高等学校智能制造专业“十三五”规划教材



工业自动化集成控制系统

——基于西门子TIA博途系统

主 编 孟爱华

西安电子科技大学出版社
http://www.xduph.com

INDUSTRIAL AUTOMATION INTEGRATED CONTROL SYSTEM —— BASED ON SIMATIC TIA PORTAL

高等学校智能制造专业“十三五”规划教材

工业自动化集成控制系统

——基于西门子 TIA 博途系统

主　编　孟爱华

副主编　潘文武　严　纯　李明范

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书以智能制造技术的特点和需求为出发点，分析了工业自动化集成控制系统的工作方式，并以西门子的 TIA 博途系统为主体介绍其在工业自动化中的应用，主要内容包括分布式网络的硬件配置、结构化软件编程原理、STEP 7 软件编程指令和程序设计、人机界面的编程实现、故障的调试方法、库及相关的操作等。本书以机床加工主轴控制系统的设计为例，将每章的内容落地为具体的项目设计，既有理论分析，又有具体的操作方法实践，能够使读者对集成控制系统下自动化项目的设计过程形成完整、清晰的概念。

本书既可作为机械、车辆、自动化等专业本、专科生的学习教材，也可作为机电工程师、自动化软件工程师等工程技术人员的项目学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工业自动化集成控制系统：基于西门子 TIA 博途系统 / 孟爱华主编. —西安：
西安电子科技大学出版社，2020.3
ISBN 978-7-5606-5598-7

Ⅰ. ①工… Ⅱ. ①孟… Ⅲ. ①工业自动控制—集成控制系统 Ⅳ. ①TB114.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 020153 号

策划编辑 陈 婷
责任编辑 王晓莉 陈 婷
出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)
电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071
网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com
经 销 新华书店
印刷单位 陕西天意印务有限责任公司
版 次 2020 年 2 月第 1 版 2020 年 2 月第 1 次印刷
开 本 787 毫米 × 960 毫米 1/16 印 张 12.5
字 数 222 千字
定 价 30.00 元

ISBN 978-7-5606-5598-7 / TB

XDUP 5900001-1

如有印装问题可调换

前　言

随着智能制造技术的发展，传统的大批量集中式的工业生产模式需要向数字化、智能化、个性化、绿色化的生产模式转变。中国也相应提出了“中国制造2025”的发展计划。实现智能制造的关键是数字化工厂，数字化工厂的体系架构中包括底层的生产设备、中间层的控制设备和上层的监控体系。为了实现数字化工厂的柔性生产、数据共享、网络互通的需求，要求自动化系统进行集成控制。西门子开发的TIA博途系统是实现工业自动化集成控制系统的典型系统。

本书以智能制造的特点和需求为出发点，根据智慧工厂的设计规划，分析了工业自动化集成控制的工作方式，并以西门子的TIA博途系统为主体介绍了其在工业自动化中的应用，以及实现下位设备自动控制的TIA博途STEP 7和实现上位机监控的TIA博途WinCC的使用方法和工作原理。

本书由杭州电子科技大学的孟爱华、潘文武、严纯和浙江水利水电学院的李明范共同编写而成。全书共分八章，第一、三、四、八章由孟爱华编写，第五章由潘文武编写，第六章由严纯编写，第二、七章由李明范编写。全书内容由孟爱华统一规划和统稿。

学习本书不仅有助于学生掌握西门子集成控制系统的使用方法，也有助于学生对PLC工作原理、工业以太网的通信方式、人机界面的基本设计方法等基础知识的理解。本书可作为机械、车辆、自动化等专业本、专科生的学习教材，也可作为机电工程师、自动化软件工程师等工程技术人员的项目学习参考用书。

本书在编写过程中参阅了大量相关书籍、论文和网络资料，具体在参考文献中一并列出，在此对原著作者表示衷心的感谢！杭州电子科技大学机械工程学院的陈国金教授和王万强老师在本书编纂过程中提供了大力支持和帮助，杭州电子科技大学机械工程学院对本书的出版也给予了很多帮助，在此表示深深的谢意！

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正，并提出宝贵意见。

编　者

2020 年 1 月

目　录

第一章　智能制造概论 1
1.1　智能制造概述 1
1.2　智能制造的现状 2
1.2.1　“工业 4.0”战略计划 2
1.2.2　“中国制造 2025”计划 3
1.3　智慧工厂 3
1.3.1　智慧工厂的体系架构 4
1.3.2　国内外智慧工厂的实施现状 5
1.4　全集成自动化 6

第二章　西门子 TIA 博途软件系统概述 8
2.1　西门子 TIA 博途软件系统简介 8
2.2　TIA 博途软件的构成 9
2.2.1　TIA 博途 STEP 7 10
2.2.2　TIA 博途 WinCC 11
2.3　博途软件的安装 12
2.4　博途软件的特点 13
2.5　TIA 博途软件的视图 15
2.5.1　Portal 视图 15
2.5.2　项目视图 16
2.6　TIA 博途软件的基本设置和操作 18
2.7　设计实例：机床加工主轴移动控制系统 19

第三章 S7-1500 的硬件配置 21
3.1 硬件组成概述 21
3.1.1 S7-1500 的硬件组成 21
3.1.2 CPU 的操作元件和显示元件 23
3.1.3 CPU 的存储器 24
3.2 PROFINET 网络介绍 26
3.2.1 PROFINET 的功能 26
3.2.2 PROFINET 与 PROFIBUS 的区别 27
3.3 S7-1500 的硬件组态 29
3.3.1 组态主机架 29
3.3.2 获取现有硬件组态 32
3.3.3 PROFINET 参数设置 33
3.3.4 硬件配置的保存和编译 36
3.4 分布式硬件 ET 200SP 组态 38
3.4.1 分布式网络通信模块简介 38
3.4.2 ET 200SP 的基本模块 40
3.4.3 分布式网络的组态 41
3.5 设计实例：机床加工主轴移动控制系统 45
3.5.1 规划 45
3.5.2 引导指南 46

第四章 STEP 7 的结构化编程基础 58
4.1 PLC 系统运行的原理 58
4.2 结构化的编程方式 59
4.2.1 组织块 OB 61
4.2.2 函数 FC 63
4.2.3 函数块 FB 和背景数据块 DB 65
4.2.4 数据块 DB 67
4.3 TIA 博途软件的数据访问方式 67
4.3.1 数据优化访问方式 67

4.3.2 下载无需重新初始化功能 69
4.4 设计实例：机床加工主轴移动控制系统 71

第五章 TIA 博途 STEP 7 编程 72
5.1 STEP 7 的编程环境 72
5.1.1 界面介绍 72
5.1.2 编程语言 74
5.1.3 TIA 博途编程指令的使用 75
5.2 变量与数据访问 78
5.2.1 PLC 的变量 78
5.2.2 PLC 变量表 79
5.2.3 生成变量的方式 80
5.3 常用的编程指令 82
5.3.1 位逻辑指令 83
5.3.2 定时器指令 86
5.3.3 计数器指令 89
5.3.4 移动操作指令 92
5.3.5 比较指令 93
5.3.6 字逻辑运算指令 96
5.4 FC 的编写 98
5.5 FB 的编写 101
5.6 程序的保存、编译、下载、上传 104
5.7 设计实例：机床加工主轴移动控制系统 104
5.7.1 项目规划与变量表的创建 104
5.7.2 FC 编写引导指南 106
5.7.3 FB 编写引导指南 113
5.7.4 OB1 程序编写引导指南 118

第六章 HMI 的可视化操作 121
6.1 SIMATIC HMI 简介 121

6.1.1 HMI 简介 121
6.1.2 SIMATIC HMI 面板 122
6.1.3 TIA 博途 WinCC 123
6.2 SIMATIC HMI 精简面板 123
6.2.1 精简面板的参数设置 124
6.2.2 更改面板显示 126
6.2.3 更改控制器的 IP 地址和设备名称 127
6.2.4 设置日期和时间 129
6.2.5 设置传输参数 131
6.2.6 设置服务和调试功能 132
6.3 SIMATIC HMI 精智面板 133
6.3.1 存储卡 135
6.3.2 系统桌面 136
6.3.3 HMI 的参数设置 137
6.4 HMI 的项目组态 137
6.4.1 新建项目 138
6.4.2 软件界面 142
6.4.3 项目规划 143
6.4.4 HMI 与 PLC 的通信参数设置 144
6.5 HMI 画面基本元素应用 146
6.5.1 图形元素的设计 146
6.5.2 I/O 域元素的设计 147
6.5.3 画面切换 149
6.5.4 动画 150
6.6 报警信息设置 151
6.6.1 报警窗口的设置 152
6.6.2 报警指示器 154
6.6.3 CPU 的系统诊断报警 154
6.6.4 模拟量报警 156

6.7 设计实例：机床加工主轴移动控制系统 156
6.7.1 HMI 规划 156
6.7.2 HMI 设计指南 157

第七章 系统故障与调试 165
7.1 常见的故障类型 165
7.2 SIMATIC S7 的在线诊断 166
7.2.1 PG/PC 诊断 167
7.2.2 硬件诊断 169
7.2.3 CPU 的诊断显示 170
7.2.4 HMI 上的系统诊断 172
7.3 离线/在线比较功能 172
7.4 监控表和强制变量表 174
7.4.1 监控表 175
7.4.2 强制变量表 176
7.5 程序监控 177
7.5.1 程序块的监控 177
7.5.2 数据块的监控 179

第八章 库及相关的操作 181
8.1 库的概念 181
8.2 库元素 182
8.3 库的使用 183
8.3.1 创建库 183
8.3.2 添加库文件 183
8.3.3 库文件的编辑 186

参考文献 190

第一章



智能制造概论

1.1　智能制造概述

21 世纪以来，全球出现了以物联网、工业互联网、大数据、云计算等为代表的新一轮技术创新，工业自动化、数字化的水平不断提高，这些都悄然孕育着一场新的工业革命。在此背景下，德国提出“工业 4.0”战略计划，中国推出“中国制造 2025”的畅想，美国着力推进振兴高端制造业的发展，日本等世界其他主要工业发达国家也均出台了一系列国家政策以支持本国工业的发展，以应对新一轮工业革命所带来的挑战。由于各自工业基础和发展环境不同，各个国家在制定相应战略政策时，其战略侧重点有所区别，但智能制造却一直作为未来工业发展的主旋律而备受重视，智能制造被视为振兴实体经济和新兴产业的支柱与核心以及提升竞争力和可持续发展能力的基础与关键。

智能制造(Intelligent Manufacturing)将智能技术、网络技术和制造技术等应用于产品管理和服务的全过程中，能在产品的制造过程中进行分析、推理、感知等智能活动，可以满足产品生产的动态需求。智能制造技术改变了传统制造业中的生产方式、人机关系和商业模式。智能制造不是简单的技术突破，也不是简单的传统产业改造，而是通信技术和制造业的深度融合和创新集成。

随着大家对产品个性化设计的追求越来越强烈，工业产品的加工也越来越呈现多样化、个性化定制的趋势。智能制造的发展也顺应了用户需求的发展变化，在网络设计、制造的基础上体现了智能制造的内涵，即数字化、智能化、个性化、绿色化。

在现代工业生产中，产品的大批量生产已经不能满足客户个性化定制的需求，要想使单件批量生产能够达到大批量生产同样的效率和成本，需要构建可以生产高精密质量、个性化智能产品的智能工厂。智能制造的一个重要特点就是分散网络化和信息物理的深度融

合，由集中式控制向分散式增强型控制的基本模式转变，目标是建立高度灵活的个性化和数字化的产品与服务的生产模式。

1.2 智能制造的现状

从 20 世纪 90 年代开始，国内外专家学者就在智能制造技术、智能制造理论和智能制造系统等方面进行了广泛深入的探索研究，一些国家和国际组织还支持了许多相关的研究计划及项目。美国、日本、加拿大等国家联合发起和实施的“智能制造系统”，在国际上产生了重要影响。自 20 世纪 90 年代以来，我国的多位机械制造领域的专家、院士相继开展了智能制造方面的课题和理论研究，国家自然科学基金、“863”计划等也开展了相关的研究支持工作。

1.2.1 “工业 4.0”战略计划

人类自瓦特发明了蒸汽机后，已经经历了三次工业革命。第一次工业革命以水力和蒸汽动力代替了人力、畜力，以蒸汽机的发明和应用作为标志，开启了人类工业时代的序幕；第二次工业革命以电动机代替了蒸汽机，并以大规模生产为主要标志；第三次工业革命则是工业自动化的广泛应用，该阶段制造技术与电子、信息技术相结合，在数字化的基础上开始呈现柔性智能化的特点。

2013 年 4 月，德国在汉诺威工业博览会上正式发布“工业 4.0”战略计划，标志着德国对第四次工业革命战略计划的初步实施。作为老牌工业发达国家，德国一直致力于引领全球工业发展的步伐，因此“工业 4.0”战略计划的发布在全世界范围内引起了极大的反响。不过 2013 年的“工业 4.0”战略计划只是粗略的概念描述，并没有具体的定义和实施策略，直到 2015 年，德国发布的《工业 4.0 战略计划实施》报告才给出严格的定义。

“工业 4.0”概念表示第四次工业革命，它意味着在产品生命周期内对整个价值创造链的组织和控制迈上新台阶，意味着从创意、订单到研发、生产、终端客户产品交付，再到废物循环利用，包括与之紧密联系的各服务行业，在各个阶段都能更好地满足日益个性化的客户需求。

工业 4.0 时代的制造为智能制造，它以工业互联网、物联网、大数据及云计算等现代信息技术与先进制造技术深度融合为基础，以标准化的“智能工厂”系统和赛博物理系统

(网络空间虚拟系统，Cyber-Physical System)融合的“智能生产”过程为特征，是面向设计、生产、管理、服务等全生命周期的制造活动，目的是建立具有信息感知、优化决策和执行控制功能的制造系统，可实现高效、优质、低耗、绿色的生产和服务。

“工业 4.0”项目包括以“智能”为关键词的三大主题：① 智能工厂——重点研究智能化生产系统及过程、网络化分布式生产设施的实现；② 智能生产——主要涉及整个企业的生产物流管理、人机互动以及 3D 技术在工业生产过程中的应用等；③ 智能物流——主要通过互联网、物联网、物流网整合物流资源，充分发挥现有物流资源供应方的效率，而需求方则能够快速获得服务匹配和物流支持。“工业 4.0”将对工业产品与服务的生产模式、创新价值过程、产业链分工等带来深刻的变化，并将对全球制造业的发展产生深远的影响。

1.2.2　“中国制造 2025”计划

2015 年 5 月国务院颁布出台了指导未来工业发展第一个十年计划——“中国制造 2025”，力争在十年内使我国跻身世界制造强国行列。我国政府通过统筹兼顾国内外环境，提出了实施制造强国“三步走”战略：第一步，到 2025 年，我国制造业整体达到世界制造强国水平；第二步，到 2035 年，我国制造业整体达到世界制造强国阵营中等水平；第三步，到新中国成立 100 周年时，我国制造业大国地位将更加巩固，综合实力进入世界制造强国前列。

“中国制造 2025”的主要内涵可以概括为“一条主线”和“四大转变”。“一条主线”是指信息技术与制造技术深度融合的数字化、网络化、智能化。“四大转变”是指从要素驱动转变为创新驱动，从低成本优势转变为质量效益优势，从资源消耗粗放制造转变为绿色化制造，从生产型制造转变为服务型制造。

在“中国制造 2025”计划的推动下，中国正在全面地开展制造业的创新升级，全面地推进制造业与信息技术的深度融合，助力中国经济的实力腾飞。

1.3　智 慧 工 厂

为了实现智能制造，实现“中国制造 2025”的发展目标，制造的主体首先需要加以改造，需将原来传统制造方式下的加工工厂改造成设备之间可互联互通、加工过程数据自上而下可联网协调的新型工厂，即智慧工厂。智慧工厂是智能制造的前提和基础，它是现代

工厂信息化发展的新阶段。智慧工厂是在数字化工厂的基础上，利用物联网技术和设备监控技术加强信息管理和服务，能够清楚掌握产销流程，提高生产过程的可控性，减少生产线上人工的干预，即时正确地采集生产线数据，合理地安排生产计划与生产进度，并集绿色智能手段和智能系统等新兴技术于一体，构建的一个高效节能、绿色环保、环境舒适的人性化工厂。

1.3.1 智慧工厂的体系架构

2006 年，美国 ARC 顾问集团总结了以制造为中心、以设计为中心、以管理为中心的数字制造，并考虑了原材料和能源供应、产品的销售供应，提出用工程技术、生产制造和供应链这三个维度来描述工厂的全部活动。通过建立描述这三个维度的信息模型，利用适当的软件就能够完整表达围绕产品设计、技术支持、生产制造及原材料供应、销售和市场相关的所有环节的活动，能够实现实时的数据交互和实时的指令传送。三个维度的信息融合就是数字化工厂或智慧工厂，其基本模型如图 1-1 所示。

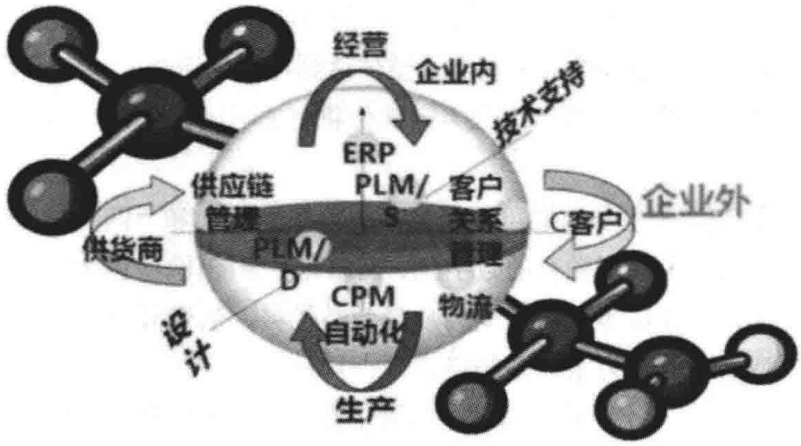


图 1-1 ARC 顾问集团建立的数字化工厂的模型

智慧工厂拥有三个层次的基本架构，分别为顶层的计划层、中间层的执行层以及底层的设备控制层，大致可对应为 ERP(企业资源计划)、MES(制造执行系统)以及 PCS(过程控制系统)。

(1) 顶层的计划层一般对应企业层，要求实现产品工程的全生命周期管理(PLM)。计划层融合了产品设计生命周期和生产生命周期的全流程，对设计到生产流程进行统一集成式的管控，实现全生命周期的技术状态透明化管理。通过将 PLM 系统和 ERP、MES 系统集

成，企业层实现了全数字化定义，从设计到生产的全过程高度数字化，最终实现基于产品的、贯穿所有层级的垂直管控。通过对 PLM 和 MES 的融合实现从设计到制造的连续数字化数据流转。

(2) 中间层的执行层一般对应生产过程的管理层。执行层主要实现生产计划在制造职能部门的执行，管理层统一分发执行计划，进行生产计划和现场信息的统一协调管理。管理层通过 MES 与底层的工业控制网络进行生产执行层面的管控，操作人员/管理人员提供计划的执行、跟踪以及所需资源(人、设备、物料、客户需求等)的当前状态或信息，同时获取底层工业网络对设备工作状态、实物生产记录等信息的反馈。

(3) 底层的设备控制层主要将 PCS 与自动化执行设备集成。底层控制层跨越设备现场层、设备控制层以及操作层三个部分，基于 CPS(信息物理系统)的网络方法，对现场生产设备创建底层工业网络，在设备控制层通过 PLC(可编程逻辑控制器)硬件和工控软件进行设备的集中控制，在操作层有操作人员对整个物理网络层的运行状态进行监控、分析。

1.3.2　国内外智慧工厂的实施现状

近年来，全球各主要经济体都在大力推进制造业的复兴。在工业 4.0、工业互联网、物联网、云计算等热潮下，全球众多优秀制造企业都开展了智慧工厂建设实践。作为工业 4.0 概念的提出者，德国也是第一个实践智慧工厂的国家。德国西门子安贝格电子工厂可实现多品种工控机的混线生产，产品可靠性达到 99%，追溯性更是达到 100%，堪称智慧工厂的典范。德国的倍福自动化有限公司积极推进信息技术与自动化技术的结合，已实现纵向、横向和跨公司一体化，其创新的 XTS 传输系统是工业 4.0 的典型案例。英特尔、思科等计算机、自动化方面的国际企业也根据现有工业 4.0 的设计需求，制定了互联工厂 4.0 套件，利用物联网实现智能制造。施耐德电气的智慧工厂部署了依托其 EcoStruxure 架构与平台的解决方案，覆盖互联互通的产品，以及边缘控制应用、分析与服务三个层面的能源管理软硬件产品。美国的罗克韦尔自动化公司提出“融合”的理念，旨在实现制造业的现场层、控制层、管理层之间的相互渗透。三菱电机名古屋制作所采用人机结合的新型机器人装配生产线，实现从自动化到智能化的转变，显著提高了单位生产面积的产量。

我国汽车、家电、轨道交通、食品饮料、制药、装备制造、石化等行业的企业对生产和装配线进行自动化、智能化改造以及建立全新的智慧工厂的需求十分旺盛，涌现出海尔、美的、格力、江淮汽车、三一重工等智慧工厂建设的样板。九江石化作为中国的第一家智

慧工厂试点，为实现可视化、实时化、智能化的生产和管理要求，与华为进行战略合作，在信息通信、生产协作、智能管理等领域开展广泛合作，共同打造世界一流智慧工厂的基础设施。海尔中央空调加工厂是一个智能互联工厂，可实现用户对产品设计的参与、互动、互联，按订单配置、生产和装配，加工过程全流程订单可视；工厂云实验室实现所有供应商、工厂、研发中心的实验室互联；产品都成为“网器”，通过产品可以实时了解用户使用过程当中的情况，从而高质量、高品质化地对外实时跟用户互联。江淮汽车通过建立车间信息采集与处理平台，优化物流方案，集成已有软硬件平台，消除信息孤岛，大大提高了车辆的生产效率，减少了库存。三一重工为打造世界一流混凝土泵车机械制造基地建设了一个新型智慧工厂，包含智能加工中心与生产中心、智能化仓储与配送装置、数字化加工计划与执行管控软硬件系统、数字化车间物流软硬件系统、生产控制中心等，使企业的物流成本显著降低，生产效率提高。上海石化依托上海移动的高速 4G 网络，开展输油管线监控、车辆运输监控、无线视频监控等系统的部署应用，并借助物联网技术，实现公司厂区内的数据采集，大幅提升了统计工作效率。

1.4 全集成自动化

在智慧工厂的体系架构中，底层设备控制层的柔性和自动化水平是实现智慧工厂智能生产的关键和核心部分，它涉及底层现场的工作设备，包括各种电机、泵、阀等的运行；还包括工厂内生产线的控制设备，可实现现场设备的自动化控制；另外还包含上层监控层的数据交互、通信和监控诊断等。为了实现智慧工厂的柔性操控、灵敏制造的目的，需要建立一个网络互通、兼容并包的系统平台，方便各层级之间的数据输送、识别和修改，省去中间报表传递、转换的过程。

西门子针对工业 4.0 和智慧工厂的系统要求，设计开发了全集成自动化系统(Totally Integrated Automation，简称 TIA 博途)，是西门子工业自动化集团发布的一款全新的全集成自动化软件。它是业内首个采用统一的工程组态和软件项目环境的自动化软件，几乎适用于所有自动化任务。借助该全新的工程技术软件平台，用户能够快速、直观地开发和调试自动化系统。

TIA 博途是一个以工业以太网(或工业总线)为基础的技术解决方案，它集成了工厂的生产管理系统、人机控制、自动化控制软件、自动化设备、数控机床，形成工厂的物理网络，

实时采集生产过程数据，分析生产过程的关键影响因素，监控生产物流的稳定性和生产设备的实时状态，以实现智能控制整个工厂的生产资源、生产过程，达到智能化、数字化生产的目的。集成自动化系统、MES 和企业 PLM/ERP 的连接实现了整个企业层级自上而下的数字化驱动，产品全生命周期的数字化定义，以及企业全生命周期的技术状态透明化管理，可灵活快速地响应市场需求。