



S HUKONG
JICHUANG
GUZHANG ZHENDUAN YU WEIXIU

数控机床 故障诊断与维修

主编 / 聂振华 岳秋琴

数控机床故障诊断与维修

主 编 聂振华 岳秋琴
副主编 张 伟 瞿付侠 金救娜

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

数控机床故障诊断与维修 / 聂振华, 岳秋琴主编.
—成都: 西南交通大学出版社, 2019.1
ISBN 978-7-5643-6654-4

I. ①数… II. ①聂… ②岳… III. ①数控机床-故障诊断②数控机床-维修 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 291073 号

数控机床故障诊断与维修

主 编 / 聂振华 岳秋琴

责任编辑 / 王 旻
助理编辑 / 何明飞
封面设计 / 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行
(四川省成都市二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)
发行部电话: 028-87600564 028-87600533
网址: <http://www.xnjdcbs.com>
印刷: 成都中永印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 12 字数 251 千
版次 2019 年 1 月第 1 版
印次 2019 年 1 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-6654-4
定价 32.00 元

课件咨询电话: 028-87600533
图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

数控机床故障诊断与维修课程，其主要的载体是数控机床。数控机床是一种综合应用了计算机、自动控制、自动检测、精密机械设计和制造等先进技术的高新技术产物，是技术密集度及自动化程度都很高的、典型的机电一体化产品。因此，这是一门综合性和技术性很强的课程。

本课程注重理论和实际的联系，通过理论的学习，再结合相应的设备，力争达到所学的理论能够和实际所用的实现无缝连接。通过本课程的学习，学生能够正确使用电气故障诊断与维修工具，具备数控机床典型故障诊断与维修的初步能力，尤其是电气故障的排查能力；能培养遵守操作规程、安全文明生产的良好习惯；具有严谨的工作作风和良好的职业道德修养。

本书包括基础篇和实践篇两大模块：基础篇包含三部分内容，第一部分简要介绍数控机床结构及工作原理，第二部分介绍数控机床机械故障诊断与排查方法，第三部分介绍数控机床电气故障排查方法；实践篇包含四部分的内容，第一部分介绍数控机床刀架故障诊断与维修，第二部分介绍数控机床主轴系统故障诊断与维修，第三部分介绍数控机床进给系统故障诊断与维修，第四部分介绍数控系统故障诊断与维修。基础篇重点放在故障排查的方法，包括机械及电气部分故障排查的方法，实践篇以刀架、主轴、进给和数控系统为例，针对每部分，结合实际的机床电气原理图以及梯形图，进行工作原理的分析；针对具体的故障，结合电气原理图及 PLC 的端子状态，进行故障排查。

本书可作为职业院校三年制、五年制高职高专数控技术等机电类、数控、设备管理维修专业的教材，也可作为成人教育、企业职工技术培训及自学用书。

本书由重庆电子工程职业学院聂振华、岳秋琴担任主编，重庆电子工程职业学院张伟、瞿付侠、金孜娜担任副主编。其中基础篇第三部分数控机床电气故障排查方法、实践篇第一部分数控机床刀架故障诊断与维修、第二部分数控机床主轴系统故障诊断与维修，第三部分数控机床进给系统故障诊断与维修由聂振华编写；基础篇第二部分数控机床机械故障诊断与排查方法由岳秋琴编写；实践篇第四部分数控系统故障诊断与维修由张伟编写；基础篇第一部分数控机床结构及工作原理由瞿付侠编写，全书由金孜娜负责统稿。

教材编写过程中，编者参考了相关著作和资料，在此，向这些参考文献的原作者表示感谢。限于编者的理论水平和实践经验，书中难免存在不足和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2018 年 12 月

目 录

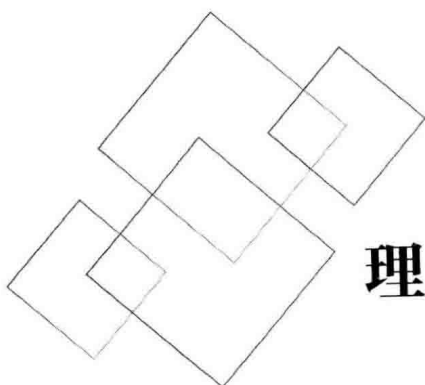
理论篇

1	数控机床结构及工作原理	3
1.1	数控机床的发展历程	3
1.2	数控机床概述	5
1.3	数控机床分类	6
1.4	数控机床的组成	11
1.5	数控机床的工作原理	14
2	数控机床机械故障诊断与排除方法	15
2.1	机械故障类型及诊断方法	15
2.2	主传动系统机械故障及排除方法	20
2.3	进给传动系统机械故障及排除方法	27
2.4	辅助机械部件故障诊断及排除方法	34
2.5	液压与气压系统故障诊断及排除方法	44
3	数控机床电气故障诊断与排查方法	51
3.1	电气系统图的类型及有关规定	51
3.2	数控机床电气部分故障排查方法	54
3.3	电压检查法	56
3.4	电阻检查法	58
3.5	其他检查方法	60
3.6	利用 PLC 的状态信息诊断故障	66

实践篇

4	数控机床刀架故障诊断与维修	77
4.1	数控机床刀架的种类	77

4.2	数控机床四工位电动刀架工作原理	82
4.3	数控机床刀架故障诊断与维修	85
5	数控机床主轴系统故障诊断与维修	103
5.1	主轴驱动系统简介	103
5.2	交流变频器驱动主轴	110
5.3	变频器故障诊断与维修	112
5.4	数控机床主轴变频调速控制过程简介	119
5.5	主轴部分 PLC 控制原理	125
5.6	工作主轴常见故障分析	128
6	数控机床进给系统故障诊断与维修	131
6.1	进给驱动系统的概述	131
6.2	数控机床对进给驱动系统的要求	131
6.3	进给驱动系统的基本形式	132
6.4	进给伺服驱动系统介绍	135
6.5	常用交流伺服系统介绍	136
6.6	交流伺服系统	137
6.7	数控车床进给系统电气原理图	141
6.8	伺服驱动器介绍	144
6.9	进给系统 PLC 控制	152
6.10	进给系统常见故障	157
7	数控系统故障诊断与维修	160
7.1	广数 GSK980TDc 系统简介	160
7.2	FANUC 0i 数控系统	174
	参考文献	185



理论篇

1 数控机床结构及工作原理

1.1 数控机床的发展历程

数控机床是采用了数字控制技术的机床。数字控制（Numerical Control）技术，简称数控（NC）技术，是用数字化信息对机械设备的运动及其加工过程进行自动控制的一种方法。数控机床是从普通机床的基础上发展而来的。军事工业需求是数控机床发展的原始动力，军事工业的发展不断促进数控机床升级。随着市场竞争的加剧，民用工业高精度、高效率、柔性化及批量生产，对数控机床产业化的要求更加迫切。纵观世界数控机床的发展史，大致可以分为以下四个阶段：

1.1.1 起步阶段（1953—1979年）

1948年，美国帕森斯公司接受美国空军委托，研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样，精度要求高，一般加工设备难以适应，于是提出计算机控制机床的设想。1949年，在美国麻省理工学院伺服机构研究室的协助下，帕森斯公司开始数控机床的研究。

1952年，美国麻省理工学院和吉丁斯·路易斯公司联合研制出世界上第一台由大型立式仿形铣床改装而成的三坐标数控升降台铣床，开创了数控机床产业发展的历史。

1956年，联邦德国、日本、苏联等国分别研制出数控机床。20世纪60年代初，美国、日本、联邦德国、英国相继进入数控机床商品化试生产阶段。当时的数控装置采用电子管元件，体积庞大，价格昂贵，只在航空工业等少数有特殊需要的部门用来加工复杂型面零件。

1959年，晶体管元件印制电路板的问世，使数控装置进入了第二代，体积缩小，成本有所下降；1960年以后，较为简单和经济的点位控制数控钻床和直线控制数控铣床得到较快发展，数控机床在机械制造业各部门逐步得以推广。

1965年，出现了第三代的集成电路数控装置，其特点是体积小，功率消耗少，且可靠性提高，价格进一步下降，集成电路数控装置促进了数控机床品种和数量的发展。

20 世纪 60 年代末，先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统（简称 DNC），又称群控系统；以及采用小型计算机控制的计算机数控系统（简称 CNC 系统）。数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。

1974 年，使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置（简称 MNC）研制成功，这是第五代数控系统。第五代与第三代相比，数控装置的功能扩大了一倍，而体积则缩小为原来的 1/20，价格降低了 3/4，可靠性也得到极大地提高。同时，数控机床的基础理论和关键技术有了新的突破，从而给数控机床发展注入了新的活力，世界发达国家的数控机床产业开始进入发展阶段。

1.1.2 发展阶段（1980—1989 年）

20 世纪 80 年代，微处理器运算速度快速提高，功能不断完善、可靠性进一步提高，出现了小型化、能进行人机对话式自动编制程序并可以直接安装在机床上的数控装置。数控机床的自动化程度进一步提高，监控、检测、换刀、外围设备得到了应用，具备自动监控刀具破损和自动检测工件等功能，使数控机床得到了全面发展。

1.1.3 成熟阶段（1990—1999 年）

20 世纪 90 年代，数控机床得到了普遍应用，数控机床技术有了进一步发展，柔性单元、柔性系统、自动化工厂开始得到应用，标志着数控机床产业化进入成熟阶段。

1.1.4 高水平发展阶段（2000 年至今）

进入 21 世纪，军事技术和民用工业的发展对数控机床的要求越来越高，应用现代设计技术、测量技术、工序集约化、新一代功能部件以及软件技术的发展，使数控机床的加工范围、动态性能、加工精度和可靠性有了极大提高。科学技术，特别是信息技术的迅速发展，高速高精控制技术、多通道开放式体系结构、多轴控制技术、智能控制技术、网络化技术、CAD/CAM 与 CNC 的综合集成，使数控机床技术进入了智能化、网络化、敏捷制造、虚拟制造的更高阶段。新一代数控机床为提高生产效率不断向超高速方向发展：主轴转速可达 15 000 ~ 100 000 r/min；进给运动部件快速移动速度达 60 ~ 120 m/min，切削进给速度达 60 m/min，最高加速度达到 10g；加工中心换刀时间减少至小于 1 s。主轴与刀具的接口以适合高速加工的 HSK 等接口为主，主轴径向圆跳动误差小于 2 μm ，轴向窜动小于 1 μm ，轴系不平衡度达到 G0.4 级。

1.2 数控机床概述

数控机床是数字控制机床（Computer Numerical Control Machine Tools）的简称，是一种装有程序控制系统的自动化机床。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题，是一种柔性的、高效能的自动化机床，代表了现代机床控制技术的发展方向，是一种典型的机电一体化产品。

随着电子信息技术的发展，世界机床业已进入了以数字化制造技术为核心的机电一体化时代，其中数控机床就是代表产品之一。数控机床是制造业的加工母机和国民经济的重要基础。目前，德、美、日等工业化国家已先后完成了数控机床产业化进程，而我国从 20 世纪 80 年代开始进入经济实用阶段，现在处于高速发展阶段。

与普通机床相比，数控机床有如下特点：

（1）对加工对象的适应性强，适应模具等产品单件生产的特点，为模具的制造提供了合适的加工方法。

（2）加工精度高，具有稳定的加工质量。

（3）可进行多坐标的联动，能加工形状复杂的零件。

（4）加工零件改变时，一般只需要更改数控程序，可节省生产准备时间。

（5）机床本身的精度高、刚性大，可选择有利的加工用量，生产率高。

（6）机床自动化程度高，可以减轻劳动强度。

（7）有利于生产管理的现代化。数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息，使用了计算机控制方法，为计算机辅助设计、制造及管理一体化奠定了基础。

（8）对操作人员的素质要求较高，对维修人员的技术要求更高。

（9）可靠性高。

数控机床不仅具有高速度和高精度，而且随着数控技术的发展，数控机床发展的总趋势主要表现为复合化、智能化、网络化。

复合化：数控机床的功能复合化的发展，其核心是在一台机床上要完成车、铣、钻、攻丝、绞孔和扩孔等多种操作工序，从而提高了机床的效率和加工精度，提高生产的柔性。机床复合技术进一步扩展随着数控机床技术进步，复合加工技术日趋成熟，包括车铣复合、车-镗-钻-齿轮加工复合、车磨复合、成型复合加工、特种复合加工等，复合加工的精度和效率大大提高。“一台机床就是一个加工厂”“一次装卡，完全加工”等理念正在被更多人接受，复合加工机床发展正呈现多样化的态势。

智能化：智能化的内容包括在数控系统中的各个方面。为追求加工效率和加工质量方面的智能化；为提高驱动性能及使用连接方便等方面的智能化；简化编程、简化操作方面的智能化；还有如智能化的自动编程、智能化的人机界面等，以及智能诊断、智能监控等方面的内容，方便系统的诊断及维修。数控机床的智能化在数控系统的性能上得到了较多体现。例如自动调整干涉防碰撞功能、断电后工件自动退出安全区断

电保护功能、加工零件检测和自动补偿学习功能、高精度加工零件智能化参数选用功能、加工过程自动消除机床振动等功能。数控机床的智能化提升了机床的功能和品质。

网络化：对于面临激烈竞争的企业来说，使数控机床具有双向、高速的联网通信功能，以保证信息流在车间各个部门间畅通无阻是非常重要的。既可以实现网络资源共享，又能实现数控机床的远程监视、控制、培训、教学、管理，还可实现数控装备的数字化服务（数控机床故障的远程诊断、维护等）。

1.3 数控机床分类

数控机床分类方法很多，一般按数控机床所配用数控系统的功能和配置，可分为经济型、普及型和高级型数控机床 3 种。按工艺用途分类，常用的数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控电火花成形机床、数控电火花线切割机床及数控磨床。

1.3.1 数控车床

数控车床是目前使用最广泛的数控机床之一（见图 1.1），主要用于加工轴类、盘类等回转体零件，能自动完成内外圆柱面、圆锥面、成形表面、螺纹和端面等切削加工，并能进行车槽、钻孔、扩孔、铰孔等工作。车削中心可在一次装夹中完成更多的加工工序，提高加工精度和生产效率，特别适合于复杂形状回转类零件的加工。



图 1.1 数控车床

数控车床品种繁多，规格不一，可按如下方法进行分类。

1. 按主轴位置分类

按主轴位置可分为立式数控车床和卧式数控车床。

立式数控车床简称为数控立车，其主轴垂直于水平面，并有一个直径很大的圆形工作台用于装夹工件。这类机床主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸相对较小的大型复杂零件。

卧式数控车床又分为数控水平导轨卧式车床和数控倾斜导轨卧式车床。其倾斜导轨结构可以使车床具有更大的刚性，并易于排除切屑。

2. 按工件基本类型分类

按工件基本类型可分为卡盘式数控车床和顶尖式数控车床。

卡盘式数控车床没有尾座，适合车削盘类（含短轴类）零件。夹紧方式多为电动或液压控制，卡盘结构多采用可调式或不淬火的卡爪。

顶尖式数控车床配有普通尾座或数控尾座，适合车削较长的零件及直径不太大的盘类零件。

3. 按刀架数量分类

按刀架数量可分为单刀架数控车床和双刀架数控车床。

单刀架数控车床一般都配置有各种形式的单刀架，如四工位转动刀架或转塔式自动转位刀架。

双刀架数控车床的双刀架配置可平行分布，也可以相互垂直分布。

4. 按功能分类

按功能可分为经济型数控车床、普通型数控车床和车削加工中心。

经济型数控车床是采用步进电动机和单片机对卧式车床进行改造后形成的简易型数控车床，成本较低，但自动化程度和功能都比较差，车削加工精度也不高，适用于要求不高的回转类零件的车削加工。

普通型数控车床是根据车削加工要求在结构上进行专门设计并配备通用数控系统而形成的数控车床，数控系统功能强，自动化程度和加工精度也比较高，适用于一般回转类零件的车削加工。

车削加工中心在普通数控车床的基础上，增加了C轴和铣削动力头，更高级的数控车床还带有刀库。由于增加了C轴和铣削动力头，车削中心的加工功能大大增强，除可以进行一般车削外还可以进行径向和轴向铣削、曲面铣削、中心线不在零件回转中心的孔和径向孔的加工。

1.3.2 数控铣床（见图 1.2）

铣削与车削的原理不同，铣削时刀具回转完成主运动，工件做直线（或曲线）进给。旋转的铣刀是由多个切削刃组合而成的，因此铣削是非连续的切削过程。铣

削加工是机械加工中最常用的加工方法之一，包括平面铣削、轮廓铣削、钻、扩、铰、镗、铤及螺纹加工，主要用来加工平面及各种沟槽，也可以加工齿轮、花键等成形面（或槽）。

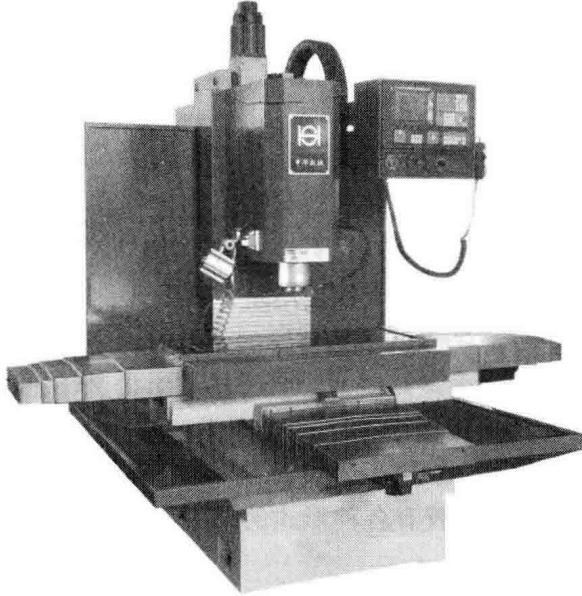


图 1.2 数控铣床

数控铣削加工一般用于下列零件的生产：① 轮廓形状复杂或难以控制尺寸的零件，如模具零件、壳体类零件；② 用数学模型描述的复杂曲线零件以及三维曲面类零件；③ 需要进行多道工序加工，精度要求高的零件。

数控铣床按机床构造可分为工作台升降式、主轴头升降式和龙门式数控铣床。

1. 工作台升降式

这类数控铣床采用工作台纵向、横向和升降移动，而主轴不动的方式，常见于小型数控铣床。

2. 主轴头升降式

这类铣床采用工作台纵向和横向移动，主轴沿溜板上下移动的形式。主轴头升降式数控铣床在精度保持、承载重量、系统构成等方面具有很多优点，已成为数控铣床的主流形式。

3. 龙门式

这类数控铣床主轴可以在龙门架的横向与垂直溜板上运动，而龙门架则沿床身做纵向运动。大型数控铣床，因考虑到扩大行程、缩小占地面积及刚性等技术上的问题，往往采用龙门架移动式。

1.3.3 加工中心（见图 1.3）

加工中心是目前世界上产量最高、应用最广泛的数控机床之一。加工中心综合加工能力较强，工件一次装夹后能完成较多的加工内容，加工精度高。对于中等加工难度的批量工件，其效率是普通设备的 5~10 倍，特别适用于下列零件的加工：① 周期性复合投产零件；② 高效、高精度零件；③ 中小批量生产的零件；④ 形状复杂的零件。



图 1.3 加工中心

加工中心的种类也是多种多样，可以按下列方式进行分类。

1. 按换刀形式分类：带机械手的加工中心、无机械手加工中心和带转塔式刀库的加工中心

带机械手的加工中心换刀装置由刀库、机械手组成，换刀动作由机械手完成；无机械手加工中心换刀过程由刀库、主轴箱配合动作来完成；带转塔式刀库的加工中心一般应用于小型加工中心，以孔加工为主。

2. 按机床形态分类：卧式、立式、龙门式和万能加工中心

卧式加工中心主轴轴线为水平状态，一般具有 3~5 个运动坐标。常见的有 3 个直线运动坐标和 1 个回转坐标，使工件能够一次性完成除安装面和顶面以外的其余 4 个面的加工，适用于复杂的箱体类零件、泵体、阀体等零件的加工。

立式加工中心主轴轴线为垂直状态设置，一般具有 3 个直线运动坐标，工作台具有分度和旋转功能，可在工作台上安装一个水平轴的数控回转工作台用以加工螺旋线零件。立式加工中心适用于简单箱体、箱盖、板类零件和平面凸轮的加工。

龙门式加工中心与龙门铣床类似，适用于大型或形状复杂的零件加工。

万能加工中心也称五面体加工中心，工件装夹后能够完成除安装面以外的所有面的加工，具有立式和卧式加工中心的功能。万能加工中心常有两种形式：一种是主轴可以旋转 90° ，既可像立式加工中心，也可像卧式加工中心一样加工；另一种是主轴不改变方向，而工作台旋转 90° ，完成对工件 5 个面的加工。

1.3.4 数控电火花加工机床（见图 1.4）

电火花加工在特种加工中是比较成熟的工艺。在民用、国防和科学研究等领域已经获得了广泛应用，其设备类型较多，但按工艺过程中工具与工件相对运动的特点和用途来分，大致可以分为 6 大类。其中，应用较广、数量较多的是电火花线切割机床和电火花成形加工机床。



图 1.4 电火花加工机床

1. 电火花线切割机床

电火花线切割加工是利用工具电极（钼丝）与工件两极之间脉冲放电时产生的电腐蚀现象对工件进行加工。电火花线切割加工广泛应用于加工各种冲模；有微细异形孔、窄缝和复杂形状的工件；样板和成形刀具；粉末冶金模、镶拼型腔模、拉丝模、波纹板成形模；硬质材料、切割薄片，切割贵重金属材料；凸轮及特殊齿轮。

2. 电火花成形加工机床

电火花成形加工机床的工作原理与电火花线切割机床一样，只是工具电极是成形电极，与要求加工出的零件有相适应的截面或形状。电火花成形加工机床广泛用于航天、航空、电子、核能、仪器、轻工等部门各种难加工材料和复杂形状零件的加工，加工范围从几微米的孔、槽到几米大的模具和零件。

1.4 数控机床的组成

数控机床是由普通机床发展而来，在机械结构上与同类普通机床相似，具有主运动装置、进给运动装置、辅助运动装置。数控机床又是由计算机自动控制的机床，相对普通机床，数控机床多了数字控制部分和伺服执行部分。

数控机床的组成一般由输入输出设备、计算机数控（CNC）装置、PLC 及其接口电路、主轴和进给伺服系统、测量装置和机床本体（组成机床的各机械部件）等几部分组成，如图 1.5 所示。除了机床本体以外的部分统称为数控系统（图中虚线框所示），其中计算机数控装置是数控系统的核心。

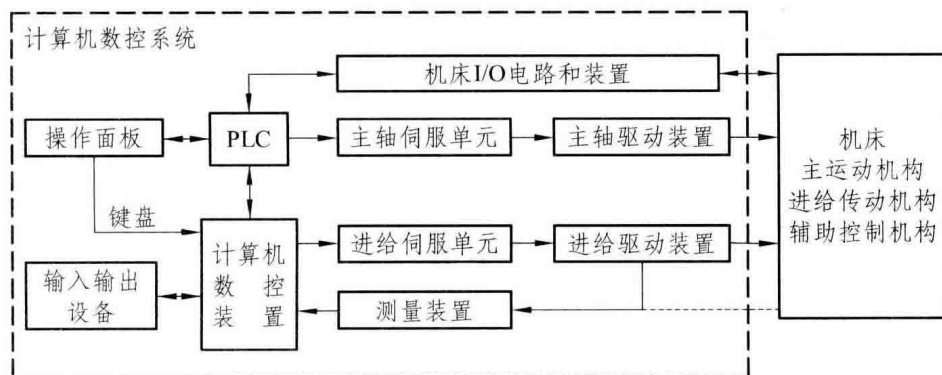


图 1.5 数控机床的基本组成

1.4.1 输入输出设备

数控机床加工前，必须读入操作人员编好的零件加工程序。在加工过程中，要显示各种加工状态，包括刀具的位置、各种报警信息等，以便操作人员了解机床的工作情况，及时解决加工中出现的各种问题。这就是输入/输出设备的作用。最常用的输入设备是键盘，操作人员可以通过键盘输入、编辑和修改零件加工程序或输入控制指令。最常用的输出设备是显示器和各种信号指示灯，用以显示机床当前的加工参数、状态。串行输入/输出接口也是输入/输出设备，其作用是以串行通信的方式与上级计算机或其他数控机床进行加工程序的传递。随着计算机技术的发展，一些计算机通用技术逐渐融入数控系统，计算机的所有输入/输出手段都将出现在数控系统中。

操作面板是一个集成的输入输出设备。它是操作人员与数控装置进行信息交流的工具组成，包括键盘、显示器、按钮、按键、旋钮开关、状态灯等。如图 1.6 所示为日本 FANUC 数控系统的一款操作面板。