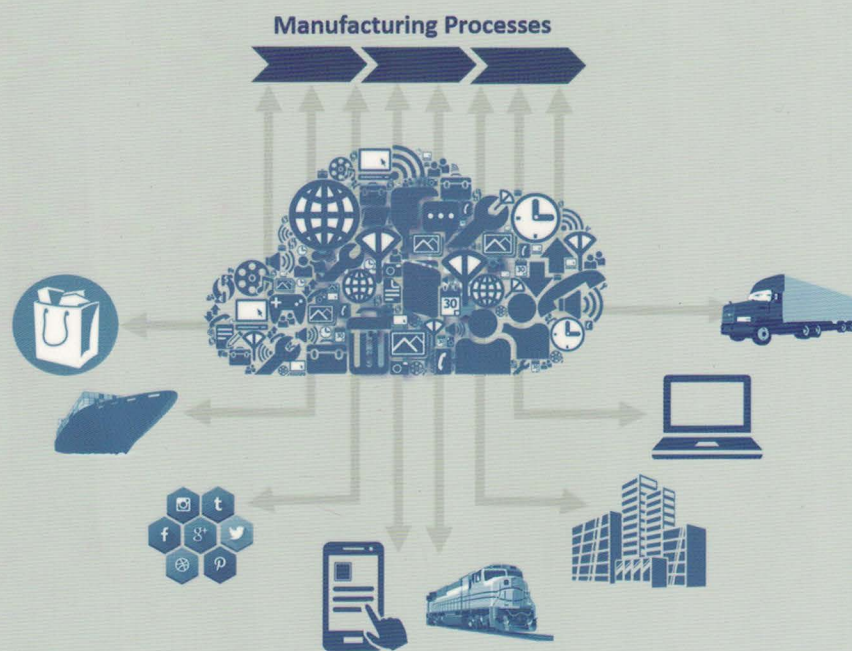


智能制造工业控制 软件规范及其应用

彭 瑜 何衍庆 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电气信息工程丛书

智能制造工业控制软件 规范及其应用

彭 瑜 何衍庆 编著



机械工业出版社

本书共 6 章, 介绍 IEC 61131-3 第三版的公用元素基本概念、标准编程语言中的指令表和结构化文本的文本类编程语言、梯形图和功能块图的图形类编程语言、顺序功能表图编程语言、运动控制功能块、安全相关功能块、模糊控制功能块等, 并讨论了它们的编程技巧和工业应用。

本书内容涵盖了智能制造对 PLC 软件功能的基本要求。

本书可作为自动化和仪表专业等相关专业本科及专科学生的教材和编程语言的培训用书, 也是工矿企业、科研开发单位工程技术人员的重要参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

智能制造工业控制软件规范及其应用 / 彭瑜, 何衍庆编著. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2018.4

(电气信息工程丛书)

ISBN 978-7-111-59695-0

I. ①智… II. ①彭… ②何… III. ①智能制造系统-控制系统-应用软件-技术规范 IV. ①TH166-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 077089 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 时 静 责任编辑: 时 静 王 荣

责任校对: 张艳霞 责任印制: 常天培

北京铭成印刷有限公司印刷

2018 年 5 月第 2 版 · 第 1 次印刷

184mm×260mm · 27 印张 · 658 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-59695-0

定价: 99.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: (010) 88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: (010) 88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金 书 网: www.golden-book.com

前 言

《中国制造 2025》由国务院于 2015 年 5 月发布，提出了中国制造强国建设三个十年的“三步走”战略，是第一个十年的行动纲领。其基本方针是创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本；基本原则是市场主导，政府引导、立足当前，着眼长远、整体推进，重点突破、自主发展，开放合作；战略目标是立足国情，立足现实，力争通过“三步走”实现制造强国的战略目标。其中，加快推动新一代信息技术与制造技术融合发展，把智能制造作为两化深度融合的主攻方向；着力发展智能装备和智能产品，推进生产过程智能化，培育新型生产方式，全面提升企业研发、生产、管理和服务的智能化水平，推进信息化与工业化深度融合是其重点之一。

当前，机器人应用正在扩展到越来越多的行业，包括 3D 打印、农业、装配、建筑、电子、物流和仓储、生产制造、医药、采矿以及运输等行业都能看到机器人的身影。此外，在生产制造行业，安全防范意识的提升，对于重复性劳动带来伤害的重视，都成为工业机器人发展的助推力。

PLCopen 国际组织在构筑工控编程环境开放性的同时，还孜孜不倦地为提高工业自动化的工作效率进行最基础性的规范工作。其主要成果之一就是构筑工控编程软件包的开发环境；同时，还在这些编程系统的基础上进一步将其发展为统一工程平台。与智能制造紧密相关的主要工作有：

- 运动控制规范。在 IEC 模块化的开发环境里加入了运动控制技术，将 PLC 和运动控制的功能组合在控制软件的编制中。
- 机械安全规范。和德国 TÜV 公司合作规定了 IEC 61131-3 框架内的安全功能及其应用。
- IEC 61131-3 的 XML 格式规范。为实现在不同的软件开发环境之间交换程序、函数/功能块库和工程项目，IEC 61131-3 规范了这些数据交换的接口。
- IEC 61131-3 的 OPC 信息模型。将 OPC UA 技术和 IEC 61131-3 组合成一个独立于制造厂商的信息和通信架构的平台，为实现自动化结构提供了一种全新的选择。

为此，PLCopen 国际组织注重与许多国际标准化组织和基金会（譬如 ISA、OPC 基金会等）的合作，开发了有关标准和规范，为智能制造和工业 4.0 的应用和发展，打下坚实基础。

为适应我国智能制造的发展，编者根据 IEC 61131-3 第三版、PLCopen 国际组织的运动控制和安全等有关规范，编写了本书。本书共 6 章。第 1 章介绍了 IEC 61131-3 编程语言第三版的内容，根据基于面向对象的程序设计语言，IEC 61131-3 第三版增加了有关类、方法、功能块类型、引用、接口、动态名绑定、命名空间等内容，对封装、多态和继承等内容进行介绍。第 2~4 章对 PLCopen 规范的各种编程语言进行分类介绍和讨论其应用示例。

结合运动控制理论，本书第 5 章介绍运动控制的基本概念，包括运动学、动力学、坐标系及其变换、插补技术、状态图、轴、轴组、缓冲模式、过渡模式、电子凸轮、电子齿轮、协调运动、同步运动等；讨论了运动控制功能块的基本功能，并介绍管理类和运动类运动控

制功能块，包括单轴和多轴，协调和同步运动控制功能块。

针对由电气或电子和可编程电子部件构成、起安全功能的电气/电子/可编程电子系统，本书第 5 章还介绍了安全的基本概念。PLCopen 将逻辑、运动和安全结合在一个开发环境中，简化应用环境，实现了跨平台环境的有效解决方案。为此，本书介绍了安全相关功能块和通用规则等内容，提供了应用示例。

自查德创立模糊集理论以来，由于无需对被控过程建立数学模型和模糊控制的强鲁棒性，模糊控制受到广泛的应用，为此，本书第 5 章依据 IEC 61131-6 的标准文本和其他参考资料介绍模糊控制基本概念，包括模糊集、隶属函数、隶属函数运算、模糊控制基本结构等，讨论了模糊控制功能块和其实现方法。

本书第 6 章用大量示例说明标准编程语言在工业生产过程中的各种应用，既有用梯形图和功能块图编程语言编程的示例，也有用指令表和结构化文本编程语言编程的示例，最后，还讨论了用顺序功能表图编程语言编程的示例。

编写本书的目的是为中国制造 2025 提供较全面的编程语言培训教材。因此，本书对 PLC 的硬件没有介绍，有关硬件内容可参考各制造商的产品说明书。由于采用国际标准的编程语言介绍编程技术，因此，与专用制造商编程语言的培训教材不同，本书的适应面广，学习一次，得益终身。同时，也是响应教育部关于发展新工科高等教育，进行工业控制通识教育的一次尝试。

本书由彭瑜、何衍庆编著。本书的编写得到 PLCopen 中国组织 PC5 的积极支持和帮助，得到上海工业自动化仪表研究院和华东理工大学等单位的关心和支持，同时 PLCopen、ABB、GE、菲尼克斯软件、倍福、施耐德、罗克韦尔等组织和公司有关技术人员为本书的编写提供了大量资料和技术支持，谨在此一并表示诚挚的谢意。本书编写过程中，参考了相关专业书籍和产品说明书，在此向有关作者和单位表示衷心感谢。

由于编者水平所限，错漏在所难免，敬请读者不吝指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 智能制造是制造业转型升级的方向	1
1.1.1 智能制造对 PLC 功能的新要求	1
1.1.2 PLC 硬件如何适应智能制造的要求	2
1.1.3 PLC 软件如何适应智能制造的要求	2
1.1.4 PLC 是智能制造和工业物联网的先行者	3
1.2 工业控制软件的概念和发展近况	6
1.2.1 工业软件的大致分类	6
1.2.2 工业控制软件的概念	6
1.2.3 工业控制软件的发展近况	7
1.3 编程语言的发展和标准	9
1.3.1 编程语言的基本概念	9
1.3.2 编程语言发展史	9
1.3.3 编程语言的标准化	11
1.3.4 编程语言的特点	12
1.3.5 面向对象的程序设计语言	14
1.4 公用元素	16
1.4.1 语言元素	16
1.4.2 文字-数据的外部表示	23
1.4.3 数据类型	30
1.4.4 变量	42
1.4.5 程序组织单元的公用性能	50
1.4.6 函数	59
1.4.7 功能块	86
1.4.8 程序	105
1.4.9 类	108
1.4.10 接口	124
1.4.11 面向对象的功能块的性能	131
1.4.12 多态性	140
1.4.13 命名空间	143
1.5 软件、通信、功能和 OPC UA 模型	151
1.5.1 软件模型	151
1.5.2 通信模型	163

1.5.3	功能模型	172
1.5.4	OPC UA 信息模型	175
第 2 章	文本类编程语言	183
2.1	文本类编程语言的公用元素	183
2.1.1	文本类编程语言概述	183
2.1.2	文本类编程语言的公用元素	183
2.2	指令表编程语言	184
2.2.1	指令	184
2.2.2	函数、方法和功能块	189
2.2.3	示例	193
2.3	结构化文本编程语言	194
2.3.1	结构化文本的表示	194
2.3.2	语句	197
2.3.3	示例	208
第 3 章	图形类编程语言	212
3.1	图形类编程语言的公用元素	212
3.1.1	线、模块和流向	212
3.1.2	网络和执行控制元素	215
3.2	梯形图编程语言	217
3.2.1	梯形图的组成元素	217
3.2.2	梯形图程序的执行	221
3.2.3	示例	224
3.3	功能块图编程语言	225
3.3.1	功能块图编程语言的图形符号和功能块组合	225
3.3.2	功能块图程序的编程和执行	226
3.3.3	示例	227
第 4 章	顺序功能表图编程语言	231
4.1	顺序功能表图的三要素	231
4.1.1	基本概念	231
4.1.2	步	232
4.1.3	转换	235
4.1.4	有向连线	238
4.1.5	程序结构	239
4.2	顺序功能表图编程语言	242
4.2.1	动作	242
4.2.2	顺序功能表图的兼容	251
4.2.3	示例	251
第 5 章	由 IEC 61131-3 标准扩展的其他功能块	256
5.1	运动控制功能块	257

5.1.1	概述	258
5.1.2	运动控制功能块	292
5.1.3	运动控制应用示例	299
5.2	安全相关功能块	304
5.2.1	概述	305
5.2.2	安全模型	308
5.2.3	安全相关功能块的通用规则	313
5.2.4	安全相关功能块	316
5.2.5	安全控制应用示例	318
5.3	模糊控制功能块	324
5.3.1	基本概念	325
5.3.2	模糊控制	333
第 6 章	PLC 的应用软件设计	337
6.1	PLC 编程技巧	337
6.1.1	基本环节	337
6.1.2	程序设计方法	365
6.2	PLC 的工业应用示例	384
6.2.1	液位控制系统	384
6.2.2	信号报警和联锁控制系统	389
6.2.3	物料输送过程的控制系统	398
6.2.4	零件分选系统	403
6.2.5	火电厂蒸汽轮机驱动给水泵的控制	408
参考文献		421

第1章 概述

1.1 智能制造是制造业转型升级的方向

智能制造是当前我国制造业，乃至全国工业、农业以及国防等各行各业中贯彻和实施《中国制造 2025》规划的重点方向，更是制造业转型升级的方向。而工业控制软件则是智能制造的基础性关键环节。工业控制软件规范主要涵盖逻辑控制、顺序控制、运动控制、过程控制、安全控制、工业通信等的标准化、规范化、模块化以及具体实现等内容。

1.1.1 智能制造对 PLC 功能的新要求

PLC 作为设备和装置的控制器，除了传统的逻辑控制、顺序控制、运动控制、安全控制功能之外，还承担着工业 4.0 和智能制造赋予的以下任务：

- 1) 越来越多的传感器被用来监控环境、设备的状态和生产过程的各类参数，这些工业大数据的有效采集，迫使 PLC 的 I/O 由集中安装在机架上，必须转型为分布式 I/O。
- 2) 各类智能部件普遍采用嵌入式 PLC，或者微小型 PLC，尽可能的就在现场完成越来越复杂的控制任务。
- 3) 应用软件编程的平台化，进一步发展工程设计的自动化和智能化。
- 4) 大幅提升无缝联通能力，相关的控制参数和设备状态可直接传输至上位的各个系统和应用软件，甚至送往云端。

概括起来就是：满足工业大数据采集的需求，就地实时自治控制，实现编程的自动化和智能化，提升无缝的联通能力。

PLC 系统作为工业控制主力军的地位会不会因为正在掀起的第四次工业革命而被逐步替代呢？回答是否定的。同时，这也取决于 PLC 软硬件技术能否快速地进行适应性的转型和升级。事实上，PLC 软件技术以 PLCopen 为先导，一直在为满足工业 4.0 和智能制造日益清晰的要求做足了准备。图 1-1 显示 PLCopen 历年来所开发的各种规范在工业 4.0 参考架构模型(RAMI4.0)相应维度和层级中的位置，可以明显地看到，PLCopen 国际组织长期以来为提高自动化效率做了一系列卓有成效的工作。

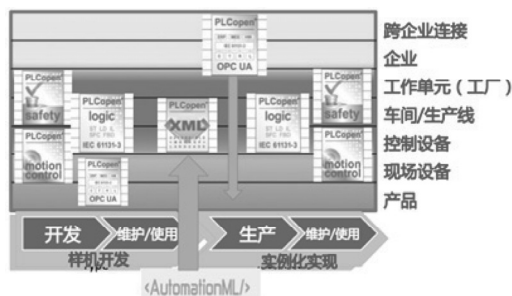


图 1-1 PLCopen 各规范在 RAMI4.0 中的位置

总之，PLC 可谓是工业自动化控制的常青树，即使是在工业转型升级的智能制造年代，或者是工业 4.0 的时代，它仍然足够胜任各种控制和通信要求。但它早已不再是三四十年前的只能完成逻辑控制、顺序控制的继电逻辑系统的替代物，它已完成了由经典 PLC 向现代 PLC 的蜕变。它继承了高性价比、高可靠性、高易用性的特点，又具有了分布式 I/O、嵌入式智能和无缝连接的性能，尤其是在强有力的 PLC 软件平台的支持下，人们完全可以相信 PLC 将持久不衰地活跃在工业自动化的世界中。

1.1.2 PLC 硬件如何适应智能制造的要求

尽管人们较普遍的认为 PLC 硬件技术进步是渐进的，但也不能否认，PLC 的硬件技术一直在为满足工业 4.0 和智能制造日益清晰的要求积累经验。

特别是微电子技术的飞跃进展，使得 SoC 芯片在主钟频率越来越高的同时功耗却显著减小；多核的 SoC 的发展，又促进了在 PLC 的逻辑和顺序控制处理的同时，可以进行高速的运动控制处理、视觉算法的处理等；而通信技术的进展使得分布式 I/O 运用越来越多、泛在的 I/O 运用也有了起步。

为迎接工业 4.0 的挑战，PLC 硬件设计应该在以下方面有一定的改善空间：

1) 极大改善能耗和减小空间。PCB 85% 的空间被模拟芯片和离散元器件所占，需要采取将离散元器件的功能集中于单个芯片中，采用新型的流线模拟电路等措施。

2) 增加 I/O 模块的密度。

3) 进行良好的散热设计，降低热耗散。

4) 突破信息安全的瓶颈（如何防范黑客攻击、恶意软件和病毒）。

概括起来说，PLC 的硬件必须具备综合的性能，即更小的体积、更高的 I/O 密度、更多的功能。

举例来说，选用新型的器件收效显著：为了减小 I/O 模块的体积，减少元器件的数量，采用多通道的并行/串行信号转换芯片（serializer），可以对传感器 24V 的输出信号进行转换、调理和滤波，并以 5V 的 CMOS 兼容电平输入 PLC 的 MCU。这样可把必要的光电隔离器件减少至 3 个，来自多通道的并行/串行信号转换芯片（serializer）的信号，可共享相同的光电隔离资源。

美信（Maxim）公司的模拟器件集成设计，简化了信号链，使±10V 的双极性输入可以多通道采样、放大、滤波和模-数转换，而且只需单路的 5V 电源。这种设计取消了±15V 的电源，减少了元器件的数量和系统成本，降低了功耗，缩小了元器件所占用的面积。

1.1.3 PLC 软件如何适应智能制造的要求

PLC 作为一类重要的工业控制器装置，之所以能够在长达数十年的工控市场上长盛不衰，重要原因是软件与硬件发展的相辅相成、相得益彰。

IEC 61131-3 标准推动 PLC 在软件方面的进步，体现在以下方面：

1) 编程的标准化，促进了工控编程从语言到工具性平台的开放；同时为工控程序在不同硬件平台间的移植创造了前提条件。

2) 该标准为控制系统创立统一的工程应用软环境打下坚实基础。从应用工程程序设计的管理，到提供逻辑和顺序控制、过程控制、批量控制、运动控制、传动、人机界面等统一的

设计平台，以至于将调试、投运和投产后的维护等统统纳入统一的工程平台。

3) 应用程序的自动生成工具和仿真工具。

4) 为适应工业 4.0 和智能制造的软件需求，IEC 61131-3 的第 3 版将面向对象的编程 (Object Oriented Programming, OOP) 纳入标准。

在 IEC 61131-3 标准发布之前，人们已开发了许多为 PLC 控制系统工程设计、编程、运行，乃至管理的工具性软件，其中包括控制电路设计软件包、接线设计软件、PLC 编程软件包、人机界面和 SCADA 软件包、程序调试仿真软件以及自动化维护软件等。尽管这些软件都是为具体的工程服务的，但是，即使在对同一对象进行控制设计和监控，它们却都互不关联。不同的控制需求（如逻辑和顺序控制、运动控制、过程控制等）要用不同的开发软件；在不同的工作阶段（如编程组态、仿真调试、维护管理等）又要用不同的软件；而且往往在使用不同的软件时必须自行定义标签变量 (tags)，定义变量的规则又往往各取便，导致对同一物理对象的相同控制变量不能做到统一的、一致的命名。

缺乏公用的数据库和统一的变量命名规则，造成在使用不同软件时不得不进行烦琐的变量转换，重复劳动导致人力资源成本高、效率低下。

工控编程语言是一类专用的计算机语言，建立在对控制功能和要求的描述和表达的基础上。作为实现控制功能的语言工具，工控编程语言不可能是一成不变的。其进步和发展必然受到计算机软件技术和编程语言的发展，以及它所服务的控制工程在描述和表达控制要求和功能的方法的影响。

但是不论其如何发展和变化，这些年来事实表明，它总是在 IEC 61131-3 标准的基础和框架上展开的。这就告诉人们，IEC 61131-3 不仅仅是工控编程语言的规范，也是编程系统的实现架构的基础和参照。

长期以来 PLCopen 国际组织注重与许多国际标准化组织和基金会（譬如 ISA、OPC 基金会等）合作，开发了基础性的规范。这些工作都为智能制造和工业 4.0 的应用和发展做了许多先导性的探索和准备，打下了坚实的基础。

多年来 PLCopen 一直坚持与开放标准化组织合作建立一种开放标准的生态系统。譬如与 OPC 基金会合作开发的 IEC 61131-3 的信息模型 (2010 年 5 月发布)、IEC 61131-3 的 OPC UA Client FB 客户端功能块 (2015 年 3 月发布)、IEC 61131-3 的 OPC UA Server FB 服务端功能块 (2015 年 3 月发布)。例如，这些开放标准已经成功地应用于包装行业建立 PackML 系列规范，大大简化了包装机械与上位生产管理系统的通信。

这些标准扩大了如今广泛运用于计算技术行业的 SOA 面向服务架构的应用范围，同时也推进了一度落后于计算技术和软件的自动化系统技术，使其快速跟上 IT 技术的进展。

1.1.4 PLC 是智能制造和工业物联网的先行者

实现中国制造 2025 和工业 4.0 大环境下的智能制造，必须建立在一类包括实时控制和及时监控在内的、强有力的联网技术和规范的基础上。这类联网技术和规范可以在一定程度上继承原有的联网技术和规范，但更重要的是一定要突破原有技术和规范的局限，以及明显不能满足实现工业 4.0、智慧工厂和智能制造的多层递阶的架构和按功能分层进行通信的思维。这就是说，除了对时间有严格要求的实时控制和对安全有严格要求的安全功能仍然保留在工厂层面外，所有的制造功能都将按产品、生产制造和经营管理这三个维度做到通信扁平化，

实现信息虚拟化，从而构成全链接和全集成的智能制造生态系统（见图 1-2）。

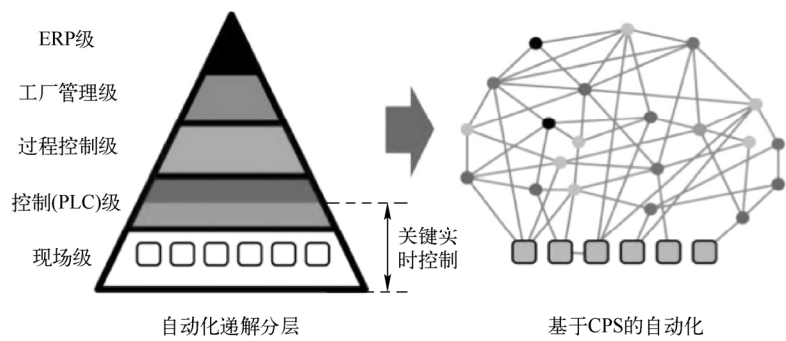


图 1-2 智能制造的通信架构的扁平化

在智能制造系统中，PLC 不仅仅是机械装备和生产线的控制器，而且还是制造信息的采集器和转发器。从这个意义上讲，只有 PLC 具有面向服务架构（Service Oriented Architecture，SOA）的功能，才有可能完成这些重要任务。例如 PLC 调用视觉系统的摄像头所摄制的图像服务，或者 PLC 调用某个 RFID 读取器的服务（这都需要视觉系统或 RFID 读取器直接与 PLC 通信），或者当 PLC 要传送大数据应用的数据给云端。

图 1-3 所示为在 2015 年德国汉诺威博览会上 SAP 公司展示的系统。3D 打印系统所制造的零件信息由视频系统的图像采集，通过 OPC UA 送到机器人控制器，再由机器人将零件抓取后放置在传送带上，还可以把有关信息送至 SAP 云中。

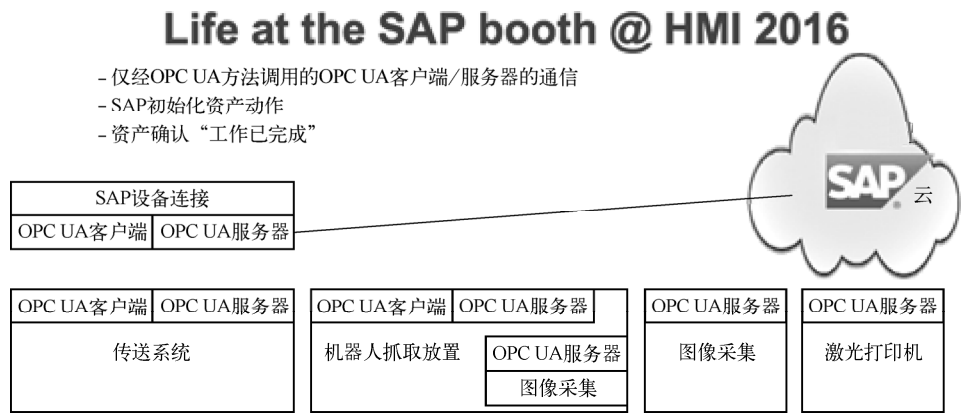


图 1-3 用 OPC UA 进行多种设备的通信

目前，在制造执行系统（Manufacturing Execution System，MES）级与 PLC 的数据交换通常是通过一个耗时的握手过程。例如 MES 发出一个信号要向 PLC 传送一个配方数据，等待 PLC 确认信号返回；接着 MES 向 PLC 传送该配方数据，当 PLC 接收到这一组数据后向 MES 发出接收确认信号。如果 PLC 同时具有 OPC UA 的服务端功能和客户端功能，这种 PLC 就是一种面向服务架构的 PLC（也可简称为 SOA-PLC）。这时 MES 向 PLC 传送一个配方数据就是执行一次通信服务，这次服务的输入参数是配方，输出数据是 PLC 的确认信号，再也不需要 MES 和 PLC 之间的多次握手过程。实际上就是 OPC UA 远程调用

了 PLC 的功能块，大大地缩短了 MES 与 PLC 之间通信来往过程，提高了生产调度安排的效率，同时显著减少了工程成本，极大地加强了工厂层与上位执行调度和管理层的数据通信能力。

一台 SOA-PLC 实际上是把支持确保信息安全的虚拟专用网络（Virtual Private Network，VPN）的 Web 服务权植入 PLC。这种服务权执行面向对象的数据通信，包括实时数据、历史数据、报警数据和其他服务。PLC 通过这类服务把对应的大量数据连接至上级的服务和数据层，供信息模型建模时使用和处理。

让一台 PLC 集成了 OPC UA 的服务端功能和 OPC UA 的客户端功能，就能保证这台 PLC 通过 VPN 进行有安全保证的数据通信。正如前面所述 PLCopen 和 OPC 基金会合作制定了 IEC 61131-3 的 OPC UA 信息模型，使 PLC 的相关信息都可以运用 OPC UA 的通信机制进行传输。而 PLCopen 组织所发布的 OPC UA 的服务端的功能块规范和客户端的功能块规范，为实现这类通信的模块化和便利化奠定了标准基础。由图 1-4 可以看出，不同厂商的 PLC 可以实现 OPC 的通信、PLC 与 MES/ERP 之间可以实现 OPC 的通信，PLC 还可以通过 OPC 实现与微软的 Azure 公共云和亚马逊的 AWS 公共云的直接通信。

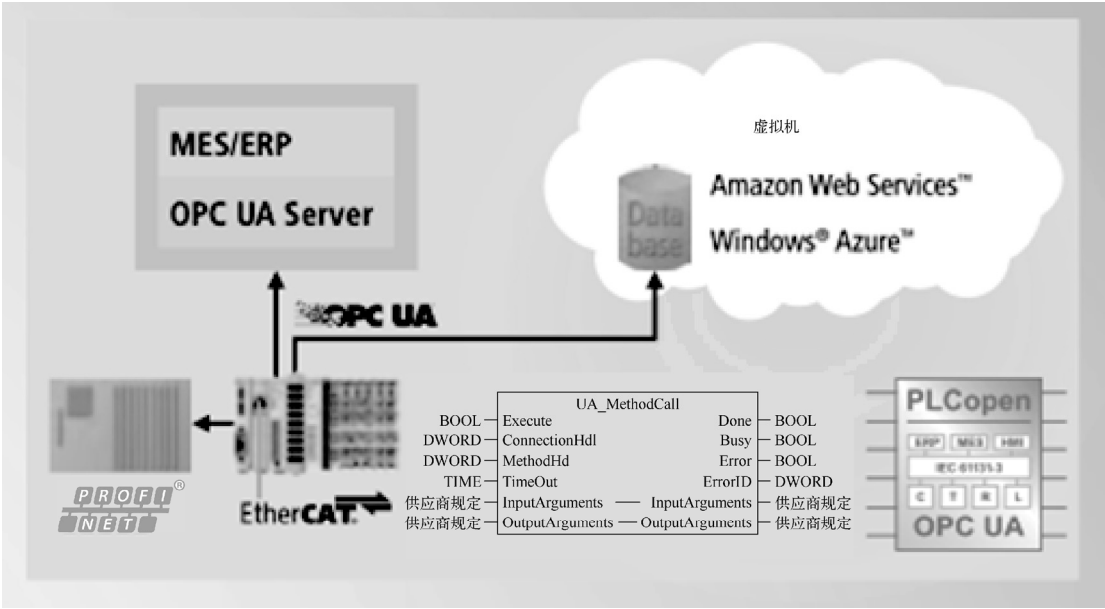


图 1-4 执行 PLCopen 的 OPC UA 的通信功能块

现在已经有一些公司能够提供在 PLC 上完整实现 OPC UA 通信的软件平台支持。图 1-5 显示德国倍福公司的 EtherCAT III 平台软件。德国菲尼克斯（Phoenix）软件公司开发的 PC WORX UA 软件平台支持 200 台 PLC 之间进行 PLCopen 规范的 OPC UA 通信，选用不同的版本通信变量可以是 10 万个、1 万个和 5000 个。

在此顺便指出，至少到目前为止，OPC UA 并不适合于硬实时的 M2M 通信，而非常适合监控级或生产管理执行级的软实时 B2M 通信以及软实时的 B2B 通信。读者应该对此有清醒的了解。

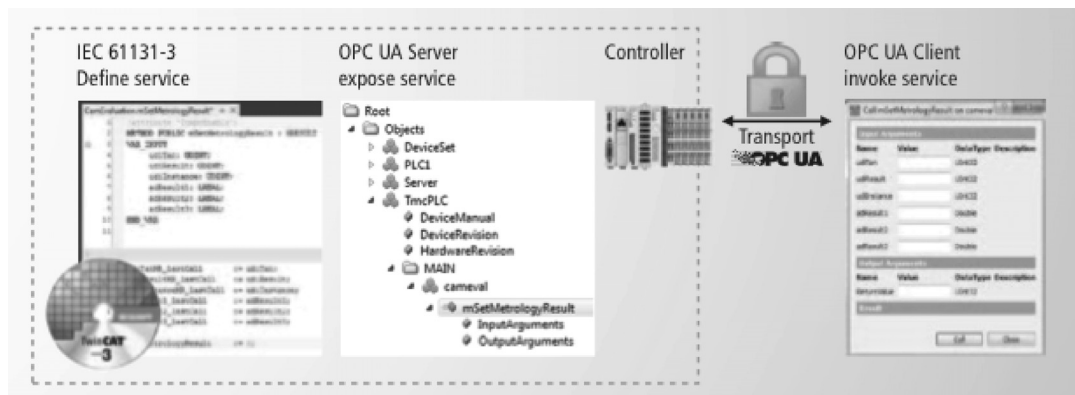


图 1-5 实现 OPC UA 通信的软件平台支持

1.2 工业控制软件的概念和发展近况

1.2.1 工业软件的大致分类

国内一直有工业软件的说法。是不是用于工业的制造、生产管理、数据管理、云服务等软件及其平台都是工业软件呢？至少到目前为止，还没有出现一个权威的定义，而且国际上也没有相应的说法。

工业和信息化部 2016 年下发的《智能制造工程实施指南》中提出“智能制造核心支撑软件”。如何理解这个概念呢？有人做了一个大致的分类，共有六大类：设计、工艺仿真与虚拟制造软件；工业控制软件，主要是现场控制软件、嵌入式软件、组态软件等；业务管理软件，包括制造执行系统（MES）、企业资源计划（ERP）软件、供应链管理（SCM）软件、商业智能（BI）软件等；数据管理软件，包括嵌入式数据库系统与实时数据智能处理系统、数据挖掘分析平台、基于大数据的智能管理服务平台等；云制造云服务平台，主要是指生产制造过程的协同制造平台，集成应用的行业系统解决方案，以及对设备的远程状态管理与主动性维护；能源管理软件，专门对能源设备、能源系统进行管理的软件。下面主要对工业控制软件进行介绍。

1.2.2 工业控制软件的概念

相对工业软件的提法来讲，工业控制软件的概念倒是相当明确的。凡是用于工业生产制造现场控制的软件，都可以叫作工业控制软件（简称工控软件）。工业生产制造现场可以是连续流程，可以是离散制造，也可以是批量制造过程，只要是用于现场控制系统中的应用软件（不是维护现场控制系统正常运行的系统软件），习惯上都称为工业控制软件。这是不会引起任何歧义的。

工业生产过程基本分为三类，即连续生产过程、离散制造过程和批量生产过程。这是按工业生产制造中被加工对象是连续、离散或者是批量的来加以区别的。采用连续生产过程的

工业，通常称为流程行业，如发电、钢铁、化工、石油化工等。采用离散制造过程的工业，通常称为离散制造业，如机械制造、电子制造、汽车制造等。所谓批量生产过程往往是指按一批一批生产处理的过程，在批处理过程中其生产流程是连续的，当产品生产出来以后，同一个生产装备可以用来生产另一类产品。这类介乎连续流程和离散制造之间的生产过程，被称为批量生产过程，如精细化工、酒类饮料加工、印染等。

用于连续流程的控制系统主要是 DCS。用于离散制造的控制系统主要是 PLC，当然还有一些专用的控制系统，如数控系统、机器人控制系统、运动控制系统等。批量制造过程的控制系统可以是 DCS，也可以采用 PLC。从历史上看，这些控制设备都是由模拟控制系统发展到数字控制系统的。只有采用数字式的系统才有工业控制软件的需求。

1.2.3 工业控制软件的发展近况

对一个工业控制系统来说软件的重要性无可置疑。根据国际知名的咨询集团麦肯锡的调查，从 1980 年到 2010 年，软件的成本已从总成本的 10% 上升至 40%（见图 1-6），而且还有继续上升的趋势。这是因为软件的复杂性、软件出错率和软件开发所需时间都呈指数增长（见图 1-7）。

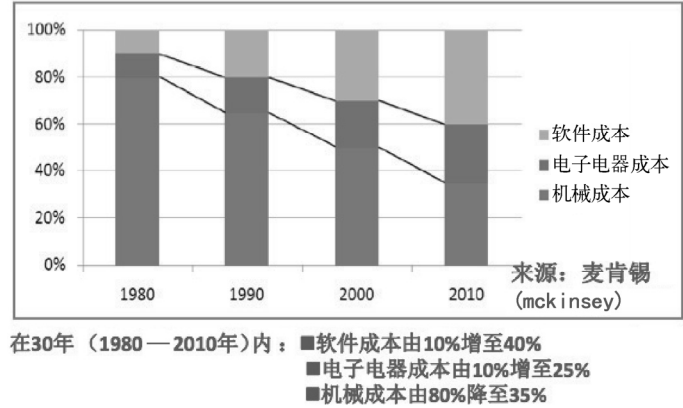


图 1-6 软件成本的变化

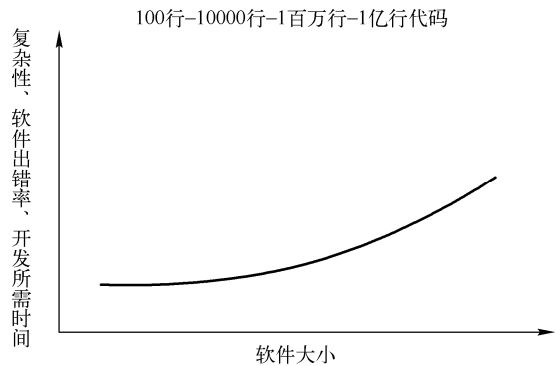


图 1-7 软件复杂性等性能的影响

如何降低工控软件的开发成本、提高工控软件的质量呢？大量事实证明，可行的途径就是彻底实行工控软件的标准化。只有这样才有可能使工业控制系统更可靠和更具有可维护的能力；使所编制的工控软件质量更高，编程的效率更高；也只有这样才能提高工控软件的接受程度和使用率，方便最终用户的应用。

工控软件的标准化有三个目标：软件开发可独立于硬件、软件开发环境具有一致性、软件的安装和维护界面具有一致性。

编程语言是实现软件功能的基础，用什么样的编程语言来编制应用软件，并且为贯穿于整个软件的全生命周期提供坚实的基础和足够的支持，这是开发软件的关键问题。这样的编程语言必须建立在现代软件工程的理论基础之上，用它来实现软件的全生命周期的各种必要功能，它首先必须具备以下特性：① 结构化；② 可分解；③ 可重复使用；④ 软件的执行过程必须可控；⑤ 必须是可以被认证和被确认的。

如图 1-8 所示，当今软件编程语言是由专用语言经过机器语言、汇编语言、过程语言、可视化语言发展到面向对象的语言，作为工控编程语言国际标准的 IEC 61131-3 的最新版本，也把面向对象的编程方法融合到现有的 5 种语言中去，以适应智能制造和工业 4.0 发展的需要。

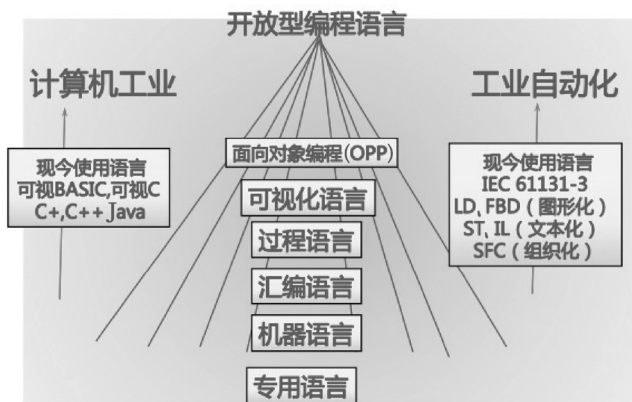


图 1-8 编程语言的发展

实现工控软件的标准化首先是编程语言标准化（采用 IEC 61131-3）；其次是编程的环境和工具实现标准化（采用 IEC 61131-3 的软件模型和模块化的编程架构，文本和图形数据交换的 XML 的 IEC 61131-3 格式规范）；再次是实现对驱动/运动控制设备的存取标准化（采用 PLCopen 运动控制规范），不论是集中的运动控制还是分散的运动控制；还要实现机械设备工控软件的功能安全保证（采用 PLCopen 安全规范），以及实现底层控制器的横向通信集成和垂直通信集成的功能（采用 IEC 61131-3 的 OPC UA 模型和 PLCopen 开发的相关的服务端功能块规范和客户端功能块规范）。

总而言之，现代工业控制软件必须通过标准化、结构化，实现软件的正确性、可靠性、鲁棒性、完整性、持久性、安全性，易于使用。程序结构化使程序结构一目了然，让程序内的各个组成部分的关系清晰，更有利聚焦于问题的解决，同时，程序自成文档，可读性强，