

机构设计丛书

间歇运动机构设计

「机构设计丛书」编审委员会 编

殷鸿梁 朱邦贤 编著

上海科学技术出版社



TH 112.4
Y 66

机构设计丛书

间歇运动机构设计

《机构设计丛书》编审委员会 编

殷鸿梁 ~~朱邦贤~~ 编著

上海科学技术出版社

机构设计丛书

间歇运动机构设计

《机构设计丛书》编审委员会 编

殷鸿梁 朱邦贤 编著

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路 450 号)

本书由上海发行所经销 商务印书馆上海印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 11.75 插页 4 字数 299,000

1996 年 4 月第 1 版 1996 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—3,000

ISBN 7-5323-4109-7/TH·75

定价: 21.00 元

内 容 提 要

本书主要介绍当前机械工程中常用的间歇运动机构,即执行周期性转位和分度,以及具有瞬时停歇特性或带有停歇区间的机构,包括棘轮机构、槽轮机构、针轮机构、不完全齿轮机构、共轭盘形分度凸轮机构、弧面分度凸轮机构、圆柱分度凸轮机构及组合机构等。本书较完整而系统地介绍这些机构的结构特征、工作原理、设计计算方法以及有关的数据和图表。每章均附有机构的设计计算实例,可供生产实际中设计应用时参考。

本书主要供工程技术人员和科研设计人员阅读,也可作为大学机械专业的教学参考书。

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子，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！

高子元

九四年十月廿九日

前 言

随着机械工业自动化程度的日益提高,为了满足生产工艺的需要,在许多机械设备中往往需要有一些机构来实现周期性的转位和步进分度动作,以及具有瞬时停歇特性或带有停歇区间的断续性运动,这种机构称为间歇运动机构。

间歇运动机构的种类很多,各有其不同的结构特征和工作原理。近年来由于适应高速运行和高精度分度与定位的要求,又出现了一些新型的间歇运动机构,并在引进的国外设备中经常看到。但是目前国内有关间歇运动机构方面公开发表的文献很少,又缺乏系统介绍间歇运动机构的专著,特别是一些新型间歇运动机构可供分析与设计时使用和参考的实际应用资料更不多见。

作者根据多年来从事机械原理教学的经验以及进行有关间歇运动机构科学研究积累的成果编成此书,其主要目的是希望能较完整地从业理上分析当前机械工程中常用的一些间歇运动机构的工作原理,并着重系统地介绍其设计计算的方法、步骤和有关的数据、图表。每章中的主要机构均附有设计计算实例,以供实际设计时参考使用。

本书的第一章和第六到第十章由上海大学殷鸿梁编写,第二章到第五章由华东工业大学朱邦贤编写,全书经编审委员会审定。衷心地期望广大读者对本书给予指正。

作者

1994年8月

目 录

前言

第一章 间歇运动机构的类型和应用1

§ 1-1 步进运动间歇机构1

一、棘轮机构2

二、槽轮机构3

三、针轮机构5

四、不完全齿轮机构6

五、共轭盘形分度凸轮机构6

六、圆柱分度凸轮机构8

七、弧面分度凸轮机构8

§ 1-2 具有瞬时停歇特性或停歇区的间歇运动机构11

一、凸轮-连杆组合机构12

二、周转齿轮-连杆组合机构12

三、差动链轮机构13

第二章 棘轮机构15

§ 2-1 棘轮机构的基本型式与工作特点15

一、进给16

二、转位或分度17

三、制动18

四、超越18

五、计数19

§ 2-2 齿式棘轮机构的参数选择与设计20

一、齿形20

二、棘轮齿数 z 和棘爪数 j 21

三、棘轮模数 m 和齿距 p 22

四、棘轮的径向尺寸24

五、棘轮和棘爪的轴心位置与棘齿工作面倾角 α	24
六、棘轮和棘爪的其余尺寸	26
七、棘轮和棘爪的齿形画法	26
八、棘轮转角的调节	27
九、棘轮机构的动停比	27
§ 2-3 摩擦式棘轮机构的参数选择与设计	29
一、偏心扇形块式棘轮机构	29
二、滚子式棘轮机构	30
§ 2-4 棘轮机构的应用实例	31
一、小行程大分度角的棘轮机构	31
二、棘爪由凸轮驱动的棘轮机构	32
三、无声齿式棘轮机构	33
四、棘爪由偏心轮驱动的棘轮机构	34
§ 2-5 擒纵机构	35
一、摆锤式擒纵机构	35
二、手表中的擒纵机构	36
三、圆销齿擒纵机构	37
四、双棘轮式擒纵机构	37
第三章 槽轮机构	39
§ 3-1 槽轮机构的基本型式与工作特点	39
§ 3-2 槽轮机构的运动分析	41
一、外槽轮机构	41
二、内槽轮机构	46
§ 3-3 槽轮机构的动力学计算	52
一、驱动传送带式设备的扭矩计算	52
二、驱动转位装置的扭矩计算	53
§ 3-4 槽轮机构设计	54
一、槽轮机构的设计计算公式	54
二、槽轮机构设计计算举例	57
§ 3-5 具有特殊结构和工作要求的槽轮机构	59
一、长时间停歇的槽轮机构	59
二、用于相交轴的球面槽轮机构	59

三、相邻转位角不等且各次停歇时间也不等的多圆销槽轮机构	60
四、不用锁止弧定位的槽轮机构	61
五、改善动力特性的槽轮机构	62
六、偏置槽槽轮机构	63
第四章 针轮机构	67
§ 4-1 针轮机构的基本型式与工作特点	67
§ 4-2 外针轮机构	69
一、齿槽廓线	69
二、星轮齿槽的基本参数	71
三、转角比 σ 及半径比 μ	73
四、运动系数	75
五、针轮上锁止弧所对中心角 γ	76
六、运动分析	76
七、外针轮机构的设计计算步骤	80
§ 4-3 内针轮机构	83
一、 $\mu < 1$ 的内针轮机构	83
二、 $\mu > 1$ 的内针轮机构	87
三、 $\mu < 1$ 和 $\mu > 1$ 两种内针轮机构的特性比较	90
四、内针轮机构与外针轮机构中 δ 和 μ 的极值比较	91
五、内针轮机构的运动分析	91
第五章 不完全齿轮机构	97
§ 5-1 不完全齿轮机构的基本型式与工作特点	97
§ 5-2 不完全齿轮机构的啮合过程	98
一、普通渐开线(完全)齿轮机构的啮合过程	98
二、不完全齿轮机构的啮合过程	99
§ 5-3 齿顶干涉问题与主动轮首、末齿齿顶高系数的确定	103
一、齿顶干涉现象	103
二、主动轮首、末齿齿顶高系数的确定	103
§ 5-4 锁止弧的设计	108
一、从动轮锁止弧的设计	108
二、主动轮锁止弧的设计	110
§ 5-5 从动轮的停歇时间与运动时间	114

§ 5-6 改善传动性能的措施	115
§ 5-7 不完全齿轮机构的设计	116
一、初始数据的选择	116
二、连续传动条件的校验	117
三、停歇时间的满足	117
四、不完全齿轮机构设计计算步骤与公式	121
第六章 共轭盘形分度凸轮机构	130
§ 6-1 共轭盘形分度凸轮机构的基本型式与工作特点	130
§ 6-2 共轭盘形分度凸轮机构的主要运动参数和几何尺寸	131
一、机构头数 H 、转盘滚子数 z 与转盘分度数 I 间的关系	131
二、凸轮与转盘在分度期与停歇期的主要运动参数	132
三、动停比 k 与运动系数 τ	133
四、共轭盘形分度凸轮机构的主要几何尺寸计算	133
§ 6-3 共轭盘形分度凸轮机构的设计方法和步骤	134
一、选定机构类型(即头数 H)和转盘分度数 I	134
二、计算转盘的滚子数 z	135
三、计算转盘分度期的转角 ϕ_f	135
四、计算各个滚子的起始位置角 ϕ_{n0}	135
五、选定分度期的凸轮转角 θ_f	135
六、选择机构的运动规律,画出转盘滚子在分度期间的运动曲线	135
七、选择合适的转盘节圆半径 r_p 与中心距 C 的比值 r_p/C	136
八、用作图法绘制共轭盘形凸轮的理论廓线和工作廓线	138
九、精确计算共轭盘形凸轮理论廓线和工作廓线的坐标值	139
§ 6-4 用作图法绘制共轭盘形分度凸轮的理论廓线和工作廓线	139
§ 6-5 共轭盘形分度凸轮理论廓线和工作廓线的精确计算	142
一、坐标系的建立	142
二、与 No.1 滚子接触的凸轮理论廓线和工作廓线方程式	143
三、与 No.3 滚子接触的凸轮理论廓线和工作廓线方程式	147
四、共轭盘形分度凸轮后侧面的廓线	148

五、凸轮理论廓线的曲率半径 r 的计算	148
六、均分向径角 Φ 处的向径值 R 的确定	148
§ 6-6 共轭盘形分度凸轮机构的设计计算实例	148
一、设计计算共轭盘形分度凸轮机构的主要运动参数和几何尺寸	149
二、用作图法绘制凸轮的理论廓线和工作廓线	149
三、凸轮理论廓线和工作廓线的精确计算	157
第七章 弧面分度凸轮机构	168
§ 7-1 弧面分度凸轮机构的基本型式与工作特点	168
§ 7-2 弧面分度凸轮机构的主要运动参数和几何尺寸	169
一、凸轮分度廓线头数 H 、转盘滚子数 z 与转盘分度数 I 之间 的关系	169
二、凸轮与转盘在分度期与停歇期的运动参数	169
三、动停比 k 与运动系数 τ	170
四、啮合重叠系数 e	170
五、弧面分度凸轮机构的主要几何尺寸计算	171
§ 7-3 弧面分度凸轮工作曲面的设计原理和方法	174
一、空间共轭曲面设计时必须满足的基本条件	174
二、坐标系的选取	174
三、从动转盘上滚子的圆柱形工作面在坐标系 S_2 中的方程式及 法线矢量	176
四、凸轮工作轮廓与滚子圆柱形工作面的共轭接触方程式	176
五、滚子圆柱形工作面上的接触线	181
六、凸轮工作轮廓在坐标系 S_1 中的曲面方程式	181
§ 7-4 弧面分度凸轮工作曲面的计算机辅助设计	183
一、确定凸轮的等分角 θ	183
二、画出转盘的角位移、角速度、角加速度和角跃度曲线	183
三、求得滚子的曲面参数 r 和 ψ 间的约束关系式	183
四、求滚子的曲面参数 ψ	183
五、求滚子的瞬时共轭接触线	184
六、求凸轮的三维坐标 x_1 、 y_1 和 z_1	184
七、求凸轮定位面左右两侧的曲面坐标值	184
八、画出凸轮的主视图、俯视图和侧视图	184
九、凸轮与转盘上不同滚子啮合的工作过程简介	185

十、输出数据表格	189
§ 7-5 双头弧面分度凸轮廓线设计时的特殊问题	189
一、凸轮与转盘上不同滚子啮合的工作过程简介	189
二、计算机输出数据表格形式	191
§ 7-6 弧面分度凸轮机构的压力角	191
一、压力角 α 的定义及计算公式	191
二、最大压力角 $\alpha_{\max}$ 及降低 $\alpha_{\max}$ 的措施	192
三、根据许用压力角 $[\alpha]$ 选取合理的凸轮和转盘节圆半径 r_{p1} 和 r_{p2}	193
§ 7-7 弧面分度凸轮机构的动力学参数计算	194
一、弧面凸轮、从动转盘和工作台的质量和转动惯量	194
二、在分度期间转盘与工作台上所受的最大力矩	195
三、产生凸轮上的最大驱动力矩所需要的电动机功率 $N_{\max}$	196
四、当凸轮及传动系统具有足够大的转动惯量时, 电动机功率 的计算方法	196
五、凸轮及传动系统转动惯量的验算	197
六、凸轮与转盘上的受力计算	199
§ 7-8 弧面分度凸轮机构主要零部件的材料与技术要求	200
一、弧面分度凸轮与转盘滚子的材料与技术要求	200
二、弧面分度凸轮、转盘、滚子等的技术要求	200
三、机构结构设计的注意点	201
§ 7-9 弧面分度凸轮机构设计计算实例	201
一、弧面分度凸轮机构的主要运动参数的设计计算	201
二、弧面分度凸轮机构的主要几何尺寸和零部件图	201
三、弧面分度凸轮机构的输出数据表格	224
四、弧面分度凸轮机构的主要动力学参数计算	224
第八章 圆柱分度凸轮机构	225
§ 8-1 圆柱分度凸轮机构的基本型式与工作特点	225
§ 8-2 圆柱分度凸轮机构的主要运动参数和几何尺寸	226
一、凸轮分度廓线头数 H 、转盘滚子数 z 与转盘分度数 I 之间 的关系	226
二、凸轮与转盘在分度期与停歇期的运动参数	227
三、动停比 k 与运动系数 τ	228

四、啮合重叠系数	228
五、圆柱分度凸轮机构的主要几何尺寸计算	228
§ 8-3 圆柱分度凸轮工作曲面的设计原理和方法	231
一、坐标系的选取	231
二、从动转盘上滚子的工作曲面在坐标系 S_2 中的方程式	232
三、凸轮工作轮廓与滚子工作曲面的共轭接触方程式	234
四、凸轮工作轮廓在坐标系 S_1 中的曲面方程式	240
§ 8-4 圆柱分度凸轮工作曲面的计算机辅助设计	241
§ 8-5 圆柱分度凸轮机构的压力角	246
一、圆柱形滚子时的压力角计算及 r_{p2}/r_{p1} 的合理选择	246
二、圆锥形滚子时的压力角	249
§ 8-6 圆柱分度凸轮工作曲面展开成平面时的设计计算	251
§ 8-7 圆柱分度凸轮机构的动力学参数计算	255
一、转盘(包括滚子在内)的质量 m_2 和绕 O_2 轴的转动惯量 J_2	256
二、凸轮与转盘上的受力计算	256
§ 8-8 圆柱分度凸轮机构主要零部件的材料与技术要求	257
§ 8-9 圆柱分度凸轮机构设计计算实例	258
第九章 具有瞬时停歇特性或停歇区的间歇运动机构	274
§ 9-1 凸轮机构	274
一、三心凸轮机构的主要尺寸参数	275
二、移动式叉杆三心凸轮机构	276
三、摆动式叉杆三心凸轮机构	280
四、平面复合运动式叉杆三心凸轮机构	288
§ 9-2 平面连杆机构	291
一、利用平面连杆机构极限位置附近的特性使输出运动实现 具有较长停歇区	291
二、利用平面连杆机构的连杆曲线实现间歇运动	293
§ 9-3 凸轮-连杆组合机构	294
§ 9-4 齿轮-连杆组合机构	296
一、利用行星轮系上某一点的轨迹拼接连杆机构实现间歇运动	297
二、在由周转轮系和连杆机构组成的组合机构中, 设计合适的 齿数和杆长以实现间歇运动	300

§ 9-5 凸轮-齿轮组合机构	305
一、圆柱凸轮-蜗轮蜗杆组合机构	306
二、平面槽凸轮-周转轮系组合机构	307
§ 9-6 具有挠性件传动的组合机构	310
第十章 分度凸轮机构的常用运动规律	313
§ 10-1 量纲—运动参数	313
一、量纲—时间 T	313
二、量纲—位移 S	313
三、量纲—速度 V	314
四、量纲—加速度 A	314
五、量纲—跃度 J	314
§ 10-2 分度凸轮机构的常用运动规律	314
一、余弦加速度运动规律	314
二、正弦加速度运动规律	315
三、3-4-5 次多项式运动规律	316
四、改进等速运动规律	317
五、改进梯形加速度运动规律	323
六、改进正弦加速度运动规律	326
§ 10-3 分度凸轮机构常用运动规律的特性比较及选择	327
一、各种运动规律的主要特性值及其对分度凸轮机构工作性能的影响	327
二、分度凸轮机构中几种常用运动规律主要特性值的比较及其适用场合	328
三、几种常用运动规律的运动参数值的查表算法	328
参考文献	352

第一章 间歇运动机构的类型和应用

在许多机械设备中,特别是自动机和半自动机中,由于生产工艺的要求,往往需要机构来实现周期性的转位、分度动作以及作带有瞬时停歇或停歇区的断续性运动。例如:转塔车床和数控机床中的转动刀架在完成一道工序后要转位;牛头刨床中刀具每一次往复行程后,工作台要进给;牙膏管拧盖机的转盘式工作台,在拧紧一个管盖后要分度转位;糖果包装机推料机构在一个工作循环中,需要有一段停歇时间以进行包装纸的传送、折叠或扭结。这种输出构件呈现周期性停歇状态的机构称为间歇运动机构。

间歇运动机构的型式众多,根据其主要工作特性可以分成两大类,即步进运动间歇机构和具有瞬时停歇特性或停歇区的间歇运动机构。下面分别介绍其主要类型和功用。

§ 1-1 步进运动间歇机构

步进运动间歇机构的主要特征是其输出构件作具有周期性停歇的单向运动,即其断续运动的特点是单方向的、有规则的、时动时停的。例如:多工位组合机床中,工件装在转盘式工作台上,沿转台圆周方向按工艺要求装有几个动力头。转台在步进运动间歇机构驱动下作周期性分度转位动作,使工件经过不同工位依次由各个动力头进行所需的工艺加工。加工工件时,转台应停止不动,当第一个动力头完成了应进行的工艺动作后,转台转过一定分度角使工件转到下一个工位,然后又停止不动,使第二个动力头进行其工艺动作。这种步进运动间歇机构应用非常广泛,在金属切削机床、冲压机械、包装机械以及轻工、纺织等行业的许多设备