



教育部高职高专规划教材

化工机械 制造技术

朱方鸣 主编
王志斌 主审

6



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

化工机械制造技术

朱方鸣 主编

王志斌 主审



化学工业出版社
教材出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工机械制造技术/朱方鸣主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 11

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-5741-5

I. 化… II. 朱… III. 化工机械-机械制造工艺-高等学校: 技术学院-教材 IV. TQ050.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 110993 号

教育部高职高专规划教材

化工机械制造技术

朱方鸣 主编

王志斌 主审

责任编辑·高 钰

文字编辑·韩庆利

责任校对·李 林 靳 荣

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社

教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话 (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京红光印刷厂印刷

北京红光印刷厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{1}{4}$ 字数 368 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5741-5/G·1511

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来，在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下，各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看，具有高职高专教育特色的教材极其匮乏，不少院校尚在借用本科或中专教材，教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此，1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》（以下简称《基本要求》）和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》（以下简称《培养规格》），通过推荐、招标及遴选，组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师，成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍，并在有关出版社的积极配合下，推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种，用5年左右时间完成。这500种教材中，专门课（专业基础课、专业理论与专业能力课）教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求，在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上，充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位，调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础，突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下，专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间，在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上，充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验，解决新形势下高职高专教育教材的有无问题；然后再用2~3年的时间，在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上，通过研究、改革和建设，推出一大批教育部高职高专规划教材，从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材，并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作，不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本教材根据全国化工高职高专教材编审委员会审定的《化工机械制造技术》编写提纲编写而成, 适合高等职业教育过程装备与控制专业(3年制, 60~70学时)使用。

本教材根据高等职业教育的特点, 紧密联系生产实际, 既有相对完整和先进的理论知识, 又有丰富的工程实践应用成果, 同时关注本学科前沿知识和发展方向, 收入了化工机械制造的新技术、新工艺。本着“够用、实用”的原则, 注重化工机械制造基础知识、基本原理和方法的介绍, 突出操作应用技能的培养, 内容编排既考虑模块化, 便于组织教学, 又遵循制造过程的实际顺序, 有利于学生现场实际工作能力的培养, 并引导学生追求新知识、新技术, 培养创新精神。

本教材由朱方鸣任主编, 并编写绪论、第三章和第九~第十四章, 庞春虎编写第四章、第七章、第八章, 何林青编写第一章、第二章、第五章, 王悦编写第六章。本书经全国化工高职高专教材编审委员会审定, 由王志斌主审, 朱爱霞参审。

全国化工高等职业技术教育教学指导委员会主任王绍良、副主任颜惠庚以及全体参审人员对本书的编写提出了许多宝贵意见, 特此致谢。

受编者水平所限, 书中不足之处, 敬请同行和读者予以批评指正。

编 者

2004年8月

目 录

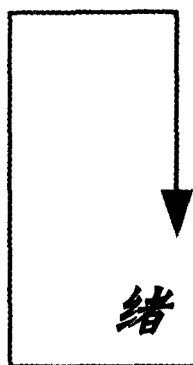
绪论	1
第一篇 机器零件制造工艺	
概述	6
第一章 机械加工质量	7
第一节 机械加工精度	7
第二节 加工误差的统计分析	22
第三节 机械加工表面质量	29
复习思考题	32
第二章 机械加工工艺规程的制订	33
第一节 机械加工工艺过程	33
第二节 工件的安装和基准	36
第三节 工艺尺寸链	40
第四节 机械加工工艺规程的制订	44
复习思考题	47
第三章 典型化工机器零件加工工艺	49
第一节 主轴的加工	49
第二节 曲轴的加工	53
第三节 连杆的加工	58
第四节 活塞的加工	62
第五节 缸套的加工	66
第六节 叶轮的加工	70
复习思考题	73
第二篇 化工设备制造工艺	
概述	76
第四章 化工设备制造的主要工序	79
第一节 原材料的准备	79
第二节 划线	82
第三节 切割及边缘加工	86
第四节 弯曲	97
第五节 成型	108
复习思考题	113
第五章 化工设备的组装	116
第一节 设备组装技术要求	116

第二节 组装工艺及设备	118
复习思考题	121
第六章 化工设备的焊接	122
第一节 焊缝的化学成分及焊接接头的金相组织	122
第二节 常见焊接缺陷	128
第三节 焊接应力与变形	130
第四节 焊接工艺规程	135
第五节 设备的焊后热处理	143
复习思考题	145
第七章 典型化工设备制造工艺	146
第一节 球罐的制造	146
第二节 列管式固定管板换热器的制造	149
第三节 高压容器筒体的制造	154
复习思考题	162
第八章 设备质量检验及制造质量管理	163
第一节 化工设备的质量检验	163
第二节 化工设备制造质量管理	167
复习思考题	169

第三篇 化工设备的无损检测

概述	172
第九章 射线检测	174
第一节 射线检测的物理基础	174
第二节 射线检测工艺	177
第三节 射线检测质量评定	186
复习思考题	188
第十章 超声波检测	189
第一节 超声波检测的物理基础	189
第二节 超声波检测设备	193
第三节 超声波检测工艺	197
第四节 超声波检测缺陷的判断	204
复习思考题	209
第十一章 磁粉检测	210
第一节 磁粉检测基本原理	210
第二节 磁粉检测工艺	212
复习思考题	216
第十二章 渗透检测	217
第一节 渗透检测基本原理	217
第二节 渗透检测方法	218
复习思考题	220

第十三章 无损检测新技术	221
第一节 涡流检测.....	221
第二节 声发射检测.....	222
第三节 红外检测.....	223
第四节 激光全息检测.....	224
第五节 微波检测.....	225
复习思考题.....	225
第十四章 无损检测实验	226
第一节 超声波检测实验.....	226
第二节 磁粉与渗透检测实验.....	227
附录 化工机械制造常用技术标准	229
参考文献	230



绪 论

化工机械主要指化工、石油、能源、制药等工业使用的机器设备，目前已纳入过程装备的范畴。化工机械对满足生产的安全、稳定、长周期、满负荷运行需要起着举足轻重的作用。随着化工、石油、能源、制药等工业的迅速发展，化工机械的制造、检验等技术也得到相应发展。

一、机器制造技术的进展

为了满足化工机器高压、高速的发展要求，对机器零件的制造精度要求越来越高，因而制造加工方法不断改进，有些早已超越了传统制造技术。例如，出现了精密铸造、精密锻造等少、无切削加工技术，减少了材料消耗，提高了零件质量；精密与超精密加工（如激光加工）技术使得零件的加工精度可达纳米级；少、无余量精密成型技术实现了生产的高效率和清洁化；表面处理新技术通过改性、涂层、渗透等方法使材料的表面性能得到极大改善；快速原型制造技术则是 20 世纪 80 年代后期由 CAD 模型直接驱动的快速制造任意复杂形状三维实体的技术，传统机械加工方法多采用从毛坯表面去除多余材料而形成零件，而快速原型制造可将三维实体分解成若干一定层厚的三维实体薄片，用二维成型加工方法加工，加工后将薄片按一定顺序和位置堆积得到所需三维实体原型，该方法实现了从图纸到产品的一步完成，减少了生产工序，缩短了周转时间，极大提高了生产效率，对新产品的研制开发十分有益。

二、压力容器制造技术的进展

目前，压力容器制造技术的进展主要表现在以下四个方面：

- ① 压力容器向大型化发展，容器的直径、厚度和质量等参数增大，容器的工作条件（如温度、压力、介质）越来越恶劣、复杂，而且这一大型化的趋势仍在继续；
- ② 压力容器用钢逐渐完善，专业用钢特点越来越明显；
- ③ 焊接新材料、新技术的不断出现和使用，使焊接质量日趋稳定并提高；
- ④ 无损检测技术的可靠性逐步提高，有力地保证了装备制造及运行的安全。

（一）压力容器向大型化发展

压力容器的大型化可以节约能源、节约材料、降低投资、降低生产成本、提高生产效率。近年来压力容器大型化的趋势仍在继续，如板焊结构形式的煤气化塔厚度为 200mm，

内径为 9100mm，单台质量已达 2500t。而锻焊式、层板包扎式及热套式的压力容器厚度和单台质量还要大。

目前我国已基本掌握了厚度为 150~200mm 大型容器的制造、焊接和检测技术，厚度在 200mm 以上的压力容器制造、焊接和检测技术也已成熟。年产 30 万吨合成氨全套设备及年产 52 万吨尿素装置的四大关键设备均已国产化。

为了适应压力容器向大型化的发展，其制造装备，如容器制造厂的高大厂房、吊车、水压机、卷板机、各种类型的焊接变位机械和热处理设备等，也都迅速发展。目前，单台吊车的吊质量已达 1200t，在划线工艺方面，出现了电子照相和数控自动划线方法。在切割和坡口加工方面，采用了扩散型割嘴的高速氧气切割，使切割速度提高了 3 倍，精密切割误差不大于 0.2~0.05mm。目前还出现了数控自动化切割机。水压机在 6000t 以上，卷板机在 4000t 以上。冷弯最大厚度达 380mm，宽 6m，冲压封头的水压机吨位达 4000t 以上，热冲压封头的直径达 4.5m，壁厚达 300mm。重型旋压机可加工直径为 7m、厚 165mm 的椭圆形封头。

（二）压力容器用钢的发展

温度、压力、介质的越来越恶劣以及压力容器的大型化发展，对钢材的要求日益严格，因而促使材料技术不断发展。压力容器的整个制造工艺流程中提出的所有技术要求都是以材料为基础的。当前压力容器用钢的发展有如下主要特点。

① 钢材的强度要求越来越高，同时还要改善钢材的抗裂性和韧性指标。一方面通过降低碳的含量，加入微量合金元素以保证钢材具有足够的强度；另一方面不断提高炼钢技术以降低钢水杂质含量来保证钢材的抗裂性和韧性。如日本的炼钢技术目前已能使磷降到 0.01% 以下，硫可降到 0.002% 以下。

② 对于高温抗氢用钢，尽量减轻钢的回火脆性和氢脆倾向。

③ 降低大型钢锭中的夹杂物及偏析等缺陷以保证内部性能均匀，提高钢锭的利用率。随着容器大型化，钢锭质量明显增大，钢板厚度也在增加。

④ 出现了大线能量下焊接性良好的钢板。

⑤ 复合钢板的使用越来越普遍。

（三）容器制造方法的发展

容器的制造方法除了传统的锻造式、卷焊式、包扎式、热套式等方法外，1981 年 9 月在原联邦德国埃森国际焊接博览会上蒂森公司首次向世界推出容器的焊接成型技术，采用多丝埋弧焊法制造压力容器筒体。这种压力容器筒体有以下特点。

① 焊肉性能完全可根据需要来决定，焊后只需做消除应力热处理，不像锻件和电渣焊成型需做长时间热处理。

② 堆焊层之间以及焊肉与芯筒之间基本上没有热影响区。过渡层处显微组织和硬度基本上不变。

③ 不需大型制造装备即可制造厚度很大的筒体。

④ 成型过程中及时检查，清除缺陷使筒体的安全性大大增加。

这一新技术的出现，还使压力容器材料在铸、锻、轧三种传统形式之外增加了第四种——焊接材料。

（四）焊接新材料、新技术的产生和应用

为适应大型和厚壁容器的发展而采用强度级别较高的钢材，必须降低焊缝中的氢含量，

提高焊接接头的断裂韧性。超低氢焊条的研制和使用为制造厂家所关注。日本神钢公司研制的 UL 系列超低氢焊条，使用时止裂温度可降低 $25\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。同时该焊条吸湿性很小，管理也很简便。

自动焊接技术和焊接机器人的使用使大型容器的焊缝实现了自动化，提高了焊接质量和效率，降低了劳动强度；热丝等离子弧堆焊工艺，大宽度带极堆焊工艺，熔敷率高、稀释率低，已在压力容器制造上得到广泛应用。在焊接方面，由于气体保护焊有优质、低耗、高效和可进行全位置焊等特点，近几年来发展很快。国外在厚壁容器焊接中，窄间隙气体保护焊和粗粒二氧化碳气体保护焊已取代了传统的埋弧自动焊。埋弧自动焊的最新进展是采用多练、热练、带极和大电流，以提高其焊接效率，并发展了铁粉埋弧焊，使堆敷效率大为提高。堆焊衬里是石油化工设备制造的一项新工艺，可用多练埋弧堆焊、热练等离子弧堆焊以及带极堆焊等。电渣焊的主要进展是窄间隙电渣焊，它可以减少电能和焊接材料的消耗，输入热量少，焊接速度快，减轻了晶粒粗化现象。等离子弧焊在很多领域内有取代钨极氩弧焊的趋势，大电流等离子弧焊已广泛用于钛、镍、不锈钢及普低钢的焊接。脉冲等离子弧焊、等离子弧熔化极气体保护焊工艺发展也很快。爆炸焊接已用于各工业部门，它在设备制造中，主要用于管子与管板的爆炸连接和异种金属的爆炸复合。爆炸复合板已广泛用于设备零件的制造。

在自动化焊接设备方面，出现了具有跟踪焊缝系统的自动焊机，并用数控控制焊接参数，用工业电视监视焊接过程等。此外，还发展了数控管子与管板全位置自动焊机、球形容器自动焊机等各种专用焊接设备。

为了适应大型容器的退火及某些低合金高强钢容器的调质处理，除了出现大型的砖砌加热炉之外，还发展了轻型加热炉，其结构轻便、造价低、升温快、节约燃料。淬火工艺有喷淋式淬火和浸入式淬火。此外，还有内部燃烧和局部加热退火，前者多用于球形容器而后者多用于大型筒体环焊缝及现场组焊焊缝的退火。局部加热方法有工频电加热、电阻加热和红外线加热，以红外线加热应用最多。

(五) 无损检测技术的可靠性逐步提高

无损检测技术在对化工机械的材料和整个制造过程以及在役装备检验方面起着重要作用，为了满足化工机械制造质量的要求，无损检测新技术的应用越来越广泛，可靠性越来越高，有效地保证了装备的安全。

在射线检测方面，高能 X 射线检测能量大、灵敏度高、探测厚度大、速度快，目前美国、日本的直线加速器能量可达 15MeV ，据称检测厚度 356mm 的时间为 3min 。安装于日本的 26MeV 的感应加速器，检测厚度 $50\sim 400\text{mm}$ 的时间为 14min 。

在超声波检测方面，数字式超声波探伤仪可直接读出缺陷位置及大小，微机控制的自动超声检测系统可以绘制并显示缺陷形状和位置，测定缺陷尺寸。超声检测探头定位精度可达 1mm ，从而使缺陷尺寸测量精度达到 2mm ，且测试通道可达 256 个。

在表面检测方面，采用光镜、光纤图像仪、电视摄像镜进行检验观察，并可输出图形、信号，通过计算分析使检测更方便准确。

此外，声发射技术、红外检测技术、激光全息照相技术、微波检测技术等也都得到一定程度的应用。

声发射用于动态检测。如在役压力容器疲劳裂纹及应力腐蚀裂纹的扩展、变化的监测，

可不停产操作。声发射也用于水压试验检漏及材料检验等。

另外，在缺陷评定方面也取得了迅速发展，使得压力容器的安全性和制造质量、服役寿命得到了较好的保证。

总之，化工机械制造技术发展迅速，市场巨大。目前，我国的化工机械制造技术水平也已处于世界前列，化工机械制造业必将在向“制造强国”的发展中发挥着重要作用。

第一篇

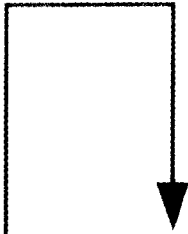
机器零件制造工艺

概述

第一章 机械加工质量

第二章 机械加工工艺规程的制订

第三章 典型化工机器零件加工工艺



概 述

生产中使用的各种类型的压缩机、泵、离心机、风机等常称为机器。机器虽然种类不同，但都是由若干零件按一定的装配要求组合而成，如机身、机壳、轴、轴承、连杆、曲轴、活塞、叶轮等。机器零件则是由金属、合金或非金属毛坯按照图纸要求经过不同方法加工而成。从原材料的运输和储存、毛坯的制造、零件的机械加工，直到装配成一台完整机器的整个过程即为机器的生产过程，其中最主要的阶段为毛坯的制造、零件的机械加工和机器的装配三部分。

化工机器的制造除了具有一般机器零件加工精度要求高的特点外，为了满足化工生产过程提出的高温、高压、高速、低温、强腐蚀等特殊要求，而带来了材料品种、性能及制造工艺等方面的复杂性。此外，由于用途和工作条件不同使得机器结构特点和技术要求有差异，以及生产规模、生产条件的不同，使得机器和零件的制造工艺可能或必须采用不同方案。

本篇主要介绍机械加工质量、机械加工工艺流程方面的基本知识及典型化工机器零件加工工艺。通过本篇学习，使学生掌握必要的机械加工基本知识，熟悉制订工艺流程的原则、步骤和方法，并能初步拟定简单零件的机械加工工艺流程，看懂复杂零件的机械加工工艺流程。

机械加工质量

零件的机械加工质量是由加工精度和表面质量两方面决定的。为了研究加工精度，可通过统计分析的方法分析加工误差产生的原因。本章主要讨论机械加工精度和表面质量的基本概念，通过对影响机械加工精度和表面质量的因素分析，掌握控制加工误差、提高机械加工精度和表面质量的方法。

教学要求

- ① 掌握机械加工精度的概念、获得规定加工精度的方法，能分析影响加工精度的因素；
- ② 熟悉加工误差的统计分析方法；
- ③ 掌握机械加工表面质量的概念，能分析影响表面粗糙度的因素。

教学建议

- ① 讲解时尽量列举工程实例；
- ② 有条件时尽可能结合现场实习或参观教学。

第一节 机械加工精度

一、机械加工精度的概念

机械加工精度是指零件加工后实际的几何参数（尺寸、几何形状、相互位置）与理想几何参数的符合程度。二者之间的相差程度称为加工误差。加工精度与加工误差是同一问题的两种不同说法，加工精度越高则加工误差越小，反之，加工精度越低则加工误差越大。

二、获得规定加工精度的方法

（一）获得尺寸精度的方法

1. 试切法

试切法是指在加工过程中通过反复试切工件、测量已加工表面的尺寸后调整刀具位置、再试切，直至达到尺寸精度要求的一种加工方法。此种方法能达到较高的尺寸精度，但与操

作工人的技术水平有关，且生产率低，常用于单件小批量生产。

2. 调整法

调整法是指预先按照尺寸要求调整好刀具与工件的相对位置及进给行程等，经试加工测量合格后，再连续成批加工工件，从而保证在加工时自动获得尺寸的一种加工方法。此种加工方法生产率有较大提高，可用于半自动及自动机床的加工，其加工精度主要取决于调整精度，常用于成批或大量生产。

3. 定尺寸刀具法

定尺寸刀具法是指在加工过程中直接靠刀具的尺寸来保证工件尺寸的一种加工方法。例如钻孔、铰孔等，用成型刀具加工工件也属定尺寸刀具法。此法生产效率较高，尺寸精度比较稳定，其加工精度主要取决于刀具的制造精度。

4. 自动控制法

自动控制法是指将测量装置、进给装置和控制系统组成一个自动加工系统，使得加工过程中的尺寸测量、刀具调整、切削加工等自动进行，直至达到规定的加工尺寸后自动停止加工的一种加工方法。例如，利用数控机床加工工件。此种方法加工效率高，尺寸精度稳定，但设备投资较大，适用于精度要求高、形状复杂零件的单件、小批和中批生产以及定型产品的大批生产。

(二) 获得表面形状精度的方法

1. 轨迹法

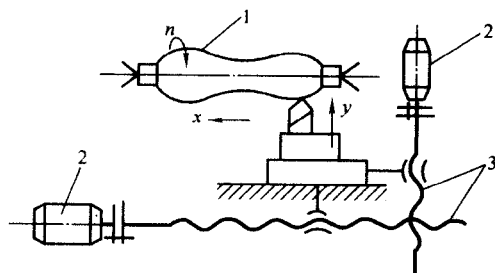


图 1-1 轨迹法

1—工件；2—电机；3—滚珠丝杠

轨迹法即利用非成型刀具与工件的相对运动轨迹而获得工件形状的一种加工方法。如图 1-1 所示，工件回转时，车刀由纵、横向滚珠丝杠驱动做曲线运动来车削成型表面。此法加工的形状精度主要取决于轨迹运动的精度。

2. 成型法

成型法即利用成型刀具加工成型表面的一种加工方法。图 1-2 (a) 为用成型车刀车曲面，图 1-2 (b) 为用成型铣刀铣曲面，图 1-2 (c) 为用成型车刀车螺纹。利用模数铣刀铣齿轮亦属成型法加工。此法加工的形状精度主要取决于成型刀具切削刃的形状精度和安装精度。

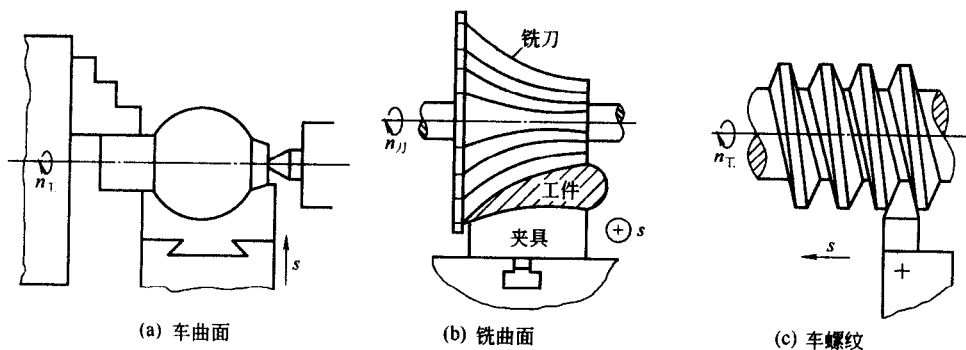


图 1-2 成型法

3. 展成法

齿轮的齿形加工中，如滚齿、插齿，均属此种加工方法。其加工过程为刀具与工件做啮合运动，工件的齿形是由一系列刀具包络线所形成。此法加工的形状精度主要取决于展成运动的精度和切削刃的形状精度。图 1-3 所示为展成法加工轮齿。

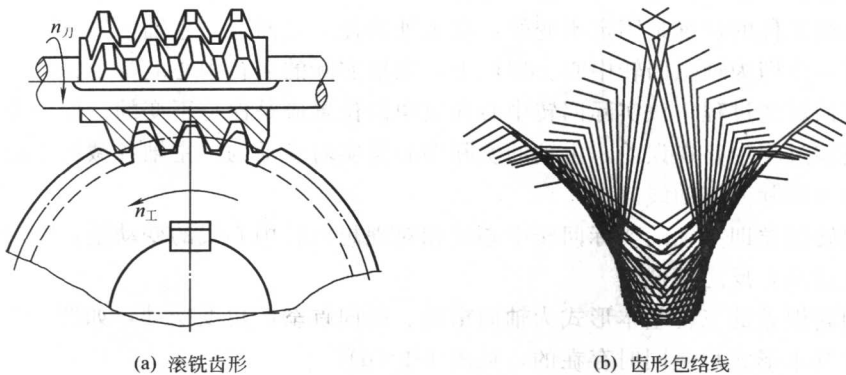


图 1-3 展成法

(三) 获得相互位置精度的方法

获得相互位置精度的方法主要有两种：一种是在一次装夹中获得；另一种是在多次装夹中获得。此外按照装夹方式又可分为：直接装夹法、划线装夹法、夹具装夹法。

工件各加工表面相互位置精度主要取决于机床、夹具及工件的定位精度。

三、影响机械加工精度的因素及提高机械加工精度的措施

在机械加工过程中，机床、夹具、刀具、工件组成了一个工艺系统，工件的加工精度受到多种因素影响，有工艺系统本身误差的影响，如刀具的制造误差、工件的装夹误差等导致的加工误差，也有金属切削过程中产生的误差影响，如受力变形、受热变形等导致的加工误差。通常，按照误差的性质将误差分为：理论误差、工艺系统的几何误差、工艺系统受力变形引起的误差、工艺系统热变形引起的误差、工件残余应力引起的误差等。

(一) 理论误差

理论误差也称为加工原理误差，它是由于采用了近似的成型运动、近似的传动方式或近似的刀具切削刃形状加工工件而产生的误差。如在车床上车削蜗杆、在铣床上利用模数铣刀加工渐开线齿轮、利用齿轮滚刀滚切齿轮等。

虽然采用近似的成型运动、近似的传动方式或近似的刀具切削刃形状加工工件会造成理论误差，但此种加工方法却简化了刀具或机床的结构，降低了生产成本，提高了生产率。因此，只要加工误差在规定的加工精度范围之内，即可采用此种加工方法。

(二) 工艺系统的几何误差

1. 机床的几何误差

加工中刀具相对工件的成型运动一般由机床完成。机床的制造误差、安装误差及使用中的磨损均会直接反映到加工误差中。因此，机床的几何误差对加工精度有较大的影响。

机床的几何误差包括主轴回转误差、导轨误差、传动链误差等。

(1) 主轴回转误差