

第三章 車輛行駛時間之探討

(資料來源：張有恆，「都市大眾運輸系統與技術」)

第一節 車輛在站間行駛時間之分析

車輛行駛之基本變數

圖 3-23 電力車輛在站間行駛方式與基本參數

(加速、等速、滑行、煞車、停站)

$$\text{距離 } s = f(t)$$

$$\text{速度 } v = \frac{ds}{dt}$$

$$\text{加速度 } a = \frac{d^2s}{dt^2}$$

$$\text{急動 (Jerk) } z = \frac{d^3s}{dt^3}$$

車輛行駛行為分析：

1. 加速度、最大速度、滑行對旅行時間之影響
2. 站間距對平均速度之影響
3. 車輛行駛方式對能源消耗之影響

基本變數之最大值：

最大速度 65~100 km/hr, 最大加(減)速度 1.0~1.8 m/sec²、緊急煞車時約 2.0~3.0 m/sec²、加速度的變化不超過 0.5~0.6 m/sec³

車輛行駛方式：

加速方式

(a) 車輛加速期間

$$v = v_{\max} (1 - e^{-t/\tau})$$

$$\tau = v_{\max} / a_{\max}$$

(b) 假設等加速度 \bar{a}

$$s_a = \bar{a} t_a^2 / 2$$

$$V' = 3.6 \bar{a} t_a$$

等速方式

等速 v_{\max} ，等速行駛時間 t_v

$$s_v = v_{\max} t_v / 3.6$$

滑行方式

滑行時減速度很低，所增加旅行時間很小，但所節省能源極大(滑行後之速度 v_c)

煞車方式

煞車時之速度 v_1 ，等減速度 \bar{b} ，煞車時間 t_b

$$s_b = \bar{b} t_b^2 / 2$$

$$V_1 = 3.6 \bar{b} t_b$$

車站停留時間 t_s

站間車輛行駛時間(圖 3-24 四種行駛方式)

1. $S = S' < S_c$
2. $S \geq S_c$, 等速無滑行
3. $S \geq S_c$, 滑行無等速
4. $S \geq S_c$, 等速及滑行

第一種情形： $S = S' < S_c$

$$S' = \frac{1}{2}(\bar{a}t_a^2 + \bar{b}t_b^2)$$

$$v' = \bar{a}t_a = \bar{b}t_b$$

$$t_a = \frac{v'}{\bar{a}}, t_b = \frac{v'}{\bar{b}}$$

$$S' = \frac{1}{2} \frac{v'^2}{\bar{a}} + \frac{1}{2} \frac{v'^2}{\bar{b}} = \frac{(\bar{a} + \bar{b})}{2\bar{a}\bar{b}} v'^2$$

$$\text{車輛之最大速度 } v' = \sqrt{\left(\frac{2\bar{a}\bar{b}}{\bar{a} + \bar{b}}\right) S'}$$

$$t_a + t_b = \frac{\bar{a} + \bar{b}}{\bar{a}\bar{b}} v' = \sqrt{\frac{2(\bar{a} + \bar{b})}{\bar{a}\bar{b}} S'}$$

站間行駛時間 $T_s \quad \mathbf{N} \quad t_a < t_b < t_s \quad \mathbf{N} \quad \sqrt{\frac{29\bar{a} < \bar{b}:}{ab}} S \mathbf{N} < t_s$

臨界距離 $S_c \quad \mathbf{N} \quad \frac{v_{\max}^2}{2} \left(\frac{1}{a} < \frac{1}{b} \right)$

NNO 求 v_{\max} & \bar{a} 之適當值

旅行時間 $T_c \quad \mathbf{N} \quad v_{\max} \left(\frac{1}{a} < \frac{1}{b} \right) < t_s$

第二種情形： $S \geq S_c$, 等速無滑行(最常用)

臨界距離 $S_c \quad \mathbf{N} \quad s_a < s_b$

等速行駛距離 $s_v \quad \mathbf{N} \quad S > s_a > s_b \quad \mathbf{N} \quad S > S_c$

旅行時間 $T_s = t_a + t_b + t_s + t_v = T_c + \frac{S - S_c}{v_{\max}}$
 $= \frac{S}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) + t_s = \frac{S}{v_{\max}} + T_{\}}}$

停靠每站時間損失 $T_{\}} = \frac{v_{\max}}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) + t_s$
 $= \frac{1}{2} (t_a + t_b) + t_s \quad (\text{圖3-25})$

第三種情形： $S \geq S_c$, 滑行無等速
 (路線距離不太長時，最經濟之行駛方式)

$$\text{滑行時段 } t_c \approx \frac{v_{\max} > v_c}{c}$$

$$\begin{aligned} \text{旅行時間 } T_s &\approx \frac{v_{\max}}{a} < \frac{v_{\max} > v_c}{c} < \frac{v_c}{b} < t_s \\ &= v_{\max} \frac{1}{a} < \frac{1}{c} < v_c \frac{1}{b} > \frac{1}{c} < t_s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{站間距 } S &\approx \frac{1}{2} \left[a t_a^2 < 9 v_{\max} < v_c : t_c < b t_b^2 \right] \\ &= \frac{1}{2} \frac{v_{\max}^2}{a} < \frac{v_{\max}^2 > v_c^2}{c} < \frac{v_c^2}{b} \end{aligned}$$

$$v_c \approx \sqrt{\frac{2ab c S > b a < c : v_{\max}^2}{a c > b}}$$

$$V_c \approx \sqrt{\frac{25.92 ab c S > b a < c : V_{\max}^2}{a c > b}}$$

(結束滑行時之速度 V_c 值不能太低，若 V_c 值令人滿意，可計算出 T_s)(歐洲常用)

第四種情形： $S \geq S_c$, 等速及滑行

行駛時間 T_s $\mathbf{N} t_a < t_v < t_c < t_b < t_s$

$$\mathbf{N} v_{\max} \frac{1}{a} < \frac{1}{c} < v_c \frac{1}{b} > \frac{1}{c} < t_v < t_s$$

S_v $\mathbf{N} t_v v_{\max}$ $\mathbf{N} S > S_a > S_b > S_c$

$$= S > \frac{1}{2} \frac{v_{\max}^2}{a} < \frac{v_{\max}^2}{c} > v_c^2 < \frac{v_c^2}{b}$$

$$\implies t_v \mathbf{N} \frac{S}{v_{\max}} > \frac{v_{\max}}{2} \frac{1}{a} < \frac{1}{c} > \frac{v_c^2}{2v_{\max}} \frac{1}{b} > \frac{1}{c}$$

(先選擇 v_c , 求出 t_v , 再求得 T_s)

站間車輛行駛時間與站距離關係圖

圖 3-26 不同行駛方式的 T_s - S 圖

包絡線(實線部份)：在各種不同行駛方式下對所有站間距 S 與站間旅行時間 T_s 之關係

t - s 圖(虛線部份)：車輛實際行駛之時間—距離圖形

相關重要公式整理：

$$(a) T_s \mathbf{N} \sqrt{\frac{2a < b; S}{ab}} < t_s$$

$$(b) T_s \mathbf{N} \frac{S}{v_{\max}} < \frac{v_{\max}}{2} \frac{1}{a} < \frac{1}{b} < t_s$$

$$(c) T_s \text{ N } v_{\max} \frac{1}{a} < \frac{1}{c} < v_c \frac{1}{b} > \frac{1}{c} < t_s$$

$$V_c \text{ N } \sqrt{\frac{25.92 \bar{a} \bar{b} c S > \bar{b} \bar{a} < c : V_{\max}^2}{\bar{a} \bar{c} > \bar{b} :}}$$

$$(d) T_s \text{ N } v_{\max} \frac{1}{a} < \frac{1}{c} < v_c \frac{1}{b} > \frac{1}{c} < t_v < t_s$$

$$t_v \text{ N } \frac{S}{v_{\max}} > \frac{v_{\max}}{2} \frac{1}{a} < \frac{1}{c} > \frac{v_c^2}{2 v_{\max}} \frac{1}{b} > \frac{1}{c}$$

包絡線之用途：

假設已知車輛之行駛特性(即固定之 a, b, c, V_{\max})，即可利用此圖直接計算出沿線任何站距之旅行時間，或比較各種行駛情況在個別站距之旅行時間。

(能源消耗與旅行時間之交互損益)

實例：兩種不同行駛特性(a, b, c, V_{\max})之車輛，在不同站距下旅行時間之快慢比較。

全線之行駛時間

若採用第二種行駛方式(等速無滑行)，全線之總行駛時間(營運時間) T_0 如下：

$$T_0 = \sum_{j=1}^k T_{s_j} = \frac{3.6}{V_{\max}} \sum_{j=1}^k S_j + k T_{\}} = \frac{3.6L}{V_{\max}} + k T_{\}}$$

其中， L 為路線長度， k 為站間數。若對具較短站間

距之路線，其使用之 a 值須較大。

車輛行駛時間與速度之敏感度分析

=對個別參數(加速、減速、停站時間、最大速度)之變化，作敏感度分析

敏感度分析之步驟與圖形之建立：

車輛行駛時間敏感度分析之參數值(表 3-1)

如何建立?(基本曲線、個別參數之改進結果、合成曲線)

最常使用之車輛行駛特性圖：(用途為何?)

1. 車輛行駛時間與站距之關係(圖 3-27, 3-28)

具較多停靠站之典型大眾捷運，均要求車輛有較高之加、減速度及相對較低之最大速度

2. 距離—速度與距離—能源消耗關係(圖 3-29)

可用以檢視各種車輛行駛方式對能源消耗之影響

3. 營運速度與站距之關係(圖 3-30, 3-31)

可依規定之最低營運速度與已定之站間距離，求得所需之各參數值

4. 個別參數之特殊圖形(營運速度與最大速度之關係(圖 3-32)

評定最大技術速度的增加所得之效益

