



中等專業學校教學用書

工程力學

上 冊

Л. Е. 列文桑著

高等教育出版社



中等專業學校教學用書



工 程 力 学

上 册

Л. Е. 列文 桑 著
熊 威 廉 等 譯

3.26 收.

高等教育出版社



本書係根据苏联劳动后各部教育書籍出版社(Всесоюзное учебно-педагогическое издательство, Трудрезерват)出版的列文桑(Л. Е. Левинсон)所著“工程力学”(Техническая механика)1951年版譯出。原書經苏联劳动后各部職業技術教育學術委员会審定為該部所轄工業中等技術學校的教科書。

本書中譯本分上下兩冊出版。上冊為理論力學，再分三編：第一編為靜力學，其中論述力系，重力和摩擦。第二編為運動學，論述点的運動和剛體的運動。第三編為動力學，論述動力學基礎，功與功率，動量與動能，以及物體的碰撞。

參加本書翻譯工作的有熊威廉，王知民和劉伯勳，校訂者為呂茂銀。

工 程 力 學

上 冊

Л. Е. 列文桑著

熊威廉等譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

京華印書局印刷 新華書店總經售

書號 15010·00 開本 650×1168 1/32 印張 14 字數 378,000

一九五四年十月北京第一版

一九五六年三月北京第二版

一九五六年十二月北京第八次印刷

印數 68,001—84,000 定價 (10) ¥ 1.42

序

在完成第一个五年計劃的年代裏，斯大林同志曾經指出，“……勞動過程的機械化是我們一個新穎的和具有決定意義的力量，沒有它，就不能支持我們的發展速度，也不能維持新的生產規模。”^①經過斯大林五年計劃和偉大衛國戰爭的年代以及戰後的時期，偉大領袖的指示已經在蘇聯技術的光輝成就中體現出來了。

費力的生產操作的機械化工作是一年比一年廣泛地發展着，在機器製造業中採用了更完善的機器，例如自動機床和流水作業自動傳送帶。

解決所有這些最重要問題，就需要應用力學方面的廣闊的知識。這也就說明為什麼在技術學校的教學計劃中力學科目所佔的時間很多。在訓練機器製造專業人材時，力學課程有特別重要的意義。

在機器製造中等技術學校所念的工程力學課程中包含一般的力學知識和建立在這上面的機器設計和機器工作研究的理論基礎。工程力學分為四部分：理論力學，機構和機器原理（換言之，即實用力學），材料力學和機器零件。本書包括這課程的前兩部分。

在培養機器製造技術員的教學計劃中，還有一些專門科目是建立在工程力學的知識上面的。但是從另一方面來說，為了理解周圍世界的力學現象，這門課程（特別是理論力學）同時也是一門普通教育的課程。由此，可以體會機器製造專業學生精通這門課程的意義。

① 約·斯大林：列寧主義問題，俄文11版，366頁。

上册目錄

第一部分 理論力学

序

緒論	1
§ 1. 运动、空間和時間	1
§ 2. 静止观念的相对性	2
§ 3. 力学上的基本概念	2
§ 4. 有向量	4
§ 5. 剛体与質點	5
§ 6. 力学的对象	6
§ 7. 理論力学和实用力学	7
§ 8. 力学發展的主要階段	7
§ 9. 理論力学的基本定律(牛頓定律)	10
§ 10. 複習題	12

第一編 靜力学

第一章 靜力学的基本定义和原理	14
§ 11. 力	14
§ 12. 決定力的因素	14
§ 13. 力的圖解表示法	17
§ 14. 力系和合力	19
§ 15. 大小相等,沿作用點联綫而指向相反的兩個力的平衡	20
§ 16. 作用點可沿力的作用綫移動	20
§ 17. 平衡力	21
§ 18. 沿同一直綫諸力的合成	22
§ 19. 非自由体和約束	23
§ 20. 約束反作用力	24
§ 21. 複習題	25
§ 22. 練習題	26

§ 29. 力在軸上的投影	38
§ 30. 力的幾何和在軸上的投影	40
§ 31. 用投影法求平面匯交力系的合力	41
§ 32. 平面匯交力系平衡的條件(解析形式)	43
§ 33. 複習題	45
§ 34. 練習題	45

第三章 平面平行力系、靜矩、力偶

§ 35. 平行力的合成	47
§ 36. 力分解為與它平行的兩分力	51
§ 37. 力對於點之靜矩	52
§ 38. 合力的靜矩	55
§ 39. 槓桿平衡的方程式	58
§ 40. 力偶	61
§ 41. 力偶矩等於組成該力偶的力對於力偶平面上任意一點之矩的代數和	65
§ 42. 力偶的特性	65
§ 43. 分佈在一平面內諸力偶的合成	68
§ 44. 力偶系平衡的條件	69
§ 45. 平面上平行力系平衡的條件	70
§ 46. 複習題	73
§ 47. 練習題	74

第四章 平面任意力系

§ 48. 平面上任意位置的力的合成	75
§ 49. 力向已知點的簡化	77
§ 50. 平面力系向已知中心的簡化	78
§ 51. 平面任意力系平衡的條件	81

§ 52. 靜定与靜不定系統	85
§ 53. 複習題	87
§ 54. 練習題	87

第五章 圖解靜力学基礎89

§ 55. 用力多边形与索多边形求平面任意力系的合力	89
§ 56. 求平面平行力系的合力	94
§ 57. 平面任意力系平衡的条件(圖解形式)	95
§ 58. 求自由地擺置在兩支座上之樑的支座反作用力	96
§ 59. 求桁架構件內力的概念	98
§ 60. 複習題	102
§ 61. 練習題	102

第六章 空間力系103

§ 62. 匯交力系及其合力	103
§ 63. 求空間匯交力系的合力的解析法	104
§ 64. 空間匯交力系平衡的条件	106
§ 65. 力對於軸之靜矩	107
§ 66. 合力對於軸之矩等於各分力對於同軸之矩的代數和	110
§ 67. 求力對於坐標軸之矩的解析法	111
§ 68. 空間諸力偶的合成	112
§ 69. 空間力系的平衡条件	114
§ 70. 空間平行力系的中心, 以及求其坐標的解析法	118
§ 71. 複習題	121
§ 72. 練習題	121

第七章 重心123

§ 73. 重心是平行力的中心	123
§ 74. 对称面、对称軸和对称中心	124
§ 75. 有对称面、对称軸或对称中心的物体的重心	125
§ 76. 体積、平面圖形和綫段的重心	125
§ 77. 綫条和圖形周緣的重心	127
§ 78. 面積的重心	130
§ 79. 体積的重心	132
§ 80. 用解析法決定重心的坐標	132

§ 81. 用圖解法決定重心	133
§ 82. 關於平面上物體的穩定性	139
§ 83. 複習題	141
§ 84. 練習題	142
第八章 摩擦	144
§ 85. 關於有害的阻力	144
§ 86. 滑動與滾動	145
§ 87. 滑動摩擦的基本定律	146
§ 88. 滑動摩擦係數	148
§ 89. 摩擦角和摩擦錐	149
§ 90. 滾動摩擦	153
§ 91. 兩類形式的摩擦之比較	156
§ 92. 複習題	157
§ 93. 練習題	157
§ 94. 實習車間練習題	159
 第二編 運動學 	
第九章 點的運動規律	160
§ 95. 運動學的內容	160
§ 96. 軌跡、路程和時間	160
§ 97. 運動規律的解析式	163
§ 98. 在直角坐標系統中的點的平面運動的方程式	164
§ 99. 運動規律的圖示	167
§ 100. 複習題	169
§ 101. 練習題	169
第十章 點的直線運動	170
§ 102. 等速運動	170
§ 103. 等速運動的速度	171
§ 104. 距離曲線和速度曲線	173
§ 105. 變速(不等速)運動、平均速度	175
§ 106. 變速運動的真速度	177

§ 107. 速度在坐标軸上投影	179
§ 108. 直線变速運動中的加速度	182
§ 109. 加速度在坐标軸上的投影	184
§ 110. 等变速運動	186
§ 111. 在重力作用下物体沿鉛垂線的運動	189
§ 112. 決定速度和加速度大小的圖解法	192
§ 113. 複習題	197
§ 114. 練習題	198

第十一章 點的曲線運動

§ 115. 曲線運動中的速度	199
§ 116. 曲線運動中的加速度	202
§ 117. 全加速度在坐标軸上的投影	203
§ 118. 切向加速度和法向加速度	206
§ 119. 曲線運動的特殊情形	212
§ 120. 點的圓周運動	214
§ 121. 複習題	216
§ 122. 練習題	216

第十二章 點的运动合成

§ 123. 複合運動	217
§ 124. 沿同一直線方向諸運動的合成	219
§ 125. 彼此成夾角的直線運動的合成	221
§ 126. 平面內點的任意運動之速度的合成	223
§ 127. 位移、速度和加速度的多边形	225
§ 128. 複合運動的速度解析表示、速度的分解	226
§ 129. 相对運動的廣义概念	229
§ 130. 複習題	233
§ 131. 練習題	234

第十三章 剛体的簡單運動

§ 132. 剛体的運動決定於不在一直線上三點的運動	235
§ 133. 剛体的移動	236
§ 134. 剛体繞定軸的轉動	238
§ 135. 角速度和角加速度	239

§ 136. 線速度、切向加速度和法向加速度	241
§ 137. 剛體繞定軸轉動方程式的不同形式	243
§ 138. 等變速轉動	245
§ 139. 等速轉動	247
§ 140. 複習題	250
§ 141. 練習題	250
第十四章 物体的平面運動	251
§ 142. 平面運動的一般情形	251
§ 143. 在平面中線段通過已知位置的運動	253
§ 144. 動轉動中心軌跡和定轉動中心軌跡	255
§ 145. 平面運動時剛體各點的速度	259
§ 146. 三心定理	263
§ 147. 機構各點速度的決定	266
§ 148. 速度平面圖解	268
§ 149. 複習題	270
§ 150. 練習題	271
第十五章 剛體運動的合成	273
§ 151. 關於剛體運動的複合運動	273
§ 152. 移動的合成	274
§ 153. 繞同一定軸之轉動的合成	274
§ 154. 移動和轉動的合成	276
§ 155. 繞平行軸諸轉動的合成	280
§ 156. 繞相交軸轉動的合成	287
§ 157. 複習題	291
§ 158. 練習題	292
§ 159. 實習車間練習題	295
 第三編 動力學	
第十六章 動力學基本原理	297
§ 160. 動力學的內容	297
§ 161. 質點和質點系	297

§ 162. 动力学基本方程式(牛頓第二定律)	299
§ 163. 工程單位制和物理單位制	301
§ 164. 質量与重量的關係	303
§ 165. 慣性定律(牛頓第一定律)	304
§ 166. 力的作用互不相關定律	305
§ 167. 由前面所討論力学定律的推論	306
§ 168. 作用力与反作用力恆等定律(牛頓第三定律)	308
§ 169. 自由和非自由運動、約束反作用力	310
§ 170. 複習題	310
§ 171. 練習題	311
第十七章 質點动力学的基礎	312
§ 172. 質點運動基本方程式	312
§ 173. 与水平傾斜拋出物体的運動	315
§ 174. 質點直線運動的慣性力	319
§ 175. 質點曲線運動時的慣性力、离心力	321
§ 176. 達朗培尔原理	324
§ 177. 複習題	329
§ 178. 練習題	329
第十八章 質點系动力学基礎	331
§ 179. 外力与內力	331
§ 180. 慣性中心	332
§ 181. 慣性中心(重心)運動定律	334
§ 182. 剛体的移動	337
§ 183. 剛体繞定軸的轉動、慣性矩	337
§ 184. 慣性矩的基本定理	342
§ 185. 均質線段和面積的慣性矩的求算	345
§ 186. 某些均質物体的慣性矩	353
§ 187. 複習題	356
§ 188. 練習題	357
第十九章 功与功率	358
§ 189. 在直線路程上不变力的功	358
§ 190. 合力的功	360
§ 191. 在曲線路程上变力的功	361

§ 192. 示功圖	362
§ 193. 重力的功	366
§ 194. 在轉動中不變力的功	368
§ 195. 功率	369
§ 196. 量度功率的單位	370
§ 197. 移動時的功率	371
§ 198. 轉動時的功率	372
§ 199. 轉矩、傳遞功率和轉數三者間的關係	373
§ 200. 複習題	375
§ 201. 練習題	375
第二十章 動量與動能	376
§ 202. 在不變力的情形下之質點動量定律	376
§ 203. 質點動量定律的一般形式	378
§ 204. 質點系的動量定律	382
§ 205. 質點的動能	386
§ 206. 移動物體的動能	391
§ 207. 物體動能變化規律的一般形式	391
§ 208. 繞定軸轉動物體的動能	392
§ 209. 物體平面運動一般情形下的動能	395
§ 210. 物體移動和轉動的公式及基本量	399
§ 211. 能量不減定律對落體的应用	400
§ 212. 複習題	403
§ 213. 練習題	404
第二十一章 物體的碰撞	407
§ 214. 碰撞現象的實質	407
§ 215. 恢復系數	408
§ 216. 碰撞時的衝量與瞬時力	410
§ 217. 正中心碰撞的一般情形下速度的決定	412
§ 218. 碰撞的特殊情形(彈性碰撞和非彈性碰撞)	416
§ 219. 碰撞時動能的損失	420
§ 220. 鍛造操作時的碰撞	424
§ 221. 複習題	427
§ 222. 練習題	428
§ 223. 實習車間練習題	429

第一部分 理論力学

緒 論

§ 1. 運動、空間和時間

宇宙中所發生的一切变化和过程都伴隨着運動，這裏，運動是指其字面的廣義而言。運動的形態是各種各樣的。它是熱的、化學的、電的和其他各種過程的基礎。這樣，物質在它的各種形式的表現中都離不開運動。運動是物質基本的不可分割的屬性，是物質存在的形態。

物質與運動的統一性，表現在物質與能量不滅定律和物質與能量轉變定律中，這定律早在十八世紀，就首先由天才的俄羅斯學者 M. B. 羅蒙諾索夫(1711—1765)宣佈如下：

“宇宙間所發生的一切變化，其實際情況是這樣的：一個物體上損失多少，另一個地方就獲得多少；誰在夜裏作多少時間的警衛，誰就失去多少時間的睡眠。這種普遍的自然定律正可以推廣到運動的本身規律：因為當一個物體以其力使另一物體運動時，這物體從自身上失去多少，便以多少給予了從其獲得運動的另一物體。”

運動只能在空間與時間中發生。由此可見，空間、時間是互相聯繫着的，並且也與運動物質互相聯繫。物質、運動、空間和時間是不可分割地統一着。

在與物質存在有關的一切運動形態中，最簡單的一種是有質量的物體在空間的位移。這種運動我們經常在地球上以及在周圍宇宙中直接見到。為了與其他較複雜的運動形態區別，這種運動稱為機械運動。

研究機械運動的科學稱為理論力学，在這裏，我們不談那些發生在

有質量的運動物體內部的較複雜的運動形態。

§ 2. 靜止觀念的相對性

這樣一來，我們就不能想像物質是在運動以外。但是力學往往須採用關於物體靜止的概念，也就是關於物體的不動狀態的概念。例如設計任何建築物時，我們首先保證它在載荷作用下的穩定性。但是事實上，沒有一個建築物是靜止的，它與地球在一起參與地球的晝夜的運動，和迴繞太陽的運動以及整個太陽系的運動等等。

因之，在自然界中絕對靜止是沒有的，假如我們在力學中談到靜止，那末必須理解這名詞是相對的，意思就是相對於另一物體而不動，通常是相對於地球而言。

同樣，在力學中觀察一物體的運動，也是相對於另一個被特定為不動的物體來說的。例如解決火車運動的問題時，我們考察這種運動是相對於地球來說的，雖然，實際上火車參與了地球在宇宙中的運動。同樣，在談到所謂固定裝置（不動的）的機器上個別機件的運動時，我們考察這些運動是相對於與地球相連的假定為不動的機座而言的。

§ 3. 力學上的基本概念

解決理論力學中所研究的問題時，我們必須回答這樣一個問題：物體在某一瞬時佔有什麼位置。因而，時間和空間都是力學的基本概念。

運動物體內每一點在其運動中都描繪出這種或是那種形狀的軌線，它稱為動點的軌跡。軌跡就是點在空間運動時按時間先後所佔的幾何位置。這樣，相對於我們所選擇的參考系統^①來說，軌跡是在幾何上決定了點的運動。軌跡的形狀有着各種不同。其中最簡單的一種，顯然是直線形狀。

動點所經路程的改變與時間的關係，使我們得到運動速度的概念。

① 或譯計算系統——譯者註。

路程被除以相應的時間，所得的商是平均速度。如若速度按大小不變，那末在任何相等的各段時間中，點經過的路程相等，因此這種運動稱為等速運動，如果不遵守這種條件，那末就是不等速運動或變速運動。

如若在相等的各段時間中，速度變化量相等，那末這種運動稱為等變速運動（等加速或等減速）。速度的增加量與每段時間之比稱為平均加速度。

設物體在地球上處於相對的靜止狀態。在這條件下，地球在宇宙空間的運動決定這物體的運動。設想這物體在另外物體的作用下開始沿地球表面運動。由於這種作用的結果，所考察物體的運動有了改變，因為物體在參與了地球的運動以外，它還沿着地球表面而運動。

這樣，物體間相互作用的結果，使這些物體的運動發生改變。一個物體（或幾個物體）對所考察物體的作用，表現在後者運動的改變中；這種作用在力學中被看作為是運動變化的原因，並稱它為力。

利用肌肉，我們可以使物體發生各種位移，將它搬動、舉起、拋出等等。這時，就產生了力的概念。當我們企圖迫使任一靜止的物體運動，阻礙或阻止在運動中的物體或者改變其運動方向時，我們必須給予物體相當的力。我們說，移動某一重物，我們得加施以某力；舉起兩個重量不同的負荷，則在舉起其中較重的一個負荷時，比舉起另一個時需要費較大的力。

計算力學中所採用各種量的基本單位是：

公尺——計算路程與距離用，厘米、米

公斤——計算力用，克、千克

秒——計算時間用。秒

從這些基本量的計算單位中，得出力學中所遇到的所有其他各種量的計算單位。例如速度具有因次長度/時間，即公尺/秒；加速度具有因次長度/時間²，即公尺/秒²等等。

為了在實用上更方便，我們取公尺、公斤和秒的導出單位。譬如在

低速度時，它們以公里/秒來表示；火車運動的速度以公里/小時來表示，等等。

8 解決實際問題時，嚴格地遵守所有各種量的因次，是獲得正確解答的必要條件。解每一個力學問題時，這點必須要牢牢記住。

§ 4. 有向量——矢量

力學中的許多量具有某些特性，可敘述如下：設一點沿直線軌跡 KL 移動（圖 1），在某一時刻，位於 M 點處，其速度等於 v 公尺/秒。為了完全確定這速度，單知道速度的大小是不夠的，還得指出這個點運動的方向由起點 K 向終點 L ，或是反方向。



圖 1

這樣一種量，它們除了具有大小以外，還須用它在空間的方向來決定，這種量稱為有向量或向量。這樣，可以說，速度是向量。設點是從 K 向 L 的方向運動。為了表示在 M 點位置的速度 $\vec{v}$ ，我們從這個點沿運動方向取線段 AB ，它的長度按照我們任意選擇的比例尺表示速度的大小。在線段 B 端標出一箭頭，表示速度的指向。

速度向量的方向是沿直線 KL ，這直線稱為向量的作用線。

這樣，向量在幾何上由下列因素決定：1) 作用線（也稱作基線），2) 線段長度，按比例尺表示向量的大小，3) 作用的指向（用箭頭表示）。

在以下敘述中，規定在表示向量的字母記號上面加一短劃。這種記號也應用在圖上。採用這種標記法，速度的向量要寫成 $\vec{v}$ ，而它的大小是 v 。表示向量的線段則用頂上具有短劃的兩個字母代表，這兩字母按照向量作用方向的次序來排列。譬如，對於從左指向右、用有方向的線段 $\overline{AB}$ （圖 1）表示的速度向量 $\vec{v}$ 可寫成：

$$\vec{v} = \overline{AB}.$$

如若另一點的速度 $\vec{v}_1$ ，它有相同的大小而方向相反，如同一圖上以線段 $\overline{CD}$ 所表示的，那末我們可以寫成

$$\overline{AB} = -\overline{CD} \text{ 或 } \vec{v} = -\vec{v}_1.$$

注意，速度 $\vec{v}$ 与 $\vec{v}_1$ 按大小是相等的，於是可以寫成：

$$\vec{v} = \vec{v}_1.$$

除了速度以外，在力学中还应用其他的有向量，例如：力、加速度以及其他。

沒有方向的量即非有向量的量，称为是無向量或數量。溫度、面積、體積等等都可以作为例子。

§ 5. 剛体与質點

在理論力学中所考察的運動物体可以想像是由數量很多的物質小塊結集而成，各小塊之間的距离保持不变，与作用在物体上外力的大小無關。根据这种假設，这样的物体应是絕對剛硬的，是不变的。但是实际上在自然界中並沒有絕對剛体。任何物体在外力作用下，程度上或多或少地会改变自己的形狀，換句話說，是变形了。可是，如果力所引起的物体形狀的改变——变形——与物体的尺寸比較起來是很小時，我們可以忽略这种变形，而根据絕對剛体的假設所得到的結論，可以認為是可靠的，它具有在实用上足夠準確性。研究变形与作用在物体上外力的關係是屬於材料力学的問題。

想像一滑塊，沿着直線方向運動。顯而易見滑塊上各點是完全相同地移動着。因此，分析这運動時，我們可用一個點來代替这个物体。我們假設在这个點上集中了組成这物体的所有物質。这个點称为質點。同样地，当物体上各點的運動進行得並不一樣時，如若祇限於研究物体重心的運動，也可以这样做，將物体的質量集中於重心。譬如，与水平成某角度投出一石塊，在这運動中，如若我們僅注意石塊重心運動，那