



中等职业教育“十一五”规划教材

数控技术应用专业



工作过程导向

数控铣削 项目教程

SHUKONGXIXIAO

XIANGMUJIAOCHENG

适用专业

- 数控技术应用专业
- 模具设计与制造专业
- 机电一体化专业

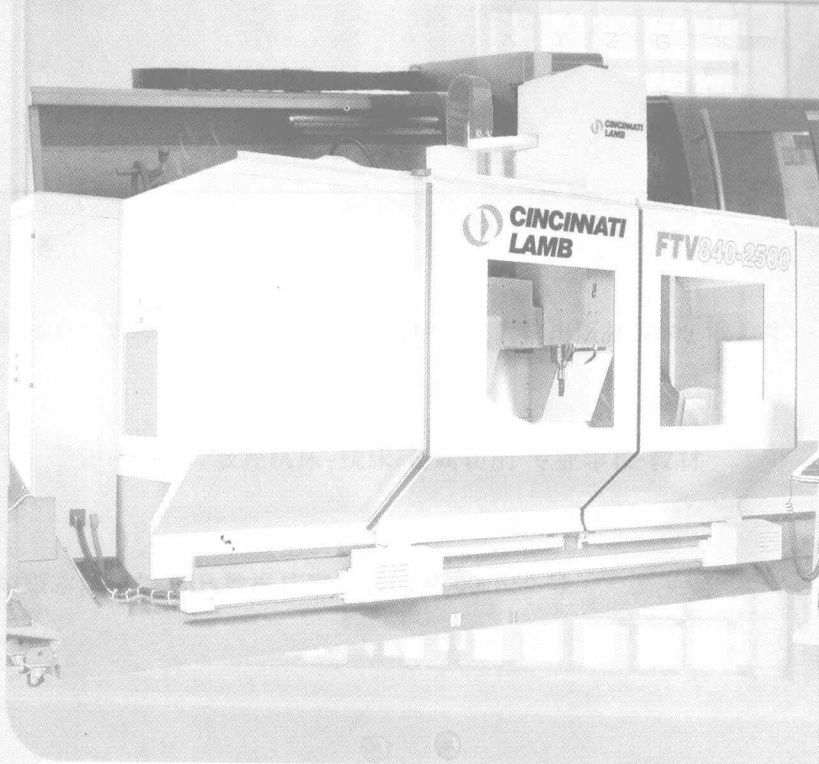
邵长文 田坤英◎主编

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

十一五

中等职业教育“十一五”规划教材

数控技术应用专业



工作过程导向

数控铣削 项目教程

SHUKONGXIXIAO

XIANGMUJIAOCHENG

适用专业

- 数控技术应用专业
- 模具设计与制造专业
- 机电一体化专业

主 编：邵长文 田坤英

副主编：韦 林 王甫茂 禹 诚

编 者：常 春 覃登攀 乔彤瑜 袁伟才 焦文霞 韩风平

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

数控铣削项目教程/邵长文 田坤英 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2009年1月
ISBN 978-7-5609-5075-4

I. 数… II. ①邵… ②田… III. 数控机床:铣床-金属切削-专业学校-教材
IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 001550 号

数控铣削项目教程

邵长文 田坤英 主编

责任编辑:孙基寿

封面设计:耀午书装

责任校对:朱霞

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉众心图文激光照排中心

印 刷:荆州市今印印务有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:13.75

字数 336 000

版次:2009年1月第1版

印次:2009年1月第1次印刷

定价:23.00元

ISBN 978-7-5609-5075-4/TG·96

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内容提要

本书以零件的数控铣削加工工作过程为主线进行编写。全书共分五个项目，两个附录。项目一为数控铣床认识与基本操作；项目二为零件的工艺分析；项目三为数控铣削程序编制；项目四为程序的输入、编辑与校验；项目五为零件的加工、检测与装配；附录1为华中数控世纪星HNC-21M系统宏指令编程；附录2为FANUC数控系统编程指令。本书每一项目都设置了目标明确、操作性强的具体任务，并在完成任务的过程中插入理论知识，基本上做到理论与实践相结合。

本书分“教程”和“同步练习”两册，本册为“教程”。

本书既可作为数控技术应用专业、模具设计及制造专业、机电一体化专业的中等职业教育教材，也可作为从事数控铣床工作的工程技术人员参考书及数控铣床短期培训用书。

前言

随着数控机床应用的日益广泛，企业对掌握数控技术的技能型人才的需求逐年增加，培养数控技术应用领域的专业技能人才十分迫切。在这种情况下，多位长期从事中职数控技术应用专业教学并参加了全国中职学校数控/机电专业骨干教师赴德培训班的教师通力合作，针对我国中职学校生源特点，结合国外先进的职业教育理念及多年的数控技术应用职业教学经验，以培养学生学习能力及操作技能为目的，编写了本教材，包括“教程”和“同步练习”两册，本册为“教程”。

全书共分五个项目，以零件的数控铣削加工工作过程为主线，以具体的工作任务为驱动力，引导读者系统地掌握零件的数控加工工艺方案的定制、刀具选择、程序编制、机床操作及零件检测等各项工作。“同步练习”的练习内容与“教程”对应。

本书介绍的指令是以国产数控系统——华中数控世纪星 HNC-21M 为根据的。本书内容全面、条理清晰、实例丰富、讲解详细、图文并茂，可作为广大工程技术人员学习数控加工的自学教程和参考书。为了方便读者更深入学习，本书在附录中介绍了华中数控世纪星 HNC-21M 的宏指令编程以及国外的 FANUC 数控系统编程指令。

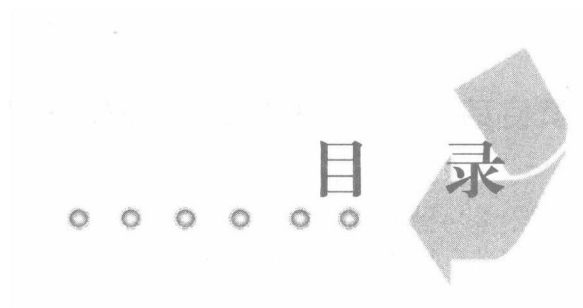
本书由安徽机械工业学校邵长文和石家庄职教中心田坤英主编。参加本书编写的人员有：四川机电技术学校韦林、常春、韩凤平（编写项目一的教程及同步练习、项目五的同步练习、中级工应会试题库）；四

川省宜宾职业技术学院中专部王甫茂和覃登攀（编写项目二的教程及同步练习）；武汉市第二轻工业学校禹诚（参与部分章节的修改、编写附录2）；石家庄职教中心乔彤瑜、焦文霞（编写项目三的教程及同步练习）、田坤英（编写项目四的教程及同步练习，负责部分章节的统稿工作）、袁伟才（编写项目五的部分内容）；安徽机械工业学校邵长文（编写项目五的部分内容、附录1，负责全书的统稿工作）。

由于编者的水平和经验有限，书中难免出现错漏与不足之处，恳请同行专家和读者批评指正。

编 者

2008. 11. 20



项目一 数控铣床认识与基本操作

任务 1-1	认识数控铣床	(3)
任务 1-2	数控铣床控制面板	(6)
任务 1-3	数控铣床坐标系的建立	(10)
任务 1-4	数控铣床手动操作	(14)
任务 1-5	数控铣床对刀	(18)

项目二 零件的工艺分析

任务 2-1	工艺路线的确定	(27)
任务 2-2	工件装夹方法	(32)
任务 2-3	数控铣刀的选择	(35)
任务 2-4	切削用量的选择	(39)
任务 2-5	工艺文件的编写	(42)

项目三 数控铣削程序编制

任务 3-1	数控铣削编程的基本知识	(49)
--------	-------------------	------

任务 3-2	坐标系相关指令	(59)
任务 3-3	直线插补指令 G00、G01 的应用	(64)
任务 3-4	圆弧插补指令 G02、G03 的应用	(70)
任务 3-5	刀具半径补偿指令 G40、G41、G42 的应用	(75)
任务 3-6	刀具长度补偿指令 G43、G44、G49 的应用	(85)
任务 3-7	固定循环指令	(91)
任务 3-8	简化编程指令	(113)

项目四 程序的输入、编辑与校验

任务 4-1	数控系统操作面板的认识	(123)
任务 4-2	程序的输入、编辑流程	(128)
任务 4-3	程序的校验	(135)

项目五 零件的加工、检测与装配

任务 5-1	平面及外轮廓铣削加工	(145)
任务 5-2	平面及内轮廓铣削加工	(149)
任务 5-3	孔系加工	(152)
任务 5-4	配合件一	(159)
任务 5-5	配合件二	(165)

附录 宏指令与编程指令

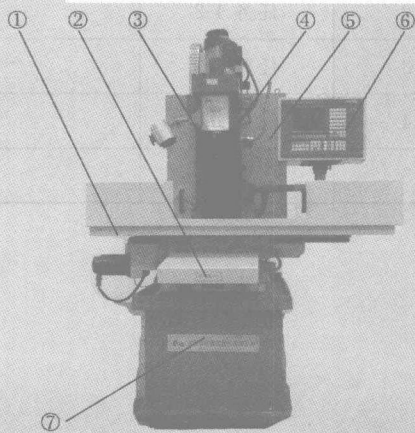
附录 1	华中数控世纪星 HNC-21/22M 数控系统宏指令编程	(172)
附录 2	FANUC 数控系统编程指令	(199)

项目一

【教学重点】

- 数控铣床认识
- 数控铣床控制面板的认识
- 数控铣床坐标系的建立
- 数控铣床的手动操作
- 数控铣床对刀

数控铣床认识与基本操作



项目教学建议

序 号	任 务	建议学时数	建议教学方式	备 注
1	任务 1-1	2	讲授、示范教学、辅导教学	
2	任务 1-2	4	讲授、示范教学、辅导教学	
3	任务 1-3	8	讲授、示范教学、辅导教学	
4	任务 1-4	2	讲授、示范教学、辅导教学	
5	任务 1-5	4	讲授、示范教学、辅导教学	
总 计		20		

项目教学准备

序 号	任 务	设备准备	刀 具 准 备	材 料 准 备
1	任务 1-1	数控铣床 5 台		
2	任务 1-2	数控铣床 5 台		
3	任务 1-3	数控铣床 5 台		
4	任务 1-4	数控铣床 5 台		
5	任务 1-5	数控铣床 5 台	立铣刀五把, 寻边器、 Z 向设定器各五个	45 钢板或铝板 5 个

注: 以每 30 名学生为一教学班, 每 5~6 名学生为一个任务小组。

项目教学评价

序 号	任 务	教 学 评 价		
1	任务 1-1	好 ☐	一般 ☐	差 ☐
2	任务 1-2	好 ☐	一般 ☐	差 ☐
3	任务 1-3	好 ☐	一般 ☐	差 ☐
4	任务 1-4	好 ☐	一般 ☐	差 ☐
5	任务 1-5	好 ☐	一般 ☐	差 ☐

任务 1-1 认识数控铣床

任务 1-1

在数控车间仔细观察数控铣床的结构及工作情况，指出图 1-1 所示数控铣床各部分的名称及作用。了解数控铣床的加工特点及适用情况。

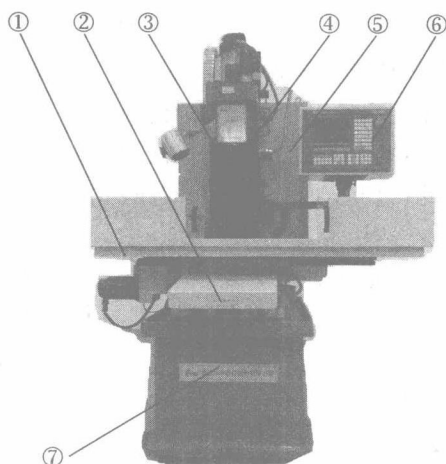


图 1-1 ZJK7532A-4 数控铣床

任务 1-1 工作过程

第 1 步 阅读与该任务相关的知识。

第 2 步 了解数控铣床各部分的名称及功能，联系机械加工中的实际情况，判断工件是适合在普通铣床上加工还是适合在数控铣床上加工。图 1-1 所示数控铣床各部分的名称及功能如表 1-1 所示。

表 1-1 数控铣床各部分的名称及功能

序 号	名 称	功 能
①	X 向导轨	引导工作台在水平横向左右运动
②	Y 向导轨	引导工作台在水平纵向前后运动
③	Z 向导轨	引导安装了刀具的主轴在竖直方向上下运动
④	刀柄	安装刀具
⑤	电气控制柜	用于安装控制机床强电的各种电气元件
⑥	数控装置	接收输入装置的信号，经过编译、插补运算和逻辑处理后，输出信号和指令到伺服控制系统，适时控制机床各部分进行相应的动作
⑦	床身	支撑机床各部件



任务 1-1 相关知识



与普通铣床不同,数控铣床是用一系列特定的代码和规范的格式编成程序,根据加工工件的需要,适时准确地自动控制机床的启动、停止、进给速度、冷却液的开与关等一系列动作来进行加工的。它除了具备普通铣床的所有功能外,还可以加工圆弧、钻孔、攻丝等更复杂的工件轮廓。安装了刀库和自动换刀系统的数控铣床还可以自动换刀。与普通铣床相比,数控铣床的加工精度更高、功能更强大、自动化水平更高。

1. 现代机械加工的特点与数控机床的产生

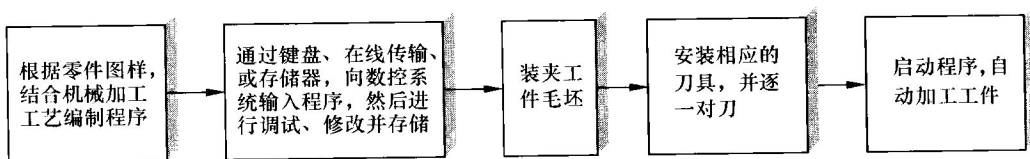
在普通铣床加工中,机床的启动、停止、进给、刹车、换刀等一系列动作几乎都由手工直接控制,所以零件的加工精度不仅与机床的精度有关,还与操作工人的熟练程度、技术水平等多种因素相关。因此,用普通铣床加工零件,不仅劳动强度大,效率低,而且精度难以控制,也不稳定。

在现代机械加工中,加工批量小、改型频繁、零件复杂程度增加、精度要求高、生产周期短等特点日益突出。在电子技术、计算机技术、材料技术等多种技术的发展推动下,适应现代机械加工的数控铣床于 1952 年在美国诞生了。经过几十年的发展,数控铣床已经发展到多系列、高精度、多功能、智能化程度。

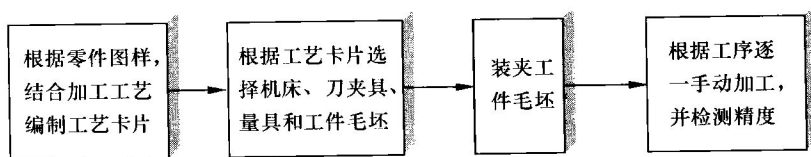
2. 数控铣床的工作过程

数控铣床的工作特点:把机床的启动、停止、正转、反转、机床的进给运动、切削液的开与关等所有动作都用特定的符号和代码来表示,加工工件时,根据图样结合工艺要求,按照一定的格式,把机床一系列的动作用规定的代码和符号编成程序,输入数控系统,数控系统对程序进行解释进而精确控制机床按照程序设定的运行轨迹自动加工出工件。

数控铣床的工作过程如下:



普通铣床的工作过程如下:



由上不难看出,普通铣床和数控铣床之间的最大区别是:普通铣床是手动加工,并需

要逐一检测精度；数控铣床是自动加工，不需手动控制。

3. 数控铣床加工的特点

和传统的普通铣床加工相比，数控铣床加工具有以下显著的特点。

① 具有广泛的应用性和较高的灵活性。数控铣床的加工过程由程序控制，当需要更换待加工零件时，只需重新输入或者修改程序即可。这在单件小批量、产品改型、复杂工件以及新产品试制中提供了极大的方便，缩短了生产准备及试制周期，还可以省去一些工装夹具，节约成本。

② 加工精度高，质量稳定。由于数控铣床采用了伺服系统，速度与位置的测量反馈装置时刻监视着机床的实际运动与指令动作相符，而程序的自动化控制使同批加工的零件几何尺寸一致性好，合格率高，加工质量稳定。同时数控铣床可以实现多轴联动，加工很多复杂的曲面或曲线类零件。

③ 加工生产率高。数控铣床的所有动作都已采用程序自动化控制，进而实现了多道工序连续加工，加速、减速功能的采用以及快速运动和定位，大大节约了加工过程中走空刀的时间。

④ 可获得良好的经济效益。虽然数控铣床比普通铣床昂贵，但它具有加工精度好，合格率高，可以加工普通铣床不能加工的复杂工件，减少工装夹具的使用，缩短加工周期等优点，这些优点都有利于获得较好的经济效益。

⑤ 有利于生产管理的现代化。数控铣床使用数字信息与标准代码处理、传递信息，特别是数控铣床使用了计算机控制，为计算机的辅助设计、制造及管理一体化奠定了基础。

4. 数控铣床的组成结构

数控铣床和普通铣床的工作方式、制造精度不同，结构也有所不同。通常数控铣床由以下几个部分组成。

① 数控系统。数控系统是数控铣床的核心，由控制系统、可编程控制器、各类输入输出接口、显示器及操作键盘等组成。

② 伺服系统。伺服系统是数控系统与机床本体之间的电传动环节，数控系统所发出的每一个指令动作都是通过伺服系统控制机床的机械构件完成的。它主要由伺服电动机、驱动控制系统及位置检测反馈装置组成。伺服电动机是系统的执行元件，驱动控制系统是伺服电动机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置检测反馈信号比较后成为有效的位移指令，经过驱动控制系统的功率放大，驱动电动机运转，再通过机械传动装置带动工作台或刀架运动。

③ 主传动系统。主传动系统是机床切削加工时传递转矩和速度的主要部件之一，一般分为有级变速和无级变速两类。它由主轴驱动控制系统、主轴电动机以及主轴机械传动机构等组成。

④ 强电控制柜。用来安装机床强电控制所用的各种元器件的电气柜称为强电控制柜。

⑤ 辅助装置。辅助装置包括液压控制系统、润滑系统、切削液供给装置等一切为切削加工提供辅助作用的装置。

⑥ 机床本体。与普通铣床一样，它是指数控铣床的机械结构实体。

5. 数控铣床的应用

数控铣床的加工对象分为以下三类。

① 最适应类。这是指加工精度高，形状结构复杂，具有复杂曲线、曲面轮廓的零件（图 1-2）；必须在一次装夹中完成铣、钻、铰或攻丝等多道工序的零件。

② 较适应类。这是指毛坯获得困难，不允许报废的零件；在普通铣床上加工生产率低，劳动强度大，质量难控制的零件；多品种，多规格，小批量生产的零件。

③ 不适应类。这是指形状结构简单，加工精度要求不高，大批量生产的零件；必须用特定的工艺装备，或依靠样板、样件加工的零件。

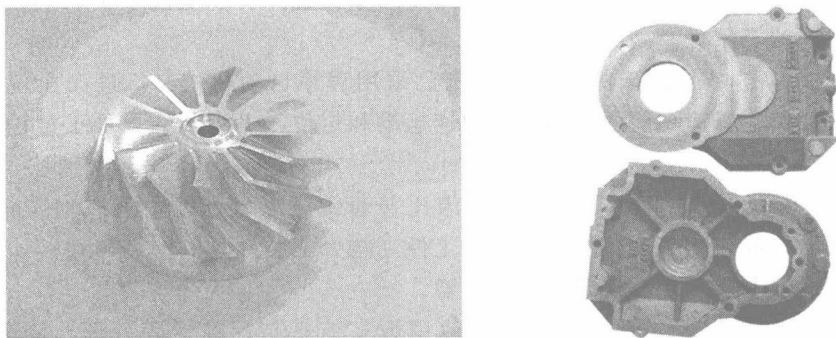
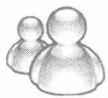


图 1-2 数控铣床加工的形状复杂零件



任务 1-1 思考与交流

① 想一想，普通铣床加工与数控铣床加工各有什么特点？

② 神舟 7 号宇宙飞船的结构坚固、制造精密、材料昂贵，你认为加工它的零件应该选用普通铣床还是数控铣床？

③ 你认为数控铣床与普通铣床相比有哪些优越性？是不是所有需要在铣床上加工的零件都适合在数控铣床上进行加工？

④ 小组总结数控铣床加工的特点，从生活中各举五个分别适合在普通铣床和数控铣床上加工的零件实例。

任务 1-2 数控铣床控制面板



任务 1-2

认真观察一台数控铣床的控制面板，了解各功能按键的作用。国产华中数控世纪星

HNC-21M 数控系统的控制面板如图 1-3 所示, 请指出控制面板各区域的按键功能。

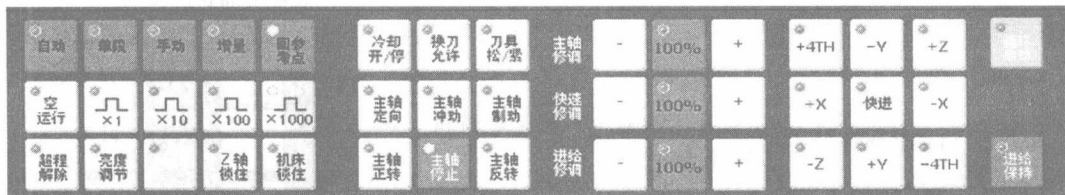


图 1-3 HNC-21M 的控制面板

任务 1-2 工作过程

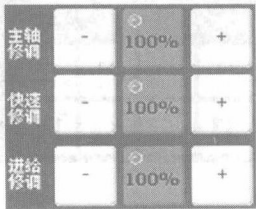
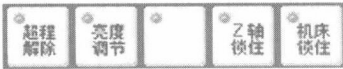
第 1 步 阅读与该任务相关的知识。

第 2 步 仔细观察数控铣床的控制面板, 了解各功能键的名称及作用。HNC-21M 数控系统的控制面板上的各区域按键的功能如表 1-2 所示。

表 1-2 HNC-21M 数控系统的控制面板上各按键的功能

序 号	名 称	功 能	面板上的对应按键区
1	工作方式选择键	包括“自动”、“单段”、“手动”、“增量”“回参考点”工作方式选择键, 用于选择机床的工作方式	
2	辅助操作手动控制键	包括主轴控制、冷却液控制及换刀控制等控制键	
3	坐标轴移动手动控制键	包括 X、Y、Z 等轴的手动控制键	
4	增量倍率选择键	用于“增量”工作方式的倍率选择	

续表

序 号	名 称	功 能	面板上的对应按键区
5	倍率修调键	包括主轴修调、快速修调和进给修调键	
6	自动控制键	用于程序运行的开始和暂停	
7	其他键	包括空运行和机床锁住及超程解除等辅助操作按键	



任务 1-2 相关知识

HNC-21M 数控系统的控制面板如图 1-3 所示，各按键的具体功能如下。

- ①  按钮 用于机床的自动加工。
- ②  按钮 用于单段程序的运行。在自动运行时，每按一次  键，数控系统执行一个程序段后停止。
- ③  按钮 选择此方式，可以手动控制机床，比如手动移动机床各轴、主轴正反转等。
- ④  按钮 选择此方式，每按一次，机床将移动“一步”。定量移动机床坐标轴，移动距离由倍率调整（可控制机床精确定位，但不连续）。当手轮有效时，“增量”方式变为“手摇”，倍率仍有效。可连续精确控制机床的移动。机床的进给速度受操作者的手动速度和倍率控制。
- ⑤  按钮 机床开机后只有在该模式下才能进行回零操作。
- ⑥  按钮 在“手动”方式下，按一下“冷却开/停”键，冷却液开（默认值为冷却液关），再按一下即为冷却液关（即按一次，指示灯亮，说明此状态选中，再按一次，指示灯暗。下面各键相同）。
- ⑦  按钮 在手动方式下，按压“允许换刀”按钮，使得“允许刀具松/紧”操作

有效（指示灯亮，适用于气动换刀装置）。

⑧  按键 按一下“刀具松/紧”按键，松开刀具（默认值为夹紧）。再按一下又为夹紧刀具（适用于气动换刀装置）。

⑨  按键 在手动方式下，按下此键，主轴立即执行定向功能。定向完成后，指示灯亮，主轴准确停止在某一固定位置。

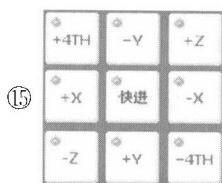
⑩  按键 在手动方式下，按下此键，主轴电动机以机床参数设定的转速和时间转动一定的角度。

⑪  按键 在手动方式下，主轴处于停止状态时，按下此键，指示灯亮，主轴电动机被锁定在当前位置。

⑫  按键 在 MDI 方式（Manual Data Input，即手动数据输入方式）已经初始化主轴转速的情况下，在手动方式下，按下此键，主轴将按给定的速度正转。

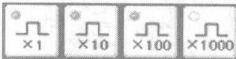
⑬  按键 按下此键，主轴停止转动。

⑭  按键 在 MDI 方式已经初始化主轴转速的情况下，在手动方式下，按下此键，主轴将按给定的速度反转。

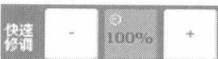


⑮ 按键 在手动模式下控制机床各轴的运动，当按住某轴运动键，同

时按住快进键时，机床以快进速度运动，否则以设定的进给速度运动。

⑯  按键 增量方式下的倍率修调按键，基本单位是脉冲当量，即每个脉冲 0.001 mm，如按下  按键，指示灯亮，其速度为 $1000 \times 0.001 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$ ，即每按一次坐标轴方向移动键，相应坐标轴移动 1 mm。

⑰  按键 主轴倍率修调按键，在主轴转动时，按下  按键，主轴转速降低；按下  按键，主轴转速增加，当选择为  时，转速等于设定的转速。

⑱  按键 快速倍率修调按键，修调刀架快速进给的速度。其作用同上。

⑲  按键 进给倍率修调按键，修调进给速度的倍率。

⑳  按键 用于程序的启动。当模式选择在“自动”、“单段”和 MDI 时按下有效。按下此键可进行自动加工或模拟加工。