

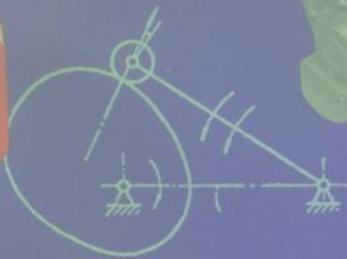
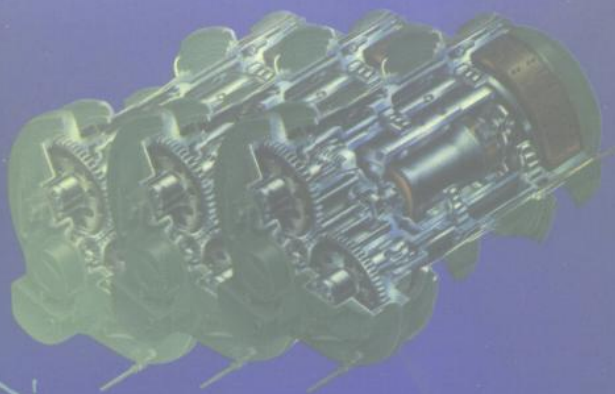
机构设计丛书

凸轮机构设计

「机构设计丛书」编审委员会 编

王永刚 徐振华 编著

上海科学技术出版社



7H11212

560

384389

机构设计丛书

凸 轮 机 构 设 计

《机构设计丛书》编审委员会 编

石永刚 徐振华 编著

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书系“机构设计丛书”之一。内容包括从动件运动规律设计、机构基本尺寸及结构设计、平面凸轮和空间凸轮轮廓设计、高速凸轮机构分析和设计、凸轮轮廓切削加工方法及靠模凸轮设计、凸轮机构工作性能反求和原始误差校正设计、凸轮机构CAD及其软件等。

本书供从事机构设计或技术改造的工程技术人员阅读，也供大学机械专业的师生参考。

责任编辑：钮国俊

“机构设计丛书”

凸轮机构设计

“机构设计丛书”编审委员会 编

石永刚·徐振华 编著

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所经销 上海市印刷三厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 15.75 插页 4 字数 413,000

1995年10月第1版 1995年10月第1次印刷

印数 1—3,000

ISBN 7-5323-3829-0/TH·72

定价：24.20元

编审委员会名单

雷天觉 张启先 路甬祥

邹慧君 李华敏 徐振华 华大年

谢存禧 殷鸿梁 吕庸厚

丛 书 序

照传统说法，一切机器都可分为三部分，动力源、传动和执行机构。一切机器的作用不外两点，一是利用能量来代替微弱的人力、畜力，另一则用机器的运动来代替人手的动作。虽然两者都是为了减轻劳动，可是它们发展的历史却很不一样。能源开发是近代的成就，应该说由水车开始，而且从历史眼光看其发展并不能说很快，一般是量变。用机器运动来代替手工动作则历史长得多，而且进步也比较大。只要比较一下上古制陶器的陶车和近代在人的大脑中进行外科手术的机器人便清楚了。这可能是因为能源开发虽然艰巨，其目标却是单一的。用机器运动代替人工劳动，目的是多种多样的，随着人类生活的发展而不断变化。因此形成很多复杂的行业。

到底机器的哪部分是用来产生代替人手的动作呢？事实上这和传统的原则性的说法略有不同。倘机器要执行的动作非常简单，则动力源—传动—执行这划分还是对的。但近代机器常极复杂，对它要求的动作也非常精细而且复杂（且不说人工智能问题）。这种精细复杂的运动常常要从传动中获得。这就使机器的传动部分和执行部分的界限模糊了，同时也使传动成为更复杂的技术。表面上好像很简单的问题，做起来可能会很困难。我常常喜欢提一个历史上的例，这里再说一次：当瓦特设计他的蒸汽机时，他需要一个直线运动来带动阀门。从表面看这是一个很简单的问题，在今天用一个导轨便成了。但在那时的加工设备和润滑技术，还不能制出导轨，而须用连杆。但瓦特想不出这样一种连杆，便要求格拉斯哥大学的数学家们帮忙，但数学家们也想不出。后来事情传开了，竟发现全世界的数学家都解决不了这问题。瓦特只得用了一个近似的直线机构。这问题直到瓦特死后几十年，

才由一位法国数学家解决了。这一事说明了在机器上对传动机构要求之高和问题解决之难。只要机器还在使用，传动机构也必然要继续发展。

传动机构的类型很多，而且还在不断增加。特别是近年来在高精技术领域，各种类型传动（齿轮、凸轮、连杆、液压、气动、电动）常联合使用。最近趋势是在使用液压气动时，传动介质和轴承润滑和压力常联为一体，这就使技术更加复杂。在这种情况下，我们迫切需要一部包括各种传动（最好还包括摩擦学）的专著。目前对每种类型传动的论著并不少，有的也很深入。但却没见过将各种传动（机构）汇为一书的。上海科学技术出版社出版的“机构设计丛书”是这种类型专著的第一次出现，很希望它能满足读者的上述需求。当然，将各种传动融会贯通、形成一体是需要时间的，但这套书总是一个很好开端。丛书计七题，依次是《机构系统设计》、《齿轮机构设计》、《凸轮机构设计》、《连杆机构设计》、《空间机构设计》、《间歇运动机构设计》及《组合机构设计》。由于它包括了各种传动，而且篇幅很大、内容比较详尽、阅读方便；又由于它是由一个统一的编审委员会领导下完成的，易于作到理论协调、体例一致。估计本书将成为前沿设计和生产工作者很欢迎的书。

笔者希冀本书在我国机械工业中起良好作用！

高学晃

九四年十月廿九日

前 言

凸轮机构是工程中用以实现机械化和自动化的一种主要驱动和控制机构，已在轻工、纺织、食品、医药、印刷、标准零件制造、交通运输等领域运行的工作机械中获得广泛应用。为了提高产品的质量和生产率，对机械设备的性能指标提出更高的要求。就凸轮机构而言，必须进一步提高其设计水平，在解析法设计的基础上开展计算机辅助设计的研究和推广。凸轮机构的解析法设计理论，虽在有关著作中已有较多论述，但用于工程实践中尚嫌不足。作者总结教学和科研中的成果，向读者提供一套独特的解析法设计公式体系，用于平面凸轮机构、空间凸轮机构(包括圆柱凸轮机构和圆锥凸轮机构)的设计计算，而不必对凸轮轮廓曲线方程式进行求导处理，从而提高设计工作效率和设计计算准确性。同时还叙述各类共轭凸轮机构的设计计算。

为适应高速凸轮机构分析和设计的需要，编入了动态分析和动态设计的内容。作者的主要贡献是提出了高速凸轮机构动态响应的区段(推程段或回程段)谐波分析法，用此法可获得比全循环谐波分析法更为准确的结果。

一般的凸轮机构设计，主要是设计能再现给定从动件运动规律的机构基本尺寸和凸轮轮廓。但是在工程中，须通过具体的机械结构来保证设计结果实现。因此阐述了结构设计。

合理的切削加工方案和正确的刀具中心轨迹坐标数据是获得符合设计要求的凸轮轮廓的关键。为此阐述了各类凸轮的切削加工方案、刀具中心轨迹坐标的计算方法及由刀具中心轨迹坐标确定加工时控制参数的方法。在仿形机床上加工凸轮轮廓是提高凸轮生产率和稳定加工质量的主要途径。为此阐述了适用于加工各类凸轮轮廓的仿形靠模机构和靠模凸轮的设计方法。

剖析和掌握现有机械设备尤其引进设备中的关键技术，是促进我国现代化的重要措施。凸轮机构的检测和反求是研究有关自动机械设备时涉及的一项主要内容。书中叙述了各种凸轮机构工作性能反求的方法，以及对原始凸轮机构中可能存在的设计上、制造上误差进行校正设计的理论和方法。

电子计算机的推广应用，为开展凸轮机构计算机辅助设计创造了设备条件。书中介绍的凸轮机构设计数学模型是编制 CAD 软件的基础之一。还推荐一套用汉语 BASIC 语言编写的平面凸轮机构 CAD 软件。

全稿由石永刚撰写。徐振华提供第十章素材及 CAD 软件，并对全稿进行校阅。本稿与丛书的其他书稿一样，经编委会审阅。

作者

1994 年 9 月于杭州

目 录

前言	1
第一章 绪论	1
§ 1-1 凸轮机构构成、功能和分类	1
一、凸轮机构构成和功能	1
二、凸轮机构分类	2
§ 1-2 凸轮机构在工程中的应用	8
§ 1-3 凸轮机构的设计步骤和要求	19
一、机构传动方案设计	19
二、机构运动分配设计	19
三、凸轮机构选型和尺度设计	20
§ 1-4 凸轮机构设计进展	23
一、凸轮机构计算机辅助设计	23
二、凸轮机构反求设计	23
三、高速凸轮机构动态设计和动态测试	23
第二章 从动件运动规律	24
§ 2-1 运动规律参数名称和定义	24
§ 2-2 多项式类型运动规律	27
一、等速运动规律——一次项运动规律	27
二、等加速等减速运动规律——二次项运动规律	28
三、等跃动度运动规律——三次项运动规律	32
四、五次项运动规律	34
五、七次项运动规律	35
六、多项式运动规律方程系数的简捷算法	36
§ 2-3 三角函数类型运动规律	38
一、简谐运动规律	38
二、双谐运动规律	38

三、摆线运动规律	39
§ 2-4 典型的组合运动规律	41
一、修正型等速运动规律	41
二、修正型等加速等减速运动规律	51
三、组合摆线运动规律	57
§ 2-5 七段拼接式组合运动规律	60
一、七段拼接式组合运动规律的基本结构	60
二、基本运动规律的类加速度曲线及其特性参数	60
三、组合运动规律类加速度幅值的计算	65
四、运动规律方程式	66
五、七段拼接式组合运动规律的设计步骤	69
§ 2-6 回程期运动方程式的建立方法及其通式	72
§ 2-7 从动件运动规律特征值及其评价	73
一、特征值确定	73
二、从动件运动规律的性能评价和选用原则	75
§ 2-8 从动件运动规律计算举例	76
第三章 平面凸轮机构基本尺寸设计	87
§ 3-1 平面凸轮机构基本尺寸及其压力角	87
一、基本尺寸参数定义及代号	87
二、平面凸轮机构压力角及其许用值	88
§ 3-2 滚子(或尖底)直动从动件平面凸轮机构基本尺寸 设计	89
一、压力角计算	89
二、作图法设计	91
三、解析法设计	94
§ 3-3 平底直动从动件平面凸轮机构压力角	102
§ 3-4 滚子(或尖底)摆动从动件平面凸轮机构基本尺寸 设计	102
一、压力角计算	102
二、作图法设计	104
三、解析法设计	111
§ 3-5 平底摆动从动件平面凸轮机构压力角	119

§ 3-6	摆动从动件平面凸轮机构基本尺寸的动力性能优化	120
一、	滚子摆动从动件	121
二、	平底摆动从动件	124
§ 3-7	平面凸轮机构基本尺寸设计举例	125
第四章	平面凸轮轮廓设计	128
§ 4-1	直动从动件平面凸轮机构的凸轮轮廓画法	129
一、	尖底直动从动件凸轮机构	129
二、	滚子直动从动件凸轮机构	130
三、	平底直动从动件凸轮机构	133
§ 4-2	摆动从动件平面凸轮机构的凸轮轮廓画法	135
一、	尖底摆动从动件凸轮机构	135
二、	滚子摆动从动件凸轮机构	137
三、	平底摆动从动件凸轮机构	137
§ 4-3	直动从动件平面凸轮机构的凸轮轮廓解析设计	139
一、	滚子(或尖底)直动从动件凸轮机构	139
二、	平底直动从动件凸轮机构	141
§ 4-4	摆动从动件平面凸轮机构的凸轮轮廓解析设计	143
一、	滚子(或尖底)摆动从动件凸轮机构	143
二、	平底摆动从动件凸轮机构	145
§ 4-5	用等步长极角表示的平面凸轮轮廓极坐标计算	148
一、	极坐标向径线性插值法	148
二、	凸轮转角线性插值逼近法	149
§ 4-6	几何锁合型平面凸轮轮廓设计	150
一、	沟槽式平面凸轮	150
二、	突缘式平面凸轮	154
三、	等径平面凸轮	158
四、	等宽平面凸轮	161
五、	平面双外缘共轭凸轮	167
§ 4-7	平面凸轮轮廓曲率半径	178
一、	滚子直动从动件平面凸轮轮廓曲率半径计算	178
二、	平底直动从动件平面凸轮轮廓曲率半径计算	179

三、滚子摆动从动件平面凸轮轮廓曲率半径计算	180
四、平底摆动从动件平面凸轮轮廓曲率半径计算	180
五、平面凸轮轮廓曲率半径的近似图解法	181
§ 4-8 圆弧凸轮轮廓设计	181
一、滚子对心直动从动件	184
二、平底直动从动件	189
三、特殊形式的六圆弧凸轮	192
§ 4-9 平面凸轮轮廓设计举例	194
第五章 空间凸轮轮廓设计	225
§ 5-1 滚子直动从动件圆柱凸轮轮廓设计	225
一、基圆柱半径确定	226
二、展开轮廓曲线画法	227
三、展开轮廓曲线坐标计算	228
§ 5-2 滚子摆动从动件圆柱凸轮轮廓设计	228
一、基圆柱半径确定	229
二、展开轮廓曲线画法	231
三、展开轮廓曲线坐标计算	232
四、中心距确定	233
§ 5-3 滚子直动从动件圆锥凸轮轮廓设计	233
一、基圆半径确定	234
二、展开轮廓曲线画法	235
三、展开轮廓曲线坐标计算	236
§ 5-4 滚子摆动从动件圆锥凸轮轮廓设计	236
一、基圆半径确定	238
二、展开轮廓曲线画法	239
三、展开轮廓曲线坐标计算	239
§ 5-5 共轭空间凸轮轮廓设计	240
一、直动从动件共轭圆柱凸轮	240
二、摆动从动件共轭圆柱凸轮	242
三、直动从动件共轭圆锥凸轮	248
四、摆动从动件共轭圆锥凸轮	250
§ 5-6 空间凸轮机构设计举例	254

第六章 高速凸轮机构	265
§ 6-1 凸轮-从动件系统动态特性及其影响因素	265
一、凸轮机构静态设计和动态设计	265
二、凸轮-从动件系统动态运动偏差	267
三、凸轮-从动件系统振动	269
§ 6-2 凸轮-从动件系统动力学模型	271
一、构件等效动力学模型	273
二、凸轮-从动件系统刚度测定	279
三、凸轮-从动件系统阻尼测定	281
四、动力学模型建立	282
§ 6-3 高速凸轮机构动态分析	286
一、工作端运动方程式	286
二、工作端动态响应	287
三、动态响应谐波分析方法	299
§ 6-4 高速凸轮机构设计	312
一、不计系统阻尼时设计高速凸轮机构	312
二、计及系统阻尼时设计高速凸轮机构	316
三、锁合弹簧刚度设计	319
四、副凸轮轮廓的设计原则	322
第七章 凸轮机构结构设计和零件工作图	324
§ 7-1 凸轮副材料	324
一、常见的失效形式	324
二、选用凸轮副材料的基本原则	325
三、凸轮副常用材料	326
四、延长凸轮副使用寿命的措施	328
§ 7-2 凸轮副接触强度校核	328
一、柱面型接触元素	329
二、球面型接触元素	330
三、许用接触应力 $[\sigma_H]$	330
§ 7-3 凸轮机构制造精度指标	332
一、凸轮轮廓几何形状精度	332
二、表面粗糙度	332

三、凸轮基准孔精度	333
四、相对位置精度	333
§ 7-4 从动件要素的典型结构	336
一、导轨的典型结构	336
二、支承的典型结构	340
三、滚子及其与从动件本体的连接	340
四、平底及其与从动件本体的连接	341
§ 7-5 凸轮与轴的连接结构	344
§ 7-6 凸轮零件工作图	347
一、平面凸轮	347
二、空间凸轮	352
第八章 凸轮轮廓加工的控制数据及靠模凸轮设计	353
§ 8-1 凸轮轮廓切削加工方法简述	353
一、划线加工	353
二、万能铣床加工	353
三、数控机床加工	354
四、电火花机床加工	355
五、仿形机床加工	356
§ 8-2 刀具中心轨迹计算	356
一、加工平面凸轮	356
二、加工空间凸轮	359
§ 8-3 实现刀具中心轨迹的控制数据	362
一、加工平面凸轮	362
二、加工空间凸轮	370
§ 8-4 靠模凸轮设计	371
一、刀架运动式靠模凸轮设计	374
二、刀架固定式靠模凸轮设计	379
§ 8-5 凸轮轮廓加工及靠模凸轮设计举例	382
第九章 凸轮轮廓检测和反求	389
§ 9-1 检测凸轮轮廓的目的和方法	389
§ 9-2 凸轮轮廓加工误差分析	392

§ 9-3	凸轮复制加工刀具中心轨迹	393
§ 9-4	凸轮轮廓检测数据双圆弧样条拟合	395
§ 9-5	平面凸轮机构从动件运动规律反求	396
一、	滚子直动从动件	396
二、	平底直动从动件	399
三、	滚子摆动从动件	400
四、	平底摆动从动件	403
§ 9-6	空间凸轮机构从动件运动规律反求	405
一、	圆柱凸轮机构	405
二、	圆锥凸轮机构	409
§ 9-7	凸轮轮廓误差修正设计	416
一、	从动件运动规律有限差商计算	416
二、	凸轮轮廓曲线误差修正	417
§ 9-8	凸轮轮廓检测和反求举例	421
第十章	凸轮机构计算机辅助设计及其软件	432
§ 10-1	从动件运动规律 CAD 及其软件	433
一、	常用运动规律选用及参数计算	433
二、	组合式运动规律设计	433
三、	运动规律设计源程序	434
§ 10-2	平面凸轮机构基本尺寸 CAD 及其软件	450
一、	尖底或滚子直动从动件平面凸轮机构基本尺寸 CAD 的目标 及计算流程	453
二、	尖底或滚子摆动从动件平面凸轮机构基本尺寸 CAD 的目标 及计算流程	453
三、	基本尺寸设计源程序	455
§ 10-3	平面凸轮轮廓 CAD 软件	464
一、	平面凸轮轮廓设计的计算流程	466
二、	轮廓设计源程序清单	467
三、	程序使用说明	483
	参考文献	487

第一章 绪 论

§ 1-1 凸轮机构构成、功能和分类

一、凸轮机构构成和功能

凸轮机构是一种由凸轮、从动件(又称推杆)和机架组成的传动机构。图1-1是它最简单的型式。凸轮1绕轴 O 旋转时,促使从动件2沿着机架3上的导轨作往复移动。通常是以凸轮作为机构的原动件。凸轮的运动方式主要是连续回转,也可以是往复移动或往复摆动。在有的机器中,根据工作性能的要求,还可将凸轮与机架固定连接,令与从动件以运动副(移动副或转动副)连接的构件(图1-1中构件3)为原动件。

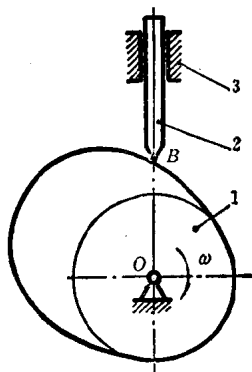


图 1-1 凸轮机构组成

凸轮机构运转时,凸轮(或者其他的原动件)的运动参数是给定的。从动件的运动状况(包括位移、速度、加速度和跃动度等参数)主要取决于凸轮的轮廓曲面参数。反之,为使从动件按某一给定的运动状况运动,需要赋予凸轮相应的轮廓曲面形状。工程中,需要再现的重复性机械动作是多种多样的,有简单的,也有非常复杂的,例如内燃机中气门的启闭,缝纫机中缝料的间断性送进,剑杆式织机中剑杆的往复运动,胶印机中递纸牙的轨迹运动,机械控制的自动切削机床中尤其是标准件加工机床中刀具的工艺运动等。几乎所有的、复杂的重复性机械动作都可由凸轮机构或者包括凸轮机构的组合机构来实现。因此,凸轮机构在机械化、自动化生产设备中得到极其广泛的应用。

二、凸轮机构分类

凸轮机构型式繁多,其工作特点和设计方法随机构型式而异,故需要对凸轮机构进行分类。分类方法有三种:按凸轮的几何形状分类;按从动件的几何形状和运动方式分类;按凸轮与从动件维持接触的方式分类。

(一) 按凸轮几何形状分类

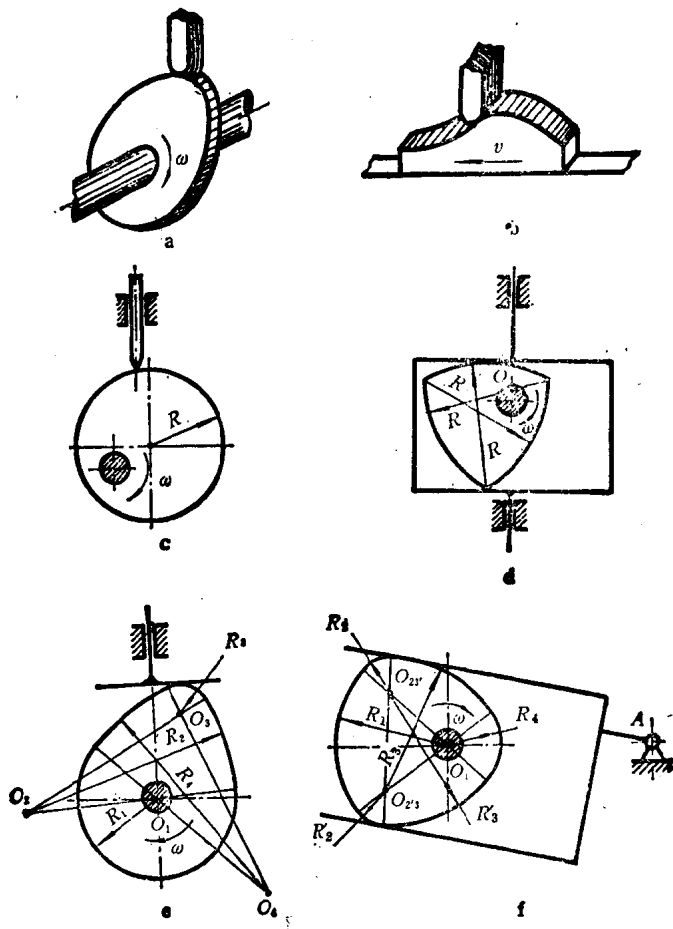


图 1-2 平面凸轮类型