

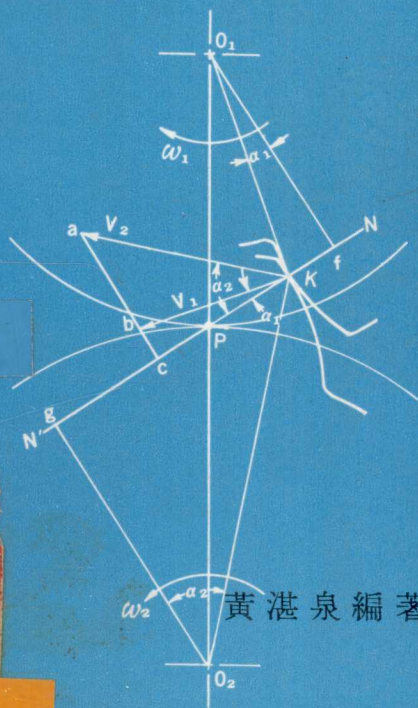
· 大專課程參考叢書 ·

國際單位制 SI Units

MECHANICS OF MACHINES

機械力學

(上 冊)



黃湛泉編著 · 萬里書店出版

機 械 力 學

· 上冊 ·

黃湛泉編著

出 版 者：萬 里 書 店

香港北角英皇道486號三樓

電話：5-632411 & 5-632412

承印者：晉鴻製版印刷公司

香港北角電氣道208號

定 價：港 幣 十 六 元

版權所有 * 不准翻印

(一九七六年十月版)

序 言

“機械力學”(Mechanics of machines), 亦稱“機械原理”(Theory of machines) 或 “機構學”(Mechanisms), 是大專學校機械工程、工業生產工程、輪機工程、汽車工程等等系科的重要基礎課程。

在現代, 無論是工業、農業、商業或日常生活中, 都離不開機械的應用。從本質上來說, “機械”的任務是傳送或轉換能量。爲了這一目的, 一台機械必須具備某些“機構”(Mechanism), 以完成規定的運動, 傳遞一定的力、力矩以及作功。機械力學課程的內容主要是分析和討論各種基本機構的工作原理、運動學、動力學等問題。

機構是機械的心臟。一台機械是否工作良好, 主要決定於其主要機構的性能。因此, 機構的工作原理和性能分析是設計機械的首要問題。不言而喻, 機械力學課程是與生產實際息息相關的, 是從事設計、製造與使用各種機械的工程師、技術員所必須具備的基本知識。

近年來由於科學技術的飛速發展, 促使機械力學課程不僅局限於“機械傳動的機構”的範圍內, 更進一步包括氣動、液動和電動的控制機構以及生產過程的自動控制問題。

本書分爲上下兩冊。上冊內容包括機構的運動學和動力學分析, 各種常用機構的基本原理。下冊內容包括機構的進階原理, 調速、平衡和振動問題, 自動控制的基本原理等。

本書係根據作者多年來教學所用的講義、講稿改編而成, 可作爲大專學校教學用書, 也可作爲從事機械方面工作的工程技術人員參考之用。書中內容雖多爲以往所整理編寫, 惟以作者學識淺陋, 錯誤在所不免, 尙望讀者不吝指正, 謹表謝忱。

黃湛泉 識 一九七六年六月

目次

序言

第一章	機構運動學	1
1·1	構件的速度	1
1·2	瞬時中心	2
1·3	在轉動構件上的滑塊的相對速度	3
1·4	連桿機構的速度	4
1·5	構件的加速度	6
1·6	在轉動構件上的滑塊的相對加速度	8
1·7	連桿機構的加速度	9
	奇連氏作圖法 分析法	
	習題	23
第二章	機構動力學	26
2·1	質量、重量及力	26
2·2	功、能及功率	27
2·3	動量與衝量	28
2·4	慣性矩	29
2·5	扭矩及作功、功率	31
2·6	角動量或動量矩、角衝量	32
2·7	構件運動的動能	33
2·8	構件的作用力	34

2 · 9	構件的慣性力·····	37
	(1)集中質量產生的慣性力	
	(2)散佈質量產生的慣性力	
2 · 10	旋轉構件的當量質量·····	40
2 · 11	當量動力學體系·····	41
	習題·····	50
第三章 機構學概論·····		52
3 · 1	機構的定義與作用·····	52
3 · 2	運動副·····	53
3 · 3	構件的自由度及約束條件·····	54
3 · 4	機構的自由度·····	56
	(1)補充的約束條件 (2)無所作爲的約束條件	
	(3)無意義的自由度	
3 · 5	連桿機構·····	65
	(1)四桿機構 (2)曲柄滑塊機構 (3)簡諧運動機構	
	(4)肘節機構 (5)直線機構	
第四章 摩 擦·····		78
4 · 1	機械的摩擦種類·····	78
4 · 2	平面的摩擦·····	80
4 · 3	斜面的摩擦·····	81
4 · 4	螺紋的摩擦·····	84
	(1)方螺紋 (2)三角螺紋	
4 · 5	螺紋的效率·····	87
4 · 6	滑動軸承的摩擦·····	88
	(1)軸頸軸承的摩擦阻力矩	
	(2)止推軸承的摩擦阻力矩	
4 · 7	滾動摩擦·····	91

習題	95
第五章 凸輪機構	98
5·1 凸輪機構的作用	98
5·2 凸輪機構的類型·凸輪與從動桿	100
(1)平板凸輪 (2)圓柱凸輪 (3)圓錐凸輪 及球面凸輪 (1)尖頂從動桿 (2)滾子從動桿 (3)平面從動桿 (4)曲面從動桿	
5·3 從動桿的運動規律	103
(1)等速運動 (2)等加速及等減速運動 (3)簡諧運動	
5·4 尖頂從動桿平板凸輪設計	108
(1)凸輪的基圓半徑 (2)從動桿位移跡點 (3)凸輪的節曲線	
5·5 滾子從動桿平板凸輪設計	110
5·6 平面從動桿平板凸輪設計	112
5·7 偏置從動桿平板凸輪設計	113
5·8 圓柱凸輪設計	114
5·9 從動桿的位移、速度及加速度的理論分析	116
(1)偏置從動桿 (2)從動桿中心線通過凸輪迴轉中心	
5·10 凸輪機構的作用力分析	119
習題	125
第六章 齒輪機構(一)——正齒輪	126
6·1 齒輪機構的特點和分類	126
(1)傳遞兩平行軸運動的圓柱齒輪機構 (2)傳遞兩相交軸運動的圓錐齒輪機構 (3)傳遞兩交叉軸運動的齒輪機構	

6·2	恒定速比傳動的條件·····	130
6·3	漸開線齒輪·····	132
6·4	嚙合線和壓力角·····	135
6·5	直齒圓柱齒輪各部份的定義及計算·····	136
	(1)節圓 (2)節圓直徑 (3)周節	
	(4)模數 (5)齒厚 (6)齒間	
	(7)徑節 (8)齒頂圓 (9)齒根圓	
	(10)齒頂高 (11)齒根高 (12)全齒高	
	(13)工作齒高 (14)頂隙 (15)背隙	
	(16)齒寬 (17)基節 (18)中心距	
6·6	嚙合弧及嚙合比·····	140
6·7	滑動速度·····	142
6·8	干涉和根切及其避免方法·····	143
	(1)減小齒頂高 (2)增大壓力角	
	(3)限制小齒輪的最少齒數 (4)採用修正齒輪	
6·9	齒輪與齒條機構·····	149
6·10	內齒輪機構·····	150
	習題·····	154
第七章	輪系 ·····	155
7·1	簡單定軸輪系·····	155
7·2	複式定軸輪系·····	157
7·3	輪系的扭矩及傳動效率·····	158
7·4	周轉輪系·····	160
	(1)相對角速度法 (2)列表法	
7·5	複式周轉輪系·····	164
	習題·····	169
第八章	萬向聯軸節 ·····	171

8·1	萬向聯軸節的速度、加速度及傳動速比·····	171
8·2	雙萬向聯軸節·····	177
	習題·····	179
第九章	摩擦離合器 ·····	180
9·1	摩擦離合器的作用及種類·····	180
9·2	單盤式離合器·····	181
	單盤式離合器的計算	
9·3	多盤式離合器·····	185
9·4	錐盤式離合器·····	187
	錐盤式離合器的計算	
9·5	離心式離合器·····	189
	離心式離合器的計算	
9·6	超越式離合器·····	190
	習題·····	194
第十章	皮帶傳動機構 ·····	196
10·1	平皮帶傳動·····	196
	(1)開口皮帶傳動 (2)交叉皮帶傳動	
	(3) $\frac{1}{4}$ 轉皮帶傳動	
10·2	平皮帶傳動的張力比·····	201
10·3	離心力的作用·····	203
10·4	初拉力·····	205
10·5	V型皮帶傳動·····	205
10·6	定時皮帶傳動·····	209
	習題·····	213

第一章 機構運動學

(Kinematics of mechanisms)

1.1 構件的速度 (Velocities of links)

在圖1.1(a)中的剛性構件上，A、B兩點的速度分別為 V_a 及 V_b ；A對B的相對速度(Relative velocity) V_{ab} 可由相對速度圖解(Relative velocity diagram)求得之。見圖1.1(b)，作向量(Vector) $\vec{oa}$ 及 $\vec{ob}$ ，分別代表 V_a 及 V_b ，則向量 $\vec{ba}$ 即代表相對速度 V_{ab} 。

所謂“A對B的相對速度”，即是把B點看作靜止時的A點速度。由於A、B是在剛性構件上的兩點，A與B之間的距離固定不變，因此，A對B的相對速度 V_{ab} 的方向必然與 $\overline{AB}$ 線垂直（見圖1.1），否則構件就會伸長或縮短。

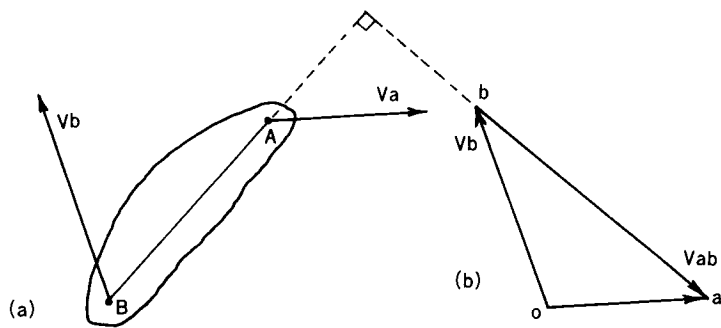


圖 1.1

在構件上任何一點C的速度可用下法求得：

在圖 1.2 中，聯 $\overline{AC}$ 線，應用上述的概念，可知A對C的相對速度必然與 $\overline{AC}$ 垂直，即圖中 $\overline{ac} \perp \overline{AC}$ ；同理， $\overline{bc} \perp \overline{BC}$ 。這樣，可求得 $\overline{ac}$ 與 $\overline{bc}$ 的交點 c，向量 $\overline{oc}$ 即代表C點的速度 V_c 。

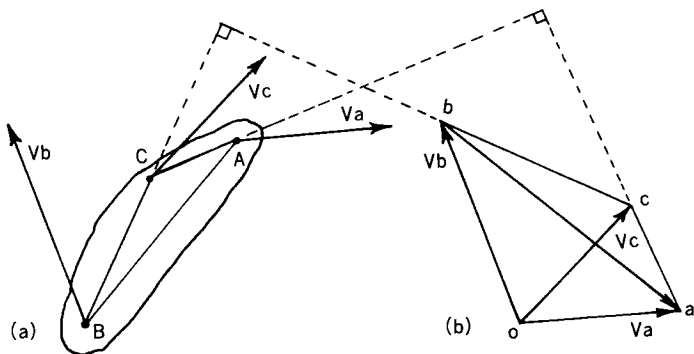


圖 1.2

1.2 瞬時中心 (Instantaneous or virtual centre)

當已知構件上兩點A及B的速度 V_a 及 V_b 時，亦可用“瞬時中心法”求其他點的速度。如圖 1.3 所示，自A點作 $\overline{AV}$ 線垂直於 V_a ，我們可把A點看作繞着 $\overline{AV}$ 線上某一點為中心轉動，其線速度為 V_a ；同樣，B點亦可看作繞着垂直於 V_b 的 $\overline{BV}$ 線上某一點為中心轉動，其線速度為 V_b 。因此， $\overline{AV}$ 和 $\overline{BV}$ 的交點V便成為A點及B點在這一瞬間的共同中心，亦即為構件的瞬時中心。

設構件以V為中心的角速度 (Angular velocity) 為 ω ，則

$$\frac{V_a}{AV} = \frac{V_b}{BV} = \omega \quad (1.1)$$

式 (1.1) 表明，線速度的大小與半徑成正比。

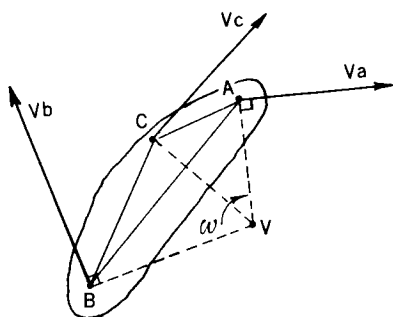


圖 1·3

根據前面的結果，可求任意點C的速度：見圖 1·3，聯 $\overline{CV}$ 線；由於C點繞瞬時中心V轉動，它的線速度 V_c 必垂直於半徑 $\overline{CV}$ ，其值為

$$V_c = \omega \cdot \overline{CV} \quad (1.2)$$

或

$$\frac{V_c}{\overline{CV}} = \frac{V_a}{\overline{AV}} \quad (1.3)$$

1·3 在轉動構件上的滑塊的相對速度

如圖 1·4 所示，在旋轉構件M上有一滑塊 (Sliding Block) N，設已知構件繞固定點O轉動的角速度為 ω ，滑塊上A點的速度為 V_a 。試求滑塊對構件的相對速度。

在圖 1·4(b) 上作 $\overrightarrow{oa}$ 代表 V_a 。設構件上 A' 點與滑塊上 A 點重合，由於構件繞O點轉動， A' 的速度 $V_{a'}$ 必與 $\overline{A'O}$ 垂直，故在速度圖上作 $\overline{om} \perp \overline{A'O}$ ；又因滑塊沿着構件滑動，A對 A' 的相對速度 $V_{aa'}$ 必然順着構件的方向，作 $\overline{an}$ 平行於 $\overline{OA}$ 。 $\overline{om}$ 與 $\overline{an}$ 相交於 a' 。這樣就可求得滑塊對構件的相對速度 $V_{aa'}$ 由 $\overrightarrow{aa'}$ 代表。

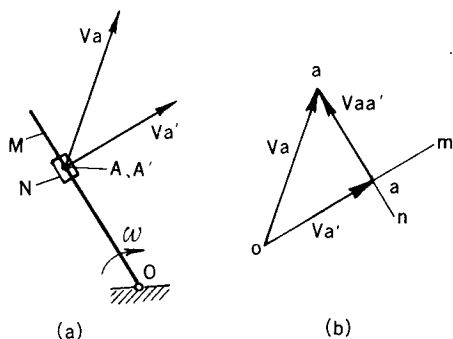


圖 1·4

1·4 連桿機構 (Link Mechanism) 的速度

圖 1·5 表示一簡單的四連桿機構：曲柄 (Crank) O_1A 以角速度 ω_1 在反時針方向轉動，通過連桿 (Connecting link) AB 使從動桿 (Driven link) O_2B 作搖擺運動。 O_1 及 O_2 是固定支點。

A 點的速度為

$$V_{ao} = \omega_1 \cdot \overline{O_1A} \quad (1.4)$$

B 點的速度 V_{bo} 必與 $\overline{O_2B}$ 垂直；B 對 A 的相對速度 V_{ba} 必與 $\overline{AB}$ 垂直。

作速度圖 (圖 1·5b)：作 $\overrightarrow{oa}$ 代表 V_{ao} ；自 o 作線垂直 $\overline{BO_2}$ ，自 a 作線垂直 $\overline{AB}$ ；兩線相交於 b 點。 $\overrightarrow{ob}$ 及 $\overrightarrow{ab}$ 分別代表 V_{bo} 及 V_{ba} 。

在圖中所示的位置時從動桿 O_2B 的角速度 ω_2 為

$$\omega_2 = \frac{V_{bo}}{\overline{O_2B}} \quad (1.5)$$

本題亦可用瞬時中心法解之。如圖 1·6 所示，由於曲柄上 A 點速度 V_{ao} 垂直 $\overline{O_1A}$ ，故考慮連桿上 A 點的瞬時中心必在 $\overline{O_1A}$ 的延長線上。同理，從動桿上 B 點的速度 V_{bo} 垂直 $\overline{O_2B}$ ，故連桿上 B 點的瞬時中心亦必在 $\overline{O_2B}$ 的延長線上。兩線相交於 V 點，即為連桿的瞬時中

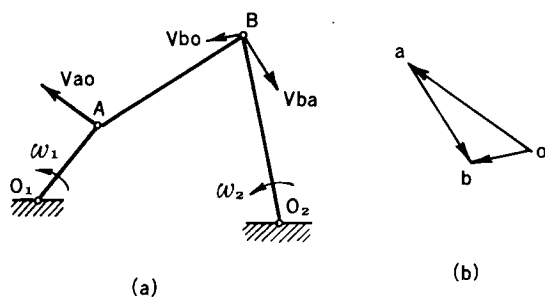


圖 1.5

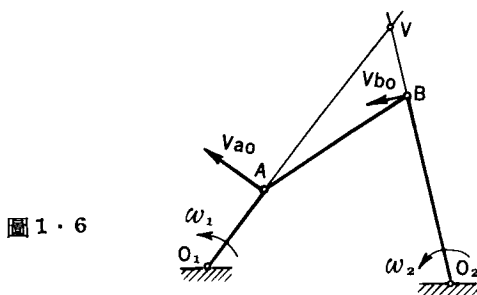


圖 1.6

心。因此；B點的速度 V_{bo} 可求得：

$$V_{bo} = V_{ao} \frac{\overline{BV}}{\overline{AV}} \quad (1.6)$$

用瞬時中心法當然與速度圖解法的計算結果一致。因為，圖 1.6 中的 $\triangle ABV$ 與圖 1.5 (b)中的 $\triangle a b o$ 相似，故

$$\frac{\overline{oa}}{\overline{ob}} = \frac{\overline{AV}}{\overline{BV}} = \frac{V_{ao}}{V_{bo}}$$

圖 1.7 a 表示一曲柄滑塊機構：曲柄 OA 以角速度 ω 在反時針方向轉動，通過連桿 AB 使滑塊 S 沿着 OX 軸作往復運動。

A點的速度為

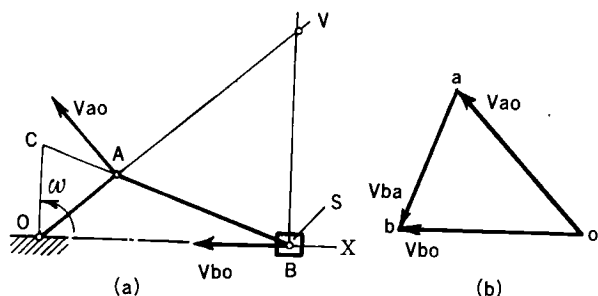


圖 1.7

$$V_{ao} = \omega \cdot \overline{OA} \quad (1.7)$$

作速度圖 (圖 1.7b): 取 oa 代表 V_{ao} , 作 $ob \parallel OX$, $ab \perp AB$, 兩線相交於 b 點。求得 ob 代表滑塊速度 V_{bo} 。

或用瞬時中心法: 延長 OA 線; 自 B 點作線垂直於 OX 軸。兩線相交於 V 點, 即為連桿的瞬時中心。則

$$V_{bo} = V_{ao} \frac{\overline{BV}}{\overline{AV}} \quad (1.8)$$

因 $\triangle abo$ 與 $\triangle ABV$ 相似, 故 B 對 A 的相對速度 V_{ba} 為

$$V_{ba} = V_{ao} \frac{\overline{BA}}{\overline{AV}} \quad (1.9)$$

又過 O 點作線垂直於 OX , 與 AB 延線交於 C 點。得 $\triangle ACO$ 與 $\triangle ABV$ 相似, 故

$$V_{ba} = V_{ao} \frac{\overline{CA}}{\overline{AO}} = \omega \cdot \overline{CA} \quad (1.9)$$

1.5 構件的加速度 (Accelerations of Links)

圖 1.8 (a) 中的剛性構件繞 B 為中心以角速度 ω 及角加速度 (A_n -

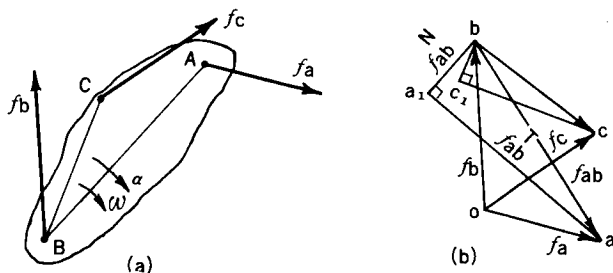


圖 1.8

gular acceleration) α 轉動。設 f_a 及 f_b 分別為 A 及 B 點的加速度。作相對加速度圖解 (Relative acceleration diagram) 如圖 1.8 (b), 向量 $\vec{o a}$ 及 $\vec{o b}$ 分別代表 f_a 及 f_b : $\vec{b a}$ 即為 A 對 B 的相對加速度 f_{ab} 。

相對加速度 f_{ab} 有兩個分量 (Component): (1) 向心加速度 (Centripetal acceleration) f_{ab}^N , 沿着自 A 至 B 的方向, 其值可由下式算出

$$f_{ab}^N = \omega^2 \cdot \overline{AB} = \frac{V_{ab}^2}{\overline{AB}} \quad (1.10)$$

(2) 切向加速度 f_{ab}^T 與 AB 方向垂直, 其值為

$$f_{ab}^T = \alpha \cdot \overline{AB} \quad (1.11)$$

這兩分量在相對加速度圖解中分別以 $\vec{b a_1}$ 及 $\vec{a_1 a}$ 表示之。

如果知道剛性構件上一點 B 的加速度 f_b , 又知道任意點 C 繞 B 為中心轉動的角速度 ω 及角加速度 α , 則可求此任意點的加速度。見圖 1.8 (b), 作 $\vec{o b}$ 代表 f_b ; 自 b 作 $\vec{b c_1}$ 代表 C 對 B 的相對加速度向心分量 f_{cb}^N , 與 BC 方向平行, 其值可做照式 (1.10) 算得; 從圖

中可求得 $\vec{oc}$ 為 C 點的加速度 f_c 。

1.6 在轉動構件上的滑塊的相對加速度

圖 1.9 (a) 表示一剛性構件 OC 以角速度 ω 在反時針方向轉動，A 是構件上的一點，B 點則在滑塊上，滑塊以速度 V_0 沿 OC 方向滑動。

在開始位置時，B 點與 A 點重合，這時 B 對 A 的相對速度 V_{ba} 即等於 V_0 ；經過一微量時間 Δt 之後，構件轉動 $\Delta \phi$ ，而 B 點則離開原來位置移動 Δr ，這時由於構件的轉動，使得速度的增加量為 $\omega \cdot \Delta r$ 。其方向與構件垂直。在圖 1.9 (b) 中以 ab 至 ab' 表示相對速度 V_{ba} 的變化。顯然，其變化量為

$$V_0 \cdot \Delta \phi + \omega \cdot \Delta r$$

由於這一變化是在 Δt 時間內完成的，故速度變化率——即 B 對 A 的相對加速度 f_{ba} 為

$$f_{ba} = \frac{V_0 \cdot \Delta \phi + \omega \cdot \Delta r}{\Delta t} \quad (1.12)$$

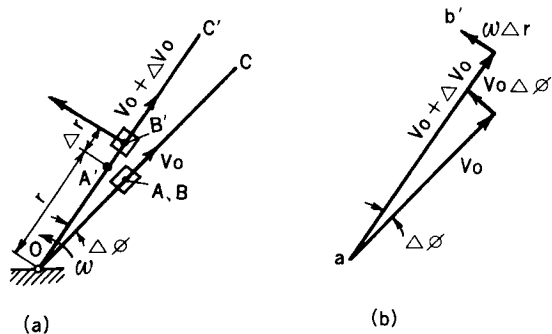


圖 1.9

考慮 $\Delta t \rightarrow 0$ ，故式 (1.12) 可寫為

$$f_{ba} = \frac{V_o \frac{d\phi}{dt} + \omega \frac{dr}{dt}}{\frac{dr}{dt}} = V_o \frac{d\phi}{dt} + \omega \frac{dr}{dt} \quad (1.13)$$

以 $\frac{d\phi}{dt} = \omega$ 及 $\frac{dr}{dt} = V_o$ 代入，則

$$f_{ba} = 2\omega V_o \quad (1.14)$$

從式 (1.14) 可見， f_{ba} 是兩向量的積。如兩向量都是正值或負值，則 f_{ba} 為正值；如兩向量之一為負值，另一為正值，則 f_{ba} 為負值。圖 1.10 表示 f_{ba} 與 ω 及 V_o 的方向與符號關係。

還須指出，滑塊也可以相對於 A 點有一滑動的加速度。在圖 1.9 中以 ΔV_o 表示滑動的速度增加量。

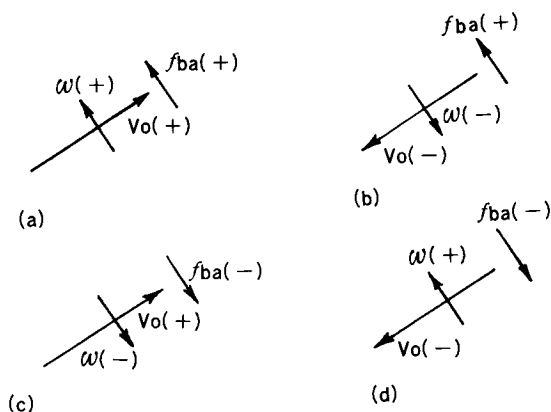


圖 1.10

1.7 連桿機構的加速度

試求圖 1.11 (a) (即圖 1.5 a) 所表示的四連桿機構的加速度。

前面已作出機構的速度圖解 (圖 1.5 b)，在作加速度圖解時，先列出各加速度的向心分量及切向分量如下：