

何衍庆 黎 冰 黄海燕 编著

自动控制技术应用丛书

可编程控制器 编程语言及应用



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

自动控制技术应用丛书

可编程控制器编程语言及应用

何衍庆 黎冰 黄海燕 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

可编程控制器是以微处理器为基础的工业控制装置,被广泛应用于工业领域的各行各业。本书上篇介绍了 IEC61131-3 编程语言标准,它包括指令表和结构化文本两种文本类编程语言、梯形图和功能块图两种图形类编程语言,以及适用于上述编程语言的顺序功能表图编程语言。下篇介绍了可编程控制器的基本原理、工程设计技术和通信系统。全书附有应用示例来说明可编程控制器的编程、设计、使用和有关的应用方法。

本书从实用性和普及与提高相结合出发,针对可编程控制器的特点,有的放矢地介绍标准编程语言,并结合工业应用进行分析和讨论。

本书可作为相关专业大学本专科学生的教材和课外参考书,也可作为工矿企业、科研单位工程技术人员的参考书或继续教育的教材。

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

可编程控制器编程语言及应用/何衍庆,黎冰,黄海燕编著. —北京:电子工业出版社,2006.4
(自动控制技术应用丛书)

ISBN 7-121-02390-3

I. 可… II. ①何… ②黎… ③黄… III. 可编程控制器—程序设计 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 020813 号

责任编辑:张 榕

特约编辑:刘汉斌

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:23.75 字数:532 千字

印 次:2006 年 4 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:36.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

《自动控制技术应用丛书》

编 委 会

主任委员 陈在平 杨公源

顾 问 徐伯夏

委 员 (按姓氏笔画为序)

王 悦 龙邦强 李国勇 刘文芳 何衍庆

陈云军 杨中力 岳有军 赵新杰 娄 锐

郭会娟 高 强 黄琦兰

《自动控制技术应用丛书》

序 言

随着工业生产的快速发展，人们对生产过程提出了更高的要求，然而由于控制过程及其对象更加复杂，因此要实现生产加工过程的理想控制就更加困难。近年来，随着控制领域的新理论与新技术、计算机与网络技术的飞速发展，以及机械、电子与控制技术的相互渗透与融合，为实现生产加工过程的高品质控制提供了可能，同时也对工作在实际工程应用领域的技术人员提出了新的挑战。这就要求他们根据自身的工作需要，熟悉和掌握在新的形势下所出现的先进控制手段与方法及新的机电控制与应用技术。

有鉴于此，为了满足广大工程技术人员的要求，电子工业出版社应用电子技术事业部组织编写了这套自动控制技术应用丛书。本套丛书涵盖了当前广大工程技术人员迫切需要的控制和机电应用等领域的新知识、新技术。丛书的主要作者都是在该领域具有一定经验和水平的专家或工程技术人员。

在当今控制技术飞速发展、应用范围不断扩大的形势下，编写这套技术丛书，非常及时。丛书主要从工程应用的角度出发，以比较成熟的新理论与技术为基础，应用举例详实具体，就解决控制工程中的实际问题给广大工程技术人员提供尽可能多的帮助。相信读者在阅读丛书时，会从不同角度得到许多有益的启示。

编写出版《自动控制技术应用丛书》，对于我们也是一种挑战，难免会存在各种不足或缺点，恳请广大读者给予理解和支持，并希望得到大家的批评指正。在本丛书的编写出版过程中还得到了电子工业出版社的有关领导及出版界专家的指导与帮助，特别是电子工业出版社应用电子技术部赵丽松主任及张榕编审对推动本套丛书的出版起到了至关重要的作用，对此我们表示衷心的感谢。

《自动控制技术应用丛书》编委会

前 言

1993 年 IEC 颁布可编程控制器的国际标准 IEC1131, 将信息技术领域的先进思想和技术引入工业控制领域, 弥补或克服了传统 PLC、DCS 等控制系统的开放性差、兼容性差、应用软件可维护性差, 以及可再用性差等弱点。该标准已在发达国家得到广泛应用, 不符合该标准的产品已不被最终用户接受。

IEC61131-3 编程语言标准已对整个控制领域形成巨大冲击。它不仅适用于 PLC 产品, 而且适用于运动控制产品、DCS 和基于工业 PC 的软逻辑、SCADA 等。其适用的市场领域正在不断扩大。采用符合 IEC61131-3 标准的产品, 已经成为工业控制领域的发展趋势。

我国可编程控制器硬件的开发和应用并不早, 但对国际标准编程语言的使用跟得还是较紧的。1995 年相继颁布与国际标准等效的国家标准。由于对该标准及有关产品的推广工作还做得不够, 许多技术人员至今还不知道有这样的国际标准和国家标准。

2005 年我国成立由中国机电一体化技术应用协会为首的 PLCOpen 中国组织 (PC5), 迈出了可喜步伐, 它标志我国与国际标准接轨的决心。但还有标准推广介绍、资料翻译、可编程控制器标准产品的各级认证和授权等大量工作要做。为了更好地推广介绍该标准, 我们编写了本书。

本书可作为自动化和仪表专业本专科学生的专业课教材, 也可作为相关专业大学本专科学生的教材和课外参考书, 还可作为工矿企业、科研单位工程技术人员的参考书或继续教育的教材, 以及设计部门技术人员的参考资料。

本书分上、下两篇共 9 章。上篇 5 章介绍编程语言及应用, 下篇 4 章介绍可编程控制器及应用。其中, 第 1 章概述, 介绍编程语言的基本概念。第 2 章文本类编程语言, 讨论指令表和结构化文本编程语言, 并附应用示例。第 3 章图形类编程语言, 讨论梯形图和功能块图编程语言, 并附应用示例。第 4 章顺序功能表图编程语言, 讨论顺序功能表图的三要素及编程方法, 并附应用示例。第 5 章编程系统的软件, 介绍 4 种符合编程语言标准的编程系统软件。第 6 章可编程控制器工作原理。第 7 章可编程控制器系统的工程设计, 介绍工程设计中的有关问题, 包括选型和设计等。第 8 章可编程控制器的应用, 介绍编程技巧和设计方法, 并附有多个应用示例的分析和编程。第 9 章可编程控制器系统的通信技术, 介绍通信基本概念和可编程控制器通信硬件和软件应用。

本书由何衍庆、黎冰、黄海燕编著。本书的编写工作得到华东理工大学教务处、信息学院和自动化系等单位的关心和支持, 刘百祥、邵志清、王慧锋、顾幸生、凌志浩、孙自强、张正清等先生给予大力支持, PLCopen、科维、施耐德、SIXNET、一方梯队等组织和公司的 Wal、方舟、Glaske、Brendel 等先生提供了大量资料和技术支持, 冯保罗、何乙

平、倪雁、王朋、陈积玉、蒋明华、洪光明、范秀兰、何展敏等同志提供了不少帮助，本书的出版还得到电子工业出版社有关领导和编辑的大力支持和帮助，谨在此一并表示衷心感谢和诚挚谢意。

由于时间和编著者的水平所限，错漏在所难免，恳请读者不吝指正。

编 著 者

目 录

上篇 编 程 语 言

第 1 章 概述	3
1.1 编程语言发展和标准	3
1.1.1 编程语言的基本概念	3
1.1.2 编程语言的发展史	4
1.1.3 编程语言的标准化	6
1.1.4 编程语言的特点	8
1.2 软件、通信和功能模型	10
1.2.1 软件模型	10
1.2.2 通信模型	17
1.2.3 功能模型	19
1.3 变量、数据和程序组织单元	20
1.3.1 语言元素	20
1.3.2 数据外部表示	27
1.3.3 数据类型	30
1.3.4 变量	37
1.3.5 程序组织单元	43
第 2 章 文本类编程语言	76
2.1 文本类编程语言的公用元素	76
2.1.1 文本类编程语言概述	76
2.1.2 文本类编程语言的公用元素	76
2.2 指令表编程语言	77
2.2.1 指令	77
2.2.2 功能和功能块	87
2.2.3 称重显示功能的示例	91
2.3 结构化文本编程语言	92
2.3.1 结构化文本的表示	92
2.3.2 语句	95

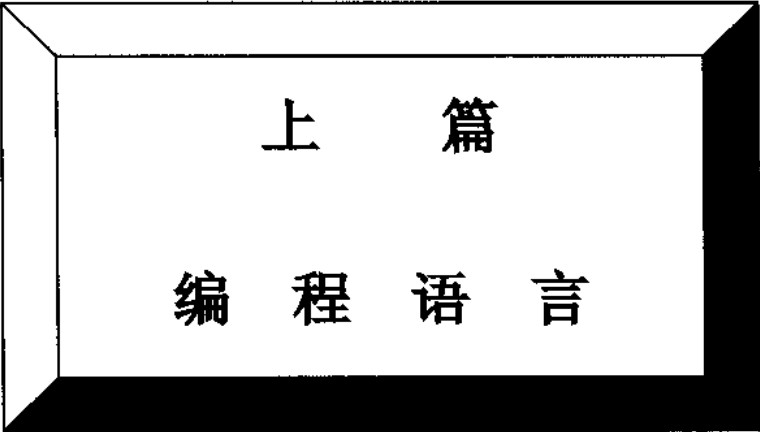
2.3.3 示例	104
第 3 章 图形类编程语言	110
3.1 图形类编程语言的公用元素	110
3.1.1 线、模块和流向	110
3.1.2 网络和执行控制元素	111
3.2 梯形图编程语言	115
3.2.1 梯形图的组成元素	115
3.2.2 梯形图的执行	121
3.2.3 液位控制系统示例	123
3.3 功能块图编程语言	125
3.3.1 功能块图编程语言的图形符号和功能块组合	125
3.3.2 功能块的编程和执行	127
3.3.3 示例	128
第 4 章 顺序功能表图编程语言	133
4.1 顺序功能表图的三元素	133
4.1.1 基本概念	133
4.1.2 步	134
4.1.3 转换	140
4.1.4 有向连线	144
4.1.5 程序结构	144
4.2 顺序功能表图编程语言	146
4.2.1 顺序功能表图的进展	147
4.2.2 顺序功能表图的兼容	158
4.2.3 交通信号控制系统的示例	158
第 5 章 编程系统的软件	164
5.1 概述	164
5.2 MULTIPROG	166
5.2.1 编程语言的操作界面	166
5.2.2 编程操作	174
5.3 Concept	177
5.3.1 概述	177
5.3.2 编程和运行	179
5.4 ISaGRAF	185
5.4.1 编程	186

5.4.2	程序调试和仿真	191
5.5	OpenPCS	192
5.5.1	编程	192
5.5.2	调试和仿真	195

下篇 可编程控制器

第 6 章	可编程控制器工作原理	201
6.1	可编程控制器基础	201
6.1.1	顺序控制系统基础	201
6.1.2	可编程控制器的发展	205
6.1.3	与其他顺序逻辑控制系统的比较	215
6.2	可编程控制器的工作原理和性能评估	218
6.2.1	可编程控制器的结构	218
6.2.2	可编程控制器的工作原理	227
6.2.3	可编程控制器的性能评估	231
第 7 章	可编程控制器系统的工程设计	237
7.1	过程操作用二进制逻辑图图形符号	237
7.1.1	目的	237
7.1.2	适用范围	237
7.1.3	图形符号	237
7.1.4	使用注意事项	239
7.1.5	示例	241
7.1.6	顺序功能表图的基本序列转换为二进制逻辑图的描述	243
7.2	工程设计和选型	245
7.2.1	工程设计阶段的设计内容	245
7.2.2	工程设计的总体考虑和设计原则	247
7.2.3	可编程控制器的选型	249
7.2.4	外部电路的设计和外围设备的选择	255
7.2.5	电源、接地、防雷和抗干扰设计	257
7.2.6	故障检测方法与设计	261
7.3	人机界面设计	264
7.3.1	人机界面设计的重要性	264
7.3.2	人机界面的实施方法	266

7.3.3 常用人机界面软件	269
第 8 章 可编程控制器的应用	275
8.1 可编程控制器编程技巧	275
8.1.1 基本环节	275
8.1.2 程序设计方法	287
8.2 可编程控制器的工业应用示例	298
8.2.1 交通信号控制系统	298
8.2.2 物料混合控制系统	302
8.2.3 液位控制系统	306
8.2.4 信号报警和联锁控制系统	313
8.2.5 物料装载控制系统	322
第 9 章 可编程控制器系统的通信技术	328
9.1 数据通信基本概念	328
9.1.1 计算机网络和工业控制网络	328
9.1.2 数据通信	333
9.2 可编程控制器的通信	352
9.2.1 可编程控制器网络拓扑结构	352
9.2.2 可编程控制器网络通信的编程	356
参考文献	364



上 篇

编 程 语 言

第 1 章 概 述

1.1 编程语言发展和标准

1.1.1 编程语言的基本概念

IEC61131-3 是可编程控制器的编程语言标准，是现代软件概念和现代软件工程的机制与传统可编程控制器编程语言的成功结合。它规范和定义可编程控制器编程语言及基本公用元素，为可编程控制器的软件发展，制定通用控制语言的标准化开创新的有效途径。它的影响已经超越可编程控制器的界限，已成为 DCS、PC 控制、运动控制及 SCADA 等编程系统的事实标准。

1993 年 3 月由国际电工委员会 IEC (International Electro-technical Commission) 正式颁布可编程控制器的国际标准 IEC1131 (前面添加 6 后作为国际标准的编号，即成为 IEC61131)。IEC61131 标准将信息技术领域的先进思想和技术 (例如，软件工程、结构化编程、模块化编程、面向对象的思想及网络通信技术等) 引入工业控制领域，弥补或克服了传统 PLC、DCS 等控制系统的弱点 (例如，开放性差、兼容性差、应用软件可维护性差以及可再用性差等)。该标准已在发达国家得到广泛应用，不符合该标准的产品已不被最终用户接受，但在我国，对该标准及有关产品的推广工作还做得不够，许多技术人员还不知道有这样的国际标准。

符合该标准的控制器产品，即使是不同制造商生产的，其编程语言也是相同的，其使用方法也类似，因此，编程、维修技术人员可以一次学习，多次使用，从而大大减少人员培训、技术咨询、系统调试和系统维护等费用。

该标准第 3 部分 IEC61131-3 讨论编程语言，1993 年颁布第一版，2000 年颁布第二版。

IEC61131-3 编程语言标准分为公用元素和编程语言两部分。公用元素部分除了说明各种编程语言中使用的字符集、标识符、关键字等外，还定义了数据的外部表示、数据类型、变量和程序组织单元等，并对顺序功能表图的基本元素等进行定义。与传统的可编程控制器编程语言不同，在公用元素中，编程语言标准还定义了配置、资源、任务和存取路径等基本概念。

IEC61131-3 的编程语言部分定义了两大类编程语言：文本化编程语言和图形化编程语言。文本化编程语言包括指令表编程语言 (IL, Instruction List) 和结构化文本编程语言 (ST, Structured Text)，图形化编程语言包括梯形图编程语言 (LD, Ladder Diagram) 和功能块图编程语言 (FBD, Function Block Diagram)。在标准中定义的顺序功能表图 (SFC,

Sequence Function Chart) 既没有归入文本化编程语言, 也没有归入图形化编程语言, 它被作为公用元素予以定义。这表示顺序功能表图既可用于文本化编程语言, 也可用于图形化编程语言。

一个可编程控制器中, 可以使用多种编程语言编制用户的应用程序。这给程序编制人员带来极大的方便, 程序编制人员可根据其对编程语言的熟悉程度选用有关编程语言进行编程, 也为大规模应用程序的编制提供了分块编程和不同编程语言编程的可能性。因此, IEC61131-3 标准为解决可编程控制器发展历史上产生的多种编程语言的现实问题提供了可理解, 也为可编程控制器和其他计算机控制装置的编程环境提供了标准。

IEC61131-3 编程语言标准的制定为可编程控制器的发展, 为整个工业控制软件的发展, 起到十分重要的推动作用。因为, 该标准是控制领域第一次制定的有关数字控制软件技术的编程语言标准。它的制定为可编程控制器走向开放系统奠定了坚实基础, 也为其他计算机控制装置数字控制软件的开发提供了统一标准。

IEC61131-3 编程语言标准对程序中的数据类型进行了严格定义。由于在以前的编程过程中, 人们发现许多程序错误是由于在程序的不同部分中, 数据类型表达的不同及处理方法的不同所造成的。因此, 在 IEC61131-3 编程语言标准中严格定义有关变量的数据类型, 从而防止发生因对变量定义了不同数据类型造成的错误。编程语言中对变量数据类型的定义, 使程序的可靠性、可维护性和可读性大大提高。

IEC61131-3 编程语言标准还支持数据结构的定义。由于该标准支持数据结构, 因此, 相关数据元素如果不是相同数据类型, 也可在程序的不同部分传送, 类似于在同一实体内的传送。此外, 在不同程序组织单元之间传送的复杂信息, 也可像传送单一变量一样。因此, 编程语言标准使程序的可读性大大提高, 也保证了有关数据存取的准确性。

编程语言标准规定对程序执行具有完全控制能力。传统的可编程控制器对程序的执行是按扫描原理进行的, 因此, 不能实现对事件驱动的程序执行、程序的并行执行等。IEC61131-3 标准允许程序的不同部分, 在不同的时间条件下, 以不同的扫描速率并行执行。它允许对程序的不同部分规定不同的执行次数和执行时间。因此, 对程序执行具有完全的控制权。

IEC61131-3 标准已对整个控制领域形成巨大冲击。它不仅适用于 PLC 产品, 而且适用于运动控制产品、DCS 和基于工业 PC 的软逻辑、SCADA 等。其适用的市场领域正在不断扩大。采用或应用符合 IEC61131-3 标准的产品, 已经成为工业控制领域的发展趋势。

1.1.2 编程语言的发展史

标准化编程语言的发展来自下列三方面的发展。

1) 传统可编程控制器编程语言

传统可编程控制器开发了相应的编程语言。例如, 常用的梯形图编程语言脱胎于电气

逻辑图,指令表编程语言是汇编语言的发展。

2) 工控软件公司开发的编程语言

以 KW-Software (德国科维软件公司) 的 Multiprog、Infoteam (一方梯队) 软件公司的 PDAT 等为代表开发的编程语言,吸取众多可编程控制器制造商编程语言的特点,在吸收和开发中,形成了一套新的国际编程语言标准。

3) 基于工业 PC 的软逻辑 PLC

软逻辑 PLC 是在 PC 平台运行 Windows 操作环境下,用软件实现 PLC 功能。编程语言的软件运行于 PC 环境称为软逻辑 PLC。它构成开放的应用系统,能够方便地与来自不同制造商的各种输入/输出设备、现场总线、PC 和控制网络实现无缝集成。开放的软件环境使编程语言成为重要的条件,由此而开发了新型的编程软件。

20 世纪 60 年代末,随着汽车市场需求的增长和计算机技术的发展,一些汽车制造商希望有一种模块化的数字式控制器代替继电控制,即用软件编程方法实现继电控制的硬接线技术,这就是可编程控制器。可编程控制器的编程语言因地域的不同,大致可分为三大地域:北美、欧洲和日本。因此,IEC61131-3 的制定是美国、加拿大、欧洲(主要是德国、法国)以及日本等 7 个国家国际性工业控制企业的专家和学者智慧的结晶,它浓缩了数十年工控方面的实践经验,包括北美和日本等使用的梯形图编程语言的实践经验,欧洲各国使用的顺序功能表图和功能块图编程语言经验,德国和日本使用的指令表编程语言经验等。现代软件概念和软件工程技术的发展也推动了标准编程语言的发展。

标准编程语言的发展仍在进行中。为适应数字控制技术的发展,使编程语言能够适用于可编程控制器、DCS、FCS、运动控制及 SCADA 等工业控制领域的应用,还需要不断努力和不断完善有关编程语言标准。此外,标准编程语言的推广工作也是一项十分重要的工作,必须在一个非赢利的国际组织的全面规划和安排下,积极推广,才能使标准深入到各种应用中,充分发挥其开放系统的功能。

IEC 61131-3 第二版是 2000 年下半年进行表决的,并已公布施行。第二版对第一版进行部分修改。主要包括提高程序组织单元(用 IEC61131-3 编程语言编写的程序、功能和功能块)的可读性和有用性。例如,规定了新字符串 WSTRING 的数据类型,对 ST 编程语言的句法进行改进,以适应多输出连接的需要等。

成立于 1992 年的 PLCopen 是一个致力于编程语言标准化的国际化组织,它是非赢利性组织。目前,它在世界上有二十多个国家的一百多个会员。1999 年我国正式成为 PLCopen 组织的一员,它挂靠在中国机电一体化技术应用协会。

PLCopen 组织下设 6 个技术委员会(TC, Technical Committee)。

TC1 致力于标准的制定。主要工作包括对 IEC61131-3 标准的勘误和修改、与 IEC 的合作和开发、对标准版本的修订等。

TC2 致力于功能块库的定义和协调功能块的调用。目前主要进行运动控制库的工作,

包括逻辑和运动的各种技术的集成等。

TC3 致力于认证工作。由于 IEC61131-3 仅提供制定编程语言一致性的基本规则，并没有为用户提供实际编程系统的导则。因此，该委员会制定一致性测试的定义和进行测试。编程系统一致性测试包括对不同编程语言的三种不同等级的测试。它们是基本级（BL，Base Level）、符合级（CL，Conformity Level）及可重复使用级（RL，Reusability Level）。目前，已经对五种编程语言的基本级完成定义，可对除 LD 编程语言外的四种编程语言进行基本级测试，并完成 ST 编程语言的符合级和可重复使用级测试。完成的测试软件包共有 24 个。

TC4 致力于通信，包括通信界面、与附加软件的接口、应用交换格式，以及与 Profibus 和 CAN 等现场总线的映像等。

TC5 致力于安全。它支持安全编程技术，集中于安全相关系统的功能安全性研究，包括 IEC 标准的使用指南、安全运行的基础、与功能块的结合等。工作重点是 IEC61508 和 IEC61511 新安全标准的制定。

TC6 致力于 XML 语言（Extended Markup Language）的研究。它规定 IEC61131-3 各种编程语言的 XML 格式，包括对图形信息的表示、与其他开发工具的界面、功能块库分布等，它使编程环境成为开放系统环境。

PLCopen 组织也专门成立了 PC1 到 PC5 5 个推广委员会，分管公共培训、各地区的推介事务。其中，PC5 委员会主要管理中国有关推广和介绍等事务。

对制造商可编程控制器产品的认证是需要证明它的产品与 IEC61131-3 标准的符合程度，即符合或不符合。为此制定了可编程控制器编程系统必须满足的性能表，编写了多个测试软件包，用于检测对标准的符合程度。基本级表示由该产品开发的程序基本结构与 IEC61131-3 兼容，能够提供编程语言的基本语言元素；符合级表示该产品符合 IEC61131-3 的全部 26 种性能，所支持的数据类型与它的服务适配；可重复使用级表示编程单元功能和功能块可在不同的可编程控制器系统重复使用，它通过结构化文本语言的简单文本格式转换实现。其他编程语言可转换到结构化编程语言。

我国可编程控制器硬件的开发和应用并不早，但对国际标准编程语言的使用跟得还是较紧的。从 1992 年开始，可编程控制器国际标准 IEC61131 的各部分陆续颁布，根据与国际标准等效原则，全国工业过程测量和控制标准化技术委员会着手进行国际标准的翻译和出版，并于 1995 年颁布了 GB/T 15969.1~15969.4 四个可编程控制器的国家标准，分别等效于 IEC61131-1~IEC61131-4。其后，IEC61131-5、IEC61131-7 和 IEC61131-8 相继颁布，等效的国家标准也随后问世。

1.1.3 编程语言标准化

IEC61131-3 编程语言标准是第一个为工业控制系统提供标准化编程语言的国际标准。