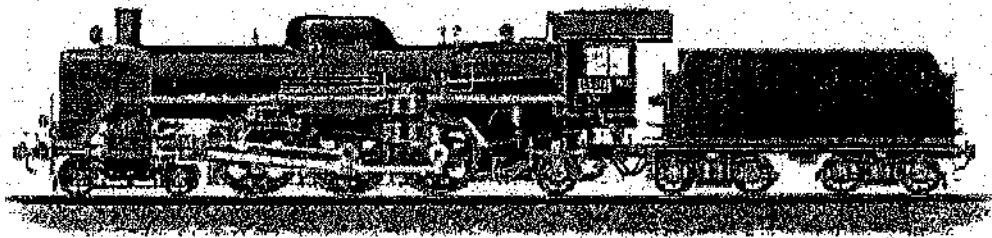


八、運轉概論



057

94年10月12日

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

PHYSICS 435

1. 運轉理論

1.1. 何謂運轉理論

每天列車若未發生事故等，則能照時刻表來行駛。這是以司機員為中心的相關運轉人員依照時刻表進行作業之故。尤其是站間的運轉時間由標準運轉時間(充分發揮列車性能來運轉的站間最小時間)來決定，當然司機員要準點駕駛才可以。又，在列車時刻表方面，各列車間也不應互相妨礙。

構成這些計畫的基礎，就是『運轉理論』。所謂運轉理論就是「讓列車以合理經濟的方式運轉的理論」或者說為了計算「列車於站間要行駛幾分幾秒，機車、客車、貨車可以牽引幾噸」所需的理論。

運轉理論可以分成 2 部分，一為動力車的「牽引特性、列車阻力及煞車」等相關理論。由這些因素決定列車的速度如何變化、可以牽引多重的客貨車。再者為了列車合理安全地運轉，要經由「煞車」來控制車速。

二為以上述 3 個理論為基礎，建立評定動力車的「牽引常數」(動力車可以牽引的客貨車重量)、評定「標準運轉時間」、檢討「最小運轉時隔」等運轉計畫的重要基礎事項相關理論。這些關係如圖 1.1 所示。

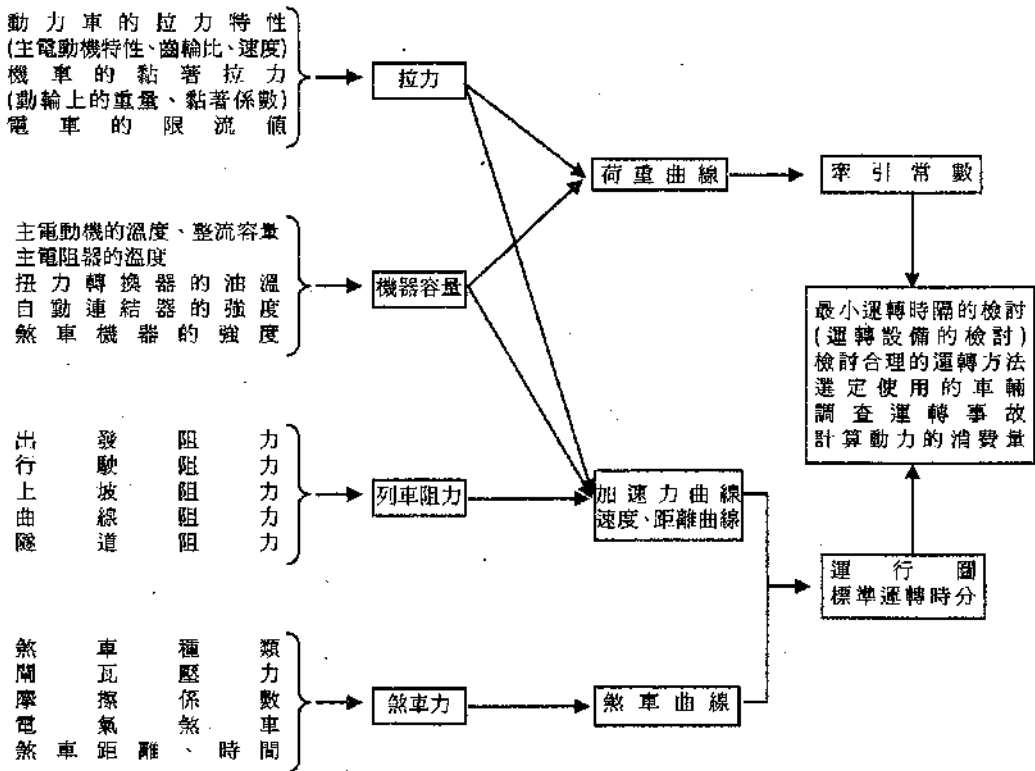


圖 1.1 運轉理論的範圍

1.2. 牽引力性能

電車是靠主電動機，柴油車是靠柴油機的轉動傳達到動輪來行駛。自身前進且牽引客貨車的拉力稱為「牽引力」。

牽引力是利用動輪圓週與鋼軌間的「摩擦力」，假使動輪的牽引力比摩擦力稍大，動輪會產生「空轉」，無法前進。而動力車為了加速前進利用牽引力，一定要超過「列車阻力」。又，行駛速度的變化是由「牽引力」與「行駛阻力」來決定，牽引力大則「加速」，列車阻力大則「減速」，若兩者相等，則為「等速」運轉。

牽引力依據作用的處所及限制因素，分類如下：

(1) 動輪圓週牽引力

實際上動輪圓週與鋼軌間產生的牽引力稱為「動輪牽引力」，一般稱為「牽引力」。

(2) 連結器牽引力

機車牽引客貨車行駛時，機車的後部連結器出現的牽引力。為「動輪牽引力」減去「機車阻力」。

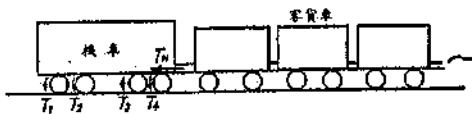


圖 1.2 連結器牽引力

但是 $T_d = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$ ：動輪牽引力

T_H ：連結器牽引力

圖 1.2 動輪牽引力與連結器牽引力

(3) 啟動牽引力

啟動加速時受主電動機電流限制的牽引力。若啟動電流大，則牽引力就大。

(4) 特性牽引力

受主電動機、柴油機(液體變速器)特性限制的牽引力，速度變高牽引力變小。

(5) 黏著牽引力

特性牽引力驅動動輪，動輪與鋼軌間不致空轉產生的阻力(摩擦力)。此摩擦力為空轉前的最大牽引力。

圖 1.3 為 3 個限制因素的關聯圖。

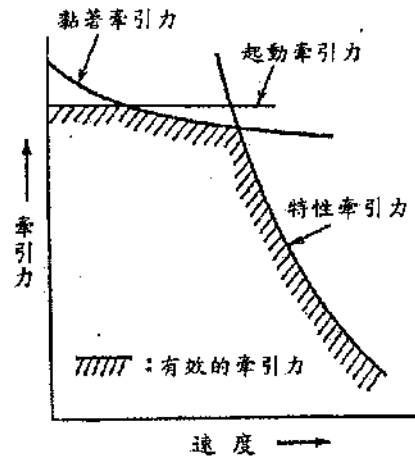


圖 1.3 各牽引力與速度的關係

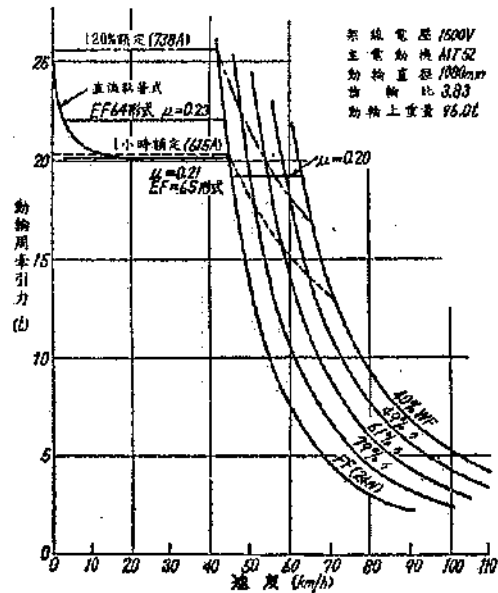


圖 1.4 EF64 電車牽引力曲線

又，實際上的動力車牽引力以車種別為代表如圖 1.4 所示。圖 1.4 為 EF65 型電車牽引力曲線，圖 1.5 為 103 系電車的牽引力曲線，表示動輪牽引力。EF65 型加速時約 20 噸，103 系電車 250% 乘車時，電車 2 輛約輸出 17 噸的牽引力(103 系電車，依乘車效率會變更加速電流)。

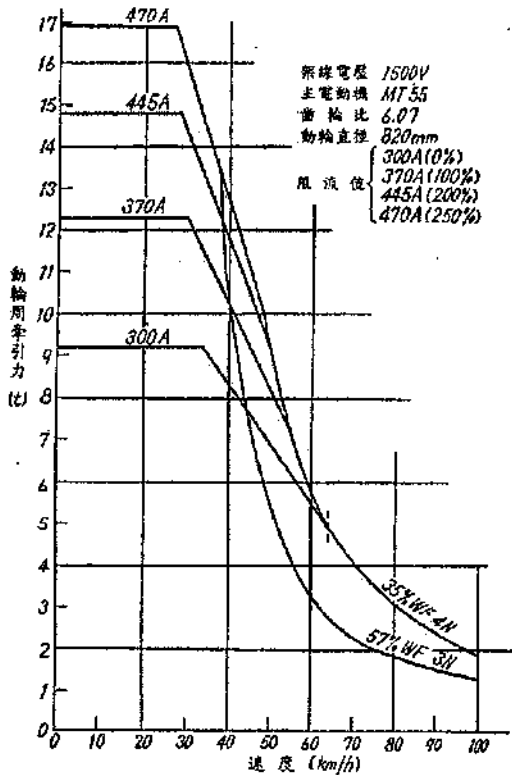


圖 1.5 103 系電車速度/牽引力曲線

1.3. 列車阻力

動力車以牽引力行駛，列車則有相對的阻力產生。亦即，車輪與鋼軌間的摩擦阻力、車軸與軸承間的摩擦阻力、空氣阻力、上坡阻力等妨礙列車行進。列車阻力相當複雜，因素很多，較重要為因車種及其構造、天候、氣溫、車速、路線狀態等而變化。列車阻力的單位，對於全列車的阻力一般每噸列車重量的阻力以 kg/t 表示。

列車阻力分為 5 種，經由組合這些阻力的必要部分，來求出全列車阻力。

(1) 出發阻力

行駛平坦直線路線時的阻力。列車啟動時相當大的阻力迅速變小，於速度 2~3km/h 時變為最小值，之後隨著速度的增加而變大。圖 1.6 表示從啟動到阻力最小時的速度範圍的阻力稱為「出發阻力」，以後的速度範圍的阻力為一般的「行駛阻力」。

又，電車列車等的出發阻力為 3kg/t。

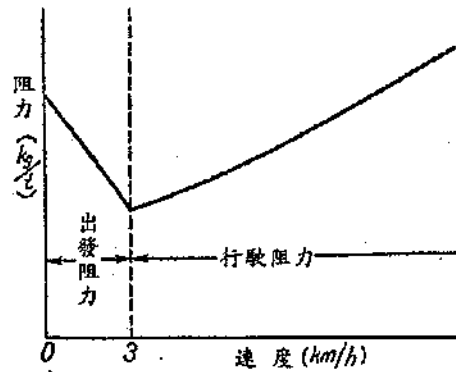


圖 1.6 出發阻力與行駛阻力的關係

(2) 行駛阻力

列車於平坦直線路線行駛時的阻力。「行駛阻力」的主要原因及性質如下：

- A. 車軸與軸承間的摩擦阻力
- B. 車輪踏面與鋼軌間的摩擦阻力
- C. 車輛搖動產生的阻力
- D. 空氣阻力(車輛前方的高壓空氣、後方的低壓空氣、車輛間的渦流等產生的阻力)。

行駛阻力為各阻力的總合，以理論來求出相當困難，一般都以實車測試等實驗來求得各速度的阻力，以下以速度的 2 次方程式來表示：

$$r = a + bV + cV^2 \text{-----(1)}$$

r：行駛阻力(kg/t)

V：速度(km/h)

a、b、c：常數

例：以電車為例

$$r = 1.32 + 0.0164V + \frac{(0.0280 + 0.0078(n - 1))}{W} V^2 \text{---(2)}$$

W：列車重量

(3) 坡度阻力

列車上坡時，受地心引力影響，因此除了行駛阻力外還要加上「上坡阻力」。反之下坡時，則能幫助推進。此種因路線坡度產生的阻力稱為「坡度阻力」。

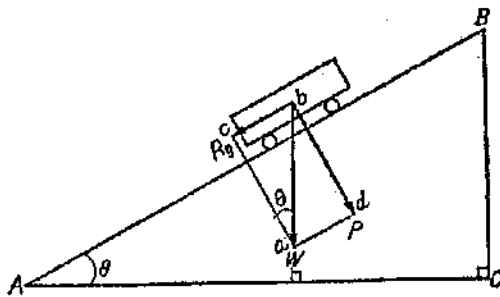


圖 1.7 坡度角與坡度阻力

圖 1.7 表示坡度角(θ)與坡度阻力 R_g的關係。

坡度阻力 R_g(kg)為，
列車重量 W(ton) × sinθ

$$R_g = W \times \frac{bc}{ab} = W \times \frac{BC}{AB} \text{-----(3)}$$

鐵路路線 $\overline{BC} / \overline{AB}$ 的坡度以如 10/1000 的千分比來表示 10‰，坡度一般以 1/1000 表示則：

$$R_g = W \cdot i \text{ (kg)-----(4)}$$

本公式為整車坡度阻力，列車每噸的坡度阻力，要用 W 來除，

$$r_g = i \text{ (kg/t)-----(5)}$$

(4) 曲線阻力

列車行駛於曲線時，外側鋼軌的內側與外側車輪的輪緣間的摩擦阻力，由於車輪的滑動，鋼軌與車輪踏面間的摩擦阻力稱為「曲線阻力」。

$$r_c = \frac{800}{R} \text{ (kg/t)-----(6)}$$

r_c：曲線阻力 (kg/t)

R：曲線半徑 (m)

(5) 隧道阻力

列車行駛於隧道內時，隧道內產生的「風壓」變化阻力增加，空氣阻力變大。增大的空氣阻力隨 隧道斷面、大小、隧道長度、列車及形狀、速度等而有很大的變化。

實際上，在新幹線的長隧道有明顯的效應，在來線於單線隧道速度超過 80km/h 時可以看到，經由實測及模擬求得的隧道阻力，用於運轉計畫中。

1.4. 加速力

停車中的列車加速使速度升高，以及等速運轉列車再提高速度，需要抵消列車阻力以外多餘的牽引力。此牽引力稱為「加速力」。牽引力為 T、列車阻力為 R、加速力為 F 的話，F = T - R，F > 0 時為加速，F = 0 時為等速，F < 0 時為減速，此負的加速力也稱為「減速力」。

(1) 加速所需的力

$$F = ma \text{ ----- (7)}$$

F：加速所需的力量 (kg)

m：列車的质量

α ：加速度 (m/s²)

為配合實際應用修改為重力單位，
列車的质量以重量 W(t)表示，則

$$m = \frac{1000}{9.8} W \text{ ----- (8)}$$

所以

$$F = \frac{1000}{9.8} W \cdot \alpha = 102W \cdot \alpha \text{ ----- (9)}$$

因而列車重量每 1 噸的加速力以 f_s (kg/t)
表示

$$f_s = F/W = 102 \alpha \text{ ----- (10)}$$

此每噸的加速力 f_s 為針對直線前進的
部分，車輛中有車輪、車軸、齒輪、
電動機等的旋轉部分，這些的旋轉速度
也要加快，因此需要更多的力，其比率
於電車列車為 0.09，其他為 0.06，考慮
旋轉部分的加速力 f (kg/t) 為：

$$\text{電車列車 } f_{ec} = 102 \alpha \times 1.09 = 111 \alpha$$

$$\text{其他為 } 108 \alpha \text{ ----- (11)}$$

式(11)中，加速度 α 的單位為 m/s²，
若以 A km/h/s 來表示：

$$\alpha = \frac{1000}{3600} \cdot A = \frac{A}{3.6} \text{ ----- (12)}$$

代入式(11)

$$f_{ec} = 30.9 A$$

$$f = 30 A \text{ ----- (13)}$$

電車列車的加速力 f_{ec} 以 30.9 除，就是
加速度 A。

(2) 均衡狀態與均衡速度

行駛中的列車全列車阻力與牽引力
相同時，列車的速度不會變化，此狀態
稱為「均衡狀態」，速度為「均衡速度」。

圖 1.8 表示其間的關係。

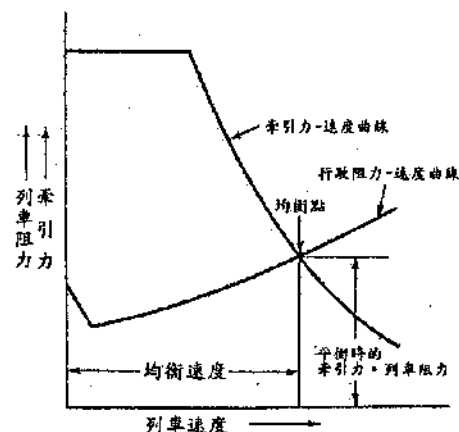


圖 1.8 均衡狀態與均衡速度

(3) 列車的加速與減速

動力車加速把手不變，於固定坡度的
路線上行駛，速度比均衡速度低時，如
圖 1.9 因為有加速力，速度會提高，而
牽引力則慢慢降低

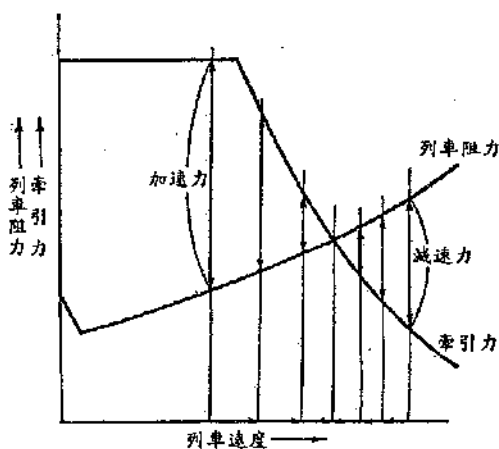


圖 1.9 加速力與減速力

到達均衡速度時，加速度變為 0，之後就以均衡狀態來運轉。

又，速度大於均衡速度時，列車阻力大於牽引力產生減速力，列車速度下降。速度下降則列車阻力減少，牽引力變大則減速力變小，而達到均衡速度。

(4) 加速力曲線

動力的牽引力減去平坦直線的列車行駛阻力(不含坡度、曲線、隧道等阻力)一般稱為「總加速力」。此總加速力除以列車重量，每噸的加速力與速度的關係稱為「加速力曲線」。

加速力曲線為列車於平坦路線行駛，依據下式，計算每噸的加速力來作圖。

$$f = \frac{F - Td - R}{W} \quad \text{----- (14)}$$

- f：每噸加速力(kg/t)
- F：總加速力(kg)
- W：列車總重量(ton)
- Td：動輪牽引力(kg)
- R：列車的行駛阻力(kg)

圖 1.10 表示 103 系電車 6M4T 的 200% 乘車時的加速力曲線

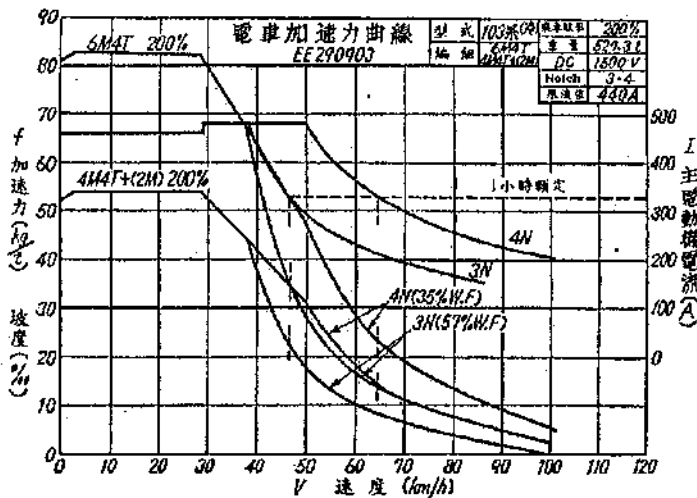


圖 1.10 電車加速力曲線

經由此加速力曲線，可以得知：

- 速度 0~28.5km/h 的平坦線的平均加速力為 82(kg/t)，加速度為 82/30.9=2.65km/h/s。
- 30‰ 上坡的平均加速力為 82-30=52kg/t，加速度為 52/30.9 =1.68 km/h/s。
- 10‰ 上坡的均衡速度於加速把手位置 4 為 86.6 km/h。

又，1 機不動時的加速力曲線也同時表示 [4M4T+(2M)200%]。

1.5. 坡度別速度距離曲線

因加(減)速力，列車行駛時的速度與距離的變化，以坡度別圖示，稱為「坡度別速度距離曲線」。

從加速力與速度距離的關係計算：

- F_m ：平均總加速力(kg)
- f_m ：每噸平均加速力(kg/t)
- m：列車的質量(kg)
- w：列車的重量(kg)
- g：重力加速度=9.8m/s²
- α ：列車的加速度(m/s)

- v_1 ：列車的初速度。
- v_2 ：列車的終速度。
- S：加減速所需的距離。

力學上有如下的關係：

$$F_m = m \cdot a = (w/g) \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2S}$$

$$\therefore F_m = \frac{w}{g} \cdot \frac{v_2^2 - v_1^2}{2S} \quad (15)$$

於此，採用日常使用的單位，速度為 km/h，列車重量為 ton，所以

W：列車的重量(t)

V₁：列車的初速度(km/h)

V₂：列車的終速度(km/h)

(15)式變為

$$\begin{aligned} \therefore F_m &= \frac{1000W}{9.8} \cdot \frac{(1/3.6)^2 (v_2^2 - v_1^2)}{2S} \\ &= \frac{3.94W (v_2^2 - v_1^2)}{S} \quad (16) \end{aligned}$$

再考慮旋轉部加速所需的加速力，變為下式

$$F_m = \frac{3.94W (v_2^2 - v_1^2)}{S} \times 1.09$$

$$f_m = \frac{4.29 (v_2^2 - v_1^2)}{S} \quad (17)$$

其他車種 4.29 改為 4.17 -----(18)

$$S = \frac{4.29 (v_2^2 - v_1^2)}{f_m} \quad (19)$$

其他車種 4.29 改為 4.17

(19)式從加速力曲線求得每噸平均加速力 f_m 及變化前後的速度 V₁、V₂ 值代入，可以求得其間所要行駛的距離。

坡度別速度距離曲線例如圖 1.11，為 103 系電車 6M4T 250% 乘車加速把手位置 4 時，於坡度 0%，速度到達 90km/h，行駛 1.6 km。

畫「運行圖」時，依據實際的路線坡度，畫出速度距離曲線。

此曲線為設於運務處車輛課的「運轉基本性能曲線計算機」計算畫出的加速力曲線、荷重曲線、煞車曲線。

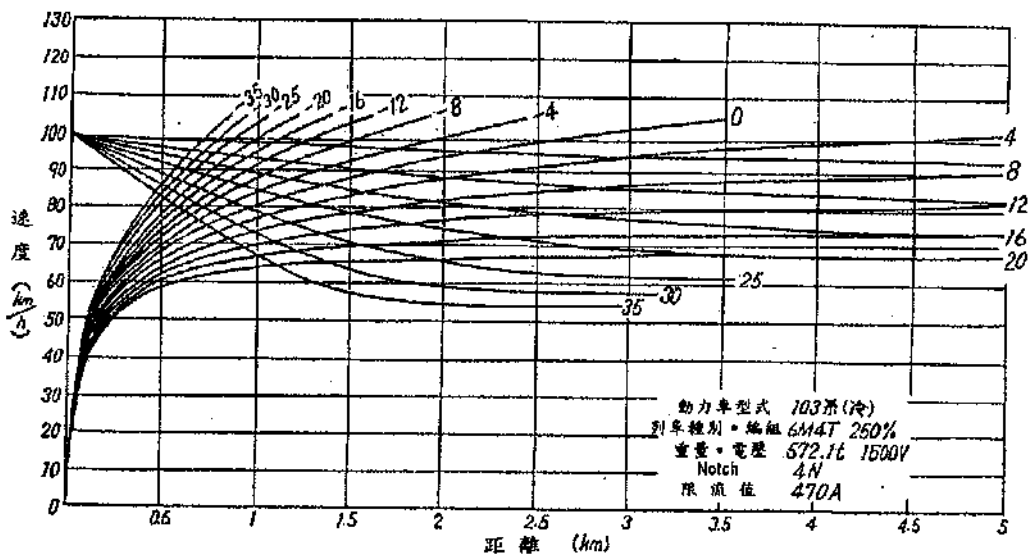


圖 1.11 速度距離曲線

1.6. 煞車曲線

煞車曲線依據列車的煞車性能，使用「常用煞車」時的減速度來決定，如圖 1.12 事先製作減速度別煞車曲線。

這是以固定的減速度，依據下式，計算煞車距離及煞車時間來製圖。

t: 煞車時間(s)

V: 煞車初速度(km/h)

S: 煞車距離(m)

D: 減速度

煞車時間為

$$t = V/D \text{-----(20)}$$

又，煞車距離為

$$S = \frac{Vt}{7.2} = \frac{V^2}{7.2D} \text{-----(21)}$$

又，製作運行圖時，使用表 1.1 的減速度。

表 1.1 停車煞車的減速度

坡度	-10‰	0‰
列車種別	Km/h/sec	Km/h/sec
客車列車	1.0	1.5
高速貨物列車	1.0	1.5
貨物列車	0.5	0.75
電車列車	2.0	2.5
氣動車列車	1.5	2.0

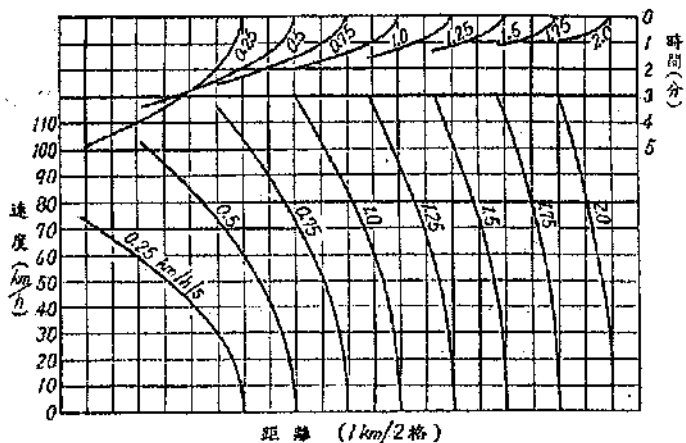


圖 1.12(1) 減速度別速度・時間-距離曲線(1)

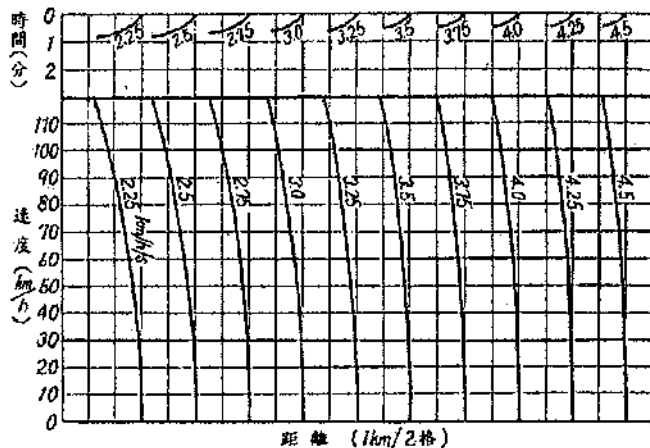


圖 1.12(2) 減速度別速度時間-距離曲線(2)

1.7. 荷重曲線

機車牽引列車的客貨車重量稱為「牽引常數」。此牽引重量依坡度別、速度別，經由(22)式計算而得出「荷重曲線」。

$$W = \frac{T - W_l(r_l + r_g)}{r + r_g} \quad (22)$$

W：牽引荷重(t)

W_l：機車重量(t)

r：客貨車行駛阻力(kg/t)

r_l：機車行駛阻力(kg/t)

r_g：坡度阻力(kg/t)

圖 1.13 表示 EF65 型電氣機車的客貨列車之荷重曲線。

使用此圖，於線區最陡的坡度可以起動，且於連續坡道，求得不超過額定電流的牽引重量。

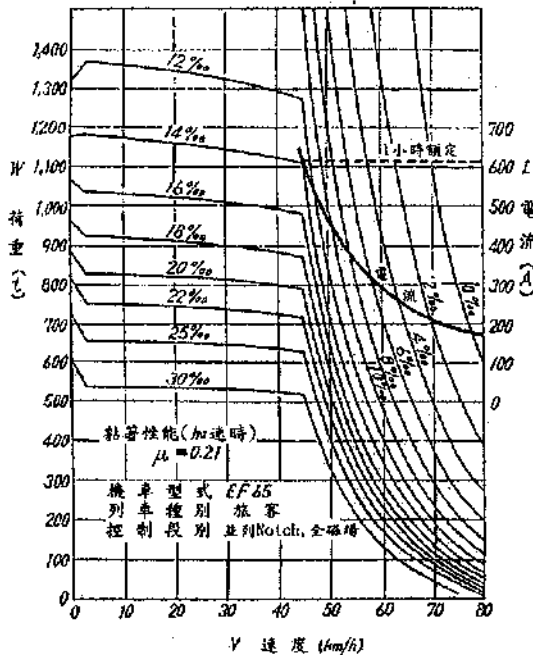


圖 1.13 荷重曲線

1.8. 運行圖及其畫法

「運行圖」為列車的運轉速度、運轉時間及其他運轉狀況，隨著列車的行進，以圖表示有何變化，製作「列車時刻表」時使用的標準運轉時間(各站間所需的運轉時間)的評定為中心，用於下列情形：

- 列車運轉時隔、交會時間的檢討
- 新線建設、路線改良等的檢討
- 運轉事故的調查
- 合理運轉方法的檢討
- 使用車輛的檢討
- 動力消費的計算

動力車的牽引力及列車阻力決定後，從兩者的關係，決定運轉速度如何隨著列車的行進而變化。若運轉速度決定，就能決定運轉時間，也可以求得電力消費量及主電動機的溫昇。

運行圖有「直接畫法」及「間接畫法」，日本國鐵採用效率較佳的「間接畫法」。間接畫法為，從加速力曲線，事先依「力行」、「惰行」別製作坡度別速度距離曲線，因應實際路線的坡度，依序畫下該部分的速度曲線之方法。

以圖 1.14 為運行圖的例子來說明。

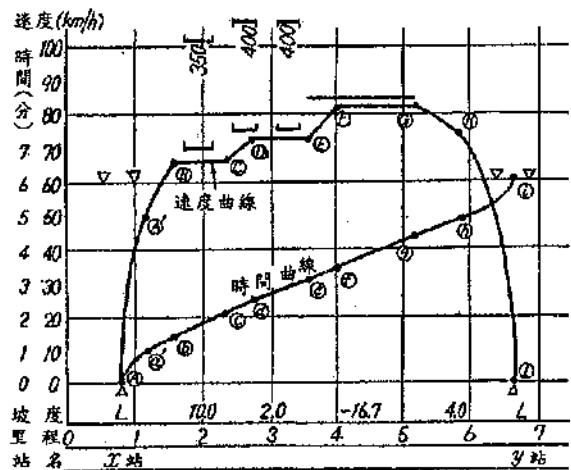


圖 1.14 運行圖範例

(1) 作圖準備

使用描圖紙，縱軸為速度，橫軸為距離，和前述的坡度別速度距離曲線同樣刻度。要在此圖上作圖的列車、運轉線區，記入下列事項：

- (A) 路線的里程
- (B) 坡度及標準坡度
- (C) 站名及採時處所(停車位置)
- (D) 最高速度、曲線、下坡、道岔、號誌機、其他等速度限制
- (E) 曲線半徑及位置以及隧道位置
- (F) 電車線電源區分點

(2) 製作速度曲線

運行圖的速度曲線配合繪於描圖紙上的路線坡度，依序將坡度別速度距離曲線描上去即可。以圖 1.14 來說明，首先，準備要製圖列車的「力行及惰行」的「坡度別速度距離曲線」與「減速度別煞車曲線」，依下列順序進行：

(A) 速度曲線的代表方式如下：

- 力行——— (實線)
- 煞車——— (實線)
- 降速力行- - - - - (1點虛線)
- 降速煞車- - - - - (2點虛線)
- 惰行- - - - - (虛線)

又使用的速度曲線的加速把位(Notch)記號要加上變化點。

- (B) 力行、坡度別速度距離曲線上放上描圖紙，兩者速度的橫線對齊 x 站開車從④到⑤描上坡度為 0% (水平) 的速度距離曲線。
- (C) 接著，兩者速度一致描圖紙水平移動，從⑤點以坡度為 10% 的速度距離曲線描到⑥點。
- (D) 同樣方式，從⑥點以坡度為 2% 的速度距離曲線描到⑦點。

- (E) 從⑦到⑧以坡度為 2% 的速度距離曲線描繪，會超過速度限制，因此採取「降速力行」，以低於限速 2km/h 的 73km/h 的等速運轉來作圖。

(考慮速度計的誤差)

- (F) 從⑧點為 -16.7% 的下坡，因此採取惰行，描圖紙置於惰行的坡度別速度距離曲線上，對齊速度刻度水平移動，-16.7% 的對齊⑧點，從⑧畫到⑨。
- (G) ⑨到⑩一樣惰行，因為超過下速度限 85km/h，因此採用降速煞車，以低於限速 3km/h 的 82km/h 的等速運轉來作圖。
- (H) 接著再使用惰行的速度距離曲線，對齊 4% 速度距離曲線的⑩點，從⑩畫到⑪。⑪點的決定方式為⑩~⑪間的惰行時間能以自動煞車達成。又，決定停車煞車的初速度是否適當，再繪出⑪~⑫的煞車曲線。
- (I) 從⑫到 y 站的停車地點⑬，以規定的減速度(表 1.1、圖 1.12)繪出減速度的煞車曲線。

(3) 製作時間曲線

時間曲線以前項說明的速度曲線，作適當的分割，讀取其平均速度，使用「時間量尺」依序描繪，和速度曲線一樣，以圖 1.14 來說明：

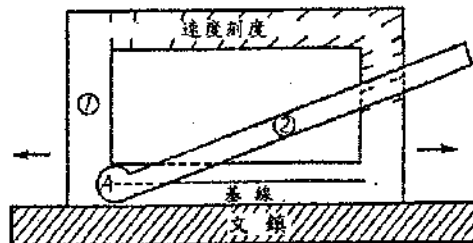


圖 1.15 時間量尺

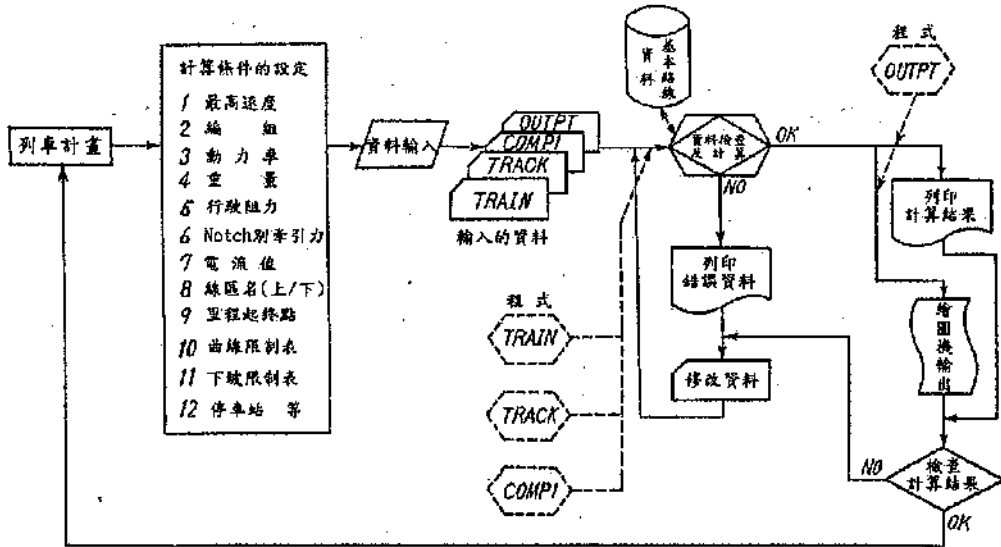


圖 1.16 運轉曲線計算處理流程

- (A) 時間曲線以實線來表示。
- (B) 開車加速時的時間曲線，從加速度 $t = V/\alpha$ 求得時間。圖 1.3 的起動拉力的範圍使用本方法，決定③'。
- (C) 接著讀出速度曲線④'-⑤'的平均速度，對照時間量尺的刻度，畫出⑥'-⑥'。圖 1.15 的時間量尺為從運轉速度 $V(\text{km/h})$ 、時間(分)、行駛距離(m)的關係
- (D) 停車煞車時的時間曲線⑦-⑧，使用式(20)從減速度計算時間。讀出從 x 站到 y 站的標準運轉時間為 5 分 06 秒。

$$s = \frac{1000}{60} V \cdot T = \frac{50}{3} V \cdot T \quad \text{公式}$$

計算，開車時的加速、減速、停車時的煞車以外，從平均速度，簡單求得時間的工具。以下同樣讀入⑨-⑩、⑩-⑪..... ⑩-⑪ 的平均速度，使用時間量尺畫出⑫-⑬、⑬-⑭..... ⑫-⑬ 的時間曲線。

(4) 使用計算機作圖

上述說明用手繪製運轉曲線圖，但使用計算機也可以，因此簡單說明。圖 1.16 表示運轉曲線計算系統流程，圖 1.17 為繪圖機畫出的運轉曲線圖。

計算機的磁碟檔內，儲存著基礎路線資料的線區(上、下行)內站場資料、坡度資料、速度限制(曲線、下坡、轉轍器、號誌、及其他特殊限制)資料等。輸出運轉曲線圖時，輸入動力車的牽引力曲線(含電流值曲線)、行駛阻力、重量等列車條件及最高速度、線區名稱(上、下行)、曲線、下坡度表等路線條件。使用以運動方程式為中心組成的運轉曲線計算程式來計算。輸出的運轉圖曲線由負責人詳細檢查，必要時以人工修正來製作標準運轉時間表。

1.9. 標準運轉時間表

由運轉曲線圖(含時間曲線)求得的標準運轉時間，用於整理運轉時間表、製作列車時刻表的基礎。

從運轉曲線圖求得的時間以 1 秒為單位，列車的運轉時刻則以 15 秒、10 秒、5 秒為單位，所以經由四捨五入處理，製作標準運轉時間表。圖 1.18 為標準運轉時間表。

標準 坡度	下行列車								區間		上行列車								標準 坡度	
	特通電		特通電		特通電		特通電		停車場	距離	特通電		特通電		特通電		特通電			
	A	A	A	A	A	A	A	A			A	A	A	A	A	A	A			
	5	20	24	20	29	24	20	5	485	485	489	185	8M4T	6M5T	6M6T	6M6T				
	185	489	485	485	動力車型式	牽引索數	8M4T	6M5T	6M6T	6M6T										
1.1	—	315	3	245	3	245	3	245	大宮	宮原	4.0	230	330	230	330	230	330	330	0.6	
3.0	—	230	—	230	—	230	—	230	上尾	尾川	4.2	230	—	230	—	230	—	230	1.0	
1.9	—	215	—	2	—	2	—	2	箱川	川本	3.6	2	—	2	—	2	—	215	—	
2.7	—	245	—	230	—	230	—	230	北本	本巢	4.6	230	—	230	—	230	—	245	1.8	
4.7	—	215	—	2	—	2	—	2	西吹	吹上	3.6	2	—	2	—	2	—	215	2.9	
1.0	—	445	—	430	—	430	—	430	吹上	上谷	7.3	430	—	430	—	430	—	445	2.8	
3.3	5	445	—	430	—	430	—	445	吹上	上谷	7.1	430	445	430	—	430	—	445	5	1.8
×	22	2230	—	2045	—	2045	—	2045	小計	34.4	2030	—	2030	—	2030	—	2245	—	×	
3.9	—	3	245	—	230	—	230	3	熊谷	谷(少)	4.9	230	3	230	—	230	—	245	3	—
—	—	145	—	130	—	130	—	130	熊谷	原	1.7	130	—	130	—	130	—	130	—	—
6.3	—	215	—	2	—	2	—	2	北原	原野	3.6	215	—	215	—	215	—	230	—	
3.2	—	115	—	1	—	1	—	1	倉野	野操	1.9	1	—	1	—	1	—	1	—	
3.2	—	230	2	230	2	230	2	230	高崎	崎	2.5	245	230	245	230	3	245	245	—	
×	—	2515	24	2415	—	2415	—	2415	小計	40.3	2445	—	2445	—	25	—	2545	—	×	
×	—	4845	—	45	—	45	—	45	計	74.7	4515	—	4515	—	4530	—	4930	—	×	
×	—	91.9	—	99.6	—	99.6	—	99.6	平均速度	99.0	99.0	—	99.0	—	98.5	—	90.5	—	×	

特通電 A 20 485 系 8M4T 100 %
 489 系 8M4T 100 %
 183 系 6M3T 100 %
 183 系 8M4T 100 %
 189 系 8M4T 100 %
 特通電 A 20 485 系 6M6T 100 %
 489 系 6M6T 100 %

特通電 A 24 485 系 6M5T 100 %
 489 系 6M5T 100 %
 183 系 6M4T 100 %
 485 系 6M4T 100 %
 489 系 6M4T 100 %
 特通電 A 5 185 系 8M6T 100 %
 185 系 4M3T 100 %

圖 1.18 標準運轉時間表

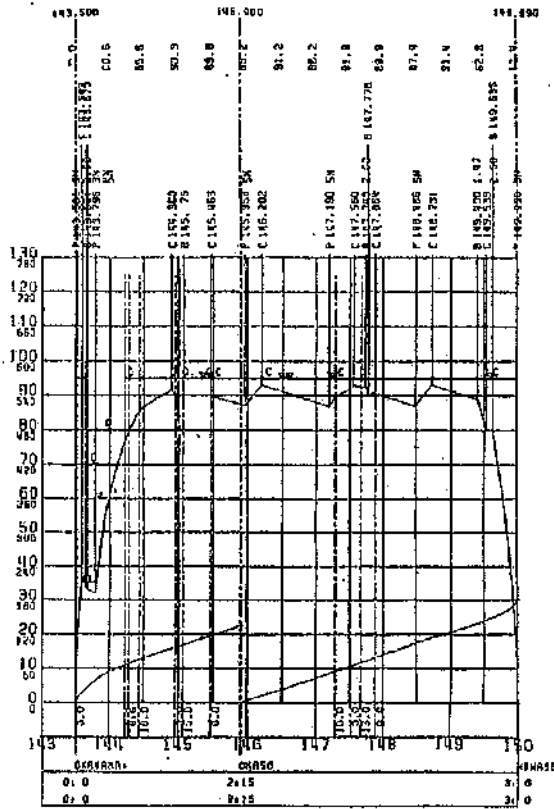


圖 1.17 計算機畫出的運轉曲線圖

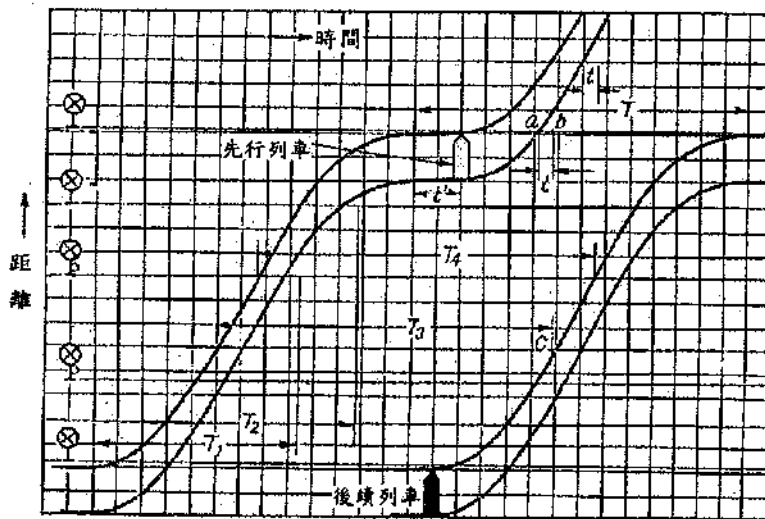
1.10. 用於運轉時隔計算

於自動區間可以運轉的最大列車趟數，由列車的加減速的大小、最高速度等的車輛性能及號誌機間隔、路線狀況、到開線數、路線配置、聯鎖裝置的類別、停車時間等決定，其檢討使用「時隔線圖」，用於製作列車時刻表、計算路線容量。

時隔線圖的縱軸為距離、橫軸為時間，畫出含停車時間的列車前端的時間-距離線，連接由此曲線相隔列車長度的點，得到列車後端的時間曲線。

此時的時間距離線為描繪運轉曲線圖的時間曲線。

圖 1.19 為運轉時隔圖。



註 1：最小運轉時隔 T 為，各號誌機的最小運轉時隔 T_1 、 T_2 等內最大的數值。

註 2： t 為號誌顯示變化的時間(1 秒) + 乘務員的操作寬裕時間(3 秒)共 4 秒， t' 為停車時間。

圖 1.19 運轉時隔線圖

2. 列車時刻表

日本國鐵 1 天約運轉 25,000 趟列車 (1984)，行駛距離約 180 萬公里。當然要規劃這些列車得以安全且正確地運轉，但這些計畫的根本，及旅客看到的時刻表的依據就是列車時刻表。

2.1. 何謂列車時刻表

列車時刻表為，Train Diagram 的縮寫，列車的動態以時間-距離的關係來圖表化，通常縱軸為距離(表示停站位置)，橫軸為時間，列車的軌跡以線條表示。此時列車的軌跡對應距離正確地記錄，因為列車速度未定，如圖 2.1 的點線為不規則的曲線。實際的運行圖使用直線來連接站間，且整趟列車盡量拉直，站間的距離也不照比例，而以重要列車的運轉時間為比例。

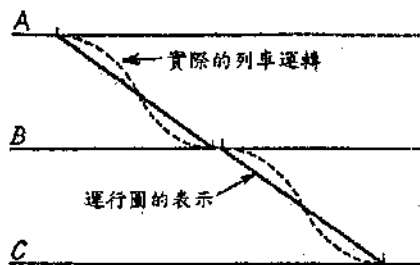


圖 2.1 實際的運行圖

運行圖內當然記載 站名、時刻、列車軌跡線及車次，也記載站間的距離、坡度、閉塞方式的種類、單線/複線、站場種別及路線有效長、電化區間、變電所位置、機車區、電車區的位置等事項。

運行圖用於修改時刻表等計畫及日常的運轉整理(因事故、災害導致列車運轉混亂時，快速回復正常運轉之作業)，又，車輛、人員、設備及資材等的各種計畫也是依靠運行圖來計畫。

2.2. 運行圖的種類及目的

運行圖依使用目的分成下列：

(1) 1 小時刻度的運行圖

時間線的刻度以 1 小時為單位的運行圖(1 小時的寬度為 20mm 或 30mm)，比起以下的 2 分鐘刻度的運行圖(1 小時的寬度為 60mm 或 38mm)，1 天份的寬度比較精簡。因此，容易掌握線區內的列車狀態，但於各站的列車運轉時刻無法正確表示。

此 1 小時刻度的運行圖使用範圍，主要用於製作長期計畫、修改時刻表的構想、車輛運用計畫、列車運轉整理等。圖 2.2 為 1 小時刻度的運行圖。

(2) 10 分鐘刻度的運行圖

時間線的刻度以 10 分鐘為單位的運行圖，使用方式和 1 小時刻度運行圖一樣，但用於車次密集的線區。圖 2.3 為 10 分鐘刻度的運行圖。

(3) 2 分鐘刻度的運行圖

時間線的刻度以 2 分鐘為單位的運行圖，此運行圖為停車場線上列車的運轉時刻可以 15 秒為單位表示。又 1 小時刻度的寬度為 60mm 或 38mm，比起 1 小時刻度的運行圖大很多。

此 2 分鐘刻度的運行圖為，建立列車運轉計畫的基礎，所以修改時刻表、計畫臨時列車、各種工程施工等實施階段的計畫都是以 2 分鐘刻度的運行圖來做。此外，列車運轉時刻表也是使用本運行圖來調整。圖 2.3 為 10 分鐘刻度的運行圖。

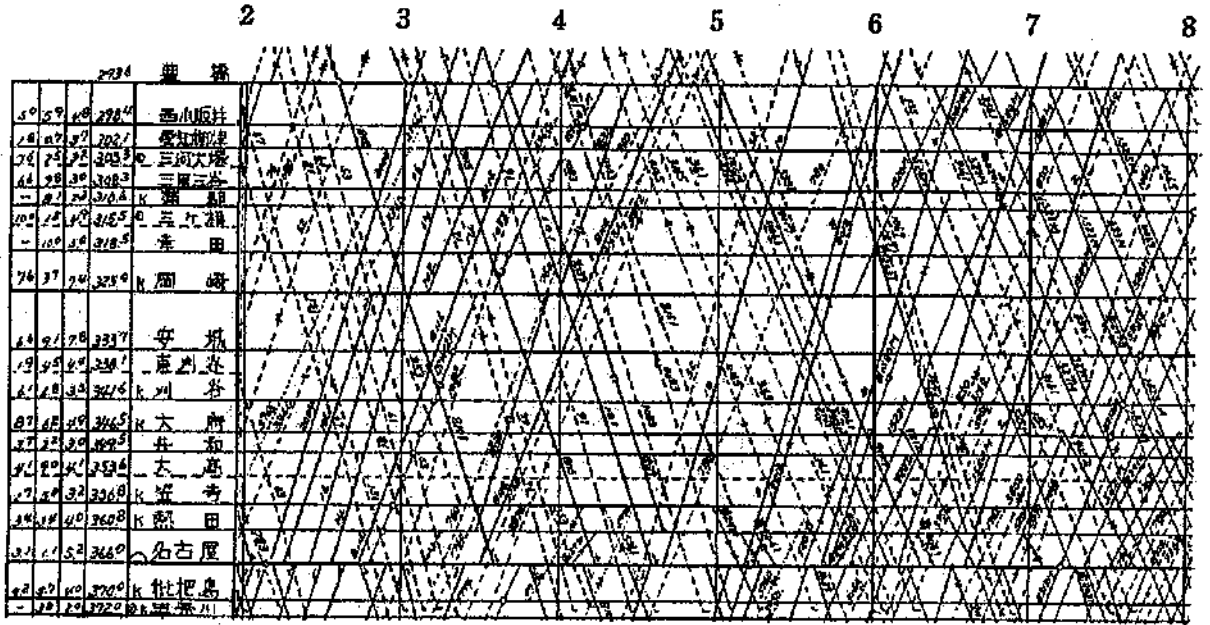


圖 2.2 1 小時刻度運行圖(東海道正線的例子)

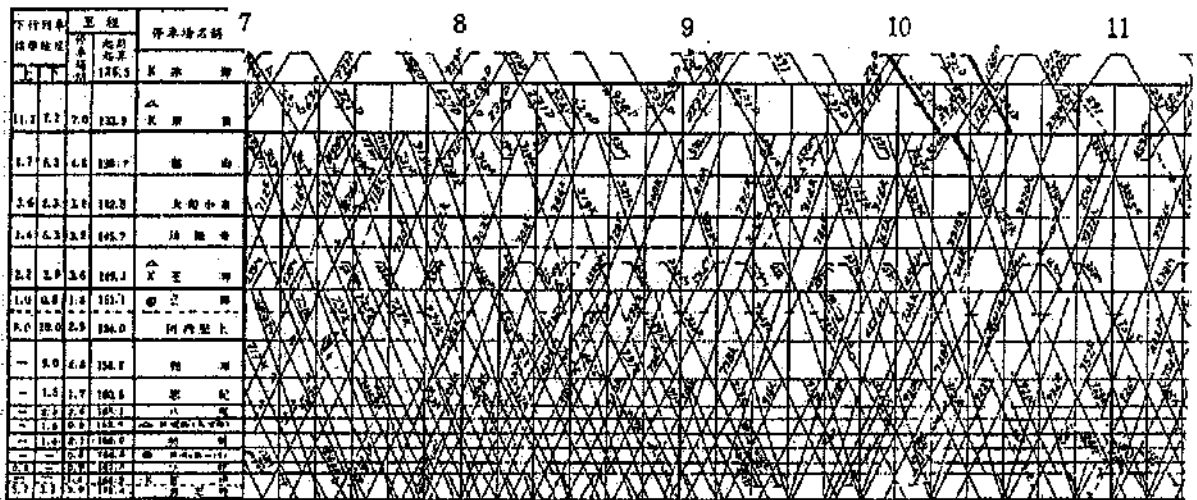


圖 2.3 10 分鐘刻度運行圖(關西正線的例子)

又，管理局的調度員，使用此 2 分鐘刻度運行圖事先記載每日的列車運轉計畫及變更事項，執行當天的運轉狀況檢查及運轉整理。圖 2.4 為 2 分鐘刻度的運行圖。

(4) 1 分鐘刻度的運行圖

時間線的刻度以 1 分鐘為單位的運行圖，和 2 分鐘刻度運行圖一樣，運轉時刻可以 10 秒為單位表示。

此運行圖用於如東京附近國電運轉區間，車次很密集的線區。又，1 小時刻度的寬度為 120mm，1 天的運行圖寬約 3 公尺。圖 2.5 為 1 分鐘刻度運行圖。

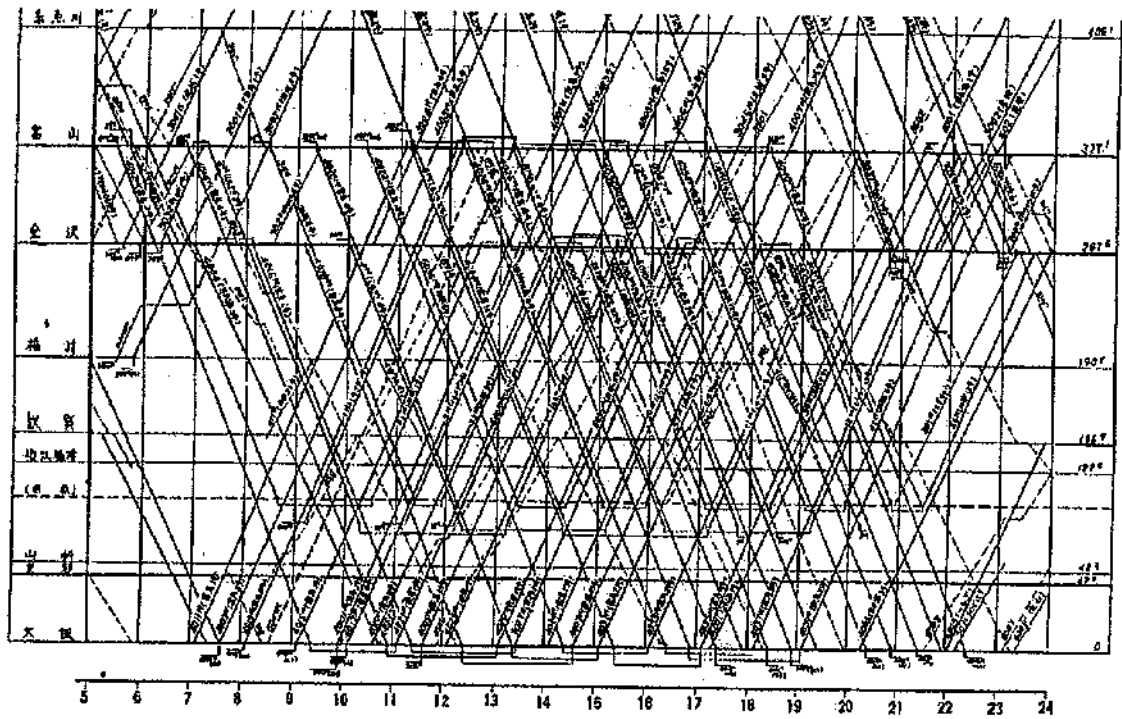


圖 2.6 主要旅客列車運行圖(北陸正線)

(5) 其他的運行圖

上述的運行圖為記入同一路線所有列車，但是發生事故、災害時，客車、貨車個別記入較為方便。

因此，總公司等廣範圍線區的運轉整理處所，特別將客車、貨車的運行圖分開製作。其中只記入主要旅客列車的運行圖稱為「水災運行圖」。

圖 2.6 為其中 1 例。

2.3. 運行圖的看法

運行圖記載列車運轉的必要事項。運行圖上部記載路線名稱、修訂日期、調整處所名稱，左邊由左開始，記載站間坡度、站間距離、從起點開始的距離、站名、站的類別等記號，右邊從左開始記載站名縮寫、閉塞方式及單線/複線、正線的有效長及有無月台、電化區間、變電所、給水設備等。列車軌跡線加記車次，以下的記號可以區別車種。

(1) 運行圖表示記號

A. 列車線記號

特快及普快 (含電車)	
普客 (合併時畫 2 條)	
行李客快	
行李客普 (含電車，但運送 旅客區間除外)	
行李客普 (限運送旅客區間)	
定期回送客車 (含電車)	
季節回送客車 (含電車)	
特快及普快氣動車	
普氣動車	
普行李氣動車	
定期回送氣動車	
季節回送氣動車	
混合列車	
高速貨列 A、同 B 及直行	
貨物列車	
快貨	
專貨列 A	
專貨列 B	
普貨列 A	
普貨列 B	
解結貨列 A	
解結貨列 B	
試運轉列車	
工程列車	
排雪列車	
配給列車	
定期單行機車列車	
季節單行機車列車	

B. 配合列車運轉條件，A 的附加記號

季節列車 (A 名稱有表示的除外)	
季節列車，(指定日運轉)	
指定日運休	
指定口停車 (站與車的交點處)	
事先指定變更時刻的運轉列車	
補機-定期 (沿列車線上方)	
補機-季節	
閉塞區合併運轉列車 (括於列車線兩端)	

(2) 停車場種類或設備狀況記號

A. 停車場種類記號

號誌站	
臨時停車場 (臨)	
折返式停車場	
無職員配置停車場	
業務委託	
旅客列車無法相互交會的停車場 (回送列車除外)	
無法區別上下正線的停車場 (閉塞區間內的停車場可省略)	
貨物處理站	
RC 區間的控制站	
RC 區間的被控制站 R1 R2 R3 (數字為控制站、被控制站間為 同一數字，鄰接控制站相互間使用 不同的數字)	

B. 停車場設施記號

機車區停車場	
同支區停車場	
正線內有機車給水設備的停車場	
上行列車給水	
同上(備用)	
下行列車給水	
同上(備用)	
上下行列車給水	
同上(備用)	
副正線有月台的停車場	
同一副正線可上下列車	
待避的 停車場(只限於必要時)	

C. 閉塞方式種類記號

自動閉塞區間	A
自動閉塞區間(CTC區間)	A
	(CTC)
聯鎖閉塞式區間	C
無牌證避塞區間	T
路牌閉塞區間(1, 2, 3, 4)	
(記載路牌的種類)	
票卷閉塞區間(一, 二, 三, 四)	
(記載票卷的種類)	
路牌區間(①, ②, ③, ④)	
(記載路牌的種類)	

D. 電化區間記號

直流電化區間	
交流電化區間	
變電所	
中性區間	

E. 路線數記號

複線區間	
3線區間	
4線區間以上	

(3) 通過或停車的表示

A. 依列車線要判別停車或通過時，依據下列提出的地方，表示停車或通過。但是，有特別的原因時，也可例外。

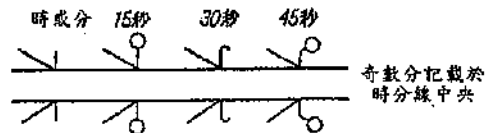
(A) 原則為通過的特快客車、普快客車、行李列車及貨物列車，停車場線加註「○」記號表示停車。

(B) 前述(A)以外的列車，停車場線加註「→」記號表示通過。

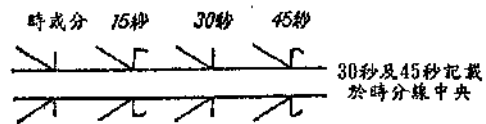
B. 旅客列車不處理行李而停車時，停車場線加註「→」記號表示。但是，只待避或交會而停車時，停車場線加註「●→」記號表示。

(4) 2分刻度及1分刻度運行圖時刻記號

A. 2分刻度運行圖時刻記號



B. 1分刻度運行圖時刻記號



3. 列車計畫

鐵路是靠列車運轉來輸送旅客或行李、貨物等，亦即提供運送服務，收取運費、使用費，以一般企業來講，「列車」就是商品。

商品的生產-列車的設定-為依據經營方針、過去的運送實績及經濟情勢等的分析，設想需求，綜合檢討設備投資計畫、人事計畫後編定計畫，此運送計畫業務的基本要素如圖 3.1。

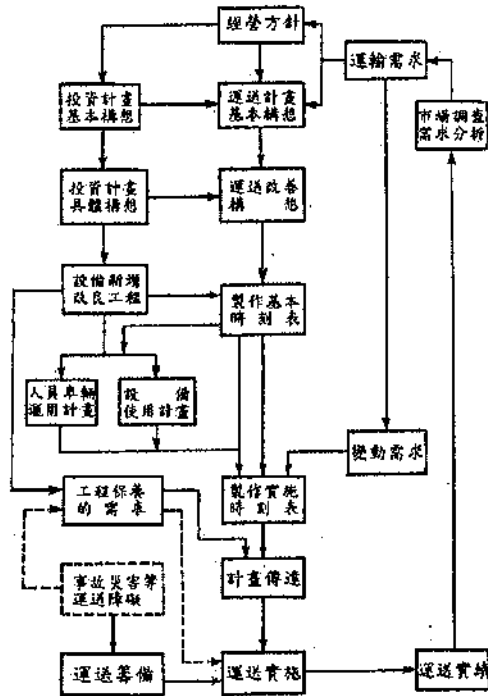


圖 3.1 列車計畫的流程

3.1. 運送計畫的構想

(1) 經營方針

國鐵最高的議決機關為理事會及常務會，審查長期構想、近代化計畫、營業目標的設定等，其決定將反映在運送計畫。(註：重要的運送改善由總裁決定-輸送管理規程)。

(2) 運送實績

在策劃運送計畫上，設想運送需要是重要的，但其基礎為運送實績。其代表數值為：

- 運送量(運送人數、人公里、噸數、噸公里)
- 客貨的地區性流動狀況
- 運送變動(季節、星期、時間變動)

這些實績除了定期調查、統計資料(每天的乘坐報告)，必要時做特別調查(指定調查日期、時間、區間、列車等的調查)作為計畫的基礎。

(3) 需求預測

鐵路事業要提供優良的產品，亦即針對旅客、貨主的需要，設定運送能力是最重要的，因此需要預測合適的需求。

需求預測為依據運送實績，分析經濟情勢等各種因素來分析：

- 經濟因素(國民總生產、國民所得、個人消費支出等)
- 產業因素(工業生產指數等)
- 人口因素(總人口、就業人口、站況人口、沿線產業分布等)

也要設想與其他的運輸機構等的關係。

(4) 運送計畫基本構想

設想運輸需求，亦即設想運輸量，就是設定含運送服務的運輸能力，思考長期計畫、近代化計畫等的做法，同時訂定營業目標，運送能力的規模、車種的分配、時刻表修改的時機及方法等，決定實際以列車作為商品的基本構想。

(5) 設備計畫

決定基本構想後，檢討必要的車輛數及所需的設備，籌措預算。此時，當然要做收支預測，有時因為預算的限制，也會修正運輸計畫。

又，設備計畫中增線及電化等大部都以長期計畫來進行，輸送計畫應配合設備的完工日期來制訂。

此時各種不同任務的列車當然要在時刻表內組合，所以要一次完全做出時刻表有困難，因此，起初為思考線區的任务，從商品價值高的先設定，完成架構後再經由依序加入的過程來完成。此階段稱為時刻表草案，此草案形成的過程經由多次會議，修正、整理問題點來完成，全國規模的完整修改約需 1.5~2 年的期間。

圖 3.2 主要是表示時刻表修改的時程。

3.2. 時刻表修改作業

根據上述，計畫的規模、運送條件明確化後，接著轉移到所謂的列車設定作業，通常此輸送計畫的基本構想以實際的列車設定具體化階段稱為「列車計畫作業」。

又，時刻表修訂為製作可以整年使用的時刻表，但此基本時刻表設定的列車為，定期列車、季節列車、預定臨時列車，其中除了整年運轉的定期列車，季節列車、預定臨時列車乃至於因應需求而加開的臨時列車，訂出因應需求變動的計畫，實際加入每天運輸的列車之運轉計畫則為「實施時刻表」。

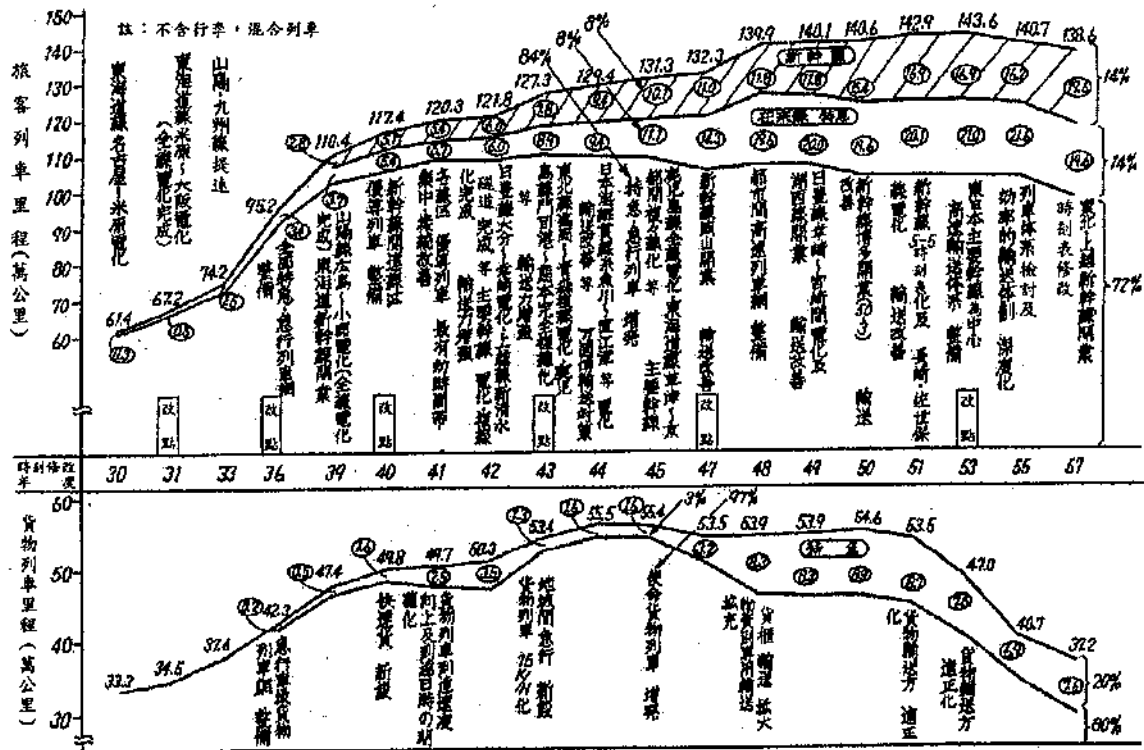


圖 3.2 時刻表修改時程及設定公里

3.3. 列車的設定計畫

(1) 列車的意義

所謂列車，就是以在「停車場」外的路線運轉為目的而組成的車輛。因此，站內運轉車輛的調車等車輛的移動，不能稱做列車運轉。又，不同停車場相鄰處所看成同一停車場內同區間運轉的不是列車，也有以調車班次來運轉。例：東海道本線汐留・東京市場間等。

(2) 車種

列車以運送的對象、目的、編組列車種別、動力車別、運轉期間來分類：

A. 依運送目的分類

- (A) 旅客列車
- (B) 行李列車(旅客行李)
- (C) 混合列車(客貨)
- (D) 貨物列車(使用貨車運送)
- (E) 特殊列車(出租列車、試運轉列車、排雪列車等非營業列車)
- (F) 單機列車

B. 依列車任務分類

- (A) 特快客列
- (B) 平快客列
- (C) 普客列車
- (D) 回送列車
- (E) 快速行李列車
- (F) 普通行李列車
- (G) 高速貨列
- (H) 專用貨列
- (I) 汽車直通貨列
- (J) 集配貨列

C. 以編組分類

- (A) 客車列車
- (B) 電車列車
- (C) 氣動車列車

此種分類適用於旅客列車、行李列車及特殊列車。

又，機車牽引的列車，其使用動力別內再細分為蒸氣機車列車、電氣機車列車、柴油機車列車。

D. 依運轉期間分類

(A) 定期列車

全年每天運轉的列車。但是，也有指定不運轉日期的列車(假日停駛)。

表 3.1 列車種別及設定旅程、趟數

		S 59年2月1日現在			
列車種別		設定里程 (千公里)	設定趟數 (趟)		
旅客 列車	客 車 列 車	特別急行客車列車	44	54	
		普通急行客車列車	22	43	
		普通客車列車	65	658	
		回送客車列車	2	231	
	電 車 列 車	特別急行電車列車	(195) 319	(357) 920	
		普通急行電車列車	28	160	
		普通電車列車	547	11,700	
		回送電車列車	(11) 30	(362) 1,644	
	氣 動 車 列 車	特別急行氣動車列車	24	82	
		普通急行氣動車列車	55	326	
		普通氣動車列車	247	5,086	
		回送氣動車列車	6	455	
(旅客列車計)		1,389	21,599		
貨 物 列 車	客車列車	急行荷物客車列車	27	38	
		普通荷物客車列車	4	37	
	電車列車	普通荷物電車列車	3	30	
		氣動車列車	普通荷物氣動車列車	1	7
(荷物列車計)		35	112		
混合列車		0	0		
貨 物 列 車	貨 物 列 車	高速貨物列車A	12	12	
		高速貨物列車B	96	114	
		高速貨物列車C	23	57	
		專用貨物列車A	49	301	
		專用貨物列車B	19	286	
		車扱直行貨物列車A	67	151	
		車扱直行貨物列車B	3	15	
		集配貨物列車A	12	290	
		集配貨物列車B	14	334	
		(貨物列車計)		295	1,560
		特殊列車		22	485
單行機區車列車		22	1,748		
合 計		1,763	25,464		

設定里程、趟數欄內的()為新幹線。

(B) 季節列車

每當修改時刻表，要準備隨時可運轉的時刻表、車輛、人員等，配合運輸的變動指定運轉期間及日期的運轉列車。

(C) 臨時列車

有需要時，事先決定時刻等的運轉列車。利用多餘的車輛、人員。又，修改時刻表時，也有只規定預定時刻的臨時列車，但要防止運轉臨時列車時，不要與定期、季節列車的時刻表衝突。

E. 其他分類

除了上述的分類，必要時，也使用如晝車、夜車、商務車、快速列車等名稱。

表 3.1 為上述列車種別及車種各自設定的旅程及趟數。

(3) 時刻表構成

A. 運轉時間

構成列車時刻表時，是根據運轉時間，再考慮列車使用的車輛性能及編組內容、路線坡度、曲線等路線條件，製作標準運轉時間，依此檢討時刻表的構成，同時決定各站間的運轉時間。具體的說運轉時間就是標準運轉時間加上預留時間。希望列車經常能準點運轉，可是由於事故、災害而誤點，即使平常由於旅客的上下、行李的裝卸、工程施工等，列車慢行等有很多暫時的誤點。因此需要預留吸收此暫時的誤點，通常對於標準運轉時間，複線區間以 2~3%、單線區間 3~5% 為標準。又，找出前後列車的間隔、單線區間交會列車等損失的時間，包含於預留時間內。

B. 運轉時隔

行車一定要安全、正確且迅速。因此，設定時刻表時，列車相互間一定要保有安全且合理的「運轉時隔」。

運轉時隔種類分為：

(A) 續行時隔(同方向列車間)

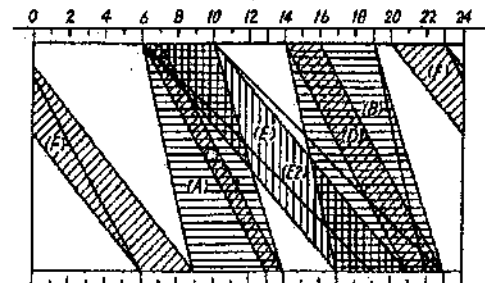
(B) 交叉時隔(車站出入列車間)

(C) 交會時隔(單線區間)

考慮列車的速度、編組長度、號誌設備等來求得。

C. 到開時刻

設定列車時，配合該列車的任務、運送目的，亦即列車要設定於旅客容易利用的時間帶。此時間帶稱為列車有效時間帶，圖 3.3 及圖 3.4 為特快、快車的有效時間帶及所需時間的關係。



A-B 為晝行列車的有效時間帶，F 為夜行列車的有效時間帶

圖 3.3 旅客列車的有效時間帶

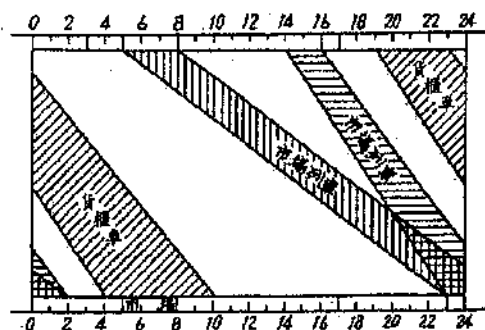


圖 3.4 貨物列車的有效時間帶

旅客日間列車時，早上 9 點左右、下午 13 點左右，或 17 點以後出發最爲有效，依據所需時間 A~E 爲日間列車的有效時間帶。

F 爲夜行列車時，晚餐後的 20~22 點出發，隔天早上 7~8 點左右到達，所需的時間爲 10~11 個鐘頭爲最適當。

貨物列車和貨物配送地的裝卸作業時間有密切關聯。

貨櫃列車白天卡車集貨，傍晚後始發，另一方面，目的地則希望可以在白天早上到達。

又，鮮魚等市場列車，趕上大清早的拍賣時間帶爲有效時間帶。

D. 列車的接駁

設定旅客列車時，2 線區以上的分岐站的列車到開時刻，要考慮與其他線區的列車接駁來設定。又，不只是分岐站，在同一線區特快、快車、平快、普通列車相互間的轉乘也要考慮能夠平順。

(4) 時刻表作業

根據上述的條件來製作時刻表，但前述以外，綜合檢討車輛運用、乘務員運用等所謂的輪轉資材是否能有效運用的時刻表。

又，修訂時刻表時，修訂日爲依據新的時刻表來運轉列車，跨越修訂前一天到隔天運轉的列車，因新舊時刻表不同，產生如何處理的問題。此稱爲列車的移交，此外車輛運用及乘務員運用的替換也是必要。這些作業也是時刻表改定時不可或缺的作業。

4. 運轉控制

以前談的都是時刻表，實際上爲了運轉這些列車，需要各種設備。還有這些設備是依據甚麼標準設計、計畫，請看下列說明。

4.1. 路線容量

檢討各種運輸需求，其中增強運輸能力要增加車次、加大編組。一定的路線上最多能夠運轉多少車次爲最大目標，要用路線容量來表示。

路線容量爲 1 條路線 1 天最多的總列車趟數。此爲隨時有效的可以運轉最大總列車趟數，並非不分晝夜可以運轉計算上的最大總列車趟數。因此，去除線區的特性，同時依據線區的運轉形態(列車種別及其比例、有效時間帶等)、設備條件(閉塞方式、閉塞區間分割方式、有無待避線等)，有很大的不同。

路線容量 N 從下式算出：

$$N = f \cdot N'$$

N ：路線容量(N' ：算出的 1 路可能的最大總列車趟數)

f ：路線利用率(路線可用的比例，一般爲 50~75%)

此 N' 簡單的說 24 小時(1,440 分)以站間的列車平均運轉時間來除，再經由高速列車、低速列車的比例，待避的延長時間等修正，再依據 N' 算出 N 。

以最單純的通勤電車專用區間爲例，不分高低速列車，也不考慮待避時間，可以依下式概算：

$$N = (1,440 \cdot f) / h$$

h ：最小運轉時隔

最小運轉時隔爲 3 分鐘，路線利用率 0.7 來算，路線容量爲 336 趟。

這樣算出的路線容量，但不光是通勤電車專用區間，還有單線區間、複線區間等。且這些路線上各種列車在運轉。

那麼，這些線區的路線容量如何算出，實際使用的概算如下：

4.1.1. 複線區間的路線容量

$$N = \frac{f \cdot T}{hv + (r + u + l)v}$$

N：路線容量(上或下行單線的總列車趟數)

f：路線利用率(以 60% 為原則)

T：1,440 分(一天 24 小時×60 分)

h：續行高速列車相互的運轉時隔
(一般以 6 分為原則)

r：先到站的低速列車與後到的高速列車必要的最小運轉時隔
(一般以 4 分為原則)

u：先出站的高速列車與後開的低速列車間必要的最小運轉時隔
(一般以 2.5 分為原則)

v：高速列車趟數比：

$$\frac{\text{高速列車趟數(設定)}}{\text{單線列車趟數(設定)}}$$

v'：低速列車趟數比：

$$\frac{\text{低速列車趟數(設定)}}{\text{單線列車趟數(設定)}}$$

高速列車・低速列車的區分為，該區間運轉的列車群依據站間的實際運轉時間分成各群，各群的列車趟數比依此算出。

複線區間的路線容量，一般為 260-300 趟。

4.1.2. 單線區間的路線容量

單線區間，低速列車待避高速列車，也有續行列車。一般這些都假設為淨時刻表，使用下式的概算：

$$N = \frac{f \cdot T}{t + c}$$

N：路線容量(上・下行的總列車趟數)

f：路線利用率(以 60% 為原則)

T：1,440 分

t：1 列車的平局站間運轉時間

c：閉塞操作時間(自動、聯鎖、無牌證閉塞方式為 1.5 分，其他區間 2.5 分)

單線區間的路線容量，以上下行合計來表示，不管怎樣都有一個標準數值，自動區間也有設置閉塞號誌機，續行列車較為容易，和無牌證閉塞式比起來，列車容易設定，對於跟隨列車多的線區會增大路線容量。

4.2. 運轉時隔

4.2.1. 運轉時隔的想法

運轉時隔為先行列車與後續列車的運轉時隔以時間來表示，其中通過該線區的最多趟數稱為最小運轉時隔。

一般的運轉時隔都排除此最小運轉時隔，此運轉時隔分為列車設定上的最小運轉時隔及設備上的最小運轉時隔。都是說通過線區的最多趟數，只有一處特別小，不能說是最小運轉時隔。

最小運轉時隔的距離間隔為，可說是後續列車從該時點的速度到先行列車所需的煞車距離，太接近先行列車，就必須設定減速煞車。亦即，需要依據計畫列車的標準運轉曲線、標準運轉時間來執行運轉控制。

因此後續列車不需要經常對於間隔控制採取減速煞車，而可以依進行號誌來運轉為前提條件。相反地，依速度則不需要經常顯示進行號誌。

這樣的最小運轉時隔，因列車間隔的控制方式、閉塞區間長短、列車編組長度、加速度、減速度及站場佈置而異，一般地面號誌方式的自動區間，以 2 分為限。

列車設定上的最小運轉時隔，例如：尖峰時段 1 小時 24 趟車的列車運轉區間為 2 分 30 秒。

因此，列車設定上的最小運轉時隔，因為預留運轉時間，至少要 10 秒以上，因此一般為 2 分 20 秒以下。因為此預留而能吸收 1 趟列車的延誤。

4.2.2. 最小運轉時隔的算法

最小運轉時隔的算出，依據圖 4.2 的時間·距離曲線。

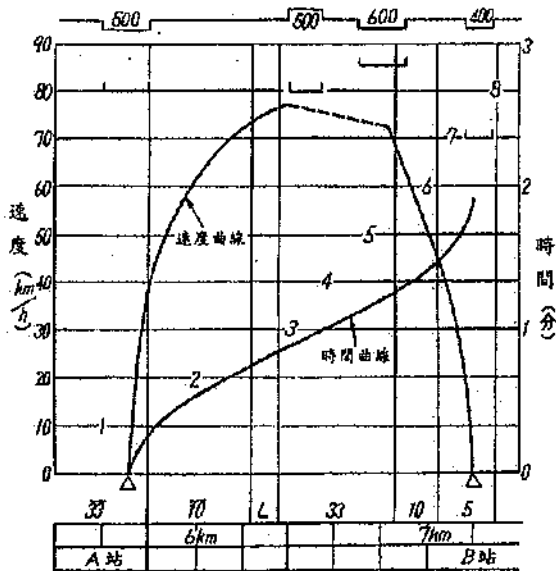


圖 4.1 運轉曲線

此運轉時隔曲線圖(時間·距離曲線)為以圖 4.1 的運轉曲線圖(距離·速度曲線)為基本而繪出。

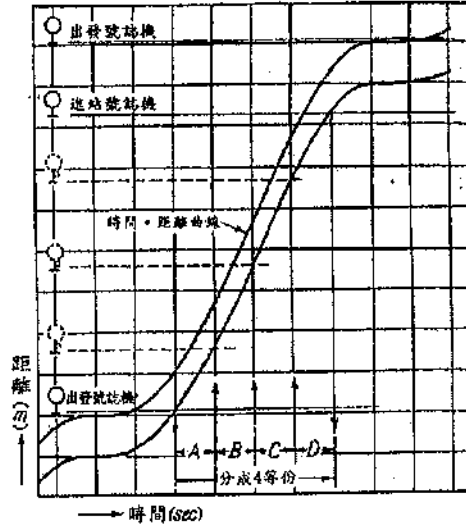


圖 4.2 號誌機設置位置的決定

(1) 自動閉塞區間的最小運轉時隔

依據圖 4.1 的運轉曲線圖算出的時間曲線繪製如圖 4.2 的時間-距離曲線，記載號誌機及規定的停車位置。以此運轉時隔圖，於運轉曲線圖比較各地點的速度，同時使用下列方法，檢討各地點的最小運轉時隔。

又，號誌機的設置位置如圖 4.2 所示，於表示列車尾端的時間曲線，出發號誌機及進站號誌機的站間運轉時間，以線區的運轉時隔來考慮，自動號誌設置數量+1 來分割決定設置位置。又，於現場考慮號誌機的瞭望距離，檢討下述的最小運轉時隔能否確保。於此，對於進站號誌機及出發號誌機，是依照運轉規章來決定。

各閉塞區間，以依據號誌顯示指示的速度可以煞住為前提。最小運轉時隔的檢討，因站內路線配置等的設備條件而異，各種檢討方法從圖 4.3 到圖 4.7 表示。又，這裡使用的文字如下：

- T: 最小運轉時隔(設備上)
- t₁: 號誌顯示的變化時間(1秒)
- t₂: 列車開車後到車尾進入出發號誌機內方為止的時間。
- t₃: 停車時間
- t₄: 車頭進入進站號誌機內方後，到停車為止的時間。
- t₅: 後方第1閉塞號誌機與進站號誌機之間的行駛時間。
- t₆: 從計畫速度(於運轉曲線的速度)減速到 45km/h 所要的距離為以初速行駛的時間。

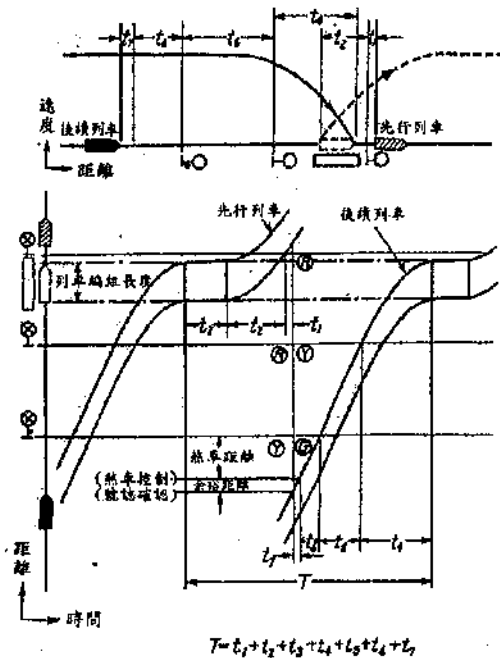


圖 4.3 1線到開

(先行列車超過出發號誌機時)

- t₇: 乘務員確認號誌顯示到起動煞車為止的時間(3秒)。
- t₈: 設置進路所需的時間(第1種聯鎖為5秒，其他20秒)。
- t₉: 列車或車輛出發後，其尾端離開進路鎖錠區間為止的時間。
- t₁₀: 從確認號誌顯示到出發為止的時間。
- t₁₁: 列車分割或合併所需的時間。
- t₁₂: 併合車起動後到連結完畢所需的時間。

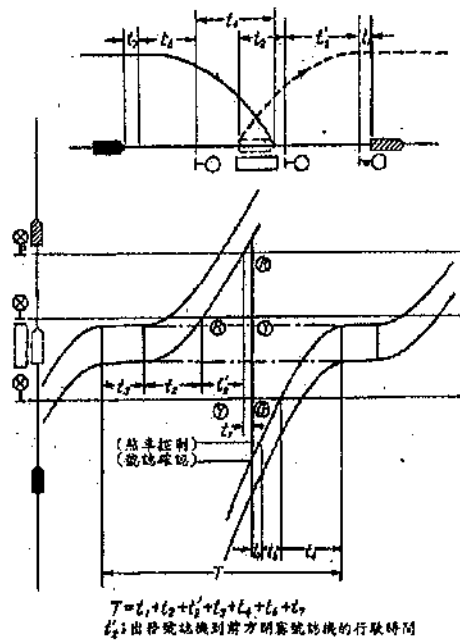


圖 4.4 1線到開

(先行列車超過出發號誌機內方的閉塞號誌機時)

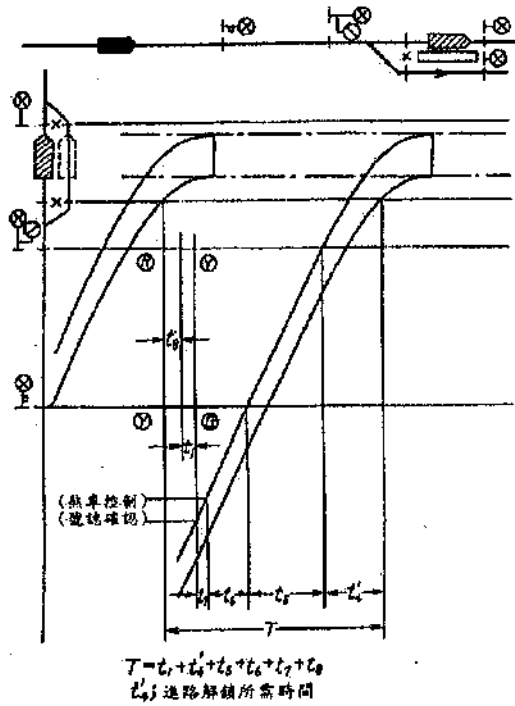


圖 4.5 2 線到開時

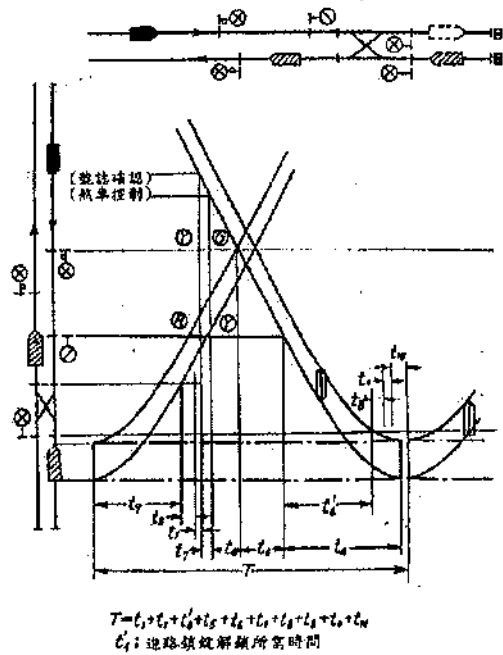


圖 4.6 2 線折返時(交會妨礙)

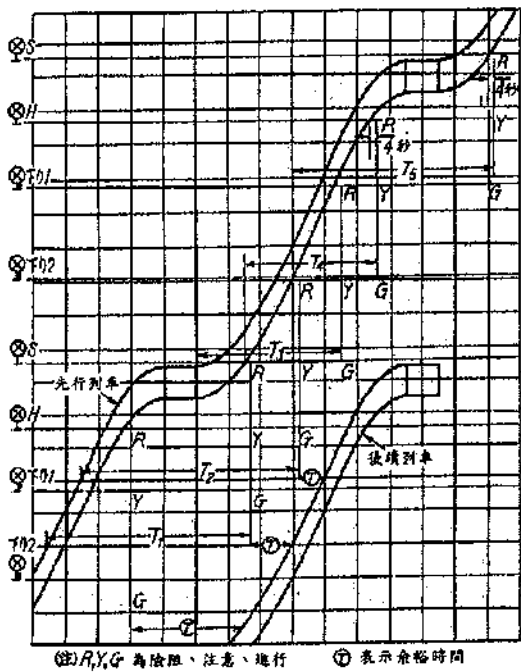
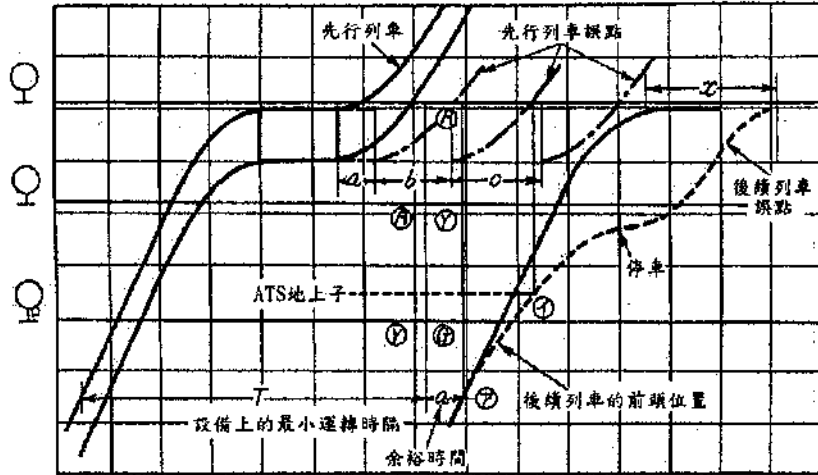


圖 4.7 最小運轉時隔檢討圖

這些檢討一定要注意的地方為，調查號誌顯示的確認地點或計算必要的煞車距離。煞車距離因列車而異，加上煞車操作余裕(乘務員從確認號誌顯示到採取煞車動作為止的時間，一般為 3 秒)以外，也要考慮空走距離。又，於號誌確認地點的計畫速度為，例：後續列車為停車列車等計畫速度較低時，前方的號誌機不一定要顯示進行號誌，只要比計畫速度還高的號誌顯示即可。但是，考慮到回復運轉的需要，設定經常可以確認進行號誌的運轉時隔，這樣列車時刻表才能準點。

最小運轉時隔的余裕時間，亦即從列車設定上的最小運轉時隔與設備上的最小運轉時隔的差來看，如圖 4.8 先行列車誤點時，對後續列車是否能減少影響有關。

於圖 4.8，若先行列車誤點在余裕時間內，對後續的列車就沒甚麼影響，若超過就會開始影響到後續列車。



- (注1) a, b, c : 先行列車的誤點時間
 (注2) z : 後續列車的誤點時間
 (注3) 通常 $a+b+c > z$ ，列車混亂於數趟列車後收斂的部份

圖 4.8 先行列車誤點，對後續列車的影響

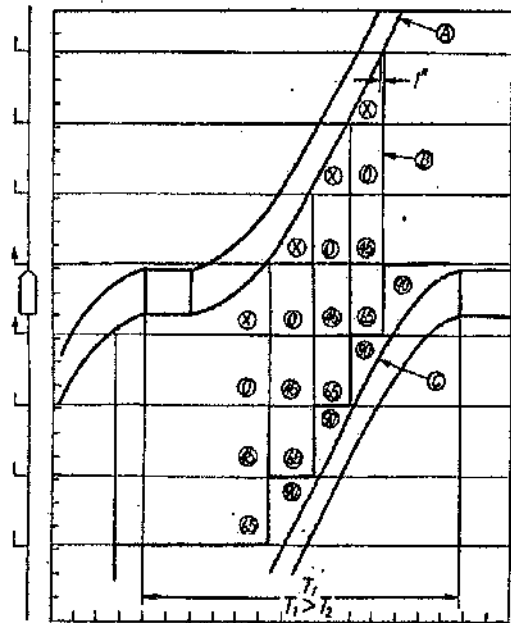
(2) 速度控制式區間的最小運轉時隔

列車防護方式使用速度控制式的線區，所謂車上號誌裝設的 ATC，即使是列車間隔優先控制的線區，可以如圖 4.7 和地上號誌區間一樣依據運轉時隔圖算出最小運轉時隔。

如前項的地上號誌區間，考慮號誌機的瞭望距離，每個都要查定從各號誌機的計畫速度到注意號誌等為止的必要煞車距離，速度控制式，則為記入先行列車行駛而產生的號誌顯示，可以一目了然。

圖 4.9 為重疊方式時的運轉時隔曲線。

首先，畫出先行列車的時隔曲線①，於列車尾端通過各軌道電路點，加上號誌顯示變化時間(1秒)往下畫出直線②。接著記入各軌道電路限制速度(號誌顯示)的對應煞車距離，後續列車的時間曲線不要受到此號誌顯示的煞車控制，例：45km/h 以上的速度進入停車場時，不要進入 45km/h 區間，畫出後續列車的時間曲線③，可以算出最小運轉時隔。



(注) T_1 : 半重疊時

圖 4.9 速度控制式的最小運轉時隔(1線到開時)

(3) 縮短最小運轉時隔

考慮提高運輸能力，加大列車編組、增加車次，加大列車編組需要延長有效長或月台等各種對策。通常比較容易的方式為增加車次，如通勤電車區間已經以 2~3 分時隔運轉的線區，需要改善號誌設備。

A. 自動號誌區間(地上號誌方式)時的運轉時隔短縮

地上號誌方式的區間，從其時隔曲線也可知，一般都增設號誌機。亦即，閉塞區間分割為較小區間，運轉時隔只有該 1 閉塞區間的行駛時間縮短。

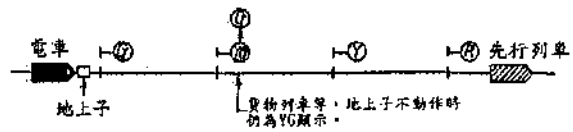
特殊情況下，停車時間長的站，設置 2 線到開、引導號誌等，但非全部區間適用，只適用於部分區間。

一般都採用分割閉塞區間、增設號誌機(隨之而來的需要移設號誌機、變更號誌顯示方式)。這樣此也是有所限制。例：中央線東京・高尾間 53.1km 的區間，單線約 70 分間需要 30 秒 1 次的比例確認號誌顯示，逾此，號誌機的增設從設備面、動力車乘務員的速度控制來看，為不可能的區間，因此產生極限。

又，對於運轉煞車性能不同的列車之區間，縮短運轉時隔時閉塞區間的分割就變難。亦即，若配合煞車性能高的列車來分割，對於煞車性能低的列車，就變為速度控制不可能的區間，反之若配合煞車性能低的列車來分割，結果就拉長了煞車性能高的運轉時隔。這種區間要裝置「列車選別裝置」(IDENTRA)。

此種列車選別裝置，號誌的顯示可以隨著煞車性能高(電車)及其他列車(客車、貨物列車)而變更，可以縮小電車的運轉時隔。

此種裝置由地上及車上裝置組成，地上裝置為地上子(線圈)、振盪器、濾波器等組成，車上裝置只有車上子(線圈)。此車上子裝於電車上，如圖 4.10，只有電車時，減速號誌變為進行號誌。



(註) 採用列車選別的控制 ① 稱為 CYG

圖 4.10 列車選別裝置的號誌控制

B. 速度控制區間的運轉時隔短縮

速度控制式(使用車上號誌的 ATC)時採用重疊方式，軌道電路可以再分割。又，重疊方式還可以導入半重疊方式。

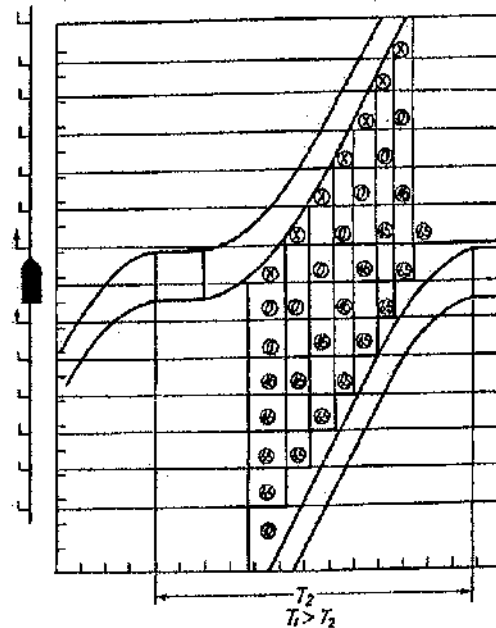


圖 4.11 半重疊方式的最小運轉時隔

圖 4.11 為半重疊方式的一例。對於 ATC 進路，和永遠都是重疊方式時的區間長度一樣，但隨著先行列車的前進，每個細分化的軌道電路，對於後續列車都能顯示上位號誌。因此軌道電路的分割為，和各 ATC 進路的列車煞車距離比較，依坡度、曲線來修正加減速度。

設定 ATC 進路時，各速度段的煞車距離(含空走)為最小區間的倍數，最終速度段儘可能留余裕。下列的煞車距離的計算式作為參考：

$$S = \frac{V_2^2 - V_1^2}{7.2\beta} + \frac{V_2 \cdot t}{3.6} \quad (\text{m})$$

S：含空走的煞車距離 (m)

V₂：初速度 (km/h)

V₁：終速度 (km/h)

t：煞車時的空走時間 (s)

β：減速度 (km/h/s)

又，減速度的坡度補償依據下式：

$$\beta_c = \beta \pm 0.035 \gamma$$

β_c：修正後的減速度 (km/h/s)

β_l：坡度有關的減速度 (km/h/s)

γ：坡度 (‰)

(下坡為-，上坡為+)

對於上述的各方式，各號誌顯示所謂的速度段，對於各煞車控制都附加余裕距離(含一度解除煞車的空走距離)，若速度段多，就會使運轉時隔變長。即使是原來的號誌方式，險阻(R)、進行(G)之外，附加注意(Y)，乃至警戒(YY)及減速(YG)，運轉時隔也會變長。但是，因為附加這些，運轉得以平順，前述的列車誤點可以提早結束，是必要的。

解決這些缺點，進一步縮短最小運轉時隔有逼近方式(Closing in system)。逼近方式亦即閉塞區間配合列車的運轉速度而縮短，引進 ATC，所謂移動式閉塞方式的

想法。先行列車與後續列車的運轉間隔終究要配合後續列車的速度的，來確保煞車距離，反之則可以接近到離該距離的地點。

由此方式，閉塞區間配合後續列車而縮短，同時隨著先行列車的前進而移動。因此可減少列車相互間隔的浪費，可以有效縮短運轉時隔。

5. 列車的運轉控制及運送管理

為了讓上述設定的列車正常運轉，所有部門的人員都要參與，此處從列車的運轉控制及運送管理來談。

5.1. 列車的運轉控制及各種設備

不限於運送，對於所有的作業部門，確保安全是不可或缺的要件，同時要求提高效率。為了達成運送業務的安全、正確又迅速，必要的軌道等各種設備有機地結合為運轉保安設備是當然的。於此，列舉列車的運轉控制及對應的各種設備：

表 5.1 列車的運轉控制及各種設備

運轉控制	控制內容	基本設備	近代化設備
進路控制	進路設定的控制	聯鎖裝置	自動聯鎖裝置 ARC、PRC RC、CTC
間隔控制	列車相互間的間隔控制 聯鎖時隔的調整控制	閉塞裝置 號誌裝置	ATS
操縱控制	停車控制 減速控制 定位置停車控制 定速度運轉控制		ATC (ATO)
運轉監視控制	障礙物檢知控制	各種警報裝置	
列車群管理控制	運轉計畫管理控制	運轉計畫管理控制等	COMTRAC

註：()內為開發中的設備

對應的設備中：

- 維持運轉的列車相互間的時間之閉塞裝置及號誌裝置。
- 確保停車場內的進路之聯鎖裝置。
- 檢知列車的運轉路線、車輛等的異常，防護列車的各種警報裝置。

為最基本的設備。

以前針對這些設備改善，例如：第 2 種聯鎖裝置改為第 1 種，臂木式號誌機改為色燈式號誌機，提高保安度。再引進自動閉塞和號誌裝置結合成為一體，導入繼電聯鎖裝置，號誌裝置和聯鎖裝置一體化，再加上自動聯鎖裝置，RC(遙控裝置)，CTC(列車集中控制)等的導入，操作的一元化，完成系統的現代化。發展到加上 ARC(自動進路控制)，PRC(程式化進路控制方式)等的開發、導入。

運轉控制內對於操作控制，以前依賴人工(乘務員)，經由上述設備的現代化，這些也需要機械化。號誌顯示經由人眼確認，然後送出減速控制的資訊，有時會產生誤認。因此，利用機器的優點，導入資訊傳達機械化的 ATC(自動煞車)，乃至於 ATC(自動列車控制裝置)。

運轉監視方面，強風、地震等各種警報為基本和 CTC 連結，組成含操作的防災管理系統。

最後組成全體系統，應為能活用人的判斷力之協調式系統。

5.1.1. 閉塞

閉塞的想法，分為「時間間隔法」及「距離間隔法」兩種，又，從操作面來看可分為「人工閉塞」及「自動閉塞」。

(1) 時間間隔法與距離間隔法

「時間間隔法」為先行列車與後續列車間相隔一段時間來運轉。

此方式當列車因某種原因運轉途中誤點時，非常危險，無法用於現在的高速、高密度的線區。

相對地，「距離間隔法」為先行列車與後續列車間相隔一段距離來運轉。

此方式為，先行列車通過某一特定區間，若未離開該區間，該區間不讓其他列車進入。因而，某一特定區間有列車佔用時，不允許其他列車進入，此特定區間無法同時運轉 2 趟以上的列車。因此安全性高，此為目前所用的閉塞方式。

(2) 人工閉塞與自動閉塞

「人工閉塞」為各停車場間只有 1 個閉塞區間，此閉塞的操作由兩端站站長共同操作，取出作為「證物」的「路牌」由列車攜帶。站內出發由站長管理，進路的確保一般使用號誌機(路牌閉塞式、票卷閉塞式、路牌式)。

又，閉塞裝置及確保站內的進路的號誌機間有聯鎖關係，省略閉塞完畢的證物的方式(聯鎖閉塞系統、無牌證閉塞系統)也適用。

另一方面，「自動閉塞」為以機器測知閉塞區間有無列車，閉塞的操作為自動操作，所以不使用路牌，防護閉塞區間的號誌機以號誌顯示。因而站內站外都以閉塞區間分割。通常站內都有轉轍器，需要扳轉到開通方向來構成進路，設置可手動控制這些轉換的半自動號誌機。

5.1.2. 號誌

號誌和號訊、標誌不同，對列車直接指示運轉條件，同時指示能否進入自動閉塞式區間所防護的區間，號誌顯示方式分為「進路表示式」及「速度表示式」。

又，號誌機的設置分為「地上號誌」及「車上號誌」，操作方面分為「進行定位」及「險阻定位」，又分為「絕對號誌」及「容許號誌」，此外地上號誌可分為「臂木式」及「色燈式」。

(1) 進路表示式與速度表示式

「進路表示式」為顯示運轉的進路。例：臂木式號誌機，一般為進行及險阻兩種號誌顯示，該號誌顯示為只指示列車能否進入該號誌顯示地點的內方(防護區間)。因此該號誌機內方有運轉條件不同的 2 條進路以上時，各進路要各設號誌機，指示能否進入，乘務員依此來判別進路適切運轉。

另一方面，「速度表示式」為讓列車進入的限制速度，滿足運轉上的各種條件來顯示號誌，對於各個進路只要 1 個號誌機即可。因此，依據號誌進入速度的指示即可進入該防護區間，同時也指示轉轍器等之限速。

(2) 險阻定位與進行定位

規定號誌顯示的定位，分為以險阻號誌為定位的「險阻定位」及以進行號誌為定位的「進行定位」，也有以號誌不顯示為定位的「引導號誌機」。

「險阻定位」為平常顯示險阻號誌，每次列車運轉時，為確保進路時才顯示進行號誌。

「進行定位」為平常顯示進行號誌，只在該防護區間有妨礙時(閉塞未完成、進路無法確保時)，顯示險阻號誌。

從上述看來，號誌顯示的定位，以乘務員的立場來看，於險阻定位的處所，通過列車時為進站、出發號誌機都顯示進行號誌來運轉，對於停車列車，通常出發為險阻，進站為注意或警戒號誌。

表 5.2 險阻定位與進行定位之比較

	險阻定位	進行定位
①運轉時間	進站速度低，運轉時間變長	進站速度高，運轉時間縮短
②號誌機的操作	每趟列車都要操作	操作較少
③附加定位(停車控制)	可附加，但沒有效果	附加容易，有效果

(3) 絕對號誌與容許號誌

「絕對號誌」於閉塞區間，對於出發號誌機進行顯示，為確保閉塞、確保進路的號誌，轉轍器應位於開通位置。顯示險阻號誌時，除非以手作號誌才能進入該區間。像這種號誌機，設置進路時要使用控制閘柄，通常稱為「半自動號誌機」。

相對地，「容許號誌」為其內方無轉轍器等，其進行指示號誌只有閉塞完畢的意義，設備故障時顯示險阻號誌時，認為有先行列車，以可以立即停車的速度進入，這種號誌機稱為「自動號誌機」。

絕對號誌與容許號誌的區別，容許號誌機以加上閉塞號誌機識別標誌來識別。

5.1.3. 閉塞與號誌的關係

(1) 閉塞與號誌

「閉塞」為 1 閉塞區間只有 1 趟列車，非自動區間使用 1 個路牌，自動區間的閉塞區間起點設立閉塞號誌機，指示列車能否進入該區間。

因此，一般非自動區間閉塞和號誌分離，自動區間則閉塞與號誌一體化。

尤其是自動區間地上號誌方式時，「號誌」含「閉塞」及「進路確保」的意義。其中險阻號誌表示「不得進入其內方」及「應停於其面前」。

和車上號誌比較，如圖 5.1 所示車上號誌的特性，上述 2 條件個別表示，一般「不得進入」以⊗表示，「應停車」以⊙表示，通常，除了緊急運轉，不應進入⊗號誌區間。

(2) 號誌顯示系統與閉塞區間長度

非自動區間的號誌顯示一般以進行(G)及險阻(R) 2 種顯示。於自動閉塞區間，閉塞區間連續設定，由於運轉控制的關係，引進注意號誌(Y)等，附加可否進入的速度條件，一般以⊙→①→⊗等號誌顯示系統構成。

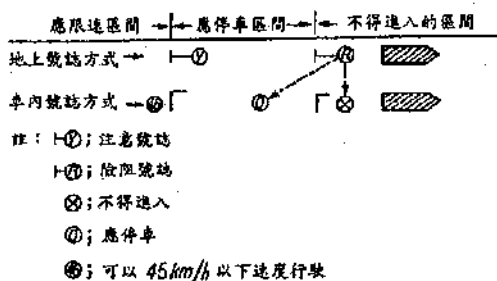


圖 5.1 險阻號誌的意義

以這種方式組成的號誌顯示系統，各閉塞區間的長度，對應該區間起點與終點顯示的速度差的煞車距離以上，為必要條件。

5.2. 運輸管理

於此說明 CTC 區間運輸管理的重要設備，CTC 調度所及調度制度。

(1) CTC 調度所

CTC 調度所為該系統組成上最重要的設施，設置時要從運輸管理方面檢討，線區的任務、運輸形態、列車系統及車次、與其他系統的連結等。

調度業務的現代化，今後都以 CTC 系統為中心來推進，設置調度所時，除了制訂管區內全體的調度現代化策略外，決定調度中心的位階，中心的配置等。當然機器的配置、室內的構造、採光、照明等則從調度員的立場來考慮。

A. 幹線系線區

於幹線系線區，從下列理由希望 CTC 控制中心設定於管理局(調度所)內，作為調度的一環。

- (A) 隨著運輸現代化的進展，列車往高速、高密度前進。
- (B) 動力車及動力車乘務員的運用長程化，跨越數局或數區越來越多。
- (C) 因運輸變動，列車、旅客、貨物、機車、電車等各調度相互間的聯絡、協商都增加。
- (D) 快速廣範圍地受到地區性運輸的妨礙。
- (E) 針對現場機構，指示命令要迅速且確實地執行，相關調度互相間的聯絡、協商要容易執行

因而，CTC 控制中心設於管理局內時，CTC 內參與的列車調度，由和運輸業務直接連結的非現場部門的職員(列車課員)擔任，有組織上和原來的調度統合的意思，同時要考慮 CTC 資訊系統的有效利用。

B. 其他線區時

地方交通線區等幹線系統以外的線區，和工程費有所關聯，不一定將 CTC 控制中心集中設置於管理局內，一般由於下列原因，控制中心設於該線區的主要車站。

- (A) 主要為線區內運輸，列車系統單純，和其他線區的關聯少。
- (B) 動力車及動力車乘務員的運用也限定於線區內運用。
- (C) 線區內的運輸妨礙，大概在該區內結束。
- (D) 因為主要是線區內運輸，相關調度需要相互間的聯絡、協商的事項較少。

又，CTC 控制中心設於線區內，組織營運的方式，有時新設現場機構(CTC 中心)由站長管理。

(2) 調度體制

列車調度的業務，依據列車調度業務標準規章，接受管理局長的指定，變更列車運轉計畫，指示命令與該事項有關的機構來執行。像這樣，指示命令變更相關機構的作業計畫之業務，為管理局計畫部門。代理管理局長由管理部門的職員來擔任。

於 CTC 實施線區的列車調度，運轉整理及運轉措施等的調度原來的業務，和以前的列車調度沒甚麼變化。號誌機及轉轍器的操作、路線封鎖等，處理站長的運轉操作業務，這些業務，往調度系統的現代化，直接管理列車群為其中的一個目的，本質上於管理部門擔任計畫業務，兼現場部門的計畫執行業務的特殊業務。

又，控制中心設置於 CTC 執行線區內時，列車調度的權限事項一部分委託現場機構，業務為管理部門的內容，但從權限的委託觀點來看，現場部門職員只是代理該業務而已。

亦即，採用 CTC 中心方式時，可以看成新形態的現場機構，委託以平常運轉整理為主體的調度業務。中心組成的成員為所長、主任調度員(副站長)及調度員(副站長、運轉主任、運轉課員)等的職系，所長及部分所員(運轉課員除外)兼任管理局運轉部列車課，指定業務調度值班員，執行列車調度業務。但是，列車的運轉措施為，管理局的列車調度掌管事項，遵照其決定，CTC 中心只傳達到相關的機構。

又，小規模 CTC，運輸形態單純的線區等，尤其是未設置 CTC 中心時，運轉整理權限可委由站長執行。但是，於移管 CTC 的站，因為參與的職員(副站長、運轉主任等)從事列車調度業務，對於兼任管理局運轉部列車課，和 CTC 中心的情形一樣。

(3) CTC 區間的停車場

於 CTC 的實施線區，依據這些是否為 CTC 控制(含表示)對象，大致分為聯鎖站及無設備站(閉塞區間的中途停車場)，聯鎖站再細分為表示站(運轉操作站)及被控制站(代運轉操作站、調車站及非運轉站)，各設置其相應業務的設備。

運轉操作站：CTC 區間的停車場中，號誌機及轉轍器等不是由 CTC 直接控制的停車場，含代用閉塞方式及傳令法施行等臨時業務，配置的站長經常執行運轉操作的停車場。

代運轉操作站：CTC 區間的停車場中，經常於該停車場，執行鐵路局長等指定的部分運轉操作的停車場，但是，調車站除外。

調車站：CTC 區間的停車場中，指定執行鐵路局長等主要為執行調車操作的停車場。

非運轉站：CTC 區間的停車場中，平常不執行「停車場員工的運轉操作」之停車場。

註：對於列車，號誌機及轉轍器等於停車場操作的停車場(運轉操作站及故障等其他原因從 CTC 解除中的被控制站)，該狀態稱為「就地控制站」。此時，接受列車調度，以手作號誌的停車場，由此排除。又，鄰接 CTC 區間有關的執行運轉操作的停車場稱為「一般站」。

CTC 系統導入時，CTC 遙控不只是運轉操作業務的集中，尤其是營業體制的現代化(貨物集中、業務委託、職員不配置等)也同時進行，配合此檢討調車作業，進一步執行運轉操作的省力化。這樣原來於各停車場執行的各種運轉操作業務，以列車調度為基礎集中，積極推進列車群管理的一元化，於 CTC 實施的線區，運轉操作業務難於集中的停車場，仍以運轉操作站不變而殘留，無法以 CTC 控制也是不得以，即使這樣，以「表示站」只顯示不控制的形式集中於控制中心。

6. 結語

本運轉概論選擇與號誌關係較深的業務來說明，此外還有車輛、組織很多東西，如有機會擇期另敘。

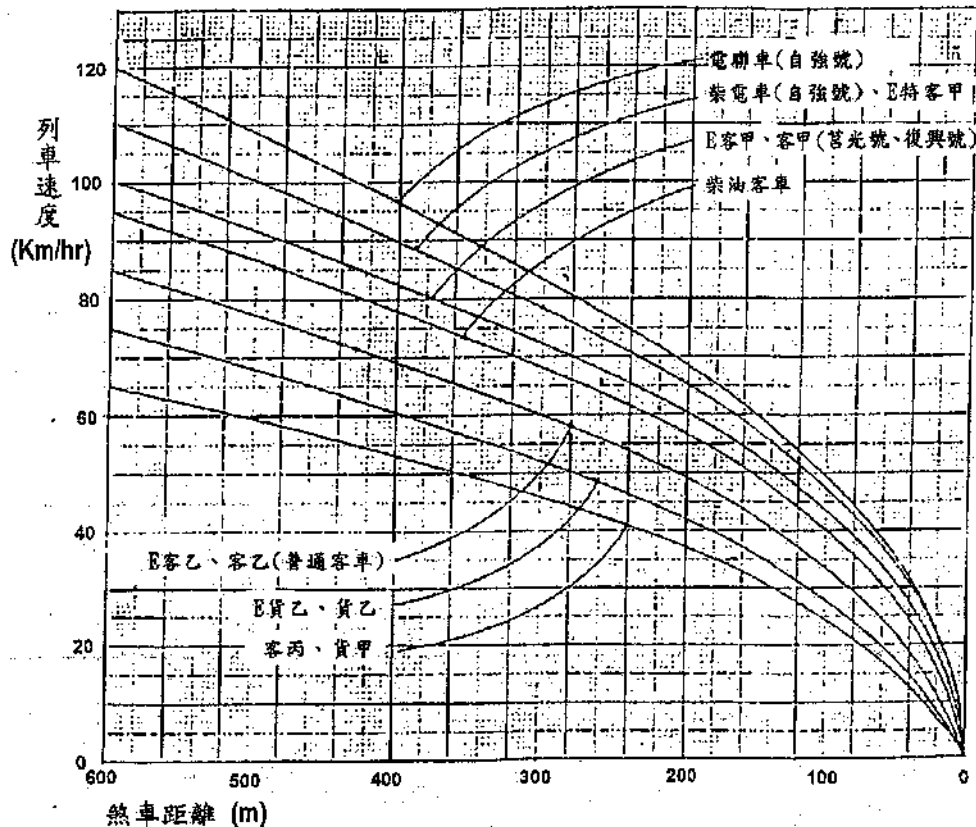
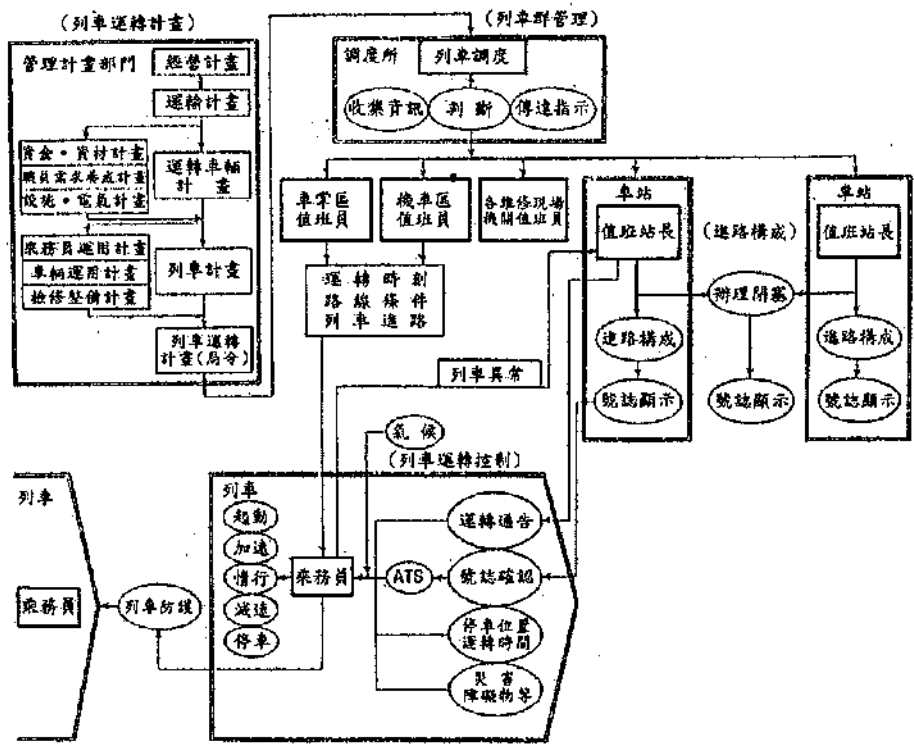
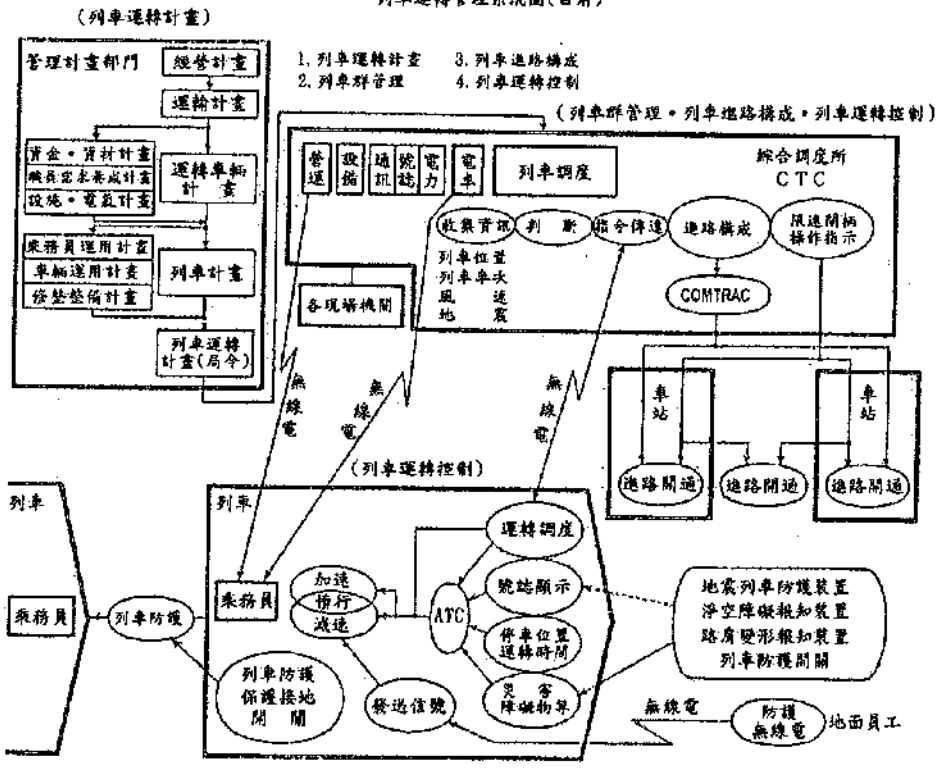


圖 6.1 台鐵車輛煞車曲線



列車運轉管理系統圖(目前)



列車運轉管理系統圖(新幹線)

圖 6.2 列車運轉管理系統圖

