

高等学校工程专科教材

机械原理课程设计指导

张永安 徐锦康 王超英 编著

张永安 主编



II11
33

高等教育出版社

高等学校工程专科教材

机械原理课程设计指导

张永安 徐锦康 王超英 编著

张永安 主编

高等教育出版社

(京) 112号

内 容 提 要

本书是根据国家教育委员会批准印发的《高等学校工程专科机械原理课程教学基本要求》中对机械原理课程设计的要求的精编写而成的。

本书内容分三部分：第一部分机械原理课程设计概论；第二部分机械原理课程设计题选及指导；第三部分机械原理课程设计资料。本书比较系统地介绍了按功能原理进行机器运动设计的一般步骤及方法，并举例进行了说明。本书还提供了较多具有实际意义的课程设计题选、必要的设计资料和电算程序等。

本书经国家教育委员会高等学校工程专科机械原理及机械零件课程教材编审组扩大会议审定通过，同意作为高等学校工程专科机械类专业机械原理课程设计的教材。本书也可供其他有关专业以及有关工程技术人员进行机器运动设计时参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械原理课程设计指导/张永安主编. —北京:高等教育出版社, 1995

高等学校工程专科教材

ISBN 7-04-005216-4

I. 机… II. 张… III. 机械学-高等学校-教材 IV. TH1

11

中国版本图书馆CIP数据核字 (95) 第00396号

*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 7.5 字数 180 000

1995 年10月第1版 1995 年10月第1次印刷

印数0001—3 260

定价6.00元

前 言

本书是根据高等学校工程专科机械类专业的培养目标、国家教育委员会批准印发的《高等学校工程专科机械原理课程教学基本要求》中对机械原理课程设计的要求,以及近几年各校试行机械原理课程设计的经验编写而成的。

近年来,我国机械工业发展迅速,取得了很大成就。随着科学技术的不断进步和人民生活水平的不断提高,尤其是我国改革、开放政策的进一步深入和社会主义市场经济的发展与完善,对产品质量和品种的要求越来越高,产品更新换代的周期也愈来愈短。开发能满足市场需求和适应现代科技发展的新产品是企业发展生产的重要措施之一。此外,为了保证产品质量,提高劳动生产率,改善劳动条件,需要对工艺过程和装备不断进行技术革新和改造。这就需要大批具有革新和创造能力的工程技术人员。

为了适应我国国民经济的发展,考虑到学生将来可能在中小型机械制造厂从事比较全面的机械技术工作(包括一般机械产品的设计工作),在大中型企业从事工艺装备设计和技术改造工作,因此使学生受到比较全面的机器设计过程的训练是完全必要的。机械原理课程设在机器设计训练中担负着培养学生机器运动设计能力的作用。由于机器运动设计的复杂性和多样性,到目前为止,普遍认为机器方案设计没有规律可循。作者总结了近几年各校试行机械原理课程设计的经验及各自的教改实践,比较系统地叙述了按功能原理进行机器运动设计的基本方法和一般步骤,使学生在机械原理课程设计中,能受到一次比较全面的机器运动设计的训练。

考虑到各校的培养目标、专业特点、设计时间和指导教师的经验,作者选编了以机构分析为主和以机构综合为主的不同类型的课程设计选题,其中包括有来自机械生产实际的一些技术革新类选题,以供各校选用。为了能够使学生构思出较多的机器运动方案,拓宽学生的知识面,本书提供了一定数量的常用机构选例,此外还提供了设计所必需的一些设计资料,以补充教材资料之不足。

在课程设计中开展计算机辅助设计,已成为各校教学改革的发展方向之一,本书提供了有关机构分析的子程序及其使用说明。有条件的学校,可让学生自编主程序来调用相应的子程序,以解决有关机构的分析问题。有关基本机构尺寸综合的计算机程序,可让学生根据教材提供的数学模型自己编制。这样可以训练学生自己编程和使用软件的能力。

作者在编写过程中注意引导学生树立正确的工程设计观点,提高学生的自学能力和独立工作能力,激发学生的创造意识和树立远大理想。通过课程设计实践,使教学工作与我国国民经济发展的需要紧密结合,为我国社会主义建设事业培养更多的合格人才。

参加本书编写的有洛阳工业高等专科学校张永安(第一部分,第二部分题目四、五、六、七、八、九),南京机械高等专科学校徐锦康(第二部分题目一、二、三,第三部分二、三、四、五、六),湘潭机电高等专科学校王超英(第二部分题目十、十一、十二,第三部分一、七、八),并由张永安担任主编。

长沙大学程崇恭教授担任本书的主审,对本书初稿进行了认真细致的审阅和修改,并对修

改稿进行再次审阅。国家教育委员会高等学校工程专科机械原理及机械零件课程教材编审组对书稿进行了复审，提出了很多建设性的意见。编者根据主审及编审组的意见，对书稿进行了全面、认真、细致的删改，并对他们表示由衷的感谢。本书在编写过程中还得到国家教育委员会高校机械原理课程教学指导小组前组长、西安交通大学朱虔教授和国家教育委员会高等工业学校机械原理课程教学指导小组成员、华中理工大学杨元山教授的指导和帮助，在此一并致谢。

由于机械原理课程设计各校尚在试行阶段，如何取得最佳效果，还需在教学实践中不断进行研究和完善，加之编者水平有限，书中错误缺点在所难免，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

1994年3月

目 录

第一部分 机械原理课程设计概论 1	题目四 搅拌机机构设计与分析.....41
§ 1 机械原理课程设计的目的和要求..... 1	题目五 坯料输送机机构设计与分析.....42
§ 2 机械原理课程设计的一般步骤及方法..... 2	题目六 简易牛头刨床机构设计与分析.....44
一、确定执行构件的运动及其相互协调配合关系..... 2	题目七 简易插床机构设计与分析.....45
二、确定原动机的类型和运动参数..... 4	题目八 步进输送机机构设计与分析.....46
三、确定机器的运动方案..... 5	题目九 压片机机构设计与分析.....48
四、机构系统的运动尺寸设计.....16	题目十 专用镗床机构设计.....50
五、绘制机器运动简图.....19	题目十一 摆线齿轮仿形铣削夹具机构设计.....52
六、机构运动分析.....19	题目十二 平衡吊机构设计.....56
七、机构动态静力分析.....20	第三部分 机械原理课程设计资料59
八、机器周期性速度波动调节.....21	一、参考程序汇编及其应用说明.....59
九、确定电动机功率.....22	二、齿轮变位系数选择界限图.....78
十、编写设计说明书.....22	三、气液动连杆机构的设计.....80
§ 3 设计举例.....23	四、常用机构选例.....84
第二部分 机械原理课程设计题选及指导 ... 34	五、曲柄摇杆机构连杆曲线图谱选例..... 102
题目一 活塞式压气机机构分析与设计.....34	六、用图解线图法确定凸轮基圆半径..... 104
题目二 压床机构分析与设计.....37	七、传动螺纹..... 108
题目三 铰链式颚式破碎机机构分析与设计.....39	八、电动机..... 109
	主要参考文献..... 111

第一部分 机械原理课程设计概论

§ 1 机械原理课程设计的目的和要求

古往今来,人类从事的许多有目的的活动,多离不开设计。从广义上来说,设计是创造事物的一种活动。机械设计是运用自然科学知识和实践经验,去构成一个有效、可行、适用的机械系统,以实现一种或一组预定的功能要求,来满足人类社会需求的一种有目的的活动。其成果是作为试制和生产依据的图纸和设计说明书。在满足规定的质量和性能要求的前提下,力求尽可能经济地将机器制造出来。

机器是各部分之间具有确定相对运动的人为的实物组合,它能代替或减轻人类劳动来完成有用的机械功或转换机械能。所以,机器的设计过程基本上应包含两个阶段,即运动设计和构形及工作能力设计两个阶段。前者是根据机器的预定动作要求,保证机器具有所需的确定的相对运动,其设计结果是机器运动简图和各组成机构的运动简图,它好像动物的“骨骼”,这是机械原理课程所承担的内容。后者是在运动设计的基础上,将抽象的运动简图转换成具体的技术结构图,这犹如动物的“肢体”,并能按照各种设计理论,保证机器在一定的工况条件下和规定的运转时间内,具有正常的工作能力。其设计结果是制造单位所必需的工作图和技术文件,这是机械零件课程所承担的内容。任何机器的设计都应该包含这两个阶段,只不过因机器的功用不同,在设计中各有侧重而已。

机械原理课程设计是机械原理课程的重要的实践性教学环节,是学生将所学知识转化为能力的桥梁,其主要目的是:

- 1) 进一步巩固和加深学生所学理论知识,将所学知识系统化。
- 2) 通过课程设计,使学生将所学理论与工程实际相结合,将知识转化为分析和解决工程实际问题的能力。通过机械原理课程设计训练,使学生对机构分析和设计过程有明确的概念,获得对运动方案进行分析比较的能力,初步掌握机器运动设计或机构设计的方法,逐步树立正确的工程设计观点。
- 3) 进一步提高学生计算、制图、使用技术资料 and 自学能力。有条件的学校,可逐步开展计算机辅助设计,以提高学生计算机应用能力。
- 4) 通过创造意识的教育,初步培养学生的革新、创造能力。

机械原理课程设计是高等学校工程专科机械类专业学生第一次比较全面的工程设计训练。从一开始设计就应严格要求,加强对学生的规范化训练。尤其是有关制图、图幅、线型、尺寸标注、字型,严格遵守和执行国家标准及规范等训练,对于培养合格的工程技术人才是非常重要的。在设计过程中,要使学生养成严肃认真、一丝不苟、有错必改、精益求精的工作态度,提倡相互协作、深入钻研、独立思考、勇于创新的精神,反对不求甚解、盲目抄袭、敷衍塞责、容忍错误的不良作风,为将来从事机械技术工作奠定良好的基础。

§ 2 机械原理课程设计的一般步骤及方法

机械原理是研究机构与机器的特性、机构与机构系统运动设计的通用方法的一门科学。从某种意义上来说,机械原理是创造新机械的科学原理。因为机械原理不仅仅提供了分析机械的基本原理和方法,而且还可以运用机构综合理论去构思、设计新的机械。

机器运动设计的任务是根据给定的运动和动力性能要求及其他限制条件,设计出各组成机构的运动简图和机构系统的运动简图,即确定机构和机构系统的类型及其组合、运动尺寸,并用规定的符号按比例画出机构和机构系统运动简图,以设计出满足各种性能要求的机构和机构系统。机器运动设计是机器设计活动中极其重要的一环,它是后续的机器构形及工作能力设计的基础。因此,正确合理地完成机器运动设计,对于提高机器的性能和质量,降低机器的制造成本都是至关重要的。

机器运动设计主要包括两大内容,即机器运动方案设计和机构系统的运动尺寸设计。机器运动设计是一项比较繁难的工作。因为设计时要考虑多方面的、甚至相互矛盾的要求和条件,实现同一功能的机器运动方案有很多种,需要通过定性的或定量的分析比较才能确定其优劣,设计进程有可能要进行平行、交叉作业,甚至有所反复等。

众所周知,机器的结构和机器的工作原理是密切相关的。机器为了完成同一种工作,可以根据不同的工作原理来实现。例如:要实现钢材的分离,可采用气割、冲剪、切削等方法;要实现粉状物料的位置变化,可以采用胶带输送、振动输送、风送、小车运送等方法。又例如,制齿方法有铸造、冲压、粉末冶金、热轧、电加工、切削等方法,在切削法中有仿形法和范成法,而范成法中又有滚齿和插齿之分。显然,采用不同工作原理工作的机器,其工艺动作、运动简图和结构可能完全不同。因此,必须先根据预定的工艺要求或生产任务确定机器的工作原理,才能有的放矢地设计出实现该预定职能的机器设备。机器工作原理的选择是专业课程的任务,在机械原理课程设计中不作讨论。

机器运动设计一般包括以下几个步骤。

一、确定执行构件的运动及其相互协调配合关系

机器的工作原理确定之后,或工艺过程中工序动作确定之后,则机器执行构件的运动即可确定。所谓执行构件的运动,是指完成机器预定职能所需的所有执行构件的动作形式、运动参数和变化规律,以及它们之间的相互协调配合关系。

1. 执行构件的运动形式和运动参数

运动形式不同,其运动参数也不同。执行构件常见的运动形式和运动参数有:

(1) 连续回转运动 连续回转运动多为匀速回转运动,如车床主轴的转动,球磨机筒体的转动等,其运动参数为转速 n (r/min) 或角速度 ω (rad/s)。有些机器的转速是恒定不变的(如球磨机筒体的转动),有些机器的转速则需根据工艺要求进行调整(如车床主轴的转动)。调速可以是无级的,也可能是有级的。因此,运动参数还有调速范围、调速级数、相邻两级速度的级比 (n_{z+1}/n_z)、级差 ($n_{z+1} - n_z$) 等。

(2) 间歇回转运动 这种运动常用作分度运动或转位运动,如多工位机床的工作台转位,步进输送装置的送进轮运动等。其运动参数通常为每分钟的动作次数 n (str/min)、运动

系数 τ 、动停比 k 等。

(3) 往复直线运动 常见的有牛头刨床刨头、插床滑枕、冲压机冲头、内燃机活塞的运动等。运动参数有行程长度 H (mm或m)、每分钟往复次数 n (str/min)、行程速比系数 K 等。在确定行程速比系数时,既应考虑节省空回程的时间以提高生产率,又应使回程的动载荷不致过大。

(4) 带停歇的或按某种规律运动的往复直线运动 这种运动形式在控制操纵系统中用得比较多,如凸轮机构带动的车床刀架的运动等。其运动参数一般用线图或函数式来表示,如 $s = s(t)$ 、 $v = v(t)$ 、 $a = a(t)$ 等。

(5) 单向间歇式直线运动 如牛头刨床、插床工作台的送进运动,步进输送机输送带的运动等即属此类。前者运动参数为刀具往返一次工作台的送进量 S (mm/str);后者运动参数有每一工作循环的时间 t (s)、每分钟动作次数 n (str/min)、每次运动行程 H (mm或m)、动停比 k 等。

(6) 其他运动形式 执行构件的其他运动形式有:往复摆动,如摆式喂料机料斗的运动;平面复杂运动,如复摆式颚式破碎机动颚的运动;执行构件上某点按预定的轨迹运动等。

常见的平面机构构件的运动性质、方向和代表符号如表1-1所示。

2. 执行构件的相互协调配合关系

在某些机器中,各执行构件的运动是相互独立的,设计时不需要考虑它们之间的协调配合关系。但是,在另一些机器中各执行构件运动之间必须密切协调配合,才能实现机器的预定职能。

机器执行构件运动的协调配合,按其性质的不同可分为两类:一类是各执行构件运动速度的协调;一类是各执行构件运动动作的协调。

(1) 各执行构件运动速度的协调 有些机器,由于工作需要,要求各执行构件某些运动之间必须保持严格的速比关系。例如,用范成法加工齿轮时,刀具与工件之间必须保持某一固定的传动比。在车床上车螺纹时,车床主轴与丝杠之间应保持一定的传动比,使工件转一周时刀具移动一个导程等。

(2) 各执行构件运动动作的协调 某些机器各执行构件的运动位置或动作的时间顺序必须准确而协调地相互配合,才能实现其工作职能。例如牛头刨床的刨头和工作台之间的运动就必须协调配合,当刨头(刀具)作往复切削运动时,工作台间歇直线进给运动,工作台的送进应在刀具非切削时间内进行,其余时间应保持不动。

各执行构件运动动作的协调关系,可用运动循环图来表示。运动循环图通常有直线式、圆环式、直角坐标式等形式。直角坐标式还可以表示出构件运动参数的变化关系,因此对执行构件运动规律有一定要求时采用直角坐标式比较适宜。绘制运动循环图时必须有一参考坐标,通常可选择时间 t 或某一作匀速转动构件(一般为主动曲柄或分配轴)的转角 δ 。

表1-1 常见平面机构构件运动的性质、方向和代表符号

名称	代表符号		
	连续式	间歇式	带停歇式
单向直线			
往复直线			
单向回转			
往复回转			
复合运动			
点的轨迹			

机器运动时，一般都要克服阻力做功，运动的传递也伴随着力的传递，因此受力构件必须满足一定的强度等要求。所以机器设计时生产阻力和其他外力的作用情况也是设计所必需的原始资料，一般应确定其性质、方向、大小和作用点等。

上述工艺动作的运动参数、生产阻力及其他外力可以通过对工艺过程的理论分析和实验确定，或参考已有同类机器用类比法予以确定。在一些专业机械设计的资料或参考书中，一般都提供了这些参数的数据或确定方法，本书不予赘述。在机械原理课程设计中，通常都作为已知的原始资料在设计题目中予以提供，而运动协调配合关系（运动循环图）则需要设计者自己拟定。

现以四工位专用机床为例分析其执行构件的运动循环图。此机床用来连续完成某种工件的钻孔、扩孔、铰孔等工序，以提高生产率。图 1-1 为机床的执行部分。工作台有四个工作位置，工位 I 装卸工件，工位 II 钻孔，工位 III 扩孔，工位 IV 铰孔。主轴箱中对应于工位 II、III、IV 的主轴上分别装有相应的刀具。刀具绕其自身轴线以 n_1 的速度作单向匀速转动。主轴箱每左移送进一次，在四个工位上分别完成装卸工件、钻孔、扩孔、铰孔等工序。当主轴箱向右退回，刀具离开工件以后，工作台（转角 φ ）回转 90° ，完成一个工作循环，加工完一个工件。然后主轴箱再次左移，开始下一个工作循环。由此可以看出，机床有三个运动，即刀具绕自身轴线的单向匀速回转运动 A_1 ，工作台的间歇转动 A_2 ，主轴箱相对于工作台按一定规律运动的往复直线运动 A_3 。为使问题简单起见，现假定 II、III、IV 工位所对应的主轴的转速相同，回转运动 A_1 与其他两个运动亦假定没有较严格的协调配合要求。而运动 A_2 和 A_3 必须很好地协调配合才行。即工作台静止不动时，主轴箱应完成向左的快进、工作送进和向右的快退等动作，当刀具离开工件以后，工作台才能完成 90° 转位动作。它们之间的协调配合关系，可用图 1-2 所示

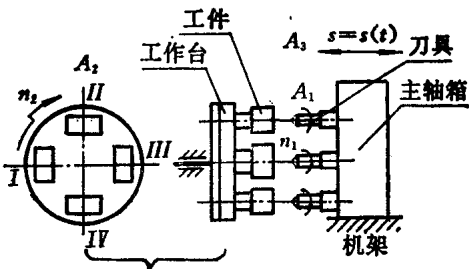


图 1-1 四工位专用机床执行构件的运动

的运动循环图表示，图中主轴箱位移 $s = s(t)$ 图线表示了主轴箱运动时的位移规律。

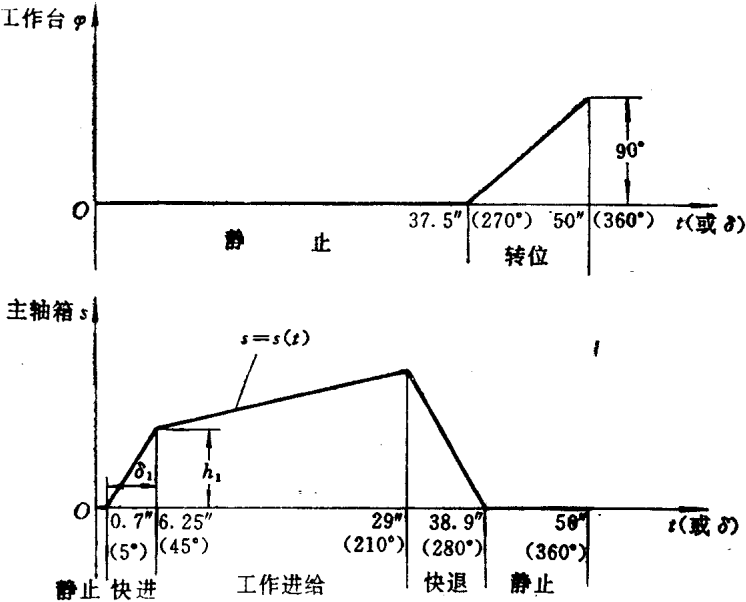


图 1-2 四工位专用机床运动循环图

二、确定原动机的类型和运动参数

原动机的类型和运动参数将影响机械传动的形式、机构类型的选择和机构系统的复杂程

度, 因此应首先选好原动机。

机器中多个执行构件的动作, 若由一个原动机驱动, 则称集中驱动; 若分别由两个或两个以上原动机驱动, 则称分散驱动。采用集中驱动方式可有利于各执行构件之间运动上的准确协调配合, 但这样的驱动方式可能会使传动链过于复杂。普通车床上主轴与刀架的驱动, 滚齿机上滚刀与工作台的驱动等采用集中驱动方式。若执行构件之间的运动无相互协调配合要求, 或要求不严格, 则可考虑用分散驱动方式, 以简化传动链, 如一般万能卧式铣床主轴的回转运动和工作台的送进运动, 就是用两台电动机分别驱动的。

常用的原动机有三相异步电动机、调速电动机和往复式油缸(或气缸)等。由于三相异步电动机具有结构简单、价格便宜、效率高、控制使用方便等优点, 机器中多采用三相异步电动机作为原动机。

电动机的运动参数为转速 n (r/min)。通常在输出同样功率时, 三相异步电动机的转速越高, 电动机的极数越少, 尺寸和重量越小, 价格越低。因而当执行构件运动速度较高时, 宜用高速电机。执行构件速度很低时, 若仍选用高速电机, 这时虽然电机成本低, 但由于减速装置增大, 传动部分成本提高, 效率降低, 可能反而不经济。所以, 在选择电动机运动参数时, 应综合考虑电动机和传动部分的重量、尺寸、价格、机构系统的复杂程度以及机械效率等各方面的因素。

原动机的类型和运动参数大多用类比法或凭经验确定。

三、确定机器的运动方案

如前所述, 机器的运动设计就是构成一个有效、可行、适用的机构系统, 来实现工艺过程所需的预定动作。它包括机器的运动方案设计和各组成机构的运动尺寸设计。机器的运动方案设计又分为原动机的选择和将原动机的运动转换为各执行构件复杂动作的机构系统的设计。机器运动方案设计实质上就是要选择合适的机构类型并将它们合理地进行组合。由于实现同一种运动可以选择不同的原动机和不同的机构来实现, 也可以选择相同的原动机和不同的机构来实现, 所以实现预定运动要求的机器运动方案是很多的。因为方案设计关系到机器运动功能的质量、结构的繁简、成本的高低等指标, 所以是一件重要而又复杂的工作, 同时也是一件最富创造性的工作。这要求设计者不仅对各种基本机构及组合变异机构的组成、运动性能、工作特点和适用场合有比较深入和全面的了解, 掌握它们的各种设计方法, 而且具有丰富的实际知识和勇于创造的开拓精神, 在工作中注意收集有关资料, 不断丰富自己的知识贮存。这样, 在构思时就会思路开扩, 想象力丰富。同时, 要注意掌握合理的思维方法, 并发挥集体的智慧, 才能在方案设计时取得优良的成果。

确定机器运动方案可分为机器运动方案的生成和选择最优机器方案两个阶段。

1. 机器运动方案的生成

当执行构件的动作和原动机的运动确定以后, 就可选择合适类型的机构并将其合理组合, 以使原动机的运动能转换成各执行构件的不同动作。这样, 原动机和执行构件间便组成了传动链。这种传动链常称为外联传动链。若执行构件之间需要保持一定的运动协调配合关系, 则在它们之间可通过传动链建立起内在的联系。这种传动链常称为内联传动链。通过对各种基本机构(包括组合变异机构)在传动链中功能的分析, 我们可以将各种机构按所能实现的功能进行分类。

(1) 实现转速变换的机构 大部分机器中执行构件的运动速度较原动机低, 这时需要减速, 个别高速机械需要增速, 而有些机器根据工艺的需要或工况的不同, 需要有多种速度, 因此减速、增速和调速是机构的主要功能之一。这部分机构往往置于传动链的前端、靠近原动机, 一般统称为传动机构。实现减速、增速功能的机构有摩擦轮传动机构、带传动机构、链传动机构、齿轮传动机构、蜗杆蜗轮传动机构、行星齿轮传动机构、摆线针轮传动机构、谐波齿轮传动机构、活齿传动机构、平行四边形机构、双万向联轴节机构等, 它们的传动比或平均传动比为定值 (不考虑摩擦传动时的相对滑动), 称定传动比机构。非圆齿轮机构、连杆机构中的双曲柄机构、曲柄转动导杆机构、单万向联轴节机构等的传动比作周期性变化。常用的实现转速变换的机构类型及主要特点如表1-2所示。

表1-2 实现转速变换的机构类型及其性能

机构类型		传递功率	传递效率	线速度 (m/s)	单级传动比	外形尺寸	成本	主要优缺点	
带传动机构	V带平带	大、中、小	0.92~0.96	5~30	$\leq 5 \sim \leq 7$	大	低	结构简单, 维修方便, 传动平稳, 中心距变化范围广, 但使用寿命较短	缓冲和冲击, 过载打滑, 起保护作用, 但不能保证定传动比
	同步带		0.96~0.98	0.1~50	≤ 10	中	低		能保证固定的平均传动比
链传动机构	滚子链 齿形链	大、中、小	0.93~0.97	5~25	$\leq 6 \sim \leq 10$	大	中	平均传动比准确, 中心距变化范围广, 传递功率大, 高速时冲击振动较大, 在振动、冲击载荷作用下寿命较短	
渐开线圆柱和圆锥齿轮传动机构	开式	大、中、小	0.92~0.96	≤ 5	$\leq 3 \sim \leq 5$	中、小	中	适用范围速度和功率范围广, 寿命长, 效率高, 传动比准确, 应用最广, 但制造精度要求高, 噪音较大	
	闭式		0.96~0.99	$\leq 20 \sim \leq 100$	≤ 7				
圆弧齿轮传动机构		大、中、小	0.98~0.99	4~50 (高速传动可达100)	$\leq 3 \sim \leq 5$	中、小	中	承载能力较高, 但制造及安装精度要求也较高, 刀具较复杂	
交错轴斜齿圆柱齿轮传动机构		小	0.94~0.98		≤ 3	中	中	相对滑动较大, 磨损较大, 不适于重载传动	
蜗杆传动机构	自锁	中、小	0.3~0.4		10~80	小	高	传动比大, 结构紧凑, 反行程可自锁, 但效率低, 常用价格较贵的青铜材料, 制造精度要求高	
	不自锁		0.7~0.9						
渐开线行星齿轮传动机构	2K-H型	中、小	一般 0.8 以上, 最高可达 0.97~0.99		3~60	小	高	传动比大, 结构较定轴齿轮传动紧凑, 传递功率较大, 但装配较复杂。根据类型不同, 传动效率与传动比范围相差很大, 大传动比时往往效率很低	
	3K型								
	K-H-V少齿差	小	0.8~0.94		7~83	小	高	传动比大, 体积小, 重量轻, 但高速轴转速受限制	
摆线针轮传动机构		中、小	0.9~0.97		9~87	小	高	传动比大, 体积小, 重量轻, 寿命长, 承载能力比少齿差行星传动高, 但制造精度要求较高, 高速轴转速受限制	

(续表)

机构类型	传递功率	传递效率	线速度 (m/s)	单级传动比	外形尺寸	成本	主要优缺点
谐波齿轮 传动机构	小	0.90		≈ 260	小	高	传动比大, 结构紧凑, 但材料热处理要求高
摩擦轮传动机构	中、小	0.85~0.95		$\leq 5 \sim \leq 7$	大	低	工作平稳, 结构简单, 有过载打滑作用, 适用于冲压机械, 但不能严格保证定传动比, 轴上受力大
机械无级变速机构	小	0.85~0.95		$\leq 4 \sim \leq 6$	中	中	转速变化可均匀过渡, 结构紧凑, 使用方便, 但一般寿命较低, 传递功率不大

(2) 实现运动形式变换的机构 在绝大部分机械中, 原动机的运动形式为转动, 而执行构件的运动形式却是多种多样的, 这就需要利用机构实现运动形式的变换。这些机构通常都置于传动链的末端, 且包含执行构件, 所以将包含执行构件的机构称为执行机构。实现运动形式变换的机构有: 齿轮齿条机构、螺旋机构、平面连杆机构、凸轮机构、棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构、组合机构等。实现运动形式变换的机构及其主要特点列于表1-3。

表1-3 实现运动形式变换的机构及其主要特点

机构类型	主要特点
连杆机构	结构简单、制造方便, 行程距离较大, 联接处为面接触, 磨损较轻, 能承受较大载荷, 可实现按预定轨迹的设计; 难以准确地实现任意给定的运动规律, 多在输出件无严格运动要求时使用
凸轮机构	可以满足工作所需的任意运动规律 (包括带停歇的运动), 设计方法简单, 易于实现各执行构件动作的协调配合, 较适用于各种自动机械和控制机构, 一般行程较短, 凸轮制造复杂, 凸轮和从动件接触表面易磨损, 高速运转时冲击较大
螺旋机构	运动精度较高, 工作平稳, 尺寸紧凑, 等速比传动, 降速效果好; 多用于机床进给机构及机械的调整装置中, 可传递较大轴向力, 且易实现反行程自锁, 也常用于起重、升降装置中, 机械效率很低, 螺纹易磨损, 如采用滚珠螺旋, 可大为改善
齿轮齿条机构	结构简单, 制造方便, 效率高, 等速比传动, 适用于速度较高或行程较大处, 运动精度及平稳性不及螺旋机构, 换向需借助其他机构
槽轮机构	结构比较简单, 工作可靠, 啮入啮出比较平稳, 间歇运动转角不可调, 有柔性冲击, 多用于转位运动, 每次槽轮转角不小于 45°
棘轮机构	结构简单, 角位移调节方便, 平稳性较差, 高速时噪音大, 传递动力不宜大。当要求间歇转动角度很小, 或者根据工作需要经常调节转角的大小时, 宜选用棘轮机构
不完全齿轮机构	制造容易, 动停比不受结构限制, 但啮入啮出时冲击较大, 转角不能调整, 应用较少
组合机构	可以由同类型或不同类型的基本机构组合而成。可实现基本机构因结构限制而无法实现的预期运动和轨迹, 如实现给定的输出函数, 生成路径和运动, 实现间歇和反向, 避免柔性冲击, 实现大摆角输出等, 以满足生产上的各种需要和提高自动化程度

(3) 实现运动合成与分解的机构 在某些机器中, 有时需把两种运动合成为一种运动 (如范成法加工斜齿轮时); 在另一些机器中, 又需将一种运动按需要分解为两个运动 (如汽车转弯时, 将主传动轴的运动分解为两驱动后轮的运动)。这就需要利用机构来实现运动的合成与分解, 常见的有差动轮系、二自由度机构等。

(4) 实现轴线位置变换的机构 由于机器各部件之间或各构件之间在相对位置布局上有

一定的要求,因此常需要使各构件的回转轴线的也有相应的配置关系,如平行、相交、空间交错或在工作过程中轴线位置发生变动等。一般实现转速变换的机构也具有轴线位置变换的功能。实现回转轴线在工作过程中位置变动的传动可采用万向联轴节机构。

(5) 实现调整、操纵功能的机构 在机器中,除了速度调整外,为了适应不同的工艺要求和工况条件,还需要对机器的运动实现开停、换向,对行程长短或转角大小进行放大、调整或手动控制。实现运动离合或开停功能的机构有各种离合器机构。实现运动方向变换功能的机构有三星轮换向机构、滑移齿轮换向机构、双向离合器换向机构、双向棘轮换向机构、自动换向机构等。换向机构通常都具有运动离合功能,当换向元件处于中间位置时,机构系统的运动即可断开。可利用杠杆原理、活动齿轮倍增原理等来放大从动件的行程或转角。实现行程及转角调整功能的机构有螺旋滑块调节机构、偏心调节机构、二自由度调节机构、棘轮遮板调节机构等。另外在机器中有些执行构件的位置调整或运动可由操作者驱动,则应在机器中的适当位置安置手轮、手柄或驱动用方头。

(6) 实现其它功能的机构或装置 在机构系统中,除实现上述功能的机构外,为了实现运动的分支和连接,改善机器的运转质量,保障机器的安全和保护环境等目的,还有实现其它功能的机构或装置。实现运动的分支可以采用齿轮系、带轮系、链轮系、分配轴、分配齿轮等。实现两轴运动的联接,可采用各种类型的联轴节。具有过载保护功能的机构或装置有带传动、摩擦轮传动、安全联轴节、安全离合器等。为了减小机器的速度波动,可以采用飞轮、调速器等装置。为了减小因惯性力不平衡而产生的振动,可在机器的运动构件上装置固定的或可调的平衡块。为了减少机器振动对环境的影响,或避免机器受周围振动环境的干扰,可采用隔振、减振装置等。

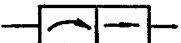
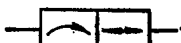
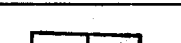
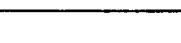
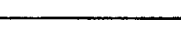
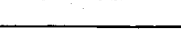
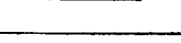
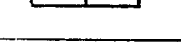
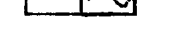
上述有关机构的工作原理及运动简图可参阅机械原理教材、本书第三部分常用机构选例及参考资料[11]、[12]等有关内容。

为了分析方便,我们把运动设计中机构所能实现的基本功能作为功能元,并用一定的代表符号表示,将实现这些功能元的基本机构或组合机构称为功能载体。表1-4所示为常见的运动变换基本功能、代表符号及功能载体。从表中可以看出,实现同一基本功能,可以有多种功能载体,但是这些功能载体在实现基本功能的质量、所占空间的大小和本身的重量、制造成本和使用维护方便等方面都有很大的差别,这可以作为分析方案优劣,选择最优方案的依据。

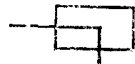
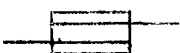
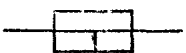
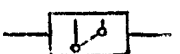
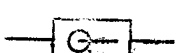
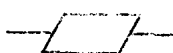
表1-4 常见的运动转换基本功能、代表符号及功能载体

名 称	符 号	功 能 载 体
减 速		带传动机构、链传动机构、齿轮传动机构、摩擦轮传动机构、行星齿轮传动机构、谐波齿轮传动机构、摆线针轮传动机构、蜗杆蜗轮传动机构等
增 速		
有级调速		圆柱齿轮变速机构、三轴滑移式齿轮变速机构、圆周布置的齿轮变速机构、单齿轮滑移多级变速机构等
无级调速		钢球外锥轮式无级变速器等

(续表)

名 称	符 号	功 能 载 体
运动形式变换:		
连续转动变单向直线移动		齿轮齿条机构、螺旋机构、蜗杆齿条机构、带传动机构、链传动机构等
连续转动变往复直线移动		曲柄滑块机构、移动从动件凸轮机构、不完全齿轮齿条机构、移动凸轮连杆机构、行星轮简谐机构等
连续转动变单向间歇移动		不完全齿轮齿条机构、曲柄摇杆棘条机构、槽轮齿条机构等
连续转动变单侧停歇往复移动		移动从动件凸轮机构、单侧停歇曲线槽导杆机构、行星轮内摆线间歇移动机构、滑块行程一端有停歇的机构等
连续转动变双侧停歇往复移动		滑块上、下端停歇移动机构、重力急回间歇式移动机构、不完全齿轮间歇移动导杆机构、不完全齿轮往复移动间歇机构等
连续转动变单向间歇转动		槽轮机构、不完全齿轮机构、蜗杆凸轮间歇机构、圆柱凸轮间歇机构、偏心轮分度定位机构、凸轮控制离合器间歇机构等
连续转动变往复摆动		曲柄摇杆机构、摆动导杆机构、摆动从动件凸轮机构、不完全齿轮往复摆动机构等
连续转动变单侧停歇往复摆动		摆动从动件凸轮机构、曲线槽导杆机构、连杆曲线直线段间歇摆动机构、单侧停歇摆动机构等
连续转动变双侧停歇往复摆动		两极限位置停歇摆动机构、双侧停歇摆动机构等
往复摆动变单向间歇转动		棘轮机构、钢球式单向机构、棘轮超越式单向机构、螺旋摩擦式单向机构等
连续转动变为实现预定轨迹		连杆机构、连杆凸轮机构、精确直线机构、近似直线机构、摆线正多边形轨迹机构、工艺轨迹机构、椭圆机构等
运动合成		差动轮系、二自由度机构等
运动分解		差动轮系、二自由度机构等

(续表)

名 称	符 号	功 能 载 体
运动方向变换		三星轮换向机构、棘轮换向机构、行星齿轮换向机构、离合器锥齿轮换向机构、滑移齿轮换向机构等
运动轴线变向		圆锥齿轮传动、交错轴斜圆柱齿轮传动、蜗杆传动、半交叉带传动、双曲面齿轮传动、单万向节(轴线可动)等
运动轴线平移		带传动、链传动、平行轴齿轮传动、平行四边形机构、双万向节(轴线可动)、圆柱摩擦轮传动等
运动分支		齿轮系、带轮系、分配轴、分配齿轮等
运动离合		摩擦离合器、牙嵌离合器、电磁离合器、自动离合器、超越离合器
行程、转角调整		螺旋调节机构、偏心调节机构、盖板棘轮调节机构、摇杆调节机构、二自由度调节机构等
行程、转角放大		曲柄齿轮齿条机构、轮系行程放大机构、双摆杆摆角增大机构、带轮行程放大机构、叉车门架提升机构等
工件转位、移置		光轴升降回转移置机构、片状工件移置机构、T型管接头转位移置机构、长方块工件移置机构等
送料、送料		杠杆式送料装置、钢球式送料装置、摇板式送料器、旋转式送料器等
运动定位		单销定位装置、双销定位装置等
运动联锁		钢球式三轴移动联锁装置、锁杆式两转动轴联锁装置、多剪刀联锁装置等
过载保护		带传动、摩擦轮传动、安全联轴节、安全离合器、加压机构的保险装置、杠杆式安全保险机构、差动保险离合器等
速度波动调节		飞轮、调速器等
输入、输出		

根据执行构件和原动机的运动, 选择具有适当功能的机构, 通过串联、并联、混联或反馈等方式组合成机构系统。

显然, 原动机的运动形式和运动速度与执行构件的各种各样的执行动作和运动速度有很大的差异, 甚至有的原动机要驱动好几个执行构件动作。因此, 在原动机与执行构件之间必须采用具有不同功能的机构来进行运动的分支、运动速度和运动形式的变换, 以实现执行构件的预定动作, 这就是原动机和执行构件之间的外联传动链。同时在具有运动协调配合的执行构件之间, 也需要采用具有不同功能的机构来实现执行构件之间的速度协调和动作协调, 这就形成了内联传动链。我们通过比较、分析传动链两端的运动差异, 主要是运动形式和运动速度的差异, 再考虑到传动过程中运动的分支、运动的调整与控制、轴线位置的配置和其它一些附加的功能要求, 便不难确定各中间机构的基本功能。将基本功能用规定的符号表示, 按运动的传递顺序组合起来, 就可以画出机器运动变换的功能框图, 以表示机器运动变换的功能原理, 从而为机器方案的求解打下基础。

现以四工位专用机床为例, 说明功能分析的原理与框图的画法。由前述可知, 四工位专用机床执行构件的运动有三个, 即 A_1 、 A_2 、 A_3 。 A_1 为匀速转动, $n_1 = 360 \text{ r/min}$, 与其它两个运动没有严格的协调配合要求, 该机构选择一个电动机单独驱动, 例如选择电动机转速 $n_{e1} = 1450 \text{ r/min}$ 。由于电动机要带动三个主轴回转, 主轴的工作转速较电动机低, 所以中间机构需要具有减速功能和运动分支功能。这样就可以画出主传动的功能框图 (见图1-3)。 A_2 、 A_3 两个运动有一定的协调配合要求 (见图1-2), 则由一个电动机驱动。工作台间歇转动, $n_2 = 1.2 \text{ str/min}$, 转速低, 可选择电动机转速 $n_{e2} = 960 \text{ r/min}$ 。比较工作台与电动机的运动, 显然中间机构需要具有减速功能和将连续回转运动变换为单向间歇转动的功能。总传动比 $i_{e2} = \frac{n_{e2}}{n_2} = 800$, 需采用多级减速。 A_3 运动亦由此电动机驱动, 中间还需具有运动分支的功能。 A_2 为对运动规律有一定要求的往复直线运动 (见图1-2), 所以需要具有将连续回转运动变换为往复直线运动的功能。同时它们的动作顺序和位置变化要满足运动循环图的要求。这样我们就可以画出四工位专用机床运动变换功能框图 (见图1-3)。

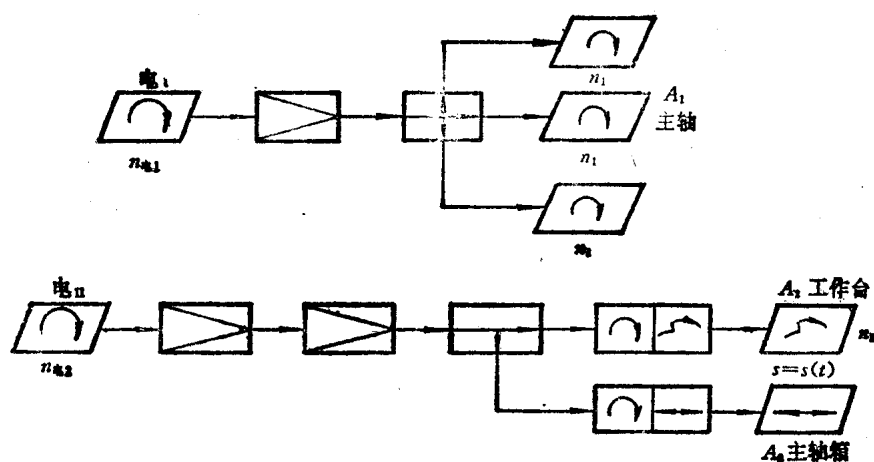


图1-3 四工位专用机床运动变换功能框图