

技术能手传经送宝丛书



FANUC 0i

数控铣床/加工中心 编程技巧与实例

何贵显◎编

SHUKONG XICHUANG
JIAGONG ZHONGXIN
CHENG JIQIAO YU SHILI

- 细致地讲解了立式、卧式加工中心X、Y、Z轴的多种对刀方法。
- 详细介绍了各钻孔循环指令和注意事项。
- 以列表的形式将宏程序中数据更新的位置对自变量定义域的影响进行了详细的说明。
- 扫描曲面铣削、可变式深孔钻削、平行四边形周边外斜面铣削等内容选材新颖，转移和循环语句组合方式多样。



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

FANUC 0i 数控铣床/加工中心

编程技巧与实例

何贵显 编

精彩内容：

- ① 细致地讲解了立式、卧式加工中心 X、Y、Z 轴的多种对刀方法。
- ② 详细介绍了各钻孔循环指令和注意事项。
- ③ 以列表的形式将宏程序中数据更新的位置对自变量定义域的影响进行了详细的说明。
- ④ 扫描曲面铣削、可变式深孔钻削、平行四边形周边外斜面铣削等内容选材新颖，转移和循环语句组合方式多样。



机械工业出版社

本书从一个一线实际数控机床操作者的角度,对数控编程及操作初学者容易困惑的内容进行讲解。本书选择在工厂里应用最广泛、编程最具代表性的 FANUC Series 0i - MC/MD 加工中心系统为例进行讲解,侧重于手工编程。本书主要内容包括:数控机床安全操作规程,数控刀具和切削工艺的选择,数控铣床/加工中心编程,数控铣床/加工中心面板与操作,用户宏程序。本书附录还介绍了三角函数关系、数控操作面板常用术语英汉对照和非完全平方数二次根式的计算方法。

本书可供刚入门的数控编程、操作人员使用,也可作为职业院校数控专业师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

FANUC 0i 数控铣床/加工中心编程技巧与实例/何贵显编. —北京:机械工业出版社, 2015. 11

(技术能手传经送宝丛书)

ISBN 978-7-111-52218-8

I. ①F… II. ①何… III. ①数控机床—铣床—程序设计 ②数控机床—铣床—加工 IV. ①TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 280549 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王晓洁 责任编辑: 王晓洁

责任校对: 樊钟英 封面设计: 马精明

责任印制: 李 洋

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 15.5 印张 · 422 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 52218 - 8

定价: 39.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010 - 88361066 机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010 - 68326294 机工官博: weibo.com/cmp1952

010 - 88379203 教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前言

数控技术的发展早已形成规模,目前在我国的机械加工企业中,数控机床的普及率已经达到了60%,且其比例仍在不断增加,迫切需要大量的数控技术人员。对于一名数控技术人员来说,如果能够掌握合适的程序编制方法,往往可以成倍提高加工效率,降低加工成本。但数控加工岗位初入职的人员,由于理论上的不扎实、培训的缺乏及经验的不足,在实际数控程序编制和加工过程中会遇到很多问题,这时往往不知所措,想学无门。目前虽然有关数控编程的书很多,但是大多是学校老师编写的理论性教材,而真正针对数控加工实际问题的、容易读懂的书却很少。

本书来源于实践,服务于实践,从一个一线实际数控机床操作者的角度,对数控编程及操作初学者容易困惑的内容进行了讲解。作者先后操作过国内外10个品牌共20多个系列的数控面板,其编程操作大同小异,各有特点。本书选择在工厂里应用最广泛、编程最具代表性的FANUC Series 0i-MC/MD加工中心系统为例进行讲解,侧重于手工编程。本书主要特色如下:

1. 内容来自实践。本书避免了“写书的人不会操作,操作的人不会写书”的缺点。本书作者是来自一线的数控机床操作人员,作者从数控编程操作和数控工艺人员的实际工作角度出发,精心编排手工编程和宏程序编程最基本的知识和技能,并在其中融入许多加工注意事项及自己的经验(许多方法是同类书中第一次提到)。书中对各个程序和指令的介绍不同于一般的教材,偏重于实际应用。书中每个程序都经过实际验证,大部分经过多个机床验证,以最大程度地保证图书内容的正确性、通用性和实用性,这是很多数控编程书不能达到的。

2. 内容全面,实例丰富。本书涵盖数控铣床、加工中心常用指令和宏程序编程的全部内容,每个内容介绍时融入实际的应用案例,每个指令均结合作者亲身经历的多个加工实例进行介绍,非常易于理解、应用。除了正面的实例,还有许多反面的实例对照介绍,避免读者走同样的弯路。

3. 深入浅出,图文并茂,循序渐进。本书针对大部分数控操作工人和数控工艺人员的实际基础和水平,采用图文并茂的编写形式,将复杂和难理解的理论用图清楚地表现出来。

4. 技术精巧,注重细节。本书介绍了一般数控编程书中没有写到的重要细节(一般技术高手不愿意传授的内容),这些细节往往是影响加工质量和个人技能提高的关键技术,为广大数控编程初学者捅开了“数控编程及宏程序”的窗户纸。书中每个指令均配有操作提示和注意事项,除了一般数控书中结论性的内容,还介绍了相应参数的计算和工艺方案选择过程等内容。

编者积多年经验编写出本书,希望能给初学者以参考,给从业者以借鉴。饮水思源,感念不忘,感谢政府的“阳光工程”以及山东省枣庄市台儿庄区人力资源和社会保障局黄礼辉老师、青岛科技大学穆晓亮老师的支持与帮助。书中错误及疏漏之处,敬请广大读者和同行不吝指正。

编者

目 录

前言	3.1.1 标准坐标系的定义	33
第1章 数控机床安全操作规程	3.1.2 刀具相对于静止工件的运动原则	33
1.1 安全操作注意事项	3.1.3 坐标轴和运动方向的快速判定方法	34
1.2 文明生产要求	3.2 机床坐标系	35
1.3 刀库注意事项	3.2.1 机床坐标系与机床原点	35
1.4 机床操作和经验	3.2.2 机床参考点的确定技巧	35
1.5 数控机床的日常维护和保养	3.2.3 工件坐标系与工件原点、编程零点的相互关系	36
1.5.1 数控机床的日常维护	3.3 程序的结构格式	36
1.5.2 数控机床的日常保养	3.3.1 程序名	36
1.6 数控系统的日常维护	3.3.2 程序段	37
第2章 数控刀具和切削工艺的选择	3.3.3 程序字	37
2.1 金属切削刀具材料	3.3.4 程序结束	38
2.1.1 常用刀具材料	3.4 数控系统主要功能简介	38
2.1.2 新型刀具材料	3.4.1 准备功能(G功能)	38
2.1.3 涂层刀具材料	3.4.2 辅助功能(M功能)	40
2.2 数控刀具的选择	3.4.3 刀具功能(T功能)	42
2.2.1 影响数控刀具选择的因素	3.4.4 主轴功能(S功能)	43
2.2.2 数控刀具的性能要求	3.4.5 进给功能(F功能)	43
2.2.3 数控刀具的选择方法	3.5 加工中心的坐标值和坐标系指令的使用方法详解	43
2.3 数控铣削刀具系统	3.5.1 单位设置指令 G20、G21	43
2.3.1 加工中心的刀柄和拉钉	3.5.2 坐标平面选择指令 G17、G18、G19	44
2.3.2 加工中心的换刀机构和故障排除	3.5.3 绝对值指令 G90 和增量值指令 G91	44
2.4 数控切削工艺的选择	3.5.4 参考点指令	45
2.4.1 铣削方式	3.5.5 坐标系指令	48
2.4.2 铣削要素	3.6 进给控制指令的使用方法详解	55
2.4.3 铣削用量的选择	3.6.1 快速定位指令 G00	55
2.4.4 铣削加工顺序的选择	3.6.2 直线插补指令 G01	56
2.4.5 加工路线的确定	3.6.3 圆弧插补指令 G02、G03	58
第3章 数控铣床/加工中心编程	3.6.4 螺旋插补指令 G02、G03	61
3.1 标准坐标系		

3.6.5 暂停指令 G04	62	3.10 子程序及其用法	118
3.7 刀具长度补偿和对刀指令的使用 方法详解	63	3.11 可编程镜像指令 G50.1、 G51.1	123
3.7.1 建立刀具长度补偿指令 G43、G44	63	3.12 比例缩放指令 G50、G51	126
3.7.2 取消刀具长度补偿 指令 G49	64	3.13 坐标旋转指令 G68、G69	130
3.7.3 对刀	65	第4章 数控铣床/加工中心 面板与操作	140
3.8 刀具半径补偿及其应用	82	4.1 数控铣床/加工中心面板	140
3.8.1 刀具半径补偿的概念	82	4.1.1 数控铣床/加工中心 面板的组成	140
3.8.2 左补偿与右补偿的判断	82	4.1.2 操作面板	141
3.8.3 刀具半径补偿的过程	82	4.1.3 控制面板	143
3.8.4 指令格式	83	4.2 数控铣床/加工中心操作	146
3.8.5 使用刀具半径补偿时的注意 事项	84	4.2.1 开机与关机	146
3.8.6 使用 G10 指令设定刀具半径 补偿值	85	4.2.2 手动操作	146
3.9 钻孔固定循环指令的使用方法 详解	85	4.2.3 程序的编辑	147
3.9.1 点钻、钻孔循环指令 G81 ...	88	4.2.4 MDI 操作	148
3.9.2 铰孔、镗阶梯孔 循环指令 G82	95	4.2.5 程序运行	148
3.9.3 高速深孔钻削循环 指令 G73	96	4.2.6 数据的输入/输出	150
3.9.4 深孔往复排屑钻循环 指令 G83	97	4.2.7 设定和显示数据	150
3.9.5 左旋攻螺纹循环指令 G74 ...	99	第5章 用户宏程序	152
3.9.6 右旋攻螺纹循环指令 G84	102	5.1 宏程序基础知识	152
3.9.7 镗孔加工	104	5.1.1 变量	153
3.9.8 镗孔循环指令 G86	108	5.1.2 系统变量	156
3.9.9 精镗孔循环指令 G76	109	5.1.3 运算指令	163
3.9.10 背镗孔循环指令 G87	111	5.1.4 赋值与变量	169
3.9.11 铰孔加工	112	5.1.5 宏语句和一般数控语句	169
3.9.12 铰孔、镗孔循环指令 G85	115	5.1.6 转移和循环	170
3.9.13 镗孔循环指令 G88	115	5.1.7 宏程序调用	174
3.9.14 镗孔循环指令 G89	116	5.2 数控铣床/加工中心宏程序加工 实例	183
3.9.15 取消固定循环指令 G80 ...	116	5.2.1 往复式铣削台阶、 槽、斜面	185
3.9.16 使用孔加工固定循环指令的 注意事项	117	5.2.2 孔系加工	186
		5.2.3 圆锥、圆台、圆柱、外扫掠 (扫描) 曲面的铣削(圆柱 毛坯)	194
		5.2.4 圆周孔群加工	196
		5.2.5 平行四边形网格点阵列的	

孔群加工	200	5. 2. 13 玫瑰线的铣削	233
5. 2. 6 平行四边形交错网格点阵列的孔群加工	202	5. 2. 14 正弦曲线的铣削	235
5. 2. 7 钻深可变式深孔钻削	205	附录	236
5. 2. 8 椭圆轮廓加工	210	附录 A 三角函数关系	236
5. 2. 9 内、外球面的粗、精加工 ...	216	附录 B 数控操作面板常用术语英汉对照	238
5. 2. 10 平行四边形周边外斜面加工 (平底立铣刀)	226	附录 C 非完全平方数二次根式的计算方法	240
5. 2. 11 矩形周边外斜面加工 (球头铣刀)	229	参考文献	241
5. 2. 12 阿基米德螺线的铣削	231		

数控机床安全操作规程

在数控机床的操作、调试、维修过程中，要始终把安全放在第一位，严格按照操作规程及有关规章制度操作，以保障人身和设备的安全。在操作、调试、维修过程中，要做到不伤害他人，不伤害自己，不被他人伤害。要理解“危险”“警告”“小心”“注意”等有关警告符号的含义。

“危险”表示紧急危害状态，如不可避免，将导致严重伤亡。在“危险”框中显示的信息必须严格遵守。

“警告”表示潜在的危害状态，是在对操作人员十分危险或对机床损害特别严重时使用，采取所有必要措施来注意所发生的警告，在未清楚警告指示内容时，如果不可避免，将导致严重伤亡。

“小心”表示潜在的危害状态，是在对操作人员及机床可能有轻微伤害、机械损坏时的提示。

“注意”是对操作人员在从事特殊加工步骤时的附加额外的提示，为确保在此情况下不出问题，操作人员应当对此提示给予充分考虑和重视。

数控机床是一种自动化程度很高的机加工设备，操作数控机床时必须小心仔细，正确操作和维修保养是正确使用数控机床的关键因素之一。正确操作使用能防止机床超负荷所致的非正常磨损，保持各项机械精度和参数指标，避免突发故障，避免因操作不慎造成安全事故和经济损失；做好日常维护保养，可以使机床保持良好的技术状态，延长使用寿命，延缓劣化进程。

1.1 安全操作注意事项

- 1) 单人独自操作，不得两人或两人以上同时操作。不能在操作机床时嬉戏打闹。
- 2) 工作时请按规定穿戴好劳动保护用品，穿好工作服、安全鞋，操作车、铣、钻床等主轴旋转的机床时，要注意不能戴手套、围巾、戒指、项链等，不能穿宽松的衣服，也不允许打领带，不能穿拖鞋、凉鞋、高跟鞋，留长发的女性要将头发盘起来，以免缠绕发生意外伤害。
- 3) 操作前必须熟知每个按钮、旋钮、开关、按键和软键的含义。进口机床的操作面板多是英文，不明白含义的按钮、旋钮、开关、按键和软键不可随意操作，以免造成人身伤害或设备损坏。
- 4) 请按照机床说明书或者铭牌提示加装润滑油、液压油、切削液。
- 5) 禁止靠近旋转中的机床主轴，否则将导致严重伤害或死亡。
- 6) 靠近停止的主轴前，请务必先确认机床所处的状态，机床可能随时启动！
- 7) 机床运转时必须关闭防护门，以防发生伤害。
- 8) 机床运转时不要站在防护门的正面。
- 9) 对于有联锁功能的数控机床，运转中不要把防护门联锁功能设为断开，或把“联锁解除”设为有效，以确保安全。更不能觉得门联锁功能妨碍操作，而故意拆除或损坏，从而毁坏了安全的屏障。

- 10) 请勿靠近运转中的夹臂式刀库、圆盘式刀库、斗笠式刀库或链式刀库, 刀库将随时运行, 否则将导致伤害。
- 11) 小心刀具。刀具通常都比较锋利, 小心划伤手指和身体的其他部位。
- 12) 刀具很硬, 但很脆。硬质合金、陶瓷、聚晶金刚石等材质的刀具都很脆, 避免碰撞和跌落。
- 13) 小心切屑。钢材、铝、铝合金等塑性金属的切屑都比较锋利, 请勿用手直接去拿, 或戴着手套去拿, 切屑有可能会割破手套而伤到手指。如果遇到切屑缠绕, 应该用钩子钩。
- 14) 小心压缩空气。压缩空气压力一般为 $5 \sim 8 \text{ atm}$ ($1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$), 应避免吹向眼睛和耳朵, 否则会对人身造成伤害。
- 15) 请务必夹紧、夹好刀具和工件, 避免主轴高速旋转时产生的离心力甩出刀具或工件。
- 16) 不要移动、拆除或损坏安装在机床上的警示牌和铭牌。
- 17) 不要在机床的周围放置障碍物, 工作空间应保持足够大。
- 18) 不允许使用压缩空气清洁机床电气柜及数控单元。
- 19) 请戴上耳塞。多台机床在同时切削时将产生高分贝噪声, 长时间处于高噪声环境, 将会使人听力下降乃至永久丧失听力。
- 20) 机床运行期间, 要随时观察机床的运行状态, 遇到碰撞或刀具损坏, 应迅速按下“急停开关”, 并向管理人员报告。
- 21) 刀具、工件安装完成后, 要注意检查安全空间位置, 并做模拟运行, 以免正式操作时发生碰撞事故。
- 22) 新编辑好的程序在自动运行之前一定要进行模拟检查, 检查走刀轨迹是否正确, 首次执行程序要细心调试, 检查各项参数是否正确合理, 是否有小数点遗漏, 如果有问题及时改正。
- 23) 数控机床的自动化程度很高, 但并不属于无人加工, 在切削过程中, 操作者应经常观察, 根据声音、噪声、振动、振纹等来及时判断和处理加工过程中出现的问题, 不要随意离开工作岗位。
- 24) 高压危险! 未经专业知识培训, 请勿擅自打开机床配电柜, 高压电流将对人体产生严重伤害甚至死亡! 不要用潮湿的手去接触开关, 否则将会导致触电!
- 25) 在暴风雨天气里, 请不要使用机床。
- 26) 请保持车间地面干燥、洁净。在车间加工环境中, 地面上可能会留有水或油, 避免发生滑倒等意外事件。
- 27) 不要用赤裸的双手直接接触或搬运切削液, 这样容易导致皮肤过敏, 操作者有过敏情形者, 更应该特别注意。
- 28) 不要为了增加各运动轴正负向行程, 而将限位块、行程开关等安全装置移走或加以干涉。
- 29) 假如因为切削可燃性材料或是由于切削液具有可燃性, 而有可能导致爆炸或者火灾的潜在危险时, 应确保有相应材料对应型号的灭火器在旁边可以随时取用。此外, 请要求提供潜在爆炸危险材料的供应商说明加工此类危险材料时的安全作业须知。
- 30) 使用天车、吊索、吊钩或其他设备搬运工件时, 应格外注意安全。
- 31) 酒后或服用了某些神经抑制性药物后或身体虚弱不舒服的情况下, 不要操作机床。
- 32) 加工完一个工件之后、中途测量尺寸或反面装夹时, 最好稍等片刻再打开防护门, 以防止吸入来自加工过程中因切削产生的高温而生成的切削液雾气。
- 33) 数控机床要避免阳光的直接照射和其他热辐射, 要避免放置在潮湿或粉尘过多的场所,

特别要避免有腐蚀气体的场所。

34) 为了避免电源不稳定给电子元件造成损坏, 数控机床应采取专线供电或增设稳压装置。

1.2 文明生产要求

文明生产是企业生产管理中一项十分重要的内容, 它直接影响产品质量, 影响设备和工、夹、量具的使用寿命, 影响技能的发挥。因此, 操作者必须养成文明生产的良好工作习惯和严谨的工作作风, 具有良好的职业素质、责任心, 严格遵守数控机床的文明生产要求。

1) 数控系统的编程、操作和维修人员必须经过专门的技术培训。使用操作数控机床前, 应了解其功率、各种压力、加工范围等基本参数, 避免因切削力过大而产生过载。许多数控机床都有过载保护, 当刀具用钝了或者选择了不合理的切削三要素或碰撞致使机床过载时, 过载保护装置将自动断开以保护机床, 主轴会停止旋转。此时, 应把机床断电, 等 $1 \sim 2\text{min}$ 之后重新通电, 重新通电之后应检查刀具补偿是否正确。

2) 对加工中心和数控铣床, 主轴无刀时禁止旋转, 以免破坏主轴动平衡。

3) 当主轴无刀时, 请勿用气枪吹切屑, 避免将切屑和切削液吹到主轴锥孔里。

4) 装卸大盘刀或大镗刀等大而重的刀具时, 最好用膝盖顶住肘部, 以免因拿不稳刀具造成人身伤害和刀具、刀片、工件损坏。

5) 操作数控机床时, 操作各个按钮、旋钮、开关、按键和软键时不得用力过猛, 更不允许用扳手或其他尖锐的工具进行操作。

6) 严禁在主轴处于 M19 (主轴定向停止) 状态时, 用钩头扳手在主轴上装卸刀具, 否则会破坏主轴动平衡。

7) 严禁在未经许可的情况下擅自修改数控系统厂家和机床厂家设定的机床参数、系统变量等, 否则将导致机床产生意料之外的动作或报警, 或碰撞。

8) 对于数控机床的某些英文报警信息, 要理解其含义, 绝不可随意关机再开机以解除报警, 有一些报警信息是关机再开机后也无法解除的。

9) 手轮的转速不能超过 5r/s , 尤其是当手轮以 0.1mm/刻度 的倍率快速转动时, 当手轮停止转动后, 机床的运动轴不会立刻停止, 还会移动一段距离, 也就是说运动轴的移动速度跟不上手轮脉冲指令运动轴的移动速度, 此时有可能会发生碰撞。

10) 严禁接近圆盘式刀库机械手的旋转范围, 严禁接近斗笠式刀库的移动范围, 否则将导致严重伤害。

11) 对于卧式四轴回转工作台加工中心, 在装卸工件时一定要注意, 工作台上可活动的压板和扳手等工具, 一定要拿稳, 等装夹之后, 扳手等工具一定要拿出工作台, 以免工具掉落被冲刷到排屑器刮板, 引起排屑器设备故障或损坏。如果不慎把工具掉落到排屑器刮板上, 应先停止排屑器转动, 等待加工停止之后, 打开防护门, 进入机床内用手捞, 必要时可以把排屑器反转一段距离。进入机床内部时, 注意避免滑倒摔伤。

12) 依机床负载 (LOAD) 指针指示修改切削三要素等加工参数, 也可以依 LOAD 指针指示作为判断刀具磨损量的一个依据, 及时查看是否需要更换刀具。

13) 数控机床在使用过程中, 工、夹、量具要合理使用和码放, 不要把游标卡尺等量具倾斜着垫在工件上, 要保持工作场地整洁有序, 各类不同状态的零件分类码放整齐。

14) 下班时, 按照规定保养机床, 认真做好交接班工作, 对机床参数修改、刀具参数修改、程序执行情况、尺寸变化情况等, 做好文字记录, 以利于接班人员的继续工作。

15) 机床发生事故, 操作者要注意保护现场, 并向维修人员如实说明事故发生前后的情况, 以利于分析问题, 查找事故原因, 及时排除故障。

16) 数控机床一定要有专人负责, 严禁其他人员随意动用数控设备。

17) 要认真填写数控机床的工作日志, 交接班和更换产品后要做到首件必检, 下班时做好交接工作, 消除事故隐患。

18) 交接班前, 可以把工件计数器清零。

1.3 刀库注意事项

1) 要了解斗笠式刀库、夹臂式刀库、圆盘式刀库和链式刀库的工作原理和基本动作, 在刀具交换的过程中不要触碰面板上的按键, 以免发生意外和报警。

2) 加工中心的故障中有 50% 以上和刀库有关, 应谨慎操作! 如遇旧机器的机械手在抓刀的过程中掉刀, 多数因机械手活动销的弹簧进入切屑所致, 拆开清理切屑之后, 或者清理切屑并更换弹簧之后故障大多会排除。

3) 立式加工中心正在换刀的过程中, 不可随意按复位键或按下急停开关, 以免正在执行的动作被终止, 产生机械手或刀套上、下传感器报警, 导致不必要的麻烦。

在操作卧式加工中心时, 除非遇到紧急情况, 不能在换刀的过程中随意按复位键或按下急停开关, 也不能在换刀结束后的短时间内按复位键或按下急停开关, 因为在主轴动作的同时, 刀库内仍可能在动作, 卧式加工中心链式刀库的换刀动作比立式加工中心圆盘式刀库和斗笠式刀库的换刀更复杂, 处理故障的时间也相对更长。如果手动打开了刀库防护门, 在执行备刀时就会出现报警信息“刀库未处于自动状态”。

4) 在操作斗笠式刀库时要注意, 刀库里和主轴对应的刀套如果是空的, 机床会默认刀具在主轴上, 即使主轴上没有刀。如果刀库里和主轴对应的刀套有刀, 则机床会默认主轴上是无刀的。此时, 如果在 **手动** 或 **手轮** 的方式下在主轴上安装了刀具, 在 **MDI** 或 **自动** 方式下换刀时, 将会发生碰撞, 造成设备损坏!

5) 不管是什么类型的刀库, 在试加工和正式加工时, 只要程序中有换刀动作, 都不要按“MACHINE LOCK”或“Z AXIS LOCK”, 否则将会锁住 Z 轴, 使 Z 轴无法到达换刀位置, 如果主轴的位置在换刀点偏向 Z 轴负向的位置上, 当程序中有换刀的指令时, 圆盘式刀库和链式刀库的机械手, 斗笠式刀库的刀库会与主轴发生碰撞, 将导致设备损坏!

6) 不要往加工中心的刀库里放过重和过大的刀具, 以免在换刀时引起报警和故障。

7) 在加工中心正在换刀时, 如果突然断电, 要找机床维修工, 不得擅自处理, 以免故障扩大影响生产。

8) 加工中心和数控铣床, 在 **手动** 或 **手轮** 方式下拆卸刀具时要注意, 不要用力向下拉刀具, 当松刀的按钮被按下时, 碟形弹簧会松开拉爪, 压缩空气会有一个向下的力推动刀具下降, 如果刀具很重, 工作台或工件离刀具很近, 由于重力作用, 刀具很有可能与工作台或工件发生碰撞, 造成刀具损坏和人身伤害! 所以当一只手按下松刀按钮, 另一只手抓刀的时候不要用力向下拉, 应保持力的平衡或向上。

手动装刀时要把刀具的轴线和主轴锥孔的轴线重合, 然后向上顶一下, 再按下手动松刀按钮, 装刀到位后再松开按钮, 不要在刀具的轴线和主轴锥孔的轴线倾斜时去装刀。

9) 加工中心在 **手动** 或 **手轮** 方式下安装刀具时要注意, 要从主轴上往刀库里装刀。首先选

择 $\boxed{\text{MDI}}$ 方式,输入“T __ M06;”或者输入“T __; M06;”,然后单击“INSERT”键,再单击“循环起动”键即可。请不要输入“M06 T __;”或者“M06; T __;”,因为“T __ M06;”不等于“M06 T __;”,在许多机床上,这两者不是一个概念,前者表示把指定的刀具换到主轴上,后者表示把刀库里的备刀换到主轴上,然后准备指定的刀具。

10) 在卧式和立式加工中心换刀的时候,不要置于单段方式,或在处于换刀的时候单击“暂停”键,由于参数设置的不同,不同的机床会呈现出不同的表现,某些卧式加工中心换刀时单段运行,会中止换刀动作,产生报警信息。

11) 某些加工中心在换刀前Z轴必须返回第二参考点,第二参考点就是换刀点,如果Z轴没有返回第二参考点,就指令了换刀,有的机床报警,有的即使不报警但也不换刀。

1.4 机床操作和经验

(1) 开关机顺序 一般是先开总闸/配电柜,然后开机床开关,再开面板开关,最后开急停开关。接通面板开关的同时,请不要按面板上的键。在LCD屏显示坐标位置以前,不要按CRT/MDI面板的键。因为此时面板键还用于维修和特殊操作,有可能会引起意外。关机顺序与开机顺序相反。

正确的开关机顺序有利于减少开关机时电流对设备的电冲击。当遇到某些报警信息需要关机时,请在关机后2min之后再开机,不要频繁地开关机。

(2) 开机和操作中的注意事项 对于装有日本FANUC、MITSUBISHI等数控系统的面板,有绝对零点位置记忆的机床,开机后要先回零点,就是第一参考点。如果不回第一参考点,有的机床报警,有的不报警。不管报警与否,虽然在 $\boxed{\text{手动}}$ 和 $\boxed{\text{手轮}}$ 方式下都可以移动各运动轴,但在 $\boxed{\text{MDI}}$ 、 $\boxed{\text{自动}}$ 方式下各运动轴都不动作。机床参考点的位置在每个轴上都是通过减速行程开关粗定位,然后由编码器零位电脉冲(或称栅格零点)精定位的。

要先向各轴的负方向移动一段距离或角度之后再回零,至少脱离零点50mm或 10° 。多数机床都设有零点指示灯,当机床到达零点时,指示灯会亮。但是,如果机床在关机前到达了零点,再次开机时,机床的零点指示灯不会点亮,所以不能以零点指示灯的点亮与否来判断机床是否在零点上。如果机床已经在零点上,再次回零时,工作台会移动到硬件限位开关上,产生超程报警。

对于立式加工中心加装的第四旋转轴,务必先向负向旋转一定角度之后再回零,否则第四旋转轴会旋转至 $+360^\circ$,就会带动第四旋转轴上的工件或夹具发生转动而与机床工作台发生碰撞!

请注意:如果在EXT坐标系中,用指示表打在第四轴工作台面上,依工作台面与XY平面的平行度,为第四旋转轴设置了一个很小的正角度,关机前让第四轴移动到了绝对坐标 0° ,由于EXT坐标系的叠加,该位置在机械坐标系的第四轴坐标值并不为0,如果再次开机后对第四轴未向负方向旋转一定的角度,而执行了返回参考点的指令或操作,则第四旋转轴会旋转至 $+360^\circ$,第四轴上的夹具或工件可能会与机床工作台发生碰撞!

在执行了急停、机床锁(MACHINE LOCK)、Z轴锁(Z AXIS LOCK)之后,必须回零,否则在自动方式下产生报警,或不运行程序,而不报警的机床则极有可能发生碰撞!

对于立式和卧式加工中心,一般先回Z轴零点,再回第四轴零点,最后回X、Y轴零点,以利于安全。

(3) 换刀点的选择 加工中心换刀时,如果刀具过长、工件过高或刀具较长且工件过高,

则在换刀时应考虑刀具被机械手抓住下降时, 是否能与工件发生碰撞, 如果有碰撞的可能, 可以在换刀前指令 G91 G30 Z0; G91 G30 X0 Y0; 当然了, 要事先在参数中设定各轴第二参考点的机械坐标值。

(4) 切削三要素 根据经验, 一般情况下, 切削三要素对尺寸有以下影响:

1) 当切削速度 v_c 提高, 每转进给量 f_r 不变, 切削深度不变时, 可以切除掉更多的金属材料。

2) 当切削速度 v_c 不变, 每转进给量 f_r 减小, 切削深度不变时, 可以切除掉更多的金属材料。

3) 当切削速度 v_c 不变, 每转进给量 f_r 不变, 切削深度减小时, 可以切除掉更多的金属材料。

在加工中心上, 比如用镗刀镗孔时, 材料为铝合金, 孔尺寸为 $\phi 80H7 (+0.03/0)$, 上极限偏差为 $+0.03\text{mm}$, 下极限偏差为 0 , 在编程时的主轴速度为 $S1500$, 进给值为 $F200$ 时, 刚开始时孔的尺寸很好, 用内径量表测量为 $\phi 80.01 \sim \phi 80.015\text{mm}$, 用 $\phi 80H7$ 的光滑极限塞规检测, 通端能够较轻松地塞入, 止端不能塞入。加工了若干时间后, 再检测, 发现通端很紧, 较难塞入, 或只能塞入一部分。此时请检查刀片的磨损情况, 如果磨损严重, 请更换刀片; 如果磨损不严重, 可以微调一下刀尖, 使直径略微变大; 或者修改程序, 改为 $S1600$ 或 $F180$, 再次检测时则通端容易通过。

(5) 调试有效的状态 有些时候因为调试或者特殊编程的需要, 加工某单个或者多个工件时, 会使机床处于跳段、选择停止有效的状态, 如果突然断电, 则原本机床执行以上两种状态中的一种或两种, 在复电之后, 全部为关闭状态, 如果没有注意, 而进行了加工, 则有可能产生废品。

(6) 切削液、刀具等影响因素 注意切削液的种类、浓度、是否充分加注, 切削时刀具、工件的温度, 工件材质的切削加工属性, 软硬程度 (或是否有硬点), 工件表面是否有黑皮, 刀具材料, 刀具的各项几何参数, 加工方法, 机床刚性, 机床功率等许多因素都会或多或少地影响操作者对切削三要素的判断, 进而影响工件的几何精度和表面粗糙度。

(7) 数控机床常见的操作故障

1) 防护门未关, 机床不能运转。

2) 机床未回零。

3) 主轴转速超过最高转速限定值。

4) 程序内未设置 F 或 S 值。

5) 进给倍率修调开关设为 0 。

6) 回零时离零点太近且回零速度太快, 引起超程。

7) 程序中, 机床计算出的运行速度超过限定值。

8) 刀具补偿参数设置错误。

9) 刀具换刀位置不正确 (离工件太近)。

10) $G40$ 取消不当, 使刀具切入已加工表面。

11) 程序中使用非法代码。

12) 刀具半径补偿方向弄错。

13) 切入、切出方式不当。

14) 切削用量太大。

15) 刀具钝化。

- 16) 工件材质不均匀,引起振动。
- 17) 机床被锁定(工作台不动)。
- 18) 工件未夹紧。
- 19) 对刀位置不正确,工件坐标系设置错误。
- 20) 使用了不合理的G功能指令。
- 21) 机床处于报警状态。
- 22) 断电后或报过警的机床,没有重新回零。

1.5 数控机床的日常维护和保养

1.5.1 数控机床的日常维护

- 1) 每天做好各导轨面的清洁。
- 2) 每天检查主轴自动系统是不是工作正常。
- 3) 注意检查电气柜的冷却风扇是不是工作正常、风道网有无堵塞。
- 4) 注意检查冷却系统,检查液面高度,及时添加油或水,油、水脏时要更换清洗。
- 5) 注意检查主轴传动带,调整松紧程度。
- 6) 注意检查导轨镶条松紧程度,调节间隙。
- 7) 注意检查机床液压系统油箱、液压泵有无异常噪声,工作油面高度是否合适,压力表指示是否正常,管路及各接头有无泄漏。
- 8) 注意检查导轨、机床防护罩是否齐全有效。
- 9) 注意检查各运动部件的机械精度,减少形状和位置误差。
- 10) 每天下班前做好机床清扫卫生。
- 11) 机床起动后,在机床自动连续运转前,必须监视其运转状态。
- 12) 确认切削液输出通畅,流量充足。
- 13) 机床运转时,不得调整刀具和测量工件尺寸,手不得靠近旋转的刀具和工件。
- 14) 必须在停机后除去工件或刀具上的切屑。
- 15) 加工完毕后关闭电源、清扫机床并涂防锈油。
- 16) 导轨润滑油一般用耐磨液压油,自动泵油装置一般设置为每间隔 15 ~ 20min 泵油 10 ~ 15s。

1.5.2 数控机床的日常保养

数控机床的日常保养见表 1-1。

表 1-1 数控机床的日常保养

序号	检查周期	检查部位	检查要求
1	每天	导轨润滑油箱	检查油标、油量,及时添加润滑油,润滑泵能定时起动泵油及停止
2	每天	X、Y、Z 轴导轨面	清除切屑及污物,检查润滑油是否充分、导轨面有无划伤损坏
3	每天	压缩空气源压力	确认气动控制系统压力应在正常范围
4	每天	气源自动分水滤气器	及时清理分水器中滤出的水分,保证自动工作正常
5	每天	气液转换器和增压器油面	发现油量不够时及时补足油

(续)

序号	检查周期	检查部位	检查要求
6	每天	主轴润滑恒温油箱	确保主轴润滑恒温油箱工作正常，油量充足并调节温度范围
7	每天	机床液压系统	确保油箱、液压泵无异常噪声，压力指示正常，管路及各接头无泄漏，工作油面高度正常
8	每天	液压平衡系统	确保平衡压力指示正常，快速移动时平衡阀工作正常
9	每天	数控程序的输入/输出单元	确保其运行良好
10	每天	各电气柜散热通风装置	确保各电气柜冷却风扇工作正常，风道过滤网无堵塞
11	每天	各种防护装置	确保导轨、机床防护罩等应无松动、无漏水
12	每半年	滚珠丝杠	清洗丝杠上旧的润滑脂，涂上新润滑脂
13	每半年	液压油路	清洗溢流阀、减压阀、过滤器、油箱底，更换或过滤液压油
14	每半年	主轴润滑恒温油箱	清洗过滤器，更换润滑脂
15	每年	直流伺服电动机电刷	检查换向器表面，吹净炭粉，去除毛刺，更换长度过短的电刷，并应磨合后才能使用
16	每年	润滑油、过滤器	清理润滑油池底，更换过滤器
17	不定期	各轴导轨上镶条、压滚轮	检查各轴导轨上镶条、压滚轮松紧状态，并按机床说明书调整
18	不定期	冷却水箱	检查液面高度，切削液太脏时需要更换并清理水箱底部，经常清洗过滤器
19	不定期	排屑器	经常清理切屑，检查有无卡住等
20	不定期	清理废油池	及时取走滤油池中废油，以免外溢
21	不定期	主轴传动带	检查主轴传动带松紧，并按机床说明书调整

1.6 数控系统的日常维护

数控系统使用一定时间之后，某些元器件或机械部件总要损坏。为了延长元器件的寿命和零部件的磨损周期，防止各种故障，特别是恶性事故的发生，延长整台数控系统的使用寿命，就需要对数控系统进行日常维护。具体的日常维护要求，在数控系统的使用、维修说明书中一般都有明确的规定。总的来说，要注意以下几点：

- 1) 制订数控系统日常维护的规章制度。
- 2) 应尽量少开数控柜和强电柜的门。
- 3) 定时清理数控装置的散热通风系统。
- 4) 定期检查和更换直流电动机电刷。
- 5) 经常监视数控装置用的电网电压。
- 6) 存储器用的电池需要定期更换。
- 7) 数控系统长期不用时的维护。
- 8) 备用印制电路板的维护。

数控刀具和切削工艺的选择

2.1 金属切削刀具材料

刀具的发展在人类进步的历史上占有重要的地位。中国早在公元前 28 世纪—公元前 20 世纪,就已出现黄铜锥和纯铜的锥、钻、刀等铜质刀具。战国后期(公元前 3 世纪),由于掌握了渗碳技术,制成了铜质刀具,当时的钻头和锯与现代的扁钻和锯已有些相似之处。

然而,刀具的快速发展是在 18 世纪后期第一次工业革命时,伴随蒸汽机等机器的发展而来的。1783 年,法国的勒内首先制出铣刀。1792 年,英国的莫兹利制出丝锥和板牙。有关麻花钻的发明最早的文献记载是在 1822 年,但直到 1864 年才作为商品生产,那时的刀具是用整体高碳工具钢制造的,允许用的切削速度约为 5m/min 。1868 年,英国的穆舍特制成含钨的合金工具钢。1898 年,美国的泰勒和怀特发明了高速工具钢。1923 年,德国的施勒特尔往碳化钨粉末中加进 10%~20% 的钴做黏结剂,发明了碳化钨和钴的新合金,硬度仅次于金刚石,这是世界上人工制成的第一种硬质合金。用这种合金制成的刀具切削钢材时,切削刃会很快磨损,甚至刃口崩裂。1929 年,美国的施瓦茨科夫在原有成分中加进了一定量的碳化钨和碳化钛的复式碳化物,改善了刀具切削钢材的性能。这是硬质合金发展史上的又一成就。

在采用合金工具钢时,刀具的切削速度提高到约 8m/min ,采用高速钢时,又提高两倍以上,到采用硬质合金时,又比用高速钢提高两倍以上,切削加工出的工件表面质量和尺寸精度也大大提高。

由于高速钢和硬质合金比较昂贵,刀具出现焊接和机械夹固式结构。1949—1950 年间,美国开始在车刀上采用可转位刀片,不久即应用在铣刀和其他刀具上。1938 年,德国德古萨公司取得关于陶瓷刀具的专利。1972 年,美国通用电气公司生产了聚晶人造金刚石和聚晶立方氮化硼刀片。这些非金属材料可使刀具以更高的速度切削。

1969 年,瑞典山特维克钢厂取得用化学气相沉积法生产碳化钛涂层硬质合金刀片的专利。1972 年,美国的邦沙和拉古兰发明了物理气相沉积法,在硬质合金或高速钢刀具表面涂覆碳化钛或氮化钛硬质层。刀具的基体是钨钛钴硬质合金或钨钴硬质合金,表面碳化钛涂层的厚度不过几微米,但是与同牌号的合金刀具相比,使用寿命延长了 3 倍,切削速度提高了 25%~50%。

2.1.1 常用刀具材料

刀具材料是指刀具切削部分的材料。金属切削时,刀具切削部分直接和工件及切屑相接触,承受着很大的切削压力和冲击力,并受到工件及切屑的剧烈摩擦,产生很高的切削温度。刀具切削部分是在高温、高压及剧烈摩擦的恶劣条件下工作的。因此,刀具材料应具备高硬度、足够的强度和韧性、高耐磨性和耐热性、良好的导热性、良好的工艺性和经济性,以及化学稳定性等基本性能。

1. 高速工具钢 (High Speed Steel, HSS)

高速工具钢 (简称高速钢) 是一种含钨 (W)、钼 (Mo)、铬 (Cr)、钒 (V) 等合金元素较多的工具钢。高速钢刀具制造简单, 刃磨方便, 容易通过刃磨得到锋利的刃口, 它具有较好的力学性能和良好的工艺性, 可以承受较大的切削力和冲击。高速钢的品种繁多, 按切削性能可以分为普通高速钢和高性能高速钢; 按化学成分可以分为钨系、钨钼系和钼系高速钢; 按制造工艺不同, 可以分为熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。

(1) 普通高速钢 国内外使用最多的高速钢是 W6Mo5Cr4V2、W9Mo3Cr4V (钨钼系) 及 W18Cr4V (W18 钨系) 钢, 含碳量为 0.7% ~ 0.9% (质量分数), 硬度为 63 ~ 66HRC, 不适用于高速和硬材料切削。但由于金属钨的价格较高, 国内外已较少采用钨系高速钢, 较多采用钨钼系高速钢。

(2) 高性能高速钢 高性能高速钢指在普通高速钢中加入一些合金, 如钴 (Co)、铝 (Al) 等, 使其耐热性、耐磨性又有进一步提高, 热稳定性高。但其综合性能不如普通高速钢, 不同牌号只有在各自规定的切削条件下, 才能达到良好的加工效果。

(3) 粉末冶金高速钢 粉末冶金高速钢是 20 世纪 60 年代出现的新型高速钢, 可以避免熔炼钢产生的碳化物偏析。其强度、韧性比熔炼钢有很大提高, 可用于加工超高强度钢、不锈钢、钛合金等难加工材料, 可用于制造大型拉刀和齿轮刀具, 特别是切削时受冲击载荷的刀具效果更好。

2. 硬质合金 (Cemented Carbide)

硬质合金是用高硬度、难熔的金属化合物 (碳化钨 WC、碳化钛 TiC 等) 微米数量级的粉末与钴、钼、镍 (Ni) 等金属黏结剂, 高压压制成形后再经高温烧结而成的粉末冶金制品。其高温碳化物的含量超过高速钢, 具有硬度高 (大于 89HRC)、熔点高、化学稳定性好、热稳定性好等特点, 但其韧性差, 脆性大, 承受冲击和振动的能力差。其切削效率是高速钢刀具的 5 ~ 10 倍, 切削线速度可达 220m/min, 硬质合金是现在应用范围最广的刀具材料。

(1) 普通硬质合金 常用的有 WC + Co 类和 TiC + WC + Co 类。

1) WC + Co 类 (YG): 常用的牌号有 YG3[⊖]、YG3X (K01)、YG6 (K20)、YG6X (K10)、YG8 (K30) 等。数字表示钴 (Co) 的质量百分比含量, 此类硬质合金强度好, 硬度和耐磨性较差, 主要用于加工铸铁及有色金属。钴的含量越高, 韧性越好, 适合粗加工; 钴含量少的用于精加工。

2) TiC + WC + Co 类 (YT): 常用的牌号有 YT5 (P30)、YT14、YT15 (P10)、YT30 (P01) 等。此类硬质合金的硬度、耐磨性、耐热性都明显提高, 但韧性、抗冲击振动性差, 主要用于加工钢材。TiC 含量多, 钴含量少, 耐磨性好, 适合精加工; TiC 含量少, 钴含量多, 承受冲击能力好, 适合粗加工。

(2) 新型硬质合金 在上述两类硬质合金的基础上, 添加某些金属的碳化物可以使其性能提高。如在 YG(K) 类中添加碳化钽 (TaC) 或碳化铌 (NbC), 即 TiC + WC + TaC (NbC) + Co, 可以细化颗粒, 提高硬度和耐磨性, 而韧性不变, 还可以提高合金的高温硬度、高温强度和抗氧化能力, 如 YG6A、YG8N、YG8P3 等。在 YT (P) 类中添加合金, 可以提高抗弯强度、冲击韧性、耐热性、耐磨性及高温强度、抗氧化能力等。既可以用于加工钢材, 又可以加工铸铁和有色金属, 被称为通用合金 [代号 TW(M)]。此外, 还有 TiC (或 TiN) 基硬质合金 (又称金属陶瓷)、

⊖ 牌号 YG3 标准 YS/T 400—1994 已被 GB/T 18376.1—2008 代替, 但其牌号在国内仍有使用, 故保留并将其对应新标准的牌号在括号中注明。