

自动机械凸轮机构 实用设计手册

刘昌祺 刘庆立 蔡昌蔚 编著



科学出版社

自动机械凸轮机构实用设计手册

刘昌祺 刘庆立 蔡昌蔚 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统全面地论述了凸轮机构的最新设计理论和设计方法,在内容上涵盖了凸轮机构的计算、选型、设计、制造、检验等各个环节。在理论研究方面,本书奠定了以矢量数学和无量纲运动规律为基础的凸轮计算理论,提供了矢量数学平面三角解的源程序,给出了各种凸轮的设计计算框图,以便读者深入研究和编程;在设计方法方面,除了讲述经典的设计方法外,本书还介绍了凸轮机构虚拟样机设计、三维建模与运动仿真等技术;在实际应用方面,本书专门编撰了凸轮机构常见问题集和图例集,以便读者学习参考之用。

本书内容经典、丰富、实用,理论联系实际,图文并茂、循序渐进、由浅入深、便于自学。其系统性、理论性、先进性、科学性、实用性、简便性和手册性的特点对自动机械凸轮机构的设计、制造及检测具有重要的指导意义和实用价值。

本书可供科研院所及企业的工程技术人员使用,也可作为高等院校相关专业师生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

自动机械凸轮机构实用设计手册/刘昌祺,刘庆立,蔡昌蔚编著.—北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-035941-4

I. ①自… II. ①刘… ②刘… ③蔡… III. ①凸轮机构-设计-手册
IV. ①TH112.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 260848 号

责任编辑:裴 育 / 责任校对:郑金红
责任印制:张 倩 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2013 年 1 月第一次印刷 印张:23 1/4

字数:452 000

定价:75.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

凸轮机构被广泛用于包装机、成型机、装配机、送料机械、售货机、办公设备、自动机床、纺织机械、农业机械、印刷机械、陶瓷机械、数控加工中心换刀机构、高速压力机械、食品机械、物流机械、电子机械、自动化仪表、服装加工机械、制革机械、玻璃机械、弹簧机械和汽车等领域。凸轮机构的优点是能够使从动件工作端实现复杂的运动规律、复杂的运动轨迹以及复杂的工作循环,并且在高速状态下实现平稳性好、重复精度高、可靠性高。

随着 CAD/CAM 技术的飞速发展,自动机械凸轮机构的设计方法也发生了质的变革。为了促进我国自动机械的发展,满足企业、科研单位及大专院校相关专业的广大读者的需要,作者收集了国内外大量的图书、资料、文献和凸轮生产企业的实用技术资料,并融入多年研究、设计、制造凸轮机构的实际经验,走高校与企业合作、教学与工程实践结合的道路,对工程实践中的大量素材、实例进行梳理,载入书中。旨在系统全面地阐述凸轮机构的基本理论、设计方法、制造技术,将作者多年研究凸轮机构的成果奉献给读者。

在理论研究方面,本书奠定了以矢量数学和无量纲运动规律为基础的凸轮计算理论。凸轮机构的设计难点在于凸轮结构的复杂多样性和从动件运动规律的变化多样性。以矢量数学为基础,利用矢量三角形求解凸轮轮廓曲线,并对从动件运动规律进行无量纲的归一化处理,为研究凸轮机构提供了有力的数学工具。本书提供了矢量几何平面三角解的源程序,以及各种形式凸轮的设计计算框图,以方便读者深入研究凸轮机构理论和编制凸轮应用程序。

在设计方法方面,除了讲述经典的设计方法外,本书还介绍了凸轮机构虚拟样机设计、三维建模与运动仿真等先进设计技术。考虑到计算机辅助设计技术的重要性,本书详细介绍了运用 Creo Parametric 软件对平面凸轮机构、共轭凸轮机构以及弧面凸轮机构进行三维实体建模的方法,并以高速自动插针机和自动换刀装置为例,讲解了凸轮机构虚拟样机设计与运动仿真技术的应用。

在实际应用方面,本书专门编撰了凸轮机构常见问题集和图例集。凸轮机构设计问题集以问答的形式,将凸轮机构设计过程中的疑点、难点归类列出,并分类解答。这些问题是作者在凸轮设计制造实践中的经验总结,对研究凸轮理论、探讨凸轮设计制造方法有很好的促进作用。凸轮机构图例集汇集了近年来作者搜集的凸轮机构典型应用案例,对设计以凸轮机构为核心的自动机械有一定的借鉴作用。

本书的特点是内容经典、丰富、实用,理论联系实际、教学与科研生产相结合,

图文并茂、循序渐进、由浅入深、便于自学。既重视科学性、系统性、理论性、先进性,更重视手册性、简便性和实用性。书中所载大量公式、图形、表格、数据和实例是凸轮设计制造的实践经验总结,对我国自动机械的发展具有重要的指导意义和实用价值。

编写本书的目的,一方面是为从事自动机械凸轮机构研究的工程师提供一本实用的设计手册,另一方面是希望更多的有志青年投入到自动机械凸轮机构的研究工作中,以尽快提升我国的机械装备自动化水平,为我国自动机械的发展做出自己应有的贡献。

本书共 11 章,第 1、8、10 章及附录由刘昌祺编写,第 2、4、6、9 章由刘庆立编写,第 3、5、7、11 章由蔡昌蔚编写。

本书在编写过程中,参阅的专业文献、杂志、论文、书籍等均列入参考文献中,如有疏漏,敬请原谅。此外,本书参阅了有关专家、教授、同仁的宝贵资料,并得到了申雷先生和苏州瀚川机电有限公司的大力协助,在此深表谢意。由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2012 年 8 月

目 录

前言

第 1 章 凸轮的基本知识	1
1.1 凸轮机构的组成	1
1.2 凸轮机构的功能	2
1.3 凸轮机构的分类	2
1.4 凸轮机构的设计要素	11
1.5 位移曲线、压力角和曲率半径	11
1.5.1 位移曲线	11
1.5.2 压力角	12
1.5.3 曲率半径	14
1.6 凸轮机构的设计步骤	15
第 2 章 凸轮曲线	18
2.1 凸轮曲线概论	18
2.1.1 凸轮曲线意义	18
2.1.2 凸轮曲线性质	18
2.1.3 三种基本类型的凸轮曲线	19
2.2 凸轮曲线的无量纲化表示	20
2.3 凸轮曲线的设计准则	22
2.4 凸轮曲线的特性和选用原则	23
2.4.1 凸轮曲线的特性	23
2.4.2 凸轮曲线的选用原则	24
2.5 高速凸轮机构的判断准则	24
2.6 通用凸轮曲线的设计原理	25
2.7 凸轮曲线综述	27
2.7.1 不连续凸轮曲线	28
2.7.2 双停留对称凸轮曲线	31
2.7.3 双停留非对称凸轮曲线	39
2.7.4 单停留凸轮曲线	41

2.7.5 无停留凸轮曲线	50
2.8 5次凸轮曲线	53
2.9 凸轮曲线的制作方法	54
2.9.1 凸轮曲线设计的基本条件	54
2.9.2 积分型	54
2.9.3 微分型	56
2.10 凸轮曲线设计应用	57
2.10.1 概述	57
2.10.2 加速度曲线和减速度曲线	57
2.10.3 加速曲线和减速曲线的合成	58
2.10.4 合成曲线的制作实例	59
2.10.5 单停留曲线的设计	61
2.10.6 修正等速曲线的应用	64
2.10.7 凸轮曲线和约束弹簧	67
第3章 凸轮图形的画法	70
3.1 凸轮标准图的基本要求	70
3.1.1 凸轮图形的基本内容	70
3.1.2 绘制凸轮标准图的基本方法	70
3.1.3 位移曲线循环图画法	70
3.1.4 连杆机构表示法	71
3.2 凸轮图形实例	72
3.2.1 平面凸轮图形实例	72
3.2.2 弧面凸轮的画法	76
3.2.3 圆柱凸轮的画法	76
3.2.4 凸轮机构装配图的画法	77
第4章 矢量几何学	80
4.1 平面矢量	80
4.1.1 平面矢量的性质	80
4.1.2 复数矢量	80
4.1.3 矢量方程式	82
4.1.4 平面矢量的分类	83
4.2 平面三角形的解法	83

4.2.1	三角解的分类	83
4.2.2	分类 1 的解	84
4.2.3	分类 2 的解	86
4.2.4	分类 3 的解	86
4.2.5	分类 4 的解	87
4.2.6	连杆机构的位移解	88
4.2.7	三角解的程序	89
第 5 章	平面凸轮机构的设计	91
5.1	压力角和曲率半径	91
5.1.1	压力角	91
5.1.2	曲率半径	91
5.2	作图法设计凸轮轮廓	92
5.2.1	对心直动尖端从动件平面凸轮机构	92
5.2.2	对心直动滚子从动件平面凸轮机构	93
5.2.3	偏置直动尖端从动件平面凸轮机构	93
5.2.4	摆动从动件平面凸轮机构	94
5.3	解析法计算平面凸轮轮廓	95
5.3.1	直动平面凸轮	95
5.3.2	旋转平面凸轮	100
5.4	平面凸轮设计计算实例	112
5.4.1	平面凸轮的设计步骤	112
5.4.2	凸轮设计要素的确定	113
5.4.3	中心距	113
5.4.4	摆杆长度的确定	114
5.4.5	凸轮形状的检查	115
第 6 章	凸轮分度机构	117
6.1	概述	117
6.2	平行分度凸轮机构	117
6.2.1	工作原理	117
6.2.2	基本类型及其特点	119
6.2.3	基本参数	120
6.2.4	凸轮廓线方程	122

6.2.5	压力角条件与轮廓曲率分析	128
6.2.6	平行分度凸轮机构的运动连续性条件	131
6.2.7	不根切条件分析	139
6.2.8	平行分度凸轮机构的设计步骤	140
6.2.9	平行分度凸轮机构优化设计	142
6.3	圆柱分度凸轮机构	146
6.3.1	圆柱分度凸轮机构实例	146
6.3.2	圆柱分度凸轮机构工作原理及基本形式	147
6.3.3	圆柱分度凸轮机构的基本参数及特点	150
6.3.4	圆柱分度凸轮机构的廓面方程、压力角和曲率的计算	154
6.3.5	圆柱分度凸轮机构设计	162
6.4	弧面凸轮分度机构	165
6.4.1	弧面分度凸轮机构工作原理和基本形式	165
6.4.2	弧面分度凸轮机构的基本参数及其特点	166
6.4.3	弧面分度凸轮机构廓面方程、压力角及工作曲面曲率分析	169
6.4.4	弧面分度凸轮机构的设计步骤	173
6.4.5	弧面分度凸轮机构参数选择	174
6.4.6	弧面凸轮分度机构选择计算	175
6.5	弧面凸轮分度机构的机种选择	181
6.5.1	工作台式	181
6.5.2	传送带式	184
6.5.3	分度凸轮装置的注意事项	188
6.6	平行分度凸轮机构的机种选择	192
6.6.1	机种选择	192
6.6.2	机种选择计算	192
6.6.3	机种选择实例	195
6.6.4	平行分度凸轮机构扭矩表	198
第7章	凸轮制造与检测	202
7.1	凸轮的材料、热处理及润滑	202
7.1.1	凸轮材料	202
7.1.2	凸轮的热处理	205
7.1.3	热处理缺陷及其对策	211

7.1.4	不同凸轮种类的热处理方法	212
7.1.5	凸轮的表面处理	213
7.1.6	表面处理的种类	214
7.1.7	凸轮的润滑	215
7.2	凸轮加工工艺	216
7.2.1	铣削加工	216
7.2.2	磨削工艺	223
7.3	制造凸轮的技术要求	224
7.3.1	凸轮的表面粗糙度与公差	224
7.3.2	圆柱凸轮的制造误差	225
7.4	凸轮检测	230
7.4.1	常规检测工具	230
7.4.2	凸轮型面的检测方法	230
7.4.3	凸轮机构综合测量	234
第8章	凸轮机构的强度与振动	249
8.1	强度设计	249
8.1.1	直动驱动从动件的阻力	249
8.1.2	旋转驱动从动端的受力	251
8.1.3	凸轮强度设计	253
8.1.4	凸轮滚子强度计算	254
8.2	防止浮起的弹簧设计	256
第9章	凸轮机构三维建模与仿真技术	264
9.1	概述	264
9.2	平面凸轮机构的三维建模	264
9.3	共轭凸轮机构的三维建模与仿真	266
9.3.1	设计目标	266
9.3.2	设计方法与步骤	267
9.4	弧面凸轮机构的三维建模与仿真	271
9.4.1	设计目标	271
9.4.2	坐标输入法	272
9.4.3	自动换刀装置虚拟样机设计与仿真	277
9.5	弧面凸轮参数化设计软件(AutoCAM)	280

9.5.1	用 AutoCAM 设计弧面凸轮	281
9.5.2	大摆角弧面凸轮的设计与验证	284
9.5.3	多头、多段、大摆角的复杂弧面凸轮薄脊问题的验证	285
第 10 章	凸轮机构设计问题集	287
10.1	凸轮的设计与计算	287
10.2	凸轮的动力与驱动	303
第 11 章	凸轮机构应用实例	311
11.1	直线运动输出端机构	311
11.2	凸轮抓放机构	317
11.3	凸轮翻转机构	324
11.4	改变作用力的凸轮机构	326
11.5	凸轮分度机构	326
11.6	自动换刀机构	329
参考文献		338
附录 A	凸轮曲线 100 等分数值表	340
附录 B	压力角和曲率半径	343
附录 C	无量纲加/减速度曲线的位移数值表	356

第 1 章 凸轮的基本知识

1.1 凸轮机构的组成

最基本的凸轮机构由凸轮、从动件和机架三部分组成,如图 1-1 所示。凸轮是具有曲线轮廓或凹槽的构件,一般为主动件,做等速回转运动或往复直线运动;从动件是与凸轮轮廓接触,并传递动力或实现预期运动规律的构件,一般做往复直线运动或摆动;机架是用于支撑或固定机体的辅助构件,并兼具定位和导向的作用。图 1-2 为共轭凸轮,图 1-3 为平行分度凸轮机构,图 1-4 为弧面分度凸轮机构。

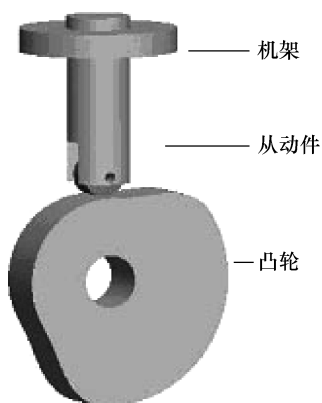


图 1-1 凸轮机构的组成

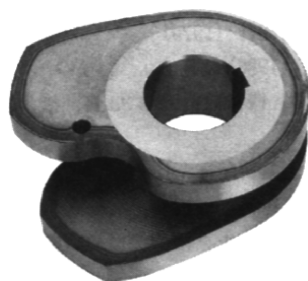


图 1-2 共轭凸轮



图 1-3 平行分度凸轮机构

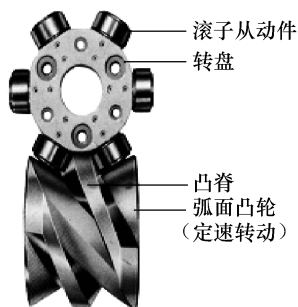


图 1-4 弧面分度凸轮机构

1.2 凸轮机构的功能

凸轮机构主要用于传递运动,同时具有定位、导向和控制机构的功能。利用凸轮机构或与其他机构形式的组合,几乎可以实现所有的运动规律,且运行可靠、定位准确、结构紧凑。凸轮机构最大的优点是易用性和灵活性,根据给定的位移、速度、加速度等从动件运动规律,可以准确有效地设计出凸轮的轮廓,且构件数目少、体积小。因此,凸轮机构广泛用于自动机械或半自动机械中,如自动包装机、自动成型机、自动装配机、自动售货机、印刷机械、纺织机械、模锻机、冷镦机、内燃机、电焊机、电子机械、自动机床以及自动化仪表等。

凸轮机构运动时,凸轮绕固定轴旋转,促使从动件沿着机架的导轨做往复或旋转运动。根据从动件工作端的工艺要求,选择从动件运动规律并通过凸轮机构设计、计算及数控(numerical control, NC)加工,赋予凸轮轮廓曲面形状。因此,凸轮的轮廓曲面参数决定了从动件的运动规律(位移、速度、加速度等参数)。

从动件工作端的工艺要求复杂多样,其动作既有简单的也有非常复杂的。例如,停歇或无停歇的直动或摆动、瞬时停车的步进运动、先进后退的往复步进运动等。工程实践中,如内燃机气门的启闭、缝纫机缝料的间断送进、灌装机分度台的间歇转位、换刀机械手换刀时的转位与提升等,几乎所有简单的、复杂的重复性机械动作都可以由凸轮机构或凸轮机构的组合机构来实现。

随着计算机辅助设计与制造技术(CAD/CAM)的日益普及,以及新材料和新工艺的发展,凸轮的设计和制造过程更加快速、精确,且交货期短、综合成本低、工作性能良好、使用寿命长,这使凸轮机构在自动机械中的应用也越来越广泛。

1.3 凸轮机构的分类

凸轮机构的形式多样,一般是按照功能、动作形态、几何形状、从动端形状以及约束形态进行分类,如图 1-5 所示。表 1-1 列出了典型凸轮的基本形态与分类特征,以供读者选用参考。

- (1) 按照功能分类,有凸轮为主动件的主动型和凸轮为从动件的从动型;
- (2) 按照动作形态分类,有直动型和转动型(包括摆动和间歇分度运动);
- (3) 按照几何形状分类,有平面凸轮和空间凸轮(包括端面凸轮、圆柱凸轮、圆锥凸轮、弧面凸轮等);
- (4) 按照从动件接触端形态分类,有尖端、圆端(滚子)、平端和曲面等;
- (5) 按照约束形态分类,有自身约束(沟槽、凸脊、共轭等)和外部约束(弹簧、重力等)。

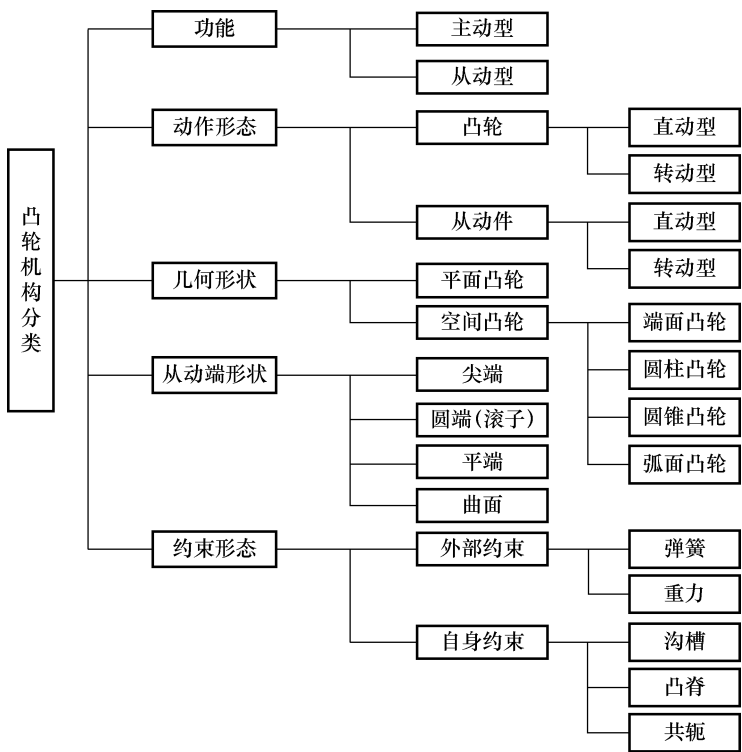
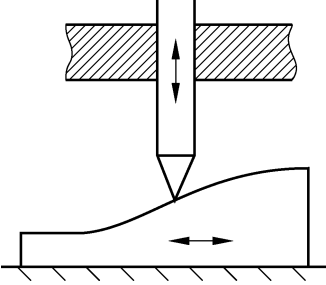
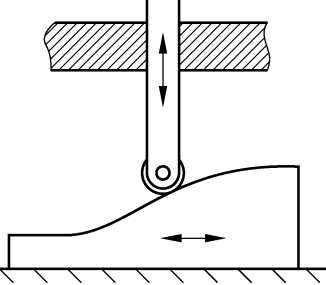
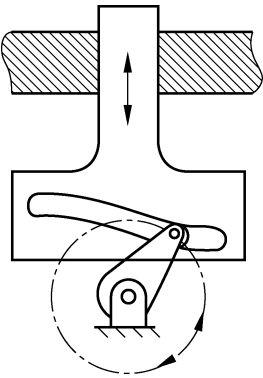
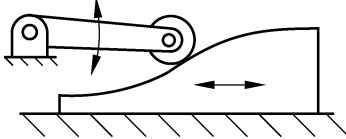


图 1-5 凸轮机构分类

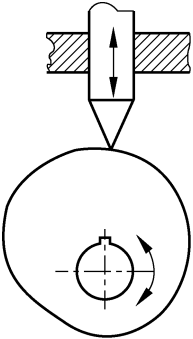
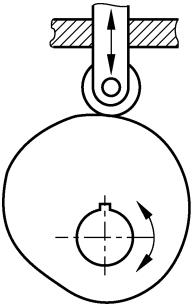
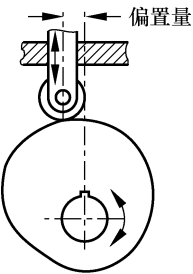
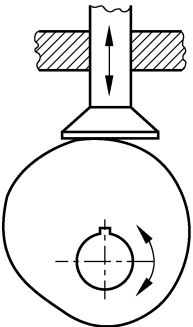
表 1-1 凸轮基本的形态特征

序号	图 例	形状	功能	动作形态		从动端	约束形态	备注
				凸轮	从动件			
1		平面凸轮	主动	直动	直动	滚子	沟槽	—
2		平面凸轮	从动	直动	直动	滚子	沟槽	—

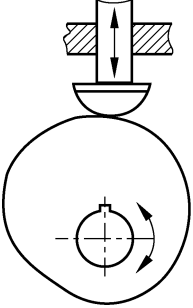
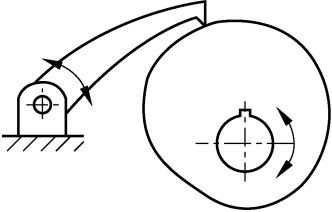
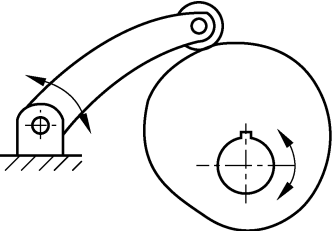
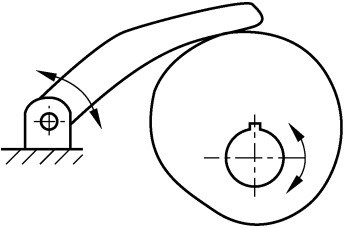
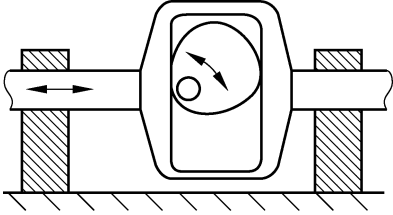
续表

序号	图 例	形状	功能	动作形态		从动端	约束形态	备注
				凸轮	从动件			
3		平面凸轮	主动	直动	直动	尖端	—	—
4		平面凸轮	主动	直动	直动	滚子	—	—
5		平面凸轮	从动	直动	直动	滚子	沟槽	—
6		平面凸轮	主动	直动	转动	滚子	—	—

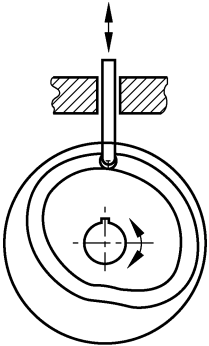
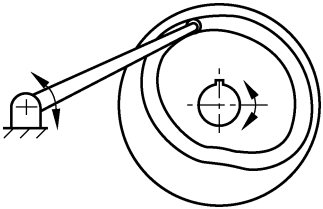
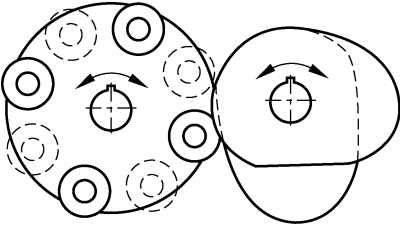
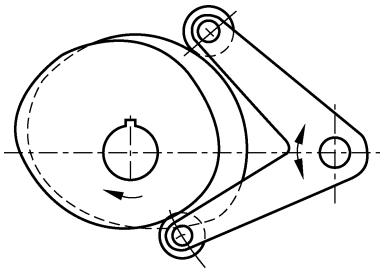
续表

序号	图 例	形状	功能	动作形态		从动端	约束形态	备注
				凸轮	从动件			
7		平面凸轮	主动	转动	直动	尖端	—	—
8		平面凸轮	主动	转动	直动	滚子	—	—
9		平面凸轮	主动	转动	直动	滚子	—	偏置
10		平面凸轮	主动	转动	直动	平端	—	—

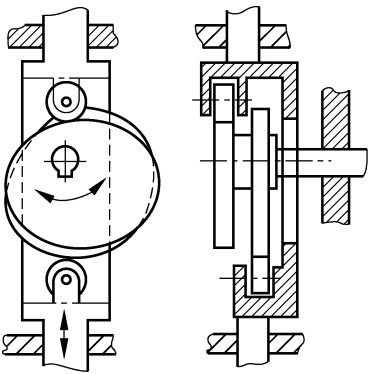
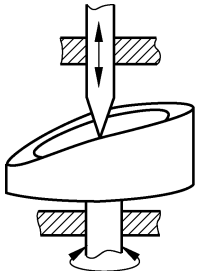
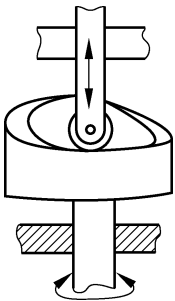
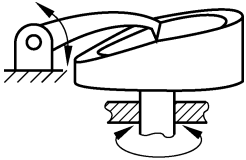
续表

序号	图 例	形状	功能	动作形态		从动端	约束形态	备注
				凸轮	从动件			
11		平面凸轮	主动	转动	直动	曲面	—	—
12		平面凸轮	主动	转动	转动	尖端	—	—
13		平面凸轮	主动	转动	转动	滚子	—	—
14		平面凸轮	主动	转动	转动	平端	—	—
15		平面凸轮	主动	转动	直动	平端	沟槽	等幅机构

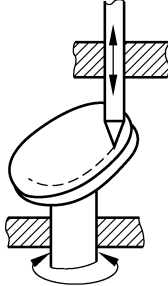
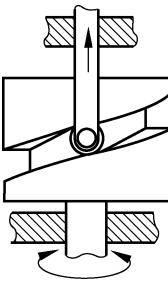
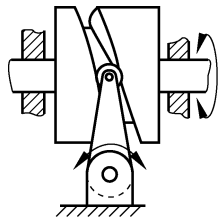
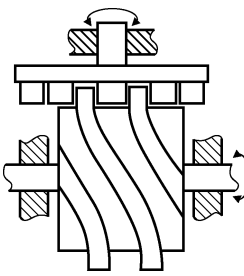
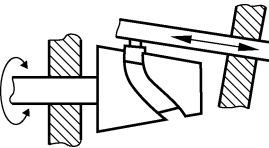
续表

序号	图 例	形状	功能	动作形态		从动端	约束形态	备注
				凸轮	从动件			
16		平面凸轮	主动	转动	直动	滚子	沟槽	—
17		平面凸轮	主动	转动	转动	滚子	沟槽	—
18		平面凸轮	主动	转动	转动	滚子	共轭	—
19		平面凸轮	主动	转动	转动	滚子	共轭	—

续表

序号	图 例	形状	功能	动作形态		从动端	约束形态	备注
				凸轮	从动件			
20		平面凸轮	主动	转动	直动	滚子	共轭	—
21		空间端面凸轮	主动	转动	直动	尖端	—	—
22		空间端面凸轮	主动	转动	直动	滚子	—	—
23		空间端面凸轮	主动	转动	转动	尖端	—	—

续表

序号	图 例	形状	功能	动作形态		从动端	约束形态	备注
				凸轮	从动件			
24		空间端面凸轮	主动	转动	直动	尖端	—	平板
25		空间圆柱凸轮	主动	转动	直动	滚子	沟槽	—
26		空间圆柱凸轮	主动	转动	转动	滚子	沟槽	—
27		空间圆柱凸轮	主动	转动	转动	滚子	沟槽/凸脊	—
28		空间圆锥凸轮	主动	转动	直动	滚子	沟槽	—

续表

序号	图 例	形状	功能	动作形态		从动端	约束形态	备注
				凸轮	从动件			
29		空间圆锥凸轮	主动	转动	转动	滚子	—	—
30		鼓形凸轮	主动	转动	转动	滚子	沟槽	属于空间弧面凸轮
31		空间弧面凸轮	主动	转动	转动	滚子	沟槽	—
32		空间弧面凸轮	主动	转动	转动	滚子	凸脊	—
33		空间弧面凸轮	主动	转动	转动	滚子	凸脊	—

1.4 凸轮机构的设计要素

图 1-6 为平面凸轮机构的构成要素。图中,基圆是凸轮最小半径的圆;凸轮的理论轮廓线是从动件滚子的中心轨迹;凸轮分度角是凸轮在转动过程中,使从动杆处于运动状态的角度;凸轮停留角是凸轮在转动过程中,使从动杆处于停止状态的角度。

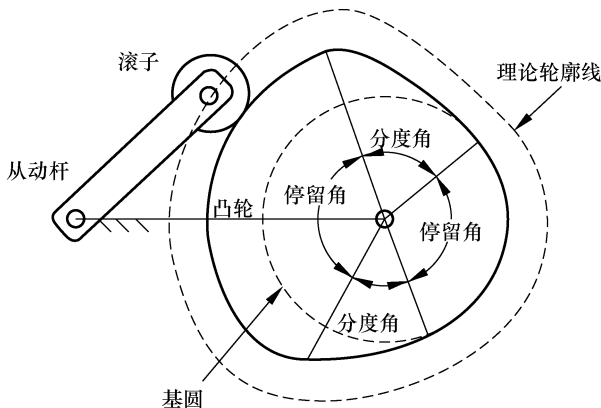


图 1-6 凸轮机构的构成要素

1.5 位移曲线、压力角和曲率半径

1.5.1 位移曲线

凸轮位移曲线是凸轮转动一周的过程中,表示从动件各时刻运动特性的线图。凸轮转动 $0 \sim 360^\circ$ 用 X 轴表示。由于凸轮做等速运动,所以 X 轴和时间轴是等价的。图 1-7 为摆动从动件平面凸轮的位移曲线图, X 轴下面的时间坐标表示凸轮转一圈需要 1s 时间,即凸轮转速为 $60\text{r}/\text{min}$,通常不必画出时间轴。

一旦定义了凸轮的位移曲线,则凸轮机构的运动特性也就确定了。在决定凸轮运动角和曲线时应考虑如下参数。

- (1) 周期:凸轮转动一周所需要的时间;
- (2) 停留时间:工艺操作所需的作业时间;
- (3) 最大加速度:加速度与惯性力成正比;
- (4) 最大速度:速度与作用在惯性体上的离心力成正比;
- (5) 最大输出载荷:载荷条件不同,运动特性也不相同;

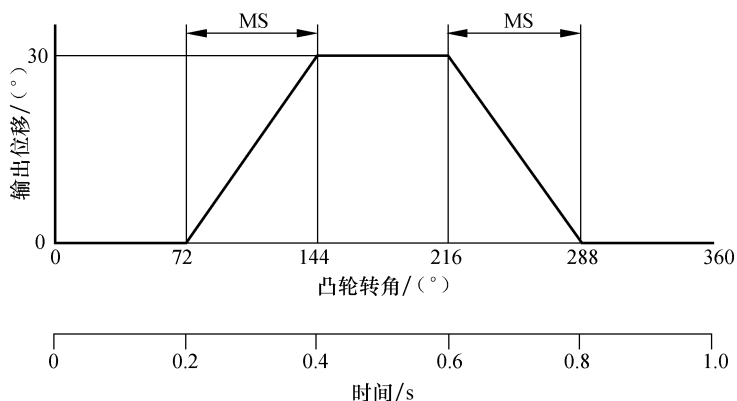


图 1-7 位移曲线

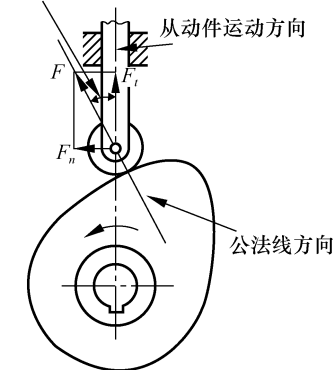
(6) 最大输出力:根据输出力来确定动力源功率。

在这些参数中,有时候某个条件得到改善而另一个条件则变坏了,为此必须综合平衡考虑,求得最佳效果。

例 如果选择修正正弦曲线,则不能满足强度要求;如果选择最大加速度小的修正梯形曲线,就降低了最大输出载荷。修正正弦曲线的 $A_m = 5.53$,修正梯形曲线的 $A_m = 4.89$, $4.89/5.53 = 0.88$,即最大输出载荷降低了 12%,但是修正梯形曲线的最大速度又增加了 13%。为此,最大输入力却增加了 48%,其结果是增加了离心力和动力源功率。那么究竟选择修正正弦曲线还是选择修正梯形曲线呢?必须根据实际情况综合考虑。

1.5.2 压力角

压力角是凸轮和从动件的公法线与从动件运动方向的夹角。图 1-8 为直动从动件平面凸轮的压力角示意图。沿公法线方向作用在凸轮和从动件之间的力 F 分解为驱动从动件运动的力 F_t 和使从动件产生变形或增加摩擦的力 F_n 。为此,压力角 φ 越小越好,当压力角 φ 等于零时,作用力的方向与从动件运动方向一致。

图 1-8 压力角 φ

一般条件下,直动从动件压力角的最大值为 30° ,摆动从动件压力角的最大值为 45° 。在实际应用中,摆动从动件的压力角最大值可以达到 60° 。通过实践,如果构件制造精度高、弹性变形极小、没有摩擦损失、构件之间没有间歇,压力角最大值可以超过 60° 。构件强度、刚性、接触摩擦大小、构件

制造精度等因素对压力角的取值都有影响。

为了精确计算压力角,必须按照机构形式画出机构矢量图并建立矢量方程。用近似算法求压力角则较为简单。

1. 直动从动件平面凸轮

图 1-9(a)为直动从动件平面凸轮,其最大压力角和平均半径公式如下:

$$\tan \varphi_m = \frac{y_h}{\rho} V_m \quad (1-1)$$

$$r_p = \frac{r_{\max} + r_{\min}}{2} \quad (1-2)$$

式中,下标 m 表示最大; r_p 为平均半径。

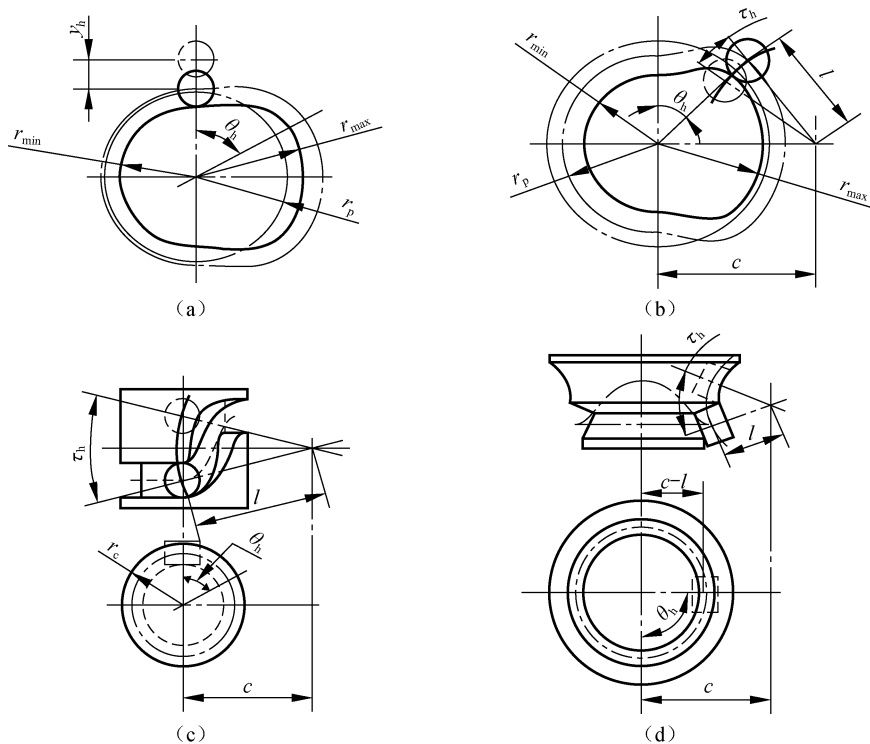


图 1-9 凸轮压力角

2. 摆动从动件平面凸轮

图 1-9(b)为摆动从动件平面凸轮,其最大压力角和平均半径公式如下:

$$\tan \varphi_m \approx \frac{\pi_h l}{\theta_h r_p} V_m \quad (1-3)$$

$$r_p = \frac{r_{\max} + r_{\min}}{2} \quad (1-4)$$

3. 摆动从动件圆柱凸轮

图 1-9(c)为摆动从动件圆柱凸轮,其最大压力角公式如下:

$$\tan \varphi_m = \frac{\pi_h l}{\theta_h r_c} V_m \quad (1-5)$$

4. 摆动从动件弧面凸轮

图 1-9(d)为摆动从动件弧面凸轮,其最大压力角公式如下:

$$\tan \varphi_m = \frac{\pi_h l}{\theta_h (c - l)} V_m \quad (1-6)$$

例 求圆端摆动从动件平面凸轮机构压力角在 30° 以下时的凸轮半径大小。

解 根据公式(1-3), $\tan \varphi_m \approx \frac{\pi_h l}{\theta_h r_p} V_m$, 得 $r_{\max} = r_p + \frac{h}{2}$, $r_{\min} = r_p - \frac{h}{2}$, 设 $h = 2l \sin \frac{\pi_h}{2}$, 则 $r_{\min} = \frac{\pi_h l}{\theta_h \tan \varphi_m} V_m - \frac{h}{2}$, 把 30° 代入 φ_m , 并代入其他各元素, 则可求出半径 $r_{\max}$ 的值。

1.5.3 曲率半径

研究圆端从动件凸轮机构的特性, 必须研究从动件滚子中心轨迹的曲率半径。根据滚子中心轨迹曲率半径的大小, 可以确定凸轮形状是否成立。图 1-10 为凸轮实际轮廓 1 和 2 在滚子中心轨迹两侧的情况。

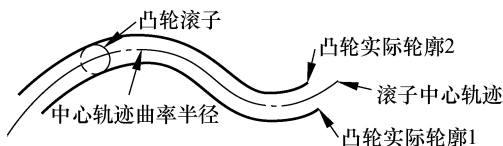


图 1-10 滚子中心轨迹

凸轮实际轮廓的成立条件如图 1-11 所示。如图 1-11(a)所示, 当滚子中心轨迹的曲率半径等于滚子半径时, 凸轮实际轮廓 1 的曲率半径等于零, 比凸轮实际轮廓 1 的曲率半径再小的凸轮实体是不可能存在的; 如图 1-11(b)所示, 当中心轨迹的曲率半径等于零时, 只有凸轮实际轮廓 2 的凸轮实体是存在的。如图 1-12 所

示,当中心轨迹曲率半径小于滚子半径时,产生顶切现象。

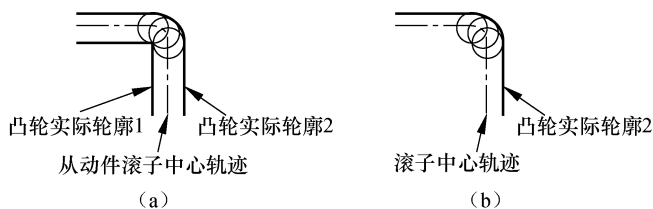


图 1-11 凸轮轮廓成立条件

在实际应用的凸轮中,如图 1-11 和图 1-12 所示的凸轮形状是不成立的。在设计凸轮时,滚子中心轨迹曲率半径应大于滚子半径。

利用计算出的曲率半径值可以计算凸轮和滚子之间的应力。凸轮轮廓的曲率半径越小应力越大。用赫兹公式求应力时,必须使其在许用应力范围之内。高精度的凸轮机构应该精确计算曲率半径。

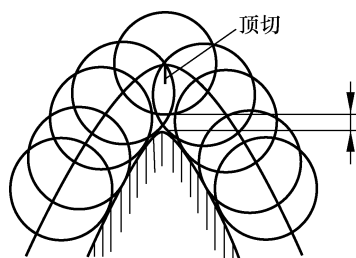


图 1-12 顶切

1.6 凸轮机构的设计步骤

设计凸轮机构时,在满足功能要求的前提下,必须考虑机构的大小、强度、寿命和刚度。凸轮机构的一般设计步骤如下。

(1) 选择凸轮机构的形式。

(2) 确定输出运动参数:

① 设计位移曲线图;

② 根据运动特性选择运动规律,确定凸轮运动曲线;

③ 确定机构输入和输出载荷。

(3) 确定凸轮机构设计要素:

① 确定满足压力角、凸轮大小、机构强度等约束条件的参数。初步计算是采用压力角近似计算公式。

② 确定凸轮机构的几何条件。以圆端直动从动件凸轮为例,确定从动件的初始坐标、从动件滚子半径和偏心距;对于摆动从动件凸轮,则是确定摆杆的中心坐标、摆杆长度、滚子半径等。

(4) 确定几何特性。

根据步骤(2)、(3)的设计参数,精确计算出压力角和曲率半径,从而确定凸轮

形状。如果凸轮形状不能成立,则重复计算到凸轮形状满意为止。计算分度凸轮时,因为有多从动件,所以必须考虑凸轮面是否有干涉。

(5) 计算强度、寿命和刚性:

- ① 计算作用在凸轮上的接触应力;
- ② 计算凸轮面上的滚动疲劳寿命;
- ③ 计算从动件滚子的强度(静载荷强度);
- ④ 计算从动件滚子的滚动疲劳寿命(动载荷时);
- ⑤ 计算机构元件的强度,如摆杆、轴等的弯曲强度,螺栓的强度等;
- ⑥ 确定零件的许用应力值及机构刚性的取值范围等。

例 设计摆角为 15° 的摆动从动件凸轮机构。设计步骤如下:

(1) 选择凸轮机构的形式。选择圆端摆动从动件平面凸轮,如图 1-13 所示。

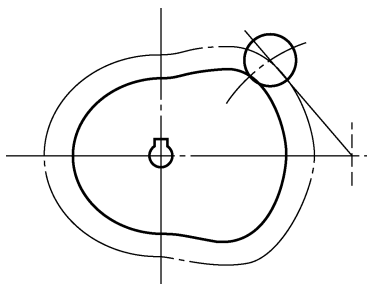


图 1-13 圆端摆动从动件平面凸轮机构简图

(2) 确定输出运动参数。绘制位移曲线图,并确定运动规律为修正正弦曲线(MS),如图 1-14 所示。

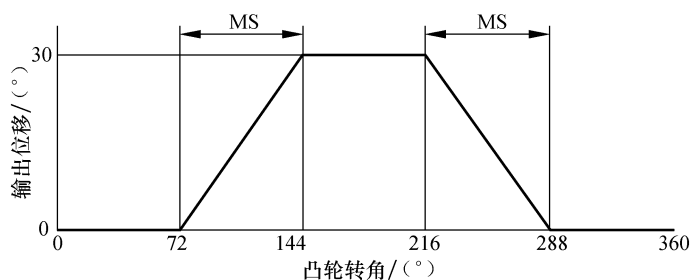


图 1-14 凸轮位移曲线图

(3) 确定凸轮机构设计要素。根据压力角近似公式,计算满足最大压力角和最大凸轮半径等约束条件的构件。确定从动件的初始坐标、从动件滚子半径、中心距、摆杆长度、滚子半径等,如图 1-9(b)所示。

(4) 确定几何特性。通过精确计算压力角、曲率半径,确定最大压力角、凸轮轮廓凸面最小曲率半径、凸轮轮廓凹面最小曲率半径是否在规定的范围之内,如图 1-15 所示。

(5) 确定强度、寿命、刚性。利用几何特性数值,计算表面压力、构件的强度、滚动疲劳寿命和刚性等。

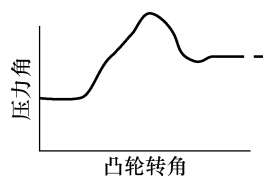


图 1-15 压力角曲线

第 2 章 凸 轮 曲 线

2.1 凸轮曲线概论

2.1.1 凸轮曲线意义

在凸轮机构的设计中,凸轮轮廓的形状主要取决于从动件的输出运动规律,凸轮曲线并非表示凸轮轮廓的曲线,而是凸轮从动件按某种运动规律运动的曲线。选择不同的凸轮曲线会对机构的运动和动力特性产生较大的影响。研究凸轮曲线的目的在于使从动件在推动负载时,时间短、平稳、圆滑、无振动、耗能小。为此,世界各国从事自动机械研究的专家、教授、工程师开发了许多满足各种使用要求的凸

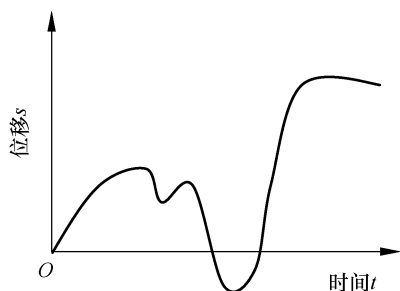


图 2-1 凸轮曲线

轮曲线。这些曲线不仅应用于凸轮机构,而且应用于其他运动场合,如电梯的升降运动使用的是修正梯形曲线。因此,如何设计和选择优良的凸轮曲线是凸轮机构设计中需要解决的首要问题。

如图 2-1 所示,在凸轮曲线图中,横坐标代表时间(t),纵坐标代表从动件位移(s)。

可以看出,凸轮曲线描述了从动件输出位移 s 随时间 t 变化的规律,可用下式表示:

$$s = f(t) \quad (2-1)$$

2.1.2 凸轮曲线性质

凸轮曲线具有下列性质:

- (1) 位移 s 是时间 t 的函数;
- (2) 位移 s 是时间 t 的连续函数,可以微分;
- (3) 由于时间 t 是不可逆的,所以前一状态会影响到后一状态,而后一状态对前一状态没有影响。

应该指出,广义的凸轮曲线,不仅指位移与时间的运动关系曲线,还可以是速度、加速度、跃度等物理量随时间变化的曲线。因此,广义的凸轮曲线应定义为

$$\frac{d^n s}{dt^n} = f(t) \quad (2-2)$$

式中

$$\begin{cases} s = f(t), & n = 0 (\text{位移}) \\ v = \frac{ds}{dt} = f'(t), & n = 1 (\text{速度}) \\ a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2} = f''(t), & n = 2 (\text{加速度}) \\ j = \frac{da}{dt} = \frac{d^2 v}{dt^2} = \frac{d^3 s}{dt^3} = f'''(t), & n = 3 (\text{跃度}) \end{cases} \quad (2-3)$$

2.1.3 三种基本类型的凸轮曲线

虽然实际工作的凸轮机构运动规律繁多,但是无论凸轮运动规律曲线如何复杂,都可将凸轮曲线分为以下三种基本类型。

1. 双停留曲线(DRD)

双停留曲线是指在一个运动循环周期 T 内,有两个时间段停留,即:停→升→停→回,如图 2-2(a)所示。如果是间歇转动机构,则没有回程,即:停→升→停,如图 2-2(b)所示。双停留曲线是凸轮机构最常用的运动规律,也是连杆机构和其他机构不易实现的运动规律。

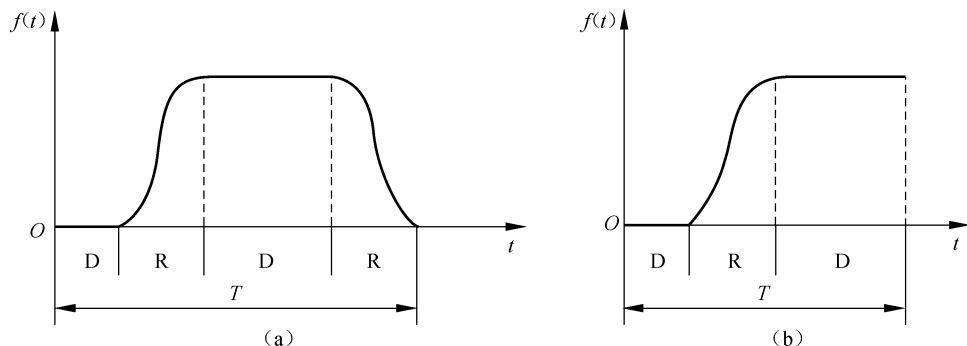


图 2-2 双停留曲线 DRD

2. 单停留曲线(DRR)

单停留曲线是指在一个运动循环周期 T 内,只有一个时间段停留。如图 2-3(a)所示,在最低位置停留,在最高位置无停留,即:停→升→回。也可以在