

科學圖書大庫

# 動力氣象學

譯者 嚴夢輝

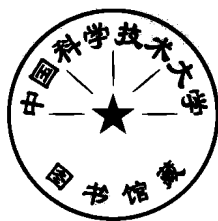
徐氏基金會出版

1643

科學圖書大庫

# 動力氣象學

譯者 嚴夢輝



徐氏基金會出版

美國徐氏基金會科學圖書編譯委員會

# 科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員  
編輯人 林碧鏗 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十一年五月廿一日初版  
中華民國六十二年九月三十日再版

## 動力氣象學

定價 ~~新台幣六十元 港幣五元~~  
改訂為基價 3.10元

譯者 嚴夢輝 美國空軍技術學院研究

內政部內版臺業字第1347號登記證

出版者 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 臺北郵政信箱53-2號 電話 785250 號  
783686  
發行人 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 林碧鏗 郵政劃撥帳戶 第15795號  
印刷者 高山彩色印刷有限公司

## 我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力，在整個社會長期發展上，乃人類對未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同把人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之成就，已超越既往之累積，昔之認為絕難若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人有無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤為社會、國家的基本任務。培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如物理、數學、生物、化學，漸作接觸，及至大專院校，便開始專科教育，均仰賴師資與圖書的啓發指導，不斷進行訓練。從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學。旨趣崇高，至足欽佩！

科學圖書是學人們研究、實驗、教學的精華，明確提供科學知識與技術經驗，本具互相啓發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的收穫。我國民中學一年級，便以英語作主科之一，然欲其直接閱讀外文圖書，而能深切瞭解，並非數年所可苛求者。因此，本部編譯出版科學圖書，引進世界科技新知，加速國家建設，實深具積極意義。

本基金會由徐銘信氏捐資創辦，旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利。民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，返國服務者十不得一。另贈國內大學儀器設備，輔助教學頗收成效；然審度衡量，仍嫌未能普及，乃再遂承國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧鏗氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱。「科學圖書大庫」首期擬定二千冊，凡四億言，叢書百種，門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。從事翻譯之學者五百位，於英、德、法、日文中精選最新基本或實

## II

用科技名著，譯成中文，編譯校訂，不憚三復。嚴求深入淺出，務期文圖並茂，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，有教無類，效果宏大。賢明學人同鑑及此，毅然自公私兩忙中，撥冗贊助，譯校圖書，心誠言善，悉付履行，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬菲薄，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，報國熱忱，思源固本，僑居特切，至足慰！

今科學圖書大庫已出版七百餘冊，都一億八千餘萬言；排印中者，二百餘冊，四千餘萬字。依循編譯、校訂、印刷、發行一貫作業方式進行。就全部複雜過程，精密分析，設計進階，各有工時標準。排版印製之衛星工廠十餘家，直接督導，逐月考評。以專業負責，切求進步。校對人員既重素質，審慎從事，復經譯者最後反覆精校，力求正確無訛。封面設計，納入規範，裝訂注意技術改善。藉技術與分工合作，建立高效率系統，縮短印製期限。節節緊扣，擴大譯校複核機會，不斷改進，日新又新。在翻譯中，亦三百餘冊，七千餘萬字。譯校方式分為：(1)個別者：譯者具有豐富專門知識，外文能力強，國文造詣深厚，所譯圖書，以較具專門性而可從容出書者屬之。(2)集體分工者：再分為譯、校二階次，或譯、編、校三階次，譯者各具該科豐富專門之知識，編者除有外文及專門知識外，尚需編輯學驗與我國文字高度修養，校訂者當為該學門權威學者，因人、時、地諸因素而定。所譯圖書，較大部頭、叢書、或較有時間性者，人事譯務，適切配合，各得其宜。除重質量外，並爭取速度，凡美、德科學名著初版發行半年內，本會譯印之中文本，廢即出書，欲實現此目標，端賴譯校者之大力贊助也。

謹特掬誠呼籲：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者，與從事科學建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究學人、留學生；

大專院校及研究機構退休教授、專家、學者。

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或聯袂而來譯校叢書，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世。本基金會樂於運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。祈學人們，共襄盛舉是禱！

# 譯 序

自從十七世紀培根倡導歸納演繹法以來，科學乃突飛猛進，有一日千里之勢。以方法學 (methodology) 的觀點來看，不論那一門知識，如果沒有演繹基礎或演繹基礎脆弱，縱然材料紛陳，仍不得視為科學或健全的科學。近代氣象學之所以能夠稱為科學，而且是已臻成熟的科學，並非端賴探測儀器的日新月異，蒐集資料的與日俱增，和分析方法（包括統計技術）的精益求精，乃在於具備強固的演繹基礎，於是天氣預報甚至天氣控制才有其可能。

氣象學的演繹基礎，就是挪威學派所奠立的動力氣象學。早在1945年，該派理論家之一的霍姆包 (J. Holmboe)，於其名著動力氣象學一書中開始便這樣指出：「一個最成功的預報員，必然是能夠圓滿解釋大氣物理稟性的人；反過來說，一個能夠圓滿解釋大氣物理稟性的人，也必然是最成功的預報員」。當時他所說的，還不過止於「解釋」而已。今日數值天氣預報（或稱數值法動力預報）的成功，更已步入動力氣象學直接應用的階段，證據歷歷在目，實不容絲毫置疑。所以凡是準備研究氣象學及其相關科學的學者，對於動力氣象學都應有相當深入的了解。否則，難免買櫝還珠，不識本質所在。

不幸，流體的「自由度」(degree of freedom) 太大，能量變換過程又極端複雜，勢非使用高深數學不可。由於初學者數學工具不足，每多裹足不前，望而却步。不過，為了解決氣象科學教育上的迫切問題，以最少而最淺顯的數學工具，來作相當程度的討論，也並非不可能。例如，把氣壓看成純量，不用張量來處理，固然有礙完整性 (completeness)，但仍無損一般性 (generality)。目前以中文撰述的動力氣象學，除散見於研究性的學術論文之外，還未出現適合於以上目標的著作，初學者頗感不便。本書的翻譯，就是為了適應是項需要，希望對於一般氣象從業人員、大專氣象及其相關科系的學生、高中物理和地球科學教師、環境科學工作人員以及關心該問題的一般人士，能夠有所幫助。

本書原名「理論氣象學導引」(Introduction to Theoretical Meteorology)，

因其中只有輻射三章涉及「物理氣象學」的題材，所以譯者把它改稱為「動力氣象學」，但課文中偶然提到書名時，仍譯為「理論氣象學」，以求存真。譯者濫竽動力氣象學的講授雖達十餘年之久，惟自愧學殖淺薄，遂譯時掛一漏萬，一定難免，謹以十二萬分的誠意，歡迎博雅君子的批評和指教！

**嚴夢輝**

中華民國六十一年二月

於 若谷齋

# 原 序

氣象學的現狀，既然和基本理論的發展唇齒相依，如其真實的科學本質不致以訛傳訛，那麼純描述性的書籍便難以勝任。可是，就現有的大多數理論書籍而言，由於題材表現方式陳陳相因，已使理論氣象學蒙受「扞格難入」的不當之名。長久以來，著者認為捨棄高深的數學工具，而以適切嚴密的體裁來表達這一門學科，是有其可能的。也許用向量分析一類方法，對於學有所成的理論學者才有美感上的滿足；但是，依著者教學經驗的體會，大部分初學者每被陌生的數學語言所困惑。

因此，讀者除了對微積分有深入了解外，本書並不作數學上的苛求。雖然也會偶爾見到微分方程式，但讀者不必領悟解法，只需用代換法核驗所給的解答，使它滿足掌握的方程式即可。總而言之，著者努力而為的是在撰述理論氣象學，而不是高等數學。

反之，著者覺得最重要的，倒是要把這一學科的基礎和古典物理學緊密連繫起來，所以假定讀者已經奠定後者的良好基礎。本書多半採用演繹法，但在適當的地方，也舉示一些由觀測經驗而來的例子。因為科學既不是純演繹的，也不是純歸納的，以後在許多實例裡面，可以看到觀測乃啓示着並有力地引導着理論的發展。

本書主要是為欲窺理論氣象學門徑，或想做一番複習的人士而編寫。參考文獻的列註，只是對那些未加證明的論斷，有引據必要時為限。並提供一些指示性的材料，以便增廣讀者的認識。所以本書不擬羅列詳盡的書目。

各章之後大部分都附有習題，在使學生藉解答疑難問題以學習運用理論為原則。著者曾經煞費周章，就難易程度的等級，擷取範圍廣泛的題材。其中包括一些比較簡單的問題，應從以前推演所得的公式，求出數值的結果。還有一些問題，則必須運用學生才智加以深沉的思考。

本書搜羅的材料，比通常適於一年課程所能包括者之所以為多，是在提供教師有適當選材的餘裕。例如，討論輻射的第八、第九及第十等三章不妨全部刪除。第十七到第二十一任何一章如加以省略，都不致影響內容的連貫。



本書各部分曾蒙許多同仁的指教或批評，著者在此要謹致謝忱的，有：Werner A. Baum, Warren A. Dryden, Thomas A. Gleeson, Noel LaSeur, Julius London, Stanley L. Rosenthal，及已作古的 Leon Sherman 等諸位先生。尤其要感謝前後各年級的同學，他們曾以不同版本的油印講義，勤研勉學，使本書得能充實完成。不過，儘管蒙諸君鼎力相助，謬誤不當之處仍恐難免，當然應由著者個人完全負責。

**希斯**

(S. L. Hess)

# 目 錄

譯 序	III
原 序	V
第一章 緒論	I
1.1 物理基礎 , 1	
1.2 理論氣象學的目標 , 3	
1.3 單位與因次 , 4	
1.4 地球 , 6	
1.5 大氣 , 7	
習題 , 8	
第二章 狀態方程式	10
2.1 狀態變數 , 10	
2.2 查理定律 , 11	
2.3 波義耳定律 , 12	
2.4 理想氣體狀態方程式 , 13	
2.5 混合氣體 , 15	
習題 , 16	
第三章 熱動力學原理	17
3.1 功 , 17	
3.2 熱 , 19	
3.3 能量守恒律 , 20	
3.4 理想氣體的內能與比熱容量 , 23	
3.5 絕熱過程 , 25	
3.6 焓與熱動力學第二律 , 26	
3.7 熱動力變數綜述 , 31	
習題 , 31	
第四章 水汽與濕空氣的熱動力學	33
4.1 容壓圖上的等溫線 , 33	
4.2 水質之熱的性質 , 34	
4.3 濕空氣的狀態方程式 , 36	
4.4 相位變化與潛熱 , 37	
4.5 克勞瑟斯、克萊普倫方程式 , 39	
4.6 飽和空氣的絕熱過程 , 44	
4.7 濕度變數 , 49	
習題 , 54	
第五章 熱動力圖	56

- 5.1 一般認識，56  
 5.2 比能圖，58  
 5.3 溫焓圖，59  
 5.4 斜溫圖，61  
 5.5 史提維圖，64  
 5.6 熱動力圖的抉擇，64  
 習題，65

## 第六章 流體靜力平衡 66

- 6.1 流體靜力方程式，66  
 6.2 高空探測的高度計算，68  
 6.3 特殊大氣的流體靜力學，71  
 6.4 測高術，76  
 6.5 海平面氣壓的推算，78  
 習題，79

## 第七章 流體靜力穩度與對流 81

- 7.1 一般認識，81  
 7.2 乾絕熱與濕絕熱遞降率，81  
 7.3 小塊法，83  
 7.4 氣層位移時穩度的變化，88  
 7.5 薄層法，91  
 7.6 積雲中的攝入作用，94  
 7.7 氣泡論，97  
 習題，99

## 第八章 基本輻射物理學 101

- 8.1 輻射的本性，101  
 8.2 原子及分子波譜，102  
 8.3 散射，105  
 8.4 黑體輻射，107  
 8.5 輻射傳播，110  
 習題，112

## 第九章 太陽輻射與地面輻射 114

- 9.1 太陽輻射的本性，114  
 9.2 太陽輻射的地理與季節分佈，116  
 9.3 地面輻射，119  
 習題，122

## 第十章 地球大氣系統中輻射的應用 124

- 10.1 艾氏法的基礎，124  
 10.2 艾氏圖，126  
 10.3 雲層的輻射加熱與冷卻，130  
 10.4 大氣的紅外線輻射冷卻，131  
 10.5 從海洋極地空氣到大陸極地空  
 氣 的變換，133  
 10.6 輻射平衡與成層氣圈，134  
 10.7 年平均熱平衡，137  
 習題，142

## 第十一章 旋轉地球上的運動方程式 143

- 11.1 慣性及其相應的非慣性坐標系，143
- 11.2 旋轉坐標系中的動力方程式，144
- 11.3 萬有引力與相應的重力，148
- 11.4 氣壓梯度力，150
- 11.5 慣性運動，151
- 11.6 個別導數、局部導數及對流導數，153  
習題，154

## 第十二章 各力平衡下的水平運動 155

- 12.1 平衡運動，155
- 12.2 地轉式氣流，155
- 12.3 阻力效應，158
- 12.4 梯度式氣流，159
- 12.5 地轉風值與梯度風值的比較，164
- 12.6 旋轉式氣流，166
- 12.7 不在水平面上的氣壓梯度表示法，166
- 12.8 熱風方程式，168  
習題，174

## 第十三章 流體運動學 176

- 13.1 運動學與動力學，176
- 13.2 線性速度場的分解，176
- 13.3 流線、跡線與絡線，180
- 13.4 定流函數，183
- 13.5 環流及其與旋量的關係，186
- 13.6 連續方程式，189
- 13.7 掌握大氣的完全方程式組，193  
習題，194

## 第十四章 氣壓變化的力學作用與影響 196

- 14.1 趨勢方程式，196
- 14.2 貝克納斯、霍姆包理論，198
- 14.3 等變壓風，201  
習題，203

## 第十五章 不連續面 205

- 15.1 不連續性，205
- 15.2 鋒，206
- 15.3 地轉風場中的鋒，207
- 15.4 看成突變區的鋒，208
- 15.5 對流界，210  
習題，211

## 第十六章 環流、旋量及輻散等定理 213

- 16.1 環流定理，213
- 16.2 環流定理的物理解釋，216
- 16.3 環流定理應用舉例，218
- 16.4 旋量定理，220
- 16.5 西風帶長波理論，226
- 16.6 輻散定理，229  
習題，230

## 第十七章 以氣壓爲獨立坐標的基本方程式 232

- |                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| 17.1 高度的氣壓代換法，232  | 17.4 連續方程式，234       |
| 17.2 水平導數與時間導數，232 | 17.5 旋量方程式與輻散方程式，235 |
| 17.3 運動方程式，234     | 17.6 地轉風及熱風近似式，237   |

## 第十八章 黏性與湍流 238

- |                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| 18.1 黏性基本定律，238      | 18.6 最低湍流層風的垂直結構，248   |
| 18.2 包括黏性的運動方程式，239  | 18.7 最低湍流層以上風的垂直結構，251 |
| 18.3 湍流中的平均運動方程式，241 | 18.8 其他性質的擴散，255       |
| 18.4 模型法與動力模擬，243    | 習題 262                 |
| 18.5 混合長度理論，246      |                        |

## 第十九章 能量與穩度的關係 264

- |                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| 19.1 能量方程式，264         | 19.5 機械性的動能產生，273 |
| 19.2 內能與位能，266         | 19.6 慣性穩定，276     |
| 19.3 阻力式的動能消散，267      | 習題，280            |
| 19.4 由位能與內能轉變而成的動能，269 |                   |

## 第二十章 數值天氣預報 281

- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| 20.1 引述，281          | 20.6 未來邊界值的確立，288 |
| 20.2 呂丘松失敗的原因，283    | 20.7 預報步驟舉要，289   |
| 20.3 現代數值天氣預報的基礎，284 | 20.8 結論，289       |
| 20.4 旋量守恒律的數值解法，285  | 習題，291            |
| 20.5 消餘法求積分，286      |                   |

## 第二十一章 一般環流 292

- |                      |                  |
|----------------------|------------------|
| 21.1 大氣運動的幅度，292     | 21.5 子午式環流範型，298 |
| 21.2 東西向的平均氣流，292    | 21.6 實驗法，300     |
| 21.3 東西向的變動氣流，294    | 21.7 角動量平衡，302   |
| 21.4 一般環流理論的先決條件，296 | 21.8 數值實驗，308    |

附錄一 數字常數及換算	313
附錄二 高斯輻散定理的推證	314
英中名詞對照	317
索 引	331
記號一覽表	337

# 第一章 緒論

## 1.1 物理基礎

氣象學的理论方面，基於一項基本公設：大氣的稟性，可從物理學基本定律和概念來分析與理解。最便於大氣採用的物理學三大領域，當推熱動力學 (thermodynamics)、輻射學 (radiation) 以及流體動力學 (hydrodynamics)。

**熱動力學**是在特定能量過程或能量變換中，研究某一系統起始的和終結的平衡狀態。「系統」是指物質的選定樣品而言。由實驗得知，系統的「平衡狀態」，可因要求不同，以有限數目的若干性質如壓力、溫度、容積來做完全的闡述；這些性質就是**狀態變數 (variables of state)** 或**熱動力變數 (thermodynamic variables)**。下面是可參照熱動力學定律予以解答的此類問題之一例：一克由水汽所飽和的空氣，起始氣壓 1000 毫巴，溫度  $0^{\circ}\text{C}$ ，如對於環境無能量的得失，令它膨脹至氣壓為 500 毫巴時，問最終的溫度是什麼？系統既經說明，起始狀態也已規定，而能量變換的明顯過程獲知（水汽凝結與環境無能量的交換），那麼由這些資料必可確定此一系統的終結狀態。

**輻射學**是研究電磁波形式的能量放射問題，以及能量在空間中的播動與能量被物質吸收的情形。這類能量傳播，以光速進行且不需中間介質，和其他傳播形式（如對流及傳導）截然不同。波長是輻射的首要特性，輻射問題都可由輻射學定律及實驗測量的知識來解答，以下列問題為例：一完全輻射體（黑體）的溫度  $20^{\circ}\text{C}$ ，問在波長 8 微米至 12 微米之間，每平方厘米釋放輻射的快慢程度如何？又如穿過 1 米厚的空氣，氣溫  $10^{\circ}\text{C}$ ，氣壓 1000 毫巴，相對濕度百分之 50，那麼入射的輻射，在 8 至 12 微米之間將以什麼比率通過？因地球上的全部有效能量，事實上都是來自一個輻射體（太陽），且必須穿越大氣而到達地面，所以這類問題的重要性不喻可知。

**流體動力學**研究流體（液體或氣體）的運動及諸力作用於流體的關係。設空氣在地球表面作水平運動，除氣壓水平變化和地球旋轉外，不受其他各力的影響。如果此二力彼此平衡，問空氣運動的方向和速率將如何？這樣的

問題，可從流體動力學原理的研究予以解答。

把理論氣象學這一門科學所根據的基本定律和概念，先作明晰的確定，實有開宗明義之益。雖然此等概念未作氣象學的特殊應用之前，尚不能充分理解，但是先從何處着手的初步認識則頗為重要。讀者必須參閱這一容納各個概念的基礎性大綱，以便在建立高深理論時，仍然與其基礎有緊密的連繫。

## 熱動力學定律

由熱動力學的領域，可得三大重要的應用定律：

1. 完全氣體狀態方程式。
2. 熱動力學第一律(能量守恒)。
3. 熱動力學第二律(能量遞降)。

**狀態方程式** (the equation of state) 是界定系統狀態的熱動力變數間的一項關係。將適合於理想氣體或完全氣體的簡式，引用於實際氣體(空氣)，可有充分的正確性。這一有效方程式的常用形式，是在表示已知氣體樣品的壓力、容積、溫度之間的相互關係。

**熱動力學第一律** (the first law of thermodynamics) 為熱動力系統的能  
量守恒律，這一基本原理，雖不能作理論證明，但有其實驗證明的根據。

**熱動力學第二律** (the second law of thermodynamics) 說明在熱動力過  
程中，熱的可能「流動」方向，也是一項基於經驗的基本原理。

## 輻射學定律

掌握輻射的定律有：

4. **科克荷夫定律** (Kirchhoff's law) 說明物體輻射的放射強度，與等波長入射輻射的吸收部分之關係；兩者的比率，只是物體溫度和波長的函數，亦即愈易吸收的物質，必愈易放射。所以一個完全吸收體(黑體)，也是一個完全放射體。

5. **普朗克定律** (Planck's law) 說明黑體釋放輻射能的快慢，與黑體溫度及輻射波長有關。依這一定律，可以推演**維恩位移律** (Wien's displacement law)，就是放射最大能量的波長，和絕對溫度的倒數有關。也可推演**斯泰藩、鮑茲曼二氏定律** (Stefan-Boltzmann law)，就是所有波長的總放射率，和絕對溫度的四次冪有關。

6. **比爾定律** (Beer's law) 當單色輻射束透過一段短小距離時，入射輻射的某一部分即被吸收。比爾定律說明被吸收的部分，和介質密度及所經



距離成正比；比例常數就是介質的吸收係數。

**7. 輻射傳播方程式** 當輻射經過吸收介質時，便有一部分被吸收，但介質通常以適合於科克荷夫定律及蒲朗克定律的另一波長，重新放射能量。於是，這種能量複雜傳播的結果，可由輻射傳播方程式來描述。

## 流體動力學定律

在流體動力學中，要利用的是：

**8. 牛頓萬有引力定律 (Newton's law of universal gravitation)** 通常假定在大氣範圍以內，自地心起，重力隨距離的變化小至可以忽略，此定律於是概括成這樣的敘述：由重力所生的加速度接近常數。

**9. 各力平衡的概念** 因在諸應力中，系統都有趨向應力平衡狀態的共同趨勢（雖然並非不變），所以這一概念屢加應用。由平衡狀態的研究，可用簡單形式作廣泛的探討。

## 牛頓運動三律

**10. 物體除受不平衡的各力作用外，運動者以等速運動，靜止者仍然靜止。** 此定律描述物體慣性的觀測性質，從而推演出質量的概念。

**11. 物體隨時間的動量變率，等於作用於該物體的所有諸力的向量和：**  
 $d(m\mathbf{V})/dt = \Sigma \mathbf{F}$ ；其中  $m$  是物體的質量， $\mathbf{V}$  是速度， $t$  是時間， $\mathbf{F}$  代表諸力，黑體字母表示向量。這一關係將作為大氣動力學的基本定律。

**12. 任何作用(力)必有一相等且相反的作用(力)。** 只要考慮到兩種介質之間的相互作用時，牛頓運動第三律就很關重要；例如大氣某一部分對另一部分的影響，或大氣與地球間的相互作用。

**13. 質量守恒律 (the law of conservation of mass)** 是用以推演流體稟性的一項基本約束（連續方程式），成為掌握大氣的簡括方程式組中的一個方程式。

**14. 牛頓黏性定律 (Newton's law of viscosity)** 是有關應力與速度切變 (the shear of velocity) 的經驗性敘述：一層運動的黏性流體施於鄰近各層的應力，其速度切變與應力互相正交。這是黏性的基本事實，也是黏性係數定義的淵源。

## 1.2 理論氣象學的目標

理論氣象學的終極目標，是要把上述各定律和概念，作成可以引用於大