

機械運動學

華文廣編著

商務印書館發行

機 械 運 動 學

華 文 廣 編 著

商 務 印 書 館 發 行

一九四六
十一月
初版

* 有 所 權 版 *

分類號 521.1
登記號 17740

械 運 動 學 一 冊

◎(34430)

基 價 拾 玖 元

印刷地點外另加運費

編 著 者 華 文 廣

行 人 陳 懋 解

上海河南中路

印 刷 所 商 務 印 書 館

發 行 所 商 務 印 書 館

各地

序 言

本書之目的，在將機械及機械運動之原理，作一簡明之敘述，以爲學習機械工程之基礎。諸凡涉及高深數學及機械設計之部分，均未編入，故曾習大學物理及數學者皆能自由閱讀之。

本書適於大學二年級採作課本及參考之用，每週授課三小時者，半年可畢。章末均附習題，其較困難者並書答案，以資驗證。繪圖題目，可由書中例題及習題內選擇之。

我國之工學名詞，向無確定標準，故選用較難，本書除一部分係根據本年工程師學會出版之機械名詞外，尙有一部係由他書查得或編者自撰，以求其簡明通俗。書末附有英漢名詞對照表，藉便檢查：

是書之編，係以 Albert and Rogers: Kinematics of Machinery；丹羽重光：機構學及 Dunkerley: Mechanism 三書爲本，並參照其他歐美名著十餘書而成。第六章及第八章兩章之材料頗多採自交通大學蔡常教授在該校所授之機構學講義。又原稿承岳星如先生詳爲校閱，統附此誌謝。

本書倉促成稿，謬誤之處，在所難免，尙望海內匡達，不吝指正，則幸甚焉。

民國二三年十一月十五日華文廣誌於上海交通大學。

總 目

第一章 總論	1
(1.1) 機械力學與機械運動學, (1.2) 機械, (1.3) 機械之設計,	
(1.4) 原件與對偶, (1.5) 運動鏈與構造物, (1.6) 機械骨骼圖。	
習題	
第二章 運動	11
(2.1) 相對運動與絕對運動, (2.2) 機械運動之種類, (2.3) 有	
向量, (2.4) 變位, (2.5) 速度與速率, (2.6) 加速度, (2.7)	
簡諧運動, (2.8) 相對運動。 習題	
第三章 運動之傳達	35
(3.1) 機械中運動之傳達, (3.2) 直接接觸之運動傳達, (3.3)	
剛體接合物傳動裝置, (3.4) 索帶傳動裝置, (3.5) 流體傳動裝	
置。	
第四章 瞬時中心	41
(4.1) 瞬時中心之意義, (4.2) 三心定律, (4.3) 瞬時中心之求	
法, (4.4) 瞬時中心之軌跡。 習題	
第五章 速度——瞬時中心法	52
(5.1) 瞬時中心之應用, (5.2) 同節內各點速度之求法, (5.3)	
不同節內各點速度之求法, (5.4) 四節機構, (5.5) Toy's 汽	

瓣機構，(5.6)蒸汽機關機構，(5.7)急回運動機構，(5.8)四節交叉機構——節至節法。 習題

第六章 速度——相對速度法63

(6.1)相對速度法之原理，(6.2)四節機構，(6.3)馬索耳汽瓣聯動機構，(6.4) Toy 氏汽瓣聯動機構，(6.5) 斯蒂芬生連桿運動。 習題

第七章 速度——速度影像法71

(7.1)速度影像法之原理，(7.2)蒸汽機關機構，(7.3)六節機構，(7.4)汽瓣機構，(7.5)急回運動機構，(7.6) Toy 氏汽瓣機構，(7.7)餘論。 習題

第八章 加速度81

(8.1)加速度之影像法，(8.2)同一物體內各點加速度之求法，(8.3)四節機構，(8.4)衛塞爾引擎機構，(8.5)向心加速度之圖解求法，(8.6)滑子迴轉機構。 習題

第九章 速度及加速度圖90

(9.1)圖，(9.2)蒸汽機關機構之速度圖，(9.3)急回運動機構之速度圖，(9.4)加速度圖。 習題

第十章 帶繩及鏈98

(10.0)索帶之種類

(甲)帶 (10.1)滑輪之速比，(10.2)滑輪之形狀，(10.3)帶之配置，(10.4)帶之材料，(10.5)帶之張力與傳達之馬力，(10.6)帶之長度，(10.7)階輪，(10.8)階輪之設計，(10.9)

錐輪，(10·10)變速傳動裝置。

(乙)繩 (10·11)繩，(10·12)繩之配置，(10·13)繩輪與繩溝，
(10·14)兩側張力之關係與傳達之馬力，(10·15)金屬線繩之
傳動裝置。

(丙)鏈 (10·16)鏈之種類，(10·17)逆齒鏈。 習題

第十一章 偏輪137

(11·1)偏輪之種類，(11·2)關於偏輪之名詞之意義，(11·3)偏
輪之設計，(11·4)受動件爲等加速運動之偏輪，(11·5)變位
圖，(11·6)受動件爲簡諧運動之偏輪，(11·7)平面受動件之偏
輪，(11·8)偏位受動件之偏輪，(11·9)搖動受動件之偏輪，
(11·10)平面搖動受動件之偏輪，(11·11)展線偏輪，(11·12)
三角偏輪，(11·13)確動偏輪，(11·14)圓柱偏輪，(11·15)圓
錐偏輪，(11·16)球偏輪與斜面偏輪，(11·17)移動偏輪，(11
·18)逆偏輪。 習題

第十二章 轉動接觸與摩擦傳動裝置171

(12·1)轉動接觸之必要條件，(12·2)圓形斷面物體之轉動接觸，
(12·3)非圓形斷面物體之轉動接觸，(12·4)等角螺線之轉動接
觸，(12·5)一般曲線之轉動接觸，(12·6)葉輪，(12·7)摩擦傳動
裝置，(12·8)有溝摩擦輪，(12·9)摩擦傳動裝置之實例。 習題

第十三章 齒輪總論201

(13·1)齒輪及其種類，(13·2)兩齒輪之速比，(13·3)齒輪各
部名詞之定義，(13·4)齒形之基本定律，(13·5)共軛輪齒，

(13.6)齒形之種類。

第十四章 正齒輪211

第一節 展線齒形正齒輪211

(14.1)展線, (14.2)展線齒形與基本定律, (14.3)展線齒輪之作用, (14.4)互換齒輪, (14.5)齒條與小齒輪, (14.6)內齒輪, (14.7)齒之抵觸與上齒高之極限值, (14.8)接觸弧與上齒高之關係, (14.9)齒之滑動率。

第二節 擺線齒形正齒輪234

(14.10)擺線, (14.11)擺線齒形與基本定律, (14.12)擺線齒輪之作用, (14.13)互換齒輪, (14.14)針輪, (14.15)接觸弧與上齒高之關係, (14.16)齒之滑動率。

第三節 餘論249

(14.17)斜齒正齒輪, (14.18)齒輪最少齒數之學說及其缺點, (14.19)展線輪齒尺度, (14.20)展線與擺線齒輪之比較。

第四節 齒輪之畫法264

(14.21)圓弧展成直線之方法, (14.22)齒形之近似畫法。習題

第十五章 錐面齒輪及螺旋齒輪275

第一節 錐面齒輪275

(15.1)錐面齒輪, (15.2)特勒古德氏之近似畫法, (15.3)錐面齒輪之作用, (15.4)螺旋齒及斜齒錐面齒輪。

第二節 螺旋齒輪283

(15.5)螺旋齒輪, (15.6)螺旋齒輪之齒距與齒形, (15.7)速比

及中心距離， (15.8) 蝸桿及蝸輪， (15.9) 螺旋齒輪問題之解法， (15.10) 雙曲線體齒輪。 習題

第十六章 輪系.....296

第一節 普通輪系296

(16.1) 輪系及系值， (16.2) 起重機， (16.3) 背齒輪， (16.4) 汽車傳動裝置。

第二節 周轉輪系 300

(16.5) 周轉輪系， (16.6) 行星輪系， (16.7) 菲爾古生氏之矛盾輪系， (16.8) 回歸周轉輪系， (16.9) 差動錐面齒輪裝置， (16.10) 汽車之差動錐面齒輪裝置， (16.11) 洪培支輪系。 習題

第十七章 連桿工.....313

第一節 連桿工313

(17.1) 引言， (17.2) 四桿迴轉鏈及其交替， (17.3) 滑子迴轉鏈， (17.4) 蒸汽機關機構， (17.5) 振搖塊迴轉機構， (17.6) 迴轉滑子機構， (17.7) 擺動轉子迴轉機構， (17.8) 雙滑子迴轉鏈， (17.9) 放射軸鏈。

第二節 平行及直線運動機構333

(17.10) 平行運動機構， (17.11) 直線運動機構。 習題

參考書目.....342

英漢名詞對照表

機械運動學

第一章 總論

1.1 機械力學與機械運動學 力學乃物理學中之一科，研究物體之質量，運動及力之相互關係者。其範圍甚廣，凡解析力學(analytical mechanics)，材料力學(strength of material)，水力學(hydraulics)，機械力學(mechanics of machinery)等皆屬之。機械力學者僅論及機械中各部之運動與力之作用及其所生之效應，他如關於機械各部之彈力(elastic force)及其變形(deformation)等則屬之於材料力學。至其各部之形狀及大小之計算與決定，以承受某種指定大小之力或載重，則屬於機械設計(machine design)等。

機械力學又可分為下列三部：

(一)機械運動學(kinematics of machinery) 運動學又稱運動幾何學(geometry of motion) 專門研究物體間之相對運動。在機械運動學中則只論及機械或機構各部分之相對運動；至於各部作用之力及其本身之重量等，並不顧及。

(二)機構學(mechanism) 機構學中論及各種機構之構造，作用與其幾何的性質。

(三)機械動力學(dynamics of machinery) 此部專門研究機

械中之力底問題，包括靜力學 (statics) 及動力學 (kinetics)。機械中之受平衡力或不平衡力之作用之部分，及其質量加速度之關係等，均於此部內討論之。

本書所述為第(一)(二)兩部分，因於機構學中亦多論及機構運動之分析，故可劃歸第一部中，總名之曰機械運動學。

1.2 機械 機械(machine)者為何？

「機械為一組有抵抗力物體 (resistant bodies) 之組合，其各部之運動皆被限定，可將供給之能變為有用之功(work)」。

由上述之定義可知機械之要件有四：

- (一)機械為物體之組合。
- (二)構成機械各部之物體須具有抵抗力。
- (三)各部之運動皆有限定。
- (四)具有將受納之能，變為功之能力。

茲將各條分述如下：

(一)機械為多數物體之組合，乃一極要之條件，故如鋸，鑿等只由一物體構成之器械，雖亦能作功，實無被稱為機械之資格，不過一種工具(tool)而已。因其鐵之部分與柄部銜接為一，其間毫無相對運動，在機構學上認此種組合仍為單一物體。

(二)宇宙間之物體，無一為無抵抗力者，不過其抵抗力有大小之別而已。故任何物體皆可為構成機械之材料。但有以其使用之方法不同而將抵抗力消失者，如皮帶及繩等是，用之於承受張力與他物體無異，但用之以承受壓力時則毫無抵抗。同樣，單盛於一器皿中之液體並無用

處，而水壓機中密閉之水，則為機械之一部分矣。

(三)此條件為四者中之最重要者，其各部之運動被限定後，始可產生一定之預期的運動，否則運動亂雜無定，不但不能做有用之功，亦出乎吾等之控制，則非吾人所謂之機械矣。

(四)此為吾人使用機械之目的，其為機械之條件，固亦勿待言矣。因機械能將所承受之能變為功，運動與力必同時而生，故其他不能運動及傳達力者，皆不得謂之機械。由此條件可知凡一機械至少須具備下列四部分。一、承受能之部分。二、將所承受之能傳達於其他部分而使之變形之部分。三、做功之部分。四、靜止之部分，以使上列三部分常保持其固有的相對位置，不致因運動而變移。茲就腳踏車言之，腳蹬即為第一部分，曲柄，輪盤，鏈等即為其第二部分，可將足所施於腳蹬之力傳達於後輪。車輪為其第三部分，車架等則屬之第四部分，無論各部如何運動，車架常使其保持固有的相對位置，此部分常稱之曰機架(frame)。

由上述四點觀之，其中無一不為構成機械之要件，若有一條件不能滿足時，即不得之稱為機械。鋸，刀等工具雖適合第二、四兩條，但因其不能適合一、三兩條，故非機械；即如其他許多常應用之儀器，如打字機機械模型等，亦不得稱為機械，雖能滿足第一、二、三三條件，但吾等所加於此等器具之力，僅能使其各部分產生相對運動而已，不必再加以額外之力；換言之，此種器械承受外界之能後，所生之效果為各部分位置之變移，並無功產生，此即不能滿足第四條件，故不得稱為機械，只可視為一種器具(apparatus)。故凡一機械，皆須滿足上列四條，缺一不可。

1.3 機械之設計 一機械之設計，包括下列三事：

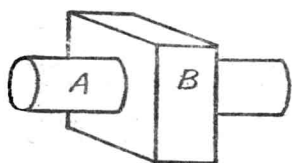
(一)先以任意之比例尺將機械之輪廓作出，然後由此簡圖中，可以純粹之幾何方法，求出其運動部分之變位，速度，及加速度等，此部屬於機構學及機械運動學之範圍。

(二)第一部分決定後，再由此機構所受納之能，而求作用於各部之力，由所求力之大小，以公式計算各部之大小，形狀等，使其足以承受此力而無過度變形，此部分屬於材料力學，解析力學及設計者之經驗等。

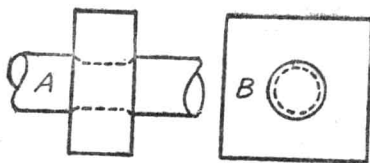
(三)如上述之步驟完畢後，由所求之速度，加速度及力等，以定其各運動部分之動力效應(dynamical effect)。此效應已知，則可設法抵償之。此部分係屬於機械動力學。

上述三部分，因機械之不同而其重要性亦異。於某種機械中，運動問題或為最困難而重要者，或第二、三部分為較重要者。大概低速之機械，動力效應及惰力(inertia force)常不計之，但於高速機械中，則不能忽略。本書中所述者只限於第一部分。

1.4 原件與對偶 構成機械一部分之兩物體，A 與 B，第一圖，互相接觸而有相對運動時，則 A 與 B 各稱為一原件(element)。A 與 B 則互為一對偶(pair)。兩相嚙合之齒輪即為一對偶，他如軸與軸承，腳踏車之輪盤與鏈，水壓機之壓水筒及水等皆為對偶之例。兩原件間之相對運動，依其成對偶之狀況而定，若兩者間之運動為限定，即除此外不



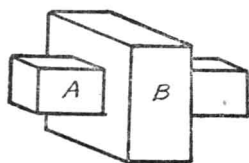
第 一 圖



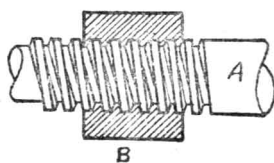
第 二 圖

能產生他種不同之相對運動者，則謂之限定對偶(closed pair)。如第一圖之 A 與 B，圓柱 A 既可在 B 板之圓洞內迴轉，又可前後移動，故非限定對偶。若 A 之形狀如第二圖所示，洞中之部分較外部為細，則 A 只能在 B 洞內迴轉，不能前後移動，是其間之運動限定為迴轉一種，故為限定對偶。

對偶通常可分為兩種：一為面對偶(lower pair)，一為線點對偶(higher pair)。前者係兩原件間之接觸部分為面(surface)，後者為兩原件之接觸部分為線或點。面對偶又可分為(一)滑動對偶(sliding pair)，(二)轉動對偶(turning pair)及(三)旋動對偶(screw pair)等。滑動對偶為兩原件間之相對運動限於滑動，如第三圖所示者是。轉動對偶之相對運動則限於迴轉運動。旋動對偶之運動為迴轉與直線運動之結合，如螺絲與螺絲帽間之相對運動，第四圖所示者是。面對偶只限於上列三



第三圖

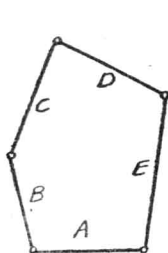


第四圖

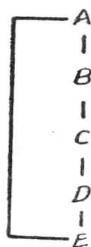
種，而線點對偶則種類繁多，幾不可分類，如兩齒輪之嚙合，偏輪及其受動件等皆為線點對偶。此外尚有人稱帶(belt)與滑輪為張力對偶(tension pair)，氣體或液體與其容器為壓力對偶(pressure pair)，此不過名詞上之不同，總括言之，所有機械部分之對偶均不出上列二大類，即面對偶與線點對偶是也。

1.5 運動鏈與構造物 互為對偶之原件，用以連接於他物體而能傳達運動或力者稱之曰節(link)。任一節為兩個對偶之原件時，謂之單節(simple link)，同時為三個或三個以上之對偶之原件時，則謂之複節(compound link)。將數節互相連接之，所成之裝置謂之運動鏈或簡稱曰鏈(kinematic chain or chain)。

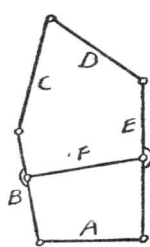
鏈既為連接數節而成，故其中包含之對偶，亦非一個，如第五圖所示之鏈為五個單節所組成。各節皆與其相鄰兩節互成對偶。第六圖示其互成對偶之關係。第七圖所示為六節所組成之鏈，B, E 為兩複節。第八圖示其互成對偶之關係。



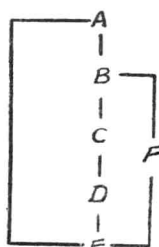
第五圖



第六圖



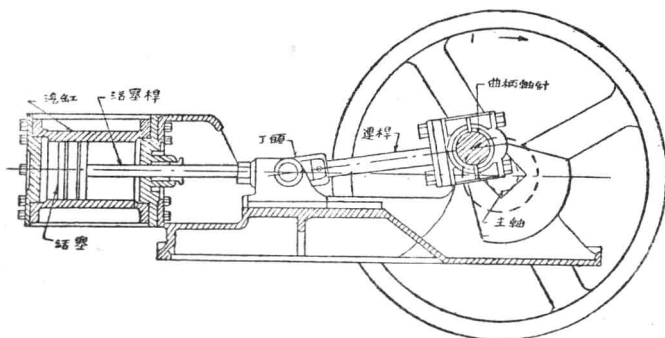
第七圖



第八圖

廣義言之，節亦可用以表柔質或液體之物體，但普通多指剛體而言。在任何機械中，必有一節為靜止，或此節亦為運動，但同時負載其他各運動部分，如前述腳踏車之車架是，亦可將其視為靜止。此靜止之節，謂之固定節(fixed link)。如第九圖所示之蒸汽機，將其主要部分分之，共有四節，第一節為固定部分，包括機架，活塞筒，軸承等及其他靜止部分。第二節包括曲柄，曲柄軸及飛輪等，以上各件皆為以主軸為軸線之迴轉運動。第三節為連桿，乃一運動較為複雜之媒介節(intermediate

link)。第四節爲丁頭 (cross-head)，活塞及活塞桿等，同爲往復直線運動。由是可知，任一節，除其主部外，並包括附屬之零件等，但其全節之運動，無論有如何多之附件，仍如一物體然。



第九圖

運動鏈有限定 (constrained)，不限定 (unconstrained) 及固定 (locked) 鏈之分。前者各節間之相對運動皆爲一定，永不變更。不限定鏈者，其各節間之相對運動，毫無節制，如第五圖之鏈是。第七圖所示者即爲一限定運動鏈，若將 F 去下時，則亦爲一不限定鏈，此例示一不限定鏈常可加入複節而使全體之運動限定。

限定運動鏈中之一節若爲固定，則此鏈即爲一機構 (mechanism)，在同一鏈內可使不同之節固定即生成許多不同之機構。故由同一運動鏈能生成與其節數相等之不同機構。如第七圖之鏈，使 A 爲固定與使 B 爲固定時，所成之機構完全不同。此種生成不同機構之方法，謂之鏈之交替 (inversion of chain)，詳見第十七章中。

所謂固定鏈者，即其各節皆爲固定，無相對運動之可能，如橋梁，屋

頂架等，雖為剛體之節所組成，但其各部間毫無相對運動，故此種固定鏈稱曰構造物 (structure)。構造物與不限定鏈，本書中皆不討論之。

機構兩字與機械完全不同，前者只能傳達或改變運動，而後者能變能為功。若只觀察其傳達及改變運動之作用時，則可以之為機構，若觀察其將能變功之作用時，則須以之為機械。故蒸汽機與瓦斯機雖於運動上為同一機構，但為兩種不同之機械。又如前節所述之機械模型即為機構而非機械。進一步言之，任何運動鏈，若視為機構而分析時，只須知其各節之相對位置，無須顧及各部之大小，形狀等。若以之為機械時，其各部之強度，大小，形狀等，皆須考察之。

機械與構造物之區別，當更明顯，前者能傳達或改變運動，能及力，而後者只能變更或傳達力而已。

將上述各個間之區別，以下表總括之，閱後當更明瞭矣。

名	稱	作	用
機	械	傳 達 或 改 變 運 動，力，及 能。	
機	構	傳 達 或 改 變 運 動。	
構	造 物	傳 達 或 改 變 力。	

1.6 機械骨骼圖 為機械運動分析上之簡便計，一機械或機構常以極簡單之圖表之。此種簡圖稱曰骨骼圖 (skeleton outline)。骨骼圖所需要者只其各節間之幾何關係，如第十圖即為第九圖所示蒸汽機關之骨骼圖。此圖所需要者只其連桿 B 之長，曲柄 A 之長，主軸承之中心及丁頭之動路 DC 而已。

如第十圖之機構，簡稱曰滑子迴轉機構 (slider crank mechanism)，