

大學用書  
鐵路選線及計劃學

(第二冊)

(鐵路動力與列車運動)

王竹亭 編著

正中書局印行

大學用書  
鐵路選線及計劃學

(第二冊)

(鐵路動力與列車運動)

王竹亭編著



正中書局印行

# 目 次

第四編 列車所受外力之分析	1
第十八章 列車行駛阻力	1
列車行駛時之基本阻力	6
列車開駛時之基本阻力	45
列車行駛時之輔助阻力	47
第十九章 機車挽力	64
第二十章 列車軔力	124
第二十一章 機車機構特性之概示	136
第五編 列車運動之研究	146
第二十二章 列車運動公式	146
第二十三章 機車動力之分布	152
第二十四章 列車最大載重	164
第二十五章 用動能以克服坡度	172
第二十六章 列車使軔計算	181
第二十七章 列車行駛速度	221
第二十八章 列車行駛時間	224
第二十九章 機車煤水消耗	236
第三十章 談換勒列車行駛時間及煤量消耗圖解法	249

鐵路運輸及計畫學

第三十一章	車站技術業務之分析 · ... ..	261
第三十二章	站間技術業務之分析... ..	297
第三十三章	電力行車 · · ... ..	319
第三十四章	列車行駛之經濟速度... ..	327

## 緒 論

鐵路上列車之運動，需要原動力，此原動力謂之挽力 (tractive effort)。挽力發生於列車最前之一車中，此車謂為機車 (locomotive)；如只有一節車輛，挽力即發生於其中，是謂自動車 (motor-car)。挽力普通為蒸汽機、電動機或內燃機等所發生者。此外，如狄塞爾電力機 (Diesel electric)、汽油柴油機等等，亦有用者。本書所論，以蒸汽機車 (steam locomotive) 為主。

在鐵路設計及鐵路營業中，有若干關於列車運動之問題，須應用動力學定理以求解決；如列車載重、列車速度 (更有所謂經濟速度及經濟載重)、列車軌機、挽力速度在各種坡度及彎道上之變化、列車行駛所需之時間、挽力經濟等等問題皆是。解決是等問題所為之計算，謂之挽力計算。挽力計算，在鐵路設計及營業費用上最為重要；計算正確與否，影響鐵路營業之成功或失敗。在計算中所需要之精確性，視計算之目的而定。概言之，已成鐵路，因已有機車運用之各種統計，且於必要時可作挽力實驗，其計算可較精確；若係新築鐵路，其挽力一切性能 (及尺寸大小) 皆在假定之列，其計算自不若已成鐵路之容易；惟有一事，在計算時當加注意，即須留有相當伸展之餘地，決不可使實際需要，反超過計算結果也。

挽力計算，普通採用公制 (英美則仍舊制)；重量以公噸 (m. t)

或公斤(kg)計,力以公斤(kg)計,距離以公里(km)或公尺(m)計,列車速度以每小時公里(km/hr)計。在挽力計算中,各項數值之計量,不得超出下列之精確性:

距離	站間距離	.....10 公尺
	路線剖面	..... 1 公尺
列車載重	.....	.5 公噸
列車速度	.....	0.1 公里/小時
挽力、阻力、輻力	.....	10 公斤
每公噸載重之平均挽力、阻力、輻力	.....	.0.1 公斤
列車行駛站間所需水量	.....	.10 公斤或 0.01 立方公尺
列車行駛每公里所需水量	.....	1 公斤或 0.001 立方公尺
列車行駛站間所需燃料	.....	.10 公斤
列車行駛每公里所需燃料	.....	.1 公斤
列車行駛站間所需時間	.....	.1 分
列車行駛短小站間所需時間	.....	.0.1 分
列車行駛每公里所需時間	.....	0.01 分
機車工作效能馬力(power)	.....	.1 馬力
坡度	.....	0.0001

此乃就普通計算而言,在特別分析某一部分或某一問題時,所需要之精確性隨之而變,須分別在各個情形之下規定之

所謂挽力問題,包括兩種目的:(1)列車所受外力之分析;(2)列車運動之研究。茲分別論之如次。

## 第四編 列車所受外力之分析

列車行駛時所受之外力，約有三種：(1)運動所遭遇之自然阻力；(2)機車挽力；(3)列車將停止時所施之人工阻力，即軔力是也。

### 第十八章 列車行駛阻力

§ 53. 列車阻力概說 鐵路列車，普通由機車、煤水車、車輛等三者配合而成（有時機車、煤水車合併為一，甚至於機車與車輛亦合併為一）。其中發動推進者，只有機車，其餘煤水車與車輛等，皆有一種阻力，反抗前進，且時有反拖機車後退之傾向（當上坡時即有此傾向），即機車本身，亦具有一種阻止推進之惰性。由於此種惰性所得之結果，謂為列車阻力 (train resistance)。

機車、煤水車與車輛之阻力，因路基、路線及行駛之情況而有不同。列車各部之阻力，可分為二種：

(1) 列車在平直線段上依等速行駛時，所有基本阻力， $W_0$ 。

(2) 列車在坡度與彎道上，加速或減速行駛時，所發生之補助阻力，計有：

(a) 坡度阻力， $W_s$ ；

(b) 彎道阻力， $W_r$ ；

(c) 加速減速阻力,  $W_p$ .

列車各部總括阻力 (total resistance) 當爲:

$$\text{機車總括阻力} \quad W^L = W_0^L + W_S^L + W_T^L + W_p^L.$$

$$\text{煤水車總括阻力} \quad W^T = W_0^T + W_S^T + W_T^T + W_p^T.$$

$$\text{車輛總括阻力} \quad W^G = W_0^G + W_S^G + W_T^G + W_p^G.$$

列車全部之總括阻力則爲上列三式之總和, 可寫作

$$W = W^L + W^T + W^G.$$

次列文字各代表一事。

$L$  = 機車重量 (煤水車不在內), 以公噸計。

$T$  = 煤水車重量 (如機車、煤水車合一, 則用  $L$  代表), 以公噸計。

$G$  = 列車所有車輛總重 (機車、煤水車不在內), 以公噸計。

$Q = L + T + G$  = 列車總重, 以公噸計。

$W_0^L$  = 機車在平直線段上行駛之基本阻力, 以公斤計。

$W_0^G$  = 車輛在平直線段上行駛之基本阻力, 以公斤計。

$W_0^T$  = 煤水車在平直線段上行駛之基本阻力, 以公斤計。

$W_0$  = 列車全部在平直線段上行駛之基本阻力, 以公斤計。

$W_S^L$  = 機車在彎道上行駛之輔助阻力, 以公斤計。

$W_S^G$  = 車輛在彎道上行駛之輔助阻力, 以公斤計。

$W_S^T$  = 煤水車在彎道上行駛之輔助阻力, 以公斤計。

$W_S$  = 列車全部在彎道上行駛之輔助阻力, 以公斤計。

$W_S^L$  = 機車在坡度上行駛之輔助阻力, 以公斤計 (如下坡, 其值爲負號)。



$W_S^V$  = 車輛在坡度上行駛之輔助阻力, 以公斤計(如下坡, 其值為負號)。

$W_S^T$  = 煤水車在坡度上行駛之輔助阻力, 以公斤計(如下坡, 其值為負號)。

$W_S$  = 列車全部在坡度上行駛之輔助阻力, 以公斤計(如下坡, 其值為負號)。

$W_a^L$  = 機車加速行駛發生之輔助阻力, 以公斤計。

$W_a^G$  = 車輛加速行駛發生之輔助阻力, 以公斤計。

$W_a^T$  = 煤水車加速行駛發生之輔助阻力, 以公斤計。

$W_a$  = 列車全部加速行駛發生之輔助阻力, 以公斤計。

$W^L$  = 機車總括阻力, 以公斤計。

$W^G$  = 車輛總括阻力, 以公斤計。

$W^T$  = 煤水車總括阻力, 以公斤計。

$W$  = 列車總括阻力, 以公斤計 =  $W^L + W^T + W^G$ 。

$w$  = 比阻, 以公斤/公噸計(右上下角, 若綴以不同之文字, 即代表各種不同之比阻, 與  $W$  所示者相同)。

$S$  = 坡度, 以 % 計, 上坡為正號, 下坡為負號。

$V$  = 速度, 以公里/小時計。

$v$  = 速度, 以公尺/秒計。

列車各部(如機車、車輛、煤水車)之重量, 每公噸平均所有阻力, 謂之比阻 (specific resistance)。有時稱為阻力係數 (coefficient of resistance), 其單位以公斤/公噸計, 如:

機車重量每噸阻力, 即為

$$w^L = \frac{WL}{L} \text{公斤/公噸。}$$

煤水車重量每噸阻力，即為

$$w^T = \frac{WT}{T} \text{公斤/公噸。}$$

車輛重量每噸阻力，即為

$$w^G = \frac{WG}{G} \text{公斤/公噸。}$$

列車全部重量每噸阻力，即為

$$w = \frac{W}{G} \text{公斤/公噸。}$$

路基、路線及行駛情況，亦足使列車各部之比阻不同；在坡度上、彎道上以及加速運動中，比阻之變化，亦與前述阻力相似，可分為二種：

(1) 列車在平直線段上依等速行駛時，所有基本比阻， $w_0$  公斤/公噸。

(2) 列車在坡度與彎道上或加速行駛時，所發生之輔助比阻，計有：

(a) 坡度比阻， $w_S$  公斤/公噸；

(b) 彎道比阻， $w_r$  公斤/公噸；

(c) 加速比阻， $w_p$  公斤/公噸。

列車各部總括比阻則為：

機車總括比阻

$$w^L = w_0^L + w_S^L + w_r^L + w_p^L \text{ 公斤/公噸。}$$

煤水車總括比阻

$$w^T = w_0^T + w_s^T + w_r^T + w_p^T \text{ 公斤/公噸.}$$

車輛總括比阻

$$w^G = w_0^G + w_s^G + w_r^G + w_p^G \text{ 公斤/公噸.}$$

列車全部之總括比阻

$$w = w_0 + w_s + w_r + w_p \text{ 公斤/公噸.}$$

列車全部之總括阻力

$$W = wQ = W^L + W^T + W^G = w^L L + w^T T + w^G G \text{ 公斤.}$$

此處機車重量  $L$  為工作重量 (weight in working order), 此與機車熄火空載時之重量不同。

普通計算列車阻力時, 常將煤水車重量與機車重量合併為一。若假定機車連煤水車重量為  $(L+T)$ , 其比阻為  $w^{LT}$ , 則列車阻力為

$$W = w^{LT}(L+T) + w^G \cdot G \text{ 公斤.}$$

比阻  $w^{LT}$  不但適用於‘坦克機車’ (tank-locomotive), 即在普通機車 (tender-engine), 亦可如此計算, 以求簡捷。

有時挽力計算, 不需要精確, 而可簡捷約計, 則用整個列車之比阻乘其全部重量 (機車、煤水車、車輛合計), 有如下式:

$$W = wQ.$$

計算機車挽力及列車載重速度等項時, 煤水車重量不必用其全部, 因為煤水車自開出車房後, 即漸漸消耗, 故宜取其平均數, 或用水容量及煤容量之  $\frac{2}{3}$ , 以作計算標準亦可。故煤水車本身之死重, 加上  $\frac{2}{3}$  煤水之重量, 即為煤水車之計算重量, 如前用  $T$  代表之。

以上所稱阻力，概指自然阻力而言，行駛列車所需要軋機發生之阻力，不在此內。

對於列車運動時各種阻力，各國已有詳盡之研究〔如美國伊利那 (Illinois) 大學、包爾德文 (Baldwin) 及其他機車廠、賓夕法尼亞 (Pennsylvania) 等大鐵路、美國鐵路工程協會 (A. R. E. A.)，德國之國家鐵路公司，俄國之羅漢諾薩夫 (Lomonosoff) 教授等等〕，茲於以後各節中擇要討論之。

#### 列車行駛時之基本阻力

§ 54. 各種列車基本阻力之探討 列車各部(機車、煤水車、車輛)因循鋼軌在平直線段上轉動而發生之阻力，稱為基本阻力(pure resistance)，其形成也，約有下列六種主要原因：

- (1) 軸頸與軸承間之滑動摩阻力(第一種摩阻)。
- (2) 輪箍與軌面間之轉動摩阻力(第二種摩阻)。
- (3) 軌頭接縫、軌面凹凸及其他軌面不平之處，當車輪經行其上時，發生之動能(kinetic energy)之損失。
- (4) 車輛行駛時，由於擺動、搖盪、顫動等所發生之動能損失。
- (5) 輪箍邊緣與軌頭側面之滑動摩阻力(第一種摩阻)。
- (6) 機車前面所受空氣阻力(風力暫不計)，及列車後面因真空作用而發生之阻力。

機車阻力，除上列六種原因以外，尚有其他轉動部分與蒸汽傳導機關內部之摩阻力。

上列阻力生成之六種原因中，可作下列之假定：(1)第一項中之滑動摩阻力，在速度變化微小時，可視作常數；(2)第二至第五各項，

隨速度而增減，且與軌道狀態極有關係。所謂軌道狀態，即鋼軌之抗彎能力，軌頭接縫之抗力，枕木之擠墊與鋼軌之調順等情形；(3)第六項與行駛速度之平方成正比。茲將各種阻力之要素，分別論之如次：

(a) 軸頸與軸承間之滑動摩擦阻力 設軸頸所受重量為  $P_0/2$  公噸，軸頸轉動時，與軸承發生一種摩擦，其力為  $\frac{\delta \cdot P_0}{2}$ 。此式中之  $\delta$ ，表

示軸頸與軸承間之摩阻係數。如車輪轉動  $\gamma$  角度，則兩輪所完成之功為  $\delta \cdot P_0 \cdot r_0 \cdot \gamma$  (圖 28)。試求在軸之中心必須施以何力，始能與摩阻力相消？設此力為  $q_r$ ，轉動輪軸成  $\gamma$  角度時所成之功為  $q_r \cdot R_0 \cdot \gamma$ 。上列兩種功相等，故有

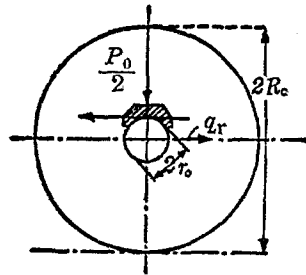


圖 28.

$$\delta \cdot P_0 \cdot r_0 \cdot \gamma = q_r \cdot R_0 \cdot \gamma,$$

即

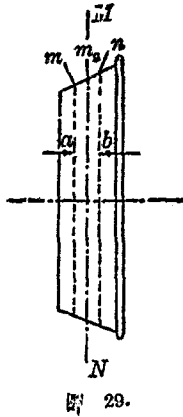
$$q_r = \frac{r_0}{R_0} \cdot P_0 \cdot \delta.$$

此處之摩阻係數，不能精確計算，乃因溫度及速度相應變更故也。溫度影響，在冬季寒冷時期尤為顯著；如列車在冷天氣中停留稍久，則開動頗難，因為滑油之凝結，有時尚須加注煤油，使其鬆滑。俟車輛開動，軸頸軸承互相摩擦而生熱，使滑油融化後，上述阻力方能減低。但若速度愈高，雖可使溫度增加，然同時軸箱所受風力亦愈大，反使溫度降低，此兩者一長一消，往往使溫度得其平衡而止。今假定冷熱適可相消，則行駛速度與此阻力當無多大影響。普通鋼質

軸頸配以銅質楔銷之摩阻係數為:

機車  $\delta = 0.01$

煤水車  $\delta = 0.0125$



(b) 輪箍斜度所生阻力 輪箍表面為斜形，成一圓錐體，其與鋼軌頂部接觸之處，為一截頭圓錐體之表面，其寬度約為  $ab = 20$  公厘 (圖29)。假設  $MN$  為此圓錐體表面之幾何的中心線，車輪沿此  $MN$  線旋轉，則無任何滑動摩阻發生，但此中心線  $MN$  以外之任何另一圓周

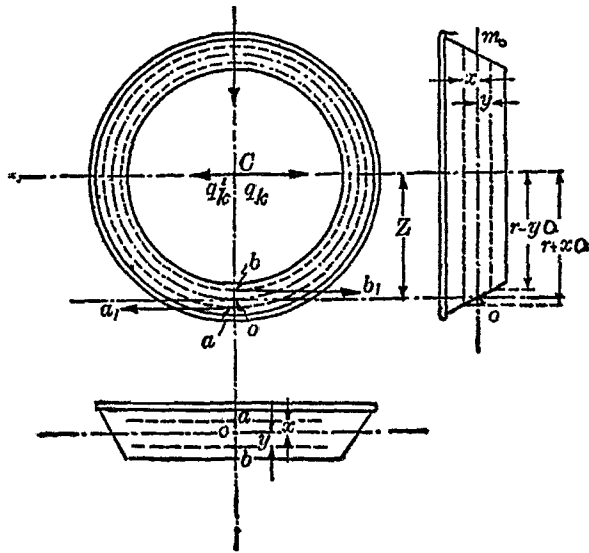


圖 30.

線，其直徑與  $MN$  者均不相同，此等處因速度關係，必有一種滑動  
 糜阻發生(如圖 29,  $m$  與  $n$  處之圓周, 不與  $m_0$  處圓周相等), 既有此  
 糜阻發生, 在軸之中間必施以力  $q_k$  以抵消之。由理論及實驗所得結  
 果, 知此糜阻力等於

$$q_k = 0.0005 \varphi_0 (p_0 + p'_0),$$

式中  $\varphi_0$  = 輪軌間之滑動糜阻係數(第一種糜阻)。

$p_0$  = 軸頸所承重量, 以公噸計(兩頸)。

$p'_0$  = 軸連兩輪之重量, 以公噸計。

茲試證明上列公式如次: 如圖 30, 假設輪箍與軌頂接觸之表面,  
 寬為  $n$  公厘, 則有:

$$n = x + y.$$

接觸面全寬所受重量為  $\frac{p_0 + p'_0}{2}$  公噸。

接觸面每 1 公厘寬所受重量為  $\frac{p_0 + p'_0}{2n}$  公噸。

接觸面寬  $dx$  公厘所受重量為  $\frac{p_0 + p'_0}{2n} dx$

(在較  $m_0$  圓周大之範圍中轉動時)。

接觸面寬  $dy$  公厘所受重量為  $\frac{p_0 + p'_0}{2n} dy$

(在較  $m_0$  圓周小之範圍中轉動時)。

輪箍表面與軌頂, 自  $O$  至  $b$  全部面積接觸; 輪向前滑動, 必有一種糜  
 阻力阻止之, 如滑動糜阻係數為  $\varphi_0$ , 則此糜阻力為

$$bb = \int_0^y \frac{p_0 + p'_0}{2n} \varphi_0 dy = \frac{p_0 + p'_0}{2n} \varphi_0 y.$$

輪箍表面與軌頂，自  $O$  至  $a$  全部面積接觸；輪向前滑動，亦必有一種  
 摩阻力，與前者方向相反，此摩阻力大小亦如上式，而為

$$aa_1 = \int_0^x \frac{p_0 + p'_0}{2n} \varphi_0 dx = \frac{p_0 + p'_0}{2n} \varphi_0 x.$$

根據動力學定理，如將三種力， $q_k$  (所求之阻力)， $aa_1$  及  $bb_1$ ，在  
 一平面上作投影，則有

$$\frac{p_0 + p'_0}{2n} \varphi_0 (y - x) + q_k = 0,$$

即 
$$q_k = \frac{p_0 + p'_0}{2n} \varphi_0 (x - y).$$

此外更可根據動力學定理，而作下列力矩(moment)公式(以  $O$  為重  
 心):

$$\int_0^x \frac{p_0 + p'_0}{n} \varphi_0 (r + x\alpha) dx - \int_0^y \frac{p_0 + p'_0}{n} \varphi_0 (r - y\alpha) dy = 0,$$

故 
$$rx + \frac{\alpha x^2}{2} - ry + \frac{\alpha y^2}{2} = 0,$$

即 
$$x^2 + \frac{2rx}{\alpha} + \left[ y^2 - \frac{2ry}{\alpha} \right] = 0.$$

代入  $y = n - x$ ，而得

$$x^2 + x \frac{2r - \alpha n}{\alpha} - \left[ \frac{rn - \frac{\alpha n^2}{2}}{\alpha} \right] = 0,$$

即 
$$x = \frac{n}{2} - \frac{r}{\alpha} \pm \sqrt{\frac{r^2}{\alpha^2} \left( 1 - \frac{n^2 \alpha^2}{4r^2} \right)}$$

此式中之  $\frac{n^2 \alpha^2}{4r^2}$  一項數值微小，可以略去。用牛頓二項定理分解此式，



得 
$$x = \frac{n}{2} - \frac{\alpha n^2}{8r}$$

由此得 
$$y = (n-x) = \frac{n}{2} + \frac{\alpha n^2}{8r}$$

代入前式,得 
$$q'_k = \frac{p_0 + p'_0}{2n} \varphi_0 \cdot \frac{\alpha n^2}{4r} = (p_0 + p'_0) \varphi_0 \frac{n\alpha}{8r}$$

兩輪阻力 
$$q_k = (p_0 + p'_0) \varphi_0 \frac{n\alpha}{4r}$$

式中  $\alpha = \frac{1}{20}$  為輪箍斜度,

$r$  = 輪半徑(如圖) = 500 公厘,

$n$  = 20 公厘.

故 
$$\frac{\alpha n}{4r} = \frac{0.05 \times 20}{4 \times 500} = 0.0005.$$

則 
$$q_k = 0.0005(p_0 + p'_0) \varphi_0.$$

(c) 軌頭接縫衝擊阻力 如圖31所示,設有一車輪自左向右旋轉,因輪上承有重量,與輪接觸處之鋼軌,常傾向兩旁而分開,此種材料分裂之趨勢,尤在鋼軌斷隙之處為甚,因其間抗裂之力最低故也.因此,軌頭接縫處之軌端,乃摩擦而成如圖31所示之狀態.輪如自左向右轉動,左邊軌頭低下而成  $abc$  之曲線,此時輪中所受之力為:

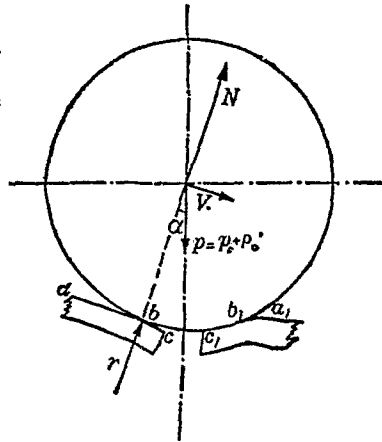


圖 31.

- (1) 輪之重量  $p_0'$  及輪之承重  $p_0$ ;
- (2) 鋼軌所發之反應力  $N$ ;
- (3) 車輪轉動時之向心力  $\frac{p_0'V^2}{gr}$ ,

此處  $g$  = 重力加速度,  $r$  = 轉動半徑(向心力半徑)。

將上列各力在  $N$  力方向作投影, 得

$$(p_0 + p_0') \cos \alpha = N + \frac{p_0'V^2}{gr},$$

即 
$$N = (p_0 + p_0') \cos \alpha - \frac{p_0'V^2}{gr}.$$

由此式可見半徑, 愈大, 則  $N$  愈大; 亦即謂軌頭磨蝕愈烈, 則凸面愈大, 而反應力  $N$  反較小; 如  $N = 0$ , 則

$$(p_0 + p_0') \cos \alpha = \frac{p_0'V^2}{gr}.$$

如將左軌磨蝕至一定程度, 而使  $N = 0$ , 則輪過其端, 不生衝力。右軌則與此相反, 任何車輪經過, 必與以打擊, 而其端成爲  $a_1 b_1 c_1$  曲線,  $b_1$  爲凹點。因此打擊, 動能發生損失, 成爲阻力。此力計算困難, 理論公式甚多, 如淮斯巴克 (Weisbach) 之公式爲

$$\text{阻力 } L_g = g' \frac{a^2 v^2}{R_0^2 g^2},$$

式中  $g'$  = 軸重及所承重量(連同彈簧重量之  $\frac{2}{3}$ ),

$a$  = 軌頭接縫距離, 以公尺計,

$v$  = 車行速度, 以公尺/秒計,

$g$  = 重力加速度, 以公尺/秒計<sup>2</sup>,

$R'_0$  = 車輪旋轉半徑，以公尺計。

此外理論公式頗多，然皆不盡精確，蓋因此打擊力之形成原甚複雜也。普通多用實驗公式計算，如下式即其一例：

$$q_0 = \frac{p_0 + p'_0}{l_0} (\epsilon V + \eta V^2),$$

式中

$l_0$  = 軌之長度，

$\epsilon$  及  $\eta$  = 常數，

$V$  = 機車行駛速度。

(c) 輪箍磨蝕不勻所生之阻力 車輪承重不同，路基並非絕對平穩，輪箍材料之性質又各不同，故不同之輪箍，其磨蝕之程度亦各異，以致旋轉直徑大小不齊，車行速度相等而車輪旋轉直徑不同，因而在鋼軌與輪箍間，發生一種摩擦，故須在軸中心加以力  $q_n$  以抵消此項摩阻力。設一輪旋轉直徑為 1000 公厘，另一輪旋轉直徑為 999 公厘。一輪轉動經行距離為  $L_0$  時，則另一輪必須於轉動外，尚須滑動一段距離等於  $0.001 L_0$ 。滑動時所作之功為  $\frac{p_0 + p'_0}{2} \phi_0 L_0 \cdot 0.001$ ，同一距離上，力  $q_n$  所作之功  $q_n \cdot L_0$  必與之相等，因得

$$\frac{p_0 + p'_0}{2} \phi_0 L_0 \cdot 0.001 = q_n \cdot L_0,$$

由此得

$$q_n = \frac{(p_0 + p'_0) \phi_0}{2 \times 1000} = \frac{\phi_n (p_0 + p'_0)}{2000}.$$

設  $\phi_0 = 0.4$ ，則

$$q_n = 0.0002 (p_0 + p'_0).$$

(e) 軌道左右彎曲所生阻力 列車經行鋼軌頂面上所留蹤跡，為輪箍與軌頂接觸面摩擦所生之印痕。細查此印痕，絕非直線，而為

不規則之曲線(圖 32)。行駛速度愈高，則此曲線之波折愈多，且曲度愈大。此種現象與輪箍和軌頂間之摩



圖 32.

阻力有關，蓋足以使摩阻力增加也。在軸中心須用力  $q_0$ ，以抵消上述之摩

$$q_0 = 0.00033(p_0 + p'_0) + \eta' V.$$

式中之  $\eta'$  為一係數。此式之證明如下：

因為軌道不平，而輪箍外周又為斜面，以及其他各種原因，輪軸

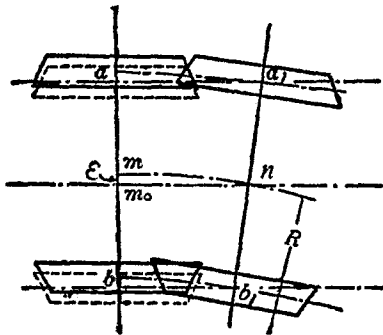


圖 33.

之前進，絕非沿直線而行，必時而偏左，時而偏右，恆較其平均中線出入一定之微小距離。設在某時間內，輪軸向  $a$  面偏傾  $\epsilon$  距離(圖 33)， $a$  輪與軌頂之接觸為較大圓周， $b$  輪與軌頂之接觸，則為較小圓周，如此可以假設輪軸  $a-b$  非沿直線進行，而其途程為一

曲線  $mn$ 。按圖 33，知

$$\frac{aa_1}{bb_1} = \frac{(R + \frac{S}{2} - \epsilon)\gamma}{(R - \frac{S}{2} - \epsilon)\gamma} = \frac{R + \frac{S}{2} - \epsilon}{R - \frac{S}{2} - \epsilon};$$

式中

$R$  = 曲線  $mn$  之半徑，

$\gamma = ab$  及  $a_1b_1$  間所成角度，

$S =$  軌寬(即軌距)。

又按圖 34, 設兩輪與軌頂之接觸圓周之半徑為  $r_1$  及  $r_2$ , 則輪軸轉動  $\beta$  角度時,

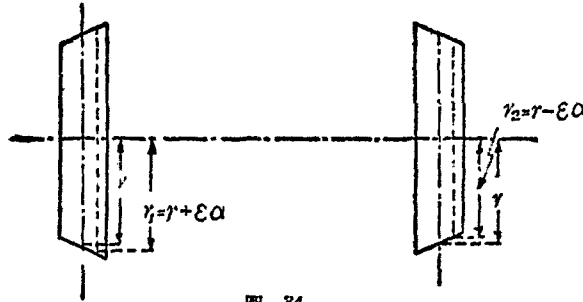


圖 34.

$$\frac{aa_1}{bb_1} = \frac{r_1 \beta}{r_2 \beta},$$

但  $\epsilon$  與  $(R \pm \frac{S}{2})$  相較, 其值甚微, 故可寫如下式:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{R + \frac{S}{2}}{R - \frac{S}{2}},$$

由此得

$$R = \frac{S}{2} \cdot \frac{r_1 + r_2}{r_1 - r_2},$$

因

$$r_1 = r + \alpha\epsilon \text{ 及 } r_2 = r - \alpha\epsilon,$$

式中  $\alpha$  為輪箍圓錐體表面之斜度(坡度), 故知

$$R = \frac{Sr}{2\alpha\epsilon}. \quad (a)$$

由此可以推求輪軸旋轉時所圍繞之半徑  $R$ 。設此半徑之圓弧為  $mn$  (圖 33)，其時車軸中心所占位置為  $n$  (此為軌道中心上之一點)，其時  $\epsilon = 0$  而  $R = \infty$  [根據 (a) 式]。但因慣性關係，車軸並不在此位置停留，而復偏向另一方面而占其最初位置。換言之，車軸將反覆擺動而成一種較有規則之曲線，有如  $abcdef \dots$  (圖 35)。試求此種擺

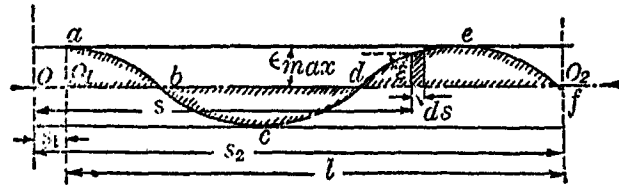


圖 35.

動變化中，其阻力為何？即  $q_0 = ?$  因為兩輪旋轉半徑不同， $(r + \epsilon\alpha)$  與  $(r - \epsilon\alpha)$ ，其中一輪必較車軸之平均運動為速，在其前方進行，相距為  $x$ ，另一輪則向反面移動，較平均運動落後，相距為  $y$ 。因而

$$(r + \epsilon\alpha) - x = (r - \epsilon\alpha) + y,$$

故知  $x + y = 2\epsilon\alpha$ . (b)

在此移動之間，所完成之功 (抵消阻力之功) 為

$$(x + y) \varphi_0 \frac{p_0 + p_0'}{2}; \quad (c)$$

平均移動之距離則為

$$(r + \alpha\epsilon) - x \text{ 或 } (r - \alpha\epsilon) + y,$$

此時阻力所作之功為

$$q_0 [(r + \alpha\epsilon) - x]. \quad (d)$$

於是成立下列等式：

$$\frac{p_0 + p'_0}{2} \varphi_0 (x + y) = q_0 [(r + \alpha \epsilon) - x].$$

根據(b)式,得

$$(p_0 + p'_0) \varphi_0 \alpha = q_0 [(r + \alpha \epsilon) - x].$$

此式中之 $(\alpha \epsilon - x)$ 與 $r$ 相較,其值微小,可以忽略,乃得次式:

$$(p_0 + p'_0) \varphi_0 \alpha = q_0 r,$$

即 
$$q_0 = (p_0 + p'_0) \varphi_0 \frac{\alpha}{r}.$$

如以 $ds$ 代表短小距離(圖 35),可將力 $q_0$ 之功寫作微分式如下:

$$q_0 \cdot ds = (p_0 + p'_0) \varphi_0 \frac{\alpha}{r} ds,$$

由此得 
$$\int_{s_1}^{s_2} q_0 ds = (p_0 + p'_0) \varphi_0 \frac{\alpha}{r} \int_{s_1}^{s_2} \epsilon ds.$$

力 $q_0$ 之平均數值,爲吾人所欲推求之數值。至於 $\epsilon ds$ 則表示一個面積(圖 35),由此知積分 $\int_{s_1}^{s_2} \epsilon ds$ 爲 $abcdef$ 之面積全部。若以 $\epsilon_{max}$ 代表全部之移動(自 $O_1$ 至 $O_2$ ),其左右偏向出入之最大數值,即可如下式設想:

$$\int_{s_1}^{s_2} \epsilon ds = 0.64 \epsilon_{max} \cdot s.$$

如 $s=l$ ,則功之等式爲

$$q_0 l = (p_0 + p'_0) \cdot \varphi_0 \cdot \frac{\alpha}{r} \cdot 0.64 \cdot \epsilon_{max} \cdot l,$$

得 
$$q_0 = 0.64 (p_0 + p'_0) \varphi_0 \frac{\epsilon_{max} \alpha}{r}.$$

而  $\alpha = 0.05$ ,  $r = 500$  公厘,  $\epsilon_{max} = 13$  公厘,  $\varphi_0 = 0.4$ ,

故 
$$q_0 = 0.00033 (p_0 + p'_0). \quad (c)$$

但未柏(Weber)所作實驗結果，知軌道波折與速度有關係。爲使此式與實際相近起見，將行車速度加入式中，則上述公式(e)可寫如次式：

$$q_0 = 0.00033(p_0 + p'_0) + \gamma' \cdot V.$$

(f)車軸裝架不正亦是增加阻力。車軸中心線必須與車架中心線完全成垂直裝置，始爲正確。但就實際而言，車軸中心線與車架中心線永不能完全成垂直，總偏向一角度  $\beta$ ，如圖 36 所示。

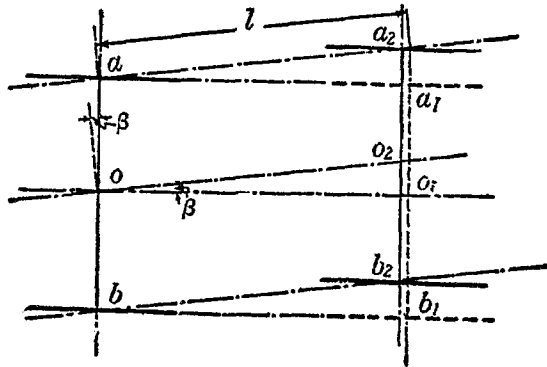


圖 36.

設此車軸中心線之中心爲  $O$ ，移動  $l$  距離時，車軸之兩點  $a$  及  $b$  移至  $a_1$  及  $b_1$ 。一般言之， $a$  點移至  $a_1$  點，或  $b$  點移至  $b_1$  點，本無補充阻力，亦無需補充工作以爲抵制。但車輪不能離開鋼軌，輪箍邊緣使  $a$  點不移至  $a_1$  點，而移至  $a_2$  點；使  $b$  點不移至  $b_1$  點，而移至  $b_2$  點； $O$  點移至  $O_2$  點。故每轉瞬間車軸作向側面之移動，其移動距離爲

$$a_1a_2 = l \tan \beta \cong l \cdot \beta.$$

移動時，當然亦須克服阻力而達到不離鋼軌之目的。此種阻力之克



服，亦須在軸中心線之中心施以動力  $q_m$ ，此力於車軸移動  $l$  距離時，所完成之功為  $q_m \cdot l$ 。但從另一面設想，車軸自  $a_1$  點移至  $a_2$  點，所作之功為

$$(p_0 + p'_0) \varphi_0 \cdot \overline{a_1 a_2} = (p_0 + p'_0) \cdot \varphi_0 \cdot l \cdot \beta.$$

由此得

$$q_m \cdot l = (p_0 + p'_0) \cdot l \cdot \varphi_0 \cdot \beta,$$

即

$$q_m = (p_0 + p'_0) \cdot \varphi_0 \cdot \beta.$$

倘  $\beta$  之最大數值為  $\beta = 0.003$ ， $\varphi_0 = 0.4$ ，

則有下式以示此種阻力之數值：

$$q_m = 0.0012(p_0 + p'_0).$$

(g) 車輪沿軌面轉動所生阻力 鋼軌當車輪經行其上時，輒承受其載重，而向下彎撓，成  $cab$  弧(圖 37)。此弧撓度甚微，為目力所不

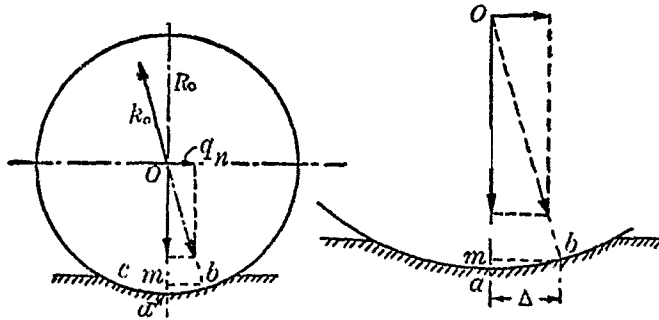


圖 37.

能察，且車輪不斷向前移動，而無片刻之停留於一個固定地點。如圖 37，車輪順時針方向旋轉， $ab$  面之分子則受壓而撓曲，同時  $ac$  面之壓力則已被解除；因鋼軌具有彈性，故壓力一去，輒有恢復原狀之趨勢。壓力之總合力  $k_0$  必經過輪心，如擬在軸中心，且在行駛方向中，

加以動力  $q_n$ ，使與阻力  $k_0$  相抵消，則此  $q_n$  必須適為兩個分力之合力，其中一個分力為輪重  $\frac{p_0 + p'_0}{2}$ ，另一分力則須與力  $k_0$  相等，而其方向則相反。由此可見圖 37 所示之幾何關係當如次所述：以  $b$  點為中心時，各力之力矩等式為

$$\frac{p_0 + p'_0}{2} \cdot \Delta = q_n \cdot \overline{mO}.$$

式中  $\Delta = \overline{mb}$ ，因為  $\overline{am}$  數值極微，可設想  $\overline{mO} = R_0$ （即輪之半徑），故

$$q_n = \frac{(p_0 + p'_0)}{2} \cdot \frac{\Delta}{R_0}.$$

此外在輪箍與軌面之間，尚有一種轉動摩擦力，亦須計入於此阻力中。武德（Wood）之實驗結果，為克服軸輪經行軌頂時所生之阻力起見，在軸中線之中心，必須施以挽力：

$$q_n = 0.00032(p_0 + p'_0).$$

(b) 空氣阻力 今有一長方體，如圖 38，其橫斷面面積為  $F$ ，在

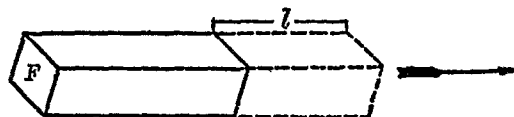


圖 38.

空氣中順箭頭所示方向移動，其移動速度為  $V$  公里/小時。此長方體向前移動距離  $l$  時，當將此段空氣擠開。凡移動一定體積之空氣，必需要一等於  $\frac{mV^2}{2}$  之動能，式中  $m$  = 被擠開空氣之質量。倘以  $d$  表示空氣密度， $F$  表示長方體斷面面積（以平方公尺計），則得

$$m = \frac{F \cdot l \cdot d}{g}$$

而動能則等於  $\frac{F \cdot l \cdot d}{2g} V^2$ .

此種動能之對象為空氣阻力  $q_a$ ，係長方體前端當移動時所遭遇者，與此動能所作功相當之當量阻力所作功為  $q_a \cdot l$ 。

故  $\frac{F \cdot l \cdot d}{2g} V^2 = q_a \cdot l$ ,

得  $q_a = \frac{F \cdot d \cdot V^2}{2g}$ 。

假設  $F = 1$  平方公尺，

則  $q'_a = \frac{d}{2g} V^2 = c V^2$ 。

實驗結果， $c = 0.00554$ 。故每平方公尺空氣阻力為  $q'_a = 0.00554 V^2$ 。

機車前面，絕非平面，恆作交角為  $\gamma$  之兩斜面，以圖減低空氣阻力；亦可作為半圓柱體面或橢圓體面，以達此目的。表中所列  $c_0$  之值，係依機車前面之形式而異；以  $c_0$  乘  $q'_a$ ，即得各不同之阻力：

表 33.

剖分空氣角度	$c_0$	說 明	剖分空氣角度	$c_0$	說 明
180°	1	計算公式變作： $q''_a = c_0 c V^2$ ,	90°	0.458	
150°	0.925		15°	0.388	
120°	0.848	半圓柱體面	0.617		
90°	0.742	即 $q''_a = 0.00554 c_0 V^2$ 。	橢圓體面	0.581	
30°	0.635				

美國鐵路所用之阻力值，係在愛非爾塔 (Eiffel Tower) 實驗所

得者：在平面上每平方呎所受空氣之阻力為  $0.003 V^2$  磅 ( $V$  以每小時哩計)。至於機車前凸出弧面所受空氣之阻力等於平面之  $\frac{2}{3}$ ，而為  $0.002 V^2$  磅/平方呎。

美國柏杜大學 (Purdue University) 之哥斯 (Goss)，曾由實驗得下列兩項結論：

(1) 列車前方之機車、煤水車，在靜止空氣中行駛時，所生阻力。約為此列車中間任何一個車輛所受阻力之十倍。

(2) 列車最後之一個車輛所受靜止空氣之阻力，約為中間一個車輛所受者之二倍半。

除列車前面有迎頭阻力外，空氣尚能與列車側面摩擦而生阻力，此種阻力，根據各專家實驗結果，知與速度  $V$  成正比，可寫為

$$q_a'' = c_1 V,$$

式中之係數  $c_1$  亦為實驗所得。如此則列車所受靜止空氣阻力之總數為正面及側面阻力之和，即

$$q_a = c_0 c V^2 + c_1 V.$$

在車行速度不高，同時空氣係靜止時，其側面空氣阻力甚微，自可不計。不過車行速度若大，再加以迎面或側面有風吹來，則須計及之；且可用哥斯之實驗結果。彼用  $\frac{1}{32}$  縮尺之車輛模型，放在一實驗筒中作實驗，此筒為 0.5 公尺  $\times$  0.5 公尺之方形，長 18 公尺，得實驗公式如次：

$$q_a = 0.0000533(3.3 L_g + 347)V^2,$$

式中  $L_g$  = 列車長度，以公尺計。

近年鐵路列車逐漸改善，與空氣摩擦之阻力亦漸減小，流線型車輛之實現，即其一例也。

(i)風吹阻力 列車在行駛中，倘遇有風迎面吹來，其阻力因風力或風吹速度之大小而變化。如以  $V_w$  表風迎面吹來之速度，而以  $V$  表車行速度，則風吹與車行之相對速度為  $(V_w + V)$ 。如風吹與車行方向相同，其相對速度為  $(-V_w + V)$ 。故前節所述空氣阻力公式，得為下列混合算式：

$$q_a = c_0 c (V \pm V_w)^2 + c_1 (V \pm V_w).$$

風力可據風力表(表 34)推求：

表 34.

風力	速度(公尺/秒)	說明	風力	速度(公尺/秒)	說明
無風	0	烟氣直升	急風	14	大號風標吹動
微小	4	狹旗飄動	暴風	21	樹木吹動
中性	6	標旗吹直	颶風	30—40	摧殘風力
稍急	9	風標吹動			

更有國際規定之風力表可以採用，如表 35：

表 35.

風之大小	速度, 公尺/秒	垂直面上風力, 公斤/平方公尺	風之大小	速度, 公尺/秒	垂直面上風力, 公斤/平方公尺
最細風	0—1.3	0—0.2	甚急風	17.9	98.7
細風	3.6	1.5	小暴風	21.5	55.3
輕風	5.8	4.1	暴風	25	75.6
弱風	8	7.7	大暴風	29	102.5
微風	10.3	12.6	最大暴風	33.5	135.7
中性風力	12.5	18.9	颶風	40.2	165.5
急風	15.2	27.9			

若風與車行方向既不相同又不相反，而成  $\beta$  角度時(圖 39)，則風之速度  $ac(=V_w)$  可分為兩個分速  $bc$  及  $ab$ ，且

$$bc = V_w \cos \beta, \quad (a)$$

$$ab = V_w \sin \beta. \quad (b)$$

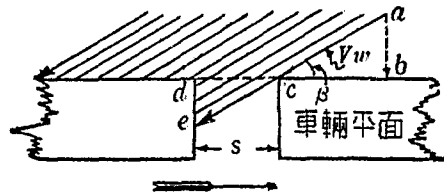


圖 39.

此外風更可以吹到車輛與車輛間之空隙中，因而發生阻力；如車輛間平臺受風吹之寬度為  $de = s \tan \beta$ ，則前面所受空氣阻力當增加下列之數量：

$$q_e = \bar{bc}^2 \cdot s \cdot h \cdot n \cdot \tan \beta \cdot \frac{d}{2g},$$

式中  $h$  為車輛高度， $n$  為列車中車輛數目。參照前式可寫作：

$$q_e = V_w^2 \cdot \cos^2 \beta \cdot s \cdot h \cdot \tan \beta \cdot c_0 \cdot c \cdot n,$$

而得

$$q_e = V_w^2 \cdot s \cdot h \cdot n \cdot c_0 \cdot c \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta.$$

同時，列車側面與空氣摩擦所生之阻力，亦相應增加，其所增加之數量為

$$q'_e = n \cdot F_0 \cdot (V + V_w) \cos \beta \cdot c_1,$$

式中  $F_0$  表示一個車輛之側面面積。

風之速度，原分為兩個分速，其分速  $ba$ ，垂直於車輛側面。對於列車側面所施之力為

$$n \cdot F_0 \cdot c_0 \cdot c \cdot V_w^2 \cdot \sin^2 \beta.$$

**例** 設有空貨車一輛，側面受風垂直之吹力。試問風力若何始能吹車使向側面移滑？

**解** 設輪箍與鋼軌間之摩阻係數為  $\varphi_0 = 0.3$ ，車重為 7 公噸。 $F_0 = 16.95$  平方公尺，則風力為  $0.00554 \times 16.95 \times V_w^2$ 。兩力平衡，乃成下式：

$$0.00554 \times 16.95 \times V_w^2 = 1000 \times 7 \times 0.3.$$

故得  $V_w = 151$  公里/小時 = 42.2 公尺/秒。

查風力表，可知此風速相當於颶風矣。當有此種危險時，列車例須停駛。倘風力至相當之大，即使尚不足以吹翻列車，但增加輪箍邊緣與軌端側面間之摩阻力，則不可免。

列車側面風吹阻力之大小，與車輛種類至有關係。客車、棚車之阻力必較平車或低邊車為大。車輛如被風吹動，向側面滑動時所生之阻力，應為輪緣與鋼軌間之摩阻力，其數值等於滑動摩阻係數乘側面風力之積；依英制計算，約為列車側面面積四分之一乘單位面積之風力之積。

§ 65. 列車基本阻力總值之探討 除上述各種阻力外，列車基本阻力中尚有偶然發生者，或因天氣關係而發生，或因軌道、車輛構造、行車方法等等特別之情況而形成。例如

(1) 天氣寒冷，氣溫降落，足以增加軸頸與軸承間之滑動摩阻力。

(2) 軌上積雪、結冰以及潮溼（如隧道中之軌道），皆足以增加輪箍與軌面間之轉動摩阻力。

(3) 車輛挽鉤及軸上彈簧等等亦時作極不規則之動力。

(4) 橋梁彎曲(其彎曲縱極微小), 路基欠穩固, 碴床、枕木以及鋼軌之抗力不平均, 皆有偶然阻力發生。

(5) 其他種種未能計及之偶然阻力。

如此, 計算行駛列車之基本阻力時, 應將前節及本節所述各種阻力綜合計算, 先以車輛、機車等每個為單位, 然後再以列車為單位而計算之。故基本阻力之總值應為

$$W_0 = \Sigma q_r + \Sigma q_k + \Sigma q_s + \Sigma q_n + \Sigma q_o + \Sigma q_m + \Sigma q_n + \Sigma q_a + \Sigma q_b + \dots$$

如將前節分析各種阻力之結果, 代入此式中, 則得下式:

$$\begin{aligned} W_0 = & \Sigma \left[ p_0 \cdot \delta \cdot \frac{r_0}{R_0} \right] + \Sigma [0.0005 \varphi_0 (p_0 + p'_0)] \\ & + \Sigma \left[ \frac{p_0 + p'_0}{l_s} (\epsilon V + \eta V^2) \right] + \Sigma [0.0002 (p_0 + p'_0)] \\ & + \Sigma [0.00033 (p_0 + p'_0) + \eta' V] \\ & + \Sigma [0.0012 (p_0 + p'_0) + \Sigma [0.00032 (p_0 + p'_0)] \\ & + \Sigma [c_0 c V^2 + c_1 V] + \dots \end{aligned}$$

如將此式化為總括代數式, 而以  $V$  及  $V^2$  為變數, 以  $A, B, C$  為常數, 則可寫作下式:

$$W_0 = A + BV + CV^2 \text{ 公斤}$$

而其比阻則為  $w_0 = a + bV + cV^2$  公斤/公噸。

實驗所得基本阻力之公式, 種類至夥。上式含有  $V$  及  $V^2$ , 最初為羅素(Scott Russell)所創造, 此外亦有只含  $V$  及  $V^2$  中之一者, 例如:

$$w_0 = a + bV^2, \quad \text{[克拉克(Clark)創出]}$$

及  $w_0 = a + bV$ 。



在阻力實驗最初期間(如蘇格蘭鐵路之克拉克)，計算阻力時大都用  $w_0 = a + bV^2$  一式；既而至十九世紀中葉，英國專家(如文達姆 Wyndham、哈爾丁 Harding、羅素等人)以及法國專家(如維爾明 Vuillemin、該布哈德 Guebhard 及提厄同 Dieudonné 等人)即已用  $w_0 = aV^2 + bV + c$  一式，以計算阻力。其後即被普遍採用，如法國之巴俾埃(Barbier)、拿打爾(Nadal)，德國之萊慈曼(Leitzmann)、包瑞司(von Borries)、姆茲耐爾(Mutzner)，奧國之三星(Sanzin)，英國、美國之史密斯(Smith)、倫提(Lundie)、斯普累格(Sprague)，俄國之彼得羅夫(Petroff)、羅蒙諾索夫(Lomonossoff)等人，皆係支持此公式者。惟有佛蘭克(Frank，德人)、惠靈頓、亨德生、克勞福德、福耐、佛爾夫(Wellington, Henderson, Crawford, Forney, Wolff) 等人，在整理其機力實驗之結果時，仍用  $w_0 = a + bV^2$  一式。最近美國專家(班斯 Barnes、亨德生 Henderson)、機車廠(包爾德文 Baldwin)及鐵路(紐約中央鐵路 New-York Central)則又使用  $w_0 = a + bV$  一式。

上述三種實驗公式中，按理論而言， $w_0 = a + bV + cV^2$  一式最為合理，以其包括  $V^2$ 、 $V$  及實驗常數；其次則為  $w_0 = a + bV^2$  一式；至第三種公式，只含有速度之一次方，故最差，惟因其運用簡捷，尙能得一部分專家之採用也。第一式包含  $V^2$  及  $V$ ，即係表示阻力遵照拋物線而變化者。更有人主張某種車輛之基本阻力當與  $V^3$  有關係，惟未見普遍採用耳。

最初蘇格蘭鐵路之克拉克創製一種阻力公式，各專家皆採用為研究之根據，其公式係以哩及磅為單位，如次所示：

$$w_0 = 8 + \frac{V^2}{171}$$

將此式化爲公斤·公里·公噸制，則如下：

$$w_0 = 3.63 + 0.001V^2.$$

當時蘭哈得 (Launhardt) 亦曾根據德國 (普魯士) 鐵路情形，製有相似之公式：

$$w_0 = 2.8 + 0.00124V^2 \text{ 公斤/公噸.}$$

在克拉克公式中，與其他  $a$  及  $b$  之數值，皆爲當時鐵路情形所適用者；然晚近以來，鐵路技術日新月異，其式似已嫌陳腐，而不適合於新條件（行車速度增高，車輛及設備均有長足進步）。

今假定  $V = 25$  公里/小時， 50 公里/小時，  
100 公里/小時，

則得  $w_0 = 4.25$  公斤/公噸， 6.13 公斤/公噸，  
13.63 公斤/公噸。

上面阻力計算，係依據克拉克公式。此公式雖屬陳腐，然在概算中，爲求簡捷起見，仍有用之者，惟將其常數略加改變以求適合於現狀而已。如普魯士鐵路，曾用下式以計算列車（連機車、煤水車在內）之基本阻力：

$$w_0 = 2.4 + \frac{V^2}{1300} = 2.4 + 0.08V^2.$$

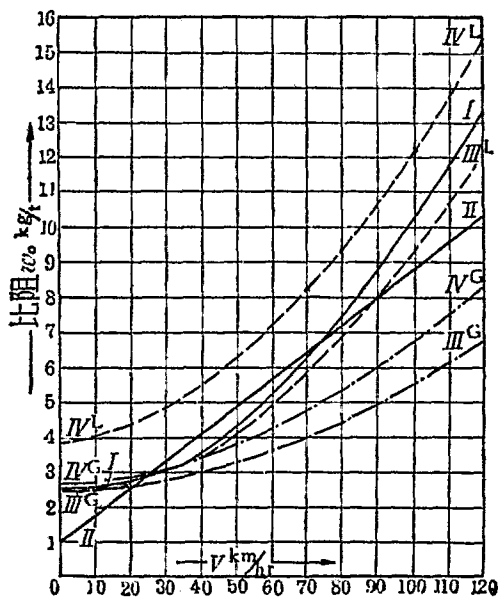
假定  $V$  值與上述相同，依此式計算，則得

$$w_0 = 2.88, \quad 4.80, \quad 10.10 \text{ 公斤/公噸.}$$

圖 40 中之 I 線，卽以示此公式者，可見速度對於阻力關係至鉅。此式中之常數，對於近代鐵路仍嫌太高。美國 普通列車之阻力（尙不計所

謂流線型列車), 曾有 1892 年 Engineering News 上發表之下列公式  
(見圖 40 之 II 線):

$$w_0 = 1 + 0.078 V \text{ 公斤/公噸.}$$



- 列車全部比阻
- - - 機車比阻
- · - 車輛比阻

圖 40.

用上列公式時, 不因列車編組不同, 而發生不同之空氣阻力, 且機車  
內部阻力與一般車輛阻力並不糞分, 此殊欠適合於實際. 近年所創

之阻力公式較昔日者優異之處，即在能注意到機車內部之阻力，而不與一般車輛相提並論。煤水車與普通車輛之性質相似，然因為機車與煤水車不易分開，故習慣上皆將此兩者之阻力混合計算。茲就機車與車輛（各種不同車輛）之阻力，於次各節中分別論之。

§56. 機車基本阻力  $w_0^L$  之計算 機車基本阻力，由兩種分阻力合成。一曰機車車體阻力，其性質與普通一般車輛無異，二曰機車機器阻力，又稱內部阻力 (internal resistance)，即若汽缸、活塞之摩擦，以及汽箱汽門室、十字頭聯桿室、牽動及導汽裝備中之軸頸軸承室等等之互相摩擦，皆足以構成機器內部之阻力。嚴格言之，列車基本阻力如按照上節公式推定，只包括機車阻力之一部分，即機車熄火，並將聯桿卸下後行駛之阻力，蓋絕未計及機車內部之阻力也。欲精確計算機車內部之阻力，宜將各種型式之機車機器之阻力，單獨實驗推求。不過此事甚為煩瑣，各專家普通皆將機車內部之阻力包括在機車車體阻力之中，而將兩者混同計算，更將煤水車之阻力，亦併入推求。通常實驗機車基本阻力，皆將機車汽門關閉，使在長坡上向下轉動，由其速度之變化，可推求所受外力之多少，即謂由其速度之減低，可以推求阻力也。佛蘭克創製機車阻力公式如次：

$$w_0^L = 2.5 + 0.0142 \left( \frac{V}{10} \right)^2 + \frac{0.54 f_1}{v + T} \left( \frac{V}{10} \right)^2.$$

此處  $f_1 = 1.1 F_1$ ，而  $F_1$  則為機車實際橫斷面面積，以平方公尺計。由此公式，演進至一般應用於普通機車之阻力公式（圖40之III<sup>2</sup>線）如下：

$$w_0^L = 2.5 + 0.067 \left( \frac{V}{10} \right)^2$$

以上兩式，當然只計及機車車體之阻力，而未將內部阻力計入。史特拉爾(Strahl)曾將此式加以改進，使同時顧及機車內部之阻力，其新式，可供鐵路選線計算之用（見 Strahl: Verfahren zur Bestimmung der Belastungsgrenzen der Dampflokomotiven, Zeitschrift d. Ver. Deutsch. Ing., 1913 年）其公式如下（圖 40 之 IV<sup>L</sup> 線）：

$$W_v^L = 2.5 L_l + cL_r + 0.6 F_l \left( \frac{V+12}{10} \right)^3 \text{ 公斤,}$$

或 
$$w_v^L = \frac{2.5 L_l + cL_r + 0.6 F_l \left( \frac{V+12}{10} \right)^2}{L+T} \text{ 公斤/公噸,}$$

式中  $L_l$  = 機車、煤水車重量承於「非主動軸」部分者，

$L_r$  = 機車重量承於主動軸部分者，

$F_l$  = 10 平方公尺，適用於德國新式高速客車之機車，

$c$  = 5.8 平方公尺，適用於二汽缸、二聯主動軸者，

$c$  = 6.0 平方公尺，適用於四汽缸、二聯主動軸者，

$c$  = 7.3 平方公尺，適用於二汽缸、三聯主動軸者，

$c$  = 7.5 平方公尺，適用於四汽缸、三聯主動軸者，

$c$  = 8.4 平方公尺，適用於二汽缸、四聯主動軸者，

$c$  = 8.6 平方公尺，適用於四汽缸、四聯主動軸者，

$c$  = 9.3 平方公尺，適用於二汽缸、五聯主動軸者，

$c$  = 9.5 平方公尺，適用於四汽缸、五聯主動軸者。

上式中之  $(V+12)$  適用於無風或微風之情況，如有急風，則宜改用  $(V+23)$ 。

在德國有時用次列公式計算機車及煤水車之基本阻力：

$$W_v^{LT} = w_0^L L + w_0^T T \text{ 公斤,}$$

式中  $w_0^L = 2.6\sqrt{n} + 0.00057 V^2 \text{ 公斤/公噸,}$

$$w_0^T = 2.5 + 0.00057 V^2 \text{ 公斤/公噸,}$$

$n$  = 機車聯動主軸之數目。

倘可用另一公式以求  $w_0^L$ , 如  $w_0^L = 4\sqrt{n} + 0.002 V^2 \text{ 公斤/公噸}$  是也。

近來德奧以及美國, 恆用下式推求機車阻力:

$$W_v^{LT} = (L + T - L_a)w_0^{LT} + L_a w_0^T + w_0^L,$$

式中  $L$  = 機車總重(公噸);

$L_a$  = 機車主軸重量(公噸);

$T$  = 煤水車計算重量(公噸);

$w_0^{LT}$  = 機車「非主動軸」與煤水車軸之比阻(公斤/公噸),

按照史特拉爾,

$$w_0^{LT} = 2.5 \text{ 公斤/公噸,}$$

按照三星,

$$w_0^{LT} = 1.8 + 0.015 V \text{ 公斤/公噸,}$$

美國則用相似重量之貨車代之;

$w_0^L$  = 機車主軸之比阻(連同機器比阻, 斤/公噸),

按照史特拉爾, 如表 36:

表 36.

	汽缸 2 個	汽缸 4 個	聯動主軸數目
$w_0^L =$	5.8	6.0	2
$w_0^L =$	7.3	7.5	3
$w_0^L =$	8.4	8.6	4
$w_0^L =$	9.3	9.5	5

按照三星， $w_0^t = a + b \frac{V}{D}$  ( $D$  = 主輪直徑，公尺)，

表 37.

	聯動主軸 2	聯動主軸 3	聯動主軸 4	聯動主軸 5
$a =$	5.5	7.0	8.0	8.8
$b =$	0.08	0.10	0.28	0.36

按照美國所慣用者，

$$w_0^t = 10 \text{--} 12.5 \text{ 公斤/公噸};$$

$$w_0^a = \text{空氣比阻 (公斤/公噸) 而等於 } cV^2,$$

此處常數  $c = 0.006 F_t$ ，美國則用  $c = 0.042$ 。

客運機車 (passenger locomotive) 之基本阻力，普通用  $(a + bV + cV^2)$  或  $(a + bV^2)$  表示，有如下列：

$$w_0^{LT} = 2.3 + 0.15V + 0.001V^2 \text{ 公斤/公噸}.$$

此為機車車體及機器兩種阻力綜合之公式。若只計其車體阻力，則有下式可用：

$$w_0^{LT} = 1.3 + 0.02V + 0.0005V^2 \text{ 公斤/公噸}.$$

貨運機車 (freight locomotive) 之車體及機器阻力之綜合公式，如次所示：

$$w_0^{LT} = 4.3 + 0.15V + 0.001V^2 \text{ 公斤/公噸}.$$

貨運機車車體阻力單獨計算，則用下式：

$$w_0^{LT} = 1.4 + 0.04V + 0.0006V^2 \text{ 公斤/公噸}.$$

狹軌機車阻力之計算，在德國普通使用哈爾曼 (Haarmann)、布盧姆 (Blum) 及參考書 Huette 所示之公式：

軌 寬	哈爾曼(公斤/公噸)	布盧姆(公斤/公噸)	Huette(公斤/公噸)
1.00公尺	$w_0^L = 4\sqrt{\Delta} + 0.0325 V^2$	$w_0^L = 3\sqrt{\Delta} + 0.0015 V^2$	$w_0^L = 2.7\sqrt{a} + 0.0015 V^2$
0.75公尺	$w_0^L = 4\sqrt{\Delta} + 0.0080 V^2$	$w_0^L = 3\sqrt{\Delta} + 0.0020 V^2$	$w_0^L = 2.8\sqrt{a} + 0.0010 V^2$
0.60公尺	$w_0^L = 4\sqrt{\Delta} + 0.0085 V^2$	$w_0^L = \sqrt{\Delta} + 0.0025 V^2$	$w_0^L = 2.9\sqrt{a} + 0.0008 V^2$

附註：(1)  $\Delta$  = 聯動主軸數目。(2) 哈爾曼公式所得數值嫌太高。  
(3) Huette 公式：重大貨運機車  $a=3$ ，客運機車  $a=2$ 。

齒輪鐵路機車，其比阻稍大，其速度低小，在 7—15 公里/小時間，其比阻為：

兩個汽缸機車  $w_0^L = 16-18$  公斤/公噸；

四個汽缸機車  $w_0^L = 20-24$  公斤/公噸。

齒輪鐵路列車全部(機車在內)，根據道列擦列克(Dolezalek)實驗，其比阻約為 12—15 公斤/公噸(見 Eisenbahntechnik d. Gegenwart, 卷 IV, 1905)。

街市電車之比阻，約如下列：

有槽鋼軌………8—12 公斤/公噸；

無槽鋼軌………5—8 公斤/公噸。

法國狹軌鐵路機車之比阻，恆用得斯杜伊慈(Desdouts)公式：

$$w_0 = 3 + 0.17 V \text{ 公斤/公噸。}$$

§ 57. 車輛基本阻力  $W_0^g$  之計算 車輛之基本阻力，按諸實驗結果，與其總重至有關係。在客運車輛，此義不甚顯著，因為客載重量與客車死重相形甚微(至多客載不過等於車輛死重之 12%)。然貨運車輛則是，載重與死重之比甚高，其活重(live load)至少須占死重之 67%—72%。車輛比阻計算方法約有兩派，歐洲各國認為車輛



阻力，只與速度有關係，美國各路則常視車輛總重為其中之因素。前者適用於客車，後者則適用於貨車，新式轉向架四軸(或六軸)車輛之比阻較兩軸或三軸車輛者為小。故在研討車輛比阻時，當不僅應區別貨車與客車，更宜將二軸、三軸及四軸等不同，一一加以論述。茲分客車與貨車，討論其阻力如次：

(甲)客車阻力——二軸、三軸車輛之比阻，有下列公式可用：

內達爾(Nadal)  $w_0^G = 1.6 + 0.3V \frac{V+90}{1000}$  公斤/公噸。

巴俾挨(Barbier)  $w_0^G = 1.6 + 0.45V \frac{V+50}{1000}$  公斤/公噸。

四軸客車阻力公式極夥，瑞士鐵路在 1914 年創下列公式：

$$w_0^G = 2.55 + 0.027V + 0.00127V^2 \text{ 公斤/公噸；}$$

又  $w_0^G = 2.83 + 0.00168V^2$  公斤/公噸。

此種公式中，未將車輛之死重計入，是其缺點。美國賓夕法尼亞鐵路所用之公式較佳：

$$w_0^G = 0.85 \left[ \frac{45.36}{q} + 0.75 + \frac{V(V+25.7)}{544\sqrt{q}} \right] \text{ 公斤/公噸，}$$

式中  $q$  = 車輛死重，以公噸計。

德國近年亦有較新公式，即史特拉爾公式是也。其公式如次：

$$w_0^G = 2.5 + 0.01 \frac{V^2}{q} \text{ 公斤/公噸。}$$

(乙)貨車阻力——二軸與四軸兩種車輛之比阻，如次所述：

二軸車輛之阻力公式，種類甚多，茲擇其要者錄之：

羅謨諾薩夫公式：

$$w_g^G = 1.4 + \left(0.04 + \frac{0.82}{q}\right) V \text{ 公斤/公噸,}$$

式中  $q$  = 車輛總重之平均數值，以公噸計。

僅欲作簡略之阻力概算時，羅謨諾薩夫亦製有簡式可用：

$$\text{滿載車輛} \quad w_g^G = 1.4 + 0.06 V \text{ 公斤/公噸,}$$

$$\text{空車輛} \quad w_g^G = 1.4 + 0.09 V \text{ 公斤/公噸.}$$

德國近年使用下列各式(史特拉爾式)：

$$\text{滿載敞車} \quad w_g^G = 2.5 + 0.008 \frac{V^2}{q} \text{ 公斤/公噸;}$$

$$\text{滿載棚車} \quad w_g^G = 2.5 + 0.075 \frac{V^2}{q} \text{ 公斤/公噸;}$$

$$\text{空敞車} \quad w_g^G = 2.5 + 0.01 \frac{V^2}{q} \text{ 公斤/公噸.}$$

四軸車輛之阻力實驗，在美國成績最優，如伊利那大學之司密得(Schmidt)教授、賓夕法尼亞鐵路之寇爾(Cole)工程司，以及包爾德文機車廠皆作有極詳盡之實驗，並曾發表公式及算法，茲述之如下：

$$\text{司密得} \quad w_g^G = \frac{0.312V + 19.8 - 0.017q}{4.08 + 0.1675q} \text{ 公斤/公噸.}$$

$$\text{包爾德文} \quad w_g^G = 0.75 + \frac{53 + 0.621V}{1.1q + 1} + 0.000193V^2 \text{ 公斤/公噸.}$$

$$\text{司密得簡式} \quad w_g^G = \frac{V + 65}{12 + 0.55q} \text{ 公斤/公噸(1915年發表).}$$

賓夕法尼亞鐵路

$$w_g^G = 0.7 + \frac{50.8}{q} \text{ 公斤/公噸(1907—1915年發表).}$$

如計算無須至詳，則可用下式：

滿載車輛  $w_g^g = 1.5 + 0.02V$  公斤/公噸；

空車輛  $w_g^g = 2.5 + 0.04V$  公斤/公噸。

§ 58. 德國常用之車輛阻力公式 佛蘭克所創製之列車車輛比阻公式(機車、煤水車除外，行李車在內)如次：

$$w_g^g = 2.5 + 0.0142 \left( \frac{V}{10} \right)^2 + 0.54 \frac{f_1 + n' f_2}{n' q} \left( \frac{V}{10} \right)^2,$$

式中  $f_1 = 2.0$  平方公尺 = 機車後第一輛車之斷面面積，

$f_2$  = 其他車輛之斷面面積，其值如次：

空敞車  $f_2 = 1.62$  平方公尺，

滿載車輛  $f_2 = 0.32$  平方公尺，

滿載棚車或客車  $f_2 = 0.56$  平方公尺，

$n'$  = 車輛數，  $q$  = 每車平均重量。

將上式簡化，得下列相近之算式(圖 40 之 III<sup>g</sup> 線)：

$$w_g^g = 2.5 + b \left( \frac{V}{10} \right)^2,$$

式中  $b$  之數值依車輛種類而變，按普通車輛種類而言，其值如下：

客運快車(300—500 公噸)，四軸之快車車輛  $b = 0.025$ ，

客運列車(500—400 公噸)，二軸或三軸客車  $b = 0.033$ ，

貨運列車(800—1 00 公噸)，滿載敞車(如煤車)  $b = 0.023$ ，

貨運快車，半載，有棚  $b = 0.033$ ，

貨運列車(800—1000 公噸)，半載，有半棚或空車  $b = 0.0 0$ ，

貨運列車(400—600 公噸)，有半棚或空車  $b = 0.10$ ，

運煤列車(500—500 公噸)，空車  $b = 0.14$ 。

由上式可知，車輛愈重，其每噸阻力愈小。

史特拉爾亦製有車輛阻力公式，與佛蘭克所製者大致符合，而尤較完善，因前者將風吹阻力亦一併計入故也。風力如係適中，可用次列公式(圖 40 之 IV<sup>G</sup> 線)：

(a) 快車，特別快車以及重載貨列車

$$w_0^G = 2.5 + \frac{1}{40} \left( \frac{V+12}{10} \right)^2 \text{ 公斤/公噸,}$$

(b) 普通客列車  $w_0^G = 2.5 + \frac{1}{50} \left( \frac{V+12}{10} \right)^2 \text{ 公斤/公噸,}$

(c) 快速貨列車  $w_0^G = 2.5 + \frac{1}{25} \left( \frac{V+12}{10} \right)^2 \text{ 公斤/公噸,}$

(d) 混合普通貨列車  $w_0^G = 2.5 + \frac{1}{20} \left( \frac{V+12}{10} \right)^2 \text{ 公斤/公噸,}$

(e) 兩軸空車列車  $w_0^G = 2.5 + \frac{1}{10} \left( \frac{V+12}{10} \right)^2 \text{ 公斤/公噸.}$

應用於急劇之風力時，可將上式中(V+12)一項改為(V+23)。

德國普通計算狹軌鐵路之車輛阻力，用哈爾曼及參考書Hue所示之公式，如下：

寬 軌 (公尺)	哈爾曼公式	Huette 公式	附 註
1.00	$w_0^G = 1.7 + 0.0013 V^2$	$w_0^G = 2.6 + 0.0003 V^2$	(1) 比阻以公斤/公噸計。
0.75	$w_0^G = 2.0 + 0.0015 V^2$	$w_0^G = 2.7 + 0.0002 V^2$	(2) 哈爾曼公式所得計算
0.60	$w_0^G = 2.2 + 0.0017 V^2$	$w_0^G = 2.8 + 0.0002 V^2$	結果，稍嫌太高。

倘所作阻力計算，不需要十分精密時，在德國不論狹軌之尺寸如何，凡速度在20—30公里/小時之間者，俱用  $w_0^G = 4$  公斤/公噸，速度較

此為大時，則用  $w_g = 5$  公斤/公噸。

法國鐵路，則認為車輛阻力與軌寬毫無關係，其計算也，儘可使用標準軌寬之車輛阻力公式，其速度在 60 公里/小時以下者，復用得斯杜伊慈公式計算車輛阻力：

$$w_g = 1.50 + 0.0007 V^2 \text{ 公斤/公噸。}$$

§ 59. 列車基本阻力  $W_0$  之計算 倘若機車、煤水車及車輛之式樣，尚無確定，而只知車輛總重量  $G$  與機車、煤水車混合重量  $L+T$ ，則列車行駛阻力，可按列車總噸數及每噸平均阻力（即比阻  $w_0$ ）而推求之，其公式如次：

$$W_0 = w_0(L+T+G) \text{ 公斤。}$$

德國所用公式，不論列車種類，用下列兩式：

巴瓦利亞鐵路所製者  $w_0 = 2.4 + 0.001 V^2$  公斤/公噸。

普魯士鐵路所製者，即埃爾孚特(Erfahrt)式

$$w_0 = 2.4 + 0.00077 V^2 \text{ 公斤/公噸。}$$

如分別列車種類，則有下列各式：

佛蘭克之客列車公式  $w_0 = 2.5 + 0.0004 V^2$  公斤/公噸。

貨列車公式  $w_0 = 2.5 + 0.0006 V^2$  公斤/公噸。

特洛司克之客列車公式  $w_0 = 2.5 + \frac{V^2}{2300}$  公斤/公噸。

貨列車公式  $w_0 = 2.5 + \frac{V^2}{1300}$  公斤/公噸。

法國鐵路，不論列車種類，用下式計算阻力：

巴俾埃公式：

$$w_0 = 2.36 + 0.0245V + 0.019 \frac{F}{L+T+G} V^2 \text{ 公斤/公噸.}$$

式中  $F$  = 列車橫斷面積，以平方公尺計。

美國鐵路對於列車阻力所作實驗甚詳，茲簡述如下（以磅，噸，哩計）：

貨運列車——以下列公式為常採用：

包爾提摩爾·俄海俄 (Baltimore & Ohio) 鐵路實驗所得：

$$W_0 = 2.2(T+L+G) + 122C \text{ 磅,}$$

式中列車重量  $(T+L+G)$  以噸計， $C$  = 車輛數目。

工程彙報 (Engineering News) 公式

$$w_0 = 2 + \frac{V}{4} \text{ 磅/噸.}$$

包爾德文機車廠 公式

$$w_0 = 3 + \frac{V}{6} \text{ 磅/噸.}$$

西烏忒 (Ciuctt) 根據惠靈頓阻力曲線，製有下列兩式：

$$\text{空車比阻 } w'_0 = 5.4 + 0.001V^2 + \frac{70}{(V+3)^2} \text{ 磅/噸.}$$

$$\text{滿載車比阻 } w''_0 = 3.8 + 0.0076V^2 + \frac{16.4}{(V+1)^2} \text{ 磅/噸.}$$

司密得教授在伊利那大學曾作有極詳盡之實驗，其貨列車阻力公式，包含速度（在每小時 40 里以下者）及車輛平均之重量，如次所示：

車輛每部平均重 15 噸， $w_0 = 7.15 + 0.085V + 0.00175V^2$  磅/噸；

車輛每部平均重 20 噸， $w_0 = 6.30 + 0.087V + 0.00126V^2$  磅/噸；

車輛每部平均重 25 噸,  $w_0=5.60+0.077V+0.00116V^2$  磅/噸;  
 車輛每部平均重 30 噸,  $w_0=5.02+0.066V+0.00116V^2$  磅/噸;  
 車輛每部平均重 35 噸,  $w_0=4.49+0.060V+0.00108V^2$  磅/噸;  
 車輛每部平均重 40 噸,  $w_0=4.15+0.041V+0.00134V^2$  磅/噸;  
 車輛每部平均重 45 噸,  $w_0=3.82+0.031V+0.00140V^2$  磅/噸;  
 車輛每部平均重 50 噸,  $w_0=3.56+0.024V+0.00140V^2$  磅/噸;  
 車輛每部平均重 55 噸,  $w_0=3.38+0.016V+0.00142V^2$  磅/噸;  
 車輛每部平均重 60 噸,  $w_0=3.19+0.016V+0.00132V^2$  磅/噸;  
 車輛每部平均重 65 噸,  $w_0=3.06+0.014V+0.00130V^2$  磅/噸;  
 車輛每部平均重 70 噸,  $w_0=2.92+0.021V+0.00111V^2$  磅/噸;  
 車輛每部平均重 75 噸,  $w_0=2.87+0.019V+0.00113V^2$  磅/噸。  
 圖 41 (A) 及 (B) 所示之阻力曲線, 即為司密得實驗所得之結果:

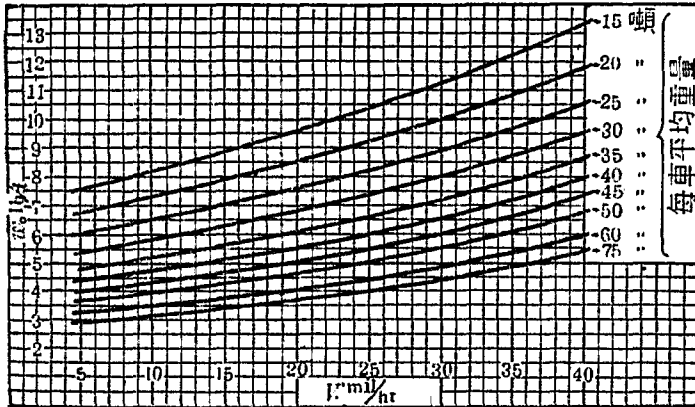


圖 41.(A)

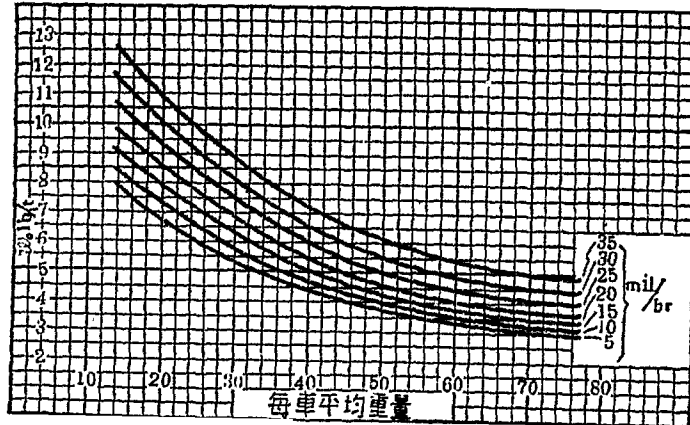


圖 41.(13)

客運列車——下列公式，在美國普遍採用：

美國機車廠：
$$w_0 = 5.4 + 0.002(V - 15)^2 + \frac{100}{(V + 2)^2} \text{ 磅/噸；}$$

包爾德文機車廠：
$$w_0 = 3 + \frac{V}{6} \text{ 磅/噸；}$$

C. B. & Q. 鐵路：
$$w_0 = 2.5 + \frac{V^2}{468} \text{ 磅/噸；}$$

賓夕法尼亞鐵路：
$$w_0 = 3 + 0.1315V \text{ 磅/噸；}$$

通用電氣公司：
$$w_0 = \frac{50}{\sqrt{L+T+G}} + 0.03V$$

$$+ \frac{0.002V^2}{L+T+G} F \left( 1 + \frac{n-1}{10} \right) \text{ 磅/噸。}$$



此處  $F$  = 列車尾車橫斷面積，以平方呎計； $n$  = 車輛數目。

§ 60. 天氣溫度對於列車基本阻力之影響 以上所述列車及列車各部行駛時所遇之阻力，係假定普通天氣及溫度而言，僅適用於溫度約在  $+7^{\circ}\text{C}$ . 以上之溫和氣溫，並在平靜無風(或小風)及晴朗之天氣(風速不得大於 30 公里/小時)。夏季阻力較秋冬為小；一遇氣候寒冷，軌上蒙雪，再加大風吹動，則行駛阻力必然增大。氣候寒冷足以使潤油凝結，致軸頸軸承間摩擦增高；軌頂有雪，則軌輪間摩擦加大；風力能增強列車之阻力，亦已於前面論及。類是種種氣候之影響，亦有實驗公式足資參考；惟在計算阻力時，宜將所應用之基本阻力公式之一部，加以調整。譬如包爾提摩爾·俄海俄鐵路將其原式按照溫度加以調整如下(仍以磅、噸、哩為單位)：

$$\text{溫度在 } 35^{\circ}\text{F. 以上, } W_0 = 2.2(L + T + G) + 122C \text{ 磅;}$$

$$\text{溫度在 } 20^{\circ} - 35^{\circ}\text{F., } W_0 = 3.0(L + T + G) + 137C \text{ 磅;}$$

$$\text{溫度在 } 0^{\circ} - 20^{\circ}\text{F., } W_0 = 4.0(L + T + G) + 153C \text{ 磅;}$$

$$\text{溫度在 } 0^{\circ}\text{F. 以下, } W_0 = 5.4(L + T + G) + 171C \text{ 磅.}$$

司密得教授曾將幾條鐵路所受氣溫之影響，在阻力公式中作調整數值之計算；並作下表，以示列車載重遞減之情形：

表 38.

鐵路名稱	載重遞減之百分數				
	45°F. 以上	32°—45°F.	20°—32°F.	0°—20°F.	0°F. 以下
C. G. W.	不變	8%	16%	16%	25%
C. & E. I.	不變	10%	20%	30%	35%
C. & O.	不變	5%	10%	20—25%	30%

Pennsylvania	不變	5%	10%	15—30%	30%
N. Pac.	不變	10%	10%	20%	35%
C. of N. J.	不變	10%	10%	20%	.....
Erie.	不變	不變	5%	15%	20%
C., B. & Q.	不變	不變	10%	15%	20%
C. M. & St. P.	不變	不變	5%	10%	20—30%
D. & R. G.	不變	不變	15%	15%	25%
L. V.	不變	不變	5%	15%	25%
D. & I. R.	不變	不變	10%	10%	20—25%
C. & N.W.	不變	不變	不變	10—25%	.....
Can. Pac.	不變	不變	不變	.....	8—25%
B. & M.	不變	不變	不變	7—15%	12—22%
G. T.	不變	不變	不變	不變	5—20%

§ 61. 路面對於基本阻力之影響 前面所述阻力公式，除根據普通溫和溫度而推演外，並且係依照普通路面（軌道）之情形而加以實驗分析之結果。所謂普通路面之情形，即指路面有相當硬度（抗撓力），其平面及縱面均相當平順，軌面亦相當平滑。倘有軌道硬度不夠，軌面凹凸不平，平面曲折木強，或枕木鋪設及碴床擠墊不勻，坡度不準等等缺點，皆足以增加基本阻力，而抵消列車之動能，其影響可達阻力全部之 20%。路面硬度及阻力問題，至為複雜；美國達德利（Dudley）及德國齊麥曼（Zimmerman）在十九世紀之末，對於此問題，即有精細之研究；惟其理論繁複，於此暫不詳論。此外軌重與基本阻力亦有關係；例如美國紐約中央哈德生河（New-York Central-Hudson River）鐵路，將 32.24 公斤/公尺鋼軌改為 39.68 公斤/公

尺鋼軌後，貨運列車（車輛平均重 27 公噸）基本阻力，竟自 3.5—4 公斤/公噸減低至 1.75 公斤/公噸。

§ 62. 自動車基本阻力之計算 關於自動車以及附掛車 (motor truck) 在行駛時之基本阻力，德國柏林高速電車研究會曾在一實驗路線上作詳盡之實驗，實驗時之速度達到 200 公里/小時。在普通軌道情形中，有下列公式可用：

$$\text{自動車} \quad W_0 = (1.8 + 0.00067V^2)L + 0.0052V^2F \text{ 公斤};$$

$$\text{附掛車} \quad W_0 = (1.3 + 0.00067V^2)L + 0.0052V^2F \text{ 公斤}.$$

上式中之  $L$  = 車重，以噸計； $F$  = 橫斷面積，以平方公尺計。

由上列兩式，可見速度愈高，則空氣阻力影響愈大；且車重愈小，則此空氣阻力愈為顯著。街市間所用電車，速度不高（15—20 公里/小時），空氣阻力影響當不甚大；然卻有另一種阻力發生，即鋼軌溝槽中常為灰塵塞積，其阻力頗大。街車之基本比阻約在 10—12 公斤/公噸左右。

§ 63. 列車開駛時阻力之計算 列車由靜態變成動態時，其間發生一種阻力，有時其值甚大，尤以重載貨列車為然，此種阻力稱為開駛阻力 (starting resistance)。吾人早知車輛在停止行駛時，其比阻立即增加；在第一分鐘中，增長最速，可至 4—5 公斤/公噸；嗣則增勢漸緩，至第六分鐘之末，可增至 14—15 公斤/公噸以上。車輛或列車既停以後，再施力使其轉動，所遇阻力較在既動之後所需維持其運動狀態者，強大數倍。其原因大部分在軸頸軸承間摩擦阻力，與加速度所遭遇之阻力。

格林司基(Glinsky)根據實驗結果,規定列車開駛時之比阻如次:

機車連同煤水車.....	20 公斤/公噸;
水箱機車.....	26 公斤/公噸;
車輛(單個).....	20 公斤/公噸;
密切接連之空貨車.....	9 公斤/公噸.

倘若列車在平直線段上開駛,或可先用機車向後推動,將掛車之彈簧壓縮,然後機車前駛,將所拖車輛各個依次開動;如此,則開駛阻力為每個車輛所發生之數值,而非全部列車同時發生之數值,故其阻力,尙不至太大. 但若列車開駛於上坡路,或為客車,不能使用先退後進之方法,而須將列車全部一起拖動時,其開駛阻力,極極巨大. 機車挽力,既恆按路線最大坡度與行車最經濟載重而設計與配載,在普通情形之下,列車開駛必遭遇困難,甚至不能開駛;故在計算機車挽力時,開駛阻力不可忽略,尤以重載貨車停駛甚久,且時常跨越長大上坡路(恐有意外停車)之情形為甚. 城市鐵路,車站密邇,停車開車頻繁,更不可忽視此種開駛阻力也.

對於開駛阻力影響最大之因素約為: (a)車輛重量, (b)軸頸溫度, (c)潤油狀況, (d)停車久暫, (e)軸承之設計等等. 最後一項,近年來頗為一般所重視,且已有滾珠軸承之應用. 此式軸承或用於客車及貨車,或用於機車,其目的無非為圖減低阻力而已. 瑞士鐵路,於1915年,曾作軸承實驗,使普通軸承與滾珠軸承相較,其結果如表 39.

列車阻力(當然開駛阻力亦其中之一部)與鐵路經濟,至有關係;蓋挽力之節省,影響於營業鐵路之經濟至巨也. 計算開駛阻力,亦可

表 39.

車輛類別	滾珠軸承開駛阻力	普通軸承開駛阻力
一個空車(平均)	4.00 公斤/公噸	15 公斤/公噸
五個空車相連(平均)	2.45 公斤/公噸	9 公斤/公噸
一個滿載車(平均)	1.35 公斤/公噸	15—19 公斤/公噸
五個滿載車相連(平均)	1.30 公斤/公噸	7—12 公斤/公噸

分機車與車輛兩項；車輛及煤水車可按 9—10 公斤/公噸計算，機車可按  $5(1+\Delta)$  公斤/公噸計算（此處  $\Delta$  代表機車主軸數目）。有時亦可將列車全部（機車、煤水車及車輛）綜合計之：客列車用 15—20 公斤/公噸；貨列車用 13 公斤/公噸。美國 C. R. I. & P. 鐵路，以 35—45 車輛之列車作實驗，其開駛阻力為 10—18 磅/噸。同一實驗，因列車停止之久暫，所得結果亦不同：列車停止一夜後再加實驗，所得開駛阻力為 30 磅/噸；但一經停止即加實驗（即最短促停止後），其開駛阻力則祇有 6 磅/噸。

### 列車行駛時之輔助阻力

§ 64. 坡度阻力 路線之坡度，為其升降高度與長度之比，普通以千分率表之；例如 1 : 200，係表示經過 200 公尺長度升降 1 公尺之坡度，亦即 5% 坡度，意即經過 1000 公尺之長度升降 5 公尺是也。列車在坡度上行駛時，除去基本阻力及彎道阻力外，尚有一吸引列車傾向地心之力，此力足以阻止列車前進或抵消其前進之動力（圖 42）。假定此力為  $Q$ ，可分為兩個分力，一垂直於路面，一平行於路面；後者為實際阻止列車前進之力，稱為坡度阻力（grade resistance），而其量為  $Q \sin \alpha$ 。如列車車輛重量為  $G$  公斤，則車輛坡度阻力為

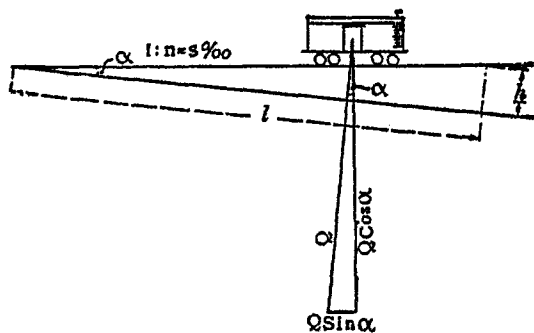


圖 42.

$$W_s^G = G \sin \alpha \text{ 公斤.}$$

鐵路坡度例不得過大(即  $\alpha$  角度須極微), 普通不過  $4^\circ - 8^\circ$ , 故可將  $\sin \alpha$  假設等於  $\tan \alpha$  (齒輪鐵路及索路, 其  $\alpha$  恆至  $15^\circ - 35^\circ$ , 故  $\sin \alpha$  不能假設與  $\tan \alpha$  相等). 令  $S$  表示坡度以千分率計;  $h$  表示升高度;  $l$  表示所需要之長度, 則有下式:

$$\tan \alpha = \frac{h}{l} = \frac{S}{1000}.$$

故

$$W_s^G = \frac{G \cdot S}{1000} \text{ 公斤.}$$

如  $G$  以公噸計, 則

$$W_s^G = G \cdot S \text{ 公斤.}$$

列車每公噸所有阻力則為

$$w_s = S \text{ 公斤,}$$

此即坡度比阻也. 因上坡下坡不同, 坡度比阻亦有正負之別, 如

$$w_s = \pm S\text{‰}.$$

此種坡度比阻, 不與車輛式樣、構造、路面、天氣、風力、以及軌距大

小等事有連帶關係，而只與坡度大小成正比。

$\tan \alpha$  與  $\sin \alpha$  在微小角度之下，相差甚少；即使坡度大至 40%，其  $\tan \alpha = 0.04$ ，而  $\sin \alpha = 0.03996$ ，相去固甚微也。 $\tan \alpha$  與  $\sin \alpha$  之出入，不得超過 1%；即謂不得使  $\alpha > 8^\circ$ 。 $\tan \alpha = \tan 8^\circ = 0.140$ ，可知在  $S = 140\%$  以下之坡度，上列坡度阻力公式皆可適用，如坡度再大，則得用下式計算比阻：

$$w_g = \pm 1000 \sin \alpha \text{ 公斤/公噸。}$$

按圖 42，知在坡度上，列車對軌道之垂直壓力較實際重量（在水平線上者）為小，其量為  $Q \cos \alpha < Q$ 。列車基本阻力中，有數種與此重量  $Q$  成正比關係，本宜相應減低，惟因  $Q - Q \cos \alpha$  或  $Q(1 - \cos \alpha)$  中之  $(1 - \cos \alpha)$  項，在普通鐵路上，其值甚小耳。例如在  $\alpha = 8^\circ$  時， $(1 - \cos \alpha) = (1 - 0.99) = 0.01 = 1\%$ ，其差尚不算大，故尚可忽略，以作列車阻力計算之安全係數可也。但索路、齒輪路等，其角度  $\alpha$  相當大，而  $(1 - \cos \alpha)$  之值亦相當大，故不可忽視之，而宜將  $Q$  對路面垂直壓力相應減低。此點在列車行駛阻力中甚為明顯，蓋因行駛比阻數值較其他比阻為高，故較其他阻力尤為顯著也。

在基本阻力中，曾將車輛與車輛間，於行駛時彼此互相擊衝之力（此為自然現象，因為車輛連結，有相當伸縮彈性）計入。行駛上坡時，此種車輛之互相擊衝則不能發生，故其基本阻力亦須減小。羅

講諾薩夫 用  $\frac{0.5}{1 + \frac{1}{S}}$  計算此消滅之阻力，故行駛上坡之綜合比阻當

為：

$$\left(w_0 - \frac{0.5}{1 + \frac{1}{S}}\right) + S = w_0 + S\left(1 - \frac{0.5}{S+1}\right) \text{ 公斤/公噸.}$$

式中  $\frac{0.5}{S+1}$  一項數值甚小，普通亦可忽略不計。例如在坡度  $S=8\%$ 。

上行駛列車， $S\left(1 - \frac{0.5}{S+1}\right) = S\left(1 - \frac{0.5}{9}\right) = 8 - 0.445 = 7.555$ ，其

差固甚微也。

§65. 彎道阻力 彎道阻力 (curve resistance)，普通皆用實驗公式計算；茲為明瞭其理論起見，特先行分析敘述。如圖 43，假設有

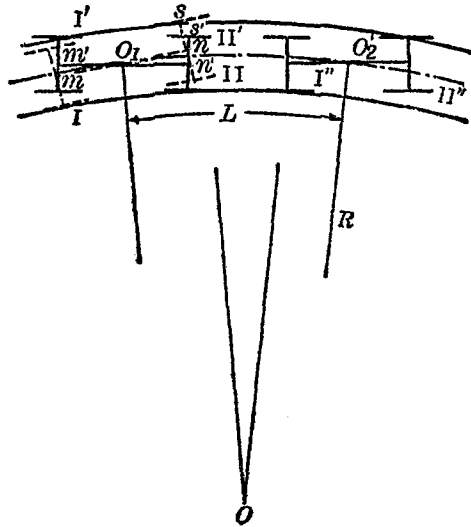


圖 43.

車一輛(或轉向架)，兩軸為 I 及 II；軸間死距為  $l$ ，其位置先如圖中



漸線所示。其時軸 II 之外輪輪緣貼近軌側於  $s$  點；車向右轉，軸向內移，使  $s$  點移到  $s'$ ，而變為新位置 I'-II'；因  $O_1$  點不動，軸架乃似曾繞  $O_1$  點而旋轉者然。繼則沿軸架中線方向，直向前移，一直至前軸外輪邊緣復與軌側貼近而成 I''-II'' 之新位置；然後再繞  $O_2$  點而旋轉，一如前狀。是後繼續前進，俱依此類推。當軸架旋轉時，從  $s$  至  $s'$  間，輪箍與軌面摩擦而生阻力，此為彎道阻力之主要因素。 $ss'$  距離稱為輪箍之活動側距 (play)，可以  $\sigma$  代之。因此，由摩擦而生之阻力 (以每軸為單位)，當如次式所示：

$$\varphi_0(p_0 + p'_0)\sigma = \varphi_0(p_0 + p'_0) \frac{\sqrt{l_r^2 + S^2}}{2} \cdot \angle sO_1s';$$

此處  $l_r$  = 車之軸間死距，

$S$  = 軌距，

$p_0, p'_0$  = 軸載重及死重。

車向前進時，重心自  $O_1$  移至  $O_2$ ，其距離為  $\varphi \cdot R$ ，其所做之功則為此距離與重心所受之阻力  $W_r'$  之相乘積，而為  $\varphi \cdot R \cdot W_r'$ 。

然 
$$\varphi_0(p_0 + p'_0) \cdot \frac{\sqrt{l_r^2 + S^2}}{2} \cdot \angle sO_1s' = \varphi \cdot R \cdot W_r',$$

而 
$$\varphi = \angle sO_1s',$$

故得 
$$W_r' = \varphi_0(p_0 + p'_0) \frac{\sqrt{l_r^2 + S^2}}{2R}.$$

由此式得知彎道阻力之主要部分，與軌距、軸間死距、及彎度大小等均有關係。

在彎道中，外軌長於內軌，軸之內外輪行程不同，所完成之功乃

各異；蓋其間有滑動發生，其阻力自較轉動者為高也。此處滑動謂之縱向滑動。

側向與縱向滑動摩阻以外，尚有其他阻力，為彎道阻力次要因素（見 Wellington: Location of Railway, p. 282）：(a) 在彎道上行駛有遠心力發生；(b) 在彎道上機車傾斜，挽力遭遇阻力。

普通計算彎道阻力，皆用實驗公式，如律克爾 (Röckl) 公式已被普徧採用於德、法、義等國(1876年)：

$$R < 300 \text{ 公尺}, \quad w_r = \left[ \frac{500}{R-30} \right] \text{ 公斤/公噸.}$$

$$R \geq 300 \text{ 公尺}, \quad w_r = \left[ \frac{650}{R-55} \right] \text{ 公斤/公噸.}$$

又如姆茲耐爾公式，亦甚通行(1909年)：

$$w_r = \left[ \frac{800 - 0.4R}{R-40} \right] \text{ 公斤/公噸.}$$

布朗斯威克 (Braunschweig) 鐵路公式，亦被普徧採用：

$$w_r = \left[ \frac{760}{R} \right] \text{ 公斤/公噸.}$$

1884年荷夫曼 (Hoffmann) 所製公式，現在仍被採用：

$$w_r = \left[ 21 \times \frac{4r + r^2}{R-45} \right] \text{ 公斤/公噸.}$$

德國有時專計算機車之彎道阻力，其所用公式，以  $\Delta$  代表連主軸數目，如次所示：

$$w_r = 2\sqrt{\Delta} \cdot w_r^g \text{ 公斤/公噸.}$$

式中  $w_r^G$  = 車輛彎道阻力, 用佛蘭克公式所求之數值如下:

佛蘭克客車彎道阻力公式:

$$w_r^G = \left[ 180 - \frac{1000l_r}{R} \right] \frac{l_r}{R} \text{ 公斤/公噸.}$$

佛蘭克貨車彎道阻力公式:

$$w_r^G = \left[ 180 - \frac{2000l_r}{R} \right] \frac{l_r}{R} \text{ 公斤/公噸.}$$

斯提文松 (Stevenson) 在 1916 年創製轉向架車輛之彎道阻力公式:

$$w_r = \left[ 0.2 + 100 \frac{S + l_r + 3.8}{R} \right] \text{ 公斤/公噸.}$$

法國鐵路多採用得斯杜伊慈公式:

$$w_r = \frac{500S}{R} \cong \frac{750}{R} \text{ 公斤/公噸.}$$

得哈蒙 (Deharme) 在法國鐵路實驗, 得有下列結果:

彎道半徑 $R$ (公尺)	150	200	300	400	500	600	800	1000
彎道阻力 $w_r$ (公斤/公噸)	6.00	4.00	3.00	2.00	1.25	1.00	0.50	0.00

彎道阻力亦可依據列車所經行之彎道長度計算, 設此長度為  $k$ , 列車載重每公噸所完成之功為  $w_r k$ , 而

$$k = \pi R \cdot \frac{\alpha^\circ}{180^\circ}$$

此處  $\alpha^\circ$  為與彎道長度  $k$  相當之中心角, 於是列車載重每公噸所完成之功為

$$w_r k = w_r \cdot \pi R \frac{\alpha^\circ}{180}$$

設  $w_r = \frac{750}{R}$  ,

則  $w_r k = \frac{750}{R} \cdot \pi R \frac{\alpha^\circ}{180} = \frac{750\pi}{180} \alpha^\circ = 13.1 \alpha^\circ \cong 13 \alpha^\circ$  ,

由此得  $w_r = \left[ \frac{13 \alpha^\circ}{k} \right]$  公斤/公噸。

帶有轉向架之車輛，其阻力應稍低：

$$w_r = \left[ \frac{11 \alpha^\circ}{k} \right] \text{ 公斤/公噸。}$$

美國鐵路彎道阻力，大抵按照彎度 (degree of curvature) 每度計算，且多化為當量坡度 (compensation of curve)，俾便應用。A. R. E. A. 鐵路規定折算率如表 40 (每度彎道相當於圓弧之弦 100 呎長之對應中心角之度數)：

表 40.

曲度每度折合坡度	適 用 條 件
0.3%	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 曲線長度，小於最長列車長度之半。</li> <li>2. 曲線開始於上坡最初 20 呎內。</li> <li>3. 曲線不為任何限制因素。</li> </ol>
0.35%	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 曲線長度，介於最長列車長度之 <math>\frac{1}{2}</math> 及 <math>\frac{3}{4}</math> 之間。</li> <li>2. 曲線開始於上坡下端 20 至 40 呎之間。</li> </ol>

0.4%	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 曲線上行車, 速度較低。</li> <li>2. 曲線長度大於最長列車長度之 <math>\frac{3}{4}</math>。</li> <li>3. 外軌超高度對貨列車太高。</li> <li>4. 曲線可為限制因素。</li> </ol>
0.5%	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 無高度損失。</li> </ol>

狹軌鐵路之彎道阻力, 普通認為較標準軌距鐵路者為低, 但無詳盡實驗, 以證明此阻力之數值。

德國計算狹軌鐵路之彎道阻力, 常用哈爾曼及律克爾公式:

軌寬 (公尺)	哈爾曼公式	律克爾公式
1.00	$w_r = \frac{400}{R-25}$ 公斤/公噸	$w_r = \frac{400}{R-20}$ 公斤/公噸
0.75	$w_r = \frac{350}{R-10}$ 公斤/公噸	$w_r = \frac{300}{R-10}$ 公斤/公噸
0.60	$w_r = \frac{200}{R-5}$ 公斤/公噸	$w_r = \frac{200}{R-5}$ 公斤/公噸

法國狹軌鐵路之彎道阻力, 多用得斯杜伊慈公式:

軌寬 (公尺)	1.00	0.75	0.60
彎道阻力 (公斤/公噸)	$w_r = 500/R$	$w_r = 375/R$	$w_r = 300/R$

美國狹軌鐵路普通採用  $S=1000$  公厘,  $S=1067$  公厘,  $S=915$  公厘, 每度彎道約為 0.80 公斤/公噸, 約當標準軌距者之 25%。

綜合上述, 彎道阻力之計算, 約有三種方式:

$$(a) \quad w_r = \frac{a}{R} \text{ 公斤/公噸 } (a \text{ 爲常數});$$

$$(b) \quad w_r = \frac{b\alpha_1}{R} \text{ 公斤/公噸 } (b \text{ 爲常數});$$

$$(c) \quad w_r = cD^\circ \text{ 公斤/公噸 } (c \text{ 爲常數}, D^\circ \text{ 爲彎道曲度}).$$

爲便於使用計，普通將彎道阻力化爲當量坡度阻力；卽將彎道按其對列車行駛時阻力之影響，化爲當量坡度。實際坡度加以當量坡度，可稱爲計算坡度。

§ 66. 加速阻力 列車行駛時速度遞增，亦發生一種輔助阻力，稱之曰加速阻力 (inertia resistance)。列車行駛速度漸減，其阻力降低，則此阻力之值應爲負。

加速阻力，亦若坡度阻力，可依照動力學理論推算得之。加速阻力等於動能增加之力，而爲質量  $M$  與加速度  $a$  之乘積  $Ma$ 。此種阻力，由兩種因素而成：一爲列車前進時之慣性阻力；二爲車輪旋轉之慣性阻力。惠靈頓假定旋轉阻力爲前進阻力之 6%，但美國近年多規定爲 5%；德國有人用到 9%，惟視使用情形而定。

依據動力學，知

$$a = \frac{cb}{Q}.$$

如用英美制，上式中  $a$  = 加速度，以呎/秒<sup>2</sup> 計； $c$  = 常數，在普通情形下，等於 32.16； $Q$  = 重量，以磅計； $k$  = 需要之力，以磅計。

故知 
$$k = \frac{Qa}{32.16}.$$

$$k ds = \frac{Qa}{32.16} ds = \frac{Q}{32.16} \frac{dv}{dt} ds$$

$$= \frac{Q}{32.16} \frac{ds}{dt} dv = \frac{Q}{32.16} v dv;$$

此處  $ds$  = 極小距離，以呎計； $dt$  = 極小時間，以秒計。

上式積分，

$$\int_0^s k ds = \int_{v_1}^{v_2} \frac{Q}{32.16} v dv,$$

得

$$k \cdot s = \frac{1}{2} \frac{Q}{32.16} (v_2^2 - v_1^2).$$

設  $Q = 1$  噸 = 2000 磅，且將速度單位呎/秒改為哩/小時，則得

$$K_1 = \frac{67.0}{s} (V_2^2 - V_1^2).$$

此力  $K_1$  只能代表用以改變列車前進速度之力；但車輪尚需要一種力量，以改變其旋轉運動之角速度。如以  $\alpha$  代表角加速度，以弧度 (radian) 計，即  $\alpha$  弧度/秒<sup>2</sup>，則所需要之力矩為  $I\alpha$ ，此處  $I$  為車輪圍繞車軸旋轉之轉動慣量 (moment of inertia)，等於  $P \cdot r$  (式中  $P$  為輪緣所受促成加速度之力； $r$  為輪之半徑，可按 16 吋計)，故  $I = \frac{q\rho^2}{32.16}$  (式中  $q$  為車輪重量，約在 600 至 750 磅之間； $\rho$  為車輪之迴轉半徑，約為 12 吋)。

如以  $\omega$  示迴轉運動之角速度，則改變速度自  $v_1$  至  $v_2$ ，與改變角速度自  $\omega_1$  至  $\omega_2$  所需要之力為

$$\begin{aligned} & \frac{Q}{64.32s}(v_2^2 - v_1^2) + \frac{q\rho^2}{64.32s}(\omega_2^2 - \omega_1^2) \\ &= \frac{Q}{64.32s}(v_2^2 - v_1^2) + \frac{q\rho^2}{64.32r^2s}(v_2^2 - v_1^2) \\ &= \left( \frac{Q}{64.32s} + \frac{q\rho^2}{64.32r^2s} \right) (v_2^2 - v_1^2). \end{aligned}$$

此式第一因子中之第二項，約當第一項之8%（按滿載車輛而言）或2.5%（就空車而言）。

倘每個車輛重  $q$  噸，車輪尺寸如上所述，將速度自  $v_1$  變為  $v_2$  所需要之力應為

$$K = \left( \frac{2000q}{64.32s} + \frac{700}{64.32} \times \frac{1}{1.332s} \right) (v_2^2 - v_1^2).$$

上式乘以  $\left(\frac{5280}{3600}\right)^2$ ，速度以哩/小時為單位時，則得下式：

$$K = \left( \frac{67.0Q}{s} + \frac{13.6n''}{s} \right) (V_2^2 - V_1^2),$$

此處  $n'' =$  車輪數目，

$Q =$  列車噸數，

$s =$  速度自  $V_1$  變為  $V_2$  時所經之距離，以呎計。

如假定車輪旋轉影響為5%，則加速阻力應為。

$$W_s = K = \frac{67.0}{s} (V_2^2 - V_1^2) \times 1.05 = \frac{70.4}{s} (V_2^2 - V_1^2) \text{ 噸}.$$

如以公噸公里制計算，其理亦同。加速阻力為



$$W_p = 1.05M \cdot a = 1.05 \frac{Q}{g} \cdot a,$$

式中

$Q$  = 車重, 以公噸計,

$g$  = 重力加速度 = 9.81 公尺/秒<sup>2</sup>,

$a$  = 列車加速度, 以公尺/秒<sup>2</sup>計。

加速比阻爲  $w_p = \frac{1000W_p}{Q} = 1050 \frac{a}{g}$  公斤/公噸。

因  $a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s}$  公尺/秒<sup>2</sup>,

$$a \text{ 公尺/秒}^2 = \frac{1000}{(60 \times 60)^2} A \text{ 公里/小時}^2,$$

而  $v$  公尺/秒 =  $\frac{1000}{60 \times 60} V$  公里/小時,

故如以公里/小時<sup>2</sup>爲單位而計算加速度  $A$ , 則

$$\begin{aligned} A &= \frac{(60 \times 60)^2 \cdot a}{1000} = \frac{(60 \times 60)^2 \times 1000^2 (V_2^2 - V_1^2)}{1000 (60 \times 60)^2 \times 2s} \\ &= \frac{1000(V_2^2 - V_1^2)}{2s} \text{ 公里/小時}^2. \end{aligned}$$

但  $g = 9.81$  公尺/秒<sup>2</sup> = 127,000 公里/小時<sup>2</sup>。

故  $w_p = 1050 \frac{a}{g} = 1050 \times \frac{1000(V_2^2 - V_1^2)}{2 \times 127,000 \times s}$

$$= 4.13 \times \frac{V_2^2 - V_1^2}{s} \text{ 公斤/公噸},$$

此式中  $s$  = 速度自  $V_1$  變爲  $V_2$  所經之距離, 以公尺計;  $V$  = 速度, 以公

里/小時計。

§ 67. 各種輔助阻力之應用公式 綜合以上所述阻力計算公式, 普通挽力計算, 可用下列阻力公式:

(I) 機車阻力(史特拉爾公式):

(a) 用汽行駛(汽門打開):

$$W_{00}^{LT} = c_1 L_l + c_2 L_a + c_3 Z_t + c_4 \left( \frac{V}{10} \right)^2 \text{ 公斤.}$$

(b) 閉汽行駛(汽門關閉):

$$W_{00}^{LT} = W_{11}^T + c_1 L_l + c_2 L_a + c_4 \left( \frac{V}{10} \right)^2 \text{ 公斤.}$$

式中

$L_l$  = 機車工作重量, 承於非主動軸之部分(煤水車在內), 公噸,

$L_a$  = 機車摩阻重量(即其工作重量承於主動軸者)  
=  $L - L_l$  公噸,

$Z_t$  = 汽缸挽力, 公斤,

$c_1 = 2.5$ .....貨運機車,

2.65 .....快車機車,

2.5.....客運機車,

$c_2 = 5.8$ .....機車有聯動主軸 2, 汽缸 2,

6.0.....機車有聯動主軸 2, 汽缸 4,

7.3.....機車有聯動主軸 3, 汽缸 2,

7.5.....機車有聯動主軸 3, 汽缸 4,

8.4.....機車有聯動主軸 4, 汽缸 2,

8.6.....機車有聯動主軸 4, 汽缸 4,

9.3.....機車有聯動主軸 5, 汽缸 2,

9.5.....機車有聯動主軸 5, 汽缸 4,

$c_3$  = 因機器摩擦而推得之常數; 倘機車滑潤適當, 可假定  $c_3 = 0.04$ ,

$c_4$  = 常數, 依機車橫斷面積而消長, 可假設為  $c_4 = 6$ ,

$W_{if}^T$  = 機車關閉汽門行駛時, 機器摩阻力及汽缸中空氣之阻力, 其值各種機車不同, 且隨速度高低而變:

貨運機車(2-10-0), 適中速度,

$$W_{if}^T = 770 \text{ 公斤左右};$$

客運機車(4-6-0), 速度自  $V = 30-90$ ,

$$W_{if}^T = 410-477 \text{ 公斤};$$

快車機車(4-6-2), 速度自  $V = 30-90$ ,

$$W_{if}^T = 450-555 \text{ 公斤}.$$

(II) 車輛阻力(史特拉爾公式):

列車車輛每公噸重量之阻力, 即比阻, 為

$$W_0^G = 2 + (0.007 + m) \left( \frac{V}{10} \right)^2 \text{ 公斤/公噸},$$

式中

$m = 0.04$ .....快運貨列車,

0.05.....普通貨列車,

0.10.....空車列車,

0.025.....快車、煤車等列車,

0.033.....客列車.

## (III) 坡度阻力:

如坡度為  $\pm S\%$ , 則列車之比阻為

$$w_g = \pm S \text{ 公斤/公噸.}$$

## (IV) 彎道阻力:

如彎道半徑為  $R$  公尺, 則每公噸重量之阻力為

$$w_r = \frac{650}{R-55} \text{ 公斤/公噸.}$$

我國鐵路彎道, 普通採用曲度法, 以圓弧之弦長 20 公尺所對之相當中心角為曲度度數  $D$ . 如  $D=1^\circ$ , 則相當半徑  $R=1145.93$  公尺.

假設  $D$  與  $R$  成正比, 則寫作下式:

$$R = \frac{1145.93}{D} \text{ 公尺.}$$

如用

$$w_r = \frac{650}{R-55} \text{ 公斤/公噸}$$

以求彎道阻力, 則:

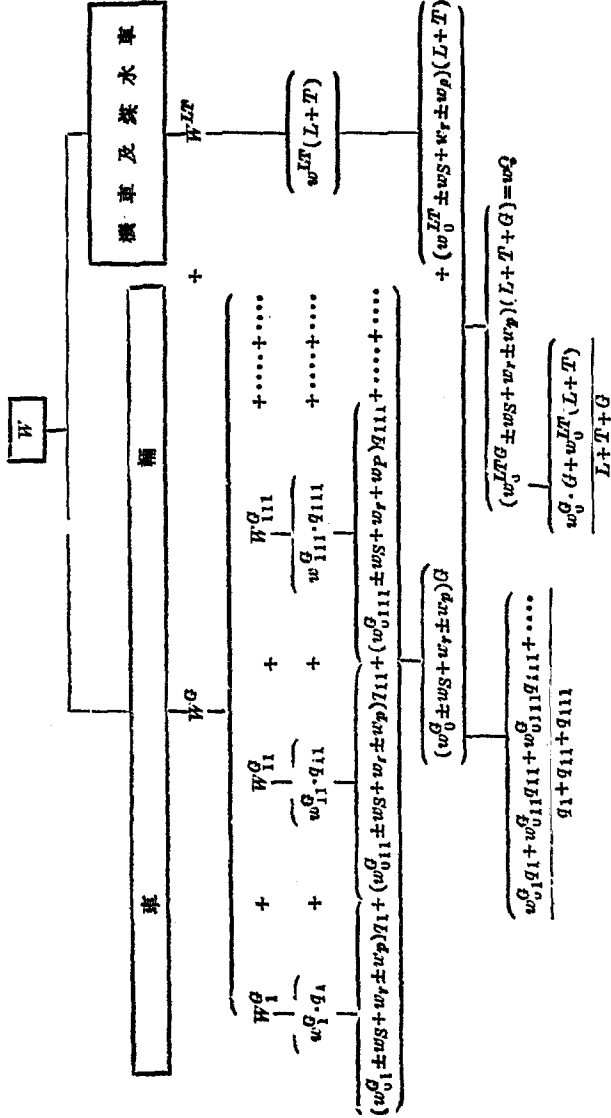
$$D=1^\circ \text{ 時, } w_r = \frac{650}{1145.9-55} = 0.59 \text{ 公斤/公噸.}$$

$$D=2^\circ \text{ 時, } w_r = \frac{650}{1145.9/2-55} = 1.25 \text{ 公斤/公噸;}$$

每  $1^\circ$  之  $w_r = 0.63$  公斤/公噸.

$$D=3^\circ \text{ 時, } w_r = \frac{650}{1145.9/3-55} = 1.99 \text{ 公斤/公噸;}$$

每  $1^\circ$  之  $w_r = 0.66$  公斤/公噸.



$L$ —機車重量,公噸;  $w$ —列車平均比阻,公斤/公噸;  
 $T$ —煤水車重量,公噸;  $w_1^G, w_{11}^G, w_{111}^G, \dots$ —各種車輛之比阻,公斤/公噸;  
 $G$ —車輛總重,公噸;  $w_1^G, w_{11}^G, w_{111}^G, \dots$ —各種車輛之重量,公噸;  
 $Q = L + T + q$ ,公噸;  $W_1^G, W_{11}^G, W_{111}^G, \dots$ —各種車輛之阻力,公斤;  
 $W$ —列車總阻力,公斤;  $w_S, w_r, v_p$ —坡度,彎道,加速之比阻,公斤/公噸.

$$D=4' \text{ 時, } w_r = \frac{650}{1145.9/4 - 55} = 2.80 \text{ 公斤/公噸};$$

每  $1^\circ$  之  $w_r = 0.70$  公斤/公噸.

$D=1^\circ$  至  $D=4^\circ$  之彎道, 每度平均比阻為

$$\frac{0.59 + 0.63 + 0.66 + 0.70}{4} = 0.65 \text{ 公斤/公噸.}$$

我國習慣則用  $0.6$  公斤/公噸.

此彎道比阻可折合為坡度比阻, 然則彎道彎度每  $1^\circ$  可折合為當量坡度  $S=0.6\%$ . 設有  $D=4^\circ$  彎道, 適在  $S=10\%$  坡度上, 其計算坡度當為  $S_f = (10 + 0.65 \times 4)\% = 12.6\%$ . 其計算比阻則為  $w_{r+s} = 12.6$  公斤/公噸.

列車行駛之阻力形成與分配, 可於上表見之:

## 第十九章 機車挽力

§ 68. 機車之種類及標記 機車為牽引所掛車輛循軌道行進之機關車, 其動力種類不一, 因而有蒸汽機車、電力機車、柴油機車、以及其他各種機車等等之分. 在普通摩阻力鐵路上所用者多為蒸汽及電力兩種. 近年來在美國及蘇聯, 所謂狄塞爾電力機車亦甚普遍. 至於客運高速度列車, 近年來更有採用柴油汽油發動機關者; 如一般之流線型列車及軌上汽車等, 所用發動機關, 多屬此類.

所謂蒸汽機車者, 乃以煤、木或油作燃料, 加熱於汽鍋, 使之發生蒸汽以作功者也. 因其燃燒時, 分解煙氣甚多, 殊不適用於隧道、街市、及礦洞中, 是等處恆須避免發煙, 因而常採用汽油電力等機車.

機車可分爲：(a)摩阻力鐵路機車，(b)齒輪鐵路機車，及(c)摩阻力齒輪混合鐵路機車等三種。最普通者當爲摩阻力鐵路機車；其本身則更可分爲：(a)幹線，(b)支線，及(c)小鐵路機車等數種。若以使用目的而言，則機車更有(a)客運高速機車，(b)貨運機車，(c)調車機車，(d)煤水箱機車，(e)山地機車等等分別。若以蒸汽種類而言，則有(a)加熱機車及(b)飽和機車之分。按其蒸汽膨脹狀態而言，則可分爲(a)單脹機車(膨脹一次)及(b)複脹機車(膨脹二次)二種。

機車車軸，直接聯繫於拉桿以與汽缸相通者，稱爲主軸(即牽動主軸)；其不與汽缸相連，而只爲承托機車之重量者，稱爲附軸。機車因其主軸附軸之配合而加以標記，此項標記，各國不同；如德國以A示一個主軸，以B示兩個主軸，以C示三個主軸；更以1, 2, 3, ……等數字，表示附軸之數目。例如2C1表示機車之前方有附軸兩個，主軸三個，後方有附軸一個。再冠以G, P等字母，以示貨運或客運機車。德國國家鐵路普通所用標記，可舉例於此：每個主軸承重十七公噸之客運機車，有四主軸二附軸者，以‘P46.17’示之。

美國機車分類，則兼用文字及數字以表示一種機車，約如下列：

<u>△○○○○</u>	Single Driver	4-2-2
<u>△○○○○</u>	American	4-4-0
<u>△○○○○○</u>	Ten Wheel	4-6-0
<u>△○○○○○○</u>	Pacific	4-6-2
<u>△○○○○○○○</u>	Twelve Wheel	4-8-0
<u>△○○○○○○○○</u>	Mastodon	4-10-0
<u>△○○○○</u>	Columbia	2-4-2

<u>△○○○○</u>	Mogul	2-6-0
<u>△○○○○○</u>	Prairie	2-6-2
<u>△○○○○○</u>	Consolidation	2-8-0
<u>△○○○○○○</u>	Mikado	2-8-2
<u>△○○○○○○</u>	Decapod	2-10-0
<u>△○○○○○○○</u>	Santa Fe	2-10-2
<u>△○○○○○○○</u>	Centipede	2-12-0
<u>△○○</u>	Four Wheel	0-4-0
<u>△○○○</u>	Four Coupled	2-4-0
<u>△○○○</u>	Four Coupled	0-4-2
<u>△○○○</u>	Six Wheel	0-6-0
<u>△○○○○</u>	Eight Wheel	0-8-0
<u>△○○○○○</u>	Ten Wheel	0-10-0
<u>△○○○ ○○○</u>	Articulated	0-6-6-0
<u>△○○○○</u>	Forney	0-4-4
<u>△○○○○○</u>	Forney	0-6-4
<u>△○○○○</u>	Forney	4-2-2
<u>△○○○○○</u>	Forney	2-4-4
<u>△○○○○○○</u>	Forney	2-4-6
<u>△○○○ ○○</u>	Mallet(articulated)	2-4-4-0
<u>△○○○○ ○○○</u>	Mallet(articulated)	2-6-6-0
<u>△○○○○○ ○○○○</u>	Mallet(articulated)	2-8-8-0
<u>△○○○○○ ○○○○</u>	Mallet(articulated)	2-8-8-2



蒸汽機車主要部分爲：(a)汽鍋連同一切附件，(b)汽機，及(c)車架連同輪軸等等。機車除本身外，尚有一個車輛，與之密切聯接，備供應煤水之用，是爲煤水車。有時煤水箱即裝置於機車之本身內，而不另設附掛之車輛，是爲煤水箱機車。此式機車，可在同一路線上，反向行駛，較普通機車爲便也。現時普通機車本身之重量，在息火時約爲25—80噸；工作時則爲30—100噸左右。當然有更大者，是須特別設計耳。

§ 69. 汽鍋 蒸汽機車所用之汽鍋，大抵由多數火管及一個火箱而成。火箱下面，有爐鏟一層，以與灰箱相隔。燃料每分鐘燃燒量，與此爐鏟面積 (grate area) 有直接關係，因而機車挽力亦因此爐鏟之大小而變更。汽鍋之外貌爲圓柱體，內有直徑約五公分之火管多條，使熱氣經行其中，冷水環繞其外，冷水遇熱乃成熱蒸汽，然後歸入汽室轉至汽缸而做功；火管中經行之熱氣，大部分被冷水吸收後，乃導往煙囪，而散逸於大氣中。汽鍋蒸汽產量自然亦與火管與水之接觸面即熱面 (heating surface) 面積之大小有直接關係。火箱與水之接觸面，稱爲直接加熱面；火管與水接觸面，稱爲間接加熱面；兩者之和爲總加熱面。此面積普通在100至280平方公尺左右。火箱中有吐汽管，垂直裝置於煙囪之下，已經工作完畢之廢汽，由此經過煙囪放入大氣中；如此，火管中之火燄，得有廢汽之助，乃得加速其噴發，而火爐中燃燒之作用亦因之加強。有時煙囪上口，裝有鋼絲網，以遏止火花之噴出。蒸汽在進入汽缸以前，必先經行汽室，待稍乾燥後，始遵循導管以入汽缸而應用。

汽鍋附件之重要者有五：(一)給水吸水機，汽鍋內水量消耗至

相當程度後，用吸水機將煤水車中所貯之水吸入汽鍋，以資補充；(二)水表，用示水量；(三)安全汽閥；(四)汽壓表；(五)汽笛。近來機車給水，常採用活塞聯動吸水機，使給水預先從廢汽中吸熱，可省燃料約 10% 左右。

燃料種類約為：(a)煤，(b)草磚，(c)木柴，(d)柴油等數種。油燃料之優點，為燃燒時無煙，亦無火花，用在行駛於森林區域及多隧道路段上之機車甚為適宜。最普通之燃料為煤。邇來頗多採用煤粉，且利用機械添煤，如自動添煤器；因之汽鍋之效率增進不少。

機車自利用加熱蒸汽(superheated steam)後，其工作能力大進。普通機車，所用飽和蒸汽(saturated steam)，原直接將水面所成之蒸汽傳入汽缸而做功，其溫度不過為  $190^{\circ}$ — $200^{\circ}$ C；今則添設加熱管(superheater)繞行火箱之中，使已成蒸汽再事加熱，可達  $300^{\circ}$ C 以上。如此則蒸汽引入汽缸中，溫度尚不甚低，在蒸汽消耗上，異常經濟。機車工作緊張，且時間長久者，尤以加熱蒸汽為適合，以其經濟性愈加顯著故也。

汽鍋產汽能力，與燃料燃燒速率及燃料含熱量二事最有關係；燃料供給及火伏技術，影響亦大。各種情形不變時，則每平方公尺之爐鑪面積，在一小時內燃煤數量，恆取為機車挽力之計量單位。如供煤不勻，爐鑪上停積過厚之煤，不得充分之空氣以助燃燒時，則不能儘量發揮煤之熱能；因之煙囪放出黑煙，表示自由碳氣尚未經氧化之現象，一部分熱能未被利用即行散逸，不經濟殊甚。但就另一面言，如供給空氣過量，燃燒後所餘下之空氣，亦必挾有一部分熱能而走失，此則為爐鑪上添煤過稀之弊。故火伏添煤工作，鐵路機車運用

之經濟繁焉。人工供煤，每個爐鑪面積可至 65 平方呎；機械供煤，則可至 100 平方呎。在伊利那大學執行之機車(Consolidation 式)實驗，每平方呎爐鑪每小時平均燃煤 224.5 磅，計所耗費之效能達 30% 之多。

燃料熱能以其所含熱量為準；各種煤或油所含熱量不同。每磅煤所含熱量自 3000 至 13,000 英熱單位(British thermal unit, 約等於 0.253 卡 calorie)；石油所含熱量每磅可至 21,000 B. t. u. 以上。鐵路機車採用某種燃料時，宜就實際所用者作熱量分析，以為設計之根據。

熱面面積，為汽鍋能力之主要權衡，欲求產汽量增高，必先擴大此熱面面積，使其達到最大限度而止，蓋因蒸汽發生之多寡，全視水與熱接觸面積之多少為斷也。例如 Mikado 式機車之總加熱面面積如次：

火箱.....	283 平方呎
火管.....	3740 平方呎
水管(即給水預先加熱之管).....	28 平方呎
<hr/>	
共計.....	4051 平方呎

由此知火管在加熱面面積上占最重要地位。增加火管數目，為提高加熱面面積之最好辦法。最初機車汽鍋，只有火管一個，以通火燄；後來將火管數目增多，同時將其直徑減小。近年來火箱外面採用磚拱，使火燄向內發揚，以減低熱能之損失，如此，則燃料可省 12%。

給水對於機車，亦至有關係。水質不得過硬，最忌含有鹽基類之礦質，因其能沈澱於汽鍋之內壁，而作種種之損害，如：(a) 侵蝕汽鍋，

(b)阻礙汽鍋傳熱，因而減低水分之蒸發，(c)汽鍋受熱過度，因而損傷，(d)可致汽鍋爆裂。選用機車給水時，宜作化學分析，斷定無上述損害之物質存在為最佳；否則，如天然水源無優良者可資採用，則宜根據化學手續，加以處理，務將有害之夾雜物，悉行除去始可。此種工作謂之軟化給水工作；由此軟化工作，可得種種裨益，如次所述：

- (1) 汽鍋發生鍋壁破裂之事故可期減少；
- (2) 水管及火箱壁皮之壽命可以延長；
- (3) 汽鍋修理及清洗之工費可以減低；
- (4) 機車修理次數減少，因之工作時期可以延長；
- (5) 汽鍋內壁之淤積減少，因之蒸汽產生較易，燃料可以經濟；
- (6) 機車需要數目可以減少；
- (7) 機車速度增大，因之行駛時間可以減少；
- (8) 機車損壞因而阻礙行車之事故可以減少。

汽鍋內壁之淤積至  $\frac{1}{2}$  吋厚時，可致燃料損失至 10—12% 之多。美國

西北(Northwestern)鐵路曾作統計，以示給水經處理後所得之良好結果如下：

汽鍋損壞減低.....	79 %
每 1000「噸哩」可省燃料.....	42 %
「機車哩」數可減低.....	3.1%

鐵路營業費用中，燃料一項占最重要地位；燃料節省最能影響全部費用，以及鐵路贏利係數。且燃料價格，與時俱進，故不得不加節省；因為水質之良窳對於燃料之消耗關係極巨，此所以給水之選擇及處

理爲現代鐵路經濟之急務也。

汽鍋熱量之消失，其主要原因有二：一爲火花失熱，一爲輻射失熱。在煙囪中恆設有噴氣管，以助燃燒；然由於此管之噴射，使爐鑪間與火管中之碳氣，尙未盡得氧化，卽已散逸於大氣中者不在少量。此種熱力損失，亦卽燃料損失，可達燃料總量之4—15%；因爲燃料占營業費總數之10—14%，故此種火花失熱之爲害，至爲可觀。至於輻射放熱之損失亦巨，機車當停留於車站時，如其燃燒停止，將卽發見汽壓降低，可見此種失熱爲量亦巨。150磅之汽壓在10—15小時中可降至大氣壓力，至其實在降低之速率，自然須視周圍空氣之溫度而定。我國東北各省鐵路，在冬季行車所受此種損失極大，加拿大、西伯利亞、以及其他寒冷地帶之鐵路亦如此。哥斯教授曾與芝加哥—西北 (Chicago & Northwestern) 鐵路作詳盡實驗，以推算此種輻射失熱之數量，結果指出此種失熱與車行速度有正比關係；速度自零至30哩/小時，失熱速率將大至兩倍。夏季冬季，失熱多少不同，約可消失汽鉀產量自1—5%。是以機車之設計，宜特別注意此種損失，而儘量使其減低爲要。

加熱蒸汽機車，最適用於長大坡度上之行駛，其目的在增大挽力，而不必增加汽鍋壓力。美國機車，多用加熱蒸汽。蒸汽自汽室傳導至汽缸之過程中，先經行盤繞之加熱管，加熱管則迂迴於火箱中；如此，則蒸汽在導管中得到超高熱度，其壓力更增。近年來蒸汽加熱後可得150°—250°C.之超高温度，此在燃料消耗上，有極大之經濟利益。圖44示美國西愛爾 (Sea Air) 鐵路統計結果。其最大坡度爲0.5%。圖45示美國埃維 (Evie) 鐵路比較飽和機車與加熱機車挽力

之大小,可知加熱蒸汽在挽力上亦較飽和蒸汽為優。

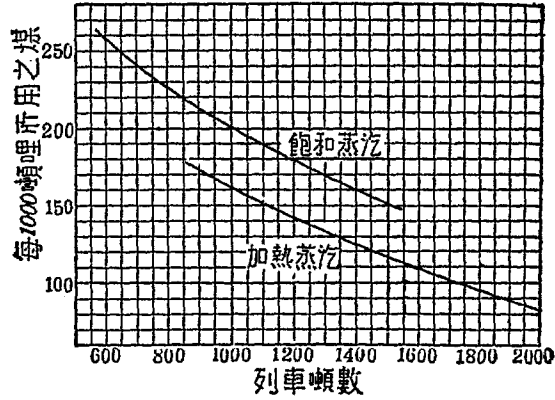


圖 44.

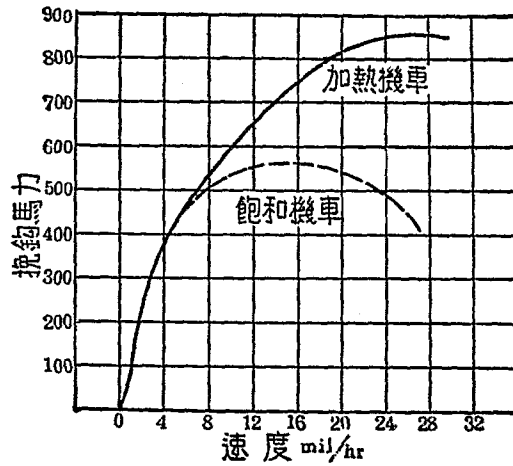


圖 45.

§70. 蒸汽機 機車發動主要機關,為一蒸汽機. 蒸汽機主要部

分則為汽缸及其附件。欲求蒸汽機工作經濟，必求強大之最初汽壓，有此強大之膨脹力，乃可得經濟之工作。蒸汽自汽鍋入汽室，再經行加熱管而至汽缸，其壓力自然會因傳導阻力與汽缸傳熱等原因而損失；不過吾人在機車設計上，宜以使此汽壓之損失減到最低限度為目的。機車發動機關之裝配，以汽缸位置及數目為主要區分標準。蒸汽機最簡單者，當為單脹之雙汽缸蒸汽機，此為兩個大小相同之汽缸，裝配於汽鍋之兩側，作對稱式，且普通皆裝於車架之外邊。每個汽缸與其同邊之主輪相連，主輪之轉動則由於偏心輪，偏心輪與汽缸牽連轉動之角度，兩側互異（相錯成  $90^\circ$ ， $180^\circ$  等角度）。蒸汽之進入汽缸，時而在活塞之前，時而在活塞之後，因而使活塞前後往返，牽動聯桿，偏心輪隨之轉動，以促成輪軸之旋轉（見圖 46）。如此，聯桿之

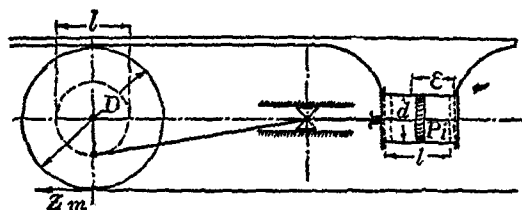


圖 46.

直線運動，因偏心輪而成旋轉動作。偏心輪之轉動，兩側相錯，成一角度，以便一個活塞達到汽缸極端時，另一個活塞則只至中點，如此交互動作，使兩側之主輪旋轉不息。至於機車進退動作，則另有特別機械以為控制，此可稱為進退制規，昔日概用斯提文松、阿蘭 (Allan) 或哥茲 (Goch) 式，今則更有新創者矣。

為避免或減輕蒸汽出入汽缸時所發生之汽壓損失計，多用所謂

複脹機車。此式之蒸汽膨脹兩次，先入一個汽缸作初次膨脹以推動活塞；蒸汽在第一個汽缸中做功後，再入第二個汽缸，作第二次膨脹，因此用較低汽壓推動第二汽缸之活塞；最後，蒸汽乃經行煙囪而流入大氣中。蒸汽膨脹兩次，其溫度之降低較緩，因而燃料及給水之消耗均較為節省，此所以複脹機車較單脹者為優也。欲求兩個汽缸工作勻稱，低壓汽缸直徑應較大，高壓汽缸直徑應較小；要之兩汽缸之比例，當與汽壓有連帶關係，而以兩者工作勻稱或相等為目的（汽缸設計時，即以此為原則）。

如行車速度及挽力，須在長時間中緊張不懈，則複脹機車較普通機車為優。在同一汽鍋製汽能力之下，複脹機車用汽較省，故較普通機車工作能力為強；在相同速度下，複脹機車挽力較普通者為高。但複脹機車之挽力升高頗緩，故不適用於坡度時時改變之路段；且在開駛時恆須依賴特別裝配，俾得同時注新鮮蒸汽於低壓汽缸中。蓋因高壓汽缸之活塞，有時適停止於極點，而不能作反向之活動，斯時惟賴低壓汽缸率先推動矣。此外有時尚須將高壓汽缸蒸汽，配以直通大氣之汽閥，俾便於開駛時，開放此閥，以限制挽力增加過驟也。

複脹機車若為雙汽缸者，當一為高壓，一為低壓；若為四汽缸者，則高低壓各二。飽和複脹機車，對於給水及燃料，較普通飽和機車約省10%。

美國複脹機車主要者有三種：

(1) 雙汽缸複脹機車 兩汽缸前後排列，前者為高壓，後者為低壓；其活塞連於同一牽桿上。

(2) 均衡複脹機車 所有更迭部分，大抵均互相均衡，而無偏



重之現象。單脹及複脹雙汽缸機車，普通須在主輪上偏加重量，以達平衡。然偏重動力在平面上固可抵消；而立面上之偏重動力，則只有藉路基與軌道之反應力以爲抵抗，此在重大機車，用高速度行駛時，則缺點立見，因經行之橋梁以及路面，勢將受其損壞故也。職是有採用均衡複脹機車，以彌補此種缺憾者。此種機車之更迭部分，能自立均衡，可無須借重反向之重量；於是可避免垂直動力對於橋梁及路面之打擊。蓋所有垂直動力，皆由於機車原有重量而來，而非出自輪軸之不平衡也。如此則主軸承重，可任意增加而無特別衝動力發生，以致撞擊路面；行車速度亦可隨意增高，而不致發生特別衝動力以震蕩機車之車身。兩個汽缸，平排裝設，高壓汽缸置於車架之外，低壓汽缸置於車架之內；牽桿則各具其一，兩汽缸動作前後參錯，成 $90^\circ$ 角；內汽缸之牽桿連於主軸之軸拐上，而外汽缸之牽桿則連於主輪之偏心上。

(3) 分節複脹機車 此式機車爲馬雷特 (Mallet) 所創製，適應極大之需要。因爲機車寬度受路面限制，只能在縱的方向伸長，故馬雷特將此式機車之車輪分作兩組；後組與車架固定連接，而前組則可自由轉向左右，有如單獨機車者然。後組由高壓汽缸推動，前組則由低壓汽缸推動；在開駛時，或在需要超大挽力時，新鮮蒸汽可以同時注入高壓低壓兩種汽缸中。軸輪每組可有兩軸、三軸以至四軸。此式最適用於長大坡度上之貨運，且可用爲推進機車 (pusher)。近年來曾有在煤水車下面裝置兩個汽缸，使煤水車之軸變爲主軸者，皆所以增加挽力也 (機車各部配置，見另頁圖 47)。

§ 71. 車架及輪軸 機車車架，用以承裝汽鍋、汽缸、轉動部分、

鉤連設備以及司機棚等等。汽鍋只於火箱間部分與機車轉向架固定連接，其他各部須能活動，而留汽鍋因冷熱脹縮之餘地。車架連有軸承，軸承上有彈簧鋼板，以承受機車重量而傳達於軸輪。軸與輪固定連接，軸頸在軸承中滑轉。車軸分為三種：一曰主動軸，直接被活塞牽桿推動；二曰連動軸，與主動軸相連而動作；三曰附軸，乃與主動軸不相連屬者，其功用只在承架機車重量。主動軸之數目，視所需挽力之大小而定。

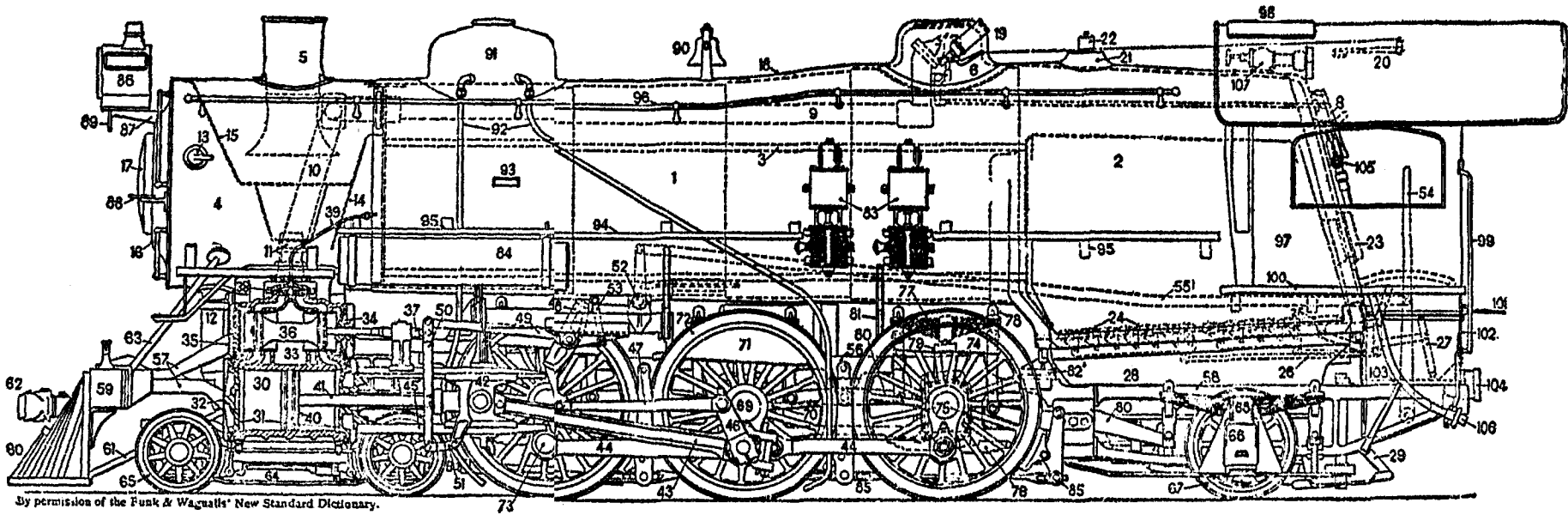
軸間死距，為兩個固定軸間之距離；其大小與彎道彎度（即半徑大小）極有關係。德國規定在各種不同之彎道半徑之下，所適用之軸間死距如下（適用於標準軌距之幹線與支線鐵路）：

- 彎道半徑為 180 公尺，軸間死距不得超過 3.2 公尺，
- 彎道半徑為 210 公尺，軸間死距不得超過 3.5 公尺，
- 彎道半徑為 250 公尺，軸間死距不得超過 3.8 公尺，
- 彎道半徑為 300 公尺，軸間死距不得超過 4.1 公尺，
- 彎道半徑為 400 公尺，軸間死距不得超過 4.8 公尺，
- 彎道半徑為 500 公尺，軸間死距不得超過 5.4 公尺。

機車連動軸，只有二個或三個時，恆作固定連接；三個連動軸之機車，恆將中軸之輪緣廢除，連動軸數目如超過三個，則採用下列辦法，以避免在彎道行駛時輪緣與鋼軌發生過度之摩擦：

- (a) 活動連動軸——中軸軸承可向左右活動；
- (b) 附軸可在彎道半徑方向中活動；
- (c) 轉向架可左右活動。

機車行駛時，除前進動作外，尚有多種附帶震動；其形成約有下



By permission of the Funk & Wagnalls' New Standard Dictionary.

- |           |            |            |            |             |            |          |
|-----------|------------|------------|------------|-------------|------------|----------|
| 1. 汽鍋     | 17. 煙箱門    | 33. 汽閥室    | 40. 半徑桿    | 65. 轉向附輪    | 81. 脹縮板    | 97. 司機棚  |
| 2. 火箱     | 18. 鍋爐外罩殼  | 34. 汽閥室蓋   | 50. 搖桿     | 66. 轉向架軸油箱  | 82. 火箱脹縮繫桿 | 98. 棚頂窗  |
| 3. 火管     | 19. 汽箱     | 35. 汽閥室蓋外殼 | 51. 連搖桿    | 67. 附輪      | 83. 風管     | 99. 手扶   |
| 4. 煙箱     | 20. 汽箱拉桿   | 36. 汽閥     | 52. 升降軸    | 68. 轉向架彈簧   | 84. 儲氣主箱   | 100. 棚板  |
| 5. 煙函     | 21. 保安汽室   | 37. 滑閥桿    | 53. 半徑懸桿   | 69. 主動軸     | 85. 犁動板    | 101. 油泵  |
| 6. 汽室     | 22. 保安汽門   | 38. 過閥     | 54. 回動橫桿   | 70. 主動輪心    | 86. 車頭燈    | 102. 棚支柱 |
| 7. 總汽門    | 23. 爐門     | 39. 油管     | 55. 拉桿     | 71. 主動輪均力器  | 87. 車頭燈托架  | 103. 座板  |
| 8. 總汽門橫桿  | 24. 爐條     | 40. 活塞     | 56. 主動架    | 72. 主動輪齒    | 88. 器座     | 104. 絞樹板 |
| 9. 乾汽管    | 25. 垂落爐條   | 41. 活塞桿    | 57. 前架     | 73. 曲拐臂     | 89. 車號牌    | 105. 射入器 |
| 10. 導汽管   | 26. 灰床     | 42. 十字頭    | 58. 後架     | 74. 主動輪油箱   | 90. 警鈴     | 106. 吸水管 |
| 11. 廢汽管   | 27. 垂落爐條橫桿 | 43. 主動搖桿   | 59. 前部緩衝器  | 75. 主動輪油箱底板 | 91. 沙箱     | 107. 汽塔  |
| 12. 火花溝   | 28. 灰盤     | 44. 連桿     | 60. 排障器    | 76. 構架軸箱繫桿  | 92. 沙管     |          |
| 13. 驅火器孔蓋 | 29. 灰盤開曲拐  | 45. 導板     | 61. 排障器繫桿  | 77. 主動簧     | 93. 器座     |          |
| 14. 回煙板   | 30. 汽缸     | 46. 偏心曲拐臂  | 62. 輻齒     | 78. 主動簧橫桿   | 94. 步板     |          |
| 15. 煙函鏡   | 31. 汽缸蓋    | 47. 偏心輪桿   | 63. 煙箱緩衝繫桿 | 79. 主動簧鞍座   | 95. 步板托架   |          |
| 16. 煙箱前部  | 32. 汽缸蓋殼   | 48. 環      | 64. 前部軸箱繫桿 | 80. 主動均力桿   | 96. 扶欄     |          |

圖 17.

列原因：

(a) 鋼軌頂面與輪箍表面，有凸凹不平之處，又鋼軌接頭間隙處，皆是發生震動；

(b) 車輪十字頭所受壓力變化不等，因而發生震動；

(c) 各個汽缸挽力變化不齊，因而發生擺動；

(d) 牽動部分前後盪動，亦是形成機車車身之搖動；

(e) 輪緣與軌頭間之空隙，為不可避免之現象，但輪箍表面，作有傾斜 1 : 20，因而機車頗有左右擺動之餘地。

§ 72. 機車挽力之效用及其構成 各種機車所發之動力，用以牽引列車(即機車本身及所掛車輛)開駛而且繼續行進者，謂之挽力(tractive power)。在蒸汽機車中，此種挽力由於汽缸中蒸汽分子之運動，汽缸中汽壓較外界大氣壓力為高，故能推動活塞與牽桿，將汽力傳至偏心輪，由直線運動變為旋轉運動。車輪置於鋼軌之上，且有一種重量承於輪上，壓迫鋼軌；鋼軌與輪箍之間，乃因壓力而生摩擦，又因摩擦而生對於車輪旋轉之反應，此反應亦可視作車輪滑動之阻力，蓋具有阻止車輪滑動之傾向也。當車輪對於鋼軌壓力有相當大，而此滑動阻力亦有相當大時(因為輪箍與鋼軌間之滑動阻力係數，近似常數，故此阻力大小全視壓力大小而定)，足以停止車輪在鋼軌上滑動，因而車輪依自己之軸心轉動，機車乃作前進(或後退)之運動。

機車挽力之構成，有許多因素，約可歸納為三種：

(a) 機器能力(汽缸及其他各部能力，主輪直徑等項)，將蒸汽熱能力化為機械能力。

(b) 輪軌間轉動摩擦阻力，利用機械能力推動輪軸。

(c) 汽鍋產汽能力，將水加熱使之變為汽體，而得熱能力。

是以研究機車挽力，亦以此三事為對象：一曰汽缸挽力（亦曰汽表示針挽力），二曰摩擦挽力或黏着挽力，三曰汽鍋挽力。次列各節中將分別論之。

§ 78. 汽缸挽力之推定 汽缸挽力 (indicated tractive power) 之大小，可由兩種功之等式推定之：一種為汽缸中蒸汽之功，一種為汽缸挽力之功；車輪旋轉一週，此兩種功輒相等（見圖 44 及 45）。車輪旋轉一週，每個汽缸之活塞進退兩次，一次前進，一次後退。如以

$d$  = 汽缸直徑，公分，

$n$  = 汽缸數目，

$l$  = 活塞動程 (stroke of piston)，公分，

$p_i$  = 汽缸平均蒸汽工作壓力，公斤/平方公分，

則車輪旋轉一週，汽缸中蒸汽所完成之功為

$$n \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2l \cdot p_i.$$

再以

$D$  = 主動輪直徑，公分，

$Z_i$  = 汽缸挽力，公斤，

則車輪旋轉一週，汽缸挽力所完成之功為

$$Z_i \cdot \pi D.$$

兩種功相等，故可寫成下列等式：

$$Z_i \pi D = n \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2l \cdot p_i.$$

而得 
$$Z_i = n \frac{d^2 l}{2D} p_i \text{ 公斤.}$$

此式適合於普通機車，其汽缸直徑相同，而蒸汽在汽缸中膨脹一次。若汽缸之直徑不同，而蒸汽在高壓汽缸中膨脹一次後，復入低壓汽缸中作第二次之膨脹，是為複脹機車 (compound locomotive)。

倘以  $d_n$  = 低壓汽缸 (low pressure cylinder) 直徑，公分，

$d_h$  = 高壓汽缸 (high pressure cylinder) 直徑，公分，

$n_n$  = 低壓汽缸數目，

$n_h$  = 高壓汽缸數目，

$p_{in}$  = 低壓汽缸中汽壓，公斤/平方公分，

$p_{ih}$  = 高壓汽缸中汽壓，公斤/平方公分，

則汽缸挽力，按理論而言，似應為

$$Z_i = \frac{n_n d_n^2 p_{in} + n_h d_h^2 p_{ih}}{2D} l.$$

但複脹機車車輪旋轉一週，兩個汽缸之作功，應適等於一個低壓汽缸使蒸汽膨脹一次之作功，故車輪旋轉所用汽缸挽力應為

$$Z_i = n_n \frac{d_n^2 l}{2D} p_{in}.$$

由此可知，各種機車汽缸挽力，得用下列公式計算：

(a) 單脹機車 (locomotive of single expansion)

雙汽缸機車 
$$Z_i = \frac{d^2 l}{D} p_i;$$

三汽缸機車 
$$Z_i = 1.5 \frac{d^2 l}{D} p_i;$$

四汽缸機車 
$$Z_i = 2 \frac{d_n^2 l}{D} p_{in}$$

(b) 複脹機車

雙汽缸機車 
$$Z_i = \frac{d_n^2 l}{2D} p_{in}$$

四汽缸機車 
$$Z_i = \frac{d_n^2 l}{D} p_{in}$$

蒸汽流入汽缸，即用原有汽鍋壓力推動活塞向前，直至到達汽缸之某定點，切斷蒸汽之進入汽缸，此定點稱為截汽點(cut-off)。蒸汽在汽缸內膨脹做功，即自截汽點開始。圖 48 示不同速度下之機車汽缸作功圖(indicator cards)，截汽點之位置係因行車速度而變更；

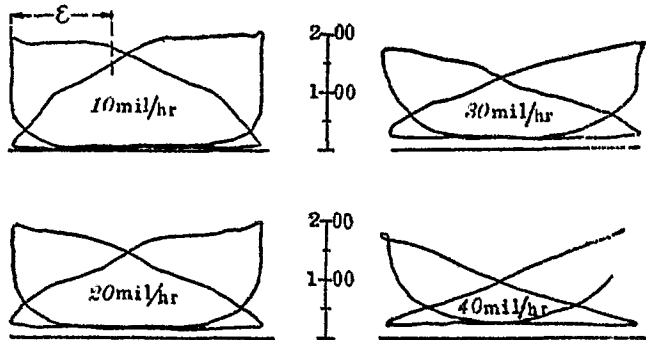


圖 48.

司機得利用槓桿撥動，使其放汽量或大或小，速度低小時，挽力須用到最大限度，此時截汽點應在汽缸之極端，蒸汽乃得充分流入，其時之汽壓殆即等於汽鍋壓力，但在高速行駛中，截汽點恆移至  $\frac{1}{8}$  處，故

當蒸汽被截斷時，活塞尚未進到極端，必須利用蒸汽膨脹使之繼續前進；因蒸汽之膨脹，其汽壓當然降低，故較汽鍋汽壓為小。機車不若固定蒸汽機之可以使用均勻而且固定之速度以作功；機車之速度時高時低，此速度之變化，對於機車之熱力效能及機械效能，有莫大之影響。有所謂臨界速度者，惟在此速度下，機車作功效能乃為最大。此臨界速度，各種機車不同，全依其汽壓及其他條件而定；譬如哥斯所實驗之某種機車，臨界速度為每分鐘 200 週轉 (r. p. m.)，即其一例也。

普通機車，如未受特別實驗，可約計汽缸平均汽壓等於汽鍋汽壓之 85%。晚近以來，各國採用高壓機車，其構造亦相當改進。

汽缸平均汽壓，與汽鍋汽壓有固定之關係，因行車速度與截汽點位置而變更。未受實驗之機車，可按下列培特羅夫 (Petrov) 公式計算汽缸之平均汽壓：

$$p_i = 0.95 p_k \sqrt{(2 - \epsilon) - \epsilon} - 1.5 \text{ 氣壓/平方公分,}$$

上式中， $p_k$  = 汽鍋汽壓 (steam pressure in boiler)，以氣壓計； $\epsilon$  = 截汽點，以對汽缸活塞動程  $l$  之分數計。式中未將行車速度包括在內。

法國鐵路則用次式，將速度計入：

$$p_i = (1 - 0.0045V)[0.95 p_k \sqrt{(2 - \epsilon) - \epsilon} - 1.5] \text{ 氣壓/平方公分.}$$

上式只適用於貨運列車；客運列車則又宜採用次列算式：

普通客列車

$$p_i = (1 - 0.0045V)[0.90 p_k \sqrt{(2 - \epsilon) - \epsilon} - 1.75] \text{ 氣壓/平方公分;}$$

快行客列車

$$p_i = (1 - 0.0045V)[0.85 p_k \sqrt{(2 - \epsilon) - \epsilon} - 2] \text{ 氣壓/平方公分.}$$



公元1915年李郝可基(Lichozy)研究雙汽缸加熱機車之汽壓，結果製成下表，按照每秒軸轉次數( $m_0$ )與截汽點位置，以示汽缸平均汽壓之「氣壓/平方公分」數。但此只限於雙汽缸加熱機車之用；如用於飽和機車(saturated steam locomotive)，則表中所示汽缸平均汽壓  $p_i$  須減低 10—15% (表 41)：

表 41.

蒸汽膨脹	$m_0$	$p_i$ $\epsilon$						
		0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
一次膨脹	1	4.0	4.7	5.8	6.8	7.5	8.2	8.8
	2	3.6	4.2	5.1	5.8	6.4	6.9	7.2
	3	3.3	3.7	4.4	5.0	5.4	5.6	5.8
	4	3.0	3.4	4.0	4.4	4.6	4.7	4.7
	5	2.7	3.0	3.5	3.9	4.0	4.0	3.9
兩次膨脹	1	—	—	3.4	4.2	4.6	5.1	5.4
	2	—	—	3.1	3.8	4.1	4.4	4.5
	3	—	—	2.8	3.4	3.6	3.8	4.0
	4	—	—	2.6	3.0	3.2	3.4	3.5
	5	—	—	2.4	2.6	2.8	3.0	3.0

每秒輪轉次數 (number of revolutions of driving wheels) 與速度有下列關係：

$$m_0 = \frac{1000V}{60 \times 60 \pi D} = \frac{V}{11.3D}$$

式中  $D$  為主輪直徑，以公尺計。故

$$V = 11.3m_0D \text{ 公里/小時.}$$

汽缸之汽壓，因為受到種種阻力及消失，故恆較汽鍋之汽壓為小。如汽鍋至汽缸之間，係以細長導管連接，蒸汽在其中傳遞，能力消失，自屬不可避免；又若截汽太早，汽缸汽壓驟減，加以汽缸活塞上的非工作面，受有大於一個氣壓之壓力，汽缸工作壓力自然因之減低。近年蒸汽機車汽鍋汽壓有高至 12—16 氣壓者。

汽缸平均工作汽壓與汽鍋汽壓之比  $\frac{p_i}{p_k} = \xi$  稱為汽表比數。德國

近年恆按主輪每秒旋轉次數  $m_0$  及截汽點位置  $\epsilon$ ，製定表格，示此汽表比數(表 42)：

表 42.

$\frac{p_i}{p_k} = \xi$ $m_0$	$\epsilon$	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1						0.52	0.56	0.60	0.65
1.5			0.35	0.42	0.46	0.49	0.53	0.56	0.61
2	0.28	0.34	0.40	0.44	0.47	0.50	0.53	0.57	
2.5	0.27	0.33	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	
3	0.26	0.31	0.36	0.40	0.44	0.46	0.48	0.51	
3.5	0.25	0.30	0.35	0.39	0.42	0.44	0.46	0.47	
4	0.24	0.29	0.34	0.38	0.40	0.42	0.44		
4.5	0.23	0.28	0.33	0.36	0.39				
5	0.23	0.27	0.32	0.35	0.38				

英國鐵路計算汽表比數  $\xi$ ，如次所示：

(a) 活塞運動速度  $v_p \leq 1.27$  公尺/秒時, 不論蒸汽種類如何:

- 膨脹一次機車,  $\xi = 0.80 - 0.85$ ;  
 膨脹二次機車, 低壓汽缸與高壓汽缸容量比例為 2.2 時,  $\xi = 0.57$ ;  
 膨脹二次機車, 低壓汽缸與高壓汽缸容量比例為 2.3 時,  $\xi = 0.56$ ;  
 膨脹二次機車, 低壓汽缸與高壓汽缸容量比例為 2.4 時,  $\xi = 0.55$ ;  
 膨脹二次機車, 低壓汽缸與高壓汽缸容量比例為 2.5 時,  $\xi = 0.53$ ;  
 膨脹二次機車, 低壓汽缸與高壓汽缸容量比例為 2.6 時,  $\xi = 0.52$ ;  
 膨脹二次機車, 低壓汽缸與高壓汽缸容量比例為 2.7 時,  $\xi = 0.50$ ,

此處低壓汽缸與高壓汽缸容量比例為  $\frac{n_n \alpha_n^2 l}{n_h \alpha_h^2 l}$ .

(b) 活塞運動速度  $v_p > 1.27$  公尺/秒時, 則  $\xi$  之值較 (a) 項所示者為小, 而為  $\alpha \xi$ ,  $\alpha$  之值小於 1, 且因蒸汽種類而異, 有如表 43:

表 43.

活塞速度														
$\alpha$ 值	$v_p$	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0
蒸汽種類														
飽	和	0.96	0.87	0.78	0.69	0.60	0.53	0.47	0.42	0.38	0.34	0.31	0.29	0.27
加	熱	0.96	0.87	0.78	0.69	0.61	0.55	0.50	0.47	0.41	0.38	0.35	0.32	0.28

從上述挽力算式, 知汽缸挽力與汽缸容量及汽壓成正比, 與主輪直徑成反比, 故牽挽重載列車 (貨車) 所用之機車, 其主輪直徑恆較小 (歐洲在 1350—1550 公厘左右, 美國在 1422—1600 公厘左右), 而高速機車之主輪直徑則較大。

§ 74. 汽缸挽力與輪周挽力之關係 上述機車汽缸挽力之計

算，必先假定一種行駛之速度。速度極低時（近於零），當然能維持完整之截汽點（即謂截汽點等於 100%）；速度自零漸升至尚能維持完整截汽點之最大速度時，其汽缸挽力之值，當如次式求之：

$$\text{單脹機車} \quad M = n \frac{d^2 l}{2D} p_k;$$

$$\text{複脹機車} \quad M = n_n \frac{d_n^2 l}{2D} p_k.$$

因為速度低微近於零時，汽缸汽壓幾等於汽鍋汽壓，故式中以  $p_k$  代替  $p_i$ 。此種理論的極限挽力，稱為絕對最大挽力 (absolute maximum tractive power)。

上述汽缸挽力之計算，乃係理論的，而非實際工作挽力；實際之工作挽力，即為主輪輪周所發生之挽力，此當較理論挽力為小，蓋蒸汽膨脹所發生之力，迨傳到輪周時，已因機器內部之阻力而損失一部分故也。故實際的工作挽力，乃等於上述理論的汽缸挽力 ( $Z_i$ )，減去機車內部的阻力 ( $W_m^L$ )。實際的工作挽力既係發生於主輪之輪周，故即稱為輪周挽力 (tractive power at circumference of driving wheels)，以  $Z_o$  代表之，其算式則為

$$Z_o = Z_i - W_m^L = \eta_m Z_i,$$

式中之  $\eta_m = \frac{Z_o}{Z_i}$ ，即為機車機器之機械效率 (efficiency of machine)。

$$\text{因} \quad Z_i = n \frac{d^2 l}{2D} p_i = \xi n \frac{d^2 l}{2D} p_k = \xi M,$$

$$\text{故} \quad Z_o = \eta_m \xi M.$$

推求機械效率之方法，最好是將機車加以實驗，以求出  $Z_0$  及  $Z_i$  之值；倘無實驗之結果可用，或在一般不需要精確之計算時，任何機車式樣，皆可使用一種普通數值，如下列所示：

二連主軸	$\eta_m = 0.90$
三連主軸	$\eta_m = 0.87$
四連主軸	$\eta_m = 0.85$
五連主軸	$\eta_m = 0.82$

輪周挽力，即所以抵禦機車車身、煤水車與車輛等全部之行駛阻力；其中有所謂有效挽力 (effective tractive power) 者，係專指抵禦車輛行駛阻力之動力而言。故從輪周挽力內減去機車車身及煤水車之阻力 ( $W_i^L + W_i^T$ ) 後，在煤水車挽鉤與第一車輛挽鉤間之挽力，即為有效挽力，以  $Z_n$  代表之，其算式如次：

$$Z_n = Z_0 - (W_i^L + W_i^T) = \eta_m \hat{c} M - (L + T) w_0^{L+T},$$

式中之  $w_0^{L+T}$  = 機車煤水車混合之比阻，以公斤/公噸計。

挽鉤挽力 (即有效挽力) 與汽缸挽力之比，稱為機車挽力效率 (efficiency of locomotive)。此挽力效率決非常數，至少須依隨路線之剖面平面而轉移；此外如行車速度及行車方法，亦皆與此挽力效率有密切關係，蓋因機車阻力係隨上述各因素而變更，則挽力效率當亦隨之而改變也。普通此種挽力效率  $\eta_L = \frac{Z_n}{Z_i}$ ，其值約在 0.60—0.67

之間。有效挽力得如下式計算：

$$Z_n = \eta_L Z_i = \eta_L \hat{c} M.$$

§ 75. 汽缸挽力與開駛挽力之關係 列車開駛之時，機車盡其

所能使用之挽力,以對抗最大之開駛阻力;此謂之開駛挽力(starting tractive power),以  $Z_s$  代表之,其算式如次:

$$Z_s = \eta_m \xi_{max} M.$$

此開駛挽力  $Z_s$ , 在歐美, 普通皆用一常數代替  $\eta_m \xi_{max}$  而推求之。

A. 歐洲:

(a) 飽和蒸汽機車——

單脹機車:

客運機車  $Z_s = 0.55M$  公斤;

貨運機車  $Z_s = 0.60M - 0.65M$  公斤。

複脹機車:

客運機車  $Z_s = 0.45M$  公斤;

貨運機車  $Z_s = 0.50M$  公斤。

布盧克曼 (Brueckmann) 介紹代表  $\eta_m \xi_{max}$  之數值, 專供複脹機車之用, 如表 44 所示:

表 44.

$\eta_m \xi_{max}$ 之值	低壓汽缸與高壓汽缸容積之比	2.00	2.25	2.50	3.00
機車類別					
客 運 機 車		0.44	0.42	0.40	0.37
貨 運 機 車		0.50	0.48	0.45	0.40

(b) 加熱蒸汽機車——

單脹機車  $Z_s = 0.75M$  公斤;

複脹機車  $Z_s = 0.55M$  公斤。

## B. 美國:

單脹機車  $Z_s = 0.85M$  公斤;

複脹機車  $Z_s = 0.50M - 0.57M$  公斤不等。

此複脹機車又隨低壓高壓汽缸容量之比，而異其開駛挽力，如次所示:

低壓高壓汽缸容量之比為 2.2,  $Z_s = 0.57M$ ;

低壓高壓汽缸容量之比為 2.3,  $Z_s = 0.56M$ ;

低壓高壓汽缸容量之比為 2.4,  $Z_s = 0.55M$ ;

低壓高壓汽缸容量之比為 2.5,  $Z_s = 0.53M$ ;

低壓高壓汽缸容量之比為 2.6,  $Z_s = 0.52M$ ;

低壓高壓汽缸容量之比為 2.7,  $Z_s = 0.50M$ 。

茲再將上面所述機車挽力中各級挽力之公式，彙列於下，以明其相互之關係:

(a) 絕對最大挽力  $\bar{M}$ ——汽缸汽壓等於汽鍋汽壓;

(b) 汽缸挽力(列車行駛時),  $Z_i = \xi \bar{M}$ ;

(c) 輪周挽力(列車行駛時),  $Z_o = \eta_m \xi \bar{M} = \eta_m Z_i$ ;

(d) 挽鉤挽力, 即有效挽力,  $Z_h = \eta_L \xi \bar{M} = \eta_L Z_i$ ;

(e) 開駛挽力,  $Z_s = \eta_m \xi \bar{M}$ 。

此處  $\xi, \eta_m, \eta_L$  等均為常數, 其值小於 1, 其推求須根據機車之實驗, 已有專門論文研討之。

§76. 黏着挽力之推定 汽缸挽力施於活塞之上, 由活塞牽桿經過傳力設置以達到主動輪周, 使車輪旋轉, 但此種旋轉, 純為內部運動, 而不能使列車作前進(或後退)之移動。欲使列車循鋼軌而前

進，即謂欲使主輪（圖 49）圍繞其暫時中心  $O_1$  而旋轉，俾滾動於鋼軌之上，而不僅圍繞輪心  $O$  而旋轉，乃至徒在鋼軌上滑動而不前進，必須有一外力  $A_2$  阻撓輪箍在軌面上之滑動；此外力謂之摩阻力(friction)。

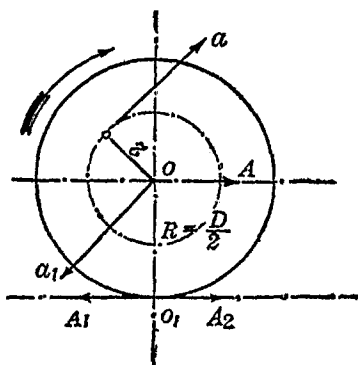


圖 49.

摩阻力之大小，依車輪承重及輪箍與軌面間滾轉摩阻係數而定；如以  $(p_0 + p'_0)$  表示車軸承重與本身死重之和，而  $\phi$  表示輪箍與軌面間之摩阻係數 (coefficient of friction)，則每軸之摩阻力為  $\phi(p_0 + p'_0)$ 。

欲使車輪滾動前進，必須成立下列條件(圖 49)：

$$\overline{A_1 O_1} \leq \overline{O_1 A_2},$$

亦即

$$\overline{OA} \leq \overline{O_1 A_2}.$$

意即挽力  $\overline{OA}$  不可超過摩阻力  $\overline{O_1 A_2}$  也。此摩阻力等於  $\phi(p_0 + p'_0)$ ，但係對於一軸而言；如此則所有主軸全部之摩阻力當為  $\phi \Sigma(p_0 + p'_0)$ 。此處  $\Sigma(p_0 + p'_0)$  為機車重量之一部，稱為黏着重量(adhesive weight)，可以  $L_a$  代之，故得

$$Z_0 \leq \phi L_a.$$

摩阻係數  $\phi$  係因速度高低而變。1851 年法國里昂鐵路之蕭累 (Poiré) 曾作鋼軌輪箍間摩阻力之實驗；至 1858 年菩凱特 (Bocket) 將此實驗重新整理，得下列公式，以示摩阻係數  $\phi$  隨速度變化之關係：



$$\varphi = \frac{\varphi_0}{1 + 0.02V}$$

此處  $\varphi_0$  = 鋼軌與輪箍間摩擦阻係數，但在速度為  $V=0$  公里/小時時適用；又因為在極小時間中，輪箍之一點對於軌面上之相應接觸點，其速度為零 ( $V=0$ )；故此時宜用  $\varphi_0$  之數值，以計算輪軌間摩擦阻力。不過尚有一事吾人極宜注意者，即主輪旋轉一週之間，因偏心輪及活塞牽桿之位置變化，其輪周挽力在各個極小時間中，大小不同；吾人所用輪周挽力公式  $Z_0 = \eta_m \xi M$ ，不過是其平均數值而已。至於在輪周挽力與摩擦阻力相互關係之分析中，所採用之輪周挽力，宜為其最大數值。假設最大輪周挽力與平均輪周挽力之比為  $\frac{Z_0^{max}}{Z_0} = \mu$  (此  $\mu$  之數值，乃因機車設計而變化者)，則上述之摩擦係數  $\varphi_0$  應縮小  $\mu$  倍，然後始能適用於機車摩擦阻力問題中；故此係數應為  $\frac{\varphi_0}{\mu} = \psi$ ，可稱為黏着係數 (coefficient of adhesion)，以示與摩擦係數之區別。假定機車之相應黏着重量為  $L_a$ ，則機車主輪之黏着力 (adhesion)，應為  $1000 L_a \times \psi$  公斤 ( $L_a$  以公噸計)。機車主輪黏着係數，各個不同，但吾人所需要者，為其綜合之平均數值：

$$\psi_1 L_a' + \psi_2 L_a'' + \psi_3 L_a''' + \dots = \psi (L_a' + L_a'' + L_a''' + \dots) = \psi L_a$$

如所有軸輪皆係連動，而無附輪或轉向架輪，則機車重量為常數；機車在運動中，全車重量對於承重主軸之分配，固然非若靜止時之固定不變，然以其無附輪之故，其各主軸所承之總重，乃為固定不變之數值。吾人計算黏着力時，係以主軸總重乘其平均黏着係數，故對於計算結果無甚差異。但若機車除主軸外，尚有附軸或轉向架輪，

則在運動中各軸所承重量，非固定不變。主軸中一部分減低承重，不必定使其餘主軸增加承重，或使附軸增加承重；附軸承重不與輪軌間黏着力發生關係，因而機車黏着力總數降低。羅謨諾薩夫曾作實驗以計量此種主軸承重減低之情形，所得結果為：機車在運動中，主軸承重可分移於附軸之上，貨運機車可達 7% 之多，客運機車可達 22% 之多；即謂貨運機車黏着力可減低 7%，而客運機車黏着力可減低 22%；此固與靜止中之承重相較者也。在挽力計算中，為安全計，可將靜止中黏着承重略為減低，貨運機車可用 95%，客運機車可用 80%。如擬使機車作前進運動（或後退），必使輪周挽力最大數值，不超過主輪與鋼軌間最小黏着力，已如上述。以下係以算式示明此項意義者：

無附軸或轉向架機車： $Z_{o\ max} \cong 1000\psi L$  公斤。

有附軸或轉向架機車：

貨運機車  $Z_{o\ max} \cong 0.95(1000\psi L_a)$  公斤，

客運機車  $Z_{o\ max} \cong 0.80(1000\psi L_a)$  公斤。

如上列條件不成立，則機車主輪被汽缸汽力推動時只與鋼軌滑擦旋轉，而不能作進退運動，所成現象稱為空轉 (slipping of wheel)。由此可知，機車挽力須受此黏着力之限制；如黏着力不足，即使挽力（汽缸、汽鍋之力）高大，亦將無法發揮，蓋非合於上列公式之條件，列車不能行駛故也。此種輪軌黏着力之極限，如  $1000\psi L$ ，或  $950\psi L_a$ ，或  $800\psi L_a$  公斤，普通稱為黏着挽力 (adhesive tractive power)。此種挽力，並非直接牽挽列車，而乃助成輪周挽力以行牽引者也。黏着挽力之大小，依黏着承重及黏着係數為轉移；故機車運動軸與主動軸

相連，以求此挽力之增強。現有機車，其運動軸至六個以上。近年來美國鐵路，有所謂補助器 (booster) 之創設；在機車後方轉向架間，裝有特別機關，與軸相連。此機關亦能發動，有如一般汽機，使附軸變成主軸，則黏着重量自然增大。當機車開駛時或在長大坡度工作困難情形之下，即將此補助器開動，俾黏着挽力增大。近且有就煤水車車軸處，裝此項補助器者，因之煤水車死重，亦可變為有效之黏着承重矣。

至於黏着係數  $\psi$ ，其數值大小，係隨輪軌間摩擦係數  $\varphi_0$  及最大輪周挽力  $Z_{0max}$  與平均輪周阻力  $Z_0$  之比數  $\mu = \frac{Z_{0max}}{Z_0}$ ，而變化；輪軌間摩擦係數  $\varphi_0$  視鋼軌狀態而定；根據法國里昂鐵路之葛累 (在1851年) 與英國倫敦——布賴吞及南海岸鐵路之高爾吞 (Galton) (在1878—79年) 兩氏實驗之結果，輪軌間摩擦係數為：

鋼軌絕對清潔而乾燥	$\varphi_0 = 1/3$
鋼軌上撒布河沙	$\varphi_0 = 1/3.5$
鋼軌乾而有灰塵蒙蓋，或完全潮溼	$\varphi_0 = 1/4$
鋼軌稍有溼氣	$\varphi_0 = 1/5$
鋼軌頂上積有霜雪	$\varphi_0 = 1/6$
鋼軌油垢甚重 (車站或山洞中)	$\varphi_0 = 1/8$
鋼軌面上結冰	$\varphi_0 = 1/10$

倘遇有其他特殊情形，此摩擦係數猶有降低可能；如腐朽樹葉落於軌頂，或軌面塗有肥皂，則此  $\varphi_0$  之值尙能降至  $1/15$  以至  $1/16$ 。為防範此種黏着係數意外降低起見，曾有許多方法發明；其中最實用且

最普遍者，當爲撒布乾淨細沙於軌面。此法非常簡單，只須在機車上裝一沙箱 (sand box)，遇必要時，用蒸汽或壓氣將細沙放出，落在軌頂上面， $\phi_0$  之值便可增加。此法已被普遍採用，因此各鐵路多從事研究此法可應用至若何程度而止。在歐洲對於軌面鋪沙後之摩阻係數，可視爲  $\phi_0 = 1/4 - 1/5$ ；在美國，對於此事之研究尤爲發達，各鐵路且設有沙廠 (sand house)，選擇沙粒並用爐 (sand drying stove) 烘乾，貯於沙囊 (sand-tank)，備裝入機車之沙箱中。在上坡時使用細沙，其摩阻係數可增至  $1/3$ 。不過應用細沙撒布於軌面之方法時，亦有兩種缺點：一爲輪箍磨蝕加快；二爲行車阻力加大。美國芝加哥——柏林吞——昆齊 (Chicago-Burlington-Quincy) 鐵路曾作實驗，確定因鋪沙之結果，竟增加行車阻力至 7.5%。故歐洲各國，對於在機車上安置沙箱，只視爲偶然之安全設備，非於不得已時不用，並不計入機車之經常挽力中也。

係數  $\mu = \frac{Z_{0max}}{Z_0}$  之大小，隨機車式樣與設計而變化；計算時，可由表 45 中選取其值：

表 45.

機車式樣	$\mu$ 之數值	
	貨運	客運
複脹雙汽缸機車，汽缸位置不相稱	1.30	1.45
單脹雙汽缸或四汽缸機車及複脹四汽缸機車，汽缸位置相稱	1.20	1.30
三汽缸機車，汽缸位置相稱	1.10	1.20

表中所列，爲普通情形下之平均數值，可供挽力計算之用者。至

於係數  $\psi = \frac{\varphi_0}{\mu}$  之平均數值，亦可因此而推定，以供計算之用，如表 46 所列：

表 46.

機車式樣	$\psi$ 之平均數值			
	夏季 ( $\varphi_0 = 1/4.5$ )		冬季 ( $\varphi_0 = 1/5.5$ )	
	貨運	客運	貨運	客運
複脹雙汽缸機車，汽缸不相稱	0.170	0.153	0.140	0.125
單脹雙汽缸機車，複脹雙汽缸四汽缸機車，相稱，無拐軸	0.185	0.170	0.152	0.140
四汽缸機車，相稱，有拐軸	0.193	0.185	0.158	0.152
單脹或複脹三汽缸機車，相稱，有拐軸	0.202	0.185	0.165	0.152

美國採用摩擦係數至  $\varphi_0 = 1/3$ ，故黏着係數至  $\psi = 1/4$  以上。德國四汽缸機車，用  $\psi = 1/6 - 1/5$ ；雙汽缸機車，用  $\psi = 1/7 - 1/6$ 。上表所列為軌道維持稍劣之鐵路所適用，計算用之，頗為安全。德國吉塞 (Giese) 教授研究係數  $\psi$  之數值，有下列各種：

冰滑	$\psi = 1/20 = 0.050$ ,
潮溼	$\psi = 1/11 = 0.091$ ,
天氣乾爽	$\psi = 1/6 - 1/4 = 0.167 - 0.25$ ,
最大值 (因速度極小， 為其最優之條件)	$\psi = 1/4 = 0.25$ ,
平均數值	$\psi = 1/6.7 = 0.15$ .
客列車與快車機車	$\psi = 1/6.7 - 1/5.5 = 0.15 - 0.18$ .
貨列車機車	$\psi = 1/6 - 1/5.5 = 0.165 - 0.18$ .

山地鐵路,有隧道及緊急彎道  $\psi = 1/6.7 = 0.15$ .

隧道中軌上潮溼,且有油膩,隧

道愈長則  $\psi$  值愈小,約計之  $\psi_s = 0.8\psi$ .

街市電車  $\psi = 1/5.5 = 0.18$ .

**§77. 汽鍋挽力之推定** 機車汽缸挽力常受汽鍋產汽能力之限制.任憑汽缸如何優良,如汽量不足(即汽壓不足),亦是徒然.故研究汽缸挽力時,除黏着力外,尤當注意汽鍋之製汽力.欲推求製汽力之大小,可依據汽缸每秒鐘做功與機車每秒鐘做功相等之原則而計算之.

設機車每秒鐘所能完成之功(亦曰機車功能 capacity)與汽缸每秒鐘所能完成之功相等,而等於  $N_i$  馬力,則機車每秒鐘所能完成之功當為

$$N_i \text{ 馬力} = 75N_i \text{ 公尺-公斤/秒};$$

蓋因每一馬力(IP)每秒鐘所完成之功為 75 公尺-公斤也.汽缸中蒸汽每秒鐘所能完成之功則為

$$n \frac{\pi d^2}{4} p_i v_p,$$

式中

$n$  = 汽缸數目,

$d$  = 汽缸直徑,

$p_i$  = 汽缸蒸汽平均工作汽壓,

$v_p$  = 活塞運動平均速度,以公尺/秒計.

活塞平均速度,可以相當之機車速度( $v$ )之數值代之.主輪直徑為  $D$ ,旋轉一周,活塞往返各一次,其動程為  $2l$ ;故有

$$\frac{\pi D}{v} = \frac{2l}{v_p},$$

由此得 
$$v_p = \frac{2l}{\pi D} v.$$

根據汽缸與機車每秒鐘做相等之功之原則，得式如次：

$$\begin{aligned} 75 N_i &= n \frac{\pi d^2}{4} p_i v_p = n \frac{\pi d^2}{4} p_i \cdot \frac{2l}{\pi D} v \\ &= n \frac{d^2 l}{2D} p_i v = Z_i v. \end{aligned}$$

由此可知，機車在單位時間內所完成之功，等於挽力乘速度。如此上式  
中機車速度  $v$  (公尺/秒) 變為每小時公里之速度  $V$ ，則

$$v \text{ 公尺/秒} = \frac{1000 V}{60 \times 60} = \frac{V \text{ 公里/小時}}{3.6},$$

而得 
$$75 N_i = Z_i \frac{V}{3.6},$$

即 
$$Z_i = \frac{270 N_i}{V}.$$

但在挽力計算中，吾人所注意者，恆為輪周挽力 ( $Z_o$ )。此輪周挽力，  
亦可同樣用機車功能 (即機車每秒鐘所能完成之功) 表示之，如

$$Z_o = \frac{270 N_o}{V}.$$

式中  $N_o$  = 機車輪周功能 (即輪周每秒鐘所能完成之功)，而等於  $\eta_m N_i$ 。

今以  $H$  平方公尺代表機車汽鍋燒熱面之面積，而  $\frac{N_o}{H}$  則表燒熱

面積每平方公尺所生之輪周馬力數，則輪周功能為

$$N_e = \frac{N_o}{H} \cdot H.$$

茲更假設  $U_m$  = 機車每小時所用蒸汽，

$u_m$  = 機車燒熱面每平方公尺每小時所能產出之蒸汽

(此數又稱為汽鍋製汽率)。

於是 
$$U_m = u_m H,$$

或 
$$H = \frac{U_m}{u_m};$$

如此則有 
$$\frac{N_e}{H} = \frac{N_o u_m}{U_m} = \frac{u_m}{\frac{U_m}{N_o}},$$

式中之  $\frac{U_m}{N_o}$  表示機車每一馬力每小時所需蒸汽量。

以此  $N_o/H$  之數值，代入  $N_e = \frac{N_o}{H} H$ ，而得。

$$N_e = \frac{u_m}{\frac{U_m}{N_o}} H,$$

再將此式  $N_o$  之數值，代入  $Z_o$  公式，而得

$$Z_o = \frac{270 u_m H}{\frac{U_m}{N_o} \cdot V}.$$

是知機車挽力當有此汽鍋製汽之極限，即  $\frac{270 u_m H}{\frac{U_m}{N_o} \cdot V}$  是也。此極限



亦稱為汽鍋挽力(boiler tractive power)。

汽鍋挽力公式中所包含各項，可作下列之分析：

(a) 機車功能每一馬力每小時所需蒸汽量為：

$$\text{單脹機車} \quad \frac{U_m}{N_o} = \frac{54 \times 10^7 \cdot \beta}{\pi \xi \eta_m} \text{ 公斤；}$$

$$\text{複脹機車} \quad \frac{U_m}{N_o} = \frac{54 \times 10^7 \cdot \beta}{\pi \xi \eta_m} \cdot \frac{1}{\frac{n_n \cdot d_n^2 \cdot l}{n_h \cdot d_h^2 \cdot l}}$$

$$\text{式中} \quad \xi = \frac{p_i}{p_k} \text{ 為汽表比數 (§73),}$$

$$\eta_m = \frac{Z_o}{Z_i} \text{ 為機車工作效率,}$$

$\beta$  = 用汽係數。

然在普通挽力計算中，無須十分精確，則每一馬力每小時所需用汽量，可由表 47 中查得之；此表為伊格爾(Igel)所製者。

表 47.

蒸 汽 膨 脹	蒸 汽 種 類	$\frac{U_m}{N_o}$ 公斤/馬力-時
單 脹	飽 和	12.0
單 脹	加 熱	8.2
複 脹	飽 和	10.2
複 脹	加 熱	7.2

每平方公尺燒熱面之每小時平均產汽量( $u_m$ 公斤/公尺<sup>2</sup>/小時)，可從表 48 查出，表中所示兩個數值，一為在長巨工作下之實際平均

汽量，一為在短小時間中有時可以達到之最大數值；在應用時，仍以前者為適宜。

表 48.

機車類別	燃料種類				
	石油	煤		木柴	
		優質	劣質	含溼氣在3%以下	含溼氣在3%以上
貨機車(四連動軸)	30—40	30—35	20—25	25—40	15—25
貨機車(五連動軸及馬雷特 Mallet 式)	35—45	30—40	25—30	30—40	20—30
客機車	40—50	35—40	30—45	35—45	20—30

$U_m$  之數值極難準確；因此數值不只是依機車種類、燃料優劣而變化，且因工作久暫、火伏技術及添給燃料之方法等而消長，甚至與車行速度亦有關係。故在不需精確之計算中，如設計新路時之挽力計算，可用上述一公式

$$Z_o = Z_k = \frac{270 N_o}{V} = \frac{270 \frac{N_o}{H} \cdot H}{V}$$

推求之，式中  $\frac{N_o}{H}$  之數值，可由菩利司 (Borries) 表中 (表 49, 見次頁) 查出，或由佛蘭克或利赫忒 (Richter) 公式推求得之。

使用此表時，應注意在前 §73 中所示每秒主軸旋轉次數  $m$  與行駛速度  $V$  (公里/小時) 之關係：

$$V = 11.3 D m_0 \text{ 公里/小時.}$$

表中所示數值，係根據德國鐵路統計，所用燃料為上等煤；如用

中等煤或木柴，應將其數值減低 5%；如用下等煤，則應減低 10%。

表 49.

機車類別			汽缸數	主軸每秒鐘旋轉次數								
				1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
客 機 車	飽和蒸汽	一次膨脹	2	—	4.2	4.5	4.8	5.0	5.2	5.3	5.5	5.6
	飽和蒸汽	二次膨脹	2	—	4.5	5.1	5.6	6.0	6.4	6.7	6.9	7.0
	飽和蒸汽	二次膨脹	4	—	5.9	6.3	6.7	7.0	7.2	7.4	7.6	7.7
	加熱蒸汽	一次膨脹	2	—	7.0	7.5	8.0	8.3	8.8	9.0	9.2	9.3
	加熱蒸汽	二次膨脹	2	—	7.5	8.5	9.3	10.0	10.7	11.2	11.5	11.7
	加熱蒸汽	二次膨脹	4	—	9.8	10.5	11.2	11.7	12.0	12.3	12.6	12.8
貨 機 車	飽和蒸汽	一次膨脹	2	3.5	3.8	4.1	4.3	4.5	—	—	—	—
	飽和蒸汽	二次膨脹	2	3.8	4.2	4.5	4.8	5.0	—	—	—	—
	加熱蒸汽	一次膨脹	2	6.4	7.0	7.5	7.9	8.2	—	—	—	—
	加熱蒸汽	二次膨脹	2-4	6.6	7.3	7.8	8.3	8.5	—	—	—	—

佛蘭克製有計算  $\frac{N_e}{H}$  之公式如下：

$$\text{貨運機車} \quad \frac{N_e}{H} = 0.6 + 0.527\sqrt{V};$$

$$\text{客運機車} \quad \frac{N_e}{H} = 0.617\sqrt{V}.$$

倘將上列  $\frac{N_e}{H}$  之數值，代入汽鍋挽力公式

$$Z_k = \frac{270 \frac{N_e}{H} H}{V},$$

則得

$$\text{貨運機車} \quad Z_k = \left( \frac{162}{V} + \frac{142}{\sqrt{V}} \right) H;$$

$$\text{客運機車} \quad Z_k = \frac{166.5 H}{\sqrt{V}}.$$

利赫忒製有計算  $\frac{N_o}{H}$  之公式如下:

$$\frac{N_o}{H} = 0.775(a - 0.6m)\sqrt{m},$$

式中

$m$  = 主軸每秒鐘旋轉次數,

$a$  = 常數, 其數值可由表 50 查出。

表 50.

機車類別	汽缸數目	常數 $a$ 之值
飽和蒸汽 (單脹)	2	6.0
飽和蒸汽 (複脹)	2	6.5
飽和蒸汽 (複脹)	4	7.5
加熱蒸汽 (單脹)	2	7.0
加熱蒸汽 (複脹)	4	8.0

爐鑪面積之大小 ( $A_r$ ), 亦因汽鍋燒熱面面積之大小而規定, 故吾人亦可根據爐鑪面積而計算汽鍋功能。近來德國史特拉爾官稱: 計算機車功能時, 最好以爐鑪面積代替燒熱面積為計算因素。史特拉爾計算機車最大功能所用之公式如次:

$$N_{max} = CA_r,$$

式中  $C$  = 常數, 依機車構造而變化, 在 314 至 642 之間, 可查表 51; 最近設計機車,  $C$  之平均值可定為  $C = 500 - 550$ ,

表 51.

機車種類	數常C之值 $H/A_r$					
	40	50	60	70	80	90
飽和蒸汽, 雙汽缸機車	814	824	831	836	840	845
飽和蒸汽, 雙汽缸複脹機車	870	883	890	897	401	408
飽和蒸汽, 四汽缸複脹機車	881	893	401	406	411	418
加熱蒸汽, 雙汽缸機車	536	553	565	573	579	589
加熱蒸汽, 四汽缸複脹機車	584	602	615	624	631	642

按照上列數值, 將某種一定燒熱面積或爐鑄面積所發生之挽力求出時, 如係客列車, 則須將冬季列車煖汽所需汽量(約為7%)扣算。最大製汽能力, 可約計為每小時每平方公尺燒熱面積產汽 60—65 公斤(假設  $\frac{H}{A_r} = 50—60$ )。

例 1. 假設有快車機車, 其各部機構如下(4-6-0, 三汽缸加熱機車):

爐鑄面積	$A_r = 2.82$ 平方公尺,
工作重量	$L = 79.99$ 公噸,
黏着重量	$L_a = 51.37$ 公噸,
附軸承重	$L - L_a = 28.62$ 公噸 $= L_1$ ,
煤水車重量	$T = 64.14$ 公噸。

試求此機車之功能及挽力; 並求行駛於坡度  $S = 2\%$  上, 以速度  $V = 100$  公里/小時前進時之列車載重。

解 最大功能

$$N_{max} = CA_r = 550 \times 2.82 = 1551 \text{ 馬力};$$

輪周挽力

$$Z_e = \frac{270N_{max}}{V} = \frac{270 \times 1551}{100} = 4188 \text{ 公斤};$$

黏着挽力

$$Z_a = \psi L_a = 0.15 \times 51,370 = 7706 \text{ 公斤}.$$

$Z_e < Z_a$ , 故知輪周挽力  $Z_e = 4188$  公斤, 可充分利用.

用史特拉爾公式, 以求可挽之列車重量(見 §56):

$$\begin{aligned} w_0^{LT} &= \frac{2.5(L_i + T) + cL_a + 0.6F_i \left( \frac{V+12}{10} \right)^2}{L+T} \\ &= \frac{2.5(28.62 + 64.14) + 7.5 \times 51.37 + 0.6 \times 10 \left( \frac{100+12}{10} \right)^2}{79.99 + 64.14} \\ &= 9.5 \text{ 公斤/公噸}. \end{aligned}$$

又應用史特拉爾之車輛阻力公式(見 §58):

$$w_0^G = 2.5 + \frac{1}{40} \left( \frac{V+12}{10} \right)^2 = 5.64 \text{ 公斤/公噸};$$

$$w_s = 2.0 \text{ 公斤/公噸};$$

$$w^{LT} = 9.5 + 2.0 = 11.5 \text{ 公斤/公噸};$$

$$w^G = 5.64 + 2.0 = 7.64 \text{ 公斤/公噸}.$$

然則列車車輛重量為

$$\begin{aligned} G &= \frac{Z_e - (L+T)w^{LT}}{w^G} = \frac{4188 - (79.99 + 64.14) \times 11.5}{7.64} \\ &= 530 \text{ 公噸}. \end{aligned}$$

例 2. 設有 0-8-0 加熱貨運機車, 其各部機構如下:

爐鑪面積  $A_r = 2.63$  平方公尺,

工作重量  $L = 67.93$  公噸,

黏着重量  $L_a = 67.93$  公噸,

煤水車重量  $T = 44.5$  公噸.

試求此機車之功能及挽力; 倘其在  $S = 10\%$  坡度上與半徑為  $R = 400$  公尺之彎道上, 用速度  $V = 40$  公里/小時行駛, 則其車輛重量應為若干公噸?

解 最大功能

$$N_{max} = CA_r = 550 \times 2.63 = 1446 \text{ 馬力};$$

輪周挽力

$$Z_o = \frac{270N_{max}}{V} = \frac{270 \times 1446}{40} = 9760 \text{ 公斤};$$

黏着挽力

$$Z_a = 0.165 \times 67,930 = 11,208 \text{ 公斤}.$$

$$w_o^{L+T} = \frac{2.5(L+T) + cL_a + 0.6F \left( \frac{V+12}{10} \right)^2}{L+T}$$

$$= \frac{2.5 \times 44.5 + 8.4 \times 67.93 + 0.6 \times 10 \left( \frac{40+12}{10} \right)^2}{67.93 + 44.5}$$

$$= 7.51 \text{ 公斤/公噸};$$

$$w_o^G = 2.5 + \frac{1}{20} \left( \frac{V+12}{10} \right)^2 = 3.85 \text{ 公斤/公噸};$$

$$w_r = \frac{650}{R-55} = 1.88 \text{ 公斤/公噸};$$

$$w_s = 10.0;$$

$$w^{LT} = w_0^{LT} + w_r + w_s = 19.39 \text{ 公斤/公噸};$$

$$w^G = w_0^G + w_r + w_s = 15.73 \text{ 公斤/公噸};$$

$$G = \frac{Z_0 - (L+T)w^{LT}}{w^G}$$

$$= \frac{9760 - (67.95 + 44.5) \times 19.39}{15.73} = 482 \text{ 公噸}.$$

例 3. 設有三軸客車 20 輛，每輛平均重 19 公噸，擬組為列車，行駛於坡度  $S=5\%$ ，彎道半徑  $R=500$  公尺之路線上，欲求其速度為  $V=60$  公里/小時，則應選用何種機車？

解 列車重量

$$G = 20 \times 19 = 380 \text{ 公噸};$$

假定機車重量為  $L=70$  公噸， $T=50$  公噸；先用埃爾孚特公式，粗計列車全部之比阻如下：

列車全部基本比阻

$$w_0^{LTG} = 2.4 + 0.08 \left( \frac{V}{10} \right)^3 = 5.28 \text{ 公斤/公噸};$$

彎道比阻

$$w_r = \frac{650}{R-55} = 1.46 \text{ 公斤/公噸};$$

坡度比阻

$$w_s = 5 \text{ 公斤/公噸};$$

列車全部綜合比阻

$$w^{LTG} = w_0^{LTG} + w_r + w_s = 11.74 \text{ 公斤/公噸};$$



且知 
$$Z_0 = (L+T)w^{LT} + Gw^G$$

$$= 120 \times 11.74 + 380 \times 11.74 = 5870 \text{ 公斤.}$$

欲此輪周挽力(亦即汽鍋挽力)得以充分利用,機車黏着重量最低應不小於

$$L_a = \frac{Z_0}{\psi} = \frac{5870}{0.15} = 39,130 \text{ 公斤;}$$

欲使汽鍋產汽量足供消耗之用,汽鍋之功能須不小於

$$N_{max} = \frac{Z_0 V}{270} = \frac{5870 \times 60}{270} = 1304 \text{ 馬力;}$$

而爐鏡面積不得小於

$$A_r = \frac{N_{max}}{500} = 2.61 \text{ 平方公尺.}$$

按  $A_r$  之數值,從機車機構表中查得;如不能得完全相符之數值,亦必擇其最相近似者用之。次列各值係查得者:4-6-0 加熱客運機車之各部機構為:

爐鏡面積	$A_r = 2.62$ 平方公尺,
工作重量	$L = 75.28$ 公噸,
黏着重量	$L_a = 50.28$ 公噸.

再用史特拉爾公式,詳確計算其功能、挽力及載重等項(如例 2 中程序),得:

最大功能	$N_{max} = 1310$ 馬力;
輪周挽力	$Z_0 = 5895$ 公斤;
黏着挽力	$Z_a = 7542$ 公斤;
機車基本比阻	$w_0^{LT} = 6.91$ 公斤/公噸;

車輛基本比阻	$w_0^G = 4.22$ 公斤/公噸;
彎道比阻	$w_r = 1.46$ 公斤/公噸;
坡度比阻	$w_S = 5.0$ 公斤/公噸;
機車綜合比阻	$w^{LT} = 13.87$ 公斤/公噸;
車輛綜合比阻	$w^G = 10.68$ 公斤/公噸;
車輛重量	$G = 395$ 公噸.

將鐵路所用各種機車，按照上列方法，算出其載重能力，且分爲不同之坡度(連同彎道折合率在內)與不同之速度，列成機車載重表，以供應用。茲就德國國家鐵路主要機車，列成機構尺寸表，並將數種貨機車在不同速度與坡度下之載重噸數，列成工作能力表，以供參考(見另頁後表 52 及 53)。我國各路機車統計未詳，故暫不列入。

§ 78. 挽鉤挽力之計算 美國鐵路工程協會(A. R. E. A.)規定計算機車挽鉤挽力之方法，以供選線及路線設計之用，其方法如次：

(1) 在計較路線經濟價值時(路線剖面及平面之比較)，應採用機車在各種不同速度下之實際挽鉤挽力，以作計算；如挽鉤挽力未經實驗，無從得其確定之數值時，則可用計算所得之數值。

(2) 機車挽力之大小，隨汽鍋產汽能力、汽壓、輪軌間黏着力、並汽缸及主輪之大小而轉移。

(3) 機車汽鍋產汽能力，隨每小時燃料消耗數量以及燒熱面面積之大小而消長。

(4) 如燒熱面面積爲已知數，則普通燒煤機車之平均產汽量，可從‘汽鍋製汽量表’(見第 109 頁表 54)中查出，而每小時平均燒煤量可如下估計：

人工供煤.....4000 磅/小時

自動機供煤, 爐鑪面積在 70 平方呎以下...6000 磅/小時

自動機供煤, 爐鑪面積在 70 平方呎以上...8000 磅/小時

(5) 截汽點尙可維持 100% 時之最大速度, 可用主輪旋轉一次所需汽量, 除每分鐘產汽量, 以求之, 如‘汽缸活塞進退一呎需汽量表’(第 111 頁表 55) 所示者。維持 100% 截汽點之最大速度, 稱爲臨界速度(critical speed); 原以每分鐘之旋轉次數計, 今可變爲每小時之哩數。此臨界速度以  $m'$  字母表之。旋轉次數換折哩數時, 可用下式:

$$V = \frac{m' \cdot D}{336.13} \quad (\text{速度單位爲哩/小時}),$$

式中

$m'$  = 每分鐘主輪旋轉次數,

$D$  = 主輪直徑, 以吋計。

(6) 機車開駛時挽力最大, 開駛後則漸漸降低, 以至維持 100% 截汽點之最大速度  $m$ ; 此後速度再增, 則挽力降低較速, 而其降低倍數, 恰與速度增大至  $m$  之倍數成固定關係, 此固定關係, 在複脹機車與普通機車者不同。

(7) 如已知機車在能維持 100% 截汽點時之最大速度  $m$  下之產汽量, 當速度等於  $m$  或大於  $m$  時, 機車汽缸挽力可以每汽缸馬力所需汽量, 除汽鍋每小時產汽量得之, 如表 56 所示。惟如用飽和機車, 則須將汽鍋壓力加以調正。

(8) 馬力可換爲挽力, 其關係爲

$$\text{挽力} = \frac{375(\text{馬力數})}{V} \text{ 磅}.$$

表 52. 德國國家鐵路主要機車各部機構尺寸表(標準軌距適用)

車別	編號	機車類別	標記	車軸排列 首 ← 尾	軸間距離 (公尺)	機車總長 度(公尺)	汽 缸		汽 缸 (公分)			主輪直徑 (公分)	重 量 (公噸)		挽 力 (公斤)	最 大 速 度	煤 箱 容 量 (立方公尺)	水 箱 容 量 (公噸)		
							汽缸直徑 (平方公尺)	汽缸面積 (平方公尺)	直徑(公分)	活瓣行程 (公分)	空 機 車		工作重量 (公噸)							
客 運 機車	S6	加熱高速機車	2B	0000	2.2+2.8+3.0	10.95	2.20	136.89+40.32	12	2×55	—	63	210	55.60	60.60	34.50	8200	110	—	
	S102	加熱三缸, 快車	2C	000000	2.2+2.25+2.1+2.6	12.20	2.82	153.09+61.50	14	3×50	—	63	198	73.78	79.99	51.37	852	110	—	
	P42	複脹客機車	2B	0000	2.2+2.6+2.6	10.16	2.27	118.85	12	46	68	60	175	45.98	51.28	30.24	4750	90	—	
	P8	加熱客機車	2C	000000	2.2+1.57+1.88+2.70	11.20	2.62	149.36+58.9	12	2×57.5	—	63	175	69.18	75.28	50.28	7500	100	—	
貨 運 機車	G52	複脹貨機車	1C	0000	2.3+2.0+2.0	9.82	2.25	137.0	12	48	68	63	135	43.73	50.01	40.61	7800	65	—	
	G72	複脹貨機車	D	0000	1.55+1.35+1.60	10.27	2.25	139.0	12	53	75	63	125	47.40	52.90	52.90	10,200	45	—	
	G81	加熱貨機車	D	0000	1.57+1.56+1.57	10.88	2.63	144.42+51.88	14	2×60	—	66	135	61.83	67.93	67.93	11,000	55	—	
	G10	加熱貨機車	E	000000	4×1.50	11.50	2.62	149.64+53.0	12	2×63	—	65	140	65.29	71.49	71.49	11,200	60	—	
	G12	三缸加熱貨機車	1E	000000	2.80+3×1.50+1.70	12.95	3.25	214.34+79.0	14	3×53	—	65	140	—	—	—	—	60	—	
煤 水 箱 機車	T93	貨運	1C	0000	2.70+1.65+1.65	10.70	1.53	107.20	12	2×45	—	63	135	46.85	60.39	45.58	6800	60-65	7.0	2.0
	T14	加熱, 貨運	1D1	000000	2.40+3×1.50+2.40	13.80	2.50	133.64	12	2×60	—	66	135	73.13	94.41	63.03	10,000	65	11.0	4.0
	T16	加熱, 貨運	E	000000	4×1.45	12.66	2.25	132.93+45.3	12	2×61	—	66	135	63.77	80.82	80.82	—	50	8.0	3.0
	T18	加熱, 客運	2C2	0000000	2.2+1.6+2.05+2.05+1.6+2.2	14.80	2.42	38.61+49.2	12	2×56	—	63	165	83.17	105.03	6.47	8000	90	12.0	4.5

表 53. 德國國家鐵路主要標準軌距機車工作能力表(貨運機車)

車輛重量 G (公噸)	V (公里/時)	1C 複 式 機 車 (G52)					D 複 式 機 車 (G72)				D 加 熱 機 車 (G81)					E 加 熱 機 車 (G10)					S%	
		15	20	30	40	50	60	15	20	30	40	15	20	30	40	50	15	20	30	40		50
25.0		190	165	100	70	40	35	220	170	110	65	340	310	210	140	90	360	340	205	140	85	1:40
16.67		310	270	175	135	90	50	350	280	190	125	550	390	340	240	160	565	485	335	210	100	1:60
10.0		510	455	300	245	175	110	580	475	330	235	870	610	580	420	300	960	790	560	410	285	1:100
6.67		720	645	450	350	255	165	815	665	475	335	1230	1140	810	600	430	1275	1105	785	575	405	1:150
5.0		900	805	535	435	320	210	1020	835	590	425	1550	1420	1000	750	540	1580	1370	975	715	505	1:200
3.33		1250	1055	690	570	415	280	1330	1090	775	555	2000	1810	1300	970	690	2035	1785	1230	925	650	1:300
2.5		1390	1205	800	660	480	320	1550	1275	895	640	2320	2160	1520	1120	800	2410	2035	1460	1065	745	1:400
2.0		1545	1365	880	730	525	350	1730	1420	995	710	2600	2480	1680	1230	870	2680	2305	1610	1175	820	1:500
1.0		1995	1760	1105	920	650	485	2200	1825	1260	895	3300	3050	2140	1530	1070	3455	2960	2040	1470	1010	1:1000
0		2795	2070	1460	1220	845	565	3140	2530	1710	1190	4650	4200	2900	2000	1380	4820	4060	2760	1950	1300	1:∞

(9) 如在  $m$  速度下之汽缸馬力數已換為汽缸挽力, 則在任何其他  $m$  倍數之速度下, 汽缸挽力可選用表 57 所示之百分率以求之。

(10) 在平直路線上行駛時, 挽鉤挽力等於汽缸挽力, 減去汽缸至主輪周緣間之機車內部阻力, 又減去機車車體與煤水車阻力, 再減去機車前面之空氣阻力。此數種阻力用下式計算:

$$\text{汽缸至輪周間阻力} = 18.7L_a + 80\Delta;$$

$$\text{機車車體及煤水車阻力} = 2.6(L_l + T)20\Delta';$$

$$\text{機車前面之空氣阻力} = 0.002V^2F = 0.25V^2,$$

式中

$L_a$  = 機車主軸承重, 以噸計,

$\Delta$  = 主軸數目,

$\Delta'$  = 機車煤水車軸總數,

$T$  = 煤水車重量, 以噸計,

$L_l$  = 機車重量, 以噸計,

$F$  = 機車前面斷面積, 以平方呎計,

$V$  = 速度, 以哩/小時計。

表 54. 汽鍋製汽量表(給水溫度假定為 60°F., 汽壓為 200 磅)

每磅煤可 蒸蒸汽 磅數 每平方呎 每小時需煤 磅數	煤之含 熱量					
	15,000	14,000	13,000	12,000	11,000	10,000
	B.t.u.	B.t.u.	B.t.u.	B.t.u.	B.t.u.	B.t.u.
0.8	7.86	7.34	6.81	6.29	5.76	5.24
0.9	7.58	7.07	6.57	6.05	5.56	5.05
1.0	7.31	6.82	6.34	5.85	5.36	4.87

1.1	7.03	6.59	6.12	5.65	5.18	4.71
1.2	6.82	6.37	5.91	5.45	5.00	4.55
1.3	6.59	6.15	5.71	5.27	4.83	4.39
1.4	6.37	5.95	5.52	5.10	4.67	4.25
1.5	6.17	5.76	5.35	4.94	4.52	4.11
1.6	5.97	5.57	5.18	4.78	4.38	3.98
1.7	5.79	5.40	5.02	4.63	4.25	3.86
1.8	5.61	5.24	4.86	4.49	4.12	3.74
1.9	5.44	5.08	4.71	4.35	3.99	3.63
2.0	5.27	4.92	4.57	4.22	3.86	3.51
2.1	5.12	4.78	4.44	4.10	3.75	3.41
2.2	4.97	4.64	4.31	3.98	3.64	3.31
2.3	4.83	4.51	4.19	3.86	3.54	3.22
2.4	4.69	4.38	4.07	3.75	3.44	3.13
2.5	4.56	4.26	3.95	3.65	3.34	3.04
2.6	4.44	4.14	3.84	3.55	3.25	2.96
2.7	4.32	4.03	3.74	3.43	3.17	2.88
2.8	4.21	3.93	3.64	3.37	3.09	2.80
2.9	4.10	3.83	3.55	3.28	3.01	2.73
3.0	3.99	3.73	3.46	3.19	2.93	2.66

給水質劣，上數照減：(1)汽鍋結層，每 $\frac{1}{10}$ 吋減10%。

(2)每加侖含冰鹽一克冷 (grain=0.0648 gram) 減1%。

表 55. 汽缸活塞進退一呎需汽量表

(a) 飽和機車(複脹機車高壓汽缸直徑適用):

汽缸直徑 (吋)	汽 缸 壓 (磅/平方吋)						
	160	170	180	190	200	210	220
12	0.304	0.321	0.337	0.354	0.370	0.389	0.405
13	0.357	0.376	0.396	0.415	0.435	0.456	0.475
14	0.414	0.436	0.459	0.482	0.504	0.529	0.551
15	0.476	0.501	0.527	0.553	0.579	0.607	0.633
15.5	0.508	0.535	0.562	0.590	0.618	0.649	0.675
16	0.541	0.570	0.599	0.629	0.658	0.691	0.720
17	0.611	0.643	0.676	0.710	0.744	0.780	0.813
18	0.685	0.722	0.759	0.796	0.834	0.875	0.911
18.5	0.724	0.762	0.801	0.841	0.881	0.924	0.962
19	0.763	0.804	0.845	0.887	0.928	0.975	1.015
19.5	0.804	0.847	0.890	0.934	0.978	1.027	1.069
20	0.846	0.891	0.936	0.983	1.029	1.080	1.125
20.5	0.888	0.936	0.984	1.032	1.081	1.134	1.181
21	0.932	0.982	1.032	1.083	1.134	1.191	1.240
22	1.023	1.073	1.133	1.189	1.245	1.307	1.361
23	1.118	1.173	1.233	1.300	1.361	1.428	1.487
23	1.657	1.745	1.835	1.926	2.017	2.117	2.204

100%截汽點時，主軸旋轉一周需汽磅數：(1)普通與四汽缸複脹機車，以表列數值乘四倍活塞動程 $l$ 呎；(2)二汽缸複脹機車，以表列數值乘二倍活塞動程 $l$ 呎。

(b) 單脹加熱機車：

汽缸直徑 (吋)	汽 鍋 汽 壓 (磅/平方吋)					
	160	170	180	190	200	210
18	0.415	0.443	0.470	0.498	0.524	0.551
19	0.465	0.496	0.526	0.557	0.587	0.618
20	0.515	0.549	0.582	0.617	0.650	0.684
21	0.565	0.605	0.641	0.679	0.715	0.752
22	0.623	0.665	0.705	0.747	0.787	0.827
23	0.682	0.728	0.772	0.818	0.861	0.905
24	0.741	0.791	0.838	0.889	0.931	0.984
25	0.804	0.859	0.910	0.965	1.016	1.065
26	0.868	0.927	0.983	1.041	1.097	1.150
27	0.937	1.000	1.057	1.123	1.138	1.241
28	1.008	1.078	1.143	1.209	1.275	1.340
29	1.083	1.156	1.225	1.299	1.368	1.433
30	1.157	1.234	1.306	1.387	1.460	1.533

表中假設加熱溫度至 200°F., 且自汽鍋至汽缸, 汽壓減低 5 磅。



表 50. 在  $m$  倍數各速度下, 每‘汽缸馬力小時’需汽量表

(a) 飽和機車 ( $m$  為 100% 截汽點時之速度, 公尺/小時; 汽鍋  
汽壓 200 磅):

$\frac{V}{m}$	每‘汽缸馬力小時’需汽量 (磅)		$\frac{V}{m}$	每‘汽缸馬力小時’需汽量 (磅)	
	單脹機車	複脹機車		單脹機車	複脹機車
1.0	38.30	25.80	2.9	24.37	21.04
1.1	36.46	24.36	3.0	24.22	21.21
1.2	34.89	23.24	3.2	24.00	21.57
1.3	33.56	22.35	3.4	23.85	21.93
1.4	32.41	21.65	3.6	23.80	22.27
1.5	31.40	21.14	3.8	23.80	22.57
1.6	30.49	20.77	4.0	23.87	22.85
1.7	29.67	20.52	4.25	24.05	23.22
1.8	28.93	20.40	4.50	24.24	23.56
1.9	28.25	20.40	4.75	24.44	23.85
2.0	27.62	20.40	5.00	24.64	24.15
2.1	27.05	20.40	5.5	24.98	24.70
2.2	26.52	20.40	6.0	25.20	
2.3	26.06	20.40	6.5	25.45	
2.4	25.67	20.40	7.0	25.60	
2.5	25.32	20.47	7.5	25.70	
2.6	25.02	20.60	8.0	25.80	
2.7	24.76	20.73	9.0	25.90	
2.8	24.54	20.88			

在其他汽鍋汽壓之下，可用表中數值乘下列百分率：

- (1)160磅——103%； (2)170磅——102.1%；  
 (3)180磅——101.3%； (4)190磅——100.6%；  
 (5)210磅——99.5%； (6)220磅——99.2%。

(b) 單脹加熱機車：

$\frac{V}{\pi}$	每‘汽缸馬力小時’ 需汽量(磅)	$\frac{V}{\pi}$	每‘汽缸馬力小時’ 需汽量(磅)
1.0	24.00	2.8	18.70
1.1	23.53	2.9	18.55
1.2	23.10	3.0	18.40
1.3	22.74	3.2	18.20
1.4	22.28	3.4	18.00
1.5	21.92	3.6	17.79
1.6	21.55	3.8	17.60
1.7	21.10	4.0	17.44
1.8	20.90	4.25	17.24
1.9	20.59	4.5	17.10
2.0	20.32	4.75	16.96
2.1	20.05	5.0	16.86
2.2	19.81	5.5	16.72
2.3	19.60	6.0	16.63
2.4	19.40	6.5	16.62
2.5	19.22	7.0	16.62
2.6	19.02	8.0	16.62
2.7	18.86		

表 57. 在  $m$  倍數各速度下, 汽缸挽力百分率表

(a) 飽和機車:

$\frac{V}{m}$	複脹機車 (%)	單脹機車 (%)	$\frac{V}{m}$	普通機車 (%)	複脹機車 (%)	$\frac{V}{m}$	單脹機車 (%)
開駛	136.00	106.00	2.6	44.75	32.40	6.4	23.59
0.5	108.00	103.00	3.7	43.56	31.25	6.5	23.18
1.0	100.00	100.00	3.8	42.39	30.10	6.6	22.79
1.1	97.28	96.57	3.9	41.24	29.14	6.7	22.42
1.2	92.55	91.53	4.0	40.10	28.24	6.8	22.06
1.3	88.83	87.83	4.1	39.00	27.38	6.9	21.71
1.4	85.12	84.46	4.2	37.93	25.53	7.0	21.33
1.5	81.40	81.37	4.3	36.97	25.77	7.1	21.06
1.6	77.68	78.55	4.4	36.03	25.03	7.2	20.75
1.7	73.96	75.97	4.5	35.13	24.34	7.3	20.45
1.8	70.25	73.80	4.6	34.26	23.69	7.4	20.16
1.9	66.54	71.41	4.7	33.41	23.07	7.5	19.88
2.0	63.21	69.37	4.8	32.59	22.48	7.6	19.61
2.1	60.20	67.47	4.9	31.82	21.92	7.7	19.34
2.2	57.48	65.67	5.0	31.11	21.38	7.8	19.08
2.3	54.97	63.94	5.1	30.42	20.87	7.9	18.82
2.4	52.68	62.22	5.2	29.75	20.37	8.0	18.57
2.5	50.42	60.55	5.3	29.10	19.89	8.1	18.33
2.6	48.16	58.92	5.4	28.48	19.43	8.2	18.09
2.7	46.08	57.33	5.5	27.87	18.99	8.3	17.86
2.8	44.10	55.78	5.6	27.33		8.4	17.64
2.9	42.29	54.26	5.7	26.81		8.5	17.43
3.0	40.57	52.79	5.8	26.30		8.6	17.22
3.1	38.95	51.38	5.9	25.81		8.7	17.01
3.2	37.42	49.91	6.0	25.34		8.8	16.82
3.3	35.98	48.55	6.1	24.88		8.9	16.63
3.4	34.66	47.24	6.2	24.01		9.0	16.45
3.5	33.53	45.97	6.3				

## (b) 普通加熱機車(單脹機車):

$\frac{V}{mz}$	%	$\frac{V}{mz}$	%	$\frac{V}{mz}$	%	$\frac{V}{mz}$	%	$\frac{V}{mz}$	%
開駛	103.00	2.3	53.26	3.8	35.89	5.3	27.00	6.8	21.24
0.5	103.00	2.4	51.53	3.9	35.11	5.4	26.53	6.9	20.92
1.0	100.00	2.5	49.98	4.0	34.39	5.5	26.10	7.0	20.62
1.1	92.42	2.6	48.50	4.1	33.72	5.6	25.69	7.1	20.32
1.2	86.55	2.7	47.12	4.2	33.06	5.7	25.26	7.2	20.07
1.3	81.20	2.8	45.82	4.3	32.40	5.8	24.86	7.3	19.78
1.4	76.95	2.9	44.61	4.4	31.79	5.9	24.46	7.4	19.52
1.5	73.00	3.0	43.49	4.5	31.19	6.0	24.04	7.5	19.26
1.6	69.55	3.1	42.30	4.6	30.61	6.1	23.63	7.6	19.01
1.7	66.60	3.2	41.21	4.7	30.05	6.2	23.23	7.7	18.76
1.8	63.66	3.3	40.17	4.8	29.52	6.3	22.80	7.8	18.52
1.9	61.27	3.4	39.22	4.9	29.00	6.4	22.56	7.9	18.28
2.0	58.96	3.5	38.30	5.0	28.48	6.5	22.21	8.0	18.06
2.1	56.94	3.6	37.42	5.1	27.96	6.6	21.89		
2.2	55.12	3.7	36.61	5.2	27.47	6.7	21.57		

例 4. 設有 2-8-0 飽和機車; 人工供煤, 單脹; 其總重  $L+T=529,000$  磅; 主軸承重  $L_a=176,200$  磅; 燒熱面積  $H=3200$  平方呎; 汽鍋汽壓  $p_k=200$  磅/平方吋; 用煤之含熱量為 11,011 英熱單位/磅; 汽缸  $d=22$  吋;  $l=24$  吋; 主輪  $D=56$  吋. 試求其速度為  $V=22$  哩/小時時, 挽鉤挽力若干?(假設行駛於平直路線上.)

解 人工供煤, 每小時以 4000 磅計算.

燒熱面每平方呎每小時，燃煤量為

$$\frac{4000}{3200} = 1.25 \text{ 磅.}$$

查表 54, 知含熱量為 11,011 英熱單位之煤, 燒熱面每平方呎每小時需煤量為 1.25 磅時, 每磅煤可產汽 4.92 磅.

汽鍋每分鐘產汽量為

$$4.92 \times \frac{4000}{60} = 328 \text{ 磅.}$$

查表 55, 知汽鍋汽壓為 200 磅, 汽缸直徑為 22 吋時, 活塞移動一呎需汽 1.245 磅.

速度  $m$  等於每分鐘

$$\frac{328}{1.245 \times 24/12} = 152 \text{ 活塞動程.}$$

機車有汽缸二個, 故 152 活塞動程之速度等於  $\frac{152}{2 \times 2} = 38$  主輪

旋轉次數; 即謂  $m = 38$  旋轉/分鐘.

但知  $V$  哩/小時 =  $\frac{(\text{主輪每分鐘旋轉次數}) \times (\text{主輪直徑吋數})}{336.13}$ ,

故此速度

$$m = \frac{38 \times 56}{336.13} = 6.3 \text{ 哩/小時.}$$

行駛速度  $V = 22$  適當  $V = 4.0m$ .

查表 56, 知  $\frac{V}{m} = 4.0$  時, 每汽缸馬力小時需汽 23.87 磅.

汽鍋每小時產汽量  $28 \times 60$  磅.

故汽鍋所產汽缸馬力爲(在  $V=22$  哩/小時時)

$$\frac{328 \times 60}{23.87} = 822 \text{ 汽缸馬力 (I. H. P.)}$$

但 汽缸挽力 =  $\frac{375 \times (\text{I. H. P.})}{V}$  磅,

故汽缸挽力(在  $V=22$  哩/小時時)

$$= \frac{375 \times 822}{22} = 14,000 \text{ 磅.}$$

機車與煤水車綜合阻力爲

$$\begin{aligned} & 18.7L_a + 80\Delta + 2.6(L_t + T) + 20\Delta' + 0.25V^2 \\ &= 18.7 \times \frac{176,000}{2000} + 80 \times 4 + 2.6 \left( \frac{329,000 - 176,000}{2000} \right) \\ & \quad + 20 \times 5 + 0.25 \times 22^2 \\ &= 2385 \text{ 磅 (煤水車以四軸計).} \end{aligned}$$

由此得挽鉤挽力(在速度  $V=22$  哩/小時時)爲

$$14,000 - 2385 = 11,615 \text{ 磅.}$$

有一事,爲吾人所當注意者,即英制之馬力( $HP$ ),與公制之馬力(如德國所謂  $P. S.$ )略不相同,其關係爲:

$$1 \text{ HP} = 1.0139 \text{ P. S.}$$

§79. 推求機車挽力之公式 機車挽力之大小,在路線設計中,爲一先決問題;故機車宜受挽力實驗,俾得各種詳確之數據,以爲挽力計算之根據.如無實驗數據,則須用理論公式,以推求之.機車開駛後,速度漸增,挽力漸減;直至維持 100 呎 截汽點之最大速度  $m$  後,挽力降下漸速.此速度  $m$ ,以英制論,約在 7—10 哩/小時之間.蓋因

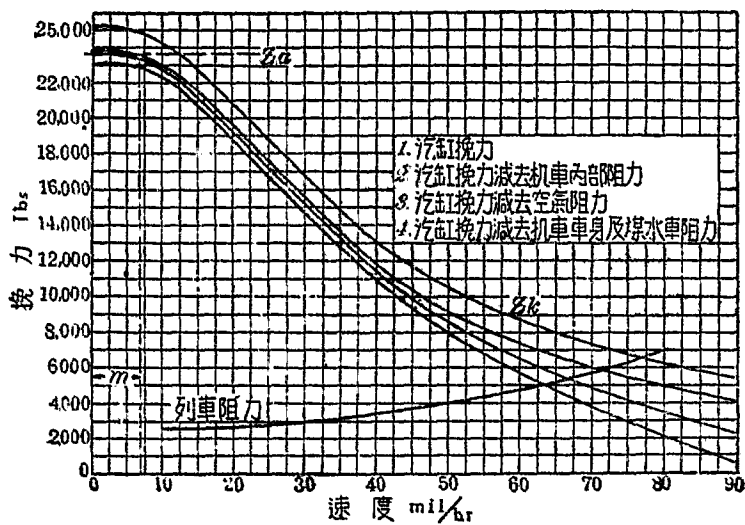
速度大於  $V=7-10$  哩/小時以後，活塞每分鐘往返於汽缸中之次數太多，汽鍋產汽量已不足用，故其挽力降低(以其汽壓  $p_k$  降低故也)。

在英制中，挽力與馬力關係如下：

$$\text{挽力(磅)} = \frac{HP \times 33,000 \times 60}{V \times 1,280} = \frac{375 \times HP}{V}$$

式中  $HP$  = 機車馬力數，  
 $V$  = 速度，以哩/小時計。

由此式，可見在一固定機車馬力之下，挽力與速度適成反比。此式如以座標示之，則成等腰雙曲線。圖 50 示美國大西洋式機車( $L=96.5$  呎， $L_a=54$  噸， $d=21.5$  吋， $l=26$  吋， $p_k=180$  磅， $D=79$  吋)，挽力



除去阻力之實際數值。最大馬力普通約在活塞進退速度每分鐘 700 呎之間。挽力可以速度推算之如下：

$$Z_i = d^2 p_k \frac{l}{D} \left( 0.95 - \frac{392V}{11,000D} \right) \text{磅},$$

式中  $l$  = 活塞動程(吋),  
 $D$  = 主輪直徑(吋),  
 $p_k$  = 汽鍋汽壓(磅/平方吋),  
 $V$  = 速度(哩/小時),  
 $d$  = 汽缸直徑(吋).

如在挽力圖之下部，畫一行車阻力曲線圖，可得機車行駛之最大速度；換言之，行駛加速可達最大數值，此最大數值可從挽力曲線與阻力曲線之交點處求之。此點以前，所有縱座標之兩曲線差數，即為機車所有足以增加速度之挽力。任何速度下之挽力，可用下式計算得之(英制)：

$$Z_i = \frac{0.85 p_k d^2 l}{D} \gamma,$$

式中  $\gamma$  為速度因數；此因數隨速度之增加而降低，且隨機車特性及式樣而變更。四汽缸複脹機車關駛挽力，按照包爾德文公式為

$$Z_i = \frac{P_k l}{D} (0.66 d_h^2 + 0.25 d_n^2) \text{磅}.$$

此式中之挽力，在直接注入汽鍋蒸汽於低壓汽缸時，可增大 15%。

§80. 機車挽力與經濟 機車挽力愈大，愈合經濟之原則。近年來歐美鐵路，均積極擴大機車之挽力。關於機車運用之經濟，當於



另節中詳述之，茲姑略陳其梗概。機車挽力增大，則固定運務所需要之機車次數減少，因而行車營業費降低。固定數量運務之運輸營業費，約可用下列之概括公式求之：

$$O. E. = a + cM_0^x,$$

式中

$a$  = 常數，

$M_0$  = 運輸里程，

$x$  = 冪數。

機車費用，大機車較小機車超出不多；對於路基及建築物之消磨影響，亦無大差異。故列車次數降低，則此運輸費與營業費之減低，甚為顯著。茲就美國鐵路，比較 Mikado(2-8-2)與 Consolidation(2-8-0)兩種機車運用之經濟，列表於次；該表中 Mikado 之挽鉤挽力為 60,000 磅，而 Consolidation 則只有 41,000 磅：

表 58.

鐵 路	D.L.&W.	Erie	C. & A.	B.R. & P.
列車載重增加	14.0%	27.0%	27.4%	17.7%
每次用煤減少	20.0%	12.5%	17.8%	6.7%
每次用水減少	17.0%	3.0%	16.1%	7.0%
每噸用煤減少	32.4%	30.9%	35.5%	20.2%
每噸用水減少	27.2%	24.7%	34.2%	22.2%

§ 81. 機車挽力之綜合極限 由上所述，可見機車挽力受有三種限制，亦可稱為三種極限，即(a)黏着挽力，(b)汽缸挽力，及(c)汽鍋挽力是也。三項之中，如有一項低於其他二項，則挽力只能遷就此較低一項之數值；蓋較高兩種之挽力，實際上並無充分發揮其性能

之餘地故也。故機車設計，首宜注意於三項之平衡發展，而同時同等增大之。茲根據此三種局部極限，更進一步而推求一種綜合極限。

機車黏着挽力公式為

$$Z_a = 1000\psi L_a,$$

已見前述。此挽力之大小，隨 $\psi$ 及 $L_a$ 而變。 $L_a$ 為機車黏着重量，機車式樣若係固定，其數值亦固定不移；黏着係數 $\psi$ 之數值，則隨輪軌間摩擦情狀而異。黏着挽力，不與速度有關係，故在挽力速度圖上（圖 51），其代表線與 $V$ -軸成平行，如線 $a-a$ 是。

機車挽力之汽缸極限公式為

$$Z_i = \eta_m \frac{n d^3 l}{2D} P_i.$$

此汽缸極限之數值，與機車固定尺寸，如 $n, d, l, D$ 等有關係，同

時又因汽缸平均工作汽壓 $p_i$ 而消長，並與汽機效能係數 $\eta_m$ 有關係。係數 $\eta_m$ 之大小，隨車行速度，汽門開放之程度及截汽點之百分率而轉移。汽缸挽力極限之最大數值，當在汽閥完全開放，同時截汽點之百分率盡量提高時而發生；在美國，最大截汽點普通以 0.60—0.80 計算；在歐洲則以 0.50—0.70 計算。在固定截汽點與汽閥開放程度之下，汽缸挽力之極限則完全視行車速度高低而定；此最高汽缸挽

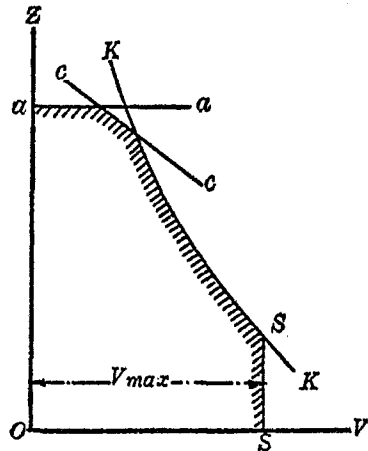


圖 51.

力與速度之關係，可用斜度頗大之曲線，在  $V-Z$  座標圖上表示之，如圖 51 之曲線  $c-c$  是，此曲線頗近於直線。

至於挽力之汽鍋極限，吾人曾經述之於前，此極限之公式為

$$Z_k = \frac{270 u_m H}{\frac{U_m}{N_g} V}$$

此式曾見於前 §77 中，式中燒熱面面積  $H$ ，在固定機車式樣下，其大小為固定不變；速度  $V$  則為變動不定之數值，若  $\frac{U_m}{N_g}$  數值亦係固定時，則此汽鍋挽力只視速度  $V$  為轉移（因為  $u_m$  可視為常數），此汽鍋挽力極限與速度關係，如在  $V-Z$  座標圖上表示之，則成變曲線（亦有視作其他曲線者），有如圖 51 中之  $b-b$  線。

如在上述三種挽力極限 ( $a, i, b$ ) 以外，再加以機車構造之速度極限（此當為與  $Z$ -軸平行之直線，如圖 51 之  $s-s$ ），則  $V-Z$  座標圖上，有一面積為兩直線  $a-a$  與  $s-s$ ，並兩曲線  $c-c$  與  $b-b$ ，及  $Z$ -軸與  $V$ -軸所包圍，此面積範圍，即顯示機車挽力之輪廓，而以速度大小為其增減變化之基礎；在此範圍以外，則非機車挽力所能達到者也。

此種  $V-Z$  座標圖，最好由實驗推求得之；如機車未經挽力實驗，則此  $V-Z$  座標圖，決難臻於精確；蓋因挽力極限與速度之相互關係中，尚有許多因素必須先按照汽機汽鍋之機構特點而行決定，然後始能決定挽力與速度之關係也。然此若干因素，又皆變化不居，而必須以若干現象為其解決之前提。然則欲為營業鐵路作詳確之挽力計算，除將所用機車作實驗外，別無確定此  $V-Z$  關係線（如圖 50 所示者然）之法，如為新路設計，而作挽力計算時，雖無機車可供實驗，但

可利用適合於實際情形與需要之計算公式而推定之，或採用其他已成鐵路上之相似機車已有之實驗數值亦可。在我國營業鐵路極宜注意此項實驗工作，以求機車挽力之合理運用也。

§ 82. 輔助機車挽力 倘因機車挽力不足，須用雙機車牽引 (double working) 或加機車推助 (pushing)，則此兩機車 (或兩個以上機車) 之聯合挽力，每不等於兩者 (或兩者以上) 之總和。如就各機車間聯絡與動作之不易完全一致方面觀之，則輔助機車之挽力，不能充分利用，為必然之現象。但就另一面言之，輔助機車，無長途工作之疲勞，只聚精會神，待用於短時間中；故若其機構與原有列車機車完全相同時，則其工作能力 (即挽力) 必較原機車實驗挽力為高也。美國恆將此超高數值，設為 10%。但歐洲各路，多認為輔助機車挽力無充分發揮之可能，此固與輔助機車與原有機車間聯絡設備與司機判斷力及技巧皆有關係，故其挽力發揮之程度亦非固定不變者。普通輔助機車挽力發揮係數 (coefficient of utilization)，可視作 80—90%；亦有將兩個機車挽力相加，乘以 90%，而作為綜合挽力者，但此不可一概而論，應視機車工作狀況與機車間聯絡之情形如何而定。

## 第二十章 列車軔力

§ 83. 軔力概說 列車行駛時，恆因技術需要，必須減低其速度；如沿陡坡下駛，為避免危險起見，速度不宜太高；又如車站中為應付其他需要起見而停車，皆須有一種工作，以抵消列車之動能。

普通皆在列車中設置人工阻力機械，以備於必要時得加外力於車輪上，使與輪箍發生摩擦，以達到減速或停車之目的。甚至有將汽機挽力向相反方向鼓動，俾達此同一之目的者。前者即用一種機械在輪周上施用外力以增加其阻力，此謂軛機軛力 (brake power)；後者則倒灌蒸汽，以減低其速度，此謂倒汽 (counter steam) 軛力。兩者相合，則稱綜合軛力。

§84. 軛機軛力 車輪上受到軛力，或輪周上受到軛掌 (brake block) 之壓迫時 (圖 52)，在軛掌與輪箍接觸之點  $K$  處，發生一種摩

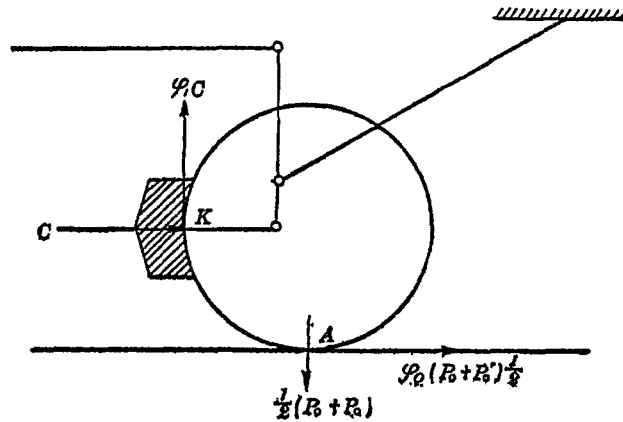


圖 52.

阻力，其值等於摩擦係數  $\varphi_1$ ，乘以軛掌壓力  $C$  (brake pressure)，即  $\varphi_1 C$ ；因此，輪軌間 ( $A$  點) 摩阻力  $\frac{(\varphi_0 + \varphi'_0)}{2} \varphi$ ，得軛機軛力之補助，即可減低速度或停止行駛。 $K$  點處軛掌與輪周間之摩阻力，隨軛掌壓力  $C$  而增大。但此摩阻力之增大亦有一定極限，即最大不能達到

$K$  點處軛掌與輪周間相對速度為零時之數值；蓋一達此點，則車輪即停止旋轉，同時  $A$  點處乃成滑動，此時軛力將等於輪軌間滑動摩阻力  $\frac{\varphi(p_0+p'_0)}{2}$ 。此滑動摩阻力最大數值之到臨，不在輪軌滑動開始之後，而在使軛後車輪旋轉速度將等而未等於零之時。在此剎那間，輪軌摩阻係數達到最高數值，而為  $\varphi_0$ （見前 §76），其摩阻力達到最高數值而為  $\frac{\varphi_0(p_0+p'_0)}{2}$ ；蓋  $\varphi = \frac{\varphi_0}{1+0.02V}$ ，在  $V=0$  時， $\varphi = \varphi_0$  為最大數值也。然則欲使軛掌與輪周間相對速度不完全等於零（但極近於零），即謂欲使軛機充分發揮其效用，必須有下列條件成立：

$$\varphi_1 C < \varphi_0 (p_0 + p'_0) \frac{1}{2};$$

換言之，軛掌壓力  $C$  必須合於下列條件：

$$C < \frac{\varphi_0}{\varphi_1} (p_0 + p'_0) \frac{1}{2}.$$

惟有在此條件之下，軛力方為最大。若使  $\varphi_1 C = \frac{\varphi_0(p_0+p'_0)}{2}$ ，則摩阻力反小，且車輪滑行軌上，兩者消磨損失太大，不合經濟原則。

嚴格言之，欲得摩阻力之最大數值，必須使軛掌軛力  $\varphi_1 C$  與車輪承重行車阻力之和，小於輪軌間摩阻力  $\frac{\varphi_0(p_0+p'_0)}{2}$ ；所謂輪重阻力之大小，當然全視路線性質而定，即  $w = w_0 + w_r + w_s$ 。故上列條件可寫作下式：

$$\varphi_1 C + \frac{(p_0+p'_0)w}{2 \times 1000} < \varphi_0 (p_0 + p'_0) \frac{1}{2}.$$

惟在極低速度時， $\frac{(p_0+p'_0)w}{2 \times 1000}$  與  $\frac{\varphi_0(p_0+p'_0)}{2}$  相較，祇約當其 1%，

殊微小至不足道。故在普通計算中，儘可略去不計。

比數  $\frac{C}{(p_0+p'_0) \frac{1}{2}} = \delta$ ，稱為軛掌壓力係數 (brake value)。軛掌

對於車輪之壓力，等於每輪對於鋼軌之壓力，乘以軛掌壓力係數，即

$$C = \frac{(p_0+p'_0)}{2} \delta.$$

然則軛掌壓力之計算，即變為壓力係數  $\delta$  之計算矣。

軛掌壓力係數  $\delta$  等於  $\frac{\varphi_0}{\varphi_1}$ ，即言其數值係隨車輪旋轉速度極近於零時之輪軌間摩擦係數  $\varphi_0$ ，與軛掌輪周間摩擦係數  $\varphi_1$  而變化。

上述兩種係數中(即  $\varphi_0$  與  $\varphi_1$ )，第一種之最大數值，約為  $\varphi_0 = 0.16$ ，此為鋼與鋼之摩擦係數，係在車輪旋轉速度近於零時所發生者；至於第二種，則為生鐵與鋼之摩擦係數，其數值自然視兩者摩擦速度，即車行速度  $V$  之大小而定。有幾種實驗公式，用以推求第二種數值者；如 1878--79 年間，英國高爾吞根據實驗結果製有公式數種，其中有一部分適用於乾爽天氣，另一部分則適用於潮溼天氣或寒冷天氣。次列公式，皆從高爾吞公式推演而得者。

(a) 在優良天氣情形之下：

佛蘭克

$$\varphi_1 = 0.29e^{-\frac{V}{w}},$$

式中

$e =$  自然對數之基數  $= 2.71828 \dots$ 。

夫利格涅 (Fliegner)

$$\varphi_1 = \frac{14.8}{45 + V} = \frac{0.33}{1 + 0.022V}$$

杜安 (Douan)

$$\varphi_1 = 0.27 - 0.002V$$

上列三式，在  $V=0$  時，其  $\varphi_1$  之數值分別為 0.29, 0.33 及 0.27.

(b) 在惡劣天氣情形之下：

德國工程師會

$$\varphi_1 = 0.20e^{-\frac{V}{90}}$$

維徹 (Wiechert)

$$\varphi_1 = 0.25 \times \frac{1 + 0.0112V}{1 + 0.06V}$$

或

$$\varphi_1 = \frac{12,500}{50 + V} \text{ 公斤/公噸。}$$

培特羅夫

$$\varphi_1 = \frac{0.2}{1 + 0.0472V} + 0.104$$

羅謨諾薩夫

$$\varphi_1 = 0.20 - 0.0015V \text{ (適用於 } V \leq 85 \text{ 公里/小時)}$$

上列四式，在  $V=0$  時，其  $\varphi_1$  之數值分別為 0.20, 0.25, 0.304 及 0.20.

在選線工作中，計算挽力，可應用惡劣天氣情形下之德國工程師會公式，較為安全。羅謨諾薩夫公式則適用於  $V \leq 85$  公里/小時之速度。



車輪自受軛掌壓迫之始，直至加足軛壓之終，在此一段時間中，軛掌壓力係數變更不定；即使因此時間短促，假定其為固定不變者，然自開始使軛以至停止使軛之時間中，軛掌壓力係數  $\delta$  為因速度劇烈變化而變化，此種事實，萬不可忽視之。故吾人計算挽力或軛力，必採用此係數之合理平均數值  $\delta_m$ 。平均軛掌壓力係數，依軛掌與輪周間之平均摩阻係數  $\varphi_1^m$  為轉移；蓋因  $\delta_m = \frac{\varphi_0}{\varphi_1^m}$  也。然摩阻係數，又隨速度而變化；欲求其平均數值，必適合次述條件始可。此條件即為：在使軛過程中，以平均摩阻係數求得之摩阻力之功，恰等於將使軛過程分作無數短小段落，而以與每個短小段落中之實際速度（當然此亦為一平均數值）相當之摩阻係數，求得摩阻力之功之總和為準則。

設在橫座標上，畫出若干段落，以代表列車速度自  $V_0=0$  至  $V_1$  = 軛掌開始工作時之速度中間各種速度；在縱座標上，畫出與各種速度相應之軛掌輪周間之摩阻係數  $\varphi_1$  (圖 53)。則曲線  $a-a$  與縱橫座標軸，並速度  $V_1$  之縱座標線間所包圍之面積，等於。

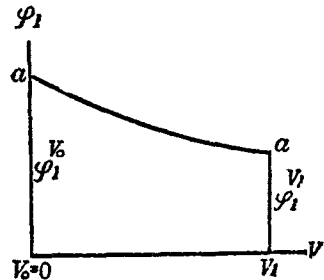


圖 53.

$$\int_0^{V_1} \varphi_1 dV,$$

而在使軛時間中，平均摩阻係數將為

$$\varphi_1^m = \frac{1}{V_1} \int_0^{V_1} \varphi_1 dV.$$

如採用德國工程師會摩阻係數公式，則為

$$\begin{aligned} \varphi_1^m &= \frac{1}{V_1} \int_0^{V_1} (0.20e^{-\frac{V}{90}}) dV \\ &= \frac{0.20}{V_1} \int_0^{V_1} e^{-\frac{V}{90}} \cdot dV = \frac{0.20}{V_1} \times 90 \left(1 - e^{-\frac{V_1}{90}}\right). \end{aligned}$$

更將 $(e^{-\frac{V_1}{90}})$ 分為三項，可得：

$$e^{-\frac{V_1}{90}} = 1 - \frac{V_1}{90} + \frac{V_1^2}{90^2 \times 2} + \dots,$$

而得

$$\begin{aligned} \varphi_1^m &= \frac{0.20}{V_1} \times 90 \left(1 - 1 + \frac{V_1}{90} - \frac{V_1^2}{90^2 \times 2}\right) \\ &= \frac{0.20}{V_1} \left(V_1 - \frac{V_1^2}{180}\right) = \frac{0.20}{180} (180 - V_1) \\ &= 0.0011(180 - V_1). \end{aligned}$$

如採用羅謨諾薩夫之摩阻係數公式，則

$$\begin{aligned} \varphi_1^m &= \frac{1}{V_1} \int_0^{V_1} (0.20 - 0.0015V) dV \\ &= \frac{1}{V_1} \left[ \int_0^{V_1} 0.20 dV - \int_0^{V_1} 0.0015V dV \right] \\ &= \frac{1}{V_1} \left[ 0.20V_1 - 0.0015 \frac{V_1^2}{2} \right] = 0.20 - 0.00075V_1. \end{aligned}$$

如使軔前速度  $V_1 < 85$  公里/小時，則可採用德國工程師會與羅謨諾  
薩夫兩公式之平均公式，而為

$$\begin{aligned}\varphi_1^m &= \frac{1}{2} [0.0011(180 - V_1) + 0.20 - 0.00075V_1] \\ &= 0.20 - 0.0009V_1.\end{aligned}$$

軔掌壓力係數之平均數值則為

$$\delta_m = \frac{\varphi_0}{\varphi_1^m} = \frac{0.16}{0.20 - 0.0009V_1} = \frac{100}{125 - 0.56V_1}.$$

如  $V_1 = 45$  公里/小時，則此式之  $\delta_m = 1$ ；意即欲使軔掌輪周間相對速度，在使軔時不等於零，而極近於零，則軔掌壓力  $C$  之數值，應合於下述條件：‘如使軔前速度  $V_1 < 45$  公里/小時，則  $C < (p_0 + p'_0) \frac{1}{2}$ ；若使軔前速度  $V_1 > 45$  公里/小時，則  $C > (p_0 + p'_0) \frac{1}{2}$ ’。

實際軔力計算中，軔掌壓力係數  $\delta$  對於手動軔機(hand brake)與連動軔機(continuous brake)各有不同；如

手動軔機之機車	$\delta = 0.35 - 0.50$
連動軔機之機車	$\delta = 0.50 - 0.70$
手動軔機之煤水車	$\delta = 0.40 - 1.20$
連動軔機之煤水車	$\delta = 0.60 - 1.40$
連動軔機之客車車輛	$\delta = 0.75 - 0.90$
連動軔機之貨車車輛	$\delta = 0.90 - 1.00$
手動軔機之貨車車輛	$\delta = 0.50 - 0.85$
手動軔機之客車車輛	$\delta = 0.35 - 0.50$

由上所述，知車輪之輓力乃自輓掌輪周間摩擦阻力而發生。其公式可寫為

$$\varphi_1^m C = \varphi_1^m \delta \left( p_0 + \frac{p'_0}{2} \right),$$

如假定  $\varphi_1^m \Sigma_L \delta \left( \frac{p_0 + p'_0}{2} \right) =$  機車輓掌輓力，

$\varphi_1^m \Sigma_T \delta \left( \frac{p_0 + p'_0}{2} \right) =$  煤水車輓掌輓力，

$\varphi_1^m \Sigma_G \delta \left( \frac{p_0 + p'_0}{2} \right) =$  車輛輓掌輓力，

則列車綜合輓掌輓力為

$$B_1 = \varphi_1^m \left[ \Sigma_L \delta (p_0 + p'_0) \frac{1}{2} + \Sigma_T \delta (p_0 + p'_0) \frac{1}{2} + \Sigma_G \delta (p_0 + p'_0) \frac{1}{2} \right].$$

再以  $\nu$  代表列車某部輓掌輓力之總數與列車總重公斤數之比，此比數稱為輓力係數；且作下列各字母代替各算式：

$$\nu_L = \text{機車輓力係數} = \frac{\Sigma_L \delta (p_0 + p'_0) \frac{1}{2}}{1000(L+T+G)},$$

$$\nu_T = \text{煤水車輓力係數} = \frac{\Sigma_T \delta (p_0 + p'_0) \frac{1}{2}}{1000(L+T+G)},$$

$$\nu_G = \text{車輛輓力係數} = \frac{\Sigma_G \delta (p_0 + p'_0) \frac{1}{2}}{1000(L+T+G)},$$

則列車輓掌輓力為

$$B_1 = 1000(L+T+G)(v_L+v_T+v_G)\varphi_1^m$$

$$= 1000(L+T+G)v_1\varphi_1^m \text{ 公斤,}$$

式中  $v_1$  = 全列車之軋掌軋力係數。

列車每噸之軋掌軋力，稱為軋掌比軋；其公式如下：

$$b_1 = 1000v_1\varphi_1^m \text{ 公斤/公噸.}$$

§85. 倒汽軋力 輪周所受倒汽軋力之數值，亦如輪周挽力，與汽閥位置及傳力系統有密切關係；且亦受有三種極限之限制，即汽缸機構、汽鍋能力、以及黏着力是。使用倒汽時間，常甚短小，汽鍋產汽量當無不足之慮，故汽鍋能力極限不成問題。倒汽時之輪周軋力，亦若輪周挽力者然，可以下式表示之，此式與輪周挽力公式相似：

$$B_2^0 = \frac{\pi d^2 l}{2D} p_k \xi_2 \eta_2 M.$$

此處代字均同前，惟  $\xi_2$  及  $\eta_2$  為屬於倒汽情形下者，與  $\xi$  及  $\eta_m$  相對應。 $\xi_2 \eta_2$  約可計為 0.55—0.05  $m$ ，此處  $m$  為每秒輪轉次數，等於

$$m_0 = \frac{V(\text{公里/小時})}{11.3D(\text{公尺})}.$$

有時採用  $\xi_2 \eta_2 = 2.5\varphi_1^m$ ；故倒汽軋力可寫作：

$$B_2 = 2.5M\varphi_1^m.$$

此倒汽軋力，最好以所謂虛構軋掌壓力  $B_2/\varphi_1^m$  代替之；如以  $v_2$  代表此虛構軋掌壓力與列車重量  $1000(L+T+G)$  之比，且稱為列車倒汽軋力係數，則列車倒汽軋力為

$$B_2 = 1000(L+T+G)v_2\varphi_1^m \text{ 公斤.}$$

而列車重量每一公噸之倒汽軋力，即列車倒汽比軋，為

$$b_2 = 1000v_2\varphi_1^m \text{ 公斤/公噸。}$$

至於倒汽軛力所受黏着力之限制，其極限數值公式，亦與挽力相似，為

$$B_2 \approx 1000\psi_2 L_a \text{ 公斤，}$$

式中  $\psi_2$  = 倒汽黏着係數，其值約為  $\frac{1}{9} - \frac{1}{8}$ 。

§86. 列車綜合軛力 列車綜合軛力即軛掌軛力與倒汽軛力之總和，其值為

$$B = B_1 + B_2 = \varphi_1^m \left[ \sum_L \delta(p_0 + p'_0) \frac{1}{2} + \sum_T \delta(p_0 + p'_0) \frac{1}{2} + \sum_G \delta(p_0 + p'_0) \frac{1}{2} \right] + 2.5M\varphi_1^m$$

$$= 1000(L + T + G)(v_1 + v_2)\varphi_1^m = 1000(L + T + G)v\varphi_1^m \text{ 公斤，}$$

式中  $v = v_1 + v_2$

$$= \frac{\sum_L \delta(p_0 + p'_0) \frac{1}{2} + \sum_T \delta(p_0 + p'_0) \frac{1}{2} + \sum_G \delta(p_0 + p'_0) \frac{1}{2} + 2.5M}{1000(L + T + G)}$$

此稱為列車綜合軛力係數，等於列車各部軛掌軛力總數與倒汽軛力之和與列車總重之比。如以列車重量每公噸而論，則其綜合比軛當為

$$b = 1000v\varphi_1^m \text{ 公斤/公噸。}$$

以上所述，為列車軛力計算概要。倒汽軛力並非普遍使用；非在不得已情形之下，不可使用倒汽以作軛力，蓋因使用倒汽足以損毀轉動機構也。客列車中，普通皆裝以氣軛，倒汽不可使用；在裝手軛之貨列車中，尚可使用倒汽，然亦於不得已情形中之耳。

§87. 氣軔 實際停止列車進駛之力，並非輪周與軔掌間之摩擦；因此種摩擦只能發生列車內部阻力，而實際停止列車進行之阻力，確為輪周軌面間之摩擦阻力。車輪在軌上轉動前進時，軌與輪間發生靜摩擦；車輪如在軌上滑動前進，則軌輪間發生滑動摩擦。根據力學定理，吾人知滑動摩擦係數小於靜摩擦係數，故車輪轉動時較滑動時摩擦阻力為大。惟因轉動摩擦係數本身數值，與速度有關係，且速度愈大，此係數愈小；其最大極限當為  $V=0$  時，而其最大數值則不在  $V=0$ ，而在  $V$  極近於零時。蓋因  $V$  一等於零，則靜摩擦立即變為滑動摩擦也。此義已略述之於前，在計算軔力中不可忽略。

所有前述之軔掌軔力與夫倒汽軔力，皆以減小速度至近於零為目的。速度減落愈快，在行車上愈為經濟（時間經濟，設備及路面經濟等等）。氣軔之目的，即在提高使軔時之減速度。據美國鐵路統計，在貨列車中，氣軔減速度可達 0.7—0.8 公尺/小時/秒，而客列車中，此減速度可達 1.0—1.5 公尺/小時/秒。

氣軔之構造，可查閱專書（如 Wood: Principles of Locomotive Operation）；因其對於選線設計工程師非最重要者，故不詳敘。其原理大概為：車輛間通以連管，自機車直至尾車，不使間斷；機車蓄有壓氣，可放入管中；而在每輛車下，裝有三動汽閥，可於必要時將壓氣放入氣軔氣缸，而壓迫氣軔軔掌。每輛車下，尚裝有輔助壓氣箱，溝通氣管；如氣管偶然斷裂，機車給氣中止，則氣軔即可開始工作，以促停車，蓋氣缸中活塞時時在平衡狀態中，一遇機車給氣中斷，則平衡頓失，而氣軔開始工作矣。此種壓氣軔機，主要壓力，發自機車，入於導管，傳布於各車；惟其傳導需時嫌久，故近年來創有所謂電力

氣軔(electro-pneumatic brake), 列車各部軔掌可同時動作; 城市電動鐵路列車以及蒸汽機車列車之一部, 多採用之。此種電力氣軔, 在使用時, 自開始動作後五秒鐘內, 可達其最高軔力; 其他各種氣軔, 則需要十五秒鐘, 以完成此過程, 相差已達三倍矣。

## 第二十一章 機車機構特性之概示

§88. 機車工作情形之因素 如前所述, 機車工作情形, 隨若干因素而變化; 如機車挽力、行駛速度、截汽點、汽閥開放程度、活塞游滑一次所需汽量、汽缸馬力每個單位每小時所需汽量、汽鍋效率、產汽率、燃煤率等等, 皆足以限制機車工作, 同時亦為形成機車性能之要素也。此種要素之直接或間接運用, 對於鐵路營業及經濟各種問題之關於機力部分者, 極為重要, 對於計畫與築之新路, 此種因素, 亦甚重要; 但無實際實驗數字以資使用, 而僅能與已成鐵路統計數字作比較, 使假設之項目儘量合於實在情形, 俾機力計算切於實用。所借用實驗數字之機車, 最重要者為能使蒸汽膨脹狀態、蒸汽性質(加熱或飽和)、主軸數目、加熱器燒熱面積、黏着重量等等, 宜儘量使與實際擬定採用機車相同。

§89. 機車特性概示之基本原則 概示機車特性有下列幾個基本原則:

1. 借用實驗結果之機車, 與所擬採用之機車, 在活塞速度相等、截汽點  $\epsilon$  相等、汽閥開放程度  $\chi$  相等諸條件之下, 汽缸汽壓之變化亦宜相同; 即謂兩種汽機, 其平均汽缸壓力為



$$p_i = \xi p_k \text{ 氣壓/平方公分.}$$

式中  $\xi$  在固定條件之下為常數，稱為汽表係數； $p_k$  即汽鍋汽壓，以氣壓/平方公分計。

2. 兩汽機中，活塞游滑一次所需汽量，應用同法計算。假設有汽缸壓力圖（圖 54），其極端淨孔為  $k$  及  $\epsilon$ ，而截汽點為  $\epsilon$ ，而截汽時蒸汽比重為  $\gamma_a$ ，則此活塞游滑一次所需汽量為

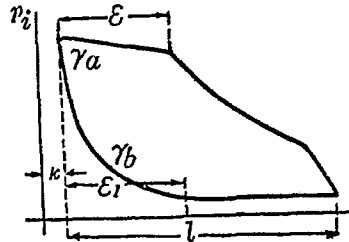


圖 54.

$$\frac{\pi d^2}{4} [l(k + \epsilon)] \cdot \gamma_a \text{ 公斤.}$$

但活塞滑返時，汽缸中尚留一部蒸汽，設截汽點為  $\epsilon_1$ ，蒸汽比重為  $\gamma_b$ （因汽壓不同，比重亦異），則此停留蒸汽重量為

$$\frac{\pi d^2}{4} [l(k + \epsilon_1)] \gamma_b \text{ 公斤.}$$

然則活塞游滑一次，實際所需汽量為

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot l [(k + \epsilon) \gamma_a - (k + \epsilon_1) \gamma_b] \text{ 公斤.}$$

兩個比較機車在工作情況相同時，則大括弧中一項之數值應兩者相同，而為常數；茲以  $\beta$  代之，則

$$\beta = (k + \epsilon) \gamma_a - (k + \epsilon_1) \gamma_b.$$

3. 欲求上列兩係數  $\xi$  及  $\beta$  與比較機車及實際工作情况相同或極相近，以上所作比較，皆以相等之活塞平均速度為出發點（蒸汽之

凝結、壓縮曲線等等，均與速度有關係)。

§90. 汽缸挽力  $Z_i$  與截汽點  $\epsilon$ ，汽閥開放程度  $\lambda$  及速度  $V$  間之關係 如以  $n$  代表機車汽缸數目，而且假設活寒面積因牽桿占據而減低為 0.97，則汽缸挽力為

$$Z_i = n \cdot \eta_m \cdot \frac{d^2}{2D} \cdot p_i \cdot l \cdot 0.97,$$

已如前論。此式可用於未受實驗之機車；若曾受實驗之機車汽缸挽力，則可寫作下式：

$$Z_i' = \frac{d_0^2}{2D_0} \cdot l_0 \cdot p_i' \cdot n \cdot \eta_m \cdot 0.97.$$

但知

$$p_i = \xi p_k,$$

且

$$p_i' = \xi p_k',$$

故

$$Z_i / Z_i' = (d^2 \cdot D_0 \cdot l \cdot p_k) / (d_0^2 D l_0 p_k'),$$

亦即

$$Z_i = Z_i' \frac{d^2 D_0 l p_k}{d_0^2 D l_0 p_k'}.$$

假設  $Z_i' = a_0 b_0$  為曾受實驗機車挽力，則未受實驗機車之相應挽力  $Z_i$  可用  $a_0 b_1$  線示之(圖 55)。但兩種機車挽力應以相同平均速度 ( $V$ ) 為標準；故若兩種機車之  $l$  及  $D$  不同，則相當於  $b_1$  之速度不為  $V_0$  而為  $V$ ，此  $V$  為一定比例計算所得者。但已知所謂活寒平均速度為

$$V_i = \frac{2l \cdot m'}{60} \quad (m' = \text{主輪每分鐘旋轉次數}),$$

或

$$V_i = 2 \cdot l \frac{1000V}{3600\pi D}.$$

故曾受實驗之機車，其活寒游滑平均速度則為

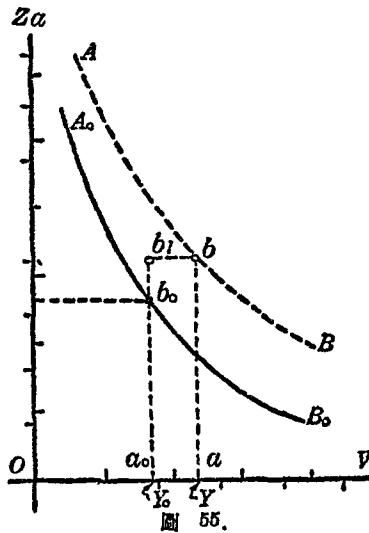
$$V_i' = 2 \cdot l_0 \frac{1000V_0}{3600\pi D_0} \quad (D \text{ 以公尺計}).$$

但活塞平均速度相等，故有下式：

$$iVD_0 = l_0V_0D,$$

或 
$$V = \frac{l_0D}{iD_0}V_0.$$

故  $b_1$  點應移至  $b$ ，使與相應速度  $V$  適合，如圖 55 中之  $Oa = V$ ，而  $b$  點乃屬於未受實驗之機車者也。如此類推，借用曲線  $A_0B_0$  之各點，可求出曲線  $AB$ ，以適用於未受實驗之機車，亦或即設計之機車。然每次利用公式以計算  $AB$  曲線之座標距，甚為繁複；為簡化計，可將兩式之  $Z$  比例尺調換，使兩者皆適合  $A_0B_0$  曲線，則為便多矣。



§91. 無活塞游滑一次需汽量  $u$  與  $\epsilon$  及  $V$  之關係曲線 由 §89，知活塞遊滑一次之需汽數量，如就曾受實驗之機車而言，應為

$$u_0 = \frac{\pi d_0^3}{4} l_0 \beta \text{ 公斤};$$

未受實驗機車為 
$$u = \frac{\pi d^3}{4} l \beta \text{ 公斤}.$$

兩式相較,得 
$$\frac{u}{u_0} = \frac{d^2}{d_0^2} \cdot \frac{l}{l_0}$$

或即 
$$u = u_0 \frac{d^2 l}{d_0^2 l_0}$$

如圖 56 所示  $AB$  曲線, 可用比例尺  $a_0 b_0 c_0 d_0$  以計量曾受實驗機車之  $u_0$ , 則另一面比例尺  $abc d$  可在同一  $AB$  曲線下求得未經實驗機車之  $u$ ; 惟兩種比例尺間應保持其固定必要關係耳 (比例尺關係可由  $u = u_0 \frac{d^2 l}{d_0^2 l_0}$  一式推定). 進一步言, 如擬將  $u$  之數值, 使合於兩機車活塞速度相同之條件, 更可將速度  $V$ - 軸比例尺調整, 而成  $Oa'b'c'd'$  以代  $Oa_0'b_0'c_0'd_0'$ .

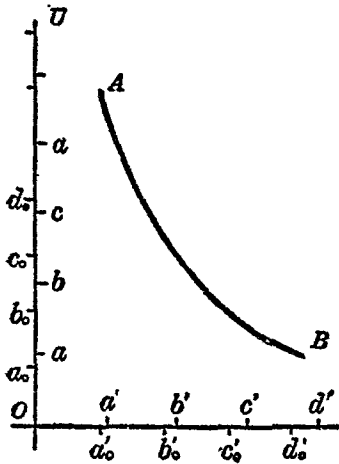


圖 56.

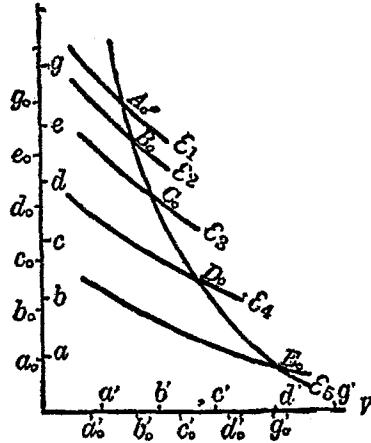


圖 57.

§102. 汽鍋挽力  $Z_k$  與  $\epsilon, V$  及汽鍋產汽率  $i$  之關係曲線 如圖

57, 曲線  $A_0B_0C_0D_0$ ……示曾受實驗機車之汽鍋挽力。然所謂機車汽鍋挽力者, 乃汽鍋產汽量適等於需汽量(即所產蒸汽恰足消耗之用, 其間有所謂臨界速度者); 速度增高則汽量不足, 因而膨脹, 汽壓降低。如以  $m''$  代表主輪每小時旋轉次數,  $H$  為燒熱面積,  $n$  為汽缸數目, 則每小時需汽量等於產汽量, 即

$$U_m = H \cdot i = 2m'' \cdot u \cdot n,$$

然  $m'' = \frac{V}{2} \frac{1000}{\pi D}$  ( $D$  以公尺計),

故  $U_m = \frac{1000V}{2\pi D} \cdot un = iH,$

即  $uV = \frac{2iH\pi D}{1000n}.$

此式為需汽量與產汽量相等之必需條件。圖 57 所示曲線  $A_0B_0C_0D_0$ ……可視作一種軌跡, 在線上所有與汽缸挽力曲線不同截汽點下相應各點, 皆與需汽量產汽量相等時之速度相對應。如欲推求未受實驗機車之相同曲線, 亦可照汽缸挽力之方法, 將原圖縱軸橫軸之比例尺, 按照 §90 所用公式改變之。即用  $Oabcd$  比例尺以替  $Oa_0b_0c_0d_0$ ; 用  $Oa'b'c'd'$  以替  $Oa_0'b_0'c_0'd_0'$ 。但兩種機車之  $D, d, l$  等項或不盡同, 因而  $u$  之數值亦異; 故曲線  $A_0B_0C_0D_0$ ……在新座標圖中, 不與原有曾受實驗機車之  $i_0$  相同。而於未受實驗之機車, 尚須推求  $i$  之數值, 以與曲線  $A_0B_0C_0D_0$ ……相符合。吾人已知

$$Hi = 2un \left[ \frac{1000V}{\pi D} \right].$$

根據 §89, 得知:

曾受實驗之機車

$$H_0 i_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} l_0 \beta 2 n_0 \frac{1000 V_0}{D_0 \pi};$$

未受實驗之機車

$$H i = \frac{\pi d^2}{4} l \beta 2 n \frac{1000 V}{\pi D}.$$

故知 
$$i = i_0 \times \frac{H_0}{H} \times \frac{d^2}{d_0^2} \times \frac{l}{l_0} \times \frac{n}{n_0} \times \frac{D_0}{D} \times \frac{V}{V_0}.$$

由此可知，可用公式  $u = u_0 \frac{d^2 l}{d_0^2 l_0}$  推求曲線  $A_0 B_0 C_0 D_0 \dots$  之  $i$  之新數值，俾適合於未受實驗機車利用  $A_0 B_0 C_0 D_0 \dots$  曲線之比例尺。

§93. 輪周挽力每馬力小時需汽量  $\left(\frac{U_m}{N_e}\right)$  與  $\epsilon$  及  $V$  之關係曲線

照前所述，汽鍋每小時需汽量可用下式推算：

$$U_m = H i = \frac{\pi d^2}{4} l \cdot \beta \cdot 2 \cdot n \frac{1000 V}{\pi D}.$$

但因 
$$p_i = \epsilon p_k,$$

且 
$$N_e = \frac{\pi d^2}{4} \epsilon p_k \cdot 0.97 \cdot 2 l \left[ \frac{1000 V}{\pi D} \right] n \cdot \frac{1}{75} \eta_m,$$

故 
$$\frac{U_m}{N_e} = \frac{75 \beta}{0.97 \eta_m \epsilon p_k}.$$

假設曾受實驗機車之相應算式為

$$\frac{U_m'}{N_e'} = \frac{75 \beta}{0.97 \eta_m' \epsilon p_k'}.$$

茲假定  $\xi, \eta_m, \beta$  均不變，則可得下式：

$$\frac{U'_m}{N'_o} : \frac{U_m}{N_o} = \frac{1}{P'_k} : \frac{1}{P_k},$$

亦即 
$$\frac{U_m}{N_o} = \frac{U'_m}{N'_o} \times \frac{P'_k}{P_k} \quad (a)$$

但此處兩種相較機車活塞平均速度假定相同，而後  $\xi$  之數值始得不變。活塞平均速度既然相等，則機車前進速度間之固定關係，可用下式示之（見圖 58）：

$$V = V_o \frac{l_o D}{l D_o} \quad (b)$$

如此則未受實驗機車之  $\frac{U_m}{N_o}$  曲線，亦可借用曾受實驗機車之曲線，如圖 58。不過  $\frac{U_m}{N_o}$  之比例尺須按本節(a)式調整之，而  $V$  之比例尺須按本節(b)式調整之。

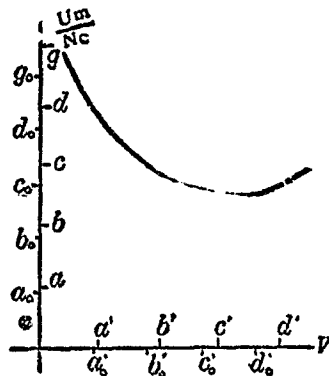


圖 58.

§93. 產汽率  $i$  與燃燒率  $j$  之關係曲線 汽鍋效率  $\eta_k$  為消耗燃料實際所得熱量與其理論熱量之比。茲以  $\lambda$  代表每公斤蒸汽中所含卡數，以  $C$  代表燃料放熱量（燃燒一小時所發出之熱量），亦以卡計；則可有下式：

$$\eta_k = \frac{H \cdot i \cdot \lambda}{j C A_r} \quad (a)$$

式中  $A_r$  = 爐鑄面積，以平方公尺計，

$j$  = 燃燒率，即每小時爐鑄每平方公尺燃料消耗公斤數。

但汽量消耗，可視與  $H$  成正比。假定其比值為  $\beta_1$ ，則消耗汽量為  $\beta_1 H$ 。同時亦可將蒸汽損失量，視作與燃料消耗成正比；假定此比值為  $\beta_2$ ，則蒸汽損失量為  $\beta_2 j A_r$ 。如此則有下式：

$$\eta_k = \frac{\beta_1 H \lambda}{\beta_1 H + \beta_2 j A_r},$$

或

$$\eta_k = \frac{1}{1 + \frac{j A_r}{H} \frac{\beta_2}{\beta_1}}. \quad (b)$$

此處  $\frac{\beta_2}{\beta_1}$  只依燃料種類而變化；如燃料品質相同，則式樣相同機車之  $\frac{\beta_2}{\beta_1}$  幾為常數。

上列(a)及(b)兩式相等，故

$$\frac{H \cdot i \cdot \lambda}{j C A_r} = \frac{1}{1 + \frac{j A_r}{H} \frac{\beta_2}{\beta_1}},$$

由此可得

$$i = \left[ \frac{j C A_r}{H + j A_r \frac{\beta_2}{\beta_1}} \right] \frac{1}{\lambda}. \quad (c)$$

如已有  $i$  及  $j$  之關係曲線，如圖 59 所示，此圖適用於曾受實驗之機車。

抽取任意之  $i_0$  及  $j_0$ ，根據(c)式以計出  $\frac{\beta_2}{\beta_1}$  之值；假定其他未受



實驗機車之  $\frac{\beta_2}{\beta_1}$  亦與此同，則利用(c)式可計得未受實驗機車之  $i$  值。

在不同的  $j$  數值之下，計算  $i$  之數值，亦可作出未受實驗機車中  $i$  與  $j$  之關係曲線，有如圖 59 中之虛線然。至於  $\frac{\beta_2}{\beta_1}$  數值，則隨機車汽缸數目而變化，蓋隨輪轉一周間汽缸廢汽次數而變也。

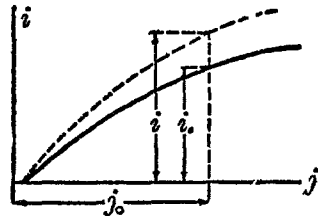


圖 59.

§ 95. 汽鍋效率  $\eta_k$  與燃燒率  $j$  之關係曲線 利用 § 94 中(a)式，可將兩種機車汽鍋效率相比，而得下式：

$$\frac{\eta_k}{\eta'_k} = \frac{H \cdot i \cdot \lambda}{j A_r G} : \frac{H_0 i_0 \lambda_0}{j A_{r0} G}$$

此處  $j$  及  $G$  相同，亦即

$$\eta_k = \eta'_k \frac{H \cdot i \cdot \lambda \cdot A_{r0}}{H_0 i_0 \lambda_0 A_r}$$

而  $i$  及  $i_0$  之數值，則宜用前節所論公式推求之。

## 第五編 列車運動之研究

### 第二十二章 列車運動公式

§96. 列車運動微分公式 列車挽力計算問題中，以列車運動微分公式占重要地位；假設有列車一組，如圖 60 所示，受有下列各

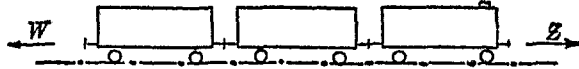


圖 60.

種外力，而支持於運動狀態之平衡中：

1. 施於一端之挽力  $Z$ ，有牽引列車前去之傾向，其單位以公斤計；
2. 施於另一端之阻力  $W$ ，與  $Z$  方向相反，有阻止列車隨  $Z$  力前去之趨勢，其單位亦以公斤計；
3. 車輛間緩衝盤之反應力；
4. 輪箍與軌面間之相互反應力。

緩衝盤間反應力彼此相抵消，故其微小工作等於零。輪箍與軌面間相互反應力，因發生於車輪旋轉之瞬時中心點上，其微小工作亦等於零。其餘兩種力之微小工作則為： $(Z-W)ds$ ，式中  $ds$  = 列車重心向挽力  $Z$  方向中所完成之微小距離。此微小工作  $(Z-W)ds$ ，亦可用

動能代之。假設

$m_1$  = 每個車輛車身之質量(公斤),

$m_2$  = 每個車軸之質量(公斤),

$V$  = 列車進駛速度(公里/小時),

$\omega$  = 車輪旋轉之角速度(徑/小時),

$I$  = 每付車軸極點系轉動慣量。

則每個車輛車身動能為  $\frac{m_1 V^2}{2}$ , 而每個車軸(兩輪)動能為

$$\frac{m_2 V^2}{2} + \frac{I \omega^2}{2};$$

蓋車輪除去前進運動外, 尚有旋轉運動, 而須加以因角速度而發生之動能  $\frac{I \omega^2}{2}$  也。如此則每個車輛全部動能當為

$$\frac{m_1 V^2}{2} + \Sigma \left[ \frac{m_2 V^2}{2} + \frac{I \omega^2}{2} \right],$$

式中  $\Sigma$  為將每個車輛所有車軸綜合計算其動能之意。然則列車全部動能應為

$$\Sigma \left[ \frac{m_1 V^2}{2} + \Sigma \left( \frac{m_2 V^2}{2} + \frac{I \omega^2}{2} \right) \right],$$

或即  $\frac{V^2}{2} [\Sigma m_1 + \Sigma m_2] + \Sigma \frac{I \omega^2}{2}$ 。

但因  $\Sigma m_1 + \Sigma m_2$  為列車全部之質量, 可以  $M$  代之。且因  $V = R_0 \omega$  ( $R_0$  為車輪滾動所成圓弧之半徑), 故上列動能可寫為

$$\frac{M V^2}{2} + \Sigma \frac{I V^2}{2 R_0^2} = \frac{V^2}{2} \left[ M + \Sigma \frac{I}{R_0^2} \right].$$

將上式微分之，而成  $V dV \left[ M + \Sigma \frac{I}{R_0^2} \right]$ 。列車既在運動平衡中，下列兩種微小之功應相等，即

$$V dV \left[ M + \Sigma \frac{I}{R_0^2} \right] = (Z - W) ds;$$

因此可得 
$$\frac{ds}{dt} dV = \frac{(Z - W) ds}{M + \Sigma \frac{I}{R_0^2}},$$

或即 
$$\frac{dV}{dt} = \frac{Z - W}{M + \Sigma \frac{I}{R_0^2}}.$$

此式中之  $\Sigma \frac{I}{R_0^2}$  一項，為機車、煤水車及車輛相似算式之和，即

$$\Sigma \frac{I}{R_0^2} = \Sigma \left[ \frac{I}{R_0^2} \right]_L + \Sigma \left[ \frac{I}{R_0^2} \right]_T + \Sigma \left[ \frac{I}{R_0^2} \right]_G$$

此三項之數值，因機車、煤水車及車輛式樣與種類而分別，故計算不難；計算結果，恆按類分別列入表中，以備使用。故此種數值，普通手冊中皆有記載，用時可一查而得。今假設  $\Sigma \frac{I}{R_0^2}$  為列車質量之分數，

如 
$$\Sigma \frac{I}{R_0^2} = \gamma M,$$

式中 
$$\gamma = \frac{\Sigma \left[ \frac{I}{R_0^2} \right]_L + \Sigma \left[ \frac{I}{R_0^2} \right]_T + \Sigma \left[ \frac{I}{R_0^2} \right]_G}{M},$$

或即 
$$\gamma = \frac{\Sigma \left[ \frac{I}{R_0^2} \right]_L + \Sigma \left[ \frac{I}{R_0^2} \right]_T + \Sigma \left[ \frac{I}{R_0^2} \right]_G}{(L + T + G) 1000} \cdot g.$$

此  $\gamma$  數值，頗易於計算；因此，上列微分公式可寫為

$$\frac{dV}{dt} = \frac{Z-W}{M+\gamma M} = \frac{Z-W}{M(1+\gamma)},$$

或即

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \frac{Z-W}{(L+T+G)1000(1+\gamma)/g} \\ &= \frac{g}{1000(1+\gamma)} \times \frac{Z-W}{L+T+G}. \end{aligned}$$

再設

$$\frac{g}{1000(1+\gamma)} = \zeta,$$

則得

$$\frac{dV}{dt} = \zeta(z-w).$$

此處  $z$  為比挽力，等於  $\frac{Z}{L+T+G}$ ，以公斤/公噸計。此即所謂列車運

動微分公式也。此式中係數  $\zeta$  因機車、煤水車及車輛式樣與種類而變化，普通其值約如下：

客運列車	$\zeta = 122$
貨運列車(滿載)	$\zeta = 124$
貨運列車(空車)	$\zeta = 114$

在選線設計中，可用其平均值  $\zeta = 120$ 。

例如列車一組，機車一部，牽引煤水車一輛，又四軸客車十輛，查表而得(或計算而得)：

$$g \left[ \sum \frac{I}{R_0^2} \right]_L = 4219,$$

$$g \left[ \sum \frac{I}{R_0^2} \right]_T = 1904,$$

$$g \left[ \sum \frac{I}{R_0^2} \right]_G = 16,800.$$

且  $L + T + G = 520$  公噸,

則 
$$\gamma = \frac{4219 + 1904 + 16,800}{520 \times 1000} = 0.0442.$$

而 
$$\zeta = \left[ 9.80 \times \frac{3600^2}{1000} \right] \frac{1}{1000(1 + 0.0442)} = 121.5.$$

( $g = 9.80$  公尺/秒<sup>2</sup> 或  $g = 127,000$  公里/小時<sup>2</sup>).

如設  $\gamma = 0.06$ , 則  $\zeta = 120$ . 此為普通計算中所採用者; 美國則恆用

$\gamma = 0.05$ . 如此  $\gamma$  數值變更, 則應按  $\zeta = \frac{g}{1000(1 + \gamma)}$  以計算  $\zeta$  之數

值(參閱 §68).

茲以上式中之  $Z = Z_0$ , 即輪周挽力; 則有

$$\frac{dV}{dt} = \zeta(z_0 - w),$$

式中  $z_0 =$  機車輪周比挽力(公斤/公噸);

$w =$  列車比阻  $= w_0 \pm w_g + w_r$  (公斤/公噸).

此式適用範圍, 當然在列車不用軛力而行駛之時. 倘列車行駛中, 將  
 軛機開放(其軛力為  $B$ ), 且汽閥亦不關閉, 則列車運動公式為

$$\frac{dV}{dt} = \zeta \left( \frac{Z_0 - W - B}{L + T + G} \right),$$

或 
$$\frac{dV}{dt} = \zeta(z_0 - w - b).$$

但在使軔期間，汽閥常已關閉。此時汽缸挽力  $Z_i = 0$ ；但輪周挽力  $Z_o$  則不等於零，而等於負號之機車內部阻力，此可由下式見之：

$$Z_o = Z_i - W^L = 0 - W_i^L = -W_i^L.$$

此處機車內部阻力，為汽閥關閉後之機車內部阻力  $W_i^L$ ，較汽閥開放時為大。因活塞往返於汽缸中時，尚須推動汽缸中之空氣；不過亦可施以特別裝配，使推動汽缸中空氣阻力減低，此視機車構造而定。

機車汽閥關閉行駛時，運動公式當為

$$\frac{dV}{dt} = \zeta(-w_m^L - w - b) = -\zeta(w_m^L + w + b).$$

因 
$$\frac{dV}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = \frac{VdV}{ds},$$

故可將列車汽閥開放，而且使用軔機時，綜括成下列運動公式：

$$\frac{dV}{dt} = \zeta(z - w - b), \tag{a}$$

$$\frac{d^2s}{dt^2} = \zeta(z - w - b), \tag{b}$$

及 
$$\frac{VdV}{ds} = \zeta(z - w - b). \tag{c}$$

因為  $z, w$  與  $b$  各項均隨  $V$  而變化，故(a)式可寫作

$$dt = \frac{dV}{\zeta(z - w - b)}.$$

欲求速度自  $V_1$  變為  $V_2$  所需之時間  $t$ ，可求(a)式之積分，而得

$$t = t_2 - t_1 = \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{\zeta(z - w - b)}.$$

欲求列車速度自  $V_1$  增至  $V_2$  所需經過之路程  $s$ , 則可將(c)式化爲

$$ds = \frac{V dV}{\zeta(z-w-b)}$$

而後積分之, 得

$$s = s_2 - s_1 = \int_{V_1}^{V_2} \frac{V dV}{\zeta(z-w-b)}$$

由此可得, 列車在變速度中運動時, 此種運動問題, 可用積分法解決之。但如列車行駛速度不變, 則無須用積分法。在等速運動中, 加速度等於零, 即

$$\frac{dV}{dt} = 0;$$

此時軌力亦可視爲零(即使  $b \neq 0$ , 可與阻力歸併), 得

$$b = 0.$$

如此, 則列車等速行駛時, 其運動公式爲

$$0 = \zeta(z-w) = \zeta \left( \frac{Z-W}{L+T+G} \right),$$

而有下列式:

$$Z = W.$$

然則挽力等於阻力時, 列車作等速運動, 由此而明之矣。

## 第二十三章 機車動力之分布

§97. 水平汽缸動力之分布 欲徹底明瞭列車運動微分公式中機車挽力  $Z$  之意義, 不可不先認識機車中動力分布概況。如圖 61 所



示，為適用於水平汽缸者，在每個短小時間中，活塞均受到汽缸蒸汽

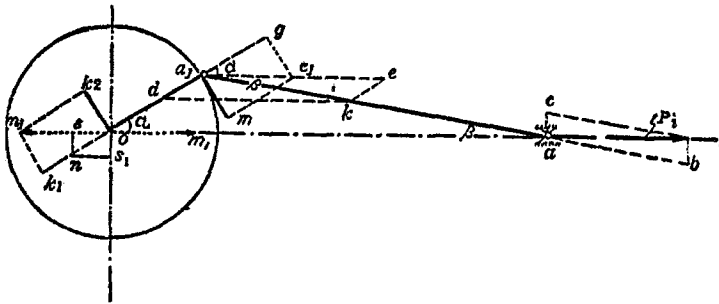


圖 61.

之壓迫。此壓力  $P_i$  之大小，乃隨時變化；如汽鍋汽壓、汽閥開放之大小、截汽點之百分率、偏心輪與水平所成角度、以及機車速度等等，皆為  $P_i$  數值變化之因素。此壓力由活塞桿傳至十字頭  $a$  (圖 61)，在  $a$  點分解為二力：

$$(1) \quad \overline{ab} = \frac{P_i}{\cos \beta}, \quad (a)$$

$$(2) \quad \overline{ac} = P_i \tan \beta \cong P_i \sin \beta. \quad (b)$$

$\beta$  為牽桿與水平所成角度，其值甚小，故  $\tan \beta \cong \sin \beta$ 。分力  $\overline{ac}$  施於十字頭平行導軌上；分力  $\overline{ab}$  則傳至偏心輪拐柄之軸心  $a_1$  點，此分力  $\overline{ab}$  可再分為  $\overline{a_1d}$  (與  $\overline{Oa_1}$  同方向) 及  $\overline{a_1e}$  (與  $\overline{Oa}$  平行)。

$$\text{在 } \Delta a_1dk \text{ 中,} \quad \overline{a_1d} = \overline{ab} \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}, \quad (c)$$

$$\overline{a_1e} = \overline{dk} = \overline{ab} \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha}, \quad (d)$$

$\alpha$  為偏心輪旋轉角度。

力  $\overline{a_1e}$  在  $a_1$  點上，平均分配於各連動輪（主輪亦在內）。故每個連動輪與主輪受到  $\overline{a_1e}$  力之一部，即  $\overline{a_1e_1} = \frac{\overline{a_1e}}{n_0}$ ，此處  $n_0$  為連動輪數目（主輪在內）。因此則

$$\overline{a_1e_1} = \frac{\overline{ab}}{n_0} \times \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha}. \quad (e)$$

此力  $\overline{a_1e_1}$  再分為兩個分力  $\overline{a_1m}$  及  $\overline{a_1g}$ ，而且

$$\overline{a_1m} = \frac{\overline{ab}}{n_0} \sin(\alpha + \beta). \quad (f)$$

力  $\overline{a_1d}$  可移至  $O$  點，而為  $\overline{On}$ 。在  $O$  點，再假想添施兩力，其大小相同而等於  $\overline{a_1e_1}$ ，其方向則相反，成一正一負，即  $+\overline{Om_1}$  與  $-\overline{Om_1}$ 。其中  $\overline{Om_1}$  復分解為兩力：一為  $\overline{Ok_1}$  與  $\overline{Oa_1}$  同方向，而等於  $\overline{a_1g}$ ，因與偏心輪拐柄同方向而與  $\overline{a_1g}$  力相抵消；一為  $\overline{Ok_2} = \overline{a_1m}$  而與  $\overline{Oa_1}$  垂直。倘偏心輪旋轉半徑為  $r$ ，則力  $\overline{a_1m}$  與  $\overline{Ok_2}$  發生力矩，其值為

$$M_0 = r \cdot \overline{a_1m} = \frac{\overline{ab}}{n_0} \cdot r \sin(\alpha + \beta).$$

力  $\overline{On}$  復分解為二：一在水平方向而為  $\overline{Os}$ ，一在垂直方向而為  $\overline{Os_1}$ 。此兩力之大小，可在三角形  $Os_1n$  內推定之：

$$\overline{Os} = \overline{ns_1} = -\overline{On} \cos \alpha = -\overline{ab} \frac{\cos \alpha \sin \beta}{\sin \alpha},$$

而  $\overline{Os_1} = -\overline{On} \sin \alpha = -\overline{ab} \cdot \sin \beta$ 。

然則在  $O$  點，集有兩水平方向之力，其合力為

$$A = \overline{Om_1} - \overline{Os} = \overline{a_1e_1} - \overline{Os} = \frac{\overline{ab}\sin(\alpha + \beta)}{n_0 \sin \alpha} - \overline{ab} \frac{\sin \beta \cos \alpha}{\sin \alpha},$$

而在垂直方向之力則為

$$\overline{Os_1} = -\overline{ab}\sin \beta,$$

更有旋轉力矩

$$M_0 = \frac{\overline{ab}}{n_0} r \sin(\alpha + \beta).$$

根據(a)式,

$$M_0 = \frac{P_i}{n_0} r \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}.$$

故總括  $O$  點之力, 計有下列三種(此指主動輪而言):

(1) 水平方向

$$A = \overline{Om_1} - \overline{Os} = \frac{\overline{ab}\sin(\alpha + \beta)}{n_0 \sin \alpha} - \overline{ab} \frac{\sin \beta \cos \alpha}{\sin \alpha};$$

(2) 垂直方向

$$\overline{Os_1} = -\overline{ab}\sin \beta;$$

(3) 旋轉力矩

$$M_0 = \frac{P_i}{n_0} r \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}.$$

偏心輪在任何位置中, 皆可用上述原則以推定機車動力之分布。機車倒行時, 則十字頭處之  $\overline{ac}$  力與軸心之  $\overline{Os_1}$  力, 在相反方向中旋動, 蓋因  $P_i$  力方向倒轉也。

主動輪所受之力, 為上述三種; 連動輪所受之力, 與主動輪相同者為力  $\overline{a_1e_1}$  平分於各連動輪與主動輪間之  $\overline{a_1e_1}$  力。由於此力  $\overline{a_1e_1}$ , 用與上相似分解方法, 可得連動輪軸中心點  $O$  處集中之力與力矩如下:

(1) 水平方向

$$\overline{Om_1'} = \overline{a_1 e_1} = \frac{\overline{ab} \sin(\alpha + \beta)}{n_0 \sin \alpha};$$

(2) 旋轉力矩

$$M_0 = r \cdot \overline{a_1 m} = \frac{\overline{ab}}{n_0} r \cdot \sin(\alpha + \beta) = \frac{P_i}{n_0} r \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}.$$

此外(除去路基因維持平衡而發生之慣性反應力, 不與機力有關係者外), 別無其他分力。不過連動輪不只一個, 故其水平方向分力綜合數值為

$$\begin{aligned} & \frac{\overline{ab} \sin(\alpha + \beta)}{n_0 \sin \alpha} + \frac{\overline{ab} \sin(\alpha + \beta)}{n_0 \sin \alpha} + \dots \\ & = \frac{\overline{ab} \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} \cdot \frac{(n_0 - 1)}{n_0}. \end{aligned}$$

主動輪與連動輪所有水平方向分力之綜合數值則為

$$\begin{aligned} \Sigma A &= \frac{\overline{ab} \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} \frac{n_0}{n_0} - \frac{\overline{ab} \sin \beta \cos \alpha}{\sin \alpha} \\ &= \frac{\overline{ab}}{\sin \alpha} (\sin \alpha \cos \beta + \sin \beta \cos \alpha - \sin \beta \cos \alpha) \\ &= \frac{\overline{ab} \sin \alpha \cos \beta}{\sin \alpha} = \overline{ab} \cos \beta, \end{aligned}$$

但由(a)式, 知

$$\overline{ab} = \frac{P_i}{\cos \beta},$$

故得

$$\Sigma A = P_i.$$

此力與汽缸蒸汽對汽缸端壁所施之力, 正成反向。此力由汽缸端壁

而傳遞於機車車架，即謂  $P_1$  及  $\Sigma A$  兩力皆施於車架，時壓時拉，兩者反向而平衡也。 $O$  點垂直力則為

$$A_1 = -\overline{ab} \sin \beta \cong -P_1 \sin \beta,$$

此力  $A_1$  施於鋼軌；力  $\overline{ac}$  則施於十字頭之平行導軌上，而促成機車彈簧鋼板之簡諧振動。

§98. 汽缸作傾斜位置時機車動力之分布 機車汽缸，恆有傾斜裝置之必要(如圖 62 所示)，此尤以機車帶有拐軸時為常見。設汽

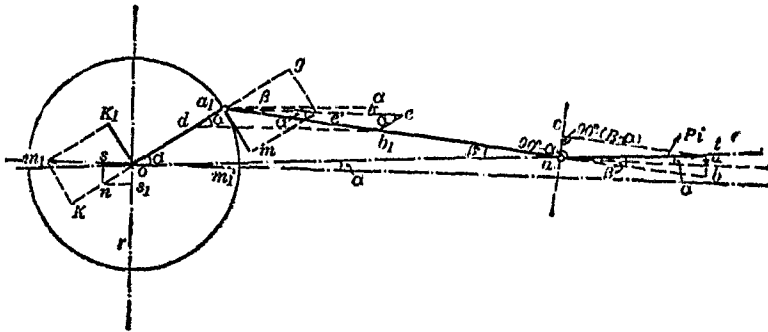


圖 62.

缸中線與水平線成  $\gamma$  角；汽缸所發之力  $P_1$ ，在  $a$  點分解為兩個分力  $\overline{ab}$  與  $\overline{ac}$ 。自  $\Delta abt$ ，可以看出

$$\overline{ab} = P_1 \frac{\cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)}, \quad (a)$$

而

$$\overline{ac} = P_1 \frac{\sin \beta}{\cos(\beta - \gamma)}. \quad (b)$$

將力  $\overline{ab}$  移至  $a_1$  點，而分為兩力：一為水平方向之  $\overline{a_1e}$ ；一為  $\overline{a_1d}$ 。自

$\Delta a_1 b_1 d$ , 可見

$$\overline{a_1 d} = \overline{a_1 b_1} \cdot \frac{\sin(\beta - \gamma)}{\sin \alpha},$$

或根據(a)式, 
$$\overline{a_1 d} = P_i \frac{\cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)} \times \frac{\sin(\beta - \gamma)}{\sin \alpha}, \quad (c)$$

且 
$$\overline{a_1 e} = \overline{a_1 b_1} \times \frac{\sin[180^\circ - \alpha - (\beta - \gamma)]}{\sin \alpha},$$

同法可得 
$$\overline{a_1 e} = P_i \frac{\cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)} \times \frac{\sin(\alpha + \beta - \gamma)}{\sin \alpha}. \quad (d)$$

此力  $\overline{a_1 e}$  平均分配於機車所有運動輪間(主動輪在內), 每個等分力係施於運動輪偏心輪拐柄中心。設此運動輪總數為  $n_0$ , 則每個運動輪所受水平方向之力為

$$\overline{a_1 e_1} = \frac{\overline{a_1 e}}{n_0} = \frac{P_i}{n_0} \times \frac{\cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)} \times \frac{\sin(\alpha + \beta - \gamma)}{\sin \alpha}. \quad (e)$$

然後再將力  $\overline{a_1 e_1}$  分為兩力: 一為  $\overline{a_1 m}$ , 垂直於  $\overline{Oa_1}$ ; 一為  $\overline{a_1 g}$ , 與  $\overline{Oa_1}$  同方向。自  $\Delta a_1 e_1 m$ , 可見

$$\overline{a_1 m} = \overline{a_1 e_1} \sin \alpha,$$

或即 
$$\overline{a_1 m} = \frac{P_i}{n_0} \times \frac{\cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)} \times \sin(\alpha + \beta - \gamma). \quad (f)$$

力  $\overline{a_1 d}$  再移至  $O$  點, 而成  $\overline{On}$ ; 並分之為二力:

$$\overline{Os} = \overline{On} \cos \alpha,$$

及 
$$\overline{Os_1} = \overline{On} \sin \alpha.$$

或因(c)式關係,

$$\overline{Os} = \overline{a_1 d} \cos \alpha = P_i \frac{\cos \gamma \cdot \sin(\beta - \gamma) \cdot \cos \alpha}{\cos(\beta - \gamma) \sin \alpha}; \quad (g)$$

$$\text{且} \quad \overline{Os_1} = P_i \frac{\cos \gamma \sin(\beta - \gamma)}{\cos(\beta - \gamma)}. \quad (h)$$

在  $O$  點設想有兩力集中，其大小相等（等於  $\overline{a_1 e_1}$ ），而方向相反；即  $+\overline{Om_1'} = -\overline{Om_1}$ ，其絕對數值為  $\overline{Om_1'} = \overline{Om_1} = \overline{a_1 e_1}$ 。將力  $\overline{Om_1}$  分爲兩力： $\overline{Ok} = \overline{a_1 g}$  及  $\overline{Ok_1} = \overline{a_1 m}$ 。此處兩力  $\overline{Ok}$  及  $\overline{a_1 g}$  彼此相消，而其他兩力  $\overline{Ok_1}$  與  $\overline{a_1 m}$  成爲力矩，如

$$M_0 = r \cdot \overline{a_1 m}.$$

$$\text{根據(f)式,} \quad M_0 = \frac{P_i}{n_0} r \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)} \cdot \sin(\alpha + \beta - \gamma).$$

機車所有連動輪（連主動輪在內）軸心所受水平方向動力之綜合數值，當爲

$$\begin{aligned} \Sigma A &= [\overline{Om_1'} - \overline{Os}] + [\overline{Om_1'} + \overline{Om_1'} + \overline{Om_1'} + \dots] \\ &= [\overline{Om_1'} - \overline{Os}] + [\overline{Om_1'}](n_0 - 1). \end{aligned}$$

因爲  $\overline{Om_1'} = \overline{a_1 e_1}$ ，根據(e)式而得

$$\begin{aligned} \Sigma A &= \left[ P_i \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)} \times \frac{\sin(\alpha + \beta - \gamma)}{\sin \alpha} \cdot \frac{1}{n_0} \right. \\ &\quad \left. - P_i \frac{\cos \gamma \cdot \sin(\beta - \gamma) \cdot \cos \alpha}{\cos(\beta - \gamma) \sin \alpha} \right] \\ &\quad + \left[ P_i \frac{\cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)} \times \frac{\sin(\alpha + \beta - \gamma)}{\sin \alpha} \times \frac{1}{n_0} \right] (n_0 - 1), \end{aligned}$$

因此而得

$$\Sigma A = P_i \frac{\cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)} \times \frac{\sin(\alpha + \beta - \gamma)}{\sin \alpha} - P_i \frac{\cos \gamma \sin(\beta - \gamma) \cos \alpha}{\cos(\beta - \gamma) \sin \alpha}.$$

但  $\sin(\alpha + \beta - \gamma) = \sin \alpha \cos(\beta - \gamma) + \cos \alpha \sin(\beta - \gamma)$ ，故上式可化

爲

$$\Sigma A = P_i \frac{\cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma) \sin \alpha} [\sin \alpha \cos(\beta - \gamma) + \cos \alpha \sin(\beta - \gamma) - \cos \alpha \sin(\beta - \gamma)].$$

化簡後而成爲  $\Sigma A = P_i \cos \gamma$ . (i)

力  $P_i \cos \gamma$  施於汽缸端壁上，傳達於機車車架，與  $\Sigma A$  力共成力偶，而促成機車彈簧鋼板以上部分之諧和旋轉動作。

在  $\beta$  與  $\gamma$  爲極小角度（因而  $\cos \beta = \cos \gamma = \cos(\beta - \gamma) = 1$ ）假設之下，垂直力  $\overline{Os_1}$  可寫爲

$$\overline{Os_1} \cong P_i (\sin \beta - \sin \gamma), \quad (j)$$

此  $\overline{Os_1}$  力係施於鋼軌面上。

在十字頭平行導軌上，有力  $\overline{ac}$  壓迫之；而蒸汽壓力垂直方向之分力  $u$  則施於汽缸周壁，且此分力等於

$$u = P_i \sin \gamma. \quad (k)$$

吾人可以認爲在十字頭平行導軌上所施垂直力爲

$$\overline{ac} - u = P_i \frac{\sin \beta}{\cos(\beta - \gamma)} - P_i \sin \gamma.$$

且因  $(\beta - \gamma)$  角度極小，可認爲  $\cos(\beta - \gamma) = 1$ ，故得

$$\overline{ac} - u = P_i (\sin \beta - \sin \gamma). \quad (l)$$

此式恰與 (j) 式相同；此力只能促成機車彈簧上部之運動和諧，而不涉及機力者也。

§99. 機車中旋轉力矩公式 前兩節中，曾述及機車運動輪之旋轉力矩，其公式爲：



$$\text{水平汽缸} \quad M_0 = P_i \frac{r}{n_0} \times \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta};$$

$$\text{傾斜汽缸} \quad M_0 = P_i \frac{r}{n_0} \times \frac{\cos \gamma \sin(\alpha + \beta - \gamma)}{\cos(\beta - \gamma)}.$$

如將機車所有連動輪及汽缸所發生之旋轉力矩相加，則可得機車綜合旋轉力矩，如下：

$$\text{水平汽缸} \quad \Sigma M_0 = \Sigma \left[ P_i \cdot r \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \right],$$

$$\text{傾斜汽缸} \quad \Sigma M_0 = \Sigma \left[ P_i \cdot r \cdot \frac{\cos \gamma \sin(\alpha + \beta - \gamma)}{\cos(\beta - \gamma)} \right].$$

§100. 機車輪周挽力公式 如圖 61 及圖 62 中之  $\overline{a_1 m}$  與  $\overline{O k_1}$  力偶，為主輪旋轉因素；推而廣之，可得輪周間旋轉力矩。將 §99 中公式所含之  $r$ ，代以主輪半徑  $\frac{D}{2}$ ，如圖 49 所示；於是挽力  $Z = \overline{O A} = \overline{O_1 A_1}$ ，可由下列力矩公式中推求之：

$$\Sigma M_0 = \overline{O A} \frac{D}{2} = Z \frac{D}{2}.$$

由此可得挽力公式：

$$\text{水平汽缸} \quad Z = \frac{2}{D} \Sigma M_0 = \frac{2r}{D} \Sigma \left[ P_i \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \right];$$

$$\text{傾斜汽缸} \quad Z = \frac{2r}{D} \Sigma \left[ P_i \frac{\cos \gamma \sin(\alpha + \beta - \gamma)}{\cos(\beta - \gamma)} \right].$$

因  $2r = l$ ，故上列兩式可寫為：

$$\text{水平汽缸} \quad Z = \frac{l}{D} \Sigma \left[ P_i \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \right],$$

傾斜汽缸 
$$Z = \frac{l}{D} \sum \left[ P_i \frac{\cos \gamma \sin(\alpha + \beta - \gamma)}{\cos(\beta - \gamma)} \right].$$

§101. 輪周挽力圖 如  $P_i$  為已知數(在任何角度  $\alpha$  下之  $P_i$  為已知數), 則輪周間發生旋轉力矩挽力之數值, 可用 §100 中公式計算. 先作在任意速度下, 機車汽缸工作圖(indicator diagram), 如圖 63. 曲線  $abcdeik$  示每個汽缸之活塞往返一次間, 蒸汽進退脹縮之

狀況. 縱軸示汽壓, 橫軸示體積;  $ab$  示進汽過程;  $b$  為截汽點;  $\bar{b}\bar{a}$  為蒸汽膨脹曲線;  $\bar{a}\bar{e}$  為廢汽曲線;  $e\bar{i}$  為反向汽壓曲線;  $i\bar{b}$  示汽體之收縮;  $\bar{k}\bar{a}$  則示汽體之復進.  $abcdeik$  曲線示活塞被蒸汽推動之有效壓力;  $e_1ga_1$  曲線則示活塞反面廢汽阻止其推進之

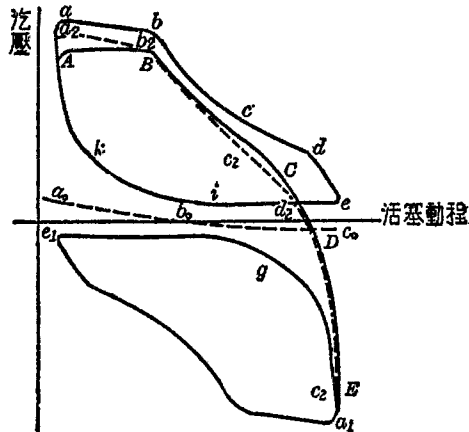


圖 63.

蒸汽阻力, 是為負號壓力. 將  $abcdeik$  及  $e_1ga_1$  相加 (即由前者減去後者, 而得實際綜合汽壓曲線  $a_2b_2c_2d_2e_2$ ....., 但所謂負號壓力  $e_1ga_1$  者, 尚須加或減(視輪轉位置而定)車輪未能儘量調整之不均衡部分之慣性力, 此慣性力等於

$$u_i = -g_0 \frac{r\omega^2}{g} \left( \cos \alpha - \frac{r}{L_s} \cos 2\alpha \right), \quad (a)$$

式中  $q_0$  = 不均等重量(公斤),  
 $r$  = 偏心輪半徑(公尺),  
 $\omega$  = 角速度 =  $2\pi n$  ( $n$  = 車輪每秒旋轉次數),  
 $g$  = 9.81 公尺/秒<sup>2</sup>,  
 $L_s$  = 牽桿長度(公尺).

此慣性力  $u_i$  可在圖 63 中以曲線示出, 而為  $a_0 b_0 c_0$ . 為將  $u_i$  之單位, 與汽壓單位相同起見, 亦以公斤/公分<sup>2</sup> 表示. 先將(a)式計算出  $u_i$  之數值, 用活塞面積(以平方公分計)除之; 而後作  $a_0 b_0 c_0$  曲線. 至此則將曲線  $a_2 b_2 c_2 d_2 e_2$  與  $a_0 b_0 c_0$  之縱座標距相加減, 而得輪轉任何位置下汽壓  $p_i$  曲線  $ABCDE$  之縱座標距(圖 63). 此  $p_i$  之數值即可用於 §100 之公式以求  $Z$ . 此  $Z$  可以曲線示之, 如圖 64 中曲線  $ABCDE$ .

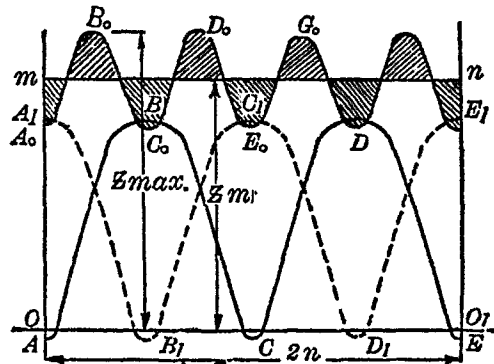


圖 64.

此為一個汽缸之工作示圖; 同法可作出第二、第三等汽缸壓力曲線, 將各曲線合併, 即得綜合汽缸壓力曲線, 圖 64 所示曲線  $A_1 B_1 C_1 D_1 E_1$

為第二汽缸者，其位置與第一汽缸成  $90^\circ$  角，兩汽缸綜合曲線，則為  $A_0B_0C_0D_0E_0G_0\dots\dots$ 。

## 第二十四章 列車最大載重

§102. 貨運列車最大載重之分析 欲求某種機車在某段路線上，且在一固定等速度之下，能牽引列車載重若干時，並不需要以前所論述之微分積分方法；蓋列車運動速度均等，故解決此問題，可用下列公式：

$$Z = W.$$

列車綜合阻力為

$$W = w^{LT}(L + T) + w^G G.$$

機車在長久時間中，能維持一種等速度  $V$  所發揮之挽力，則為

$$Z_k = \frac{270 N_o}{V}.$$

阻力與挽力相等，故有下列普遍適用之公式：

$$Z_k = w^{LT}(L + T) + w^G G.$$

由此可得列車載重(連皮)應為

$$G = \frac{Z_k - w^{LT}(L + T)}{w^G} \text{ 公噸.}$$

此式中機車(連煤水車)與車輛綜合比阻(其中加速阻力等於零)，應為(如採用機車汽缸挽力)：

$$\text{機車煤水車} \quad w^{LT} = (w_0^{LT} + w_m^L) + w_r + w_s;$$

車輛

$$w^G = w_0^G + w_r + w_s,$$

式中  $w_0^G$  = 機車內部比阻。如採用機車輪周挽力，則機車煤水車綜合比阻為，

$$w^{LT} = w_0^{LT} + w_r + w_s.$$

列車載重，普通皆根據於經行段中最困難(按平面及剖面而言)線段之阻力計算；即謂計算所根據之線段中，其  $w_s + w_r$  應為全段中最大數值者。欲解決此問題，必先選定一種等速度，為駛行最困難線段之條件，然後根據此速度計算挽力及阻力，蓋此二者均與速度有關係者也。

客運列車之組配，恆須應合於實際需要，而不得先有固定機力，再求列車載重；反之，應根據列車配合車輛載重與規定行駛時間，以推求所宜採用何式機車並其機力如何。

貨運列車載重與速度之配合，固應有一定之關係，以達最經濟之結果(以後論之)，然在單軌鐵路線上，恆以利用機車最大挽力——即謂載重達到最大限度，認為經濟。然則列車行駛於最困難線段時，其速度無大變化，而能支持於所謂臨界速度  $m$  左右(即謂在汽鍋產汽量所能維持 100% 載汽點之最大速度左右)。速度既無大變化，則列車行駛比阻，幾為固定不變之數值；列車載重則全視挽力  $Z_k$  之變化而定。然在速度小於  $m$  以前，挽力亦無甚大出入，幾近常數，故列車載重大小，皆依黏着挽力  $Z_a$  而定(此適用於  $Z_a < Z_{k\max}$  條件之下)。如速度超出  $m$  以上，則載重遞減。由此可知，列車載重因速度增大而降低；因速度降下而升高。惟速度降至  $m$  以後，載重即變為近於固定之數值，此後如速度再減，亦不能增加列車載重矣。且行車

速度太低，則站間放車次數過小，影響於鐵路運輸能力；此外載重太多，行駛太慢，一遇事故列車在較大之上坡道上停車，則不易再事開駛矣。故貨運列車載重量，可以  $m$  為其計算速度（如有特別規定，以應需要，則遵照規定者），以為駛過最困難線段之標準。此時載重可用黏着挽力限制之，此限制為  $Z_a = 1000 \psi L_a$ 。故列車載重為

$$G = \frac{1000 \psi L_a}{w} - (L + T) \text{ 公噸。}$$

此臨界速度  $m$  用圖解法求之最易，有如圖 50 所示；其值必在 7—10 哩/小時之間，甚為明顯。若用解析法以計算之，則可用下式：

$$Z_k = Z_a = \frac{270 N_o}{m^2},$$

由此而得 
$$m = \frac{270 N_o}{Z_a}.$$

用公式推求  $m$  之值，事頗繁複，蓋因  $N_o$  本身已有速度  $V$  為因素。解決此問題時，必先試用最適合而近似之速度， $V$  與  $\frac{N_o}{H}$ ，使於代入上式後，所求出之速度  $m$  適等於此假定者（此處所用之  $N_o$  以代入上式而計算  $m$  者，當然等於  $N_o = \frac{N_o}{H} \times H$ ）。在不需要十分精確計算中，此處汽鍋挽力，可用佛蘭克公式計之，以求其簡：

$$Z_k = \left( \frac{162}{V} + \frac{142}{\sqrt{V}} \right) H,$$

然則貨運列車之臨界速度，可用下列算式求之矣：

$$m = \left( \frac{142H \pm \sqrt{(142H)^2 + 4Z_a \times 162H}}{2Z_a} \right)^2$$

此處臨界速度  $m$ ，為圖 50 上  $Z_a$  與  $Z_k$  兩曲線交點處之速度，其值略較實際之  $m$  為大，蓋因  $Z_a < Z_{kmax}$  也。現代機車之構造，應求  $Z_a$  與  $Z_{kmax}$  極端相近，以便充分利用  $Z_{kmax}$  之數值。倘  $Z_a > Z_{kmax}$ ，則所用  $m$  當為實際汽鍋在 100% 截汽點能維持之最大速度，其計算方法與此相似，惟以  $Z_k$  代  $Z_a$  而已。

以上所論，為貨運列車最大載重之分析。更有所謂經濟速度與經濟載重者，容述於後。

§108. 載重之計算 天氣情況與車輛貨載重量及種類，亦皆足以影響列車載重。車輛種類（軸數、敞車、棚車等等），與滿載、半載或空行，皆足以使車輛基本比阻改變，已如前論。不過在設計鐵路之列車最大載重計算中，空車自不必計入。茲舉下列各數，以供計算之參考：

二軸車輛，滿載時，

$$w_0^f = 2.0 - 2.5 = 2.25 \text{ 公斤/公噸；}$$

二軸車輛，空車時，

$$w_0^f = 2.25 - 3.00 = 2.60 \text{ 公斤/公噸；}$$

四軸車輛，滿載時，

$$w_0^f = 1.7 - 1.9 = 1.80 \text{ 公斤/公噸；}$$

四軸車輛，空車時，

$$w_0^f = 3.25 - 3.70 = 3.50 \text{ 公斤/公噸。}$$

此種數值，乃根據於列車最大載重及最小速度 ( $V = 20$  公里/小時) 以

下)計算者,當然在實際設計中,仍可用簡單公式以推算比阻。如:  
二軸車輛(皮重不計),用包爾德文式,

$$w_0 = 1.5 + 0.05V \text{ 公斤/公噸};$$

四軸車輛(皮重計入),用司密得式,

$$w_0 = \frac{V + 65}{12 + 0.55q} \text{ 公斤/公噸}.$$

在營業鐵路上,車輛種類,實際決非僅有滿載或空車兩種;必有載重程度不同之各種車輛,其比阻之計算,不可按空車或滿載論之。美國鐵路則採用所謂調整噸(rating ton)以計算阻力。茲將頓尼斯(A. C. Dennis)所舉說明此調整噸實例錄下(Transaction, Am. Soc. C. E., Vol. L., p. 1)以見一斑:

假設貨運列車速度在5—35哩/小時間時,列車比阻為一固定不變常數;實驗所得,其值為:(1)空車,9.0磅/噸;(2)裝載車,4.7磅/噸。車輛皮重改以調整噸計算之單位,即以箱車中所裝貨載一噸為計算比阻之單位。例如在某種固定情形中,車皮重量等於總重之 $\frac{1}{3}$ ,則每調整噸之比阻可以推得為2.6磅/噸[意即實際貨重每噸比阻為2.6磅,  $(4.7 - \frac{1}{3} \times 9.0) / \frac{2}{3} = 2.6$ 磅/噸]。至於皮重噸數換算為調整噸數之係數,則隨所行坡度而定。茲假設在0.4%坡度上,則有:

皮重噸,基本比阻為9.0磅,坡度比阻為8磅……共17磅/噸;

調整噸,基本比阻為4.7磅,坡度比阻為8磅……共10.6磅/噸。

由此可知,皮重噸比阻較調整噸比阻大,而等於 $17 \div 10.6 = 1.6$ 倍。



此 1.6 即換算係數，其值隨坡度而變。今舉例說明此調整噸之意義。

假設有一機車行於  $S=4\%$  坡度上，其列車皮重仍為總重  $\frac{1}{3}$ ；空車比阻為 9.0 磅/噸；重車比阻為 4.7 磅/噸；在速度 7 哩/小時時，其挽力為 28,200 磅。其總調整噸數當為  $28,200 \div 10.6 = 2660$ 。此數減去機車煤水車之調整噸數  $130 \times 1.60 = 208$  噸，則得挽鉤挽力為  $2660 - 130 \times 1.60 = 2452$  噸（調整噸數）。因此調整噸數中，尚有  $\frac{1}{3}$  為皮重，故實際挽鉤噸數，尚須將此數乘以

$$\frac{1}{\frac{2}{3} + 1.6 \times \frac{1}{3}} = \frac{3}{2 + 1.6}$$

之因數而得之，即為  $2452 \times \frac{3}{2 + 1.6} = 2043$  噸。此為機車挽鉤實際

所牽引之噸量。此處坡度比阻為  $w_s = 2S\%$ 。

最大載重與氣候，亦有直接關係。天氣寒冷，機車內部阻力增大，效率降低，汽鍋熱量消失率增大，火箱及汽缸中熱量亦多損失；天氣潮溼，軌輪黏着係數減小，逆向吹風，則空氣阻力加大。此外雨雪冰霜對於挽力亦皆有影響。此種減消列車載重之因素，在鐵路運輸計畫中甚為重要，惟事實上不能求其詳確耳。在新路計畫與舊路營業中，恆規定一種天氣情形，以為計算之標準，即夏天溫和天氣（ $+7^\circ\text{C}$ ），無風（速度不過 30 公里/小時）平靜。在此條件之下，推出阻力公式，已述之於前矣。軌輪間黏着係數亦見於前。在惡劣天氣中行車，則宜將求得之列車載重，酌量減小。美國鐵路恆將夏季適用列車載重，按

照下列百分數減小：

天氣溫度自 +7°C. 至 -4°C., 或在大風之際 ..... 8%

天氣溫度自 -4°C. 至 -18°C. .... 16%

天氣溫度在 -18°C. 以下 ..... 25%

§104. 短坡度情形 上述列車載重計算方法，有一種假設，即為行車速度固定不變，且按經行路線中最大上坡與最急彎道線段中行駛時，以為載重計算標準。此僅適用於坡度較長之情形（至少長於一公里以上）；如坡度太短，則列車駛入坡度之初，擁有動能，其速度乃逐漸減低，而不立即變為該坡度上適應之速度。當降到其應有固定速度時，坡度已越過矣。故在短坡度上，列車尚未變為固定速度前，坡度已變，致列車行駛速度，時刻在變動中。在此種情形之下，如上法假設等速運動，則不能適合。列車載重，在短坡度上得藉動能而增高，此載重公式即為

$$G > \frac{Z_a}{w} - (Z + T) \text{ 公噸.}$$

然則上述載重計算方法，不適用於短促而起伏變化之坡度。此為業務上應注意之事。列車載重，宜按照經行路線中最困難之長大坡度上，等速運動之速度計算。如尚有較此坡度更大而短之坡度，則宜將其動能分析，以定其能否越過此種短促而陡峻之坡度。

§105. 圖解法 列車載重，可用圖解法推求；圖解法甚多，茲舉那斯包姆 (Nussbaum) 法，以申述其概要。圖 65 示那斯包姆圖解，用之可以在公式

$$Z = (Z + T + G) [(w_0 + (w_g + w_r))] ]$$

中，按已知任何三項，推求第四項。

1. 垂線  $\overline{Oa}$  右邊示坡度  $S$  數值，左邊示平直線段上  $V$  及  $Z$  數值(兩者間有固定關係)。

2. 自  $O$  點向左作水平線  $\overline{OB}$ ，且畫出等距離，以示  $(L+T+G)$  之噸數，並將  $(L+T)$  噸數示出，如  $\overline{OO_1}$  一段，則  $O_1$  點為  $G$  重量之零點。

3. 更作‘阻力載重’關係線  $\overline{ab}$ ,  $\overline{a_1b_1}$ ,  $\overline{a_2b_2}$ , ……，使與各種速度  $V=10, 20, 30, \dots\dots$  相應。其作法可按照  $W_0=(L+T+G)w_0$  式計算之結果； $w_0$  之數值，可用前述阻力公式(如包爾德文式)求之。

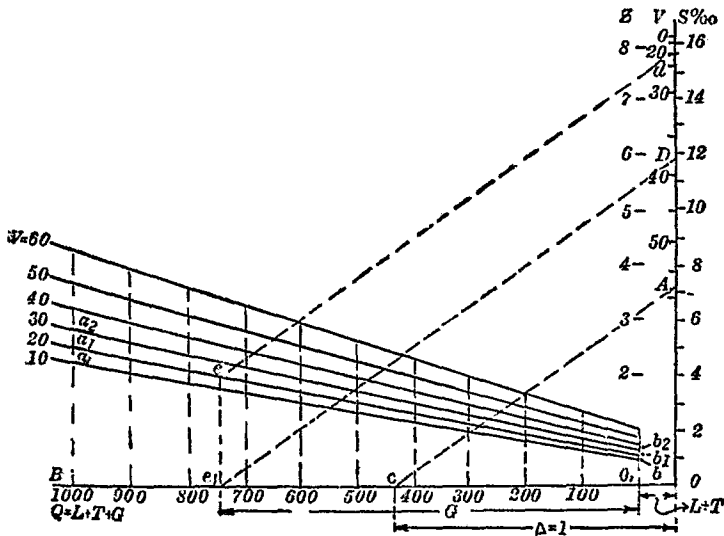


圖 65.

例 設  $V=20$  公里/小時, 及  $(w_R+w_T)=7.2\%$ , 求  $G=?$ .

解 吾人知  $A$  點之  $S=7.2\%$ . 設  $\overline{Oc}=\Delta=1$ , 速  $\overline{Ac}$ . 自  $V=20$  處之  $d$  點作  $\overline{de}$ , 平行於  $\overline{Ac}$ , 與  $V=20$  公里/小時之阻力載重線  $\overline{a_1b_1}$  交於  $e$  點. 作垂線  $\overline{ee_1}$ , 使交  $\overline{OB}$  於  $e_1$  點.  $\overline{O_1e_1}=750$  公噸, 即等於  $G$  之重量, 其理甚簡:

$$\frac{\overline{Oc}}{\overline{Oe_1}} = \frac{\overline{OA}}{\overline{OD}} \quad (a)$$

$$\begin{aligned} \text{但} \quad \overline{Oc} &= 1; \quad \overline{Oe_1} = L + T + G; \quad OA = S; \\ OD &= \overline{Od} - \overline{Dd} = \overline{Od} - \overline{ee_1} = Z - W_0. \end{aligned}$$

$$\text{故(a)式爲} \quad \frac{1}{L + T + G} = \frac{S}{Z - W_0},$$

$$\text{或} \quad Z = (L + T + G)S + W_0,$$

$$\text{因得} \quad Z = (L + T + G)(S + w_0).$$

## 第二十五章 用動能以克服坡度

§106. 動能所能克服之超越坡度 如有列車受機車牽引而行, 在其運動中, 倘遇到超過其由理論計算所規定最大坡度之坡度, 列車亦能駛越其一段, 而決非立即停止; 至超過計算坡度若干時, 能駛越之距離若干, 此為本章所擬論述之問題.

如以  $M_1$  代列車質量, 則有如前述, 列車動能為

$$\text{K.E.} = \frac{1.06 M_1 v^2}{2} = \frac{1.06 \times 1000 Q v^2}{2g},$$

式中  $v$  = 列車速度, 以公尺/秒計;

$Q$  = 列車重量, 以公噸計;

$g$  = 地心吸力加速度 = 9.81 公尺/秒<sup>2</sup>.

將列車速度變為  $V$  公里/小時, 則  $v$  公尺/秒 =  $\frac{V}{3.6}$  公里/小時;

而得 
$$\text{K.E.} = \frac{1.06 \times 1000 Q \times V^2}{2 \times 9.81 \times 3.6^2} = 4.2 Q V^2 \text{ 公尺公斤.}$$

設若列車擁有速度  $V_1$  駛至超越坡度, 及至駛越此坡度最後一點時, 其速度變為  $V_2$ . 在列車經行此超越坡度後, 速度減低, 即表示動能之損失; 此損失之數值為

$$4.2 Q (V_1^2 - V_2^2) \text{ 公尺公斤.}$$

倘列車重量乃根據最大坡度 ( $S_0\%$ ) 計算求得, 則在此最大坡度上之行車比阻為

$$w_1 = w_0 + S_0,$$

而在超越坡度  $S_1\% > S_0\%$  上, 列車所須克服之行車比阻為

$$w_2 = w_0 + S_1.$$

然則在超越坡度上, 列車所須用動能以克服之超大阻力之功為

$$(w_2 - w_1) Q \cdot l_0 = (w_0 + S_1 - w_0 - S_0) Q l_0 = (S_1 - S_0) Q l_0 \text{ 公尺公斤,}$$

式中  $l_0$  表示超越坡度之長度, 以公尺計.

但動能與此功宜相等, 故有下列等式:

$$4.2 Q (V_1^2 - V_2^2) = (S_1 - S_0) Q l_0.$$

由此可求出, 列車藉用動能在一定坡度  $S_1$  上, 可行駛之距離  $l_0$  公尺如下:

$$l_0 = 4.2 \frac{V_1^2 - V_2^2}{S_1 - S_0} \text{ 公尺.}$$

倘將列車運動公式分析推演，亦可達此結果。列車運動公式：

$$\frac{VdV}{ds} = \zeta(z-w),$$

或即 
$$ds = \frac{VdV}{\zeta(z-w)}.$$

令  $\zeta = 120$ , 則 
$$ds = \frac{VdV}{\zeta(z-w)} = \frac{VdV}{120(z-w)}.$$

因 
$$z-w = z - [(w_0 + S_0) - (S_1 - S_0)],$$
 而且比挽力  $z$  完全為原有最大坡度比阻  $(w_0 + S_0)$  所消耗，即

$$z - (w_0 + S_0) = 0;$$

故 
$$ds = \frac{VdV}{120(S_1 - S_0)}.$$

將此式積分之，

$$\int_0^{l_0} ds = \frac{1}{120(S_1 - S_0)} \int_{V_2}^{V_1} VdV,$$

即得 
$$l_0 = 0.0042 \frac{V_1^2 - V_2^2}{S_1 - S_0} \text{ 公里},$$

或 
$$l_0 = 4.2 \frac{V_1^2 - V_2^2}{S_1 - S_0} \text{ 公尺}.$$

此與前式無異也。雖然  $S_1\%$  坡度較  $S_0\%$  坡度為大，因而平均在  $S_1\%$  坡上速度應較  $S_0\%$  坡上速度為小，以致兩種坡度上行車基本阻力，似有不同；但在最大坡度上，貨運列車行駛速度甚低，而低小速度中，列車基本比阻近於常數，故此處兩種坡度基本比阻  $w_0$  公斤/公噸視為相等，亦無大出入也。

列車離開超越坡度之終速度  $V_2$ ，不可太小，以策安全。蓋若軌輪間黏着力不足，而成空轉不進現象，則有停車之危險，而在超越坡道上，列車一停，即不能再行開駛矣。故終速度  $V_2$  不應小過 7—8 公里/小時。列車越過超越坡度之最大途程，可用下式推求：

$$l_{0max} = 4.2 \frac{V_1^2 - 49}{S_1 - S_0}$$

由此式可知，用動能以克服超越坡度，所行途程，不只與坡度有關係，且隨初速度而變化。

現再研究在固定距離中，列車用動能可克服最大坡度為若干？此種超越坡度，當然可用下式求之：

$$S_{1max} = \frac{4.2(V_1^2 - 49)}{l_0} + S_0$$

由此式可知，此超越坡度  $S_1$  不只與距離  $l_0$  有關係，而且隨初速度  $V_1$  而變化。

通常此種用以克服超越坡度之動能，不宜時常利用；除非萬不得已時，更不可用之於長距離之大坡度上。蓋在行車業務中，使用動能以克服超越坡度，實為危險之事；遇有天氣惡劣（逆風、積雪、冰滑等等），或機車機構不健全，或機車保養不佳，或司機之疏忽，皆足使列車開入超越坡度時，其速度不足所需要之  $V_1$ ，則列車勢必因之而停於中途，且無力恢復行駛。如採用此超越坡度時，宜以貨運列車為設計對象，蓋客列車速度高於貨列車，其動能較大也。

§107. 在固定坡度上動能所能克服之距離 倘若路線坡度已經固定，非正在設計，則研究動能克服之坡度問題，甚為簡單。可在

每個坡度起點，計算所謂速度高度 (velocity head)  $H_v$ ——即動能可將列車提升之高度。假設

$$S_0=0, \text{ 及 } V_2=0,$$

則  $l_0=4.2 \frac{V_1^2 - V_2^2}{S_1 - S_0}$  公式變為

$$l_0=4.2 \frac{V_1^2}{S_1}.$$

然則 
$$H_v=l_0 \cdot S_1\% = \frac{4.2V_1^2}{1000} = 0.0042V_1^2 \text{ 公尺.}$$

此為假定列車行至坡度之終點，立即停車時所適用，即謂列車升高  $H_v$  高度後，立即停駛。倘若列車升高  $H'_v < H_v$ ，則至極點後尚有速度可以支持前進；此終點速度  $V_2$ ，則可由下式中推求：

$$H'_v=0.0042(V_1^2 - V_2^2) \text{ 公尺.}$$

由此可得 
$$V_2 = \sqrt{V_1^2 - \frac{H'_v}{0.0042}} \text{ 公里/小時.}$$

此外，速度高度  $H_v$  亦可直接由運動公式  $h = \frac{v^2}{2g}$  求之。此式中  $v$

以公尺/秒為單位，可換算為公里/小時單位 ( $v$  公尺/秒 =  $\frac{V}{3.6}$  公里/

小時)。更加以旋轉運動影響率之 6%，則速度高度為

$$H_v=1.06 \frac{V^2}{2 \times 9.81 \times 3.6^2} = 0.0042V^2 \text{ 公尺.}$$

根據上式，可將  $V$  在 10—50 公里/小時間之速度高度計出，列入表 59 中，以資應用。



表 59.

$V_1$	$H_0$ ( $H_0 - H_0'$ )	$V_1$ ( $V_2$ )	$H_0$ ( $H_0 - H_0'$ )	$V_1$ ( $V_2$ )	$H_0$ ( $H_0 - H_0'$ )	$V_1$ ( $V_2$ )	$H_0$ ( $H_0 - H_0'$ )	$V_1$ ( $V_2$ )	$H_0$ ( $H_0 - H_0'$ )	$V_1$ ( $V_2$ )	$H_0$ ( $H_0 - H_0'$ )
10	0.42	17.0	1.21	24	2.42	31	4.04	38	6.06	45	8.51
10.5	0.46	17.5	1.29	24.5	2.52	31.5	4.17	38.5	6.23	45.5	8.70
11	0.51	18	1.36	25	2.63	32	4.30	39	6.39	46	8.89
11.5	0.56	18.5	1.44	25.5	2.73	32.5	4.44	39.5	6.53	46.5	9.08
12	0.60	19	1.52	26	2.84	33	4.57	40	6.72	47	9.28
12.5	0.66	19.5	1.60	26.5	2.95	33.5	4.72	40.5	6.89	47.5	9.48
13	0.71	20	1.68	27	3.06	34	4.86	41	7.06	48	9.68
13.5	0.77	20.5	1.77	27.5	3.18	34.5	5.01	41.5	7.24	48.5	9.88
14	0.82	21	1.85	28	3.29	35	5.15	42	7.41	49	10.08
14.5	0.88	21.5	1.94	28.5	3.41	35.5	5.30	42.5	7.60	49.5	10.29
15	0.95	22	2.03	29	3.53	36	5.41	43	7.77	50	10.50
15.5	1.01	22.5	2.13	29.5	3.66	36.5	5.60	43.5	7.95		
16	1.08	23	2.22	30	3.78	37	5.75	44	8.13		
16.5	1.14	23.5	2.32	30.5	3.91	37.5	5.91	44.5	8.32		

此表可作兩用：一可由初速度  $V_1$  查得速度高度  $H$ ；亦可由速度高度除數  $(H_0 - H_0')$  查得在終點之速度  $V_2$ 。

例 1. 假設有路線坡度圖自  $A$  至  $H$  (圖 66)。列車在  $A$  點駛入

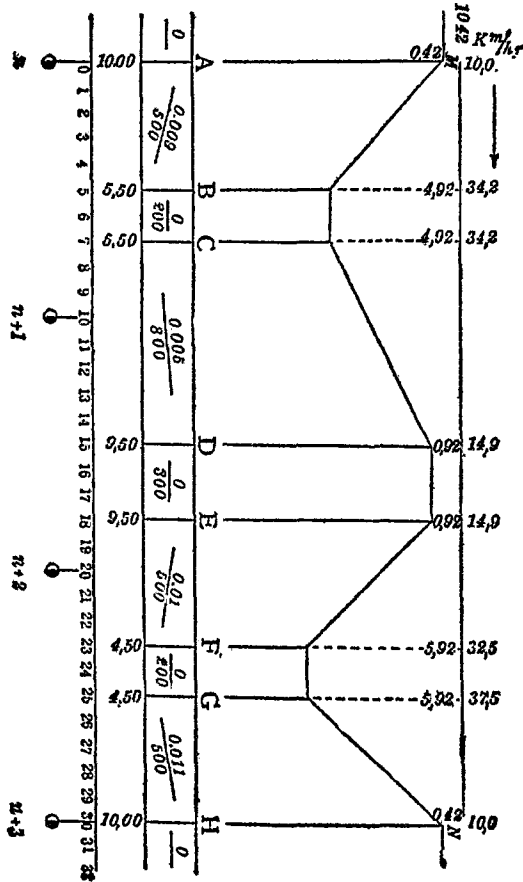


圖 66

此段路線，擁有初速度  $V_1 = 10$  公里/小時，且機車機力適足克服基本阻力  $W_0$  及彎道阻力  $W_r$  之用；試求此機車能否利用動能，將列車牽出  $H$  點。

解 列車在  $A$  點時， $V_1 = 10$  公里/小時，查表 59 得其速度高度為 0.42 公尺。在圖 66 上，以此 0.42 公尺高度為垂直距離，可得速度高度線  $mn$ ，其標高為 10.42 公尺。得此標高後，即可推求  $B, C, \dots, H$  等處速度高度餘數之數值。自表 59 查知列車自越過  $A$  點後，因重力變為動能，至  $B$  點時，速度增至 34.2 公里/小時。在  $B-C$  間列車作等速運動，直至過  $C$  點後駛入上坡，速度漸減；至  $D$  點速度變為 14.9 公里/小時。又作等速運動以至  $E$  點，然後駛進下坡，速度又增，至  $F$  點而成 32.5 公里/小時。等速進至  $G$  點，復駛入上坡，至  $H$  點而減其速度為 10 公里/小時。各點處速度既知，其速度高度亦不難查表而得之，其數值見圖 66 所示。由此可知，列車行至  $H$  點，尚有力前進而不停止也。

凡用動能以克服之超越坡度，美國稱之為動量坡度 (momentum grade)；德國則稱為闢坡 (Anlaufsteigung)。

例 2. 今有列車，原以 40 公里/小時速度駛行於最大坡度  $S_0 = 5\%$  上，既而駛進  $S = 15\%$  坡度時，問速度經若干公尺後可減至 20 公里/小時？並經若干公尺後，列車停止？

解 當  $V_2 = 20$  公里/小時，列車經行之距離為

$$l_0' = 4.2 \times \frac{40^2 - 20^2}{15 - 5} = 504 \text{ 公尺；}$$

當列車停止時，所經行之距離為

$$r'_0 = 4.2 \times \frac{40^2 - 0}{15 - 5} = 672 \text{ 公尺.}$$

美國鐵路對於車輪旋轉運動影響恆視為 5%。對於速度高度之計算公式(以哩/小時,呎為單位)為:

$$H_v = 0.03511 V^2 \text{ 呎.}$$

茲將  $V=0-50$  哩/小時間各種速度之速度高度列於下表,以供參考。

表 60.

V	H <sub>v</sub>	V	H <sub>v</sub>	V	H <sub>v</sub>	V	H <sub>v</sub>	V	H <sub>v</sub>	V	H <sub>v</sub>
1	0.03	9.5	3.17	18	11.38	26.5	24.65	35	43.01	43.5	66.42
1.5	0.08	10	3.51	18.5	12.02	27	25.60	35.5	44.26	44	67.98
2	0.14	10.5	3.87	19	12.68	27.5	26.55	36	45.51	44.5	69.53
2.5	0.22	11	4.25	19.5	13.35	28	27.53	36.5	46.78	45	71.10
3	0.30	11.5	4.65	20	14.05	28.5	28.53	37	48.08	45.5	72.70
3.5	0.43	12	5.08	20.5	14.75	29	29.53	37.5	49.38	46	74.30
4	0.56	12.5	5.50	21	15.49	29.5	30.55	38	50.72	46.5	75.92
4.5	0.71	13	5.93	21.5	16.24	30	31.60	38.5	52.07	47	77.57
5	0.88	13.5	6.40	22	17.00	30.5	32.65	39	53.42	47.5	79.22
5.5	1.06	14	6.88	22.5	17.78	31	33.74	39.5	54.79	48	80.91
6	1.26	14.5	7.39	23	18.58	31.5	34.84	40	56.10	48.5	82.61
6.5	1.48	15	7.90	23.5	19.38	32	35.95	40.5	57.59	49	84.32
7	1.72	15.5	8.44	24	20.23	32.5	37.08	41	59.08	49.5	86.04
7.5	1.97	16	8.99	24.5	21.08	33	38.23	41.5	60.48	50	87.79
8	2.25	16.5	9.55	25	21.95	33.5	39.38	42	61.94	50.5	89.55
8.5	2.54	17	10.15	25.5	22.84	34	40.58	42.5	63.42		
9	2.84	17.5	10.75	26	23.74	34.5	41.78	43	64.92		

V 以哩/小時計, H<sub>v</sub> 以呎計。

1914 年美國鐵路工程協會對於動量坡度曾有如下之建議:

計算動量坡度長度時，如貨運列車駛入動量坡度前，為一種上坡，則在此上坡最低處，其最大速度不得超過此車務段中所規定之最大速度；在此上坡最高處（即與動量坡度接連之處）速度不得小於 11 哩/小時，而達到動量坡度終點時，其速度最小不得低於 9 哩/小時。

## 第二十六章 列車使軔計算

§108. 使軔時所發生之問題 在列車使軔 (braking) 行駛時，約有數種問題發生：(a) 在陡峻下坡，欲維持列車一種安全等速度，所需軔力若干。(b) 欲使列車原有速度(初速度)減至一定速度或完全停車，在所有可用軔機軔力之下，須經過之途程即所謂使軔距離 (braking distance) 若何。(c) 在既定使軔距離中，欲使列車原有速度降至某種速度或完全停車，所需軔力若何。(d) 如列車軔力及使軔距離已預定，欲在使軔距離內停車，則行駛最高速度應以何者為限。

在解答上列各項問題時，機車汽缸挽力可視為零，蓋普通在使軔過程中，汽閥關閉，汽缸放空動作而已。且在軔力計算中，只將軔掌軔力計入，而不計倒汽軔力；倒汽只於不得已情形時使用。

軔力大小，隨軔力係數  $v_1$  而變化；如以  $l_0$  代表使軔距離，以  $V_1$  代表使軔之初速度， $V_2$  代表使軔之終速度，則上述四項問題，可簡列於次：

- (a)  $V_2$  為已知數，試求  $v_1$ 。
- (b) 已知  $V_1, V_2$  及  $v_1$ ，試求  $l_0$ 。

(c) 已知  $l_b, V_1$  及  $V_2$ , 試求  $v_1$ .

(d) 已知  $l_b, V_2$  及  $v_1$ , 試求  $V_1$ .

問題(a)——此問題可用下列運動公式求之:

$$\frac{dV}{dt} = \zeta(z - w - b_1).$$

因為欲求一等速運動, 故  $\frac{dV}{dt} = 0$ ; 且使軔時挽力亦等於零, 即  $z = 0$ ;

故有

$$0 = \zeta(w + b_1).$$

此等式之成立條件當為

$$b_1 = -w.$$

因  $b_1 = 1000 v_1 \varphi_1^m$  公斤/公噸, (見§84)

且  $w = w_0 + w_r - w_g$ ,

故列車軔力係數等於

$$v_1 = \frac{w_g - w_0 - w_r}{1000 \varphi_1^m}. \quad (a)$$

此處基本比阻之機車部分, 應計其汽閥關閉時行駛比阻; 故

$$w_0 = [w_m^{LT}(L+T) + w_0 Q] \div Q.$$

列車軔力係數  $v_1$  既已求出, 且機車軔力係數  $v_L$  及煤水車軔力係數  $v_T$  亦為已知, 則欲使列車用等速度  $V_2$  行駛於坡度  $-S\%$  上, 所需軔機車輛數目, 可用下式推求之:

$$V_G = nV'_G = v_1 - v_L - v_T,$$

式中  $n$  = 軔機車輛數目 (簡稱軔車數目),

$$V'_G = \text{每個軔車之軔力係數} = \frac{\delta q}{1000 Q};$$

而  $q$  = 每個軛車之重量, 以噸計,  
 $\delta$  = 軛掌壓力係數 (見 §84).

故得軛車數目為

$$n = \frac{V_1 - V_L - V_T}{V_G}$$

例 設有列車, 滿載車輛共重 585 公噸; 車輛為二軸貨車, 煤水車及機車重 95 公噸, 在彎道下坡 (9%) 上駛行, 彎道半徑為 375 公尺, 其速度應為 45 公里/小時; 試求欲維持此等速度所需之軛車若干?

解 機車比阻假定為

$$w_s^T + w_m^L = 15.2 \text{ 公斤/公噸,}$$

車輛比阻假定為

$$w_G^G = \left[ 1.4 + \frac{V}{18} \right]_{V=45} = 3.9 \text{ 公斤/公噸.}$$

$\varphi_1^m$  之值可用 §84 中所舉算式計之:

$$\varphi_1^m = 0.20 - 0.0009V = 0.20 - 0.0009 \times 45 = 0.159,$$

$$w_s - w_r = 9 - \frac{750}{R} = 7\% = 7 \text{ 公斤/公噸.}$$

故得軛力係數

$$\varphi_1 = \frac{\frac{15.2 \times 95 + 3.9 \times 585}{680} + 7}{1000 \times 0.159} = 0.0099.$$

假設煤水車 (重 23.8 公噸) 軛掌壓力係數為 0.9, 車輛 (每輛重 7 公噸) 軛掌壓力係數為 0.6, 所需要軛車數目為  $n$ ; 則列車軛力總數為

$$B_1 = 0.6 \times 7n + 0.9 \times 23.8 = 0.0099 \times 680,$$

而得 
$$n = \frac{0.0099 \times 680 - 0.9 \times 23.8}{0.6 \times 7} = -3.5.$$

需要軛車為負號，可知煤水車軛力已足維持  $V=45$  公里/小時之速度，而無軛車之需要也。

問題 (b) (c) 及 (d)——此三問題，亦須用列車運動公式以解決之；此公式為

$$-\frac{dV}{dt} = \zeta(w + b_1),$$

式中 
$$b_1 = 1000 \varphi_1^m v_1,$$

$$w = w_0 + w_r \pm w_s,$$

而 
$$w_0 = \frac{w_m^L T (L + T) w_0 Q}{Q}.$$

比阻與速度有關係，基本比阻可寫為下式：

$$w_0 = a + bV + cV^2.$$

因比阻所含因素  $\varphi_1^m$  隨速度而變，故比阻亦與速度有下列關係：

$$\varphi_1^m = \alpha - \beta V. \quad (\text{見 §84})$$

如此則上列列車運動公式變為

$$\begin{aligned} -\frac{dV}{dt} &= \zeta [a + bV + cV^2 + w_r \pm w_s + 1000v_1(\alpha - \beta V)] \\ &= A + BV + CV^2, \end{aligned}$$

亦即 
$$-\frac{V dV}{ds} = A + BV + CV^2.$$

由此可得下列兩式：

$$-dt = \frac{dV}{A + BV + CV^2},$$



及 
$$-ds = \frac{V dV}{A + BV + CV^2},$$

式中 
$$A = \zeta(a + w_r \pm w_s + 1000v_1\alpha),$$
  

$$B = \zeta(b - 1000v_1\beta),$$
  

$$C = \zeta c.$$

如假定貨列車行駛阻力公式，不遵拋物線變更，而為直線函數，則可用

$$w_0 = a + bV,$$

而貨列車運動公式，當亦隨之而簡化，而為

$$-dt = \frac{dV}{A + BV},$$

及 
$$-ds = \frac{V dV}{A + BV},$$

式中 
$$A = \zeta(a + w_r \pm w_s + 1000v_1\alpha),$$
  

$$B = \zeta(b - 1000v_1\beta).$$

如此利用積分法，由上列公式，可解決此種列車運動問題。不過其運算手續甚為繁複；尤以前列兩式，含有  $V^2$  項，解算時，必須有反正切 (arc tangent) 及對數之微積分，且須作種種近似代替。運用此微分公式解決列車運動問題，太為費事，故不若直接利用較簡算式為宜也。

故列車使軛問題中之 (b), (c) 及 (d)，普通不必用微分方程式解決之，而只用下列簡單算式即可：

$$K.E. = (W + B_1)l_0,$$

即謂列車動能等於使軛距離中列車克服自然阻力  $W$  與人工阻力即

軛機阻力  $B_1$  所作之功也。在使軛過程中，列車原有速度  $V_1$  經過使軛距離  $l_b$  後，降低為另一速度  $V_2 (< V_1)$ 。其所消耗動能當然等於列車在  $l_b$  距離中克服阻軛力所完成之功。然

$$(K. E.)_1 - (K. E.)_2 = 4.2Q(V_1^2 - V_2^2) \text{ 公尺公斤,}$$

而且  $W = (w_0^m + w_r - w_s)Q$  公斤,

式中  $w_0^m$  = 使軛過程中平均基本比阻。因

$$w_0^m = \frac{1}{V_1} \int_{V_2}^{V_1} w_0 dV,$$

假設

$$w_0 = a + bV^2,$$

則有

$$\begin{aligned} w_0^m &= \frac{1}{V_1} \int_{V_2}^{V_1} (a + bV^2) dV \\ &= a \frac{V_1 - V_2}{V_1} + \frac{b}{3} \times \frac{V_1^3 - V_2^3}{V_1}. \end{aligned}$$

假設

$$w_0 = a + bV,$$

則有

$$\begin{aligned} w_0^m &= \frac{1}{V_1} \int_{V_2}^{V_1} (a + bV) dV \\ &= a \frac{V_1 - V_2}{V_1} + \frac{b}{2} \times \frac{V_1^2 - V_2^2}{V_1}, \end{aligned}$$

即

$$w_0^m = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \left[ a + \frac{b}{2} (V_1 + V_2) \right].$$

且知列車軛力在速度自  $V_1$  變至  $V_2$  時，須採用平均摩阻係數  $\phi_1^m$  以推求之，而為

$$B_1 = 1000Qv_1\phi_1^m.$$

此平均廢阻係數之值爲

$$\begin{aligned}\varphi_1^m &= \frac{1}{V_1} \int_{V_2}^{V_1} \varphi_1 dV = \frac{1}{V_1} \int_{V_2}^{V_1} (\alpha - \beta V) dV \\ &= \alpha \frac{V_1 - V_2}{V_1} - \frac{\beta}{2} \times \frac{V_1^2 - V_2^2}{V_1} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \left[ \alpha - \frac{\beta}{2} (V_1 + V_2) \right].\end{aligned}$$

計畫路線時，列車運動問題恆以貨運列車爲計算對象。故基本比阻可用公式  $w_0 = a + bV$  計算。茲將 K.E.,  $W$  及  $B_1$  各項代入公式  $(K.E.)_1 - (K.E.)_2 = 4.2Q(V_1^2 - V_2^2) = (W + B_1)l_b$  中，而得

$$\begin{aligned}4.2Q(V_1^2 - V_2^2) &= l_b \left[ \left\{ \frac{V_1 - V_2}{V_1} \left( a + \frac{b}{2} \overline{V_1 + V_2} \right) + w_r - w_s \right\} Q \right. \\ &\quad \left. + \frac{V_1 - V_2}{V_1} \left\{ \alpha - \frac{\beta}{2} (V_1 + V_2) \right\} 1000v_1 Q \right].\end{aligned}$$

上式化簡，得

$$\begin{aligned}4.2Q(V_1^2 - V_2^2)V_1 &= l_b \left\{ a + \frac{b}{2} (V_1 + V_2) + (w_r - w_s) \frac{V_1}{V_1 - V_2} \right. \\ &\quad \left. + 1000v_1 \left[ \alpha - \frac{\beta}{2} (V_1 + V_2) \right] \right\}.\end{aligned}$$

實際上，速度之變化多爲自  $V_1$  至  $V_2 = 0$ ；今設  $V_2 = 0$ ，而  $w_0$  之數值則根據包爾德文公式計算； $\varphi_1^m$  之數值則遵照羅謨諾薩夫公式計算，即

$$\begin{aligned}a &= 1.5, \\ b &= 0.05, \\ \alpha &= 0.20, \\ \beta &= 0.0015,\end{aligned}$$

則得下列簡單公式，以解決使軔問題中之(b)，(c)及(d)：

$$4.2V_1^2 = l_b[1.5 + 0.025V_1 + w_r - w_s + v_1(200 - 0.75V_1)].$$

根據此式，則問題(b)，(c)及(d)甚易解決如下：

問題(b)

$$l_b = \frac{4.2V_1^2}{1.5 + 0.025V_1 + w_r - w_s + v_1(200 - 0.75V_1)} \text{ 公尺. (b)}$$

問題(c)

$$v_1 = \frac{4.2V_1^2 - l_b(1.5 + 0.025V_1 + w_r - w_s)}{l_b(200 - 0.75V_1)} \text{ 公尺. (c)}$$

問題(d) 先將原式變為二次方程式如下：

$$\begin{aligned} 4.2V_1^2 - l_b(0.025 - 0.75v_1)V_1 \\ - l_b(1.5 + w_r - w_s + 200v_1) = 0, \end{aligned}$$

則得

$$V_1 = \frac{(0.025 - 0.75v_1)l_b + \sqrt{[(0.025 - 0.75v_1)l_b]^2 + 16.8l_b(1.5 + w_r - w_s + 200v_1)}}{8.4} \text{ 公里/小時. (d)}$$

此三公式，皆根據  $V_2 = 0, t = 120$  而推演者也。

§109. 預備用軔時間及距離 公式(b)為使軔距離計算公式。使軔距離為軔機開始動作以至停車所經之距離；即謂列車開始消失速度於軔力之時起，至停車為止，所經過之距離也。但司機自接到停車信號後至軔機開始工作前，其間必須經過一段距離或時間；在使軔距離計算中，應計入此預備距離  $l_b$ 。其間所經過之時間，為自司機開始使軔至軔機全力工作開始，所經過之時間，因軔機種類而別。在

歐洲各國(德、意)此預備使軔時間規定約如下列:

手軔  $t=5$  秒;

氣軔  $t=3$  秒.

因爲自開始使軔至軔機全力工作間, 所隔時間甚短, 可將其間車行速度認爲原有初速  $v_1$ ; 而預備使軔距離可認爲

$$l'_b = v_1 t = \frac{1000V_1}{60 \times 60} \times t = 0.28V_1 t \text{ 公尺.}$$

上式  $v_1$  以公尺/秒爲單位,  $V_1$  則以公里/小時計. 故預備使軔距離爲

手軔  $l'_b = 0.28 \times 5V_1 = 1.4V_1$  公尺;

氣軔  $l'_b = 0.28 \times 3V_1 = 0.8V_1$  公尺.

如此則使軔距離全長應爲

$$L_b = l_b + l'_b.$$

德國及歐洲其他國家, 恆將使軔距離規定爲 700 公尺; 然則軔機實際工作之距離則爲: (1) 手軔,  $l_b = L_b - l'_b = 700 - 1.4V_1$ ; (2) 氣軔,  $l_b = 700 - 0.8V_1$ .

德國鐵路, 採用預備用軔時間爲:

手軔  $t=10$  秒;

氣軔(最新電力氣軔)  $t=2$  秒.

如此則預備使軔距離爲

手軔  $l'_b = 0.28 \times 10V_1 = 2.8V_1$  公尺;

電力氣軔  $l'_b = 0.28 \times 2V_1 = 0.6V_1$  公尺.

例 1. 設有快行客列車, 重量  $Q=250$  公噸, 裝配電力氣軔, 以  $V_1=80$  公里/小時之速度行於  $S=2\%$  之下坡; 列車軸數中有 60% 裝

有軔掌。欲使停車，試問須經過若干公尺使軔距離？

$$\begin{aligned} \text{解 } l_b &= \frac{4.2V_1^2}{1000\varphi_1^m \times 0.6 + w_0 - S} \\ &= \frac{4.2 \times 80^2}{600(0.20 - 0.0009V_1) + \left[2.4 + \frac{1}{1300} \left(\frac{V_1}{2}\right)^2\right] - 2} \\ &= \frac{4.2 \times 80^2}{600(0.20 - 0.0009 \times 80) + 3.63 - 2} = 342.7 \text{ 公尺。} \end{aligned}$$

$$L_b = l_b + l'_b = 342.7 + 0.6 \times 80 = 390.7 \text{ 公尺。}$$

例 2. 如前例列車在直線行駛，並擬使其在使軔距離  $l_b = 700$  公尺中停車，則須在何種坡度上始可？

$$\begin{aligned} S &= \frac{-4.2V_1^2}{l_b} + 1000\varphi_1^m \times 0.60 + w_0 \\ &= \frac{-4.2V_1^2}{700} + 600 \times 0.13 + 3.63 \\ &= -\frac{4.2 \times 80^2}{700} + 600 \times 0.13 + 3.63 \\ &= -43.23\%。 \end{aligned}$$

§110. 使軔問題之圖解法 以上乃以分析法解答使軔問題。此外，更可用圖解法以解決之，且可得相當精確之結果。圖解法原理或在用圖解以求列車運動公式之積分，或用特種圖解以表示列車使軔之過程。

列車運動公式  $\frac{dV}{dt} = f(e - w - b)$  積分之圖解法，各家創作甚多。

最初發表此法者，為得斯杜伊慈 (1898)。其法如圖 67 所示，先作  $s$  與  $V$  及  $(w+b)$  與  $V$  之關係曲線  $s$  及  $w+b$  線，再藉此以作曲線，表示  $t$  與  $V$  之關係。蓋因

$$t = \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V(z-w-b)}$$

也。但得斯杜伊慈當時未曾示出如何構製此曲線  $V=f(t)$ 。經過相當時間後，始有人將此曲線  $V=f(t)$  之製法發表。如羅謨諾薩夫即其中之一人也。

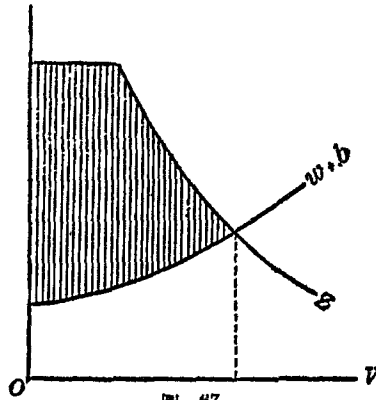


圖 67.

且得斯杜伊慈圖解法有一種缺點，即速度  $V$  之數值按行駛時間  $t$  之函數而變化，而路線縱剖面圖則以距離  $s$  表示，此於實際應用上大

為不便。因此繼而研究此問題者，如杜別立爾 (Dubeir)、澤奇斯哥德 (Tschetschot)、李皮慈 (Liepetz)、史特拉爾、翁能 (Unrein)、佛萊 (Fry) 等前後創製許多圖解法，次示速度與距離之關係  $[V=f(s)]$ 。亦有以圖解與解析兩法兼用，解答此問題者，當有專書詳論之；茲將便於實用者述之於後。如

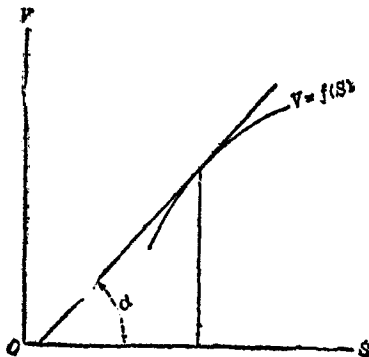


圖 68.

李皮慈(1911)與翁能(1913)兩法,皆以速度與距離關係曲線之簡易作圖爲目的。設有  $V=f(s)$  曲線(圖 68), 在任意一點作其切線, 而與橫軸(即  $s$  軸)成  $\alpha$  角, 並可寫作下式:

$$\tan \alpha = \frac{dV}{ds} = \frac{dV}{dt} \frac{1}{V}.$$

但從另一面言, 自列車運動公式, 可知

$$\frac{dV}{dt} = \zeta(z-w-b) = \zeta[z-(w+b)],$$

或即 
$$z-(w+b) = \frac{1}{\zeta} \frac{dV}{dt}.$$

將  $\frac{dV}{dt}$  之值代入前式以求  $\tan \alpha$ , 即得

$$\tan \alpha = \zeta \frac{z-(w+b)}{V}.$$

如將圖 69 中所作之  $z-(w+b)=f(V)$  曲線上, 任取一點, 與座標原

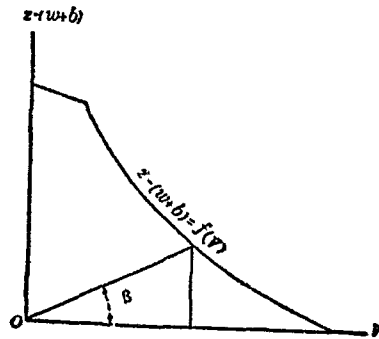


圖 69.



點  $O$  連以直線，使此直線與  $V$  軸成  $\beta$  角，則有下式：

$$\tan \beta = \frac{z - (w + b)}{V}$$

如在曲線  $z - (w + b) = f(V)$  之座標圖上，採取  $z - (w + b)$  之比例尺較曲線  $V = f(s)$  座標圖上之  $s$  比例尺大  $\xi = 120$  倍，則兩座標圖上之  $\alpha$  及  $\beta$  角相等：

$$\angle \alpha = \angle \beta.$$

李皮茲圖解法即根據此基本原理演繹而來。其推演約如下述：

如圖 70 所示，用若干水平線將曲線  $z - (w + b) = f(V)$  分成若干段，再用許多與  $V$  軸平行之直線與此等水平線聯絡而成階級形折線，以此折線代替曲線  $z - (w + b)$ ，意即假定在速度  $V$  之一小段落中，挽力減阻力 [即  $z - (w + b)$ ] 為一常數，其數值則為  $z - (w + b)$  在此段落中之平均數值。再自座標原點  $O$  作直線以達各垂直線段之中點，如圖 70

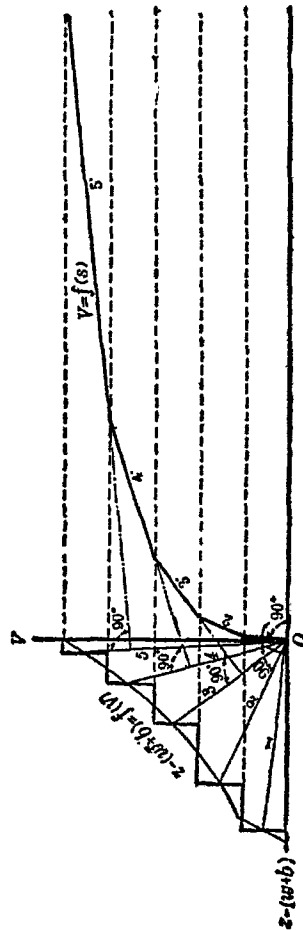


圖 70.

之輻射線 1, 2, 3, ……等。然後在水平平行線間作輻射線 1, 2, 3, ……之垂直線 1', 2', 3', ……等, 如圖 70 所示。如此所得折線 1', 2', 3', ……即曲線  $V=f(s)$  之近似線矣。且所作水平平行線之數愈多, 則此折線愈與所求曲線  $V=f(s)$  相近; 如所作水平平行線之數增至無限大, 則所得之折線即成所求之曲線矣。不過選定路線計畫中, 無需求其至確。如圖 70 所示, 在作曲線  $V=f(s)$  時,  $V$  之比例尺與作曲線  $z-(w+b)=f(V)$  時所用者相同, 故  $s$  之比例尺即為已定之數, 蓋其已由  $V$  及  $z-(w+b)$  之比例尺所限定也。

假設  $z-(w+b)$  之比例尺為

$$1 \text{ 公斤/公噸} = a \text{ 公厘},$$

而速度  $V$  之比例尺為

$$1 \text{ 公里/小時} = b \text{ 公厘},$$

則在圖 71 上之  $\overline{AB}$  線為

$$\overline{AB} = a \cdot [z-(w+b)] \text{ 公厘}.$$

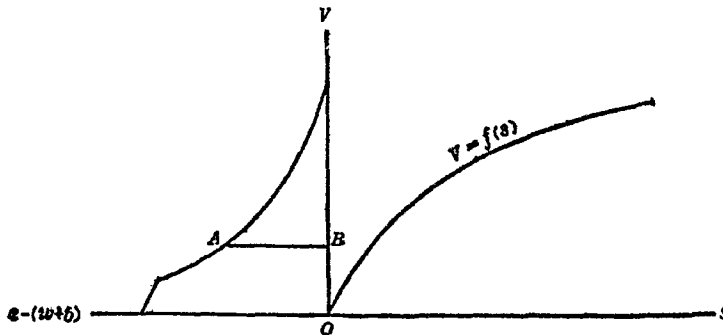


圖 71.

但自列車運動公式  $\frac{dV}{dt} = \zeta[z - (w + b)]$ , 得知  $AB$  又為  $\zeta[z - (w + b)]$  公里/小時<sup>2</sup>. 故知加速度之比例尺為

$$1 \text{ 公里/小時}^2 = \frac{a}{\zeta} \text{ 公厘.} \quad (\text{I})$$

又前曾規定速度比例尺為

$$1 \text{ 公里/小時} = b \text{ 公厘,} \quad (\text{II})$$

故自(I)(II)兩式, 可得距離比例尺為

$$\frac{(\text{II})^2}{(\text{I})} = \frac{b^2}{\frac{a}{\zeta}} \frac{\text{公厘}^2}{\text{公厘}} = \frac{(\text{公里/小時})^2}{\text{公里/小時}^2} = \frac{\zeta b^2}{a} \text{ 公厘} = 1 \text{ 公里,}$$

即謂  $1 \text{ 公里} = \frac{\zeta b^2}{a} \text{ 公厘.}$

上列各項比例尺當然根據於一種假定, 即在兩種曲線  $z - (w + b) = f(V)$  與  $V = f(s)$  中, 所採取速度  $V$  之比例尺固定不變. 例如挽力阻力之比例尺[即  $z - (w + b)$  之比例尺]為

$$1 \text{ 公斤/公噸} = 6 \text{ 公厘} = a.$$

速度  $V$  之比例尺為

$$1 \text{ 公里/小時} = 2 \text{ 公厘} = b,$$

則距離  $s$  之比例尺為

$$1 \text{ 公里} = \frac{\zeta \times 2 \times 2}{6} = \frac{120 \times 4}{6} = 80 \text{ 公厘.}$$

在列車運動公式之普通情形中, 即謂

$$\frac{dV}{dt} = \zeta(z - w - b)$$

時，吾人既能用圖解法作出曲線  $V = f(s)$ ，則在列車使軔運動中之 (b), (c), (d) 三項問題，亦不過此普通情形之變態而已，其運動公式

$$-\frac{dV}{dt} = \zeta(w+b)$$

之積分，亦不難用圖解示之。在此情形中，阻力曲線

$$w+b_1 = w_0^m + w_r - w_s + 1000\varphi_1^m v_1 = f(V).$$

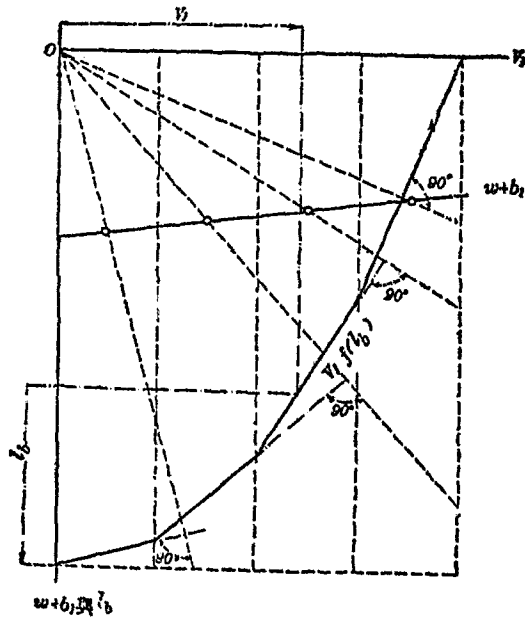


圖 72.

在貨運列車運動中，所含基本阻力既可視為直線函數，而為

$$w_0^m = a + bV,$$

故  $w + b_1$  之函數全部亦可視為直線。如圖 72 上，已將曲線(或即直線)  $w + b_1 = f(V)$  作出，則可按照上述圖解法以作出曲線  $V_1 = f(l_b)$ ，以表示使軔初速度  $V_1$  與使軔距離  $l_b$  之關係。此曲線既已作出，則問題 (b) 與 (d) 易於由作圖推求之矣。自已知之  $V_1$ ，可用垂線交於曲線上，而求得  $l_b$ ；亦可自已知之  $l_b$ ，畫水平線交於曲線上，而求得  $V_1$ 。

至於問題 (c)，由  $l_b, V_1$  以求  $v_1$ ，則稍較複雜。宜假定  $v_1$  之數值而試求與  $V_1$  及  $l_b$  是否相符；否則再假定一值而試求之；如是數試之後，必能得其確值矣。

此處所述，雖皆以  $V_2 = 0$  為出發點，然如  $V_2 > 0$ ，其解法亦同一原理也。

§111. 杜別立爾圖解法 在 1923 年，杜別立爾根據一種作圖法，製出軔力問題圖解。其理論大略如次：在使軔過程中，乃以阻力軔力消滅動能，而其中之關係成一等式如下：

$$K. E. = (W + B_1)l_b,$$

然 
$$K. E. = 1.06 \frac{m_1 V^2}{2} = 1.06 \frac{QV^2}{2g},$$

$$W = wQ = (w_0^m + w_r - w_s)Q,$$

$$B_1 = b_1 Q,$$

且 
$$b_1 = 1000v_1 \phi_1^m,$$

故有 
$$1.06 \frac{QV^2}{2g} = (w + b_1)Ql_b,$$

亦即 
$$1.06 \frac{V^2}{2g} = (w + b_1) l_b.$$

然  $1.06 \frac{V^2}{2g} = H_v$ , 而為速度高度, 故得

$$H_v = (w + b_1) l_b = f(l_b).$$

如在圖 73, 於曲線  $H_v = f(l_b)$  上之  $A$  點, 作切線  $AC$  與橫軸成  $\alpha$  角; 則可寫出下式:

$$\tan \alpha = \frac{dH_v}{dl_b} = \frac{dV}{dt} = w + b_1 = \frac{W + B_1}{Q}.$$

在圖 73 之左邊, 為曲線

$$H_v = f(V) = 1.06 \frac{V^2}{2g} = 0.0042V^2;$$

此圖上按照已知之使軌距離  $l_b$ , 即可求得初速度  $V_1$ . 如圖所示, 由  $B$  點作垂直線經過  $A$ , 改水平方向折交於  $E$ , 再折向垂直方向而至  $H$

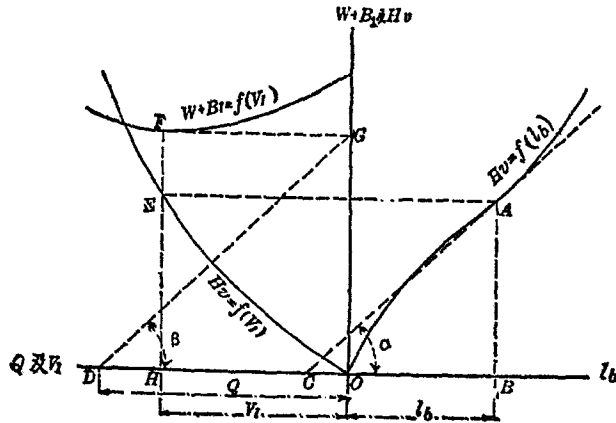


圖 73.

點，則  $OH$  即為所求之初速度  $V_1$  矣。

再從另一面設想，在圖 73 上，復作曲線  $W + B_1 = f(V_1)$ ，且在橫軸上截畫列車總重  $Q = \overline{OD}$ ，則與使軔距離之  $B$  點相對之綜合阻力  $W + B_1 = \overline{FH}$  頗易求出。作  $\overline{FG}$  平行於橫軸，即將此綜合阻力截畫於縱軸上，連  $\overline{GD}$ ，則  $\overline{GD}$  與橫軸成  $\beta$  角，而且

$$\tan \beta = \frac{\overline{OG}}{\overline{OD}} = \frac{W + B_1}{Q}.$$

比較  $\tan \alpha$  與  $\tan \beta$ ，則知兩角相等，

$$\angle \alpha = \angle \beta,$$

亦即

$$\overline{AC} \parallel \overline{DG}.$$

杜別立爾圖解法，即根據此基本原理所演進。其製法如次：

在作曲線  $H_0 = f(V_1)$  與  $W + B_1 = f(V_1)$  時，在縱軸上截出最大之  $H_0^{\max}$ （此為與機車最大速度相當之速度高度），將此高度  $H_0^{\max}$  分為若干分（最好為等分），在分界點上，作水平線之平行線，將原有曲線分為若干水平線段。每個水平線段中，可利用曲線  $H_0 = f(V_1)$  及  $W + B_1 = f(V_1)$  求其阻力  $W + B_1$  之平均數值；而後再用上述方法（圖 73），求其平均輻射線與橫軸所成角度。此角度亦即曲線（在小線段中可視作直線） $H_0 = f(l_0)$  與橫軸所成之角度；其數值在每一小線段中為固定不變者（圖 73）。每線段之  $\overline{DG}$  線斜度推定後，則自原點  $O$  作第一個線段中之  $H_0 = f(l_0)$  曲線（即直線），與其相應之  $\overline{DG}$  線平行。如此可得曲線（即折線）

$$H_0 = f(l_0).$$

此曲線由許多直線部分合成，實為折線，所分線段愈多，則此折線與

所求之曲線愈相近似。

圖 74 示出杜別立爾圖解法。先將縱軸之最大  $H_v^{max}$  分為五分，在分界點上作水平線（如圖之右半）；再將每線段之中心求出，在中點上向左方作水平線，與曲線  $H_v = f(V_1)$  相交，折而向上。沿垂直方向與曲線  $W + B_1 = f(V_1)$  相遇後，復折而向右，沿水平方向與縱軸相交，由此交點再和  $D$  點相連，而得輻射線 1, 2, 3, 4, 5 等。自  $O$  點起，在第一線段中作直線  $1'$  平行於 1；在第二線段中作直線  $2'$  平行於 2，如此而得折線  $1', 2', 3', 4', 5'$ ，即曲線  $H_v = f(l_b)$  之近似線也。所分線段愈多，則此折線與所求曲線愈相近；線段數目增至無限時，折線

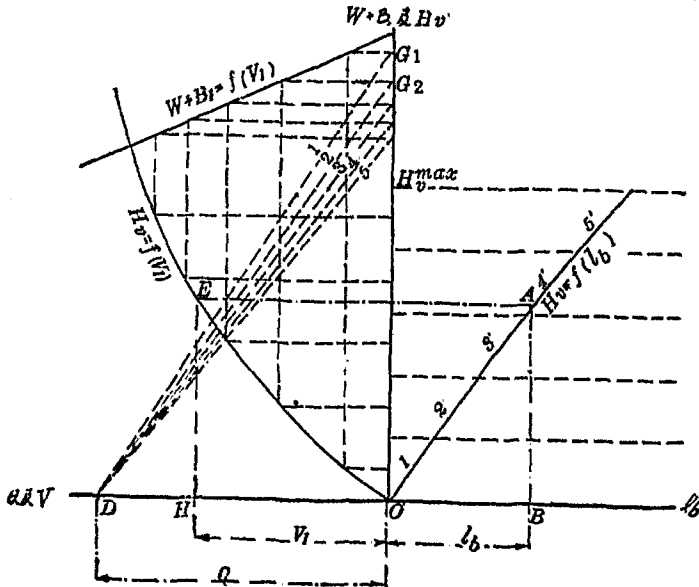


圖 74.



即成曲線矣。

圖 74 中，曲線  $W + B_1 = f(V_1)$  與  $H_v = f(V_1)$  為預先作出之已知曲線，而曲線  $H_v = f(l_b)$  則由此兩曲線而推求產生者也。此曲線既已求得，如已規定使軛距離為  $l_b = \overline{OB}$ ，則可作  $\overline{BA}$ ,  $\overline{AE}$ ,  $\overline{EH}$  以求  $V_1$  之數值；或由既定之  $V_1$  以求  $l_b$ 。

自圖 74，知  $DG_1, DG_2, \dots$  等斜線相去不遠；貨列車之  $H_v = f(l_b)$  曲線近於直線，而客列車之曲線  $H_v = f(l_b)$  則有兩個反彎，如圖 73 所示。此反彎與曲線  $W + B_1 = f(V_1)$  之彎度相應，而阻力  $W$  因速度之增加而增加，軛力  $B_1$  則因速度之增加而減低。

然則使軛問題 (b) 及 (d) 兩項已如上法解決矣。至於問題 (c)，乃由已知  $V_1$  與  $l_b$  而求所需要之軛力數量 (係數  $V_1$ ) 之法，亦可若李皮慈法，先假定數值以試驗之。不過杜別立爾法對於此問題之解決，較為簡明耳。

此法所用比例尺，亦易於推定。如圖 73 中，

$$\frac{\overline{DO}}{\overline{GO}} = \frac{\overline{CB}}{\overline{AB}}$$

故比例尺宜有下列之互相關係：

$$\frac{Q \text{ 之比例尺}}{(W + B_1) \text{ 之比例尺}} = \frac{l_b \text{ 之比例尺}}{H_v \text{ 之比例尺}}$$

杜別立爾認為以 1 公分代表下列各項最為適宜：

	客運列車	貨運列車
$l_b$	50 公尺	50 公尺
$H_v$	2 公尺	0.5 公尺

$V_1$	5 公里/小時	2 公里/小時
$Q$	50 公噸	1000 公噸
$W+B_1$	2000 公斤	1000 公斤

雖杜別立爾法較李皮慈法中，須多作一輔助曲線  $H_v = f(V_1)$ ，然此曲線根據速度高度表，極易作出。且因有  $H_v = f(l_b)$ ， $W+B_1 = f(V_1)$  及  $H_v = f(V_1)$  等曲線，則使軌過程中一切變化，皆一目了然矣。

§112. 坡度  $S$ ，速度  $V$ ，列車載重  $Q$  與軀軸數目  $(n_1+n_2)$  之連鎖關係 貨運列車，使用手軀行駛於下坡時，所需軀軸數目，可用連鎖關係圖以表示之。試舉例以申明此作圖法。軀力係數普遍示之，為

$$v_1 = \frac{(n_1+n_2)\delta(p_0+p_0')}{1000(L+T+G)}$$

式中

$n_1$  = 列車車輛軀軸數目，

$n_2$  = 機車煤水車(軀力)之當量軀軸數目，

$p_0+p_0'$  = 每軸承重(連同死重)。

假設兩軸貨車之  $\delta(p_0+p_0') = 1800$  公斤，而且  $L+T = 100$  公噸；則

$$v_1 = \frac{(n_1+n_2)1800}{1000(100+G)}$$

而得

$$(n_1+n_2) = \frac{(G+100)v_1}{1.80}$$

但前已述及，按照既知之  $S$ ， $l_b$  及  $v_1$ ，可以推求  $V_1$ ，故可根據  $S$  及  $V_1$  之數值，作出  $v_1$  之數值；即謂作曲線  $v_1 = f(S, V_1)$ ，有如圖 75 左邊所示。再根據此曲線作出  $n_1+n_2 = f(G, S, v_1)$  曲線，有如圖 75 右半所示。如是可得一連鎖圖，據此推求列車軀軸數目甚為簡易。圖 75 中，乃採用下列之假定：

$$\varphi_1 = 0.24 - 0.0018V,$$

$$L + T = 100 \text{ 公噸},$$

$$l_b = L_b - l'_b = 800 - 3.33V_1.$$

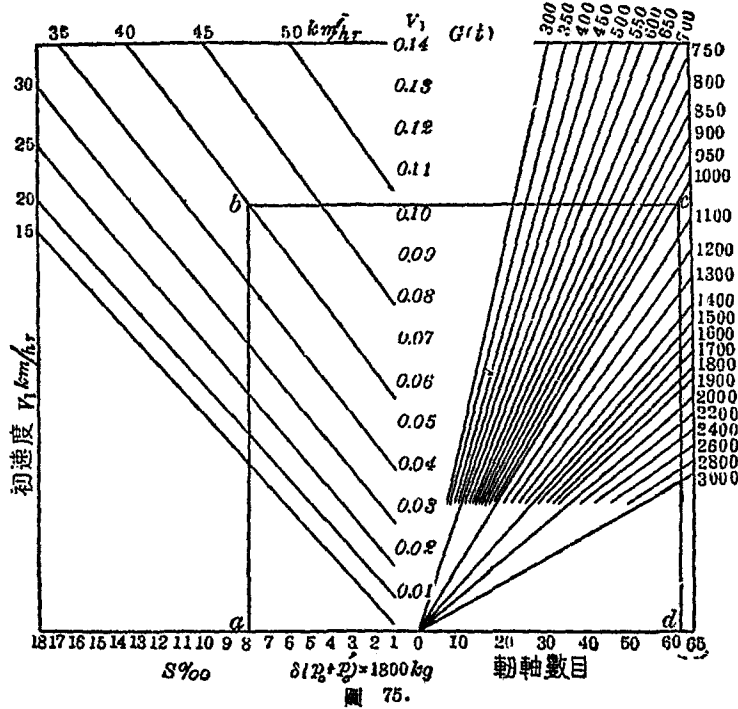


圖 75.

例 列車重量  $G = 1000$  公噸(機車重 100 公噸), 以  $V_1 = 40$  公里/小時之初速度行於  $S = -8\%$  之下坡。欲在 800 公尺(連同預備使軾距離)內停車, 試用圖 75 以求軾軸數目  $(n_1 + n_2)$  若干?

解 在坡度軸上覓出  $S = -8\%$  之  $a$  點, 作  $ab$  垂直線, 使與速

度  $V_1 = 40$  公里/小時相應之  $v_1$  之曲線相交於  $b$  點；再作水平平行線  $\overline{bc}$  及垂線  $\overline{cd}$ ，則軛軸數目可由  $\overline{Od}$  計出，即

$$n_1 + n_2 = 62,$$

如機車煤水車之當量軛軸為 32 個，則車輛需要軛軸數目為

$$n_1 = 62 - n_2 = 62 - 32 = 30.$$

§113. 克列克太色夫之  $v_1, S, V_1, l_b$  連鎖關係圖。

1. 列車重量如為  $L + T + G$  公噸，其質量當為

$$\frac{1000(L + T + G)}{g} \text{ 公斤.}$$

如再加以 6% 旋轉部分之旋轉影響，則列車運動中之質量為

$$1.06 \times \frac{1000(L + T + G)}{g} \text{ 公斤.}$$

列車速度自  $V_1$  變為  $V_2$  時，其間所損失之動能當為

$$\frac{m_1 V_1^2}{2} - \frac{m_1 V_2^2}{2},$$

如  $V_2 = 0$ ，即謂列車終於停止，則此動能之損失為

$$\frac{m_1 V_1^2}{2} = \frac{1.06 \times 1000(L + T + G)}{2g}$$

$$\times \frac{1000^2 V_1^2}{3600^2} \text{ 公斤公尺,}$$

或即 
$$\frac{m_1 V_1^2}{2} = 4.17(L + T + G)V_1^2$$

$$\cong 4.2(L + T + G)V_1^2 \text{ 公斤公尺.} \quad (a)$$

2. 倘列車全部綜合比阻，以包爾德文公式計算，則列車行駛於

-S%下坡時，自  $V=V_1$  至  $V=0$  間，其阻力之平均值爲

$$W = \left[ 1.5 + \frac{V_1}{20 \times 2} - S \right] (L + T + G)$$

$$= (1.5 + 0.025V_1 - S)(L + T + G). \quad (b)$$

3. 軔車輪箍間摩擦係數  $\varphi_1$  可按羅漢諾薩夫公式計算，但速度則應爲平均值  $\frac{V_1}{2}$ ，故

$$\varphi_1 = 0.20 - 0.0015 \times \frac{V_1}{2} = 0.20 - 0.00075V_1.$$

平均速度下之列車軔力則爲

$$1000(L + T + G)v_1\varphi_1 = (L + T + G)v_1(200 - 0.75V_1). \quad (c)$$

4. 軔力工作與動能相等，故

$$\left[ \frac{m_1 V_1^2}{2} \right] = W \cdot l_b.$$

或根據上列(a), (b), (c)諸式，得

$$4.2V_1^2 = [(1.5 + 0.025V_1 - S) + v_1(200 - 0.75V_1)]l_b. \quad (d)$$

此最後公式(d)示出  $V_1$ ,  $v_1$ ,  $S$  及  $l_b$  各項之互相關係，克列克太色夫 (Krecteshev) 將此公式用連鎖關係圖表示之，有如圖 76 所示(此圖中所用  $\varphi_1$  之數值最好用平均數值  $\varphi_1^m$ ，見 §84)。在水平線  $MN$  上，畫出  $S$  之各種數值；在水平線  $M_1N_1$  上畫出  $100v_1$  之各種數值；根據公式(d)並用  $S$  與  $100v_1$  所用比例尺，可在圖之下方作許多水平線，以示  $V_1$  之不同數值。再用(d)式以畫出各種初速度  $V_1$  之相應使軔距離  $l_b$ 。因爲每種初速度  $V_1$  之下，其使軔距離  $l_b$  又因  $S$  及  $v_1$  而

變,故每個初速度水平線上,  $l_b$  之大小不只一種;將各初速度水平線

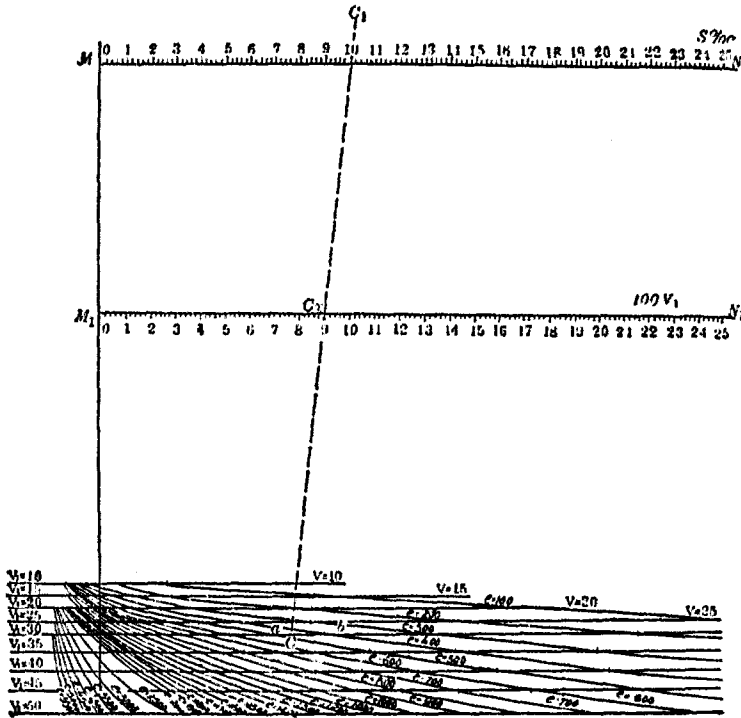


圖 76。

上相同之  $l_b$  連成一曲線,則此曲線即為連鎖圖矣。其用法如下:

設已知:  $S=10\%$ ,  $V_1=30$  公里/小時,  $l_b=475$  公尺。

在  $V_1=30$  公里/小時之水平線上,將  $l_b=400$  及  $l_b=500$  之兩曲線相較而求出  $l_b=475$  公尺之位置,得  $C$  點。將  $C$  點與  $MN$  線上之  $S=10\%$

點連以直線，即得直線  $CC_1$ 。此直線  $CC_1$  交  $M_1N_1$  線於  $C_2$  點，而得  $v_2$  之數值。公式(d)中所含四項數值，如任何三種為已知，即可按圖以求其一未知數量，用法甚為簡便。

§114. 克列克太色夫之  $v_1, G, (n_1 + n_2)$  連續關係圖 吾人前已

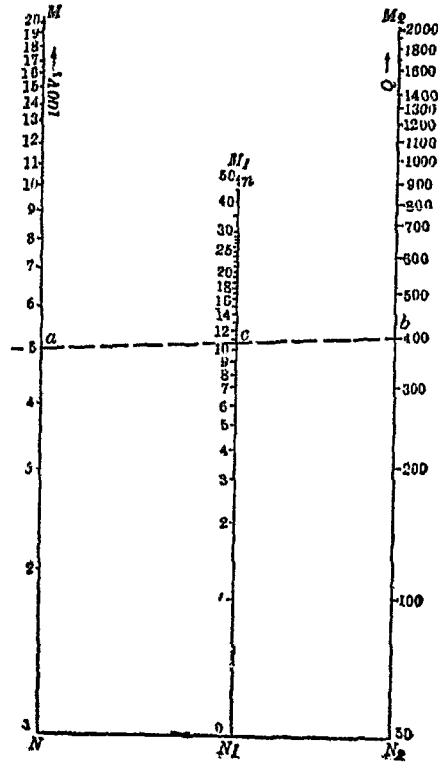


圖 77.

論及，輻力係數等於(見 §84):

$$v_1 = \frac{\Sigma \delta(p_0 + p_0') \cdot \frac{1}{2}}{L + T + G}.$$

假設  $\delta = 0.5$ , 且  $(p_0 + p_0') \cdot \frac{1}{2} = 3.6 \times \frac{1}{2}$ ;

$$\begin{aligned} \text{則有 } v_1 &= \frac{0.5 \times 3.6(n_1 + n_2)}{L + T + G} \\ &= \frac{1.8(n_1 + n_2)}{L + T + G}. \end{aligned}$$

將此式之對數求出後,可作  $v_1, G$  及  $(n_1 + n_2)$  三項連鎖圖(如圖 77). 如其中兩項為已知,則按圖推求第三項甚易. 法在垂線  $MN$  上畫出  $100 v_1$  之對數,而在垂線  $M_1N_1$  上畫出  $(n_1 + n_2)$  之數值,並沿垂線  $M_2N_2$  畫出  $(L + T + G)$  之噸數;此數值則由上式而求得者也. 如按照圖 76 已求出  $v_1 = 0.05$ , 列車重量已知為  $G = 400$  公噸,則在  $v_1 = 0.05$  處作直線與  $G = 400$  公噸之點相連,而得直線  $\overline{ab}$ ;此直線  $\overline{ab}$  交  $M_1N_1$  軸於  $C$  點,即所求之輻軸數目  $(n_1 + n_2)$ . 故三項中如任何兩項為已知,則第三項均甚易畫出.

§115. 用圖解由  $l_b, V_1$  求  $v_1$  之近似法 前曾言及,如已知  $l_b, V_1$  以求  $v_1$ , 必須試探得之. 然亦可避免試探而直接求之,如不計較機車汽閘關閉行駛之特別阻力,則此輻曲線  $\overline{ab}$  (圖 78) 極似直線. 今將此曲線之一段視作直線,如  $\overline{ab}$ . 用許多垂直平行線分作若干段,自座標原點  $O$  連直線以通各小段之中心點;然後自  $V_1$  點起,在每段中作成輻射線之垂直線,而得一折線,此折線可作成與輻力曲線相近似.



例如假設  $\overline{ab}$  含有一小段  $mn$ ，且其速度平均點為  $e_1$ ，即  $\overline{Oe_1} = \frac{V_1}{2}$ ，而  $\overline{ab}$  線段中之平均速度則為  $\frac{V_1}{2}$ ； $ab$  可視為直線，因其極短，則  $e_1$  適

為  $\overline{OO_1}$  之中點。作  $\overline{Oe}$ ，再作  $\overline{O_1B} \perp \overline{Oe}$ ，即得  $l_b$ 。如圖 78 所示， $l_b = \overline{OB}$ 。如已知使軌距離  $l_b = \overline{OB}$  及初速度  $V_1 = \overline{OO_1}$ ，將兩點  $B$  及  $O_1$  用直線相連；自  $O$  點作直線  $\overline{Oe}$  垂直於  $\overline{BO_1}$ ，使與  $\overline{ee_1}$  垂直線相交於  $e$  點；則  $e_1e$  在適當之比例尺中可以代表  $v_1$  之數值，亦即  $(n_1 + n_2)$  之數值也。其證明甚簡易。

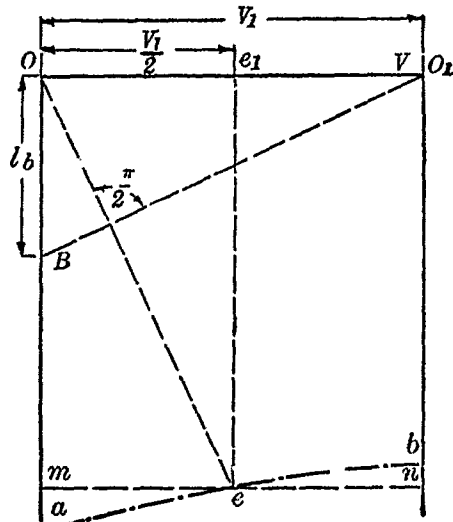


圖 78.

座標圖之原點為  $O$ ，縱軸示  $l_b$ ，橫軸示  $V_1$ ；同

時縱軸亦可以表示軌力。曲線  $\overline{ab}$  即為軌力與  $V_1$  之關係線； $\overline{e_1e}$  即  $\overline{ab}$  曲線在  $e$  點處之縱座標距。列車每噸重量之軌力（除去下坡負號比阻外）為

$$w_0 - w_s + \delta_1 = \left[ w_0 - w_s + \frac{\varphi_1 \delta (p_0 + p_0') (n_1 + n_2)}{L + T + G} \right],$$

故在適當比例尺之下，

$$\overline{ee}_1 = \left[ w_0 - w_s + \frac{\varphi_1 \delta (p_0 + p_0') (n_1 + n_2)}{L + T + G} \right].$$

既已求得  $\overline{ee}_1, w_0, w_s, \varphi_1, \delta(p_0 + p_0')$  及  $(L + T + G)$  之數值，則軛軸數目  $(n_1 + n_2)$  易於求出矣。

§116. 巴拉諾夫 (Baranov) 之軛軸計算圖解法 前曾述及，使軛過程中，列車動能受有損失，此損失量因速度變化  $V_1^2 - V_2^2$  而定。如假定  $V_2 = 0$ ，則動能消耗為

$$4.2(V_1^2 - V_2^2) = 4.2V_1^2.$$

此消耗之動能，可用使軛過程中軛機所完成之功代替之，即

$$4.2V_1^2 = (b_1 - w_s + w_0)l_b,$$

$$\text{故得} \quad (b_1 - w_s + w_0) = \frac{4.2V_1^2}{l_b} \text{ 公斤公尺.} \quad (\text{a})$$

如  $V_1$  及  $l_b$  為已定數值，則

$$(b_1 - w_s + w_0) = b_1',$$

亦為常數而不變矣。然由式

$$b_1' = \left[ w_0 - w_s + \frac{\varphi_1 \delta (p_0 + p_0') (n_1 + n_2)}{L + T + G} \right],$$

$$\text{可得} \quad \frac{b_1' - w_0 + w_s}{\varphi_1 \delta (p_0 + p_0')} = \frac{n_1 + n_2}{L + T + G}. \quad (\text{b})$$

在圖 79 中，如  $l_b$  為一常數，則在座標之左上方，用 (a) 式作  $V_1$  與  $b_1'$  之關係曲線；在垂線上向上畫出比阻之數值，以公斤/公噸為單位；在此垂線上，可顯明作出  $b_1' - w_0 + w_s$  之數值。自原點  $O$ ，向右畫出  $\varphi_1 \delta (p_0 + p_0')$  之數值；為將  $\varphi_1$  之各種公式所得之各種數值，易於用

以推求  $\varphi_1 \delta(p_0 + p_0')$  之數值計，在座標右下方作各種  $\varphi_1$  之公式下

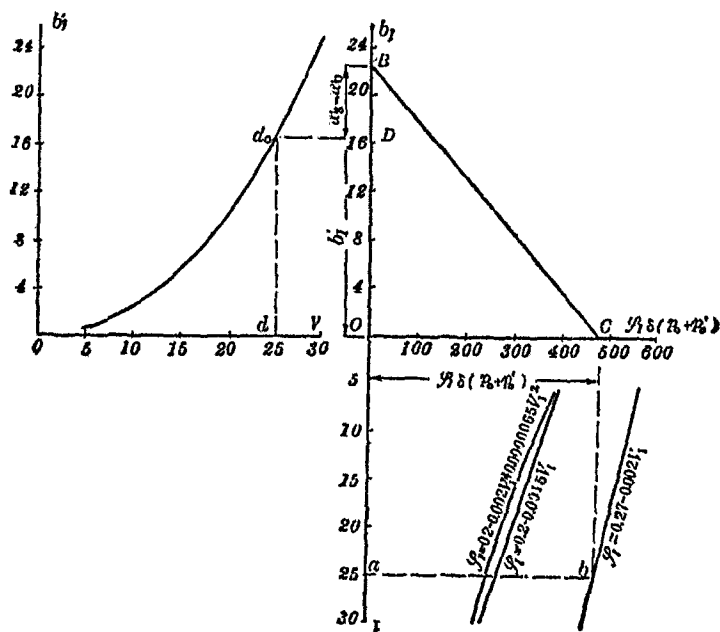


圖 79.

所成之不同數值  $\varphi_1 \delta(p_0 + p_0')$ 。此外更有圖 80 上之圖解，在縱軸上示出  $(n_1 + n_2)$  之數值，在橫軸上則示出  $L + T + G$  之數值。

例 設已知： $V_1 = 25$  公里/小時， $\varphi_1 = 0.27 - 0.002V_1$ ， $L + T + G = 1200$  公噸，求  $(n_1 + n_2) = ?$ 。

解 先在  $V_1 = 25$  公里/小時點（即  $d$  點）作垂線交  $b_1' - V_1$  曲線於  $d_0$  點。折而沿水平線向右，至  $D$  點與縱軸相遇，而得  $b_1'$  之值。

自  $D$  點向上作  $B$  點, 使  $\overline{DB} = w_S - w_0$ ; 再沿  $\varphi_1 \delta (p_0 + p_0')$  軸求出與  $V_1 = 25$  公里/小時相應之  $C$  點 (此處用  $\varphi_1 = 0.27 - 0.002V$  公式). 連  $\overline{BC}$ . 在圖 80 上作出  $C_1$  點, 使  $\overline{OC_1} = L + T + G = 1200$  公噸. 自  $C_1$  點作  $\overline{C_1B_1}$  平行於  $\overline{CB}$ ; 則  $\overline{OB_1}$  示出  $(n_1 + n_2)$  之數值. 其證明如下:

在三角形  $OCB$  中及  $OC_1B_1$  中, 用適當比例尺,

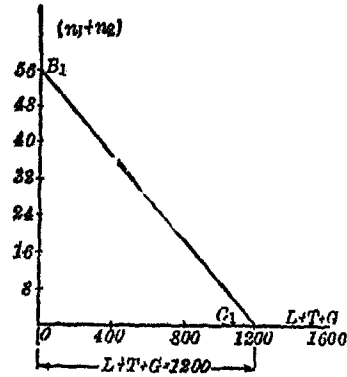


圖 80.

$$\frac{\overline{OB}}{\overline{OC}} = \frac{\overline{OB_1}}{\overline{OC_1}}$$

亦即 
$$\frac{\delta_1' - w_0 + w_S}{\varphi_1 \delta (p_0 + p_0')} = \frac{\overline{OB_1}}{L + T + G} \tag{c}$$

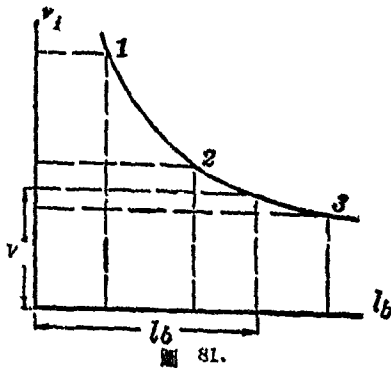


圖 81.

(b)式與(c)式相較, 可得

$$\overline{OB_1} = n_1 + n_2.$$

§ 117.  $v-l_b$  關係曲線

如用試探法, 已知  $V_1$  及  $l_b$  而求  $v_1$ , 則須先假定  $v_1$  之數值, 代入公式, 反而求  $l_b$ ; 如所得結果不與已定數值相符, 則另作  $v_1$  數值之假設, 直至所得  $l_b$  適用為止. 但欲使其簡

化，可先按不同之  $l_b$  求出四五種  $v_1$  之數值，而作  $v_1-l_b$  之關係曲線 (圖 81)；然後在  $l_b$  之任意數值下，皆可由此曲線以求  $v_1$  之數值，亦即規定  $(n_1+n_2)$  之數值。同一列車，有時手軔氣軔混合使用；在軔力計算中，須將氣軔折合手軔，或將手軔折合氣軔，此亦與將機車煤水車軔力折合計算時相同。故所求得之軔軸數目乃包含所有軔軸，而且折化為同一單位者也。

§118. 下坡最大速度所受軔力限制  
 有時列車軔機設備不良，或在行駛困難之路線上，則列車行駛下坡之速度須有相當限制；超出某種極限，則行車有發生危險之可能。此限制之規定，係依照規定之使軔距

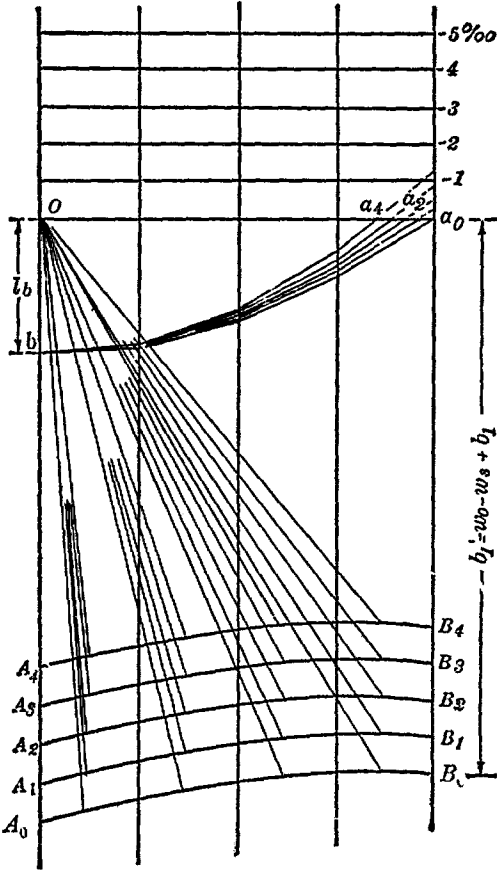


圖 82.

離  $l_0$  及各段下坡坡度之大小為轉移。此問題最好利用圖解以解決之，如圖 82。自  $O$  點向下畫出  $l_0$ ，然後假定一種坡度，認為列車用最大速度下此坡度時，其軀力足用。在此圖上，作出軀力變化線  $\overline{A_0B_0}$ （此因隨速度而變化，見圖 72）；然後按以前所述方法，根據  $\overline{A_0B_0}$  線而作出列車速度減低變化曲線  $\overline{a_0b}$ 。在縱軸上，自  $A_0$  點向上（或下）畫取相隔  $b'_1 = 1$  公斤/公噸之點，如  $A_1, A_2, A_3, \dots$  等等；將  $\overline{A_0B_0}$  線平行移動，而成  $\overline{A_1B_1}, \overline{A_2B_2}, \overline{A_3B_3}, \dots$  等平行線。根據此不同之  $b'_1$  變化線，作其相應之速度變化曲線  $\overline{a_1b}, \overline{a_2b}, \overline{a_3b}, \dots$ 。如此，可得各種  $b'_1$  數值下之初速度  $V_1$  與使軀距離  $l_0$  之變化線，對於此種問題之解決甚有補助。為推求坡度小於 1‰ 時之速度變化，可作圖 83 所示之曲線，以表示坡度  $S\%$  與速度  $V$  公里/小時之變化；作時可參考圖 82。用圖 83，可求出坡度小於 1‰ 之任何數值間之最大初速度  $V_1$ 。

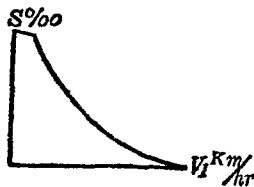


圖 83.

§119. 列車斷鉤停車之軀軸計算 普通斷鉤多發生於上坡時；斷鉤之後部，一部分車輛（如坡度大於 2‰）自  $V_1 = 0$  起，作加速運動而退下。經過  $t$  時間後，其速度將為

$$V_2 = \frac{dV}{dt} t;$$

然後軀機開始動作，其時列車運動公式將為

$$\frac{dV}{dt} = \zeta(w_s - w_0).$$

故得 
$$V_2 = \zeta(w_S - w_0)t.$$

此處時間  $t$  之大小，有兩種因素以決定之：(1) 考慮是否需要使軔，而至決定使軔時，已經過相當時間  $t_1$ ；(2) 開始使軔至軔機開始全力動作，又經過相當時間  $t_2$ 。故

$$t = t_1 + t_2.$$

使軔前經過途程中之平均速度則為

$$\frac{V_2}{2} = \frac{\zeta(w_S - w_0)t}{3600 \times 2} \text{ 公里/小時.}$$

於是經過距離為 
$$l' = \frac{V_2}{2} t = \frac{\zeta(w_S - w_0)t^2}{2 \times 3600} \text{ 公里,}$$

式中時間  $t$  以秒為單位，距離  $l'$  以公里為單位。

§120. 列車斷鉤後所需軔軸數目圖解法 前曾推演列車使軔運動公式(見 §116)：

$$\frac{b_1' - w_0 + w_S}{\varphi_1 \delta (p_0 + p_0')} = \frac{n_1 + n_2}{L + T + G};$$

在列車斷鉤情形中，此公式宜變為

$$\frac{b_1' - w_0 + w_S}{\varphi_1 \delta (p_0 + p_0')} = \frac{n_1 + 0}{G_1},$$

即 
$$n_1 = \frac{b_1' - w_0 + w_S}{\varphi_1 \delta (p_0 + p_0')} G_1, \quad (a)$$

式中  $G_1$  = 列車後部重量；並假設列車前掛機車一輛。吾人又知(見前 §116)：

$$b_1' = \frac{4.2V_1^2}{l_b} \text{ 公斤/公噸;} \quad (b)$$

且斷鉤後使軔時，列車初速度(見 §119) 爲

$$V_1 = \frac{\zeta(w_S - w_0)t}{3600} \text{ 公里/小時};$$

使軔以前，列車斷鉤以後部分已經行之距離爲 (c)

$$r = \frac{\zeta(w_S - w_0)t^2 \times 1000}{3600^2 \times 2} \text{ 公尺}.$$

代入(b)式，可得

$$b_1' = \frac{4.2\zeta^2(w_S - w_0)^2 t^2}{3600^2} \times \frac{1}{L_b - \frac{\zeta(w_S - w_0)t^2 \times 1000}{3600^2 \times 2}}.$$

如假定  $\zeta = 120$ ,  $t = 30$  秒，而  $w_0 = 2$  公斤/公噸，則上式化簡而爲

$$b_1' = \frac{4.2(w_S - 2)^2}{L_b - 4.2(w_S - 2)} \text{ 公斤/公噸}.$$

將此式代入(a)式，可得

$$n_1 = \left[ \frac{4.2(w_S - 2)^2}{L_b - 4.2(w_S - 2)} - w_0 + w_S \right] \frac{G_1}{\varphi_1 \delta (p_0 + p_0')}. \quad (d)$$

前既假定  $\zeta = 120$ ,  $w_0 = 2$ ,  $t = 30$ ，故可寫

$$V_1 = \frac{120(w_S - 2) \times 30}{3600} = (w_S - 2);$$

而(d)式中之  $w_0$ ，則可按照此速度  $V_1$  以推求； $\varphi_1$  之值亦可按此  $V_1$  推求。 $\varphi_1$  及  $w_0$  之值既定，則在一定坡度上， $n_1$  與  $G_1$  之關係可按(d)式求之，並可作曲線以示之。如  $n_1$  已定，則按照(d)式以求  $S$  與  $G_1$  之關係。如圖 84 之曲線  $mn$ ，即  $S$  與  $G_1$  之關係曲線也。如在縱軸上畫出  $S\%$ ，橫軸上畫出  $G_1$ ，各曲線之頂，標以所假定軔軸數目  $n_1$ ，則使用



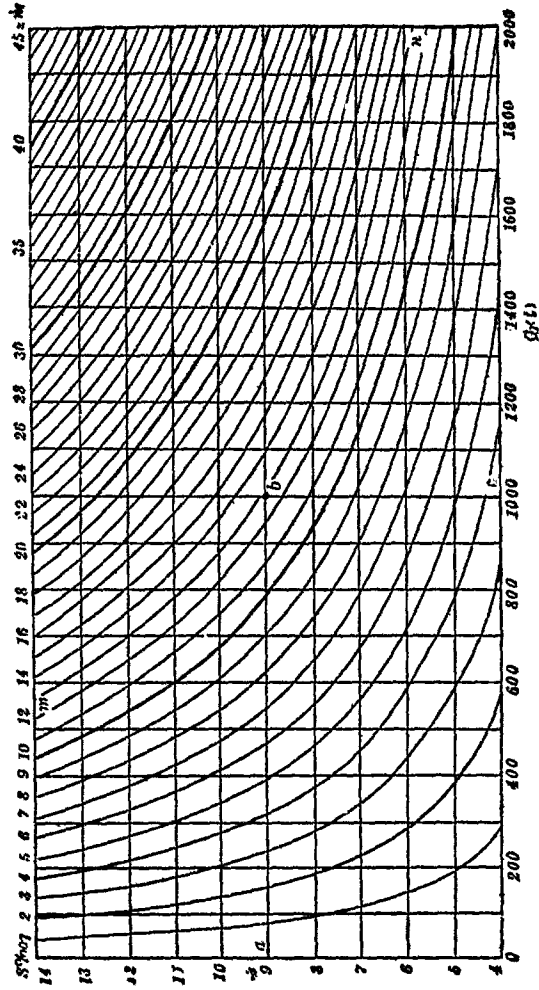


圖 84.

時甚為便利。例如  $G_1 = 1000$  公噸,  $S = 9\%$ , 則  $\bar{bc}$  與  $\bar{ab}$  兩線交點  $b$  即示出軛軸數目  $n_1 = 12.7 \approx 13$  [在圖 84 中, 假定  $\varphi_1 = 0.27 - 0.002V_1$ ,  $\delta(p_0 + p_0') = 2160$  公里]。

以上所示之各項數值連鎖關係圖及曲線等, 完全屬於理論的; 在軛力計算中, 宜按照實際情形, 製造相似圖解備用, 不可即採取上列各圖之數值, 使切合實際需要也。

§121. 用圖解法求使軛時間 以上所述軛力問題之圖解法, 概括言之, 或用運動公式以作  $V = f(s)$  之曲線, 或作各項數值連鎖圖, 皆以代替解析法而求其簡捷化也。至於使軛時間, 亦可用圖解求之。如已有距離與速度關係曲線  $s = f(V)$ , 則使軛時間可用李皮慈法或其他圖解法求之, 實與列車運動一般問題之解決, 殊無二致。如圖 85, 假設曲線  $MN$  表示列車所受阻力軛力之綜合曲線, 即  $w + 1000V_1\varphi_1$  之曲線(此固隨速度  $V_1$  以變化者也); 設使軛初速度已因既定之使軛距離  $l_b$  而定, 則在圖 85 上,  $l_b = \overline{OA}$ 。將折線代替曲線  $MN$ , 且作長方形中之對角線, 再自原點  $O$  向上向下距離等於 1 處, 作兩水平線 4-1 及

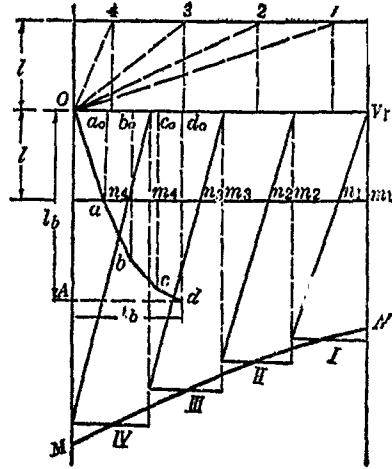


圖 85.

$n_1-m_1$ . 在上面一條水平線之 1, 2, 3, 4 各點之垂線, 適達於各長方形之垂直中線, 在橫軸上量  $\overline{Oa_0} = \overline{m_1n_1}$ ,  $\overline{a_0b_0} = \overline{m_2n_2}$ ,  $\overline{b_0c_0} = \overline{m_3n_3}$ ,  $\overline{c_0d_0} = \overline{m_4n_4}$ , 再作  $\overline{Oa} \perp \overline{O1}$ ,  $\overline{ab} \perp \overline{O2}$ ,  $\overline{bc} \perp \overline{O3}$ ,  $\overline{cd} \perp \overline{O4}$ ; 如此則  $\overline{Aa}$  在相當比例尺下代表使軌時間矣 (此法證明, 可參看本局出版之拙著鐵路行車時間計算法中之圖解法部分).

§122. 列車進站使軌時曲線  $V=f(s)$  之圖示 列車駛進車站, 必須將速度減低, 或至停車, 或至相當低速, 以便安全經行於車站軌道之中. 此減速問題, 亦可用圖解法解決之如下.

設在圖 86 上有路線縱剖面圖一段, 如  $ABCDE$ . 在  $A$  點列車速度變為固定數值; 至  $B$  點駛入平直線段, 速度漸增 (循曲線  $b_1d_1'$  而增長), 直至  $b_2$  點, 再變為等速運動, 但在  $E$  點, 路線進入車站, 列車須停止進行. 欲求軌機應自何點開始工作, 法為按照列車在平直線段上最大速度  $\overline{cc_1}$  及其裝配軌

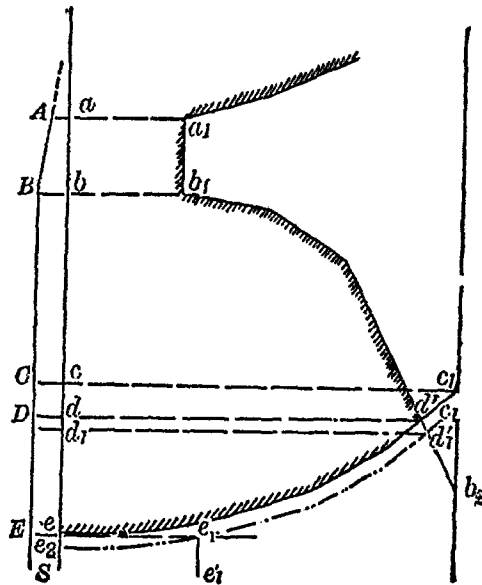


圖 86.

機，作使軛曲線，有如  $c_1e$ 。最好此圖用透明紙繪上，而後將此使軛曲線放在李皮慈之  $V=f(s)$  曲線上，使  $e$  點落在  $B$  點，並使  $oc_1$  線作水平位置，則兩曲線相交於  $a'$  點。作水平線  $\overline{a'D}$  交路線縱剖面線於  $D$  點，此  $D$  點即列車必須開始使軛之點，以使列車停止於  $B$ 。

倘若列車只須將速度縮減至  $ee_1$ ，則欲求開始使軛之點，可將軛力曲線  $c_1e$  位置變動，而成  $e_2e_1c_1'$  之位置，使  $e_1$  點適在與水平線  $\overline{ee_1}$  交點上，且水平線段  $\overline{ee_1}$  適為列車經過車站之速度。作水平線  $\overline{a_1'a_1}$ ，使交路線於  $a_1$  點，此  $a_1$  點即列車必須開始使軛之點，以冀列車能在  $B$  點將速度變為  $ee_1$ 。

§ 123. 列車在變化坡度

上使軛減速之圖示 設列車使軛行駛其有坡度變化之路段  $a_0b_0c_0$  上(圖 87)。倘若坡度  $S_1\%$  上軛力曲線已作出，而為  $MN_0N$ ，按前述方法，作速度距離折線  $Abc$ ，至與坡度改變點  $b_0$  相應之點  $c$  為止。假設坡度  $S_0\%$  上軛力曲線為  $N_1M_1$ ，則用其一部  $N_0'N_1$ ，作  $V=f(s)$  曲線之後半部  $cde$ 。如此則混合軛力曲線為  $MN_0N_0'N_1$ ；而混合  $V=f(s)$  曲線則為  $Abcde$ 。如列車須在一定之點(如  $e$ )停

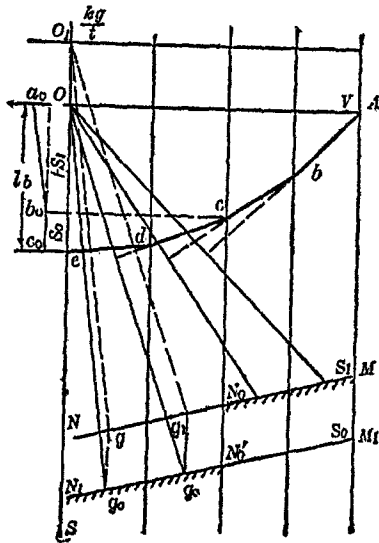


圖 87.

止，則宜自  $e$  點開始作曲線  $edcb$ ……，其方法相同，惟次序顛倒而已。

## 第二十七章 列車行駛速度

§124. 列車行駛速度問題 列車行駛速度問題，約有下列數項：

(a) 在一定路線上(平直、坡度、彎度)，一定載重列車，其最大之等速度如何。

(b) 在一定軌力下，列車在一定下坡行駛，其最大速度可達若干。

問題(b)已於上章述及，不再重申；茲擬探討者厥為問題(a)。

列車欲達到等速運動，有一必需條件，即阻力與挽力相等：

$$Z = W,$$

然則問題(a)之目的，簡單言之，乃為求一挽力與阻力相等時之速度。欲用解析計算法解決此問題，只在特別情形中為可能，普通情形則甚繁難；蓋因列車阻力應為

$$\begin{aligned} W &= wQ = (w_0 + w_r \pm w_s)Q \\ &= (a + bV + cV^2 + w_r \pm w_s)Q \\ &= A + BV + CV^2, \end{aligned}$$

式中

$$A = (a + w_r \pm w_s)Q,$$

$$B = bQ,$$

$$C = cQ.$$

而機車功能  $N$  之公式亦甚複雜，如用佛蘭克公式，則為

$$N = \alpha + \beta\sqrt{V}.$$

因此，汽鍋挽力公式更為複雜：

$$Z_k = \frac{270N}{V} = \frac{270(\alpha + \beta\sqrt{V})}{V} = \frac{D + E\sqrt{V}}{V},$$

式中  $D = 270\alpha$ ,  $E = 270\beta$ . 於是上列等式  $Z = W$  變為下形：

$$\frac{D + E\sqrt{V}}{V} = A + BV + CV^3,$$

或即

$$E^2V = (AV + BV^3 + CV^3 - D)^2.$$

由此可見，在問題(a)之解析計算法中，必須解決此六次方程式，普通言之，為不可能。即使以貨列車為研究對象，使阻力公式化簡為  $w_0 = a + bV$ ，亦須解決四次方程式；此雖可能，然極繁複。如用試探

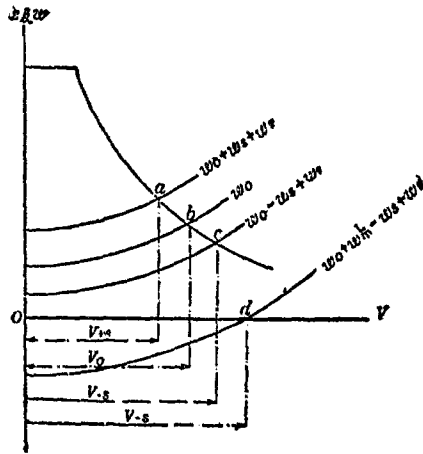


圖 88.

方法，先假定  $V$  之數值，以試求  $Z=W$  條件之成立，工作亦極繁冗。惟此問題如用圖解法解之，則甚為簡易。

如圖 88，在座標系上作  $w-V$  及  $z-V$  曲線。設機車式樣、燃料、品質均為一定者，比阻為

$$w = w_0 \pm w_g + w_r, \quad \text{或} \quad w = w_0 + w_m^2 - w_g + w_r,$$

則須視列車運動狀況如何而定。圖上比阻曲線與比挽力曲線相交之點  $a, b, c, d$ ，即示出相應情形中列車最大等速度。如列車在上坡行駛，則此等速度為  $V_{+s}$ ，在下坡行駛則為  $V_{-s}$ ；在平直段落行駛，其等速度為  $V_0$ ；餘仿此，按圖可見。挽力線與阻力線所包括之面積則為列車增加速度之能，一到兩線交點，此能為零，則速度不再升高矣。在  $a, b, c, d$  等點處，挽力阻力相抵，故

$$\frac{dV}{dt} = \zeta(z-w) = 0,$$

即此時加速度等於零，速度不再增大而僅維持固定數值之意。

機車閉汽在坡度甚大之下坡行駛，因無挽力，故其與  $V$  軸相交之點，示其最大等速度。但如列車在下坡行駛時使軛而行，則行駛比

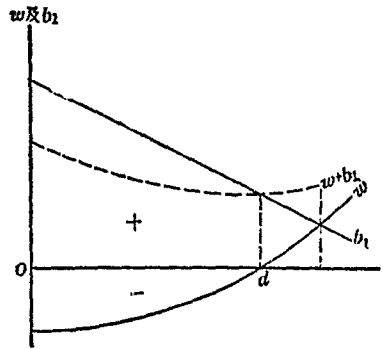


圖 89。

阻自  $w$  增至  $w + b_1$ ；此  $w + b_1$  之曲線如圖 89 上虛線所示。此線不與  $z=0$  之曲線（即  $V$  軸）相交，故列車不作等速運動，而作減速運動，直

至停駛為止。

此種  $z$  與  $w$  兩線不相交之現象，發生於運動公式

$$\zeta(z-w-b_1)=0$$

之根為虛數時，即  $z < w + b_1$  時也。

## 第二十八章 列車行駛時間

§ 125. 兩站間列車行駛時間之計算 本章申論列車在一定機車挽力及載重經行一定距離兩站間所需時間之計算方法，此種問題，可用列車運動公式解決之。路線各段間，坡度彎度不同；將各段分別按其比阻，而計算其行駛所需時間，而後相加，即得兩站間全部行駛之時間。至於各段中行駛時間，則可用積分法求之。

假設兩站間路線各段之長度為  $l_1, l_2, l_3, \dots$  等，列車在各個線段中行駛，其運動公式為

$$\frac{dV}{dt} = f_1(V), \quad \frac{dV}{dt} = f_2(V), \quad \frac{dV}{dt} = f_3(V), \quad \dots$$

而在第一段之初速度為  $V_0$ ；第二段為  $V_1$ ；第三段為  $V_2$ ；……，則每段之平均速度，可自下列各式推求：

$$l_1 - l_0 = \int_{V_0}^{V_1} \frac{V dV}{f_1(V)}; \quad l_2 - l_1 = \int_{V_1}^{V_2} \frac{V dV}{f_2(V)};$$

$$l_3 - l_2 = \int_{V_2}^{V_3} \frac{V dV}{f_3(V)}; \quad \dots\dots\dots$$





而每段行駛時間則為

$$t_1 - t_0 = \int_{V_0}^{V_1} \frac{dV}{f_1(V)}; \quad t_2 - t_1 = \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{f_2(V)};$$

$$t_3 - t_2 = \int_{V_2}^{V_3} \frac{dV}{f_3(V)}; \quad \dots\dots\dots$$

兩站間全部行駛時間則為

$$T = \sum_1^n (t_n - t_{n-1}).$$

兩站間列車行駛所需時間，倘用前述之解析法計算，事極繁複；故多用圖解積分法以代之，較為簡便。往昔解決列車行駛時間問題，多採用李皮慈法；然此法需要相當預備圖線，故近來多用謨挨勒 (Mueller) 圖解法（謨挨勒係德國柏林高等工業學校鐵路工程主任教授，在1923年發表時間與燃料消耗圖解法）。時間直接按距離之函數而求出，與路線縱剖面線平行作出，無需輔助曲線，其法將於第三十章中詳述之。

此外尚有圖解分析混合法者，其運用較謨挨勒法更為簡捷，惟不若謨挨勒法之精確。不過除非在營業路上，行車時間必須十分精確，而須用謨挨勒法計算外，在計畫選線中，為簡便計，行車時間可用此混合法求之，於實際設計無甚影響。

§126. 圖解分析混合法 在圖解分析混合法中，有一假設，即在坡度彎度情況相同之路段中，列車達到一固定速度而作等速運動時，挽力與阻力相等，即  $z=w$ 。先用圖解求出各種坡度（連同彎度折合）上可能之等速度；然後用分析法計算兩站間每種坡度（連同彎度

折合) 路段中, 列車行駛所需時間(以分鐘計),

$$t = \frac{60}{V \text{ 公里/小時}} \times l \text{ 公里},$$

式中  $60/V$  = 每公里所需時間(以分鐘計),

$l$  = 每個坡度路段之距離(以公里計),

於是將每個坡度路段中行駛時間相加, 即得兩站間行駛時間總數。不過此數中尚須加以因行駛速度不均(坡度變更點上, 速度有加減之差)之調整數  $\Sigma\tau$ ; 故兩站間行駛時間為

$$T = \Sigma t + \Sigma \tau \text{ 分鐘}.$$

兩站間行駛時間如由上式推算, 結果之準確度, 全視調整數  $\Sigma\tau$  之精確性而定。由實驗得知, 如此調整數  $\Sigma\tau$  計算準確, 則所得  $T$  之值與用精確法(積分法或圖解積分法之類及坡度變更點, 列車行駛之慣

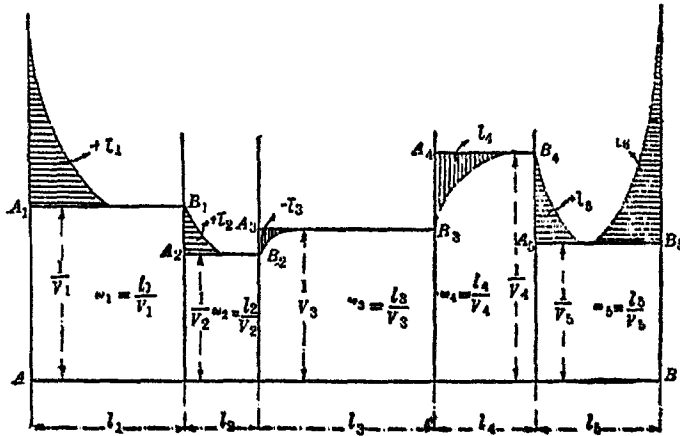


圖 90.

性影響者)計算所得者甚為接近;至多不過超出5—6%。在選線計畫中,行駛時間多估計5—6%適為需要之安全係數。至於調整數 $\Sigma\tau$ 之分析,則如下述:

如圖 90, 將兩車站  $A, B$  間分為五種坡度(連同彎度折合), 其長各為  $l_1, l_2, l_3, l_4$  及  $l_5$ ; 且列車在此五種坡度上行駛之等速度各為  $V_1, V_2, V_3, V_4$  及  $V_5$ 。在水平線  $AB$  向上畫出  $\frac{1}{V_1}, \frac{1}{V_2}, \frac{1}{V_3}, \frac{1}{V_4}$  及  $\frac{1}{V_5}$ 。倘若列車行至坡度變更點, 其速度立刻自一種等速度變為另一種等速度, 則兩站間行駛時間宜為五個長方形面積之和, 即

$$T = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 + \omega_5,$$

或

$$T = \sum_1^5 \omega = \sum_1^5 \frac{l}{V}.$$

但實際上, 凡坡度變更點上之速度, 不能立刻變為另一種等速度, 乃漸減或漸加以達此數值者; 故各坡度路段之行駛時間並不只為

$$\Sigma\omega = \Sigma \frac{l}{V},$$

而尚須加以每個坡度變更點處時間調整之面積  $\tau$ , 則兩站間全部調整數應為  $\Sigma\tau$ 。自圖 90, 可看出下列幾點:

- (1) 若自較小等速度變為較大等速度, 則調整數為正號 ( $\tau_1, \tau_2, \tau_5$ );
- (2) 若自較大等速度變為較小等速度, 則調整數為負號 ( $\tau_3, \tau_4$ );
- (3) 使軌以減低速度時, 此調整數為正號 ( $\tau_6$ )。

此外李皮慈根據廣泛的實驗而得下列結論兩條:

(4) 在實際運用，所需精確性不必至高；故可假定自  $V_n$  變  $V_m$  時，因加速度所發生之調整數  $(+\tau)$ ，等於自  $V_m$  變  $V_n$  時因減速度而發生之調整數加以負號  $(-\tau)$  (見圖 91)。

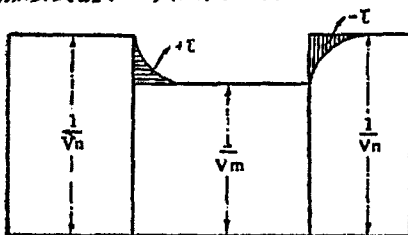


圖 91.

(5) 如計算不需十分精確時，可認為自  $V_n$  變  $V_m$  時，不論其間有無隔間速度，調整數  $\tau$  為固定值，如圖 92(a) 及 (b) 中  $\tau = \tau' + \tau''$ 。

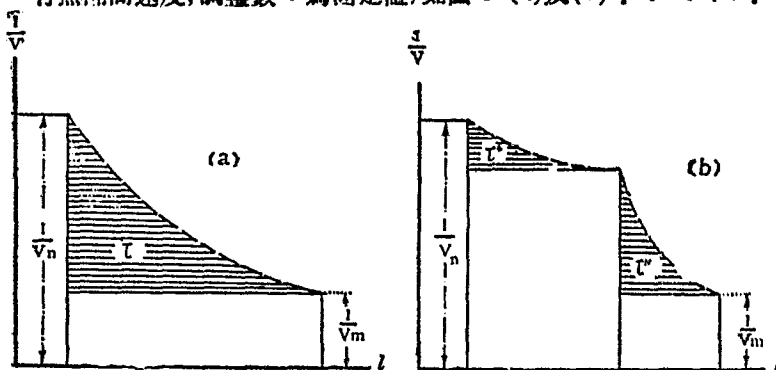


圖 92.

根據李皮慈之推定，可假定兩站間速度變化所發生時間調整數，除開出站加速與入站減速所發生時間調整數不計外，應等於第一個坡段坡度變為最末坡段坡度時，列車兩種等速度變化所發生之時間

調整數  $\tau$ 。圖 90 上所舉實例，兩站間速度變化而需要之時間調整總數當為

$$\Sigma\tau = \tau_1 + \tau + \tau_n;$$

或普偏言之，

$$\Sigma\tau = \tau_1 + \tau + \tau_{n+1}.$$

式中  $n$  = 兩站間坡段數目。

假設兩站間端點坡度(連同彎度)相同，則此調整數  $\tau = 0$ 。一般車站所在多為平直路段，故  $\tau = 0$  之條件可以成立。由此可得

$$\Sigma\tau = \tau_1 + \tau_{n+1}.$$

因此  $\Sigma\tau$  之計算，亦即列車在出站時(在平直線段上)加高速度，與進站時減低速度所損失之時間；且此結論，適合於大多數車站情形(車站位於平直線段時)。

至於  $\Sigma\tau$  之數值，則隨路線坡度、列車輻力與機車馬力而異。可按照實際情形，用前述圖解法以推求之，甚為容易。大概貨列車可假定  $\Sigma\tau = 0.5 - 3.5$  分鐘，客列車可假定  $\Sigma\tau = 1 - 2.5$  分鐘；如列車過站不停，只降低速度，則約為  $\Sigma\tau = 0.5 - 3$  分鐘，是按列車種類而異也。上述數值乃德國鐵路所採用者，在選線計畫中儘可應用之；惟在營業鐵路，欲求其精確，則須按實際情形以計算耳。如在寒冷氣候，列車久停之後，增加速度所需時間較久；或列車必須準確停於上水地點，則使輻時間稍為延長，宜於上述假定之數值或於計算所得之結果，酌量各加一分鐘，以備此種額外之親延。

在實際鐵路計畫中，兩站間列車行駛時間，皆列表計算。茲舉一填表實例(如表 61)，以申明此時間計算之方法。如圖 93，在車站 A 與 B 間，列車含有車輛 50 輛，共重 575 公噸；用 0-8-0 式機車(L+T



且將相應之每公里所需時間，計算列入。

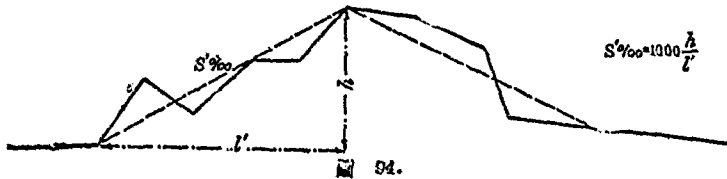
表 62.

坡度 $S\%$	上 坡		下 坡	
	最大等速度 $V$ (公里/小時)	$t = \frac{60}{V}$ (分鐘)	最大等速度 $V$ (公里/小時)	$t = \frac{60}{V}$ (分鐘)
0	40.5	1.48	40.5	1.48
1	38.5	1.64	50	1.20
2	32.9	1.82	50	1.20
3	29.5	2.04	50	1.20
4	26.5	2.26	50	1.20
5	23.7	2.53	50	1.20
6	21.3	2.81	50	1.20

按照表 62 之數值，將表 61 填計，即求出列車往返  $AB$  間一次所需之時間  $T = T_1 + T_2 = 41$  分鐘。至於需水計算，則見於次章。表 61 之計算及填造，見表內註解，無須解釋矣。

兩站間行駛時間，無論用何種方法（圖解或分析）推求，皆須分成坡段，按表 61 計算；然亦可將實際坡度與彎度化為當量之簡單坡度與彎度，以圖簡捷。所成路線，可稱為機力路線，而非實際路線也。兩站間路線之簡化，須經過兩種程序：(1) 坡度簡化與 (2) 彎道簡化。

關於第一項坡度簡化工作，其結果精確與否，全視作者技術及





經驗為轉移，其原理則甚簡單，即將相似之坡段綜合一起，而代以一種坡度之線段，使其間列車行駛時間不變。如圖 94 所示，左半五個坡段，化為一個，其所化之坡度為  $S'\% = 1000 \frac{h}{l}$ 。此種化一坡度，不可太長，以免計算時間結果出入太大。根據實驗所得，化一坡度之長度，須受下列之限制：

用分析法或圖解法時，  $l \leq \frac{2100}{S - S'}$  公尺，

用混合法時，  $l \leq \frac{5300}{S - S'}$  公尺。

式中  $S =$  實際坡度，  
 $S' =$  化一坡度。

彎度簡化，乃將彎度折合為當量坡度。列車每噸重量，因彎度所生輔助阻力而完成之功為

$$A_0 = l_0 \times w_r,$$

式中  $l_0 =$  曲線長度  $= \pi R \frac{\alpha}{180}$ ，

$w_r =$  彎道輔助比阻，可假定為  $\frac{750}{R}$ ，

而  $\alpha =$  中心角，

$R =$  曲線半徑，以公尺計。

如此則  $A_0 = \pi R \frac{\alpha}{180} \times \frac{750}{R} = 13\alpha$  公尺公斤/公噸。

由此可知，列車因克服曲線阻力所做之功，不與曲線半徑有關係，只

隨其中心角之大小為轉移 (如用  $w_p = \frac{750}{R}$  以求彎道比阻)。倘以  $r''$  代表簡化段中所有實際坡段長度之和, 且以  $\Sigma\alpha$  代表此段中各彎道中心角之和, 則此段中因彎度而增強之坡度為

$$S'' = 13 \frac{\Sigma\alpha}{r''}.$$

於知簡化段中之計算坡度應為

$$S' + S'' = S' + 13 \frac{\Sigma\alpha}{r''}.$$

此則連同彎道折合坡度計入矣。  $S'$  之正負, 乃視上坡下坡而定。

§127. 當量坡度法 除上述圖解, 分析及混合三法以外, 路線縱剖面與平面之化簡, 尚有所謂當量坡度法。此法計算所根據之因素為: (1) 兩站間常用之機車, (2) 此機車燒熱面每平方公尺每小時

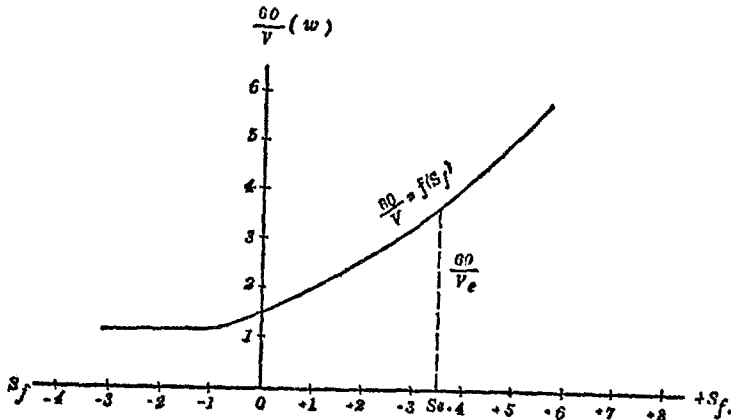


圖 95.

需汽量，及(3)列車重量。按上列三項，用計算推求兩站間各種計算坡度上之最大等速度，並求出各種計算坡度上每公尺列車所需時間(分鐘數)，作成曲線  $\frac{60}{V} = f(S_f)$ ，有如圖 95 所示。再用前述方法之一，以求出兩站間全部需時分鐘數：

$$\Sigma t = \Sigma \frac{60l'}{V}$$

根據此兩站間行駛時間  $\Sigma t$ ，再推求兩站間平均速度，即當量速度，

$$V_0 = \frac{\Sigma l'}{\Sigma t} \text{ 公里/小時。}$$

按照此當量速度  $V_0$ ，再計算每公里行駛所需時間  $\frac{60}{V_0}$ ，然後根據曲線

(圖 95)  $\frac{60}{V} = f(S_f)$  查出與  $\frac{60}{V_0}$  時間相對應之坡度，而稱之為兩站間

當量坡度 ( $S_0$ )。由實驗結果，得知用上述方法所推得之當量坡度，不受機車式樣、汽鍋產汽率及列車重量之影響(影響極小，故實際上可忽略之)；故兩站間之當量坡度一經推定，則兩站間行駛時間之計算極為簡捷。例如在已知機車式樣、汽鍋產汽率及列車載重條件之下，按照兩站間當量坡度  $S_0$  以求行駛時間，其法甚易(見圖 96)。先按已知列車作曲線  $z - w_0 = f(V)$ ，根據此曲線上相當  $S_0$  之坡度，以求出兩站間之當量速度  $V_0$ ；至此可求得列車在當量坡度  $S_0$ ，以當量速度  $V_0$  行駛，每公里需時  $\frac{60}{V_0}$  分鐘。用兩站間距離  $L_0$  公里，乘此時間  $\frac{60}{V_0}$ ，即得行駛兩站間所需時間。再加以時間調整數  $\Sigma \tau$ ，即得列車行駛兩站間所需時間，總計為

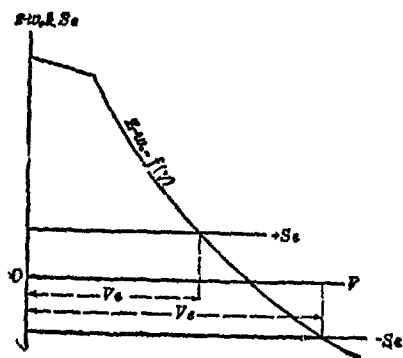


圖 96.

$$T = \frac{60}{V_s} L_0 + \Sigma \tau \text{ 分鐘.}$$

在前述混合法中，兩站間行駛時間為

$$T = \Sigma \frac{60l'}{V} + \Sigma \tau \text{ 分鐘.}$$

兩式相較，即知當量坡度法中，將混合法之  $\Sigma \frac{60l'}{V}$  一項，變為  $\frac{60}{V_s} L_0$ ，可以省去許多手續；在平坦區域路線上更為適用，而在起伏崎嶇之路線上，則以混合法為宜也。

在 1923 年，德國諾爾 (Knorr) 創有行車時間之機械計算法；所用機械，稱為積分器，其原理則仍根據微分公式之積分也。按照已成之挽力速度圖與阻力坡度圖，此積分器可畫出兩種曲線：一示速度

與時間變化關係，一示距離與時間變化關係。用之甚為簡捷，且無錯誤發生之可能，蓋其動作具有機械性也。

§128. 計算之調整 以上所述列車運動問題，有一種普遍假設，即列車全部質量集中於重心點；故所有計算，皆假定列車為一質點。在時間計算中，亦假設列車之越過坡度變更點，完成於瞬間，第一坡段之終速度，即假定為第二坡段之初速度。此與實際情形頗有出入，蓋列車之組成，亦若一索質量點，先則機車煤水車，次則車輛一輛追隨一輛，故坡度變更點之速度，不能即視為兩階段之初速與終速也。故在列車行駛時間計算中，本應加以適當之調整，但此列車長度調整數之推定，無準確公式可以根據。且其影響亦頗小，而普通選線工作中之行駛時間計算，多以安全係數補足之，故無需計及此種影響也。

## 第二十九章 機車煤水消耗

§129. 概說 機車牽引列車，行駛於兩站間，所需燃料水量，其計算可分為四個階級：(1)機車汽缸需汽量，(2)汽鍋需汽量，(3)機車用水量，及(4)機車需用燃料數量，茲分述之。

§130. 汽缸需汽量 倘若列車在兩站間行駛，其汽鍋產汽率為固定不變之常數；換言之，即加熱面積每平方公尺每小時需汽率  $u_m$  為一常數時，且永久為機車最大產汽率  $u'_m$ ，則行駛時間  $T$  小時中所需蒸汽當為

$$D_m = u'_m HT \text{ 公斤。}$$

但實際情形並不如此，行駛時間中之汽缸需汽率決非常數。在列車閉汽行駛時，則  $u_m = 0$ ；在下坡行駛或受機車構造之限制，速度不能達到汽缸能力之最高限度，則  $u_m < u'_m$ 。故在行駛時間中，有一平均汽缸需汽率  $u_m^m$ ，以為吾人計算之用；此平均數值為

$$u_m^m = \frac{\sum u_m t}{\sum t},$$

式中  $\sum u_m t$  為各種不同坡段中汽缸需汽量（即謂加熱面積每平方公尺在時間  $t$  中需汽量）之和，而  $\sum t$  則為兩站間行駛時間。此種行駛時間，尚宜分為兩種，以作計算之基礎：

(1) 只計用汽行駛時間  $t_0$ ，則

$$\sum t = t_0.$$

(2) 並計用汽閉汽行駛時間  $t_0$ ，則

$$\sum t = t_0 + t_0 = T \text{ 小時.}$$

在第一情形中，兩站間行駛汽缸所需汽量應為

$$D_m = u_m^m \cdot t_0 \cdot H = H \sum u_m t \text{ 公斤;}$$

在第二情形中，則

$$D_m = u_m^m \cdot T \cdot H = H \sum u_m t \text{ 公斤.}$$

然則在兩種情形之中，汽缸需汽量皆可用下式以推求之：

$$D_m = H \sum u_m t \text{ 公斤.}$$

機車加熱面積  $H$ ，在固定機車式樣下，為既知常數。每種坡段中行駛時間  $t$  亦可用前章所述方法推求；不過如用分鐘為單位，則每分鐘汽缸需汽量為

$$D_m = \frac{H}{60} \sum u_m t \text{ 公斤.}$$

此式中之 $\Sigma u_m$ 或 $u_m$ ，為吾人所宜推定者也。各種 $u_m$ 之數值，最好用圖解法求之，可作曲線

$$u_m = f(S_f).$$

先作曲線

$$Z = f(u_m, V),$$

此曲線之完成，或採取機車行駛統計及實驗數字為根基，或用下式以畫出：

$$Z = \frac{270 u_m H}{N \cdot V};$$

然後根據曲線 $Z = f(u_m, V)$ ，再為最大許可速度，作出曲線 $Z = f(u_m)$ 。在縱軸畫出 $Z$ 之數值，在橫軸畫出 $u_m$ 之數值。且因等速度行駛時，列車全部阻力 $W = (w_0 + S_f)Q$ 只隨坡度而變化，故在最大許可速度行駛之下，則有

$$W = f(S_f)$$

一式之成立。又因等速行駛時，阻力挽力相等，又有

$$W = Z,$$

因而可知

$$u_m = f(S_f).$$

在曲線 $Z = f(u_m)$ 之座標系中，將 $W$ 之值畫在縱軸，且按不同坡度 $S_f$ 點，作水平線。此種水平線與曲線 $Z = f(u_m)$ 相交之點，同時適合於兩種條件：

$$Z = f(u_m),$$

及

$$W = f(S_f).$$

同時並應落在曲線 $u_m = f(S_f)$ 之上。如此，將上述各交點移至 $u_m - S_f$ 之座標圖上；更加以 $u_m = 0$ 時 $S_f$ 數值之點，即得曲線 $u_m = f(S_f)$ 矣。

至於  $u_m = 0$  時  $S_f$  之數值，可根據下式推求之(假設  $V = V_{max}$ ):

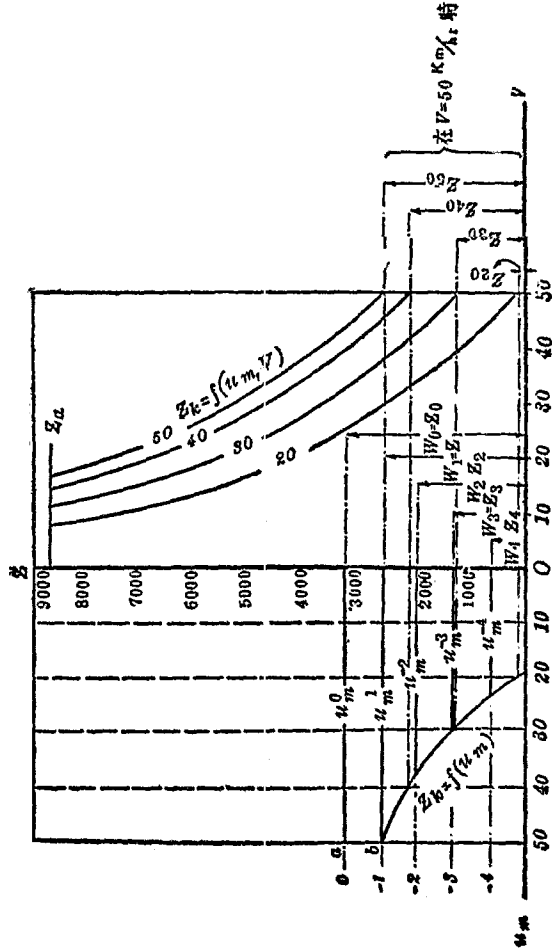


圖 97.



$$Z = (w_0^{LT} + w_m^{LT})(L+T) + w_0^G G + S_f(L+T+G) = 0.$$

將所得交點，連以平滑曲線，即得曲線  $u_m = f(S_f)$ 。此曲線數值最大最小極限則為  $u_m = u'_m$  及  $u_m = 0$ 。如兩個極限數值極相近，則曲線可用直線代之。

茲試舉例以說明上述曲線之作法：設列車含有車輛 50 輛，共重 575 公噸；用 0-8-0 式機車 ( $L+T=95$  公噸) 行駛兩站間，最大坡度為  $\pm 6\%$ 。試計算列車在  $0-\pm 6\%$  各種坡度上行駛時所需汽量 (圖 97)，其最大速度為  $V_{max}=50$  公里/小時 (與 §126 者同)；最大產汽率則為  $u'_m = 50$  公斤/公尺<sup>2</sup>/小時。

先作曲線  $Z = f(u_m, V)$ ，使分別適合於下列條件：

$$u_m = 20, 30, 40, 50 \text{ 公斤/公尺}^2/\text{小時},$$

及  $V = 50$  公里/小時 (機車最大速度) 至  $V = 0$  公里/小時。  
所得在  $u_m = 20, 30, 40, 50$ ，而  $V = 50$  時  $Z$  之數值點，用水平虛線引至圖 97 之左半；此處橫軸既畫  $u_m$  之數值，故可使其相應點上之垂線與此水平虛線相交；交點相連，即成曲線  $Z = f(u_m)$ 。然後推求  $V = 50$  公里/小時時，各坡度上列車行駛比阻，假設採用下式：

$$w_0^{LT} = 1.4 + 0.04V + 0.0006V^2 \text{ 公斤/公噸}.$$

(在此比阻公式當非必定者)

$$w_0^G = 1.4 + \left(0.04 + \frac{0.32}{q}\right)V \text{ 公斤/公噸},$$

且知車輛每個重  $q = \frac{575}{50} = 11.5$  公噸；

則得  $w_0^{LT} = 4.9$  公斤/公噸，

及  $w_0^G = 4.9$  公斤/公噸。

列車全部阻力則為：

$$\begin{aligned} \text{水平線段} \quad W_0 &= 4.9(575 + 95) = 3280 \text{ 公斤,} \\ S = -1\% \quad W_{-1} &= 3280 - 670 = 2610 \text{ 公斤,} \\ S = -2\% \quad W_{-2} &= 3280 - 2 \times 670 = 1940 \text{ 公斤,} \\ S = -3\% \quad W_{-3} &= 3280 - 3 \times 670 = 1270 \text{ 公斤,} \\ S = -4\% \quad W_{-4} &= 3280 - 4 \times 670 = 600 \text{ 公斤.} \end{aligned}$$

因在等速運動中,  $W = Z$ , 故可在  $Z$  軸上畫出  $Z$  之數值:

$$\begin{aligned} Z_0 &= 3280 \text{ 公斤,} \\ Z_{-1} &= 2610 \text{ 公斤,} \\ Z_{-2} &= 1940 \text{ 公斤,} \\ Z_{-3} &= 1270 \text{ 公斤,} \\ Z_{-4} &= 600 \text{ 公斤.} \end{aligned}$$

在  $Z_0$  至  $Z_{-4}$  之數值點上, 作水平直線以與曲線  $Z = f(u_m)$  相交. 所得橫座標距離  $u_m^0, u_m^{-1}, u_m^{-2}, u_m^{-3}, u_m^{-4}$  即為汽缸在坡度  $S = 0\%, -1\%, -2\%, -3\%, -4\%$  上之需汽率, 因而可作曲線  $u_m = f(S_f)$ . 由此曲線, 量得:

$$\begin{aligned} u_m^0 &> 50 \text{ 公斤/公尺}^2/\text{小時,} \\ &\text{(可按 } u_m^0 = 50 \text{ 公斤/公尺}^2/\text{小時} = u_m' \text{ 計算)} \\ u_m^{-1} &= 50 \text{ 公斤/公尺}^2/\text{小時,} \\ u_m^{-2} &= 37 \text{ 公斤/公尺}^2/\text{小時,} \\ u_m^{-3} &= 31 \text{ 公斤/公尺}^2/\text{小時,} \\ u_m^{-4} &= 24 \text{ 公斤/公尺}^2/\text{小時.} \end{aligned}$$

在所得曲線各點  $a, b, c, d, e$  以外, 再加以一點, 使與  $u_m = 0$  時之坡

度 $-S_f$ 相當；即謂在若何坡度上，列車不用蒸汽而作 $V=50$ 之等速運動。此坡度可由下式推求：

$$(w_0^{LT} + w_m^{LT}) (L + T) + w_0^G G + S_f Q = 0,$$

而  $w_0^{LT} + w_m^{LT} = 4.0 + 0.16V + 0.002V^2 = 17$  公斤/公噸，

且  $w_0^G = 4.9$  公斤/公噸；

故有  $17 \times 95 + 4.9 \times 575 + 670S_f = 4433 + 670S_f = 0,$

得  $S_f = -6.6\%$ 。

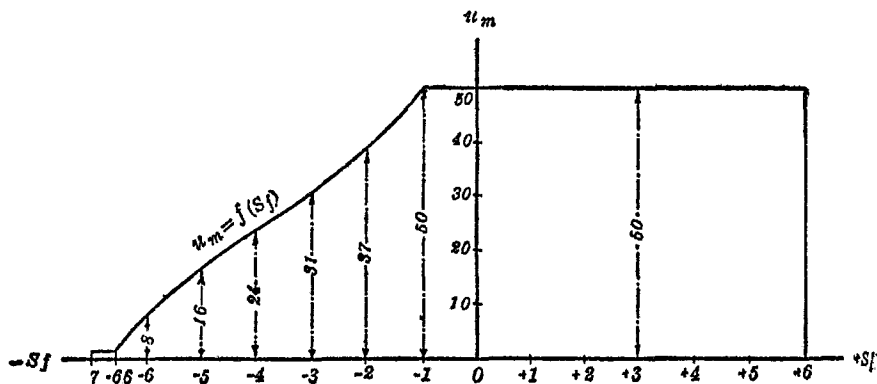


圖 98.

根據以上所得  $u_m^0, u_m^{-1}, u_m^{-2}, u_m^{-3}, u_m^{-4}$  及  $u_m^{-6.6} = 0$  之數值與其相應坡度  $0\%, -1\%, -2\%, -3\%, -4\%$  及  $-6.6\%$  而作曲線  $u_m = f(S_f)$  (圖 98)，由此曲線，可得

$$u_m^{-5} = 16 \text{ 公斤/公尺}^2/\text{小時},$$

$$u_m^{-6} = 8 \text{ 公斤/公尺}^2/\text{小時}.$$

在下坡坡度更大於  $-6.6\%$  後，汽缸雖不需蒸汽，而汽鍋尚受汽量

消耗，其量幾為常數(見 §131)。

§131. 汽鍋需汽量 汽鍋需汽量  $D_k$  恆較汽缸需汽量  $D_m$  稍大；因為蒸汽自汽鍋傳導至汽缸，受有阻力損失，且汽缸周圍溫度較低，致因輻射作用消耗一部熱量；此外機車用汽部分，不僅汽缸，尚有噴汽缸吸、倒汽輟力、汽笛等等設備，均需要蒸汽。故列車行駛兩站間，汽鍋所須產生之汽量應為

$$D_k = (1 + \alpha)D_m + u_k' HT \text{ 公斤,}$$

式中  $\alpha$  = 汽鍋不可避免之汽量損失，在  $V = 60-70$  公里/小時，其值  $\leq 0.05$ ，

$T$  = 兩站間行駛時間，以小時計，

$u_k'$  = 汽缸以外機車各部需汽率，以加熱面積每平方公尺每小時之公斤數計算，其數值約為：

煤、木柴……………0.5—1，

石油(夏天)……………1.0—1.5，

石油(冬天)……………2.0—2.5。

如列車行駛於路線一段，包含若干站間，設其行駛時間為  $\Sigma T$ ，在車站停候時間為  $\Sigma T_0$ ，則全段行駛連同停候時間，所需汽量為

$$D_k = (1 + \alpha)D_m^{\Sigma T} + u_k' H(\Sigma T + \Sigma T_0) \text{ 公斤.}$$

§132. 機車需水量 機車水量消耗較汽量消耗稍多；一因給水傳導稍受損失，再因蒸汽自汽鍋遞達汽缸，恆夾有未盡汽化之水量，故水量消耗可按汽量消耗計算，而稍加以百分率( $\delta$ )。然則水量消耗

$$m_s = (1 + \delta)D_k \text{ 公斤} = \frac{(1 + \delta)D_k}{1000} \text{ 公尺}^3.$$

此百分率  $\delta$ ，不只將上列兩種損失計入，並且根據下列各項而變遷：  
 (1) 列車行駛時間依何法計算，詳確性如何，有無安全係數；(2) 計算時季候如何；(3) 蒸汽種類(加熱或飽和)；及(4) 燃料種類。約而言之，如計算精詳，則  $\delta=0.1-0.3$ ；否則  $\delta=0-0.1$ 。在選線計畫中，行駛時間既多用混合法計算，故宜用  $\delta=0.05$ 。計算給水距離時，不得假設機車所帶水量消耗完盡，而須使機車開入給水站時，尚有相當水量，至少應有煤水車容水量之 20%。德國恆規定為 2 立方公尺。

機車需水量，恆以每公里所用水量為單位，且區以計算坡度之大小。然後按照各種坡度上每公里需水數量，以推求兩站間各坡段中所需水量。如以  $t_{km}$  表示列車行一公里所需時間(當然在一定坡度變度之下)，此時間  $t_{km} = \frac{60}{V}$  分鐘；其相應汽量(每公里)消耗為：

$$\text{汽缸} \quad D_{m, km} = \frac{u_m H t_{km}}{60} \text{ 公斤/公里；}$$

$$\begin{aligned} \text{汽鍋} \quad D_{k, km} &= \frac{(1+\alpha) u_m H t_{km}}{60} + \frac{u'_k H t_{km}}{60} \\ &= \frac{H t_{km}}{60} [(1+\alpha) u_m + u'_k] \text{ 公斤/公里。} \end{aligned}$$

因此得相應水量(每公里)消耗為

$$w_{km} = \frac{(1+\delta) H t_{km} [(1+\alpha) u_m + u'_k]}{60 \times 1000} \text{ 公尺}^3/\text{公里。}$$

每次停車水量消耗則為

$$w_0 = w_{0, hr} T_0 = \frac{(1+\delta) H T_0 u'_k}{60 \times 1000} \text{ 公尺}^3。$$

例如機車之  $H=152.6$  公尺<sup>2</sup>; 以煤作燃料,  $u'_k=1$  公斤/公尺<sup>2</sup>/小時;  
 $\delta=0.05$ ,  $\alpha=0.05$ , 則每公里需水量為

$$\eta_{km} = 0.00267 t_{km} (1.05 u_m + 1.0) \text{ 公尺}^3/\text{公里}$$

每次停車所需水量則為

$$\eta_{T_0} = 0.00267 T_0 \text{ 公尺}^3$$

此處  $t_{km}$  及  $T_0$  皆以分鐘計。

茲舉例以說明機車需水量之計算法。仍用 §126 中所舉例題已知各項, 試求列車自  $A$  至  $B$  所需水量(見圖 93)。

先計算  $A, B$  間所有坡度上, 每公里機車需水若干。作表 63, 以表 63. 各種坡度上列車每公里需水量

坡度 $S\%$	上 坡			下 坡		
	$t_{km}$ (分)	$u_m$ (公斤/公尺 <sup>2</sup> /小時)	$\eta_{km}$ (公尺 <sup>3</sup> )	$t_{km}$ (分)	$u_m$ (公斤/公尺 <sup>2</sup> /小時)	$\eta_{km}$ (公尺 <sup>3</sup> )
0	1.48	50	0.212	1.48	50	0.212
1	1.64	50	0.235	1.20	50	0.172
2	1.82	50	0.260	1.20	37	0.128
3	2.04	50	0.292	1.20	31	0.107
4	2.26	50	0.323	1.20	24	0.084
5	2.53	50	0.362	1.20	16	0.057
6	2.81	50	0.402	1.20	8	0.030

便運算。此表中每公里行車時間, 採自表 62; 而  $u_m$  之數值, 則用上述方法推求。如此則每公里所需水量  $\eta_{km}$  不難求得矣。

§133. 燃料消耗 機車燃料消耗可根據下列各項以推求之:

(1) 汽鍋需汽量及燃料熱當量, (2) 機車需水量及燃料製汽能力, (3)

與每小時蒸汽消耗量(平均數值)相應之爐鑪燃燒率及爐鑪面積。

假設製造每公斤蒸汽需要 $\lambda$ 卡之熱能;並假設每公斤燃料含有熱能 $\eta_k k$ 卡( $\eta_k$ 為汽鍋效率, $k$ 為燃料含熱量),則每小時需要燃料數量為

$$B_{hr} = \frac{D_{k, hr} \cdot \lambda}{\eta_k \cdot k} \text{ 公斤/小時.}$$

式中  $D_{k, hr}$  = 汽鍋每小時需汽量 =  $[(1 + \alpha)u_m' + u_k']H$  公斤/小時;

$\eta_k$  = 汽鍋效率(efficiency of boiler), 可假設為 0.60;

$k$  = 燃料含熱量(heating power), 其值因燃料而異:

石油.....10,000 卡/公斤,  
煤(因質品而異).....4000--7000 卡/公斤,  
木柴.....3500 卡/公斤;

$\lambda$  = 每公斤蒸汽所含卡數, 可稱蒸汽熱量(heat of steam), 其值因蒸汽種類而異:

飽和蒸汽, 溫度在 190—197°C. ....670 卡/公斤,  
加熱蒸汽, 溫度在 300°C.....730 卡/公斤,  
加熱蒸汽, 溫度在 325°C.....740 卡/公斤,  
加熱蒸汽, 溫度在 350°C.....750 卡/公斤.

假設燃料每公斤可將  $e$  公斤之水化為蒸汽[即謂假設燃料製汽能力(evaporating capacity)為  $e$  公斤], 並假設機車每小時需水量為  $\eta_{hr}$ , 則每小時燃料消耗將為

$$B_{hr} = \frac{\eta_{hr}}{e} \text{ 公斤/小時.}$$

此處  $m_{hr} = (1 + \delta) D_{k/hr}$  公斤/小時(見 §132).

各種燃料之製汽能力  $e$ , 按飽和蒸汽言, 約如下列:

- 石油.....10 公斤,
- 煤(按品質優劣而異).....4--7 公斤,
- 木柴.....3.5 公斤.

如為加熱蒸汽, 則上列數值各減低 10%.

倘若固定機車式樣與燃料品質之下, 每小時汽鍋需汽率  $u_k$  及燃料燃燒率  $j$  之關係曲線為已知(圖 99), 則燃料每小時消耗量於

$$B_{hr} = j A_r \text{ 公斤/小時,}$$

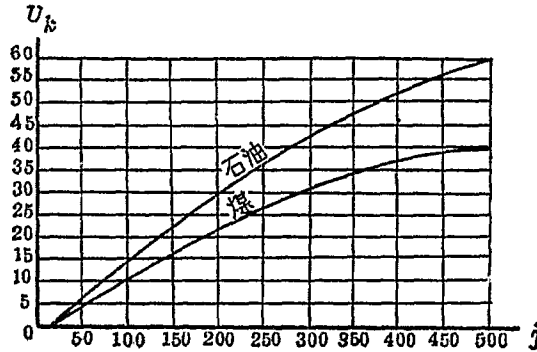


圖 99.

式中  $j$  = 爐鑄面積每平方公尺每小時燃料燃燒量, 簡稱燃燒率 (rate of burning).

$A_r$  = 爐鑄面積, 以平方公尺計.

如假定兩種機車之間, 煤質相同, 因而燃燒率  $j$  與汽鍋效率  $\eta_k = \frac{u_k H \lambda}{j A_r b}$  之變化關係相同, 則按照一種機車之  $u_k = f(j)$  曲線, 可以推



求適用於另一種機車之  $u_k = f(j)$  曲線。此可用下式，先求出第二種機車中，與  $j = 50, 100, 150, 200, \dots, 500$  公斤/公尺<sup>2</sup>/小時相應之  $u_k$  之數值，

$$u_k = \frac{\eta_k j A_r b}{H \lambda} \text{ 公斤/小時；}$$

然後即可作曲線  $u_k = f(j)$  矣。

每小時需用燃料數量  $B_{hr}$  既已求出，則兩站間燃料消耗不難推求：

$$B = B_{hr} T \text{ 公斤，}$$

式中  $T =$  兩站間行駛時間，以小時計。

計算路線一段(含有幾個站間)行駛需用燃料數量時，則在行駛燃料消耗以外，尚須將停車時間中之消耗計入。停車每小時燃料消耗

$$B_{0, hr} = \frac{u_k' H \lambda}{\eta_k b} \text{ 公斤/小時，}$$

$$\text{或} \quad B_{0, hr} = \frac{(1 + \delta) u_k' H}{e} \text{ 公斤/小時，}$$

$$\text{或} \quad B_{0, hr} = j_0 A_r \text{ 公斤/小時。}$$

式中  $j_0 =$  停車時間中燃燒率，與  $u_k'$  相對應。

然則包含兩個以上站間之路段，列車行駛其間時，燃料消耗應為

$$B = B_{hr} \Sigma T + B_{0, hr} \Sigma T_0 \text{ 公斤，}$$

式中  $\Sigma T =$  各站間行駛時間總計，以小時計，

$\Sigma T_0 =$  各車站停候時間總計，以小時計。

在新路計畫中， $\Sigma T_0$  之數值，可設定為  $\Sigma T$  之百分率  $\gamma$ ，故得下式為

$$B = (1 + \gamma) B_{kr} \Sigma T,$$

式中  $\gamma$  之數值如下：

石油.....0.05,

煤及木柴.....0.10.

加熱機車燃料消耗，較飽和機車為經濟；雖在加熱機車中，已成蒸汽尚須加熱，因而亦需要相當熱能，然綜合而論 加熱機車，燃料較省。燃料既省，則水量消耗亦省；燃料及給水消耗減省多少，隨加熱程度而定，可達 25%。在複式機車中，蒸汽膨脹兩次，燃料水量之經濟，可達 15%。故加熱機車較飽和機車為經濟也。

### 第三十章 歐揆勒列車行駛時間 及煤量消耗圖解法

§134. 列車行駛時之挽力線 列車運動問題中，有兩種主要因素：一為阻力，一為挽力。歐揆勒所發明之列車行駛時間與煤量消耗圖解，當然亦以此兩項外力（挽力及阻力）為研究之基礎。假定所用推求阻力之公式，為前 §67 所列者，茲不贅述。茲試先申述列車行駛挽力及挽力曲線，此可分為二個情形論之：(a) 列車閉汽行駛，及 (b) 列車用汽行駛。

(a) 列車閉汽行駛 閉汽行駛時，行駛動力等於輪周挽力

$$z_0 = \pm S - w_0 \text{ 公斤/公噸,}$$

即謂挽力等於阻力；此式中

$$w_0 = \frac{w_0^{LT} + Gw_0^G}{Q} \text{ 公斤/公噸。}$$

可見前 §67 論述行駛阻力中之推求法，在各種等速運動之下，挽力與阻力永久相等；而上式  $z_0 = \pm S - w_0$  永久成立。可按各種速度以作挽力（亦即阻力）變化曲線，而稱之為挽力線。如圖 100，在  $V$  軸以下，作阻力線（即  $w_0$  線）。

(b) 列車用汽行駛 用汽行駛時（假設行駛於上坡  $S\%$  上），如為等速運動，則汽缸挽力與行駛阻力相等，即

$$Z_i = W_{00}^{LT} + (L+T)S + G(S+w_0^G) \text{ 公斤。}$$

但由 §67，得知：

用汽行駛時

$$W_{00}^{LT} = c_1(L-L_a) + c_2L_a + c_3Z_i + c_4\left(\frac{V}{10}\right)^2 \text{ 公斤，}$$

閉汽行駛時

$$W_{00}^{LT} = W_{i1}^L + c_1(L-L_a) + c_2L_a + c_4\left(\frac{V}{10}\right)^2 \text{ 公斤。}$$

上列兩式相較，可得

$$W_{00}^{LT} = W_{00}^{LT} - W_{i1}^L + c_3Z_i;$$

故有：
$$Z_i = W_{00}^{LT} - W_{i1}^L + c_3Z_i + (L+T)S + G(S+w_0^G),$$

$$Z_i - c_3Z_i + W_{i1}^L = W_{00}^{LT} + (L+T)S + GS + Gw_0^G,$$

或 
$$\frac{Z_i(1-c_3) + W_{i1}^L}{Q} = \frac{W_{00}^{LT} + Gw_0^G}{Q} + \frac{(G+L+T)S}{Q}.$$

即 
$$z_0 = w_0^{LTG} + S \text{ 公斤/公噸；}$$

即謂輪周比挽力等於比阻也。

在各種行駛速度之下(如爲等速運動),均可由機車挽力記錄圖上探取其相應挽力,以作挽力速度曲線。此挽力記錄圖,係根據各種機車行駛實驗時所作之統計,而以曲線表示之者。圖 101 所示者,爲德國國家鐵路對貨運機車 G56.16 式所作之挽力記錄圖,以示汽缸挽力  $Z_i$  與速度  $V$ 、截汽點  $\epsilon$ 、及每秒鐘需煤量  $\beta$  之互相關係。蓋如前已述及,汽缸挽力與此三項有直接關係者也。圖中縱軸表示汽缸挽力  $Z_i$ ,橫軸表示每秒鐘需煤量  $\beta$ ,斜線表示速度  $V$  及截汽點  $\epsilon$  之區別;列車行駛時汽缸挽力變化情形,則用粗線表示之。在爐鑪燃煤量  $\beta$  爲固定數值時,此挽力線爲垂線;其最大極限(即最偏右方之數值)爲汽鍋最大能力,圖上以虛線表示之。在低小速度中,此汽缸挽力線與黏着挽力線相符合;不過在開駛之初,爲防止主輪空轉(見 §76)起見,開駛所用挽力不能立即使達最大數值,而當徐徐增高;故以  $m'n$  一段代替黏着挽力線中之  $m'n$  部分。在  $Z_i$  軸之左方相距  $\frac{W_{ii}^L}{Q}$  處作一垂線。自任意  $Z_i$  之數值點上作水平線,向右截量與此汽缸挽力相應之  $\frac{Z_i(1-c_a)}{Q}$  距離;例如在  $Z_i=17,000$  公斤處,作此水平距離  $x$ ,

如圖所示。因爲 G 56.16 機車有下列機構:

$$L+T=141 \text{ 公噸(其中 } L_a=82.5 \text{ 公噸, } T+L-L_a=58.5 \text{ 公噸);}$$

$$W_{ii}^L=770 \text{ 公斤;}$$

$$c_1=2.5;$$

$$c_2=9.4;$$

$$1 - c_3 = 0.96;$$

$$c_4 = 6;$$

且知  $G = 1100$  公噸 ( $Q = 1241$  公噸).

如以  $1\% = 5$  公厘之比例尺計算, 則有圖上所示之距離:

$$\frac{W_{it}^I}{Q} = 0.62 \%,$$

$$Z_i \frac{(1 - c_3)}{Q} = 13.14 \%,$$

$$z = w_0 + S = 13.14 + 0.62 = 13.76 \%,$$

$Z_i$  軸向右水平距離  $x = 13.14 \times 5 = 65.7$  公厘處, 用直線與原點  $O$  相連, 而成直線  $O24$ . 倘若列車行駛等速度為  $V = 40$  公里/小時, 則在燃煤率  $\beta$  與  $V = 40$  曲線相交之點, 引水平線向左; 即自 1 點引水平線向左, 與  $O'$  點上之垂直線相交於 3 點. 至此則 3 點與 2 點之距離 (即 3-2) 等於與  $w_0 + S$  相應之  $Z_i$ . 在圖 100 上, 假設已有速度  $V$  與阻力  $w_0$  關係曲線, 即圖中之  $w_0$  線; 其比例尺與圖 101 者相符合. 在  $w_0$  線上與  $V = 40$  公里/小時相對之點上, 向上量垂直距離  $2_1-3_1$  等於 2-3 (圖 101). 上端之 3<sub>1</sub> 點即為速度挽力關係線上之一點. 如此將各種速度數值 ( $V = 10, 20, 30, 50, 60$ ) 時之點作出, 連以平滑曲線, 即得列車用汽行駛時之挽力線. 如圖 100, 速度軸以上至挽力線間之座標距, 為列車行駛於平直線段上之加速度機力; 直至速度升高至挽力線與速度軸交點之速度, 列車始變為等速運動. 自  $V$  軸向上量  $S\%$  距離以作水平線, 使與挽力線相交, 交點處所相對之速度, 即為此種坡度上列車行駛之最大等速度.

圖 101 (適用於機車 G56 16)

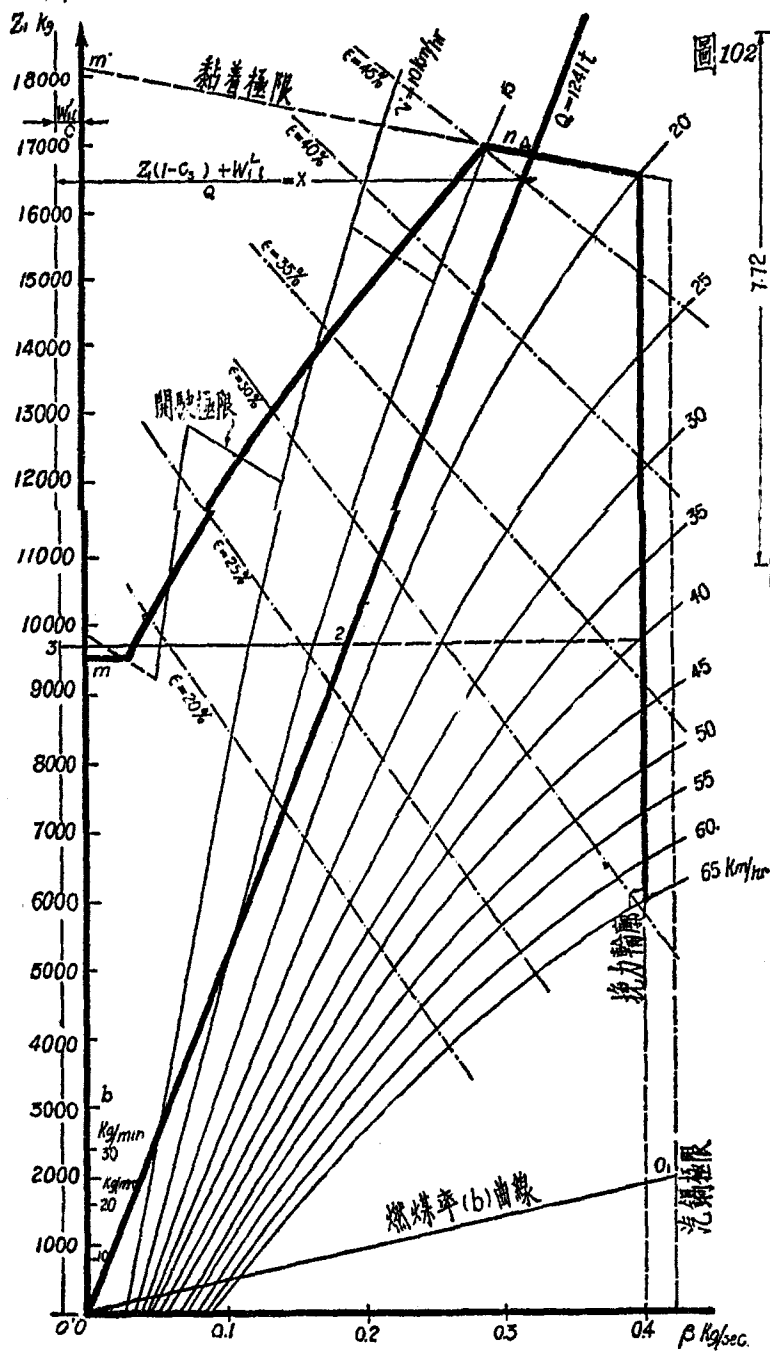


圖 102

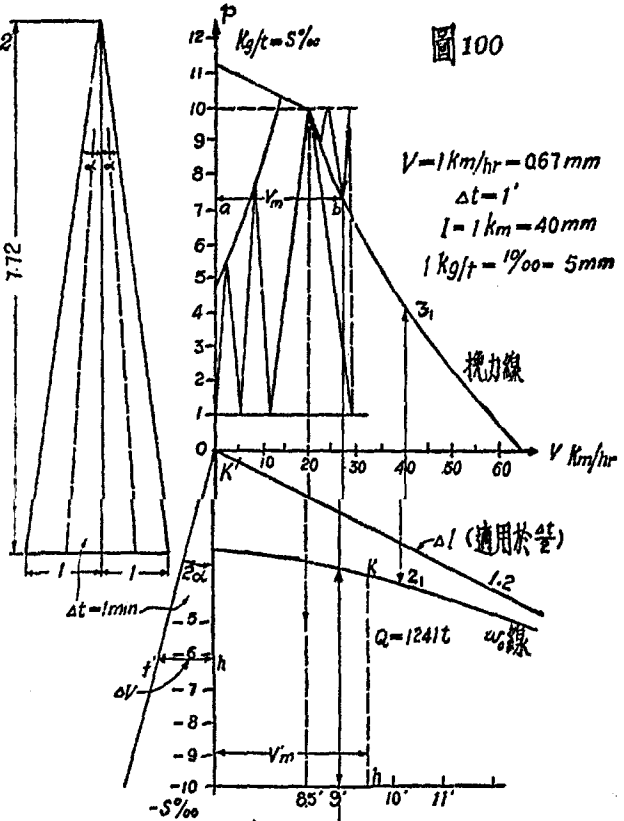


圖 100

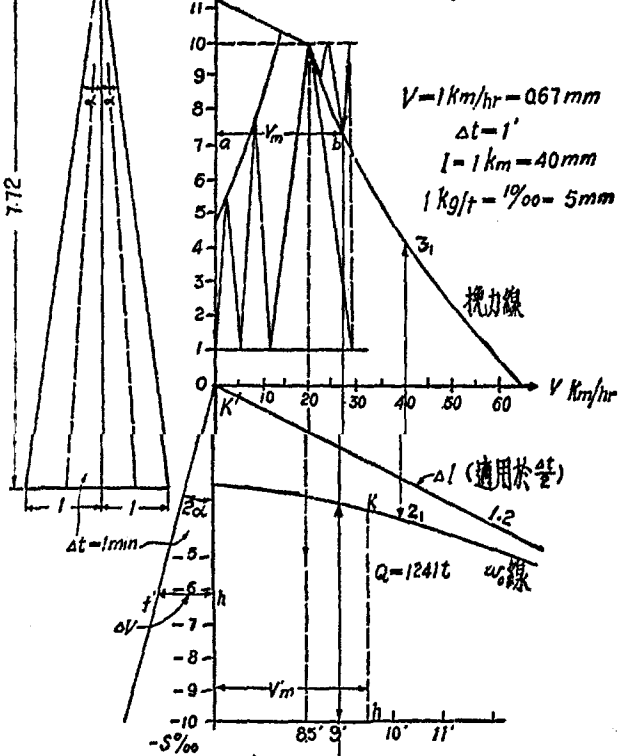


圖 103

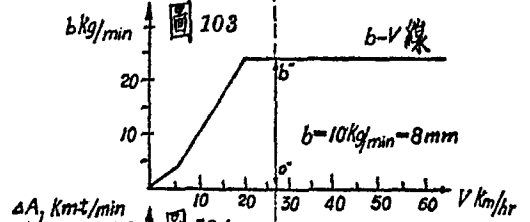


圖 104

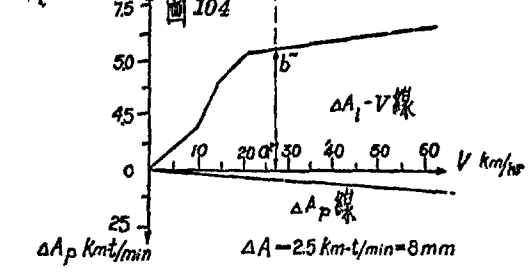


圖 105

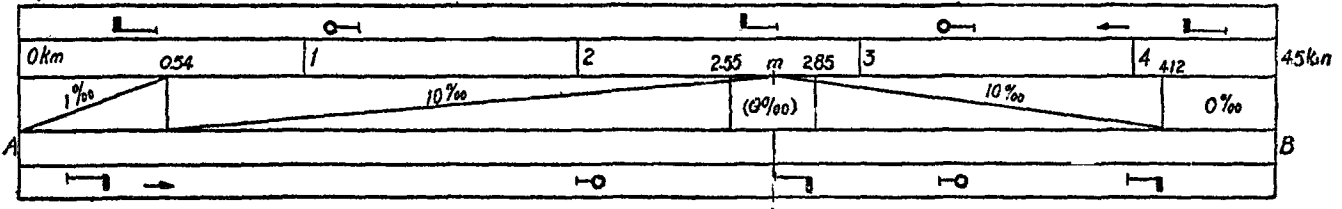


圖 106 行駛時間

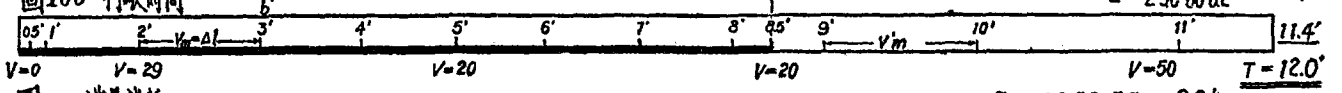


圖 107 煤量消耗 B

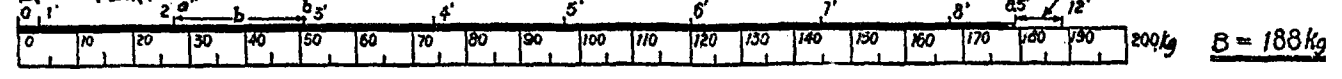
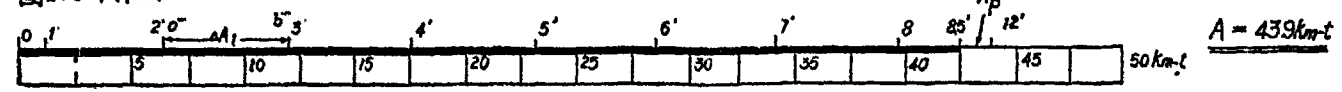


圖 108 機車工作 A



至於此處列車重量之推求如下：假設最大坡度為  $S_0\%$ ，機車在此最大坡度上，須用黏着挽力線與汽鍋挽力線交點處之速度  $V_0$ ，牽引最大之車輛重量  $G$ ；以公式表示之，則為

$$(1-c_3)Z_a = W_0 \frac{L}{g} T - W_i \frac{L}{g} + (L+T)S_0 + G(S_0 + w_0^g);$$

故得 
$$G = \frac{Z_a(1-c_3) - W_0 \frac{L}{g} T + W_i \frac{L}{g} - (L+T)S_0}{S_0 + w_0^g} \text{ 公噸.}$$

今設  $V_0 = 20$  公里/小時， $S_0 = 10\%$  時，則機車  $G = 56.16$  ( $W_0 \frac{L}{g} T = 1715$  公斤， $w_0^g = 2.23$  公斤/公噸)能挽車輛重量為

$$G = \frac{16,600 \times 0.96 - 1715 + 770 - 141 \times 10}{10 + 2.23} = 1100 \text{ 公噸.}$$

§135. 行駛時間圖解法 如已知一種初速度  $V_1$  及一固定時間  $\Delta t$ ，在平均行駛動力(亦即輪周挽力)為  $Z_a^m$  時，可完成之速度變化為  $\Delta V = V_2 - V_1$ ；則可用圖解法，推求其平均速度  $V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$  及其相應之距離變化  $\Delta l$ 。

列車載重每公噸之行駛機力為

$$\pm p = z_a - (S + w_0) = \frac{1000(1+\gamma)}{g} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \text{ 公斤/公噸.}$$

( $\gamma$ 之意義，見 §96.) 又知  $v = \frac{V_{km/hr}}{3.6}$  公尺/秒；故在  $\Delta t$  為固定數值之

下，應得

$$\pm p = \frac{1000(1+\gamma)}{3.6 \cdot g \cdot \Delta t} \cdot \Delta V,$$

或即 
$$\frac{\Delta V}{2} : p = \frac{3.6 \cdot g \cdot \Delta t}{2 \times 1000(1+\gamma)} = \text{常數.}$$

然則在固定時間段落  $\Delta t$  中，速度變化之半數與平均行駛機力之比為常數。在此時間段落  $\Delta t$  中，平均速度當為

$$V_m = V_1 \pm \frac{\Delta V}{2} \text{ 公里/小時。}$$

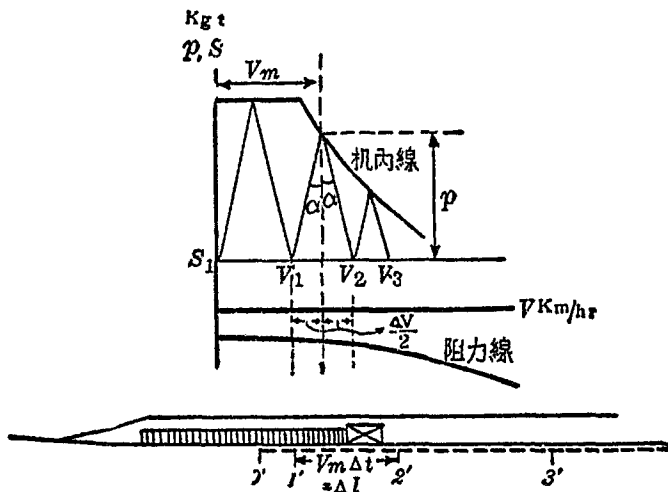


圖 109.

在挽力圖(圖 109)中，自速度  $V_1$  點向上作垂線，使與  $S_1\%$  水平線相交；自此交點向上偏右作一直線，使與垂線所成之角  $\alpha$ ，應合於下列條件：

$$\tan \alpha = \frac{3.6 \cdot g \cdot \Delta t}{2 \times 1000(1 + \gamma)}$$

此  $\alpha$  角稱為時間角，可用以計量角度，此將於後見之。則經過  $\alpha$  角頂點之垂線與  $S_1\%$  水平線上  $V_1$  點所截長度，即表示  $\frac{\Delta V}{2}$  之數值，而  $\alpha$



頂點至  $S_1\%$  水平線間之垂線，則足以表示平均行駛機力  $p$ 。自  $\alpha$  角頂點用同樣角度  $\alpha$  向下偏右引一線，與  $S_1\%$  水平線相交於  $V_2$  點，即為  $\Delta t$  時間段落之終速度；然後再以  $V_2$  為初速度而求第二個  $\Delta t$  之終速度  $V_3$ ；如此繼續進行，直至  $\Delta t$  時間段落中，所完成之距離變化  $\Delta l = V_m \Delta t$  為止。為作圖簡便起見，可使  $\Delta l$  與  $V_m$  所用比例尺間之關係，合於一定條件，即作圖之  $\Delta l$  與  $V_m$  代表線為等長；如此則可自  $p$  軸起向右作水平距離  $V_m$ ，以示  $\Delta l$  之數值（圖 109）。且亦一如時間角者，向右繼續作去。如在路線縱剖面圖上，按法作出  $p$  與  $V$  之變化曲線，於是再作出時間角及  $V_m, \Delta l$  等線，則所有時間速度距離之變化，皆示出於一幅圖上。

§ 136. 速度比例尺及時間角之計算 速度比例尺及時間角之計算，可舉例申述如下：

(1) 假設時間段落為  $\Delta t = 1$  分鐘  $= \frac{1}{60}$  小時，距離比例尺為 1 : 25,000，即每一公里 ( $\Delta l = 1$  公里) 用 40 公厘表示。在時間段落  $\Delta t$  中，平均速度為

$$V_m = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{1 \text{ 公里}}{1 \text{ 分鐘}} = \frac{1 \text{ 公里}}{\frac{1}{60} \text{ 小時}} = 60 \frac{\text{公里}}{\text{小時}}$$

但  $V_m$  及  $\Delta l$  乃以相等長度表示，故 60 公里/小時 = 40 公厘之長度，

即  $1 \text{ 公里/小時} = \frac{40}{60} = 0.667$  公厘之長度。

(2) 關於係數  $(1+\gamma)$  之意義，前已述及，此處假定  $(1+\gamma) = 1.09$ ，並假設  $\Delta t = 1$  分鐘，亦即  $\Delta t = 60$  秒；則

$$\frac{\Delta V}{2} : p = \frac{3.6 \times 60g}{2 \times 1000(1+\gamma)} = \frac{1}{1.03}$$

前已假定： $p = S = w_0 = 1$  公斤/公噸  $= 1\% = 5$  公厘之長度，且  
 $V = 1$  公里/小時  $= 0.667$  公厘之長度，故

$$\begin{aligned} \frac{\Delta V}{2} : p = \tan \alpha &= \frac{1}{1.03} \frac{\text{公里/小時}}{\text{公斤/公噸}} \\ &= \frac{1}{1.03} \times \frac{0.667}{5} = \frac{1}{7.72}; \end{aligned}$$

即時間角對於垂線所成斜度為  $\frac{1}{7.72}$  (圖 102)。

倘若挽力曲線過於傾斜，則所用時間角度可以酌量減小為半分鐘，或十五秒。至所用時間角  $\alpha$  則須較挽力線之最傾斜部分對垂線所成角度為小，至少須小於一半。在圖 100 之  $V$  軸下方作 1 : 2 斜線，所示  $\Delta t$  數值與  $\frac{\Delta t}{2}$  相對應，可直接採取，以作時距線。設有車站  $A$  至車站  $B$  之路線一段，坡度如圖 105。其中已將彎道阻力折合為坡度 ( $R \geq 600$  公尺， $l_r \leq 300$  公尺時則不計)，且較小坡度，已合併而成較長之平均坡度；其合併方法則為平均坡度

$$S_m = \frac{l_1 S_1 + l_2 S_2 + l_3 S_3 + \dots}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots} = \frac{\sum l S}{\sum l} \%.$$

坡度互相合併時，須以兩種坡度之差，不超過 2.5%，而且長度在五公里以內為限。除開車站為水平線外，凡兩種長大坡度（即不能合併之坡度）正負不同者（上坡下坡不同者），將兩坡線延長以至交點。下坡較  $-S = 2\%$  更陡峻者，不可與較小下坡或上坡合併。如此而

有  $A, B$  兩車站間之計算坡度圖, 如圖 105 所示者, 此圖上下更示出行駛兩種方向中之號誌位置。在圖 106 中則示出與路線里程相對應中之行駛時間。用汽行駛部分, 則以粗線表示。因開駛之機車初速度變化太速, 在坡度變更之點, 速度亦有劇烈變更; 故其間距離  $\Delta l$  實嫌太長, 宜採用  $\frac{\Delta t}{2}$  為時間段落, 且最好連用兩次, 以作一整分鐘。

在此  $\frac{\Delta t}{2}$  時間段落中, 距離之數值須用  $V_m$  之半數。如圖 100 中,  $V$  軸下部之 1:2 斜線, 即作此用者也。

1. 用汽行駛 根據路線縱剖面線, 列車自  $A$  站開駛, 先入  $S=1\%$  之上坡。在圖 100 之挽力阻力軸上, 相當  $S=1\%$  處作水平線。在其上面作兩個時間角度三角形, 其頂點交在挽力線上, 且所用時間段落為  $\frac{\Delta t}{2}=0.5$  分鐘。在此半分鐘時間段落  $\frac{\Delta t}{2}$  中, 所行距離可在 1:2 斜線與此兩個三角形頂點鉛垂線下, 量取其與  $V$  軸間之鉛垂距離, 而得之, 且將此兩個距離移至圖 106。自左端 ( $V=0$  公里/小時處) 先作出第一個半分鐘之距離, 標以 0.5; 再接作第二個半分鐘之距離, 標以 1.0', 即可知半分鐘及一分鐘間, 列車完成路程為站間之某一段落也。更接作第三個三角形, 以  $\Delta t=1$  分鐘為時間段落; 直接在  $V$  軸上量  $V_m$  距離 (不用 1:2 斜線), 作於圖 106, 標以 2.0', 是為第二分鐘後, 列車所達之點。再作第四個三角形, 可同法求出 3.0'; 但適介乎兩種坡度 ( $S=1\%$  及  $10\%$ ) 之間, 故宜先作  $S=10\%$  (阻力軸上) 點之水平線, 再作第三個三角形右方腳底之垂線, 使與  $S=10\%$  處水平線相交 (相當  $V=29$  公里/小時)。自此交點, 反向作時間角

三角形，使其頂點向下，仍位於挽力線上；以一分鐘為時間段落，即  $\Delta t = 1$  分鐘，續作三角形，直至腳底與挽力線相交為止 ( $V = 20$  公里/小時)。將三角形頂點與阻力軸間水平距離，移至圖 106，而得時間與距離之關係，一如上述（例如圖 100 上之  $a-b$ ，即圖 106 上之  $a'-b'$ ，而與  $2'$  至  $3'$  時間相對應者也）。 $S = 10\%$  阻力線既與挽力線相交於  $V = 20$  公里/小時之點，故在  $S = 10\%$  上坡，列車將以等速度  $V = 20$  公里/小時行駛。每分鐘所行距離當為常數，可在  $V$  軸上得之矣。如此將圖 106 線標以分鐘數，直至坡度再變為止。至以後下坡  $-S = 10\%$  時，則可閉汽行駛矣。

2. 閉汽行駛 自  $V = 0$  點起，向下左方作直線，與垂線成  $2\alpha$  角。在下坡行駛，其坡度阻力變為挽力；此負號阻力  $-S$  減除基本阻力  $w_0$  後，為列車增加速度之挽力。圖 106 所示，列車行至  $m$  點時，所需時間為 8.5 分鐘；此點所對之速度  $V_1 = 20$  公里/小時。自此列車駛入  $m$  點後之下坡，速度漸增。既知初速  $V_1 = 20$  公里/小時，坡度  $-S = 10\%$ ，則經過半分鐘後（至 9 分鐘時），其速度之增加  $\frac{\Delta V}{2}$  及其間  $S - w_0$  之平均數值，可先估計，而後推求  $\frac{\Delta V}{2}$  之值。例如圖 100 上，先假定  $9' - 10'$  間  $S - w_0$  之平均數值為  $\overline{kh}$ ，然後將  $\overline{kh}$  之長度，用兩腳規移至  $S$ - 軸而成  $\overline{k'h'}$ ，作水平線  $\overline{k'f'} = \Delta V$ 。再在  $-S = 10\%$  之水平線上自  $9'$  點起 ( $V$  軸) 向右繼續量截  $\Delta V$  之長度而至  $10'$  點；此  $10'$  點即為與列車行駛至 10 分鐘時所擁速度相應者。蓋根據前述理論，

$$\frac{\Delta V}{2} : p = \frac{\Delta V}{2} : (S - w_0) = \tan \alpha,$$

而按之作圖，則有

$$\frac{\Delta V}{S-w_0} = 2 \tan \alpha,$$

或因  $\alpha$  角甚小，可假定

$$2 \times \frac{\Delta V}{2} : (S-w_0) = 2 \tan \alpha,$$

亦即

$$\frac{\Delta V}{2} : (S-w_0) = \tan \alpha,$$

同法可求得 11', 12' 等點。將此每個時間段落  $\Delta t$  間之平均速度(如 9'—10' 間之  $V_m'$ )，用兩腳規移至圖 106(圖 9'—10' 間之  $V_m'$ )上，而得 10' 以後各點。倘列車行入車站 B，用軛行駛站段，而不停車，則宜將使軛時間之半數加入以上所得行駛時間，而得站間 AB 行駛時間總數；使軛時間則為

$$t_b = \frac{V_1}{3.6 \times 60 \cdot b_r} \text{ 分鐘},$$

式中

$V_1$  = 使軛開始時之速度；

$b_r$  = 使軛減速率，其數值可約計為：

貨列車  $b_r = 0.2$  公尺/秒<sup>2</sup>，

客列車  $b_r = 0.3$  公尺/秒<sup>2</sup>。

§137. 煤量消耗及機車工作 在圖 101 中，橫軸原示煤量每秒鐘之消耗  $\beta$ ，在縱軸上畫減每分鐘消耗量  $b$ ，而作  $\overline{OO_1}$  斜線以示  $b$  隨  $\beta$  數值之變化。縱軸上  $b$  之比例尺以 8 公厘代表 10 公斤/分鐘。 $b$  與  $\beta$  之關係則為  $b = 60\beta$ 。在等速挽力線與挽力輪廓之交點，向下作垂線，與  $b$  線及  $\beta$  線相交，而後將此兩線間包括之距離所代表之速度，移至圖 103，使成  $b-V$  曲線；惟  $V$  所用之比例尺須與前相同。

在圖 107 上，用圖 101 上  $b$  之比例尺，畫出  $b$  之數值：10, 20, 30, ……。再按圖 106 上每分鐘之平均速度距離  $V_m$  (如  $\overline{a'b'} = V_m = \Delta l$ ) 在圖 103 中之相應速度點上，量取  $b$  之數值 (如  $\overline{a''b''}$ )；且移至圖 107 上方水平距離 (如  $\overline{a''b''} = b = 10$  公斤/分鐘)。如此類推，可得列車行駛任何時間後，所消耗煤量之對照圖。在閉汽行駛段落中，尚須使機車維持可以發生挽力之狀態，其煤量消耗可設為  $0.6A_r$  公斤/分鐘。此處  $A_r$  為機車之爐鋪面積，在此 = 3.9 公尺<sup>2</sup>；故閉汽行駛中煤量消耗為  $B_0 = 0.6 \times 3.9 \times 3.5' = 8.2$  公斤。

自圖 101，可推算機車工作為

$$\Delta A_t = \frac{Z_t V}{60 \times 1000} \text{ 公里公噸/分鐘。}$$

將此數值作在圖 104 之  $\Delta A_t - V$  座標系上，使與相應速度對照，而得  $\Delta A_t - V$  曲線。在圖 108 中，將每分鐘機車所完成之工作示出。其法與圖 107 中對  $b - V$  曲線者同 (如圖 104 之  $\overline{a''b''}$  與圖 108 之  $\overline{a''b''}$  相等)。閉汽行駛時，因汽缸中空氣阻力而發生機車之工作

$$\Delta A_p = \frac{W_a f \cdot V}{60 \times 1000} \text{ 公里公噸/分鐘。}$$

此數值與速度成正比，故可在圖 104 中  $V$  軸下用斜線示之，亦相應將  $A_p$  示於圖 108 上。

上列方法所推得行駛時間，純屬理論；實際規定行車時刻表所用行駛時間，應較此稍大：快列車可增大 4%—7%；其他列車可增大 10%。

至謨換勤圖解法在車站及站間機車作業分析中之應用，將於下

章舉例申述之(原文見德文 Organ fuer die Fortschritte des Eisenbahnwesens, 1933年六月份,及1934年二月份)。

### 第三十一章 車站技術業務之分析

§138. 車站主要技術業務 車站技術業務,主要者為列車行駛及調動(shunting),與路線之準備及號誌之設配。對於列車行駛及調動,須按照動力阻力,以分析其運動狀態,如速度與時間,機車、車輛之工作等等。關於路線號誌之準備設配,首宜注意所需要之時間。本章所述方法,主要目的即在以簡明方法,研究車站作業各種過程,如軌道之工作,時間、動力之消耗等,以便計算其代價。車站設計,亦可用此法作經濟比較之基礎。在已成之車站上,可按其既有設備,根據各種作業過程所需時間,計畫合理之作業程序,並可按照不能避免之各種作業時間的衝突,以求車站之最經濟的改善。同一方向之列車,因所行路線不同,車站放出時,在兩者之間,必留一空隙,以作路線號誌等等準備之時間。調動車輛,因各車目的不同,亦不得不隔以時間,按次撥動。凡此時間問題,皆含有動力、阻力、速度等因素,用謨挨勒法分析之,甚為簡易。此法特點,在所得時間及工作基數,可適用於一般車站,而不若其他方法之只限定於某個車站者然。

設分析列車運動所用機車機力圖(即挽力、截汽點、速度、用煤等項之關係圖),與前章者同,仍為德國國家鐵路 G 56.16 式機車,使軀運動之曲線,則採用美慈科(Metzkow)所研究之結果(見 Glaser's Annalen, 1926, 卷 99, 頁 157)。調動車輛之低速運動,則用馬蘇特

(Massute) 研求結果，以計算減速加速所用時間。

欲使軌道工作情形，能明顯的示出於路線圖上，必須將時間與距離之關係，或速度與距離之關係，與路線圖於同一平面上示出。然此等關係為立體的，故不能用普通圖表示之。此法即在將時間、距離、速度三項，與路線用平面的關係示出也。

為便於推求列車行駛及調動所需時間計，將每項運動及工作所需時間，依序填入調動表中。表中所示結果，可作車站作業分配之標準，並可為作業費款計算之基礎。

茲以三個實例，說明此法原理；此三種例題為：

A. 相反方向列車錯讓(crossing)時，列車相隔時間(train succession)之計算；

B. 客列車在轉頭站周轉時間之計算(即到達車站後，再出發前最小周轉時間)；

C. 近程貨運列車在穿行站(through station)上，調動時間之計算。

上列三項問題，按照行駛與調動之分別，引用此法中不同方式以解決之。

此法借用馬蘇特規定之各種數值如次：

### 甲. 調 動

#### I. 開駛

(a) 機車牽動車輛：

引送…………… $\psi = 140$  公斤/公噸， $\psi_{max}^a = 70$  公斤/公噸；

甩送…………… $\psi = 140$  公斤/公噸， $\psi_{max}^a = 80$  公斤/公噸。



(b) 單機行駛..... $\psi = 140$  公斤/公噸,  $\phi'_{max} = 70$  公斤/公噸。  
 此處  $\psi$  仍為黏着係數;  $\phi'$  為  $S = 0\%$ ,  $w_0 = 0$  時列車之每噸重量

行駛力。

II. 等速度行駛

(a) 機車牽動車輛:

機車前進引送..... $v = 5-6$  公尺/秒(18—22 公里/小時);

機車後退引送

1. 視線無阻時..... $v = 5-6$  公尺/秒(18—22 公里/小時);

2. 視線不甚佳時..... $v = 3$  公尺/秒(11 公里/小時);

3. 軌道車輛擁擠時  $v = 1-3$  公尺/秒(3.6—11 公里/小時);

甩送..... $v_{max} = 7$  公尺/秒(25 公里/小時);

車輛接掛時..... $v = 1-3$  公尺/秒(3.6—11 公里/小時);

車輛引至磅橋時.....  $v = 0.3-1.5$  公尺/秒(1—5 公里/小時)。

(b) 單機行駛:

遠程..... $v = 6-8$  公尺/秒(22—29 公里/小時);

在待掛車輛之前 10—20 公尺.....

$v = 1-2$  公尺/秒(3.6—7.2 公里/小時)。

III. 使軔

(a) 機車牽引車輛.  $\phi_1 = 100$  公斤/公噸,  $\phi'_{max} = 80$  公斤/公噸;

(b) 單機行駛.....  $\phi_1 = 100$  公斤/公噸,  $\phi'_{max} = 80$  公斤/公噸。

IV. 單個或成組車輛不用機車牽引而行駛

在牽出軌道(draw-out track)上.....

$v_{max} = 7$  公尺/秒(25 公里/小時);

經過轉轍器或在組車軌道(making-up siding)上:

1. 車輛上無人隨行…… $v_{max}=5$  公尺/秒(18 公里/小時),
2. 車輛上有人隨行…… $v_{max}=7$  公尺/秒(25 公里/小時)。

乙. 列車解合所需停車時間。

1. 一組車輛牽往牽出軌道前, 機車停轉時間(掛鉤)為 20—34 秒, 平均 27 秒; 第一組車輛牽動之前, 停轉時間格外加多至 70 秒。
2. 調動車輛時, 在牽出軌道端甩車前停轉時間為 11—20 秒, 平均 16 秒。
3. 調動車輛時, 兩次甩車間停候時消耗為 13—22 秒, 平均 18 秒。
4. 調動車輛時, 從新牽引車輛至牽出軌道前, 停轉時間消耗為 11—16 秒, 平均 13 秒。
5. 甩送最後一組車輛後; 調車單機開往出發軌道前, 停候時間為 11 秒。
6. 調車單機停轉時間為 7—13 秒, 平均 10 秒。
7. 車輛連掛時, 每次機車停候時間為 7—17 秒, 平均 12 秒。
8. 每組車輛引送前, 機車停轉時間消耗平均 9 秒。
9. 每組車輛引送至目的軌道後, 停轉時間平均 27 秒。
10. 調車過程中, 其他各種動作, 所需要停候之時間:
  - (a) 調車過程中, 普遍適用者  
 上水(煤水車容量為  $W$  公尺<sup>3</sup>, 水鶴流量為  $W'$  公尺<sup>3</sup>/分)  

$$W \div W' + 1.25 \text{ 分.}$$
 機車轉頭(手動轉盤) 3—5 分。
  - (b) 調車過程中, 適用於貨運者

每個車輛在磅橋上耽擱 65 秒。

列車分解時，解鉤及分離壓氣導管所需時間 30 秒。

調車機車燃燈需時 2.25 分。

聯線(connecting line)上作業：

掛鉤 14 秒。

解鉤 14 秒。

變更行駛方向，牽引車輛數目不變，每次需時 5 秒。

轉轍器開鎖並路擋(track lock)，開放一次，需時 1.5 分。

(c) 客運車站上調車適用者

客列車引送，機車停轉需時 15 秒。

單機停轉需時 11 秒。

氣軔客列車引送至口的地(解鉤前)後停候時間 42 秒。

列車連掛於機車，並將壓氣導管連接，需時 40 秒。

試軔 1.5 分。

(上列數值雖為德國鐵路實驗結果，亦可供吾人參考。本章採用此數值為基礎。)

§189. 相反方向列車錯讓時，列車相隔時間 假設車站軌道布置，如圖 110 所示。有號誌轉轍司令牽動機(order locking frame)一座，附屬牽動機兩座。今按三種情形分析之：

(a) 一個穿行列車不停的通過，對方列車無阻礙的開入錯車軌道(shunting siding)；

(b) 一個穿行列車不停的通過，對方列車預先停駛於入站號誌(home signal)前，然後開入錯車軌道；

(c) 一個穿行列車不停的通過，對方列車自錯車軌道中開出。

吾人所欲推求之時間，分為兩種：(I) 機車牽動、重力引動及軌力阻動所需時間；及(II) 線路準備及安全設施所需時間。茲先將三種情形中所需要之基本原理申述之。

### I<sub>a</sub>. 機車牽動與重力引動之列車運動

車站為水平位置；兩個列車，宜為路段中之最大者；載重長度相等。機車用 G56.16 式， $(L+T)=141$  公噸； $G=1100$  公噸； $Q=1241$  公噸。列車長度  $L_s=500$  公尺。

根據圖 101 (機車 G56.16 之機力圖)，可求列車每公噸重量之挽力  $z$  (用汽行駛時)；再按公式，可推求閉汽行駛時機車阻力  $W_0^{LT}$  及車輛比阻  $w_0^g$ 。挽力阻力既知，可作挽力線，如圖 111 所示。

#### 1. 挽力及挽力線

(a) 閉汽行駛時，挽力為

$$p = \pm S - w_0 \text{ 公斤/公噸。}$$

(下坡時  $S$  為正號，上坡時  $S$  為負號。)

$$\text{而 } w_0 = \frac{W_0^{LT} + G \cdot w_0^g}{Q} \text{ 公斤/公噸，}$$

式中  $W_0^{LT}$  為機車煤水車在平直線段上閉汽行駛之綜合基本阻力， $G$  為車輛重量， $w_0^g$  為車輛比阻， $Q=L+T+G$ 。將各種速度下之  $w_0$ ，在  $V$  軸下作出，而成  $w_0$  線。 $w_0$  線與  $\pm S$  處水平線 ( $V$  軸上方為  $-S\%$ ，下方為  $+S\%$ ) 間所包括垂直高度，即為挽力  $p = \pm S - w_0$  公斤/公噸。

(b) 用汽行駛時，在上坡  $S\%$  作等速運動，則有

$$Z_i + (-W_0^{LT}) + (L+T)(-S) + G(-S - w_0^g) = 0.$$

故汽缸挽力爲

$$Z_i = W_{00}^{LT} + G(S + w_0^g) + (L + T)S \text{ 公斤,}$$

式中  $W_{00}^{LT}$  爲用汽行駛時機車煤水車綜合阻力,  $W_{00}^{LT}$  與  $W_{00}^{L'T}$  之不同, 爲閉汽行駛時汽缸中空氣阻力  $W_{ii}^L$ , 在用汽行駛中變爲汽缸挽力經過轉動裝置以達輪周間之阻力  $c_3 Z_i$ , 即

$$W_{00}^{L'T} = W_{00}^{LT} + c_3 Z_i - W_{ii}^L,$$

式中  $W_{00}^{L'T} = c_1(L + T) + c_2 L_a + c_4 \left(\frac{V}{10}\right)^2 + W_{ii}^L$  公斤,

$L_i$  = 機車附軸所承重量.

故得  $Z_i = W_{00}^{L'T} + c_3 Z_i - W_{ii}^L + G(S + w_0^g) + (L + T)S$  公斤,

或  $Z_i - Z_i c_3 + W_{ii}^L = W_{00}^{L'T} + (L + T)S + G(S + w_0^g),$

即  $\frac{Z_i(1 - c_3) + W_{ii}^L}{Q} = \frac{W_{00}^{L'T} + Gw_0^g}{Q} + \frac{(G + L + T)S}{Q},$

亦即  $z_0 = w_0^{L'TG} + S$  公斤/公噸.

$z_0 = w_0^{L'TG} + S$  可在相應之各種  $V, \beta, \epsilon$  數值下, 作圖表示, 如圖 101, 其法已述於 §134 中. 今爲縮小比例尺計, 作成圖 111, 實與圖 101 無異. 根據圖 111, 可作出圖 112, 以示速度、阻力、挽力之關係; 其法與 §134 所述者相同. 圖 112 中  $V$  軸以上至挽力線間垂直距離表示列車在平直線上之加速度機力, 直至速度升高至挽力線與速度軸相交點之速度, 列車始變爲等速運動. 自  $V$  軸向上(下坡則向下)量  $S\%$  距離, 以作水平線而與挽力線相交, 交點處所相對之速度, 即爲此種坡度上行駛之最大等速度.

## 2. 行駛時間之推求

列車每公噸載重之行駛挽力(如 §134 所述)為

$$z_0 - (S + w_0) = \pm p = \frac{1000(1+\gamma)}{g} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t};$$

以  $v = \frac{V}{3.6}$  公尺/秒代入上式, 如  $\Delta t$  為固定數值, 則

$$\pm p = \frac{1000(1+\gamma)}{3.6 \times g \times \Delta t} \Delta V,$$

且  $\frac{\Delta V}{2} : p = \frac{\Delta t \times 3.6 \times g}{2 \times 1000(1+\gamma)} = \text{常數}.$

在此時間段落  $\Delta t$  中, 平均速度為

$$V_m = V_1 \pm \frac{\Delta V}{2} \text{ 公里/小時}.$$

如圖 112, 自  $V_1$  點作直線, 使與垂線成  $\alpha$  角, 並

$$\tan \alpha = \frac{3.6 \times g \times \Delta t}{2 \times 1000(1+\gamma)},$$

且與挽力線相交於  $I'$  點, 則  $\overline{V_1 I'}$  表示  $\frac{\Delta V}{2}$ , 而  $\overline{I' I''}$  則為挽力之平

均數值  $p$ . 再作  $\overline{I' V_2}$ , 使與垂線成  $\alpha$  角, 則得在  $\Delta t$  時間之末之車行速度; 如此向前作三角形, 有如 §134 中所述者, 將平均速度  $V_m$  與相應距離  $\Delta l$  用同一長度表示, 則可使距離與速度平行示出於一條線上. 其方法已於前章述之.

### 3. 速度比例尺及時間角之規定

1. 茲假定時間段落為  $\Delta t = 20$  秒 =  $\frac{20}{3600}$  小時, 路線比例尺為

1 : 1000, 即 1 公里 = 1000 公厘. 如每個時間段落中, 距離應為 1 公

里，則速度  $V_1' = 1$  公里： $\frac{20}{3600}$  小時 = 180 公里/小時。此速度用 1000

公厘表示，故速度比例尺為 1 公里/小時 =  $\frac{1000}{180} = 5.55$  公厘。

2.  $(1 + \gamma) = 1.09$ ，亦如前述。在時間段落  $\Delta t = 20$  秒中，

$$\frac{\Delta V}{2} : p = \frac{3.6 \times g \times 20}{1.09 \times 1000 \times 2} = 1 : 3.18.$$

假定  $p = S = w_0 = 1$  公斤/公噸 = 1‰ = 5 公厘，

且  $V = 1$  公里/小時 = 5.55 公厘。

由幾何學，可知

$$\frac{\Delta V}{2} : p = \tan \alpha = \frac{1 \times 5.55}{3.18 \times 5} = 1 : 2.78.$$

此即足以規定時間角  $\alpha$  之數值者也。今作此時間角於挽力線之旁。在挽力圖(圖 112)  $S\%$  點上(上坡則在  $V$  軸之上方，下坡則在  $V$  軸之下方)，作水平線。自水平線與  $p$  軸之交點(圖中為  $S = 0\%$ ) 向上作直線，與時間角三角形之左腰平行；與挽力線相交後折回向下，而與此三角形之右腰平行。連續作同樣之三角形，而得每個時間段落中之平均速度  $V_m$  及終速度  $V_2$ 。每個時間段落中平均速度  $V_m$  與所行距離既用相等長度表示，則可在圖 112 中，用兩腳規量取三角形頂點  $1'$  至  $p$  軸之距離  $V_m$ ，移至路線圖中，而自開車地點開端，然後繼續量截，即得時間距離與速度之對照圖，其原理已於前章述之。圖 110 中距離比例尺為 1 : 5000，而非 1 : 1000，故  $\Delta t$  之截量應用縮小五倍之比例尺。在圖 112 中  $V$  軸下作斜度為  $\frac{1}{5}$  之直線，以作縮小五倍之用。

列車閉汽行駛時，阻力線( $w_0$  線)即為挽力線( $p$  線)。因為  $w_0$  線

斜度太小，故不用時間角三角形法推求。可在  $V$  軸之  $O$  點，向下左方作直線，使與垂線成  $2\alpha$  角，以資推求  $V, S, t$  三項變化關係之用；其法見 §:35。

### 1b. 軛力阻動之列車運動

使軛時間，不若挽力或重力之在列車運動中，在路線圖上作線平行示出，而只在列車行駛時間中，加以軛力時間消耗；此項時間消耗，須自軛壓曲線及美慈科軛掌摩阻力與軛掌壓力關係曲線，以推求之。使軛距離之主要意義，在號誌位置之規定，在此研究中不甚重要。故使軛時間消耗，可直接併入列車經過車站所需時間數量之中。

每輛受軛車輛，所受軛掌壓力應為  $K=Q' \cdot c \cdot \eta$  公斤，式中  $Q'$  代表軛機活塞推力，等於  $q \cdot F_s$ ，而  $q$  為軛機汽缸壓力， $F_s$  則為軛機汽缸縱斷面積； $c$  為軛桿變幻係數， $\eta$  為壓力傳導效率。兩軸車輛有軛掌八枚，軛掌壓力為  $K=8F_k \cdot k$ ，四軸車輛則  $K=16F_k \cdot k$ 。此處  $k$  為軛掌每平方公分之軛力，而  $F_k$  則為軛掌工作面積，以平方公分計。

在貨車軛機中， $c$  之數值可使適合於  $q=k$  之條件，故在算式

$$k = \frac{F_s \cdot c \cdot \eta}{8F_k} \cdot q$$

中，分數一項應等於 1。四軸車輛則以 16 代 8。在客車軛機中， $k > q$ 。

$k$  之數值，與時間有關係；圖 117 及 118 即以表示  $k$  ( $q$  亦然) 與時間互相變化之關係。Kunze-Knorr 貨車軛機之軛力進展，因滿載車或空車而不同。如列車總重為  $Q$ ，共有軛車  $n$  輛，則其軛力總數為

$$P = n \cdot K \cdot 0.8 \cdot \varphi_1 + Q(\pm S + w_0) \text{ 公斤。}$$

式中  $\varphi_1$  為軛掌輪撞間摩擦阻係數，圖 119 曲線示其數值。美慈科主張



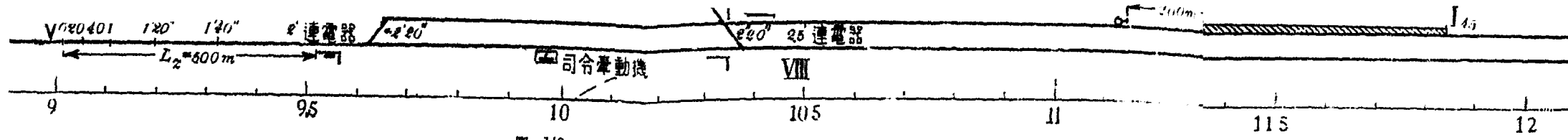


圖 110.

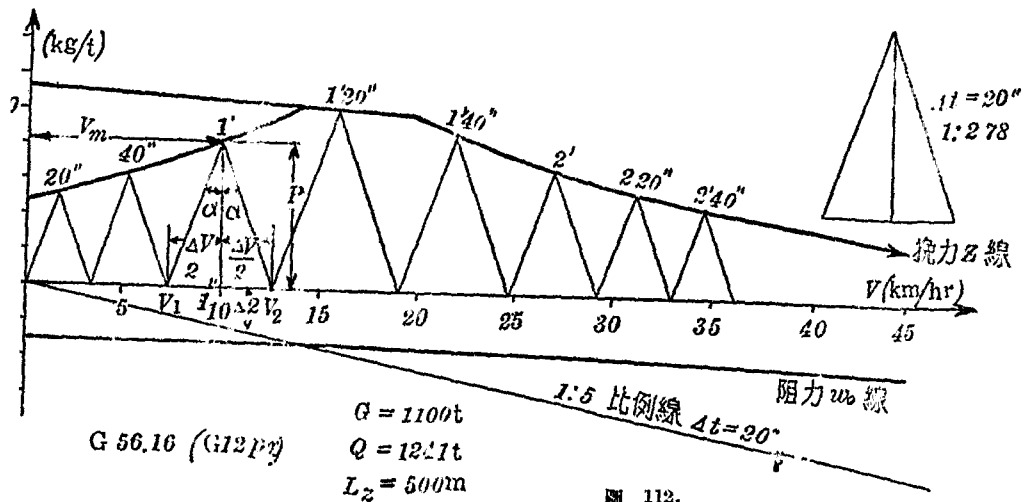


圖 112.

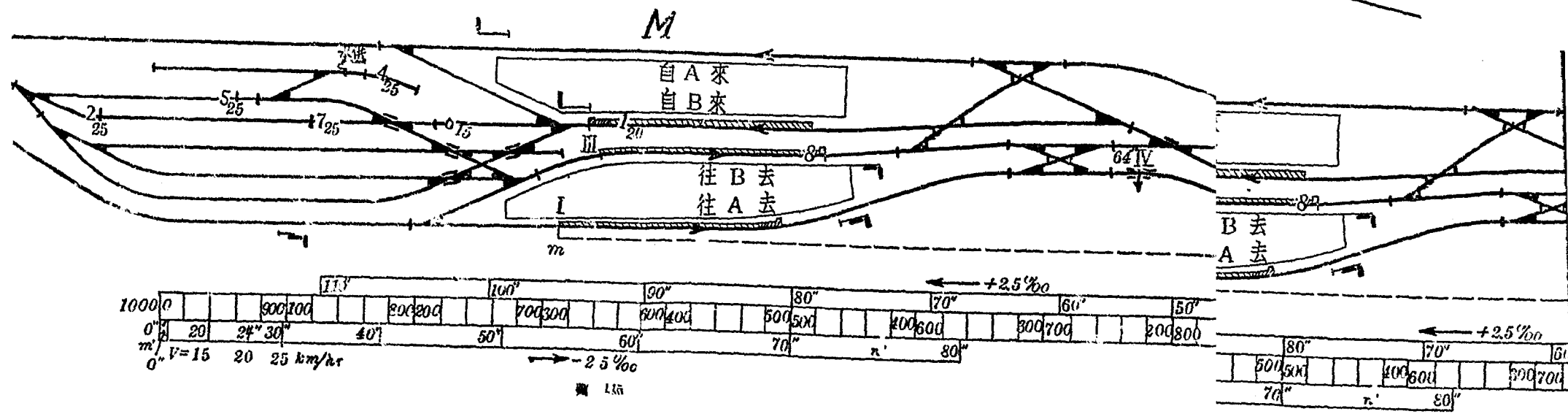
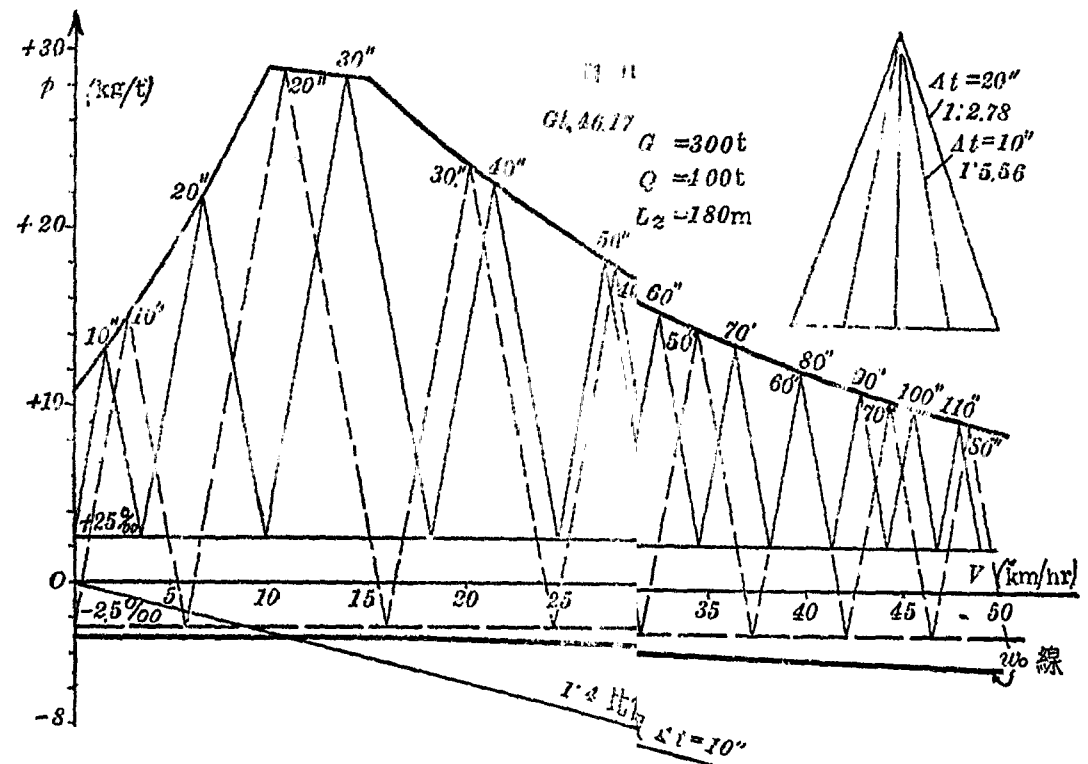


圖 113.

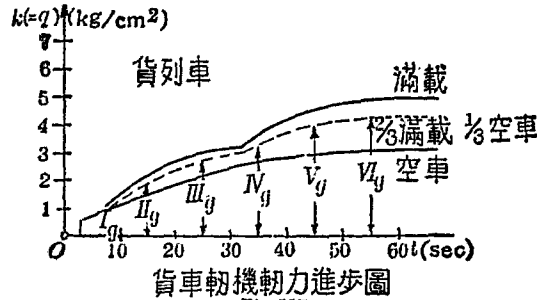


圖 117.

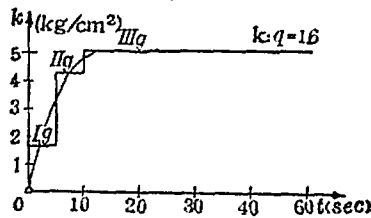


圖 118.

此種數值實用時，減小 20% (故用 0.80 乘)，兩軸車輛列車每公噸載重之輓力為

$$p = \frac{P}{Q} = \frac{8nF_k \cdot k \cdot 0.8}{Q} \varphi_1 \pm S + w_0 \text{ 公斤/公噸。}$$

如以  $b$  示輓車百分率，則

$$8nF_k \cdot k_0 : Q = b : 100,$$

式中  $k_0$  為輓車每平方公分輓力之最後數值，由此可得

$$p = \frac{b \cdot k}{100k_0} 0.8 \varphi_1 \pm S + w_0 \text{ 公斤/公噸。}$$

如以  $p' = \frac{0.8 \cdot b \cdot k}{100k_0} \varphi_1$  代入上式，即得  $p = p' \pm S + w_0$  公斤/公噸。

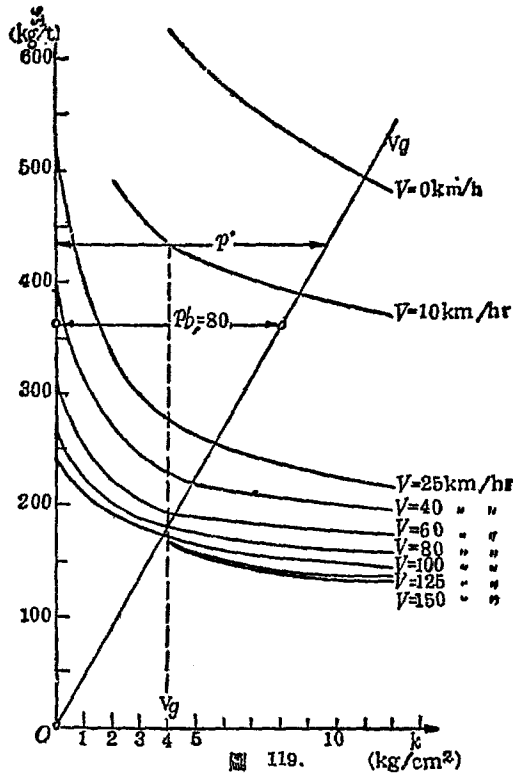


圖 119. (kg/cm<sup>2</sup>)

圖 117 上所示貨車滿載或空車時，軛壓變化曲線不同；故吾人尚須進一步推求其間  $k : k_0$  變化如何。假設計算時所採用標準為列車軛車有  $\frac{2}{3}$  的滿載車， $\frac{1}{3}$  的空車，其軛壓曲線有如圖 117 中之虛線。此線之上方，為軛車全部滿載時之軛壓曲線；下方為軛車全部空車時之軛壓曲線。虛線所示  $k : k_0$  之值，與滿載軛車軛壓曲線（上方曲

線)之 $k:k_0$ 無大差別。空車軛壓曲線(下方曲線)之 $k:k_0$ 數值以及軛力,則較此計算所採用者為大。故如此求得使軛距離及使軛時間,對於空車而言,稍嫌太大,惟所生影響甚微。所以吾人可不分軛車之空車重車,採用下邊所求得之使軛時間消耗數值(圖 130),只取其軛車百分率 $b$ 相同即可。

貨列車及客列車在平直線段上之使軛時間消耗曲線,茲推求於次。惟此研究適合於坡度微小(+2.5%至-2.5%之間)之車站,而使軛距離之最後一段(即車站範圍內之微小坡度部分),對於使軛時間較為重要,故即使車站兩端接連較大坡度,對於使軛時間影響亦小。再者, $p'$ 之數值甚大,車站微小坡度與之相較,影響甚微;故為比較計算時,車站坡度概可不計。

1. 貨列車使軛時間消耗曲線之作法 根據圖 117 曲線所示,滿載軛車軛壓最大數值為 $k_0=4.95$  公斤/公分<sup>2</sup>,空車者為 $k_0=3.1$  公斤/公分<sup>2</sup>。若假設軛車有 $\frac{1}{3}$ 空車, $\frac{2}{3}$ 滿載車,則相應之軛壓為 $k_0=4.33$  公斤/公分<sup>2</sup>。在每公噸軛力算式 $p=\frac{0.8b \cdot k}{100k_0} \varphi_1 \pm S + w_0$ 中,若假定 $b=30$ ,而 $S=0\%$ ( $k_0=4.33$ ),則有

$$p = \frac{k}{18} \varphi_1 + w_0 \text{ 公斤/公噸。}$$

在圖 121 上,原有 $w_0$ 線(作在 $V-p$ 座標系中),再根據圖 119 中蓋科之曲線,將各種 $V$ 下之 $p = \frac{k}{18} \varphi_1$ 數值,與相應之 $w_0$ 數值相加,而得使軛過程中之 $p-V$ 曲線。

長度比例尺既為  $1 : 2000$  (即 1 公里 = 500 公厘), 並假定  $\Delta t = 10''$ , 則 1 公里 :  $\frac{10}{3600}$  小時 = 360 公里/小時. 用 500 公厘之長度表示, 故 1 公里/小時 =  $500 : 360 = 1.39$  公厘, 即為速度之比例尺. 力之比例尺用  $p = w_0 = p' = 1\% = 1$  公厘. 因此可得

$$\frac{\Delta V}{2} : p = \frac{3.6 \times 9.81 \times 10}{1.09 \times 1000 \times 2} = 1 : 6.2;$$

然則時間角  $\alpha$  對垂線之斜度等於  $\tan \alpha = \frac{1 \times 1.39}{6.2 \times 1} = 1 : 4.44$ . 在圖 121 中,  $V$  軸之上所作  $w_0$  線, 作法與挽力線中者(圖 120, 121, 122)無異, 皆用阻力公式以推求者也. 至於  $p' = \frac{k}{18} \varphi_1$  之數值, 則可在圖 119 中美慈科曲線求之. 宜先自  $O$  點向右上方作一直線, 有如  $\overline{OV}_g$ , 使與  $\varphi_1$  軸成一定角度. 倘任意擇取  $\varphi_1 = 360$  公斤/公噸及  $k = 4$  公斤/公分<sup>2</sup>, 則在圖 117 中可看出  $k = 4$  公斤/公分<sup>2</sup>, 恰在第五個時間段落  $V_g$  中. 此時  $p'$  之數值應為

$$p' = \frac{k}{18} \varphi_1 = \frac{4 \times 360}{18} = 80 \text{ 公斤/公噸} = p'_a.$$

在力之比例尺中, 自  $\varphi_1 = 360$  之點(圖 119)向右作水平線, 長  $p'_a = 80$  公斤/公噸, 使線端與零點相連, 即成  $\overline{OV}_g$  斜線. 在已知  $k$  之數值下, 可自  $k$  作垂直線與各種不同速度下之  $\varphi_1 - k$  曲線相交, 自此交點作水平線交到斜線  $\overline{OV}_g$ ; 其交點至  $\varphi_1$  軸之水平距離, 即為  $p'$  之數值. 將  $p'$  之數值按照速度  $V$  之大小, 分別加在圖 121 中之  $w_0$  線上, 即得相應時間段落中(此處舉例為第五段落  $V_g$ )之  $p - V$  曲線. 六個

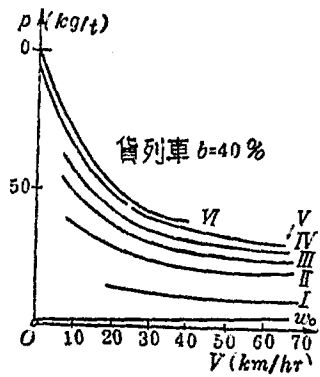


圖 120.

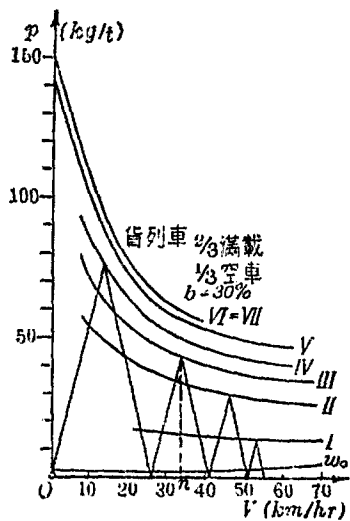


圖 121.

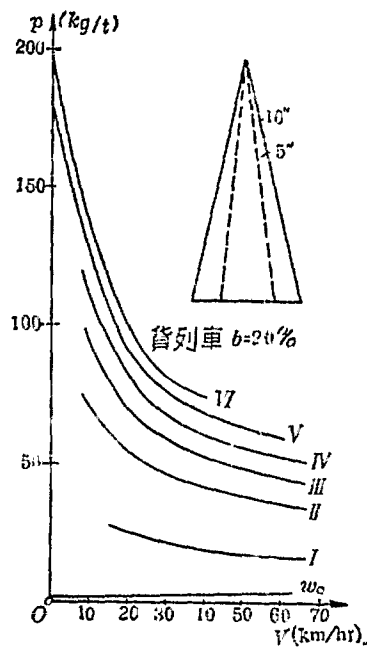


圖 122.

$b$	$V_0$	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$25^\circ$	$30^\circ$	$V_0$	$b$
50	80	10	15	20	25	30	35	80	50
60	80	10	15	20	25	30	35	80	60
75	80	10	15	20	25	30	35	80	75
90	80	10	15	20	25	30	35	80	90
100	80	10	15	20	25	30	35	80	100

圖 123

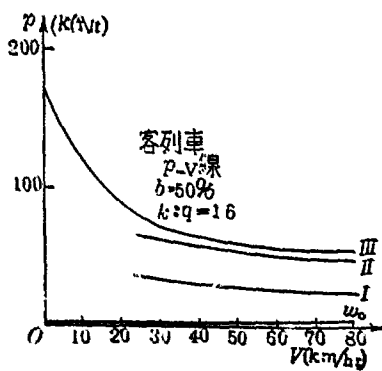


圖 124

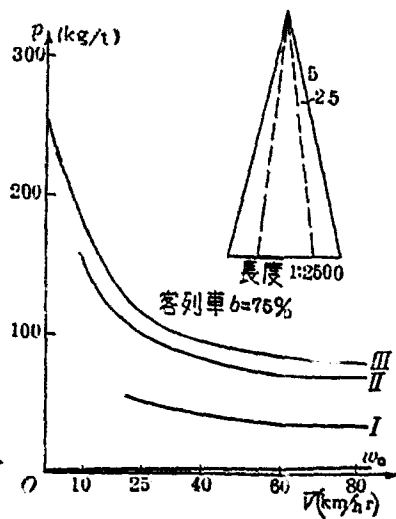


圖 125.

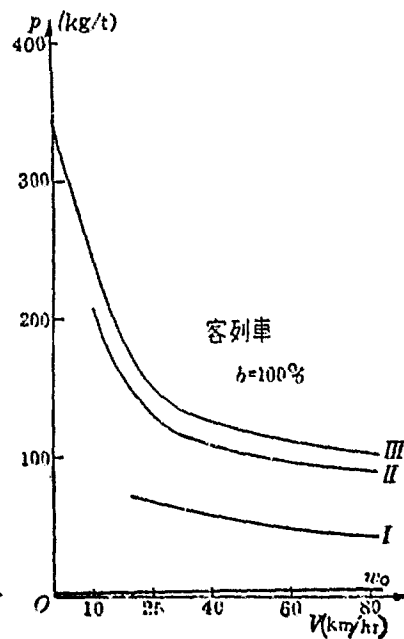


圖 126.

時間段落以  $I_g, II_g, III_g, IV_g, V_g, VI_g$  表示之；每個為 10 秒鐘。每個時間段落中， $b$  之平均數值可自圖 117 中查得；按此  $b$  平均數值依法作出每個時間段落中之  $p-V$  曲線（圖 120, 121, 122）。使軛行駛時間之推求，可自使軛開始時，列車行駛速度  $V_a$ （即使軛初速度），開始在  $V$  軸上作時間角三角形，使向左遞進，其頂點宜落在相應時間段落中之  $p-V$  曲線上；頂點至  $p$  軸之水平距離（如圖 123 上之  $\overline{O_1 n_1}$ ，即與圖 121 上之  $\overline{O n}$  相等），互相連續的畫在路線距離線上，即得時間、距離及速度之對照圖，如圖 123 所示，即在不同之使軛初速度  $V_a$  及不同之軛車百分率  $b$  之下，示出時間、距離及速度之對照圖。圖中  $b$  之數值為 20, 30, 40%； $V_a$  之數值為 40, 55, 70 公里/小時。此為適用於貨運列車者。倘若最後時間角三角形之左腳，不能經過  $V=0$  之點，則可將餘剩速度平均數值  $V_r$  相對之軛力  $p_r$ ，自圖 121 中量出。用

計算尺按照  $t_r = \frac{V_r \times 1000}{3.6 \times g \times p_r}$  秒一算式，計算餘剩使軛時間，而後按

照  $l_r = V_r \times t_r / 2 \times 3.6$  公尺一算式，計算餘剩使軛距離。

倘若列車不用軛機，以速度  $V_a$  通行使軛距離  $l_b$ ，則所需時間為  $\frac{3.6 l_b}{V_a}$  秒，而使軛行駛  $l_b$  距離所需時間為  $t_b$ ；故因使軛而發生之時間消耗為  $\Delta t_b = t_b - \frac{3.6 l_b}{V_a}$  秒。圖 130 即以表示貨運列車使軛時間消耗與使軛初速度  $V_a$  及軛車百分率  $b$  之互相關係者也。使軛初速度  $V_a$  可在時間、距離及速度對照線之入站號誌位置點查計。在站間行駛時間計算中，亦先將入站號誌至車站中心一段距離，按照等速度  $V_a$  推求，然後再加以使軛時間消耗。





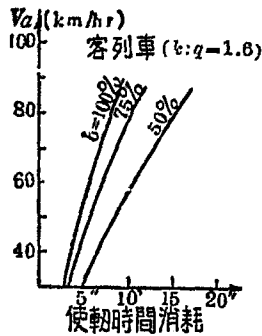


圖 129.

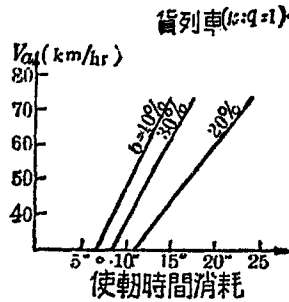


圖 130.

按照梯級形遞進，如圖 127 及 128 所示者。此與下列兩表相符合。表中  $t_D$  表示通過行駛時間。此表與圖 123, 129, 130 等相較，可見軛機運用方式，對使軛時間消耗影響甚小。

表 64. 貨列車按照圖 127 運用軛機

$b$ (%)	$V_a$ (公里/小時)	$l_b$ (公尺)	$t_D$ (秒)	$t_b$ (秒)	$\Delta t_b$ (秒)
20	70	931	42.8	65.2	22.4
	55	581	34.8	52.6	17.8
	40	289	26.0	39.7	13.7
30	70	648	33.3	51.5	18.2
	55	410	26.8	41.8	15.0
	40	215	19.3	39.9	11.6
40	70	500	27.8	42.3	14.8
	55	336	22.0	34.3	12.3
	40	178	16.0	25.2	9.2

表 65. 客列車按照圖 128 運用軌機

$\delta$ (%)	$V_b$ (公里/小時)	$l_b$ (公尺)	$t_D$ (秒)	$t_b$ (秒)	$\Delta t_b$ (秒)
50	80	543	24.4	41.4	17.0
	60	299	17.9	29.6	11.7
	40	131	11.8	18.5	6.7
75	80	498	17.9	29.1	11.2
	60	214	12.8	20.5	7.7
	40	95	8.5	13.0	4.5
100	80	318	14.3	22.8	8.5
	60	178	10.7	16.6	5.9
	40	80	7.2	10.8	3.6

## II. 線路準備及安全設施所需時間

在上列三種列車錯讓情形之下，車站各種作業所需時間數量，採用荷夫曼(Hofmann)博士論文中所發表者，同時並顧及此研究中所用之車站、軌道、號誌、區段等布置。

## (A) 進站及通過

## (a) 路線準備，連同號誌設置：

1. 司令牽動臺叫令牽動機 II, 需時 10 秒;
2. 要求允許開車, 需時 10 秒;
3. 牽動機 II, 需時如下:
  - 驗證軌道空閒 8 秒,
  - 行達轉轍牽動桿處 3 秒,
  - 轉動三個轉轍牽動桿 12 秒,

路線牽動桿	5 秒,
	<hr/> 28 秒...28 秒;
4. 牽動機 II 應允, 需時	4 秒;
5. 查驗明確, 需時	3 秒;
6. 向牽動機 I 施令, 需時	4 秒;
7. 查驗明確, 需時	3 秒;
8. 牽動機 I, 需時(見上列項 3)	28 秒;
9. 路線配定, 需時	4 秒;
10. 開放號誌, 需時	8 秒;
	<hr/> A <sub>a</sub> = 102 秒 = 1.7 分.
(b) 列車駛入(或通過), 號誌返原, 需時	8 秒;
號誌機關鎖, 需時	4 秒;
	<hr/> A <sub>b</sub> = 12 秒.
(c) 安全設施解除, 路線解配:	
1. 停車, 牽動機 II 查驗明確, 需時	3 秒;
2. 路線解配機關鎖, 需時	4 秒;
3. 查驗明確, 需時	3 秒;
4. 路線牽動桿返原, 需時	1 秒;
5. 受令機關鎖, 需時	4 秒;
6. 查驗明確, 需時	3 秒;
7. 應允機解鎖, 需時	4 秒;
8. 查驗明確, 需時	3 秒;
9. 路線牽動桿返原	5 秒,

行達牽動桿處	3 秒,
三個轉轍器牽動桿轉動(牽動機1)	12 秒,
	20 秒... 20 秒,
	$A_2 = 45$ 秒.
$A_1 + A_2 = 102 + 45 = 147$ 秒 = 2.5 分.	

## (B) 出站

## (a) 路線準備, 連同號誌設施:

1. 叫令, 需時	10 秒;
2. 要求路線, 需時	10 秒;
3. 驗證軌道空閒等項工作, 需時(如同 $A_1$ 3項)	28 秒;
4. 路線配定機關鎖(直流電), 需時	2 秒;
5. 牽動號誌, 需時	6 秒;
	$B_1 = 56$ 秒.

## (b) 受令開駛, 需時

開駛前時間損失, 需時	15 秒;
	15 秒;
	$B_2 = 30$ 秒.

## (c) 列車駛出站外, 安全設置解除, 路線解配:

1. 查驗明確, 需時	3 秒;
2. 區段關鎖, 需時	4 秒;
3. 路簽牽動桿及轉轍器牽動桿返原, 需時	20 秒;
	$B_3 = 27$ 秒.

$$B_1 + B_2 + B_3 = 56 + 30 + 27 = 113 \text{ 秒} = 1.9 \text{ 分.}$$

## III. 列車相陪時間之計算

列車運動中，以列車尾部到達地位，而定列車對軌道之已否脫離；即謂列車尾部離開某軌道後，始能認為列車已完全脫離此軌道也。列車無阻礙的放入車站時，在(入站)前方號誌(distant signal)前200公尺，司機即須看清此號誌之狀態。根據此點，及開駛或停車時列車尾部位置與列車長度，在軌道布置圖中，將列車動態以羅馬數字依序示出。車站軌道圖(圖110)因岔道關係，須向兩旁曲繞擴展，但列車運動中之行駛距離，則按軌道在水平軸上之投影而言。在軌道布置圖之下方，作一距離軸，其比例尺與軌道圖之比例尺相同；並作一種固定列車載重下之挽力圖(圖111, 112)。根據挽力圖，可按照車站坡度以求經行車站時間(或開入車站時間)，將時間( $\Delta t = 20$ 秒)與距離對照作出，其法與前無異。此時間亦可按分析法簡捷推求之(特別適用於挽力線斜度甚大之情形中，如圖112, 114)。穿行列車行駛速度，可設為固定數 $V$ ，則經行車站所需時間為 $t_D = 60 l_D / V$ 分。此處 $l_D$ 為自前方號誌前200公尺再退出列車長度(500公尺)之點，至連電器點之長度(如圖110之I至II)。進站列車行駛時間，宜加以使駛時間消耗(取自圖130)。貨列車軔車百分率暫用 $b = 30$ 。入站及穿行列車駛入車站範圍之點，標以羅馬數字(如I)，並標列速度於其旁(如I 45)。在駛出車站範圍或停車之點，標以羅馬數字，並附以所行時間(如II 3.1')。路線準備，安全設備之布置，需時多少，逕取自II中所示者。

茲將列車相隔時間，按前述三種情形，分析計算於次：

(a) 一個穿行列車不停的通過，對方入站列車無阻礙的開入錯車軌道。

I. 為穿行貨列車準備路線( $A_*$ )

1.7分。

I-II. 自前方號誌外 200 公尺處, 駛至連電器處,	
$l=2.29$ 公里, $V=45$ 公里/小時,	
$t=2.29 \times 60/45 =$	3.1 分;
II. 路線解配( $A_0$ )	0.8 分;
III. 爲入站貨列車準備路線( $A_0$ )	1.7 分;
III-IV. 自前方號誌外 200 公尺處, 駛入至停車地點,	
$l=1.63$ 公里, $V=45$ 公里/小時,	
$t=1.63 \times 60/45 + 0.2 (\Delta t_b) =$	2.4 分;
IV. 路線解配( $A_0$ )	0.8 分;
	<hr/>
	10.5 分.

(b) 一個穿行列車不停的通過, 對方列車先停於入站號誌前, 然後開入錯車軌道.

I. 爲穿行貨列車準備路線( $A_0$ )	1.7 分;
I-II. 自前方號誌外 200 公尺處, 駛至連電器處,	
$l=2.29$ 公里, $V=45$ 公里/小時,	
$t=2.29 \times 60/45 =$	3.1 分;
II. 路線解配( $A_0$ )	0.8 分;
III. 再度開駛之前, 路線準備 $1.7' + 0.2' =$	1.9 分;
V-VI. 入站號誌外暫停列車, 開進車站(行駛時間	
$2.5$ 分) + (使軔時間消耗 $0.2$ 分 $= \Delta t_b) =$	2.7 分;
IV-VI. 路線解配	0.8 分;
	<hr/>
	11.0 分.

(c) 一個穿行列車不停的通過, 對方列車自錯車軌道中開出.

I. 爲穿行貨列車準備路線( $A_a$ )	1.7 分;
I-II. 自前方號誌外 200 公尺處, 駛至連電器處,	
$l=2.29$ 公里, $V=45$ 公里/小時,	
$t=2.29 \times 60/45=$	3.1 分;
II. 路線解配( $A_a$ )	0.8 分;
VII. 準備出站路線 + 0.2 分, 至開車間	1.9 分;
VII-VIII. 駛過連電器處	2.5 分;
VIII. 路線解配( $A_a$ )	0.8 分;
	<hr/> 10.8 分.

§140. 客列車相隔時間及在站周轉時間之計算 茲更進一步計算兩列客車自同一車站開出, 或一進一出, 其間相隔最小時間(此簡稱為相隔時間)以及市郊列車在站周轉時間(圖 113, 114, 115, 116)。圖 113 中示出軌道之布置; 列車(或單機)行駛, 仍以尾部位置爲標準。在列車(或單機)運動中, 以羅馬數字表示行駛動態, 而以阿拉伯數字表示調車動態。車站坡度假定爲 2.5%。一個方向爲上坡, 另一方向則爲下坡。在挽力圖中(圖 114), 時間角三角形以實線及虛線作出, 以示區別; 此挽力圖適用於客列車所用機車 Gt 46.17 ( $L+T=100$  公噸), 其  $G=300$  公噸, 列車長 180 公尺, 軹車百分率爲  $b=75\%$ 。在軌道布置圖下, 用距離比例尺作水平線, 如圖 115。在距離線上方, 作出列車在上坡方向中之時間、速度及距離之對照圖, 下方作出下坡方向中之時間、速度及距離之對照圖; 所用時間段落則爲  $\Delta t=10$  秒。開駛時間及距離即可按之以推求, 用公分比例尺及兩腳規計量即可。按照開駛距離(水平投影距離), 將相應時間, 標於羅馬數字之

旁；此羅馬數字，在軌道圖上乃表示列車行止者，已於前述之矣。

茲將客列車相隔時間之成分，亦如上述關於貨列車者然，依次表列於下：

(A) 客車兩列，一自 $M$ 開往 $A$ ，一自 $M$ 開往 $B$ (圖 113, 115).	
I <sub>a</sub> . 路線準備，號誌牽動 (見上 $B_a$ 項)	56 秒；
I <sub>b</sub> . 受令開車，查驗號誌	30 秒；
I-II. 開往 $A$ (車尾越過連電器 II) 自圖 115 中量取，如	
$m_2 = m'_2 =$	75 秒；
II. 路線及安全設備解除	27 秒；
III <sub>a</sub> . 路線準備，號誌牽動	56 秒；
III <sub>b</sub> . 受令開車，查驗號誌	30 秒；
III-IV. 開往 $B$ (車尾越過連電器 IV)，自圖 115 中量取	64 秒；
IV. 路線及安全設備解除	27 秒；

---

6.1 分 = 365 秒。

(B) 客車兩列，一列自  $B$  開往  $M$ ，一列自  $M$  開往  $A$ 。

V. 路線準備，號誌牽動	102 秒；
V-1. 自入站前方號誌外 200 公尺處，至 1 點停車，	
$l = 510 + 700 + 200 + 180 = 1590$ 公尺，	
$V = 50$ 公里/小時， $t = 1590 \times 3.6 / 50 = 115$ ，	
加以 $\Delta t_0 = 6$ 秒	121 秒；
1. 路線解配	45 秒；
II <sub>a</sub> . 路線準備，號誌牽動	56 秒；
II <sub>b</sub> . 受令開車，查驗號誌	30 秒；



I-II. 開往 A	75 秒;
II. 路線及安全設備解除	27 秒;
	7.6分 = 456 秒.

凡路線互相平跨，皆可用此法以分析其工作。

車站  $M$  上，必須執行車輛調動，以便組開列車。調車時間成分，宜列表以計算之。例如自  $B$  開來列車，到達月臺  $B$  後（圖 113），其時位置為 '1'，須牽入停轉軌道至 '2'。然後機車轉頭上水，再牽列車至 '8'，而在月臺  $B$  準備開往  $B$ ，其間各種過程，用大阿拉伯數字表示列車動態，且附以小數字表示行駛速度。

調車過程中，列車位置、車輛機車之動態、調車距離、最大速度，均列入調車表中。至於等速行駛時間  $t_0$ ，及開駛時間消耗（因增加速度而發生之時間消耗） $\Delta t_a$ ，可自連鎖圖（圖 131）中求之。此連鎖圖作法詳後。開駛挽力  $T_a$  則求自挽力圖（圖 114）中。使軔時間消耗  $\Delta t_b$  取自圖 129 中。單機開駛及使軔時間，可自圖 116 中求之。調車各部動作所需時間，一一相加，即得客列車到達車站後，至再次出發前，其間所需要之最小時間，亦簡稱爲周轉時間。調車表見表 66：

§141. 近程貨運列車在穿行站上調動時間之計算 茲就列車調動狀態、調車時間、及調車計算連鎖圖作法，分別論述於次。

1. 軌道圖上示出調車動態 假設近程貨運列車，在首端掛有貨車十輛（機車爲 G 56.16）在穿行車站調動；此車站之一端如圖 132 所示。機車須將此十輛車送往貨月臺裝載，然後將滿載車十輛自貨月臺牽出，仍送往原處。裝貨站爲頂頭斜坡、側面斜坡、貨倉、裝貨軌道等。調動車輛在軌道上所行之路線，仍用大阿拉伯數字依次標出。

圖 132 所示，為寬度放大之車站軌道圖；茲將調車動態(掛車、解車)，距離、速度等項，在軌道圖中示出。所用距離仍為水平軸上之投影。

茲將調車過程中各項動作，順序列於表 67(參閱圖 132)。

表 66.

位置	調車動態	列車 或 單機	距離 $l$ (公尺)	速度 $V$	$\Delta t_a + \Delta t_b$ (秒)	$t_g$ (秒)	$\Sigma t$ (秒)	附註	
1.	月臺間停留	—	—	—	—	—	90	位置見圖 113	
1-2.	駛入備用軌道	列車	395	25	24	69	83		
2.	解鈎	列車	—	—	—	—	42		
2-3.	機車行駛	機車	100	25	10	15	25		
3.	停轉	機車	—	—	—	—	25		
3-4	駛往水鶴	機車	300	25	10	43	53		
4	上水	機車	—	—	—	—	300		
4-5	行駛	機車	100	25	10	15	25		
5	停轉	機車	—	—	—	—	25		
5-6	行駛	機車	160	25	10	23	33		
6	停轉	機車	—	—	—	—	33		
6-7	機車往掛列車	機車	80	15	6+15	15	36		慢行 15 秒
7	掛鈎，試軔	機車	—	—	—	—	130		0+90=130 秒
7-8	開往月臺前	列車	300	25	19	58	77		
8	月臺前停留	列車	—	—	—	—	120		

1047 秒=17.5 分

表 67.

位置	調 車 動 態
1	5 Tr LL Ab: 在錯車軌道 '8' 上, 壓氣管拆解, 挽鉤解開, 五次.
1-2	Fv: 自軌道 '8' 向前開出, 越過轉轍器 53 ( $V=20$ 公里/小時); $B_1^{24}=24$ 噸機車一輛.
2	Woz-Ab: 列車組成不變, 停轉, 須用送之車 10 輛解鉤.
2-3	St Fr: 用送 $D=180$ 公噸, 至組車軌道 10. 速度 $V_a=12$ 公里/小時.
3	W Lok: 用車後, 機車稍停, 轉轍器改動.
3-4	Lok Fr: 機車倒駛至側面裝貨斜坡, $V=30$ 公里/小時. $L_1$ : 掛鉤前慢行, 15 秒.
4	An+W: 掛車一輛, 停轉.
4-5	Fv: 前駛至轉轍器 56 之前, $V=20$ 公里/小時.
5	Woz: 列車組成不變, 停轉, 轉轍器改動.
5-6	Fr: 倒行至貨倉前, $V=15$ 公里/小時, $L_1$ : 掛鉤前慢行, 15 秒.
6	An+W: 掛車三輛, 停轉.
6-7	Fv: 前駛越過轉轍器 56, $V=20$ 公里/小時.
7	Woz: 如前, 停轉, 轉轍器改動.
7-8	Fr: 倒駛至裝貨軌道, $V=15$ 公里/小時, $L_1$ : 掛鉤慢行, 15 秒.
8	An+W: 掛車六輛, 停轉.
8-9	Fv: 將 10 輛車牽至轉轍器 56 以外, $V=20$ 公里/小時. $B_1^{24}$ 意義同前.
9	Woz: 同前.
9-10	Fr: 倒駛至錯車軌道 '8' 上所停列車上, $L_1$ : 慢行, 15 秒. $B_1^{24}$ 同前.
10	Ab+W+An: 機車停轉, 解鉤, 將車 10 輛掛上列車.
10-11	Lok Fv: 機車前駛至轉轍器 53, $V=30$ 公里/小時.
11	W Lok: 機車停轉, 轉轍器改動.
11-12	Lok Fr: 機車倒駛, 至組車軌道 10 中所停掛鉤之車 10 輛, $V=30$ 公里/小時, $L_1$ : 慢行, 15 秒.
12	An+W: 停轉, 車組掛鉤.
12-13	Fv: 前駛至轉轍器 53 外, $V=20$ 公里/小時, $B_1^{24}$ 意義同前.
13	Woz-Ab: 車組停轉, 10 輛用送車輛之解鉤.
13-14	St Fr: $D=130t (B_1^{24})$ 用送至皮貨軌道 25. 倒駛 $V_a=15$ 公里/小時.
14	W Lok: 用車後稍停, 轉轍器改動.
14-15	Fr: 倒駛至貨倉, $V=15$ 公里/小時.
15	Ab+W: 停轉同前, 2 車解鉤.
15-16	Fv: 牽至轉轍器 50 前, $V=20$ 公里/小時.
16	Woz: 車組停轉, 同前.
16-17	Fr: 倒駛至頂頭月臺, $V=15$ 公里/小時, $L_1$ : 月臺前慢行, 15 秒.
17	Ab+W: 一個車輛停轉, 解鉤.
17-18	Fv: 牽至側面貨月臺, $V=20$ 公里/小時.
18	Ab: 一車解鉤.
18-19	Lok Fv: 機車前駛至轉轍器 53 外, $V=30$ 公里/小時.
19	W Lok: 機車停轉, 轉轍器改動.
19-20	Lok Fr: 機車倒駛, 至列車, $L_1$ : 慢行.
20	An 4 Ala: 機車掛鉤, 四處壓氣管接連並掛鉤, 試軌 90 秒.

2. 調車時間 在表 68 中, 1—7 各欄根據前述馬蘇特數值及圖 132 填列, 所需時間計算出後, 填列於表之 9—11 各欄。各項時間相加, 即得近程貨運列車在穿行站上調車時間。此處所謂近程貨運 (short distance traffic), 乃針對直達貨運 (through traffic) 而言者也。

調車各項動作, 概可分為 (a) 甩車與 (b) 送車及單機行駛兩種。車站軌道圖如上法標識, 再附以調車表, 則調車動作可一目瞭然矣。在軌道圖上所示者為:

(1) 軌道之占據, 附以車輛之出入。

(2) 因運務之要求及軌道布置而形成之調車工作, 且每個動作附以標誌, 以資醒目。

(3) 調車時間計算所用因素及數值 (如距離、線路、速度、機車式樣、車輛數目及長度、車站坡度、彎度等)。

(a) 甩車運動之計算 甩車速度, 須由司機藉經驗及觀察以估定之, 此恆因天氣關係及行駛基本阻力變遷, 而感覺困難。速度不可太小, 否則車輛未達目的地而停止, 尚須前往推送, 費時至久。倘速度較高, 隨車輛手尚可使軀使按時停止; 或在達到目的地前一定地點, 置放軌軀; 或施用自動軌道軀機, 得自牽動機室控制車行速度, 俾適在目的地停駛。對於車站軌道情形及所用機車性質熟悉而且富於經驗之司機, 所用甩車速度, 恆與用分析法所得理想速度  $V_a$  極為相近, 即

$$V_a = 3.6 \sqrt{(S + w_0^g) \frac{2g \times l}{1000}} \cong 0.5 \sqrt{l(S + w_0^g)} \text{ 公里/小時。}$$

此為使一輛車脫離機車, 經過  $l$  公尺後, 因基本阻力  $w_0^g$  及坡度阻力



$S$  (包括曲線阻力) 而停止時, 所需用車速度  $V_a$  之算式,  $g' = 9.25$ , 為適用於車輛之平均數值。

如以等速度  $V$  行駛距離  $l$ , 則需時  $t_0 = \frac{3.6 \cdot l}{V}$  秒; 至開駛及使軌時間尙未計入。假設開駛加速度為  $b_a$ , 使軌減速度為  $b_b$ , 均以公尺/秒<sup>2</sup> 為單位, 以  $l_a$  為開駛加速距離,  $l_b$  為使軌距離, 均以公尺計; 則開駛時間為  $t_a = \frac{v}{b_a}$  秒, 而使軌時間為  $t_b = \frac{v}{b_b}$  秒。其開駛及使軌之平均速度為  $\frac{v}{2} = \frac{l_a}{t_a} = \frac{l_b}{t_b}$ , 故知  $t_a^2 = \frac{2l_a}{b_a}$  或  $t_b^2 = \frac{2l_b}{b_b}$ 。然則開駛與使軌時間、距離曲線為拋物線, 而等速運動之時間、距離直線 ( $t_0 = \frac{l}{v}$ ) 適為此拋物線之切線 (圖 134)。根據解析幾何定理, 兩相交切線將拋物線

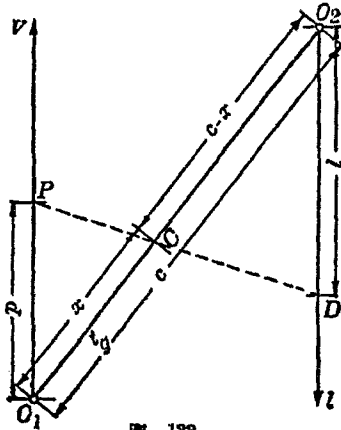


圖 133.

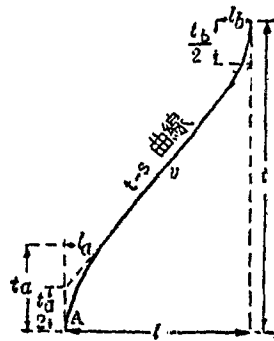


圖 134.

頂點縱座標距離平分(即將 $t_a$ 及 $t_b$ 平分),故切線相交之點,與時間、距離曲線首尾兩點相距為 $\frac{t_a}{2}$ 及 $\frac{t_b}{2}$ .然則綜合時間為

$$t_g + \frac{1}{2}(t_a + t_b) = t_g + \Delta t_a + \Delta t_b \text{ 秒,}$$

式中 $\Delta t_a = \frac{t_a}{2}$ 為開駛時間消耗,而 $\Delta t_b = \frac{t_b}{2}$ 則為使軔時間消耗,均以秒計.倘若甩車速度 $V_a$ 達到以後,立即使軔,則等速運動時間及距離皆等於零,而甩車運動綜合時間將為 $t_a + t_b$ .此處之速度、時間關係,可以三角形示之,如圖 135. 甩車運動中機車行駛距離為

$$r = \frac{V_a(t_a + t_b)}{2 \times 3.6} = \frac{V_a(\Delta t_a + \Delta t_b)}{3.6}.$$

但依照馬蘇特之觀察,機車在甩車前必須等速行駛幾秒鐘,其平均數值可定為 3 秒,故有

$$r = \frac{V_a(\Delta t_a + \Delta t_b + 3)}{3.6}.$$

(b) 送車及單機行駛之計算 自軌道圖中量取距離 $l$ ,自馬蘇特數值表中擇取 $V$ ,再引用開駛及使軔之時間消耗,可求行駛時間.單機行駛最大加速率,則受最大開駛挽力 $P_a = 70$ 公斤/公噸,及最大軔力 $P_b = 80$ 公斤/公噸(見馬蘇特表)之限制.至於調車表,見第 292 頁(機車 G 56.16,列車有車輛 $\overline{10} + 10$ ).

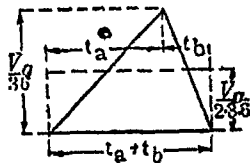


圖 135.

8. 車運 計算連鎖圖( 131) (1)作圖法——作圖分為三部: (a)等速度運 之時間計算, (b)開駛加速及使軔 速之時間消耗計算, (c)甩車速度計算。

(a) 等速度行駛時間已知為

$$t_g = \frac{l}{v} = \frac{3.6 \cdot l}{V} \text{ 秒.}$$

作兩垂線, 一示  $l$ , 一示  $V$  (圖 133); 更作斜線以示  $t_g$ . 此  $l$  及  $V$  兩線單位畫分均等, 而  $t_g$  之單位則由另外斜線投影畫分而不均等. 在  $V$  軸之  $V=36$  公里/小時點, 作輻射線 (以  $V=36$  點為極點), 與  $t_g$  軸之交點數字, 定為與  $l$  軸之交點數字縮小十倍, 而  $V$  軸及  $l$  軸單位數字, 則為用任意比例尺事先畫分者.  $t_g$  軸之單位數字, 可如是遞次畫出; 作時可用計算尺協助, 甚為迅速. 如圖 133, 極點為  $P$ . 作輻射線  $PD$ , 與  $t_g$  軸交於  $C$ , 與  $l$  軸交於  $D$ . 在相似三角形中,

$$\frac{O_1C}{O_1P} = \frac{O_2C}{O_2D} \quad \text{或} \quad \frac{x}{p} = \frac{c-x}{l},$$

故 
$$x(p+l) = pc \quad \text{或} \quad x = \frac{pc}{p+l}.$$

式中  $p$  及  $c$  為固定係數, 故可假設  $l$  之數值以計算  $x$  之數值, 再作輻射, 在  $t_g$  軸交點標出  $t_g$  之數值  $x$ . 如此則作成  $t_g = \frac{3.6l}{V}$  之連鎖圖, 如圖 131 之(3). 如已知  $V$  及  $l$ , 則用直尺連之,  $t$  軸交點即  $t$  之相應

(b) 在開駛加速時間消耗公式



表 68.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
位置	動 態	車數	車長 (公尺)	列車重 (公噸)	路程 $L$ (公尺)	$V$ (公里/小時)	$t_a^*$ (秒)	$\Delta t_a + \Delta t_b$ (秒)	時間 總計(秒)	時間 累計(秒)	附 註
1	5TrLLAb								150	150	5次拆解,各30秒
1-2	Fv	10	90	195	204	20	37	17	54	204	$B_1^{34}$
2	Woz Ab								16	220	
2-3	St Fr	10/0	90/0	195/5	50	12a	11+3	11	25	245	Ma W53, D=180, B <sub>1</sub> <sup>34</sup>
3	ZW Lot								11	236	
3-4	Lot Fr			15	517	30	32+15	12	89	345	Ma W51, L <sub>1</sub>
4	An+W								27	372	
4-5	Fv	1	9	35	549	20	98	9	107	479	
5	Woz								9	488	
5-6	Fr	1	9	35	348	15	33+15	7	105	593	Ma 56, L <sub>1</sub>
6	An+W								27	620	
6-7	Fv	4	36	85	850	20	59	12	71	691	
7	Woz								9	700	
7-8	Fr	4	36	85	312	15	75+15	9	99	799	Ma W96, L <sub>1</sub>
8	An+W								27	826	
8-9	Fv	10	90	195	409	20	73	17	90	916	$B_1^{34}$
9	Woz								9	925	
9-10	Fr	10	90	195	266	15	34+15	12	51	1016	Ma W56, L <sub>1</sub> B <sub>1</sub> <sup>34</sup>
10	Ab+W+An								27	1043	
10-11	Lot Fv			15	109	30	13	12	25	1068	



$$\Delta t_a = \frac{t_a}{2} = \frac{v_a}{2 \cdot b_a} = \frac{V_a}{2 \times 3.6 \times b_a}$$

中，開駛加速度為

$$b_a = \frac{g'}{1000} \left( \frac{L_a \psi}{G} \mp S - w_0 \right) \text{公尺/秒}^2,$$

式中

$L_a$  = 機車主軸承重,

$G$  = 調動車組重量,

$\psi$  = 140 公斤/公噸 (見 § 138),

$\pm S$  = 坡度,

$w_0$  = 調車基本比阻,

$$g' = \frac{9.81}{1.09} = 9.$$

且  $\frac{L_a \psi}{G} = p'_a$  公斤/公噸,

故有  $b_a = \frac{9}{1000} (p'_a \mp S - w_0)$  公尺/秒<sup>2</sup>.

然則  $\Delta t_a = \frac{t_a}{2} = \frac{1000 V_a}{2 \times 3.6 (p'_a \mp S - w_0) \times 9} = \frac{15.5 V_a}{p'_a \mp S - w_0}$  秒。

在此計算中，須作兩個連鎖圖 [圖 131 之(1)及(2)]:

$$p'_a = \frac{L_a \psi}{G}; \quad (1)$$

$$\Delta t_a = \frac{t_a}{2} = \frac{15.5 V_a}{p'_a \mp S - w_0}. \quad (2)$$

兩者作法，均與前者相同。在圖 131 (1) 中，垂線上均等畫分之比例

尺爲  $p'_a$  及  $L_a\psi$  兩項；斜線上則爲  $G$  之比例尺。極點在  $p'_a=10$  公斤/公噸之位置。再在  $L_a\psi$  軸之左方，將  $\psi=140$  公斤/公噸及假定下之機車黏着重量  $L_a$  畫出；在軸之右方將  $\varphi_1=100$  公斤/公噸假定下之列車軌力重量  $Q_b=L_b+G_b$ （此處  $L_b$  爲機車軌力重量， $G_b$  爲車輛軌力重量）畫出，則用此連鎖圖更可計算軌力  $p'_b=\frac{(L_b+G_b)\varphi_1}{Q}$  矣。在圖 131(2)中，垂線上均等畫分之比例尺爲  $p_a=p'_a\mp S-w_0$ ，或  $p_b=p'_b\pm S+w_0$ ，及  $V_a$  兩項；斜線則爲  $\Delta t_a$  或  $\Delta t_b$  之比例尺。 $p'_a\mp S-w_0$  軸之極點爲  $p_a=15.5$  公斤/公噸。調車基本比阻爲

$$w_0 = \frac{w_0^L L + w_0^G G}{L + G} \text{ 公斤/公噸。}$$

機車閉汽行駛之基本比阻(如前)爲

$$w_{00}^L = \frac{W_{00}^L}{L} = \frac{W_{i1}^L + c_1(L - L_a) + c_2 L_a + c_4 \left(\frac{V}{10}\right)^2}{L} \text{ 公斤/公噸。}$$

因調車速度低小，故  $c_4 \left(\frac{V}{10}\right)^2$  一項可省略。引用史特拉爾之  $c_1, c_2$  等

數值，各種貨機車閉汽行駛之比阻約爲  $w_{00}^L = 6.5$  公斤/公噸。用汽行駛機車阻力爲  $W_{00}^L = W_{00}^L - W_{i1}^L + c_3 Z_i$ 。速度低微時， $Z_i = \psi L_a = 140 L_a$  爲常數，而且  $c_3 = 0.04$ 。如爲比較而計算機車阻力，可認爲  $-W_{i1}^L + c_3 Z_i = 0$ 。然則調車行駛比阻  $w_{00}^L = w_{00}^L \cong 6.5$  公斤/公噸。車輛比阻可視爲  $w_0^G = 3$  公斤/公噸。故調車之列車綜合基本比阻爲

$$w_0 = \frac{6.5L + 3.0G}{L + G} = \frac{6.5L + 3.0G}{Q} \text{ 公斤/公噸，}$$

$$\text{或 } w_0 = 6.5 \frac{L}{Q} + 3.0 \left(1 - \frac{L}{Q}\right) = \frac{L}{Q} (6.5 - 3) + 3 \text{ 公斤/公噸.}$$

更作  $w_0$  與  $\frac{L}{Q}$  對照之比例尺於  $p_a$  軸之頂，以為採取  $w_0$  之用。至於  $(\mp S - w_0)$  或  $(\pm S + w_0)$  之數值，則須在上面所求得  $p'_a$  或  $p'_b$  之數值中相減或相加。

(c) 甩車速度

$$V_a = 0.5 \sqrt{l(\pm S + w_0^g)}$$

公式亦依照前述方法用兩個垂線及一個斜線作其連鎖圖 [圖 131 之 (4)]。一條垂線上用原有  $l$  軸之比例尺，均等畫出  $l$  單位；另一垂線之比例尺，一面係均等畫出  $l(S + w_0)$  單位，而另一面平方的畫出  $0.5 \sqrt{l(\pm S + w_0^g)} = V_a$  之單位。斜線比例尺為  $(S + w_0^g)$  之數值，畫分單位所用極點在  $l$  軸上之  $l = 400$  公尺處。

(II) 使用法 假設機車 Gt 46.17 須將所掛十輛車中之六輛甩送至裝貨軌道，甩後車行 450 公尺而後停止。坡度連同彎曲折合率為  $S = 2\%$ 。車輛比阻  $w_0^g = 3$  公斤/公噸。故  $S + w_0^g = 5\%$ 。

(1) 需要之甩車速度  $V_a$  可自圖 131 (4) 中求出。如直尺位置為 I,  $l = 450$  公尺,  $S + w_0^g = 5\%$ , 則得  $V_a = 23.7$  公里/小時。此機車之  $L_a = 4 \times 17 = 68$  公噸,  $L = 6 \times 17 = 102$  公噸, 軛力重量  $L_b = 4 \times 17 = 68$  公噸。車輛總重為  $G = 10 \times 22.5 = 225$  公噸; 列車總重為  $Q = L + G = 102 + 225 = 327$  公噸; 甩送重量為  $D = 6 \times 22.5 = 135$  公噸; 甩車後列車車輛重為  $G - D = 90$  公噸; 甩車後列車總重為  $Q - D = 192$  公噸; 軛力重量為  $Q_b = L_b + G_b = 68 + 22.5 = 91$  公噸 (軛車為一輛)。

(2) 調車車組比阻, 自圖 131 之(1<sub>a</sub>)比例尺求之,  $\frac{L}{Q} = \frac{102}{327} = 0.312$  時,  $w_0 = 4.1$  公斤/公噸; 而  $\frac{L}{Q-D} = \frac{102}{192} = 0.53$  時,  $w_0 = 4.9$  公斤/公噸。

(3)  $\Delta t_a$  自圖 131 之(2)及(3)求之。如直尺位置為 II<sub>a</sub> 時, 即謂  $L_a = 68$  公噸, 而  $Q = 327$  公噸時,  $p'_a = 29$  公斤/公噸。故  $p_a = p'_a - S - w_0 = 22.9$  公斤/公噸。又如  $p_a = 22.9$  及  $V_a = 23.7$  時, 直尺位置為 III<sub>a</sub>, 而得  $\Delta t_a = 16$  秒。

(4)  $\Delta t_b$  自圖 131 之(1)及(2)中求之。如  $Q_b = 91$  公噸, 而  $(Q-D) = 192$  公噸時, 直尺位置為 II<sub>b</sub>, 得  $p'_b = 47.2$  公斤/公噸, 而  $p_b = p'_b + S + w_0 = 54.1$  公斤/公噸。如  $p_b = 54.1$ , 而  $V_a = 23.7$  時, 則直尺位置為 III<sub>b</sub>, 而得  $\Delta t_b = 7$  秒。

(5) 甩車時機車行駛時間,  $\Sigma t = 2(\Delta t_a + \Delta t_b) + 3 = 2(16 + 7) + 3 = 49$  秒。

(6) 甩車時機車行程可自圖 131 之(3)中求之。如  $V_a = 23.7$ , 而  $\Delta t_a + \Delta t_b + 3 = 16 + 7 + 3 = 26$  秒時, 直尺位置為 IV, 而得  $l = 172$  公尺。

### 第三十二章 站間技術業務之分析

§142. 分析之目的 技術業務之分析, 目的在計算列車行駛之時間; 進而推求材料(煤水、潤油等)之消耗, 汽缸完成之工作及軛機之使用, 俾便計算列車行駛費用, 以期列車之運動能達最經濟最合理

之地步。兩個列車同時出入於相同站間，必須使用號誌及區段，以保安全；且須將相隔時間，儘量減低，以求時間經濟，增強運輸之能力。凡此行車安全及時間經濟問題，皆可用分析法幫助解決之。

列車行駛秩序，本有一定時刻表以限制之；然遇有延誤（如開車延時，或中途慢行，或意外停車等），必須儘量縮短行駛時間（與時刻表之行駛時間不同），以圖彌補。故凡有特殊原因（如進行工程）必致延誤時，宜預先規定如何補救此所延誤之時間。為解決上列問題起見，對於站間路線性能，須有適當之分析。在此擬就路線比較一事，略為詳述。

§143. 兩個貨列車途徑之比較 圖 136 中，設 S 為煤區，當貨列車自 S 往 D 市，必須在 Ar 站將機車改掛，如將 Kl—Schw 線延長至 Wie 使與 S—Ar 線相通，則 S—D 間列車可以直達，省去 Ar 站上改掛機車之麻煩。Schw—Wie 間距離 12.12 公里，高度差為 11.75 公尺（單軌路線）。S—D 直達線距離為 69 公里；經過 Ar 線則為 81 公里。如按 Wie—Kl 間距離而言，則直達線為 41.7 公里；經過 Ar 線則為 53.87 公里。是直達線可減少行程 12.17 公里。又 Kl—Schw

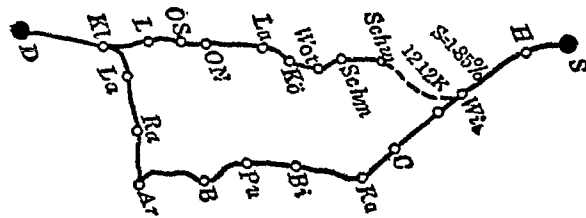
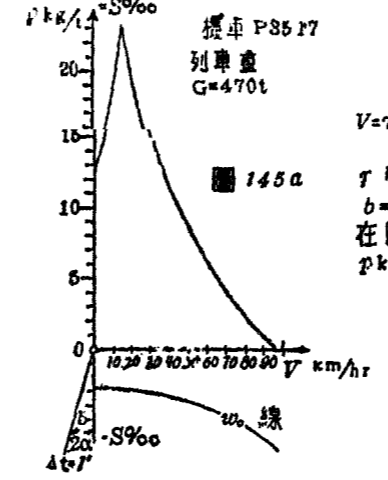
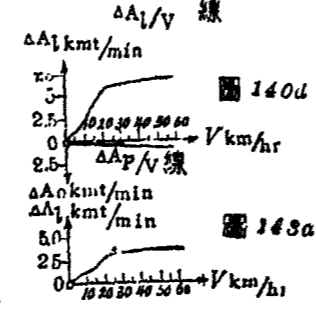
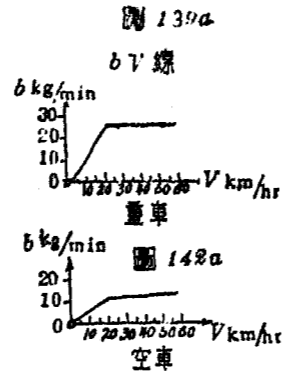
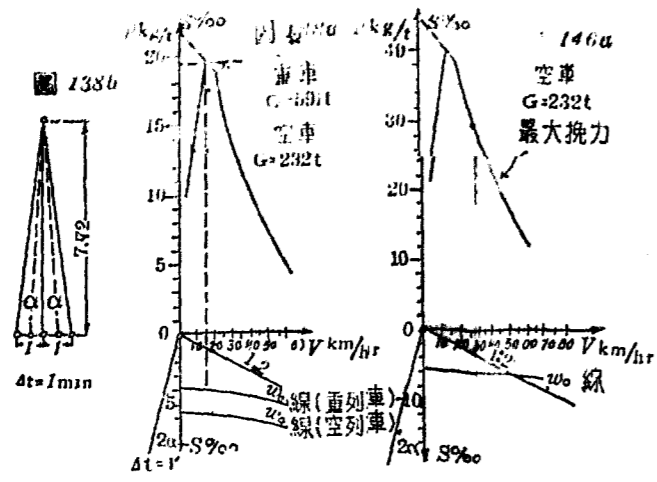
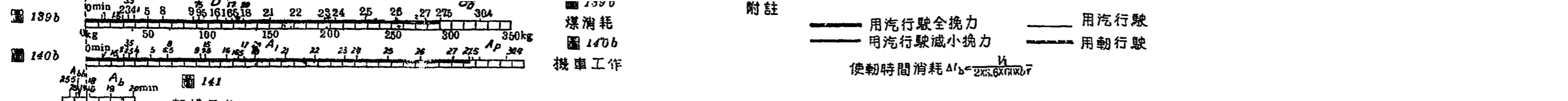
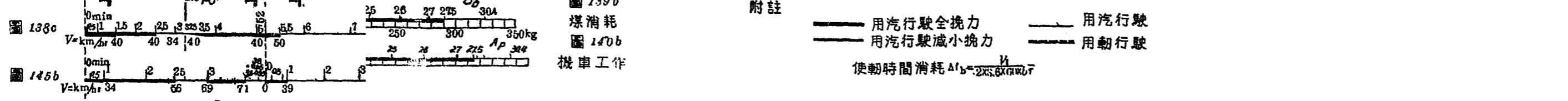
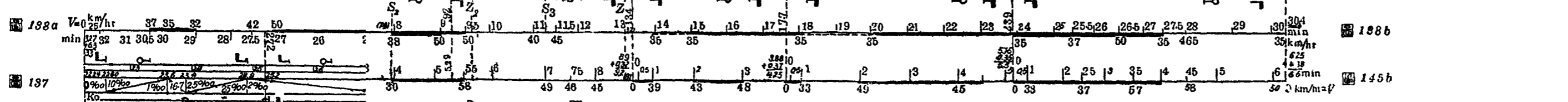
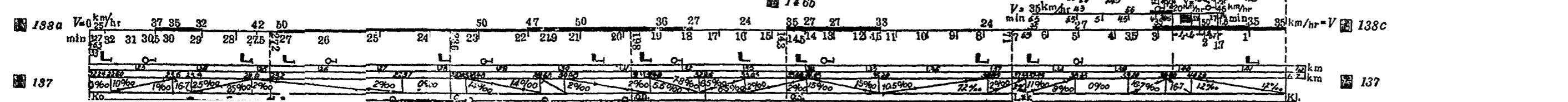
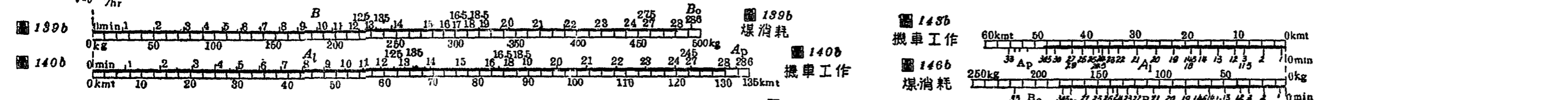
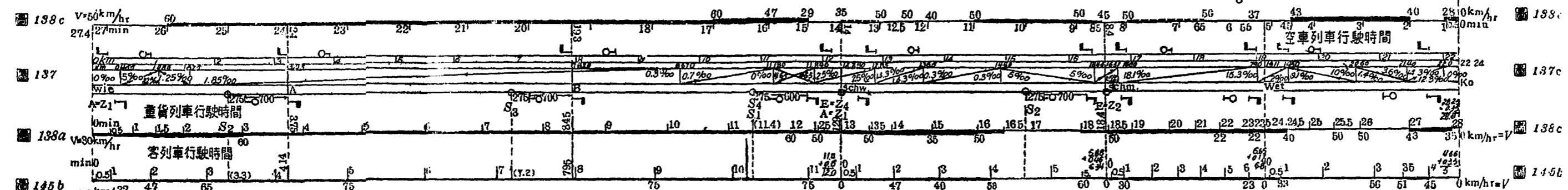
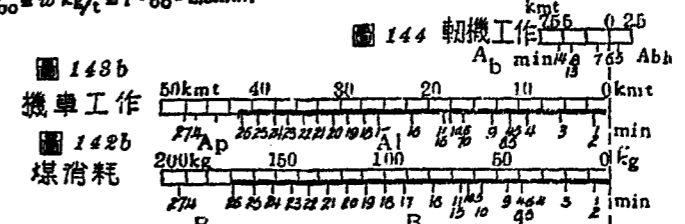


圖 136.



$V = 7 \text{ km/hr} = 0.667 \text{ m/s}$   
 $\Delta t = 1 \text{ min} \quad l = 1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$   
 $r \text{ kg/t} = 5\% = w \text{ kg/t} = 1\% = 5 \text{ mm}$   
 $b = 10 \text{ kg/min} = 8 \text{ mm} \quad \Delta A = 2.5 \text{ km/min} = 8 \text{ mm}$   
 在圖 146a 中  
 $p \text{ kg/t} = 8\% = w \text{ kg/t} = 1\% = 2.5 \text{ mm}$



附註  
 ——— 用汽行駛全挽力  
 ——— 用汽行駛  
 ——— 用汽行駛減小挽力  
 ——— 用軀行駛  
 使軀時間消耗  $\Delta t_b = \frac{V}{2 \times 5.6 \times 10^3 \times w}$

附註  
 ——— 用汽行駛全挽力  
 ——— 用汽行駛  
 ——— 用汽行駛減小挽力  
 ——— 用軀行駛  
 使軀時間消耗  $\Delta t_b = \frac{V}{2 \times 5.6 \times 10^3 \times w}$



間最大彎度  $R=300$  公尺, 最大坡度  $S=16.7\%$ ; 而 Schw—Wie 間最大坡度則只為  $S=1.85\%$ 。經過 Ar 點之路線則有  $R=450$  公尺; 最大坡度  $S=10\%$ 。

S—D 間直達列車, 貨運以煤為主; 返程則為空車列車。今既知建築 Schw—Wie 一段路線後, S—D 間列車行程可減; 惟此短捷路線, 是否同時亦即較為經濟之路線, 則宜作行駛費用計算以比較之。

列車行駛費用, 宜由: (1) 機車費用及材料消耗, (2) 車輛費用, (3) 機車人員費用, 及 (4) 軌道費用等數項而成。此數項費用, 概可用公式  $K=S_k \cdot A$  計算之。此處  $A$  代表行駛距離、行駛時間、停車時間之需要, 亦代表作業材料、機車汽缸工作之需要, 更代表滑轉阻力工作、軋軋力工作之需要, 此需要數值可稱為消耗數量 (consumption); 而  $S_k$  則為由統計或實驗或探詢而得之價值標準, 此固與消耗數量之單位相適合者也。因列車行駛而發生之消耗數量, 須按照: (甲) 路線, (乙) 機車車輛, (丙) 行車方式等等不同對象, 以分別規定其計算基數。

茲分三個步驟, 以作上述兩種線路之經濟比較:

1. 計算基數。 (a) 路線縱剖面。如 §136 中所述, 路線坡度, 兩種之差不得超過  $2.5\%$ , 且總長不得超過  $5$  公里時, 得互相合併, 而用其平均坡度, 為計算之基礎; 平均坡度則為

$$S_m = \frac{l_1 S_1 + l_2 S_2 + \dots}{l_1 + l_2 + \dots} = \frac{\sum l S}{\sum l} \%,$$

而且彎道  $R \geq 600$  公尺,  $r \leq 300$  公尺, 可不計其折合坡度。較大彎道

則用  $w_r = \frac{650}{R-55}$  公式計算其比阻。除開車站為平直線外, 凡兩種

長大坡度正負不同者，將兩坡線延長以至交點。下坡較  $-S=2\%$  更陡峻者，不可與較小下坡或上坡合併。行駛速度有限制之路段，須作標誌；如此，在圖 137 中將路線縱剖面示出，上部示公里數，下部示車站及區間站名稱。假設列車自左向右行駛，在縱剖面圖下面，示出號誌位置及消耗對照線（距離、速度、時間、煤量、機車工作等），上面則為相反方向中行駛列車適用者。

(b) 機車 設所用機車為 G 56.16 式貨運機車： $L+T=141$  公噸， $L_a=82.5$  公噸， $A_r=3.9$  公尺<sup>2</sup>；煤之含熱量為 6800 大卡(kg-cal.)。

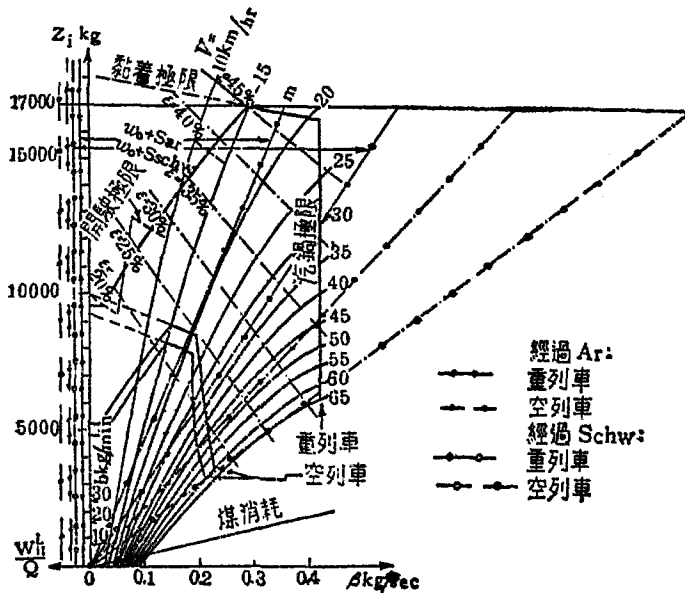


圖 147.

機車挽力圖有如圖147中所示。機車用汽或閉汽行駛阻力之計算，與 §134 中所述者相同。用汽行駛時，機車(連同煤水車)阻力為

$$W_{00}^{LT} = c_1(L - L_a) + c_2L_a + c_3Z_i + c_4\left(\frac{V}{10}\right)^2 \text{ 公斤,}$$

式中  $c_3 = 0.04$ ,  $Z_i$  可自圖 147 中求之。輪周挽力  $Z_o = (1 - c_3) Z_i$ 。閉汽行駛時，機車(連同煤水車)阻力為

$$W_{00}^{LT} = W_{it}^L + c_1(L - L_a) + c_2L_a + c_4\left(\frac{V}{10}\right)^2 \text{ 公斤,}$$

式中  $W_{it}^L = 770$  公斤,  $L + T - L_a = 141 - 82.5 = 58.5$  公噸,  $c_1 = 2.5$  公斤/公噸,  $c_2 = 9.4$  公斤/公噸(因機車有五個主動軸, 三個汽缸),  $c_4 = 6$ ; 故得

$$\begin{aligned} W_{00}^{LT} &= 770 + 2.5 \times 58.5 + 9.4 \times 82.5 + 6\left(\frac{V}{10}\right)^2 \\ &= 1691.75 + 6\left(\frac{V}{10}\right)^2 \text{ 公斤.} \end{aligned}$$

(c) 車輛重量: 機車黏着挽力  $Z_a$ , 在最大坡度  $S_0\%$  (連同彎道折合) 上, 用黏着挽力與汽鍋挽力相接處之速度  $V_0$  行駛。所載之重量, 為列車最大重量 (機車在外)。吾人知  $Z_o = Z_a(1 - c_3)$ , 故車輛重量為(見 §134)

$$G = \frac{Z_a(1 - c_3) - W_{00}^{LT} + W_{it}^L - (L + T)S_0}{S_0 + w_0^g} \text{ 公噸,}$$

式中  $W_{00}^{LT}$  及  $w_0^g$  之數值, 須依  $V_0 = 15$  公里/小時而推求之; 在此

$$w_0^g = 2 + (0.007 + m)\left(\frac{V}{10}\right)^2 \text{ 公斤/公噸.}$$

普通貨列車之 $m=0.05$ ; 快貨列車之 $m=0.04$ ; 原料列車之 $m=0.025$ ; 空車列車之 $m=0.1$ .

經行 Ar 點時 最大坡度為 $+S=+10\%$ , 曲線半徑 $R=450$ 公尺, 曲線阻力 $w_r=1.65$ 公斤/公噸, 故計算坡度為 $S_0=10+1.65=11.65\%$ ; 比阻則為 $11.65$ 公斤/公噸. 在 $V_0=15$ 公里/小時時,

$$Z_a(1-c_0)=17,000 \times 0.96=16,320 \text{ 公斤};$$

$$W_{00}^{LT}=1691.75+6\left(\frac{15}{10}\right)^2=1705 \text{ 公斤};$$

$$w_0^G=2+(0.007+0.025)\left(\frac{15}{10}\right)^2=2.07 \text{ 公斤/公噸},$$

故 
$$G=\frac{16,320-1705+770-141 \times 11.65}{11.65+2.07}=1000 \text{ 公噸}.$$

如行李車重 $16$ 公噸, 則其餘車輛總重為 $1000-16=984$ 公噸. 假設每輛皮重為 $9$ 公噸, 載重為 $15$ 公噸, 則車輛總數為 $984/(9+15)=41$ 輛, 而空列車車輛重量為

$$G_0=41 \times 9+16=385 \text{ 公噸}.$$

於是列車總重如下:

空車 
$$Q_0=L+T+G_0=141+385=526 \text{ 公噸};$$

重車 
$$G=141+1000=1141 \text{ 公噸}.$$

經行 Schw 點時 最大坡度為 $+S=16.7\%$ , 曲線半徑 $R=300$ 公尺, 其比阻為 $w_r=2.65$ , 故計算坡度為 $S_0=16.7+2.65=19.35\%$ . 計算時間時, 路線最大坡度與相隣坡度合併而得平均坡度 $S_m=18.1\%$ . 列車重量則根據 $S_0=19.35\%$ 而計算之. 車輛總重為

$$G = \frac{16,320 - 1705 + 770 - 141 \times 19.35}{19.35 + 2.07} = 591 \text{ 公噸.}$$

除開行李車，其餘車輛總重為  $591 - 16 = 575$  公噸。車輛數目為  $575 / 24 = 24$ 。空列車中車輛總重為

$$G_0 = 24 \times 9 + 16 = 232 \text{ 公噸.}$$

於是列車總重如下：

空車  $G_0 = 141 + 232 = 373$  公噸；

重車  $G = 141 + 591 = 732$  公噸。

列車長度為  $L_s = (48 + 2) \times 4.5 + 20 = 250$  公尺。

(d) 挽力圖 挽力變化，在挽力圖（圖 147）中以粗線表示。重列車之挽力變化線，即為汽鍋產汽能力極限。在下面舉例中，假定空車用汽行駛所用時間與重車者同，雖則有時空車配置適當，其速度較高。

(e) 行駛速度之限制 兩個比較路線中，最高速度皆以  $V = 60$  公里/小時為限。路段之感受速度限制者，在圖 138 (c) 中用虛線標出，且附以許可速度。

(f) 軛車百分率 貨車假定配有連穿氣軛。S—D 一段，軛機不必變動，軛車百分率全段相同，而為  $b_r = 100 \frac{G_b}{G}$ 。根據規章，得知  $b_r =$

41%。此乃由最大下坡路段 K1—D 間  $S = 18\%$  而  $V = 50$  公里/小時條件下所求得者。空車列車之軛車百分率與此相同。欲在短小時間中，將速度自 60 提高至 65 公里/小時，必有充足軛力始得行之。

(g) 列車停車 S—D 間直達列車，在老線中須在 Ar 站停車；

在新線中，則自 S 至 D 方向中，在 Wie 及 Kö 兩站停車；及向中則在 Kl 及 Kö 兩站停車。

II. 消耗數量。消耗數量中包含：(a)行駛及停車時間，連同預備及收工時間，(b)燃料消耗，(c)機車汽缸工作及閉汽行駛時之阻力工作，(d)軔掌軔力工作。

普通計算消耗數量時，多用路線坡度表、機力表、及計算格式以演算，事冗易錯。謨埃勒特創製圖示法，將消耗數量，與路線平行示出，而成消耗數量圖示，顯明清晰，作圖運用亦均簡捷。

(a) 行駛時間 行駛時間推求法，已見前章，茲就例題運用之。

1. 速度比例尺之推求 長度比例尺定為 1 : 25000，即 1 公里 = 40 公厘。行車時間亦應與此路線平行示出，其比例尺亦須適合。路線號誌位置，用時間及距離規定之。採用 1:25000 比例尺，尙能顯明而確切。時間段落定為  $\Delta t = 1$  分鐘。在開駛及跨越坡度變更點時，一分鐘之單位嫌太大，故用  $\Delta t = 2 = \frac{1}{2}$  分鐘。此對於速度比例尺不生影響。既知  $\Delta t = 1$  分鐘 =  $\frac{1}{60}$  小時，且知 1 公里 = 40 公厘，故速度比例尺為  $V = 1$  公里 /  $\frac{1}{60}$  小時 = 60 公里/小時，宜用 40 公厘長度示之，亦即距離 1 公里之比例尺長度也。故速度比例尺為 1 公里 =  $\frac{40}{60}$  = 0.667 公厘。

2. 阻力線作法(閉汽行駛) 列車每公噸重量之阻力為

$$w_0 = \frac{17 \frac{L}{G} + G \cdot w_0^G}{Q}$$

不同速度下之  $w_0$  數值，可在  $V$  軸下之垂線上作出 [圖 138(a)]，而後連以曲線而成  $w_0$  線。阻力比例尺為  $w_0 = 1‰ = 5$  公厘。

此處  $W_{00}^{LT} = 1691.75 + 6 \left( \frac{V}{10} \right)^2$ ，適用於所有來往 S—D 段之列車，及經行 Ar 點之重列車， $G = 1000$  公噸， $Q = 1141$  公噸，故  $w_0^g = 2 + 0.032 \left( \frac{V}{10} \right)^2$  公斤/公噸；空列車  $G = 385$  公噸， $Q = 526$  公噸，故  $w_0^g = 2 + 0.107 \left( \frac{V}{10} \right)^2$  公斤/公噸。經行 Schw 點之重列車， $G = 591$  公噸， $Q = 732$  公噸；空列車  $G = 232$  公噸， $Q = 373$  公噸，而  $w_0^g$  之算式同上。

3. 挽力變更圖作法 [圖 138 (a)] 在圖 147 中，於  $Z_i$  軸左方，作與其平行之垂線，並使其間距離為  $\frac{W_{it}^L}{Q}$  公斤/公噸。在  $Z_i$  軸右方，例如  $Z_i = 17,000$  公斤處作水平線，用同一之長度比例尺，畫截水平距離  $Z_i(1 - c_3)/Q$ 。將此點與  $Z_i = 0$  之點相連，則在等速下  $Z_i$  曲線與挽力輪廓線交點，至斜線  $Om$  之水平距離，即為  $(S + w_0)$  之數值，減去相應之  $\frac{W_{it}^L}{Q}$ 。當  $Z_i = 17,000$  公斤， $c_3 = 0.04$ ， $W_{it}^L = 770$  公斤時，有下列關係：

$Q$ (公噸)	1141	526	732	373
$Z_i(1 - c_3)/Q$ (公斤/公噸)	14.3	31.0	22.25	43.7
$W_{it}^L/Q$ (公斤/公噸)	0.67	1.46	1.05	2.06

列車在水平或小坡路段用汽行駛，速度達到最高限度，挽力輪廓線

即為  $Z_1$  曲線，此時宜先在挽力圖中量取  $(S+w_0)$  之數值，移之至機力圖(圖 147)  $Z_1$  軸左方垂線與斜線  $Om$  之間，以求減縮後之機力  $Z_1$  (因速度受限制，故  $Z_1$  亦縮小)。

#### 4. 時間角作法[圖 138(b)] 常數

$$\frac{1}{2} \Delta V / p = \frac{\Delta t \times 3.6 \times g}{2 \times 1000(1+\gamma)}$$

中  $\Delta t = 1 \text{ 分} = 60 \text{ 秒}$ ， $(1+\gamma) = 1.09$ ，

$$\text{故有 } \frac{1}{2} \Delta V / p = \frac{60 \times 3.6 \times g}{2 \times 1000 \times 1.09} = 1/1.03。$$

既知  $V = 1 \text{ 公里/小時} = 0.667 \text{ 公厘}$ ，

及  $p = S = w_0 = 1 \text{ 公斤/公噸} = 5 \text{ 公厘之比例尺}$ ，

$$\text{故得 } \frac{1}{2} \Delta V / p = \tan \alpha = \frac{1 \times 0.667}{1.03 \times 5} = 1/7.72。$$

此即時間角之斜度也。

5. 時間角法之差誤 挽力線如傾斜過甚，在速度與距離間皆發生一種差誤。避免之法，可採用二分一或四分一之時間角。在  $V$  軸上作縮小斜線，可簡捷求出相應之距離  $\Delta l$ ，以移畫於時間線上。

茲假定  $\Delta V'$  及  $\Delta l'$  為用積分法所求得之精確數值，而  $\Delta V$  及  $\Delta l$  則為用此法所得之近似數值。於是

$$(1) \alpha_0 = \Delta v' - \Delta v, \text{ 及 } \alpha_1 = \Delta l' - \Delta l \text{ 為絕對差誤；}$$

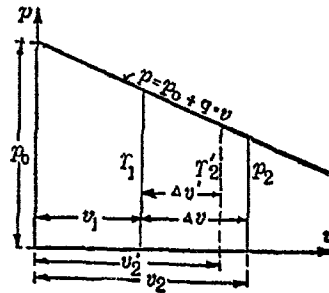


圖 148。



(2)  $c_v = \Delta v' / \Delta v$ , 及  $c_l = \Delta l' / \Delta l$  爲比數差誤;

則有  $c_v = (\Delta v' + \Delta v - \Delta v) / \Delta v = 1 + a_v / \Delta v$ ,

及  $c_l = 1 + a_l / \Delta l$ .

$\Delta v'$  及  $\Delta l'$  精確數值之推求 假定挽力線爲一直線, 且依  $p = p_0 + q \cdot v$  公式變化(圖 148), 式中  $q$  = 挽力線斜度; 上坡爲  $+q$ , 下坡爲  $-q$ . 加速度  $b = p \times g / [1000(1 + \gamma)]$  公尺/秒<sup>2</sup>. 設  $(1 + \gamma) = 1.09$ ,  $g = 9.81$ , 則  $b = p / 108$ . 如  $b = dv/dt$ , 則

$$dt = \frac{dv}{b} = \frac{108 dv}{p_0 + q \cdot v},$$

因得

$$\int dt = \Delta t = \left[ \frac{108}{q} \log_e (p_0 + qv) \right]_{v_1}^{v_2} = \frac{108}{q} \log_e \frac{p_0 + qv_2}{p_0 + qv_1} \\ = \frac{108}{q} \log_e \frac{p_2'}{p_1'}$$

式中  $p_1 = p_0 + qv_1$ , 而  $p_2' = p_0 + qv_2'$ .  $\Delta t$  爲所選定之時間段落,  $p_2'$  爲  $\Delta t$  末之精確挽力; 由此可得

$$p_2' = p_1 e^{q \cdot \Delta t / 108} \text{ 公斤/公噸.}$$

$e^{q \cdot \Delta t / 108}$  之數值, 則可於手冊中查之(如 Eltite, 卷 I). 在時間角法中,

$$p_2' / p_1 = e^{q \cdot \Delta t / 108} \text{ 爲一常數.}$$

如此則精確數值爲

$$v_2' = (p_2' - p_0) / q \text{ 公尺/秒,}$$

而

$$\Delta v' = (p_2' - p_1) / q \text{ 公尺/秒.}$$

至於  $\Delta l'$  之精確數值(在  $\Delta t$  中), 則可自下式求之:

$$dl = v \cdot dt = v dv / b = 108 \cdot v \cdot dv / (p_0 + q \cdot v),$$

$$\text{及 } \int dl = \Delta l = l_2 - l_1 = \left[ \frac{108}{q^2} \{ (p_0 + q \cdot v) - p_0 \log_e (p_0 + qv) \} \right]_{v_1}^{v_2}$$

$$= \frac{108}{q^2} \{ (p_2' - p_1) - p_0 \log_e p_2' / p_1 \} \text{公尺.}$$

如  $p_2' = p_1 \cdot e^{q \cdot \Delta t / 108}$ , 則

$$\Delta l = \frac{108}{q} \left\{ \frac{p_1}{q} (e^{q \cdot \Delta t / 108} - 1) - \frac{p_0 \cdot \Delta t}{108} \right\},$$

$$\text{或即 } \Delta l = \frac{108}{q} \left( \Delta v' - \frac{p_0 \cdot \Delta t}{108} \right) \text{公尺.}$$

$\Delta v$  及  $\Delta l$  近似數值之推求 在時間角法中,  $v_1$ ,  $p_1$  及  $\Delta t$  為已知數, 以求  $v_2$ ,  $p_2$  及  $\Delta l$ . 吾人採用挽力平均數值  $p_m = (p_1 + p_2) / 2$ , 以求  $\Delta l$  及  $\Delta v$ . 至於  $\Delta l$  及  $\Delta v$  之數值, 則等於

$$\Delta v = p_m \cdot \Delta t / 108,$$

而

$$\Delta l = v_m \cdot \Delta t.$$

式中平均速度  $v_m = (p_m - p_0) / q$ . 至於  $p_2$  之數值, 則宜用  $\Delta t$  及  $\Delta v$  表示之, 如圖 148 所示,

$$p_2 - p_1 = q \cdot \Delta v,$$

且

$$p_2 + p_1 = 2(p_1 + q \cdot \Delta v / 2) = 2p_1 + q \cdot \Delta v;$$

故知

$$\Delta v = p_m \cdot \Delta t / 108 = (2p_1 + q \cdot \Delta v) \cdot \Delta t / (2 \times 108),$$

而得

$$\Delta v = 2p_1 \cdot \Delta t / (216 - q \cdot \Delta t) \text{公尺/秒.}$$

且

$$p_m = \frac{1}{2} \left( 2p_1 + \frac{2q \cdot p_1 \cdot \Delta t}{216 - q \cdot \Delta t} \right) = p_1 \frac{216}{216 - q \cdot \Delta t};$$

而

$$v_m = (p_m - p_0) / q = \left( p_1 \frac{216}{216 - q \cdot \Delta t} - p_0 \right) / q,$$

$$\Delta l = v_m \cdot \Delta t = \left( \frac{p_1 \times 216}{216 - q \cdot \Delta t} - p_0 \right) \Delta t / q.$$

絕對差誤  $a_v$  及  $a_l$  之推求 在算式

$$a_v = \Delta v' - \Delta v = \frac{p_1}{q} (e^{q \cdot \Delta t / 108} - 1) - \frac{2p_1 \cdot \Delta t}{216 - q \cdot \Delta t}$$

中, 代以  $\Delta t = \frac{108}{q} \log_e \frac{p_2'}{p_1}$  及  $\frac{p_2'}{p_1} = e^{q \cdot \Delta t / 108}$ , 則得

$$a_v = \frac{p_1}{q} \left( \frac{p_2'}{p_1} - 1 \right) - \frac{2p_1 \log_e p_2' / p_1}{q(2 - \log_e p_2' / p_1)},$$

即 
$$a_v = \frac{p_1}{q} \left( \frac{p_2'}{p_1} - \frac{2 + \log_e p_2' / p_1}{2 - \log_e p_2' / p_1} \right).$$

再以  $\frac{p_1}{p_2'} = x$  代入, 則得

$$a_v = \frac{p_1}{q} \left( \frac{1}{x} - \frac{2 - \log_e x}{2 + \log_e x} \right).$$

又知 
$$a_l = \Delta l' - \Delta l = \frac{108}{q} \left\{ \frac{p_1}{q} (e^{q \cdot \Delta t / 108} - 1) - \frac{p_0 \Delta t}{108} \right\} - \frac{\Delta t}{q} \left( p_1 \frac{216}{216 - q \cdot \Delta t} - p_0 \right).$$

然 
$$e^{q \cdot \Delta t / 108} = \frac{p_2'}{p_1}, \quad \text{且} \quad \frac{p_1}{p_2'} = x,$$

故有 
$$a_l = \frac{108 p_1}{q^2} \left( \frac{1}{x} - \frac{2 - \log_e x}{2 + \log_e x} \right) \text{公尺}.$$

上列兩式相較, 可得

$$a_l = a_v \frac{108}{q}.$$

由此可見，兩種差誤冪數(即方程次數)不同。 $\left(\frac{1}{x} - \frac{2 - \log_4 x}{2 + \log_4 x}\right)$ 一項，可按照  $x$  數值作為圖示，以求計算之敏捷。推求比例差誤時，可按時間角法以計算  $\Delta v$  及  $\Delta l$  之數值。

6. 行駛時間圖示作法[圖 138(c)] 用汽行駛時，在坡度  $S\%$  點水平線與挽力線間作時間角三角形；閉汽行駛時，則在下坡  $-S\%$  點水平線與阻力線間作時間角三角形，有如前述。在此水平線上，於閉汽行駛時，亦可用簡單方法，連續作  $\Delta V$  段落；用汽行駛路段，粗線示出。在時間圖下，每個坡度變更點與速度變為等勻之點，各標出其速度。在時間圖下，尚畫截每分鐘(平均速度  $V_m$ )所行路途  $\Delta l$ ，且記出時間分數，故列車動態，完全見於此圖。使軔時間消耗之計算，同於上章所述，使等於使軔時間之半數， $\frac{1}{2} t_0 = \frac{V_1}{2 \times 3.6 \times 60 b_r}$ ，式中  $V_1$  為使軔初速度， $b_r$  為使軔減速度。貨列車之  $b_r = 0.2$  公尺/秒<sup>2</sup>，客列車之  $b_r = 0.3$  公尺/秒<sup>2</sup>。

#### (b) 燃料消耗。

1. 用汽行駛之燃料消耗[圖 147, 139(a), 139(b)] 在機力圖之橫軸上，作斜軸以示燃料消耗  $\beta$ ，法已述之於前。量取各種  $V$  下之  $b = 60\beta$  公斤/分鐘，移至圖 139(a)而成  $b-V$  曲線，法亦同前。在燃料消耗圖中，將各距離間(亦可謂各時間單位中)所需燃料示出，其法與前章同。

2. 閉汽行駛之燃料消耗 如前章，

$$B_0 = 0.60 \cdot A_r \cdot T_0 \text{ 公斤。}$$

## 3. 停留時燃料消耗

$$B_a = 0.60 \cdot A_r \cdot T_a,$$

式中  $T_a$  = 停留時間, 以分鐘計. 在 Ar 站:

(1) 貨車軌道上停留	0.5 分
(2) 解鉤	0.7 分
(3) 機車駛至轉盤及水鶴, 再返列車另一端, 連同 停轉及帖近列車所需時間	4.0 分
(4) 機車轉頭	3.8 分
(5) 上水	5.0 分
(6) 掛鉤, 試軔	2.2 分
(7) 貨車軌道上停留	0.5 分
	$T_a = 17.0$ 分

煤量消耗為  $B_a = 0.75 \times A_r \times 4 + 0.6 \times A_r \times 13$   
 $= 0.75 \times 3.9 \times 4 + 0.6 \times 3.9 \times 13 = 42.1$  公斤.

在 Ko 站,  $T_a = 8$  分,

$$B_a = 0.6 \times 3.9 \times 8 = 19 \text{ 公斤.}$$

4. 附帶燃料消耗 機車駛往列車或離開列車、升火待發、預備燃火等等, 皆需要煤量. 平均可按

$$B_n = 0.25 \times A_r \times 200 = 195 \text{ 公斤計算.}$$

(c) 機車汽缸工作與阻力工作 [圖 140(a) 及 (b)] 機車每分鐘之工作, 為  $\Delta A_t = Z_t \cdot V / 60 \times 1000$  公里公噸/分鐘; 在  $V$  軸上作  $\Delta A_t - V$  曲線, 有如前述 [圖 140(a)]. 在工作圖中, 將  $\Delta A_t$  數值與路線距離平行示出, 其法參見前章 [圖 140(b)].

閉汽行駛時工作為

$$\Delta A_p = W_{it}^p \times V \times 60 \times 1000 \text{ 公里公噸/分,}$$

亦作  $\Delta A_p - V$  曲線及工作圖[圖 140(b)]。

(d) 軛掌軛力工作 軛力工作等於使軛時間中,所發生之運動能力,減去因路線阻力而發生之工作;即謂

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1000 \times 1.09 \times Q(V_2^2 - V_1^2)}{2 \times 3.6^2 \times g \times 10^6} - \frac{Q(\pm S - w_0)l_b}{10^6} \\ &= \frac{4.3Q(V_2^2 - V_1^2)}{10^6} - \frac{Q(\pm S - w_0)l_b}{10^6} \text{ 公里公噸,} \end{aligned}$$

式中使軛距離等於  $l_b = V_1^2 / 2 \times 3.6^2 b_r$ , 而  $b_r = 0.2$  公尺/秒<sup>2</sup>, 停車時,  $V_2 = 0$ , 而  $V_1 = V_1$ , 則

$$A_b = -Q[4.3V_1^2 + (S - w_0)l_b] / 10^6.$$

車站坡度  $S\%$  甚小, 故第二項可以省略, 如列車使軛等速行駛, 且行駛只賴下坡  $S\%$  重力, 則有

$$A'_b = Q(S - w_0)l_b / 10^6,$$

而每分鐘工作則為

$$A_b = \frac{Q(S - w_0)V}{10^6 \times 60} \text{ 公里公噸/分.}$$

使軛路段, 在時間圖示中, 用虛線畫出[圖 138(c)], 且標以速度. 工作與時間距離之對照圖, 亦如前法示出. 在表 69 中, 將 Wie—K1 間兩種比較線之消耗數量分別計算, 以為比較. 兩線有共同路線一段; 其餘長度與全長之比為  $L_s : L_g = 54 : 81 = 0.665$  (原線), 或  $L_s : L_g = 42 : 69 = 0.61$  (新線); 附帶煤量消耗  $B_n$  亦可按此成數約計.

表 69. 消耗數量對照表

消耗數量	重 列 車		空 列 車	
	經過 Ar $G=1000$ 公噸	經過 Schw $G=591$ 公噸	經過 Ar $G=385$ 公噸	經過 Schw $G=235$ 公噸
行駛時間 $T$ 分	77.0	59	71.7	60.4
閉汽行駛 $T_0$ 分	24.5	18.5	23.7	20.9
停車 $T_a'$ 分	17	8	17	8
人員預備及收工 $T_p$ 分	107	98	107	98
機車預備 $T_l$ 分	100	92	100	92
煤量 $B$ 公斤	1251	773	478	347
$B_0$ 公斤	57	44	67	63
$B_a$ 公斤	42	19	42	19
$B_n$ 公斤	130	119	130	119
煤量總計 $B_p$	1480	955	717	548
機車工作 $A_l$	329.4	203.5	131.7	89
$A_p$	16.5	10.4	20.2	13.8
動力工作: $A_b + A_b'$	28.9	13.1	18.9	6.3

III. 行駛費用。此間所計僅及因行車而發生之開支，連同主要穿行軌道之維持費款。數額之大小，以前節所推定之消耗數量為基礎；至於行車業務之固定開支，如管理費、車站人員薪費、車站建築裝備等等費用，在兩個比較線中，彼此無大變更，故不計及。

列車行駛一次，固定費用以外，其活動費用，約為下列數種：

(a) 人員費用。

1. 機車列車隨行人員。

(b) 機車費用：

2. 機車運用時之維護。
3. 煤量消耗。
4. 機車給水。
5. 其他業務材料消耗。
6. 汽鍋之維持。
7. 機車車架及煤水車之維持。
8. 機車維持及資本行息費用。

## (c) 車輛費用:

9. 車輛維持及資本行息費用。

## (d) 軌道費用:

10. 軌道維持費用。
11. 軌道換新費用。

關於上列各項費用之計算，本有專書討論（參考 Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, 1931, 卷 21—22），茲不詳述。  
德國國家鐵路將機車費用計算中，所需要之係數七種，按照機車性質，分別規定。例如吾人在此所用機車為 G56.16 式，其係數為：

$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$
$\frac{0.204}{1000}$	0.1050	0.350	0.0101	0.0216	0.0288	0.778

## 1. 機車列車隨行人員費用。

$$K_p = E_m \frac{T + T_a + T_v}{60 D_{st}} = \frac{26,100}{60 \times 2300} (T + T_a + T_v) \text{ 馬克,}$$

$E_m = n_1 E_1 + E_2 + n_2 E_3 =$  每年平均列車人員薪資（機車人員、車



長、粗車員、侍役等等), 連同附帶進款、加點費、里程費及管理開支, 其中  $n_1 = 2n_2 = 1$ .

$n_1 E_1$ .....	14,200馬克
$E_2$ .....	6150馬克
$n_2 E_2$ .....	5750馬克
	$E_m = 26,100$ 馬克

$D_{st} = 2300$  小時, 列車人員每年平均工作時數(行駛鐘點, 加以預備及收工鐘點), 減去例假病假時間,  $T$  之數值, 則自表 69 查用。

2. 機車維護費用.

$$K_{bpf} = k_{bpf} \left( \frac{T_{wbm} \cdot L_s}{l_f \cdot L_g} + \frac{1.1 B_g}{10,000} \right)$$

$$= 6.85 \left( \frac{1.68 L_s}{2 L_g} + \frac{1.1 B_g}{10,000} \right) \text{馬克,}$$

$k_{bpf} = 6.85$  馬克, 為業務人員每日俸給, 連同管理費,  
 $T_{wbm} = 1.68$  (機車 G56.16 之固定係數), 機車竭力使用後所需  
 要工人每日平均數目, 乘以  $L_s : L_g$ , 而  $B_g$  之數值則採自表 69,  
 $l_f = 2$  次(機車每天平均行駛次數)。

3. 煤量消耗.

$$K_b = B_g \cdot k_b = B_g \times 0.025 \text{ 馬克,}$$

$k_b = 0.025$  馬克(煤每公斤單價)。

4. 機車給水.

$$K_w = 7.5 B \cdot k_w = 7.5 \times 0.00015 B \text{ 馬克,}$$

7.5 = 平均每公斤煤蒸水係數,

$k_w = 0.00015$  馬克(給水每公斤單價)。

5. 其他材料消耗(滑油、機油等等)。

$$K_{b_s} = \frac{k_b \cdot \nu \cdot L_s}{100} = \frac{1.03 \times 3.5 L_s}{100} \text{ 馬克,}$$

$k_b = 1.03$  馬克(每機車公里各項雜料消耗),

$\nu = 3.5$ (機車機力係數),

$L_s$  = 行駛距離, 以公里計。

6. 汽鍋維持。

$$K_{ku} = f_1 \frac{B^2}{(T - T_0)} = \frac{0.204}{1000} \frac{B^2}{(T - T_0)} \text{ 馬克,}$$

$f_1 = \frac{0.204}{100}$ , 乃由上表所列而得。

7. 機車車架及煤水車之維持。

$$K_{tu} = \left[ f_2 + f_3(1 - \eta_i) \frac{A_1 + A_2}{T} \right] L_s$$

$$= \left[ 0.102 + 0.35(1 - \eta_i) \frac{A_1 + A_2}{T} \right] L_s \text{ 馬克.}$$

$f_2 = 0.102$ ;  $f_3 = 0.35$ ,

$\eta_i = 1 - c_3 - \frac{c_2 L_a \cdot L_s}{1000 A_i}$ , 為路段中機車機械效率, 其數值為

重車經行 Ar  $\eta_i = 0.834$ .

空車經行 Ar  $\eta_i = 0.64$ .

重車經行 Schw  $\eta_i = 0.805$ .

空車經行 Schw  $\eta_i = 0.597$ .

## 8. 機車維持費及資本行息。

$$\begin{aligned}
 K_{zs} &= \left( f_4 + f_5 + f_6 + f_7 \frac{Z_l}{100} \right) \left( T + T_a + T_v \frac{L_g}{L_g} \right) \\
 &= \left( 0.0605 + \frac{0.778 Z_l}{100} \right) \left( T + T_a + T_v \frac{L_g}{L_g} \right) \text{馬克,}
 \end{aligned}$$

$Z_l = 2.69$  (利率),

$f_4 = 0.0101$ ;  $f_5 = 0.0216$ ;  $f_6 = 0.0288$ ;

$f_7 = 0.778$ ;  $f_4 + f_5 + f_6 = 0.0605$ .

## 9. 車輛維持費及資本行息。

$$\begin{aligned}
 K_w &= (k_{uwv} + Z_w f_8) \frac{G(T + T_a) V_{rm}}{6000} \\
 &= (0.04 + Z_w \times 0.0062) G \frac{(T + T_a)}{6000} \times 28.6 \text{馬克,}
 \end{aligned}$$

$Z_w = 2.85$  (利率),

$V_{rm} =$  平均商業速度  $= 28.6$  公里/小時,

$k_{uwv} = 0.04$  分 = 車輛總重每噸公里之維持費,

$f_8 = k_w = 0.92 \times 0.0067 = 0.0062$ , 不依機車式樣而別。

## 10. 軌道維持費。

$$K_{ou} = f_9 \frac{L_g}{V_B} \cdot Q \left[ \left( 60 + \frac{n}{3} \right) + 6 \cdot \sqrt[3]{V_B} \right] \text{馬克.}$$

此式只適用於雙軌平地路線 ( $S \leq 10\%$ ), 否則須加調整數。如係單軌路線, 則主線用  $(45 + 2n/3)$ , 支線用  $(30 + n)$ , 以代  $(60 + \frac{n}{3})$ 。

$V_B$  = 雙方每日運輸數量，以噸計；機車重量在內。 $n$  = 每日來往列車數目，各值如下表：

路 綫	$L_s$ (公里)	$V_B$ (公噸)	$n$	路綫種類
舊綫: Wic—Ar	38.67	11,000	24	單軌主綫
Ar—Kl	15.2	46,000	105	雙軌主綫
新綫: Wic—Kl	41.7	10,000	40	單軌主綫

$$f_9 = k_{tw} \frac{1 + \epsilon}{365} = 0.0325, \text{ 不受機車類別影響.}$$

### 11. 軌道換新.

$$K_{0m} = \left[ \frac{2.5}{1000} \left( \frac{Q L_s}{1000} + \eta_t A_1 + A_p + \frac{w_r L_s Q}{1000} \right) + \frac{3.25 A_s}{1000} \right] f_{10} \text{ 馬克,}$$

路線平均彎道阻力 =  $\frac{l_s w_r}{L_s}$  ( $L_s$  = 彎道總長).

經過 Ar 之路綫,

$$w_r = 0.92\%,$$

經過 Schw 者,

$$w_r = 2.65\%.$$

$$f_{10} = k_w [T_{wh}(1 + \lambda) + T_{wm}(1 + \mu)] = 22.6, \text{ 不受機車類別影響.}$$

以上各係數之推求，可查德文‘Zuko’，茲不詳述。

行車費用，可列成表 70 以計算之。

表 70. 行駛費用總計(以馬克計).

費用類別	重 列 車		空 列 車	
	經過 Ar ( $G=1000$ 公噸)	經過 Schw ( $G=591$ 公噸)	經過 Ar ( $G=385$ 公噸)	經過 Schw ( $G=235$ 公噸)
1. 機車列車人員工資	38.10	31.40	37.10	31.50
2. 機車運用時之維護	4.95	4.28	4.37	3.92
3. 煤量消耗	37.00	23.00	17.00	13.70
4. 機車給水	1.41	0.87	0.51	0.39
5. 其他雜項材料消耗	1.91	1.50	1.04	1.50
6. 汽鍋之維持	6.05	3.01	1.03	0.73
7. 機車車架及煤水車之維持	23.05	17.05	23.30	10.35
8. 機車維持及資本利息	15.80	12.91	15.37	13.02
機車總費(2.—8.)	(10.20)	(63.47)	(64.50)	(40.61)
9. 車輛費用	25.50	10.90	9.38	4.36
10. 軌道維持	28.04	10.80	13.80	10.10
11. 軌道換新	23.83	14.45	9.60	6.03
軌道總費(10.—11.)	(52.77)	(34.25)	(23.40)	(16.13)
總計(1.—11.)	206.87	140.02	134.39	101.60
列車每噸費用 (機車行李車除外)	0.21	0.244	0.305	0.463

由上表可知，新線(Wic-Schw 段之工程亦須計入)較原線為不經濟，故無建築之價值也。新線所需業務費用雖較低，但以其坡度較大，列車載重較小，因而反不經濟也。

### 第三十三章 電力行車

§144. 電力行車之利弊 最近十年以來，歐美各國，在主要鐵

路線上，漸有採用電力趨勢。電力行車，最初只普遍見於街市鐵路（除幾個小國家因電力價廉，亦用之於幹線鐵路外）；次則見於幹線鐵路之駛近於城市之部分，及客列車穿過長遠隧道時。數年前美國各大鐵路公司，有全部幹線電化之計畫；後因世界經濟不景氣影響，電化設施因而從緩。論鐵路電化，利弊兼有，茲簡略分析於次。

以言其利，則為：

(1) 電動列車，易於保持清潔，對於乘客衛生上，較汽機列車為佳，蓋因無煙汽之侵襲也。

(2) 高速度行駛，可保持長久，不若蒸汽機車之須受種種限制。

(3) 因電廠給電量，以近於固定不變為原則，故行車次數可增多（即每次列車間相距時間減少），此合於社會需要。

(4) 如用燃料發電，則固定位置之汽機，燃料消耗較機車為經濟。例如蒸汽機車每個馬力小時約用煤五磅者，在發電廠中，每個馬力小時不過需煤三磅而已。即按機車挽鉤挽力而言（此乃除去一切傳導阻力之純淨挽力），燃料之節省，尙可達 10—15%。

(5) 電動列車，動力易於控制，軋機堅強，故行車易於因實際不同條件而適當運用，以求時間經濟。

(6) 機車修理費較低。據美國 Pennsylvania 鐵路統計，此經濟數約為 33%。

(7) 列車隊員工減少，薪資減輕。

(8) 電力機車速度既高，則每年每機所完成之里程增高；且機車修理時間極小，行駛時又無上水上煤之耽擱，其營業速度自高。每年完成里程亦必自大。據美國 New York Central 鐵路統計，此增大

數值可達 25%。

(9) 蒸汽機車欲圖機力之增大，必須同時增加車身死重，而又不能儘量用為黏着重量。電力機車可將大部死重，配在主軸，以求黏着挽力之增強，故其跨越長大坡度較汽機為佳。

(10) 機力既不因速度增大而降低，開駛速度易於增加，行駛平均速度亦因之增大。

(11) 電力機車死重，可平均分配於多數之主軸上，故路面橋梁皆可較為輕便。

(12) 電力機車既善於爬上大坡，其軀機堅強，又善於駛下陡坡；且便於繞行急劇彎道之間，因而路線建造費款減低。

(13) 車站給水、上煤、煤氣、電燈發電等等設備，一概可免。

(14) 列車次數既多，載重又高，速度復大，故鐵路路線及設備之利用率較高。

(15) 天然動力（如水力、風力、日光熱力）可利用為發電原素；汽力機車所不能利用之燃料（劣質石炭、沼草等等），亦可利用作發電之燃料。在煤料缺乏國家，利便良多。

(16) 山地礦區鐵路，坡勢艱鉅，電力機車幾占絕對權威。

(17) 下坡行駛，尚可蓄養電能。

(18) 機車休息時間較短，利用率較高。

(19) 電力機車主軸轉動慣量均等，行駛平穩，客貨無搖擺震動之苦，有若汽力機車者。

(20) 因電力管制靈敏精確，行車安全，遠勝於汽力機車。

其缺點亦有數端：

(1) 開辦費、裝設費過於重大，不易舉辦，經常維持，用費亦鉅。如：(a)發電機購置及維持費；(b)導電設備費及維持費；(c)電力機車較汽力機車價格為高(約在1.5倍以上)；(d)鐵路如原用汽機，改用電力時，機車工廠、車房等必須改置。

(2) 電力自發電廠傳到列車，其間因阻力而發生電力消耗損失。

(3) 遇有天氣惡劣，如暴風狂雨，導電感覺困難，行車或因之發生阻礙。

(4) 在運務不多之鐵路上，每個運輸單位(如噸里)之運價，較汽機鐵路為高。

然則電力機車與汽力機車相較，其主要特點應為：

(1) 電廠、電線、以及機車車輛價值昂貴，每年經常費亦高。

(2) 電力機車燃料及修理與工資較低。

(3) 高速度行駛之下，機力尚能支持而不降低，因而鐵路運輸能力增強。

美國 C. M. & St. P. 鐵路在 Harlowtown 至 Avery 間 440 哩幹線上使用電力機車，速度在  $15\frac{3}{4}$  哩/小時時，尚有 72,000 磅之挽鉤挽力。又 Norfolk & Western 鐵路，亦製有電力機車，其總重為  $L=440,000$  磅，其黏着重量甚大，至  $L_n=400,000$  磅之多。開駛挽力為 114,000 磅；速度至  $V=14$  哩/小時時，挽力尚有 80,000 磅。作試驗時其挽力曾達到 170,000 磅。Pennsylvania 鐵路在 New York 隧道中用電力機車，行駛於 19.3% 上坡，尚能牽引 850 噸之列車。行駛 90,000 至 112,000 哩之長途，始需要進廠修理。有 38 部同樣機車，



運用四年之久，所曾發生之障礙，如下列記錄所示：

機車哩數.....	3,947,746
機車發生損壞次數.....	45
因而列車發生延遲，時間總計(分鐘).....	271
每分鐘延遲平均相當機車哩數.....	14,667

§145. 電力鐵路種類 鐵路構造及式樣，隨電流傳達於機車之方法而異，約可分為：(1)地上線(overhead line)鐵路，(2)地下線(underground line)鐵路，及(3)三軌鐵路(current supply by third rail)三種。

地上線用絕緣器架於橫索之上，此橫索則架於電桿之上，電桿可由鐵管、鐵花桁、混凝土或木質製成；更可架於臂形架桿(bracket pole)，或壁鉤(wall rosette)之上，在街市電車架線中，時常見之。電流自天線經過轉動承電器及電門而至電動機，然後經過車輪鋼軌以還原。電桿互相距離有時甚遠，故電線時有垂絃，而不利於高速行車時之電力傳導。故在垂絃太大之處，宜加以吊架，以補救之，則電桿距離可達 100 公尺之大。

幹線鐵路，電線多架於鋼花桁柱上，單軌路線可用臂形架；雙軌路線可用橫索；高壓電路線多用地上海線。

在地下電線中，有兩個絕緣導線，一來一往，裝置於軌下槽溝中。槽溝之頂，有一開口，活動承電器自此開口導電至電動機以工作。此種裝置不至阻礙市上交通，是其優點；但時因雨雪而發生阻礙，是其缺點，故採用範圍甚小。

三軌路線，適用於高壓直流電，在軌道旁敷以鐵軌，作導電之用。

此第三軌爲長方形橫剖面，大小可依電力轉移。承電器設於車架下方之旁，與此第三軌側面接觸以通電流。此軌上面塗有護壁，以免人員往來其間發生危險，及被冰雪之侵犯。電流通過車輪鋼軌而返原（電流至轉轍器處開斷）。此種傳電之方法，只適合於 500 至 800 伏（最高不過 2400 伏）直流電；電流再高，則對鐵路員工有生命危險。

§146. 電力鐵路上應用之電流 電流有直流、三相交流及交流三種；其在鐵路上之應用概述如下：

(1) 直流電 路段不長，可用直流電。所用電動機爲主流電動機，速有簡單齒輪傳力器；高速鐵路不用齒輪傳力器，甚至電動機直接裝於車軸之上。山地鐵路用附速電動機，以更下坡時儲蓄電力。直流電機車，所用電壓小，故不用變壓器。直流電爲最早發明及應用者，晚近鐵路（街車、市郊鐵路等）仍多用之。美國近年來利用高壓直流電（1200 至 2400 伏）作近程而繁重運輸之動力，較交流電爲經濟而完善。中央發電廠至路端間距離，恆在 50 公里以內，電線所供電力之工作，在 200 至 400 仟瓦(kilowatt)之間。再較高工作，直流電即不若交流電之爲經濟矣。路線距離太長，傳電線桿價值太高，直流電因而不經濟。故改用交流電，使發電廠中有極高之電壓；或於相當距離，設置分電廠，改爲直流；或使引入車輛後，再改變電壓，以應需要。

(2) 三相交流電 三相交流電極適用於遠距離之路線。在德國 Berlin-Zossen 間實驗路線上最初試用三相交流電車，其速度至 200 公里/小時；而電壓至 12,000 以及 15,000 伏之高；不用齒輪傳力，而以三條電線導電。此種交流電之優點，在電流恢復之便利，與電動機

構造之簡單；然作業電壓不宜超過3000伏，速度受相當限制，且複式電線價值甚高，則皆為其缺點。因此採用不甚普遍；在義大利鐵路上則採用者較多。自發電廠製出之高壓電，先變為低壓後，傳導應用。

(3) 單相交流電 為避免二條或三條電線之鉅大費用，單相交流電亦漸漸應用於鐵路。其原理在利用與直流電主流電動機相似之單相電動機，而在開動時不用調制電阻。電壓可達極高數值，故電力之傳導距離，實際上不受任何限制；導電方法，亦甚簡單，即用地上海線，若街市電車亦然。其挽力速度途程以及運輸種類，均無任何限制，幹線鐵路甚為適用，此乃所公認者也。近年來單相交流電車，電壓用至30,000至60,000伏以上之高，此種交流電之採用，最為普遍。

美國各路，恆採用直流、交流混合電動力；在近郊路段使用直流電，遠離城市後改為單相交流電。但此種設施，亦易於混亂而發生障礙，實不宜採用也。

§147. 電力鐵路上所用機車 電力鐵路上所用機車可分三種：(1)自動車，(2)電力機車，及(3)蓄電車。

(1) 自動車 在車輛一部或全部裝配發動機，在列車前端車輛中，裝設管理全部馬達之機關。列車兩端車輛，普通皆裝有發動機，連同馬達及司機座等等。列車全部之發動機，皆可由司機座用總閘控制之。在前後自動車間，普通隔有未裝馬達之車輛數部。長大列車，在中間有時亦配以自動車；或使列車根本由數部單位列車組合而成。為應運務之需要，列車可以分開，亦可再行組合。

自動車之最大優點，乃其黏着主軸之衆多。必要時可將全部車

軸重作為主軸。列車馬達數目增多，開駛挽力加強，速度加快；故列車次數可以加多而行駛時間縮小。城市近郊鐵路，列車次數須多，站間里程較短，自動車甚為適合。惟有一種必要條件，即所有車輛為特

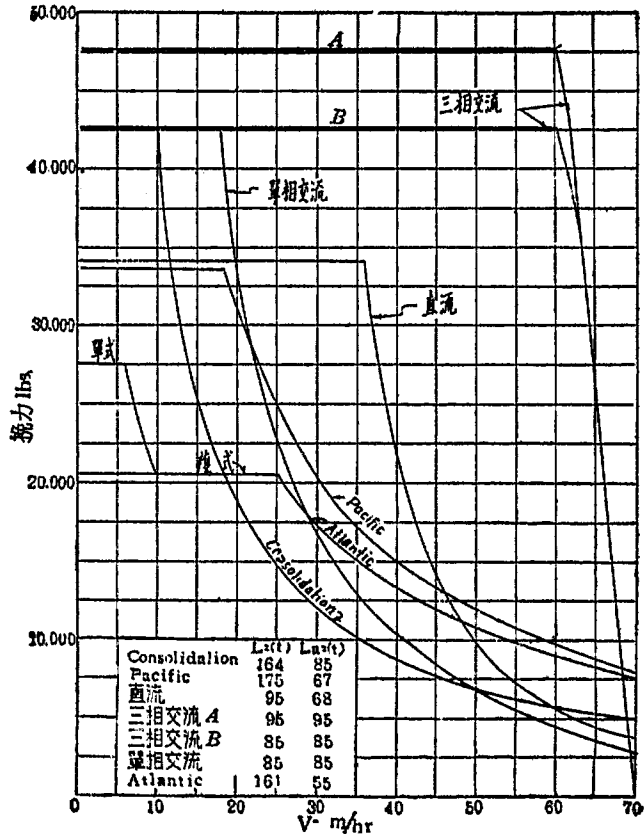


圖 149.

製而適用於此種列車者；一般長途路線所用車輛，自不能使用於此矣。

(2) 電力機車 此為裝有電動機之機關車，而用以牽引鐵路列車者。其功用與蒸汽機車相同；所異者，只在動力（即電力）來源不發生於機車本身之上，而乃由動力廠（即發電廠）傳導而達於機車者。昔日電力機車不發達，電動馬達車不適用之處，即採用電力機車。如隸山鐵路及工業區鐵路是也。近年來長途路線，亦多採用電力機車；因其多由蒸汽鐵路電化而來，對於原有車輛尚能保留而利用之。

(3) 蓄電車 單獨車輛裝以蓄電器，用其電力以推動馬達而行駛，是謂蓄電車(accumulator car)。此機無需電線，固可省費，然若工作鉅大，則所需電能必大，蓄電器必甚笨重，故除輕便運輸外，甚少採用。

§184. 各種電力與蒸汽機車效率之比較 各種動力之運用方法及效率，各個不同。茲就電力與蒸汽機車之特性，互相比較；其概要有如圖 149 所示者。計包含 New York Central 鐵路之直流電機車，N. Y.，N. H. & H. 各鐵路單相交流電機車，兩種三相交流電機車；Southern Pacific 鐵路之 Pacific 式蒸汽機車；New York Central 鐵路之 Atlantic 式及 Delaware & Hudson 鐵路之 Consolidation 式蒸汽機車。所示最大挽力，乃為開駛黏着挽力。

### 第三十四章 列車行駛之經濟速度

§149. 經濟速度之推求 定線選線時，坡度之擇定配合，甚為

重要。在坡度選定工作中，尤宜顧慮及將來行車速度，與夫坡度對於經濟速度 (economic speed) 之影響。所謂經濟速度，乃指列車行駛所用對於業務（其目的在每公噸公里運務運輸成本達到最低數值）最為經濟之速度。在推定時，須注意下列數點：

1. 速度增高，挽力低降（見第 119 頁，圖 50）。
2. 速度愈高，動力代價愈大。
3. 速度愈高，每部機車出發次數愈多。

在美國鐵路工程協會會刊 (Proceedings of A. R. E. A.) 卷 XI, 愛薩克 (Isaacs) 及 阿丹斯 (Adams) 二氏所作列車之經濟與有效速率 (Economic and Efficient Speed of Trains) 一文，討論：(1) 在一定時間中，經過全線所運重量最大數值，在何種速度下發生；(2) 經過全線所運一定噸數之最低運費，在何種速度下發生。

其答案為：(1) 倘若列車速度使每小時每列車完成最大數值之噸哩數，則一定列車次數所運貨載最大；(2) 運費既隨‘列車哩’數量增加，故一定重量之運輸，需要最小列車哩之列車配重，為最經濟。換言之，一定列車次數中，每機車每小時所完成噸哩最大數值之列車配重，能使經過全線所運重量達到最大數值，且其運費最低。

如此，則問題在推定一速度，在平均坡度上，可使機車每小時完成最大數量之噸哩。

所謂平均坡度，乃提升高度之和（連同彎道阻力折合及山嶺阻力折合在內），除以路線之長度。設彎道阻力為  $w_r$ ，隧道阻力為  $w_t$ ，且假設最大坡度為  $S_0$ ；則在彎道之實際坡度最大不過  $S_r = S_0 - w_r$ ，而隧道中之實際坡度最大不過  $S_t = S_0 - w_t$ 。如在均等坡度路段中，

遇有隧道或彎道，因阻力增加，有時因計算坡度超出最大坡度，故於隧道及彎道部分，須將實際坡度照減，因而發生高度損失。在彎道中 ( $R =$ 半徑,  $l_r =$ 長度)，此高度損失為

$$h_r = \frac{l_r w_r}{1000} = \frac{l_r (S_0 - S_r)}{1000};$$

在隧道中 ( $l_t =$ 長度)，高度損失則為

$$h_t = \frac{l_t w_t}{1000} = \frac{l_t (S_0 - S_t)}{1000}.$$

遇有隧道及彎道數處，則高度損失總數為

$$h = \sum h_r + \sum h_t = \frac{1}{1000} [\sum (l_r w_r) + \sum (l_t w_t)].$$

倘路線總長為  $l$ ，升高總數為  $H$ ，則平均坡度為

$$S_m = \frac{H}{l} \cdot 1000.$$

計畫路線時，所用最大計算坡度與升高及高度損失之關係為

$$S_0 = \frac{H + h}{l} \cdot 1000.$$

故知 
$$S_m = S_0 - \frac{h}{l} \cdot 1000 = S_0 - \frac{\sum (l_r w_r) + \sum (l_t w_t)}{l}.$$

今用 Consolidation 式機車為例，實際計算經濟速度，以申述此中理論。此機車在  $V = 10 - 35$  哩/小時之間，可挽淨重

$$Z = \frac{(236,200 - 5256V)}{1.65V + 8.25 + 110S_m} = 170 \text{ 噸}.$$

式中  $Z$  以噸計, 但  $Z+T$  除外;  $V$  為速度, 以哩/小時計;  $S_m$  為平均坡度, 表 71 第 (2) 欄中之數值, 即用上式計算而得; 平均坡度假定為  $S_m=10\%$ , 第 (3) 欄為 10,000 除以第 (2) 欄數字相除而得; 每日運務假定每個方向為 10,000 噸, 每次列車錯讓假定需時半小時, 以求第 (4) 欄, 其他各欄甚為明顯, 無須解註。

表 71.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
站間速度 哩/小時	列車淨重 2000 噸	每方向中 每天列車 數目	每列車每小 時因錯讓所 生時間損失	行動時間 之百分率	每列車每小 時之噸哩數 錯車在內	商業速度 哩小/時	每小時之 噸哩數錯 車除外
10.0	1415	7.07	0.147	0.853	12,060	8.53	14,150
11.0	1355	7.33	0.154	0.846	12,600		14,905
12.0	1300	7.68	0.160	0.840	13,100		15,600
13.0	1245	8.03	0.167	0.833	13,500		16,185
14.0	1190	8.39	0.175	0.825	13,750		16,690
15.0	1140	8.76	0.183	0.817	13,870		17,100
16.0	1089	9.20	0.192	0.803	14,090		17,440
16.9	1044	9.58	0.200	0.800	14,119	13.52	
17.0	1038	9.62	0.201	0.799	14,118		17,820
18.0	990	10.10	0.210	0.790	14,100		17,880
19.0	940	10.62	0.222	0.778	13,910		17,680
19.6	914	—	—	—	—		17,914
20.0	895	11.18	0.233	0.767	13,740		17,900
25.0	675	14.52	0.300	0.691	11,650		16,875
30.0	460	20.80	0.433	0.561	8,150		14,440



上表所列計算結果，在圖 150 (a)中用圖解示之。圖(b)示各種坡度之曲線，其最高點速以最高效率線。圖(c)適用於變軌路線，無錯車之時間消耗。圖(d)示各種運用方法中最高效率之比較。

§150. 列車重量與商業速度之關係 列車之載重與速度，恆成反比。故提高速度，多必減低重量；反之增大重量，又須減低速度。而吾人所欲求者，為最經濟之速度或載重（並非最大之速度或載重），已述之於前。故應推求  $QV_0$  之最大數值，此處  $Q$  為列車重量， $V_0$  為商業速度（即包括車站停留及一切業務上必需停留之速度）。若以  $o$  代運輸費用，以  $m$  代路線維持費用，吾人所推求經濟速度或經濟載重，必吻合於一個條件，即運輸費用與維持費用之總和，為最小數值，即

$$o + m = \text{最小值。}$$

惟實際上列車載重增高，商業速度亦不一定減低。倘若  $V_0$  不因  $Q$  之變更而增減，甚且至於與  $Q$  俱增，則列車載重繼續增加， $o + m$  之數值不斷的減小，而無最小數值發生。如此則最大列車載重，即為經濟載重矣。

茲以  $\tau_1$  代列車在站因技術需要所發生時間消耗，每公里行程之平均數值，以  $\tau_2$  代列車在站因商務需要所發生時間消耗，每公里行程之平均數值，以  $V$  代列車實際行駛速度，則商業速度應為

$$V_0 = \frac{1}{\frac{1}{V} + \tau_1 + \tau_2}.$$

此式中之  $\tau_1$ ，恆被視為與列車載重大小無關，故普通認為列車載重增大，實際速度降低，而商業速度亦隨之降低。但實際並不盡然；蓋

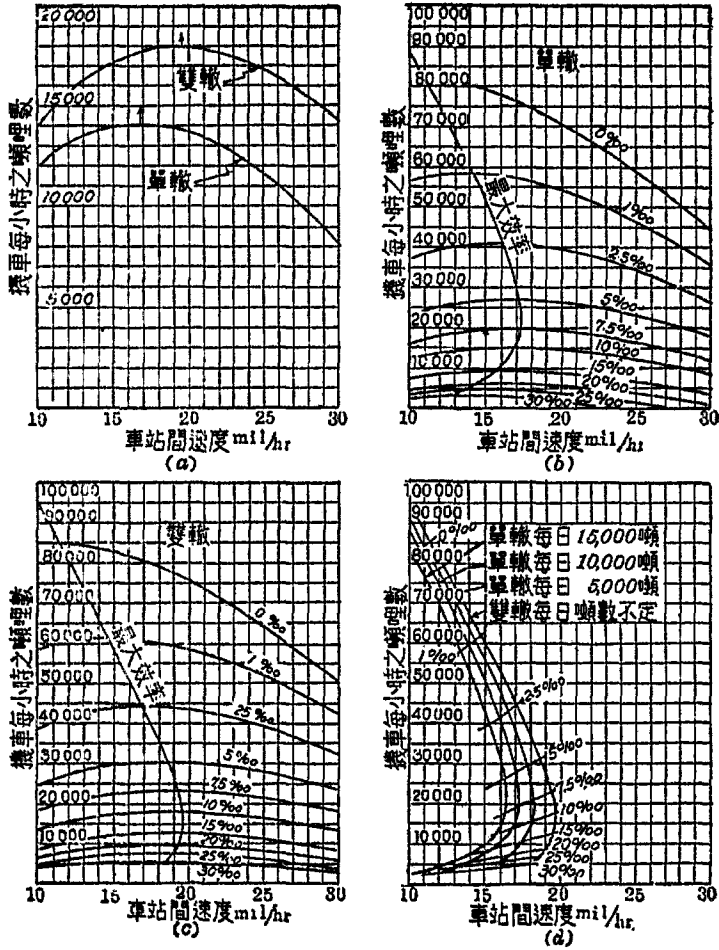


圖 150.

$\tau_1$  之數值，恆因列車次數增大而提高，即使在雙軌路線上，貨運列車次數愈多，在讓車地點及司令站 (order station) 前列車停留時間愈大。至於單軌路線，則讓車以外，尚須錯車； $\tau_1$  之數值，更須隨列車次數而變化。然則列車次數愈多， $\tau_1$  之數值愈大，而  $V_0$  之數值愈小。據羅謨諾薩夫實驗統計結果，示出  $V_0$  與列車總重  $Q$  成直線關係；如以  $n$  代每日來往列車對數（來往各一次為一對），以  $k$  為常數，則其關係如下：

$$V_0 = k - \frac{n}{Q}.$$

吾人又知鐵路營業費用（運輸費用及維持費用）中，一部為固定而不隨運務多少以變更，另一部與  $Q$  成反比，又一部則與  $QV_0$  成反比；如以公式表示，則如下：

$$o + m = A + \frac{B}{Q} + \frac{C}{QV_0}.$$

式中  $A, B, C$  為係數。上式又可變作

$$o + m = A + \frac{B}{Q} + \frac{C}{kQ - n}.$$

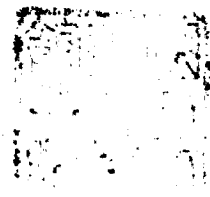
由此式，可知營業費與列車載重  $Q$  之增降適在相反地位，故列車載重愈大，則愈為經濟。至少此理論適合於行車設備不完善之單軌鐵路上。如能使行車設備改進至理想程度，使列車在站因技術需要所耽誤之時間，減至最低限度，且使不因列車次數加多而增大，則又當別論矣。吾人引用此類理論時，最應注意者即為適合實際環境，故理論及公式皆因實際條件而推成，以符實用。



## 參考書籍錄要

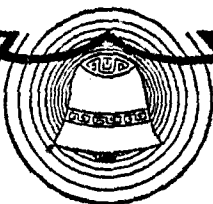
1. 鐵道年鑑.
2. 鐵道會計則例
3. Hütte III, des Ingenieurs Taschenbuch, 25 Aufl.
4. Petersen: Die Zweckmässigste Neigung der Eisenbahn, 1921.
5. Deutsche Reichsbahn: Zuko.
6. Deutsche Reichsbahn: Eisenbahnbau und Betriebsordnung, 1928.
7. Blum: Linienführung d. Eisenbahn.
8. Garbe: Dampflokomotiven der Gegenwart, 1920.
9. Röhl: Enzyklopädie des gesamten Eisenbahnwesens.
10. Verkehrstechnische Woche, 1933—1934.
11. Organ für d. Fortschritte des Eisenbahnwesens, 1933—34.
12. Ammann: Eisenbahnen besonderer Art, 1925.
13. Barkhausen: Eisenbahntechnik der Gegenwart.
14. Deutsche Reichsbahn: Gleispflege und Oberbauwirtschaft, 1933.
15. Deutsche Reichsbahn: Einführung in die Kenntnis der Sicherungs und Fernmeldeanlagen, 1933.

16. Deutsche Reichsbahn: Verbrennung, Wärme wirtschaft, Feuerbehandlung, Dampfkunde und Dampfwirtschaft, 1933.
17. Deutsche Reichsbahn: Ausrüstung der Lokomotive Kessels, 1929.
18. Archiv für Eisenbahnwesen, 1931—34.
19. Saller: Eisenbahnoberbau, 1929.
20. Geschichte der Eisenbahn.
21. Launhardt: Theorie des Trassierens.
22. Handbuch der Ingenieurwissenschaften.
23. Manual A. R. E. A., 1923.
24. Wood: Principles of Locomotive Operation, 1925.
25. Locomotive Cyclopedia, 1922.
26. Engineering Experiment Bulletins, University of Illinois.
27. A. R. E. A. Report on Economics of Railway Operation, Jan. 1929.
28. A. R. E. A. Report on Economics of Railway Location, Jan. 1929.
29. Williams: Design of Railway Location, 1925.
30. Wellington: Economic Theory of Railway Location.
31. Raymond: Railroad Engineering.
32. Webb: Economics of Railroads. (?)
33. Webb: Railroad Construction.
34. 其他俄文著作七八種。



中華民國三十七年七月

三印



版權所有  
翻印必究

中華民國三十七年七月初版

鐵路選線及計劃學

(鐵路動力與列車運動)

(共四册)

第二册 定價國幣壹拾伍元叁角

(精裝本定價另加五元)

(外埠酌加運費匯費)

編	著	者	王	竹	亭
發	行	人	蔣	志	澄
印	刷	所	正	中	書
發	行	所	正	中	書

(2162)

校蓋  
：  
向幼

滬·本

2/2-0.15

