

普通高等教育机电类规划教材

液压件制造工艺学

华中理工大学 钱祥生 主编
徐鸿本

机械工业出版社



普通高等教育机电类规划教材

液压件制造工艺学

华中理工大学	钱祥生	主编
	徐鸿本	
吉林工业大学	朱宪文	协编



机械工业出版社

本书以液压件为主要制造对象,全面论述了铸件质量要求、加工精度、表面质量、夹具、各类表面加工、工艺规程的制订等系统工艺理论和基本工艺知识。特别突出了装配工艺章,纳入了一般工艺书少有的去毛刺、清洗、防锈、密封、配管等相关必要知识。

全书把零件设计作为工艺知识综合运用的落脚点,结合工艺规程制定,专章重点讲授。以期密切配合课程设计、毕业设计等实践教学环节,学以致用。

设想通过本教材把金属工学、实习和设计等与工艺知识相关的教学环节连贯起来。力求使本书不只是一本工艺学教材,也是一本实习、设计、使用等实践环节的实用参考书。

本书为流体传动及控制专业教学指导委员会审定的专业必修课教材。鉴于液压件的广泛应用,亦是其他机械类专业的必要参考书。特别适合于液压件制造厂和使用液压件的各种主机厂的在职人员充实、提高工艺、装配知识,选作继续教育用书或自学读物。

液压件制造工艺学

钱祥生 主编
华中理工大学 徐鸿本

责任编辑:张一萍 版式设计:张世琴
封面设计:姚毅 责任校对:刘志文
责任印制:卢子祥

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街1号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京交通印务实业公司印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 15.25 · 字数 371 千字

1996年10月第1版第1次印刷

印数:00 001—2 000 定价:16.00元

ISBN 7-111-05079-7/TH·674 (课)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

《液压件制造工艺学》是根据 1991 年 9 月召开的“流体传动及控制专业教学指导委员会”昆明第四次会议决定,“八五”期间新编的一本专业必修课教材。1993 年 11 月第五次会议期间,又认真审查了主编单位华中理工大学提出的大纲。

工艺是产品制造的基础。工艺水平愈来愈成为制约机电产品发展的桎梏,特别是工艺难度系数较高的液压件制造业更是如此。迫切需要一本既能满足学校教学要求,又适合广大企业在职人员提高基本工艺理论和知识素质的书籍。本书力图做到这点。由于大纲规定 50 学时严格的字数限制,本书突破了一般工艺书的体系内容,以本行业存在的主要工艺问题为出发点,精选内容,远近结合,强调实用性为特色。主要表现在:

1) 内容上仍以讲清一般工艺原则为纲,专业联系主要反映在特殊工艺要求以及举例的优先和频度上,使读者能够学到完整、适用的工艺知识。

2) 体系上以保证液压件工艺技术要求为目标,通过精选实例来阐明基本工艺原理原则。

3) 取材上以多品种成批生产工艺、反映当前国内实用工艺水平为主,适当兼顾先进工艺,并辟有专章介绍工艺新课题,为读者指出努力方向。

4) 把零件图设计作为工艺知识综合运用的落脚点,结合工艺规程制定,专章重点讲授。以期密切配合课程设计、毕业设计等实践教学环节,学以致用。

5) 为配合生产实习教学环节,加强了装配工艺章。纳入了一般工艺书少有的去毛刺、清洗、防锈、密封、配管等必要相关知识。

设想通过本教材把金属工学与实习、生产实习、课程设计、毕业设计等与工艺知识相关的教学环节连贯起来,做到三年工艺知识教学不断线,力求使本书既是一本工艺学课教材,又是一本实习、设计环节的实用参考书,还适合作为行业在职人员充实提高工艺知识、继续教育和职业教育用书或自学读物。

本书由华中理工大学钱祥生编写第一、七、八章及全书统稿任务,徐鸿本编写第二、四、五章;吉林工业大学朱宪文编写第三、六章及第七章中的第四、五节。

本书承蒙哈尔滨工业大学刘震北副教授主审,榆次液压件厂工艺处长吕华铎高级工程师亦承担了审阅校正工作,行业知名的杨尔莊高级工程师十分关心本书的编写,他们都提出了不少宝贵意见并提供了资料素材,在此向他们表示衷心感谢。

由于本书系改革开放大好形势下,强调实用性,同时尽量扩大教材适应性的一种探索、尝试,难免有欠妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

1995 年 10 月

目 录

第一章 导论	1	思考题	142
第一节 液压工业的发展概况	1	第六章 零件图设计和工艺规程的制订	143
第二节 液压件制造工艺特点及技术要求	1	第一节 零件图及尺寸链原理	143
第三节 工艺技术在生产中的地位	4	第二节 零件图设计	151
第四节 铸件毛坯质量要求	5	第三节 机械加工工艺规程概述	162
第五节 工艺过程和工艺规程	6	第四节 机械加工工艺路线的拟定	164
思考题	7	第五节 工序内容的确定	168
第二章 机械加工精度与表面质量	8	第六节 典型零件制造工艺	177
第一节 机械加工精度的基本概念	8	第七节 提高劳动生产率的工艺途径	187
第二节 影响加工精度的因素	9	思考题	192
第三节 加工误差的分析方法	23	第七章 液压件装配工艺	193
第四节 机械加工表面质量	27	第一节 装配环境和准备工序	193
思考题	34	第二节 去毛刺工艺	194
第三章 工件的装夹和机床夹具	36	第三节 清洗及防锈处理	201
第一节 工件的装夹方法和基准的概念	36	第四节 装配尺寸链分析	203
第二节 工件的定位	40	第五节 装配方法的选择	205
第三节 定位误差的分析与计算	48	第六节 装配工艺规程	215
第四节 工件的夹紧	57	第七节 密封性的保证	219
第五节 钻床夹具和铣床夹具	68	第八节 液压站的装配及配管	224
第六节 夹具设计步骤和方法	78	思考题	228
思考题	83	第八章 工艺技术发展的新课题	229
第四章 外圆、内孔及平面加工	84	第一节 液压件发展提出的新要求	229
第一节 外圆表面的加工	84	第二节 工艺装备的更新历程	230
第二节 孔加工	99	第三节 计算机辅助制造技术	230
第三节 平面加工	120	第四节 工艺过程的优化	232
思考题	123	第五节 计算机辅助工艺规程编制	234
第五章 成形表面加工	124	第六节 柔性制造系统	235
第一节 齿形加工	124	思考题	237
第二节 螺纹加工	130	参考文献	237
第三节 球面的加工	133		
第四节 内曲面的加工	135		

第一章 导 论

液压件制造工艺学主要是研究液压件的加工和装配工艺过程,即研究如何科学地、最优地生产出液压元件及装置的原理和方法的一门技术学科。工艺是企业液压件质量保证体系中的核心环节,也是消化吸收引进技术的关键环节。鉴于液压件具有明显的工艺特点和高的技术要求,以及国内外液压技术发展水平的差距,因此加强本学科的研究,提高我国液压件制造、装配工艺水平,具有极重要的现实意义。

第一节 液压工业的发展概况

液压(气动)技术是实现传动控制现代化的关键技术之一,它的发展速度和水平直接影响到整个机电产品的质量和水平。当前,采用液压(气动)技术的程度已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。“七五”期间,我国液压行业有了长足进步,引进了一批较先进的产品,开发了一批新产品,出现了一批国、部、省优产品。然而与国际水平相比,仍存在一定差距,尚不能满足机械工业配套及开拓国际市场的要求。主要表现在:

1) 国产机电产品的液压(气动)装备率很低,行业产值仅占机械工业比重的1%强,而国外已达4%以上。尚有广阔的应用领域有待开拓。

2) 品种规格少,约仅为国际先进水平的1/3~1/5左右。密封、电磁铁、弹簧等配套件质量水平亦低。

3) 产品质量不稳定,如早期故障多,噪声大,渗漏问题仍未彻底解决。

4) 工艺水平及生产装备落后。特别如铸造流道、铸道清理、清洗工艺、内交棱去毛刺等关键工艺未完全解决或急待提高。

十分明显,前三条只是现象,第四条则涉及原因,而且是产生差距诸多原因中,最根本的一条。这是因为工艺方法和装备不仅是决定产品质量稳定性的关键,又是品种更新的物质基础,更是大幅度降低生产成本、提高效益的基本保证。因此缩小我国与国外先进国家液压(气动)件的质量、品种、效益方面的差距,全面振兴我国液压工业,必须实实在在地从普及工艺知识和意识,提高职工素质,加强基础工艺研究,更新加工和装配工艺水平入手。

第二节 液压件制造工艺特点及技术要求

液压件是一种广泛用于各个工业领域的重要基础件。它是处于高压流体作用下,通过主要组成零件的相对运动对流体实施控制的元件。因此与其他机械零件不同,具有依靠零件间配合间隙来满足控制要求的突出特征。为了解决密封性、可控性、耐久性、刚性等相互矛盾的要求,使得满足精密性技术要求成为其最主要的工艺特点,其余还有特形表面多、装配要求高等等。熟悉这些工艺特点及技术要求,是保证其工艺质量的前提。

一、批量生产，品种规格多

液压件是一种广泛应用的基础件，品种规格多，属大、中、小批方式生产的产品，除个别情况下采用配磨，或工艺上难达要求时采用选配或成组选配外，欲使零件达到一定程度的互换性水平，必须依靠工艺及装备来保证。

二、精度高

1) 偶件配合精度高。为了保证液压件的控制性能，小间隙滑动配合偶件用得最多，既要保证在高压下灵活地作相对滑动，又要使内泄漏量尽量小，只有严格控制偶件配合间隙才能做到。例如重要的滑阀和套的间隙，要求控制在 $2\sim 4\mu\text{m}$ 以内。电磁阀亦需控制在 $5\sim 6\mu\text{m}$ 以内。

此外，无间隙配合、小过盈量配合等均常遇到，都有较高的径向尺寸公差限制。

2) 轴向相关尺寸精度高。阀心肩台和阀套孔口的轴向相关尺寸，虽不直接实现配合，然而决定控制滑阀覆盖量和位移开口量的关键因素。它将影响每个控制口的启闭度，从而对过流量及压降产生作用，因而对控制灵敏度、精度以及控制性能的对称性皆会产生决定性影响。要求相关肩台和阀套（体）沟槽间的综合偏差一般应控制在 $\pm 0.15\text{mm}$ 以内。为此，阀体沉割槽的轴向尺寸公差，需限制在 0.07mm 以内才能保证。

3) 零件形位公差要求特别严格。零件的几何形状和相互位置误差，不仅影响零件的可装配性和互换性，而且对密封性能、配合性质、使用寿命等均有很大影响。特别是对处于高压流体环境下，既要有良好的可控性，又有严格的密封性要求的液压件而言，更具有头等重要的意义。这是因为一旦高压液体流过偶件配合间隙时，任何零件的形状或相互位置偏差，都会破坏阀心受力平衡状态，产生所谓液压卡紧效应。表 1-1 图所示列举了产生卡紧的三种典型情况。

对照示意简图和说明，处于有压液体作用下的滑动间隙配合偶件，对其加工形位误差反应非常敏感，这点对于非液压件零件是不存在的，这就是为什么液压件零件形位公差要求特别严格的根本原因所在。

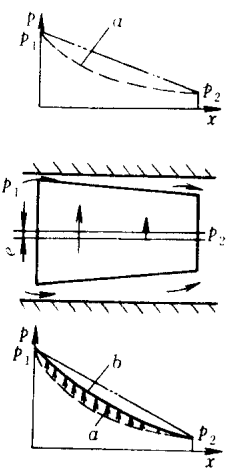
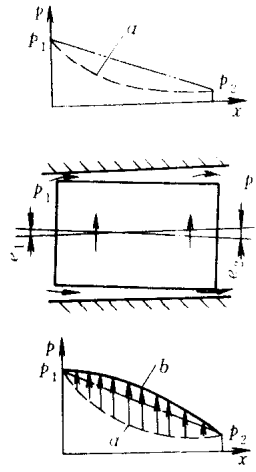
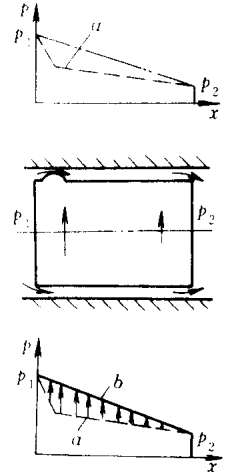
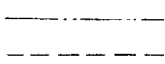
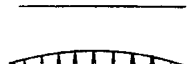
由上三例不难推知诸如平面配流盘的平面度、球面配流盘的轮廓度、柱塞球头和球窝的圆度，以及位置精度项目：平行度、垂直度、同轴度等都同样会严重地影响液压件的密封性和控制灵活性。

从精度相关性来看，在前述要求 $2\sim 4\mu\text{m}$ 的高精度柱体配合间隙偶件情况下，形位公差必须要远小于间隙值。那么，其直线度、圆度、圆柱度等公差均应控制在 $1\sim 3\mu\text{m}$ 以内，相当于 IT3 以上精度，一般阀芯也应控制在 IT4，阀体精度不得低于 IT5，对于过盈配合件，其形位公差才能降低到 $10\mu\text{m}$ 左右，从而对工艺手段及装备提出了一个较大的难题。

4) 表面粗糙度需作合理限制。鉴于液压件有严格的精度和形位公差要求，根据它们与表面粗糙度之间的制约关系，以及就密封性、抗蚀性要求言，应有较低的光表面粗糙度要求。然而摩擦表面太光滑，不利于油膜的形成和保持。另外如果工艺上不能保证尺寸精度，特别是形位公差的精确性，给予严格的表面粗糙度限制也是枉然。故应按具体情况作合理限制，阀芯表面粗糙度值一般应达 $R_a 0.1\sim 0.4\mu\text{m}$ ，只有全面达到上述各方面的精度要求，才能保证满足 90% 以上的装配互换率这个综合质量指标。

值得指出的是：对于精密件而言，加工过程前工序造成的偏差，多数情况下难以在下道工序中完全纠正，甚至会导致关联偏差。因此制造精密零件时，应注意进入半精加工后的每

表 1-1 卡紧成因分析例选

序 号	I	II	III
简 图			
说明	当阀芯或阀体孔柱体母线平行度超差时, 高压处于大端, 会有增大偏心 e 的径向力产生。反之若高压处于小端, 则有自动定心作用	即使零件形状正确, 当阀芯阀体配合间隙偏大时, 亦会产生不平衡偏心力和使两者轴线不平行的力矩	阀芯圆柱度不符合要求, 就会产生一个使凸起部分压向阀套的力矩
备 注	 同心环形平行缝隙压力降曲线 偏心锥状环形缝隙的上隙压力降曲线	 偏心锥状环形缝隙的下隙压力降曲线 作用在阀芯上的径向力	

一道工序均应达到技术要求, 而不能只重视最后的少数几道精加工工序。特别是为改善表面粗糙度的终工序, 一般是不能提高尺寸精度和形位公差的。

三、零件特征突出

1) 特形表面多。这是液压件零件形状的重要特征之一。精度高, 又有一定互换性要求前提下, 特形表面就为加工工艺带来更大的困难。如螺杆泵中的螺杆副、摆线马达的啮合副、内曲线马达的定子、球面配流盘、柱塞球头及球窝、阀套有时需要的方形或其他特形窗口等等, 都是属于高精度特形加工面。

2) 孔、轴的长径比大。液压缸及其活塞杆是最典型的例子。此外, 大中型阀块的通道孔具有更大的长径比, 不过其加工精度比缸与活塞杆低得多。

3) 锐棱、薄刃节流。根据流体的流态和流量稳定要求, 锐棱或薄刃形成的节流孔口是较理想的节流口。这个特征显然是其他机械零件所没有的。为满足这个锐、薄要求, 在工艺上是有一定难度的。

四、装配要求严格

装配要求严格主要表现在以下方面:

- 1) 对污染特别敏感, 铸件非加工面特别是铸造油道清理要求高。
- 2) 毛刺要求彻底有效地去除。
- 3) 装配间隙的均匀控制是影响装配质量稳定性的重要因素, 如泵、马达侧板间隙的大小

和均匀程度,就与工作效率及寿命密切有关,往往需要恰当选择补偿垫片等环节或紧固施力均匀、手感调节,凭借经验才能达到。

4) 配管技术是液压装置质量的重要衡量指标之一。防漏、防振、美观、便修是其基本要求。

综上所述,液压件是工艺特点突出、技术要求较高的一种技术密集型产品。因而深入掌握液压件制造工艺学具有特殊重要的意义。

第三节 工艺技术在生产中的地位

机械制造工艺是发展工业的技术支柱,它不仅为工业企业提供生产产品的手段,解决如何制造和用什么方法制造自己产品的问题,而且机械制造业还为一切工业部门提供技术装备。科技成果能否转化为生产力,相当程度上亦将取决于有无相应的工艺技术手段将其物化为产品。所以,工艺水平在一定程度上就反映了国家的生产力水平。明显地体现在劳动生产率和产品质量两方面,决定产品的成本和使用性能,从而严重地制约着产品在市场上的竞争能力。

工业发达国家的学者普遍认为:现代生产和科学研究的中心已逐步转移到工艺技术上。从分析国内外机电产品的差距也可以发现,我国工业落后首先是制造工艺技术水平的落后。所以,更新产品、开拓市场必须以先进可靠的工艺技术作保障,市场竞争、商品竞争的核心是企业潜在制造工艺技术水平的竞争。故提高企业人员的工艺技术素质和工艺技术水平已成为企业技术进步的当务之急。

由于我国工艺水平落后,致使机械工业的劳动生产率仅为发达国家的 1/20 左右,机电产品质量问题中,属工艺因素比重达 60% 以上^[1]。与之形成鲜明对照则是作为生产率增长的第一因素——先进工艺技术的采用,发达国家已达 60% 比重,生产率提高中工艺贡献亦占 60% 以上。其他方面还有品种差距大、产品更新周期长、引进产品生产质量不稳定等。诸多原因之中,工艺技术因素乃其首。因此明确提出了“工艺上水平”、“大抓工艺管理”作为振兴我国机械工业的重大战略措施之一。

工艺技术水平包括工艺水平、装备水平、检测水平、操作水平和工艺管理水平。其核心则是装备水平(含检测水平),因为它是决定工艺技术水平的硬件基础部分,决定着产品质量对工人操作水平的依赖程度,能促进工艺管理水平的提高。工艺工作对企业而言是一项系统工程,就像纽带一样把企业的各个生产部门有机地联系起来,形成一个完整的产品生产制造体系。故有“机械制造,工艺为本”的说法,它既是机械制造过程实践经验的总结,也是工艺技术在产品生产中地位的恰当估价。

液压件是机械工业的一种重要配套基础件,而且随着科技进步的需要、配套应用面的扩展、设备自动化程度的提高,其地位如同电子器件一样,将愈来愈显得重要。鉴于上节所述工艺特点,所以当前工艺技术水平对液压件生产中的质量、品种、效益影响势必更直接、更具决定意义。特别是在可靠性质量方面,已经影响到国产主机、成套设备的信誉和出口创汇额的增长。因此,对于液压(气动)行业企业而言,工艺技术上水平应该成为技术进步的主要目标,普及工艺科学知识,牢固树立工艺为本的观点则应成为提高劳动者素质的中心内容。

工艺技术工作的最高原则是以最少的社会劳动消耗,制造出高质量的产品,去不断满足社会的需要。这需要有系统的理论指导。液压件制造工艺学以液压件为主要对象,揭示出机

械制造过程的物理本质, 加工过程中产生误差的规律, 以及提高工艺技术水平的方法。通过本课程的学习, 可以全面掌握机械制造工艺的基本理论和知识, 学会分析加工过程中产生误差的原因, 能对具体工艺问题进行分析, 提出改善产品质量, 提高生产率, 降低成本, 满足工艺技术要求的合理工艺途径。从而树立牢固的结构工艺性观点, 作为设计类课程学习的必备知识基础。所以不仅对行业工艺人员和管理人员, 而且对设计人员和研究人员, 都是一门重要的必修课。

但是, 制造工艺学是一门带有强烈社会实践性的技术学科, 其规律性尚难用数学方法表达和描述, 而是要求工艺员(师)能够根据时间、地点、条件的不同去灵活运用工艺原则, 多、快、好、省地把产品制造出来。因此, 不仅需要掌握深入的工艺技术知识, 广泛的设计、管理和经济方面的相关知识, 而且还需要有丰富的实践经验。所以, 掌握精髓、领会实质、灵活运用、重视实践才是学好本门课程的必由之路。

第四节 铸件毛坯质量要求

液压件本体由于形状复杂及需要通畅的流道, 故铸件毛坯应用广泛。约占液压件总数76%的泵、马达、阀体毛坯, 绝大多数是铸件。铸件毛坯质量对液压件产品整体质量的影响之大, 超过任何机电产品, 可以说是具有决定性意义。如果对铸件毛坯质量不能加以严格控制, 那么就不可能有高质量的液压件, 就会使后续制造工艺方面的努力成效甚少, 甚至前功尽弃。因此, 懂得提出和控制铸件毛坯质量要求, 是保证能制造出合格液压件产品的首要环节。

对铸件毛坯质量的基本要求是:

1) 材质方面: 铸铁组织不得有疏松、裂纹、气孔、夹渣、砂眼等缺陷, 有高的耐压致密性要求, 以防难以发现的潜通道出现; 硬度应均匀且有高的强度、硬度要求, 以防止高压压力作用下的变形。

2) 精度方面: 尺寸精度一般应达到 IT7~IT9 级; 表面粗糙度值为 $R_a 6.3 \sim 25 \mu\text{m}$; 铸件合格率应达 92% 以上。

3) 清理方面: 要求内腔表面无残砂、粘砂、夹砂、毛刺、氧化皮和杂物, 尽量减少内腔的微粘砂和氧化硅成分, 外表需无粘砂、飞边。故每个铸件必须进行电化学清砂、清锈、脱硅软化处理, 清洁度应达到规定要求, 外表整洁美观。

4) 防锈方面: 清理后的铸件表面还应进行防锈处理, 使有效保护期应达半年以上。

按上要求目前尚存在一定差距, 特别是达到批量高质量稳定生产水平, 还需进行大量研究工作。

第五节 工艺过程和工艺规程

生产过程是指将原材料转变到成品的全部过程, 包括原材料的运输、保管、生产准备、毛坯的制造与机械加工, 零部件装配、成品的检验、试车、涂漆与包装等。而工艺过程只是其中最核心的内容, 仅指改变材料、毛坯或制造状态的有目的的活动部分, 而本书涉及只限于零件加工工艺过程和装配工艺过程两个部分。

加工工艺过程是指用各种加工工艺方法直接改变毛坯的尺寸、形状及表面状态使之成为成品或半成品的过程。装配工艺过程是指将加工完成的零件有序地组成部件以至最终组成产品的过程。《液压件制造工艺学》就是在阐述机械制造工艺基本原理和方法的基础上,如何根据技术上先进、经济上合理的原则,通过一定过程和运用一定方法,把以液压件为典型代表的产品制造、装配出来的一门技术学科。

无论是加工工艺过程或是装配工艺过程,都是由一系列工序组成的。所谓工序,是指在某一设备上或某个工作地点,由一个工人或一组工人连续地对于一个或同时几个工件所完成的加工或装配工艺过程的一个完整部分。凡工作地(设备)、工人、工件、连续性四要素之一发生变更就会构成新的工序。由于工序的技术要求和设备的复杂性,一个工序可划分为几个工位或多个工步。

工位即工件安装在机床上所占据的位置,或工件在机床的一个位置上所进行的加工工作。它是安装的一个组成部分,一次安装中至少有一个工位,若采用回转夹具、分度夹具等,则一次安装可以有多个工位。

加工表面(装配时则指连接表面)和加工(装配)工具以及工作参数(规范)不变的情况下,所连续完成的那部分工序称为一个工步。例如在转塔自动车床上加工一个零件,可以由一至六个工步完成。但是若并未直接改变工件形状、尺寸和表面粗糙度,但又是完成整个工序所必须由人或设备连续完成的那部分工序,称之为辅助工步。诸如换刀、安装、运输、检测等均可视为辅助工步。基本工步则相反,它会导致工件形状、尺寸、表面粗糙度或者结构配置的相对改变。

工艺过程有三种类型:专门工艺过程、典型工艺过程和成组工艺过程。

专门工艺过程是制造同一品种、规格和型式的产品的工艺过程,它与生产类别无关。

典型工艺过程是制造在结构与工艺特征上相同零件的工艺过程。

成组工艺过程是制造结构特征不同,但具有相同工艺特征的一族零件的工艺过程。这是近年为适应产品小批量、多品种化趋势而发展起来的先进工艺过程。液压件是多品种成批生产性质,存在一定的应用前景,拟在第六章末扼要介绍。典型工艺过程则是本书论述的重点。

工艺过程应满足的基本要求是:完全符合图样和技术条件的要求;生产准备周期最短;劳动生产率高;人力、物力、财力利用率高;材料、动力、资金消耗少;成本低;对环境无有害影响;保证安全生产;能适应产品的不断改进和更新等。

工艺规程则是指工程技术人员遵循工艺学的基本原理和方法,结合生产纲领、生产类型和生产条件,而制定某产品或零部件工艺过程的有关技术文件。包括工件(产品)加工(装配)的顺序、所采用的设备、工具、夹具、量具和辅具等,以及加工(装配)计划时间等内容都给予明文规定的技术文件。工艺规程制定要考虑产品结构、生产规模、设备条件、技术要求、工人素质等等诸多因素,可行方案往往不是唯一的,常需综合评估、权衡利弊,才能获得一个较好的实施方案。

生产中用以说明工艺规程的工艺文件有工艺过程卡片和工序卡片。

工艺过程卡片是指导零件加工(装配)的综合性卡片,说明零件(单元)的整个加工(装配)工艺过程是如何进行的,它又称为工艺路线卡,是生产技术准备的重要依据。因为它明确地规定了每个零件(单元)在整个制造(装配)过程中的工艺路线,列出产品的名称、型号、零件(单元)的名称与图号、各工序的序号、名称、所经历的时间、主要工艺装备和工

时定额等。对于大批量生产用的加工工艺过程卡,还要有说明每道工序及工步所加工的表面、切削用量、要求达到的尺寸和公差等内容。

至于工序卡片则是在工艺过程卡片的基础上,按每道工序所编制的一种工艺文件,其内容更为详细,主要包括有该工序简图,说明每个工步的加工(装配)内容、工艺参数、工艺装备、操作的划分、操作方法和要求、注意事项等,用于指导工人具体操作。

工艺规程制订的详细内容、方法见第六章。

思 考 题

1. 如何正确理解本课程在提高劳动者素质中的地位和作用?
2. 液压件制造工艺的主要特征有哪些?为什么工艺水平对发展液压件工业起关键作用。
3. 举例说明工艺学知识对元件、系统设计研究人员的重要性。
4. 液压件制造为什么要特别注重毛坯质量?
5. 何谓工艺过程、工艺规程、工序、工步、工艺文件?如何才能学好本课程?

第二章 机械加工精度与表面质量

液压件和其它机械产品一样，都是由若干个相互关联的零件装配而成的。因此，液压件的质量取决于零件的材料、毛坯制造方法、热处理以及机械加工和装配质量。

液压件的制造质量，对液压件及其配套主机的性能、寿命、效率和可靠性等，都有十分重要的影响。因此，保证液压件的质量，是制造者的首要任务。

第一节 机械加工精度的基本概念

一、加工精度与加工误差

加工精度是指零件经机械加工后，其几何参数（尺寸、形状、表面相互位置）的实际值与理想值的符合程度。符合程度愈高，加工精度也愈高。实际值与理想值之差，称为加工误差。加工误差愈小，加工精度愈高。生产中所谓保证和提高加工精度，就是指控制和减少加工误差。研究加工精度，就是通过分析各种因素对加工精度影响的规律，从而找出减少加工误差的工艺措施，把加工误差控制在公差范围之内。

二、尺寸、形状和相互位置精度间的关系

零件的尺寸、形状和相互位置精度，三者之间是既有区别又有联系的。一般的情况是尺寸精度高，其几何形状和相互位置精度也高。例如，为保证轴颈的直径尺寸精度，则轴颈的圆度误差不应超出直径的尺寸公差；又如两表面本身的平面度很差，就很难保证两表面之间的平行度。通常，零件的形状误差约占相应尺寸公差的30%~50%；位置误差约为有关尺寸公差的65%~85%。然而对于某些配合要求较高的液压件，其几何形状和相互位置精度，则有更高的要求。

三、获得加工精度的方法

（一）获得尺寸精度的方法

1. 试切法 就是通过试切、测量、调整、再试切的反复过程来获得尺寸精度的方法。这种方法的效率低，操作者的技术水平要求高，主要适用于单件、小批生产。

2. 调整法 工件加工前先按规定的尺寸调整机床、夹具、刀具与工件的相互位置，再进行加工。工件的尺寸是在加工时自动获得的。其加工精度在很大程度上取决于调整精度。调整法广泛用于各类半自动、自动机床和自动线上，适用于成批、大量生产。

3. 定尺寸刀具法 采用具有一定尺寸与形状的刀具来进行加工，工件的尺寸与形状由刀具来保证，如铰孔、拉孔和攻螺纹等。这种方法的加工精度，决定于刀具的制造、刃磨质量和切削用量。其优点是生产率较高，但刀具制造较复杂，常用于孔、螺纹和成形表面的加工。

4. 自动控制法 这种方法是用量装置、进给机构和控制系统构成加工过程的自动循环。即自动完成加工中的切削、度量、补偿调整等一系列的工作，当工件达到要求的尺寸时，机床自动退刀停止加工。

（二）获得形状精度的方法

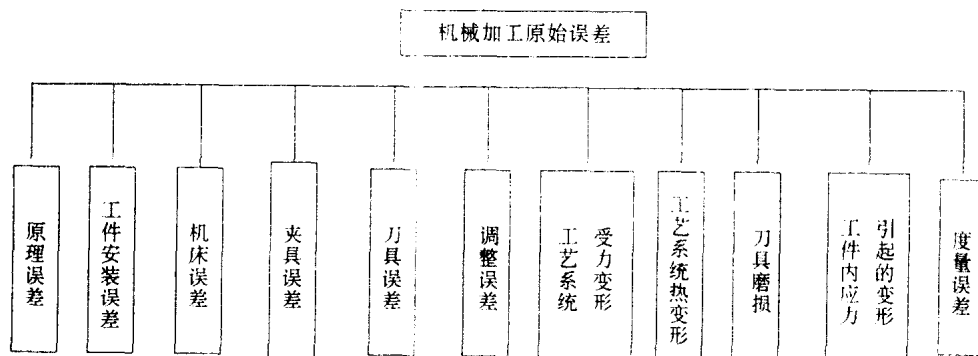
获得形状精度的方法有成形刀具法、轨迹法和展成法。成形刀具法的加工精度主要取决于刀刃的形状精度。轨迹法的加工精度则与机床的精度关系密切。例如，车削圆柱类零件时，其圆度、圆柱度等形状精度，主要决定于主轴的回转精度、导轨精度以及主轴回转轴线与导轨之间的相互位置精度。展成法常用于各种齿形加工，其形状精度和刀具精度以及机床传动精度有关。

（三）获得相互位置精度的方法

零件的相互位置精度，主要由机床精度、夹具精度和工件的安装精度来保证。例如，在平面上钻孔，孔中心线对平面的垂直度，取决于钻头进给方向与工作台或夹具定位面的垂直度。

第二节 影响加工精度的因素

机械加工中零件的尺寸、形状和相互位置误差，主要是由于工件与刀具在切削运动中相互位置发生了变动而造成的。由于工件和刀具是安装在夹具和机床上，因此，机床、夹具、刀具和工件构成了一个完整的工艺系统。工艺系统中的种种误差，是造成零件加工误差的根源，故称之为原始误差。加工中可能出现的原始误差，可列举如下：



上述原始误差，不是在任何情况下都会同时出现，并且对加工精度的影响也是不相同的。本章仅对若干主要原始误差，进行讨论。

一、原理误差

原理误差是由于采用了近似的加工运动或刀刃形状而产生的。例如，滚切渐开线齿形就存在两项原理误差。一是由于制造上的困难，用阿基米德基本蜗杆或法向直廓基本蜗杆，来代替渐开线基本蜗杆而产生的误差；另一个是由于滚刀刀刃数有限，滚切出的齿形不是连续平滑的渐开线，而是由若干短线组成的折线。又如在加工正弦曲线的内曲面时，用曲柄滑块机构来获得近似的正弦曲线，也存在原理误差。

理论上是应当采用理想的加工原理，来获得精确的加工表面。但在生产中有时会使机床的结构复杂，难以保证机床的刚度和精度，或者使刀刃的轮廓不易制造或精度很低。这样不仅不能保证加工精度，甚至还会降低加工效率。这时如采用近似的加工方法，可以简化机床结构和刀具的形状，并能提高生产率，降低加工成本，因此，只要能把加工误差限制在规定的范围内，可以采用近似的加工方法。目前，复杂轮廓曲线和曲面的加工，可利用函数逼近

法进行近似加工，即利用直线或圆弧逼近所要求的曲线或曲面，使机床的运动和结构大为简化，并使数控和计算机辅助制造技术，在机械加工工艺领域内得到实际的应用，把机械加技术推进到一个新阶段。

二、机床误差

机床误差是由机床的制造误差、安装误差和使用中的磨损引起的。下面择要讨论对加工精度影响较大的主轴回转误差、导轨误差和传动链误差。

(一) 主轴回转误差

机床主轴是决定工件或刀具位置的重要部件，对主轴的精度要求，最主要的就是回转精度，即要求主轴运转时能保持轴线的位置稳定不变。主轴回转误差直接影响被加工零件的形状、位置精度和表面粗糙度。

由于主轴系统自身存在着各种误差，如主轴轴颈和轴承座孔的误差；滚动轴承的内环、外环和滚动体的误差；回转过程中各种静、动态因素的影响等，使主轴回转轴线的空间位置在每一瞬间都是变动的，即产生轴线在空间的漂移。为了便于分析，常把主轴的回转误差分解为径向跳动、轴向窜动和角度摆动（图 2-1）。实际上主轴运动误差的三种基本形式是同时存在的（图 2-2），将综合影响着工件的加工精度。

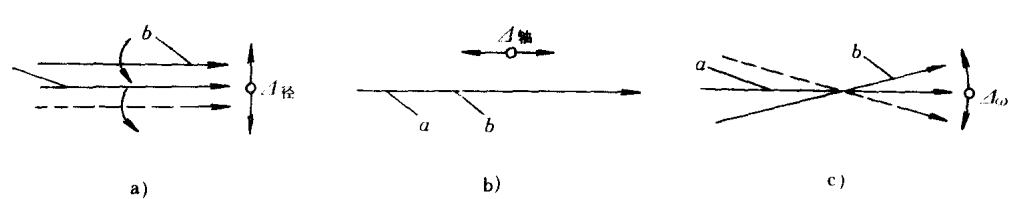


图 2-1 主轴回转误差分析图

a—平均回转轴线 b—瞬时回转轴线
 Δr —径向跳动 Δa —轴向窜动 $\Delta \omega$ —角度摆动

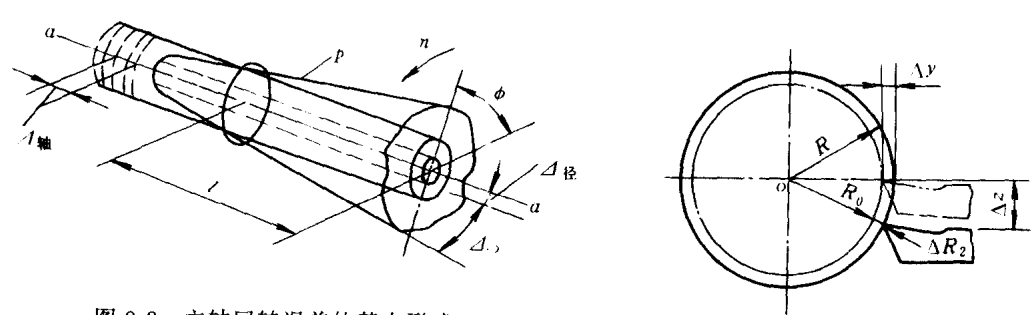


图 2-2 主轴回转误差的基本形式

a—平均回转轴线 n—主轴转向 p—实际回转轴线
 ϕ —回转位置 l—轴承距离
 Δa —轴向窜动 Δr —径向跳动 $\Delta \omega$ —角度摆动

图 2-3 车外圆误差的敏感方向

在分析主轴回转误差对加工精度影响时，发现回转误差沿刀具与工件接触点的法向分量与切向分量，对加工精度的影响相差甚大。由图 2-3 可见，在车削圆柱面时，回转误差的法向分量 Δy ，将直接反映到工件的半径方向上去（ $\Delta y = \Delta R_y$ ）。而切向分量 Δz 所产生的半径误差

为: $R_0^2 + \Delta z^2 = (R_0 + \Delta R_z)^2 = R_0^2 + 2R_0\Delta R_z + \Delta R_z^2$

因 ΔR_z^2 很小, 可以略去不计, 故得

$$\Delta R_z \approx \Delta z^2 / 2R \quad (2-1)$$

由于 $\Delta R_z \ll \Delta R_y$ (Δy), 即 Δz 所引起的半径误差远小于 Δy 所引起的, 故把法线方向叫做误差的敏感方向。

此外, 不同形式的主轴回转误差, 以及同一形式的主轴回转误差在不同的加工方式中, 对加工精度的影响, 也是不同的。

1. 主轴纯径向跳动对加工精度的影响 图 2-4 为工件不动而镗杆旋转的镗孔情况。设由于主轴纯径向跳动而使轴线在 Y 坐标方向上作简谐直线运动, 其频率与主轴转速相同, 振幅为 A , 又设刀尖处于水平位置时, 主轴中心偏移最大 (等于 A)。当镗刀转过某一个 φ 角时, 此时刀尖轨迹的水平和垂直分量分别是:

$$\begin{aligned} y &= A \cos \varphi + R \cos \varphi = (A + R) \cos \varphi \\ z &= R \sin \varphi \end{aligned}$$

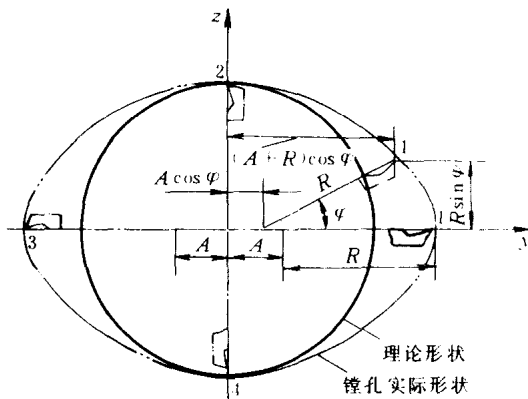


图 2-4 纯径向跳动对孔圆度的影响

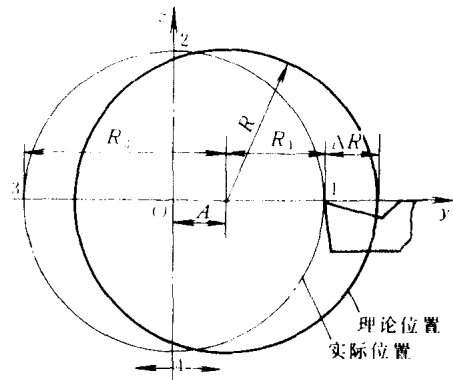


图 2-5 车削对纯径向跳动对圆度的影响

将上两式平方相加可得

$$\frac{y^2}{(R + A)^2} + \frac{z^2}{R^2} = 1 \quad (2-2)$$

这是一个椭圆方程式, 说明主轴回转时存在纯径向跳动, 镗出的将是一个椭圆孔, 如图 2-4 中双点划线所示。

车削时 (如图 2-5 所示), 设主轴轴线仍沿 y 坐标方向作简谐直线运动, 则工件 1 处切出的半径比在 2、4 处小一个振幅 A , 而在工件 3 处切出的半径则比 2、4 处大一个振幅 A 。这样在工件的上述 4 点直径都相等, 在其它各点处的直径误差也甚小, 故车削出的工件表面接近于一个真圆。

2. 主轴轴向窜动对加工精度的影响 主轴的纯轴向窜动对内、外圆加工没有影响, 但加工的端面则与内、外圆面不垂直。在主轴向前窜动的半周中形成右螺旋面, 向后窜动的半周中形成左螺旋面, 最后切成如端面凸轮轮相似的形状, 并在端面中心附近出现一个凸台 (图 2-6)。端面对轴线垂直度误差, 将随着切削直径的减小而增大。即

$$\operatorname{tg} \theta = A/R \quad (2-3)$$

式中 A ——主轴轴向窜动的振幅值；

R ——工件切削端面的半径；

θ ——切削端面的斜角。

加工螺纹时，主轴的轴向窜动将使单个螺距产生周期误差。

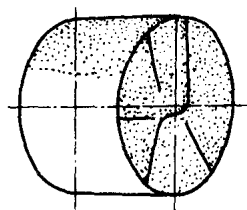


图 2-6 主轴轴向窜动对端面加工的影响

3. 主轴回转纯角度摆动对加工精度的影响 主轴回转时的纯角度摆动，在车削外圆时仍然可以得到一个圆形工件，但工件是一个圆锥体。在镗床上镗孔时，镗出的孔则为椭圆形（图 2-7）。

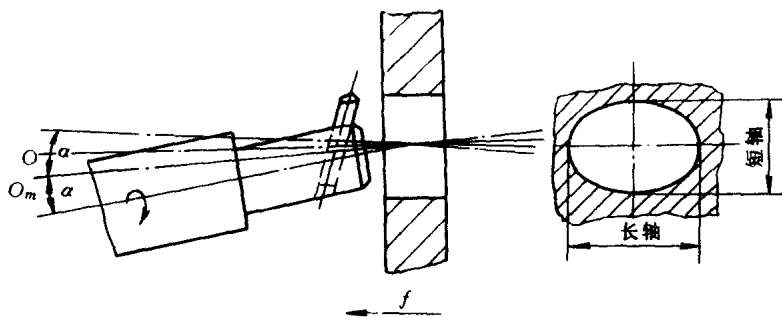


图 2-7 纯角度摆动对镗孔的影响

O —工件孔轴心线 O_m —主轴回转轴心线

主轴回转轴线的运动误差，是和主轴部件的制造精度以及切削过程中主轴受力、受热后变形有关，但主轴部件的制造精度是主要的。在主轴采用滑动轴承的结构时，主轴是以轴颈在轴套内旋转的。对于车床类机床的主轴，因切削力的方向不变，主轴轴颈被压向轴套表面某一位置，因此，主轴轴颈的圆度误差将直接传给工件（图 2-8a），而轴套孔的误差则对加工精度的影响较小。对于镗床类机床，由于作用在主轴上的切削力是随镗刀的旋转而变化的，故轴套孔的圆度误差将传给工件，而轴颈的圆度误差对加工精度的影响不大（图 2-8b），在主轴采用滚动轴承结构时，主轴回转精度不仅取决于滚动轴承本身的精度，而且还与轴承配合件的精度关系密切。由于轴承内、外环是薄壁零件，受力后容易变形，因此，与之相配合的轴颈或箱体轴承孔的圆度误差，会使轴承的内、外环产生变形而造成主轴的回转误差。

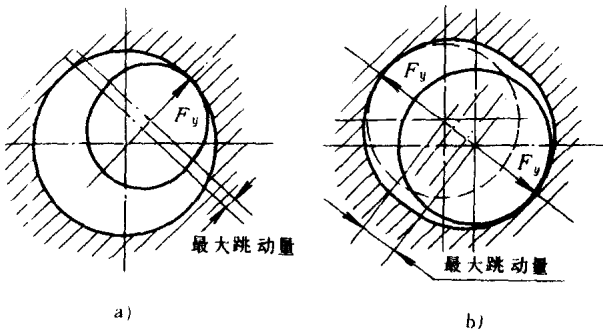


图 2-8 轴颈与轴套孔圆度误差引起的径向跳动

a) 车床类机床 b) 镗床类机床