

■ 高等职业教育规划教材

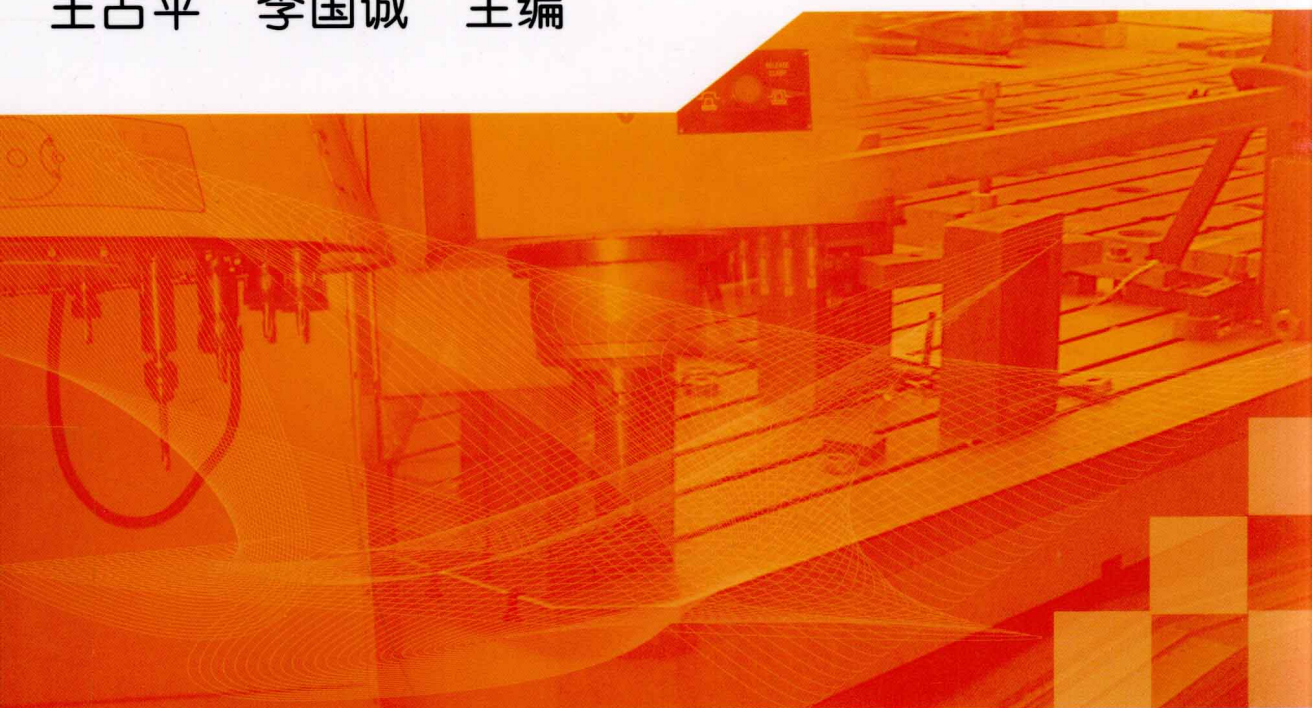
数控铣镗工

综合知识训练与加工实例

SHUKONG XITANGGONG

ZONGHE ZHISHI XUNLIAN YU JIAGONG SHILI

王占平 李国诚 主编



化学工业出版社

■ 高等职业教育规划教材

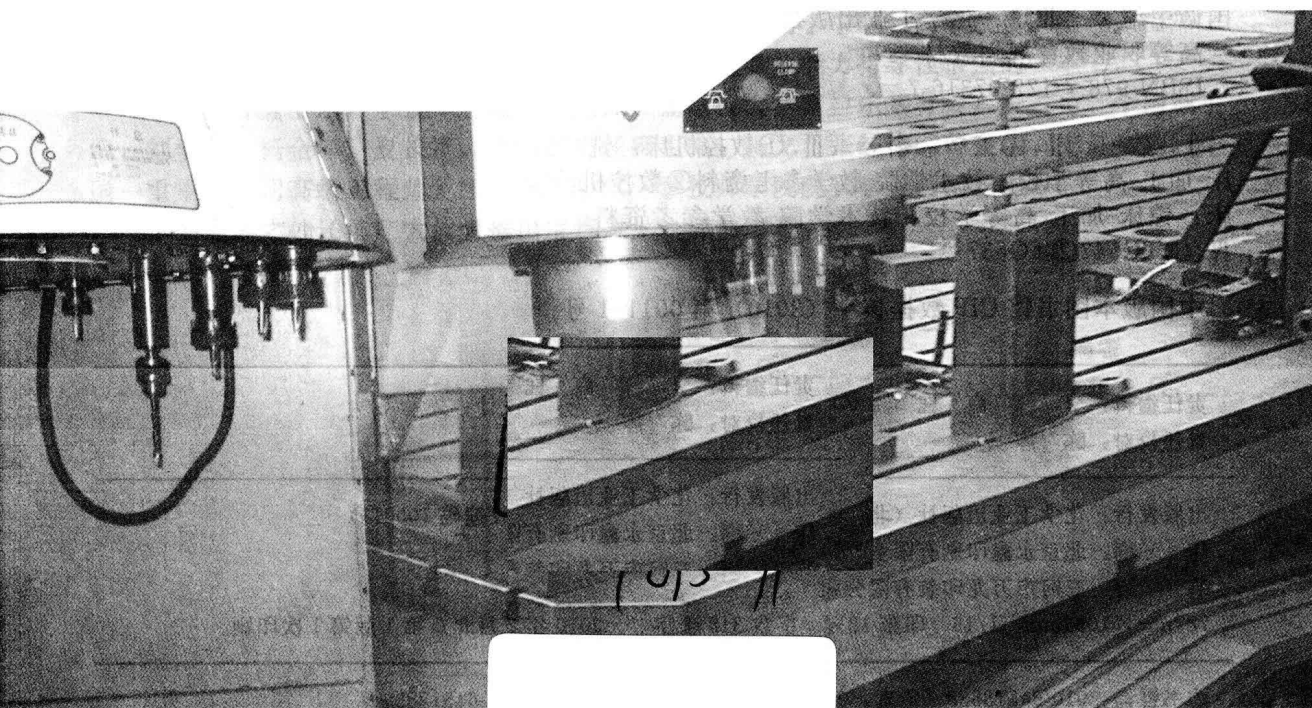
数控铣镗工

综合知识训练与加工实例

SHUKONG XITANGGONG

ZONGHE ZHISHI XUNLIAN YU JIAGONG SHILI

王占平 李国诚 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书采用“课题”的形式编写,将学生在生产实践中用到的专业知识归纳并总结,并配有相应的生产案例。做到理论联系实际、学生易学易用,以实用为主。

该书主要包括数控刀具的选择、切削用量的选用、常见零件的装夹方案、对刀方法的选择、镗孔加工方法及技巧、螺纹孔的铣削加工与编程、常用编程指令的使用技巧、孔系零件的加工实例、轮廓类零件的加工实例、配合件的加工工艺分析、叉架类零件的加工工艺分析、箱体类零件的加工工艺分析、大型焊接式机架的加工工艺分析及四轴加工案例分析等内容。

本书可以作为高职、技校等职业技术类学校机械类专业教材,也可以作为相关专业技术工人、工程技术人员或职业院校教师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣镗工综合知识训练与加工实例/王占平,李国诚主编. —北京:化学工业出版社,2010.2
高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-122-07316-7

I. 数… II. ①王…②李… III. ①数控机床:铣床-加工-高等学校:技术学院-教学参考资料②数控机床:镗床-加工-高等学校:技术学院-教学参考资料
IV. ①TG547②TG537

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 001181 号

责任编辑:李娜 高钰
责任校对:陈静

装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张12½ 字数318千字 2010年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着国家对机械加工产品研制与开发的重视,企业得到了发展和提升的机会,产品的数量迅速增加,产品质量要求越来越高,这就要求工人的数量和素质要满足现代化大生产的需求。

学生使用的教材对于形成其编程能力、工艺编制能力、操作能力等关键能力起到了至关重要的作用,本教材结合企业对学生的能力需求及职业技能标准,以形成学生关键能力为目标,形成数控铣镗工专用教材。

本书是编者在从事数控加工专业的多年经验基础上,深入企业,结合工程应用,通过不断应用、总结开发而积累编写的。收集了大量企业生产实例、加工技巧和编程技巧,以形成学生整体加工意识为宗旨,从理论和实践中总结出具体案例,以课题形式形成教学内容。本书共分四个部分,第一部分介绍学生实习应注意事项及安全操作规程;第二部分是本书的重点内容,主要突出学生在工作中用到的关键知识及技能,并以课题形式分项列出,使学生容易接受和掌握;第三部分以前沿知识为主,介绍 CAD/CAM 软件的简单应用,仿真软件的重要作用及四轴编程方法;第四部分介绍常用机床维护知识和故障排除方法。

每个课题都从理论出发,最终以解决生产为主,适用于中职、高职及技工学校数控加工专业使用,特别是在综合训练阶段,成为对形成学生专业能力指导性很强的一本书。

本书由齐齐哈尔一重技师学院(黑龙江广播电视大学富拉尔基分校)王占平、李国诚主编,刘金环、杨金海、夏长富、李雪薇担任副主编,杨戈、张红梅、曹会朝、史进参编。中国一重集团公司高级工程师王宁、齐齐哈尔一重技师学院院长李亚营担任主审。

本书疏漏之处还请广大读者提出宝贵意见,以便改进。

编者

2009 年 9 月

目 录

第一部分	学生实习注意事项及安全操作规程	1
第二部分	综合训练与实例分析	7
	课题一 数控刀具的选择	7
	课题二 切削用量的选用	10
	课题三 铣削方式的选择	13
	课题四 进给路线的确定	15
	课题五 常用量具的使用方法及技巧	17
	课题六 常用夹具	33
	课题七 常见零件的装夹方案	36
	课题八 对刀方法的选择	38
	课题九 加工中心对刀操作与参数设置方法	42
	课题十 对刀实例分析及编程	46
	课题十一 钻孔加工	48
	课题十二 铰孔加工方法及技巧	51
	课题十三 镗孔、镗环形槽和外圆镗削	55
	课题十四 刚性攻丝与柔性攻丝加工与编程	58
	课题十五 螺纹孔铣削加工与编程	60
	课题十六 封闭槽加工	62
	课题十七 铣孔加工工艺分析与编程	65
	课题十八 子程序的使用方法和技巧	68
	课题十九 坐标系旋转指令的使用方法和技巧	72
	课题二十 变量编程方法及应用	76
	课题二十一 程序传输	90
	课题二十二 孔系零件的数控加工	92
	课题二十三 轮廓类零件的数控加工	100
	课题二十四 曲线板的加工与编程	110
	课题二十五 配合件加工	115
	课题二十六 叉架类零件的数控加工	120
	课题二十七 叉杆类零件加工工艺分析与编程	126
	课题二十八 分离式齿轮箱体加工工艺过程及其分析	132
	课题二十九 箱体类零件加工工艺分析与实例	134
	课题三十 轴承座类零件加工工艺分析	141
	课题三十一 机架类零件加工工艺分析	145
	课题三十二 加工工艺的制定方法及原则	147
第三部分	CAD/CAM 及仿真软件应用	150

	课题三十三	CAD/CAM 的加工思路与工艺方法	150
	课题三十四	CAXA 后置设置	154
	课题三十五	型腔类零件的数控加工	159
	课题三十六	四轴加工齿沟螺旋面	167
	课题三十七	圆柱凸轮槽的加工,.....	177
第四部分	数控机床验收与维护保养		183
	课题三十八	数控机床的维护与保养	183
	课题三十九	数控机床验收	185
	课题四十	常见故障排除与诊断	187
参考文献			193

第一部分

学生实习注意事项及安全操作规程

一、企业对在校学生的要求

1. 要有扎实的专业理论基础和较宽的知识面

数控操作技术是现代信息科学带给机械制造业的一场深刻的变革。熟练地掌握数控技术,除要求学生必须扎实地学好机械制图、机械制造工艺、金属材料等专业基础理论外,还要求学生掌握好数控加工工艺、数控编程的基本知识,并养成良好的自学习惯。因为数控技术是一门日新月异飞快发展的学科,不打好基础,不能及时不断地更新知识,就不会有较强的发展后劲和潜力。

由于数控铣镗工是一种复合性专业,需要学生必须同时掌握数控铣和数控镗两个工种的知识技能,具有较宽的知识面。

2. 要有熟练的动手能力

操作能力是一个人的专业关键能力,也是所有职业学校学生的就业核心竞争力。系统地掌握数控铣镗工的操作技能,必须从由浅入深的一个个课题入手,反复练习,才能达到熟能生巧、巧能生华的境界。至于更多的生产操作经验,这需要平时大量的实践积累才能最终形成。

3. 要具有准确的识图和精密测量的能力

机械识图是机械加工过程中使用的特殊语言,数控铣镗工在生产过程中经常遇到的零件图与普通的轴类零件图相比相对复杂,需要操作者准确无误地解读,并照图加工和检验产品的精度。

数控铣镗机床所承担的加工任务多是复杂零件的精加工工序,因此要求学生必须掌握用普通量具精密测量工件尺寸的能力,同时,还要了解和学会一些不常用的精密量具的特殊原理结构和使用方法。

4. 要有一定的外语水平

在我国的企业中,近年来从先进国家进口了大量的数控设备,这些设备的操作面板和说明书多是用英文书写,不掌握一定程度的专业英语,学习起来就会发生许多困难。

5. 要有设备维护保养的常识

数控机床都是高、精、尖的设备,在任何企业中都是人们视若珍宝的财富,可以说,每一位数控机床操作者都肩负着产品加工和设备维护保养的双重责任。

6. 要有对企业的忠诚和团队意识

很多学生的一大缺点就是好高骛远,心不在焉地做着手里的活,眼睛却不断望向别处,希望发现一个工资更高,活儿又不那么累的地方,殊不知以这样的心态做下去,永远不可能有什么大作为,更或许你的心态已经被上司看穿,随时可能被“请”走。要知道,对企业

的忠诚和团队意识是企业家最看重的员工的素质，如果你能真正做到对企业忠诚、爱岗敬业，相信企业就会真诚地接纳你。当然，还有许多必须具有意识和品质，如质量意识、效益意识、创新意识、合作意识、奉献精神等，也需要学生在工作实践中学习和树立起来。

二、学生实习经验总结及注意事项

学生在校内实训及厂内实训提高加工效率和质量的过程中，不可避免的会出现违反操作规程或操作不当的现象，如何减少或者避免类似这些现象的发生，必须做好如下工作。

(1) 在装夹刀具的时候，刀具装夹的过紧或过松都会影响到刀具的使用，甚至刀具和刀柄的寿命。刀具夹持过紧会损坏夹簧并不方便拆卸。刀具夹持不牢固，在加工中刀具会向下滑移，损坏刀具及刀柄。

(2) 刀具补偿中，补偿半径大于凹圆半径会产生过切或使数控机床出现报警。

(3) 刀盘铣平面时，要垂直固定钳口铣削，以防止工件在切削力的作用下发生翻转，撞坏刀具或机床。

(4) 配合件需先加工凹件，再加工凸件，便于观察配合情况，同时凹件较轻，便于操作检查配合情况。如果没有合适的量具检测凹件，也可以先加工凸件，用检测合格的凸件加工调整凹件，直到配合间隙合理为止。

(5) 配合件加工，当完成凹件时要用量块检验，单边加 0.03mm 为准。

(6) 槽宽用千分块检测，孔用销或塞规检测。

(7) 硬质合金刀具需较高转速加工，否则容易崩刀。

(8) 为提高刚性，刀具悬伸不要过长。

(9) 曲面的粗加工优先选用平头刀，而精加工则选用球头刀或环形刀。

(10) 为避免换刀后重新对 Z 轴零点，可将刀具拆下后换上新刀重新回到 Z 轴零点，并向下拉刀具直到贴到工件上表面，并夹紧刀具。

(11) 夹簧与刀具柄部间有油容易在加工过程中掉刀。

(12) 记住镗孔和攻丝指令，如果一旦忘了镗孔加工指令可以用 G01 代替。其中攻丝时要注意 $F=SP$ 。

(13) 所有轮廓完成后清角操作，可以用手轮辅助找点，编写程序，将找到的点都连起来，就可以很快完成清根加工。最好不要用手轮辅助清根加工，速度非常不均匀，表面光洁度难以达到理想状态。

(14) 回零时注意虎钳不要撞到门。

(15) 加快算点和编程速度。

(16) 编写一个程序就执行一个，当机床运行过程中，可以通过背景编程录入，不要有人等机床或机床等人的现象。

(17) 用直径较小刀具，切深 0.1mm 试切，检查程序是否正确，成功后，用尽可能大的直径刀开粗，但要注意别干涉。

(18) 用硬质合金刀具加工轮廓，让刀现象也会发生。

(19) 配合件加工，注意直面的垂直度，否则影响配合质量。

(20) 在加工工件前应测量毛坯大小，如果尺寸比图纸要求小，则请求换坯料，如果大，则把各部分加工到图纸要求大小。

(21) 在执行程序时，不要忘记输入刀具半径补偿值，否则会使加工的轮廓偏大或偏小。

(22) 研究各类工件加工部位的进退刀方法。

(23) 加工凹腔工件时（穿通的薄板），应在粗加工落料后，精加工前将虎钳松开些，尽量减小工件变形。

(24) 粗加工后，单边留量不要过少，以免精加工时余量不够。

(25) 测量弯曲薄壁壁厚时，可用外径千分尺和钢球协助测量。

(26) 精加工时，把下一个粗加工程序用背景编程的形式调出修改成精加工程序，节省时间。

(27) 对同一部位调整刀补加工，记住此时刀具半径补偿值（达到精度要求），用这个补偿值对其他部分加工，节省调整刀补的时间。

(28) 编程遇到圆弧时，尽量用“，R”编写，可以简化编程及计算点的坐标。

(29) 许多有角度的轮廓部分可以用 G68 实现。

(30) 恰当地运用工艺思想。

(31) 尽量提高工件的加工精度。

三、空气压缩站安全操作规程

(1) 开机前保持油池中润滑油在标尺范围内，并检查注油器内的油量不应低于刻度线值。油尺及注油器所用润滑油的牌号应符合产品说明书的规定。

(2) 检查各运动部位是否灵活，各连接部位是否紧固，润滑系统是否正常，电机及电器控制设备是否安全可靠。

(3) 长期停用后首次启动前，必须检查有无撞击、卡住或响声异常等现象。

(4) 正常运转后，应经常注意各种仪表读数，并随时予以调整主要数据（详见使用说明书）。

(5) 工作中还应检查电动机温度是否正常，各电表读数是否在规定的范围内；各机件运行声音是否正常；各种安全防护设备是否可靠。

(6) 每天工作需将油水分分离器、中间冷却器、后冷却器内的油水排放一次，储气罐内油水每天排放一次。

(7) 空气压缩机在运转中发现下列情况时，应立即停车，查明原因，并予以排除（排气压力突然升高，安全阀失灵；负荷突然超出正常值；机械响声异常；电动机或电器设备等出现异常）。

(8) 冬季低温时须放尽储气罐、各级冷却器、油水分分离器内的存水，以免发生冻裂事故。

(9) 空气压缩机的空气滤清器须经常清洗，保持畅通，以减少不必要的动力损失。

违规操作案例分析：

(1) 长期不加润滑油，造成粘缸现象，使缸体爆裂。

(2) 日常维护维修不仔细，飞轮与轴配合部分连接键损坏，泵在工作过程中，飞轮飞离油泵，造成伤人事故。

四、数控铣床安全操作规程

(1) 启动机床前，熟悉数控机床的操作规程、紧急停车方法；必须熟知每个按钮的作用以及操作注意事项；注意机床各个部位警示牌上所警示的内容。

(2) 按操作规范进行操作机床，未经指导教师允许，不得随意开动机床电源开关；不可

随意搬动各种旋钮、点击按键或机床其他开关。

(3) 操作机床时禁止戴手套操作机床。

(4) 不得随意更改、删除他人程序，严禁更改、删除数控系统内部制造厂设定的参数。

(5) 机床通电启动前，应检查润滑油箱，确定润滑油液面高于规定最低刻度线；应检查气压表确定气压已达到 0.4MPa 以上。

(6) 机床通电启动，先接通机床总电源（在电气柜后），然后接通系统电源（在前面板上），然后旋开紧急停止开关（最大的红色按钮右旋）。

(7) 机床启动后，先进行机械回零操作，然后主轴试运转 5min，确认机械、刀具、夹具、工件、数控参数等正确无误后，方能开始正常工作。

(8) 操作机床面板时，只允许单人操作，其他人不得随意触摸按键。

(9) 操作机床面板时，不要用力过猛，更不允许用扳手或其他工具进行操作。

(10) 操作机床，进给倍率在快速时应确保主轴和刀具不会与机床或夹具相撞。

(11) 手动换刀时，要注意足够距离以免发生碰撞；安装刀柄时，应确保刀柄上的槽对准主轴上的键，按下刀具夹紧按钮后应用手转动主轴，确定主轴转动良好；从主轴上拆卸刀具时，要先用手抓持住刀柄，再按下松刀按钮。若刀柄暂时未达到松刀状态，手持刀柄等待数秒。

(12) 运行程序前要先对刀，确定工件坐标系原点。对刀后立即修改机床零点偏置参数，以防程序不正确运行；对刀时，应注意选择合适的进给速度；完成对刀后，要做模拟试验，检验对刀是否正确，以防止正式操作时发生撞坏刀具、工件或设备等事故。

(13) 加工程序须经实习指导老师检查、同意并经过严格检验方可进行操作运行。

(14) 进行机床闭锁或 Z 轴闭锁试运行程序后，机床必须重新回机床参考点。

(15) 机床开始切削之前一定关好防护罩门，程序正常运行中严禁开启防护门。

(16) 机床运转过程中，不能用手或其他物品去停止运行中的或即将停止运行的加工轴或工作台面，以避免出现人身事故。

(17) 机床加工时，不可调整刀具、测量工件尺寸或靠近旋转的刀具和工件；要测量工件时，必须在机床停止状态下进行。

(18) 机床运行时操作人员不得做与加工无关的事情，更不允许擅自离开，如必须离开要停止机床方能离开。

(19) 加工中出现紧急情况时，立即按下复位或急停按钮。当显示屏出现报警信号，要先查明报警原因，采取相应措施，取消报警后，再进行操作。

(20) 停机清除切屑时，要使用一定的工具，应当注意不要被切屑划破手脚，禁止用压缩空气清洁机床上的切屑或冷却工件。

(21) 实训结束时，按规定的断电顺序关闭机床电源，清理现场，认真对数控机床进行清洁、保养、维护工作，机床使用情况应做好交接记录。

五、加工中心安全操作规程

(1) 启动机床前，熟悉加工中心的操作规程、紧急停车方法；必须熟知每个按钮的作用以及操作注意事项；注意机床各个部位警示牌上所警示的内容。

(2) 按操作规范进行操作，未经指导教师允许，不得随意开动机床电源开关；不可随意搬动各种旋钮、点击按键或机床其他开关。

(3) 操作机床时禁止戴手套操作机床。

(4) 不得随意更改、删除他人程序, 严禁更改、删除数控系统内部制造厂设定的参数。

(5) 机床通电启动前, 应检查润滑油箱, 确定润滑油液面高于规定最低刻度线; 应检查气压表确定气压已达到 0.4MPa 以上。

(6) 机床通电启动, 先接通机床总电源 (在电气柜后), 然后接通系统电源 (在前面板上), 然后旋开紧急停止开关 (最大的红色按钮右旋)。

(7) 机床启动后, 先进行机械回零操作, 然后主轴试运转 5min, 确认机械、刀具、夹具、工件、数控参数等正确无误后, 方能开始正常工作。

(8) 操作机床面板时, 只允许单人操作, 其他人不得随意触摸按键。

(9) 操作机床面板时, 不要用力过猛, 更不允许用扳手或其他工具进行操作。

(10) 操作机床, 进给倍率在快速时应确保主轴和刀具不会与机床或夹具相撞。

(11) 刀库门和防护门应良好可靠, 刀库中的刀具应均衡平稳放置, 加工中严禁打开防护门。

(12) 工装夹具、工件和刀具安装应紧固牢靠, 装卸工件、刀具、调整机床必须是机床处于静止状态。

(13) 运行程序前要先对刀, 确定工件坐标系原点。对刀后立即修改机床零点偏置参数, 以防程序不正确运行; 对刀时, 应注意选择合适的进给速度; 完成对刀后, 要做模拟试验, 检验对刀是否正确, 以防止正式操作时发生撞坏刀具、工件或设备等事故。

(14) 加工程序须经实习指导老师检查、同意并经过严格检验方可进行操作运行。

(15) 进行机床闭锁或 Z 轴闭锁试运行程序后, 机床必须重新回机床参考点。

(16) 机床运转过程中, 不能用手或其他物品, 去停止运行中的或即将停止运行的加工轴或工作台面, 以避免出现人身事故。

(17) 机床加工时, 不可调整刀具、测量工件尺寸或靠近旋转的刀具和工件; 要测量工件时, 必须在机床停止状态下进行。

(18) 机床运行时操作人员不得做与加工无关的事情, 更不允许擅自离开, 如必须离开要停止机床方能离开。

(19) 加工中出现紧急情况时, 立即按下复位或急停按钮。当显示屏出现报警号, 要先查明报警原因, 采取相应措施, 取消报警后, 再进行操作。

(20) 停机清除切屑时, 要使用一定的工具, 应当注意不要被切屑划破手脚, 禁止用压缩空气清洁机床上的切屑或冷却工件。

(21) 实训结束时, 按规定的断电顺序关闭机床电源, 清理现场, 认真对数控机床进行清洁、保养、维护工作, 机床使用情况应做好交接记录。

六、数控加工车间安全操作规范

(1) 数控加工车间是数控加工实际操作训练场地和对外协作生产车间。

(2) 进入数控车间, 要穿好工作服、戴好工作帽; 禁止穿凉鞋、拖鞋、裙子; 留长发者需将长发盘好扣紧并戴好帽子。

(3) 数控车间要执行定置管理, 物品不得随意摆放, 使用后的物品必须复归原位; 数控车间按要求划分区域, 必须按区域要求停放、安放物品、零件、材料。

(4) 安全通道区域必须畅通, 禁止在安全通道内进行生产活动以及人员滞留。

(5) 启动机床前, 熟悉数控机床的操作规程、紧急停车方法; 必须熟知每个按钮的作用以及操作注意事项; 注意机床各个部位警示牌上所警示的内容。

(6) 机床周围环境要时刻保持整洁、清洁；工具、量具、夹具要按规定摆放整齐，不能混放。

(7) 机床发生事故，操作者注意保留现场。

(8) 实训、生产结束，必须清扫机床、清理切屑；并认真对数控机床进行润滑、维护、保养、保洁工作，做好交接，必要时应做好文字记录。

(9) 数控机床要做到日保养、周保养、月保养和学期保养。

第二部分

综合训练与实例分析

课题一 数控刀具的选择

目前,许多 CAD/CAM 软件都提供自动编程功能,这些软件一般是在编程界面中提示工艺规划的有关问题,如:刀具选择、加工路径规划、切削用量设定等,编程人员只要设置了有关的参数,就可以自动生成 NC 程序并传输至数控机床完成加工。

一、数控加工常用刀具的种类及特点

数控加工刀具(图 1-1)必须适应数控机床高速、高效和自动化程度高的特点,一般应包括通用刀具、通用连接刀柄及少量专用刀柄。刀柄要连接刀具并装在机床动力头上,因此已逐渐标准化和系列化。

1. 数控刀具的分类

根据刀具结构可分为(图 1-2):整体式;镶嵌式,采用焊接或机夹式连接,机夹式又可分为不转位和可转位式两种;特殊型式,如复合刀具、减震式刀具等。

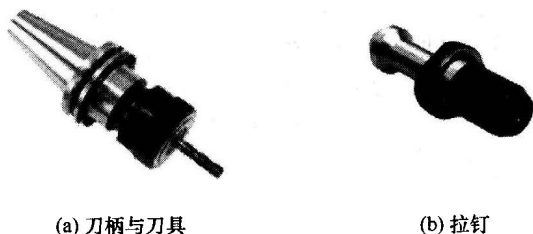


图 1-1 刀柄与拉钉

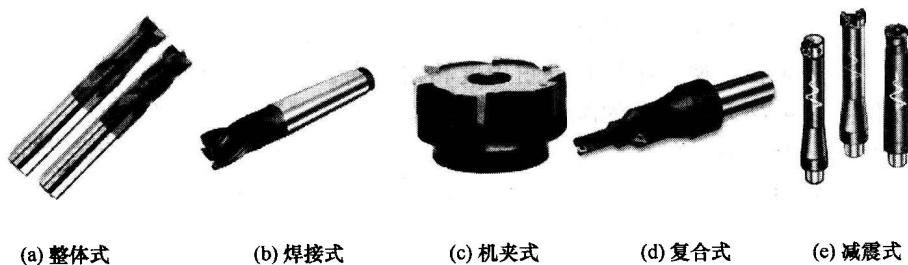


图 1-2 刀具种类

根据制造刀具所用的材料可分为:高速钢刀具;硬质合金刀具;金刚石刀具;其他材料刀具,如立方氮化硼刀具、陶瓷刀具等。

为了适应数控机床对刀具耐用、稳定、易调、可换等要求,机夹式可转位刀具被广泛的应用,在数量上达到整个数控刀具的 30%~40%,金属切除量占总数的 80%~90%。刀具材料性能指标及应用条件见表 1-1。

表 1-1 刀具材料性能指标

材料种类		硬度 /HRC/HRA/HV	耐热性 /℃	切削速度 /(m/min)	适用加工材料
高速钢		63~70	600~700	≤40~60	结构钢和铸铁
硬质合金	钨钴类	89~92	800	70~90	铸铁、有色金属、淬火钢和不锈钢
	钨钛钴类	89~92.5	900	—	塑性好的钢类零件
	碳化钨、镍类	—	1000~1100	—	适用加工各类材料
	碳化钛基类	~92	1100	—	碳素钢、合金钢
陶瓷	氧化铝陶瓷	92~93.3	1200	300~500	铸铁、钢料
	氧化物、碳化物系陶瓷	91~95	1100	—	铸铁、镍基合金
	氮化硅陶瓷	5000	1300	—	铸铁、淬硬钢等
超硬材料	立方氮化硼	8000~9000	1400~1500	400~1000	特种钢
	人造金刚石	10000	700~800	1000~3000	各有色金属、非金属材料 钛合金和陶瓷等

2. 数控刀具的特点

数控刀具与普通机床上所用的刀具相比，有许多不同的要求，主要有以下特点：

刚性好（尤其是粗加工刀具）、精度高、抗振及热变形小；

互换性好，便于快速换刀；

寿命高，切削性能稳定、可靠；

刀具的尺寸便于调整，以减少换刀调整时间；

刀具应能可靠地断屑或卷屑，以利于切屑的排除；

系列化、标准化，以利于编程和刀具管理。

二、数控加工刀具的选择

刀具的选择是在数控编程的人机交互状态下进行的。应根据机床的加工能力、工件材料的性能、加工工序、切削用量以及其他相关因素正确选用刀具及刀柄（图 1-3）。刀具选择总的原则是：安装调整方便、刚性好、耐用度和精度高。在满足加工要求的前提下，尽量选择较短的刀柄，以提高刀具加工的刚性。

选取刀具时，要使刀具的尺寸与被加工工件的表面尺寸相适应。生产中，平面零件周边轮廓的加工，常采用立铣刀，当精加工时，立铣刀的螺旋角可选择大些，以增加刀刃切割能力和刀具旋转平稳性；铣削平面时，应选硬质合金刀片铣刀；加工凸台、凹槽时，选高速钢立铣刀；加工毛坯表面或粗加工孔时，可选取镶硬质合金刀片的玉米铣刀 [图 1-4（a）]；对



(a) 铣刀刀柄



(b) 镗刀刀柄



(a) 玉米铣刀



(b) 环形铣刀



(c) 锥形球头铣刀

图 1-3 铣刀和镗刀刀柄

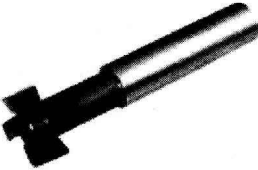
图 1-4 刀具选用

一些立体型面和变斜角轮廓外形的加工，常采用球头铣刀、环形铣刀、锥形铣刀和盘形铣刀[图 1-4 (b)，图 1-4 (c)]。

在进行自由曲面（模具）加工时，由于球头刀具的端部切削速度为零，因此，为保证加工精度，切削行距一般采用顶端密距，故球头刀常用于曲面的精加工。而平头刀具在表面加工质量和切削效率方面都优于球头刀，因此，只要在保证不过切的前提下，无论是曲面的粗加工还是精加工，都应优先选择平头刀。另外，刀具的耐用度和精度与刀具价格关系极大，必须引起注意的是，在大多数情况下，选择好的刀具虽然增加了刀具成本，但由此带来的加工质量和加工效率的提高，则可以使整个加工成本大大降低。

在加工中心上，各种刀具分别装在刀库上，按程序规定随时进行选刀和换刀动作，因此必须采用标准刀柄，以便使钻、镗、扩、铣削等工序用的标准刀具迅速、准确地装到机床主轴或刀库上去。编程人员应了解机床上所用刀柄的结构尺寸、调整方法以及调整范围，以便在编程时确定刀具的径向和轴向尺寸。目前我国的加工中心采用 TSG 工具系统，其刀柄有直柄（3 种规格）和锥柄（4 种规格）2 种，共包括 16 种不同用途的刀柄。常用刀具种类见表 1-2。

表 1-2 常用刀具

刀 具 种 类	作 用	刀 具 种 类	作 用
 面铣刀	加工平面，去除大量残留余量。可选用螺旋下刀方式对封闭槽进行粗加工	 铰刀	精加工孔，可提高孔内壁光洁度，但不能纠正孔的直线度
 高速钢立铣刀	刃数较多，可用于精加工凸件或凹件的轮廓面，刀具有较高的使用寿命	 铰钻	加工锥形沉孔或平底沉孔
 键槽铣刀	对槽粗加工时，效率较高，切削刃不易崩刃。也可以对槽精加工，其尺寸精度较高	 镗刀	粗精加工孔，提高孔内壁光洁度的同时，也能纠正孔的直线度
 中心钻	点钻，起引正作用，防止钻孔时钻偏	 丝锥	攻丝
 麻花钻头	钻孔	 T 形槽铣刀	加工 T 形槽

在实际生产中,一般可按铣削过程中出现的一些直观现象来判断铣刀是否已磨钝。

(1) 铣削钢材、纯铜等塑性材料时,工件边缘产生严重的毛刺;铣削铸铁等脆性材料时,工件边缘产生明显的碎裂剥落现象。

(2) 铣削时发生不正常的刺耳啸叫,或用硬质合金铣刀高速铣削时切削刃出现严重的火花。

(3) 工件振动加剧。

(4) 切屑由规则的片状或带状变为不规则的碎片。

(5) 铣削钢件时,高速钢铣刀的切屑由灰白色变成黄色,或硬质合金铣刀的切屑呈紫黑色。

(6) 精铣时,工件的尺寸精度明显下降或表面粗糙度值明显上升。

在经济型数控机床的加工过程中,由于刀具的刃磨、测量和更换多为人工手动进行,占用辅助时间较长,因此,必须合理安排刀具的排列顺序。一般应遵循以下原则:尽量减少刀具数量;一把刀具装夹后,应完成其所能进行的所有加工步骤;粗精加工的刀具应分开使用,即使是相同尺寸规格的刀具;先铣后钻;先进行曲面精加工,后进行二维轮廓精加工,可对其进行清根处理;在可能的情况下,应尽可能利用数控机床的自动换刀功能,以提高生产效率等。

在数控加工过程中要注意刀具齿数的选择,铣刀齿数愈多,切削愈平稳,加工表面粗糙度值愈小,在 f_z 一定时,可提高铣削效率。但齿数过多,会减少齿槽有效容屑空间,限制 f_z 的提高。一般粗齿的标准高速钢铣刀适用于粗铣或加工塑性材料;细齿适用于精铣或加工脆性材料。

硬质合金面铣刀,有疏齿、中齿及密齿之分。疏齿适用于钢件的粗铣;中齿适用于铣削带有断续表面的铸铁件或对钢件的连续表面进行粗铣及精铣;密齿适用于在机床功率足够时对铸铁件进行粗铣或精铣。

课题二 切削用量的选用

合理的切削用量是指充分利用刀具的切削性能和机床性能,在保证加工质量的前提下,获得高生产率和低加工成本。不同的加工性质,对切削加工的要求是不一样的。因此,在选择切削用量时,考虑的侧重点也有所区别。

切削用量三要素为切削速度、进给量和背吃刀量,但铣刀的背吃刀量只是定义了刀具轴向的切削深度,径向的切削宽度没有定义。因此只用背吃刀量来描述是不正确的,应该是背吃刀量(侧吃刀量)或铣削深度(铣削宽度)。

1. 切削用量的选用原则

粗加工时,应尽量保证较高的金属切除率和必要的刀具寿命。因此,选择切削用量时应首先选取尽可能大的背吃刀量;其次,根据机床动力和刚性的限制条件,选取尽可能大的进给量;最后根据刀具寿命要求,确定合适的切削速度。

精加工时,首先根据粗加工的余量确定背吃刀量;其次,根据已加工表面的粗糙度要求,选取合适的进给量;最后在保证刀具寿命的前提下,尽可能选取较高的切削速度。

2. 切削用量的选取方法

(1) 背吃刀量的选择 粗加工时,除留下精加工余量外,一次走刀尽可能切除全部余

量。在加工余量过大、工艺系统刚性较低、机床功率不足、刀具强度不够等情况下，可分为多次走刀。切削表面有硬皮的铸锻件时，应尽量使切削深度大于硬皮层的厚度，以保护刀尖。

精加工的加工余量一般较小，可一次切除。

在机床、工件和刀具刚度允许的情况下，尽量选择大值，这是提高生产率的一个有效措施。一般 Ra 在 $12.5\sim25\mu\text{m}$ 时，吃刀量在 $5\sim6\text{mm}$ 左右即可； Ra 在 $3.2\sim12.5\mu\text{m}$ 时，可分为粗铣和半精铣两步，粗铣后留 $0.5\sim1.0\text{mm}$ 左右的余量进行半精铣即可； Ra 在 $0.8\sim3.2\mu\text{m}$ 时，可分为粗铣、半精铣和精铣三步，半精铣取 $1.5\sim2.0\text{mm}$ 的余量，精铣时圆周铣刀侧吃刀量取 $0.3\sim0.5\text{mm}$ ，面铣刀背吃刀量取 $0.5\sim1.0\text{mm}$ 的余量。

铣削深度与铣削宽度也可用表达式描述：

用立铣刀满刀铣削钢件 $z_{\text{切深}} = \frac{1}{3}D$ (D 为铣刀直径)；铣削铝材料铣削深度不要超过刀具直径 D ，当用侧刃切削时，切深不超过 $3D$ ，而径向切深精加工不超过 $0.2D$ 。

(2) 进给速度(进给量)的确定 进给速度是数控机床切削用量中的重要参数，主要根据零件的加工精度和表面粗糙度要求以及刀具、工件的材料性质选取，最大进给速度受机床刚度和进给系统的性能限制。

粗铣时，限制进给量提高的主要因素是切削进给量，主要根据铣床进给机构的强度、刀轴尺寸、刀齿强度以及机床夹具等工艺系统的刚性来确定，在强度、刚度许可的条件下，进给量应尽量取得大些。

精铣时，限制进给量提高的主要因素是表面粗糙度，为了减少工艺系统的弹性变形，减少已加工表面的残留面积高度，一般采取较小的进给量。

在数控铣床编程中，进给量以进给速度这种表达形式用的较多，其关系式如下

$$v_f = f n = f_z Z n$$

式中 v_f ——进给速度；
 f ——每转进给量；
 f_z ——每齿进给量；
 Z ——齿数；
 n ——转速。

表 2-1 是每齿进给量推荐值。

表 2-1 进给量推荐值

工件材料	每齿进给量/(mm/z)			
	粗铣		精铣	
	高速钢铣刀	硬质合金铣刀	高速钢铣刀	硬质合金铣刀
碳钢	0.10~0.15	0.10~0.25	0.02~0.05	0.10~0.15
铸铁	0.12~0.20	0.15~0.30		

在具体确定 f_z 时，应注意：

- ① 粗铣取大值，精铣取小值；
- ② 对刚性较差的工件，或所用的铣刀强度较低时， f_z 应适当减小；
- ③ 在加工不锈钢等冷硬倾向大的材料时，应适当增大 f_z ，以免刀刃在冷硬层上切削，加速刀齿的磨损；