

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

机 械 原 理

主 编：朱 理

副主编：王贤民 黄忠东 傅志红

高等教育出版社

内容简介

本书是教育科学“十五”国家规划课题之一——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题的研究成果。

本书对机械原理课程传统教材的内容和体系进行了一定的改革,全书以培养工程应用能力和机械系统运动方案创新设计能力为目标,在内容编排上贯穿了以设计为主线的思想,除保留常用机构设计和机构运动、动力分析的内容外,增加了机械系统运动方案设计、工业机器人操作机构简介的内容,另外还对连杆机构、凸轮机构及平面机构运动分析的解析法进行了较为详细的介绍,并在附录中介绍了凸轮机构和机构运动分析解析法的程序,可供读者参考。除绪论外,各章均有一定数量的习题。

本书可作为高等工科院校机械类专业的教材,也可作为高职高专、成人高校相关专业的教学用书,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/朱理主编. —北京:高等教育出版社,
2004.4

ISBN 7-04-013969-3

I. 机... II. 朱... III. 机构学-高等学校-
教材 IV. TH111

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第010488号

策划编辑 龙琳琳 责任编辑 胡纯 封面设计 于涛 责任绘图 朱静
版式设计 胡志萍 责任校对 康晓燕 责任印制

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787×960 1/16	版 次	年 月第1版
印 张	22.75	印 次	年 月第 次印刷
字 数	420 000	定 价	26.20元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所以培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型人才工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容

和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

本书是教育科学“十五”国家规划课题之一——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题的研究成果。

21世纪对专门人才的培养提出了新的要求,特别是21世纪机械产品的国际竞争愈来愈激烈,要求机械产品不断创新,努力提高产品质量,完善机械性能,这些必将需要更多的具有创新精神和创造能力的高素质人才。本教材的编写正是为了培养学生的设计思维和设计创新能力,以满足21世纪对人才的需求。

本书是根据教育部制订的高等学校本科机械原理课程教学基本要求,在充分总结各院校机械原理课程教学改革的研究与实践的成果和经验的基础上编写的。本书对机械原理课程传统教材的内容和体系进行了一定的改革,全书以培养工程应用能力和机械系统运动方案创新设计能力为目标,在内容编排上贯穿了以设计为主线的思想,在全书内容的取舍和安排上,作者根据多年来致力于教学改革的经验,在编写过程中力求做到:

1. 坚持基础理论以应用为目的、以必需够用为度的原则,教材内容选择及体系结构完全适应应用型本科人才培养体系的教学需要,力求体现应用型本科人才培养体系的教学特色。

2. 在内容的取舍及阐述方面,仍着重于讲清有关机械原理的基本概念、基本理论和基本方法,并做到条理清晰、层次分明、循序渐进、言简意明,并选用了适当的例题和习题,以利教学。

3. 在讲述连杆机构、凸轮机构的设计方法和平面机构运动分析的方法时,对图解法的阐述尽可能简单扼要,而重点介绍解析法的内容,并附有解析法程序。

4. 增加第11章(机械运动系统方案设计的内容),其目的是为了培养学生具有一定的机械系统运动方案创新设计能力以及开拓学生的视野。

5. 各章内容、数据、资料等均采用最新国家标准。

本书可作为高等工科大学机械类专业机械原理课程的教材,也可作为高职高专、成人高校相关专业的教学用书,亦可供有关工程技术人员参考。

参加本书编写的有:湖南工程学院朱理(第6章、第2章)、胡争先(第5章)、南京工程学院王贤民(绪论、第1章、第4章)、徐州工程学院黄忠东(第7章、第9章、第10章)、株洲工学院傅志红(第3章)、上海应用技术学院吴斌(第8章、第11章、附录)。全书由朱理担任主编。

本书由中国机械工程学会机械传动分会机构学专业委员会主任、上海交通

大学邹慧君教授对书稿进行了认真仔细的审阅,并提出了极为宝贵的修改意见,对提高本书的编写质量有很大帮助。另外,在本书编写工作中还得到湖南工程学院文朴副教授的关心和帮助,在此一并谨致以衷心的感谢。

本书是机械类应用型子课题的研究成果,是应用型机械类系列教材之一。结合课题的立项研究,应用型机械类系列教材组成了教材编写委员会,负责整套教材的编写组织工作。编写委员会成员如下:

主 任 :刘迎春

副主任 :宁立伟 熊志卿 王 华 周骥平 唐国兴 李建启 姚必强
王林鸿

委 员 :刘 明 杜瑞成 方 新 钟守炎 于惠力 朱志宏 徐文宽
蔡小梦 陈立德 舒小平 王安民 刘庆国 李建华 孙如军
邢邦圣 余五新 蒋同洋 倪宏昕 耿跃宏 胡 琳 田忠友
傅志红 何法江 曹晓明 续海峰 曾 励

编者在此谨对编写委员会在教材编写过程中提供的指导和帮助表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中缺点、错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2003 年 9 月

目 录

绪论	1
0.1 本课程研究的对象及内容	1
0.2 本课程的地位、学习本课程的目的及学习时应注意的问题	4
0.3 机械原理发展现状简介	5
第 1 章 平面机构的结构分析	7
1.1 概述	7
1.2 机构的组成	8
1.3 机构运动简图	12
1.4 平面机构的自由度	15
1.5 机构的组成原理和机构分析	20
习题	25
第 2 章 平面机构的运动分析	28
2.1 机构运动分析的目的和方法	28
2.2 用速度瞬心法作机构的速度分析	29
2.3 用矢量方程图解法作机构速度和加速度分析	33
2.4 机构的运动线图	42
2.5 用解析法作机构的运动分析	43
习题	54
第 3 章 平面机构的动力分析	59
3.1 机构力分析的目的和方法	59
3.2 运动副中摩擦力的确定	61
3.3 平面机构的静力分析	65
3.4 构件惯性力的确定	69
3.5 不考虑摩擦时机构的动态静力分析	71
3.6 机械的效率和自锁	74
3.7 斜面传动的效率和自锁	77
3.8 螺旋传动的效率和自锁	79
习题	81
第 4 章 平面连杆机构及其设计	85
4.1 平面连杆机构的特点和应用	85
4.2 平面四杆机构的基本类型和演化	86
4.3 平面四杆机构的基本工作特性	93

4.4	平面四杆机构的设计	98
	习题	109
第 5 章	凸轮机构及其设计	116
5.1	凸轮机构的应用和分类	116
5.2	从动件的运动规律	120
5.3	凸轮轮廓曲线的设计	129
5.4	凸轮机构基本尺寸的确定	140
5.5	力封闭凸轮机构的动态静力分析	144
	习题	148
第 6 章	齿轮机构及其设计	155
6.1	齿轮机构的应用、特点和分类	155
6.2	齿廓啮合基本定律	157
6.3	渐开线齿廓	158
6.4	渐开线标准齿轮的基本参数和几何尺寸	162
6.5	渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	169
6.6	渐开线齿轮的加工	177
6.7	渐开线变位齿轮	183
6.8	斜齿圆柱齿轮传动	188
6.9	蜗杆蜗轮机构	197
6.10	圆锥齿轮机构	202
	习题	209
第 7 章	齿轮系及其设计	213
7.1	齿轮系及其分类	213
7.2	定轴轮系的传动比	215
7.3	周转轮系的传动比	217
7.4	复合轮系的传动比	219
7.5	轮系的功用	222
7.6	轮系的设计	223
7.7	其他类型的行星传动简介	227
	习题	230
第 8 章	其他常用机构和组合机构	235
8.1	棘轮机构	235
8.2	槽轮机构	239
8.3	凸轮式间歇运动机构	243
8.4	不完全齿轮机构	244
8.5	螺旋机构	246
8.6	万向联轴器	249
8.7	机构的组合方式与组合机构	251

8.8 常用组合机构的类型及功能	254
习题	264
第 9 章 机械的平衡	266
9.1 机械平衡的目的和内容	266
9.2 刚性转子的平衡计算	267
9.3 刚性转子的平衡试验	271
9.4 刚性转子的许用不平衡量及平衡精度	272
9.5 平面机构的平衡	274
习题	277
第 10 章 机械的运转及其速度波动的调节	281
10.1 概述	281
10.2 机械的运动方程式	283
10.3 机械运动方程式的求解	287
10.4 在稳定状态下机械的周期性速度波动及其调节	288
习题	295
第 11 章 机械运动系统方案的设计	298
11.1 机械运动系统方案设计的内容	298
11.2 机械运动系统功能结构的建立	299
11.3 确定机械运动系统的工作原理	301
11.4 机械运动系统工艺动作过程的构思与分解	303
11.5 机构选型及其系统组成	306
11.6 机械执行系统间运动的协调设计和运动循环图	310
11.7 机械运动系统方案的构思与拟定	317
11.8 机械运动系统方案的评价	319
11.9 设计冲压式蜂窝煤成型机的运动方案	322
习题	327
附录 1 压床机构中六杆机构运动的解析法设计	330
附录 2 凸轮机构的解析法设计	346
主要参考文献	352
后记	353

第 8 章

其他常用机构和组合机构

在各类机器中,除采用前面各章所介绍的一些常用机构外,还经常采用其他类型的机构,如棘轮机构、槽轮机构、凸轮式间歇运动机构、不完全齿轮机构、螺旋机构和万向铰链机构等。同时,由于单一的基本机构往往由于其本身所固有的局限性而无法满足不同方面的要求,因此,在生产中,出现了组合机构,既发挥各基本机构的特长、又避免各基本机构的局限性,形成一种新的机构系统,以满足生产中的多种要求。本章将简单介绍这些常用机构和组合机构的工作原理、运动特性及其应用。

8.1 棘 轮 机 构

8.1.1 棘轮机构的组成、工作原理和类型

图 8.1 所示为常见的外啮合齿式棘轮机构,它主要由棘轮、主动棘爪、止回棘爪和机架组成。当主动摆杆 1 逆时针摆动时,摆杆上铰接的主动棘爪 2 插入棘轮 3 的齿内,推动棘轮同向转动一定角度,此时止回棘爪 4 在棘轮的齿背上滑动。当主动摆杆顺时针摆动时,止回棘爪 4 阻止棘轮反向转动,此时主动棘爪在棘轮的齿背上滑回原位,棘轮静止不动。从而实现将主动件的往复摆动转换为从动棘轮的单向间歇转动。当棘轮的直径为无穷大时,棘轮变为棘条,则棘轮的单向间歇转动变为棘条的单向间歇移动。为保证棘爪工作可靠,常利用弹簧 5 使止回棘爪紧压齿面。

根据结构特点,常用棘轮机构可分为两大类型。

1. 齿式棘轮机构

齿式棘轮机构的棘轮外缘(或内缘、或端面)上布满刚性的轮齿,它又可分为:

(1) 单动式棘轮机构

单动式棘轮机构如图 8.1 所示,其特点是主动摇杆往复摆动的某个单向行

程里,棘轮可沿同一方向转过某一角度,摇杆回程时,棘轮静止不动。

(2) 双动式棘轮机构

双动式棘轮机构如图 8.2 所示,其特点是主动摇杆往复摆动的双向行程里,都能驱使棘轮沿单一方向间歇转动。

(3) 可变向棘轮机构

可变向棘轮机构如图 8.3 所示,图 8.3a 所示机构的特点是当棘爪在实线位置时,主动摇杆的往复摆动将使棘轮沿逆时针方向间歇转动,而当棘爪翻转到虚线位置时,主动摇杆的往复摆动则将使棘轮沿顺时针方向间歇转动。图 8.3b 所示则是另一种可变向棘轮机构,当棘爪在图示位置时,棘轮将沿逆时针方向间歇转动。若将棘爪提起并绕本身轴线转过 180° 后放下,则可实现棘轮沿顺时针方向的间歇转动。又若将棘爪提起并绕本身轴线转过 90° 后放下时,棘爪被架到壳体的平台上,从而使棘爪与棘轮分离,当摇杆仍往复摆动时,不能使棘轮运动。

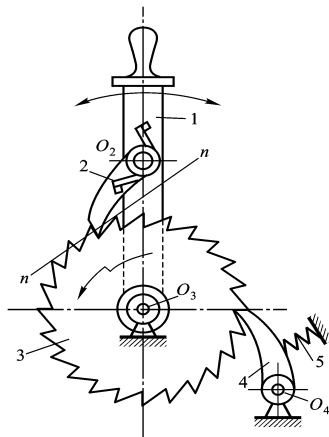


图 8.1 单动式棘轮机构

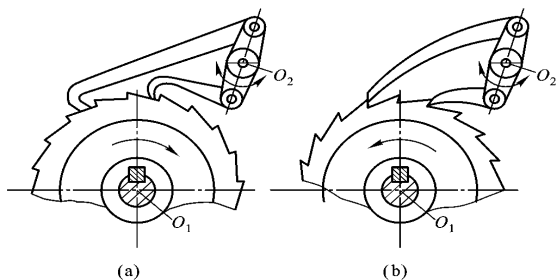


图 8.2 双动式棘轮机构

上述的各种棘轮机构,在主动摇杆摆角一定的条件下,棘轮每次的转动角是不能改变的。但实用机械往往需要随工作要求而改变棘轮每次转动的角度。为此,除可改变摇杆的摆角外,还可如图 8.4 所示,在棘轮外加装一个棘轮罩,用以遮盖摇杆摆角范围内棘轮上的一部分齿。这样,当摇杆逆时针摇动时,棘爪先在罩上滑动,然后才嵌入棘轮的齿槽中推动其转动。被罩遮住的齿越多,则棘轮每次转动的角度就越小。

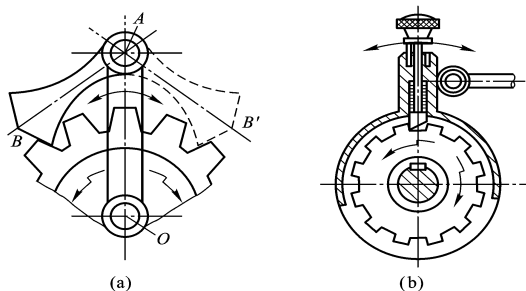


图 8.3 可双向棘轮机构

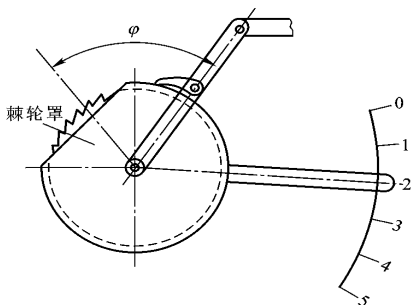


图 8.4 棘轮机构转角的调节

2. 摩擦式棘轮机构

摩擦式棘轮机构如图 8.5a 所示。它以偏心扇形楔块 1 代替齿式棘轮机构中的棘爪,以无齿摩擦轮 2 代替棘轮。它的特点是传动平稳、无噪音,动程可无级调节。因靠摩擦力传动,会出现打滑现象,一方面可起超载保护作用,另一方面使得传动精度不高。摩擦式棘轮机构仅适用于低速轻载的场合,常用于扳钳和多轴钻床的夹具上,也可作为超越离合器(如图 8.5b)。

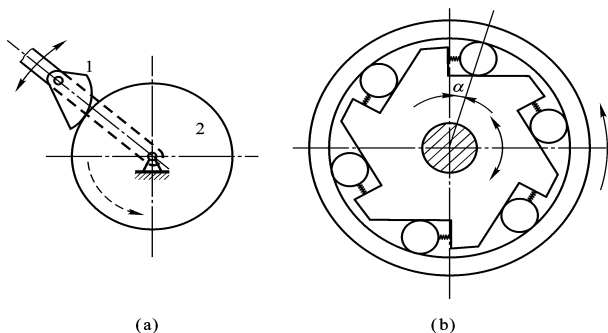


图 8.5 摩擦式棘轮机构

8.1.2 棘轮机构的设计

棘轮机构的设计,其要点是棘轮与棘爪轴心位置的确定和齿面倾斜角的选择。

如图 8.6 所示,为了在传递相同的转矩时,棘爪受力最小,则应使棘轮轴心 O_2 与棘爪轴心 O_1 的位置满足 $O_1A \perp O_2A$, 即 $\angle O_1AO_2 = 90^\circ$ 。

棘轮齿面与径向线所夹角 α 称为齿面倾斜角,如图 8.6 所示。棘爪轴心 O_1 与轮齿顶点 A 的连线 O_1A 与过 A 点的齿面法线 $n-n$ 的夹角 β 称为棘爪轴心位置角。

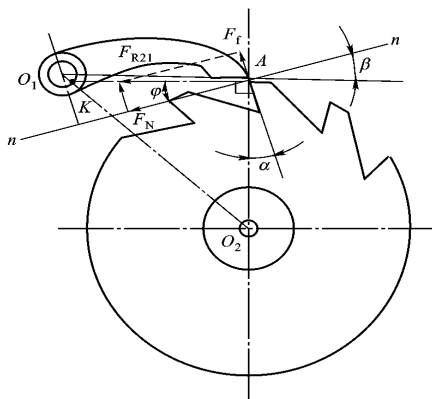


图 8.6 棘爪的受力分析

设计棘轮机构时,主要应满足在受力时,棘爪能顺利地滑入棘轮齿槽,且不会自行脱离棘齿的要求。经推导证明,棘爪能顺利滑向齿根部的条件为:棘爪轴

心位置角 β 应大于摩擦角 φ , 即棘轮对棘爪的总反力 F_{R21} 的作用线与轴心连线 O_1O_2 的交点 K 应在 O_1 、 O_2 之间。而由上可得

$$\alpha = \beta \quad (8.1)$$

当 f 取值为 $0.15 \sim 0.2$ 时, 齿面倾斜角 α 通常取 $10^\circ \sim 15^\circ$, 即常选用锐角齿形 (见图 8.6)。

当棘轮齿受力较大时, 为保证齿的强度, 可取 $\alpha < \varphi$, 甚至取 $\alpha = 0^\circ$ 或 $\alpha < 0^\circ$, 即使用直角或钝角齿形。

8.2 槽轮机构

8.2.1 槽轮机构的组成、工作原理和类型

如图 8.7 所示, 槽轮由具有圆柱销的主动销轮 (又称拨盘) 1、具有径向槽的从动槽轮 2 和机架组成。主动销轮 1 逆时针作等速连续转动, 当圆销 A 未进入槽轮的径向槽时, 槽轮因其内凹的锁止弧 \widehat{nm} 被销轮外凸的锁止弧 $\widehat{m'm'}$ 锁住而静止; 当圆销 A 开始进入径向槽时, \widehat{nm} 弧和 $\widehat{m'm'}$ 弧脱开, 槽轮在圆销 A 的驱动下顺时针转动; 当圆销 A 开始脱离径向槽时, 槽轮因另一锁止弧又被锁住而静止。直至圆销 A 再次进入槽轮的另一个径向槽时, 又重复上述运动。从而实现从动槽轮的单向间歇转动。

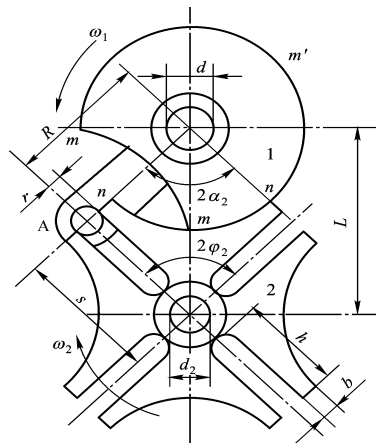


图 8.7 普通外槽轮机构

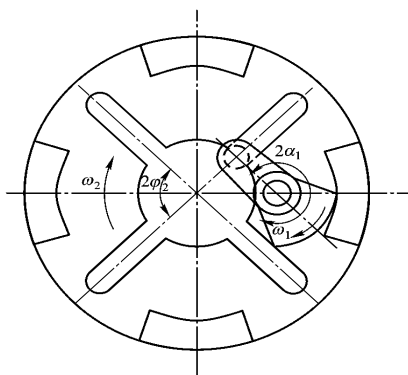


图 8.8 普通内槽轮机构

8.2.2 普通槽轮机构的设计要点

1. 普通槽轮机构的运动系数

在图 8.7 所示的外槽轮机构中,当主动销轮 1 回转一周时,从动槽轮 2 的运动时间 t_2 与主动销轮 1 的运动时间 t_1 之比,称为该槽轮的运动系数,用 k 表示,即

$$k = \frac{t_2}{t_1}$$

当主动销轮 1 作等速转动时,对于图 8.7 所示的单圆销外槽轮机构,可以推导出槽轮的运动系数为

$$k = \frac{t_2}{t_1} = \frac{1}{2} - \frac{1}{z} \quad (8.2)$$

式中 z 是槽轮的槽数。

因为运动系数 k 应大于零,所以由上式可知,外槽轮机构径向槽的数目应大于或等于 3。从上式还可以看出, k 总是小于 0.5,这说明,在这种槽轮机构中,槽轮的运动时间总小于其静止时间。欲使 $k \geq 0.5$,即使槽轮的运动时间大于其停歇时间,可在销轮上安装多个圆销。若设均匀分布的圆销数为 n ,且各圆销的中心离销轮的中心 O_1 等距,则运动系数 k 为

$$k = n \frac{z-2}{2z} \quad (8.3)$$

因 k 应小于 1,故

$$n < \frac{2z}{z-2} \quad (8.4)$$

由该式可得圆销数 n 与槽数 z 的关系如表 8.1 所示,设计时可根据工作要求的不同加以选择。

表 8.1 圆销数与槽数的关系

z	3	4	5, 6	≥ 7
n	1~5	1~3	1~2	1~2

对于图 8.8 所示的单圆销的内槽轮机构,其运动系数为

$$k = \frac{z+2}{2z} = \frac{1}{2} + \frac{1}{z} \quad (8.5)$$

圆销数与槽数关系为

$$n < \frac{2z}{z+2} \quad (8.6)$$

由上两式可知,内槽轮的运动系数 $0.5 < k < 1$,径向槽数 $z \geq 3$,圆销数 n 只

能为 1。

2. 普通槽轮机构的运动特性

设主动销轮的位置用 φ 来表示, 则外槽轮机构中槽轮的角速度和角加速度变化曲线, 如图 8.11 所示。从图中可以看出, 对于几何尺寸已定的普通外槽轮机构, 具有如下的运动特性:

- (1) 当主动销轮的角速度 ω_1 一定时, 槽轮的角速度及角加速度的变化取决于槽轮的槽数 z ;
- (2) 槽轮的角速度及角加速度的最大值随槽数 z 的增多而减小;
- (3) 当圆销开始进入和离开径向槽的瞬间, 因角加速度有突变, 故有柔性冲击存在, 并且槽轮槽数 z 越少, 柔性冲击越大。

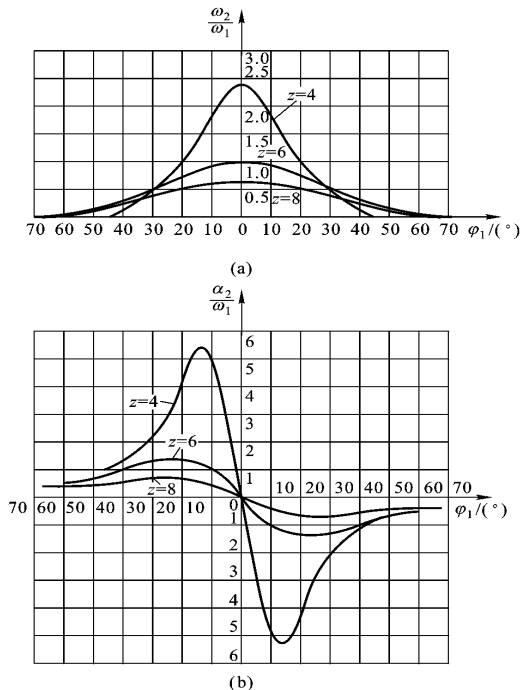


图 8.11 外槽轮机构的角速度和角加速度变化曲线