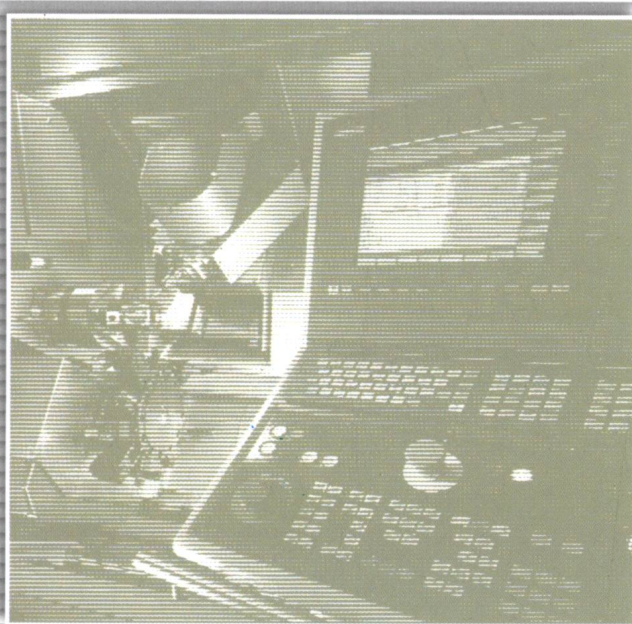


多轴Open-CNC制造系统 基础理论与技术

陈良骥 马雄波 著



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



多轴 Open-CNC 制造系统 基础理论与技术

陈良骥 马雄波 著



机械工业出版社

本书系统、全面地介绍了开放式数控体系结构的基本原理及实现多轴 CNC 制造系统的基础理论与方法,研究了相应的多轴 Open-CNC 制造系统的实现技术和核心算法。主要内容包括多轴 CNC 系统的开放技术及其体系结构、多轴 Open-CNC 系统代码编译解释器工作原理、多轴 Soft-PLC 可编程逻辑控制器实现机理、多轴加工轨迹生成理论及其精密插值方法、制造系统的搭建与实现技术等。

本书适合于国内各相关高等院校、科研院所、民用军用工业企业中从事多轴数字化制造技术的师生和研究人员参考和使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

多轴 Open-CNC 制造系统基础理论与技术/陈良骥, 马雄波著. —北京: 机械工业出版社, 2013. 7

ISBN 978-7-111-42574-8

I. ①多… II. ①陈… ②马… III. ①数控机床—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 104867 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:沈 红 责任编辑:沈 红

版式设计:常天培 责任校对:张 媛

责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄园丰装订厂装订)

2013 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 7.5 印张 · 140 千字

0 001 — 2 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-42574-8

定价:29.00 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

社服 务 中 心: (010) 88361066 教 材 网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 一 部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

开放式数字控制（Open-CNC）的设计思想形成于 20 世纪 80 年代，伴随着计算机系统技术的快速发展，现代 CNC 制造系统正朝着开放性（openness）、软件化（software）的方向发展。同时 soft 型可编程序逻辑控制器（PLC）技术的诞生及可编程序逻辑控制器国际标准（IEC61131-3）的推行，也促使了在 Open-CNC 制造系统中利用软件技术来实现对 PLC 硬件单元的逻辑控制成为可能。

本书基于工业控制机（IPC）平台、采用通用的 Windows 操作系统及 RTX 实时扩展，以及遵循 SERCOS 协议的 SoftSERCANS 通信卡，建立了可搭建开放式数字控制器软硬件平台的多轴 Open-CNC 制造系统基础理论方法与实现技术。利用上述基本理论，可在该平台下实现多轴 Open-CNC 控制器与数字伺服电动机驱动器及 I/O 接口设备之间的高速串行通信，从而可实现较好的软硬件无关性，并有效地提高了系统开放性，使整个制造系统顺利成为运行在通用 IPC 机上的一个应用软件。研究基于通用软硬件平台的多轴 Open-CNC 制造系统对于当代航空航天、汽车制造等先进数字化切削制造领域的高速、高效、高精密加工制造具有极大地促进作用、重要的科学意义和实际应用价值。

本书内容翔实、新颖，对现行多轴数字化制造领域中存在的诸多问题和难点分别进行了深入浅出的分析，并给出了相应的基础理论和相关的解决方案和技术路线。本书的主要内容及实现机理有：参照 OMAC API 协议、采用有限状态机模型及应用 SERCOS 技术；采用编译方式进行加工代码解释，将代码信息翻译成可供插值模块执行的运动点坐标、速度及 PLC 开关量等，通过共享内存传递给插值模块以控制机床运动；参照 IEC61131-3，分析并确定 soft 型 PLC 开发原理与基本方法，实现了梯形图编辑器和指令表编辑器，以及由梯形图到指令表的转换功能；介绍了双 NURBS 样条插值原理和技术。本书中所涉及的多轴 Open-CNC 制造系统相关基础理论和技术对数字化精密制造领域具有较好的理论指导意义和实际推广应用价值。

本书由郑州航空工业管理学院陈良骥和淮海工学院马雄波合著而成。陈良骥撰写了第 1 章和第 5 章的内容，马雄波撰写了第 2 章、第 3 章、第 4 章和第 6 章的内容。

书中所涉及的大部分内容在研究阶段得到了国家自然科学基金项目(51275485)的大力支持,同时获得了河南省高校科技创新人才支持计划(13HAST17036)的资助及郑州航空工业管理学院、淮海工学院的鼎力协助,作者在此一并表示诚挚的感谢。

作 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 Open-CNC 理论产生背景	1
1.2 Open-CNC 理论相关现状分析	1
1.2.1 国外现状分析	2
1.2.2 国内现状分析	5
1.3 Soft-PLC 理论现状分析及意义	7
1.4 Open-CNC 制造系统发展趋势分析	9
1.5 研究项目来源	9
1.6 本书目的及其理论意义	10
1.7 主要内容安排	11
第 2 章 Open-CNC 基础理论与系统架构	12
2.1 接口标准	12
2.2 系统实时性实现原理	14
2.2.1 何谓实时	15
2.2.2 实时与非实时系统的比较	15
2.2.3 实时系统间的比较	15
2.2.4 实时系统的确定	17
2.2.5 RTX 实时系统的利用	17
2.3 OMAC 工程及 OMAC API	19
2.3.1 动态链接库 (DLL) 技术	19
2.3.2 客户机/服务器通信模式	21
2.4 有限状态机在 CNC 中的实现机制	22
2.5 SERCOS 接口原理与实现方法	24
2.5.1 SERCOS 接口简介	24
2.5.2 SERCANS 软件功能	25
2.6 Open-CNC 制造系统的架构	26
2.6.1 系统架构	26
2.6.2 系统组成	26
2.7 小结	28
第 3 章 Open-CNC 制造系统的代码解译机理	29
3.1 概述	29
3.2 加工代码解释器结构设计	29

3.3	加工代码的段格式	30
3.4	加工代码的解释实现技术	30
3.4.1	译码数据处理过程	30
3.4.2	读入加工代码	32
3.4.3	解释加工代码	33
3.5	出错处理机制	34
3.5.1	常见出错分析	34
3.5.2	错误处理方法	34
3.6	任务生成指令及其功能	35
3.6.1	指令分组原则	35
3.6.2	固定循环指令	37
3.6.3	坐标系建立方式	38
3.6.4	系统参数设定	38
3.6.5	可扩展宏的定义	39
3.6.6	运算符与函数定义	40
3.6.7	注释代码	40
3.6.8	子程序调用	40
3.7	刀具补偿机理	41
3.7.1	概述	41
3.7.2	数据存储管理模式	41
3.7.3	刀具补偿实现机理	42
3.8	小结	43
第4章	Soft-PLC 技术原理及实现	45
4.1	概述	45
4.1.1	以软件实现传统 PLC 功能	45
4.1.2	IEC61131-3 软件系统	46
4.2	Soft-PLC 系统结构	46
4.3	Soft-PLC 编程开发系统设计	47
4.3.1	编程开发系统中编辑器的实现	48
4.3.2	开发系统中编译器的实现	48
4.4	Soft-PLC 运行系统设计	53
4.4.1	系统任务划分	54
4.4.2	Soft-PLC 基本扫描任务	56
4.4.3	任务调度	56
4.4.4	Soft-PLC 数据结构	58
4.5	人机控制	59
4.5.1	HMI 与 Soft-PLC 的通信	59
4.5.2	HMI 设计	62

4.6 小结	62
第5章 Open-CNC 制造系统多轴精密插值机理	64
5.1 概述	64
5.2 数据流处理	65
5.3 线性插值机理	67
5.3.1 制造系统插值过程设计	68
5.3.2 进给加减速实现方法	69
5.4 多轴样条精密插值的实现机理	72
5.4.1 样条曲线表示方法	72
5.4.2 双 NURBS 曲线插值格式	73
5.4.3 加工轨迹的 NURBS 拟合方法	74
5.4.4 双 NURBS 曲线数据流处理	74
5.4.5 加减速处理	79
5.5 小结	86
第6章 多轴 Open-CNC 制造系统的实现	87
6.1 设备联机调试及集成机制	87
6.2 制造系统的搭建	90
6.2.1 三轴系统	90
6.2.2 五轴系统	93
6.2.3 系统的开放性	97
6.3 Soft-PLC 系统实验	97
6.3.1 开发系统	97
6.3.2 运行系统	99
6.4 小结	100
结论	101
参考文献	103

第 1 章 绪 论

1.1 Open-CNC 理论产生背景

自 1952 年世界上第一台数控机床诞生以来，数控技术伴随现代科学技术的不断发展，已日趋完善。但随着科技和生产的发展，数控技术面临着众多新的挑战，如生产中不断出现了新的加工需求，这就要求计算机数控（Computer Numerical Control, CNC）制造系统应具有迅速、高效、经济地面向用户的模块化结构；要求数控系统改变传统的封闭式结构，降低机床厂和用户对数控系统厂商所提供控制模式和策略的依赖性，适应未来生产“面向任务和订单”的生产模式和满足“可重构制造系统”的需求。

这样一来，CNC 数字化制造系统必须具有可重构、可扩展、可移植和可伸缩等特性，并允许用户在集成传感器和加工监控系统的基础上方便地实现“智能控制”。要达到这一目的，最有效的途径就是实现数控系统的开放性（openness）。在开放的体系构架下，用户可以自由地选择数控系统的各个构成要素，并按照规范的、简便的方法组成新的 CNC 系统，以实现生产率最大化和质量最优化。数控系统由封闭式控制模式向开放式控制模式发展，是当前数控技术发展的必然的、重要的趋势。

开放式数字控制（Open-CNC）制造系统的研究从 20 世纪 80 年代末开始，到现在还没有形成统一的标准，因而也还没有一个统一的、明确的定义。IEEE 是这样定义开放系统的^[1]：“具有下列特性的系统可称为开放系统：符合系统规范的应用可运行在多个销售商的不同平台上，可与其他系统应用互操作，并且具有一致风格的用户交互界面。”

针对开放式数控系统的应用需求，一般认为，开放式数控系统具有以下基本特征，即可互换性（interchangeability）、可移植性（portability）、可伸缩性（scalability）、互操作性（interoperability）、可扩展性（expandability），这也是衡量数控系统开放程度的准则^[2-4]。

1.2 Open-CNC 理论相关现状分析

开放式数控系统的核心是具有开放性的控制器。它必须站在用户的立场，方便、快捷、稳定、可靠和全面开放。随着制造业技术的发展，对数控机床的

柔性和通用性提出了更高的要求。因此，各国相继对控制器的开放性展开了研究。

1.2.1 国外现状分析

最早关于开放式体系结构控制器的研究源于美国。1981 年，美国发起了一个叫下一代控制器的计划，简称 NGC（Next Generation Workstation/Machine Controller）^[5]，以实现基于互操作和分级式软件模块的“开放体系结构标准规范”SOSAS（开放体系结构标准规范）。NGC 包括两个主要的部分：制定开放式体系结构标准规范（SOSAS）和建立三个 NGC 的参考模型^[6,7]。SOSAS 最重要的部分是，允许单独的设计者去开发具有互换性和相互协作的 NGC 单元，并包括 CNC 兼容产品的所有功能，为以后开发的产品提供了运行的基础^[8,9]。由于经济的原因，该计划在 1991 年中断。自 1992 年以来，欧盟、美国、日本等制造业发达国家相继开展了大规模的开放式数控系统的研究项目。主要有：

(1) 欧洲 OSACA 项目 1991 年 11 月，ESPRIT II 开始的一项整个欧洲的控制计划 OSACA，其目标是研制出自动化控制系统中的开放式体系结构。OSACA 计划于 1992 年 5 月启动，在第一阶段（1992 年 5 月到 1994 年 4 月）内，给出了独立于厂家的开放式控制系统的基本规范。规范中详细说明了系统平台的基本功能规范，平台的系统软件应主要由操作系统、通信系统和配置系统组成，还拟订了独立于公司的参考结构，以用于数控、机器人、可编程控制器和单元控制。在第二个阶段（1994 年 5 月到 1996 年 4 月），由所有参加成员为此平台联合开发的软件建立了一个公用系统软件库，用于测试、验证和扩展，还开发了第一批示范软件模块。这之后的工作主要是将 OSACA 建立为开放式控制系统的工业标准^[10]。该计划结束于 1998 年 7 月，历经 66 个月，投入 96 人年，1230 万欧洲货币单位。其主要目标是建立一个开放性的、厂商无关的控制器体系结构^[11]。

OSACA 是这样定义开放系统的：“开放的控制系统是由一组逻辑独立的功能部件（component）组成，这些部件之间、部件和其实现平台之间具有开放、标准的接口定义。一个完整的控制系统可由来自于多个厂商的部件协作而成，这个控制系统可以运行在多种平台上，并且具有与其他自动化系统一致的人机接口”。

可以看出，“功能部件”是 OSACA 开放系统的核心，为了有效地描述这些“功能部件”的属性和集成关系，OSACA 全面采用面向对象的分析方法。OSACA 借鉴 ISO 的 OSI 参考模型，通过对现有控制系统的详细分析，提出一个“分层的系统平台 + 结构功能单元”的结构。OSACA 提出的开放式数控系统模型如图 1-1 所示。从其体系结构来看，OSACA 控制系统分为两个部分：应用软

件和系统平台。应用软件由一组被称为“体系结构对象 AO (Architecture Object)”的功能模块组成, 这些 AO 具有很强的功能独立性, 也是 OSACA 体系结构的灵魂; 应用软件可运行在多种 OSACA 兼容的平台上。系统平台由系统硬件和系统软件组成; 系统硬件主要指控制系统的各种电子部件, 如处理机、I/O 模块等; 系统软件包括操作系统、通信系统及附加的各种设备的驱动程序。AO 之间的通信是采用面向对象的信息模型(通信对象)来实现的, 以客户/服务器模式为基础。通信对象包括变量对象、进程对象、事物对象^[12,13]。

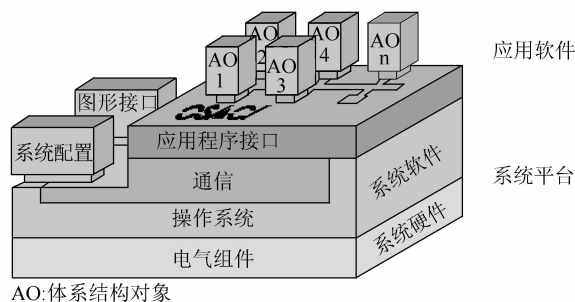


图 1-1 OSACA 体系结构^[10]

(2) 日本 OSEC 项目 1994 年 12 月, 日本的东芝机器公司、丰田机器厂和 Mazak 公司三家机床制造商与日本 IBM、三菱电子及 SML 系统公司联合发起了 OSEC (Open System Environment for Controller) 项目。该项目共分三个阶段, 结束于 1999 年 3 月。OSEC 的目标是为下一代工厂自动化设备控制器建立一个开放性的体系结构规范, 并开发相应的接口标准^[14]。

OSEC 采用功能组定义了开放式数控系统的体系结构, 如图 1-2 所示。主要包含 4 个功能组, 即运动生成、资源管理、加工控制、设备控制。每个功能组由若干个功能模块组成, 每个功能模块是一个对象形式的软件元件, 并封装了 OSEC API (Application Program Interface) 形式的对象消息作为接口协议。功能模块之间不形成层次

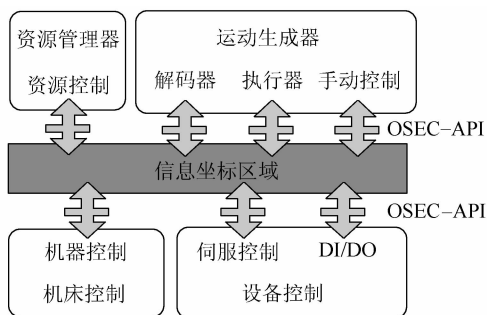


图 1-2 OSEC 体系结构^[14]

关系, 通过 OSEC API 形式的消息连接起来进行通信和协作。OSEC 体系结构只定义了功能模块的服务内容和消息接口协议, 由控制器厂商进行功能模块的个

性化实现,符合接口协议的功能模块在 OSEC 控制器中可以“即插即用”。

(3) 美国 OMAC 项目 1994 年底,美国三大汽车公司通用 (GM)、福特 (Ford) 和克莱斯勒 (Chrysler) 首次提出了 OMAC (Open Modular Architecture Controllers),即开放式、模块化体系结构控制器的概念^[15],称开放化就是允许把流行的硬件和软件集成为控制器的基础结构。它支持一个事实上的标准环境。1997 年 2 月,OMAC 用户组成立,对 OMAC 感兴趣的组织随时可以加入,并参与相关的技术开发。OMAC 的主要目标是明确用户对于开放体系结构控制器的应用需求,开发一种满足这种需求的公共 API,为开放式控制器技术开发、实现和商品化中的各种问题提供共同的解决方案^[16,17]。

OMAC 采用组件技术实现即插即用的模块化,采用接口类的形式定义 API。OMAC 定义了各种不同“尺寸”和“类型”的可重用即插即用“组件”,这是广义的组件,是指构成应用程序的软件片,实际上包括 COM (Component Object Model) 组件、模块、任务。每一个“组件”都具有各自的有限状态机实现其特定功能。模块是指包含组件的容器。任务是指封装可编程序功能行为的组件,包括一系列待完成的步骤,如启动、停止、暂停、恢复。当控制器工作时,任务可以多次运行。在分布式通信情况下,基于组件的技术采用代理存根的方式处理跨进程的方法调用。

OMAC 没有定义一个固定的参考结构,但是定义了用于建造不同类型控制器的模块集^[3,17,18]。OMAC API 的目标是使控制系统销售商提供标准组件,机床供应商把这些组件配置到机床控制系统中,然后把这种控制系统和机床交付给最终用户。OMAC API 应用涉及的范围从单轴控制器到多轴控制器。OMAC 工作组努力使 OMAC API 规范成为被业界承认的标准。OMAC API 使用基于组件的方法获得即插即用的特性,使用界面类指定 API。OMAC API 包含不同粒度和类型的即插即用的元件——组件、模块和任务。组件是一种可复用的软件,它是应用程序的一个建造块;模块是组件的容器;任务是用于封装可编程序功能行为的组件,功能行为由一系列步骤组成。这些步骤包括启动、停止、重启、暂停、继续,在控制器运行时这些步骤可能循环多次。OMAC API 使用微软的 COM 技术进行集成,这样数控系统开发商可以集中精力进行专用软件的开发。使用 COM 的主要问题是硬实时性能欠佳,这个问题通过对 Windows 操作系统进行实时扩展的方法来解决。

(4) 国外其他机构的研究情况 除以上影响力最大的三个研究工程外,国际上还有许多其他的机构和大学在从事开放体系结构控制器的研究,并建立了一些开放式数控系统的实例^[3,19-22]。如美国密歇根大学 (University of Michigan) 在开放体系结构控制器领域成果显著^[23,24],其主要目标是实现机床控制系统的开放性。研究内容包括:基于 FSM 的机床控制设计^[25,26],基于 Windows 的 HMI

的开发,可重构机床的控制结构设计^[27,28],且在加工力分析、颤动分析与监测、刀具和工件接触监控等方面也进行了大量的研究工作^[29-31]。他们也在数控软件模块模块化方面进行了研究^[32,33]。普渡大学(Purdue University)智能制造实验室开展了基于PC的开放式体系结构控制器、加工仿真建模和实现、加工过程的多自变量自适应控制、常规切削力自适应控制等研究^[34]。澳大利亚研究人员则利用DSP技术开发了位置闭环控制的伺服驱动系统^[35]。由于涉及重新编制DSP驱动程序的工作,因此重构系统和扩展功能仍然相对复杂。加拿大不列颠哥伦比亚大学(University of British Columbia, Canada)制造自动化实验室也开展了大量的研究,如开发了一个基于DSP的智能加工模块(Intelligent Machining Module, IMM),即由一组用户可扩展的函数库组成。研究人员在IMM平台基础上可以快速实现智能加工工艺算法,可以将刀具磨损监测、热变形补偿等以传感器技术为基础的智能控制算法迅速集成到数控系统中;IMM实际上是一个以开放体系结构为基础的智能数控开发平台^[36,37]。德国斯图加特大学(University of Stuttgart)具有长期从事开放模块化控制系统设计的历史^[38,39]。20世纪80年代,MPST项目以并行总线连接硬件模块建立了模块化的结构控制器。后来,他们开始进行基于软件的模块化控制器体系结构的研究。以OSACA准则为基础建立了开放式控制器,可应用于多轴车、铣、并联机构及其他特殊用途的机床(如电火花、纺织机械等)。另外还有一些研究机构在开放式数控方面的研究工作具有较大的影响,如日本东京大学^[40]、加州大学伯克利分校(University of California, Berkeley)^[41,42]等。

1.2.2 国内现状分析

我国在“八五”和“九五”期间,重点投资北京机电数控集团、航天数控集团和华中数控集团,开发了以PC机为基础的中华I型、航天I型、华中I型和蓝天I型4种基本系统。这些系统尽管基本建立在PC平台上,但它们的系统结构仍属于封闭的。

从20世纪90年代起,我国很多科研机构 and 大学纷纷投入力量进行了开放式数控系统方面的研究和开发。如华中理工大学周祖德教授等提出了一种基于软件芯片的开放式数控系统的实现模式^[43-46],它实际上是采用面向对象的编程技术,借鉴了欧盟的OSACA研究方法。通过对数控系统的功能划分和接口规范化,运用面向对象的机制,把数控系统的功能进行抽象并进行封装,将数控软件设计成具有稳定、通用接口可以重用的软件芯片,且每一个软件芯片完成数控系统的一个独立模块的功能,如插值功能就由插值芯片来完成。通过建立一个数控系统软件芯片集成开发环境——数控系统软件芯片库,来对软件芯片进行管理,用户可以对软件芯片库进行检索、浏览以及维护,还可以添加自己制

作的软件芯片。用户在开发新的数控系统时，只需从这些芯片软件库中取出所需的芯片进行组合即可。北京航空航天大学的陈五一教授等提出了基于 RT-Linux 的开放式数控系统的概念，并在 RT-Linux 的系统平台上，实现了基于组件的开放结构的数控系统的原型系统^[47-50]。该系统以任务模块作为系统功能单元，以虚拟模块系统实现数控系统功能单元间的信息交换与同步，以配置系统负责系统的集成。它支持系统在启动时重构，用户只要离线编写配置脚本文件，由配置系统负责系统的重构，即可实现系统的良好开放性。北京航空航天大学的郇极教授等提出了基于 SERCOS 技术的开放式数控系统概念，并开发了基于 SERCOS 的开放式数控系统 CH-2010/S^[51]。由于采用 SERCOS 技术，CH-2010/S 的硬件结构十分简单，但是却具有很强的控制功能和灵活性，且可以控制 1~50 个伺服电动机和 40~320 个 I/O 点，并快速完成系统的扩充、裁减或部件替换，进而在同一硬件平台上，可以开发多种数控系统。CNC 与伺服之间采用光缆连接，大大减少了电缆布线。可提供丰富的诊断信息，便于系统安装和维护，提高了系统可靠性。光缆连接也特别适用于大型机床所需要的远距离控制功能。上海交通大学的研究人员研究了开放体系结构数控系统内核的重构方式，并提出了一种新的基于行为的动态建模方法，如图 1-3 所示。利用这种方法，分析了开放系统模型中应用对象的生命周期和相互作用关系。他们认为开放体系结构数控系统内核应由 MCM（Motion Control Management，运动控制任务管理）、MC（Motion Control，运动控制）、AC（Axis Control，轴控制）、SC（Spindle Control，主轴控制）等任务管理区域组成。因此系统内核可以设计成为软件模式的多通道结构，且每个通道的轴数和运动轴类型由配置系统设定^[52]。另外，还出现了基于数字现场总线的开放式数控系统^[53-56]、基于运动控制卡的 PC+NC 数控系统^[57]、基于 Windows 的开放式数控系统^[51]、基于 COM/DCOM 组件的开放式数控系统^[58]，以及智能数字控制器^[53]等。此外，成型的产品包括中科院沈阳计算所/高档数控国家工程研究中心的 SS-8540、机械部机床研究所的中华 I 型、华中理工大学的 PCNC 数控系统。清华大学^[59]、天津大学^[60]等也进行了相关方面的研究。

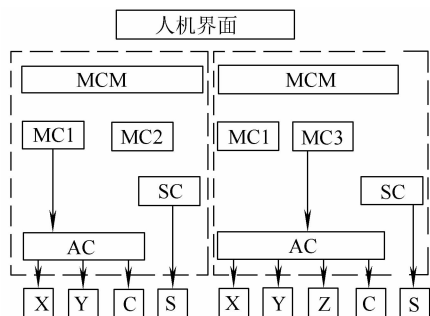


图 1-3 多通道结构的 CNC 内核^[52]

由于受硬件研发及生产能力的制约，国内的主要数控系统都在朝 PC 化方向发展，但 PC 化并不等于开放。各系统所采用的体系结构并不一致，仍是自成体系，相互之间缺乏兼容性和互换性，而且对体系结构的阐述都只限于具体实现

层,没有提高到理论的、抽象的层次上来,因而各系统软硬件不具备可移植性和互操作性,也更谈不上开放。虽然国内在开放式数控系统研究方面有一定的广度,但大多局限于概念上的研究及理论上的分析,总体研究水平与国外相比尚有较大差距。我国从事开放式数控系统起步较晚,且规模还无法与国外相比,即多限于某一体系结构的具体实现。

1.3 Soft-PLC 理论现状分析及意义

在 Open-CNC 制造系统中,Soft 型可编程序逻辑控制器 (Soft-PLC) 是作为开放式控制器体系结构中完成离散事件控制的模块来研究的,其跟随着开放式软数控系统的发展。

(1) 国外发展动态 国外在这方面的研究相对较早,且主要还是围绕在开放式控制系统领域研究最具代表性的三个国际工程进行的。美国 OMAC 项目规划的控制器结构就是将离散逻辑作为系统中一个标准的模块,与轴组模块、任务生成器处于同一层次,由系统任务协调器统一调度。目前,作为较成熟的开放式数控系统产品推出市场的有美国 MDSI 公司的 OpenCNC、德国 Power Automation 公司的 PA8000 NT 及美国 Soft SERVO 公司的 ServoWorks。

其中 ServoWorks 是基于 Windows NT/2000/XP 和 Linux 全软件开放式数控系统,由美国麻省理工学院的专家创办的 Soft SERVO 公司推出的基于计算机平台真正开放的全软件运动控制产品。ServoWorks 实时控制软件主要包含三个模块:运动引擎、运动解释器和 PLC 引擎。实时 Soft-PLC 模块与 ServoWorks 运动引擎紧密结合并监控运动状态,用于机床运动、逻辑控制,其执行唯一 API 功能,可执行与 FANUC 数控系统兼容的梯形图逻辑,以及提供 38 种功能指令及 12 个基本指令^[61]。

(2) 国内发展动态 国内有些院校、科研机构在这方面也展开了有针对性的基础研究工作,并取得了不错的成果。但仍处在实验项目阶段,尚未开发出比较成熟的产品。

国家数控系统工程与研究中心开展了开放式数控系统中的 Soft-PLC 技术的研究,提出一种在基于开放式数控系统的嵌入式 Soft-PLC 实现方法。结合本身数控系统的构造思想,给出了一个实现 Soft-PLC 的上下位机模式。并对 PLC 用户开发环境、梯形图和指令表编程、编程语言间的相互转换及 PLC 执行等软件部分进行了设计和开发的研究^[62]。

清华大学制造工程研究所开发了一种基于 RT Linux 实时操作系统的 Soft-PLC,其既可以作为一个独立的应用软件和不同的 CNC 系统协调工作,也可以嵌入 THHP-II 型数控系统内部在同一计算机上运行。其实时性和可靠性已经在

国产 THM5660H 和 TH5456 立式加工中心上得到验证^[63]。

此外还有北京工业大学、四川大学、华中科技大学也在这方面做了一些基础研究工作^[64-67]。

(3) Soft-PLC 理论研究意义 随着计算机软硬件技术的飞速发展,计算机及其外围设备的性能价格比、平均无故障率等技术指标均优于专用 PLC 控制器,在计算机上以软件实现 PLC 成为新的发展热点,欧美等国家都将 Soft-PLC 控制器作为一个重点投资对象进行研究,目前已向市场投入一些成熟产品。而 Soft-PLC 概念在 1996 年以后才被介绍到国内,所以在这方面的技术尚不成熟。不过随着可程序控制器国际标准 IEC61131-3 在国内的大力推行,为实现开放式控制器系统提供了理论依据,也促进了 Soft-PLC/PC 的集成控制作为新兴产业的发展。

自 20 世纪 80 年代以来,开放体系结构的控制器成为数控领域的发展主流和研究热点,更是新一代数控的关键技术。开放式数控系统的发展历程中,软件型开放式数控系统成为一种最新开放体系结构的数控系统,它提供给用户最大的选择和灵活性。CNC 软件全部装在计算机中,而硬件部分仅是计算机与伺服驱动和外部 I/O 之间的标准化通用接口。软件智能替代复杂的硬件,正在成为当代数控系统发展的重要趋势。

研究 Soft-PLC 可以打破以往各 PLC 生产厂家产品互不兼容的局限性,缩短产品开发周期,并使 PLC 性能价格比提高,以及带来巨大的经济效益。PLC 的发展在 IEC1131 标准推出以后,尤其是其中关于 PLC 编程方面的 IEC1131-3 标准推出后,变得十分迅速。目前,Soft-PLC 已经在国外形成了规模性的研发机制,但国内 Soft-PLC 形成产品化生产的企业还不多。我国在控制领域依然落后于西方国家,且这些研究还没有得到广泛的推广。国内对 IEC1131 标准的介绍也通常是一个综述性的表述,没有一个探讨性的说明。

将 Soft-PLC 技术和 IEC61131-3 标准引入开放式软件数控系统的研究中,以子程序或控制模块软件形式来实现控制机床逻辑的 PLC 单元,可以充分地利用计算机软件资源,进一步提高开放式数控系统的灵活性、开放性;同时是研究 Soft-PLC 技术及其应用配合很好的机会。目前,国际上对 Soft-PLC 研究的技术没有完全成熟,我国应该抓住这个契机,在国际数控设备激烈竞争的环境中,开发出具有自主知识产权的国际一流的高性能数控软件,推动我国数控技术的发展,缩短此行业与发达国家的差距,发展我国制造业。因此,有必要把握时机,紧跟前沿技术的进展,研究且解决关键技术,为国产开放式数控系统和 Soft-PLC 产品的研制开发打下坚实的基础。

1.4 Open-CNC 制造系统发展趋势分析

数控技术是数控机床的关键技术，是柔性制造系统（FMS）、计算机集成制造系统（CIMS）和工厂自动化（FA）的技术基础。随着微电子技术和计算机技术的迅速发展，特别是 IPC 技术的高速发展，使开放式数控成为数控技术的发展方向。

从当前国内外的研究情况来看，实现开放式数控系统的方式有三种：第一种是将 IPC 板卡嵌入到专用数控系统中；第二种是将 NC 板卡嵌入到通用 IPC 机中；第三种是采用完全基于通用 IPC 机的软件化数控方式。

将 IPC 板卡嵌入到专用数控系统中，既可以保留原有的专用数控系统，又可以开放数控系统的人机界面，因而被专用数控系统制造商（如 SIEMENS 和 FANUC 等）所广泛采用。但是，这种方式只是实现了人机界面的开放，数控系统的核心部分仍然是封闭的。

将 NC 板卡嵌入到通用 IPC 机中，既可以借助 IPC 机实现人机界面的开放，又可以借助 NC 板卡的可编程序能力实现系统的核心部分开放。相较于前一种方式，此种方式使得数控系统的建造更加开放和快捷，所以得到了研究人员，特别是国内研究人员的广泛采纳。但是这种数控系统的开放性高度依赖于特定的 NC 板卡（如基于 DSP、PMAC 运动控制卡等平台的板卡），并且只能实现系统核心的局部开放。

基于通用 IPC 机的软件化数控方式中，数控系统的基本功能完全由软件实现，系统的硬件部分由通用 IPC 机、I/O 通信设备及伺服驱动设备等标准化的硬件设备构成，从而使得从人机界面到系统核心、从软件到硬件的全方位开放提供了可能。并且，这种方式也为数控系统能够不断地吸收计算机软硬件最新成果创造了条件，也更有利于数控系统性能的提高及更新换代，因而被认为是开放式数控系统的重点发展方向和趋势。作为一项重要的战略技术，发达国家已纷纷投入了巨大的人力、物力对其展开深入的研究，如前文述及的 OMAC、OSACA、OSEC 研究计划就是典型代表。

1.5 研究项目来源

本书涉及的研究内容属于国家自然科学基金项目（51275485）的基础理论部分。该部分项目设计要求的利用 IPC 机和通用操作系统，构建一种全开放性的多轴联动控制的 Open-CNC 制造系统，为后续高速加工模块的添加和 CAM/CNC 一体化制造系统的实现作基础理论准备。