

数控职业技能培训系列教程

数控机床 结构及应用

主 编 王爱玲
副主编 曾志强



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



数控职业技能培训系列教程

数控机床结构及应用

主 编 王爱玲

副主编 曾志强



机械工业出版社

全书共分8章,重点介绍现代数控机床的基本知识,典型数控机床,如数控车床、数控铣床、加工中心、特种加工机床等的结构特点、性能、性能要求等,并配以大量的结构图;介绍了数控机床的辅助系统和控制系统以及数控机床的应用和维护等有关知识。

本书取材新颖,内容由浅入深、循序渐进,图文并茂,实例丰富,着重于应用;理论部分突出简明性、系统性、实用性和先进性。

本书可作为高等职业技术学院、中专、电大等数控专业的教材和参考书,也可作为企业数控加工职业技能的培训参考教程,同时可供其他对数控加工技术感兴趣的读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床结构及应用/王爱玲主编. —北京:机械工业出版社, 2006.1

(数控职业技能培训系列教程)

ISBN 7-111-18232-4

I. 数... II. 王... III. ①数控机床—结构—技术培训—教材②数控机床—应用—技术培训—教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第157312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:白刚 版式设计:霍永明

责任校对:申春香 封面设计:鞠杨 责任印制:李妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2006年3月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mm B5·8.5印张·330千字

0001—5000册

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

本社购书热线电话(010) 68326294

编辑热线:68351729

封面无防伪标均为盗版

《数控职业技能培训系列教程》

编辑委员会

主 编 王爱玲

副主编 (按姓氏笔画排序)

刘中柱 刘永姜 孙旭东 李 清 杨福合
曾志强

编 委 (按姓氏笔画排序)

马清艳	王俊元	王 彪	王爱玲	刘中柱
刘永姜	孙旭东	齐明思	张吉堂	李伯民
李彩霞	李梦群	李 清	杨福合	沈兴全
赵丽琴	原 霞	郭平英	曾志强	温海骏
蓝海根	翟海光			

前 言

制造业是国民经济和国防建设的基础性产业，先进制造技术是振兴传统制造业的技术支撑和发展趋势，是直接创造社会财富的主要手段，谁先掌握先进制造技术，谁就能够占领市场。而数控技术是先进制造技术的基础技术和共性技术，已成为衡量一个国家制造业水平的重要标志之一。现代数控技术集传统的机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通信技术、液压气动技术、光机电技术于一体，是现代制造技术的基础，它的发展和运用，开创了制造业的新时代，使世界制造业的格局发生了巨大变化。

数控技术是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段。它的广泛使用给机械制造业生产方式、产业结构、管理方式带来深刻的变化，它的关联效益和辐射能力更是难以估计。数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，离开了数控技术，先进制造技术就成了无本之木。数控技术是国际技术和商业贸易的重要构成，工业发达国家把数控机床视为具有高技术附加值、高利润的重要出口产品，世界贸易额逐年增加。而采用数控技术的典型产品——数控机床是机电工业的重要基础装备，是汽车、石化、电子等支柱产业及重矿产业生产现代化的最主要手段，也是世界第三次产业革命的一个重要内容。因此，数控技术及数控装备是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业，其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志，实现加工机床及生产过程数控化，已经成为当今制造业的发展方向。

我国数控技术及产业在改革开放后取得了显著的成就，开发出了具有自主知识产权的数控平台，即以PC机为基础的总线式、模块化、开放型的单处理器平台和多处理器平台，开发出了具有自主知识产权的基本系统，也研制成功了并联运动机床等新技术与新产品。但是，我国的数控技术及产业与发达国家相比仍然有比较大的差距，其原因是多方面的，但最重要的是数控人才的匮乏。目前，随着国内数控机床用量的剧增，急需培养一大批各种层次的数控人才，特别是应用型高级技术人才及能熟练操作数控设备的技能人才。为了适应我国高等职业技术教育发展及数控应用型人才、操作技能型人才培养的需要，特编写了这一套“数控职

业技能培训系列教程”。本系列教程分6册:《数控机床结构及应用》、《数控原理及数控系统》、《数控机床加工工艺》、《数控编程技术》、《数控机床操作技术》、《数控机床故障诊断与维修》。

承担本系列教程编写工作的中北大学机械工程系,在“机械设计制造及其自动化”专业建设的基础上,1995年就开设了“机床数控技术”和“制造自动化技术”两个专业方向;在继续工程教育方面,作者单位作为“兵器工业现代数控技术培训中心”和“全国数控培训网太原分中心”的承办单位,自1995年以来,开办了50多期现代数控技术普及班、高级班和各种专项班,为80多个企事业单位培训了大量现代数控技术方面的工程技术人才。目前中北大学是教育部、国防科工委、中国机械工业联合会认定的数控技术领域技能型紧缺人才培养培训基地。

本系列教程是经过10年来的教学实践的积累和检验,不断进行补充、更新、修改而编著完成的。本教材力求取材新颖,介绍的内容由浅入深,循序渐进,深入浅出,图文并茂,形象生动,理论密切联系实际,特别着重于应用,每一部分都列举了大量实例。为了打造数控技术应用人才的市场需要,理论部分的讲解突出了简明性、系统性、实用性和先进性,反映机与电的结合,减少繁杂的数学推导,系统全面地介绍了数控技术、数控装备、数控加工工艺等方方面面的知识。

本系列教程的特色表现在下列几方面:

1) 各个出版社都出了不少各种层次的与数控相关的书籍,但作为专门针对职业教育的系列教材还是不多见的。本系列教程是针对数控职业教育的较为全面的系列教材。

2) 系列的各本教材突出了“应用”的特色,精选了大量的应用实例。

3) 教材中涉及到的内容,既有标志学科前沿的最新知识,又深入浅出地交代了数控基本理论知识。

4) 在有限的课时内,安排较大量的实验、习题,以锻炼学生实际动手能力及学习解决实际问题的能力。

本系列教程的编写者均为主讲过“机械设计制造及其自动化”类“数控技术”专业本科各门数控专业课程,并参加相关科研项目的青年教师,由王爱玲教授、博士生导师担任系列教程的总策划与主编。

本系列教程可作为高等职业教育的教学与实践用教材或教学参考用书;同时,对从事数控技术开发、数控设备使用、维修人员、数控编程技术人员以及数控机床操作人员均有较大的参考价值;也可作为各种层次的继续工程教育用数控培训教材。

《数控机床结构及应用》分册共由8章组成,分别是绪论、数控车床、数控铣床、加工中心、数控机床的典型结构、特种加工机床、数控机床的控制技术与

辅助系统以及数控机床的应用。本分册由王爱玲任主编，曾志强任副主编，李梦群任主审。第7章由王爱玲编写，第1、2、3、4、5、8章由曾志强编写，第6章由齐明思编写。全书由王爱玲提出总体构思及编写思想，由曾志强负责统稿和定稿。

编写本书时参阅了有关院校和其他很多单位的教材、资料和文献，并得到很多专家、同事的支持和帮助，在此表示诚挚的谢意！

限于编者的水平和经验，书中难免有不少缺点和错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

2006年1月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 数控机床简介	1
1.1.1 数控技术的发展原因	1
1.1.2 数控机床的发展史	1
1.1.3 数控定义	1
1.1.4 数控机床的优点	2
1.2 数控机床的组成	2
1.2.1 数控机床的技术组成	2
1.2.2 数控机床的结构组成	2
1.2.3 数控机床工作过程	3
1.3 数控机床的分类	3
1.4 数控机床的坐标系	5
1.5 数控机床的主要性能指标及功能	7
1.5.1 数控机床的主要技术指标	7
1.5.2 数控机床的主要功能	7
1.6 金属切削机床	8
1.6.1 金属切削机床及其在国民经济中的地位	8
1.6.2 机床的发展概况和我国机床工业目前的水平	9
1.6.3 金属切削机床的分类和型号编制	10
思考题 1	15
第 2 章 数控车床	16
2.1 概述	16
2.1.1 工艺范围与分类	16
2.1.2 数控车床的特点与发展	16
2.1.3 数控车床的布局形式	17
2.1.4 数控卧式车床的组成	20
2.1.5 数控车床的分类	20
2.2 数控车床的传动与结构特点	22
2.2.1 主传动系统及主轴箱结构	22
2.2.2 床鞍和横向进给装置	27
2.2.3 纵向驱动装置	27

2.2.4 尾座	30
2.3 数控车床的换刀控制	31
2.3.1 四方刀架换刀过程	32
2.3.2 六方刀架换刀过程	32
2.4 车削中心	35
2.4.1 车削中心的工艺范围	35
2.4.2 车削中心的 C 轴	36
2.4.3 车削中心的主传动系统	37
2.4.4 车削中心自驱动力刀具典型结构	39
思考题 2	41
第 3 章 数控铣床	42
3.1 概述	42
3.1.1 数控铣床的主要功能	42
3.1.2 数控铣床的分类	43
3.1.3 数控铣床的结构特点	44
3.2 数控铣床的结构及总体布局	46
3.2.1 总布局与工件形状、尺寸和重量的关系	46
3.2.2 运动分配与部件的布局	48
3.2.3 总布局与铣床的结构性能	49
3.2.4 铣床的使用要求与总布局	50
3.3 数控铣床的传动及其结构特点	51
3.3.1 数控铣床的主传动系统	51
3.3.2 数控铣床的进给传动系统	56
3.4 数控铣床的辅助装置	68
思考题 3	69
第 4 章 加工中心 (MC)	70
4.1 概述	70
4.1.1 加工中心的特点	70
4.1.2 加工中心的工作原理	71
4.1.3 加工中心的组成及系列型谱	71
4.1.4 加工中心的分类	73
4.2 加工中心的传动系统	75
4.2.1 主传动系统	75
4.2.2 直线进给传动系统	81
4.2.3 回转工作台	82
4.2.4 工件交换系统	88
4.3 加工中心自动换刀装置	90

4.3.1 加工中心刀库形式	96
4.3.2 加工中心刀库结构	98
4.3.3 JCS-018A 型加工中心机械手结构	98
4.3.4 其他类型机械手	102
4.3.5 几种典型换刀过程	108
4.4 加工中心支承系统	111
4.5 对刀装置	114
思考题 4	115
第 5 章 数控机床的典型结构	117
5.1 主传动系统	117
5.1.1 对主传动系统的基本要求	117
5.1.2 数控机床主轴的变速方式	119
5.1.3 主轴部件	120
5.1.4 电主轴	127
5.1.5 数控机床有级变速自动变换方法	137
5.2 进给传动系统	138
5.2.1 对进给传动系统的要求	138
5.2.2 滚珠丝杠螺母副	139
5.2.3 伺服电动机与进给丝杠的连接	140
5.2.4 直接驱动技术	140
5.3 床身	146
5.4 数控机床的导轨	151
5.4.1 塑料滑动导轨	151
5.4.2 导轨结构	154
5.4.3 滚动导轨	155
5.4.4 静压导轨	158
5.4.5 导轨的润滑与防护	163
思考题 5	164
第 6 章 数控特种加工机床	165
6.1 特种加工概述	165
6.1.1 特种加工的产生及发展	165
6.1.2 特种加工的分类	165
6.1.3 特种加工对材料可加工性和结构工艺性等的影响	166
6.2 电火花加工	167
6.2.1 电火花加工的基本原理及其分类	167
6.2.2 电火花加工机床	169
6.2.3 电火花穿孔成形加工	172

6.3 电火花线切割加工	181
6.3.1 电火花线切割加工原理、特点及应用范围	181
6.3.2 电火花线切割加工设备	184
6.3.3 影响线切割工艺指标的因素	188
6.3.4 线切割加工工艺及应用	190
6.4 激光加工	193
6.4.1 激光加工的原理和特点	194
6.4.2 激光加工的基本设备	197
思考题 6	201
第 7 章 数控机床的控制技术与辅助系统	203
7.1 数控机床的压力控制系统	203
7.1.1 压力控制系统的功能与组成	203
7.1.2 压力控制系统工作原理	205
7.1.3 数控机床的压力系统	206
7.2 数控机床的辅助系统	215
7.2.1 数控机床的润滑系统	215
7.2.2 数控机床的冷却系统	219
7.3 数控机床可编程控制器	222
7.3.1 可编程控制器的基本概念与分类	222
7.3.2 可编程控制器基本结构	223
7.3.3 数控机床用可编程控制器	227
7.3.4 典型 PLC 的指令和程序编制	230
7.3.5 可编程控制器的发展方向	242
思考题 7	242
第 8 章 数控机床的应用	243
8.1 数控机床的选用	243
8.1.1 确定典型加工工件	243
8.1.2 机床规格的选择	243
8.1.3 机床精度的选择	244
8.1.4 自动换刀装置的选择	245
8.1.5 数控系统的选择	245
8.1.6 数控机床驱动电动机的选择	246
8.2 数控机床的安装与调试	247
8.2.1 数控机床的安装	247
8.2.2 机床连接电源的检查	248
8.2.3 参数的设定和确认	248
8.2.4 通电试车	249

8.2.5 机床几何精度的调整	250
8.2.6 机床试运行	250
8.3 数控机床的使用	251
8.4 数控机床的验收与精度检验	252
思考题 8	259
参考文献	260

第 1 章 绪 论

1.1 数控机床简介

1.1.1 数控技术的发展原因

客观方面的原因：第二次世界大战中体现出来的对武器装备要求更加精良；计算机技术的产生和不断发展；机床技术的不断发展和成熟等。

主观方面的原因：要求减轻工人的劳动强度；不断提高劳动效率；工厂实现自动化的要求等。

1.1.2 数控机床的发展史

半个世纪以来，数控系统已经历了两个阶段、六代的发展。

1. 硬线数控阶段（1952 ~ 1970 年）

最初的计算机由于运算速度比较低，对于机床的实时控制还达不到要求。于是，人们不得不采用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统，被称为硬线数控（Hardwired Numerical Control），简称数控（NC）。随着元器件的发展，这个阶段经历了三代的发展，即 1952 年开始的第一代数控系统，其主要特点是以电子管、继电器、模拟电路元件为主；1959 年开始的第二代数控系统，其主要特点是以晶体管数字电路元件为主；1965 年开始的第三代数控系统，其主要特点是以集成数字电路器件为主。

2. 计算机数控阶段（1970 年至今）

1970 年开始的第四代数控系统，其主要特点是基于小型计算机并采用中小规模集成电路的数控系统；1974 年开始的第五代数控系统，其主要特点是基于微处理器并具有数字显示、故障自诊断功能的数控系统；1990 年开始的第六代数控系统，其特点是基于 PC 的数控系统，现在已经进入广泛应用阶段，价格也相对降低了很多，而对于一些大型设备，由于高精度，多功能，操作方便，开发简单、容易等特点，价格也非常高；有的能达到几百万甚至上千万元。

1.1.3 数控定义

数控技术——用数字控制技术来控制机床按预先指定的程序来动作。

数控机床——为满足单件、小批、多品种、自动化生产的需要而研制的一种灵活的、通用的能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床，具有适应性强、加工精度高、加工质量稳定和生产效率高的优点。

1.1.4 数控机床的优点

适应能力强，适应于多品种、单件小批量零件的加工；加工精度高；工序高度集中，可以大大减轻工人的体力劳动；生产准备周期短，具有较高的加工生产率和较低的加工成本；能完成复杂型面的加工；技术含量高，有利于实现机械加工的现代化管理。

1.2 数控机床的组成

1.2.1 数控机床的技术组成

数控技术由机床技术、数控系统技术和外围技术等三大技术组成。

机床技术包括基础件（床身、立柱、工作台）和配套件（刀架、刀库、丝杠、导轨）等；数控系统技术包括控制系统（硬件、软件）、驱动系统（伺服系统、电动机）和测量与反馈系统（各种传感器）等；外围技术包括工具系统（刀片、刀杆）、编程技术（编程机、编程系统）和管理技术等。

1.2.2 数控机床的结构组成

数控机床的结构组成如图 1-1 所示。

各部分的功能及作用分别为：

1) 数控装置是数控机床的核心，它的功能是接收由输入装置送来的脉冲信号，经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种信号和指令控制机床的各个部分进行规定的、有序的动作。

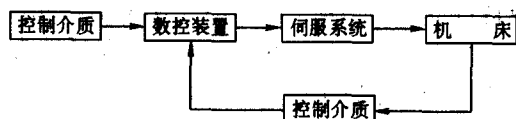


图 1-1 数控机床的结构组成

2) 伺服系统是数控系统的执行部分，它由伺服驱动电路和伺服驱动装置（电动机）组成，并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速度、方向和位移。

3) 机床本体包括：主运动部件、进给运动执行部件（工作台、刀架及其传动部件和床身立柱等支撑部件，还有冷却、润滑、转位和夹紧装置等）。

4) 测量装置用来直接或间接测量执行部件的实际位移或转动角度等运动情况。是保证机床精度的信息来源, 具有十分重要的作用。

1.2.3 数控机床工作过程

数控机床的大致工作过程如图 1-2 所示。首先要由编程人员或操作者通过对零件图作深入分析, 特别是工艺分析, 确定合适的数控加工工艺, 其中包括零件的定位与装夹方法的确定、工序划分、各工步走刀路线的规划、各工步加工刀具及其切削用量的选择等。

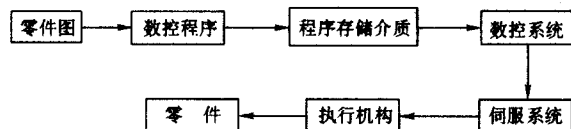


图 1-2 数控机床工作过程

数控程序输入到数控系统, 并被调入执行程序缓冲区以后, 一旦操作者按下启动按钮, 程序就将被逐条逐段的自动执行。数控程序的执行, 实际上是不断地向伺服系统发出运动指令。数控系统在执行数控程序的同时, 还要实时地进行各种运算, 来决定机床运动机构的运动规律和速度。伺服系统在接收到数控系统发来的运动指令后, 经过信号放大和位置、速度比较, 控制机床运动机构的驱动元件(如主轴回转电动机和进给伺服电动机)运动。机床运动机构(如主轴和丝杠螺母机构)的运动结果是刀具与工件产生相对运动, 实现切削加工, 最终加工出所需要的零件。

1.3 数控机床的分类

目前, 数控机床品种非常之多, 可以从不同的角度和按照多种原则进行分类。

1. 按工艺用途分类

- (1) 金属切削类数控机床 有数控车、铣、钻、磨、镗和加工中心等。
- (2) 金属成形类数控机床 有数控折弯机、弯管机、回转头压力机等。
- (3) 数控特种加工及其他类型数控机床 有数控线切割、电火花、激光切割和火焰切割机床等。

2. 按控制运动的方式分类

- (1) 点位控制数控机床 如图 1-3a 所示, 这类数控机床的典型代表是数控钻床, 其特点是它的数控装置只要求精确地控制从一个坐标点到另一个坐标点的定位, 而不对其行走轨迹作限制, 在行走过程中不能加工。

(2) 直线控制数控机床 如图 1-3b 所示, 它不仅要求具有精确的定位功能, 而且还要求保证从一点到另一点的移动轨迹为直线, 其路线和速度可控。

(3) 轮廓控制数控机床 如图 1-3c 所示, 又称连续轨迹控制机床, 它的数控装置能同时控制两个和两个以上坐标轴, 并具有插补功能。可对位移和速度进行严格的不间断的控制, 即可以加工曲线或者曲面零件。

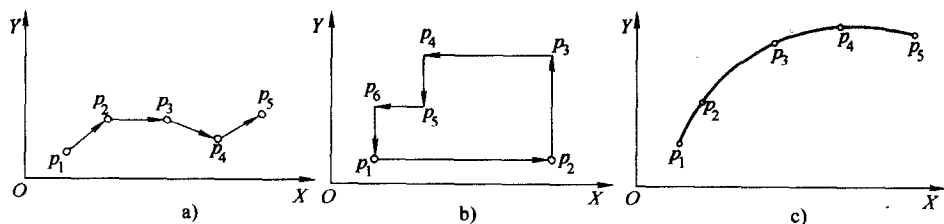


图 1-3 数控机床控制运动方式

a) 点位控制 b) 直线控制 c) 轮廓控制

3. 按伺服系统的类型分类

按照数控机床有无反馈及反馈的位置不同可以分为开环伺服、闭环伺服、半闭环伺服三种。系统无反馈则把数控机床称为开环数控机床, 如图 1-4 所示; 若有反馈, 而且反馈环提供的信号来自机床的最后一个移动部件则系统为闭环数控机床, 如图 1-5 所示; 若数控机床有反馈, 但信号来自中间环节则为半闭环数控机床, 如图 1-6 所示。

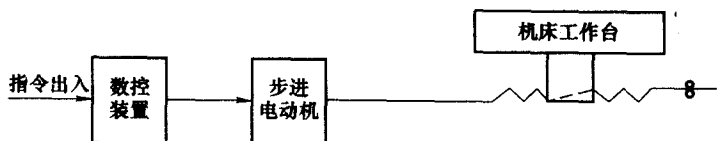


图 1-4 开环伺服系统

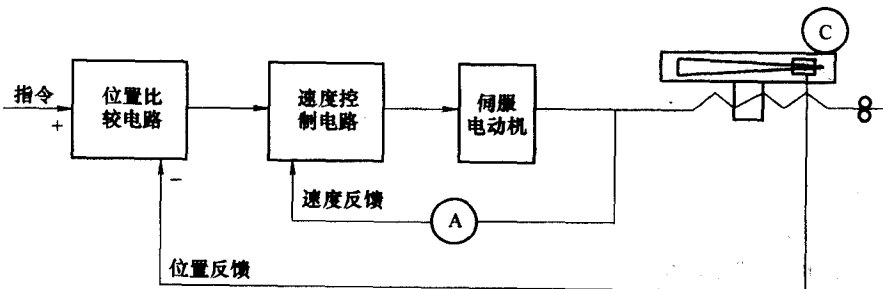


图 1-5 闭环伺服系统

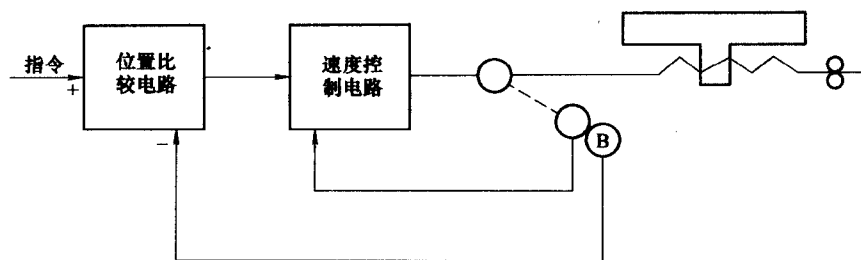


图 1-6 半闭环伺服系统

4. 按功能水平分类

可将数控机床分为高、中、低档三类，但是这种分类方法没有一个确切定义。数控机床水平高低由主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平决定。表 1-1 是几个评价数控机床档次的参考条件。

表 1-1 数控机床档次参考条件

档次 参考条件	低档	中档	高档
分辨率/ μm	10	1	0.1
进给速度/(m/min)	8~15	15~24	15~100
联动坐标数(轴)	2~3	3~5	3~5及以上
显示功能	数码管、阴极射线管 CRT	具备字符、图形人机 对话、自诊断 CRT	具备三维动态图形显 示 CRT
通信功能	无通信功能	RS232 或 DNS 接口	具有 MAP 接口和网络 功能

还可以按数控机床的联动轴数来分类，这样可以分为 2 轴联动、2.5 轴联动、3 轴联动、4 轴联动、5 轴联动等数控机床。其中，2.5 轴联动是三个坐标轴中任意两轴联动，第三轴点位或直线控制。

1.4 数控机床的坐标系

在数控机床上加工零件时，刀具与工件的相对运动必须在确定的坐标系中，这样才能按规定的程序进行加工。数控机床坐标与运动方向标准化的主要内容有如下五点：

(1) 刀具相对于静止的工件运动原则 即在考虑机床坐标系时，被加工工件的坐标系看作是相对静止的，其目的是编程人员可以根据零件图样来确定机床的加工过程。

(2) 标准坐标系的规定 一个直线进给运动或一个圆周进给运动定义为一个