

現代運輸學

Contemporary
Transportation

三版 張有恆 著



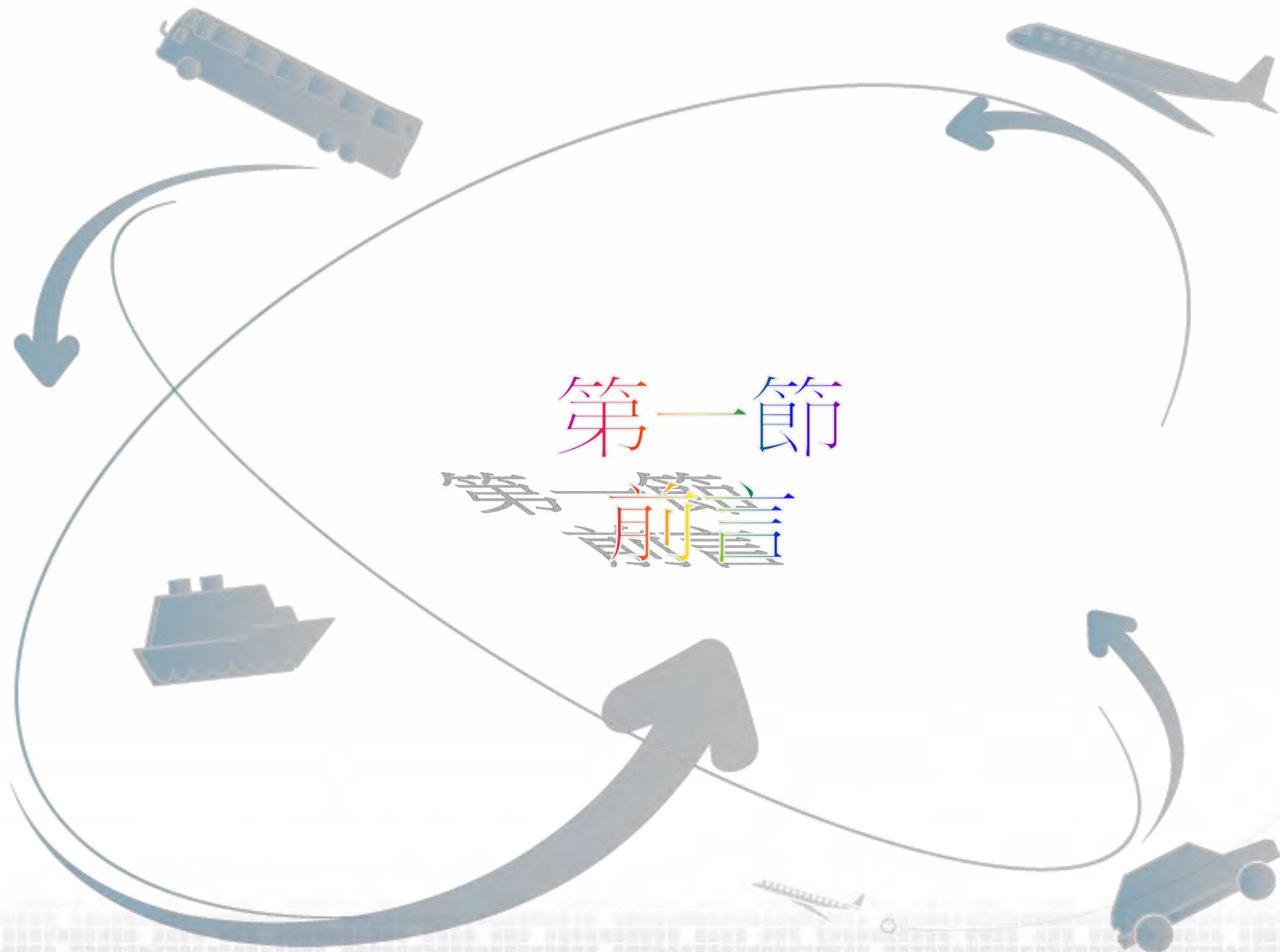
鐵路運輸之行車制度與運輸能力

前言

- 鐵路行車制度之發展過程與分類
- 列車自動控制系統的發展
- 鐵路之運輸能力與路線容量
- 結論與建議

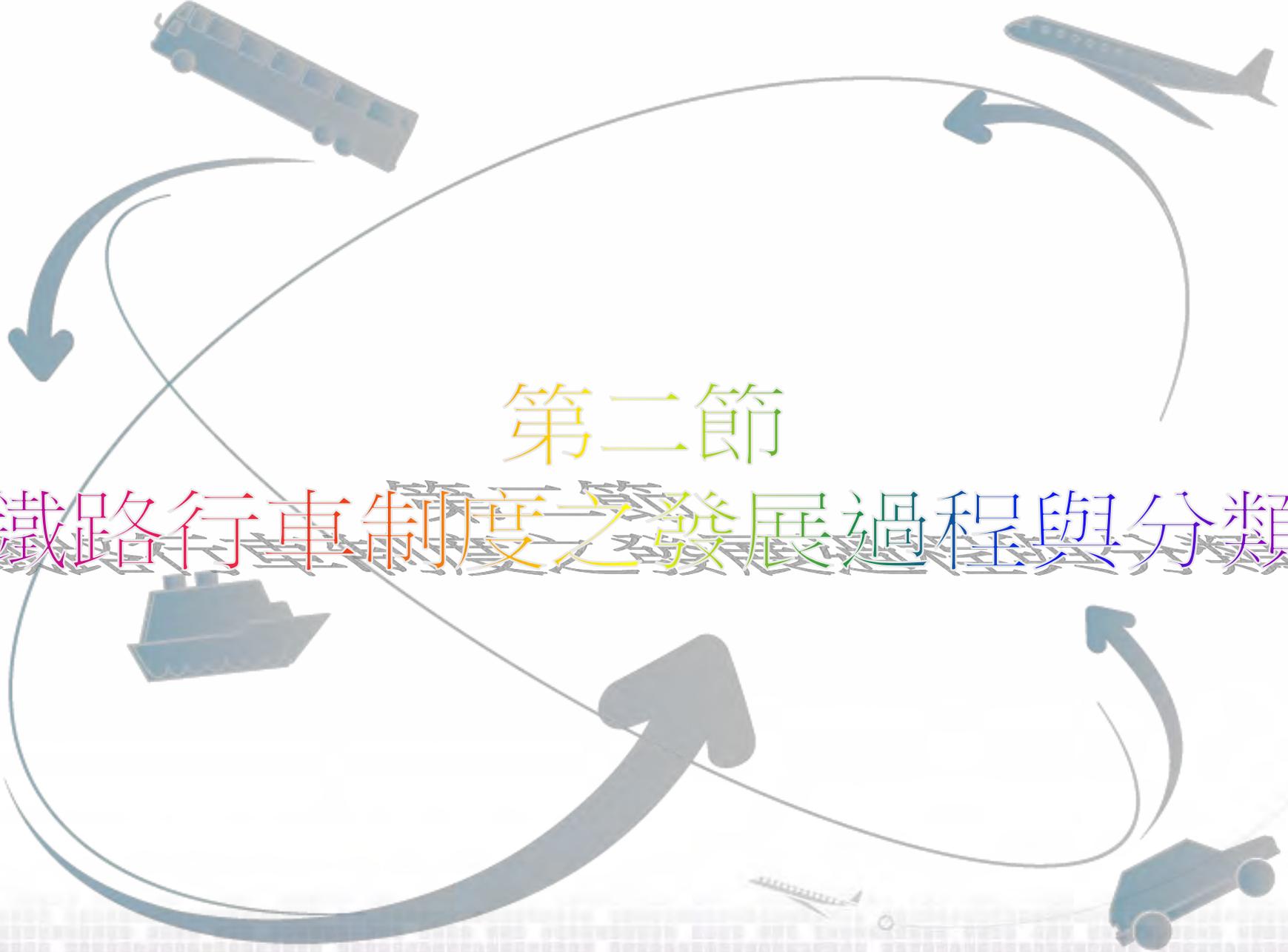
第一節

前言



前言

- 本章前半部將對於鐵路行車制度的發展沿革與列車自動控制系統加以介紹，後半部則將介紹鐵路之運輸能力及其容量之計算與影響因素。



第二節

鐵路行車制度之發展過程與分類

鐵路行車制度之發展過程與分類

鐵路之行車制度，猶如鐵路世界之法律，其發展過程說明如下：

人工嚮導階段

隔時法

隔地法

鐵路行車分類

- 嚮導閉塞行車制度
- 通訊區間閉塞行車制度
- 牌券閉塞行車制度
- 電氣路牌閉塞行車制度
- 無證閉塞行車制度
- 聯鎖閉塞制
- 自動閉塞行車制度
- 中央行車控制制度

人工嚮導階段

- 在西元1825年英國人史帝文生建造了世界上第一條公共服務鐵路時，由於當時鐵路上僅單獨行駛一部列車、車速不快，鐵路所負擔之任務極為單純，因此僅以人工騎馬，並手持紅旗於列車前方擔任嚮導任務；或在兩站間備嚮導員一人，列車由此唯一合法之嚮導員隨車嚮導，始能在兩站間行駛。

隔時法

- 所謂「隔時法」是依據事先排定的列車時刻表行駛，規定列車須按此時刻表行車。由於每班列車都必須嚴格遵守時間，以達到列車運轉順利，所以列車長與調度員都必須具備良好的判斷能力，以控制列車在一定時間內到達交會點，此種行車方法又稱為「行車命令」制。
- 此種方法易產生命令傳送上之人為錯誤，安全性較低，一般僅用於車次少，速度不快之鐵路。如，集集線為單一閉塞區間，一次只有一列車進出往返。

隔地法

- 「隔地法」是將整條鐵路線上劃分成若干個閉塞區間，在同一個時間中每一閉塞區間內只允許一部列車通過，以避免發生事故。
- 由於此一制度剛開始實施時，是以每兩個車站之間為一個單位的閉塞區間，所以此一行車制度又稱為「車站本位」制。此法安全性較高，因此世界各鐵路皆採用，台鐵亦然。

隔地法(區間閉塞制)

- 區間閉塞制又可分為**絕對區間閉塞** (absolute block system, ABS)和**權宜區間閉塞制** (permissive block system, PBS)。
- **絕對區間閉塞**：在區間內僅容許一列車行駛，其他列車絕對禁止進入，一般用於客運車之調度。
- **權宜區間閉塞**：當列車遇險阻號誌時可以略作小停，並可減速緩行，以便望見前行之列車時可以隨時停止，通常以貨運為主之鐵路較常使用。

鐵路行車制度發展過程



嚮導閉塞行車制度 (pilot block system)

- 1825年鐵路剛發展時的起步階段，列車行駛速度很慢，時速約僅25公里左右，而且僅以一部列車往來行駛於鐵軌上，因此列車的行駛只需注意排除路線上的障礙物以免發生危險，故列車前方常以騎手手持手旗做為列車嚮導，此乃是屬於「人工閉塞制」。

通訊區間閉塞行車制度 (communication block system)

- 隨著鐵路運輸需求增加，單線鐵路上必須雙向行駛列車才能提供足夠服務需求時，首先必須解決的是列車可能發生撞車危險。
- 因此各鐵路車站或區間之間乃以電話或電報交換彼此的行車訊息，此種行車制度稱為通訊區間閉塞制。但是此種行車方式常易發生人為上的疏忽與錯誤，而導致行車事故。此亦是屬於「人工閉塞制」之行車制度。

牌券閉塞行車制度 (staff and ticket block system)

- 由於通訊閉塞行車制度有上述之缺點，鐵路業者認為必須將行車命令予以具體化實施，才能使行車安全獲得充分的保障，因而發明了以一種牌券作為行車的許可證明，每一列車在開出站之前都必須先取得此一許可牌券，司機員若是沒有取得牌券就無法將列車開出，因此可以使行車安全獲得初步的保障，稱之為牌券閉塞行車制度。

電氣路牌閉塞行車制度 (electric tablet block system)

- 隨著科技的進步，逐漸發展成「電氣路牌閉塞器」，其使用方法是在兩站均裝設此一機器，若有一站欲開出列車時必須兩站相互配合按下路牌機，取得一枚路牌交予司機員將列車開出。
- 此種「電氣路牌閉塞」行車制度雖已經較前者進步，但其閉塞器之操作方法與兩站閉塞器內之路牌手續仍然相當繁雜，所以每日所能容許之列車行車密度僅能達到七十車次左右。
- 牌券閉塞與電氣路牌皆屬於「憑證閉塞制」行車制度。

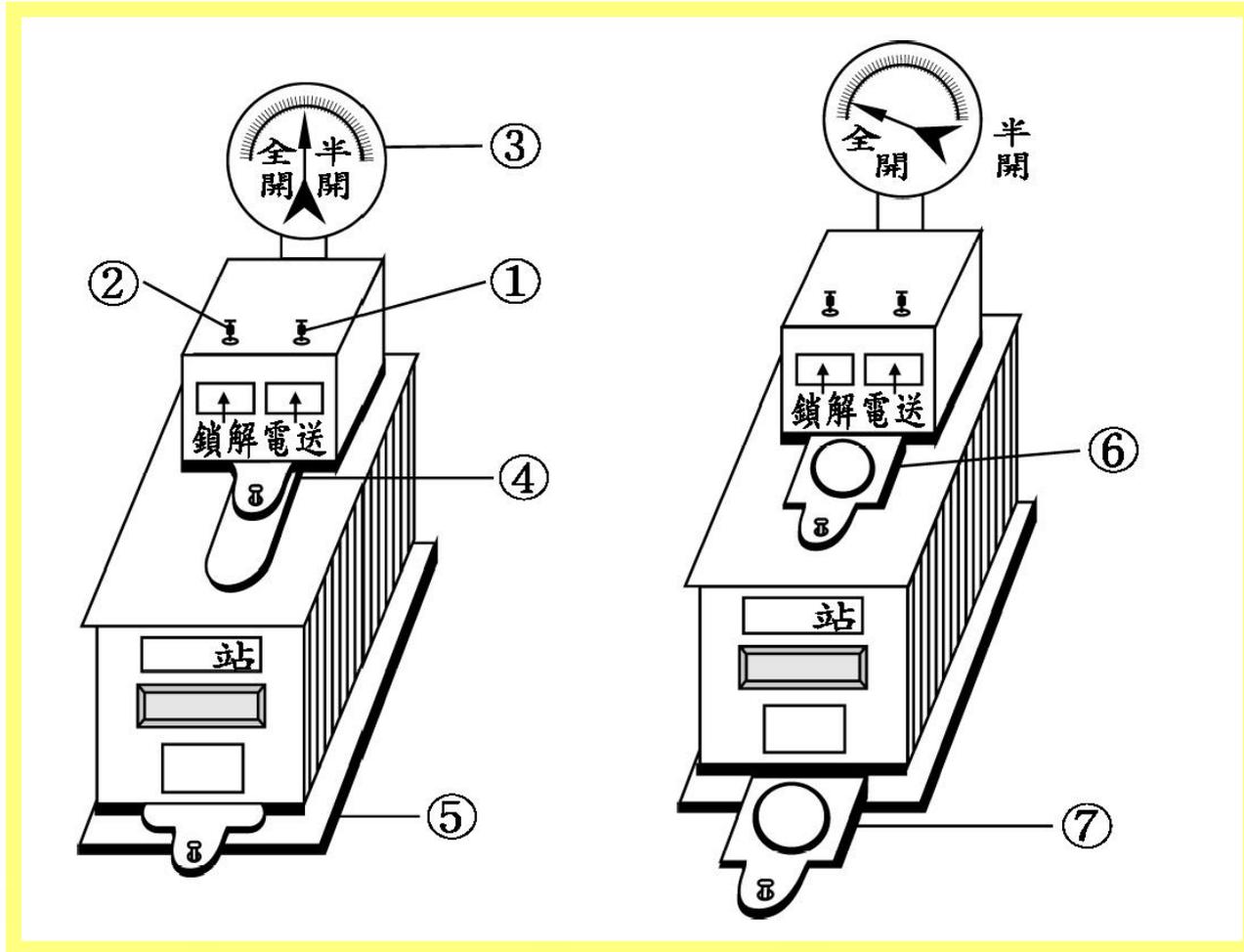


圖 5-2(a) 餅型電路牌閉塞器

無證閉塞行車制度 (tokenless block system)

- 此種行車制度是在相鄰兩站均設置簡易的聯動閉塞器，若有一站欲開出列車，必須先取得鄰站之同意並按下電鍵，使出發站之出發號誌燈顯示「平安」訊號，列車將到達站之出發號誌燈則顯示「險阻」，表示已經完成閉塞，允許列車行駛於此閉塞區間內。
- 此種行車制度已完全節省了人工傳遞路牌的手續，唯一缺點是仍需人工彼此擔任聯繫與按下聯動閉塞器的工作。

聯鎖閉塞制 (controlled manual block system)

- 兩站間之號誌同時受「電氣磁鎖」之控制，而此項電鎖號誌不受本站人員之控制，由前一站人員控制之。
- 某列車駛進甲站，甲站即通知乙站，若前次列車已駛出乙站，則乙站電氣開啟甲站之號誌柄，使甲站之號誌置於平安位置，於是列車通過甲站，甲站之號誌隨即歸於險阻位置。

自動閉塞行車制度 (automatic block system)

- 隨著列車行駛班次愈來愈繁密，人工協調與簡易聯動閉塞制已無法再適用，此時業者發明了「軌道電路」。
- 「軌道電路」係指利用軌道作為電氣回路，即選擇一適當長度之閉塞區間，將鋼軌之間用銅線連接使電流通暢而構成。一旦車輛行駛在設有軌道電路之閉塞區間時，利用電流走「最短路徑」之原理，則鋼軌將與列車鋼輪形成一回路，並配合「繼電器」之作用使號誌的燈光變換，完成號誌機的顯示。

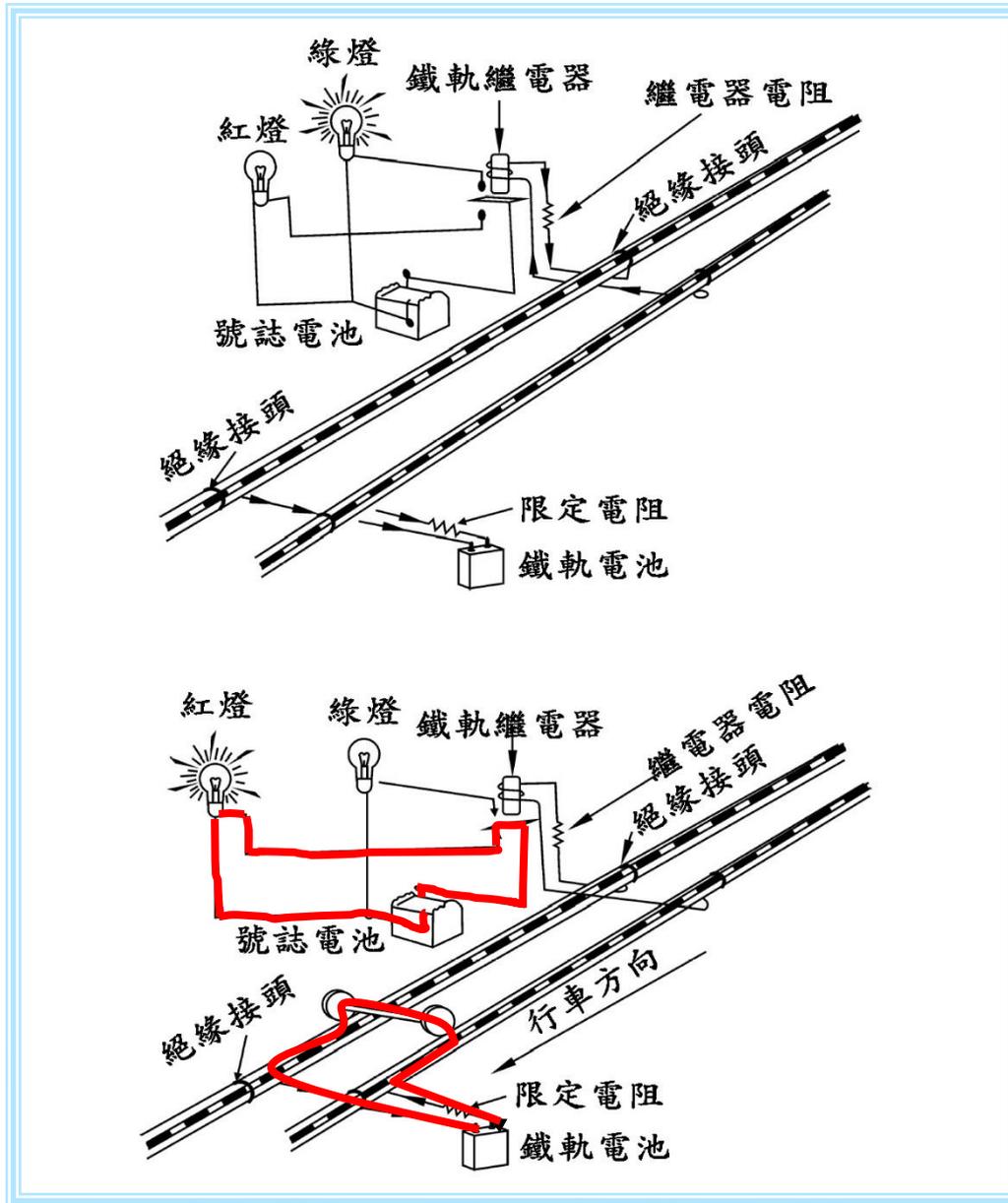


圖 5-3 自動區間閉塞之軌道電路(Track Circuit)示意圖

中央行車控制制度 (Centralized Traffic Control, CTC)

- 轉轍器與相關號誌之間互相聯動之「連鎖」，並將同時控制轉轍器、號誌與路線調度的工作統一集中於控制中心辦理，而發展出最新式的中央行車控制系統。
- 即列車在一定地段之單線、複線或多線軌道上行駛，其經過閉塞區間或交會車站等種種行動，完全受號誌之指示，路線上所有進出口的號誌機及重要轉轍器均由固定定點統一操縱。
- 台鐵在縱貫線(基隆—高雄)之間皆採用中央控制行車制，在運務處內設調度總所，下轄四個調度所。

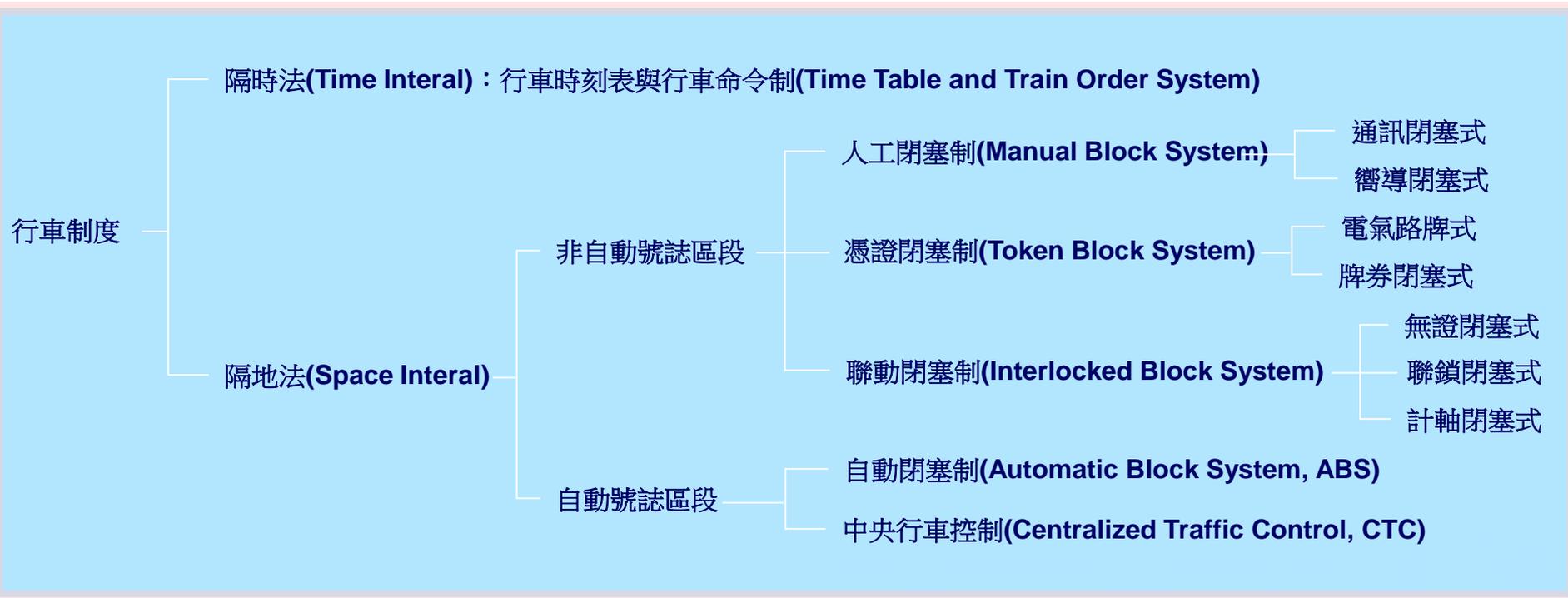
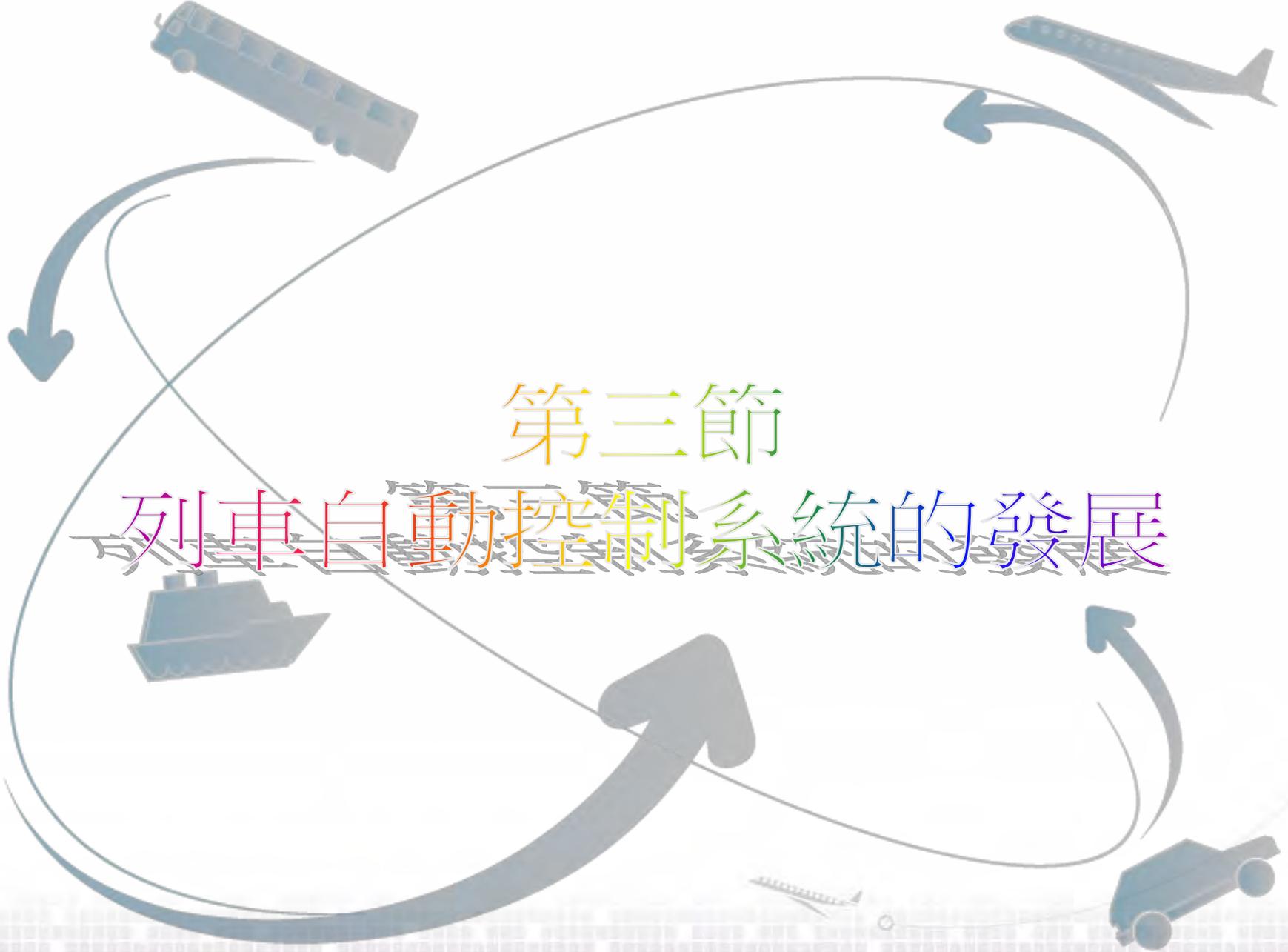


圖 5-4 鐵路行車制度分類



第三節 列車自動控制系統的發展

列車自動控制系統的內涵

- 雖已發展出中央控制行車制度，鐵路的行車方式在命令傳達上與資訊顯示已可達到**即時狀態**；但是對於在鐵道上行駛的**列車**則完全缺乏**直接控制能力**，因此若司機員在列車行駛過程之中，因為健康或氣候因素致使列車無法遵循號誌命令行車時，仍將可能發生嚴重行車事故，乃有**鐵路列車自動控制**的構想產生，以便列車在行駛過程中若有違規發生時可以即時制止，以避免重大意外事故的發生。

列車自動控制系統的發展

列車自動警告及停車裝置(ATW/ATS)

列車速度自動控制裝置

列車自動運轉裝置(ATO)

列車自動控制系統(ATC)

- 列車自動監督系統(ATS)
- 列車自動防護系統(ATP)
- 列車自動操作系統(ATO)



列車自動警告及停車裝置 (automatic train warning/automatic train stop, ATW/ATS)

- 列車自動警告感應器W(設於號誌前方約1500-1800公尺處)及停車裝置設施S(號誌機前方150公尺處)已可初步達成列車自動控制之目標，可在列車冒進時自動將列車剎車裝置啟動，迫使車輛停止下來。
- 當號誌機顯示「險阻」時，列車經過警告感應器W處會發出聲響警告司機員，司機必須在4秒內按鈕確認，否則列車將自動啟動剎車裝置。
- 若是列車超過了停車感應器S未停車，則列車亦將自動剎車停止前進。

列車速度自動控制裝置 (automatic speed control)

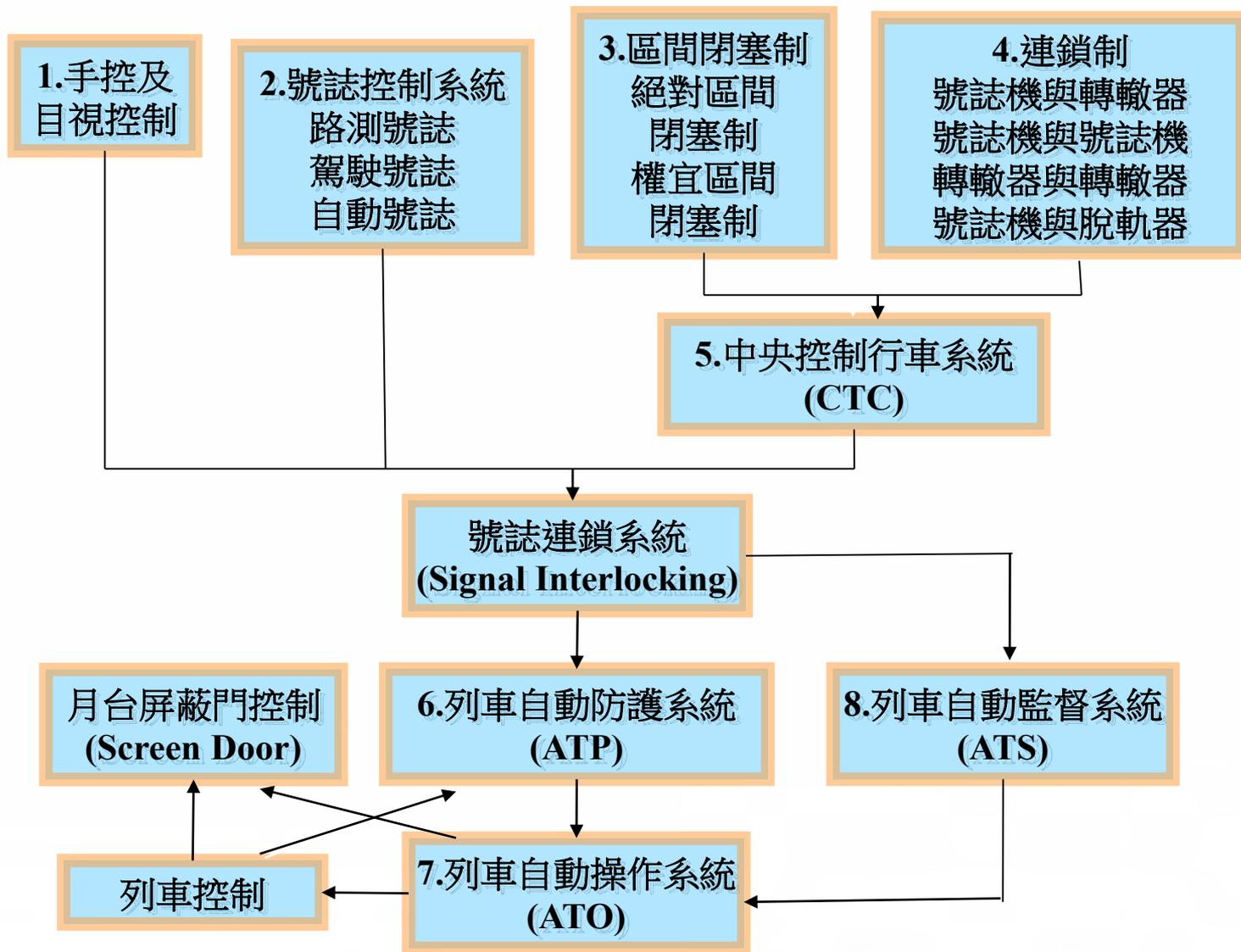
- 此項裝置最初使用於1964年日本新幹線高速鐵路上，不僅可控制列車冒進；更可控制列車依照各行車區間之限制速度前進，若是司機員超速，則列車會自動減速以達限制速度。

列車自動運轉裝置 (automatic train operation, ATO)

- 列車自動運轉裝置是要達到列車之運轉完全自動化，無論是調度或行車都可經由CTC控制中心之電腦加以控制，人力只需處理緊急例外狀況。

列車自動控制系統 (automatic train control, ATC)

- 列車自動控制系統不同於1964年日本新幹線所使用之列車速度自動控制裝置，而是一種將列車運轉過程全部加以整合，並採自動控制方式營運的系統，是目前世界上最先進的列車營運控制系統。包括下列三個子系統：
 - 列車自動監督系統
 - 列車自動防護系統
 - 列車自動操作系統



列車自動控制系統之子系統

列車自動監督系統 (automatic train supervision, ATS)

- ATS的主要功能是能幫助控制中心的調度員，監督整個系統是否依其時刻表或班距運轉。
- 控制中心內之行車控制板可以顯示整個系統目前運轉狀況，若系統出現任何問題將自動提醒調度員注意，並自動修正。

列車自動防護系統 (automatic train protection, ATP)

- ATP主要功能是能監督軌道的狀況及列車的行駛速度，以保證列車在最安全的狀況下行駛。
- 其次要功能是要能對列車司機提供適當的資訊和警告信號，並保持適當的剎車距離，以防止車輛追撞或進入未經許可之區間。

列車自動操作系統

- 列車自動操作系統的最終目標是要達成列車在控制和營運上都完全自動化，不僅列車無需人員駕駛，調度上也全由控制中心統一完成，操作上完全採用自動化。

列車自動控制系統具備功能

- **監視(或偵測)**：由調度員從顯示板監督列車之行駛
- **指揮**：調度員可透過CTC的系統來指揮各連鎖系統
- **執行(或操作)**：列車經由號誌、轉轍器之現場操作，以及車上之操作完成調度中心的行車命令
- **回饋**：若有任何問題，可由司機員立刻回報到調度中心即時處理

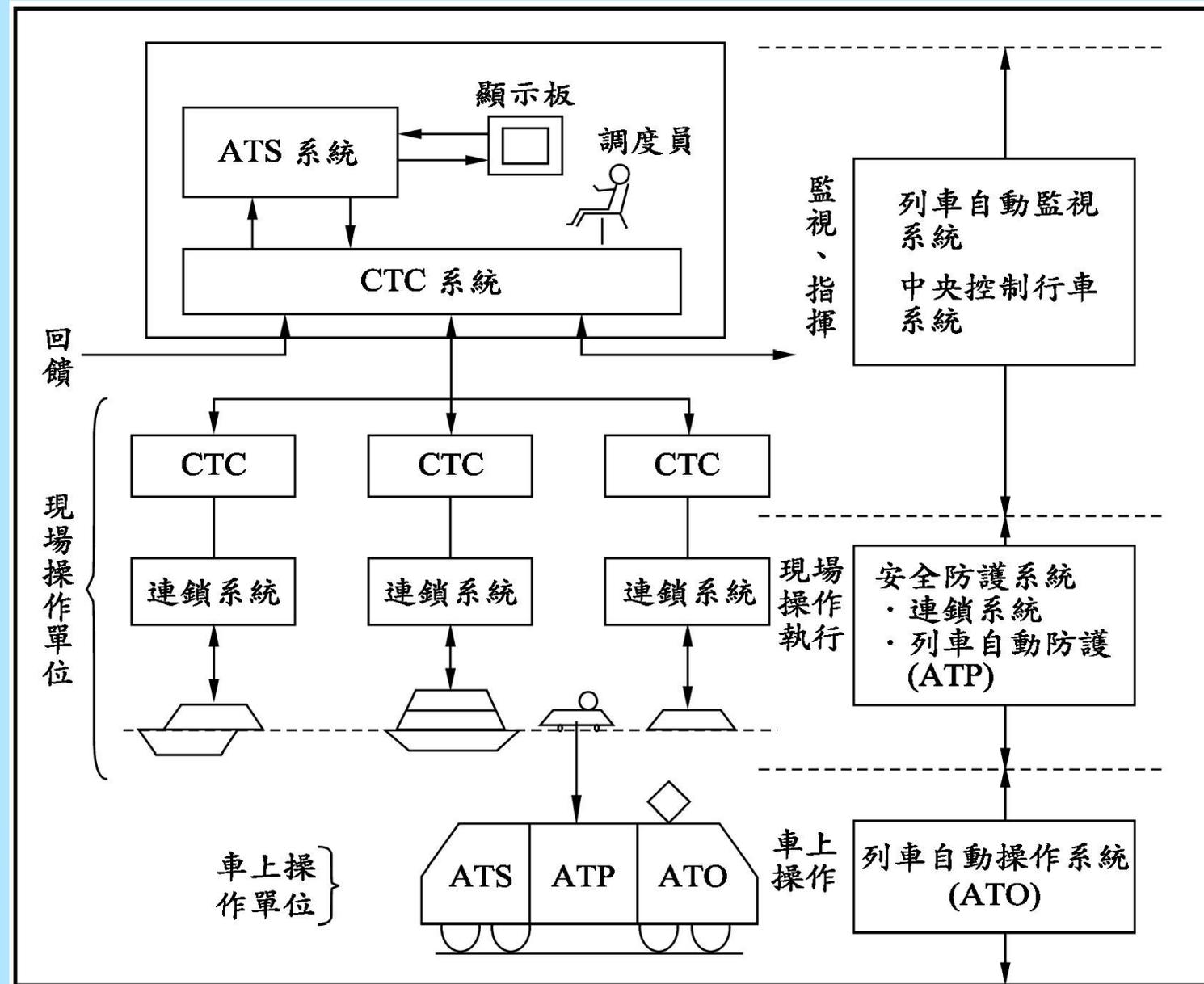


圖 5-6 列車自動控制系統之示意圖





第四節

鐵路之運輸能力與路線容量

鐵路之運輸能力與路線容量

- 一般而言，鐵路的運輸能力：

$$Q=P \times C \quad (5-1)$$

Q =運輸能力（旅客數或噸數／單位時間）

P =一列車平均載運之旅客人數或貨物噸數（旅客數／列車或噸數／列車）

C =路線容量（車次或旅客數／單位時間），表單位時間所能通過之最多車次或班次數

鐵路之運輸能力實例

- 設有一條捷運鐵路，每小時單方向班距為三分鐘，同時每列車可連掛8節車廂。此外，由其承載情形可知每個座位平均有兩個旅客使用，每個車廂共計22.5公尺長，且設有75個座位，試求該路線實際之運輸能力為何？

依上述實際資料，則可算出該捷運之運輸能力如下：

$$Q = P \times C = (8 \times 75 \times 2) \times (60/3) = 24,000 \text{人/小時}$$

鐵路路線容量之影響因素

- 所謂鐵路之路線容量係指在單位時間內，某區間所能行駛之列車次數。路線容量為影響鐵路運輸能力之最主要因素。
- 路線容量(Line Capacity) 之影響因素
 - **軌道性質**(Track Quality Characteristics)：鋼軌之形式與重量、軌枕之質料與排列密度、道碴之品質與厚度、軌距之寬窄等種種軌道性質因素都可能會影響列車行車速度，進而影響鐵路容量。
 - **路線坡度**(Grades)：列車所行駛之路線若遇上坡路段勢必降低行駛速度，若遇下坡路段則必須減速以求安全。

鐵路路線容量之影響因素

- **路線曲度 (Curvature)**：列車行駛若遇曲道，由於離心力之故勢必降低行車速度。一般而言，曲率半徑愈小，路線曲度愈大，愈會對行車速度產生阻力，降低鐵路路線容量。高速鐵路的曲率半徑約在4,500公尺~5,100公尺，較一搬鐵路捷運系統的180公尺~300公尺為大。台灣高鐵路線的最小曲率半徑為6,250公尺。
- **機車性質 (Locomotives)**：各型機車由於其調度性及牽引力之不同均會影響行車密度。
- **車輛之種類 (Type of Vehicles)**：客車與貨車因車輛之種類配備不同均會影響行車速度，進而使路線容量無法充分利用。

鐵路路線容量之影響因素

- **路線內所行駛之列車等級與特性 (Train Type and Characteristics)**：路線內所行駛之列車的等級與特性若是相當龐雜，勢必影響整個路線內系統之正常運轉及路線之容量。通常若車種單純、各種列車速度差異小，則其路線容量大；同時列車之長度、阻力、煞車特性、馬力與重量之比值等皆會影響路線容量。
- **號誌與通訊系統 (Signal and Communication System)**：由於鐵路行車首重安全，因此良好的號誌與通訊系統，均有助於行車速率的提昇與路線容量的增大。

鐵路路線容量之影響因素

- **行車制度(Travel Regime)**：不同之行車制度與安全管制方式將會嚴重影響路線容量。一般而言，採用中央行車控制(CTC)及列車自動控制(ATC)系統之行車制度，可大幅提高行車安全與路線容量。
- **站間距離(Station Spacing)**：站間距離若較長，較能充分發揮列車的行駛速率，反之，則行車速率較小，所以站距亦會影響路線容量之大小。
- **站場軌道與終點站設施之配置(Track Configuration and Terminal Characteristics)**：站內軌道之數目與分類、月台數目與長度、出入口位置、側線數目，以及終點站特性等因素均會影響站內作業時間，以致影響路線容量。

鐵路路線容量之影響因素

- **設備維修與故障**：鐵路之設備維修、故障及發生事故均會降低路線容量，故須將其列為重要之影響因素。
- **軌道之設置**：不同軌道之設置，如：單線、複線、或雙單線均會影響路線容量。
 - **單線鐵路**，使兩個方向的列車只可使用同一條路軌前進。單線鐵路通常每隔一段距離就設置一個會車時使用的車站，稱為「**會讓站**」，用於相對行駛的列車停車避讓。
 - **複線鐵路**，是指在同一時間，兩個相對的通行方向的列車互不干擾的鐵路。
 - 單線並列在台鐵稱為「**雙單線**」。雙單線在於其中一線因故無法通行，另一線可以提供單線雙向通車。

理想鐵路路線容量之計算方式

- 由以上之敘述可知影響鐵路容量之因素甚多。
- 一般考慮鐵路行車區間內之路線容量，則以**閉塞區間**之長度為主要考慮因素，因為區間愈長、列車行駛其上需要愈久的時間，而決定**行車區間長度**之因素則為列車之剎車距離加上列車彼此之安全距離。
- 剎車距離則以貨車或列車兩者之中所需之較長者為計算標準，以確保列車之行車安全。

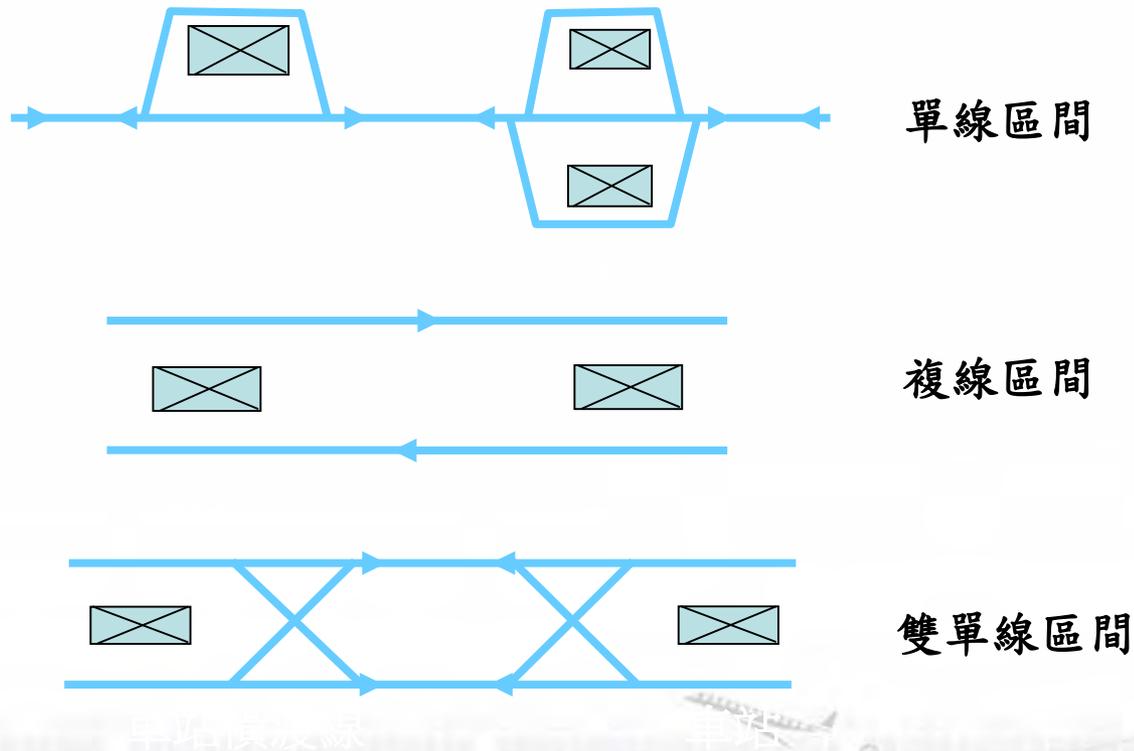
理想鐵路路線容量之計算範例

- 若A、B兩站之間為一行車區間，列車長達1公里，列車剎車距離為2公里，安全距離亦為2公里，而列車行駛速度為每小時60公里，則因為每班列車自A站出發到通過B站，需時5分鐘，故在正常狀況下，此行車區間之飽和列車容量為每小時12班次，亦即容量(C)為：

$$C = \frac{V(\text{行車速率})}{S(\text{距離/列車})} = \frac{60(\text{公里/小時})}{2+2+1(\text{公里/列車})} = 12\text{列車/小時}$$

實際路線容量之計算公式

- 由於在實際狀況下，行車區間並非一直處於忙碌狀態，故區間內列車容量會受路線使用率、行車制度效率及不同軌道設置之路線區間之影響，



單線區間實際路線容量之計算公式

- 所謂單線區間乃指某一行車區間，僅有單一線路供上、下雙行列車通行之用，其行車區間之列車容量公式：

$$C = \frac{1,440}{\frac{t_1 + t_2}{2} + S} \times f_1 \times f_2 \quad (5-3)$$

其中：

C = 路線容量(車次/天)

t_1 ：站間上行列車平均運轉時分 = $\frac{\text{每日上行定期列車在該區間總運轉時分}}{\text{定期列車次數(客、貨列車)}}$

t_2 ：站間下行列車平均運轉時分 = $\frac{\text{每日下行定期列車在該區間總運轉時分}}{\text{定期列車次數(客、貨列車)}}$

S ：辦理列車閉塞手續時間：人工閉塞區間**2.5分**、自動閉塞與中央控制區間**0.5分**

f_1 ：路線使用率，**0.6~0.75**，由場站設備，股道佈置及調車繁簡而不同(愈繁愈小)

f_2 ：行車制度效率因素，人工閉塞區間為**1.0**，單線CTC區間為**1.2**

單線區間

實際路線容量之計算實例

- 若甲、乙兩站之間為單線區間，而且採人工閉塞行車制度，並且已知：

$$t_1 = 12 \text{分}$$

$$t_2 = 11.8 \text{分}$$

$$S = 2.5 \text{分}$$

$$f_1 = 0.7$$

$$f_2 = 1$$

試求該路線之行車容量。

[解]

甲、乙兩站之間一天共可通行之列車數為：

$$\frac{1,440}{\frac{12+11.8}{2}+2.5} * 0.7 * 1 = 70 \text{車次/天}$$

複線自動閉塞區間 實際路線容量之計算公式

- 所謂複線自動閉塞區間乃指兩站間為雙線，但每一單線僅能單方向行駛列車，並採軌道電路使用自動閉塞行車方式，司機員依路側號誌行車，其行車區間內之列車容量公式如下：

$$C = \frac{1,440}{T} \times f_1 \times f_2 \times 2 \quad (5-4)$$

其中：

C ：路線容量(車次/天)

f_1 ：路線使用率(行車區間一天24小時之實際使用比率)

f_2 ：複線自動區間行車制度效率因素

T ：站間上下行平均運轉時分

複線自動閉塞區間 實際路線容量之計算實例

- 若甲、乙兩站之間為複線自動閉塞行車區間，並且已知：

$$f_1 = 0.65$$

$$f_2 = 1.1$$

$$T = 12 \text{分}$$

試求此一複線之行車容量。

[解]

此一區間一天可通行之列車班次為：

$$\frac{1,440}{12} * 0.65 * 1.1 * 2 \approx 171 \text{ (車次/天)}$$

CTC雙單線區間 實際路線容量之計算公式

- 所謂CTC「雙單線區間」乃指在兩站間為雙線，每一單線可因營運之需要，雙向調度，並以CTC為行車制度。其行車區間內之列車容量公式為：

$$C = \frac{1,440}{T+S} * f_1 * f_2 * f_3 * 2$$

其中：

C ：路線容量(車次/天)

T ：站間上下行平均運轉時間(分鐘)

S ：報請調度員控制號誌所需時間(分鐘)

f_1 ：路線使用率(行車區間一天24小時之實際使用比率)

f_2 ：複線自動區間之行車制度效率因素

CTC雙單線區間 實際路線容量之計算實例

- 若甲、乙兩站之間屬於CTC雙單線行車區間，而且已知：

$$T = 10\text{分} \quad S = 0.5\text{分}$$

$$f_1 = 0.65 \quad f_2 = 1.1 \quad f_3 = 1.3$$

試求此一雙單線之行車容量。

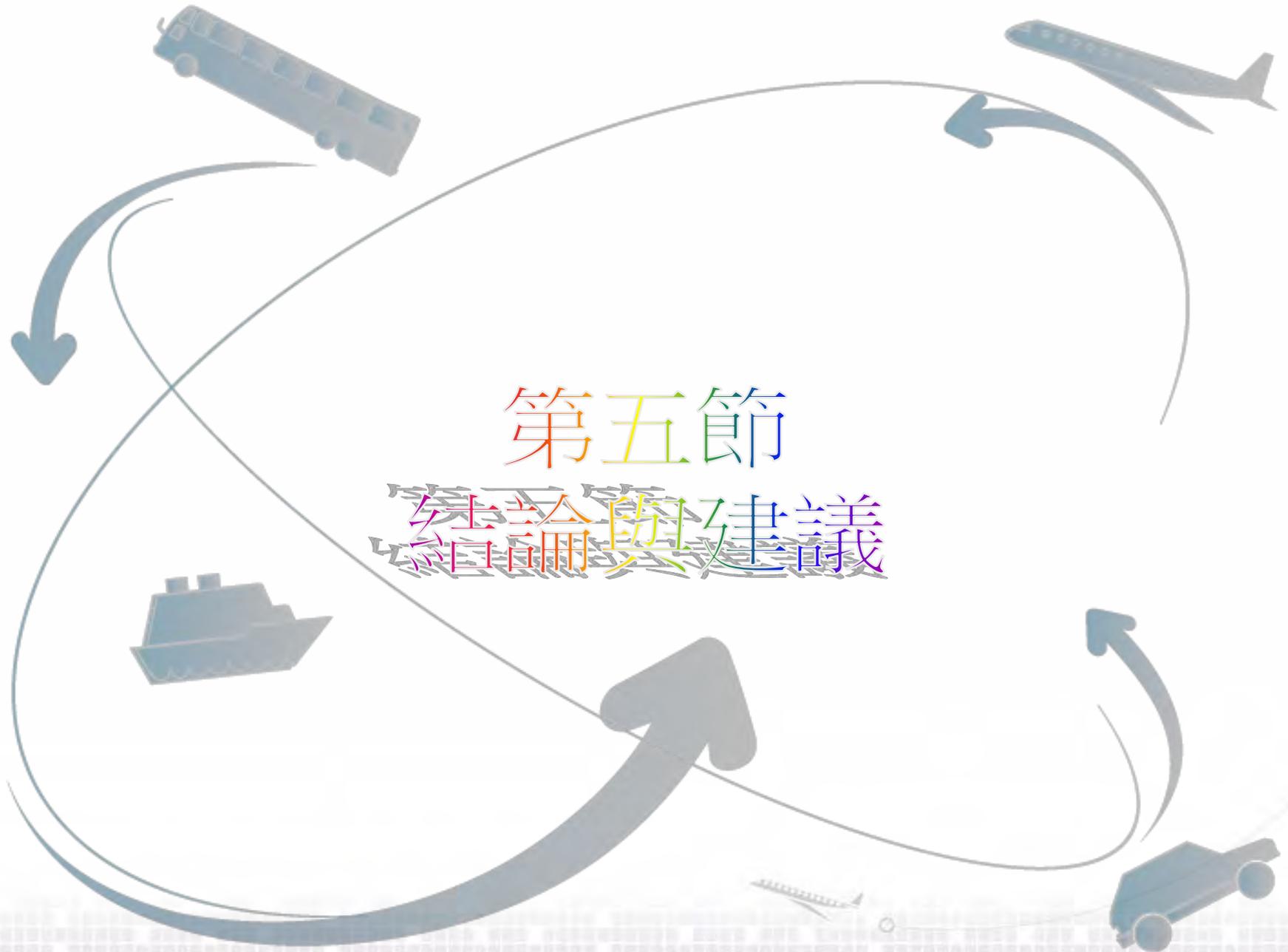
[解]

此一區間一天可通行之列車班次為：

$$\frac{1,440}{10+0.5} * 0.65 * 1.1 * 1.2 * 2 \approx 235 \text{ (車次/天)}$$

第五節

結論與建議



結論與建議

- 從本章之敘述中，可知鐵路的行車制度從一開始的單一系列車行車制度，到中央控制列車行車制度(CTC)為止，鐵路已逐漸克服行車控制權分散的缺點，而達到可將系統上所有行車狀況，即時顯現並控制的功能，不僅節省行車上的人事費用，更提高了列車的安全與營運效率。尤其是當列車自動控制(ATC)系統發展完成以後，鐵路運輸已不再是繁雜、落後的運輸系統，而可以由行車控制中心輕易地控制整個系統的營運，並對於系統所發生的問題給予即時解決。

結論與建議

- 鐵路的運輸容量，除了受限於硬體設備之外，更會受到行車控制效率及設備維修、故障與發生事故的影響。因此若要真正發揮鐵路大運量的優點，必須依照鐵路系統之現有設備，採用最適當之行車制度及管理方式來配合，才能充分發揮鐵路系統之優良特性。

結論與建議

- 鐵路的行車制度攸關旅客的「安全」(safety)，而鐵路運輸的路線容量則與營運的「效率」(efficiency)息息相關，因此為提昇鐵路的行車安全與營運效率，建議國內應加強鐵路行車安全的管理及鐵路運輸路線容量的相關研究，以全面提昇國內軌道運輸的服務水準。

英翻中 與 解釋名詞

1. ABS vs. CTC

2. pilot block system vs. token block system

3. ATO vs. CTC

4. Track circuit

5. 雙單線, 複線