

熱力工程

白	能	拿	原	著
艾	去	獲		
郝	瑞	返		
朱		節	編	譯

龍門聯合書局印行

熱 力 工 程

白 拿
艾 能
郝 去

原 著

朱 瑞 節

編 譯



龍 門 聯 合 書 局 印 行

熱 力 工 程

Heat-Power Engineering
Barnard·Ellenwood·Hirshfeld
John Wiley & Sons

憑 章
版 權



翻 必
印 究

編 譯 者

朱 瑞 節

上海嘉善路一〇一弄三號
電 話 七 六 九 九 七

發 行 人

嚴 幼 芝

上海茂名北路三〇〇弄三號
電 話 三 〇 二 七 七

發 行 者

龍 門 聯 合 書 局
上海河南中路二一〇號
電 話 一 七 六 七 四

南 京 東 路 支 店
上海南京東路一五七號
電 話 一 二 七 八 三

分 售 處

龍 門 聯 合 書 局 各 地 分 局
北京分局 東安門大街 82 號
北京南城支店 琉璃廠 103 號
北京西城支店 西單福壽商場 6 號
重慶分局 中山一路 368 號
漢口分局 江漢一路 3 號
瀋陽分局 太原街 40 號
天津分局 羅斯福路 303 號
西安分局 中山大街 217 號
南京經售處 太平路 32 號
廣州經售處 永漢北路 204 號
杭州分銷處 平海路 102 號
長沙分銷處 府正街 36 號

定價人民幣 36,000 元 外埠酌加郵運費

一九五〇年七月初版

一九五一年八月再版

贊助人題名

以姓名筆劃爲序

王國松先生

杜光祖先生

吳金堤先生

周玉坤先生

孫志飛先生

陳章先生

曹鳳山先生

黃友蘭先生

葉元龍先生

楊簡初先生

薛宇澄先生

聶光墀先生

毛啓爽先生

沈三多先生

吳蘊初先生

胡剛復先生

陳大燮先生

郁秉堅先生

章名濤先生

惲震先生

楊叔藝先生

劉寶信先生

鍾兆琳先生

關實之先生

原 序

本書再版，對於有關熱力學及原動機原理部份，皆經全部重寫，以便將前版發行以來，教授期內所得之新處理方法，歸納一起，並收集重要之新材料，編入是書，在此範圍以內，最近已有顯著之進步，故甚多題材，信非僅為教授者所贊同，亦為實際工程師所歡迎也。

下列數點，皆經特別注意：可原返性及 η 之解釋，皆根據最新理論而將繁雜之數學解式，刪去不談；能之普遍公式提前演解，因以下所述之各種實用器械，皆須依據此式以作研究也；按照變值比熱，求各氣體之性質，過程與循環；各種空氣標準包括“真混合物標準”以比較實際內燃機之工作狀況；二起燃燒與複合循環之研討；在用氣體之原動廠中，分為引擎循環，指流體之僅經引擎部份而言者，又有所謂氣體循環者，包括介工物經過之全部系統如鍋爐，原動機，凝器，及抽打機，此兩種循環之區別，因近來採取高壓之趨向而益見其重要。

本版新增之氣體引擎與動力廠系統，有將理想之重熱與迴熱循環，與實際者有相同之重熱與迴熱點數，可作是項新式動力設備之標準，以計算其各種效率。

本書所用之符號，定義及標準，儘可依據美國機械工程師協會之動力試驗法規。書中比較高深而詳細之討論，如時間不足，可以從略，而仍不失其連貫性。

著者對於下列諸先生，深表謝意：現任動力雜誌編輯前康乃爾大學教師斐力先生幫助完成極重要之可原返性及 η 之詳細解釋；郝潑頓教授給予甚多有關於處理內燃機理想循環之指示，伊文思助理教授協助並籌劃解決甚多之習題，及柯柏先生之幫助佈置習題與繪製圖表。

陳 老 師 序

前美國康乃爾大學郝去返教授所著之熱力工程學一書，在世界名著熱力工程學課本中可稱為最完善者；因該書不特敘述詳明，內容豐富，且教材編列程序合理，尤非其他課本所能企及。本人於三十年前在交通大學教授熱力工程學時所用教材，大都取給於該書。

厥後該書經白拿教授及郝教授高足艾能獲教授就該書原旨及編寫方法採集熱力工程學現代發展進步資料將原書一集擴充而為三集（改稱郝艾白三氏合著熱力工程學）內容益臻充實完善。

大同大學教授朱瑞節君於畢業交通大學之後從事於蒸汽發電廠事業有年，近十一年來在大同大學教授熱力工程學課程，鑒於國內缺乏用國文編著或譯著之適當熱力工程學課本，因此學生閱讀外國原文課本感覺文字上之困難，乃於課餘之暇，將郝艾白三氏合著熱力工程學之第一集，經過數年來努力工作，於最近譯著完成，譯筆詳明忠實，可為今後我國習熱力工程學者得一適當課本慶。朱君於發刊該譯本時前來問序於余，爰書數語以資介紹。

陳石英序於上海國立交通大學

一九五〇年六月六日

平校長序

本校電機系主任朱瑞節教授，自電機系開辦以來，即專門教授熱力工程，以其豐富之經驗與卓越之學識，誨人不倦，講授時引喻精淺，談諧間出，令人心嚮往之；故受其教者，無論已否畢業，莫不稱為良師。且先生平日節儉勤勞，作事熱心負責，同學受其感化，養成刻苦耐勞之習慣，畢業後在各大工廠担任工作者，均能發揮此種精神，博得社會不少好評，此於本校電機系之發展，裨補尤多。

先生除任教而外，盡力於機電工程之顧問與鍋爐之檢驗，尤以發電設備最為擅長，凡有疑難工程，經其精心設計或親自處理，無不圓滿完成，以此在電工界享有盛名，已非一日矣。

近以感於中文教本之迫切需要，先生特利用餘閒從事編譯工作，約經年餘之努力，完成熱力工程一書，內容精審，而尤重理論與實際之聯系，對於學術界之貢獻，誠非淺鮮也！今當付印在即，爰樂為之序以資介紹。

平海瀾於大同大學

一九五〇年七月

編 譯 者 言

治工程者，理論與事實不可偏廢。因事實之發生，往往演繹而為理論；而理論之發展，亦可創造事實。學校研究雖以理論為主，但必須輔以種種實驗，使理論與實際相結合。教師講授，除依照教本，循序討論外，必須以實際工作所得之經驗，作為補充教材，否則，往往流為咬文嚼字無裨實際之空談。

往昔留英期間，曾在機電設備製造廠實習，得以明瞭製造上種種情況。返國後負責設計，裝置，運用，承修等工作，及顧問疑難工程凡二十餘年。同時擔任各大學熱力工程講席，以是始終在教學兼顧，心力並勞之狀況下工作。深感學無止境，昔之不知，今始明瞭；向所自以為知，反覺並非深入。十餘年來經反覆研討，對於本書要義，雖大致楚楚，但疑問之處仍有存在。

本書編譯既竣，經多次校閱，發見其中未盡妥善之處甚多；雖屢經更正，但本人才力有限，謹以至誠之心，向國內通達請求指正，俾本書得以改善；非特瑞節一人深感欣幸，即本書讀者亦能多所裨益也。

本書之編，先於1943年選由交大電三機三同學徐椿年，張毓鵬，吳冀良，章肇基，錢妙福，毛鈞燾，王文鎮，朱城，齊毓海，陶德昌，徐修成，金還，王綱毅，金可大，朱文煜，黃永華，錢鍾魯，卜元禮，徐祖本，趙國南，胡法光，鄧漢馨，及大同電三同學鄧漢敏，張鐵錚，顧惟馨，壽繼燦，羅頤壽，錢允中，鄺景歧，章詠平，周時選，董愛德，徐英銳，黃觀鈴，雷樹萱，歐陽效彬，諸君試譯初稿，經初步修改後因奔走衣食而中輟。去年暑假後得錢家麟及錢祥慶兩先生之幫助，由天章紙廠售與紙張而重整前稿，將原文語氣不合中文者修改之，言之未詳及須其他參考或證明者——申述之，惟大體節目則按原著之次序。

原著所附汽表，實屬太簡，不能用插入法，以求數字，是以全部刪去而另譯1948年版計能與季斯所著汽之飽和與過熱表，並將原著之艾能獲圖合為一張與莫理耳圖一併附入，備作習題及考試時用之比較便利。

專門名詞以採取劉仙洲先生所編之英漢機械工程名詞為原則，惟凡詞之有意義者，盡量按照其意義而譯出，非不得已，不從俗，不取音，以求名詞之合理改良。並為適合意義起見，擬造“序”與“電”兩字（見本文第8頁註），尙希方家指正。

人名地名等自應照準確國語讀音譯出；但編者不諳於此，祇得照上海方言草率譯成。人名之第一音，採用近似之中國姓，每名以三字為原則；不得已時則增加之。

本書由各企業家，專家及學者（另見題名）之熱忱鼓勵及有關各廠家之贊助得以出版，又承吾師陳石英夫子及大同大學平海瀾校長之賜序介紹，謹誌感謝。

在編譯，製圖，及校閱期中，常得錢祥塵與錢家麟二先生之協助及商討，甚為感激，而自錢家麟先生北上後，錢祥塵先生之幫助尤為辛勞，特一併誌謝。

朱瑞節於大同大學

一九五〇年七月

教授者注意

本書之主要目的用作大學全年學程之教科書，但若略去比較艱深部份亦可作短期學程之用，其可略去者，擬定如下：

第二章 全部

第三章 全部

第七章 第 71 至 75 節

第八章 第 83 至 89 節

第十一章 第 124, 130, 133, 135 及 136 節

第十五章 第 180 至 185 節

第十六章 第 194 及 196 至 198 節

可從簡者：第 52, 61, 77 至 80, 96, 187 節

除以上指出者外，凡包括氣體之變值比熱者，皆可略去。

本書譯文，字句之標點頗難適當，而申述亦有限度，祇好各憑實際經驗加以解釋。

學習者注意

對於各門功課，欲求澈底明瞭，須經三個階段，第一在聽講前必須預先看過，然後知所難易，摘出不懂之處；第二即在聽講時注意教授之演講，是否可以解決一切疑難問題，而必須詳細研討以達到瞭解為目的；第三欲熟悉原理之應用，惟有將書末之習題——練習，而若干問題之解答，宜用對數—對數計算尺及另譯之汽之飽和與過熱表，可得不少便利。

目 錄

第一章 能與能之變化	1
1. 熱力工程 2. 能 3. 熱爲能之一種 4. 太陽熱 5. 熱之取自機械能者 6. 熱之取自電能者 7. 熱之取自化學能者 8. 熱之單位 9. 工, 工率, 轉矩之單位 10. 介工物 11. 能不生滅與熱力學第一定律 12. 熱力學第二定律 13. 物體之狀態 14. 轉移, 轉變, 與貯能 15. 內能 16. 合熱量 17. 動能 18. 符號	
第二章 沿革	15
19. 用熱產生動力之曙光 20. 實用之始 21. 擺槓引擎 22. 汽機之鼻祖 23. 汽動街車與機車 24. 我國及美國之發展 25. 固定汽機 26. 汽渦輪 27. 內燃機 28. 理論與實踐之進步	
第三章 近代各種動力設備之簡例說明	23
29. 引言 30. 自動車之動力設備 31. 重油原動設備 32. 氣引擎動力設備 33. 簡單之汽動力設備 34. 中央汽動發電廠 35. 機車動力設備 36. 船上動力設備 37. 其他動力設備 38. 動力設備之工程問題	
第四章 能之公式	35
39. 引言 40. 膨脹物所作之工 41. 能之簡單公式 42. 用比熱表示能之公式 43. 穩定流動之條件 44. 限於穩定流動之能之普遍公式 45. 可用能	
第五章 平衡, 可原返性, 及可用性	46
46. 引言 47. 平衡 48. 能之可用性 49. 機械過程之可原返性 50. 能之可用性與熱力過程之可原返性 51. 可原返過程之定義 52. 有熱量轉移之可用性及可原返性 53. 可原返及不可原返之共存於一系統中 54. 實際過程與可原返過程之接近程度 55. 用圖代表法 56. 摘要	
第六章 序	60
57. 引言 58. 序之定義 59. 序之單位 60. 序之物理意義 61. 說明序之實例 62. 結論	
第七章 氣體之性質	67

63. 物質之狀態 64. 鮑爾定律 65. 查理士定律與絕對溫度 66. 氣體之特性公式
 67. 單位 68. 分子重量與通用氣體常數 69. 焦爾氏之實驗 70. R, K_v, K_p , 及 γ
 間相互之關係 71. 氣體之變值比熱 72. 真氣體之特性公式 73. 變值比熱氣體
 之內能 74. 氣體之合熱量 75. 混合氣體

第八章 氣體之熱力過程 83

76. 引言 77. 定容過程 78. 定壓過程 79. 定溫過程 80. 普通過程 81. 普通之
 絕熱過程 82. 理想氣體之定序過程 83. 變值比熱氣體之定序過程 84. 不可原
 返之絕熱過程 85. 縮口或拉線作用 86. 焦爾一湯姆森效應 87. 經過噴管之速
 度 88. 求氣體序值增減之普通方法 89. 解指數方程式之方法 90. 參攷圖表之
 總結

第九章 示工圖 123

91. 示工圖 92. 示工器 93. 壓力-體積圖之類別 94. 圖上絕對值之決定 95. 從
 示工圖中所得之計算 96. 示工圖面積之量法 97. 示工圖之其他用途 98. 協定
 示工圖

第十章 壓縮空氣 129

99. 壓縮空氣之設備 100. 空氣壓縮機 101. 純粹空氣 102. 無餘隙之理想往復
 式空氣壓縮機 103. 壓縮機中對於空氣所作之淨工 104. 餘隙之影響 105. 實際
 單級壓縮機之示工圖 106. 體積效率 107. 冷卻 108. 多級壓縮與中間冷卻
 109. 裝置一例 110. 鼓風引擎 111. 潤滑與爆炸 112. 離心式壓縮機 113. 空氣
 引擎 114. 預熱 115. 空氣渦輪工具 116. 空氣壓縮機之工作狀況

第十一章 氣體循環 151

117. 循環之定義 118. 任何循環之分析方法 119. 卡諾循環之用於氣體 120. 卡
 諾循環之可原返性及可用能 121. 一切可原返引擎之效率 122. 卡諾引擎與真引擎
 之比較 123. 最高效率之標準 124. 製冷機及暖氣機 125. 定容迴熱或史探令循
 環 126. 定壓迴熱或艾立克生循環 127. 岳托循環或卜特洛却循環 128. 空氣標
 準之岳托循環 129. 高熱值, 低熱值, 及效率 130. 真混合物標準岳托循環 131.
 狄塞耳循環 132. 理想空氣標準狄塞耳循環 133. 真混合物標準狄塞耳循環
 134. 二起燃燒循環 135. 白萊通循環 136. 複合或華克循環 137. 各種循環之應
 用 138. 各循環之比較

第十二章 引擎之效率及工作狀況 193

139. 效率之意義 140. 卡諾效率 141. 理想循環效率 142. 熱效率 143. 機械效率 144. 引擎效率 145. 總耗, 總耗率, 單位耗率 146. 各種表示工作狀況方法之比較 147. 荷載對於經濟之影響 148. 摘要

第十三章 內燃機——式樣與構造 200

149. 引言 150. 內燃機之幾種普通式樣 151. 氣引擎 152. 汽油引擎 153. 火油引擎 154. 重油引擎 155. 低壓縮重油引擎 156. 半狄塞耳引擎 157. 狄塞耳引擎 158. 引擎之分類 159. 岳托引擎之調速法 160. 氣門, 混合門, 及其他 161. 化油器 162. 重油處理法 163. 點火方法 164. 電氣點火法 165. 內燃機之氣門機關

第十四章 內燃機——實際運用, 工率, 及工作狀況 233

166. 實際示工圖 167. 四程循環引擎之指示工作及工率 168. 體積效率 169. 決定引擎氣缸尺寸之方法 170. 經濟 171. 熱之平衡

第十五章 氫之性質 249

172. 氫體與氣體 173. 在定壓下氫體之形成 174. 飽和綫 175. 氫體之序及內能之零值 176. 液體及氫體之合熱量 177. 乾度 178. 混合物之性質 179. 氫體狀態之決定 180. 蒸發 181. 沸騰 182. 液體與氫體之不穩定狀態 183. 液態與氣態間之連續性 184. 溫德華方程式 185. 葛雷不隆公式 186. 各種氫體之比較 187. 汽之性質 188. 重要關係之摘要

第十六章 氫體之熱力過程 280

189. 引言 190. 定壓過程 191. 定容過程 192. 可原返絕熱或定序過程 193. 定溫過程 194. 氫體之普遍過程 195. 液體與氫體之節流 196. 汽之測熱器 197. 氫體圖 198. 大氣中之水分

第十七章 氫體引擎循環與氫體循環之簡單者 299

199. 引擎循環與氫體循環之區別 200. 卡諾氫體循環 201. 定序合熱量差(ΔH)之意義 202. 理想及實際耗汽率 203. 賴琴引擎循環 204. 賴琴氫體循環 205. 以賴琴循環為比較之標準 206. 因縮口而損失可用能 207. 不膨脹, 或矩形 PV 引擎循環 208. 不膨脹氫體循環 209. 不完全膨脹引擎循環 210. 不完全膨脹氫體循環 211. 摘要

第十八章 重熱,迴熱,與兩合循環 326

212. 重熱原理 213. 無重熱損失之理想重熱引擎與氣體循環 214. 有重熱損失之理想重熱引擎循環 215. 迴熱循環之原理 216. 有定數加熱器之理想迴熱引擎 217. 有定數加熱器之迴熱氣體循環 218. 有重熱損失及定數加熱器之理想重熱-迴熱引擎循環 219. 重熱-迴熱氣體循環 220. 兩合氣體循環

第十九章 往復汽引擎 352

221. 引言 222. 汽引擎各部之機構 223. 運用方法 224. 餘隙與壓縮 225. 機械損失 226. 汽在實際引擎中之行動情況 227. 汽缸中乾度之測定 228. 侯英之分析 229. 葛來頓之分析 230. 減少汽缸凝結之方法 231. 引擎排汽之凝結與不凝結 232. 單流引擎 233. 史蒂爾引擎 234. 汽引擎之分類及式樣 235. 簡單引擎之協定示工圖 236. 多次膨脹引擎之協定示工圖 237. 華爾夫引擎之示工圖 238. 具有無限容積之接受器而無餘隙之引擎示工圖(概論) 239. 具有無限容積接受器而無餘隙複合引擎之接受器壓力 240. 多次膨脹引擎之汽缸比及膨脹比 241. 多次膨脹引擎變更各汽缸中停點之影響 242. 多次膨脹之實際合併示工圖 243. 汽引擎之用途及工作狀況

第二十章 汽渦輪——概論 397

244. 引言 245. 渦輪原理 246. 壓力分級 247. 速度分級 248. 反動式渦輪 249. 特種汽渦輪 250. 汽渦輪之工作狀況

熱 力 工 程

第 一 章

能 與 能 之 變 化

1. 熱力工程——(一)太古之人，茹毛飲血，穴居山林，幾與禽獸無異；然至今日，獅虎依然，而吾人類已爲萬物之靈者，善於利用自然之資源也。其初，因見一己之能力微薄，從而尋覓自然之助以爲衛，乃漸發現天地間各種變化之理論與規則；由來既久，各項知識之相傳，亦與日俱增，今其理會，實非個人或單一團體所能勝任；乃分而各由專家攻之。繼續探求自然界之秘密，俾人類得更多之知識者，科學家也。從事於研究已發現之知識或定理，用以製造爲人類所需之一切物品者，工程師也。

爲工程師者若欲造福人羣，彼必熟知各種原理及其如何應用，方能勝任。吾人常感心之所致，輒不爲體力所及，此卽工程師所欲解決之主要問題也，因而設法借助於自然所蘊藏之能量；但此自然能量，往往不能爲吾人所直接利用，每須先事變其類，改其質，遷其地，制其時，以適合之，例如藉一熱機得將燃料中之熱能變爲機械能是也。此乃非常重要之問題，蓋世上所需之機械能，大都由於蘊藏豐富，而便於運輸之燃料得來，是以熱機之目的，在將燃料中之熱能，盡其所可，而變爲所需之機械工作也。

(二)熱力學者，在廣義上言，研究熱能與他種能間一切關係之科學。所謂他種能者，包括機械能，電能，化學能，生物能等，故熱力學之範圍甚廣，而屬於一種基本知識。其於工程有關，並在本書範圍以內者，則僅限於熱能與機械能間之各種變化耳。因欲研究熱機，製冷機，及壓縮

機中能之變化，宜先知其所用介工物之性質，是於氣體及液體之性質，亦必加以研討也。

(三)熱力學之研究，基於能見或可測之性質如壓力，體積，溫度及速度等，而後由此類性質之關係，推定其他非為吾人所能直接測量者，如熱，工，及能等。從物質之組織，與分子之運動，推想熱力變化時之情形，祇能幫助吾人記憶與滿足好奇之心耳，故熱力學之研究，當不依據此類思考之所得，而必本各物體於實驗時測得各量間之關係也。

(四)熱力工程乃工程學中之一門，凡燃燒，熱之轉移，熱力學，熱力器械，動力廠，及與相關之經濟等問題均屬之。

2. 能——所謂物體之含有能者，當變其狀態時，可有工完成，通常速度，壓力，比體積及溫度即足以決定物質之狀態；故變更此類特性即能作工。所謂特性者豈僅上述四種，工程師為便利計尚用其他之特性，且待以後詳述之。

3. 熱為能之一種——從實驗可將他種能變為熱，亦可將熱變為他種能，故熱為能之一種，自不待言。舉凡我人所知之物體，莫不含有熱能，且不論其種類或狀態如何，常可取出所含熱能之一部份。此熱能之如何貯於物質內雖不得其詳，惟與分子之排列及運動有關，當屬無疑，然此類精細學識，不必在本文討論也。

4. 太陽熱——人類所用之熱，幾乎全由太陽直接或間接傳來。其直接傳來者，如陽光照地，使地球表面之溫度適宜於草木之生長與動物之生活；熱機之將太陽熱直接變為機械能者，雖曾有之，但因其機身龐大，製造費鉅，且陽光之強、弱、有、無不由人制，是以不合經濟原理而未能普及也。至於間接傳來者，則如陽光使草木生長，經地質之變動，而地層中得藏有燃料，吾人取以燃燒，即得熱能是也。又如陽光照於水面，其得以蒸發，並有熱之變為機械能者，使水上升，遇冷而凝為雨雪，復降於地，使土壤潤濕，宜於草木滋長且使高山有瀑布，大江有急流，可以灌溉，

可置渦輪，以取機械能。吾人日常所得之熱，其由機械能、電能、或化學能所變化而來者，若推其總源，亦大都出自太陽也。

5. 熱之取自機械能者——昔燧人氏鑽木取火，是由機械能而變為熱能者，但此機械能之由來，亦藉陽光之養生，而使吾人得有體力以鑽木也。機械摩擦而生熱，為吾工程師之所熟知，將可成有用工作之機械能，變為無用之熱，實非所宜，應設法減少之；然當使機械減速或停止時，若不將此不能利用之機械能藉輻之作用散為無害之熱，則或有危險發生之虞。吾人日常所需之熱不取之於機械能者，因其他較為便利而經濟之方法甚多也。

6. 熱之取自電能者——電流通過導體時，即有熱能放出。吾人用以傳導電能，則此熱能當被視為損失，但若其目的，即在發熱，如電爐然，不能視作損失矣。

7. 熱之取自化學能者——(一)當物質起化學變化時，有放熱而亦有吸熱者。據物理化學家所說：每組化學品中，必含有定量之能，而此能分為兩份，一部份為熱能，另一部份為化學勢能。經化學作用後，二者之和，如前不變；是欲取熱於化學作用，必使變成之新化合物中化學勢能減少，以得等量之熱能也。

(二)例如炭與氧化合而生熱，當其合而未化之時，在尋常溫度下，熱能較少而化學勢能甚多；一經化合而成二氧化碳後，其化學勢能幾等於零，而完全變為熱能矣，蓋二氧化碳於尋常溫度時，為一種極不活潑之氣體也。其在變化前後之總能相等，惟其分配不同耳；既化合後所增之熱可將二氧化碳之溫度降為常溫而提出之，或使其一部分變為工作，如在氣缸內燃燒而使二氧化碳膨脹至常溫也。

工程上所需之熱量，最普通者，皆由燃料中之各種可燃成分，與氧化合，變成新化合物所發生者。至於此類化學作用，與因而所得之熱，乃屬於燃燒問題也。