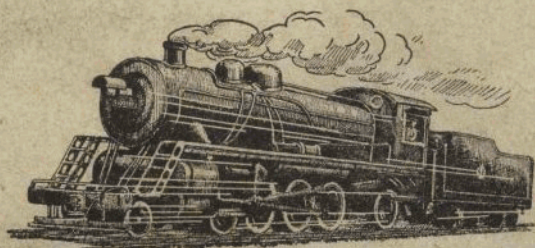


蒸汽機車操縱和焚火

茅 于 軾 著



人民鐵道出版社

目 录

第一章 牽引力

§1 牽引力的概念·····	1
§2 黏着牽引力·····	3
§3 汽缸牽引力·····	6
§4 汽缸示功圖·····	10
§5 鍋炉牽引力·····	16
§6 牽引力曲綫·····	18
§7 牽引力的操縱·····	22

第二章 阻力

§8 阻力概念·····	23
§9 油潤摩擦阻力·····	25
§10 干摩擦阻力·····	27
§11 空气阻力·····	28
§12 滾动阻力·····	29
§13 坡道阻力·····	29
§14 基本运轉阻力·····	30
§15 弯道阻力·····	31
§16 起動阻力·····	31
§17 机車閉汽运轉阻力·····	32
§18 阻力曲綫·····	33

第三章 列車运动

§19 列車运动的規律·····	35
§20 牽引力与阻力的斗争: 变速力·····	36
§21 均衡速度·····	38
§22 手把位置和列車速度·····	43
§23 列車重量和列車运动的关系·····	45
§24 時間和距离·····	45

第四章 煤的燃燒

§25 燃燒三要素·····	47
§26 煤的成分·····	48
§27 煤在火箱中的燃燒·····	49
§28 機車鍋炉的通風·····	51
§29 傳热方式·····	54
§30 鍋炉效率·····	57
§31 燃燒率和蒸發率·····	60

第五章 罐水的蒸發

§32 水的沸騰·····	62
§33 蒸汽的性質·····	64
§34 罐水蒸發·····	68
§35 短时最大蒸發量·····	71

第六章 焚火技术

§36 提高焚火技术的途徑·····	75
§37 火床整理·····	76
§38 焚火姿勢·····	79
§39 投煤时机·····	83
§40 注水时机·····	87

§41 吹風器的使用	92
------------	----

第七章 蒸汽的使用

§42 蒸汽在汽缸內的工作	93
---------------	----

§43 汽缸冷凝	103
----------	-----

§44 機車效率和机械效率	109
---------------	-----

§45 汽門手把的配合	112
-------------	-----

§46 惰力運轉的利用	116
-------------	-----

第八章 爬坡駕駛法

§47 坡道的分類	120
-----------	-----

§48 爬坡操縱法	125
-----------	-----

§49 爬坡焚火法	130
-----------	-----

第九章 闖坡駕駛法

§50 闖坡原理	133
----------	-----

§51 闖坡操縱法	137
-----------	-----

§52 闖坡焚火法	141
-----------	-----

§53 先闖后爬駕駛法	146
-------------	-----

§54 坡道停車事故的分析方法	147
-----------------	-----

第十章 制动机的操縱

§55 制动力的概念	151
------------	-----

§56 正确估計停車位置的方法	156
-----------------	-----

§57 施行緊急制动的方 法	163
----------------	-----

§58 倒汽制动	166
----------	-----

§59 防止断鈎事故的方法	169
---------------	-----

第十一章 操縱焚火技术作業过程

§60 什么是操縱焚火技术作業过程	178
-------------------	-----

§61 操縱焚火技術作業過程的制訂和學習.....	179
§62 操縱焚火技術作業過程的內容.....	182
§63 怎樣了解綫路縱断面圖.....	191
§64 操縱焚火技術作業過程的例子	194

第十二章 綫路牽引試驗

§65 綫路牽引試驗的目的.....	195
§66 綫路牽引試驗的一般工作.....	196
§67 綫路牽引試驗的記錄方法.....	198
§68 牽引試驗記錄的整理及分析.....	204

第一章 牽 引 力

§1 牽引力的概念

許多人时常說：「ㄅ」型機車在某條綫路上能牽引1,500噸。這句話很容易使人錯誤地認為「ㄅ」型機車的牽引力就是1,500噸。其實「ㄅ」型機車的牽引力至多只有20,000公斤左右，也就是20噸左右。20噸的牽引力為什麼能把幾千噸的東西拉走呢？因為幾千噸的列車重量是壓在鋼軌上的一個力，是列車受到地心吸力而發生的一個方向朝下的力。如果要把整個列車向上抬起，那就要花同樣大小的一個力。但現在是把列車向前拉走，只要用一個橫方向的力，勝過列車各部分的阻力就能把列車拉走。因此，牽引力是用來克服列車阻力的力，它的方向既非朝上，也非朝下，而是橫向的。

那麼機車的牽引力是怎樣發生的呢？

我們都知道，機車牽引力是蒸汽推動勾貝，再經過十字頭、搖連桿、曲拐銷及動輪的作用而產生的，但是切不要忘記產生牽引力最重要的部分——鋼軌的作用，鋼軌和動輪間的作用才是產生機車牽引力的根本處所，靠了鋼軌的作用機車才能發生牽引力。

我們舉一個例子就能說明鋼軌作用的重要性。假設用大吊車把一台有火機車吊起來離開鋼軌，之後再開放汽門。試問這時候機車能不能向前走呢？很明顯，機車一步也不會向前移動的，但是機車的動輪卻會飛快地轉動起來。由此可見：僅有勾貝、十字頭、搖連桿等的作用，沒有動輪和鋼軌的作用，機車是不會發生牽引力的。牽引力的發生是由於機車的動輪推鋼軌，引起鋼軌也

来推动輪。这个被引起的推动輪的力就是牽引力。

但是必須注意，鋼軌的推機車並不是鋼軌主动，而是機車主动的。通过勾貝、連桿等的作用，蒸汽的压力轉移到动輪踏面上来，把鋼軌向后推去（当逆轉机打向前进时，無論曲拐銷在上方或下方，总是把鋼軌向后推的，只要設想如果發生空轉，鋼軌上將受到动輪向后踢的力量）。鋼軌受到了这个力，立刻發生一个大小相同的力量把機車向前推去。这个道理就是所謂牛頓第三定律，亦称为作用与反作用定律。定律是：如果甲物体（例如機車車輪）施力於乙物体（例如鋼軌），則乙物体將以同样大小的力，从相反的方向施力於甲物体。所以动輪推鋼軌的結果是动輪同时也受到鋼軌向前推的力。动輪既是按裝在車架上的，結果車架便受到鋼軌的反作用力，这就是牽引力。

从反作用定律知道，力都是成双的。每一个力都有它的反作用力。但反作用力是因为有了作用力才存在的，如果作用力沒有了，反作用力也就随着消失了。而且反作用力的大小也随着作用力而变化。

我們再举一个例子來說明作用与反作用的意义。如果我們坐在一只小船里用一根竹桿向岸边用力一撐，結果我們坐的小船一定会离岸飄去。这就是因为：当我们拿竹桿向岸边用力撐的时候，竹桿就施力於岸边的地上。这个力立刻引起一个反作用力，就是地以同样大小的力推竹桿。由於地是不能移动的，竹桿推地的結果至多只会在地上弄出一个竹桿印子，而地推竹桿的結果是竹桿連同人和小船一齐被推离岸而去。这个道理和动輪推鋼軌，鋼軌推动輪的道理完全一样。我們騎自行車向前走的原理也是如此。

从機車借鋼軌的作用而产生牽引力的事实，使我們認識到另一个力学上的原理，就是一切物体的运动^①必須在外力作用之下才会發生。機車之能够發生运动是由於鋼軌推機車（但鋼軌的推機車是機車先推了鋼軌而引起的）。一切物体内部的力量是互相抵消的，因此沒有外力作用是不会發生任何运动的。如果一个人站

① 严格地說，应是物体运动速度的变化。

在磅秤上用力把自己的頭髮向上拉，磅秤顯示的重量並不會減少，更不可能把自己拉離地面。如果沒有鋼軌的作用，無論機車如何開汽，也不可能由靜止變為運動。這個道理在研究機車和列車的運動時有很大的用處。

總結一句：機車的牽引力不是光憑汽缸、搖連桿、動輪等就能產生的，而是外界物體（鋼軌）給機車的一個力。至於這個力的產生，是機車主動推了鋼軌，鋼軌發生反作用的結果。

§2 黏着牽引力

從上節知道，機車的牽引力是靠鋼軌得來的，但是鋼軌與機車之間並沒有其他的聯繫，僅有車輪與鋼軌之間的摩擦。如果動輪踏面上按上一圈滾珠，這時候開放汽門，動輪雖然轉動了，但不能推鋼軌，當然鋼軌的反作用力也不會發生，也就不會有牽引力了。所以動輪推鋼軌的作用力及鋼軌推動輪的反作用力實際上都是動輪與鋼軌之間的摩擦力，機車的牽引力就是動輪與鋼軌間的摩擦力，或者稱為粘着力。所謂「粘着牽引力」的由來就是這樣。

動輪推鋼軌的作用力，是連桿推曲拐銷，經過動輪的傳遞而產生的。如果連桿用的力大，動輪推鋼軌的作用力就大。反作用力永遠等於作用力，所以鋼軌推動輪的力也大，也可以說動輪與鋼軌之間的粘着力大。可是粘着力不可能跟着連桿推曲拐銷的力無限制地增大，它有一定的限度，這個限度我們稱為最大摩擦力，或稱為最大粘着牽引力。無論如何，粘着力不可能超過這個限度。如果連桿推動輪的力很大，而鋼軌推動輪的力却被最大粘着力限制了，這時候動輪不能保持平衡，就會劇烈地轉動起來，這就是空轉。所以空轉的原因是連桿推曲拐銷的力太大了，而動輪與鋼軌之間的粘着力已經達到了最大的限度，動輪不能保持平衡的結果。

有的人以為空轉的原因是動輪想要轉得快，而列車的速度還

跟不上。這是錯誤的。因為動輪自己不能轉動，是要靠連桿的推動才能轉動；動輪不能決定自己轉速的快慢，速度是靠力的作用才發生的。因此問題的解決還是要追究到連桿施的力及鋼軌的反作用力。

最大粘着力究竟有多大呢？它和動輪壓在鋼軌上的重量有關，這個重量稱為粘着重量。粘着重量愈大，則最大粘着力也愈大。因此動輪負重大的機車可能產生較大的牽引力。但是我們也不能盡量增加動輪負重，因為動輪負重大了就需要更堅固的鋼軌，更堅固的橋梁，就要大大增高鐵路的建築成本。有些輕型鋼軌的綫路不許大型機車運行，或是要減速運行，也是這個道理。由此還可知道，最大粘着力也和機車的彈簧調整有關；如果調整不正確，動輪負重達不到標準，就容易發生空轉。

從第 1 表可以看出動輪負重和機車最大牽引力的關係。

最大粘着力還和軌面情況有關。如果軌面上有水，或有冰雪，或有油污，最大粘着力就要變小，就容易打空轉。相反地，如果軌面上撒砂子，就能增大最大粘着力，可以防止空轉。但在某些特殊情況，例如極寒冷的冬天，狂風暴雨時，撒砂所增加的摩擦力有限，空轉還是不易避免。

最大粘着力還和動輪迴轉的速度，也就是列車速度有關。速度愈快，則最大粘着力愈小。從第 2 表中便可看出速度對於最大

貨運機車動輪負重與最大牽引力比較表

第 1 表

型 別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	十三	十四	十五	十六	十七	十八	十九	二十
動輪負重 (噸)	79.9	84.3	62.4	91.7	70.1	64.1	71.9	63.8	66.7	78.2	77.6	81.0								
最大牽引力 (公斤)	19,400	22,050	14,400	22,300	16,500	15,400	17,350	15,150	16,300	19,200	18,600	19,750								

註：本表中最大牽引力數值，除一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、十一、十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八、十九、二十，其餘是採用類比法計算得出的。

粘着力的影响。

機車速度和最大粘着力关系

(設機車在起動时，也就是速度为零时，最大粘着力为100%)

第2表①

機車速度，公里/小时	0	10	20	30	40	50
最大粘着力的百分比	100	91.2	83.3	76.8	71.4	66.8

速度愈快，最大粘着力便减小，但为什么打空轉多数發生在速度低的时候呢？这是因为：速度高的时候車輪推鋼軌的力（作用力）較小，因此反作用力也小，根本不可能超过最大粘着力，当然不会打空轉。这一点在§6牽引力曲綫中还要詳細討論。

發生空轉之后，將产生什么結果呢？主要的結果就是牽引力大大減低。發生空轉以前，鋼軌給动輪的摩擦力（粘着力）是靜摩擦力②，鋼軌上每一个点紧紧地挨着車輪上每一个点，这时的摩擦力比較大。一旦發生空轉，靜摩擦力就变为动摩擦力，鋼軌与車輪的每一个点並不是紧紧挨着，而是滑过去的，摩擦力就大大減小，也就是機車的牽引力大大減小。

應該注意，空轉时机車牽引力並不等於零，因为鋼軌与車輪之間还有摩擦力存在。剧烈空轉时，可能冒出火星来，这就証明了摩擦力的存在。既然有摩擦力，就說明动輪有作用力在推鋼軌，鋼軌也有反作用力在推动輪，也說明了機車还有牽引力，但动摩擦力比靜摩擦力小得多，所以牽引力也小得多。

动摩擦力較靜摩擦力小，我們可从許多日常現象中来証明。例如从木板中拔鉄釘，我們往往一面將鉄釘轉动，一面用力向外拔，这时木板与鉄釘間的摩擦由靜摩擦变为动摩擦，摩擦力減小了，就很容易把鉄釘拔出来。

空轉的害处很大。機車在上坡或發車起動时如果發生空轉，

① 本表是根据苏联交通部1952年出版的牽引計算規程計算的，適用於貨运蒸汽機車。

② 严格地說，鋼軌与动輪間的摩擦应是滚动摩擦，与靜摩擦是有区别的。

由於牽引力減小，往往發生很大的困難，甚至發生坡道停車事故。此外，空轉還是機車保養上的敵人。空轉時，外輪和鋼軌都受到強烈的摩擦，縮短了它們的使用壽命；空轉常常引起汽水共騰，大量蒸汽夾帶着水分湧入過熱管，使過熱管上附着水鏽，有時水分一直進入汽缸，發生水錘，肇成嚴重的機車破損事故；空轉時通風忽然加劇，不但擾亂火床，浪費燃料，而且大量空氣進入罐胴，容易發生漏洩及炉撐折損；空轉時，機車發生震動，各楔鉄、螺絲容易鬆弛；有時各車輪之間受力不均，還會發生連桿彎曲或折損。

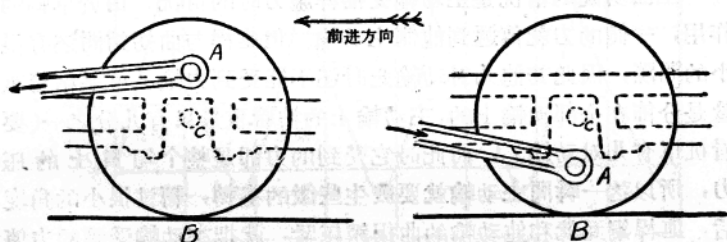
§3 汽缸牽引力

我們已經知道機車牽引力就是鋼軌給機車的反作用力，並且這個反作用力總是等於機車給鋼軌的作用力，那麼我們要想研究機車的牽引力究竟有多大，首先就應該研究機車給鋼軌的作用力究竟有多大。這個作用力我們就叫它為汽缸牽引力。汽缸牽引力是由汽缸產生，經過十字頭、搖連桿、曲拐銷及動輪的傳動而達到鋼軌上。在研究它時，應該分兩個步驟：第一步是研究汽缸中產生的力有多大，第二步是研究經過這套傳動裝置後這個力發生了什麼變化。

產生作用力的根本處所是汽缸。高壓蒸汽進入汽缸後，壓力就向四面施展開來，但汽缸壁非常堅固，雖然受到壓力，不會發生什麼變化；只有勾貝是活動的，勾貝將所受到的壓力經過勾貝桿傳給十字頭。這個力的大小就等於蒸汽壓力乘勾貝面積。蒸汽壓力愈大，這個力也愈大；勾貝面積愈大，這個力也愈大。□₅—1型機車的蒸汽定壓是14公斤/平方公分，勾貝面積是2,641平方公分（當汽缸是設計尺寸時），因此勾貝上受到的力是14公斤/平方公分 $\times$ 2,641平方公分=36,974公斤，也就是37噸左右。當汽缸磨耗擴大時，勾貝受蒸汽壓力的面積也增大，因此勾貝所受的力便會大些。此外，蒸汽經過汽門、過熱管等通路後，壓力就要降

低些，汽缸內的压力实际上到不了14公斤/平方公分。而且勾貝从一端死点到另一端死点的整个行程中，受到的蒸汽压力並不是不变的，因此對於牽引力也有影响，这一点在下节中即將討論。

第二步就要研究勾貝压力經過十字头、搖連桿、动輪等的傳动，發生什么变化。假設此时曲拐銷正在輪心垂直上方或垂直下方，則勾貝上受到的力經過十字头及搖桿的傳遞最后傳到曲拐銷上，將如第1圖所示①。



第1圖 汽缸牽引力的产生

圖中C是輪軸中心，A是曲拐銷，B是車輪与鋼軌的接觸点。搖桿上的箭头表示搖桿推（或拉）曲拐銷的力的方向。此处機車自右向左运动。輪軸C被軸箱固定在車架中間，只能轉动不能移动。

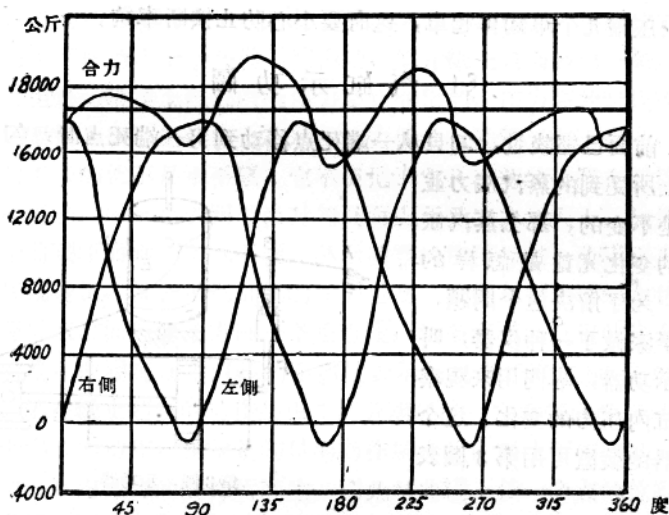
在B处車輪对鋼軌的作用力，是由於曲拐銷受到搖桿的力而产生的。但A点到C点的距离較短，而B点到C点的距离較長。憑常識就可知道，A点的力轉移到B点时就要減小。減小的程度和AC及BC長度的比例有关。AC的距离愈長或BC的距离愈短，在B点所产生的对鋼軌的作用力就愈大。其实AC的長就是曲拐圓的半徑，也就是勾貝行程的一半；BC的長就是动輪半徑。所以勾貝行程長（也就是汽缸長）的、动輪直徑小的機車，

① 事实上，機車牽引力的傳遞还和汽缸、車架、軸箱有关，力的变化也不是如此簡單，但为說明方便起见，姑作这样的解釋。

牽引力比較大。一般客運機車不需要很大的牽引力，但需要較大的速度，所以動輪直徑比較大，汽缸直徑和勾貝行程比較小。貨運機車則相反。機車動輪的踏面磨耗旋削後，BC 的距離就縮短，因此牽引力就大些。如果機車的汽缸磨耗擴大接近限度，外輪厚度也磨耗變薄接近限度，則牽引力可以增大15%左右，這時候車輪對鋼軌的作用力大，容易超過最大粘着力，因此容易引起空轉。

上面所說的情況是主動輪受搖桿施力時的情況。由於車軸的作用，一側的力就傳遞到他側主動輪。但連桿與曲拐銷間還有很小的間隙，因此其他幾對動輪此時還不能受到力量。可是粘着重量是分佈在全部動輪上的，主動輪上的粘着重量只有幾分之一（要看機車有幾對動輪），而此時它受到的力卻是整個勾貝上的壓力，所以這一瞬間主動輪就要發生些微的空轉，轉過很小的角度後，連桿銅瓦就和他動輪的曲拐銷壓緊，就把主動輪受到的力傳給他動輪。因此主動輪時常有些微的空轉，主動輪的踏面磨耗就比他動輪快。有時他動輪的踏面磨耗尚未到限度，而主動輪的已經到限度，不得不把車輪送廠修理。在旋削動輪時，幾對動輪要旋成同一直徑，就一定要按磨耗最甚的動輪直徑來旋。所以主動輪保養不好就要引起很大的損失。按魯寧的機車保養辦法，主動輪應該經常用新聞瓦，不待閘瓦溝磨平就將它換到他動輪上使用，減少閘瓦對主動輪踏面的磨擦。

以上說明的僅是曲拐銷在垂直位置時的情況，而且沒有聯系到另一側汽缸發揮的牽引力。如果曲拐銷不在垂直位置，牽引力有什麼變化呢？如果曲拐銷在前后死點的話，可以想像，在B處不會發生任何作用力，因為曲拐銷上受到的力完全用來壓迫輪軸和軸箱了。曲拐銷在其他位置時，它受到的力也有一部分用來壓迫軸箱，而剩下的一部分才在B處產生對鋼軌的作用力。由此可見，一側的牽引力只有曲拐銷在垂直位置時才是最大。可是機車的牽引力是二側之和，一側在垂直位置時另一側在死點，因此這



第2圖① 动輪一週轉間牽引力的变化

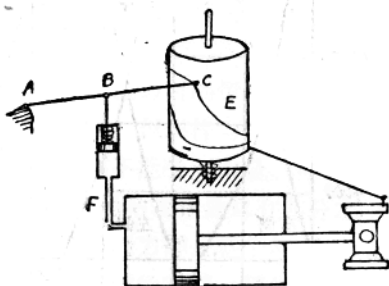
时的牵引力未必就最大。經過計算知道，动輪廻轉一週之間，牽引力有四个起伏。曲拐銷在接近死点及垂直位置时牽引力最小，在前后上下 45° 左右时牽引力最大。第2圖就表示动輪一週轉間牽引力的变化情况。綫旁註有「右側」的是右側汽缸所产生的牽引力，註有「左側」的是左側汽缸所产生的牽引力，註有「合力」的是二側牽引力之和。合力曲綫下面的一条粗綫是动輪廻轉360度中的平均牽引力。我們在实际操縱时也能觉察出牽引力的这种变化情况：列車在發車起動时，每当曲拐銷轉到 45° 度，列車就微微向前一冲，这种現象在旅客機車上尤其明显。曲拐銷在死点或垂直位置时牽引力最小，所以牽引長大列車發車时，应避免

① 本圖取自А·М·Баби́ков及В·Ф·Егорченко 著的 Тяга Поездов第53圖，是Еф型機車当汽門滿开，手把60%，速度为22公里/小时时的情况。

把曲拐銷停在死点或垂直位置，如果正好停在死点或垂直位置，就应压缩几个車鈎再起車，这时要小心防止換断車鈎。

§4 汽缸示功圖

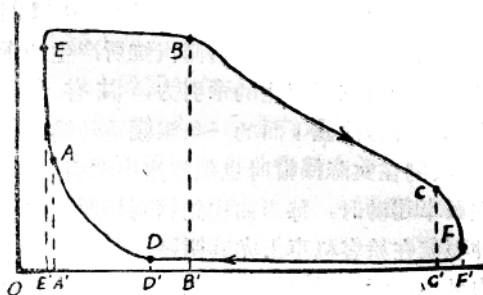
前面已經談过，勾貝从一端死点移动到另一端死点时，勾貝面上所受到的蒸汽压力並不是不变的。那么蒸汽压力的变化究竟是怎样的呢？为了解决这个问题，科学家做了一种仪器，叫做示功器，專門用来观察汽缸內压力的变化。这个仪器的装置可用第3圖表示。



第3圖 示功器

ABC是一个槓桿，固定在A处，在C端系有一枝笔，紧靠着圓筒E。槓桿的运动由B处的支桿决定，支桿下面是一个小活塞。由於管子F与汽缸联通，小活塞所受到的压力就是汽缸內的压力。圓筒E上貼着一張白紙，另外卷着一根繩子，繩子的一端系牢在十字头上。当勾貝运动时，由於十字头和繩子的作用，

就使圓筒轉动起来。同时由於汽缸內压力的变化，使得C处的笔也上下移动。这样就在圓筒的白紙上画出綫来。动輪迴轉一週后，我們把白紙取下展开，就得到如



第4圖 汽缸前端的示功圖

第4圖的一條曲綫。笔在紙上画綫的方向是循着箭头的方向。

为什么笔在紙上会画出这样一張圖来呢？首先，讓我們假設汽缸里的压力沒有变化，这就等於小活塞不起作用，笔的位置就不会上下移动，十字头將圓筒拖动，笔在紙上只会画出一条水平綫。但是，事实上汽缸內的压力是在变化的，压力高的时候就將小活塞推上去，笔就向上移动；压力低的时候笔又向下移动，这样画出来的就不是水平綫，它不但把十字头移动的位置在圓筒上表示出来，同时也表明了当时勾貝面上所受压力的大小。如果在这个曲綫下面画一条水平綫，从示功器的作用知道，曲綫离开水平底綫越远，就表示汽缸里的压力越高。我們又在曲綫的左边相距等於汽缸間隙的地方画一条垂直綫，这条直綫的位置就代表汽缸前盖，曲綫离开垂直綫的距离就表示勾貝离开汽缸前盖的距离。笔在紙上划綫的动作是由二部分組成的，左右方向的运动是由十字头的动作，也就是勾貝的动作所产生，而上下方向的运动是由汽缸內压力的变化所产生。因此从曲綫上任一个点的位置，例如第4圖中的A、B、C、D等等，就可知道勾貝在各位置时汽缸內有多少压力。

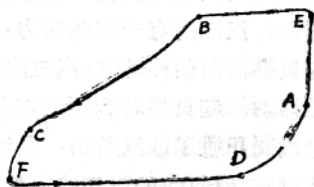
当勾貝由后死点向前移到距汽缸前盖 OD' 远的时候（第4圖），汽缸內有一定的压力，所以笔画在紙上的位置是在D点。勾貝繼續向前移动时，汽缸內的压力漸漸升高，所以笔画的曲綫向上移动。勾貝移动到距汽缸前盖 OA' 远时曲綫就上升到A点，此时汽閥开通了进汽通路，鍋炉內的高压蒸汽經過过热管等通路进入汽缸，汽缸內的汽压就突然升高，曲綫更快地向上升。勾貝到前死点 E' 时曲綫画到E点，汽缸內的压力已升高到和鍋炉压力接近，所以压力不会再向上升。勾貝从前死点向后走时，汽缸与汽室进汽通路連通，压力接近鍋炉压力，画出来的綫差不多是一条水平綫。但到B点时，汽閥又把进汽通路遮断；勾貝再向后移动时，汽缸內的体积逐漸增加，但新蒸汽却不再进来，所以蒸汽膨胀时压力便漸漸降低，曲綫就向下傾斜。当勾貝移到C'时，汽閥又將通往廢汽口的汽路开通，汽缸內的蒸汽就經由汽閥及廢汽

口向外排出，压力就突然降低。勾貝到后死点F'（当时曲线在F点）之后又回头向前移动，此时汽缸内的压力已降低得和大气压力接近，所以勾貝向前移动一直到D'压力並無变化，笔画出的线就是一条水平线。待勾貝移到D'点时汽閥又将排汽通路遮断，可是勾貝还要向前移动，因此就把汽缸内的蒸汽压缩过去，压力就渐渐升高。待到达A'点时，汽閥又将进汽通路开通，进入高压蒸汽，画出的线就上升到A点。这样，动輪廻轉一周，就画出这样一条曲线，这条线就是汽缸示功圖，它在研究牵引力上有很大的用处。

第4圖上的E点和F点各代表勾貝的前后死点。勾貝在D点的时候，汽閥将排汽通路关闭，勾貝再向前走的时候蒸汽就开始被压缩，所以D点称为压缩点。在A点时，汽閥将进汽通路开通，所以A点称为进汽点。在B点时汽閥将进汽通路遮闭，所以B点称为遮断点。在C点时汽閥将排汽通路开放，所以C点称为排汽点。

一般機車都是勾貝前后兩端給汽的，如果我們把示功器的小管F（第3圖）接在汽缸后端，可以得到同样的一張圖，但位置相反，如第5圖所示。

勾貝前后兩側的压力是互相抵消的，所以勾貝棒上受到的力是第4圖与第5圖中勾貝在各位置时压力的差。



第5圖 汽缸后端的示功圖

勾貝运动时受到的力是这样的(第4圖或第5圖): 在D点时汽閥已将排汽通路遮断，但勾貝还要向前移动，就把汽缸内剩余的蒸汽压缩，因此这时候勾貝的动作是靠动輪来帶动的，这时不但沒有牵引力，反而消耗牵引力，所以由第2圖可以看出，在接近90度、180度、270度、360度时牵引力线在零以下。勾貝到达死点向回去的时候，汽缸内已充满了高压蒸汽，因此勾貝的动作