



24789

江南大學叢書

汽 輪 機

王 序 泰 著



中國科學圖書儀器公司

出 版

江 南 大 學 叢 書

汽 輪 機

原 理 構 造 及 性 能

王 守 泰 著

中 國 科 學 圖 書 儀 器 公 司

出 版

江南大學叢書

汽 輪 機

原理構造及性能

版權所有



不准翻印

一九五一年十月初版

《定價人民幣六萬元》

著 者 王 守 泰

出 版 者

中國科學圖書儀器公司

上海(18)延安中路537號

總發行所

中國科技圖書聯合發行所

上海中央路24號304室

電話 19566 電報掛號 21968

分 銷 處

中國科學圖書儀器公司

南京：太平路32號

廣州：永漢北路204號

04905

序

一九三五年作者在德國該益吉電機廠(Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft)汽輪機部担任幫工程師,受汽輪機權威柯拉夫教授(Prof. Dr. Dr. E.A. Kraft)的指導。那時柯教授所著汽輪機運轉(Dampfturbinen im Betriebe)一書,內容豐富,為學術界和工程界所推重,所以出版不久,行銷極廣。作者那時有意將原書譯成中文,承柯教授對於這項工作,給予極大的鼓勵,並且預備在譯本付印的時候,將原書插圖銅版全部借用。翻譯工作,繼續了兩年,全稿已完成過半。不料回國不久,適逢抗戰軍興,在作者向後方撤退途中,譯稿竟遭失散。後來歐戰又起,和柯教授更消息隔斷,原來的計畫,無法實現,至今引為憾事。

勝利之後,作者歷在北洋大學,蘇南工業專科學校,江南大學等校機械系和電機系任教,担任汽輪機和熱力工程課程,體驗到關於汽輪機方面,還缺少合用教本。原文書籍,雖不乏善本,但是用作教材,在編排上還有值得斟酌之處。以個人實際經驗和教學所得,汽輪機的研究應當分成三個部份,即:(1)原理,構造,性能;(2)規劃,安裝,試驗,運轉;和(3)設計。而第一部份的三項,更是研究這門課程的基礎。無論將來從事動力廠的設計,或汽輪機的製造,或動力廠的運用,都必須先將這方面的基礎打好;所以大學和專科學校的教本,也應當由第一部份入手,以後再依實際工作的專業化,進修第二和第三部份。作者根據這個原則,在各校講授了幾個班次,都獲得預期的成果,因此將歷年講義,加以整理,編印成冊,承江南大學採用,列入江大叢書。惟是個人見聞有限,舛漏之處,在所難免,希望海內專家,予以指正。

按柯教授的名著,將凝汽設備與汽輪機合併研究,這是極正確的見解。因為汽輪機的性能,很受凝汽器所影響;而且工程習慣,凝汽設備多數是由汽輪機製造廠供給;各國工程標準,關於凝汽汽輪的試驗和性能的保證,也和凝汽器併在一起。作者師其意,也將凝汽設備編入本書。

本書取材除去一部份由柯教授所面授者外,採自下列各書籍和雜誌:

Kraft: Dampfturbinen im Betriebe.

Stodola: Dampf- und Gas- Turbinen.

Goudie: Steam Turbines.

Parsons: The Development of the Parsons Turbines.

Kearson: Steam Turbine, Theory and Practice.

Church: Steam Turbines.

Zietmann: Berechnung und Konstruktion der Dampfturbinen.

AEG Progress.

AEG Mitteilungen

Die Wärme

BBC Review

BBC Mitteilungen

Parsons Heaton Works Journal

English Electric Review.

本書插圖二百餘幅,除由各製造廠原圖翻印之外,其餘是由蘇南工業專科學校 1951 和 1952 級機械系同學涂鈺生,汪章鵬,錢錦文,朱育元,倪顯能,陳清南,程際奎,儲榮保,程濟榮,施用,俞鈞,嚴士宗,沈炳元,徐希平各位所畫,對於本書的編著,是有極大的幫助,特此提出,表示深切的謝忱!

王守泰

一九五一年六月

目

錄

第一章 基本理論和式樣 1-21

1. 緒言	1
2. 汽輪動作的基本原理	2
3. 汽輪的分類方法	2
4. 衝動式汽輪	3
5. 反動式汽輪	4
6. 汽輪的疊級方法	4
7. Rateau-Zoelly 汽輪	7
8. Parsons 汽輪	7
9. 各式汽輪的併用	9
10. 凝汽汽輪和背壓汽輪	10
11. 撤汽汽輪	11
12. 低壓汽輪或乏汽汽輪	12
13. 混壓汽輪	13
14. 重熱汽輪	13
15. 直配式汽輪和齒輪結合式汽輪	14
16. 汽缸數目和汽流路數	14
17. 多汽缸汽輪的佈置	15
18. 沿徑流式汽輪	16
19. 一些汽輪圖例	20

第二章 噴管的汽流 22-44

20. 汽流的連續公式	22
21. 汽流的速度	22
22. 噴管截面的計算	23
23. 噴管截面計算舉例	24
24. 噴管的最小截面——喉部	25
25. 等熵膨脹的指數	26
26. 噴管的臨界壓力	27
27. 噴管汽流臨界速度	29
28. 噴管的最大蒸汽流量	29

29. 噴管效率和流速係數	30
30. 流速係數和噴管形狀的關係	32
31. 噴管的漸放度和射汽角度	33
32. 流量係數	34
33. 噴管的測驗	34
34. 反動式流速測驗器	34
35. 衝動式流速測驗器	35
36. 探管測驗器	36
37. 膨脹過度和膨脹不足	36
38. 噴管流通潮濕蒸汽的情形	38
39. 兩相汽流	38
40. 過飽和	39
41. 過飽和蒸汽的公式	40
42. Wilson 綫	41

第三章 葉片間的汽流 45-76

43. 衝動式汽輪葉片的速度圖解	45
44. 葉片承受的力	46
45. 衝動式葉片計算示例	47
46. 單級汽輪葉片速度比率對於效率的影響	49
47. 噴管葉片合併效率	50
48. 疊壓式衝動汽輪合併效率	51
49. 疊速衝動式汽輪	54
50. 疊速汽輪的速度圖解	55
51. 疊速汽輪葉片速度比率的最佳值	56
52. 疊速輪的優劣點	58
53. 反動式汽輪葉片的速度圖解	59
54. 反動度	60
55. Parsons 汽輪的計算	62
56. 反動式汽輪計算示例	65
57. 衝動葉片的形狀和節距	66

58. 葉片通路中的汽壓波動	68
59. 葉片進汽口角度	69
60. 潮濕蒸汽對於葉片的影響	70
61. 衝動葉片的排汽角度	71
62. 衝動葉片的流速係數	72
63. 反動葉片的效率和係數	73
64. 反動葉片的形狀	74
65. Baumann 式分流葉片	74
第四章 汽輪的構造	77-107
66. 汽輪構造的總輪廓	77
甲、汽缸	
67. 汽缸的形狀	78
68. 接縫和螺絲	79
69. 乏汽口	81
70. 汽缸定位方法	81
71. 汽缸的材料	82
乙、轉體	
72. 輪形轉體的構造	83
73. 葉輪裝套的方法	84
74. 反動式汽輪轉體	85
75. 均衡活塞	87
76. 轉體的平衡	88
77. 臨界轉速	90
丙、噴管	
78. 噴管的形狀	92
79. 鑄入噴管的構造	93
80. 裝成噴管	94
81. 噴管鍍	95
丁、葉片	
82. 葉片的製造方法	96
83. 倒T形裝法	97
84. 鋸齒形葉片根	98
85. 葉片裝配方法	98
86. 跨裝葉片	99
87. 側裝葉片	100
88. 包箱的裝法	100
89. Parsons 汽輪葉片的形狀	101
90. Parsons 汽輪葉片的安裝方法	102
91. 葉片的材料	105

第五章 附屬機件及零件的作用和構造

甲、軸承和聯軸節	
92. 套筒軸承	108
93. 側壓軸承	110
94. 聯軸節	112
乙、軸線	
95. 軸線的功用和式樣	115
96. 噴管板的曲徑軸線	115
97. 曲徑式外軸線的佈置	117
98. 曲徑式外軸線的式樣	119
99. 均衡活塞的墊片	122
100. 碳環軸線	122
101. 水封軸線	123
丙、潤滑油循環系	
102. 循環的路徑	125
103. 油泵	126
104. 冷油器	126
105. 油管	127
丁、防險機構及調節機構	
106. 防險機構	127
107. 調節機構的功用	131
108. 進汽調節閥	133
109. 調節機構的主動力	138
110. 調速機構的動作	139
111. 轉速調整率	140
112. 同步調速器	141
113. 調壓機構與汽輪的聯絡	142
戊、齒輪箱	
114. 齒輪傳動的優點	144
115. 齒輪箱的構造	144
第六章 損失和效率	147-165
116. 損失的種類	147
117. 噴管損失和葉片損失	147
118. 散熱損失	148
119. 漏汽損失	148
120. 曲徑軸線漏汽量的計算	149
121. 漏汽量計算示例	152
122. 反動葉片漏汽損失	154

123. 轉動損失	154
124. 轉動損失的計算	155
125. 餘速損失	147
126. 排汽損失	158
127. 附件和其他損失	158
128. 損失和載荷的關係	159
129. 效率	159
130. 熱效率	161
131. 機效率	162
132. 局部效率	163

第七章 汽態軌跡重熱現象和 Parsons 因數

133. 級內效率的計算	166
134. 衝動級的汽態軌跡	167
135. 多級汽輪的汽態軌跡	168
136. 餘速損失的影響	169
137. 累積熱落差和重熱因數	170
138. 重熱因數的測算	173
139. 重熱因數的糾正	175
140. 實際汽態線的形狀	177
141. 重熱因數計算示例	178
142. 衝動式汽輪級數, 轉速, 葉輪平均直徑和累積熱落差的關係	180
143. 反動式汽輪級數, 轉速, 葉輪平均直徑和累積熱落差的關係	182
144. 疊速級和疊壓級的比較	183

第八章 各式汽輪的蒸汽循環和消耗量

145. 標準的循環	186
146. 回熱循環	186
147. 重熱循環	192
148. 分水循環	196
149. 過壓調節法的汽態變化	197
150. 過量調節法的汽態變化	199
151. 過量調節法和過壓調節法的比較	200
152. 載荷變動時各級效率的變化	200
153. Willans 綫和級內壓力綫	202

154. 過量調節汽輪的蒸汽消耗率 and Willans 綫	203
155. 跨越調節法的汽態變化	205
156. 背壓汽量的蒸汽消耗量	206
157. 撤汽汽輪的汽態綫	207
158. 撤汽汽輪的 Willans 綫	209
159. 二次撤汽汽輪 Willans 綫計算示例	210
160. 混壓汽輪的汽態綫	214
161. 混壓汽輪的 Willans 綫	216
162. 混壓汽輪 Willans 綫畫法示例	217
163. 儲汽器的原理	219

第九章 表面凝汽器和附屬設備

164. 凝汽器的式樣和附屬設備的功用	226
165. 表面凝汽器的性能	226
166. 表面凝汽器的構造	228
167. 凝汽器的安裝和排列	231
168. 凝汽器的支持方法	234
169. 表面凝汽器的計算	236
170. 冷却水泵	239
171. 凝結水泵	240
172. 抽氣設備	242
173. 射汽抽氣器	243
174. 射水抽氣器	244

第十章 特型汽輪

175. 特型的意義	245
176. 小型汽輪	245
177. 小型汽輪構造舉例	246
178. 個體汽輪發電機	247
179. 船用汽輪	249
180. Ljungstrom 汽輪	251
181. 超高壓汽輪	253

符號

索引

英漢名詞對照表

第一章

基本原理和式樣

1. 緒言

汽輪機(Steam turbine)又稱蒸汽輪或汽渦輪,本書下文簡稱汽輪,是利用蒸汽作工質(Working substance),將熱能轉變成動能的一種機器。根據書籍所載,簡陋的汽輪,在數世紀以前,已在設法應用着;但是隨着原理不斷的發闡,而能有效的利用,還是近七十年來的事。在目前,汽輪已是最重要動力機的一種。

汽輪的優點很多,就熱工理論方面講,蒸汽通過汽輪,有相當大的一部份熱能,可以被利用轉變為動能,所以得到相當高的熱效率。出量大和利用高壓蒸汽的汽輪,這項優點尤其顯著。

蒸汽通過汽輪,所挾持的熱能,轉變成動能,其轉變的方式,是將動能直接用於催動汽輪的轉體(Rotor),使成旋轉運動。不像在蒸汽機裏,蒸汽先推動活塞,使成往復運動,再藉機構的連絡,變成旋轉運動。所以從機構動作的方式上講,汽輪是比較接近理想的。因為汽輪的主要運動機件,是成旋轉運動,如果設計得適當,製造得精細,很容易得到平衡而安靜的運轉;不像蒸汽機,它的運動機件一部份成往復運動,一部份成旋轉運動,要得到完全的平衡是不可能的。在實際上,一只重約二十噸的汽輪轉體,以1500分轉的高速旋轉,如果校正平衡工作做得仔細,在運轉時可以一些覺不出震動。

汽輪發出的轉矩(Torque),連續而均勻,不像蒸汽機所發轉矩忽強忽弱,須藉飛輪來儲蓄和放出,以截長補短。有些機器,如發電機,離心水泵,離心壓氣機等,當載荷穩定的時候,需要的轉矩是均勻的,而且它們動作的方式都是高速旋轉運動,用汽輪拖動最為適宜。

汽輪內部,蒸汽所掠過的機件,沒有滑動的接觸面,因此內部不需要潤滑,這樣非但節省潤滑油,並且蒸汽通過時,不會被潤滑油沾污,乏汽如經凝結成水,不必經過處理,即可送回鍋爐重行蒸發使用。如果汽輪是與某種製造工業配合,則全部或一部份乏汽,可以直接供給製造加熱用。

汽輪內部的摩擦面,僅有軸和軸承,調速器軸和齒輪,以及調速機構,因此機件的磨蝕

問題是不嚴重的，機件的潤滑，便於採用循環制；即滑潤油流過軸承等被潤部份之後，聚集一起，濾去污穢，用水激冷，再循環使用。滑潤油一次加滿之後，可以長時期不必添注和換新，潤滑油的消耗量，比較相同出量的蒸汽機要省得多。

近代發電事業的迅速發展，趨向於大電廠集中發電，因為就經濟觀點上考慮，大型的動力發電機械是比較有利的。同樣的，推動巨噸位高速度的輪船，也需要更大的動力機，其出量需要之大，已非蒸汽機或內燃機所能適應。這些地方裝用汽輪，都可獲得解決。

2. 汽輪工作的基本原理

汽輪工作的原理，和蒸汽機截然不同。在蒸汽機裏，是利用蒸汽的壓力來推動機件，汽流所具的動能，自始至終是很小的。至於汽輪則不然，基本式樣的汽輪，蒸汽所挾熱能變成動能的方式，是將蒸汽通過噴管 (Nozzle)，藉着噴管適當的設計，蒸汽在通過中壓力逐漸降低，降壓時跌落的熱能轉變成動能，這動能仍由蒸汽挾持，用很高的速度自噴管射出。高速汽流射在葉片 (Blade) 上，因為汽流方向的轉變，將動能傳遞到葉片上，催動輪軸，作出功來。

一部汽輪包括靜體和轉體兩個主要部份。靜體包圍在轉體外面，轉體由靜體上的軸承支持着，可以自由旋轉。靜體主要由汽缸 (Casing 或 Cylinder)，噴管或靜葉 (Stationary blade)，機座，(Frame 或 Base) 組成；機座支持着汽缸，噴管或靜葉包在汽缸裏面。轉體主要由輪軸 (Shaft)，輪鼓 (Drum)，或葉輪 (Disc) 和動葉 (Movable blade) 組成。輪軸裝在輪鼓或葉輪的中心，動葉裝在輪鼓或葉輪的周圍，對準噴管或靜葉承接射出的蒸汽。除此以外，實用的汽輪還包括兩種附屬裝置：即調節系統 (Governing system) 和潤滑系統 (Lubricating system)；前者是適應運轉情形的閃動，調節汽輪的轉速或蒸汽壓力；後者是供應機件的潤滑油，使循環不斷。

絕大多數的汽輪，乏汽排出以後，激冷凝結成水，以增加熱能的可用性 (Availability) 提高效率。這種汽輪必須與一套凝汽設備 (Condensing plant) 配合。

3. 汽輪的分類方法

汽輪的分類方法很多，最主要的分類方法，是依照熱能和動能轉變方式的不同，分成衝動式 (Impulse) 和反動式 (Reaction) 兩大類。此外依照進汽和排汽狀態的不同來分別，也是一個主要的分類法，這一點留待下文詳細區分。依照汽輪和從動機械結合的方法，可以分成直配式 (Direct Coupled) 或齒輪結合式 (Geared)。依照汽缸的數目可以分成單缸 (Single casing) 或多缸 (Multiple casing) 式。依照全輪內部汽流運行的路數可以區分成單流 (Single flow)，半雙流 (Semi-double flow)，或雙流 (Double flow) 式。

蒸汽流通方向和輪軸部位間的關係，也有不同的安排。最常用的汽輪蒸汽流通方向和輪軸平行，稱作沿軸流式(Axial flow)。比較少用的有所謂沿徑流式(Radial flow)蒸汽的流動，是以輪軸為中心，沿着半徑方向輻射。

4. 衝動式汽輪

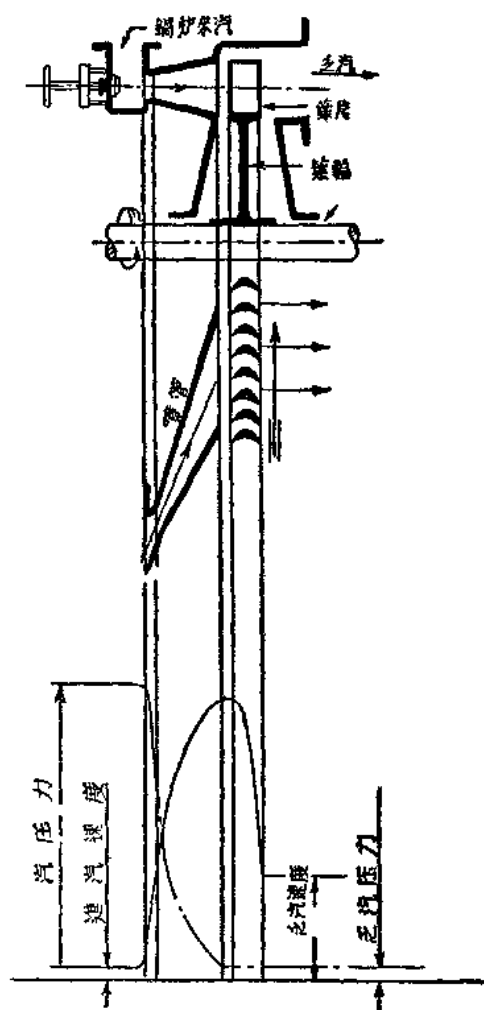
第1圖是一部衝動式汽輪內部截面簡圖和汽態變化的圖解。所表示的構造包括一列噴管和一系列葉片，稱作單級式(Single stage)。這圖的上部是沿軸向的縱切面，中部是沿着圓周展開所見一只噴管和數片葉片的截面，下部是蒸汽壓力和絕對速度沿着噴管和葉片變化的情形。

在衝動式汽輪裏，蒸汽壓力的降落，體積的膨脹，和熱能的降低都發生在噴管裏。至於在葉片裏，僅發生動能的傳遞，即由蒸汽傳到葉片，經過葉輪推動輪軸；蒸汽離開噴管以後，壓力和熱能即不再變化，所以在葉片的前面和後面，蒸汽的壓力是相等的。就因為這個原因，德語稱衝動式汽輪為等壓式汽輪(Gleich-druck Turbinen)。

汽輪的噴管是很重要的機件，它的形狀，略如上圖所畫，有一個圓弧形的進汽口，進汽口後面，蒸汽通路漸漸縮小，經過最小截面即所謂喉部(Throat)，再漸漸放大。

蒸汽自噴管射出，其速度可高達 3,500 呎/秒左右。在衝動式汽輪，葉片最好的線速度，約當蒸汽噴射速度的一半，這一點將在第三章證明，所以葉片的線速度約達 1,700 呎/秒左右。單級式的汽輪，功率不能很大，因此葉輪直徑是相當小的，以小直徑的葉輪，要達到這樣高的輪緣速度，必須有很高的轉速。所以小型單級汽輪，其轉速可高達 30,000 分轉，必須經過齒輪降速，才能與從動機械配合。

蒸汽自葉片排出時，若是絕對速度仍然很高，則必定攜帶很多的動能未經利用。這是一種損失，稱為餘速損失(Leaving loss)。餘速損失和排汽絕對速度的平方成正比例，所



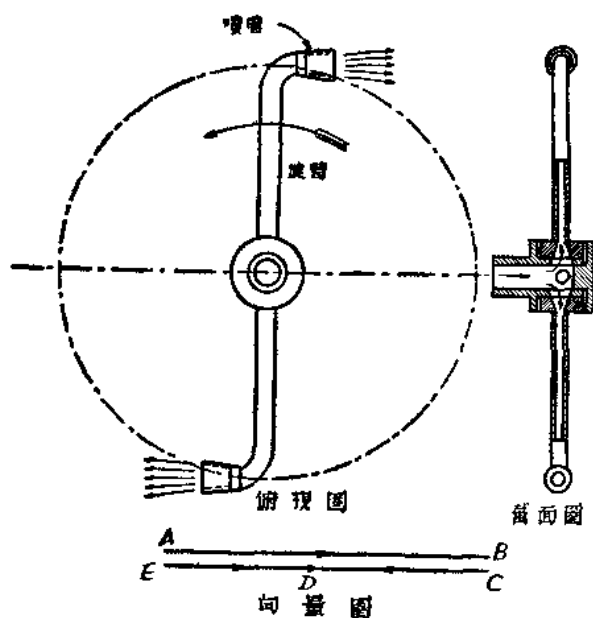
第1圖 單級衝動式汽輪簡圖。

以排汽速度的減低，對於增進汽輪效率，影響很大。在一個單級衝動式汽輪，即所謂 De Laval 式汽輪，排汽速度約合噴管射汽速度的 33%，所以餘速損失，約合噴汽動能的 $(0.33)^2$ 即 11%。

綜結上文所述，一部單級衝動式汽輪，應當有一個或一組噴管和一組葉片。高壓蒸汽自鍋爐到汽櫃 (Steam Chest)，由汽櫃分佈進入噴管。全部壓力降落，發生在噴管裏，所以全機僅有汽櫃受着進汽的高壓力；汽缸內部，所受壓力很低。蒸汽噴射速度，葉片速度和輪軸轉速都很高，餘速損失也很大。De Laval 氏是創製這種式樣汽輪最先的成功者，所以這種汽輪稱為 De Laval 式。

5. 反動式汽輪

第 2 圖所畫的一只模型，可以說明反動式汽輪的工作原理。這個模型包括一根空心



第 2 圖

軸和一對空心的旋臂，在旋臂的兩端裝着噴管。蒸汽自空心軸通過旋臂引到噴管，在噴管裏面發生膨脹，壓力降低，速度升高，熱能變成動能。高速蒸汽自噴管射出時，靠噴射的反動力，推動噴管和旋臂，使在軸上旋轉。第 2 圖向量 AB 代表射汽對於噴管的相對速度，向量 CD 代表噴管的圓周線速，自任何一固定地點觀測，蒸汽的絕對速度可用向量 ED 表示。因為蒸汽速度的變動，使其所挾動能的一部份轉變為功。

上圖的汽輪模型，不切實用。英國 Sir Charles A. Parsons 氏根據反動的原理，創製了多級的反動式汽輪，實際應用頗為廣泛，將在下文討論。

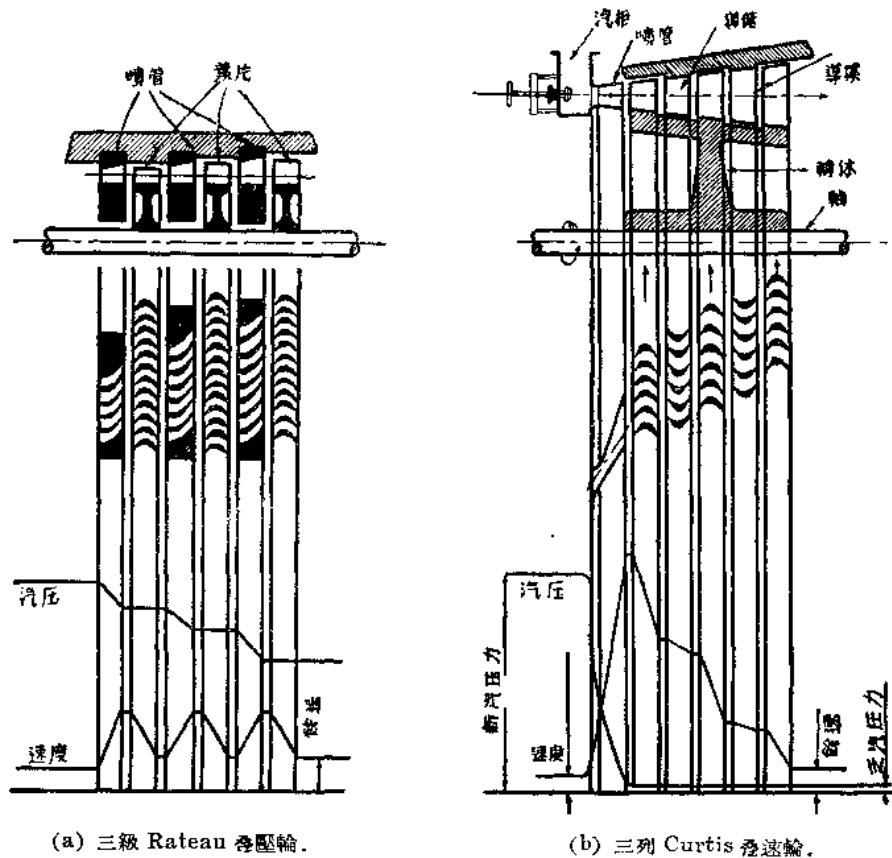
6. 汽輪的疊級方法 (Multi-staging)

汽輪轉體，用高速度旋轉，葉片承受着很大的離心力。因為受材料強度所限制，葉片線速度不能漫無限制的提高；因此噴管射汽速度，實用上也有其最高限度。這一限度，又間接的限制了蒸汽通過噴管時所發生的熱落差 (Heat drop) 和壓力落差 (Pressure drop)。如果進汽汽壓比較高，要克服上文所指出的困難，可以採用疊級方法，以利用較多的熱能。

疊級方法有兩種，即疊壓法(Pressure compounding)和疊速法(Velocity compounding)。疊壓法的佈置是將全部的壓力落差，化整為零分佈若干步進行，每步包括一個單級式的汽輪，不拘衝動式或反動式。每一個單級輪稱作一級(Stage)。前一級的乏汽引入次一級用作進汽，這樣級數加多則總的壓力落差和熱落差可以加大，而汽輪轉速不必提高。實際的構造將各級相互串連裝成一部汽輪，噴管或靜葉裝在共同的汽缸裏，動葉裝在同一輪軸上。

疊壓式汽輪應用最為普遍，Rateau 氏和 Zoelly 氏同時創製疊壓式衝動汽輪，通稱 Rateau 汽輪或 Zoelly 汽輪。常用的 Parsons 式反動汽輪，也採用疊壓原理，將蒸汽的熱落差分別在若干串連的壓力級內利用。第 3a 圖是三級 Rateau 汽輪，蒸汽壓力和速度的變化。

美國 C. G. Curtis 氏首創了另一種疊級方法，稱作疊速法。這種疊級方法可以用在衝動式汽輪。它的佈置是在一個壓力級裏裝一組噴管，但是配合着兩列或更多的動葉，像第 3b 圖所畫。在每兩列動葉中間，裝着一列靜葉。靜葉的形狀和動葉相似，但是葉面的



第 3 圖

彎曲方向相反,它的功用是引導蒸汽流通的方向,所以又稱導葉(Guide blade)。導葉的列數比動葉少一列。像第3b圖所畫的汽輪,有兩列導葉和三列動葉;第一列導葉裝在第一列動葉和第二列動葉之間,第二列導葉裝在第二列動葉和第三列動葉之間。動葉佈滿葉輪全圓周,隨時接受由噴管或導葉射出的蒸汽,而導葉則不一定佈滿全周,祇要有足夠的弧度,對準噴管或前一列導葉的位置,承接射出的蒸汽即可。

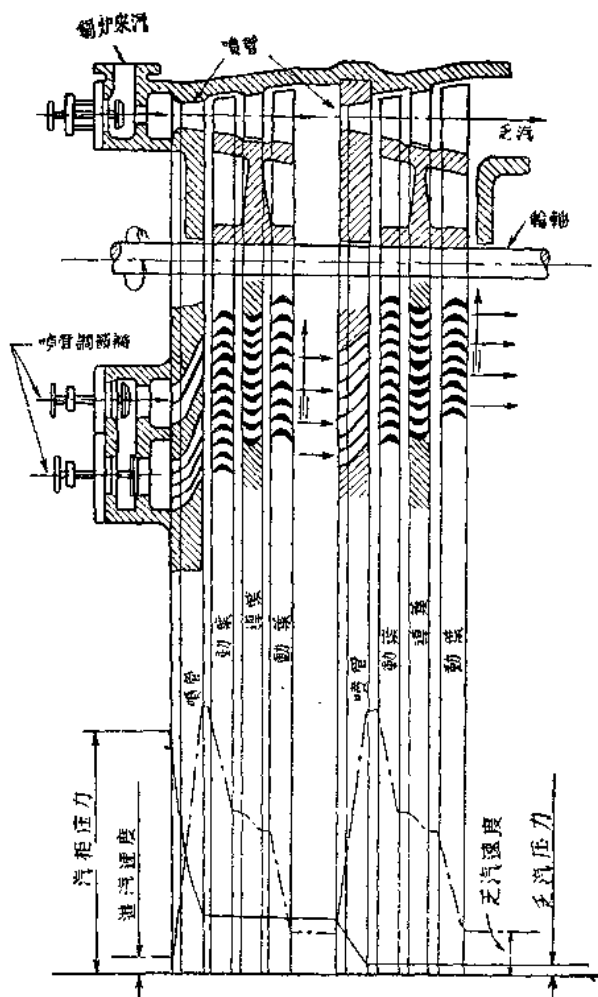
疊速式汽輪的壓力落差,全部發生在噴管裏,但是壓力降落的數值比相似的衝動式汽輪的一級為大。為了限制輪軸的轉速,使動葉所受離心力不致太大,噴管射汽的動能分佈由各列動葉承受。當蒸汽由第一列動葉排出時仍有很高的餘速,攜帶着動能。為了使這部份剩餘動能充分被利用,第一列動葉的排汽通入第一列導葉,將汽流方向扭轉,導使噴在第二列動葉上。蒸汽通過第二列動葉時,再傳遞一部份動能到輪軸上,因此第二列動葉的

排汽速度已較第一列動葉所排為低。

假如第二列動葉排汽仍有很高的動能未經利用,可以再經第二列導葉轉變方向後再噴射第三列動葉。

第3b圖下半部所繪曲線,表示三列疊速式汽輪裏蒸汽壓力和速度的變化。壓力降落全部發生在噴管裏,離開噴管之時,蒸汽壓力已降到乏汽壓力;這時蒸汽的速度最高。以後每經過一列動葉,蒸汽速度降落一次。至於蒸汽通過導葉時,壓力和速度照理想情形全無變化;實際上因為蒸汽與導葉間的摩擦,使汽流速度略有損失。當蒸汽離開最後一列動葉時,排汽速度已很低,一般情形,餘速損失約合噴管射汽動能的2%。

疊速式汽輪通常稱作寇蒂司 Curtis 輪,經過一列噴管壓力降落一次稱作一級,而疊速的次數稱作列數(Row);像第3b圖所畫是一部三列單級式寇蒂司 Curtis 輪。疊速級的效率比較低,因此僅在小型汽輪,為了構



第4圖 多級衝動式汽輪(壓力速度聯合疊級式)簡圖。

造的簡單，並使每級發出較多的功，纔採用此式，所用動葉，最多不超過三列。二列 Curtis 輪，效率又比三列輪高些。在大型汽輪常和其他式樣如 Rateau 式或 Parsons 式配合使用；將進汽先經過急劇的降壓，通過一級二列 Curtis 輪之後，再通過若干疊壓級的 Rateau 式輪或 Parsons 式輪。這樣的佈置，疊速輪僅居一級，對於全部汽輪的效率並無顯著的影響，而可使汽輪構造比較簡化。

過去曾經一度風行，將若干 Curtis 輪用疊壓法串接，稱作壓力速度聯合疊級法 (Pressure-velocity-compounding)，目的是增加汽輪的出量。這種方法，究因效率不高而漸被淘汰。第 4 圖表示這樣一部汽輪，共分兩級，每級分成兩個速度行列。

7. Rateau-Zoelly 汽輪

疊壓衝動式汽輪通常稱為 Rateau 汽輪或 Zoelly 汽輪。中型以上出量的汽輪多半是這種式樣。各級的噴管分別裝在圓形的鈑上，這種圓鈑稱作噴管鈑 (Diaphragm)。噴管鈑依水平直徑分成兩個半圓形，中心留出圓孔，套在輪軸外面，與葉輪一層層的交互間隔着。葉輪是一個個的套裝在輪軸上，周圍裝着葉片。蒸汽的膨脹完全發生在噴管裏，所以介於兩級噴管鈑的中間，即葉輪所佔的空間，蒸汽壓力是均勻一致的。但是一塊噴管鈑的前後兩面，蒸汽壓力有着差別，所以蒸汽因為壓力的不同，被驅自噴管鈑高汽壓的一面，沿着輪軸，穿過噴管鈑中心圓孔，漏到低汽壓的一面。為了阻止這部份漏汽的流通，不同的方法被利用着，詳細構造在下文說明。

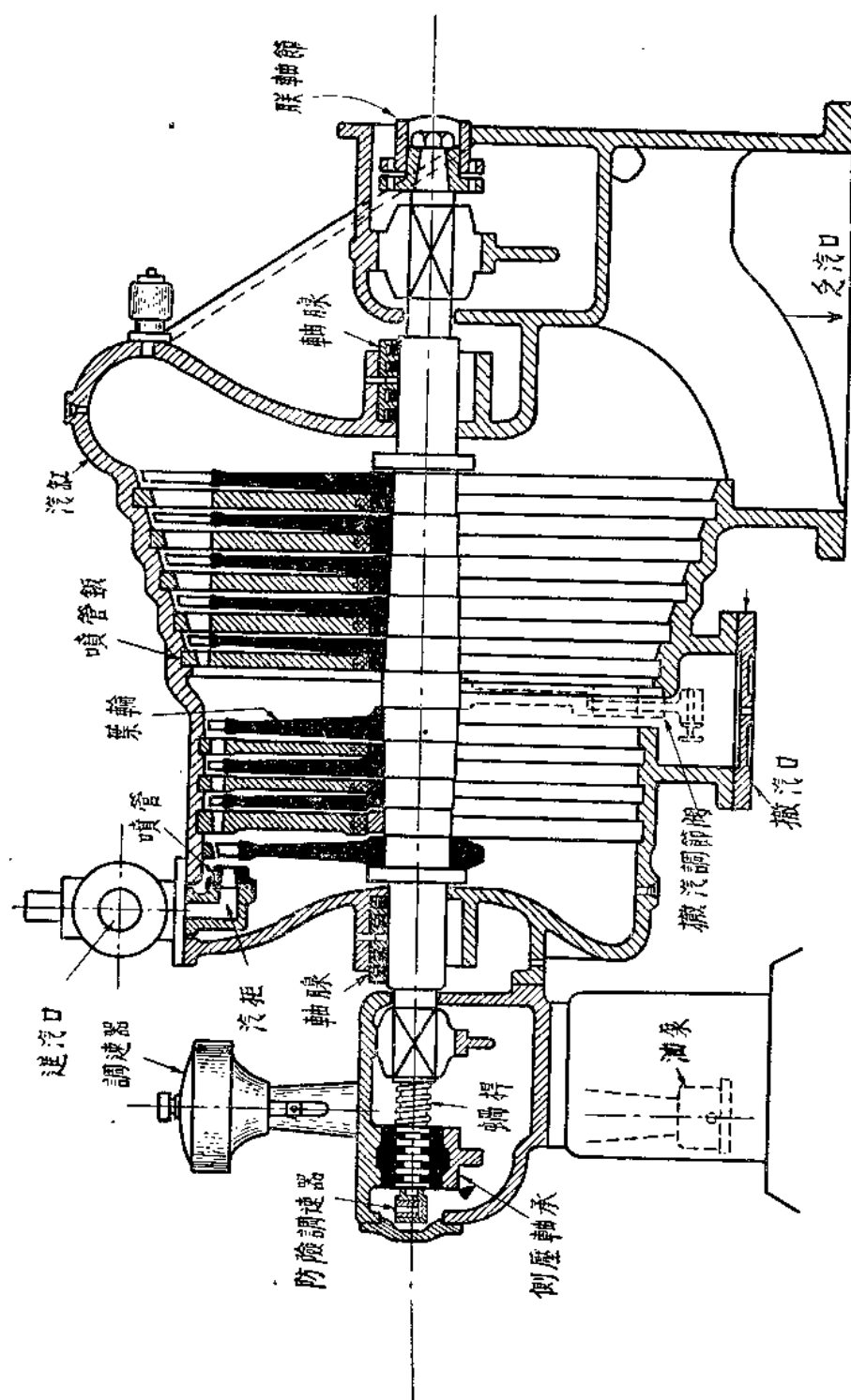
因為疊壓方法的應用，每級所轉變的熱能得以減少。因此噴管的射汽速度被減低，使葉片圓周線速度和輪軸轉速都減慢。級數越多，轉速越可降低，使汽輪能與發電機直配。但是要想得到很低的轉速，需用太多的級數，也是不經濟的。

疊壓式汽輪，前一級排汽所挾動能，帶進次一級，仍有機會再被傳到輪軸；所以前面各級的排汽速度，不會構成餘速損失；祇有最後一級葉片排出乏汽，它所挾的動能才造成損失。這部份餘速損失的百分率，對於這最後一級而論，雖然和在單級汽輪並無不同，但是對於全部汽輪的出量而論，餘速損失所佔百分率是很小的，普通的情形，僅佔全部汽輪出量的 1—2%。

第 5 圖是一部 Rateau 汽輪的剖面圖。

8. Parsons 汽輪

Parsons 汽輪是英國 C. A. Parsons 氏所創製，是應用反動原理唯一的成功者。實用的 Parsons 汽輪，是疊壓式的，在每個壓力級裏，約有一半的熱落差，在靜葉裏變成動能，用衝動原理，推動動葉；其餘一半熱落差，在通過動葉時轉變成動能，用反動原理推送動葉。



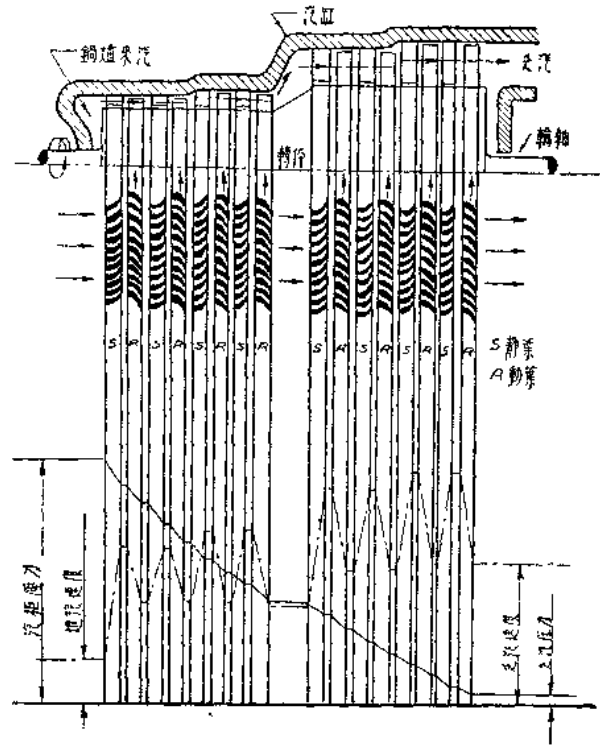
第5圖 多級衝動式汽輪機剖面圖。

所以嚴格的講，這種汽輪應該稱作衝動反動式，或半反動式；但是實用上都簡稱為反動式汽輪。

這種汽輪的構造，有若干列的靜葉和相同列數的動葉，每一列靜葉和緊隨着在後的一列動葉構成一個壓力級。兩片靜葉中間的蒸汽通路，有和衝動式汽輪噴管一樣的作用；所以蒸汽通過靜葉時，發生膨脹，壓力降低，速度增高，但是變化的程度不及在衝動汽輪的噴管裏。因為在反動汽輪的靜葉裏，熱落差僅佔一級所降的一半，而在衝動汽輪的噴管裏，全級的熱落差完全被轉變。靜葉排汽，射入動葉進口口，發生衝動作用，其動能傳遞的原理，和衝動式汽輪完全相同。但是蒸汽通過動葉時，繼續發生膨脹和降壓，使其餘一半熱落差變成動能，將蒸汽對於葉片的相對速度抬高。高速蒸汽，射出動葉，對動葉發生反動作用，推使葉片，背着排汽的方向而轉動。所以動葉所受的力量，應當是進汽衝動力與排汽反動力向量的總和。

Parsons 汽輪一級裏的靜葉和動葉，各轉變一半熱能，所以形狀完全相同，如果一個衝動級和一個反動級葉輪直徑相等，轉速相等，進汽汽態相等，一級的熱落差一樣，則反動級蒸汽對於葉片的相對速度，一定低於衝動級蒸汽對於噴管的相對速度。

第 6 圖是一部 Parsons 汽輪的簡圖。這圖裏的壓力速度變化曲線，說明蒸汽壓力在靜葉和動葉裏都發生降落。所以有一部份蒸汽會藉着動葉前後壓力的不等，自葉片外圍和汽缸間的餘隙 (Clearance) 中漏過。同理靜葉和轉鼓間的餘隙，也有蒸汽漏過。這兩處的漏汽，都構成可用熱 (Available heat) 的損失。在汽輪的高壓部份，因為蒸汽密度較高，損失更為嚴重。



第 6 圖 多級反動式汽輪簡圖。

Parsons 汽輪，製造和運用得很成功，是 Rateau 汽輪之外最常用的一種。因為動葉前後蒸汽壓力不相等，所以德語稱為過壓式汽輪 (Überdruck-Turbinen)。