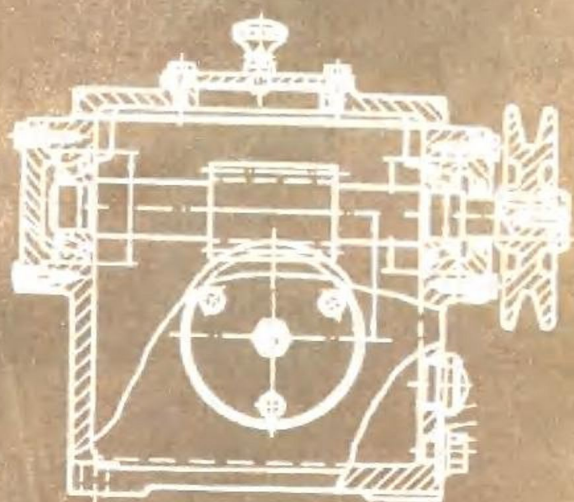
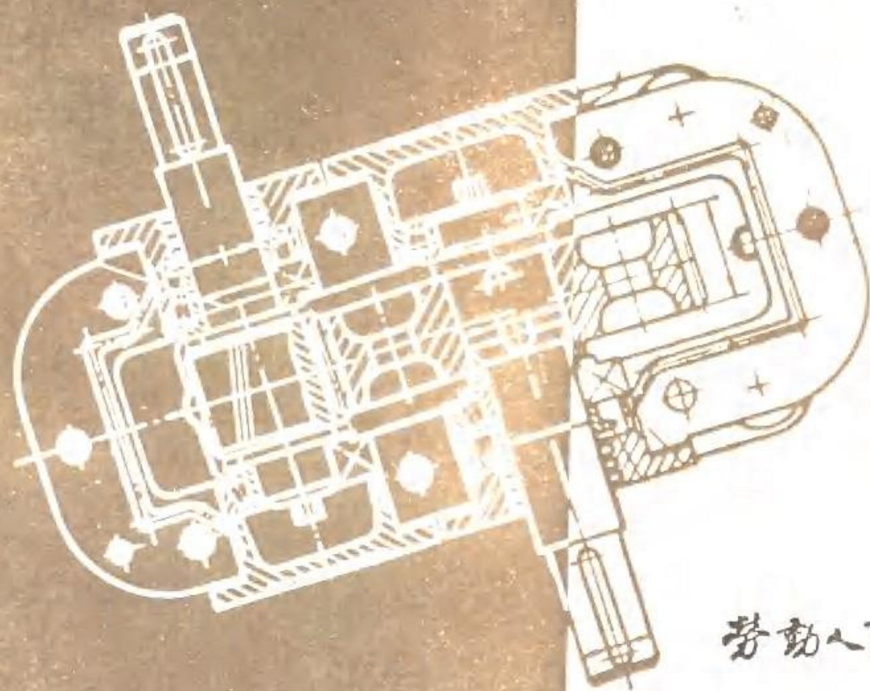


机械类高级技工培训教材



试用

机械制造工艺与设备



劳动人事出版社

TH16
69
3

机械类高级技工培训教材

机械制造工艺与设备

(试 用)

劳 动 部 培 训 司 编

13204/2

江苏工业学院图书馆
藏书章

劳 动 人 事 出 版 社

B711605

内 容 提 要

本书是根据原劳动人事部培训就业局审定颁发的《机械制造工艺与设备教学大纲》编写，供机械类高级技工培训使用的统编教材。

本书主要包括：机床传动的基本概念、机床的主要结构与组件、典型机床、机床改装、机械加工精度、机械加工表面质量、机械加工工艺规程的制订、轴类零件加工、套类零件加工、丝杆加工、齿轮加工、机体和箱体类零件加工、复杂零件加工实例、机械装配工艺、特种加工概述、数控机床与自动线和机械制造工艺与设备的新发展等。

本书也可作为班组长培训、关键岗位的专业培训和职工自学用书。

本书由陈家芳、陈克让、高琛、朱福兴、范崇洛、周禹编写，陈家芳主编，陈文炳、王家浩审稿，陈文炳主审。

机械制造工艺与设备

(试 用)

劳动部培训司编

责任编辑：王绍林

劳动人事出版社出版

(北京市和平里中街12号)

怀柔县东茶坞印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 24.75印张 616千字

1990年6月北京第1版 1990年6月北京第1次印刷

印数：8000册

ISBN 7-5045-0398-3/TH·036(课) 定价：10.35元

说 明

为了满足生产建设不断发展和适应企业深化改革的需要,原劳动人事部培训就业局于1987年10月组织编写了部分工种(专业)高级技工培训教材。这次组织编写的教材有机械制图、公差配合与技术测量、机构与零件、液压技术、机床电气控制、金属切削原理与刀具、机床夹具、机械制造工艺与设备、高级钳工技能训练和高级车工技能训练等10种。其余高级技工培训教材将根据需要陆续组织编写。

这次组织编写的教材内容,是根据高级技工的培养目标,按照原机械委颁发的工人技术等级标准对高级技工应知应会的要求,结合生产需要确定的。着重阐述本工种高级复杂程度的零件加工、复杂设备的调整、维修等操作技能、技巧和技术理论知识;适当介绍有关新技术、新工艺、新设备、新材料的应用;也涉及到某些技术岗位关键问题的处理。

教材的编写,力求理论联系实际,突出操作技能训练。各门课程相对独立,图文并茂,并采用了现行的新国标。这些教材通用性较强,比较适应当前培养高级技工的需要,也适合于班组长培训、关键岗位的专业培训和职工自学。

我们组织编写这一层次的教材,是初次尝试,不足之处在所难免,请各单位和个人在使用中提出宝贵意见和建议。

劳动部培训司

1988年6月

目 录

绪论.....	1
第一章 机床传动的基本概念.....	3
§ 1—1 机床的运动	3
§ 1—2 机床的传动形式	4
§ 1—3 机床的传动系统	6
§ 1—4 机床的分级变速传动系统	9
§ 1—5 机床的技术性能	16
第二章 机床的主要结构与组件.....	18
§ 2—1 主轴组件	18
§ 2—2 支承件	28
§ 2—3 导轨的结构与功能	35
第三章 典型机床.....	47
§ 3—1 CA 6140 型普通车床	47
§ 3—2 齿轮加工机床	68
§ 3—3 磨床	83
§ 3—4 常用机床的主要技术数据	94
第四章 机床改装.....	96
§ 4—1 机床改装的目的和改装原则	96
§ 4—2 提高机床生产率的改装	97
§ 4—3 改变机床工艺范围的改装	100
§ 4—4 机床精度的恢复与提高	102
§ 4—5 降低机床噪声的方法	106
§ 4—6 提高机床自动化程度的改装	108
§ 4—7 应用数显技术和改装经济型数控机床	110
第五章 机械加工精度.....	117
§ 5—1 加工精度与加工误差	117
§ 5—2 引起加工误差的几种因素	117
§ 5—3 提高加工精度的工艺措施	125
第六章 机械加工表面质量.....	127
§ 6—1 表面质量的内容	127
§ 6—2 表面粗糙度的影响因素	127
§ 6—3 切削加工时表面层物理机械性能变化的因素	129

§ 6—4	表面质量对于零件使用性能的影响	131
§ 6—5	切削加工过程中的振动简述	132
第七章	机械加工工艺规程的制订	137
§ 7—1	生产过程的基本概念	137
§ 7—2	工艺规程的制订	141
第八章	轴类零件加工	162
§ 8—1	轴类零件的作用和种类	162
§ 8—2	轴类零件的技术要求和毛坯	162
§ 8—3	轴类零件的精密加工和光整加工	164
§ 8—4	主轴的技术要求、材料及热处理	168
§ 8—5	轴类零件加工工艺流程	171
第九章	套类零件加工	188
§ 9—1	套类零件的种类、技术要求和毛坯	188
§ 9—2	孔的精密加工和光整加工	189
§ 9—3	套类零件加工工艺流程	194
第十章	丝杆加工	203
§ 10—1	丝杆的种类、技术要求和热处理	203
§ 10—2	螺纹加工	205
§ 10—3	丝杆加工工艺流程	206
§ 10—4	螺纹加工的误差分析	212
第十一章	齿轮加工	218
§ 11—1	齿轮的结构形状、精度和材料	218
§ 11—2	齿轮的精密加工	219
§ 11—3	圆柱齿轮加工工艺流程	224
§ 11—4	精密蜗轮加工工艺流程	231
第十二章	机体和箱体类零件加工	239
§ 12—1	机体的作用、结构特点与技术要求	239
§ 12—2	机体的毛坯及机械加工前的准备	241
§ 12—3	机体机械加工工艺流程的拟定	242
§ 12—4	机体上主要表面的加工方法	243
§ 12—5	箱体的功用、结构与技术要求	252
§ 12—6	箱体的机械加工工艺流程	255
§ 12—7	箱体的孔系加工及精度分析	264
§ 12—8	箱体的检验	268
第十三章	复杂零件加工实例	272
§ 13—1	高强度材料切削	272
§ 13—2	薄壁零件的加工实例	273
§ 13—3	六拐以上曲轴的加工实例	279
§ 13—4	深孔加工实例	286

§ 13—5 细长轴的加工实例	292
§ 13—6 连杆的加工实例	298
第十四章 机械装配工艺	301
§ 14—1 机械产品的装配工艺和装配精度	301
§ 14—2 装配尺寸链及分析	303
§ 14—3 装配方法的选择	306
§ 14—4 装配的生产类型和组织形式	308
§ 14—5 装配中的试车、调整和检验	310
§ 14—6 装配工艺规程的编制	310
第十五章 特种加工概述	318
§ 15—1 特种加工的种类和用途	318
§ 15—2 电加工工艺	319
§ 15—3 激光加工和超声加工	323
§ 15—4 其他特种加工简介	325
第十六章 数控机床与自动线	328
§ 16—1 数控机床的用途和优越性	328
§ 16—2 数控机床的工作原理	329
§ 16—3 数控机床的结构和 CSK6150 型数控车床	334
§ 16—4 数控机床的发展	342
§ 16—5 自动、半自动车床和仿形车床简介	346
§ 16—6 组合机床与自动线简介	353
第十七章 机械制造工艺与设备的新发展	362
§ 17—1 成组技术简介	362
§ 17—2 计算机辅助制造系统(CAM)简介	372
§ 17—3 柔性制造系统(FMS)简介	374
附录	378

绪 论

一、机械制造工艺与设备在经济建设中的作用

我国社会主义现代化要求机械制造业为国民经济各部门的技术进步、技术改造提供先进、高效的技术装备，它首先要为我国正在发展的产业包括农业、重工业、轻工业以及其他产业提供质量优良、技术先进的技术装备；同时还要为电子技术、新材料、新能源、生物工程等新技术的生产和应用提供基础装备。

为了加速技术进步，振兴机械工业，国家要求在近期内，力争主要产品能够适应国民经济各部门的发展，部分产品能接近或赶上当代的国际水平。为了尽快实现上述目标，必须大力发展机械制造工艺及装备技术，主要途径是依靠技术进步，机械电子工业部制定了通过四个“技术”（技术开发、技术引进、技术推广、技术改造），狠抓三个“基础”（基础件、基础技术、基础机械），保证“三上一提高”（上质量、上品种、上水平，提高经济效益）等方针。

机械制造工艺与设备是研究如何科学地、最优地生产和使用各种机械装备，研究在机械制造中优质、高产、低消耗地生产和使用机械装备的原理和方法的一门课程。机械制造过程中所涉及的问题极为广泛，本课程一般仅讨论机械冷加工、机械装配及机床设备等方面的问题。通过本课程的学习，使学员在机床设备方面能对典型机床的工作原理、传动系统、典型机构、工艺特点、应用范围等技术要求，有一定的应用能力和分析能力，对数控机床、自动线等较先进设备亦有一定的认识和了解。在机械制造工艺方面能懂得其基本理论及各类零件的加工方法；能选择毛坯确定加工余量，计算工序间尺寸和公差；能根据图样及生产纲领制定出高产、优质、低消耗的零件机械加工工艺规程和部件、设备的装配工艺规程；能对复杂及精度较高的零件、部件在加工中出现的 key 问题进行分析，并提出合理的工艺措施。从而为学员在今后解决生产中的技术难题，新产品的装配、调试，新工艺、新技术的应用和推广，打下必要的机械制造工艺与设备方面的专业知识基础。

二、我国的机床工业和机械制造工艺的概况及其发展

较完整的机床工业体系和较优化的机械制造工艺，是在解放后经过从无到有，从小到大，从简易到精密的 30 余年历程后，逐步建立与形成起来的。迄至 80 年代中期，我国的机床工业已按加工类型及通用特性改建、扩建、新建大中型的现代化专业机床厂数十个及相应的机床研究所 11 个。

由于政府对机床制造业的重视，加以机械电子工业部机床工具局在设计科研、系列型谱、生产制造等方面的具体规划与指导，因此至“六五”计划结束时，我国已形成布局比较合理，产品门类基本齐全完整的机床制造体系，能生产从小型代表机床到重型通用机床、专用机床等各类机床，也能生产各种精密、高速、自动化程度较高的机床以及稳定的商品化数控机床等，并已具有成套装备现代化工厂的能力。如第二汽车制造厂即是以国产机床为主而进行生产的。又如在重型通用机床方面，武汉重型机床厂已生产 C54200 型 20 米立式车床，

最大加工重量可达 400 吨, 该机床采用静压导轨、滚珠丝杠进给传动、各运动系统均配有数显装置等。在精密车床方面, 沈阳第一机床厂制造的 S₁-235 型超高精度车床, 可超精加工有色金属, 该机床床身采用磷铜钛耐磨铸铁; 主轴采用静压轴承; 主传动与走刀采用可控硅直流无级调速分离传动; 机床的进给传动丝杠经离子氮化处理; 床鞍与中拖板滑动导轨均采用“DU”板(塑料导轨), 因此运动稳定耐磨。其工作精度为: 圆度误差 $< 0.3\mu\text{m}$, 表面粗糙度达 $R_a 0.012$ 。在精密丝杠加工方面, 北京机电研究院制造的 SG7432 型高精度丝杠磨床, 加工的螺距精度可达 0.002/25, 表面粗糙度达 $R_a 0.2$ 。在数控车床方面, 上海第二机床厂制造的 H₂-052 型计算机数控车床, 其工作精度为: 圆度误差 $< 0.005\mu\text{m}$; 表面粗糙度达 $R_a 0.8$; 刀架换刀速度(相邻刀位) < 2 秒; 主传动采用宽调速的发纳克(FANUC)主轴电机, 转速为 25-2500r/min; 床鞍及横向滑板均粘贴聚四氟乙烯导轨软带, 而相对配合面为淬硬导轨, 因而运动稳定耐磨。

随着我国机床工业产量的增加和产品品种的扩大, 以及产品质量日益提高, 除了满足国内建设需要外, 并已开始进入国际市场。随着工业、农业、国防和科学技术现代化的需要, 我国的机床工业必将更迅速地向前发展。

机械制造工艺要解决的首要问题是保证产品的加工质量, 在保证质量的前提下, 另一个重要发展趋势是不断地提高劳动生产率, 即采用高效率的工艺方法和装备。据国际生产工程研究学会(CIRP)对发展技术的预测, 至 2000 年, 生产发展总的趋势是向发展和应用电子计算机进行自动化生产, 从而在本世纪末以前, 实现电子计算机集成自动化工厂(CIAF), 亦即是全自动化的无人工厂。美、日等国都不惜巨资进行这方面的有关研制工作。其次为达到上述无人化目标而进行的各项计算机应用技术, 也是十分重要的基础技术工作, 如计算机数控(CNC)机床、计算机群控(DNC)机床、成组加工技术(GT)、计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助工艺过程设计(CAPP)、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机控制的工业机器人等。

至于计算机控制的生产自动化问题, 我们既要看到世界技术革命的总趋势, 又要按照现实的国情国力, 有重点地发展和应用计算机技术、数控机床、高效自动化机床等, 从劳动密集型逐步向技术密集型过渡, 有计划、有组织、有步骤地去完成机械工业现代化的宏伟目标。

第一章 机床传动的基本概念

§ 1—1 机床的运动

各种类型的机器都是由不同形状的零件组成的，机器零件的种类虽然繁多，但归纳起来其表面形状都是由一些简单的面组成的。组成机器零件的常见表面有：内、外圆柱面和圆锥面、平面、球面及某些成型表面（如螺纹、渐开线、摆线表面等）。图 1—1 所示的圆柱齿轮，是由渐开线 1 和 2、外圆柱面 3 和 4、内圆柱面 5 及平面 6 和 7 组成。

各种类型的机床，为了对机器零件的各组成表面进行切削加工，以获得所需的具有一定几何形状、精度和表面质量的工件，必须使刀具和工件完成一系列的运动。以车床车削圆柱面为例（图 1—2），用三爪卡盘装夹好工件，并开车使工件旋转，首先需将车刀移近工件表面（运动 1 和 2）；其次，为了得到所需的直径尺寸，还需将车刀切入工件至一定深度，（运动 3），然后由工件旋转（运动 B ）和车刀纵向直线移动（运动 A ），车削出圆柱面；当达到所需长度尺寸时，车刀径向退离工件（运动 4），并纵向运动退回到起始位置（运动 5）。此外，在加工过程中所完成的各种运动，其功用可分为表面形成运动和辅助运动。

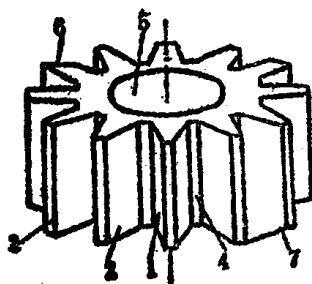


图 1—1 圆柱齿轮的组成表面

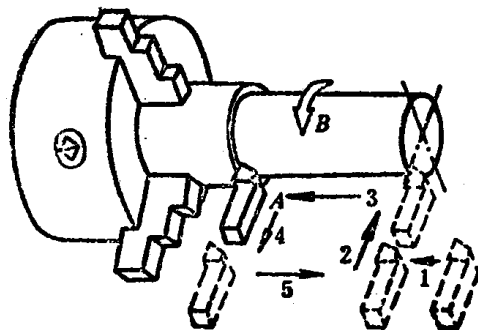


图 1—2 车削圆柱面的运动

一、表面形成运动

直接参与切削过程，使之在工件上形成一定几何形状表面的刀具和工件间的相对运动，称作表面成形运动。图 1—2 中工件的旋转运动 B 和车刀的纵向直线移动 A 是形成圆柱面的成形运动。表面形成运动是机床最基本的运动，对被加工表面的精度和表面粗糙度有直接的影响。各种机床加工时必须的表面成形运动的形式和数目，决定于被加工表面的形状以及所采用的加工方法和刀具结构。图 1—3 所示为常见的几种金属切削加工形式。由图可以看出，用不同的加工方法形成各种表面的所需的成形运动，其基本形式是旋转运动和直线运动，即使刀具或工件的运动轨迹比较复杂，也仍然是这两种运动合成的。

形成某一表面的各个运动之间，在多数情况下并不需要保持严格的运动关系，因而可以独立地调整各个运动的速度，且不要求调整得非常精确。但是，在某些情况下，各表面成形运动中的某两个运动之间，都必须保持某种确定的运动关系。例如，车削螺纹时，为了得到

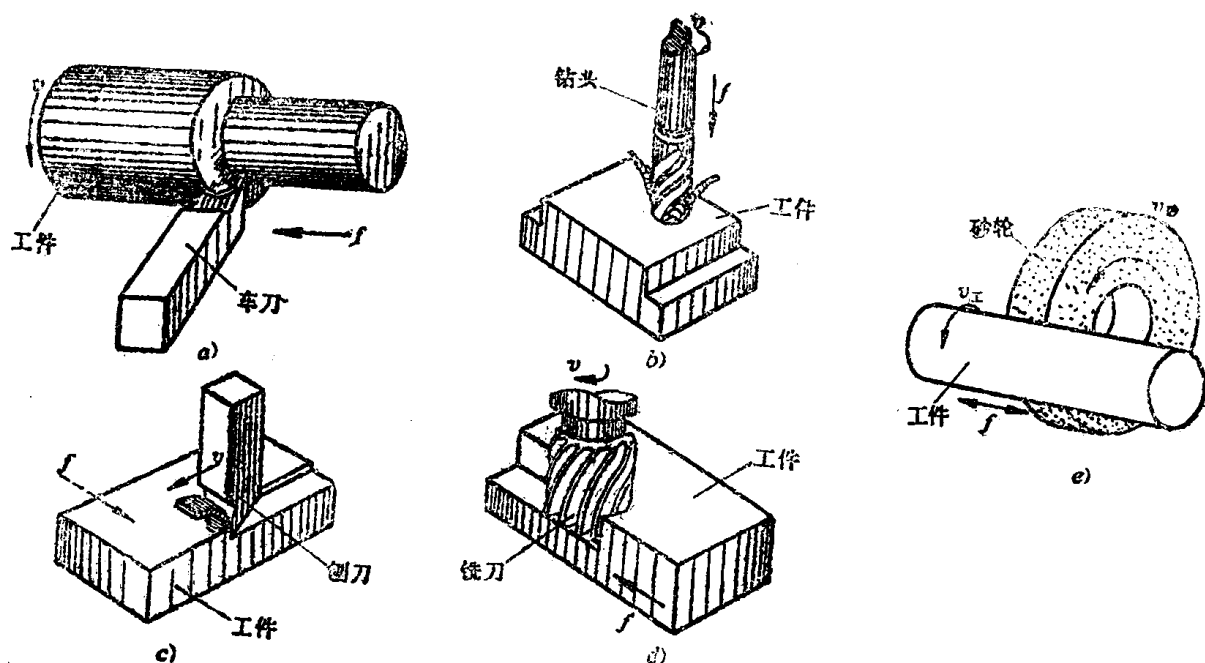


图 1—3 常见的几种金属切削加工形式

a) 车削 b) 钻削 c) 刨削 d) 铣削 e) 磨削

一定导程的螺纹，在工件旋转一转的时间内，刀具纵向移动的距离必须准确地等于所需的导程。

根据切削过程中所起的作用不同，表面成形运动又可分为主运动和进给运动。主运动是直接切除工件上的被切削层，使之转变为切屑的主要运动；进给运动是不断地把工件被切削层投入切削，以逐渐切削出整个工件表面的运动。在图 1—3 中，主运动以 v 表示，进给运动以 f 表示。任何一种机床，通常只有一个主运动，但进给运动可能有一个或几个。

二、辅助运动

机床上除表面成形运动外，所有的运动都属于辅助运动，其作用是实现机床加工过程中所必需的各种辅助动作。辅助运动的种类很多，它包括：保证工件获得一定加工尺寸所需的刀具的切入运动（图 1—2 中运动 3），为反复进行切削加工创造条件的快速引进和退回运动（图 1—2 中运动 1、2、3、4、5），使刀具与工件具有正确相对位置的调整运动，如摇臂钻床移动钻头对准被加工孔中心位置的运动；组合机床和自动机床的多位工作台和多位刀架的周期换位以及工件周期换位所需的分度运动等。此外，机床的启动、停止、变速、变向及部件和工件的夹紧、松开等操纵控制运动，也都属于辅助运动。

§ 1-2 机床的传动形式

各种类型的机床，为了实现加工过程中所需的各种运动，都必需具备以下三个基本部分：

（1）动力源 是提供动力和运动的装置，是机床执行件的运动来源。一般机床通常均采用电动机作动力源，也有的采用压缩空气作动力源（如高速内圆磨床上的磨头），只有某些小型机床的进给运动和普通机床的辅助运动是手动的。

(2) 执行件 执行机床运动的部件(如主轴、刀架、工作台等),其任务是安装刀具和工件,并直接带动它们完成一定形式的运动,且保持运动轨迹的准确性。

(3) 传动装置 是传递运动和动力的装置,通过它把动力源的运动和动力传给执行件。在多数情况下,传动装置同时还需完成变速、变向和改变运动形式等任务,使执行件获得所需的运动形式、运动速度和运动方向。

机床的传动装置,按其所采用的传动介质不同,可分为机械传动、液压传动、电气传动和气压传动等。

机械传动采用齿轮、胶带、离合器、齿条、蜗轮蜗杆和丝杆螺母等机械元件传递运动和动力。这种传动形式工作可靠、维护方便,目前在机床上广泛应用。

液压传动采用油液作介质,通过液压元件传递运动和动力。这种传动形式结构简单,传动平稳,易实现自动化,主要用于组合机床、磨床和自动及半自动机床。

电气传动采用电能,通过电气装置传递运动和动力。这种传动形式的电气系统比较复杂,成本较高,主要用于大型和重型机床,如龙门刨床、重型镗床等。

气压传动采用空气作介质,通过气动元件传递运动和动力。这种传动形式的主要特点是动作迅速,易于实现自动化,但运动不易稳定,驱动力较小,主要用于机床的辅助运动(如夹紧工件)和小型机床的进给运动。

根据机床工作特点不同,所采用的传动形式也各异,往往采用几种传动形式的组合,如主运动采用机械传动,进给运动采用液压传动;或者主运动采用电气传动,进给运动采用机械传动或液压传动。此外,一台机床的某个运动,有时也可采用以上几种传动形式的组合,如液压——机械、电气——机械、气压——液压等。

下面以普通车床车削外圆柱表面时的传动为例,说明动力源、执行件和传动装置之间的关系。图1—4所示为三种传动方案,图中以简化图形分别代表主轴和刀架两个执行件,工件装夹于主轴上,随主轴一起作旋转运动 B_1 ;车刀固定在刀架上,随刀架一起作直线进给运动 A_2 。在动力源和执行件之间设传动装置,可以起变速和变向作用(图中以菱形块表示),传动主轴的以 u_v 表示;传到刀架的以 u_f 表示。由动力源通过传动装置 u_v 传动执行件主轴的,称为主运动传动链;而由动力源通过传动装置 u_f 传动执行件刀架的,称为进给运动传动链。

进给传动链既可有单独的动力源(图1—4a);也可与主运动共用一个动力源(图1—4b);还可以与另一个执行件(主轴),作为间接动力源(图1—4c)。这三种传动方案,虽

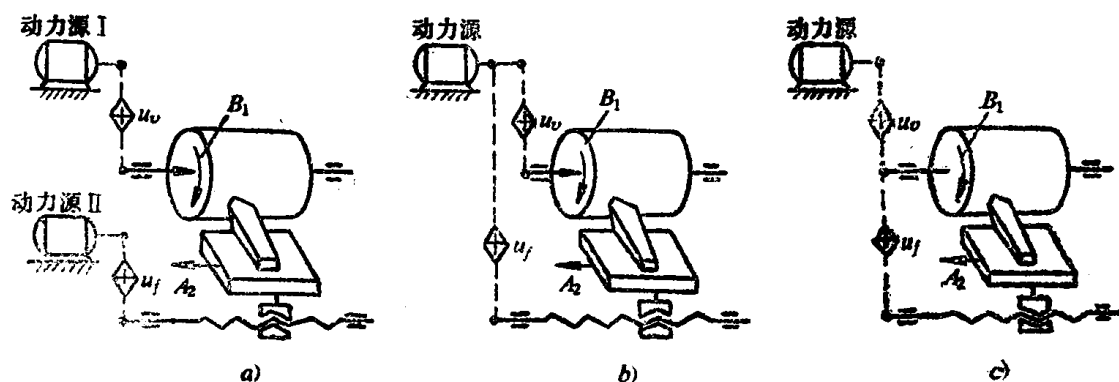


图1—4 车削外圆柱表面时传动原理图的几种方案

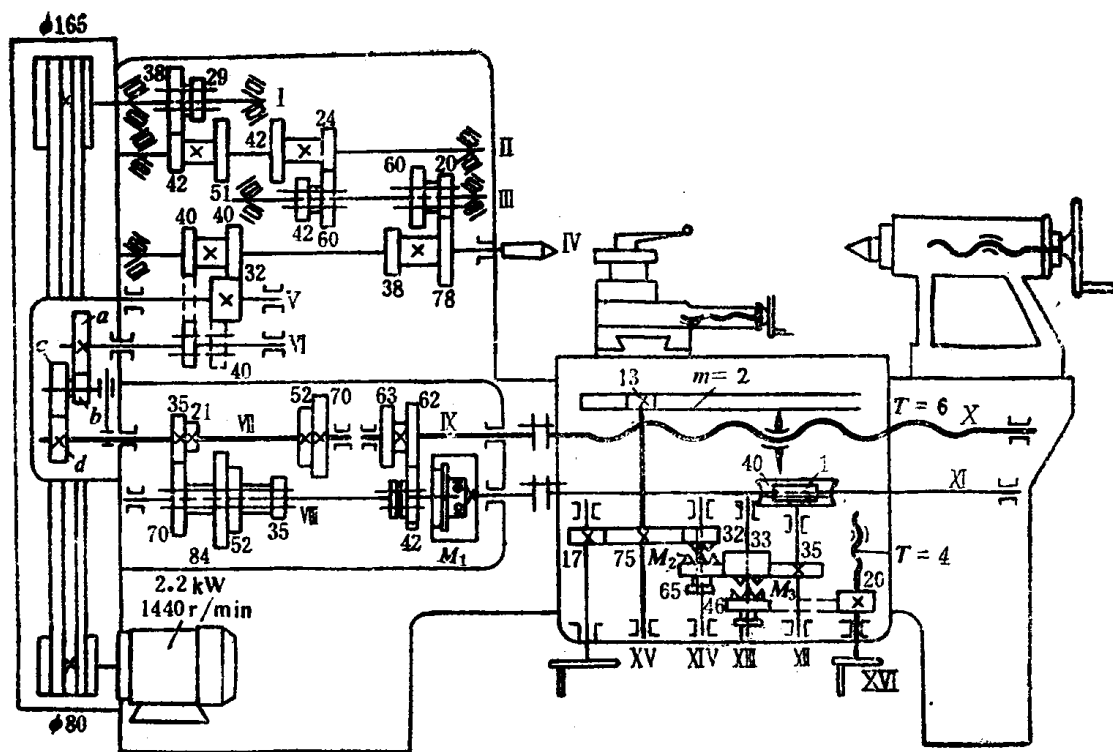
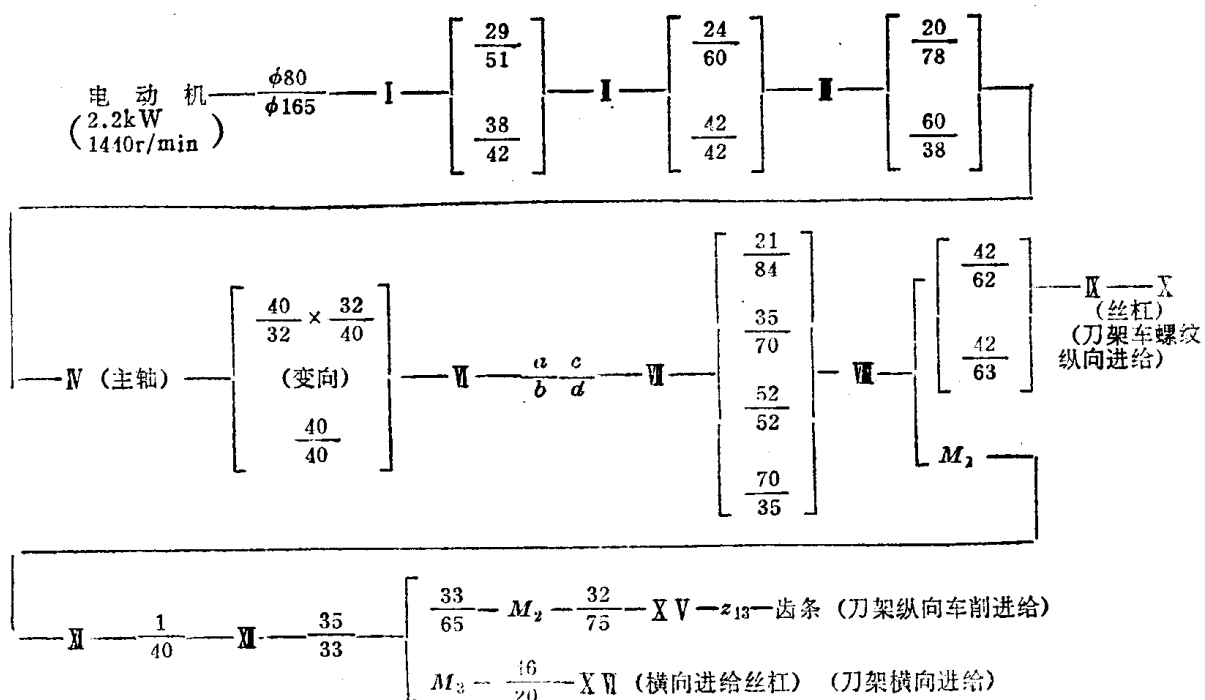


图 1—6 普通车床传动系统图

与轴Ⅺ上的内齿轮离合器 M_1 接合时，运动由轴Ⅷ传至光杠Ⅺ，然后经蜗轮蜗杆、轴Ⅵ和齿轮 z_{35} ，传动轴ⅩⅢ上的空套齿轮 z_{33} 旋转。将离合器 M_2 接合时，运动经齿轮 z_{32} 、 z_{75} 传至轴ⅩⅤ上的齿轮 z_{13} 。该齿轮与固定在床身上的齿条 ($m=2$) 啮合，它在齿条上旋转时，使驱动刀架作纵向进给运动，这就是普通车床车削时纵向进给的传动路线。离合器 M_3 接合时，运动由齿轮 z_{33} 经离合器 M_3 、齿轮 z_{46} 、 z_{20} 传至横向进给丝杠ⅩⅥ，使刀架获得横向进给运动。



在说明和分析机床传动系统时,为简便起见,常用传动路线表达式(或称传动结构式),来表示机床运动的传动路线,以及有关执行件之间的传动联系。图1—6车床传动系统的传动路线表达式如下:

二、机床运动的调整计算

机床运动的调整计算通常有两种情况:一种是根据传动系统图提供的有关数据,确定某些执行件的运动速度或位移量;另一种是根据有关执行件间所需保持的运动关系,确定相应传动链中换置机构的传动比,以便对机床运动进行调整。

机床运动的调整计算按每一传动链分别进行,其一般步骤如下:

(1) 根据对机床运动的分析,确定各传动链两端的末端件,如电动机——主轴,主轴——刀架等。

(2) 根据传动链两末端件的运动关系,确定计算位移量,如电动机 $n_{\text{电}}(\text{r/min})$ ——主轴 $n_{\text{主}}(\text{r/min})$,主轴一转——刀架移动 $T(\text{mm})$ 等。

(3) 根据计算位移量及相应传动链中各个传动环节的传动比,列出运动平衡式。

(4) 根据运动平衡式,计算出执行件的运动速度或位移量,或者整理出换置机构的换置公式,然后确定挂轮齿数。

下面以图1—6所示的普通车床传动系统的主运动链和车削螺传动链为例进行计算。

1. 主运动传动链

这条传动链的作用是把电动机的运动和动力传给主轴,使其按需要的转速旋转。

(1) 两末端件 电动机——主轴。

(2) 计算位移量 电动机 $1400(\text{r/min})$ ——主轴 $n_{\text{电}}(\text{r/min})$

(3) 运动平衡式 $1400 \times \frac{80}{165} \cdot u_{\text{I—I}} \cdot u_{\text{I—II}} \cdot u_{\text{II—IV}} = n_{\text{电}}(\text{r/min})$ 。

式中 $u_{\text{I—I}}$ 、 $u_{\text{I—II}}$ 、 $u_{\text{II—IV}}$ 分别为轴 I—I、I—II 和 II—IV 间的可变传动比。

(4) 计算主轴转速 将 $u_{\text{I—I}}$ 、 $u_{\text{I—II}}$ 、 $u_{\text{II—IV}}$ 以相应的传动比数值代入上式,即可计算出主轴的各级转速。如当各级变速齿轮处于图1—6所示位置时,即 $u_{\text{I—I}} = 38/42$ 、 $u_{\text{I—II}} = 24/60$ 、 $u_{\text{II—IV}} = 20/78$,则主轴的转速为:

$$n = 1440 \times 80/165 \times 38/42 \times 24/60 \times 20/78 = 65 \text{ r/min}$$

2. 车削螺纹传动链

这是一条内联系传动链,其作用是使主轴和刀架保持确定的运动关系。

(1) 两末端件 主轴——刀架。

(2) 计算位移量 主轴1转——刀架移动工件螺纹的导程 $T(\text{mm})$ 。

(3) 运动平衡式 $1_{\text{主轴}} \times \frac{40}{40} u_{\text{挂}} \cdot u_{\text{VI—VII}} \cdot u_{\text{VII—IX}} \times 6 = T$ 。

式中 $u_{\text{挂}}$ ——挂轮架上配换齿轮(常称为挂轮)的传动比, $u_{\text{挂}} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$,

$u_{\text{VI—VII}}$ 、 $u_{\text{VII—IX}}$ ——分别为轴 VI—VII、轴 VII—IX 间的可变传动比。

(4) 换置公式 将 $u_{\text{VI—VII}} = 52/52$ 、 $u_{\text{VII—IX}} = 42/63$ 代入上式,经整理后可得挂轮的换置公式为:

$$u_{\text{挂}} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{T}{4}$$

$$u_{\text{挂}} = \frac{3}{4}T$$

$$= \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{3}{4} = \frac{1 \times 3}{2 \times 2} = \frac{1 \times 30}{2 \times 30} \times \frac{3 \times 25}{2 \times 25} = \frac{30}{60} \times \frac{75}{50}$$

即 $a = 30 \quad b = 60 \quad c = 75 \quad d = 50$

此主传动变速系统图中，从电动机开始经皮带轮和三组滑移齿轮传动至主轴，各传动轴和主轴的转速用坐标图表示，即为转速图。图中表示的意义如下：

(1) 纵向有 5 根距离相等的平行线，依次代表主传动系统图中从电动机轴到主轴Ⅳ的各根轴。

(2) 横向有 12 根距离相等的平行线，表示由低至高依次排列的各级转速，每根线代表的转速数值在其右端标出。图中代表转速值的纵向坐标采用对数坐标。由于主轴转速数列是按等比数列规律排列的，即

$$\frac{n_j}{n_{j-1}} = \varphi = \text{常数}$$

式中 n_j ——主轴任意一级转速；

n_{j-1} ——比 n_j 低一级的转速；

φ ——转速数列的公比。

将上式取对数，则得

$$\lg n_j - \lg n_{j-1} = \lg \varphi = \text{常数}$$

这说明主轴任意两相邻转速在对数坐标上间隔都是相等的。因此，代表主轴各级转速的横线间的距离相等。

(3) 代表各传动轴的纵向线上的小圆点，表示各轴工作过程中能够获得的转速。如轴Ⅱ上有三个圆点，表示该轴能获得 355、500、700 r/min 三级不同的转速；轴Ⅰ上只有一个圆点，表示它只有一级转速，即 710 r/min。

(4) 连接两轴上转速点的连线，表示该两轴间的传动副，连线的倾斜程度代表传动副的传动比。图中电动机轴与轴Ⅰ间的连线，表示该两轴间的带传动 $\phi 126/\phi 256$ ，通过它使轴Ⅰ得到一级转速 710 r/min。轴Ⅰ、Ⅱ间有三根不同斜度的连线，分别表示该两轴间的三对齿轮副：24/28、30/42 和 36/36，通过它们使轴Ⅱ获得三级转速：355、500、700 r/min。轴Ⅱ、Ⅲ间斜度不同的两组平行线，代表该两轴间的两对齿轮副：22/62 和 42/42。轴Ⅱ的三级转速，经齿轮副 22/62 传动时，轴Ⅲ可得到 125、180 和 250 r/min 三级转速，图中用向下倾斜的三根平行连线表示；经齿轮副 42/42 传动时，轴Ⅲ得到另外三级转速：355、500 和 710 r/min，图中用水平的三根连线表示。从而轴Ⅲ共获得 125~710 r/min 六级不同的转速。同样轴Ⅲ、Ⅳ间的两组平行连线，代表该两轴间的两对齿轮副：18/72 和 60/30，每对齿轮各传给主轴Ⅳ获得六级转速。

代表某一传动副连线的倾斜程度，表示该传动副的传动比大小。由图 1-7b 可知，连线从左到右向下倾斜为降速传动，向上倾斜为升速传动，水平连线则为等速传动。根据连线起点和终点所代表的转速，可进一步具体确定各传动副的传动比，如轴轴Ⅲ、Ⅳ间 $u_6 = 18/72$ 这对齿轮副，从转速图可知其传动比为：

$$u_6 = \frac{n_1}{n_5} = \frac{n_2}{n_6} = \frac{n_3}{n_7} = \frac{n_4}{n_8} = \frac{n_5}{n_9} = \frac{n_6}{n_{10}} = \frac{1}{\varphi^4}$$

轴Ⅲ、Ⅳ间另一对齿轮副 $u_7 = \frac{60}{30}$ ，其传动比为：

$$u_7 = \frac{n_7}{n_5} = \frac{n_8}{n_6} = \frac{n_9}{n_7} = \frac{n_{10}}{n_8} = \frac{n_{11}}{n_9} = \frac{n_{12}}{n_{10}} = \varphi^2$$