002 年) 第 6 條：

# 道岔附帶曲線半徑

1. 臺鐵依『鐵路建設作業程序』第10條規定。
2. 依日本『在來線軌道設施實施基準』（2002年）第8條規定。
3. 依『新幹線軌道施設實施基準』（2002年）第6條規定。  
[按一下返回](#)

# 站內正線沿月台部份之曲線半徑

- 1.沿月台部份之**曲線半徑**
- 2.曲線月台車門位置車輛與月台**間距檢討**
- 3.**臺鐵依『鐵路建設作業程序』第10條規定**
- 4.依日本『在來線軌道設施實施基準』（2002年）第10條規定。
- 5.依日本『新幹線軌道施設實施基準』（2002年）第8條規定。  
[按一下返回](#)

- (1) 正線上道岔附帶曲線之半徑，須在下列各項規定值以上：
- ①. 主正線及副正線 1,000 公尺。
  - ②. 回送線及到開收容線 500 公尺。
- (2) 因地形上不允許時，得縮小至下列各值：
- ①. 正線及副正線 500 公尺。
  - ②. 回送線及到開收容線 200 公尺。
- (3) 道岔前方及後方的曲線半徑不一定要與前項規定相同，但須比道岔內之曲線半徑為大，而不得小於 200 公尺。

### 4.1.8 站內正線沿月台部份之曲線半徑

#### 1. 沿月台部份之曲線半徑

沿月台部份之路線曲線必須特別予以考量；其理由在於旅客上下車安全之確保，車輛距月台間隔應予以嚴格規定，因此路線平面設計時對於旅客月台規劃是非常重要的事項。

車輛與月台曲線示意如圖 4-5 所示。沿月台曲線半徑需要特別考量在車輛與旅客月台之間距，一般採用(式 4-2)計算，計算結果如圖 4-6 所示；

$$R = \frac{L^2}{8 \times d} \quad \text{..... (式 4-2)}$$

式 R：曲線半徑 (m)

L：車輛長度 (m)

d：車輛與旅客月台之距離 (m)

以往 d 採用 20cm 為一般設計標準，但考量車輛端部與旅客月台間預防碰觸之餘裕為 5cm，則上式  $d = 20 - 5 = 15 \text{ cm}$  來計算。

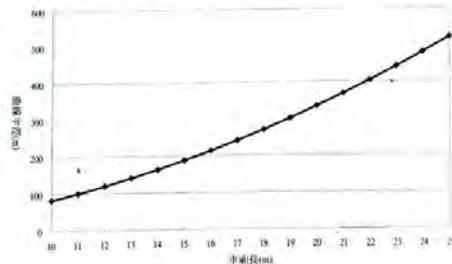


圖 4-5 車輛與沿月台部份曲線示意圖

圖 4-6 車輛長度與沿月台部份曲線關係

#### 2. 曲線月台車門位置車輛與月台間距檢討

例 基本假設條件：如圖 4-7 所示

車輛長度=18,000 mm

轉向架中心距離 / 2 :  $C = 6,350 \text{ mm}$

門間隔 :  $C' = 6,030 \text{ mm}$

沿月台曲線半徑 :  $R = 160,000 \text{ mm}$

車輛端與月台預防碰觸之餘裕 :  $X = 60 \text{ mm}$

(1) 曲線內側月台：

①. 車輛中央門位置之距離 :  $X$

$$X = 60 \text{ mm}$$

②. 車輛端門位置之距離 :  $A$

$$EI = R - \sqrt{R^2 - C^2} = 126 \text{ mm}$$

$$EI' = R - \sqrt{R^2 - C'^2} = 114 \text{ mm}$$

$$Ed = EI - EI' = 126 - 114 = 12 \text{ mm}$$

$$\therefore X + EI = A + Ed$$

$$\Rightarrow A = X + EI - Ed$$

$$= 60 + 126 - 12 = 174 \text{ mm}$$

③. 結論：半徑 160 公尺之曲線內側月台，在上述車輛尺寸之場合，各車門與月台間距都在 20cm 以下。

(2) 曲線外側月台

①. 車輛中央門位置之距離 :  $A1$

$$A1 = EL + X$$

$$EL = R - \sqrt{R^2 - (L/2)^2} = 253 \text{ mm}$$

$$\therefore A1 = 253 + 60 = 313 \text{ mm}$$

②. 車輛端門位置之距離 :  $A2$

$$A2 = Ec + X$$

$$Ec = \sqrt{R^2 - C'^2} - (R - EL) = 139 \text{ mm}$$

$$\therefore A2 = 139 + 60 = 199 \text{ mm}$$

③. 結論：半徑 160 公尺之曲線外側月台，在上述車輛尺寸之場合，中央位置車門與月台間距在 20cm 以上，兩端車門與月台間距在 20cm 以下。

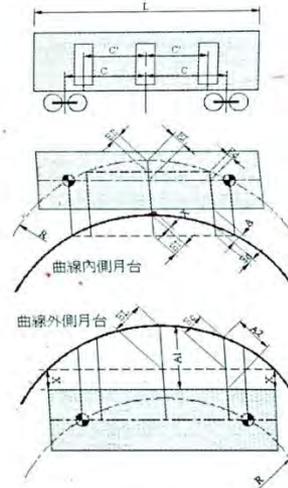


圖 4-7 曲線月台車門位置與月台間距

3. 『臺灣鐵路管理局鐵路建設作業程序』第 10 條規定如下：

(1) 站內正線沿月台部分除兩端外，其曲線半徑特甲級線及甲級線不得小於 50 公尺。

(2) 乙級線不得小於 300 公尺。

4. 依日本『在來線軌道設施實施基準』(2002 年) 第 10 條：沿月台部份之曲線半徑規定如下：

(1) 站內正線沿月台部份之曲線半徑，最高速度超過 90km/h 且有通過列車時在 800 公尺以上，其它情形應在 500 公尺以上。但月台端部(月台端部向

# 超高度 [按一下返回](#)

(1) 超高之必要性

(2) 超高理論

(3) 理論最大超高度

(4) 超高度之計算

(5) 列車速度與傾倒安全率

(6) 容許超高不足量

# 超高度 [按一下返回](#)

(7) 超高修正

(8) 列車平均速度計算法

(9) 超高遞減

(10) 橋樑超高敷設法（無道床橋樑）

(11) 逆超高定義

# 超高之必要性

超高度之作用，在抵消曲線部份之離心力作用，以減低車輛及路線的養護費，防止車輛傾覆，並提高乘車舒適感。

[按一下返回](#)

- 台內 1 輛車廂長度之範圍)，較少使用者不在此限。
- (2) 無論前項規定如何，因地形上不允許時，曲線半徑得降為 400 公尺（僅行駛車輛長度未滿 18 公尺之區間得降為 300 公尺）。
  - (3) 既有線不能按照前項規定時，經考慮仍屬於安全時，可不依前項規定。
5. 依日本『新幹線軌道設施實施基準』（2002 年）第 8 條：車站內沿月台部份之曲線半徑必須 1,000 公尺以上。但是月台端部（月台端部為末端約 1 輛車廂長範圍），因為旅客較少的區域應為 800 公尺以上（地形上不能佈設時得降為 500 公尺）。

## 4.2 超高度<sup>(2)</sup> (cant)

### 4.2.1 超高之必要性

如圖 4-8 所示，以線繫石，手拿線端，令石繞圈轉動至某一速度後，突然放手，則石飛出。這種使石子飛出的力  $F$  稱為離心力。

列車行駛於曲線上也和石子繞著圈子旋轉一樣，受到離心力的作用。見圖 4-9， $W$  表示車重， $F$  表示離心力， $P$  則為  $W$  和  $F$  的合力。不論速度如何，車重  $W$  值不變，但離心力  $F$  值卻隨速度增高而增大，當  $F=0$  時，合力  $P$  和  $W$  同，經過軌道中心，隨著速度增加， $F$  由  $F_1$  增至  $F_2$ ，再增至  $F_3$ ；合力也由  $P_1$  增大至  $P_2$ ，再增至  $P_3$ 。當合力等於  $P_2$  時，載重全部由外軌支持；車輛、路線都易受損，養護費用增加，旅客則感到不舒服。合力大於  $P_2$ （如  $P_3$ ）時會產生傾覆力矩，導致車輛向外軌傾覆。欲改善這些缺點，可將外軌提高使合力  $P_3$  儘量趨近軌道中心線。此種外軌提高量即稱為超高度。

因此，超高度之作用，在抵消曲線部份之離心力作用，以減低車輛及路線的養護費，防止車輛傾覆，並提高乘車舒適感。



圖 4-8 離心力

# 超高理論

1.超高度之設置方法

2.離心力公式

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

3.超高度計算（平衡超高） [按一下返回](#)

$$C = \frac{WV^2 / 127R \times G}{W} = \frac{GV^2}{127R}$$

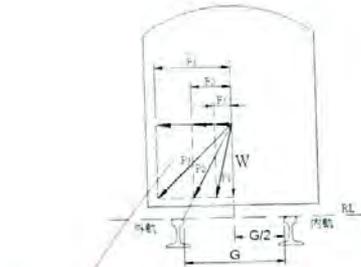


圖 4-9 車輛受離心力作用狀況<sup>1,2</sup>

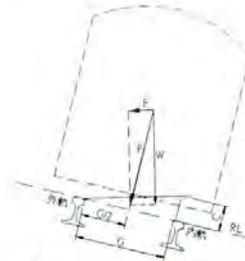


圖 4-10 超高理論<sup>1,2</sup>

### 4.2.2 超高理論

參考圖 4-10，路線加設超高度後，車輛隨之傾斜，但車重  $W$  仍然指向地心，離心力  $F$  背向曲線之圓心，而合力  $P$  則移向路線中心線。當超高度恰好抵消離心力時，合力  $P$  亦恰好經過路線中心線。

#### 1. 超高度之設置方法

欲使車輛圓滑運動，可昇高外軌至超高度之半值，另一半則以降低內軌之法行之。如此，車輛進出曲線，可維持不變的重心高度，避免車輛上下運動，以適合高速化之要求。

日本新幹線即採用此法設置超高度。依『新幹線軌道施設相關實施細則』第 8 條：「超高度之設置須將外軌起高 1/2，內軌降低 1/2。但側線不必依此規定。」但為簡化作業，避免繁雜路基傾斜變化，仍以將超高全部加於外軌者為普遍，臺鐵與台灣高鐵目前亦採用此法。



圖 4-11 外軌起高 1/2，內軌降低 1/2

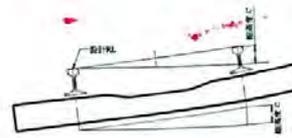


圖 4-12 超高全部加於外軌

#### 2. 離心力公式：

由物理定理知：

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

..... (式 4-3)

式  $F$ : 離心力 ( $g/sec^2$ )  
 $m$ : 物體質量 ( $g$ )  
 $v$ : 速度 ( $m/sec$ )  
 $R$ : 曲線半徑 ( $m$ )

將上式分子分母各乘以重力加速度  $g$  得:

$$F = \frac{mgv^2}{gR} = \frac{Wv^2}{gR} \quad \dots\dots\dots (式 4-4)$$

式中  $W$  為物體重量，單位為公克。

將速度單位變換成  $km/h$ ，而以  $V$  表示，重量  $W$  單位改成  $kgf$ ，且  $g = 9.8 m/sec^2$  代入上式得常用之離心力公式如下：

$$F = \frac{W \left( V \times \frac{1000}{60 \times 60} \right)^2}{9.8 \times R} = \frac{WV^2}{127R} \quad \dots\dots\dots (式 4-5)$$

3. 超高度計算 (平衡超高)

參考圖 4-13，當合力  $P$  經過路線中心線時，

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

$$\therefore C = \frac{F \times G}{W}$$

$$\therefore F = \frac{WV^2}{127R}$$

$$\therefore C = \frac{WV^2 / 127R \times G}{W} = \frac{GV^2}{127R}$$

窄軌路線  $G=1,067mm$ ；

$$C = \frac{1067 \times V^2}{127 \times R} = 8.4 \times \frac{V^2}{R} \quad (mm) \quad \dots\dots\dots (式 4-6)$$

標準軌路線  $G=1,435mm$ ；

$$C = \frac{1435 \times V^2}{127 \times R} = 11.3 \times \frac{V^2}{R} \quad (mm) \quad \dots\dots\dots (式 4-7)$$

高速鐵路標準軌路線採用精確值 ( $G$ : 左右輪 / 軌接觸點間距離)， $G$  取  $1,500mm$ 。

$$C = \frac{1500 \times V^2}{127 \times R} = 11.8 \times \frac{V^2}{R} \quad (mm) \quad \dots\dots\dots (式 4-8)$$

此  $C$  稱為平衡超高或設計超高。

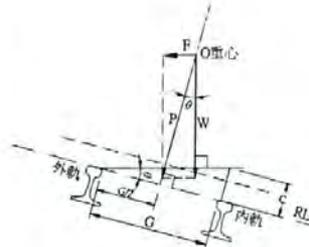


圖 4-13 平衡超高

# 理論最大超高度

1. 車輛傾倒的安全係數
2. 停止時車體傾斜最大超高度檢討
3. 最大超高度相關規定 [按一下返回](#)

### 4.2.3 理論最大超高度

不設超高度時，停在軌道上的車輛正立，其重心經過軌道中心；當一軌逐漸昇高（超高度加大），車輛亦逐漸傾斜，重心移向內軌。超高度再增大而使重心移至內軌內側時，即將造成車輛向內傾倒。圖 4-14 示車輛將傾未傾前之狀態，此時車輛重心恰落在內軌上。

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

當  $H = 1700 \text{ mm}$

$$C' = \frac{G/2 \times G}{H} = \frac{1067/2 \times 1067}{1700} \cong 335 \text{ mm}$$

此  $C' = 335 \text{ mm}$  即為車輛重心高度為  $H = 1700 \text{ mm}$  時之理論最大超高度，超過此一高度，停在軌道上的車輛就會向內傾倒。

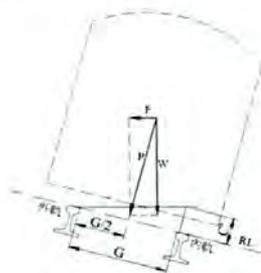


圖 4-14 理論最大超高度<sup>1/2</sup>

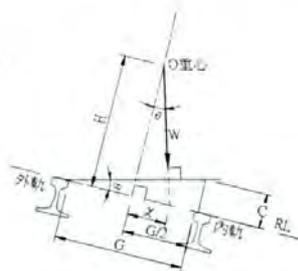


圖 4-15 超高造成的車輛重心偏移<sup>1/2</sup>

#### 1. 車輛傾倒的安全係數

當車輛重心高度等於  $1,700 \text{ mm}$ ，而超高度等於  $335 \text{ mm}$  時，安全係數等於 1，即表示，只要超高度略大於  $335 \text{ mm}$  或略受風力等橫壓力，車輛即可能傾倒，完全沒有安全餘裕。若超高度等於  $335/2 = 168 \text{ mm}$  時，安全係數為 2；超高度等於  $335/3 = 112 \text{ mm}$  時，安全係數等於 3……，以此類推。安全係數  $F$  定義為：

$$F = \frac{\text{理論最大超高度}}{\text{實際超高度}} \dots\dots\dots \text{(式 4)}$$

一般定實用最大超高度時，採用安全係數為 3，故實用最大超高度  $C$  為  $335/3 = 112 \text{ mm}$ ，考慮軌道不整、側向風力及車輛彈簧之壓縮等因素，臺灣鐵路最大超高度取  $105 \text{ mm}$ 。

#### 2. 停止時車體傾斜最大超高度檢討

車輛停於曲線上時，由於超高度之影響，車輛稍為內傾，使車輛重心亦傾

# 超高度之計算

1. 臺鐵依『鐵路修建養護規則』第9條
2. 日本在來線依『在來線軌道設施實施基準』  
(2002年) 第12條
3. 日本新幹線依『新幹線軌道施設實施基準』  
(2002年) 第10條 [按一下返回](#)

內軌偏移，如圖 4-15，此等偏移量  $x$  之計算如下：

$$\tan \theta = \frac{x}{H} \cong \frac{C}{G}$$

$$\therefore x = \frac{CH}{G} \quad \dots\dots\dots (式 4-10)$$

當  $C=105\text{mm}$ ， $H=1,700\text{mm}$ ， $G=1,067\text{mm}$  時

$$x = \frac{105 \times 1700}{1067} = 167\text{mm} \approx \frac{G}{6} = \frac{1}{3} \times \frac{G}{2}$$

也就是說：當安全係數為 3 時，停於曲線上的車輛，其重心方向經過內軌與軌道中心線之三分點，同理當安全係數為  $f$  時，

$$x = \frac{1}{f} \times \frac{G}{2} = \frac{G}{2f}$$

代入(式 4-10)得：

$$f = \frac{G^2}{2CH} \quad \dots\dots\dots (式 4-11)$$

一般安全係數採用 3 時；代入(式 4-11)得：

$$C = \frac{G^2}{6H} \quad \dots\dots\dots (式 4-12)$$

(式 4-12)表示停車中，超高度造成車輛重心偏移的安全係數值，依(式 4-12)分別計算各種車輛重心高度與各種鐵路所得最大超高度，如表 4-3 所示。

表 4-3 最大超高度

車輛重心高度 (H)	普通鐵路 G=1.067m	普通鐵路 G=1.435m	高速鐵路* G:左右接觸點距離 G=1.500m
1.2 m	158 mm	286 mm	313 mm
1.3 m	146 mm	264 mm	288 mm
1.4 m	136 mm	245 mm	268 mm
1.5 m	126 mm	229 mm	250 mm
1.6 m	119 mm	215 mm	234 mm
1.7 m	112 mm	202 mm	221 mm
1.8 m	105 mm	191 mm	208 mm
1.9 m	100 mm	181 mm	197 mm
2.0 m	95 mm	172 mm	188 mm

註：G:輪軌左右接觸點距離

3. 最大超高度相關規定

(1) 臺鐵依『鐵路修建養護規則』第 9 條：

- ①. 1067 公厘軌距，超高度不得大於 105 公厘。
- ②. 762 公厘軌距，超高度不得大於 75 公厘。

(2) 依日本『在來線軌道相關實施細則』(2002 年) 第 8 條：

- ①. 除特別情形外，超高度以內軌為基準將外軌起高佈設。
- ②. 超高度之最大值，除按照軌道設施實施基準第 12 條第 2 項外，以下表為標準。

	軌距 1435mm	3 線軌道軌距 1435mm	軌距 1067mm	
			不運行機車 列車線區	其它線區
最大超高	200 mm	140 mm	110 mm	105 mm

- (3) 依日本『新幹線軌道設施相關實施細則』(2002 年) 第 9 條：最大超高度除按『新幹線設施實行基準』第 10 條外，其容許量應在 200 mm 以下。

#### 4.2.4 超高度之計算

「超高度」為防止車輛因離心力向外側傾倒，而將外側鋼軌較內側鋼軌提高之數值。超高度之計算需要考量實際運轉之列車種類、速度等因素。實務上普通鐵路計算超高度是以列車平均速度來計算，列車平均速度計算可參考 4.2.8 節，高速鐵路因列車運轉速度一致，則以該曲線最高速度來計算，一般採用(式 4-8)計算。超高度相關規定如下：

##### 1. 臺鐵依『鐵路修建養護規則』第 9 條：

- (1) 曲線之超高度，應將外軌提高全數，內軌則保持在原軌面高度，超高度之公厘數由下列公式計算之。

$$C = \frac{GV_0^2}{0.127R}$$

式 C：超高度以公厘計

G：軌距以公尺計

$V_0$ ：平均速度以每小時公里計

R：曲線半徑以公尺計

- (2) 1067 公厘軌距，超高度不得大於 105 公厘。

- (3) 762 公厘軌距，超高度不得大於 75 公厘。

【註】：實務上因客、貨列車種類繁多，無統計之平均速度可引用時；則簡化將最高速度之 85% 作為平均速度，即  $V_0 = 0.85 \cdot V$  (V：該曲線通過列車最高速度)，得：

$$C = \frac{GV_0^2}{0.127R} = \frac{1.067 \times V_0^2}{0.127 \times R} = \frac{8.4 \times V_0^2}{R} \dots\dots\dots (式 4-13)$$

$$= \frac{8.4 \times (0.85 \times V)^2}{R} = \frac{6 \times V^2}{R}$$

2. 日本在來線依『在來線軌道設施實施基準』(2002 年) 第 12 條：

- (1) 曲線（除道岔附帶曲線外）需依照下式所得之值為標準鋪設超高度。但側線則儘可能鋪設。

$$C_0 = \frac{\alpha \times (V_0)^2}{R}$$

式中  $C_0$ ：鋪設超高度（ $mm$ ）

$V_0$ ：平均速度（ $km/h$ ）

$R$ ：曲線半徑（ $m$ ）

$\alpha$ ：當軌距 1067 $mm$  時為 8.4、當軌距 1435 $mm$  時為 11.8、但三軌時狹軌線為 8.9。

- (2) 前項超高度之最大值不得超過下式計算之值：

$$C_m = \frac{G^2}{0.006H}$$

式中  $C_m$ ：最大超高度（ $mm$ ）

$G$ ：軌距（ $m$ ）

$H$ ：自軌面起至車輛重心高度（ $m$ ）

3. 日本新幹線依『新幹線軌道施設實施基準』（2002年）第10條：

- (1) 曲線（道岔附帶曲線除外），必須依照下式計算之數值設定超高度。側線亦應儘可能設置超高度。

$$C_0 = 11.8 \frac{V^2}{R}$$

式中  $C_0$ ：鋪設超高度（ $mm$ ）

$V$ ：該曲線最高速度（ $km/h$ ）

$R$ ：曲線半徑（ $m$ ）

- (2) 前項超高度最大值不得超過下式計算之數值。

$$C_m = \frac{G^2}{0.006 \times H}$$

式中  $C_m$ ：最大超高度（ $mm$ ）

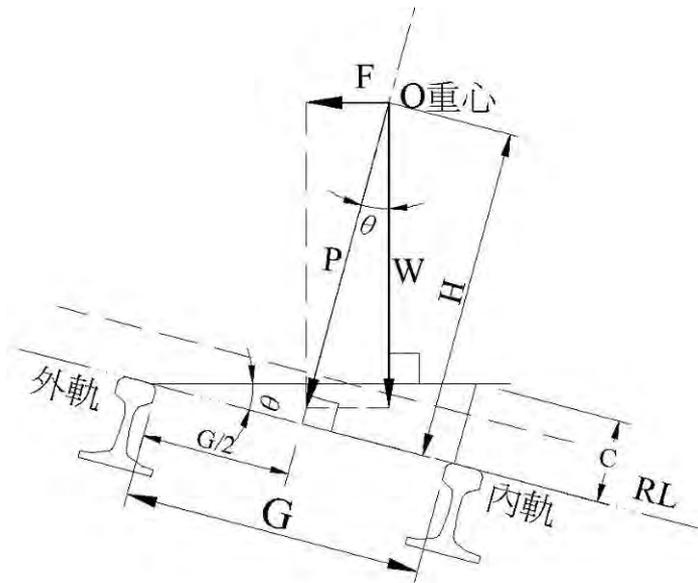
$G$ ：軌距（ $m$ ）

$H$ ：自軌面起至車輛重心高度（ $m$ ）

# 列車速度與傾倒安全率

行駛中的車輛，其重量 $W$ ，離心力 $F$ 及兩者合力 $P$ 之作用情形如圖所示。

[按一下返回](#)



### 4.2.5 列車速度與傾倒安全率

行駛中的車輛，其重量  $W$ ，離心力  $F$  及兩者合力  $P$  之作用情形如圖 4-16 所示。設  $P$  力偏離軌道中心而向外軌側之距離以  $x$  表示，則：

$$\tan(\alpha - \theta) = \frac{x}{H}$$

$$\therefore x = H \tan(\alpha - \theta)$$

$$\text{但 } \tan(\alpha - \theta) = \frac{\tan \alpha - \tan \theta}{1 + \tan \alpha \cdot \tan \theta}$$

當  $\alpha_1$  及  $\theta$  均為甚小之角度時，

$\tan \alpha \cdot \tan \theta \cong 0$ ，故：

$$x \cong H \times (\tan \alpha - \tan \theta)$$

$$\text{又因 } \tan \alpha = \frac{F}{W} = \frac{V^2}{127R}$$

$$\tan \theta = \frac{C}{G} = \frac{V_0^2}{127R}$$

$$\therefore x = H \left( \frac{V^2}{127R} - \frac{V_0^2}{127R} \right) = H \left( \frac{V^2 - V_0^2}{127R} \right)$$

式中  $V$  為實際列車速度； $V_0$  為平均速度，亦即設定超高度所根據的速度。

以  $x = \frac{G}{2f}$  代入上式得

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

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

..... (式 4-14)

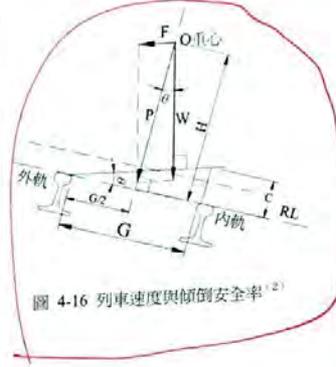
$$\text{或 } f = \frac{G}{2H} \left( \frac{1}{\frac{V^2}{127R} - \frac{C}{G}} \right)$$

..... (式 4-15)

此種情況下，因考慮列車之動搖，衝擊等因素，傾倒安全率須比靜止時略大，一般取  $f = 4$ 。從另外一個角度來看，

$$\frac{V^2 - V_0^2}{127R} = \frac{G}{2fH}$$

$$\therefore V^2 - V_0^2 = \frac{127RG}{2fH}$$



# 容許超高不足量

依平均速度設定之實際超高度為 $C$ ；而依最高速度 $V$ 算得之超高度為 $CV$ ，則**超高不足量 $C_d$** 為； [按一下返回](#)

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

$$\begin{aligned} \therefore V^2 &= \frac{127RG}{2fH} + V_0^2 \\ V^2 &= \frac{127RG}{2fH} + \frac{127RC}{G} \end{aligned}$$

$$\therefore V = \sqrt{127R \left( \frac{G}{2fH} + \frac{C}{G} \right)} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4-16)}$$

當  $V$  小於  $V_0$ ，即列車實際速度小於平均速度時：

$$V = \sqrt{127R \left( \frac{C}{G} - \frac{G}{2fH} \right)} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4-17)}$$

$$\text{或 } f = \frac{G}{2H} \times \frac{1}{\left( \frac{C}{G} - \frac{V^2}{127R} \right)} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4-18)}$$

**4.2.6 容許超高不足量**

令依平均速度  $V_0$  設定之實際超高度為  $C$ ；而依最高速度  $V$  算得之超高度為  $C_v$ ，則超高不足量  $C_d$  為：

$$\begin{aligned} C_d &= C_v - C \\ \therefore C_v &= 8.4 \frac{V^2}{R} \\ C &= 8.4 \frac{V_0^2}{R} \\ \therefore C_d &= 8.4 \frac{V^2 - V_0^2}{R} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4-19)} \end{aligned}$$

此時合力方向偏離軌道中心的距離  $x$  為：

$$\begin{aligned} \frac{C_d}{G} &\cong \frac{x}{H} \\ \therefore x &= \frac{C_d \times H}{G} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4-20)} \end{aligned}$$

式中  $G$ ：軌距  
在窄軌鐵路，其  $x$  值一般不得大於  $\frac{1}{8}G$ ，故：

$$\frac{G}{8} \geq \frac{C_d \times H}{G}$$

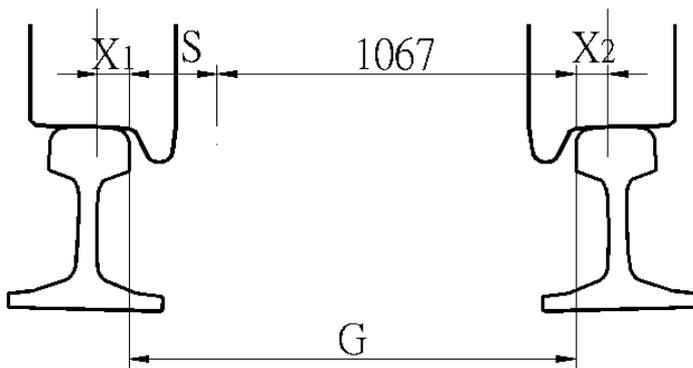
# 超高修正

超高公式中，令 $G=1067\text{mm}$ 。實際上在曲線上

$$G = 1067 (\text{公差}) + S (\text{軌距加寬}) + X_1 + X_2,$$

$X_1 + X_2$ 為左右軌距線至車輪踏面中心之間距。

如圖所示：[按一下返回](#)



$$\therefore C_d \leq \frac{G^2}{8H} \dots\dots\dots (式 4-21)$$

當  $H=1700mm$  時，

$$C_d \leq \frac{1067^2}{8 \times 1700} = 84 mm$$

此為理論上容許之超高不足量。再考慮橫風、車輛彈簧等之影響及乘車舒適感等因素，實際超高不足量應略小於此值。

設計  
超  
高  
不足  
量

1. 臺鐵規定一般列車之最大容許超高不足量  $C_d$  為  $50mm$ ，而電氣列車者則為  $60mm$ 。

2. 日本在來線依『在來線軌道相關實施細則』(2002年)第9條：

(1) 超高不足量須配合通過該曲線速度，以下式計算之值為標準：

$$C_d = \frac{\alpha \times V^2}{R} - C_o$$

式  $C_d$ ：超高不足量  $C_o$ ：鋪設超高度 (mm)

$V$ ：曲線通過速度 (km/h)  $R$ ：曲線半徑 (m)

$\alpha$ ：軌距 1067mm 時 8.4、1435mm 時 11.8、3 線軌時狹軌 8.9

(2) 各種車輛型式的超高不足量以下表為標準

車輛別	一般 列車	電 車 柴油車	183 系、189 系、485 系 489 系、253 系、255 系 E257 系、E653 系 E751 系、701 系(標準軌用) 719 系(標準軌用)電車	400 系 及 E3 系電車	381 系 383 系及 E351 系電車
容許超高 不足量	50 mm	60 mm	70 mm	90 mm	110 mm

註：381 系、383 系及 E351 系電車未使用傾斜裝置時為 70mm。

3. 日本新幹線依『新幹線軌道設施相關實施細則』第 10 條：超高不足量是以下式計算所得之值，且不得超過 90mm。

$$C_d = \frac{11.8 \times V^2}{R} - C_o$$

式  $C_d$ ：超高不足量 (mm)  $V$ ：曲線通過速度 (km/h)

$R$ ：曲線半徑 (m)  $C_o$ ：鋪設超高 (mm)

### 4.2.7 超高修正

超高公式  $C = \frac{GV^2}{127R} = 8.4 \frac{V^2}{R}$  中，令  $G=1067mm$ 。實際上，在曲線上  $G=1067$  (公差)  $+ S$  (軌距加算)  $+ x_1 + x_2$ ，如圖 4-17 所示。式中  $x_1 + x_2$  為左右軌距線至車輪踏面中心之間距。其中公差之平均值趨近於 0，可以不計。但  $(S + x_1 + x_2)$  值必須考

設計  
超  
高  
不足  
量

應以  $R=400m, S=5mm, V=60km/h$  之情況為例，若以  $G=1067mm$  計算，其  $C=76mm$ 。起點  
 但若以  $G=1067+(5/60) \cdot 1132mm$  計算，則  $C=81mm$ ，相差達  $5mm$ ，如圖 4-18 所示。  
 一般超高度表皆依  $G=1067mm$  計算，故早期以超高墊木量測設定超高時，須注意修  
 正。現代的軌道水準尺，改量  $\theta$  角，再自動換算成  $G=1067mm$  時之超高度，因此無  
 需修正。

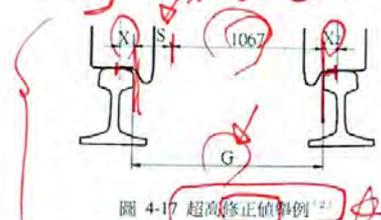


圖 4-17 超高修正值事例

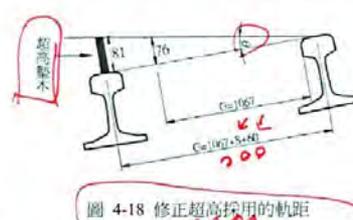


圖 4-18 修正超高採用的軌距

### 4.2.8 列車平均速度計算法

列車平均速度之計算方法計有下列幾種：

1. 平方值平均法：又分下列兩類：

(1) 一般法（普遍應用）

$$V_0 = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{N}} \quad \dots\dots\dots (式 4-22)$$

(2) 列車種別平方值平均法（最常使用，臺鐵亦採用此法）

$$V_0 = \sqrt{\frac{n_1 V_1^2 + n_2 V_2^2 + \dots + n_n V_n^2}{n_1 + n_2 + \dots + n_n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot V_i^2}{\sum_{i=1}^n N_i}} \quad \dots\dots\dots (式 4-23)$$

式中  $V_0$ ：平均速度 (km/h)  
 $V$ ：代表列車速度 (km/h)  
 $N$ ：種別別列車數

2. 高速列車加權平均法

$$V_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot N_i \cdot V_i^2}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot N_i}} \quad \dots\dots\dots (式 4-24)$$

式中  $V_0$ ：平均速度 (km/h)

# 列車平均速度計算法

1. 平方值平均法
2. 高速列車加權平均法
3. 最高速度與最低速度之平方值平均法 [按一下返回](#)

$W$ : 列車種別加權值

$V$ : 種別列車速度 (km/h)

$N$ : 種別列車數

3. 最高速度與最低速度之平方值平均法:

$$V_0 = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2}{2}} \quad \dots\dots\dots (式 4-25)$$

式中  $V_0$ : 平均速度 (km/h)

$V_1$ : 最高列車速度 (km/h)

$V_2$ : 最低列車速度 (km/h)

### 4.2.9 超高遞減

曲線上有超高，直線上沒有超高，由直線進入曲線或曲線進入直線，須有一段超高漸變部份，以圓滑銜接直線與曲線，即稱為超高遞減。

1. 『臺灣鐵路管理局鐵路建設作業程序』第 30 條規定如下：超高度之遞減應與曲率或正矢一致，但曲線遞減時，其中央部之超高最大坡度，不得大於下列規定。

(1)  $\frac{1}{400}$

(2) 特甲級線及甲級線  $\frac{1}{6V}$

(3) 乙級線  $\frac{1}{5V}$

2. 『臺灣鐵路管理局 1067 公厘軌距軌道橋樑檢查養護規範』第 2.1.6 條對於超高度之遞減長度之規定如下：

(1) 有介曲線時為介曲線之全長。

(2) 無介曲線時，由圓曲線之起訖點起應大於超高度乘下列倍數之積：

①. 正線：特甲級線及甲級線 800 倍，乙級線 600 倍。

②. 側線：400 倍。

(3) 半徑不一而方向相同之兩曲線，其接續地點在半徑較大之曲線內，按其超高度差之 400 倍以上之長度遞減之。

(4) 曲線遞減時，其在中央部之超高最大坡度不得大於 1/400。

3. 日本在來線依『在來線軌道設施實施基準』(2002 年) 第 13 條：

(1) 超高度需配合介曲線曲率於介曲線全長遞減之。

(2) 沒有介曲線時(同方向二個曲線相接時除外)，若行駛該曲線之車輛固定軸距為 2.5 公尺時；自圓曲線終點向直線方向遞減超高度之 300 倍以上，若距

# 超高遞減

曲線上有超高，直線上沒有超高，由直線進入曲線或曲線進入直線，須有一段超高漸變部份，以圓滑銜接直線與曲線，即稱為超高遞減。

[按一下返回](#)

定軸距為 2.5 公尺以上時應遞減 400 倍以上長度。但在不得已情況下，無論曲線半徑及超高度之大小，經推測脫軌係數比的計算確認，而有鋪設對外軌側脫軌防護之防脫護軌時，可不依此規定。

- (3) 沒有介曲線的同方向之二個圓曲線相接時，以二曲線之超高度差的 400 倍以上長度向曲線半徑大的方向遞減。
- (4) 前面各項如為正弦半波長曲線遞減時，超高度的最大坡度，於行駛該曲線車輛的固定軸距為 2.5 公尺時；不得超過 1/300，固定軸距超過 2.5 公尺時不得超過 1/400。

4. 日本新幹線依『新幹線軌道設施實施基準』(2002 年) 第 11 條：

- (1) 超高度必須於介曲線全長、符合介曲線之曲率遞減為準。
- (2) 沒有介曲線時(除同方向之二個曲線相接時)以行駛該曲線之車輛最大固定軸距在 2.5 公尺以下時；為超高度之 300 倍以上，超過 2.5 公尺時為超高度之 400 倍以上之長度，自曲線端向直線遞減。但在不得已情況下未滿 300 倍時，需減速行駛並按照推測脫軌係數比之計算式確認安全性。
- (3) 兩個同方向的圓曲線相接而沒有介曲線時，需按二圓曲線超高度之差的 400 倍以上長度，向半徑大之圓曲線遞減。
- (4) 前面各項，於正弦半波長遞減曲線時超高度的最大坡度；不得超過 1/400。

超高遞減形狀如圖 4-19 所示。該圖 (d) 之最大坡度係預防由超高度遞減太快引起車輛之三點支承脫軌。三點支承脫軌原理在介曲線一節內詳述。

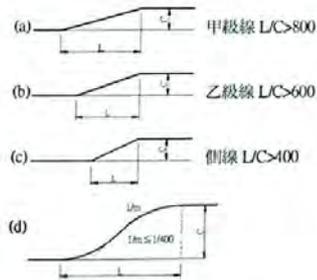


圖 4-19 超高度遞減坡度

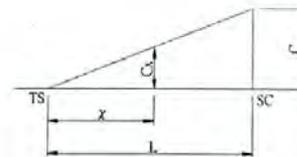


圖 4-20 超高直線遞

5. 介曲線各部超高遞減尺寸計算法；有下述二種：

(1) 直線遞減

超高度若依直線變化；如三次拋物線緩和曲線，圖 4-20 所示。距 TS 點  $x$  距離處的超高  $C_x$  為：

$$C_x = C \times \frac{x}{L} \quad \dots\dots\dots (式 4-26)$$

式中  $C$  : 圓曲線的超高度  
 $L$  : 介曲線長

**例** : 三次拋物線形介曲線長  $L=85m$  , 超高度  $C=77mm$  , 試求由  $TS$  每  $5m$  各點之超高度。

**解** : 因係三次拋物線, 故超高度變化為直線

$$C_1 = 77 \times \frac{5}{85} = 4.5 \approx 5 \text{ mm}$$

$$C_2 = 77 \times \frac{10}{85} = 9.1 \approx 9 \text{ mm}$$

$$C_3 = 77 \times \frac{15}{85} = 13.6 \approx 14 \text{ mm}$$

$$C_{15} = 77 \times \frac{75}{85} = 67.9 \approx 68 \text{ mm}$$

$$C_{16} = 77 \times \frac{80}{85} = 72.5 \approx 73 \text{ mm}$$

以上計算, 參照圖 4-21 利用方格紙以繪圖法求解更簡單。

(2) 曲線遞減

超高度若以曲線遞減; 如正弦半波長緩和曲線, 圖 4-22 所示, 其超高度之變化, 可由次式求之。

$$C_x = \frac{C}{2} \left( 1 - \cos \frac{\pi}{L} x \right) \quad \dots\dots\dots (式 4-27)$$

式中  $C_x$  : 距介曲線始點( $TS$ )距離( $x$ )處之超高度 ( $mm$ )  
 $C$  : 圓曲線之超高度 ( $mm$ )  
 $L$  : 介曲線長 ( $m$ )  
 $x$  : 距介曲線始點  $TS$  之距離 ( $m$ )

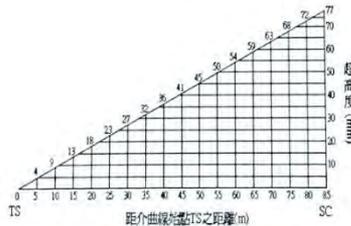


圖 4-21 繪圖法求超高遞減值<sup>(4)</sup>

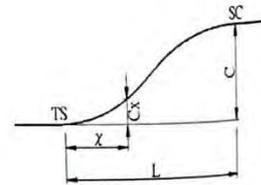


圖 4-22 超高曲線遞減<sup>(4)</sup>

# 橋樑超高敷設法（無道床橋樑）

由於離心力隨速度平方正比例增大，高速地段之**曲線橋樑**，其離心力有時達到垂直載重之20%。故曲線上縱樑之架設方法至為重要。故曲線上縱樑之架設方法至為重要。若將**縱樑以水平狀態架設**，即**超高度全部施於上部軌道時**，因左右縱樑所承受載重不同，勢必發生設計上之不利於縱樑之橫向撓度題。此種情形若於上承樑則離心力與垂直載重之合力，對樑中心造成偏心載重。

[按一下返回](#)

# 逆超高定義

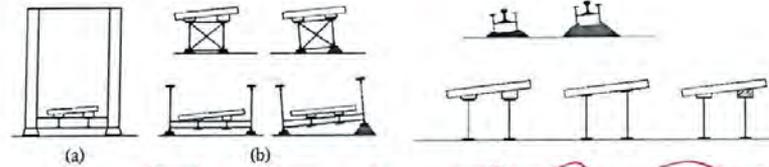
曲線地段，為平衡離心力須將外軌略為高；  
稱**超高**，但在某些**特殊情形**下外軌反較內  
軌為低，稱為**逆超高**。

[按一下返回](#)

### 4.2.10 橋樑超高敷設法 (無道床橋樑)

由於離心力隨速度平方正比例增大，高速地段之曲線橋樑，其離心力有時達到垂直載重之 20%。故曲線上縱樑之架設方法至為重要。若將縱樑以水平狀態架設，即超高度全部施於上部軌道時，因左右縱樑所承受載重不同，勢必發生設計上之不利於縱樑之橫向撓度等問題。此種情形若於上承樑則離心力與垂直載重之合力，對樑中心造成偏心載重。若於無道床橋樑則須另外研究特種構造以便加設超高度，如隨超高度將縱樑傾斜架設，列車以超高度之均衡速度通過時，縱樑則不受離心力造成的橫力影響。於無道床橋樑時，又有免設特種構造等優點：惟架樑工程繁雜且發生縱樑等構材之排水問題。

曲線橋樑一般仍採用直線樑，為平均左右樑之載重，樑中心線偏離軌道中心線的允許距離須仔細檢討。

圖 4-23 橋樑超高敷設法<sup>(4)</sup>圖 4-24 新式橋樑超高敷設法<sup>(4)</sup>

『臺灣鐵路管理局 1067 公厘軌距軌道橋樑檢查養護規範』—「桁樑以外鋼樑之超高，其高度之二分之一附加於橋台或橋墩，架設槽型橋樑時，得將其全部超高附加於橋台及橋墩。」

橋樑上超高度之狀況如圖 4-23 所示，外國亦有採用如圖 4-24 之不用墊板而附加超高度之方法，即變更左右主樑之高度或於一邊突緣上焊接五金以代替墊板施予超高度。

臺灣鐵路管理局 1067 公厘軌距軌道橋樑檢查養護規範—「橋樑中心線與軌道中心線在直線路段中心應一致，在曲線路段時，於鋼樑中央處；橋樑中心線應偏離路線中心內側，即中距長度之五分之二處，亦即於鋼樑兩端；鋼樑中心線，應偏路線中心外側，即中距長度之五分之三」，如圖 4-25 所示。

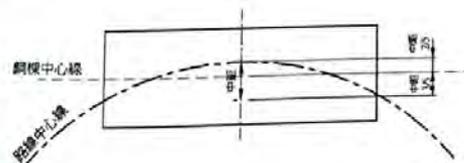


圖 4-25 曲線橋樑中距示意圖

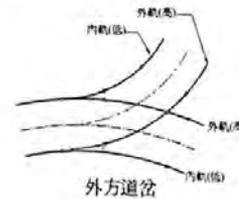


圖 4-26 外方道岔示意圖

### 4.2.11 逆超高<sup>(6)</sup>

#### 1. 逆超高

曲線地段，為平衡離心力須將外軌略為提高；稱超高，但在某些特殊情形下外軌反較內軌為低，稱逆超高。如在超高度之曲線上，設置向外分岔的道岔（稱外方道岔，如圖 4-26 所示），就該道岔言，外軌高程反較內軌高程為低，此外，在災害搶修時，為疏導客貨運亦可能因故於外軌較內軌低時搶行先通車，又如外軌下沉等皆可能造成逆超高。逆超高為一不正常狀況，對行車十分危險，須儘可能避免。

逆超高度之導法與超高不足量同，說明如下：

令  $C_r$ ：逆超高  $C_{da}$ ：容許超高不足量  
 $V$ ：行車速度  $R$ ：曲線半徑

$$\text{則 } C_{da} = C_r + 8.4V^2/R$$

$$C_r = C_{da} - 8.4V^2/R$$

故在直線段 ( $R = \infty$ )，安全逆超高等於容許超高不足量。當車速愈高時安全逆超高應愈低，亦即表示：有逆超高時車速須嚴格限制。

2. 日本在來線依『在來線軌道設施實施基準』（2002年）第14條：曲線道岔的基準側，原則上須依照該曲線超高度計算式鋪設超高度。但外側分岔道岔之超高度，須考慮行駛分岔側線的車輛性能，鋪設滿足下式之超高度。

$$\frac{R(C_{da} - C_a)}{\alpha} \geq V^2$$

式中  $R$ ：分岔側曲線半徑 (m)  $C_{da}$ ：容許超高不足量 (mm)  
 $V$ ：通過速度 (km/h)  $C_a$ ：鋪設超高 (mm)  
 $\alpha$ ：軌距 1067mm 時為 8.4、1435 mm 時為 11.8、三軌時狹軌線為 8.9。

3. 日本新幹線依『新幹線軌道設施實施基準』（2002年）第12條：曲線道岔的基準側，必須依照超高設置計算式計算之值設置超高度為原則。但向外軌側分岔道岔之超高度，必須考慮行駛分岔側之車輛性能，設定能滿足下式之超高度。

$$\frac{R(C_{da} - C_a)}{11.8} \geq V^2$$

式中  $R$ ：分岔側曲線半徑 (m)  $C_{da}$ ：容許超高不足量 (mm)  
 $C_a$ ：鋪設超高 (mm)  $V$ ：通過速度 (km/h)

### 4.3 曲線限速<sup>(1)</sup>

曲線上之限制速度，一般雖依曲線半徑及超高度決定。但介曲線長度如過短，為維持乘車舒適感，避免過大超高變化率亦須限速。決定曲線上限制速度時亦應考慮

# 曲線限速

[按一下返回](#)

(1) 曲線通過速度之決定因素

(2) 曲線限速理論

(3) 擺式列車曲線通過速度之提升定義

# 曲線通過速度之決定因素

- 安全性
- 乘車舒適感
- 軌道養護 [按一下返回](#)

# 曲線限速理論

- 曲線通過列車容許最高速度可由下列公式求出：

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

- $V$ ：列車速度 ( $km/h$ )
- $H$ ：車輛重心高度 ( $mm$ )
- $R$ ：曲線半徑 ( $m$ )
- $f$ ：安全率
- $G$ ：兩鋼軌間車輪支承距離 ( $mm$ ) [按一下返回](#)

太超高度、超高度之變化、超高度之時間性變化、容許最大超高不足量、超高不足量之時間性變化及超高過大對低速列車之影響等。

#### 4.3.1 曲線通過速度之決定因素

##### 1. 安全性

###### (1) 車輛之傾倒穩定性

內方傾倒發生在於超高過大之場合，因此普通鐵路一般對於內方傾倒安全係數為 3；即臺鐵設置最大超高為 105mm 之理由。外方傾倒發生於列車行駛曲線地段，受向曲線外之風力產生之橫壓力時；列車穩定性有檢討必要。近年來車輛輕量化發展及速度提高導致在超高不足量增大情況下更應詳加確認。特別是擺式列車運轉區間本項是決定曲線通過速度之重要因素。

###### (2) 車輛行走安全性

###### (3) 鋼軌扣結系統之橫壓強度

###### (4) 軌道橫壓穩定性

##### 2. 乘車舒適感

(1) 左右振動加速度：目標值應控制在 0.08g 以下，特殊情形可採 0.09g 以下。

(2) 左右振動加速度變化率：目標值應控制在 0.03 g/sec 以下，特殊情形可採 0.04 g/sec 以下。

(3) 滾動角速度：目標值應控制 5°/sec 以下。

##### 3. 軌道養護

###### (1) 鋼軌側磨耗

###### (2) 方向不整發展

#### 4.3.2 曲線限速理論

曲線通過列車容許最高速度可由(式 4-28)求得：

$$V = \sqrt{127R \left( \frac{G}{2fH} + \frac{C}{G} \right)} \quad \dots\dots\dots (式 4-28)$$

式中  $V$ ：列車速度 (km/h)

$H$ ：車輛重心高度 (mm)

$R$ ：曲線半徑 (m)

$f$ ：安全率

$G$ ：兩鋼軌間車輪支承距離 (mm)，高速鐵路採用 1500mm / 臺鐵可採用軌距同值 1067mm

$$C_{da} = \frac{S V_{\max}^2}{gR} - \frac{S V_{\text{平}}^2}{gR} = \frac{S}{g} \left( \frac{V_{\max}^2}{R} - \frac{V_{\text{平}}^2}{R} \right) = \frac{S}{g} (\alpha_{\max} - \alpha_{\text{平}}) = \frac{S}{g} \Delta\alpha \quad \dots\dots\dots \text{(式 4-33)}$$

標準軌 1435mm  $C_{da\max} = 153 \cdot \Delta\alpha$   
 窄軌 1067mm  $C_{da\max} = 109 \cdot \Delta\alpha$

未被平衡橫向加速度 $\Delta\alpha$ 的大小直接影響乘客的舒適性，故須加以限制。一般而言：

- $\Delta\alpha=0.02g$  時， $C_{da}=30.6$  (21.8) mm 無感覺 (括弧內為 1067 軌距)
- $\Delta\alpha=0.04g$  時， $C_{da}=61.2$  (43.6) mm 稍有感覺
- $\Delta\alpha=0.06g$  時， $C_{da}=91.8$  (65.4) mm 有較大感覺
- $\Delta\alpha=0.08g$  時， $C_{da}=122.4$  (87.2) mm 坐著的旅客要用力支撐，站著的旅客有可能被晃倒

臺鐵依「鐵路修建養護規則」第 9 條：「超高度之容許不足量，1067 公厘軌距鐵路用機車牽引之列車，容許不足量為 50 公厘，電車組及機動車為 60 公厘。」

日本普通鐵路對於左右振動加速度限度值為 0.08g，據此日本 JR 決定出超高度容許不足量：

1. 一般列車：50 mm
2. 電車、汽動車列車：60 mm
3. 行走特性經過確認之列車：70 mm
4. 擺式列車：110 mm
5. JR 東海 383 系：123 mm

道岔間之橫渡線因兩端有反向曲線中間則夾短小直線，因為道岔內曲線一般均超高度及介曲線。通過是項橫渡線之容許最高速度如表 4-5。日本東海道新幹線之規定，即橫渡線中間之直線長 $\ell$ 如較轉向架中心距離 $L$ 為短時，因車輛之運動變化在 $\ell+L$ 間發生，故將此區間視為假想介曲線，依乘車舒適上可容許之超高不足量及時間性變化量之限度而決定限制速度。

表 4-5 曲線限速<sup>1)</sup>

鐵路名	一般曲線	橫 渡 線
阿爾及利亞	$V = \frac{R}{10} + 45$ $V: km/h$ $R: m$	
德 國	$V = 4.33\sqrt{R}$	$V = \sqrt{R}$
比 利 時	$V = 3.56\sqrt{R}$	
西 班 牙	$V = 4.5\sqrt{R}$	$V = \sqrt{R} - 5$
法 國	$V = 5.3\sqrt{R} - 5$ (理論值) $V = 4.9\sqrt{R} - 5$ (實際值)	
義 大 利	$V = 4.6\sqrt{R}$	
葡 萄 牙	$V = 4\sqrt{R}$	
瑞 士	$V = 4.33\sqrt{R} - 5$	
英 國	$V = \sqrt{(7.5 + 0.064C)R}$ $C: mm$	$V = 2.03 \times \sqrt[3]{(\ell + 12.4)R}$ $\ell: 岔心間之直線長 m$
芬 蘭	$V = 0.395\sqrt{CR}$	
印 度	$V = 4.3\sqrt{R} - 68$	
日 本 (新幹線)	$V = 4.5\sqrt{R}$ ( $R \leq 2000 m$ )	$\ell \leq 19 m, V = 2.05 \times \sqrt{R(19 + \ell)}$ $\ell > 19 m, V = 6.9 \times \sqrt[3]{R}$
日 本 (窄軌線)	$V = 3.0\sqrt{R} \sim 3.8\sqrt{R}$	與兩側道岔上限制速度相同
瑞 典	$V = \sqrt{\frac{C \cdot R}{8}}$ $V = \frac{1000 \cdot \ell}{8 \cdot C}$ $\ell =$ 介曲線長 $m$	$\ell \geq \frac{V}{10}, V = 2.9\sqrt{R}$ $\ell < \frac{V}{10}, V = 10\ell$
美國 C&O	$V = 4.2\sqrt{R}$	
美 國 Seaboard	$V = 4.2\sqrt{R}$	
蘇 俄	$V = \sqrt{(0.08C + 13P)R}$ $P: 超過離心力加速度, 容許至 0.7 m/sec 為止。$	
台灣 (臺鐵)	$V = 4.16\sqrt{R}$ EMU $V = 4.16\sqrt{R} - 5$ 機車	

# 擺式列車曲線通過速度之提升定義

- 擺式列車開發背景
- 擺式列車的**原理**
- 擺式列車**分類**
- 擺式列車與**乘車舒適感**
- **曲線通過速度比較**[按一下返回](#)

### 4.3.3 擺式列車曲線通過速度之提升<sup>(10)</sup>

#### 1. 擺式列車開發背景

1940年代，美國與法國開始進行了車體傾斜系統的試驗，接著義大利也進行了類似的試驗。法國客車的重體傾斜系統，成功的以  $160\text{ km/h}$  的速度通過半徑 800 公尺的曲線，確認了擺式列車的效果。

世界上最早營運高速鐵路的國家是日本，同時它也是最早實用擺式列車的國家，1958年開發了381系擺式電聯車組。日本的幹線鐵路受限於地形及都市發展，路線曲線的問題很嚴重，在這樣的路線上要求實現高速化是有相當難度。最根本的解決辦法就是將路線改建或者加大曲線半徑，但改建新線成本很高；且受制於用地問題，往往緩不濟急。在這種條件下，從改良車輛的方法實現高速化最簡便，就是採用擺式列車，擺式列車示意圖如圖 4-29 所示。

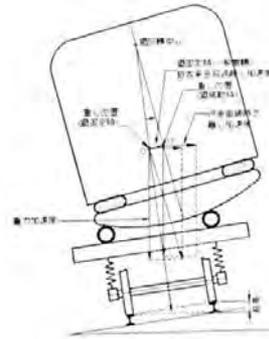


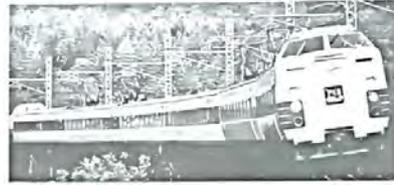
圖 4-29 擺式列車示意圖

1960年代初，許多歐美的鐵路部門都相繼採取了擺式列車的設計構想，即透過讓車體傾斜使列車以更快速度通過曲線而不影響旅客的乘車舒適感。80年代末，這個設計思想演變成了實用化的技術措施，使得大批擺式列車投入商業運行。目前世界鐵路採用擺式列車有義大利「Pendolino」及「Cisalpino」、德國DB「ICE-T」、英國「Pendolino、Britannica」、瑞士「ICN」、西班牙「Talgo」、葡萄牙「Alfa Pendular」、芬蘭「Pendolino S220」、美國「Acela」、澳洲「Tilt Train」、瑞典「X-2000」等各國擺式列車如照片 4-1 所示。

1990年瑞典採用 X-2000 是非常成功案例，瑞典北部為高原山區、南部是丘陵地帶，鐵路路線彎道多、曲線半徑小。針對這種特點；瑞典國鐵與 ABB 公司合作，研發 X-2000 型擺式列車。瑞典鐵路幹線最小曲線半徑為 500 公尺，客貨運共用，採用擺式列車後，使哥德堡～斯德哥爾摩區間平均速度提高了 30%~40%，最高速度達到  $210\text{ km/h}$  高速鐵路水準，旅行時間減少 65 分鐘，與飛機相比僅多出 10 分鐘。但具有安全準點、票價遠低於飛機等優點。瑞典 X-2000 以最低成本，有效提高營運速度是一個非常成功的案例。



義大利 Pendolino ETR450



日本 381 系電車



英國 Virgin-Pendolino Britannica



義大利 Pendolino ETR500



德國 ICE-T



瑞士 ICN



瑞典 X-2000

照片 4-1 各國擺式列車



$$V_1 = 0.345\sqrt{R(C+C_d)} \quad (\text{km/h}) \quad \dots\dots\dots (式 4-37)$$

對於具有擺式設備的車輛，在通過曲線時，車體有一個向曲線內側傾斜的傾角 $\gamma$ ，則可允許以更高的速度 $V_2$ 通過曲線，則由(式 4-38)得：

$$V_2 = 0.345\sqrt{R(C+C_d+C_e)} \quad \dots\dots\dots (式 4-38)$$

$C_e$ ：由於車體傾斜而換算成的附加超高。

### 3. 擺式列車分類<sup>10)</sup>

擺式列車區分為具有通過曲線時離心力一旦出現，車體即會自然傾斜結構的「自然傾斜」以及具備藉著固定地面號誌設備配合車上感應器和電腦計算後先行調整車體傾斜功能的「強制傾斜」二種。

(1) 自然傾斜式，又稱為被動傾斜式。

車體由滾輪裝置和高位空氣彈簧支承，通過曲線時產生離心力，使車體自然的向曲線內側傾斜。自然傾斜由於是利用離心力使車體傾斜，車體傾斜角度可達 $3.5^\circ \sim 5^\circ$ 左右，圓曲線段具有左右振動加速度較小優點，但在進入曲線或駛出曲線時，常出現車體傾斜延遲現象，導致乘坐舒適性惡化。自然傾斜式列車以日本 381 系及西班牙的 Talgo 為代表。

(2) 強制傾斜式，又稱為主動傾斜式。

車體用連桿機構支承，用油壓等強制性的使其向曲線內側傾斜，強制傾斜是用油缸等使車體傾斜，利用地面信號位置為基準，利用振動加速度計和陀螺儀來檢測列車在曲線運行中的過離心力加速度和外軌超高，經過計算後控制車體的傾斜。最大車體傾斜角可達 $8^\circ \sim 10^\circ$ 左右，大體上能與過離心力加速度相抵銷。以義大利 ETR450 系列和瑞典 X-2000 型列車為代表。日本在自然傾斜列車增加在傾斜機構中加裝控制風缸的辦法，輔助強制車體傾斜也可視為本類。傾斜中心較低，車體重心移動也小。

### 4. 擺式列車與乘車舒適感<sup>10)</sup>

擺式列車主要問題在於列車速度提高後，列車在緩和曲線上的運轉時間縮短，車體傾斜角速度增大，導致車體急劇傾斜。較大的車體傾斜角和傾斜角速度，會造成乘客失去平衡感，發生「暈車」和「懸空」感覺，這是擺式列車存在的特有的乘坐舒適感問題。

為了提高擺式列車的乘車舒適感，必須做到車體傾斜與通過曲線同步而不延滯及減小傾斜角速度。因此改善擺式列車的乘坐舒適感辦法：一是要使車體傾斜動作與通過曲線同步而不延遲，二是要減少車體傾斜角，將傾斜角控制在小於外軌超高增量 70% 左右。

就歐洲目前發展趨勢而言，義大利和瑞典採用了強制車體傾斜控制裝置；瑞士也採用了獨特的強制車體傾斜控制。只有西班牙的 Talgo 高速列車使用自然傾斜方式。在日本 381 系電動車組因為採用了自然傾斜方式導致乘坐舒適感

惡化。爲了補償擺動、復原延遲的問題，加裝了輔助控制裝置，即增加控制裝置的自然傾斜方式。目前此種裝置已在日本鐵路公司（北海道、四國）直達高速列車應用。

5. 曲線通過速度比較

以日本在來線窄軌路線（1067mm）爲例，擺式列車容許超高不足量爲110mm，一般狀況下曲線通過速度較傳統車輛；約可提高15~20km/h，如表 4-6 所示。

如臺鐵採用擺式列車，依照目前之運轉規定速度及軌道超高規定；最大超高  $C=105mm$ 、容許超高不足  $C_d=110mm$ （擺式）、 $C_d=60mm$ （非擺式），分別計算擺式列車與非擺式列車之曲線通過速度比較如表 4-7。

表 4-6 JR 擺式與非擺式列車之曲線通過速度

JR 曲線半徑	行車規章 限制速度 高性能車	非擺式列車 C=105 C <sub>d</sub> =70	擺式列車 C=105 C <sub>d</sub> =110
200	50	65	72
250	60	72	80
300	65	79	88
350	70	85	95
400	75	91	101
450	80	97	107
500	85	102	113
600	90	112	124
700	95	121	134
800	100	129	143
1000	105	144	160
1200	110	158	175
1400	115	171	189
1600	120	183	202

表 4-7 TR 擺式與非擺式列車之曲線通過速度

臺鐵 曲線半徑	行車規章 限制速度 高性能車	非擺式列 車 C=105 C <sub>d</sub> =60	擺式列車 C=105 C <sub>d</sub> =110
100	40	44	51
125	45	50	57
150	50	54	62
175	55	59	67
200	55	63	72
225	60	66	76
250	65	70	80
300	70	77	88
350	75	83	95
400	80	89	101
450	85	94	107
500	90	99	113
600	100	109	124
700	110	117	134
800	120	125	143
900	125	133	152
1000		140	160
1200		154	175
1400		166	189
1600		177	202

# 軌距加寬 [按一下返回](#)

(1) 軌距加寬的必要性

(2) 追蹤曲線

(3) 軌距加寬原理定義

# 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。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。

# 追蹤曲線

- 當車輛自由行駛於曲線上時，前軸中心沿曲線方向前進，後軸中心則以保持其與前軸中心距離最短之方向前進，此後軸中心的前進路線稱追蹤曲線。[按一下返回](#)

## 4.4 軌距加寬<sup>(1)</sup> (slack)

### 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。

### 4.4.2 追蹤曲線 (trailing curve)

參考圖 4-30，當車輛自由行駛於曲線上時，前軸中心沿曲線方向前進，後軸中心則以保持其與前軸中心距離最短之方向前進，此後軸中心的前進路線稱追蹤曲線。當固定軸距長度與曲線半徑相當時，追蹤曲線方向與圓曲線方向一致（圖 4-30b），當固定軸距長度較短時，追蹤曲線方向在圓曲線方向外方（圖 4-30c），反之固定軸距較長時，則追蹤曲線方向在內方（圖 4-30d）。

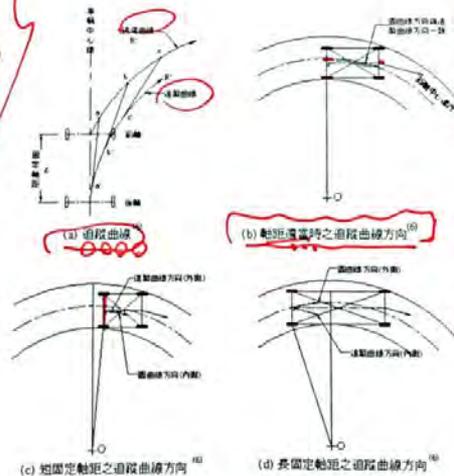


圖 4-30 追蹤曲線與軌距加寬原理

# 軌距加寬原理定義

## 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。

2. 日本在來線依『在來線軌道設施實施準』(2002年)。第15條、第16條、第17條、第18條規定：[按一下返回](#)

### 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 倍固定軸距  $d$  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，

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

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

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

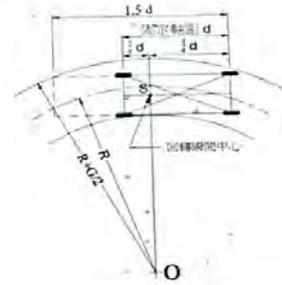


圖 4-31 軌道加寬原理

..... (式 4-3)

..... (式 4-4)

直線上雖無軌距加寬，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，如圖 4-32；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  $1,054mm$ ，即考慮餘裕

# 介曲線

為避免列車直接進入加設有超高度與軌距加寬之圓曲線時發生**激烈振動**，在直線與圓曲線間加設另一種曲線，使圓曲線之超高度與軌距加寬在**該曲線上遞 (diminishing)**，該曲線稱為**介曲線**；亦稱**緩和曲線**。

# 介曲線 [按一下返回](#)

(1) 介曲線形狀

(2) 介曲線長度

(3) 曲線間之直線長度

# 介曲線形狀

- 直線遞減介曲線（三次拋物線）
- 正弦半波長遞減介曲線
- 螺旋曲線（Clothoid曲線）
- 四次拋物線
- 其它介曲線有四次拋物線、正弦一波、七次拋物線等
- 各種介曲線線形比較
- 各種介曲線基本方程式 [按一下返回](#)

# 介曲線長度

- 決定介曲線長度之要素：
- 介曲線之長度應大於以下條件之最大值：
- 介曲線長度公式導出法：
- 介曲線長度公式：[按一下返回](#)

「道岔前方及後方之曲線使用一般曲線軌距加寬規定，但道岔內曲線之軌距加寬另定」。

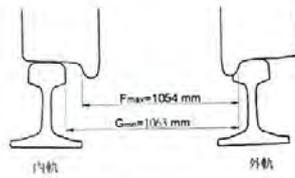


圖 4-32 直線上的最小輪軌間隙

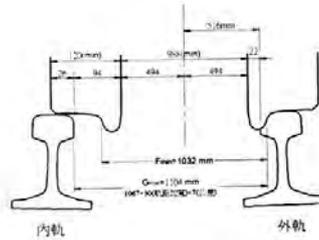


圖 4-33 直線上的最大輪軌間隙<sup>(2)</sup>

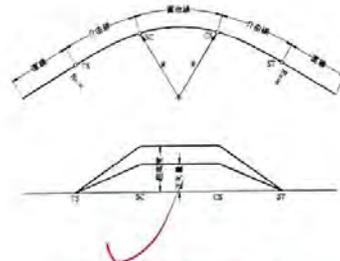


圖 4-34 介曲線之概念

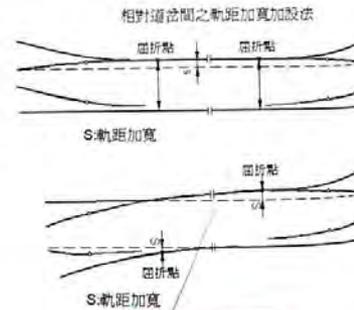
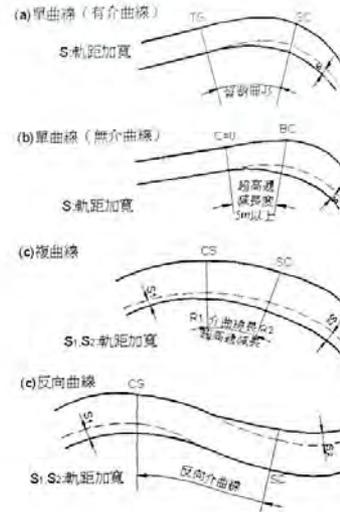


圖 4-35 軌距加寬遞減法

## 4.5 介曲線

為避免列車直接進入加設有超高度與軌距加寬之圓曲線時發生激烈振動，在直線與圓曲線間加設另一種曲線，使圓曲線之超高度與軌距加寬在該曲線上逐漸

(diminishing)，該曲線稱為介曲線；亦稱緩和曲線。介曲線之概念如圖 4-34 所示。

### 4.5.1 介曲線形狀

介曲線形狀，已往大部份採用超高變化為直線之三次拋物線，隨著列車速度提高，逐漸改用高次方曲線。

曲線曲率如以直線遞減，TS 及 SC 則成為曲率變化點而形成交角，行駛高速列車時有誘發動搖之缺點。如曲率變化改為曲線遞減 (curve diminishing)，則 TS 及 SC 無曲率變化之交角，可防止高速列車動搖。因超高與曲率 (1/R) 成正比例，若使介曲線之曲率變化與超高遞減一致時，作用於車輛之離心力亦可與超高平衡。直線與曲線遞減介曲線之比較如圖 4-36。

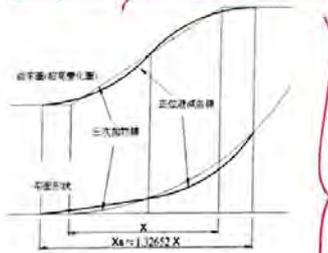


圖 4-36 三次拋物線與正弦遞減曲線比較<sup>(4)</sup>

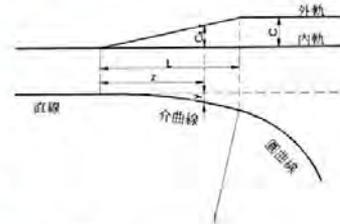


圖 4-37 介曲線與超高之直線遞減<sup>(4)</sup>

#### 1. 直線遞減介曲線 (三次拋物線)

超高於介曲線中以直線遞減時，如圖 4-37。設圓曲線之超高為  $C$ ，介曲線長為  $L$ ，離介曲線始點  $x$  處之超高為  $C_x$ ，則  $C_x = C \cdot \frac{x}{L}$ 。設介曲線之曲線半徑為  $r$  時，則於其始點曲率  $r = \infty$ ，於終點  $r = R$ ，離介曲線始點  $x$  處之曲率  $\frac{1}{r} = \frac{1}{R} \cdot \frac{x}{L}$ 。曲線之曲率一般以(式 4-43)表示：

$$\frac{1}{r} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left\{ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (式 4-43)$$

因介曲線為極緩之曲線，故：

$$\left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \approx 0$$

$$\therefore \frac{1}{r} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{x}{RL}$$

## 4.5.2 介曲線長度

## 1. 決定介曲線長度之要素：

- (1) 超高  $C$
- (2) 車速  $V$
- (3) 超高不足量  $Cd$

## 2. 介曲線之長度應大於以下條件之最大值：

- (1)  $L_1$ ：避免車輛 3 點支承而造成列車脫軌之安全限度。
- (2)  $L_2$ ：限制車輛行走時在緩和曲線地段時超高之時間變化率，確保乘車舒適感。
- (3)  $L_3$ ：限制超高不足量導致車輛離心力之時間變化率。

## 3. 介曲線長度公式導出法：

- (1)  $L_1 = n \cdot C$

此公式主要考慮車輛因三點支承而上浮出軌問題。參考圖 4-42，依規定車輛輪緣高度不得不小於  $25\text{mm}$ ，但根據資料統計，車輛輪緣因三點支承而上浮出軌之事件中，最小之上浮量只有  $20\text{mm}$ 。故為防止此類事故，輪緣上浮量以不超過  $20\text{mm}$  為原則。又路線之高低養護公差最大可達  $9\text{mm}$ ，因此實際上容許之輪緣上浮量為  $f = 20 - 9 = 11\text{mm}$ 。此值即為介曲線上固定軸距間，前後兩輪處鋼軌面高度差之容許最大值。當固定軸距為  $4,600\text{mm}$  時：

$$\frac{1}{n} = \frac{f}{L} = \frac{11}{4600} \cong \frac{1}{400}$$

此式表示，欲防止輪緣因三點支承而上浮出軌，介曲線長度至少應取為其圓曲線超高之 400 倍。為安全計，特甲級線及甲級線取 2 倍之安全率，乙級線取 1.5 倍之安全率。也就是說：特甲級線及甲級線上之介曲線長度應為其圓曲線超高之  $400 \times 2 = 800$  倍，而乙級線則為  $400 \times 1.5 = 600$  倍，只有現有路線受特殊限制時可用 400 倍，於是臺鐵規定如下：

特甲級線及甲級線	$L_1 = 800 \cdot C (\text{mm}) = 0.8 \cdot C (m)$	
乙級線	$L_1 = 600 \cdot C (\text{mm}) = 0.6 \cdot C (m)$	…………… (式 4-48)
特殊情形	$L_1 = 400 \cdot C (\text{mm}) = 0.4 \cdot C (m)$	

# 曲線間之直線長度

- **曲線間之直線長**，根據下述原則求出：
  1. 消除車輛動搖之直線長
  2. 考慮**介曲線始終端軌道下陷時**之直線長

[按一下返回](#)

# 路線坡度 [按一下返回](#)

(1) 坡度

(2) 高速度運轉安全之確保

(3) 豎曲線

(4) 路線坡度規定

(5) 豎曲線加設法

# 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（千分之十）坡度，以10%表示。

[按一下返回](#)

$$L_1 = 0.6 \cdot C = 0.6 \times 63 \cong 38 \text{ m}$$

$$L_2 = 0.008 \cdot C \cdot V = 0.008 \times 63 \times 65 \cong 33 \text{ m}$$

$$L_3 = 0.009 \cdot C_d \cdot V = 0.009 \times 26 \times 65 \cong 15 \text{ m}$$

採用  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  式中之最大值，

$$\text{則 } L_{R1} = 38 \text{ m}$$

$$R_2 \text{ 曲線之均衡超高爲 } C + C_d = \frac{8.4V^2}{R} = \frac{8.4 \times (65)^2}{300} \cong 118 \text{ mm}$$

$$\text{超高不足量 } C_d = 118 - 84 = 34 \text{ mm}$$

$$L_1 = 0.6 \cdot C = 0.6 \times 84 = 50.4 \cong 50 \text{ m}$$

$$L_2 = 0.008 \cdot C \cdot V = 0.008 \times 84 \times 65 = 43.7 \cong 44 \text{ m}$$

$$L_3 = 0.009 \cdot C_d \cdot V = 0.009 \times 34 \times 65 = 19.9 \cong 20 \text{ m}$$

採用  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  式中之最大值，

$$\text{則 } L_{R2} = 50 \text{ m}$$

$R_1$  及  $R_2$  兩曲線之介曲線所要長度差

$$L_{R2} - L_{R1} = 50 - 38 = 12 \Rightarrow 15 \text{ m}$$

則爲所需之介曲線之長度。

**例**：臺鐵特甲級線  $R = 800 \text{ m}$ ， $V_{\max} = 120 \text{ km/h}$  試計算現場鋪設超高度及介曲線長度？

$$\text{最高速度均衡超高 } C_0 = \frac{8.4V_{\max}^2}{R} = \frac{8.4 \times 120^2}{800} = 151.2 \approx 151$$

$$\text{實設超高 } C = \frac{8.4V_{\text{ave}}^2}{R} \approx \frac{6V_{\max}^2}{R} = \frac{6 \times 120^2}{800} = 108 > 105 \therefore C = 105$$

$$\text{超高不足 } C_d = C_0 - C = 151 - 105 = 46$$

$$L_1 = 0.8 \cdot C = 0.8 \times 105 = 84$$

$$L_2 = 0.01 \cdot C \cdot V = 0.01 \times 105 \times 120 = 126 \Rightarrow 130 \text{ m}$$

$$L_3 = 0.009 \cdot C_d \cdot V = 0.009 \times 46 \times 120 = 49.68$$

由  $L_2$  控制且應爲 5 的倍數，故取  $L = 130 \text{ m}$ 。小角度曲線還須考量「介曲線之最長限度爲介曲線插入前之圓曲線全長之  $3/4$ 」以避免兩緩和曲線間圓曲線過短問題。

### 4.5.3 曲線間之直線長度

正線上兩曲線間（道岔除外）應於介曲線之外，插入 20 公尺以上之直線，如限於地形不能達到上項規定長度時應不用直線，而將兩曲線用曲線遞減法直接連接爲連續介曲線。其兩曲線之相對鋼軌面亦應保持所需超高度與曲線（正矢）一致，用連續之曲線連接。

新設或改良路線時，此項連續介曲線之長度，應爲兩曲線所各需介曲線長度之和以上。

# 高速度運轉安全之確保

- 下坡路段煞車性能
- 設計最高速度與最大坡度關係 [按一下返回](#)



圖 4-45 介曲線始終端軌道下陷<sup>(1)</sup>

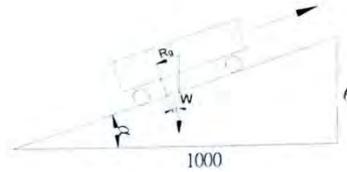


圖 4-46 坡度阻力<sup>(1)</sup>

## 4.6 路線坡度<sup>(1)</sup>

### 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；參考圖 4-46 為：

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

$$\because \alpha \approx 0$$

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

$$R_g \approx W \cdot \tan \alpha = W \cdot \theta / 1000 \quad \dots\dots\dots (式 4-57)$$

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。

坡度大小與列車速度及運轉時間之關係如圖 4-47。該圖表示路線全區間為水平及距離出發位置前方 500 公尺處有 20 ‰ 之上坡，CT270 型機車牽引 320 t 旅客列車時之

5. 隧道內除有特殊情形外，不得設置凸坡。

4.6.2 高速度運轉安全之確保

1. 下坡路段煞車性能

近年來由於車輛加速性能不斷提昇，動力車之編組為考量行駛越來越陡的縱坡，相對的也必須考慮下坡時緊急狀況下在一定距離內能夠停車，一般煞車距離計算如(式 4-58)所示。

一般鐵路運轉以坡度作為下坡限制速度根據，日本在來線下坡限制速度參考表 4-13，臺鐵下坡限制速度參考表 4-14。

$$S = \frac{V^2}{7.2 \times \beta} + \frac{V \times t}{3.6} \quad \dots\dots\dots (式 4-58)$$

- 式 S：制動距離
- V：煞車初速度 (km/h)
- t：空走時分 (S)
- β：實減速度 (km/h/S)

表 4-13 日本在來線下坡限制速度

坡度 \ 列車別	120 km/h	110 km/h	100 km/h	85 km/h	75 km/h	65 km/h
編組比率	100	100	100	100	100	80 以上
千分之 5 以下	120	110	100	85	75	65
千分之 10 以下	115	110	95	80	70	65
千分之 15 以下	110	105	90	75	65	60
千分之 20 以下	105	100	85	70	60	55
千分之 25 以下	100	95	80	65	55	50
千分之 30 以下	95	90	75	60	50	45
千分之 35 以下	90	85	70	55	45	40

表 4-14 臺鐵下坡限制速度

坡度 \ 列車別	PP	EMU	特甲客	甲種客	乙種客	丙種客	甲種貨	乙種貨
千分之 5 以下	130	120	110	100	85	75	75	65
千分之 10 以下	125	115	105	95	85	75	65	65
千分之 15 以下	120	110	100	90	85	75	60	60
千分之 20 以下	115	105	95	85	85	75	55	55
千分之 25 以下	110	100	90	80	80	75	50	50

# 豎曲線

1. 車輛浮上之安全度

2. 豎曲線與建築界限及車輛界限之關係

3. 台灣鐵路對豎曲線半徑規定如下：

(1) 半徑800公尺以下之曲線路線，豎曲線半徑為4,000公尺。

(2) 半徑800公尺以上之曲線路線及直線，豎曲線半徑為3,000公尺

4. 旅客乘車舒適條件 [按一下返回](#)

2. 設計最高速度與最大坡度關係

在臺鐵對於設計最高速度與最大坡度關係並無明確規定，日本 JR 則規定如表 4-15 所示。

表 4-15 設計最高速度與最大坡度

設計最高速度	最大坡度
110km/h 以上	10/1000
90~110 km/h	20/1000
90 km/h 以下	35/1000

(註) 電車專用路線

4.6.3 豎曲線 (vertical curve)

鐵路路線係由各種不同坡度路線連接而成，連結處成爲不同之角度，角度頂點坡度變化點。變化程度緩和時，對列車運轉尚無大礙；但在某程度以上時，不但對轉有礙，就軌道養護亦有種種困難。

如圖 4-48，坡度變化較大時，列車先行駛路線之上坡，至頂點 B 再行駛下坡，若增其速度，有急激向前牽引傾向，所以於 B 點，車輛之連結器拉力自然增加，又因車屈折凸起，車輪浮上有脫軌之虞。

圖 4-49 係列車屈折凹形之情形，即列車先駛下坡度，再行駛上坡度，前方之車輛急減速度，於頂點 B 處，車輛連結器急激壓縮，車輛及軌道均受甚大衝擊。無論凸出或凹入坡度變化，列車動搖均會變大，降低乘車舒適感。爲緩和該等缺點，於施工區面多設一豎曲線，將此端之坡度緩緩變爲他端之坡度。

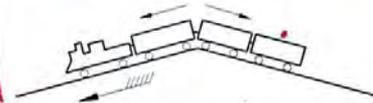


圖 4-48 凸坡上的列車<sup>(1)</sup>



圖 4-49 凹坡上的列車<sup>(1)</sup>

豎曲線半徑依下列因素決定：(1) 由上下方向之離心力及前後車輛之壓縮或拉力所形成的軸重增減不得影響行車安全、(2) 乘車舒適感 (3) 不因加設豎曲線而影響建築界限及車輛界限。分別說明如下：

1. 車輛浮上之安全度

參考圖 4-50，於直線部插入半徑 3,000 公尺之豎曲線，

令  $F$ ：運動中車輛互相間之最大壓力

$W$ ：車輛重量

$V$ ： $F$  之向上分力

$A$ ：車輪反力

$l$ ：車輛長度

$l_0$ ：連接器至車輪之距離

$\theta$ ：2 條車輛軸心線之交角

車輛受  $V$  作用，達到車輪浮上臨界點時， $\Sigma M_0 = 0$ 。

即  $Vl - \frac{1}{2}Wl + Al_0 = 0$

$\therefore A = W - V, V = F \cdot \sin \theta$

當  $l_0 = \frac{l}{4}$  時，解上式得：

$$F = \frac{W}{3 \times \sin \theta} \quad \dots\dots\dots (式 4-59)$$

一般車輛之  $l = 20 m$ ，故  $\sin \theta$  最大值  $= \frac{10}{3000}$ 。因鐵路車輛最小重量皆大於 5 噸，故在車輪浮起臨界點，作用於車輛連結器的壓力  $F$  為：

$$F = \frac{5}{\frac{10}{3000}} = 1500 \text{ 噸}$$

但目前車輛連結器設計強度約只達 80 噸，故未達車輪浮起前，連結器已先損壞。

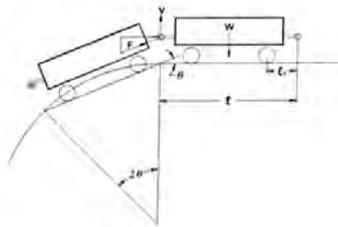


圖 4-50 車輛浮上之安全度<sup>(1)</sup>

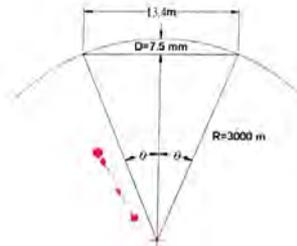


圖 4-51 車輛下部接近量<sup>(1)</sup>

2. 豎曲線與建築界限及車輛界限之關係

有豎曲線時，車輛前後軌面上之建築界限因接近車輛下部，故必須考慮軌道不整及豎曲線影響，於軌面上建築界限與車輛界限下部間，應保留充分餘裕。

**例**：若車體長度 19 公尺，轉向架中心距離 13.4 公尺，豎曲線半徑 3,000 公尺，求車輛下部與軌面之接近量。

參考圖 4-51。

車輛下部與軌面之接近量  $D$  為：

$$D = R - R \cos \frac{\theta}{2} \dots\dots\dots (式 4-60)$$

式中  $\theta = \sin^{-1} \frac{13.4}{R}$  ..... (式 4-61)

以  $R = 3,000$  代入上式得： $D \approx 7.5 \text{ mm}$

但實際上軌面上建築界限與車輛彈簧上部界限之距離達  $50 \text{ mm}$  以上，故車下部不致碰撞軌面建築界限。

坡度變化點若在平面曲線（半徑  $800$  公尺以下之曲線）上時，豎曲線半徑較直線上者為大，因坡度變化發生車輛浮上之力（尤於凹形部份作用較大）則重  $P$  減輕，而曲線部橫壓  $Q$  卻較大，使脫軌係數  $Q/P$  變大，勢必增加脫軌之險。

3. 台灣鐵路對豎曲線半徑依『鐵路修建養護規則』第 11 條規定如下：

- (1) 半徑  $800$  公尺以下之曲線路線，豎曲線半徑為  $4,000$  公尺以上。
- (2) 半徑超過  $800$  公尺以上之曲線路線及直線，豎曲線半徑為  $3,000$  公尺以上。

4. 旅客乘車舒適條件

為確保旅客乘車舒適，垂直離心加速度  $\alpha_v$  應加以限制。

- (1) 日本新幹線標準  $\alpha_v \leq 0.033 \text{ m/s}^2$

東海道新幹線  $V = 210 \text{ km/h}$   $R_{vmin} = \frac{V^2}{127\alpha_v} = 10522 \text{ m}$  採用  $10000 \text{ m}$

山陽新幹線  $V = 250 \text{ km/h}$   $R_{vmin} = \frac{V^2}{127\alpha_v} = 14913 \text{ m}$  採用  $15000 \text{ m}$

- (2) 法國 TGV

$\alpha_v \leq 0.045 \text{ m/s}^2$  ·  $\alpha_v \leq 0.05 \text{ m/s}^2$  (困難凸形) ·  $\alpha_v \leq 0.06 \text{ m/s}^2$  (困難凹形)

$V = 300 \text{ km/h}$   $R_{vmin} = \frac{V^2}{127\alpha_v} = 15748 \text{ m}$  採用  $16000 \text{ m}$

$V = 350 \text{ km/h}$   $R_{vmin} = \frac{V^2}{127\alpha_v} = 21435 \text{ m}$  採用  $25000 \text{ m}$

- (3) 德國 ICE

$\alpha_v \leq 0.031 \text{ m/s}^2$  (客貨混營)

$160 < V \leq 200 \text{ km/h}$  時  $R_{vmin} = 0.25V^2 = 6400 \sim 10000 \text{ m}$

# 路線坡度規定

[按一下返回](#)

線 別	最大坡度	隧道最小坡度	最小變坡點間距	豎曲線半徑
新幹線	15 ‰			10000
臺灣高鐵 (HSR)	25 ‰	3 ‰	理想值3.0 sec/292 m極 限值 1.5sec/146m	一般：25000 m特殊： 19300 m長 度：1.5sec
臺灣臺鐵 (TRA)	特甲級線丘 陵區10 ‰山 岳區 25 ‰都 會區地下12 ‰	站內3.5/2 ‰300m以上 3‰ (除特殊 情形外不設 置凸坡)	無	半徑 > 800： R=3000 半徑 < 800： R=4000

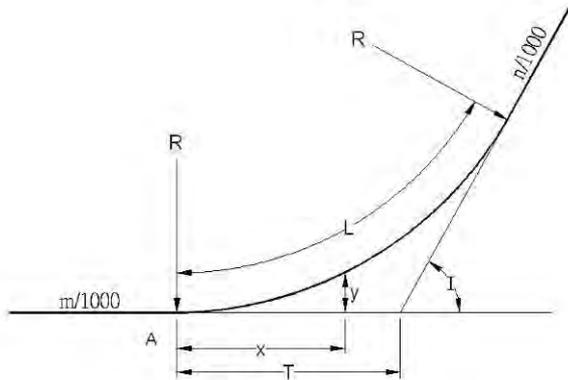
# 豎曲線加設法

- 計算切線長T，決定A 點位置

$$T = R \cdot \tan \frac{I}{2} \cong \frac{R}{2} \times \left| \frac{m-n}{1000} \right| = \frac{R}{2000} \times |m-n|$$

- 計算距A點x 距離處的縱距y [按一下返回](#)

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot R}$$



### 4.6.4 路線坡度規定

路線坡度規定如表 4-16 所示

表 4-16 路線坡度規定

線別	最大坡度	隧道最小坡度	最小變坡點間距	豎曲線半徑
新幹線	15 ‰			10000
臺灣高鐵 (HSR)	25 ‰	3 ‰	理想值 3.0 sec/292 m 極限值 1.5sec/146m	一般：25000 m 特殊：19300 m 長度：1.5sec
臺灣臺鐵 (TRA)	特甲及甲級線 25 ‰ 乙級線 35 ‰ 電車專用線 35 ‰ 站內 3.5/2 ‰	300m 以上 3 ‰ (除特殊情形 <15 ‰)	無	半徑 > 800 : R=3000 以上 半徑 < 800 : R=4000 以上

### 4.6.5 豎曲線加設法

豎曲線各部名稱如圖 4-52 所示：

- A：豎曲線始點
- B：豎曲線終點
- I：交角
- R：豎曲線半徑
- T：切線長度
- L：豎曲線長
- x：橫距
- y：縱距

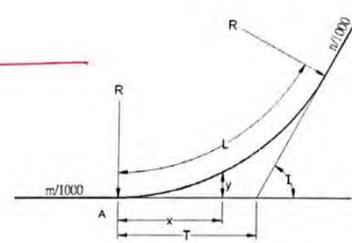


圖 4-52 豎曲線加設法

$\frac{m}{1000}$  與  $\frac{n}{1000}$  之二個坡度交於  $P$  點時其豎曲線之加設法說明如次：

1. 計算切線長  $T$ ，決定  $A$  點位置

$$T = R \cdot \tan \frac{I}{2} \cong \frac{R}{2} \times \left| \frac{m-n}{1000} \right| = \frac{R}{2000} \times |m-n| \quad \dots\dots\dots \text{(式 4-62)}$$

式中  $m$  及  $n$  之符號上坡為正，下坡為負。

2. 計算距  $A$  點  $x$  距離處的縱距  $y$

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot R} \quad \dots\dots\dots \text{(式 4-63)}$$

# 路線的不良條件湊合 [按一下返回](#)

- (1) 介曲線與豎曲線湊合
- (2) 道岔與介曲線或豎曲線湊合
- (3) 道岔與無道床橋樑湊合
- (4) 道岔與坡度湊合
- (5) 介曲線與無道床橋樑湊合
- (6) 日本鐵路路線不良條件湊合限制

# 介曲線與豎曲線湊合

- 豎曲線又設在介曲線上，離心力將增大橫壓，因此增大脫軌危險性。故介曲線與豎曲線宜避免湊合。
- 圓曲線區間，雖無介曲線區間的軌道平面不整，但因有較大橫壓，故亦宜儘量避免與豎曲線湊合。[按一下返回](#)

# 道岔與介曲線或豎曲線湊合

- 道岔因有小半徑之導曲線（lead curve）及軌距線中斷部份（gap in crossing rail）等，在線形或結構上較一般地段複雜，致車輛通過此部份時，軌道受甚大橫壓與振動加速度，若與介曲線或豎曲線湊合時，不但對行車保安威脅增大，路線養護亦生困難，故介曲線或豎曲線上應避免鋪設道岔。

[按一下返回](#)

# 道岔與無道床橋樑湊合

- 無道床橋樑上鋪設道岔時，其樑之結構變為複雜，設計上問題甚多，**故應禁止**。
- 又一般橋台背後道床下沉量特大，靠近橋台鋪設道岔，不但乘車舒適感欠佳，路線養護亦增困難，因此**正線道岔至橋台背後之距離，最少應在20公尺以上**。

[按一下返回](#)

# 道岔與坡度湊合

- 道岔除特殊情形外，一般均設於站內，一方面，因站內之限制坡度，於建設規則內定為3.5 ‰（特別時為10 ‰）以下，故道岔必然鋪設在3.5 ‰以下之區間。
- 道岔設於坡度地段，可能因軌條爬行使尖軌密合情形欠佳，同時使道岔各部份之螺栓等受異常外力，影響行車安全及路線養護。  
[按一下返回](#)

# 介曲線與無道床橋樑湊合

- 介曲線因有超高度遞減，設於無道床橋樑時，**每一根橋樑枕木必須插入厚度不同之墊板。**
- 設介曲線時，應將無道床橋樑改為有道床或將介曲線**改設於橋樑外為宜。** [按一下返回](#)

# 日本鐵路路線不良條件湊合限制

- 在來線不良條件湊合限制（窄軌）如下表：

	介曲線	圓曲線	道 岔	伸縮接頭
豎曲線	應儘量避免	無特別禁止時容許	不容許	容 許
介曲線	—	—	不容許	不容許
坡 度	容 許	容 許（但書：緊臨防脫護軌地段應儘量避免）	3.5 ‰以下防止鋼軌爬行採取特別處置時得予放寬	容許
無道床橋樑	儘可能改為有道床橋樑變更左右縱梁高度及枕木墊板厚度做為超高遞減	容 許	不容許	容 許

# 日本鐵路路線不良條件湊合限制

- 新幹線不良條件湊合限制如下表：

橋 樑	有道床：容許 無道床之場合 R 跨徑(m) 2,500 m以上 100以下 1,800 m以上 90以下 1,000 m以上 70以下 400 m以上 40以下	同橋樑與 圓曲線之湊合				
道 岔	需要特別設計 應儘量避免	需要特別設計 應儘量避免	有道床：容許 無道床：不容許	不容許		
伸縮接頭	R < 1,500 m 不容許 1,500 m ≤ R ≤ 3,500 m 應在工廠彎 曲加工，容許	介曲線及超高量變化較緩和 之介曲線兩端部鋪設位置規 定複曲線中間介曲線不容許	容 許	不容許		
坡 度	容 許	容 許	容 許	容 許	15‰以下 防止鋼軌爬行及路線養 護 等採取特別處置時20‰	
豎曲線 (r)	R ≥ 3,500 m 且 r ≥ 15,000 m 之場合容許	r ≥ 15,000 m 容許	有道床：容許 無道床： r ≥ 15,000 m 容許	容 許	不容許	不容許
	圓曲線 (R)	介曲線	橋 樑	橋台後 30 m 範圍	道 岔	伸縮接頭

# 日本鐵路路線不良條件湊合限制

## • 東海道新幹線不良條件湊合之緩和基準 [按一下返回](#)

介曲線						
橋樑(包含橋台後20m範圍)	有道床：容許 無道床之場合 R 跨徑2,800 m以上 105~115 m1,400 m以上 75~85 m 800 m以上 55~65 m	同橋樑與圓曲線之湊合標準				
道岔	需要特別設計應儘量避免	需要特別設計應儘量避免	有道床容許			
伸縮接頭	R < 1,000 m 不容許 1,000 m < R 應在工廠彎曲加工，容許	介曲線及超高量變化較緩和之介曲線兩端部鋪設位置規定 複曲線中間介曲線不容許	容許			
坡度	容許	容許	容許	15‰以下 防止鋼軌爬行及路線養護等採取特別處置時為20‰		
豎曲線	圓曲線半徑3,500 m之場合，豎曲線半徑15,000 m以上 圓曲線半徑4,000 m以上之場合，豎曲線半徑10,000 m以上	豎曲線半徑15,000 m	RC橋樑或撓度較小橋樑，豎曲線半徑10,000 m 上述以外場合豎曲線半徑15,000 m	不容許	不容許	
	圓曲線	介曲線	橋樑(包含橋台後20 m範圍)	道岔	伸縮接頭	坡度

**例：**半徑 800m 曲線在 15/1000 之下坡道與 10/1000 之上坡道之坡度變化點，試求

豎曲線之  $T$  及  $y$ 。

豎曲線半徑，依照台灣鐵路規定，最小應為 4,000 公尺。

$$\text{故 } T = \frac{R}{2000} \times |m - n| = \frac{4000}{2000} \times |-15 - 10| = 50 \text{ m}$$

$$x = 10 \text{ m}, y_1 = \frac{(10)^2}{2 \times 4000} = 0.0125 \text{ m} \cong 13 \text{ mm}$$

$$x = 20 \text{ m}, y_1 = \frac{(20)^2}{2 \times 4000} = 0.05 \text{ m} = 50 \text{ mm}$$

$$x = 30 \text{ m}, y_1 = \frac{(30)^2}{2 \times 4000} = 0.1125 \text{ m} \cong 113 \text{ mm}$$

$$x = 40 \text{ m}, y_1 = \frac{(40)^2}{2 \times 4000} = 0.20 \text{ m} = 200 \text{ mm}$$

$$x = 50 \text{ m}, y_1 = \frac{(50)^2}{2 \times 4000} = 0.3125 \text{ m} \cong 313 \text{ mm}$$

結果如圖 4-53。

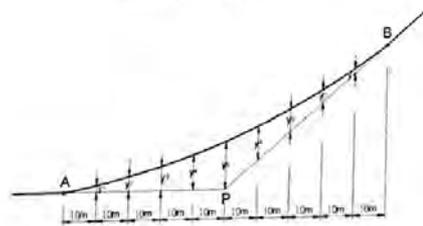


圖 4-53 豎曲線計算例題<sup>(1)</sup>

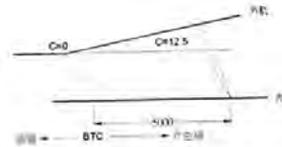


圖 4-54 超高造成三點支承<sup>(1)</sup>

## 4.7 路線的不良條件湊合<sup>(1)</sup>

介曲線、圓曲線、坡度、豎曲線、道岔、伸縮接頭及無道碴橋樑等，特殊路線形狀或結構物湊合時，對行車安全、乘車舒適感或軌道養護有諸多不良影響，故極力避免為宜。選擇路線時應注意避免之湊合條件分述如下：

### 4.7.1 介曲線與豎曲線湊合

介曲線地段因有超高度遞減，其軌道平面性（軌道扭曲）狀態較一般區域差，如於超高度遞減坡度為 400 分之 1 地段，每 5 公尺軌道扭曲  $5000 / 400 = 12.5 \text{ mm}$ ，

圖 4-54。加上軌道不整後其平面性更差，車輛三點支承而脫軌之危險性勢必增加。

又於凸形豎曲線區間，由於離心力作用使車輛浮上，輪重減輕。於凹形豎曲線區

間，因車輪連結器急激壓縮，軌道及車輪受較大衝擊，加上行駛阻力作用於列車前部，致中間車輪發生浮上現象，此等傾向若在軌道養護狀況欠佳時，情形更顯著。若豎曲線又設在介曲線上，離心力將增大橫壓，因此增大脫軌危險性。故介曲線與豎曲線宜避免湊合。

圓曲線區間，雖無介曲線區間的軌道平面不整，但因有較大橫壓，故亦宜儘量避免與豎曲線湊合。

#### 4.7.2 道岔與介曲線或豎曲線湊合

道岔因有小半徑之導曲線 (lead curve) 及軌距線中斷部份 (gap in crossing rail) 等，在線形或結構上較一般地段複雜，致車輛通過此部份時，軌道受甚大橫壓與振動加速度，若與介曲線或豎曲線湊合時，不但對行車保安威脅增大，路線養護亦生困難，故介曲線或豎曲線上應避免鋪設道岔。

#### 4.7.3 道岔與無道床橋樑湊合

無道床橋樑上鋪設道岔時，其樑之結構變為複雜，設計上問題甚多，故應禁止。

又一般橋台背後道床下沉量特大，靠近橋台鋪設道岔，不但乘車舒適感欠佳，路線養護亦增困難，因此正線道岔至橋台背後之距離，最少應在 20 公尺以上（一車長度以上）。

#### 4.7.4 道岔與坡度湊合

道岔除特殊情形外，一般均設於站內，一方面，因站內之限制坡度，於建設規則內定為 3.5%（特別時為 10%）以下，故道岔必然鋪設在 3.5% 以下之區間。

道岔設於坡度地段，可能因軌條爬行使尖軌密合情形欠佳，同時使道岔各部份之螺栓等受異常外力，影響行車安全及路線養護。因此，如限於地形須於急坡上鋪設道岔，應於道岔及道岔前後，裝設較一般為多之防爬器，又視實際情形酌量打設防爬樁等，以極力防止爬行。

#### 4.7.5 介曲線與無道床橋樑湊合

介曲線因有超高度遞減，設於無道床橋樑時，每一根橋樑枕木必須插入厚度不同之墊板。設超高度遞減坡度為  $1/800$ ，橋樑枕木配置間隔為 420 mm (60 根 / 25 公尺)，超高度於橋樑枕木每一根必須各遞減  $420/800 \approx 0.5$  mm 方可。如此微小之調整若以墊板實施，不但困難且異常費工。因此，加設介曲線時，應將無道床橋樑改為有道床或將介曲線改設於橋樑外為宜。如不得以非將介曲線與無道床橋樑湊合，宜變更左右縱樑之高度及枕木墊板之厚度作為調整超高度遞減。

### 4.7.6 日本鐵路路線不良條件湊合限制

日本鐵路軌道技術不斷創新，對於路線不良條件湊合限制，也不斷調整。在來線與新幹線不良條件湊合限制如表 4-17 及表 4-18 所示。各鐵路機構亦依據其特性定訂定如表 4-19 東海道新幹線不良條件湊合之緩和基準。

表 4-17 在來線不良條件湊合限制 (窄軌)

	介曲線	圓曲線	道岔	伸縮接頭
豎曲線	應儘量避免	無特別禁止時容許	不容許	容許
介曲線	—	—	不容許	不容許
坡度	容許	容許 (但需：緊臨防脫軌地段應儘量避免)	• 3.5%以下 • 防止鋼軌爬行採取特別處置時得予放寬	容許
無道床橋樑	• 儘可能改爲有道床橋樑 • 變更左右縱梁高度及枕木墊板厚度做爲超高遞減	容許	不容許	容許

表 4-18 新幹線不良條件湊合限制

橋樑	• 有道床：容許 • 無道床之場合		同橋樑與圓曲線之湊合			
	R	跨徑(m)				
	2,500 m 以上	100 以下				
	1,800 m 以上	90 以下				
	1,000 m 以上	70 以下				
	400 m 以上	40 以下				
道岔	需要特別設計 應儘量避免		需要特別設計 應儘量避免	• 有道床：容許 • 無道床：不容許	不容許	
伸縮接頭	• R < 1,500 m 不容許 • 1,500 m ≤ R ≤ 3,500 m 應在工廠彎曲加工，容許		• 介曲線及超高量變化較緩和之介曲線兩端部鋪設位置規定 • 複曲線中間介曲線不容許	容許	不容許	
坡度	容許		容許	容許	• 15%以下 • 防止鋼軌爬行及路線養護等採取特別處置時爲 20%	
豎曲線 (r)	R ≥ 3,500 m 且 r ≥ 15,000 m 之場合容許		r ≥ 15,000 m 容許	• 有道床：容許 • 無道床：r ≥ 15,000 m 容許	容許	不容許
	圓曲線 (R)	介曲線	橋樑	橋台後 30 m 範圍	道岔	伸縮接頭

表 4-19 東海道新幹線不良條件適合之緩和基準

介曲線						
橋樑(包含橋台後20m範圍)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 有道床：容許</li> <li>• 無道床之場合 R 踏道 2,800 m 以上 105-115 m 1,400 m 以上 75-85 m 800 m 以上 55-65 m</li> </ul>	同橋樑間圓曲線之適合標準				
道岔	需要特別設計 應儘量避免	需要特別設計 應儘量避免	有道床容許			
伸縮接頭	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>R &lt; 1,000</math> m 不容許</li> <li>• <math>1,000</math> m <math>&lt; R</math> 應在工廠彎曲加工，容許</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 介曲線及超高量變化較緩和之介曲線兩端部鋪設位置規定</li> <li>• 複曲線中間介曲線不容許</li> </ul>	容許			
坡度	容許	容許	容許	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15%以下</li> <li>• 防止鋼軌爬行及路床養護等採取特別處置時為20‰</li> </ul>		
豎曲線	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 圓曲線半徑 3,500 m 之場合，豎曲線半徑 15,000 m 以上</li> <li>• 圓曲線半徑 4,000 m 以上之場合，豎曲線半徑 10,000 m 以上</li> </ul>	豎曲線半徑 15,000 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RC 橋樑或換度較小橋樑，豎曲線半徑 10,000 m</li> <li>• 上述以外場合豎曲線半徑 15,000 m</li> </ul>	不容許	不容許	
	圓曲線	介曲線	橋樑 (包含橋台後20 m 範圍)	道岔	伸縮接頭	坡度

## 習題

- (1) 繪圖說明曲線的各部份名稱。
- (2) 繪圖說明曲線的種類。
- (3) 何謂超高度，什麼情況下要設超高度？為什麼？
- (4) 說明超高度的遞減方法。
- (5) 曲線上的速度須如何決定？為什麼？
- (6) 何謂軌距加寬？何以須設軌距加寬？
- (7) 何謂介曲線？試說明介曲線的功用。
- (8) 介曲線長度宜如何決定？
- (9) 說明介曲線的鋪設方法。
- (10) 何謂豎曲線？說明其測設方法。

## 參考書目

- (1) 陳明欽，1982，鐵路工程學（上），pp.14~81。
- (2) 原田吉志，1966，線路の構造，pp.49~132。
- (3) 佐田吉彥等，1981，速度と乗心地，鐵道路線，vol.29，No.10，pp.41~46。
- (4) 北岡寛太郎，1968，軌道の設計，山海堂，pp.62~112。
- (5) G. M. MAGEE, RAIL TRANSPORTATION ENGINEERING, pp.1~48。
- (6) 宮原良夫等，1972，鐵道工學，コロナ社，pp.27~28。
- (7) 神谷進，1961，鐵道曲線，交友社，pp.20。
- (8) 宮本俊光、渡脩年，1980，線路—軌道の設計・管理，山海堂，pp.385~392。
- (9) 田中宏昌、磯浦克敏，1998，東海道新幹線の保線，日本鐵道施設協會，pp.60~62。
- (10) 季 令、葉玉玲，2001，高速鐵路與擺式列車，中國鐵道出版社，pp.56~64。
- (11) 在來線軌道設施實施基準，2002 平成 13 年 3 月 31 日社達第 60 號。



牛相觸

籃輿過斗六，

四面野風颭。

山勢如牛觸，

溪流亦虎號。

岸花隨路轉，

巔樹拂雲高。

