

第十六章 鐵路機車及其牽引力

(資料來源：周義華，「運輸工程」)

◎ 蒸汽機車 (略)

※蒸汽機車之主要構造：

蒸汽產生設備、發動機、主連棒、動輪

※蒸汽機車之牽引力：

1. 動輪轉一圈所作之功 $W = T_s \pi D$
2. 每輛蒸汽機車有兩個汽缸，汽缸活塞往復運動一次，剛好牽引動輪轉一圈

$$W' = P_1 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) (s)(4) = P_1 \pi d^2 s$$

$$W = W'$$

$$T_s \pi D = P_1 \pi d^2 s$$

$$T_s = P_1 d^2 s / D = 0.85 P d^2 s / D$$

$$T_s = (N / 2) 0.85 P d^2 s / D$$

其中：

T_s = 蒸汽機車之牽引力(kg)

D = 動輪直徑(cm)

P_1 = 汽缸之平均蒸汽壓力(kg/cm²)
= 85% 之鍋爐蒸汽壓力 P

d = 汽缸直徑(cm)

s = 活塞行程(cm)

N = 多輛機車連掛之汽缸數

→ T_s 與 D 成反比(貨車機車之 D 值較小)

※蒸汽機車牽引力與速率之關係：

起動時速率慢，汽缸容量限制牽引力大小
；快速時，鍋爐容量限制牽引力大小

1. 依汽缸容量推算牽引力曲線：

$$rpm = \frac{100,000V}{60\pi D} = 530V / D$$

$$PS = rpm(s)(2) / 100 = 10.6Vs / D$$

$$T_c = P_1 d^2 s / D = KPd^2 s / D$$

其中：

rpm=動輪每分鐘旋轉圈數

V=列車前進速率(kph)

PS=活塞速率(m/min)

K=由圖 16-1 查得之比值

D=動輪直徑(cm)

2. 依鍋爐容量推算牽引力曲線：

功率 = 力 • 速率

$$h_p = T_B V (1000 / 3600) / 76$$

$$= T_B V / 274$$

$$T_B = 274 h_p / V$$

Note: 1 hp = 746 watts

1 watt = 1 joule/sec

1 joule = 1 Newton-m

1 kgf = 9.81 Newton

$$h_p = \frac{(A_d e + A_i t) 1.08}{F_s}$$

→圖 16-2 蒸汽與速率之關係

[低速時，機車牽引力由汽缸容量決定
；高速時，則由鍋爐容量而決定]

※蒸汽機車之優缺點：

1. 優點：初置成本低、構造簡單、操作維修容易、使用壽命長
2. 缺點：車體重量大、對軌道衝擊破壞大、煤煙及煤屑之污染、燃煤效率低、補充燃料耗時並影響軌道容量、多輛機車連掛時前後呼應不易

◎ 電氣機車

※電氣機車之型式：(牽引馬達)

直流電動機機車、其他交流電動機機車

※電氣機車之牽引力：

1. 輪軸與馬達間有齒輪者

$$W = T_E \pi D$$

$$W' = T (61\pi) (G/g) (e) (N)$$

$$W = W'$$

$$T_E = \frac{61 T G e N}{D g}$$

(其中：G 為動輪之齒輪數，g 為電樞之齒輪數，T 為單一馬達之轉矩，e 為齒輪效率係數，N 為電動機數)

2. 輪軸與電動機間無齒輪者(電樞在直接輪軸上)

$$W = T_E \pi D$$

$$W' = T(61\pi)(N)$$

$$T_E = \frac{61TN}{D}$$

電氣機車之牽引力 T_E 係決定於電動機之轉矩 T ，而 T 係隨電流強弱而定

※電氣機車之牽引力與速率之關係：
(依美國 AREA 研究之經驗公式)

1. 直流電動機機車(圖 16-5)

$$T_E V^3 = \text{常數}$$

$$h_p V^2 = \text{常數}$$

2. 交流電動機機車(圖 16-6)

$$T_E^3 V^5 = \text{常數}$$

$$h_p^3 V^2 = \text{常數}$$

※電氣機車對定線之影響：

有較大之牽引力，電流無限制、需防止過熱

※電氣機車之優缺點：

與蒸汽機車之比較約略相反

◎ 柴電機車

※柴電機車之主要構造：

柴油機、電氣耦合、發電機、起動系統、電動機

※柴電機車之牽引力：

(柴電機車之功率受限於柴油機之固定馬力)

功率 = 力 • 速率

$$h_p = T_D V (1000 / 3600) / 76$$

$$= T_D V / 274$$

$$T_D = 274 h_p / V$$

※柴電機車之牽引力與速率之關係(圖 16-7)

※柴電機車對定線之影響：

在低速時有較大之牽引力、可容許電流超載
15~20 分鐘而不致於過熱

※柴電機車之優缺點：(請參閱教材)

美國目前大多數客貨機車均為柴電機車

◎ 內燃機引擎

(資料來源：張有恆，都市大眾運輸系統與技術)

※內燃機引擎之型式：

柴油引擎、汽油引擎

※內燃機引擎之牽引力：

1. 內燃機引擎特性圖(圖 3-5)

馬達馬力 h_p 、馬達扭力 T 、能源消耗率與馬達轉速 $n(\text{rpm})$ 之關係

$$V = \frac{60n\pi D}{1000u_j d_r}$$

$$h_p = \frac{T_E V}{274\eta}$$

$$T_E = 274 \frac{h_p}{V} \eta$$

其中： D 為車輪直徑， u_j 為各速度檔之變速比， d_r 為差動齒輪減速比(定值)， η 為各速度之馬達與車輪損失係數(0.78-0.84)

※內燃機引擎之牽引力與速率之關係：

由圖 3-5 之 $h_p=f(n)$ 關係，對各速度檔畫出不同牽引力曲線如圖 3-6

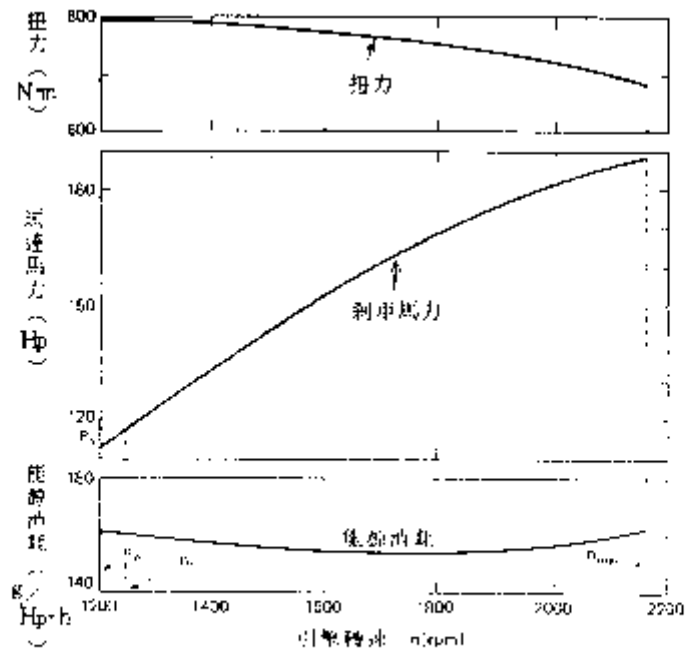


圖3-5 內燃機引擎特性圖

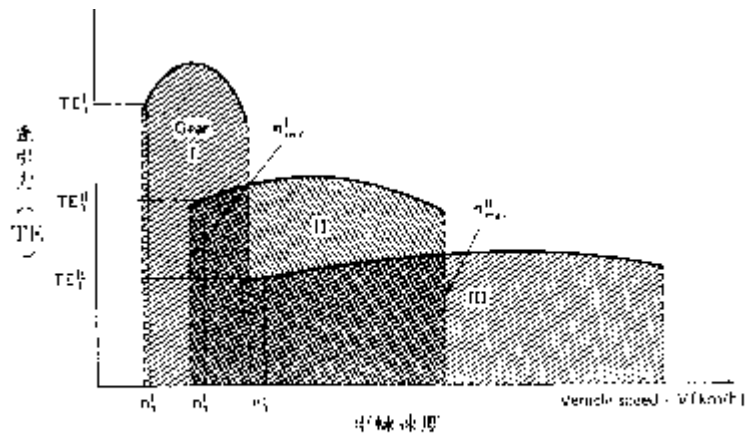


圖3-6 具有三段變速公車的牽引力曲線

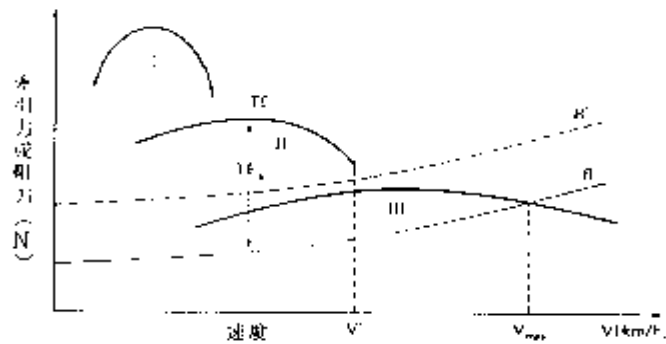


圖3-7 牽引力、阻力和加速力的關係

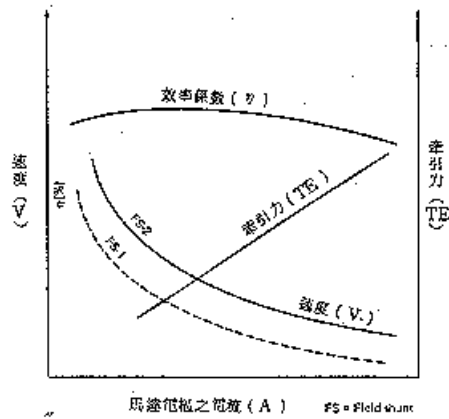


圖8-10 電動牽引馬達特性圖

一定範圍內工作，且須使用許多不同變速箱來增加所需速度範圍。由於電動馬達操作之連續性，使得其速度可經由電力的改變予以控制，而不太需要機械的方法加以控制。所以電動車輛不需像內燃機引擎一樣使用變速器，且其馬達係使用一對固定的傳動裝置與車軸相連接。

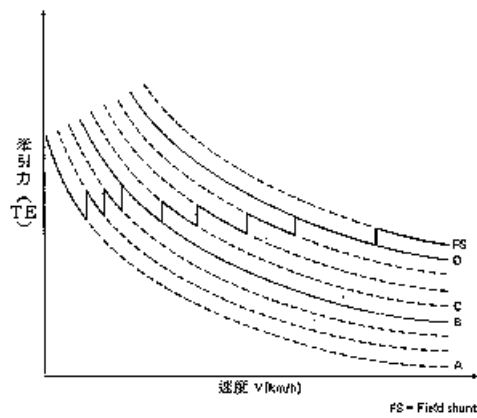


圖8-11 電阻器控制系統的加速牽引力

電力馬達與柴油引擎相比較，電力馬達具有下述之特性：

優點：1.對於相同的馬達（或引擎）等級，電力馬達有較高的加速率，因電力馬達在一段時間內，能產生較其同等馬達等級為大的馬力。

2.電動車輛能較平穩地加速或剎車，此乃因電力車輛能經由電力控制且無需齒輪變速所致。

3.非常低的噪音：電力牽引事實上無噪音產生，而柴油引擎則有些噪音和振動產生。

4.電動車輛無空氣污染，而柴油引擎則反是。（此兩種牽引方式之主要能源製造場——電力公司及柴油煉油廠均可設於郊區，它們的空氣污染即可受到控制）。

5.電動馬達較柴油引擎操作安全且易於維修（事實上電動馬達無實際摩擦）。

6.電動馬達之壽命較柴油引擎長。

7.電力來源可由任何主要的能源產生（如油、煤、原子、風等）；而柴油引擎只能使用石油。

8.使用電力再生系統可於剎車時回收一些能源。

9.可以在隧道中營運；但柴油引擎只能行駛於較短隧道。

相同點：1.架空的供電線可能會影響景觀；但即使路線有一明顯標誌，可吸引（兼分）乘客。

2.營運成本或高或低，依電力及柴油的價格而定。

缺點：1.電力牽引往往須較高的投資成本：如電力供應系統、供電線和其他必須設置的固定設施等。

2.計劃執行時間較長：實際上對柴油引擎而言，實行的時間幾乎是零；但就電力牽引而言，則相當長（因須安裝必要的基本設施）。

3.電力供應系統需要經常維修；柴油引擎則否。

4.電力中斷時會影響全線（或某些地區）列車的運轉；使用柴油引擎則否。

5.電動車輛只能行駛於有架空供電線的路網；柴油公車可行駛於所有的街道及高速公路，而柴油引擎火車亦可行駛於所有鐵軌上。

綜上可知，電力引擎很明顯地不恰在性能上、旅客舒適度上，或外部影響上均優於柴油引擎，但它却需較高的投資。因此電動馬達代表較高的能效／成本組合，因之無論何地，均可證明電氣化的投資能有較佳的效益。在許多實例中，電力牽引較柴油引擎牽引有較低的營運成本，尤其是在高運量的大眾運輸路線上。至於柴油引擎由於需要較少的投資和準備工作，所以較適合於中、低運量的路線上，也因此，其所服務的路網遍佈大多數的城市。