

凸轮与凸轮机构

(《凸轮与凸轮机构基础》修订版)

管荣法 主编

国防工业出版社

TH112.2

G68

凸轮与凸轮机构

(《凸轮与凸轮机构基础》修订版)

管荣法 主编

国防工业出版社

(京) 新登字106号

内 容 简 介

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。修订版加深了凸轮加工的内容，增加了计算机辅助设计内容。该书叙述问题简明扼要，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。

0281/19

凸轮与凸轮机构 (《凸轮与凸轮机构基础》修订版)

管荣法 主编
责任编辑 张仁杰

*

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京市飞龙印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 印张21³/₄ 507千字
1993年4月第一版 1993年4月第一次印刷 印数：0001—2000册

ISBN 7-118-00995-4/TH·74 定价：17.70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、数控机床、内燃机、蒸汽机、纺织机械、制锁机械、印刷机械、建筑机械、公路机械、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和制造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，参考有关资料，以及历年来读者们要求补充凸轮计算机辅助设计、计算机绘制凸轮以及凸轮制造技术等资料，为此对《凸轮与凸轮机构基础》进行修订和补充，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；并讨论了凸轮加工技术和准确度，也讨论了特殊凸轮机构；对应用计算机辅助设计凸轮也进行了详细阐述，以便达到出图快、缩短设计周期、提高设计质量的目的；此外，尚扼要地阐述了凸轮最优化设计。本书叙述问题简明扼要，分析问题都是应用简单的微积分学，且附有设计计算例题。所有公式和计算机绘图都用 IBM-PC 进行了验证。

本书第一章至第十章由管子方、李豪、管子超、戴光亮、管荣法编写；第十一、十二章由谢漱峰、丁品仙提供部分资料；第十一章由王文熙、管子方、管荣法编写；第十二章由李豪、储修云、管荣法编写（管荣法主编）；第十二章八种计算机绘制的凸轮轮廓曲线图由翟进文提供；所有计算机流程图由翟进文、牛允鹏修正。

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

作 者

1981年9月

目 录

<p>第一章 引言 1</p> <p> § 1-1 凸轮机构 2</p> <p> § 1-2 凸轮 6</p> <p> § 1-3 从动件 11</p> <p> § 1-4 凸轮的经验设计 13</p> <p>第二章 从动件运动规律的基本曲线 15</p> <p> § 2-1 术语定义 15</p> <p> § 2-2 从动件的特性 17</p> <p> § 2-3 基本曲线的分类 19</p> <p> § 2-4 基本曲线的比较 (停留—上升—停留凸轮) 32</p> <p> § 2-5 用于停留—上升—回降—停留凸轮的基本曲线 36</p> <p> § 2-6 上升—回降—上升凸轮的基本曲线 37</p> <p>第三章 凸轮尺寸的确定 38</p> <p> § 3-1 压力角及其相关尺寸 38</p> <p> § 3-2 凸轮因素的确定 47</p> <p> § 3-3 凸轮节点位置的确定 47</p> <p> § 3-4 凸轮曲率 48</p> <p> § 3-5 轮毂的设计 55</p> <p>第四章 凸轮轮廓的确定 57</p> <p> § 4-1 凸轮轮廓的图解法 57</p> <p> § 4-2 凸轮轮廓的计算 72</p> <p> § 4-3 解析法设计凸轮轮廓 77</p> <p> § 4-4 切削刀具或磨轮的位置 81</p> <p>第五章 其它形式的凸轮和从动件 85</p> <p> § 5-1 两接触体的滑动速度 85</p> <p> § 5-2 滚动曲线的一般情况 86</p> <p> § 5-3 基本曲线的滚动体 87</p> <p> § 5-4 对几种基本曲线凸轮机构的分析 89</p> <p> § 5-5 圆弧凸轮的一般情况 94</p> <p> § 5-6 凸轮计算机构 101</p> <p> § 5-7 带伺服系统的凸轮机构 106</p> <p> § 5-8 凸轮从动件 107</p>	<p> § 5-9 靠模凸轮设计 112</p> <p>第六章 高级曲线 119</p> <p> § 6-1 基本曲线的联合曲线 119</p> <p> § 6-2 修正抛物线运动曲线 (停留—上升—停留凸轮) 121</p> <p> § 6-3 梯形加速度曲线 (停留—上升—停留凸轮) 123</p> <p> § 6-4 修正梯形加速度曲线 (停留—上升—停留凸轮) 124</p> <p> § 6-5 停留—上升—回降—停留曲线 126</p> <p> § 6-6 多项方程式曲线 127</p> <p> § 6-7 有限差分法 134</p> <p> § 6-8 消除局部加速度波动的方法 136</p> <p> § 6-9 曲线的调整 137</p> <p>第七章 多项动力凸轮 140</p> <p> § 7-1 基本公式 140</p> <p> § 7-2 公式的应用 145</p> <p> § 7-3 实际振动的讨论 148</p> <p>第八章 高速凸轮系的动力学 149</p> <p> § 8-1 振动源 149</p> <p> § 8-2 基本曲线的振动比较 (停留—上升—停留凸轮) 151</p> <p> § 8-3 决定从动件反应的方法 152</p> <p> § 8-4 决定从动件反应的实践 161</p> <p> § 8-5 拐行陡振 162</p> <p> § 8-6 跳开现象 162</p> <p> § 8-7 平衡 164</p> <p> § 8-8 从动件的弹簧波 164</p> <p>第九章 力的分析 165</p> <p> § 9-1 静力 165</p> <p> § 9-2 惯性力 165</p> <p> § 9-3 振动对力的影响 166</p> <p> § 9-4 摩擦力 167</p> <p> § 9-5 弹簧力 167</p> <p> § 9-6 转矩 168</p> <p> § 9-7 动力极限 169</p> <p> § 9-8 设计例题 170</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

VI

§ 9-9 具有基本曲线的弹簧的比较	173	§ 11-1 凸轮加工方法概述	201
§ 9-10 材料表面接触应力	174	§ 11-2 凸轮轮廓的通用机床加工法	202
第十章 特殊凸轮	179	§ 11-3 凸轮轮廓的靠模仿形加工法	204
§ 10-1 快速运动的凸轮	179	§ 11-4 凸轮轮廓的数控机床加工法	207
§ 10-2 将直线运动变为回转运动的 凸轮	180	§ 11-5 制造精度和曲线选择的关系	237
§ 10-3 将回转运动变为直线运动的 凸轮	180	§ 11-6 凸轮轮廓的制造误差及误差的 动力效应	239
§ 10-4 每循环两转的凸轮	180	§ 11-7 材料的选择与热处理	242
§ 10-5 增加行程的凸轮	181	§ 11-8 凸轮轮廓的检验	245
§ 10-6 可调整行程的凸轮	182	第十二章 凸轮计算机辅助设计 (CAD)	247
§ 10-7 受控制的直线移动循环凸轮	182	§ 12-1 计算机辅助设计的基础	247
§ 10-8 圆弧凸轮(等宽从动件)	183	§ 12-2 计算机绘图	259
§ 10-9 斜盘凸轮	184	§ 12-3 凸轮优化设计	286
§ 10-10 变角速凸轮	185	附录	330
§ 10-11 速度控制凸轮机构	186	附录一	330
§ 10-12 间歇运动机构的比较	192	附录二	333
第十一章 凸轮的制造	201	参考文献	342

第一章 引言

随着工农业生产不断向前发展，各种机器在国民经济中都获得了广泛的应用。利用机器可以有效地提高劳动生产率，减轻人们的劳动强度，并且可以完成人力所不能完成的工作。

机器的种类甚多，各种机器的构造、用途和性能也各不相同。但任何机器都是人们劳动的产物，也就是人工的物体组合，即任何机器都是由许多构件组合而成的。组成机器的各部分之间，不但具有确定的相对运动，而且能做出有效的机械功或转换机械能。

机构指的是由两个以上的构件按一定的形式连接起来、并且相互之间具有确定的相对运动的组合件。由此可知，机构是能运动的，这种运动并有一定的规律。组成机构的这些相对运动的机件就叫构件。但机构不能做机械功，也不能转换机械能。

构件可以是单一的刚体，也可以是几个零件的刚性组合体，这种组合体是指这些零件之间没有相对运动的整体。如图 1-1 a 所示的三铰接杆和两根齿轮轴都是不能运动的组合件，因而不能成为机构；又如图 1-1 b 所示的五铰接杆，虽然其构件可以运动，但当构件 1 按一定规律运动时，其余构件不能获得完全确定的运动。由此可见，构件的组合体必须具备一定条件才能成为机构。

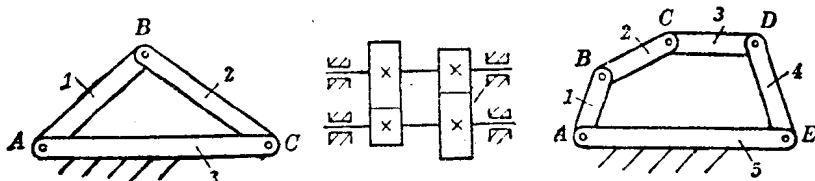


图1-1 铰接杆
(a) 三铰接杆； (b) 五铰接杆。

构件是运动的基本单元，而零件是加工制造的基本单元。在一些简单的机构中，一个单独的零件有时也是一个最简单的构件，所以从结构上来说，机器是由一些机构和零件组成的；比较复杂的机器都是由零件和机构组成部件、再由部件组成机器的。

一般说，有许多方法可以产生输入运动，例如通过气动或液压传动装置以产生往复线性运动，尚可用液压方法、步进电动机或连续回转式电动机来驱动传动轴以便产生往复、间歇或连续性的回转运动。

输出运动往往是周期性地顺着直线或曲线轨迹作往复运动，这时，作传递运动的机构具有极简单的性能。例如，用某一传动装置产生往复运动的情况下，只有一种简单的滑动运动；另一例是带有螺母的回转心轴，该螺母是由回转运动变成输出直线运动的滑动来带动的。就以输入回转运动来说，主要的有两种机构能产生往复运动：

(1) 空间和平面形式的连杆机构 (图1-2 a)，输入的回转运动是在 A 点上，而输出运动则在 B 点上；

(2) 凸轮机构 (图 1-2 b), 如果认为瞬间曲率中心 A 类似于图 1-2 a 上的 A 点, 那末可以把这些机构当做是含有长度可变的连杆机构。

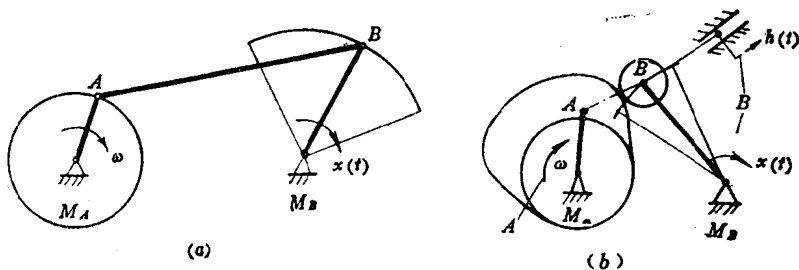


图1-2 机构

(a) 平面连杆机构: A —输入; B —输出。

(b) 凸轮机构: ω —输入; $h(t)$ —输出; $x(t)$ —输出。

这两种机构大多数都是用连续回转轴来驱动的。输出运动可以用时间的函数来表达, 即 $x(t)$ (图 1-2 a 和 b)。

在这些连杆机构中, 传递功能是由长度不变的连杆产生的, 但这种传递功能不能像在凸轮机构中可以自由地选择 (虽然可能有限定期期的近似停止), 因为有时候, 在运动链的某处由于接触中断而构成停留时期, 例如碰上完全停止, 即碰上一个死点, 由于出现了在完全停止处发生冲击现象, 系统的动态特性就会恶化。可以应用凸轮来改善这种现象, 只要在停留时期中借外力 (例如压缩弹簧, 在确动凸轮中设有压缩弹簧) 保持接触。

§1-1 凸轮机构

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、自动机床、自动化专用机床、数控机床、印刷机、转辙器、内燃机、建筑机械、矿山机械、计算机的辅助设备以及农业机具等, 都可以找到凸轮机构。在自动化专用机床中, 凸轮机构常被用作往复 (直线) 运动机构, 也可用作换向机构 (或称为转向机构、指度机构)。

凸轮机构的凸轮和从动件 (挺杆或滚子) 之间是点接触或线接触, 容易磨损。因此, 凸轮机构多用于传递动力不大的控制机构或调节机构。

凸轮机构由凸轮、从动件和机架三部分组成。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。一般可以用弹簧力、重力或槽沟 (确动凸轮) 等方法, 使工作中的凸轮和从动件之间始终保持接触。

从运动学观点来说, 一个简单的凸轮机构 (图 1-3 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 1-3 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。

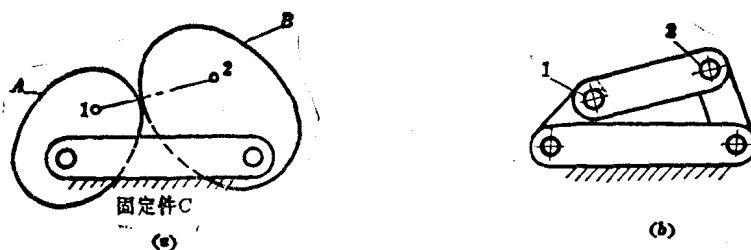


图1-3 一般的凸轮机构（两个互相接触的物体）
 (a) 一般形式的简单四轮机构；(b) 运动学的当量机构。

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。从动件杆系的重量、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。

先举几个生产中的实例：

图 1-4 所示是一内燃机的配气机构。具有曲线外形形状的凸轮 1，与凸轮始终保持直接接触的从动杆（气阀）2，在凸轮和从动杆合在一起就称为凸轮机构。凸轮 1

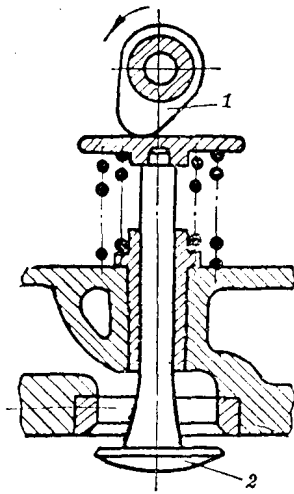


图1-4 内燃机的配气机构

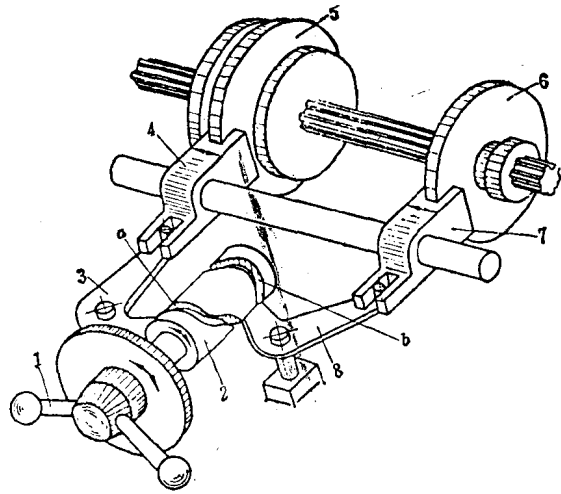


图1-5 车床变速箱的操纵机构

回转时，其轮廓迫使气阀杆 2 作断续的往复运动，控制气阀有规律地启闭（关闭是借弹簧 3 的作用），使可燃混合气体从进气阀进入气缸，或使废气从排气阀排出。至于气阀的启闭时间的长短，及其运动的速度和加速度都有严格的控制，但这些完全是由凸轮的轮廓曲线来决定的。

一般地说，内燃机中气阀凸轮机构是高速运转的凸轮机构，它不仅要求从动杆有一定的运动规律，而且对运动平稳性、振动、冲击等都有特殊要求。同时，高速运转时，从动杆的真实运动与凸轮轮廓线所预期的运动不一致，因此应将这种机构作为弹性系统来进行凸轮轮廓线的动态设计。

图 1-5 所示为车床的床头箱内用来改变主轴转速的变速操纵机构。手柄 1 转动时，具有曲线槽沟的圆柱凸轮 2 一起转动，摆杆 3 和 8（从动件）各有一个销子分别插在凸轮的两条槽沟 a 和 b 内，槽沟各处的轴向位置都不同，所以圆柱凸轮 2 转动时，就带动摆杆 3 和 8 在一定的范围内摆动。通过拨叉 4 和 7 摆杆 3 和 8 分别带动三联齿轮 5 和双联齿轮 6 在花键轴上滑动，使不同的齿轮进入啮合，这样，就改变了主轴的转速。显然，这种凸轮机构是靠凸轮的槽沟形状来控制摆杆运动的。

图 1-6 所示为冲床上加装的一种自动送料机构。框形构件 3 是一个凸轮，推杆 5 即从动件。这里的凸轮和推杆都作移动。这种不作转动而作移动的凸轮，称为移动凸轮。

框形凸轮 3 在固定导轨 4 中作上下往复移动，而推杆（送料构件）5 可以作左右移动，它的右端装有滚子 6，插在框形凸轮 3 的槽内，用弹簧（图上未表示）使滚子 6 始终压向槽沟的左侧面。框形凸轮 3 往下移动时，在弹簧拉力的作用下，滚子 6 沿着槽沟斜面向左移动，推杆 5 把工作送到冲头下面的工作位置上；框形凸轮 3 上升时，槽沟的斜面克服弹簧拉力，把滚子 6 推向右移，推杆 5 从冲头下退出，至图示位置；框形凸轮 3 继续上升时，滚子 6 和推杆 5 都静止不动，这时候进行冲压加工。冲压完毕，冲头开始上升时，又开始下一个送料循环。

图 1-7 所示为离心选矿机分矿装置的凸轮控制系统。它由安装在 G 轴上的凸轮和带有滚子的从动杆 AB 组成凸轮机构，尚有一个 $BCDE$ 双摇杆机构共同组成这个凸轮控

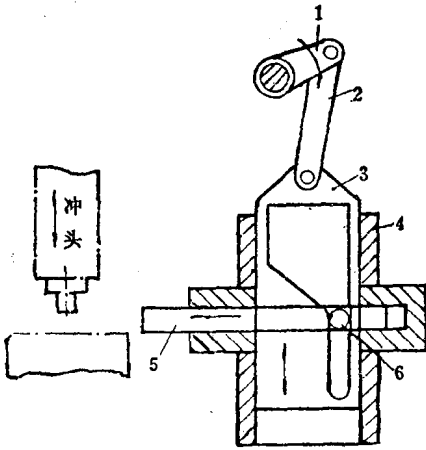


图1-6 冲床自动送料机构

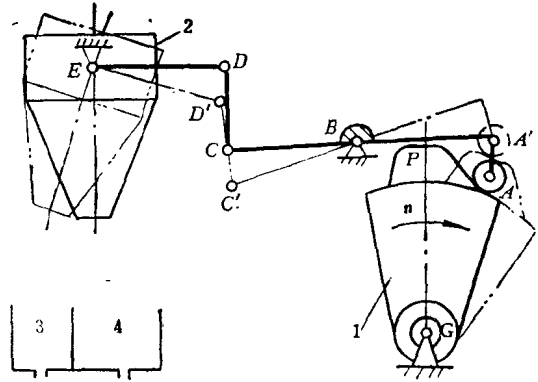


图1-7 离心式选矿机分矿控制系统

制系统。 AB 杆和 BC 杆是同一个杆件， DE 杆和放料斗 2 制成一整体。分矿控制 凸轮 1 回转一周的时间为 3.5 分钟，恰好等于离心选矿机的一个工作周期。图中用粗实线表示的放料斗 2 为向尾矿槽 4 排尾矿的位置。当分矿控制凸轮 1 的轮廓上的 P 点接触滚子时，从动杆 AB 开始绕 B 点转动，通过 $BCDE$ 双摇杆机构迫使放料斗 2 倾斜到图 1-7 中双点划线位置。这时候，已中断给矿，同时供应冲洗水，将离心选矿机中的精矿冲入精矿槽 3。当分矿控制凸轮 1 转到 m 点与滚子 A 接触时，放料斗 2 在重力作用下开始返回原来的位置。

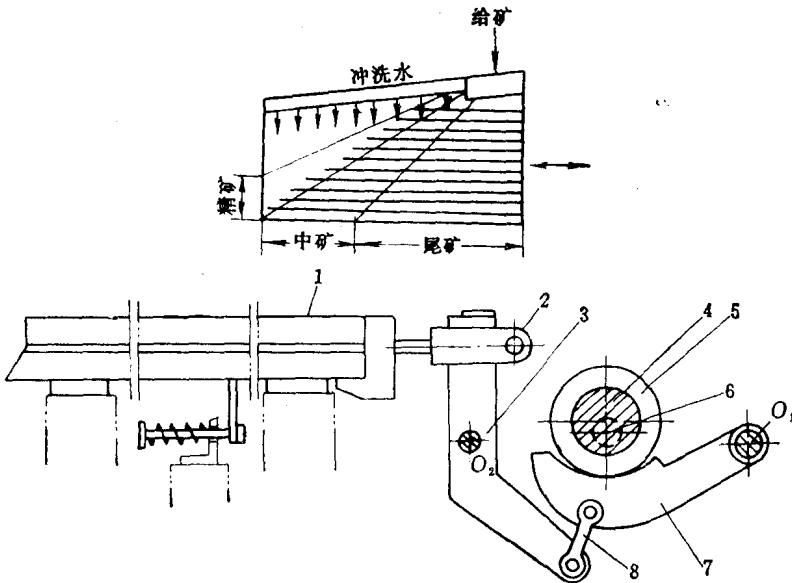


图1-8 凸轮杠杆式摇床传动装置

图 1-8 是一种凸轮杠杆式摇床传动装置，这种装置中应用的偏心轴、辊轮（也可称为偏心轮，起凸轮作用）和肘板也是一种凸轮机构。电动机通过三角胶带进行减速传动，带动偏心轴 4 绕轴心 6 点回转，偏心轴 4 又通过凸轮 5（即辊轮）使肘板 7 绕轴心

O_1 作往复摆动，肘板 7 又通过联接叉 8 迫使摇臂杠杆 3 绕轴心 O_2 作往复运动，而摇臂杠杆 3 借助活动头 2 使摇床床面 1 按特定规律作往复直线运动。

§ 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 1-9 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 1-9 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 1-9 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。

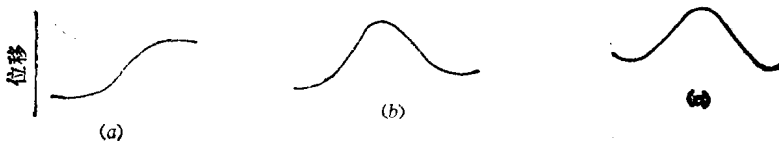


图1-9 从动件的运动曲线

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 1-10 a）。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。

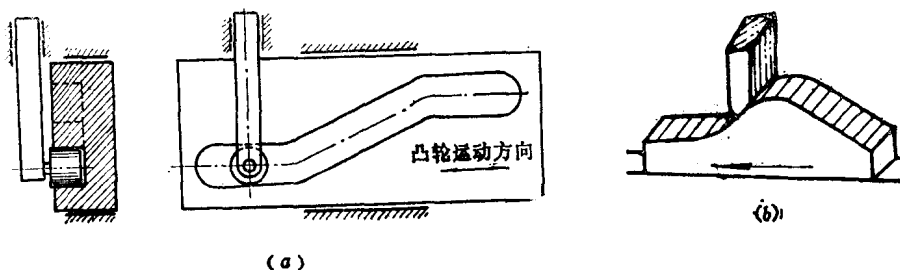


图1-10 直线移动凸轮

(a) 直线移动平板式凸轮；(b) 直线移动凸轮。

图 1-10 b 也是直线运动凸轮，这种凸轮大都用于换向机构、蒸汽机车和蒸汽机的配气阀装置以及机床上。这种凸轮作直线往复运动时，推动从动件在同一运动面内或垂直于凸轮运动方向作往复运动。有时，也可以将凸轮固定，而从动件相对于凸轮作直线往复运动。

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。

1) 圆周凸轮 凸轮外表面和从动件接触（见图 1-11）。凸轮的从动件做成长方形或正方形的框架形状，而且相切于凸轮轮廓的任意两平行线之间的距离，始终等于框架内侧两面之间的距离，因此凸轮与从动件始终保持接触。这种凸轮也称为等宽凸轮，或称为轭式凸轮。这种凸轮是一种“确动”凸轮，它也可由从动件的对置式滚子包围着。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 1-11 是一种具有直线移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框架包围面，可略减低磨损和有害的间隙（参考图 1-12 b）。

图 1-12 a 是由两个互相连接在一起的凸轮，即图上的 1 号凸轮盘和 2 号凸轮盘，控制着两个固定连接在一起的从动件，而从动件与凸轮的接触面可以是平面，也可采用滚子。其中一个凸轮为主凸轮，驱动从动件向某一方向运动；而另一个凸轮为副凸轮，驱使从动件向相反方向运动。这样，使凸轮和从动件始终保持接触。这种凸轮也称为共轭凸轮或双盘轭式凸轮。每一个径向圆盘（即主凸轮和副凸轮）分别和从动件的滚子或从动件的表面接触。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

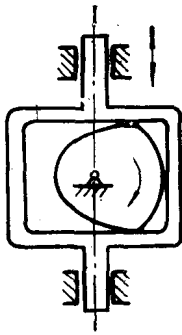


图1-11 圆周凸轮

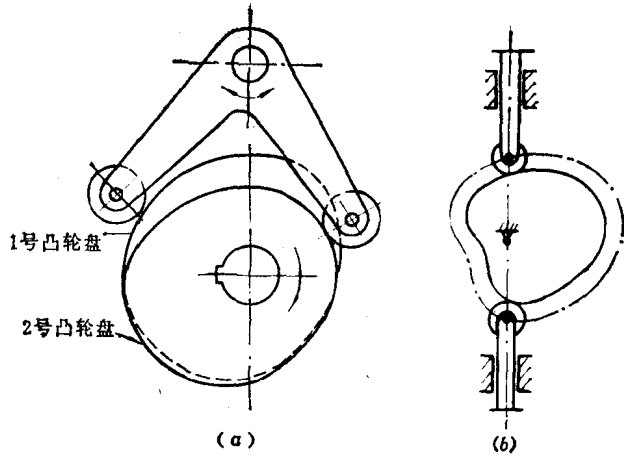


图1-12 共轭凸轮

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。蒸汽机车的阀门配气装置大都采用这种凸轮机构。

图1-12 b 称为等径凸轮机构。通过凸轮回转中心的任一径向线都相等，恒等于两个滚子之间的距离，所以凸轮始终与两滚子保持接触。

2) 平面槽或平板槽凸轮 凸轮表面开有槽沟，从动件滚子直接安置于槽沟中，依靠凹槽两侧的轮廓曲线，保证从动件滚子与凸轮始终保持接触，且使从动件产生一定的运动。图1-13所示的端面平板槽凸轮，其工作原理与盘形凸轮相同。但这种凸轮的尺寸和重量太大，且不能采用平底从动件；此外，制造困难，所以应用很少。在农业机械中如播种机、插秧机尚采用这种凸轮。这种凸轮也只宜用于低速。

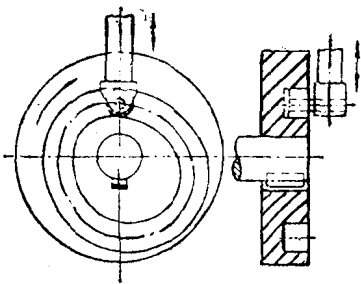


图1-13 端面平板槽凸轮

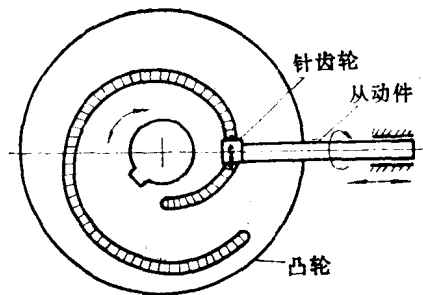


图1-14 螺旋式凸轮

3) 滚动凸轮 凸轮与从动件之间作纯滚动运动（见图5-4）。

4) 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。

凡是凸轮轮廓线由切线方向上相互衔接的圆弧或圆弧和直线组合而成的凸轮，都属于圆弧凸轮。如在内燃机上的配气机构所用的圆弧凸轮就具有这种形状。这类凸轮用平

底挺杆或滚子挺杆或滚子摇杆作为从动件。这种凸轮的加速度变化曲线由于曲率的不连续而有跳跃（软冲击），由此而产生的高负荷会引起振动、噪声和凸轮轮廓线上的颤振痕迹，并引起磨损直至机构失效。一般采用软冲击的运动规律来改善圆弧凸轮机构的动力性能。

5) 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）。

6) 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1-14中的针齿轮式从动件由凸轮槽中的齿所驱动。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线，从动件的转角是凸轮转角的平方。

7) 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1-15）。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。这种凸轮与端面平板槽凸轮极为相似（参考图1-13）。

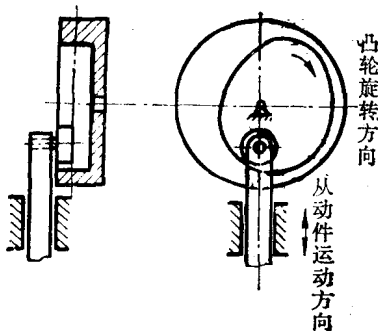


图1-15 内凸轮

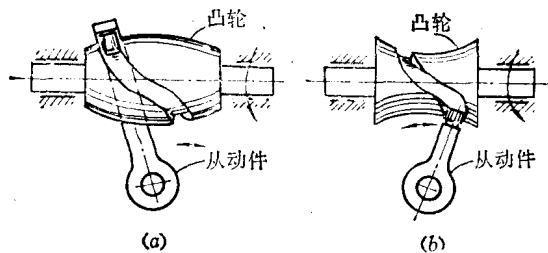


图1-16 桶形凸轮及摆动从动件

(a) 凸腹桶形槽凸轮；(b) 凹腹桶形槽凸轮。

3. 桶形凸轮

凸轮的外表面呈球面或双曲线球面，外表面刻有槽沟，所以也称为球面槽凸轮或双曲线球面槽凸轮。槽沟的形状是由从动件的摆动弧度决定的。这种凸轮也可以称为凸腹槽凸轮（即球面槽凸轮，见图1-16a）或凹腹槽凸轮（即双曲线槽凸轮，见图1-16b）。如果从动件的摆动角小，通常就用圆柱凸轮来代替。图1-16所示的桶形凸轮可以配用间歇转动的从动件。这种凸轮滚子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。

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1-17）本质上类似桶形凸轮，仅基本形状不同而已。圆柱凸轮的曲面基本上也有两种：一种为单侧曲面的圆柱凸轮，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（见图1-17a）。因为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。它常应用于摩托车及金属切削机床的变速箱。另一种为双侧

曲面（即槽形）的圆柱凸轮，故有时候也称为圆柱槽凸轮。它常用于各种自动送料机构、自动车床的控制刀架运动机构。

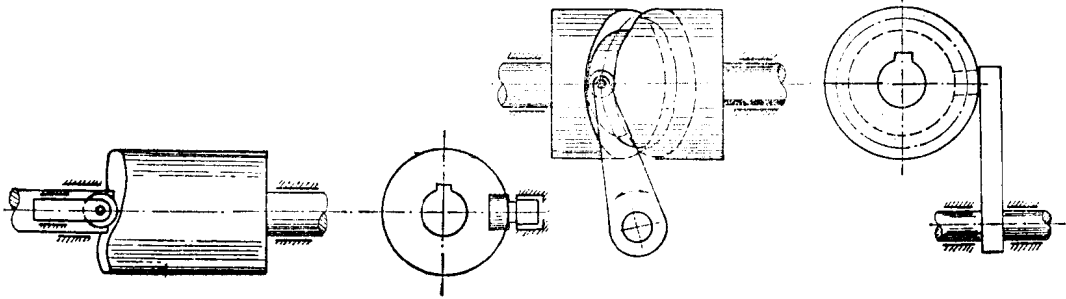


图1-17 圆柱凸轮

(a) 端面凸轮；(b) 圆柱槽凸轮。

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。

5. 圆锥凸轮

这种凸轮呈圆锥形（图1-18）。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），但可以在有限的空间中改变所需要的运动方向。

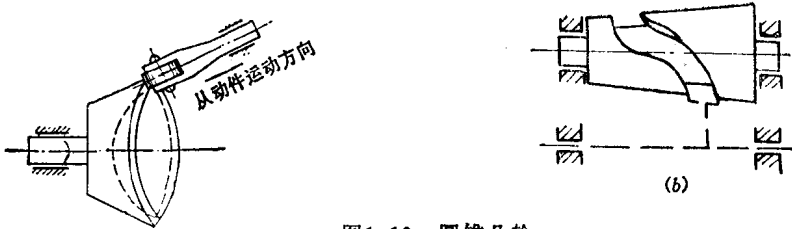


图1-18 圆锥凸轮

(a) 圆锥端面凸轮；(b) 圆锥槽凸轮。

这种圆锥凸轮也有表面有槽沟的，称为圆锥槽凸轮（见图1-18 b）。

6. 球形凸轮

这种凸轮轮廓像切掉一部分的回转球，但需呈凸球形状（图1-19）。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。

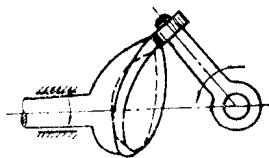


图1-19 球形凸轮

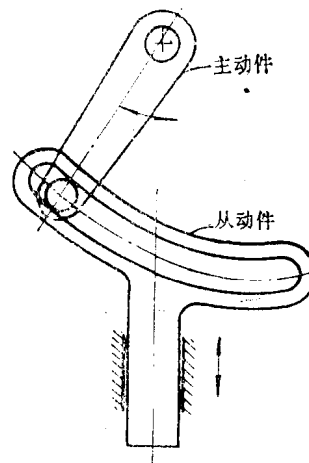


图1-20 可逆凸轮机构

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1-20是一种可逆凸轮机构，直线移动的曲面从动件是由一个作摆动的滚子来驱动的。这种凸轮应用较少。

§1-3 从动件

与系杆用转动副相连的接触构件称为摆杆（或称摇杆），与系杆用移动副相连接的接触构件称为移动杆（或称挺杆）。

从动件（即接触构件）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1-21 a 和 b）是以其尖锐的刃缘能与任何形状的凸轮轮廓接触，因而能实现复杂的运动规律。这种形式的从动件虽然结构简单，但由于与凸轮表面接触的尖顶容易磨损，所以只宜用于受力不大的低速凸轮机构，如仪表中的凸轮机构。在从动杆的一端装上滚子，即为滚子从动件（图1-21 c 和 d），滚子呈圆柱形，且在滚针或滚珠轴承上回转。轴承大都借销轴固定在从动杆上。圆柱形或锥形滚子与凸轮轮廓之间为滚动摩擦，可以减低磨损和应力，所以可用于传递较大的动力。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外形太陡，妨碍从动件的直线运动。此外，由于它的零件较多，重量增加较大，且滚子轴磨损后产生噪声，所以只适用于重载和低速的场合。

图1-21 e、f 所示，都称为平板式从动件。这种从动件与凸轮轮廓表面接触的端面为一平面，结构简单，与凸轮接触面间易形成楔形油膜，以减少磨损。不计摩擦时，凸轮对从动件的作用力始终垂直于平底，受力比较平稳，传动效率较高，所以常用于高速凸轮机构中。很显然，平板式从动件不能用于具有内凹轮廓的凸轮。

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，也可能是一个球面。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。

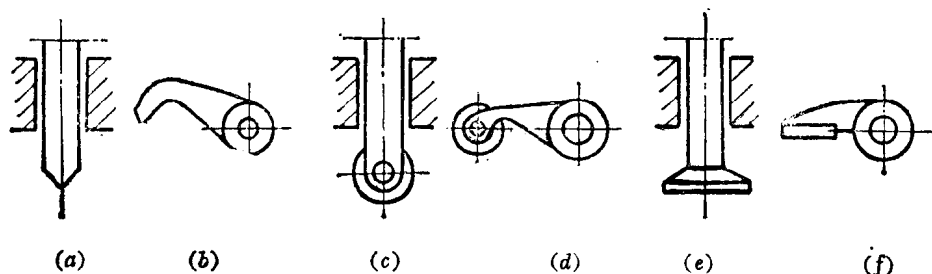


图1-21 从动件（即接触构件）

图1-21 e 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