

大學用書 應用力學

(漢譯增補本)

原著者

A. P. Poorman

編譯者

曹 鶴

中國科學圖書儀器公司

印 行

愛護人民財產

48016.7

194699

大學用書

5(3)32

732/8016.7

應用力學

(原本第四版)

漢譯增補本

原著者

Alfred P. Poorman

編譯者

曹鶴孫

中國科學出版社

印行

大學用書

應用力學

APPLIED MECHANICS

原本第四版漢譯增補本

一九四八年三月初版

一九五一年五月六版

版權所有 翻印必究

原著者 Alfred P. Poorman

編譯者 曹 鶴 孫

發行者 中國科學圖書儀器公司

發行所 中國科學圖書儀器公司
上海(18)延安中路537號

分發行所 中國科學圖書儀器公司

南京：太平路273號

廣州：永漢北路204號

448.12
5560 C.6
C11

初 版 原 序

此應用力學，係專供工程學校大學部教課之用，假定讀者已學過大學物理及微積分，編纂此書之主要用意 在闡述力學上之基本原理，使平均程度之學生易於遵循，所舉例題，亦得明釋此等原理在索解工程問題上之應用。

本書有兩點與他書不同，編者希冀因此而對於讀者，有所裨益，一為圖解法之普遍應用，據編者之經驗，圖解法之優點，不僅對於索解某種問題，較為便捷，並有助於代數法之了解。此兩種方法之原理對照講述，藉以說明其間之關係，設用圖解法後，能使題解益顯明瞭者，則靡不用之。

另一特點，為列舉大量之例題，並詳為演出，以說明原理與應用問題間之關係。

設本書在一學期內習完，則本書習題比之通常所指定者未免較多，在各節後所附之習題，必須演習，在每章後所附之總習題，得由教師自由指定，各題均附答案，讀者得據以核對其解答是否準確，以增加演題之興趣，設教師不願公佈答案，得將題內之數據加以適宜之更改。

本書承杜克斯教授(Prof. Richard G. Dukes)校讀，對於形式與內容，頗多指示，至為感激。

普爾曼(A. P. Poorman)

誌於普渡大學(Purdue University)

一九一七年三月

四 版 原 序

四版之應用力學，對於內容之編排，略有更改，並有若干新材料之插入，共面力系之解，較簡於非共面力系者，故先行講述。

爲改良教材之連續性，故將所有運動學，或有關純粹運動之問題集中於一章內，關於功與能之教材，亦儘量集中於一章內。本書後部所用之功與能原理之部分，則屬例外。

較近結構學上，載荷以〔仟磅〕計算，而不用〔磅〕計算，故本書亦沿用之。

工程之範圍，日益推廣，故各習題均改用新數據。並有新習題增入，各習題後均附有答案，與以前數版無異。

承普渡大學諸同仁，對於內容，編排方法，頗多指示，至爲感激。過去畢業同學施迺克 (P.H. Schneck) 君，現供職於冠蒂斯萊特工廠 (Curtiss Wright)，供給許多關於機翼、螺旋槳及轉動體之重量、維、材料、及慣矩等數據，尤爲感激。

普爾曼誌於普渡大學。

一九四〇年三月

譯 序

中國科學圖書儀器公司楊孝述先生，鑒於我國過去各學校採用歐美教本，以價格奇高，一般學子，無力購買，且依賴外國教本，不適我國國情，終非善策，故際此國步艱難，百業凋零，仍不惜巨資，編纂大學用書，以爲倡導。其辦法以譯爲第一步，編爲第二步，著爲第三步，所謂譯，係選取國外大學教本中最習用者，譯成中文，以介紹國內讀者，此法比較輕而易舉；凡教材中有不完備者，加以註釋，及補充；有不適用者，加以刪改；以期適於我國之需要。

普爾曼應用力學一書，我國沿用最久，說理簡單，舉例詳盡，爲其特色。編者復於其書末，加增附卷附錄；在附卷內，介紹牽力係數法，虛功原理，勢理論，科賴奧來定律，蘭格倫日方程式及維解析等，以應現代工程界之需要，並訓練讀者作進修研究之準備。附錄內有度量衡制換算表，各種形體之形心位置，慣矩，及迴轉半徑表，以備演題之參攷。

附卷內之材料，得斟酌補充正文內之不足，以其所用數學較深，故能與高等微積分同時講授，最爲理想。

本書倉促脫稿，錯漏難免，尙望學者時加指正，是幸。

曹鶴蓀序於上海交通大學。

一九四七年十月

目次

第一編 靜力學

第一章 定義及一般的原理 1

1. 定義 2. 基本量及其單位 3. 力之分類 4. 非矢量與矢量 5. 解析問題之三種方法 6. 脫離體圖 7. 力之可傳性 8. 齊次方程式 9. 圖解

第二章 共面共點力 9

10. 定義 11. 力之圖示 12. 兩力之合力, 圖解法 13. 兩力之合力, 三角法 14. 三個或多個力之合力, 圖解法 15. 力之分解為分力 16. 三個或多個力之合力, 代數法 17. 力關於一點之力矩 18. 力矩原理: 萬有定律 19. 三個或多個力之平衡, 圖解法 20. 三個或多個力之平衡三角解法 21. 三個或多個力之平衡, 應用力和之代數解法 22. 三個或多個力之平衡, 應用力矩之代數解法 共面共點力之總習題

第三章 共面平行力 36

23. 空間圖與力圖 24. 兩平行力之合力, 圖解法 25. 兩共面平行力之力矩原理 26. 兩平行力之合力, 代數法 27. 三個或多個平行力之合力, 圖解法 28. 三個或多個平行力之合力, 代數法 29. 平行力之平衡, 圖解法 30. 平行力之平衡, 代數解法 31. 力偶 32. 分解一力為經過所設點之一力及一力偶 共面平行力之總習題

第四章 共面非共點力 56

33. 二力構件與多力構件 34. 贅餘力系 35. 共面非共點力之合力, 圖解法 36. 共面非共點力之合力, 代數法 37. 共面非共點力之力矩原理 38. 共面非共點力之平衡, 圖解法 39. 共面非共點力之平衡, 代數解法 40. 桁架之內力, 圖解法 41. 桁架之內力, 代數解法 42. 曲架之內力, 代數解法 43. 曲架之內力, 圖解法 44. 撓性索, 水平方面的等布載荷 45. 撓性索, 沿索之等布載荷 共面非共點力之總習題

第五章 空間之共點力 112

46. 將一力分解為三個直角分力 47. 空間共點力之分解 36. 一力關於

一線之力矩 49. 空間共點力之力矩原理 50. 空間共點力之平衡;圖解法 51. 空間共點力之平衡;代數解法 空間共點力之總習題

第六章 空間之平行力 ····· 126

52. 空間之平行力之合力,圖解法 53. 空間之平行力之合力,代數解法 54. 空間之力偶之合併 55. 空間平行力之平衡,圖解法 56. 空間平行力之平衡,代數解法 空間之平行力之總習題

第七章 空間之非共點非平行力 ····· 134

57. 空間之非共點非平行力之合力,代數法 58. 空間之非共點非平行力之合力,圖解法 59. 空間之非共點非平行力之平衡;代數解法 60. 空間之非共點非平行力之平衡;圖解法 空間之非共點非平行力之總習題

第八章 摩擦 ····· 148

61. 靜摩擦與動摩擦 62. 摩擦係數與摩擦角 63. 摩擦定律 64. 最小拉力與摩擦圓錐 65. 方螺旋之摩擦角 66. 樞軸承與環軸承之摩擦 67. 軸摩擦;圖解法 68. 挽性帶之摩擦 69. 摩擦原理摘要 70. 滾動摩擦 摩擦之總習題

第九章 形心與重心 ····· 171

71. 有固定作用點之力系之力心 72. 體積,面積,及線之形心 73. 關於平面之一矩 74. 對稱面及對稱軸之形心定位法 75. 簡單形狀之面積與體積之形心 76. 用積分法求形心 77. 迴轉面及迴轉體之形心 78. 巴柏斯與格爾定納斯定理 79. 合成線,面,與體積之形心 80. 合成重量之重心 81. 據實驗求重心法 形心與重心之總習題

第十章 面積之慣矩 ····· 192

82. 慣矩及迴轉半徑之定義 83. 幾種簡單圖形之慣矩 84. 對於平行軸之移軸公式 85. 極慣矩 86. 對於平行之極軸之移軸公式 87. 簡單面積之慣矩之計算 88. 合成面積之慣矩之計算 89. 對於斜軸之慣矩 90. 慣積 91. 慣積之移軸公式 92. 極大慣矩與極小慣矩 面積之慣矩之總習題

第二編 運動力學

第十一章 質點之運動學 ····· 215

93. 定義 94. 運動之種類 95. 直線位移 96. 直線速度與速率 97. 直

線加速度 98. 質點之等加速度運動 99. 不計空氣阻力之自由落體
100. 速度與加速度之分解與合成 101. 相對運動 102. 曲線運動之位
移 103. 曲線運動之速度 104. 曲線運動之加速度 105. 切線加速度
與法線加速度 質點運動學之總習題

第十二章 直線移動之剛體動力學 ····· 230

106. 定義及一般理論 107. 牛頓運動三定律 108. 力, 質量, 與加速度
之關係 109. 剛體上之有效力; 達蘭貝爾定律 110. 加速度物體之反力
直線移動之剛體動力學之總習題

第十三章 質量慣矩 ····· 241

111. 定義與單位 112. 薄板之慣矩 113. 幾種幾何體之慣矩 114. 質
量慣矩之移軸公式 115. 合成體之慣矩 116. 據實驗求慣矩法 117.
薄板關於斜軸之慣矩 118. 薄板之慣積 119. 慣積之移軸公式 120.
薄板之主慣軸 121. 薄板之慣積圖 質量慣矩之總習題

第十四章 剛體之轉動 ····· 264

122. 角移 123. 角速度 124. 角加速度 125. 沿圓周之等速運動
126. 簡諧運動 127. 等角加速度運動 128. 變角加速度 129. 轉動物
體之有效力 130. 切線有效力之力矩 131. 切線有效力之合力 132.
法線有效力之合力 133. 單圓擺 134. 複擺 135. 錐動擺 136. 荷重
錐動擺調速器 137. 鐵路路軌之超高度 138. 公路曲線之路面傾斜
139. 飛輪之離心牽力 140. 打擊中心 141. 轉動體之支應反力 142.
轉動物體之均衡 剛體轉動之總習題

第十五章 剛體之平面運動 ····· 315

143. 移動與轉動之併合 144. 在任何平面運動中, 速度之合成與分解
145. 在任何平面運動中, 加速度之合成與分解 146. 轉動之瞬軸 147.
運動之通式 148. 滾動輪 149. 不均衡滾動輪之動反力 150. 發動機
之連桿, 圖解法 151. 連桿之動反力 152. 邊桿之動反力 153. 往復部
分之鈞衡 154. 轉動部分及往復部分之鈞衡 155. 機車之鈞衡 156.
物體在鉛直曲線上之運動 157. 拋體運動 剛體平面之運動總習題

第十六章 功, 能, 及功率 ····· 358

158. 功與能之定義 159. 功與動能之關係 160. 移動之動能: 不變力
161. 移動之動能: 變力 162. 轉動之動能 163. 轉動與移動之動能
164. 功率與效率 165. 功之圖示法 166. 摩擦力對於功之損耗 167
列車之載 168. 挽性帶軌 169. 吸收功率計 170. 水之功率 功, 能,

及功率之總習題

第十七章 衝量,動量,及碰撞 392

171. 衝量與動量 172. 衝量與動量之關係 173. 線動量不滅原理
174. 角衝量與角動量 175. 角動量不滅原理 176. 角動量之合矢:迴轉
器 177. 水注之反力 178. 水注作用於葉板上之壓力 179. 雖然衝量
或碰撞 衝量,動量,與碰撞之總習題

附 卷

第一章 靜力學 408

1. 贅餘結構與適堅結構 2. 適堅桁架之解法 3. 牽力係數法 4. 交換
法 5. 虛功原理 6. 慣性面 7. 慣性面之主軸及主慣矩 8. 慣性圓
9. 迴轉慣面

第二章 運動學 433

1. 平面運動之徑加速度及橫加速度 2. 對於動軸之運動:科順奧來定律
3. 質點之空間運動

第三章 動力學 445

1. 保守力系與非保守力系 2. 勢理論 3. 穩定平衡與不穩平衡 4. 臨
界平衡與隨遇平衡 5. 哈密爾敦原理 6. 廣義坐標 7. 完整動力系與
不完整動力系 8. 完整動力系之蘭格倫日方程式:保守力系 9. 不完整
動力系之蘭格倫日方程式:保守力系 10. 非保守力系之蘭格倫日方程
式 11. 衝力之蘭格倫日方程式 12. 剛體運動之歐拉方程式

第四章 維解析 474

1. 維之種類,及維解析之用途 2. 應用維解析變換單位 3. π 定理 4.
相似原理

附 錄

- I. 度量衡換算表 481
II. 形心位置,慣矩,及迴轉半徑 485
III. 索引 493
IV. 英漢索引 499

第一編 靜力學

第一章

定義及一般的原理

1. 定義。力學(mechanics)爲物理科學(physical science)之一部份，研究力對於質體之運動，及其狀態之效應。包括物理學(physics)，天體力學(celestial mechanics)，流體力學(fluid mechanics)，應用力學(applied mechanics)，以及材料力學(strength of materials)，等。

本書所討論之應用力學，包括各種工程問題中，研究質點及剛體運動時，所應用之力學各定律。靜的狀態可以視作動的極限狀態。

質點(particle)爲一物體，或物體之一部分。其維(dimension)極小，如與周圍物體之維，或與運動之範圍比較，可以略去不計。作用於其上之力，可假定集中於一點。剛體(rigid body)爲許多質點之集合體，而這許多質點間之距離，及相互之位置，永遠維持不變。實在的物體，均非絕對的剛體。但在若干情況中，例如在平衡之情況中，分析此等物體之情態，可以略去其形態上及大小上之變化，而不致產生可以覺察的誤差。

應用力學可分爲兩部：靜力學(statics)與運動力學(dynamics)。運動力學又可分爲兩部，即，運動學(kinematics)與動力學(kinetics)⁽¹⁾。靜力學所討論之範圍，爲平衡(equilibrium)之物體。此時之物體，對於某參考線或面而言，可能爲靜止，或以等速度運動。

運動力學所討論之對象，爲對於某參考線或面，正在運動之質點及物體。運動學爲運動力學之一部分，祇討論質點及剛體之運動，而不涉及產生此等運動或運動變化之力。動力學亦爲運動力學之一部分，討論力與運動之關係；研究質點及剛體受力後所產生之運動，以及產生某種運動變化時所受之外力。物體成等速度運動者，亦即在平衡中者，得視爲動與靜兩種情況之極限，故在動力學及靜力學中均可討論及之。

2. 基本量及其單位。時間，空間，力，與質量，爲力學上所用之基本量。時間，空間，力，與質量既爲基本概念，任何一者均不能利用其他概念或任何更簡單之量，加以解說。本書假定讀者，從過去之經驗，對於此四項基本概念，均已明瞭。

任何一種基本量，均可用簡單手續量出之，即對於每一種基本量，定其標準量，作爲單位(unit)，再與此單位比較，即可量出其大小。

通常所用之單位制，計有兩種：一爲厘米·克·秒制 (centimeter-gram-second system 即 c. g. s. system)，又稱國際度量衡制；一爲呎·磅·秒制 (foot-pound-second system 即 f. p. s. system)，或稱英美制。本書採用英美制。附錄內附有此兩制之換算表。

從承續發生之事件，可以認識‘時間’。通常所用之時間之單位爲〔秒〕，〔分〕，〔時〕。

從各方向之開展，可資以認識‘空間’。通常所用之空間之單位爲〔呎〕，〔吋〕，〔哩〕。

(1)〔譯注〕 部頒物理學名詞上，對於 dynamics 及 kinetics 兩字，均譯作動力學。本書譯 dynamics 爲運動力學，表示包含運動學與動力學兩部，而 kinetics 仍譯爲動力學，以示區別。

力得從其使運動變化之趨向，或物體形狀及大小變化之趨向，以認識之。力之定義為一物體對於另一物體之作用。力對於被作用之物體，使其產生運動上之變化，或有產生此種變化之傾向。從此點可見力均成對產生，但在一對中，通常祇研究其一力。在我等經驗中最普通之力，為重力 (gravitational force)，亦即地球對於一切物體之引力。此種引力，謂之物體之重量 (weight)，得以彈簧秤量出之。重量隨所在地之緯度及高出海面之高度而微有變化。但此變量甚小，故在各工程問題中，幾可略去不計。工程上所通用之力之單位為〔磅〕。美國華盛頓之標準局 (Bureau of Standards)，以及英國惠斯民斯德 (Westminster) 之標準局 (Standards Office)，均保存有‘標準磅’ (standard pound)，地球對於此標準器之引力，即為力之單位“磅”。

在問題中討論較大之力時，須用較大之單位。如〔仟磅〕 (kip) ($= 1000$ 〔磅〕)，或〔噸〕 (ton) ($= 2000$ 〔磅〕)⁽¹⁾。結構上之載荷，通常所用之單位為〔仟磅〕。基礎下之土壤承壓力 (bearing pressure)，通常所用之單位為〔噸/呎²〕。

從占有一部分空間之物體，可以認識質量 (mass)。一物體之質量，即為其所含物質之量。此量之大小，並不隨其位置而變。質量通常用天平計量之。因自由落體之加速度 g ，與重量 W 對於地球上之緯度，及高出海面之高度之變化為相同者，故自同地測得之 W 與 g 之比，亦可求得物體之質量；即

$$M = \frac{W}{g} \quad (1, 1)$$

工程上所用之質量單位，為導出單位 (derived unit)，此單位即等

(1) 【譯注】本書中所用之〔噸〕，係指〔短噸〕 (short ton) 而言，一〔長噸〕 (long ton) 等於 2240 〔磅〕。

於受單位力時，產生單位加速度之物質之量。對於質量單位之討論，詳見第十二章。

3. 力之分類。力可以分爲集中力(concentrated force)與分布力(distributed force)兩種。分布力之作用處爲一面。集中力之作用處極小，得視作一點。在許多情況中，分布力亦得視作爲一集中力，此集中力之作用點在作用面之中心，或在此力系之中心⁽¹⁾。

有時亦可將力分爲遠距力(force at a distance)及接觸力(force by contact)。磁力，電力，萬有引力，均屬遠距力。重力，即物體之重量，爲應用力學論究之力中之一主要者。氣缸內汽之壓力，機車輪與鐵軌間之壓力，均屬接觸力之例。

4. 非矢量與矢量。祇有大小之量，謂之非矢量(scalar quantity)。體積與質量，爲非矢量⁽²⁾之例。

有方向有大小之量，謂之矢量(vector quantity)。力，速度，加速度，與動量等，均屬矢量。矢量得用定長與定向之直線，所謂矢(vector)者表示之。此矢之長度，若用適當之比例尺量計，即表示矢量之大小；所繪矢之方向，即表示矢量之方向。

在圖 1 內，矢量 a 表示大小等於 16 [呎/秒]，方向下指之速度。矢量 b 表示等於 12 [呎/秒] 之向上速度。矢量 c 表示等於 6 [呎/秒] 之向左速度。在圖 2 內，矢量 a_1 表示等於 80 [呎/秒⁽²⁾] 而指向中心 O 之加速度； a_2 表示等於 20 [呎/秒⁽²⁾] 而切於圓周上加速度。力爲矢量。此矢量除有大小及方向外，並有作用線之位置。

(1)[譯注] 許多分布力，組合成一力系(system of forces)。

(2)[譯注] 非矢量亦作無向量，矢量亦作向量。

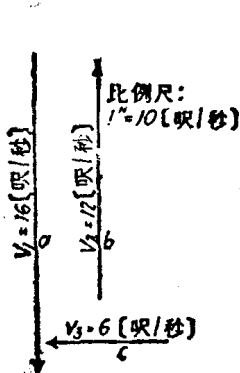


圖 1

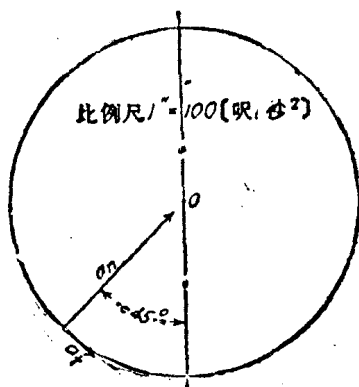


圖 2

在任何空間圖(space diagram)上,力之矢量必須畫在其適當之位置上,如圖 3(b)所示。

5. 解析問題之三種方法。 一個力學之問題,係若干已知諸量與已知關係一種之陳述。 據其關係以求出其他之某未知量,及未知關係。

解析問題計有三種普通方法,即:圖解法(graphical method),三角法(trigonometrical method)及代數法(algebraic method)。 在圖解法內,諸量均各以對應之線與面表示之。 諸量之關係,以圖上諸部分之關係表示之。 若依據已知之關係,完成圖上之其餘各部分,即能得其解答。 未知量之大小,可據圖上所得之線,面,或角,之量度而決定。

在三角法內,諸量均各以對應之線與面表示之,與圖解法無異。 所不同者,即此等量毋須用比例尺畫出。 根據圖上各部分間已知之三角或幾何關係,即能求得其解。

在代數法內,諸量均以字母代數而表示之。 各量間之關係,以運算符號聯成之算式表示。 所得之方程式,以算術,代數,及微積分

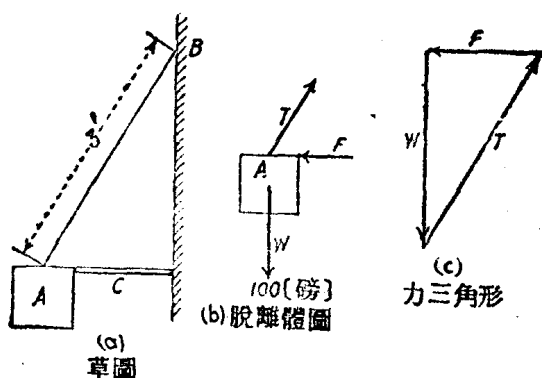


圖 3

之方法解之，即能求得解答。

本書求解各問題時，上述三種方法，均須用到。讀者對於此三種方法，須均能應用熟練。並在解決任何所舉問題時，須能選擇最適當而簡便之方法。

6. 脫離體圖。 本書解析問題時，主要採用脫離體 (free body) 法。應用此法時，將整個物體，或物體之一部分，當做與其餘部分脫離。再將此脫離部分以草圖畫出。移除之部分對於畫出之脫離體之諸作用力，無論已知或未知者，均以矢量表示之。於是據已知條件及已知力，求出未知關係與未知力。

圖 3(a) 為據比例尺畫出之草圖。A 為每邊 8 [吋] 之立方塊，重 100 [磅]。用 3 [呎] 長之繩，懸於一鉛直牆上之點 B。再用一 14 [吋] 長之桿 C，使 A 與牆隔離。圖 3(b) 為脫離體圖。在此圖上，塊 A 與其他部分脫離。矢量 W 表示其重量 (力)，亦即地球對於塊 A 有 100 [磅] 之拉力。矢量 T 表示繩向右上方之牽力。矢量 F 表示桿 C 在水平方向之推力。在此圖上，矢量 T 與 F 之大小，均為未知量，不能依照比例尺畫出；故已知的矢量 W 亦無須依照比例尺畫出。圖 3(c) 表示力三角形。用第 19 節之原理，即

可求得未知力 T 與 F 之解答。在此力三角形上，則各力均依照比例尺畫出。

最重要者，讀者先須熟練對於任何問題，會畫草圖及畫脫離體圖之本領。因為準確繪出脫離體圖是求解的一個重要步驟。

有一點須注意者，即脫離體對於地球，繩，桿三者所施之力，與前述之值等而向反者，均未論及。所討論者，僅為其餘諸部作用於脫離體上之諸力。

7. 力之可傳性。 從實驗結果，證明作用於一剛體上之外力，若將其作用點，沿其作用線移至任何可能之點上，其對整個剛體之效應不變。因此在問題，認為力可沿其作用線前後移動。這稱做力之可傳性(transmissibility of forces)。

外力對於物體內部之效應——例如因外力而產生之應力(stress)與形變(deformation)——，則隨外力其在作用線上之作用點位置而變。

8. 齊次方程式 說明諸物理量間關係之代數方程式，應為齊次方程式(homogeneous equation)。亦即，諸物理量須各以其相當之單位表示之。此事至屬必要，蓋以單位既如此探定，便得同種單位之量，即可施行加減運算。方程式的兩邊各項之量，亦即可具同一之維也。

今試舉一例以說明之。一物體以初速 v_0 下落，其在時間 t 內所動過之距離 s 之方程式為：

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2.$$

上式中， g 為重力加速度 (acceleration of gravity)。此 s, a, t ，諸量必須用對應之單位表示。假定 g 之單位為[呎/秒²]， v_0 之單