

全国高职高专机电专业系列规划教材

数控编程与加工技术

SHUKONG BIANCHENG YU JIAGONG JISHU

陈艳红 主编

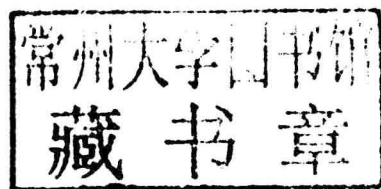


中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

全国高职高专机电专业系列规划教材

数控编程与加工技术

陈艳红 主 编



中国科学技术出版社

CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 北 京 ·
BEIJING

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工技术/陈艳红主编. —北京:中国科学技术出版社,2010.8

(高职高专机电专业系列规划教材)

ISBN 978 - 7 - 5046 - 5678 - 0

I. ①数… II. ①陈… III. ①数控机床—程序设计—高等学校:
技术学校—教材②数控机床—加工—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TG659
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 143052 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版。

内 容 提 要

本书是根据当前职业教育发展要求,即以技能培养为主线来设计项目训练内容,按照项目教学法的教学形式来组织编写的,符合当前职业教育发展的需要。本书采用理论实训一体化模式编写,包括数控车床编程与加工、数控铣床(加工中心)编程与加工两部分 19 个训练项目,每个项目中包含技能解析、相关知识、工艺分析、程序编制、实训内容、自测题等内容。

整个教材以 FANUC Oi 数控系统为背景,以零件的数控编程与加工为主线,将 19 个训练项目按照基础训练、专项训练、综合训练的顺序排列,由浅入深介绍数控编程与加工技术,并结合近年来全国数控技能大赛,以典型零件的加工为例介绍宏程序的应用与配合件的编程与加工。

本书适合作为高职高专数控专业、机械、机电类专业的教材,也可作为中职、技校相关专业的教学用书及从事机械制造的工程技术人员的参考、学习、培训用书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

策划编辑 林 培 孙卫华 责任校对 林 华

责任编辑 孙卫华 责任印制 安利平

发行部电话:010 - 62173865 编辑部电话:010 - 84123361 - 6029

<http://www.kjpbbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京蓝空印刷厂印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:17.25 字数:420 千字

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷 定价:32.00 元

ISBN 978 - 7 - 5046 - 5678 - 0/TG · 17

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

前 言

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础。专家们预言：21世纪机械制造业的竞争，其实是指数控技术的竞争。随着现代化制造技术和数控技术的不断发展，数控机床的日渐普及，对数控机床的编程和操作方面的人才需求在大幅度增加。

本书是根据当前职业教育发展要求，即以技能培养为主线来设计项目训练内容，按照项目教学法的教学形式来组织编写的，符合当前职业教育发展的需要，具有以下特点：

1. 突出“应用”的特色，以零件的数控编程与加工为主线，精选19个训练项目，重点介绍数控车床、数控铣床与加工中心的编程和加工技术。每个训练项目主要有技能解析、相关知识、工艺分析、加工程序编制等内容。

2. 以目前企业、高校应用较广的FANUC 0i数控系统为背景，将几十个应用实例按照基础训练、专项训练、综合训练的顺序排列，由浅入深地介绍数控编程与加工知识，并结合近年来数控技能大赛，数控中级工、高级工技能鉴定典型题目进行选题。

3. 采用理论实训一体化模式编写，自始至终贯穿着理论指导实训、实训验证理论的思想，使理论教学与实践训练有机地融合在一起。选例典型，针对性强，图文并茂、通俗易懂，深入浅出地介绍了数控机床编程与加工技术中必备的技能。

本书由开封大学陈艳红任主编，晋中职业技术学院刘宝珠、开封大学朱峰、郑州电力职业技术学院刘光定任副主编，参加编写的还有郑州电力职业技术学院赵永刚、郑州工业安全职业学院轩卉。编写分工如下：陈艳红编写项目1、项目6、项目7、项目10、项目17，刘宝珠编写项目2、项目3、项目8、项目9，朱峰编写项目12、项目15、项目16、项目18，刘光定编写项目13、项目14、项目19，赵永刚编写项目11、附录，轩卉编写项目4、项目5。全书由陈艳红、朱峰整理定稿，郑州大学刘德平教授参与审阅，并提出宝贵意见，在此深表谢意。

本书在编写过程中得到了有关专家和兄弟院校的大力支持和指导，在此一并表示感谢。在编写过程中参考并引用了有关文献资料和插图等，对其作者也表示由衷的感谢。

本书是编者多年从事数控编程教学与实训工作的总结，但由于水平和经验有限，书中难免存在一些不足之处，敬请读者批评指正。

编 者
2010年4月

《数控编程与加工技术》编委会

主 编 陈艳红

副主编 刘宝珠 朱 峰 刘光定

编 者 轩 卉 赵永刚 谢春生

目 录

学习情境一 数控编程与加工基础知识

项目 1 数控机床坐标系与编程规则	1
1.1 技能解析	1
1.2 相关知识	1
1.3 实训内容	11
1.4 自测题	11

学习情境二 数控车床编程与加工

项目 2 数控车床编程与加工入门	13
2.1 技能解析	13
2.2 相关知识	13
2.3 实训内容	33
2.4 自测题	33
项目 3 数控车床加工预备工作	35
3.1 技能解析	35
3.2 相关知识	35
3.3 实训项目	50
3.4 自测题	51
项目 4 阶梯轴类零件加工	52
4.1 技能解析	52
4.2 相关知识	52
4.3 工艺分析及数据计算	60
4.4 程序编制	61
4.5 实训内容	62
4.6 自测题	62
项目 5 圆弧成形面零件加工	64
5.1 技能解析	64
5.2 相关知识	64
5.3 工艺分析及数据计算	69
5.4 程序编制	70
5.5 实训内容	72

5.6	自测题	73
项目 6	螺纹加工	75
6.1	技能解析	75
6.2	相关知识	75
6.3	工艺分析及数据计算	84
6.4	程序编制	86
6.5	实训内容	89
6.6	自测题	89
项目 7	内/外轮廓加工循环	91
7.1	技能解析	91
7.2	相关知识	91
7.3	工艺分析及数据计算	96
7.4	程序编制	98
7.5	实训内容	100
7.6	自测题	100
项目 8	槽加工与子程序	102
8.1	技能解析	102
8.2	相关知识	102
8.3	工艺分析及数据计算	108
8.4	程序编制	108
8.5	实训内容	109
8.6	自测题	110
项目 9	宏程序应用	112
9.1	技能解析	112
9.2	相关知识	112
9.3	工艺分析及数据计算	122
9.5	实训内容	124
9.6	自测题	124
项目 10	综合训练——配合件加工	127
10.1	技能解析	127
10.2	工艺分析及数据计算	128
10.3	程序编制	130
10.4	实训内容	136
10.5	自测题	137

学习情境三 数控铣床(加工中心)编程与加工

项目 11	数控铣床(加工中心)编程与加工入门	139
11.1	技能解析	139

11.2	相关知识	139
11.3	实训内容	152
11.4	自测题	152
项目 12	数控铣床(加工中心)加工预备工作	154
12.1	技能解析	154
12.2	相关知识	154
12.3	实训内容	167
12.4	自测题	168
项目 13	平面及外轮廓加工	169
13.1	技能解析	169
13.2	相关知识	169
13.3	工艺分析及数据计算	175
13.4	程序编制	176
13.5	实训内容	178
13.6	自测题	178
项目 14	槽类零件加工	180
14.1	技能解析	180
14.2	相关知识	180
14.3	工艺分析及数据计算	186
14.4	程序编制	187
14.5	实训内容	188
14.6	自测题	189
项目 15	孔系加工	191
15.1	技能解析	191
15.2	相关知识	191
15.3	工艺分析及数据计算	197
15.4	程序编制	198
15.5	实训内容	199
15.6	自测题	200
项目 16	零件型腔表面加工	203
16.1	技能解析	203
16.2	相关知识	204
16.3	工艺分析及数据计算	205
16.4	程序编制	208
16.5	实训内容	213
16.6	自测题	214
项目 17	加工中心典型零件加工	216
17.1	技能解析	216
17.2	相关知识	217

17.3	工艺分析及数据计算	221
17.4	程序编制	222
17.5	实训内容	224
17.6	自测题	225
项目 18	宏程序应用	227
18.1	技能解析	227
18.2	相关知识	227
18.3	实例 1 圆周均布孔零件加工	228
18.4	实例 2 圆口与方口零件加工	229
18.5	实例 3 切圆台与斜方台	232
18.6	实训内容	234
18.7	自测题	235
项目 19	综合训练——配合件加工	237
19.1	技能解析	238
19.2	工艺分析及数据计算	238
19.3	程序编制	241
19.4	实训内容	246
19.5	自测题	247
附录 1	常用材料及刀具切削参数推荐值	251
附录 2	数控车床操作工(高级)国家职业技能鉴定标准	253
附录 3	数控铣床操作工(高级)国家职业技能鉴定标准	256
附录 4	加工中心操作工(高级)国家职业技能鉴定标准	260
附录 5	数控机床操作工国家职业标准	264
参考文献	268

学习情境一 数控编程与加工基础知识

项目 1 数控机床坐标系与编程规则

1.1 技能解析

1. 掌握数控机床坐标系的建立。
2. 了解手工编程的一般步骤及加工程序的结构。
3. 熟悉常用 G、M、F、S、T 指令的应用及模态与非模态指令的区别。

1.2 相关知识

1.2.1 数控编程概述

用数控机床对零件进行加工时，首先要对零件进行图样分析和加工工艺分析，以确定加工方法、加工工艺流程；正确地选择数控机床所使用的刀具和装夹方法；然后，按照加工工艺要求，根据数控机床规定的指令代码及程序格式，将刀具的运动轨迹、位移量、切削参数（主轴转速、进给量、背吃刀量）以及辅助功能（换刀、主轴正转或反转、切削液开或关）编写成加工程序单，输入或传入数控装置中，从而指挥机床加工零件。

1. 数控编程的内容和方法

数控机床编程主要包括以下几个方面：

(1) 分析零件图样和制定加工工艺方案。根据零件图样，明确加工内容和要求；确定加工方案；选择适合的数控机床；选择刀具和夹具；确定合理的走刀路线及合理的切削用量。

(2) 数值计算。根据零件的几何尺寸、加工路线计算零件加工运动的轨迹，以获得刀位数据。

(3) 程序编写。加工路线、工艺参数及刀位数据确定以后，编程人员根据数控系统规定的功能指令代码及程序段格式，编写加工程序单。此外，还应附上必要的加工示意图、刀具布置图、机床调整卡、工序卡及必要的说明。

(4) 制备控制介质。将编制好的程序单内容记录在控制介质上，作为数控装置的输入信号。通过手工输入或通信传输入入数控系统。

(5) 程序校验与首件试切。编写好的程序和制备好的控制介质，必须经过校验和试切才能正式使用。

整个数控编程的内容及步骤，可用图 1-1 表示。

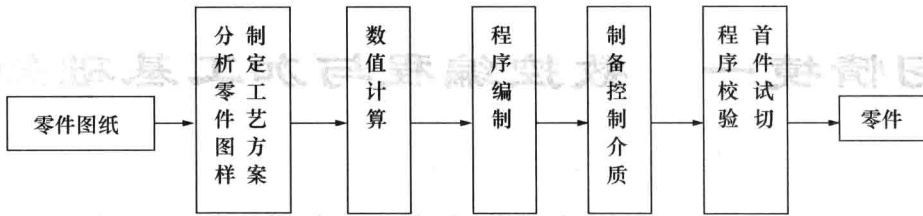


图 1-1 数控编程的内容及步骤

2. 数控编程的种类

数控编程一般分为手工编程和自动编程两种：

(1) 手工编程。手工编程就是由人工来完成数控程序编制各个阶段的工作。对于加工形状简单、计算量小、程序较短的零件采用手工编程既经济又及时。因此，手工编程被广泛运用于形状简单的点位加工及平面轮廓加工中。但对于一些复杂的零件，特别是具有非圆曲线、曲面组成的表面用手工编程有一定的困难，出错的概率较大，应采用“自动编程”的方法。

(2) 自动编程。自动编程是利用计算机专用软件编制数控加工程序的过程。编程人员只需要根据零件图样的要求，使用数控语言，由计算机自动地进行数据计算及后置处理，编写出零件加工程序单，加工程序通过直接通讯的方式送入数控机床，指挥机床加工。

1.2.2 数控机床的坐标系

1. 机床坐标系与运动方向

规定数控机床坐标轴及运动方向，是为了准确地描述机床运动，简化程序的编制，并使所编程序具有互换性。目前国际标准化组织已经统一了标准坐标系，我国原机械工业部也颁布了 JB3051—1982 数控标准《数控机床坐标和运动方向的命名》，它与 ISO 等效。对数控机床的坐标和运动方向做了明文规定。

(1) 刀具相对于静止的工件而运动的原则。这一原则使编程人员在不知道机床是刀具运动还是工件运动的情况下，就可依据零件图样，确定机床的加工过程。

(2) 坐标系的规定。为了确定机床的运动方向、移动的距离，要在机床上建立一个坐标系，这个坐标系就是标准坐标系，也叫机床坐标系。在编制程序时，以该坐标系来规定运动的方向和距离。

数控机床上的坐标系是采用右手笛卡儿直角坐标系。如图 1-2 所示，大拇指的方向为 X 轴的正方向，食指为 Y 轴的正方向，中指为 Z 轴正方向。图 1-3 分别给出了卧式车床、立式铣床、卧式铣床和加工中心的标准坐标系。

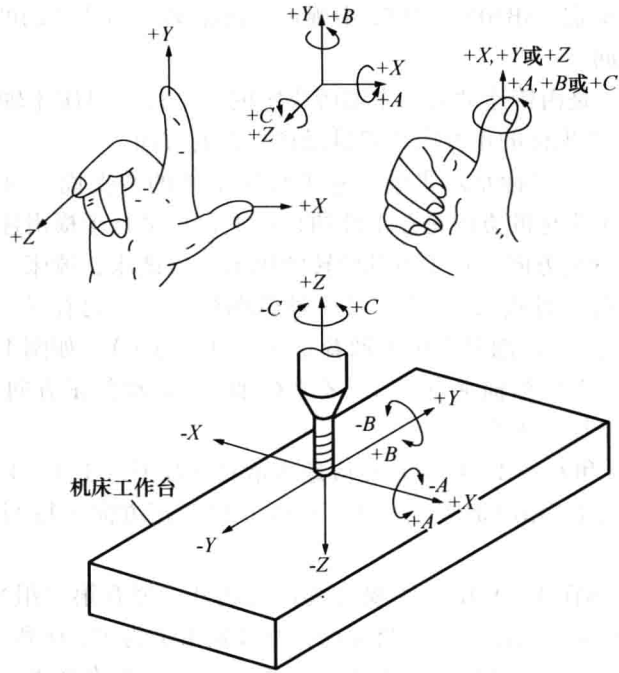
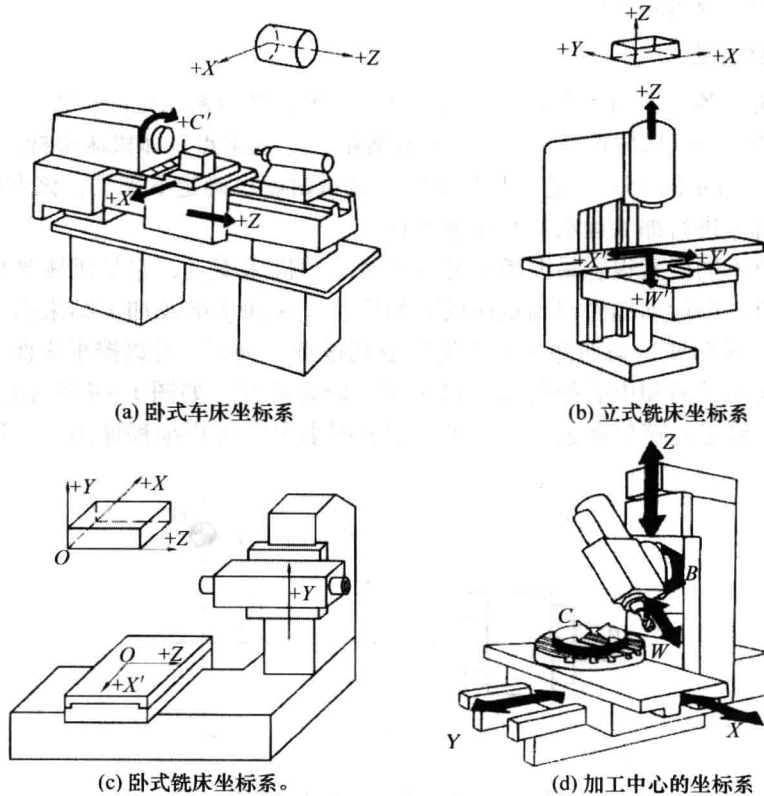


图 1-2 右手笛卡儿直角坐标系



(a) 卧式车床坐标系

(b) 立式铣床坐标系

(c) 卧式铣床坐标系。

(d) 加工中心的坐标系

图 1-3 常见数控机床坐标系

(3) 运动方向的确定。JB3051—1982 中规定：机床某一部件运动的正方向是增大工件和刀具之间距离的方向。

① Z 坐标的运动 是由传递动力的主轴所决定的。平行于机床主轴的坐标轴即为 Z 坐标，如图 1-3 所示。 Z 坐标的正方向为刀具远离工件的方向。

② X 坐标的运动 X 坐标是水平的，它平行于工件的装夹面。对于工件旋转的机床（如车床、磨床等）， X 坐标的方向是在工件的径向上，且平行于横滑座，以刀具离开工件旋转中心的方向为 X 轴正方向。对于刀具旋转的机床（如铣床、镗床、钻床等）作如下规定：如 Z 坐标是水平时（卧式），沿着刀具主轴后端往工件方向看时，向右为 $+X$ 运动方向；当主轴垂直时（立式），面对机床主轴看立柱，向右为 $+X$ ，如图 1-3 所示。

③ Y 坐标的运动 Y 坐标轴垂直于 X 、 Z 坐标轴， Y 运动的正方向根据 X 和 Z 坐标的正方向，按右手直角坐标系来判断。

④ 旋转运动 A 、 B 和 C A 、 B 和 C 相应地表示其轴线平行于 X 、 Y 和 Z 坐标的旋转运动。 A 、 B 和 C 的正方向，相应地表示在 X 、 Y 和 Z 坐标正方向上按照右手螺旋前进的方向，如图 1-3 所示。

⑤ 附加的坐标 如在 X 、 Y 和 Z 主要直线运动之外，另有第二组平行于它们的坐标，可分别指定为 U 、 V 和 W 。如还有第三组运动，则分别指定为 P 、 Q 和 R 。如果在 X 、 Y 和 Z 主要直线运动之外，存在不平行或可以不平行于 X 、 Y 或 Z 的直线运动，亦可相宜地指定为 U 、 V 、 W 、 P 、 Q 或 R 。对于镗铣床，径向刀架滑板的运动，可指定为 U 或 P ，滑板离开主轴中心的方向为正方向。

2. 坐标系的原点

在确定了机床各坐标轴及方向后，就应进一步确定坐标系原点的位置。

(1) 机床原点。机床原点是指在机床上设置的一个固定点，即机床坐标原点，如图 1-4、图 1-5 (a) 所示的 O 点。它在机床装配、调试时就已确定下来了，该点是编程的绝对零点，是数控机床进行加工运动的基准参考点。

与机床原点不同但又很容易混淆的另一个概念是机床零点，它是机床坐标系中一个固定不变的极限点，即运动部件回到正向极限的位置。在加工前及加工结束后，可用控制面板上的“回零”按钮使运动部件（如刀架）退到该点。例如：对数控车床而言，机床零点是指车刀退离主轴端面和中心线最远而且是某一固定的点，如图 1-4 所示的 O' 点。 O' 点在机床出厂时，就已经调好并记录在机床使用说明书中供用户编程使用，一般情况下，不允许随意变动。

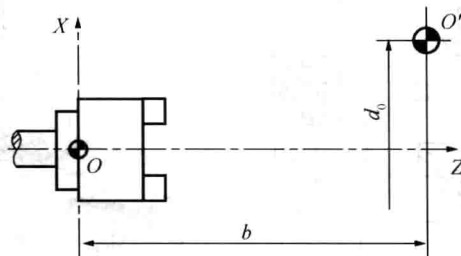


图 1-4 数控车床的机床坐标系

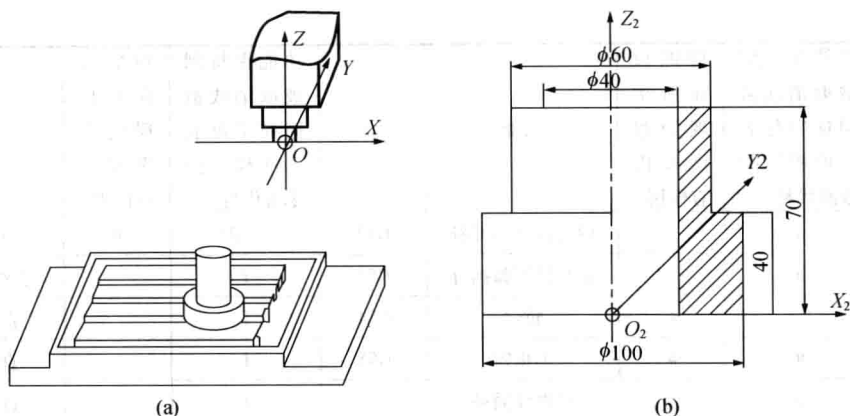


图 1-5 立式数控铣床坐标系和机床原点、工件原点

(2) 编程原点。编程原点是指根据零件加工图样选定的编制零件程序的原点，即编程坐标系的原点。

(3) 工件原点。工件原点是指零件被装夹好后，相应的编程原点在机床原点坐标系中的位置。如图 1-5 (b) 所示的 O_2 点，工件原点的设置一般应遵循下列原则：

- ① 工件原点与设计基准或装配基准重合，以利于编程；
- ② 工件原点尽量选在尺寸精度高、表面粗糙度值小的工件表面上；
- ③ 工件原点最好选在工件的对称中心上；
- ④ 要便于测量和检验。

1.2.3 常用编程代码

目前数控机床种类较多，系统类型也各有不同，但编程指令基本相同，只是在个别指令上有差异，编程时可参考机床编程手册。

1. 准备功能 G 代码

准备功能 G 指令是使数控机床建立起某种加工方式的指令，为插补运算、刀具补偿、固定循环等做好准备。G 指令由地址符 G 和其后的两位数字组成，从 G00 ~ G99 共 100 种。表 1-1 是中华人民共和国机械行业标准 JB/T3208—1999 规定的准备功能 G 代码的定义表。

对于同一台数控机床的数控装置来说，它所具有的 G 功能指令只是标准中的一部分，而且各机床由于性能要求不同，也各不一样。

表 1-1 准备功能 G 代码 (JB/T3208—1999)

代码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功能	代码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功能
G00	a		点定位	G50	# (d)	#	刀具偏置 0/-
G01	a		直线插补	G51	# (d)	#	刀具偏置 +/0

代码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功能	代码	功能保持到被取消或被同样字母表示的程序指令所代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	功能
G02	a		顺时针圆弧插补	G52	# (d)	#	刀具偏置 - / 0
G03	a		逆时针圆弧插补	G53	f		直线偏移注销
G04		*	暂停	G54	f		直线偏移 X
G05	#	#	不指定	G55	f		直线偏移 Y
G06	a		抛物线插补	G56	f		直线偏移 Z
G07	#	#	不指定	G57	f		直线偏移 XY
G08		*	加速	G58	f		直线偏移 XZ
G09		*	减速	G59	f		直线偏移 YZ
G10 ~ G16	#	#	不指定	G60	h		准确定位 1 (精)
G17	c		XY 平面选择	G61	h		准确定位 2 (中)
G18	c		ZX 平面选择	G62	h		准确定位 3 (粗)
G19	c		YZ 平面选择	G63		*	攻丝
G20 ~ G32	#	#	不指定	G64 ~ G67	#	#	不指定
G33	a		螺纹切削, 等螺距	G68	# (d)	#	刀具偏置, 内角
G34	a		螺纹切削, 增螺距	G69	# (d)	#	刀具偏置, 外角
G35	a		螺纹切削, 减螺距	G70 ~ G79	#	#	不指定
G36 ~ G39	#	#	永不指定	G80	e		固定循环注销
G40	d		刀具补偿/刀具偏置注销	G81 ~ G89	e		固定循环
G41	d		刀具补偿 (左)	G90	j		绝对尺寸
G42	d		刀具补偿 (右)	G91	j		增量尺寸
G43	# (d)	#	刀具偏置 (正)	G92		*	预置寄存
G44	# (d)	#	刀具偏置 (负)	G93	k		时间倒数, 进给率
G45	# (d)	#	刀具偏置 + / +	G94	k		每分钟进给
G46	# (d)	#	刀具偏置 + / -	G95	k		主轴每转进给
G47	# (d)	#	刀具偏置 - / -	G96	i		主轴恒线速度
G48	# (d)	#	刀具偏置 - / +	G97	i		主轴每分钟转数
G49	# (d)	#	刀具偏置 0 / +	G98 ~ G99	#	#	不指定

注:

- ① “#”号表示如选作特殊用途, 必须在程序格式说明中说明。
- ② 如在直线切削控制中没有刀具补偿, 则 G43 到 G52 可指定作其他用途。
- ③ 在表中左栏括号中的字母 (d) 表示: 可以被同栏中没有括号的字母 d 所注销或替代, 也可被有括号的字母 (d) 所注销或替代。
- ④ G45 到 G52 的功能可用于机床上任意两个预定的坐标。
- ⑤ 控制机上没有 G53 到 G59、G63 功能时, 可以指定其他用途。

2. 辅助功能——M 功能

辅助功能 M 指令是用于指定主轴的旋转方向、启动、停止、冷却液的开关、工件或刀具的夹紧或松开等功能。辅助功能指令由地址符 M 和其后的两位数字组成。M 指令常因生产厂家及机床的结构和规格不同而各异。表 1-2 是中华人民共和国机械行业标准 JB/T3208—1999 规定的辅助功能 M 代码的定义表。

表 1-2 辅助功能 M 代码 (JB/T3208—1999)

代码	功能开始时间		功能保持到被注销或被代替	功能仅在程序段内有	功能	代码	功能开始时间		功能保持到被注销或被代替	功能仅在程序段内有	功能
	与指令运动同时	在指令运动完成后					与指令运动同时	在指令运动完成后			
M01		*		*	计划停止	M37	*		*		进给范围 2
M02		*		*	程序结束	M38	*		*		主轴速度范围 1
M03	*		*		主轴顺时针转动	M39	*		*		主轴速度范围 2
M04	*		*		主轴逆时针转动	M40 ~ M45	#	#	#	#	齿轮换挡
M05		*	*		主轴停止	M46 ~ M47	#	#	#	#	不指定
M06	#	#		*	换刀	M48		*	*		注销 M49
M07	*		*		2 号冷却液开	M49	*		*		进给率修正旁路
M08	*		*		1 号冷却液开	M50	*		*		3 号冷却液开
M09		*	*		冷却液关	M51	*		*		4 号冷却液开
M10	#	#	*		夹紧	M52 ~ M54	#	#	#	#	不指定
M11	#	#	*		松开	M55	*		*		刀具直线位移, 位置 1
M12	#	#	#	#	不指定	M56	*		*		刀具直线位移, 位置 2
M13	*		*		主轴顺时针转, 冷却液开	M57 ~ M59	#	#	#	#	不指定

代码	功能开始时间		功能保持到注销或被代替	功能仅在程序段内有	功能	代码	功能开始时间		功能保持到注销或被代替	功能仅在程序段内有	功能
	与指令运动同时	在指令运动完成后					与指令运动同时	在指令运动完成后			
M14	*		*		主轴逆时针转, 冷却液开	M60		*		*	更换工件
M15	*			*	正运动	M61	*		*		工件直线位移, 位置1
M16	*			*	负运动	M62	*		*		工件直线位移, 位置2
M17 ~ M18	#	#	#	#	不指定	M63 ~ M70	#	#	#	#	不指定
M19		*	*		主轴定向停止	M71	*		*		工件角度位移, 位置1
M20 ~ M29	#	#	#	#	永不指定	M72	*		*		工件角度位移, 位置2
M30		*		*	纸带结束	M73 ~ M89	#	#	#	#	不指定
M31	#	#		*	互锁旁路	M90 ~ M99	#	#	#	#	永不指定
M32 ~ M35	#	#	#	#	不指定						

注：①“#”号表示如选作特殊用途，必须在程序说明中说明。

②M90 ~ M99 可指定为特殊用途。

常用的 M 指令功能及其应用如下：

- (1) M00——停止程序运行
- (2) M01——计划停止
- (3) M02——程序结束
- (4) M03——主轴顺时针方向旋转
- (5) M04——主轴逆时针方向旋转
- (6) M05——主轴停止
- (7) M06——换刀
- (8) M07——2号切削液开
- (9) M08——1号切削液开
- (10) M09——切削液关

(11) M30——程序停止。使用 M30 时，除表示执行 M02 指令的内容外，程序光标还返回到程序的第一语句，准备下一个工件的加工。

(12) M98——调用子程序

(13) M99——子程序结束并返回到主程序。