



# 軌 道 工 程

朱 旭

2012年2月18日



# 課程大綱

## 第一章 軌道概論

第一節	軌道的定義
第二節	軌道的特性
第三節	軌道的分類



航空運輸



三度空間

公路運輸



二度空間

軌道運輸



一度空間

(更平穩、更快速、更安全、載更多)



没有軌道??



車輛只能在凹凸不平路面行駛



跑不快!

載不多!



# 何謂軌道運輸？

鐵道 + 火車 = 傳統軌道運輸系統

傳統軌道運輸系統

+

無鐵軌導引運輸系統



現代軌道運輸系統



# 軌道運輸發展及興衰 (1/4)

## ■ 軌道運輸起源

□ 16世紀—礦場及挖石場

## ■ 軌道運輸發展

□ 18世紀末—馬拉公車行駛在鐵製軌道上

□ 19世紀初—蒸汽機發明後逐漸演進成為軌道雛形



# 軌道運輸發展及興衰 (2/4)

## ■ 軌道運輸發展

- 19世紀中至20世紀初一各地風起雲湧，人類進入鐵道運輸新時代。
- 二次大戰後—汽車工業發展迅速，各國大量興建公路系統（尤其高速公路），公路運輸日漸抬頭。即至20世紀中葉航空運輸推波助瀾，鐵路運輸逐漸式微，跌入谷底，淪為夕陽產業。



# 軌道運輸發展及興衰 (3/4)

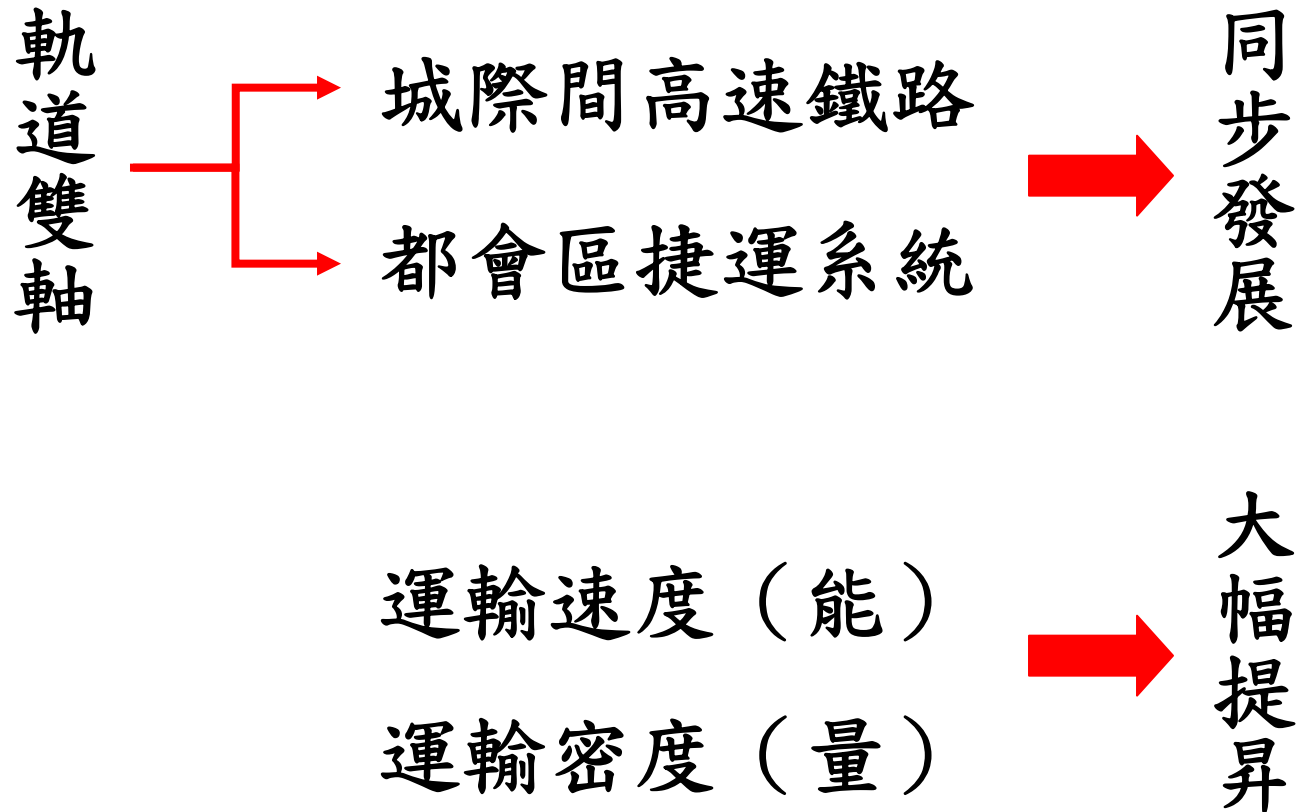
## ■ 軌道運輸發展

□ 1970年代二次以阿戰爭引發能源危機及1980年後全球暖化及環境保護問題廣受關注，最具環保優勢的軌道運輸東山再起，引領風騷，軌道工程技術一日千里。





# 軌道運輸發展及興衰 (4/4)





# 世界各國鐵路通車年代

國別	通車年代	國別	通車年代
英國	1825	瑞士	1844
美國	1830	西班牙	1848
法國	1832	巴西	1851
比利時	1835	印度	1853
德國	1835	澳大利亞	1854
加拿大	1836	埃及	1855
俄國	1837	日本	1872
奧地利	1838	中國	1881
荷蘭	1839	臺灣	1891
義大利	1839		

摘錄自黃民仁編著，《新世紀鐵路工程學—基礎篇》



# 列車速度紀錄

年月	國別	車種	速度 (km/hr)
1893 年	美國	蒸汽機車	180
1936 年	德國	蒸汽機車	200.4
1938 年 07 月	英國	蒸汽機車	201
1938 年 07 月	義大利	電車	201
1939 年 06 月	德國	氣電車	215
1955 年 03 月	法國	電氣機車	331
1960 年 11 月	日本	電車 (窄軌)	175
1963 年 03 月	日本	電車 (標準軌)	256
1964 年	日本	東海道新幹線	210
1981 年 10 月	法國	TGV-PSE	267
1990 年	法國	TGV-A	300
1990 年 05 月	法國	TGV-A 試驗	515.3
2003 年 12 月	日本	磁浮	581
2007 年 04 月	法國	TGV-V150	574.8

摘錄自黃民仁編著，《新世紀鐵路工程學—基礎篇》



# 課程大綱

## 第一章 軌道概論

### 第一節 軌道的定義

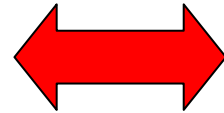
### 第二節 軌道的特性

### 第三節 軌道的分類



# 中、英文名辭比較

鐵路 台  
鐵道 日、中  
軌道  
行駛路面  
軌道運輸系統



Railway 英  
Railroad 美  
Rail  
Permanent Way  
Trackwork  
Track  
Running Surface



“鐵道”比“鐵路”涵蓋意義廣

“Railway”比“Railroad”更常使用

“軌道”比“鐵道”涵意更加廣泛、  
適用性更大



大英百科全書

Encyclopædia Britannica

■ 鐵路railroad

□ Mode of land transportation in which flange-wheeled vehicles move over two parallel steel rails or tracks, drawn by a locomotive or propelled by self-contained motors.

□ 陸上運輸手段，其中裝有凸緣輪的車輛，由機車牽引或自備動力，在兩根平行的鋼軌上行駛。



# 維基百科 Wikipedia

- **Rail transport** is the transport of passengers and goods by means of wheeled vehicles specially designed to run along railways or railroads.
- **鐵路運輸** 是一種陸上運輸方式，以機車牽引列車在鐵路或鐵道上行走。





# 維基百科 Wikipedia

- **Rail transport** is part of the logistics chain, which facilitates the international trading and economic growth in most countries.
- **廣義的鐵路**運輸尚包括磁浮列車、纜車、索道（或膠輪行駛路面）等非鋼輪行進的方式，或稱軌道運輸。



# 維基百科 Wikipedia

- The **permanent way** means the physical elements of the railway line itself: generally the pairs of rails typically laid on sleepers embedded in ballast, intended to carry the ordinary trains of a railway.



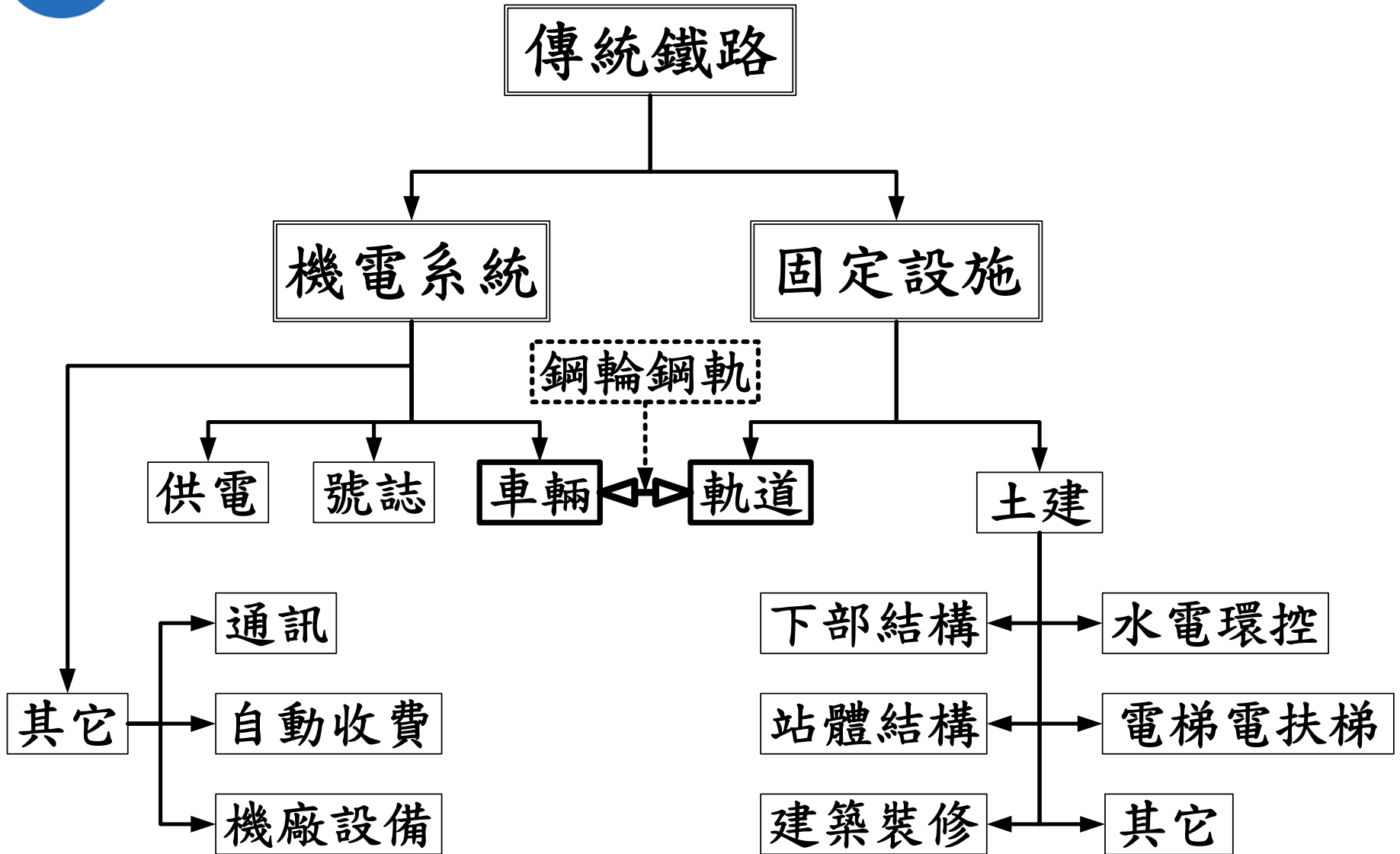
- 狹義的鐵路是在一定用地上施築路線，以動力運輸車輛，運輸旅客及貨物的陸上交通工具。
- 廣義的鐵路則泛指鋪設誘導路(導引路)以行駛陸上交通工具者。
- 軌道指路基上面的道碴、枕木、鋼軌及其附屬設備等。

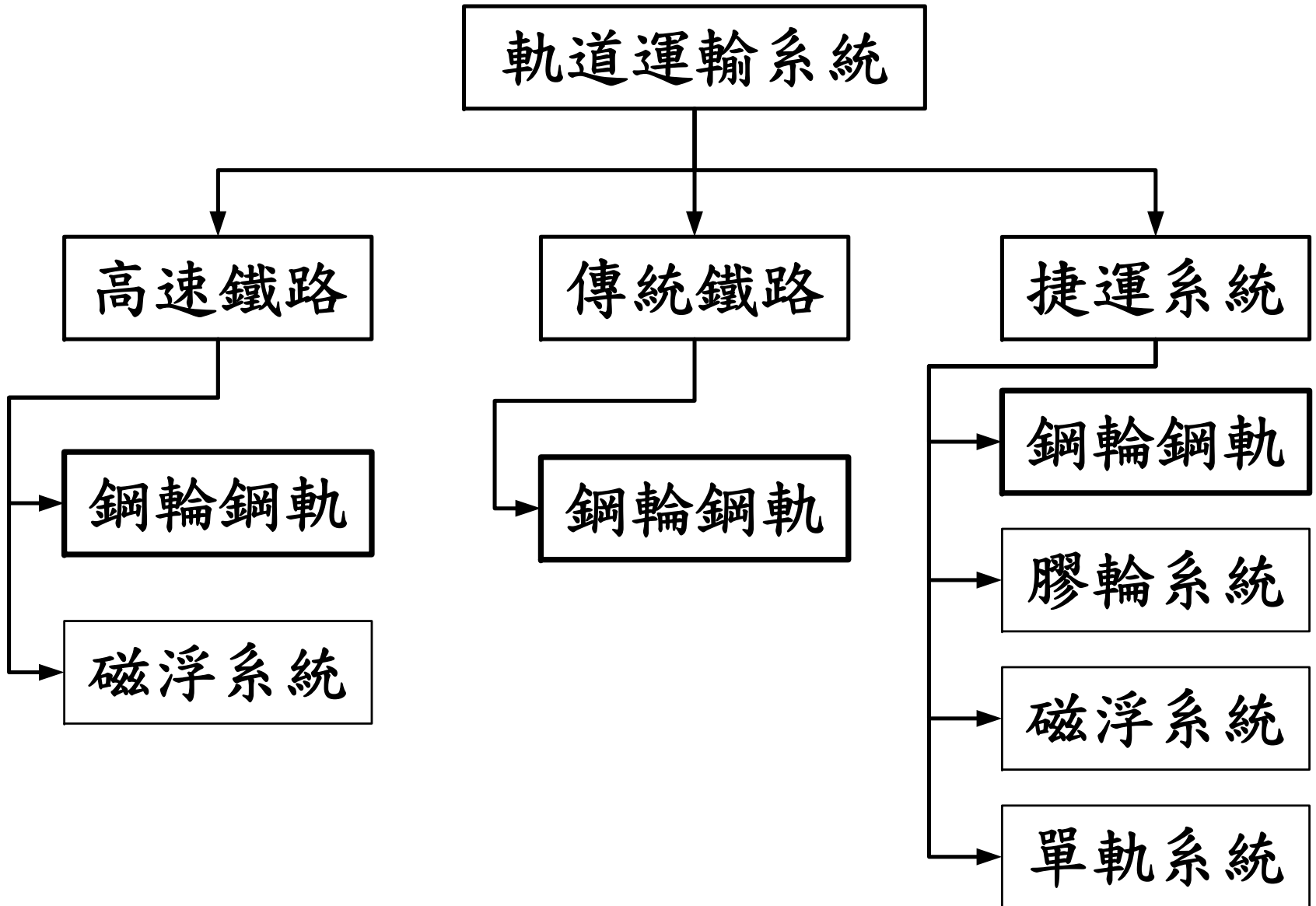
(摘錄自黃民仁編著，《鐵路工程學》)



- 鐵路泛指行經特定路線，並以特定形式組成導引路徑，以一節或數節車輛運輸乘客、貨物的陸上交通工具。
- 運輸系統中具有導引列車行進及承載列車荷重的路徑結構，稱之為軌道。
- 軌道廣義而言，針對所有具導引運具行駛於特定路徑者，其涵蓋鋼軌、鋼輪系統、膠輪、混凝土路面系統、磁浮導向進系統等各種系統。
- 軌道狹義而言，僅針對具導引鋼輪列車行駛於鋼軌上的系統。

(摘錄自鄭國雄、張思編著，《軌道工程—高鐵、捷運、輕軌、傳統鐵路》)







## 何謂軌道？

- 狹義：局限在傳統鋼輪鋼軌項下之軌道，諸如鋼軌、特殊軌、扣件、道床、軌道附品及雜項材料等。
- 廣義：擴及至軌道運輸系統之範圍

後續課程除另有說明者外，一般係指『狹義軌道』即  
**Permanent Way or Trackwork**



# 課程大綱

## 第一章 軌道概論

第一節 軌道的定義

第二節 軌道的特性

第三節 軌道的分類





# 軌道的特性

- 承載並傳導車輪行駛衍生之各項負荷
- 導引並限制車輛在固定路徑上行駛
- 配合車輪運行特性而設計非一成不變
- 運量大、速度快、舒適度高
- 班距短、準點率高、安全性高
- 高自動化、低污染、省能源
- 初期成本高





# 課程大綱

## 第一章 軌道概論

第一節 軌道的定義

第二節 軌道的特性

第三節 軌道的分類



# 廣義軌道的分類方式

- 依動力種類
- 依結構
- 依目的
- 依車輛牽引方法
- 依營運權歸屬
- 依行車速率
- 依路權型式
- 依路線規格
- 依車輛與軌道之界面行為
- 依車輛與軌道之相對位置
- 依運量
- 依軌距大小



■ 依動力種類而分：

- 人推鐵路 ( Hand Tramway )
- 馬曳鐵路 ( Horse Tramway )
- 蒸氣鐵路 ( Steam Railway )
- 內燃機鐵路 ( Diesel or Gasoline Railway )
- 電力鐵路 ( Electrical Railway )
- 磁浮系統 ( Maglev System )

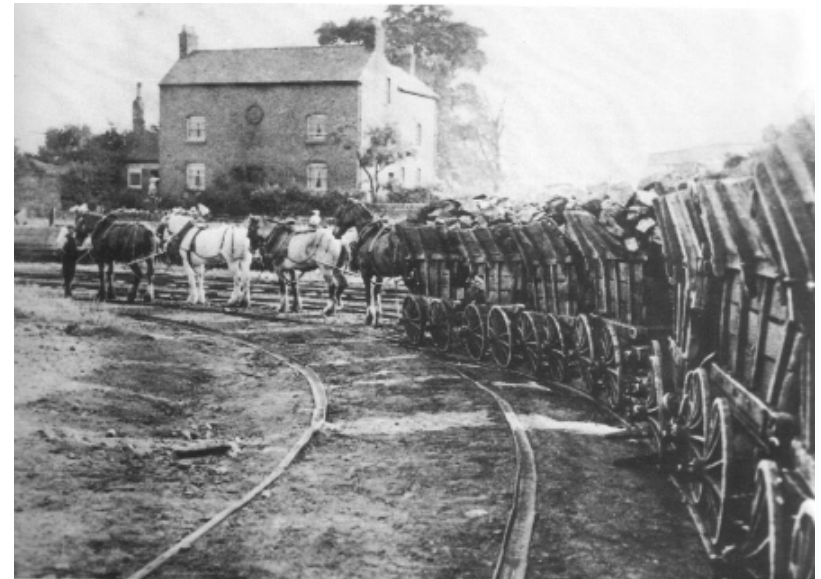


# 人推鐵路



維基百科

# 馬曳鐵路

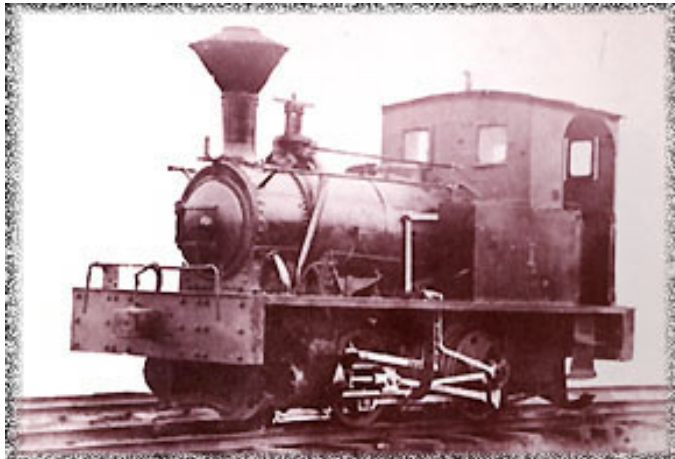


維基百科





## 蒸氣鐵路



型 式：第一號騰雲號  
車輪配置：0-4-0  
機車總重：16 tons  
牽引力：2,300 kg  
製造廠商：德國 HOHENZOLLERN  
製造年份：1887

鐵路博物館

## 內燃機鐵路



型 式：R20型柴電機車  
最高車速：100 公里/小時  
馬 力：1425 HP  
機車總重：78 噸  
製造廠商：美國 EMD  
製造年份：1960

鐵路博物館



# 電力鐵路



臺鐵自強號電聯車  
最高車速：120 公里/小時  
製造廠商：英國GEC製  
製造年份：1979

街貓的鐵道網站



臺北捷運電聯車  
最高車速：80公里/小時  
製造廠商：德國西門子  
製造年份：1998

街貓的鐵道網站



# 磁浮系統



德國磁浮系統Transrapid



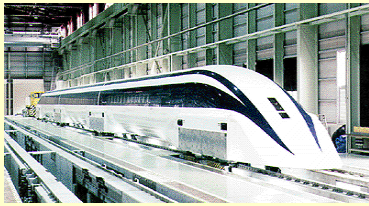


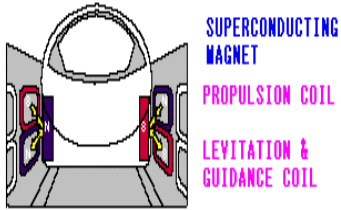
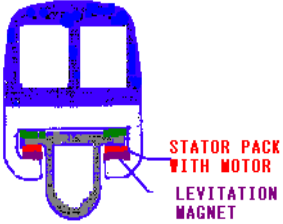
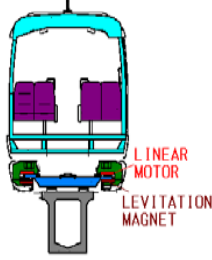
上海磁浮系統

維基百科



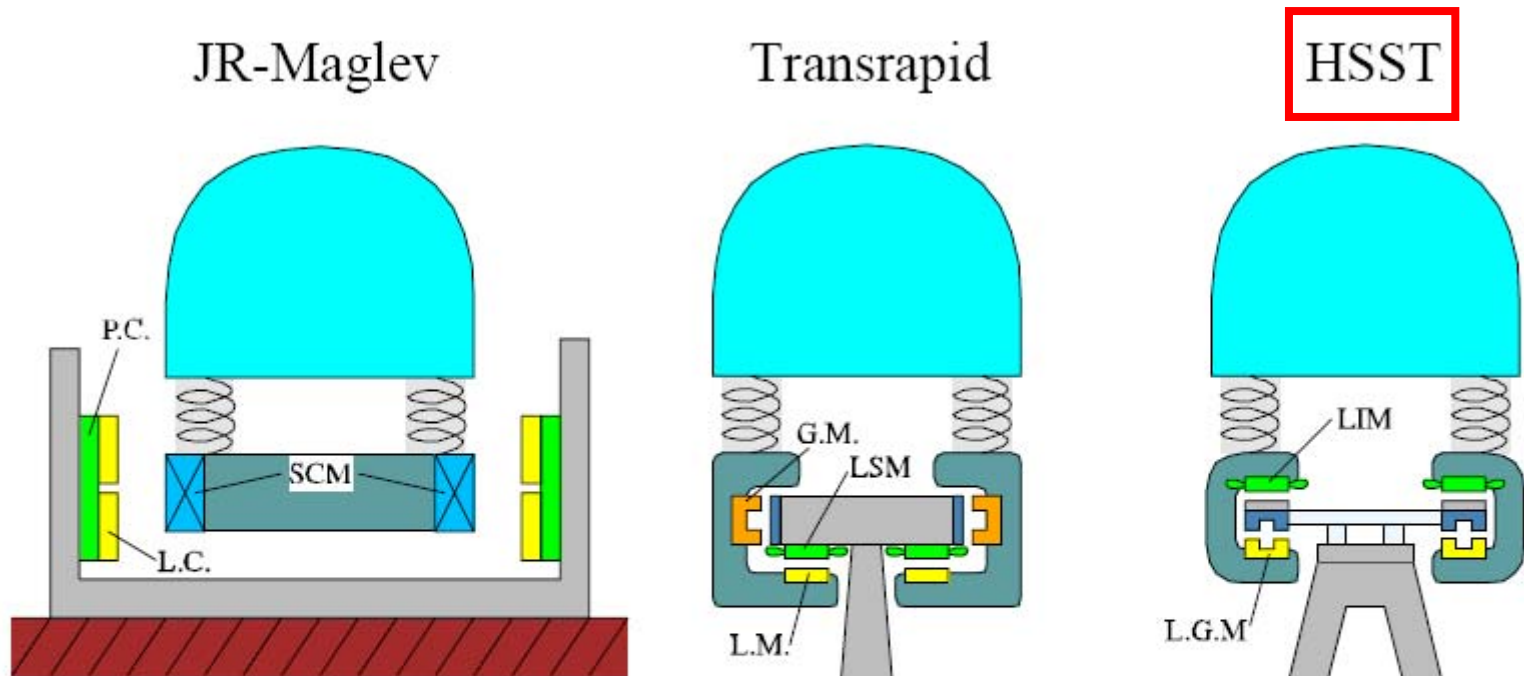


# 世界磁浮系統特性比較一覽

Name	JR MLX 01	TRANSRAPID	HSST-100L
COUNTRY	JAPAN	GERMANY	JAPAN
			
Levitation (懸浮系統技術)	Electro Dynamic (Repulsive) (EDS)	Electro Magnetic (Attractive) (EMS)	Electro Magnetic (Attractive) (EMS)
Propulsion (推進系統技術)	LSM (Long Stator)	LSM (Long Stator)	LIM (Short Stator)
	 <p>SUPERCONDUCTING MAGNET PROPULSION COIL LEVITATION &amp; GUIDANCE COIL</p>	 <p>STATOR PACK WITH MOTOR LEVITATION MAGNET</p>	 <p>LINEAR MOTOR LEVITATION MAGNET</p>
Speed Range	500km/h	500 km/h	100 km/h



# 世界磁浮系統特性比較一覽



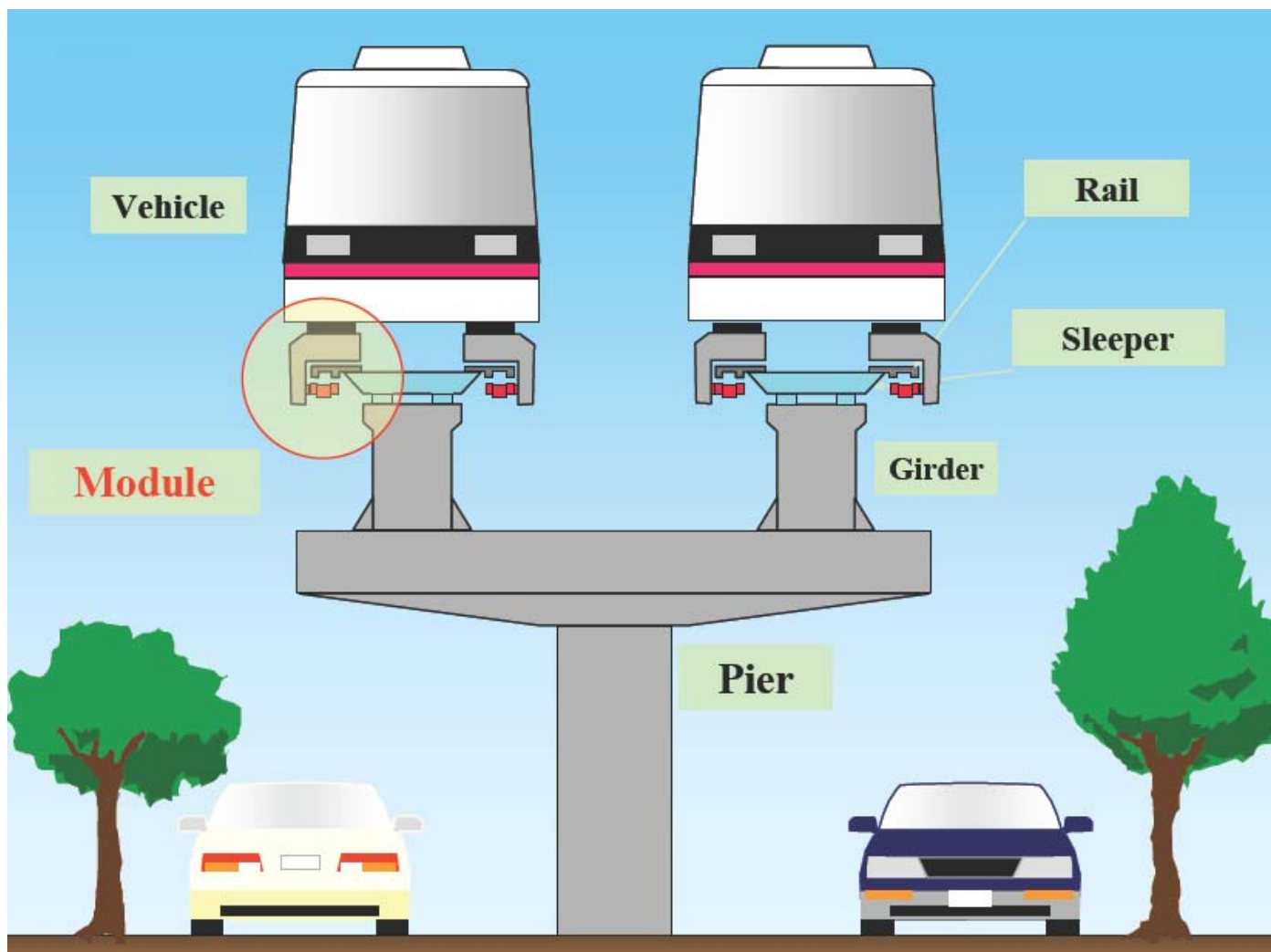
P.C.: Propulsion Coil    G.M.: Guide Magnet  
L.C.: Levitation Coil    L.M.: Lift Magnet  
SCM: Superconducting Magnet  
LSM: Linear Synchronous Motor  
LIM: Linear Induction Motor  
L.G.M.: Lift and Guide Magnet

**HSST ( High Speed Surface Transport )**

資料來源：伊藤忠商事株式會社2004/06/24簡報資料

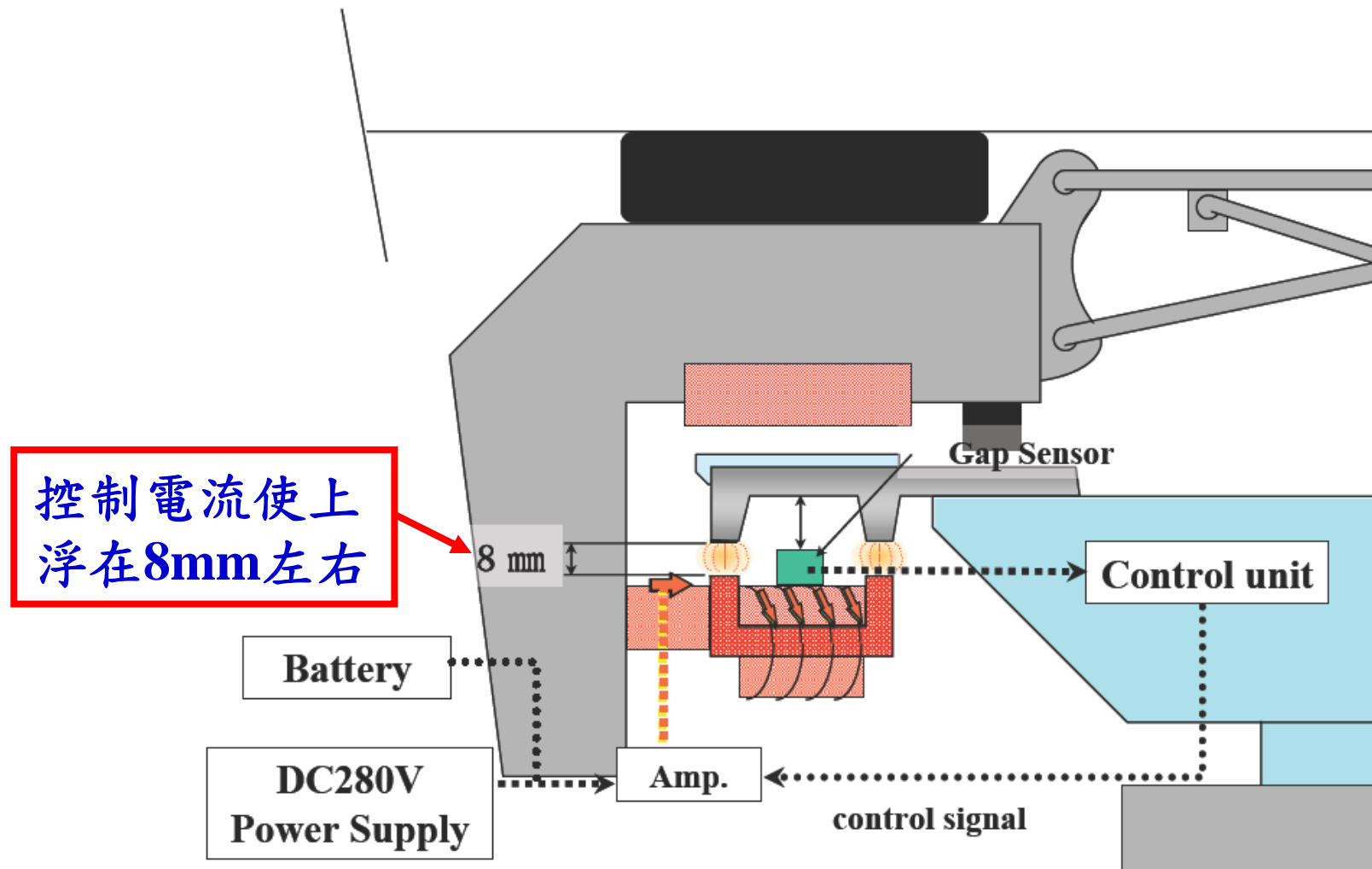


# HSST上浮原理 (1/2)





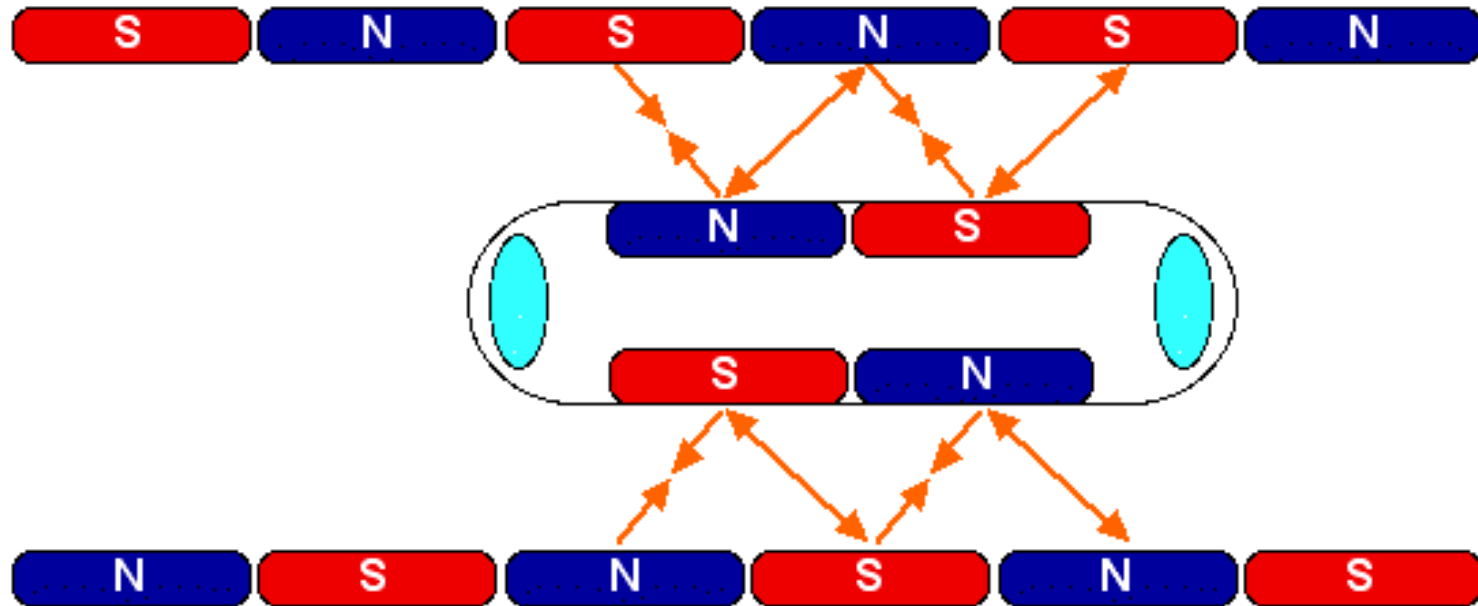
# HSST上浮原理 (2/2)





# 磁浮系統推進原理

- 「磁石相吸相斥之物理原理」 + 「通電原則」





# HSST

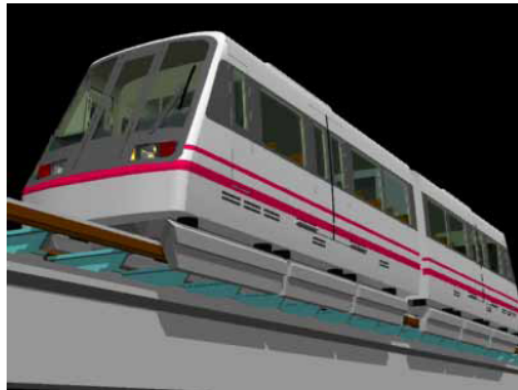
## HSST-100L Vehicle

- Size (L x W x H)  
14.4 x 2.6 x 3.2m
- Weight (Empty-Full)  
17t/car – 25t/car
- Passenger Capacity  
110 people/car



## HSST-100S Vehicle

- Size (L x W x H)  
8.5 x 2.6 x 3.4m
- Weight (Empty-Full)  
11t/car – 15t/car
- Passenger Capacity  
67 people/car





# HSST

## STANDARD SPECIFICATIONS

Type of HSST	HSST-100L	HSST-100S
<b>Guideway</b>		
Max. Gradient	7%	7%
Min. Horizontal Curve Radius	50m	25m
Min. Vertical Curve Radius	1500 m	700 m
Max. Superelevation	8 degree	8 degree
<b>Vehicle Performance</b>		
Max. Speed	100km/h	100km/h
Max. Initial Acceleration	4.0km/h/s	4.5km/h/s
Max. Deceleration/Service Brake	4.0km/h/s	4.5km/h/s
/ Emergency Brake	4.5km/h/s	5.3km/h/s
<b>Vehicle Dimensions</b>		
Length (End Car)	14.4m	8.5m
Length (Mid Car)	13.5m	8.3m
Width	2.6m	2.6m
Height	3.4m	3.4m
Empty Weight/car	17,000kg	10,000kg
Max. Loaded Weight/car	28,000kg	15,000kg
<b>Passenger Capacity</b>		
Density of Standing Passenger:	0.3 m <sup>2</sup> /person//0.14 m <sup>2</sup> /person	
4cars train	302//488	194//290
6cars train	466//746	302//450



# 日本名古屋（愛知縣） 東部丘陵線（Linimo）HSST

區間	名古屋市名東區藤丘～豐田市八草町
總長	約8.9km（運營區間）
車站	9站（設月台門）
構造	雙線、高架（其中藤丘站到花水木街站1公里左右為地下，採雙圓潛盾方式施作）
驅動方式	常電導吸引型磁懸浮、線性感應馬達推進方式
最高速度	時速100km
營運日期	2005年3月6日
營運時間	AM 5:30～PM 11:30





# 日本名古屋（愛知縣） 東部丘陵線（Linimo）HSST



列車外觀



# 日本名古屋（愛知縣） 東部丘陵線（Linimo）HSST



列車內部構造



# 日本名古屋（愛知縣） 東部丘陵線（Linimo）HSST



列車前端有駕駛座（右側）





# 日本名古屋（愛知縣） 東部丘陵線（Linimo）HSST



軌道與車站一景



# 日本名古屋（愛知縣） 東部丘陵線（Linimo）HSST



機廠行控中心



■ 依結構而分：

□ 平面段 ( **At-grade** )

□ 高架段 ( **Elevated** )

□ 地下段 ( **Underground** )



# 平面段



臺北捷運淡水線平面段車站

# 高架段



臺北捷運淡水線高架段車站





# 地下段



臺北捷運板橋線板橋車站



高雄捷運潛盾隧道段





- 依車輛牽引方法而分：
  - 粘著式鐵路 ( **Adhesive Railway** )
  - 齒軌式鐵路 ( **Rack Railway** )
  - 索道鐵路 ( **Cable Railway** )
  - 非粘著式鐵路 ( **Unconventional Railway** )



# 粘著式鐵路



法國巴黎RER Line C



香港東鐵馬鞍線大圍站



# 齒軌式鐵路



**Mt. Washington Cog Railway,  
Opened in 1868**







# 索道鐵路 (1/5)



**Yakuri Cable Car Railway**

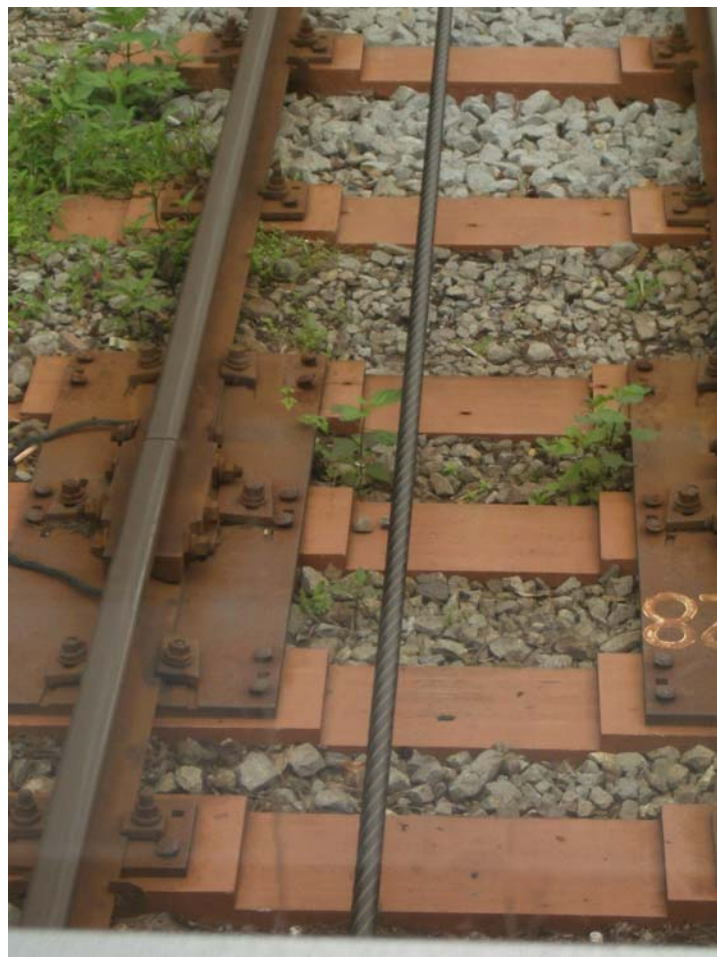


**香港太平山纜車**

節錄自 Wikimedia Commons



## 索道鐵路 (2/5)



日本箱根登山鐵道





# 索道鐵路 (3/5)



日本箱根登山鐵道



# 索道鐵路 (4/5)



中國大陸昆明



# 索道鐵路 (5/5)



中國大陸昆明





# 非粘著式鐵路



日本Vehicle (MLX01)  
Yamanashi (山梨) Maglev Test Line



日東部丘陵線磁浮系統 (HSST)



■ 依營運權歸屬而分：

- 公有鐵路
- 私有鐵路
- 官商合辦鐵路
- 國際共辦鐵路
- 租賃鐵路
- 專用鐵路

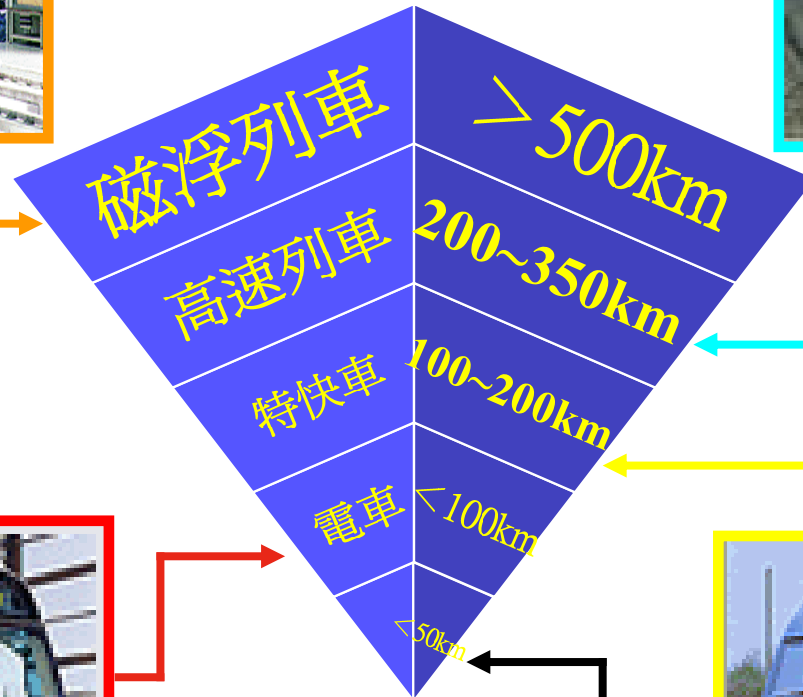


■ 依行車速率而分：

□ 高速鐵路 ( **High Speed Rail** )

□ 傳統鐵路 ( **Traditional Railway** )

□ 捷運系統 ( **Rapid Transit System** )



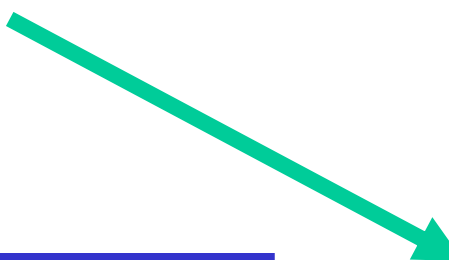


■ 依路權型式而分：

□ A型路權



□ B型路權



□ C型路權







服務水準

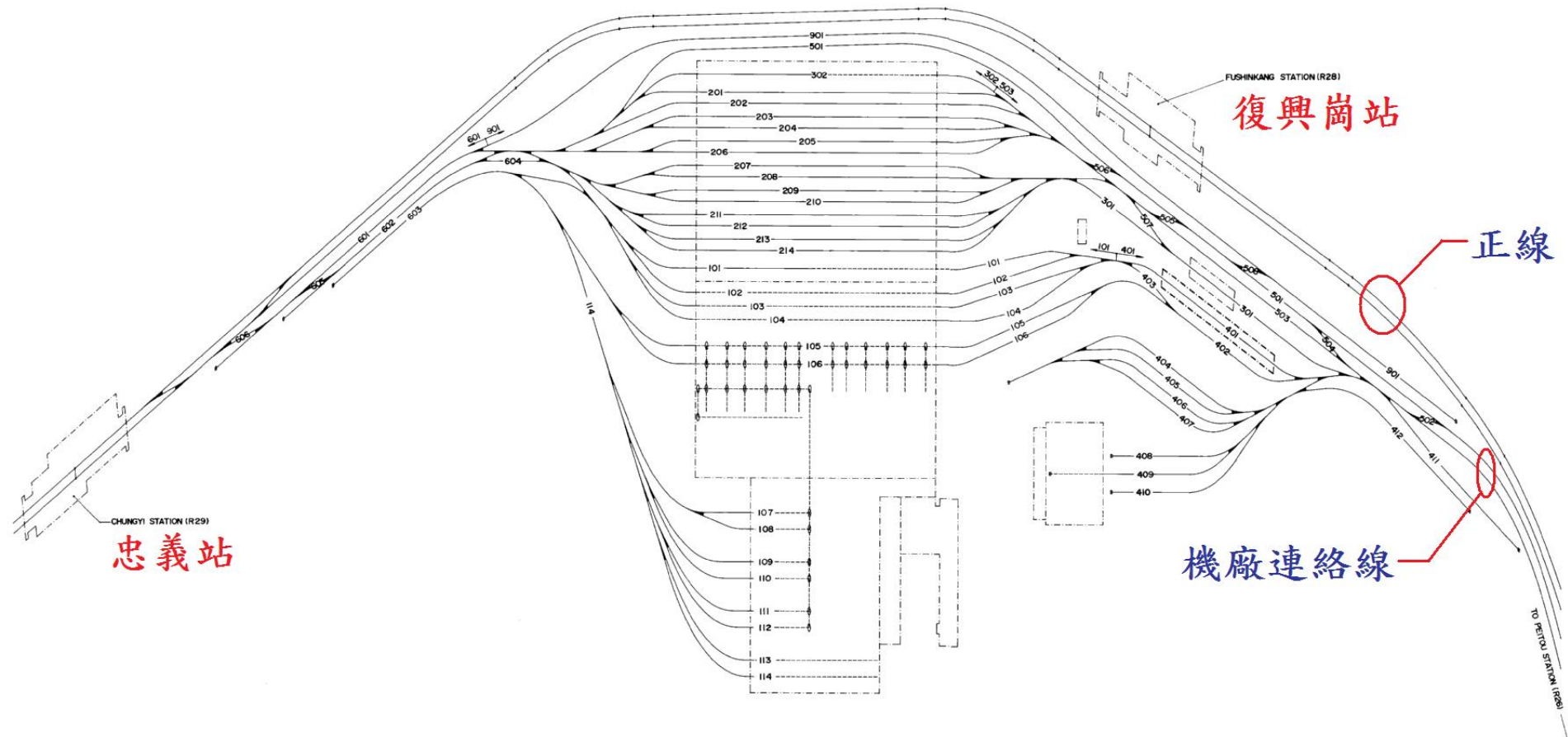
$A > B > C$

建設成本

$A > B > C$



- 依路線規格而分：
  - 正線 (Mainline)
  - 支線 (Branch Line)
  - 側線 (Siding)
  - 機廠連絡線 (Depot Connection)
  - 機廠軌道 (Depot Track)



# 淡水線北投機廠





南港軟體園區站

內湖機廠軌道

機廠連絡線

正線

南港展覽館站



■ 依目的而分：

- 城際鐵路 ( **Inter-city Railway** )
- 都市鐵路 ( **Urban Railway** )
- 開發鐵路 ( **Reclamation Railway** )
- 臨港鐵路 ( **Harbor Railway** )
- 登山鐵路 ( **Mountain Railway** )
- 礦山鐵路 ( **Mining Railway** )
- 森林鐵路 ( **Forest Railway** )
- 觀光鐵路 ( **Sightseeing Railway** )
- 軍用鐵路 ( **Military Railway** )



- 依車輛與軌道之界面行為而分：
  - 鋼輪鋼軌系統
  - 膠輪行駛路面系統
  - 單軌系統 (Monorails)
  - 磁浮系統





# 鋼輪鋼軌



捷克布拉格天使橋上之輕軌

# 膠輪行駛路面



法國巴黎#6地鐵



# 單軌系統

# 磁浮系統



**Sydney Monorail,  
Liverpool and Pitt Streets**

節錄自維基百科



**美國科羅拉多州城市磁浮系統**



- 依車輛與軌道之相對位置而分
  - 直立型 (Supported)
  - 跨座型 (Straddling)
  - 懸掛型 (Suspended)



# 直立型



臺北捷運淡水線

# 跨座型



日本東京單軌系統

<http://funini.com/train/tokyo/>





# 懸掛型



日本東京湘南單軌系統

<http://funini.com/train/tokyo/>



日本東京千葉單軌系統





■ 依運量而分：

□ 重運量 ( Mass Rapid Transit ,  
MRT )

□ 中運量 ( Medium Capacity Transit ,  
MCT )

□ 輕軌 ( Light Rail Transit , LRT )



■ 依軌距大小而分：

- 標準軌距 (Standard Gauge)：軌距等於1435mm (4 ft 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> in) (約佔60%)
- 寬軌距 (Broad gauge)：軌距大於1435mm，如俄羅斯1524mm (約佔19%)
- 窄軌距 (Narrow Gauge)：軌距小於1435mm，如臺鐵之1067mm (約佔21%)



# 軌距定義一覽表

定義	軌距	舉例
寬軌距	>1435 mm	俄羅斯、西班牙、澳洲、印度
標準軌距	1435 mm	歐洲鐵路網、臺北捷運、臺灣高鐵
窄軌距	1067 mm	臺鐵環島鐵路網、日本在來線
	1000 mm	瑞士 SBB 布里格線、泰國、越南
	800 mm	瑞士阿爾卑斯山登山鐵道 WAB 線
	762 mm	阿里山登山鐵道、糖業、鹽業、部份礦業鐵道
	610 mm	基隆煤礦鐵道
	545 mm	烏來觀光鐵道
	508 mm	部份礦業鐵道
	496 mm	新平溪煤礦電氣鐵道

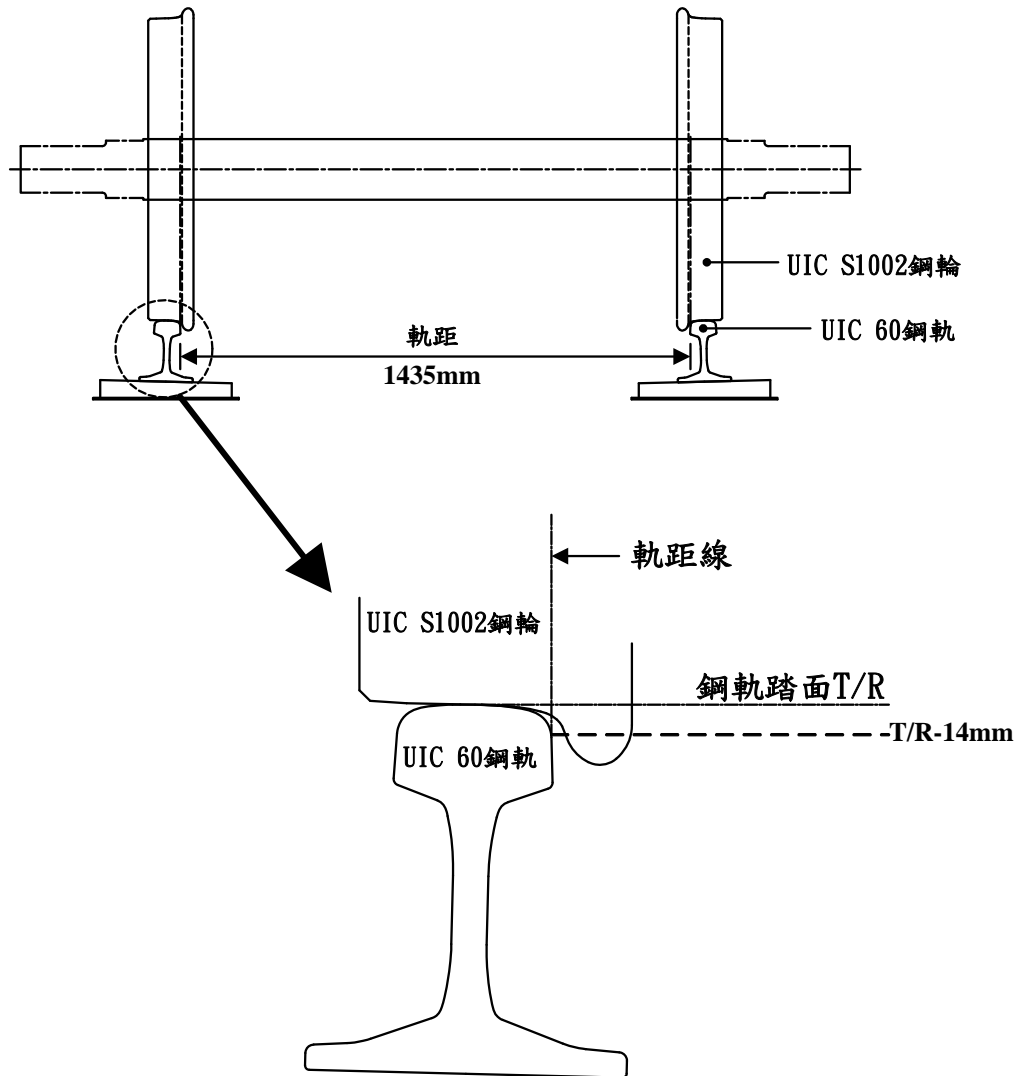


# 世界重要國家主表使用軌距一覽表

洲別	國別	主要使用軌距 (mm)	洲別	國別	主要使用軌距 (mm)	洲別	國別	主要使用軌距 (mm)
亞洲	臺灣	1067、1435	歐洲	波蘭	1435	美洲	巴西	1000、1600
	中國大陸	1435		德國	1435		秘魯	914、1435
	日本	1067、1435		芬蘭	1524		玻利維亞	1000
	韓國	1435		瑞典	1435		烏拉圭	1435
	菲律賓	1067		挪威	1435		阿根廷	1000、1676
	馬來西亞	1000		丹麥	1435		智利	1000、1676
	印尼	1067		英國	1435		澳洲	澳大利亞
	泰國	1000		愛爾蘭	1600	紐西蘭		1067
	印度	1000、1676		瑞士	1000、1435	非洲	埃及	1435
	巴基斯坦	1675		義大利	1435		突尼西亞	1000、1435
	伊朗	1435		西班牙	1674		阿爾巴尼亞	1000、1055、1435
	伊拉克	1000、1435		葡萄牙	1665		摩洛哥	1435
	以色列	1435		奧地利	1435		衣索匹亞	1000
	土耳其	1435		荷蘭	1435		蘇丹	1067
俄羅斯	1524	比利時	1435	奈及利亞	1067			
歐洲	羅馬尼亞	1435	法國	1435	肯亞		1000	
	保加利亞	1435	加拿大	1435	薩伊		1000、1067	
	匈牙利	1435	美國	1435	坦尚尼亞		1067	
	南斯拉夫	1435	墨西哥	1435	辛巴威		1067	
	希臘	1000、1435	古巴	1435	莫三比克		1067	
	捷克	1435	哥倫比亞	914	南非		1067	

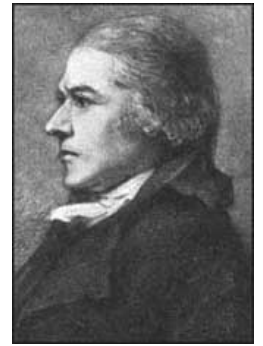


# 標準軌距 (1/5)





## 標準軌距 (2/5)



- 標準軌距1435mm（4英呎8.5英吋）並非是基於輪軌間的界面分析結果，而是迫於當時現況所沿襲至今。
- 早在鐵路仍屬馬車行駛的年代，英人 William Jessop（1745~1814）有鑑於當時所使用的L型軌條雖具有導引車輪的作用，但在兩股軌道交叉處，L型軌條（"L" shaped rail）製造上有其困難度。





## 標準軌距 (3/5)

- 1789年William Jessop建議使用平頭軌條 (Edge Rail)，同時將導引輪子的功能由軌條移到輪子本身，也就是在輪子外緣加裝導輪 (Guiding Wheel)。
- 因當時導輪與輪軸的結合強度不足，當車子行駛在小半徑曲線段時，常有脫軌現象，故Jessop將外側導輪移至輪子內緣，隨後並將輪子與導輪一體鑄造成型，此種鋼輪型式一直沿用至今。



## 標準軌距 (4/5)

- Jessop在輪軌間的改進過程中，正值其在設計建造Loughborough到Nanponton的鐵路，當時是規劃使用外側導輪，導輪內緣間的距離為5英呎，惟在建造期間變更為行駛內側導輪的馬車，因部分軌道已完成，為遷就於現況，內側導輪的外緣間的距離需為5英呎扣除兩軌條的頭部寬度，而為沿用至今的標準軌距4英呎8.5吋（1435mm）。



## 標準軌距 (5/5)

- 標準軌距 1435mm 是一般值 (Nominal)，各捷運系統基於其本身特性偶爾會作調整，例如：英國、香港的標準軌距為1432mm。
- 由於軌道安裝上難免需有施工許可差，臺北高運量捷運規定的軌距許可差為  $\pm 1.5\text{mm}$ 。



# 寬、窄軌距優缺點探討 (1/2)

## ■ 寬軌距的優點

- 可以行駛高速列車
- 可增大鐵路運輸能力
- 增加列車穩定性
- 車輛寬度可以加寬
- 可使用較大輪徑以減輕長途車輪磨耗



# 寬、窄軌距優缺點探討 (2/2)

## ■ 窄軌距的優點

- 鋪設較為經濟
- 曲線半徑可以很小
- 車廂輕而耗能小
- 路線的坡度可以加大

■ 寬軌距的優點 = 窄軌距的缺點

■ 窄軌距的優點 = 寬軌距的缺點





# 軌道車輛分類 (1/2)

- **動力車 (Powered Car)**
  - 蒸汽機車 (Steam Locomotive)
  - 電力機車 (Electric Locomotive)
  - 內燃機車 (Internal Combustion Engine Locomotive)
- **非動力車 (Trailer)**
  - 客車 (Passenger Car)
  - 客貨兩用車 (Passenger v.s. Freight Car)
  - 貨車 (Freight Car)



## 軌道車輛分類 (2/2)

### ■ 車組 (Multiple Unit)

□ 電聯車 (Electric Multiple Unit, EMU)

➤ 動力分散式

➤ 動力集中式

□ 柴聯車 (Diesel Multiple Unit, DMU)

□ 動力客車 (Railcar)



