

# 基于 IEC 61131-3

## 标准的控制系统及应用

林小峰 宋春宁 宋绍剑 黄清宝 著



# 基于 IEC 61131-3 标准的 控制系统及应用

林小峰 宋春宁 宋绍剑 黄清宝 著

電子工業出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
北京·BEIJING

## 内 容 简 介

IEC 61131-3 标准是国际电工委员会 (IEC) 制定的工业控制编程语言的标准。IEC 61131-3 标准在工业控制领域中产生了重要影响, 并且成为 PLC, DCS, IPC, CNC 和 SCADA 的编程系统事实上的标准。应用 IEC 61131-3 标准已经成为工业控制领域的趋势。

本书从理论和实践两个方面, 系统地介绍了 IEC 61131-3 标准的背景知识、基本内容、工作原理, 5 种编程语言和编程要领; 详细地介绍了由 IEC 61131-3 标准构成的 PLC, IPC, DCS, ARM7, DSP 嵌入式系统, 以及在采用该标准的系统中实现模糊控制、专家控制、神经网络控制、预测控制等先进控制的方法, 并提供了采用 IEC 61131-3 标准的工程应用实例。

本书可供科研院所的科技人员、工矿企业的工程技术人员、控制器生产厂家的研发人员、控制系统集成人员学习和参考, 也可作为大专院校相关专业的教材或参考书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有, 侵权必究。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

基于 IEC 61131-3 标准的控制系统及应用 / 林小峰等著. —北京: 电子工业出版社, 2007. 8  
ISBN 978-7-121-04909-5

I. 基… II. 林… III. 生产过程 - 控制系统 - 程序设计 - 国际标准 IV. TP278-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 130672 号

责任编辑: 张濮

印 刷: 北京市通州大中印刷厂

装 订: 三河市金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 20.25 字数: 505 千字

印 次: 2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zls@phei.com.cn](mailto:zls@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

# 前 言

IEC 61131-3 标准是国际电工委员会 (IEC) 制定的工业控制编程语言的标准。该标准是 IEC 在合理吸收、借鉴世界范围内各可编程序控制器 (PLC) 厂家的技术及编程语言的基础上, 形成的一套新的国际编程语言标准。IEC 61131-3 标准极大地改进了工业控制系统的编程软件的质量, 提高了软件开发效率; 它规定的 5 种编程语言, 不仅为控制器生产厂家、系统集成工程师的编程带来很大的方便, 而且对最终用户也有很大的益处; 它在技术上的实现是高水平的, 有足够的发展空间和变动余地, 能很好地适应工业控制发展的需要。IEC 61131-3 标准在工业控制领域中产生了重要影响, 被越来越多的制造商和客户所接受, 并且成为 PLC, DCS, IPC, CNC 和 SCADA 的编程系统事实上的标准。IEC 61131-3 标准适用的市场领域还在不断扩大, 应用 IEC 61131-3 标准的产品, 已经成为工业控制领域的趋势。

目前国内外有众多的学者和工程技术人员开展了 IEC 61131-3 标准的研究、开发和应用工作, 但普遍感到缺乏系统而深入地介绍 IEC 61131-3 标准控制技术的书籍。为了推动这一工作的发展, 我们撰写了本书, 希望起到抛砖引玉的作用。

作者长期从事 PLC 技术的教学和科研工作, 在 20 世纪 90 年代出版了《可编程序控制器原理及应用》(高等教育出版社, 1991)、《可编程序控制器例题习题及实验指导》(重庆大学出版社, 1994) 等系列 PLC 技术教材, 并获得教育部全国优秀教材奖、省级科技进步奖。2000 年我们开始进行 IEC 61131-3 标准的研究、开发和应用工作, 承担了科技部国家科技型中小企业技术创新基金、广西自然科学基金、广西科技攻关项目和广西大学重大科研项目, 取得了较大进展, 积累了经验。本书部分内容来自我们多年的研究、开发和应用工作, 也可以说本书是我们多年工作的一个总结。

本书共分 9 章。第 1 章介绍 IEC 61131-3 标准的产生、发展过程、主要特点和应用现状。第 2 章介绍 IEC 61131-3 标准的基本内容、工作原理、软件模型和通信模型, 以及该标准的开发平台软件。第 3 章介绍 IEC 61131-3 标准的 5 种编程语言和编程要领。第 4 章介绍 IEC 61131-3 标准中常用的基本功能块。第 5 章介绍由 IEC 61131-3 标准构成的工业 PC 控制系统, 提供了开关量、模拟量和 PID、神经网络、预测控制算法的应用实例。第 6 章介绍符合 IEC 61131-3 标准的 PLC 系统, 提供了在 PLC 中实现模糊控制、专家控制的应用实例。第 7 章介绍基于 IEC 61131-3 标准的嵌入式控制系统, 提供了当今流行的 PC/104、ARM7、DSP 的软、硬件开发应用实例。第 8 章介绍符合 IEC 61131-3 标准的集散控制系统, 提供了水泥厂应用实例。第 9 章介绍国际电工委员会 (IEC) 推出的拓展 IEC 61131-3 标准功能的 IEC 61499 标准。

本书采用了我们的研究成果和指导的硕士研究生许光泞、孙艺敏、陈斌、高永岩、汪长海、王月生、文科、梁广瑞、张志刚、宋潇潇、王彰云、刘雨楼、马文宝、翟二宁的硕士论文。本书的撰写大纲由林小峰提出和确定。第 1, 8, 9 章由林小峰负责撰写和统稿, 张志刚、宋潇潇参与撰写整理工作; 第 2, 7 章由宋春宁负责撰写和统稿, 王彰云、孙艺敏、刘雨楼、马文宝、翟二宁、王建微参与撰写整理工作; 第 5, 6 章由宋绍剑负责撰写和统稿,

陈斌、许光泞、高永岩参与撰写整理工作；第 3, 4 章由黄清宝负责撰写和统稿，许光泞、陈斌参与撰写整理工作；王建微负责本书的排版工作。在此向他们致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限，并且 IEC 61131-3 标准控制技术正处于发展之中，因此书中的不足之处在所难免，恳请读者来电、来函批评指正，共同促进 IEC 61131-3 标准的推广应用。我们的联系方式：广西省南宁市广西大学电气工程学院，邮编：530004，E-mail: gxlinxf@163.com，电话：0771-3272059。

作者

2007 年 7 月

# 目 录

<b>第 1 章 IEC 61131-3 标准的产生、应用现状和发展</b> .....	1
1.1 IEC 61131-3 标准的产生 .....	1
1.2 IEC 61131-3 标准的主要特点 .....	3
1.2.1 采用软件模块 .....	4
1.2.2 传统 PLC 编程语言的缺点 .....	5
1.2.3 IEC 61131-3 标准编程语言的特点 .....	6
1.2.4 IEC 61131-3 标准的缺陷 .....	8
1.3 IEC 61131-3 标准的应用现状 .....	9
1.4 IEC 61131-3 标准的发展 .....	10
1.4.1 IEC 61131-3 标准的修订和发展 .....	10
1.4.2 IEC 61499 标准 .....	11
<b>第 2 章 IEC 61131-3 标准的基本内容和工作原理</b> .....	13
2.1 语言元素 .....	13
2.1.1 分界符 .....	14
2.1.2 关键字 .....	15
2.1.3 直接量 .....	17
2.1.4 标识符 .....	18
2.2 数据类型 .....	19
2.2.1 基本数据类型 .....	19
2.2.2 导出数据类型 .....	19
2.3 变量 .....	24
2.3.1 变量的表示 .....	24
2.3.2 变量的类型 .....	26
2.3.3 变量的附加属性 .....	26
2.3.4 变量的初始化 .....	28
2.3.5 变量的声明 .....	29
2.4 程序组织单元 .....	30
2.4.1 POU 的组成 .....	31
2.4.2 功能 .....	33
2.4.3 功能块 .....	34
2.4.4 程序 .....	39
2.5 软件模型和通信模型 .....	39

2.5.1	IEC 61131-3 标准软件与实际系统的关系	40
2.5.2	IEC 软件模型	40
2.5.3	通信模型	43
2.6	基于 IEC 61131-3 标准的控制方案	44
2.6.1	基于传统 PLC 的控制方案	44
2.6.2	基于嵌入式控制器的控制方案	45
2.6.3	基于工业 PC (IPC) 的控制方案	45
2.7	基于 IEC 61131-3 标准的开发平台软件	46
<b>第 3 章</b>	<b>IEC 61131-3 标准的 5 种编程语言</b>	<b>52</b>
3.1	指令表语言	52
3.1.1	指令表语言中的指令	52
3.1.2	通用累加器	52
3.1.3	操作符	53
3.1.4	函数和功能块	55
3.1.5	指令表语言应用实例	56
3.2	结构化文本语言	59
3.2.1	结构化文本语言概述	59
3.2.2	语句	61
3.3	梯形图语言	67
3.3.1	梯形图语言的构成元素	68
3.3.2	梯形图的执行	70
3.3.3	梯形图语言应用实例	73
3.4	功能块图语言	73
3.4.1	功能块图语言的构成元素	73
3.4.2	功能块图的执行控制	76
3.4.3	功能块图语言应用实例	76
3.5	顺序功能图语言	77
3.5.1	步	78
3.5.2	转换	79
3.5.3	动作	81
3.5.4	程序结构和步的进展规则	89
3.5.5	顺序功能图语言应用实例	92
<b>第 4 章</b>	<b>IEC 61131-3 标准的功能与功能块</b>	<b>96</b>
4.1	功能	96
4.1.1	类型转换功能	96
4.1.2	数字功能	98
4.1.3	位串功能	101
4.1.4	选择和比较功能	103

4.1.5	字符串功能	105
4.2	功能块	106
4.2.1	标准双稳态功能块	107
4.2.2	标准边沿检测功能块	109
4.2.3	标准计数器功能块	110
4.2.4	标准定时器功能块	111
<b>第5章</b>	<b>基于 IEC 61131-3 标准的 IPC 控制系统</b>	<b>115</b>
5.1	基于 PC 的软逻辑控制技术概述	115
5.2	系统结构	116
5.2.1	基于 PC 的控制	116
5.2.2	IPC 的组成	116
5.2.3	基于 PC 的软逻辑控制系统的结构及功能	117
5.3	基于 IPC 的软逻辑控制实例 1——电梯模型控制	120
5.3.1	被控对象	120
5.3.2	系统硬件结构	121
5.4	基于 IPC 的软逻辑控制实例 2——电加热炉 PID 控制	123
5.4.1	PID 模块的构建	123
5.4.2	系统硬件结构	126
5.4.3	电加热炉 PID 控制	126
5.5	单神经元自适应控制	127
5.5.1	单神经元自适应 PSD 智能控制器的设计	127
5.5.2	基于 IEC 61131-3 标准的神经网络控制系统的实现	129
5.6	预测控制	132
5.6.1	单变量动态矩阵控制算法	132
5.6.2	预测控制软件	136
5.6.3	符合 IEC 61131-3 标准的三温区电加热炉预测控制系统	138
<b>第6章</b>	<b>基于 IEC 61131-3 标准的 PLC 控制系统</b>	<b>144</b>
6.1	概述	144
6.1.1	现代可编程控制器的特点	144
6.1.2	可编程控制器的发展趋势	145
6.1.3	传统 PLC 到现代可编程控制器	147
6.2	现代可编程控制器的硬件系统	148
6.2.1	硬件组成	148
6.2.2	系统配置	150
6.3	现代可编程控制器的软件系统	152
6.3.1	硬件配置软件	152
6.3.2	编程开发环境 (Parady-m-31) 简介	157
6.4	三温区电加热炉模糊控制系统	162



6.4.1	模糊控制系统开发软件 FCDS .....	163
6.4.2	模糊控制器的设计步骤 .....	163
6.4.3	三温区电加热炉模糊控制系统工作原理 .....	170
6.4.4	控制系统程序编制 .....	172
6.4.5	实时监控 .....	173
6.5	三容水箱专家控制系统 .....	175
6.5.1	专家控制系统开发工具 ECSS 概述 .....	175
6.5.2	ECSS 的关键技术原理 .....	176
6.5.3	ECSS 使用初步 .....	180
6.5.4	三容液位装置的特点及其专家控制系统的工作原理 .....	182
6.5.5	专家控制器模块的开发 .....	183
6.5.6	三容液位专家控制系统 PLC 控制程序的编制 .....	187
6.5.7	实时监控 .....	188
<b>第 7 章</b>	<b>基于 IEC 61131-3 标准的嵌入式控制系统 .....</b>	<b>190</b>
7.1	概述 .....	190
7.1.1	嵌入式控制系统硬件平台的选择 .....	190
7.1.2	嵌入式控制系统实时操作系统的选择 .....	192
7.1.3	基于 IEC 61131-3 标准的嵌入式控制系统 .....	193
7.2	基于 PC/104 的控制系统 .....	193
7.2.1	PC/104 简介 .....	193
7.2.2	PC/104 的优点 .....	194
7.2.3	PC/104 软件设计 .....	195
7.2.4	基于 PC/104 的软逻辑控制系统结构 .....	197
7.2.5	彩灯循环控制实例 .....	201
7.3	基于 ARM7 S3C44B0 的城市路灯监控系统 .....	202
7.3.1	城市路灯监控系统的基本结构 .....	202
7.3.2	远程监控终端的硬件组成 .....	203
7.3.3	远程监控终端的软件组成 .....	205
7.3.4	基于 IEC 61131-3 标准的软逻辑系统在 $\mu$ Clinux 上的实现 .....	206
7.3.5	城市路灯监控系统 IEC 控制程序的实现 .....	214
7.4	基于 AT91 55800 的糖厂澄清工段 pH 值控制系统 .....	218
7.4.1	糖厂澄清工段生产工艺及控制要求 .....	218
7.4.2	检测机构和控制阀门 .....	220
7.4.3	pH 值控制系统的硬件组成 .....	221
7.4.4	pH 值控制系统的软件组成 .....	224
7.5	基于 DSP 的运动控制系统 .....	239
7.5.1	TMS320F2812 的基本结构 .....	239
7.5.2	基于 TMS320F2812 的运动控制系统的设计 .....	240
7.5.3	基于 IEC 61131-3 标准的运动控制系统的实现 .....	243

<b>第 8 章 基于 IEC 61131-3 标准的集散控制系统</b>	252
8.1 DCS 的发展历史和基本结构	252
8.2 最新的 DCS 体系结构和技术特征	253
8.3 DCS 和 IEC 61131-3 标准的关系	254
8.3.1 DCS 系统采用 IEC 61131-3 标准	255
8.3.2 IEC 61131-3 标准在 DCS 中的实际运用	255
8.4 基于 IEC 61131-3 标准的 DCS	256
8.4.1 Industrial IT 系统	256
8.4.2 SIMATIC PCS7 过程控制系统	258
8.4.3 NETWORK 6000 系统	259
8.5 基于 IEC 61131-3 标准的 DCS 在水泥生产中的应用	261
8.5.1 水泥生产工艺简介	261
8.5.2 Freelance 2000 的实现	262
8.5.3 基于 IEC 61131-3 的先进控制程序的实现	266
<b>第 9 章 IEC 61499 标准</b>	273
9.1 概述	273
9.1.1 IEC 61131-3 标准的缺点	273
9.1.2 IEC 61499 标准简介	275
9.2 IEC 61499 标准中的模型	280
9.2.1 系统模型	281
9.2.2 设备模型	281
9.2.3 资源模型	282
9.2.4 应用模型	282
9.2.5 功能块模型	284
9.2.6 分布模型	287
9.2.7 管理模型	287
9.2.8 操作状态模型	289
9.3 各种功能块与子应用类型	290
9.3.1 基本功能块	291
9.3.2 复合功能块	296
9.3.3 子应用	300
9.3.4 服务接口功能块	303
9.4 IEC 61499 标准小结	305
<b>参考文献</b>	307

# 第 1 章 IEC 61131-3 标准的产生、应用现状和发展

## 1.1 IEC 61131-3 标准的产生

近年来, IEC 61131 标准已成为工业自动化的基础性国际标准。不仅各类可编程控制器 (PLC) 产品, 而且集散控制系统 (DCS)、人机界面 (HMI) 和现场总线等, 这些产品的制造商都提供基于国际标准 IEC 61131 的编程体系。

IEC 61131 标准将信息技术领域一些先进的思想和技术 (如软件工程、结构化编程、模块化编程、面向对象的思想 and 网络通信技术等) 引入工业控制领域, 弥补、克服了传统的 PLC 和 DCS 等控制系统的弱点 (如开放性差、兼容性差、应用软件可维护性差和可再用性差等)。对于符合这一标准的控制器, 即使它们由不同制造商生产, 其编程语言也是相同的, 使用方法也是类似的。因此, 工程师们可以做到“一次学习、各处使用”, 从而减少了企业在人员培训、技术咨询、系统调试和软件维护等方面的成本。

1993 年, 国际电工委员会 (IEC) 正式颁布了可编程控制器的国际标准 IEC 1131 (以后改称为 IEC 61131)。其中的第三部分是关于编程语言的标准 IEC 61131-3, 规范了可编程控制器的编程语言及其基本元素。这一标准对于可编程控制器软件技术的发展, 乃至整个工业控制软件技术的发展, 起到了举足轻重的推动作用。它是全世界控制工业第一次制定的有关数字控制软件技术的编程语言标准。此前, 国际上还没有具有实际意义的、为制定通用的控制语言而开展的标准化活动。这显然是注意到, 由于 DCS 等以数字技术为基础的控制装置在发展进程中过于专有化, 给用户带来了大量不便。可以说, 没有编程语言的标准化, 便没有今天 PLC 走向开放式系统的坚实基础。

IEC 61131-3 标准并不是一个完全创新的标准, 其软件技术基础来源于 IT 技术的进步, 部分内容是组合和延续以前的相关标准, 并且参考了其他的国际标准 (如 IEC 50, IEC 599, IEC 617-12, IEC 617-13, IEC 848, ISO 7185, ISO 7498 标准等)。

1992 年以后, IEC 61131 标准的各个部分陆续颁布施行, 具体有:

IEC 61131-1 标准——通用信息 (1992);

IEC 61131-2 标准——装置要求与测试 (1992);

IEC 61131-3 标准——编程语言 (1993);

IEC 61131-4 标准——用户导则 (1995);

IEC 61131-5 标准——通信服务规范 (2000);

IEC 61131-6 标准——现场总线通信 (保留将来使用);

IEC 61131-7 标准——模糊控制编程 (2000);

IEC 61131-8 标准——IEC 61131-3 标准编程语言应用和实现导则 (2001)。

### 1. IEC 61131-1 标准 (通用信息)

IEC 61131-1 标准应用于 PLC 及其相关的外围设备, 如编程和调试工具 (PADT)、人机界面等, 它们用于机器人和工业进程中的控制。

PLC 及其相关的外围设备作为开放或封装设备用于工业环境中。该标准要求, 如果一个 PLC 或其相关的外围设备欲用于其他的环境, 则其他环境的特殊要求、标准和安装要求也必须能够用于 PLC 及其相关的外围设备。

### 2. IEC 61131-2 标准 (装置要求与测试)

IEC 61131-2 标准规定了 PLC 及其相关的外围设备 (如编程和调试工具、人机界面等) 的要求和相关测试要求。

该标准具体指出了选择和应用 PLC 及其相关的外围设备的主要特点, 规定了对功能、电气、机械、环境和建筑特点的最低要求, 以及 PLC 及其外围设备的服务条件、安全性要求、EMC 要求、用户编程和测试要求。其中, 测试为类型测试或生产常规测试, 而不是关于 PLC 系统应用方式的测试。

### 3. IEC 61131-3 标准 (编程语言)

IEC 61131-3 标准规定了 PLC 编程语言的语法和语义, 并描述了 PLC 与规定的程序登录、测试、监视和操作系统的功能, 是一个为工业控制系统提供标准化编程语言的国际标准。

### 4. IEC 61131-4 标准 (用户导则)

IEC 61131-4 标准可作为 PLC 系统应用其他方面的参考。该标准的使用对象是: IEC 61131-3 标准定义的 PLC 系统用户, 编程、组态、安装和维护 PLC 作为工业过程测量和控制系统一部分的人员。

IEC 61131-3 标准中定义的编程语言的实现人员, 包括这些系统的程序准备和维护的软件供应商和硬件供应商, 以及可编程控制器系统的供应商。相比来说, IEC 61131-3 标准主要面向 PLC 编程语言的实现人员。

### 5. IEC 61131-5 标准 (通信服务规范)

IEC 61131-5 标准描述的是 PLC 的通信问题, 即通过通信网络连接在一起的多台 PLC 之间如何实现状态及控制信息的交换、如何启动执行命令。执行命令包括重新启动资源和下载配置等。IEC 61131-5 标准的通信服务包括两个方面: 服务器设备和客户设备。

IEC 61131-5 标准以国际标准化组织 (ISO) 的七层网络协议参考模型为基础, 在应用层上建立了 IEC 61131-5 标准的通信模型。从理论上说, IEC 61131-5 标准允许各 PLC 之间通过任何类型的网络进行通信。在 IEC 61131-5 标准中定义的通信设备的许多概念来自 IEC 61131-3 标准, 如存取路径和通信功能块等。

在 IEC 61131-5 标准中, 通信模型的建立以及从通信功能块到 ISO/IEC 9605-5 标准的制造报文规范中给定服务的映射, 这些不但从理论上实现了各 PLC 之间通过任何类型的网络进行通信的能力, 而且还大大地扩展了 PLC 系统与其他自动化控制系统 (如数控机床、机器人等) 进行通信、集成的能力。

### 6. IEC 61131-7 标准 (模糊控制编程)

模糊控制编程标准的目标在于, 使制造商和用户达到一个基本意义上的共识, 从而根据

IEC 61131-3 标准将 PLC 编程语言中模糊控制的应用综合起来, 并提供在不同的编程系统之间交换可移动模糊控制程序的可能性。

在控制应用中, 将模糊逻辑理论定义为模糊控制。模糊控制技术能够增强工业自动化的能力, 并适合于一般在 PLC 上执行的控制层的任务。

已经实现的现有理论和系统在模糊控制领域中的术语(定义)、特征(功能)和实现(工具)有很大的不一致性。模糊控制覆盖从小而简单的应用到精细而复杂的项目。IEC 61131-7 标准就是为了概括所有的应用, 把模糊控制系统的特征映射到所定义的一致性的类别中。

### 7. IEC 61131-8 标准 (IEC 61131-3 标准编程语言应用和实现导则)

IEC 61131-8 标准应用于 PLC 系统的编程, 编程中使用 IEC 61131-3 标准中定义的编程语言。该标准也为实现在 PLC 系统及其程序支持环境 (PSE) 下的这些语言提供导则, 为可编程控制器系统应用提供编程、组态、安装和维护的指南。

另外, 2000 年 8 月由 PLCopen 组织向 IEC 提出增加 IEC 61131-X 标准 (功能安全性)。这主要是依据《IEC 61508 与安全有关的电气/电子/可编程电子系统的功能安全性》并结合 PLC 的具体情况提出的, 目前尚处在草案阶段。

## 1.2 IEC 61131-3 标准的主要特点

IEC 61131-3 标准的制定, 集中了美国、加拿大、欧洲 (主要是德国、法国) 和日本等 7 家国际性工业控制企业的专家和学者的智慧和经验。在制定这一编程语言标准的过程中, PLC 正处在其发展和推广应用的鼎盛时期。在北美和日本, 普遍运用梯形图语言编程; 在欧洲, 则使用功能块图语言和顺序功能图语言; 在德国和日本, 又常常采用指令表语言对 PLC 进行编程。为了扩展 PLC 的功能, 特别是加强它的数据处理、文字处理和通信的能力, 许多 PLC 还允许使用高级语言 (如 BASIC 语言、C 语言)。因此, 制定这一标准的首要任务就是把现代软件的概念和现代软件工程的机制应用于传统的 PLC 编程语言。IEC 61131-3 标准规定了两大类编程语言: 文本化编程语言和图形化编程语言。前者包括指令表 (Instruction List, IL) 语言和结构化文本 (Structured Text, ST) 语言, 后者包括梯形图 (Ladder Diagram, LD) 语言和功能块图 (Function Block Diagram, FBD) 语言。对于顺序功能图 (Sequential Function Chart, SFC) 语言, 标准不把它单独列为编程语言的一种, 而是将它在公用元素中予以规范。这就是说, 在文本化语言和图形化语言中, 都可以运用 SFC 的概念、句法和语法。

IEC 61131-3 标准允许在同一个 PLC 中使用多种编程语言, 允许程序开发人员对每一个特定的任务选择最合适的编程语言, 还允许在同一个控制程序中的不同软件模块内使用不同的编程语言。这一规定妥善地继承了 PLC 发展历史中形成的编程语言多样化的现实, 又为 PLC 软件技术的进一步发展提供了足够的空间。

自 IEC 61131-3 标准正式公布后, 它获得了广泛的接受和支持。国际上各大 PLC 厂商都宣布其产品符合该标准 (尽管这些公司的软件工具距离标准的 IEC 61131-3 标准语言尚有一定距离), 在推出其编程软件新产品时, 遵循该标准的各种规定。许多稍后推出的 DCS 产品或 DCS 的更新换代产品, 也遵照 IEC 61131-3 标准, 提供 DCS 的编程语言, 而不像以前每个 DCS 厂商都推行自己的一套规范。以 PC 为基础的控制作为一种新兴的控制技术正在迅速发展, 大多数 PC 控制软件开发商都按照 IEC 61131-3 标准规范其软件产品的特性。

正因为有了 IEC 61131-3 标准，才真正出现了一种开放式的 PLC 编程软件包，它不具体地依赖于特定的 PLC 硬件产品，这就为 PLC 的程序在不同机型之间的移植提供了可能。

### 1.2.1 采用软件模块

IEC 61131-3 标准定义了软件模块，通过模块把 PLC 看做一种具有能执行多种任务的结构控制器，其特长是用下述概念把控制器作为阶层结构从软件的观点实现模块化。

**配置 (configuration):** 表示控制器的最上层概念，对应于 PLC 系统。

**资源 (resource):** 构成配置的要素，具有实行用户程序所必要的特征。

**程序 (program):** 用户程序的逻辑管理单元。

**功能块 (function block):** 构成程序的其中一个逻辑管理单元。

**任务 (task):** 能把程序和功能块联系起来，规定其执行方法。

**功能 (function):** 用户程序的一个构成要素。

**POU (Program Organization Unit):** 程序、功能块、功能的总称。

如图 1.1 所示，IEC 61131-3 标准提出的软件模型是整个标准的基础性理论工具，帮助人们完整地理解除编程语言以外的全部内容。

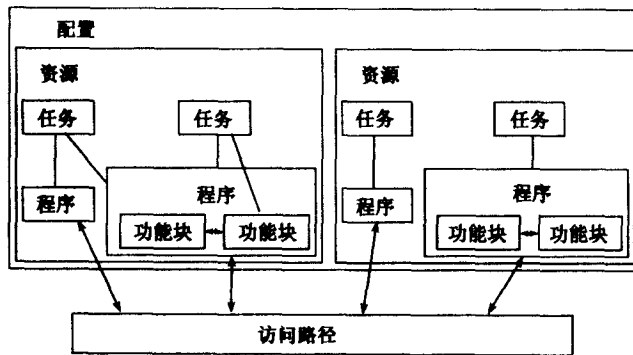


图 1.1 IEC 61131-3 标准规定的软件模型

**配置**——在软件模型的最上层，把解决一个具体控制问题的完整软件概括为一个“配置”。它专指一个特定类型的控制系统，包括硬件装置、处理资源、I/O 通道的存储地址和系统能力，等同于一个 PLC 的应用程序。在一个由多台 PLC 构成的控制系统中，每一台 PLC 的应用程序就是一个独立的“配置”。

**资源**——在一个配置中可以定义一个或多个“资源”。可把资源看做能执行 IEC 程序的处理手段，它反映 PLC 的物理结构，在程序和 PLC 的物理 I/O 通道之间提供了一个接口。只有在装入资源后才能执行 IEC 程序。一般而言，资源通常放在 PLC 内，当然它也可以放在其他支持 IEC 程序执行的系统内。

**任务**——在一个资源内可以定义一个或多个“任务”。任务被配置后可以控制一组程序或功能块。这些程序和功能块可以周期地执行，也可以由一个事件驱动来执行。

**程序**——一个 IEC 程序可以用符合 IEC 61131-3 标准的编程语言来编写。典型的 IEC 程序由许多互连的功能块和/或函数组成，每个功能块之间可相互交换数据。函数与功能块是基本的组成单元，其中包括一个数据结构和一种算法。

下面将 IEC 61131-3 标准的软件模型与传统的 PLC 软件模型（包括一个资源，运行一个任务，控制一个程序，且运行于一个封闭系统中）进行比较，如图 1.2 所示。

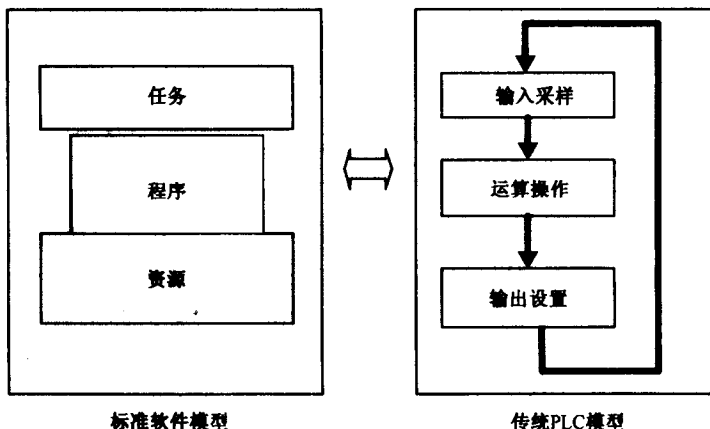


图 1.2 IEC 61131-3 标准的软件模型与传统的 PLC 软件模型比较

可以看出，IEC 标准的软件模型在传统的 PLC 软件模型的基础上增加了许多内容。

(1) IEC 61131-3 标准的软件模型是一种分层结构，每一层均隐含其下层的许多特征。

(2) 将一个复杂的程序分解为若干个可以进行管理和控制的小单元，这些小单元之间存在着清晰而规范的界面。

(3) 可满足由多个处理器构成的 PLC 系统的软件设计。

(4) 可方便地处理事件驱动的程序执行，而传统的 PLC 软件模型仅采用按时间周期执行的程序结构。

(5) 对以工业通信网络为基础的集散控制系统（例如，由现场总线将分布于不同硬件内的功能块构成一个具体的控制任务），尤其是软逻辑/PC 控制等正在发展中的新兴控制技术，该软件模型均可覆盖和适用，足以映像各类实际系统。

(6) 对于只有一个处理器的小型系统，其模型只有一个配置、一个资源和一个程序，与现在大多数 PLC 的情况完全相符。对于有多个处理器的中、大型系统，整个 PLC 被当做一个配置，每个处理器都用一个资源来描述，而一个资源则包括一个或多个程序。对于集散型系统，将包含多个配置，而一个配置又包含多个处理器，每个处理器用一个资源描述，每个资源又包括一个或多个程序。

### 1.2.2 传统 PLC 编程语言的缺点

传统 PLC 最常用的编程语言是梯形图。它虽然遵从了广大电气自动化人员的专业习惯，易学易用，但是也存在许多难以克服的缺点。

- ① 程序可移植性差。不同厂商的 PLC 产品，其梯形图的符号和编程规则均不一致。
- ② 程序可复用性差。传统的梯形图编程很难在调用子程序时通过变量赋值实现相同的逻辑算法和策略的反复使用。
- ③ 程序封装能力差。梯形图编程难以实现各程序模块之间具有清晰接口的模块化，也难以对外部隐藏程序模块的内部数据，无法实现程序模块的封装。

- ④ 不支持数据结构。梯形图编程不支持数据结构，无法将数据组织形成高级语言中数据结构那样的数据类型。所以对于一些复杂应用的编程，它几乎无能为力。
- ⑤ 程序执行具有局限性。由于传统 PLC 按扫描方式组织程序的执行，所以整个程序的指令代码完全按顺序逐条执行。对于要求即时响应的程序应用（如执行事件驱动的程序模块），这种方式具有很大的局限性。
- ⑥ 在进行顺序控制功能编程时，一般只能为每一个顺序控制状态定义一个状态位，难以实现选择或并行等复杂的顺序控制操作。

另外，传统的梯形图编程在算术运算处理、字符串或文字处理等方面均不能提供强有力的支持。在 IEC 61131-3 标准的制定过程中，面临着在突破旧有编程语言的不足的同时，又要继承其合理和有效的部分的问题。在 IEC 61131-3 标准中规定了 50 种标准功能，12 种标准功能块。为使语言形式切合需要，用户也可以编制功能和功能块。各个厂家在采用 IEC 61131-3 标准时，提供很多 PLC 的应用指令作为功能和功能块。

### 1.2.3 IEC 61131-3 标准编程语言的特点

IEC 61131-3 标准中的控制编程语言主要借鉴了高级语言的技术，即吸收了高级语言的模块化、结构化的程序设计思想。

DCS 或 PLC 控制系统是计算机应用领域中的一个重要门类，其控制方案要通过程序来实现。目前，市场上还存在利用通用程序语言（如 C 语言、汇编语言）来实现控制方案的产品。当然，绝大部分的系统已经采用了特殊的、更适合工业领域的编程语言，如梯形图、功能块图和顺序功能图等。这些程序语言可以看做特殊应用领域的特殊编程方法，它们只是以一种简化的、比通用程序语言更直观的、图形化的、并且符合工业技术传统的方式来完成控制程序。在我国，普遍将控制系统的软件编程通称为“组态”。

IEC 61131-3 标准的结构在程序、函数和功能块方面与 C 语言类似。同时，IEC 61131-3 标准还具有一些特殊点，如配置、资源和任务，这些都是与控制系统相关的特殊之处。

#### 1. C 语言和 IEC 61131-3 标准控制编程语言的区别

C 语言可执行程序的生成过程如下。首先，程序员在 C 语言程序编辑器中编辑程序源代码文件（\*.c）；然后，用编译器（compiler）编译源代码，编译是一个翻译过程，它将程序员编写的类自然语言的源程序文件翻译为机器指令，并以目标文件（\*.obj）的形式存放在磁盘上；目标文件不能装入内存运行，最后还必须使用连接程序（linker）连接为可执行程序文件（\*.exe）。

IEC 61131-3 标准的控制编程也有类似的过程，最大的不同点在于 IEC 61131-3 标准定义了 5 种编程语言。一般一个符合 IEC 61131-3 标准的控制编程软件，为了方便各种用户的使用习惯，往往同时提供 5 种语言的编辑器。在本质上，编辑器只是提供给用户的编程界面，采用不同的编辑界面生成的程序代码可以完全是相同的，这就如同要生成一个 \*.txt 文件可采用多种编辑工具一样。在许多 IEC 61131-3 标准软件中还支持语言间的切换，如西门子的 STEP7 支持 IL, LD, FBD 程序语言间的相互切换，实际用这 3 种语言编写保存的程序代码具有一致性。

IEC 61131-3 标准的控制编程与 C 语言编程还有一个不同点是，C 语言程序经过编译、连



接后即生成可直接运行的程序，而 IEC 61131-3 标准的程序由于还支持多任务、中断事件、通道的输入/输出、与其他系统的通信等复杂功能，往往还需要一个起管理调度作用的控制器运行程序来接收、调度、运行符合 IEC 61131-3 标准的执行程序。

IEC 61131-3 标准的优势在于它成功地将现代软件的概念和现代软件工程的机制用于传统的 PLC 编程语言。它的不足是因为它在体系结构上和硬件上依赖于传统的 PLC 体系结构而造成“先天不足”。

## 2. IEC 61131-3 标准的优势

(1) 采用现代软件模块化原则，将常用的程序功能划分为若干单元并加以封装，构成编程的基础。模块化时只设置必要的、尽可能少的输入和输出参数，尽量减小交互作用，尽量减少内部数据交换。模块化接口之间的交互作用均采用显性定义，将信息隐藏于模块内，所以使用者只需要了解该模块的外部特性（即功能、输入/输出参数），而不必了解模块内算法的具体实现方法。

(2) IEC 61131-3 标准支持自顶而下 (top-down) 和自底而上 (bottom-up) 的程序开发方法，如图 1.3 所示。用户可采用自顶而下的方法，即先进行总体设计，将控制应用划分若若干个部分，定义应用变量，然后编制各个部分的程序。用户也可以先从底部开始编程，例如，先导出函数和功能块，再按照控制要求编制程序。无论选择何种开发方法，IEC 61131-3 标准所创建的开发环境均会在整个编程过程中给予强有力的支持。

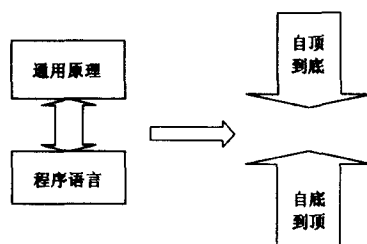


图 1.3 IEC 61131-3 标准的程序开发方法

(3) IEC 61131-3 标准所规范的编程系统独立于任何一个具体的目标系统，它可以最大限度地不同的 PLC 目标系统中运行。这样就创造了一种具有良好开放性的氛围，奠定了 PLC 编程开放性的基础。

(4) 将现代软件概念浓缩并加以运用。例如，数据使用 DATA\_TYPE 说明机制、函数使用 FUNCTION 说明机制、数据和函数的组合使用 FUNCTION\_BLOCK 说明机制。

在 IEC 61131-3 标准中，功能块并不只是 FBD 语言的编程机制，它还是面向对象组件的结构基础。一旦完成了某个功能块的编程，并通过调试和试用证明了它确能正确执行所规定的功能，那么就不允许用户再将它打开，改变其算法。如果一个功能块因为其执行效率有必要再提高，或者在一定条件下其功能执行的正确性存在问题而需要重新编程，那么只要保持该功能块的外部接口（输入/输出定义）不变，就仍可照常使用。同时，许多原创设备制造厂（OEM）将它们的专有控制技术压缩在用户自定义的功能块中，既可以保护知识产权，又可以反复使用，不必一再地为同一个目的而编写和调试程序。

(5) 标准要求严格的数据类型定义。这意味着，IEC 61131-3 标准编程语言可以有效地限制程序开发人员对一个变量做出错误的数据类型定义。

在软件工程中，人们很早就认识到，许多编程的错误往往是因为数据在程序不同部分的表达和处理不同。IEC 61131-3 标准从源头上注意防止这类低级的错误，虽然采用的方法可能导致效率降低一点，但换来的价值却是程序的可靠性、可读性和可维护性。IEC 61131-3 标准采用以下方法防止这些错误。