

1999 年上海大学博士学位论文

1

机电一体化系统集成的 研究与研制

作者: 徐侃烈

专业: 机械设计及理论

导师: 方明伦 裴仁清



上海大学出版社

1999 年上海大学博士学位论文

机电一体化系统集成 的研究与研制

作 者: 徐侃烈
专 业: 机械设计及理论
导 师: 方明伦
裴仁清

上海大学出版社

· 上 海 ·

Shanghai University Doctoral Dissertation (1999)

R&D on Mechatronics System Integration

Candidate: Xu Kanlie

Major: Mechanic Design and Theory

Supervisors: Prof. Fang Minglun

Prof. Pei Renqing

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体成员审查，确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单：

主任：（工作单位职称）

赵锡芳（上海交通大学，教授）

委员：

杨 杰 **齐从谦**

赵松年 **张国贤**

导师：

方明伦 **裴仁清**

评阅人名单:

段正澄	华中理工大学	430074	教	授
黄靖远	清华大学	100084	教	授
赵锡芳	上海交通大学	200030	教	授

评议人名单:

费仁元	北京工业大学	100022	教	授
王先逵	清华大学	100084	教	授
莊莅之	山东工业大学	250061	教	授
秦鹏飞	中国纺织大学	250061	教	授
陈炳森	同济大学	200092	教	授
吴祖育	上海交通大学	200030	教	授

答辩委员会对论文的评语

徐侃烈的博士学位论文结合机电一体化产品的开发工程实践，对机电一体化系统的集成理论进行了较系统的深入研究，提出了一系列创新性的观点，具有较高学术水平，所取得的成果有重要理论意义和工程应用价值。

论文取得的创新成果有：提出了功能集成—物理映射—信息集成的集成方法；对机电一体化系统集成的理论体系的建立作了有益的尝试；提出了基于信息流单元模型和机械电子单元的信息流图模型作为系统描述的工具；针对开放式体系结构提出了柔性化设计构思；提出了用键盘逻辑控制表、传感器响应表及过程启动表来描述的简化控制流模型，方便了软、硬件设计；提出了新的光电跟踪算法，解决了跟踪速度与精度的矛盾；采用自平衡高度调节原理改善了割炬高度调节的灵敏度和稳定性。所提出的理论和方法在“863”高新技术产品“机器人型智能多用途切割机”开发和产品化过程中得到验证和应用，并发表了相关论文。

论文综述全面，层次分明，答辩思路清晰，回答问题正确。

答辩委员会一致认为：作者基础理论扎实，知识面宽，具备了独立科研工作能力，综合素质好，论文达到了国家规定的工学博士学位论文水平，经投票，全票同意通过答辩，并建议授予工学博士学位。

答辩委员会表决结果

经答辩委员会表决，5 票全票同意通过该生的博士论文答辩，建议授予博士学位。

答辩委员会主席：**赵锡芳**

1999 年 7 月 30 日

摘 要

针对当前机电一体化产品或系统的开发大都基于经验和技巧的状况,深入研究机电一体化理论,用统一的理论体系作指导,对提高机电一体化设计水平有重要意义.文中尝试着从集成的角度出发,以现代设计方法学为指导,将机电一体化设计中的局部集成设计方法加以总结、概括,形成了统一的以系统整体优化为目标的机电一体化集成方法.同时还相应设计了信息流图模型来表达复杂的机电一体化集成.

本文主要以研究和应用机电一体化集成方法为主,结合光电数控火焰切割机的研制,实现了数控系统、光电跟踪系统、高度调节系统的开发和集成.在局部环节的集成中,着重研究了控制系统的集成方法——开放体系结构和结构化设计方法,同时在实践的基础上,进一步提出了柔性化接口设计和控制流表格描述来补充和完善它们.

本文为了在线条跟踪时达到高速高精度的跟踪性能,从系统整体优化的角度出发,运用机电一体化集成策略,成功地实现了机、光、电的深度集成,有效地提高了跟踪效果.

因为钢板表面不平整和切割过程中钢渣的堆积,所以加工过程中割炬与钢板之间的距离是不恒定的,变化的距离直接影响了钢板切口的光洁度和精度.本文提出了基于电容传感器的自平衡式调节原理,实现了割炬与钢板之间距离的恒定,从而有效地提高了切割的质量.

通过以上的研究工作,初步形成了一个较为完整的基于集

成观点的机电一体化开发研制策略，同时也对其他机电一体化系统的开发和研制提供了一个可供借鉴的参考模型。

关键词 机电一体化，机电一体化集成，开放体系结构，结构化设计，
图纸线条跟踪 光电数控火焰切割机

Abstract

Today the development of mechatronics products and systems is mostly based on experience and skill, therefore it is important to study the mechatronics theory deeply and to direct the design by means of unite mechatronics theory for enhancing the mechatronics design. From the idea of integration this paper tries to research and set up an elementary theory of mechatronics integration. Then guided by the modern design methodology, the article concludes the partial integration of system and forms general method of mechatronics integration which aims to realize the system optimization. At the same time the author also designs a diagram of information flow to describe the more complicated mechatronics integration.

The article investigates mainly mechatronics integration method, as the development of photoelectric tracing gas cutting machine, realizes the development and integration of numerical control(NC) system, photoelectric system, height auto-adjustment system and also discusses deeply the open system architecture(OSA) and structure design(SD). Based on a lot of practice, the article brings forward flexible interface design to perfect the OSA and control flow tables to describe the system control flow.

From the view of the integral optimization and applying mechatronics integration method, the paper realizes the truly

integration of machine , light and electricity to enhance the tracing capability with high speed and high precision.

Because the steel surface is uneven and there is steel slag, the distance of cutting machine torch from the steel surface is inconstant. The product's fineness and precision will be affected by the distant. The paper brings forward an auto-balance theory based on capacitance sensor and gets a better effect.

Through the work, this article has formed a primary mechatronics development method and offers a reference model for other mechatronics system research and development.

Key Words mechatronics, mechatronics integration, open system architecture (OSA), 2D-line segment tracing system, photoelectric tracing gas cutting machine

目 录

第一章 机电一体化集成理论概述	1
1.1 机电一体化集成的提出	1
1.2 机电一体化集成的理论基础和技术基础	12
1.3 机电一体化集成的原理和方法	16
1.4 本文的立题和主要工作	37
第二章 开放体系结构设计	43
2.1 开放体系结构概念的引出	43
2.2 机电一体化控制系统的开放体系结构设计	49
2.3 数控火焰切割机控制系统的开放化设计	75
2.4 本章小结	91
第三章 控制系统软件的结构化设计方法	93
3.1 概述	93
3.2 面向数据流的结构化方法	94
3.3 数控火焰切割机的软件系统的结构化分析	101
3.4 本章小结	118
第四章 二维图纸线条跟踪系统集成研究	120
4.1 二维线条跟踪概述	120
4.2 二维图纸线条跟踪系统的功能集成	136
4.3 跟踪系统的信息集成	144
4.4 本章小结	159

第五章 二维图纸线条跟踪系统细化设计	160
5.1 成像系统设计	160
5.2 跟踪算法设计	172
5.3 伺服系统细化设计	185
5.4 跟踪实验结果	189
5.5 本章小结	194
第六章 割炬高度自动调节系统集成	195
6.1 集成概述	195
6.2 集成细化设计	196
6.3 本章小结	205
第七章 全文总结	206
主要参考文献	210
致 谢	219

第一章 机电一体化集成理论概述

1.1 机电一体化集成的提出

1.1.1 机电一体化的发展过程是集成的过程

20 世纪 60 年代,以微电子技术为主导,自动化技术、信息技术、生物技术、新材料技术、新能源技术、激光与红外技术等高新技术逐步形成,引发了第四次技术革命。在这场新技术革命的冲击下,作为传统产业之一的机械工业的产品结构和生产系统结构发生了质的飞跃。通过微电子技术、计算机技术等信息技术与机械装置和动力设备有机结合,一方面极大地提高了机电产品性能和竞争性;另一方面又极大地提高了生产系统的生产效率和企业的竞争能力,促使机械工业开始了一场大规模的技术革命,产生了机电一体化技术。

纵观机电一体化发展过程可以发现,它是一个以机电集成为主,同时综合集成其他各类学科技术的过程,尤其是以计算机技术为代表的信息技术极大地促进了机电一体化发展。可以说,机电一体化发展过程是集成的过程。

例如,早期的机电一体化是在机械电子基础上集成进微电子技术。1981 年日本机械振兴协会经济研究所在《日本机械工业的存在条件(α)——机械工业和电子化》的报告书中所说的“机电一体化乃是在机械的主功能、动力功能、信息处理功能

和控制功能上引进了电子技术,并将机械装置与电子设备以及软件等有机结合起来构成系统的总称”。

随着以计算机技术为主的信息技术的迅猛发展,机电一体化也在不断地发展。如 1984 年美国机械工程师协会(ASME)的一个专家组在给美国国家科学基金会的报告中提出现代机械系统的概念,即“由计算机信息网络协调与控制的,用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统。”因此,现代机械系统就是在早期机电一体化系统的基础上实现了网络技术、软件技术、管理技术等高新技术的集成。

如今,机电一体化的发展热点诸如先进制造技术、智能结构、智能机器人等无一不是在早期机电一体化系统基础上凭借着高性能的计算机处理技术,通过创造性的集成开拓了机电一体化的新领域。

例如,文献[2~4]中提出先进制造技术的发展趋势为 CIMS、敏捷制造、并行工程、精良生产、清洁制造、全能制造、快速成形制造、纳米技术等领域。分析这些发展趋势可以发现,它们的实质是实现了将计算机技术、管理信息、网络通讯、制造信息等技术在机电一体化系统内更大范围的集成。

再如,文献[5~7]中提及的智能结构是指该结构具有检测、通信、动作等功能。它的实质是将传感单元、驱动单元、执行单元等机电基本单元集成进基体材料内,通过材料工程、应用力学、微观力学、自动控制等技术的综合应用,实现了感知外界或内部状态与特性变化,并能根据变化的具体特征对引起变化的原因进行辨识,从而采取相应的控制策略作出合理的响应。

综上所述,机电一体化是一门以机械、电子、计算机为主的多学科交叉、渗透的边缘学科;机电一体化的发展过程是集

成的过程；集成作为机电一体化发展的内在动力，是一个创造性的过程。正是由于它的创造性，将机、电、信息、控制等各种相关技术融会贯通，扬长避短，才实现了系统整体优化的效果，产生了多姿多彩的机电一体化产品和系统，促使了机电一体化领域的不断拓展。因此，机电一体化集成理论应该是机电一体化学科研究的重点。

1.1.2 集成过程的特点

机电一体化的集成过程是一种有机的，实现机、电、微电子及其他技术综合的过程。它是一种创新过程而不是简单的组合，必须充分发挥机、光、电、微电子等技术的各自优点，互相补偿，互相渗透，因此它应该是有规可循的。研究机电一体化的集成过程，总结出以下四个基本特点。

1. 以功能为线索

通俗地讲，机电一体化产品或系统是在传统机械的基础上实现了计算机控制的自动化机械。一个完整的机电一体化系统由五个本质上不同的基本功能要素组成，即动力、机构、执行器、计算机和传感器。

从功能结构的角度可以对集成作以下意义的理解：

① 任何集成后的机电一体化产品或系统都可以分解为功能要素之间的合理组合；

② 被集成的功能要求都可以分解为具体功能要素的组合，从而实现有目的的集成。

因此，明确的功能结构使机电一体化的集成设计过程可以做到有的放矢，提高了开发设计的成功率，方便了功能模块到物理载体映射的实现。

2. 以机电为基础