

21 世纪技工技能入门丛书

数控铣工技能 快速入门

编著 上海市职业指导培训中心

便于自学

适合培训

就业入门

21 SHIJI JIGONG JINEN CONGSHU



凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

21 世纪技工技能入门丛书

数控铣工技能快速入门

主编 上海市职业指导培训中心

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控铣工技能快速入门 / 上海市职业指导培训中心编.
南京: 江苏科学技术出版社, 2009. 1

(21 世纪技工技能入门)

ISBN 978-7-5345-6356-0

I. 数… II. 上… III. 数控机床: 铣床—技术培训—教材 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 178620 号

数控铣工技能快速入门

主 编 上海市职业指导培训中心

责任编辑 谷建亚

责任校对 刘 强

责任监制 张瑞云

出版发行 江苏科学技术出版社(南京市湖南路 47 号, 邮编: 210009)

网 址 <http://www.pspress.cn>

集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市中央路 165 号, 邮编: 210009)

集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>

经 销 江苏省新华发行集团有限公司

照 排 南京展望文化发展有限公司

印 刷 扬中市印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/32

印 张 8.625

字 数 180 000

版 次 2009 年 1 月第 1 版

印 次 2009 年 1 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5345-6356-0

定 价 19.00 元

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

前 言

制造业是经济发展与社会发展的物质基础,是一个国家综合国力的具体体现,它对国民经济的增长有巨大的拉动效应,并给社会带来巨大的财富。据统计,美国 68% 的财富来源于制造业,日本国民经济总产值的 49% 是由制造业提供的。在我国,制造业在工业总产值中所占比例为 40%。近 10 年来,我国国民生产总值的 40%、财政收入的 50%、外贸出口的 80% 都来源于制造业,制造业还解决了大量人员的就业问题。因此,没有发达的制造业,就不可能是国家真正的繁荣和强大。而机械制造业的发展规模和水平,则是反映国民经济实力和科学技术水平的重要标志之一。提高加工效率、降低生产成本、提高加工质量、快速更新产品,是制造业竞争和发展的基础和制造业技术水平的标志。

本书立足于应用,在内容组织和编排上图文并茂、通俗易懂,特别强调实践,书中的大量实例来自生产实际和教学实践,包括许多典型的加工实例、操作技能及先进技术的应用,兼顾先进性与实用性。由于作者水平有限,不妥之处在所难免,欢迎广大读者批评赐教。

编 者

2008 年 10 月

目 录

第一单元 数控铣床基础知识	1
课题一 数控铣床概述	1
一、数控铣床的分类	1
二、数控铣床的主要功能	3
三、数控铣床的加工工艺范围	5
四、数控铣床的组成	7
五、数控铣床的典型结构	9
课题二 数控铣床机械结构	12
一、基础件	12
二、主传动系统及主轴部件	13
三、进给传动系统	18
四、工作台	22
五、其他机械功能附件	25
课题三 数控铣床的数控系统	25
一、数控及计算机数控	25
二、计算机数控系统的内部工作过程	26
三、CNC装置的工作原理与特点	28
四、常用数控系统的种类与特点	33
课题四 数控铣床的伺服系统	35
一、伺服系统的概念	35
二、伺服系统的分类	36
三、数控机床对伺服系统的要求	38
第二单元 数控铣床加工工艺	40
课题一 数控铣床加工工艺概述	40

一、数控铣削加工的主要对象	40
二、数控铣床加工工艺的基本特点	41
三、数控铣床加工工艺的主要内容	42
课题二 数控铣床加工工艺分析	42
一、数控铣床加工零件的工艺性分析	42
二、数控铣床加工工艺路线的拟订	47
课题三 工件在数控铣床上的定位与装夹	58
一、工件定位的基本原理	58
二、定位基准的选择原则	62
三、常见定位方式及定位元件	65
四、定位误差	72
五、工件的夹紧	72
六、数控铣床夹具介绍	75
七、组合夹具简介	80
课题四 数控铣床加工工序的设计	82
一、确定走刀路线和工步顺序	83
二、定位与夹紧方案的确定	87
三、夹具的选择	87
四、刀具的选择	88
五、切削用量的确定	90
六、对刀点与换刀点的确定	95
课题五 典型零件数控铣削加工工艺分析	96
一、圆台零件的铣削	96
二、铣削加工“支座”	99
第三单元 数控铣床编程基础	104
课题一 数控编程基础知识	104
一、数控编程的基本概念	104
二、数控机床的坐标系	107
三、数控加工程序与指令代码	111
课题二 数控铣床的程序编制	119



一、数控铣床的编程特点	119
二、坐标系及其编程命令	120
三、尺寸形式指令	125
四、常用的辅助功能	126
五、刀具功能 T、主轴转速功能 S 和进给功能 F	127
六、螺旋线插补指令	128
七、刀具补偿指令及其编程	131
八、返回参考点指令	137
九、子程序	138
十、镜像加工指令	142
十一、宏程序	145
课题三 数控铣床综合编程实例	151
一、数控铣床综合编程实训一	151
二、数控铣床综合编程实训二	156
三、数控铣床综合编程实训三	157
第四单元 典型数控铣床加工实训	168
课题一 FANUC 系统数控铣床加工实训	168
一、XK5025 型数控铣床(FANUC 0—MD 系统)的组成及操作	168
二、FANUC15 系统的编程指令及编程要点	180
三、FANUC 系统编程及加工实例	185
课题二 SIEMENS 系统数控铣床加工实训	203
一、SINUMERIK 802S 系统数控铣床的组成及操作	203
二、SINUMERIK 802D 系统的编程指令及编程方法	213
三、SIEMENS 系统编程及加工实例	259
参考文献	269

第一单元 数控铣床基础知识

数控铣床是一种用途广泛的数控机床,特别适合于加工凸轮、模具、螺旋桨等形状复杂的零件,在汽车、模具、航空航天、军工等行业得到了广泛的应用。数控铣床在制造业中具有重要地位,目前迅速发展起来的加工中心也是在数控铣床的基础上产生的。由于数控铣削工艺较复杂,需要解决的技术问题也较多,因此,铣削也是研究机床和开发数控系统及自动编程软件系统的重点。

课题一 数控铣床概述

一、数控铣床的分类

1. 布置形式及布局特点

按机床主轴的布置形式及机床的布局特点分类,可分为数控立式铣床、数控卧式铣床和数控龙门铣床等。

① 数控立式铣床。如图 1-1 所示,数控立式铣床主轴与机床工作台面垂直,工件装夹方便,加工时便于观察,但不便于排屑。一般采用固定式立柱结构,工作台不升降。主轴箱作上下运动,并通过立柱内的重锤平衡主轴箱的重量。为保证机床的刚性,主轴中心线距立柱导轨面的距离不能太大,因此,这种结构主要用于中小尺寸的数控铣床。

② 数控卧式铣床。如图 1-2 所示,数控卧式铣床的主轴与机床工作台面平行,加工时不便于观察,但排屑顺畅。一般配有数控回转工作台,便于加工零件的不同侧面。单纯的数控卧式铣床现在已比较少,多是在配备自动换刀装置(ATC)后成为卧式加工中心。

③ 数控龙门铣床。对于大尺寸的数控铣床,一般采用对称的双立柱结构,以保证机床的整体刚性和强度,这就是数控龙门铣床。数控龙

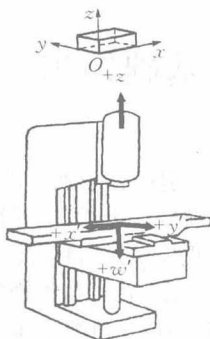


图 1-1 数控立式铣床

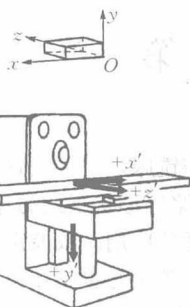
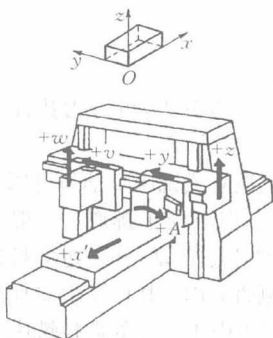
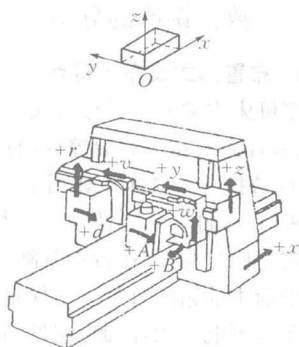


图 1-2 数控卧式铣床

门铣床有工作台移动和龙门架移动两种形式。它适用于加工飞机整体结构件零件、大型箱体零件和大型模具等,如图 1-3 所示。



(a) 工作台移动式



(b) 龙门架移动式

图 1-3 数控龙门铣床

2. 数控系统的功能

按数控系统的功能分类,数控铣床可分为经济型数控铣床、全功能数控铣床和高速铣削数控铣床等。

① 经济型数控铣床。经济型数控铣床一般采用经济型数控系统,

如 SIEMENS 802S 等采用开环控制,可以实现三坐标联动。这种数控铣床成本较低,功能简单,加工精度不高,适用于一般复杂零件的加工。一般有工作台升降式和床身式两种类型。

② 全功能数控铣床。全功能数控铣床采用半闭环控制或闭环控制,其数控系统功能丰富,一般可以实现 4 坐标以上的联动,加工适应性强,应用范围最广。

③ 高速铣削数控铣床。高速铣削是数控加工的一个发展方向,技术已经比较成熟,已逐渐得到广泛的应用。这种数控铣床采用全新的机床结构、功能部件和功能强大的数控系统,并配以加工性能优越的刀具系统,加工时主轴转速一般在 $8000 \sim 40000 \text{ r/min}$,切削进给速度可达 $10 \sim 30 \text{ m/min}$,可以对大面积的曲面进行高效率、高质量的加工。但目前这种机床价格昂贵,使用成本比较高。

二、数控铣床的主要功能

不同档次的数控铣床的功能有较大的差别,但都应具备以下主要功能:

(1) 铣削加工

数控铣床一般应具有三坐标以上的联动功能,能够进行直线插补和圆弧插补,自动控制旋转的铣刀相对于工件运动进行铣削加工。坐标联动轴数越多,对工件的装夹要求就越低,加工工艺范围就越大。

(2) 孔及螺纹加工

可以采用孔加工刀具进行钻、扩、铰、镗、镗削等加工,也可以采用铣刀铣削不同尺寸的孔。在数控铣床上可以采用丝锥加工螺纹孔,也可以采用螺纹铣刀铣削内螺纹和外螺纹,这种方法比传统的丝锥加工效率要高很多。

(3) 刀具半径自动补偿功能

使用这一功能,在编程时可以很方便地按工件实际轮廓形状和尺寸进行编程计算,而加工中可以使刀具中心自动偏离工件轮廓一个刀具半径,从而加工出符合要求的轮廓表面。也可以利用该功能,通过改



变刀具半径补偿量的方法来弥补铣刀造成的尺寸精度误差,扩大刀具直径选用范围及刀具返修刃磨的允许误差。还可以利用改变刀具半径补偿值的方法,以同一加工程序实现分层铣削和粗、精加工或用于提高加工精度。此外,通过改变刀具半径补偿值的正负号,还可以用同一加工程序加工某些需要相互配合的工件(如相互配合的凹凸模等)。

(4) 刀具长度补偿功能

利用该功能可以自动改变切削平面高度,同时可以降低在制造与返修时对刀具长度尺寸的精度要求,还可以弥补轴向对刀误差。

(5) 固定循环功能

利用数控铣床对孔进行钻、扩、铰、镗和镗加工时,加工的基本动作是:刀具无切削快速到达孔位—慢速切削进给—快速退回。对于这种典型化动作,可以专门设计一段程序(子程序),在需要的时候进行调用来实现上述加工循环。特别是在加工许多相同的孔时,应用固定循环功能可以大大简化程序。利用数控铣床的连续轮廓控制功能时,也常常遇到一些典型化的动作,如铣整圆、方槽等,也可以实现循环加工。对于大小不等的同类几何形状(圆、矩形、三角形、平行四边形等),也可以用参数方式编制出加工各种几何形状的子程序,在加工中按需要调用,并对子程序中设定的参数随时赋值,就可以加工出大小不同或形状不同的工件轮廓及孔径、孔深不同的孔。目前,已有不少数控铣床的数控系统附带有各种已编好的子程序库,并可以进行多重嵌套,用户可以直接加以调用,编程就更加方便。

(6) 镜像加工功能

镜像加工也称为轴对称加工。对于一个轴对称形状的工件来说,利用这一功能,只要编出一半形状的加工程序就可完成全部加工。

(7) 子程序功能

对于需要多次重复的加工动作或加工区域,可以将其编成子程序,在主程序需要的时候调用它,并且可以实现子程序的多级嵌套,以简化程序的编写。

(8) 数据输入输出及 DNC 功能

数控铣床一般通过 RS232C 接口进行数据的输入及输出,包括加

程序和机床参数等,可以在机床与机床之间、机床与计算机之间进行。

数控铣床按照标准配置提供的程序存储空间一般都比较小,尤其是中低档的数控铣床,大概在几十 KB 至几百 KB 之间。当加工程序超过存储空间时,就应当采用 DNC 加工,即外部计算机直接控制数控铣床进行加工,这在加工曲面时经常遇到。否则,只有将程序分成几部分分别执行,这种方法既操作繁琐,又影响生产效率。

(9) 数据采集功能

数控铣床在配置了数据采集系统后,就可以通过传感器(通常为电磁感直式、红外线或激光扫描式)对工件或实物(样板、样件、模型等)进行测量和采集所需要的数据。对于仿形数控系统,还能对采集到的数据进行自动处理并生成数控加工程序,这为仿制与逆向设计制造工程提供了有效手段。

(10) 自诊断功能

自诊断是数控系统在运转中的自我诊断。当数控系统一旦发生故障,借助系统的自诊断功能,往往可以迅速、准确地查明原因并确定故障部位。它是数控系统的一项重要功能,对数控机床的维修具有重要的作用。

三、数控铣床的加工工艺范围

铣削是机械加工中最常用的加工方法之一,它主要包括平面铣削和轮廓铣削,也可以对零件进行钻、扩、铰、镗和镗孔加工与攻螺纹等。在铣削加工中,它特别适用于加工下列几类零件:

(1) 平面类零件

这类零件的加工面与定位面成固定的角度,且各个加工面是平面或可以展开为平面。如各种盖板、凸轮以及飞机整体结构件中的框、肋等,如图 1-4 所示。加工部位包括平面、沟槽、外形、腔槽、台阶、倒角和倒圆等。这类

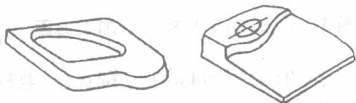


图 1-4 平面类零件

零件一般只需用两坐标联动就可以加工出来。

(2) 变斜角类零件

加工面与水平面的夹角呈连续变化的零件称为变斜角类零件。图 1-5 所示为飞机上的一种变斜角梁缘条,该零件在第 2 肋至第 5 肋的斜角 α 从 $3^{\circ}10'$ 均匀变化成 $2^{\circ}32'$,从第 5 肋至第 9 肋再均匀变化为 $1^{\circ}20'$,从第 9 肋到第 12 肋又均匀变化至 0° 。变斜角类零件的变斜角加工面不能展开为平面,但在加工过程中,加工面与铣刀圆周接触的瞬间为一条直线。

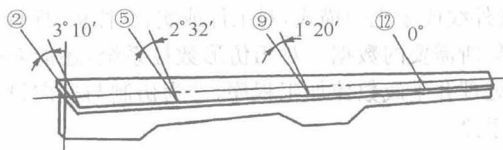


图 1-5 变斜角类零件

(3) 曲面类(立体类)零件

加工面为空间曲面的零件称为曲面类零件。曲面类零件的加工面不仅不能展开为平面,而且它的加工面与铣刀始终为点接触。加工曲面类零件一般采用三坐标数控铣床。常用的加工方法主要有列两种:

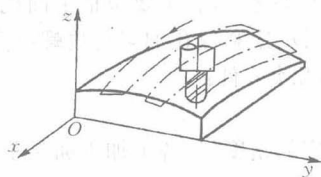


图 1-6 二轴半坐标行切加工曲面

① 采用三坐标数控铣床进行二轴半坐标控制加工。此加工方法加工时只有两个坐标联动,另一个坐标按一定行距周期性进给。这种方法常用于不太复杂的空间曲面的加工,图 1-6 所示是对曲面进行二轴半坐标行切加工的示意图。

② 采用三坐标数控铣床三坐标联动加工空间曲面。此加工方法所用铣床必须能进行 x 、 y 、 z 三坐标联动加工,能进行空间直线插补。这种方法常用于发动机及模具等复杂空间曲面的加工。

加工曲面类零件的刀具一般使用球头刀具,因为用其他刀具加工曲面时容易产生干涉而铣伤邻近表面。

四、数控铣床的组成

数控铣床形式多样,不同类型的数控铣床在组成上虽有所差别,但却有许多相似之处。下面以 XK5040A 型数控立式升降台铣床为例介绍其组成情况。

XK5040A 型数控立式升降台铣床配有 FANUC-3MA 数控系统,采用全数字交流伺服驱动。图 1-7 所示为 XK5040A 型数控铣床的结构布局。

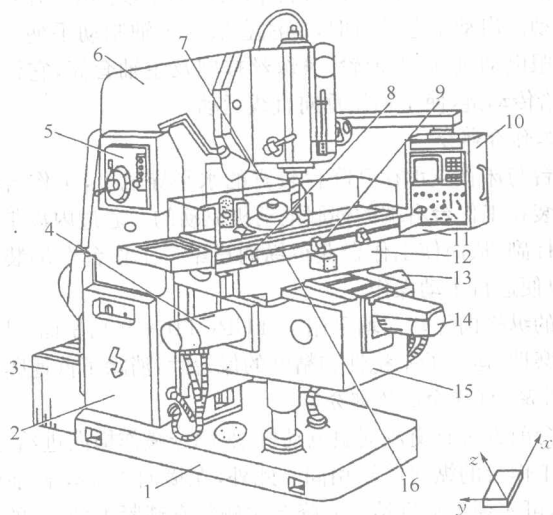


图 1-7 XK5040A 型数控铣床的布局图

- 1—底座；2—强电柜；3—变压器箱；4—垂直升降(z 轴)进给伺服电动机；5—主轴变速手柄和按钮板；6—床身；7—数控柜；8、11—保护开关(控制纵向行程硬限位)；9—挡铁(用于纵向参考点设定)；10—操纵台；12—横向溜板；13—纵向(x 轴)进给伺服电动机；14—横向(y 轴)进给伺服电动机；15—升降台；16—纵向工作台

该机床由 6 个主要部分组成,即床身部分,铣头部分,工作台部分,横进给部分,升降台部分,冷却、润滑部分。

(1) 床身部分

床身内部布局合理,具有良好的刚性,底座上设有 4 个调节螺栓,便于机床进行水平调整,切削液储液池设在机床座内部。

(2) 铣头部分

铣头部分由有级(或无级)变速箱和铣头两个部件组成。

铣头主轴支承在高精度轴承上,保证主轴具有高回转精度和良好的刚性;主轴装有快速换刀螺母,前端锥孔采用 ISO50 # 锥度;主轴采用机械无级变速,其调节范围宽,传动平稳,操作方便。刹车机构能使主轴迅速制动,可节省辅助时间,刹车时通过制动手柄撑开止动环使主轴立即制动。启动主电动机时,应注意松开主轴制动手柄。铣头部件还装有伺服电动机、内齿带轮、滚珠丝杠副及主轴套筒,它们形成垂向(z 向)进给传动链,使主轴作垂向直线运动。

(3) 工作台部分

工作台与床鞍支承在升降台较宽的水平导轨上,工作台的纵向进给是由安装在工作台右端的伺服电动机驱动的。通过内齿带轮带动精密滚珠丝杠副,从而使工作台获得纵向进给。工作台左端装有手轮和刻度盘,以便进行手动操作。

床鞍的纵横导轨面均采用了 TURCTIE-B 贴塑面,从而提高了导轨的耐磨性、运动的平稳性和精度的保持性,消除了低速爬行现象。

(4) 升降台(横向进给部分)

升降台前方装有交流伺服电动机,驱动床鞍作横向进给运动,其传动原理与工作台的纵向进给相同。此外,在横向滚珠丝杠前端还装有进给手轮,可实现手动进给。升降台左侧装有锁紧手柄,轴的前端装有长手柄,可带动锥齿轮及升降台丝杆旋转,从而获得升降台的升降运动。

(5) 冷却与润滑部分

① 冷却系统。机床的冷却系统是由冷却泵、出水管、回水管、开关及喷嘴等组成,冷却泵安装在机床底座的内腔里,冷却泵将切削液从底

座内储液池打至出水管,然后经喷嘴喷出,对切削区进行冷却。

② 润滑系统及方式。润滑系统是由手动润滑油泵、分油器、节流阀、油管等组成。机床采用周期润滑方式,用手动润滑油泵,通过分油器对主轴套筒、纵横向导轨及三向滚珠丝杆进行润滑,以提高机床的使用寿命。

五、数控铣床的典型结构

1. XKJ-5025 数控铣床简介

(1) 结构布局

XKJ-5025 是基于普通立式升降台式铣床的布局上,进给实行开环控制的普及型数控铣床,主要由床身、主轴箱、工作台、床鞍、升降台、操作面板、电器控制系统、冷却、润滑等部分组成。立式升降台铣床是铣床中应用最广泛的一种类型。其结构特征是安装工件的工作台可以在垂直位置上手动调整位置,既可以保证铣床工作切削的高低位置不变,确保加工精度,也有利于操作者观察加工情况,并可以扩大加工零件的尺寸范围。

该机床所配置的系统是由北京凯恩帝数控技术公司开发的 KND-200M 操作系统。

XKJ-5025 数控铣床的外形如图 1-8 所示。

① 床身。床身是铣床的基础部件,用于支承并安装升降台、主轴箱、工作台、冷却箱、电器箱、润滑系统的部件。

② 主轴箱。用于安装主轴、实现铣床的主运动。主电动机、主轴变速系统均安装在主轴箱内,其上操作手柄分别用于主轴变速、主轴锁住。

③ 工作台。工作台是实现铣床纵、横向运动的部件,工作台有 3 条 T 型槽,中间的 T 型槽为基准 T 型槽。

④ 升降台。升降台是工作台的基础。安装在床身前侧的垂直导轨上,带动工作台沿床身立导轨作垂直升降运动,升降台运动为手动,靠手柄轴传动通过一对锥齿轮传给立丝杠,使升降台上、下运动。另外升降台上的导轨用于支承床鞍。

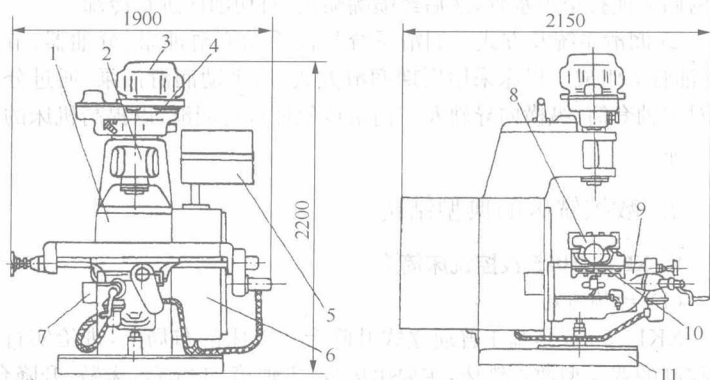


图 1-8 XKJ-5025 数控铣床外形

1—床身;2—主轴箱;3—主轴电动机;4—主变速箱;5—数控操作箱;

6—电器控制箱;7—润滑箱;8—工作台;9—升降台;10—床鞍;11—底座

⑤ 床鞍。安装在升降台的水平导轨上,实现与主轴垂直的横向进给。

⑥ 冷却箱。冷却箱与冷却泵安置于床身底部,结构紧凑。

⑦ 润滑箱。供给滚珠丝杠、导轨及主轴箱等运动部件的润滑。

⑧ 电器控制箱。主要用于安装机床各种电器控制元件及数控驱动单元。

(2) XKJ-5025 数控铣床的主要技术参数

工作台尺寸(宽×长)	250 mm×1120 mm
工作台行程	x 轴向 680 mm;y 轴向 350 mm
套筒垂直行程(z)	130 mm
升降台垂直行程(手动)	400 mm
主轴转速范围	13~5086 r/min
铣削进给速度范围	0~0.35 m/min
快速移动速度	25 m/min
T 形槽宽度×槽距	15.87 mm×65 mm
主轴锥孔	30 # (7 : 24)