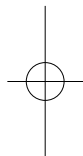
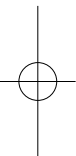


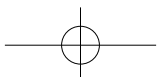
工业 4.0

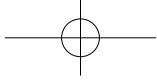
——概念、技术及演进案例

雷万云 姚峻 著



清华大学出版社
北 京





内 容 简 介

这是一本全面、系统、深入论述工业 4.0 的概念、技术和框架、演进策略以及应用的著作。

全书由 3 篇 9 章组成。第 1 篇工业 4.0 的概念、框架及意义，包括第 1 章新科技革命引发第四次工业革命，第 2 章德国工业 4.0 战略分析，第 3 章工业 4.0 的概念、框架及启示；第 2 篇工业 4.0 的关键技术和解决方案，包括第 4 章智能制造的关键技术及组织结构，第 5 章智能制造解决方案，第 6 章工业互联网平台；第 3 篇企业组织向工业 4.0 演进的策略与方法及案例，包括第 7 章企业组织工业 4.0 的参考框架，第 8 章企业组织向工业 4.0 演进的策略与方法及途径，第 9 章企业组织向智能制造演进的案例分析。

本书首先讲解了由社会、经济和科技发展引领的工业革命，并详述了历次工业革命的演进过程，为读者清晰展示了工业 4.0 的演进脉络；其次，系统地阐述了工业 4.0 的概念、内容框架、基础知识、关键技术和解决方案，帮助读者建立起工业 4.0 的基本概念和内容框架。参与本书编写的作者大都是西门子的智能制造专家，而西门子本身又是工业 4.0 的重要发起公司，从而保证了本书的权威性。

本书的编写兼顾了普及性与专业性，理论与实践相结合，尽可能地照顾到不同层次与专业的读者。本书不仅适合作为大专院校相关专业的教材，也可作为企业管理人员、CIO、IT 从业人员、政府相关工作人员日常学习和工作的参考用书。

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

工业4.0：概念、技术及演进案例 / 雷万云，姚峻著. —北京：清华大学出版社，2019
ISBN 978-7-302-53208-8

I. ①工… II. ①雷… ②姚… III. ①智能制造系统—制造工业—研究 IV. ①F407.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 129434 号

责任编辑：杨如林

封面设计：杨玉兰

版式设计：方加青

责任校对：胡伟民

责任印制：

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：

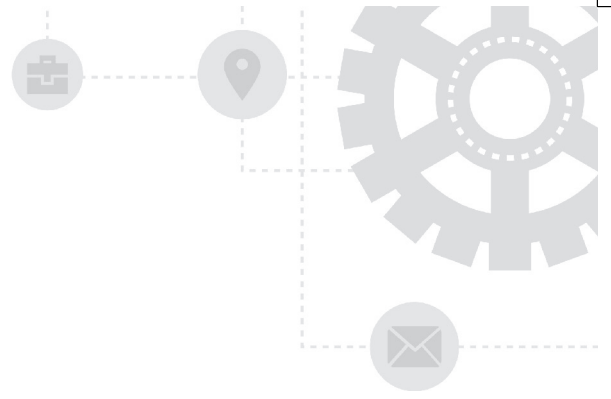
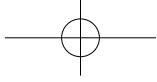
经 销：全国新华书店

开 本：188mm×260mm 印 张：23.75 字 数：550 千字

版 次：2019 年 8 月第 1 版 印 次：2019 年 8 月第 1 次印刷

定 价：79.00 元

产品编号：079261-01



编 委 会

编委会主任：林 斌 封多佳

主 编：雷万云 姚 峻

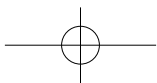
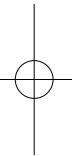
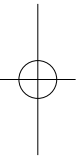
编 委：（以本书内容编排顺序排列）

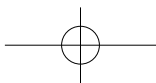
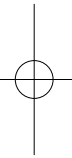
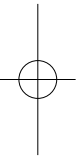
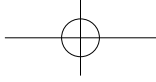
雷万云 姚 峻 徐一滨 朱诚实 任张鑫

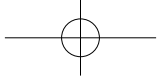
王 静 齐 华 解海龙 张兆中 张 靖

刘姝琦 杨桂忠 唐邦志 樊 琳 李 辉

王保健 苏昆哲 王晓玲 李厚强 赵利华





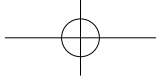


致 谢

本书犹如工业 4.0 概念和体系的演进过程一样，历时超过三年才得以完成。本书是对社会和科技发展以及历次工业革命的演进，科技如何支持人们对现实需求变化的考察研究与总结，它是随着需求而诞生的；是笔者多年对企业信息化建设理论与实践的积累和总结；是西门子公司众多专家在过去的三年多时间里对工业 4.0 研究过程中产生的智能制造解决方案；是集体智慧的结晶、团队合作的成果。因此，我们要感谢的单位、领导、专家和朋友们实在是太多了，无论用多么华丽的词语都难以把我们的谢意表述到位。这里谨向在本书写作过程中参与编写的作者、提供资料的单位和朋友，给予支持的单位领导、专家和朋友们致以衷心的感谢！

感谢西门子（中国）有限公司执行副总裁、数字化工厂集团总经理王海滨先生对本书写作的积极支持和帮助。感谢西门子（中国）有限公司执行副总裁、过程工业与驱动集团总经理林斌先生热情支持本书的写作并担任本书编委会主任，为本书的编写提出了很多建议和指导意见，且积极协调西门子专家团队资源参与本书的编写。感谢作为本书主编的西门子（中国）有限公司过程工业与驱动集团副总裁兼过程自动化总经理姚峻博士，积极协调西门子的专家团队的资源参与本书的编写，并多次组织本书的编写工作会议和腾出时间参与本书的主编工作。感谢西门子工厂工程软件 COMOS 中国区总经理孟广田博士积极支持本书的写作，笔者多次与孟广田博士一起赴德国参观汉诺威工业博览会、德国制药企业数字化工厂，并多次交流工业 4.0 技术和 COMOS 解决方案。感谢西门子（中国）有限公司过程工业行业总监徐一滨、西门子（中国）有限公司医药行业总监朱诚实先生、任张鑫经理积极协调组织西门子编写团队的工作和参与本书的编写工作，为本书的顺利完成付出了辛苦努力。

感谢原西安杨森制药有限公司董事长、中国医药集团总公司董事长、中国化学制药协



工业 4.0

概念、技术及演进案例

会会长郑鸿女士对本书写作的积极支持和帮助。早在 2014 年工业 4.0 处于萌芽阶段，她就积极支持笔者在化学制药协会会长会议上多次宣讲交流工业 4.0，在第一时间把德国工业 4.0 介绍给中国制药行业，并一起探讨制订中国制药行业 4.0 的规划和基于工业 4.0 理念积极推进我国制药行业两化深度融合工作。感谢原化学制药协会信息部主任、瀚晖制药有限公司中央政府事务高级经理王丹女士在中国化学制药协会期间积极支持笔者参与制药行业两化融合工作和协调笔者在行业协会上宣讲工业 4.0 活动。

感谢作为编委会主任的原中国医药集团总公司副总经理、现任中国医药企业发展促进会会长封多佳先生对本书编写的积极支持。在他供职中国医药集团有限公司时期积极支持笔者与西门子的交流合作工作，并积极协调笔者在中国医药集团有限公司下属企业宣讲工业 4.0，推进国药制药企业的数字化进程。

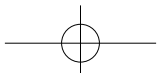
感谢中国医药集团有限公司副总经理胡建伟、副总经理邓金栋、总会计师杨珊华等领导积极支持笔者在中国医药集团有限公司推动的“互联网+”行动计划和信息化建设工作。感谢中国国药集团联合工程有限公司董事长张奇先生积极支持笔者协同同仁们与西门子公司的合作，并积极探讨医药行业工业 4.0 工作。感谢中国国药集团联合工程有限公司李厚强专家积极参与本书有关医药行业参考框架的编写工作。感谢中国国药集团有限公司上下信息化团队体系的同事们多年来对我在中国医药集团有限公司信息化工作和智能制造计划工作上的支持和参与，尤其对中国国药集团有限公司总部信息部李懿凌等同事对笔者工作的鼎力支持和积极参与表示由衷感谢。感谢中国国药集团有限公司信息部齐华帮助笔者协调有关西门子编委会的工作和编写整理部分书稿工作。

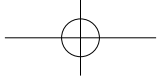
感谢参与本书编写工作的西门子公司智能制造专家团队和其他单位参与编写的作者（作者名单在前言部分列举），感谢你们为本书的顺利完成所做出的辛勤努力。

最后，谨向帮助、支持和鼓励我和我的团队完成本书工作的家人和所有亲朋好友们表达诚挚的感谢！由于你们的大力支持和亲切鼓励，才使得我们能够顺利完成本书的编写工作。

雷万雲 博士

2019 年 5 月于北京





前 言

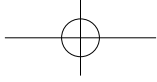
如果说过去的近二十年是消费互联网的黄金年代，中国在此期间诞生了BAT（中国三大互联网公司，B代表百度，A代表阿里巴巴，T代表腾讯）等互联网巨头，那么时至今日，风头正逐渐转向产业互联网。互联网技术在改造完消费服务业后，正迅速而坚定地来到了工业领域，以“工业4.0”之名，掀起了对传统工业的革命。

按照当今世界对历次工业革命演进的共识，可以这样简单表述：工业1.0是机械化，2.0是电气化和内燃机，3.0是自动化和信息化，4.0则是智能制造。2013年4月，德国政府正式推出“德国工业4.0战略”，一个全球性的话题瞬间被引爆，对世界强国来说，这是一次争锋制造业变革发展和互联网下半场的机会，因而世界格局将会发生深刻变化。

在新一轮的工业革命中，各国都在竞相构建自己的智能制造产业体系，这个体系背后是技术体系、标准体系、产业体系，是智能制造产业生态系统的主导权。换言之，各国新一轮工业革命的竞争，是未来全球新工业革命的标准之争。一个国家、一个地区或者一个行业及企业如果不能意识到这场变革的核心以及其中蕴藏的潜能，或者没有找到应对之道，那么当其他国家或地区、其他行业或企业在新技术上取得突破后将获得领先地位。作为世界工厂的中国，各行各业都处在一个转型升级的岔路口上，要么，我们认识到这次新技术的机遇，并且能以正确的策略和路径，将其转化成经济上成功的新产品和服务；要么，就冒经济长期衰退的风险。直面“工业4.0”的时代背景，中国制造的机会在哪里？本书以这一主题展开讨论和论述，与读者一道探讨中国工业4.0的发展策略与路径。

过去，马云看到了消费互联网的发展前景，成就了今天的阿里巴巴。今天产业互联网的风口已经来临，谁将成为下一个马云，成为下一个BAT？是转型的传统制造企业，是工业4.0技术供应商，还是技术解决方案公司？

好了，我们既没有预言也没有分析，预言工作还是留给预言家们吧。或许在10年后



人们可以反观并评价今天所发生的一切，而不是今天就来评论。当今，已经有很多不同的国家、地区和大大小小的企业在着力理解工业 4.0，并抓住这些机会从而开展踏实的工作。

为了抓住机遇，找准向工业 4.0 演进的策略与方法，社会各界必须正确理解工业 4.0 的细节，诸如“第四次工业革命”“信息物理融合系统（CPS）”“智能制造及技术”等概念究竟意味着什么？如何避免这些概念的滥用而成为空洞的口号和浮躁的炒作，因为空洞的口号会阻碍而不是协同人们达到工业 4.0 的既定目标。科技引领产业革命，如果错过了工业 4.0，可能错过的就是一个时代。

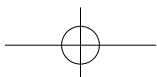
本书作为一本全面、系统、深入论述工业 4.0 概念、技术和架构、演进策略与发方法以及应用的专著，正好弥补了这一领域的空白。

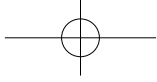
全书由 3 篇 9 章组成。第 1 篇工业 4.0 的概念、框架及意义，包括第 1 章新科技革命引发第四次工业革命，第 2 章德国工业 4.0 战略分析，第 3 章工业 4.0 的概念、框架及启示；第 2 篇工业 4.0 的关键技术和解决方案，包括第 4 章智能制造的关键技术及组织结构，第 5 章智能制造解决方案，第 6 章工业互联网平台；第 3 篇企业组织向工业 4.0 演进的策略与方法及案例，包括第 7 章工业 4.0 的参考框架，第 8 章企业组织向工业 4.0 演进的策略与方法及途径，第 9 章企业组织向智能制造演进的案例分析。

本书是笔者在对云计算等新一代 IT 技术近十年研究的基础上，携手西门子智能制造专家历时三年多对工业 4.0 的跟踪研究和多次赴德国汉诺威工业展览会学习考察，以及在对西门子安贝格等德国数字化工厂的参观考察基础上写作而成的一本关于工业 4.0 专著。因此，这本书并不是关起门来写成的纯理论书籍，它正如工业 4.0 的概念体系诞生一样，是对社会、科技发展以及现实需求变革的考察研究与总结。

本书的主要特点有：一是系统地论述工业 4.0。无论是对社会、经济和科技发展变革引领工业革命的论述，还是对历次工业革命演进过程的描述，都给读者一条工业 4.0 的清晰演进脉络。二是对工业 4.0 的概念、内容框架及基础知识、相关技术都逐一进行了系统性阐述，帮助读者建立起工业 4.0 的基本概念和内容框架，以便深刻理解后续的关键技术和解决方案。三是本书的章节设计力求全面、科学，逻辑性强，能让读者循序渐进地学习书中的内容。四是全面、系统地论述了工业 4.0 的知识、基础技术、关键技术及解决方案。五是本书的权威性和工业 4.0 的原生性。由于参与编写的作者大都是西门子公司的智能制造专家，而西门子本身又是工业 4.0 的重要发起公司，以及笔者留学德国和长期用德语研究工业 4.0 的第一手资料。

在本书的写作过程中力求兼顾普及与专业、理论与实践相结合，尽可能地照顾到不同层次和不同专业的读者，力求给广大读者呈现一个完整、系统和清晰的工业 4.0 体系，以便作为大家日常学习、工作的案头参考书。本书对各章节结构做了精心的设计和安排，有较强的逻辑性，力求系统性、全面性、专业性和实践性。如果您是企业管理人员，可以通





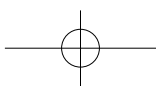
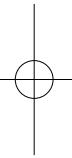
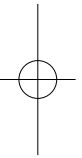
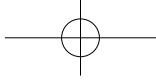
过阅读第 1 篇和第 3 篇来思考企业的战略和管理，了解如何基于工业 4.0 来成功实现企业转型升级，商业模式的创新，提升企业的核心竞争力，以适应新时代企业发展趋势。如果您是企业的 CIO 或 IT 人员，您将能从书中系统获取工业 4.0 的技术知识和解决方案，以科学的策略和方法帮助企业向工业 4.0 演进，并将更深刻体会如何基于工业 4.0 的理念来开展企业数字化、信息化建设，并尽早规划您的职业生涯。如果您是工业 4.0 价值链上的一家解决方案公司或从事智能制造技术开发、服务的 IT 人，通过本书的学习，可以更好地确立您在产业链中的角色，了解工业 4.0 的发展态势、商业模式、技术架构，从而更进一步定位您所在公司的产品、技术或服务。如果您是政府部门的官员或工作人员，可以通过此书关键章节的学习来为政府规划、区域或行业发展、标准制定和为政府监管提供帮助。如果您是大专院校学生，将获得从现有课本无法获取的知识，完善自己的知识结构，及早规划职业生涯，为走向社会提供良好的帮助。总之，本书是值得所有关注工业 4.0 的读者一读的兼顾普及性与专业性的参考书。

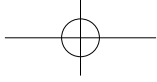
本书编委会主任由西门子（中国）有限公司林斌和中国医药集团有限公司原副总封多佳担任，主编为雷万云博士和西门子（中国）有限公司姚峻博士。在编委会主任协调下，雷万云和姚峻编写了大纲和各章节的主要内容要点，雷万云对全书各章节内容进行了优化和统稿工作，并撰写了前言和致谢。姚峻对西门子（中国）有限公司的技术和解决方案章节部分进行了优化和统稿。其中，第 1 篇由雷万云、中国民航信息网络股份有限公司王静、中国医药集团有限公司齐华编写；第 4 章由雷万云、西门子（中国）有限公司徐一滨、谢海龙、张兆中编写；第 5 章由西门子（中国）有限公司朱诚实、任张鑫、张靖、杨桂忠、刘姝琦、唐邦志、樊林、李辉编写；第 6 章由雷万云、西门子（中国）有限公司王保建、苏昆哲编写；第 7 章由雷万云、中国医药集团联合工程有限公司李厚强、北京智通翔云科技有限公司赵利华编写；第 8 章由雷万云、中国民航信息网络股份有限公司王静编写；第 9 章由西门子（中国）有限公司朱诚实、王晓玲、雷万云编写。

工业 4.0 是一个跨学科的复杂巨系统，并且由于时间仓促，参与编写的作者众多，对于书中的疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。关于对本书的建议和意见可以在我的新浪博客 (<http://blog.sina.com.cn/alexalei>) 留言互动或写信到我的邮箱 (Alexalei@189.cn) 进行交流。

雷万云 博士

2019 年 5 月于北京

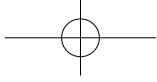




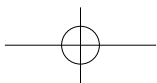
目 录

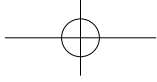
第 1 篇 工业 4.0 的概念、框架及意义

第 1 章 新科技革命引发第四次工业革命	2
1.1 新科技革命正在引发产业革命	2
1.1.1 新时期的科技革命呈现出智能化、生态化等特点	3
1.1.2 新科技革命与产业变革的互动具有复杂性	3
1.1.3 注重战略性新兴产业的发展，兼顾传统产业	4
1.1.4 科技政策与产业政策的协调，推进国家科技发展战略	5
1.2 历次工业革命的演进	6
1.2.1 第一次工业革命	8
1.2.2 第二次工业革命	9
1.2.3 第三次工业革命	10
1.2.4 三次工业革命对社会的冲击	11
1.3 第四次工业革命正在拉开序幕	13
1.3.1 经济爆发式增长和就业困境	15
1.3.2 企业不改变就灭亡	16
1.3.3 放眼国家和全球	17
1.3.4 前所未有的社会变革	18
1.3.5 无孔不入的技术	19
1.3.6 权衡公共信息与个人信息	20
第 2 章 德国工业 4.0 战略分析	22
2.1 德国工业 4.0 战略规划简述	23



2.2	德国工业 4.0 规划愿景	24
2.2.1	工业 4.0 愿景	25
2.2.2	工业 4.0 下的未来情景	25
2.2.3	新型的商业机会和模式	27
2.2.4	工作场所的全新社会基础设施	28
2.2.5	全新的基于服务和实时保障的 CPS 平台	29
2.2.6	工业 4.0 之路	30
2.3	双重战略：成为领先的市场和供应商	32
2.3.1	领先的供应商策略	32
2.3.2	主导市场策略	33
2.3.3	双重战略及其关键特征	34
2.4	需求研究	37
2.5	优先行动领域	39
2.5.1	标准化和开放标准的参考体系	39
2.5.2	管理复杂的系统	42
2.5.3	为工业提供一个全面宽频的基础设施	45
2.5.4	安全是工业 4.0 成功至关重要的因素	46
2.5.5	数字化工业时代工作的组织和设计	50
2.5.6	培训和持续的职业发展	52
2.5.7	规章制度	56
2.5.8	资源效率	59
2.6	德国如何与世界其他国家竞争	63
2.7	展望	65
2.8	德国工业 4.0 的新动态	66
2.8.1	工业 4.0 对就业岗位的影响	66
2.8.2	新开设的“中小企业 4.0 能力中心”	66
2.8.3	2018 年全球数字化转型报告	67
第 3 章	工业 4.0 的概念、框架及启示	69
3.1	工业 4.0 的概念和内容框架	69
3.1.1	工业 4.0 的概念	69
3.1.2	工业 4.0 的两大目标	70
3.1.3	工业 4.0 的内容框架	71
3.1.4	工业 4.0 的主要内容	72
3.2	工业 4.0 的主要基础技术	76
3.2.1	支持工业 4.0 的新一代 IT 技术	77

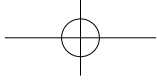




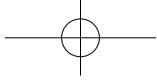
3.2.2	大数据是工业 4.0 的基础与核心技术	81
3.2.3	大数据、云计算和 AI 三者之间的关系	82
3.2.4	5G 技术的到来加速工业物联网发展	84
3.3	深入剖析“工业 4.0”及其重要意义	86
3.3.1	德国为什么提出工业 4.0 规划	86
3.3.2	对德国工业 4.0 我们如何认识	90
3.3.3	德国工业 4.0 的全球影响和展望	95
3.3.4	德国工业 4.0 对中国的启示	96

第 2 篇 工业 4.0 的关键技术和解决方案

第 4 章	智能制造的关键技术及组织结构	100
4.1	CPS 数字物理融合技术	100
4.1.1	CPS 数字物理融合技术国内外研究态势	101
4.1.2	CPS 数字物理融合技术体系	101
4.1.3	智能制造的技术机理：“人 - 信息 - 物理系统”	109
4.2	智能制造	112
4.2.1	智能制造的三个基本范式	113
4.2.2	数字化制造	114
4.2.3	数字化 - 网络化制造	114
4.3	新一代智能制造——数字化 - 网络化 - 智能化制造	114
4.3.1	新一代智能制造的系统组成与系统集成	115
4.3.2	智能产品与制造装备	115
4.3.3	智能生产	116
4.3.4	智能服务	116
4.3.5	智能制造云与工业物联网	116
4.3.6	系统集成	117
4.4	工业互联网技术	117
4.4.1	企业网络	117
4.4.2	工业以太网	124
4.4.3	PROFINET 实时工业以太网	130
4.4.4	工业以太网网络规划	135
4.4.5	西门子工业以太网产品	142
4.5	工业网络安全	146
4.5.1	工业基础设施与控制系统的现状与威胁	147



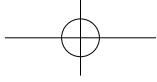
4.5.2	工业信息安全在智能工厂中的关键性	149
4.5.3	工业控制系统政策与法规的影响	150
4.5.4	纵深防御理念	151
4.5.5	控制系统的层级划分与安全策略	153
4.5.6	控制系统安全应用场景与西门子的解决方案	155
4.5.7	工厂信息安全服务	158
第 5 章	智能制造解决方案	160
5.1	工厂自动化与智能工厂数字化平台	160
5.1.1	智能工厂数字化平台概述	160
5.1.2	西门子自动化系统 SIMATIC PCS 7	163
5.2	西门子工程设计与运维软件 COMOS	193
5.2.1	COMOS 平台的特点	193
5.2.2	COMOS 一体化工程设计	195
5.2.3	COMOS 与 DCS 的集成	196
5.2.4	COMOS 数字化工厂与一体化运维	199
5.3	智能工厂中的数据源泉	202
5.3.1	工业识别获取准确的信息使工厂透明化	203
5.3.2	工业识别系统原理及应用举例	203
5.3.3	西门子工业识别产品线简介	205
5.4	西门子制造执行系统 (MES) 产品 SIMATIC IT eBR	212
5.4.1	SIMATIC IT eBR 介绍	212
5.4.2	生命科学行业实施 MES 的必要性	222
5.4.3	实施 MES 给生命科学行业带来的优势	223
5.4.4	某制药企业实施 MES 的经验分享	225
5.4.5	西门子生命科学行业数字化制造运营管理产品家族	226
5.5	PAT 过程分析技术	231
5.5.1	PAT 和 QbD 概述	231
5.5.2	制药企业需要实施 PAT	232
5.5.3	如何成功实施 PAT	233
5.5.4	SIPAT——西门子提供的 PAT 数据解决方案	234
5.5.5	案例研究	238
第 6 章	工业互联网平台	240
6.1	工业互联网的概念	240
6.1.1	如何理解工业互联网	240
6.1.2	工业互联网与工业物联网 (IIoT) 是什么关系	241



6.1.3	工业互联网平台	241
6.1.4	工业互联网与智能制造的关系	242
6.1.5	工业互联网与工业大数据的关系	242
6.1.6	工业互联网目前的成熟度	243
6.2	西门子 MindSphere 平台	243
6.2.1	MindSphere 概述	243
6.2.2	MindSphere 融合真实世界与数字化世界	244
6.2.3	MindSphere 开放式平台即服务 (PaaS)	247
6.2.4	MindSphere 在特定领域行业的应用和数字化服务	252
6.2.5	采用全数字化双胞胎进行闭环创新	256
6.3	美国工业互联网	258
6.3.1	工业互联网的由来	258
6.3.2	工业互联网联盟的运行机制	259
6.3.3	美国工业互联网的三大法宝	259
6.3.4	GE 的工业云平台	262
6.4	工业互联网平台发展趋势	266
6.5	对我国工业互联网发展的启示	268

第 3 篇 企业组织向工业 4.0 演进的策略与方法及案例

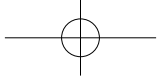
第 7 章	企业组织工业 4.0 的参考框架	272
7.1	RAMI 4.0 术语	272
7.2	整体架构模型	273
7.3	小公司怎么参与	274
7.4	联合的走向	275
7.5	中国智能制造参考架构	276
7.6	数据编码标准体系建设	279
7.6.1	数据编码标准体系建设的目标、内容及意义	279
7.6.2	主数据编码管理体系概述	280
7.6.3	智通翔云主数据管理解决方案及系统	282
7.7	医药行业 4.0 的参考框架分析	284
7.7.1	医药行业自动化和信息化现状	285
7.7.2	医药行业 4.0 的推动力	286
7.7.3	《医药工业发展规划指南》智能制造解读	289



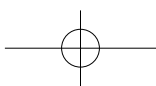
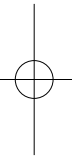
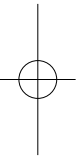
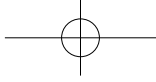
工业 4.0

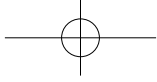
概念、技术及演进案例

7.7.4	医药行业 4.0 的参考框架分析	291
7.7.5	推进医药行业 4.0 面临的问题与应对之策	296
第 8 章	企业组织向工业 4.0 演进的策略与方法及途径	298
8.1	中国制造 2025	298
8.1.1	原则	298
8.1.2	《中国制造 2025》规划	299
8.1.3	内容概要	300
8.2	两化融合与工业互联网	300
8.2.1	工业互联网与两化融合	301
8.2.2	工业互联网政策解读	302
8.3	向工业 4.0 演进的策略及途径	303
8.3.1	智能制造现状比较分析	303
8.3.2	建设数字化企业的策略	304
8.3.3	数字化工厂的演进途径	305
8.4	智能化工厂规划的核心要素	310
8.4.1	数据的采集和管理	311
8.4.2	设备联网	312
8.4.3	工厂智能物流	312
8.4.4	生产质量管理和设备管理	312
8.4.5	智能厂房设计	313
8.4.6	智能装备的应用	313
8.4.7	智能产线规划	314
8.4.8	制造执行系统	314
8.4.9	生产无纸化	314
8.5	企业组织向工业互联网演进的策略与方法	315
8.5.1	工业互联网是制造业转型升级的必由之路	315
8.5.2	深入理解工业互联网	316
8.5.3	制造业向工业互联网演进的路径	318
第 9 章	企业组织向智能制造演进的案例分析	323
9.1	打响智慧战“疫”，守卫动物健康	323
9.1.1	智慧蜕变正当时	324
9.1.2	端到端集成：从一体化工程到一体化运维	325
9.1.3	纵向集成：快速响应复杂的市场需求	325
9.1.4	横向集成：挖掘大数据背后的价值	326
9.2	凯赛携手西门子打造生物制造领域的世界级数字化生产基地	327



9.2.1	实现跨越.....	327
9.2.2	研发提升.....	329
9.2.3	保证反应无中断.....	329
9.2.4	稳定高效的生产.....	330
9.2.5	一体化运维.....	331
9.3	弯道超车——西门子打造的全流程自动化无菌车间.....	332
9.3.1	四大亮点打造样板车间.....	332
9.3.2	不仅是条生产线.....	333
9.3.3	协作典范.....	334
9.4	澳大利亚多乐士——实现任何颜色可调制.....	334
9.4.1	个性化涂料生产.....	335
9.4.2	仿真贴合现实.....	335
9.4.3	无纸化生产实现高效归档.....	336
9.4.4	提高生产效率，降低能源消耗.....	337
9.4.5	公司秉承合作传统.....	337
9.5	解码蓉生——西门子助力“中国血液制品”.....	337
9.5.1	目标：两化融合.....	338
9.5.2	事半功倍的信息化利器.....	338
9.5.3	拥有大数据将拥有未来.....	340
9.6	医药供应链云服务物流平台.....	340
9.6.1	赛飞药品供应链云服务平台综述.....	340
9.6.2	项目背景及目的.....	341
9.6.3	解决方案及关键技术.....	341
9.6.4	主要功能及业务.....	344
9.6.5	应用情况及成效.....	346
9.7	他山之石：欧洲企业向工业 4.0 演进趋势及案例.....	347
9.7.1	欧洲企业演进现状综述.....	347
9.7.2	通向数字化工厂的蓝图.....	354
9.7.3	国内数字化工厂的省思.....	355
9.7.4	基于工业 4.0 框架下的智慧供应链发展趋势.....	357
	参考文献.....	359





第3章

工业 4.0 的概念、框架及启示

在第 2 章我们系统地分析了德国工业 4.0 的规划内容，本章我们将对工业 4.0 的概念、内容框架以及关键要素进行梳理总结，以便帮助读者形成一个清晰的系统框架。正如第 2 章所阐述的那样，工业 4.0 是德国政府提出的一个高科技战略计划，旨在提升德国制造业的智能化水平，建立具有适应性、资源利用效率高的智能工厂，在商业流程及价值流程中整合客户及商业伙伴。其技术基础是网络实体系统及物联网。

3.1 工业 4.0 的概念和内容框架

德国政府提出工业 4.0 战略，并在 2013 年 4 月的汉诺威工业展览会上正式推出，其目的是为了提高德国工业的竞争力，在新一轮工业革命中抢占先机。工业 4.0 战略已经得到德国科研机构 and 产业界的广泛认同，弗劳恩霍夫协会在其下属的 6、7 个生产领域的研究所引入工业 4.0 概念，西门子股份公司（以下简称为西门子）已经将这一概念引入其工业软件开发和生产控制系统，我们在第 2 篇将着重介绍西门子关于向工业 4.0 演进的应用技术和解决方案。

3.1.1 工业 4.0 的概念

德国政府将工业 4.0 提升到国家级战略地位，其目标是通过充分利用信息通信技术和网络空间虚拟系统、信息物理系统，将制造业向数字化转型。要完全达到理想状态，必须做到生产过程各阶段中数据流的畅通无阻，包括产品设计、生产规划、生产工程、生产实施以及服务，如图 3-1 所示。

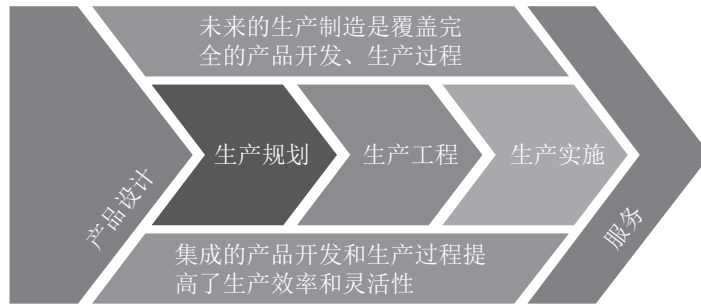
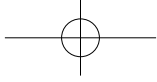


图 3-1 工业 4.0 的概念

工业 4.0 就是行业、企业甚至国家如何利用新一代的信息技术，结合传统的德国制造优势形成的一个互联网+的工业模式。即如何从产品的设计、规划、工程、实施再到服务五大环节用数字化打通，最后呈现出来的一个新的生产模式，是对传统生产方式的一次革命。

3.1.2 工业 4.0 的两大目标

工业 4.0 的两大目标：一是智能制造，二是智能工厂。过去对于智能制造商有几种说法，如数字化制造、智慧制造等，这些表述都不准确。工信部和工程院把中国版的工业 4.0 的核心目标定义为智能制造。由智能制造再延伸到具体的工厂，就是智能工厂。

智能制造是工业 4.0 的核心。作为广义概念，智能制造包含五个方面，实现这五个方面的智能化之后，才可以实现智能制造。

智能制造是一个巨系统，工业 4.0 就意味着超复杂的巨系统形成。例如，车间里面的机器如同智能手机，通过更新操作系统实现功能升级，通过工业 App 实现各种功能，通过 API 不断拓展制造生态系统。

所有的机器、产品、零部件、人员、原材料，所有的研发工具、测试验证平台、虚拟产品和工厂，所有的产品管理、生产管理、运营管理流程，所有的研发、生产、管理、销售员工，各级供应商以及成千上万的客户，都将是这一系统的重要组成部分，一个基于云端、管道、端到端的信息复杂的体系正在形成。

在智能工厂，德国人希望实现两个概念目标，一是机器生产机器；二就是无人工厂，或者称为黑灯工厂，或百分百全智能工厂，人与智能机器并存。智能工厂是现代工厂发展的新阶段，是在数字化基础上，利用物联网技术和设备监控技术，来加强信息和服务，如图 3-2 所示。

工业 4.0 的本质是基于“信息物理系统”实现“智能工厂”。信息物理系统是指通过传感网紧密连接现实世界，将网络空间的高级计算能力有效运用于现实世界中，从而在生产制造过程中，通过传感器采集并分析与设计、开发、生产有关的所有数据，形成可自律操作的智能生产系统。

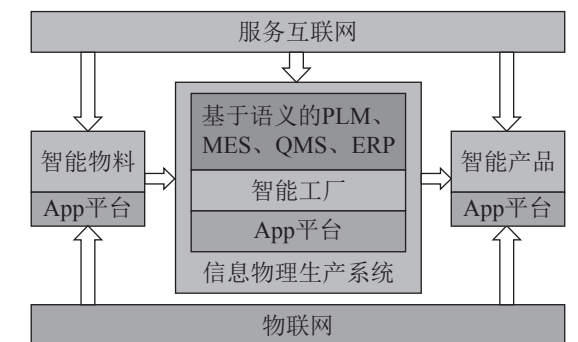


图 3-2 智能工厂的架构——基于物联网和服务互联网

信息物理系统就是将物理设备连接到互联网上，让物理设备具有计算、通信、精确控制、远程协调和自治五大功能，从而实现虚拟网络世界与现实物理世界的融合。CPS 可以将资源、信息、物体以及人紧密联系在一起，从而创造物联网及相关服务，并将生产工厂转变为一个智能环境。这是实现工业 4.0 的基础。

工业 4.0 的核心是动态配置的生产方式。动态配置的生产方式指从事作业的机器人（工作站）能够通过网络实时访问所有相关信息，并根据信息内容，自主切换生产方式及更换生产材料，从而调整成为最匹配模式的生产作业。

工业 4.0 的首要目标是工厂标准化。以往，我们听到的大多是“产品的标准化”，而德国工业 4.0 将推广“工厂的标准化”，借助智能工厂的标准化将制造业生产模式推广到国际市场，以标准化来提高技术创新和模式创新的市场化效率，继续保持德国工业的世界领先地位。

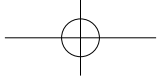
智能制造有五大要求：

- 产品智能化：产品可追溯、可识别、可定位、可管理；
- 装备智能化：智能工厂，设备全面联网和通信；
- 生产智能化：个性化定制、极少量生产、服务型制造以及云制造；
- 服务智能化：用户需求高效、准确、及时挖掘、识别和满足；
- 管理智能化：企业内无信息孤岛，企业间实时互联，企业、人、设备、产品实时互联。

智能制造的内涵有五个方面：生产效率提升、资源综合利用率提升、研发周期大幅缩短、运营成本大幅下降、产品不良品率大幅下降。简言之这也就是智能制造的目的，即降低成本，提高效率，使产品快速进入市场。这也是我们一直追求的目标。

3.1.3 工业 4.0 的内容框架

与美国流行的第三次工业革命的说法不同，德国将制造业领域技术的渐进性进步描述



工业4.0 概念、技术及演进案例

为工业革命的四个阶段，即工业 4.0 的进化历程。德国学术界和产业界认为，未来 10 年，基于信息物理系统（CPS）的智能化，将使人类步入以智能制造为主导的第四次工业革命。产品全生命周期和全制造流程的数字化以及基于信息通信技术的模块集成，将形成一个高度灵活、个性化、数字化的产品与服务的生产模式。

德国工业 4.0 战略要点可以概括为：建设一个网络、研究四大主题、实现三项集成、实施八项计划，如图 3-3 所示。

首先是一个 CPS 虚拟物理网络，然后在这个网络里可以解决智能生产、智能工厂、智能物流、智能服务，把物联网逐步集成在一个服务的互联网上。这样一个网络中共有 3 项集成，纵向集成、横向集成、端到端的集成。德国是非常严谨的，要实现这样一个蓝图，还有一个全国自上而下的八项计划，即标准化和参考架构、管理复杂系统、工业宽带基础、安全和保障、工作的组织和设计、培训与再教育、监管框架以及资源利用效率，通过 10 年的时间演进到 4.0 时代。

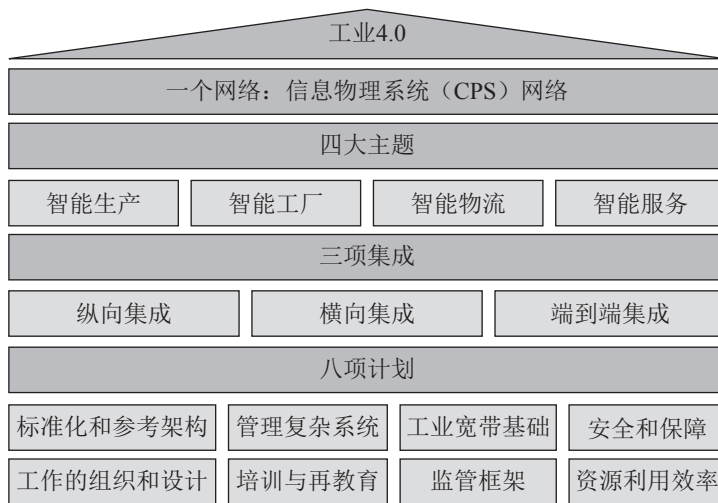
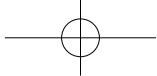


图 3-3 德国工业 4.0 的战略框架（1438 模型）

它的演进蓝图是通过 CPS 网络基于云端产生大数据分析，最终形成工业 4.0。工业 4.0 的销售模式从以产定销向以销定产转型；生产方式从规模化向规划化 + 定制化转型；生产过程从刚性生产向柔性生产转型；企业形态由封闭走向开放；产品形态从产品向产品 + 服务转型。

3.1.4 工业 4.0 的主要内容

如图 3-3 所示，工业 4.0 战略的内容框架可以概括为一个网络、四大主题、三项集成、



八项计划以及大数据分析。

1. 建一个网络：信息物理网络系统（CPS）

CPS 就是将物理设备连接到互联网上，让物理设备具有计算、通信、精确控制、远程协调和自治五大功能，从而实现虚拟网络世界与现实物理世界的融合，将网络空间的高级计算能力有效地运用于现实世界中，从而在生产制造过程中，将与设计、开发、生产有关的所有数据通过传感器采集并进行分析，形成可自律操作的智能生产系统。

(1) CPS 可以将系统资源、信息、物体以及人紧密联系在一起，从而创造物联网及相关服务，并将生产工厂转变为智能环境。

(2) CPS 将提供全面、快捷、安全可靠的服务和应用业务流程。

(3) 支持移动终端设备和业务网络中的协同制造、服务、分析和预测流程等。

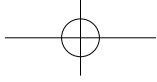
2. 四大主题构建工业 4.0 的核心业务

工业 4.0 的概念包含了由集中式控制向分散式增强型控制的基本模式转变，目标是建立一个高度灵活的个性化和数字化的产品与服务的生产模式。在这种模式中，传统的行业界限将消失，并会产生各种新的活动领域和合作形式。创造新价值的过程正在发生改变，产业链分工将被重组。

工业 4.0 的四个主题是智能工厂、智能生产、智能物流和智能服务。智能工厂侧重点在于企业的智能化生产系统以及制造过程和网络化分布式生产设施的实现；智能生产侧重点在于企业的生产物流管理、制造过程人机协同以及 3D 打印技术在企业生产过程中的协同应用；智能物流作为制造企业非常重要的资源节点，其侧重点在于通过互联网、物联网整合物流资源，充分发挥现有的资源效率；智能服务作为制造企业的后端网络，其侧重点在于通过服务联网结合智能产品为客户提供更好的服务，发挥企业的最大价值。

(1) 智能工厂是传统制造企业发展的一个新的阶段。它是在数字化工厂的基础上，利用物联网的技术和设备监控技术加强信息管理和服务，清楚地掌握产销流程，提高生产过程的可控率，减少生产线上人工的干预，实时正确地采集生产线数据，以及合理的生产计划与生产进度，并加以绿色制造手段，构建一个高效节能、绿色环保、环境舒适的人性化工厂。未来各个工厂将具备统一的机械、电器和通信标准。以物联网和服务互联网为基础，配备传感器、无线网络和 RFID 通信技术的智能控制设备可以对生产过程进行智能化监控。由此，智能工厂可以自主运行，工厂之间的零部件与机器可以互相交流。

智能工厂由软件操控进行资源整合，以发挥各环节的最大效率。智能工厂中的机器将全部由软件控制，工人只需要操作计算机就可以完成生产，进一步解放了工人。整体看来，它就是一个拥有高度协同性的生产系统，包括实时监控、自动化管理、流程控制、能源监控等功能；收集及整合整个智能工厂的业务数据，通过大数据的分析整合，使其全产业链可视化，达到生产最优化、流程最简化、效率最大化、成本最低化和质量最优化的目的。



工业4.0

概念、技术及演进案例

(2) 智能生产是由用户参与实现“定人定制”的过程。智能生产的车间可以实现大规模定制，对生产的柔性要求极高。鉴于此，生产环节要广泛应用人工智能技术、采用一体化的智能系统，智能化装备在生产过程中得以大展拳脚。工厂的工人和管理者可以通过网络对生产的每一个环节进行监控，实现智能化管理。

一体化的智能系统是由智能装备和人类专家组成的，在制造过程中进行智能化的活动，诸如分析、推理、判断、构思和决策等，通过人与智能装备的合力共事，去扩大、延伸和部分取代人类专家在制造过程中的脑力劳动。它把制造自动化的概念更新，扩展到柔性化、智能化和高度集成化。与传统制造相比，智能生产具有自组织和超柔性、自律能力、自学习能力和自维护能力、人机一体化、虚拟现实等特性。

(3) 智能物流以客户为中心，促进资源优化配置。根据客户的需求变化，灵活调节运输方式，应用条码、RFID、传感器、全球定位系统等先进的物联网技术，通过信息处理平台，实现货物运输过程的自动化运作和高效率优化管理，从而促进区域经济的发展 and 资源的优化配置，方便人们的生活。

(4) 智能服务促进新的商业模式，促进企业向服务型制造转型。智能产品 + 状态感知控制 + 大数据处理，将改变产品的现有销售和使用模式。增加了在线租用、自动配送和返还、优化保养和设备自动预警、自动维修等智能服务新模式。

无论产业界或学术界如何解读工业 4.0，它的本质都是数据，这些数据包括了智能产品的数据、企业运营的数据、产业链上的数据、企业外部数据等。这些数据串起了工业 4.0 的生态圈。

3. 三项集成

工业 4.0 的三项集成包括：横向集成、纵向集成与端到端的集成，如图 3-4 所示。工业 4.0 将无处不在的传感器、嵌入式终端系统、智能控制系统、通信设施通过 CPS 形成一个智能网络，使人与人、人与机器、机器与机器以及服务与服务之间能够互联，从而实现横向、纵向和端对端的高度集成。集成是实现工业 4.0 的重点也是难点。

1) 纵向集成

纵向集成不是一个新话题，企业信息化发展经历了从部门需求、单体应用到协同应用的历程，伴随着信息技术与工业融合发展常讲常新。换句话说，企业信息化在各个部门发展阶段的里程碑，就是企业内部信息流、资金流和物流的集成。是在哪一个层次、哪一个环节、哪一个水平上的集成？是生产环节上的集成（如研发设计内部信息集成），还是跨环节的集成（如研发设计与制造环节的集成），或是产品全生命周期的集成（如从产品研发、设计、计划、工艺到生产、服务的全生命周期的信息集成）？简单地说，纵向集成就是解决企业内部信息孤岛的集成，工业 4.0 所要追求的就是在企业内部实现所有环节的信息无缝链接，这是所有智能化的基础。

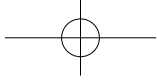


图 3-4 工业 4.0 的三项集成

2) 横向集成

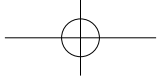
横向集成是企业之间通过价值链以及信息网络实现的一种资源整合，是为了实现各企业间的无缝合作，提供实时产品与服务。在市场竞争牵引和信息技术创新驱动下，每一个企业都是在追求生产过中的信息流、资金流、物流无缝链接与有机协同。在过去，这一目标主要集中在企业内部，但现在远远不够了，企业要实现新的目标：从企业内部的信息集成向产业链信息集成，从企业内部协同研发体系向企业间的研发网络，从企业内部供应链管理向企业间的协同供应链管理，从企业内部的价值链重构向企业间的价值链重构。横向集成是企业之间通过价值链以及信息网络所实现的一种资源整合，为实现各企业间的无缝合作，提供实时产品与服务，推动企业间研产供销、经营管理与生产控制、业务与财务全流程的无缝衔接和综合集成，实现产品开发、生产制造、经营管理等在不同企业间的信息共享和业务协同。

横向集成主要实现企业与企业之间、企业与售出产品之间（如车联网）的协同，将企业内部的业务信息向企业以外的供应商、经销商、用户进行延伸，实现人与人、人与系统、人与设备之间的集成，从而形成一个智能的虚拟企业网络。制造业普遍存在的工程变更协同流程就是这样一个典型的横向集成应用场景。

3) 端到端的集成

端到端集成是指贯穿整个价值链的工程化数字集成，是在所有终端数字化的前提下实现的基于价值链与不同公司之间的一种整合，这将最大限度地实现个性化定制。从某种意义上讲，端到端的集成是一个新理念，各界对于端到端集成有不同的理解。

什么是端到端？顾名思义，就是围绕产品全生命周期，流程从一端（点）到另外一端（点），中间是连贯的，不会出现局部流程、片段流程，即没有断点。从企业层面来看，



工业4.0

概念、技术及演进案例

ERP 系统、PDM 系统、组织、设备、生产线、供应商、经销商、用户、产品使用现场（汽车、工程机械使用现场）等围绕整个产品生命周期的价值链上的管理和服务都是整个 CPS 信息物理网络需要连接的端（点）。

端到端集成就是把所有应该连接的端（点）都集成互联起来，通过价值链上不同企业资源的整合，实现从产品设计、生产制造、物流配送、使用维护的产品全生命周期的管理和服务，它以产品价值链创造集成供应商（一级、二级、三级……）、制造商（研发、设计、加工、配送）、分销商（一级、二级、三级……）以及客户信息流、物流和资金流，在为客户提供更有价值的产品和服务的同时，重构产业链各环节的价值体系。

由于整个产业生态圈中的每一个端（点）所讲的语言（通信协议）都不一样，数据采集格式、采集频率也不一样。要让这些异构的端（点）都连接起来，实现互联互通、相互感知，就需要一个能够做到“同声翻译”的平台，这个同声翻译平台就是企业服务总线，在该平台上实现书同文、车同轨。这样就解决了集成的最大障碍，实现互联互通就容易了。

端到端的集成即可以是内部的纵向集成内容，也可以是外部的企业与企业之间的横向集成内容，关注点在流程的整合上。例如，提供用户订单的全程跟踪协同流程，将用户、企业、第三方物流、售后服务等产品全生命周期服务的端到端集成。

横向、纵向、端到端三个集成的实现，不论技术层面还是业务层面在 SOA 信息集成都能找到相应的解决方案。

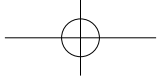
4. 八项计划

八项计划是指标准化和参考架构、管理复杂系统、工业宽带基础、安全和保障、工作的组织和设计、培训与再教育、监管框架和资源利用效率。

这八项计划是一个比较宏观的指导意见，需要国家、产业、企业每一个层面去具体落实和实践，这样设计出的可操作行动计划才具备可行性。为了保障工业 4.0 的顺利实现，德国把标准化排在八项行动中的第一位。可以说，标准先行是工业 4.0 战略的突出特点。为此，我们在推进信息技术与工业企业深度融合的具体实践中，也应高度重视发挥标准化工作在产业发展中的引领作用，及时制定出台“两化深度融合”标准化路线图，引导企业推进信息化建设。

3.2 工业 4.0 的主要基础技术

工业 4.0 是基于传统德国制造的优势，互联网 + 所形成的全新的工业革命的理念，以及九大基础技术：其支持技术分别是 3D 打印、工业机器人、工业网络安全和知识工作自动化；位于底层的工业物联网、云计算、工业大数据是关键基础；顶层形成所谓的虚拟现



实，面向未来，最后基于人工智能逐步演进到智能工厂，如图 3-5 所示。

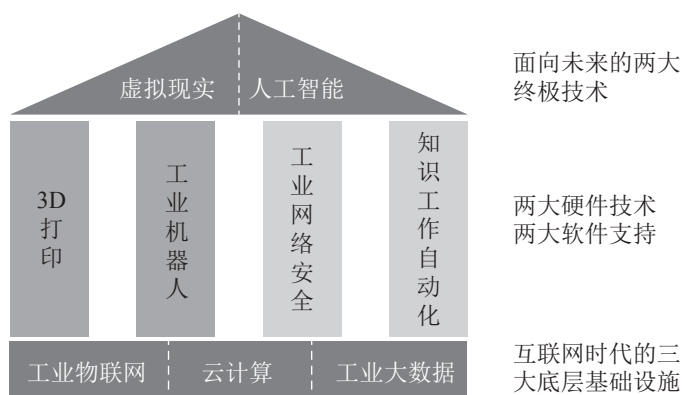


图 3-5 工业 4.0 的九大技术支柱

3.2.1 支持工业 4.0 的新一代 IT 技术

笔者一直认为，新一代 IT 技术是推动工业 4.0 发展的重要原动力，而云计算更是新一代 IT 技术的基础。新一代 IT 技术主要包括云计算、大数据、移动互联、物联网及社交化网络等。这个过程中，云计算是新 IT 的基础，有了云计算，然后才有大数据。大数据是移动互联、物联网、移动社交的基础平台，这些都不是独立的。

1. 工业物联网

物联网是指通过各种信息传感设备，实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程，采集其声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等各种需要的信息，与互联网结合形成的一个巨大网络，如图 3-6 所示。其目的是实现物与物、物与人，所有的物品与网络的连接，方便识别、管理和控制。物联网清晰地描述了一种唯一确定的物理对象间的连接，物品能够通过这种连接自主地相互联系，这种交互作用发生在其与机器之间，对象与对象之间。

物联网的提出突破了将物理设备和信息传送分开的传统思维，实现了物与物的交流，体现了大融合理念，具有很大的战略意义。

工业物联网是工业 4.0 的核心基础，有无处不在的传感器，这些传感器进行互联以后就形成了大量的数据，然后回到数字中枢，进行数据的清洗、整理、挖掘，数据再增值。过去的大数据在服务业企业运用得比较多，工业企业很多数据没有被完全挖掘出来，现在一个新的市场正在形成，就是通过工业物联网形成大量数据，来重新产生价值。所以工业 4.0 第一个基础技术领域是工业物联网。

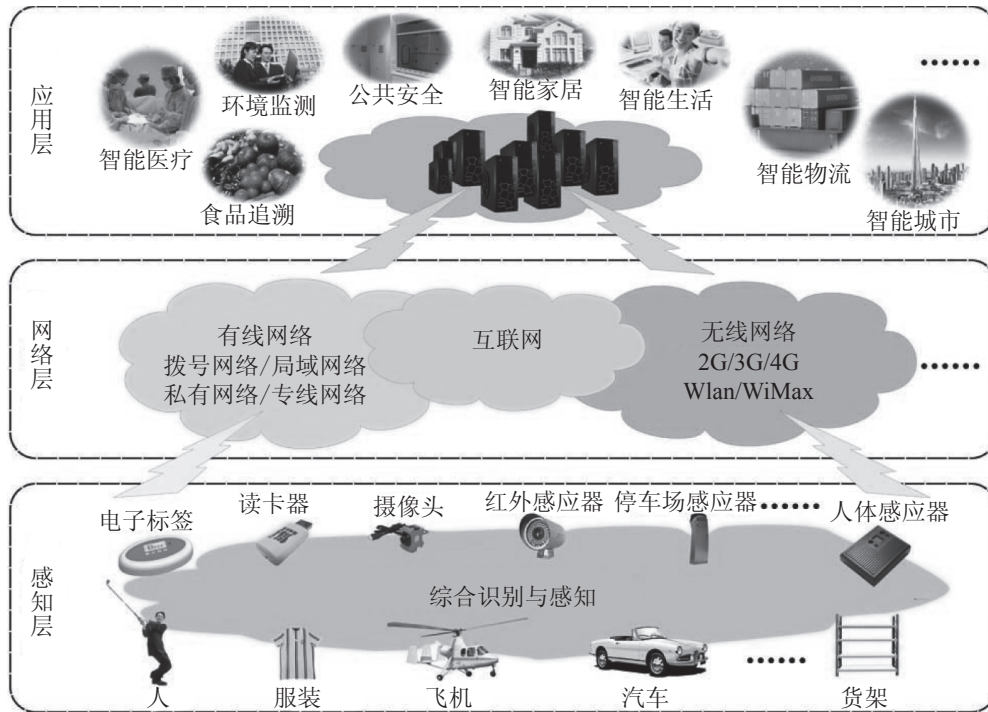


图 3-6 物联网原理示意图

2. 云计算

目前，云计算正在成为 IT 产业发展的战略重点。2014 年，全球 IT 公司纷纷向云计算转型，带来市场规模的进一步增长。2015 年，云计算市场呈现出混合云成为云服务业务的重要方向，企业级的移动云应用持续升温，智能城市和工业等重点行业应用成为云计算重要市场，垂直行业的云应用取得突破等四大热点。

分布式计算和虚拟化技术是云计算的重要内容。从技术的角度讲，云计算给出了一种全新的计算资源管理和使用的思路。从用户的角度出发，如果对业务系统中间的技术实现并不关心，又能获得确保系统安全、可靠的应用系统，那么完全可以将 IT 基础设施、开发环境、应用程序放在云端，进而通过客户端直接获取应用系统。这种方式就是云计算的 SaaS 模式，它直接对用户的应用界面，IT 基础设施的部署、系统的开发运行都在云端进行，对用户透明。用户避免了 IT 系统建设前期巨额的资本开支，降低了业务风险，可以依据业务需要灵活增加新模块，避免过大投入导致资源浪费。PaaS 模式满足了具备一定技术能力的软件开发人员的需求，用户在固定的底层硬件设备和开发环境中设计软件系统。IaaS 模式则进一步放权，仅向 IT 管理人员提供基础的计算、存储资源，在此之上的系统、开发环境都由其自主设计。

云实际上是一种新的 IT 资源的交付方式。从企业的角度，笔者认为云计算的含义可

以分别用一二三四五来解释。所谓一就是一个全新的服务交付模式，即把企业内部资源整合成一种 IT 的服务交付，对于企业来讲意味着一套系统、一个平台、一站式服务等，可以看出，云计算是实现工业 4.0 三大集成的重要技术基础。二是指底层的云计算 IaaS 平台，可以承载云服务，云服务就意味着互联网+。三是基础设施 IaaS 平台、Paas 平台、软件应用平台 SaaS。四是四种部署方式及云的五大特征，这些内容大家都比较清楚，就不赘述了。

云计算的实质可以用六个字来概括，就是智能、资源、模式。对企业管理者来讲，要关注如何把企业的资源通过企业的智能、云计算的智能和 CEO 的智能整合起来，基于云计算平台封装成服务以不同的商业模式，交付给企业和客户、供应商，为他们提供服务。对 CIO 来讲，要关注如何利用云计算的智能、CIO 智能，把企业的 IT 资源整合起来，形成一种 IT 服务模式，交付给企业员工、客户以及供应商使用。

3. 工业大数据

工业大数据在整个工业 4.0 里也是一个至关重要的技术领域。现在，硅谷和德国很多新的工业大数据公司都提供工业数据的分析、采集，还提供数据采集器。这些工业数据会在云端保存，通过对工业数据的分析，重新分析机器的运行以及提升效率。

另外，大数据还包括对企业的业务分析与优化，引领企业增长。大数据对于企业意味着如何在传统 BI 的基础上形成敏捷的 BI，然后再进行互联网数据关联，通过应用大数据、工业大数据的分析来创造透明度。通过验证试验来了解市场、企业的运作和细分客户，采用灵活的方式形成新的商业模式、产品及服务。

显然，企业管理自身的数据、行业数据以及外界数据的能力是企业核心竞争力的重要组成部分。用大数据来进行业务的优化、市场的分析、风险的主动防范、引领企业增长是应用大数据的意义所在，如图 3-7 所示。

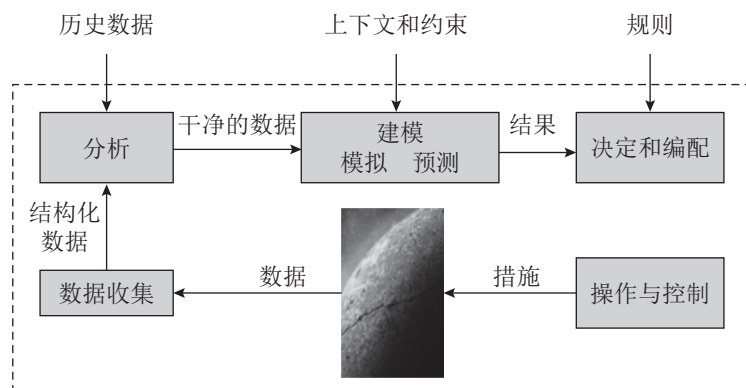
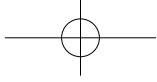


图 3-7 基于大数据所形成增值链的分析和优化框架



工业4.0

概念、技术及演进案例

4. 工业机器人

工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器装置，它能自动执行工作，是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。工业机器人由主体、驱动系统和控制系统三个基本部分组成，具有可编程、拟人化、通用性的特点。它可以接受人类指挥，也可以按照预先编排的程序运行。现代的工业机器人还可以根据人工智能技术制定的原则纲领行动。

工业机器人由主体、驱动系统和控制系统三个基本部分组成。主体即机座和执行机构，包括臂部、腕部和手部，有的机器人还有行走机构。大多数工业机器人有3~6个运动自由度，其中腕部通常有1~3个运动自由度。驱动系统包括动力装置和传动机构，用以使执行机构产生相应的动作。控制系统按照输入的程序对驱动系统和执行机构发出指令信号，并进行控制。

由于工业机器人具有一定的通用性和适应性，能适应多品种，中、小批量的生产，因此自20世纪70年代起，常与数字控制机床结合在一起，成为柔性制造单元或柔性制造系统的组成部分。

5. 3D 打印

3D 打印（3DP）是快速成型技术的一种，它以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术。

3D 打印通常是采用数字技术材料打印机来实现的，常在模具制造、工业设计等领域被用于制造模型，后逐渐用于一些产品的直接制造，已经有使用这种技术打印而成的零部件。该技术在珠宝、鞋类、工业设计、建筑、工程和施工（AEC）、汽车、航空航天、牙科和医疗产业、教育、地理信息系统、土木工程、枪支以及其他领域都有应用。

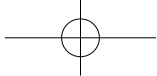
6. 知识工作自动化

知识型工作自动化技术可以应用在复杂产品的研制过程中，目前已经在航天、航空、船舶、导弹、发动机、电子、核工业等多个领域、多个型号研制中得到应用。

当系统具备智能特征时，很多研发设计工作可以由系统自动的完成，即知识型工作自动化（Knowledge Task Automation）。改变以往知识工作者80%的设计工作都是体力劳动，20%的设计工作是创新性的智力活动。在智能的知识型工作自动化系统中，80%的体力劳动由系统代替人来自动完成。

7. 工业网络安全

信息网络是工业4.0的支撑，既然工业4.0发端于工业，却受益和影响至整个社会，就不再仅仅是工业控制问题，而是战略控制问题。这就需要施行必要的战略举措，包括加强顶层安全战略设计、建立国家网络风险意识、完善相关法规制度、健全开放式产品验证和检验机制、进行全民安全素质教育、培育国家与民间网络攻防能力和有效聚合各种社会



力量等。关于更进一步的工业网络安全技术和解决方案内容，我们在第 2 篇中详细论述。

8. 虚拟现实

虚拟现实（VR）技术是仿真技术的一个重要方向，是仿真技术与计算机图形学、人机接口技术、多媒体技术、传感技术、网络技术等多种技术的集合，是一门富有挑战性的交叉技术前沿学科和研究领域。虚拟现实技术主要包括模拟环境、感知、自然技能和传感设备等方面。模拟环境是由计算机生成的、实时动态的三维立体逼真图像。感知是指理想的 VR 应该具有人所具有的感知。除计算机图形技术所生成的视觉感知外，还有听觉、触觉、力觉、运动等感知，甚至还包括嗅觉和味觉等，也称多感知。自然技能是指人的头部转动，眼睛、手势或其他人体行为动作，由计算机来处理与参与者的动作相适应的数据，并对用户的输入做出实时响应，并分别反馈到用户的五官。传感设备是指三维交互设备。

9. 人工智能

“人工智能”一词最初是在 1956 年 Dartmouth 学会上提出的。从那以后，研究者们发展了众多理论和原理，人工智能的概念也随之扩展。人工智能（Artificial Intelligence, AI）是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器。该领域的研究包括机器人、语音识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。人工智能从诞生以来，理论和技术日益成熟，应用领域也不断扩大，可以设想，未来人工智能带来的科技产品，将会是人类智慧的“容器”。

人工智能是对人的意识、思维的信息过程的模拟。人工智能不是人的智能，但能像人那样思考，也可能会超过人的智能。

3.2.2 大数据是工业 4.0 的基础与核心技术

大规模定制是工业 4.0 的目标，智能制造是工业 4.0 的核心；而大规模定制与智能制造的基础是物联网与云计算，其核心是大数据与算法。它将在制造业的研发、物流、生产、销售、服务五大环节持续重塑与变革，最终形成新的业态模式与制造型企业的价值创造体系。

1. 工业 4.0 下的大数据价值体系——CPS 的 5C 架构

图 3-8 所示是从数据视角给出 CPS 的 5C 架构，从而形成完整的大数据价值体系。

2. 智能感知层：将沉默的数据唤醒

该层尽可能采集设备全生命周期及全价值链的各类要素的相关数据，或按活动目标和信息分析需求进行选择性和有所侧重的数据采集；打破设备独立感知与信息孤岛的壁垒，建立统一的数据环境。

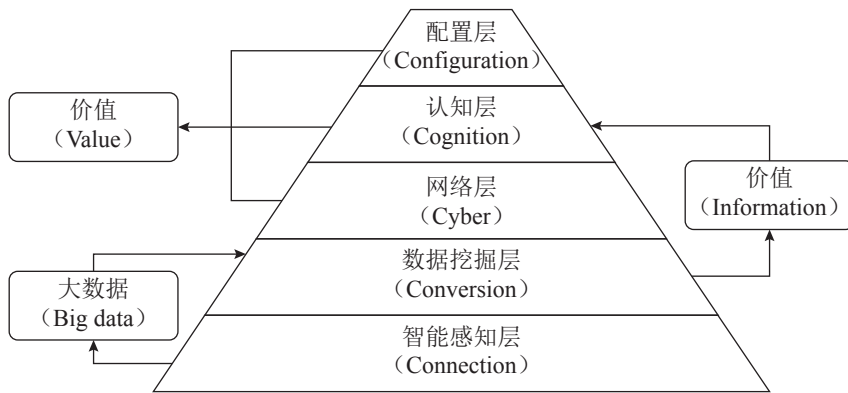


图 3-8 工业 4.0 下的大数据价值体系——CPS 的 5C 架构

3. 数据挖掘层：从数据到信息的分析

该层通过对数据的横向挖掘，即采集、提取、分析、评估，预测到信息的可视化、内容化与智能化。

4. 网络层：网络化数据管理

该层通过对网络化数据的横向处理，逻辑化；对实体数据的切片化管理，实体虚拟模型，实体与信息的对称管理，集群分析与大数据挖掘。

5. 认知层：对信息的识别和决策

该层通过对人与价值活动进行信息识别与决策，提供多平台远程可视化信息管理、虚拟模型的智能仿真与推理及决策的协同化分析。

6. 配置层：系统的弹性和重构

该层基于外界变化与价值目标，可实现根据状态偏差进行自我调节、具备自我配置的弹性系统以及对抗扰动的动态优化配置。

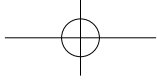
3.2.3 大数据、云计算和 AI 三者之间的关系

简单来说，AI 是基于计算机软硬件，通过模拟人类思考和智能行为的一种理论方法和技术。云计算是将服务器、存储器、存储设备以及网络等资源整合起来封装成一种 IT 服务的模式，为客户按需提供相关的一站式服务。大数据则是将结构化数据和非结构化数据形成的所有数据整合起来，也就是将企业内部管理、业务运作数据和外部互联网上的相关数据整合起来，用以分析、发现数据背后相关关系的信息资产，来优化业务和管理。

1. 大数据、AI 与云计算存在紧密的联系

从上述三者的简单概念我们不难发现三者之间都有着一定的关联。

笔者认为，云计算是一切新 IT 的基础。企业部署了云计算，通过云把内外资源集中、



整合起来,才可能进行大数据分析,所以云计算是大数据和 AI 的基础。然后大数据自然进化到 AI 层面,所以它又是 AI 智能化程度升级和进化的基础。拥有大数据, AI 才能不断进行模拟演练,不断向着真正的人工智能靠拢。

这三者可谓相辅相成,只有三者结合起来,才有可能成为真正的人工智能。我们只有搞清楚三者之间的关系,应用起来就会得心应手,而不是盲目冒进。

谷歌的 AlphaGo 就是一个典型的例子,通过大数据对无数棋谱加以学习,最终进化到打败人类围棋高手的程度。只有通过云计算来采集相关的数据才能形成大数据,而只有在云上形成的数据才可能称之为大数据,通过云计算可以对这些数据进行分析,得到有用的信息。

AI 与云计算就是一体双生,两者都可以进行计算, AI 可以学习,而云计算则可以分析,甚至可以说,两者的未来都是相同的。

大数据、AI 和云计算三者的关系,在目前来看已经越来越模糊,它们的边界已经无法清晰地定义。人工智能之所以成为热点,就因为其关键技术——深度学习,而这项技能只有在云计算与大数据日趋成熟之后才能得到实质性进展。

2. 企业数字化转型从向云演进开始

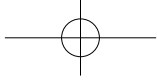
传统企业在新时代的数字化转型的第一要务是向云计算演进。只有通过云计算把企业的内外部资源整合起来并逐步积累成大数据,基于大数据的分析来优化企业管理和业务以及细分市场客户,才能为客户提供好的体验和一站式服务,从而提升企业竞争力,打造智慧企业并逐步使之具有一定的 AI 能力,向工业 4.0 演进。最终实现企业的数字化转型,形成 C2B 业务模式。

3. 大数据和 AI 的深入理解

大数据或者称之为巨量资料,指的是需要全新的处理模式才能具有更强的决策力、洞察力和流程优化能力的海量、高增长率和多样化的信息资产。也就是说,从各种各样类型的数据中,快速获得有价值信息的能力,就是大数据技术。大数据思维创新应用者通过对大数据的组合引用实现新的商业模式创新,获取潜在空白市场的收入。大数据的核心在于为客户挖掘数据中蕴藏的价值。基于云计算和大数据才使得 AI 有了长足发展。

在云计算与大数据的成熟沃土上才有了 AI 的高速发展。AI 主要包括计算机实现智能的原理、制造类似于人脑智能的计算机,是计算机能够实现更高层次的应用。AI 还涉及计算机科学、心理学、哲学以及语言学等学科。

从思维概念看, AI 不仅限于逻辑思维,还要考虑形象思维、灵感思维才能促进 AI 的突破性发展。数学常被认为是多种学科的基础,但它也进入了语言、思维领域, AI 学科必须借用数学工具。数学不仅在标准逻辑、模糊数学等范围发挥作用,还进入 AI 学科,它们将互相促进,更快地发展。



工业4.0

概念、技术及演进案例

目前 AI 市场最为广阔。作为替代人力劳动的工具，在一些场景中，AI 的效率要比人类更高，并且还能保持稳定的质量以及更好的服务，从而创造出更多的商业价值和有效场景。

4. 小结

AI、云计算以及大数据发展到至今，它们的边界越来越模糊，所产生的职能重叠性也越来越高。相信在最后，这三者终将会融为一体，深刻改变人类社会的发展。

3.2.4 5G 技术的到来加速工业物联网发展

5G 即第五代移动通信技术，由于其对新兴技术的潜在影响，已经成为各行各业关注的热点，尤其是对联网设备的开发、制造和使用的物联网领域。

这些设备包括小型心率监视器、自动驾驶汽车、智能家电、智能工厂使用的设备等。它们共同使用传感器、芯片和处理器来收集、传输和分析数据，同时与网络上的其他设备进行交互。

虽然全球联网设备的数量已经开始快速增加，但 5G 网络的推出预计将大大加速消费者和企业对物联网产品和服务的采用。

1. 何谓 5G

5G 是一组新兴的全球电信标准，通常使用高频频谱提供网络连接，与 4G LTE 相比，延迟更短，速度更快、容量更大。

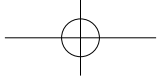
重要的是，5G 描述了用于构建未来尖端网络基础设施的一系列标准和技术。

2. 5G 的主要优势

预计 5G 将增强网络带宽，其速度比当前蜂窝移动网络或家用光纤和有线服务快 10 ~ 100 倍。减少延迟，或者初始数据传输和网络响应之间的延迟，也应该是 5G 的一个重要优势，特别是对于需要近乎实时通信的服务，例如在高速公路上行驶的自动驾驶汽车。更高频谱的新增容量也有望帮助服务提供商有效管理不断增长的客户对物联网应用的需求，包括像高速高清视频下载这样简单的用户需求。

3. 5G 技术创新

在技术创新方面，网络切片和移动边缘计算成为 5G 突出的新技术。在网络切片方面，5G 网络平台可针对虚拟运营商、业务、用户甚至某一种业务数据流的特定需求配置网络资源和功能，定制剪裁和编排管理相应的网络功能组件，形成各类“网络切片”，满足包括物联网在内的各种业务应用对 5G 网络的连接需求。在移动边缘计算方面，5G 引入移动边缘计算技术，通过与内容提供商和应用开发者的深度合作，在靠近移动用户侧就近提供内容分发服务，使应用、服务和内容部署在高度分布的环境中，更好地支持低时延和高



带宽的业务需求。

通过这些新技术的引入，5G 将促进用户交互方式再次升级，为用户提供 3D 超高清视频、VR/AR（虚拟现实 / 增强现实）、沉浸式游戏等更加极致的业务体验。5G 与家居、医疗、汽车、教育、旅游等行业融合渗透，将深刻改变人们的生活方式，带来远程医疗、车联网、智能家居、云桌面等新应用，为人们在居住、工作、休闲、交通等方面提供便利。5G 还将提升社会治理能力和效率，给城市管理、照明、抄表、停车、公共安全与应急处置等行业带来新型智慧应用，实现社会治理现代化。总体上看，5G 的广泛应用将深刻改变人类信息社会的生产和生活方式，促进工业 4.0 的演进。

4. 5G 促进物联网快速发展

5G 的主要驱动力不仅仅是消费者对更快网络需求的不断增长，而且还包括工业环境中联网设备的激增。这些行业越来越依赖联网设备来收集和分析数据，使业务流程更加高效，提高生产力，并不断改进产品和服务。

5G 预计帮助企业更有效地管理物联网所产生的日益增长的信息量，并改善机器人辅助手术或自动驾驶等关键任务服务所需的近乎即时通信。同样，预计 5G 网络可以灵活地处理各种联网设备，包括那些不一定需要实时通信，但仍然需要周期性低功耗数据传输的设备。

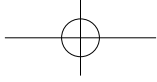
5. 5G 促进五个应用领域的改变

(1) 在智能工业方面：5G 技术在工业数据采集和控制场景中也将得到广泛应用，在生产操作过程中，可以通过 5G 网络控制来实现精准执行，确保工业设备的准确操作和较高的产品质量。

(2) 增强和虚拟现实（AR/VR）：越来越多地使用 AR/VR 技术预示着创建完全模拟的数字环境，以及数字工具在日常环境中的叠加。消费者游戏、工业制造和医疗服务只是 AR/VR 早期使用案例中的几个。5G 有望成为减少延迟和提高速度的关键促成因素，从而使这些带宽密集型服务成为可能。

(3) 自动驾驶汽车和智能基础设施：目前自动驾驶汽车处于发展的最高水平，预计需要 5G 的物联网成熟度。实际上，为了实现实时感知和安全，自动驾驶汽车需要足够的网络速度和容量，以及近乎瞬间的延迟。虽然通往 5 级自动驾驶的道路仍在进行中，但车辆联网仍然达到了历史最高水平。据估计，2017 年全球销售的汽车中，有 60% ~ 80% 安装了远程信息处理系统，到 2020 年，90% 的新车将实现网络连接。此外，智能高速公路、电网、房地产和其他基础设施投资将需要传感器技术来支持自动驾驶汽车生态系统的发展，同时也将支持智能城市的发展。

(4) 医疗保健：从用于身体健康监测的可穿戴设备到高科技诊断仪器，传感器技术的发展为医疗保健行业提供一个前所未有的机会。其他类型的联网医疗设备，如移动机器



工业4.0

概念、技术及演进案例

人、手术助手，甚至外骨骼，可以帮助提高医疗服务效率和患者的治疗效果。预计到 2023 年医疗机器人市场将达到 170 亿美元，高于 2018 年的 65 亿美元，复合年增长率为 21%。

(5) 低功耗设备：并非所有连接到 5G 网络的设备都需要超快的速度。事实上，许多低功耗设备将依赖 5G 来增加容量，从农业环境中的水位监测器到住宅物业中的电力管理系统等，低功率设备很可能成为物联网早期经常采用的用例之一。

总而言之，5G 的应用创新不能仅突出 5G 本身的技术优势，还要加快实现 5G 技术与业务产品的融合，推动行业整体创新发展。

3.3 深入剖析“工业 4.0”及其重要意义

对德国工业 4.0 理解和认识的深化，也就是对中国两化深度融合战略理解和认识的深化。因此本节我们把对德国工业 4.0 规划提出的时代背景(为什么?)、基本概念(是什么?)、我们的理解认识(如何看?)以及启示意义(怎么干?)再进一步总结和做一些更深入的研究，这些研究将有利于进一步开拓思路，加快推进实施中国的两化深度融合战略。

3.3.1 德国为什么提出工业 4.0 规划

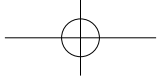
2013 年德国汉诺威工业展览会上，德国相关协会提出工业 4.0 的初步概念，此后由德国机械设备制造联合会等协会牵头，来自企业、政府、研究机构的专家成立了“工业 4.0 工作组”进一步加强工业 4.0 的研究并向德国政府进行报告，2013 年发表了工业 4.0 标准化路线图，组建设了由协会和企业参与的工业 4.0 平台(Platform-i4.0)，德国政府也将工业 4.0 纳入《高技术战略 2020》中，工业 4.0 正式成为一项国家战略。

目前，德国正计划制订推进工业 4.0 的相关法律，把工业 4.0 从一项产业政策上升为国家法律。德国工业 4.0 在很短的时间内得到了来自党派、政府、企业、协会、院所的广泛认同，并取得一致共识，从一个来自民间的概念迅速演变为国家产业战略，正在从一个产业政策上升为国家法律。

工业 4.0 在这么短的时间内在德国得到广泛认同，有其偶然性也有必然性，这种认识来自于德国长期以来把工业作为国家经济的基石，来自于信息通信技术给工业带来的革命性影响，也来自于新一轮科技革命中对德国工业地位的担忧。概括起来，主要是出于三种意识：危机意识、机遇意识和领先意识。

1. 危机意识

德国是传统的科技工业强国，但是在新一轮产业技术革命中，传统的竞争优势受到



了来自各方面的挑战，一部分新兴产业成长乏力，各界对德国未来的发展表现出某种忧虑。

1) 对新兴产业创新能力的忧虑

信息通信技术是全球新一轮产业变革中最具活力的技术，德国各界的普遍共识是，德国乃至整欧洲丧失了全球信息通信产业发展的机遇。在全球产业创新最活跃的互联网领域，全球市值最大的 20 个互联网企业中没有欧洲企业，欧洲的互联网市场基本被美国企业所垄断。德国经济和能源部长加布里尔曾说，德国企业的数据由美国硅谷的四大科技把持，这正是他所担心的。

全球通信产业蓬勃发展，但欧洲企业节节败退，仅有少数企业在苦苦支撑。欧洲的集成电路公司纷纷转型设计企业，并不断从消费市场退出。当前，美国的互联网及 ICT 巨头与传统制造业领导厂商携手，GE、思科、IBM、AT&T、英特尔等 80 多家企业成立了工业互联网联盟，重新定义制造业的未来，并在技术、标准、产业化等方面做出一系列前瞻性布局，工业互联网成为美国先进制造伙伴计划的重要任务之一。欧洲及德国对新兴产业的创新能力及未来发展前景表现出了一种深深的忧虑。

2) 对传统产业竞争优势的忧虑

德国传统工业在全球的竞争优势仍十分突出，但是在新一代信息技术与工业加速融合，产品、装备、工艺、服务智能化步伐不断加快的背景下，德国能否跟上时代发展的潮流，德国各界有着深刻的危机意识。

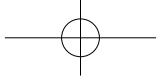
德国总理默克尔也指出，目前 90% 的创新在欧洲之外产生，欧洲不能错失下一代工业技术变革。默克尔同时对德国的制造业能否及时与现代的信息和通信技术实现对接，保障德国制造业在世界上的领先地位表示担忧。德国企业界对美国再工业化、中国制造业发展给予了充分的关注。2014 年 6 月 24 日，德国机械协会（VDMA）主席在日本说，德国和日本应携手应对中国的挑战。

德国信息技术、通信、新媒体协会工业 4.0 部部长曾说，不仅亚洲对德国工业构成竞争威胁，美国正通过各种计划应对“去工业化”，加快先进制造业的发展。

3) 对国家产业战略方向的忧虑

2008 年国际金融危机后，新一代信息技术的突破扩散及与工业融合发展，引发了国际社会对第三次工业革命、能源互联网、工业互联网、数字化制造等一系列发展理念和发展模式的广泛讨论和思考。

美国、欧盟、日本、韩国等纷纷制定了一系列规划和行动计划，实施制造业回归战略。这既体现了发达国家对制造业传统发展理念的深刻反思，也反映了其抢占新一轮国际制高点的意图和决心。德国作为全球制造业强国，在新一轮技术变革中能不能找到工业发展方向并引领全球工业发展，是德国各界广泛关注的问题。



2. 机遇意识

在与德国工业 4.0 参与方交流中，我们能深切体会到，尽管德国各界对有些产业的发展不尽人意表现出了忧虑，但对德国传统优势还是表现出了强烈的自信，认为德国发展是具有优势的。

1) 市场优势

德国有着明显的传统制造业市场优势，这个市场是潜在的、也是现实的，没有哪个国家比德国更有条件和优势来发展智能制造。

2) 技术机遇

智能制造不仅需要单项技术突破，也需要各种技术综合集成，而这正是德国的优势所在。面对全球新一代信息技术与制造技术融合的趋势，德国迎来了巩固和强化技术优势的机遇。

具体来说，一是工业软件优势。工业软件是智能装备的核心和基础，德国企业资源管理（ERP）、制造执行系统（MES）、产品生命周期管理（PLM）、可编程控制器（PLC）等核心工业软件在全球都处于领导地位。

二是工业电子优势。集成了传感、计算、通信的工业电子是智能装备的核心，也是德国优势领域所在。一批德国企业在汽车电子、机械电子、机床电子、医疗电子等领域引领全球发展。

三是制造技术优势。德国工业的基础材料、基础工艺、基础装备、基础元器件核心技术领域一直在全球处于领先地位；机械出口占全球的 16%，居全球首位；其在创新性制造技术领域的研究、开发和生产，以及复杂工业过程管理领先性方面无人能比。传统制造技术与工业软件、工业电子技术的结合，为德国抢占智能装备竞争制高点带来了难得的机遇。

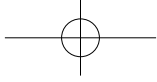
3) 产业机遇

装备制造业是德国最具优势的产业。面对全球智能制造带来的机遇，德国各界的共识是：要把握信息通信技术与装备制造业融合的趋势，瞄准全球快速成长的智能工厂装备市场，确保德国企业成为全球智能制造产业“领先的供应商”地位。

德国相关协会调查表明，60% 的德国机械设备制造商确信他们的技术和产品竞争优势在未来五年会得到提高。正如德国所说，欧洲、德国失去了互联网的机遇，但不能失去物联网的机遇。物联网应用的主战场是工业领域，德国不仅可以而且能够在物联网的技术变革中抓住机遇，引领潮流。

3. 领先意识

在新一轮技术革命和产业变革中，德国人有危机感，也看到新机遇，并试图在工业领域继续保持全球领先的地位。基本途径就是：在向工业化 4.0 演进的过程中先发制人，与世界制造强国争夺新科技产业革命的话语权，抢占产业发展的制高点。具体来讲，就是要实现五个领先。



1) 理念领先

信息技术领域从来不缺新概念和新理念，但真正能够被各界广泛认可并快速传播的发展理念屈指可数。物联网、移动互联、云计算、大数据等新一代信息技术广泛普及并推进了生产方式的变革，当各国纷纷提出数字化制造、工业互联网、能源互联网等制造业发展新理念时候，德国作为欧洲传统的工业强国，需要一个既能继承传统工业发展思想，又能启发未来工业趋势的新理念，抢占发展理念的制高点，并引领德国工业继续保持全球领导地位。

正是在这一背景下，德国工业 4.0 的概念出现了，这一概念最大的成功在于它把几百年工业发展的历史与现代信息技术趋势完美地集成。它是继承性与创新性的统一，理论性与通俗化的统一，严肃性与时尚性的统一。其传播的速度、广度、深度也超过了德国人的预期。

2) 技术领先

当前，信息技术创新步伐不断加快，正步入泛在、智能、集成的新阶段。从计算、传输到处理，从感知、传感到智能，泛在连接和普适计算已无所不在，云计算、大数据、人工智能、机器学习等驱动人类智能迈向更高境界，虚拟化技术、3D 打印、工业互联网、大数据等技术将重构制造业技术体系。

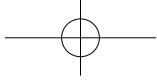
德国提出工业 4.0，其宗旨也是支持工业领域新一代革命性技术的研发与创新，大力推动物联网和服务互联网技术在制造业领域的应用，从而应对新一轮科技革命带来的挑战，以此抢占信息技术与工业融合发展中技术的制高点。

3) 产业领先

在新一轮科技革命的影响下，全球新的产业分工体系和分工格局正在形成，基于信息物理系统（CPS）的智能工厂和智能制造模式正在引领制造方式的变革，全球研发设计、生产制造、服务交易等资源配置体系加速重组，网络众包、异地协同设计、大规模个性化定制、精准供应链管理等正在构建企业新的竞争优势，全生命周期管理、总集成总承包、互联网金融、电子商务等正加速重构产业价值链新体系。德国提出的工业 4.0，在智能生产体系的支撑下，重构全球的生产方式。德国信息技术、通信、新媒体协会工业 4.0 部部长说，德国传统工业的核心架构以及它在国际上的卓越地位，能够与 ICT 技术结合并改革德国的传统工业，德国希望在新一轮产业技术革命浪潮中扮演主要角色。

4) 标准领先

产品的智能化、装备的智能化、生产的智能化、管理的智能化以及服务的智能化，迫切要求装备、产品之间，装备和人之间，以及企业、产品、用户之间全流程、全方位、实时的互联互通，实现数据信息的实时、准确交换、识别、处理、维护，研发、生产、管理、服务的高度协同对智能制造的标准化提出了新的要求，必须通过制定和执行许多的技术标



工业4.0

概念、技术及演进案例

准、服务标准、管理标准和安全标准来实现。智能制造的标准体系是全球产业竞争的一个制高点，德国已抢先一步，制定了工业 4.0 标准路线图，以此抢占工业 4.0 标准化领域的制高点。

5) 市场领先

对德国来说，这个市场是潜在的也是现实的，没有哪个国家比德国更有条件和优势发展智能制造。

3.3.2 对德国工业 4.0 我们如何认识

1. 工业 4.0 是互联

西门子公司、博世公司和蒂森克虏伯公司的专家在交流时都提到，工业 4.0 的核心是连接，要把设备、生产线、工厂、供应商、产品、客户紧密地连接在一起。工业 4.0 适应了万物互联的发展趋势，将无处不在的传感器、嵌入式终端系统、智能控制系统、通信设施通过信息物理系统（CPS）形成一个智能网络，使得产品与生产设备之间、不同的生产设备之间以及数字世界和物理世界之间能够互联，使得机器、工作部件、系统以及人类会通过网络持续地保持数字信息的交流。

1) 生产设备之间的互联

从工业 2.0 到工业 3.0 时代的重要标志是，单机智能设备的广泛普及。工业 4.0 工作组把 1969 年第一个可编程逻辑控制器 Modicon 084 的使用作为工业 3.0 的起点，其核心是各种数控机床、工业机器人、自动化设备在生产环节的推广。我们可以把它理解为单机设备智能化水平不断提升并广泛普及推广。

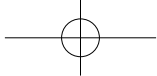
工业 4.0 的核心是单机智能设备的互联。不同类型和功能的智能单机设备的互联组成智能生产线，不同的智能生产线间的互联组成智能车间，智能车间的互联组成智能工厂，不同地域、行业、企业的智能工厂的互联组成一个制造能力无所不在的智能制造系统。这些单机智能设备、智能生产线、智能车间及智能工厂可以自由、动态地组合，以满足不断变化的制造需求，这是工业 4.0 区别于工业 3.0 的重要特征。

2) 设备和产品的互联

工业 4.0 意味着智能工厂能够自行运转，零件与机器可以进行交流。由于产品和生产设备之间能够通信，因此产品能理解制造的细节以及自己将被如何使用。同时，它们能协助生产过程，回答诸如“我是什么时候被制造的”“哪组参数应该被用来处理我”“我应该被传送到哪”等问题。

3) 虚拟和现实的互联

信息物理系统（CPS）是工业 4.0 的核心，它通过将物理设备连接到互联网上，让物



理设备具有计算、通信、控制、远程协调和自治等五大功能，从而实现虚拟网络世界与现实物理世界的融合。信息物理系统（CPS）可以将资源、信息、物体和人紧密联系在一起，从而创造物联网及相关服务，并将生产工厂转变为一个智能环境，是实现设备、产品、人协调互动的基础。智能制造的核心在于实现机器智能和人类智能的协同，实现生产过程的自感知、自适应、自诊断、自决策和自修复。

4) 万物互联

信息技术发展的终极目标是实现无所不在的连接，所有产品都将成为网络终端。万物互联就是人、物、数据和程序通过互联网连接在一起，实现人类社会所有人和人、人和物以及物和物之间的互联。

重构整个社会的生产工具、生产方式和生活场景。人们能够以多种方式通过社交网络连接连接到互联网，基于感知、传输、处理的各类人造物将成为网络的终端，人、物、数据在网络环境下进行流程再造，基于物理世界感知和人群交互的在线化、实时化的数据与智能处理改变着我们对外部世界的响应模式。

2. 工业 4.0 是集成

工业 4.0 将无处不在的传感器、嵌入式终端系统、智能控制系统、通信设施通过 CPS 形成一个智能网络，使人与人、人与机器、机器与机器以及服务与服务之间能够互联，从而实现横向、纵向和端对端的高度集成。集成是德国工业 4.0 的关键词，也是长期以来中国推动两化融合的关键词。

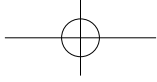
在两化融合评估体系中，将两化融合分为起步阶段、单项应用阶段、综合集成阶段、协同创新阶段。综合集成是信息化和工业化融合走向纵向的重要标志。中国两化融合主要强调了企业间的横向集成和企业内部的纵向集成，而德国工业 4.0 增加了端到端的集成。

1) 纵向集成

纵向集成不是一个新话题，伴随着信息技术与工业融合发展常讲常新。换句话说，企业信息化在各个部门发展阶段的里程碑，就是企业内部信息流、资金流和物流的集成是在哪一个层次、哪一个环节、哪一个水平上，是生产环节上的集成（如研发设计内部信息集成），还是跨环节的集成（如研发设计与制造环节的集成），或是产品全生命周期的集成（如产品研发、设计、计划、工艺到生产、服务的全生命周期的信息集成）。工业 4.0 所追求的就是在企业内部实现所有环节信息的无缝链接，这是所有智能化的基础。

2) 横向集成

在市场竞争牵引和信息技术创新驱动下，每个企业都在追求生产过程中的信息流、资金流、物流无缝链接与有机协同。在过去，这一目标主要集中在企业内部，但现在这已远远不够了，企业要实现新的目标：从企业内部的信息集成向产业链信息集成，从企业内部协同研发体系到企业间的研发网络，从企业内部的供应链管理到企业间的协同供应链管理，



工业4.0

概念、技术及演进案例

从企业内部的价值链重构向企业间的价值链重构。横向集成是企业间通过价值链以及信息网络所实现的一种资源整合，为实现各企业间的无缝合作，提供实时产品与服务，推动企业间研产供销、经营管理与生产控制、业务与财务全流程的无缝衔接和综合集成，实现产品开发、生产制造、经营管理等在不同企业间的信息共享和业务协同。

3) 端到端集成

从某种意义上讲，端到端的集成是一个新理念，各界对于端到端集成有不同的理解。所谓端到端就是围绕产品全生命周期的价值链创造，通过价值链上不同企业资源的整合，实现从产品设计、生产制造、物流配送、使用维护的产品全生命周期的管理和服务。它以产品价值链创造集成供应商（一级、二级、三级……）、制造商（研发、设计、加工、配送）、分销商（一级、二级、三级……）以及客户信息流、物流和资金流，在为客户提供更有价值的产品和服务的同时，重构产业链各环节的价值体系。

3. 工业 4.0 是数据

德国机械设备制造业协会及 SAP 的专家都提出，工业 4.0 的核心就是数据。企业数据分析就像汽车的后视镜，开车没有后视镜就没有安全感，但更重要的是车的前挡风玻璃——对实时数据的精准分析。

从工业 1.0、2.0、3.0 演进的角度来看，这一认识不无道理，数据是区别于传统工业生产体系的本质特征。在工业 4.0 时代，制造企业的数字将会呈现爆炸式增长态势。

随着信息物理系统(CPS)的推广，智能装备和终端的普及以及各种各样传感器的使用，将会带来无所不在的感知和无所不在的连接。所有的生产装备、感知设备、联网终端，包括生产者本身都在源源不断地产生数据，这些数据将会渗透到企业运营、价值链乃至产品的整个生命周期，是工业 4.0 制造革命的基石。

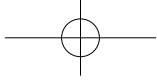
1) 产品数据

工业 4.0 背景下的产品数据是基于模型的产品数字化定义，基于特征的标准化定义，方便被计算机和人员解读，使数字化设计、制造一体化成为可能，单源数据、文档驱动，仅需一个文档便能获得全部的技术信息。模型的再利用能力强。它通过一系列规范的方法能够更好地表达设计思想，体现更强的表现力，同时打破了设计制造的壁垒，使产品设计和制造无缝衔接起来，有效地解决设计、制造一体化的问题。

2) 价值链数据

价值链数据包括客户、供应商、合作伙伴等数据。企业在当前全球化的经济环境中参与竞争，需要全面地了解技术开发、生产作业、采购销售、服务、内外部后勤等环节的竞争力要素。

大数据技术的发展和运用，使得价值链上各环节数据和信息能够被深入分析和挖掘，为企业管理者和参与者提供看待价值链的全新视角，使得企业有机会把价值链上更多的环



节转化为企业的战略优势。例如，汽车公司通过大数据分析提前预测到哪些人会购买特定型号的汽车，从而将目标客户的响应率提高了 15% ~ 20%，客户忠诚度提高 37%。

3) 外部数据

外部数据包括经济运行、行业、市场、竞争对手等数据。为了应对外部环境变化所带来的风险，企业必须充分掌握外部环境的发展现状以增强自身的应变能力。大数据分析技术在宏观经济分析、行业市场调研中得到了越来越广泛的应用，已经成为企业提升管理决策和市场应变能力的重要手段。少数领先的企业已经通过为包括从高管到营销甚至车间工人在内的员工提供信息、技能和工具，引导员工更好、更及时地在“影响点”做出决策。

4. 工业 4.0 是创新

工业 4.0 的实施过程实际上就是制造业创新发展的过程，制造技术、产品、模式、业态、组织等方面的创新将会层出不穷。

1) 技术创新

未来工业 4.0 的技术创新在三条轨道上进行：一是新型传感器、集成电路、人工智能、移动互联、大数据在信息技术创新体系中不断演进，并为新技术在其他行业的不断融合渗透奠定技术基础；二是传统工业在信息化创新环境中，不断优化创新流程、创新手段和创新模式，在既有的技术路线上不断演进；三是传统工业与信息技术的融合发展，它既包括信息物理融合技术（CPS）、智能工厂整体解决方案等一系列综合集成技术，也包括集成工业软硬件的各种嵌入式系统、虚拟制造、工业应用电子等单项技术突破。

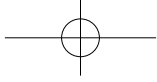
2) 产品创新

信息通信技术不断融入工业装备中，推动着工业产品向数字化、智能化方向发展，使产品结构不断优化升级。一方面，传统的汽车、船舶、家居的智能化创新步伐加快，如汽车正进入“全面感知 + 可靠通信 + 智能驾驶”的新时代，万物互联时代正在到来；另一方面，制造装备从单机智能化向智能生产线、智能车间到智能工厂演进，提供工厂级的系统化、集成化、成套化的生产装备成为产品创新的重要方向。

3) 模式创新

工业 4.0 将发展出全新的生产模式、商业模式。首先，在生产模式层面，工业 4.0 对传统工业提出了新的挑战，要求从过去的“人脑分析判断 + 机器生产制造”的方式转变为“机器分析判断 + 机器生产制造”的方式。基于信息物理系统（CPS）的智能工厂和智能制造模式正在引领制造方式的变革。

其次，在商业模式层面，工业 4.0 的“网络化制造”“自我组织适应性强的物流”和“集成客户的制造工程”等特征，也使得它追求新的商业模式以率先满足动态的商业网络而非单个公司。网络众包、异地协同设计、大规模个性化定制、精准供应链管理等新型智能制造模式将加速构建产业竞争新优势。



工业4.0

概念、技术及演进案例

4) 业态创新

伴随信息等技术的升级应用,从现有产业领域中衍生、叠加出的新环节新活动,将会发展成为新的业态,进一步在新市场需求的拉动下,形成引发产业体系重大变革的产业。就目前来看,工业云服务、工业大数据应用、物联网应用都有可能成为或者催生一些新的产业和新的经济增长点。制造与服务融合的趋势,使得全生命周期管理、总集成/总承包、互联网金融、电子商务等加速重构产业价值链新体系。

5) 组织创新

在工业4.0时代,很多企业将会利用信息技术手段和现代管理理念,进行业务流程重组和企业组织再造,现有的组织体系将会被改变,符合智能制造要求的组织模式将会出现。基于信息物理系统(CPS)的智能工厂将会加快普及,进一步推动企业业务流程的优化和再造。企业组织管理创新,也是两化融管理体系标准的重要内容,在两化融合管理体系的九大原则、四大核心要素、四个管理域中都涉及,如何围绕企业获取可持续的竞争优势,不断优化企业的业务流程和组织架构。

从实践的角度来看,国内企业在组织创新方面做了很多积极的探索。海尔集团CEO张瑞敏提出企业无边界、组织无领导、供应链无中心等新的管理理念;华为创始人任正非提出让听见炮火的人指挥战斗,作战的基本单元要从师一级缩小到旅、团、营、连,一直到班,以后的战争是“班长的战争”。

5. 工业4.0是转型

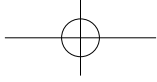
在“工业4.0”时代,物联网和服务联网将渗透到工业的各个环节,形成高度灵活、个性化、智能化的产品与服务的生产模式,推动生产方式向大规模定制、服务型制造、创新驱动转变。

1) 从大规模生产向个性化定制转型

工业4.0给生产过程带来了极大的自由度与灵活性,通过在设计、供应链、制造、物流、服务等各个环节植入用户参与界面,新的生产体系能够实现为每个客户、每个产品进行不同设计、零部件采购、安排生产计划、实施制造加工、物流配送。极端情况下可以实现个性化的单件制造,问题的关键是,设计、制造、配送单件产品是盈利的。在这一过程中,用户由部分参与向全程参与转变,他们不仅出现在生产流程的两端,而且广泛、实时地参与到生产和价值创造的全过程。实现真正的个性化定制将是一个漫长而艰辛的过程,这一过程只有起点没有终点。

2) 从生产型制造向服务型制造转型

服务型制造是工业4.0理念中工业未来转型的重要方向。越来越多的制造型企业围绕产品全生命周期的各个环节不断融入能够带来市场价值的增值服务,以此实现从传统的提供制造业产品向提供融入了大量服务要素的产品与服务组合转变。事实上,在德国工业4.0



概念提出之前，服务型制造的理念已得到广泛认同。

从企业来看，通过工业 4.0 可以实现劳动生产率大幅提高，产品创新速度加快，满足个性化需求，减少能耗，大幅提高产品质量和附加值，显著增强企业核心竞争力；从行业来看，通过工业 4.0 可以建立起高度协作的创新服务体系，提高整个行业的资源配置和运行效率；从政府来看，通过工业 4.0 可以进一步巩固德国制造业优势，抢占新一轮产业竞争的制高点。

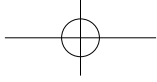
从根本上讲，工业 4.0 是一种在信息技术发展到新阶段产生的新的工业发展模式。从终极目标来看，工业 4.0 不能为技术而技术，其核心在于提高企业、行业乃至国家的整体竞争力。

3.3.3 德国工业 4.0 的全球影响和展望

德国工业 4.0 计划提出以后，引起了全球的广泛关注。从德国的技术条件、经济形势、政策环境等方面综合判断，推动实施工业 4.0 的基本条件已具备，未来的发展路径明确，可以产生经济效益，形成市场化的自我驱动机制。但从欧洲、全球的角度看，德国能否借助工业 4.0 实现既定的战略目标，也存在诸多不确定因素。

就德国而言，以“工业智能化”带动“社会智能化”是工业 4.0 最重要的经济效益。德国已经进入“后工业化”阶段，经济发展的主要目标是“提质”而非“增量”。在未来相当长一段时间，德国国民劳动层次和生活质量的提升，主要依靠服务业的智能化，特别是社会公共服务的智能化。例如，在交通运输、资源循环利用、医疗保健、城市和社区公共管理服务等领域，德国有望率先普及智能化技术。因此，即使工业 4.0 无法改变制造业向低成本国家转移的大趋势，德国也能在“社会智能化”方面取得显著收益。工业 4.0 将为“社会智能化”提供新一代网络基础设施、先进通信技术、智能控制系统设计、“大数据”分析方法等各类软硬件支持。成熟的“工业解决方案”可能很快迁移转化为“社会服务解决方案”，在不同的地区、不同的领域得到应用，产生难以估量的经济价值。

在欧洲大陆，工业 4.0 需要在企业自发联合的基础上，逐步扩大版图，形成规模效应。2008 年金融危机后，欧洲经济复苏的整体形势不容乐观。欧洲南部国家经济低迷，甚至反复陷入衰退。东欧国家在技术水平、管理理念上还达不到工业 4.0 的要求。北欧国家尽管有较好的创新环境，但经济体量难以支撑一个完整产业体系的技术研发。总之，在工业 4.0 领域有可能与德国相呼应的，只剩下法国、瑞士、荷兰、奥地利等几个国家。如不能形成欧洲共识，则难以获得各国政府在产业、科技政策上的协调配合。因此，工业 4.0 要走出德国、辐射欧洲，就只有依靠企业之间的自发联合。在西门子等德国企业推进工业 4.0 时，ABB、施耐德、飞利浦等企业需要着眼欧洲全局、摒弃国家界限、主动谋求联合。只有在



工业4.0

概念、技术及演进案例

工业解决方案领域打造“空中客车模式”，才能在全球竞争中立于不败之地。

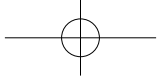
在全球范围内，工业的智能化已成为主要工业国家的共识，谁将取得这一进程的主导权取决于国际市场。在德国提出工业4.0的同时，美国积极推进“再制造化”，发展“工业互联网”。中国则坚持“两化融合”战略，稳步推进制造业信息化。日本也提出了类似的“工业智能化”战略，重点发展人工智能、服务机器人等产业。从概念上看，德国工业4.0的理论较为新颖，涵盖的范围更加广泛；其他国家的类似战略，也充分考虑了各自的发展现状、比较优势。可以预料，在相近的战略思维指导下，这一领域将酝酿激烈的国际竞争。各国将积极谋求对技术和产业的主导权，发展出不同的技术体系、网络平台，争取将其他国家的工业网络纳入其中。目前，全球主要的工业解决方案供应商，已开始在国外投资，率先建成符合智能化理念的“示范工程”，显示技术实力，并且改进已有的工业3.0服务，及早锁定未来的工业4.0客户群体。

3.3.4 德国工业4.0对中国的启示

“他山之石，可以攻玉。”面对工业4.0带来的工业新思维、新模式，我国应积极借鉴、冷静思考，坚持从我国工业发展的实际需要出发，走具有中国特色的工业信息化、智能化道路。

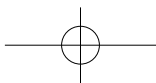
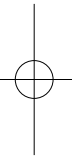
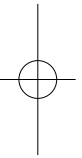
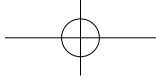
在紧盯技术和产业前沿的同时，更加重视工业2.0、工业3.0的广泛普及和巩固提高。在我国中西部地区，工业化进程的起步较晚，基础设施薄弱，很多企业还处于粗放生产的阶段，需要对工业2.0进行补课。在长三角、珠三角等工业发达地区，装备制造业较为密集，数控化加工已经成为主要的生产方式，但还未完全达到发达国家工业3.0的标准。其主要表现为：企业生产管理体系的自我更新能力普遍较弱，国产数控化装备的加工精度、质量稳定性与国外先进水平仍有差距。未来，我国除了需要关注工业4.0的前沿、选准发展方向，还需要打好基础，完整走过工业2.0、工业3.0的发展阶段，弥补一部分技术短板，争取尽快实现工业3.0的高水平全面普及。

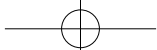
发挥我国比较优势，开展中德、中欧合作，促进“互联网经济”多极化。在工业4.0发展进程中，我国的比较优势是市场空间大，新技术、新产品容易较快产生经济回报；信息和制造技术人才充足，硬件加工制造和软件开发成本低。这些优势如能与德国先进的工业设计理念、严密的生产管理方式以及制造、传感、通信等领域的一些核心技术相结合，就有望形成一个具有国际竞争力的工业4.0解决方案产业链。面对美强欧弱的经济格局，我国应立足经济安全、信息安全的需要，加强与德国在工业信息化、智能化方面的合作。在我国能够自主研发并且取得市场竞争力的领域，坚持以我为主；在基础条件不足、发展相对滞后的领域，积极支持德国或欧洲的解决方案。



加快发展智能装备产业,牢固占据产业链的重要环节。智能装备是工业 4.0 的物理载体。工业的智能化,社会的智能化,都需要以相应的智能装备(元器件、设施)为基本单元。我国目前已在智能加工装备、智能工程机械、智能交通工具、智能家用电器、可穿戴医疗保健设备等领域,取得了丰富的产业化成果,但其核心技术的自主研发比例仍然较低。为此,应将智能装备产业细分为若干环节,例如新材料、传感器芯片、人机交互界面、控制算法与系统、数据分析方法与专家知识库等。在其中的关键环节,尤其是我国的薄弱环节,加大自主研发的投入力度,争取在一部分环节有所突破,达到国际领先水平,从而在未来的国际竞争中占据一席之地。

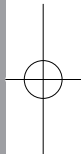
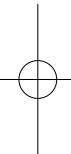
龙头企业和中小企业并重,形成良性互动的产业生态环境。我国发展工业 4.0 的应用,一方面需要大企业,特别是航天军工、电子电气设备领域的中央企业,坚持基础研发的大投入,攻克一批共性技术,引领行业标准的制定;另一方面又需要中小企业,发展生产性服务业,深入挖掘客户需求,在标准化产品基础上进行定制开发,为客户提供个性化的解决方案。各个行业、不同规模的企业在工业 4.0 的机遇面前,应找到各自在智能化领域中的合适定位,在细分环节上形成核心竞争力,谋求合作共赢。同时,地方政府应理性认识本地区的要素优势,遵循市场竞争规律,合理布局相关的产业园区、示范基地,制定可持续的、有利于企业创新的扶持政策,逐步形成特色鲜明的产业集群。

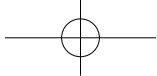




第2篇

工业4.0的关键技 术和解决方案





第 5 章

智能制造解决方案

数字工厂是以物理工厂为基础，以先进的互联网信息技术为方法，构建真实工厂的虚拟现实仿真，实现对产品全生命周期的设计、制造、装配、质量控制和检测等各个阶段进行管控的功能。数字工厂对生产进行规划、管理、诊断和优化，从而实现工厂的高效率、低成本、高质量生产。高效、快速、柔性正是数字工厂为制造业带来的最大变化。

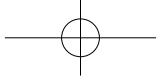
数字工厂解决方案，不但以其快速、高效和柔性化等特点为制造业企业创造价值，而且帮助制造业企业打通信息孤岛，有效实现集成与互联互通，为未来企业走向智能化奠定了良好的基础。本章着重介绍西门子在数字化工厂及智能制造领域的不同环节的解决方案。

5.1 工厂自动化与智能工厂数字化平台

数字化是智能工厂实现的必经阶段。作为德国高科技核心战略之一的工业 4.0，以信息物理系统（CPS）为基础，来实现虚拟世界与现实世界的数字化集成。在中国，工业和信息化部印发的《智能制造发展规划（2016—2020）》（本节简称《发展规划》）也指出中国政府推进智能制造发展将分两步走，第一步是到 2020 年，传统制造业初步实现数字化；第二步是到 2025 年，重点产业初步实现智能化。可以说，智能化是在数字化的基础上增加“自感知、自学习、自决策、自执行、自适应”等功能，以数字化为基础，信息技术和先进制造技术深度融合的结果。

5.1.1 智能工厂数字化平台概述

通常，工厂的制造活动大体可分为产品设计、工艺与工厂规划、工厂工程与调试、生产制造及服务五种。在劳动分工日益细化的今天，上述五种活动通常由不同的部门或者团队完成，相互之间保持着专业上的独立性。但是，

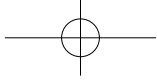


从整个制造过程来看，上述活动都以产品为纽带紧密联系在一起。智能制造的数字化阶段要解决两大课题，即如何实现上述五种活动的数字化以及这些活动之间的数字化互联，进而打通整个生产制造过程的各个环节，成为真正的数字化工厂，如图 5-1 所示。



图 5-1 生产制造环节的关键活动

智能工厂第一步是数字化工厂的建设，其离不开相关数字化软件平台的支撑。数字化的价值也越来越被制造业所认可，成为企业适应快速变化的市场、赢得未来竞争的关键所在。正因如此，鲁思沃（Siegfried Russwurm）教授指出工业软件是工业未来增长的重要动力，是工业的未来。实际上，上述支撑具体体现在两个层面。首先，工业软件是生产制造关键环节数字化的重要工具。回顾整个现代工业的发展历程，不难发现，企业早已经借助如计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）等工业软件平台初步实现研发、设计等环节的数字化，通过制造执行系统（Manufacturing Execution System, MES）基本实现从原料到成品的生产过程数字化管理。可见，这些工业软件是企业实现生产制造关键活动数字化的必要条件。如今，大多数企业都或多或少地使用着一些数字化平台工具，以数字化发展步伐相对缓慢的制药行业为例，企业资源管理（Enterprise Resource Planning, ERP）、质量管理体系（Quality Management System, QMS）、建筑信息模型（Building Information Modeling, BIM）等数字化平台早已不陌生，甚至像 MES、实验室信息管理系统（Laboratory Information Management System, LIMS）等也正在被广泛关注和推广使用。但是，仅仅实现关键活动的数字化还远远不够，因为生产制造的每个环节并不是相互孤立的。显然，数字化技术提升了生产制造关键环节的效率，但是随着竞争的加剧、消费者需求的变化，生产效率的提升已不仅是某个点的问题，而是成了整个生产价值链上系统性的问题。例如，在当今火热的新能源汽车领域，通过使用数字化设计、仿真软件，企业可以很快推出新的概念产品，然而不能把设计快速转化为生产，就会出现设计出来的产品一时无法量产的窘境。在智能制造时代，工业软件平台的第二个重要任务是实现制造价值链的集成，通过集成让存储在各个关键环节的数据流动起来，通过工业云平台，形成数据价值闭环。在工业 4.0 中，这种集成被进一步细分为“三大集成”，即生产制造系统的自下而上的纵向集成、贯穿从供应商到客户的价值链的横向集成，以及以工厂为载体的，从设计到服务的工程数字化集成。西门子 SIMATIC 自动化平台能够帮助企业实现从现场到 MES 的纵向集成；而 Teamcenter 平台可以实现产品从设计到服务的全生命周期的集成；COMOS 则可以助力工厂实现从设计到运维的工程数字化集成。



本章将以西门子相关数字化平台为例向读者简要介绍智能制造数字化平台，如图 5-2 所示。之所以以西门子的数字化平台为例进行说明，是因为该公司是目前唯一一家能够为企业从产品设计到服务整个生命周期完整产品的企业，不仅有应用于生产制造关键环节的数字化平台（如工程与调试 / 生产制造的过程自动化平台 SIMATIC PCS 7）、专业用于制药行业经过验证的 MES 平台（SIMATIC IT eBR）、适用于过程工业的过程分析平台 SIPAT 等；还有打通生产制造关键环节、连接企业数据孤岛的数字化平台。例如 Teamcenter 作为面向产品生命周期管理的平台工具，能够以产品为中心实现研发、仿真、制造、服务等环节数据的互联，是西门子数字化企业关键软件套件之一；COMOS 作为面向工厂设计、工程和运维的软件平台，能够助力流程工业实现一体化工程和运维。

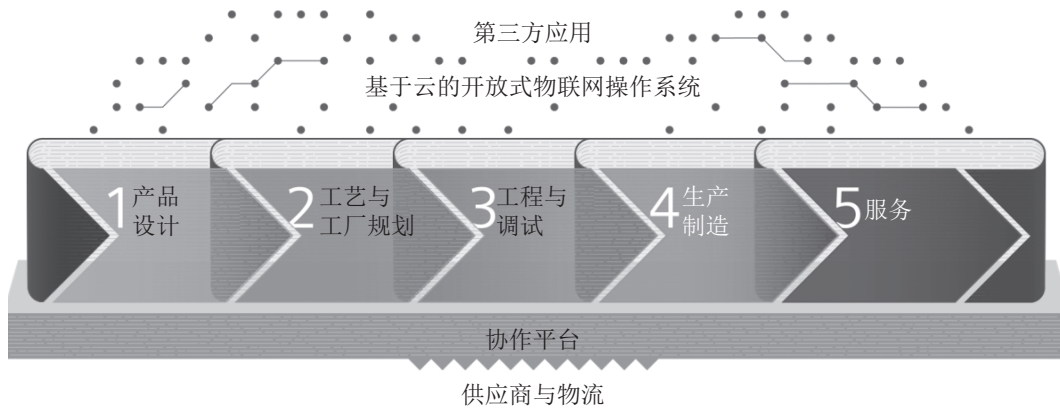


图 5-2 西门子的智能工厂数字化平台简易模型

本章限于篇幅，不能对图 5-3 中的数字化平台一一阐述，但会竭尽所能为读者介绍西门子智能制造产品家族中的关键平台，这些平台包括但不限于表 5-1 所示工业软件和部分硬件。其中 SIMATIC Ident、SIMATIC PCS 7 和 SIMATIC IT eBR 等组成的 SIMATIC 平台成为生产制造纵向集成的关键平台；COMOS 是生产制造端到端工程集成的核心平台。本章末尾介绍的过程分析平台 SIPAT 及第 6 章讨论的工业互联网平台，如 Mindsphere 等是在数字化的基础上，分析、使用生产制造各个环节的数据，助力企业从数字化走向“自学习、自决策、自执行、自适应”的智能化，已经不完全是数字化阶段使用的平台。

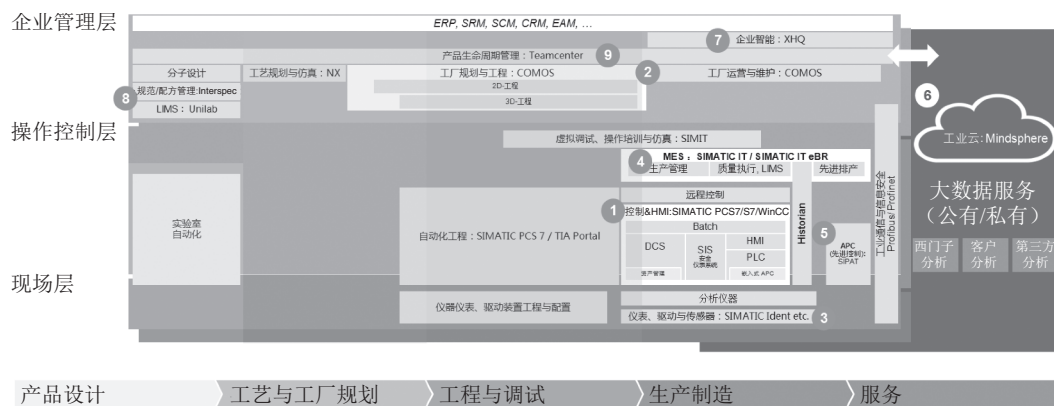


图 5-3 西门子为智能制造提供的数字化平台产品族谱

表 5-1 西门子智能制造关键数字化平台总览

数字化平台	说明	典型产品 / 功能
SIMATIC PCS 7	<ul style="list-style-type: none"> 工厂自动化系统工程、调试与调试平台 生产制造环节的自动化集成平台 	<ul style="list-style-type: none"> SIMATIC PCS 7 OS/ES SIMATIC PSC 7 Batch SIMATIC PSC 7 Power Control SIMATIC PSC 7 Route Control
COMOS	<ul style="list-style-type: none"> 工厂规划的平台 工厂工程管理平台 工厂运维管理及仿真培训平台 	<ul style="list-style-type: none"> COMOS P&ID COMOS PQM COMOS MRO COMOS Walkinside
SIMATIC Ident	<ul style="list-style-type: none"> 工程自动化数字识别传感器 	<ul style="list-style-type: none"> SIMATIC MV 系列
SIMATIC IT eBR	<ul style="list-style-type: none"> 生产制造管理平台 	<ul style="list-style-type: none"> 物料管理 电子批记录 称量配料 仓库管理 包装管理
SIPAT	<ul style="list-style-type: none"> 生产制造环节的先进控制平台 	<ul style="list-style-type: none"> 数据采集 数据建模 反馈控制
Mindsphere	<ul style="list-style-type: none"> 产品生产周期中的数据服务 	<ul style="list-style-type: none"> 数据的连接、分析、第三方应用 APP

5.1.2 西门子自动化系统 SIMATIC PCS 7

5.1.2.1 系统概述

在流程行业中，如何实现生产综合信息的透明化，实时获取生产、安全、质量、负荷和环境数据，为优化生产做指导？如何快速响应瞬息万变的市场环境？如何让生产过程具有可追溯性（例如符合 FDA 标准）？怎样才能知道产品是否符合各种法律法规要求？生



工业4.0

概念、技术及演进案例

产设备在经济性和高技术性的基础上是否实现了生产的灵活性和最优性？

作为西门子的过程控制系统，SIMATIC PCS 7（简称 PCS 7）以其强大的功能、高度的系统灵活性、扩展性以及卓越的性能，为用户提供创新的解决方案，解决用户在过程工业领域面临的各种挑战，SIMATIC PCS 7 系统组成如图 5-4 所示。

PCS 7 集成了安全仪表系统(SIS)，该安全功能可以应用于连续和非连续过程自动化中。

在工业 4.0 和“中国制造 2025”的大蓝图指导下，根植于西门子强大的行业经验和产品平台，PCS 7 系统也在与时俱进，为用户持续提供过程工业数字化解决方案，这主要体现在以下两点。

- 持续推进一体化工程和一体化运维，配合 COMOS/PAA 和 SIMIT 等组件，给用户 提供从设计到工程，从工程到运维，从运维到服务 / 持续升级改造等完备的解决方案。
- 产品的持续创新。提供更多满足流程行业应用需求的软硬件产品。在推出面向流程行业的高端控制器 CPU 410 之后，2017 年 8 月发布了 PCS 7 V9.0 新版本，工业以太网 Profinet 网络实现从上位监控层到底层设备的全覆盖，为过程工业数字化奠定基础。

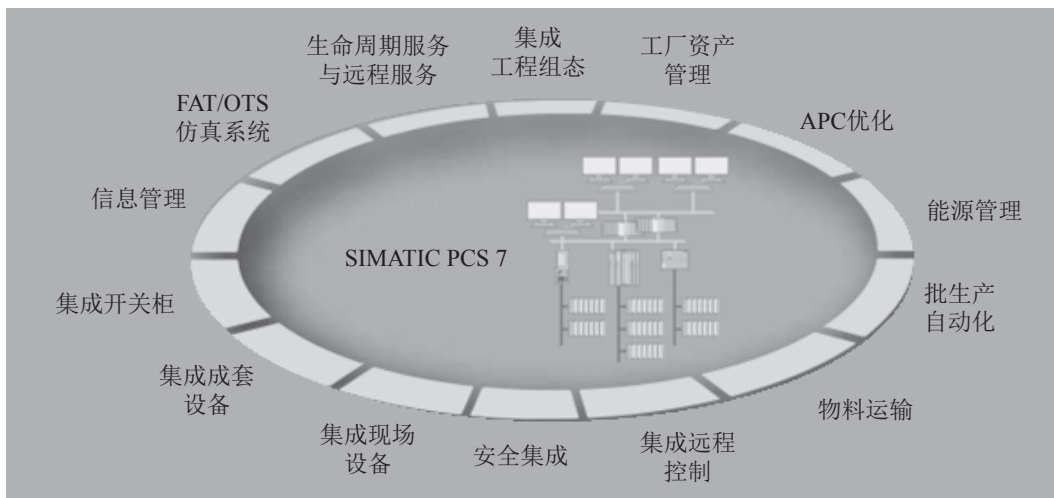
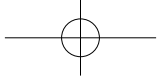


图 5-4 PCS 7 系统组成概要

经过近 20 年的发展，目前 PCS 7 全球安装台（套）数达到 22000 台。应用覆盖化工 / 石化、油气、化纤、制药、造纸、水处理、水泥、食品饮料、有色等工业领域。在 PCS 7 的应用业绩中，包括中石化青岛千万吨炼油项目，抚顺石化百万吨乙烯项目等里程碑项目，也包括南水北调这样的民生工程。巴斯夫、诺华制药、华北制药、林德、安德里兹等都是 PCS 7 的长期合作伙伴。



此外，在过程工业数字化的浪潮下，PCS 7 也应用在金宇生物、必康、凯赛生物等企业的数字化解决方案中。

PCS 7 系统的主要特点可以归纳为以下几个方面。

1. 灵活的系统架构及可扩展性

PCS 7 系统网络结构既支持单站结构（操作员站可直接与控制器通信），也支持服务器/客户端结构。用户可以依据工厂生产规模及运行要求最经济地规划过程控制系统架构，从而完美地匹配工厂规模，提高工厂的投资收益率。且系统扩展灵活，可根据客户要求组态设备和控制器。对控制系统随时进行扩展或重新组态则可以支持工厂技改或改造需求。

2. 高效工程组态

PCS 7 工程师站提供集成化的工程组态工具，一体化的工程组态数据库，符合 IEC61131-3 标准的自动化组态工具及功能极其强大的算法库，可帮助用户高效、高质量地完成系统组态工作。

通过 PCS 7 V9.0 新发布的软件 PAA，用户可以快速创建和完成基于 CMT 的标准化 PCS 7 项目。

3. 便捷操作

现代工厂工艺越来越复杂，对运行的要求也越来越严格，PCS 7 提供了众多创新技术帮助用户实现工厂操作运行的高效及安全。符合人体工学的画面符号和以任务为导向的操作面板，显著提高了操作员对异常工况的响应速度。例如：

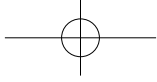
- 高效报警管理系统将潜在危险降到最低。
- 统一的状态信息表示、强大的数据归档能力将生产可视化程度进一步提升。
- 高级过程图形 (APG) 提供了面向生产过程的特殊图形设计，使操作更加安全便捷。

4. 与 COMOS 平台结合，实现一体化工程及一体化运维

PCS 7 可以与 COMOS 设计软件结合使用，实现从自动化工程设计到自动化系统实施的集成。基于 PCS 7 和 COMOS 的双向数据交互，工厂的全生命周期将基于统一的工程数据库管理，不仅提高了自动化工程效率，而且即时与现场同步的文档也为工厂的运维和升级改造带来便利。位于芬兰的安德里茨·欧伊造纸厂在自动化工程中将 PCS 7 与 COMOS 结合使用后，工程成本降低了 40%。

5. 集成过程安全

PCS 7 不仅集成了安全仪表系统 (SIS)，而且基本控制功能和安全功能可以在 PCS 7 的同一个控制器中执行，一个 CPU 即满足 SIL3 要求 PCS 7 安全功能的组态、操作员人机接口、诊断系统与 PCS 7 常规控制系统完全集成在同一个平台中，提供最佳的用户体验及最小的工程成本。



工业4.0

概念、技术及演进案例

6. 标准化编程，集成丰富的工业库和行业库

PCS 7 还提供了卓越的行业库，在行业库里有针对一些特殊行业设计的功能块，如水泥、造纸、水处理行业功能块。行业库集成了西门子的丰富行业工程经验，帮助用户工程组态更加方便与专业。美国的格林派克纸业，在 PCS 7 自动化系统中使用了造纸行业库 SIPAPER 对变频驱动装置进行优化控制，最高可使鼓风机的能耗降低达到 50%。山东御馨生物科技有限公司大豆分离和膳食纤维两条生产线，生产工艺复杂，控制节点数近 5000 点，通常这样的组态工作需要一个月的时间才能完成。采用了 PCS 7 组态软件后，借助 PCS 7 高效的编程方式，仅用了一周就完成了组态工作，组态时间较以往节省了 70%。

此外，PCS 7 还提供了丰富的功能选件，例如：

- SIMIT 仿真与培训系统；
- 工厂资产管理系统 AMS；
- BATCH 批处理功能；
- Route Control 路径控制；
- Power Control 配电控制；
- Tele Control 远程控制；
- 先进控制 APC；
- 高级过程画面 AGP；
- 信息管理；
- 资产信息清单 SMMC 等。

5.1.2.2 系统结构

图 5-5 是一个典型的 PCS 7 系统架构示例。现场 IO、变频器、智能马达保护等设备通过 PROFINET 或 PROFIBUS 总线连接到 AS 自动化站，自动化站与工程师站、操作员站、服务器等通过工业以太网通信。如果系统数据要接入云端或者有 Web 浏览需求，则需要增加防火墙，保护 DCS 系统网路通信安全。对于支持其他通信协议，如 Asi、Modbus 等现场层设备，PCS 7 系统提供了丰富的接入方式，如转换网关或通信卡提供宽泛的现场层设备集成。

实际应用中，PCS 7 有两种典型的系统应用架构：单操作员站模式和客户机服务器模式。

1. 单操作员站模式

单站结构通常用于规模较小的系统，可以有一台或者多台单站组成。各个单站分别独立运行，各自完成从 AS 自动化站采集数据、归档和报警的功能，单站同时还是操作员进行操作的人机界面。单站结构下，最多可以支持 8 个操作员站。单站结构如图 5-6 所示。

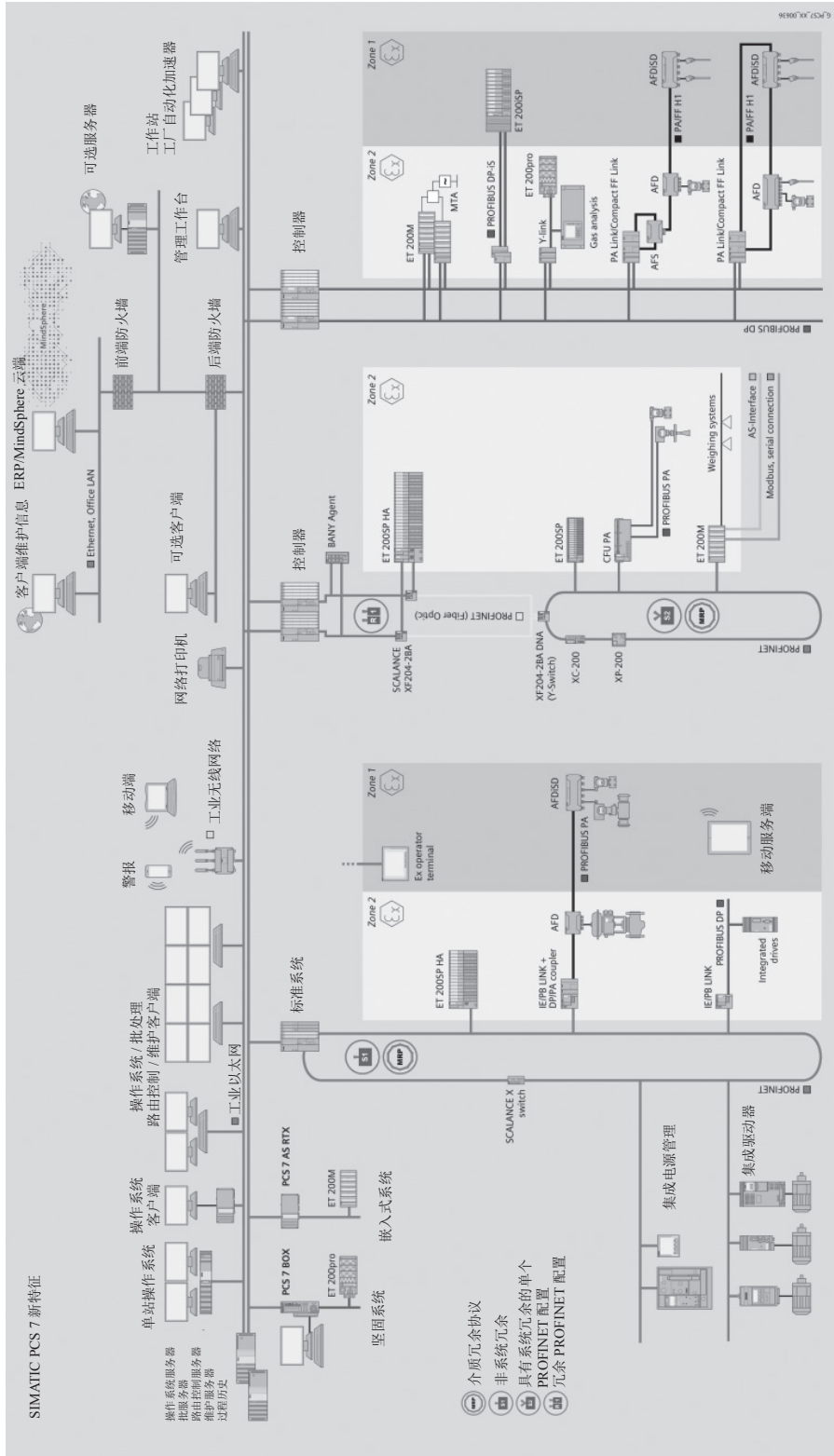


图 5-5 PCS 7 系统架构示例

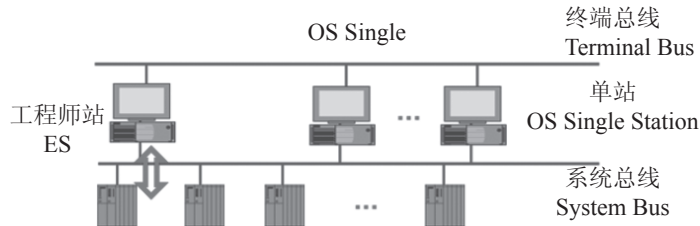


图 5-6 PCS 7 单站模式

2. 客户机 / 服务器模式

对于规模较大的系统，通常使用客户机 / 服务器结构。在这种结构中有一个或者多个服务器负责数据采集、归档和报警信息的处理，从性能考虑，服务器一般不提供操作员界面。由于服务器在整个系统体系中的关键地位，常常将 OS 服务器配置为冗余服务器。在整个网络中，最多可以容纳 18 个（对）服务器，每个（对）服务器可以连接 40 个客户机（如果客户机使用多屏操作，则每一个屏幕算作一个客户机）。

在系统结构中，至少存在一个工程师站（ES）用于项目组态。网络结构分为两层，分别是终端总线（Terminal Bus）和系统总线（System Bus）。系统总线用于 PC 和控制器（AS）之间的通信，例如，服务器和控制器之间的通信以及 ES 和控制器之间的通信；终端总线用于 PC 之间的通信，例如，客户机和服务器之间的通信以及工程师站和 OS 之间的通信。

客户机 / 服务器结构如图 5-7 所示。

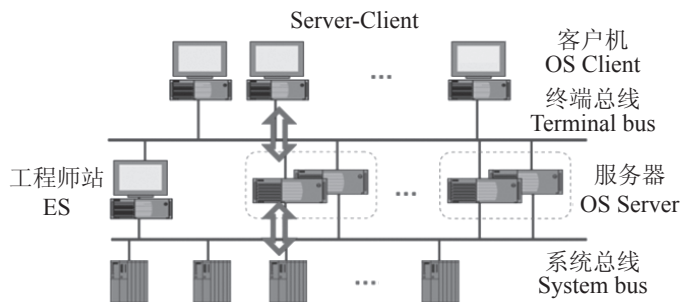
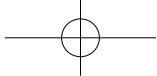


图 5-7 PCS 7 客户机 / 服务器模式

大型 PCS 7 系统可以是两种 OS 结构的灵活混合。除了过程生产的必备 OS 外，还可以通过附加选件配置 PH 中央归档服务器 / BATCH 服务器 / MS 维护站 / Route Control 路径控制服务器等多种上位系统应用。PCS 7 系统是开放的过程系统，可以通过 OPC、WEB 方式提供上层网络的通信接口。

5.1.2.3 PCS 7 系统硬件

PCS 7 系统硬件由工程师站（工程师站）、OS 操作员站（OS 服务器、客户端和 OS 操作单站等）、自动化站（AS）、分布式 IO 站、现场总线、网络交换机等组成。其中网



络交换机请参考本书工业网络章节，这里不再赘述。

1. 工程师站

PCS 7 项目是在 PCS 7 工程师站上设计的。工程师站安装有 PCS 7 工程组态工具，可以和自动化站和操作员站进行通信。PCS 7 工程师站提供了功能强大的组态工具，如：

- SIMATIC Manager：用于项目创建、库创建、项目管理和诊断等。
- HW Config AS 的硬件配置环境。用于配置 CPU、通信处理器、外设以及现场总线等。
- NetPro：AS 与 AS 之间以及 AS 与 OS 之间的通信组态环境。
- 图形编辑器：用于设计工艺图、图形对象以及动画。
- Web 浏览器：通过 PCS 7 OS Web，利用因特网或者企业内网，可以方便地监视并控制过程。

在 SIMATIC Manager 中，提供了三种不同维度的视图，为项目开发带来极大的便利。这三种视图分别是：

- 组件视图：用来新增或组态新的工作站（如工程师站、AS 和 OS）。
- 工厂视图：用于设计工厂的工厂层级（PH）。
- 过程对象视图：组态期间可以创建大量的对象。过程对象视图包含有一个项目组态的各个方面。在视图中，可以查看并编辑这些对象。

用户可以创建项目（单个）或多项目。一个多项目包含一个或几个项目和一个主数据库。一个主数据库关联一个多项目。与其他系统或特定应用的库不同，主数据库存在于多项目中，并收集该多项目所使用的全部功能类型。

典型的 PCS 7 项目在结构上可以分为两个部分，即 AS 组态和 OS 组态。

AS 组态包括工厂层级、功能块、CFC、SFC 的设计，以及硬件和通信组件的组态。

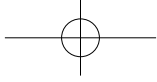
OS 组态包括带有操作功能和工艺图的工厂操作界面的设计，以及对归档和协议的组态。在执行“编译 OS”（Compile OS）功能时，OS 组态可以自动地调用 AS 组态的大量系统功能。

2. 操作员站

简单来说，PCS 7 OS 是一台计算机，用来控制过程工厂并同时承担过程值和消息的管理/维护和归档功能，即 OS 单站。在分布式系统中，OS 被分为 OS 客户端和 OS 服务器。OS 客户端位于控制室，用来控制工厂。OS 服务器承担所有的管理/维护和归档功能。

操作员站信息组态均在工程师站上进行。操作员 OS 项目是组态项目的一部分，在工程师站上可以实现以下组态功能：

- 设计图形对象（按钮、滑块、趋势、面板等）。
- SFC 可视化，在 OS 运行系统中自动显示 SFC 的执行顺序。
- 数据归档（变量和消息）以及长期数据存储的设计。



工业4.0

概念、技术及演进案例

- 报表设计，用于系统和过程数据的打印输出。
- 用户管理，用于指定和控制不同操作用户角色的授权访问。
- 冗余，指组态与主服务器连接的对等 OS 服务器。这两个服务器中，如果某一个出故障，则第 2 个将承担整个系统的管理 / 维护工作。故障服务器恢复工作后，将会复制并同步所有的消息和过程归档。
- 时间同步，指一台 OS 在运行系统中作为时间主站，对工厂总线和终端总线上所连接的所有其他 OS 和 AS，以当前时间进行时间同步控制。
- Lifebeat 监视，用来持续不断地监视各个系统（OS 和 AS），并在 OS 运行系统中以屏显的方式显示其结果。
- 资产管理，除 Lifebeat 监视外，还可以自动生成诊断画面，以便更好地进行工厂维护，从而将这些数据提交至更高一级的管理系统中。

PCS 7 OS 提供开放式接口，这使得 PCS 7 OS 可以集成进复杂的企业级自动化解决方案中，例如 OPC 或 OLEDB。因此可以创建 3 种不同的 OS 项目。

- 单用户项目。单用户项目用于独立的操作站。它适用于小型系统，其服务器和客户端功能组合在同一台 PC 上。工程组态和操作视需求而定，也可以组合在一个单站上。
- 多用户项目。多用户项目用于服务器 / 客户端环境。OS 服务器上的项目具有自己的数据库，并为 OS 客户端提供项目数据。
- 客户端项目。客户端项目也用于服务器 / 客户端环境。OS 客户端上的项目无自己的数据库，其项目数据来源于 OS 服务器。OS 项目组态完成后，OS 项目将会被下载至相应的站。根据项目需求，客户端项目的 OS 服务器可以是单服务器，也可以是冗余服务器。中大型项目中推荐应用冗余服务器。

(1) OS 服务器。

OS 服务器将流程图中的过程值提供给所连接的 OS 客户端，并将操作员的指令传递给指定 AS 中的函数块。一个 OS 服务器最多可供 50 个客户端（操作员站）访问。通常不使用 OS 服务器来控制工厂。一个 OS 服务器可访问的过程对象数目由其许可决定，最多可访问 12000 个过程对象，这些过程对象可分布在多达 64 个 AS 上。

如果工厂项目需要多个 OS 服务器，则按工厂层级组织这些 OS 服务器。层级上的一个或多个区域可以指派给一个 OS 服务器。这与 SCADA 系统从根本上是不同的。在 SCADA 系统中，OS 服务器按归档任务分配，例如，消息（报警）服务器、过程—趋势（过程变量）服务器、图形（图形对象）服务器。图 5-8 所示为按工厂区域分布的 PCS 7 OS 服务器。

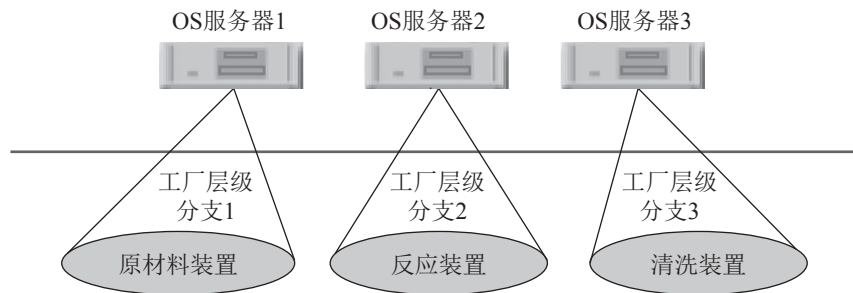
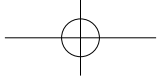


图 5-8 PCS 7 OS 服务器分布

(2) 冗余 OS 服务器。

这里指 OS 级冗余。PCS 7 可以在所有层级提供冗余，如 AS 级、工厂总线级和设备级等。两个 OS 服务器可以组成一对冗余的服务器，其中一个被设计为备用服务器。这一对服务器功能完全相同，正常工作时并行运行。每个服务器都有其自己的过程连接和数据归档。AS 会将过程数据和消息同时发送给这两个冗余服务器。若一个服务器故障，则客户端自动地从故障服务器切换至另一个运行的服务器。故障服务器修复并联网后，冗余功能将执行故障期间的归档同步操作。服务器将故障期间丢失的数据发送给曾经发生故障的服务器，从而消除了因故障导致的归档差异。该过程将使服务器保持一致。

(3) OS 客户端。

OS 客户端通过终端总线与指定 OS 服务器进行通信。客户端不能直接访问工厂总线和 AS。它们仅能通过服务器数据包访问 OS 服务器上的项目数据。

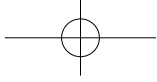
3. AS (自动化站)

自动化站是完成控制的核心层级，控制逻辑、信号采集、控制指令下发以及与子系统通信等主要工作均在这个层级实现。稳定可靠是自动化站的主要需求，从构成组件来看，一个典型的 PCS 7 自动化站应该包括以下模块：

- 模块机架（机架）；
- 电源（PS）；
- 中央控制单元（CPU）；
- 通信卡件（工业以太网 /PROFINET）（可选）；
- 输入和输出模块（可选）。

CPU 410 是专门为 PCS 7 过程控制系统设计的控制器。可用于所有的过程自动化行业，是目前市场上速度最快而且功能最强大的控制器之一。

无论对于标准型、容错型还是与安全相关的 PCS 7 自动化系统，都只需一种控制器——CPU 410。该控制器的控制容量可根据 PCS 7 过程对象（PO）数量灵活调整，控制器的系统扩展卡的 PO 数量可在线升级。这样不仅显著简化了自动化系统的选型和组态，而且降



低了备件库存和工厂扩展的工作量。

CPU 410 外观及主要特点如下：

- 高性能：内存空间 48MB，市场中大型控制器的高端配置。典型位处理运算为 110 μ s，控制器主频为 450MHz。满足任何复杂控制需求。
- 功能丰富：内嵌式 APC、内嵌式批量控制、SPC、AMS 等，丰富的集成功能在满足各种高级控制需求的同时有效降低项目成本。
- 通信能力强：4 \times RJ45 网口、1 \times DP 接口、2 \times OP 接口。支持 Profinet、Modbus-TCP、OPC、Open-ethernet 等多种通信协议，方便系统扩展与数据整合；全球第一款支持冗余开放型总线技术（PROFINET R1+IEEE 802.3）的 CPU。工业 4.0 数字化工厂的基石。
- 严苛环境适应性：G3 防腐、耐高温、高海拔、抗震、抗冲击、符合 EMC 要求。
- 工业安全：高等级信息安全防火、Achilles level II 认证 /TUV 信息安全认证。

CPU410 目前有三种型号：面向小型到大型应用的高性能 CPU 410-5H（见图 5-9），面向中小型应用的经济型 CPU 410 SMART 以及面向小型应用的 CPU 410E。



图 5-9 CPU 410-5H 外观及技术特点

4. 分布式 IO-ET 200SP HA

PCS 7 支持西门子旗下几乎所有的 IO 系列，包括 ET 200SP HA、ET 200PA、ET 200M、ET 200SP、ET 200iSP 等，每个 IO 系列都有其典型的使用范围，例如专用于流程自动化的高端 IO ET 200SP HA，适用于流程行业的经济性 IO ET 200PA SMART，紧凑型的 ET 200SP、用于防爆一区的 ET 200iSP、通用型的 ET 200M 等。本文重点介绍适用于 PROFINET 通信的 IO-ET 200SP HA。

ET 200SP HA 是西门子专为过程行业研发的高性能 IO，也是第一款支持 PROFINET 冗余通信的紧凑型 IO 系列。基于 ET 200SP 技术研发，小尺寸（模块宽度：22.5mm），

卡件集成高密度通道，扩展模式灵活，可以通过光纤和铜介质连接，单站点最多可集成 56 个模块，所有信号采用统一的接线方式和内嵌式冗余 IO 接线端子，提供电源分组，盘柜集成方便简单。

HA 为 High Availability（高可用性）的缩写，标准的宽温型设计（-40 ~ 70℃），带防腐涂层（符合 G3 防腐标准），模块可以应对严苛的现场工作环境。卡件冗余设计、高精度时间戳、MultiHart 等功能让卡件更能满足流程行业的应用需求。

全系列卡件在继承灵活性和可靠性的同时，又具有高可用性和丰富的功能，作为数字化解决方案中的重要一环，开拓了流程行业新的思路。

ET 200SP HA 分布式 IO 包括接口模块、信号模块、基座单元、服务模块等，图 5-10 示意了 ET 200SP HA 分布式 IO 的外形和基本特点。

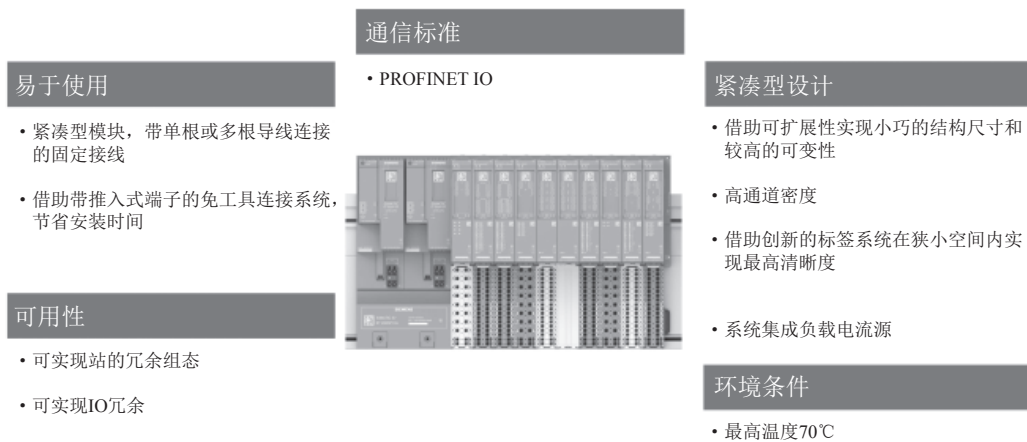


图 5-10 ET 200SP HA 外形及基本特点

作为基于 PROFINET 通信的高端分布式 IO，ET 200SP HA 具有以下特点。

- 更宽泛的环境适应性，带涂层，温度范围 -40 ~ 70℃，适应海拔高度为 4000m。
- 统一的 I/O 端子排，带快速接线功能，方便设计、安装和维护。
- 高密度 I/O 模块，有效节省机柜空间。
- 带防腐涂层（符合 G3 防腐标准），适应严苛的现场环境。
- 可安装在防爆 II 区。
- 支持 PROFINET 通信冗余。
- 内嵌式 I/O 冗余端子，I/O 冗余更方便。
- 允许运行时更改组态，支持 CiR 功能。
- 高达 1mm 精度的时间戳。
- 强化的诊断功能，借助于工程师站的网络拓扑图即可快速识别故障类型和故障位置。

5. 现场总线

PCS 7 系统的一大优点是采用现场总线技术，在中央控制系统中无缝地集成了大量现场设备和仪表。西门子以及各设备供应商，如 PI 组织成员 (<http://www.pi-china.org/>) 提供了丰富的驱动装置、变送器、传感器和仪表等，这些设备都遵从 PROFINET/PROFIBUS DP 协议。这里重点介绍 PROFINET。

PROFINET 是 PROc 工程师站 s Field NET 的缩写，是最具创新性的基于工业以太网技术的开放式工业自动化总线标准。通过 PROFINET，可实现制造自动化和运动控制领域的各种解决方案。在全集成自动化 (TIA) 环境中，PROFINET 是基于成熟现场总线系统 PROFIBUS 和工业以太网的通信总线。使用 PROFINET，可将简单分布式现场设备与对时间要求苛刻的应用 (PROFINET IO) 无缝集成到以太网通信以及基于组件的自动化系统中。

PROFINET 能够完全满足自动化技术的要求。PROFINET 融合了 PROFIBUS 和工业以太网技术，它是一个开放性标准，能够非常简便地操作和集成现有工厂组件。现在，PROFINET 已成为 PROFIBUS 用户组织 (PNO) 独立于制造商的通信、自动化和工程组态模型，并已成为标准 IEC61158 的一部分。

从 PCS 7 V9.0 版本开始，PROFINET 已经在 PCS 7 系统中得到了全面的应用，各项流程行业中的技术需求，例如不停机修改组态、Hart 路由、双接口模块冗余等，均可在 PROFINET 实现的系统中实现。基于 PROFINET，系统架构更加灵活，将工业以太网一直延伸到现场层，为实现流程工业数字化奠定了坚实的基础。

图 5-11 所示是一个典型的基于 PROFINET 的 DCS 网络架构。

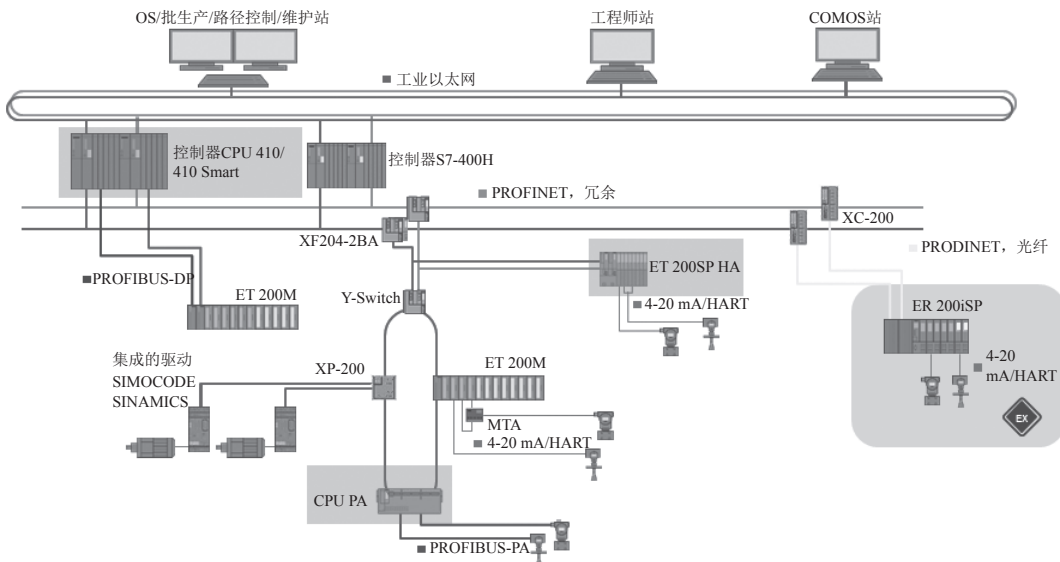


图 5-11 PROFINET 网络架构

5.1.2.4 PCS 7 系统软件

1. 工程组态软件

SIMATIC Manager 是 PCS 7 项目工程组态任务的核心管理工具，如图 5-12 所示。PCS 7 工程组态需要完成的功能，如硬件组态（HW Config）、系统网络配置、操作员站组态以及项目配置、程序等都是在 SIMATIC Manager 中完成。

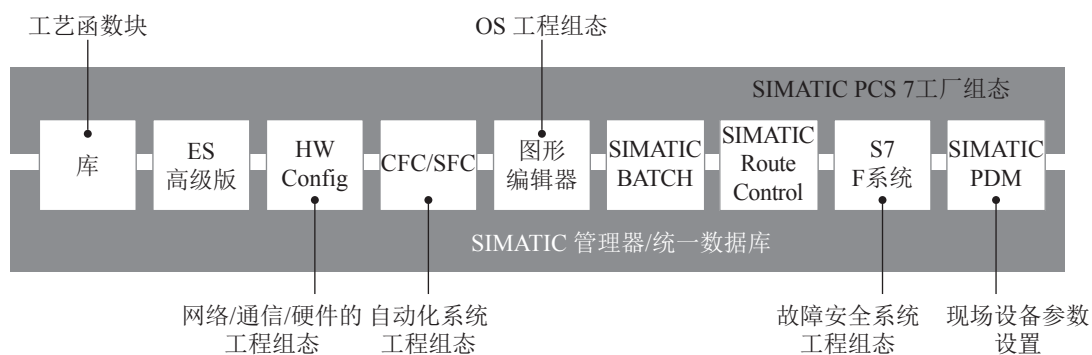


图 5-12 SIMATIC Manager

SIMATIC Manager 提供三个视图进行不同维度的工程开发，为了方便客户全方位地查看自动化项目和项目数据，为项目设计带来极大的便利，同时也让工程开发更标准化和规范。

(1) Component View（组件视图）。

- 创建项目结构与站点。
- 硬件组态（HW-Config）和网络连接（NetPro）。

(2) Plant View（工厂视图）。

- 根据过程工艺创建工厂层级。
- 创建 AS 站点的 CFC 以及 SFC 程序。
- 创建 OS 站点的画面。

(3) Process Object View（过程对象视图）。

- 基于项目的交叉索引工具。
- 可以通过表格形式编辑设置过程对象的参数等。
- 一个集成化的工厂视图。

PCS 7 工程的工厂层级设计方法可以实现所见即所得的工程方式。工程师的编辑界面，即对应工厂操作人员的操作画面如图 5-13 所示。

PCS 7 工程组态包括 AS 组态和 OS 组态两大部分。AS 组态包括工厂层级、功能块、CFC、SFC 的设计以及硬件和通信组件的组态。OS 组态包括带有操作功能和工艺图的工厂操作界面的设计以及对归档和协议的组态。一个完整的 PCS 7 项目组态流程如图 5-14 所示。

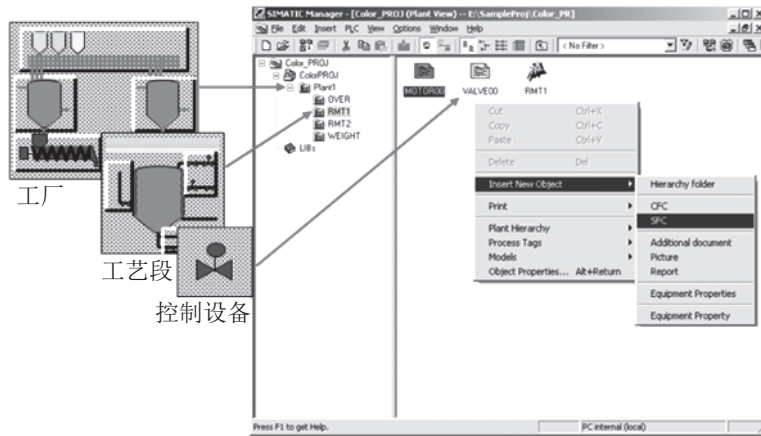


图 5-13 PCS 7 的工厂层级方法

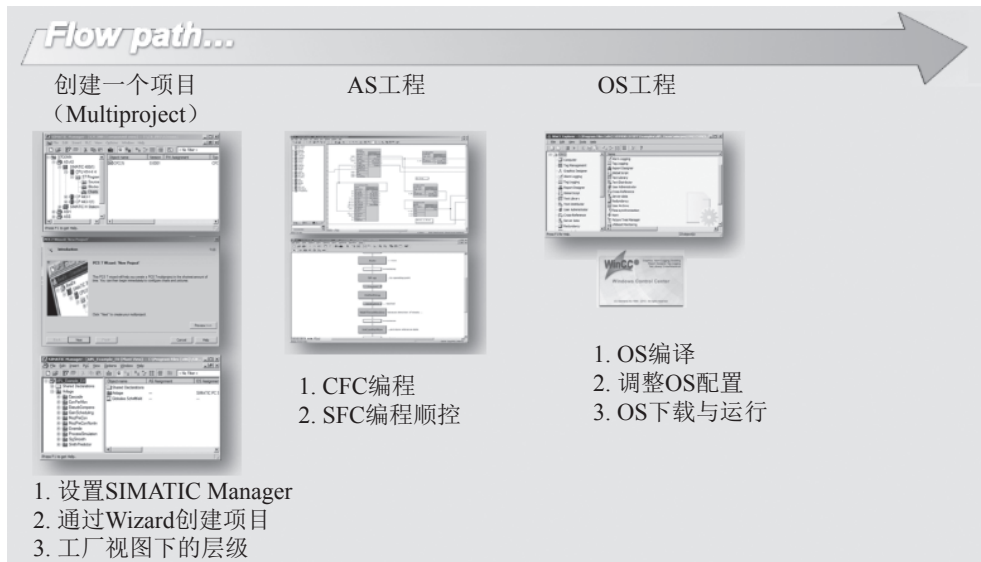


图 5-14 PCS 7 项目组态流程

在 PCS 7 中首次创建项目时，建议使用新建项目向导。该向导可自动在一个多项目（Multi-Project）中创建所需的项目结构。这样，用户可以直接开始对工厂执行真正的工程组态。在 SIMATIC Manager 中看到的一个 PCS 7 项目组成如图 5-15 所示。

PCS 7 工程组态的两大特点是多项目和主数据库。

(1) 多项目的特点

- 多个工程师协同工作，组态大型项目，采用分布式组态和集中管理。
- 某些 PCS7 的功能必须使用多项目，如 IEA。

注意：建议用户无论项目的大小均组态成多项目的方式，方便项目维护等工作。

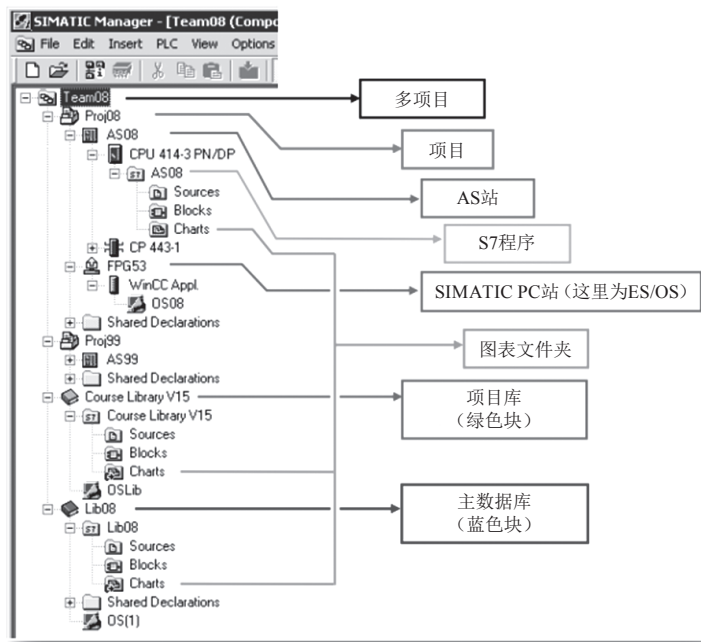
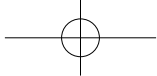


图 5-15 PCS 7 项目组态界面

(2) 主数据库的特点

- 集中管理整个多项目中单项目所使用的功能块，保证数据的统一性，防止各项目之间的数据结构产生冲突。
- 方便对整个多项目中各单项目的功能块的更新和管理。

在 SIMATIC 程序管理器下，有多种组态工具可以使用，无论采用何种组态工具，生成的组态数据都自动存到同一数据库中。这些组态工具包括连续功能图（CFC）、顺序功能图（SFC）、SIMATICS7 系列 PLC 编程语言（STEP7）、结构化的控制语言（SCL）和 SIMATIC 视窗控制中心（WinCC）等。这里将重点介绍 CFC 和 SFC 的内容。

1) 连续功能图（CFC）

CFC 编辑器可用于组态连续自动化功能。除了便捷易用的编辑功能之外，CFC 功能范围还包括强大的测试和调试功能以及对文档的单独组态功能。在该工具中，可以在 CFC 上对函数块类型的实例进行定位、参数设置和互连。还可以使用块属性指定块级别的访问优先级，更为细致地设置优先级。CFC 连续功能图如图 5-16 所示。

创建一个新 CFC 时，也就创建了一个和图表具有相同名称的运行组并自动分配给该图表中的所有块。因此，每个块都会立即分配运行属性，组态工程师可以用算法对这些属性进行修改或优化。

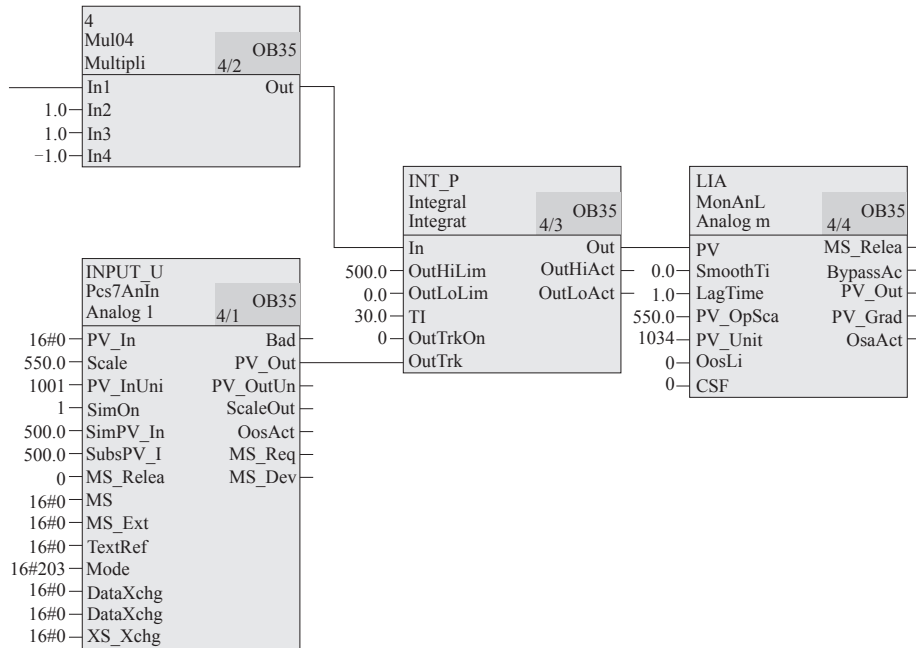


图 5-16 CFC 连续功能图示例

特殊组态方法（如层级图表中使用的图中图）、多功能的图表块类型（单个控制单元/过程变量类型）和实例形式的 SFC 类型（标准化顺序控制），都极大地提高了操作效率。

CFC 编辑器支持以下类型的标准软件模块。

(1) 函数块类型。

I&C 库支持的函数块类型可以用于对诸如阀或电机之类的过程工程组态设备进行 I&C 建模。这种应用广泛的最小标准化软件模块连接驱动信号和控制信号，可以进行参数设置并具有监视功能，同时还包含在自动转换到已定义安全设置的互锁功能。

(2) 过程变量类型。

每种过程变量类型都表示一个由特定 I&C 功能（如液位控制器）的基本自动化函数块实现的标准 CFC 图表。这种过程变量的实例可通过实例方案统一修改，也可进行手动修改和连接。

(3) 独立的控制模块类型。

独立的控制模块类型（CMT）是一种新型的标准化软件模块。通过与高级工程组态系统协作，这种类型的工程组态效率会比传统的过程变量类型要提高很多。CMT 中可以包含块、图表、控制变量（诸如信号和参数的块 I/O）和消息。

2) 顺序功能图 (SFC)

SFC 编辑器用于以图形方式对批生产操作的顺序控制进行组态和调试，它具有简单易用的编辑功能以及强大的测试和调试功能。使用顺序控制，可以通过更改操作模式和状态

控制选择性地处理通常由 CFC 创建的基本自动化功能。顺序控制可以根据后续的用途，创建为 SFC 或 SFC 类型，SFC 顺序功能示例如图 5-17 所示。

(1) SFC

SFC 可用于实现仅应用一次且会访问生产工厂的若干局部区域的顺序控制。每个 SFC 都包含标准输入和输出，可用于状态信息、用户程序和用户控制。SFC 可在 CFC 中作为一个块进行定位和互连。只需通过简单操作即可选择所需的 CFC 块 I/O，并连接到步骤序列的步和转换条件。

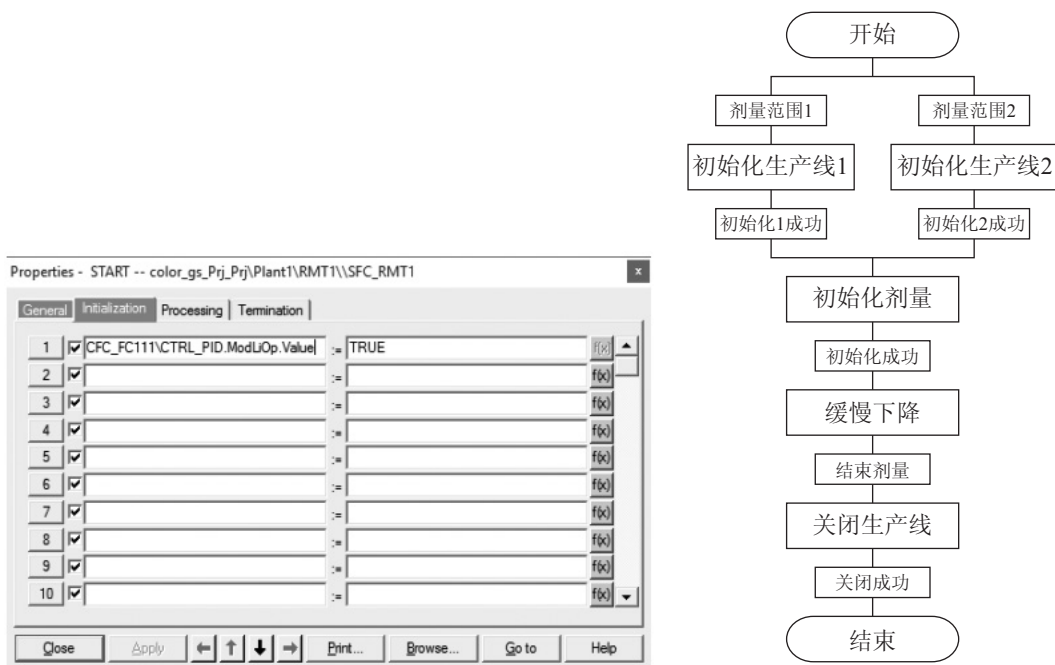


图 5-17 SFC 顺序功能图示例

符合 ISA-88 标准的状态管理器在单个 SFC 中最多可以组态 8 个单独顺控程序，如管理 RUNNING、HOLDING 或 ABORTING 等状态，或管理其他各种操作模式。ISA-88 标准物理模型如图 5-18 所示。

(2) SFC 类型

SFC 类型是可重复应用且会访问生产工厂某个局部区域的标准化顺序控制。可以在库中对 SF 类型进行管理，处理方式与标准函数块类似。例如，可从目录中选择 SFC 类型，并将其作为 CFC 图表中的实例进行定位、互连和参数设置。对源站进行更改后，所有实例都将自动进行更改。一个 SFC 类型可包含最多 32 个序列。使用“创建 / 更新块图标”功能，可在具有 HMI 功能的所有 SFC 实例的相关过程显示中自动定位并互连块图标。

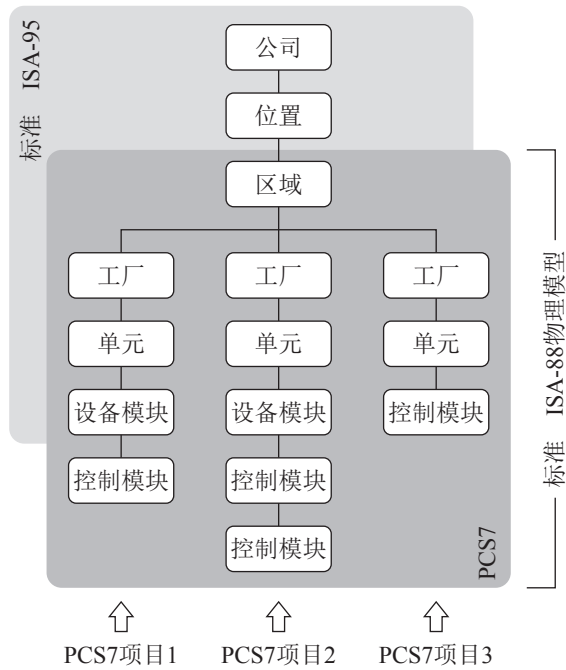


图 5-18 ISA-88 标准物理模型

3) 过程控制库

库的应用可以有效提高工程组态效率，降低项目成本。在 PCS 7 的工程组态标准软件中，集成了两个 I&C 库：作为标准安装的高级过程库（APL）和需要时安装的 PCS 7 工业库（IL）。

预组态和测试的块、面板和符号都在这些库中进行管理，并构成了自动化解决方案图形组态的基本元素。所有块可以按如下方式进行分类：

- 数学运算操作块、模拟块和数字逻辑块；
- 互锁块；
- 具有集成显示、操作和信号发送功能的工艺函数块，如标准控制块、先进过程控制块、电机块和阀块、计数器块、剂量装置块；
- 集成现场设备的块；
- 操作员控制块和监视块；
- 信号发送块和诊断块。

此外，一些诸如泵、阀、配料单元和控制器（级联控制、分程控制）的过程设备，它们的预组态过程变量类型都增加了库元素的范围。

(1) 高级过程库 APL

高级过程库（APL）是 PCS 7 的标准库。它基于项目工程师和工厂操作员的丰富经验，

并将最新的 NAMUR 建议和 PI 规范考虑在内，如图 5-19 所示。

APL 库是一套 AS 功能库与 OS 操作对象的集合，利用系统提供的标准功能块，工程师可以很方便地对项目进行自下而上的 AS 控制算法开发和 OS 画面组态。以一个电机控制功能回路的开发为例：首先，在 AS 控制器侧，它是一个 MotL 功能块（Function Block）；在 OS 侧，它却是此功能块对应的电机图标（Block Icon）和一套操作面板（Faceplate），APL 定义了一套标准的 OS 操作权限与操作规范，并为操作员的操作生成操作员记录。

<PCS7 AP Library>	
Motoy	
MetL	
Metey-	OB32
	8/3
StartAut	Ms Kelea
StepAut	MomOymCw
ModLuOp	MoMStaCw
AutModLi	K StpAct
ManModLi	CockAct
LocalLi	VawmAct
OsoLi	Start
StartLoe	P Start
StepLoca	P Step
Fbhkvm	LecatAct
Mamitay	AytAct
MamLista	ManAct
MamLiOym	OosAct
KapidStp	FbhkvmOv
KstLi	Av Ovt
Byppvat	Av Vmit
Ivip	Av OpSca
Permit	cvvovNvm
Imtleck	
Pvateck	
StartFet	
StarFerc	
VsevAmoS	
VALvmit	
SimOm	
CSr	
CxtMoa2	
CxtVas08	
Featvre	
AV	
Cvamtlol	

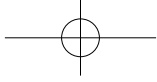
图 5-19 PCS 7 APL 库

APL 库极大地简化了操作员的操作，同时还加强了操作员与工厂之间的交互，而且各种小版本的函数块精简了核心功能，这些函数块的块图标和面板在过程显示中所占空间极少，使得复杂过程的显示更清晰明了。

（2）工业库 IL

PCS 7 工业库（IL）是用于对 PCS 7 高级过程库（APL）进行功能扩展的领域库。IL 库的所有图标、函数块和面板在原理与设计方面都采取 APL 形式。IL 库通过工艺软件块和具有 APL 设计的面板对 PCS 7 APL 加以扩展，适合实现特定领域的功能。IL 库集成了多种经过实践检验的行业库，如水和废水处理行业库以及楼宇自动化行业库。它还支持通过触摸面板进行操作员输入与控制，并集成进 SIMATIC S7 成套设备。

IL 库是对 APL 库的标准功能的理想补充。通过 APL 和 IL 库，PCS 7 为客户提供针对众多不同领域内的特殊过程控制任务实现协调一致的总体解决方案，例如：



工业4.0

概念、技术及演进案例

- 用于楼宇自动化的各种块（供暖、空调、通风）；
- 用于使用触摸屏进行操作和监视的块；
- 用于集成 SIMATIC S7 成套设备（对 S7-300 进行优化）的块；
- 诸如用于扩展测量值监视或指定设定值曲线的其他工艺块。

IL 库广泛使用在过程工业中。这些行业包括：化工、制药、水和废水处理、玻璃制造和太阳能、石油和天然气、食品和饮料。

4) 批量组态与控制模块类型 CMT

依托于 PCS 7 多项目与主数据库结构，在大型系统中可以应用 IEA (Import Export Assistant) 和 CMT (Control Module Type) 批量工程工具进行项目程序开发，避免重复性劳动，节省开发时间。

IEA 是 PCS 7 为用户提供的—个简单易用的导入、导出工具，支持 CSV 文件编辑。借助于 IEA 工具，通过导入、导出的方式轻松快捷地生成多个参数不同的过程标签或模型实例。

控制模块类型 (CMT) 在 PCS 7 SIMATIC Manager 编辑器中进行 CFC 编程时，可以通过使用预先定义好的控制模块类型达到快速、灵活组态的目的。

5) 操作员站 (OS)

PCS 7 过程控制系统的操作员系统允许操作人员进行直观且安全的过程控制。操作员通过各种视图来监视过程顺序，并在必要时进行干预。操作员系统架构具有很大的可变性，且可灵活地适应不同的工厂架构和客户需求。

PCS 7 使用—个多监视器图形卡选件可连接多达 4 个过程监视器，从而可以从—个操作站上直观便捷地控制若干个工厂区域。

操作员站的系统软件通过追加 SIMATIC PCS 7 OS Runtime 许可证可进行灵活扩展，可以将过程对象的数量 (PO) 增加到 100、1000 或 5000 个，直至以下组态限制：

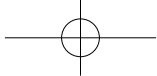
- 每个 OS 单站 5000 个 PO；
- 每台 OS 服务器（客户端 / 服务器架构）8500 个 PO。

关于操作员站结构，请参考 5.1.2.2 PCS 7 系统结构。

6) 图形用户界面组态

操作员系统的预定义图形用户接口 (GUI-Graphical User Interface) 具有控制系统的所有典型特征，它具有多语种、结构清晰、人体工程学设计且易于理解的特点。操作员能够非常方便地浏览和查看工艺流程并快速查看工厂的不同视图。

PCS 7 的操作员站 (OS) 项目为集成式项目，过程画面在 SIMATIC Manager 工厂视图中插入，而不是在 WINCC 图形编辑器中直接插入。在组态时为—个工厂层级创建唯一的 PDL 文件，并为该层级分配 AS 和 OS。OS 编辑后，会根据工厂层级结构生成画面



树结构，如图 5-20 所示。



图 5-20 PCS 7 OS 画面树结构

并在过程画面中根据 AS 程序插入对应的块图标。在 OS 项目中，除了用户创建的过程画面 PDL 文件外，还有大量以 @ 符号标识的系统画面文件。OS 的运行需要这些系统画面文件进行支撑，如图 5-21 所示。

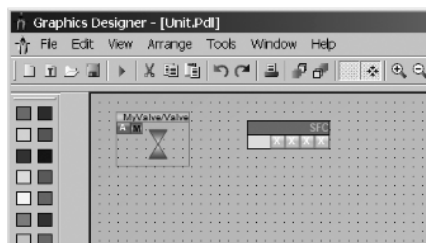
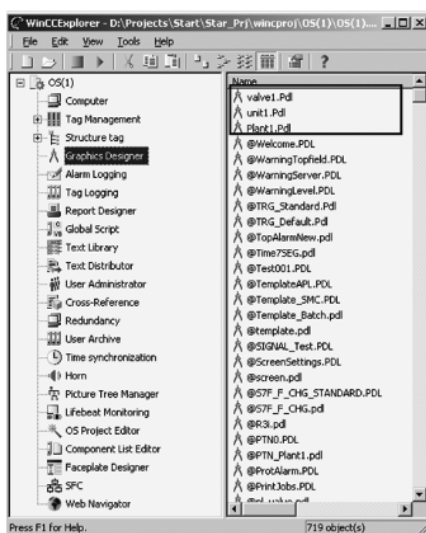


图 5-21 PCS 7 OS 系统画面文件

块图标的位置可以根据 P&ID 图进行位置调整并保存。而静态画面背景、管道流程等工艺图形需要用户自己在图形编辑器中绘制。也可以在画面中插入 WINCC 的智能对象、控件进行一些自定义功能，如图 5-22 所示。

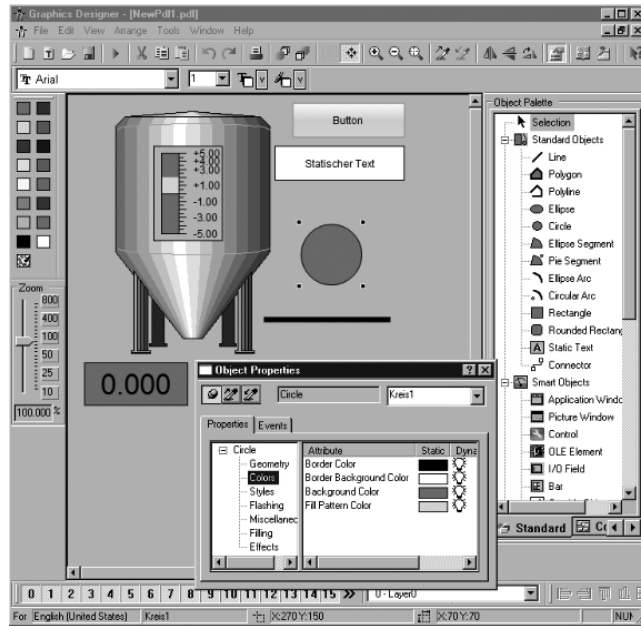


图 5-22 PCS 7 OS 画面的智能对象和控件

更多关于本部分的内容，请参考西门子技术支持网站上提供的帮助文档。

7) 变量归档与报表

通过在 CFC 中逐个添加归档属性，或者在过程变量视图中批量添加归档属性，PCS 7 即可完成变量归档功能。PCS 7 中变量的归档属性有以下三种：

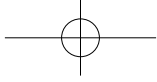
- No Archiving: 不归档；
- Archiving: 仅归档在 OS 中；
- Long-term Archiving: 除归档在 OS 之外，同时保存在外部归档服务器（如果存在，CAS 或者 PH 站）。

8) 报表与记录系统

报表系统用来在项目组态阶段记录项目，而记录系统是用来清晰地打印操作中记录的数据，可以使用不同类型的预定义日志。

- 消息序列日志；
- 消息和归档日志；
- 测量值日志；
- 操作员活动日志；
- 系统消息日志；
- 用户日志。

可以使用页面布局编辑器来创建全新的页面布局或修改预定义的布局。要打印的日志



对象只需从编辑器的对象选项板中进行选择、定位和组态。通过预定义或自动生成的打印作业，可以按指定的页面布局将当前日志数据输出到打印机中。在输出到打印机之前，这些日志可以保存为 EMF 格式并在屏幕上进行预览。可以通过手动、时间控制或事件控制等方式启动打印作业。操作员还可以在线检查打印作业的状态。

9) 趋势与报警

TrendControls 功能允许操作员显示过程值归档中归档变量的归档值，以及变量管理中与时间相关（表格 / 趋势窗口）或与其他值相关（功能窗口）的过程变量在线值，图 5-23 所示为 PCS 7 趋势图示例。可以按照以下方式静态或动态定义时间（根据实际系统时间）。

- 开始和结束时间；
- 开始时间和周期；
- 开始时间和测量点数量。

所有的 TrendControls 都有滚动条以及选择开始或结束时间的功能。

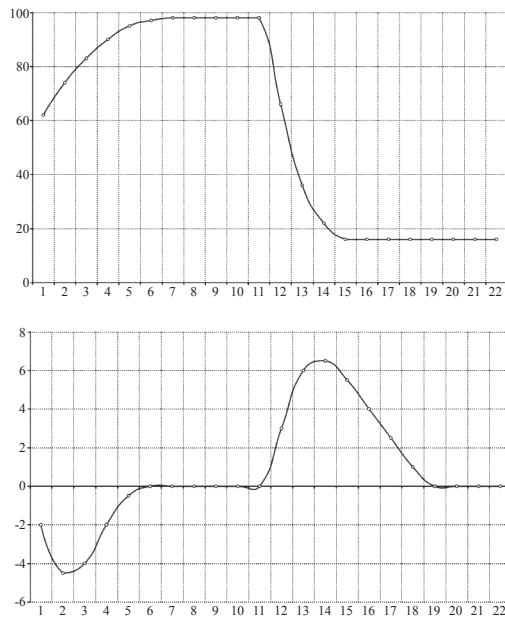


图 5-23 PCS 7 趋势示意图

集成在操作员站中的消息，系统通过可任意组态的 AlarmControl 功能（消息视图 / 窗口），记录这些过程消息和本地事件并保存在消息归档中，然后显示每个 OS 单站或 OS 服务器，最多可组态 200000 条消息。这些消息包括：

- 预定义的系统消息，由系统事件触发；
- 单个或群组消息，由过程状态的更改初始化；
- 操作员输入消息，在手动操作对象时产生。



10) OS 用户管理器

用户管理器用于对 OS 操作用户进行分区域、分权限级别的管理与设置。OS 用户可以仅在本机生效，也可以通过 SIMATIC Logon 集中管理，甚至是进行域控 (Domain)。

应该为每个 OS 操作员单站、OS 客户机单独组态 OS 用户管理功能。服务器数据包不包含在服务器上所组态的用户。如果为服务器项目指定了一个项目特定的权限，则必须在每个客户端项目中也定义该权限。

PCS 7 系统按钮的操作权限如图 5-20 所示。

	用户权限	级别 1
	工厂组态	级别 2
	趋势系统	级别 2
	报表	级别 2
	退出运行系统	级别 3
	更改语言	级别 4
	调用 SFC	级别 4
	确认	级别 5

图 5-24 PCS 7 系统操作权限

11) 系统时间同步

时间同步是指其中一个系统组件 (时间主站 Time Master) 为其他所有组件 (时间从站 Time Slave) 提供准确的时间。在 PCS 7 系统中, 需要为 AS、ES/OS 系统、ET 200M 远程站以至上位的 MES 系统等统一时钟, 保证工厂生产数据的时间一致性。

PCS 7 系统支持两种时钟同步方式。

- NTP Mode: 通用时钟同步协议。NTP 协议属于第 7 层应用层的协议, 可以跨局域网使用。一般来说, Windows 操作系统内置的授时精度不超过 10ms。
- SIMATIC Mode: 仅西门子产品支持该协议, 通过西门子软件对设备进行时钟组态。使用 SNAP 协议 (第二层数据链路层协议), 只能在局域网中使用。通信处理器 (CP) 和被同步 CPU 之间同步精度为 $\pm 10\text{ms}$ 、分辨率为 $\pm 1\text{ms}$ 。

时钟同步的方案根据工厂需求可以非常灵活。

12) PCS 7 Web 选件

OS Web 选件允许使用 PCS 7 通过 Intranet/Internet 对自动化过程进行操作员监控。既

可以用在 OS 单站，也可以用在服务器 / 客户机结构。

PCS 7 提供支持智能手机或平板电脑进行远程监控的解决方案。

2. SIMATIC PCS 7 功能选件

1) SIMIT 仿真与培训系统

在过程工业中，自动化项目通常具有预算紧、复杂度高以及实施时间短等特点。因此，不但需要在最短的时间内完成 I&C 工厂的规划、安装和调试工作，还必须满足日益增长的高质量、低成本要求。使用 SIMIT 对 I&C 和工艺功能进行仿真可以缩短调试时间，极大地提高了新工厂实现预期产量、生产效率以及进行扩展和现代化改造的速度。

通过 SIMIT，可以在某些虚拟工厂中对工厂特定的用户软件进行测试和调试。为此，需要在 SIMIT 中仿真现场工艺和工厂 / 单元的工艺响应。在 SIMIT 中不但可以仿真实际的自动化系统，还可以仿真虚拟自动化系统。

将系统投入实际的工厂应用之前，可以通过该系统进行高效检测并消除潜在的故障，如标识正确使用、互连测试或互锁逻辑关系。采用这种方式，可优化组态过程的质量，而且不会对实际工厂带来任何风险。

通过 SIMIT 还可以更好地培训操作员，增加操作安全性和提高生产效率。

SIMIT 可通过开放式接口集成到 PCS 7 中进行灵活应用，通过 OPC 和共享内存等标准化接口，还可以将更多仿真模块连接到 SIMIT 系统中，SIMIT 仿真与实际 DCS 的对应关系如图 5-25 所示。

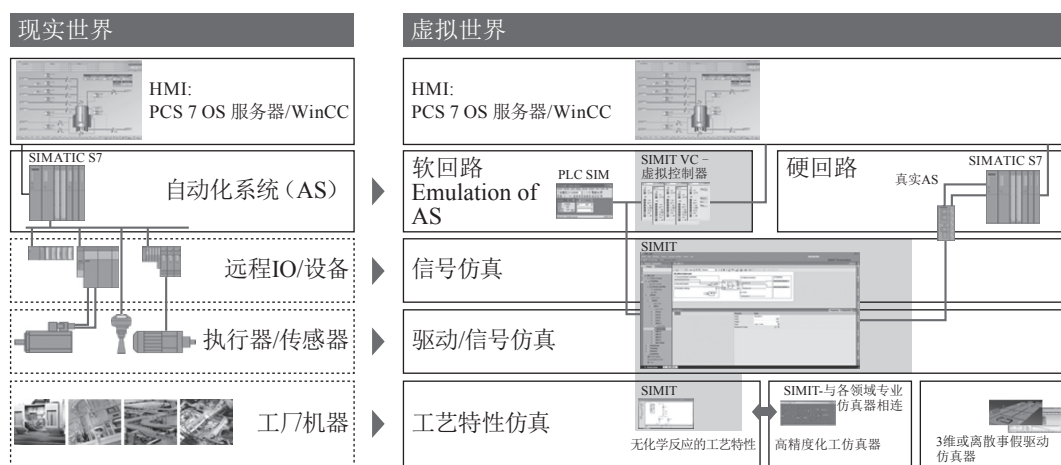


图 5-25 SIMIT 仿真与实际 DCS 的对应关系

SIMIT 提供多种库供客户完成仿真工程。

- 标准库：如电机、阀门、变频器、数学功能块等。
- FLOWNET 库：用于建立 P&ID 形式的工艺流程模型。模拟含有单一介质（水 / 蒸



汽、液体、理想气体)的管道网,包括压力、温度、流量。用户可以通过 CMT 扩展自己的 FLOWENT 库。

- CONTEC 库:用于建立传送装置模型。
- CHEM-BASIC 库:用于化工或制药工厂仿真,建立带仪表工艺流程图的模型。

2) 工厂资产管理系统 AMS

PCS 7 提供了非常完善的工厂资产管理功能。

- 设备组态和远程管理。
- 设备预测性维护。
- 诊断信息及维护请求。
- 标定管理、文档管理等。

PCS7 主要提供以下三种资产管理方式。

(1) PCS 7 / MS

- 通用设备状态诊断,产生维护请求,跟踪维护工作。
- PC 设备、CPU/IO 从站、智能仪表、Simocode 等。

(2) CML 库

- 用于大型工艺设备,如泵、换热器等自学习和状态诊断,预测性维护。
- 内含西门子 Know-how 分享。

(3) PDM Web

- 通过 IE 方式实现智能仪表参数分配和状态诊断。

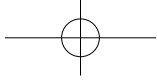
3) 批处理功能 (BATCH)

SIMATIC BATCH 是 PCS 7 中的一个软件包,为批生产控制提供生产规划、过程控制和生产统计等一体化解决方案。

SIMATIC BATCH 完全集成在 PCS 7 中,通过直接与 SIMATIC IT 或与任何制造执行系统 (MES) 的一个开放式接口进行通信,可以连接到生产控制层级。无论是简单的批生产过程还是包含各种不同控制顺序的批生产过程,SIMATIC BATCH 中的配方控制操作都可以灵活、高效处理。

SIMATIC BATCH 有以下主要特点。

- 全集成于 PCS 7 AS/OS/ES 中,与 PCS 7 高度集成,无须自定义接口,无须对批生产特定工程组态数据进行重复组态,在过程显示中集成 OS 控件。
- 配置灵活,采用模块化架构,且支持冗余服务器架构,提升生产安全性。
- 图形化的配方编程系统操作简便,有效降低大量顺控程序的编程强度。
- 符合 ISA-88 国际标准的层级配方系统。
- 独立于控制程序的配方设计软件。



- 电子签名。
- 可与路径控制结合使用。

SIMATIC BATCH 行业应用包括（但不限于）：

- 制药：药物活性组分、生物原浆。
- 化工：颜料、浆料。
- 精细化工：香精原料。
- 生物化工：生物化学发酵。
- 食品饮料：啤酒、食品。

4) 路径控制 (Route Control)

路径控制 (Route Control, RC) 是 PCS 7 系统中组态、控制、监视并诊断物料传输的组件。路径控制不仅可以对生产过程和相关仓库进行自动化控制，而且还可以对连接这两个区域的物料传输进行自动化控制。

RC 既可以用于具有简单的静态传输路径的小型工厂，也可以用于具有大量复杂路径和管道网络的高生产能力中型工厂。

SIMATIC Route Control 尤其适合处理以下需求。

- 频繁改变和扩展传输网络（包含执行器和传感器）。
- 须定期更换物料或动态选择物料的传输源和目标地址，具有高度灵活的传输路径。
- 大量物料的同时传输。

路径控制工程组态软件包括工程组态工具、向导和块库，并与其他工程组态工具一起集成到中央 PCS 7 工程组态系统中，其主要特点如下。

- 与 PCS 7 完美集成，结构灵活，依工厂实际规模和需求而定。支持冗余服务器，提高了系统可用性。
- 1:1 的图形化路径网络图，在组态、调试或运行期间对工厂修改可作出快速响应。
- 兼顾物料兼容性，避免意外的物料混合。
- 局部路径的独占性分配，通过部分路径获得工厂路径网络的映射。
- 传输物料量的自动计算。
- 离线 / 在线的详细诊断。
- 可与 SIMATIC BATCH 配合使用，从批生产控制配方中启动物料传输。
- 通过重复应用组态部分路径以及将组态数据导出到 Microsoft Excel 中，从而减少组态费用和调试时间。

5) 先进控制 APC

先进过程控制 (APC) 是区别于传统过程控制方案的控制理念与方法的一个统称，它涉及多种先进控制，如模型预测控制、软传感器、神经网络、模糊控制等。



工业4.0

概念、技术及演进案例

除了基础控制功能（如 PID 控制、串级闭环控制、分程控制和比率控制）之外，PCS 7 的 I&C 库还免费提供以下用于先进控制功能的功能块和模板，为生产控制优化提供了更多可能。

(1) 控制性能监视：在线监视自控回路控制性能，鉴别工厂中哪些回路需要优化，并对潜在的运行故障或生产风险进行预判。控制性能监视是执行 APC 的第一步，应用在控制回路较多的大型过程自动化，如炼油厂。

(2) PID 控制器优化：优化 PID 回路，模拟闭环控制回路。该功能可以应用在任何优化 PID 控制参数的场景中。

(3) 超驰控制：两个（或更多）PID 控制器共用一个执行单元（控制装置），根据当前过程状态来决定哪个控制器对执行机构进行控制。可应用于流量控制或者出于安全考虑的限压控制。

(4) 增益调度：适用于非线性过程，比如 Batch。增益调度为三个操作点提供了三个完整的参数集。应用实例包括使用非线性滴定曲线控制 pH 值（中和处理）、控制锅炉温度或者包含化学反应的批生产过程（非线性响应特性）。

(5) 动态前馈控制：用于补偿可测量的、大扰动的控制回路。预测模板（CFC）建立在标准功能块上，扰动在产生负面影响之前就被消除。可应用在工业熔炉的温度控制（扰动变量：流速）或搅拌反应槽的浓度控制（扰动变量：流入物浓度）中。

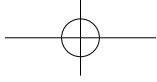
(6) Smith 预测程序：用于具有较长时间滞后（已知且通常保持不变）的过程。主要应用于聚合过程或闭环控制分析值（作为与分析有关的时间停滞的结果）。

(7) 基于模型的预测性多变量控制（MPC）：MPC 可实现基于稳态最优化和效益最大化的控制优化。PCS 7 支持最多 10×10 内置式 MPC。MPC 增强功能主要体现在：综合静态 / 经济优化操作点；预测模式为新模式，不主动介入生产操作，仅显示预测结果；自动模型识别工具，简化识别过程；可以选择基于鲁棒性或快速响应型的控制方案，模型识别过程非常简单。

MPC 应用实例包括：

- 2×2 应用：二成分蒸馏、造纸、双膛系统。
- 3×2 应用：钢铁漂白过程。
- 3×3 应用：连续反应器、蒸馏器、蒸馏柱。
- 3×4 应用：水泥磨。
- 4×4 应用：三成分蒸馏、LPG 蒸馏器、带四个燃烧器的熔炉。
- 10×10 应用：为 Tennessee Eastman Benchmark 开发的基于模型预测控制器的配置 MPC 10×10 。

APC 完全集成于 PCS 7，在 PCS 7 高级过程库（APL）中默认集成，无须额外成本，



且与 PCS 7 具有统一的操作界面，支持冗余控制器，为过程自动化提供高可用性的优化控制。

此外，PCS 7 Add-on 还提供以下 APC 工具。

- INCA：模型预测多变量控制器。
- INCA Sensor：软传感器的不可测质量变量。
- INCA PID-Tuner：PID 控制器的专门优化工具。
- ADCO：自适应控制器。
- MATLAB/SIMULINK-DDE client：APC 在线耦合。
- FuzzyControl++：模糊逻辑配置工具。
- NeuroSystems：神经网络的配置工具。

6) 高级过程流程图 (AGP)

现有的 DCS 人机交互方式 HMI (人机界面) 多以面向技术层次的组织方式为主，过程值显示主要基于字母和数字，操作员在过程画面上实现对现场设备与仪表的直接操作。APG 操作结构如图 5-26 所示。这种方式下，对生产状态的预判只能基于操作员的 know-how，且画面通常不为操作员提供操作方面的指示。

PCS7 提供以操作为导向的高级过程流程图设计，将可视化对象应用于整个屏幕，从操作员需求出发，面向任务设计 HMI 三级操作。这使得关键生产参数和生产状态得以集中展示，而且重点突出，缩短了操作时的反应时间，例如：在工厂警报报警后可及时在作业区做出反应。

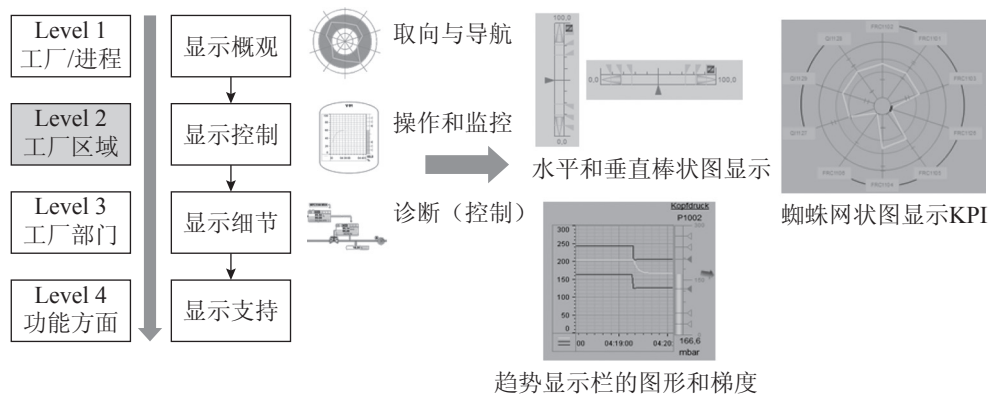


图 5-26 APG 高级过程流程图操作结构

7) 资产信息清单 (SMMC)

SMMC 对 PCS 7 软件实现统一标准化管理，并产生清单显示 PCS 7 工厂中安装的所有硬件和软件组件。通过 XML 文件，这些信息可以同步到企业管理平台的固定资产信息，



工业4.0

概念、技术及演进案例

用于备品仓库管理和设备出入库电子记录。

SMMC 完成的主要功能如下。

- 统计系统产品清单。
- 网络结构拓扑。
- 软件信息和固件信息统计。
- 在线数据同步。
- 数据批量上载和下传。
- 表格显示和智能查找。

SMMC 带给客户的主要利益如下。

- 快速分析安装硬件，提高维护和升级效率。
- 快速自动创建最新文档。
- 生成实际使用的 PCS 7 企业产品许可（EPL）清单。
- 为长线运营工厂的生命周期规划提供基础。

8) 信息管理（Information Server）

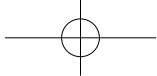
数字化背景下，企业产生的大数据对工厂信息化管理带来了极大挑战。

- 数字化进程中大量的生产、质量、安全和绩效信息，造成大数据工厂下的海量信息。
- DCS 系统实时产生的信息数据量庞大，同类信息的时间跨度大，分布在不同控制系统和不同的生产装置中，使工厂技术管理人员在横向分析统计数据时耗时耗力，很难且无法准确统计，所以错过很多发现隐患和解决问题的时机。
- 数据量大、数据存储成本高、检查效率低等问题，造成大量数据被“浪费”，导致数据使用效率低下。

通过 PCS 7 IS（Information Server），数据按照预定义规则自动提取及统计分析，重点信息一目了然，将过程工厂每天产生的海量数据进行归类化、定制化的统计分析，并以邮件形式将报表发送给相关管理人员。为企业生产运行管理节省了时间和成本，降低了设备故障风险。PCS 7 IS 带给客户的利益如下。

- 设备隐性故障提前预知、预判。
- 信息分类与图形化显示，实现精准定位。
- 辅助操作提示系统。
- 控制系统层面上的信息挖掘与大数据分析。

中石化青岛炼化公司使用 PCS 7 IS 后，每天工艺过程预警和报警值总量比使用前减少了近 80%，仪表设备维修完好率大幅度提高。



5.2 西门子工程设计与运维软件 COMOS

5.2.1 COMOS 平台的特点

日益加剧的全球竞争迫使工厂工程设计企业及业主不得不提高生产力并改进生产质量。在降低成本和缩短周期的巨大压力下，并行实施的高效工作流必须得以采用，这就需要能够跨专业和跨部门需求的软件解决方案。在所有工程设计和运营阶段持续创新并进行一致性的数据管理是解决方案得以成功实施的关键因素。由于具有开放式的架构和一致性的数据平台，COMOS 能够确保在整个企业内获得连续且透明的数据流，并杜绝任何数据丢失或者数据不一致；将生命周期各个阶段以及各个专业整合在一起，以最佳的方式在全球范围内实现互联。

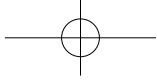
友好的用户界面

传统的工程数据平台，一般都起源于工程绘图软件，因此界面和使用方式也往往和绘图软件比较相似。这样的界面和使用方式安排虽然有利于图纸的绘制，但是一旦涉及数据的集成、检索、报表生成等，往往需要工程师在不同的界面和菜单中进行跳转和切换，有时甚至需要打开其他的外置模块来进行操作，非常烦琐。

COMOS 作为一个崭新的数据平台，采用了最新的 Windows Presentation Foundation 技术作为界面的主框架。界面不仅易于理解，操作直观，而且还集成了标准的 Windows 操作功能，比如快捷方式和弹出菜单以及常用的拖拽功能等。在 COMOS 中，用户的操作界面可以按照用户自己的喜好，进行随意配置，这种配置不需要繁杂的配置过程，只需要使用鼠标进行几个简单的拖拽操作即可。这样，一个设备或者多个设备可以在数据表以及绘图中双向进行处理，不仅减轻了工程师绘图的工作量，还大大简化了数据的检索、比对、报表生成的工作流程，从而提高了工作效率。

唯一的中心数据库

传统的数据平台对数据的整合方式有两种，即整合数据库方式和数据仓库方式。COMOS 平台则完全突破了以上两种传统整合方式的桎梏。COMOS 产品系列采用模块化结构构建而成，这些解决方案可以相互集成，涵盖从工艺设计到基础和详细设计直至运营和现代化改造等生命周期的各个阶段。这些模块都构建在同一个中心数据库上，它们既可以单独实施，在需要时也可以作为独立的解决方案使用。简单来说，无论哪个专业人员需要使用 COMOS，都是从双击同一个 COMOS 图标开始工作的，具体的工作内容完全由系统授权和权限决定。



工业4.0

概念、技术及演进案例

这种基于单一数据库的架构，使得工厂生命周期过程中的数据能够完全无缝地从各专业集成到同一数据库中而不通过任何接口。平台为参与项目的所有人员提供了一个高效的相互协作的工作环境，从一张简单的 P&ID 图，到复杂的电气回路，工程设计中所涉及的数据、图表等信息都能保存在单一的数据库中，不同专业的用户被赋予不同的权限，以便在登录此数据库后能以既定的权限进行相应的设计工作，并且不同的数据能以不同颜色标识数据状态，并使不同地域的项目组之间实现便捷、高效的合作。这种单一的数据库也使得工程公司和业主间的数字化移交变得非常简单。

完全面向对象的数据库结构

在工厂的整个生命过程当中，数据平台需要集成大量的数据和文档，这些数据和文档来自不同的专业，并且会随着工厂生命周期的演进不断增加。这些数据和文档往往不是孤立存在的，它们之间会存在大量的关联关系，如何建立和管理这些关联关系是评价一个平台优劣的关键因素之一。

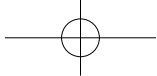
目前大多数数据平台软件，由于先天架构上的束缚，必须依赖于通过接口整合进来的数据，导致数据的关联必须依靠位号、系统号等参数，这也直接导致了关联关系的建立和管理变得十分的困难和不直观。

在 COMOS 平台中，工厂的每一个设备都会有一个独一无二的“对象”与之对应，无论这个设备是什么时候、由谁来创建的，它在数据库中都有一个唯一存在的“对象”。而所有与这个设备相关的参数，比如位号、安装位置、温度、压力，包括关联关系都是作为设备的属性得以保存的。例如，建立设备和图纸的关联关系，在 COMOS 中，这个过程是直接在绘图过程中完成的，只要这个设备被画到了一张图纸上，设备自然就会生成一个和图纸相对应的关联关系，而不需要再次单独给设备指定图纸的图纸号等信息，从而大大简化了关联关系的建立和管理。也就是说，在 COMOS 中只要找到了设备也就找到了与这个设备有关系的一切信息。

基于 SOA 架构的开放平台

如何在多个系统间进行安全的数据、文档交换一直是数据平台的核心功能。在很多应用场景下，这种数据交换的过程甚至需要系统自动完成而不能影响正在进行的工作。随着应用程序的增多，单纯依靠软件和平台之间一对一的，不可复用的接口，会导致整个 IT 架构变得异常庞大和繁杂，难以维护。

COMOS Enterprise Server 基于 SOA 架构，可以将 COMOS 数据库中的各种数据交换功能以特定服务的形式发布出来，这样第三方应用无须开发定制的接口，只需调用 Enterprise Server 的数据服务就可以从 COMOS 平台中读取或者存储数据。这种调用的过程是直接由 Enterprise Server 来处理的，这种数据处理机制和传统的数据调用方式相比，可以大大降低客户端的负荷，甚至可以在不安装 COMOS 客户端的情况下进行。



这种基于服务的数据交换方式有以下几个优点。

- 摒弃了应用和应用之间专有的数据接口，而转向只需定义应用间传递的数据格式。
- 数据交换工作完全在后台进行，可自动触发也可人工干预。
- 平台的灵活性和开放性得到大大加强。

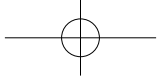
5.2.2 COMOS 一体化工程设计

在现代大型工程项目中，项目规模越来越大，所涉及的资金和总人工时也愈发庞大；绝大部分项目不仅流程复杂，专业配备齐全，而且为了减少风险和取得更好的经济效益，对项目工期也有着严格的要求。在这样的情况下，不管是业主还是工程公司，都在想方设法进行团队建设，理顺专业职责和专业间的条件关系，力图加强专业间的协同工作，降低成本和缩短工期。

加强专业间的协同工作，这是工程公司一直以来的希望和要求，通常会通过团队建设和专业间条件关系表来进行。通过团队建设来加强团队的凝聚力和向心力，改善团队内外外部关系；在设计经理的带领下，各个专业负责人进行协商，共同完成专业间条件关系表，以期对各专业在什么时间提出和接受条件达成一致意见。这些做法无疑是有效的，它们从人员上和制度上对专业间的协同工作给予了保障和指导；但仅仅从这两方面来进行还是不够的，大量的重复劳动在专业间进行，专业间文件的传递还是批量传递，工程公司需要更加高效的专业间协作，来提高工作质量和工作效率。

COMOS 作为一体化的工程设计软件，覆盖了工程设计的全周期，在项目的工程设计阶段涵盖了工艺、设备、仪表、电气、管道等专业，如图 5-27 所示。这些专业，尤其是作为龙头专业的工艺专业，是工程设计的最主要专业，其出品文件包含了大量初步设计阶段和详细设计阶段的二维图纸、文档和计算等。专业间的关系是错综复杂的，理顺专业间关系，尽量减少重复的数据输入 / 输出、校对审核，加速上下游专业的交流与沟通，促进专业间的协作，是 COMOS 的核心所在。

工艺专业作为龙头专业和基础专业，在项目前期所有其他专业还没开始之前就已经开始，向其他专业输出大量的设计条件。工艺专业的核心文件 P&ID 是所有其他专业的最重要的设计输入条件，管道专业将依据 P&ID 提供的工艺流程进行设备和管道布置，以期达到工艺在物料存储和输送上的设计意图；仪表专业将依据 P&ID 上的仪表、信号和连锁关系，进行具体的回路设计和连锁设计，以期达到工艺在自动化控制上的设计意图；电气专业将依据 P&ID 提供的电机信息，进行负载计算和电气设计，以保证良好的电力供应。工艺专业的其他重要出品文件，如设备工艺数据表、仪表工艺数据表、设备一览表、管道一览表、特殊管件一览表、仪表一览表等，也都是其他专业十分重要的设计依据。COMOS 作为一体化的工程设计平台，



工业4.0 概念、技术及演进案例

能够将工艺设计的全部成果与其他专业进行继承和分享。例如仪表专业在完成仪表规格书时，不需要将规格书上的工艺数据从工艺数据表中抄写过来，因为所有的工艺数据已自动按照链接关系在系统后台运作，即便还没有开始进行仪表设计。当我们第一次打开仪表规格书时，所有的工艺数据都会被系统完整地录入进来，而且不需要进行任何抄写校对。工艺专业在大多数时候作为输出专业，但在一些时候也会作为输入专业，接受来自其他专业的设计条件的反馈，如在项目末期来自于厂商资料的最终确定的电机功率参数。在项目初期，工艺会向电气专业提供一个源自计算或估计的电机功率，以供电气专业作为初步选型的依据，在 COMOS 平台下，这个初步的电机功率参数由工艺专业填写，参数将自动出现在电气专业的相关文件上，而无须再次抄写；在项目末期，经过评标和选型，电气专业将得到最终确定下来的真正的电机功率参数，并将之录入到 COMOS 平台中，这样无须工艺专业进行任何操作，工艺专业的最终成品文件，如泵数据表、搅拌器数据表、设备一览表等文件中的电机功率参数已经更新，这样既提高了效率，又保证了专业间数据的一致性。

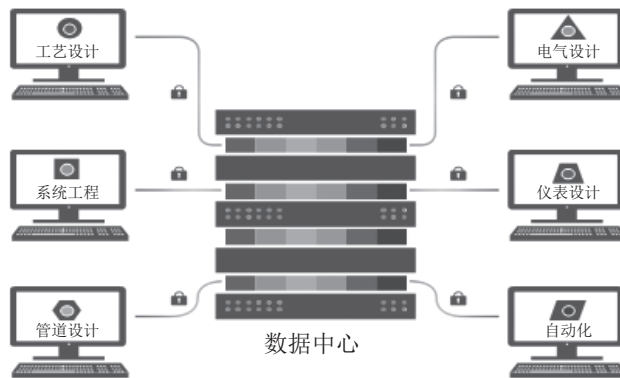


图 5-27 COMOS 功能架构

工艺专业与管道专业的一致性，在整个设计阶段显得尤为重要。相对于仪表和电气设备，管道、管件的数量要多很多，尤其是在公用工程部分，由于它们的相对不重要性和机动性，需要为主工艺设备和管道让路，导致大量通往直接用户的管道走向和数量可能与最初进行 P&ID 设计预想的不一樣，造成 P&ID 图与 3D 模型的不一致，给材料统计、施工乃至开车运维都带来极大的困扰。COMOS 平台通过与常用 3D 模型软件，如 PDMS、PDS 等连接，可以实现 P&ID 图中对象的数据和 3D 模型中设备、管道等数据的无缝连接，确保数据的一致性。

5.2.3 COMOS 与 DCS 的集成

按照传统的设计流程，在工艺电气仪表等各专业设计完成后，这些不同专业的设计数

据资料将会以 Excel 文件或 XML 文件等格式向自动化工程阶段手工传输，需要人工调整格式并挑选整理内容，非常容易发生错误，并且一旦发生设计变更，自动化工程需要人工进行比对更改。

由此传统分离的设计流程和方法，如图 5-28 所示，面临如下诸多挑战。

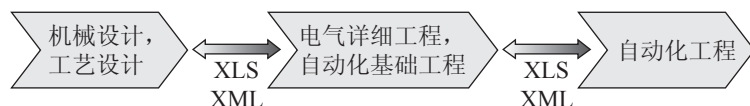


图 5-28 传统设计数据信息流向

- 各阶段的工程数据需要人工重复工作。
- 各阶段之间缺少高效的变更管理。
- 分散的信息存储。
- 人工进行数据一致性检查。

由此导致工程的进度延误，并且增加了各个阶段的工程成本。作为一个覆盖工厂全生命周期的设计运营管理平台，COMOS 致力于挖掘管理，利用工厂全生命周期内每一阶段的数据，为客户构建一个真正的数字化工厂。

在设计阶段，COMOS 将各专业的设计工作整合在一起，为所有专业提供了一体化的设计平台。

在工程建设阶段，针对自动化工程需要使用前期大量的设计数据，COMOS 提供了标准的解决方案，利用自动化接口（Automation Interface）与 SIMATIC PCS 7 系统实现了无缝集成（如图 5-29 所示），充分快捷地利用了全面的工程设计数据，并且能够及时将自动化工程中的更改回传到 COMOS 中，保证了 COMOS 数字工厂资料始终能够与工厂的实际数据保持一致。

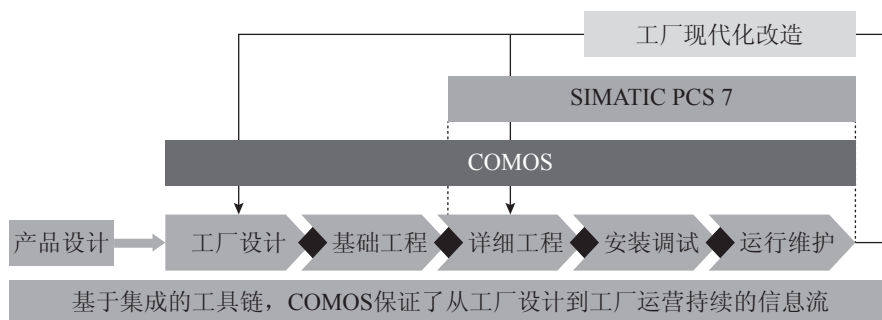


图 5-29 COMOS 数据信息流图

西门子 PCS7 系统是西门子旗下的分布式控制系统（DCS），在众多行业都有广泛的应用，与同属西门子的 COMOS 系统无缝集成，具有独特的优势，如图 5-30 所示。

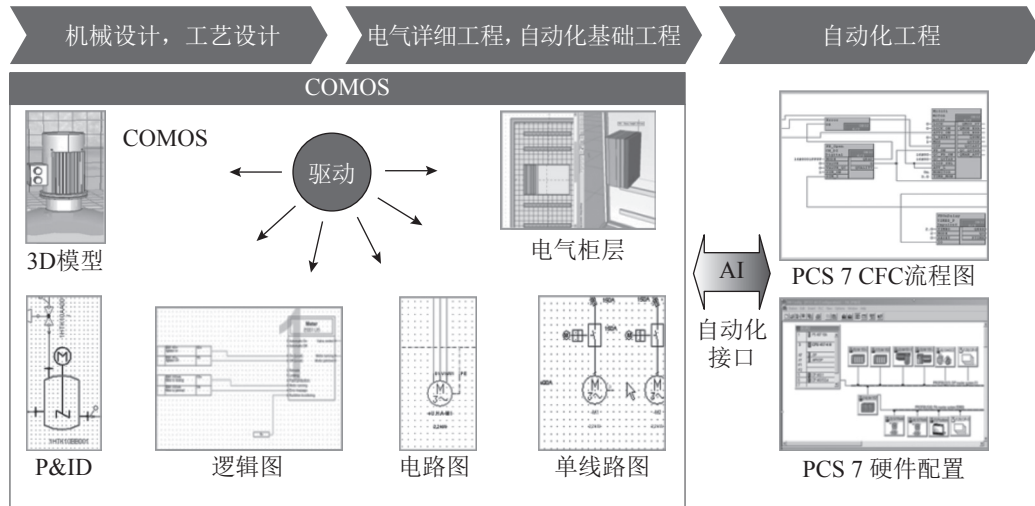


图 5-30 COMOS 与 SIMATIC PCS 7 的信息接口

COMOS Automation Interface (以下简称 AI) 是 COMOS E&IC 模块的标准插件, 提供了 COMOS 与 SIMATIC PCS 7 之间的双向接口, 可以向 SIMATIC PCS 7 传输工程数据。数据传输操作在 COMOS 中执行。

利用 AI 接口插件与 SIMATIC PCS 7 的链接, COMOS 为客户提供了以下功能选项:

- 将过程变量库从 PCS 7 导入至 COMOS;
- 将项目 / 数据从 COMOS 导出至 PCS 7;
- 将对项目 / 数据的更改从 PCS 7 导入至 COMOS。

AI 接口具有以下特点, 保证了 COMOS 与 PCS 7 之间数据的安全交换:

- 双向数据交换;
- 一致性检查;
- 变更管理。

COMOS AI 是 COMOS 从一体化设计到一体化运营的战略思想的产品, 更是符合客户真实需求, 解决了传统设计模式中设计与工程数据脱节带来的一系列问题, 真正实现了设计平台与控制系统的有机融合, 是实现数字化工厂不可或缺的一个重要环节。

COMOS AI 不但符合数字化发展的长期趋势和需求, 实现了 COMOS 与 PCS 7 系统的无缝集成, 而且将直接在项目执行中为客户带来众多实际、具体的利益。

- 零错误率的数据传输加强了工程质量;
- 优化的变更管理简化了工程流程, 降低了工程费用;
- 跨专业的一体化工程设计提高了效率, 缩短了项目周期, 降低了成本。

COMOS 与 PCS 7 的无缝集成, 保证了设计信息和自动化工程信息之间的一致性, 提高了数字化工厂信息的完整性, 加强了数字化工厂的复用性, 满足了工厂全生命周期管理

的需求。

5.2.4 COMOS 数字化工厂与一体化运维

据权威机构统计，一个典型的石油工厂从前端设计到实际运行大约有如下数据量被生成：35000 个设计文档，150000 个供应商元件库和规范库，100000 个规格说明书，250000 个表格、单据等。对于业主而言，25% 的数据在设计阶段产生，另外 75% 在工厂运行维护阶段产生，超过 70% 的投资和运行费用与信息的处理和操作密切相关。由于石油石化行业的复杂性和对安全性的高要求，工程公司或 EPC 在承担该类项目时，为了防止错漏碰缺，及更好地控制材料和工期，不得不借助智能三维工厂设计工具先完成一个虚拟的三维工厂模型，并基于该数字三维模型来达成多专业的协作、碰撞检查、图纸生成、材料表的统计等一系列设计和管理工作。如图 5-31 所示，工程设计和建造这一过程一般会延续 0.5 ~ 2 年。该数字工厂模型通过数字化的移交，交付给业主之后，业主在延续 20 年，乃至 60 年的运行维护、改造、退役阶段中，业主如何有效利用该数字化工程资产，包括三维和二维的信息，发挥数字资产最大价值，提高工厂 HSE 水平，为工厂的全生命周期打下扎实的基础，是关系工厂运行效率和安全的一项重大课题。

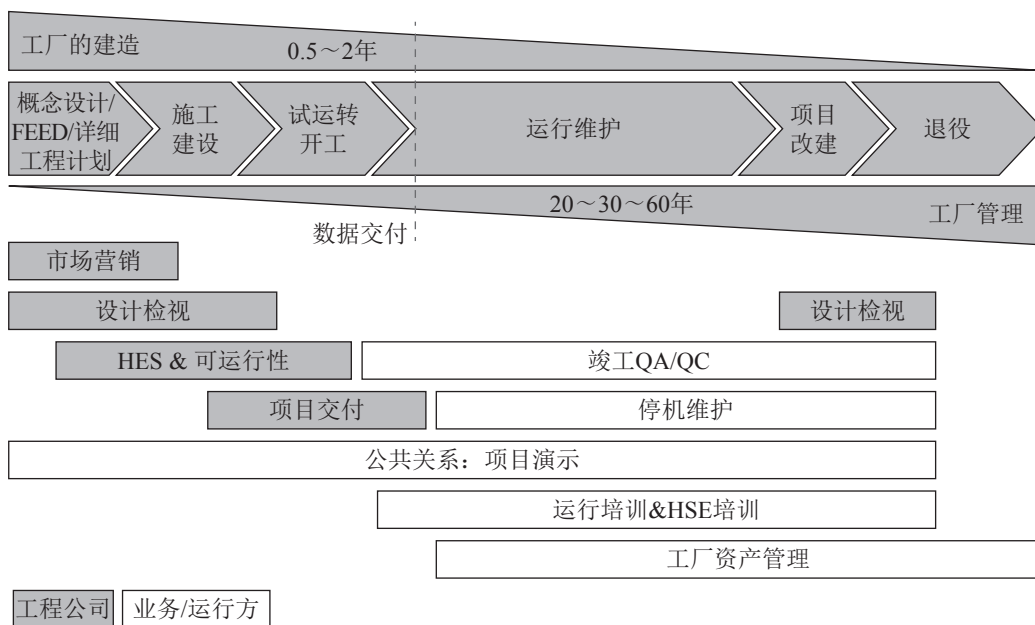
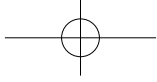


图 5-31 工厂全生命周期

基于从工程公司移交的各类型的工程设计文档，应用 COMOS 智能设计软件对数字化工厂数据库进行可视化工厂的构建，实现高效信息查询、一键搜索和不同设计专业的数字



化信息间的导航，进行科学的变更管理，实现高效的工厂运维、工艺改造、保准操作与安全培训和演练。

1. COMOS Walkinside 可视化工厂

西门子应用 COMOS Walkinside 的 3D 虚拟现实系统建立可视化工厂系统。应用 COMOS Walkinside 的 3D 虚拟现实查看器，可以在工厂的所有生命周期阶段，在运营、维护计划、仿真和工作人员培训方面重复利用工程设计阶段所积累下来的工程数据。这项专门针对运营设计的工具可供操作人员和工程师方便地使用，提供了对复杂模型的快速和现实感强烈的渲染，形成了一种身临其境的感受。典型运用范例包括了项目进度审查、问题解决讨论、场外仿真培训、工程设计和维护任务的空间环境掌握，以及紧急状况下的空间分析和决策支持。

COMOS Walkinside 虚拟现实解决方案从数字化、数据建模、系统仿真、决策支持一直到虚拟现实，它是一个开放的复杂系统，是一个综合信息的数据系统工程。WalkInside 使用 Ambient Occlusion 环境光遮蔽技术来实现边缘附近的阴影效果，增加了模型的视觉真实感，有助于对三维模型阴影部分物体和复杂组合的辨认。它可以为诸如流程工厂构建大型的 3D 模型，这项挑战将结合真实感强烈的视图和快速导航功能供操作或维护人员使用。

如图 5-32 所示，在 Walkinside ITS 中，运行人员完全被带入到高仿真的环境中，该程序还支持多角色互动，能够测试团队协作及沟通能力。为了增加培训的真实感，每个虚拟工厂环境中的三维模型都带有现实工厂中的全部细节属性，包括来自 CAD 数据和实景照片上的颜色和质地。真实环境中的音效和警笛声更加完善了 ITS 的真实感，各种安全标志能够加强安全培训的效果。能够设定程序在 VR 模型中添加三维对象，以标记人员撤离路线和应急、消防设施。逃生路线以实际长度显示，方便人员进行撤离排练。

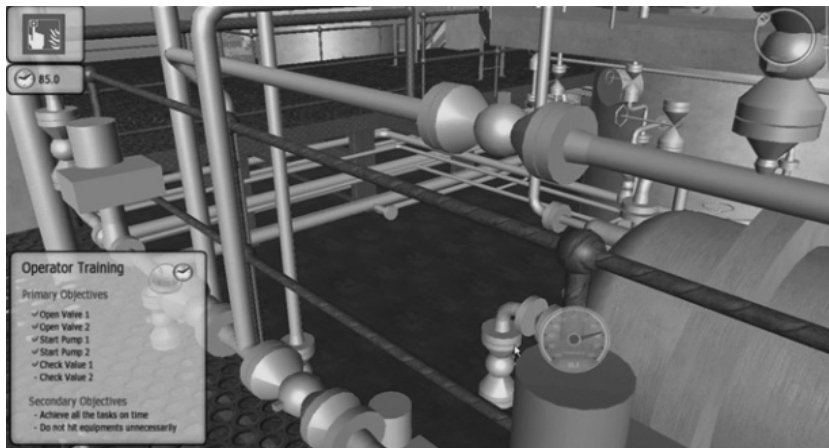
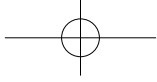


图 5-32 COMOS 实景模拟



2. COMOS MRO 设备资产管理系统

传统工作模式下，设计单位移交的设计成果是蓝图，施工单位移交的质量管理和记录也是纸质文档，这些是业主在运营阶段设备管理的基础资料，可是这些图档很难利用，而管理这些文档也是一项繁杂的工作。基于 COMOS 可以形成方便高效的文档管理平台，通过拖拽的方式，可以把各种格式的文档方便快捷地挂在结构树下，包括文本文档、各种设计图纸、PDF、Word 及 Excel 表，甚至三维安装示意图、现场照片和拆装音频视频文件等。由于系统结构完全与工厂实际情况保持一致，对于工厂的服务人员而言，查找工厂的系统会非常直观、非常方便；并且所有设备资料都以设备为核心进行管理，结合 COMOS 方便快捷的智能导航功能，工厂服务人员可以快速查到所需资料。

设备在其工厂环境下的 3D 视图与表格、文本或 2D 信息联合起来能够提供极其巨大的帮助。运用 COMOS Walkinside 系统，维护人员就能查看设备所处的位置：是可以从地面接近这台设备，还是需要搭设脚手架或利用起重机械。另一种方式是，利用 COMOS 所提供的链接，只需在 3D 视图内点击设备，工程师就可以直接访问设备特性、维护历史记录和文档。反之，如果工程师正在进行工程设计或维护数据库，则可单击转换至设备的 3D 视图，从而看到空间环境情况。

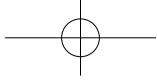
3D 视图能够帮助人们获得已颁发工作许可证的工作地点的空间感受，并从危险物质、高温表面或与工艺互动关系的存在方面，评估这些位置的风险因素。如果这些人员装备了 RFID 芯片，则在紧急情况下就可以通过快速浏览 3D 图确定他们的位置，引导他们前往安全位置。

COMOS MRO 基于工厂设计成果资料库与数字工厂模型，建立了设备的全生命周期管理系统，提供丰富的设备维修维护功能、高效的关联备品备件管理系统，提升了设备管理的效率。

3. COMOS 友好、易用、高效的操作界面

COMOS 提供直观的用户界面，易于操作，包括拖放功能，可以双向编辑对象属性，在文档与对象之间进行导航。通过高效的搜索机制，灵活定义筛选条件，方便快捷地查找相应数据，实现数据的快速定位和不同数据间的快速跳转，并且通过预定义模板，自动生成 Excel 汇总报表等。

- 智能生成报表，各类数据的灵活检索及整合；
- 灵活、方便的报表设计，定制符合企业各种需求的报表；
- 企业管理可以远程在线监控数据，并实时生成定制的报告、报表；
- 强大的数据检索能力，提供决策数据支持（如成本核算、节能减排分析、企业效益趋势等）；
- 可以将报表直接生成 Excel、PDF 等文档格式；



工业4.0 概念、技术及演进案例

- 可以将报表直接作为通知电子邮件的附件发送相关人员；
- 可以实现相关审批工作流的电子化，必要时可以采用电子签名方式；
- 可与外部程序交换数据；
- 移动办公，随时随地管理工厂。

利用 COMOS Mobile 解决方案，所有工厂管理人员或工程师都可以随时随地通过网络服务器及移动端（平板电脑）快速获得和使用设备相关信息，极大简化了数据和文档的管理及相互协作，如图 5-33 所示。用户无须培训，即可在熟悉的操作环境中访问 COMOS 数字化工厂信息。

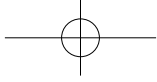


图 5-33 COMOS 移动端

5.3 智能工厂中的数据源泉

在中国制造 2025 及工业 4.0 信息物理融合系统的支持下，工厂需要实现生产设备网络化、生产数据可视化、生产文档无纸化、生产过程透明化、生产现场无人化等先进技术应用，做到纵向、横向和端到端的集成，以实现优质、高效、低耗、灵活的生产，从而建立基于工业大数据和互联网的智能工厂。

智能工厂的“智能”并不仅限于制造环节，也延伸到管理环节，只有智能化的管理+制造才能实现智能化的弹性生产。对于智能工厂来说，最重要的需求是实现纵向、横向和端到端的集成，如何实现三个维度的集成是工厂迫切需要解决的问题。横向集成的目标是将信息流从原料端到生产端再到销售端打通，使生产过程、物流过程、配送过程完全透明化，从而实现对产品全生命周期的监控和管理、完全透明化供应链管理，进一步提高生产



的柔性和产品的质量。但问题在于如何获取有价值的信息，也就是对于智能工厂来说，其数据源源自何处？

5.3.1 工业识别获取准确的信息使工厂透明化

对于工厂来说，存在很多自动化设备，如机械手、AGV、控制器等，这些设备本身就具备与上层控制系统通信的能力，也就是智能设备。通过这些智能设备，上层控制系统可以方便快捷地了解现场工作状况并发出控制指令指导生产。但同时，工厂中并非所有设备都是智能的，如车间中很常用的托盘、载具、机床上的各式刀具等，这些设备本身不具备与控制系统通信的能力，它们的状态信息无法自发地上传到控制系统，这就使得这些设备的状态、库存等信息成为盲点，控制系统无法监测以及控制这些设备。这些设备并非不重要，它们也是智能生产的一部分，打通智能工厂的横向集成在这些“盲点”处存在挑战。

那么，是否有一种技术能够使这些传统非智能设备变成智能设备呢？

笔者认为，工业识别产品及技术是解决这一问题的最理想解决方案，通过工业识别产品的应用，工厂可以获得实时的过程透明化、对产品进行完整的全生命周期的追踪追溯，以及贯穿整个价值链的可靠识别，如图 5-34 所示。用户还可以使用工业识别获取的信息做出正确的决策，比如通过最小化资产的空闲时间来提高效率，通过降低库存来降低成本，并且对某些重要资产或设备进行预测性维护。

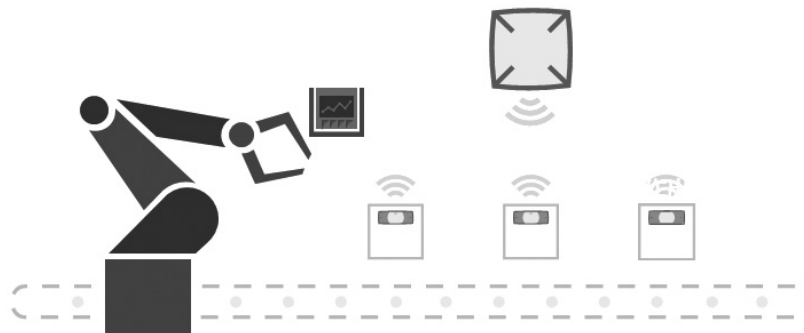


图 5-34 工业识别使过程透明化

5.3.2 工业识别系统原理及应用举例

不管是 RFID、条形码/二维码、还是 OCR，每种技术都有其优点，这些识别技术的应用取决于很多因素，如检测距离、照明条件、环境温度、电磁干扰等。通常，工业识别



包括视觉识别和无线射频识别，条形码/二维码读取都属于视觉识别的一部分，通过视觉产品可视化地识读视场范围内的条形码/二维码，并依据算法进行解码，将码值传送至控制系统，使控制系统能对产品进行识别并给出控制指令，进行柔性化控制和生产。相较于条形码而言，二维码能存储的信息量更大，能表示更多的数据类型，也具有更优的防错容错能力，因此有更广泛的应用前景。视觉识别的应用比较多地受到现场照明条件、遮挡等因素的影响，对视觉产品的选择提出了较高的要求。

无线射频识别（RFID）基于无线射频原理，可通过无线电信号识别特定目标并读写相关数据，而无须识别系统与特定目标之间建立机械或光学接触。与视觉产品相比，RFID具备读取和写入功能，可承载的信息量较大，并且具备批量识别功能。RFID按工作频率可分为低频（LF）、高频（HF）、超高频（UHF）和微波（Micro wave），如图 5-35 所示。

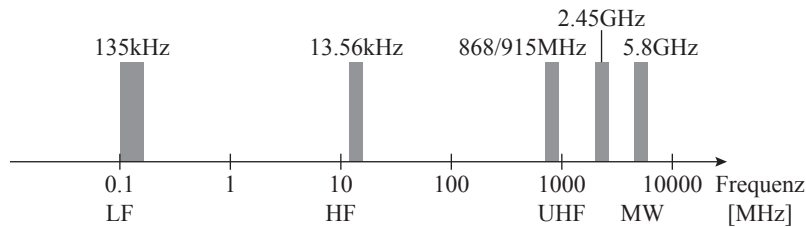


图 5-35 RFID 的工作频率划分

不同的 RFID 系统工作原理不同，如 HF RFID 基于电感耦合原理，UHF 基于电磁波原理，如图 5-36 所示。

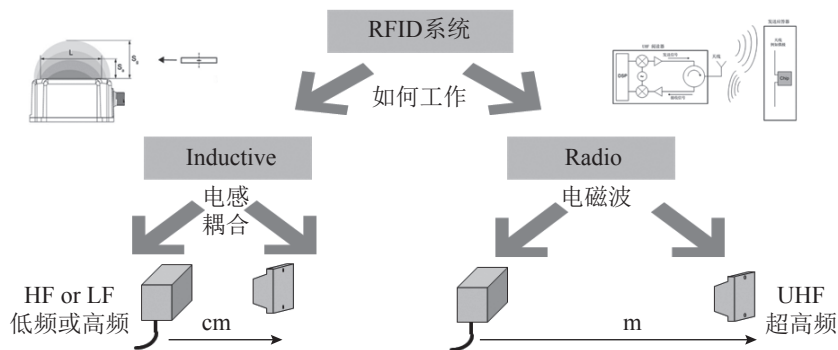


图 5-36 RFID 工作原理示意图

一个 RFID 系统包括用于控制读写指令的读写设备、用于在读写器和发送应答器之间传递射频信号的天线、用于存储信息的发送应答器、用于通信协议转换的通信处理器。

工业 RFID 在工业现场有很多应用，如在某药厂，为了实现透明化生产和物流，应用了工业 RFID 产品作罐体的识别和管理，每个罐体上安装 RFID 标签标识罐体的信息，在

生产线上用 RFID 读写设备读取标签信息，进行配料控制，在清洗工位用读写设备识别罐体以判断清洗状态，清洗完成后将信息写入标签，记录清洗已完成，如图 5-37 所示。借助 RFID 产品，药厂对于罐体的管理变得透明化，罐体的状态、位置、所盛物质信息都变得清晰透明，药厂借助这些信息可对生产过程进行追踪追溯和记录。由于总是预先知道罐体的清洁状态，因此可提前合理安排清洗过程，既不影响生产进度又能使干净的容器及时投入生产，最大限度地提高罐体的利用率。

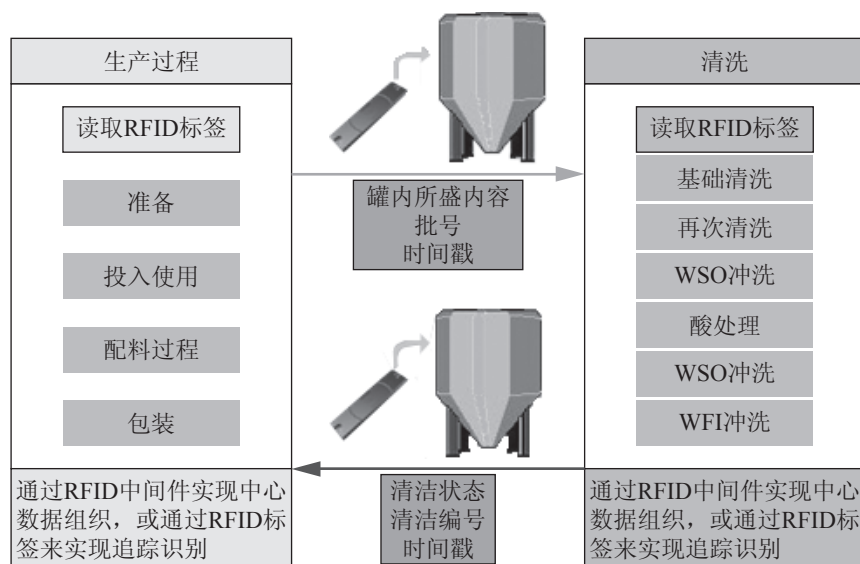
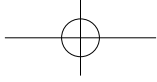


图 5-37 某药厂应用 RFID 进行罐体透明化管理

再如，某些药厂配有低温冷库储存某些重要物质，如人体血浆，血浆需要长期存储在低温环境中，冷库温度在 -30°C 左右，药厂在制药的过程中要提取血浆中某些活性成分，而在提取之前需要明确血浆的来源、储存时间等，还需要对血浆进行检验检测并记录检测结果。所有的操作都需要对血浆进行识别，因此药厂自然需要一种可靠的识别技术，能确保经过长时间低温储存后信息依然能被可靠地识别出来。由于低温环境的特殊要求，该药厂最终选择了 RFID 作为识别产品，相比于药厂之前采用的条码识别，RFID 标签能在 -30°C 的环境中长期存储，冷凝等作用不影响 RFID 的读取，使读取率大大提高，从而提高了药厂生产的透明性和可追溯性。

5.3.3 西门子工业识别产品线简介

西门子为工业识别系统提供了独特的 SIMATIC Ident 产品系列，可以为用户的需求提供完美的解决方案，使用户有足够的灵活性来应对未来，如图 5-38 所示。SIMATIC Ident



工业4.0 概念、技术及演进案例

已经面市超过 30 年的时间，在极多的工厂、现场有丰富的应用。SIMATIC Ident 产品家族包括光学识别和无线射频识别（RFID）两大产品线。其中光学识别主要聚焦在条形码 / 二维码读取、光学字符识别（OCR）和对象外观识别功能（PAT-Genius）；无线射频识别包括高频（HF）和超高频（UHF）两个频段产品，提供包括读写设备（固定式和手持式）、天线、发送应答器、通信模块、线缆附件等全部产品，为用户提供完整的产品和系统解决方案。



图 5-38 SIMATIC Ident 产品家族

如图 5-39 所示，SIMATIC 读码系统提供了用于读取和验证条形码和二维码以及用于文本识别（OCR）的理想解决方案，可对生产产品在生命周期内进行可靠跟踪。



图 5-39 SIMATIC OID 读码系统产品实物图

固定式读码系统包括紧凑型读码器 MV420 和高性能读码器 MV440，可以读取各种二维码和条形码，支持各种打码方式，尤其在读取 DPM（直接部件打标）时效果更优，也可应用 Data Matrix 二维码校验功能实现打码过程质量控制。通过使用“Text-Genius”OCR 授权，SIMATIC MV440 可用于光学字符识别，并具有在同一幅图像区域中完成对纯文本及机器识读码的同时读取并进行比较的功能。通过使用“Pat-Genius”授权，SIMATIC MV440 可用于对象检测（对象分类、位置检测、计数等）。此外，这个功能可以和文本

识别一起使用，如在一个图像场内检测标签的位置，同时读取标签上的文本等。

如图 5-40 所示，固定式读码系统可通过集成的 PROFINET 以及 Ethernet 接口或 RS-232 串口与控制系统通信，并可通过连接通信模块与各种控制系统通信，如 PROFIBUS DP 等。

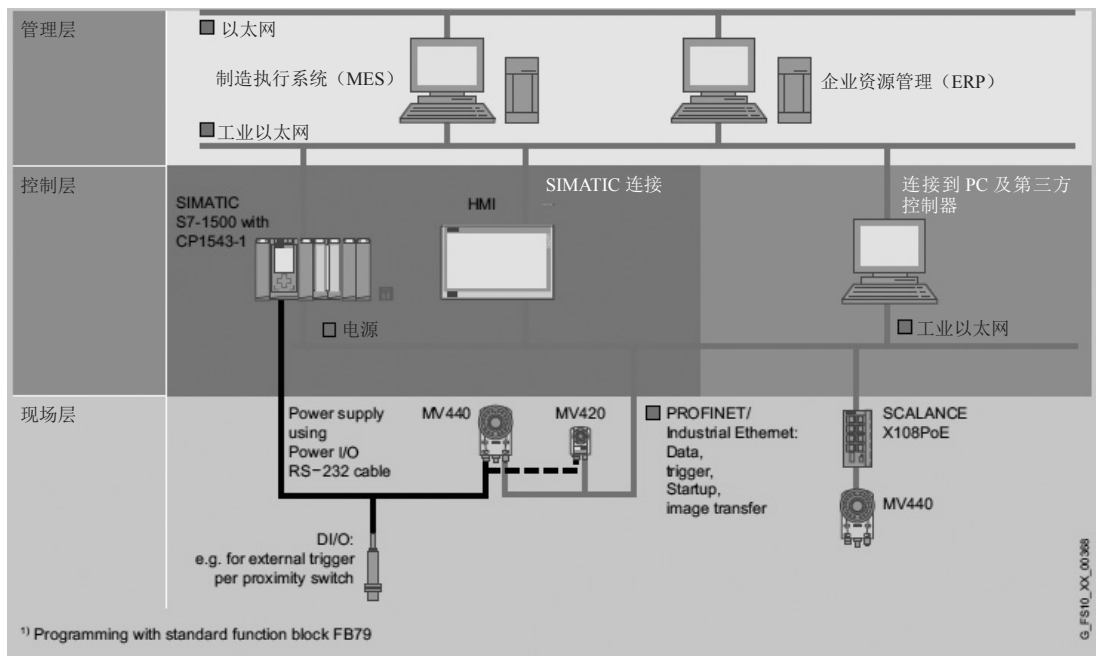
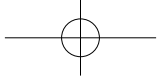


图 5-40 固定式读码器与 PROFINET 或以太网连接示意图

手持式读码器适用于便携式地读取二维码和条形码，内置了复杂的图像处理功能和照明技术，使得手持式读码器能读取任何表面上的代码。基于光学特征的手持式读码器提供了多种型号用于多种应用环境，既可完成简单的读码任务，如印刷码，也可以完成复杂的、低对比度编码的读码任务，如点刻或激光喷码。

SIMATIC RFID 系统提供了无缝的透明性，可以在整个生产与分配链上随时获得数据，以实现物料流和产品信息流的完美控制与优化（见图 5-41）。SIMATIC RFID 系统拥有完整和可扩展的产品系列，包括 HF（13.56MHz）和 UHF（868 ~ 928MHz）两个频段的产品，提供包括发送应答器、读写器、天线、通信模块和用于系统集成的软件，为用户提供了完整的解决方案。

SIMATIC RF300 用于实现 HF 范围内的中等到高性能的识别任务，特别适用于工业生产中的生产控制、装配线和输送系统（见图 5-42）。RF300 可以工作在 RF300 高性能模式下和 ISO 15693 模式下，在 RF300 模式下具有极高的数据传输速率（7.8KB/s），RF300 系列发送应答器的存储容量高达 64KB；在 ISO 15693 标准模式下，兼容 MOBY D 系列发



工业4.0 概念、技术及演进案例

送应答器，容量最高达 8 KB，具有广泛的兼容性。SIMATIC RF300 通过无缝集成到全集成自动化系统中而简化组态、调试、诊断和维护，通过随时可用的函数块进行简便的 S7 软件集成，并具有广泛的状态和诊断功能。



图 5-41 SIMATIC RFID 系统总览



图 5-42 SIMATIC RF300 高频产品系列

SIMATIC RF200 是紧凑型的 HF RFID 系统，用于要求不太苛刻的识别场合。产品线包括种类丰富的读写器，既包括适用于小型组装线的小型读写器，也包括用于内部物流的读写器，如图 5-43 所示。RF200 读写器支持 ISO 15693 协议，兼容 MOBY D 系列发送应答器。SIMATIC RF200 具备高度的开放性，可连接到来自不同供应商的多种总线系统中，无缝集成在 TIA 平台下，简化编程、调试、诊断和维护。对于简单的识别任务（如读取识别码或用户定义数据），RF200 提供了 IO-Link 接口的读写器，借助这种标准化的接口，可以非常方便和经济地将数据集成到自动化层级。

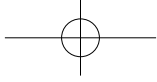
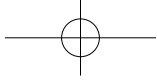


图 5-43 SIMATIC RF200 紧凑型高频产品系列

SIMATIC RF600 可实现数米检测距离的识别任务。此系统适用于存储和记录产品、容器或运输单元上遵循 EPCglobal 标准的唯一识别码，也可以存储其他任意用户自定义的数据。SIMATIC RF600 是专门为满足工业领域的需求设计研发的，可经济可靠地在生产、原材料管理和物流中使用。典型应用包括在进货 / 出货门采集供货；在生产过程的重要站点识别运输容器，例如桶或集装箱；在多样化的定制生产过程中控制物流和生产；在恶劣工业环境下进行产品标识；进行工具和设备的库存监控和使用监控；带工业叉车的仓库和配送中心自动化。SIMATIC RF600 提供包括工业级的读写设备、天线和各种数据载体（从低成本智能标签，到可使用数千次的耐高温电子标签），可用于各种工业应用，如图 5-44 所示。



图 5-44 SIMATIC RF600 超高频产品系列



SIMATIC RF600 可用于各种控制器集成和 PC/IT 系统集成，具备高度的开放性和兼容性。随着物联网的飞速发展，万物互联的趋势日益增强，物联网平台需要具备连接万物的能力，而现场级的设备和机器必须具备连接到物联网平台的能力，SIMATIC RF600 使这种互联成为可能。V3.0 版本的 RF600 新固件支持开放的 OPC UA 协议，从而能够连接到任何支持 OPC UA 协议的物联网平台，如 MindSphere。借助 RF600 和 MindSphere，西门子能够提供从现场级到云端的完整解决方案，如图 5-45 所示。通过对 SIMATIC RF600 提供给 MindSphere 的数据进行分析，工厂可用性、资产利用率或节能潜力等关键性能指标（KPI）将变得透明，从而能够有的放矢地优化生产过程和供应链，提高生产、物流、资产管理的效率和质量，这对于所有行业都适用。

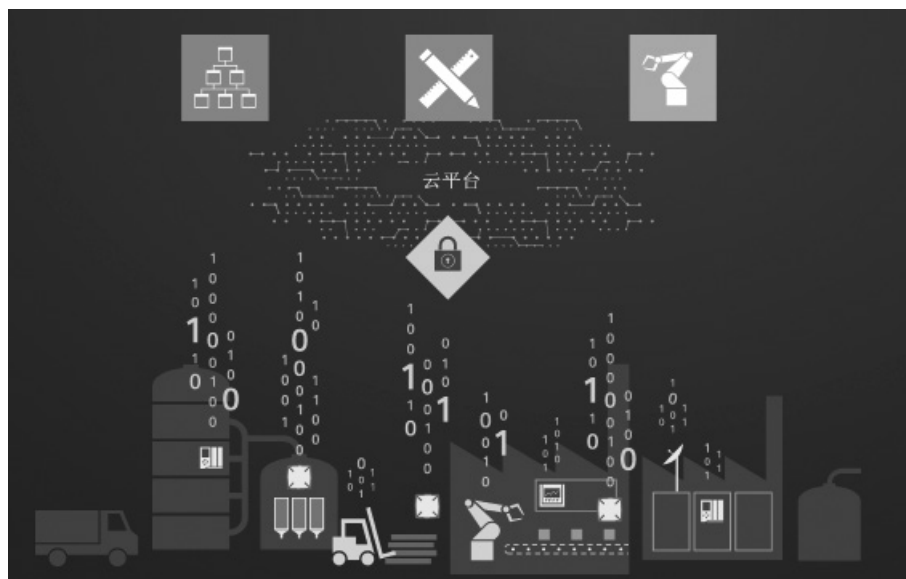


图 5-45 现场级到云端的一体化解决方案

在工业应用中对 RFID 的要求是确保读取的准确性，而工业环境中存在着各种各样的干扰，因此对读写器的设计有极高的要求。SIMATIC RF600 是专门为工业领域设计的，在工业环境中表现良好。西门子独有的“工业 UHF 算法”内置在 RF600 读写器中，通过 Web 配置界面的简单配置，可实现读写点配置、标签检测、信号强度测定、功率设定、标签过滤等功能，通过启用“算法”功能可以提高读取的准确率，降低误读率，大大节省现场调试和诊断的时间。

西门子 SIMATIC Ident 产品家族始终为用户提供正确的解决方案，使用通信模块和功能块，可以轻松地将读码器和 RFID 系统连接到 PLC（例如 SIMATIC）或 IT 环境，如图 5-46 和图 5-47 所示。这样便可确保拥有系统范围内统一的软件体系结构，并在工程组态、调试和维护方面节约可观的支出与成本。

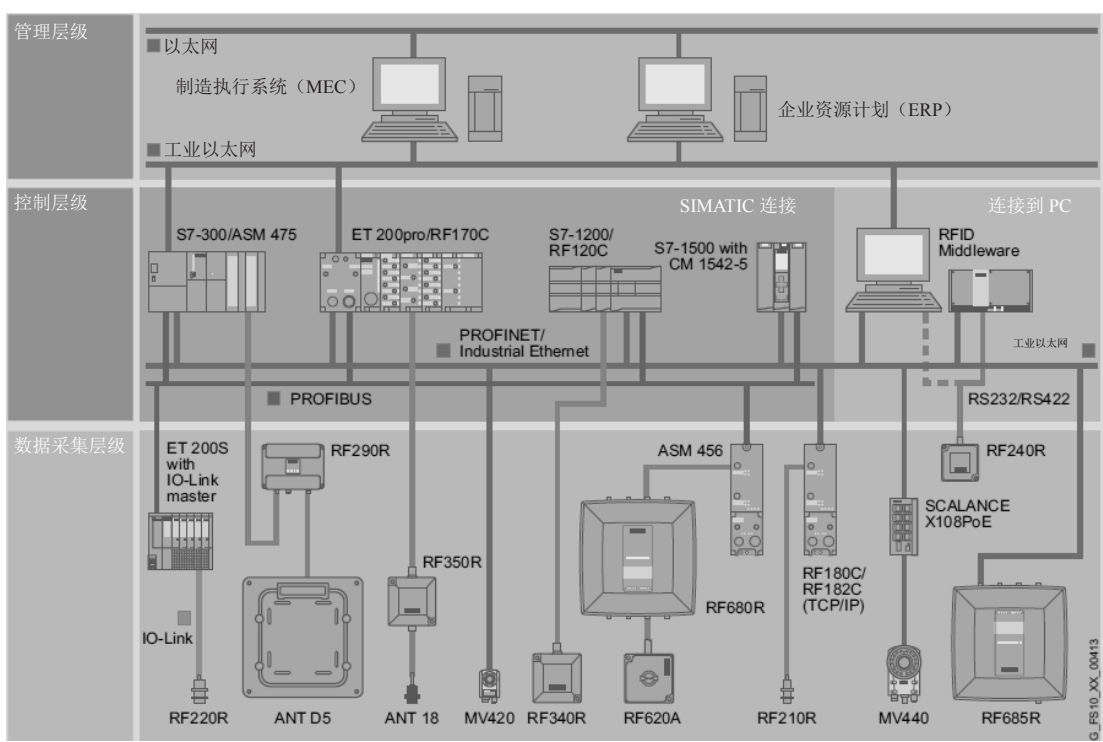
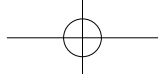


图 5-46 SIMATIC Ident 系统与 PLC 体系集成

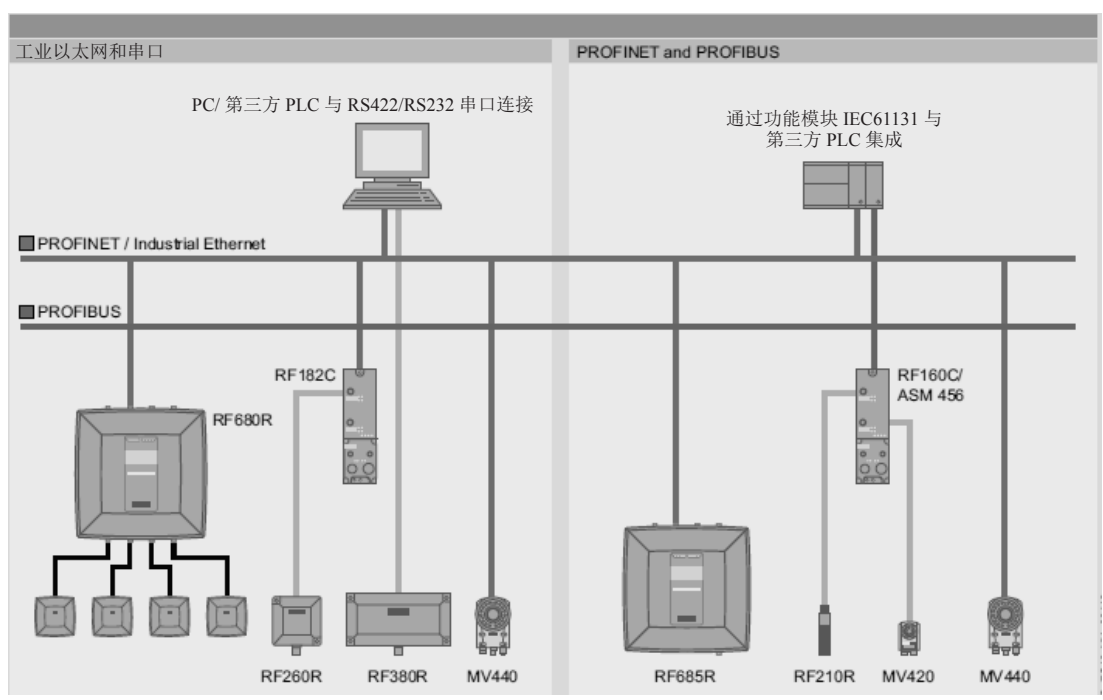
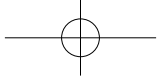


图 5-47 SIMATIC Ident 系统与 PC 或第三方 PLC 集成



功能强大的西门子工业识别系统为制造与物流用户提供的整体解决方案，兼备可靠性、耐用性和可扩展性。超过 30 年的工业应用经验，SIMATIC 识别系统的可靠性得到了事实的印证，千万台西门子工业识别系统稳定地在全球运行。

5.4 西门子制造执行系统 (MES) 产品 SIMATIC IT eBR

5.4.1 SIMATIC IT eBR 介绍

SIMATIC IT eBR 是西门子专用于生命科学行业（制药、生物科技、精细化工、化妆品等）制造执行系统（Manufacturing Execution System, MES）的软件。由于 SIMATIC IT eBR 应用的目标行业的特殊性，使其在通用 MES 特征的基础上，具有非常鲜明的生命科学行业应用特征。

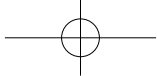
5.4.1.1 MES 概念

MES 概念起源于 20 世纪 70—80 年代，是随着信息技术和生产现场管理技术的发展而产生的，主要用于解决企业生产管理引入的各个孤立的横向软件或系统间的信息孤岛问题，以及从生产计划系统到过程控制系统双向信息流的断链问题。MES 从出现开始一直在企业信息化中扮演着重要的角色。

虽然 MES 的应用在企业生产现场一直存在，但直到 20 世纪 90 年代，MES 的定义才由 AMR（Advanced Manufacturing Research）公司提出并使用。1994 年 AMR 对 MES 定义如下：MES 是在公司的整个资源按照经营目标进行管理时，为公司提供实现目标的执行手段，通过实时数据库连接基本信息系统的理论数据和工厂的实际数据，并提供业务计划系统与制造控制系统之间的通信功能。

不同的组织和机构从生产管理的各个不同视角对 MES 有不同的定义和描述。MESA（Manufacturing Execution System Association，制造执行系统协会）是促进 MES 普及与标准化的团体，其于 1997 年对 MES 的定义和描述为：提供为优化从订单投入到产品完成的生产活动所需的信息。MES 运用及时、准确的信息，指导、启动、响应并记录工厂活动，从而能够对条件的变化做出迅速响应，减少非增值活动，提高工厂运作过程的效率。MES 不但可以改善设备投资回报率，而且有助于及时交货，加快库存周转，提高收益和现金流的绩效。MES 在企业 and 供应链间，以双向交互的形式提供生产活动的基础信息。

随着 MES 产品研发和应用的发展，对 MES 标准化、组件化和集成化的需求日益高涨。图 5-48 是 MESA 组织提出的 MES 的功能组件和集成模型。MESA 提出了 MES 应具备的



11 个功能模块。只要具备 11 个功能模块中的一个或多个功能模块，就属于 MES 系列的单一功能产品。

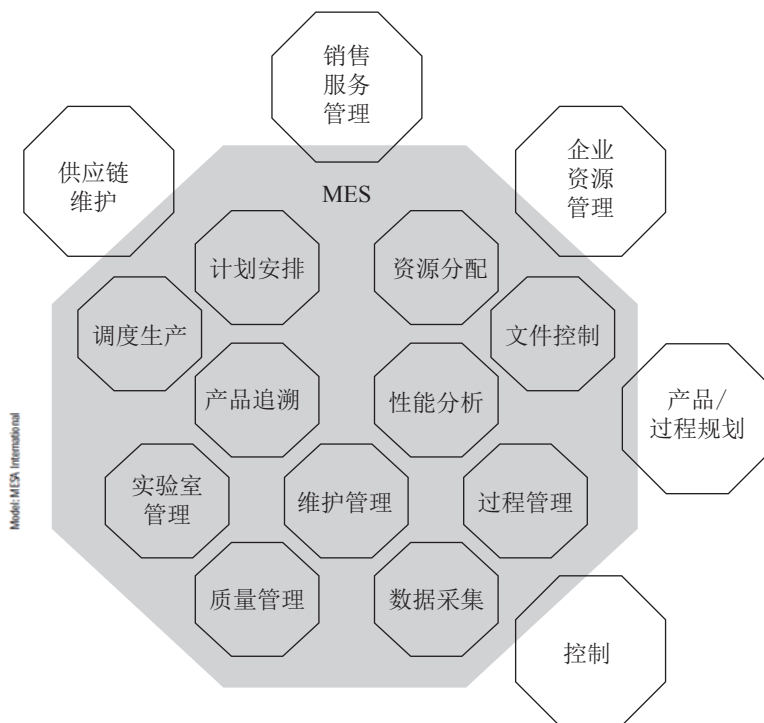
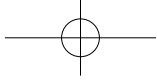


图 5-48 MESA 提出的 MES 功能模型（系统组成与功能边界）

多个团体、组织参与到 MES 的标准化及标准、模型的研究和建立活动。其中 ANSI/ISA-95 企业控制系统集成标准是影响最大的。

ANSI/ISA-95 (S95) 企业控制系统集成标准由 ISA（仪表、系统和自动化协会）和 ANSI 共同发起制订，定义了企业业务系统和制造系统间数据交换的正规模型。ANSI/ISA-95 标准定义了企业控制系统集成时所使用的模型和术语（ANSI/ISA-95.00.01-2010）、企业控制系统集成模型对象和属性（ANSI/ISA-95.00.02-2001）、制造运营管理（MOM）的活动模型（ANSI/ISA-95.00.03-2005）、制造运营管理活动的对象模型和属性（ANSI/ISA-95.00.04）、业务到制造事务映射（ANSI/ISA-95.00.05），以及制造运营事务（ANSI/ISA-95.00.06）。其中第四部分（ANSI/ISA-95.00.04）和第六部分（ANSI/ISA-95.00.06）目前还在开发中。

ANSI/ISA-95 标准中引入了企业控制系统集成的层级模型，如图 5-49 所示。在此具有 5 个层次的模型中：第 0 层是实际的生产过程。第 1 层定义感知和操作实际生产过程所涉及的活动，其活动执行的时间片段范围为秒级或更快。第 2 层定义监视和控制生产过程的活动，其活动执行的时间片段范围可以为小时、分、秒。第 3 层定义生产所需最终产品工



作流程的活动，包括维护记录和协调生产活动的活动，其活动执行时间片段范围可以为天、班次、小时、分或秒。MES/MOM 的主要功能都位于第 3 层。第 4 层定义与管理制造组织的业务相关的活动。与制造相关的活动包括建立工厂计划（如物料使用、配料和发货等），决定库存水平，确保物料按时配送到正确的位置进行生产等。第 3 层信息对第 4 层活动至关重要。第 4 层活动执行的时间片段范围典型为月、周、天等。

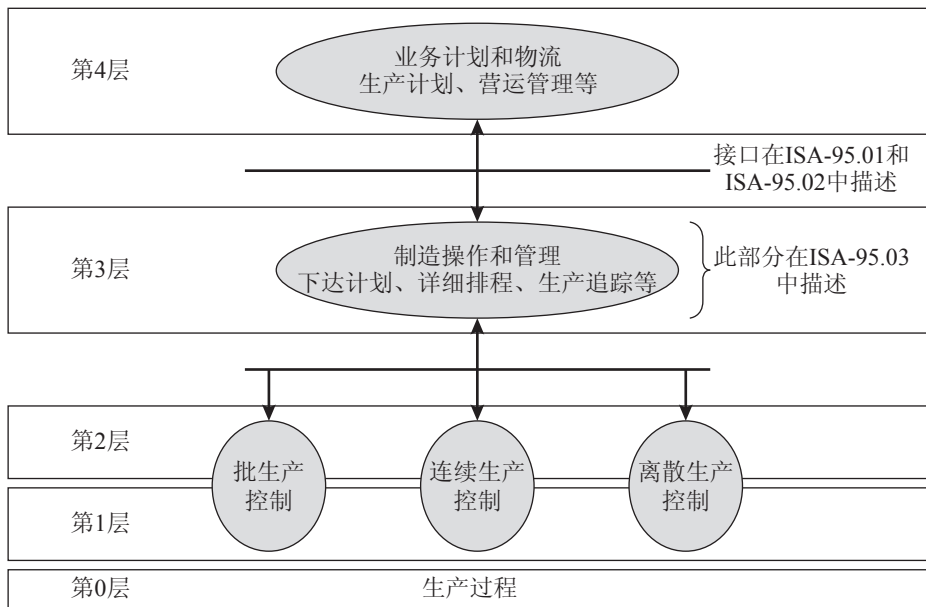


图 5-49 ANSI/ISA-95 功能层级模型

图 5-50 是 ANSI/ISA-95 中定义的制造运营管理通用活动模型。模型定义生产活动始于需求 / 规划，随后需求 / 规划转换成详细排程，再根据详细排程，分派制造工作，管理制造工作执行，收集制造数据，最后将所收集的数据转换为响应的需求—响应制造循环。支撑此制造需求—响应循环的活动还包括：

- 分析制造绩效以改进或改正制造过程；
- 管理制造执行过程使用的资源；
- 管理制造运营定义。

ANSI/ISA-95 标准具有很大的影响力，许多 MES/MOM 产品都参考该标准或标准的部分来实现，具有很好的通用性和适应性。但是，ANSI/ISA-95 既不是强制的标准，也不是唯一的相关标准和指导原则。市面上还有很多 MES/MOM 产品在产品的开发理念上，使用了其他类似的制造模型，而未采纳 ANSI/ISA-95 标准定义的术语与模型。许多 MES/MOM 产品的开发和使用的早于 ANSI/ISA-95 系列标准的制定，故不能采纳 ANSI/ISA-95 标准。而在某些特殊行业，制造执行 / 制造运营管理的关注重点超越了 ANSI/ISA-95 的定义，

行业的 MES/MOM 产品研发就不便或不能采纳 ANSI/ISA-95 系列标准。

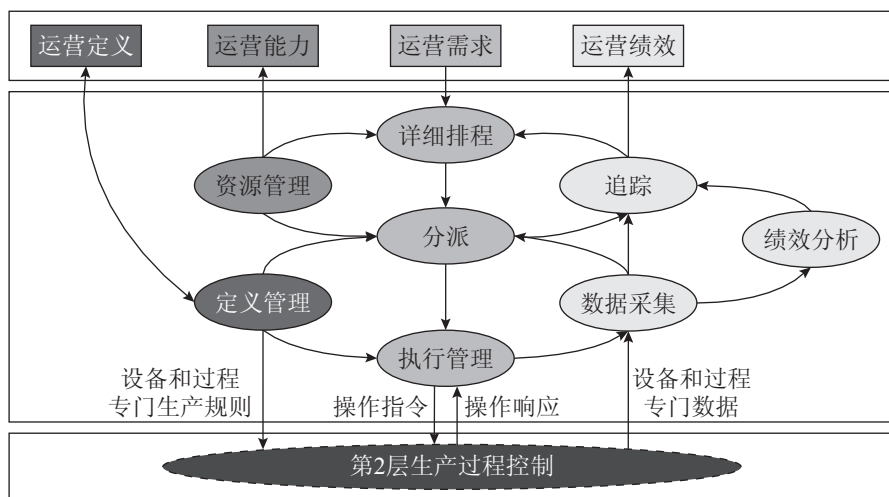


图 5-50 ANSI/ISA-95 制造运营管理 (MOM) 通用活动模型

5.4.1.2 SIMATIC IT eBR 历史溯源

SIMATIC IT eBR 的前身是由法国 ElanSoftware Systems 开发的 MES 产品 XFP。

MES 产品 XFP 诞生于 20 世纪 80 年代。从产品诞生开始，XFP 就专注于制药和生命科学行业，提供符合 cGMP 监管开箱即用的称量和配料功能。随着产品的演化和发展，XFP 产品通过优化从原材料配送到成品发货满足 21 CFR Part 11 要求的企业全制造生命周期，实现完整的企业级制造可视化 and 控制。

2009 年，西门子并购 Elan Software Systems，使 XFP 产品归于西门子 SIMATIC IT 产品大家族。XFP 产品与 SIMATIC IT 平台的整合也随之开始。

2012 年 9 月，西门子将 SIMATIC IT XFP 投入中国市场使用，此时的版本是 6.0，配套的产品 Unicode 和中文化支持也逐渐就绪。

2015 年 1 月，当 SIMATIC IT XFP 版本 6.0 SP4 发布时，SIMATIC IT XFP 产品正式改名为 SIMATIC IT eBR。

2016 年 3 月，当 SIMATIC IT eBR 版本 6.1 发布时，SIMATIC IT eBR 开始支持 SIMATIC IT Unified Architecture Framework (UAF)。当前 SIMATIC IT eBR 最新的发布版本是 6.1 SP4。

5.4.1.3 SIMATIC IT eBR 产品功能

SIMATIC IT eBR 是专用于生命科学行业（制药、生物科技、精细化工和化妆品等）的 MES 软件。应用行业的特殊性决定了其产品特点，因此始终把 cGMP 合规性以及满足 21 CFR Part 11 放在首要位置。在此基础上，产品提供了针对生命科学行业特征的大量模



块和功能组，以满足行业合规性和生产过程特殊性要求。

图 5-51 是 SIMATIC IT eBR 产品功能框图。以下将描述功能框图中主要模块的功能和特点。

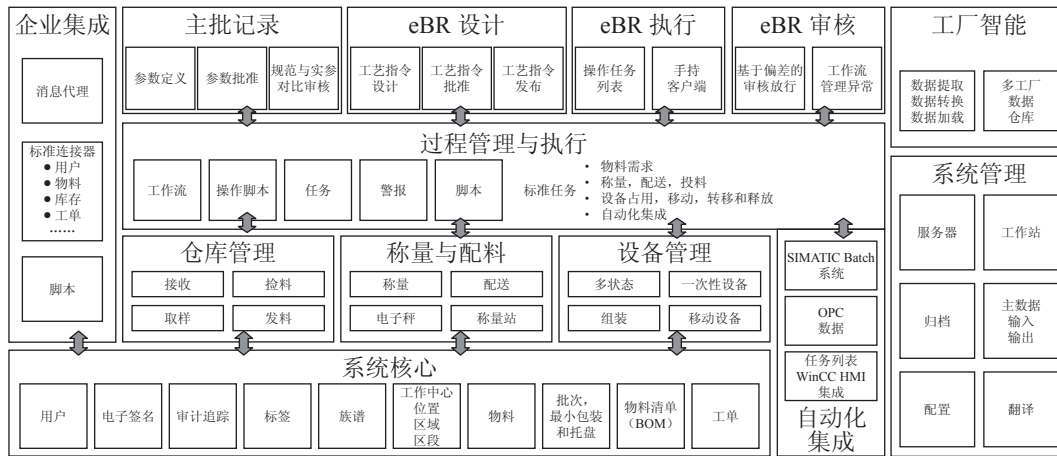


图 5-51 SIMATIC IT eBR 功能框图

1. 系统核心

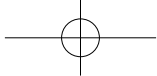
SIMATIC IT eBR 在系统核心提供了用户管理、电子签名管理、默认的系统审计追踪信息、标签管理、物料族谱、位置 / 区域 / 区段定义和工作中心定义、物料定义管理、物料最小包装、托盘和物料批次管理、物料清单管理和工单管理等核心功能。核心功能模块记录产品和合规性审核需要的所有操作。系统提供符合 21CFR Part 11 要求的电子签名、审核稽查、批次谱系和电子记录功能。核心功能也提供了与 ERP、LIMS 和任何自动化系统和任何第三方应用集成的功能。基于 SIMATIC IT eBR 的解决方案，西门子为制药企业提供了创新和最佳方案，集成成熟的高级功能。这意味着提供的很多模块是预先验证过的。

2. 仓库管理

SIMATIC IT eBR 的仓库管理物料接收、取样、批次放行、基于物料需求的捡料、发料出库、仓库循环盘点等，配合系统核心的用户和电子签名管理，工作中心、位置、区域和区段定义，物料 / 批次定义，实现完整的 GMP 管控要求的生产仓库管理功能，包含原料卸货、待检、取样规则、已检、入库位、车间请料、物料交接和成品 / 半成品入库等标准过程。系统根据原材料清单和预定义的分发规则（FIFO、FEFO）可完成批次或容器分发及缩减储量请求。

(1) 物料入库管理：原辅料出入库管理、半成品出入库管理、成品出入库管理、包材出入库管理。

(2) 库存管理：抽样管理、效期、开瓶有效期变更管理、库存状态 / 信息展示查询、



物料锁定（因质量问题或按订单锁定特殊物料）、批次 / 包装锁定（事先指定批次生产所需要的原辅料批次和包装序号）。

（3）物料出库管理：物料出库需求计算、物料交接单及台账管理。

（4）仓库类型：工厂原辅料仓库（不包含高架立体仓库）、成品仓库、车间各类库房（常温区、阴凉区、冷冻区）、车间暂存 / 缓存区（常温区、阴凉区、冷冻区）、线边库。

3. 称量与配料

SIMATIC IT eBR 的称量与配料功能已经部署在 20 多个国家的 100 多个制造企业中，包含了开箱即用的 15 种称量模式，支持优势品牌的电子秤系统连接，提供了对称量操作的完整可追溯性和可靠性；支持电子秤的校准流程和校准周期管理、清洁管理；支持称量后、投料前的物料集中等功能；称重与配料模块确保根据配方规范对所有类型的材料进行一致性称重，并准确收集批跟踪和文档编制所需的数据；自动控制和计算称量量，消除错误风险并加速称重生产周期。

SIMATIC IT eBR 内嵌多达 15 种以上的称量模式，包括净重法、毛重法、手动称量、不开包装称量等。

- 多工单或每工单不同阶段和步骤下的合并称量模式；
- 根据一个工单中定义的矫正或补充方案管理填充料称量；
- 称量动作完整的追踪追溯；
- 根据工单用条码扫描枪进行称量后集中；
- 嵌入的称量器具的通信协议包括 Mettler、Sartorius、Precia Molen 等。

称量模块为组织和分配称量任务制定规则，允许在不同的工作站分配操作任务。

称量系统还提供了原辅料复称的功能。用户可以验证原材料的量，而不用打开包装。这样可以避免不正确的库存重量波动。

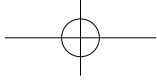
这种称量方法的优点是：

- 提高质量。这种称量方法允许用户在不打开包装的情况下称量，减少了交叉污染和出错风险。
- 提高生产率。并行物料的并行称量可显著提升生产率。
- 对账。

原辅料复称功能同样允许称量后集中，这样可以确认一个工单下正确的物料和正确的重量。这种操作能够确保给生产区域和实验室递交了可靠的物料。

4. 设备管理

SIMATIC IT eBR 设备管理的主要功能包括生产设备的多种不同状态管理，支持主设备 / 子设备组装，支持一次性设备使用，支持移动设备管理等。设备管理模块能管理一系列的 设备，如罐子、反应罐、漏斗、称量仪器、过滤器和任何需要跟踪和管控的设备。



工业4.0

概念、技术及演进案例

所有的设备在系统中用条形码唯一标识。它支持定义设备，基于 ISA-95 第一部分和 ISA-88.01 标准，包括物理特性（质量、容量等）、状态、从一个状态转换到另一个状态的条件（如从“使用中”到“待清洁”）。条件可能是基于时间或循环。

SIMATIC IT eBR 对设备的支持主要有如下功能：设备移动及位置管理，设备的 CIP/SIP 状态变化控制管理，称量仪表的校验状态及效期管理，物料占用状态及设备内物料类别和数量管理，设备容量和相关属性的管理，有限状态循环次数管理，设备之间物料转移前提管理。所有定义的设备修改、使用和状态的改变都将会通过审计被跟踪，以及能够方便地检索。

5. 主批记录

SIMATIC IT eBR 主批记录模块管理生产过程的关键工艺和关键质量参数。通过预定义关键工艺和关键质量参数设定值、上下限等，形成生产工艺过程的关键工艺和质量参数规范。在关键工艺和质量参数规范批准后，SIMATIC IT eBR 在生产过程中实时采集相关工艺和质量参数的实际值，形成参数规范和参数实际值的对比记录，帮助客户改进生产工艺和生产质量。SIMATIC IT eBR 能够为电子主批记录管理提供软件解决方案，即在应用 SIMATIC PCS 7 和 SIMATIC BATCH 的分布式控制系统（DCS）和制造执行系统（MES）之间实现无缝集成。SIMATIC IT eBR 能够加快主批记录（MBR）和电子批记录（eBR）的设计、执行、审核和发布。它还可以通过从 SIMATIC BATCH 向 MES 设计工具提供所有主数据信息来提高 MBR 设计灵活性。SIMATIC IT eBR 将 DCS 批处理与 MES 工作流管理无缝集成，从而简化并加速无纸化生产解决方案的执行。此外，配方实现只需几个月即可完成。

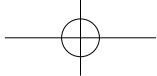
6. 电子批记录管理

电子批记录（eBR）管理模块由三个子模块——电子批记录设计、电子批记录执行和电子批记录审核构成。SIMATIC IT eBR 的电子批记录管理功能可协助客户实现满足 cGMP 无纸化制造的要求。

1) 电子批记录设计

电子批记录设计模块提供基于 HTML 5 的完全所见即所得的配置界面，用于工艺指令的操作员界面配置。系统提供了丰富的数值，文本，日期/时间，物料需求，设备状态查询与修改，设备占用、移动、转移和释放，标签打印，物料称量/集中/投料，自动化集成，脚本调用等现成的标签，用于操作员界面配置，不用涉及复杂的 IT 开发技术就能完成客户对不同操作员界面的配置要求，具有最大的灵活性。

电子批记录设计模块还提供满足 ISA-88 标准的工作流设计器，用于构建工艺指令的配方流程。工作流设计器提供顺序、选择、并行、循环等基本路由逻辑和同步、异步执行的子流程支持，保证工作流设计器可以搭建任意复杂且满足客户实际配方流程需要的生产



指令模型。

电子批记录设计模块的目标用户是 SIMATIC IT eBR 项目工程执行团队成员。项目工程执行团队与客户生产、质量和工程专家紧密配合，通过分析生产过程的人、机、料、法、环、测等所有生产相关的资源和要素，建立遵从 FDA 和 GMP 规范的工艺过程指令模型，系统性优化客户批次制造过程。工艺指令模型必须经过生产和质量管理人员批准和发布，才能够投入实际的生产运行。

2) 电子批记录执行

电子批记录执行模块的目标用户是生产管理人员和生产现场的操作和质量管理人员。当生产工单创建和发布以后，通过与已发布的工艺指令合并，由 MES 管控的现场生产随即开始。MES 实时将可执行生产任务推送到电子批记录执行模块的任务列表中，现场操作和质量管理人员可选择系统推送的生产任务来执行。生产管理人员可通过电子批记录执行模块查询图形化的工单执行进度，质量管理人员可以通过执行模块随时查询已执行任务的详细信息。

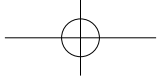
SIMATIC IT eBR 电子批记录执行模块界面可按工单、工作中心等过滤任务列表显示；可按用户权限、特定工作中心决定生产任务是否可被执行；提供列表式或流程图式任务显示，使用不同的颜色区分任务的状态。电子批记录执行模块使用树状视图显示已执行任务及任务间的嵌套关系。电子批记录执行模块的用户界面完全可定制化，客户可根据需要添加按钮和菜单，挂接自己的工具。

在电子批记录执行模块中，具有相关权限的生产操作，管理人员和质量管理人员可以添加 Ad-Hoc 报警到电子批生产记录中，此报警的添加需要电子签名确认。电子批记录执行模块也支持将与批生产相关的原材料、半成品、成品电子检验记录或与批生产相关的电子文档作为附件添加到批生产记录中。

电子批记录执行模块支持两种任务执行模式：自动和手动模式。在自动模式下，系统根据预定义工艺指令的工作流程驱动任务执行，管理任务的状态转换。自动模式是电子批记录执行模块的默认运行模式。在自动模式驱动下，任务按预定义工作流程从开始点依序执行到结束。所有任务执行结束后，工单运行结束，电子批生产记录自动产生。如果在任务执行过程中，由于工作条件不具备或其他原因导致执行的自动驱动执行流程逻辑不能满足，具备相关权限的操作员可切换系统至手动执行模式，根据需要重复、跳过，或重新安排工作流程的预定运行路由，或重新安排 / 修改任务的输入参数来修正工艺指令运行。当工艺指令自动运行条件满足后，可将任务执行模式重新切换到自动模式，继续由工艺指令工作流程驱动任务执行。

3) 电子批记录审核

质量管理和生产管理人员可以在电子批记录审核模块审核和放行电子批生产记录。



工业4.0

概念、技术及演进案例

SIMATIC IT eBR 电子批记录审核是基于异常的审核。批记录审核开始于报警审核，系统首先列出电子批记录中的所有报警，生产和质量审核人员必须先完成记录中的所有报警审核才能继续后续的审核工作。SIMATIC IT eBR 的基于异常的记录审核，通过异常和偏差的集中显示并强制优先审核，以及系统保证任务执行的正确性和合规性，可以大幅度提高批记录审核和放行效率。

SIMATIC IT eBR 电子批记录审核模块是访问批生产所有信息的单点门户。批生产的所有异常和偏差、批生产原始记录、制造 BOM、称量投料记录、图形化的物料族谱、批生产过程的所有审计追踪信息（物料、设备、操作、系统访问等）、关键工艺和质量参数记录、批生产过程中的所有关联的附加附件等信息都可以通过电子批记录审核模块单点访问。质量和生产管理人员可以从电子批记录审核模块访问所有相关批生产信息，协助加快批记录审核和放行，提高记录审核效率。

电子批记录审核模块支持自定义报警、附件和批记录审核路径。每个通过审核路径的节点，具备权限的生产和指令人员需要通过电子签名确认完成审核。当审核在某个审核路径节点不能通过时，必须返回路径的首节点，重新开始审核。即使审核完成，具备权限的人员还可以重新发起审核。

7. 企业集成

SIMATIC IT eBR 的企业集成模块提供了独立于生产数据库的企业集成数据库，用于储存进入与发出的企业集成消息，也作为企业集成的数据防火墙，将可能对生产数据库有损害的消息与生产数据库隔离。

企业集成模块提供标准的集成连接器。用户、物料、库存、工单等信息，可通过配置标准连接器顺畅地实现 SIMATIC IT eBR 与外部系统集成。

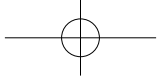
企业集成模块支持多种消息代理，可通过消息机制实现 SIMATIC IT eBR 与外部系统集成。

企业集成模块支持通过脚本解析消息。系统提供大量标准脚本，也支持客户编写专用的脚本来解析特定的消息。

SIMATIC IT eBR 已经多次与 SAP 系统集成，并且可以多种数据流形式通信。SIMATIC IT eBR 在 2006 年获得 SAP 认证。数据流包括物料、批次、最小包装、资源、订单、配方、消耗报工、物料声明等。

工单交互过程中，很多信息可以通信（BOM、含量和补偿、批次留样、资源等）。

- 所有的在 ERP 系统中可用的主数据都可以传送和分享，快速、可靠并可验证，无须人工参与；
- 关键值，例如有效期、批次质量状态可以实时分享，并且在 ERP 和 MES 同步；
- 原材料包材也可以实时通信传输给 ERP，所以库存值一直跟实际值一致；



- XSI 结构意味着数据可以单点登录在第三方的报表系统中。

8. 自动化集成

MES 与自动化系统之间的无缝集成实现了真正的无纸化生产，使得系统配置更简单。统一的用户界面还允许操作员更加轻松高效地进行导航。

- SIMATIC IT eBR 通过标准 OPC DA 接口实现与第三方 SCADA/DCS 系统的集成。
- 如果客户使用 SIMATIC PCS7 BATCH 系统，则除 OPC DA 接口外，SIMATIC IT eBR 还可使用基于 Batch 事件的专有接口来实现与 SIMATIC PCS7 BATCH 系统的原生集成。
- SIMATIC IT eBR 提供了与西门子 WinCC HMI 的集成控件。SIMATIC IT eBR 的电子批记录执行模块任务列表可以嵌入 WinCC 操作员站显示画面，实现与 WinCC 的操作集成。
- 数据可以在设计或执行时共享。在第 1 和第 2 层定义的资源（物料定义、设备、产品等）可以在 MES（配方参数定义）层直接访问。在执行过程中，所有层级定义的参数值可以无缝交互通信。
- S88 模型中定义的配方和步骤可以在 MES 和 DCS 之间进行共享。批次集成层提供了配方、步骤、偏差和报告的集成。允许数据可以抽取集成以生成批记录。

9. 系统管理

SIMATIC IT eBR 的所有应用服务器支持完整的负载均衡和错误恢复，确保服务器架构的健壮性和运行效率。SIMATIC IT eBR 使用 Windows Server 服务器，支持 Windows Server 2008 R2 SP1、Windows Server 2012 R2 和 Windows Server 2016。

SIMATIC IT eBR 的常规客户端使用 Window 操作系统，支持 32/64 位的 Windows 7/8/10。SIMATIC IT eBR 的瘦客户端通过 Windows Terminal Service/Citrix XenApp 以虚拟化方式实现，可支持各种操作系统，各种手持设备和移动设备。

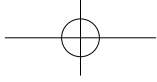
SIMATIC IT eBR 提供了符合数据完整性要求的数据归档工具用于系统数据归档，完全满足 GMP 监管要求。归档数据只能用于浏览，系统提供归档数据浏览工具。

SIMATIC IT eBR 提供主数据迁移工具，支持主数据的输入和输出，用于在不同的系统环境间迁移主数据。支持的迁移主数据包括物料定义数据、工厂模型数据、设备模型数据、工艺指令模型数据、权限定义、用户组定义等。

SIMATIC IT eBR 系统内置多种不同的国际化和本地化方案，客户也可自定义本地化方案。

10. 工厂智能

SIMATIC IT eBR 提供了工厂智能模块。SIMATIC IT eBR 工厂智能模块基于微软技术构建。使用 ETL（提取、转换和加载），工厂智能模块可以将数据装入工厂智能数据仓库。



工业4.0

概念、技术及演进案例

工厂智能模块提供了 SIMATIC IT eBR 生产数据库的标准装载 workflow。除 SIMATIC IT eBR 生产数据库外，工厂智能支持多种数据源的 ETL 装载。企业的多个工厂生产数据也能装载到工厂智能数据仓库。

工厂智能模块主要功能：

- 周期性地从工厂采集数据；
- 统一集中的数据存储；
- 详细的可视化和分析工具用以提高生产效率；
- 集成的 ETL 工具；
- 在线报表和实时仪表盘分析；
- 可由单工厂应用向多工厂应用扩展。

工厂智能模块业务受益：

- 生命科学行业的制造智能；
- 高扩展性和灵活性；
- 战略决策支持平台；
- 驱动横跨企业的真正实时决策；
- 生产事件的实时同步。

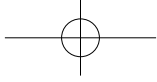
5.4.2 生命科学行业实施 MES 的必要性

5.4.2.1 生命科学行业生产面临的特殊挑战

生命科学行业作为具有一定独特性的行业，其产品生产也面临一些特殊挑战：

- 确定生产什么产品。生命科学行业的产品研发过程具有研发时间长、研发成本高的特点。
- 如何记录产品的生产。生命科学行业生产为了满足监管的要求，生产过程中的人、机、料、法、环、测等相关生产要素都需要详细记录，用于产品生产的追踪追溯以及监管部门的审计。
- 如何生产产品。生命科学行业的产品通常按批次组织生产。产品生产工艺从实验室研发、中试到大规模商业生产一般都要经历不同的工艺设计和验证阶段。
- 如何审核产品的生产过程。在产品的批生产完成后，批生产过程要经过质量审核，确认批生产过程的合规性，满足监管部门对产品质量的要求。
- 如何检验和测试产品。即如何针对产品检验和测试，确认生产的产品满足产品的预定质量标准。

记录产品生产过程以及审核产品生产过程，是生命科学行业区别于其他行业的特殊要



求和特点。传统的生命科学行业产品生产，一般都通过纸质的方式记录产品的完整生产过程，形成纸质的批记录。质量管理人员通过审核纸质批记录的方式完成产品生产过程相关要素的审核。这种纸质记录生产过程的方式，在生产记录的及时性、准确性、完整性上都有弊端，同时生产操作人员在完成产品生产操作以外，还需要花费大量的时间在纸质记录的填写上。而质量管理人员面对大量的纸质批记录，也需要花费很多时间发现和处理生产过程的质量问题，确认批记录的合规性，因而导致企业质量管理人员过重的工作负荷。

“医药产品的生产是容易的，困难的部分是证明产品生产过程的合规性。”——GSK 生产经理。

5.4.2.2 生命科学行业生产面临的特殊挑战

针对生命科学行业生产的特殊挑战，生命科学行业 MES 自动记录物料称量和投料过程、生产过程中的设备状态和使用情况；电子签名控制生产重要步骤的授权操作；电子作业指导操作员遵循标准的生产操作流程，收集生产现场和自动化控制系统的关键工艺和质量参数，自动形成物料族谱和生产过程的审计追踪信息。

生命科学行业 MES 通过电子批记录，实现批生产过程相关数据和信息的自动记录。MES 对工艺工作流控制和电子作业指导的支持，预防了生产过程中的差错和混淆，使批记录的及时性、准确性和完整性都能得到最大保障。生产操作人员不用再花费额外的时间填写批记录，减轻了生产现场人员的工作负荷。

生命科学行业 MES 支持基于异常的批记录审核。系统通过集中呈现批生产过程的报警和偏差等异常情况，协助记录审核人员将精力集中到报警和偏差等异常处理，防止出现生产过程异常处理的疏忽和遗漏。其他未出现异常的记录部分，由 MES 保证其正确性和完整性。基于异常的批记录审核，减轻了记录审核人员的工作强度，极大地加快了批记录审核速度，显著减少了批记录时间，加快了批次放行和产品上市的时间。

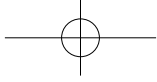
5.4.3 实施 MES 给生命科学行业带来的优势

实施 MES 带给生命科学行业的优势主要表现在四个方面：加快产品上市时间；强化生产合规性，提升产品质量；优化生产过程，实现卓越营运；实现生产过程标准化。

5.4.3.1 加快产品上市时间

通过在产品研发阶段就引入 MES，记录研发设计阶段的产品数据与信息，与后续的生产制造阶段进行数据共享，可弥补产品研发与生产制造间的“鸿沟”。通过经工艺人员、质量管理人员审核并批准的工艺指令流程，来控制生产流程减少人为误差，从而固定生产工艺。

依据 MES 的基于异常的批次审核流程，即通过直接关注制造期间发生的偏差来审核



工业4.0

概念、技术及演进案例

相应的批记录，从而实现制造批次的轻松放行，将调查时间由天变为小时，同时自动生产执行和警告报告，方便审核人员进行评估调查以便批准或拒绝，确保批次放行的正确性。

5.4.3.2 强化合规性，提升产品质量

MES 内置的审计追踪功能可提供从物料的进厂、批次放行、生产相关的称量与配料、生产制造过程到成品发货的完整生产审计追踪。此外还提供强大的物料族谱功能，通过不同维度将生产相关的物料接收、物料批次、生产批次，包含半成品、成品的生产制造、产出及成品的包装流程以图形化族谱展示，详细展现物料、批次、工单之间的关系，为生产人员和质量管理提供了极大的便利。

MES 秉承 Paper-on-Glass 理念，将传统的纸质 SOP 嵌入系统变成强化的电子作业指导，指导操作人员严格按照系统指示进行操作；集成电子签名功能，使得客户可根据自己的生产过程配置所需的电子签名，确保关键操作 / 行为的正确性。

MES 严格控制生产所需的物料批次，并在电子批记录设计时引入质量管理来确定关键质量控制点、关键工艺 / 质量参数等。在生产过程中，通过控制物料的称量、生产流程，达到对生产制造的质量监控。在进行批次审核放行时，相关生产和质量管理需对生产批次的电子批记录进行异常审核确认、警报处理确认，直至进行批次审核放行，从而达到从设计、执行到审核全流程的集成的质量控制。

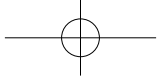
5.4.3.3 优化生产过程，实现卓越营运

MES 的电子批记录功能实现了在受控流程中完整的无纸化生产。相比，与传统纸质记录无纸化生产能够对过程数据、环境和结果进行更加详细的记录，可以构建更加稳健、不易发生偏差的生产过程，同时还可以减少数据的手工录入，降低文档复杂性，消除与使用纸质批记录相关的准备时间和工作量。MES 从电子批记录的设计、批准、发布至电子批记录的执行和审核完全达到无纸化指导，从而提高了运营和制造效率。

产品的质量是设计出来的，而不是检测出来的，即质量的重点在于设计。通过引入工艺人员和质量管理对产品的认知和对生产的全过程控制而进行的电子批记录设计、审核批准、发布，确保了工艺固定，操作规范，严格控制质量关键点，从而达到药品高效、灵活、持续、可靠的生产，实现了质量源于设计的理念。连接了不同层级的 MES 不仅可以接收 ERP 等系统的企业管理级数据，将之分解成生产制造所需的相关信息，还可以整合 QMS（质量管理体系）、LIMS（实验室管理系统）、WMS（仓库管理系统）及药品监管码系统等相关系统，打通上下层级，将生产制造过程中产生的所有生产相关数据，全部整合至 MES 中。此外，对于自动化层级，西门子的 MES 平台 SIMATIC IT eBR 可以与 PCS7 Batch 系统无缝对接，原生集成，真正实现了系统间最简单、可靠、高效的互联互通。

5.4.3.4 生产过程标准化

通过 MES 系统的多工厂实施，可实现跨工厂的实时可视化。



MES 的配置开发工作，通过经验证的系统工具，可移植至其他工厂，实现数据复用，节省开发配置时间。不同工厂之间可实现数据共享与同步，进行生产过程的优化，有利于跨工厂的工艺优化。

经过审核批准验证的电子批记录，通过多工厂环境中部署，实现了跨工厂生产操作的标准化，保证了工厂间系统的稳定性、生产工艺的可靠性和产品的高质量。

5.4.4 某制药企业实施 MES 的经验分享

国内某制药企业在 2012—2015 年，经过三期实施了 MES。客户通过预先规划，分步实施 MES 的方式，降低了项目实施的风险，达到了项目预定的目标。

5.4.4.1 项目一期实施范围

项目一期主要在工厂的辅助产品车间实施，实现了生产的称量配料支持、多种辅助产品生产的电子批记录。

通过 MES 项目一期的实施，企业的质量管理体系调整适应了新的基于 MES 的生产管理，企业建立了支持多种信息系统的 IT 环境，建立并锻炼了企业自身的 IT 系统运维队伍。

5.4.4.2 项目二期实施范围

项目二期把 MES 的实施推广到企业所有生产车间，覆盖所有产品的生产，结合一期项目，实现了所有产品的完整电子批记录；通过与工艺自动化控制系统集成，实现了工艺参数的自动采集。

5.4.4.3 项目三期实施范围

项目三期在项目二期实施的基础上，将企业的仓储管理纳入项目范围，实现了物料批次接收、抽样和放行管理。物料的领料和出库管理以及仓库内部的操作管理。

项目三期通过 MES 企业集成技术与企业 ERP 系统（SAP）集成，实现了完整的物流和生产数据闭环。

5.4.4.4 客户企业实施 MES 收获益处

- 精确的库存管理实现了物料从原料收货到成品生成的完整质量跟踪管理，提高了库存周转的效率，提升安全性和合规性，有效降低了物料混淆以及错误发料的风险。
- 精确称量及条码识别提高了称量的效率，提升了安全性和合规性。通过称量复核功能降低了物料混淆以及投错料和投错量的风险。
- 通过 BOM 和详细的工艺流程控制、条码识别等技术，确保在正确的工序、正确的位置使用正确的物料，防止投料差错。
- 在 ERP 和 MES 两个层面均完全实现了物料追踪、追溯和族谱查询。
- 电子化的生产计划和调度排程提升了生产管理的可控性和生产指挥效率，降低了



工业4.0

概念、技术及演进案例

人为差错风险。

- 所有的工艺流程操作、参数记录、偏差记录、物料流转记录、设备使用和指派、电子签名等信息都被记录在 MES 电子批记录数据库中。配方管理和电子批记录提高了生产的合规性并提升了产品质量，降低了人为风险和工作强度。
- 按照预定工艺流程，系统自动分解任务到各个工作站，保证正确的人员在正确的位置做正确的工作，防止差错，提高工作效率。
- 详细的工作作业指导，保证过程的合规性、操作准确性，并降低对操作人员的要求。
- 偏差管理提高了偏差处理的实时性，降低了处理偏差的人员成本和差错可能，控制了产品质量。
- 通过预先设定的逻辑判断和处理流程实现了产品质量和偏差控制，降低了人工控制质量参数和生产规程所产生的风险。
- 配方管理和电子批记录提高了生产的合规性并提升了产品质量，降低了人为风险和工作强度。
- 电子批记录审核人员更易于和高效获取审核需要的信息，大大提升了审核的效率，减少了人为差错。
- 减少合规花费、缩短生产周期，提高制造准确性和一致性。

5.4.5 西门子生命科学行业数字化制造运营管理产品家族

针对生命科学行业数字化需求，西门子提供了制造运营管理（Manufacturing Operation Management, MOM）平台，帮助从事生命科学行业的企业在强化合规性、提高产品质量、提升生产效率的基础上，持续提高企业数字化程度，增强企业智能化水平。

5.4.5.1 总体介绍

西门子生命科学行业制造运营管理平台由一系列标准软件产品 / 软件套件构成，涵盖企业产品规范定义、产品生产制造、生产过程和产品的质量管理、生产线监控、生产数据可视化、生产智能报表等各个方面。从事生命科学行业的企业用户可以根据企业现状和企业的数字化、智能化需求，选用不同的软件产品 / 软件套件。

西门子生命科学行业制造运营管理平台的所有软件产品 / 软件套件都归在 SIMATIC IT 品牌之下。

如图 5-52 所示，西门子生命科学行业制造运营管理平台产品家族由五个软件产品 / 套件构成。SIMATIC IT 研发套件是帮助企业实现产品规范管理和实验室信息管理的系统（Laboratory Information Management System, LIMS）。SIMATIC IT Preactor 是先进的计划和排程系统，可帮助企业优化生产计划，快速应对生产现场突发情况和工单优先级调整。

SIMATIC IT 智能套件帮助企业实现从车间现场到企业级的制造智能。SIMATIC IT LMS (Line Monitoring System) 通过工厂生产现场实时数据和事务数据采集以及工厂生产现场的性能监控, 实现生产线的可视化和控制。SIMATIC IT eBR 作为生命科学行业专有制造执行系统, 是西门子生命科学行业数字化制造运营管理产品家族的核心。

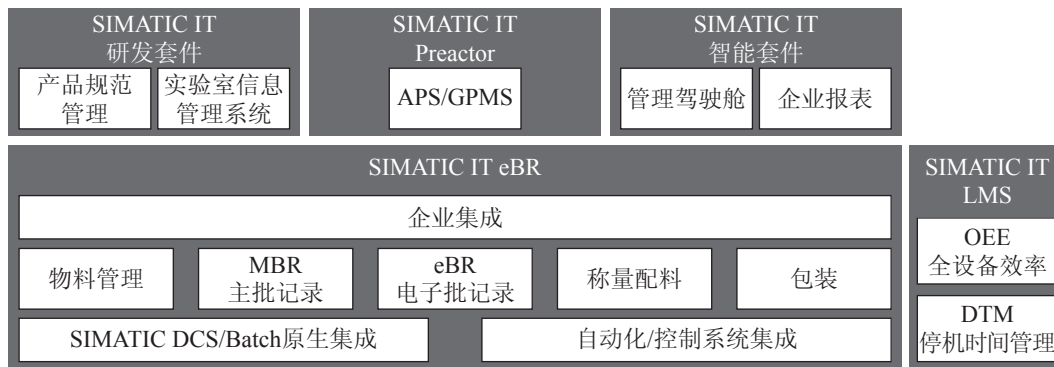


图 5-52 西门子生命科学行业制造运营管理 (MOM) 产品家族

西门子生命科学行业制造运营管理平台的软件产品 / 套件统一采用 SIMATIC IT UAF (Unified Architecture Framework) 技术架构。平台产品之间的数据无缝交互, 信息有机集成, 能满足生命科学行业各种规模用户 (从单个工厂到企业集团) 不同范围的功能需求 (从车间生产现场管理到集团生产管理)。

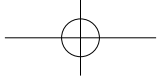
5.4.5.2 SIMATIC IT 研发套件

SIMATIC IT 研发套件是应对流程行业客户需要一个结构良好、高度灵活的系统平台来管理客户完整的产品研发流程需求的软件系统, 可帮助客户加快新产品研发进度, 提高产品研发成功率, 显著缩短产品上市时间。

SIMATIC IT 研发套件包含如图 5-53 所示的主要软件模块: 实验室自动化 (实验室信息管理系统)、产品规范管理、实验室电子笔记本、物料清单和配方管理、供应商协作和监管管理。通过模块化、可升级的架构, SIMATIC IT 研发套件可以满足客户所有的研发需求。



图 5-53 SIMATIC IT 研发套件软件模块



工业4.0

概念、技术及演进案例

1. SIMATIC IT Unilab——实验室自动化

SIMATIC IT Unilab 既可以作为独立的应用安装部署，也可以作为西门子制造运营管理平台的有机组成部分来安装部署。它可以应用于小范围的实验室环境，也可以作为企业级实验室信息管理系统使用。

客户安装部署 SIMATIC IT Unilab 的主要收益可以归纳为：

- 实现无纸化的实验室信息管理；
- 通过显著减少输入错误，提高实验室数据输入的准确性；
- 集成质量管理；
- 降低实验室管理工作负荷；
- 大大减少废品产生和返工工作量；
- 实验室应用宕机时间消除；
- 降低实验室信息管理 IT 成本；
- 增强实验室合规性，降低合规成本。

2. SIMATIC IT Interspec——产品规范管理

SIMATIC IT Interspec 是一个应用于流程行业的高度可配置产品规范管理系统，可用于从事流程行业的企业的所有产品规范开发、配置和管理；可用于管理的产品规范包括但不限于原材料规范、中间品和成品规范、包装材料规范等。

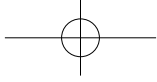
SIMATIC IT Interspec 使用一个单独受控的数据仓库管理企业的所有规范。SIMATIC IT Interspec 通过可配置 workflow、生命周期控制、版本管理、访问权限管理和审计追踪来管理所有产品相关的知识产权，包括产品规格定义、质量定义、物料配方、生产配方、工艺方法、产品标签等。

客户安装部署 SIMATIC IT Interspec 的主要收益可以归纳为：

- 缩短产品上市时间；
- 合理化和统一的产品范围；
- 管理全球采购，降低采购成本；
- 加快与合作伙伴的产品数据交换；
- 降低管理成本，管理失误较少；
- 降低产品可靠性风险；
- 降低新产品设计和导入成本；
- 强化企业品牌一致性，保护品牌价值。

3. 实验室电子笔记本

实验室电子笔记本是引用和参考企业关键研发知识的集中门户。整个企业的历史和当前实验数据可以在实验室电子笔记本中完整的基于上下文检索和重用。通过实验室电子笔



记本，可以重用成功的产品研发知识，避免错误重复。

实验室电子笔记本模块主要特点：

(1) 成功知识产权战略的牢固基石。

- workflow和复杂的数据访问规则；
- 带完整审计追踪的知识产权相关数据捕获。

(2) 便利的实验数据捕获。

- 所有研发数据随研发实验和项目上下文存储；
- 可以使用任意的电子格式捕获和结构化实验数据；
- 个性化的工作环境，可以自选嵌入需要的功能和应用；
- 随项目组织数据，也可跨项目引用；
- 跟随研发项目和阶段捕获来浏览数据。

4. 物料清单和配方管理

物料清单和配方管理模块支持通过现有产品配方和规范设计新产品或优化现有产品的物料清单和配方。所有的物料清单和配方相关数据、文档都存储在通用并可检索的数据仓库中。

物料清单和配方管理主要功能特点：

- 交互式检索、提取和重用已存在并批准的物料和配方；
- 采用启发式场景开发和配置新物料清单、原材料、包材和配方；
- 可以基于质量、成本、产品特殊需求等约束模拟和比较配方的性能；
- 多级产品配方；
- 实时转换验证配方到物料清单和产品规范。

5. 供应商协作

供应商管理门户可用于：

- 发送规范需求到供应商；
- 允许供应商输入其规范数据、文档等；
- 供应商提供规范数据与产品规范管理系统提供数据的比较；
- 产品规范管理系统的数据导入或归档；
- 供应商协作数据需求追踪：什么数据在什么时候由哪个供应商提供。

为使用企业及其供应商优化产品规范管理流程，供应商管理模块具有以下特点：

- 清晰明晰的数据追踪追溯功能；
- 减少人工输入工作；
- 防止数据不一致；
- 便利实施，便利使用。



6. 监管管理

监管管理的主要特点:

- (1) 将合规性嵌入到公司业务的各个方面。
- (2) 自动处理相关行业的特殊监管需求, 包括成分声明、营养概括、过敏源声明、索赔等。
- (3) 构建产品标签内容的强力引擎:
 - 完全可配置的规则和计算方法;
 - 尊重产品配置 / 配方变化;
 - 遵从产品目标市场或国家的规则;
 - 标签内容作为产品规范的构成部分, 可与 CAD、PLM、LIMS、MES、ERP 等系统分享。

5.4.5.3 SIMATIC IT Preactor

SIMATIC IT Preactor 是先进生产计划和排程 (APS) 软件系列, 具有详细生产排程、能力规划和图形化主生产排程能力。

SIMATIC IT Preactor 被设计为伴随现有系统使用以增强现有系统功能, 而不是代替现有系统。SIMATIC IT Preactor 能和 ERP、会计和预测软件、制造执行系统等软件紧密集成。SIMATIC IT Preactor 系列软件既能应用于月、年时间尺度的长周期战略计划, 中等周期和星期时间尺度的战术计划, 又能应用于详细的工单排序和排程。

SIMATIC IT Preactor APS 具有高度可定制性的能力计划和工单排程, 可以通过安装事件驱动通信脚本来实现与跨多个工厂范围的外部系统紧密集成, 支持创建客户专用的排序规则。

1. SIMATIC IT Preactor AS——先进排程

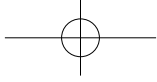
SIMATIC IT Preactor AS 是交互式多约束排程系统, 制造工具、物料等制造资源的有效性可以作为附加约束应用在工单排程中, 从而保证在客户应用环境下排程模型的准确性。计划员既可以使用系统内置的智能排程规则进行快速工单排序, 也可以根据自己的经验或新获得的信息手动与排程模型交互, 变更工单排序。

2. SIMATIC IT Preactor AP——先进计划

SIMATIC IT Preactor AP 既可用于无限能力计划, 也可用于有限能力模式计划。计划的时间段可以是天、周、月, 也可使用三者的混合。每个计划约束项都可设置不同的参数, 从而针对每个约束项计算不同的计划结果。

5.4.5.4 SIMATIC IT 智能套件

SIMATIC IT 智能套件是转换实时生产数据到业务性能指标的数据引擎。SIMATIC IT 智能套件通过提取、转换和情景化数据, 将获得的数据转化为信息, 并通过管理驾驶舱、企业报表和相关信息分析工具, 完成信息的可视化和分析。



SIMAITC IT 智能套件将从不同系统收集的大量异构数据使用可配置的统一数据结构保存到唯一的数据仓库中。

SIMATIC IT 智能套件通过实时或基于事件驱动的管理驾驶舱的方式响应用户对实时数据或数据的请求，针对数据具有基于角色的数据访问控制、数据导航、数据过滤、数据计算、数据聚合和数据挖掘等功能。

客户实施 SIMATIC IT 智能套件的收益可归纳为：

- 实时可视化的性能指标，能够加快企业管理层决策的速度。通过与制造执行的集成，使用户能迅速采取相应行动；
- 从不同系统收集异构数据的能力确保用户保护其先期投资；
- SIMATIC IT 智能套件通过向客户提供新的业务视角以及提高业务运营效率的机会来改善客户盈利能力。

5.4.5.5 SIMATIC IT LMS

SIMAITC IT LMS 是生产线监控系统（Line Monitoring System, LMS），它是混合的实时和事务系统，从生产现场自动实时采集生产相关数据，监控生产车间性能，实现生产线的可视化和控制。

LMS 使得制造商能够提高生产效率，实现性能优化，发挥最佳优势，减少生产线低效影响的同时增加产量。

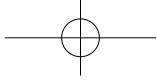
客户实施 SIMATIC IT LMS 系统的主要收益可归纳为：

- 高响应性的系统；
- 提高生产效率；
- 操作成本控制；
- 实时数据视图用以支持决策者做出最佳决策；
- 提高工厂可靠性；
- 低项目风险，更快 / 更便捷的投资回报率计算。

5.5 PAT 过程分析技术

5.5.1 PAT 和 QbD 概述

过程分析技术（Process Analytical Technology, PAT）基于“质量源于设计”的理念，为制药连续化生产、产品实时放行和生产效率的全面提高开创了一条新思路。在“质量源



工业4.0

概念、技术及演进案例

于设计”的生产过程控制阶段，过程分析技术（PAT）的优势在于充分发挥了区别于传统控制方法的提高了对生产内在理解的先进控制策略。

“质量源于测试”是传统的质量控制方法，它采用将成品药物和经认证的规范进行比较的方式，将所有不符合规范的药物都视为不合格品。同时，通过在生产前后进行严格、固定的成分测试过程来确保产品的质量。由于仅根据规范并不足以确保产品质量，因此还需对上述测试过程进行严密监控。

“质量源于设计”（Quality by Design, QbD）这一理念首先出现在 ICH 发布的 Q8 中，其定义为“在可靠的科学和质量风险管理基础之上的，预先定义好目标的一个系统的研发方法，强调对产品与过程的理解。” ICH Q8 指出，质量不是通过检验注入产品中，而是通过设计赋予的。要获得良好的设计，必须增加对产品的认知和对生产的全面过程控制。

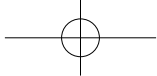
FDA 把 PAT 描述为“一个为了保证最终产品质量，基于即时测量（工艺生产过程中）原料、中间物料和工艺过程的关键质量和性能属性，对生产过程进行设计、分析和控制的系统”。欧洲药监局（EMA）也支持这个定义。PAT 能完成实时产品质量追踪和提高对工艺过程的认识程度。PAT 能实现“一次成功（Right the First Time）”生产，因为产品是通过严密的“内在设计”质量控制工艺生产出来的。在线质量监测会减少“不合格”产品的出现，从而降低生产成本。

5.5.2 制药企业需要实施 PAT

目前制药厂商普遍采用的“质量源于测试”，其困境的根本原因在于无法充分认识到故障的发生原因，因而制造商将不断面临各种原因不明的经济损失。在政府监管部门制定各种增补规范以允许采用较为宽松的验收标准之前，这种窘境可能会无限期地延续下去。在从实验室试验转为全面生产时，“质量源于测试”这种方法可能会产生一些问题。生产规范通常都来自实验室环境下的小规模生产测试数据，但发展到商业化生产时，就会暴露出在研发过程中未曾出现的各种复杂性。在达到一定量的生产规模时，即便对生产过程的细微和增量变化制定增补规范，也很难通过闭环反馈实现过程来改善，进而无法确保连续、实时的质量保证。

在制药行业中，“质量源于设计(QbD)”在产品研发中采用了一种基于风险的科学方法，并重点关注过程设计和控制。QbD 从研发阶段开始控制，首先确定并定义了产品质量的关键属性（CQA）。之后，QbD 又定义了一些参数限值，即使参数值在该限值内发生变化，但不会影响产品质量的关键属性。最后，在生产过程中采用更为灵活便捷的设计，支持参数值发生上述变化，从而确保随着时间的推移质量始终如一。

法规监管、市场、科研技术能力将迫使制药生产在下一个十年里实现快速转变。生产



效率和创新被提上变革日程，并确保创新成功的公司获得巨大收益。过程分析技术（PAT）是这次变革的一个重要部分，提供给公司在生物、化学原料药和制剂生产方面的如下预期：更好地控制工艺过程，产品工艺融入质量设计和实现“实时产品放行”。这会带来提高产品质量、缩短产品面市时间和更快速响应的供应链等诸多收益。

FDA 相信 PAT 会在制药生产的广泛创新和质量提高方面处于核心地位。FDA 的 PAT 指南强调 FDA 的信念：“改进制药的开发、生产和质量保证方面存在极大的机遇。” PAT 方法还不是强制性的，但是非常有可能在 21 世纪会对制药生产设定一个监管参考标准。获得独立的对工艺过程内在认识能力的制药公司会更好地在快速发展的竞争市场中生存下来。

成功实施 PAT 会给制药客户带来大量的商业收益，当然，每一家客户的实际情况可能会有所不同。

1. 大量节省成本

- 通过“一次成功”的产品生产来减少废品和返工；
- 减少原料、中间体（过程中物质）的消耗和最终产品的库存需求（准时生产）；
- 减少质量和批次文档费用（离线实验室花费、关于批次放行的 FTE 次数）；
- 提高设备的利用率。

2. 提高质量

- 内置的质量控制机制保持了稳定的质量并降低了污染的风险；
- 缩短产品上市时间和快速扩展；
- 验证优化——灵活的管理方式（设计空间原理）；
- 快速实现研发和生产对接或者不同场地的转换。

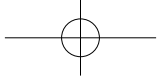
3. 提高企业形象

- 产品（生产）创新；
- 减少召回 / 警告信 / 和解协议的风险。

5.5.3 如何成功实施 PAT

在 PAT 中，内置的分析仪将在批次的生成过程中对过程变量进行检测，而不是根据样本和批次结束时的分析结果确定产品的质量。PAT 软件工具还会将这些数据转换为相应的质量信息，便于操作员对质量进行实时监视。与此同时，按照 QbD 理论所设计的生产过程具有高度的灵活性和可靠性，这样就可以采用这些质量信息进行参数调整，以确保过程始终位于质量限值范围之内，或者在批次的生产过程中进行及时修正以确保产品质量稳定合格。

在制药行业的产品研发过程、过程设计和连续生产过程中均可应用 PAT。以连续生产为例，通常，制药商都会采用批生产控制机制，根据生产计划、产能或客户订单确定每个



工业4.0

概念、技术及演进案例

批次的产量。虽然连续处理比批生产具有更大优势，但是质量控制需求却迫使制药商不得不选择批量生产。随着 PAT 工具的应用，这一状况得以改观。

由于 PAT 可以通过提供实时且连续的质量信息，将批量生产过程转变为连续生产过程，因此，可以在生产过程中不间断地进行质量检测，而无须最终质检即可放行批量生产的产品。与生产指定数量的药品不同，制造商可以“采用”足够多的原材料并“产出”大量成品满足市场需求。连续过程的优势在于提高设备使用的效率，实现更高的生产率并确保高品质的产品质量。

成功实施 PAT 的意义不只局限于技术方面，终极目标是通过在线质量控制方法更好地获得对工艺过程的内在了解，实时产品放行，生产性能提高，质量的连续提高以及符合法规监管。达到这些目标需要做的工作远远多于在现有工艺过程中更换一台在线分析仪表。客户需要根据 FDA 的 PAT 指南概述采取用于 PAT 宽领域的方法。PAT 是人员和技术的结合，需要多学科的方法。PAT 必须和多种其他生产相关系统进行通信，例如过程控制系统（PCS 和 SCADA）、工业 IT 系统（例如 MES 和 LIMS）和数据存储管理系统。对工艺过程的认识是成功实施 PAT 的关键所在。基于数学模型以自动化方法能够控制“关键质量”（CtQ）参数，包括会影响过程和最终质量的参数。目标是获得可预测的过程和预定义的产品质量。只有满足这些条件，才可实现连续化生产、保证和提高质量以及“实时产品放行”，而且包括生产、库存、管理和验证在内的成本才会得到显著降低。

5.5.4 SIPAT——西门子提供的 PAT 数据解决方案

SIPAT 是西门子的 PAT 集成解决方案。针对 PAT 系统包含多方实时数据系统的特点和数据集成需求，西门子很早就开始了 PAT 工具的研发，并于 2007 年发布了 SIPAT。SIPAT 可集成过程分析仪表，基于 PLC 或 DCS 的自动化系统控制，批控制软件（Batch）、制造执行系统（MES）和实验室信息管理系统（LIMS），如图 5-54 所示。

PAT 采用数据驱动型技术，需要对多个来源的数据源进行智能管理。通过 SIPAT，可以从诸如分析仪和传感器等各种实时源进行数据收集，然后再结合过程采样的实验室数据或 MES 的质量数据等离线数据。SIPAT 可以非常便捷地与各种过程分析仪表进行集成，同时还可对这些设备进行组态管理、维护和校准。

作为整个制药解决方案的一部分，SIPAT 可集成到批生产控制系统中，为系统提供诸如当前阶段或报警的状态信息。这对开始、停止、暂停和恢复数据收集至关重要，并需要在配方程式和 PAT 工具之间确保这些信息及时同步。操作员可通过用户界面监视 CQA、查找当前或历史批次信息并将该信息与理想的批次轨迹进行比较。此外，通过对 SIPAT 进行设置，还可以向 MES 发送有关 CQA 的状态信息，从而实现实时批次放行。

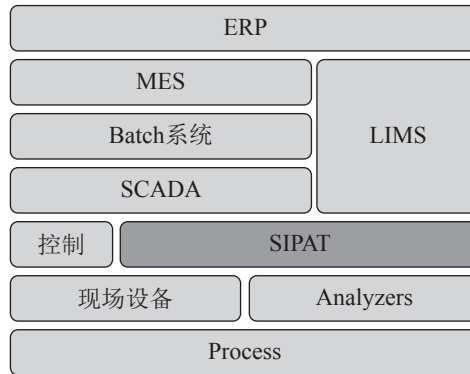
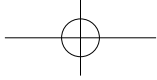


图 5-54 SIPAT 层级

SIPAT 内置的审核功能可确保符合 21CFR Part 11 等法律法规的要求，包括系统安全和政府检查、电子签名、修订历史变更记录、记录保留以及目标版本控制。

SIPAT 可以非常容易地加入到现有的生产架构中，从而实现从单元操作层级到 RP、MES 和 LIMS 层级的质量方面的全面贯通。可以实现分析和过程测量数据的采集、模型创建和验证，在线预测和分析并把结果反馈给过程控制，最终实现实时产品放行，如图 5-55 所示。

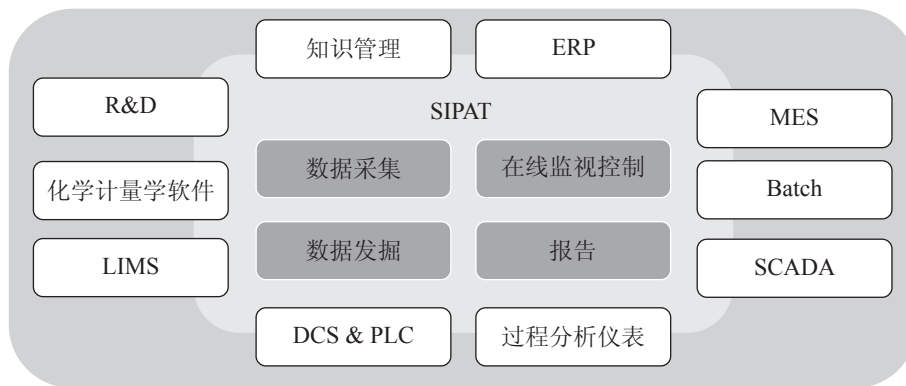


图 5-55 SIPAT 统一数据集成平台

SIPAT 是市场上最具影响的支持 PAT 实施的软件解决方案，主要功能如下：

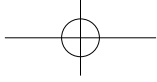
1. 数据采集

1) 捕捉过程分析数据

SIPAT 可以连接不同类型的分析仪来捕捉过程分析数据。根据仪表性能和仪表厂商提供软件的功能，SIPAT 不仅可以收集数据，还可以对仪表进行全面的配置，包括校验和系统适应测试。

2) 接收、读取数据以及分发数据

SIPAT 使用符合工业标准的开放的接口连接第三方软件包，例如过程控制系统。温度、



工业4.0

概念、技术及演进案例

压力、pH 这些过程参数用于 SIPAT 时，可以通过 OPC 从过程控制系统读取。相同的 OPC 通信接口也可以用于传递一个批次、操作和阶段的启动、停止等信息给 SIPAT。

除了分析仪表和过程控制系统这类在线数据之外，SIPAT 可以使用来自 LIMS (SIMATIC IT Unilab)、MES (SIMATIC IT) 或者 ERP 的质量参数 (如原料分析结果)。

3) 管理仪表校验和系统适应性测试

通常情况下，仪表不得未经过初次性能检查就按照原样进行工作，所以 SIPAT 通过对 workflow 预测，使用内部和外部标准执行校验和系统性能测试。SIPAT 会保留结果记录并和这台仪表今后的测量结果保存在一起。

4) 模型组态和数据发掘

SIPAT 过滤收集历史数据并发送到 MVDA 软件，还结合外部化学统计学工具 Matlab、Umetrics SIMCA 和 CAMO Unscrambler X 建立 PLS 或 PCA 模型，并检查相关的工艺过程。除了模型组态，这个模块还包括模型验证和优化，通常使用离线方式。

SIPAT 可以在不同的层级进行组态和使用模型。

(1) 分析仪模型：模型建立在来自于一台特定的分析仪数据的基础上，例如，基于某些确认参数或者主成分分析 (PCA) / 偏最小二乘法 (PLS)。

(2) 单元操作模型：模型建立在特定单元操作 (如传感器、分析仪等) 数据的基础上，如 PH、温度、压力和溶氧以及 NIR 数据，这些数据用于一个生化反应器的单元操作。

(3) 高级过程 / 产品 (生产线) 模型：是 SIPAT 支持的独特模型，它基于来自一条完整的生产线的不同单元操作的数据。这些数据为从原料到最终产品。大多数的 PAT 软件被限制在一个分析仪模型中，或者某些情况下，也可能是一个额外的单元操作模型。SIAPT 更加先进，通过 SIPAT，客户可以开发一个总的过程模型，实现对最终产品质量参数的预测。

(4) MVDA/ 数据发掘：在模型生成器中，SIPAT 收集测量数据并进行预处理。用户就开始数据分析的过程，创建并验证模型。存储在 SIPAT 归档中的模型具有版本信息和状态信息。SIPAT 可以连接不同类型的数据发掘或者 MVDA 软件包，并且将 Umetrics 公司的化学计量法集成到标准的 SIPAT 软件中。

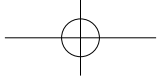
实时运行状态下，SIPAT 将收集数据，预先处理并在后台使用模型进行预测。SIPAT 还可以对模型结果进行图形化和发布。

2. 在线监视和控制

1) 集成到批次

单元操作模型或者过程模型是开发控制模型的基础。这个模型被用来执行过程控制行为 (前馈 / 反馈控制和修正)。

SIPAT 关注工艺过程的质量方面内容并把相关信息提供给控制系统。控制系统继而关



注控制和修正行为。对系统通过 OPC 接口二者进行实时通信，完成前馈 / 反馈控制，如图 5-56 所示。SIPAT 可以和批次系统密切联系并实现配方步骤和 SIPAT 方式之间的紧密互动。例如，这种同步能实现 SIPAT 对某批次的一个特定操作（或阶段）发出结束条件。

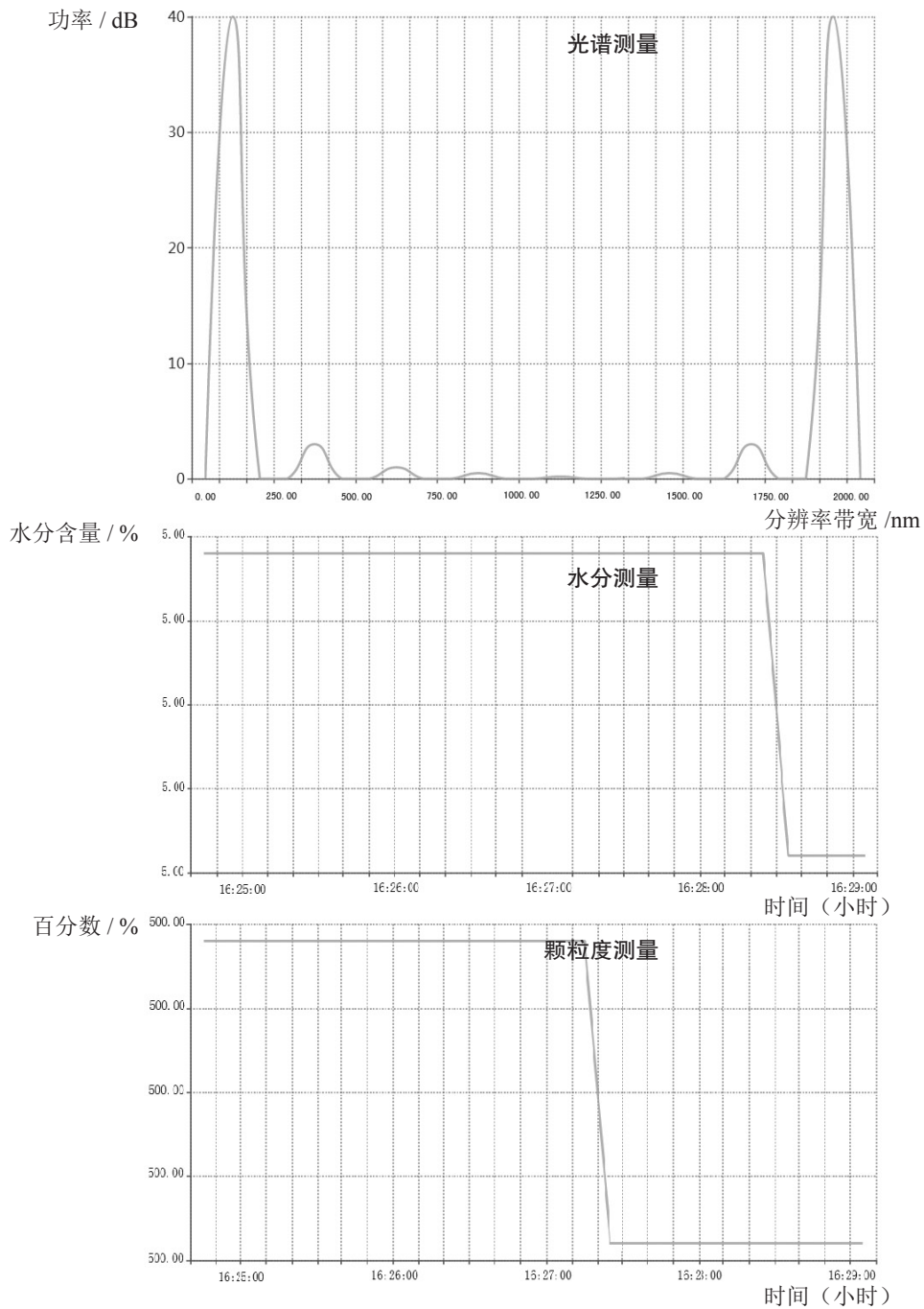
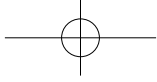


图 5-56 SIPAT 实时运行示意图



工业4.0

概念、技术及演进案例

2) 数据可视化

SIPAT 图形用户接口可用于交互地收集数据、建立新的 PAT 方式，或者查找目前 / 之前的产品批次的额外信息。所有的关键质量参数都可在线监视。

图标参数可以和图 5-67 金色批次的轨迹进行比较，实现工艺过程监视。这些可视化可以由 SIPAT GUI 完成或者嵌入到现有的 SCADA 架构中去。

3) 反馈回控制系统

为把 PAT 集成到控制回路，SIPAT 可以配置成把预测的关键质量参数返回到过程控制系统。控制系统可以把这些参数通过传统 PID 控制或者高级控制（APC）技术的方式用于内部批次控制。SIPAT 可以把在线发给控制系统的预测值和主成分数据发送到任何 OPC 服务器。

3. 报表

SIPAT 会保存 PAT 在操作执行过程中产生的全部测量和计算数据，并附带批次背景信息。数据可以供任何标准报表工具使用。SIPAT 有一个非常详细和灵活的报表模块，供最终用户（非 IT 人员）查询数据库。数据可以无缝集成到 Office 应用程序或其他统计软件包中去。

SIPAT 模型组态可以实现数据的浏览、过滤和查询，使得建模软件所需数据可以被正确使用。

4. 遵守法律法规和 21CFR11

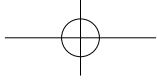
SIPAT 提供了符合法律法规和 21CFR11 的全面审计功能。审计功能包括如下主要部分：

- 系统安全和授权检查；
- 电子签名；
- 所有修改变更的历史记录，包括进行修改的人员、内容、时间、原因和注释；
- 在线和归档数据库的记录保存和再现性；
- 对象的版本控制，如 PAT 方式、模型、仪表设定等。

5.5.5 案例研究

某排名前五制药公司的口服固体剂量（片剂）生产线采用了高剪切湿法制粒工艺。该生产线包括造粒、干燥、整粒、混合与压片等操作，由 PLC（S7-300）进行自动化控制，并使用 WinCC 作为 HMI 进行产线监控。NIR 分析仪对含水量、含量均匀度和检验等属性进行测量，并使用激光衍射法对颗粒尺寸进行检测。

在该应用中，SIPAT 软件将收集和评估 LOD 或粒径分布等多变量关键质量属性（CQA），以及速度、扭矩、温度和压片压力等单变量过程数据，从而实现闭环模型预测控制。



同时为制造执行系统（SIMATIC IT）提供质量参数，然后在这一系统中跟踪这些信息以进行实时放行报告。SIPAT 可以在批次开始偏离规范时调节水分含量、含量均匀度、硬度和厚度等参数，从而实时确保质量并大幅降低过程结束时整批次产品报废的风险。使用 PAT 工具，公司工程师对过程的理解更加深刻。而且，由于研发阶段进行连续生产的过程设备规模与后期商业化生产时的规模相同，因而无须再扩大规模。

根据制造商的要求，新的连续过程方案在两周内完成开发，同时生产线在六个月之后开始稳定生产高品质的片剂。系统内置的质量检查现在也可以实现实时放行。与传统批生产方式中的生产线末端 QC 检查相比，效率得到极大提升。设备的占地面积更小，所占空间仅为同类批量生产线的十分之一，同时还减少了操作员的数量以及生产过程中的工作。

对制药公司而言，原材料使用量降低，废品、浪费和返工现象减少，过程的人工干预降低，这些都极大降低了生产成本并提高了生产安全性。

制药行业的模型预测化智能生产主要包括：基于 SIMATIC SIPAT 行业软件解决方案，帮助客户实现基于“质量源于设计”的生产方式，实现质量工具所采集数据的智能解析和完美互连。除了将产品开发阶段的相关数据返回到生产过程中实现数据的高度透明之外，还需要基于单元操作，对 ERP 系统、MES 和 LIMS 中的数据进行精准预测，确保质量与效率的持续性改进和提高。其中，SIPAT 基于工业 4.0 “物理和信息融合”的理念，进一步深入到工艺过程内部了解“物理”信息，并把这些过程分析信息融入数据信息系统，进行信息发掘和建立预测模型，反馈到自动控制系统，确保了产品质量的稳定可靠，降低了不合格产品的潜在风险。内部过程优化和质量的持续稳定，又为产品质量一次通过提供了有力保障，可以有效提高生产效率和降低成本。