航海力學

廖坤靜 編譯

中華民國海事學會印行

航海力學

定價：平裝２４０元
精裝３００元

中華民國七十七年元月初版
中華民國八十一年八月再版

編譯者：廖　坤　靜
發行人：戴　行　悌
出版者：中華民國海事學會
海事出版社
內政部登記出版台業字第2006號
台北市延平北路九段212號
郵政劃撥帳號：1235973-4號　廖坤靜

印刷者：正合印刷有限公司
TEL：(07)2319705

序

船舶航行於海上，最重要的事情仍是穩定度之維持，一個航海者必須知道，其所駕駛之船舶是否具有足夠之穩定度；同時，當船舶受到外力之影響（風、浪、碰撞等）時，更應知道在何種情況之下會產生危險。

航海力學爲利用數學公式及力學之原理，對於以上各種情況加以解析，使讀者能夠充分瞭解並加以應用。爲了達到此目的，本書利用相當多的圖表來說明每一個公式之由來，同時在每一個公式說明完畢之後儘量的舉出實際的例子，使讀者能將公式與實際配合。本書所使用過之數學公式，在卷末附錄中均有所說明。

本書共分四章，第一、二章爲應用力學之基本說明，爲計算船舶各種應力所不可或缺的。第三章爲船舶穩定性之分析。第四章爲船舶所受外力影響而產生之各種運動之分析。

本書之敍述簡明扼要，適合一般海事專科學校及海洋大學航海及造船科系學生研讀。一般商船工作者自行研讀亦能夠充分瞭解，對於船舶之控制應該有所幫助。

在編寫本書時，承蒙多位前輩及友人之助言及鼓勵，使本書能順利完成，在此特予感謝，同時由於編寫時間匆促，錯誤在所難免，祈望航海之先進不吝指教，以便再版時更正則不勝感激。

廖 坤 靜　識於海洋學院

民國七十七年元旦

目　錄

第一章　質點力學

第二章　剛體力學

第三章 船舶之穩定度

第四章 船體運動

附 錄

第一章　質點力學

第一節　質點的運動

1.1.1.　位移、速度、加速度

(1)運　動

以地球表面爲基準，來觀測地球上各種物體的話，大致可以分爲運動中之物體與靜止中之物體二大類。以此觀點而言，物體隨著時間的變化而改變位置的現象叫做運動。物體之位置不隨著時間之變化而改變的現象叫做靜止。

在許多情況下，物體運動的時候，只考慮其位置之改變，而忽視物體本身之大小。譬如：一艘超大型油輪（VLCC）在大洋中航行的時候，不管船身是多麽的長，每日正午之位置（Noon position　）在海圖上均以一點來表示，與船之大小無關。像這樣將物體視爲一個沒有大小的點，此點就叫做質點。

(2)位　移

在海圖上，比較前一日之正午位置與當天之正午位置，可以看出船之位置已經移動了，這種位置的移動就叫做位移。

譬如：在船上日常的海圖作業中，假設前一日的正午船位爲A點，當日之正午船位爲B點，位移的大小是從A點畫一直線到B點，以其長度來表示。至於方向，則由A點向B點畫一箭頭來表示。因此圖１－１所示，由A點經過C點到達B點或由A點經過D點到達B點，其所經過之路徑均叫做「經路」。至於位移則完全不考慮這些經過的路徑的長短，只是計算由A點至B點之直線的長短而已。以 $\overline{AB}$ 來表示。

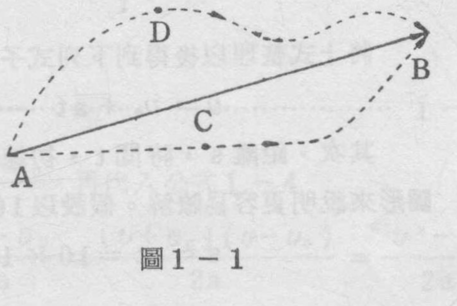

圖１－１

(3)速　度

船舶離開港口，領港下船以後，船長下令將主機轉速（ R.P.M ）加速至全速前進（ Full ahead ）之位置，船速逐漸增加，不久即到達航行速度。像這樣，物體的運動，有的時候快，有的時候慢；用以表示物體移動的快慢的叫做速率（ speed ）。以每秒或每小時爲單位，在單位時間內物體移動之距離叫速率。

但是像風，由那個方向吹來，以多大的速率吹來，均必須瞭解，像這樣子，僅僅以大小來表示風速是不夠的，必須將速率的大小與方向同時加以考慮叫做速度（ Velocity ）。當船全速前進，航向亦保持一定的時候，船的速度大小及方向均不變。像這樣速度的大小及方向均保持一定的運動就叫做等速度運動。

在 t 時間內通過的距離以 s 來表示，其與速度 υ 的關係，可以用下列式子來表示。

$$\upsilon = \frac{s}{t} \quad \text{或} \quad s = \upsilon t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad 1-1$$

但是當主機開始全速前進的時候，雖然航向不變，但船速不斷增加；像這樣，方向不變而速度變化的運動就叫做不等速運動。或者船廻轉時，雖航速不變，但航向不斷改變，這種情況亦稱爲不等速運動。

(4)加　速　度

當俥鐘搖至全速前進之位置時，船的速度並非立即達到全速前進的速度，而是漸漸增加。如此速度之變化，也就是單位時間內速度之變化叫做加速度（ Acceleration ）。在此必須特別注意的是，快慢即使沒有變化，但是運動的方向有所改變時，即表示速度已經變化了。也就是說，不管單位時間內的速度變化或方向變化均稱之爲加速度。反之，速度漸漸減低的情況下，單位時間內速度的減少量亦稱之爲加速度，此種加速度稱爲減加速度或負(−)加速度。加速度一定的運動叫做等加速度運動。加速度不定的運動叫做不等加速度運動。現在，以等加速度運動之質點，其初速度爲 υ_o，加速度爲 a，則 a 爲 t 時間內速度的變化量（ $\upsilon - \upsilon_o$）除以時間 t。

$$a = \frac{\upsilon - \upsilon_o}{t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad 1-2$$

將上式整理以後得到下列式子

$$\upsilon = \upsilon_o + at \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad 1-3$$

其次，距離 s，時間 t，初速度 υ_o，t 時間後的速度 υ 與加速度 a 之關係，以圖形來說明更容易瞭解。假設以 10m/sec 之等速度運動之質點，10 秒後之位移爲

$$s = \upsilon t = 10 \times 10 = 100\,m$$

答：100 m

若以圖形來表示，如圖1－2所示，以速度υ為縱軸，以時間t為橫軸，則距離100m剛好是圖形中斜線面積之大小。

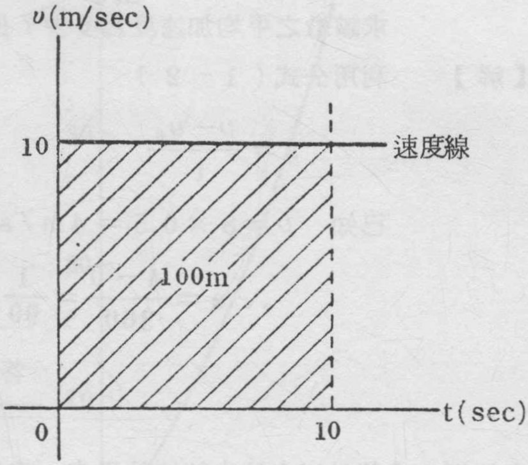

圖1－2

像這樣以縱軸代表速度，橫軸代表時間；縱軸、橫軸、速度線及時間t所繪垂線所圍成面積大小代表距離。其次，令初速度為υ_0，t秒後之速度為υ，欲求t秒間所走之距離時，先求初速度υ_0與t秒後之速度υ之平均值，再乘以時間t。也就是下列式子：

$$s=\frac{\upsilon_0+\upsilon}{2}\cdot t \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots 1-4$$

可以求得。這也可以由像圖1－3之圖形的梯形面積加以求得。

$$梯形面積=\frac{上底+下底}{2}\times 高$$

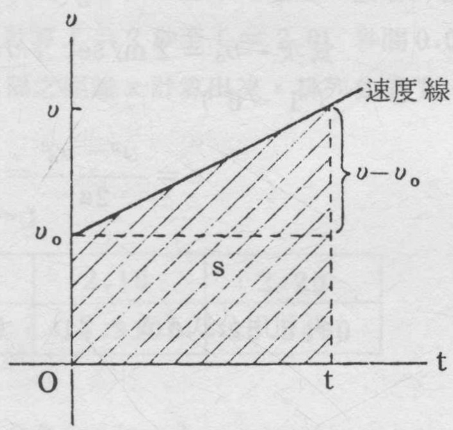

圖1－3

在此例中，上底為初速度υ_0，下底為t秒後之速度υ，高為時間t。同樣的公式（1－2）中之加速度，亦可利用圖中速度線之斜率的大小來求得。由此我們可以瞭解到距離、時間、速度及加速度之間的關係。

現在，將公式（1－3）代入公式（1－4）

$$s=\frac{\upsilon_0+\upsilon}{2}\cdot t=\frac{\upsilon_0+(\upsilon_0+at)}{2}\cdot t$$

$$=\upsilon_0 t+\tfrac{1}{2}at^2 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots 1-5$$

同時，將公式（1－2）變形為$t=\frac{\upsilon-\upsilon_0}{a}$，再代入公式1－4

$$s=\frac{\upsilon_0+\upsilon}{2}\cdot t=\frac{\upsilon_0+\upsilon}{2}\cdot\frac{\upsilon-\upsilon_0}{a}=\frac{(\upsilon+\upsilon_0)(\upsilon-\upsilon_0)}{2a}=\frac{\upsilon^2-\upsilon_0^2}{2a}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots 1-6$$

【例題一】某船起錨後即朝預定之航向行走，六分鐘後利用測程儀測得航速爲 8 節，求該船之平均加速度爲多少？但是一節等於 0.5 m/sec。

【解】 利用公式（1－2）

$$a=\frac{v-v_o}{t}$$

已知 $v=8\times0.5=4\,\text{m/sec}$，$v_o=0\,\text{m/sec}$，$t=6$ 分 $=360$ 秒

$$\therefore a=\frac{4-0}{360}=\frac{1}{90}\ (\text{m/sec})$$

答：$\frac{1}{90}$ m/sec

【例題二】某輪以 6 節之航速航行中，當主機停止後，船舶前進 300m 時之航速爲 4 節，如果加速度不變之情況下，該船還要前進多少m才會完全停止。又費時多少分鐘？但 1 節 = 0.5 m/sec。

【解】 利用公式（1－6），$S=300\text{m}$，$v_o=3\,\text{m/sec}$，$v=2\,\text{m/sec}$

$$\therefore a=\frac{v^2-v_o^2}{2S}=\frac{2^2-3^2}{2\times300}=-\frac{1}{120}\ (\text{m/sec}^2)$$

其次，$v_o=2\,\text{m/sec}$，$v=0\,\text{m/sec}$，$a=-\frac{1}{120}\,\text{m/sec}^2$ 代入公式（1－6）

$$s=\frac{v^2-v_o^2}{2a}=\frac{0^2-2^2}{2\times\left(-\frac{1}{120}\right)}=240\ (\text{m})$$

再利用公式（1－3），$v_o=2\,\text{m/sec}$，$v=0\,\text{m/sec}$，$a=-\frac{1}{120}$ m/sec²

$$\therefore t=\frac{v-v_o}{a}=\frac{0-2}{-\frac{1}{120}}=240\ (\text{sec})=4\text{ 分}$$

答：前進240m，費時 4 分

(5)瞬　間　速　度

假設質點 P，由原點出發作直線運動，一秒後距離原點 6 m，2 秒後14 m，3 秒後24 m，4 秒後36 m，以此情況移動，則 t 秒後距離原點爲多少呢？現在以 x 代表距離，以 t 代表時間，則 t 與 x 之關係可利用圖 1－4 來表示，爲二次曲線的關係，若

以式子來表示則如下式：

$$x = t^2 + 5t \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ①$$

像這樣的運動，質點 p 之速度，一般均以一秒間通過的距離來表示，在上例中，最初一秒通過的距離爲 6 m，第 2 秒間通過的距離爲 8 m，第 3 秒間通過的距離爲 10. m。像這樣，由 t = 2 秒至 t = 3 秒所通過之距離（24.m－14.m）除以所需要之時間（3 秒－2 秒＝1 秒）得到 10m/ sec，稱爲由 t = 2 秒至 t = 3 秒間之平均速度。然而瞬間速度如何求得呢？因爲速度並未間斷而是連續變化的緣故，如將通過之距離及測定之時間間隔逐漸縮小，則速度變化的時間間隔就跟著變小，則平均速度漸漸接近瞬間速度。

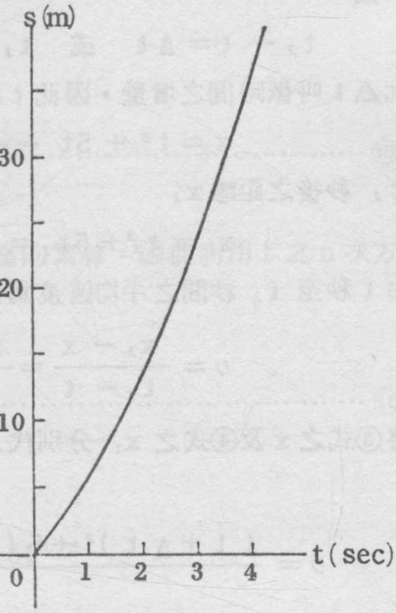

圖 1 － 4

例如在①式中，質點 P 於 t = 2 秒之瞬間速度的計算方法，首先計算從 t = 2 秒至 t = 2.2 秒的 0.2 秒間之平均速度。接著計算從 t = 2 秒至 t = 2.1 秒間 0.1 秒之平均速度。再計算 t = 2 秒至 t = 2.01 秒間 0.01 秒之平均速度，再加以比較，由公式①將各時間間隔之距離 x 計算出來，排列如表 1 － 1，利用此表計算各種時間間隔之平均速度。

表 1 － 1

t	2.00	2.01	2.10	2.20
x	14.0000	14.0901	14.9100	15.8400

由 t = 2 至 t = 2.2 $\quad \upsilon = \dfrac{15.84 - 14}{0.2} = 9.2$（m/sec）

由 t = 2 至 t = 2.1 $\quad \upsilon = \dfrac{14.91 - 14}{0.1} = 9.1$（m/sec）

由 t = 2 至 t = 2.01 $\quad \upsilon = \dfrac{14.0901 - 14}{0.01} = 9.01$（m/sec）

由以上的結果可以看出，當時間間隔縮小時，平均速度漸漸接近 9 m/ sec，因此 t = 2 秒之瞬間速度等於 9 m / sec 的推論即成立。此點可以利用數學公式來加以說明，假設出發後一定的時間爲 t，而 t 之後的另外一個時間 t_1，t 與 t_2 之時間間隔爲 Δ t

。則

$$t_1 - t = \Delta t \quad 或 \quad t_1 = t + \Delta t \quad \cdots\cdots ②$$

此△t叫做時間之增量，因此t秒後之距離x可用下列式子來表示，

$$x = t^2 + 5t \quad \cdots\cdots ③$$

t_1 秒後之距離 x_1

$$x_1 = t_1^2 + 5t_1 = (t + \Delta t)^2 + 5(t + \Delta t) \quad \cdots\cdots ④$$

由t秒至 t_1 秒間之平均速度為距離的變化量（ $x_1 - x$ ）除以時間之變化量，

$$\upsilon = \frac{x_1 - x}{t_1 - t} = \frac{x_1 - x}{\Delta t} \quad \cdots\cdots ⑤$$

將③式之x及④式之 x_1 分別代入⑤式

$$\upsilon = \frac{(t + \Delta t)^2 + 5(t + \Delta t) - (t^2 + 5t)}{\Delta t}$$

$$= \frac{t^2 + 2t \cdot \Delta t + \Delta t^2 + 5t + 5\Delta t - t^2 - 5t}{\Delta t}$$

$$= \frac{2t \cdot \Delta t + 5\Delta t + \Delta t^2}{\Delta t}$$

$$= 2t + 5 + \Delta t \quad \cdots\cdots ⑥$$

將通過之距離與時間間隔儘量縮小的話，平均速度即接近瞬間速度。△t無限制縮小，最後幾乎等於零時，平均速度幾乎等於瞬間速度，利用公式表示之

$$\upsilon = \lim_{\Delta t \to 0} (2t + 5 + \Delta t) = 2t + 5 \quad \cdots\cdots ⑦$$

在表1－1中，t＝2時之瞬間速度推定為9 m/sec 。由公式⑦中，將t＝2代入，$\upsilon = 2 \times 2 + 5 = 9$ ，很容易的就可以求出答案為9。如此利用函數x的微小變化量除以變數t的微小變化量，而求得其變化之狀態（ υ ）之數學方法就叫做微分法。

現在設 $x_1 - x = \Delta x$（ Δx 為距離之增加量）

$$\upsilon = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{x_1 - x}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \cdots\cdots ⑧$$

將上式以微分式表示之

$$\upsilon = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad \cdots\cdots ⑨$$

即速度 υ 為距離x之時間t的微分。如此由距離x與時間t之微分可得瞬間速度 υ。

同理，速度 υ 被時間 t 微分則可求得加速度 a ，將⑦式以微分式表示之，則

$$\upsilon = \frac{dx}{dt} \quad (\text{但 } x = t^2 + 5t)$$

$$\therefore \upsilon = \frac{d}{dt}(t^2 + 5t) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ⑩$$

得到答案為 $2t+5$ 。因為 $\lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 之展開式相當的繁雜，因此利用 t 之 n 次方的微分公式來解較為便利。

$$\frac{dt^n}{dt} = nt^{n-1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ⑪$$

將⑪式代入⑩式

$$\upsilon = \frac{d(t^2)}{dt} + \frac{d(5t)}{dt} = 2t^{2-1} + 5t^{1-1}$$
$$= 2t^1 + 5t^0$$
$$= 2t + 5$$

得到同樣的結果，因此⑪式最好記住。

(6)角速度，角加速度

當船在航行中受到海浪的影響會產生俯仰（Pitching）、搖擺（Rolling）等現象，再加上用舵使船體旋轉等種種現象都會產生角度問題。

如圖１－５所示，船之重心G與桅頂P點之連線上，點P之運動以角度 θ 來表示之，稱為點P對於重心G之角位移。角位移之單位時間內之變化量稱為角速度（Angular velocity）。現在假設由船重心G點到桅頂P點之距離為 γ，半徑 γ 之圓弧代表P點之運動。因此船船傾斜 θ 角所需要之時間為 t 的話，平均角速度 ω 可用下列式子來表示之。

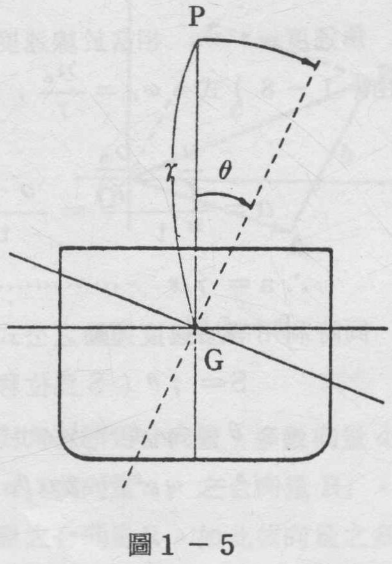

圖１－５

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad \text{或} \quad \theta = \omega t \quad \cdots\cdots\cdots 1-7$$

為了與角速度 ω 相區別，普通速度 υ 稱為線速度。如圖１－６所示，與半徑相等的弧長所對之中心角叫做一個弧度（Radian）。以弧

度爲單位來度量角度的方法叫做弧度法。

一個弧度約等於 57°17′45″，反之圓周 360° 等於 2π 弧度。弧度法之優點爲計算圓弧之長度時，將半徑乘以弧度數即可求得圓弧之長度。在微分及積分之計算方面亦相當適合。譬如半徑爲 γ 之圓，若其圓心角爲 2 弧度的話，其圓弧之長度爲 2γ。半徑爲 γ 之圓的圓周長度，因爲其圓心角爲 2π，所以圓周之長度爲 $2\pi\gamma$。因此在圖 1－5 中，當船舶傾斜時，若桅頂 P 點之線速度爲 υ 的話，船傾斜時的平均角速度以弧度來表示，則 υ 與 ω 之關係可用下列式子來表示，

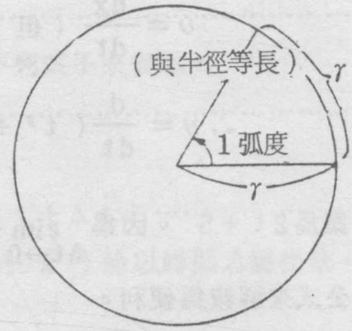

圖 1－6

$$\upsilon = \gamma\omega \quad \cdots\cdots 1-8$$

桅頂 P 點以船之重心 G 點爲中心作圓周運動，P 點之角速度並非保持不變，當角速度隨著時間而增加或減少時，其單位時間之角速度增加（減少）量稱爲角加速度（Angular acceleration）。通常以每秒 1 弧度之角位移，即 1 弧度／秒（1 rad / sec）代表角速度之單位。而以每秒 1 rad / sec 之角速度變化量亦即 1 弧度／秒²（1 rad / sec²）代表角加速度之單位。

初角速度爲 ω_0，t 秒後之角速度爲 ω，則平均角加速度 α 爲

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t} \quad 或 \quad \omega = \omega_0 + \alpha t \quad \cdots\cdots 1-9$$

角速度 ω、ω_0 相當於線速度之 υ、υ_0；平均角加速度 α 相當於平均線加速度 a，由（1－8）式，$\omega_0 = \frac{\upsilon_0}{\gamma}$，$\omega = \frac{\upsilon}{\gamma}$，將之代入公式（1－9），

$$\alpha = \frac{\frac{\upsilon}{\gamma} - \frac{\upsilon_0}{\gamma}}{t} = \frac{\upsilon - \upsilon_0}{t\gamma} = \frac{a}{\gamma}$$

$$\therefore a = \gamma\alpha \quad \cdots\cdots 1-10$$

同時利用等加速度運動之公式亦可導出下列公式。

$$\left.\begin{aligned} S &= \gamma\theta \text{（S 爲位移）} \\ \theta &= \omega_0 t + \tfrac{1}{2}\alpha t^2 \\ \omega^2 &= \omega_0^2 + 2\alpha\theta \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots 1-11$$

1.1.2. 向　　量

(1)向量與純量

航行中之船舶，每天正午測定船位，記入海圖中，同時算出由前一日正午位置至當日正午位置之距離與實際航向。同時在駕駛台，當觀測風力時，風力與風速均同時測定。諸如此類具有大小與方向之量叫做向量（Vector）。與此相對的，船之長度，上甲板之面積，船的排水容積，船速等只需要其大小而無方向性。譬如說講到船速，如說「此船航速18.節」，則這艘船每小時走18.海浬的距離，至於向北航行或向南航行均不需要加以說明。像這樣的量就叫做純量（ Scalar ）。表示向量的時候用粗體字 $\boldsymbol{a}, \boldsymbol{b}, \boldsymbol{c}$……A，B，C……等。如果單單表示向量之大小（絕對性）的時候，則用一般印刷字體即可。用圖來表示向量的時候，如圖1－7所示，畫一直線表示向量之方向，直線之長短表示向量之大小。直線之末端以箭頭表示之。至於角速度，角加速度之圖示方法，則畫一直線代表其大小，再畫一轉動箭頭來代表旋轉方向（如圖1－7中爲右轉）。

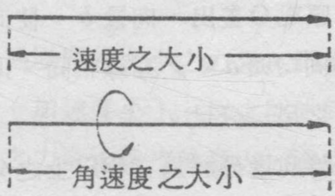

圖1－7

(2)向量之合成與分解

二個向量 $\boldsymbol{a}$ 與 $\boldsymbol{b}$ 合成時，如圖1－8所示，由原點O引出一條直線 $\overline{OA}$ 等於向量 $\boldsymbol{a}$，再由A點引出另一直線 $\overline{AB}$ 等於 $\boldsymbol{b}$，再由原點O至向量 $\boldsymbol{b}$ 之終點B畫一直線，此 $\overline{OB}$ 表示向量 $\boldsymbol{c}$ 的話，則 $\boldsymbol{c}$ 爲向量 $\boldsymbol{a}$ 與向量 $\boldsymbol{b}$ 之和。

$$\boldsymbol{c} = \boldsymbol{a} + \boldsymbol{b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 1-12$$

向量 $\boldsymbol{c}$ 叫做向量 $\boldsymbol{a}$ 與向量 $\boldsymbol{b}$ 之合向量。反之向量 $\boldsymbol{a}$ 與向量 $\boldsymbol{b}$ 爲向量 $\boldsymbol{c}$ 之分向量。如此，將兩個以上之向量相加叫做向量的合成。

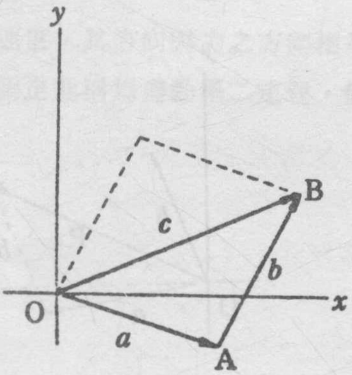

圖1－8

另外，二個向量合成的時候，由圖1－8中可以瞭解到與順序沒有關係。可以利用二個向量作爲平行四邊形的兩個邊，畫一平行四邊形，其對角線即爲合向量，多數向量 $\boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{a}_2, \boldsymbol{a}_3 \cdots\cdots \boldsymbol{a}_n$ 合成時，如圖1－9所示，先求向量 $\boldsymbol{a}_1$ 與向量 $\boldsymbol{a}_2$ 之合向量 R_1，再求 R_1 與 $\boldsymbol{a}_3$ 之合向量 R_2，依此順序最後求得全體之合向量R。如此依向量之多寡而畫出之三角形、四角形、多角形就叫做向量的三角形，四角形或多角形。到此爲止的

說明均只限於向量的加法而已，當然向量的的減法亦可用同樣的方法求得。最好的方法是將大小相等，方向相反的被減向量加在另一向量上即可，例如：$a-b$的話，將與b大小相等方向相反的向量（$-b$）加在向量a之上即得。也就是$a+(-b)$，利用圖來表示的話，就是圖1－10。

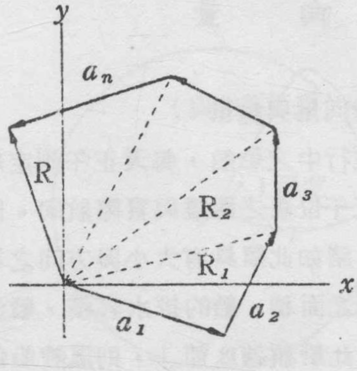

圖1－9

其次，將一個向量R分成兩個以上之向量時就叫做向量的分解。如圖1－11所示，向量R由原點O開始朝向量R之方向畫出向量R。將向量R之末端與向量a之末端相連接，由原點O畫出一向量b，使向量b之大小及方向均與aR之連線相同，則向量b爲向量R之另一分量。

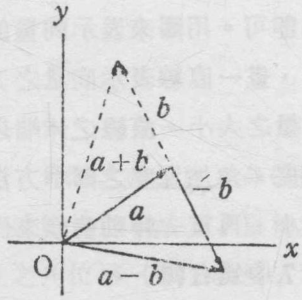

圖1－10

將向量分解爲三個以上之分量時，如圖1－12所示，將向量R當作多邊形之一個邊。在圖中將向量R分解爲a，b，c，d四個分向量。

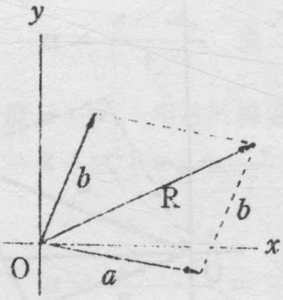

圖1－11

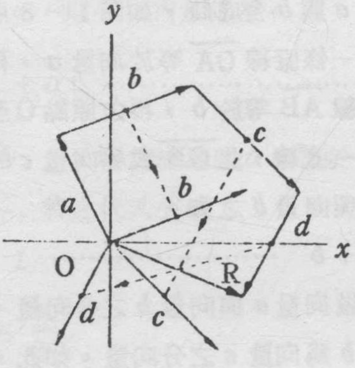

圖1－12

綜合以上的說明，我們可以知道，當向量合成時，最後只能合成爲一個向量，而向量分解時，則可分解成許多不同之分向量。

1.1.3. 運動定理

(1)運動第一定理

在無風的狀態下，將一個接近正圓之撞球的球在冰上滾動，則此球將可沿著一直線繼續滾動下去。實際上在球與冰之間有極小之摩擦力存在，同時滾動之球亦受到空氣之阻力的影響，因此滾動之球其速度漸漸慢下來，最後靜止不動。但是如果所有的阻力均沒有的話，球並不會停止下來，一直以同樣之速度轉動。總而言之，「當物體不受外力（摩擦力、空氣阻力等）之影響時，其運動狀態（靜止或運動）不會改變，亦沒有加速度產生。」這個性質稱爲慣性（ Inertia ）。此定理稱爲運動第一定理，或稱爲伽利略（ Galilei ）的慣性定理。

因此，如果要改變物體的運動狀態，也就是說使物體具有加速度的話，非從外部施加作用不可，此種作用在力學上叫做「力」。

⑵運動第二定理

將同樣大小的二個鉛球及橡皮球並排在一起，同時施以同樣大小之力量，則橡皮球之轉動速度較快（加速度大），鉛球之轉動速度較慢（加速度小）。反之欲使同樣速度轉動之兩個鉛球及橡皮球停止，則鉛球方面所需要之力量比橡皮球還大，這是我們日常經驗所熟知的事實。由此事實可知，物體具有大小不等之慣性。在力學中稱之爲鉛球之慣性比橡皮球大，也就是說欲使鉛球及橡皮球達到相同之加速度時，必須加更多的力在鉛球方面。總之每一個物體都具有一定之慣性，表示慣性之大小的量就叫做質量（ mass ）。

綜合以上所述，「當力量作用於物體上時，產生加速度，其方向與力之方向相等，其大小與作用力成正比，與物體之質量成反比」。這個定理稱爲運動第二定理，假設力之大小爲 f，物體之質量爲 m，加速度爲 a，則

$$f \propto ma$$

以 k 表示上式之比例定數，

$$f = kma$$

此式稱爲運動方程式。

⑶運動第三定理

將手用力往牆壁按下去，立刻感覺到一股力量由牆壁上傳至手心上。當我們將手往牆壁上按下去時，只是想將力量作用在牆壁上而已，牆壁並沒有作用力於手心之意思。當某人Ⓐ用手推另一人Ⓑ時，如果B完全沒有用力時，則B可能跌倒，同時A也會感覺到由B身上傳來一股同樣大小的力量。如此「力在兩個物體之間永遠成對的存在，此成對之力大小相等方向相反」。此稱爲運動第三定理（作用、反作用定理）。一方面的力稱爲「作用力」。他方面的力稱爲「反作用力」。