工具機簡單凸輪設計

工具機手册　第四十二册

金屬工業發展中心　編譯

工具機簡單凸輪設計

工具機手册　　第四十二册

任　毓　鍾　譯述

中華民國七十年元月出版

工具機手冊之（四十二）

工具機簡單凸輪設計

編譯者　金屬工業發展中心
發行者　經濟部國際貿易局
印　刷　富進印書有限公司

前　　言

我國工具機製造，近年來各機種不論在產量和品質上，都有長足的進步，與國外名廠產品，已可媲美，且已大量出口。經濟部國際貿易局鑑於唯有改進產品品質，始可保持已有的市場和進一步拓展外銷，乃于民國六十七年十二月委託本中心編撰工具機手冊約四十冊，內容包括切削加工工具機的製造技術、冲壓模具、塑膠模具、壓鑄技術、鑄造技術、熱處理、表面處理、控制系統等，提供有關本業工廠技術員工參考，希冀由本手冊的刊行，能解答工廠中一部份所遭遇的問題，本手冊前四十冊已於六十九年九月全部刊行，就正我工業界；復承國貿局支持本中心續編第四十一至六十冊二十本，主要在將工具機製造公差，工程量測，金屬片冲壓項目等暨工具機生產技術，例如精密工具機中心與國外技術合作旋臂鑽床之製造範例，一併編印出版以饗讀者。至於編撰印行，因時間倉促，容有不週，至祈不吝指示！

序　　言

設計良好的凸輪可區分為兩大類：——

1.依照加速條件而設計者：

(a)等加速度。

(b)連續簡諧運動。

2.簡單凸輪，其輪廓僅為圓弧，或由圓弧及直線所組成。

此外就是些使用眞正數學曲線之凸輪，如橢圓弧形，拋物線弧形，漸開線弧形，以及其他。

第(1)類凸輪有完美的運動，惟繪圖困難，要機械加工出設計要求的輪廓則更為困難。

本書僅詳細討論第(2)類凸輪，指示如何精確計算其速度，及其更重要的加速度。並進一步指出簡單凸輪之運動作，是眞實的介於(1)類兩理想凸輪(a)，(b)之間。

儘管第(1)類凸輪是十全十美的，作者之目的在鼓勵設計人員儘可能使用並更加喜愛此簡單凸輪。

當然，設計人員對於其製出之凸輪加諸其從動件之加速運動，若不加以考慮，那是不可寬恕的。因為凸輪所受之力，及其被視為一種機器效率的，均須依靠其加速度來決定。設計人員對於一種簡單凸輪在運動情況下其加速度受到限制，原可以計算出來作為設計時修正之用者，應切實加以考慮。

除設計問題之外，作者建議了很多的凸輪處理方法，期能提起工程師及學習人員之興趣。作者也談到把簡單凸輪簡化成四連桿機構，以及用瞬時轉動中心方法求其速度及加速度之構想。

目　　錄

頁次

第　一　章

凸輪爲一機構……1

第　二　章

簡單凸輪之位移……5

第　三　章

標誌A型凸輪：圓弧輪廓，直線從動件與平面接觸……9

第　四　章

標誌B型及C型凸輪：圓弧輪廓，直線從動件與滾子接觸……13

第　五　章

標誌D型及E型凸輪：直線與圓弧輪廓，直線從動件與滾子接觸…19

第　六　章

標誌F型凸輪：圓弧輪廓，角從動件（Angular follower）與滾子接觸……22

第　七　章

標誌G型凸輪：直線與圓弧輪廓，角從動件與滾子接觸……27

第　八　章

標誌H型凸輪：圓弧輪廓，角從動件與平面接觸……30

第　九　章

從動件彈簧……34

第　十　章

凸輪如同爲一機器……40

第　十　一　章

與「理想」凸輪之比較……48

附　　錄

工具機簡單凸輪設計

第　一　章

凸輪爲一機構

「簡單」凸輪之輪廓僅爲圓弧形，或是由圓弧和直線所組成。其名稱作爲繪圖表示及便利製造者，並與其運動之分析無關。

分析機構複雜運動一般的方法是：

（i）尋求位移與轉動角之間數學關係。利用微分得到速度公式，最後利用二次微分得到加速度公式，這運動因此可完全分析。或者，

(ii) 繪出位移對轉動角之曲線，先用被認可的圖解方法（近似微分）得到一粗略速度曲線，再用同樣程序求得更近似的加速度曲線。

顯然若是第（i）種方法能順利應用時，第 (ii) 種方法就永不運用。

但是第（i）種方法應用起來，非常不便，就是在簡單之四連桿機構上亦復如此，並且通常只限於應用在往復式引擎機構上。卽使在這種情況，其加速度公式亦已够複雜。

對於四連桿機構由旋轉或由滑動偶件所組成之低對機構（Lower pairing ）有兩種另外之圖解分析方法；但就分析觀點而言已很精確。當圖解方法很完善時則圖解法與數學法所得之結果，只是解答上有效數字上之差異而已。此種圖解法不可與前述之第 (ii) 類繪圖法相比擬。

低對機構所用之特殊方法是：——

(iii) 機器理論敎材中所强調之速度與加速度圖解法；

(iv) 瞬時轉動中心法。

簡單凸輪爲一種機構

所幸每種型式之簡單凸輪與各種型式從動件組合所形成之裝置，

正確的相當於各別某一型式之四連桿機構；因有特殊分析方法可資利用，選用（iv）種方法作爲每類凸輪的範例，並改訂有關瞬時轉動中心之見解，對於某些四連桿機構一般注意事項，因此先予簡述。

四 連 桿 機 構

四連桿機構中每一另件與其相鄰另件用一銷子相聯結成爲一旋轉對，或者用一直線滑動件組成一滑動對（滑塊在導軌內）。

每一四連桿機構包括有：

(a)一固定連桿

(b)二側連桿

(c)一連接連桿

二側連桿有簡單之直線或旋轉運動，所以連接連桿之兩端亦作簡單之直線或旋轉運動，但就連接連桿整體來看，其運動型態則甚爲複雜。但是因爲其兩端之運動，則在空間裡可以找到一點，連桿整體可以視爲在那一瞬間繞此點而旋轉，此點卽稱爲瞬時轉動中心。

瞬時轉動中心

求瞬時轉動中心之方法可歸納數幾種簡單法則如下：——

瞬時轉動中心爲兩條線之交點，此兩條線之位置由兩側連桿之形狀而決定。

（i）若側連桿與固定連桿及連接連桿是用轉點（銷子）相連接，則前述之線通過二轉點。

（ii） 若側連桿一端與固定連桿或連接連桿是用一個轉點相連，其餘一端是用滑件相連 ， 則前述之線通過轉點而與滑件中心線成直角。

平常是某一個側連桿之速度及加速度爲已知，去求另一側連桿之速度及加速度。連接連桿繞瞬時中心轉動之角速度量值及方向是由基本側連桿及連接連桿一共有點之直線速度來決定。由此角速度求出連接連桿及第二側連桿共有點之直線速度，由以可進一步求得第二側連桿之速度資料。

在圖解結構上第二側連桿之速度用一直線之長度作代表，其加速度則爲此一直線長度之變化率。因爲在結構上直線一端爲固定點，則此線他端之變化速度卽爲加速度，在圖解結構上一簡單之線，卽可表示加速度之量值及其方向。

此卽爲完全分析簡單凸輪所採用方法之概述。全部以瞬時轉動中心爲基礎，其不同於第（iii）種速度與加速度圖解法者，就是較爲便利，它只須使用特定之比例尺用在凸輪圖上卽可完成全部工作，而不須另行繪製一圖解。

簡單凸輪與從動件組合

簡單凸輪有兩種形式：——

（i）輪廓僅爲圓弧形；

（ii）輪廓爲圓弧與直線組成。

從動件種類分爲：——

(a)直線與平面接觸。

(b)直線與滾子接觸。

(c)角與平面接觸。

(d)角與滾子接觸。

滾子接觸亦包括從動件接觸端爲圓形者。可參閱比較第 4 及第 5 兩圖。

在決定凸輪輪廓與從動件組合時，必須注意到凸輪輪廓爲直線時不可與有平面接觸之從動件組合，因如此其加速度成爲不定値。

凸輪與從動件可能之組合列表如下，參閱以下有關各圖，又每種組合冠一字母之標誌，俾便以後討論。

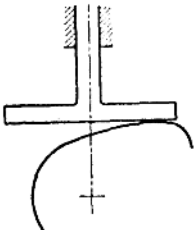
以後各章將用圖解方法詳加分析各種標誌組合從動件之速度及加速度，包含以下各種情形：——

（i）在升程開始時；

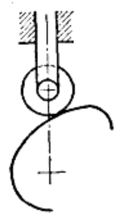
（ii）在運動中沿輪廓任何一點；

（iii）在輪廓形狀開始改變處；

（iv）在升程最高點。

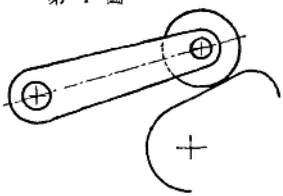


第 1 圖

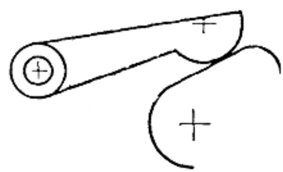


第 2 圖

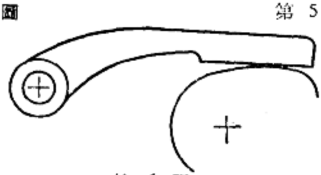
第 3 圖



第 4 圖



第 5 圖



第 6 圖

標誌	圖號	凸輪輪廓	從動件運動	接觸型式	直線從動件中心與凸輪中心
A	1	圓弧	直線	平面	——
B	2	圓弧	直線	滾子	同心
C	3	圓弧	直線	滾子	偏心
D	同2	直線與圓弧	直線	滾子	同心
E	同3	直線與圓弧	直線	滾子	偏心
F	同4,5	圓弧	角	滾子	——
G	4,5	直線與圓弧	角	滾子	——
H	6	圓弧	角	平面	——

第　二　章

簡單凸輪之位移

在開始分析各特種速度及加速情況以前，關於位移之討論是屬必要的。

如在第一章所述，一般之分析方法包含成立一位移與凸輪轉動角度關係之方程式。在各種情形下，這將是一個三角方程式，爲計算在任何凸輪轉動角度位移的最精確方法。

精確之位移或升程情形並非時常需要，但最大位移則極爲重要。圖解法可用以尋求速度及加速度，建議亦利用此法以求出從動件之位移。

位移分析原則

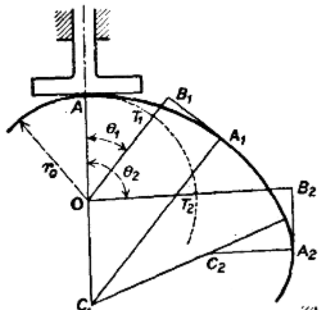
爲方便計，可以設想凸輪爲靜止而從動件沿凸輪輪廓旋轉。如此即可將圖解沿凸輪輪廓展開，而不必集中在原先選擇之單一升程線上。不必分析凸輪上之每一點，且只用兩種簡單輪廓中一種來做代表即可。

標誌A型：直線從動件與幣面接觸如第7圖：——

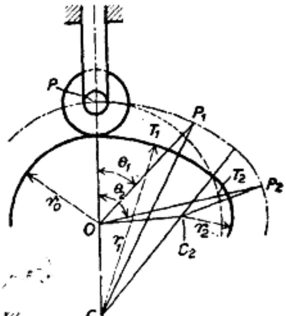
用凸輪最小半徑作點線圓，由其量測升程。O爲轉動中心，C_1及C_2爲圓弧形輪廓之中心。當凸輪以逆時針向轉動θ_1度時，從動件在A_1點接觸，其位移或升程爲T_1B_1，C_1A_1垂直於A_1B_1，OB_1則與C_1A_1平行。同樣當凸輪轉動θ_2時，升程爲T_2B_2，OB_2則與C_2A_2平行。轉動角θ_1及θ_2從升程爲零，即從凸輪輪廓半徑爲r_1之起始點量起。

標誌B型：直線從動件與滾子接觸，同心排列如第8圖：——

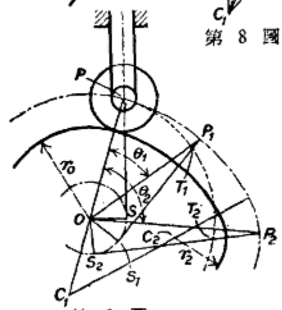
滾子中心繞凸輪輪廓所行路線以點鏈線表示，滾子中心最小路線爲點線。從升程爲零處量起之任何轉角θ_1時之升程爲T_1P_1，同樣當轉角爲θ_2時，其升程爲T_2P_2。



第 7 圖



第 8 圖



第 9 圖

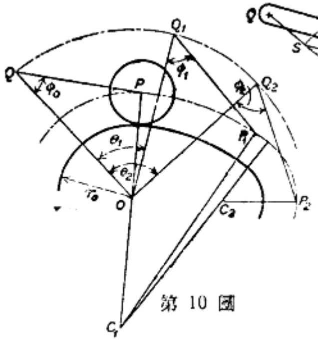
標誌C型：直線從動件與滾子接觸，偏心排列如第9圖：——

此處滾子中心繞凸輪輪廓所行路線亦繪成點鏈線，滾子中心最小路線繪成點線。偏心度 OS 即從動件中心線到凸輪轉動中心之距離，以 OS 爲半徑所繪之圓亦用點鏈線表示之。升程線必須與此圓相切。如是當由升程爲零起始轉動 θ_1 度時，滾子中心在 P_1，升程爲 T_1P_1，S_1P_1 與偏心圓相切，亦即 P_1S_1O 角爲90度。同樣當轉角爲 θ_2 時，升程則爲 T_2P_2。

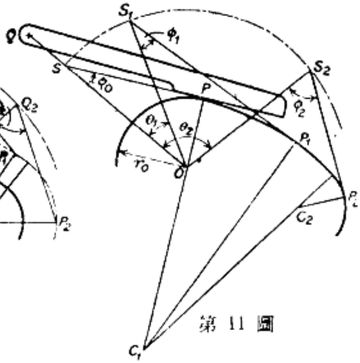
標誌D型：角從動件與滾子接觸如第10圖：——

滾子中心繞凸輪輪廓所行路線繪成點鏈線，角從動件槓桿支點Q繞轉動中心O點轉動，所行路線繪成外面點鏈線圓。 ψ_0 表示當升程

爲零時 OQ與QP 所形成角度。從升程爲零處轉動 θ_1度時，用從動件槓桿長度繪出 P_1點，其所形成角度加大到 ψ_1，則角升程爲 $\psi_1-\psi_0$ 同樣當轉角爲 θ_2時，角升程則爲 $\psi_2-\psi_0$。



第 10 圖



第 11 圖

標誌E型：角從件與平面接觸如第11圖：——

從動件平面與 OQ（或其延長線）相交於S， S繞轉動中心O點轉動得點鏈線圓。在無升程位置時 OS與SP 所形成之基本角爲 ψ_0，轉動 θ_1角後，S 點移動至 S_1點，由 S_1點繪一與凸輪輪廓相切之線得新接觸點 P_1，即$C_1P_1S_1$角爲90度。OS_1與S_1P_1 所成之角度則爲 ψ_1，其角之升程爲 $\psi_1-\psi_0$ 。 同樣當轉角爲 θ_2時， 角升程則爲 $\psi_2-\psi_0$。

角 從 動 件

從前節可以看出角從動件之升程是由從動件槓桿轉動之角度來衡量。以下各分析中從動件之速度及加速度則各爲角速度， 弳/秒 ，及角加加速度，弳/秒^2。嗣後當機構將轉動變成爲直線運動時，亦以分析直線運動則較爲容易。

升程讀值之擴大

當某升程中途之値須精確量出時，建議可用放大比例尺繪製凸輪

圖，可作爲求速度及加速度之用。實則大部份凸輪皆可繪於圖紙中央，因加速度線比速度線爲長。圖須細心繪製，否則所得結果爲不可靠。在正常繪圖上兩位有效數字應可信任，在工程計算上已足够正確。

標 準 標 記

在各分析中將使用下列字母及符號：一

O ＝凸輪轉動中心。

γ_0 ＝凸輪中心在O點時之最小半徑。

C_1, C_2 ＝組成凸輪輪廓圓弧之中心。

γ_1, γ_2 ＝前述圓弧之半徑。

A ＝凸輪與平面從動件之接觸點。

P ＝滾子中心。

Q ＝角從動件之槓桿支點。

Ω ＝凸輪之等角速度。

v ＝直線從動件之直線速度。

a ＝直線從動件之直線加速度。

w ＝角從動件之角速度。

α ＝角從動件之角加速度。

I ＝瞬時轉動中心。

OM ＝從動件之速度向量。

NO ＝從動件之加速度向量。

w' ＝四連桿機構中連接連桿之瞬時角速度。

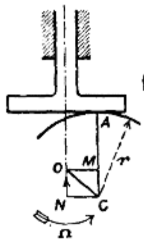
一切單位假定爲呎（0.3048米），秒，及蹘。

第　三　章

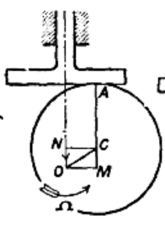
標誌A型凸輪：圓弧輪廓，直線從動件與平面接觸。

此乃僅有之一種，可不須尋找類似低對機構之凸輪。其類似機構爲反轉之雙滑件曲柄回轉機構（蒸氣驅動之副泵）。顯然在第12圖上C以等速度Ω繞O點轉動，從動件之運動與接觸點A之運動完全一致，CA 爲一固定長度。於是A作垂直運動，與C點在垂直線上投影點（N）之運動完全一樣，稱之爲簡諧運動。

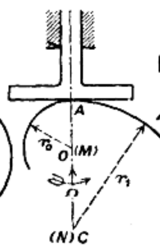
從動件之速度爲 $v = \Omega . OM$，從動件之加速度爲 $a = \Omega^2 . \overrightarrow{NO}$，其方向卽爲由N至O之方向表示。在第12圖上所示從動件爲向上的加速度。在作各種加速度分析時須注意者爲：轉動方向及從動件速度方向對於從動件之加速度方向並無影響，惟當速度與加速度方向相同時則從動件受到加速，又當其方向相反時則從動件受到減速。



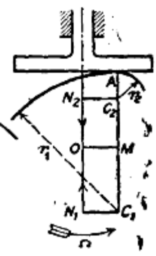
第 12 圖



第 13 圖



第 14 圖



第 15 圖

第13圖爲一整圓之凸輪，在此從動件有完全簡諧運動，當然其在無升程及全升程處並無停滯時間。

從動件最大速度 $= \Omega . OC$。

從動件在升程起始及最高點時之加速度 $= \Omega^2 . OC$，其方向則用C之投影點N向中心點O之方向表示之如 $\overrightarrow{NO}$。

在凸輪輪廓爲幾段圓弧所組成時，除其圓心在O處之圓弧外，其

他各圓弧則各供給一部份之簡諧運動。

升程開始時之加速度：（第14圖）

AOC各點在同一直線上，M點在O處，OM＝O，N點在C處，

從動件加速度：$a=\Omega^2.\overrightarrow{NO}=\Omega^2.\overrightarrow{CO}$

圓弧改變時之加速度：（第15圖）

C_1C_2A各點在同一直線上，

從動件速度 $v=\Omega.OM$，

從圖上可得兩加速點，N_1是第一段圓弧加速點，N_2是第二段圓弧加速點；所以在圓弧改變之前從動件加速度 爲$\Omega^2.\overrightarrow{N_1O}$，向上。在圓弧改變之後從動件加速度爲：$\Omega^2.\overrightarrow{N_2O}$，向下。

加速度總變化爲：$\Omega^2N_1N_2$。

在全升程時之加速度：

無圖，但可利用第15圖。OC_2A將在一直線上，N在C_2處。

從動件加速度＝$\Omega^2.\overrightarrow{C_2O}$，向下。

最大加速度：

此點將在升程起始或完畢之處。

最大速度：

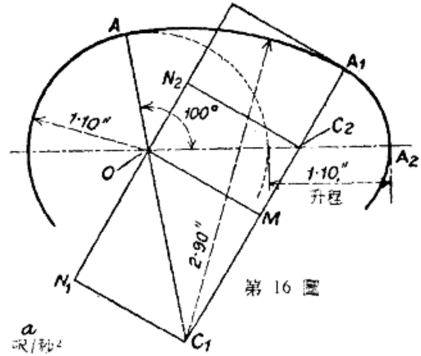
此點將在加速度停止時亦即圓弧改變時發生。

速度及加速度曲線

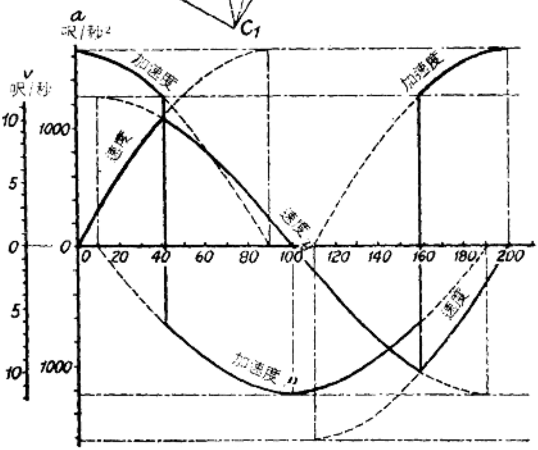
第16圖示半升程角爲 100度之凸輪。其設計係在轉動41度時曲率改變。在升程開始時（接觸點在A）之加速度 $a=\Omega^2\bullet\overrightarrow{C_1O}$。在弧度改變時之加速度爲從 $\Omega^2\bullet\overrightarrow{N_1O}$向外，改變爲$\Omega^2\bullet\overrightarrow{N_2O}$ 向內，在最高升程時 $a=\Omega_2\bullet C_2O$。

這些數值繪成第17圖，數值之間用餘弦曲線連接。

在弧形改變處之速度 $v=\Omega\bullet OM$ 且爲最大數值。此點之值與起



第 16 圖



第 17 圖

始時之零點及升程末端之值用正弦曲線連接。

繪製 OM及ON 值之曲線比繪製由計算所得 v 及 a 值之曲線則較爲方便。一已知尺寸之凸輪用一已知Ω速度轉動，速度（呎/秒）及加速度（呎/秒²）可依比例尺加在凸輪圖解上。在圖解上顯示出，繪製向量線較諸繪製計算所得之速度及加速度而言，實質上對繪正弦及餘弦曲線爲有益之導引。圖上之點線即爲完成此種曲線正確形狀時所