

新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材

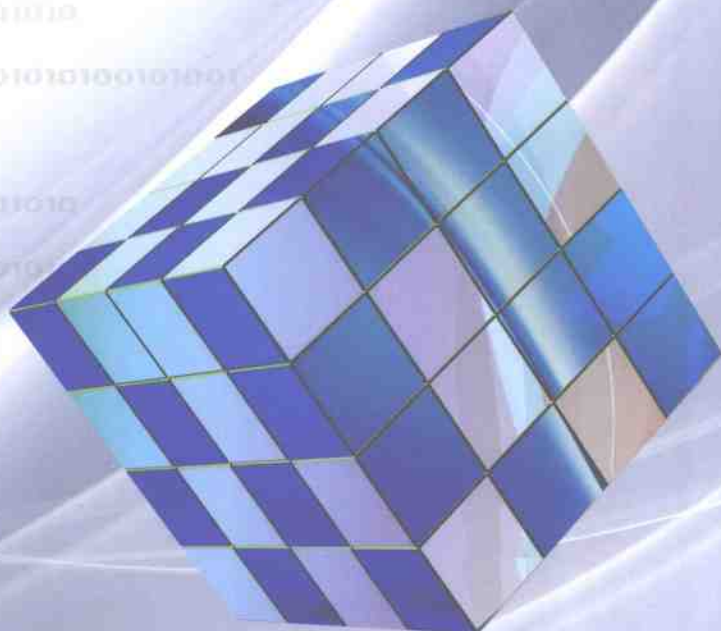


数控技术应用专业

数控系统安装与调试

——基于工作过程工学结合课程实施
整体解决方案

汤彩萍 主 编
龚仲华 主 审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·数控技术应用专业

数控系统安装与调试

——基于工作过程
工学结合课程实施整体解决方案

汤彩萍 主编

龚仲华 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

工学结合作为职业教育的重要特征重新被大家所推崇,德国基于工作过程的课程理念和学习领域的课程模式被我国职教界推广,工学结合的教材是新课程开发成果的最终表现形式。

本书基于数控机床制造过程中数控系统安装与调试的工作任务,为学习者提供了数控机床控制系统的构成、原理、参数、操作、诊断、调整等数控设备应用中直接需要的理论与实践知识,是数控机床控制技术的核心教材。本书语言通俗易懂,图文并茂,翔实的工作过程知识描述和行动化的学习任务设计可以指导学习者自主有效地学习。

本书传播技术时理论与实践紧密结合,是体现教、学、做一体化的工学结合的教材,适合高职高专及职大数控设备应用与维护专业、数控技术应用专业、机电一体化技术专业的学生和教师使用,也适合一般数控技术培训机构使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控系统安装与调试:基于工作过程工学结合课程实施整体解决方案/汤彩萍主编. —北京:电子工业出版社, 2009. 11

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·数控技术应用专业

ISBN 978 - 7 - 121 - 09769 - 0

I. 数… II. 汤… III. ①数控机床-数控系统-安装-高等学校:技术学校-教材 ②数控机床-数控系统-调试-高等学校:技术学校-教材 IV. TC659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 195912 号

策 划: 陈晓明

责任编辑: 陈晓明 特约编辑: 张晓雪

印 刷: 北京京师印务有限公司
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 17.25 字数: 442 千字

印 次: 2009 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 27.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

编者的话

数控机床是装备制造业的工作母机 (Machine tool), 是机电一体化 (Mechatronics) 的典型产品, 它综合了机床、计算机、电机及拖动、自动控制、检测等技术。随着数控机床在我国的大量使用, 在职业教育数控专业和其他机电专业中普及数控机床控制技术及系统的知识、提高学生的数控机床维护与故障诊断能力就显得尤为重要。

本教材是在当今职教界“工学结合”改革的浪潮中诞生的, 其前身《机床数控原理与系统》是典型的学科系统化教材, 理论性强, 语言复杂。在新教材的编写中, 编者根据多年的企业实践和丰富的职教教学经验, 采用德国基于工作过程的课程开发理念, 按数控机床电气安装调试生产流程对“数控系统安装与调试”这个学习领域设计和编排了七个学习情境, 内容主要涉及数控系统部分的连接与调试, 而数控机床的辅助功能 PLC 控制部分则放在另一个学习领域进行。

每个学习情境的编写架构如下:

(1) 工作/学习任务书。学习任务来源于工作任务, 但高于工作任务, 融实践训练、工作过程知识学习为一体。其中包含一张最能体现该学习情境工作过程知识、任务完成过程中使用频率很高的图, 称之为情境图。

(2) 学习情境主体。每个学习情境主体由工作过程知识、实践工作页、情境训练三部分组成。工作过程知识提供了系统的构成、原理、参数、操作、诊断、调整等数控设备应用中直接需要的理论与实践知识; 实践工作页是学生工作实践的平台, 按完整的工作过程设计; 情境训练为学生提供了能力训练与知识强化的任务, 其中的背景资料弥补了工作过程知识的不足。

本教材的编写力求体现以下特色:

(1) 全书以配套典型数控系统 FANUC Oi Mate-C 的数控加工中心 VMC 750 为产品载体, 诠释数控机床电气安装与调试工作过程知识、设计工作/学习任务。

(2) 实践工作页汲取了德国二元制职业教育框架下的企业学徒工培训计划 (如 Bosch Rexroth Apprenticeship) 的经验, 联合行业企业 (如常州创胜特尔数控机床设备有限公司) 共同开发。

(3) 内容的编排逻辑性强, 符合认知规律, 循序渐进, 教学的可实施性强; 对工作过程知识的阐述十分细致, 图文并茂, 通俗易懂, 卡通设计增加了抢眼性; 行文亲切, 一气呵成, 犹如一位智者在与读者交流, 可读性强。

(4) 着力培养学生的自主学习能力, 解放教师自身, “工作过程知识”配合“实践工作页”、“情境训练”, 实现真正的“教学做一体化”, 为教和学提供了全程的服务。

(5) 教师的科研成果被纳入教学, 向教学内容转化, 体现了技术的更新。一般各学习情境都包含了拓展内容, 如 2.5 节、3.5 节、4.6 节可作为选学内容。

(6) 英语也是数控的语言, 教材中的资料直接来源于厂家产品文献, 原汁原味, 把英语作为学生资讯的工具, 培养学生的英语识别与应用能力。

本教材的编写融入了理念、内容、方法、载体、师资、环境、评价等要素。它既不是各

种技术书籍的汇编,也不是培训手册,而是包含工作过程知识、体现完整工作过程、实现教学做一体化、呈现对学习者和指导者的关心、为“数控机床控制系统安装与调试”课程提供了工学结合课程实施的整体解决方案。利用本教材完成对应课程的学习,学生就能掌握数控机床的基本工作原理、数控系统应用过程中的实践知识和技能。它是在教师真正参与学校教育教学改革的热情中诞生,在“校厂一体化、课程进车间”的践行中成长,已历经多轮教学实践的检验。

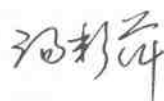
本教材参考学时 80,可根据实际情况选学部分内容或增加实训课时。

本书可作为高职高专及职大数控设备应用与维护专业、数控技术应用专业、机电一体化技术专业的核心课程教材,也适合一般数控技术培训机构使用,实践工作页也可作为企业人力资源部门考核员工的试题。

本书由国内知名专家龚仲华教授担任主审。他对教材的设计思路和技术知识给予了建设性的意见。本书在编写过程中得到了常州创胜特尔数控机床设备有限公司赖立迅总工程师、常州现代设计与制造中心程永挺高级技师、广东领航数控机床股份有限公司张国平高级工程师的大力帮助,并得到了这些单位的支持;还得到了常州机电职业技术学院许朝山、蔺晓兵、周保牛、宋黎光等老师的热情帮助,在此一并表示感谢。

由于作者学识和经验有限,书中难免有错误与不妥之处,恳请使用者批评指正!

E-mail: tangcaipingtc@163.com



2009 年 7 月

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”

编写的院校名单(排名不分先后)

桂林工学院南宁分院	江西工业工程职业技术学院
江西信息应用职业技术学院	四川工程职业技术学院
江西蓝天职业技术学院	广东轻工职业技术学院
吉林电子信息职业技术学院	广东技术师范职业技术学院
保定职业技术学院	西安理工大学
安徽职业技术学院	辽宁大学高职学院
杭州中策职业学校	天津职业大学
黄石高等专科学校	天津大学机械电子学院
天津职业技术师范学院	九江职业技术学院
福建工程学院	包头职业技术学院
湖北汽车工业学院	北京轻工职业技术学院
广州铁路职业技术学院	黄冈职业技术学院
台州职业技术学院	郑州工业高等专科学校
重庆科技学院	泉州黎明职业大学
济宁职业技术学院	浙江财经学院信息学院
四川工商职业技术学院	南京理工大学高等职业技术学院
吉林交通职业技术学院	南京金陵科技学院
连云港职业技术学院	无锡职业技术学院
天津滨海职业技术学院	西安科技学院
杭州职业技术学院	西安电子科技大学
重庆职业技术学院	河北化工医药职业技术学院
重庆工业职业技术学院	石家庄信息工程职业学院
广州大学科技贸易技术学院	三峡大学职业技术学院
湖北孝感职业技术学院	桂林电子工业学院高职学院

桂林工学院

南京化工职业技术学院

湛江海洋大学海滨学院

江西工业职业技术学院

江西渝州科技职业学院

柳州职业技术学院

邢台职业技术学院

漯河职业技术学院

太原电力高等专科学校

苏州经贸职业技术学院

金华职业技术学院

河南职业技术师范学院

新乡师范高等专科学校

绵阳职业技术学院

成都电子机械高等专科学校

河北师范大学职业技术学院

常州轻工职业技术学院

常州机电职业技术学院

无锡商业职业技术学院

河北工业职业技术学院

天津中德职业技术学院

安徽电子信息职业技术学院

合肥通用职业技术学院

安徽职业技术学院

浙江工商职业技术学院

河南机电高等专科学校

深圳信息职业技术学院

河北工业职业技术学院

湖南信息职业技术学院

江西交通职业技术学院

沈阳电力高等专科学校

温州职业技术学院

温州大学

广东肇庆学院

湖南铁道职业技术学院

宁波高等专科学校

南京工业职业技术学院

浙江水利水电专科学校

成都航空职业技术学院

吉林工业职业技术学院

上海新侨职业技术学院

天津渤海职业技术学院

驻马店师范专科学校

郑州华信职业技术学院

浙江交通职业技术学院

江门职业技术学院

广西工业职业技术学院

广州市今明科技公司

无锡工艺职业技术学院

江阴职业技术学院

南通航运职业技术学院

山东电子职业技术学院

潍坊学院

广州轻工高级技工学校

目 录

学习情境 1 数控机床控制系统装调整体规划与分析	(1)
Part I 工作过程知识	(2)
1.1 数控机床电气装调岗位分析(Employment for CNC application and maintenance)	(3)
1.2 数控的故事(History of NC)	(5)
1.3 数控机床控制需求分析(Control system of CNC machine)	(8)
1.3.1 数控机床的控制任务	(11)
1.3.2 数控机床控制系统的组成	(12)
1.3.3 数控机床的基本工作过程	(15)
1.3.4 数控机床伺服系统的控制方式	(16)
1.4 数控基础(CNC fundamentals)	(17)
1.4.1 数控机床的指标	(17)
1.4.2 数控机床坐标系	(20)
1.4.3 数控机床的人机界面	(23)
Part II 实践工作页	(24)
Part III 情境训练	(33)
学习情境 2 数控系统的连接	(36)
Part I 工作过程知识	(37)
2.1 CNC 装置的硬件接口与软件任务分析(Hardware interface and software tasks of CNC unit)	(37)
2.1.1 硬件组成	(38)
2.1.2 案例:FANUC Oi Mate-C	(39)
2.1.3 软件工作任务	(41)
2.2 轮廓插补功能分析(Contour interpolation)	(42)
2.2.1 脉冲增量法之逐点比较法	(43)
2.2.2 数据采样法	(45)
2.2.3 速度预处理	(46)
2.2.4 纳米插补	(47)
2.3 伺服电动机的工作原理与工作特性分析(Servo motor)	(47)
2.3.1 交流伺服电动机的工作原理与特性	(48)
2.3.2 案例:FANUC βi 系列伺服电动机	(51)
2.3.3 伺服电动机的选择	(55)
2.4 伺服驱动装置的工作原理分析(Servo amplifier)	(55)
2.4.1 交流伺服驱动装置的工作原理	(55)
2.4.2 案例:FANUC βi SVPM 伺服放大器	(57)
2.4.3 PWM 基础(补充知识)	(60)
2.5 系统电气安装抗干扰检查(Anti-interference)	(61)
Part II 实践工作页	(65)
Part III 情境训练	(78)

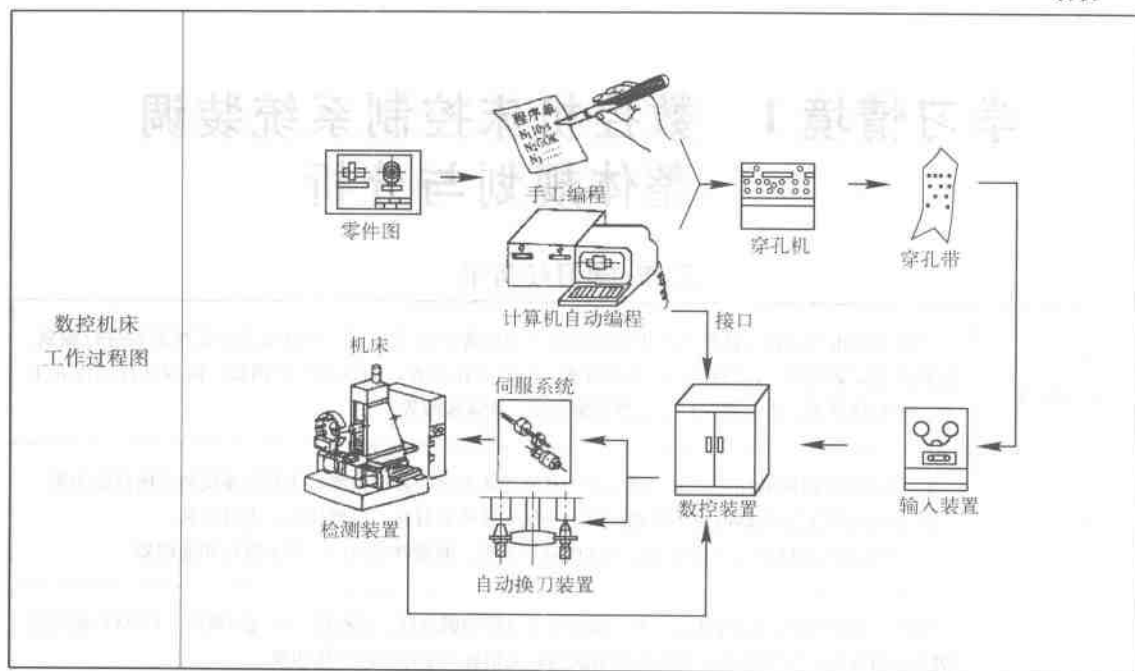
学习情境3 CNC 上电与 SV 上电	(85)
Part I 工作过程知识	(86)
3.1 CNC 上电回路分析与设计(CNC power up)	(88)
3.2 SV 上电回路分析与设计(Servo power up)	(90)
3.3 防垂直轴下落分析与设计(Brake control)	(93)
3.4 系统通电调试(Powering up)	(97)
3.5 驱动选型配置(Servo drive configuration)	(99)
Part II 实践工作页	(101)
Part III 情境训练	(110)
学习情境4 进给轴的调试与性能优化	(114)
Part I 工作过程知识	(115)
4.1 闭环伺服系统结构分析(Closed-loop servo system)	(116)
4.2 位置控制响应分析(Position control)	(119)
4.2.1 位置控制原理	(119)
4.2.2 定位响应过程	(121)
4.3 进给轴参数设定(Parameter setting)	(122)
4.3.1 伺服初始化设定(SERVO SETTING)	(123)
4.3.2 基本进给轴参数设定(PARAMETER)	(126)
4.4 控制单位匹配(Axis resolution)	(129)
4.5 轮廓误差分析(Contouring error)	(130)
4.5.1 两轴联动直线插补轮廓误差	(131)
4.5.2 两轴联动圆弧插补轮廓误差	(131)
4.5.3 拐角加工误差	(132)
4.6 伺服性能优化(Servo Guide)	(134)
Part II 实践工作页	(136)
Part III 情境训练	(145)
学习情境5 坐标轴参考点及行程的调试	(153)
Part I 工作过程知识	(154)
5.1 编码器解析(Encoder study)	(154)
5.1.1 增量式旋转编码器	(155)
5.1.2 绝对式旋转编码器	(157)
5.1.3 FANUC 编码器技术特点	(159)
5.1.4 编码器在数控机床上的应用	(161)
5.2 坐标轴参考点设置原理分析(Reference point setting principle)	(164)
5.2.1 坐标轴参考点的设置	(164)
5.2.2 参考点的调整	(170)
5.2.3 回参考点故障分析与排除	(170)
5.3 坐标轴行程保护分析(Travel limit)	(172)
5.3.1 软件限位和硬件限位的设置	(172)
5.3.2 轴超程故障处理	(174)
5.3.3 坐标轴行程保护设置要求	(174)
Part II 实践工作页	(176)
Part III 情境训练	(188)

学习情境 6 主轴控制系统的连接与调试	(193)
Part I 工作过程知识	(194)
6.1 主轴控制方式分析(Spindle control)	(194)
6.2 主轴电动机及其驱动装置的原理与工作特性分析(AC asynchronous motor drive)	(197)
6.2.1 交流异步电动机的工作原理与特性	(197)
6.2.2 案例:FANUC β i 系列主轴电动机	(199)
6.2.3 交流主轴驱动装置的工作原理	(201)
6.3 主轴分段调速特性分析(Spindle range)	(201)
6.4 串行主轴的配置与调试(Serial spindle configuration)	(203)
Part II 实践工作页	(206)
Part III 情境训练	(214)
学习情境 7 CNC 数据文件的备份与恢复	(218)
Part I 工作过程知识	(219)
7.1 CNC 数据文件分析(CNC data)	(219)
7.2 用 BOOT 功能进行整体数据的备份与恢复(CNC data backup and restoring under BOOT)	(220)
7.2.1 用 BOOT 功能进行数据的备份与恢复	(221)
7.2.2 系统电池的作用与更换方法	(224)
7.3 用 CF 卡进行个别数据输入与输出(Separate data in and out with memory card)	(225)
Part II 实践工作页	(228)
Part III 情境训练	(237)
附录 A 《ISO4336—1981(E) 机床数字控制——数控装置和数控机床电气设备之间的接口规范》	(238)
附录 B CNC 常用 G 代码和 M 代码表	(240)
附录 C FANUC 常用专业缩略语表	(243)
附录 D FANUC Series 0i Mate MODEL C 规格一览表	(247)
附录 E 本书常用符号含义表	(256)
附录 F VMC 750 加工中心系统总连图	(257)
附录 G 学习考核样例	(258)
参考文献	(266)

学习情境 1 数控机床控制系统装调 整体规划与分析

工作/学习任务书

岗位工作 过程描述	数控机床电气装调工接受电气作业任务书（根据客户要求）后，对机床电控系统装调进行规划，包括确定安装部件、连线部位和调试功能，制订工作步骤，如备齐生产图纸、流程文件、作业工具、测量仪器等，去仓库领料，安排安装进度、调试步骤等
学习目标	1. 明确数控机床的控制需求，确立数控系统总体方案，获得数控机床控制系统的总体目标印象 2. 能对电气安装与调试做出规划，确定电气安装所需材料、仪器仪表、工具量具 3. 能描述数控机床电气装调岗位工作内容与流程，明确就业方向，初步进行职业规划
学习方法	资讯：接受任务，根据引导问题，通过工作过程知识教材、数控机床电气原理图、FANUC 系统说明书等引导文、网络信息，获取控制系统的有关信息及工作目标总体印象 计划：与小组成员、老师、师傅讨论控制系统的功能、任务、装调内容及步骤 决策：与老师或师傅进行专业交流，确定电气装调的工作步骤和涉及的工具，粗略拟定检查、评价标准 实施：为完成一份数控机床控制系统装调规划报告，完成行动化学习任务，发现问题，共同分析，遇到无法解决的问题时请老师或师傅帮助解决 检查：（1）生产文件准备好了吗 （2）工具、材料准备好了吗 （3）安全防护事项准备好了吗 评价：与同学、老师、师傅进行专业交流，有改进的建议吗
行动化 学习任务	第一部分：进行数控机床的功能分析 任务 1：检查机械结构，描述 VMC 750 立式加工中心的机械结构部件，指出与普通机床的区别 任务 2：分析 VMC 750 立式加工中心的主要技术规格，以及适合加工的零件类型和尺寸 任务 3：分析典型的进给传动系统结构 任务 4：用右手定则确定立式加工中心的坐标轴方向，并操作回参考点，理解参考点、机床零点、工件零点的关系 第二部分：进行电气控制系统安装与调试的规划与分析 任务 5：列出 VMC 750 所需控制的运动和辅助功能 任务 6：初步解读数控机床电气原理图，根据国际标准《ISO4336—1981（E）机床数字控制——数控装置和数控机床电气设备之间的接口规范》识别图纸的各部分 任务 7：提出控制系统安装与调试的工具、材料需求表 任务 8：总结安全注意事项 任务 9：提出数控机床控制系统安装与调试工作内容及工作步骤
学习成果提供	数控机床控制系统装调规划报告



Part I 工作过程知识

数控机床（如图 1-1 所示）是采用数字化控制技术的自动化机床，其拥有量和技术水平的高低是一个国家现代制造业实力的重要标志。数字控制系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令的程序，从而使机床动作并加工零件。数控机床的操作和监控全部在数控系统中完成，它是数控机床的大脑。本学习情境将从数控机床电气装调岗位工作分析入手，通过数控机床诞生的故事，引出数控机床的控制需求及控制方式，进而让我们明确工作内容和学习目标。

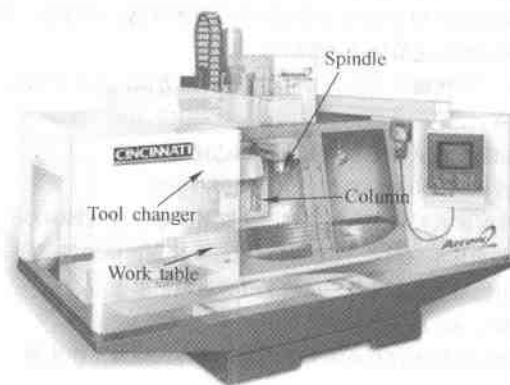


图 1-1 典型的数控机床——加工中心

1.1 数控机床电气装调岗位分析 (Employment for CNC application and maintenance)

数控机床装调维修工是我国劳动和社会保障部于 2005 年确定的新职业, 该职业典型的工作任务有: 数控机床机械部件装配与调整、数控机床电气控制系统安装与调试 (简称电气装调)、数控机床机械维修、数控机床电气维修、数控机床用户服务等。数控系统的安装与调试是电气装调的重要部分, 下面说明电气装调这一典型工作任务的情形。

1. 工作任务说明

为机床的精密和自动化运行, 必须安装控制系统并进行调试运行。用基本工具 (如螺丝刀、钳子、万用表、数控系统常用软件等), 按照与制造合同规定的机床功能要求一致的电气图纸进行控制系统组件的机械安装与电气连接并检查, 如电气柜的配电板、机床操纵台、电气柜到机床各部分的连接等; 按照调试规程, 参阅数控系统手册、国家标准等各种资料, 完成合同规定的各功能如进给轴运动、主轴运动、自动换刀、冷却润滑等的调试。

车间生产人员多以班组形式组织生产, 每个员工独立完成各自的生产任务, 组内协作, 最终完成产品的电气安装与调试。

从事该工作时, 要严格按企业检查卡规定的质量要求进行, 如装配规范美观、接口正确、电控系统实际参数的确定和评价等, 当实际值与规定值之间出现偏差时, 必须对调整措施进行计划、准备并最后实施, 以满足客户要求。对已完成的工作进行记录存档。遵守事故防护规章, 特别具有电气安全防护知识。具备企业安全意识、责任意识、规范意识、成本意识。

需要有数控原理、系统组件特性、功能方面的知识。基本工作技术有布线、接线、测量、钎焊、数控系统操作、能使用英语的相关资料等。

与客户进行工作业务方面和技术方面的沟通, 为客户提供电控系统技术咨询与服务。

2. 涉及的业务领域

数控机床制造、售前售后服务、维护维修。

3. 就业企业特质

数控机床厂的电工可以承担电气装调任务, 机械厂的设备改造部人员也会从事该工作, 数控系统生产厂家也需要熟悉数控机床装调的工作人员。

4. 其他说明

与这一典型工作任务相关的工作任务有机械部件装配与调整、精度检验、性能优化、用户验收等。

图 1-2 所示为常用电工工具; 图 1-3 所示为某机床厂的电气调试流程记载表。



图 1-2 常用电工工具

机床名称: _____ 型号规格: _____

用户单位: _____ 出厂编号: _____

序号	流程内容	进度状况	操作者	完成日期	状况说明
1	检查电气元器件与图纸的符合性				
1.1	数控系统 (CNC)				
1.2	伺服系统 (SV)				
1.3	交流伺服电机				
1.4	各强电元件				
1.5	连线正确性 (地线与零线间电阻、直流电源极性、二极管极性)				
2	通强电检查 (含排除故障)				
2.1	断开 CNC、SV、冷却等供电断路器及熔丝				
2.2	通电检查 AC380V、AC220V、DC24V 电压极性正常否				
2.2.1	CNC 通电正常否				
2.2.2	SV 通电正常否				
2.2.3	I/O 电源正常否				
2.2.4	主电机风机转向正确否				
2.2.5	冷却风机转向正确否				
3	CNC 通电, 检查 CNC 电源供给的压降				
4	CNC 输入数据、程序、报警文本				
5	SV 伺服通电				
5.1	SV 数据设定 (电流极限、放大倍数等)				
5.2	主轴数据输入				
6	润滑正常否 (各移动面有足够润滑, 方可进行下列调试)				
7	坐标轴调整				
7.1	各轴运动 (距离、进给速度等) 正常否				
7.2	各轴挡铁 (超程挡铁应生效, 方向正确)				
7.3	回参考点, 调挡铁位置, 挡铁应使编码器零位脉冲在 0.4 ~ 0.6 螺距间发生作用				
7.4	各轴快速 100% G00 调整, 应平稳				
7.5	主轴转速调整, 指令转速与实际转速应一致				
7.6	刀库调整				
8	辅助动作调整				
8.1	润滑时间、压力及报警的调整				
8.2	冷却动作的调整				
8.3	排屑系统的动作调整				
9	各报警功能的试验				
10	控制系统指标的调整 (精调)				
10.1	各轴 (包括) 零漂调整				
10.2	增益、积分时间调整				
10.3	跟随误差的调整				
11	空运行试验程序应较完整地包含机床应检功能				
12	各轴反向间隙、螺距误差、激光测量补偿				
13	试切削 (检查主轴扭矩及各轴抗力)				
14	调试信息反馈				
15	整改 (贴电气铭牌, 去掉所有非规范接线, 走线槽加防护盖板, 清扫等)				
16	备份各技术参数, 数据形成软盘及打印文件, 归档				
17	图纸整改				

电气负责人 (签字)

部门负责人 (签字)

图 1-3 电气调试流程记载表

1.2 数控的故事 (History of NC)

说到数控的缘起,不得不提到两个人: John Parsons 和 Frank Stulen, 其中 John Parsons (见图 1-4) 被公认为数控之父 (the father of NC)。当初是 John Parsons 提出了数控的思想, 而 Frank Stulen 作为技术专家, 完成了 John Parsons 的构想。

John Parsons 生于 1914 年, 十五岁时在底特律其父亲的工厂里做学徒。在那个年代, 没有什么快捷、精确的方法来制造产品。如果要做一个小小的下料模, 只有在坯料中间打个孔, 用画线器画出目标形状, 然后在目标形状内再画一条线, 作为钻头中心定位, 接下来钻出一个一个紧挨着的孔, 这样就可以敲出中间的坯料, 而留下了一串尖角 (cusps), 如图 1-5 所示。对于这些尖角, 当时 John Parsons 一点都没有觉得有什么特别的印象与不寻常之处。

十三年过去了, 二十八岁的年轻学徒发现自己在制造业非常有特长, 居然在密歇根北部创建了 Parsons 公司的制造工厂。当时正值二战期间, 工厂主要制造战争用的炸药筒, 工厂运营很成功。Parsons 立即开始考虑公司的长期规划。1943 年 1 月, John Parsons 读到一篇关于 Bill Stout 的文章, Stout 是福特三引擎飞机的设计者, 福特汽车公司当时正制造商用飞机。John Parsons 和 Bill Stout 成了好朋友, Bill Stout 鼓励 John Parsons 进军直升机行业, 于是, 不到两个月, Parsons 就接到了制造直升机空气螺旋桨叶片 (见图 1-6) 的订单。他为此雇佣了 Wright - Patterson 空军基地推进器实验室负责旋转机翼的 Frank Stulen, Frank Stulen 于 1946 年 4 月开始为 Parsons 工作。当时, 计算机还只是一个梦想, 世界上首台真正的数字电子计算机 ENIAC 还在宾希法尼亚大学处于完善之中。在那个时代, 飞机工程师们只有两种计算工具可供选择: 50 厘米的计算尺或者是台式计算器。



图 1-4

John Parsons (1914 ~ 2007)

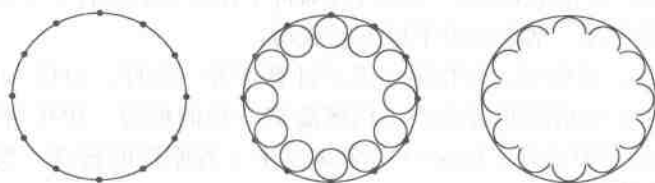


图 1-5 早期的轮廓制造法

制造螺旋桨叶片 (rotor blade) 的时候, 模板是大问题。传统的方法是在每一块叶片模板上、下表面上的圆弧之间各确定 17 个坐标点, 用曲线板连接这些坐标点, 然后手工将轮廓切割出来, 并锉成平滑的曲线过渡。坐标点的标准允差是 $\pm 0.178\text{mm}$, 点与点之间的曲线误差就没有办法检查了。这让 John Parsons 非常不满意, 因为他想制造出非常精密的螺旋桨叶片。因此他问 Stulen 是否能够将 17 个点外推至 200 个点, 这样点与点之间的距离很小, 轮廓上留下的尖点 (cusps) 之间的距离就只有 0.038mm , 参见图 1-7 所示。

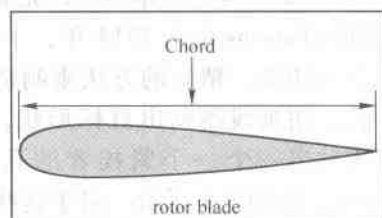


图 1-6 直升机螺旋桨叶片

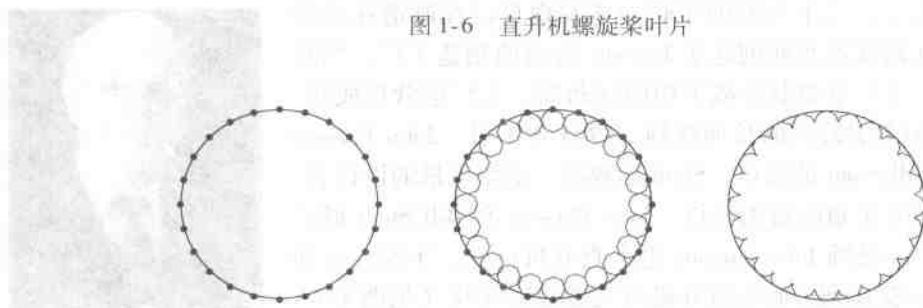


图 1-7 外推增加轮廓上的点示意图

在此之前，Frank Stulen 曾经考虑采用当时的计算机（accounting machine）解决工程问题。因此，这一次 Stulen 就采用了这个技术，他编写了早期的冲卡机程序，计算出所需的数据（200 个坐标点的位置值）。Parsons 让机械师在 200 个坐标点上钻孔，由于孔靠得非常近，交叠，就不需要再花时间锉削，只需机械师将工作台移动到各个坐标点上，钻孔，再移动到下一个点，如此重复，结果取得了惊人的成功！

Stulen 根据 Parsons 的要求，轻松地完成了计算任务。这样，1947 年的时候，Parsons 公司就以前所未有的速度和精度制造直升飞机螺旋桨叶片的模板。1948 年 4 月，在底特律工厂锉尖角（cusps）的世界之外，Parsons 的未来发生了戏剧性的转变，他接到了来自 Wright-Patterson 空军基地的图纸。

图纸上是整体加强型机翼。当时，Lockheed 公司设计了由喷气式引擎驱动的中程轰炸机，其速度比螺旋桨推进式飞机快得多，因此必须加强机翼以承受空气压力，但当强度足够时，其重量又使飞机难以起飞，因此必须提出新的结构——整体加强断面，每个断面都是锥形的。这是难以想象的制造难题，当 John Parsons 看到图纸那一刻，他坚信普通机床根本无法完成这种制造任务。

决心已定，Parsons 设计了锥形机翼的模型，Stulen 通过计算设计了刀具设置的图纸。关键是：要做出锥形的机翼，大约需要 800 次机床刀具调整。设想由一个工人做那么多次调整，一天工作 8 小时，不能出一次错，否则价值几千美元的零件就报废了。看来靠人工是无法完成这样的零件的。就在这个时候，John Parsons 突然想到了 cusps，他的思绪回到了 20

年前底特律的车间里，就在一刹那，他想到能否对被锉尖角作苛刻的允差要求？这也意味着数控诞生了。螺旋桨叶片模板是在两轴基础上完成的，锥形机翼可以在三轴基础上制造，用计算数据控制机床运动加工精密的零件。Parsons 公司递交了一份加工思想建议书。1948 年 12 月 3 日，来自空军基地的 11 名专家聚集在 Traverse 城，目睹 Parsons “三天的盛大表演”。1949 年 6 月，Parsons 公司被授予合同。

到此为止，尽管提出了数控（NC）的思想，并做出了精度较高的模板，但生产效率太低，因为加工时，需要两个人同时在左右和前后方向操作丝杠的移动，这种效率根本无法满足当时美国空军的交货要求。因此 Parsons 下一步的设想就是要制造能够根据数字指令自动驱动电机的机床，即需要伺服机构以获得精确位置，这就是数控机床。

麻省理工学院（MIT）有伺服实验室，John Parsons 将合同转包给 MIT，要求他们设计机床的伺服系统。1952 年，世界上首台数控机床在 MIT 展示。

NC 之路并不平坦，其中充满困难，又花了近 10 年工夫，NC 才得以在机床展览会上亮相，使更多的人了解 NC，接受了用数字化信息实现自动精确控制的技术。

六十年过去了，今天，NC 被认为是制造业不可缺少的一部分，完全改变了制造业的面貌，向第二次工业革命迈出了第一步。

这里给我们的思考与启迪是什么呢？

（1）社会发展的需要是动力。机械产品的形状和结构不断改进、对加工质量要求变高，而且单件、小批量产品增多（70%~80%）。为了提高质量、降低成本，要求机床具有较好的通用性和灵活性，以实现加工过程的自动化。

（2）创新人才是新技术诞生的关键。新技术的诞生需要具有创新思维和能力的人才，还需要锲而不舍，勇攀高峰的勇气

（3）我们要做 Parsons 和 Stulen！Parsons 是工人，在实践中思想不断创新，成为计算机辅助制造的先驱，他勇于探索的精神是成功的关键；而 Stulen 是工程师，利用大学教育使思想变为现实。作为我们，要成为新时代的技术工人和工程师！

从技术层面上我们也不难得出：

（1）数控（Numerical Control）的基本概念：采用数字化信息描述轮廓从而对机械运动及加工过程进行控制的一种方法。今天全部采用计算机完成轮廓的计算和控制，称为 CNC（Computerized Numerical Control）。

（2）伺服（Servo drive）的基本概念：执行数字指令，将数字指令信号转换为机床移动部件的运动。

（3）插补（Interpolation）的基本概念：在已知的特征点之间插入一些中间点的过程，是数据点的密化过程。

今天，世界著名的 CNC 制造商有日本的 FANUC 公司、德国的 SIEMENS 公司、西班牙的 FAGOR 公司等，国产数控系统有华中数控、北京航天数控等。

