

高等学校轻工专业试用教材

机械手表制造工艺学

哈尔滨工业大学计时仪器专业编

轻工业出版社

内 容 简 介

本书共分十章，分别介绍机械手表工艺规程设计基本概念、冲压、轴类零件、齿轮、擒纵调速器、夹板、表壳等零部件的加工以及手表装配与调整、手表零件热处理及表面处理工艺。阐述各部分的工艺过程、专用设备及工艺装备设计。本书可作为大专院校有关专业机械手表工艺课教材，亦可供有关方面科技人员及工人工作中的参考。

高等学校轻工专业试用教材

机械手表制造工艺学

哈尔滨工业大学计时仪器专业 编

*

轻工业出版社出版

(北京阜成路3号)

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

787×1092毫米 1/16 印张：29 字数：658千字

1979年8月第一版第一次印刷

印数：1—17,700 定价：2.95元

统一书号：15042·1495

前 言

本书是在计时仪器专业教材编审委员会的主持下，根据哈尔滨工业大学和天津大学计时仪器专业共同制定的教学大纲，由哈尔滨工业大学编写的计时仪器专业通用教材。为了提高编写质量，我们组织教师深入工厂，收集资料、总结生产实践经验，力求做到理论联系实际，反映国内外现代化技术水平。本书内容着重介绍手表典型零件的加工方法、工艺过程分析、基本工艺设备的设计与要求、有关专用设备的原理与使用、手表的装配与调整等。限于篇幅，元件工艺暂未编入。由于我们的实践经验和理论水平有限，书中难免存在不足之处。希望读者提出宝贵意见，以便今后进一步修改。

编写的分工是：第一章梁传治；第二章杨乐民；第三章马天超；第四章李恩福；第五章杨正国；第六章及第七章张友仁；第八章牟景林；第九章郭宝莲；第十章孙寿家。由张友仁主编完成。

在编写过程中曾得到轻工业部和上海手表厂的大力支持与协助。并得到北京、天津、辽宁、西安、吉林、哈尔滨等手表厂以及天津大学的帮助，在此一并表示感谢。

哈尔滨工业大学计时仪器专业
一九七八年四月

目 录

第一章 工艺规程设计的基本概念	1
第一节 概述.....	1
第二节 制定工艺规程的原则和方法.....	3
第三节 加工精度与表面质量.....	5
第四节 基面的选择.....	13
第五节 加工余量和序间公差.....	15
第二章 冲压工艺	17
第一节 冲裁.....	19
第二节 冲裁模.....	27
第三节 精密冲裁.....	39
第四节 修正.....	45
第五节 成型工艺.....	52
第六节 冲压设备.....	64
第三章 轴类零件加工	75
第一节 轴类零件车削加工的特点和技术要求.....	75
第二节 轴类零件车削加工使用的设备.....	76
第三节 纵切单轴自动车床的加工工艺方法.....	87
第四节 工艺调整卡片的设计及计算.....	98
第五节 自动车的刀具及夹具.....	121
第四章 齿轮加工	133
第一节 概述.....	133
第二节 齿轮加工方法及分析应用.....	135
第三节 手表齿轮加工设备和辅助装置.....	139
第四节 手表齿轮加工工艺.....	156
第五节 手表齿轮加工刀具设计.....	164
第五章 擒纵调速机构零部件的加工	177
第一节 擒纵调速机构的组成、作用与技术特点.....	177
第二节 擒纵轮零部件的加工.....	179
第三节 擒纵叉零部件的加工.....	215
第四节 摆轮零部件的加工.....	240
第六章 夹板加工	266
第一节 夹板加工的技术要求及材料.....	266
第二节 夹板平面加工.....	269
第三节 夹板孔加工.....	280

第四节	多工位铣床铣削加工	291
第五节	去除毛刺工艺	310
第六节	夹板带料加工及夹板预装配	318
第七节	夹板工艺程序的拟定	324
第七章	表壳加工	338
第一节	表壳材料及其加工特性	338
第二节	表壳加工典型工艺与设备	341
第三节	表壳冷挤压工艺	351
第八章	手表装配与调整	362
第一节	手表装配工艺	363
第二节	成品校验工艺	400
第三节	手表机构的摩擦、磨损和润滑	401
第九章	手表零件用材料及其热处理	406
第一节	摆轴用材料及其热处理	406
第二节	擒纵轮片材料及其热处理	412
第三节	主夹板材料及其热处理	415
第四节	摆轮材料及其热处理	419
第五节	游丝材料及其热处理	423
第六节	发条材料及其热处理	427
第十章	表面处理工艺	431
第一节	表面的预处理	431
第二节	金属覆盖层	438
第三节	手表元件的防油扩散处理	447
第四节	手表元件的自润滑处理	454

第一章 工艺规程设计的基本概念

第一节 概 述

一、生产过程

制造一种产品，如手表、闹钟或其它仪器时，将原材料加工成为成品的全部劳动过程称为生产过程。其中包括：1. 原材料的运输与保存；2. 毛坯制造；3. 零件加工；4. 装配；5. 检验及调试；6. 油封和包装等。

在社会主义社会，生产是有计划的和互相协作的。因此，一些产品的生产常常是由许多工厂联合完成的，如手表的游丝、宝石等元件是由专门工厂单独生产的。所以生产过程这个概念可以是整个产品的制造过程，也可以是某一部件或零件的制造过程。

二、工艺过程

工艺过程是指直接改变毛坯形状、尺寸和材料性能的那一部分生产过程。

在机械加工的工艺过程中，通常是用刀具切去一层金属而使毛坯改变其形状和尺寸的。

冲裁、弯曲、拉深等冷冲压加工工艺过程则是用压力改变毛坯的形状和尺寸，也就是无切屑加工。

进行热处理工艺过程，如表面渗碳、淬火、退火等，则使零件材料的物理性能和化学性能发生很大的变化。

在进行装配工艺过程时，使各零件按一定的技术要求装配成产品。

工艺过程，即由毛坯制成零件的途径是很多的，我们可以选择其中最合理的一个，将工艺过程的各项内容写成文件，就叫做工艺规程，如机械加工工艺规程、装配工艺规程等等。

三、工艺规程在生产中的作用

由于现代化生产的复杂性和专业化，生产过程必须由许多人相互配合的劳动才能完成。因此，为了使生产有组织、有计划地进行，必须制定合理的工艺规程。

工艺规程的作用有以下几点：

1. 工艺规程是指导生产的主要技术文件。因为工艺规程是根据现有科学技术水平和生产条件，在不断总结生产经验的基础上制定的。因此，只有按照工艺规程进行生产，才能把先进的科学技术和生产经验贯彻到生产中去，才能做到各工序紧密配合，保证质量，提高产量。

2. 工艺规程是生产组织和管理工作的依据。有了工艺规程，在新产品投入生产之

前, 就可以根据它进行生产前的一系列准备工作。例如准备加工零件的机床, 设计、制造专用的工、夹、量具等。其次, 工厂的计划和调度部门根据生产计划和工艺规程, 安排各零件的投料时间和数量, 调整设备负荷, 使各工作有节奏地进行生产。

3. 工艺规程是设计和扩建工厂的基础。根据工艺规程、生产规模及协作条件等, 才能确定所需机床设备的品种和数量、车间面积、生产工人的工种和数量等等。

四、工艺过程的组成

为了制定工艺规程或改进工艺规程, 必须先了解工艺过程的组成。工艺过程的基本组成是工序。

1. 工序。是一个工人在一个工作地点或一部机床上, 在一个 (或同时几个) 零件上连续完成的工作。例如图 1-1 所示的柄轴, 在大量生产时的工艺过程如下:

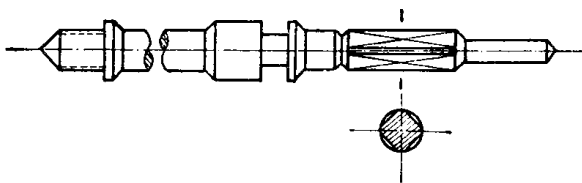


图 1-1 柄轴

例如如图 1-1 所示的柄轴, 在大量生产时的工艺过程如下:

- (1) 在自动车床上车削外圆、倒角、套丝、切断;
- (2) 在铣方机上铣方;
- (3) 淬火;

- (4) 回火;
- (5) 串光;
- (6) 电镀。

上述六个步骤就是六道工序。

2. 安装。在同一道工序中, 有时需要对零件进行多次装夹加工, 每装夹一次零件就叫一次安装。

3. 工位。在一次安装中也可以有几个不同的加工位置。例如, 图 1-1 所示的柄轴在铣方时, 当铣完一个平面以后, 将工件转 90° , 改变工件位置后再铣另外一个平面。所以工位是指一次安装后, 工件在机床上一定位置时所完成的工作。

4. 工步。也是工序的一部分, 即在工件的同一表面上, 切削工具及切削用量中的转数与进刀量均保持不变时所完成的加工工作称为工步。在自动车床上加工柄轴时, 弹簧夹头的放松、夹紧, 主轴头的前进与后退, 刀具的送进与后退等皆为该工序的工步。又如普通车床的方刀架或六角车床的转塔每转位一次的加工也叫作一个工步。

5. 走刀。当加工表面、刀具和切削用量中的转数与进刀量均保持不变, 但需经过几次重复切削才能完成加工, 而其中每次切削去一层金属的过程叫作一次走刀。例如, 有的外圆表面由于加工余量大, 必须分几次切削重复走刀, 才完成一个工步。

在制定工艺过程时, 常常按生产规模的大小将工艺过程分解到适当的详细程度。例如, 在单件或小批生产时, 由于加工的零件少, 没有必要将工艺过程分解过细。在这种情况下往往以工序为最小单元。但大量生产中, 有时连一些动作, 如预进、送进、停车、退刀等都要考虑进去。

五、生产类型

手表生产类型可分成三种。

1. 单件小批生产。这种生产类型，产品数量只有一批或几件。这种生产类型多属于试制。

由于单件生产的产量小，在设备上都采用万能机床、通用夹具及工具。机床排列采用“机群式”，即按机床的种类排列。在同一机床上加工多种零件，完成很多道工序，有效的切削加工时间少，因此劳动生产率比较低。

2. 成批生产。成批地生产产品称为成批生产（一般手表年产量在5万支左右即称为成批生产）。成批生产的特点是分期分批地投入和生产某一种产品，即每经过一定时期，生产可重复一次，在每一个工作地点上的工作都是有周期性的。成批生产所采用的设备和加工方法与批量有关。当产品种类多而批量不大时就接近单件生产，常使用万能机床和通用夹具。当产品种类少而批量大时，可采用专用机床和专用工夹具。

3. 大量生产。产品品种少而产量大的生产叫做大量生产（年产量在10万支以上称大量生产）。大量生产中大多数工作地点及工序内容经常固定不变。如许多手表生产的企业由于产量较大，品种单一而属于大量生产。大量生产所用的设备多是专用机床和专用工夹具，因此这就有条件广泛采用现代最先进的加工方法，以便降低成本，提高生产率和减轻工人劳动强度。在大量生产中机床可按工序的程序排列成流水线，这样可以缩短半成品在机床之间的运输路程，节省辅助时间。

第二节 制定工艺规程的原则和方法

一、制定工艺规程的原则

制定工艺规程的基本原则是保证生产的正常进行，不断提高产品的质量及产量，降低产品成本。

产品质量是由设计者根据产品的使用要求，考虑到制造的可能性和经济合理性制定出来的。对产品制造工艺来说，产品的质量取决于加工精度、表面质量及装配精度的高低。工艺人员的任务就是在保证产品质量，即保证规定的技术要求的条件下，最大限度地提高生产率和降低成本。

提高生产率和降低成本，二者是矛盾统一的关系。有时为了提高生产率采用了价格较高的设备，可能使产品成本提高，但由于生产率提高了，产品成本却下降了。因此我们在制定工艺规程的过程中要综合地进行调查，正确认识保证质量、提高生产率和降低成本三者之间的辩证关系，在实践的基础上制定出合理的工艺规程。

二、制定工艺规程的步骤和方法

制定零件的机械加工工艺规程，一般可按下述步骤进行：

1. 研究分析产品的装配图和零件图。首先要对产品的装配图进行分析，以熟悉该产品的用途、性能及工作条件，并明确要加工的零件在产品中的位置与作用。然后对零

件工作图进行分析和工艺审查，具体地应从以下几个方面考虑：

(1) 检查图纸的完整性，即是否有足够的投影和剖面（或剖视图），所有尺寸、技术要求是否标注齐全；

(2) 分析图纸上的尺寸公差，表面几何形状和相互位置的允差，以及表面光洁度等技术要求的合理性，找出其中最关键的要求，以便在拟定工艺路线时，选择适当的工艺方法，合理安排加工顺序；

(3) 审查零件结构的工艺性，即从工艺角度出发，分析零件结构的合理性。若零件的结构便于加工，则其加工工艺性好，反之则不好。

如果发现图纸在完整性、技术要求的合理性及零件结构的工艺性等方面有缺点或错误，工艺人员应当及时同设计人员共同研究，并按照规定的审批手续对图纸作必要的补充与修改。

2. 将零件分类分组及划分工段，并根据生产批量确定生产组织形式。对于同类同组或在同一工段加工的零件，可以先制定其中有代表性的零件的工艺过程，其它零件的工艺过程可能只需增减或更换个别工序，这样可以大大减少制定所有零件工艺过程的时间，这就是工艺过程的典型化。工艺过程的典型化还便于考虑机床和工艺装备的通用性，减少专用工艺装备的需要量，提高其利用率。

生产组织形式取决于生产类型。如果是大量生产并采用流水作业时，则应采用高效率的加工方法和机床，广泛应用专用的工艺装备。同时还要求严格地平衡各工序的加工

表 1-1 机械加工工序卡片

机械加工工序卡片		加工车间	自动车车间	工艺文件号	共 2 页															
		工序名称	自动车加工		第一页															
		零件名称	拉档轴	材料名称																
		件 号	SZ1-452	材料牌号																
		设备名称	纵切自动车床	主轴转数	4610 转/分															
		设备型号	C 6807	分配轴转数	转/分															
		工 艺 装 备	类 别	名 称		图 号														
			夹 具	中心夹头 φ1.3																
夹 具	弹簧夹头 φ1.3																			
刀 具	车刀一套 (7×7)																			
刀 具	车床刀 φ3																			
	凸 轮																			
检 验 要 求 及 方 法	φ0.6 ^{+0.008} _{-0.013}	卧式千分表	端面割刀毛刺	辅 助 材 料	<table border="1"> <thead> <tr> <th>名 称</th> <th>规 格</th> <th>编 制</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	名 称	规 格	编 制												
	名 称	规 格	编 制																	
φ0.9 ^{+0.017} _{-0.024}	同上	<0.06																		
0.62 ^{-0.04}	工具显微镜	质量标准 95%																		
2.30 ^{-0.04}	同上																			
0.30 ^{-0.02}	同上																			
					审 核															
					会 签															
					批 准															
					描 图															

时间，使之按规定的节奏进行生产。而在单件小批生产中则广泛采用万能机床和万能工艺装备，不需平衡各工序的时间，只需考虑各机床的负荷率。

3. 选择毛坯。

4. 工艺路线的拟定及基面的选择。工艺路线的拟定，包括考虑采用那些加工方法，加工顺序怎么排列，采用那些表面定位，怎样安装，采用什么机床及工、夹、量具等。

为了确定合理的工艺规程，最好拟定几个方案进行比较，必要时还要通过技术经济分析以确定最佳方案。

5. 确定工序间加工余量、工序间尺寸及其公差。

6. 确定切削过程中的各工艺参数。

7. 确定各工序的工时定额。

8. 填写工艺文件，其中有零件加工工艺路线表和工序卡片等，如表 1-1 及 1-2 所示。

表 1-2 零件加工工艺路线表

零件加工工艺路线表										工艺文件编号	共二页
											第二页
工序	工序名称	设 备	加工车间	备 注	工序	工序名称	设 备	加工车间	备 注		
1	自动车	C6807	自动								
2	清 洗		同上								
3	检 验		同上								
4	淬 火		热处理								
5	回 火		同上	HV640±30							
6	串 光		同上								
7	电 镀		理化	镀镍 1-24							

产品名称	型 号	材 料		名 称	易切钢棒	编 制		
零件名称	拉档轴	件 号	SZ 1-452	牌 号	φ1.3	审 核		
所属装配 件名称		件 号		规 格		会 签		
				消耗定额		批 准		
						描 图		

第三节 加工精度与表面质量

一、加工精度

加工精度就是制成的零件的形状和尺寸与图纸上所规定的相符合的程度，它们之间的差别越大，则说明加工精度越低。

零件实际尺寸和形状与图纸规定间的差别，即加工误差，是在零件制造过程中产生

的，而产生这些误差的原因，大致可有以下几个方面：

1. 方法误差。方法误差是由于所采用的近似的加工运动方式和刀具的几何形状与理论上所要求的有一定的差别而产生的。例如：用滚铣刀铣齿轮时，由于滚刀的切削刃是一条直线，而且切削刃数量有限所以铣出的齿形不是正确的渐开线，是一条由很多短线段组成的折线，如图 1-2 所示。

2. 机床夹具、刀具的几何偏差。在机械加工中机床的主要部件如床身、主轴、工作台等的制造误差和长期使用后因磨损而产生的几何偏差都可能影响到工件的加工精度。

例如，车床主轴的旋转中心线与车刀刀尖的移动轨迹，即使在一个平面内，但若不平行的时候，则将使零件产生锥度，如图 1-3 所示。

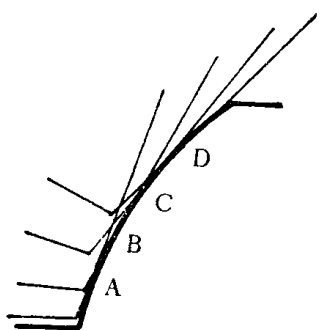


图 1-2 方法误差

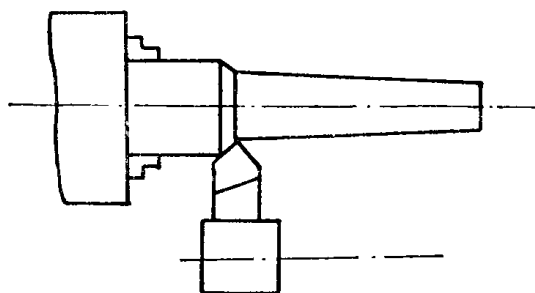


图 1-3 导轨与主轴中心不平行引起的误差

机床的几何偏差虽然随使用时间而增加，但增加的速度一般都很慢。所以在数量不大的一批零件的加工时间内，可认为这种偏差是定值，而在加工前对所用机床进行一次检查，即可预先估算出由此而引起的加工误差。

夹具是将零件夹紧并固定在机床上的工具，也可看作是机床的一个部分，因此由夹具的几何偏差引起的加工误差对一批零件来说也可以看作是不变的定值。

刀具的几何偏差与上述机床夹具的几何偏差不同，因为刀具除了有制造误差之外，在切削过程中磨损较快，由于磨损造成的偏差往往比制造误差大，而它是刀具的几何偏差中的主要部分。如在切削小轴时，每个零件加工的时间都很短，在这段时间内车刀的磨损量很小，所以产生的锥度可以忽略不计，但随着车刀的磨损，零件的直径将一个比一个大，这样就使在同一次调整中所得的零件尺寸将是不一致的。

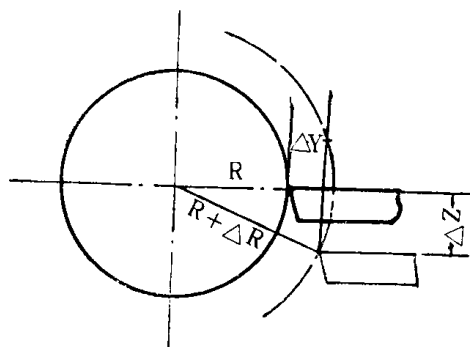


图 1-4 车刀偏离正确位置引起的误差

3. 机床、夹具、刀具及工件受外力影响而变形所引起误差。机床、夹具、刀具和工件都是受力后变形的弹性体。在加工过程中，切削力一方面作用在被切削的工件上，另一方面也反作用在刀具、夹具和机床上。凡是切削力所作用的部位都将产生一定的变形，它使切削刀具与加工表面偏离正确的位置，也就必然引起加工误差。

图 1-4 是在车床上加工圆柱体的情况。由

于切削力的作用，车刀从实线位置偏离到虚线位置，刀具与工件旋转中心线的距离从 R 变为 $R + \Delta R$ 。

由图 1-4 可得：

$$(R + \Delta R)^2 = (R + \Delta Y)^2 + \Delta Z^2$$

因为 ΔR 、 ΔY 、 ΔZ 都是很小的微量，所以展开后忽略其二次项 ΔR^2 、 ΔY^2 不计，再经化简则可得：

$$\Delta R \approx \Delta Y$$

4. 其它加工误差。除上述几种误差外，在加工中还可能存在下列几种误差：

(1) 机床、夹具、刀具及工件受温度影响而变形所产生的误差。在加工过程中机床运动部件的摩擦和切削作用都将产生很多热量使各部分的温度上升而膨胀。因为在开车一、二小时以后各部分的温度趋于稳定，这时再重新调正刀具的位置就可以避免温度变化而产生的加工误差。为了克服温度的影响，因此对精密机床有时采用膨胀系数很低的金属（例如铍钒钢）制造部件或在恒温条件下进行加工。

(2) 夹具的定位误差。即由于设计基面与安装基面不同而产生的误差，这将在本节后面加以说明。

(3) 量具的误差与测量误差。因为量具的制造误差与磨损，所用测量方法以及测量人员的技术水平等都会造成工件的测量误差。

二、加工误差的性质

如果对加工过程中所产生的各种加工误差作进一步研究，就会发现这些加工误差的性质都是不相同的：有些误差在一批工件上都一样；有些误差虽在一批零件中各不相同但有一定的变化规律，这些我们称之为系统误差。

例如，如果在钻孔时把钻头尺寸选大了 0.2 毫米，则所钻出的孔径都将比正确的孔径要大 0.2 毫米，这就是系统误差。再例如，随着车刀的磨损，车出的外圆直径就会增大，车出的内圆直径就会减小。由于车刀磨损而产生的误差具有一定的规律性，所以这种误差也是系统性误差。

偶然性误差是指对于一批零件中的各个零件都各有互不相同的误差，并且这种误差的产生没有明显的规律性。例如，在用同一钻头钻的几个孔眼都有互不相同的尺寸。造成这种现象的原因很多，而每种原因又都具有偶然的特性。

系统性误差主要用分析计算法来求得，而偶然性误差则需用统计法来确定。

统计法研究的不是个别的现象，而是许多现象的总和。统计法的研究过程可以分为两个阶段：第一阶段是汇集实验数据；第二阶段就是用数学统计法来整理、分析这些数据，以便找出误差的一般规律，而采取措施来减少和消除误差。

下面举一个例子来说明这一方法的应用。假设按一定的工艺规程制造的零件批量为 100 件。当我们在测量这批零件的尺寸 ($d = 10$ 毫米) 时就会发现，各个零件的这一尺寸各不相同。在所测得的零件尺寸中，最大的直径 $d_{\max} = 10^{+0.014} = 10.014$ 毫米。最小的直径 $d_{\min} = 10^{-0.012} = 9.988$ 毫米。

最大与最小直径之差叫做散布范围，其值等于 $\Delta = d_{\max} - d_{\min} = 10.14 - 9.988 =$

0.026 毫米。

我们可以将测得的所有零件的直径尺寸编成一个表格，并把散布范围分成若干相等的间隔（间隔为 2 微米），再将每一间隔内有多少只零件的数目分别记入表中（见表 1-3）。

在这批零件中，每一间隔范围内直径相同的零件数，叫做该间隔内零件分布的机率。

现作图加以说明。在横座标上注出偏差 δ_i ，在纵座标上注出机率 m_i ，见图 1-5。

表 1-3 一批零件的测量记录表

实际直径 (d_i) 的间隔 (毫米)		公称直径的偏差 $\delta = d_i - d$		机 率 m_i
自	至	自	至	
9.988	9.990	-12	-10	1
9.990	9.992	-10	-8	3
9.992	9.994	-8	-9	5
9.994	9.996	-6	-4	9
9.996	9.998	-4	-2	13
9.998	10.000	-2	-0	20
10.000	10.002	-0	+2	14
10.002	10.004	+2	+4	12
10.004	10.006	+4	+6	9
10.006	10.008	+6	+8	7
10.008	10.010	+8	+10	4
10.010	10.012	+10	+12	2
10.012	10.014	+12	+14	1
				$\Sigma m_i = 100$

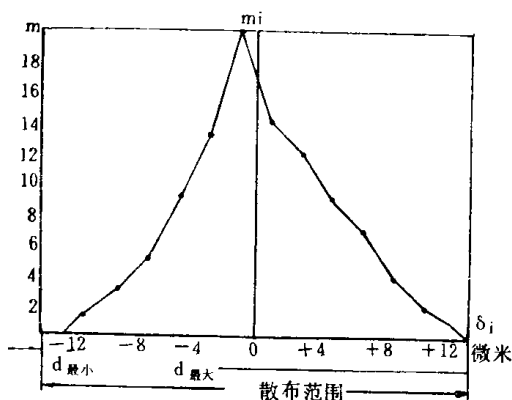


图 1-5 分布曲线

以实线连接各已知点，所得到的折线指出了这批零件的尺寸分布情况。这条曲线叫做实际分布曲线或分布折线。

若将测量零件和间隔数目无限地增多，间隔的范围即无限地缩小，于是分布折线逐渐变成一条匀滑的曲线，这条曲线叫做理论分布曲线。在分析这条理论分布曲线时可用下式表示：

$$y = \varphi(x)$$

式中 x ——偶然值的大小

$\varphi(x)$ ——连续分布曲线的纵坐标值

$\varphi(x)$ 取决于 x 的这一特性叫做分布律。

经过很多研究证明，在生产中，当采用自动操作设备时，一批零件尺寸误差的分布可以近似看作是按正态分布律分布。这一规律可用下列方程式表示：

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}$$

式中 y ——误差出现的或然率
 \bar{x} ——全部实际尺寸的算术平均值

即
$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

x_i ——零件的实际尺寸
 δ ——零件实际尺寸与算术平均尺寸的差值
 σ ——均方根偏差；可用下式求得

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

或者

$$\sigma = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \dots + \delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}}$$

正态分布曲线如图 1-6 所示。

该曲线的对称轴由 \bar{x} 来确定， \bar{x} 叫做偏差的聚集中心。

正态分布曲线的第二个特点是平均平方根偏差 σ 。平均平方根偏差 σ 越大，则所得的曲线越宽而且其斜度越缓；反之， σ 越小，则所得的曲线越窄而其斜度越陡。

为了便于比较起见，在图 1-7 中作出三条代表不同 σ 值的曲线。由图可见， σ 值小时，其偶然性误差也小，因而加工精度就高，这样 σ 值可以用作加工精度的标准。

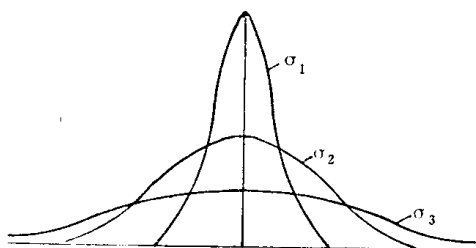


图 1-7 代表不同 σ 值的正态分布曲线

面积将占全部面积的 99.7%。

所以在实用上，正态分布曲线只限于 $\pm 3\sigma$ 范围内，这时的废品率将 $< 0.3\%$ ，见图 1-6。

平均平方根偏差值的精度取决于被测量零件的数目。

决定工艺过程精确性的基本条件是：散布范围不应超出公差范围界限。

若能达到这一条件，那么零件加工将在规定的公差范围内进行，这样才不致产生废

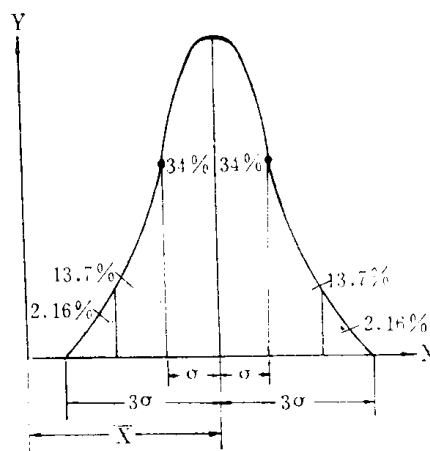


图 1-6 正态分布曲线

品，其条件是：

$$6\sigma < \delta$$

这一条件可用图 1-8 来表示。

总之，我们通过分布曲线，不仅可以掌握某种加工方法所产生的偶然性误差的分布范围，同时还可以知道在不同误差范围出现的零件数占全部零件数的百分比，即可以求出废品的可能性及其数量。另外，当废品不可避免时，可以通过调整刀具的位置使不可修废品变成可修废品。

例如，当孔的加工要求为 $\phi 10^{+0.01}$ 毫米，即

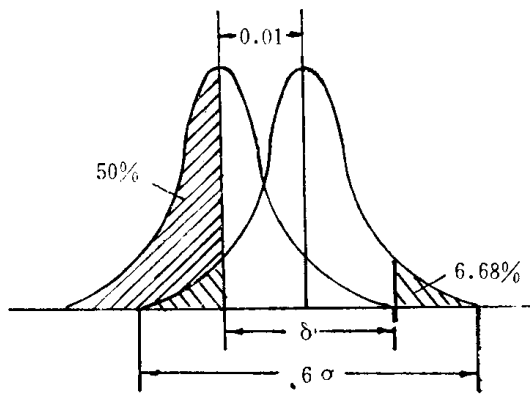


图 1-9 分布中心的调整

若想消除任何废品的产生，则只有采取加工精度更高的方法，即保证 $6\sigma \leq \delta$ 的加工方法。

表 1-4 列举各种加工误差的性质，最突出的情况以及消除的方法，可做为提高加工精度的参考。

三、表面质量

金属切削加工所获得的表面质量与所用的加工方法有关。金属表面经过加工后，上面留下了刀锋或磨轮颗粒的痕迹，这些痕迹表现为不同形状和不同大小的凹谷与凸峰，这就是微观几何形状误差，也叫做表面光洁度，如图 1-10 所示。

表面光洁度可以用如下两种参数之一来确定：

1. 微观不平度的平均平方根偏差 H_{jf} ，其计算公式为

$$H_{jf} = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L h^2 dL}$$

式中 L ——被测量的长度
 h ——各点至中线的距离

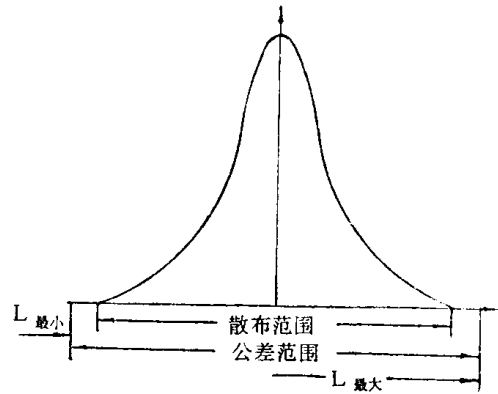


图 1-8 散布范围和公差范围

公差为 0.02 毫米，用钻孔方法加工后得出 $6\sigma = 0.04$ 毫米，由于 $6\sigma = 0.04$ 毫米 $> \delta = 0.02$ 毫米，必然要产生废品。

当尺寸分布中心调整到和公差带中心重合时，其过大、过小的废品率通过计算可知为 6.68%，孔过大的为废品，孔过小的为可修废品，见图 1-9。

当尺寸分布中心调整到比公差中心小 0.01 毫米时，就会只有过小的可修废品，其废品率由图可知为 50%。

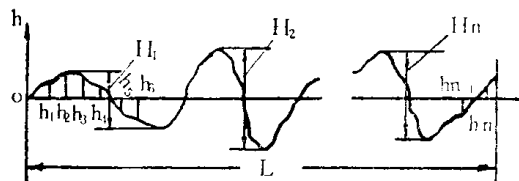


图 1-10 表面光洁度

表 1-4 误差来源及消除方法

误差来源		性质	最突出情况	减少或消除方法
方法误差		系统, 可计算, 少遇		改用其它方法减少送进量
机床	制造误差 磨损误差 弹性变形 温度变形	系统, 可补偿, 不可补偿 系统 (变化很慢) 系统及分散 (与加工余量有关) 分散, 较小	次机床加工精密零件 旧机床 大工件, 粗糙毛坯 螺丝磨床, 自动车床	改造或更换机床 检修, 调整 改进毛坯, 减少切削量 温度稳定后调整
	夹具	制造误差 安装误差 定位误差 磨损误差 弹性变形 温度变形	夹具质量差 夹具安装不准确 毛坯尺寸分散 夹具磨损过大 铣刀杆、镗刀杆	提高夹具精度 检查夹具安装位置 改变定位方式, 控制毛坯尺寸 经常检修, 换定位件 缩短悬伸部分, 增加刚度
刀具	制造误差 安装误差 磨损误差 弹性变形 温度变形	系统及分散 (不同刀具) 系统及分散 (不同安装) 分散 (变化系统) 较小 较小	成形刀, 多刃刀 成形刀, 多刃刀 成形刀, 多刃刀 长孔铰刀, 钻头	提高制造精度 注意安装精度 换刀, 重磨
	工件	弹性变形 内应力变形 温度变形	细弱工件 铸、锻、淬火薄弱件 薄弱件	加固, 减低切削量 消除内应力 冷却液

中线是指能使该线两侧的曲线所含的面积彼此相等的直线。

即
$$F_1 + F_2 + \dots + F_n = S_1 + S_2 + \dots + S_n$$

2. 微观不平度的平均高度偏差 H_{jg} , 其计算公式为

$$H_{jg} = \frac{1}{n} (H_1 + H_2 + \dots + H_n)$$

式中 H —— 微观不平度顶点到谷底的距离。

表面光洁度共分为 14 级, 以符号 $\nabla 1 \sim 14$ 表示。

产生表面微观不平度的原因有以下几个方面:

1. 刀锋运动的痕迹。用单刀刃(车刀、刨刀)加工时, 刀锋几何形状在加工表面上留下痕迹, 在垂直于切削运动的方向产生了不平度, 如图 1-11 所示。

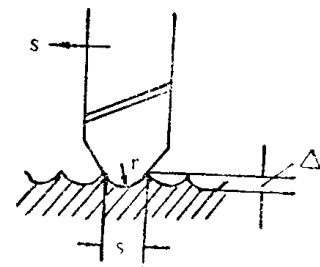


图 1-11 刀锋运动的痕迹

不平度高度 $h \approx \frac{S^2}{8r}$, 这里的 r 是刀尖曲率半径, S 是送进量。

磨削加工时, 在加工表面上形成磨削纹, 其粗细与砂轮磨料颗粒的大小成正比, 所以在精磨时必须用较细的磨料。

2. 机床、刀具、工件系统的振动, 使刀具与工件的相对位置产生周期的变动, 因而在工件表面上留下了不平度。频率低而振幅大的振动产生表面上的波度, 而频率高、振幅小的振动则产生表面粗糙度。产生振动的原因很多, 如传动齿轮精度低会使主轴颤振; 迴转件(工件、卡盘、铣刀)的不平衡; 加工表面的不连续 (如有槽) 或不均匀等。要针

表 1-5 钟表制造中的平均经济精度及表面光洁度

加工种类	平均经济精度 (毫米)	光洁度等级
车削——在纵切成形自动车床上		
1) 加工棒料 $d < 6$ (毫米)		$\nabla 7 \sim 10$
在直径上	0.005~0.010	
在长度上	0.010~0.020	
2) $d = 6 \sim 10$ (毫米)		
在直径上	0.010~0.020	
在长度上	0.020~0.030	
3) $d = 10 \sim 16$ (毫米)		
在直径上	0.015~0.025	
在长度上	0.030~0.050	
铣齿轮和齿轴		
模数 $m = 0.15$ (毫米)	0.010~0.025	$\nabla 8 \sim 9$
$m = 0.15 \sim 0.30$ (毫米)	0.015~0.035	
$m = 0.30 \sim 0.50$ (毫米)	0.030~0.050	$\nabla 7 \sim 8$
钻孔: $d < 1$ (毫米)	0.008~0.015	$\nabla 6 \sim 7$
$d = 1 \sim 3$ (毫米)	0.015~0.030	
铰孔: $d < 1$ (毫米)	0.005~0.010	$\nabla 9 \sim 10$
$d = 1 \sim 3$ (毫米)	0.008~0.015	
用冲孔定径孔眼直径在 3 毫米以下	0.005~0.010	$\nabla 9 \sim 10$
$d = 3 \sim 7$ (毫米)	0.010~0.020	
冲压		
冲裁:		
1) 坯料尺寸在 28 毫米以下, 厚度在 2 毫米以下	0.020~0.050	$\nabla 6$
2) 坯料尺寸大于 25 毫米, 厚度在 2 毫米以上	0.050~0.150	
修整:		
1) 坯料尺寸在 25 毫米以下, 厚度在 2 毫米以下	0.010~0.020	$\nabla 7 \sim 8$
2) 坯料尺寸大于 25 毫米, 厚度在 2 毫米以上	0.020~0.050	
冲裁并修整:		
1) 坯料尺寸在 25 毫米以下, 厚度在 2 毫米以下	0.015~0.030	
2) 坯料尺寸大于 25 毫米, 厚度在 2 毫米以上	0.030~0.100	
滚压与拉丝		
磨外圆:		
$d < 1$ (毫米)	0.010~0.015	$\nabla 8 \sim 9$
$d = 1 \sim 3$ (毫米)	0.015~0.020	
$d = 3 \sim 10$ (毫米)	0.020~0.025	
磨平面: (在厚度上)		$\nabla 8 \sim 9$
面积在 5 (毫米 ²) 以上	0.010~0.020	
面积 5~50 (毫米 ²)	0.020~0.030	
面积 > 50 (毫米 ²)	0.030~0.050	
抛光外圆:		
$d < 1$ (毫米)	0.005~0.010	$\nabla 11 \sim 12$
$d = 1 \sim 3$ (毫米)	0.010~0.015	
$d = 3 \sim 10$ (毫米)	0.015~0.030	
抛光平面: 面积在 5 (毫米 ²) 以下	0.020~0.030	$\nabla 12 \sim 13$
面积在 5~50 (毫米 ²)	0.030~0.050	