

间歇运动机构

刘政昆 编著



大连理工大学出版社

间 歇 运 动 机 构

刘 政 昆 编著

大连理工大学出版社

内 容 简 介

本书较系统地介绍了可实现间歇运动的槽轮机构、连杆机构、齿轮连杆机构、组合机构、凸轮式间歇运动机构、带挠性件的间歇运动机构，以及棘轮机构、不完全齿轮机构的工作原理、性能、分析与综合方法。并给出设计计算图表，供设计者使用。

本书适作高等工科院校有关专业研究生的教材和大学生的选修教材，也可供工程技术人员使用。

间 歇 运 动 机 构

Jianxie Yundong Jigou

刘 政 昆 编著

·大连理工大学出版社出版发行 (邮政编码:116024)
(出版社登记证[辽]第16号) 大连理工大学印刷厂印刷

开本:787×1092 1/32 印张:13 $\frac{3}{8}$ 字数:287千字

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷
印数:0001—1500册

责任编辑:方延明 责任校对:宋玉珠
封面设计:姜严军

ISBN 7-5611-0358-1/TH·10 定价:7.10元



黑龙江省自然科学学术专著资助出版项目 评审委员会成员名单

主任委员	余友泰		
副主任委员	李法尧	黄文虎	于维汉
委员	徐兰许	周以良	梁维燕
	张 铨	邓三瑞	许忠仁
	王德民	关士续	

序

当代工业发展的一个明显而重要的趋势是实现生产自动化,故世界各国对自动化机械的研究与开发均十分关注而不遗余力。间歇运动机构是自动化机械的重要组成部分。它对后者的运动精度、动态特性和生产效率等性能指标均有直接和显著的影响。因此,目前不少机构学学者均致力于这种机构的研究,一些发达国家还组织了间歇运动机构,例如凸轮式间歇运动机构的专业化生产。可见生产中对这种机构的迫切需要和人们对其重视的程度。

国内外机构学文献中虽每年都有不少关于间歇机构的论文发表,但缺乏一本系统而全面地阐述各类间歇运动机构的著作。刘政昆副教授长期从事间歇运动机构的研究,在理论和实践上均有不少成果。他结合自己的研究心得,广泛整理国内外有关资料,写成此书,无疑是对本研究领域的重要贡献。

本书全面系统地阐述了各种间歇运动机构分析与综合方法。取材精练,内容丰实,既有深入的理论解释,又提供了实用的设计数据和图表。叙述深入浅出,文字流畅,反映了作者的教学经验和较高的教学法技巧。

相信本书的出版会给有关专业研究生送去一本良好的教材和给自动化机械的设计技术人员提供一本实用的参考书。

哈尔滨工业大学教授 李华敏

1991年8月

前 言

随着科学技术的进步与发展,各种生产机械的性能日益完善和复杂,机械化和自动控制水平不断提高。相应地,对生产机械中的各种执行机构和辅助机构的性能提出了愈来愈高的要求。尤其在轻工、食品、纺织、电子等行业广泛使用的各种自动机械、输送装置中,间歇运动机构已经成为直接影响或决定整机性能指标的不可缺少的组成部分。

因此,国内外机构学工作者对间歇运动机构的分析与综合及其应用的研究颇感兴趣,并引起重视。近十余年来,国内外文献不断出现有关间歇运动机构的研究成果,也出现一些构思巧妙、结构新颖的机构方案,应用到生产实践取得了预期效果。

为进一步促进间歇运动机构分析与综合研究成果的应用和发展,作者在从事间歇运动机构研究成果及搜集、整理国外有关资料,特别是国内同行研究成果的基础上,编著了此书。

全书由燕山大学曲继方主审,并提出许多宝贵建议;在编写过程中尚得到了谭立英副教授以及庄殿柱、曲虹、威功泽工程师的支持和协助,在此一并表示感谢。

由于本人水平所限,错误或不当之处在所难免,竭诚欢迎同行和读者斧正。

齐齐哈尔轻工学院 刘政昆

1990年9月

目 录

第一章 总 论	(1)
一、 间歇运动机构与自动机械	(1)
二、 间歇运动的特点	(2)
三、 间歇运动机构的选型	(6)
第二章 槽轮机构	(9)
一、 概 述	(9)
二、 普通槽轮机构	(9)
三、 偏置槽轮机构.....	(19)
四、 实现长时间停歇的偏置槽轮机构.....	(28)
五、 对称偏置槽轮机构.....	(33)
六、 曲线槽轮机构.....	(36)
七、 连杆机构驱动的槽轮机构.....	(51)
八、 凸轮机构驱动柱销的槽轮机构.....	(86)
九、 椭圆齿轮机构驱动槽轮机构.....	(91)
十、 无冲击的串联槽轮机构.....	(97)
十一、 多销槽轮机构	(102)
十二、 完成特殊程序动作的槽轮机构	(106)
十三、 挠性件驱动的槽轮机构	(117)
第三章 连杆间歇机构	(122)
一、 概 述	(122)

二、 连杆机构的传动函数	(123)
三、 四杆机构的停歇性能及其综合	(125)
四、 六杆机构的停歇性能及其综合	(127)
五、 八杆铰链机构的停歇性能及其综合	(189)
第四章 齿轮连杆间歇机构	(194)
一、 概 述	(194)
二、 二齿轮四杆机构	(197)
三、 三齿轮四杆机构	(241)
四、 四齿轮四杆机构	(253)
五、 可调式齿轮连杆机构	(259)
六、 周转轮系连杆机构	(266)
第五章 组合式间歇运动机构	(276)
一、 概 述	(276)
二、 凸轮-连杆机构	(277)
三、 齿轮-凸轮机构	(293)
四、 凸轮-齿轮-连杆机构	(298)
第六章 凸轮式间歇运动机构	(309)
一、 概 述	(309)
二、 圆柱形凸轮分度机构	(309)
三、 蜗形凸轮分度机构	(317)
四、 平行分度凸轮机构	(324)
五、 共轴式分度凸轮机构	(331)
第七章 带挠性件的间歇运动机构	(341)
一、 概 述	(341)
二、 挠性件的变形波传动原理	(341)
三、 挠性件变形波传动的间歇运动机构	(345)

四、行星式链条-连杆机构.....	(363)
五、行星式变形波传动的间歇运动机构的 参数选择与计算	(370)
第八章 其它间歇运动机构.....	(374)
一、概 述	(374)
二、棘轮机构	(375)
三、不完全齿轮机构	(384)
四、星轮机构	(402)
主要参考文献.....	(413)

第一章 总 论

一、间歇运动机构与自动机械

机械设备是现代社会进行生产和服务的五大要素(人、资金、能量、材料和机械)之一,任何现代产业和工程领域都需要应用机械设备。

近 10 年来,由于工业机器人、宇航技术、医疗器械和海洋开发等新兴技术的开发,以及机械电子技术(如电子计算机、数控机床、自动照相机及各种高级生活用电器等)的发展,对机械工业及其产品提出了自动化、高精度、重负载、高效率等指标要求。

为满足高效率、提高生产率以及多种多样工艺规范的要求,在很多情况下要求机器中的执行机构或辅助机构作周期性的停歇运动,以进行加工、换位、分度、进给、换向、送料、计数、检测等工艺操作。如糖果包装机是一种典型的自动机,其中,间歇运动糖果包装机的最高速度已达 1200r/min. 包装机中的转位机构就是一种典型的间歇运动机构,其结构、运动及动力特性直接影响整机的性能。

自动机械和各种生产线上常用的间歇运动机构有:棘轮机构、槽轮机构、星轮机构、不完全齿轮机构、连杆间歇机构、齿轮连杆间歇机构、凸轮式间歇机构、带挠性件的间歇机构,以及其它组合式间歇机构等。

机构学作为一门基础技术科学,是研究各类机器中有关

运动变换和动力传递装置共性问题,即机构的结构原理、运动学和动力学,包括分析与综合两个方面。间歇运动机构学,研究的问题也应包括上述内容。

回顾机构学的发展历史,不难发现机构学发展的重要原因,一是取决于生产发展的需要;二是电子计算机的应用和现代工程数学的日臻完善。

在 18 世纪的后期,受当时生产水平的限制,普遍采用槽轮机构、星轮机构等结构简单的间歇运动机构,且只有简单的运动分析方法。19 世纪中叶以后,生产水平的不断发展,开始出现机构的综合方法。现代,已出现了可以满足高精度、高速度要求的凸轮式间歇运动机构,其最高速度可达 2000r/min 以上,分度精度可达 $\pm 15''$ 。

间歇运动机构分析与综合方法有图解法、解析法两大类。图解法与解析法相结合,可简化计算,具有直观且较容易获得可行解的优点,在间歇运动机构的分析与综合实践中受到重视。同时,尚可为机构的最优化设计提供一个初始点。

优化设计给机构学的研究提供了一个有力的工具。很多用常规方法不容易解决甚至无法解决的问题,应用优化技术往往迎刃而解。优化设计已全面扩展到连杆、齿轮、凸轮、轮系、间歇运动机构等平面机构领域。

二、间歇运动的特点

间歇运动是输入构件(主动件)连续转动时,输出构件(从动件)作周期性停歇间隔的运动。停歇是间歇运动或间歇运动机构的主要特点;停歇是机构中构件在一个周期性运动中的非运动状态。一个作连续运动的构件固然不能称作停歇,但在运动之前或运动之后的长时间的静止(整个机器的非运动状

态)也不是停歇。停歇必须与运动相连系,却又是短暂的。

在一般文献中,经常使用“停顿”、“停歇”、“瞬时停歇”等术语。为避免混淆,本书作如下定义。

“停歇”是指在有限时间间隔内,构件或构件上一点处于速度为零或近似为零的状态,或称为一阶停歇,如图 1-1 中 a 所示的传动函数曲线。

传动函数(零阶传动函数)是描述机构中主动件参数 φ 与从动件参数 ψ, κ, s 等及机构中运动尺寸之间的解析表达式,如 $\psi = \psi(\varphi)$ 或 $\kappa = \kappa(\varphi), s = s(\varphi)$ 等。

图 1-1 中,传动函数曲线 a 的特点表现为主动件转角 φ_A 对应的从动件的转角 κ_A 是该传动函数的极值,且 $\varphi > \varphi_A$ 时 $\kappa < \kappa_A$; $\varphi < \varphi_A$ 时亦 $\kappa < \kappa_A$ 。用一阶传动函数表示为

$$\left. \frac{d\kappa}{d\varphi} \right|_{\varphi=\varphi_A} = 0 \quad (1-1)$$

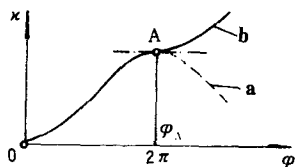


图 1-1 两种典型的传动函数及其停歇状态

满足式(1-1)的传动函数,在 $\varphi = \varphi_A$ 处可实现一阶停歇或称停歇。

图 1-1 中,传动函数曲线 b 的特点表现为主动件转角 φ_A 对应的从动件的转角 κ_A 不但为该传动函数的极值;且 $\varphi > \varphi_A$ 时 $\kappa > \kappa_A$, 即二阶传动函数亦等于零。

$$\text{即} \quad \left. \begin{aligned} \frac{d\kappa}{d\varphi} \bigg|_{\varphi=\varphi_A} &= 0 \\ \frac{d^2\kappa}{d\varphi^2} \bigg|_{\varphi=\varphi_A} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

满足式(1-2)的传动函数,在 $\varphi = \varphi_A$ 处可实现二阶停歇或称瞬时停歇。若在 $\varphi_A = 2\pi$ 处满足式(1-2),该机构实现步进运动,即从动件实现单方向的间歇运动。

图 1-2 所示正弦机构,曲柄 1 为主动件,从动件 3 作往复的直线运动。

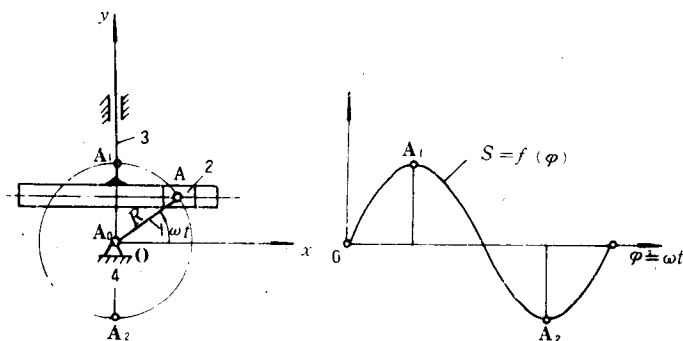


图 1-2 实现一阶停歇的正弦机构

该机构的零阶传动函数、一阶传动函数(类速度)、二阶传动函数(类加速度)在图示坐标系中分别为

$$y = R \sin \varphi \quad (1-3)$$

$$\frac{dy}{d\varphi} = R \cos \varphi \quad (1-4)$$

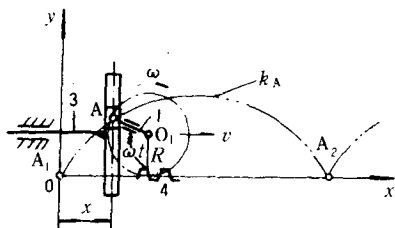
$$\frac{d^2 y}{d\varphi^2} = -R \sin \varphi \quad (1-5)$$

式中, $\varphi = \omega t$; ω 为主动曲柄的角速度。

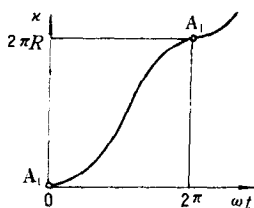
在 $\varphi = \varphi_{A_1} = +\pi/2$ 及 $\varphi = \varphi_{A_2} = -\pi/2$ 对应的 A_1 和 A_2 点处,由式 (1-4)、(1-5) $\left. \frac{dy}{d\varphi} \right|_{\varphi=\varphi_{A_1}} = 0$, $\left. \frac{dy}{d\varphi} \right|_{\varphi=\varphi_{A_2}} = 0$, $\left. \frac{d^2 y}{d\varphi^2} \right|_{\varphi=\varphi_{A_1}} \neq 0$, $\left. \frac{d^2 y}{d\varphi^2} \right|_{\varphi=\varphi_{A_2}} \neq 0$ 。因此,该机构在两极

限位置 A_1 、 A_2 处均实现一阶停歇。

图 1-3 为实现二阶停歇机构的例子,其中(a)所示机构中,齿轮 1 在齿条 4 上滚动,导杆 3 沿平行于 x 轴方向移动。铰接点 A 位于齿轮 1 的节圆上,因此 A 点的轨迹为普通摆线。



(a) 机构方案



(b) 传动函数

图 1-3 实现二阶停歇的机构例

该机构的零阶传动函数、一阶传动函数(类速度)、二阶传动函数(类加速度)在图 1-3 所示坐标系中分别为

$$\kappa = R(\varphi - \sin\varphi) \quad (1-6)$$

$$\frac{d\kappa}{d\varphi} = R(1 - \cos\varphi) \quad (1-7)$$

$$\frac{d^2\kappa}{d\varphi^2} = R\sin\varphi \quad (1-8)$$

在 $\varphi_{A_1} = 0$ 及 $\varphi_{A_2} = 2\pi$ 处,由式(1-7)、(1-8), $\left. \frac{d\kappa}{d\varphi} \right|_{\varphi=\varphi_{A_1}} = 0$, $\left. \frac{d\kappa}{d\varphi} \right|_{\varphi=\varphi_{A_2}} = 0$; 同时 $\left. \frac{d^2\kappa}{d\varphi^2} \right|_{\varphi=\varphi_{A_1}} = 0$, $\left. \frac{d^2\kappa}{d\varphi^2} \right|_{\varphi=\varphi_{A_2}} = 0$. 因此,在 A_1 、 A_2 点处实现二阶停歇,其传动函数如图 1-3(b) 所示。

图 1-4 所示的传动函数,主动件由 φ_A 转至 φ_B 角期间, $d\kappa/d\varphi$ 、 $d^2\kappa/d\varphi^2$ 均等于零,表明具有此种传动函数的机构在主

动件转角 $\varphi_s = \varphi_B - \varphi_A$ (停歇角) 期间, 从动件实现长时间停歇。

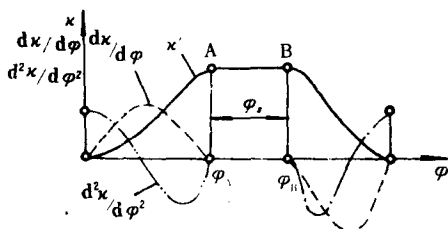


图 1-4 实现长时间停歇的传动函数

图 1-5 所示的传动函数, 对应主动件位置角 $\varphi_2, \varphi_4, \varphi_6$ 时, $\kappa_2 = \kappa_4 = \kappa_6$; 对应主动件位置角 φ_3, φ_5 时, $\kappa_3 = \kappa_5$, 但 $\kappa_2 > \kappa_3$ 。其偏差 $\Delta\kappa = \kappa_2 - \kappa_3$, 当偏差 $\Delta\kappa$ 很小时, 在主动件由 φ_2 转至 φ_6

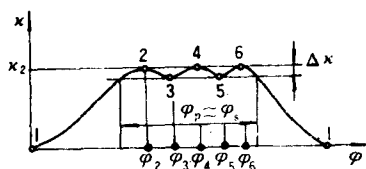


图 1-5 实现近似停歇的传动函数

角期间, 从动件已近似停歇。偏差 $\Delta\kappa$ 可作为衡量近似停歇质量的指标, 图中 $\varphi_s \approx \varphi_s$ 可认为是停歇角。可实现近似停歇的机构方案甚多, 如连杆间歇机构、齿轮连杆间歇机构等。

三、间歇运动机构的选型

间歇运动机构的类型很多, 随着生产的发展和科学技术的不断进步, 不断创造出了众多结构新颖、构思巧妙、满足各种工艺要求的间歇运动机构方案。

常见和常用的典型的间歇运动机构有: 棘轮机构、不完全齿轮机构、星轮机构、槽轮机构、连杆间歇机构、齿轮连杆间歇

机构、组合式间歇运动机构、凸轮式间歇运动机构以及带有挠性件的间歇运动机构等。它们各具有不同的停歇性能以及相应的分析与综合方法。

间歇运动机构的选型和设计,应根据工艺要求、机械结构的组成和机构本身的运动特性进行。一般应考虑工艺操作时间和辅助操作时间的比例、运动和停歇精度,以及动力性能等因素,可归纳为(1)停歇准确可靠性;(2)运动的平稳性;(3)可调节性;(4)结构尽可能简单及良好的工艺性等。

应该说,目前尚未有一个可直接用于评价选型的合理性和实用性的统一评价标准。通常是采取类比或结合一定的分析计算的手段进行的。其中,运动性能,即在间歇运动机构的运动角 φ_d 期间从动件的类速度(类角速度)和类加速度(类角加速度)的变化规律以及负荷、特别是动载荷的大小往往成为重要的评价指标。

应该指出,在间歇运动机构的选型和设计过程中,经常遇到如何认定机构是属高速类型、中速类型或低速类型问题,但至今尚无统一的认识。常见的判别准则有如下几种:

一为按动载荷 P_d 与静载荷 P_s 之比 P_d/P_s 的大小作为判别准则, $P_d/P_s < 1/4$ 为低速机构; $1/4 < P_d/P_s < 4$ 为中速机构; $P_d/P_s > 4$ 为高速机构。

另一准则为按运动规律在第 n 阶出现传动函数的间断或跳跃,如在 $\kappa^{(p)}$ 上出现不连续, p 值就是机构速度类型的判别准则: $p=2$ 为低速机构; $p=3$ 为中速机构; $p=4$ 为高速机构。

较合理的判别准则是既考虑机构的设计速度 ω_d 又考虑机构的固有频率 $\omega_n = \sqrt{K/M}$ 的新指数 d , 即

$$\omega_d/\omega_n = 10^{-d} \quad (1-9)$$

$d = 3$ 为低速机构； $d = 2$ 为中速机构； $d = 1$ 为高速机构。这一准则“ d ”表明设计的机构速度偏离机构的固有频率 ω_n 的程度。由动力学分析可知，运动速度设计值偏离固有频率对应的共振峰值越远，动力扭曲变形就愈小，因此按 d 值的大小分类，反映了机构的动力学响应的实际情况。“ d ”准则常用于判定间歇运动机构的速度类型。

目前，凸轮式间歇运动机构是适用于高速运转的较理想的间歇运动机构。其它类型间歇运动机构只能用于中速或低速情况下运行。

尚应指出，间歇运动机构按其在停歇期间与主动件的运动是否脱开，可分为两大类：一为在停歇期间，从动件的运动与主动件的运动脱离，只有运动期间才受主动件的运动控制，如槽轮机构等。设计该类机构时，应予特别注意考虑的是附加的定位机构的设计问题，因为它往往成为影响机构性能的重要因素；另一类为在停歇期间从动件的停歇也是在主动件的运动规律的控制下实现的，因而不需要附加定位机构，往往具有较好的运动性能，如连杆间歇机构、齿轮连杆机构等，但所实现的是近似停歇情况较多。凸轮式间歇运动机构，其从动件的停歇和运动也均在主动件的运动控制下实现的，且由于从动件的运动规律可任意选择，以及定位（停歇）与运动的控制均由具有特殊形状和结构的主动件完成，因而可实现高精度的任意长时间的停歇，这是目前任何其它型式的间歇运动机构所不能实现的。