

中國工程師學會叢書之一

機車概要

楊 毅 編

機車概要序

自吉姆瓦特氏發明蒸汽機關以後，近世工業遂開一新紀元。恢奇詭譎，日致精進，以促成今日之科學世界。說者以手工業之衰落，與夫資本主義之發達，產業之過剩，悉歸咎於工業革命。實則此類附帶影響，緣於政治之不善者過半。而大企業操諸私人，尤為現代社會之癥結。總理謂利用機器發展實業，惟所防者則私人之壟斷，漸變成資本之專制，致生社會之階級貧富之不均耳。就機器本身而論，節省勞力，減少人類之痛苦，縮短時間，促進人類之建設。最近百餘年間嘉惠人類多矣。其最顯著者，莫若蒸汽機關之用為機車。（俗稱火車頭）而鐵路於以大興，交通之便利，工商之發展，胥由是焉。吾國幅員既廣，中部尚有江河是利，溝通南北，展及西陲，則舍鐵路莫屬。是故總理實業計劃，以十萬英里鐵路為吾國必要之建設，誠不易之論也。

本會有工程叢書之發行，會員楊君毅鑒於鐵路建設之急需，以機車概要求梓。同人察其內容，關於蒸汽機車之構造及管理，綱領畢具，纖屑靡遺，可為初學者之指南，可為專門家之參攷。雖然機車之發力，日新月異，近有用電或油或壓縮空氣者，但任重致遠，運用廣博，則莫若蒸汽機車之盡善。即水運無論如何低廉，公路無論如何平坦，而鐵路必能繼續發展，機車必能繼續存在也無疑。然則是書之生命，縱世界之煤炭用盡，亦能長存於天壤間矣。是為序。

胡庶華 序於上海甯波路四十七號中國工程學會

中華民國二十年六月

機車概說.....	1	汽表.....	18—19
蒸汽機車分類.....	1—2	玻璃水表.....	19
機車標記.....	2	水汽塞子.....	19
機車名稱.....	2—3	射水器.....	19—20
機車性質.....	3—5	放汽管.....	20
機車前進及倒退之理由.....	5	機車燃料及升火方法.....	21
牽引力之計算法.....	5—8	燃料種類.....	21
機車前行之阻力.....	8	無煤煙.....	21
機件之阻力.....	8	煙煤.....	21
斜坡之阻力.....	8	乾煙煤.....	21
前後轉輪架及煤水車之阻力.....	8	煙餅煤.....	21
頭風之阻力.....	8—9	長煙煤.....	21—22
曲線之阻力.....	9	煤之原質成分.....	22
加速率之阻力.....	9—10	煤之燃燒性質.....	22—23
客貨車前行之阻力.....	10	煤之燃燒之熱之計算法.....	23—24
機車各部分結構分類.....	10—11	燒煤所須之空氣之計算法.....	24—25
鍋爐之部.....	11	燃燒不盡之損失.....	25
爐箱.....	11—13	燃燒不盡之理由.....	25—26
鍋身.....	13—15	機車火箱內吸進空氣之方法.....	26
煙箱.....	15—16	機車鍋爐內空氣流通之形勢.....	27
加熱器.....	16—17	升火方法.....	27—29
風扇開閉器.....	17—18	汽缸之部.....	30
鍋爐連帶附屬品.....	18	汽缸.....	30
保險汽門.....	18	汽箱.....	30—31
汽笛.....	18	平移汽門.....	31

溝輪汽門.....	31
汽缸本身.....	31
間隔汽門.....	32
旁通汽門.....	32—33
空氣收進器.....	33
壓力放鬆器.....	33
汽缸塞子.....	33
溝輪.....	33—34
溝輪挺桿.....	34
五金塞墊.....	34
機車行走機件.....	34
十字頭.....	34—35
搖桿.....	35
連桿.....	35
車輪.....	35—36
汽門機關之部.....	37
汽門地位.....	37
蒸汽在汽缸內之作用.....	37—39
汽門機關種類.....	39—40
斯梯文遜氏汽門機關.....	40—41
畢而休氏汽門機關.....	41—43
余暖汽門圖.....	44
余暖汽門圖之最大用處.....	45—46
華氏汽門機關較準方法.....	46
尋求曲拐盡頭.....	47
尋求汽門開闔及離縫之地位.....	47

外面流入汽門.....	47—48
裏號流入汽門.....	48
改正離縫方法.....	48—51
聯絡機關.....	51
車架.....	51—52
車架彈簧.....	52—54
車盤.....	54—55
車軔機關.....	56
輪閘.....	56
風閘.....	56
風閘性質.....	56—57
風閘種類.....	57—58
英國式風閘.....	58
三路風門.....	58—59
尋常三路風門.....	59—60
快動三路風門.....	60—61
新式三路風門.....	61—62
司機風門.....	62
第六面司機風門.....	62
下閘地位.....	62—63
行車地位.....	63
封閉地位.....	63
上閘地位.....	63
第四號司機風門.....	63—64
下閘地位.....	64
行車地位.....	64
封閉地位.....	64
尋常上閘地位.....	64—65

出險上開地位	65	壓力收小器	78
壓力節制器	65-66	風表	78
風泵	66-67	風管塞子	78-79
風泵節制器	67-68	飛塵收容器	79
閘缸	68	運用 ET 風閘方法	79-82
放氣門	68-69	機車油潤方法及油水	83
風表	69	油水種類	83
美國式自動風閘	69	肥質油料	83
概說	69-70	金質油料	83
風泵	70-71	菜質油料	83
總風缸	71	油膏	83
風泵雙管節制器	71-72	油石	83
分散風門及雙房風缸	72-75	油之資格	83
自動風門	75	體堅	83
下開地位	75	散熱	84
行車閘位	75-76	低小摩擦力	84
保留地位	76	流動	84
封閉地位	76	不凝結	84
尋常上開地位	76	化散高熱度	84
出險上開地位	76	不含酸質	84
單獨風門	76-77	機車油潤	84
下開地位	77	汽缸油潤	84
行車地位	47	尋常汽缸油	84
封閉地位	77	特別汽缸油	85
慢開地位	77	油料引進方法	85
快開地位	77	行使加熱蒸汽機車所須注意之用油	
壓力節制器	78	方法	86

輪軸油潤.....	86	車底架.....	94—95
夏令車軸油.....	86	車盤.....	95—96
冬令車軸油.....	87	輪閘.....	97
潤軸用油方法.....	87	拖鈎.....	97
煤水車之輪軸油潤方法.....	87—88	貨車.....	97—98
輪邊油鐘.....	88—89	保存車輛方法.....	98—100
機件油潤.....	89	客貨車油潤.....	100
客貨車概說.....	90	燒軸之原因.....	100
列車之組成.....	90	油潤不足.....	100
車輛種類.....	91	粗糙輪軸.....	100
客車.....	91	破裂銅瓦.....	100
車身.....	91—92	載重過量.....	100
暖車方法.....	92	車架不正.....	100
熱水暖車法.....	92	載重不平均.....	100
蒸汽暖車法.....	92—93	油潤車軸之方法.....	100—101
車內燃燈方法.....	93	收復舊油紗之方法.....	101—102
各種煤油及煤氣燈.....	93	油浸新紗之方法.....	102
電燈.....	93—94		

機車概要

插圖表

第幾圖	在第幾頁間	第幾圖	在第幾頁間
1	0 - 1	61 - 63	34 - 35
2	8 - 9	64 - 66	52 - 53
3	12 - 13	67	56 - 57
4 - 9	12 - 13	68 - 71	60 - 61
10 - 14	16 - 17	72 - 75	64 - 65
15 - 19	16 - 17	76 - 78	68 - 69
20 - 21	20 - 21	79 - 81	72 - 73
22 - 27	30 - 31	82 - 85	74 - 75
28 - 29	34 - 35	86 - 90	72 - 73
30 - 35	34 - 35	91 - 93	84 - 85
36 - 41	38 - 39	94 - 97	92 - 93
40 - 41	36 - 37	98 - 100 甲	92 - 93
42	44 - 45	100 乙	98 - 99
43	38 - 39	101 - 104	98 - 99
44 - 60	44 - 45	客貨車照片	90 - 91

機車概說

機車者，爲一機力運動之車，牽動一列車，而行於軌道上者也。其發力有以電，有以煤油，有以壓力空氣，有以蒸汽，電力機車，近來外國有用之，其力可與蒸汽機車相等，煤油機車，即尋常所見之汽車，其力甚小，壓力空氣機車，在礦山中用之，蒸汽機車，其用最廣，即吾等所日日見者也，此編專爲蒸汽機車講義，故將此機車詳述如下。

蒸汽機車種類 鐵路上所用機車，可分爲三種，(一)運客機車，(二)運貨機車，(三)調車機車。

運客機車以能速行爲主要，故其動輪極大，輪徑常在六十寸左右，輪之週圍既大，則每一輪轉，其前行之路，亦因之而多，運客機車輪轉每分鐘常有二三百次，輪轉既多而速，則每分鐘蒸汽之銷耗，亦是不少，故運客機車之鍋爐，須有充足之容量，以能生蒸汽使之無虞缺乏爲度，運客機車動輪之數，或爲四，或爲六，而以六動輪之機車爲最普通，運客機車又常有一四輪轉架在動輪之前，一二輪轉架在動輪之後，視第一圖，前四輪謂之引導輪，所以使機車能沿曲線而轉變也，後二輪謂之拖輪，僅用以支持機車之一部分之重量也。

運貨機車以能多拖貨車爲主要，而其行路之速率，可較運客機車爲減少，故其動輪之圓徑不甚大，車前之引導輪只須有二個而已足，車後之拖輪，則可有可無也，動輪之數，以四對爲最適用，有時有用三對或五對者，視其拖貨之力應須若干，而定其動輪之多少，但一機車輪架底所有之動輪，其彼此相聯之地位，爲一定不移，前輪如何而動，後輪即隨之而然，鐵路路線有彎曲，故機車動輪之對數，至多只可有五對，過此則機車行到曲線之處，將有出軌之患，但有時鐵路營業發達一次貨車列車，掛百數十輛，一機車之力，不能拖引，則有時用兩個或三個或四個機車，連接而行，但機車數輛

前後一起，進行不甚方便，且司機升火等快，每一機車，須有一班，於營業上計算費用，亦為不小，因此有一種活節機車之出現，此即京綏路所有之過山機車是也，此種活節機車，有輪架二架，動輪兩排，其構造之本源，乃合兩架機車而成為一架機車，兩機車合用一鍋爐也，輪架之在前者，可以自由行動，與引導輪相似，輪架之在後者，則與鍋爐連成一氣，前後輪架之接筭，與夫前輪架與鍋爐之接筭，皆為活動之接法，故謂之活節機車，京綏路所有之活節機車，其前後兩排動輪之數，有為一排二對者，有為一排三對者，有為一排四對者，以一排四對之數，為最適用。

調車機車專用在車站旁之車場內，或材料廠，或機廠內，調動各種車輛，使之或前或後，接成一列車，或運送各車歸入岔道內，停候調遣，或運送貨車出入廠地，此項調車，行動常不迅速，但常拖運極重，因其行走遲緩之故，車前之引導輪可以省去，車後之拖輪，更無所用，只須有動輪數對，使全機車之重量皆載在動輪之上，按諸學理，同一重量之機車，且有同數之動輪，則其車之動輪，受重量較多者，其牽引力必較大，此調車機車所以不用前後小車輪也，倘在車站旁軌道上調車須行動極速者，則此種調車機車，亦須有引導輪也。

機車標記及名稱 機車標記，有以圖樣為記者，有以字數為記者，有用特別記號者，例如一運客車，前有引導輪兩對，中有動輪三對，末有拖輪一對，其以圖樣為記者，如 $\triangle$ 。□。○○○。或。○○○。以小圈為引導輪及拖輪，大圈為動輪也，其以字數為記者，如 4-6-2，前一字為引導輪之數，中一字為動輪之數，末一字為拖輪之數，此種記法，簡而易明，為一人名華脫者所創始，故謂之華脫記號，此記號之記法，現為世界所通用，其用特別記號者如 124D，此為美國鮑爾溫機車製造廠所用之記號，僅該廠一家用之，故其意義可以不述。

機車名稱 機車之名稱，毫無一定，常隨使用一名字以示區別。

機 車 性 質

而習之。舉一機車名稱。即知爲何種機車矣。其命名之法。有以創造人名名之者。有以宇宙間之物名名之者。有以鐵路之名名之者。有以車輪之數名之者。如馬列機車(△。○○○○○○)。馬列者。創造此種活節機車之人之姓氏也。太平洋式機車(△。○○○○)。乃以海洋之名名之也。生得番機車(△。○○○○○○)。生得番者。美國一鐵路之名。此路創造此種式樣之機車。即以其路名名其車也。十輪機車(△。○○○○)乃以車輪之數名之也。

吾國鐵路名詞會所定機車名稱。則以車輛地位之配置而定之。如二連軸式(0-4-0)。二連一頭軸式(2-4-0)。三連二頭一尾軸式(4-6-2)。兩節二連軸式(0-4-4-0)。兩節二連一頭一尾軸式(2-4-4-2)。等是也。

車輪排列標記	華氏記號	英文名稱	譯 名	鐵路名詞會定名
△ ○ ○ ○	0-6-0	Switcher	調車機車	三 連 軸 式
△。 ○ ○ ○	2-6-0	Mogul	馬 格 爾	三 連 一 頭 軸 式
△。 ○ ○ ○。	2-6-2	Prairie	撥 來 立	三連一頭一尾軸式
△。 ○ ○ ○ ○	2-8-0	Consolidation	康 沙 而	四 連 一 頭 軸 式
△。 ○ ○ ○ ○。	2-8-2	Mikado	麥 克 豆	四連一頭一尾軸式
△。 ○ ○ ○。	4-4-2	Atlantic	阿蘭的克	二連二頭一尾軸式
△。 ○ ○ ○ ○。	4-6-2	Pacific	派賓非克	三連二頭一尾軸式
△。 ○ ○ ○ ○ ○ ○。	2-6-6-2	Mallet	馬 列	兩節三連一頭一尾軸式

機車性質 蒸汽機車之所以能動作者。由於蒸汽膨脹之力。水在鍋爐內。受火熱而蒸爲汽。汽上升。進入汽喉門。經過汽管。而入於汽箱。再經過汽門。而入於汽缸。汽即在汽缸內膨脹。推動鞴鞴(又謂之汽餅)。或前或後。挺桿及搖桿即隨之而動。搖桿帶動曲拐。曲拐轉動車輪。機車全體即因之而動矣。

水在空氣中。其熱度升至華氏表二百十二度。則沸而爲蒸汽。

此時汽之力量，可與空氣相等，即每方寸有 14.7 磅之壓力，但倘水包含在一器內，其蒸汽之壓力，則隨其受火熱而增高，例如熱度升至三百八十度，則汽表壓力為一百八十磅，（汽表壓力者，為汽表上所顯示之壓力，即為蒸汽自身所有之每方寸壓力，減去空氣之每方寸壓力，故當蒸汽之汽表壓力 180 磅，其淨壓力為 195 磅，但因此 15 磅之多餘壓力，適與空氣壓力相抵消，只剩餘 190 磅之力，可以動作，故記算汽之力，以汽表壓力為標準。）熱度升至三百八十八度，汽表壓力為二百磅，機車鍋爐內之蒸汽壓力，以汽表壓力 200 磅為最普通常用。

上所述之 200 磅壓力之蒸汽，經過汽喉門，汽管，汽門，而入汽缸，推動鞴，使之前行，汽門逐漸關閉，蒸汽在汽缸內，即逐漸膨脹，但其壓力則逐漸減低，自二百磅減至四五十磅之時，其汽由出汽門洩出，經過煙囪而散於空中，迨鞴行至汽缸盡頭之處，汽缸內之汽壓力，幾與空氣壓力相差不多，機車之用蒸汽之法，照此方法，此種機車，謂之單漲機車。

若使 200 磅壓力之蒸汽，在一汽缸內膨脹，當其壓力減至約八九十磅之時，即自出汽門洩出，此次不即經過煙囪，散於空氣中，但流入較大之汽缸，在此第二汽缸復行膨脹，自八九十磅壓力減至一二十磅壓力，然後自第二汽缸之出汽門洩出，經過煙囪而散於空氣中，機車之用蒸汽之法，照此方法，此種機車，謂之複漲機車。

鍋爐內之汽，進入汽喉門後，與鍋爐之水斷絕關係，此時之汽，倘再受火熱，其熱度增高，但其壓力並不增高，此熱度增而壓力不增之汽，謂之加熱蒸汽。

現今之單漲機車及複漲機車，所用之汽，於未進汽門以前，皆已成為加熱蒸汽，加熱蒸汽之作用，在使蒸汽與汽缸冷面相遇之時，可以減少其凝結為水之量度，換言之，即汽之熱可以多得保留，熱既多，則汽之功作自可更為充足，且同一壓力之蒸汽，其容量隨其加熱度程度而放大，故在一式樣大小同樣之汽缸內，用加熱之

汽推動鞴，可以較用不加熱之汽減少其重量，因其容量增大也。汽缸內須用之汽，可以減少其重量，即鍋爐內之汽可以節省其發生，火箱內之煤亦可以少費，故機車之用加熱蒸汽，為撙節經濟之妙法也。

機車前進及倒退原由 車輪之所以能前進或倒退者，由於車輪與鋼軌間之粘力。車輪曲拐，由連桿搖桿挺桿鞴受蒸汽在汽缸內推動之力，欲使其輪繞軸心而轉動，輪邊面上因而發生一種轉動力，但車輪擱在鋼軌之上，輪面與軌面有互相粘結之力，輪欲轉動，此粘力則欲使不轉動，一力向後，一力向前，車輪為一圓圈，故當向前之力適抵向後之力，輪面轉而前行矣，倘向後之力，勝於向前，則車輪動而不前，此時之輪動名之謂滑，如在下雨之時，鋼軌面上成為光滑，輪軌間之粘力大為減少，故車輪常有轉行極速，而不向前之患矣。

輪軌間粘力大小，視乎動輪軸上所載之重，動輪軸載重大，則粘力亦大，載重小，粘力亦小。

輪面之轉動力，即機車之牽引力，此力之大小，視乎蒸汽在汽缸內澎漲之力，汽力大，則牽引力亦大，無汽，即無牽引力也。

輪面轉動力，與輪軌間粘力之關係既如上所述，則牽引力與動軸載重，必有一適當之比例，以牽引力之磅數為法數，動軸載重之磅數為實數，所得之商數謂之粘率，其算式如下。

$$\frac{\text{動軸載重}}{\text{牽引力}} = \text{粘率}$$

機車之粘率，以 4.0 至 4.3 為最適用，但亦有用 4.5 至 5.0 之數，例如京綏路第七十五號至七十九號之麥克豆機車，其動軸載重為 138430 磅，牽引力為 34270 磅，故粘率為 4.03。

牽引力之計算法 牽引力之工作，從理想上計算，應與蒸汽力在缸內之工作相等。

蒸汽力之工作 = 壓 × 長 × 面 × 轉。

壓 = 鍋爐內蒸汽每方寸之壓力之磅數。

長 = 鞣輪行程之長之寸數.

面 = 鞣輪面積之方寸數.

轉 = 動輪在每一分鐘內旋轉之次數.

上式爲鞣輪行程一次之工作.倘一機爲單漲機車.而有汽缸二個.則動輪每旋轉一次.鞣輪行程有四次.故其蒸汽力之總結工作.應有上式計算之四倍.即是

$$\begin{aligned}\text{蒸汽力工作} &= 4 \times \text{壓} \times \text{長} \times \text{面} \times \text{轉}, \text{或} \\ &= 4 \times \text{壓} \times \text{長} \times \frac{\pi \text{徑}_1^2}{4} \times \text{轉}, \text{即} \\ &= \text{壓} \times \text{長} \times 3.1416 \text{徑}_1^2 \times \text{轉}\end{aligned}$$

牽引力之工作 = $\frac{\text{牽} \times \text{圓} \times \text{轉}}{}$

牽 = 牽引力之磅數

圓 = 動輪周圍之寸數, $= 3.1416 \times \text{徑}_2$

上述二項工作,既應相等.故

$$\begin{aligned}\text{牽} \times 3.1416 \text{徑}_2 \times \text{轉} &= \text{壓} \times \text{長} \times 3.1416 \text{徑}_1^2 \times \text{轉} \text{即} \\ \text{牽} &= \frac{\text{壓} \times \text{長} \times \text{徑}_1^2}{\text{徑}_2} \quad (1)\end{aligned}$$

以上列算式計算之牽引力,爲理想上之最大牽引力.不能見諸事實.

事實上之最大牽引力.關於單漲機車.須將理想上之最大牽引力.打八五折.因蒸汽在汽缸內澎漲.自進汽門以至出汽門.汽之壓力逐漸減少.故以第一算式計算牽引力.若用鍋爐壓力則太大.若用廢汽壓力則太小.惟須擇一平均有效之壓力.故用鍋爐壓力之百分之八十五分之力.所得之牽引力.適當有效.其算式如下.

$$\text{牽} = \frac{0.85 \text{壓} \times \text{長} \times \text{徑}_1^2}{\text{徑}_2} \quad (2)$$

馬列複漲機車.有汽缸四個.其最大之牽引力之算式如下.

$$\text{牽} = \frac{1.2 \text{壓} \times \text{長} \times \text{徑}_1^2}{\text{徑}_2} \quad (3)$$

上式之記號如下.

牽 = 牽引力之磅數.

註此: 卷內所用之尺寸,皆指英尺或英寸,下做此.

壓 = 蒸汽鍋爐壓力每方寸之磅數。

長 = 鞣輪衝程之寸數。

徑₁ = 高壓汽缸圓徑之寸數。

徑₂ = 動輪對徑之寸數。

單漲與複漲機車,或用尋常蒸汽,或用加熱蒸汽,其計算牽引力之法,皆用第二及第三算式,並無區別,因加熱蒸汽雖熱度加高,而壓力並不加高也。

若論節省蒸汽,則加熱蒸汽為最省,蓋加熱蒸汽能使蒸汽多盡其功用,設一加熱蒸汽機車,與一尋常蒸汽機車相比較,兩車之鍋爐壓力汽缸大小動輪圓徑完全一樣,則加熱蒸汽機車之蒸汽量,可較尋常蒸汽機車之量,增高四分之一至十分之三(25%至30%),但此所謂之增高蒸汽量,並非實在加大蒸水之火面,不過使尋常蒸汽加熱後,其效用之增高,猶諸增高尋常蒸汽之量百分之二十五至三十,若算其實在蒸水之火面,則加熱蒸汽機車所有者,反較尋常蒸汽機車減少約百分之二十五也。

複漲機車,用尋常蒸汽者,亦可使蒸汽多盡其功,蓋蒸汽在低壓汽缸內,又經一度澎漲,其廢汽之壓力,較自單漲汽缸洩出者為減少,蒸汽之力用之愈盡,則愈為節省,故一複漲機車,與一同一結構之單漲機車相比較,複漲機車能發生之力,可較單漲機車增高五分之一(20%),故複漲機車蒸水火面之面積,可作為實已增大五分之一,即1.20之倍數,凡單漲及複漲機車之牽引力,隨機車速率快慢而增減,不論其尋常蒸汽或加熱蒸汽,但用加熱蒸汽,牽引力之遞減可以比較的稍為慢減,若以單漲機車與複漲機車相比較,複漲機車之牽引力亦可逐漸慢減。

照第二或第三算式所算出之牽引力,為一機車之最大牽引力,乃機車在開車之時,所能發生者也,但機車開車之後,其速率逐漸增加,可增至五六十英里,而其牽引力,則逐漸減少,故當機車速率在每點鐘若干里之時,其牽引力之磅數,乃在將最大牽引力而

打一折扣之數，此折扣之成數謂之快慢率，故任何時間，機車牽引力之算式，可書如下。

$$\text{牽} = \frac{0.85 \text{ 壓} \times \text{長} \times \text{徑}_1^2}{\text{徑}_2} \times \text{快慢率} \quad (2)_2$$

$$\text{牽} = \frac{1.2 \text{ 壓} \times \text{長} \times \text{徑}_1^2}{\text{徑}_2} \times \text{快慢率} \quad (3)_2$$

快慢率之數可在第二圖甲得之。

機車前行之阻力 當機車前行之時，有各種阻力，須耗去一部分之汽力，以抵銷此項阻力，可分為五種如下。

(1) **機車之阻力**。此阻力為機車上各機件互相牽動之時，彼此所發生之摩擦力，此力之量數，可作為凡一動輪軸上所有之載重，每一噸即發生二十五磅之阻力，不論機車速率之快慢，軌道上之阻力，亦包括在內。

(2) **斜坡阻力**。此阻力為機車上斜坡之時所發生之阻力，此阻力之量數，可作為凡一動輪軸上之載重，每一噸即發生一阻力，其磅數等於斜坡百分數之二十倍之數，斜坡百分數者，為軌道路基，每一百尺，斜高若干尺，此高之尺數，以一百尺除之，其得數即為斜坡百分數，例如軌道百尺高半尺，斜坡百分數即為百分之零五（0.5%）此處設有一機車在道上行走，其阻力即為每軸重一噸，有十磅之阻力（ $20 \times 0.5 = 10$ ）。

(3) **前後轉輪架及煤水車之阻力**。此項阻力，可作為與一運貨貨車所生之阻力相等，運貨車在平直軌道上行走，其車重每一噸所生阻力之磅數，可從第二圖乙及丙得之，但須加上此車上斜坡時，及行走曲線時之阻力。

(4) **頭風之阻力**。機車向前進行激動空氣，因發生風之阻力，其阻力之磅數，視機車速率之里數之乘方而增減，即 $= 120 \text{ 方尺} \times 0.002 \times \text{速}^2$ ，平靜無風之日，機車速率約二十里左右，此時頭風阻力不過一百磅，但速率增高，而又遇逆風，則風之阻力亦為不小。

(5) **曲線之阻力**。當車輪行至曲線軌道之時，輪邊與鋼軌相

撞而轉變，且離心力推車外向，故輪邊與鋼軌之間，有摩擦力發生，但一曲線軌道之內外二鋼軌，外軌長於內軌，故外邊車輪行路較多於內邊車輪，內外車輪連於一軸，故內輪在鋼軌面上必有平移旋動之時，此時輪面與軌面之間，亦有阻力發生，以上所述之二種阻力，統謂之曲線阻力，此阻力磅數之計算，以機車之重量，合於曲線之度數而計算，機車每一噸之重及曲線每一度之曲，約有阻力0.8磅至1.5磅，平均可以一磅之數為標準。

上述之五種阻力合而得一總共阻力，此項阻力之數，在所算出之機車牽引力上減去，餘下之磅數則為機車之淨有牽引力，此牽引力乃用以拖運列車者也。

機車之牽引力，除耗去一部分用以克勝上所述之五種阻力外，尚須克勝加速率之阻力。

(6) 加速率之阻力。當一機車開車之後，於三四分鐘之內，由無速率而增至一速率，每點鐘約五六十里，此速率之加增，須用去汽力不少，其力量數之計算，亦以車重噸數為本位，而計其每一噸須用力若干磅，則可於若干時間內，或多少遠近內，自某速率而增至某速率，其算式如下。

$$\text{力} = 70 \frac{\text{速}_2^2 - \text{速}_1^2}{\text{遠}} \quad (4)a \text{或}$$

$$\text{力} = 95.6 \frac{\text{速}_2^2 - \text{速}_1^2}{\text{時}} \quad (4)b$$

力 = 每噸重所須用去汽力之磅數。

速₂ = 大速率，每點鐘之里數。

速₁ = 小速率，每點鐘之里數。

遠 = 行路遠近之尺數。

時 = 時間之秒數。

以上列算式所算出之力量磅數，亦須在機車牽引力上減去，方可得真正淨有牽引力，但當機車速率增加之後，機車一直前行，不再加快，則此項阻力即歸消滅，而機車淨有牽引力之磅量，即可