

装备自动化 工程设计与实践

Engineering Design and
Practice for Machinery Automation

肖维荣 齐蓉 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

装备自动化 工程设计与实践

肖维荣 齐 蓉 等编著



机械工业出版社

机械装备自动化方案的工程化设计与实现涉及的知识面很宽,本书以提高工业自动化工程师的工程化设计能力及专业技能为目标,针对现代机械制造业的实际需求,以机电软一体化为核心,结合工程实际案例,将进行这一过程的所需知识贯穿起来,阐述机械装备自动化方案设计的方法与步骤。本书内容包含系统技术构成、设计准则、关键技术、项目管理、模块化设计、系统集成等,从工程实用化设计的角度出发,完整地对系统方案设计、硬件配置、自动化方案的开发工具与现代设计方法、控制软件工程化设计、仿真与控制系统无缝集成、控制网络等内容进行了系统阐述,对多种设计方案进行比较分析,使读者能够在一个高的技术水平起点掌握系统设计、工程实现、项目管理的方法。

本书可作为工科院校自动化、电气工程、机械制造专业的本科生和研究生的参考教材,也可作为机电一体化系统制造和销售工程师的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

装备自动化工程设计与实施 / 肖维荣等编著. —北京:机械工业出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-111-50867-0

I. ①装… II. ①肖… III. ①机械制造—自动化系统—系统设计
IV. ①TH164

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第159128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:顾 谦 责任编辑:闫洪庆

版式设计:霍永明 责任校对:佟瑞鑫

封面设计:马精明 责任印制:李 洋

北京华正印刷有限公司印刷

2015年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12.5印张·338千字

0001—3500册

标准书号:ISBN 978-7-111-50867-0

定价:49.00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

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工微博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

Preface

Engineer's visions become reality through automation technology

Innovations and new technologies are announced every day. The total scope of knowledge is expanding at a remarkable speed and engineers, now more than ever, have to be prepared for lifelong learning. There are many fields and many industries where we have seen significant changes over the last several years as a result of various research projects at universities and industry laboratories. Most of the researchers' work addresses the goal of improving the world for humans in terms of increased quality, productivity, sustainability, safety and security-or in other words improving living standards and economic efficiency. These research results then find their way into everyday products. New packaging materials reduce weight, allow products to be stored longer and improve the all-round experience for the consumer. New synthetic materials used in cars, the textile industry and machines save a significant amount of raw materials. New strategies used to produce, distribute and consume energy changes power plant requirements. These are just a few examples of how consumers benefit from intensive research.

When taking a closer look at the industrial world, we see that all systems have one common foundation: automation technology.

Every single machine, every factory and every plant requires the flexibility and the power provided by automation. PLC systems take care of open-loop and closed-loop control. In state-of-the-art PLC systems, data management for batch control, statistical data and quality data are now standard. Various types of motors increase flexibility, efficiency and manufacturing speed. User-friendly HMI solutions enable the operator to control machines or plants according to product specifications and to optimize productivity. Today, most machines are designed with integrated safety technology. Based on standard real-time network technology, such as Powerlink, the vision of mechatronic systems becomes reality. All the examples mentioned are fundamental components of today's automation technology, but the key component is automation software.

Automation engineers must be highly knowledgeable in many different fields. In the past, process and machine development was organized using a step-by-step procedure. Today, parallel organization of development phases is becoming more and more important. In an increasing number of projects, coordination between the various fields of expertise is being managed by the automation engineer. This is an efficient way to optimize mechanical design and meet process technology requirements. The challenge for automation engineers is the wide range of skills they need to master. They must of course be professionals in the field of software, but they also require extensive knowledge in many other technical fields, such as

mathematics, physics, mechanics and electrical engineering. Without these skills, it would not be possible to develop robotic systems or high-performance closed-loop control for the process industry.

Teaching this wide range of skills is a complex challenge for universities. Professors have to increase their knowledge every year. Students have to be encouraged and motivated to study many different topics in detail. All-in-all, students and professors require a great deal of commitment to ensure engineers have the knowledge needed to design and develop innovative industry solutions in the future.

I would like to thank Prof. Qi for the idea and her contribution to this outstanding book.

Knowledge is the seed of visions.

Visions are the foundation of innovations.

Innovations are developed by engineers.

Franz Enhuber
Automation Academy Director
B&R

自动化技术使工程师的愿景成为现实

当今世界，创新是永恒的主旋律。每时每刻，新兴技术都在我们身边不断诞生着。面对如此迫切的形势，每一位工程师都应当做好一生不断学习新知识的准备。过去的几年中，研究人员在大学实验室和工业实验室里得到了众多科研成果，为许多行业和领域带来了巨大的变化。

科研工作者始终以改善人类生活质量、效率、安全以及可持续性为工作目标，换句话说，改善人类生活标准和经济效能是科研工作者的共同目标和任务。科研成果体现在人类生活的方方面面：新型包装材料减轻了重量，使储藏更加方便、长久，改善了用户的全方位体验；新型合成材料能节省大量的原材料，广泛用于汽车、机器人以及纺织工业中；生产、分配以及使用能源的新策略，从结构上改变了电厂的需求。消费者从中获益良多，而这些只是众多科研成果的其中几例而已。

如果我们更近距离地观察工业世界，那么我们会看到各项新技术的诞生有着一个共同的基础：自动化技术。

每一台机器、每一个车间、每一座工厂都需要自动化技术赋予的灵活性和能量。工业生产中，每个开环、闭环控制任务都由 PLC 系统加以实现。当代工业生产中，PLC 控制系统功能众多。尤其是在批次控制、统计数据和质量数据的拘束管理等方面，PLC 控制系统已经有了标准化的解决方案。PLC 系统支持使用各种型号的电动机，这大大提高了生产的效率以及灵活性。友善的人机界面使操作员可以按照产品需求来控制机器或工厂，使得生产效率达到最优化。如今，大多数机器都集成了安全技术，不仅如此，基于标准实时的网络技术，例如 Powerlink，也使得机电一体化的愿景变成了现实。以上所提到所有技术都是当今自动化技术的基本要素，然而最关键的要素还是自动化软件。

自动化行业工程师必须精通多个不同领域。在过去，生产流程和机器研发是用顺序步骤来实现的。而如今，并行研发阶段的项目组织变得越来越重要。随着项目数量的不断增加，不同专业领域的协调管理往往是由自动化工程师来完成的，而这也正是优化机械设计，使其满足工艺技术要求的一条有效途径。因此，自动化工程师面临着严峻挑战：必须广泛掌握多学科的技能。当然，首先他们必须是软件领域的专家；其次，也需要掌握许多其他技术领域的知识，例如数学、物理、力学以及电气工程。没有这些技能，他们就无法研发机器人系统和流程工业的高性能闭环控制系统。

对于大学教育而言，教育学生掌握如此广泛的技能无疑是一个巨大的挑战。教师必须每年都要学习新的知识，并激励鼓舞学生深入学习各种不同的课题。总而言之，学生和教师都应做出巨大的努力，这样才能保证将来的工程师们具有足够的知识去设计和开发富有

创新的工业方案。

在这里，我要对齐蓉教授为这本好书给出的创意和贡献表示深深的感谢！

知识是愿景的种子！

愿景是创新的基础！

创新来自于工程师的开发！

弗朗茨·恩胡博
贝加莱自动化学院院长



Franz Enhuber（弗朗茨·恩胡博），历任贝加莱公司技术应用部经理，
产品研发部经理，战略项目主管，自动化学院院长

前言

自动化是大型装备的灵魂，工程化设计是实现的根本。我国自动化理论研究硕果累累，在工业自动化及制造领域对许多大型设备都有相当强的制造能力，但更需要的是在高端制造设备领域工程化设计能力的提高，使产品更具高可靠性、高稳定性、高环境适应性，向着数字化、精密化、智能化、集成化、网络化、柔性化等方面发展，使我国从制造大国迈向制造强国及设计强国。

现代制造业的发展促进了多学科的相互融合，各种工程技术飞速进步，自动化设备越来越复杂，设计者必须在不断变化的环境中应对越来越复杂的工程技术问题，如何创建高效而且富有竞争力的机械自动化设计方案，工程师们面临的挑战是要通过不断地再学习来扩充自己在各个领域的知识。在校的学生们也需要学习控制系统工程化设计的理论与实用方法，了解并掌握这一领域先进的设计理念、方法、技术、工具、手段，提高机电软一体化系统工程化设计素质。

本书力求将以欧洲为代表的当今最先进的制造设计技术传递给读者，使读者能够全面、系统地掌握现代装备自动化工程设计的理论与方法，了解最先进的技术水平现状并掌握它，建立完整的知识体系，拥有现代化的设计理念，能够担当起系统开发、设计和项目管理的任务。

作为高校与企业合作的结晶，本书由贝加莱公司的肖维荣博士和西北工业大学的齐蓉教授主持并撰写完成。参与本书写作的还有贝加莱公司的工程师团队，成员是宋华振、樊惠芳、陈志平、穆姗姗、周靖、刘柏严、邓后刚。他们多年工作在科研、教学、工业设计与产品销售的一线，了解工业界的实际需求和科技发展水平，为本书付出了智慧与辛勤的劳动。我们愿见更多的校企联合成果面世，为我国工业自动化的产业升级和技术进步贡献力量。

本书的写作参考了大量的书籍、论文及文献资料，这使我们的视野更加开阔，避免了观点的偏颇，在这里一并向这些作者们致谢。

书中内容不当或错误之处，望读者们批评指正。

目 录

Preface

序

前言

第 1 章 装备制造与自动化

集成导论 1

1.1 制造自动化面临的问题 1

1.2 装备制造业与自动化技术的发展趋势 4

1.2.1 机电软一体化 4

1.2.2 个性化方案与大批量生产 5

1.2.3 能效的追求 6

1.3 工程师的使命 8

1.4 机械自动化方案的工程化设计要点 9

第 2 章 现代机电一体化系统

技术构成 11

2.1 传感器 11

2.1.1 传感器的基本概念 11

2.1.2 传感器的基本特性 13

2.1.3 传感器的选型准则 15

2.1.4 传感器的标定与校准 17

2.2 执行机构 18

2.2.1 执行机构的分类与比较 19

2.2.2 电动执行机构 20

2.2.3 液动执行机构 21

2.2.4 气动执行机构 24

2.3 PLC 技术 24

2.3.1 PLC 简介 25

2.3.2 人机界面 27

2.3.3 分时多任务操作系统与 I/O

处理 28

2.3.4 系统维护与管理 29

2.4 运动控制系统 31

2.4.1 基于 PLC 的运动控制系统结构组成与分类 31

2.4.2 交流伺服驱动器 32

2.4.3 位置检测系统 34

2.4.4 电动机 35

2.4.5 减速器 42

2.5 现场总线与工业以太网 46

2.5.1 现场总线 46

2.5.2 工业以太网 56

2.5.3 实时以太网 Powerlink 58

2.6 集成安全技术 62

2.6.1 集成安全系统 63

2.6.2 贝加莱安全 PLC 64

2.6.3 安全 PLC 与常规 PLC 的区别 65

2.6.4 安全 PLC 系统的基本结构 66

2.6.5 集成安全系统的特点与配置基本原则 67

2.6.6 集成安全运动控制系统 68

第 3 章 项目管理 69

3.1 装备自动化项目管理概念 69

3.2 项目管理要点 70

3.2.1 范围管理 70

3.2.2 进度管理 74

3.2.3 人力资源管理 75

3.2.4 成本管理 76

3.2.5 质量管理	77	第6章 系统仿真与算法设计	123
3.2.6 风险管理	77	6.1 自动化方案的仿真工具	123
3.3 项目管理过程	78	6.1.1 与控制软件平台实现无缝对 接的 MATLAB/Simulink	123
第4章 装备自动化的模块化设计	81	6.1.2 Simulink 自动代码生成	133
4.1 模块化设计的定义与意义	81	6.2 滤波器设计	141
4.1.1 模块的定义	81	6.2.1 一阶惯性滤波器	141
4.1.2 为批量定制提供实现基础	82	6.2.2 高阶巴特沃斯滤波器	143
4.1.3 提升效能与降低风险	83	6.3 设计案例1——多温区系统 温度控制	143
4.2 装备自动化的模块化设计	83	6.3.1 系统概述	144
4.2.1 需求分析及模块划分	83	6.3.2 建模与仿真	144
4.2.2 系统分解	84	6.3.3 控制策略设计	147
4.2.3 模块标准化设计	85	6.3.4 自动代码生成与系统调试	147
4.2.4 定制化整合	86	6.3.5 控制效果分析	148
4.3 电气系统的模块化设计	86	6.4 设计案例2——多质量体扭转 控制系统	150
4.3.1 电气模块化设计原则	86	6.4.1 系统概述	150
4.3.2 总线是模块之间的纽带	87	6.4.2 建模与仿真	150
4.3.3 分布式控制	89	6.4.3 控制策略设计	153
4.4 软件的模块化设计	89	6.4.4 自动代码生成与系统调试	155
4.4.1 软件模块化设计案例分析	90	6.4.5 控制效果分析	157
4.4.2 控制软件的设计规范	92	第7章 凹版印刷机控制系统 设计实例	159
4.4.3 模块测试与整合	94	7.1 凹版印刷机系统	159
4.5 模块化设计案例分析	95	7.2 凹版印刷机控制需求分析	161
4.5.1 电气组件模块化	96	7.3 凹版印刷机控制系统的硬件 配置	163
4.5.2 软件功能模块化	96	7.4 集成套色系统	166
第5章 机电一体化系统硬件的 精准配置	98	7.5 收料系统控制方案设计	168
5.1 机电一体化系统的配置准则	98	7.6 凹版印刷机的软件设计	172
5.1.1 最佳传动比	98	7.6.1 模块化软件设计的需求 分析	172
5.1.2 最佳惯量匹配	99	7.6.2 用户界面和程序框架设计	173
5.2 机电一体化硬件选型设计	101	7.6.3 模块化的程序编制	175
5.2.1 系统选型流程及注意事项	102	7.6.4 套色信号处理任务描述 文档	177
5.2.2 驱动机构的转动惯量	103	7.6.5 人机界面	181
5.2.3 运动曲线	111	7.6.6 软件整合测试	187
5.2.4 减速器选型	114		
5.2.5 电动机选型	116		
5.2.6 驱动器选型	117		
5.2.7 外部制动电阻选型	119		
5.2.8 SERVSoft 选型案例	120		

当今的世界正在发生日新月异的变化，它在悄悄改变着人们的生活方式和生活质量，制造业也与人们的生活一样正在从随意和粗放走向严谨和精细化，这得益于装备制造业与自动化技术日益紧密的结合。

1.1 制造自动化面临的问题

1. 全球化

现代科技进步将距离感大为缩短，地球似乎也变小了，但人们的生活领域和商业疆界却变大了。其标志之一是制造业全球化分布式布局形成。例如，产品的研发、零部件制造、生产与采购、市场营销、公司总部都可以在不同的地点，然而公司的运作却具备协同效应。其标志之二是制造业出现了崭新的全局观。面对不同的民族，产品研发与销售要考虑对不同文化的容纳与适应；面对不同的地理位置，产品指标要有相应的调整。例如，不同海拔对电器产品的电磁兼容和温度适应范围就有不同的要求。在不同的地区，产品要适应不同的标准和规则，例如北美的 UL（保险商试验所）标准、欧洲的 CE（欧洲统一）标准以及中国的 CCC（强制性产品认证制度）标准等。公司全球沟通的语言要统一到一个标准语言上。其标志之三就是产品使用与服务的全时域覆盖，例如产品售后技术支持 24h 都会对客户的需求进行回应。

2. 数字化和信息化

数字化和信息化已经作为生活元素无孔不入地渗入人们的生活，以至于当今的人们如果缺少了它就寸步难行。微信、短信、电子邮件、网络交互作为沟通的工具，无论它们的形式如何改变，它们都以各种各样的方式陪伴着人们的生活。如果一个公司的运作离开了邮件系统、网络系统以及 ERP（Enterprise Resource Planning，企业资源规划）软件系统，会出现难以想象的管理混乱和效率低下。无纸化办公以及电子商务已经成为人们工作和生活的重要手段。这一切都在宣告，人类已经进入并处在了“e 时代”！

3. 越来越短的产品生命周期

科技的飞速发展、商业的竞争加剧、消费者拥有越来越多的选择权，这些都促使各个行业产品的生命周期越来越短。产品的生命周期如图 1.1 所示。

从一般的电子消费品到机械设备，制造业产品生命周期的缩短降低了用户购买成本，也提升了他们未来的预期支出，同时伴随的是由于产品兼容性问题而带来的烦恼。一个行业的产业链好像被捆绑到了一条流水线上，而这条流水线的运作速度越来越快，出现了挑战与风险并存。上游的厂商面临着越来越苛刻的客户需求的挑战，下游的用户也面临着更多的不可预知的未来风险。

4. 复杂的关联技术

学科之间的相互渗透是技术发展的必然，多学科技术体现在一个产品上已经是产品研发与制

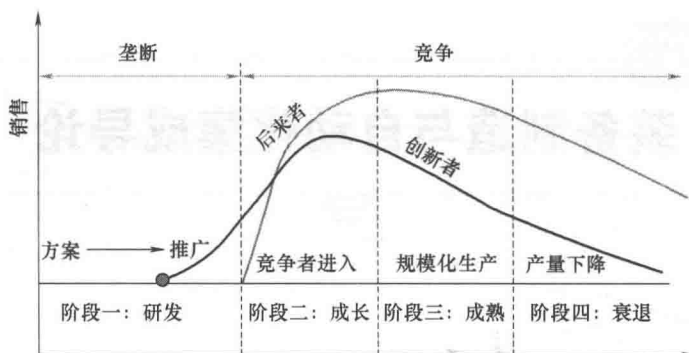


图 1.1 产品的生命周期

造的常态，风力发电设备就是一个典型的例子。风力发电系统单机模型如图 1.2 所示。在这个设备里，空气动力学、工程力学、电机学、自动控制理论、电力电子学以及安全技术相互交融，各种机械、电子机构相互配合，在控制流、信息流的指挥下将风能源源不断地转化为电能。

不可否认的是，产品的关联技术越复杂，为新进入者在技术上设置的门槛就会越高。企业的技术竞争力不仅取决于企业的技术文化，同时也取决于企业内部的多学科协同能力。

5. 有限的资源

四大有限资源如图 1.3 所示。四大有限资源指的是人力资源、能源、时间及原材料。

科技发展与经济最佳出路就是尽可能少地利用资源来达到尽可能大的产出。低能耗、低污染、低成本和高效率是制造业追求的目标，甚至是发展愿景。企业管理、研发、生产的全过程都要进行全局化考量和精细化规划，这是优化资源的必由之路。那么，四大有限资源的优化对于制造业意味着什么？

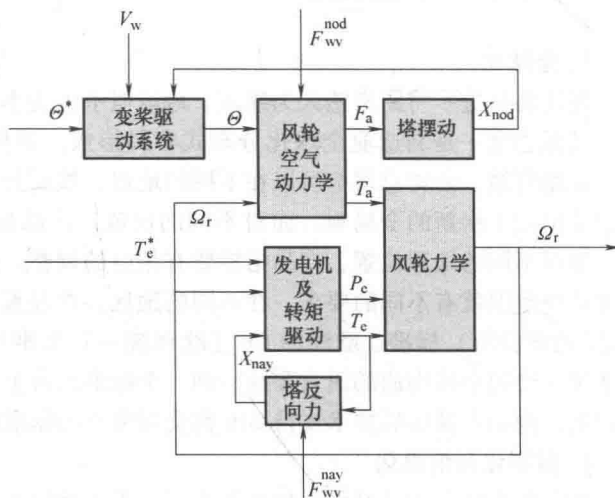


图 1.2 风力发电系统单机模型



图 1.3 四大有限资源

(1) 人力资源

首先,工程技术人员后备力量的匮乏已经成为一个全球性的问题。其次,越来越复杂的工艺和技术往往需要更多的人力投入,同时解决问题所花费的时间也越来越长。随着技术更新速度的加快,操纵机械设备对操作员的知识结构要求也越来越高,操作人员的实践和培训成为了一个很重要的课题。一个突出的问题是,在我国这样一个新兴经济区域,人力资源的成本,包括培训、薪酬以及人员流失所带来的产品成本在以比欧美更快的速度增长着。这就为制造业提出了一个矛盾性课题:是招聘更多的低薪酬、低素质的员工,还是采用相反的策略,加强现有员工培训、提高工作的效能?

(2) 能源

纵观我国的装备制造业在过去 20 年的发展,基本上可以总结为高速发展的同时伴随着高能耗。设备生产的厂商只关注产品本身的成本,不太关注产品的能耗以及给下游供应链带来的未来成本,然而这种发展模式却是不可持续的。装备制造业的战略转型势在必行。战略转型就是要摆脱传统的粗放式发展模式,摆脱仅仅靠价格取胜的竞争方式,因此,技术创新和节能才是战略转型的唯一出路。

节能首先要从能源的生产和输配做起。提高能源的生产效率,更多地利用可再生能源。例如,太阳能、风能、生物质能以及潮汐能等。这些都是在能源的生产源头进行的开发和努力。在能源的输配方面,不仅要消除和避免能耗的峰值,同时还要进行有效的能源生产管理,电网负载的均匀分布也是能源输送与分配的重要课题。

高效低耗地使用能源是在用户端的追求。在生产流程中,设备保持热备状态而不是停机,整个生产线上尽量地减少电动机的制动和起动机度,以保持其迅速运转的能力,这是节省能源的基本规则。而为了实现这个目标,就要从设计和系统的软、硬件配置入手。另外,运动中电能的回馈电网以及智能的电动机运动仿型也都是使能耗最小化的精细化手段。

此外,节能还意味着尽量降低产品的能耗。在选配元器件中,使用能耗更低的产品,以降低系统的总能耗。电子产品设计中的减少能源足迹(Energy foot print)就是这个意思。不仅如此,一个有效的冷却系统也是至关重要的。在电气控制柜中,人们往往注意主动冷却系统,例如,愿意进行风冷系统或水冷系统的投入,但却不首先考虑如何有效针对导热问题进行研发与设计。因为如果一个系统的导热设计合理,则主动冷却系统就可以省却或减少投入。

(3) 原材料

减少原材料在产品中的用量,尽量避免使用贵金属是“轻装设计”理念的基本原则。一个典型的例子就是并联机器人的设计和构造方式。轻装设计的并联机器人如图 1.4 所示。减少了产品的原材料用量,随之就减少了物流中的运输重量,降低了原材料制造中的能耗分摊。

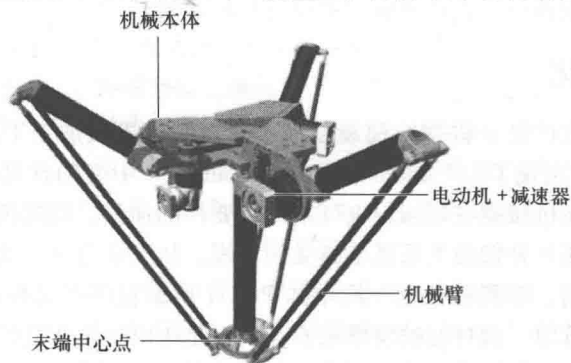


图 1.4 轻装设计的并联机器人

轻装设计的理念是在保证性能的前提下,尽可能减少材料的用量,尽可能用便宜的材料,即“as good as needed”。然而如何减少材料的成本而不影响性能呢?这就需要一个理论基础和参照乃至试验手段。但是样机的试验如果过于频繁就会又造成大量的人力、物力甚至时间的浪费。要解决这些问题,同时又达到轻装设计的目的,主要有两个途径:①采用基于精确建模的现代仿真手段对产品进行设计并取代样机试验,在这里,机械和软件的紧密结合是至关重要的;②依据仿生学从自然界获得一些生物或自然现象的经验借鉴,进行模仿和创新。当然,产品整个生命周期的管理也是延长产品的使用寿命、节省原材料并缩短设备停机时间的有效策略。

应当指出的是,原材料的节省在制造业中已经在走“精细化”的道路。所谓的精细化是指表现在三个方面的趋势:①“批量一”。即一个制造的批次上,只有一件产品下线,而不是成百上千件,这是定制化产品和大批量的极端结合。“批量一”就意味着每一件产品和下一件之间都存在着制造工艺的变换,且这个变换的基本要求是无废料产生。“批量一”典型例子的就是数字化胶印机,每一张的印刷都是不同的印刷板。②准确及时。机械设备可以有100%的投入能力而无意外停机。连续的生产制造流程保证了能源和空间的节省,没有因停机造成的苛刻产品(如药品、化工产品等)的报废,这些都属于准确、及时的范畴。③减少到极致。包装材料的厚度(如矿泉水瓶的壁厚)、纸媒体的厚度在不影响其功能的前提下,尽可能减小到极致,以达到尽可能减少材料用量而降低成本的目的。

(4) 时间

时间管理的第一要素就是规范和规划。生产流程和产品研发都需要规划每一个时间步骤。同时,避免意外停机、产品转换之间无延迟也是优化生产效率的重要指标。对于产品研发来讲,尽可能缩短开发周期是适应制造业高动态需求的必需之举。然而,开发周期的不断缩短,意味着对研发团队不断增强的压力。在全球化的今天,无论客户处在哪个地区,无论公司的研发和生产以及服务分布在何处,都不影响对客户的服务以及公司的运作,这也是全球化与全时域融合的概念。尤其是在产品的生命周期不断缩短、商业竞争不断加剧的当今世界,谁赢得时间,谁就赢得未来。

1.2 装备制造与自动化技术的发展趋势

装备制造的核心是机械制造。机械制造业主要有塑料机械、纺织机械、包装机械、印刷机械、木材加工机械、CNC(计算机数字控制机床)/机器人以及工程机械等行业。由于提高机械性能和生产效率的需求日益迫切,工业自动化技术发挥着越来越重要的作用。工业自动化系统不仅是机械系统的一个组成部分,它已经成为机械设备的灵魂。

1.2.1 机电软一体化

传统意义上的机械设计是从机械结构规划入手,在制订机械加工工艺的同时,完成机械制图。20世纪80年代后,出现了一个新词叫“Mechatronics”,中文的含义是机电一体化。机电一体化概念的出现标志着在机械制造领域,电气系统重要性的加强,同时机械和电气在机械设计和运行过程中相互配合、相互补偿的关系越来越受到重视。从工业自动化的视角来看,我国的机械制造业经历了继电器控制、单板机控制、简单的PLC(可编程序逻辑控制器)逻辑控制、集成式复杂智能控制这几个阶段。就目前的发展来看,仅仅是机电一体化已经不能适应装备制造的需求。软件成为工业自动化设计方案的核心,不仅承担机械的动作控制,而且还具有配方管理、智能测算、工艺库的实施与集成、设备生命周期的管理等功能。在机械设备上应该体现的是机、

电、软一体化。机电一体化主要体现的是机电系统的相互配合、协调和互补，而软件却在机械设计、系统升级与优化、机械的生命周期管理中都起着核心的作用。机械的知识产权或技术核心越来越多地体现在软件设计之中。当今现代化的机械设备中，机、电、软这三元素融为一体，缺一不可。机械设备机电软一体化如图 1.5 所示。

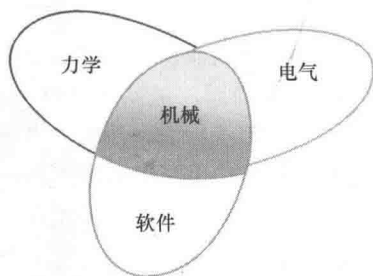


图 1.5 机械设备机电软一体化

1.2.2 个性化方案与大批量生产

以印刷机械为例，尤其是胶印机行业，进入 21 世纪以来，正在发生革命性的变革，这个变革主要是数字化和信息化主导的。数字化印刷技术的先驱，HP Indigo 公司的创始人 Benny Landa 曾经这样描述这场革命：所有可以数字化的都将会数字化，印刷也不例外（Everything that can become digital will become digital-and printing is no exception.）。这场数字化技术的革命带来的是印刷产品的定制化和个性化。案例 1：每一则广告在日报中会因地区不同而内容不同，比如针对当地的超市而定制。案例 2：每一辆汽车都有专门的使用手册（燃油的种类、配置选项等都有区别）。案例 3：每一本相册都是独特的。所有这些案例都体现了印刷行业的新特征，那就是系列化生产中的单件批量（Batch Size One）。

印刷行业的变革不是孤立的，其他的行业也正在进行着同样的演化过程。塑料机械、包装机械、纺织机械以及 CNC/机器人等行业都面临着一个同样的问题，即每一批订单，甚至每一台设备的订单，都要考虑客户不同的个性化需求。大批量、同质化的产品已经进入完全竞争的阶段，会逐渐失去竞争力。设备制造商面临着一个艰难的战略选择。大规模、同质化的制造模式只能靠价格取胜，属于利润空间狭窄的商业模式。个性化方案、系列化生产的模式所面临的压力是研发投入、成本的控制以及灵活的反应能力，这会成为企业发展的瓶颈。个性化方案大批量生产面临的挑战因素如图 1.6 所示，它描述了这个战略选择将面临的挑战。

迎接这个挑战就要发挥自动化软件的效能，而最根本的设计理念就是“模块化设计”。在构建机械设计方案时，有三个要素最为重要：

1) 模块化的系统构架。无论是机械部分、电气部分，还是自动化软件部分，有了模块化的构架，才能像搭积木那样组合成多种多样的设计方案。

2) 软件工程。软件工程包括软件架构、软件设计、项目管理以及产品生命周期管理等内容，这是面向未来工程化的思想。只有在规范化和标准化基础上设计的软件才具备长久的生命力。

3) 知识的重复利用。机械制造的关键技术和工艺将越来越多地沉淀到软件设计中，软件将成为机械制造知识产权的核心。将成熟的功能或技术标准化，避免重复的、无谓的开发，需要将测试的、验证过的、成熟的知识封装入功能库，以便重复、高效地利用。另外，从自动化技术的角度来看，建立一个自动化功能库，针对特定的机械制造业研发相应的行业模板，创造一个定制化应用的研发环境，是解决个性化需求、设计自动化构架方案的理想平台。个性化自动化方案构架如图 1.7 所示。

具体到某一个机械制造厂商，这意味着“多型号机器，一套软件”的系统构架。这样的一套软件架构，不仅创造了统一的操作习惯，而且大大缩短了新机型的研发周期，降低了研发和售后服务成本，更重要的是，它有力地保证了方案的可靠性和质量。

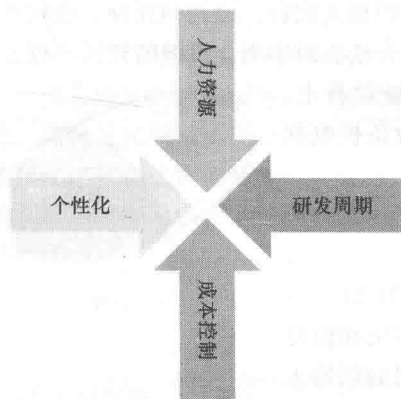


图 1.6 个性化方案大批量生产面临的挑战因素

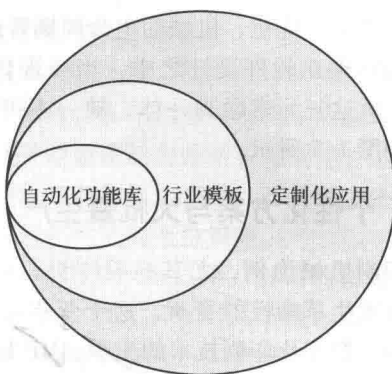


图 1.7 个性化自动化方案构架

纺织机械的统一软件构建平台如图 1.8 所示，图中 DM 代表着数据模块，这是某纺织机械制造商的软件架构案例。

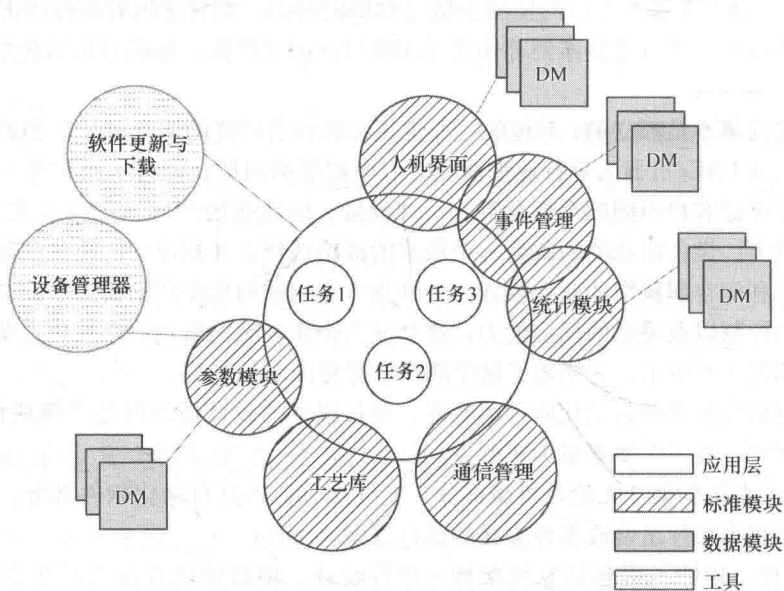


图 1.8 纺织机械的统一软件构建平台

1.2.3 能效的追求

能效是指机械设备的能耗和性能。我国装备制造业战略转型的标志之一是摆脱低价竞争的怪圈，从价格竞争走向价值竞争。而价值竞争就要同时关注成本和性能，即性能价格比。产品的性能指标涉及一系列综合的评价指标，它包含设备的性能参数、精度、生产效率、质量管理水平以及终端产品品质等。性能价格比与机械设备的售价是一个非线性正比关系。这里所关注的成本不仅仅是机械设备本身的售价，还有设备未来的运行成本。能耗就是未来成本的一部分。

能耗的最小化设计包括两个要点：设计节能和能源管理。

1. 设计节能

设计节能是指从产品和系统方案的设计构架开始，进行省材料、省时间和省人工的设计规

划，选用能耗低的元器件，借助于技术创新保障单位产量的能耗最低。

其中，设备的轻装结构设计不仅意味着在运动控制上的能源节省，也意味着制造这些结构件的原材料的能耗在上一个供应链环节的节能。

采用低能耗元器件设计的案例很多。例如，用永磁同步电动机代替异步电动机，提高电动机的效率，改善电网的功率因数；工厂的照明系统把传统照明改成 LED（发光二极管）照明；在多轴共母线的伺服驱动系统上采用电网回馈技术，使电动机制动产生的能量回馈电网。

另外，仿真技术的创新已经为设计和制造过程中的节能带来了革命性的变化。在设计制造过程中，传统的项目研发过程是样机随着设计的改进一款又一款地不断研制。这不仅意味着设计时间的冗长，更关键的是研制的成本或能耗无法降低，甚至一个设计人员的小失误也会给生产厂带来巨大的损失。HiL（Hardware in the Loop，硬件在环）是来自汽车行业的仿真研制方法，即包含硬件或设备的仿真回路，它能够解决纯软件仿真的不足。这种仿真技术的投入，避免了每一个小小的改动都要做一个汽车样机的耗费。在机械系统自动控制方案研发过程中，MATLAB/Simulink 在研发系统中的集成也为设计节能、缩短研发周期带来了新的途径。系统仿真创造设计捷径如图 1.9 所示，它展示了这种仿真思路的优势。

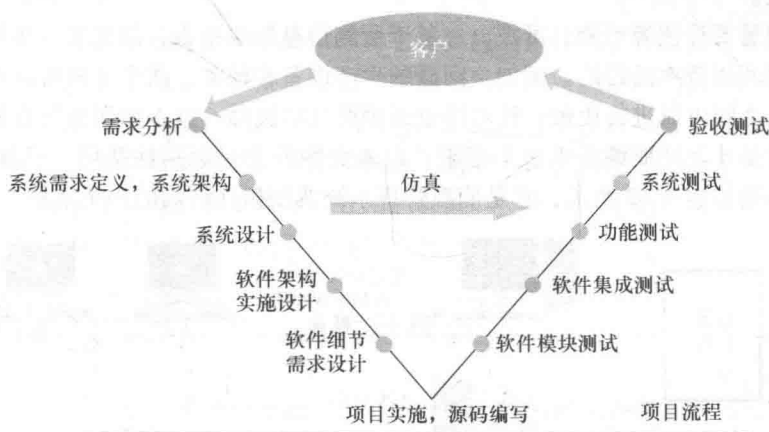


图 1.9 系统仿真创造设计捷径

2. 能源管理

ISO 5001 是由 ISO 的能源管理委员会 ISO/PC242 组织制订的，目的是作为企业的能源管理标准，以提高能源使用效率、减少成本支出，降低对环境的影响。ISO 5001 能源管理标准提供了一种方法，结合能效与实际的工业或商业管理系统，实现持续的节能改善。

ISO 5001 标准所提倡的中心思想是将能源的消耗变得可测、可控，最终通过策略和规划的调整使能耗得到持续不断的优化。能源管理的中心思想如图 1.10 所示，能源管理系统模型 Plan-Do-Check-Act（PDCA，计划、实施、检查、行动）如图 1.11 所示，它们分别从不同的角度阐述了这一个思想。

这里的能源所指的不仅是传统意义上的电能，它涉及工厂生产中各种类型的能源，如电能、水、压缩空气、热能、蒸汽、燃气、燃油以

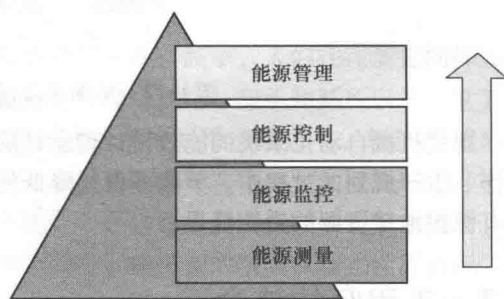


图 1.10 能源管理的中心思想