

鐵路概述

- 狹義的鐵路是在一定用地上築造路線，以動力運轉車輛，運輸旅客及貨物的路上交通工具
- 廣義的鐵路則泛指鋪設導引路(**guide-way**)以行駛路上交通工具者，包括鋼索鐵路(**cable way**)、纜車(**rope way**)、單軌鐵路(**monorail**)及磁浮鐵路等特殊鐵路
- 鐵路的必要基本設施
 - 路線、車輛、站場、信號保安裝置及電力供應設備
- 路線定義
 - 列車或車輛運轉所必須的通路，包括軌道及承載軌道的路基(路堤及隧道)與橋涵等構造物
- 軌道工程區分，軌距區分為標準軌距、寬軌及窄軌，軌道數分為單線、雙線及多線

鐵路架構及捷運導引軌道設計

THE NATURE OF RAILROAD AND TRANSIT GUIDEWAY TRACK DESIGN (12-7)

- 台灣鐵路主要系統分為台鐵環島鐵路(軌距1.067m)、台北及高雄捷運系統(軌距1.435m)及西部高速鐵路(軌距1.435m)最高時速350公里
- 日本東京—大阪間之東海道新幹線開始營運，最高時速210公里，為世界第一個高速鐵路，路網已達2,176公里。
- 法國TGV巴黎—里昂間之東南線，最高時速270公里，為歐洲第一條高速鐵路，路網已達1,542公里。
- 鐵路的發展較大荷重(**heavier loads**)及較高速率(**higher speeds**)，列車軸重快速增加並造軌條的磨損及失敗
- 為減少列車出軌(**derailments**)的機會，需增加軌條缺失(**track-related deficiencies**)及幾何線型誤差(**error of geometry**)等檢測

鐵路線型

RAILWAY ALIGNMENT (12-8)

- 鐵路線型之佈設影響建設工程費、運轉成本、行車安全及乘客舒適等，線形配置考慮因素為地形、系統技術及經濟
- 平面曲線規劃依據需經過的服務區域，配合路線構造、地形地物及建成物等限制條件，以直線為基礎與曲線作為路線轉向等綜合而成
- 列車行駛的最佳豎曲線為零坡度的縱面，配合路線構造、地形地物及坡度限制等綜合而定線
- 曲線可分為平面曲線(**horizontal curve**)與豎曲線(**vertical curve**)，使用之曲線為圓曲線，其曲線以半徑或角度表示
- 幹線為鐵路網中之主要線，平面及縱面線形之選擇，儘可能力求平直，降低列車行車危害因素
- 線形為路線的平直彎曲形狀，鐵路路線雖應以平直為原則，但因地形或其他原因，有時必須插入曲線

鐵路線型(續)

- 正線(**Trunk Line**)指經常為列車在站通過、到開及行駛兩站間之路線。
- 單線(**Single-track Line**)上下行列車共用一股軌道運轉之路線，俗稱單軌。雙線(**Double-track Line**)兩站間鋪設有兩股軌道，可供列車行駛者，俗稱雙軌。
- 軌距(**Gauge**)為決定鐵路所有結構物大小的基準，軌距寬窄與鐵路建設費及輸送能力關係密切
 - 軌距係兩側軌條頭部間的最短距離，指兩鋼軌間由軌面下14公厘以內相距之最短距離。
 - 標準軌距(**standard gauge**)等於1.435m(4'-8.5")
 - 寬軌(**broad gauge**)軌距寬於1.435m
 - 窄軌(**narrow gauge**)軌距窄於1.435m，台灣為1.067m
- 鐵路線型主要區分依所經地形，分為平地鐵路、丘陵鐵路、山地鐵路及高山鐵路

路線選擇

- 經指定起訖點之路線
 - 應選擇最短最平者為最合宜，橋樑、隧道及車站之位置亦應作適宜之選擇
 - 避免水流之沖刷及水之宜洩，並應配合所經地區農、林、工、礦、商各業之發展。
- 橋樑中線應儘量與河岸垂直，大橋及車站以設於平直線上為原則。
- 選擇路線，除注意坡度、曲線之適宜及建築費之減省外，並應考慮下列事項：
 - 施工之難易。
 - 需時之長短。
 - 維持費及行車費用之多寡。
 - 地質情形之良窳。
 - 與其他交通水利設施之配合。
 - 預留將來改良與擴充之餘地。

平面線型單元

- 平面線型單元為直線、圓曲線(circular curves) 及介曲線(transition curves)
- 圓曲線的半徑以圓心角及弧定義，路線中心線長度以弧及弦計算基準，為使弧及弦之誤差在限制內，英制為100ft (30m)，公制為20或25m
- 圓曲線依據半徑計算曲線度公式
$$D = \frac{360 \times 100}{2 \times \pi \times R} = \frac{5729.58}{R} \text{ (英制)}$$
$$D = \frac{360 \times 20}{2 \times \pi \times R} = \frac{1145.92}{R} \text{ (公制)}$$
- 圓曲線組成的線型分為複曲線(compound curves)及反向曲線(reverse curves)
- 鐵路平面線型皆需要設置介曲線，提供超高度變化的空間，降低行車風險確保安全

台鐵平面曲線規格

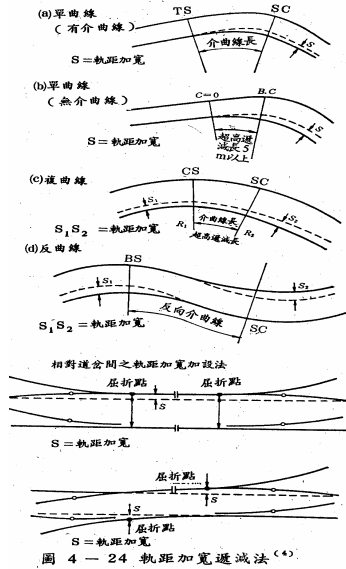
- 正線
 - 特甲級及甲級線不得小於300公尺，乙級線不得小於200公尺
- 車站
 - 特甲級及甲級線不得小於500公尺，乙級線不得小於300公尺
- 道岔區
 - 特甲級及甲級線的不得小於160公尺，乙級線的正線不得小於100公尺
- 側線
 - 不得小於160公尺，必要時縮減為120公尺，分岔或機車不進入者得縮減為100公尺

鐵路及導路平面線型設計標準

horizontal alignment design criteria for railway and guideway (12-11)

- 平面線形不能突然改變，線形對軌道車輛速率限制時，增加出軌風險及翻車意外，線型設計車輛尺寸:長為26公尺、軸距為18公尺
- 在陡坡路段的平面線形，因曲線效應縱坡需要放緩，因每1%曲線阻力為20lb/ton，坡度降低為0.8/20或0.04%可補償1度曲線
- 曲線在1°~3°間為平緩曲線(flat curves)，在8°~10°間為相當尖銳曲線(sharp curves)，高於10°曲線很少用於主線，在16°~24°間用於山嶺區或低速市區車站，40°曲線用鐵路車場
- 法國TGV標稱最小半徑為4000m(小於0.5°)，特別情況的最小半徑為3200m

平面線型設計



鐵路及捷運導路超高 SUPERELEVATION OF RAILWAY AND TRANSIT GUIDEWAY CURVES (12-13)

- 列車在曲線段要抵抗重量產生的力，阻力作用於軌道，離心力為 $F = \frac{m \times v^2}{R} = \frac{W \times v^2}{g \times R}$
 - M為列車質量、v為列車速率、R為曲線半徑、g為重力加速率9.8m/sec²

- 輪與軌道平衡狀況

- E為曲線平衡超高、T為軌條頂的垂直及水平合力

$$\frac{E}{G} = \frac{F}{T} = \frac{v^2}{g \times R}$$

- 寬軌為1.435m，軌頂中心為1511mm

$$E = \frac{1511 \times v^2 \times (1000/3600)^2}{9.8 \times R} = \frac{11.9 \times v^2}{R} \text{ (寬軌)}$$

- 窄軌為1.067m，軌頂中心為1143mm

$$E = \frac{1067 \times v^2 \times (1000/3600)^2}{9.8 \times R} = \frac{8.4 \times v^2}{R} \text{ (台鐵)}$$

$$E = \frac{1143 \times v^2 \times (1000/3600)^2}{9.8 \times R} = \frac{9.0 \times v^2}{R} \text{ (窄軌)}$$

鐵路的軌道超高

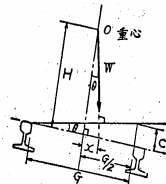
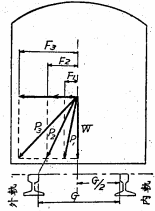


圖 4-10
起高造成的車輛重心偏移⁽²⁾

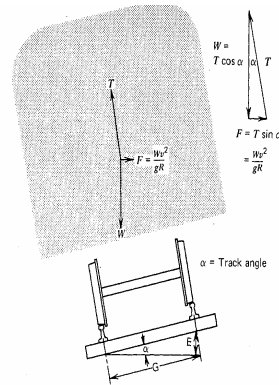


Figure 12-7 Forces on a car body traversing a curve at equilibrium speed. (Source: *Proceedings, American Railway Engineering Association*, Vol. 56, 1955.)

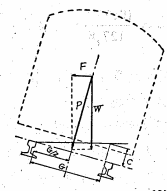
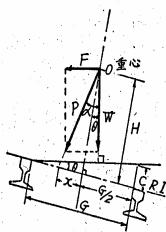


圖 4-7 起高理論⁽²⁾



行車速率及超高不足量

- 列車因調度不能高速行駛，在行車舒適及安全的考量下
 - 曲線超高，建議的外側軌最大超高為200mm，需要的外側軌最大超高為150或175mm
 - 市區捷運線及導路的最大超高為150mm
- 列車行駛速率未達平衡速率內側軌易磨損，超過平衡速率外側軌易磨損，甚至造成列車翻覆
- 列車產生翻覆的行駛速率計算公式 $V = 6.54 \times R$
 - 車輛重心高度假設在軌條頂的2.13m
- 超高不足量(C_d , Cant Deficiency)列車行經平面曲線時，由最大車速計算的平衡超高值與平均車速計算的超高值的差值

$$C_d = C_v - C = 8.4 \times \frac{v^2 - v_0^2}{R}$$
- 台鐵規定超高不足量，一般列車之最大為50mm，電氣列車之最大為60mm
- 台北捷運超高不足量為25mm

鐵路及捷運導路的介曲線
SPIRALS OR TRANSITION CURVES FOR RAILWAYS AND TRANSIT
GUIDEWAYS (12-15)

- 鐵路車輛或導路被限制在軌道，在曲線路段不能側移或人工處理
- 主線軌道的介曲線長度
 - 依據營運及路線改善等成本而定
 - 在乘客舒適性為側向加速率不超過0.03g/sec
 - 在26m車輛為基準的軌道縱坡產生損壞或扭力外側與內側軌條不超過1/744
- 介曲線長度計算公式
 - 第一組 $L = 0.01216 \times E_u \times V$ $L = 0.744 \times E_a$
 - 第二組乘客側向加速率不超過0.04g/sec $L = 0.0091 \times E_u \times V$
 - 第三組 $L = 0.0104 \times E_u \times V$ $L = 0.72 \times E_a$
 - L為介曲線需要長度、 E_u 為不平衡超高、 E_a 為實際超高、V為列車最搭速率

介曲線長度計算公式

- 介曲線長度有三種公式
- 台鐵特甲級及甲級線

$$L_1 = 0.8 \times C \quad L_2 = 0.010 \times C \times V \quad L_3 = 0.009 \times C_d \times V$$
- 乙級線

$$L_1 = 0.6 \times C \quad L_2 = 0.008 \times C \times V \quad L_3 = 0.009 \times C_d \times V$$
- 公式參數說明 $C_d = C_v - C$
 - L_1 、 L_2 及 L_3 為介曲線長度(m)
 - C為平均速率設定之超高度(mm)
 - C_d 為最高速率的超高不足量，即不平衡超高(mm)
 - V為最高速率(kph)
 - C_v 為最高速率之超高度(mm)

鐵路及捷運導路垂直線形設計 VERTICAL ALIGNMENT DESIGN FOR RAILROADS AND TRANSIT GUIDEWAYS (12-21)

- 鐵路縱坡設計標準較嚴格的原因，軌道車輛較長及較重，輪軌間相對低的摩擦係數
- 鐵路縱坡較小縱坡度但較長縱坡，主要線最大縱坡為 1%，山地或高山鐵路採 2.5%；膠輪捷運最大縱坡為 6.5%
- 豎曲線長度，凹豎曲線較凸豎曲線嚴格，凹豎曲線需要較長路段降低減速現象
- 速率剖面(velocity profile)依據流體力學白努力原理計算速率頭，列車的移動類似自由落體 $h = \frac{v^2}{2 \times g} = 0.0041 \times v^2$
- 速率剖面的坡度為加速坡度
 - 由機車拉力減去列車阻力為淨可利用牽引效果
 - 淨可利用牽引效果除以列車總重獲得加速
 - 加速除以 98N/ton/坡度獲得加速坡度

列車行駛縱坡狀況及速率

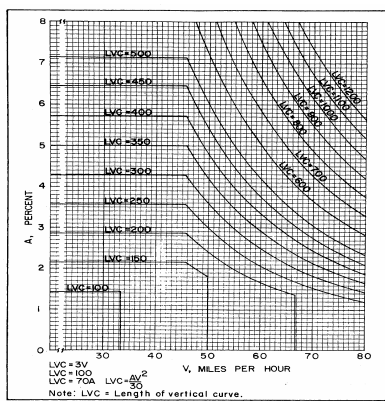


Figure 12-13 Design graph for crest vertical curves for a rail transit line. (Source: MARTA System Design Criteria, Vol. 1, prepared by Parsons, Brinckerhoff, Quade and Douglas, Inc./Tudor Engineering Co., rev. March 2, 1977.)

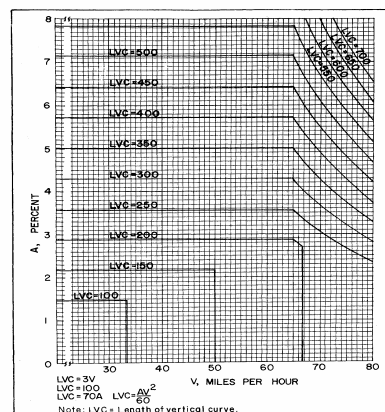


Figure 12-14 Design graph for sag vertical curves for a rail transit line. (Source: MARTA System Design Criteria, Vol. 1, prepared by Parsons, Brinckerhoff, Quade and Douglas, Inc./Tudor Engineering Co., rev. March 2, 1977.)

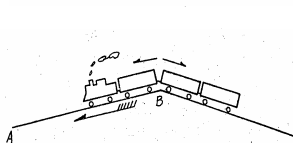


圖 4-35 凸坡上的列車⁽¹⁾

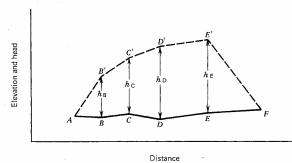


Figure 12-15 A velocity profile.

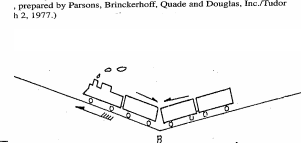


圖 4-36 凹坡上的列車⁽¹⁾

台鐵縱坡規格

- 特甲級及甲級線縱坡在丘陵區千分之十，山岳區千分之二十五
- 乙級線千分之三十五，電車專用路線千分之三十五，無道碴橋樑千分之七
- 在兩終端道岔間及列車停留區域內應設在水平線上，站內但必要時坡度得予以放寬如下
 - 正線、兩終端道岔間及列車停留區千分之三點五以下
 - 新建之站場為千分之二以下
 - 不摘掛車輛之正線得增至千分之十
- 路線坡度變更時兩端切線相連接之豎曲線應依下列半徑
 - 半徑800公尺以下之曲線，其豎曲線半徑為4000公尺以上。
 - 半徑超過800公尺之曲線，其豎曲線半徑為3000公尺以上。

鐵路平面及縱面線形配合

- 鐵路曲度及坡度之最大限，其最小曲線半徑及最陡坡度，規定如下表

鐵路軌距	1067公厘	
鐵路等級	特甲及甲	乙
最小曲線半徑（公尺）	300	200
最陡坡度（0/00） （包括曲線坡度折減率）	25	35

- 前項坡度及曲線半徑設計時，應儘量以最佳之條件規，以減少對列車牽引噸數之影響。
- 隧道內之路線長度超過三百公尺者，除特殊情形外，其坡度不得超過千分之十五，隧道及其水溝應有千分之三之最小坡度以利洩水，隧道內之凸坡，應極力避免，以利通風。

鐵路平面及縱面線形配合（續）

- 台鐵平面線型
 - 兩曲線間最短直線應為20公尺以上，兩同向曲線間之直線短於二十公尺時，應改用複曲線。
 - 反向曲線間限於地形不能插入20公尺以上直線時，應用曲線遞減法將兩曲線直接連接為連續介曲線。
- 直線與曲線間除道岔外，應以介曲線連接之
- 介曲線長度與曲線超高度，曲率及正矢一致，並不得小於超高度之四百倍以上。
- 軌距1067公厘者曲線坡度折減率為千分之六百/R。

台鐵進行中及研議中之改革計畫

- 改善行車保安設備－新設列車自動防護系統及行車調度無線電話系統。前者可對列車速度持續監控，後者行控中心與司機員間可直接通話。
- 改善電力設備－配合台鐵都會區捷運化工程，確保供電安全無虞，於樹林～新竹間在東、西線各並聯一條BF線以增加安全供電，預計95年完工。
- 改善軌道設備－台鐵西幹線軌道設備為確保行車安全及提高列車平穩度，正進行鋪設60公斤省力化軌道、抽換50公斤長焊鋼軌、改善48處曲線及鋼樑橋改建RC樑橋等，預定95年完工。
- 台鐵配合捷運化改善計畫，東部鐵路電氣化及軌道重軌化、西部幹線軌道結構省力化(low maintenance)
- 鐵路都會區段捷運化－因應高鐵通車及減輕捷運建設投資，有效利用臺鐵系統在都會區內增設車站，強化都會區通勤運輸捷運功能，提供民眾現代化之鐵路運輸服務。