

曹金汤 编

机械设计基础丛书

凸 轮  
机 构  
设 计

机械工业出版社

机械设计基础丛书

---

# 凸轮机构设计

---

曹金汤 编



机械工业出版社

## 内 容 提 要

凸轮机构是实现自动化和半自动化的一种机构。它的特点是结构简单、工作可靠、体积小，多适用于行程小、运动规律复杂、转速不超过500转/分的运动循环。它经常被用于进给机构和控制机构。

本书在介绍凸轮机构基本知识的基础上，较系统地论述各种凸轮机构的设计方法，并列举工程实践中各种不同类型的凸轮机构设计和分析，可供从事设计工作的技术人员和技术工人参考。

### 机械设计基础丛书

### 凸轮机构设计

曹金汤 编

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)  
(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/32 · 印张3<sup>1</sup>/<sub>4</sub> · 字数68千字  
1985年10月重庆第一版·1985年10月重庆第一次印刷

印数 0,001—7,800 · 定价 0.85 元

\*

统一书号: 15033·5888

## 前 言

为了实现四个现代化的宏伟目标，各个生产部门都力求大搞技术革新、推动技术进步，因而迫切需要以最新的机器来装备自己，以求不断提高产品质量、提高工效和经济效益。为此，机械设计日益成为技术改革中的重要环节。为适应这一新的形势需要，根据“发展国民经济必须依靠科学技术，科学技术必须为国民经济服务”的方针，从当前实际需要出发而组织编写了这套《机械设计基础丛书》。

本丛书共分九册：

- 一、平面连杆机构设计
- 二、凸轮机构设计
- 三、斜面机构和螺旋机构设计
- 四、挠性传动设计
- 五、齿轮传动设计
- 六、轴系零部件设计
- 七、常用机械设计
- 八、机器测绘技术
- 九、润滑和密封

本丛书以结构设计为重点，介绍了设计计算的必要基础知识。并提供了许多机械设计实例，为设计工作引路。关于设计计算，除应用一般数学运算外，还考虑使用算图法（即诺谟图），它具有运算简便迅速、数据可靠的优点，故本丛书尽量采用图算法进行计算。

本丛书是在机械设计学习班试用的基础上重新整理编写

的，在编写过程中得到了许多同志的支持与帮助，特别是东北工学院徐灏教授。参加审阅的有：郑福庭、方昆凡、郭胜楠、茅绍琇、陈修鸿等同志，编者在此表示衷心的感谢。

本书在介绍凸轮机构基本知识的基础上，较系统地论述各种凸轮机构的设计方法，并列举工程实践中各种不同类型的凸轮机构设计和分析。可供从事设计工作的技术人员和技术工人参考。由于我们水平所限，难免存在某些缺点错误，希望读者给予批评指正。

编 者

一九八三年十二月

《机械设计基础丛书》

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 主编： | 张季高 | 毕传湖 | 曹金汤 |     |     |
| 编者： | 王汉文 | 马先贵 | 王晓东 | 郑福庭 | 毕传湖 |
|     | 张英斌 | 高泽远 | 张秀艳 | 张和远 | 周鹏翔 |
|     | 阎以诗 | 曹金汤 | 鄂仲凯 | 蔡春源 |     |

# 目 录

## 前言

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 凸轮机构的基本知识            | 1  |
| 第一节 概述                   | 1  |
| 一、凸轮机构的组成及其应用            | 1  |
| 二、凸轮机构的分类                | 3  |
| 第二节 从动件的运动规律及选择          | 3  |
| 一、等速运动                   | 12 |
| 二、等加速等减速运动               | 15 |
| 三、余弦加速度运动                | 18 |
| 四、正弦加速度运动                | 21 |
| 五、从动件运动规律的选择             | 22 |
| 第二章 凸轮轮廓设计               | 26 |
| 第一节 移动从动件的平板凸轮轮廓设计       | 26 |
| 一、尖顶移动从动件的平板凸轮轮廓设计       | 26 |
| 二、滚子移动从动件的平板凸轮轮廓设计       | 29 |
| 三、平底(或圆弧底)移动从动件的平板凸轮轮廓设计 | 34 |
| 第二节 摆动从动件的平板凸轮轮廓设计       | 36 |
| 第三节 圆柱凸轮轮廓设计             | 39 |
| 一、移动从动件的圆柱凸轮轮廓设计         | 39 |
| 二、摆动从动件的圆柱凸轮轮廓设计         | 41 |
| 第四节 凸轮的压力角               | 43 |
| 一、压力角的概念                 | 43 |
| 二、从动件的受力分析               | 44 |
| 三、基圆半径和压力角的关系            | 47 |
| 四、从动件的偏置对压力角的影响          | 53 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第五节 凸轮材料与技术要求            | 55 |
| 一、凸轮材料                   | 55 |
| 二、凸轮的技术要求                | 57 |
| 第三章 圆弧凸轮                 | 58 |
| 第一节 单圆弧凸轮                | 58 |
| 一、尖顶移动从动件的单圆弧凸轮机构        | 58 |
| 二、平底移动从动件的单圆弧凸轮机构        | 60 |
| 三、滚子摆动从动件的单圆弧凸轮机构        | 61 |
| 四、平底摆动从动件的单圆弧凸轮机构        | 63 |
| 第二节 多圆弧凸轮机构              | 64 |
| 一、滚子移动从动件的四圆弧凸轮机构        | 65 |
| 二、平底移动从动件的四圆弧凸轮机构        | 70 |
| 三、滚子移动从动件的圆弧直线凸轮机构       | 72 |
| 第四章 凸轮机构在工程中的应用          | 74 |
| 第一节 靠模设计                 | 74 |
| 一、车削靠模                   | 74 |
| 二、铣削靠模                   | 77 |
| 三、磨削靠模                   | 81 |
| 第二节 柱塞油泵凸轮——平板凸轮的设计      | 84 |
| 第三节 插秧机横向送秧机构凸轮——圆柱凸轮的设计 | 86 |
| 第四节 进给机构凸轮               | 90 |
| 一、操纵对开螺母开合的槽形平板凸轮轮廓的设计   | 91 |
| 二、操纵纵横向进给机构的圆柱凸轮轮廓的设计    | 94 |

# 第一章 凸轮机构的基本知识

## 第一节 概 述

### 一、凸轮机构的组成及其应用

图 1-1 是内燃机气门凸轮机构。它由凸轮 1 绕凸轮轴旋转，迫使从动件 2 作上下往复直线运动。带动推杆 3 使摇臂 4 摆动，控制气门 6 开启和关闭。并依靠弹簧使从动件与凸轮始终保持接触。

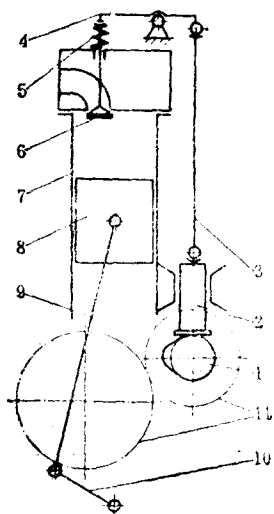


图1-1 内燃机气门凸轮机构  
1—凸轮 2—从动件 3—推杆  
4—摇臂 5—弹簧 6—气门  
7—气缸 8—活塞 9—连杆  
10—曲轴 11—齿轮

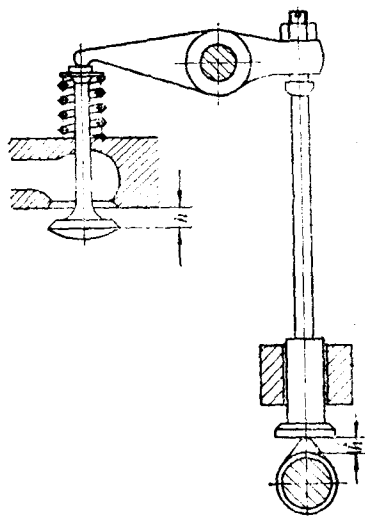


图1-2 凸轮与气门的



由图 1-1 可以看出：凸轮机构主要由凸轮和从动件组合而成。

从图 1-2 中看出：凸轮的升程  $h$ ，确定了气门开启的大小。而气门的运动速度和运动规律都决定于凸轮的形状。

由于凸轮机构具有结构简单紧凑的优点，因此在机械工业中获得了广泛地应用。特别是在自动化机械中应用更为广泛。

图 1-3 为某一油脂化工厂将制皂工艺中所用的机构，把连续移动的肥皂条切断为成品所需要的长度。图中由转轮 1、2 带动肥皂条 3 移动，同时在肥皂上下两面滚压出产品商标印记。链轮 4 随转轮 2 一起转动，通过链条 5 带动链轮 6，刀轮 7 和链

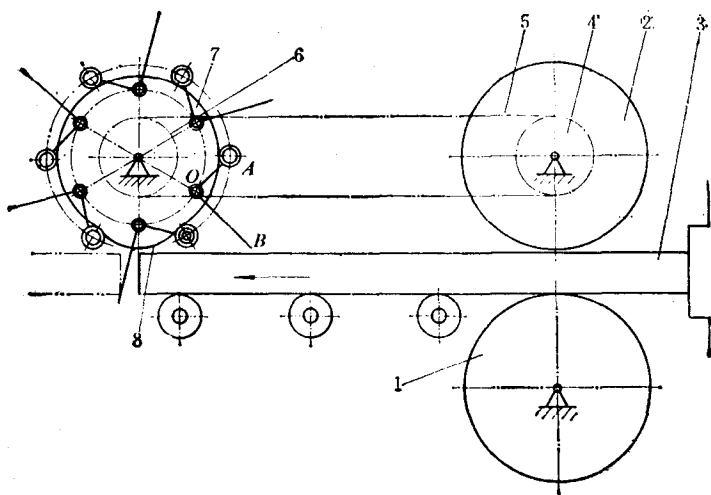


图 1-3 肥皂条切断机构

1、2—随转轮 3—肥皂条 4、6—链轮 5—链条  
7—刀轮 8—凸轮

轮6连结在一起旋转。刀轮7的周围装有6把刀架，刀架A端装有小滚轮与固定凸轮8接触。（图中没有画出保持小滚轮和凸轮接触的弹簧），另一端B是装有一方框的钢丝刀，用来切断肥皂。AOB组成了一个摆杆。这样当一个摆杆的钢丝刀切断一块肥皂后，另一个摆杆跟着切下一块肥皂，重复前一个摆杆的运动。两次重复的运动间隔恰好是一块成品肥皂的长度。不但使生产效率得到提高而且使肥皂的长度保持一致。

从机构的工作需要应保证：钢丝刀的运动方向必须与肥皂条运动方向垂直，这样才能保证切断平面垂直的皂条。钢丝刀切断皂条后要立即回到原来位置，而且不能和继续前进的皂条相碰，以免碰切前面的肥皂。所以在设计凸轮时，它的形状完全取决于从动件的运动特点。

## 二、凸轮机构的分类

凸轮机构种类很多，通常分类方法有三种：

(1) 根据凸轮的几何形状不同，凸轮机构分类如表1-1。

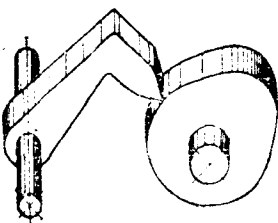
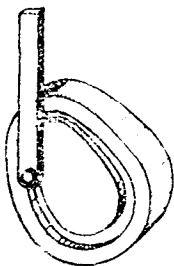
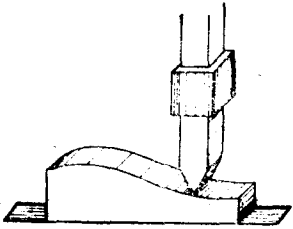
(2) 根据从动件的几何形状和运动形式的不同，凸轮机构分类如表1-2。

(3) 按凸轮和从动件之间维持接触的方法不同，凸轮机构分类如表1-3。

## 第二节 从动件的运动规律及选择

图1-4为一尖顶移动从动件平板凸轮机构(尖顶从动件虽然在实际生产中很少应用。但用它来说明基本原理较比方便、直观)。凸轮轮廓上的点到凸轮的迴转中心O的距离称为向径，用 $r$ 来表示。其中最短的向径 $r_0$ 称为基圆半径。用 $r_0$ 为

表1-1 根据凸轮的几何形状分类

| 名称   | 图 例   | 应 用 说 明  |
|------|---|--|
| 盘形凸轮 |    | <p>凸轮为径向变化的盘形构件，它绕固定轴作旋转运动。从动件在垂直于凸轮回转轴的水平面内作上下或左右往复运动（或摆动）。这种凸轮是凸轮机构中最基本的型式</p> |
| 平板凸轮 |    | <p>工作原理与盘形凸轮相同。因为它的尺寸较大，制造困难，所以应用很少。在农业机械中（如播种机、插秧机）有用之</p>                      |
| 移动凸轮 |  | <p>凸轮作直线往复移动（可以把它看作回转轴在无穷远处的盘形凸轮）<br/>常用于机车与蒸气机的气门机构及各种机床上。</p>                  |

续表

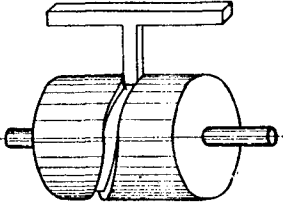
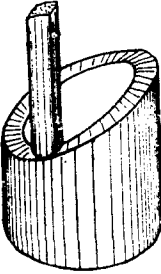
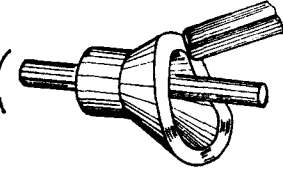
| 名称               | 图 例   | 应用 说明  |
|------------------|---|--|
| 圆柱<br>凸<br>轮     |  <p>The diagram shows a cylindrical cam with a T-shaped follower. The cam is mounted on a horizontal shaft. The follower is a T-shaped bar that fits into a groove on the cam's surface. As the cam rotates, the follower moves vertically up and down.</p>    | <p>凸轮是一个刻有沟槽的圆柱体，它绕中心轴作旋转运动。从动件在凸轮的轴线平行平面内作左右移动（或摆动）</p> <p>常用于各种自动送料机构，<br/>自动车床的控制刀架运动机构</p> |
| 空<br>间<br>凸<br>轮 |  <p>The diagram shows an end-face cam, which is a cylindrical cam with a curved profile on its end face. A vertical follower is shown in contact with this curved surface. As the cam rotates, the follower moves horizontally parallel to the cam's axis.</p> | <p>凸轮是一端带有曲面的圆柱体，它绕中心轴作旋转运动。从动件在凸轮端面作平行于轴线的平面内移动（或摆动）</p> <p>应用于机器脚踏车及金属切削机床的变速箱</p>           |
| 圆<br>锥<br>凸<br>轮 |  <p>The diagram shows a conical cam, which is a cone-shaped cam with a curved profile on its conical surface. A curved follower is shown in contact with this surface. As the cam rotates, the follower moves along the conical surface.</p>                 | <p>凸轮是锥底为曲面的圆锥体。它绕中心轴作旋转运动。从动件沿着圆锥体素线方向运动</p> <p>应用于某些星形发动机</p>                                |

表1-2 从动件的几何形状及运动形式分类

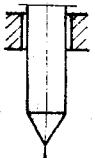

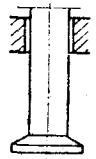

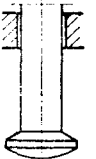

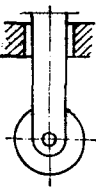

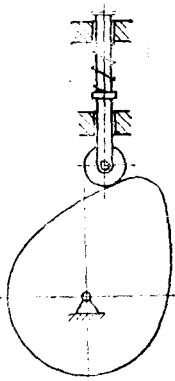
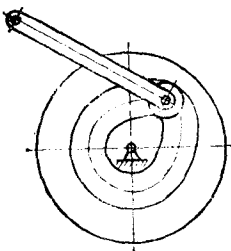
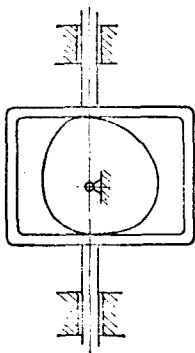
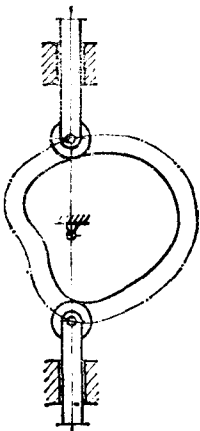
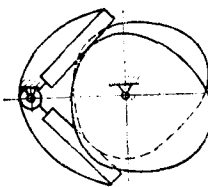
| 名称         | 从动件运动形式   |   | 应用说明   |
|------------|---|---|--|
|            | 直 动   | 摆 动   |  |
| 尖顶从动件      |    |    | 结构简单, 无论凸轮轮廓为何种曲线, 都能和轮廓线上各点相接触。从而保证了从动件实现所需的运动规律。由于从动件和凸轮之间为点接触, 故尖顶处极易磨损, 所以仅应用于低速、轻载的场合   |
| 平底(或弧底)从动件 |    |    | 从动件的平面底部只能和凸轮轮廓各处均为凸起的凸轮相接触, 不能和内凹的凸轮接触, 因此它仅用于全部外凸的盘形凸轮机构。当不计摩擦的情况下, 凸轮对从动件的作用力始终垂直于平底。传动效率较高, 结构简单。凸轮轮廓和从动件底面之间容易形成油膜, 可减少磨损。故常用于高速凸轮机构中 |
|            |   |    |  |
| 滚动从动件      |  |  | 从动件与凸轮轮廓接触的端部, 安装有小滚轮, 使从动件和凸轮轮廓之间为滚轮摩擦。故磨损较轻。可传递较大的动力, 应用较广   |

表1-3 按凸轮和从动件维持接触方法分类

| 名称      | 图例   | 说明  |
|---------|--|---|
| 力封闭凸轮机构 |   | <p>利用从动件的重量和弹簧力，或其他外力使从动件与凸轮始终保持接触</p>  |
| 形封闭凸轮机构 |  | <p>从动件滚子直接置于凸轮的凹槽中。依靠凹槽两侧的轮廓曲线，保证从动件与凸轮始终保持接触。这种封闭方式最简便，而且从动件的运动不受限制。缺点是增大凸轮尺寸和重量，又不能采用平底从动件。</p> |

| 名称                | 图 例  | 说 明  |
|-------------------|--|--|
| 形封闭凸轮机构<br>等宽凸轮机构 |   | <p>将从动件做成长方形的框架形状，而且相切于凸轮轮廓的任意两平行线之间距离，始终等于框架内侧两面的距离（即等宽），因此凸轮和从动件始终保持接触</p> |
| 形封闭凸轮机构<br>等径凸轮机构 |  | <p>通过凸轮中心的任一径向线都相等的凸轮轮廓，恒等于两滚子的距离。所以凸轮轮廓和具有固定距离的滚子始终保持接触</p>                 |

续表

| 名称                | 图例  | 说明   |
|-------------------|---|--|
| 形封闭凸轮机构<br>主回凸轮机构 |  | <p>它用两个互相连接在一起的凸轮，控制着两个固结在一起的从动件。其中一个凸轮（主凸轮）驱动从动件向某一方向运动，而另一凸轮（副凸轮）驱使从动件向相反方向运动。这样保持从动件始终与凸轮接触</p> |

半径画出的圆称为基圆。凸轮轮廓线上任意一点的向径和基圆半径 $r_0$ 之差称为从动件的位移。用 $S$ 来表示。

$$\text{即} \quad S = r - r_0$$

若以尖顶与凸轮轮廓线接触点 $A$ 为起始位置（通常是从动件顶点离凸轮的迴转中心 $O$ 最近的点）。凸轮以等角速度 $\omega$ ，绕迴转轴作逆时针方向旋转。凸轮将推动从动件上升，直到尖顶从动件离凸轮迴转中心 $O$ 为最远位置 $B''$ ，那么尖顶从动件的最近位置 $A$ 到最远位置 $B''$ 之间，这个行程的距离称为升程，常用 $h$ 表示。这期间凸轮所转过的角（图中 $\angle AOB$ ）称为升程角，用 $\phi_s$ 表示。凸轮继续旋转，尖顶从动件停止移动，当凸轮转过 $\angle BOC$ 时，尖顶从动件将开始向下移动，此期间凸轮旋转过的角（图中 $\angle BOC$ ）称为远停程角，用 $\phi_{r_1}$ 表示。凸轮再继续旋转，尖顶从动件回到离凸轮迴转中心 $O$ 最近的位置 $D$ 点，这个行程称为回程。凸轮相应地转过的角度，即 $\angle COD$ 称为回程角，用 $\phi_H$ 表示。凸轮继续旋转，尖顶从动件又停止运动，直到尖顶从动件回到起始点 $A$ 的位置。此期间转过的角度，即 $\angle DOA$ 称为近停角，用 $\phi_{r_2}$ 表示。凸轮继续不断地旋转，尖顶从动件重复上述的往复运动。



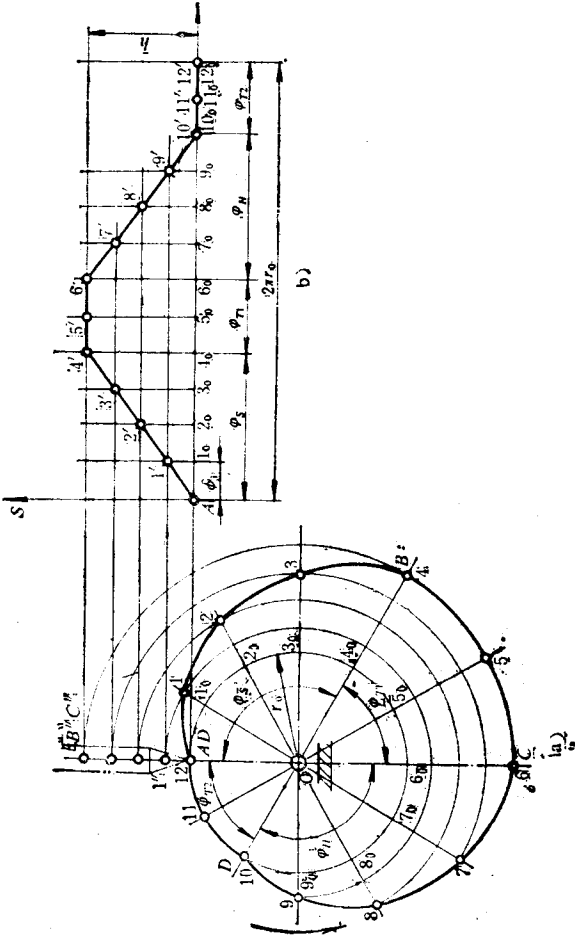


图1-4 尖顶移动从动件平板凸轮  
 a) 从动件与凸轮 b) 从动件位移线图