

四連杆机构分析图谱

Siliangan Jigou Fenxi Tupu

机械工业出版社

四 連 杆 机 构 分 析 图 譜

供 机 构 綜 合 应 用

〔美〕 J. A. 朗内斯 G. L. 胡耳桑 合編

184843



机 械 工 业 出 版 社

SAS 32/04

本书为四连杆机构中曲柄摇杆机构的连杆曲线图论，利用它不仅可寻找所需轨迹，并可滤掉出速度及加速度的近似值。在熟悉图论使用方法后，可利用图论设计各种特殊六杆机构，作更广泛复盖到各种机构（如主动曲柄转动一四杆）以及复杂机构等等，在掌握四杆机构的运动可图论的条件下，还可以利用这种图论作其他特殊运动的设计。

每一章节包括有五章图论，表示连杆速度上40~50个点的连杆曲线。本书共附有七百三十张图论，并有关于包络使用方法的说明。

本书文字说明部份由李学尧同志译出。

本书的编写参考为机械工程设计书，高等工业院校机械专业的教学人员，机械系高年级的学生，机构分析与综合的研究人员，应用数学研究人员。

J. A. Hrones & G. L. Nelson
ANALYSIS of the FOUR-BAR LINKAGE
Its Application to the Synthesis of Mechanisms
THE TECHNOLOGY
PUBLISHED BY THE MIT and JOHN WILEY & SONS, INC., 1951
(中国铁道出版社工程一九五一年版重印)

四连杆机构分析图论

供机械系合应用

(美) J. A. 赫内斯 G. L. 耐尔森 合编

机械工业出版社出版(北京东黄城根街341号)

(北京市书刊出版业登记证出字第117号)

二〇一工厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 787 × 1092 1/4 · 印张 63 1/4 · 插页 2 · 字数 641 千字

1951年7月北京第一版 · 1956年3月北京第一版印刷

中图 0.601-1.728 · 定价(封八) 18.50元

统一书号：15033 · 3761

內 容 提 要

自重量或重力比之四連桿机构的性质，并提到圖譜的用途。书中其余的部份全是圖譜，现将圖譜的圖解概要地說明如下。

圖譜能表达哪些事物

圖譜上清楚地繪制出了在各种不同杆长比的四連桿机构中，其連桿平面上的許多点位的軌迹。每一軌迹包含 72 根短綫，沿着軌迹，測量相邻兩短綫的相对距离，便知当主动曲柄轉动 5° 时連桿上此点的位置。

如主动曲柄作恒速轉动，將軌迹上指定点的短綫长度除以主动曲柄轉动 5° 所需的时间，便得到此点位移的平均速度。利用圖譜也能改变地求出加速度的近似值。將短綫长度与其相邻的短綫长度作向量相减，并及主动曲柄轉动 5° 所需时间的平方量相除。

每張圖譜所示机构的位置，都是主动曲柄与固定杆铰链中心的連綫共綫。在圖譜中，設机构的主动曲柄长度为某位长度，其余三杆的长度与单位长度的比，注在每一圖譜的方格綫內。連桿平面上那些描繪出相应軌迹的点的具体位置，也注明在每一圖譜的方格綫內。每一組杆长比有五張圖譜，在这五張圖譜中，有一組(第三張)表明了从动曲柄上点的位移与速度情况(也有相应的短綫)。

材料的組織

这份資料的表达方式是：每一組杆长比有五張圖譜，这五張圖譜成为一組，它們包括一种杆长比的四連桿机构的运动情况。由許多組不同杆长比的机构組成成为一个大組。每一大組

机构的三个杆长比中有两个不变，只讓彼此改变另一杆长比。

圖譜的比例

本圖譜所采用的主动曲柄长度均相等。

当按照圖譜上的杆长比改变实际机构的尺度时，并不会改变連桿机构的运动性质，只是改变了机构放大或縮小的比例。假若一个連桿机构按照圖譜的杆长比放大尺度而得，那末指定点的軌迹比圖譜上的大比例，但形状却不改变。短綫的长度也是选用的比例成正比例地改变。

圖譜的使用

分析 圖譜表明許多連桿机构的运动特征，也显示出許多連桿机构的部分运动环节情况。

因此，在本圖譜中的任意一机构的位移与速度特征，可直接查閱出来。加速度的近似值也可根据这份資料迅速地决定。

綜合 本圖譜的使用价值，较上所述可知其甚低，而本书問世的主要目的，在于提供一种直接有助于设计部的参考材料，使能选出生产預期运动的机构。設計傅萊爾所构成的运动，可参阅圖譜，迅速找出与其结构的运动特征相似的机构。有时，可能有許多机构都能实现預期的規律运动，这时，需要仔細加以考察，选用一个最合适的机构。

在圖譜中如果只能找到与理論中取为近似的机构，可將个于附近似机构間的杆长比，用硬紙板或照片作出模型，对它的运动情况进行实地檢驗，并設法在运动到預期的規律运动。

四 連 杆 机 构

要想得到一个机构的运动情况，唯有当输入输入角输出角数少于2时，才有可能。所有的杆均可视为刚体，它们互相连接在一起，任何两杆在连接处都有相对角度的自由，杆组之间能够作相对运动，杆组的最少杆数为4，在多数的应用场合下，4杆中有一杆固定（固定杆或称中心杆），另一杆（主动杆）由外界的动力驱动，其余两杆随着机构的几何形状、主动杆的运动情况以及固定杆转动中心轴的不同，作相异的运动。



图1 四连杆机构

四连杆机构的简图如图1所示，它由四根杆铰接而成，由一个转动中心至另一个转动中心的长度分别是1、A、B及C。机构的几何形状由三个杆长比A/1、B/1及C/1决定。如上所述，四连杆机构可用四根直线表示，实际上，因为每一根杆都是刚体，从纯粹的理論观点来看，杆的平面将无限转动伸展（参看图6）。

在制造与设计时，考虑到机构所占位置，杆的长度受到很大限制。这时，可以变化杆的长度，以得到形式多样而又切合适用的各种运动。本书中的轨迹与速度问题，是参于参图9所示连杆平面上那些点做的。在图6中与连杆连系在一起的长方形，它的两对边分别与固定杆中心轴平行或垂直。利用图6所示伸展连杆平面的方法，对于每一种杆长的机构进行所究，最后，作出属于(*)类机构（参看下册）的运动情况的图例。

四 連 杆 机 构 运 动 情 况 的 分 类

四连杆机构的基本形式如图1所示，固定杆C通常都用固定杆转动中心轴表示（参看图2），在固定杆两端铰接曲线1及B₂，在自由杆的两端铰接第四根杆——连杆A₁，主动杆1及从动杆B₂分别绕固定杆转动中心转动。连杆A₁对于固定杆C作既有移动又有转动的一般运动。

主动杆角速度 ω_1 ，连杆A₁及从动杆B₂对于固定杆中心轴所作运动的性质，决定于三个基本杆长比A/1、B/1与C/1，这三个比值，此章在本书中用A、B及C表示（做短杆经常用单位

长表示，其余各杆依次用A、B及C表示），四连杆机构各种运动的可能几何形式，作如下分类。

(a)类 与固定杆铰接的两杆，一杆能作全周(360°)转动，另一杆只能摆动，与固定杆铰接的两杆，均能作全周(360°)转动(转动360°)。

(c)类 与固定杆铰接的两杆，没有一杆能作全周转动，都只能作摆动。

上述分类方法，是依照各杆对于固定杆的运动情况来考虑的，如果在给定的四杆运动链中任取一杆作为固定杆，则此四连杆机构的类型将随固定杆而异。例如，在图2中以C杆为固定杆，1杆能作全周转动，B杆仅能摆动，此机构属于(a)类；(a)类机构通常称为曲柄摇杆机构，同样的四杆运动链，如果取A杆为固定杆(图3)，则仍然属(a)类——曲柄摇杆机构。

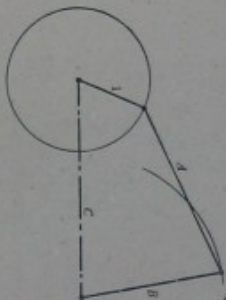


图2 曲柄摇杆机构

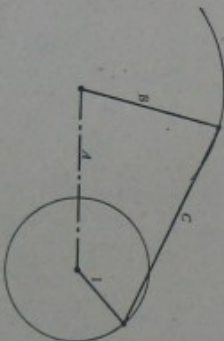


图3 曲柄摇杆机构

构。如果按图 4 那样，将 1 杆作为固定杆，则与 1 杆连接的构件 A 及 C 均能作全周(360°)转动，结果得到(b)类——双曲柄机构。又如按图 5 那样，将 B 杆固定，则 A 杆与 C 杆都只能作摆动，得到(c)类——双曲柄机构。

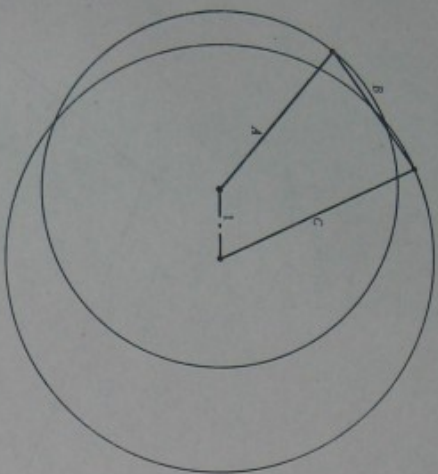


图 4 双曲柄机构

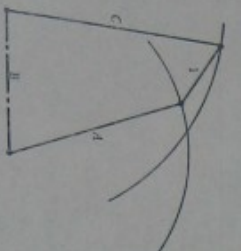


图 5 双曲柄机构

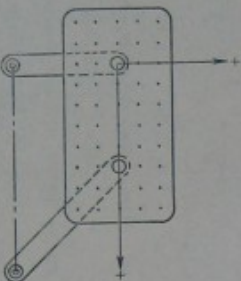


图 6

上述分类方法，对于设计者很有帮助，但应理解到机构中任何一杆相对于其余各杆的运动，在不将那一杆固定时都是一样的。

机构的类型，可按杆长比来决定：

(a) 类 曲柄摇杆机构

(1) 主动曲柄(1)必须是最短杆。

(2) $c < (a + b - 1)$ 。

(3) $c > (|a - b| + 1)$ 。

(b) 类 双曲柄机构

(1) 固定杆(1)必须是最短杆。

(2) $c < (a + b - 1)$ 。

(3) $c > (|a - b| + 1)$ 。

和(a)类机构的条件相同。

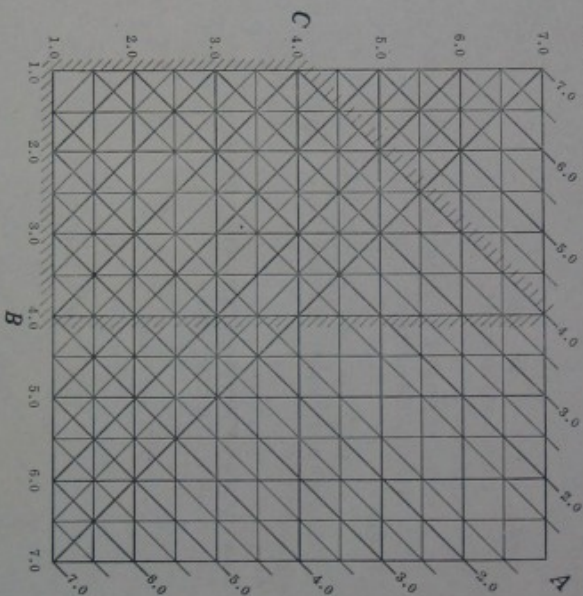


图 7 双曲柄机构分类图

曲柄杆机构的杆长比 B 及 C 应取整数，故予以杆长比 a 为常数时按相对杆长 a 列表。

阴影区属于曲柄摇杆机构或双曲柄机构。

(c) 类 双摇杆机构

(1) 在任何情况下，连杆(1)为最短杆。

(2) 此类机构中的所有各杆，不符合(a)类及(b)类机构中的(2)及(3)两条件。

● $|a - b| = (a - b)$ 时能对换。

上述条件下用图7(a)如图7。以杆长比C为纵坐标, 杆长比B为横坐标, 而杆长比A之值用预先与坐标轴成45°的直线表示, 在指定A值时, 如表示坐标值为B及C的点, 位于以A为常数的所包的斜长方形中, 则具有杆长比A、B及C的机构, 不属于(a)类即属于(b)类; 如以短杆作地面则为(c)类机构, 如以长杆作地面则为(b)类机构。如果表示坐标值为B及C的点, 位于以A为常数的所包的斜长方形之外, 则具有杆长比为A、B及C的机构属于(c)类。

本图中直线的范围, 凡属于(a)类曲柄摇杆机构的, 它们的杆长比如图7中由斜截线所表示的范围。

例:

已知条件: 主动曲柄 $a=4^\circ$, 连杆 10° ,

从动曲柄 $=8^\circ$, 固定杆 $=12^\circ$ 。

求: (1) 机构的运动类型;

(2) 在改变某一杆长比而不致改变运动的原属类别(曲柄摇杆机构)的情况下, 则各杆长比分别可以变动的范围。

解(参看图8):

$$A = \frac{10}{4} = 2.5; \quad B = \frac{8}{4} = 2; \quad C = \frac{12}{4} = 3.$$

主动曲柄在这里是最短杆, 查图7, 纵横坐标为 $C=3$, $B=2$ 的点, 位于 $A=2.5$ 两垂直线所包的斜长方形之中。

由此可知, 此机构为(a)类机构。

在不改变机构原属类别(a)类条件下, 各杆长比可在下列范围内变更

1. $A=2.5$, $B=2$, C 可在1.5至3.5间变动。

1. $A=2.5$, $C=3$, B 可在1.5至4.5间变动。

1. $B=2$, $C=3$, A 可在2至4间变动。

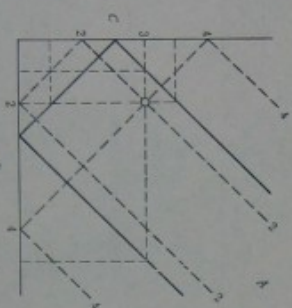


图 8

数学关系式

从动曲柄(参图9) 从动曲柄的角位移用 ψ 表示,

$$\psi = \alpha_1 + \alpha_2$$

$$\alpha_1 = \alpha_1^{-1} \frac{\sin \beta}{C + \cos \beta}$$

$$\alpha_2 = \alpha_2^{-1} \frac{K^2 + 2C \cos \beta}{2BL}$$

$$K^2 = 1 + b^2 + c^2 - A^2$$

$$L^2 = 1 + c^2 + 2C \cos \beta$$

$$M^2 = K^2 + 9C \cos \beta$$

$$S^2 = \sqrt{4B^2 L^2 - M^2}$$

$$\psi = \alpha_1^{-1} \frac{\sin \beta}{C + \cos \beta} + \alpha_2^{-1} \frac{K^2 + 2C \cos \beta}{2BL} \quad (1)$$

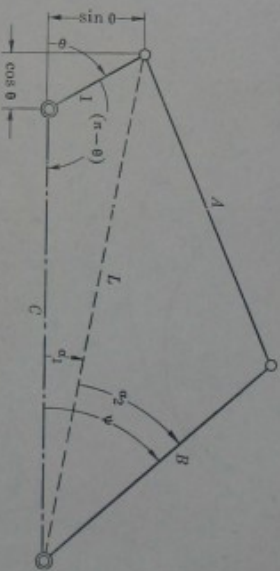


图 9

对(1)式取时间的微分, 得到从动杆的角速度方程

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{d\alpha_1}{dt} \left[\frac{1}{L} (C \cos \beta + 1) + \frac{C \sin \beta}{S} \left(2 + \frac{M^2}{L^2} \right) \right]$$

取时间间的两次微分, 得到从动杆的角加速度方程

$$\begin{aligned} \frac{d^2\psi}{dt^2} = & \frac{d^2\alpha_1}{dt^2} \left[\frac{1}{L} (C \cos \beta + 1) + \frac{C \sin \beta}{S} \left(2 + \frac{M^2}{L^2} \right) \right] \\ & + \left[\left(2 + \frac{M^2}{L^2} \right) \left(\frac{2C^2 \sin^2 \beta (2B^2 - M^2)}{S^3} + \frac{C \cos \beta}{S} \right) \right. \\ & \left. - \frac{2C^2 \sin^2 \beta}{L S^3} \left(1 - \frac{M^2}{L^2} \right) - \frac{C \sin \beta}{L^2} \left(1 - \frac{2C \cos \beta + 1}{L^2} \right) \right] \left(\frac{d\alpha_1}{dt} \right)^2 \end{aligned}$$

连杆平面上的点的运动 连杆平面上的任意点的位移, 速度, 加速度的表达式, 比上列方程尤为复杂, 这里从略, 如需了解, 请参阅文献(1)。

1. 由直移轨迹构成停停点的运动 图 10 所示的四连杆机构的连杆平面上的某点, 在 a 点与 b 点间作圆周运动, 由于 a 点至 b 点间共有十一个短链, 所以知道这种近似直移轨迹, 是在主动曲柄转动 65° 的角移量时产生的。

如果通过连杆上具有上述近似直移轨迹的点, 去推动一根棒, 点转动的杆(此杆开有直槽槽), 则它转过 27° 的往复摆动。取出因连杆上短链的数量, 并每一短链端点的距离作为主动曲柄转动 5° 时, 可知主动曲柄转动 270° 时, 从连杆向一短链转动, 然后在主动曲柄转动 65° 时, 从连杆停歇, 当主动曲柄转动其余的 35° 完成一周转动时, 从连杆向另一短链回摆。

如果通过连杆上具有上述近似直移轨迹的点, 去推动另一根 d 点转动的杆, 则此杆能作 90° 的角移。若主动曲柄作匀速的转动, 则从连杆杆有 $\frac{1}{2}$ 的周期用于向一短链转动, $\frac{1}{2}$ 的周期用于回摆, $\frac{1}{6}$ 的周期作短链的停歇。

连杆平面上具有上述近似直移轨迹的点, 还可通过其他方法利用它作加速运动, 例如, 通过某点推动一至级机构 $\textcircled{2}$, 让正弦机构中的槽平行于 ab 直移部分, 作直移的杆垂直于 ab , 按 e 方向运动, 在此情况下, 正弦机构的往复行程是不可调整的, 并约为等于 $51/21$ 或 2.4 。正弦机构的行程长度与从动杆行程比约为 1.37 。

2. 由直移轨迹构成带停点的运动 图 11 所示是一基本杆长比为 $4, 2.5, 5$ 及 3.5 的四连杆机构, 其连杆平面上某点当主动曲柄转动大于 90° 时, 作近似圆周运动。现在将另一 ac 杆铰接于连杆 a 的中点, ac 杆的另一端 c 与 $-V$ 型杆铰接, V 型杆铰链主动曲柄的轴作转动, ac 杆长度的确定, 是让铰链中心点 c 位于 ab 近似圆弧的曲率中心, 这样, 铰链在运动时, V 型杆能停歇 $\frac{1}{4}$ 运动周期, 并且, 它作 34° 的往复摆动时, 向一短链转动的时期和返回另一短链时相等。

上述 V 型杆的往复摆动时间比以及摆角的大小, 可以选取另外的转动中心, 进行调整。在改变 V 型杆的转动中心时, 务需保持 c 点位于 ab 圆弧的曲率中心, 例如, 可使 V 型杆的转动中心 c 点变到从动曲柄的转动中心上去, 这时, 需要注意避免 ac 杆与 V 型杆的臂在铰链处构成某点中心位置。

利用图 11 中的同一基本机构, 可构成一直移往复运动, 在冲程的终端产生同样的停歇周期。这时不再利用 V 型杆, 而是用一得失在具有直槽的杆中移动, 直槽通过 a 点, 调整直槽的方向使达到预期的往复行程时间比。例如, 用 d 点作为直槽的方向, 则得决定 a 点停歇的时间, 相当于主动曲柄转动 90° 时, 得决定由 a 点至 d 点以及由 d 点回行至 a 点, 分别占主动曲柄转动 150° 及 130° 的时间。

3. 计算机构 往往利用四连杆机构作计算装置。因为各种函数的输入与输出变量间的关系, 虽然有无数的对应值, 但通过限制变量区间的办法, 可使四连杆机构实现预期的函数关系, 若需实现高精度精确的函数关系, 往往需要应用不止一个四连杆机构。在此情况下, 让将一个机构近似地实现预期函数关系, 而再加机构用以校正最大误差, 使其不致超出既定的

图 12 中表示一四连杆机构, 它非常逼近地实现函数关系 $\phi = \left[\frac{9}{5} \right]^{10}$, ϕ 的高精度是大于 0° 至 65° 。下面将叙述产生所述函数关系的机构及利用图 12 求此机构的方法。以主动曲柄的角度作为变量 θ , 在 θ 的 0° 至 75° 范围内每隔 5° 计算出与 θ 相对应的 ϕ 值, 将 ϕ 值依次地排在透明纸上, 然后把透明纸放在不同的圆筒上加压试验, 寻找适宜的轨迹, 一直寻到透明纸上的 ϕ 角分划线与圆筒上的轨迹的任意连续地逐一吻合为止。在这样找到的机构中, 若通过某连杆平面上某曲柄所需轨迹的点去推动一根有直槽的杆, 此杆转动时, ϕ 角的角分射线中心, 叠合于固定杆平面上的某点, 即可产生所需的函数关系。

符合要求的机构, 其基本杆长比为 $2, 3, 2.5$ 。连杆平面上作为推动直槽杆的点, 其坐标值为 $+1.5$ 及 $+1$, 这组直槽的杆以 a 点作为转动中心, 当 θ 在 0° 至 65° 范围内运动时, 机构和角分线显示相应的 ϕ 值。

图 13 中表示一四连杆机构, 它在某指定区间内便输出角移量为输入角移量的函数。设计此机构时, 利用图 12 的方法和前述机构一样, 先在透明纸上标出相应的角移量分划线, 用它来照图中找出在指定区间吻合的轨迹。

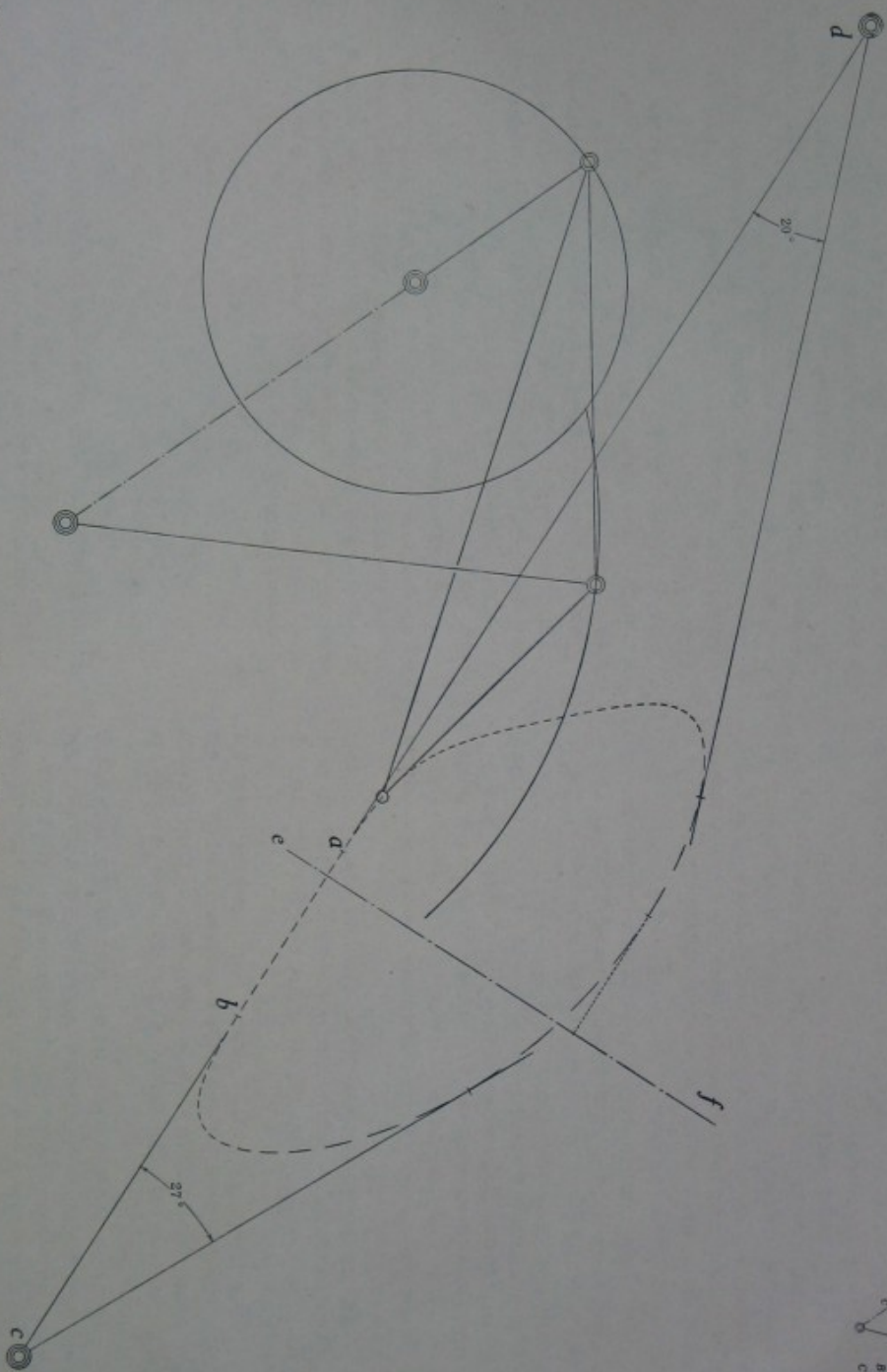
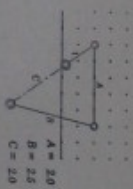
由图中可见, 此机构的等速角移量输出, 应铰接于 a 点, 并以 a 点作为转动中心, 它与主动曲柄在 1 至 10 区间的角移量成对数比例关系的角移, 表现对数关系时, 除在 1 位面外, 在其余的位面上均能顺利地吻合。两个这样的机构, 汇入到一台差动器里去, 能作为乘数器使用。上述对数机构的基本杆长比是 $2.5, 2.5$ 与 1.5 , 在连杆平面上标槽所需轨迹的点, 其坐标值为 $+1.5$ 及 $+1$ 。

4. 作两次往复摆动的曲柄机构 在图 14 中的四连杆机构, 如利用能按图 12 所示轨迹的点去推动另一带直槽的杆, 则当主动曲柄转动一周时, 带直槽的杆可作两次往复摆动。在图 14 中我们看到, 该杆平面上一点所画的轨迹出现了交叉情况, 一般说来, 利用交叉的轨迹构成作两次往复摆动的曲柄机构, 其推动角度的中心(摆幅)和摆动的时期不一定相等。图 14 所示的另一特例, 它能使两次摆幅相等, 作两次往复摆动的输出杆, 铰接于 a 点, 并以 a 点作为转动中心。作短链时, 在一周期内每一部分运动所需的时间, 可用计算切点 A, C, d 及 e 间的短链数, 作出计算列表如下。

冲程	行程的轨迹	短链数	相当于主动曲柄的摆角
第一次由 a 点摆动	BC	10	30°
第一次往回摆动	CD	18	90°
第二次由 a 点摆动	DE	27	135°
第二次往回摆动	EB	17	65°

此机构的基本杆长比为 $2, 2.5, 5$ 及 2 。连杆平面上所需推动重建动杆的点应给定为 $(+1, -1)$ 。

② 原文为 scotch yokes, 世界著名 Mechanical Engineers' Handbook 可知此机构为正弦机构 (詹姆斯机械工业出版社 1965 年出版)“机构设计”一书中第 381 页图 381)。——译者



【圖】

图 10 由頂點處作假想停點的距離

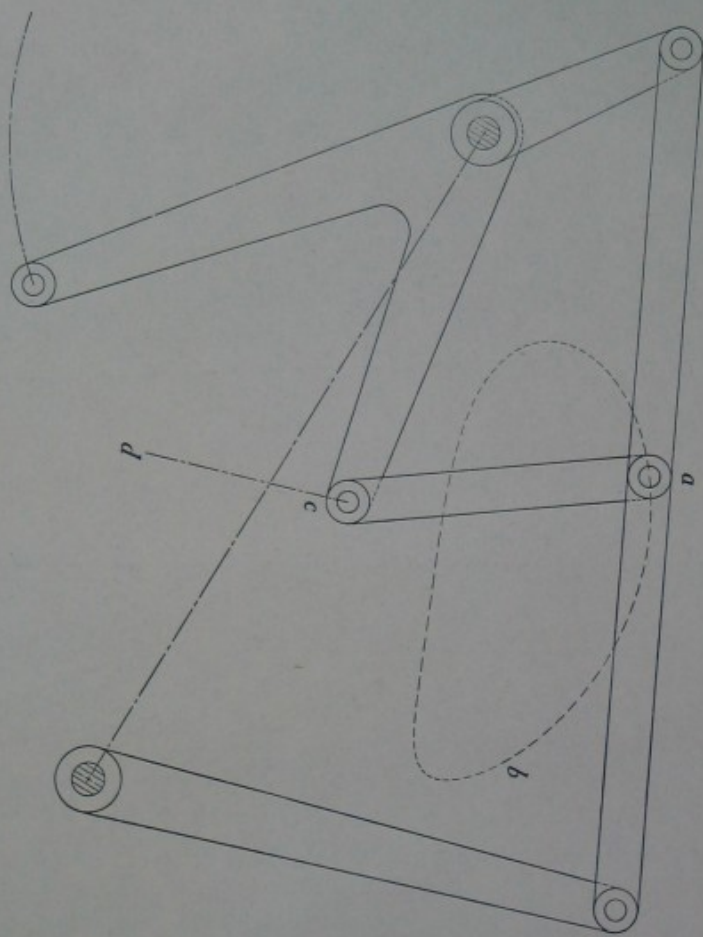
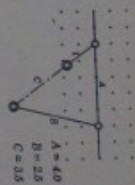


图 11 山圖式軌道構造等角点的轨迹

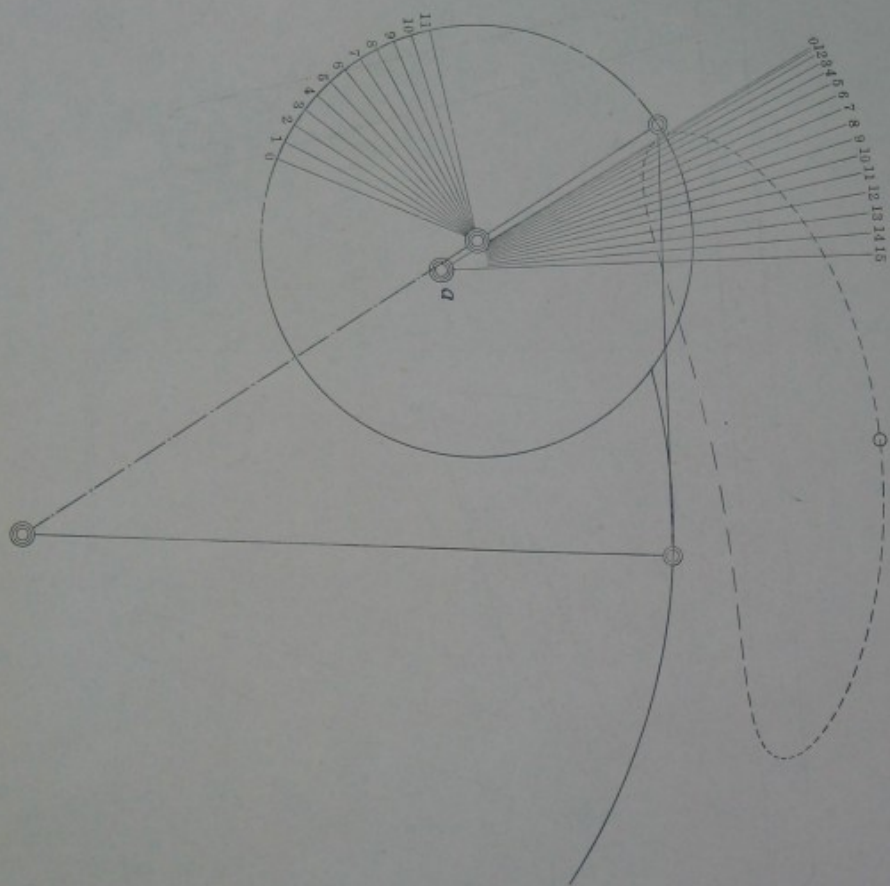
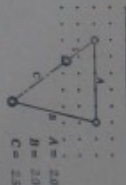
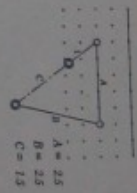
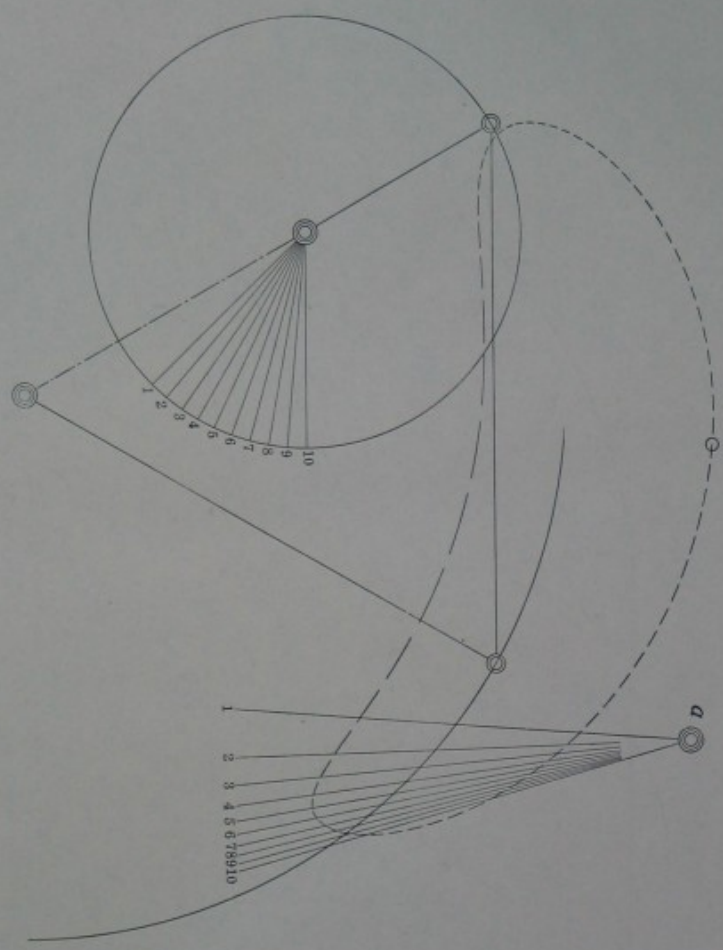


图 12 圆 M 的渐近线



A = 2.0
B = 2.3
C = 2.5

图 18 开张机构



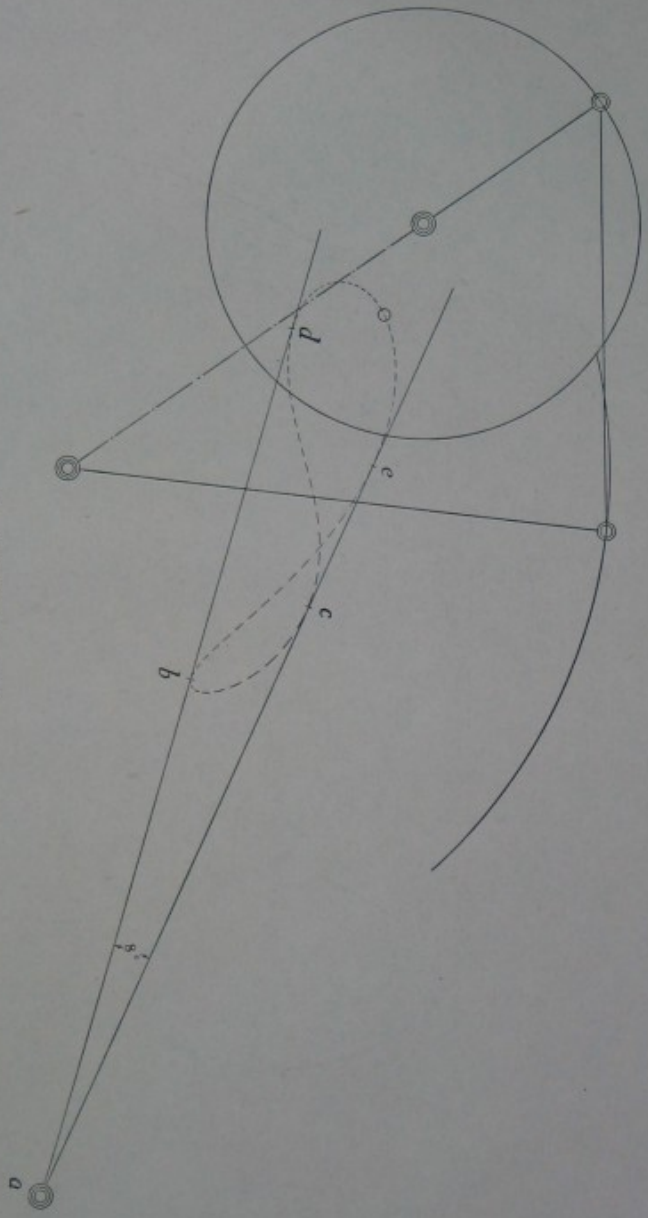


图 1 有固定位置机构的图解

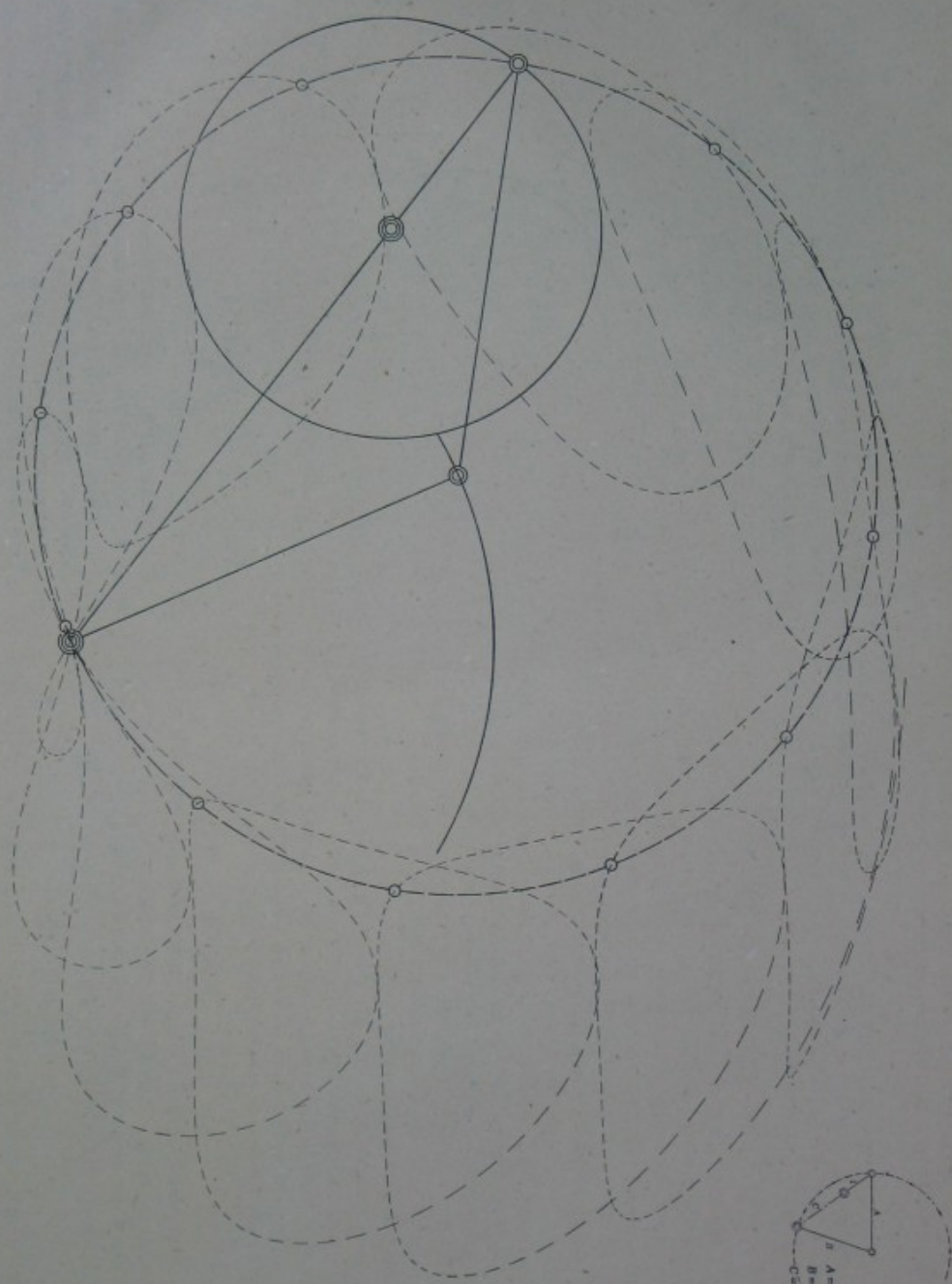


图 13 对等的圆行虫线



5. 对精的连杆曲线 在许多地方, 常用设计杆于某一直接的连杆曲线。具有这种性质的四连杆机构, 它的特征是其从动直柄与连杆的长度相等($A=B$)。连杆平面上精确对称曲线的高的几何轨迹, 是以连杆长度 A 为半径, 以从动直柄的运动旋前中心为圆心所画出的圆(图 15)。在图 15 中表示一基本杆长比是 2.2, 2.5 的圆连杆机构, 在连杆平面中, 在以 A 为半径所画的圆上取出相距的 12 个点, 它们都有对称的连杆曲线, 每一对连杆曲线的波峰, 是通过对动直柄而通过旋前中心与 A 圆上已取圆顶点的直线。图 15 所示为 12 对不同的对称连杆曲线, 可使设计者对连杆曲线机构作应用。

凸轮与连杆机构的对比

凸轮的应用很广, 在许多地方能令人很满意地解决问题。但在许多情况下, 由于受到不易加工的限制, 设计者往往会想到利用一个合适的连杆机构代替凸轮, 可是也感到困难。因为连杆机构难于磨合, 很靠其它完成指定的运动, 所以在凸轮易于设计的条件下, 如虽感到有局限性, 往往在一般工作上还是忽略了利用连杆机构, 希望通过这个问题, 使连杆机构的设计易于实现, 从而广泛地利用连杆机构, 解决凸轮机构不很胜任的问题。

凸轮机构的传动效果非常灵活, 显不用它作出符合不同运动要求的设计以及可以使机构体积小紧凑, 但是, 凸轮在接触点需承受很高的应力, 凸轮从动件必须经常与凸轮保持接触, 为了做到这一点, 或是利用弹簧将从动件压向凸轮, 或者利用配重使从动件随动, 但前者会导致高凸轮的压力, 后者由于长期的空程会导致高速运转的因素。为了限制凸轮在高速运动时的动力影响, 要求凸轮轴都有高度的精确的磨加工, 这使要求, 往往制造出多数工厂的加工能力范围, 因而凸轮的加工费用就十分昂贵了。凸轮的严重缺陷是限制了許多机器能够达到的旋转运动速度, 如要增加凸轮转速的后果是导致激烈的振动或迅速地磨损凸轮。正转地设计与制造加工能弥补一些凸轮的不足之处(参阅文献(4))。

连杆机构有许多胜过凸轮的突出优点, 连杆机构的运动决定于杆的相对长度, 这些杆长只有少数需要, 不致产生地影响运动效果; 另外, 连杆的制造加工简单, 任何一个工厂都能达到要求的加工精度; 连杆接触点的轴承的加工与安装, 可用标准件与标准零件制造生产; 在一般情况下, 连杆长度的公差为 ± 0.002 吋, 这是容易办到的, 而高速度运动的凸轮, 尺度公差需要 ± 0.0002 吋的精度, 此外, 连杆机构在铰链处, 杆的应力远较凸轮表面所受的应力要少。

连杆机构的平衡

若连杆机构在相当高的速度下运动, 必须注意它产生的动力影响, 重要之点, 是把运动杆的质量, 得到愈小愈好。采用重量平衡的钢或合金以及指得到高度硬度的横断面来制作各杆, 就会得出惰力矩的杆, 为了防止转动时连杆机构有较大的驱动力, 对于机构内的精力需要平衡, 在文献(1)中, 载有关于连杆机构平衡的方法。

在设计工作中应用模型

本图清楚地说明了許多连杆机构的运动特征, 因此直接可用以选取基本的杆长比, 选定了杆

长比后, 最好用硬纸片或胶片, 采用简单的比例制作一个模型, 以较连杆之间是否有不良的传动角, 所速的比例是否正确, 运动时有无干涉。

速度的决定

观察图 16 中所示的轨迹, 一点沿轨迹运动, 经过 a, b 点, ab 间的距离就是主动曲柄所转动 5° 时的位置量, 若主动曲柄以角速度 ω 运动, 则此点沿 ab 运动的平均速度与 ab 之长度以主动曲柄转动 5° 时所需的时间, 即:

$$(v_{av}) = \frac{(ab)\omega}{5}$$

式中 V_{av} ——点由 a 点至 b 点沿轨迹运动的平均速度(以每秒吋为计);

ab ——沿轨迹 a 点与 b 点间的长度(吋);

ω ——主动曲柄的角速度(以每秒度为计)。

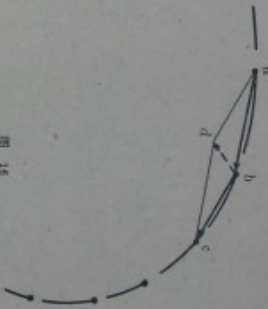


图 16

加速度的决定

一点在空间的运动, 可用下列方程表示:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta r}{\Delta t} \right) = \frac{dr}{dt}$$

$$\text{加速度: } \frac{dv}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right) = \frac{dv}{dt}$$

$$\left(\frac{\Delta v}{\Delta t} \right)_a = \frac{V_2 - V_1}{\Delta t} = \frac{(bc - ab)\omega^2}{25}$$

那末, b 点的加速度近似值, 可用速度的向量差 $(bc - ab)$ 乘以因子 $(\omega^2/25)$ 。

由于加速度是定向量决定的, 当向量 bc 与 ab 非常接近时加速度很小, 容易发生很大的误差, 另外, 运动点在轨迹上的加速度越大, 则估算的误差就相对的要小些, 一般说来, 测定加速度的误差, 有时会小到百分之十, 大时会达到百分之五以上, 在用两个近乎相等的速度向量决定加速度时, 由于采用上述方法计算加速度的误差较大, 这时, 若不用较大的主动曲柄角位移作为平均速度的估算依据, 就为有利, 那末, 最好不用主动曲柄转动 5° 时的

平均速度增量，而是采用 16° 时的增速度为合适。

轨迹的精确度

用来描繪軌迹的机器，其杆件的精度要保持到 ± 0.005 吋，安裝一部描繪軌迹的机器，檢驗它是否精確，要肉眼來觀察時，可使該机器運轉幾次，看它描繪的軌迹是否與次節同樣軌迹上的任一點的精度需保持在 ± 0.01 吋範圍內。短線長度的誤差，可相由于描繪裝置的起針凸輪的誤差造成，也可相由于描繪短線迹的机构产生时差等等的因素所致。短線的长度誤差很少超過百分之五，通常都此百分之五小得多。

描繪本因圖的机器，其主動齒輪的長度是 5 吋，上述各種尺度的公差，其相对此基本尺度而言。本书所敘是原輪創的軌迹圖的复制品，按 $\frac{2}{5}$ 的比例縮小，原迹由鋼絲圓針方向轉動，短線的旋轉也按此轉動方向畫出。

参考文献

- [1] Trauberg, Guy J., "Mathematical Solution of Four-Bar Linkages," *Mechine Design*, May, June and July, 1941.
- [2] Nelson, George L., "Synthesis of Four-Bar Linkages for the Representation of Desired Motion Paths," Master of Science Thesis, Dept. of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, June, 1940.
- [3] Svedala, Amos, *Computing Mechanisms and Linkages*, edited by Hubert M. James, McGraw-Hill, 1948.
- [4] Hrosov, John A., "Key Factors in Cam Design and Application," *Mechine Design*, April, May and June, 1949, and "An Analysis of the Dynamic Forces in a Cam-Follower System," *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, Vol. 70, 1948.

