

扩展数控语言及其应用

北京航空航天大学 邰极 舒智勇

摘要 本文介绍北京航空航天大学研究开发的一种扩展数控语言。它可以为数控系统和最终用户提供自行开发固定加工循环、自动测量与补偿功能、FMS 系统控制和其他各种特殊控制功能的环境,可以大大扩展基本数控系统的应用范围。

关键词: 数控编程 参数编程 固定加工循环 FMS 控制

1 扩展数控语言概述

随着数控系统在各种机床和其他各类设备上的广泛应用,CNC 系统所提供的基本功能已经明显不能满足许多用户的特殊控制要求。因此,许多先进的数控系统,如 FANUC、SIEMENS 等系统,除了能执行 ISO 代码指令外,还向用户提供用户宏指令或称参数编程功能。用户宏指令可以执行多种算术运算,并能对系统内部变量进行操作。CNC 系统用户或机床最终用户都可用它开发适合自己需要的专用功能。

但是,这种用户宏指令由于功能有限、可读性不强、编写困难等原因,往往被用户忽略不用。所以先进的数控系统有必要为用户提供一种与计算机编程语言更类似,并能执行 CNC 内部变量和外设操作的语言,我们称之为扩展数控语言。用户可以运用扩展数控语言,在 CNC 系统环境下方便地编写出专门的控制程序。

本文所介绍的扩展数控语言已经在北京航空航天大学开发的 CH-2000 数控系统中实现,它具有如下主要特点:

(1)与 ISO 指令混合在同一加工程序中运行,程序的输入方法与 ISO 指令相同;

(2)具有多种算术和逻辑运算指令,运算结果可以传递给数控系统变量,控制机床运动;

(3)具有可编程 I/O 接口读写指令,用于机床辅助顺序动作控制;

(4)具有程序的循环和跳转指令;

(5)具有子程序调用功能,实现参数化编程;

(6)可对 CNC 系统内部状态查询;

(7)可进行屏幕显示和数据文件操作。

扩展数控语言为用户提供了编制专门控制程序的环境,大大扩展了 CNC 系统的应用领域。例如,可以用于编写固定加工循环,实现工件和刀具的自动测量补偿及柔性制造单元控制等。

2 CH-2000 数控系统扩展数控语言指令

CH-2000 数控系统是一种在 PC 计算机上实现的多轴多通道数控系统,可以用于控制车床、铣床、加工中心和柔性制造单元。该系统向用户提供扩展数控语言编程功能。扩展数控语言与标准的 ISO 指令在同一程序中混合编程并运行,它的基本结构如下:

\$ [行号] [运算符] [变量 1] [变量 2]……

\$ 为扩展数控语言语句标志,用以与一般的 ISO 指令语句相区别。行号为 0~65535 之间的整数,当扩展数控语言语句为一跳转指令的目标时,此值应取程序行中唯一的行号(如:\$ 100),否则可取 \$ 0。运算符表示该

语句的运算或其它功能指令。变量 1, 变量 2 …… , 为参与运算的变量或常数, 可取如下形式:

(1) 字符: a, b, ……z

aa, ab, ……az

……

za, zb, ……zz

(2) 数组: &a[0], &a[1], …, &a[N]

……

&z[0], &z[1], …, &z[N]

字符 & 表示数组, 数组的最大维数为 N, 由 CNC 控制机的配置确定, 最高可达 1000。

(3) 整形数: 0~±2147483648

实形数: ±1.4E-45~±3.4E+38

2.1 基本运算指令

CH-2000 扩展数控语言提供的基本数学运算如表 1 所列, 运算结果可以传送给数控指令, 产生机床运动。如图 1, 希望刀具从当前位置 A 运动到由半径 R 和角度 α 确定的 B 点, 可用如下扩展数控语言和 ISO 代码混合编程完成:

G54 F1000 (G54 为工件坐标系, 进给速度为 1000mm/min)

(用扩展数控语言计算终点位置)

\$0 EQU r 100 (R=100mm)

\$0 EQU a 3.14 (a=π)

\$0 DIV a a 3 (a=π/3)

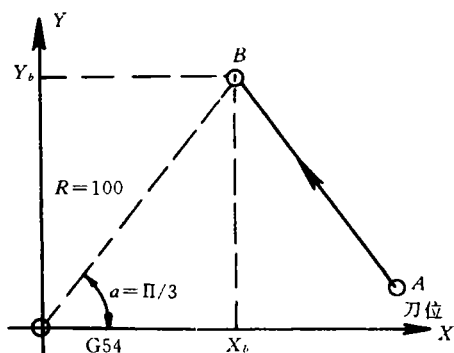


图 1 用扩展数控语言计算终点位置

表 1 扩展数控语言运算指令

运算符	功能	运算符	功能
ADD	加	AND	与
SUB	减	OR	或
MUL	乘	NOT	非
DIV	除	SR	右移
SIN	正弦	SL	左移
COS	余弦	ROUND	取整
TAN	正切	SQRT	开方
ATAN	反正切	ABS	绝对值
EQU	赋值		

\$0 SIN sn a (sn=sin α)

\$0 CON cn a (cn=cos α)

\$0 MUL x r cn (X=R \times cos α)

\$0 MUL y r sn (X=R \times sin α)

G01 X=1 Y=1 (运动到 B 点)

……

在上面的例子中, 程序段 G01 X=1 Y=1 中的“X=1”和“Y=1”是一种规定的格式, 它表示将扩展数控语言的计算结果 $x=R \times \cos \alpha$ 和 $y=R \times \sin \alpha$ 传递给标准数控 G 指令语句, 并将其转换成机床运动。同理, 用 F=1 可以传递进给速度; 用 I=1, J=1 和 K=1 可以传递圆弧插补坐标值; 用 G=1 可以传递各种 G 指令。

2.2 过程控制指令

扩展数控语言的过程控制指令包括: 条件/无条件跳转、循环、子程序调用等, 如表 2 所列。利用上述过程控制指令, 可以实现一些比较复杂的控制过程。例如, 用如下条件跳转指令可以实现程序的分支:

\$0 IF A=3 GOTO 10

……

\$10……



用 CALL 指令可以完成子程序调用。例如, 图 2 所示为一钻削固定循环, DRILL 为实现此固定循环的子程序, 它由三部组成:

(1) 快进到深度 Z1=-100

(2) 工进到 Z2=-50, 进给速度 F=

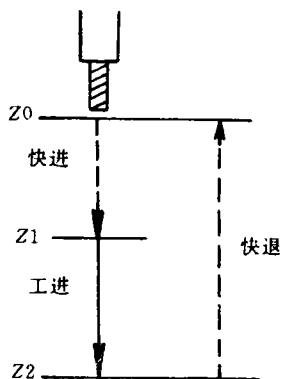


图2 钻孔固定循环

1000mm/min

(3)快退到 Z0

用如下格式完成固定循环调用:

\$0 CALL DRILL -100 -50 1000

调用钻削固定循环 DRILL 时,加工参数由数组变量 &r[0],&r[1]和 &r[2]传递给钻削子程序 DRILL,钻削子程序 DRILL 程序如下:

(DRILL CYCLE)

\$0 EQU z &r[0] (读 Z1 值)

G91 G00 Z=1 (快进到 Z1)

\$0 EQU z &r[1] (读 Z2 值)

\$0 EQU f &r[2] (读 F 值)

G01 Z=1 F=1 (工进到 Z2)

\$0 ADD z &r[0] &r[1](Z=Z1+Z2)

\$0 SUB z 0 z (Z=-Z1-Z2)

G00 Z=1 (快速返回到 Z0)

M29 (子程序返回)

循环指令 FOR...TO 指令也是一种非常有用的指令,利用它可以重复进行某一加工若干次。例如,图3所示的一排斜孔,孔数5,孔距:X=80,Y=30,可以用如下程序完成加工:

G91 (相对坐标)

\$0 CALL DRILL -100 -50 1000(钻第一个孔)

\$0 EQU x 80 (x=80)

\$0 EQU y 30 (y=30)

表2 扩展数控语言过程控制指令

过程控制指令	功能
IF...GOTO...	条件跳转
IF...GOSUB... RETURN	条件局部子程序调用
GOTO...	无条件跳转
FOR...TO... NEXT...	程序循环
CALL...	子程序调用
CALL 参数1 参数2...	参数子程序调用

\$0 FOR i=1 TO 4

G00 X=1 Y=1 (运动到下个孔位)

\$0 CALL DRILL (调用钻孔循环)

\$0 NEXT i

M29

灵活运用过程控制指令可以方便地编写出各种固定加工循环,它给用户提供了一个功能丰富的开发环境。

2.3 辅助功能指令

扩展数控语言还向用户提供一些实用的辅助功能指令,如表3所列,可用于显示和数据管理等用途。例如:

\$0 PRINT x

可以在 CNC 系统显示窗口显示变量 x 的值。

\$0 WARNING #.....

将警告信息.....显示在 CNC 的操作窗口中。

CH-2000 有一个系统运行记录文件,它能记录系统的运行情况,可以把各类报警、变

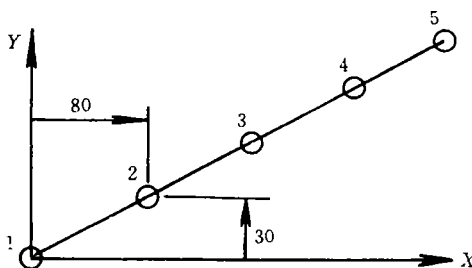


图3 用循环指令完成孔阵加工

表 3 扩展数控语言辅助功能指令

辅助功能指令	功 能
PRINT	在 CNC 显示窗口显示数据
WRITE	将数据写入系统运行记录文件
COPY	复制磁盘文件
COPYL	复制磁盘表文件
LOAD—DATA	将磁盘文件中的数据读入数组
SAVE—DATA	将数组存入磁盘文件
WARNING	在 CNC 报警区显示警告信息

量或字符写入该文件,形成系统的运行记录。例如,程序的运行时间、刀具的使用情况、工件加工记录等,作为机床负荷和状态的原始记录数据。例如:

\$0 WRITE x

将变量 x 的值写入系统运行记录。

CH-2000 数控系统是在 PC 计算机上实现的数控系统,它可以利用 PC 计算机的电子盘,软盘和硬盘作为数据的存储器。以下指令可以实现与控制有关的数据管理功能:

\$0 COPY FILE.1 FILE.2

将数据文件 FILE.1 复制到 FILE.2 中。

\$0 COPYL i FILE

将变量 i 索引的文件复制到文件 FILE 中。例如 i=100 时,把文件 100.LST 复制到文件 FILE,该命令可用于 FMS 系统工件托盘管理等用途。

\$0 SAVE—DATA &a

将数组变量 &a[0]...&a[N]的值存入数据文

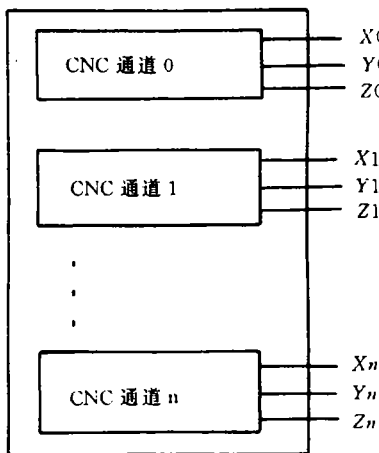


图 4 多通道数控系统

件 NC—DATA.&a。

\$0 LOAD—DATA &a

将数据文件 NC—DATA.&a 的内容读到数组变量 &a[0]...&a[N]中。以上两条命令可用于刀具或工件坐标系自动测量补偿。

2.4 机床控制指令

表 4 所列为各类机床控制指令,CH-2000 是一种多通道数据系统,如图 4 所示,每个通道相当于一台独立的 CNC 系统,可以独立控制一组坐标轴或一台机床,利用机床控制命令可以协调控制多台机床。例如:

\$0 START 0

表示启动 0 号通道的加工程序。

\$0 STOP 0

表示将 0 号通道复位。扩展数控语言还提供了一系列机床状态查询指令和 PLC 端口读写指令,后面章节将介绍这些指令在机床测量补偿及 FMS 控制方面的应用。

3 扩展数控语言用于自动测量与补偿

先进的数控系统应该具有工件安装或刀具自动测量与补偿功能,利用 CH-2000 扩展数控语言所提供的机床控制功能,用户可以自行开发这类功能。

表 4 机床控制指令

机床控制指令	功 能
START	通道(机床)启动
HOLD	通道(机床)进给保持
CONT	通道(机床)继续
STOP	通道(机床)复位
GET—TOOL	获取当前刀号
GET—TOOL—INFO	获取刀具管理信息
GET—G90	获取当前坐标状态
GET—WOF5	获取当前坐标偏移量
GET—HZ	获取刀具 Z 轴补偿量
GET—HX	获取刀具 X 轴补偿量
GET—HR	获取刀具半径
GET—POS	获取当前坐标轴位置
INPLC	从 PLC 端口读
BINPLC	从 PLC 端口读一位
OUTPLC	向 PLC 端口写
BOUPLC	向 PLC 端口写一位

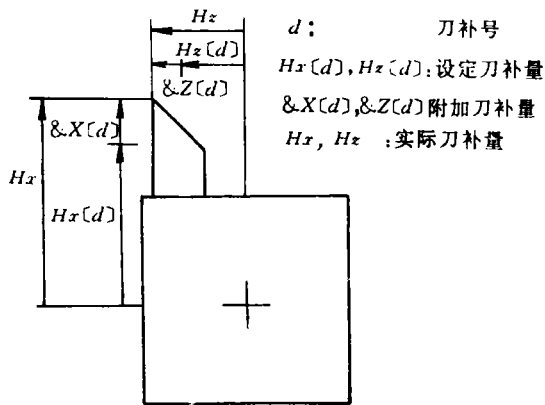


图5 附加刀具补偿

3.1 刀具长度自动测量与补偿

CH-2000 数控系统具有附加刀补功能 G37, 可以用于刀具自动测量与补偿, 如图 5 所示。当使用 G37 指令时, 实际的刀具偏移量为:

$$H_x = H_x[d] + \&X[d]$$

$$H_z = H_z[d] + \&Z[d]$$

$H_x[d]$ 和 $H_z[d]$ 为 CNC 系统刀具参数表中 d 号刀具在 X 和 Z 方向的补偿量; $\&X[d]$ 和 $\&Z[d]$ 为扩展数控语言数组变量值, 用于存放附加刀具补偿量。

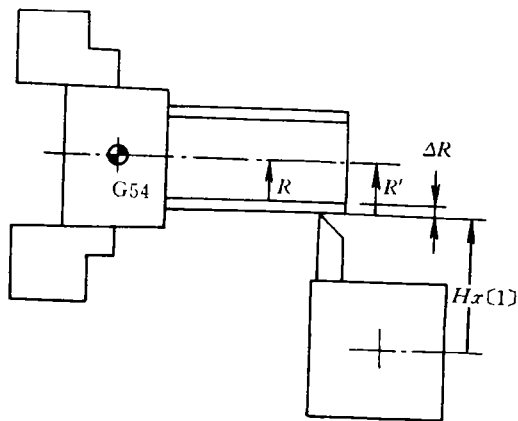
下面通过实例介绍如何利用扩展数控语言实现车刀长度自动测量补偿。如图 6b 所示, 在刀架上装有一接触式测头, 测头的开关接在 PLC 端口 #1.2 上, 测量补偿过程如下:

(1) 工件外圆被车刀 T1 车过, 要求加工半径为 R_1 , 实际加工半径为 R_1' , 如图 6a 所示;

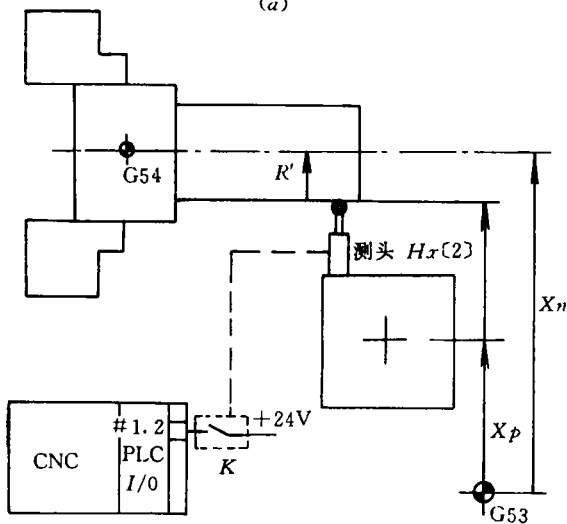
(2) 用测头测量工件, 如图 6b 所示, 测头使用 2 号刀具补偿量 $H_x[2]$, X_n 为工件坐标系 G54 在机床坐标系 G53 中的 X 轴偏移量, X_p 为用扩展数控语言读出的刀架在 G53 坐标系中的 X 坐标, 用扩展数控语言可计算出工件的实际半径:

$$R_1' = X_n - X_p - H_x[2]$$

(3) 计算半径差值 $\Delta R = R_1 - R_1'$, 此值



(a)



(b)

图6 车刀长度自动测量与补偿

赋给 $\&x[1]$, 作为刀具 T1 的附加补偿量;

(4) 用 G37 设置附加补偿量有效, 完成刀具补偿。

为了便于理解, 下面给出经过简化的车刀自动测量与补偿程序, 在此, 假定测量过程已进入精测阶段:

\$0 EQU R10 (工件半径 $R=10\text{mm}$)

G91 d2 (测头使用 2 号刀偏)

\$1 BINPLC k 1 2 (读 PLC 的 #1.2 号端口, 检查测头是否碰到工件)

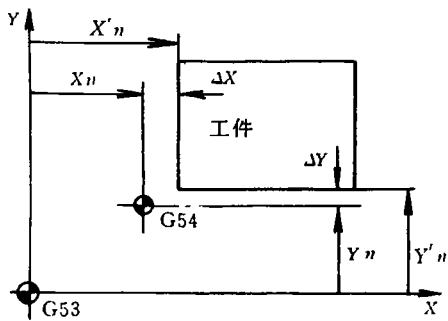


图7 工件安装误差的补偿

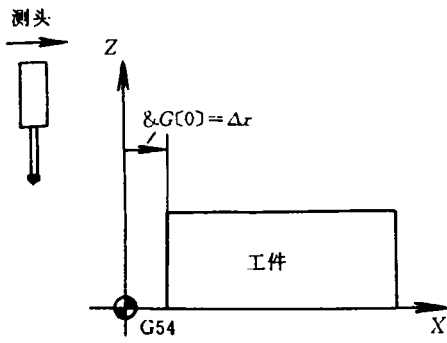


图8 工件安装误差的自动测量

\$0 IF k=0 GOTO 10 (如果测头碰到工件,结束 X 轴进给)

X-0.001 F10 (微量进给,

x=0.001mm)

\$0 GOTO 1 (继续测量过程)

\$10 GET—POS Xp 0 (读当前刀架 X 轴 (#0 号轴)在 G53 坐标系中的位置)

\$0 GET—WOFs Xn 0 (读 X 轴的工件坐标系 G54 偏移量)

\$0 GET—HX H2 2 (读测头的设定补偿量 Hx[2])

\$0 SUB Rp Xn Xp

\$0 SUB Rp Rp H2 (R'=Rp=Xn-Xp-Hx[2])

\$0 SUB Dr R RP (补偿量 ΔR=Dr=R-R')

\$0 EQU &x[1] Dr (将补偿量 ΔR 装入 &x[1])

G37 (附加补偿量有效)

上述举例程序可以改写成带参数调用的固定循环程序。用类似的方法也可以实现铣床或加工中心的刀具及工件安装误差的自动测量与补偿。

3.2 工件安装误差的补偿

工件在机床上定位安装以后,其原点可能偏离编程原点,如图7所示。Xn 和 Yn 为工件坐标系设定表中设定的偏移量;ΔX 和 ΔY 为工件安装误差,可以用与上一节相类似的方法测量计算,如图8所示,并作为附加偏移量存入扩展数控语言数组变量 &G[0] 和 &G[1]。用 G50 指令能够产生如下实际工件坐标系偏移量:

$$Xn' = Xn + \&G[0]$$

$$Yn' = Yn + \&G[1]$$

使实际的工件坐标系与设定的工件坐标系一致。

在具有多个工件托盘的 FMS 系统中,工件的安装误差也可以事先在机床外设定,然后以数据文件的形式存入 CNC 系统。例如:

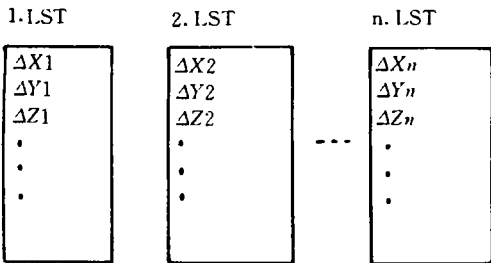


图9 工件安装误差补偿数据

1. LST (1号托盘补偿量表)

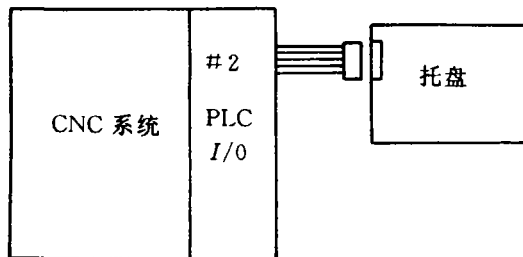


图10 从 PLC 口读入工件托盘号

2. LST (2号托盘补偿量表)

∴

i. LST (i号托盘补偿量表)

1...i 为托盘号,补偿量表内容见图 9. 补偿过程如下:

(1)通过编码开关读入托盘号 i,如图 10 所示;

(2)将托盘补偿量表 i. LST 复制到数据文件 NC-DATA.&G 中;

(3)将数据文件 NC-DATA.&G 读入到数组变量 &G[0]...&G[N]中

&G[0]=ΔXi

&G[1]=ΔYi

&G[2]=ΔZi

.....

(4)以指令 G50 产生实际工件偏移量。

程序如下:

\$0 INPLC i 2 (从 PLC #2 号端口读托盘编码开关值,并赋给变量 i)

\$0 COPYL i NC-DATA.&G (将托盘补偿量表 i. LST 复制到数据文件 NC-DATA.&G)

\$0 LOAD-DATA &G

(将 NC-DATA.&G 读到数组变量 &G[0]...&G[N])

G54 G50 (附加工件偏移量有效)

.....

4 刀具寿命管理

柔性制造单元为实现一定时间内的无人操作加工,要求 CNC 系统提供刀具寿命管理功能和自动刀具替换功能。CH-2000 数控系统具有如表 5 所示的刀具管理数据文件。

表中的刀具寿命 T1 表示刀具的允许使用的次数,由操作者设定。刀具每被使用一次,已用次数 Tu 将自动加 1 计数。替换刀号 Ts 指向与正在使用刀具相同的另一把替换刀。在表 5 中,T1-T4-T6 刀组成一个刀具

表 5 刀具寿命管理文件

刀号	寿命 T1	已用次数 Tu	替换刀号 Ts
#1	30	0	4
#2	40	0	0
#3	10	0	0
#4	30	0	6
#5	10	0	0
#6	30	0	0
...

替换链。用 CH-2000 扩展数控语言的刀具信息指令可以读取以上数据:

\$0 GET-TOOL-INFO T1 Tu Ts T

T:正在使用的刀具号

T1:刀具寿命

Tu:刀具已使用次数

Ts:替换刀号

刀具自动替换程序如下:

\$0 GET-TOOL-INFO T1 Tu Ts T

(读刀具管理信息表)

\$0 IF T1>Tu GOTO 10 (刀具寿命未到,继续加工)

\$0 EQU T Ts (刀具寿命已到,使用替换刀)

\$10 M06 T=1 (换刀)

..... (加工)

以上程序可以扩展成一个能在刀库中自动寻找替换刀的子程序 TOOL,若用指令:

\$0 CALL TOOL 1

换 1 号刀,当 1 号刀的寿命结束时,系统可以自动依次换上替换刀 4 号刀和 6 号刀。

5 总结

扩展数控语言可以向数控系统和最终用户提供一种开放的编程环境,用户可以根据各自需要开发自己的特殊控制功能,同时也使数控系统开发者从繁琐的专用功能开发工作中解放出来,集中精力开发通用功能,并有利于硬件资源的利用;因此可以大大扩展 CNC 基本系统的控制功能和应用范围,是未来数控系统不可缺少的开发工具。

(本文 1995 年 11 月 3 日收到)

(编辑 张学)