

● 数控技术丛书 ●

数控编程

第2版

全国数控培训网络天津分中心 组编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



76
1

数控技术丛书

数控编程

第2版

全国数控培训网络天津分中心 组编

天津机电职业技术学院 编

数控 (TTC) 自励制各并图

业工解用: 查凡一、器工一、解理心、心制天、神何都进理、12167 器器数

机械工业出版社

《数控编程》一书共分七章。第一章绪论,讲述数控编程技术的发展概况,如何学习数控编程技术,数控编程的分类,编程步骤,数控编程的有关标准以及程序的结构与格式。第二程序编制中的工艺分析,讲述数控加工工艺分析的主要内容及步骤,数控加工工艺文件的制定。第三程序编制中的数值计算,详细讲述了基点、节点及刀位轨迹的计算方法,密集列表点的圆弧过滤及曲面加工中的数值计算。第四、五、六章分别讲述了数控车床、数控铣床及加工中心的编程基础、编程方法及编程实例,第六章还特别介绍了子程序功能及用户宏程序功能。第七章 MasterCAM 软件自动编程,讲述 MasterCAM 软件概述, MasterCAM 系统的 CAD 功能及 CAM 功能,后置处理及通信功能, MasterCAM 9 的应用举例。

本书注重基础理论,由浅入深,与编程实际紧密结合,并有多处内容是作者的独立见解和研究成果,是从事数控加工的编程人员必不可少的参考书和企事业数控技术培训用教材。

本书除可用于数控技术中、高级数控编程培训,也可作为机电类高等职业技术教育相关专业的教材或数控大赛培训用教材,同时也是从事数控技术工作的工程技术人员的重要参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控编程/全国数控培训网络天津分中心组编.—2版.—北京:机械工业出版社,2006.7

(数控技术丛书)

ISBN 7-111-05451-2

I. 数... II. 全... III. 数控机床—程序设计 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 063344 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:贡克勤 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:鞠杨 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷

2006年8月第2版第1次印刷

184mm×260mm·16.5印张·394千字

定价:24.00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

编辑热线电话 (010) 88379711

封面防伪标均为盗版

前言 2

数控技术丛书编委会

主任委员 李认清

副主任委员 贡克勤 张维津 杨嘉孟

委员 刘英杰 姜锐 李占军

赵云霞 李秀梅 刘文芳

梁宇栋 赵学东 孔祥清

王克圣

第1版前言

数控机床是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物，是典型的机电一体化产品。它的出现及所带来的巨大效益，引起世界各国科技界和工业界的普遍重视。发展数控机床是当前我国机械制造业技术改造的必由之路，是未来工厂自动化的基础。

随着数控机床的大量使用，急需培养大批能熟练掌握现代数控机床编程、操作、维修的人员和工程技术人员。为了适应初、中级数控技术人员培训和学习的需要，并供大中专、职校、技校学生学习现代加工技术之用，全国数控培训网络天津分中心组织编写了“数控技术丛书”，该丛书由《数控原理》、《数控编程》及《数控机床》三册组成。各册内容简明扼要、图文并茂、通俗易懂，所采用的实例翔实可靠。

在组织编写过程中，得到天津市人事局、天津市机电一体化办公室、天津市机电工业总公司的大力支持和帮助，天津大学杜君文教授、赵忠堂教授、邓广敏教授及天津理工学院刘树琪教授、吴建华教授等为丛书提出了宝贵的意见并提供了资料，天津分中心陈卫平、刘淑丽、王丽、魏颖、徐士军、回健永等同志对丛书的文稿、图稿进行了打印和绘制，在此一并致以衷心的感谢。

由于我们水平有限，经验不足，加之资料不全，书中难免存在错误疏漏之处，希读者给予指正。

数控技术丛书编委会

第2版前言

会委编件丛术技数控

数控技术丛书自1997年3月出版发行以来,以其内容充实、图文并茂、实用性强、各册内容分工合理,而受到国内各数控技术培训机构及大中专、职校、技校广大师生的欢迎,至今重印多达十余次,仍畅销不衰。鉴于目前计算机技术、微电子技术、自动检测和精密加工等高新技术发展迅猛,数控编程也从原来的以手工编程为主,急速过渡到CAD/CAM软件自动编程为主的时期。鉴于原丛书部分内容稍显陈旧,已不适应当前教学之需要,故急需对原书内容进行修订。

本次修订,除保持原书体裁风格未作大的变动外,许多内容则结合作者近年来在教学、生产、科研方面的最新成果,并结合数控技术发展的最新进展,对原书内容作了大量的删改与补充,使“为企业培养大批能熟练掌握现代数控机床编程、操作、维修的人员和工程技术人员”的目标更为明确。本书主要适合中、高级数控技术人员的技术培训。同时,在内容编排上,也适应高等职业技术教育的教学特点,可作为高职院校教学用书。

本书修订由全国数控培训网络天津分中心组编、天津机电职业技术学院编写。

天津大学张世昌教授、梅江平博士和天津第一机床总厂胡广曦教授级工程师审阅了丛书,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

修订版的《数控编程》全书分七章。其中,第一、三、五、六、七章由李占军编写,第二、四章由赵云霞编写。本书由李占军任主编并负责统稿。

本书在修订过程中,吸取了兄弟院校对原版教材的宝贵意见,也参阅了同行专家、学者的教材、资料和文献,一并列于书后,以表谢意。

由于作者水平所限,书中难免存在不足和错误之处,诚望读者批评指正。

编者

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第一章 绪论 1

第一节 数控加工编程概述 1

第二节 数控编程的基础知识 7

习题与思考题 20

第二章 程序编制中的工艺分析 21

第一节 数控加工工艺分析概述 21

第二节 数控车削加工的工艺分析 31

第三节 数控镗铣加工的工艺分析 41

第四节 数控加工工艺文件 64

习题与思考题 66

第三章 程序编制中的数值计算 68

第一节 数值计算的内容 68

第二节 简单轮廓零件的基点计算 70

第三节 非圆曲线节点坐标的计算 80

第四节 列表曲线节点坐标的计算 87

第五节 刀位轨迹的坐标计算 95

第六节 曲面加工中的数值计算 100

习题与思考题 105

第四章 数控车床编程 108

第一节 数控车床编程基础 108

第二节 车削固定循环 127

第三节 螺纹车削加工 137

第四节 典型数控车床编程实例 147

习题与思考题 152

第五章 数控铣床编程 154

第一节 数控铣床编程基础 154

第二节 常用功能的编程方法 157

第三节 编程实例 171

习题与思考题 176

第六章 加工中心的编程 178

第一节 加工中心编程概述 178

第二节 部分 G 功能指令的编程方法 187

第三节 固定循环功能 196

第四节 子程序 204

第五节 用户宏程序 208

习题与思考题 215

第七章 MasterCAM 软件自动编程 218

第一节 MasterCAM 软件概述 218

第二节 MasterCAM 系统的 CAD 功能 221

第三节 MasterCAM 系统的 CAM 功能 231

第四节 后置处理及通信功能 243

第五节 MasterCAM 9 的应用举例 244

习题与思考题 253

参考文献 255

第一章 绪论

第一节 数控加工编程概述

近年来,随着社会需求向个性化、多样化的发展,机械制造业正经历着由大批量的生产方式向多品种、变批量的生产方式发展。精密化、柔性化、网络化、虚拟化、智能化、清洁化、集成化、全球化正在成为当今先进制造技术发展的主流。以计算机为代表的高新技术与现代化管理技术的应用,使得数控机床、数控加工、数控编程技术成为机械制造业由传统产业跨入先进制造技术领域的要径。当前,计算机辅助设计/计算机辅助制造(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing,简称 CAD/CAM)软件在制造业企业的广泛应用,又使传统的手工编程方式逐步过渡到 CAD/CAM 软件编程为主的自动编程方式。因此,数控加工工艺理论的研究,数控编程指令代码、CAD/CAM 软件的熟练运用,已成为数控机床操作及编程人员的基本要求。

一、数控机床与数控加工

国家标准 GB8129—1987 将数控(Numerical Control,简称 NC)定义为:用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing)将数控机床定义为:数控机床是一种装有程序控制系统的机床,机床的运动和动作按照这种程序控制系统发出的由特定代码和符号编码组成的指令进行。这种程序控制系统称之为机床的数控系统。

数控加工是指在数控机床上根据事先编制的程序对零件进行切削加工的过程,数控加工过程中使用的程序就称为数控程序。数控程序由一系列指令代码组成,这些代码根据加工顺序被安排在不同的程序段中。每一条数控指令对应于工艺系统的一种动作状态,数控加工程序制作的过程可以通过面对数控机床的直接编程完成,也可以利用 CAD/CAM 软件编程实现。

二、数控编程技术的发展概况

编程人员依据零件图样上的尺寸标注及技术要求,制定出合理的加工方案,通过直接编程或 CAD/CAM 软件编程获得数控加工所需程序的全部过程称为数控编程。数控机床发展的初期,据国外报导,数控编程的时间与机械加工的时间之比平均为 30:1。事实上,早在 1955 年,一种可以在电子计算机上实现自动编程的称为 APT(Automatical Programmed Tools)语言的自动编程工具就已经研制成功。采用 APT 语言编制程序,可以将数控编程中绝大部分数值计算问题交由计算机处理,编程人员只需用几何定义语句对加工零件进行“几何造型”,用刀具运动语句控制刀具运动,使数控编程过程由面向数控机床指令代码的程序编制过程变为用 APT 数控语言编程,编制的程序简捷直观,在相当长时间内是实现自动编程的主要方法。

采用 APT 语言编程,虽然具有程序简单,走刀方法控制灵活,可以实现复杂的 3~5 坐标空间曲面及曲线的自动编程,但由于必须用语言来描述本来直观的几何图形,不便于对加工过程中的刀具轨迹进行验证,这对一般的编程人员而言,掌握起来还是比较困难的。

进入 20 世纪 70 年代,美国洛克希德加利福尼亚飞机公司开发的 CADAM 系统,法国达索飞机公司开发的 CATIA 系统,已具有计算机辅助设计、绘图和数控编程一体化功能,使数控编程从语言式编程时代逐步走向 CAD/CAM 集成系统数控编程的新时代。

20 世纪 80 年代,CAD/CAM 集成数控编程系统获得了飞速的发展,大量优秀的 CAD/CAM 集成数控编程系统相继问世。其中比较著名的如:UGII CAD/CAM 系统, Euclid, MasterCAM, SurfCAM, Pro/Engineer, Cimatron 等。

20 世纪 90 年代中期以后, CAD/CAM 集成数控编程系统开始向集成 (Integration) 化、智能 (Intelligence) 化、网络 (Network) 化、并行 (Concurrent) 化和虚拟 (Virtual) 化方向迅速发展。

目前,在一些制造业企业,特别是模具加工企业, CAD/CAM 软件自动编程已成为数控加工过程中程序编制的最主要方法。它极大地提高了编程效率,降低了编程出错率。对于一般复杂零件的数控加工,完全可以实现编程与加工的同步。

与此同时,由于数控系统功能的不断加强与完善,数控系统的编程功能也得到了很大的提高。这主要体现在目前的数控系统一般都提供了许多简化的编程方法。如各种车削、铣削固定循环功能,直接实现轮廓加工中直角或圆角过渡的简化编程功能,数控铣削加工编程中专用于平底凹槽加工的槽腔加工指令,图形的比例缩放、镜像、旋转、平移等功能。有些系统除可以用指令代码进行编程之外,还可以使用图形编程功能。非圆曲线、空间曲线或曲面的编程过去只能由 CAD/CAM 软件完成,现在则有可能通过宏程序功能编程加以实现。

三、如何学习数控编程技术

数控编程技术涉及较多的知识领域,同时又具有极强的实践性。学习者除应注重加强理论知识的学习,还应利用各种实践机会提高自己的实际编程能力。为使初学者能在较短时间内,成为一名优秀的 NC 编程员,建议学习者注意在以下各方面提高理论素养和锻炼能力。

- 1) 数控机床及数控加工原理方面的基础知识。
- 2) 数控编程的指令代码及其格式。
- 3) 金属切削原理及刀具的基础知识。
- 4) 数控加工工艺分析及刀具轨迹合理性分析能力。
- 5) 机械制图特别是较复杂零件的读图能力。
- 6) 通过一种高级程序语言的学习获得程序结构、程序设计必要的基础知识。
- 7) 掌握至少一种 CAD/CAM 软件的数控编程方法。
- 8) 具有一定的数学基础知识,特别是解析几何与三角函数方面的基础知识,具有一定的数学计算能力。
- 9) 不断提高与数控加工相关的英语阅读能力。

四、数控编程的分类

数控编程的分类方法有多种，例如：①按编程地点进行分类：办公室或车间；②按编程计算机进行分类：CNC 内部计算机，个人计算机（PC）或工作站（Workstation）；③按编程软件进行分类：CNC 内部编程软件，APT 语言或 CAD/CAM 集成数控编程系统等。

通过 CNC 内部编程软件进行编程，实际上是利用数控系统所提供的数控编程功能进行直接编程的一种方法。APT 语言自动编程和 CAD/CAM 集成系统数控编程则主要通过个人计算机或工作站实现。

（一）直接编程

直接编程是指程序员用数控机床提供的指令直接编写出零件加工程序及相关技术文件的编程过程。直接编程又称手工编程，主要用于几何造型比较简单的零件数控编程，是目前数控机床操作人员和车间级编程人员较多使用的方法，其手工编程过程如图 1-1 所示。这种编程方法能充分发挥数控系统的功能及编程人员的加工经验，而且便于程序的编辑修改。编程人员在编程时，主要依据的是数控机床提供的数控编程说明书及相关的各种工艺数据。通过对零件的数控加工工艺、编程代码指令格式的深入理解和灵活运用，可以编制出符合加工要求的高质量的数控加工程序。直接编程根据其数据输入及处理方式，可分为三类：

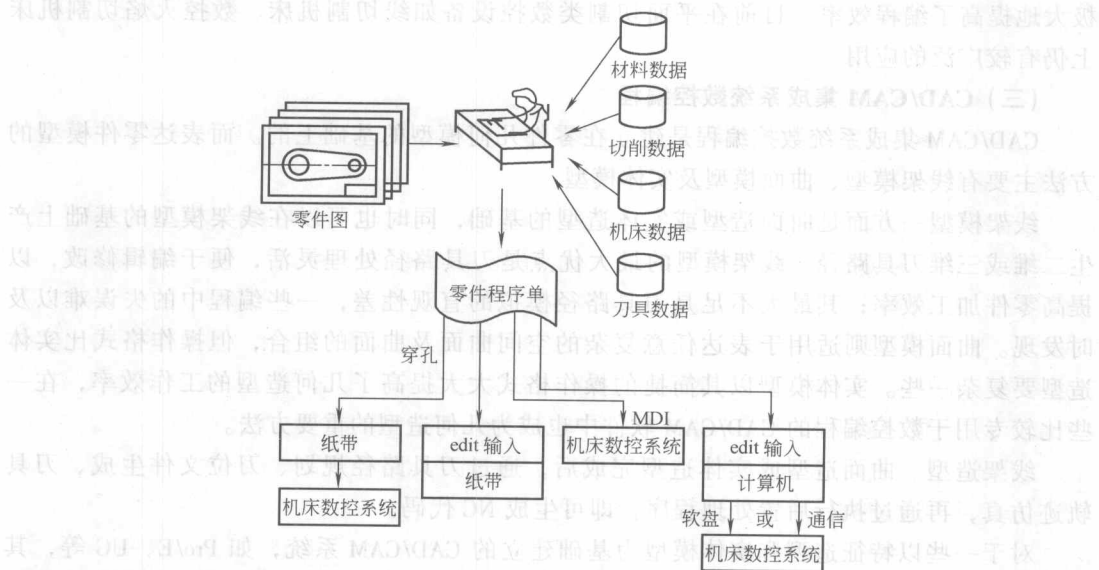


图 1-1 手工编程过程

1. 直接利用 ISO（国际标准化组织）代码编程

每一种数控系统都提供了丰富的指令代码格式，在这些指令代码中，最能体现编程灵活性的是一些控制刀具运动的指令代码。例如，使用固定循环指令或宏指令，就可以用一条指令代替基本编程指令的几条、几十条甚至上百条指令。编制的程序可以十分简短，而这一点正是目前许多自动编程软件所不及的。

2. 用户宏程序编程

系统提供了变量、数值计算、程序控制等功能。用户使用这些功能编程,不仅可以使平面非圆曲线、柱面曲线、空间解析曲线及曲面的编程变得非常简捷,而且还可以通过编制的用户宏程序实现测量功能或控制功能等。另外,由于用户宏程序的运用,一些功能指令的含义还可能发生变化。例如,在给加工中心编程时,某些加工中心用一条 T 功能指令,就可完成取消刀具长度补偿、自动返回参考点及刀具交换等一系列动作,这使程序的书写格式发生了很大变化。

3. 会话式编程

利用图形进行数据输入或用 C 语言进行编程,数据经系统内部处理后,即可生成 ISO 代码加工程序。例如:日本 MAZAK 公司的数控系统及 FANUC 系统等就具有此功能。

(二) APT 语言自动编程

APT 是自动编程工具 (Automatically Programmed Tool) 的简称,是一种对工件、刀具的几何形状及刀具相对于工件运动等进行定义时所使用的一种便于编程人员理解的语言。把用 APT 语言书写的零件加工程序输入到计算机中,经过计算机的 APT 语言编译系统处理后,即可产生刀具位置文件 (CLDATA file),然后再依据不同数控系统的指令格式要求,执行后置处理后,就能生成该数控系统所能接受的数控加工程序。

采用 APT 语言自动编程,可以由计算机或专用的编程机代替编程人员完成繁琐的数值计算工作,还可以用图形显示零件形状,编程工作可以直接在计算机上进行,因而,极大地提高了编程效率。目前在平面切割类数控设备如线切割机、数控火焰切割机床上仍有较广泛的应用。

(三) CAD/CAM 集成系统数控编程

CAD/CAM 集成系统数控编程是建立在零件几何模型的基础上的。而表达零件模型的方法主要有线架模型、曲面模型及实体模型。

线架模型一方面是曲面造型或实体造型的基础,同时也可以在线架模型的基础上产生二维或三维刀具路径。线架模型的最大优点是刀具路径处理灵活,便于编辑修改,以提高零件加工效率;其最大不足是刀具路径模拟的直观性差,一些编程中的失误难以及时发现。曲面模型则适用于表达任意复杂的空间曲面及曲面的组合,但操作格式比实体造型要复杂一些。实体模型以其简捷的操作格式大大提高了几何造型的工作效率,在一些比较专用于数控编程的 CAD/CAM 软件中也成为几何造型的重要方法。

线架造型、曲面造型或实体造型完成后,通过刀具路径规划、刀位文件生成、刀具轨迹仿真,再通过执行后置处理程序,即可生成 NC 代码。

对于一些以特征造型和实体模型为基础建立的 CAD/CAM 系统,如 Pro/E、UG 等,其实体模型的建立,主要是用于产品的设计和零件的装配等,早期甚至没有数控编程功能,为了用于数控编程,往往需要对实体模型进行可加工分析,识别加工特征,并对加工特征进行加工工艺规划,最后才进行数控编程,其中的每一步骤可能都很复杂。

五、数控编程的步骤

就手工编程而言,其编程过程主要包括:分析零件图样、工艺处理、数值计算、编写程序单、程序输入及程序检验。数控编程的步骤如图 1-2 所示。

1. 分析零件图样和工艺处理

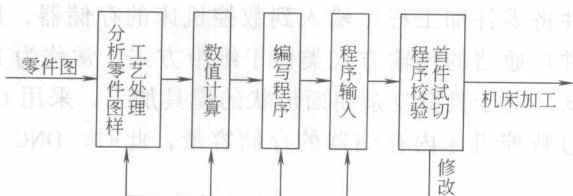


图 1-2 数控编程的步骤

编程人员首先要对零件图样的尺寸、形位公差及技术要求进行分析，制定出合理的加工方案，选择机床及制定工件装夹方案，按照加工顺序选择刀具和确定切削参数，设置工件坐标系及确定合理的进给路线，同时还要考虑刀具的切入、切出位置及对刀点、换刀点位置的安排等。工艺分析是编程人员一项十分重要的工作内容，它基本上决定了数控机床的性能是否能得到最大程度的发挥，加工出的零件能否一次合格，加工过程是否安全高效，数值计算是否简便以及程序是否简短实用。

2. 数值计算

数值计算是指计算刀具运动轨迹上各基本几何图素的起点、终点或圆弧圆心点的坐标值。由于数控加工过程中刀具与工件之间的相对运动，本质上是一个点（刀位点）或一个矢量（刀位矢量）在给定坐标系（编程坐标系）下的运动描述，因此数控加工中的数值计算过程就是要准确计算出刀位轨迹上一系列点的坐标数据，为下一步编制程序作好准备。为了提高编程效率和减少计算出错率，目前一些高档的数控系统均提供了基点的计算功能，或给出了可避免基点计算的专用指令。而对于形状比较复杂的零件，如非圆曲线或曲面组成的零件，利用宏程序编程功能或采用 CAD/CAM 软件编程，则数值计算过程可由计算机自动完成。

3. 编写程序单

进给路线、工艺参数及刀位数据确定以后，编程人员可以根据数控系统提供的指令功能及程序书写格式，逐段编写加工程序。此外，还应填写有关的工艺文件，如数控加工工序卡片、数控刀具卡片、数控刀具明细表、工件安装和零点设定卡片等。

4. 程序输入

数控加工程序的输入有手动数据输入、介质输入、通信输入等方式。

手动数据输入方式即 MDI 方式。它是指利用数控机床操作面板上的键盘，将编好的程序直接输入到数控系统中，并可以通过显示器显示有关内容。现代 CNC 系统存储容量较大，可储存多个零件加工程序，且可在不占用加工时间的情况下进行输入。因此，对于不太复杂的零件常采用手工编程并用 MDI 方式进行程序的输入，其特点是输入简单，检验与校核、修改方便。

介质输入是指将加工程序记录在软磁盘或磁带等介质上，通过数控系统的输入装置将程序一次性输入。介质输入常用于程序量较大的情况，程序要在计算机上用专用的编程软件完成，然后以相应的介质存储。其输入的特点是输入快捷、便于程序的长期保存和重复使用。

通信输入要求数控系统配备相应的通信接口。有两种不同的工作方式可供选择：串口通讯与并口通信。串口通信是指通过电缆线将计算机与数控机床上的 RS-232 标准串行

接口连接起来, 一次性将零件加工程序输入到数控机床的存储器, 加工时再从存储器一段一段地往外读出; 并口通信的传输方式类似于纸带方式, 常称为 DNC 方式, 是一种边传送边加工的工作方式。对于具有复杂曲面形状的模具加工, 采用 CAD/CAM 软件编程时的程序长度常常会超过数控机床内存储器的存储容量, 此时, DNC 工作方式是程序输入的主要方式。

另外, 最近几年还有网络输入方式被采用, 如西门子 840D 系统就具备很强的网络控制功能。

5. 程序检验

程序检验包括程序格式错误检查、MDI 方式下输入时的键盘输入差错、加工过程中的安全性检查以及零件加工后最终的零件合格性检查。对于以通信方式为主的数据传输, 也要经常检查数据传输的可靠性和稳定性。在程序输入的格式上, 以进给功能 F 为例, 当要求刀具进给速度为 100mm/min 时, 有的要求写成 F100, 有的则必须写成 F100.。程序的输入对于可以使用小数点编程的数控机床, 一定要注意小数点的输入格式要求。加工过程中的安全性检查, 主要通过调整工件坐标系的位置, 先使刀具在比较接近工件但又安全的区域进行模拟性运动, 检查加工中是否存在碰撞或过切。加工完成后对加工时间及零件质量进行分析, 要从好与坏两方面总结经验, 这样才能不断提高编程水平。

六、数控系统的基本功能

数控机床一般由数控系统、伺服系统和机床本体三大部分组成。有必要了解数控系统中与数控编程相关的一些功能。

1. 数控系统的控制轴数与同时 (联动) 控制轴数

控制轴数是指数控系统可以控制并按加工要求运动的轴数, 如 X、Y、Z 三轴; 同时控制轴数是指数控系统可以同时控制并按加工要求运动的轴数, 如二轴联动 (XY、ZX、YZ) 或三轴联动 (XYZ)。

2. 准备功能与辅助功能

准备功能用来建立机床的某种加工方式, 如 G01 为直线插补功能; 辅助功能则可使机床或系统实现某些开-关的动作, 如 M03 为主轴正转。

3. 主轴功能、进给功能与刀具功能

主轴功能用来指定主轴的转速; 进行功能用来指定进给速度或进给率; 刀具功能用来选择刀具和 (或) 换刀。

4. 多种函数的插补功能

用来实现刀具进给运动的轨迹是通过数控系统的插补运算获得。除直线插补和圆弧插补功能外, 有些数控系统还可以实现螺旋线插补、抛物线插补等功能。

5. 代码转换功能

包括 EIA/ISO 代码转换、英制/公制转换、绝对值/增量值转换等功能。

6. 补偿功能

除刀具长度补偿、半径补偿功能外, 还包括机械传动元件间的间隙补偿及丝杠的螺旋误差补偿等功能。

7. 固定循环功能

将一些典型的循环加工过程如粗车、钻孔等预先编制好程序并存放在存储器中，用 G 代码进行指定，从而简化零件加工编程的功能称为固定循环功能。

8. 子程序功能

将程序中重复出现的内容抽出并编成一个子程序，主程序使用时可随时调用的功能称为子程序功能。

9. 宏程序功能

事先利用变量及变量间的运算功能编写好宏程序，编程时用宏指令调用并可以对变量进行赋值的功能称为宏程序功能。

10. 辅助编程功能

辅助编程功能包括图形缩放、平移、镜像、坐标旋转、极坐标等功能。

11. 人机对话编程功能与图形显示功能

包括加工程序及数据的输入、编辑及修改并可在显示器上显示数控程序、坐标位置以及各种补偿数据、设定参数和报警信息等。

12. 通信及网络功能

用于实现程序的传输，计算机直接数控、分布式计算机数控和制造自动化协议 (MAP) 等功能。

第二节 数控编程的基础知识

一、数控编程有关标准

数控机床经过多年来的不断实践与发展，与数控程序有关的孔带代码、机床坐标轴与运动方向、准备功能与辅助功能代码以及程序格式等方面，正逐步趋于统一或基本一致。为此，国际标准化组织已在这方面制订了一系列 ISO 标准供各成员国采用或参照，这对数控机床的设计、使用、发展都会带来方便与效益。

我国根据 ISO 数控标准已制订了相应的国家标准，并规定新设计的数控机床必须采用。

(一) 字符与穿孔带码孔

字符是构成数控程序的最小单元，是数控程序输给数控装置的一种符号化标记。ISO (国际标准化组织) 及 EIA (美国电子工业协会) 制订了用于数控机床的字符及其意义。表 1-1 表示了所用字符及其在两个标准中的定义，它包括数字 0~9、字母 A~Z 以及符号三个类别。其中，数字可以组成一个十进制数或与字母组成一个代码；26 个字母称为地址符，用作程序功能指令识别的地址；符号主要用于数学运算及穿孔带程序格式的要求。需要说明的是，表 1-1 中有些字母字符在实际应用中还指定其他用途，如 F 还可指定螺纹导程；D、H 常指定偏置号；P、Q、R 可用作特殊计算参数；R 还可指定圆弧半径。具体的使用方法必须按所用数控机床的编程手册确定。

我国在 ISO 标准的基础上制订了 JB3050—1999 《数控机床用七单位编码字符集》部颁标准。

数控机床传统上曾使用八单位穿孔纸带作为信息载体。根据孔带上一排横孔八个位

置上孔的有无(1或0)的不同组合,用以表示不同字符的二进制代码,如表1-1左边两列所示。在纸带上每一横行的九个位置上,有一个固定位置的小孔称为同步孔或中导孔,用作输送纸带和产生同步控制信号,其余八个位置为信号孔。信号孔中有一列孔被用作补奇或补偶,用于纸带运行时的校验。ISO 与我国 JB 标准规定每个字符的信号孔为偶数,第八列为补偶列;EIA 为奇数孔,第五列为补奇列。字符编码有一定的规律性,以利于数控系统的逻辑设计与信息输入时的识别。

表 1-1 ISO 和 EIA 代码表

ISO 代码					EIA 代码					字符	意义						
8	7	6	5	4	3	2	1	8	7			6	5	4	3	2	1
		○	○							○						0	数字 0
○		○	○												○	1	数字 1
○		○	○												○	2	数字 2
		○	○							○					○	3	数字 3
○		○	○												○	4	数字 4
		○	○							○					○	5	数字 5
		○	○							○					○	6	数字 6
○		○	○												○	7	数字 7
○		○	○	○											○	8	数字 8
		○	○	○						○					○	9	数字 9
		○						○	○						○	A	绕 X 轴的角度
		○						○	○						○	B	绕 Y 轴的角度
○	○							○	○	○					○	C	绕 Z 轴的角度
		○						○	○						○	D	第三进给功能
○	○							○	○	○					○	E	第二进给功能
○	○							○	○	○					○	F	进给功能
		○						○	○						○	G	准备功能
		○		○				○	○		○					H	ISO 永不指定(可作特殊用途); EIA 输入(或引入)
○	○			○				○	○	○	○				○	I	ISO 沿 X 坐标圆弧起点对圆心值, EIA 不用
○	○			○				○	○	○					○	J	ISO 沿 Y 坐标圆弧起点对圆心值, EIA 未指定
		○		○				○	○						○	K	ISO 沿 Z 坐标圆弧起点对圆心值, EIA 未指定
○	○			○				○	○						○	L	ISO 永不指定, EIA 不用
		○		○				○	○						○	M	辅助功能
		○		○				○	○						○	N	序号
○	○			○				○							○	O	不用
		○		○				○	○						○	P	平行于 X 轴的第三坐标
○	○			○				○	○						○	Q	平行于 Y 轴的第三坐标
○	○			○				○	○						○	R	平行于 Z 轴的第三坐标

续表

ISO 代码					EIA 代码					字符	意义						
8	7	6	5	4	3	2	1	8	7			6	5	4	3	2	1
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	S	主轴转速功能
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	T	刀具功能
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	U	平行于 X 轴的第二坐标
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	V	平行于 Y 轴的第二坐标
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	W	平行于 Z 轴的第二坐标
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	X	X 轴方向的主运动
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Y	Y 轴方向的主运动
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Z	Z 轴方向的主运动
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	.	小数点
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	+	加、正
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	减、负
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	*	乘/星号
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	/	省略/除或跳过任选程序段
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	,	逗号
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	=	等号
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	(左圆括号/控制暂停
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○)	右圆括号/控制恢复
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	\$	单元符号
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	:	选择(或计划)倒带停止/对准功能
			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	LF 或 CR	程序段结束
			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Tab 或 HT	制表(或分隔符号)
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	%/Stop	ISO 程序开始/EIA 纸带倒带停止
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Delete	注销
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Space	空格
				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	NUL	空白纸带
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	BS	反绕(退格)
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	EM	载体终了

(二) 数控机床坐标轴和运动方向的规定

统一规定数控机床的坐标轴及运动的正、负方向可使编程简便,并使所编程序对于同类型机床具有互换性。目前国际标准化组织已经统一了标准坐标系。我国也制订了 JB3051—1999《数控机床坐标轴运动方向的命名》的标准,对数控机床的坐标轴和运动方向做出了明确规定。

1. 坐标和运动方向命名的原则

为了便于编程人员编写程序,编程人员可不考虑实际机床在加工零件时是刀具移向工件,还是工件移向刀具,而一律假定工件固定,刀具相对于静止的工件而运动。因为

这样就可以直接在零件图样上建立一个与标准坐标系平行的工件坐标系，使刀具在图样上运动，以便直观地编写出正确的程序。

2. 标准坐标系的规定

在数控机床上加工零件，机床的动作是由数控机床发出的指令来控制的。为了确定机床的运动方向，移动的距离，就要在机床上建立一个坐标系，这个坐标系就叫标准坐标系，也叫机床坐标系。在编制程序时，就可以以该坐标系来规定运动的方向和距离。

数控机床的坐标系是采用右手直角笛卡儿坐标系。如图 1-3 所示，对于基本的直线运动坐标轴，分别用 X 、 Y 、 Z 表示；围绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A 、 B 、 C 表示。 X 、 Y 、 Z 三者之间的关系及其方向按右手定则判定，即伸出右手时，大拇指的方向为 X 轴的正方向；食指为 Y 轴正方向；中指为 Z 轴正方向。 A 、 B 、 C 的正方向按右手螺旋法则判定，即当右手 4 指并拢后，拇指分别指向 X 、 Y 或 Z 轴正方向时，4 指握拳的方向即表示 A 、 B 或 C 的正方向。

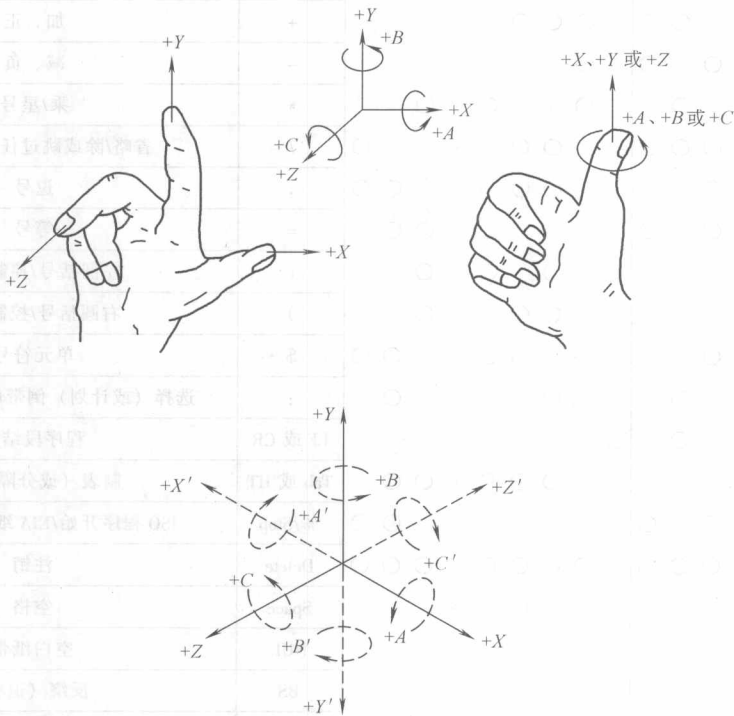


图 1-3 右手直角笛卡儿坐标系

在表示具体机床的坐标系时，如果在某坐标轴方向上是工件固定而刀具移动，就采用上述法则；如果工件移动而刀具固定，则正方向要反向并在相应字母上加“'”表示，即直线坐标分别用 $+X'$ 、 $+Y'$ 、 $+Z'$ ；回转坐标分别用 A' 、 B' 、 C' 。这种表示方法的好处是，既可使操作者按运动部件判断坐标轴的正负方向，又可使程序员编程时，不必考虑机床的实际运动状况。

3. 运动方向的确定

JB3051—1999 中规定：机床某一部件运动的正方向，是增大工件和刀具之间距离的方向。