

鐵路系統分類

railroad system classification (1-3)

- 鐵路系統分類是複雜的，係由基礎建設(軌道及車站)及許多車廂(rolling stock)所組成
- 鐵路公司分類依據規模(總收入及主線長度)及營運主要目的
- 基礎建設的功能分類:主要線(primary lines)、次要線(secondary lines)、支線(branch lines)、側線(sidings)及車場軌(yard trackage)
- 軌道分類依據軌道幾何允許行駛速率及號誌容量，六級的速率為175kph(110mph)，一級的速率為24kph(15mph)
- 美國依收入分類(revenue classification)
 - 1級鐵路收入為255.9百萬以上
 - 2級鐵路收入為20.5~255.8百萬
 - 3級鐵路收入為20.5百萬以下

鐵路等級分類

- 依工程及營運條件分類
 - 幹線、支線及區間路之別
 - 台鐵分為特甲級線、甲級線、乙級線
- 英國鐵路等級分類

等級	速率	交通量 (每年噸)		等級	速率	交通量 (每年噸)	
A	160~ 200 KPH	1	Less 2,000,000噸	C	80 ~ 119 KPH	1	Less 2,000,000噸
		2	2,000,000~5,000,000噸			2	2,000,000~5,000,000噸
		3	5,000,000~12,000,000噸			3	5,000,000~12,000,000噸
		4	Over 12,000,000噸			4	Over 12,000,000噸
B	120 ~ 159 KPH	1	Less 2,000,000噸	D	80 KPH	1	Less 2,000,000噸
		2	2,000,000~5,000,000噸			2	2,000,000~5,000,000噸
		3	5,000,000~12,000,000噸			3	5,000,000~12,000,000噸
		4	Over 12,000,000噸			4	Over 12,000,000噸

鐵路機車 railroad locomotives

- 鐵路列車運轉特性與移動的動力供應型式有關，動力供應者為動力單元(power units)或機車(locomotive)
- 美國鐵路最常使用的動力單元
 - 機車→電力(electric)、柴油電力(diesel-electric)、蒸氣(steam)及其他型式，包括氣渦輪電力(gas turbine electric)及柴油水利(diesel hydraulic)
 - 軌道車(railcars)→電力(electric)、柴油電力(diesel-electric)及氣電力(gas electric)
- 不同機車的動力有些不一樣，動力為作功之比例(功率)，以瓦特(watts)為單位
- 美國動力單位為馬力(horsepower)，每單位為33,000ft-lb/min或745.7watts
- 電力機車動力評估為動輪外緣可用的動力，柴油或氣渦輪電力機車動力評估為渦輪或柴油引擎的輸出
- 牽引效果(tractive effort)係動輪外緣切線力，單位為牛頓(newtons);軌道動力係指動輪外緣可用的動力

電力機車 electric locomotives (4-22)

- 電力列車系統的動力佈設有兩種型式:直流(direct current-DC)及交流(alternating current-AC)系統，可採單一機車或一個控制器多機車
- 四種電力馬達牽引
 - Direct current power supply with DC traction motors
 - Single phase AC power supply with single phase AC traction motors
 - Single phase AC power supply, intermediate rectifier(整流), and DC traction motors
 - Single phase AC power supplying an intermediate DC generator driving a DC traction motors
- 電力機車及車廂的電力馬達由集電靴(collector shoes)接觸導電軌(conductor rail)或架空電線(overhead wire)供電
 - 第三軌(Third rail)供電以750V或較小電壓供應DC馬達，大多用於垂直淨空受限路線
 - 架空電線供電為DC及AC，低DC電壓為市區輕軌系統，現代鐵路為25,000V的AC轉換為低電壓DC馬達及整流機車

機車及動力車



電力機車



蒸氣機車



電力軌道車



柴油電力機車

柴油電力機車

DIESEL ELECTRIC LOCOMOTIVE (4-23)

- 電力機車的供電須仰賴電力線，易受自然環境及集電靴與電力線接觸狀況而定
- 柴油電力機車本身為電力廠，係由一具DC發電機組成，現在柴油電力機車採AC及整流產生DC
- 大多數柴油電力機車採DC牽引馬達，最新柴油電力機車採AC牽引馬達，其電氣控制單位改為輸入DC變壓為AC，動力設計較傳統DC牽引馬達簡單
- 柴油電力機車具有自備發電廠及牽引馬達，可以獨自運作或單元控制操作多個機車
- 氣渦輪電力為氣渦輪引擎推動DC或AC發電機，可以獨自運作

柴油及氣渦輪電力機車



柴油電力機車



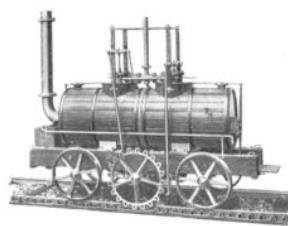
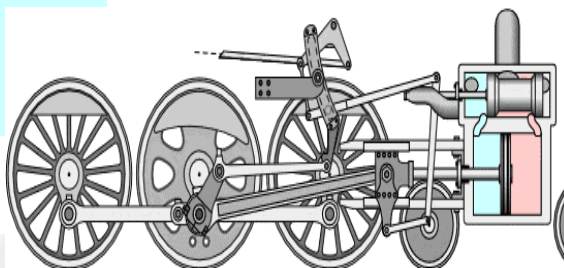
氣渦輪電力機車



蒸氣機車

steam locomotive (4-24)

- 在資本缺乏的國家使用
- 觀光列車使用



台鐵的機車及動力車

- **電力機車(Electric Locomotive)**從電車線輸入電力經機車上主變壓器傳輸至牽引馬達產生牽引動力之機車。
- **推拉式電力機車(Push-Pull Electric Locomotive)**列車前後端各由一電力機車連掛，列車運轉可由每一機車駕駛室作出力與煞車等作用之重連控制，其使用之電力機車稱之。
- **柴電機車(Diesel Electric Locomotive)**以柴油引擎帶動主發電機發電，產生電力經動力控制設備之控制傳輸至牽引馬達產生牽引動力之機車。
- **柴液機車(Diesel Hydraulic Locomotive)**以柴油引擎產生動力經液體變速機和逆轉機驅動車輪產生牽引動力機車。
- **電聯車(Electric Multiple Unit)**以三至五輛編成固定組合車輛，從電車線輸入電力經變壓器傳輸至牽引馬達產生牽引動力之車組，可多組聯掛成一列車運轉。
- **動力車(Motive Power Car)**車上備有動力設備，可產生驅動力牽引車輛或單獨行走者。如機車、柴油動力車、電聯車、柴聯車等稱之。
- **柴油客車(Diesel Rail Car)**裝有柴油引擎為動力，以驅動車輪行走之客車。

台鐵對號列車



EMU300自強號東部幹線



E200型電力機車牽引的莒光號列車



E1000型推拉式電車



電力機車牽引的復興號列車

柴油電力機車及客車



DRC1000型小柴客



DR3100型柴聯車



560次柴快



柴客2510型



R100型柴電機車牽引的莒光

貨運列車



R44單機運轉煤列車



S402 機車單機迴送



E313牽引穀物列車



R42牽引短小編組

列車阻力

train resistance (4-25)

- 列車移動的總阻力由切線阻力及附帶阻力
 - 切線阻力(tangent resistance)包括速率、橫斷面積、軸重、行程型式、風、溫度及軌道狀況
 - 附帶阻力(incidental resistance)包括曲度、坡度及風
- 列車移動阻力經驗公式 $R = A + B + CDV^2$
 - R為列車阻力，A為依列車速率的滾動阻力，B列車輪對軌的磨擦、衝擊及滾輪磨擦係數，C為列車流線係數，D為列車空氣動力部分，V為列車速率
- Davis經驗公式 $R = 1.3 + \frac{20}{W} + 0.01V + \frac{KV^2}{WN}$
 - R為列車阻力(lb/ton)，W為軸重(tons)，N軸數，V速率(mph)，K空氣阻力係數(0.076為傳統設備、0.16為尾車為平車、0.0935為貨櫃車)
- 美國鐵路協會公式 $R = 1.3 + \frac{18}{W} + \frac{C_D \times a \times V^2}{WN}$
 - C_D 為車形或機車及列車的牽引係數，a為橫斷面積
- 坡度阻力(grade resistance)之每百分坡度為20lb/ton，曲線阻力(curve resistance)之每度為0.8lb/ton
- 列車總阻力=水平切線阻力+坡度阻力+曲線阻力

市區軌道捷運特性

Characteristics of urban rail transit (4-26)

- 市區軌道捷運車明顯不同於城際客運車的運轉特性，城際客運車的等速行駛須要維持一段時間，市區軌道捷運車在站間須要加速及減速
- 捷運車依據營運型式的選擇標準為
 - Maximum acceptable acceleration rates (2.41m/sec² (8ft/sec²)~1.52m/sec²(5ft/sec²))
 - Desired station spacing (市區470~800m、郊區1200~1500m)
 - Limit of speed capacity of train (80~96kph、50~60mph)
 - Desired overall line-haul travel speeds, including stops (34~46kph、20~30mph)
- 傳統軌道捷運車輛為雙軌，由第三軌供電，多數DC電壓為600V，由次電站經整流及傳遞

台北都會區捷運車輛



中運量列車為四個車廂



高運量列車為六個車廂



捷運車站間距 station spacing for transit

- 捷運列車最高速率為**96kph**，最大加減速率為**1.52m/sec²**
- 列車加速至最大速率及兩站間行駛之時間
 - 96kph=26.7m/sec，26.7/1.52=17.54sec，17.54X2=35.08sec
- 兩車站最小間距
$$D = \frac{1}{2} \times \text{加速} \times \text{時間}^2 = \frac{1}{2} \times 1.52 \times 17.6^2 = 235.4m$$
 - 車站間距為235.4x2=470.8m
- 兩車站間距增加為800m，將有330m行駛26.7m/sec，其行駛時間為330/26.7=12.4sec，則兩站間行駛時間為35.08+12.4=47.48sec
- 列車平均行駛速率
 - 最小間距為470/35.08=13.40m/sec=48.2kph，如加上停車的15sec為470/50.08=9.38m/sec=33.8kph
 - 800m間距為800/47.48=16.85m/sec=60.7kph，如加上停車的15sec為800/62.48=12.8m/sec=46.1kph

捷運車站規劃原則

- 捷運車站選擇已發展地區和有發展潛力地區，輔助集散服務系統良好者為優先。
- 車站佈設的原則在不妨害路網運輸機能，儘量利用公共設施用地或採聯合開發方式取得，以避免徵收和拆遷上的困擾。
- 車站設在鄰近於重要公共場所，兩站間距離
 - 為維持約34公里／小時的平均營運速度，且其最大速度為80公里／小時，則站距以 800公尺以上為佳。
 - 市中心區的車站間距維持在 800~1000公尺之間，
 - 郊區車站之站距在1000~2000公尺間，
 - 考量捷運系統可及性，站間距離最好不超過2400公尺。

捷運系統技術及型式

TYPE AND TECHNOLOGY OF TRANSIT SYSTEM

- 鐵路捷運（Heavy Rail Rapid Transit）：鋼輪鋼軌傳統鐵路，其車廂容量甚大，可使用較多的車輛連掛（如六輛或八輛編組成一列車），列車密度高時，每小時單方向運量可達二萬至五萬人以上。
- 輕軌捷運（Light Rail Rapid Transit）：鋼輪鋼軌軌式傳統鐵路，車廂容量較小，聯掛輛數較少，每小時單方向最高運量約在二萬人。
- 膠輪捷運（Rubber-tyred Rapid Transit）：與鐵路捷運類似，但車輛使用橡膠輪胎，或與傳統鋼輪並用，聯掛輛數多且列車密度高時，每小時單向最高運量與鐵路捷運無異。
- 單軌捷運（Monorail Rapid Transit）：包括跨坐式及懸掛式兩種型態，聯掛車輛數通常在六輛以內，車輛用橡膠輪，每小時單方向運量約為二萬人。
- 自動導引捷運（Automated Guided Transit）：車輛用橡膠輪，導軌結構為混凝土或鋼製，是以自動化導引的捷運系統，每小時單方向運量最高約自一萬五千人至二萬人。
- 磁浮捷運（Magnetic Levitation Transit）：利用磁力感應原理及線性馬達而沒有車輪的捷運車輛，每小時單方向運量，約可達二萬人。

台北都會區捷運車輛載客數

- 載客情況分為全部座位(AW1)、座位加立位為單位面積4人(AW2)及座位加立位為單位面積6人以上(AW3)
- 路線單方向每小時運客量依據列車班次及載客情況分析之

捷運系統		座位 人數	立位人數		
			單位面積4人	單位面積6人以上	
高運量	單車廂	60	190	310	
	三節車廂	180	570	930	
	六節車廂	360	1140	1860	
中運量	木柵線	單車廂	24	60	90
		二節車廂	48	120	180
		四節車廂	96	240	360
	內湖線	單車廂	20	87	122
		二節車廂	40	174	244
		四節車廂	80	348	488

捷運系統路線運量分析

- 高運量
 - 每列兩組共六節車廂，每小時單向運量在20,000人次至60,000人次。
 - 高運量列車載客，在AW2時1500人，在AW3時2200人
 - 單向運量在60,000人次，在AW2時車距為90SEC(1.5MIN)，在AW3時車距為128SEC(2.14MIN)
- 中運量
 - 每列兩組共四節車廂，採無人駕駛之自動導引系統，每小時單向運量在10,000人次至25,000人次。
 - 中運量列車載客，在AW2時428人，在AW3時568人
 - 單向運量在10,000人次，在AW2時車距為150SEC(2.5MIN)，在AW3時車距為200SEC(3.33MIN)

鐵路號誌系統

railroad signal system (5-22)

- 由安全觀點看鐵路營運，在單軌完成高營運速率與高貨物及乘客服務，需要有高度的安全
- 客運列車可行駛160kph，具有明確的安全記錄，係靠詳細的號誌及控制系統
- 列車班表秩序系統(timetable/train order system)已行駛多年，由直接列車控制取代，列車調度員配與列車組員使用雙向廣播聯絡
- 高客運路線採兩種型式號誌包括臂式號誌(semaphore)及光號號誌(light signal)
- 美國鐵路協會公佈營運規則(operation rules)、區間號誌規則(block signal rules)及連鎖規則(interlocking rules)等標準碼
- 情況號誌(aspect signal)係光或臂式板位置及相關配置
- 指示號誌(indications signal)係情況號誌依據規則所呈現的訊息

號誌系統及裝置

- 號誌系統具維護鐵路行車運轉順利及確保乘客與操作人員之安全的功能，是鐵路系統之視窗與神經中樞
- 此類系統可藉自動化精簡用人，減少人員不當操作，以提高列車行駛之效益。
- 鐵路行車為求安全，使用預定之形像、顏色及音響指示列車運行，表示設備狀態及相互傳達意志之設施謂之號誌裝置。
- 號誌(Signal)：依形色向列車或車輛指示運轉條件之設施。
- 號訊(Sign)：行車人員相互間依形色音傳達意志之設施。
- 標誌(Mark)：依形色表示設備狀態或性質之設施。

自動區間號誌

automatic block signaling (5-23)

- 雙軌路線控制列車追撞，單軌路線防止列車頭尾相撞，稱為自動區間號誌
- 利用軌道回路設置後續或對向列車的區隔空間，此區隔空間的控制係由列車所產生，軌道在縱向劃分小段成區間
- 區間號誌系統開始為手動，為降低人類失誤採用自動，提供高度保護措施，增加安全
- 號誌系統在同區間不能同時有兩列車存在可避免相撞，降低兩列車延遲、交會及通過在較短時間，增加路線容量
- 固定式區間：在同一個時間內只允許某一部列車行駛於此區間。
- 機動式區間：自動調度車距的列車向前「探看」是否有足夠之安全距離以便向前行駛，實際的安全距離係根據車速而定。

集中交通控制

centralized traffic control (5-24)

- 調度員利用集中交通控制(CTC)，在中心位置控制轉轍器或側線尾端的運轉
- 調度員利用顯示板的光點追蹤列車位置，在固定時間顯示後續情況，操作者由列車顯示位置獲得資訊
- 舊的CTC系統為單線連接控制板與轉轍器及號誌，由譯碼到後續碼傳播可以控制數百英哩鐵路系統
- 行車控制中心(CTC)之主要設施
 - 行車控制系統(Traffic Control System)、列車自動控制系統(Automatic Train Control System)、站場連鎖裝置(Interlocking System)、轉轍裝置(Switch Equipment)、道旁設備(Wayside Equipment)等。

鐵路營運控制系統 railroad operations control systems (5-25)

- 鐵路以電腦為基礎發展整體資訊及運轉系統，可以改善及監視車廂
- 運輸控制系統(TCS)對顧客提供可靠服務、增加運輸資源使用、降低營運成本、改善計算過程控制及支援業務正確、完整及即時資訊
- TCS car and train movement reporting
 - Interchange, status events, industry, train movement
- Customer service profile system, autobilling, car distribution system, car scheduling system, system-wide inventory tracking and car handling (SWITCH), inter-modal system, demurrage(誤點) on-line system, reclaims, administrative message switch
- 貨車辨識系統為自動車輛辨識(ACI)，最早由光掃描，現傳遞系統裝於車底由道旁設施感應

軌道與號誌系統

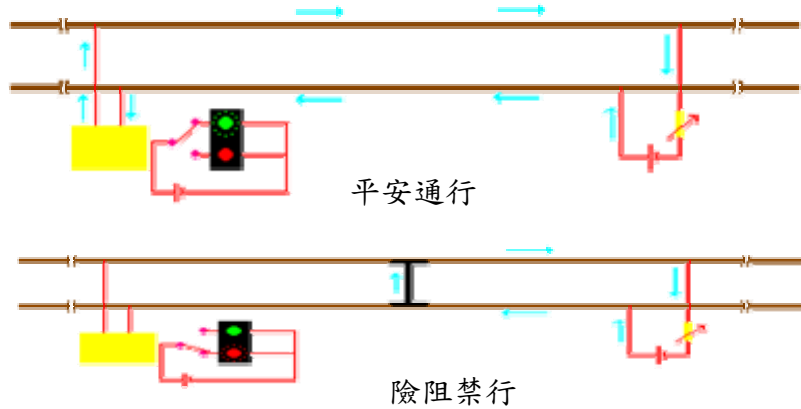
- 鐵路屬大運量及運送安全要求極高，於特定地點設置號誌系統提供行車的依據，可提昇列車運轉效率及達到安全的目的。

臂形號誌



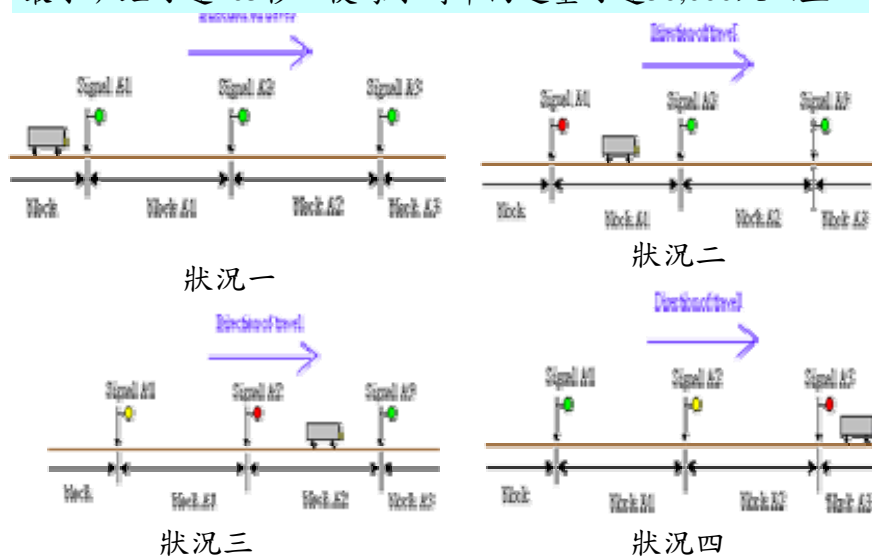
軌道電路

各閉塞區間以軌道絕緣接頭區隔，形成一獨立軌道電路，各區間的起始點皆設有號誌機(色燈式號誌)



軌道電路運作原理

最小班距可達105秒，使每小時單向運量可達50,000人以上



行車控制系統

- 列車自動控制系統(Automatic Train Control, ATC)具備監視、指揮、執行及回饋
- 列車自動控制系統架構下的三個子系統
 - 列車自動保護系統(Automatic Train Protection, ATP)監視軌道的狀況及列車速率，以保證列車在最安全的狀況行駛。
 - 列車自動操作系統(Automatic Train Operation, ATO)司機處理列車啟動之駕駛程序或完全無人操作。
 - 列車自動監督系統(Automatic Train Supervision, ATS)調度員對整個系統依時刻表或班距提供全盤控制。

列車自動停止系統 / 警示系統

- 號誌系統傳達列車運轉指令給駕駛員，倘若列車未依號誌機指令運行(可能為人為、天候、機器設備等因素)，**ATS/ATW**用來確保列車依照號誌系統指示行車。
- 地上設備會與相關號誌聯鎖，若列車未依照號誌機指示運行時，經過地上設備(地上感應器)，則車上設備(受信器)啟動列車剎車系統，使列車剎車停止的設備稱為**ATS**。
- 若列車未依照號誌機指示運行時，經過地上設備(地上感應器)，則車上設備(受信器)啟動列車駕駛室警鈴或警示燈，以提醒駕駛員狀況緊急，需立即採取因應動作(剎車、減速、停車)的設備稱為**ATW**。

聯鎖裝置及種類

- 號誌機與號誌機的聯鎖
 - 其目的在避免進路互相衝突的號誌燈同時顯示進行訊號，以及使訊號燈之間的操作上，具有連帶的關係與順序。
- 號誌機與轉轍器的聯鎖
 - 當號誌機顯示「進行」訊號前，需確保進路上各轉轍器已經扳於正確的開通方向，而尖軌亦已緊靠正軌，才能顯示進行訊號。
- 轉轍器與轉轍器的聯鎖
 - 當號誌機與轉轍器同時存在時，號誌機與轉轍器必然相互聯鎖牽制，但在某些區間路段未設號誌機，因為沒有號誌方面的聯鎖，為避免轉轍器和轉轍器間的開通方向出現矛盾，所以轉轍器間必須進行聯鎖，以維持安全。

鐵路號誌及標誌

