

機構與機器

中華民國機構與機器原理學會會刊第 1 1 期

Newsletter of the Chinese Society of Mechanism and Machine Theory

行政院新聞局出版登記證局版台誌字第 8318 號

中華民國八十年八月一日

發行人：周廣周
 出版人：中華民國機構與機器原理學會出版委員會
 理事長：蔣君宏
 總編輯：蔣君宏
 編輯：陳明豐 張所鎰 蔡忠杓
 吳隆庸 劉興華 黃以文
 發行所：107 台北市國立台灣大學機械系 739 室
 台北市郵政信箱 23-10 號
 電話：(02)3628320
 郵政劃撥帳號：14128710
 戶名：中華民國機構與機器原理學會
 訂閱：全年新台幣 180 元
 零售：新台幣 15 元
 承印者：吉鴻彩色印刷股份有限公司

本刊啓事

本刊名稱，擬於近期內由原來「機構與機器」改為「機構與機器設計」。請各位讀者鑒察。

徵稿

然是乾脆放下書本不讀了。但「君子捨易行難」；於是自忖，有什麼方法可使我讀而不捧。亦即是說，有什麼東西可以替我捧著書本呢？有，音樂師奏樂時，兩手在樂器上忙個不亦樂乎，那裡有機會拿起樂譜來？他靠的不正是擺在他面前的樂譜架嗎？這架用來擺放書本應不成問題。

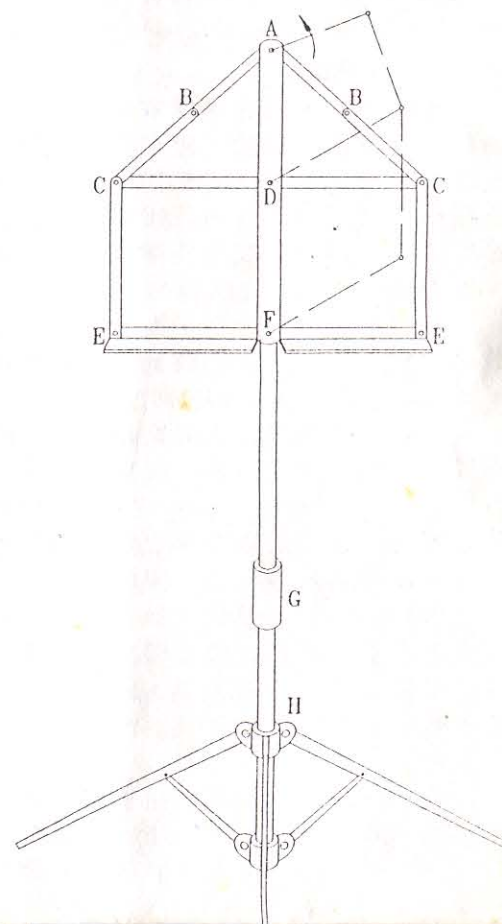
離我家（在香港，近啓德機場）一箭之遙有一小樂器店。

「老闆，有沒有樂譜架？」「有，台灣製造。價廉物美，只售 70 塊（港幣）。這是舊價。過幾天改售新價，85 塊。」

猶豫不得，立即買將下來。樂譜架看來光閃閃，提在手上沉甸甸。相信是用不銹鋼造的，模樣如圖 1。

擺放樂譜的部份姑稱之為書托，是個四鏈連桿組。左右邊各兩鏈，對稱於 ADF。開關書托時，一隻手執著 ADF，另一隻手先張開一邊，再張開另一邊。操作不算方便。尤其是摺疊書托時要留神，AB 桿不一定朝 AD 桿的方向擺動，可能朝相反的方向（如圖 1 中的鏈線）。這一來，AB 桿就卡在另一邊的 AB' 桿上，書托也就不能完全摺疊起來。於是，不由自主，我的注意力從書本遊離到書托的設計問題上來。

怎樣的書托可以由一桿的運動而帶動整體的運動 (mobility = 1) 呢？這問題當然難不倒本刊



本刊園地公開。除國內外消息外，打算提供讀者一些有關機構設計或機器設計的實用方法或範例，希望能藉此提高讀者閱讀的興趣也歡迎踴躍投稿。如有稿件請送或寄達本刊各位編輯委員，亦可直接寄來本會信箱。稿件一經採用，敬致薄酬。在此敬祝各位身心愉快，事業順利！

肩痛與連桿組

虞漢璋

「四十肩、五十腰」。肩痛、腰痛是中年人常見的毛病。一般來說，大概是先肩痛，然後再加上腰痛。但在我來說，首先出現的卻是腰痛，扭傷所致。搬運重物時不小心，扭傷了腰背。許多療法如物理治療、按摩、跌打膏藥、氣功等都試過，收效不大。幸而酸痛的程度沒有加深，只是日常生活的一些細節須加注意：不提重物、不久立，不久坐、盡量避免徒步上斜坡等等。這些都不是大不了的事情（除了不久坐外）。不久坐，怎讀書？最舒服是躺著讀，只是眼睛吃不消。坐既不能，臥又不能，只好折衷，半坐半臥的靠在沙發椅上讀。選擇沙發椅也需有點學問。沙發的靠背要軟硬適中，與水平線成約 60° ；最好這角度能隨意改變。靠坐時，不要讓腰彎曲，頭、頸略為墊高。

因為是靠著讀，書本不能平放在書桌上，需要用手托著、捧著來讀。名符其實的「捧讀」。捧讀了大約半年罷，肩痛就來了。怎會攪出肩痛來呢？起初莫名其妙，後來才悟出是「捧讀」之故。雙手長時間的捧著書本，久而久之，造成一些肌肉酸痛。最受影響的是近肩井穴附近的肌肉。解決這肩痛最簡易的辦法，當

的讀者。圖2的嘗試僅是塊引玉之磚而已。

與圖1一樣，圖2的書托也是一個對稱的多鏈連桿組。 $G'B'H'$ 、 $E'BJ'F'$...是平行四邊形。 $AEBE'$ 、 $AFCF'$ 、 $BIDI'$ 在書托全部展開時是三角形，未全部展開時是對稱四邊形（圖3）。 $AEFJCJ'F'E'$ 屬過度拘束多鏈連桿組（請參閱本刊第6期拙作）。儘管如此，圖2的書托依然可以活動自如。其能動性全賴 $AEFJCJ'F'E'$ 具備如下的幾何特性：

$AEBE'$ 、 $BJCJ'$ 、 $AFCF'$ 都是相似四邊形(similar quadrilaterals)。這從簡單的幾何原理可以看得出來，不贅。

顯而易見，只要掀動任何一根連桿就可以帶動整個圖2書托的開關，從而免除了圖1中書托若干不便之處。底部及中部的連桿比較其他部份承力較大，因此較粗。突出的三角形 $AEBE'$ 用來承托較大的樂譜。

當然，整個樂譜架好不好用，並不僅視乎書托的設計而定，其他部份也得考慮在內。圖1的樂譜架，FG與GH兩桿可以拆開。兩桿的接口用塑膠製造。買後不足兩星期，塑膠接口已破裂，一分為二。H處是個滑動對(Sliding pair)。從理論上來說，上下移動H應可以開關下面的三腳座。但實際上做不到。H的活動不甚順暢。開關三腳座時，須將三腳座的連桿，差不多每根逐步拉動才行。拉動時也須講求點技巧；太少力拉不動，太大力將連桿拉曲。樂譜架所採用的材料也有點不濟事，不夠三個星期已開始冒出點點的銹來。相信不是用不銹鋼製造的....。

不過，對我來說，這些都不是甚麼大不了的問題。破裂了的塑膠用強力膠補補，生銹的地方用油抹抹。活動不順暢嗎，小心地逐步逐根拉動就是。最重要的是有了這樂譜架後，我就再也不需要「捧讀」。兩肩得以休息，酸痛也減輕了。不過，還有一個問題未解決：不知哪裡可以找到一個可以醫治背痛的連桿組呢？

圖1

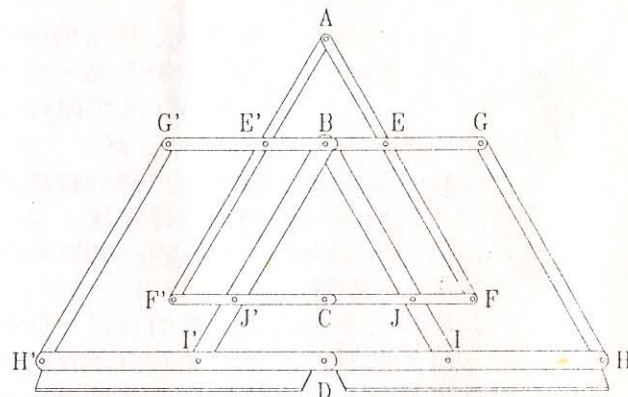


圖2

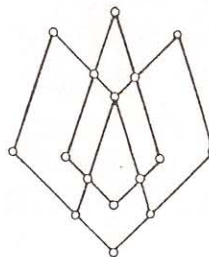


圖3

四連桿組運動之分類

—Grashof準則之應用

劉 霆

一般四連桿組可依其兩個接地桿件的運動型態，予以簡單的分類。若接地桿件可以繞其樞紐旋轉360度，此桿件可稱之為曲柄(crank)；若桿件僅能在一範圍中，繞其樞紐做往復搖擺，則稱之為搖臂(rocker)。由此定義，四連桿組可分為：(1)雙曲柄(double-crank)，(2)曲柄-搖臂(crank-and-rocker)，(3)雙搖臂(double-rocker)三類機構。

不同類型的四連桿組有不同的用途。例如曲柄-搖臂四連桿組可用來做為一種急回機構，或是一個產生搖擺運動的振動器；雙曲柄四連桿組則可用來連接兩連續旋轉軸，並產生變速的效果。這種分類不僅適用於平面四連桿組，也適用於球面四連桿組。

如何能迅速的判別平面或球面四連桿組運動的型態，或進一步的將其應用在機構設計上，則是本文想要介紹與探討的。

四連桿組的尺度十分簡單。平面四連桿組的尺寸是四桿件之桿長。此處之桿長，即是一連桿上由一樞紐中心至另一樞紐中心的距離。球面四連桿組則是以連桿上兩樞紐之中心線所夾的角度為其幾何尺度。根據這四個基本尺度，利用Grashof判別準則，我們可以判斷此四連桿組是否可能提供一個連續完整的旋轉。然後再由桿件配置使用之情形，此四連桿組便可適當的被歸類了。首先讓我們來看看Grashof判別準則。

Grashof判別準則是利用平面四連桿組中四桿的桿長關係來判別此四連桿組是否可能提供其中一桿作一個連續完整的旋轉。設令最長桿的桿長為 l ，最短桿的桿長為 s ，其餘兩桿的桿

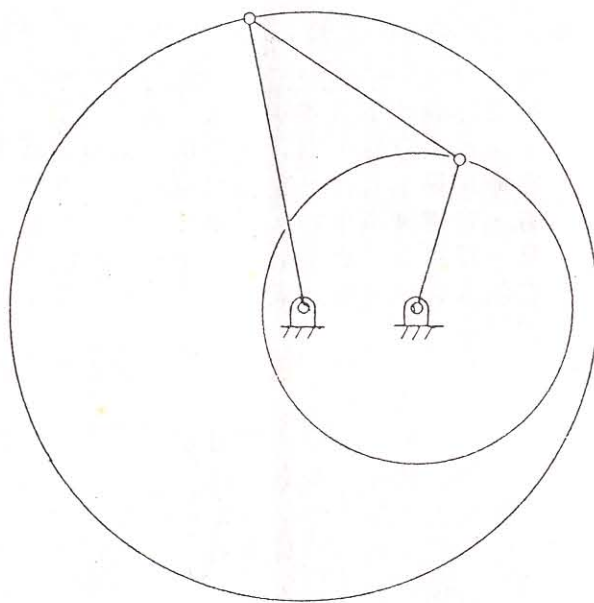


圖1

雙曲柄機構

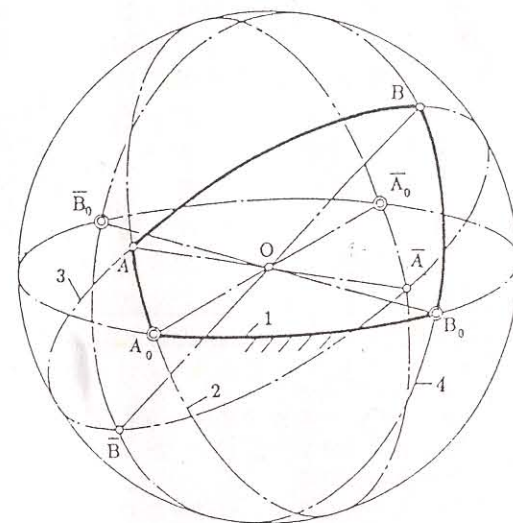
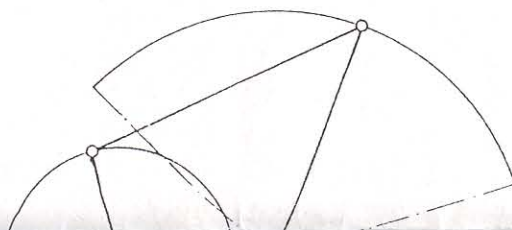


圖4

球面四連桿組 A_0ABB_0 。

我們可以將應用在平面四連桿組的Grashof準則推廣到球面四連桿組上。此時桿長所代表的是兩樞紐中心線所夾的角度而不再是長度。但是球面機構有一特性，即是對於每一個球面四連桿組，我們可找到另外七個具有不同尺度，但是具有相同運動性質的互補球面四連桿組。為什麼會有這八個球面四連桿組，尺度不同，但運動相同呢？理由很簡單。因為球是圓的，所以在每一桿件的後方，（假設你在球面四連桿組的前面）都可以找到一互補的桿件。樞紐中心由前面通過球心到後方的球面，亦為此互補桿件之一運動樞紐。見圖4中， A_0A 桿之互補桿件為 $\bar{A}_0A$ 此互補關係可以下式表示之。

$$\angle A_0OA + \angle AO\bar{A}_0 = 180^\circ$$

每一桿件，都有一互補桿件。事實上，總共只有四個物體（即四個環）在作相互運動。

長為 p 與 q 。若下列關係成立

$$l + s < p + q$$

則此四連桿組中至少有一桿件能作360度完整的旋轉運動，且此四連桿組即稱之為Grashof四連桿組。

在滿足Grashof條件之後，再判斷接地的兩個旋轉桿件是否能做連續的360度旋轉，以作為四連桿組的分類。此時只要檢查最短桿的位置即可。有下列三種情形：

(一) 最短桿為機座。此時可得雙曲柄機構，見圖1，即兩個軸（輸出軸與輸入軸）都可以作360度旋轉。在此情形下，四連桿組可以用來傳達旋轉運動。

(二) 最短桿為圍繞一固定軸旋轉的接地桿件。此時四連桿組為一個曲柄搖臂機構，見圖2。最短桿可以旋轉360度，而另一根接地桿則為做搖擺運動的搖臂。

(三) 最短桿為連接兩接地桿的耦桿。此時兩接地桿都只能做搖擺運動，此時四連桿組為雙搖臂機構，見圖3。但我們可觀察得到，最短桿本身可以在空中做360度的迴轉。

若上述之關係未能成立，而是有

$$l + s > p + q$$

的關係時，此四連桿組不可能有任何一桿作360度的旋轉。亦即是說無論各桿件如何配置，僅可能得到一種機構，即雙搖臂機構。我們將此種四連桿組稱為非Grashof四連桿組。

例1. 下列已知桿長單位與分類無關，故略去。

已知				結 果
機座 f	接地桿 a	耦桿 c	接地桿 b	
36	74(l)	11(s)	27	非Grashof四連桿組
25(s)	53	68(l)	50	
85(l)	60	21(s)	67	
75	19(s)	83(l)	60	

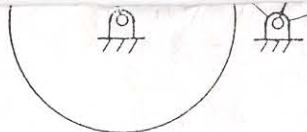


圖2

曲柄-搖臂機構

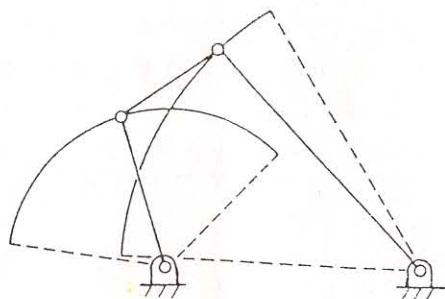


圖3

雙搖臂機構

每個環，都可以一桿件或其互補桿件代表之，所以一共可得八種組合，而得到八種雖異實同的球面四連桿組。這種關係的存在使得在應用Grashof準則時，不能直接依照所觀察到的四桿桿件角度，而必須先將此組角度做些修正方可。

由球面機構的研究中，我們可知這八個球面四連桿組中，有一四連桿組，

其任兩桿件的角度之和不大于180度或者是，

其四桿件角度之和為最小。

欲找出這一組的尺度，我們只須掌握一個原則。那就是，這八個四連桿組中，每兩組之間的差異是一組中有二或四桿與另一組中之對應桿成互補，不可能只有一桿或三桿成互補。所以我們每次只要將已知四桿中每次取最長二桿以其對應互補桿取代就可。若愈取代愈小，就可找到所要的四連桿組。若愈取代愈大就不對了。請看下面所舉的例就可明瞭。

利用這一組的尺度，我們便可以Grashof準則和各桿件的配置情形，如同對平面四連桿組一般，來判別球面四連組的運動種類了。

例2.

	機座 f	接地桿 a	耦桿 c	接地桿 b	結 果
已 知	71°(l)	18°(s)	40°	62°	曲柄-搖桿
已 知	132°	87°	56°	63°	非Grashof四連桿組
取 代	↓ 48°(s)	↓ 93°(l)	↓ 56°	↓ 63°	
已 知	40°	92°	119°	76°	雙曲柄
取 代	↓ 40°(s)	↓ 88°(l)	↓ 61°	↓ 76°	
已 知	64°	50°	157°	131°	雙搖桿
取 代	↓ 64°(l)	↓ 50°	↓ 23°(s)	↓ 49°	

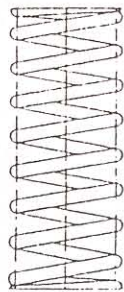
設計小問題9

編輯室

每個彈簧都有其彈簧常數，但是一般說來，一個壓縮彈簧（如圖示）的彈簧〔常〕數卻不是常數，為什麼？

歡迎有興趣提供答案的讀者在9月10日以前將設計圖及簡單說明寄來本學會。本刊將視情形於第13期擇優刊登。

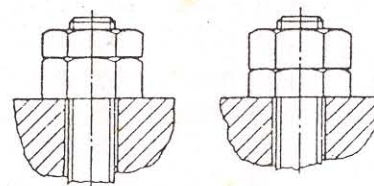
此外，也歡迎工業界，教育界，及其它各界讀者提供各類機構設計或機器設計的小問題，最好是實際遭遇到的小問題。



設計小問題 7

〔解答〕 編輯室

這是一個古老的問題。以前大家以為第二個（即在上方的）螺帽只是為併緊第一個螺帽之用，所以可以做得較薄。事實上，當第二個螺帽轉上去了以後，把主要的負載從第一個螺帽接了過去，減輕了第一個螺帽的負載。因此第一個螺帽應該較薄，第二個螺帽應該較厚才對（如右圖中所示者）。但是一般情形，為了防止裝配工人裝錯起見，乾脆把上下兩個螺帽做成一樣厚，就不會有問題了。如果能注意一下滾珠軸承所用的兩個螺帽都是一樣的，就可知其所以然了。



招請會員

機構與機器設計在機械工程中屬於相當重要的一環，同時也是各種不同類型的工業所不可或缺的一項技術。因為任何構想或理念，若不經過實際的設計，是無法成為具體的產品的。因此機械工業先進的國家對機構與機器原理的研究、發展與應用，都是十分重視的。

國內學術界與工業界對此課題，因著我國工業的蓬勃發展、學術水準的提高，為交換彼此研究心得，並推廣機構與機器原理在國內工業之發展與應用，已經成立了中華民國機構與機器原理學會。

我們歡迎對下列課題有興趣的人士加入我們的行列。

機構運動學	工程製圖
轉子動力學	技術移轉
生物機構學	實驗方法
機器動力學	設計方法
齒輪與傳動	教學方法
電腦輔助設計	
機器防護與可靠度	
氣、液、電機械系統	

我們的通訊地址—107台北市

台北郵箱23-10號

電話—(02)3628320

招請團體會員

依據本學會組織章程第二章第七條

(二) 贊助會員：凡贊同本會宗旨並對本會有實際贊助之個人或團體，由理事長或會員

(上接第三版)

(n-2)個旋轉位移方程式求得唯一解。例如，由圖3所示的Simpson齒輪組旋轉圖畫的四個齒輪邊可得到所對應的旋轉位移方程式如下：

$$\omega_4 - r_{24}\omega_2 + (r_{24} - 1)\omega_1 = 0$$

$$\omega_2 - r_{32}\omega_3 + (r_{32} - 1)\omega_1 = 0$$

$$\omega_3 - r_{53}\omega_5 + (r_{53} - 1)\omega_4 = 0$$

$$\omega_5 - r_{65}\omega_6 + (r_{65} - 1)\omega_4 = 0$$

(2)

給定一行星齒輪系



繪其構造圖畫



繪其旋轉圖畫

(2)式經整理後以矩陣方式表示之為

$$\begin{pmatrix} (r_{24}-1) & -r_{24} & 0 & 1 & 0 & 0 \\ (r_{32}-1) & 1 & -r_{32} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & (r_{53}-1) & -r_{53} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (r_{65}-1) & 1 & -r_{65} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \\ \omega_5 \\ \omega_6 \end{pmatrix} = 0 \quad (3)$$

(3)式之聯立方程組可以 Gauss-Jordan 消去法求解，得到所有連桿的角速度。

基於以上的理論，行星齒輪系的運動分析可以作有系統的進行，其流程如圖 4 所示。讀者可以各教科書中的習題為例，驗證圖論法的實用性。當然也可以圖 4 中之流程發展出分析行星齒輪系運動的程式。

列出旋轉位移方程式

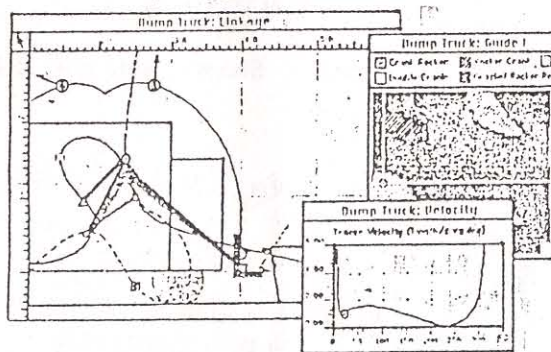
解聯立方程組

圖 4 行星齒輪系之運動分析流程

徵刊廣告

本會刊歡迎各界刊登廣告，收費低廉。凡求才求職，商品服務等類廣告，皆所歡迎。請直接與本刊聯絡。

MACINTOSH LINCAGES-4



Computer Aided Mechanism Design Software

- 1.Linkage Synthesis
- 2.Interactive Graphics
- 3.Animation
- 4.Geometry
- 5.Data Exchange

適用機型：

- 1.Sun
- 2.Apollo
- 3.IBM 486/4
- 4.Silicon Graphics
- 5.Apple Macintosh

臺灣總代理：力激科技有限公司

新竹市 30039 博愛街 80 號

TEL: (035) 719928

FAX: (035) 721050

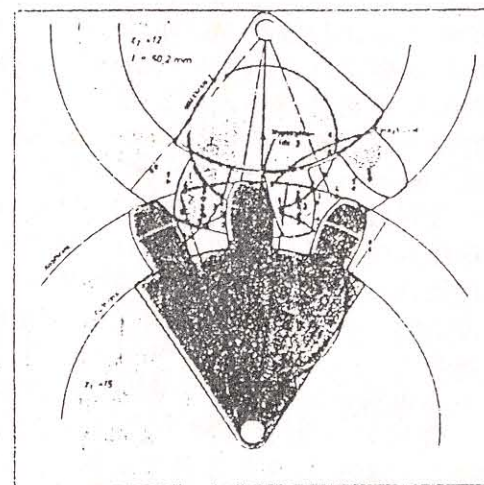
兩人連署，經會員大會通過，得為本會贊助會員。

(五) 團體會員：凡與機構與機器原理有關之團體，經本會普通會員兩人之介紹，及本會理事會通過，得為本會團體會員。

之規定，歡迎各界人士或團體參加本會為贊助或團體會員。意者請直接或經過普通會員與本會聯絡，索取推薦表格。

專營機構及固體力學專業模型：

- ※透明投影機構模型
- ※實物及縮小機構模型
- ※固體力學測量設備
- ※機構分析設備



透明投影機構模型

開富股份有限公司



221 台北縣汐止鎮
福德一路 132 巷 14 號

TEL: (02) 642-0015 (代表)

八德路 (02) 786 7627

在利用 Grashof 判別準則時，會遭遇到一個困難，那就是 $l + s = p + q$ 的話，怎麼辦？在這情形下，四連桿組又有了些什麼變化？當 $l + s = p + q$ 時，我們可以想像到此四連桿組在運動過程中，四根桿會重合在一起，也就是四個樞紐共線。這個狀況稱為變換點 (change point position)。在此時，桿件運動的方向成為一個問題了。

若考慮到桿件的慣性作用，當然我們可以決定他們的方向。但若受到很大的力或力矩，從動桿的運動可能會改變方向。這種狀況有一個特別的名字，叫做分枝情形 "Branching condition"。因為這個四連桿組的運動到了這個位置，有兩個選擇，好像走到了分支路一樣。

最常見的例子就是平行四連桿組。為了防止平行四連組的運動不會轉變成不平行的交叉四連桿組，通常是裝設額外的另一組平行四連桿組，如圖 5，來保證當可能產生分枝情形時，運動會依原來的方向進行而不致轉變成交叉四連桿組。

另外一種防止在變換點改變運動方向的方法是在相對的兩個桿件上增加一個高運動對 (higher pair)，而且僅在變換點的位置發生時，

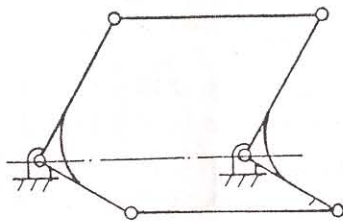


圖 5

平行四連桿組

方才產生作用。藉著這個額外的限制關係可以保證桿件運動的方向。

如圖 6 上，A 銷及 D 凹槽在變換點時相接觸，並且保證桿 a 與桿 b 的相對旋轉運動關係。亦可以如圖 7 上，在耦桿及地桿上來裝設這個額外的高運動對。到變換點時 H 銷與 F 槽相接觸。藉著導引 H 銷的方向，因而確定了整個四連桿組的運動。

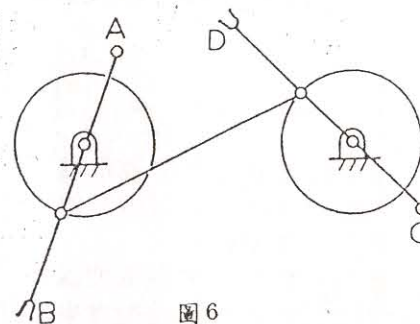


圖 6

高運動對在接地桿上的四連桿組

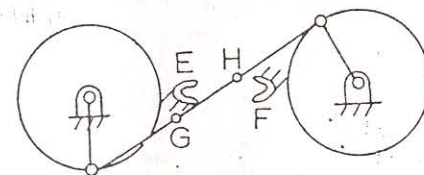
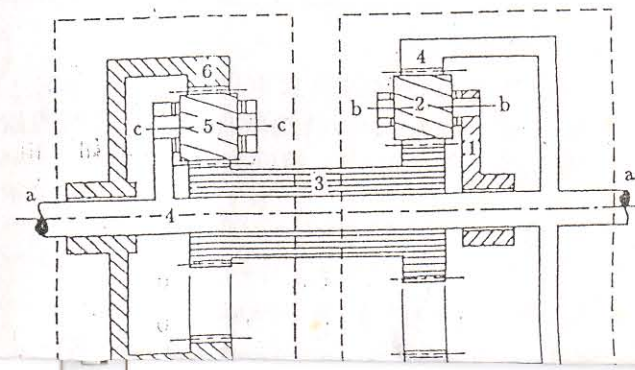


圖 7

高運動對在耦桿及地桿上的四連桿組

行星齒輪系之運動分析： 圖論的應用實例

許正和



輪邊加入該樹狀圖可得到一個迴路，稱為基本迴路 (Fundamental Circuit)，是由一齒輪邊與

行星齒輪系由於其具有高速比及差速傳動的特性，被廣泛應用於各種傳動系統。行星齒輪系的運動分析方法很多，大致可分為四種：1.列表法，2.向量法，3.系值法與4.圖論法。每種方法皆各有其優劣，其中列表法與向量法是傳統常用的方法，但是當元件數量增多時，便顯得相當複雜且易發生錯誤。前三種方法皆可在一般教科書中看到或學到。至於圖論法是較新的一種方法。顧名思義，它是應用圖論(Graph theory)的一種相當成功的實例。圖論法具有簡單且系統化的優點，同時也易於電腦化。但是在機動學的教科書中卻未曾列入，因此藉會刊之一角介紹給國內機構學同好。

二、行星齒輪系之構造表示法

進行機構的構造分析與運動分析時，常需要利用適當的模型或表示法加以輔助。一般最常用的表示法是以簡單的骨架輪廓圖表示機構內機件與機件間相互鄰接的關係，稱之為機構簡圖。例如圖1所示為Simpson齒輪組的機構簡圖，它是一個六桿、四個齒輪對的行星齒輪系，且迴轉軸的位置分別以a-a, b-b與c-c標註之。若將其中一桿固定，可得到一個自由度為1的行星齒輪系，若將整個機構安置於一殼架上自由迴轉，可得到一個自由度為2的差動行星齒輪系。

圖論是近三十年來應用於運動鏈構造分析與合成的一種有力數學工具。1970年，Freudenstein教授首先將圖論應用於表示行星齒輪系的運動構造，並建立了一套相當完整的理論。根據該理論，在一行星齒輪系所對應的圖畫中，將連桿與接頭分別以點(Vertex)與邊(Edge)表示之。為了區分迴轉對與齒輪對兩種不同的運動對，特以粗線邊與細線邊分別表示齒輪對與迴轉對，而形成一個雙色圖畫。

根據Freudenstein教授的研究得知一個n桿、自由度為1的行星齒輪系的圖畫含有n點，n-1個迴轉邊與n-2個齒輪邊。若將所有的齒輪邊移除後，可得到一個樹狀圖(Tree)。任一齒

數個迴轉邊所組成。其中有一點稱為轉換點(Transfer Vertex)。以該轉換點為分界點，同側的迴轉邊有共同的階層(Level)，不同側的迴轉邊有不同的階層，其中階層對應於迴轉軸位置。每一基本迴路有兩個不相同的階層。圖2所示為Simpson齒輪組的圖畫表示法。該圖畫表示齒輪系的拓模構造，故亦稱為構造圖畫，含有六點，五個迴轉邊與四個齒輪邊。迴轉邊1-4, 4-3與4-6皆以a標註，表示連桿1與4，連桿4與3及連桿4與6間的迴轉對之轉軸位置係位於a-a處；同理，迴轉邊1-2與4-5分別以b與c標註，則依轉軸位置位於b-b與c-c處而定，故共有三個不同的階層。在構造圖畫中並未區分內外齒輪之啮合。該圖畫中有四個基本迴路1-2-4-1, 1-2-3-4-1, 4-3-5-4與4-5-6-4，其中點1為基本迴路1-2-4-1與1-2-3-4-1的轉換點，點4為基本迴路4-3-5-4與4-5-6-4的轉換點。

三、旋轉圖畫與旋轉位移方程式

一個行星齒輪系的旋轉圖畫定義為：移除構造圖畫的所有迴轉邊與轉換點，且在每一齒輪邊標註所匹配的轉換點號碼而得到的圖畫。例如圖3所示為圖1之Simpson齒輪組的旋轉圖畫。由旋轉圖畫中可以很容易的看出，連桿4以齒輪對與連桿2相鄰接，連桿2與連桿3，連桿3與連桿5，及連桿5與連桿6皆以齒輪對相鄰接。由於齒輪邊4-2與2-3標註"1"及齒輪邊3-5與5-6標註"4"，故得知連桿(1,2與4)構成一基本行星齒輪系，其中連桿1為所匹配的行星臂。同理，連桿(1,2與3)，(4,3與5)及(4,5與6)構成另外三個基本行星齒輪系，並分別以連桿1,4及4為其所匹配的行星臂。

旋轉圖畫可供推導行星齒輪系之旋轉位移方程式。在一旋轉圖畫中，令點i與j為一齒輪邊的兩鄰接點，且點k為其匹配的轉換點，並設 ω_i, ω_j 與 ω_k 分別為連桿ij與k的角速度，且 r_{ji} 為齒輪j與i的齒數比， $r_{ji} = \pm t_j/t_i$ ，其中 t_j 與 t_i 分別為齒輪j與i的齒數， r_{ji} 之正負依其為內齒輪或外齒輪啮合而定。則在此基本行星齒輪

第一單元

第二單元

圖1 Simpson齒輪組之機構簡圖

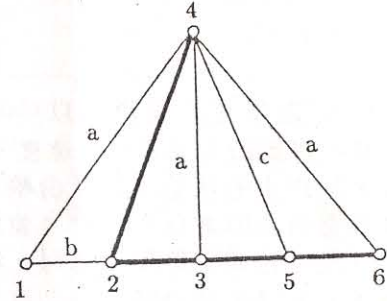


圖2 Simpson齒輪組之構造圖畫

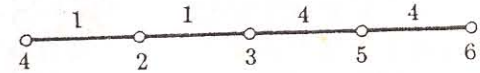


圖3 Simpson齒輪組之旋轉圖畫

系內， ω_i, ω_j 與 ω_k 之間有下式之關係。

$$\omega_i - r_{ji}\omega_j + (r_{ji} - 1)\omega_k = 0 \quad (1)$$

對n桿、自由度為1的行星齒輪系有n-2個齒輪對，可得到(n-2)個旋轉位移方程式。因在行星齒輪系中，有一固定桿為機架，另一桿為輸入桿，其餘(n-2)桿的角速度為未知，故可由

(下轉第四版)