

管荣法 汤从心 编著

凸轮与凸轮机构基础

国防工业出版社

凸轮与凸轮机构基础

管荣法
汤从心 编著

国防工业出版社

内 容 提 要

本书是关于凸轮机构的专著，系统地讨论了凸轮机构的运动学和动力学，阐明了适应各种不同运动要求的凸轮从动件运动曲线和凸轮机构的设计方法，对凸轮的加工准确度和特殊凸轮机构也作了简单介绍。叙述问题简明扼要，分析问题都辅以计算例题，便于读者理解和掌握。

本书适合于机械工程技术人员参考，并可作为工科院校教学参考书。

凸轮与凸轮机构基础

管荣法 汤从心 编著

责任编辑 张仁杰

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张13 296千字

1985年8月第一版 1985年8月第一次印刷 印数：0,001—7,000册

统一书号：15034·2857 定价：2.45元

前 言

实现机器的自动控制，是提高产品质量、劳动生产率和降低劳动强度的有效手段之一。因此，自动控制广泛用于工业、农业、国防和科学技术领域。

机器的自动控制，可以通过电气、液力、气动或机械等方式实现。在机械式自动控制中，凸轮机构具有结构简单、紧凑、设计方便、容易获得预期的运动等特点，因而在自动机床、内燃机、纺织机械、印刷机械、农业机械、矿山机械以及电气开关中都有广泛应用。当然，要实现一个完整的自动控制，往往是以上几种方式的联合，并佐以其它传动机构，但本书只讨论凸轮和凸轮机构。

作者通过几十年的工作实践，深感有关凸轮机构设计方面的资料零散而不系统。为了弥补这方面的不足，作者将几十年的实践进行了系统整理，并参考有关资料，集成此书。

本书是一本凸轮机构的专著，系统讨论了凸轮机构的运动学和动力学；阐明了适应各种不同运动要求的凸轮从动件运动曲线和凸轮机构的设计方法；并讨论了凸轮加工准确度和特殊凸轮机构。叙述问题简明扼要；分析问题都是应用简单的微积分学，且附有计算例题，因此便于读者理解和掌握。

在编写该书的过程中，承蒙安徽工学院副教授韩承湘和孟庆隆、讲师吴继常、林继隆和汤汝顺等同志提出宝贵意见，指出了一些说明不太完善的地方，帮助我们进行修改、整理和誊写。江西八一无线电厂高级工程师陆桂康、合肥钢铁总厂高级工程师彭家俊二同志对书稿进行了全面校阅。在此一并致谢。

由于作者经验学识浅陋，不妥之处在所难免，希望读者能惠于指正或提出意见，均胜感盼。

管荣法 于合肥
汤从心

目 录

第一章 引言	1
§1-1 从动件	2
§1-2 凸轮	3
§1-3 凸轮的经验设计	7
第二章 从动件运动规律的基本曲线	9
§2-1 术语定义	9
§2-2 从动件的特性	10
§2-3 基本曲线的分类	12
§2-4 基本曲线的比较 (停留—上升—停留凸轮)	26
§2-5 用于停留—上升—回降—停留凸轮的基本曲线	30
§2-6 上升—回降—上升凸轮的基本曲线	31
第三章 凸轮尺寸的确定	32
§3-1 压力角及其相关尺寸	32
§3-2 凸轮因素的确定	40
§3-3 凸轮节点位置的确定	41
§3-4 凸轮曲率	42
§3-5 轮毂的设计	50
第四章 凸轮轮廓的确定	51
§4-1 凸轮轮廓的图解法	51
§4-2 凸轮轮廓的计算	65
§4-3 切削刀具或磨轮的位置	70
第五章 其它形式的凸轮和从动件	72
§5-1 两接触体的滑动速度	72
§5-2 滚动曲线的一般情况	73
§5-3 基本曲线的滚动体	74
§5-4 对几种基本曲线凸轮机构的分析	76
§5-5 圆弧凸轮的一般情况	81
§5-6 凸轮计算机构	88
§5-7 带伺服系统的凸轮机构	94
§5-8 凸轮从动件	95
第六章 高级曲线	100
§6-1 基本曲线的联合曲线	100
§6-2 修正抛物线运动曲线 (停留—上升—停留凸轮)	102
§6-3 梯形加速度曲线 (停留—上升—停留凸轮)	104
§6-4 修正梯形加速度曲线 (停留—上升—停留凸轮)	105
§6-5 停留—上升—回降—停留曲线	107

§6-6	多项方程式曲线	107
§6-7	有限差分法	115
§6-8	消除局部加速度波动的方法	117
§6-9	曲线的调整	118
第七章	多项动力凸轮	120
§7-1	基本公式	120
§7-2	公式的应用	124
§7-3	实际振动的讨论	128
第八章	高速凸轮系的动力学	129
§8-1	振动源	129
§8-2	基本曲线的振动比较(停留—上升—停留凸轮)	130
§8-3	决定从动件反应的方法	131
§8-4	决定从动件反应的实践	140
§8-5	拐行陡振	141
§8-6	跳开现象	141
§8-7	平衡	143
§8-8	从动件的弹簧波	143
第九章	力的分析	144
§9-1	静力	144
§9-2	惯性力	144
§9-3	振动对力的影响	145
§9-4	摩擦力	145
§9-5	弹簧力	146
§9-6	转矩	147
§9-7	动力极限	148
§9-8	设计例题	149
§9-9	具有基本曲线的弹簧的比较	152
第十章	表面材料、应力和加工准确度	154
§10-1	材料与应力	154
§10-2	加工准确度	162
§10-3	凸轮轮廓的制造方法	162
§10-4	表面缺陷	163
§10-5	分量切削的准确度	164
§10-6	制造精度和曲线选择的关系	165
§10-7	误差的动力效应	167
§10-8	表面光制	169
§10-9	凸轮轮廓准确度的检验	170
第十一章	特殊凸轮	171
§11-1	快速运动的凸轮	171
§11-2	将直线运动变为回转运动的凸轮	172
§11-3	将回转运动变为直线运动的凸轮	172
§11-4	每循环两转的凸轮	172

§ 11-5 增加行程的凸轮	173
§ 11-6 可调整行程的凸轮	174
§ 11-7 受控制的直线移动循环凸轮	174
§ 11-8 圆弧凸轮 (等宽从动件)	175
§ 11-9 斜盘凸轮	176
§ 11-10 变角速凸轮	177
§ 11-11 速度控制凸轮机构	178
§ 11-12 间歇运动机构的比较	181
附录	188
附录一	188
附录二	191
主要参考书目	200

第一章 引言

在工业生产中，经常要求机器的某些部件按照规定的准确路线运动，仅应用连杆机构已难以满足这个要求，所以需要利用工作表面具有一定形状的凸轮。凸轮在所有基本运动链中，具有易于设计和能准确地预测所产生的运动的优点。如果设计其它机构来产生给定的运动、速度和加速度，其设计工作是很复杂的，但设计凸轮机构则比较容易，而且运动准确、有效。所以在许多机器中，如纺织机、包装机、工作母机、印刷机、内燃机、转辙器、计算机以及农业机具等，都可以找到凸轮机构。

凸轮是借直接接触将运动传递到从动件的机械零件。主动件即为凸轮，被动件称为从动件。凸轮可以是停留、直线移动、摆动或回转件，而从动件可以是直线移动或摆动件。

从运动学观点来说，一个简单的凸轮机构（图 1-1 a）是由两个借固定件 C 连接的定形构件 A 和 B 组成的。A 和 B 之一都可作为主动件，而另一个则是从动件。我们也可以在每一瞬间，借一当量机构的构件来代替这些构件（见图 1-1 b）。这些构件是借销连接的。图上的 1 和 2 都是接触曲面的瞬时中心。在任意一瞬间，点 1 和 2 的位置改变时，当量机构的连杆长度也随着改变。

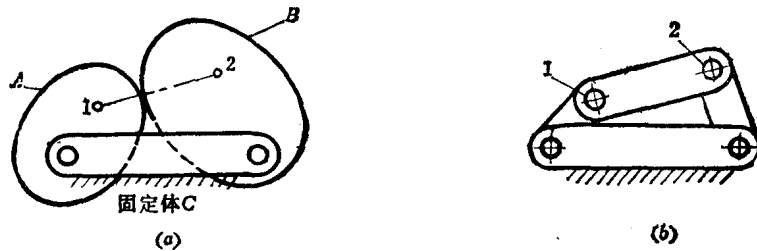


图 1-1 一般的凸轮机构(两个互相接触的物体)

(a) 一般形式的简单凸轮机构；(b) 运动学的当量机构。

低速、重量小的凸轮从动件杆系的设计比较简单，只要求知道凸轮轮廓即可。从动件杆系的质量、速度或弹性增加时，就必须详细地研究凸轮轮廓、速度和加速度曲线。为此，应具有关于凸轮尺寸、振动、动负荷、噪声、磨损和应力等方面的资料。

选择良好的凸轮从动件杆系，一般地说，应考虑下列几个重要因素：

(1) 凸轮应在等速下回转。该速度是由从动件的位移、速度或加速度的值来确定的。

(2) 尽可能采用径向凸轮（或称盘形凸轮）。

(3) 凸轮外形应光滑，轮廓曲率不应有突变。

(4) 凸腹凸轮轮廓的最小曲率或尖锐度是由从动件的最大负加速度值确定的。也就是说，最大负加速度值愈大时，凸轮轮廓愈尖。

(5) 凸轮尺寸应尽可能地小，以便尽可能降低凸轮从动件杆系的滑动速度、表面

磨损和转矩。这样，也可改善凸轮的平衡。

(6) 压力角或凸轮轮廓的坡度必须保持最小值。

(7) 从动件运动规律的基本曲线（见表2-2）能满足大多数机器的要求。

(8) 从动件的加速度应尽可能地小，使在高速时只有小的惯性力和应力。

(9) 高速时，凸轮从动件杆系的噪声、表面磨损和振动程度，是由从动件加速度曲线的形状决定的。从动件加速度曲线的形状主要是指加速度曲线的平滑性和连续性。

(10) 低速凸轮是在样板或凸轮毛坯上划线加工的，高速凸轮则需要制定出用切割或磨削加工的准确轮廓。

(11) 制造方法、加工精度和检验是保证凸轮获得良好性能的重要因素。凸轮工作表面的准确度直接影响凸轮速度和从动件的位移。在凸轮工作表面上，就是有肉眼觉察不到的微小误差，也会使从动件杆系在高速时产生高的应力和振动。

(12) 凸轮从动件机构的运动部件尽可能做得重量轻且刚度大（系统中无间隙，尤其是在高速运动时）。这样，可以保持最小的惯性力、噪声和磨损。

§ 1-1 从 动 件

从动件一般可按三种方法分类：

(1) 按接触表面的结构分，有尖端式（或称刃缘式）、滚子式和平板式。

(2) 按运动形式分，有直线移动式和摆动式。

(3) 按运动路线相对于凸轮中心的位置分，有径向式和偏置式。

尖端式从动件（图1-2a）是以其尖锐的刃缘与凸轮接触的。这种形式的从动件虽然结构简单，但由于在凸轮表面和从动件接触点处产生过大的磨损，因此是不适用的。滚子式从动件（图1-2b）的滚子呈圆柱形，滚子在滚珠或滚针轴承上回转。轴承大都借销轴固定在从动件上。筒形或锥形滚子可减低应力和磨损。低速时，滚子的运动是纯滚动，但速度增加时就产生明显的滑动。一般地说，这种形式的从动件是用来减低凸轮和从动件之间的滑动的。滚子从动件的主要缺点是凸轮的外形太陡，妨碍从动件的直线运动。

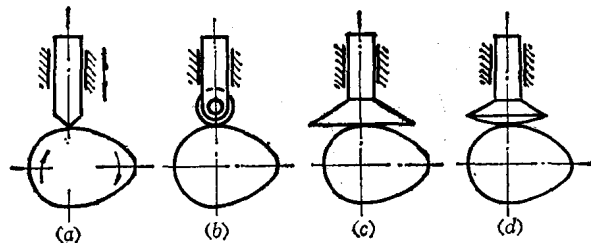


图1-2 从动件的形式(径向移动的从动件与径向凸轮相接触)

(a) 尖端从动件；(b) 滚子从动件；(c) 平板从动件；
(d) 具有球面底的平板从动件。

图1-2c和图1-2d是蕈形平板从动件。在本书各章中所提到的平板从动件，并不意味着接触面是一个完善的平面，也可能是一球面。这种形式的从动件有一凸出的圆盘，较滚子从动件为优。用平板从动件，凸轮轮廓过陡时也不会产生有害的影响。

图1-2c所示的平板从动件，当位置偏斜或不对中时，表面应力和磨损都增大。为了改善这种情况，一般采用大曲率半径的球形表面（见图1-2d）。这种表面可以补偿有害的偏斜和不对中的影响。

机器中常应用滚子从动件，但汽车、拖拉机都优先应用蕈形平板从动件。因汽车、拖拉机发动机中的空间位置有限，滚子销轴的强度较低，并且轴承润滑困难。航空发动

机大都应用滚子从动件，因航空发动机的凸轮有很大的圆周速度，采用其它形式的从动件将使磨损过大。

径向从动件，其移动轴线是通过凸轮的回转中心的。图 1-2 就是这种最普通的形式。

偏置式从动件，其运动轴线是偏离凸轮回转中心的。此种结构，通常由于减低了压力和应力以及减小了凸轮尺寸，而使运动得到改善。偏置也可改变使移动式从动件咬死在支承导架中的分力的方向。图 1-3 a 是一径向凸轮和偏置式从动件。图 1-3 b 是移动式凸轮的当量机构。图 1-3 的两种凸轮机构的从动件与径向从动件不同，其运动轨迹并不等于凸轮轮廓的位移。

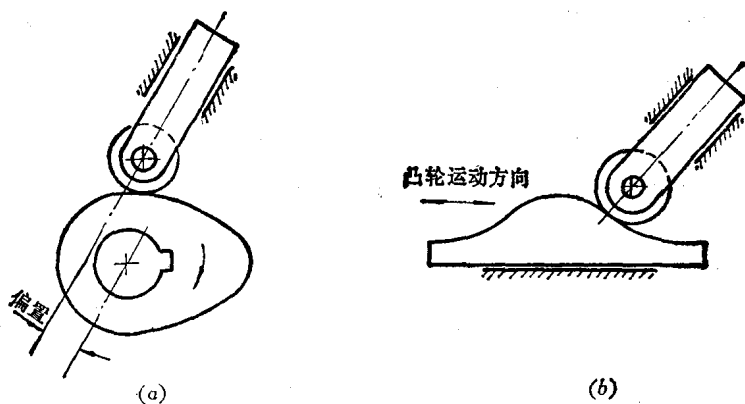


图 1-3 偏置式从动件(从动件的运动因凸轮形式的不同而异)
(a) 径向凸轮; (b) 移动式凸轮。

为了使工作性能良好，在任何速度下，从动件必须和凸轮保持接触。通常借外力(如用压缩螺旋弹簧)、确定的运动条件或重力来保持接触。有时，也利用液力或气力。所谓确定的运动条件是指从动件的滚子限制在凸轮的槽沟中(见图 1-5)，或用一共轭从动件，或用两个从动件与单凸轮(或双凸轮)的两对边相接触(参考图 1-6 和图 1-7)。槽式凸轮和滚子从动件不能提供准确的给定运动，因为槽沟和滚子边缘之间必须留有间隙。这样，在高速时会产生滑动、磨损、噪声、振动和冲击。

§ 1-2 凸 轮

凸轮可用三种方法分类：

(1) 根据从动件的运动形式分，有停留—上升—停留凸轮，用 D—R—D 表示；停留—上升—回降—停留凸轮，用 D—R—R'—D 表示；上升—回降—上升凸轮，用 R—R'—R 表示。

(2) 根据凸轮的形状分，有楔形、盘形、球形、圆柱形、截锥形、截球形以及可逆转式凸轮。

(3) 还可根据限定从动件的方式来分类。这种限定方式也就是前面讨论的借弹簧力或给定驱动的方式。

一、根据从动件运动形式命名的凸轮

1. 停留—上升—停留凸轮 (D—R—D)

这种形式的凸轮从动件的位移曲线见图 1-4 a。在运动中，位移为零的部分，叫做停留，随后有一升高的外形，接着又是停留时期。停留—回降—停留 (dwell—return—dwell, 即 D—R'—D) 也属于这种类型的凸轮，上升 (rise) 则用 R 表示。用数学来分析 (在以后几章里讨论)，停留—回降—停留与停留—上升—停留相同。单独的停留—上升—停留曲线只可供作研究和分析之用。实际上，应用最广的是停留—上升—回降—停留 (D—R—R'—D) 或上升—回降—上升 (R—R'—R)，也就是两个停留—上升—停留的综合利用，这是机器中最常见的类型。假使按照单独的停留—上升—停留来设计凸轮，这种凸轮就呈阶梯形，而且要无限大才能连续工作，因此这种凸轮不实用。一个完善的凸轮必须具有停留—上升—停留—回降—停留的运动。

2. 停留—上升—回降—停留凸轮 (D—R—R'—D)

这种凸轮的上升和回降运动是连续发生的，而且介于停留时期之间。机器中有时也应用这种凸轮。图 1-4 b 表示这种凸轮的从动件运动曲线。

3. 上升—回降—上升凸轮 (R—R'—R)

这种凸轮的轮廓没有停留时期，其从动件的位移曲线见图 1-4 c。我们虽然将分析这种形式的凸轮，但最好用偏心机构来代替，因为用偏心机构完成从动件的运动较用凸轮要准确。



图1-4 从动件的运动曲线

二、根据凸轮的形状命名 (但也包括限定从动件运动方式) 的凸轮

1. 直线移动平板式凸轮

这种凸轮是通过往复运动来驱动从动件的。从动件可以是直线移动或摆动，但其位置是由凸轮的形式和位置来决定的。

这是最简单的凸轮。从动件和凸轮的固定接触是借外力 (弹簧等) 或在凸轮上开槽沟，槽沟里装有滚子 (见图 1-5)。槽沟的形状是由从动件的运动来决定的。这种凸轮可以做成 5 米的长度，供作车削炮筒轮廓或磨削炮筒轮廓的靠模之用。

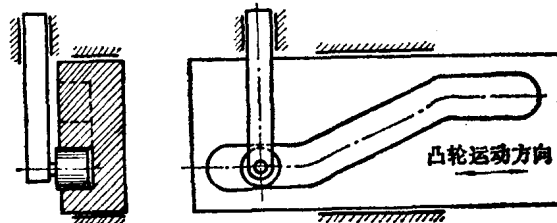


图1-5 直线移动平板式凸轮

2. 径向盘形凸轮

径向凸轮是指从动件的位置决定于从动件对凸轮轴的径向距离。从动件可作直线移动或摆动，借压缩弹簧的预加负荷、重力或给定槽 (或称确动槽) 与凸轮保持接触。这

种凸轮结构简单而紧凑，因此应用广泛。下面就是几种这种类型的凸轮：

1) 圆周凸轮 凸轮外表面和从动件接触 (见图 1-6 和图 1-7)。

2) 平面槽或平板槽凸轮 凸轮表面开有槽沟，滚子在槽沟中滚动，使从动件产生一定的运动。

3) 滚子凸轮 凸轮与从动件之间作纯滚动 (见图 5-4)。

4) 轭式凸轮 这种凸轮是一种“确动”凸轮，它被从动件的对置式滚子或距离一定的分开表面包围着。滚子或接触表面为径向对置的，从动件为移动式或摆动式。图 1-6 是一种具有直线移动从动件的单盘轭式凸轮。这种凸轮对从动件运动的控制是局限于凸轮转角 180° 范围内的，而且，有磨损，就会产生间隙，因此，从中速变为高速时，运动情况变坏。若用两个滚子从动件来代替包围面，可略减低磨损和有害的间隙 (参考图 4-4)。

5) 共轭式凸轮 共轭式凸轮也叫双盘轭式凸轮。这种凸轮具有两个径向圆盘，每一圆盘分别和从动件的滚子或从动件的表面接触。图 1-7 是这种形式的凸轮和一个摆动从动件。应用滚子从动件，可获得最好的工作性能。这种机构有两个凸轮和两个滚子，其中一个滚子借外力以牵制另一个滚子，这样，差不多可以消除间隙。因此，在高速、冲击负荷或较高动负荷的情况下，可以有效地控制从动件，使噪声、振动、磨损均减低到最小限度。这种凸轮在回转一周中，均能完全控制从动件。蒸气机车的阀门配气装置大都采用这种凸轮机构。

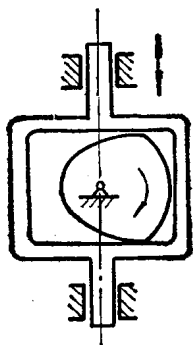


图1-6 轭式凸轮

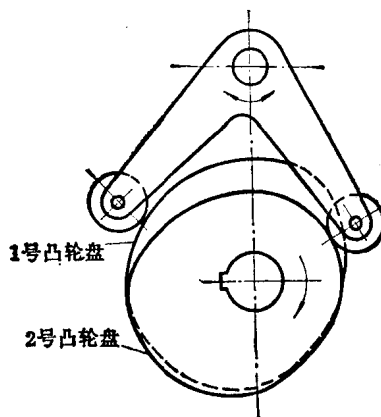


图1-7 共轭凸轮与摆动从动件

6) 圆弧凸轮 凸轮的外形是由圆弧组成的 (参考图 5-12)，且配有直线运动的滚子从动件。其优点是：结构简单，易于小余量切削，且易于检验其轮廓的准确度。

7) 简谐凸轮 这也是一种圆弧凸轮。它使从动件产生部分的或完全的简谐运动。这种简谐运动对于直线移动从动件来说是准确的，但对摆动从动件来说是近似的。这种凸轮能驱使从动件成几何轨迹运动，如三角形、矩形和五边形等 (参考图 11-8)。

8) 螺旋式凸轮 凸轮表面有一特殊的螺旋槽，借插在槽中的销子驱动作直线移动的从动件或滚子从动件。图 1-8 中的针齿轮式从动件由凸轮槽

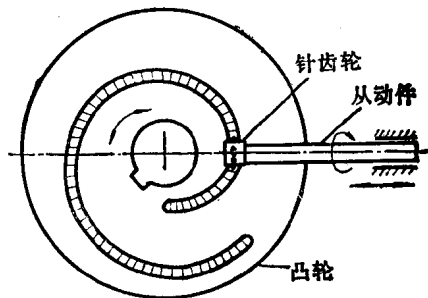


图1-8 螺旋式凸轮

中的齿所驱动。从动件的角速度取决于槽到凸轮轴线的径向距离。螺旋式凸轮大都用于计算机，这种用途的凸轮轮廓常为阿基米德螺旋线，从动件的转角是凸轮转角的平方。

9) 内凸轮 凸轮的实际轮廓或接触面是在滚子或从动件表面的径向方向的内面(见图1-9)。这种凸轮与环齿或内齿轮相似。从动件借弹簧或重力与凸轮相接触。内凸轮由于本身尺寸较大，从动件又难以设计，故很少采用。

3. 桶形凸轮

凸轮的外表面刻有槽沟，其形状是由从动件的摆动弧度决定的。这种凸轮可以是凸腹的(图1-10 a)，也可以是凹腹的(图1-10 b)。如果从动件的摆动角小，通常就用圆柱凸轮来代替。图1-10所示的桶形凸轮可以配用间歇转动的从动件。这种凸轮滚槽中的间隙常影响准确度和性能，在高速和大负荷的情况下尤甚。

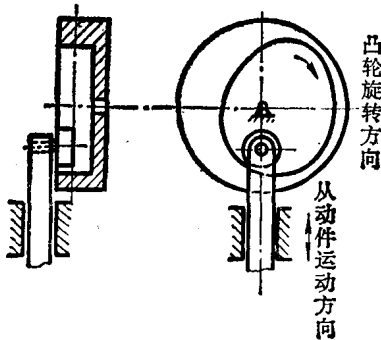


图1-9 内凸轮

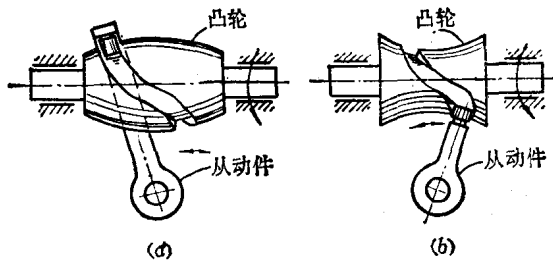


图1-10 桶形凸轮及摆动从动件
(a) 凸腹桶形凸轮；(b) 凹腹桶形凸轮。

4. 圆柱凸轮

在圆柱体的表面上开有槽沟，或端面具有特定的形状。圆柱体绕本身轴线回转，而从动件作摆动或沿其轴线方向作

直线运动。圆柱凸轮(图1-11)本质上类似桶形凸轮，仅基本形状不同而已。圆柱凸轮常采用圆柱滚子从动件，而锥形滚子从动件可作为小型凸轮的补充选择。圆柱凸轮也是一种“确动”形式的凸轮，实际应用仅次于径向凸轮。图1-12是端面具有特定形状的圆柱凸轮，工作表面是特定形状的端面，故有时候也称为端面凸轮。这种凸轮借弹簧力或重力与从动件保持接触。

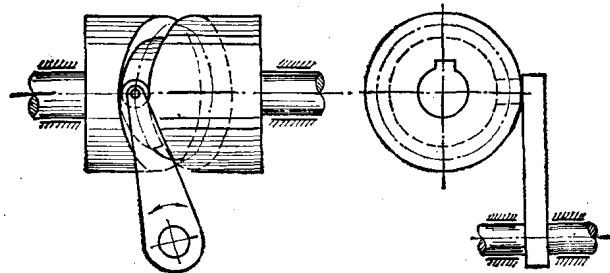


图1-11 圆柱凸轮

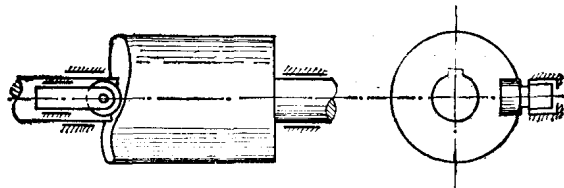


图1-12 端面凸轮

5. 圆锥凸轮

这种凸轮呈圆锥形(图1-13)，其从动件作直线移动或摆动。这种凸轮因其轮廓加工比较困难而应用较少(仅在某些星形发动机中可以遇到)。但圆锥凸轮可以在有限的

空间中改变所需要的运动方向。

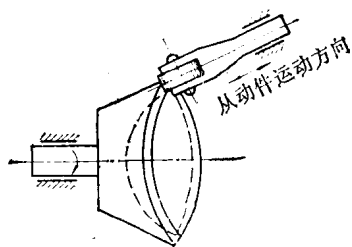


图1-13 圆锥凸轮

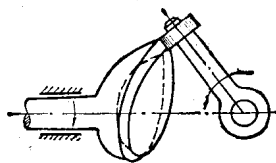


图1-14 球形凸轮

6. 球形凸轮

这种凸轮轮廓象切掉一部分的回转球，但需呈凸球形状（图1-14）。这种凸轮的轴线与从动件的轴线相垂直。凸轮回转，而从动件作摆动运动。这种凸轮除非在特殊设计所必需时才被采用。

7. 可逆凸轮

可逆凸轮是指凸轮机构中的从动件可以作为主动件，也可作为从动件。图1-15是一个作摆动的滚子驱动直线移动的曲面从动件的凸轮机构。这种凸轮应用较少。

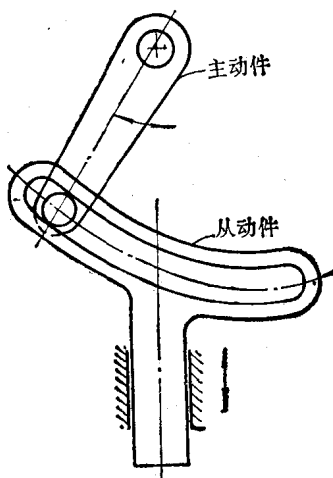


图1-15 可逆凸轮机构

§ 1-3 凸轮的经验设计

凸轮运动可以当作楔的运动来考虑（图1-16）。楔与凸轮一样，按等速从右向左运动，使从动件上升到最大位移 h 。从动件运动的第一个循环是曲线 $ABCA'$ ，接着是 $A'B'C'A'$ 及 $A''B''C''A''$ 等。如果长时间重复这个动作，凸轮必须无限长。为了获得合理的实用凸轮尺寸，可借径向圆柱凸轮来代替无限长度的楔凸轮。径向凸轮可以视为一个楔在纸面上滚转，其一个循环的长度 $ABCA'$ 等于圆周长度。圆柱凸轮可以视为一个 $ABCA'$ 的楔在垂直于纸面的平面上回转，楔凸轮 $ABCA'$ 的长度等于圆柱的圆周。从图1-16上可以得到下列几点结论：

(1) 凸轮上升的轮廓 AB 不能太陡，因为 AB 太陡会使移动式从动件在两边咬死。在

同样的从动件升距 h 的情况下，应用较大的凸轮面长度，就可以减低曲线的斜率。但这样，会使凸轮的尺寸增大。

(2) 轮廓 $ABC A'$ 必须平滑，不能有突然下降的变化。

(3) 楔凸轮的速率对于以后所讨论的凸轮从动件的运动、磨损、冲击、弹簧尺寸、动负荷、振动和润滑都有影响。

在进行研究时，先设计一个简单的凸轮，在给定的时间内有一定的总升距。如果凸轮的速度很低，而且没有其它限制条件，则凸轮就具有光滑的轮廓，并且凸轮的大小也能满足需要。这就叫做凸轮的经验设计法。

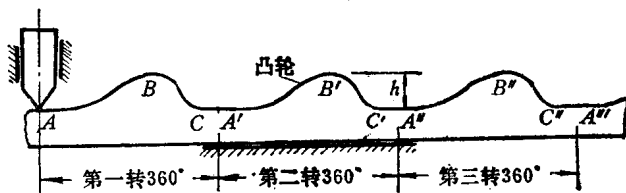


图1-16 与所有凸轮运动相同的楔凸轮

设计凸轮轮廓的基本方法：把凸轮固定，使从动件以其与凸轮的相关位置绕凸轮回转而形成凸轮轮廓。

如果我们得到无限多的点，就形成了凸轮轮廓的包络线。设计凸轮时，必须画出足够多的点，使凸轮轮廓平滑可靠，我们不但要求高度的准确度，而且设计滚子从动件时，必须定出滚子中心，然后再画出与滚子相切的轮廓线。下面就是应用经验法设计低速凸轮的例子。为了简便起见，只作出少数点的位置。

例 一径向凸轮顺时针方向回转，在下列条件下驱动一直径为 13 毫米的滚子从动件：① 凸轮回转 90° 时，从动件上升 16 毫米；② 凸轮再回转 90° 时，从动件下降 16 毫米；③ 凸轮一周转中的其余 180° ，从动件不动。

解 将凸轮固定，使从动件绕凸轮回转。设计步骤（图1-17）如下：

(1) 作两相互垂直的轴线，定出凸轮中心 A 。

(2) 假定从动件的滚子中心的最低点是其中一条径向线的点 O 。

(3) 最大升距点 1 在点 O 以上 16 毫米处。

(4) 以凸轮中心 A 为圆心， $A1$ 为半径作圆弧，交于线 $A1'$ ， $1'$ 在与凸轮回转方向相反的 90° 处。

(5) 通过点 O 和 $1'$ 作一平滑曲线，即获得凸轮的上升部分。

(6) 画出滚子直径，然后作与诸滚子相切的切线，此切线即凸轮外形。

(7) 校核曲线的陡度。如果曲线的陡度在任意一点处大于 30° ，必须用较大半径 AO 和 $A1$ 重新设计。这就意味着凸轮的尺寸变大。

(8) 重复上述过程，作 90° 的下降部分 $1'2'$ 。凸轮转动的最后 180° 弧长 $2'O$ 的半径不变。

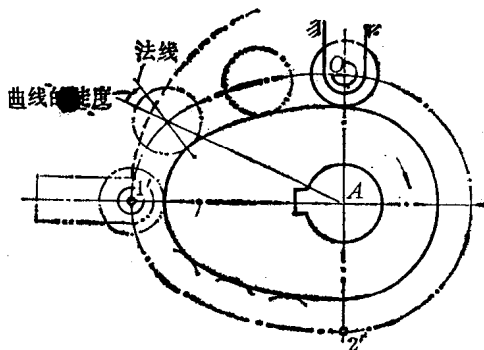


图1-17 经验方法的凸轮设计图(凸轮回转 90° 时上升 16 毫米)

这样，我们就得到一个没有突然下降曲线的低速凸轮。

第二章 从动件运动规律的基本曲线

前一章曾讨论到设计简单凸轮的方法,但这个方法没有提供从动件的速度和加速度,然而这两个因素对大多数机器影响很大。因为完善的凸轮设计,必须要求准确地分析并能控制速度和加速度。一般地说,速度愈高,对速度和加速度的研究就愈为重要,尤其加速度,是凸轮从动件机构的动负荷和振动的决定因素。

多年来,大都采用数学关系式表示运动规律的基本曲线。从易于作图、分析和调整的观点上,证明这些曲线是可以广泛应用的。以下将讨论这些曲线的设计和特性方程式。至于在高速运动的情况下,这些曲线的数学关系式将在第八章讨论。

§ 2-1 术语定义

位移图(图2-1)是指凸轮运转一个循环时,用直角坐标表示的从动件的运动规律。以纵坐标表示从动件的位移,横坐标的长度可任意选取。凸轮通常都以等速回转,因此横坐标的长度可等分为几个凸轮转角或时间的线段。

位移图(或其简图)一般可作为凸轮轮廓展开的第一步。该图表示从动件运动的真实图形。以后所讨论的径向凸轮的位移图,如果按原尺寸绘制,并不能表示出凸轮轮廓的真实斜率。换言之,凸轮外形从直角坐标转绘到极坐标上时,径向凸轮的轮廓将发生改变,但圆柱凸轮的轮廓不变。

转折点(图2-1)是凸轮上的一点,从动件在该点时速度最大。在位移图上,这一点恰位于最大的凸轮曲率处。

时间图(图2-2)是指在以时间表示的同一横坐标上,有一个以上的重叠位移图。

该图可以用作比较各凸轮运转的相互关系。设计自动机时,时间图可以防止凸轮与从动件相互干涉,并且保证构件准确定时。因此,设计者必须适当地应用时间图,以便使凸轮机构空转时间达到最小值。所以一般高速自动机的设计过程,要求经常应用时间图,直到完成设计为止。图2-2是三个凸轮的叠合时间图。

凸轮外形是凸轮实际工作面的轮廓,也是和尖端、滚子、或平板从动件相接触的表面(见图2-3)。

基圆是从径向凸轮中心到轮廓所作的最小圆。可见凸轮的尺寸是由基圆尺寸决定的。以 R_0 表示基圆半径。

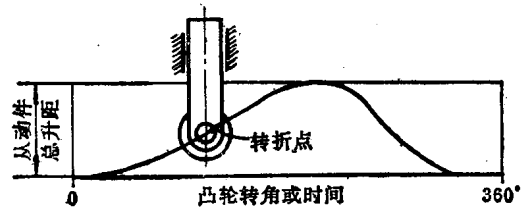


图2-1 位移图

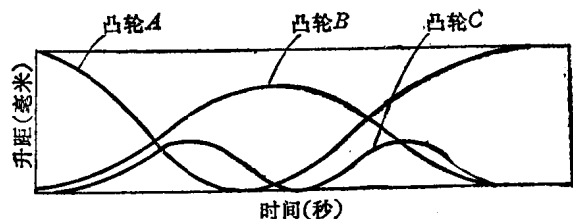


图2-2 三个凸轮的叠合时间图

迹点 是从动件上的一点，位于滚子中心、球面中心或刃缘式从动件的尖端上（在这种情况下称为触点）。

节线 是指迹点的运动轨迹。图 2-3 上表示的是径向凸轮的节线，该节线由滚子或平板从动件表面的切线形成的凸轮轮廓决定。简单的尖端式从动件，其节线与凸轮外形相重合。

原始圆 是从凸轮中心到节线所作的最小圆。它与基圆相似，其半径以 R_0 表示。

压力角 是节线的法线和从动件瞬时运动方向的夹角（在任意点处）。这个夹角 α 可以表示出凸轮外形的陡度。如果压力角太大，将影响运动的平稳性。

假定图 2-4 a 所示的凸轮压力角约为 60° ，凸轮又顺时针方向转动时，不但从动件在导架中咬死而不能上升，且使从动杆弯曲。压力角应限于 30° 或更小些，以使凸轮从动件运动平稳。如果从动件的轴承良好，从动件刚性大而且外悬部分短，最大压力角可以超过 30° 。对平板从动件而言，由于具有较小的和不变的压力角，自锁作用并不严重。图 2-4 b 所示的从动件表面与从动件运动方向垂直，压力角恒等于零，因此不会产生咬死现象。通常以 α 表示压力角，以 α_{max} 表示最大压力角。

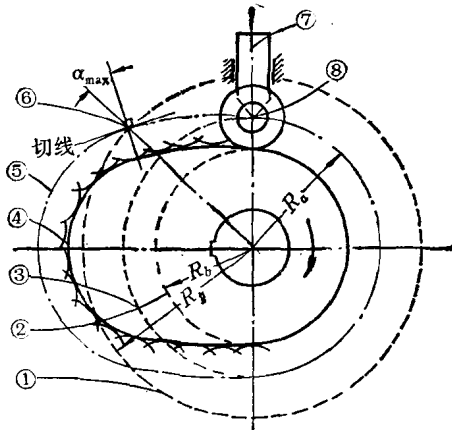


图 2-3 凸轮各部名称

- ①—节圆；②—基圆；③—原始圆；④—凸轮轮廓；
- ⑤—节线；⑥—节点；⑦—从动件；⑧—迹点（触点）。

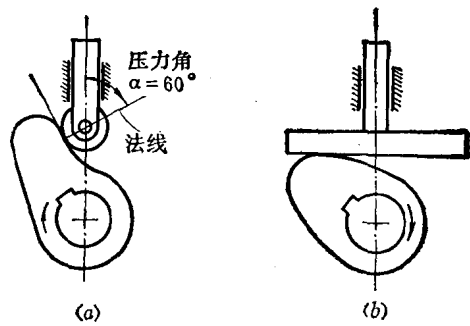


图 2-4 压力角的意义

- (a) 滚子从动件（压力角等于 60° ，从动件咬死）；
- (b) 平板从动件（压力角等于零，从动件不发生咬死现象）。

节点 是指节线上最大压力角处的一点。在设计与滚子从动件相接触的最小尺寸的凸轮时，节点是很重要的。在圆柱凸轮的位移图上，节点就是有最大斜率的点。换言之，节点与转折点相重合；然而，在径向凸轮上并不完全重合，因径向凸轮上的斜率在从位移图上转移到凸轮设计图上时，就有些差别。节点在决定准确的压力角时，是一个重要的因素。

节圆 是以凸轮轴心为圆心，以圆心到节点的距离 R_p 为半径所作的圆。图 2-3 中的 ① 是径向凸轮的节圆。圆柱凸轮的节圆通常通过滚子长度的中点（见图 4-16）。

§ 2-2 从动件的特性

在所有的凸轮机构中，从动件的位移都可用下列数学关系式表示：

$$y = f(\theta) \tag{2-1}$$

式中 θ —— 凸轮转角，弧度。

然而，由于凸轮以等角速回转，所以位移可用下式表示：