

普通高等教育智能制造系列教材

# 智能机床与编程

主 编 赵科学 宋 飞 陶 林  
副主编 徐 彬 郑 智  
参 编 王 冠 程 娜 佟 颖 王天东  
主 审 李康举 公丕国

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

传统的 CNC（计算机数字控制）系统（以 FANUC 等系统为代表）一般采用专用的封闭式体系结构，其体系结构是专用的、互不兼容的。随着现代计算机网络技术、现代通信技术和现场总线控制技术的飞速发展，智能化已融入工业生产的方方面面，因此数控机床的智能化程度也越来越高。智能机床在传统数控机床的基础上增加了用户界面的图形化和可视化，操作者可以通过窗口和菜单进行操作，通过人机交互界面实现零件快速编程、参数自动设定、刀具补偿和管理，以及加工过程仿真演示等功能。智能机床可以与数字化车间的机器人进行交互并具有与 MES（制造企业生产过程执行系统）、WMS（仓库管理系统）互联互通的功能。

数字化工厂是真正意义上将机器人、智能设备和信息技术三者制造业完美融合的产物。它涵盖了制造的物流和信息流等环节，主要解决了工厂、车间和生产线，以及产品涉及的制造实现的转化过程，完成了由传统的经验和手工方式向计算机辅助数字仿真与优化的蜕变。

智能机床是数字化工厂设备层最基本和最核心的组成要素，也是数字化工厂信息采集和控制的基本单元。在智能机床上采用马波斯、雷尼绍测头系统，可在智能机床上快速、准确测量工件的位置，直接把测量结果反馈到数控系统中修正智能机床的工件坐标系，这能简化工装夹具，节省夹具费用，缩短智能机床的辅助时间，大大提高智能机床的切削效率，并且可使切削余量均匀、切削过程平稳。在利用刀具半径补偿的批量加工过程中，智能机床还可利用测头自动测量工件的尺寸，根据测量结果自动修正刀具的偏置量，以保证工件的尺寸及精度的一致性。

随着“工业 4.0”和“中国制造 2025”的提出，制造业已经进入了新的发展阶段。以数字化工厂柔性加工生产线对机械零件智能化加工为主要特征的新一代智能制造业正在不断发展。与传统制造相比较，智能制造的诸多优点在科学技术现代化的发展进程中发挥着越来越重要的作用。离散型智能制造作为智能制造 5 种模式之一，是智能制造重要的组成部分，而具有自感知、自决策的开放式智能机床将成为未来制造业的发展趋势。

鉴于目前数字化工厂中具有智能制造功能的机床教学资源严重不足，本编写组决定编写《智能机床与编程》一书，力求奉献给读者一本比较完善的教科书。本书的主要特点

是：始终遵循高等教育人才培养目标及培养规格的要求，适应应用型人才培养模式，理实一体，学用结合，追求实效。本书理论部分以“必需、够用”为度，精选必需的理论知识和大量的实际案例。每一项目配有“项目目标”“任务列表”“任务导入”“知识平台”，以及“练习与提高”内容，使学生明确该项目的学习任务和知识脉络。本书共分8个模块、13个项目、27个任务。

本书的编写分工如下：第1章、第2章、第6章由沈阳工学院赵科学，沈阳机床股份有限公司王冠编写；第3章由沈阳工学院徐彬，沈阳实力宝洋机电设备有限公司佟颖编写；第4章和第5章由沈阳工学院宋飞，沈阳机床股份有限公司程娜编写；第7章、第8章由沈阳工学院陶林、郑智，沈阳机床股份有限公司王天东编写。

本书书稿承沈阳机床股份有限公司刘春时，东北大学朱立达教授，沈阳圣凯龙机械有限公司韩洪权，沈阳理工大学史安娜教授，沈阳工学院李康举教授、公丕国教授精心审阅，他们提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者的知识水平和实践经验有限，本书虽经多番修改，不妥之处仍难以避免，在此恳请广大读者指正。

编者  
2019年11月

## 模块一 智能机床认知

项目一 智能制造体系的认知	(3)
任务一 智能制造及智能机床的认知	(3)
任务二 智能机床的型谱认知	(9)
任务三 智能机床的应用认知	(13)
项目二 智能系统认知	(16)
任务一 智能系统硬件及连接结构认知	(16)
任务二 i5 系统软件结构基础认知	(22)
项目三 智能机床机械结构认知	(29)
任务一 智能机床基本机械结构认知	(29)
任务二 i5 智能车床换刀装置认知	(34)

## 模块二 智能机床回转体零件车削加工

项 目 酒杯零件加工	(41)
任务一 酒杯零件刀具选择及加工工艺分析	(41)
任务二 i5 智能车床的基本操作	(56)
任务三 酒杯零件加工编程	(61)

## 模块三 智能机床轴套类组合件的车削加工

项 目 锥面和螺纹配合的组合件加工	(85)
任务一 组合件的车削加工要求及加工工艺分析	(85)
任务二 轴套零件的数控编程及加工	(91)

## 模块四 智能加工中心平面型腔零件的铣削加工

项目一 平面外轮廓零件的加工	(107)
任务一 平面外轮廓零件工艺分析和刀具选择	(108)

任务二 平面外轮廓零件加工编程	(124)
项目二 典型型腔零件的编程与加工	(135)
任务一 平面型腔零件工艺分析和刀具选择	(136)
任务二 平面型腔零件加工编程	(140)

## 模块五 智能加工中心组合件的铣削加工

项目 智能加工中心组合件的铣削加工	(161)
任务 组合件的铣削加工工艺分析和切削参数选择	(163)

## 模块六 智能加工中心计算机辅助编程

项目一 五骏图的三轴 UG 加工	(169)
任务一 UG 加工基础知识与操作流程	(169)
任务二 五骏图的 UG 加工	(183)
项目二 基于 UG 软件的金元宝建模加工	(187)
任务一 零件金元宝建模分析	(187)
任务二 UG 软件下的金元宝模拟加工	(194)

## 模块七 智能生产单元测量系统搭建

项目 智能生产单元测量系统搭建	(203)
任务一 智能机床的自动测量系统认知	(203)
任务二 叶轮加工单元工件测量系统搭建	(205)
任务三 压盖加工单元及刀具测量系统搭建	(210)

## 模块八 智能机床在柔性加工单元上的应用

项目一 智能机床加工的离散型智能制造认知	(223)
任务一 i5 智能机床柔性加工单元认知	(224)
任务二 柔性快换系统认知	(239)
项目二 智能机床的智能管控	(243)
任务 i5 智能机床在制造流程中的应用	(243)
参考文献	(254)

# 模块一



智能  
机床  
认知





## 项目一

# 智能制造体系的认知



### 项目目标

- ◆了解智能制造的发展历史及背景。
- ◆了解智能工厂的基本概念、智能机床的特点。
- ◆掌握智能机床与普通数控机床的区别，并了解智能机床的基本分类。
- ◆掌握智能机床的基本应用范围及加工对象。



### 任务列表

学习任务	知识点	能力要求
任务一 智能制造及智能机床的认知	智能机床、智能制造、智能工厂的基本概念、特点	了解智能制造的基本概念、智能机床的特点
任务二 智能机床的型谱认知	智能机床的型谱	掌握智能机床的基本分类以及型谱
任务三 智能机床的应用认知	智能机床的基本应用范围	掌握智能机床的基本应用范围及加工对象

## 任务一 智能制造及智能机床的认知



### 任务导入

请同学们讨论什么是智能制造？请列举下面数字化智能工厂（如图 1.1.1 所示）的特征。



图 1.1.1 数字化智能工厂

## 知识平台

### 1. 智能制造及智能机床的发展历史及背景

在 2015 年的中国国际机床展览会（CIMT2015）上，沈阳机床集团在展会现场展出了一台基于工业互联网的 i5M1 智能机床，如图 1.1.2 所示。参加会议的观众可以将自己的星座、生肖、英文签名通过手机 App 下单，信息同步到网络云端，同时根据用户的所在区域沈阳、临沂、青岛等十多个机床 4S 店进行用户定制工艺品烟灰缸的加工。在展会结束之后，用户回到所在地区，即可根据所填信息到本区域 4S 店领取。这是国内第一次体现智能机床概念的展示，充分体现了智能机床和智能制造的特点：分级式管理、分布式生产、分享式经济。



图 1.1.2 i5M1 智能机床

智能制造是在现代传感技术、网络技术、自动化技术和人工智能的基础上，通过感知、人机交互、建模和仿真形成决策；再通过执行和反馈，实现机床设计过程、制造过程、企业管理服务的智能化。

智能制造是将先进制造业与通信技术、计算机技术结合，是以 ICT 系统和 CPS 为框架的先进制造技术。

将重复、烦琐的人工劳动转化为以工业机器人为核心的智能制造是未来的发展趋势。

智能制造是中国制造业转型升级的必然性，中国也提出了“中国制造 2025”战略。《中国制造 2025》提出，坚持“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”的基本方针。无论是美国的 CPS、还是德国的“工业 4.0”、还是中国的“中国制造 2025”都需要针对消费需求的个性化，要求传统制造业突破现有的生产方式与制造模式，根据消费需求海量数据与信息，进行大数据处理与传递；而在进行这些非标准化产品生产过程中产生的生产信息与数据也是大量的，需要及时收集、处理和传递。这两方面大数据信息流最终通过互联网在智能制造设备交汇，由智能制造设备进行分析、判断、决策、调整、控制开展智能制造过程，确保生产出高品质个性化产品。这就决定了互联网、信息技术与制造业融合后，最终形成新一代互联的智能制造工厂（系统）以替代今天的生产体系。因此，应寻找智能制造设备与信息技术融合性的突破点，大数据建立与分析应用的突破点，做到互联网应用技术的升级，培养信息技术与制造技术结合的复合型人才。

针对国家智能制造人才的培养目标，相应的技能大赛也应运而生。2017 年 12 月，我国人力资源社会保障部在广东惠州举行了“中国技能大赛——全国智能制造应用技术技能大赛”，赛场布局如图 1.1.3 所示。技能大赛的布局为一台车床、一台铣床、一台带“地面导轨”的七轴机器人、料架，以及带 MES 的电脑。比赛主要流程为：首先，机器人在料架进行 RFID（射频识别）；然后，机器人夹取毛坯到一序车床加工，并进行在机测量，测量后机器人将毛坯取回到料架；最后，机器人夹取一序加工的零件在二序加工中心加工。全程使用总控 PLC 控制，实现无人化的智能加工、图像监控、零件序中尺寸检测，以及零件出入料库的信息识别。

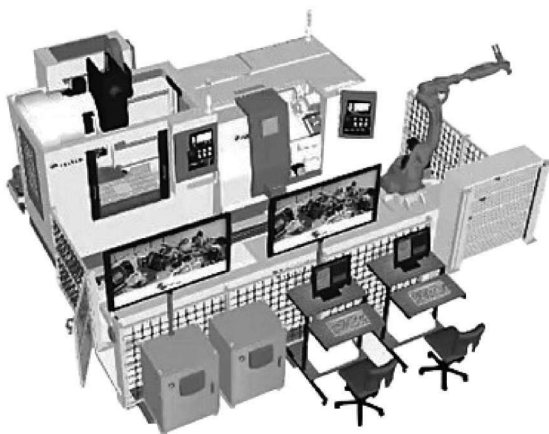


图 1.1.3 中国技能大赛的赛场布局

比赛分切削加工智能生产单元生产与管控赛项、切削加工智能生产单元安装与调试赛项，如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 中国技能大赛设置的任务

切削加工智能生产单元生产与管控赛项	切削加工智能生产单元安装与调试赛项
智能制造基本单元检测	数控机床的安装与调试
零件数字化设计与编程	在线检测单元的安装与调试

续表

切削加工智能生产单元生产与管控赛项	切削加工智能生产单元安装与调试赛项
设备层数据的采集和可视化	工业机器人的安装调试与编程
智能制造系统编程与调试	智能制造控制系统的安装与调试
零件的智能加工与智能管控	可视化系统的调试
零件在线检测	规定零件的切削运行
职业素养与安全操作	职业素养与安全操作

## 2. 智能工厂的模式及特点

中国智能工厂的发展和特点：智能工厂在发展初期智能工厂经历了两个阶段，第一个阶段是单一化，从解决生产单一的问题和与直接生产人力相关的问题入手，针对人工劳动强度较大，人力配置及生产成本较高的生产环节，开发功能单一的自动化设备，以节省直接生产人力；第二个阶段是实体设备连接化，进行工厂生产制程连接化的整体规划，为降低车间物流人力，规划并开发了自动化物流线、自动导引运输车（Automated Guided Vehicle, AGV）等自动物流技术，将车间里一个个孤立的生产设备、工站等，有机连接起来，以减少中间环节，缩短产品物流周期，使加工、装配、检测、物流、取放物料等生产过程融为一体。工厂生产连接化的规划及自动物流技术的广泛应用，不仅有效减少了物流等间接生产人力的需求，同时也缩短了生产周期，使物料可以准确、连续、及时地在各工站之间进行自动传递对接。工业机器人的生产应用，使智能工厂的发展十分迅速。机器人配合自动化设备，在生产各环节中大量渗透应用，替代人工操作设备，进行直接生产，使人力的需求大幅度减少，是智能工厂在这一时期发展的特点。机器人在车间内有序地运行，使车间成为机器人的天下，生产过程蔚为壮观。智能工厂通过这两个阶段的发展，生产全过程渗透，全面增强了规模化生产的技术经济实力。自动化设备和工业机器人的大量生产投入，大幅度降低了直接和间接生产人力的需求，在解决企业的“用工荒”“人性化”等与生产人力相关的问题上，发挥了重要作用。

智能工厂在进入第二个阶段，形成实体化连接后，仍然需要较多的生产技术管理人员，手工采集生产数据，制订生产计划，协调生产进度，优化生产工艺，以及改善管理方式。技术管理人员的生产参与度，手工报表的准确性、及时性，决策的可靠性等方面，成为影响生产管理和企业发展的重要因素。生产的理念、方法按照既定的工艺流程、生产节拍（T/T）、CNC 加工等技术参数，对 CNC 生产过程进行整体规划。通过对各生产环节进行工作研究和时间动作分解，分析并优化生产过程，制定整体生产运行方案，提出满足时间动作的技术要求。

智能工厂也称为智慧工厂，它的建立是以提升资源利用率和生产效率为价值目标，创造出不断挖掘新型工业化潜力的精益化生产环境，以生产制造、自动化等刚性技术为基础，以企业文化、精益生产等软性指标为核心，在“工业 4.0”的推动下，通过建立“自动化+ 互联网+ 精益生产”的工厂生态循环系统，将全部生产要素（工艺、设备、资源、信息、产品和人等）融入互联网络，以无线或有线方式，点对点交换信息，进行实时数据

采集、运转监控、分析改善，使生产运行持续、稳定的提高。i5 智能工厂的建立公式即“自动化+互联网+精益生产=智能工厂”，如图 1.1.4 所示。

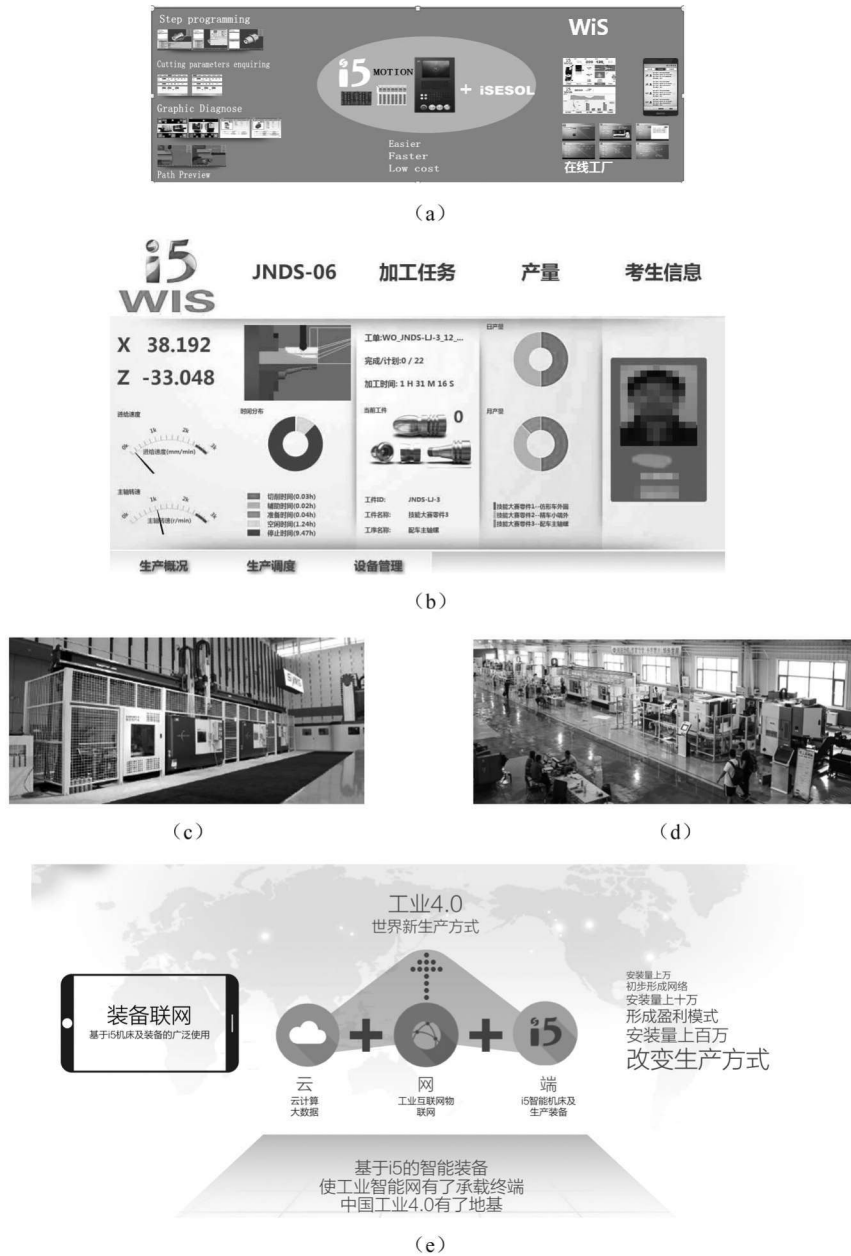


图 1.1.4 智能工厂案例

(a) i5 智能机床的运作模式；(b) i5 智能工厂模式在 2016 辽宁省数控大赛的展示；  
(c) 桁架机器人自动化工厂；(d) i5 数字化工厂；(e) i5 智能工厂体系。

### 3. 智能机床的特点

i5 数控机床是沈阳机床经过 5a 研发并于 2015 年量产的新一代数控机床。沈阳机床开

发的 i5 数控机床正是基于当代互联网环境下的、以行业应用为基础的新一代数控机床，即工业化（industrialization）、信息化（informatization）、网络化（internet）、智能化（intelligentialize）、集成管理化（intergration），这 5 个代表未来数控机床发展方向的英文单词的首字母都是 i。i5 数控机床也是集成了以上特点，体现了未来数控机床智能化的发展方向。在机床的命名上也是以 i5 作为机床名称的开头，比如 i5T3。所以 i5 数控机床也被称作 i5 智能机床。

智能机床相比于传统数控机床，具有以下特点：

(1) 实现制造过程透明，成了一台智能终端，方便加工零件，产生服务于管理、财务、生产、销售的实时数据；

(2) 实现设备、生产计划、设计、制造、供应链、人力、财务、销售、库存等一系列生产和管理环节的资源整合与信息互联，为实现智能制造提供精准的数据依据，成为新制造业态的基础。

智能机床具体的特点如下：

(1) 操作智能化，操作更加方便，类似智能手机；

(2) 编程智能化，编程时更多地加入了人机对话以及方便的图形模拟画面；

(3) 维护智能化，维护可以依据互联网进行；

(4) 管理智能化，与车间 MES 结合，利用智能手机、平板都可以实现在线监控，让生产管理更透明、智能。

除此以外，作为智能工厂的一个智能终端，i5 智能机床还可以通过智能化的检测设备快速方便地进行工件加工序中、序后精度检测、反馈；可以通过移动网络进行网上报修、计算机辅助制造（CAE）、数模转化加工程序、工艺信息共享等功能，i5 智能机床的特点如图 1.1.5 所示。

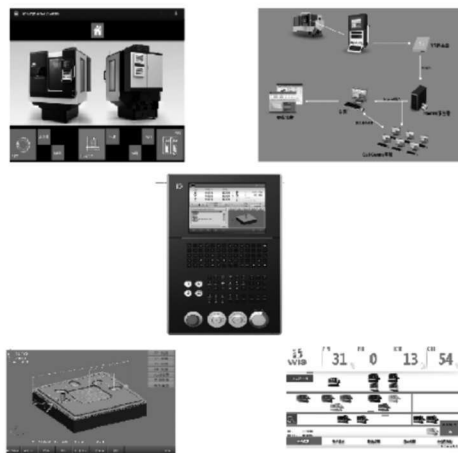


图 1.1.5 i5 智能机床的特点

西门子智能机床源于“工业 4.0”背景下德国工程人才培养理念。覆盖产品设计—生产规划—生产工程—生产执行—服务的全价值链，形成完整的德国先进制造业链背景。西门子智能机床参照工业技术标准及系统环境，依托机电一体设计制造过程，不仅可应用于

整个设备研发阶段，还可以用于工科技术技能型人才的教学培训培养过程。它彻底提升了机械装备制造业企业附加值，是贯穿设计—调试—制造全产业链的重要技术。数控数字化双胞胎分为“虚拟调试”及“虚拟机床”两类，分别服务于产品研发、设计、调试、维护，加工编程与制造工艺两个方向。在数控设备设计、调试及加工与制造过程中借助西门子智能机床可以实现产品研发、设计、生产直到服务的全过程，从而缩短设计及研发周期，提高调试成功率，提高生产力、可用性和过程可靠性，优化加工精度、加工过程乃至维护和服务效率，并降低成本。这些优势在新产品研发、小批次、定制化产品的生产中更为明显。图 1.1.6 是西门子智能机床虚拟调试场景。



图 1.1.6 西门子智能机床虚拟调试场景

### 练习与提高

1. 请对智能机床进行定义。
2. 请对智能工厂的模式进行总结。
3. 请对 i5 智能机床的特点进行说明。
4. 请对西门子智能机床的应用进行说明。
5. 请描述智能制造的发展趋势。

## 任务二 智能机床的型谱认知

### 任务导入

请对图 1.1.7 中机床的机床类型、型谱、加工范围进行说明。



图 1.1.7 智能机床外观

## 知识平台

### 1. 智能机床的介绍

智能机床是配置智能系统的数控机床，让各种加工工艺的实施更加智能。数控机床是通过数字控制系统来控制金属切削设备进行切削加工。切削加工是利用切削刀具从工件（毛坯）上切去多余的材料，使零件具有符合图样规定的几何形状、尺寸和表面粗糙度等方面要求的加工过程。数控机床作为一种工业中进行切削加工的设备，对零件的加工质量有着举足轻重的影响。中国工业起步较晚，虽然发展较快，但与国外相比还有很大差距。经过多年来的不断努力，国产数控机床已广泛应用于精密机械、3C 产品、汽车，以及工程机械、军工等领域，并逐步替代了进口产品。

目前，数控机床正朝着高精度、高效率、自动化、柔性化和智能化方向发展，刀具材料朝着超硬方向发展，陶瓷、聚晶金刚石、聚晶立方氮化硼等超硬材料将被普遍应用于切削加工，使切削速度迅速提高到每分钟数千米。切削加工将被融合到计算机辅助设计与计算机辅助制造、计算机集成制造系统等高新技术和理论中，实现设计、制造和检验与生产管理全部生产过程自动化。

数控机床与普通机床相比，具有以下特点：

- (1) 适应性强，适应性是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力；
- (2) 精度高，工作过程是自动的，不需要人工干预，且通过实时检测装置来修正或补偿，以获得更高的精度；
- (3) 效率高，数控机床可以采用较大的切削用量，而且具有自动换速、自动换刀和其他辅助操作自动化的功能；
- (4) 减轻劳动强度，改善劳动条件；
- (5) 有利于生产管理的现代化。

数控机床可以分为以下 3 种。

- (1) 刀具回转进行加工的机床，如数控铣床、加工中心。

- (2) 工件回转进行加工的机床，如数控车床、外圆磨床。
- (3) 刀具、工件都不回转进行加工的机械，如线切割机床、激光加工机床。

## 2. i5 智能机床分类

i5 智能机床产品平台是一种产品结构形式，具有系列产品通用性及行业功能模块扩展性特点，并遵循零部件结构极简与数量极少的设计原则，i5M4.5 型谱如图 1.1.8 所示，i5 智能机床型谱如图 1.1.9 所示。

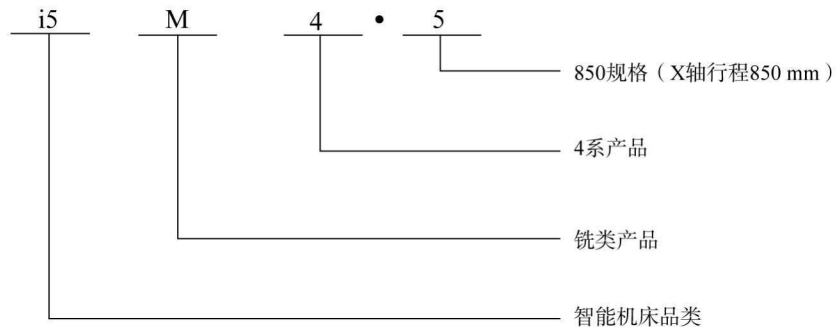


图 1.1.8 i5M4.5 型谱

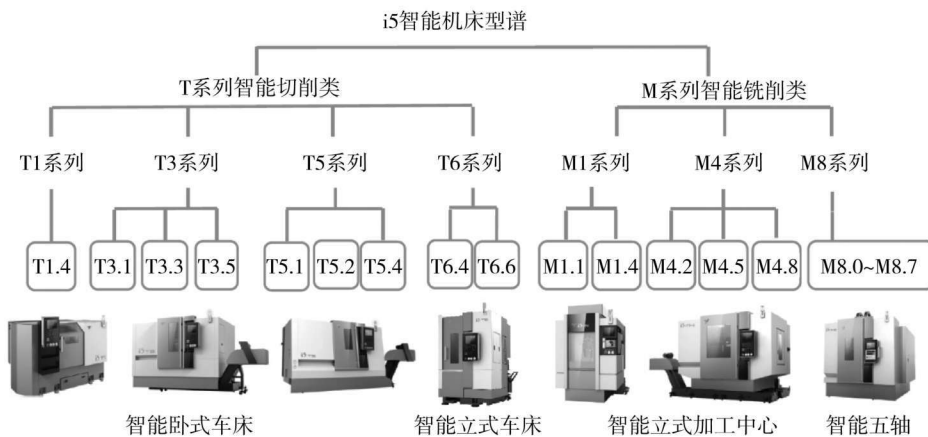


图 1.1.9 i5 智能机床型谱

智能机床命名要体现出以下含义：

- (1) 智能机床新品类；
- (2) 机床的类型；
- (3) 机床结构平台。

智能机床代码说明如表 1.1.2 所示。

表 1.1.2 智能机床代码说明

序号	名称	代码	代表含义及命名说明
1	机床品类	i5...	智能机床品类代码，目前是 i5 类
2	类代码	T/M/...	代表机床类别：车削类别/铣削类别/.....
3	系代码	1、2、3、...、9	代表机床的结构形式，称为产品平台，反映产品定位
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，称为此规格的平台标准机型

### 3. 西门子智能系统（虚拟调试）

虚拟调试（Virtual Commissioning）基于数字化的数控设备模型及设备设计信息，从数控系统端出发，结合了数字化的机械设计和电气及自动化控制，可以在不需要真实物理机械结构，仅需 3D 设计模型的前提下与真实数控系统结合，进行运动及编程仿真、测试、优化，实现机床高效快速调试。部分样机安装调试时间下降 50% ~ 65%。从而有效缩短上市时间，确保数控样机或设备（数控机床、数控机器人、数控相关的自动化设备）的“无差”设计，提高试制成功率，节约设备设计开发或改造调整成本，同时可以实现远程调试及维护。虚拟调试常用于航空航天、船舶、机床、机械制造、自动化单元等样机的研发、设备改造、远程维护领域，覆盖产品设计—生产规划—生产工程—生产执行—服务的全过程，从而实现机床设计、调试、加工的智能化管理。西门子数控系统是虚拟调试的硬件基础，如图 1.1.10 所示。



图 1.1.10 西门子数控系统

### 练习与提高

1. i5 机床的 5 个 i 表示什么含义？
2. 虚拟调试的内容是什么？
3. 请查阅相关资料对智能机床的特点进行说明。