

蘇聯機器製造百科全書

第十卷

第七章 內燃機試驗

第八章 燃氣透平

蘇聯機器製造百科全書編輯委員會編



機械工業出版社

蘇聯機器製造百科全書

第十卷

第七章 內燃機試驗

第八章 燃氣透平

彼特洛夫、勃柳多夫著



機械工業出版社

1955

出版者的話

蘇聯機器製造百科全書第十卷分爲八章。在本卷中，收集了各種發動機的構造和計算的資料，並說明蘇聯在斯大林五年計劃內所使用的發動機的構造以及某些外國製造的內燃機構造。

第一章是論述內燃機理論及性能；第二、三和四章是船用與陸用、汽車與拖拉機及坦克發動機的構造形式；第五章是內燃機混合氣的形成；第六章是內燃機的電氣裝置、起動裝置及逆轉裝置；第七章是內燃機試驗；第八章是燃氣透平。由於篇幅較大，故暫先分章出版。

本書是第十卷的第七、八章，內容包括：內燃機試驗的種類和試驗時應測量的數值，發動機有效功率和指示功率的測定，燃料消耗量、空氣消耗量及溫度的測定；燃氣透平的基本原理圖及熱循環，燃氣透平的熱力計算，燃氣透平裝置及其主要設備，燃氣透平所用的材料以及燃氣透平的幾種經驗式樣。

本書是工程技術人員、大學和專科學校極有價值的參考書。

蘇聯 'Машиностроение энциклопедический справочник' (Машииз
1948 年第一版) 一書第十卷第七、八章 (В. А. Петров, В. П. Блюдов著)

* * *

編者：蘇聯機器製造百科全書編輯委員會

譯者：金耀奎、老文雄、陳丹之

書號 0593

1955 年 3 月第一版 1955 年 3 月第一版第一次印刷

787×1092¹/₁₆ 65 千字 2¹/₂ 印張 0,001—4,150 版

機械工業出版社(北京區甲廠 17 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價 0,43 元(18)

目 次

第七章 內燃機試驗

(彼特洛夫 В. А. Петров)

試驗種類	1
試驗時應測量的數值	1
發動機有效功率的測定	1
指示功率的測定	10
燃料消耗量的測定	16
空氣消耗量的測定	18
溫度的測定	19
參考文獻	21
中俄名詞對照表	21

第八章 燃氣透平

(勃柳多夫 В. П. Блюдов)

基本原理圖及熱循環	1
燃氣透平的熱力計算	5
燃氣透平裝置的主要設備	7
燃氣透平裝置	9
燃氣透平用的材料	10
燃氣透平的幾種通用型號及裝置式樣	11
參考文獻	12
中俄名詞對照表	13

第七章 內燃機試驗

試驗種類

在試驗室的條件下，內燃機的台架試驗可分為兩大類：即檢驗試驗與特殊試驗。

檢驗試驗包括：(a)驗收交貨試驗；(b)新發動機及其合件試驗；(c)政府規定的試驗；(d)使用試驗。

新的及修理後的發動機的驗收交貨試驗是最簡單的。此項試驗的目的一般都是為了檢驗燃料消耗量及發動機所產生的功率是否合於技術條件。同時並進行檢驗機件配合之正確性和修理的品質。

新發動機的試驗在‘走合運轉’過程中，為了發現新設計中的最弱之點，以及發動機及其零件與合件的使用壽命，常常需要一個很長的時間。

政府規定的試驗是由特殊的政府委員會主持而在將新發動機或新的合件總成投入正式或大量生產前進行的。

使用試驗一項中，包括在試驗台上進行的校正及檢驗試驗；其目的是在一定的週期內檢驗發動機的工作情況及其性能。

特殊試驗決定於任務的要求，可能是很簡單的(例如，以調整化油器為目的而進行的)也可能是十分複雜的，後者多屬於科學研究的性質，需要應用特殊的測量設備，如閃光速度計、無慣性的示功儀、震爆儀、光譜分析儀等等。這種試驗的進行常常是為了研究各種不同設計的及使用的因素對發動機工作的影響，並為了用試驗的方法來證實個別理論的推斷及集累試驗的資料以作製造更完善發動機的參考。

試驗時應測量的數值

由於進行試驗的種類不同，內燃機試驗時需要測量數值的範圍可有很大的差異。

試驗終了以後，即可繪製發動機的工作性能、情況及主要參數變化的曲線。但是所有的這些參數，不一定都是可以直接用儀器來測量的。有很多是根據其他在進行試驗時直接測出的數據而應用公式計算出來的，例如，功率 N_e 或 N_i ，燃料單位消耗量，空氣消耗量，平均有效壓力 P_e ，係數 α 及 η_u 等。

試驗時記錄中記載的數值應包括：制動負荷 (P ，公斤)，一定燃料量的消耗時間 (τ ，秒) 及為測量空氣消

耗量而測得的在孔板處的壓力差或在喉管中的真空度等。

此外，在試驗的過程中，還必須記錄其他的一些可以指示發動機溫度情況及進行試驗條件的補充參數。這裏可能記錄實驗室中的大氣壓力、室溫及空氣濕度；燃料比重，汽缸水套的進水溫度及出水溫度；排氣溫度；機油的種類、溫度及壓力；點火提前角度或柴油機中開始噴油的時間等。發動機上裝有那些附件總成或去掉了那些附件總成等都必須詳細載於試驗記錄中。

發動機有效功率的測定

發動機的有效功率 N_e ，不論其工作的行程數及型式為何，均可由下式求得

$$N_e = \frac{M_e \cdot n}{716.2} \text{ 馬力} \quad (1)$$

式中 M_e —— 發動機的有效扭矩 (公斤公尺)； n —— 主軸轉數 (轉/分)。

試驗時， n 值可由轉速表或轉數計測定，扭矩 M_e 則由傳於磅秤或動力計上的力量 P (公斤) 和將力傳到磅秤上的臂長 l (公尺) 之乘積表示。

因此

$$N_e = \frac{P \cdot l \cdot n}{716.2} \text{ 馬力} \quad (2)$$

試驗時，用以測量的制動機構有：1) 機械式；2) 水力式；3) 氣力式；4) 電力式；5) 組合式。

機械式制動機構主要是用來測量功率在 50 馬力以下及轉數在 1500 轉/分以下的發動機。

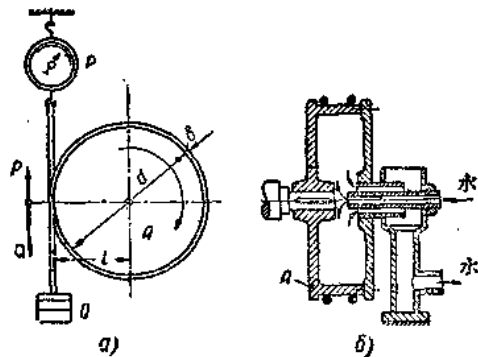


圖1 繩式制動器簡圖。

機械式制動機構的基本型式為繩式、帶式及蹄片

式。這種制動器的製造成本低，在實驗室中不需佔用很大的地方，並且不需電源，但當進行試驗時，由於制動阻力而引起的震動，致不能獲得均衡的轉速。

圖 1, a 所示為繩式制動機構的簡圖。與發動機主軸相連接的轉鼓 A 上繞以繩索(直徑為 δ)，其一端固定不動(連於動力計上)，另一端懸以重量 Q 。

如果 Q 及 P 為作用於繩索兩端的力(公斤)，以其差數 $Q - P$ 之值乘以臂長 $l = \frac{1}{2}(a + \delta)$ (公尺)，即得轉鼓上所產生的扭矩(公斤公尺)。當轉數固定時，此扭矩即等於發動機的扭矩，於是發動機的有效功率為

$$N_e = \frac{M_e \cdot n}{716.2} = \frac{(Q - P) \cdot (a + \delta) \cdot n}{2 \times 716.2} \text{ 馬力} \quad (3)$$

繩式制動機構的主要缺點是不能獲得正確的力的數據，這是由於轉鼓輻邊產生高溫而影響摩擦係數改變的緣故。

爲了減低溫度，可引入冷水以冷卻制動轉鼓，如圖 1, b 所示。

帶式制動機構具有與繩式相似的構造，同樣的也不能用來作精確的試驗。

圖 2 所示是常常被採用的浦郎尼(Прони)蹄片式制動機構的簡圖。轉鼓 2 與發動機主軸相連，上下各

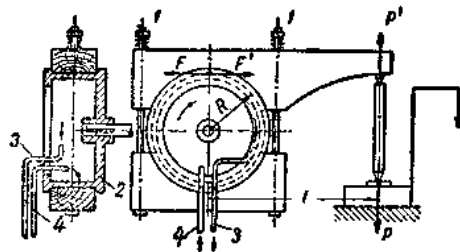


圖 2 浦郎尼蹄片式制動機構簡圖。

夾以木質蹄片，其間並以螺栓 1 使之夾緊。轉鼓是沿順時針方向旋轉。在上蹄片延長一端的下面設置一支柱，如十進位的磅秤，使整個的蹄片機構維持不轉，而轉鼓轉動時所產生的力量決定於螺栓 1 的拉緊程度。當轉數固定時，由發動機傳到轉鼓上的扭矩 M_e 恆與由蹄片作用於轉鼓上的扭矩相等；在相反的情況下，其轉數是變動的。蹄片作用於轉鼓上的扭矩等於轉鼓半徑 R 與產生於夾緊蹄片內轆上的摩擦力 F 之乘積。與上述完全相同的扭矩，在圖上為順時針方向，作用於蹄片機構上使其有轉動的趨勢。與發動機扭矩 M_e 相等的扭矩 $R \cdot F$ ，必須與蹄片支柱的反應扭矩 $P' \cdot l$ 相等。因此可以使蹄片機構維持不動。此外， P' 與蹄片壓向支柱上的壓力相等，即 P 之數值，這是很容易由磅秤的指數來測定的。

這樣，發動機所產生的有效扭矩 M_e 即等於臂長 l 與磅秤指數 P 的乘積：

$$M_e (\text{公斤公尺}) = l (\text{公尺}) \times P (\text{公斤}) \quad (4)$$

由於發動機的機械能傳到制動機構的制動蹄片上變成熱能，因此在摩擦面上必須備有散熱裝置。爲此，在轉鼓內由水管 4 放入冷水，熱水則自與轉鼓旋轉方向相反的水管 3 內自行流出。

浦郎尼制動機構的制動扭矩是隨着螺栓 1 的鬆緊程度不同而改變的。當減低螺栓的緊度時，則轉鼓表面上的摩擦力隨着減小，結果使扭矩降低，於是發動機減輕了負荷而使轉數增高。反之，當加緊螺栓時，則扭矩增大而轉數降低。

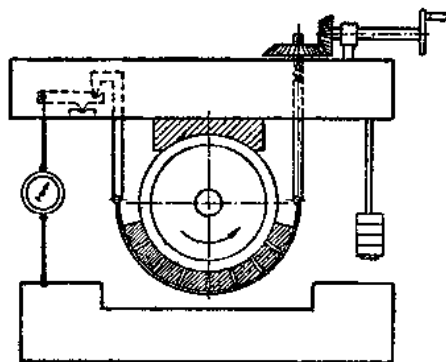


圖 3 莫斯科航空研究院制動機構。

比較改進了的機械式制動機構的類型是莫斯科航空研究院(МАИ)的制動機構(圖 3)，它是特爲試驗汽車發動機而設計的。此種制動機構是由附有一些制動蹄片的彎曲板帶組成。板帶的一端連接於軸和一對傘形齒輪上，用以調節板帶的鬆緊程度來改變制動力矩。另一端則經過一組槓桿而與彈簧磅秤相連。

水力式制動機構是由一在裏邊可以轉動的轉子及一可搖擺的固定子外殼所組成。

水力式制動機構比機械式的優點是有較大的及平穩的制動力矩。在實驗室中，最常採用的幾種水力測功機爲西提比(СТБ)、蓉蓋爾斯(Юнкерс)及佛魯特(Фруд)三種型式。

圖 4 和圖 5 所示是蓉蓋爾斯水力測功機的剖面及裝置圖。這個制動機構包括轉子 1 及固定子 2，固定子可以在其本身的軸上作一定限度的擺動，固定子軸與轉子轉軸是結合在一起的。轉子及固定子上均裝有一排徑向的方形截面的葉片 3 及 4。這些葉片的位置是當轉子轉動時，轉子葉片不與固定子的葉片相碰。轉子及固定子間的間隙中灌入一定量的水，由於離心力的作用，水被拋向外圓形成水環。由於固體與液體間的摩擦

力而使發動機的制動力矩 M_c 由轉子傳向固定子，並使固定子有向旋轉方向旋轉的趨勢。

蓉蓋爾斯水力測功機的制動力矩是依據注入固定子中水量的變更而改變。水量是由兩個開關來調節的：一個是從測功機排水管經開關 5 溢出；另一個是從注水漏斗 6 注入冷水。

為了散熱，測功機中的水必須循環，並應使排水溫度不高於 60°C ，以免固定子中的水形成蒸汽而使制動力矩有突然的改變。

由於在固定子中所保持水量的多少，對制動力矩有很大的影響，為了獲得固定的轉數，水必須由水箱注入測功機，在水箱中裝有浮子機構，用以經常保持一定的水面（圖 5）。

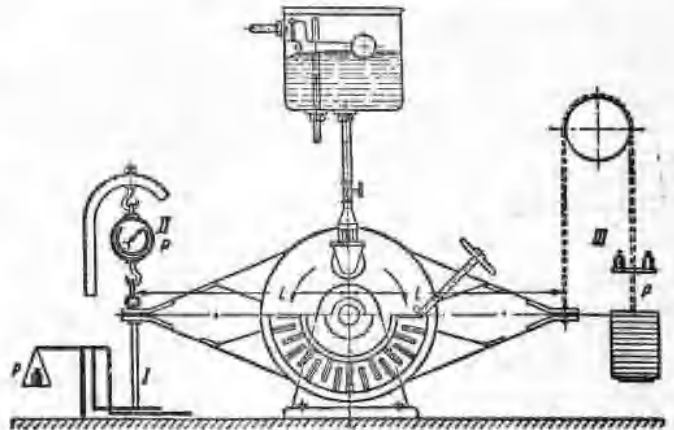


圖 5 蓉蓋爾斯水力測功機裝置圖。

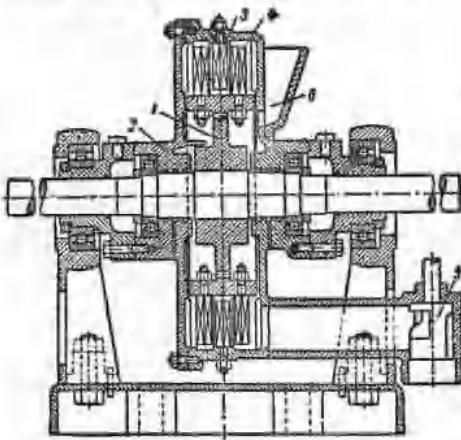


圖 4 蓉蓋爾斯水力測功機縱剖面圖。

圖 5 所示是最常用的測量發動機扭矩的簡圖：1) 利用通常的十進位磅秤（圖 5, I）；2) 利用彈簧測力計（圖 5, II）；3) 懸掛重量（圖 5, III）。

在上述三種情況下，發動機的有效扭矩為

$$M_c = P \cdot l。$$

蓉蓋爾斯水力測功機的主要優點是結構緊湊和尺寸不大，而所能測量的功率却相當大（例如，1000 馬力及以上）。缺點是很難用兩個活門來控制固定子中的水量，因為旋開一個活門以後，並不能很迅速地獲得測功機中水量的平穩。

圖 6 和圖 7 所示是佛魯特 (Froude) 水力測功機的構造圖。這種測功機用作發動機試驗時，要比蓉蓋爾斯水力測功機容易操縱，因而採用也較廣泛。

佛魯特水力測功機的主要特點是它的轉子與固定子間的間隙中，在全部工作時間內都充滿著水。

佛魯特水力測功機由下列主要部分組成：支承轉

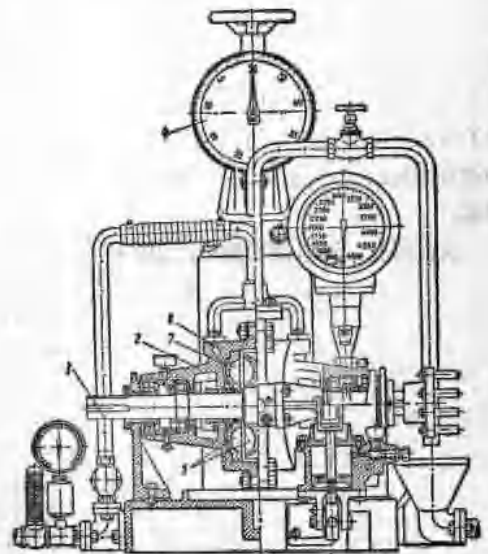


圖 6 佛魯特 DPX 水力測功機縱向剖面圖。

子的軸 1、可擺動的固定子 2、自轉子及固定子間的間隙中側向插入的滑板機構 3（圖 7）及測力裝置 4。在轉子和固定子的側面上均有一組沿徑向排列而呈橢圓形的傾斜窩穴 5。

水從固定水面的水箱中注入測功機內。水由導管 6 流進固定子以充滿固定子的外殼，並經小孔 7 進入測功機內部的窩穴中。當轉子旋轉時，由於離心力的作用使水自轉子的窩穴向外圍拋出，並由於窩穴的特殊形狀使水反射入不動的固定子窩穴中，水在其中獲得速度而重新轉向轉子的中心。這樣，在轉子旋轉時，水即形成一環形運動。

通過水的媒介所吸收的發動機扭矩，使固定子有向轉軸旋轉方向擺動的傾向。

圖7表示測力裝置的傳動機構，測力裝置的讀數應適等於使固定子擺動的發動機扭矩。

用手輪操縱滑動的圓形活門，來開大或關小轉子及固定子的高穴以改變制動力矩。

利用盤形水力測功機來作發動機試驗時，較用蓉蓋爾斯水力測功機精確得多，因為後者的制動力矩是依靠固定子中水量的多少而改變的。

圖8和圖9是莫斯科航空研究院特別技術局設計的西提比水力盤形測功機的剖面圖。這種測功機的通水部分是利用不規則形狀的（衝壓而成的）摩擦面。轉子1和固定於其上的套盤在固定子2中旋轉，固定子是由一些成形鑄件的固定圓盤和推力環所組成，其間和側板相疊合在一起，並用螺栓相連。

水自側孔3流入測功機中，而由固定子的底部經

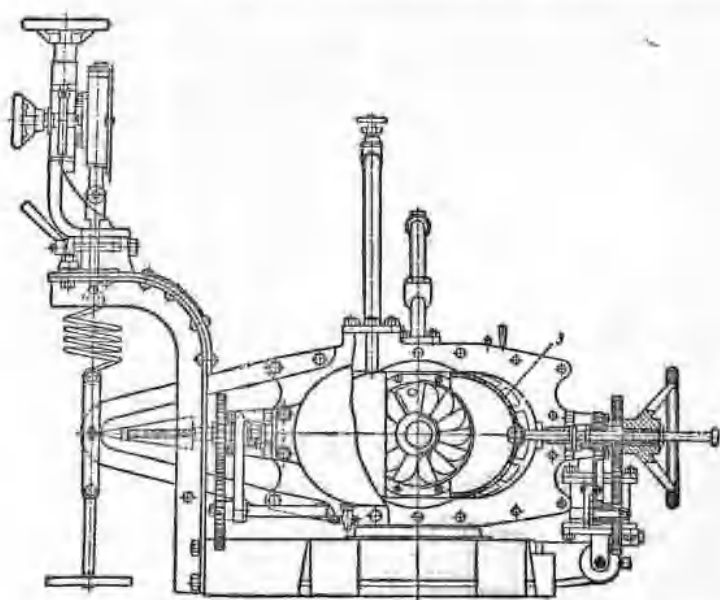


圖7 佛魯特DPX水力測功機橫向剖面圖。

側邊的控制活門4及出水管5排出。每個活門都有一個開口，旋轉活門可從上邊到下邊的位置移動，用它來控制測功機中旋轉水環的水量，也就是旋轉圓盤浸於

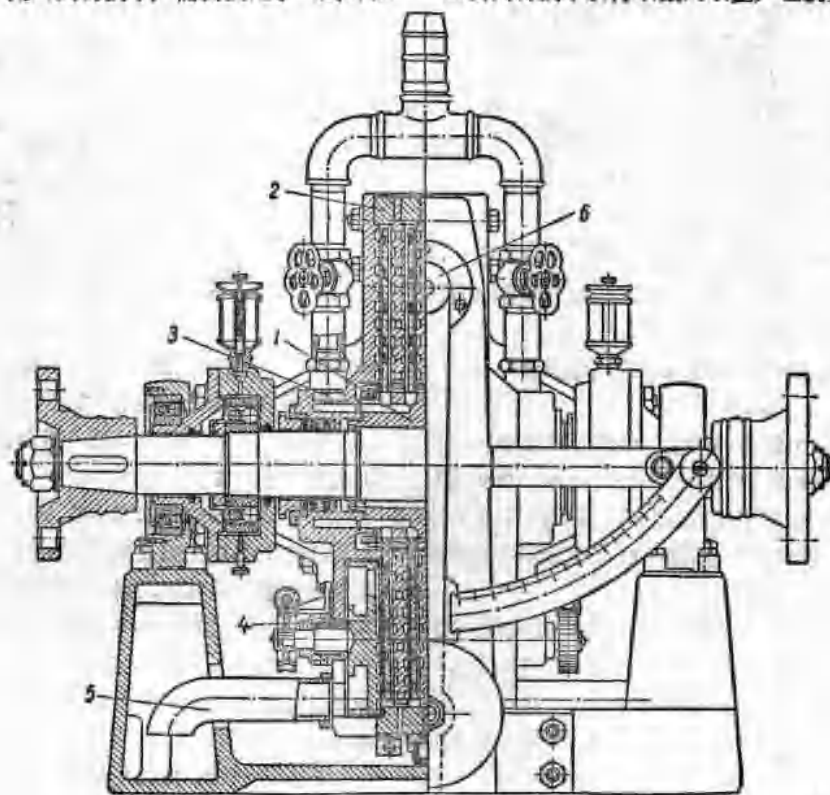


圖8 西提比盤形水力測功機的縱剖面圖。

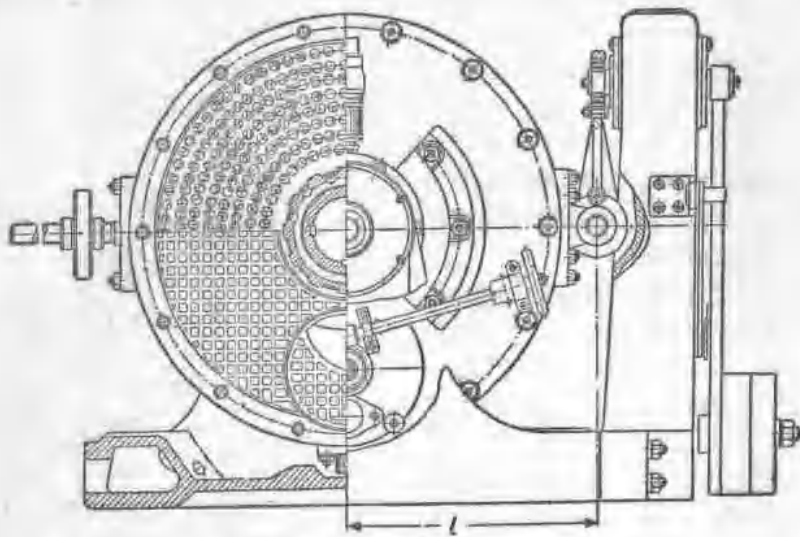


圖9 西提比盤形水力測功機的橫剖面圖。

水中的深度。圖8及圖9所示為活門排水孔在上邊的位置，這適應於在測功機中可有最大的水量，由是可產生最大的制動力矩。最後用擺式重量6來測量。

西提比測功機是可以反轉的，並且具有相當的穩定性，保養簡單，在實驗室中也不需佔用很大的地位。密里托波爾斯基(Мелитопольский)製造廠的水力測功機也已獲得了推廣。

水力測功機的主要缺點是在低轉速時沒有足夠的制動力矩。圖10所示是水力測功機的性能曲線，可以從其中看出它的缺點。

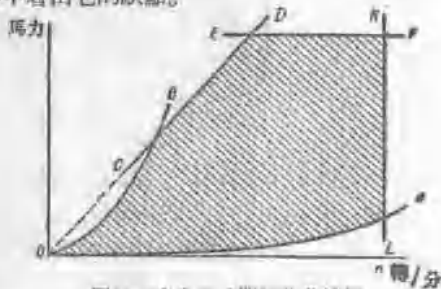


圖10 水力測功機性能曲線圖。

此性能曲線中所包括的面積是代表在各種不同轉速下某一測功機所吸收的發動機功率。

此面積是被下列各線所限制：

1) 曲線 OA 為在測功機中僅有最少水量或在佛魯特測功機中完全將活門關閉時所吸收的最小功率；

2) 曲線 OB 代表最大負荷時的制動功率(西提比盤形測功機及峇蓋爾斯測功機中最大水環量或佛魯特測功機活門全開時)；

3) 直線 CD (通過座標軸心) 為在穩定情況下的極

限功率，其扭矩不超過最大的力矩，且為在測功機設計時所假定的平穩度；

4) 直線 EF (水平線) 為自測功機中排出的水溫達到最大允許溫度時的限制功率；

5) 直線 KZ (垂直線) 為計算時所允許的最大轉速。

利用水力測功機時，發動機的有效功率可按公式(1)或公式(2)求得。機械式測功機也是利用這些公式來計算的。

氣力式制動機構 氣力式制動機構的主要類型是螺旋槳式或旋板式(圖11)，用來作航空發動機或有時也用作汽車拖拉機發動機的試驗。

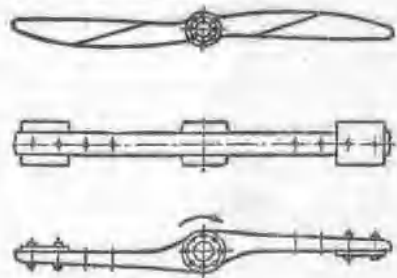


圖11 螺旋槳及旋板。

關於螺旋槳的詳細情形可參閱第19章。

為了消除由於螺旋槳發出的旋轉氣流作用於磅秤機構及發動機上所產生的誤差，在作扭矩測定試驗時，常常採用推動式的螺旋槳。

旋板本身為一葉板，它是由軸殼、槳葉及用以增加在空氣中的旋轉阻力的兩端葉板所構成。試驗需要

空氣冷卻的發動機，可採用螺旋式的葉板（或通風式的）。

轉動螺旋槳或旋板所需的功率是與空氣比重 γ_a 及轉數 n 的立方成正比：

$$N = A \cdot \gamma_a \cdot n^3 \quad \text{馬力} \quad (5)$$

此處 A 為比例係數，主要決於螺旋槳或旋板的尺寸，構造及表面情況。係數 A 可因螺旋槳或旋板直徑的加大和槳葉螺距的加大而增大。

採用上述制動的形式可能有兩種情況：1) 用已經預先校準好的螺旋槳或旋板（已知係數 A ）；2) 用未被校準的螺旋槳或旋板。第一種情況可試驗堅固地裝在試驗台上的發動機。量得轉數 n 及其周圍空氣的比重 γ_a 後，即可直接按公式 (5) 來計算其有效功率 N_e 。

應該指出，在試驗時必須保持在校準制動機構時的全部條件。這些條件，譬如制動機構至隔牆的距離都應記錄在校準本中。

這種氣動式制動機構的缺點是在記錄外特性的各點時，需更換螺旋槳或重新安排旋板的槳葉。用一個螺旋槳或不更換旋板槳葉時，則僅僅可能研究螺旋槳的特性，並且其中只有一點是屬於外特性的。

在平衡式試驗台上作發動機試驗時，可採用未經校準的螺旋槳或旋板。為了測定外特性的需要，必須有一組各種不同的螺旋槳或旋板槳葉。

在平衡式試驗台上進行測定發動機的有效功率是按轉數及力矩來計算的，此力矩有旋轉發動機固定在其上的試驗台架的傾向，其方向與旋轉軸相反。

很顯然的，假如在試驗過程中當轉數固定時，則平衡架與發動機是處於平衡狀態，所有作用於平衡架上的力及力矩必須平衡。

因此，經由螺旋槳或旋板傳達到周圍的空氣中的發動機的有效功率 M_e 必與用磅秤量得的扭矩相等。這樣，在磅秤上量得的力 P (公斤) 乘以臂矩 l (公尺) (圖 12)，即能求得發動機的有效力矩 M_e (公斤公尺)。

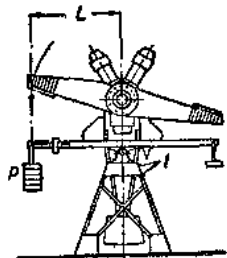


圖12 平衡架簡圖。

利用平衡式試驗台在開始試驗前並當發動機還未工作時，必須平衡整個系統，如平衡架維持在水平的中間位置上。圖中的指示器 1 即是為此目的而設置的。

在試驗台上安裝發動機時，必須使排氣的方向與試驗台的中心線平行。否則，將由於排氣的反作用而影響扭矩的測量讀數。

使用平衡式試驗台需要複雜而較貴的柔性進出燃料管、水管及機油管的裝置。

圖 12 所示是平衡式試驗台的簡圖，發動機的旋轉軸與平衡架的擺動軸不是重合的。

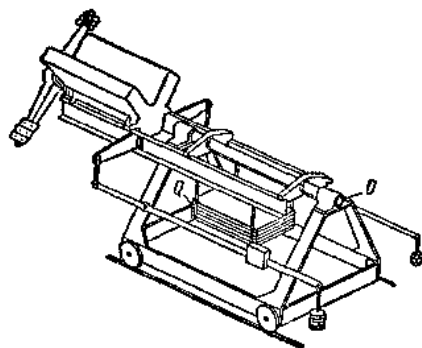


圖13 帶搖斗的平衡式試驗台。

附有搖斗的試驗台（圖 13），其平衡架的擺動軸 O 與發動機旋轉軸的延長線是重合的。如圖所示，試驗台的指示讀數誤差可以大大地降低。

為了增加試驗台搖斗的靈敏度，需裝用滾珠軸承。

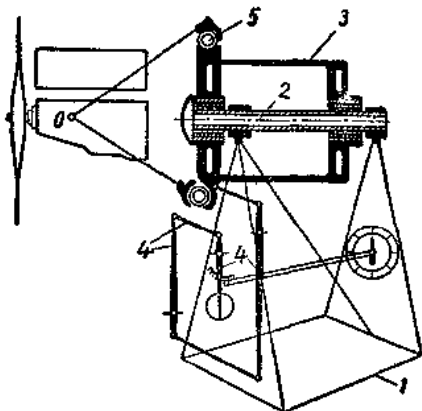


圖14 謝別列爾(Сербел)平衡試驗台簡圖。

圖 14 是一個很好的例子，它是這種式樣平衡試驗台最新設計的一種，具有一旋轉軸與其擺動軸相重合，並有測量力矩的自動指示裝置。在試驗台 1 的軸承上支承着軸 2，搖斗 3 可在此軸上自由擺動。在搖斗前端連接一組槓桿 4，由它將扭轉力矩傳至擺錘磅秤。被試驗的發動機是通過空氣輪胎 5 固定於搖斗上，以吸收振動和衝擊。

電力式制動機構與上述各型測功機相比較，電力式的優點是：電動機易於操縱，它可以不需始動機即能起動發動機，並可冷轉發動機以粗測其機械損耗。當同時用電力測功機來試驗多量的發動機時，可利用發動機的制動能變成電能，並使其經網路引出。

當發動機試驗時，通常所採用的電力測功機有：
1) 固定式；2) 平衡式。

採用固定式的直流發電機作為測功機時，發動機的有效功率可由電表上的讀數直接算出。由發動機傳至測功機的功率是：

$$N_e = \frac{I V}{736 \cdot \eta_g} \text{ 馬力,} \quad (6)$$

式中 I ——電樞中的電流 (安培)； V ——發電機電

壓 (伏特)； η_g ——測功機效率。

固定式制動機構在試驗室中採用得並不廣泛，這是由於其測定困難及其效率 η_g 亦非常數的緣故。在大多數情況下，多採用平衡式制動機構 (圖15)，即賓吉尼 (Пендель) 制動機構，它的電樞是經由靠背輪或方向節軸而與發動機的主軸相連。制動機構的固定子與水力制動機構的外殼相似，是承架在軸承上並可在一定限度內環繞電樞旋轉軸擺動。

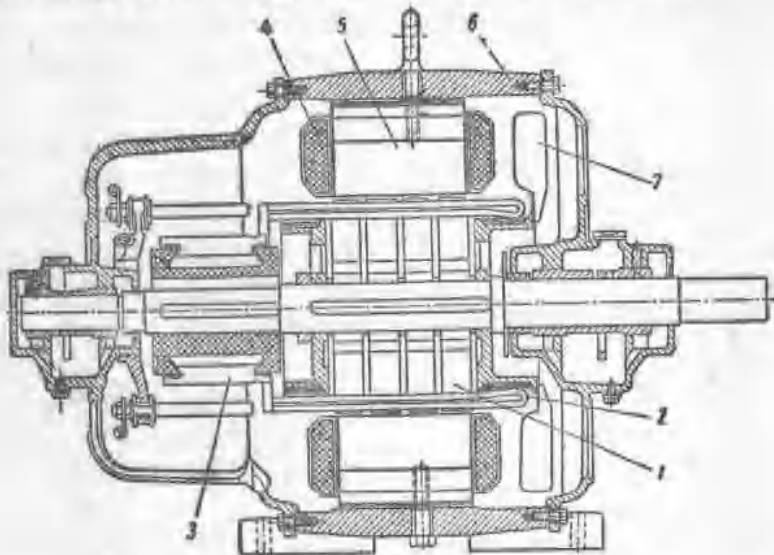


圖15 平衡式制動機構：

1—電樞鐵心；2—電樞繞組；3—整流子；4—勵磁繞組；5—磁極鐵心；6—外殼；7—通風器。

為了調整負荷的方便，多採用分別勵磁的制動機構，它的勵磁是利用外線或試驗室內整流機的直流電源。

發動機的機械能經由連接軸而傳到制動機構，再由它的電樞將其轉變為電能，因此發動機的扭矩使測功機固定子有向旋轉方向轉動的趨勢。

用以克服電樞電刷及軸承的摩擦以及使固定子趨向旋轉方向轉動 (與機械式制動機構相似) 的力矩，亦可用重量測量的。

這樣，假定通風器損耗不大，可略而不計時，則用重量測得的力矩即相當於發動機的有效力矩 M_e 。

固定在電樞上的通風器是為了沿旋轉軸的方向經固定子吸入空氣以冷卻發電機的繞組。

制動負荷可以用變更發電機的磁場強度及與電樞繞路相連的負荷電阻來調節。在進行此項調節時，必須藉電表之助來檢查，當電流小的時候，在電樞線路上不能獲得很高的電壓，或當電壓小時不能獲得很大的電流。

當把電力制動機構用作電動機來旋轉發動機時，可以很容易地測定出傳至發動機上的力矩。此力矩與使固定子向旋轉方向相反的方向旋轉的力矩相等。同樣，當在平衡式試驗台上使用螺旋槳或螺旋試驗發動機時也產生這種現象。

組合式制動機構實際上採用得最廣泛的是所謂組合式制動裝置，也就是使發動機的扭矩同時傳到兩個測功機上。發動機的扭矩 M_e 即為在每個測功機上量得的力矩之和，或用一個同時傳到兩個測功機上的扭矩的總的磅秤讀數。組合式制動機構成功的示範是西提比水力制動機構與電力制動機構的組合，用這種組合的制動機構可以利用電力制動機構來啟動及旋轉發動機並可試驗較大馬力的發動機。此外，在此種情況下可以用改變電樞電壓的方法來準確地調節負荷，這與變更在水力制動機構固定子中的水量情況是非常相似的。水力制動機構可以吸收較大的功率，並進行粗糙的調整，而電力測功機則僅能吸收較小的功率並可完成精微的調整。

制動管的選擇不論用那種型式的制動機構來進行試驗，發動機的有效功率都可按公式(2)計算。

在工作中，為了更簡便地計算出功率的數值起見，臂長 l 的選擇多決定於使功率公式的分母為一最方便於計算的數字。如令 $l=0.7162$ 公尺，

$$\text{則 } N_e = \frac{P(\text{公斤})n}{1000} \text{ 馬力。}$$

在某種情況下，當考慮構造如不可能使 $l=0.7162$ 公尺時，則 l 也可以採用其他的數值，如是功率公式中的分母同樣是很容易計算的。

$$N_e = \frac{P(\text{公斤})n}{k} \text{ 馬力。} \quad (7)$$

分母中的係數即為制動機構常數，一般都註明在測功機的說明書中

$$k = \frac{716.2}{l(\text{公尺})} \quad (8)$$

測量轉數的儀器用來測定轉數的儀器有兩種型式：1)轉數表，指示出單位時間內的轉數，相當於旋轉軸的角速度；2)轉數計，指示在一定的一段時間內轉數的總和。

根據工作的原理轉數表計有：a)離心式；b)時計式；c)電動式；d)液體傳動式。

此外轉數表及轉數計又可以分為活動式（用手操作）及固定式。

離心式轉數表有很大的穩定性，但精確度較差。這種轉數表是用來作不太精確的轉數指示，它有兩種型

式：即帶傾斜的環形重量及離心式調節器型。

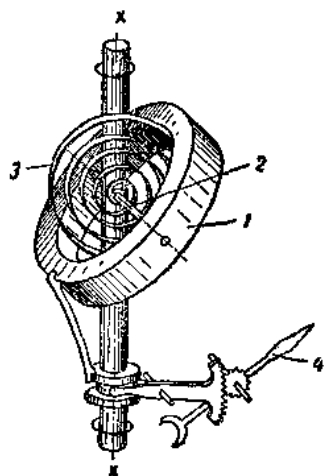


圖16 重環轉數表簡圖。

轉數表就開始作用。在轉數表機構中，是利用變速裝置來增大測量轉數的範圍。

在轉數表軸旋轉時，由於離心力的作用，使重環有

趨向於與 $X-X'$ 軸成垂直的位置。相反的，使重環與轉數表軸相連的螺旋彈簧有使重環重行返回原來傾斜位置的趨勢。重環自原來位置擺動量的大小，是決定於轉數及彈簧的彈力。發動機轉數的測定是按照轉數表的刻度及與重環間接相連的擺動指針4的指數而定。經過長久使用後，彈簧的引伸可能改變它本身的彈性，因此彈力改變得很大。

帶差速機構的離心式轉數表則沒有這種缺點。這種轉數表的離心式調速器(圖17)是利用經久不變的拉力彈簧來操縱的。與盤2相連的軸1接受發動機的轉動。盤2藉彈簧3及調速器4而壓緊盤5。調速器的旋轉是藉助於盤2與盤5之間的摩擦力。經過適當的調整在一定的轉速下，當調速器的配重6所產生的離心力勝過彈簧3的拉力時，盤2即與盤5脫離。這種調速器的傳動裝置在盤2與盤5之間的摩擦力接近於消失前可保證轉數絕對平穩。它的轉數與發動機主軸的轉數無關。

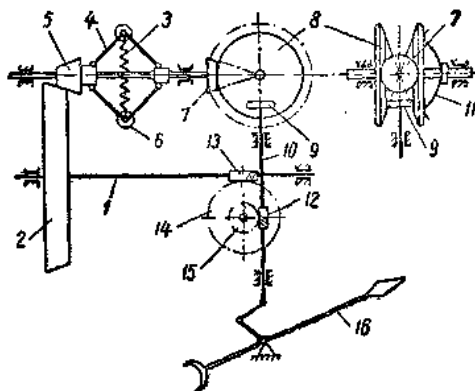


圖17 帶差速機構的離心式轉數表簡圖。

在調速器的軸上，有一傘形小齒輪7經常與兩個轉向相反的傘形齒輪8相嚙合。在齒輪8之間有一小輪9，固定於軸10上並可和其在垂直的方向移動。利用彈簧11使兩個齒輪8壓住小輪9並使之旋轉，它的轉數與它距齒輪8旋轉軸心的距離成正比。

軸10上有一螺旋形蝸桿(螺桿)12，與蝸輪15嚙合。它是經由軸1通過蝸桿13及蝸輪14來帶動旋轉的。

蝸桿12及13的螺紋方向是這樣的，即當轉數表接合時，蝸輪15有使軸10向下移動的趨勢，但小輪9的旋轉有使軸10向上昇的傾向，亦即蝸桿12沿蝸輪15旋出。

顯然的，當小輪9與齒輪8的軸心在一適當的關係位置時，由於小輪9的旋轉而軸10上升的速度與由

於旋轉蝸輪 15 使其下降的速度相等時，全部的機構以及指針 16 即維持平衡狀態。發動機的轉速愈高，小輪 9 的位置愈下降，才能使軸 10 的兩個上述運動獲得平衡，因之，轉數表的指針即更大的向反時針的方向移動。

時計轉數表可指示在一定時間內的轉數，它具有計時機件，在試驗室實際工作中多採用三秒鐘的時計轉數表(圖 18)。

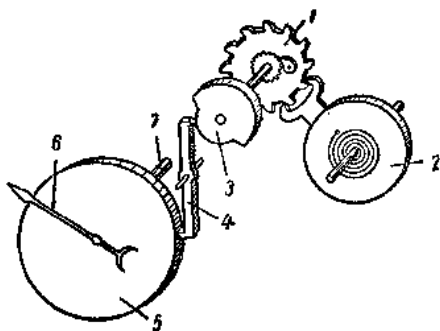


圖18 時計轉數表原理示意圖。

轉數表有一按鈕(未示於圖中)，將它按下後即旋緊計時機件。當按鈕放鬆時，齒輪 1 即開始轉動。這個齒輪旋轉的速度是由附有棘齒的平衡輪 2 來控制。在齒輪 1 的軸上有凸輪 3，當它轉動一秒鐘的過程中即將槓桿 4 放鬆三秒鐘，由於輪 5 與指針 6 相連，並通過軸 7 與發動機軸相接合，依據發動機軸的轉數而使它在三秒鐘內旋轉一個角度。測量完畢後，可按第二個按鈕(未示於圖中)以使指針恢復到零的位置。三秒鐘轉數計的測量精確度可以達到 $\pm 3\%$ 。轉數計刻度盤的分度是使指針的指示不是表示在三秒鐘內的轉數，而是在一分鐘內的轉數。

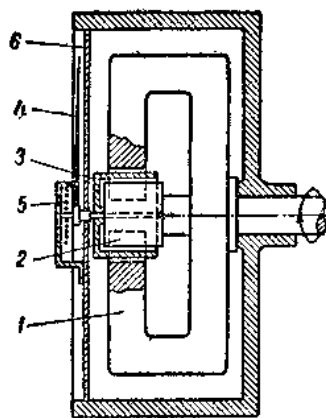


圖19 誘導式轉數表簡圖。

電動式轉數表是基於導磁性增加的誘導式或其本身即為交流的小型發電機。

圖19所示即為誘導式轉數表簡圖，由於它擺動部分的靈敏度較差，故僅用於汽車的速度表，在發動機帶

動的旋轉軸上，固定有鋼質的磁鐵，及鐵轉子 2。

在磁極與轉子之間的環形空隙內裝有一鋁質圓

3，在它的軸上固定一針 4。

一端固定在圓盘的軸上，而另一端裝在表板 6 支架上的螺旋形彈簧 5 產生一個力量，可藉以阻止圆盘與磁鐵一同轉動。磁鐵的轉數愈大，所產生帶動圆盘的力量也愈大，因此彈簧的扭轉及指針自它原來位置的擺動角度也愈大。

發電機式的電動轉數表是由一個交流的小型發電機及一表板刻度是轉數的電壓表所組成；電壓表可以裝在距測量轉數處任何距離的位置上。

這種儀表的缺點是它的測量機構比較脆弱，並且由於發電機的機械性能也可能影響指數之正確性。

液體傳動式轉數表的本身即為一離心泵，它所打出水頭的高低可由玻璃管中液面高度來測定，此水頭的高低是與轉數成正比的。轉數表水泵旋葉一般都是由軟軸來帶動，實用中多採用卡爾那烏霍夫 (Карнаухов) 式轉數表(圖 20)。在由發動機帶動的軸 1 上裝有一帶徑向鑽孔 3 的轉子 2，當轉子旋轉時，液體即

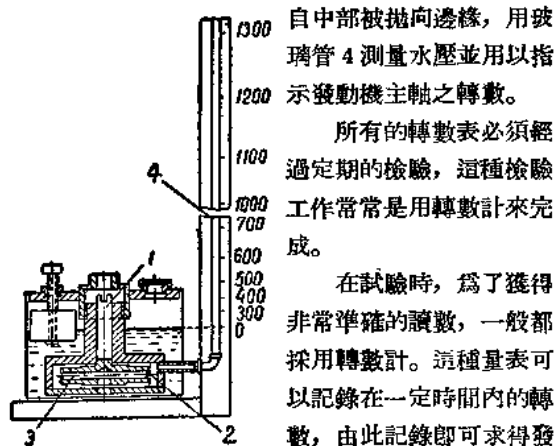


圖20 卡爾那烏霍夫液力傳動轉數表。

自中部被拋向邊緣，用玻璃管 4 測量水壓並用以指示發動機主軸之轉數。

所有的轉數表必須經過定期的檢驗，這種檢驗工作常常是用轉數計來完成。

在試驗時，為了獲得非常準確的讀數，一般都採用轉數計。這種量表可以記錄在一定時間內的轉數，由此記錄即可求得發動機每分鐘的轉數。

轉數計(圖 21)是由

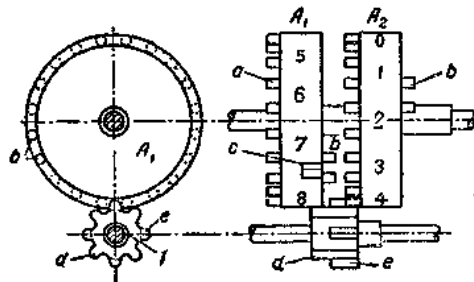


圖21 轉數計簡圖。

一組都註有十個數碼的齒輪所組成。這些齒輪中的第一個是由發動機帶着轉動，當發動機軸每轉一轉時，齒輪即旋轉 $\frac{1}{10}$ 轉。在輪的邊緣上印有從 0 到 9 的數碼，當發動機軸每轉一轉時，此數碼則順序地在一個小

開口處現出以便觀測。當第一個齒輪每次由 9 轉到 0 時，即藉中間小齒輪的轉動，帶動其後的第二個‘十位’的齒輪轉動 $1/10$ 轉。第二個‘十位’齒輪同樣的將這種動作傳到第三個‘百位’齒輪上，其他類推。這樣，從觀測開口中所讀出的數目即為在一定時間內發動機主軸的轉數。

每一個有數碼的齒輪(圖21)上，其一邊有 20 個齒銷 a ，而另一邊則在凹槽 c 的邊側有兩個齒銷 b 。每一對有數碼的齒輪是由一中間小齒輪使之嚙合，此小輪有 8 個齒，其中有四個齒 d 是全長的，而另外四個齒 e 則僅有一半長度。當齒輪在如圖所示的位置時，齒輪 A_2 即不可能轉動，因它將接近齒輪 f ，推動兩個長齒 d 入齒輪 A_1 的圈內，當時齒輪 A_1 的凹槽 c 轉到與齒輪 f 相接近，則齒銷 b 和齒 d 相嚙合並將齒輪轉動兩個牙齒。當此長齒經過凹槽 c 面和中間齒輪接近時，其另一端亦轉動齒輪 A_2 的兩個齒，因之在觀察開口上顯示出新的數碼。齒輪 A_2 在順序的右面同樣也有兩個裝在凹槽邊側的齒銷 b ，並藉中間齒輪之助在齒輪 A_2 旋轉一周時將下一齒輪旋轉 $1/10$ 轉，其他類推。

當應用上述轉數計來記錄轉數時，還需要利用停錶。

應用這樣的手轉數計時，停錶和計數器機構是相結合在一起的。在轉數計和發動機軸相接合的瞬間，停錶自動的與轉數計機構共同開始和在停止測量轉數時共同停止。在這種情況下，儀器記錄的時間即發動機軸作用在計數器上示出的轉數所經過的時間。

指示功率的測定

用實驗來測定發動機的指示功率有下列幾個方法，例如：

- a) 利用電力制動機構轉動發動機；
- b) 汽缸依次熄火；
- в) 自示功圖上求得。

最後一個方法是比較最可靠的，但同時也是比較最繁雜的，特別是用來測定高速發動機時，因為需要採用特殊的示功儀，使在進行繪製示功圖時能保持高度的準確性。此外，為了獲得接近於實際的指示功率，必須有準確的校正彈簧及在圖紙上有正確的死點和大氣壓力線。

為了用指示方法求得整個發動機的 N_i ，除了必須研究從每一汽缸中得到示功圖的方法外，還需作適當的處理(例如改變為 $P-V$ 座標)和測量，以求得每一汽缸中的平均指示壓力和指示功率。總指示功率等於

每個汽缸中指示功率之和。

示功圖同時也可測定有效功率，由是可求出發動機的摩擦功率及其機械效率。

第一個測定 N_i 的方法是利用平衡式電力制動機構，使之作用於電動機來轉動發動機以求得其摩擦功率 N_{mp} ，在這種情況下，

$$N_i = N_e + N_{mp} \text{ 馬力} \quad (9)$$

發動機須在熱的情況下並在所研究的轉數下來測定摩擦功率 N_{mp} 。

但上述的方法是不够精確和不可靠的，因為當轉動發動機到相當程度後，發動機摩擦面上強大的負荷和熱的工作情況都將被改變，首先改變的是汽缸壁上潤滑油的黏性。

為了精確的求得 N_i ，不宜採用轉動發動機的方法，此法多用來作新的或剛剛修理過的發動機的走合運轉，以評定其比較近似值。

第二個用汽缸熄火的方法來測定 N_i 也是近似的，這是由於其本身也部分地存在着第一種方法的情形。它是基於這種假定，即摩擦損失與負荷也就是與工作汽缸的數目無關。

測量某一個汽缸熄火時的有效功率必須在此汽缸剛剛熄火時進行，因為某汽缸熄火時間長了以後，該汽缸溫度的情況及摩擦損失就會產生很大的變化。此外，為了重新恢復汽缸的熱狀態，在每次熄火試驗後應舉行一次發動機全部功率 N_e 的檢驗測量。

必須注意的是由上述方法測定的功率 N_{mp} 中包括着它本身的排吸損失。

指示方法是測定發動機指示功率最可靠的方法。

為了測定汽缸內的氣壓，所採用的示功儀為：1) 做僅測定圖上的一個點；2) 給出每一循環的壓力變化曲線。

第一種示功儀按它的構造是比較簡單的，在試驗時，例如，測定最大的燃燒壓力常被採用，但不適於用來測量指示功率。

測量最大壓力的測壓計(圖 22)有單向氣流活門 1，四

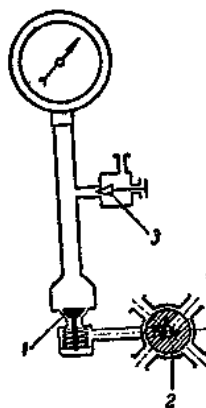


圖22 測量最大壓力的測壓計簡圖。

○ 原書是 $N_i = N_e - N_{mp}$ ；式中的‘-’號可能是排印的錯誤，應改為‘+’號。譯者

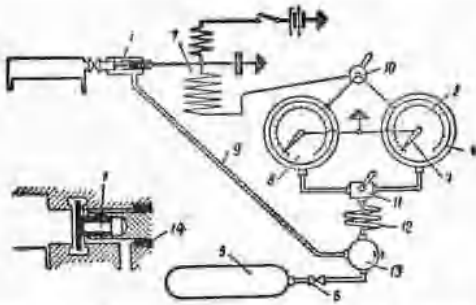


圖23 測量最大壓力用的范葆爾-道秘示功儀簡圖。

通活門2是爲了使測壓計和四缸發動機的每個汽缸相通。放氣活門3是爲了在測量終了後將氣體從測壓計內排出用的。

范葆爾-道秘 (Фарнборо-добрби) 示功儀 (圖23)

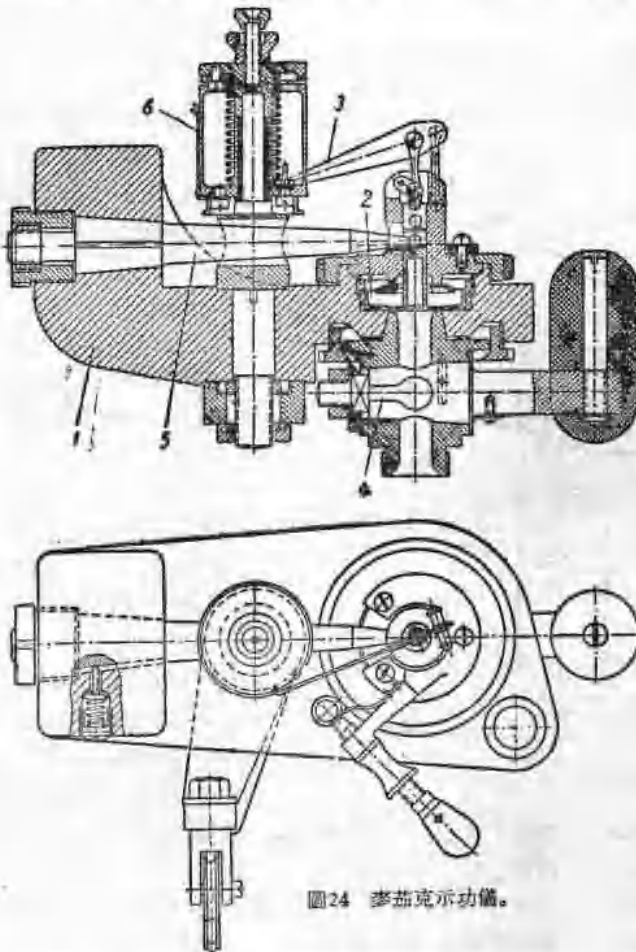


圖24 麥茄克示功儀。

的設計是爲了繪製按每一循環主軸旋轉角度展開的示功圖，並從它那簡單的形像中很容易量出最大燃燒壓力或最大壓縮壓力來。

示功儀的工作原理主要在於汽缸內壓縮的氣壓和作用在對邊的特殊板片活門1上的壓縮空氣壓力相平衡。此活門具有很小的行程，並決定於空氣壓力與汽缸內氣體壓力差數的正負，它可以被壓向汽缸的一邊或相反的一邊。活門的本體與線圈的初級電路相連，並將電路搭鐵（儀器殼體）。在改變壓力差數的符號時，活門1由一支承環跳向另一個，並且斷開初級電路。此時線圈感應高壓電流，在測壓計2的刻度上，指針3和導電環4之間發生跳火。測定汽缸內氣體最高壓力是按下述方法進行的：由氣罐5供給氣壓要恰好勝過汽缸最高氣壓的空氣。此壓力由測壓計的指針示出。但此時火花不發生，因初級電路未被活門1所斷開。然後慢慢的自此系統內將空氣放出（活門6是關閉着的），則此時壓力下降，測壓計的指針也指向低壓力方面。當空氣

壓力達到汽缸氣壓時，活門起始跳開，並在測壓計的指針與環間有火花跳過。當開始顯示火花時，刻度盤上的壓力即相當於汽缸內氣體的最高壓力。在發動機工作時，此即爲最高燃燒壓力。但當轉動發動機時，則爲最大壓縮壓力。在圖23中：7——線圈；2——指示最高燃燒壓力（到52.5公斤/公分²）的測壓計；8——指示最高壓縮壓力（到14公斤/公分²）的測壓計；9——直通發動機的主要氣路；10——調換器；11——調換活門；12——與管9同樣長度的螺旋管；13——分佈器；14——絕緣體。

所研究式樣的示功儀可以用來測定震爆和早燃時的壓力。

爲了獲得每個循環壓力變化的曲線，亦即發動機的指示功率，常採用下列的示功儀：
a) 在一次循環中得出示功圖；6) 在一定時間內得到若干循環的示功圖，普通多在一分鐘的時間內。各種示功儀由於工作原理的不同，而可分成若干類型。例如，示功儀可分爲機械式、光學式、電動式及壓電式等。

麥茄克 (Mairack) 示功儀 (圖24) 是帶有微小自然振動週期的活塞機械式示功儀。用一端緊固在基體1上的桿式彈簧5以平衡其慣力。此種示功儀可以在 $n=2000$ 轉/分甚至更高的轉速下記錄汽缸每一循環的壓力。燃燒室裏的空間通過活門4與帶有活塞2的示功儀汽筒相通。這個活塞固定在桿式彈簧5的一端，在彈簧強有力的彈力作用之下，活塞永遠被壓向下面。當發動機燃

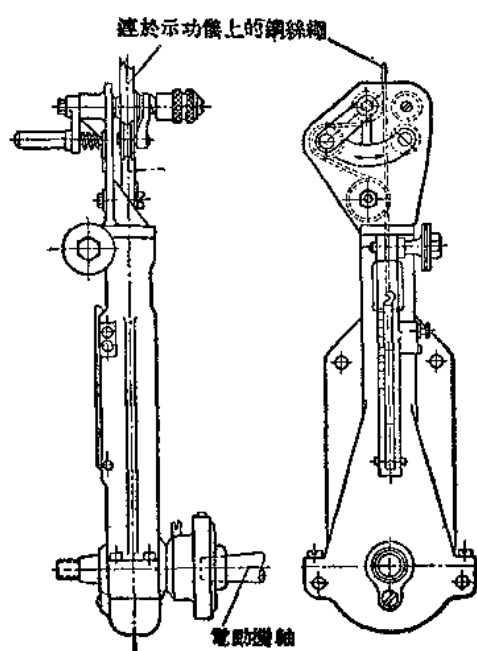


圖25 麥茄克示功儀的牽動裝置。

在示功儀的轉鼓上夾有記錄紙，當發動機工作時，記錄紙的轉動角度與發動機汽缸內活塞的位移成正比例，則記錄桿3可記錄出在某一比例下 $P-V$ 座標上的示功圖。

轉鼓的牽動裝置（圖25）是由安裝在機匣內兩軸承間的曲軸機構來完成。在曲軸上連接一可變長度的連桿，為的是使其長度對曲軸半徑的比數要盡可能的等於發動機上的同樣比數。在連桿上端連一鋼絲繩接於示功儀的轉鼓上。在牽動裝置的上端有一停止的設備，用於當發動機工作時可使轉鼓停止運動以便更換紙片。

麥茄克示功儀除了強有力的桿式彈簧外，還備有軟彈簧用以測定吸氣及排氣衝程時的壓力曲線。

幼格茲(Iorgau)示功儀亦屬於機械式示功儀範圍之內，但它是在幾個循環之內獲得示功圖的。幼格茲示功儀是一特別的示功裝置，它可用普通的慢速活塞式示功儀來測出高速發動機的示功圖。

幼格茲示功儀（圖26）是由下列三個主要部分所組成：1) 滑動活門指示機構；2) 普通慢速活塞示功儀；

3) 由發動機連向滑動活門的萬向節傳動機構。

普通活塞示功儀的汽缸1是通過運動在導管3中的滑動活門2上的孔，而與被試驗的發動機燃燒室相連接。在示功儀與滑動活門間的連接管子中，需要充滿機油。

滑動活門被曲軸4上的兩個連桿帶動而運動。曲軸尾端連接在齒輪11的軸上，齒輪11由游星齒輪5帶動，游星齒輪5自由地固定在齒輪6的小軸上，而齒輪6是由發動機帶動萬向節及齒輪7而被旋轉。

齒輪6與齒輪7的齒數相同，換句話說就是發動機及萬向節轉一轉，齒輪6也轉一轉。在齒輪8固定的軸上也固定着蝸形齒輪9。它可用手或由發動機傳來的低轉速經蝸桿10而轉動。

齒輪11、8和游星齒輪5的系統安裝在齒輪6上，形成圓柱體游星式的差速裝置。

當蝸形齒輪9與連接在一起的齒輪8不動或齒輪

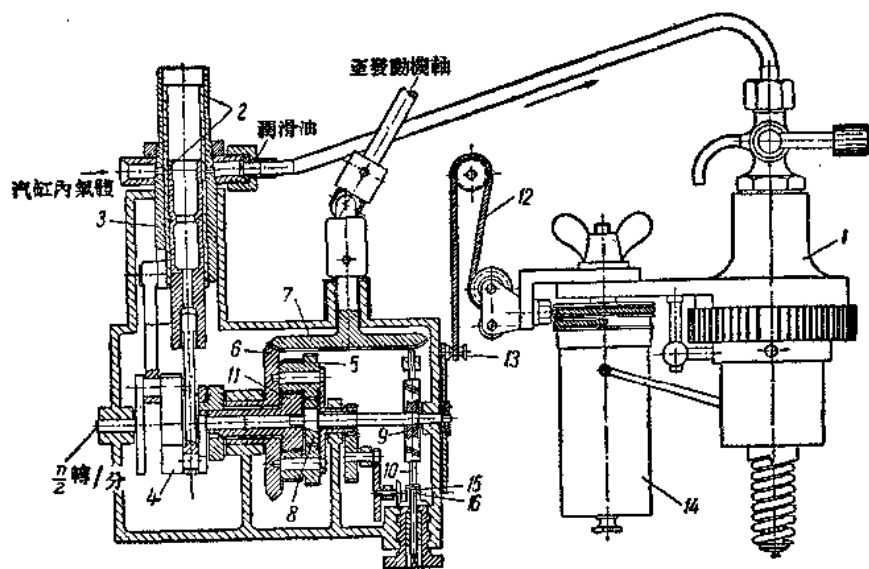


圖26 幼格茲示功儀裝置簡圖。

燃燒室的壓力增加時，活塞即可彎曲桿式彈簧而得到垂直方向的位移，此位移與氣壓成正比。活塞的運動通過槓桿機構傳到記錄桿3，其尖端可作和轉鼓6表面平行的位移。由於桿式彈簧和燃燒室內氣壓變化的關係而使活塞2往復的移動，並使記錄桿3依放大的比例而移動。記錄桿3為了減輕質量及具有同樣的強度的形狀，都是用輕質合金製成。

6 與發動機曲軸的轉速相同時，則曲軸 4 將以減半的發動機主軸轉速轉動。

這樣，當齒輪 8 不轉動而每當發動機主軸旋轉兩轉即一個循環時，則滑動活門 2 上的小孔與導管 3 上的小孔相重合一次，而使發動機汽缸與示功儀的汽筒 1 貫通一瞬間。

此後當滑動活門機構上的小孔互相重合時，示功儀汽筒中在非常短的時間內即產生了與發動機汽缸內某一活塞位置時氣體壓力相等的壓力。例如，若滑動活門 2 與導管 3 上的小孔恰當活塞在壓縮行程的中途時互相重合，則示功儀汽筒內的壓力即為在示功圖上某一點時汽缸中數個循環內全部壓力的平均值。

現在若用手柄或螺桿 10 稍轉一下齒輪 9 以配合齒輪 8 的差動，則小孔的重合將發生在發動機曲軸的另一個位置。在這個循環中，示功儀汽筒將與發動機燃燒室在另一時間相通。在這個時間中，示功儀中產生了新的相當於發動機活塞新位置的壓力。

慢慢的旋轉齒輪 9 兩轉，即可在曲軸兩轉之內得到發動機汽缸內活塞所有的位置。此時示功儀可記錄發動機整個循環工作時的壓力。

記錄裝置的轉鼓是用軟繩 12 通過滑輪及圓盤上的銷子 13 連接的，圓盤用手或傘形齒輪 15 和 16 啮合後用發動機本身帶動而和齒輪 9 一起旋轉，並按照一定的比例重複着活塞的運動。雖然如此，但由於在滑輪與圓盤銷子間軟繩長度有少許的改變，則在某種情況下轉鼓旋轉角度將不是絕對的與活塞的位移成比例，因此活塞的實際位移亦將按不大正確的比例顯示在示功圖上。

示功儀的筆是按 $P-V$ 座標在夾於轉鼓 14 的小紙片上描繪出整個示功圖。如此當轉動轉鼓時，紙片的位移將相當於發動機活塞的位移。與轉鼓中心軸平行的示功儀筆的移動是與發動機汽缸內的壓力成相當的比例。

指示機構一定要按下述的方法安裝在發動機上，即當活塞在上死點時，滑動活門的小孔應與導管小孔相重合，齒輪 9 上的銷子須使轉鼓 14 保持在相當於邊緣的位置。

如果齒輪 9 上的銷子和同一軸上的轉鼓安裝在一起，並在此轉鼓的端部固定有軟繩 12，則當齒輪 9 旋轉時，軟繩將圍繞着轉鼓上而使另一帶有紙片的轉鼓轉動，它所轉動的角度相應於發動機曲軸轉動的角度。

用這種方法可以獲得按發動機曲軸轉動角度展開的示功圖。

除了獲得示功圖以外，幼格茲示功儀可很成功地用來研究示功圖中的任何一點，例如，研究轉數對於汽缸內進氣行程開始和終了時氣壓的影響。此時齒輪 9 必須保持不動，並通常用氣壓計或水銀壓力計來代替活塞示功儀。

馬傑爾(Мадер)微小示功儀屬於活塞機械式示功儀的範圍，它可在轉速為 3000 轉/分時毫不變形地繪出一個循環的示功圖來。為了減小自然振動和運動機件慣性力的影響，這種示功儀是採用小型機件及強力的螺旋彈簧，並使示功圖的尺寸可縮小到 2×2 公厘。

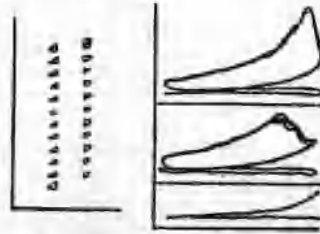


圖27 由微小示功儀測得的正常和放大的示功圖。

圖27所示是由這種示功儀測得的示功圖。示功儀有截面面積 1 公分²的活塞。在活塞連桿的頂端連接着一個細小的指針，指針在用煙燻過的玻璃板上劃出示功圖

來。在玻璃板上可繪出 24 個示功圖。在試驗完了後，把它從儀器上取下來並浸入加拿大香膏溶液中，以凝固測出的示功圖。可以利用特殊的描繪放大器或照像機來放大示功圖。

繪圖針固定在特殊的彈性固定子上，此固定子藉發動機主軸帶動的曲軸而成為一擺動運動。如此可在圖上重複的產生發動機活塞的位移。

馬傑爾示功儀的主要優點是緊湊，輕便和容易裝在發動機上。其缺點是在放大圖上的線條相當粗，以致針尖和活塞的摩擦損失不易在求示功圖的過程中看出來。

高普金桑(Гопкинсон)光學示功儀非常緊湊，它

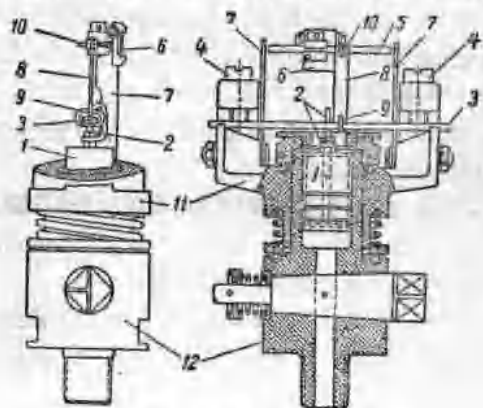


圖28 高普金桑光學示功儀。