

机械加工
工艺师手册

单行本

主编 杨叔子
常务副主编 李斌 张福润

机械装配



本手册汇集了机械制造技术各个主要方面的内容,较全面地反映了现代先进制造技术的新进展,具有内容简明,叙述通俗,便于使用的特点,是一部具有很高使用价值的机械加工工艺师手册。

本手册为修订版。内容分为8篇,包括机械加工工艺基础、金属切削机床及工艺装备基础、切削加工、数控加工、特种加工、加工过程自动化、检测和机械装配等。

本手册可供广大从事机械制造的工程技术人员以及工科院校机械类专业的师生使用及参考。

本单行本主要包括机械装配工艺基础、装配作业、典型部件装配、自动装配等内容。

图书在版编目(CIP)数据

机械装配/杨叔子主编. —北京:机械工业出版社,2012.4

(机械加工工艺师手册:单行本)

ISBN 978-7-111-38029-0

I. ①机… II. ①杨… III. ①装配(机械)—工艺 IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第067674号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李万宇 责任编辑:李万宇 申伟

版式设计:霍永明 责任校对:任秀丽 姚培新

封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2012年5月第1版第1次印刷

169mm×239mm·9.25印张·222千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38029-0

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010)88379732

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面防伪标均为盗版

《机械加工工艺师手册》单行本

出版说明

《机械加工工艺师手册》第2版分为8篇51章，汇集了机械加工工艺各个方面的内容。第2版的出版和第1版相距9年，修订时在内容编排及体系结构上作了较大调整，充分反映了现代制造技术的新进展、采用了最新国家标准，适应我国机械加工工艺师技术水平的发展和工作要求。

《机械加工工艺师手册》第2版注重实用性、先进性、系统性，以工艺为基础，以工艺方法为主线，工艺数据和工艺方法紧密结合，具有“内容丰富实用、结构合理便查、技术先进翔实、标准全新适用”的突出特色，是机械加工工艺师必备的案头工具书。

《机械加工工艺师手册》第2版自2011年出版以来，受到了包括企业、科研院所，以及高校等专业读者的广泛欢迎。从读者的反馈来看，手册能为读者提供可靠数据、实用技术和先进资料，帮助读者解决工作中遇到的各种工艺问题。

在手册第2版的使用过程中，一些读者提出了手册较厚、使用不方便的问题，为此，我们针对手册的形式进行了调研，结果表明，单行本的模式得到了许多读者、作者的肯定和期待。为了满足机械加工工艺人员对某个专题工艺技术的需求，更加方便工艺人员查用，我们决定编辑出版《机械加工工艺师手册》有关篇的单行本。

从工艺工作的实际出发，考虑到一些工艺人员从事相对更具体、更独立的专业工艺工作，《机械加工工艺师手册》单行本包括：《金属切削机床及工艺装备基础》、《切削加工》、《数控加工》、《特种加工》、《机械装配》等，读者可根据需要灵活选购。

机械工业出版社

《机械加工工艺师手册》第2版前言

《机械加工工艺师手册》第1版于2001年出版至今已9年有余，按照机械工业出版社的意见，我们对第1版进行了修订。

本手册此次再版，秉承了第1版“简明、实用、先进”的原则。与第1版相比较，本次修订时重点作了如下几项工作：

1. 内容编排及体系结构上作了较大调整

为了方便读者使用，本手册修订时，将第1版第2篇 金属切削机床的部分内容、第3篇 机床夹具与刀具的部分内容，以及第4篇 切削加工合并成为一篇，并对每一种加工技术，都按照工艺方法—加工机床—切削刀具的顺序撰写。这样做不仅在内容及体系结构上更为合理，减少了许多不必要的重复，还有利于读者查阅。

为了适应数字制造技术的快速发展，将第1版分散在各篇的相关内容集中在一起，作为第4篇 数控加工编撰出，并增加了数控系统，数控加工机床的选型，数控机床的安装、调试及验收，以及数控机床维护维修等重要内容。

2. 充分反映现代制造技术的新进展

制造业信息化是世界制造业发展的大趋势。用信息化带动工业化，促进传统制造业结构调整和优化升级，是我国机械制造业应对经济全球化，提高整体素质和国际竞争力的迫切需要和必然选择。为反映制造业信息化的巨大成就，在第1篇中，我们新编写了第6章 信息技术在机械制造中的应用概述，简要介绍了制造业信息化技术的五个主要发展方向，即管理数字化、设计数字化、企业数字化、生产过程数字化以及制造装备数字化的主要内容与进展。

发展高速切削技术等新的切削技术，促进制造工艺的发展，是现代制造技术面临的新任务。目前，高速切削技术已广泛应于汽车制造、模具加工等领域，对提高产品加工质量、加工效率、降低加工成本效果十分显著。因此，我们在第3篇中新撰写了第13章 高速切削加工，较详细地介绍了高速切削技术的特点、机理及应用，高速加工机床的特征，高速切削用刀具材料及刀具结构，以及高速切削的安全性等诸方面内容，以满足读者在高速切削应用上的需求。

为了适应微电子技术的迅速发展和再制造技术愈来愈广泛的应用，我们在第5篇中增写了第8章 微细加工和第9章 表面工程技术等内容，较深入地介绍了光刻加工技术、光刻—电铸—模铸复合成形技术、微细电火花加工、封接技术、分子装配技术，以及表面化学热处理、表面热喷涂技术、热喷焊技术、堆焊技术、表面电镀技术和表面镀膜技术等的应用。

此外，我们还对若干章节内容进行了修改、补充，甚至重写。

3. 采用了最新国家标准

为适应制造业和制造技术的快速发展，并与国际接轨，推动中国制造业走向国门，近年来，有关部门相继对我国的许多国家标准和行业标准作了重大修改。本次手册修

订时，我们注意采用了这些新修订的国家标准，很好地适应这种形势的变化。

在手册编写出版过程中我们得到了机械工业出版社的大力支持，得到了华中科技大学机械学院及华中科技大学文华学院的大力支持，在此谨表诚挚谢意。我们更要衷心感谢李万宇副编审为手册的修订出版所付出的辛勤劳动！

由于编者水平有限，手册中一定存在许多不尽如人意的地方，甚至谬误。“夙其鸣矣，求其友声。”我们殷切希望同行专家和广大读者不吝赐教！

中国科学院 院士 杨叔子
华中科技大学 教授

2010年9月19日

《机械加工工艺师手册》第1版前言

鉴古知今，放眼人类历史，应该说，材料、能源、信息与制造是人类文明的四大支柱。

制造业是所有与制造有关的行业的总称，它是国民经济的支柱产业之一。制造技术是使原材料变成产品的技术，是国民经济与社会得以发展，也是制造业本身赖以生存的关键基础技术。没有制造业、没有制造技术的进步，就没有生产资料、生活资料、科技手段、军事装备等一切，也就没有它们的进步。统计资料表明，在美国，68%的财富来源于制造业，日本国民总产值的49%是由制造业提供的，中国的制造业在工业总产值中也占有40%的比例。可以说，没有发达的制造业就不可能有国家的真正繁荣和富强，而没有机械制造业，也就没有制造业。经济的竞争归根到底是制造技术与制造能力的竞争。改革开放20年来，我国机械制造业充分利用国内外两方面的技术资源，有计划地推进企业的技术改造，引导企业走依靠科技进步的道路，使制造技术、产品质量和水平及经济效益发生了显著变化，为繁荣国内市场，扩大出口创汇，推动国民经济发展作出了很大贡献。

为适应机械制造技术发展的需要，为进一步提高我国机械制造技术水平、加强我国机电产品在国际市场上的竞争能力尽一份绵薄之力，我们在机械工业出版社的大力支持下，编写出版了这本手册。

本手册汇集了机械制造技术各个方面的主要内容，具体包括机械加工工艺基础、金属切削机床、机床夹具与刀具、切削加工、特种加工、加工过程自动化、检测和装配等。全手册共8篇60章。

本手册的特点是以工艺为基础，以工艺方法为主线，工艺数据和工艺方法紧密结合；既论述大批大量生产中加工和装配的质量、效率及成本问题，也介绍多品种、小批量生产的工艺特点，强调生产的柔性化、集成化和可快速重组的观念；简明、实用，注意反映现代制造技术的新进展；采用最新国家标准。

本手册由中国科学院院士杨叔子教授任主编，张福润、常治斌、汤漾平、鲍剑斌、柯群、何兆太、杨曙年、严晓光任副主编。参加各篇(章)编审的人员及分工如下：

- | | | |
|-----|-----|---------------------|
| 第1篇 | 编写人 | 张福润 |
| | 审稿人 | 宾鸿赞 |
| 第2篇 | 编写人 | 常治斌、林军、黎新、毛履国 |
| | 审稿人 | 钟华珍 |
| 第3篇 | 编写人 | 汤漾平、李小平、叶仲新 |
| | 审稿人 | 张福润、钟华珍 |
| 第4篇 | 编写人 | 鲍剑斌、熊良山、张华书、张福润、汤漾平 |
| | 审稿人 | 黄奇葵、张福润、王延忠 |
| 第5篇 | 编写人 | 何兆太、王青云 |

- 审稿人 宾鸿赞、孙洪道
第6篇 编写人 柯群 王建军 王伯藤
审稿人 孙洪道
第7篇 编写人 杨曙年
审稿人 宾鸿赞、张福润
第8篇 编写人 严晓光
审稿人 张福润

由于编审人员较多，编者水平有限，手册中难免有不妥之处，我们热忱期望读者提出批评和建议，以期有助于编者水平的提高与手册质量的改进。

谨以此手册，献给新的世纪。

《机械加工工艺师手册》编写组
2000年11月18日

目 录

《机械加工工艺师手册》单行本出版说明
《机械加工工艺师手册》第2版前言
《机械加工工艺师手册》第1版前言

第8篇 机械装配

第1章 机械装配工艺基础

- 1.1 概述 8-3
 - 1.1.1 装配的概念 8-3
 - 1.1.2 机械产品的装配精度 8-3
 - 1.1.3 装配工作的基本内容 8-3
 - 1.1.4 装配的生产类型和组织形式 8-4
- 1.2 机械装配工艺的配合方法 8-5
 - 1.2.1 装配尺寸链及其建立 8-5
 - 1.2.2 装配工艺的配合方法及其选用 8-7
 - 1.2.3 装配尺寸链的解算示例 8-8
- 1.3 机械装配工艺规程的制订 8-11
 - 1.3.1 机械装配工艺规程 8-11
 - 1.3.2 装配结构工艺性 8-13
 - 1.3.3 制定装配工艺规程的方法和步骤 8-15

第2章 装配作业

- 2.1 清洗 8-18
 - 2.1.1 清洗液及其选择 8-18
 - 2.1.2 清洗方法及其应用 8-23
 - 2.1.3 清洗设备及其应用 8-25
 - 2.1.4 清洗质量 8-26
- 2.2 机械装配测量项目与环境条件 8-29
 - 2.2.1 机械装配中的主要测量项目及其测量方法 8-29
 - 2.2.2 装配及测量场所的环境条件 8-29
- 2.3 平衡 8-30

- 2.3.1 概述 8-30
- 2.3.2 平衡原理及实例 8-33
- 2.4 固定连接 8-36
 - 2.4.1 螺纹联接 8-36
 - 2.4.2 过盈连接 8-42
 - 2.4.3 键联接 8-46
 - 2.4.4 销联接 8-47
 - 2.4.5 铆接 8-47
 - 2.4.6 粘接 8-48

第3章 典型部件装配

- 3.1 带传动部件的装配 8-52
 - 3.1.1 带传动部件的装配技术要求 8-52
 - 3.1.2 带轮的装配 8-52
 - 3.1.3 传动带的安装与调整 8-52
- 3.2 链传动部件的装配 8-53
 - 3.2.1 链传动部件的装配技术要求 8-53
 - 3.2.2 链传动部件的装配 8-53
- 3.3 齿轮、蜗杆传动部件的装配 8-53
 - 3.3.1 齿轮、蜗杆传动部件装配的技术要求 8-53
 - 3.3.2 齿轮传动部件的装配 8-54
 - 3.3.3 圆柱蜗杆传动部件的装配 8-57
- 3.4 丝杠螺母副的装配 8-60
 - 3.4.1 丝杠螺母副配合间隙及预载荷的调整 8-60
 - 3.4.2 丝杠螺母副轴线的调整 8-62
 - 3.4.3 丝杠螺母副灵活度的调整 8-63
 - 3.4.4 丝杠螺母副定位精度的调整 8-63
- 3.5 联轴器、离合器和制动器的装配 8-64

3.5.1 联轴器的装配	8-64	4.1.2 定向装置	8-93
3.5.2 离合器的装配	8-66	4.1.3 输送及擒纵装置	8-97
3.5.3 制动器的装配	8-67	4.1.4 传送机构	8-99
3.6 液压系统的装配	8-67	4.1.5 装配工作头	8-102
3.6.1 液压系统装配的技术要求	8-67	4.1.6 检测装置	8-107
3.6.2 液压油的污染度标准及选用	8-67	4.1.7 装配机器人	8-109
3.6.3 常用液压装置的安装	8-69	4.2 自动装配工艺过程与规程	8-111
3.7 密封件的装配	8-70	4.2.1 自动装配工艺过程的组成	8-111
3.7.1 密封件的装配技术要求	8-70	4.2.2 自动装配条件下的结构 工艺性	8-113
3.7.2 常用密封方法及其特征	8-70	4.2.3 拟订自动装配工艺规程的 一般要求	8-115
3.7.3 常用密封件的装配要点	8-70	4.3 装配机、装配线及其设计	8-115
3.8 支承件的装配	8-76	4.3.1 自动装配系统设计基础	8-115
3.8.1 滑动轴承的装配	8-76	4.3.2 自动装配系统的分类和 选型	8-116
3.8.2 滚动轴承的装配	8-78	4.3.3 自动装配系统的设计	8-117
3.8.3 直线滚动导轨副的装配	8-85	参考文献	参-130
第4章 自动装配			
4.1 自动装配装置	8-89		
4.1.1 自动供料装置	8-89		

第8篇 机械装配

主编 严晓光(华中科技大学)

编写人 严晓光

第1章 机械装配工艺基础

1.1 概述

1.1.1 装配的概念

机械产品一般都是由许多零件和部件组成的。按照规定的技术要求,将若干个零件组合成组成、部件或将若干个零件和组件、部件组成产品的过程,称为装配。

机械装配是整个机械制造过程中的最后一个阶段,在制造过程中占有非常重要的地位。机械产品的质量最终由装配工作保证。零件质量是机械产品质量的基础;但装配过程并不是将合格零件简单地组合起来的过程。即使有高质量的零件,低质量的装配也可能装出低质量的产品;高质量的装配则可以在经济精度零件、部件的基础上,装配出高质量的产品。

近年来,由于在毛坯制造和机械加工等方面的机械化、自动化程度提高较快,装配工作量在制造过程中所占的比重有扩大的趋势。因此,必须提高装配工作的技术水平和劳动生产率,才能适应整个机械工业的发展趋势。

对于结构比较复杂的产品,为了保证装配质量和装配效率,需要根据产品的结构特点,从装配工艺角度将产品分解为可以单独进行装配的装配单元。

零件是组成机械产品的最基本的单元,零件一般装配成合件、组件或部件后再装配到机器上。

合件也称为套件,是由若干个零件永久连接而成或连接后再经加工而成。组件是若干个零件和合件的组合。部件则是若干个零件、合件、组件的组合,部件在机器中能完成一定的、完整的功用。

1.1.2 机械产品的装配精度

机械产品的装配精度就是产品装配时应达到的技术要求,主要可以分为几何参数和物理参数两大类。

1. 几何方面的精度要求

几何方面的精度要求包括间隙、配合性质、

相互位置精度和相对运动精度、接触质量等等。

间隙和配合性质可以统一为尺寸精度要求,指相关零、部件之间的尺寸距离精度。

装配中的相互位置精度包括相关零、部件之间的平行度、垂直度、同轴度及各种跳动等等。相对运动精度指产品中有相对运动的零、部件之间在相对运动方向和相对速度方向的精度。运动方向精度多表现为零、部件之间相对运动的平行度和垂直度;相对速度精度也称为传动精度,即要求零、部件之间相对运动时必须保持一定精确程度的传动比。零、部件的直线运动精度或圆周运动精度是相对运动精度的基础。

接触精度指接触表面之间的实际接触面积的大小和分布情况。

2. 物理方面的精度要求

物理方面的精度要求内容很多,如转速、重量、紧固力、静平衡、动平衡、密封性、摩擦性、振动、噪声、温升等等,依具体机器的品种类型和用途,所要求的内容各不相同。

1.1.3 装配工作的基本内容

装配工作应该由一系列装配工序以理想的作业顺序来完成。常见的基本装配作业有以下内容:

1. 清洗

清洗的目的是去除零、部件表面或内部的油污和机械杂质。常见的基本清洗方法有擦洗、浸洗、喷洗和超声波清洗等等。清洗工艺的要素是清洗液类型(常用的有煤油、汽油、碱液及各种化学清洗液),工艺参数(如温度、压力、时间)以及清洗方法。清洗工艺方法的选择要根据工件的清洗要求、工件材料、批量、油污和机械杂质的性质及粘附情况等因素来确定。此外,工件经清洗后应具有一定的中间防锈能力。

清洗工作对保证和提高机器的装配质量、延长产品的使用寿命具有重要的意义,特别是对轴承、密封件、精密偶件、润滑系统等机器的关键部件尤为重要。

2. 连接

装配过程中有大量的连接工作。连接方式一般可以分为可拆卸连接和不可拆卸连接两种。

可拆卸连接在拆卸相互连接的零、部件时不损坏任何零件,拆卸后还可以重新连接。常见的可拆卸连接有螺纹联接、键联接及销钉联接,其中以螺纹联接应用最为广泛。螺纹联接的质量与装配工艺有很大关系,应根据被连接零、部件的形状和螺栓的分布、受力情况,合理确定各螺栓的紧固力,多个螺栓间的紧固顺序和紧固力的均衡等要求。

不可拆卸连接在被连接零、部件的使用过程中是不拆卸的,如要拆卸则往往会损坏某些零件。常见的不可拆卸连接有焊接、铆接和过盈连接等等,其中过盈连接多用于轴、孔配合。实现过盈连接常用压入配合、热胀配合和冷缩配合等方法。一般机器可以用压入配合法,重要或精密的机器可以用热胀、冷缩配合法。

3. 校正、调整和配作

校正指相关零、部件之间相互位置的找正、找平作业,一般用在大型机械的基体件的装配和总装配中。常用的校正方法有平尺校正、角尺校正、水平仪校正、拉钢丝校正、光学校正及激光校正等等。

调整指相关零、部件之间相互位置的调节作业。调整可以配合校正作业保证零、部件的相对位置精度,还可以调节运动副内的间隙,保证运动精度。

配作指配钻、配铰、配刮和配磨等作业,是装配过程中附加的一些钳工和机械加工工作。配刮是关于零、部件表面的钳工作业,多用于运动副配合表面的精加工。配钻和配铰多用于固定连接。只有在经过认真地校正、调整,确保有关零、部件的准确几何关系之后,才能进行配作。

4. 平衡

旋转体的平衡是装配精度中的一项重要要求,尤其是对于转速较高、运转平稳要求较高的机器,对其中的回转零、部件的平衡要求更为严

格。有些机器需要在产品总装后在工作转速下进行整机平衡。

平衡方法可以分为静平衡法和动平衡法。静平衡法可以消除静力不平衡;动平衡法除消除静力不平衡外还可以消除力偶不平衡。一般的旋转体可以作为刚体进行平衡,其中直径较大、宽度较小者可以只作静平衡。对长径比较大的零、部件需要作动平衡,其中工作转速为一阶临界转速的 75% 以上的旋转体,应作为挠性旋转体进行动平衡。

对旋转体的不平衡质量可以用补焊、铆接、胶接或螺纹联接等方法来加配质量;用钻、铣、磨、锉、刮等手段来去除质量;还可以在预制的平衡槽内改变平衡块的位置和数量。

5. 验收试验

在组件、部件及总装过程中,在重要工序的前后往往需要进行中间检验。总装完毕后,应根据要求的技术标准和规定,对产品进行全面的检验和试验。

各类机械产品检验、试验的内容、方法不尽相同。金属切削机床的验收工作通常包括机床几何精度检验、空运转试验、负荷试验、工作精度检验及噪声和温升检验等等。汽车发动机的检验内容一般包括重要的配合间隙、零件之间的位置精度和结合状况检验等等。大型动力机械的总装工作一般在专门的试车台架上进行,有详尽的试车规程。

除上述内容外,油漆、包装也属于装配作业范畴,零、部件的转移往往是装配中必不可少的辅助工作。

1.1.4 装配的生产类型和组织形式

与机械加工相似,机械装配的生产类型也可以按装配工作的生产批量划分为大批大量生产、成批生产和单件小批生产等类型。装配工作的工艺特点,如组织形式、保证配合精度的方法、工艺装备、手工操作等方面都受生产类型支配。

各种生产类型装配工作的工艺特点见表 8.1-1。

表 8.1-1 各种生产类型装配工作的工艺特点

装配工艺类型	大批大量生产	成批生产	单件小批生产
装配基本特征	产品固定,生产活动长期重复,有严格的生产节拍	产品分批交替投产,生产活动在一定时期内重复	产品经常变换,生产活动的重复性难以预计

(续)

装配工艺类型	大批大量生产	成批生产	单件小批生产
应用实例	汽车, 滚动轴承等	普通机床, 机车等	重型机床, 专用机械等
生产组织方式	多用按产品专用的自动装配线及流水线装配, 还可以采用自动装配机装配	批量较小时多用固定流水装配, 批量较大时用流水装配线, 多品种平行投产时用变节奏流水装配	多用固定装配或固定式流水装配
装配工艺方法	优先选择完全互换法, 组成环较多时可以用不完全互换法, 封闭环精度很高、组成环数少时可以用分组选配法	主要采用互换法, 但可以灵活运用调整法、修配法、合并加工法等其他方法	以修配法和调整法为主, 互换法比例较小
工艺过程、文件	仔细划分工艺过程, 严格规定工时定额和生产节拍, 编制详尽的装配工艺过程卡片、工序卡片、调整卡片	尽量使生产均衡, 工艺过程的划分与具体的生产批量有关, 编制详尽的装配工艺过程卡片、及关键工序的工序, 调整卡片	工艺可以灵活掌握, 工序可以适当调度, 一般不制定详细的工艺文件
工艺装备	多用专用、高效的装配设备及工具, 现代装配工作中已大量使用机器人和机器人手	通用设备较多, 也采用一定数量的专用工、夹、量具	一般用通用设备和通用工、夹、量具
工人操作要求	修配、调整等手工操作比重很小, 对装配操作工人的技术要求不高	手工操作比重较大, 对装配操作工人的技术水平要求较高	手工操作比重大, 要求操作工人技术水平高, 有多方面的工艺知识和能力
发展趋势	用自动化流水线、机器人装配	采用成组工艺, 用柔性自动装配线、机器人装配	采用成组工艺, 用机械化、自动化的修磨、测试工具及固定式流水装配

装配工作的组织形式一般可以分为固定式装配和移动式装配两种。

固定式装配是将产品或部件的全部装配工作安排在一个固定的工作场地进行, 装配过程中产品的位置不变, 所需要的零、部件都汇集到工作场地附近。在单件小批生产中, 特别是那些因为尺寸和重量较大, 不便移动的重型机械, 或因机体刚度较差, 移动时会影响装配精度的产品, 都宜于采用固定式装配。

移动式装配是将产品或部件置于装配线上, 通过连续的或间歇的移动使其顺次经过各装配工作地以完成全部工作。采用移动式装配时, 装配过程划分较细, 每个工作场地重复地完成固定的

工序, 广泛采用专用的设备和工具, 生产率高。移动式装配多用于大批量生产, 对于批量很大的定型产品还可以采用自动装配线进行装配。

1.2 机械装配工艺的配合方法

1.2.1 装配尺寸链及其建立

产品或部件的装配精度不仅与有关零件的加工精度有密切关系, 而且经常需要依靠合理的装配工艺方法来保证。

1. 装配尺寸链的基本概念

装配尺寸链是产品或部件在装配过程中, 由对某项精度指标有关的零、部件尺寸或相互位置关系组成的尺寸链。装配尺寸链的基本特征仍然

是尺寸关系或相互位置关系的封闭性，遵循尺寸链的基本规律。

在机械装配中的角度尺寸链，一般是由平行度和垂直度等角度位置尺寸组成的尺寸链，涉及的是相互位置精度问题。这种尺寸链的一个重要特点是组成环的基本尺寸可以为零。

应用装配尺寸链确定保证装配精度的工艺方法时，第一步是建立装配尺寸链，先正确地确定封闭环，再根据封闭环查明组成环，对复杂的装配尺寸关系，常需要对组成环进行简化处理；第二步是确定达到装配精度的工艺方法，也称为解装配尺寸链的方法；第三步是确定经济的，至少是工艺上可以实现的零件加工公差。第二步和第三步往往需要交替进行，可以合称为装配尺寸链的解算。

2. 装配尺寸链的建立

装配尺寸链的封闭环是间接得到的产品或部件的装配精度要求，组成环是那些对封闭环有直接影响的尺寸或角度。查找组成环的一般方法是：取封闭环两端的两个零件为端点，沿着装配精度要求的位置、方向，以相邻零件装配基准之间的联系为线索，分别由近及远地去查找装配关系中影响装配精度的有关零件，直至找到同一个基准零件或同一个基准表面。这一方法与查找工艺尺寸链组成环的追踪法在实质上是—致的。

例如，要查明图 8.1-1 所示车床精度标准中主轴锥孔轴线与尾座顶尖套轴线对床身导轨的等高度的装配尺寸链。

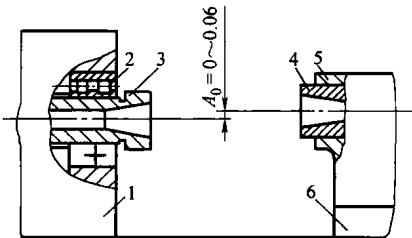


图 8.1-1 影响车床主轴锥孔轴线与尾座顶尖套锥孔轴线对床身导轨等高度装配关系

- 1—床头箱 2—轴承 3—主轴
- 4—尾座顶尖套 5—尾座 6—尾座底板

如果仔细查找，可以得到如图 8.1-2 所示的以前、后顶尖高度差为封闭环的装配尺寸链，相关零件有图中的床头箱、轴承、箱体、尾座顶尖

套、尾座、尾座底板及图中未示出的前、后顶尖和床身等。

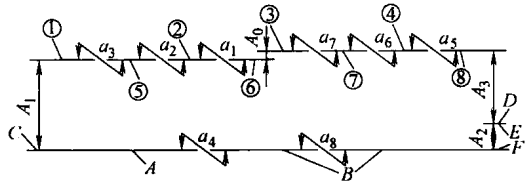


图 8.1-2 兼有尺寸误差、形位误差及配合间隙的装配尺寸链

- A—安装主轴箱的床身平面 B—安装尾座底板的床身导轨面 C—主轴箱底面 D—尾座底面
- E—尾座底板顶面 F—尾座底板底面

- ①—主轴箱主轴孔轴线 ②—主轴前锥孔轴线、前顶尖后锥轴线 ③—后顶尖前锥轴线 ④—尾座套筒外圆轴线 ⑤—主轴轴颈轴线、轴承内环轴线 ⑥—后顶尖前锥轴线 ⑦—后顶尖后锥轴线、尾座套筒轴线 ⑧—尾座孔轴线

图中所示的各组成环可以分为三类。第一类是尺寸，如 A_1 、 A_2 和 A_3 ；第二类是形位误差，如 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_6 、 a_7 ，它们分别表示前顶尖的前锥对其后锥、主轴前锥孔对其主轴颈、轴承内环孔对其外环外圆、尾座套筒前锥孔对其外圆、后顶尖的前锥对其后锥的各同轴度， a_4 表示床身上安装主轴箱的平面和安装尾座底板的导轨面之间的等高度， a_8 表示安装尾座底板的导轨面的直线度；第三类是间隙，如 a_5 表示尾座体孔和尾座套筒的配合间隙。由此可见，组成环不一定都在相关单个零件上，有间隙配合的零件之间的间隙也是组成环。

3. 装配尺寸链的简化

前述关于图 8.1-2 的装配尺寸链十分繁杂。在保证装配精度的前提下，装配尺寸链的组成环可以适当简化。

简化方法之一是忽略一些相对较小的误差。例如将图 8.1-2 简化为图 8.1-3 所示的，包括 A_1 、 A_2 、 A_3 及 e_1 、 e_2 、 e_3 等组成环的装配尺寸链。

简化方法之二是将某些组成环合并。由于形位公差和配合间隙的基本尺寸通常为零，故可以将它们合并相关的第—类组成环中；不改变第—类组成环的基本尺寸，但放大其公差带宽度。这时组成环的公差不仅是尺寸公差。

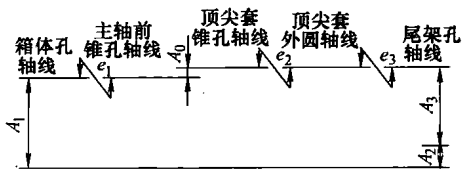


图 8.1-3 车床主轴锥孔轴线与尾架顶尖套锥孔轴线对床身导轨的等高度尺寸链

e_1 —滚柱轴承外环内滚道与外圆的同轴度

e_2 —顶尖套锥孔对外圆的同轴度

e_3 —由于顶尖套与尾座孔的配合间隙引起的偏移量

A_1 —床头箱主轴孔轴线到底面的距离尺寸 A_2 —尾

座底板厚度 A_3 —尾座孔轴线到底面的距离尺寸

此外，在作以上分析时，都假定各轴线是平行的，实际上总会有平行度误差。平行度误差也

会影响到尺寸误差，而且某一方向的误差会影响到另一方向的误差。当有关平行度误差对封闭环误差的影响较大时，有时需要在装配尺寸链中加上一个由平行度误差折算而来的组成环。

装配尺寸链的建立和简化工作有时需要反复进行。在装配尺寸链图上表示出的尺寸和公差应该是有关零件的尺寸和各类公差的综合。有关形位公差的简化及折算工作往往需要结合工艺试验来完成。

1.2.2 装配工艺的配合方法及其选用

装配尺寸链的解算方法与装配时所采用的工艺配合方法密切相关。装配工艺配合方法可以分为五种：完全互换法、不完全互换法、选择装配法、调整法和修配法。各种装配工艺配合方法的特点和应用见表 8.1-2。

表 8.1-2 装配工艺配合方法

工艺配合方法	工艺内容和特点	适用范围	注意事项
完全互换法	组成环公差之和小于或等于封闭环公差；装配操作简单，生产率高，能保证严格的生产节拍	大批量，高精度少环尺寸链或较低精度的多环尺寸链；如汽车、拖拉机中的一些部件的装配	组成环公差可能过于严格，使零件加工产生困难
不完全互换法	组成环公差之平方和的平方根小于或等于封闭环公差；具有完全互换法的主要优点，但可能有少量的超差产品	大批量、高精度多环尺寸链；如汽车、拖拉机中的另外一些部件的装配	注意检查，采取适当的措施消除超差产品
选择装配法	组成环公差按分组数放大相同的倍数；降低了零件加工难度，增加了零件的测量、分组及相应的管理工作	大批大量，精度很高且组成环数很少的尺寸链；如滚动轴承、内燃机活塞与活塞销的装配	加强分组的管理，一般分为 2~4 组 可以用于质量等非几何参数的分组
调整法	零件按经济加工精度加工，通过改变某个组成环的位置或更换相应零件保证装配精度	因批量或结构而不宜采用互换法的高精度多环尺寸链；如调整各种机械结构中的间隙	注意可动调整的防松措施和固定调整的结构刚性
修配法	零件按经济加工精度加工，通过改变某个组成环的尺寸保证装配精度	批量不大，且因组成环的尺寸都较大而不宜采用互换法和调整法的高精度多环尺寸链；如修配尾座底板以保证前、后顶尖的等高度	尽量采用精密加工方法代替手工修配作业

除完全互换法外的其他配合方法都是用增加装配工作的难度来换取减少加工工作的难度。选

择保证装配精度的工艺配合方法需要全面地考虑加工与装配两方面的要求，即需要将加工工艺与

装配工艺作为整体来衡量工艺方案的优劣。

一般说来,在选择保证装配精度的工艺配合方法时,应优先考虑完全互换法;组成环较多时可以考虑不完全互换法;批量很大、精度很高、组成环很少时可以考虑选择装配法;只有在这些配合方法难以保证装配精度,或很不经济时才考虑其他装配工艺配合方法。在调整法和修配法中,优先考虑调整法,在有关零件的尺寸都较大、价值较高时采用修配法。

1.2.3 装配尺寸链的解算示例

1. 直线装配尺寸链

(1) 完全互换法 采用完全互换法时,装配尺寸链采用极值法公式计算,封闭环公差 T_0 与各组成环公差 T_i 的关系满足 $T_0 \geq \sum_{i=1}^n T_i$, 其中 n 为组成环个数。完全互换法的尺寸链解算方法与工艺尺寸链完全一致,核心问题是将封闭环公差合理地分配给各组成环。

如图 8.1-4 所示的齿轮与轴的轴向装配关系简图,装配后要求保证齿轮与垫圈之间的轴向间隙 A_0 为 0.10 ~ 0.35mm。各组成环的公称尺寸为: $A_1 = 30\text{mm}$, $A_2 = 5\text{mm}$, $A_3 = 43\text{mm}$, $A_4 = 3_{-0.05}^0\text{mm}$ (标准件), $A_5 = 5\text{mm}$ 。

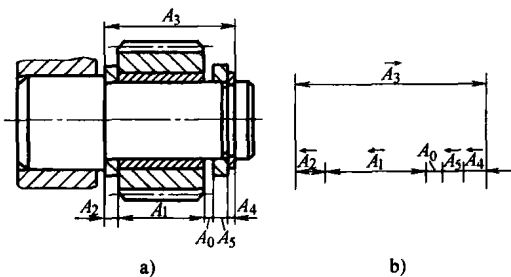


图 8.1-4 齿轮与轴的装配关系

首先建立装配尺寸链方程,对此简单结构可以直接得到:

$$A_0 = A_3 - A_1 - A_2 - A_4 - A_5$$

封闭环的公称尺寸为零,即 $A_0 = 0_{+0.35}^{-0.1}$, 先将各组成环的公称尺寸代入尺寸链方程验算,确认各组成环公称尺寸的已定数值无误。

将封闭环公差分配给各组成环的结果不是唯一的,实用中一般是以平均公差为参考,再根据各组成环的基本尺寸大小、加工难易程度和测量方法等因素作适当调整。

由于该尺寸链中有一个标准件 A_4 , 其公差已经确定,分配公差时可以从封闭环公差中扣除标准件的公差,同时从组成环个数中扣除标准件的个数。各组成环的平均公差 T_m (mm) 为

$$T_m = \frac{T_0 - T_4}{n-1} = 0.05$$

调整确定 $T_1 = 0.06\text{mm}$, $T_2 = 0.04\text{mm}$, $T_3 = 0.07\text{mm}$, $T_5 = 0.03\text{mm}$ 。

在确定各环的公差带位置时,一般对于属于外尺寸的组成环按基轴制,对于属于内尺寸的组成环按基孔制,孔中心距按对称分布决定其极限偏差。不过需要留一个组成环,其极限偏差要在其他各组成环的极限偏差确定后由计算得到。该组成环称为协调环。此处 A_5 为垫圈,容易加工,且其他尺寸都便于用通用量具测量,故选 A_5 为协调环。由此确定除协调环外各环的极限偏差为 $A_1 = 30_{-0.06}^0\text{mm}$, $A_2 = 5_{-0.04}^0\text{mm}$, $A_3 = 43_{+0.07}^0\text{mm}$, 已知 $A_4 = 3_{-0.05}^0\text{mm}$

最后计算确定协调环为 $A_5 = 5_{-0.03}^0\text{mm}$ 。

(2) 不完全互换法 采用不完全互换法时,装配尺寸链采用概率法公式计算。当各组成环尺寸服从正态分布时,封闭环公差 T_0 与各组成环公差 T_i 的关系满足 $T_0 \geq \sqrt{\sum_{i=1}^n T_i^2}$ 。若各组成环尺寸不服从正态分布,则取封闭环公差 T_0 与各组成环公差 T_i 的关系满足 $T_0 \geq k \sqrt{\sum_{i=1}^n T_i^2}$, k 依具体分布而定,一般可以取 $k = 1.2 \sim 1.6$ 。

仍然以图 8.1-4 所示的装配关系简图和基本尺寸、装配精度要求为例,设各组成环尺寸服从正态分布。

对于其中有一个标准件 A_4 的尺寸链,取各组成环的平均公差 T_m (mm) 为

$$T_m = \sqrt{\frac{T_0^2 - T_4^2}{n-1}} = 0.12$$

调整确定 $T_1 = 0.14\text{mm}$, $T_2 = 0.08\text{mm}$, $T_3 = 0.16\text{mm}$, $T_5 = 0.08\text{mm}$ 。验算 $\sqrt{\sum_{i=1}^n T_i^2} = 0.246 < 0.25$, 可以满足要求。

仍然选 A_5 为协调环,确定除协调环外各环的极限偏差为

$$A_1 = 30_{-0.14}^0\text{mm}, A_2 = 5_{-0.08}^0\text{mm}, A_3 = 43_{+0.16}^0\text{mm},$$