

燃氣輪及其新發展

劉仙洲著

商務印書館發行

燃氣輪及其新發展

劉仙洲著

商務印書館發行

中華民國三十六年二月初版

命(99853)

燃氣輪及其新發展一冊

定價國幣壹元伍角

印刷地點外另加運費

著者 劉 仙 洲

發行人 朱 經 農

上海河南中路

印刷所 商務印書館

發行所 商務印書館

各地

* 版 權 所 有 *
* 翻 印 必 究 *

目 錄

第一章 燃氣輪在熱機中之地位	1
1. 熱機機構之兩大類	1
2. 熱能加入工質之兩種方法	2
3. 蒸汽機之缺點	2
4. 內燃機之發展	3
5. 蒸氣輪之發展	3
6. 燃氣輪在熱機中之地位	3
7. 燃氣輪之所以發展較晚及最近達到成功之故	4
第二章 燃氣輪發展略史	6
1. 走馬燈	6
2. Smoke Jack	6
3. John Barber 之燃氣輪	7
4. Stoltze 之熱空氣輪	8
5. 爆炸氣輪	9
6. Holzwarth 之爆炸氣輪	11
7. Armengaud 與 Lemale 之定壓燃燒氣輪	14
8. Soc. Anon. des Turbomoteurs 之燃氣輪	15
9. 瑞士 Brown Boveri 廠對於燃氣輪之貢獻	16
10. 燃氣輪所用之燃料	19
第三章 燃氣輪之應用	20
1. 在化工廠中用以增壓	20
2. 用於 Velox 鍋爐	21

目 錄

3. 用作備用或最高載荷之動力單位	22
4. 用於機車	23
5. 用於輪船	25
6. 用於風洞	25
7. 用於化鐵爐	26
8. 燃氣輪與蒸汽輪合用	26
9. 燃氣輪與內燃機合用	26
第四章 燃氣輪之理論及各方面之關係	28
1. 燃氣輪之兩大類	28
2. 燃氣輪理論上之循環	28
3. 燃氣輪之效率，壓氣機之效率及合併效率對於全單位熱效率之關係	32
4. 晚近燃氣輪所以採沿軸流動式壓氣機之故	34
5. 燃氣入燃氣輪時之溫度對於全單位熱效率之關係	36
6. 壓力比與燃氣溫度對於全單位熱效率之關係	39
7. 由壓氣機出口處至燃氣輪入口處壓力降落對於熱效率之關係	40
8. 壓氣機吸入空氣之溫度對於純功出量之關係	41
9. 高度對於純功出量之關係	41
10. 燃氣輪速度之控制	42
第五章 燃氣輪之新發展與新應用	43
1. 增進燃氣輪效率之方法	43
2. 回熱法	43
3. 重熱法	44
4. 中間冷卻法	46

燃氣輪及其新發展

5. 兩軸裝置	49
6. 採用合口循環以增大燃氣輪之能量	51
7. 燃氣輪之新應用——即用作飛機之推進機	54
第六章 燃氣輪與蒸汽輪之比較	57
1. 就理論上所採之循環言	57
2. 實例之比較	58
3. 燃氣輪之其他優點	60
第七章 結論	62

燃氣輪及其新發展

第一章 燃氣輪在熱機中之地位

(1) 熱機機構之兩大類 由熱能變為機械能之發動機，統謂之熱機。就機構言，可分為兩大類：其一係將熱能加於工質以後，由工質流動速度之變化發生衝動力或反動力，直接使機軸發生迴轉運動。此一類可簡稱之為迴轉式。其二係將熱能加於工質以後，由工質之壓力先推動一活塞，使發生往復運動。再經連桿曲柄等機件間接使機軸發生迴轉運動。此一類可簡稱之為復往式。

在迴轉式，工質加入熱機係連續的有少數例外。故在同一時間內，工質加入之量較多。即同一功率之熱機，其機體可小。在往復式，工質加入熱機係間歇的。故在同一時間內，工質加入之量較少。即同一功率之熱機，其機體須大。又因在迴轉式，機軸所發之迴轉力比較均勻。不需要其他機件加以調節。在往復式，傳至機軸之迴轉力異常不均。必須有飛輪等機件加以調節。

就各種熱機之歷史言，迴轉式本發明較早。如公元前 120 年 Hero 所發明之錐形反動式蒸汽輪；1150 年左右，中國已有記載之走馬燈；1550 年，西洋已有記載之 Smoke Jack；

1629年，義大利 Branca 發明之雛形衝動式蒸汽輪等皆是。惜均未能達到大規模成功之地步。而往復式之蒸汽機乃先行成功。直至1882年，此方面方又有進展。

因蒸汽機初期之應用只係排水。而當時之排水又只知採用往復運動。故1705年，Papin 之蒸汽機，最先採用活塞。同年Newcomen 所製之大氣機，及 1763年，James Watt就 Newcomen 之大氣機大加改良而製成之蒸汽機，仍係採用活塞之往復運動。至 1781 年，始將用以排水之一邊易為迴轉運動，得到普通所謂橫梁機 (Beam Engine) 之式樣。對於應用方面可謂大為推廣。因全機最後之運動，不僅限於往復運動之排水，而易為一迴轉運動之原動軸，可帶動任何工作也。迨後又加簡化，將橫梁及立柱等均取消，使活塞直接連於一橫頭。再由連桿曲柄等件傳於機軸，使發生迴轉運動。直至現在，約一百六十年之時間，往復式蒸汽機之主要機構可謂無甚變化。

(2) 熱能加入工質之兩種方法 在所有熱機，熱能加入工質之方法計有兩種：其一為直接加熱。即將燃料混於工質或噴入工質而燃燒之。所生之熱能即直接加於工質。此種方法可簡稱之為內燃式。其二為間接加熱。即將工質納入一含器之中，而在含器以外加熱。熱能由傳導而間接加於工質。此種方法可簡稱之為外燃式。在內燃式，熱之加於工質係直接的，故損失較少而效率高。在外燃式，熱之加於工質係間接的，故損失較多而效率低。

(3) 蒸汽機之缺點 蒸汽機，就機構言，屬於往復式。就熱能加入工質之方法言，又係外燃式。故其熱效率甚低。當 1850年，Redtenbacher 曾用書面向 Zeuner 提出意見，稱：「製造

及應用蒸汽之基本原理已屬錯誤！在不遠之將來，吾人對於熱之性質及效應所知更爲明晰之時，希望蒸汽機將被淘汰！」。此言固有相當根據也。

(4) 內燃機之發展 1860年，法人 Lenoir 第一次製成可以應用之內燃機。但其機構仍完全與雙動式之蒸汽機相同。1878年，德人 Otto 製成四程循環之內燃機，爲晚近汽車及飛機上採用最多之一種。1879年，英人 Clerk 製成二程循環之內燃機；1893年，德人 Diesel 製成著名之 Diesel 油機。自此以後，內燃機在各種熱機中佔有甚重要之地位。

在內燃機，因熱能加入工質之方法係直接加入，故熱效率提高。惟機構方面，仍係採用蒸汽機之往復式。對蒸汽機言，可謂只改良其缺點之一半。

(5) 蒸汽輪之發展 如本章第一段所述，熱機最初之發明，本爲蒸汽輪。但自蒸汽機實際成功以後，蒸汽輪之發展遂告停頓。至1882年，瑞典人 De Laval 始依據 Branca 之原理製成實用之衝動式蒸汽輪。1884年，英人 Parsons 始依據 Hero 之原理製成實用之反動式蒸汽輪。（實際係衝動力與反動力合用，與 Hero 之原理微有不同）。此後因單級蒸汽輪速度失之太高之故，又發生所謂速度多級式，如 Curtis 蒸汽輪及壓力多級式，如 Rateau 蒸汽輪。或兩種合用。或衝動式與反動式合用。最近四五十年以內，所有大動力廠，除水力發電廠不計外，幾完全爲蒸汽輪之世界。說者謂：蒸汽循環得以延長其壽命，實蒸汽輪之發展有以致之。亦有相當理由。

因蒸汽輪係直接發生迴轉運動，即蒸汽機之另一缺點得以改良。惟工質受熱仍係外燃式，致熱效率不如內燃機之高。

(6) 燃氣輪在熱機中之地位 燃氣輪在理論上可謂兼內

燃機及蒸汽輪兩方面之優點。即就熱能加入工質之方法言，屬於內燃式；就機構言，又屬於迴轉式。將蒸汽機之兩種缺點均加以矯正。故在理論上言之，實為最理想之一種熱機。

(7) 燃氣輪之所以發展較晚及最近達到成功之故 燃氣輪所以發展較晚之故，有以下數種原因：

(a) 在過去四五十年以內，因蒸汽輪頗為成功；由熱能直接變為迴轉運動之機械能之主要目的已經達到。故對於此方面之研究，注意者遂減少。

(b) 欲使燃氣輪之熱效率能與蒸汽輪之熱效率相競爭，則燃氣入燃氣輪時之溫度須高（理由詳後）。但溫度高時，實際上又有兩種困難發生。即（一）根據材料試驗之結果，知任何鋼類，當溫度高至 1000°F 時，其抗牽力即約損失一半。且在高溫度與高速度之下，尚有所謂 Creep Stress（即一種金屬材料，在高溫度之下運動時間甚長時，恆發生一種緩慢的應變。反抗此種緩慢應變之應力。謂之 Creep Stress）之問題發生。（二）當燃氣溫度過高時。輪葉之表面難免發生氧化。因高溫度之氣體噴入時與一氧化焰相似。發生氧化層後。再被後噴入之氣體所吹掉，結果等於漸被侵蝕。

(c) 因(b)項之原因，燃氣入燃氣輪時，其溫度又須有一定之極限。欲使溫度不超過此允許之極限，普通採用之方法為對於燃料燃燒後所生之氣體，再混以多量之空氣（有人試用噴水等其他冷卻方法，但更為困難）。而此多量在一定壓力下之空氣，須由燃氣輪自帶一壓氣機以壓縮之。倘壓氣機之效率不高至一定之程度，則燃氣輪所發之功或不足供給自身壓氣之用。致全單位無純功出量之可言。

以上種種困難，在從前幾無法克服。故對於燃氣輪雖有不

少熱心研究試驗之人，但所得之熱效率總失之過低。最近因有下列三方面之助力，始達到成功之地步：

(甲)冶金學家已得到能抗 1200°F 高溫之合金。且在不甚高之壓力下，能長時間工作。

(乙)空氣動力學試驗家得到能設計較高效率之沿軸流動壓氣機 (Axial Flow Air Compressor)。

(丙)根據蒸汽輪多年之經驗，能設計較高效率之燃氣輪。能使燃氣輪及其所帶動之壓氣機效率均較高，並得到能抗高溫之合金以製造輪葉，此種理想之熱機遂得以成功。將來倘在冶金方面再有更進一步之發展，使能用之溫度更高，則機構方面有蒸汽輪之優點，而熱效率方面有內燃機之優點，結果燃氣輪之地位當為各種熱機之冠。

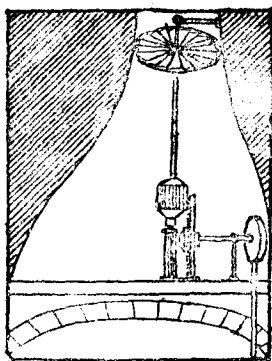
第二章 燃氣輪發展略史

(1) 走馬燈 就目下所得之史料言，吾國在每年燈節時所玩之走馬燈，實可稱之為燃氣輪之始祖。其構造係在立軸之上部，橫裝一葉輪。俗名曰傘。各葉片之裝置法，與普通之風輪相同。傘下在軸之近旁置一燈或一燭。當燃燒時所生之燃氣上衝，衝動葉輪使之迴轉。軸之中部，沿水平方向縱橫裝置數條細鐵絲。鐵絲外端各粘附紙剪人馬等。將上述裝置立置於用薄紙所糊之燈籠中。軸之上下兩端裝置於光滑軸承之內。當夜間燃燈後，燃氣上衝，紙剪人馬隨軸迴轉，投其影於燈籠之紙上。自外觀之，極饒趣味。更有在前面多裝一外層者。使只佔下段，不妨礙中部之影。在外層之內，裝置數紙人，或附以他物，使其一手一足或一頭，由一細鐵絲通於內層。一面在內層立軸之下部，橫裝一鐵絲。使每次旋轉至前面時，即撥動由外層伸入之鐵絲一次。結果外層之紙人遂發生相當動作。

走馬燈發明之年代，尙未得到精確之記載。惟在范成大上元節物詩中，有「轉影騎縱橫」之句。自註「馬騎燈」。姜夔觀燈詩，有「紛紛鐵馬小迴旋，幻出曹公大戰年」之句。按范成大係南宋高宗年間（1131—1162）進士。故斷定走馬燈之發明，至晚應在1150年左右，當無疑義。又因以燈為上元節之玩物之習俗，自北宋以來即已盛行。故發明年代，若推定為1000年以前，亦未不可。

(2) Smoke Jack 燃氣輪在西洋最早之記載為 Smoke Jack。原理方面與吾國之走馬燈相同。惟所發之力較大且比

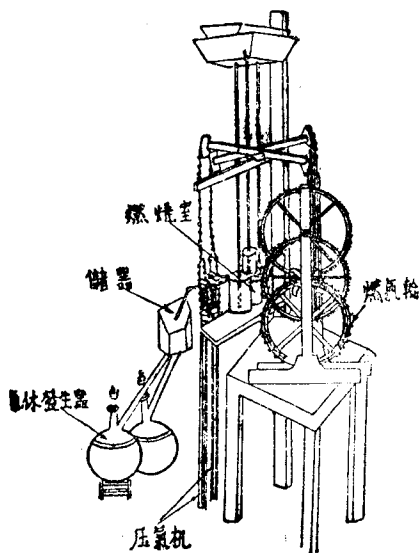
較注重實用耳。其構造如第一圖所示。在煙筒內之上部，裝置一立軸，其上亦橫裝一與普通風輪相似之葉輪。當下部火爐內之燃氣上騰時，即受其衝動力而迴轉。立軸之下，再用其他齒輪等機構，使轉動在爐上烤肉之鐵篋。據 Moyer 所著之蒸汽輪上稱：Cardan 曾於1550年有關於 Smoke Jack 之敘述。故發明時期，可推定在公元1550年以前。約晚於吾國之走馬燈五百年。



第一圖

(3) John Barber 之燃氣輪 由各國專利權之紀錄查之，屬於燃氣輪者，以1791年，英國之 John Barber 為最早。其構造如第二圖所示。因當時繪圖之技術尚不甚高明，致各部之詳細構造不十分清晰。大致可以看出者為氣體燃料由一氣體發生器製成。匯於一儲存器。空氣及可燃氣體各由一壓氣機壓縮之後，再入於燃燒室。燃燒後之氣體，噴至一葉輪之輪葉上，使之迴轉，即發生動力。動力之一部傳至某軸後，即用作帶動

兩壓氣機之原動力。另一部再由齒輪等傳至外部。原理上大致與晚近之燃氣相似。

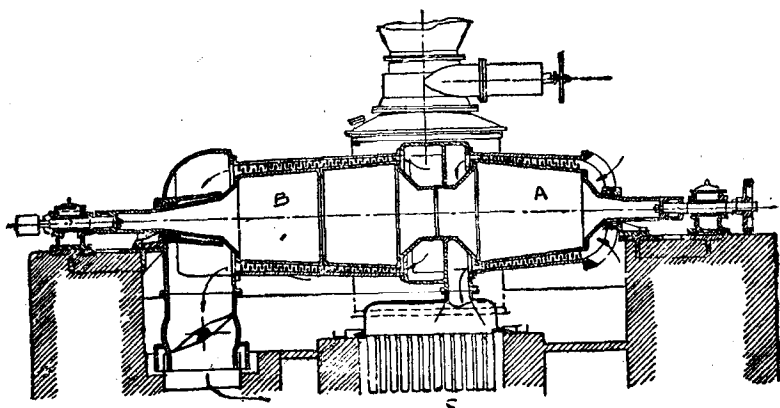


第 二 圖 John Barber 之燃氣輪

(4) Stoltze 之熱空氣輪 1872年，德人 Stoltze 曾設計一種燃氣輪。彼當時稱之為熱空氣輪 (Hot Air Turbine)。雖稱設計之時期雖為 1872年，實際試驗之時期則晚至 1900—1904年。

其構造略如第三圖所示。在一軸上裝置兩輪。A 為一多級式沿軸流動壓氣機。B 為一多級反動式燃氣輪。C 為換熱氣或回熱器。壓氣將空氣壓至絕對壓力每方吋 40 鎊左右。然後分一

部加入燃燒室，用以供給燃燒煤氣或油必需之氧。另一部則使經過換熱器。吸熱以後，再與燃燒室內之燃氣相混合，同入於發原動力之燃氣輪中。燃氣輪所發之動力與帶動壓氣機所需之動力之差，即為全單位所發之純功。根據此種設計，彼曾製造一 200馬力之單位。但未能達到商業上成功之地步。其原因或因所發純功失之太少之故。但此種方法則為後來成功之燃氣輪所採用。



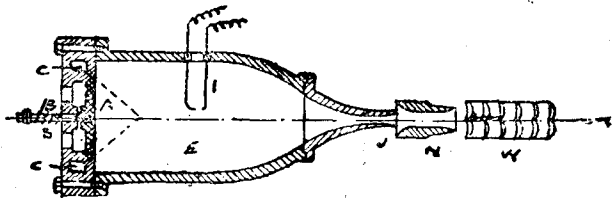
第三圖 Stoltze熱空氣輪

A. 多級沿軸流動壓氣機 B. 多級反動式燃氣輪 C. 換熱器或回熱器

(5) 爆炸氣輪 (Explosion Gas Turbine) 在燃氣輪之發展史中，另有一類應附帶加以敘述。即爆炸氣輪。雖晚近成功之燃氣輪性質上與此不同，但在初期，曾被人同樣重視，同樣加以研究與試驗。

第四圖表示一簡單爆炸氣輪之裝置。E為燃燒室。其左端裝置一大氣閥A。此氣閥由一輕彈簧使之關閉。當燃燒室內之壓力低至一定程度時，即向內開。空氣由BB處之口加

入。燃料由 C C 處之管加入。此混合氣體再由 I 處一電火花點着之。燃燒所生之氣體，由右端一小口 J 噴出，而入於一噴管 N。在噴管之入口，更有一部分空氣加入，如箭頭所示。使入葉輪以前，溫度不致過高。

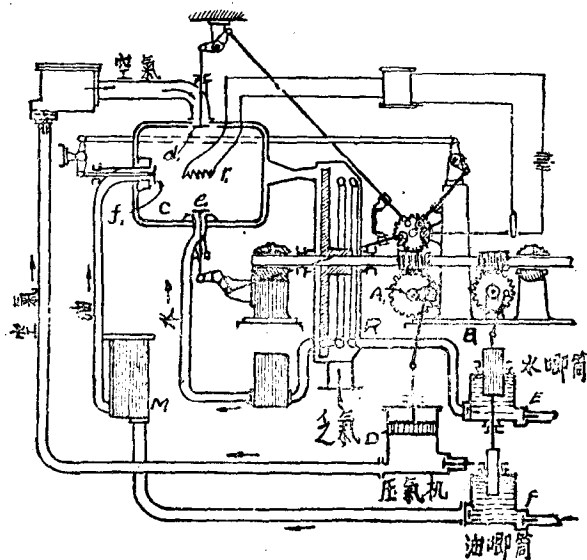


第四圖 簡單爆炸氣輪

當燃料與空氣之混合氣體發生爆炸時，最初發生膨脹，稍後，因燃氣中之氫及過量空氣中之氧化合為水之故，發生壓力驟落之現象。此種事實即被利用以動作大氣閥 A。即每當壓力驟落時，氣閥即被壓開。另有定量之新空氣與新燃料加入。

據試驗之結果，稱：此種爆炸氣輪每分鐘之爆炸數極多，約由 3,500 至 5,000 次。故實際上燃氣之噴射幾為連續的。因混合氣體在燃燒以前未經壓縮，致熱效率極低。

第五圖，表示 Zoelly 式爆炸氣輪之裝置。C 為燃燒室或爆炸室。W 為一 De Laval 式之燃氣輪。D 為空氣唧筒；E 為水唧筒；F 為油唧筒；均為往復式者。由氣輪軸上之兩蝸桿及 A_1 與 B_1 兩蝸輪帶動之。空氣閥 d_1 水閥 e_1 及油閥 f_1 及點火裝置 r_1 則由氣輪軸上之蝸桿及與蝸輪 G 帶動之。爆炸後之氣體及蒸汽，在噴管 N 內膨脹，再衝擊於輪葉之上。向爆炸室噴射之水，先經盤管 R，吸收乏氣之熱之一部。



第五圖 Zoelly 爆炸氣輪

當工作時，空氣先加入爆炸室。其次再使油加入，使不致發生回火之現象。俟混合氣爆炸膨脹，達到最高壓力之後，水始加入。

又此種爆炸氣輪，因裝置複雜熱效率甚低之故，後來未被採用。

(6) Holzwarth 之爆炸氣輪 此種爆炸氣輪，可稱之為第一個勉強可以實際應用之爆炸氣輪。約創始於 1905 年。最初製造及試驗係在德國之 Hanover。所採之循環係不預行壓縮之爆炸循環。稍後始採用相當之預壓。在一循環中各氣閥及噴管開合之情形如第六圖所示。左圖表示燃氣膨脹時各氣閥