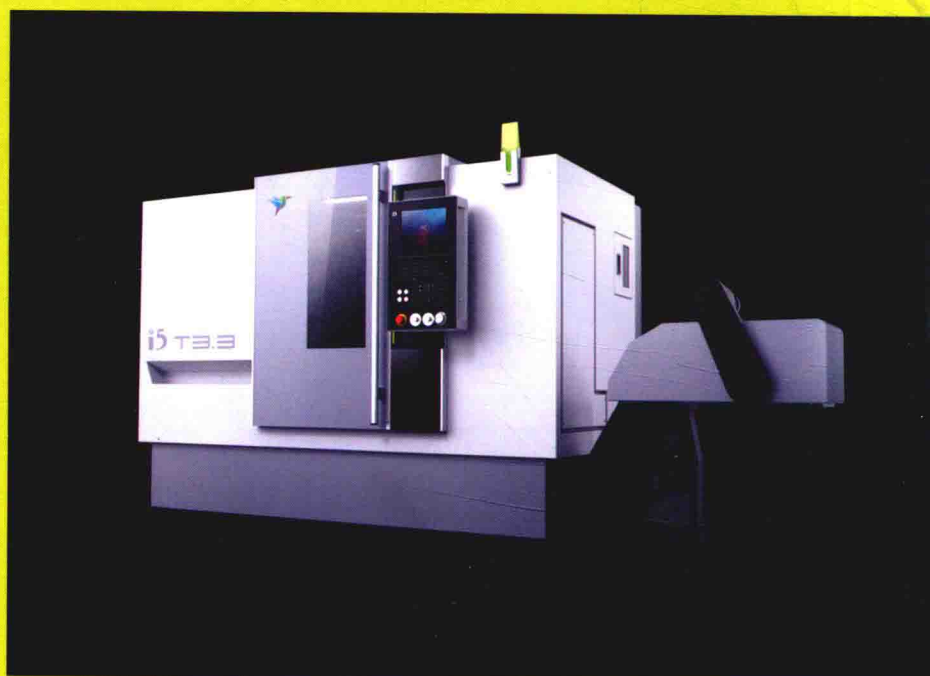


i5官方指定教材

21世纪机电类专业规划教材

i5

智能车床 加工工艺与编程



赵猛 姜海朋 主编



扫码观看仿真加工视频及课后习题答案
赠电子课件、教学大纲

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪机电类专业规划教材

i5 智能车床加工工艺与编程

主 编 赵 猛 姜海朋
副主编 陈 灿 徐 侃 邢焕武
参 编 赵建华 曾 鹏 顾贤杰
胡桂山 朱如会 李 赞
杨爱俊 邢松松 王 晶
李婷婷 刘广杰 杨生虎
邹志强 洪月蓉 尤 磊
主 审 朱志浩 纪晓雷 黄云鹰



机械工业出版社

i5 智能系统是由沈阳机床集团完全自主研发的, 具有自主知识产权的智能化数控系统, 是国家智能制造领域的标志性示范项目。该系统具有很多智能化功能, 例如图形引导、三维仿真、工艺支持、特征编程、图形诊断等, 目前已经有很多职业院校和技工学校的数控专业在实训课程中引入该系统。本书根据 i5 智能系统的特点, 参照数控专业的教学要求进行编写。本书主要内容包括: 数控车床基础知识, 数控车削加工工艺, i5 智能车床简单指令编程, 固定循环编程和宏程序。扫描书中二维码, 可登录 i5 在线文库网站 <http://doc.i5cnc.com/> 观看模拟仿真加工视频, 同时本书配有教学视频、电子课件、教学大纲、实验指导书等, 供读者下载学习。

本书适合职业院校和技工学校数控专业师生使用, 同时可供读者自学使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

i5 智能车床加工工艺与编程/赵猛, 姜海朋主编. —北京: 机械工业出版社, 2018. 2

21 世纪机电类专业规划教材

ISBN 978-7-111-59095-8

I. ①i… II. ①赵… ②姜… III. ①数控机床-车床-加工工艺-高等学校-教材②数控机床-车床-程序设计-高等学校-教材 IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 021923 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: 宋亚东 责任编辑: 宋亚东 张雁茹

责任校对: 张晓蓉 封面设计: 马精明

责任印制: 孙 炜

北京中兴印刷有限公司印刷

2018 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 14.75 印张 · 396 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-59095-8

定价: 39.80 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

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com



i5 智能系统是沈阳机床集团完全自主研发的智能数控系统，“i5”由五个英文单词“industry”“information”“internet”“intelligence”和“integration”缩写而成，其自身集合了“工业化”“信息化”“网络化”“智能化”和“集成化”的基因，是国家智能制造领域的标志性示范项目。i5 智能系统具有改变工业模式和制造方式的潜力，它深度贴合着以信息技术与制造业加速融合为主要特征的智能制造业发展方向，符合“中国制造 2025”国家发展战略。同时，i5 智能系统的技术创新历程也充分映射了我国产业升级“创新、协调、绿色、开放、共享”的理念。

本教材基于 i5 智能系统，以用户需求为导向，以提高从业人员专业技能为目标，以智能车床的操作、编程为重点内容进行编写。本教材内容全面，涉及知识点广泛，使读者能够循序渐进地学习并掌握数控车削理论知识及相关技能。本教材具有以下特色：

1. 知识体系完整。本教材作为综合性的实用教材，注重内容的先进性、实用性和系统性，由浅入深，由易渐难，使不同水平的读者能够根据自身需求进行系统性学习，构建完整的数控车削知识体系。

2. 案例丰富。对于主要编程指令和功能，首先通过简单案例进行剖析，边学边练，之后使用综合案例进一步提升学生能力。本教材结构清晰，以保证学生能够独立学习，灵活运用。每一章的讲解都结合着企业的实际加工案例，确保学生在学习本课程后能够直接适应企业的工作模式。

3. 配套资源丰富。本教材结合网络微课堂的形式，通过大量的实例教学视频，直观地介绍了实际切削的操作步骤，有助于学生高效学习、深入理解。同时本教材配有电子课件和试题答案。

本教材共分五章，包括数控车床基础知识、数控车削加工工艺、i5 智能车床简单指令编程、固定循环编程和宏程序。

本教材具体编写分工如下：陈灿、赵猛、刘广杰、杨生虎编写第一章；顾贤杰、胡桂山、姜海朋、朱如会、尤磊、洪月蓉编写第二章；赵猛、曾鹏、李赟、邢松松编写第三章；姜海朋、赵建华、杨爱俊、邹志强编写第四章；邢焕武、徐侃、王晶、李婷婷编写第五章。全书由赵猛负责统稿，朱志浩、纪晓雷、黄云鹰担任主审。

由于时间仓促，加之编者水平有限，书中难免有疏漏之处，如有宝贵建议请发送邮件至 training@i5cnc.com，以便编者后期修订完善。

编者

目 录

前言

第一章 数控车床基础知识	1
第一节 i5 智能系统简介	1
一、i5 智能系统的演进	1
二、i5 智能系统的特点	3
三、i5 智能机床介绍	3
第二节 i5 系统编程基本知识	5
一、坐标系	5
二、数控编程的概念	7
三、程序结构	7
四、程序命名规则	8
五、程序段组成	8
六、主程序和子程序	10
七、程序执行的优先级	10
八、信息编程	11
第三节 辅助功能指令	12
一、车床主要辅助功能指令	13
二、辅助功能指令说明	14
三、模态指令与非模态指令	14
第四节 i5 智能车床操作	15
一、车床操作步骤	15
二、车刀安装	17
三、车床对刀	18
第五节 i5 智能车床保养	24
第六节 云制造实验室	28
一、云制造实验台简介	28
二、云制造实验室无线网络配置	28
课后习题	29
第二章 数控车削加工工艺	32
第一节 数控车削工艺基础	32
一、定位基准	32
二、夹具及装夹方式	35
三、加工方案拟订	42
四、刀具类型选用	44

五、切削运动及切削用量	48
六、工件检测	50
第二节 典型样件工艺分析	54
例1 轴类零件工艺分析	54
例2 套类零件工艺分析	57
课后习题	60
第三章 i5 智能车床简单指令编程	63
第一节 简单轴类零件加工	63
一、学习目标	63
二、课题任务	63
三、制订加工方案	64
四、准备知识	64
五、编写加工程序	72
六、模拟仿真	73
第二节 圆弧类零件加工	76
一、学习目标	76
二、课题任务	76
三、制订加工方案	77
四、准备知识	77
五、编写加工程序	86
六、模拟仿真	87
第三节 螺纹加工	87
一、学习目标	87
二、课题任务	88
三、制订加工方案	88
四、准备知识	88
五、编写加工程序	98
六、模拟仿真	99
第四节 数控车床其余部分指令讲解	100
一、学习目标	100
二、知识点讲解	100
课后习题	110
第四章 固定循环编程	113
第一节 钻削循环功能	113
一、学习目标	113
二、课题任务	114
三、制订加工方案	114
四、准备知识	114
五、课题任务加工程序	126
六、模拟仿真	128
第二节 车削循环功能	129

一、学习目标	129
二、课题任务	129
三、制订加工方案	129
四、准备知识	130
五、课题任务加工程序	157
六、模拟仿真	161
第三节 数控加工综合样例	162
例1 外圆零件案例	162
例2 中间套—车槽案例	165
例3 综合加工案例1	166
例4 综合加工案例2	172
课后习题	180
第五章 宏程序	183
第一节 变量及参数子程序调用	183
一、学习目标	183
二、课题任务	183
三、准备知识	184
四、课题实施	196
第二节 运算、控制指令及程序架构	198
一、学习目标	198
二、课题任务	198
三、制订加工方案	199
四、准备知识	199
五、课题实施	205
第三节 宏程序切削案例	209
例1 抛物线案例	209
例2 系统参数调用案例	214
例3 大导程矩形螺纹切削案例	218
课后习题	222
附录	225
附录A 指令表	225
附录B 标准螺纹钻头尺寸对照表	228
参考文献	230

数控车床基础知识

第一节 i5 智能系统简介

i5 智能系统是由沈阳机床股份有限公司自主研发的，具有自主知识产权的智能化数控系统。i5 (industry, information, internet, intelligence, integration) 是指工业化、信息化、网络化、智能化、集成化的有效集成。

一、i5 智能系统的演进

数控是数字控制 (Numerical Control) 的简称，它是一种借助数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的方法。数控系统是指为实现数字控制功能而设计的一套解决方案，一般数控系统由三大部分组成——控制系统、伺服系统和位置测量系统。

控制系统是数控机床的“大脑”，是一个具有计算能力的控制元件或者计算机，负责向伺服系统发送运动控制指令。位置测量系统负责检测机械的运动位置和速度，并将信息反馈到控制系统和伺服系统，达到高精度控制的目的。伺服系统将来自控制系统的控制指令和测量系统的反馈信息进行比较和调节后，通过控制电流驱动伺服电动机，再由伺服电动机驱动机床部件运动，所以伺服是将电能转化为机械运动的过程。控制系统和伺服系统之间由总线连接，总线负责传递信息数据，是整个系统的“神经网络”。i5 智能系统的结构示意图如图 1-1 所示。

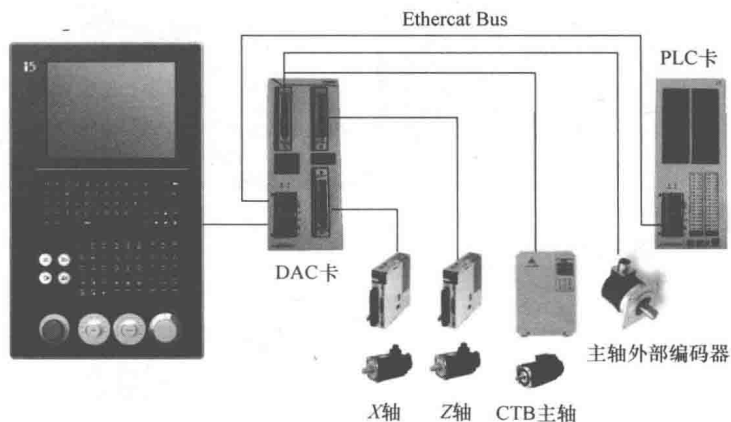


图 1-1 i5 智能系统的结构示意图

数控系统体系结构发展的一个大趋势是从原来的专用封闭式向通用开放式转变，专用封闭数控系统中指令体系和软硬件的标准互不兼容。通用开放式系统中，控制系统与平台无关，是一个标准化、开放的系统平台。后者比前者更便于操作者使用，系统的升级、维护和二次开发也更加容易。近年来，无论新兴的数控系统制造商还是西门子、发那科这样的老牌数控系统制造商，都在向通用开放式数控系统结构转变。i5 智能系统就是基于 PC 平台的开放式数控系统结构。

在 i5 智能系统的演进中，机床就成为在生产人工制品的同时也生产数据的机器。正是因为机床生产的数据在数量和质量上都远远超越了人工可以达到的程度，才产生了大数据；正是因为需要对大数据进行存储和分析，才需要云平台。i5 智能系统的架构如图 1-2 所示。

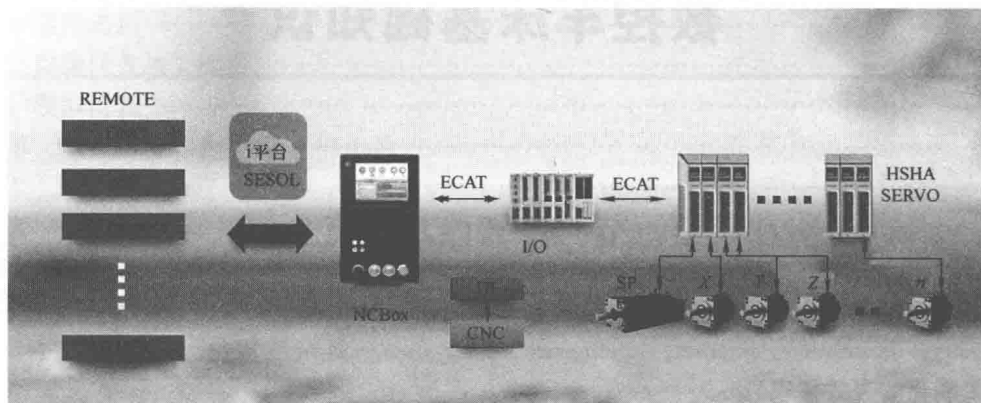


图 1-2 i5 智能系统的架构

i5 智能系统是在开放式系统平台的基础上，以智能、互联为依托，进而可以拓展数字工厂系统/云平台业务的智能化数控系统。iSESOL 云平台是配套 i5 智能系统的智能工业工程和服务平台 (Smart Engineering & Services Online)，主要功能是生产能力调配与协调、制造支持、产品定制化、机床租赁、制造人才培养、交互式智能制造等。图 1-3 所示为 WIS 车间管理系统，图 1-4 所示为 i 平台在线工厂—Android 版。从这里可以看出，i5 智能系统的智能、互联性质展现出一个无限可能的前景。

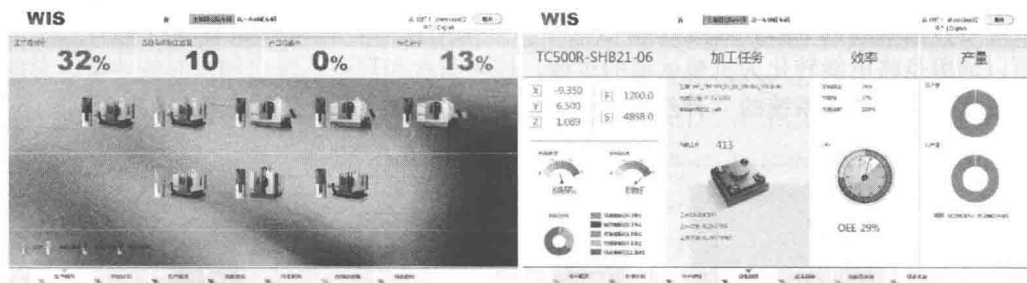


图 1-3 WIS 车间管理系统

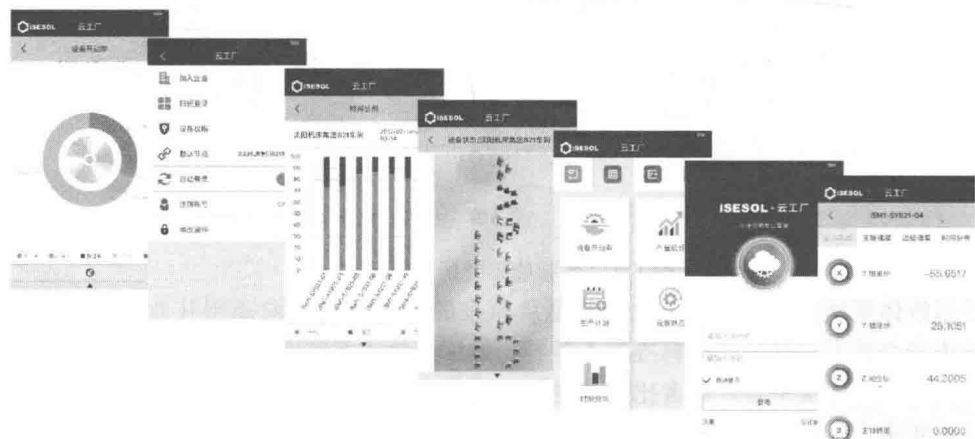


图 1-4 i 平台在线工厂—Android 版

二、i5 智能系统的特点

i5 智能系统的特点是以用户为中心的智能化和互联。这里的智能化是 i5 智能系统产品化的中心原则,这种智能并不是从学术角度描述的具有感知能力、自学习、自诊断、自判断等高、精、尖的智能功能,而是从客户角度描述的以给客户带来便利、让事情变得简单为出发点的智能化功能,主要包括:图形引导、三维仿真、工艺支持、特征编程、图形诊断等,如图 1-5 所示。其概括起来就是具有操作智能化、编程智能化、维修智能化和管理智能化四大特点。

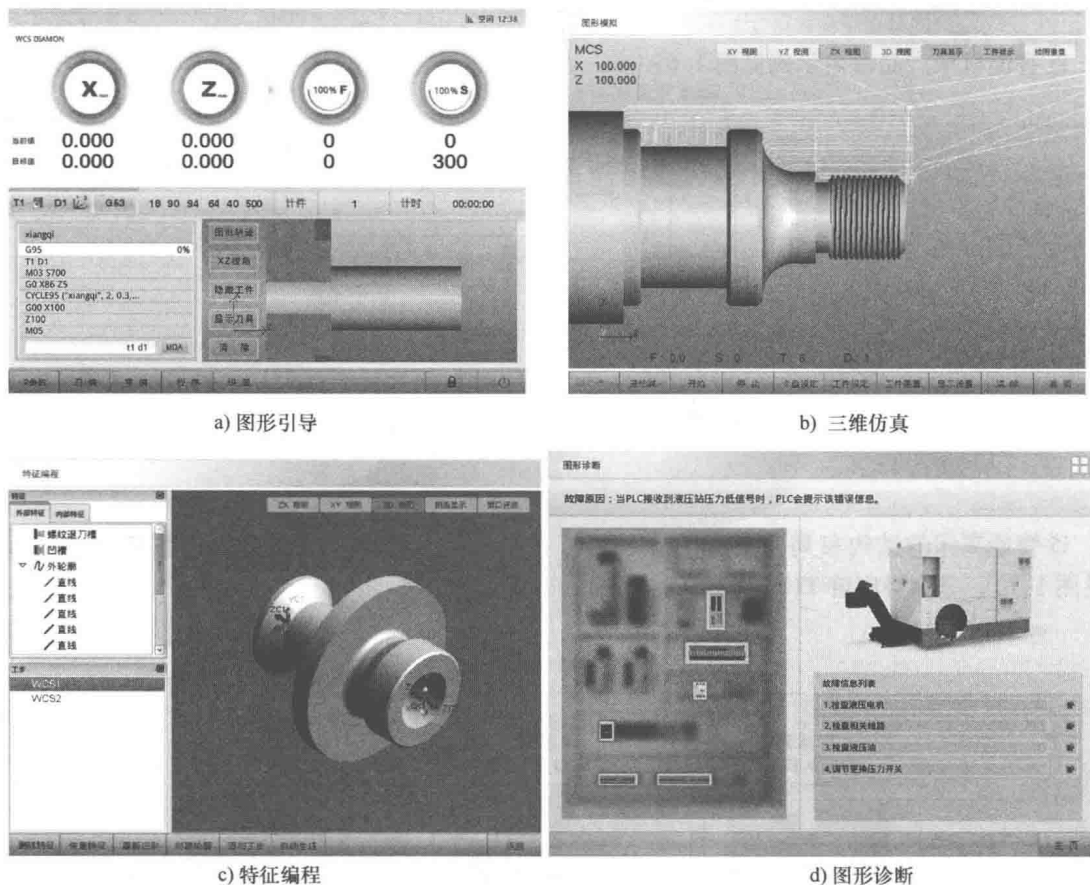


图 1-5 智能化功能模块

三、i5 智能机床介绍

下面所介绍的 i5 智能机床命名规则适用于沈阳机床股份有限公司所生产的所有搭载 i5 智能系统的智能数控机床。

智能机床命名主要包括以下几个含义:

- 1) 智能机床的品类。
- 2) 智能机床的类型。
- 3) 智能机床的结构平台。

i5 智能机床产品的名称由四部分构成,分别为:机床品类、类代码、系代码、型代码,详见

表 1-1。

表 1-1 i5 智能机床产品名称

序号	名称	代码	说明
1	机床品类	i5	智能机床品类代码
2	类代码	T/M...	机床类别：车类产品、铣类产品等
3	系代码	1, 2, 3...	代表机床的结构形式，与类代码一起表示某类机床的结构形式，称为产品平台
4	型代码	1, 2, 3...	代表产品的一种规格，与系代码和类代码一起表示某产品平台的一种规格

i5 智能机床产品命名示例见图 1-6。

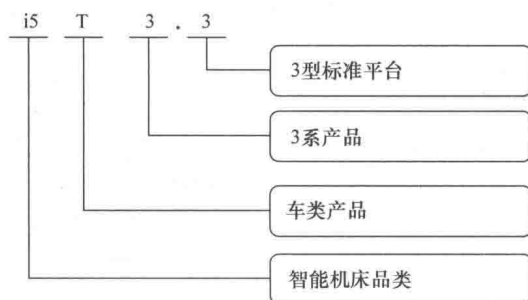


图 1-6 i5 智能机床产品命名示例

i5 智能车床的结构布局主要分为三种形式：平床身平床鞍、平床身斜床鞍和整体斜床身（见图 1-7），分别对应着 T1、T3 和 T5 三个系列的车床。



图 1-7 T 系列智能车床布局

其结构布局的特点见表 1-2。

表 1-2 i5 智能车床产品布局特点

系列产品	结构布局	优缺点	典型机型
T1	平床身平床鞍	优点：水平床身的工艺性好，便于导轨面的加工 缺点：床身下部空间小，导致排屑困难，且机床整体刚性稍差	T1.4

(续)

系列产品	结构布局	优缺点	典型机型
T3	平床身斜床鞍	<p>优点：水平床身工艺性好，斜床鞍切削刚性较好，床身下部空间大，容易排屑</p> <p>缺点：床鞍装备工艺性稍差，一旦出现撞刀情况装配精度很难恢复</p>	T3.1、T3.3、T3.5等
T5	整体斜床身	<p>优点：切削刚性较前两种布局形式更好，且排屑容易，铁屑不会堆积在导轨上，机床内部空间大，易于安装机械手，以实现单机自动化</p> <p>缺点：成本略高，两轴电动机需同时配置抱闸</p>	T5.1、T5.2等

本书主要以市场上最为常见的 i5 - T3.3 智能车床为例进行介绍，其主要结构如图 1-8 所示。

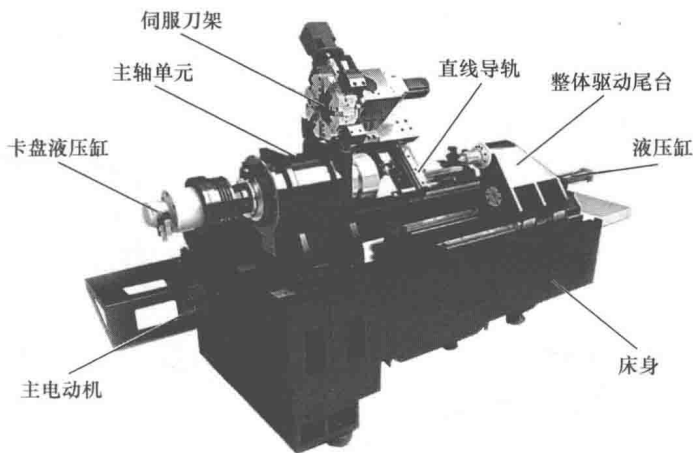


图 1-8 i5 - T3.3 智能车床主要结构

第二节 i5 系统编程基本知识

一、坐标系

1. 车床坐标系定义

机床在实际加工过程中是按照点位运动的，只有坐标系确定以后，对应的点位才能完全确立。车床坐标系是国际标准化组织 ISO 规定的，即右手笛卡尔坐标系。如图 1-9 所示，伸出右手，拇指、食指、中指，分别代表车床的 X 轴、Y 轴和 Z 轴，手指所指的方向即是 X 轴、Y 轴和 Z 轴的正向，也是车床坐标系的正方向。

2. 车床坐标系分类

车床坐标系主要分为两类，一类叫作机床坐标系，即 MCS (Machine Coordinate System)，另一类叫作工件坐标系，也叫 WCS (Workpiece Coordinate System)，如图 1-10 所示。

机床坐标系也叫机械坐标系，是机床出厂时已经设定好的。机床坐标系的原点设计在机床

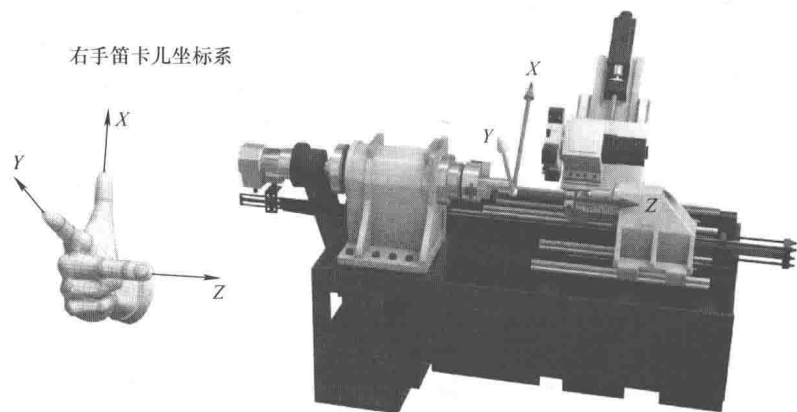


图 1-9 车床坐标系定义

的零点，机床开机回零时，回到的那一点就叫作机床坐标系的原点。

工件坐标系是加工工件时，人为设计的坐标系，它的 Z 轴零点可以是任意设置的，而 X 轴零点始终位于主轴旋转中心轴线上。对刀时所设定的坐标系就叫作工件坐标系。

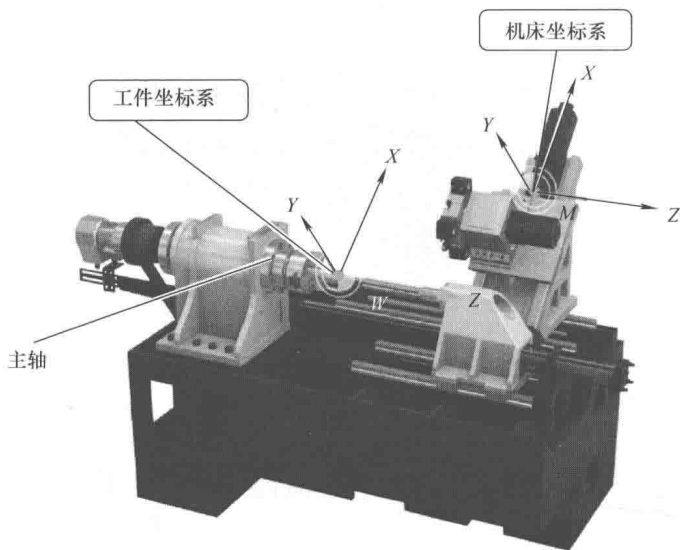


图 1-10 机床坐标系和工件坐标系

3. 车床坐标系方向判定

车床实际上就由两个坐标轴构成： X 轴和 Z 轴。 Y 轴是虚拟轴，但是加工过程中有时需要判断 Y 轴的正方向。如图 1-10 所示，左端是车床的主轴， Z 轴与车床的主轴旋转中心线是重合的，远离主轴的方向就是它的正方向。 X 轴与主轴的轴线是垂直的，远离旋转方向就是它的正方向。

4. 后置刀架和前置刀架

数控车床目前主要有两种安装刀架的形式：前置刀架和后置刀架。如图 1-11 所示，操作人员站在车床前方，刀架位于主轴和操作人员之间的属于前置刀架；主轴位于刀架和操作人员之间的，则属于后置刀架。

前置刀架和后置刀架最大的区别在于 X 轴的正方向不一样，如图 1-12 所示，根据“远离工

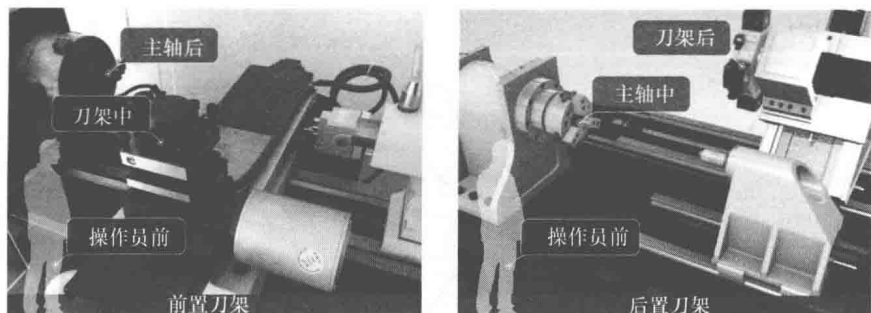


图 1-11 前置刀架和后置刀架

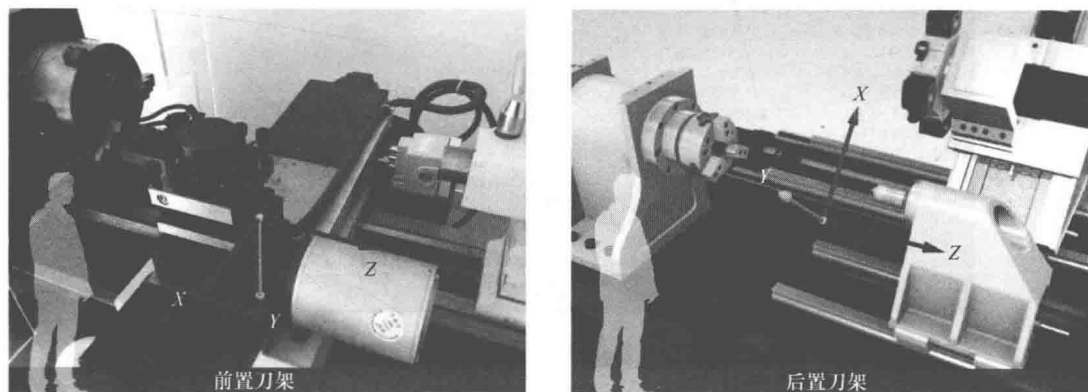


图 1-12 两种刀架形式下的坐标系

件的方向为坐标轴正方向”的原则，前置刀架 X 轴正方向指向操作人员，后置刀架的 X 轴正方向与前置刀架正好相反。根据“笛卡儿坐标系”的定义，这样会导致两种刀架形式下 Y 轴的方向不一样。大家可以伸出右手判断一下 Y 轴的正方向，后置刀架 Y 轴的正方向垂直于 X 轴和 Z 轴向上，而前置刀架 Y 轴的正方向垂直于 X 轴和 Z 轴沿地面向下。

后置刀架与前置刀架相比，结构形式规整，加工时便于观察刀具的切削过程、切屑容易排除、后置空间大，可以设计更多工位的刀架，目前多功能的数控车床大多设计为后置刀架形式。

二、数控编程的概念

在数控加工中，为了使机床能够根据零件加工的要求进行运动，必须将“加工要求”以数控系统能识别的指令形式指定给数控系统，这种数控系统可识别的指令称为程序，制作程序的过程称为数控编程。

在数控系统中，数控指令大致分为运动控制指令和逻辑控制指令：进行运动控制的指令有 G 代码（准备功能代码）和 F 代码（进给功能代码）；进行逻辑控制的指令有 M 代码（辅助功能代码）、 S 代码（主轴速度功能）和 T 代码（刀具功能）。这些数控代码组成一段完整程序，最终实现零件的完全加工。

三、程序结构

$i5$ 智能系统的程序结构是由三部分组成的，如图 1-13 所示。

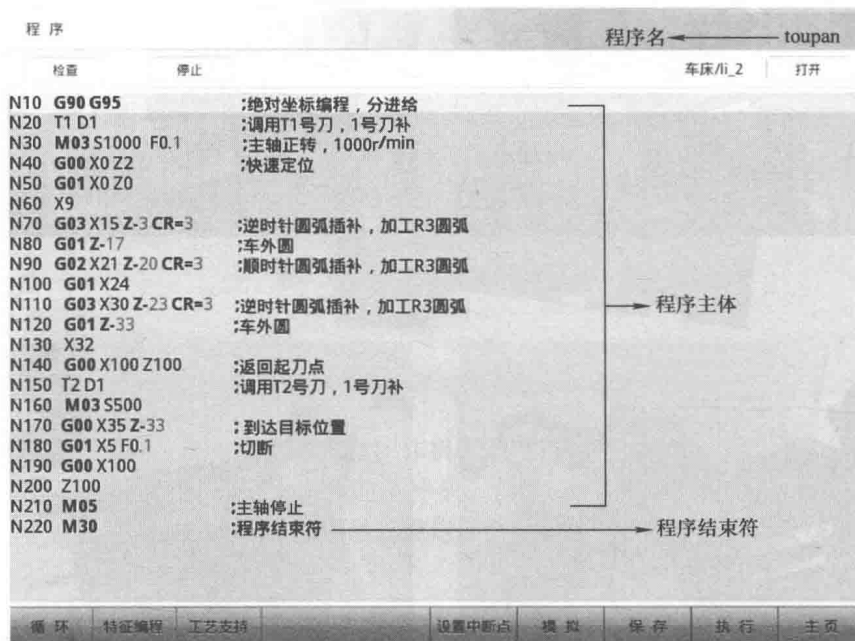


图 1-13 程序结构的组成

最上面是程序名称，程序的名称不会出现在程序中，是新建程序的时候输入的。中间的内容为程序主体，也就是我们编程的主要内容。程序最后一段是程序结束符，它是程序结束的一个标志。

四、程序命名规则

i5 程序的程序名可由字母、数字和下划线组成，程序名的开头只能是数字或者字母。例如：2016_cujiagong、rough_1 等。

i5 系统对程序名中字母的大小写有严格的区别，系统会将字母相同但大小写不一样的程序当作两个不同的程序来处理。例如：2008_ABCD 和 2008_abcd 是两个完全不同的程序。

新建程序的程序名尽量不与系统标准循环名称相同，如图 1-14 所示。例如：CYCLE83、CYCLE99、CYCLE88 等都是不规范的程序名。

i5 系统主程序的后缀名可兼容多种格式，如 txt、nc 等。例如：556.txt、zsm.nc。子程序的后缀名必须是小写 iso，例如：pxz.iso。程序名的长度不能超过 32 个字符，否则系统就会出现报警。

五、程序段组成

1. 组成程序段的代码

程序段是程序的基本组成部分，每个程序段由若干个代码构成，而代码又是由表示地址的英文字母、特殊文字和数字构成，如 G02、Z10 和 M3 等。

下面是一个程序的示例，如图 1-15 所示。



图 1-14 i5 系统标准循环

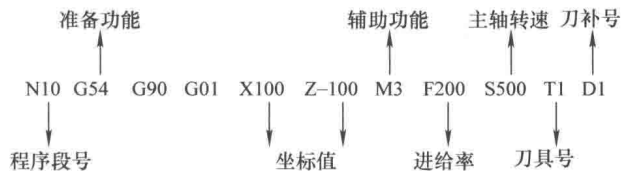


图 1-15 程序段代码

在这个示例中：N 代表程序段号，最多是五位数，一般建议按 10 的倍数递增，以便于在将来修改程序的时候可以插入程序段号；G 代表准备功能，X、Z 代表坐标值，F 代表进给率，S 代表主轴转速，T 是刀具号，D 是刀补号，M 是辅助功能。

图 1-15 所示的程序段能够实现的功能是：在工件坐标系 G54 下，刀具以直线插补的形式移动到 X100、Z - 100 的位置，进给率为 200mm/min，主轴正转，转速为 500r/min，刀具号为 T1，刀补号为 D1。



注意

不一定每段程序都必须完整地写出每个指令，有一些不需要的指令或者模态的指令是可以省略的。

2. 组成程序段的符号

为了使程序段结构清晰明了，当程序段有很多指令时，建议大家按照如下的顺序排列，如图 1-16 所示。

图 1-16 中，“/”代表在运行中可以跳过的程序段，但是必须与段跳跃功能按键同时使用。在程序的书写中我们建议在不同指令之间加入空格，有一些空格是必须要加入的，例如程序段号后边的空格；“;”代表注释，它是对程序段的解释说明，当程序执行到分号时，分号后面的程序段不会被执行，而是自动执行下一段程序。



图 1-16 程序段符号

六、主程序和子程序

1. 主程序和子程序的定义及区别

数控程序从执行的角度来讲可分为主程序和子程序。在一个加工程序中，如果有几个连续的程序段完全相同，为了缩短程序，可将这些重复的程序段单独抽出来，按照规定的格式编写子程序。

主程序和子程序之间并没有一个严格的界定。一般情况下，如果一个程序单独执行，那么可以称之为主程序；如果一个程序被其他程序调用，那么可称之为子程序。



注意

主程序和子程序主要的区别在于格式上：

- 1) 子程序名的后缀名必须是小写的 iso，而主程序名的后缀名可以是 nc、txt 或者其他格式。
- 2) 子程序的程序结束符是 RET，而主程序的程序结束符为 M30 或者 M02。

2. 子程序的调用

在编写程序的过程中，经常用到调用子程序的功能。

子程序的调用格式如下：

CALL 子程序名 P_；调用子程序

其中 CALL 是调用子程序的标志，是可以省略的，但在这里还是建议大家写 CALL 指令，这样便于程序的阅读。子程序名不包含后缀，P 后面跟调用的次数，如果没有指定 P，则代表调用子程序一次。如下面两个示例，第一个代表调用子程序 2017CU.iso 两次，第二个代表调用子程序 2017CU.iso 一次。

CALL 2017CU P2；代表调用子程序 2017CU.iso 两次

2017CU；代表调用子程序 2017CU.iso 一次



注意

调用子程序时，如果发现有找不到子程序的报警，可按照以下步骤查找问题：

- 1) 主程序和子程序是否在同一个文件夹下。
- 2) 核对主程序中调用子程序的名称与程序列表中子程序的名称是否一致。
- 3) 子程序名的后缀是否为 iso。

七、程序执行的优先级

编写程序时，一段程序中包含多个指令，例如图 1-17 所示的这段程序，它执行的先后顺序，