

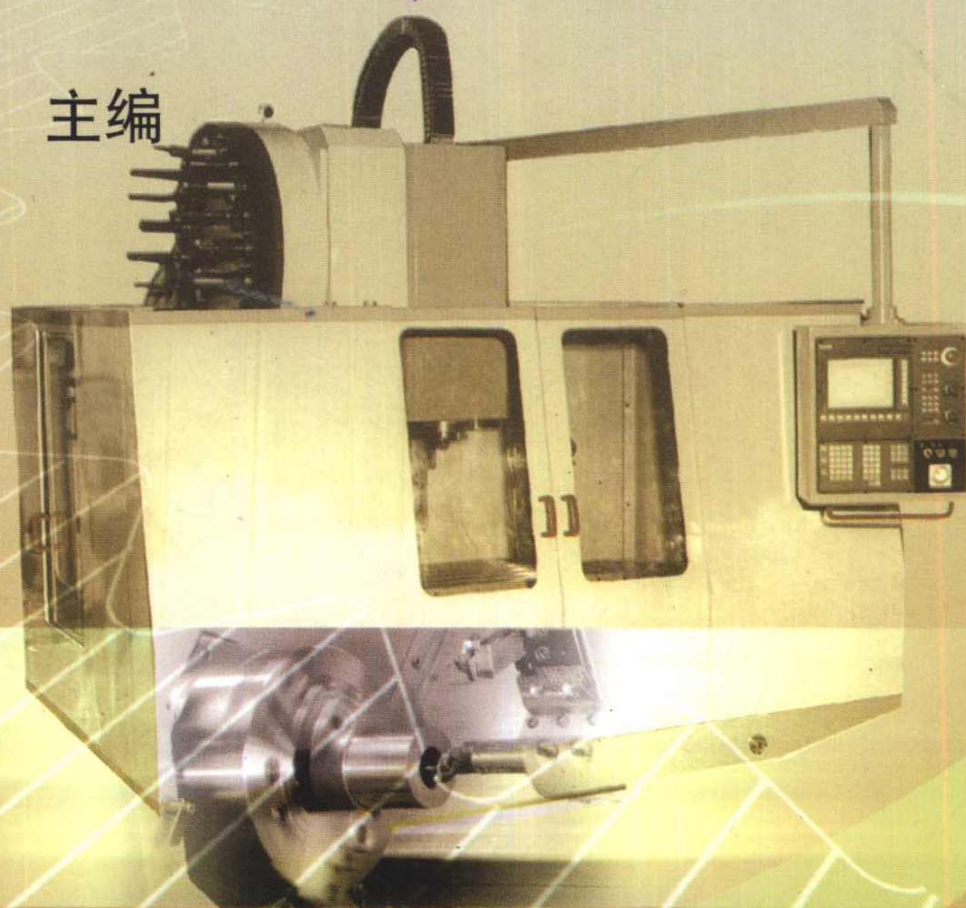


中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

数控机床加工技术

(机械加工技术专业)

翟肖墨 主编



59-43



机械工业出版社



520

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

数控机床加工技术

(机械加工技术专业)

主	编	翟肖墨	
参	编	关颖	刘向红
责任主审	罗圣国		
审	稿	李晶	程国全



机械工业出版社

《数控机床加工技术》是面向 21 世纪中等职业教育国家规划教材。全书共分六章，主要介绍数控机床基本知识、数控加工工艺、数控车床及编程、数控铣床及编程、CAM 软件应用、数控机床的应用和维护等内容。其中有关制造工程师（ME2000）和 MASTER CAM 8.0 软件的内容具有鲜明的时代特征。

本书内容由浅入深、详略得当，注重先进性和实用性，适合中等职业学校机械类各专业使用，也可用作技工学校和职业高中机械加工专业教材，同时可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

数控机床加工技术/翟肖墨主编. —北京：机械工业出版社，2002.6
中等职业教育国家规划教材. 机械加工技术专业
ISBN 7-111-10408-0

I. 数... II. 翟... III. 数控机床 - 加工 - 专业学校 - 教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 037907 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
责任编辑：郑 丹 版式设计：张世琴 责任校对：李秋荣
封面设计：姚 毅 责任印制：路 琳
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·10.75 印张·264 千字
0 001—3 000 册
定价：13.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68993821、68326677-2527
封面无防伪标均为盗版

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

前 言

《数控机床加工技术》是根据 2000 年 12 月教育部颁发的中等职业学校机械加工技术专业（3 年制）《数控机床加工技术课程教学大纲》（68 学时）编写的。本书主编参加了该教学大纲起草和审定的全部工作。本书在编写过程中，注意配合教学大纲，充分考虑了教材的适应面、实用性和先进性，力求做到浅显、易懂、实用、先进，以体现中等职业教育的特点。

本书是中等职业教育机械加工技术专业国家规划教材，也可用作技工学校和职业高中机械加工专业教材，同时可供有关工程技术人员参考。

根据教学大纲的要求，在与数控车床和数控铣床相关的这两部分内容中，各地可针对具体情况选择使用其中之一。本书是按照 92 学时的总学时数编写的。学时分配方案见下表（供参考）：

序号	内 容	学 时 数			
		合 计		讲授	实验
		方案一	方案二		
1	数控机床基本知识	8	8	8	
2	数控加工工艺	8	8	8	
3	数控车床及编程	24	0	24	4
4	数控铣床及编程	0	24		
5	常用软件应用	18	18	18	
6	数控机床的应用和维护	4	4	4	
7	机 动	6	6		
总 计		68	68	62	4
教材容量		92			

本书由山西省机械工业学校翟肖墨（第一、二、五章）、沈阳市机电工业学校关颖（第三章）、陕西工业职业技术学院刘向红（第四、六章）编写，翟肖墨任主编。本书由广东省机械学校朱焕池教授、徐伟高级讲师及山西省机械工业学校王龙义高级讲师审阅，并提出了许多宝贵意见，在此一并表示感谢。

本书在编写过程中参阅了国内外同行的教材与资料，在此谨致谢意。由于编者水平有限，书中错误或不妥之处，敬请批评指正。

编 者
于长治
2002 年 1 月

目 录

前言

第一章 数控机床基本知识	1
第一节 数控机床的产生和发展	1
第二节 数控机床的分类	3
第三节 数控机床的组成与工作过程	5
第四节 数控机床的机械系统基本结构	8
第五节 数控机床的坐标系统	14
第六节 数控编程准备知识	16
第二章 数控加工工艺	23
第一节 概述	23
第二节 数控加工工艺分析的一般 步骤与方法	23
第三节 数控加工工艺文件	38
第三章 数控车床及编程	43
第一节 概述	43
第二节 数控车床的传动与结构	46
第三节 数控车床的系统功能及特点	53
第四节 数控车床的基本编程方法	61

第五节 数控车床的操作	78
第四章 数控铣床及编程	92
第一节 数控铣床的布局及主要技术 参数	92
第二节 数控铣床的关键传动结构	94
第三节 数控铣床的系统功能	96
第四节 数控铣床的坐标系统	103
第五节 数控铣床的编程方法	107
第六节 数控铣床的操作	119
第五章 CAM 软件应用	124
第一节 概述	124
第二节 CAXA 制造工程师 (ME2000)	124
第三节 Master CAM 简介	147
第六章 数控机床的应用和维护	162
第一节 数控机床的选用	162
第二节 数控机床的维护和保养	164
参考文献	166

第一章 数控机床基本知识

第一节 数控机床的产生和发展

一、数控机床的产生

现代科学技术和社会生产的不断发展，对机械加工业提出了越来越高的要求。机械加工过程的自动化、智能化是实现上述要求的最重要措施之一。它不仅能够提高产品的质量、提高生产效率、降低生产成本，还能大大减轻工人的劳动强度，改善工作环境。

在机械制造业中，并不是所有产品的零件都具有很大的批量，单件与小批生产的零件（批量为 10~100 件）约占机械加工总量的 80% 以上。尤其是造船、航天、航空、机床、重型机械以及国防等行业，其生产特点是加工批量小、改型频繁、零件形状复杂且精度要求高。采用专用化程度很高的自动化机床加工这类零件就显得很不合理，因为生产过程中需要经常改装与调整设备，对于专用生产线来说，这种改装与调整有时是不可能实现的。各类仿形加工机床虽已部分解决了小批量、复杂零件的加工，但在更换零件时必须制造靠模、调整机床，不但耗费大量的手工劳动，延长了生产准备周期，而且由于靠模误差的影响，零件精度很难达到较高的要求。

为解决上述这些问题，满足多品种、小批量的自动化生产，迫切需要一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的自动化机床。

数字控制（Numerical Control，简称 NC 或数控）机床就是在这样的背景下诞生并发展起来的。它极其有效地解决了上述一系列矛盾，为单件、小批生产精密复杂零件提供了自动化加工手段。

数控机床将加工过程所需的各种操作（如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、选择刀具、供给切削液等）、步骤，以及刀具与工件之间的相对位移量等都用数字化的代码来表示，通过控制介质（如穿孔纸带或磁盘等）将数字信息送入专用的或通用的计算机，计算机对输入的信息进行处理与运算，发出各种指令来控制机床的伺服系统或其他执行元件，使机床自动加工出所需要的工件。数控机床与其他自动机床的一个显著区别在于，当加工对象改变时，除了重新装夹工件和更换刀具之外，只需更新程序即可，不需要对机床作任何调整。

1952 年美国帕森斯公司（Parsons）和麻省理工学院（MIT）合作研制成功世界上第一台三坐标数控铣床，用它来加工直升飞机叶片轮廓检查用样板。这是一台采用专用计算机进行运算与控制的直线插补轮廓控制数控铣床。1955 年，该类机床进入实用化阶段，在复杂曲面的加工中发挥了重要作用。我国从 1958 年开始研制数控机床，通过数十年的努力，在研制与推广使用数控机床方面取得了一定成绩，在数控系统方面也获得了长足的发展。目前，我国已有几十家机床厂能够生产不同类型的数控机床和加工中心。

二、数控机床的发展

现代数控机床及数控系统，目前大致朝以下几个方面发展：

1. 高速、高精度化

要提高机械加工的生产率，最主要的方法是提高速度。目前，在 $0.1\mu\text{m}$ 的最小设定单位时，进给速度可达 $24\text{m}/\text{min}$ 。为了满足这一要求，需对机械和数控系统进行更高要求的设计。例如要实现机床主轴高速化，需提高主轴和机床机械结构的动、静态刚度，采用能承受高速要求的机械零件，如采用陶瓷球的滚珠轴承等。

2. 提高数控系统的可靠性

提高数控系统的可靠性，可大大降低数控机床的故障率。新型数控系统大量使用大规模和超大规模集成电路，采用专用芯片提高集成度，并使用表面封装技术等方法，减少了元器件数量以及它们之间的连线 and 焊点数目，从而大幅降低了系统的故障率。

此外，现代数控系统还具有人工智能（AI）功能的故障诊断系统，以此来诊断数控系统及机床的故障，把专家们所掌握的各种故障原因及其处置方法作为知识库储存到计算机的存储器中，以知识库为依据来开发软件，分析查找故障原因。只要通过回答显示器提出的简单问题，就能和专家一样诊断出机床的故障原因并提出排除故障的方法。

3. CNC 系统的智能化

由于 CNC 系统使用的计算机容量越来越大，运算速度越来越快，CNC 系统不仅完成机床的数字控制功能，而且还可以充分利用软件技术，使系统智能化，给使用者以更大的帮助。例如，可将迄今为止必须由程序员决定的零件的加工部位、加工工序等，交由 CNC 系统自行决定。操作者只需将加工形状和必要的毛坯形状输进 CNC 系统，就能自动生成加工程序，这样，NC 加工的编程时间将大为缩短，即使经验不足的操作者也能进行操作。

4. 具有更高的通信功能

越来越多的工厂希望将多台数控机床组成各种类型的生产线或 DNC（Direct Numerical Control——直接数字控制）系统，这就要求 CNC 系统提高联网能力。一般 CNC 系统都具有 RS232 和 RS422 远距离串行接口，可以按照用户的格式要求，与同一级计算机进行多种数据交换。

为满足不同厂家、不同类型的数控机床联网功能要求，现代数控系统大都具有 MAP（制造自动化协议）接口，并采用光缆通信，以提高数据传送速度和可靠性。

三、现代机械制造系统

在现代生产中，为了满足多品种、小批量、产品更新周期快的要求，原来以单功能组成机床为主体的生产线，已不能适应机械制造业现代化水平日益提高的要求，因而多功能且有一定柔性的设备和生产系统相继出现，促使数控技术向更高层次发展。现代机械制造系统主要有柔性制造单元（FMC——Flexible Manufacturing Cell）、柔性制造系统（FMS——Flexible Manufacturing System）以及计算机集成制造系统（CIMS——Computer Integrated Manufacturing System）。以下简要介绍这三种生产系统。

1. 柔性制造单元（FMC）

柔性制造单元（FMC）是在制造单元的基础上发展起来的，又具有一定的柔性。所谓柔性是指能够较容易地适应多品种、小批量的生产功能。FMC 可由一台或少数几台设备组成，具有独立自动加工的功能，又部分具有自动传送和监控管理功能，可实现某些零件的多品种小批量加工。有些 FMC 还可实现 24h 无人运转。FMC 投资较柔性制造系统 FMS 少，技术上容易实现。

FMC 可以作为 FMS 中的基本单元, 若干个 FMC 可以发展组成 FMS。FMC 有两大类, 一类是数控机床配上机器人; 另一类是加工中心配上托盘交换系统。

2. 柔性制造系统 (FMS)

柔性制造系统 (FMS) 是一个由中央计算机控制的自动化制造系统。它是由一个传输系统联系起来的一些设备 (通常是具有换刀装置的数控机床或加工中心)。传输装置把工件放在托盘或其他联接装置上送到各加工设备, 使工件能够自动、准确、迅速地进行加工。

柔性制造系统 (FMS) 由加工系统、物料输送系统和信息系统组成。

采用柔性制造系统后, 可显著提高劳动生产率, 大大缩短制造周期, 提高机床利用率, 减少操作人员数量, 压缩在制品数量和库存量, 因而使成本大为降低, 缩小了生产场地并提高了技术经济效益。

3. 计算机集成制造系统 (CIMS)

计算机集成制造系统 (CIMS), 简单地说, 就是用计算机通过信息集成实现现代化的生产制造。CIMS 通常由管理信息系统、产品设计与制造工程设计自动化系统、制造自动化系统、质量保证系统、计算机网络及数据库系统等 6 个分系统组成。

采用 CIMS 有以下优点:

(1) 工程设计自动化方面 可采用现代化工程设计手段, 如 CAD/CAPP/CAM (计算机辅助设计/计算机辅助工艺规划/计算机辅助制造), 提高产品的研制和生产能力, 保证产品设计和工艺设计质量, 缩短设计周期, 从而加快产品更新速度, 满足用户要求。

(2) 加工制造方面 可采用诸如 FMC、FMS、DNC 等先进技术, 提高制造质量, 增加制造过程的柔性, 提高设备利用率, 缩短产品制造周期, 增强生产能力。

(3) 经营管理方面 使企业的经营决策科学化。在市场竞争中, 可使产品报价快速、准确、及时。在生产过程中, 可有效地减少在制品, 将库存量压到最低水平, 减少制造过程中占用的资金及仓库面积, 从而可降低生产成本, 加速企业资金周转。

总之, 计算机集成制造系统通过计算机、网络、数据库等硬、软件将企业的产品设计、加工制造、经营管理等活动集成起来, 大幅度提高产品质量, 缩短产品开发、生产周期, 提高生产效率, 降低生产成本。

第二节 数控机床的分类

为了学习和了解数控机床, 我们可从不同的角度对数控机床进行分类。

一、按运动轨迹分类

(1) 点位控制数控机床 对于一些孔加工用数控机床, 只要求获得精确的孔系坐标定位精度 (见图 1-1), 而不考虑从一个孔到另外一个孔是按照什么轨迹运动 (当然也是沿系统优化后的路径运动, 而不是乱动), 如坐标钻床、坐标镗床以及冲床等, 就可以采用简单而价格低廉的点位控制系统。

(2) 直线控制数控机床 这类数控机床不仅具有准确定位的功能, 而且从一点到另一点之间按直线移动, 并能控制位移的速度 (见图 1-2)。因为这一类型的数控机床在两点间移动时, 要进行切削加工, 所以对于不同的刀具和工件, 需要选用不同的切削用量及进给速度。

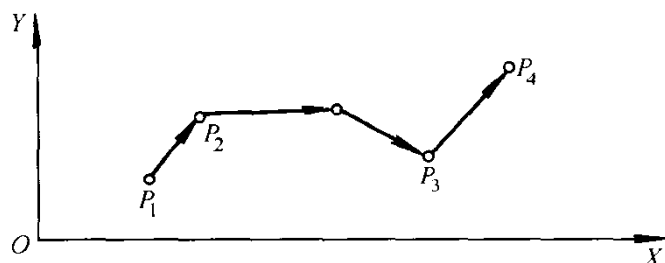


图 1-1 数控机床的点位加工

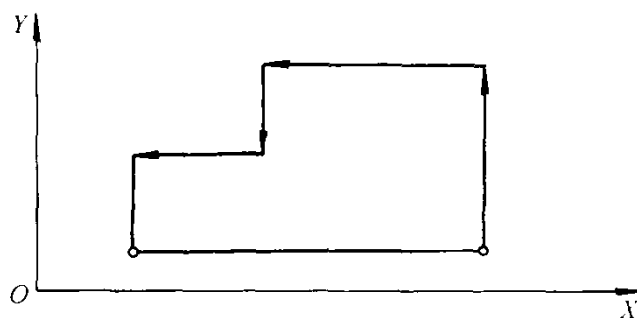


图 1-2 数控机床的直线加工

这一类数控机床包括数控镗铣床、数控车床、加工中心等。一般情况下，这些数控机床有两到三个可控轴，但同时控制轴数只有一个。其数控系统常常具有刀具半径补偿功能、刀具长度补偿功能和主轴转速控制功能。

(3) 轮廓控制数控机床 这类数控机床具有轮廓控制的功能（见图 1-3），包括两坐标及两坐标以上数控铣床、可加工曲面的数控车床以及加工中心等。

这类数控机床能同时控制两个或两个以上的坐标轴，对位移和速度进行严格的不间断控制，可以加工具有曲线或曲面的零件。



图 1-3 数控机床的连续轮廓加工

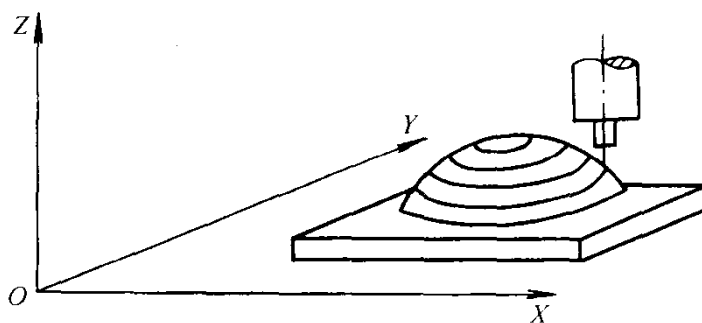


图 1-4 三轴联动的数控加工

现代数控机床绝大多数都具有两坐标或两坐标以上联动的功能，不仅有刀具半径补偿、长度补偿功能，还有机床轴向运动误差补偿功能，丝杠、齿轮的间隙误差补偿等一系列功能。

按照数控机床可联动（同时控制）轴数，且相互独立的轴数，可分为 2 轴控制、2.5 轴控制、3 轴控制、4 轴控制、5 轴控制等。

2.5 轴控制（两个轴是连续控制，第三轴是点位或直线控制），实现了 X 、 Y 、 Z 三个主要坐标轴内的二维控制。

3 轴控制是 X 、 Y 、 Z 三个坐标轴都同时插补，是三维连续控制（见图 1-4）。

5 轴连续控制是一种很重要的加工形式（见图 1-5），

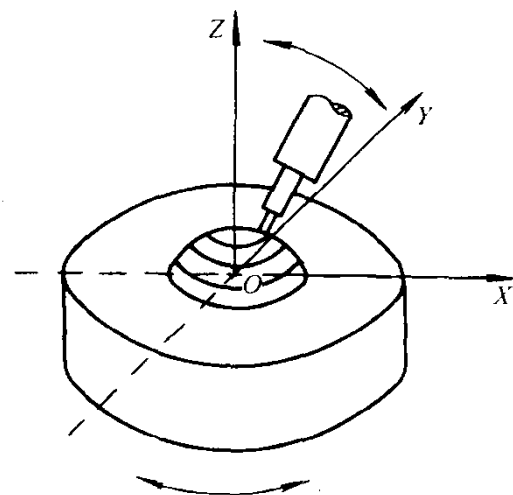


图 1-5 五轴联动的数控加工

这时三个坐标 X 、 Y 、 Z ，与转台的回转、刀具的摆动同时联动（也可以是与两轴的数控转台联动，或刀具做两个方向的摆动）。

二、按伺服系统类型分类

(1) 开环伺服系统数控机床 这类机床的数控系统对零件程序进行处理后，将数字指令信号输出给伺服系统，驱动机床运动。这种伺服系统没有来自位置传感器的反馈信号。最典型的的就是采用步进电动机的伺服系统。开环伺服系统数控机床较为经济，但速度及精度都较低。目前，在国内仍作为一种经济型的数控机床用于对旧机床的改造。

(2) 闭环伺服系统数控机床 这类机床可以接受插补器的指令，而且随时与工作台端测得的实际位置反馈信号进行比较，并根据其差值不断进行误差修正。这类数控机床可以消除由于传动部件制造误差给工件加工带来的影响。

采用闭环伺服系统的数控机床（见图 1-6），其机械传动环节，如丝杠副、工作台等都可以包括在反馈环路内，所以能得到很高的加工精度。闭环伺服系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精铣床等。

(3) 半闭环伺服系统数控机床 大多数数控机床采用半闭环伺服系统。由于将测量元件从工作台移到了电动机端头或丝杠端头，因此这种系统的闭环环路内不包括丝杠、螺母副及工作台，可以获得稳定的控制特性。而且由于采用了高分辨率的测量元件，可以获得比较满意的精度及速度。

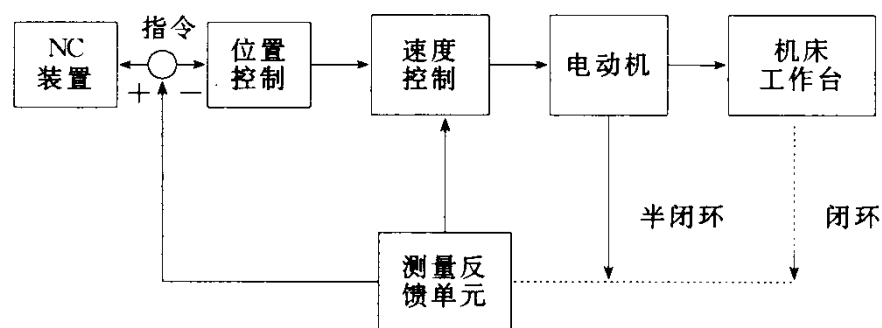


图 1-6 闭环与半闭环伺服系统的比较

三、按数控装置类型分类

(1) 硬件式数控机床（即 NC 机床） 数控装置中的输入运算、插补运算以及控制功能均由集成电路或晶体管等器件完成。一般来说，不同的数控机床需要专门设计不同的逻辑电路。这类数控机床数控装置的通用性较差，因其全部由硬件组成，所以功能和灵活性也较差。

(2) 软件式数控机床（即 CNC 机床） 这一类数控机床的数控系统中直接引入了计算机，其主要的功能均由软件来实现。不同的数控机床，只需编制不同的软件就可以了，而硬件几乎可以通用。这就为硬件的大批量生产提供了条件。批量生产有利于保证硬件的质量，缩短生产周期，降低成本，所以现代数控机床都采用 CNC 装置。

第三节 数控机床的组成与工作过程

结合图 1-7 对数控机床的组成部分与工作过程作一简要介绍。

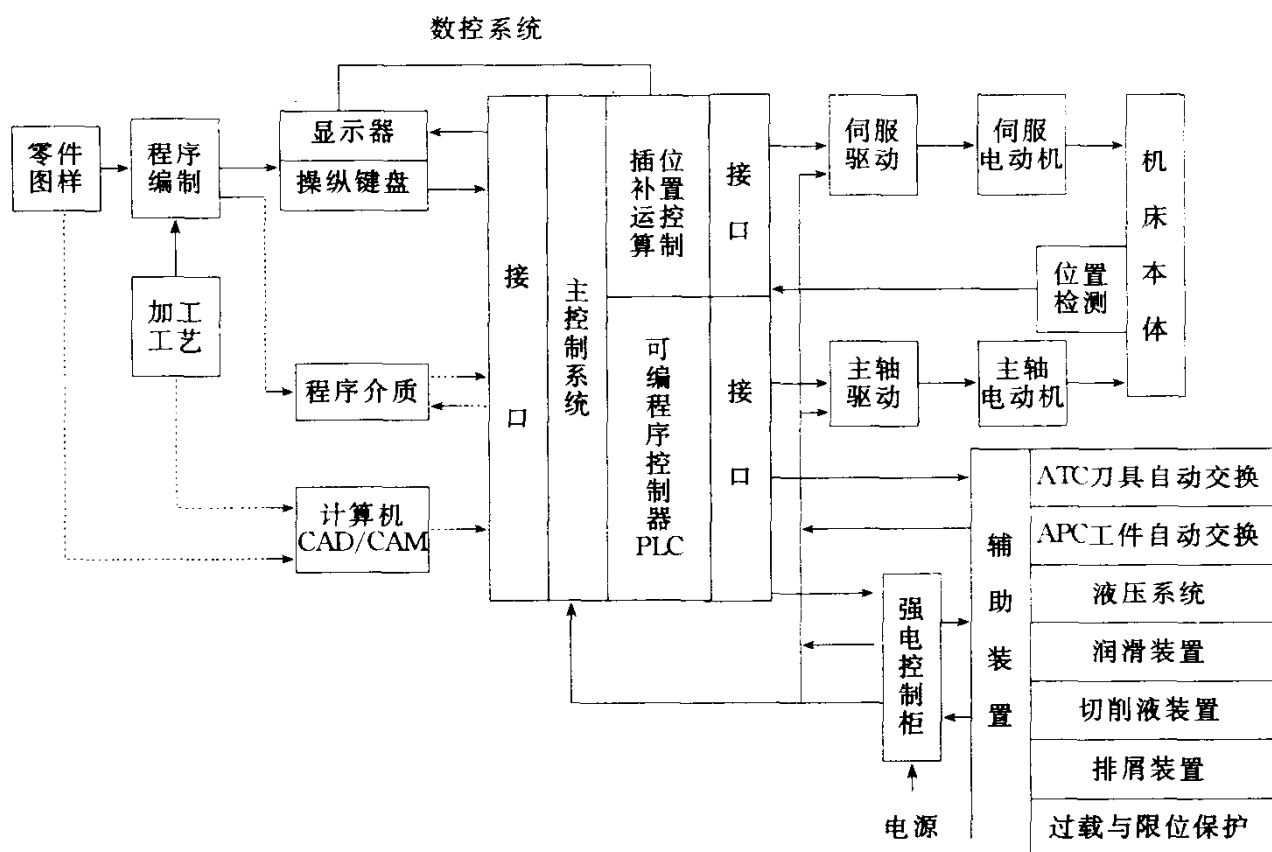


图 1-7 数控机床的主要组成部分与基本工作过程示意框图

一、数控机床的组成

数控机床一般由数控系统、包含伺服电动机和检测反馈装置的伺服系统、主传动系统、强电控制柜、机床本体和各类辅助装置组成。图 1-7 中的细实线部分是一种典型的现代数控机床构成框图，加虚线部分表示数控加工的基本工作过程。对各种不同功能的数控机床，其组成部分略有不同。

1. 数控系统

它是机床实现自动加工的核心。主要由控制系统、可编程序控制器、各类输入输出接口、显示器及操纵键盘等组成。显示器有数码管、CRT、液晶等多种形式。控制系统与计算机主板类似，主要由 CPU、存储器、控制器等组成。其中控制器内的插补运算模块就是根据所读入的零件程序，通过译码、编译等信息处理后，进行相应的刀具轨迹插补运算，并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号比较，从而控制机床各个坐标轴的位移。时序逻辑控制通常主要由可编程序控制器 PLC 来完成，它根据机床加工过程中的各个动作要求协调进行，按各检测信号进行逻辑判别，从而控制机床各个部件有条不紊地按序工作。

2. 伺服系统

它是数控系统与机床本体之间的电传动联系环节，主要由伺服电动机、驱动控制系统及位置检测反馈装置等组成。伺服电动机是系统的执行元件，驱动控制系统则是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置检测反馈信号比较后作为位移指令，再经驱动控制系统功率放大后，驱动电动机运转，从而通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

3. 主传动系统

它是机床切削加工时传递转矩的主要部件之一，一般分为齿轮有级变速和电气无级调速两种类型。较高档的数控机床都要求实现无级调速，以满足各种加工工艺的要求。主传动系

统主要由主轴驱动控制系统、主轴电动机以及主轴机械传动机构等组成。

4. 强电控制柜

它主要用来安装机床强电控制的各种电气元器件。除了提供数控、伺服等一类弱电控制系统的输入电源，以及各种短路、过载、欠压等电气保护外，主要在可编程序控制器 PLC 的输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元器件之间起桥梁连接作用，如控制机床辅助装置的各种交流电动机、液压系统电磁阀或电磁离合器等。强电控制柜由各种中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成。

5. 辅助装置

它主要包括 ATC 刀具自动交换机构、APC 工件自动交换机构、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削液供给装置、排屑装置、过载与限位保护装置等。机床加工功能与类型不同，辅助装置也不同。

6. 机床本体

机床本体指的是数控机床机械结构实体。与传统机床相比，数控机床同样由主传动机构、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等部分组成，但其整体布局、外观造型、传动机构、刀具系统及操作机构等都发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控技术要求并充分发挥数控机床的特点，归纳起来有以下几点：

1) 采用高性能主传动及主轴部件，具有传递功率大、刚度高、抗振性好、热变形小等优点。

2) 进给传动采用高效消隙传动件。在进给传动中，一方面采用无间隙的传动装置和元件，如既消除间隙又减少摩擦的滚珠丝杠副、直线滚动导轨副、预加载荷的双齿轮齿条副等，另一方面对齿轮传动采取消除间隙的措施，如偏心套式、锥度齿轮式及斜齿轮垫片错齿式等消除间隙结构等，具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点。

3) 有较完善的刀具自动交换和管理系统。工件在加工中心类机床上一次安装后，能自动地完成工件各面的加工。

4) 有工件自动交换、工件夹紧与放松机构，如在加工中心类机床上采用的工作台自动交换机构。

5) 床身机架具有极高的动、静刚度。

6) 采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工，考虑操作安全等因素，一般采用移门结构的全封闭罩壳，对机床的加工部位进行全封闭。

二、数控机床的基本工作过程

首先根据零件图样，结合加工工艺编制程序，然后通过键盘或其他输入设备将其输入数控系统，再经过调试、修改，最后把它储存起来。加工时按所编程序进行有关数字信息处理，一方面通过插补运算器进行加工轨迹运算处理，从而控制伺服系统驱动机床各坐标轴，使刀具按照工件的形状轨迹运动，并通过位置检测反馈确保位移精度。另一方面按照加工要求等，通过 PLC 控制主轴及其他辅助装置协调工作，如主轴变速、主轴齿轮换挡、适时进行 ATC 刀具自动交换、APC 工件自动交换、工件夹紧与放松、润滑系统定时开停、切削液按要求开关，必要时过载或限位保护起作用，控制机床运动迅速停止。

数控机床经过程序调试、试切削后，进入正常批量加工，操作者一般只要进行工件上下料装卸，再按一下程序自动循环按钮，机床就能自动完成整个加工过程。

第四节 数控机床的机械系统基本结构

数控机床的机械系统是指数控机床的主机部分,包括主运动传动系统、进给运动传动系统、自动换刀系统以及支承系统等。它由传动件、轴系、转动部件、移动部件、支承件及导轨等构成。

在数控机床的机械系统中,齿轮传动副、滚珠丝杠副和导轨副是其独具特性的基本结构。

一、齿轮传动副

齿轮传动装置主要由齿轮传动副组成,其任务是传递伺服电动机输出的转矩和转速。常见的消除间隙齿轮结构形式如下:

1. 直齿圆柱齿轮传动副

(1) 偏心套调整式 图 1-8 所示为偏心套消除间隙结构。电动机 1 通过偏心套 2 安装到机床壳体上,转动偏心套 2,就可以调整两齿轮的中心距,从而消除齿侧间隙。

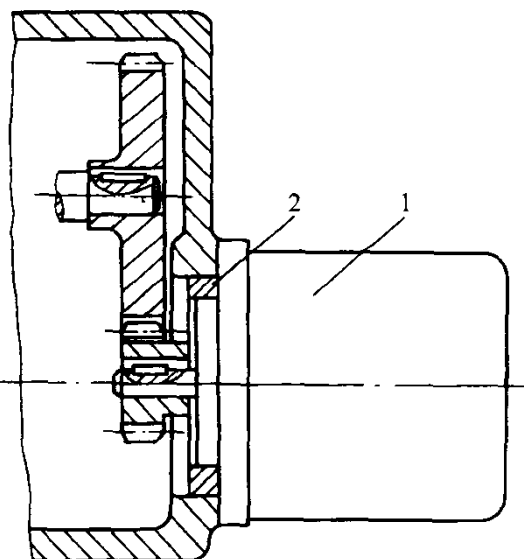


图 1-8 偏心套式消除间隙结构

1—电动机 2—偏心套

(2) 锥度齿轮调整式 图 1-9 所示为带有锥度的齿轮消除间隙结构。在加工齿轮 1 和 2 时,将假想的分度圆柱面改变成带有小锥度的圆锥面,使其齿厚在齿轮的轴向稍有变化。调整时,只要改变垫片 3 的厚度就能调整两个齿轮的轴向相对位置,从而消除齿侧间隙。

以上两种调整方法的特点是结构简单,能传递较大转矩,传动刚度较好,但齿侧间隙调整后不能自动补偿,故又称为刚性调整法。

(3) 双片齿轮错齿调整式 图 1-10a 是双片齿轮周向可调弹簧错齿消除间隙结构。两个相同齿数的薄齿轮 1 和 2 与另一个宽齿轮啮合,两薄齿轮可相对回转。在两个薄齿轮 1 和 2 的端面上均匀分布着 4 个螺孔,用于安装凸耳 3 和 8。齿轮 1 的端面还有另外 4 个通孔,凸耳 8 可以在其中穿过,弹簧 4 的两端分别钩在凸耳 3 和调节螺钉 7 上。通过螺母 5 调节弹簧 4 的拉力,调节完毕用螺母 6 锁紧。弹簧的拉力使薄齿轮错位,即两个薄齿轮的左右齿面分别贴在宽齿轮齿槽的左右齿面上,从而消除了齿侧间隙。

图 1-10b 是另一种双片齿轮周向弹簧错齿消除间隙结构,两片薄齿轮 1 和 2 套装在一起,每片齿轮各开有两条周向通槽,齿轮的端面上装有短柱 3,用来安装弹簧 4。装配时为使弹簧 4 具有足够的拉力,两个薄齿轮的左右面分别与宽齿轮的左右面贴紧,以消除齿侧间隙。

双片齿轮错齿法调整间隙结构,在齿轮传动时,由于正向和反向旋转分别只有一片齿轮承受转矩,因此承载能力有限,并且弹簧的拉力要能克服最大转矩,否则起不到消除作用,故称为柔性调整法,适用于负荷不大的传动装置中。

这种结构装配好后能自动消除(补偿)齿侧间隙,可始终保持无

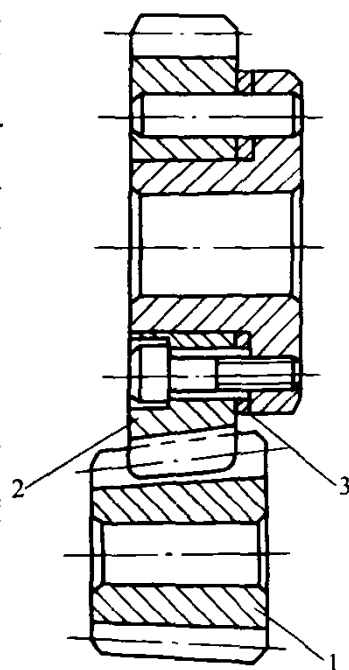


图 1-9 锥度齿轮的消除间隙结构

1、2—锥度齿轮 3—垫片

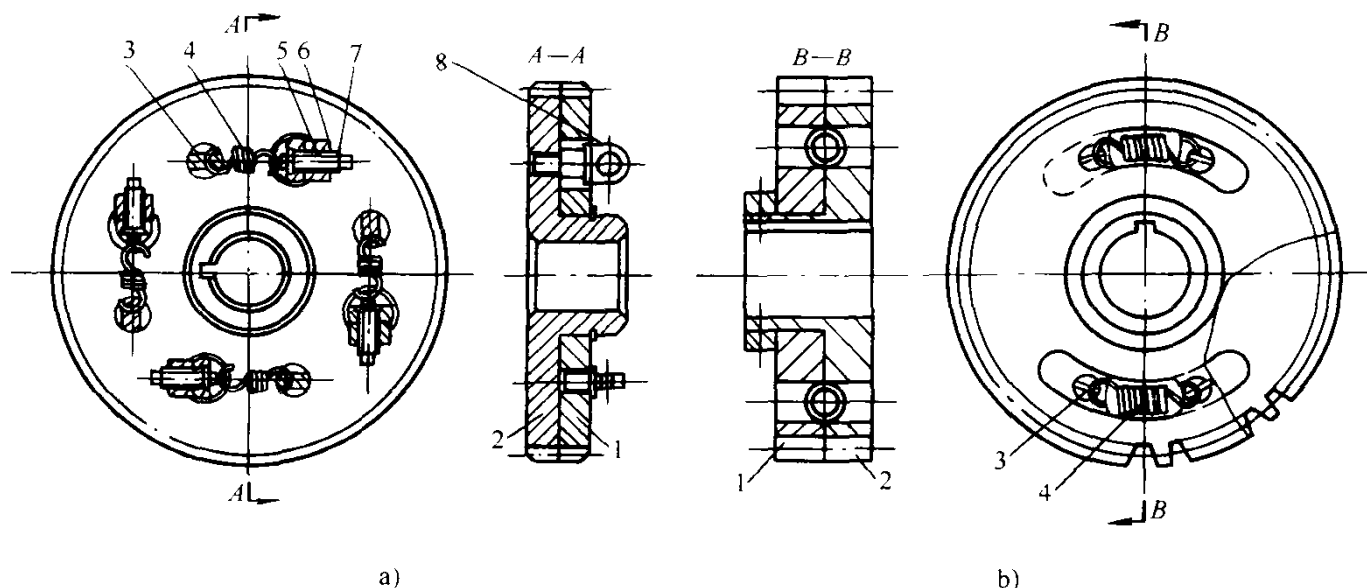


图 1-10 双片齿轮周向弹簧错齿消隙结构

1、2—薄片齿轮 3、8—凸耳或短柱 4—弹簧 5、6—螺母 7—螺钉

间隙啮合，是一种常用的无间隙齿轮传动结构。

2. 斜齿圆柱齿轮传动

(1) 轴向垫片调整式 图 1-11 所示是斜齿轮垫片错齿消隙结构，宽齿轮 4 同时与两个相同齿数的薄片齿轮 1 和 2 啮合，薄片齿轮通过平键与轴联接，二者不能相对回转。斜齿轮 1 和 2 的齿形应拼装后一起加工，并与键槽保持确定的相对位置。加工时在两薄片齿轮之间装入已知厚度为 t 的垫片 3。装配时，若改变垫片 3 的厚度，可以使薄片齿轮 1 和 2 的螺旋线发生错位，其左右两齿面分别与宽齿轮 4 的齿贴紧，消除间隙。这种结构的齿轮承载能力较小，且不能自动补偿、消除间隙。

(2) 轴向压簧调整式 图 1-12 所示为斜齿轮轴向压簧错齿消隙结构。该结构消隙原理与轴向垫片调整式相似，所不同的是齿轮 2 右面的弹簧压力使两个薄片齿轮的左右齿面分别与宽齿轮的左右齿面贴紧，以消除齿侧间隙。图 1-12a 采用的是圆柱螺旋压缩弹簧，图 1-12b 采用的是碟形弹簧。

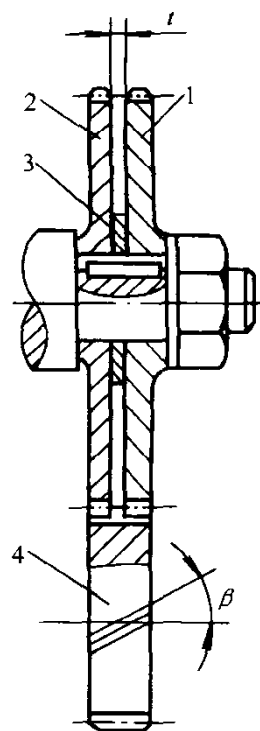


图 1-11 斜齿轮垫片错齿消隙结构

1、2—薄片斜齿轮
3—垫片 4—宽齿轮

弹簧 3 的压力可通过螺母 4 来调整，压力的大小要调整合适，压力过大会加快齿轮磨损，压力过小达不到消隙作用。这种结构能自动消除齿侧间隙，使齿轮始终保持无间隙啮合，但它只适用于负载较小的场合，并且结构的轴向尺寸较大。

二、滚珠丝杠副

滚珠丝杠副是在丝杠和螺母间以钢球作为滚动体的螺旋传动元件。它可将旋转运动转变为直线运动，或将直线运动转变为旋转运动。因此，滚珠丝杠副既是传动元件，也是直线运动与旋转运动的相互转换元件。

1. 滚珠丝杠副的工作原理、特点及类型

滚珠丝杠副的结构原理示意图如图 1-13 所示，丝杠和螺母上都有半圆弧形的螺旋槽，它们套装在一起时形成滚珠的螺旋滚道。螺母上有滚珠回路管道，将几圈螺旋滚道的两端连接起来构成封闭的循环滚道，滚道内装满滚珠。当丝杠旋转时，滚珠在滚道内既自转又沿滚

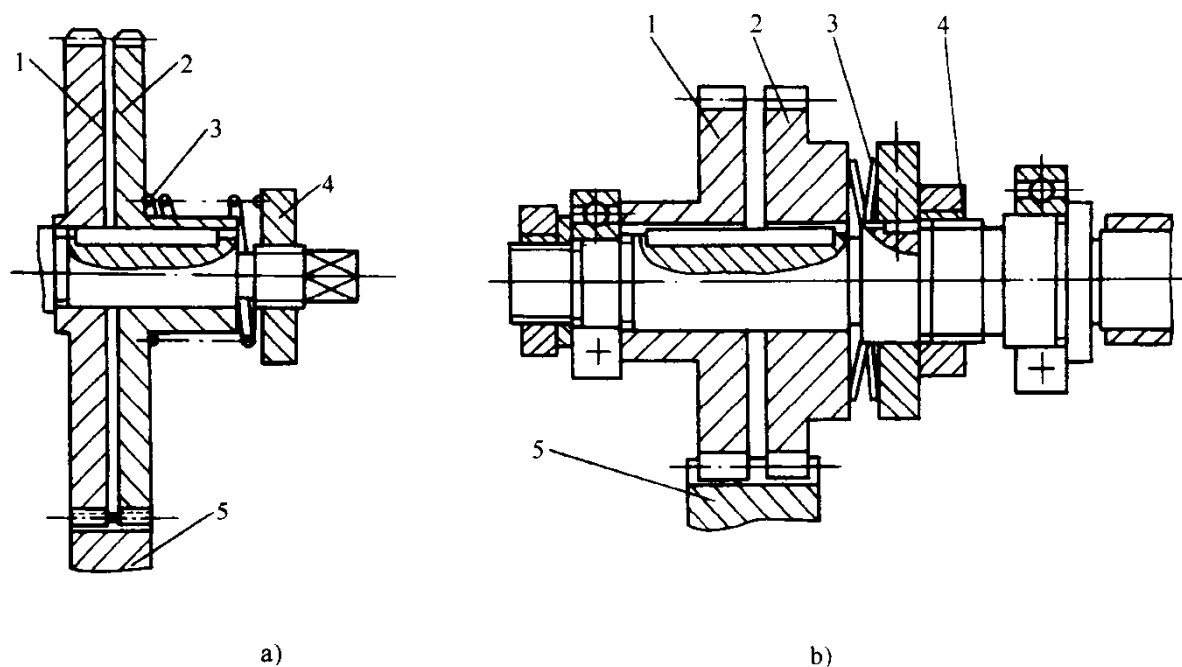


图 1-12 斜齿轮轴向压簧错齿消隙结构

1、2—薄片斜齿轮 3—弹簧 4—螺母 5—宽齿轮

道循环转动，从而迫使螺母（或丝杠）轴向移动。

滚珠丝杠副的特点是：

- 1) 摩擦损失小、传动效率高。
- 2) 丝杠螺母预紧后，可以完全消除间隙，传动精度高、刚度好。
- 3) 不易产生低速爬行现象，保证了运动的平稳性。

- 4) 磨损小，寿命长，精度保持性好。

5) 不能自锁，有可逆性，既能将旋转运动转换为直线运动，也能将直线运动转换为旋转运动，可满足一些特殊要求的传动场合。当立式使用时，应增加平衡或制动装置。

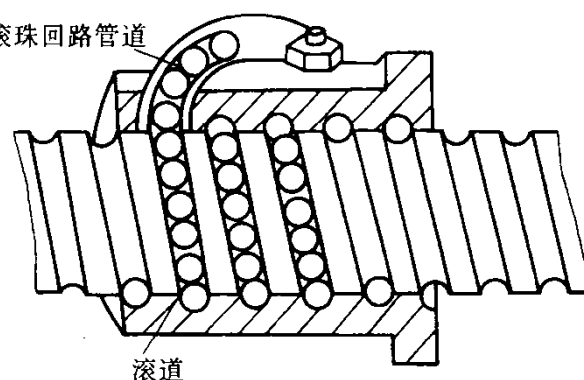


图 1-13 滚珠丝杠副的结构原理示意图

滚珠丝杠副通常可根据其特征进行分类，如按制造方法的不同分为普通滚珠丝杠副和滚轧滚珠丝杠副；

按螺母形式可分为单侧法兰盘双螺母型、单侧法兰盘单螺母型、双法兰盘双螺母型、圆柱双螺母型、圆柱单螺母型、简易螺母型及方螺母型等；按螺旋滚道型面分为单圆弧型面和双圆弧型面；按滚珠的循环方式可分为外循环式和内循环式。

2. 滚珠丝杠副的结构

目前，国内外生产的滚珠丝杠副，尽管结构各种各样，但其主要区别体现在螺旋滚道型面的形状、滚珠的循环方式、轴向间隙的调整及预加负载的方法等方面。

(1) 外循环 外循环多用螺旋槽式和插管式。图 1-14 所示为常用的插管式外循环方式，被压板 1 压住的弯管 2 的两端插入螺母 3 上与螺纹滚道相切的两个孔内，引导滚珠 4 构成循环回路。其特点是结构简单、制造方便。但径向尺寸较大，弯管端部容易磨损。若不用弯管，在螺母 3 的两个孔内装上反向器，引导滚珠通过螺母外表面的螺旋凹槽形成滚珠循环回路，则为螺旋槽式，其径向尺寸较小，工艺也较简单。外循环式结构使用范围较广，其缺点

是滚道接缝处很难做得平滑,影响滚珠滚动的平稳性。

(2) 内循环 内循环均采用反向器实现滚珠循环,反向器有两种形式。图 1-15a 所示为圆柱凸键反向器,反向器的圆柱部分嵌入螺母内,端部开有反向槽 2,反向槽靠圆柱外圆面及其上端的凸键 1 定位,以保证对准螺旋滚道方向。图 1-15b 为扁圆镶块反向器,反向器为一半圆头平键形镶块,镶块嵌入螺母的切槽中,其端部开有反向槽 3,用镶块的外廓定位。比较两种反向器,后者尺寸较小,从而减小了螺母的径向尺寸并缩短了轴向尺寸。但其外廓和螺母上的切槽尺寸精度要求较高。

内循环反向器和外循环反向器相比,其结构紧凑、定位可靠、刚性好、且不易磨损、返回滚道短、不易发生滚珠堵塞、摩擦损失也小。其缺点是反向器结构复杂、制造困难、且不能用于多线螺纹传动。

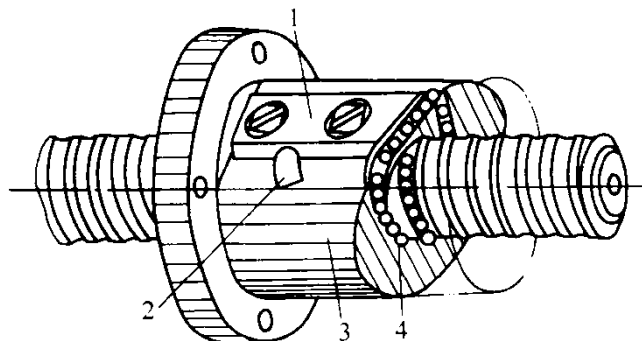


图 1-14 插管式外循环方式原理图

1—压板 2—弯管（回珠管）
3—螺母 4—滚珠

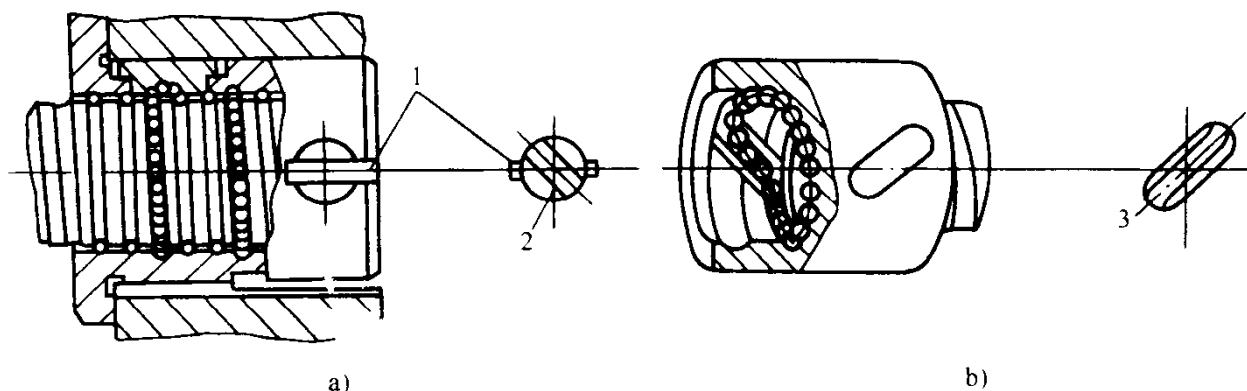


图 1-15 内循环方式原理图

1—凸键 2、3—反向槽

3. 滚珠丝杠副轴向间隙的调整和预紧方法

滚珠丝杠副的轴向间隙,是指负载时滚珠与滚道型面接触的弹性变形所引起的螺母位移量和螺母原有间隙总和。滚珠丝杠副的轴向间隙直接影响其传动刚度和传动精度,尤其是反向传动精度。因此,滚珠丝杠副除了对本身单一方向的进给运动精度有要求外,对轴向间隙也有严格的要求。滚珠丝杠副轴向间隙的调整和预紧,通常采用双螺母预紧方式,其结构形式有三种。其基本原理是使两个螺母间产生轴向位移,以达到消除间隙、产生预紧力的目的。

(1) 垫片调隙式 如图 1-16 所示,通过改变垫片的厚度,使螺母产生轴向位移。这种结构简单可靠、刚性好,但调整费时,且不能在工作中随意调整。

(2) 螺母调隙式 图 1-17 所示为利用螺母实现预紧的结构,两个螺母以平键与外套相联,平键可限制螺母在外套内移动,其中右边的一个螺母外伸部分有螺纹。用两个锁紧螺母 1、2 能使螺母相对丝杠作轴向移动。这种结构紧凑,工作可靠,调整也方便,故应用较广。但调整位移量不易精确控制,因此,预紧力也不能准确控制。

(3) 齿差调隙式 图 1-18 所示为齿差式调整结构。在两个螺母的凸缘上分别有齿数为