

凸轮的画法

中国科学院
电子学研究所



內容提要 本書從凸輪各部名稱和從動部的運動談起，接着有系統地敘述了圓盤、圓柱、圓錐、滑板等凸輪的画法，特別是把應用最廣的圓盤凸輪講得比較詳細。球形凸輪因為用得很少，所以沒有談它。

本書可供五、六級機工同志作為學習材料。讀本書以前，希望讀者能先看「凸輪的種類和應用」這本機械工人活葉學習材料，以便對各種凸輪的工作特點先有一個全面的認識。

編著者：霍先知

NO.0942

1955年11

1958年10月第一版第五次印刷

787×1092

千字 印張1 1/4 18,101—35,400冊

機械工業出版社（北京東交民巷27號）出版

北京五三六工廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業
許可証出字第008號

統一書號 T 15033·81

定價（9）0.14元

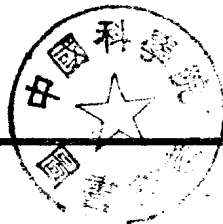
(45) 162 1 次

机械工人活叶学习材料

电子学研五所
240

凸輪的画法

潘先知編著



机械工业出版社

3303932

机械工人活叶学习材料

凸輪的画法

潘先知編著



机械工业出版社

DL45107

一 凸輪各部分名稱和作用

圖 1 是一個用滾子接觸的圓盤凸輪，現在把它各部分的名稱和作用說明在下面：

1 工作輪廓曲線 圖中用實線所表示的輪廓形狀叫做工作輪廓曲線，也叫做工作面。工作輪廓曲線根據凸輪同從動部接觸方式的不同，而得出各式各樣的曲線。凸輪同從動部接觸的方式有：尖端接觸、滾子接觸和平面接觸三種(圖 2)。

2 理論輪廓曲線 圖中用虛線所表示的輪廓曲線叫做理論輪廓曲線，

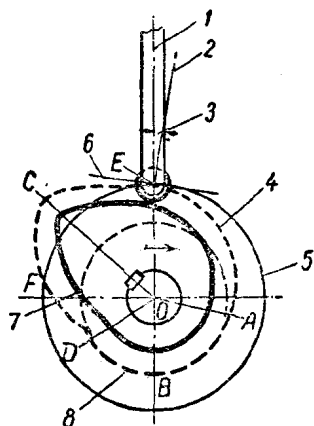
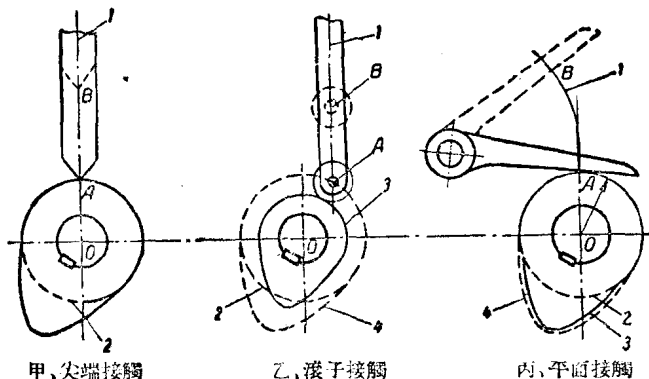


圖 1 凸輪各部分名稱：

1—運動路線；2—法線；3—最大壓力角；4—理論輪廓曲線；5—節圓；6—切線；7—工作輪廓曲線；8—基圓。



甲、尖端接觸

乙、滾子接觸

丙、平面接觸

圖 2 凸輪同從動部接觸的方式：

1—運動路線；2—基圓；3—工作輪廓曲線；4—理論輪廓曲線。

它假定從動部同凸輪是以尖端接觸方式，根據從動部所要求的運動條件畫出來的。曲線 AEC 能推動從動部按一定運動上升的一部分曲線，它叫做推出曲線； CFD 能使從動部按一定運動下降的一部分曲線，它叫做縮回曲線。靜止弧 ABD 是能使從動部靜止不動的一段圓弧。圖上的理論輪廓曲線就是由推出動作曲線 AEC 和縮回動作曲線 CFD 兩條動作曲線和 ABD 靜止弧共同組成的。一個凸輪祇少要有一條推出動作曲線和一條縮回動作曲線。

3 動作角和動程 使從動部產生每一動作凸輪所轉過的角度 AOC 角和 COD 角叫做動作角； AOC 角又叫做推出角， COD 角又叫做縮回角， AOD 角是靜止弧 ABD 的動作角，又叫做靜止角。凸輪使從動部產生每一動作所移動的距離叫做動程。作推出動作的動程我們又叫做推程，作縮回動作的動程我們又叫做回程。動程往往等於各動作曲線兩端半徑長度的差，如圖中推出動作曲線 AEC 兩端 C 和 A 點的半徑線 OC 和 OA 長度的差，就是這一動作的推程。靜止弧 ABD 因 $OA - OD = 0$ ，所以動程等於零。

4 基圓 以凸輪軸心 O 為圓心， O 點到理論輪廓曲線上距離最近的一點為半徑所畫的圓叫做基圓。基圓愈大，畫出的凸輪也愈大；基圓愈小，畫出的凸輪也愈小。

5 節圓 節圓是以凸輪軸心 O 為圓心的一個圓圈，它的半徑等於 O 點到理論輪廓曲線上壓力角最大一點的距離，如圖中的 E 點和 F 點。所以節圓圓周和理論輪廓曲線的交點，就是這個凸輪最大壓力角所在的地方。

6 壓力角 壓力角是理論輪廓曲線上一點和從動部相接觸的時候，這點的法線[⊙]和從動部運動路線所成夾角叫壓力角。理論輪廓曲線上各點的壓力角是不同的，最大壓力角在節圓和理論輪

⊙ 法線是這點在理論輪廓曲線上切線的垂直線。

廓曲線的交點上。壓力角愈大，基圓和節圓半徑就愈小，壓力角愈小，基圓和節圓半徑就愈大。凸輪最大壓力角一般最好是用 30° ，應用圖 3 乙所示的從動桿運動路線偏位的凸輪也能使最大壓力角較小。

根據上面所講的有關凸輪各主要部分的名稱和作用，我們就可以知道凸輪的工作輪廓曲線是要由下面幾個條件來決定的，就是：

從動部的運動條件——包括動作角、動程、從動部在運動過程中的運動性質等；

凸輪本身運動條件——凸輪的最大壓力角，凸輪本身的運動方式如等速連續旋轉或擺動或往復滑行運動等；

從動部和凸輪接觸方式——如尖端、滾子或平面接觸方式等。

二 從動部運動的性質

凸輪傳給從動部的運動，普通常用的有下面三種：

1 等速運動 從動部在作運動的時候，它在同大單位時間內移動的距離是相等的一種運動，叫做等速運動。比如從動部在六個單位時間內依等速運動移動 AB 一段距離，那末，只要把 AB 等分成六段（圖 3），使 $A1=12=23=34=45=5B$ ，每段長度就是每單位時間內從動部所走過的距離。在凸輪作等速連續迴轉運動或擺動的時候，它轉過一個同大的角度所需的時間是相等的，因此我們可以用凸輪轉過同大的角度來表示單位時間。比如當凸輪轉過 180° 的時候，從動部按等速運動移動 AB 一段距離，如果把 AB 分為相等的六段，每

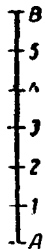


圖 3 等速度運動距離劃分圖。

一段長度就依次代表了凸輪轉過每一等分角 30° 時從動部所移動的距離。

2 等加和等減速度運動 從動部在作等加和等減速度運動的時候，在同大單位時間內，也就是在作等速旋轉或擺動的凸輪轉過同大角度的時間內，它所移動的前半段距離是按等加速度比例增加的性質而移動的，後半段距離是按等減速度比例減低的性質而移動的一種運動，前一種叫等加速度運動，後一種叫做等減速度運動。比如在凸輪轉過 120° 的時間內，從動部按等加和等減速度移動 AB 一段距離，如果把 120° 分爲 6 個等分角，每個等分角 20° 是代表一個單位時間。在凸輪轉過前三個等分角的時間內，從動部依着 $1:3:5$ 的等加速度運動性質的比例而移動，即 $A1:12:23 = 1:3:5$ ；以後凸輪繼續轉過剩下的三個等分角時，從動部依次移動過 $34, 45, 5B$ 三段距離，而 $34:45:5B = 5:3:1$ ，其他可以類推。從動部

作這種運動時 AB 的劃分方法如下(圖 4)：

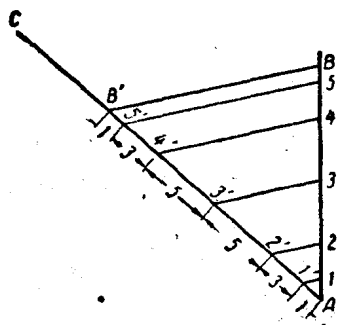


圖 4 等加和等減速度運動距離畫法圖。

通過 A 點畫一任意斜線 AC ，從 A 點以任意長度爲單位，在 AC 線上等分許多段，如果把 AB 劃分爲六段的話，就從在斜線上依着 $1:3:5:5:3:1$ 的比例畫出六段，得出 $1', 2', 3', 4', 5', B'$ 各點，連接 BB' ，然後從 $1', 2', 3', 4', 5'$ 各點畫 BB' 的平行線同 AB 相交於 $1, 2, 3, 4, 5$ 各點。這樣就把 AB 按着 $1:3:5:5:3:1$ 的比例劃出來了。作圖時有一點必須注意的，就是 AB 必須劃分成雙數的段數，如 $4, 6, 8, 10, \dots$ 等段數。

3 單弦運動 凡是在作等速圓周運動的一點投影在直徑上的運動叫做單弦運動。從動部作單弦運動的時候，在各單位時間內，也就是作等速旋轉或擺動的凸輪轉過各個同大角度的時間內，它所移動的距離是按圖 5 的方法來劃分的。

比如凸輪轉過六個同大的等分角，從動部按單弦移動 AB 一段距離，那末，只要以 AB 為直徑畫半圓，把半圓分為六等分，從各等分點 $1'$ 、 $2'$ 、 $3'$ 、 $4'$ 、 $5'$ 垂直作 AB 線上的投影線，得出 1、2、3、4、5 各點，這樣就把 AB 分成了 A_1 、 1_2 …… $5B$ 等六段，這六段長度就是在凸輪依次轉過六個等分角時從動部按單弦運動依次所移動的距離。

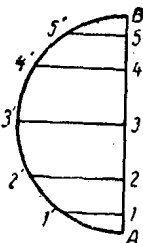


圖 5 單弦運動距離劃分圖。

如果凸輪轉過 5 個等分角，從動部按單弦運動移動 AB 一段距離，那末我們只要把半圓周分成 5 等分再從等分點投影到直徑 AB 線上，就能把 AB 分成 5 段，其他可以類推。

凸輪傳給從動部的這三種運動，各有用處。低速旋轉的凸輪，從動部可以採取等速運動，因為從動部作等速度運動移動所劃出來的凸輪輪廓形狀，可以用普通的萬能銑床銑出，加工比較容易。但是在整個移動過程中，速度是不變的，所以在移動開始和移動快停止的時候，移動的速度不是緩緩增加和緩緩減低的，而是突然增加和突然減低的，這樣，如果凸輪的轉數很高，從動部就會有震壞的情況發生，因此在高速旋轉下的凸輪，它的從動部應該用等加和等減速度運動或單弦運動，因為在這兩種運動中，從動部在移動開始和移動停止時的運動速度是慢慢增加和慢慢降低的。這樣，就可以避免了從動部在停止和開始移動時的突然劇烈震動現象，不過從動部採用這兩種運動所畫出的凸輪輪廓形狀的加工是比較困難的，須要用特殊的靠模來銑製。

三 畫圓盤凸輪的步驟和原理

圓盤凸輪是在一塊平板面作出凸輪工作輪廓曲線來，它本身是作等速連續旋轉或擺動的一種凸輪。我們在畫圓盤凸輪時，大體上可以分成下面三個主要步驟來進行：

1. 畫出基圓；
2. 畫出凸輪理論輪廓曲線；
3. 畫出凸輪工作輪廓曲線。

這三個主要步驟的畫法現在分別說明在下面：

1 基圓的畫法

如果已經知道了基圓的半徑，只要以凸輪軸心為圓心，已知基圓半徑長度作半徑畫一圓圈就行了。但是在好多情況下，基圓半徑的尺寸是不知道的，這時要畫基圓就比較麻煩。它可以分成下面兩種情形來談：

第一種情形是當已知凸輪軸心以及從動部運動路線最低點的時候，這時只要以凸輪軸心 O 為圓心，凸輪軸心到從動部運動路線 AB 最低點的距離 A 作半徑畫出來的圓，就是基圓（圖2），也就是說，以 O 為圓心， OA 為半徑所作的圓就是基圓。另外還有一點要注意的，就是如果從動部用尖端同凸輪相接觸（如圖2甲）， A 點就應該是從動部的尖端；如果從動部用滾子同凸輪接觸， A 點就應該是滾子的中心（如圖2乙）；如果從動部用平面和凸輪接觸（如圖2丙），那末 A 點就應該是由 O 點畫和從動部平面底面線相垂直的直線和平面底線上相交的一點。

第二種情形是當凸輪軸心或從動部運動路線最低點沒有規定的時候，這時基圓尺寸的大小是可以隨意選定的。在這種情況下，我們可用下面公式來計算基圓半徑尺寸：

在從動部作等速運動時：

$$r = R = 57.3 \frac{hf}{b} \quad (1)$$

在從動部作等加和等減速度運動或單弦運動時：

$$R = 57.3 \frac{hf}{b} - \frac{h}{2} \quad (2)$$

$$r = 57.3 \frac{hf}{b} \quad (3)$$

(1)、(2)和(3)三式中各字母代表如下：

r = 節圓半徑；

R = 基圓半徑；

b = 凸輪動作角的度數；

h = 凸輪轉過動作角 b 時從動部所移動距離，也就是從動部的動程；

f = 凸輪壓力角常數見表 1。

表1 凸輪壓力角常數表

從動部的運動	凸輪的壓力角及常數 f				
	20 度	30 度	40 度	50 度	60 度
等速運動	2.75	1.73	1.19	0.85	0.53
單弦運動	4.32	2.72	1.87	1.32	0.91
等加和等減速度運動	5.50	3.46	2.38	1.68	1.15

如果凸輪最大壓力角沒有特別規定的時候，我們常常選用最大壓力角為 30° 來計算基圓半徑 因為由這樣計算出來的基圓尺寸，不大也不小最為適合。

另外因為在一個凸輪裏，往往會有幾條動作曲線，所以也就有幾個動作角。每一條動作曲線都能用公式(1)或公式(2)算出基圓的尺寸，但是一個凸輪只能有一個基圓，在這個時候，最好選用

計算出來最大的一個基圓尺寸。

例如有一個凸輪，它轉過 60 度時能使從動部按等速運動上升 100 公厘，再繼續轉過 120° 時能使從動部按單弦運動下降 100 公厘，在凸輪轉過以後的 180° 時間內從動部停止不動，凸輪最大壓力角不得超過 30°，現在要決定這個凸輪的基圓尺寸。

在這個題目裏，凸輪有兩條動作曲線，第一條動作曲線的動作角 $\delta_1 = 60^\circ$ ， $h_1 = 100$ 公厘，因為凸輪使從動部作等速度運動，所以應該用公式 (1) 來計算，再由表 1 中查得最大壓力角是 30 度，從動部作等速運動時的壓力角常數 $f_1 = 1.73$ ，因此由公式 (1)

$$\begin{aligned} \text{基圓半徑 } R_1 &= 57.3 \frac{hf}{\delta} \\ &= 57.3 \frac{100 \times 1.73}{60} = 165 \text{ 公厘。} \end{aligned}$$

第二條動作曲線的動作角 $\delta_2 = 120^\circ$ ， $h_2 = 100$ 公厘，因為凸輪能使從動部作單弦運動，所以應該用公式 (2) 來計算，再由表中查得最大壓力角是 30 度，從動部作單弦運動時，壓力角常數 $f_2 = 2.72$ ，因此由公式 (2)

$$\begin{aligned} \text{基圓半徑 } R_2 &= 57.3 \frac{hf}{\delta} - \frac{h}{2} \\ &= 57.3 \frac{100 \times 2.72}{120} - \frac{100}{2} = 80 \text{ 公厘。} \end{aligned}$$

因為 R_1 大於 R_2 ，因此我們就應該採用 $R_1 = 165$ 公厘作為這個凸輪的基圓半徑。

2 理論輪廓曲線的畫法

理論輪廓曲線是由各條動作曲線和靜止弧組成的。靜止弧因為是一般以凸輪軸心為圓心的圓弧，畫起來比較容易，但是動作曲線因要根據從動部每次動作條件畫出來的，就比較困難了。現在就先來講一講圖 2 中甲、乙、丙三種情況的動作曲線的畫法。

一、從動部作直線往復運動而從動部運動線路通過凸輪軸心的動作曲線畫法(圖2甲的情況):如圖6, O 為凸輪軸心, AB 為從動部運動路線, 它的延長線通過 O 點, 現在假定凸輪按箭頭方向轉過 120° 時, 從動部由 A 點按等速運動上升到 B 點, 這種動作曲線的畫法步驟如下:

1) 畫出基圓, 從 A 點開始依箭頭相反方向在圓周上取 AOA' 角等於動作角 120° , 把它分為任意等分(等分數愈多, 畫出來的動作曲線愈精確), 每一等分角就表示一個同大的單位時間。這裏把它分為六等分, 由 O 點到等分線 $01_1, 02_1, 03_1, \dots, 0B_1$;

2) 把 AB 段長度從 A 點開始按等速運動分成同動作角等分數相同的段數, 得出 1, 2, 3, 4, 5 等分點, 每一段長度就依次為凸輪轉過每一等分角時從動部所移動距離;

3) 以 O 點為圓心, 01_1 為半徑畫弧同半徑線 01_1 相交於 $1'$ 點, 再用同樣方法依次在 $02_1, 03_1, \dots, 0B_1$ 線上截取 $02' = 02_1, 03' = 03_1, \dots, 0B' = 0B_1$, 得出 $2', 3', \dots, B'$ 各點;

4) 連接 $A, 1', 2', \dots, B'$ 各點的平滑曲線, 如圖6中的粗實線所示, 就是所要求的動作曲線。

在圖6上可以看出, 當凸輪按箭頭方向轉過 $AO1$ 角的時候, $1'$ 點就轉到1點的位置, 而推使從動部由 A 點上升到1點, 移動了 $A1$ 一段距離。同樣當凸輪繼續轉過第二、第三……等分角的時候, 動作曲線上的 $2', 3', \dots, B'$ 等點就轉到了 AB 線上的 2, 3, ……

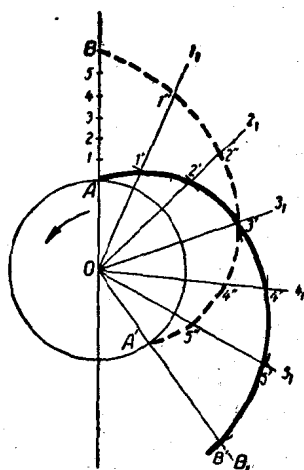


圖6 動作曲線畫法之一。

B 等點，使從動部依次移動了 $12, 23 \dots 5B$ 各段距離，而由 $2, 3, 4 \dots$ 等點上升到 B 點。每段長度依次代表凸輪轉過每一等分角時從動部所移動的距離，因此這樣畫出來的動作曲線是正確的。

如果其他條件不變，從動部是由 B 點下降到 A 點，而不是由 A 點上升到 B 點的時候，我們可以用同樣方法畫出，如圖上的虛線所示。

二、從動部作直線往復運動，而運動中心線不通過凸輪軸心的動作曲線的畫法(如圖 2 乙的情況)：如圖 7 O 為凸輪軸心， AB 為從動部運動路線，假定凸輪自 A 點開始沿箭頭方向轉過 120° ，從動部由 A 點按等加減速度運動上升到 B 點，這種動作曲線的畫法步驟如下：

1) 延長 AB 線，以 O 為圓心畫一與 AB 線相切的圓，這個圓叫做偏位圓。從偏位圓與 AB 線相切的切點 a 開始沿反箭頭方向取 ag 一段弧，使 aog 角等於動作角 120° ，再把 aog 角等分爲任意雙數等分，這裏分六等分，作等分線 $oa, ob, oc \dots og$ 等，再由 $b \dots g$ 等點作偏位圓的各切線 $b_1, c_2 \dots gB_1$ 等；

2) 自 A 點把 AB 一段長按等加和等減速度運動分成同 aog 角等分數目的段數，就是把 AB 按 $1:3:5:5:3:1$ 的比例畫分成六段，在 AB 線得出 $1, 2, \dots 5$ 等點，各段長度就是依次爲凸輪轉過動作角的每一等分角，從動部應依次移動的距離；

3) 在切線 b_1 上取 $b_1' = a_1$ ，得出 $1'$ 點。同樣在 $c_2, d_3 \dots gB_1$ 各切線上取 $c_2' = a_2, d_3' = a_3 \dots gB' = aB$ ，得出 $2', 3' \dots B'$ 各點；

4) 通過 $A, 1', 2' \dots B'$ 各點，畫一平滑曲線，如圖 7 上的粗實線所示，這就是所要畫的動作曲線。

在圖 7 上可以看出，當凸輪按箭頭方向轉過第一個等分角 aob 時， b 點到 a 點， b_1 線轉到 aB 線的位置，動作曲線上的 $1'$ 點也

轉到了 aB 線上 1 點的位置，這就是當凸輪轉過第一個等分角時，動作曲線已經將從動部由 A 點推到 1 點而移動了 $A1$ 一段距離，同樣的道理，當凸輪依次轉過等分角 $boc, cod \dots fog$ 時，動作曲線上的 $2', 3' \dots B'$ 各點就依次會轉到 aB 線上的 $2, 3 \dots B$ 各點的位置，就依次會推動從動部到 $2, 3 \dots B$ 各點，而依次移動了 $A1, 12, 23 \dots 5B$ 各段距離，這同我們事先所要求的從動部運動條件相符，所以這樣畫出來的動作曲線是正確的。

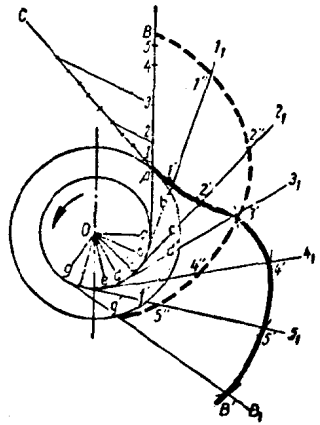


圖 7 動作曲線畫法之二。

當凸輪按圖上箭頭方向迴轉，從動部是由 B 下降到 A 的情況時，動作曲線的畫法是同上面所說的一樣，如圖 7 上虛線所示。

如果從動部在升高後是突然下降，就是下降的動作角等於 0 度，這時凸輪的下降動作曲線是一段同偏位圓相切的直線，比如凸輪轉到 B' 點，使從動部升到 B 點後突然要下降到 A 點，那末下降的動作曲線就是 $B'g'$ 一段直線。 $B'g'$ 距離應該等於從動部下降距離 BA 。

三、從動部作擺動的動作曲線畫法(如圖 2 丙的情況): 如圖 8, O 為凸輪軸心, Q 為擺動桿支點, 假定當凸輪依箭頭方向轉過 120° 時, 從動部按單弦運動由 A 點擺動到 B 點, 這種動作曲線的畫法步驟如下:

1) 以 O 為圓心, OQ 為半徑畫圓, 取 QQ_0 。這段圓弧的圓心角 QQ_0Q 等於動作角 120° , 把這段圓弧等分為任意雙數等分, 這裏分為 6 等分, 得出 $Q_1, Q_2 \dots Q_6$ 各點, 等分的每一段圓弧就代表

一等分角，再以 Q, Q_1, Q_2, \dots, Q_6 為圓心， QA 之長為半徑，畫弧作出 $AB, a_1, b_2, \dots, c_5, f, B_1$ 各段弧線；

2) 自 A 點畫 AB 弧切線 AB'' 。自 Q 點畫弧 AB 的平分線 QO_3 ，延長與 A 點切線 AB'' 相交於 $3''$ 點， $A3''$ 一段直線就近似等於 $A3$ 一段弧長，再取 $3''B''$ 等於 $A3''$ ，那末 AB'' 一段直線長度就近似等於 AB 一段弧長。把 AB'' 直線按從動部作單弦運動的方法（圖5的方法）分成同動作角等分的數目相同的段數，得出 $1'', 2'', 3'', 4'', 5'', B''$ 各點，連接 $Q1'', Q2''$ ，截 AB 弧於 $2, 1$ 兩點，那末弧 $A1$ 長度近似等於 $A1''$ ，弧 12 近似等於 $1''2''$ ，弧 23 近似等於 $2''3''$ ，所以我們在 AB 弧上可以取 $34=23, 45=21, 5B=1A$ ，這樣就把 AB 弧按單弦運動分成六段，每段長度就是凸輪轉過動作角的每一等分角時，從動部應移動的弧長；

3) 在 a_1 上取 $a_1' = A1$ 得出 $1'$ 點，在 b_2 上取 $b_2' = A2$ 得出 $2'$ 點，同樣依次在 c_3, \dots, f, B_1 上取 $c_3' = A3, \dots, f, B' = AB$ ，得出 $1', 2', \dots, 5', B'$ 各點，或者以 O 為圓心，依次以 O_1, O_2, \dots, O_6 為半徑畫弧與 a_1, b_2, \dots 等弧相交，同樣可以得出 $1', 2', \dots, 5', B'$ 各點來；

4) 連接 $A, 1', 2', \dots, 5', B'$ 各點的曲線，如圖8上粗實線所示，就是要求的動作曲線。

另外，當凸輪依圖8上的箭頭方向迴轉，從動部是由 B 擺回到 A 的時候，動作曲線可以用上

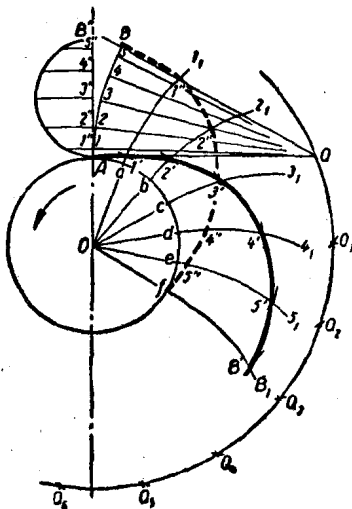


圖8 動作曲線畫法之三。