



# 軌 道 工 程

朱 旭

2010年3月6日

備註：本資料乃為學術研習所作之初步稿件，謹供學生以PDF學習，以求教學相長



# 課程大綱

## 第三章

### 規劃設計

第一節 基本概念

第二節 規劃參數

第三節 捷運工程定線

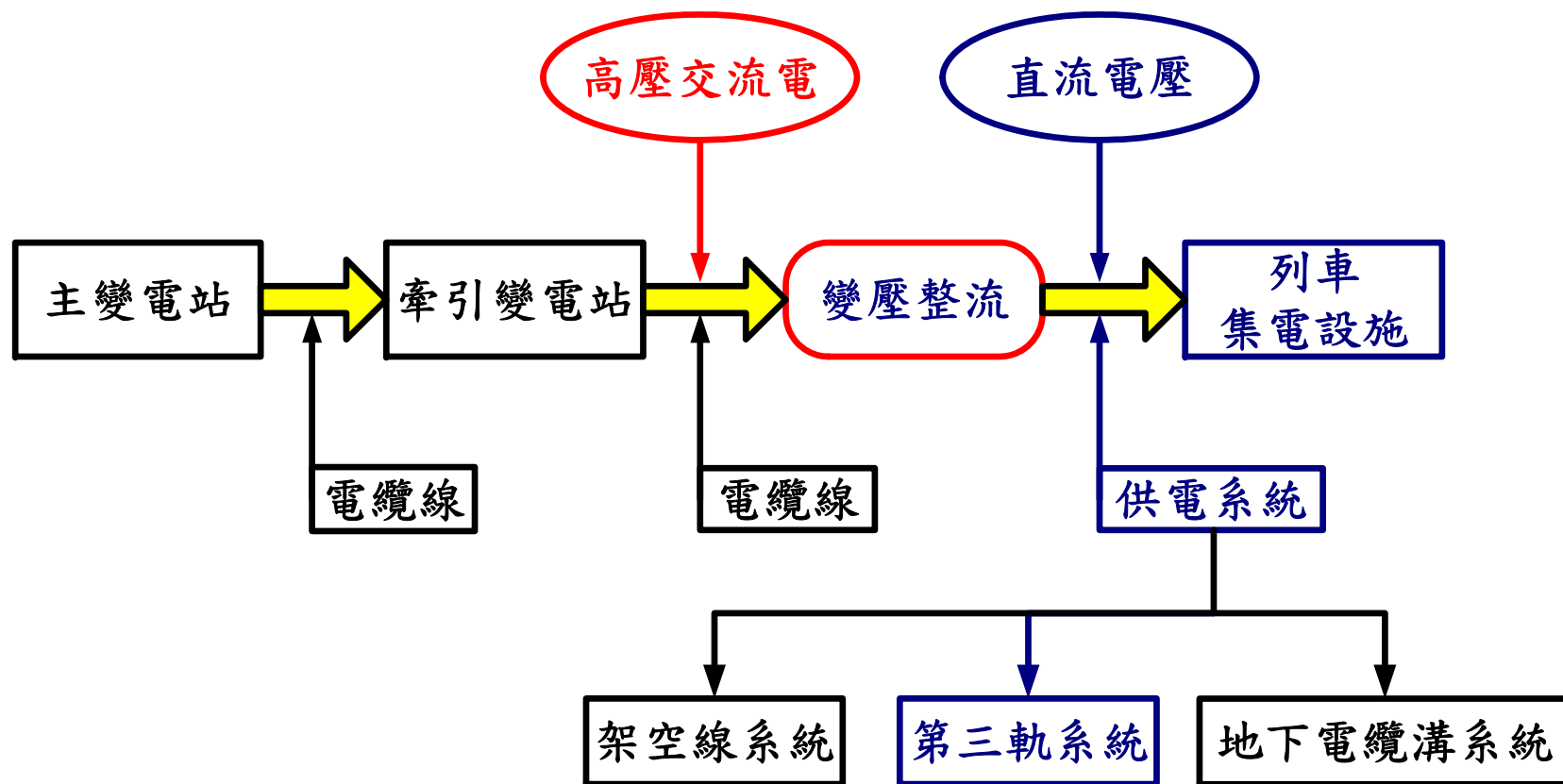
第四節 軌道承托系統

第五節 供電型式

第六節 淨空需求



# 捷運供電示意圖





# 捷運供電型式分類

## ■ 電流

交流電 (AC)

直流電 (DC)

## ■ 電壓

1500V DC

750V DC

600V DC

## ■ 輸電方式

架空線

第三軌

電纜溝

## ■ 集電靴接觸方式

下觸式

上觸式

側觸式



# 架空線供電系統



- 架空線系統乃利用車輛上所裝設之集電弓 (Pantograph) 或集電桿 (Trolley Pole) 與其接觸以提供牽引動力。





# 架空線供電系統



## ■ 單線式

- 電源之一端接於架空線，另一端連接於軌道，以軌道作為電路的一部分
- 直流與交流饋電系統均可適用
- 有軌電車採用

## ■ 複線式

- 以兩條電車線作為傳輸電力，不需軌道作為迴流線
- 無軌電車採用



# 架空線設計主要考量因素

- 人員的安全性
- 供電的可靠性
- 避免架空電線斷落衍生公共危險
- 維持架空線之淨空
- 架空線之結構特性及磨耗壽命
- 架空線對都市景觀的衝擊
- 盡量節省建設成本



臺北捷運迄今並無使用架空線



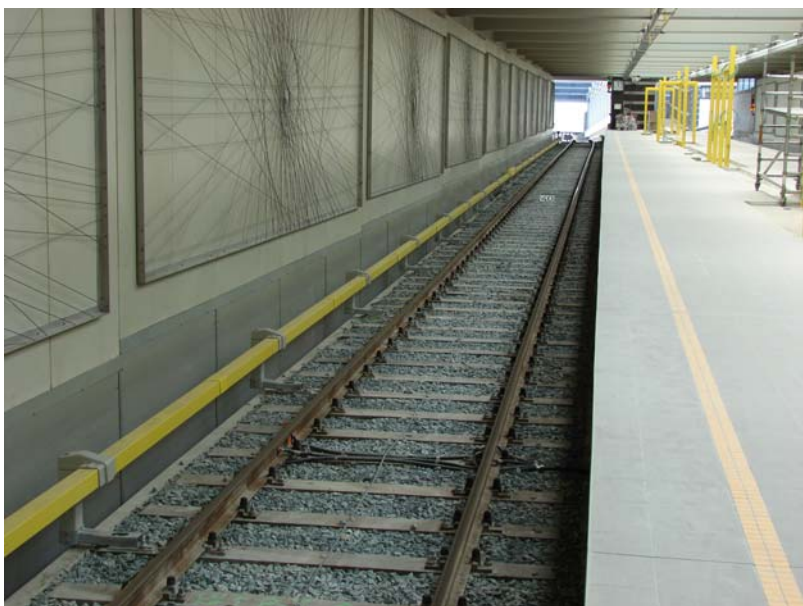
## 第三軌供電系統

- 利用車輛上所裝設之集電靴與第三軌保持接觸藉以獲取電流
- 設於軌道旁，離地約三十公分，為工作人員安全，導電軌上方加裝絕緣護蓋
- 適合於地下路段及專用路權之地區
- 維修簡便，工作量少，費用低，隧道空間小
- 新建捷運系統大多採用第三軌集電方式，例如：臺北捷運、新加坡MRT等





# 集電靴接觸方式



下觸式

上觸式

側觸式



# 導電軌系統

- 臺北捷運選用最具有安全性的「下觸式」第三軌型式。
- 導電軌材質則採用鋁製斷面結合抗磨不銹鋼導電面而成之複合軌。





# 導電軌系統

## ■ 設計原則

- 主線/機廠直流正極饋線方面
- 牽引電力預埋管出口方面
- 直流系統短路電流方面
- 集電靴動態包絡線方面
- 集電靴方面



# 導電軌系統

## ■ 佈設需求 (1/4)

### □ 主線特殊軌區

- 上下軌間之導電軌佈設為非橋接，可避免特殊情況下，因電聯車誤闖另一行軌而造成上下行軌間之750V電力連通產生危險
- 為避免電弧效應、延長集電靴與導電軌端部組件的使用年限，系統已逐步改成橋接佈設



# 導電軌系統

## ■ 佈設需求 (2/4)

### □ 機廠特殊軌區

- 除了進出機廠之轉換區外，機廠內的導電軌將儘量佈設為橋接。
- 在機廠轉換區處，導電軌須配合供電標隔離開關MDS盤設置點佈設為非橋接。

### □ 車站月台區：導電軌須佈設於候車旅客月台的另一側



# 導電軌系統

## ■ 佈設需求 (3/4)

### □ 主線沿線軌區

- 導電軌的佈設應儘量與走道不同側
- 站間走道連續佈設且無任何阻礙

### □ 平交道區：導電軌的佈設須終止於人行、車行平交道前至少1.5公尺處

### □ 特殊軌區轉轍器：儘量與轉轍器不同側，或同側但終止於轉轍器前1公尺處



# 導電軌系統

## ■ 佈設需求 (4/4)

### □ 電力區分段點

- 離月台中心線約100m至110m之位置
- 該處設置絕緣接頭組件或導電軌中斷

### □ 機廠軌道：不在號誌管制區內之軌道不設置導電軌

### □ 電聯車洗車軌：導電軌佈設在控制室不同側，以避免相關維護人員觸電危險

### □ 防水隔艙閘門。儘量終止於閘門門擺動線範圍前至少1.5公尺處



# 供電系統比較彙整

項次	比較項目	架空線系統	第三軌系統
1	可靠性	較低，易受強風或颱風侵襲破壞	較高
2	安全性	設於高處，不易誤觸，緊急逃生比第三軌迅速且安全	設於低處，易誤觸，緊急逃生須先關閉動力電源，逃生程序較為複雜
3	進廠保養	可使用電力直接進廠	須備機車頭牽引車輛進廠
4	使用年限	較短，約 15-20 年	較長，約 20-40 年
5	載流能力	400A	4000A
6	架設難易	困難	容易
7	景觀影響	架空線及支持物破壞景觀	無不良影響
8	操作便利性	優	劣
9	維修及費用	設於高處，需特殊設備機具，維修人員維修時不必等到切斷電源後才能進場工作，此系統常故障，維修耗時，費用較高	設於低處，維修容易，具有潛伏的危險性，維修工作較少，不需使用特殊維修工具，維修費用較低
10	隧道尺寸	考量集電弓的運作高度，隧道需較大尺寸	第三軌設於道旁，隧道相較於架空線尺寸小
11	造價	較低	高





# 雜散電流定義

- 歐洲標準 prEN 50162、EN 50122-2 與國際腐蝕工程師協會實務建議標準 NACE RP 0169
  - 雜散電流係指不沿原設計路線流通，而由其他路徑流通之電流
- 德國國家標準 DIN 30676
  - 雜散電流乃自電力設備某組成部份之載流導體非故意地進入電解質 (Electrolyte) (例如土壤) 的電流。



# 雜散電流定義

## ■ 英國國家標準BS 7361-1

- 雜散電流為流通於結構物和水或土壤環境中的電流，此電流可由水或土壤環境流入結構物，或相反方向流動

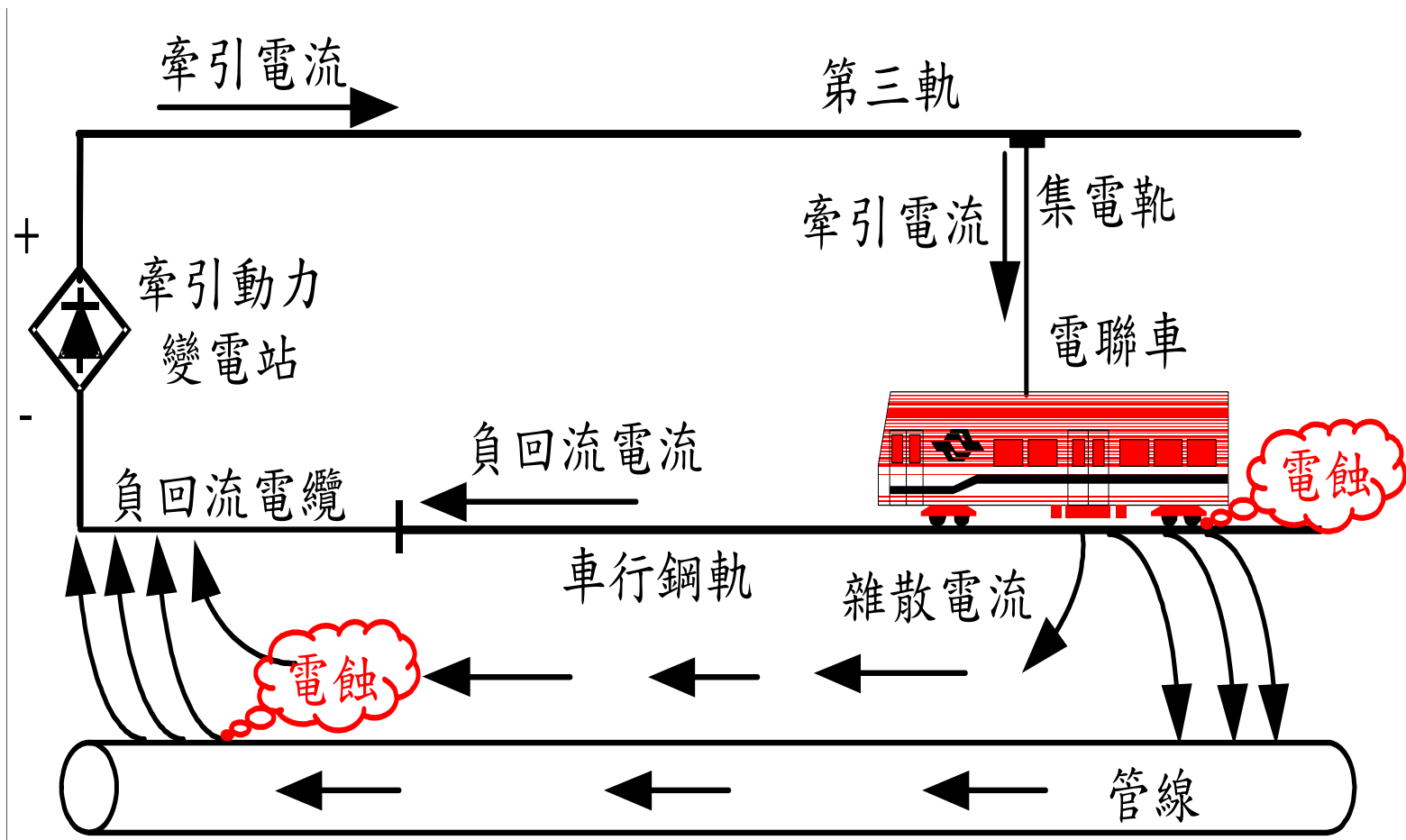


# 雜散電流來源

- 源自陰極保護設施所產生的保護電流
- 源自外部結構物的平衡電流
- 來自陽極陣列附近的平衡電流
- 外部結構物（例如鋼鐵/混凝土-混凝土/土壤）的電池電流(Cell Current)
- 來自附近直流設施（例如電化牽引系統）的雜散電流



# 直流電化牽引系統示意圖





## 雜散電流成因 (1/3)

- 早期興建的地鐵路線（例如英國倫敦地鐵之Harrow至Amersham線）採用第四軌作為負電回流
- 近期為節省設備投資費用，大多數的直流電化牽引系統（例如捷運、輕軌或有軌電車）皆以車行鋼軌為列車牽引電流之負回流路徑



## 雜散電流成因 (2/3)

- 列車負回流經鋼軌流回牽引動力變電站負極端時，鋼軌將因自身的電阻流通電流而於其上產生壓降，此壓降使鋼軌對地存在電位差，稱之鋼軌電位(昇)



## 雜散電流成因 (2/3)

- 由於鋼軌與大地間不可能完全絕緣，故將因鋼軌電位之存在而有部份負回流從路線各處的鋼軌洩漏至大地，並進入軌道附近電阻較低的傳導路徑例如軌床下的結構鋼筋或軌道鄰近的金屬結構物，最後直接或再經大地回流至變電站，由於電流不沿原設計路線（即車行鋼軌）而由其他路徑流通，因此稱之雜散電流



## 雜散電流成因 (3/3)

- 由於列車之牽引電流與負回流皆隨列車之運行狀態而改變，因此鋼軌洩漏至大地的雜散電流亦具有時變的特性





## 雜散電流影響 (1/3)

- 導致地下金屬結構物腐蝕與後續的損害
- 導致過熱、發弧及火災，危及鄰近設備與人員的安全
- 對鄰近陰極保護裝置造成不良影響
- 對鄰近交流與直流供電系統造成不良影響



## 雜散電流影響 (2/3)

- 當雜散電流直接或經電解質流入地下金屬結構物（包括鋼筋、油管、氣管、水管、電信管路等），並於結構物之某處直接或透過電解質再流回原路線時，將於地下結構物電流流出之處產生電化學腐蝕 (Electrochemical Corrosion)（簡稱電腐蝕或電蝕），導致結構鋼筋之損耗，影響結構物之安全，並造成地下管線之穿孔洩漏，污染環境甚或引發火災、爆炸



## 雜散電流影響 (3/3)

- 引發或加速地下結構物的電腐蝕，乃雜散電流對周遭環境可能造成的最大問題



## 雜散電流防治（1/4）

- 雜散電流問題在直流鋼軌系統問世時，即已為人們所發現
- 在1950到1960年代，國外新建的捷運系統中，已開始重視雜散電流問題
- 雜散電流的防制對策，早在1900年代已確立幾項基本原則，包括捷運系統本體及鄰近地下結構物



# 雜散電流防治 (2/4)

## ■ 基本原則

### □ 降低負電流回流電路之電阻

- 增加軌道尺寸或軌道截面積
- 提供上下行軌間之跨軌連接措施
- 降低各直流變電站間之距離



# 雜散電流防治 (3/4)

## ■ 基本原則

### □ 增加鋼軌與大地間洩漏路徑之電阻

- 增加軌對地電阻值
- 使用非接地 (ungrounded) 的負回流回路設計
- 將機廠區之軌道與主線區之軌道電氣隔離
- 捷運主線之適當分段



# 雜散電流防治 (4/4)

## ■ 基本原則

- 增加大地與地下金屬結構物間之電阻
- 增加地下金屬結構物本身之電阻



# 課程大綱

## 第三章

### 規劃設計

第一節 基本概念

第二節 規劃參數

第三節 捷運工程定線

第四節 軌道承托系統

第五節 供電型式

第六節 淨空需求





## 前言 (1/2)

- 淨空 (Clearance) 係指車輛之間及車輛與鄰近結構物之間的距離
- 淨空大小的取捨係基於安全與經濟考量
- 淨空越大，可供車輛行駛的空間越大，相對養護維修週期可拉大，只是土建的建造成本提高
- 淨空越小，車輛相互擦撞或撞及鄰近結構物的風險增加，為隨時確保行車淨空足夠，養護維修週期將被迫縮短，無疑地將使營運成本增加



## 前言 (2/2)

- 各系統對行車淨空的規定不盡相同
- 列舉臺北捷運系統為例子作說明
- 臺北捷運系統規劃手冊第4.1.4條「為確保列車安全通行於隧道及鄰近結構物中及軌道旁之安裝設備及人員的安全，並考量結構建造費儘可能縮小結構尺寸；必需明白地定義車輛周圍及車輛與相鄰結構物間必需保持之淨空。因此定義了車輛包絡線、車輛與設備及結構物之間的關係及淨空。」



# 淨空檢核構成要素

- 車輛外觀尺寸
- 軌道線形
- 車輛包絡線
- 鄰近結構物
- 淨空值



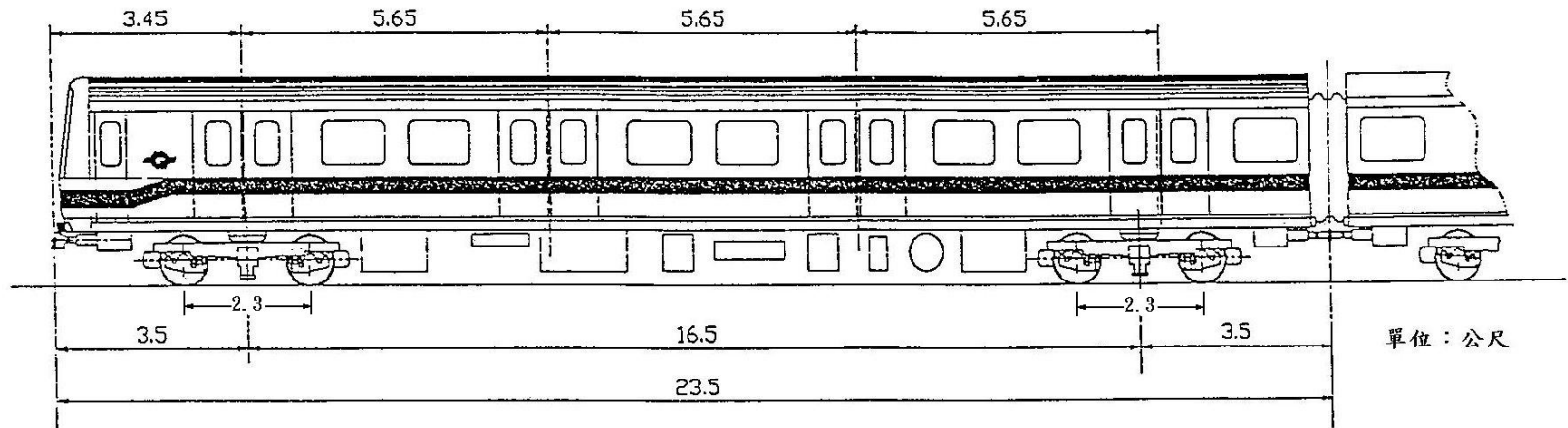
# 車輛外觀尺寸 (1/3)

涉及淨空檢核之車輛外觀尺寸

項目	描述	尺寸 (mm)
1.	DM1、T及M2車長度 (車輛兩端聯結器面之間的距離)	23,500
2.	車輛全寬	3,200
3.	月台高度之車寬 (從車輛中心線量起)	1,600
4.	鋼軌踏面至車頂高度 (空車、包含拱勢)	3,600
5.	鋼軌踏面至車廂地板高度	1,150
6.	轉向架中心距	16,500
7.	轉向架軸距	2,300
8.	轉向架中心至車輛端點 (前/後懸) 距	3,400



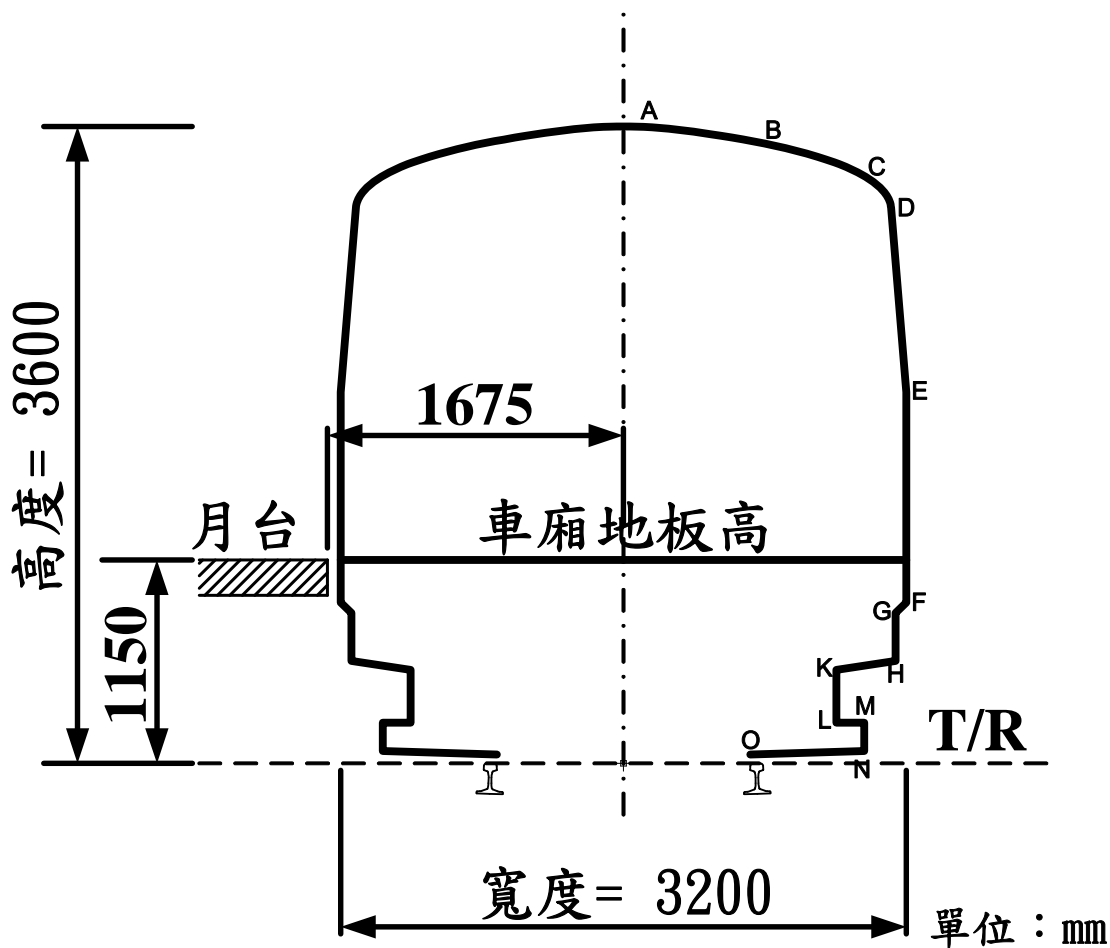
# 車輛外觀尺 (2/3)





# 車輛外觀尺 (3/3)

軌道中心線





# 軌道線形

- 軌道線形對淨空的影響有
  - 平面曲線偏移
  - 縱斷面曲線偏移
  - 超高度旋轉



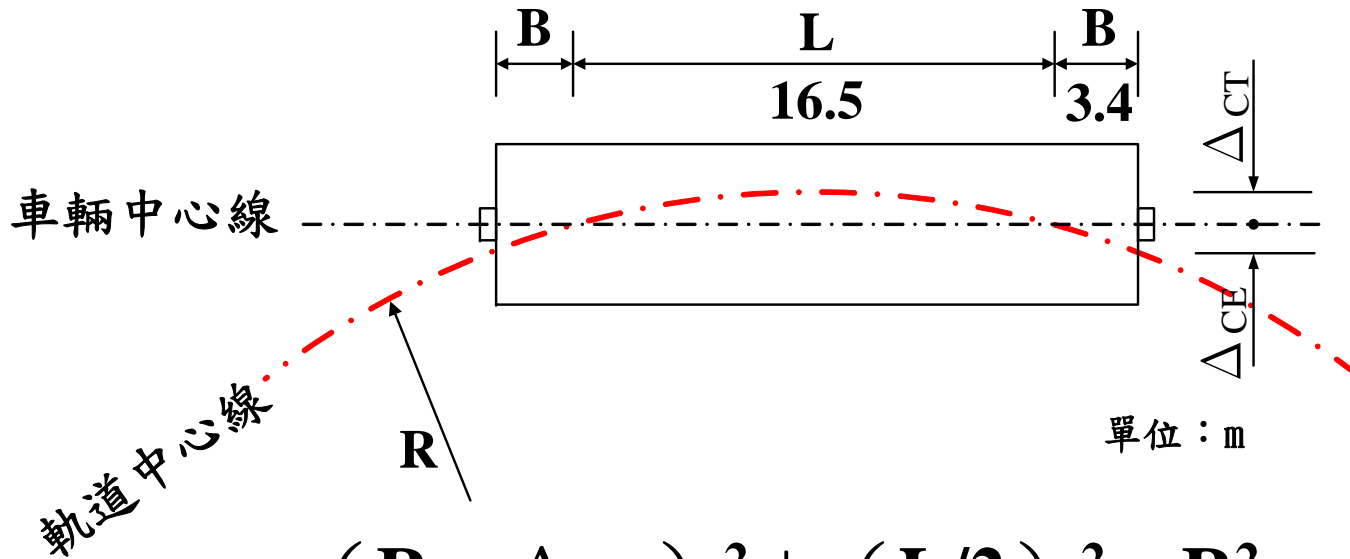
## 平面曲線偏移 (1/2)

- **曲線偏移**：當車輛行經曲線軌道時，剛體之車廂行駛在曲線上時，車廂各點相對於軌道中心線，均會產生偏移
  - **中間偏移量 (Center Throw)**：位於兩轉向架之間的车廂會向曲線內側偏移之最大量 ( $\Delta_{CT}$ )
  - **端點偏移量 (End Throw)**：兩端的车廂則是向曲線外側偏移之最大偏移量 ( $\Delta_{CE}$ )





# 平面曲線偏移 (2/2)



$$(R - \Delta_{CT})^2 + (L/2)^2 = R^2$$

$$\Delta_{CT} \doteq L^2 / 8R \dots\dots\dots (1)$$

$$(R - \Delta_{CT} - \Delta_{CE})^2 + (L + 2B)^2 = R^2$$

$$\Delta_{CT} + \Delta_{CE} \doteq (L + 2B)^2 / 8R$$

$$\Delta_{CE} \doteq (L + 2B)^2 / 8R - L^2 / 8R \dots\dots (2)$$



### 不同曲率半徑所對應之偏移量

軌道曲率半徑 R (公尺)	中心偏移量 $\Delta_{CT}$ (mm)	端點偏移量 $\Delta_{CE}$ (mm)
140	243	242
150	227	226
200	170	169
250	136	135
300	113	113
350	97	97
400	85	85
500	68	68
600	57	56
700	49	48
800	43	42
900	38	38
1000	34	34
1500	23	23



## 縱斷面曲線偏移

- 縱斷面線形之曲線偏移可比照前述平面線形的計算公式，惟因縱斷面線形之最小曲率半徑為1500m，曲線偏移量23mm，一般係直接納入後述車輛淨空包絡線中，而不再單獨考量。

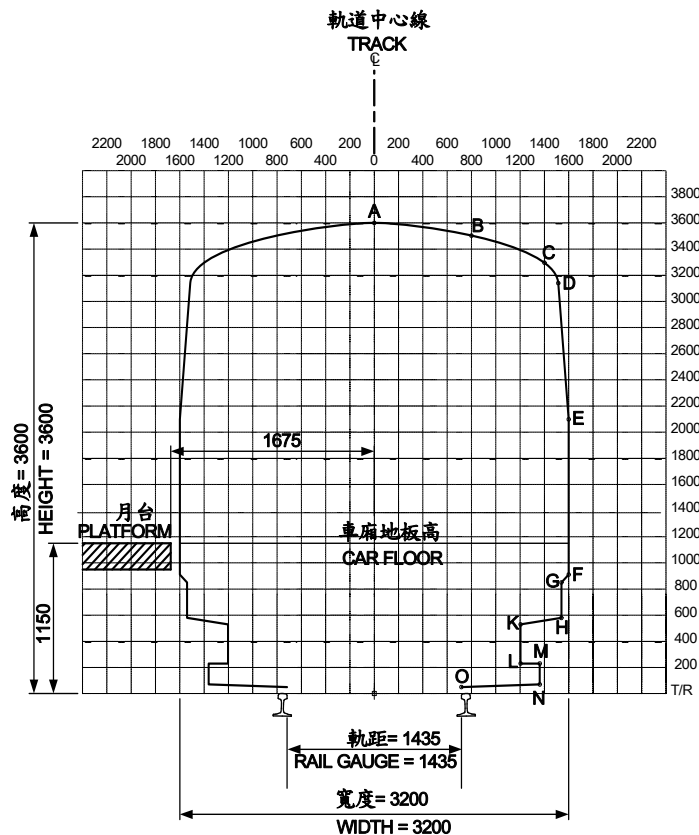


## 超高度旋轉

- 超高度 (c) 對淨空之影響可視為整個車廂對低軌之旋轉，傾斜角度為  $\sin^{-1}(c/1507)$ ，利用座標旋轉可計算車廂每一點受超高度的影響值。



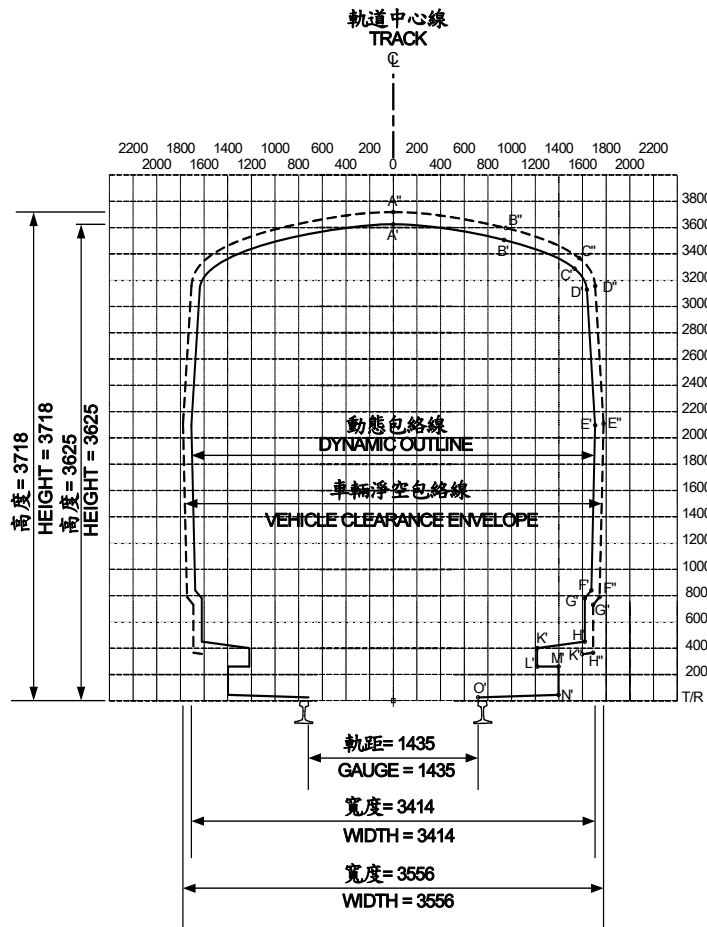
# 車輛包絡線 (1/5)



- 靜態包絡線 (Static Outline)：無乘客載重之新車廂，靜止停放於直線軌道時之外圍線
- 靜態包絡線為車站月台側的淨空檢核基準線



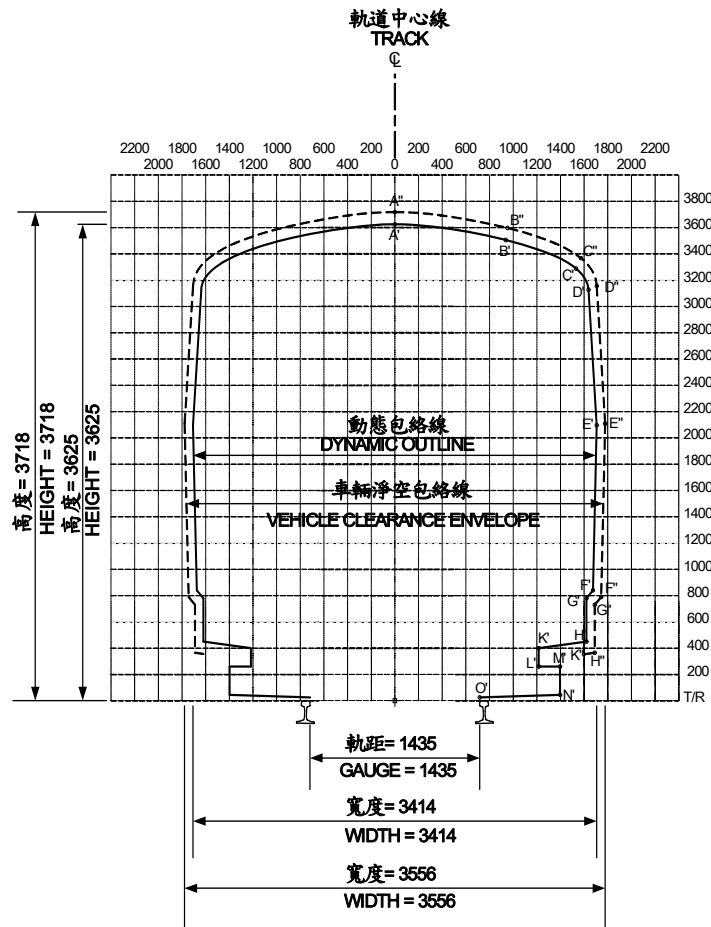
# 車輛包絡線 (2/5)



- 動態包絡線 (Dynamic Outline)：最大乘客載重、車體懸吊系統磨耗、鋼輪磨耗等之情況下之車廂，運行於直線軌道時之外圍線
- 動態包絡線在淨空檢核時並未實際使用到



# 車輛包絡線 (3/5)



- 車輛淨空包絡線 (Vehicle Clearance Envelope)：車輛之動態包絡線外加一空間以容許車輛之垂直偏移及軌道施工與維修之公差所定義出之空間是為車輛淨空包絡線
- 除車站月台側外，所有正線的淨空檢核基準線都是使用車輛淨空包絡線



靜態包絡線各點座標 COORDINATES FOR STATIC OUTLINE			動態包絡線各點座標 COORDINATES FOR DYNAMIC OUTLINE			車輛淨空包絡線各點座標 COORDINATE FOR VEHICLE CLEARANCE ENVELOPE		
點 PT	水平 HOR.	垂直 VERT.	點 PT	水平 HOR.	垂直 VERT.	點 PT	水平 HOR.	垂直 VERT.
A	0	3600	A'	0	3625	A"	0	3718
B	800	3503	B'	937	3506	B"	952	3597
C	1400	3296	C'	1532	3288	C"	1573	3368
D	1514	3140	D'	1637	3128	D"	1707	3156
E	1600	2098	E'	1707	2096	E"	1778	2108
F	1600	910	F'	1675	840	F"	1744	789
G	1540	850	G'	1620	780	G"	1690	730
H	1540	579	H'	1620	450	H"	1690	365
K	1204	529	K'	1217	400	*K"	1598	354
L	1204	230	L'	1217	260			
M	1362	230	M'	1397	260			
N	1362	70 **	N'	1397	45 **			
O	717	50 **	O'	717	25 **			

\* 在直線軌道，車輛淨空包絡線和導電軌支架及護蓋包絡線之相交點。在曲線軌道，車輛淨空包絡線的延伸線和導電軌支架及護蓋包絡線之相交點。

POINT OF INTERSECTION OF VEHICLE CLEARANCE ENVELOPE WITH CONDUCTOR RAIL SUPPORT AND COVER ENVELOPE ON TANGENT TRACK. ON CURVED TRACK EXTEND LINE OF VEHICLE CLEARANCE ENVELOPE TO INTERSECT LINE OF CONDUCTOR RAIL SUPPORT AND COVER ENVELOPE.

\*\* 僅適用於導電軌集電靴，車輛其餘部份均需保持80公厘以上之間隔淨空。

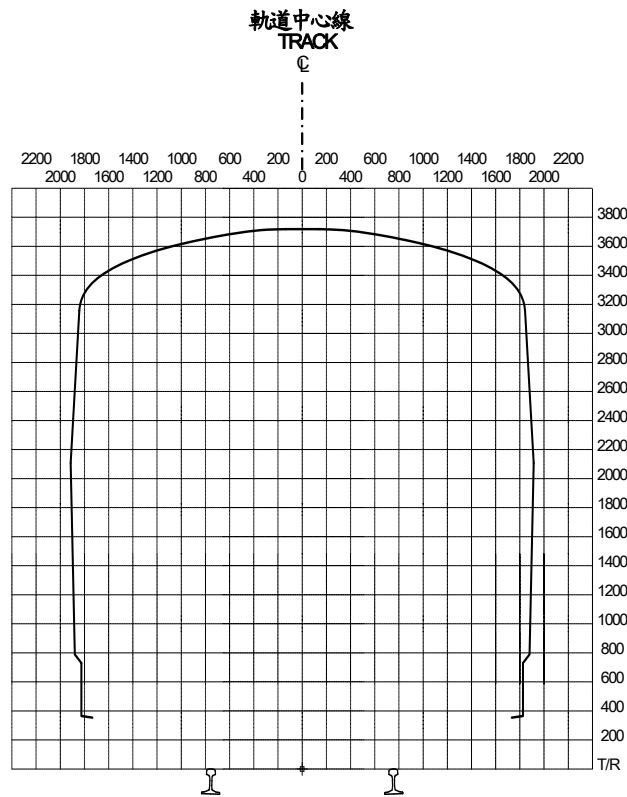
FOR CONDUCTOR RAIL SHOE ONLY, REST OF VEHICLE MUST OBSERVE 80mm CLEARANCE.

單位：公厘  
UNIT : mm





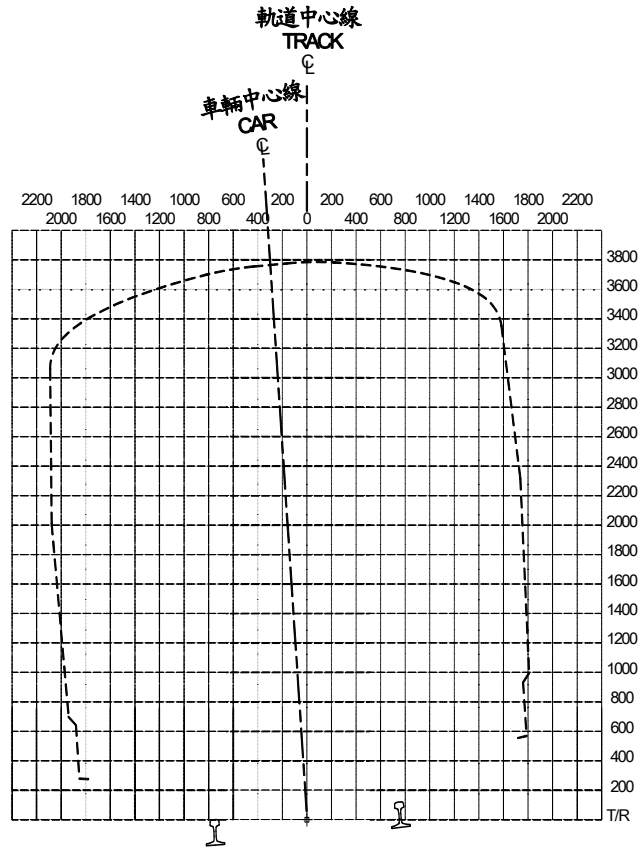
# 車輛包絡線 (4/5)



- 車輛淨空包絡線加水平偏移：係指車輛包絡線再加上車輛兩側行經曲線時之最大偏移量



# 車輛包絡線 (5/5)



- 車輛淨空包絡線加水平偏移及超高：係指前款四所述之車輛包絡線再加上軌道超高



# 鄰近結構物

## ■ 平面段 (1/2)

### □ 走道包絡線

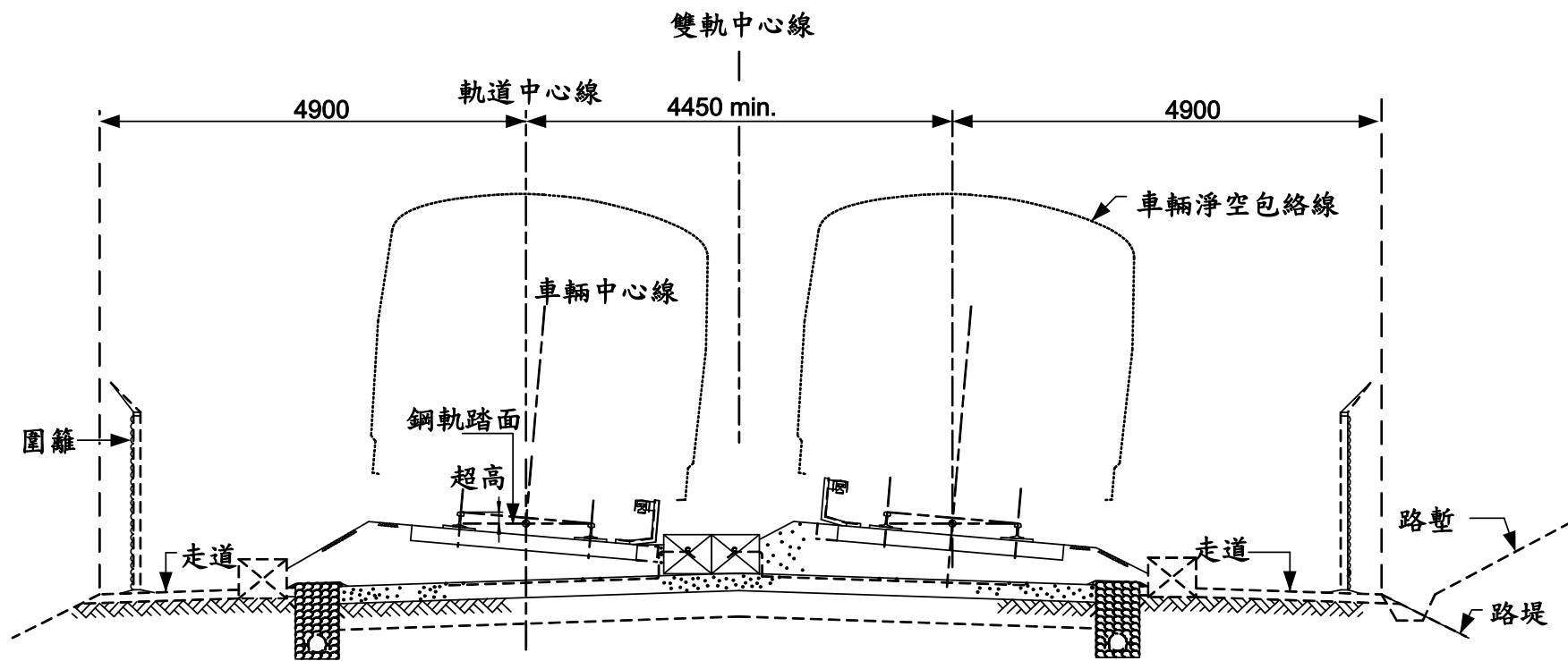
- 650mm：連續性結構物長度大於 2m
- 550mm：結構物長度不大於 2m
- 由鋼軌踏面起算 2500mm 範圍內的高度，前述寬度必需維持
- 考量道碴道床軌道之橫向位移，前述空間需額外包含 50mm 的寬度



# 鄰近結構物

## ■ 平面段 (2/2)

- 標誌、標竿：包括軌道標或號誌標之標誌或標竿，屬不連續的結構物，設計安裝時稍加留意，即可避免發生淨空問題

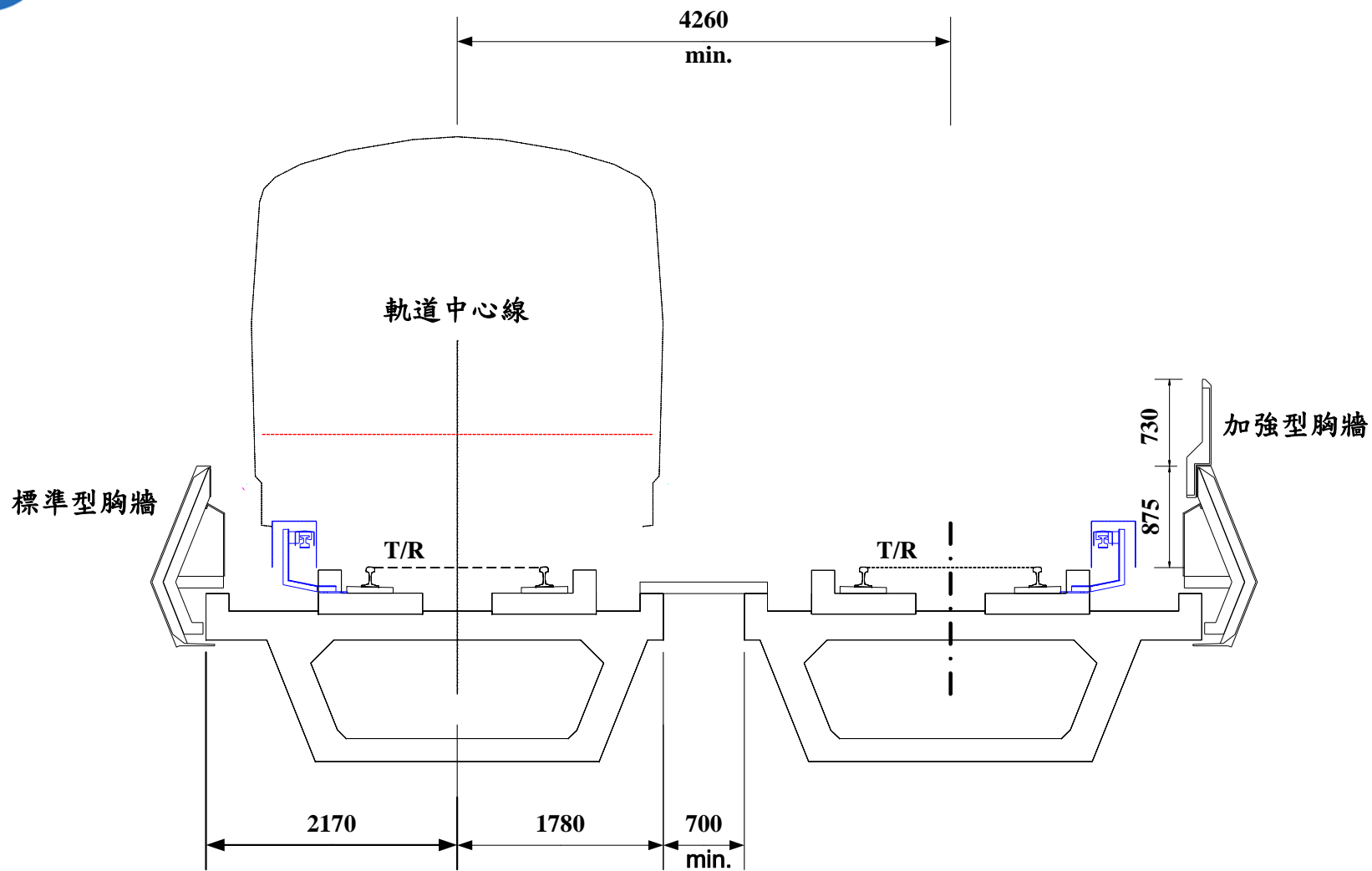




# 鄰近結構物

## ■ 高架段

- 走道：比照平面段或地下段的規定
- 胸牆：為連續的結構物，曲線超高路段，胸牆上方，常為淨空檢核項目
- 供電標之高壓電纜及其支架：由於其置於胸牆下方內緣，一般並無淨空問題。
- 標誌、標竿：同平面段
- 道旁設施：如供電標緊急跳脫箱（ETS）、水電標之緊急照明設備等，同標誌、標竿處理方式





# 鄰近結構物

## ■ 明挖覆蓋隧道 (1/2)

□ 走道：走道包絡線最小寬度550mm、高1900mm

□ 供電標之高壓電纜及其支架：其特點為連續性結構體、電纜組數多、安裝位置及排列方式有其限制、土建設計階段供電標廠商未定無法完全掌握量，故此項因素常主控淨空檢核工作，同時將影響隧道尺寸大小。

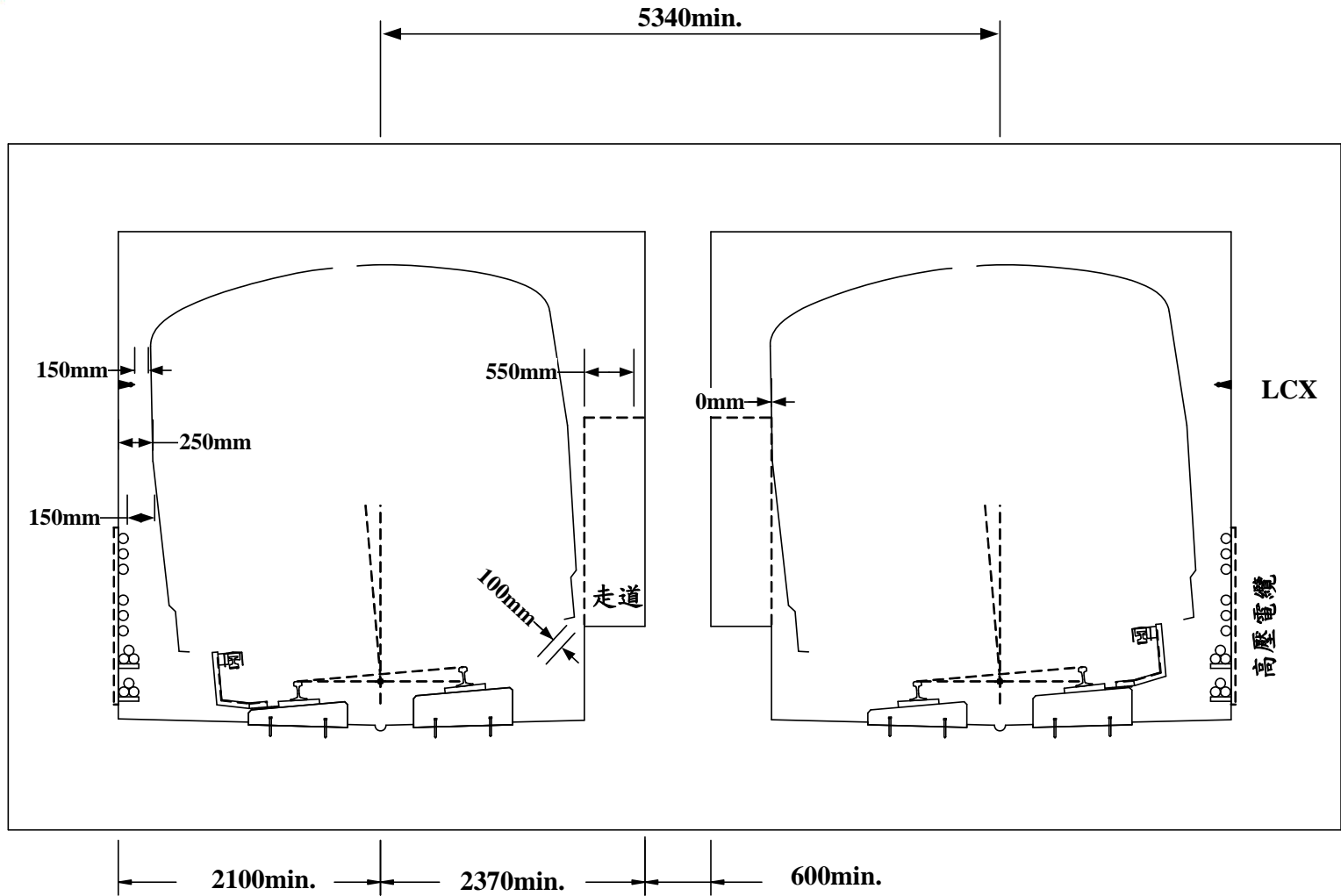




# 鄰近結構物

## ■ 明挖覆蓋隧道 (2/2)

- 洩漏同軸電纜：常與高壓電纜位在同一側的結構牆上，兩者相距至少1公尺，安裝高度一般為 $T/R+2700\text{mm}$ ，相當於駕駛室車窗高度，預估突出牆面150mm，其非淨空檢核的主控因素
- 消防管線：消防管線侵入行車空間主要發生在橫渡線區域，因消防管一般與走道同側且固定在側牆上，鄰近橫渡線時，側牆將中斷，走道可隨之中斷而換邊設置，但消防管為維持其連續性，則需經由隧道頂版換邊設置，往往造成隧道頂部行車淨空不足的現象。



走道在曲線外側

走道在曲線內側



## 鄰近結構物

### ■ 潛盾隧道或鑽掘隧道（1/2）

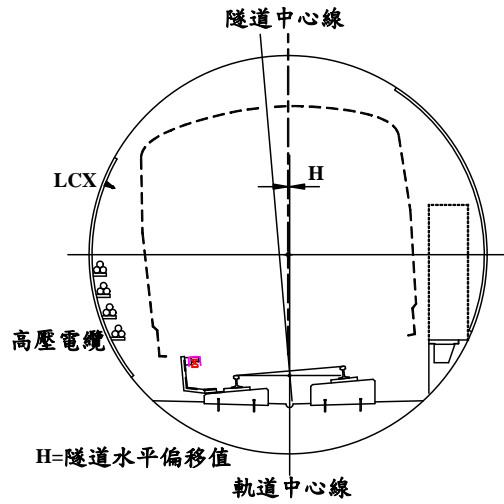
- 走道：走道包絡線的規定同明挖覆蓋隧道，惟走道包絡線的頂部因接近隧道圓心處，隧道寬度較大，故走道包絡線的寬度得由550mm減至480mm
- 供電標之高壓電纜及其支架：同明挖覆蓋隧道，此項因素將主控淨空檢核工作
- 洩漏同軸電纜：同明挖覆蓋隧道，此項因素將主控淨空檢核工作



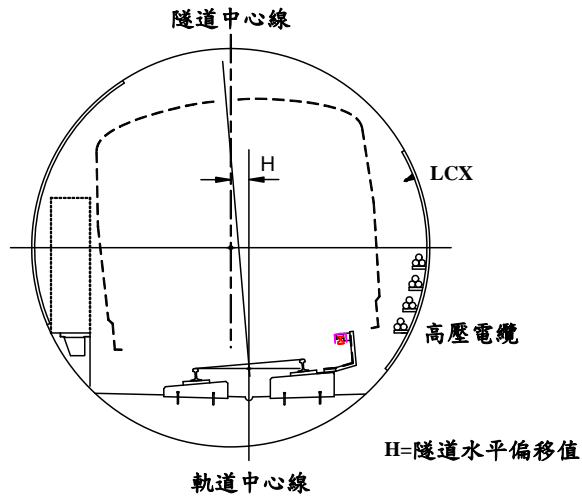
## 鄰近結構物

### ■ 潛盾隧道或鑽掘隧道 (2/2)

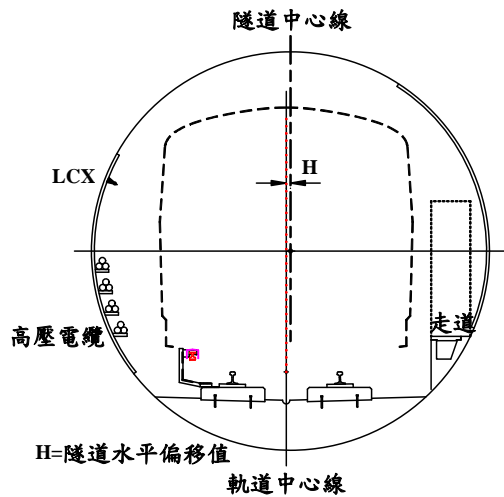
- 消防管線：消防管一般與走道同側，位置接近圓心的高度，除每隔50公尺的消防管接頭將侵入走道包絡線外，其對行車淨空並無影響
- 系統標設備：如供電標緊急跳脫箱（ETS），每隔100公尺設置一只，除安裝位置將侵入走道包絡線外，其對行車淨空並無影響



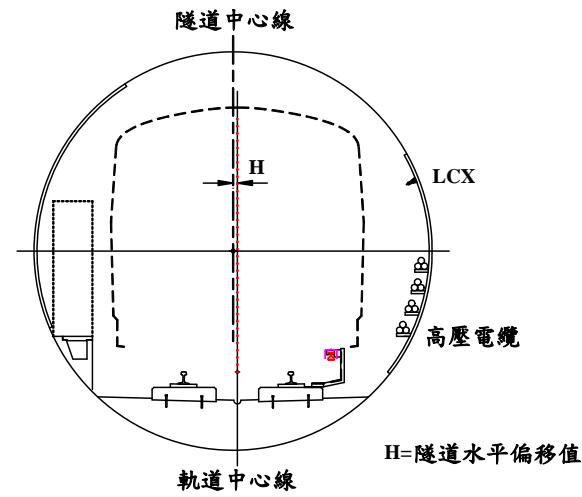
走道在曲線外側



走道在曲線內側



直線段





# 淨空值

- 設計階段的淨空規定
  - 隧道段之水平淨空
  - 站體內之水平淨距
  - 垂直淨空
- 施工完成的淨空規定
  - 隧道段之水平淨空
  - 站體內之水平淨距
  - 垂直淨空
- 其它



# 設計階段的淨空規定 (1/3)

## 隧道段之水平淨空

鄰近結構	水平淨空 (mm)		備註
	明挖覆蓋 隧道	潛盾隧道	
結構牆	250	100	
任何附著物、管線、電纜及其固定於結構牆上之支架	150	100	
走道之邊線	100	50	
旗竿、標竿及標誌邊緣	150	—	



# 設計階段的淨空規定 (2/3)

## 站體內之水平淨空

鄰近結構		水平淨距 (mm)	水平淨空 (mm)
公眾月台區	月台邊緣之裝修完成面	1675	
	月台對側之建築裝修面	2100	
非公眾月台	月台邊緣	1875	
	走道邊緣或安裝於走道上之欄杆下緣	—	100
	安裝於走道上之欄杆上方外緣	—	50
	月台對側結構牆或附著於牆上之物體	—	比照明挖隧道

附註：非公眾月台區之月台高度若降低時，則視為走道，否則仍稱為月台





## 設計階段的淨空規定 (3/3)

- 車輛淨空包絡線加該段特有之偏移及超高影響後，其至鄰近結構物的水平淨空需符合前述表中規定
- 垂直淨空：車輛淨空包絡線之頂部與鄰近結構面或附著物間，在設計時需保留約300mm之最小垂直淨距。由於車輛淨空包絡線業已將最小豎曲線半徑1500m的曲線偏移直接納入考量，故垂直淨空無需再考慮豎曲線的影響



# 施工完成的淨空規定 (1/3)

## 隧道段之水平淨空

鄰近結構	水平淨空 (mm)		備註
	明挖覆蓋 隧道	潛盾隧道	
結構牆	100	100	
任何附著物、管線、電纜及其固定於結構牆上之支架	100	100	
走道之邊線	50	50	
旗竿、標竿及標誌邊緣	50	—	



# 施工完成的淨空規定 (2/3)

## 站體內之水平淨空

鄰近結構		水平淨距 (mm)	水平淨空 (mm)
公眾月台區	月台邊緣之裝修完成面	1675	
	月台對側之建築裝修面	—	50
非公眾月台	月台邊緣	—	50
	走道邊緣或安裝於走道上之欄杆	—	50
	月台對側結構牆或附著於牆上之物體	—	比照明挖 隧道

附註：非公眾月台區之月台高度若降低時，則視為走道，否則仍稱為月台



## 施工完成的淨空規定 (3/3)

- 車輛淨空包絡線加該段特有之偏移及超高影響後，其至鄰近結構物的水平淨空需符合前述表中規定
- 垂直淨空：隧道頂部視同結構牆，一般係比照水平淨空100mm的規定辦理



## 其它 (1/3)

- 平面段及高架段的淨空，除非另有規定，否則係比照隧道段的淨空規定辦理
- 考慮鋼軌的磨耗，最大車輛包絡線之下方，除了導電軌支撐系統外，設計及安裝所有的構造、裝置及機電設備時，除特定之設施需求外，至少需低於鋼軌踏面下10mm



## 其它 (3/3)

- 直線段軌道中心線至月台邊緣之裝修完成面距離為1675mm，靜止時車廂半寬度為1600 mm，故電聯車停止時，車廂邊緣與月台裝修邊緣之間隙為75mm，此75mm是提供列車行駛時之晃動、電聯車之車輪磨耗及軌道養護公差所需



## 淨空檢核 (1/2)

- 淨空檢核可概分成以下四個階段
  - 階段A—土建設計階段由DDC執行淨空檢核並將結果表示在相關設計圖上
  - 階段B—土建軌床完成後由土建廠商執行竣工測量
  - 階段C—軌道廠商進場施作前檢核土建廠商所完成之軌床，以確認淨空符合規定
  - 階段D—系統完工後，由軌道廠商以淨空檢查車確認沿線結構體未侵入行車空間範圍



## 淨空檢核 (2/2)

- 淨空檢核方法
  - 座標平移旋轉計算
  - AutoCAD圖上作業
  - 查表