



国产数控系统应用技术丛书



# 深入浅出五轴数控系统

## ——科德GNC60数控系统技术教程

SHENRU QIANCHU WUZHOU SHUKONG XITONG  
——KEDE GNC60 SHUKONG XITONG JISHU JIAOCHENG

主 编 陈 虎

非  
外  
借



华中科技大学出版社

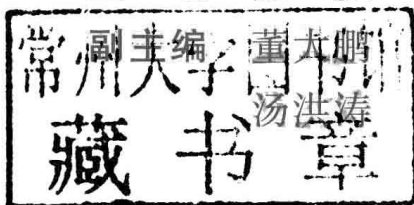
<http://www.hustp.com>

国产数控系统应用技术丛书

# 深入浅出五轴数控系统

——科德 GNC60 数控系统技术教程

主 编 陈 虎



刘 沛

王声文

华中科技大学出版社

中国·武汉

## 内 容 简 介

本书内容主要包括:数控系统操作、数控编程基础、准备指令、坐标系、主轴控制、进给控制、刀具补偿、误差补偿、宏程序、在线测量、高速高精加工、五轴加工。全书以科德 GNC60 数控系统为阐述对象并辅以应用实例,全面而深入地讲述了数控系统的相关原理、应用以及操作等内容。

本书可作为数控领域相关技术人员的培训资料和参考书,也可作为学校相关专业的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

深入浅出五轴数控系统:科德 GNC60 数控系统技术教程/陈虎主编. —武汉:华中科技大学出版社,2018.4

(国产数控系统应用技术丛书)

ISBN 978-7-5680-3878-2

I. ①深… II. ①陈… III. ①数控机床-数字控制系统-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 050847 号

深入浅出五轴数控系统——科德 GNC60 数控系统技术教程 陈 虎 主编  
Shenru Qianchu Wuzhou Shukong Xitong ——KEDE GNC60 Shukong Xitong Jishu Jiaocheng

策划编辑:万亚军

责任编辑:戢凤平

封面设计:原色设计

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷:武汉华工鑫宏印务有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:12.25

字 数:261千字

版 次:2018年4月第1版第1次印刷

定 价:39.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# 前 言

在以数字化制造技术为核心的机电一体化时代,数控机床已经成为核心代表产品之一。目前,国产数控机床正处于快速发展时期,产品种类增多,市场占有率、性能等方面都有很大提高,在高精密加工、五轴加工等关键技术领域也取得了重大突破,已经能够生产拥有自主知识产权的网络化、集成化、柔性化的数控机床。作为数控机床的核心部件,数控系统也有了很大的发展,但仍以中低档产品为主,高档数控系统在市场中的占有率很低。随着科技的不断发展,高档数控系统的需求日益增加,国家和企业都急需数控系统研发、数控系统应用方面的人才。

对于国产高档数控系统产品少、市场占有率低的局面,一部分原因是数控行业的相关技术规范和研究制定还不够完善,同时也缺少系统而专业的技术培训体系,更重要的是自主创新能力不足,导致拥有完全自主知识产权的高档数控系统产品较少,这也成为行业发展的短板。现在众多企业已经意识到问题所在,国家也在大力扶持、引导数控行业的发展。本书就是在这种情况下编撰而成的,旨在为数控领域的广大从业者提供专业知识和参考信息,提升从业者的技术水平,从而促进数控行业良好发展。

本书以科德 GNC60 数控系统为阐述对象,深入浅出地讲述了数控系统的相关原理,内容详尽且易于理解。既能够成为技术人员的宝贵学习资料,又能为初学者揭开数控系统的神秘面纱。此外,本书还结合实际应用,对数控系统的操作、加工编程等内容进行了讲解,并辅以实例,以确保读者能够更快、更好地理解数控系统相关技术与知识。本书秉承专业与专注的工匠精神,精益求精,力求将更先进、更全面的技术知识以最完美的形式呈献给广大读者,可以作为数控领域的研发、机床操作、机床维护与调试等技术人员的培训资料和参考书,也可以作为相关院校机电一体化、数控技术等专业的教材。

本书著作权属于大连光洋科技集团有限公司,并由大连光洋科技集团有限

公司陈虎担任主编,董大鹏、刘沛、汤洪涛、王声文担任副主编。

本书中涉及的大连光洋科技集团有限公司所属产品的内容,由于市场需求在变,产品也会不断改进与升级,难免会发生某些产品实际情况与书中内容不太一致的情形,但这并不影响本书的阅读价值,还请广大读者谅解。另外,由于编者的水平所限和技术发展的日新月异,书中也难免有不妥之处,恳请读者朋友提出宝贵意见。

编 者

2017 年 12 月

# 目 录

<b>第 1 章 数控系统与数控机床介绍</b> .....	(1)
1.1 数控技术概念 .....	(1)
1.2 数控系统 .....	(1)
1.3 数控机床 .....	(11)
1.4 常见数控机床简介 .....	(15)
<b>第 2 章 基础编程</b> .....	(21)
2.1 概述 .....	(21)
2.2 机床轴定义 .....	(22)
2.3 工作平面 .....	(24)
2.4 坐标系 .....	(25)
2.5 NC 程序格式 .....	(35)
<b>第 3 章 刀具补偿</b> .....	(38)
3.1 概述 .....	(38)
3.2 刀具长度补偿 .....	(38)
3.3 刀具半径补偿 .....	(41)
3.4 车刀刀尖半径补偿 .....	(44)
<b>第 4 章 主轴控制</b> .....	(48)
4.1 主轴转速功能 .....	(48)
4.2 主轴准停功能 M19 .....	(48)
4.3 多主轴编程 S(n) .....	(49)
4.4 编程实例 .....	(50)
<b>第 5 章 进给控制</b> .....	(53)
5.1 进给控制概述 .....	(53)
5.2 快速定位进给率 .....	(54)

5.3	每分钟进给率 .....	(54)
5.4	每转进给率 .....	(55)
5.5	恒表面速度进给率 .....	(56)
5.6	螺纹切削进给率 .....	(57)
5.7	刚性攻丝进给率 .....	(60)
5.8	多轴联动进给率 .....	(61)
5.9	非模态进给率 .....	(61)
<b>第 6 章</b>	<b>坐标系 .....</b>	<b>(63)</b>
6.1	机床坐标系 G53 .....	(64)
6.2	设定工件坐标系 G92 .....	(65)
6.3	工件坐标系 G54~G59 .....	(66)
6.4	局部坐标系 G52 .....	(67)
6.5	平面选择 G17/G18/G19 .....	(70)
6.6	可编程比例缩放 G50/G51 .....	(71)
6.7	可编程镜像 G50.1/G51.1 .....	(71)
6.8	工件旋转 G68.5/G69 .....	(72)
<b>第 7 章</b>	<b>准备指令 .....</b>	<b>(74)</b>
7.1	快速定位 G00 .....	(74)
7.2	直线插补 G01 .....	(75)
7.3	圆弧切削进给 G02/G03 .....	(76)
7.4	暂停 G04 .....	(77)
7.5	平面选择 G17/G18/G19 .....	(78)
7.6	英制公制编程 G20/G21 .....	(78)
7.7	刀具半径补偿 G40/G41/G42/G41.2/G42.2 .....	(79)
7.8	机床坐标系 G53 .....	(80)
7.9	工件坐标系 G54~G59 .....	(81)
7.10	绝对值和增量值编程 G90/G91 .....	(82)
7.11	设定工件坐标系 G92 .....	(82)
7.12	每分钟进给和每转进给 G94/G95 .....	(83)
7.13	螺旋线插补 G02.8/G03.8/G02.81/G03.81 .....	(83)
7.14	RTCP 功能 .....	(85)

---

<b>第 8 章 辅助功能</b> .....	(86)
8.1 概述 .....	(86)
8.2 主要辅助功能简介 .....	(87)
<b>第 9 章 在线测量</b> .....	(90)
9.1 CNC 在线测量循环功能介绍 .....	(90)
9.2 CNC 在线测量循环功能原理 .....	(91)
9.3 CNC 在线测量循环功能使用 .....	(94)
9.4 CNC 在线测量循环功能案例 .....	(95)
<b>第 10 章 宏程序</b> .....	(103)
10.1 宏变量 .....	(103)
10.2 宏指令 .....	(104)
10.3 内建函数 .....	(111)
<b>第 11 章 高速高精加工</b> .....	(125)
11.1 概述 .....	(125)
11.2 S 形加速度策略 .....	(126)
11.3 拐角过渡 .....	(128)
11.4 G642 三次 C 样条拟合法 .....	(132)
11.5 G643 最小二乘拟合法 .....	(136)
11.6 轨迹优化 .....	(137)
<b>第 12 章 五轴加工功能</b> .....	(139)
12.1 概述 .....	(139)
12.2 RTCP 功能 .....	(140)
12.3 高级插补功能 .....	(150)
12.4 五轴 RTCP 车削功能 .....	(155)
<b>第 13 章 数控系统的操作</b> .....	(158)
13.1 数控机床的组成结构 .....	(158)
13.2 数控机床的分类 .....	(160)
13.3 手动操作 .....	(163)
13.4 启动/关闭系统 .....	(166)
13.5 回原点 .....	(167)
13.6 轴的点动操作 .....	(168)



---

13.7	手轮操作 .....	(168)
13.8	自动加工 .....	(169)
13.9	刀库刀具功能 .....	(173)
<b>第 14 章</b>	<b>误差补偿 .....</b>	<b>(176)</b>
14.1	数控机床误差补偿技术的意义 .....	(176)
14.2	机床三维空间误差 .....	(177)
14.3	误差补偿文件格式 .....	(179)
14.4	误差补偿文件编辑器 .....	(185)

# 第 1 章 数控系统与数控机床介绍

## 1.1 数控技术概念

数控技术,简称数控(numerical control,NC),是以数字量编程实现控制设备自动工作的技术。它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量和与机械能量流向有关的开关量。

现在,数控技术也叫计算机数控技术(computer numerical control,CNC),它是采用计算机实现数字程序控制的技术。

计算机数控(computerized numerical control,简称 CNC)系统是用计算机控制加工功能,实现数字控制的系统。CNC 系统根据计算机存储器中存储的控制程序,执行部分或全部数字控制功能,并配有接口电路和伺服驱动装置,是用于控制自动化加工设备的专用计算机系统。

## 1.2 数控系统

### 1.2.1 基本构成

世界上的数控系统种类繁多,形式各异,组成结构上都有各自的特点。这些结构特点来源于系统初始设计的基本要求和硬件、软件的工程设计思路。对于不同的生产厂家来说,基于历史发展因素以及各自因地制宜的复杂因素的影响,在设计思想上也可能各有千秋。例如,在 20 世纪 90 年代,美国 Dynapath 系统采用小板结构,热变形小,便于板子更换和灵活结合,而日本 FANUC 系统

则趋向大板结构,减少板间插接件,使之有利于系统工作的可靠性。然而无论哪种系统,它们的基本原理和构成是十分相似的。一般整个数控系统由三大部分组成,即控制系统、伺服系统和位置测量系统。控制系统硬件是一个具有输入输出功能的专用计算机系统,按加工工件程序进行插补运算,发出控制指令到伺服驱动系统;测量系统检测机械的直线和回转运动位置、速度,并反馈到控制系统和伺服驱动系统,来修正控制指令;伺服驱动系统将来自控制系统的控制指令和测量系统的反馈信息进行比较和控制调节,控制 PWM 电流驱动伺服电机,由伺服电机驱动机械按要求运动。这三部分有机结合,组成完整的闭环控制的数控系统。

控制系统硬件是具有人机交互功能,具有包括现场总线接口输入输出能力的专用计算机。伺服驱动系统主要包括伺服驱动装置和电机。位置测量系统主要是采用长光栅或圆光栅的增量式位移编码器。

### 1.2.2 硬件结构

从硬件结构的角度,数控系统到目前为止可分为两个阶段共六代,第一阶段为数字逻辑控制阶段,其特征是不具有 CPU,依靠数字逻辑实现数控所需的数字计算和逻辑控制,包括第一代——电子管数控系统,第二代——晶体管数控系统,第三代——集成电路数控系统;第二个阶段为计算机控制阶段,其特征是直接引入计算机控制,依靠软件计算完成数控的主要功能,包括第四代——小型计算机数控系统,第五代——微型计算机数控系统,第六代——PC 数控系统。

由于 20 世纪 90 年代,PC 结构的计算机应用的普及推广,PC 构架下计算机 CPU 及外围存储、显示、通信技术的高速发展,制造成本的大幅降低,PC 构架的数控系统日趋成为主流的数控系统结构体系。PC 数控系统的发展,形成了“NC+PC”过渡型结构,即保留传统 NC 硬件结构,仅将 PC 作为 HMI。代表性的产品包括 FANUC 的 160i,180i,310i,840D 等。还有一类是将数控功能集中以运动控制卡的形式实现,通过增扩 NC 控制板卡(如基于 DSP 的运动控制卡等)来发展 PC 数控系统。典型代表有美国 DELTA TAU 公司用 PMAC 多轴运动控制卡构造的 PMAC-NC 系统。另一种更加革命性的结构是全部采用 PC 平台的软硬件资源,仅增加与伺服驱动及 I/O 设备通信所必需的现场总线接口,从而实现非常简洁的硬件体系结构。

### 1.2.3 工作流程

#### 1. 输入

零件程序及控制参数、补偿量等数据的输入,可采用光电阅读机、键盘、磁盘、连接上级计算机的 DNC 接口、网络等多种形式。CNC 装置在输入过程中通常还要完成无效码删除、代码校验和代码转换等工作。

#### 2. 译码

无论系统工作在 MDI 方式还是存储器方式,都是将零件程序以一个程序段为单位进行处理,把其中的各种零件轮廓信息(如起点、终点、直线或圆弧等)、加工速度信息(F 代码)和其他辅助信息(M、S、T 代码等)按照一定的语法规则解释成计算机能够识别的数据形式,并以一定的数据格式存放在指定的内存专用单元。在译码过程中,还要完成对程序段的语法检查,若发现语法错误便立即报警。

#### 3. 刀具补偿

刀具补偿包括刀具长度补偿和刀具半径补偿。通常 CNC 装置的零件程序以零件轮廓轨迹编程,刀具补偿作用是把零件轮廓轨迹转换成刀具中心轨迹。在比较好的 CNC 装置中,刀具补偿的工作还包括程序段之间的自动转接和过切削判别,这就是所谓的 C 刀具补偿。

#### 4. 进给速度处理

编程所给的刀具移动速度,是在各坐标的合成方向上的速度。速度处理首先要做的工作是根据合成速度来计算各运动坐标的分速度。在有些 CNC 装置中,对机床允许的最低速度和最高速度的限制、软件的自动加减速等也在这里处理。

#### 5. 插补

插补的任务是在一条给定起点和终点的曲线上进行“数据点的密化”。插补程序在每个插补周期运行一次,在每个插补周期内,根据指令进给速度计算出一个微小的直线数据段。通常,经过若干次插补周期后,插补加工完一个程序段轨迹,即完成从程序段起点到终点的“数据点密化”工作。

#### 6. 位置控制

位置控制处在伺服回路的位置环上,这部分工作可以由软件实现,也可以

由硬件完成。它的主要任务是在每个采样周期内,将理论位置与实际反馈位置相比较,用其差值去控制伺服电机。在位置控制中通常还要完成位置回路的增益调整、各坐标方向的螺距误差补偿和反向间隙补偿,以提高机床的定位精度。

#### 7. I/O 处理

I/O 处理主要处理 CNC 装置的面板开关信号,以及机床电气信号的输入、输出和控制(如换刀、换挡、冷却等)。

#### 8. 显示

CNC 装置的显示主要是为操作者提供方便,通常用于零件程序的显示、参数显示、刀具位置显示、机床状态显示、报警显示等。有些 CNC 装置中还有刀具加工轨迹的静态和动态图形显示。

#### 9. 诊断

诊断是对系统中出现的不正常情况进行检查、定位,包括联机诊断和脱机诊断。

### 1.2.4 科德 GNC60/61/62 数控系统

以科德 GNC60/61/62 数控系统为例,对数控系统进行介绍如下。

- (1) 强大的多通道控制能力,支持通道间协同及共享坐标;
- (2) 支持多种五轴机床结构;
- (3) 支持斜面加工;
- (4) 支持定向退刀;
- (5) 支持三维刀具半径补偿;
- (6) 支持双向螺距误差补偿、空间误差补偿、温度补偿;
- (7) 高速高精度控制,配合大连光洋 GDS 系列伺服驱动支持 16384 倍位置细分,可适配 0.75~110 kW 交流同步伺服电机、交流异步主轴电机、力矩电机、直线电机;
- (8) 安全 PLC 理念,保障操作者安全和设备安全;
- (9) 在线刀具测量和工件测量,为高质量连续加工保驾护航;
- (10) 友好的人机交互界面,面向用户开放;
- (11) 面向用户开放 GMDL 编程向导,简化用户应用编程计算;
- (12) 支持在线监控和信息集成。

GNC 系统面板如图 1-1 所示。



图 1-1 GNC 系统面板

### 1. GLink

高速的信息交互——GLink 光纤运动控制现场总线,采用 100 Mb/s 的高速光纤介质,将数控系统的控制指令送达每个伺服驱动装置,并保证严格同步运行;并将包括机床各坐标位置、负载率、温度等物理量传回数控系统。

精准的高频度控制调度——GRTK 实时内核,实现每秒数千次的精确控制任务调度,使运动控制运算、逻辑控制运算、人机交互高效有序运行,对实时响应延迟  $1/100000$  s,最大限度地利用高性能数控系统处理器的运算资源。

GLink+CANOpen 总线如图 1-2 所示。

### 2. GNC60/61 精补偿技术

科德 GNC60/61 的技术优势——精补偿技术如图 1-3 所示。

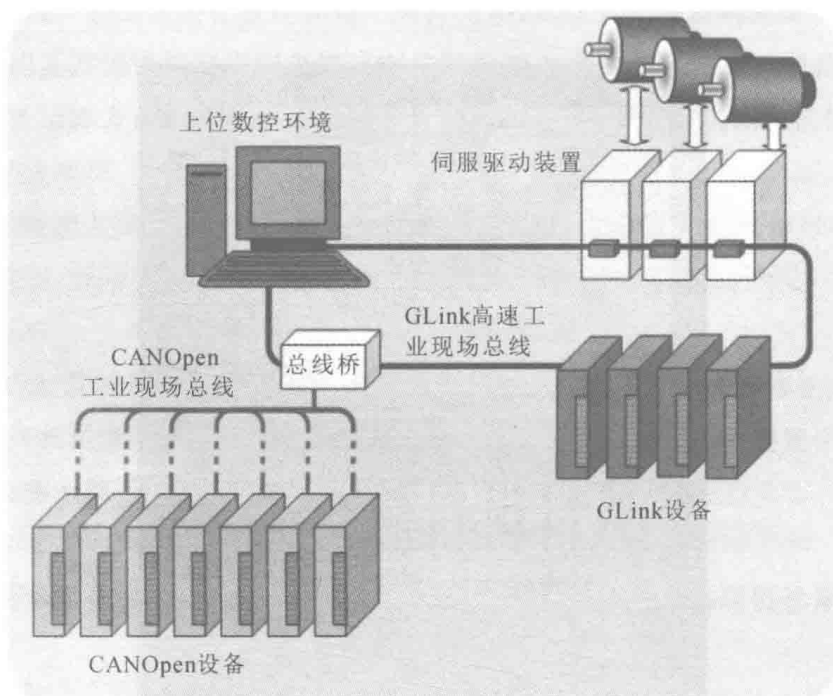


图 1-2 GLink+CANOpen 总线

定位误差(H)实验			
当前温度 T1	实际误差 H	预估误差	实际与预估之差
15.100	-0.100	-5.932	-5.83
17.100	9.600	5.332	-4.27
19.500	22.200	21.697	-0.50
21.100	36.500	35.628	-0.87
22.800	51.600	52.452	0.85
23.700	67.700	68.136	0.44
25.000	152.500	148.469	-4.03
23.500	133.300	130.959	-2.34
22.400	118.300	117.255	-1.04
18.600	65.200	60.363	-4.82
20.600	66.500	72.942	6.44
20.000	63.700	67.233	4.53
18.900	53.000	56.118	3.12
17.800	39.700	42.414	2.71
17.400	31.700	37.314	5.61



图 1-3 精补偿

### 3. GNC60/61 五轴控制技术

如图 1-4 所示,GNC60/61 系列数控系统支持多种结构的五轴机床控制,包括传统的回转轴线垂直的双摆角铣头、双回转工作台及一摆一转五轴机床结构,其扩展支持回转坐标不垂直不相交的通用五轴机床结构,极大地拓展了数控系统五轴机床的适用性,为主机厂提供了更丰富的五轴机床布局可能性。GNC60/61 数

控系统具有丰富的五轴控制功能,包括 RTCP、3D 刀具半径补偿、斜面加工等。

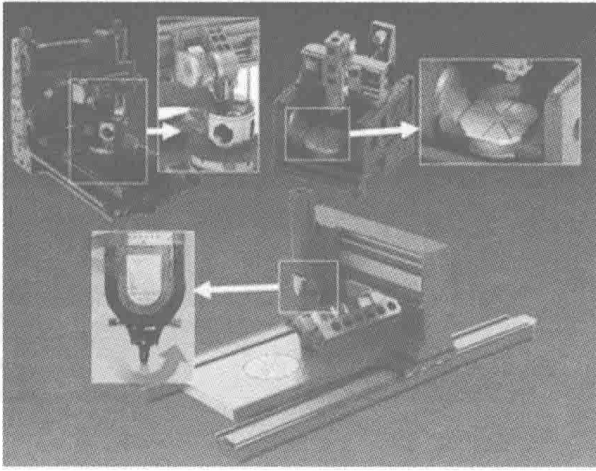


图 1-4 五轴控制

#### 4. GNC60/61 五轴控制算法

如图 1-5 所示,GNC60/61 五轴控制算法支持以下功能。

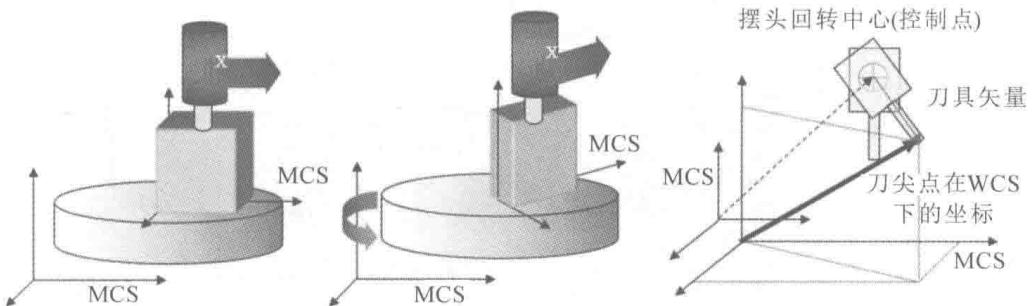


图 1-5 五轴控制算法

- (1) 多种机床结构 RTCP,拓展工件坐标系旋转与刀尖点坐标控制;
- (2) 刀具矢量编程;
- (3) 斜面加工,多种斜面定义方式,刀具自动垂直于斜面;
- (4) 五轴插补算法;
- (5) 平面刀矢插补;
- (6) 双 C 样条约束插补。

#### 5. GNC60/61 数控系统的优势

如图 1-6 所示,GNC60/61 数控系统展现了极佳的安全、开放、易用的优势。



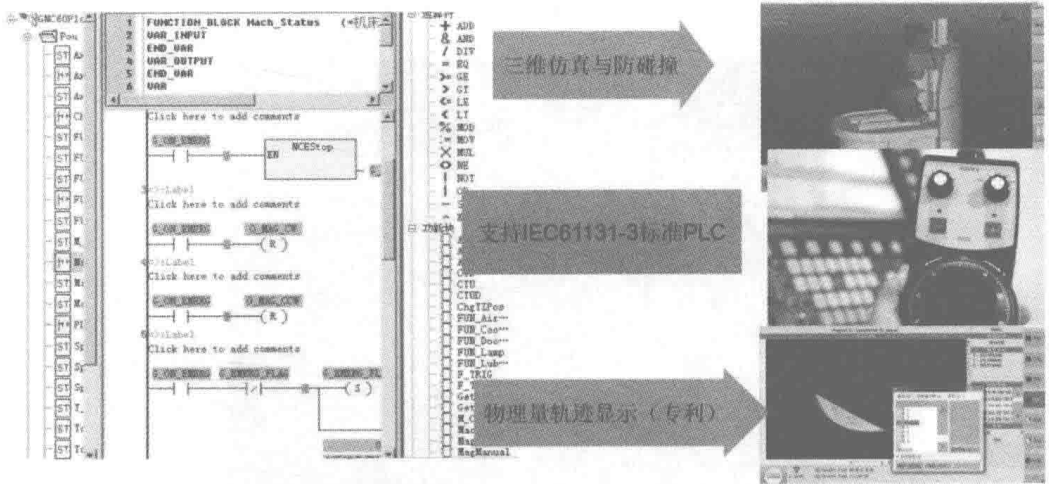


图 1-6 系统优势

### 6. 多驱制方式

GNC60/61 具有完整多样的多驱制方式,如图 1-7 所示。

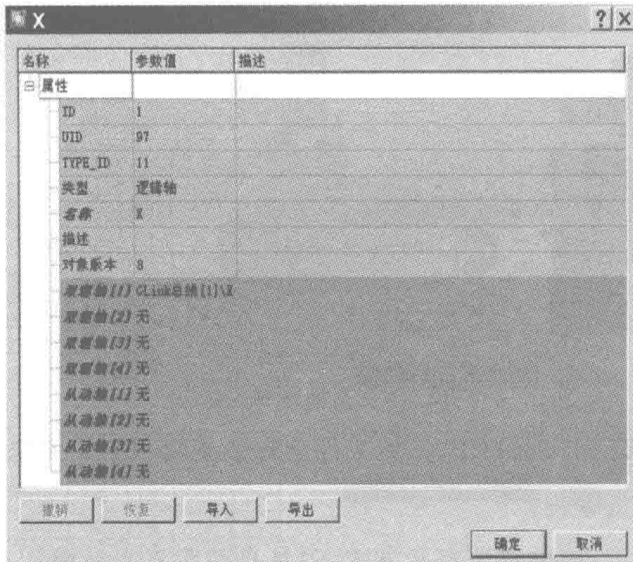


图 1-7 多驱制方式

GNC60/61 提供的 IDE 组态环境,可根据用户的需求,方便灵活地配置多驱控制方案。目前一个逻辑轴系统支持绑定四个物理轴实现位置同步四驱,且每个轴又可以绑定一个力矩模式的从动轴,多驱位置模式和力矩模式配置灵活。

### 7. GNC 数控系统在各类高端设备上的应用

图 1-8 和图 1-9 展示了 GNC 数控系统在各类高端设备上的应用。