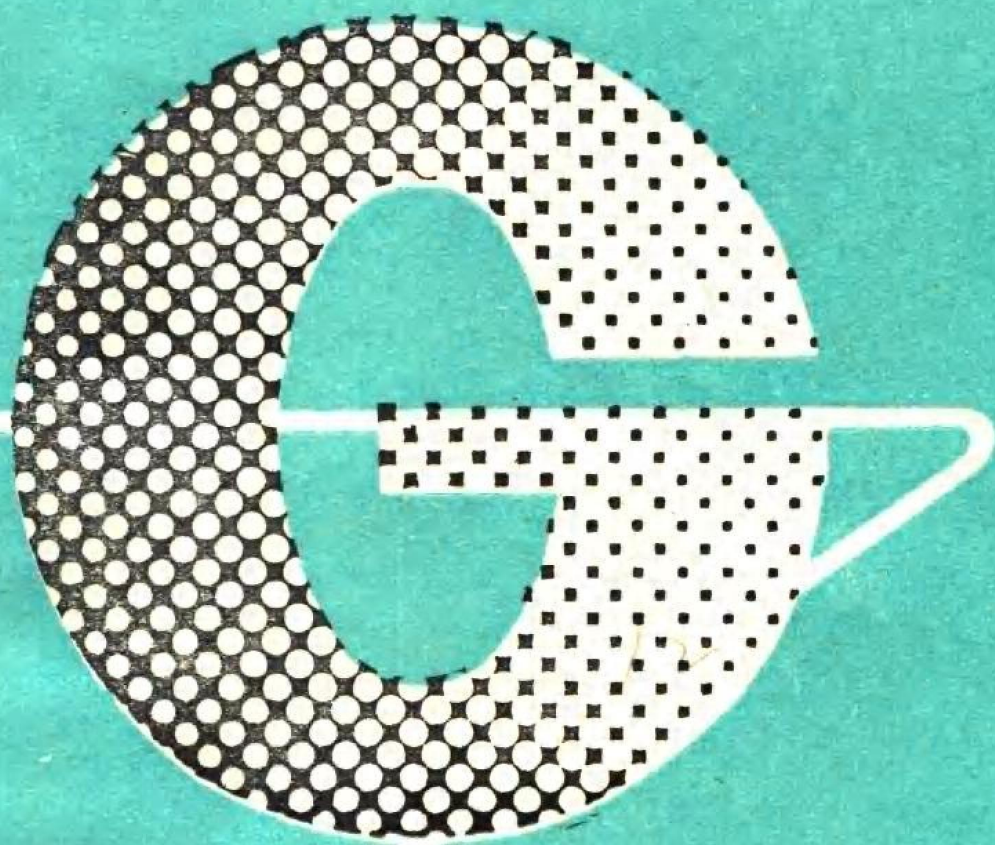


普通高等专科学校教育机电类规划教材

金属切削机床概论



上海机械专科学校 顾维邦 主编

机械工业出版社

普通高等专科学校教育机电类规划教材

金属切削机床概论

上海机械专科学校 顾维邦 主编



机械工业出版社

前 言

本书为高等专科学校机械制造工艺与装备专业“金属切削机床”课程的基本教材之一，是根据全国高等专科学校机制专业教材编审委员会审定的“金属切削机床”课程教学大纲编写的。为了更好地适应各地区不同学校教学安排的实际情况和要求，经教材编审委员会和机械电子工业部教材编辑室同意，本课程基本教材分《金属切削机床概论》(顾维邦主编)和《金属切削机床设计》(黄鹤汀主编)两册出版。这两本教材也适用于职业大学、业余大学、职工大学、电视大学以及其它专科层次学校机制专业，并可供有关工程技术人员参考。

本书为机床概论部分，阐述机床的工作原理、技术性能、传动、结构及其调整使用方法等，全书共分六章。第一章“机床的基础知识”简明地讲述了机床的运动和传动原理，机床精度的概念，以及分析机床传动系统及其调整计算的基本方法，为学习后续章节提供了良好基础；第二、三、四章分别重点地介绍卧式车床、万能外圆磨床和滚齿机，各有侧重面，且着重于阐明各类机床共性的内容，而不局限于某一型号，以利培养学生认识和分析机床的能力；此外，还适当扩展了其它机种，以开阔学生视野，拓宽知识面，为培养学生合理选用机床的能力打下基础；第五章“其它类型通用机床”作为由点及面的补充，对生产中常用的其它类型通用机床的工艺范围和结构特点作了简要介绍；第六章“自动化机床”以自动控制系统为线索，将机械式凸轮分配轴控制自动机床、电气程序控制自动机床和数控机床融为一体，突出讲述各类自动化机床实现自动工作循环的原理，使学生对机床自动化有一个比较完整的了解。我们期望，通过本教材学习，学生能掌握合理选择和正确使用机床所必需的基本理论与知识，并具有认识和分析机床的初步能力。

编写本书时，在体系编排上，力求符合科学性和认识规律；在内容取材上，力求在满足实用性和针对性前提下，同时适当反映有推广意义、具先进水平的精密机床和数控机床；在描述问题上，力图深入浅出，概念清楚准确，叙述层次分明，文字简炼通顺，插图明晰易懂，以便讲授和学生自学。

本书由上海机械专科学校顾维邦(第一、六章、附录)、上海纺织专科学校严庚辛(第三、四、五章)、长春大学赵春久(第二章)编写，由顾维邦主编。

本书由上海交通大学林益耀教授主审，在编写过程中，对教材的各个方面提出了许多宝贵意见。参加本书审稿会议的还有：扬州工学院黄鹤汀、湘潭机电专科学校丁树模、江苏工学院郑岳、江南大学沈孟养、西安航空工业专科学校文允钢、郑州纺织工学院孙玉琴、南京机械专科学校王芙蓉，机械电子工业部有关同志也参加了会议。本书最后经全国高等专科学校机制专业教材编审委员会审定。

在本书编写过程中，得到有关大专院校、研究所和工厂的大力支持和热情帮助，在此谨致谢意。

限于编者水平，书中难免有错误和不妥之处，敬希读者批评指正。

编 者

1981.4

目 录

第一章 机床的基础知识	1	第二节 滚齿机	85
第一节 机床在国民经济中的地位及其 发展简史	1	第三节 其它类型齿轮加工机床	101
第二节 机床的分类和型号	2	习题与思考题	109
第三节 对机床的一般要求	4	第五章 其它类型通用机床	111
第四节 机床上工件表面成形方法和所 需运动	5	第一节 钻床和镗床	111
第五节 机床的传动原理	10	第二节 铣床	123
第六节 机床的传动系统与运动计算	12	第三节 刨床和拉床	125
第七节 机床的精度	17	第四节 螺纹加工机床	129
习题与思考题	19	习题与思考题	133
第二章 车床	21	第六章 自动化机床	134
第一节 卧式车床的工艺范围及其组成	21	第一节 概述	134
第二节 卧式车床的传动系统	24	第二节 机械式凸轮分配轴控制的 自动机床	136
第三节 卧式车床的结构	35	第三节 电气程序控制机床	172
第四节 精密和高精度卧式车床的特点	54	第四节 数字控制机床	183
第五节 其它类型车床	57	第五节 组合机床	205
习题与思考题	65	习题与思考题	220
第三章 磨床	67	附录	224
第一节 外圆磨床	67	I. 《JB1838—85金属切削机床型号编 制方法》简介	224
第二节 其它类型磨床	79	II. 机构运动简图符号	231
习题与思考题	83	III. 滚动轴承图示符号	236
第四章 齿轮加工机床	85	参考文献	237
第一节 概述	85		

第一章 机床的基础知识

第一节 机床在国民经济中的地位及其发展简史

金属切削机床是一种用切削方法加工金属零件的工作机械。它是制造机器的机器，因此又称工作母机或工具机，在我国，习惯上常简称机床。

现代社会中，人们为了高效、经济地生产各种高质量产品，日益广泛地使用各种机器、仪器和工具等技术设备与装备。为制造这些技术设备与装备，又必须具备各种加工金属零件的设备，诸如铸造、锻造、焊接、冲压和切削加工设备。由于机械零件的形状精度、尺寸精度和表面粗糙度，目前主要靠切削加工的方法来达到，特别是形状复杂、精度要求高和表面粗糙度要求很小的零件，往往需要在机床上经过几道甚至几十道切削加工工序才能完成。因此，机床是现代机械制造业中最重要的加工设备。在一般机械制造厂中，机床所担负的加工工作量，约占机械制造总工作量的40%~60%，机床的技术性能直接影响机械产品的质量及其制造的经济性，进而决定着国民经济的发展水平。可以这样说，如果没有机床的发展，如果不具备今天这样品种繁多、结构完善和性能精良的各种机床，现代社会目前所达到的高度物质文明将是不可想象的。

一个国家要繁荣富强，必须实现工业、农业、国防和科学技术的现代化，这就需要有一个强大的机械制造业为国民经济各部门提供现代化的先进技术设备与装备，即各种机器、仪器和工具等。然而，一个现代化的机械制造业必须要有一个现代化的机床制造业作后盾。机床工业是机械制造业的“装备部”、“总工艺师”，对国民经济的发展起着重大作用。因此，许多国家都十分重视本国机床工业的发展和机床技术水平的提高，使本国国民经济的发展建立在坚实可靠的基础上。

机床是人类在长期生产实践中，不断改进生产工具的基础上产生的，并随着社会生产的发展和科学技术的进步而渐趋完善。最原始的机床是木制的，所有运动都由人力或畜力驱动，主要用于加工木料、石料和陶瓷制品的泥坯，它们实际上并不成为一种完整的机器。现代意义上的用于加工金属机械零件的机床，是在18世纪中叶才开始发展起来的。当时，欧美一些工业最先发达的国家，开始了从工场手工业向资本主义机器大工业生产方式的过渡，需要越来越多的各种机器，这就推动了机床的迅速发展。为使蒸汽机的发明付诸实用，1770年前后创制了镗削蒸汽机汽缸内孔用的镗床。1797年发明了带有机动刀架的车床，开创了用机械代替人手控制刀具运动的先声，不仅解放了人的双手，并使机床的加工精度和工效起了一个飞跃，初步形成了现代机床的雏型。继车床之后，随着机械制造业的发展，其它各种机床也陆续被创制出来。至19世纪末，车床、钻床、镗床、刨床、拉床、铣床、磨床、齿轮加工机床等基本类型的机床已先后形成。

本世纪初以来，由于高速钢和硬质合金等新型刀具材料相继出现，刀具切削性能不断提高，促使机床沿着提高主轴转速、加大驱动功率和增强结构刚度的方向发展。与此同时，由

于电动机、齿轮、轴承、电气和液等有了很大的发展，使机床的传动、结构和控制等方面也得到相应的改进，加工精度和生产率显著提高。图1-1表示机床加工精度的提高情况。此外，为了满足机械制造业日益广阔的各种使用要求，机床品种的发展也与日俱增，例如，各种高效率自动化机床、重型机床、精密机床以及适应加工特殊形状和特殊材料需要的特种加工机床都相继问世。50年代，在综合应用电子技术、检测技术、计算技术、自动控制和机床设计等各个领域最新成就的基础上发展起来的数控机床，使机床自动化进入了一个崭新的阶段，与早期发展的仅适用于大批大量生产的纯机械控制和继电器接触器控制的自动化机床相比，它具有很高柔性，即使在单件和小批生产中也能得到经济的使用。

综观机床的发展历史，它总是随着机械工业的扩大和科学技术的进步而发展，并始终围绕着不断提高生产效率、加工精度、自动化程度和扩大产品品种而进行的，现代机床总的趋势仍然是继续沿着这一方向发展。

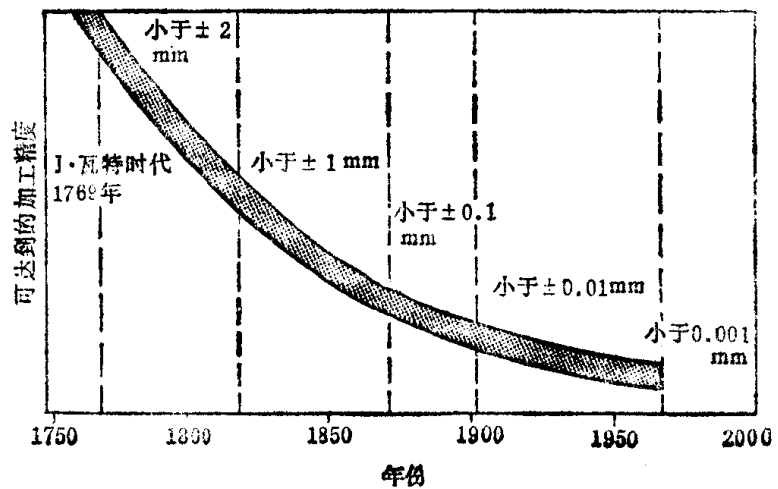


图1-1 机床加工精度的提高情况

我国的机床工业是在1949年新中国成立后才开始建立起来的。解放前，由于长期的封建统治和19世纪中叶以后帝国主义的侵略和掠夺，我国的工农业生产非常落后，既没有独立的机械制造业，更谈不上机床制造业。至解放前夕，全国只有少数城市的一些规模很小的机械厂，制造少量简单的皮带车床、牛头刨床和砂轮机；1949年全国机床产量仅1000多台，品种不到10个。

解放后，党和人民政府十分重视机床工业的发展。在解放初期的三年经济恢复时期，就把一些原来的机械修配厂改建为专业机床厂；在随后开始的几个五年计划期间，又陆续扩建、新建了一系列机床厂。同时，还先后成立了综合的和各种专业的机床研究所，开展机床设计和试验研究工作。经过40多年的建设，我国机床工业从无到有，从小到大，现在已形成门类比较齐全，具有一定实力的机床工业体系，能生产2000多种机床通用品种（其中数控机床150多种）；至1988年，机床年产量达20万台，不仅装备了国内的工业，而且每年还有一定数量的机床出口。

我国机床工业的发展是迅速的，成就是巨大的。但由于起步晚、底子薄，与世界先进水平相比，还有较大差距。为了适应我国工业、农业、国防和科学技术现代化的需要，为了提高机床产品在国际市场上的竞争能力，必须深入开展机床基础理论研究，加强工艺试验研究，大力开发精密、重型和数控机床，使我国的机床工业尽早跻身于世界先进行列。

第二节 机床的分类和型号

一、机床的分类

机床的品种规格繁多，为便于区别及使用、管理，需加以分类，并编制型号。

机床的分类方法很多，最基本的是按机床的主要加工方法、所用刀具及其用途进行分类。根据国家制定的机床型号编制方法，机床共分为12类：车床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床、螺纹加工机床、铣床、刨插床、拉床、特种加工机床、锯床和其它机床。在每一类机床中，又按工艺特点、布局型式、结构性能等不同，细分为若干组，每一组细分为若干系（系列）。

除上述基本分类方法外，机床还可按其他特征进行分类。

按照机床工艺范围宽窄（万能性程度），可分为通用机床（或称万能机床）、专门化机床和专用机床三类。通用机床的工艺范围很宽，可以加工一定尺寸范围内的各种类型零件，和完成多种多样的工序，如卧式车床、万能外圆磨床、摇臂钻床等。专门化机床的工艺范围较窄，只能加工一定尺寸范围内的某一类（或少数几类）零件，完成某一种（或少数几种）特定工序，如凸轮轴车床、轧辊车床等。专用机床的工艺范围最窄，通常只能完成某一特定零件的特定工序，汽车、拖拉机制造中大量使用的各种组合机床即属此类。

按照机床的重量和尺寸不同，可以分为：仪表机床、中型机床、大型机床（重量达到10 t）、重型机床（重量在30 t以上）、超重型机床（重量在100 t以上）。

按照自动化程度，可分为手动、机动、半自动和自动机床。

此外，机床还可按照加工精度、主要器官（如主轴等）的数目等进行分类，而且随着机床的不断发展，其分类方法也将不断发展。

二、机床的技术参数与尺寸系列

机床的技术参数是表示机床尺寸大小及其工作能力的各种技术数据，一般包括以下几方面内容：

（1）主参数和第二主参数 主参数是机床最主要的一个技术参数，它直接反映机床的加工能力，并影响机床其它参数和基本结构的大小。对于通用机床和专门化机床，主参数通常以机床的最大加工尺寸（最大工件尺寸或最大加工面尺寸），或与此有关的机床部件尺寸来表示。例如，卧式车床为床身上最大工件回转直径，摇臂钻床为最大钻孔直径，升降台铣床为工作台面宽度等。有些机床，为了更完整地表示出它的工作能力和加工范围，还规定有第二主参数。例如，卧式车床的第二主参数为最大工件长度，摇臂钻床为主轴轴线至立柱母线之间的最大跨距等。常用机床的主参数和第二主参数见附录 I 表 4。

（2）主要工作部件的结构尺寸 这是一些与工件尺寸大小以及工、夹、量具标准化有关的参数。例如，主轴前端锥孔尺寸、工作台工作面尺寸等。

（3）主要工作部件移动行程范围 例如，卧式车床刀架纵向、横向移动最大行程，尾座套筒最大行程等。

（4）主运动、进给运动的速度和变速级数，快速空行程运动速度等。

（5）主电动机、进给电动机和各种辅助电动机的功率。

（6）机床的轮廓尺寸（长×宽×高）和重量。

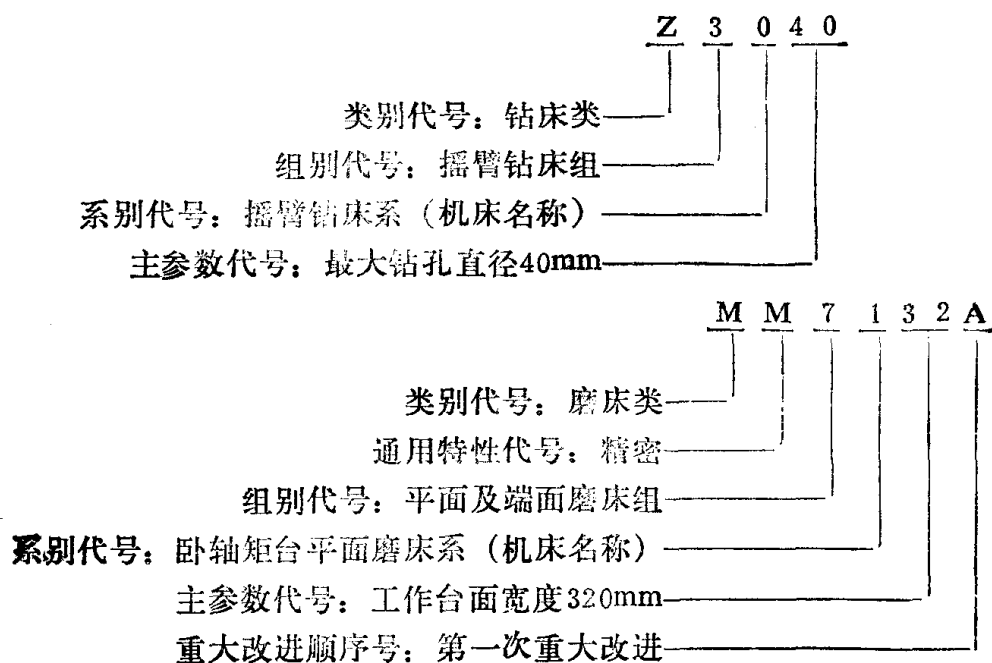
机床的技术参数是用户选择和使用机床的重要技术资料，在每台机床的说明书中均详细列出。第二章表 2-1 列出了几种卧式车床的主要技术参数。

在机械制造业的不同生产部门中，需在同一类型机床上加工的工件及其尺寸相差悬殊。为了充分发挥机床的效能，每一类型机床应有大小不同的几种规格，以便不同尺寸范围的工件可以对应地选用相应规格的机床进行加工。

机床的规格大小，常用主参数表示。某一类型不同规格机床的主参数数列，便是该类型机床的尺寸系列。为了既能有效地满足国民经济各部门使用机床的需要，又便于机床制造厂组织生产，某一类型机床尺寸系列中不同规格应作合理的分布。通常是按等比数列的规律排列。例如，中型卧式车床的尺寸系列为：250、320、400、500、630、800、1000、1250（单位为mm），即不同规格卧式车床的主参数为公比等于1.25的等比数列。

三、机床的型号

机床型号是机床产品的代号，用以简明地表示机床的类型、主要技术参数、性能和结构特点等。我国机床的型号由汉语拼音字母和阿拉伯数字按一定规律排列组成。例如，Z3040表示最大钻孔直径40mm的摇臂钻床，MM7132A表示工作台工作面宽度为320mm，经过第一次重大改进的精密卧轴矩台平面磨床。上述型号中字母及数字的涵义如下。



我国的机床型号编制方法，自1957年第一次颁布以来，随着机床工业的发展，曾作过多次修订和补充，现行的编制方法（JB1838—85金属切削机床型号编制方法）是1985年颁布的，详见附录I。目前工厂中使用和生产的机床，有相当一部分其型号是按照前几次颁布的机床型号编制方法编制的，这些型号的涵义可查阅1957年、1959年、1963年、1971年和1976年历次颁布的机床型号编制方法。

第三节 对机床的一般要求

如同任何社会产品一样，机床必须满足用户的一定使用要求，它才具有价值。机床作为一种生产工具，其基本使命是经济地完成一定的机械加工工艺，因此，首先它必须具备一定的功能，同时还需满足经济性、人机关系和环境保护等方面的要求。

机床的功能包括工艺范围、加工精度和表面粗糙度等。机床的工艺范围是指它所能完成的工序种类，可加工的零件类型、材料和毛坯种类以及尺寸范围等。机床的工艺范围必须与规定的加工任务相适应，生产批量不同，对机床工艺范围宽窄的要求也不同。因此，机床制造业既供应工艺范围很窄的专门化机床和专用机床，也供应工艺范围很宽的通用机床。机床

的加工精度和表面粗糙度是指在正常工艺条件下，机床上加工的零件所能达到的尺寸、形状和相对位置精度，以及所能控制的表面粗糙度。为了充分发挥机床的效能，又能满足不同加工精度的要求，有些通用机床被制成不同的精度等级：普通精度级、精密级和高精度级。普通精度级机床能保证一般的加工精度，生产率较高，制造成本低，适于加工一般精度要求的零件。精密级和高精度级机床的加工精度高，但生产率一般较低，机床制造成本高，因此仅适用于少数精度要求高的零件的精加工。由于现代机械制造对加工精度的要求日益提高，因此要求机床相应地不断提高其加工精度和达到更小的表面粗糙度。

机床的经济性包括机床制造和使用两个方面。对于机床使用厂，经济性首先是机床的加工效率，即要求机床在保证所需加工精度和表面粗糙度的前提下，有尽可能高的生产率。提高机床生产率的重要途径之一是提高机床的自动化程度。提高机床的自动化程度，还可改善工人的劳动条件和保证加工过程不受操作者的影响，有利于保持产品质量的稳定。因此，自动化程度也是机床使用要求的一个重要方面。为保证机床用户的经济效益，机床还必须有很高的可靠性和高的机械效率，并便于维修，使机床能充分发挥效能，减少能源消耗。

良好的人机关系，使机床操作者工作安全、方便和省力，不仅可减少工人的疲劳，保证工人和机床的安全，而且还能提高劳动生产率。

随着生产的发展，机床的环境特性越来越为人们所重视。环境特性包括噪声和渗、漏油等。机床工作时发出的噪声，既影响工人的身心健康，又妨碍语言通讯，降低劳动生产率，应力求降低。机床的渗、漏油现象，不仅污染环境，且浪费油料，必须避免发生。机床工作时产生的粉尘、油雾等，严重影响工人健康，必须具备完善的防护装置，防止其逸散到周围环境中。

第四节 机床上工件表面成形方法和所需运动

一、工件表面的成形方法

各种类型机床的具体用途和加工方法虽然各不相同，但其基本工作原理则相同，即所有机床都必须通过刀具和工作之间的相对运动，切除坯件上多余金属，形成一定形状、尺寸和质量的表面，从而获得所需的机械零件。因此，机床加工机械零件的过程，其实质就是形成零件上各个工作表面的过程。

机械零件的形状多种多样，但构成其内、外形轮廓的，却不外乎几种基本形状的表面：平面、圆柱面、圆锥面以及各种成形面（见图1-2）。这些基本形状的表面都属于线性表面，既可经济地在机床上进行加工，又较易获得所需精度。

从几何学的观点看，任何一种线性表面，都是由一根母线沿着导线运动而形成的。如图1-3所示：平面是由一根直线（母线）沿着另一根直线（导线）运动而形成（见图1-3a）；圆柱面和圆锥面是由一根直线（母线）沿着一个圆（导线）运动而形成（见图1-3b和c）；普通螺纹的螺旋面是由“八”形线（母线）沿螺旋线（导线）运动而形成（见图1-3d）；直齿圆柱齿轮的渐开线齿廓表面是由渐开线（母线）沿直线（导线）运动而形成的（见图1-3e）等等。形成表面的母线和导线统称为发生线。

由图1-3不难发现，有些表面，其母线和导线可以互换，如平面、圆柱面和直齿圆柱齿轮的渐开线齿廓表面等，称为可逆表面；而另一些表面，其母线和导线不可互换，如圆锥

面、螺旋面等，称为不可逆表面。一般说来，可逆表面可采用的加工方法，多于不可逆表面。

机床上加工零件时，所需形状的表面是通过刀具和工件的相对运动，用刀具的刀刃切削出来的，其实质就是借助于一定形状的切削刃以及切削刃与被加工表面之间按一定规律的相对运动，形成所需的母线和导线。由于加工方法和使用的刀具结构及其切削刃形状不同，机床上形成发生线的方法与所需运动也不同，概括起来有以下四种：

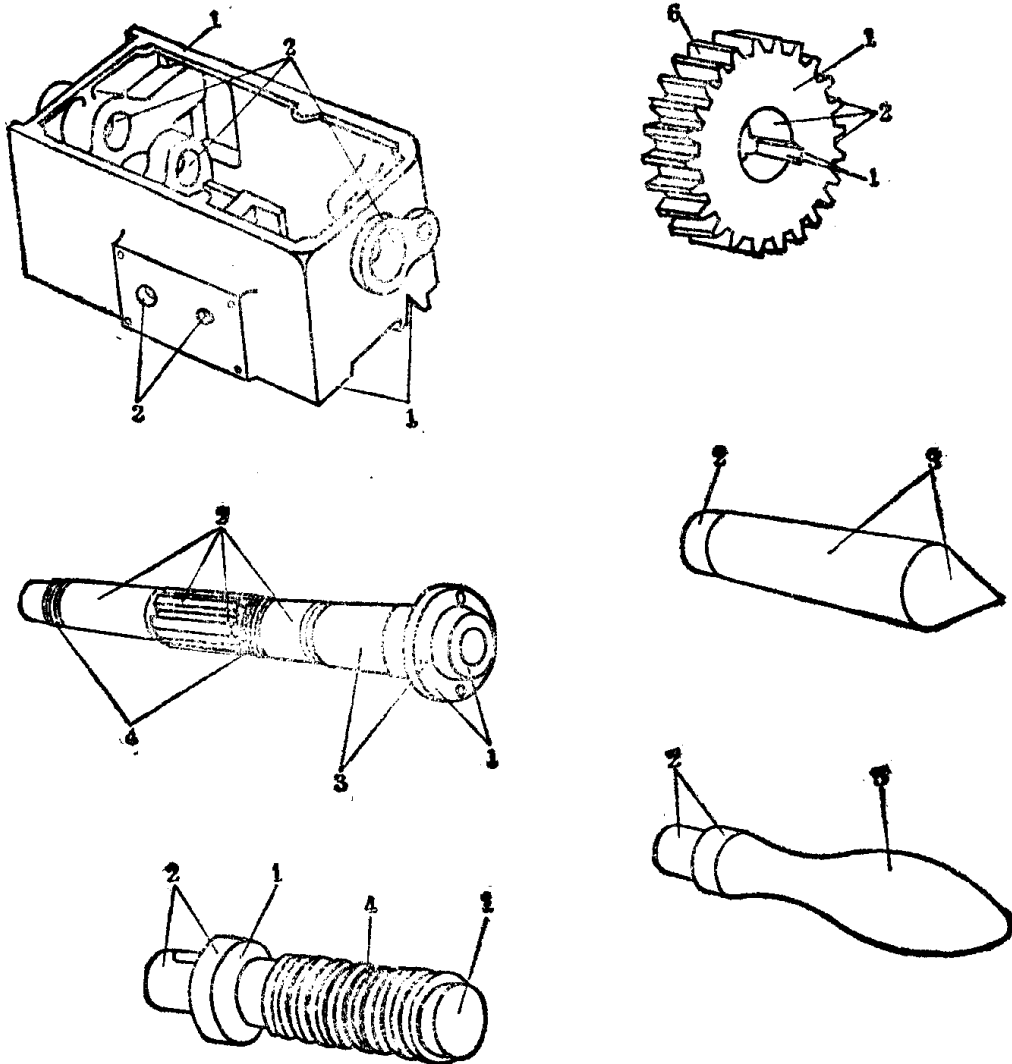


图1-2 构成机械零件外形轮廓的常用表面

1—平面 2—圆柱面 3—圆锥面 4—螺旋面(成形面) 5—回转体成形面 6—渐开线表面(直线成形面)

1. 轨迹法

用尖头车刀、刨刀等刀具加工时，切削刃与被加工表面为点接触（实际是在很短一段长度上的弧线接触），因此切削刃可看作是一个点。为了获得所需发生线，切削刃必须沿着发生线作轨迹运动。图1-4 a 所示例子中，刨刀沿箭头 A_1 方向所作直线运动，形成了直线形的母线，刨刀沿箭头 A_2 方向所作曲线运动，形成了曲线形的导线。显然，采用轨迹法形成发生线，需要一个独立的运动。

2. 成形法

采用各种成形刀具加工时，切削刃是与所需形成的发生线完全吻合的切削线，因此加工时毋需任何运动，便可获得所需发生线。图1-4 b 中，曲线形母线由成形刨刀的切削刃直接

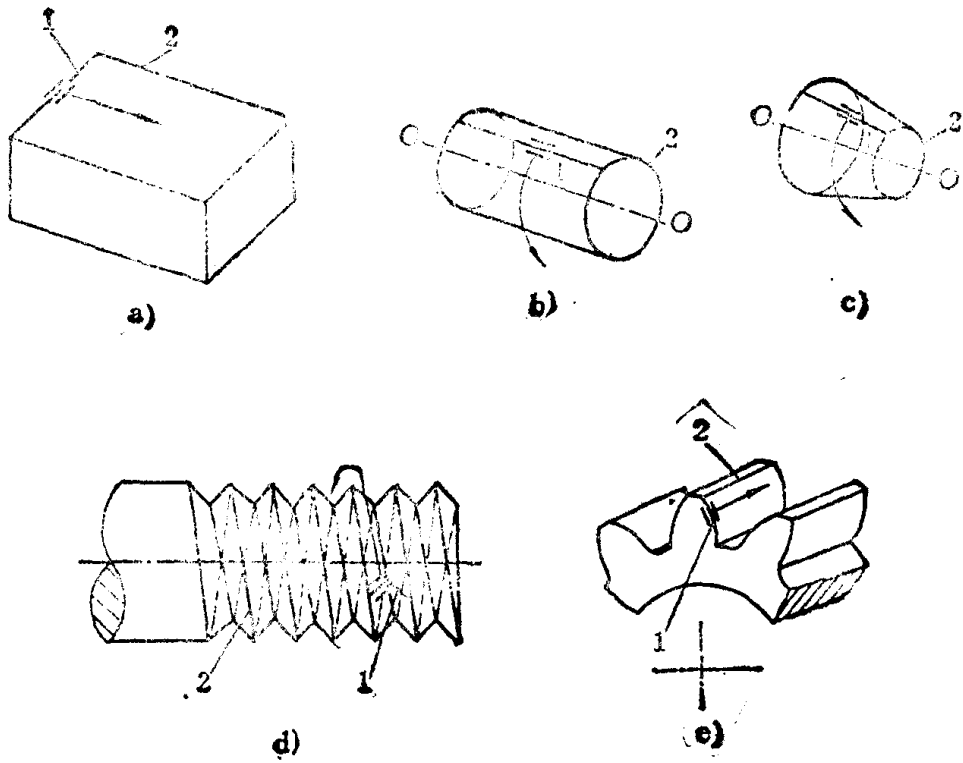


图1-3 零件表面的成形
1—母线 2—导线

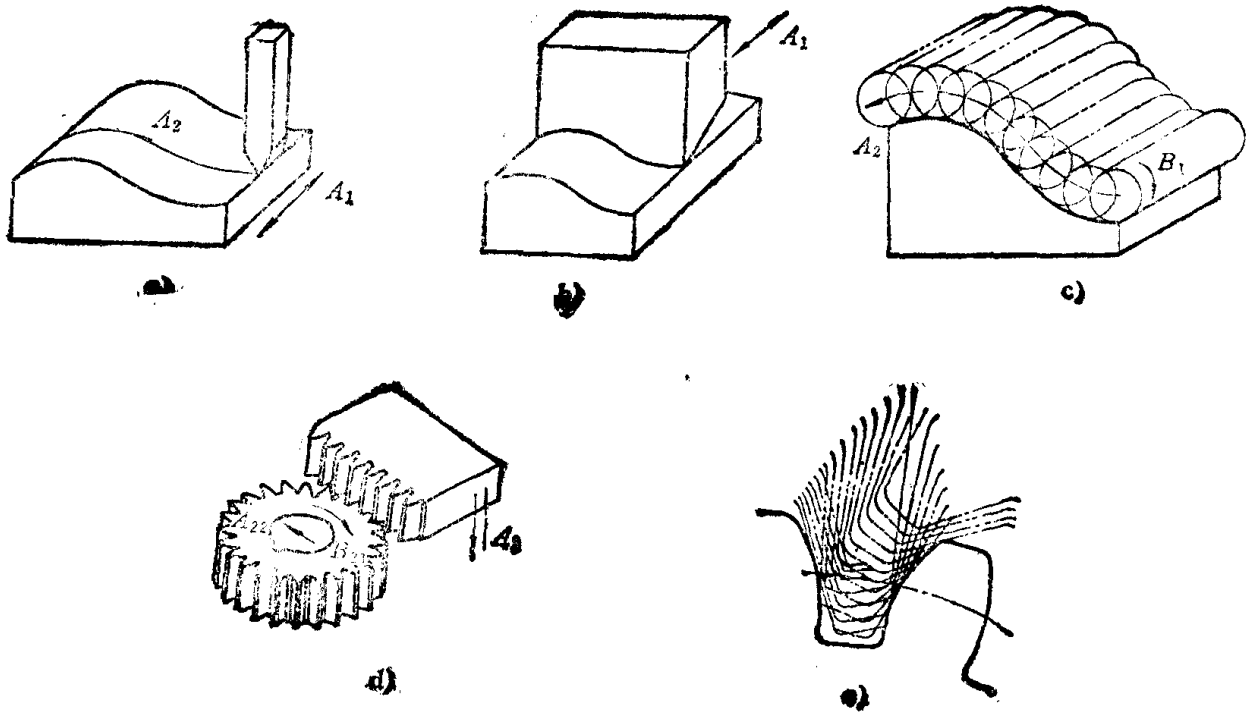


图1-4 形成发生线的方法

形成，直线形的导线则由轨迹法形成。

3. 相切法

采用铣刀、砂轮等旋转刀具加工时，在垂直于刀具旋转轴线的截面内，切削刃也可看作是点，当该切削点绕着刀具轴线作旋转运动 B_1 ，同时刀具轴线沿着发生线的等距线作轨迹运动 A_2 时(见图1-4c)，切削点运动轨迹的包络线，便是所需的生成线。所以，采用相切法形成

发生线，需要刀具旋转和刀具与工件之间的相对移动两个彼此独立的运动。

4. 范成法（展成法）

用插齿刀、齿轮滚刀和花键滚刀等刀具加工时，切削刃是一条与需要形成的发生线共轭的切削线。切削加工时，刀具与工件按确定的运动关系作相对运动，切削刃与被加工表面相切（点接触），切削刃各瞬时位置的包络线，便是所需的发生线。例如，图1-4 d 所示为用齿条形插齿刀加工圆柱齿轮，插齿刀沿箭头 A_1 方向所作的直线运动，形成了直线形母线（轨迹法），而工件的旋转运动 B_{21} 和直线运动 A_{22} ，使插齿刀能不断地对工件进行切削，其直线形切削刃的一系列瞬时位置的包络线，便是所需的渐开线形导线（见图1-4 e）。用范成法形成发生线时，刀具和工件之间的相对运动通常由两个运动（旋转+旋转或旋转+移动）组合而成，这两个运动之间必须保持严格的运动关系，彼此不能独立，它们共同组成一个复合的运动，这个运动称为范成运动（或称展成运动）。例如上述的工件旋转运动 B_{21} 和直线运动 A_{22} 是形成渐开线的范成运动，它们必须保持的严格运动关系为： B_{21} 转过一个齿时， A_{22} 移动一个齿距，即相当于齿轮在齿条上滚动时转动和移动的运动关系。

二、机床的运动

由上述可知，机床加工零件时，为获得所需表面，必须形成一定形状的母线和导线。而形成母线和导线，除成形法外，都需要刀具和工件作相对运动。这种形成发生线，亦即形成被加工零件表面的运动，称为表面成形运动，简称成形运动。

形成某种形状表面时所需机床提供的成形运动的形式和数目，决定于采用的加工方法和刀具结构。一般说来，形成母线和导线所需运动数之和，即为成形运动的数目。例如，用尖头刨刀刨削成形面需有两个成形运动，用成形刨刀刨削成形面只需一个成形运动（见图1-4a和b）。

成形运动按其组成情况不同，可分为简单的和复合的两种。如果一个独立的成形运动，是由单独的旋转运动或直线运动构成的，则称此成形运动为简单成形运动，简称简单运动。例如，用尖头车刀车削圆柱面时（见图1-5a），工件的旋转运动 B_1 和刀具的直线移动 A_2 就是两个简单运动；用砂轮磨削圆柱面时（见图1-5 b），砂轮和工件的旋转运动 B_1 、

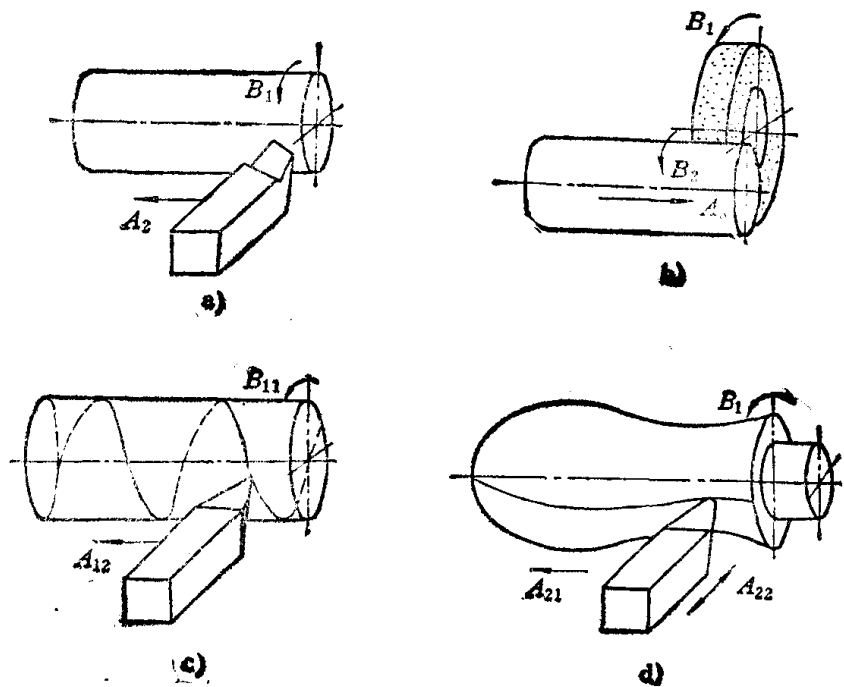


图1-5 成形运动的组成

B_2 ，以及工件的直线移动 A_3 ，也都是简单运动。如果一个独立的成形运动，是由两个或两个以上的旋转运动或（和）直线运动，按照某种确定的运动关系组合而成，则称此成形运动为复合成形运动，简称复合运动。例如，车削螺纹时（见图1-5 c），形成螺旋形发生线所需的刀具和工件之间的相对螺旋轨迹运动，为简化机床结构和较易保证精度，通常将其分解为工

件的等速旋转运动 B_{11} 和刀具的等速直线移动 A_{12} 。 B_{11} 和 A_{12} 彼此不能独立，它们之间必须保持严格的运动关系，即工件每转1转时，刀具直线移动的距离应等于螺纹的导程，从而 B_{11} 和 A_{12} 这两个单元运动组成一个复合运动。用尖头车刀车削回转体成形面时（见图1-5d），车刀的曲线轨迹运动，通常由相互垂直坐标方向上的、有严格速比关系的两个直线运动 A_{21} 和 A_{22} 来实现， A_{21} 和 A_{22} 也组成一个复合运动。上述复合运动组成部分符号中的下标，第一位数字表示成形运动的序号（第一、第二、……个成形运动），第二位数字表示同一个复合运动中单元运动的序号；例如，图1-5d中， B_1 为第一个成形运动（简单运动）， A_{21} 和 A_{22} 分别为第二个成形运动（复合运动）的第一和第二个单元运动。

根据切削过程中所起作用不同，成形运动又可分为主运动和进给运动。主运动是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被切削层投入切削，以逐渐切出整个工件表面的运动。主运动的速度高，消耗的功率大，进给运动的速度较低，消耗的功率也较小。任何一种机床，必定有、且通常只有一个主运动，但进给运动可能有一个或几个，也可能没有。

表面成形运动是机床上最基本的运动，其轨迹、数目、行程和方向等，在很大程度上决定着机床的传动和结构形式。显然，用不同工艺方法加工不同形状的表面，所需的表面成形运动是不同的，从而产生了各种不同类型的机床。然而即使是用同一种工艺方法和刀具结构加工相同表面，由于具体加工条件不同，表面成形运动在刀具和工件之间的分配也往往不同。例如，车削圆柱面，多数情况下表面成形运动是工件旋转和刀具直线移动，但根据工件形状、尺寸和坯料形式等具体条件不同，表面成形运动也可以是工件旋转并直线移动，或者刀具旋转和工件直线移动，或者刀具旋转并直线移动（见图1-6）。表面成形运动在刀具和工件之间的分配情况不同，机床结构也不一样，这就决定了机床结构型式的多样化。

机床在加工过程中除完成成形运动外，还需完成其它一系列运动。以卧式车床上车削圆柱面为例（见图1-7），除工件旋转和车刀直线移动这两个成形运

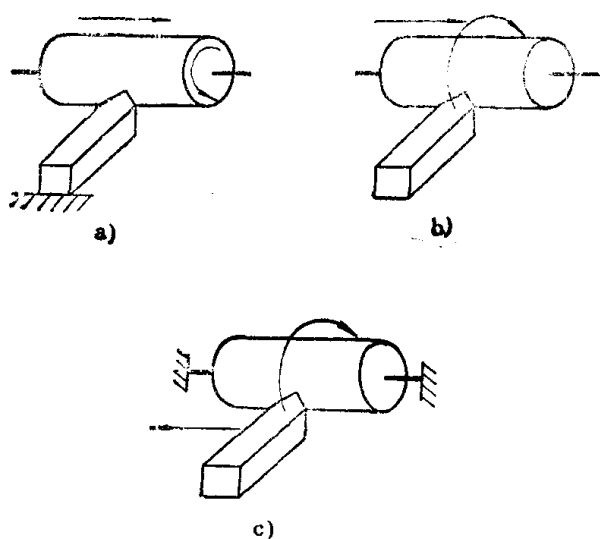


图1-6 圆柱面的车削加工方式

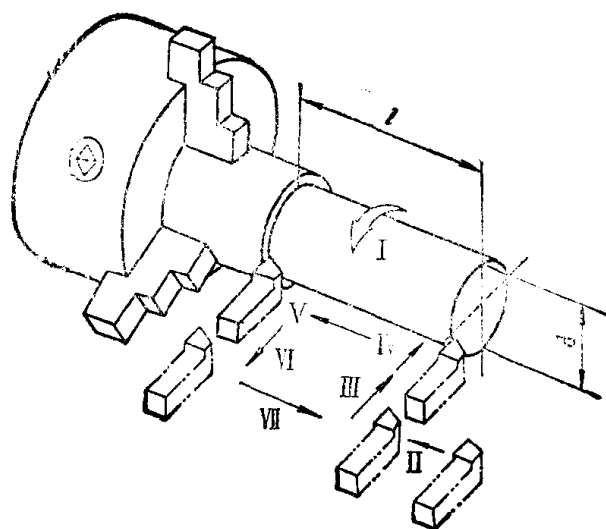


图1-7 车削圆柱面过程中的运动

I、Ⅶ—成形运动 I、Ⅱ—快速趋近运动 IV—切入运动
VI、Ⅷ—快速退回运动

动外, 还需完成安装工件、开车、车刀快速趋近工件并径向切入一定深度以保证所需直径尺寸 d 、车刀切削到所需长度尺寸 l 时径向退离工件并纵向退回至起始位置等运动。这些与表面成形过程没有直接关系的运动, 统称为辅助运动。辅助运动的作用是实现机床加工过程中所必需的各种辅助动作, 为表面成形创造条件, 它的种类很多, 一般包括:

(1) 切入运动 刀具相对工件切入一定深度, 以保证工件达到要求的尺寸。

(2) 分度运动 多工位工作台、刀架等的周期转位或移位, 以便依次加工工件上的各个表面, 或依次使用不同刀具对工件进行顺序加工。

(3) 调位运动 加工开始前机床有关部件的移位, 以调整刀具和工件之间的正确相对位置。

(4) 其它各种空行程运动 如切削前后刀具或工件的快速趋近和退回运动, 开车、停车、变速、变向等控制运动, 装卸、夹紧、松开工件的运动等。

辅助运动虽然并不参与表面成形过程, 但对机床整个加工过程却是不可缺少的, 同时对机床的生产率和加工精度往往也有重大影响。

第五节 机床的传动原理

为了实现加工过程中所需的各种运动, 机床必须具备三个基本部分: 执行件、运动源和传动装置。执行件是执行机床运动的部件, 如主轴、刀架、工作台等, 其任务是装夹刀具和工件, 直接带动它们完成一定形式的运动, 并保证其运动轨迹的准确性——旋转运动的正圆度和直线运动的直线度。运动源是为执行件提供运动和动力的装置, 如交流异步电动机、直流电动机、步进电机等。传动装置是传递运动和动力的装置, 通过它把执行件和运动源或一个执行件与另一个执行件联系起来, 使执行件获得一定速度和方向的运动, 并使有关执行件之间保持某种确定的运动关系。

机床的传动装置有机械、液压、电气、气压等多种形式, 本书将主要讲述机械的传动装置。它应用皮带、齿轮、齿条、丝杠螺母等传动件实现运动联系。使执行件和运动源以及两个有关的执行件保持运动联系的一系列顺序排列的传动件, 称为传动链。传动链中通常包含两类传动机构: 一类是传动比和传动方向固定不变的传动机构, 如定比齿轮副、蜗杆蜗轮副、丝杠螺母副等, 称为定比传动机构; 另一类是根据加工要求可以变换传动比和传动方向的传动机构, 如挂轮变速机构、滑移齿轮变速机构、离合器换向机构等, 统称为换置机构。

各种类型机床所需的成形运动是不同的, 实现成形运动所采用的传动路线和具体的传动机构更是多种多样, 但如上节所述, 成形运动就其组成情况而言, 无非是简单的和复合的两种, 而不同机床上实现这两种运动的传动原理完全相同, 所以, 只要掌握了实现这两种运动的传动原理, 对于运动比较复杂的具体机床的传动也就不难分析清楚。

实现简单运动时, 因其是单独的旋转运动或直线运动, 所以只需有一条传动链, 将运动源与相应执行件联系起来, 便可获得所需运动, 运动轨迹的准确性, 则靠主轴轴承与刀架、工作台等的导轨保证。例如, 用圆柱铣刀铣削平面, 需要铣刀旋转和工件直线移运两个独立的简单运动, 实现这两个成形运动的传动原理如图1-3a所示。图中用简单的符号表示具体的传动链, 其中假想线代表传动链中所有的定比传动机构, 菱形块代表所有的换置机构。通过传动链“1—2— u_1 —3—4”将动源(电动机)和主轴联系起来, 可使铣刀获得一定转速和

转向的旋转运动 B_1 ；通过传动链“5—6— u_r —7—8”将动源和工作台联系起来，可使工件获得一定进给速度和方向的直线运动。利用换置机构 u_v 和 u_r ，可以改变铣刀的转速、转向和工件的进给速度、方向，以适应不同加工条件的需要。上述这种联系运动源和执行件，使执行件获得一定速度和方向运动的传动链，称为外联系传动链。显然，机床上有几个简单运动，就需要有几条外联系传动链，它们可以有各自独立的运动源（如图1-8 a所示），也可以几条传动链共用一个运动源。

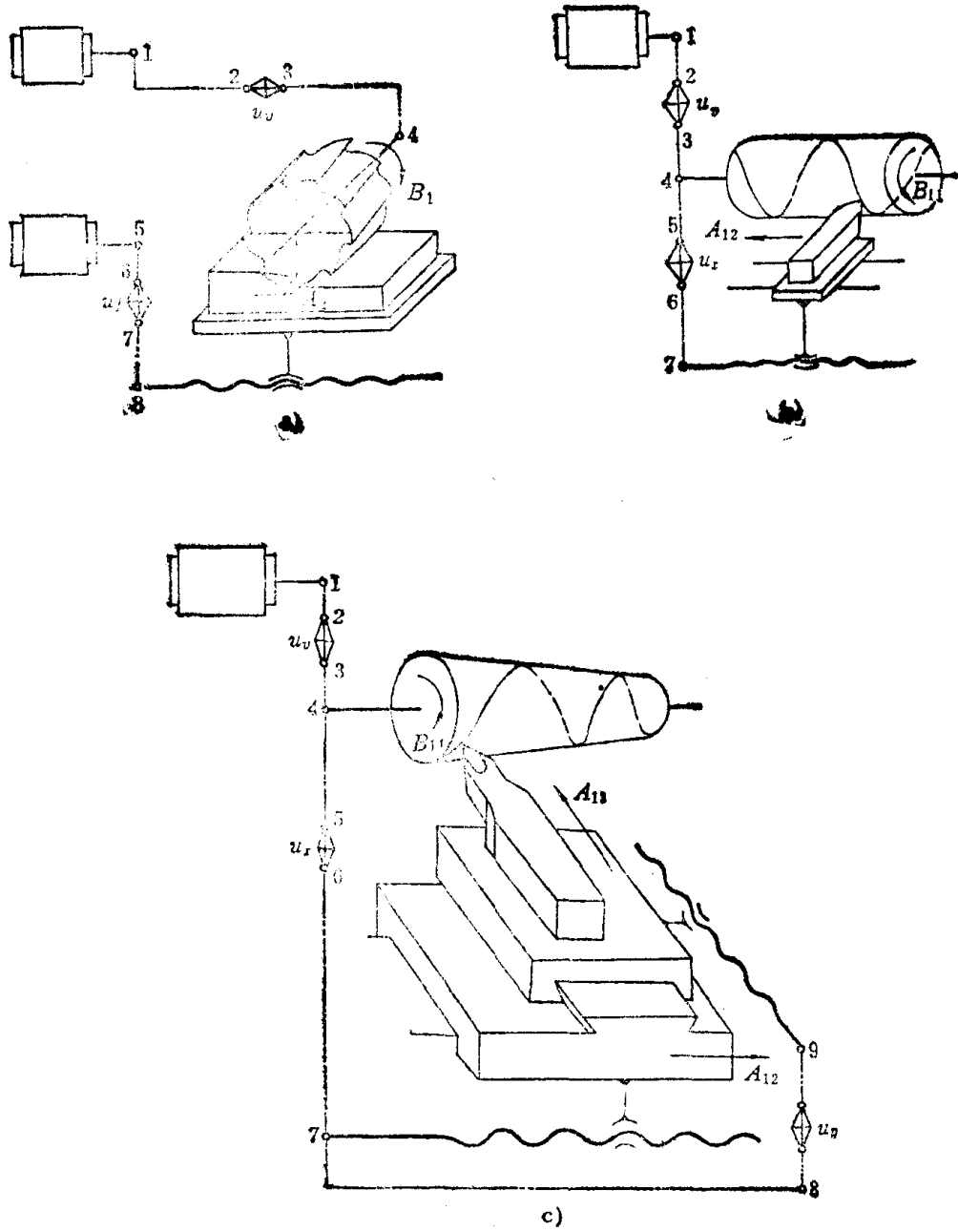


图1-8 传动原理图

a) 铣平面 b) 车圆柱螺纹 c) 车圆锥螺纹

实现复合运动时，因其是由保持严格运动关系的几个单元运动（旋转的和直线的）所组成，所以必须要有传动链将实现这些单元运动的执行件联起来，使其保持确定的运动关系；此外，为使执行件获得运动，还需有一条外联系传动链。例如，车圆柱螺纹需要工件旋转 B_{11} 和车刀直线移动 A_{12} 组成的复合运动，这两个单元运动必须保持的严格运动关系是：工件

每转1转,车刀准确地移动工件螺纹一个导程的距离。为保证这一运动关系,需在实现这两个单元运动的执行件——主轴和刀架之间,用传动链“4—5— u_x —6—7”联系(见图1-8b),且这条传动链的总传动比必须准确地满足上述运动关系的要求。利用传动链中的换置机构 u_x ,可以改变工件和车刀之间的相对运动速度,以适应车削不同导程螺纹的需要。上述这种联系复合运动内部两个单元运动,或者说联系实现复合运动内部两个单元运动的执行件的传动链,称为内联系传动链。有了内联系传动链,机床工作时,由其所联系的两个执行件,就将按照规定的运动关系作相对运动;但是内联系传动链本身不能提供运动,为使执行件得到运动,还需有外联系传动链将运动源的运动传到内联系传动链上来(根据需要传到内联系传动链中的某一环节),如图1-8b中的“1—2— u_v —3—4”。这条传动链中的换置机构 u_v ,用于改变整个复合运动的速度,或者说同时改变两个执行件的速度,但它们的相对运动关系不变。

图1-8c为车圆锥螺纹的传动原理图。车圆锥螺纹需要三个单元运动组成的复合运动:工件旋转 B_{11} 、车刀纵向直线移动 A_{12} 和横向直线移动 A_{13} 。这三个单元运动之间必须保持的严格运动关系是:工件转1转的同时,车刀纵向移动工件螺纹一个导程 L 的距离,横向移动 $L \tan \alpha$ 的距离(α 为圆锥螺纹的斜角)。为保证上述运动关系,需在主轴与刀架纵向溜板之间用传动链“4—5— u_x —6—7”联系,在刀架纵向溜板与横向溜板之间用传动链“7—8— u_y —9”联系,这两条传动链显然都是内联系传动链。传动链中的 u_x 为适应加工不同导程螺纹的需要, u_y 为适应加工不同锥度螺纹的需要。外联系传动链“1—2— u_v —3—4”使主轴和刀架获得一定速度和方向的运动。

从以上两例分析可以看出,为实现一个复合运动,必须有一条外联系传动链和一条或几条内联系传动链(如果复合运动由两个单元运动组成,需有一条内联系传动链,如果由三个单元运动组成,则需有两条内联系传动链,依次类推)。由于内联系传动链联系的是复合运动内部必须保持严格运动关系的两个单元运动,它决定着复合运动的轨迹(即发生线的形状),其传动比是否准确以及由其确定的两单元运动的相对运动方向是否正确,会直接影响被加工表面的形状精度,甚至无法形成所需表面形状。因此,内联系传动链中不能有传动比不确定或瞬时传动比变化的传动机构,如带传动、链传动和摩擦传动等。同时,调整内联系传动链的换置机构时,其传动比也必须有足够精度。外联系传动链联系的是整个复合运动与外部运动源,它只决定成形运动的速度和方向,对加工表面的形状没有直接影响,因而没有上述要求。

第六节 机床的传动系统与运动计算

一、机床的传动系统

实现机床加工过程中全部成形运动和辅助运动的各传动链,组成一台机床的传动系统。根据执行件所完成的运动的作用不同,传动系统中各传动链相应地称为主运动传动链、进给运动传动链、范成运动传动链、分度运动传动链等。

为便于了解和分析机床运动的传递、联系情况,常采用传动系统图。它是表示实现机床全部运动的传动示意图,图中将每条传动链中的具体传动机构用简单的规定符号表示(规定符号见国家标准GB4460—84机械制图——机构运动简图符号,其中常用的见附录I),并

标明齿轮和蜗轮的齿数、蜗杆头数、丝杠导程、带轮直径、电动机功率和转速等。传动链中的传动机构，按照运动传递或联系顺序依次排列，以展开图形式画在能反映主要部件相互位置的机床外形轮廓中。例如，图1-9为一台万能升降台铣床的传动系统图。

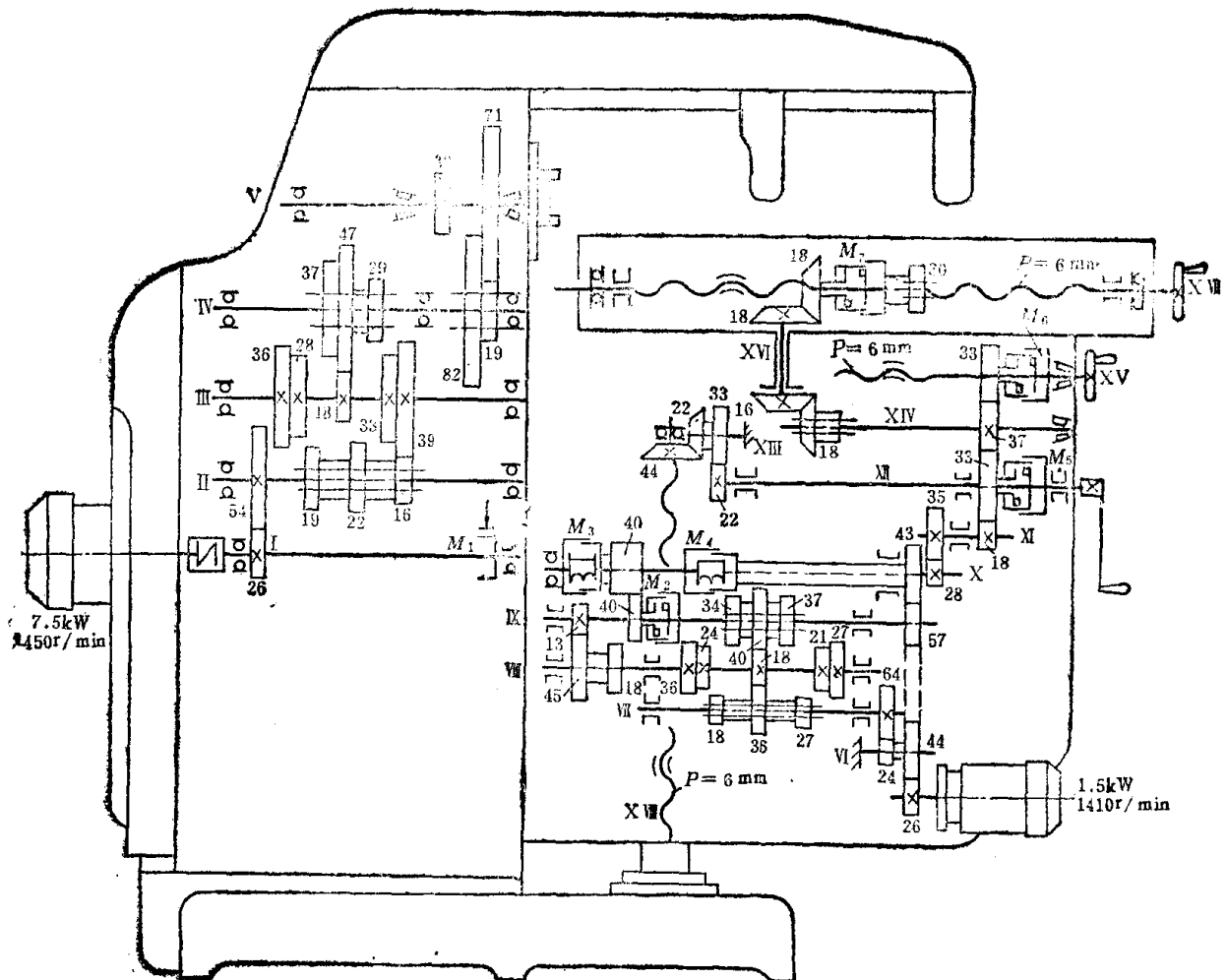


图1-9 万能升降台铣床的传动系统

了解分析一台机床的传动系统时，首先应根据被加工表面的形状、采用的加工方法及刀具结构形式，得知表面的成形方法和所需成形运动，同时根据机床布局及其工作方法，了解机床需要哪些辅助运动，实现各个运动的执行件和运动源是什么；进而分析实现各运动的传动原理，即确定机床需有哪些传动链及其传动联系情况；然后根据传动系统图逐一分析各传动链，其一般方法是：首先找到传动链所联系的两个端件（运动源和某一执行件，或者一个执行件和另一执行件），然后按照运动传递或联系顺序，从一个端件向另一端件，依次分析各传动轴之间的传动结构和运动传递关系，以查明该传动链的传动路线以及变速、换向、接通和断开的工作原理。

我们以图1-9所示万能升降台铣床的传动系统为例进行分析。这种机床加工所需的成形运动和实现成形运动的传动原理如图1-8a所示。由于万能升降台铣床是通用机床，需完成多种不同的加工工序，要求工件能在相互垂直的三个方向上作直线运动，因此传动系统实际包