第十六章　鐵路機車及其牽引力

16.1 蒸汽機車及其牽引力

16.1.1 蒸汽機車 (Steam Locomotive) 之主要構造

蒸汽機車之構造主要包含以下部分：

1.蒸汽生產設備 (Steam Generating Plant)

由燃燒室、鍋爐及排氣、通風系統所構成，其功用在於燃燒煤炭以煮沸熱水，再將所產生之蒸汽排入汽缸。

2.發動機 (Engine)

由汽缸及氣閥所構成，其功用在於以蒸汽壓力推動活塞作往復運動，以牽動車輪。一輛蒸汽機車通常具備兩部發動機，若多車連掛，則發動機總數即為2 的倍數。

3.主連桿 (Driving Rod)

連接汽缸之活塞桿與動輪之曲拐銷，利用活塞桿所傳來之動力推動曲拐銷，使動輪轉動。

4.動輪 (Driving Wheel)

為承受汽缸之活塞所傳來之動力，產生轉動以帶動全列車運轉之車輪。

除了以上主要構件外，設備較完善之蒸汽機車尚有以下之輔助裝置：

●噴射給水器 (Steam Injector) ：將冷水從水箱中送往鍋爐。

●高熱管 (Superheater)：對由鍋爐送往汽缸中途之蒸汽再行加熱，使成為極高熱之蒸汽。

●冷水加熱管 (Feedwater Heater) ：利用汽缸用畢排出之蒸汽將送往鍋爐之冷水加熱。

●自動添煤裝置 (Automatic Stoker) ：將煤炭送至燃燒室。

●發電機 (Electric Generator) ：發電以供車內電燈、空氣調節設備及駕駛室之號誌燈使用。

●氣壓煞車裝置 (Air-Brake Apparatus)：對機車及全列車進行煞車之裝置。

16.1.2 蒸汽機車之牽引力 (Tractive Force)

所謂牽引力係由機車所產生，以克服列車阻力並帶動全列車前進之力。

當車輪與鋼軌之間沒有任何摩擦力時，列車將無法向前運動，例如在冬天或高山上，若軌面上結冰，則易發生打空輪 (Spinning) 之現象。因此列車欲往前推進，則必須在動輪與軌面間具有足夠的黏著力 (Adhesion) ，亦即具有足夠的摩擦力，而牽引力即用以克服摩擦阻力而使列車前進者。

蒸汽機車牽引力公式之推導過程如下：

設W 為動輪轉一圈所作的功

則

$$W = T_s \pi D \qquad (16\text{-}1)$$

式中，

T_s 為蒸汽機車之牽引力，kg

$\pi = 3.1416$

D　為動輪之直徑，cm

又設W′為動輪轉一圈時，汽缸所作的功。由於每輛蒸汽機車有2

個汽缸，而汽缸上的活塞往復運動一次，剛好牽引動輪轉一圈，因此

$$W' = P_1 \times \frac{\pi d^2}{4} \times s \times 4$$

$$= P_1 \pi d^2 s \qquad (16\text{-}2)$$

式中，

P_1 爲汽缸內之平均蒸汽壓力（kg / cm²），P_1 約爲鍋爐內蒸汽壓力（P）之85%

d 爲汽缸之直徑，cm

s 爲活塞行程（Stroke Length），cm

4 ：兩個汽缸之活塞各往復一次

若忽略發動機內傳動系統之微小摩擦損失，則動輪運轉所作的功應等於汽缸所作的功，即

$$W = W'$$

亦即 $$T_s \pi D = P_1 \pi d^2 s$$

$$\therefore T_s = P_1 d^2 s / D = 0.85 P d^2 s / D \qquad (16\text{-}3)$$

上式爲2 個汽缸之牽引力，若多輛機車連掛，共有N 個汽缸，則

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

由上式可知，T_s 與D成反比，因此貨車機車需較大的牽引力，

其動輪直徑通常比較小，約在160 cm以下。而客運機車則因需較快的速率，動輪直徑較大，約在 125～215 cm之間。

16.1.3 蒸汽機車牽引力與速率之關係

當列車在起動或低速前進時，活塞運動的速率慢，汽缸不能充分利用鍋爐所生產的蒸汽，亦即鍋爐生產蒸汽的速率比汽缸使用蒸汽的速率快，此時汽缸的容量限制了牽引力的大小；在高速前進時，鍋爐生產蒸汽的速率則不足以供汽缸使用，即鍋爐成爲限制牽引力的因素。因此爲了推算牽引力與速率之眞正關係，可分別依汽缸容量及鍋爐容量推算牽引力曲線（Tractive Effort Curve），再針對上述現象予以修正即可。其過程如下：

1.依汽缸容量推算牽引力曲線

由於在汽缸內之平均蒸汽壓力（P_1）隨著活塞速率（PS）而變，因此可先求出PS，然後根據PS可查出P_1 之值。

設rpm 爲動輪每分鐘之旋轉圈數，則

$$rpm = \frac{V}{\pi D}$$

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

$$= 530\ V / D$$

式中，

V爲列車之前進速率，kph

D爲動輪之直徑，cm

$$\therefore\ PS = rpm \times s \times 2$$
$$= 530\ V / D \times s \times 2 / 100$$
$$= 10.6\ V s / D \qquad (16\text{-}4)$$

式中，

PS爲活塞速率，m / min.

s　爲活塞行程，cm

根據Baldwin-Lima-Hamilton Corporation 之實驗，PS與P_1之關係曲線如圖16-1，由圖中可查出P_1 與鍋爐蒸汽壓力之比值。

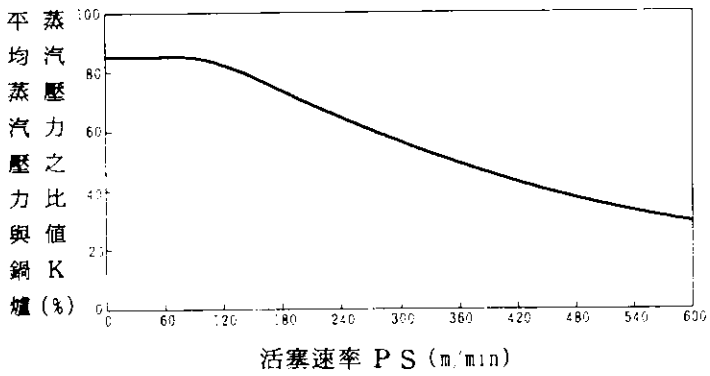

圖 16-1　汽缸內平均蒸汽壓力與速率之關係曲線圖
(資料來源：Baldwin-Lima-Hamilton Corporation, Philadaphia, U.S.A.)

因此，依汽缸容量所推算之牽引力可由下式求得：

$$T_C = P_1\ d^2 s / D = K P d^2 s / D \qquad (16\text{-}5)$$

式中，K爲由圖16-1所查出之比值，其餘符號之意義與單位同(16-3)式。

由上述過程，可由不同的V值，求出其相對應之T_C 值，因此可得一牽引力曲線。

2.依鍋爐容量推算牽引力曲線

∵　功率＝力×速率

$$\therefore\ h_P = T_B\ V(1000 / 3600) / 76$$
$$= T_B\ V / 274$$

式中，

h_P 爲鍋爐之功率（馬力），1 馬力＝76 m-kg / sec

T_B 爲依鍋爐容量所推算之牽引力，kg

V　爲列車之前進速率，kph

$$\therefore\ T_B = 274\ h_P / V \qquad (16\text{-}6)$$

由於鍋爐每單位時間之功率取決於其單位時間內所能蒸發之蒸汽量，而蒸汽量之多寡則決定於鍋爐之受熱面積。其計算公式如下：

$$h_P = \frac{(A_d \times e + A_t \times t)1.08}{F_S} \qquad (16\text{-}7)$$

式中，

A_d 爲直接受熱面積（㎠），如燃燒室、吸水管

A_i 爲間接受熱面積（m²），如鍋爐管、通風管

e 爲蒸發量，kg / m²- hr，1920年以前設計之機車，e 值爲269 kg / m²- hr，1920年以後設計之機車，e 值爲391 kg / m²- hr。

t 爲管線因子（Tube Factor），kg / m²- hr，其值因管線長度而定，一般可設爲44 kg / m²- hr。

F_s 爲蒸汽因子（Steam Factor），即每指定馬力小時(Indicated Horsepower Hour, ihp-hr)所耗用之蒸汽量（kg / ihp-hr）。當使用高熱管時，F_s 之值爲8.1 kg / ihp-hr。

1.08：使用冷水加熱管時，多蒸發之蒸汽量估計爲8 %。

由上述過程，亦可由不同的V值，求出其相對應之T_B 值，從而亦可得另一牽引力曲線。

3.將前二步驟所得之牽引力曲線繪於圖上（如圖16-2所示）。由於在低速時，機車之牽引力係由汽缸容量所決定，在高速時則由鍋爐之容量所決定，因此採用圖上曲線(1) 之低速部分及曲線(2) 之高速部分，並將此二部分以平滑曲線相連，即得牽引力與速率之「眞正」關係曲線。

16.1.4 蒸汽機車之優缺點

蒸汽機車之主要優點有以下三項：

1.初置成本低。
2.由於構造簡單、機件粗糙，使用壽命較長。
3.操作及維修較簡易。

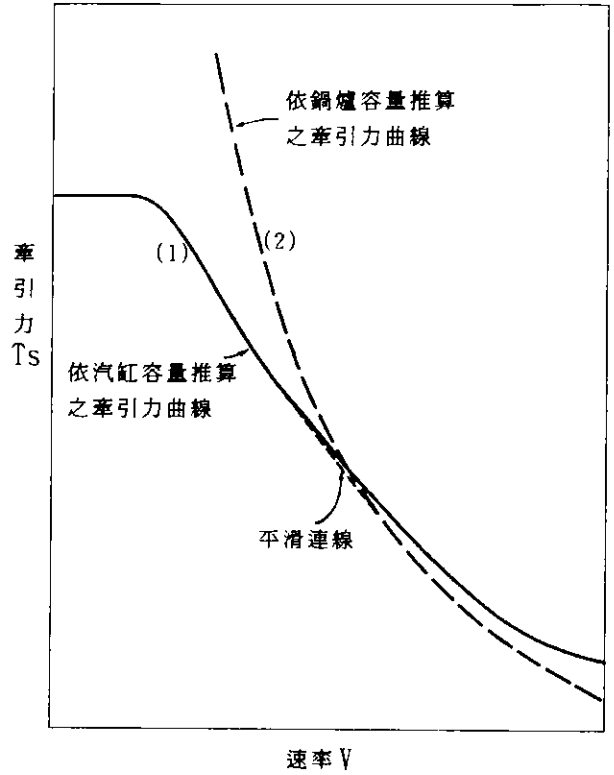

圖 16-2 蒸汽機車牽引力與速率之關係曲線說明圖

其缺點則包括以下項目：

1.機車須裝載鍋爐、煤、水及平衡重體（Counterbalancing Reciprocating Parts），因此重量甚大，運轉時對軌道所產生之衝擊破壞甚爲嚴重。
2.所產生之煤煙及煤屑在都市地區易招致民眾的反感。
3.燃煤之使用效率甚低。在低速時，鍋爐所生產的蒸汽不能被汽缸充分使用；且列車靠站時或補充煤、水時，車輛雖未行駛，仍然消耗煤炭。
4.每次補充煤、水時，需時約10分鐘左右，浪費時間，亦影響軌道容量。
5.多輛機車連接時，前後呼應不易。