

部定大學用書

機 構 學

教育部大學用書編審委員會主編

蔣君宏編著

國立編譯館出版
正中書局印行

部 定 大 學 用 書
機 構 學

教育部大學用書編審委員會主編

蔣 君 宏 編 著

江苏工业学院图书馆
藏 书 章

國 立 編 譯 館 出 版
正 中 書 局 印 行



版權所有

翻印必究

中華民國四十六年十月臺初版

中華民國六十六年十月臺六版

部定機構學
大學用書

全一冊 基本定價 平裝五元二角
精裝六元三角

(外埠酌加運費滙費)

主編者 教育部大學用書
編審 委員會
編著者 蔣君宏
出版者 國立編譯館
發行人 黎元譽
發行印刷 正中書局

(臺灣臺北市衡陽路二十號)

海外總經銷 集成圖書公司

(香港九龍油麻地北海街七號)

海風書店

(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

東海書店

(日本京都市左京區田中門前町九八番地)

新聞局出版事業登記證 局版臺業字第〇一九九號(3860)泰
(1000)

序

本書編寫之主要目的在爲供作大學教科書之用。其內容雖多側重於理論方面，然對於實際應用上之有關知識，亦就可能範圍內予以介紹。故本書亦可供一般機械工程師作爲參考之用。

全書共分十六章，凡屬對於初學者可以省略，而可供作參考之部分，均用小號字排印。其他教材可以由教授者就學生之程度與需要加以取捨。作爲一學年之課程，前十章宜併在第一學期內授畢，以後六章則可在第二學期內講授。

章次先後之編排，在各種機構學教科書中殊無一定之準則，蓋機構學本身原非一種有嚴密系統之學科。外文書籍多將連桿裝置編列在最後。著者以爲我國社會對於機械觀念不若西方國家之普遍，故將連桿裝置編列在前，俾學者於修習連桿裝置之速度解法與加速度解法時，易於獲得較明確之觀念。著者曾依此順序講授數年，深感其頗合實用。

第十，第十六兩章無習題；第三，第四兩章性質相同，習題合併排在第四章之末。

依照我國國家標準之規定，度量衡應採用公制，故除螺紋與齒輪之有特別標準者外，概用公制。投影圖除有特別指明者外，概用第一象限表示法。

書中所用名詞，除爲避免敘述困難者外，悉以教育部公布之機械工程名詞與數學名詞爲依據。每一名詞在初次出現時，皆附以英文名詞。書後之索引則按英文字首編排，並附中名，以資對照。

本書之成，承國外各大公司惠贈圖片，得以充實內容不少，至深感謝。復承周廣周先生惠予修正並補充習題，吳允和、周輔兩先生協助製

圖，石人瑜先生負責校對全稿，並此致謝。

著者不文，於四十一年初着手編寫是書，其間時作時輟，歷時三載，始克竣事。其中疏漏之處，尙祈專家學者，賜予指正，俾得於再版時補正之，則獲益者當非僅著者個人而已。

蔣 君 宏

中華民國四十四年四月於臺灣省臺北市

機 構 學

目 錄

第一章 基 本 觀 念

1. 機構與機械的定義.....	1	10. 高對與低對的比較.....	11
2. 機構學的研究對象.....	2	11. 對偶的倒置.....	12
3. 運動與靜止.....	4	12. 不完全對偶.....	14
4. 原動件與從動件.....	4	13. 機架.....	11
5. 運動傳達的方式.....	4	14. 導路與滑子.....	15
6. 機件的對偶.....	6	15. 樞紐與軸承.....	15
7. 低對.....	6	16. 曲柄與桿.....	13
8. 低對的脫變.....	9	17. 連桿.....	16
9. 高對.....	10	18. 符號.....	16

第二章 機 構 運 動

19. 點的運動與剛體的運動.....	19	32. 矢量的運用.....	27
20. 連續運動.....	19	33. 質點的自由度.....	33
21. 往復運動.....	20	34. 剛體的自由度.....	34
22. 搖擺運動.....	20	35. 剛體的拘束度.....	36
23. 間歇運動.....	20	36. 點接觸與拘束度.....	37
24. 運動的循環.....	20	37. 由剛體內質點的自由度求定剛 體的自由度.....	39
25. 運動的週期.....	20	38. 位移.....	41
26. 平移.....	20	39. 線位移與角位移的關係.....	45
27. 旋轉.....	21	40. 速率與速度.....	46
28. 平移與旋轉的合成.....	21	41. 線速度.....	47
29. 平面運動.....	25	42. 角速度.....	50
30. 矢量與純量.....	25	43. 線速度與角速度的關係.....	51
31. 運動的方向與指向.....	26		

44. 線加速度.....	53	49. 位移,速度,與加速度的表解.....	58
45. 直線運動的加速度.....	53	50. 比例尺.....	59
46. 曲線運動的加速度.....	55	51. 等加速運動.....	60
47. 角加速度.....	56	52. 等角加速運動.....	62
48. 一點作曲線運動時其切線加速 度與其對於曲率中心的角加速 度之關係.....	57	53. 簡諧運動.....	63
		54. 圖解微分.....	66
		55. 圖解積分.....	69

第三章 連 桿 裝 置

56. 運動鏈.....	77	61. 雙搖桿機構.....	91
57. 只含低對的拘束運動鏈判別準 則.....	82	62. 雙搖桿機構應用的實例.....	93
58. 含有高對的拘束運動鏈判別準 則.....	86	63. 雙曲柄機構.....	97
59. 四連桿組的各部分名稱.....	87	64. 平行與不平等曲柄四連桿 組.....	100
60. 曲柄搖桿機構.....	88	65. 四連桿組的合併應用.....	102
		66. 四連桿組運動的解析.....	102

第四章 含有滑行對的連桿裝置

67. 含有一個滑行對的四連桿組.....	105	72. 等腰連桿組.....	114
68. 滑子曲柄機構或滑塊連桿組.....	108	73. 含有兩滑行對的四連桿組.....	116
69. 滑槽連桿組.....	109	74. 等腰連桿組的變形.....	118
70. 搖塊連桿組.....	110	75. Rapson 氏滑行裝置.....	122
71. 迴轉塊連桿組.....	113		

第五章 直線運動與平行運動機構

76. 直線運動機構.....	129	82. 更改後的Scott-Russell直 線運動機構.....	135
77. Peaucellier 氏直線運動機 構.....	130	83. Watt 直線運動機構.....	138
78. Perrolaz 直線運動機構.....	131	84. Robert 直線運動機構.....	140
79. Hart 直線運動機構.....	132	85. Tchebicheff 直線運動機構.....	142
80. Scott-Russell直線運動機構.....	133	86. 平行運動機構.....	143
81. Carlin 氏圓.....	134	87. 比例運動.....	144

第六章 連桿裝置的速度矢量解法

- | | |
|------------------------|----------------------------------|
| 88. 兩點間的相對速度.....149 | 97. 瞬時中心法之二.....173 |
| 89. 同一剛體上兩點的速度.....150 | 98. 選擇速度矢量的比例尺以
簡化作圖.....177 |
| 90. 速度分合法.....153 | 99. 速度影像法之一.....177 |
| 91. 瞬時旋轉中心.....160 | 100. 滑子曲柄機構中滑子的速
度.....182 |
| 92. 瞬時中心法之一.....161 | 101. 組成滑行對的兩剛體間的
相對速度.....184 |
| 93. 滾輪的瞬時旋轉中心.....167 | 102. 速度影像法之二.....185 |
| 94. 廣義的瞬時速度中心.....168 | |
| 95. 三心定理.....170 | |
| 96. 瞬心的求法.....171 | |

第七章 連桿裝置的加速度矢量解法

- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| 103. 法線加速度與切線加速度...195 | 速度.....209 |
| 104. 同一剛體上兩點間的相對
加速度.....197 | 108. Klein 氏構圖法.....209 |
| 105. 加速度影像法之一.....200 | 109. Ritterhaus 氏構圖法.....210 |
| 106. 用直接作圖法求法線加速
度.....206 | 110. 滾輪上各點的加速度.....211 |
| 107. 滑子曲柄機構中滑子的加 | 111. 加速度影像法之二.....214 |
| | 112. Coriolis 氏定律.....215 |

第八章 連桿裝置的力學問題

- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| 113. 功之定義.....233 | 116. 肘節裝置.....237 |
| 114. 虛功原理.....234 | 117. 機構中的慣性力.....239 |
| 115. 連桿裝置各桿間作用力之
求解.....236 | 118. 摩擦力.....243 |
| | 119. 機械效率與機械利益.....244 |

第九章 球面運動與螺旋運動

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 120. 球面運動.....247 | 125. 等轉速比萬向接頭.....263 |
| 121. 球面四連桿組.....248 | 126. 螺旋運動.....265 |
| 122. 特殊球面滑子曲柄機構.....250 | 127. 螺旋對.....267 |
| 123. Hooke 氏接頭.....255 | 128. 複動螺旋與差動螺旋.....270 |
| 124. 雙Hooke 氏接頭.....260 | 129. 螺旋對的機械效率.....271 |

130. 螺紋標準.....	273	131. 三線量節徑法.....	275
----------------	-----	------------------	-----

第十章 滾動接觸與滑動接觸

132. 直接接觸.....	279	141. 對數螺線的作圖法.....	295
133. 瞬心線.....	279	142. 葉子輪.....	29
134. 圍繞固定中心旋轉之兩曲 線成滾動接觸的條件.....	280	143. 四連桿組兩對面連桿相對 瞬心線的滾動接觸.....	298
135. 兩圓柱面的滾動接觸.....	282	144. 圓錐曲線的滾動接觸.....	299
136. 兩圓錐面的滾動接觸.....	284	145. 雙滑子曲柄機構的相對瞬 心線.....	303
137. 點接觸變速傳動裝置.....	287	146. 滑動接觸.....	304
138. 摩擦輪.....	290	147. 共軛曲線.....	306
139. 由一已知曲線求他一曲線 與之成滾動接觸的方法.....	291	148. 兩個雙曲面的接觸.....	309
140. 兩個對數螺線的動滾接觸.....	293		

第十一章 轆

149. 轆的定義與分類.....	321	160. 只含低對的拘束運動鏈判 別準則的例外情形.....	356
150. 從動件的位移線圖.....	323	161. 偏心輪.....	357
151. 等速運動與變速運動.....	326	162. 內燃機用轆.....	359
152. 等加速運動.....	328	163. 漸開線轆.....	365
153. 簡諧運動.....	331	164. 確動轆.....	367
154. 等速運動與變速運動的組 合.....	333	165. 平面轆的傳力作用.....	378
155. 擺線運動.....	338	166. 基圓大小的影響.....	375
156. 驅動尖端從動件的平面轆 外廓曲線的作圖法.....	340	167. 圓柱轆.....	377
157. 滾子從動件.....	346	168. 斜板.....	381
158. 平板從動件.....	348	169. 反轆.....	383
159. 從動件的速度與加速度.....	353	170. 轆的製造.....	385

第十二章 齒 輪

171. 齒輪傳動.....	395	187. 漸開線齒輪的阻涉.....	437
172. 齒輪的分類.....	397	188. 漸開線齒的最高限度.....	441
173. 正齒輪與齒之各部分名稱 的定義.....	398	189. 漸開線齒輪的齒數最少限 度.....	443
174. 齒的大小.....	401	190. 漸開線齒輪與齒條.....	444
175. 齒輪的角速度比.....	402	191. 漸開線齒輪與內齒輪.....	445
176. 接近角,退遠角與作用角.....	403	192. 標準齒制.....	447
177. 齒間的摩擦力.....	407	193. 輪齒的比滑率與磨損.....	457
178. 齒廓曲線.....	409	194. 漸開線齒與擺線齒的比較.....	464
179. 擺線齒輪.....	415	195. 齒廓曲線的近似作圖法.....	465
180. 擺線齒輪滾圓的大小.....	418	196. 階級齒輪,螺旋齒輪與人字 齒輪.....	468
181. 擺線齒輪的齒數最少限度.....	419	197. 用成形銑刀銑螺旋齒輪法.....	474
182. Root 送風機.....	421	198. 正齒輪與螺旋齒輪的傳成 法.....	476
183. 擺線齒輪與齒條和擺線齒 輪與內齒輪.....	422	199. Maag 齒輪.....	483
184. 銷子輪.....	425	200. 非圓形齒輪.....	486
185. 漸開線齒輪.....	429		
186. 漸開線的性質.....	434		

第十三章 斜齒輪, 歪斜齒輪與螺旋齒輪

201. 斜齒輪各部分名稱的定義.....	493	206. 斜螺旋齒輪的軸向推力.....	511
202. 斜齒輪的齒形曲面.....	495	207. 斜螺旋齒輪的轉成法.....	512
203. Tredgold 氏近似法與斜 齒輪的分析.....	500	208. 歪斜齒輪與載齒輪.....	515
204. 直齒斜齒輪的切削法.....	503	209. 螺旋傳動.....	518
205. 斜螺旋齒輪.....	508	210. 螺旋傳動問題的解法.....	521
		211. 蝸輪傳動.....	525

第十四章 撓性傳動

212. 撓性聯接物.....	535	215. 皮帶內的張力.....	538
213. 平皮帶傳動.....	535	216. 皮帶的長度.....	542
214. 皮帶輪的角速度比.....	538	217. 階級輪.....	544

218. 開口皮帶階級輪的圖解法.....	549	226. 鋼絲繩傳動.....	565
219. 相等階級輪.....	551	227. 鏈傳動.....	566
220. 速率圓錐.....	553	228. 傳達功率鏈的鏈節改變之 影響.....	573
221. 皮帶輪面的隆起與皮帶運 轉的基本原理.....	555	229. 鏈的長度與中心距離.....	576
222. 定輪與遊輪.....	556	230. 鏈輪角速度比之變化.....	578
223. 不平行軸線間的皮帶傳動.....	557	231. P. I. V. 變速傳動.....	580
224. 三角皮帶傳動.....	559	232. 起重滑車.....	581
225. 繩傳動.....	562	233. 利用繩聯接的平行運動.....	583

第十五章 輪 系

234. 輪系及其分類.....	589	241. 周轉輪系.....	612
235. 普通輪系的速率計算.....	590	242. 回歸周轉輪系.....	616
236. 背齒輪.....	597	243. 無固定齒輪的周轉輪系.....	619
237. 變向輪系.....	597	244. 斜齒輪周轉輪系.....	623
238. 切削螺旋的輪系.....	599	245. 差速斜齒輪.....	625
239. 變速輪系.....	602	246. 斜齒輪周轉輪系之矢量解 法.....	627
240. 輪系之計劃.....	606		

第十六章 間歇運動

247. 間歇運動機構.....	641	253. 電影放映機送片機構.....	650
248. 棘輪.....	641	254. 鋸形擒縱器.....	653
249. 飼刀機構所用的棘輪.....	645	255. 無提擒縱器.....	655
250. 摩擦棘輪.....	647	256. 圓筒形擒縱器.....	656
251. 計算機的進位機構.....	648	257. 精密時計擒縱器.....	656
252. 日內瓦止轉器.....	651		

機 構 學

第一章 基本觀念

§1 機構 (Mechanism) 與機械 (Machine) 的定義

機構與機械兩個名詞，常易被混淆。其實二者所代表的意義並不完全相同，須要分辨清楚，不能隨便使用。現在為這兩個名詞作如下的定義：

機構的定義 —— 一個機構係為多個剛體 (Rigid Bodies) 的組合，其聯結方法在使其中一個剛體的運動，依照該組合所形成的規律，以迫使其他剛體各產生一種可以確切預期的運動。

所謂剛體者，係指不因外力而發生變形 (Deformation) 的物體，故為一種理想中的物體；因而機構乃是一種理想中的組合。

機械的定義 —— 一個機械係為多個抗力體的組合，其配置方法乃在藉彼等之故，可迫使某種自然的機械力產生某種件以一定確切的運動之效應或作功¹。換言之，機械乃是介乎能源 (Source of Energy) 與功 (Work) 之間的若干活動機件或支持物的組合，以使能量變為功者。

由以上兩個定義，可知機構的範圍較機械為廣。兩者的相同處是在都必須能活動，就是各機件之間必須要有相對的運動²，兩者的不同處是在機械必須能作功，而機構則不必一定要作功。此處當注意者，所謂機械能作功，並非是指機械本身能產生能量來作功，而是說必須有外界的能量加諸於機械，方能使其作功。機械不過是將能變為功的一種中間物而

¹此定義為 Reuleaux 氏所訂，為多數機構學書所採用。

²相對運動詳見第3節。

已。嚴格言之，凡運動就必須要作功，因為組成件都各有其質量存在。不過機構既是理想中的組合，我們可以假定這些組成件是不具有質量的。因此凡稱某一種理想的組合為機構時，乃是以其能運動為主；稱某一種實在的組合為機械時，乃是以其能作功為主。例如鐘錶的組織是以產生一種一定的運動為主，所以我們與其稱這種組合物為機械不如稱其為機構來得恰當。又如在蒸汽機中，曲柄(Crank)與聯接桿(Connecting Rod)以及導路(Guide)的組合成為一種將往復運動變為旋轉運動的機構，但是這個機構不能單獨地作功。欲構成整個機械，尚須加上其他的汽閥機關(Valve Gear)等附件裝置。因此一個機械必須是一個或幾個機構合併而成的。而每個機構各有其生產某種運動的職責。反之，一個機構未必就是一個機械。任意一個機械，我們若只研究其運動的關係，而不計及其受力與作功的影響時，都可以當作機構來看。

常人每將機構與結構(Structure)混為一談，後者雖是用以承擔荷載(Load)的抗力體的組合，但各組成件間並不發生任何相對的運動，如橋樑、桁架等是。反之，在一個機構中，各組成件間必須有相對的運動。所以機構是活的，而結構是呆的。

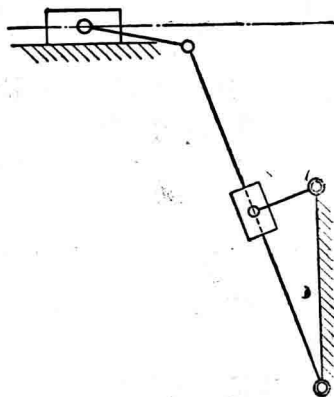
§ 2 機構學的研究對象

設計一種機械如何能使能量變成有用的功，大體可以分作三個步驟。

第一步，從機械所需要作的工作為何，就可以決定機械上最後發生運動的一個機件部分應該有何種運動；再從可能利用的能源設計各機件部分應該如何組合，纔可以使第一件所受的運動傳達到最後一件使其發生我們所預期的運動。在從事這種設計時，常作一種略圖來表示各組成件之間的相互位置關係，至於每件本身的粗細大小，暫時可以不予以考慮，因為這種尺碼並不影響各組成件間的相對運動。例如第 1 圖所

表示者，就是第 30 圖與 131 圖的牛頭鉋床(Shaper)的機構略圖。爲了只欲表示各組成件運動時的相互位置。

不需要將各機件的原來形狀大小畫出，這種略圖稱爲運動表示圖 (Kinematic Representation)。在這種表示圖中，我們可以用幾何學的方法，決定各機件的位移 (Displacement) 速度 (Velocity) 與加速度 (Acceleration)。



第 1 圖 運動表示圖

第二步，各部機件所受的力，須行決定；其次決定採用何種材料，最後決定各部機件的形狀大小，使其能抵抗所承受的力量，而且需要具有足够的安全性。此外，更須注意到製造與修理上的方便與經濟。

第三步，由於機件本身的質量，當其運動時，必產生相當的慣性力 (Inertia Force)，當質量很大或速度的改變過大時，這種慣性力的影響就不能忽略，在設計各部機件的形狀大小时，也必須加以考慮。

以上三步中，第一步只研究機械各部的相關位置與相關運動，以及支持與約束各部運動的情形，既不考慮各部所受力的大小，也不問各部本身質量的大小，所以只是一種理想的情形。這一部份稱之爲純粹機械學 (Pure Mechanism)，或機械幾何學 (Geometry of Machinery)，也稱機械運動學 (Kinematics of Machinery)。

第二步爲就機械各部受靜力作用時，決定各部機件應有的大小形狀。當然凡與運動有關的尺碼，都已在第一步中決定，不能更改。這一部份稱之爲構造機構學 (Constructive Mechanism)。

第三步爲就動力的影響加以研究，除對慣性力所產生的直接影響

須加以考慮外，其間接影響到的振動 (Vibration) 與均衡 (Balancing) 問題也須顧及。這一部份稱為機械動力學 (Dynamics of Machinery)。

本書所研究的對象，主要為機械運動學的範疇，也略涉及機件傳力的問題，至於均衡問題，屬純粹力學的範疇，本書不擬討論。

§ 3 運動與靜止

運動與靜止乃是兩個相對的名詞。運動就是位置的改變。通常所說某物體在運動，乃是指該物體對於另外一個被認為靜止不動的物體，有所改變其相對位置而言。所謂兩物體間的相對位置，包括兩物體間的距離與方向。無論距離或方向的改變，都會產生位置的改變，因而產生運動。

若兩物體同時在運動，則兩物體間的相對運動 (Relative Motion) 就是這兩物體間的相對位置的改變。若兩物體間的相對位置沒有改變，即使兩物體都在運動，它們之間的相對運動仍是等於零。

在空間絕對靜止不動的物體超出我們的想像範圍之外，所以在工程問題中，我們習慣地假定地球是靜止的，而一切物體的所謂絕對運動 (Absolute Motion) 都是該物體對於地球的相對運動。

§ 4 原動件 (Driver) 與從動件 (Follower)

在一個機構中的各機件，凡推動其他機件者稱為原動件，凡被其他機件影響其本身運動者，稱為從動件。

§ 5 運動傳達的方式

一個機構既是許多剛體彼此聯接而發生相對運動的組合，則運動由某物體 f 傳給某物體 h ，其傳達方式，約可分為下列幾種：

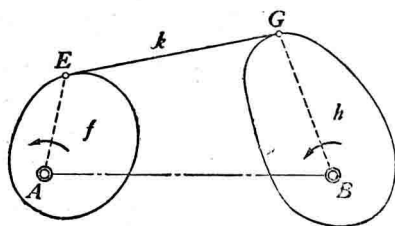
- | | |
|------------------|---|
| (1) 由直接接觸而傳達運動者 | $\left\{ \begin{array}{l} (a) \text{滑動接觸} \\ (b) \text{滾動接觸} \end{array} \right.$ |
| (2) 藉中間聯接物而傳達運動者 | |

第(1)類是直接由原動件 f 將運動傳達給從動件 h , $f \rightarrow h$ 。所以 f 與 h 是直接接觸的。但當運動時, f 與 h 接觸的部位或有滑動, 或無滑動。若有滑動, 則稱為滑動接觸, 若無滑動, 則稱為滾動接觸。

第(2)類是原動件 f 藉第三者 k 將運動間接地傳達給 h 。 f 先將運動傳給中間聯接物 k , k 再將運動傳給 h , $f \rightarrow k \rightarrow h$ 。依照 k 的不同形態可分為以上的(c), (d), (e)三種。

在理想的機構中, k 可為一個如 f 或 h 的剛體, 這一種就屬於上列的(c)。在實際上, f, k, h 當然都是用堅固的抗力材料製成。就 $f \rightarrow k$ 言, f 可以當作原動件, k 可以當作從動件。就 $k \rightarrow h$ 言, k 可以當作原動件, h 可以當作從動件。通常所說的原動件或從動件都是指有固定旋轉中心的物體而言¹。

k 若為柔軟的撓性體, 則稱之為帶 (Band)。這類物體只有抗張性而無抗壓性與抗屈性, 雖不能算作理想的剛體, 但在理想中是被當作無伸縮性的 (Inextensible); 所以它被用為中間聯接物傳達運動時, 只能傳達挽力而不能傳達推力, 如第 2 圖。這種中間物稱之為張力器



第 2 圖

(Tension Organ), 如以後第十四章所講的撓性傳動就是屬於這一種。

k 又可以為流體。此時運動由 f 經 k 而傳給 h , 完全藉壓力而推動。這類中間物雖不是理想中的剛體, 但在理想中是被當作其體積無漲縮性的。實際上所用的流體中間物常是受壓後體積改變甚小的物質, 如水壓機中的水即屬於這一種。這種中間物稱之為壓力器 (Pressure Organ)。

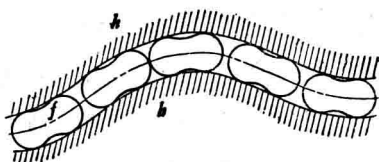
¹ 所謂固定旋轉中心可以在有限遠, 也可以在無限遠。

以後數章中，除(e)一種外，將分別討論到各種傳達運動的情形。因為流體所能發生的變形超出本書範圍以外，所以不予討論。

中間聯接物也可能不只是 k 一件，而 k 也可能再將運動傳給其他機件，如 $f \rightarrow k \rightarrow g \rightarrow h \rightarrow m \rightarrow n$ ，這樣構成一個連串。通常稱第一件 f 為原動件，最後件 n 為從動件。須注意者， f 如有某種運動，以次 k, g, h, m, n 都須各有一個可以預期而確切的對應運動，不可以作任意不定的運動，否則這種連串就不能適合於機構的定義。

§ 6 機件的對偶 (Pairs of Elements)

要使一物體 f ，保持與另一物體 h 接觸而在 h 之內沿一定的路線運動，兩者的形狀必須有一定的關係；或者說， h 的形狀必須要能適當地容納 f 。假定 h 固定不動， f 對於 h 的幾個連續位置一經決定，就可以在 h 上挖成一個槽形。這槽形的曲線就是 f 的幾個連續外形的包絡線 (Envelope)。因此， f 與 h 發生相對運動時， h 的槽形就可以約束 f ，使之在



第 3 圖

一定的路線上運動。如第 3 圖。反過來也可說當 f 固定不動時，由於 h 的槽形與 f 的外形的關係也可以約束 h ，使之在一定的路線上運動。所以，凡是兩個外形彼此約束其運動路線的物體，即構成一副對偶。對偶依照接觸性質之不同，可以分為低對 (Lower Pair) 與高對 (Higher Pair) 兩種。

§ 7 低對

低對又稱為合對 (Closed Pair)。其構成此種對偶的兩機件成面與面的面接觸 (Surface Contact)。依字義解釋，合對含有包合的意思，構成低對的兩個物體 f 與 h 的接觸面是互相密合的。

低對依其接觸面的形狀不同，所約束的運動性質亦不同，有以下