

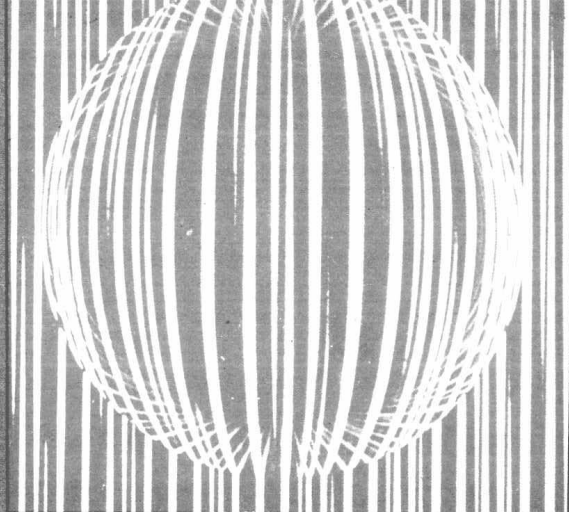


最新設計譯叢

輪機之設計

兵働 務 石田雄三 著 徐景福譯

正言出版社印行

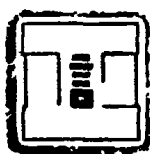


最新設計譯叢

輪機之設計

兵働 務 石田雄三 著 徐景福譯

正言出版社印行



輪機之設計

譯者：徐景福◇特價一〇〇元

出版者□正言出版社□台南市衛民街三十一號□郵政劃撥儲金帳戶三一六一四號□電話（〇六二）二五二一五五／六號□發行者□正言出版社□發行人□王餘安□本社業經行政院新聞局核准登記□登記字號局版台業第〇四〇七號□印刷者□美光美術印刷廠□台南市塩埕七號

68.2.初版

序

蒸氣輪機通常作為火力發電、船艦的原動機，亦為泵浦、送風機等之工場的原動機。無論最近或將來，火力發電雖有由原子發電取代的趨勢，但蒸氣輪機的用途，想必不會減少。

本書選擇寇蒂斯蒸氣輪機為設計例；內容第一篇為概論，敘述有關蒸氣輪機的熱力學及蒸氣工學等之一般，第二篇為蒸氣輪機之概說，第三篇係以寇蒂斯蒸氣輪機為設計例，逐項一一解說。

本書編寫時曾參考各書，或引用各書部分內容，全書敘述平易，適合高工、工專、大學機械科系及現場技術人員之參考。本書的設計法及設計例係以恩師吉田哲夫先生的寇蒂斯輪機講義為主，圖面與設計以及有關注意之點、參考資料等則得力於親友石田雄三氏的協助。氏專研於設計 30 餘年，為此道中之權威。

此外，諸同事的直接、間接協助，以及出版社各先生之鼓勵，本書方得以順利出版，在此一併誌謝。

著者

目 錄

第一篇 熱力學與蒸氣工學概說

1-1	動力的變遷	1
1-2	熱力學概說	9
1-2-1	熱力學第一定律	10
1-2-2	熱力學第二定律	12
1-2-3	熱力學基礎式	13
1-2-4	熵	20
1-3	蒸氣的性質與蒸氣線圖	21
1-3-1	蒸氣之 $p-v$ 線圖	21
1-3-2	蒸氣熵與全熱量	25
1-3-3	蒸氣熵的計算	26
1-3-4	蒸氣表，蒸氣的 $i-s$ ， $T-s$ 線圖	29
1-4	噴嘴內的流動	40
1-4-1	從噴嘴之噴出速度	40
1-5	由於曲折填封的蒸氣洩漏	50
1-6	蒸氣原動力廠之循環	54
1-6-1	朗肯循環的熱效率	55
1-6-2	再熱循環與熱效率	61
1-6-3	再生循環與熱效率	62
1-6-4	原子能發電廠之循環	64
1-7	凝結器	66

第二篇 蒸氣輪機概說

2-1 蒸氣輪機的分類	70
2-2 衝動式輪機的速度線圖與效率	72
2-3 反動式輪機的速度線圖與效率	77
2-4 調速裝置及危急（非常）裝置	79
2-4-1 調速法	80
2-4-2 離心調速機	81
2-4-3 危急（非常）裝置	83

第三篇 寇蒂斯輪機的設計

3-1 形式的決定	85
3-2 熱力學的計算	88
3-2-1 線圖效率及段落內部效率的計算	88
3-2-2 噴嘴及葉片的設計	119
3-3 強度的計算	129
3-3-1 葉片的強度	129
3-3-2 回轉軸徑的計算	146
3-3-3 軸承的計算	160
3-3-4 圓板葉輪的計算	168
3-4 洩漏量，蒸氣管，輪室，其他之計算	186
3-4-1 由於碳精填圈的洩漏量	186
3-4-2 蒸氣管	188
3-4-3 輪機之輪室	189
3-5 圖面與參考圖	191

附 錄

1. 輪機之主要材料表	215
2. 輪機的事故分析表	216
3. 圖面製作，鑄件，機械加工注意之點	217
4. 改正後 JIS B 0001 之主要內容	221
5. 蒸氣表與 $i - s$ 線圖	227
6. 希臘文字	231

第一篇 熱力學與蒸氣工學概說

1-1 動力的變遷

人類自降生於地球以還，不斷地利用自己的力量改變生活水準，有比較明確的歷史記載，從數千年前即已開始。

人類利用人力從事於農耕、畜牧，但對於食、衣、住的獲致仍不能滿足，由是啓發人類用些許之力而得到倍利的夢想，此夢想的實現即為技術的開發。今天，工業技術偉大的成就，乃是人類夢想的極致。但是，技術的發達却超越人類尊重的精神，反而招至殊難解決的公害問題。今後，如何將與人類並存的最重要之能源、糧食、技術等和平利用，實乃技術人員的責任與使命。

人類的祖先發現能源以後，對於如何善加利用以及控制的方法，績效輝煌，不可不提。現在，全世界的總發電量的 80 %，乃利用蒸氣輪機的火力發電，其外為利原子能發電及其他方法的發電。但是，蒸氣輪機的利用價值，不會因原子能及其他方法的發電供給動力而減少。

吾人研究現在所使用中的能源：

1. 力學能 關於力學性能，自古以來人類即已知道利用水力及風力，在自然界之中，風與水對人類的生活最為密切，但人類對它有一種恐怖感，這大概肇因於古人對風與水的敬畏心情，於是以先入為主的觀念，以為其不能做為能源利用。其實，風可被利用推動風車及帆船，但缺點是不能人工控制，所以風力在目前仍不被利用。不過，水力的使用却有較長的歷史，從遠古水車的時代到現今水力發電一直

2 第一篇 熱力學與蒸氣工學概說

繼續使用。

2. 化學能 地球之埋藏燃料，有煤、石油、天然氣體等，但長年採用終有用罄的一天，因此時下所研究的方法，正是對策。又，氧與氫，氧與鋁等的反應熱之利用亦為可行之方法，但作為動力用尚有一段距離。

3. 原子能 利用鈾，鈾等之核分裂之際所生之熱，但此種放射性廢棄物的處理為一個重要問題。不過，現在之原子能發電已考慮到這個問題，因此對於利用原子能發電的開發與建設，進步急速。利用在海水中所含有的重氫之核融合的方法，對廢棄物安全。今後實用化的研究將繼續不斷。利用海水，其使用可能估計為 1000 年。

4. 太陽能與地熱能 除了特殊的場合以外，一般並不利用，從太陽輻射至地球的熱量為 $1140 \text{ kcal} / \text{hm}^2$ 。如果吾人使用地球之土地 1 % 以資吸收太陽熱量，那麼其必然超過現在之水力及火力發電能力。至於利用地熱能及海水已在研究開發中。

除以上所述之能外，尚有其他獲得根本性較新動力的方法，茲分述如次。

① MHD發電 (magnetron hydro dynamic generator)

此乃利用電磁流體力學的方法；與目前利用火力及原子能的發電方式即以熱產生蒸氣，而蒸氣使原動機回轉發電的方式，根本上完全不同。此法為將燃料所發生的火焰，以高速向切割磁場的方向吹出，導體於是有電流發生。此原理如圖 1-1 所示；一般的發電機乃導體切割磁場，而此種場合為火焰切割磁場。

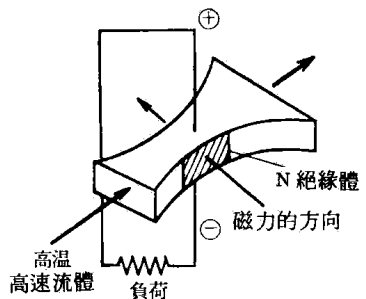


圖 1-1 MHD發電之原理

② 熱電氣發電 (thermoelectric generation of electricity)

將不同金屬的兩端接續，而於一方加熱時，則發生電位差而有電流流動。此乃熱電偶溫度計的原理，測定其電位差，可測出溫度。熱電氣發電與此相似；一般將 p 形 n 形之半導體接合後的熱電偶素子之一方加熱，遂能發生電流的方法。熱源使用原子能、太陽熱、燃燒熱等；熱效率在目前而言，僅為數%的程度。

③ 熱電子發電 (thermionic generation of electricity)

對封入真空或低壓空氣之容器內的陰極加熱，熱電子由是發生，而流入低溫之陽極。如此，使兩極之間產生電位差而發生電氣的方法稱為熱電子發電。此與上記的熱電氣發電相同，仍處於在實驗室製小模型實驗的階段，預計在 1970 年代有 20 % 的效率。

④ 燃料電池 (fuel cell)

在密閉的容器內實施電池反應，此與普通的電池不同；於陽極用氧或空氣，於陰極則用氫或碳化氫等之燃料，由外部不斷的補給，而生成物（氫與氧的場合為水）逐次被取出，據此可以長期利用，如圖 1-2 所示。

這是利用水的電解，即用電將水分解為氧及氫方式的相反作用，用氧與氫而使發生電氣的一種方法。

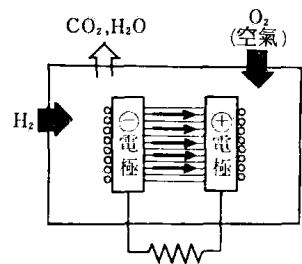


圖 1-2 燃料電池的原理

此種方法就現在的技術而言，氫可由水中獲得。氫如果做為能源，與空氣中的氧化合後，僅得到水，所以並不似其他燃料需擔心公害問題，目前美國仍繼續研究中。

動力的歷史

人類的降生約始於十萬年以前，而人類開始利用自己的力量經營畜牧與農耕，則大約在 8000 年以前，那個時代稱為人力時代。之後人類漸以飼養家畜，並且開始利用牛馬代替人力工作，這個時代稱畜

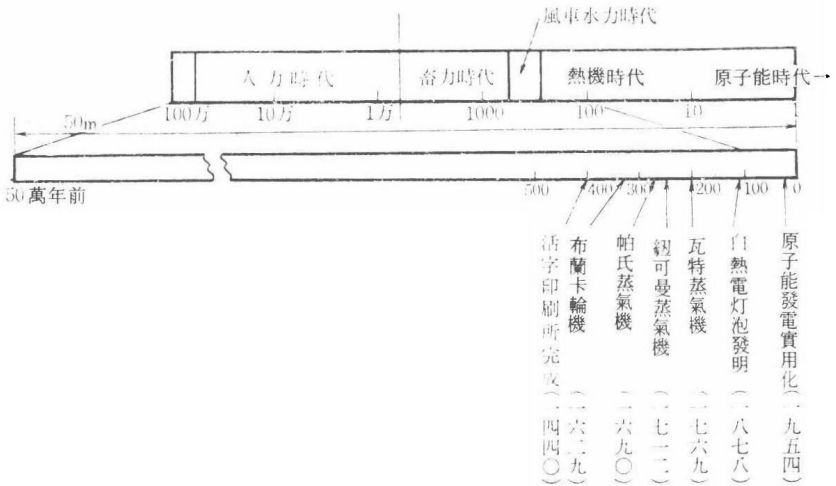


圖 1-3 動力與年代之關係

力時代，前後約經過 1000 年。自此以後，進入利用自然之風與水之力量推動風車、水車獲得動力的時代，約持續至 200 ~ 300 年前為止。再其次為步入使用蒸氣獲得動力的熱機時代，此即所謂的第一次產業革命。更進一步，由蒸氣機轉移至內燃機，電動機的時代，稱為第二次產業革命。今後所界臨的原子能時代，大概就要稱為第三次產業革命了。目前吾人所面臨的最大問題，為吾人所曾學得的工業熱力學已然屬於古典熱力學；主要討論熱轉換為功的一門學問，此種熱與功的探討，在 200 年前即已開始。雖然如此，這些成就乃人類的祖先經過長時間不斷的研究，改進方得到的成果。這種長時間在年代表之上（見圖 1-3），可以很簡單地表示其位置；現用普通刻劃 1 cm 表示

100 年，那麼人類的降生即在 50 m 遙遠之對岸。此 50 m 之距離與蒸氣時代 2 cm 比較，或與人類生命（70 歲為 7 mm）對比，更顯得人類創造的莊嚴過程。

蒸氣動力的發展

帕氏（Denis Papin）約於 1642 ~ 1712 年研製成如圖 1-4 所示，最基本的行程熱機，經加熱——膨脹——放熱——壓縮之反覆循環，利用蒸氣汽缸與活塞獲得往復運動。此法為由外部向汽缸內的水加熱，變為蒸氣而膨脹。當其將活塞推至上端之際，外部用冷水冷卻，蒸氣凝結為水，活塞下降；這種過程如以現代眼光來看，實在幼稚。但是，這種方法可認為係利用蒸氣獲得動力的熱機原形，為技術史上重要的發見。不過這種說法，對同一汽缸加熱及用水冷卻，熱效率的損失太大，是以未能達實用化的境地。

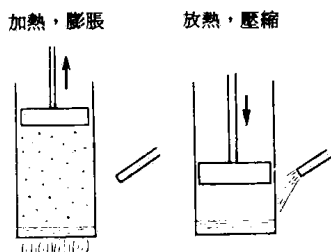


圖 1-4 帕氏之熱機

紐可曼氏（Thomas Newcomen 1667 ~ 1729）研究，水不在汽缸內加熱，而是另外用鍋爐加熱，蒸發後的蒸氣送進汽缸內將活塞推上，其次汽缸內以冷水噴霧，蒸氣受冷凝結，活塞由是下降。此法與帕氏熱機比較，乃將其鍋爐分離，為一大進步。此種蒸氣機在那個時代做為礦場的排水泵浦的動力，係最初實用化的蒸氣機。熱效率大約只有 0.5 %，為非常之低。汽缸內徑 190 cm，輸出 76.5 馬力；此種蒸氣機被使用相當長的時間，這種蒸氣機使用於礦場，因其可用低質煤做為燃料，故無效率的問題，一直可以運轉。此形式蒸氣機的缺點，為冷卻時係用冷水噴射於汽缸內；如此在汽缸內，高溫蒸氣與冷卻

水交互更替，熱的損失甚大，頗有改良的餘地（圖 1-5）。

瓦特（James Watt 1736～1819年）改良紐可曼的蒸氣機之缺點；製成蒸氣的冷卻不在汽缸內進行，而在汽缸外冷卻的一種蒸氣機（圖 1-6）。熱效率超越 40%，顯示其用於蒸氣動力廠的可能性，較紐可曼蒸氣機，煤的消耗量僅為 $\frac{1}{3}$ ，而輸出量以單位蒸氣量而論，

增加四倍。是以當時被廣用於礦場排水之作業，以及製鹽廠，蒸溜酒精製造廠。自此以後，用於船舶或陸上運輸引擎的動力，並且急速的發

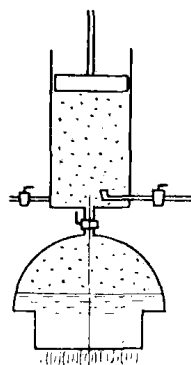


圖 1-5 紐可曼氏的蒸氣機

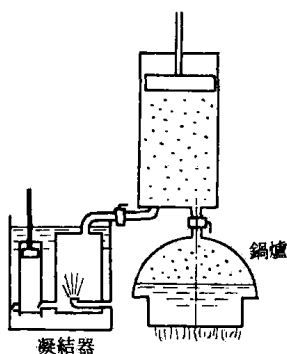


圖 1-6 瓦特蒸氣機

展。

往復式之蒸氣動力，如日本之蒸氣機車之使用例，已漸漸消失。

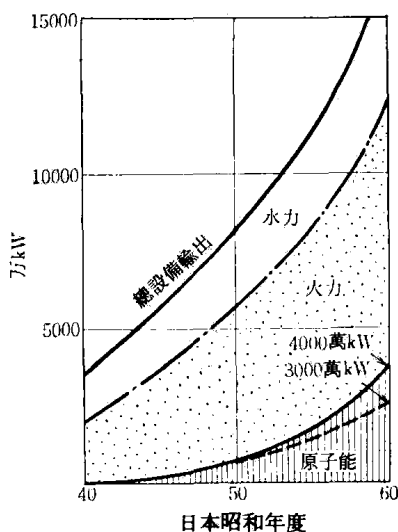


圖 1-7 原子能發電的開發預測

同樣的獲得蒸氣動力，往復式蒸氣機已為回轉式蒸氣機所取代。現在的火力發電廠全用蒸氣輪機運轉，蒸氣輪機的最基本循環為後述的所謂朗肯循環。

火力發電、水力發電、原子能發電的今後的開發比率預測，如圖 1-7 所示。

蒸氣輪機的發達

蒸氣輪機的歷史悠長，距今約 2000 年前，埃及的數學家 Hero，製成圖 1-8 所示的現在之所謂反動式蒸氣輪機，允稱蒸氣輪機的祖形。當時也被稱

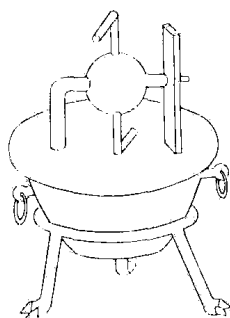


圖 1-8 Hero 的
蒸氣輪機
(現在之反動式蒸
氣輪機之祖形)

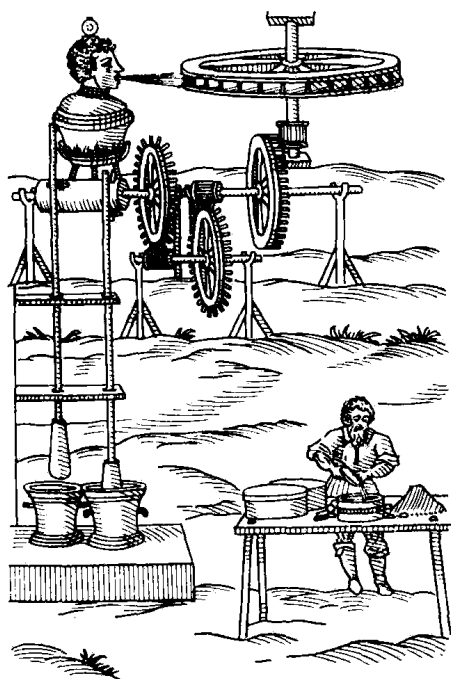


圖 1-9 Branca 之蒸氣輪機
(衝動式蒸氣機之原形)

為回轉球；其構造為用下部的鍋爐發生蒸氣，蒸氣進入支持球的軸內，然後再由安

裝於球上的曲管噴出，於是，球利用此時之反動力而回轉。

其後，義大利的建築家布蘭卡（Branca 1629），研製成現在之衝動式蒸氣輪機的原形之所謂噴氣輪，見圖 1-9。這是仿照當時所使用之水車形回轉體，利用蒸氣噴射而使輪發生回轉。

當然，以後次第有各種的創案出現，但終究受限於高速回轉機械的問題，因為當時之機械工作的技術及鍛造技術並未十分發達，故未能實用化。不久，瓦特的往復蒸氣機捷足先實用化，開始做為工場用原動機，並且廣用於陸上海上的運輸引擎，這一段時間，做為回轉機的蒸氣輪機不斷的被研究改良，終於有較完善的蒸氣輪機問世，即瑞士的德拉巴魯（De Laval 1888）研製衝動式輪機與英國帕遜斯（C.A. Parsons 1884）研製反動式輪機成功。此兩種輪機為時下之蒸氣輪機的基本形狀。

如此一來，蒸氣原動機同時在海上、陸上均由往復式轉變為回轉式。這個時期，內燃機也逐漸發達，圖 1-10 的實線，表示陸用蒸氣原動機的輸出進步的情形。 ab 的曲線緩和；但從 18 世紀末曲線為 bc ，急速地上昇。當然，這是由於電動機，送電技術的發達，以及工業急速發展需用動力大量增加所致。現在 GE

公司（General Electric

company）有輸出 100 萬 kW（ $\text{kW} = 1.36 \text{ HP}$ ）的輪機問市。

又，船舶用蒸氣原動機，由同圖的虛線表示。由往復式轉變為回轉式的輪機，係在 1900 年前後之事。由圖中之曲線可知其與陸用汽機動力的使用增加比率不同。這是因為船舶推進機的螺旋槳或飛機的

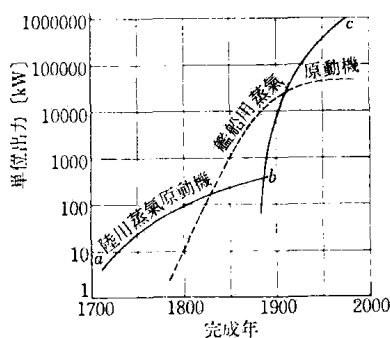


圖 1-10 蒸氣原動機的單位輸出

推進器未能相同的達到吸收馬力之界限所致。飛機的推進器現已進步為噴射式者，同理，船舶的螺旋槳有更佳之創研以取代之，乃今後身為技術人員者所應致力的課題之一。

船用蒸氣輪機的競爭對手迪塞爾引擎，近年來亦不斷地在追尋如何增加馬力之途徑。但是，就單位輸出相當之引擎部重量而言，輪機的馬力增加較大，而重量增加較少；同時在 2 萬馬力以上的輸出而言，輪機亦顯出其優越的經濟性。

蒸氣輪機與迪塞爾引擎比較，其優點為蒸氣輪機的裝置簡單，過負荷能力優越。例如迪塞爾引擎的過負荷能力為 10 %，而蒸氣輪機却高達 50 %。

1-2 熱力學概說

所謂熱力學，乃研究熱與功的關係，特別是如何將熱變為功的一門學問。從廣義上而言，為物理學的一部門。因為，熱力學最初多以工業的應用為研究目的，故亦稱為工業熱力學。最近熱力學的應用更加廣泛，包含能的變換以及諸此物質有關的問題。

本書乃就蒸氣輪機之設計時所牽涉到的熱力學及蒸氣工學的基礎等為敘述對象。工業熱力學亦稱古典熱力學，有所屬分野。熱力學有下列之種類。

1. 工業熱力學 (engineering thermodynamics)

2. 化學熱力學 (chemical thermodynamics)

主要敘述化學反應以及化學平衡有關問題；應用於各種的化學性過程。

3. 統計熱力學 (statistical thermodynamics)

係就狹窄的立場而探討之熱力學，分子之個別的運動適用統計確率論。

4. 非可逆過程之熱力學 (irreversible thermodynamics)

爲因濃度、速度、溫度等之差度，而討論移動過程之關係的熱力學。乃相當新穎的一門學問。

1-2-1 熱力學第一定律 (the 1st law of thermodynamics)

熱在本質上與功相同，爲能的一種形式，功可以變爲熱，反之亦爲可能。此即爲熱力學第一定律。此定律乃從能量不減定律或能量保存定律導出，焦耳 (J. Jule 1840) 確立熱與功的關係。即 1 kcal 的熱量相當於 427 Kgm 的功。

今之力以 L [Kgm] 表示，熱量以 Q [kcal] 表示，則

$$L \rightleftharpoons Q$$

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ Kgm}^*$$

據此 熱的功當量 $J = 427 \text{ Kgm} / \text{kcal}$

$$\text{功的熱當量 } A = \frac{1}{427} \text{ kcal} / \text{Kgm}$$

依據此定律並不能成立第一種之永久動力機。所謂第一種永久動力機，乃不必從他處得到動力而可繼續運動者，如圖 1-11 所示的空想動力機，實際上這些機械必因摩擦而有能的損失。

* 重量與質量

上記所示之 427 Kgm，其 Kg 表示重量，並非質量。所謂重量，乃物體所受地心引力之大小，由同一位體因位置高度及場所的不同，重量也不同。手持物體，吾人即感覺有抵抗引力之重量。此重量乃抵抗引力，故重量亦爲力的單位，力與長度、時間的單位於工學上爲基本