

大學叢書

熱工學

(一)

劉仙洲編著

長沙書局出版

再 版 序

此書於一九四一年三月脫稿。因種種延誤，直到一九四八年六月方印出第一版；且仍有不少小的錯誤。在政局不清明之時期，出書之難竟如此！

現第二版已由新華書店繼續印行。因過去十數年內，在熱力工程方面之新發展以燃氣輪一種為最著，故除對於前此排錯之各點盡量提出，加以改正以外，並在書後加「燃氣輪及其所用之循環」一章，以為進一步研究此種新式熱機之基礎。

劉仙洲

一九五〇年七月七日於清華大學勝因院。

序

美國康奈耳大學 Barnard, Ellenwood 與 Hirschfeld 三教授合編之熱工學一、二、三編，爲彼國各大學熱工學一門最通行之教本。吾國各大學機械航空及電機等系所採本門之教本，亦幾無例外。惟原書對於各種熱機之敘述，多失之簡略；對於熱力廠之設備，其文字及次序亦多欠清晰。故吾國各大學之採用是書者，有時只採其第一編；有時採第一與第二兩編；然後即改用他書，以資補救。著者前在北平時即擬用中文寫一部熱工學，次序方面，擬：第一編專述工程熱力學；第二編專述各種熱機；第三編專述熱力廠內之各項設備。內容方面，則第一編擬大體依據是書第一編內關於工程熱力學之各章，後附以壓縮空氣及機力製冷原理；第二與第三兩編則擬參考各書，重行編輯，並使比較加詳。惜初稿未及完成，即遭七七事變，輾轉南下，經長沙蒼梧而達昆明。用前年去年兩個暑假之時間，始將第一編整理完竣。各章習題多係彙報時間內，在昆明東郊之金馬山谷中草成！亦至堪紀念也。

原書附錄之圖表，因已有拙譯 Keenan 所著之蒸汽表與莫理耳圖一書，可資應用；將來更擬將 Ellenwood 圖及 Keenan 與 Keyes 合著之蒸汽之熱力特性等譯出，各出一單行本。圖較大而表較詳，故本編無附錄之必要。

又本編所有插圖，均係朱重熙及朱定一兩君代製。謹誌於此，以表謝忱。

劉仙洲

一九四一年三月三日，於昆明聯大工學院之望蒼樓。

目 錄

第一編 工程熱力學

第一章 能及能之變化

1-1. 熱工學.....	1	1-13. 功, 功率, 與轉矩.....	12
1-2. 人類利用熱能為原動力之略史.....	1	1-14. 熱力學.....	13
1-3. 能.....	6	1-15. 熱力學第一定律.....	14
1-4. 機械能.....	6	1-16. 工質.....	14
1-5. 熱為能之一種.....	7	1-17. 物態.....	15
1-6. 他種能.....	8	1-18. 壓力.....	16
1-7. 能之變化.....	8	1-19. 內能.....	17
1-8. 溫度與溫度計.....	9	1-20. 熱含.....	18
1-9. 熱焓.....	9	1-21. 能量不滅.....	20
1-10. 熱焓之單位.....	10	1-22. 能之降低.....	21
1-11. 熱容量.....	10		
1-12. 比熱.....	11		

習 題

第二章 能量方程式

2-1. 引論.....	27	2-5. 穩定流動之條件.....	33
2-2. 工質膨脹時所作之功.....	27	2-6. 穩定流動之能量方程式.....	34
2-3. 簡單能量方程式.....	30	2-7. 可用能.....	39
2-4. 包含比熱之能量方程式.....	31		

習 題

第三章 氣體之性質

3-1. 理想氣體或永久氣體.....	44	3-3. 查理定律.....	45
3-2. 波義耳定律.....	45	3-4. 絕對溫度.....	46

3-5. 氣體之特性方程式.....47	3-11. 實際氣體之特性方程式.....58
3-6. 理想氣體之壓力與其絕對溫度 之關係.....49	3-12. 定容比熱有變化之氣體之內 能.....58
3-7. 磅分子量與通用氣體常數.....49	3-13. 氣體之熱含.....59
3-8. 參爾試驗.....51	3-14. 混合氣體.....60
3-9. R, K_v, K_p 與 γ 相互之關係.....52	
3-10. 氣體之變比熱.....54	

習 題

第四章 平衡, 可逆性, 與可用性

4-1. 引論.....69	4-14. 實際過程對於可逆過程的 近 似程度.....82
4-2. 機械系統與熱力系統.....69	4-15. 圖示法.....83
4-3. 平衡之定義.....69	4-16. 熱力學第二定律.....84
4-4. 機械平衡之實例.....70	4-17. 絕熱膨脹與絕熱壓縮.....85
4-5. 熱力平衡之實例.....70	4-18. 等溫膨脹與等溫壓縮.....85
4-6. 熱力平衡所包括之內容.....71	4-19. 丁質之工作循環.....85
4-7. 平衡狀態對於研究熱力學之重 要性.....71	4-20. 熱機之熱效率.....87
4-8. 能之可用性.....72	4-21. 加諾循環與其熱效率.....87
4-9. 一機械系統被控制之情形對於 所得可用能大小之關係.....73	4-22. 加諾循環之逆行.....89
4-10. 一機械過程之可逆性.....74	4-23. 加諾原理.....90
4-11. 在熱力過程中能之可用性與 可逆性.....75	4-24. 由加諾循環之熱效率推出絕 對溫度之另一定義.....91
4-12. 可逆過程之定義.....80	4-25. 耶肯對於熱力學第二定律之 說法.....92
4-13. 可逆性與不可逆性在同一系 統中.....81	

習 題

第五章 可用能與熵

5-1. 加諾機之熱效率為可用性之一 種量度.....95	5-3. 加熱與變冷時能之變化.....98
5-2. 有限的熱源.....96	5-4. 由功變熱的不可逆變化.....99
	5-5. 熱之傳導.....100

5-6. 一系統之不可用能.....	102	5-9. 嫡之特性.....	107
5-7. 嫡.....	103	5-10. 嫡之單位.....	111
5-8. 在一獨立系統中嫡及能之變化	105		

習題

第六章 氣體之熱力過程

6-1. 引論.....	113	6-9. 不可逆的絕熱過程.....	143
6-2. 定容過程.....	113	6-10. 阻塞或拔絲現象通論.....	146
6-3. 定壓過程.....	118	6-11. 焦爾湯姆孫效應.....	148
6-4. 等溫過程.....	122	6-12. 經過噴管所得之速度.....	149
6-5. 多變過程.....	125	6-13. 求一種氣體嫡之變化之通法	151
6-6. 絕熱過程通論.....	129	6-14. 解指數方程式之方法.....	152
6-7. 理想氣體的等容過程.....	130	6-15. 參考圖表.....	157
6-8. 具有變比熱的氣體之等容過程	134		

習題

第七章 氣體之循環

7-1. 循環之定義.....	166	7-12. 提塞爾循環.....	197
7-2. 分析一循環之方法.....	167	7-13. 理想的空氣標準提塞爾循環	199
7-3. 加諾循環與其分析.....	170	7-14. 實際混合氣標準提塞爾循環	203
7-4. 加諾循環順行與逆行之比較.....	174	7-15. 雙燃循環或半提塞爾循環.....	208
7-5. 加諾熱機與實際熱機之比較.....	175	7-16. 布濟敦循環.....	210
7-6. 製冷機與製熱機.....	176	7-17. 集成循環或瓦耳克循環.....	212
7-7. 定容回熱循環或斯忒林循環.....	179	7-18. 高低發熱量與效率.....	214
7-8. 定壓回熱循環或埃利克松循環	183	7-19. 各種循環之應用.....	216
7-9. 鄂圖循環或包德洛沙循環.....	183	7-20. 各種循環之比較.....	216
7-10. 空氣標準鄂圖循環.....	187		
7-11. 實際混合氣鄂圖循環.....	189		

習題

第八章 熱機之效率與性能

8-1. 效率之意義.....	224	8-2. 加諾效率.....	225
-----------------	-----	----------------	-----

8-3. 理想的循環效率.....	225	8-8. 表示性能之方法之比較.....	229
8-4. 熱效率.....	225	8-9. 載荷對於經濟之影響.....	229
8-5. 機械效率.....	226	8-10. 總結.....	231
8-6. 機效率.....	227		
8-7. 耗熱量.....	228		

習 題

第九章 蒸發汽之性質

9-1. 蒸發汽與氣體.....	235	9-10. 沸騰.....	254
9-2. 在定壓之下蒸發汽之作成.....	235	9-11. 液體與蒸發汽之不穩定狀態.....	255
9-3. 飽和線.....	240	9-12. 液態與汽態之連續性.....	257
9-4. 蒸發汽內能與焓之零值.....	243	9-13. 凡得瓦耳方程式.....	261
9-5. 液體與蒸發汽之熱含.....	244	9-14. Clapeyron 方程式.....	264
9-6. 品質或乾度.....	249	9-15. 各種蒸發汽之比較.....	266
9-7. 混合汽之性質.....	250	9-16. 蒸汽之性質.....	269
9-8. 說明蒸發汽之物態.....	252		
9-9. 蒸發.....	252		

習 題

第十章 蒸發汽之熱力過程

10-1. 引論.....	278	10-7. 液體與蒸發汽之阻滯過程..	290
10-2. 定壓過程.....	278	10-8. 蒸汽乾度測驗器.....	293
10-3. 定容過程.....	281	10-9. 蒸發汽線圖.....	298
10-4. 等熵過程.....	284	10-10. 大氣中之水份.....	302
10-5. 等溫過程.....	288		
10-6. 蒸發汽之多種過程.....	289		

習 題

第十一章 蒸發汽機與蒸發汽之簡單循環

11-1. 蒸發汽機循環與蒸發汽循環之不同.....	311	11-5. 耶肯機循環.....	322
11-2. 加諾蒸發汽循環.....	312	11-6. 耶肯汽循環.....	324
11-3. 在等熵之下熱含差數之意義.....	316	11-7. 耶肯循環可用作比較之標準.....	330
11-4. 理想的與實際的用汽率.....	320	11-8. 因阻礙作用所損失之可用能.....	333
		11-9. 不膨脹機循環.....	335

11-10. 不膨脹汽循環..... 338	11-13. 本章總結..... 345
11-11. 不完全膨脹機循環..... 341	習 題
11-12. 不完全膨脹汽循環..... 348	

第十二章 重熱, 回熱, 及兩汽循環

12-1. 重熱原理..... 355	12-6. 具有一定數目之預熱器之回熱 汽循環..... 372
12-2. 無任何損失且具有重熱裝置之 理想機循環與理想汽循環... 356	12-7. 包含重熱損失並具有一定數目 之預熱器之理想的重熱回熱 機循環..... 376
12-3. 包含重熱損失的理想重熱機循 環..... 359	12-8. 重熱回熱汽循環..... 381
12-4. 回熱循環原理..... 364	12-9. 兩汽循環..... 384
12-5. 具有一定數目之預熱器之理想 的回熱汽循環..... 366	習 題

第十三章 壓縮空氣

13-1. 壓縮空氣..... 393	13-10. 多級式壓縮與中間冷卻..... 406
13-2. 壓氣機..... 394	13-11. 標準裝置法..... 410
13-3. 自由空氣..... 394	13-12. 鼓風機..... 412
13-4. 無餘隙容積之理想的往復式壓 氣機..... 394	13-13. 滑潤與爆炸..... 413
13-5. 在壓氣機內對於空氣所作之純 功..... 396	13-14. 離心式壓氣機..... 413
13-6. 餘隙容積之影響..... 399	13-15. 空氣機..... 415
13-7. 實際單級壓氣機之功圖..... 401	13-16. 預熱..... 419
13-8. 容積效率..... 403	13-17. 空氣輸工具..... 420
13-9. 冷卻..... 404	13-18. 壓氣機之性能..... 420
	習 題

第十四章 機力製冷原理

14-1. 製冷與機力製冷..... 426	14-6. 氣體與蒸發汽製冷循環..... 431
14-2. 製冷劑..... 426	14-7. 空氣製冷循環..... 432
14-3. 機力製冷發展之略史..... 426	14-8. 蒸發汽製冷循環..... 436
14-4. 機力製冷之基本原理..... 427	習 題
14-5. 性能係數..... 430	

第十五章 燃氣輪及其所用之循環

15-1. 燃氣輪在各種熱機中之地位……	440	15-9. 燃氣輪之回熱重熱循環……	450
15-2. 燃氣輪之所以發展較晚及最近 方達到成功之故……	440	15-10. 壓氣機採用中間冷卻法……	451
15-3. 燃氣輪之基本裝置……	441	15-11. 燃氣輪之回熱重熱循環，並 在壓氣機上加中間冷卻裝 置……	452
15-4. 燃氣輪之基本循環……	443	15-12. 兩軸裝置……	453
15-5. 等熵效率或壓氣機之內效率……	444	15-13. 合口循環或熱氣輪……	454
15-6. 膨脹效率或燃氣輪之內效率……	445	15-14. 半合口循環或混合循環……	456
15-7. 全單位或全循環之效率……	446		
15-8. 燃氣輪之回熱循環……	448		
		習 題	
譯名對照表……			461
索 引……			473

第一編 工程熱力學

第一章 能及能之變化

1-1. 熱工學(Heat Power Engineering) 熱工學所包之範圍甚廣。凡工程熱力學，各種熱機，熱力廠內之各種設備，燃料，燃燒，熱之傳達，及其他一切關於「熱與功」之問題均屬之。

1-2. 人類利用熱能為原動力之略史 (a) 人類高出於其他動物之點雖有種種，然能利用本身以外之物以幫助甚至代替吾人作工，以達到吾人自身所不能或不易達到之種種目的，應為最重要之一項。此種幫助甚至代替吾人作工之物，普通均稱之為機械。當人類初知利用機械之時期，其原動力仍出自本身。迨後更進一步，對於原動力亦知設法由本身以外求之，其進展之情形約略如下：

- 一、利用其他動物之能為原動力，
- 二、利用風之動能為原動力，
- 三、利用水之動能或位能為原動力，
- 四、利用熱能為原動力。

其他動物之能失之太小，風與水又多限於一定之區域，不能隨時隨地得之，故對於工業上之影響比較不大(近數十年來，因電工發達，採用水力發電方法，使水之動能先變為電能，而電能之傳達又比較經濟，故用水之動能為原動力一項，已較前大為進步)。惟地面上

之燃料，分布比較普遍；儲量比較豐富；運輸比較便利；所含之熱能又比較甚多；故自人類發明利用熱能為原動力以來，各種工業均發生極大之改革與進展。生活方面亦發生甚大之改變。故就全人類之歷史言，不能不認為係一種極重大之發明也。

又凡變化他種能為機械能之機械，均謂之發動機或原動機。而變化熱能為機械能之發動機則謂之熱機(heat engines)。

(b) 所有熱機可分為下列五大類：

一、蒸汽輪(steam turbine) 用蒸汽之衝動力或反動力，使一葉輪迴轉，直接即帶動葉輪之軸使之同轉。多簡稱之為汽輪。

二、蒸汽機(steam engine) 用蒸汽之壓力，推動一汽缸內之活塞，使之往復運動。再由一種機構間接傳於機軸，使之迴轉。

三、內燃機(internal combustion engine) 使燃料直接在氣缸內燃燒，用其爆炸力推動活塞，再由一種機構間接傳於機軸，使之迴轉。

四、燃氣輪(combustion gas turbine) 使燃料燃燒後所發生之氣體直接衝動一葉輪，即帶動葉輪之軸使之同轉。與蒸汽輪相似。

五、熱空氣機(hot air engine) 在一氣缸內密封定量之空氣，交替由外部向之加熱或由之減熱，使之或漲或縮，以動作一活塞。再間接傳至機軸使之迴轉。

(c) 茲將各種熱機之發明及應用上之發展擇要列下：

公元前 120 年，埃及 Hero of Alexandria 曾有兩師記載。第一種係一雞形的反動式汽輪。其構造係將一空球活裝於兩橫軸上。兩橫軸向下彎曲，作成兩立柱。其中一空，與下部之汽鍋相通。汽鍋內

所生之蒸汽，經空柱空軸而入於球內。球之中部，在相反之方向各裝一曲管，其開口之方向彼此相反。當蒸汽向外逃出時，各生相當之反動力，結果遂使空球發生迴轉之運動。(註一)

第二種係一罐形的熱空氣機。其構造係在一廟門之前，置一方形中空之祭台，台下由一管與一空球相通。空球之下半注以水，並由一彎管自水內通於另一筒，筒之上端由兩繩繫之。此兩繩經過一滑車後，分別纏繞於兩廟門樞軸之下部，且纏繞之方向恰相反。當在祭台上燃火時，其中之空氣因受熱而膨脹，下壓空球內之水，使由彎管流入筒內。筒之全重因之增加，牽引兩繩，使兩廟門之樞軸迴轉，兩廟門即因之自行開啓。若將祭台上之火熄滅，其內之空氣冷縮，一切動作均與以前相反。兩廟門即因之自行關閉。對定量之空氣交替加熱或減熱，使之或漲或縮，以得到一定之工作，實完全合於熱空氣機之理。(註二)

公元後 1150 年左右，中國有一種罐形的燃氣輪之記載，即走馬燈。其構造係於一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，所生之熱氣上騰，推動葉輪使之迴轉。軸之中部，沿水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。將上述各物共置於一紙糊之燈籠中。當夜間燃燈後，紙剪人馬隨軸旋轉，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，使只佔下部，不妨礙中部之影。而在外層內裝置數紙人，使其一手一足或頭部，由一

註一：參考 J. A. Moyer 著 Steam Turbine p.4.

註二：參考 J. A. Ewing 著 The Steam-Engine and other Heat Engines p.3.

細鐵絲通於內層，一面在內層立軸之下部，橫裝一細鐵絲，使每次迴轉至前面時，即撥動由外層伸入之細鐵絲一次，結果外層之紙人遂發生相當之動作。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，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。按范成大係紹興年間進士。紹興係南宋高宗年號（1131—1162）。故斷定走馬燈之發明至晚亦在1150年左右，當無疑問。

1550年，西洋有雛形燃氣輪之記載，稱之爲 Smoke Jack。其構造係在烟筒內之上部裝一立軸，其上亦橫裝一與風輪相似之平輪。當下部火爐內之燃氣上騰時，即因其衝動力而迴轉。立軸之下部，再用其他齒輪等機構，使轉動在爐上烤肉之鐵籤。（註三）

1629年，義國建築家 Giovanni Branca 有一種雛形的衝動式汽輪之記載，其構造係用金屬中空之半身像代一汽鍋，下部燃火。蒸汽由像之口部一細管噴出，衝至一葉輪周圍之葉片上，葉輪即因之迴轉。葉輪軸之上部，裝置一燈輪（相當一小齒輪），再帶動一橫軸上之一大齒輪，此大齒輪上之齒均係與橫軸平行，與燈輪銜接，其作用與一對斜齒輪無異。橫軸上復裝置兩撥板，其作用與兩凸輪相同。當橫軸迴轉時，兩撥板撥動兩立桿上之兩突起。立桿之下各裝一錘，分置於兩臼之內。當葉輪被衝動而迴轉時，先轉動立軸，再由燈輪與大齒輪使橫軸隨之轉動。更由撥板與突起之作用，使兩立桿交替升降，錘在臼內遂發生工作。（註四）

註三：參考 J. A. Moyer 著 Steam Turbine p.507.

註四：同註三，p.5.

1678—1679年，南懷仁在中國北京試驗 Branca 之汽輪。並試用於一小車，可稱之為汽車之始祖。試用於一小船，可稱之為汽船之始祖。(註五)

1680年，荷蘭 Huygens 試驗以火藥為燃料之內燃機。

1698年，英國 Savery 發明利用蒸汽以排水之機械。

1705年，英國 Papin 改良 Savery 之蒸汽機，採用活塞等裝置。同年英國 Newcomen 製成所謂大氣機(Atmospheric engine)。

1763年，英國 James Watt 改良 Newcomen 之蒸汽機，使達到比較完善之地步。1781年，又改為迴轉式，應用方面大為推廣。

1791年，英國 John Barber 發明一種壓力較高之燃氣輪。

1807年，美國 Fulton 用蒸汽機於輪船達到商業上成功之地步。

1827年，英國 Stirling 發明一種熱空氣機。

1829年，英國 George Stephenson 始用蒸汽機於火車。

1860年，法國 Lenoir 製成可以實用之內燃機。

1873年，英國 Ereccion 又製成一種熱空氣機。

1876年，德國 Otto 發明四程循環之內燃機。

1878年，法國 Bollee 始用蒸汽機於汽車。

1882年，瑞典 De Laval 根據 Branca 之原理製成衝動式汽輪。

1884年，英國 Parsons 根據 Hero 之原理製成反動式汽輪。

1885年，德國 Carl Benz 始用內燃機於汽車。

1892年，德國 Diesel 發明用柴油之內燃機。

註五：參考劉仙洲著：中國在熱機歷史上之地位。(東方雜誌卅九卷十八期)。

1897年,英國 Parson 始用汽輪於輪船。

1903年,美國 Wright 兄弟始用內燃機於飛機。

1922年,瑞典 Ljungström 始用汽輪於火車。

1-3. 能 (energy) (a) 一物體或一部分物質,當其物態 (state) 或情況 (condition) 發生變化即能發生功 (work) 時,則此物體或此一部分物質即謂之含有相當之能。例如一運動之物體,當其速度變低時,即能發生相當之功;一位於較高地位之物體,當其地位變低時,即能發生相當之功;故每一物體均謂之含有相當之能。

(b) 又一物體所含之能,與一物體所有之運動之性質相同,完全係相對的。倘不假定一種人為的標準,則一物體所含之能無法給出其絕對數量。例如稱定量之水在一定之高水位所含之能為若干,係以同量之水在一較低水位所含之能為標準。稱具有一定速度之物體所含之能為若干,係與一在地面上靜止之物體所含之能為標準。稱一磅蒸汽所含之能為若干,係以一磅在冰點溫度之水所含之能為標準。

1-4. 機械能 (mechanical energy) 機械能計分兩大類:

a、機械動能 (mechanical kinetic energy) 一物體或一部分物質,當其速度發生變化即能發生功時,則謂之含有機械動能。當物體之速度減低時,則此物體必向他物體發出功。當物體之速度增高時,則必有他物體加功於此物體。又如物體之重量為 w , 其速度由 v_a 變至 v_b , 則所作之功為:

$$W_k = \frac{1}{2} \left(\frac{w}{g} \right) \times (v_a^2 - v_b^2) \quad (1-1)$$

倘 v_b 大於 v_a ，則所得結果為負號，意即由外部加功於此物體。如 w 以磅計，速度以每秒若干呎計， g 以每秒每秒若干呎計，則功之單位當以呎磅計。

又當一物體之速度為 v 時，則此物體所含之動能為：

$$KE = \frac{w}{2g} v^2 \quad (1-2)$$

b、機械位能 (mechanical potential energy) 一物體或一部分物質，當其位置之高下發生變化即能發生功時，則謂之含有機械位能。此物體所含位能之多少，由所在之位置落至一定之標準位置時所能發出之功表之。例如在高水位所儲之水及被伸展或壓縮之彈簧等，皆為含有位能之物體。

1-5. 熱為能之一種 關於熱究為何物之理論，有新舊二種：舊說有時謂之微粒說 (Corpuscular Theory)，又謂之惟質說，謂熱為一種極稀薄之流體，名之曰卡路里或熱素 (calorie)。物體得之則熱，失之則冷。加多時則溫度高，減少時則溫度低。至十八世紀之末，經 Rumford 及 Davy 等由種種試驗，證其誤謬，別創一種新說，謂之分子運動說 (Molecular kinetic Theory)，又謂之惟能說。認熱為動能之一種，即物體分子運動之動能。

此說係假設無論何種物體，其分子恆以相當之速度運動。如運動之速度低，則分子所含之動能少，吾人觸之即生冷之感覺。若以適當之方法加之以能，則分子所含之動能加多，運動之速度增高，吾人觸之即生熱之感覺。當冷熱二物體互相接觸時，其冷熱漸趨於平均者，以接觸處熱物體之分子衝動冷物體之分子，因之一方面分子之

速度漸增，一方面分子之速度漸減，徐徐傳達，漸趨平均也。

又在固體，其分子之運動係一種往復之振動。溫度高時，其速度與振幅均大，溫度低時，其速度與振幅均小，物體因溫度之高低而有漲縮者以此。

若溫度更高，因之分子之運動加劇。至振動之力勝過各分子之凝集力之一部時，則物體不能保持其固有之物態，遂由固體變為液體。若再加熱，使分子振動之力完全勝過分子之凝集力時，則物體由液體變為氣體。

惟對輻射熱之解釋，則較舊說稍難，舊說可解釋為係由熱物體直接輻射而來，新說則須假設宇宙間係充滿一種以太(Ether)，當熱物體之分子振動時，其動能先傳於以太，使之發生振動，再傳於其他物體，與光電在空中之傳達同。

1-6. 他種能 除熱能與機械能以外，對於工程有關者尚有數種；如電能與化學能等。燃料與炸藥中所蓄之能可稱之為化學位能(chemical potential energy)，又有數種能與波動有關，例如聲為空氣波動所傳達之能，光為以太波動所傳達之能等。

1-7. 能之變化(transformations of energy) 各種能常能互相變化。例如在一動力廠中，煤中所含之化學位能經燃燒而變為熱能，加入水中使生蒸汽，再由蒸汽機或蒸汽輪變其一部為機械能，倘用蒸汽機或蒸汽輪帶動一發電機，則又由機械能變為電能矣。在工程上各種能互相變化之例甚多，茲擇數例列表如下：

機械能變熱能……氣體之壓縮；摩擦；撞擊等。

熱能變機械能……各種熱機及物體之膨脹與收縮。