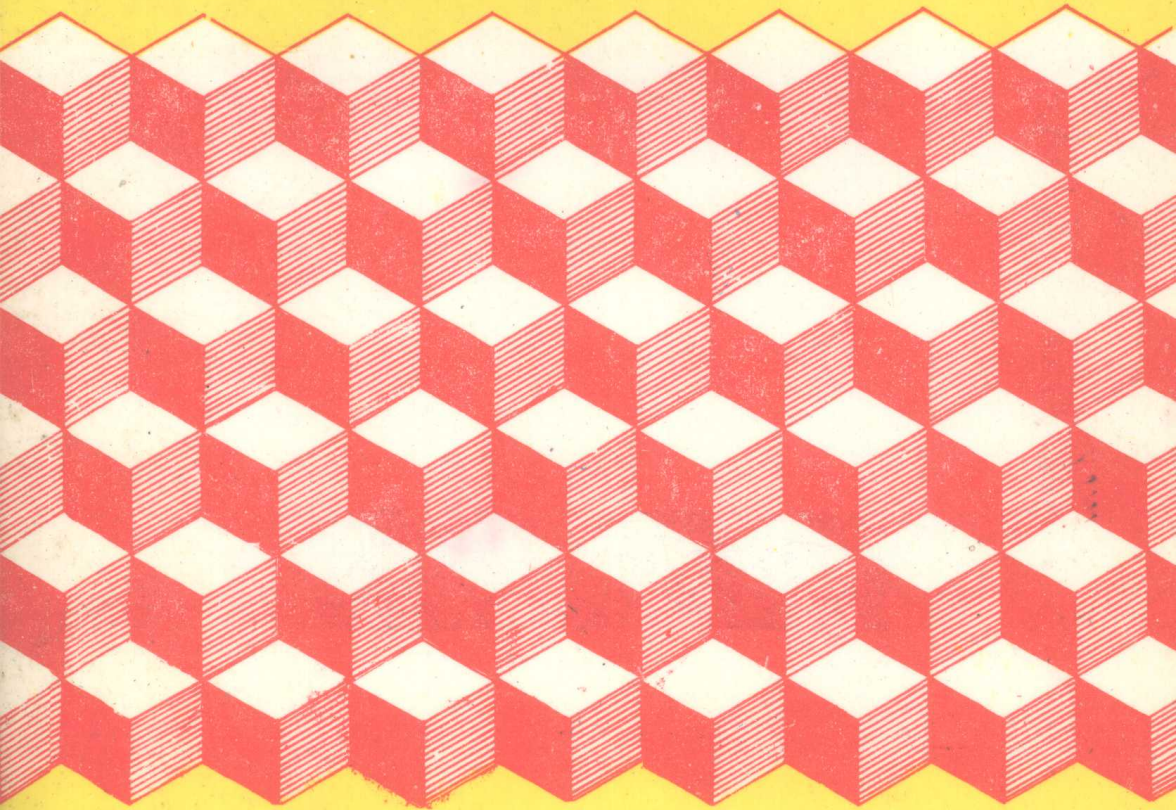


機械工程技術叢書

學動機

MECHANISM

孫中民 任康雄 合譯



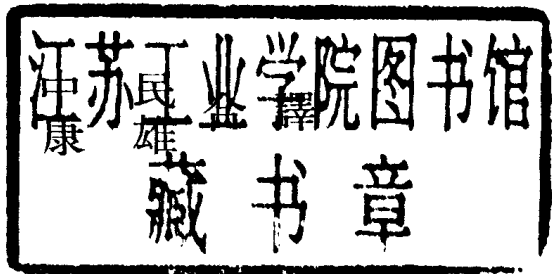
五洲出版社印行

機械工程技術叢書

學動機

MECHANISM

孫任



修訂本

五洲出版社印行

中國通史一百講

陳致平教授著

(中國通史濃縮篇)

精裝定價貳佰元 平裝定價壹佰伍拾元

本書乃史學家陳致平教授於編寫中國通史之餘以我中華五千年歷史，濃縮爲壹百講，曾由我中央廣播電台向大陸同胞廣播介紹我中華民族五千年的歷史文化和精神。內容雖非浩瀚之著作，但言簡意賅，深入浅出，每一講自成體系，可予讀者對某一時代之事變演進以完整之概念；復又首尾相承，累代一貫，可予貫通上下古今而獲歷史之大全。尤以口語化，通俗化，趣味化之可讀性甚高，誠爲我時代青年：中華兒女能知我中華五千年歷史文化之瑰寶。

機 動 學

目 次

第一章 定義及基本復習 1-19

1. 導言.....	1	10. 能.....	7
2. 機器與機構.....	2	11. 功率.....	8
3. 機器的結構.....	3	12. 效率.....	9
4. 運動.....	3	13. 矢量.....	9
5. 速度與速率.....	5	14. 矢量的應用.....	12
6. 加速度.....	5	15. 鎖合.....	15
7. 力.....	5	16. 對偶.....	16
8. 轉矩.....	6	17. 草圖.....	17
9. 功.....	7		

第二章 連動裝置與位移 20-49

1. 四連件機構.....	20	6. 直動機構.....	34
2. 四連件機構的倒置.....	20	7. 滑子曲柄機構.....	37
3. 兩相鄰連件間的相對運動.....	21	8. 等腰連件組.....	41
4. 連件位移的分析.....	22	9. 滑子曲柄機構的倒置.....	43
5. 平行四邊形機構.....	29	10. 歐氏聯軸節.....	46
		11. 位移, 位移圖.....	47

第三章 機械部分的速度 50-91

1. 機械各部分的速度.....	50	瞬心法的關係.....	66
2. 解析法.....	50	6. 心.....	70
3. 速度的分解與合成法.....	55	7. 閉鎖第理論及其應用.....	70
4. 瞬心及瞬心法.....	61	8. 利用心求速度法.....	74
5. 速度的分解與合成法及		9. 利用速度多邊形求速度	

法	80
10. 線速度圖	86

11. 極速度圖	89
----------	----

第四章 機械部分的靜力 92-119

1. 利用固定心求靜力法	92
2. 利用速度多邊形求靜力法	94
3. 利用瞬心求靜力法	95
4. 解析法	96
5. 機械的摩擦力	104

6. 滑動連件上摩擦力的效應	106
7. 軸與軸承間摩擦力的效應	108
8. 滑動摩擦與軸摩擦	111
9. 力圖	114

第五章 機械部分的加速度 120-141

1. 機械部分的加速度	120
2. 法向加速度與切向加速度	120
3. 連件機構加速度的分析	121
4. 四連件機構的加速度	127
5. 滑子曲柄機構的加速度	129

6. 六連件機構的加速度	131
7. 有科賴奧來加速度的連件機構	132
8. 慣性力	136
9. 加速度圖	137

第六章 滑動接觸與滾動接觸 142-150

1. 接觸的性質	142
2. 滑動接觸	142
3. 滾動接觸	144
4. 求一已知曲線的共軛曲線	145

5. 已知一構件的曲線，求與其滾動接觸的另一構件的曲線	146
6. 兩同形橢圓的滾動接觸	148

第七章 鏢 151-177

1. 鏢的形式	151
2. 運動型式	152
3. 盤形鏢的區劃	156
4. 具有中心線經過鏢中心	

的從動滾子的盤形鏢	156
5. 具有中心線經過鏢中心的平面從動部的盤形鏢	158
6. 盤形鏢與偏置從動部	159

7. 具有擺動從動部的盤形 鏢	160
8. 漸開線鏢	162
9. 鏢的從動部的速度分析	164
10. 確動盤形鏢	167

11. 反鏢	170
12. 柱形鏢	171
13. 鏢的配置	174
14. 機製鏢的方法	174

第八章 齒輪與輪齒 178-232

1. 齒輪的用途	178
2. 摩擦輪	178
3. 輪齒的型式	180
4. 輪齒部分	184
5. 輪齒標準	188
6. 美制輪齒標準	189
7. 輪齒的速度比	193
8. 輪齒曲線	194
9. 擺線輪齒	195
10. 擺線輪齒之互換性	198
11. 擺線輪齒的接觸點軌跡 及壓力角	199
12. 用格蘭脫齒規畫出的擺 線輪齒	200
13. 漸開線輪齒	202
14. 漸開齒輪的壓力角及法 節	204
15. 漸開線輪齒的齒頂高限 度	206
16. 漸開線齒輪的分離性及	

互換性	208
17. 用格蘭脫齒規畫出的漸 開線輪齒	211
18. 輪齒的阻涉	211
19. 各種輪齒型的優劣	213
20. 螺旋齒輪	214
21. 斜齒輪	215
22. 蝸桿與蝸輪	219
23. 螺線齒輪	222
24. 歪斜齒輪與歪斜旋齒輪	223
25. 製造齒輪法	224
26. 銑成形法	224
27. 鉋成形法	226
28. 磨成形法	227
29. 銑輪齒——造形法	227
30. 鉋輪齒——造形法	228
31. 磨輪齒——造形法	230
32. 製造方法與齒輪的互換 性	231

第九章 輪系 233-259

1. 輪系的用途	233
2. 輪系的速度比	233

3. 對於一輪系內齒輪的選 擇	235
--------------------	-----

4. 時鐘的輪系.....	236	10. 以矢量解周轉輪系法.....	248
5. 自動車齒輪箱.....	237	11. 惠斯登三級起重器.....	249
6. 車床上的變速齒輪.....	238	12. 捲繩機.....	251
7. 追逐齒齒輪.....	239	13. 周轉斜輪系.....	252
8. 有蝸輪的輪系.....	240	14. 自動車的後軸傳動.....	255
9. 周轉輪系.....	244		

第十章 撓性傳動 260-290

1. 撓性接合物的用途.....	260	12. 繩傳動.....	274
2. 滑輪的速度比.....	261	13. 繩傳動制度.....	275
3. 開接帶的長度.....	262	14. 帶槽輪.....	276
4. 交叉帶的長度.....	263	15. 滑輪組.....	277
5. 用開接帶的級輪.....	265	16. 惠斯登差動滑輪組.....	279
6. 用交叉帶的級輪.....	266	17. 鏈.....	282
7. 等級輪.....	268	18. 起重鏈.....	282
8. 聯接不平行軸的帶.....	270	19. 運物鏈.....	282
9. 定輪與遊輪.....	271	20. 傳遞動力的鏈.....	284
10. 聯接大小兩滑輪的帶.....	277	21. 鏈調整器.....	290
11. 滑輪的隆起面.....	273		

第十一章 間歇運動, 反向運動, 離合器, 軋機構 291-312

1. 間歇運動的機構型式.....	291	7. 捲縱機.....	298
2. 用鏗的間隙運動.....	292	8. 反向機構.....	300
3. 間歇齒輪.....	292	9. 離合器.....	302
4. 日內瓦輪.....	294	10. 確定離合器.....	303
5. 反向日內瓦輪.....	295	11. 摩擦離合器.....	303
6. 棘機構.....	295	12. 軋.....	308

第十二章 其他型式的機構 313-328

1. 聯軸節.....	313	3. 水力聯軸節.....	317
2. 虎克聯軸節.....	316	4. 停放機構.....	318
5. 指數機構.....	321	6. 閥機構.....	323

第一章

定義及基本復習

1. 導言 一般都承認我們現正生於機器的時代中。自從1769年瓦特氏(James Watt)發明蒸汽機後，機器進步非常迅速。在比較先進的國家中，各種式樣的機器，已成為生活上的重要部門。

設計機器時，工程師大抵以過去所發明的原理或觀念作為準繩。一新機器的造成，並非少數設計者的功勞，而是過去曾經用種種方法做過實驗而得到重要發明的許多科學家及設計家共同努力的結果。新式機器，即根據他們所開發的原理造成。工程師自己的判斷力量，把他種機器的運用方法，採取到自己機器上。祇有極少數的裝置，可算得真正發明。

設計時應該具有的知識極廣，因此分成許多不同的部門。

此書名為機構學(Mechanism)，其研究對象為機器各部分的運動。所討論者，有連件組，齒輪，帶，鏈等；因動力傳送而在機器各部分內所產生之靜力及慣性力的計算方法，都包括在內。至於純粹的機構學，稱為運動學，它祇對於機器各部分的運動，作詳細的研究。

機動力學所討論的範圍，是機器各部分因加速度而產生之慣性力，及如何平衡此種力量。機器振動問題，也包括在內。

力學所討論者，為固體液體及氣體的相對運動，與作用於此等物體上的力。這門科學，通常從理論之觀點出發，所討論者不完全是

機器。

材料力學研究物體受到外力後所產生的應力與應變。

工程材料所討論者是工程上所用各種材料的性質及如何製造此等材料。

在工學院課程表中，還有其他許多科目，研究工程師設計機器時應有的許多基本知識。

在本章內，對於許多研究機器各部分運動常用名詞的定義，及設計時所必需的基本關係，略加復習。

2. 機器與機構 雷魯氏 (Reauleaux) 對於機器的定義如下：“機器為許多堅強物體的組合，使自然界的機械力，利用某種運動，完成某種工作”。

安格士 (R.W. Angus) 教授另有更好定義。安氏說：“一架機器包含許多堅強部分，其間有已知一定的相對運動，並且可使某種可用能 (available energy) 完成所要做的工作”。

要對於機器下定義，必需四個條件：一、它的各部分必需堅強。二、各部分間必須有一定之相對運動。三、它們必須與能源聯接。四、它們必須做有用的工作。

若不計最後兩個條件，此種裝置，通常叫做機構 (mechanism)。所以機構為一組堅強部分，它的各部分間有一定的相對運動。

機器與機構的區別為：機器產生能的變化，機構祇能產生運動的變化。

在機器的一類中，包括蒸汽機，燃氣機，車床，龍門刨床，銑床，等等。機器模型與機器剖件，均屬機構；加算機，打字機，鐘，可認為

機器，亦可認為機構。

3. 機器的結構 支持機器運動部分者，稱為機架 (frame)，或簡稱架。架可能是固定的，例如車床架；亦可能是活動的，例如汽車或蒸汽機車的架。機器各部分的運動，通常是指相對於機架的運動而言。

剛體連接物，如曲柄 (crank)，連桿 (connecting rod)，稱為連件 (link)⁽¹⁾；撓性連接物，如帶，鏈，繩等，都稱為連帶 (band)⁽²⁾。機器產生運動的部分，叫做主動部 (driver)，被動部分，叫做從動部 (follower)。有些機器部分，可能同時是主動部，亦是被動部。

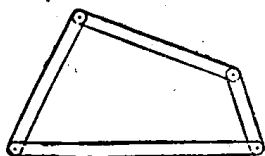


圖 1.

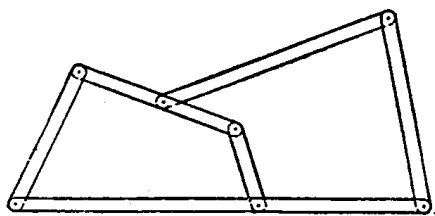


圖 2.

組成機器或機構的一串連件，叫做運動鏈 (kinematic chain)。若運動鏈的每個連件，祇有兩個接頭，則稱單鏈。若其中一連件有兩個以上之接頭，便稱複鏈。圖 1 為單鏈的例，圖 2 為複鏈的例。

4. 運動 物體變換其位置時，即有運動。機械構件 (inachine

【註】(1) 機械工程名詞(普通部)內，將 connecting rod 及 link 兩字都譯作連桿，本書將 link 一字譯作連件。實際上，如十字頭 (cross head) 等並不作桿狀，但亦稱為 link。

(2) band 比 belt 的意義較廣，belt 譯作帶，band 譯作連帶。

element)的運動,通常是對其機架而言。假如一物體的運動,對於地面上一靜止物體而言,稱為絕對運動;對於一運動物體而言,稱為相對運動。

若一機械構件的各部分,都在各平行平面上運動,這種運動,稱為平面運動。大多數機器部分的運動,都屬此類。

假如一點沿着一路線,並以同一方向無盡期地運動,稱為連續運動。假如在運動中,夾着靜止的間歇期,便稱為間歇運動。

如果一物體上所有各點在同一時間的速度相同,這物體的運動是移動。設物體上所有各點,都沿直線移動,則謂之直線移動。設物體上所有各點,在曲線上移動,謂之曲線移動。

如果一物體上各點,在許多平行平面上運動,並與垂直於這些平面一定軸間的距離,保持不變,這種運動謂之轉動。

螺旋運動是轉動與直線移動合併後的運動。轉動與移動之間,保持一定的比值。

如果物體各動點,與空間的一定點間,保持一定距離,而此距離不止在一平面上,這種運動謂之球面運動。

蒸汽機十字頭(cross head)的運動為移動。齒輪,曲柄,與滑輪之運動為轉動。螺旋的運動為螺旋運動。飛球式調速器(flyball governor)的錘的運動為球面運動。許多機械部分的運動,為幾種運動的併合。還有許多部分的運動為不規則運動。

假定一機器的運動部分,從所設位置開始,經過各可能的位置,再回到其原來位置,這機器便完成其整個的運動循環(kinematic cycle)。一個四程循環之燃氣機,須經過四個完全的衝程後,它的各部分,纔完成一個運動循環。

5. 速度與速率 速度與速率兩名詞，時常混用。但是速度是指一物體在某方向的運動，速率則並不包含運動的方向。

物體的速率，就是它的運動率⁽¹⁾。

物體的速度，是它在某定向的運動率。若在等時間內經過的距離相等，這種速率，謂之等速率。若方向也一定，便稱為等速度。若在等時間內經過的距離不等，便稱為變速率。若在等時間內，經過的距離與方向都不同，或距離雖同而方向不同，或方向雖同而距離不同，都稱為變速度。

瞬時速率(instantaneous speed)及瞬時速度(instantaneous velocity)是一物體在所設時刻的速率及速度。在研究連件的運動時，瞬時速率或瞬時速度常要用到。

6. 加速度 加速度為在單位時間內速度的增加率。因速度包括速率與運動方向，所以加速度包括運動速率的變化，或方向的變化，或速率與方向的變化。物體的加速度，可能為常數或變數。假設機械部分的加速度為變數，則其在任一所設時刻，任一所設位置的加速度，謂之瞬時加速度(instantaneous acceleration)。

7. 力 力是一物體對於另一物體所加的作用，這種作用會使運動產生變化。力的性質，可能為推力或拉力。直接作用於物體上的力，謂之接觸力(contact force)；隔某距離作用的力，謂之場力(field force)。摩擦力是接觸力的一個例，磁鐵作用在和它相隔

【註】(1) rate 譯作率，表示在每單位時間內的變量，所謂速率，就是物體在單位時間內位移(displacement)的變量。

一定距離的鋼鐵上的磁力，為場力。

牛頓氏(Newton)的運動三定律，為力的作用的最好說明。此三定律為：

1. 一物體若未受到外力的作用，則永遠保持靜止，或以等速度運動。

2. 假定有一力，作用於可以自由運動的物體上，此物體便在力的作用方向上得到一加速度。此加速度之大小，與力成正比例。

3. 對於每一個力，一定有大小相等，方向相反的反力(reaction)。

物體的質量，與其重量成正比例。質量用 $\frac{W}{g}$ 表示之。牛頓第二定律普通寫為：

$$F = \frac{W}{g} A = MA$$

式中 M 是物體的質量， A 是物體的加速度。

8. **轉矩** 轉矩，為力與力臂的積。力臂為力的作用線與軸間的垂直距離。例如一滑輪上皮帶的淨拉力為 200 [仟克]，滑輪的半徑為 $1\frac{1}{2}$ [米]，則作用於滑輪上的轉矩為 $200 \times 1\frac{1}{2} = 300$ [仟克·米]。轉矩的方向，可能是順時針向，或反時針向，依據力關於軸

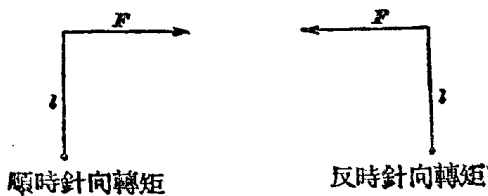


圖 3

的方向而定，如圖 3 所示。

9. 功 功爲作用力與其所經過距離的積。所經過的距離，必須與力在同一方向。在圖 4 內，作用力 F 經過的距離爲 S ，則功爲 FS 。若一人以 100 [仟克] 之力，作用在載荷運動的同一方向，使載荷在力的作用方向拉過 20 [米]，則其所做的功爲 2000 [米·仟克]。

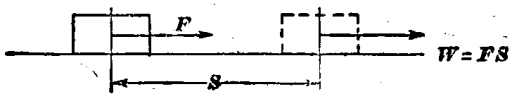


圖 4.

設此 100 [仟克] 的力，與運動方向所成的角度爲 30° ，如圖 5 所示，則力在運動方向上的分力爲 $100 \cos 30^\circ$ [仟克]，故得所做之功爲

$$100(0.866)(20) = 1732 \text{ [米·仟克]}.$$



圖 5.

功與轉矩的單位雖同，但功以 [米·仟克] 計，轉矩以 [仟克·米] 計，一 [米·仟克] 等於把一 [仟克] 重的物體舉高一 [米] 時所做的功。

10. 能 能爲做功的能力。假使在一物體上做工，這物體就

得到能。

勢能隨物體的位置或形狀而定。貯藏在堤後的水有勢能，因為它能作功。被壓縮的彈簧亦有勢能。

動能隨物體之運動而定。任何運動的物體，有蘊藏的動能，這動能會做一定量的功。正在行動的列車有動能。落鎚在下落時亦有動能，這動能可以使受到其作用的材料變形。

一機器的能循環(energy cycle)與其運動循環有時不同。機器自所設能的狀況開始，經過不同的能變化，再回到其原來的能的狀態，稱為完成一能循環。裝有飛輪的衝床，可能每經八個衝程，方衝出一孔。這衝床的主要部分，每經兩衝程便完成一運動循環。但須經八個衝程，方完成一能循環。在不做功時的惰程(idle stroke)中，把能貯藏在飛輪內，以備衝孔的一衝程之用。

在一能循環中，

$$\text{所得的能} = \text{有用的功} + \text{損失的功}$$

在一運動循環中，

$$\text{所得的能} = \text{有用的功} + \text{損失的功} \pm \text{貯藏的能}。$$

移動物體的動能，等於物體的質量乘其速度平方的半數，動能的單位是〔米·仟克〕，與功的單位相同。

能量不滅定律是重要的定律，意謂：“能量能夠變換形式，但決不能創生，也不能毀滅”。所謂永久運動的機器，都違背這定律，祇要略加研究，便可以指出其設計上的謬誤。

11. 功率 功率就是做功的時間率，因為功等於力與距離的積，所以功率等於力與速度的積。

$$P = \frac{FS}{t} = FV$$

表示功率普通所用的單位爲〔米·仟克/秒〕。功率也可用〔馬力〕表示。一〔馬力〕等於 75〔米·仟克/秒〕。一轉動軸的馬力爲

$$HP = \frac{2\pi NT}{75 \times 60}$$

式中 HP = 轉動軸的馬力，
 N = 每分鐘軸的轉數，
 T = 作用於軸上的轉矩，〔仟克·米〕。

電的功率單位爲〔瓦特〕(watt)。一〔馬力〕等於 736〔瓦特〕。

12. 效率 機器的機械效率，等於其功率出量除以其功率入量後所得的商。

$$E = \frac{\text{功率出量}}{\text{功率入量}}$$

所有機器，多少有些損耗，損耗是由於軸承(bearing)的摩擦力，風的阻力等而產生。所以任何機器的效率，決不會等於 100%。齒輪傳動，其效率有時可超過 98%。

13. 矢量 在運動學內所用的主要的量，不是純量 (scalar quantity)，便是矢量(vector quantity)⁽¹⁾。純量祇有大小，矢量有大小，有方向。力，速度，加速度都是極容易以矢量表示的量。其他許多量，如轉矩等，也可以用矢量表示。

〔註〕 (1) 矢量又譯作向量，純量又譯作無向量。

矢量通常用一直線表示，直線的一端有一箭頭，直線的長度表示矢量的大小，箭頭的方向，表示矢量的方向。線的起點，謂之原點 (origin) 或矢尾。線的終點，即矢量有箭頭的一端，謂之末端 (extremity) 或矢首。

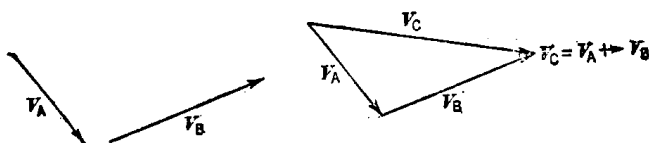


圖 6.

圖 6 說明矢量 V_A 與 V_B 的加法。兩矢量 V_A 與 V_B 的和為 V_C 。把 V_B 的原點，接在 V_A 的末端，再從 V_A 的原點，聯到 V_B 的末端的矢量便等於這兩矢量的和。如將矢量 V_A ，加到 V_B 上去，亦可得到同樣的矢量 V_C 。換句話講，就是把 V_A 的原點接在 V_B 的末端，則從 V_B 的原點聯到 V_A 的末端的矢量，也等於 V_C 。 V_A 與 V_B 的矢量和，用 $V_A + V_B$ 來表示。

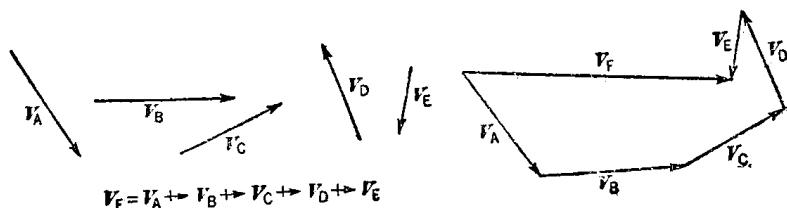


圖 7.

圖 7 表示兩個以上矢量的加法。把 V_B 的原點，接在 V_A 的末端，再將 V_C 的原點，接在 V_B 的末端，餘類推。這些矢量的矢量和為 V_F 。

圖 8 表示從矢量 V_A ，減去矢量 V_B 的方法。把 V_A 與 V_B 的原點，合併在一點，則矢量差 V_D 的原點，就是矢量 V_B 的末端， V_D 的