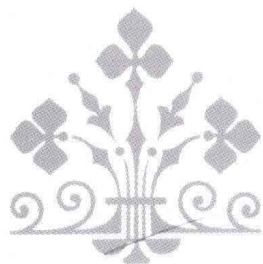


本书由深圳职业技术学院著作出版基金资助



数控机床调试技术

——基于FANUC 0iC系统模块化调试的探索

李继中 著



清华大学出版社

内 容 简 介

本书分为3篇、14个研究与实践模块,将数控机床的功能调试、综合调试内容按照从易到难的递进关系进行模块化设计与实践,把数控机床的控制功能、编程与调试、参数设置与优化、功能验证、位置精度检测与补偿、性能调整与优化等内容通过模块进行融合,便于读者学习与总结。书中内容虽然以FANUC 0iC系统为研究与实践对象,但介绍的方法与经验适用于所有数控系统机床的调试。

本书面向数控行业的科研、生产一线技术人员,也可作为大专院校教学用书及行业人员培训用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数控机床调试技术——基于FANUC 0iC系统模块化调试的探索/李继中著. —北京:清华大学出版社,2012.8

ISBN 978-7-302-28482-6

I. ①数… II. ①李… III. ①数控机床—调试方法 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第064802号

责任编辑:朱怀永

封面设计:傅瑞学

责任校对:袁芳

责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21 字 数:496千字

版 次:2012年8月第1版 印 次:2012年8月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00元

产品编号:045780-01

前 言

数控机床是一个国家的基础性、战略性生产装备,其功能、性能、质量等是衡量一个国家工业现代化水平、综合国力的重要标志。国防、航空、航天、能源、矿冶等基础产业装备都需要数控机床支撑。

数控机床调试技术包括数控机床功能调试和综合调试或性能调试两部分内容,是数控机床开发、生产、调整优化的核心内容。其中的功能调试涉及数控机床的接口设计、PLC/PMC 控制程序设计与调试、数控系统相关功能参数的设置等内容,实现数控机床的全部功能。综合调试亦称为性能调试,基于功能调试,主要通过数控系统的参数优化、相关机械结构的调整等措施,优化数控机床的综合性能,保证数控机床处于最佳工作状态。

我国普通高校的专业目录中没有“数控技术”专业,对应的只是“机电一体化”或“机械控制工程”等专业下的一个方向,面向数控原理或数控系统研发方面的教学与研究,基本上不涉及数控系统的后端技术(即应用技术,如调试技术等)。高职高专院校的专业目录中有“数控技术”、“数控设备应用与维修”两个专业,但各院校开设的相应专业主要定位于数控编程与加工、数控机床故障诊断与维修等领域。当然,数控机床的维修离不开调试,但由于调试涉及的面广、内容难度大(涉及数控系统的核心技术),目前国内还没有系统性的著作,尤其没有针对数控系统调试方面的著作。

数控系统是数控机床的核心技术部件。随着我国“六五”期间的技术引进、“七五”期间的科技攻关,数控系统技术有了长足的进步,但市场份额因用户信心不足还无法与 FANUC、SIEMENS、MITSUBISHI 等公司的数控系统相比。

21 世纪以来,我国已成为世界机床消费第一大国、机床进口第一大国。随着国家《装备制造业调整和振兴规划实施细则》的出台,机床行业工业总产值和销售收入维持了增长局面,跃居世界第一机床制造大国,形成了与世界制造大国相匹配的局面。当然,中高档及大型数控机床的研发跟国外相比,仍有较大的差距,且绝大多数的功能部件还依赖进口。

新中国机床行业的早期“十八罗汉”(机床生产厂)和“四大金刚”(工具生产厂)目前仍是中国机床行业的骨干,37 个专业研究院也承担国家重大项目的攻关与研发任务,并出现了新的“十八罗汉”,为我国机床行业的发展作出了重大贡献,机床的数控化率也有了显著提高。现在数控机床所用的控制系统大部分是 FANUC、SIEMENS、MITSUBISHI 等国外品牌数控系统,高端数控机床尤其如此。

数控系统供应商一般会提供系统连接或功能手册、维护手册、参数手册、操作手册等技术资料,资料内容多,功能与参数纷繁,相关操作复杂。对于初学者或经验不足的工程技术人员,供应商提供的数控系统简明调试指南很难满足数控机床功能调试、综合调试的全部要求。供应商通常会对技术人员安排一次数控系统的培训,但培训效果还是很难达到系统或配套设备的调试要求。因此,从事数控机床开发、调试、维修的技术人员,急需得到具有系统性描述的著作指导。

作者根据 15 年航空工程研制的经验,凭着对工程技术的领悟,再结合近十年来的科研开发、企业培训、教学改革及实训设备研发等实践途径,撰写本书,以弥补系统性著述数控机床调试技术的空白。

本书基于“工作过程系统化”的调试特点,内容从易到难,循序渐进。以模块的组织形式,按照进阶关系,将数控机床的功能调试、综合调试化繁为简,通俗易懂,且不失系统性。

全书分为综述、三篇,共 14 个调试模块,内容直观、简洁,力求多用图例展示,少用文字描述。所有内容来自作者科研及培训、教学改革及教学设备的开发经验与积累,同时也借鉴了全国首批高职示范院校建设的成果及数控技术专业建设与教学的实践成果。书中数控机床功能调试部分(第二篇)主要突出 NC 与 PLC/PMC 的分工、接口、控制流与数据流及其配套参数的设置、PLC/PMC 程序编制与调试、功能验证等内容。通过模块化研究与实践,将 PLC/PMC 的接口、控制程序、相关参数综合,初学者不会再对整个 PLC/PMC 控制程序感到茫然。在第二篇内容的基础上,数控机床综合调试部分(第三篇)突出数控系统参数调整与优化,重点解决机床调试过程中出现的不良情况。通过综合调试后,数控机床应达到功能与性能的整体要求,获得整机的解决方案,如机床位置精度补偿、批生产机床调试等。书中功能调试、综合调试所涉及的数控系统伺服参数,按照模块组合进行叙述,便于读者理解数控系统的控制性能及其对应参数的优化,对数控系统的研发也能提供借鉴。

属于数控机床调试范畴的机床结构调整基于机械结构或钳工的调整经验,本书为了系统性地突出数控系统的调试技术,书中不再涉及结构调整,请读者查阅相关著作。

本书虽然以 FANUC 0iC 系统作为调试研究与实践的载体,演绎了数控机床功能调试、综合调试的相关技术,但其研究思路、方法等适合所有品牌的数控系统。

作者

2012 年 5 月于鹏城

目 录

| | |
|---------|---|
| 综述..... | 1 |
|---------|---|

第一篇 调试基础

| | |
|---|----|
| 模块一 调试基础及基本操作..... | 7 |
| 一、PMC 的接口关系 | 7 |
| 二、机床控制功能的 NC 和 PMC 分工 | 7 |
| 三、PMC 与机床的接口 | 8 |
| 四、FANUC 0i 系统 PMC-SA1/SB7 型的内部资源 | 11 |
| 五、特殊继电器(R9000 以后)的功能 | 13 |
| 六、保持型继电器功能 | 14 |
| 七、FANUC 0i 系统 PMC 的程序结构及执行过程..... | 16 |
| 八、相关技能 | 17 |
| 模块二 系统及伺服初始化——实现新机床的 FSSB 功能及系统伺服参数设置 | 33 |
| 一、数控系统伺服初始化 | 33 |
| 二、实现 FSSB 功能 | 39 |
| 三、设定操作 | 42 |

第二篇 实现数控机床的控制功能

| | |
|---------------------------------|----|
| 模块三 实现机床的急停、运行准备及工作模式控制功能 | 47 |
| 一、实现机床的急停控制功能 | 47 |
| 二、实现机床的运行准备控制功能 | 49 |
| 三、实现机床的工作模式/方式控制功能..... | 51 |
| 模块四 实现手动进给(JOG)控制功能 | 60 |
| 一、实现手动参考点返回控制功能 | 61 |
| 二、实现机床手动进给(JOG)控制功能 | 69 |
| 三、实现无挡块参考点返回功能 | 85 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| 模块五 实现手轮/增量进给控制功能 | 87 |
| 一、实现手轮进给控制功能 | 87 |
| 二、实现增量进给功能 | 92 |
| 模块六 实现机床的辅助控制功能 | 94 |
| 一、实现机床的辅助控制功能 | 94 |
| 二、实现冷却液控制功能 | 101 |
| 模块七 实现自动运行各模态控制功能 | 104 |
| 一、相关控制信号 | 104 |
| 二、各控制功能的实现 | 105 |
| 三、功能调试与验证 | 118 |
| 模块八 实现主轴控制功能 | 119 |
| 一、主轴速度功能(S 指令功能) | 119 |
| 二、实现主轴控制功能 | 127 |
| 三、实现模拟主轴的控制功能 | 133 |
| 四、有关主轴的诊断信息及显示信息查询 | 134 |
| 五、关于主轴的几点说明 | 136 |
| 模块九 实现辅助控制系统的报警功能 | 139 |
| 一、实现信息显示与报警的方法 | 139 |
| 二、实现信息显示的 DISPB 指令 | 140 |
| 三、实现信息显示与报警功能 | 140 |
| 模块十 实现刀库控制功能 | 143 |
| 一、刀库的控制需求 | 144 |
| 二、实现刀库的手动控制功能 | 144 |
| 三、实现刀库的程序控制功能 | 151 |
| 四、实现自动换刀功能 | 167 |
| 五、自动换刀功能调试与验证 | 171 |
| 六、刀库控制的设计与调试 | 180 |
| 七、不同实现方法的比较 | 181 |

第三篇 数控机床综合调试

| | |
|-------------------------------|-----|
| 模块十一 数控机床伺服调整与优化 | 185 |
| 一、伺服调整界面及其内容 | 185 |

| | |
|--|------------|
| 二、伺服调整 | 187 |
| 模块十二 主轴/刚性攻螺纹调试 | 196 |
| 一、主轴定向的实现方案 | 196 |
| 二、主轴定位的实现方案 | 201 |
| 三、刚性攻丝调试 | 206 |
| 模块十三 数控机床的位置精度补偿 | 217 |
| 一、数控机床位置精度检验标准 | 217 |
| 二、反向偏差/间隙及其补偿 | 222 |
| 三、螺距误差补偿 | 226 |
| 四、基于激光干涉仪的位置精度补偿 | 229 |
| 五、QC10 球杆仪用于两轴联动精度快速检测与机床故障分析 | 239 |
| 模块十四 批量调试 | 243 |
| 一、M 卡功能及其操作 | 243 |
| 二、批量调试操作 | 253 |
| 附录 A FANUC 0i 系统 PMC 与 NC 间的接口分配及信号名称 | 255 |
| 附录 B FANUC 0i 系统的固定输入地址信号 | 269 |
| 附录 C FANUC 0iC 系统综合调试台 PMC 的 I/O 分配表 | 270 |
| 附录 D FANUC 系统 PMC-SB7 报警信息 | 271 |
| 附录 E 参考点返回过程中的报警信息 | 275 |
| 附录 F FANUC 0i 系统 PMC 功能指令一览表(PMC-SB7) | 276 |
| 附录 G 常见伺服报警及其解决办法 | 278 |
| 附录 H FANUC 0iMC 综合调试台 PMC 连接图 | 279 |
| 附录 I 数控机床调试所用 PMC 参考程序 | 286 |
| 跋 | 324 |
| 参考文献 | 325 |

综 述

机床只有在配置了数控系统后才有可能实现机械加工的复杂化、柔性化、精益化,达到高速、高精、高效的加工目标,实现无人车间或无人工厂管理。

数控系统集成光、机、电、控制技术、信息技术等科技于一体,是实现计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)的基石。

数控机床的调试远较普通机床的调试/调校复杂,所涉及的主要技术如图 0-1 所示。

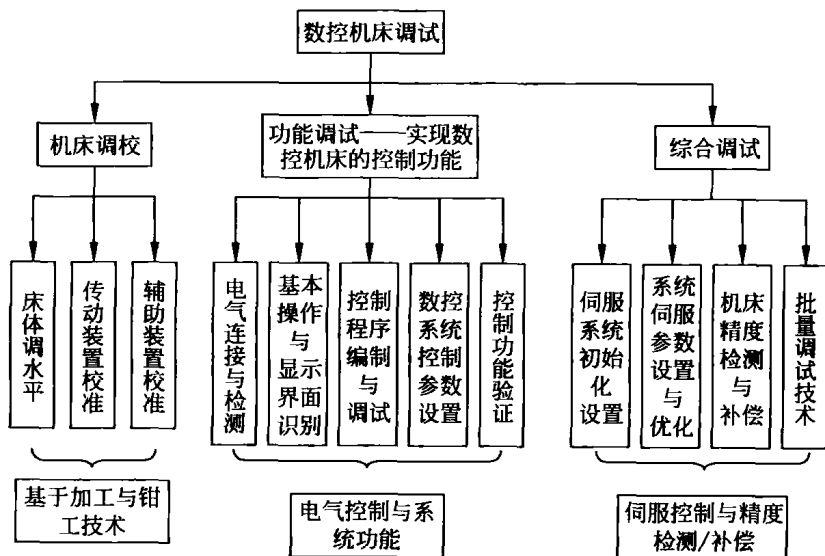


图 0-1 数控机床调试的主要技术

1. 机床调校

数控机床调校与传统机床调校基本相同,其结构远较普通机床简洁,本书对此不做更深入的探索。

2. 功能调试

功能调试是数控机床调试的重要内容,涉及数控系统及辅助电气控制系统的连接与检测、可编程控制器/可编程机床控制器(PLC/PMC)编程与调试、数控系统相关参数的设置与验证、数控系统基本操作及显示界面识别等知识与技能。功能调试是数控机床调试的主要工作,通过控制程序的编制与调试、系统控制参数设置,实现机床的控制功能。

3. 综合调试

综合调试是数控机床加工精度的重要保证。综合调试包括伺服系统参数设置与优化、机床精度检测与补偿、系统稳定工作的环境优化(漂移补偿或可靠接地——电磁兼容)。需

要借助专用的检测仪器,如激光干涉仪、圆度仪(球杆仪)、电磁测试仪、加工试件精度检测设备。综合调试是数控机床调试的难点。

数控铣床或加工中心基本上具备了数控机床的所有功能。因此,选择加工中心的调试作为数控机床调试的基本对象具有普遍性。

功能调试涉及的控制程序都具有接口纷繁、逻辑复杂、程序冗长、各种应用指令多、系统控制参数多等特点,调试时容易出错,效率低。作者根据教学、培训及工程实践经验,总结出一条功能调试的有效途径——模块化调试:将控制功能及其配套的控制参数进行模块化设计,并按模块化调试。通过模块化调试,数控机床的控制功能既有分割,又成系统,思路明晰,不容易出错,调试效率高,也便于读者掌握。数控机床控制功能的模块化设计如图 0-2 所示。

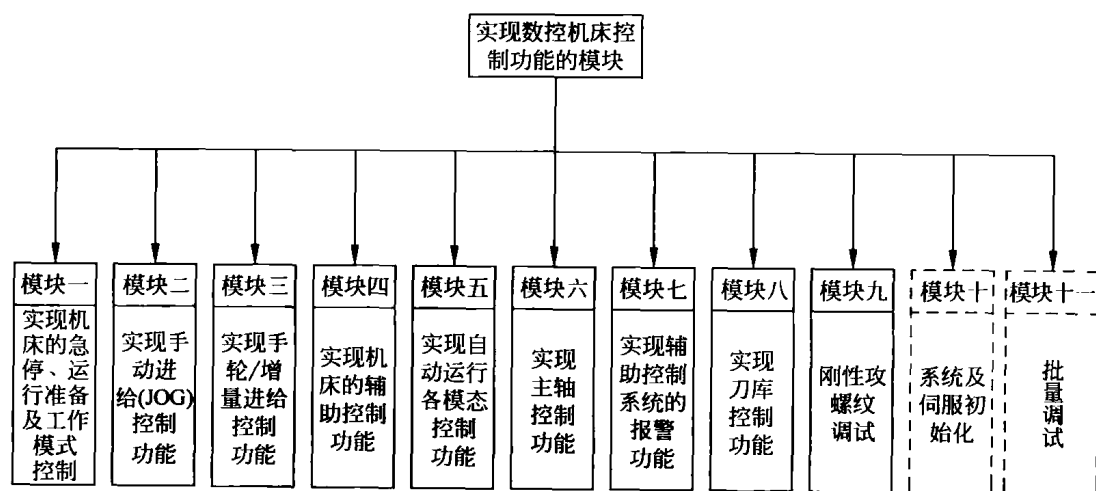


图 0-2 数控机床控制功能的模块化设计

图 0-2 中的模块十和模块十一不是数控机床功能调试的主要内容,但与控制功能相关,因此用虚线表示。模块一~模块九具有控制功能的进阶关系,即循序渐进关系。

数控机床配置不同的数控系统时,虽然调试的具体细节有所差异(控制参数不同、控制程序的指令不同、程序结构有所区别),但原理和方法相同。目前市场份额占有率排前的三大品牌数控系统(FANUC 系统、SIEMENS 系统、MITSUBISHI 系统)在国内应用较为普遍,尤其是 FANUC 系统。FANUC 数控系统中的 0i 系统(如 FANUC 0iC 系统)是目前国内应用最为普遍的数控系统,因此,作者选用 FANUC 0iC 系统机床或调试台作为研究对象,其他数控系统机床的调试可参考此方法实施。

研究与实践所用的 FANUC 0iC 系统综合调试台及 FANUC 0i 系统数控机床如图 0-3 和图 0-4 所示。

FANUC 0iC 系统综合调试台数控系统显示器及 MDI 面板如图 0-5 所示。

FANUC 系统机床综合调试台操作面板如图 0-6 所示。

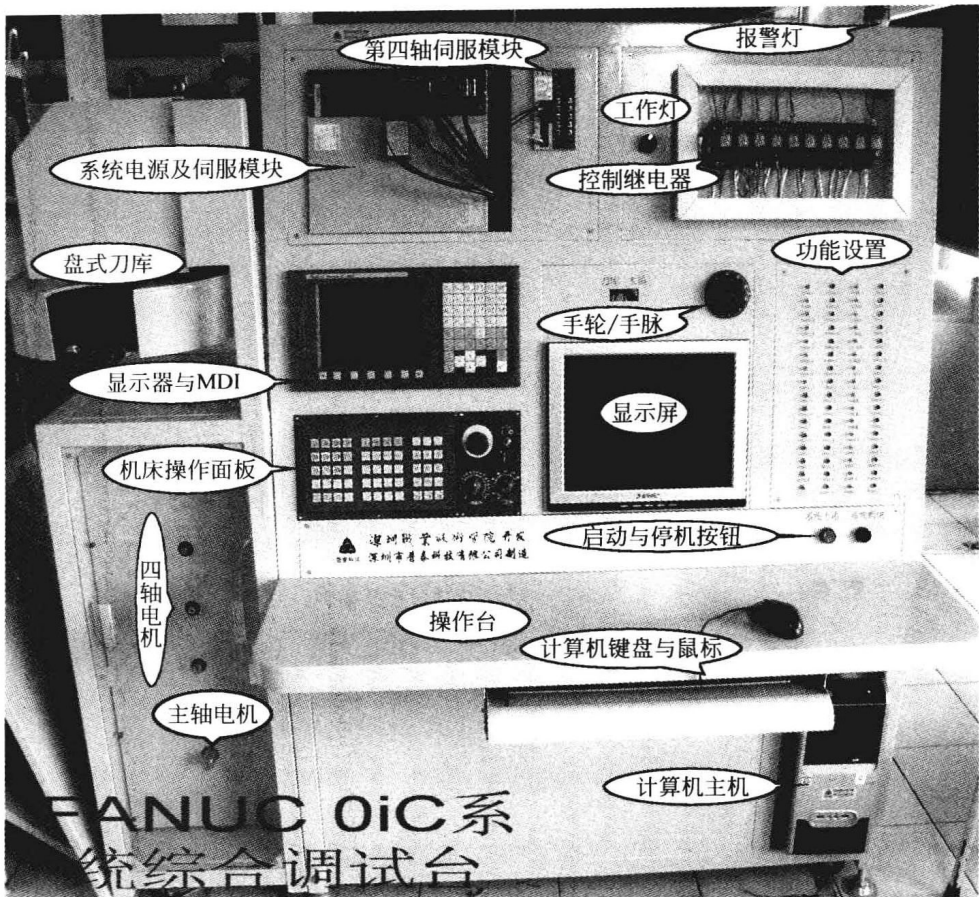


图 0-3 FANUC 0iC 系统综合调试台

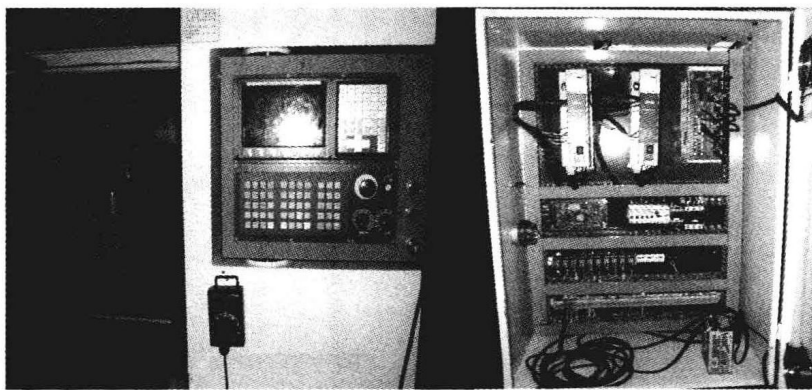


图 0-4 FANUC 0i 系统数控机床



图 0-5 FANUC 0iC 系统综合调试台数控系统显示器及 MDI 面板

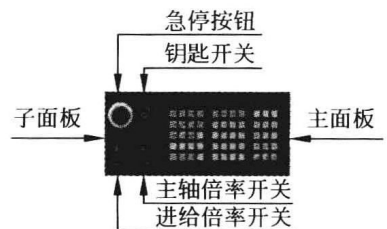


图 0-6 FANUC 系统机床综合调试台操作面板

第一篇 调试基础

数控系统中的 PLC 是嵌入式的 PMC 模块,与独立型 PLC 有较大的区别,但其工作原理相同,编程与调试方法相同。本篇安排与数控机床功能调试相关的 PLC/PMC 工作原理、接口分配、控制关系、编程指令、程序结构及其运行过程、数控系统显示界面及其操作等内容,是后面介绍数控机床功能调试(编程与调试、验证)的基础。

模块一 调试基础及基本操作

【主要内容】 介绍数控系统 PLC/PMC 的工作原理、接口关系、信号关系(地址分配)、控制流、编程指令、编程方法、用户程序结构及运行过程、数控系统 PMC 接口状态的检查、显示界面、机床 PMC 程序的备份与上传操作、PMC 编程与调试软件的操作与应用、典型的 PLC/PMC 编程控制环节等内容。

一、PMC 的接口关系

FANUC 0i 系统 PMC 的接口关系如图 1-1 所示。图 1-1 中的 G、F 地址分布及其对应的控制信号名称和符号如附表 A 所示。

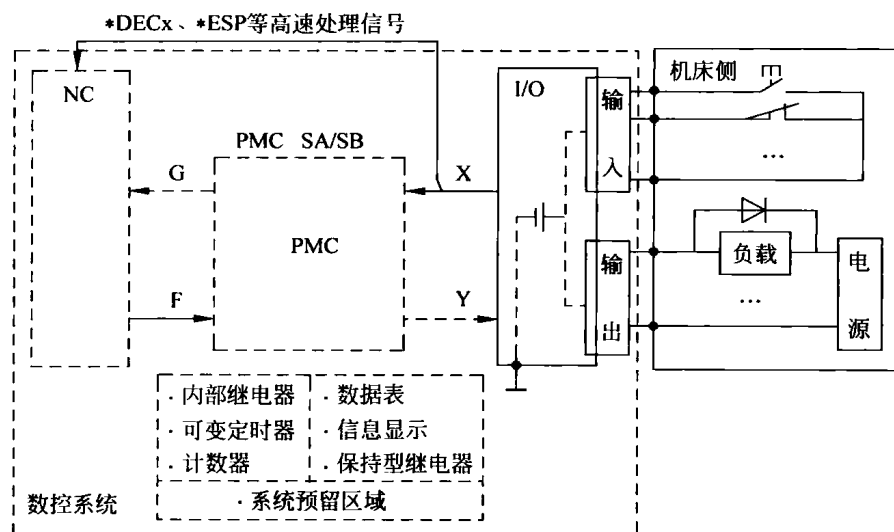


图 1-1 PMC 与 NC、机床侧间的接口关系

【说明】 图 1-1 中的实线表示硬连接,即需要开发商完成的连接(实连接);虚线表示软连接(逻辑连接),即数控系统间的连接(由内部底板总线连接),因为数控系统中的 NC 及 PMC 处理共用同一个中央处理单元(CPU)。

简化图 1-1,突出 PMC 间的接口关系,得到图 1-2。

二、机床控制功能的 NC 和 PMC 分工

从图 1-2 可以看出,PMC 是机床与 NC 间的桥梁。当机床(操作者)有控制请求时,通过 X 地址将控制请求送到 PMC。经 PMC 梯形图程序处理,通过 G 地址将控制请求信号发

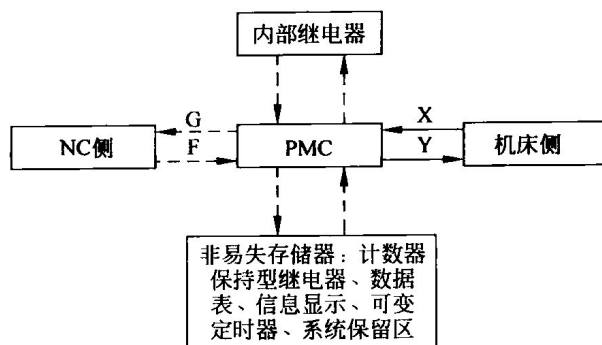


图 1-2 PMC 的接口关系

送给 NC。NC 检测到请求信号后,调用相应的控制软件,处理所请求的控制,并使 NC 处于相应的控制模态,同时通过 F 地址将 NC 当前的控制状态返回给 PMC。PMC 再根据梯形图程序的处理结果,给机床送出相关的控制/指示信号,实现机床所需的请求控制。有些控制功能还要求 PMC 处理完相应的控制后,返回一个信号给 NC,以便 NC 能继续执行下一个控制功能,如辅助功能指令(M、T、S、B 等)的执行过程。控制关系如图 1-3 所示。

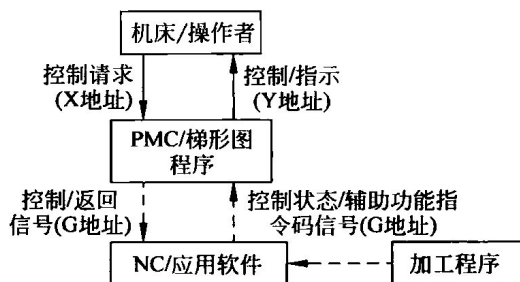
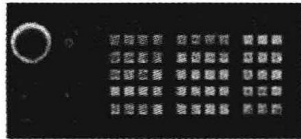


图 1-3 NC 控制功能的实现过程

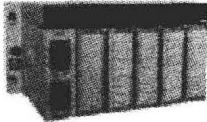


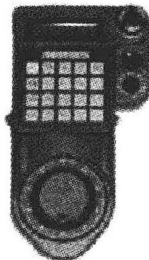
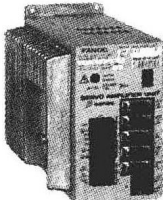
三、PMC 与机床的接口

FANUC 系统 PMC 与机床的接口设备类型如表 1-1 所示。

表 1-1 FANUC 系统 PMC 与机床的接口设备类型

| 接口类型 | 说明 | 有否手轮接口 | 输入/输出点数 |
|--------------------|--|--------|---------|
| 内置 I/O | 位于 NC 内部,通过扁平电缆与机床连接 | 无 | 32/24 |
| 机床操作面板接口装置 | 装在机床操作面板上 | 1 个 | 256/256 |
| I/O Link 接口的机床操作面板 | 可任意组合键帽  | 3 个 | 256/256 |

续表

| 接口类型 | 说明 | 有否手轮接口 | 输入/输出点数 |
|---------------------|---|--------|-------------------------------|
| 漏型或源型输出的机床操作面板连接装置 | 具有机床操作面板接口 | 无 | 96/64 64/32 |
| I/O Link 连接装置 | 连接在 I/O Link 主控制器后 | 无 | 256/256 |
| A 型 I/O 单元 | <p>模块结构</p>  | 无 | 256/256 |
| B 型 I/O 单元 | 分散型 I/O 模块 | 无 | 224/256 |
| 操作面板用 I/O 模块 (矩阵输入) | 具有操作面板接口, 5V 矩阵输入 | 3 个 | 通用: DI-16 矩阵: DI-56; DO-56 |
| 操作面板用 I/O 模块 |  <p>具有操作面板、手轮接口</p> | | 48/32 |
| 分线盘 I/O 模块 |  <p>分散型 I/O 模块</p> | | 96/64 |
| 手持机床操作面板 |  | 1 个 | 无 |
| I/O Link 轴 β 系列伺服单元 |  <p>通过 I/O Link 控制</p> | 无 | 无 |

【说明】 FANUC 系统的 I/O 单元分为源型(拉电流型)输入、漏型(灌电源型)输入以及源型输出、漏型输出等类型,在采购与连接时必须分别对待,保证输入与输出的匹配关系,否则需要进行电路转换。

FANUC 系统中的 I/O 可通过 I/O Link 串行总线进行连接(在主机与从控机间高速传输 I/O 数据),I/O Link 上最多可连接 16 组从属装置,其连接器标有“JD1A”和“JD1B”名称。连接时,必须从 JD1A 连到 JD1B,具体连接如图 1-4 所示。

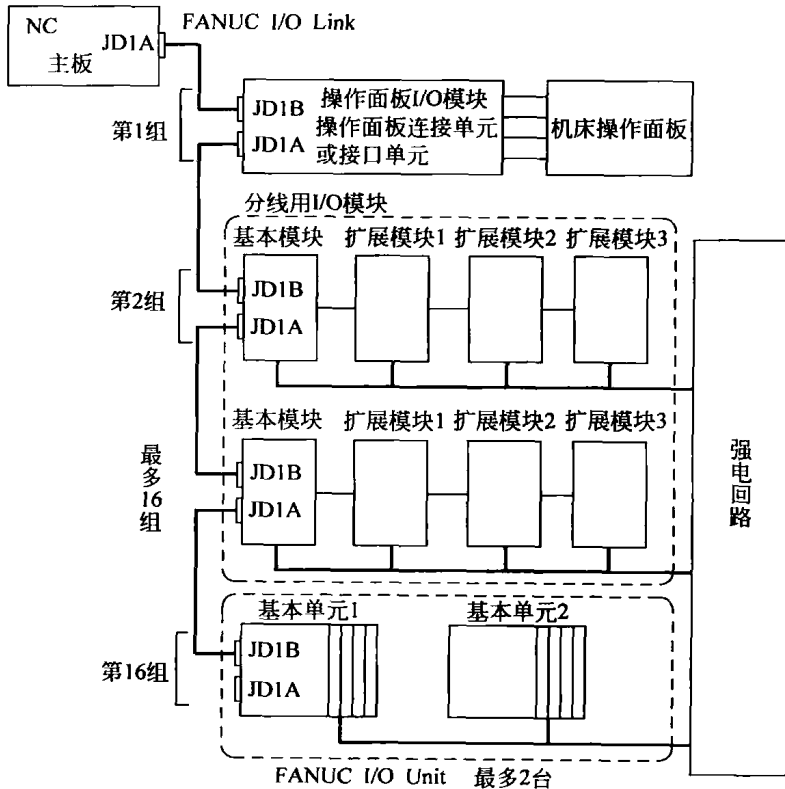


图 1-4 I/O Link 连接

I/O Link 由一台主控器和每个通道(系统)最多 16 组(靠近主控器依次自动编号 0~15)的从控器构成,各组的最大 I/O 点数分别为 256,每个通道的最大输入/输出点数分别为 1024 点。1 组占有的 I/O 点数不是实际分配到的点数,是由 I/O Link 自动选择的。如在 A 型 I/O 单元中安装 3 个 ID16C(16 点输入模块)时,输入点数为 48,但在 I/O Link 上使用 64 点区域。

【说明】 FANUC 系统不同型号的 I/O Link 连接对不同的 I/O 单元有不同的数量要求,需查阅对应的系统连接手册。“通道”是指由 NC、PMC 构成的一个完整控制单元,如主轴、控制轴配套完整,功能完备。

机床与 PMC 间的信号用 X(机床到 PMC)地址或 Y(PMC 到机床)地址表示,前面带“*”的信号为负逻辑信号,如急停信号(*ESP)、减速信号(*DECx)等。为了提高 NC 对特殊信号(如急停、安全信号等)的快速响应,FANUC 系统采用 NC 直接读取这些信号的处理方式,且输入地址(X)固定。FANUC 0i 系统固定地址信号如表 1-2 所示。