

# PLC控制系统 电磁兼容技术

## ——工程设计与应用

周志敏 徐霞 纪爱华 编著

A large, three-dimensional, metallic-looking graphic of the letters 'PLC' is centered on the cover. The letters are rendered in a silver or chrome finish with a strong sense of depth and perspective. The background is a dark blue grid pattern with faint circuit board traces.

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

TM571.6/84

2008

# PLC 控制系统电磁兼容技术 ——工程设计与应用

周志敏 徐 霞 纪爱华 编著

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

PLC 控制系统电磁兼容技术——工程设计与应用 / 周志敏, 徐霞, 纪爱华编著. —北京: 人民邮电出版社, 2008.6  
ISBN 978-7-115-17694-3

I. P… II. ①周…②徐…③纪… III. 可编程序控制器—电磁兼容性—设计 IV. TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 025292 号

## 内 容 提 要

本书结合可编程序控制器 (PLC) 的实际应用情况, 系统地介绍了 PLC 控制系统的功能特点、工作方式、硬件选择、电磁兼容控制技术、电磁屏蔽技术和滤波技术等内容, 重点介绍了 PLC 控制系统电源电磁兼容设计、接地设计、输入/输出回路电磁兼容设计、通信网络电磁兼容技术以及软件抗干扰技术。

本书理论与实际紧密联系, 内容新颖实用, 文字通俗易懂, 可供从事 PLC 控制系统设计的工程技术人员和高等学院相关专业的师生阅读参考。

### PLC 控制系统电磁兼容技术——工程设计与应用

- ◆ 编 著 周志敏 徐 霞 纪爱华  
责任编辑 刘 朋
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京顺义振华印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 19  
字数: 478 千字 2008 年 6 月第 1 版  
印数: 1—4 500 册 2008 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-17694-3/TN

定价: 35.00 元

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010) 67171154

# 前 言

近年来,随着工业自动化技术的快速发展,PLC在电气自动化控制领域得到了广泛的应用,其性能的优劣直接关系到整个控制系统的安全性和可靠性。目前PLC控制系统正向着高频率、高速度、宽频带、高精度、高可靠性、高灵敏度、高密度(小型化、大规模集成化)、大功率、小信号和复杂化方向发展。工业环境中电气、电子产品的数量越来越多,其发射功率越来越大,电气、电子设备的灵敏度越来越高,设备之间的相互影响也越来越大。PLC控制系统应用环境的电磁干扰已不再局限于传统的辐射干扰,电磁干扰(Electromagnetic Interference, EMI)现已成为影响PLC控制系统可靠性的重要因素。为了提高PLC控制系统的可靠性,在PLC控制系统的设计过程中需要考虑电磁感应、耦合、传导、静电、雷电等引起的干扰,因此,必须考虑电磁兼容性问题。

本书结合PLC控制系统工程应用中存在的问题,在简要介绍PLC控制系统的组成、功能特点、硬件选择以及电磁兼容技术理论知识的基础上,系统地介绍了PLC控制系统的电源、接地系统、输入/输出回路、通信网络以及软件的电磁兼容设计与应用技术。本书在写作上尽量突出针对性和实用性,力求做到通俗易懂和结合实际,使得从事PLC控制系统设计和工程应用的技术人员从中有所获益。读者可以此为“桥梁”,全面了解和掌握PLC控制系统的电磁兼容设计技术和方法。

本书写作过程中,在资料收集和技术信息交流上得到了国内专业学者和同行的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促,作者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

# 目 录

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| <b>第 1 章 PLC 控制系统</b> .....         | 1   |
| 1.1 PLC 控制系统基础知识 .....              | 1   |
| 1.1.1 PLC 控制系统的主要特点 .....           | 1   |
| 1.1.2 PLC 控制系统的特性 .....             | 5   |
| 1.1.3 PLC 的分类 .....                 | 7   |
| 1.2 PLC 控制系统的构成及工作方式 .....          | 9   |
| 1.2.1 PLC 控制系统的构成 .....             | 9   |
| 1.2.2 PLC 控制系统的工作方式 .....           | 16  |
| 1.3 PLC 的控制功能及控制系统的类型 .....         | 19  |
| 1.3.1 PLC 的控制功能 .....               | 19  |
| 1.3.2 PLC 控制系统的类型 .....             | 20  |
| 1.4 PLC 控制系统的设计 .....               | 22  |
| 1.5 PLC 控制系统的硬件和编程软件选择 .....        | 25  |
| 1.5.1 PLC 机型选择的基本原则 .....           | 25  |
| 1.5.2 输入/输出点的选择 .....               | 28  |
| 1.5.3 I/O 模块的选择 .....               | 30  |
| 1.5.4 存储容量的选择 .....                 | 33  |
| 1.5.5 PLC 编程软件的选择 .....             | 33  |
| <b>第 2 章 PLC 控制系统电磁兼容技术</b> .....   | 36  |
| 2.1 电磁兼容与电磁干扰 .....                 | 36  |
| 2.1.1 概述 .....                      | 36  |
| 2.1.2 电磁干扰源与电磁干扰 .....              | 39  |
| 2.1.3 干扰的传播途径 .....                 | 47  |
| 2.2 电磁兼容控制技术 .....                  | 59  |
| 2.2.1 抗扰度电平与电磁敏感度 .....             | 59  |
| 2.2.2 PLC 控制系统电磁兼容设计要点 .....        | 61  |
| 2.3 屏蔽技术在 PLC 控制系统中的应用 .....        | 68  |
| 2.3.1 屏蔽的定义和地域划分 .....              | 68  |
| 2.3.2 屏蔽的分类 .....                   | 71  |
| 2.3.3 屏蔽材料 .....                    | 77  |
| 2.3.4 PLC 控制系统的屏蔽设计 .....           | 78  |
| 2.4 滤波技术在 PLC 控制系统中的应用 .....        | 87  |
| 2.4.1 滤波器的分类及参数 .....               | 87  |
| 2.4.2 电磁干扰滤波器 .....                 | 94  |
| 2.4.3 电源滤波器的设计 .....                | 98  |
| 2.4.4 滤波器的选择与安装 .....               | 106 |
| 2.5 电容器与铁氧体抑制元件 .....               | 111 |
| 2.5.1 滤波电容器 .....                   | 111 |
| 2.5.2 铁氧体抑制元件 .....                 | 115 |
| <b>第 3 章 PLC 控制系统电源电磁兼容设计</b> ..... | 127 |
| 3.1 PLC 控制系统电源的电磁兼容性 .....          | 127 |
| 3.1.1 PLC 供电电源的系统方案 .....           | 127 |
| 3.1.2 PLC 控制系统电源浪涌抑制技术 .....        | 130 |
| 3.1.3 浪涌抑制器件 .....                  | 132 |
| 3.2 PLC 控制系统电源噪声的抑制 .....           | 144 |
| 3.2.1 PLC 控制系统电源干扰 .....            | 144 |
| 3.2.2 PLC 控制系统电源抗干扰技术 .....         | 146 |
| 3.2.3 PLC 控制系统供电解决方案 .....          | 153 |
| 3.2.4 PLC 控制系统供电的 UPS 解决方案 .....    | 156 |
| <b>第 4 章 PLC 控制系统接地设计</b> .....     | 161 |
| 4.1 地线与接地技术 .....                   | 161 |
| 4.1.1 地线的定义与接地目的 .....              | 161 |
| 4.1.2 地线阻抗干扰 .....                  | 165 |
| 4.2 接地方式的分类与信号接地 .....              | 169 |
| 4.2.1 接地方式的分类 .....                 | 169 |
| 4.2.2 信号接地 .....                    | 176 |
| 4.3 接地系统设计 .....                    | 182 |
| 4.3.1 接地系统的设计准则和接地线的选用 .....        | 182 |
| 4.3.2 接地网的接地电阻 .....                | 188 |
| 4.3.3 地网形式 .....                    | 192 |

|   |     |                                       |     |
|---|-----|---------------------------------------|-----|
| 4.4 接地网施工技术 .....                         | 198 | 5.5.1 PLC 控制系统的信号传输线 .....            | 244 |
| 4.4.1 导电混凝土在接地工程中的应用 .....                | 198 | 5.5.2 PLC 控制系统布线的抗干扰设计 .....          | 246 |
| 4.4.2 深井式垂直接地装置 .....                     | 198 | <b>第 6 章 PLC 控制系统通信网络电磁兼容设计</b> ..... | 254 |
| 4.4.3 爆破接地施工技术 .....                      | 201 | 6.1 PLC 控制系统的通信网络 .....               | 254 |
| 4.4.4 接地网施工中的放热熔接技术 .....                 | 203 | 6.1.1 PLC 控制系统通信网络的互联模型及通信方式 .....    | 254 |
| 4.4.5 接地装置的防腐措施 .....                     | 204 | 6.1.2 PLC 控制系统串行通信接口标准 .....          | 256 |
| 4.4.6 接地电阻的测量 .....                       | 207 | 6.2 PLC 控制系统通信网络抗干扰技术 .....           | 260 |
| <b>第 5 章 PLC 控制系统输入/输出回路的电磁兼容设计</b> ..... | 213 | 6.2.1 RS-232C 隔离长线驱动器 .....           | 260 |
| 5.1 PLC 控制系统输入回路的电磁兼容设计 .....             | 213 | 6.2.2 RS-232C 通信接口的抗干扰技术 .....        | 262 |
| 5.1.1 PLC 控制系统输入回路接线设计 .....              | 213 | 6.2.3 RS-422A 通信接口的抗干扰技术 .....        | 263 |
| 5.1.2 PLC 控制系统输入模块与输出设备的连接 .....          | 214 | 6.2.4 RS-485 接口的抗干扰技术 .....           | 264 |
| 5.1.3 PLC 控制系统输入回路接线的优化 .....             | 223 | 6.3 基于 RS-232C 协议的 CAN 总线网络 .....     | 276 |
| 5.2 PLC 控制系统输出回路的电磁兼容设计 .....             | 228 | <b>第 7 章 PLC 控制系统软件抗干扰技术</b> .....    | 281 |
| 5.2.1 PLC 控制系统输出回路接线设计 .....              | 228 | 7.1 PLC 软件的结构特点及抗干扰措施 .....           | 281 |
| 5.2.2 PLC 控制系统输出模块与输出设备的连接 .....          | 229 | 7.1.1 PLC 软件的特点 .....                 | 281 |
| 5.2.3 PLC 控制系统输出回路接线的优化 .....             | 231 | 7.1.2 软件抗干扰措施 .....                   | 282 |
| 5.2.4 PLC 与变频器的连接 .....                   | 234 | 7.2 PLC 控制系统抗干扰软件设计 .....             | 288 |
| 5.3 PLC 控制系统输入/输出回路的隔离技术 .....            | 236 | 7.2.1 开机自检 .....                      | 289 |
| 5.4 PLC 控制系统输入/输出回路的隔离设计 .....            | 241 | 7.2.2 监视跟踪定时器的设置 .....                | 289 |
| 5.5 PLC 控制系统布线设计 .....                    | 244 | 7.2.3 软件陷阱的设置 .....                   | 293 |
|   |     | 7.2.4 RAM 数据出错的软件对策 .....             | 294 |
|   |     | 7.2.5 系统故障处理、自恢复程序的设计 .....           | 295 |
|   |     | <b>参考文献</b> .....                     | 298 |

# 第 1 章 PLC 控制系统

## 1.1 PLC 控制系统基础知识

### 1.1.1 PLC 控制系统的主要特点

#### 1. PLC 的定义

可编程序控制器 (Programmable Controller) 是计算机家族中的一员, 是为工业控制应用而设计制造的。1968 年美国 GM (通用汽车) 公司提出取代继电器控制装置的要求, 1968 年美国数字公司研制出了基于集成电路和电子技术的控制装置, 首次采用程序化的手段进行电气控制。这就是第一代可编程序控制器, 它主要用来代替继电器实现逻辑控制。

美国电气制造商协会 (National Electrical Manufactory Association, NEMA) 经过 4 年的调查工作, 于 1984 年首先将其正式命名为 PC (Programmable Controller), 并给 PC 作了如下定义: PC 是一个数字式的电子装置, 它使用了可编程序的记忆体储存指令, 用来执行诸如逻辑、顺序、计时、计数与运算等功能, 并通过数字或类似的输入、输出模块, 以控制各种机械或工作程序。一部数字电子计算机若是从事执行 PC 之功能, 亦被视为 PC, 但不包括鼓轮式或类似的机械式顺序控制器。但是为了避免与个人计算机 (Personal Computer) 的简称混淆, 所以将可编程序控制器简称 PLC。

日本电气控制学会曾对 PLC 作了一个定义: PLC 是将逻辑运算、顺序控制、时序和计数以及算术运算等控制程序, 用一串指令的形式存放到存储器中, 然后根据存储的控制内容, 经过模拟、数字等输入、输出部件, 对生产设备和生产过程进行控制的装置。

1987 年, 国际电工委员会 (IEC) 颁布了新的 PLC 标准及其标准定义: 可编程序控制器是一种数字运算工作的电子系统, 专为在工业环境中应用而设计, 它采用一类可编程的存储器, 用于其内部存储程序, 执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术操作等面向用户的指令, 并通过数字或模拟式输入、输出控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关外部设备都按易于与工业控制系统联成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。

PLC 是基于电子计算机且适用于工业现场工作的控制装置。它源于继电控制装置, 但它不像继电装置那样通过电路的物理过程实现控制, 而主要靠运行存储于内存中的程序进行入出信息变换, 实现控制。

PLC 并不等同于普通计算机。普通计算机进行入出信息变换只考虑信息本身, 信息的入出只要人机界面好就可以了。而 PLC 则还要考虑信息入出的可靠性、实时性以及信息的使用等问题, 特别要考虑怎么适应于工业环境, 如便于安装、抗干扰等问题。

总之, PLC 是一台计算机, 它是专为工业环境应用而设计制造的计算机。它具有丰富的输入、输出接口, 并且具有较强的驱动能力。但 PLC 产品并不针对某一具体工业应用, 在实际应用时其硬件需根据实际需要进行选用配置, 其软件需根据控制要求进行设计编制。

## 2. PLC 构成的控制系统的特点

PLC 是在传统的顺序控制器的基础上引入微电子技术、计算机技术、自动控制技术和通信技术而形成的一代新型工业控制装置，目的是用来取代继电器，执行逻辑、计时、计数等顺序控制功能，建立柔性的程控系统。

PLC 程序既有生产厂家设计的系统程序，又有用户自己开发的应用程序。系统程序提供运行平台，同时还对 PLC 程序可靠运行及信息转换进行必要的公共处理。用户程序由用户按控制要求设计。PLC 构成的控制系统的主要特点有：

① 可靠性高，抗干扰能力强。高可靠性是电气控制设备的关键性能。PLC 由于采用现代大规模集成电路技术，采用严格的生产工艺制造，内部电路采取了先进的抗干扰技术，具有很高的可靠性。使用 PLC 构成的控制系统和同等规模的继电器系统相比，电气接线及开关接点已减少到数百分之一甚至数千分之一，故障率也就大大降低。此外，PLC 带有硬件故障自我检测功能，出现故障时可及时发出警报信息。在应用软件中，应用者还可以编入外围器件的故障自诊断程序，使系统中除 PLC 以外的电路及设备也获得故障自诊断保护。这样，整个系统的可靠性得以全面提高。PLC 在硬软件上提高可靠性的措施有：

- 所有的 I/O 接口电路均采用光电隔离，使工业现场的外电路与 PLC 内部电路之间在电气上隔离。
- 各输入端均采用 RC 滤波器，其滤波时间常数一般为 10~20ms。
- 各模块均采用屏蔽措施，以防止辐射干扰。
- 采用性能优良的开关电源。
- 对采用的器件进行严格的筛选。
- 具有良好的自诊断功能，一旦电源或其他软、硬件发生异常情况，CPU 立即采用有效措施，以防止故障扩大。
- 大型 PLC 还可以采用由双 CPU 构成的冗余系统或由三 CPU 构成的表决系统，使可靠性更进一步提高。

② 配套齐全，功能完善，适用性强。PLC 发展到今天，已经形成了各种规模的系列化产品，可以用于各种规模的工业控制场合。除了逻辑处理功能以外，PLC 大多具有完善的数据运算能力，可用于各种数字控制领域。多种多样的功能单元大量开发应用，使 PLC 渗透到了位置控制、温度控制、CNC 等各种工业控制中。加上 PLC 通信能力的增强及人机界面技术的发展，使用 PLC 组成各种控制系统变得非常容易。

③ 易学易用。PLC 是面向工矿企业的工控设备，接口容易。PLC 的程序编制大多采用类似于继电器控制线路的梯形图形式，与实际继电器控制电路非常接近。对使用者来说，梯形图语言的图形符号与表达方式和继电器电路图相当接近，因此很容易被一般工程技术人员所理解和掌握。而采用功能块图、指令表和顺序功能表图（SFC）语言为 PLC 编程，也不需要太多的计算机编程知识。利用 PLC 配套的综合软件工具包，可在任何兼容的个人计算机上实现离线编程。

④ 系统设计的工作量小，维护方便，容易改造。PLC 用存储逻辑代替接线逻辑，大大减少了控制设备外部的接线，使控制系统设计及建设的周期大为缩短，同时日常维护也变得容易起来，更重要的是使同一设备经过改变程序而改变生产过程成为可能，特别适合多品种、小批量的生产场合。

⑤ PLC 的功能非常丰富。这主要与它具有强大的处理信息的指令系统及存储信息的内



部器件有关。它的指令多达几十条、几百条，可进行各式各样的逻辑问题处理，还可进行各种类型数据的运算。凡普通计算机能做到的，PLC 也都可以做到。PLC 针对不同的工业现场信号（如交流或直流、开关量或模拟量、电压或电流、脉冲或电位、强电或弱电等）有相应的 I/O 模块与工业现场的器件或设备（如按钮、行程开关、接近开关、传感器及变送器、电磁线圈、控制阀等）直接连接。

PLC 的内存中的数据存储器种类繁多，容量宏大。它的数据存储器还可用以存储大量数据，几百、几千甚至几万字的信息都可以存储，而且掉电后还不丢失。I/O 继电器可以用以存储输入、输出点信息，少的为几十、几百，多的可达几千、几万，以至 10 几万。这意味着它可进行这么多 I/O 点的输入、输出信息变换，满足大规模控制系统的需求。

PLC 内部的各种继电器相当于中间继电器，数量众多。内存中的一个位就可作为一个中间继电器。PLC 内部的计数器、定时器可成百上千，这是因为只要用内存中的一个字，再加一些标志位，即可组成定时器、计数器。而且，这些内部器件还可设置成断电保持的或断电不保持的（即上电后予以清零的），以满足不同的使用要求。PLC 内部的器件有：

① I/O 继电器或称映射区。它与 PLC 所能控制的 I/O 点数及模拟量的路数直接相关。

② 内部继电器。内部继电器数有的称为标志位数，代表着 PLC 的内部继电器数，它与 I/O 继电器区相联系着。内部继电器多，便于 PLC 建立复杂的时序关系，以满足多种多样的控制要求。一般来讲，内部继电器数比 I/O 继电器要多得多。有的内部继电器还具有断电保持功能，即它的状态（ON 或 OFF）在 PLC 断电后靠内部电池维持，再上电后可继续保持断电前的状态。保持继电器可增强 PLC 的控制能力，特别对记录故障、故障排除后恢复运行更显得有用。

③ 内部定时器。利用内部定时器可实现定时控制，定时值可任意设定。定时器有多少，设定范围有多大，设定值的分辨率又是多少，这些都代表定时器的性能。

④ 内部计数器。利用内部计数器可实现计数控制，到达某设定计数值时可发送相应信号。可进行什么样的计数，计数范围多大，怎么设定，有多少计数器，这些都代表计数器的性能。

⑤ 数据存储器。数据存储器用以存储工作数据，多以字、两字或多字为单位予以使用，是 PLC 进行模拟量控制或记录数据所必不可少的。这个存储器的大小代表 PLC 的性能，数据存储器越大越好，其发展趋势也是越来越大。

另外为了提高工作性能，它还有多种人机对话的接口模块。PLC 还有丰富的外部设备，可建立友好的人机界面，以进行信息交换；可写入程序，写入数据，可读出程序，读出数据，而且读、写时可在图文并茂的画面上进行。数据读出后可转储，可打印；数据写入方式有键入、读卡写入等。

为了组成工业局部网络，它还有多种通信联网的接口模块，可与计算机连接或联网，与计算机交换信息；自身也可联网，以形成单机所不能够实现的更大的、地域更广的控制系统。PLC 还具有强大的自检功能，可进行自诊断，其结果可自动记录。这为它的维修增加了透明度，提供了方便。

丰富的功能为 PLC 的广泛应用提供了可能，同时也为工业系统的自动化、远动化及其控制的智能化创造了条件。像 PLC 这样集丰富功能于一身，是别的电控装置所没有的，更是传统的继电控制系统所无法比拟的。

⑥ 采用模块化结构，扩充方便，组合灵活。为了适应各种工业控制需要，除了单元式的小型 PLC 以外，绝大多数 PLC 均采用模块化结构。PLC 的各个部件，包括 CPU、电源、I/O

接口等均采用模块化设计，由机架及电缆将各模块连接起来，系统的规模和功能可根据用户的需要自行组合。

PLC 是系列化产品，通常采用模块结构来完成不同的任务组合。I/O 点数为 8~8 192，有多种机型、多种功能模板可灵活组合，结构形式也是多样的。

⑦ 安装简单，维修方便。PLC 不需要专门的机房，可以在各种工业环境下直接运行。使用时只需将现场的各种设备与 PLC 相应的 I/O 端相连接，写入 PLC 的应用程序即可投入运行。各种模块上均有运行和故障指示装置，便于用户了解运行情况和查找故障。由于采用模块化结构，因此一旦某模块发生故障，用户可以通过更换模块的方法，使系统迅速恢复运行。

⑧ 环境要求低，适用于恶劣的工业环境。PLC 能在一般高温、震动、冲击和粉尘等恶劣环境下工作，能在强电磁干扰环境下可靠工作。这是 PLC 产品的市场生存价值所在。

⑨ 运行速度快。随着微处理器的应用，PLC 的运行速度增快，更符合处理高速度、复杂的控制任务，它与微型计算机之间的差别不是很明显。

⑩ 体积小，重量轻。PLC 的重量、体积、功耗和硬件价格一直在降低，虽然软件价格占的比重有所增加，但是各厂商为了竞争，也相应地降低了价格。另外，采用 PLC 还可以大大缩短设计、编程和投产周期，使系统总价格进一步降低。

### 3. PLC 在结构方面的特点

PLC 在结构方面的特点有：

① PLC 的输入输出电路与内部 CPU 是电隔离的，其信息靠光电耦合器件或电磁器件传递。而且，CPU 板还有抗电磁干扰的屏蔽措施，故可确保 PLC 程序的运行不受外界电与磁的干扰，能正常稳定地工作。

② PLC 使用的元器件多为无触点的，而且为高度集成的，数量并不多，也为其可靠工作提供了物质基础。

③ 在机械结构设计与制造工艺上，为了使 PLC 能安全可靠地工作，也采取了很多措施，可确保 PLC 耐震动、耐冲击。使用环境温度最高达 50℃，有的 PLC 可高达 80℃~90℃。

④ 采用同系列的 PLC 模块可构成热备系统，一个主机工作，另一个主机也运转，但不参与控制，仅作备份。一旦工作主机出现故障，热备主机可自动接替其工作。还可构成更进一步的冗余系统，采用三取一的设计，CPU、I/O 模块、电源模块都有冗余或其中的部分冗余。三套模块同时工作，最终输出取决于三者中的多数决定的结果。这可使系统出故障的几率几乎为零，做到万无一失。当然，这样的系统成本是很高的，只用于特别重要的场合。

### 4. PLC 在软件方面的特点

PLC 的工作方式为扫描加中断，这既可保证它能有序地工作，避免继电器控制系统常出现的“冒险竞争”，其控制结果总是确定的；而且又能应急处理急于处理的控制，保证了 PLC 对应急情况的及时响应，使 PLC 能可靠地工作。

为监控 PLC 运行程序是否正常，PLC 系统都设置了“看门狗”（Watching Dog）监控程序。开始运行用户程序时，先清“看门狗”定时器，并开始计时。当用户程序一个循环运行完成后，则查看定时器的计时值。若超时（一般不超过 100ms）则报警，严重超时可使 PLC 停止工作。用户可依据报警信号采取相应的应急措施。定时器的计时值若不超时，则重复起始的过程，PLC 将正常工作。显然，有了这个“看门狗”监控程序，可保证 PLC 用户程序的正常运行，避免出现“死循环”而影响其工作的可靠性。

PLC 还有很多防止及检测故障的指令，以产生各重要模块工作正常与否的提示信号。可

通过编制相应的用户程序，对 PLC 的工作状况以及 PLC 所控制的系统进行监控，以确保其可靠工作。PLC 每次上电后，还都要运行自检程序及对系统进行初始化。这是系统程序配置的，用户可不干预。出现故障时有相应的出错信号提示。

### 5. PLC 应用的方便性

用 PLC 实现对系统的控制是非常方便的，这是因为：首先 PLC 控制逻辑的建立是程序，用程序代替硬件接线，编制程序和修改程序比硬接线和更改接线方便得多。PLC 应用的方便性主要表现在以下几个方面：

① 配置方便。PLC 的硬件是高度集成化的，已集成为小型化模块，而且这些模块是配套的，已实现了系列化与规格化。各种控制系统所需的模块，PLC 厂家都有相应的系列产品。所以，硬件系统设计与配置也非常方便。可按控制系统的需要确定要使用哪个公司生产的 PLC 以及用哪种类型的，用什么模块，要多少模块。这些确定后，系统的配置就基本完成。

② 安装方便。PLC 硬件安装简单，组装容易。外部接线可采用接线器，而且一次接好后，更换模块时把接线器安装到新模块上即可，不必再接线。内部什么线都不要接，只要作些必要的 DIP 开关设定或软件设定，以及编制好用户程序就可工作。

③ 编程方便。PLC 内部虽然没有什么实际的继电器、定时器和计数器，但它通过程序（软件）与系统内存，使这些器件却实实在在地存在着，其数量之多是继电器控制系统难以想象的。即使是小型的 PLC，内部继电器都数以千计，定时器、计数器也数以百计。而且，这些内部继电器的接点可无限次地使用。由于 PLC 内部逻辑器件如此之多，用户用起来已不感到有什么限制，唯一需要考虑的只是入出点。PLC 的指令系统也非常丰富，可实现各种开关量以及模拟量的控制。PLC 还有存储数据的内存区，可存储控制过程所有要保存的信息。PLC 的外设很丰富，编程器种类很多，使用起来都比较方便，还有数据监控器可监控 PLC 的工作。PLC 的软件也很多，不仅可用类似于继电器电路设计的梯形图语言，有的还可用 BASIC 语言、C 语言，以至于自然语言。这些也为 PLC 编程提供了方便。

PLC 的程序也便于存储、移植及再使用。某定型产品用的 PLC 的程序完善之后，凡这种产品都可使用。生产一台，复制一份即可。这比起继电器电路中台台设备都要接线、调试要简单得多。

④ 维修方便。用 PLC 实现对系统的控制是非常可靠的，这是因为 PLC 在硬件与软件两个方面都采取了很多措施，确保它能可靠工作，出现故障的概率很低，这大大减少了维修的工作量。

即使 PLC 出现故障，维修也很方便。这是因为 PLC 都设有很多故障提示信号，如 PLC 支持内存保持数据的电池电压低，相应地就有电压低信号指示。而且，PLC 本身还可作故障情况记录，所以，PLC 出了故障后很易诊断。同时，诊断出故障后排除故障也很简单。可按模块排除故障，进行简单的模块更换就可以。至于软件，调试好以后不会出现故障，最多只需依据使用经验进行调整，使之进一步完善。PLC 用于某设备，若这个设备不再使用了，其所用的 PLC 还可给别的设备使用，只要改编一下程序即可。

## 1.1.2 PLC 控制系统的特性

### 1. 工作速度

工作速度是指 PLC 的 CPU 执行指令的速度及对急需处理的输入信号的响应速度。工作速度是 PLC 工作的基础，只有 PLC 的工作速度高，才可能通过运行程序实现控制，才可能

不断扩大控制规模，才可能发挥 PLC 多种多样的功能。工作速度关系到 PLC 对输入信号的响应速度，是 PLC 对系统控制是否及时的前提。若控制不及时，就不可能准确、可靠地完成控制任务，特别是对一些需作快速响应的系统，这就是把工作速度作为 PLC 第一指标的原因。

PLC 的指令是很多的，不同的 PLC 的指令条数也不同，少的几十条，多的几百条。指令不同，执行的时间也不同。但各种 PLC 总有一些基本指令，而且各种 PLC 都有这些基本指令，故常以执行一条基本指令的时间来衡量这个速度。这个时间当然越短越好，目前已从微秒级缩短到零点几微秒，并且随着微处理器技术的进步，这个时间还在缩短。

执行时间短可加快 PLC 对一般输入信号的响应速度。从 PLC 的工作原理可知，从对 PLC 加入输入信号到 PLC 产生输出，最理想的情况也要延迟一个 PLC 运行程序的周期。因为 PLC 监测到输入信号，经运行程序后产生的输出才是对输入信号的响应。不理想时，还要多延长一个周期。当输入信号送入 PLC 时，PLC 的输入刷新正好结束，对于这种情况。就要多等待一个周期，PLC 的输入映射区才能接收到这个新的输入信号。对于一般的输入信号，这个延迟虽可以接受，但对急需响应的输入信号就不能接收了。对急需处理的输入信号延迟多长时间 PLC 能予以响应，要另作要求。

为了处理急需响应的输入信号，PLC 有种种措施。不同的 PLC 所采取的措施也不完全相同，提高响应速度的效果也不同。一般的做法是采用输入中断，然后再使输出即时刷新，即中断程序运行后有关的输出点立即刷新，而不要等到整个程序运行结束后再刷新。

这个效果可从两个方面来衡量：一是能否对几个输入信号作快速响应，二是快速响应的速度有多快。多数 PLC 都可对一个或多个输入点作快速响应，快速响应时间仅为几毫秒。性能高的大型 PLC 的响应点数更多。

## 2. 控制规模

控制规模代表 PLC 的控制能力，主要看其能对多少输入、输出点及对多少路模拟量进行控制。控制规模与速度有关，因为规模大了，用户程序也长，执行指令的速度不快，势必延长 PLC 循环的时间，也必然会延长 PLC 对输入信号的响应。为了避免这种情况，PLC 的工作速度就要快。所以，大型 PLC 的工作速度总是比小型的要快。

控制规模还与内存区的大小有关。规模大，用户程序长，要求有更大的用户存储区。同时点数多，系统的存储器输入、输出的信号区（输入、输出继电器区，或称输入、输出映射区）也大。这个区大，相应地内部器件也要增多，这些都要求有更大的系统存储区。

控制规模还与输入、输出电路数有关。如控制规模为 1 024 点，那就得有 1 024 条 I/O 电路。这些电路集成于 I/O 模块中，而每个模块中的 I/O 点数总是有限的。所以，规模大时所使用的模块也多。

控制规模还与 PLC 指令系统有关。规模大的 PLC 指令条数多，指令的功能也强，这样才能满足对点数多的系统进行控制的需要。控制规模是对 PLC 其他性能指标起着制约作用的指标，也是将 PLC 划分为微、小、中、大和特大型的依据。

## 3. 组成模块

PLC 的结构虽有箱体及模块式之分，但从本质上看，箱体也是模块，只是它集成了更多的功能。在此，不妨把 PLC 的模块组成当作所有 PLC 的结构性能。这个性能的含义是指某型号 PLC 具有多少种模块，各种模块都有什么规格，并各具什么特点。

一般来讲，规模大的 PLC、档次高的 PLC 模块的种类也多，规格也多，反映它的特点的性能指标也高，但模块的功能则较为单一。相反，小型 PLC、档次低的 PLC 模块种类也少，

规格也少, 指标也低, 但功能则较多, 以至于集成为箱体。组成 PLC 的模块是 PLC 的硬件基础, 只有弄清所选用的 PLC 都具有哪些模块及其特点, 才能正确选用模块去组成一台完整的 PLC, 以满足控制系统对 PLC 的要求。

箱体式的小型 PLC 的主箱体就是把上述几种模块集成在一个箱体内, 并依据可能提供的 I/O 点数的多少划分为不同的规格。箱体式的 PLC 还有 I/O 扩展箱体, 它不含 CPU, 仅有电源及 I/O 单元的功能。扩展箱体也依据 I/O 点数的多少划分为不同的规格。掌握 PLC 的性能, 一定要了解它的模块, 并且只有通过了解模块的性能才能掌握 PLC 的性能。

#### 4. 内存容量

PLC 内存分为用户及系统两大部分。用户内存主要用于存储用户程序, 个别的还将其中的一部分划为系统所用。系统内存是与 CPU 配置在一起的。CPU 既要具备访问这些内存的能力, 还应提供相应的存储介质。

用户内存大小与可存储的用户程序量有关。内存大, 可存储的程序量大, 也就可以进行更为复杂的控制。从发展趋势看, 内存容量总是在不断地增大。大型 PLC 的内存容量可达几十千字节, 以至于一百多千字节。系统内存对于用户来说, 主要体现在 PLC 能提供多少内部器件。不同的内部器件占据系统内存的不同区域。在物理上并无这些器件, 仅仅为 RAM。但在运行程序使用时, 给使用者提供的却是实实在在的器件。内存器件种类越多, 数量越多, 越便于 PLC 进行种种逻辑量及模拟控制。

### 1.1.3 PLC 的分类

PLC 的类型很多, 可从不同的角度进行分类。

#### 1. 按控制规模分类

按控制规模分类主要以开关量点数的多少来分类, 模拟量的路数可折算成开关量的点数, 大致一路相当于 8~16 个点。依据这个点数, PLC 大致可分为微型机、小型机、中型机、大型机及超大型机。

① 微型 PLC。微型 PLC 的控制点数仅为几十个, 如 OMRON 公司的 CPM1A 系列 PLC 和西门子公司的 Logo PLC 仅为 10 个点。

② 小型 PLC。小型 PLC 的 I/O 点数一般在 128 以下, 如 OMRON 公司的 C60P PLC 可达 148 点, CQM1 PLC 可达 256 点, 德国西门子公司的 S7-200 PLC 可达 64 点。其特点是体积小, 结构紧凑, 整个硬件融为一体, 除了开关量 I/O 以外, 还可以连接模拟量 I/O 以及其他各种特殊功能模块。它能执行包括逻辑运算、计时、计数、算术运算、数据处理和传送、通信联网以及各种应用指令。

③ 中型 PLC。中型 PLC 采用模块化结构, 其 I/O 点数一般为 256~1 024。如 OMRON 公司的 C200H PLC 普通配置最多可达 700 多点, C200Ha PLC 则可达 1 000 多点, 德国西门子公司的 S7-300 PLC 最多可达 512 点。I/O 的处理方式除了采用一般 PLC 通用的扫描处理方式外, 还能采用直接处理方式, 即在扫描用户程序的过程中直接读输入、刷新输出。它能连接各种特殊功能模块, 通信联网功能更强, 指令系统更丰富, 内存容量更大, 扫描速度更快。

④ 大型 PLC。一般 I/O 点数在 1 024 以上的称为大型 PLC, 如 OMRON 公司的 C1000H、CV1000 PLC, 当地配置可达 1 024 点, C2000H、CV2000 PLC 当地配置可达 2 048 点。大型 PLC 的软、硬件功能极强, 具有极强的自诊断功能; 通信联网功能强, 有各种通信联网模块, 可以构成三级通信网, 实现工厂生产管理自动化。大型 PLC 还可以采用三 CPU 构成表决式

系统，使 PLC 控制系统的可靠性更高。

⑤ 超大型 PLC。控制点数可达上万点以至几万点。如美国 GE 公司的 90-70 PLC，其点数可达 24 000 点，另外还可有 8 000 路的模拟量。再如美国莫迪康公司的 PC-E984-785 PLC，其开关量总点数为 32 768，模拟量有 2 048 路。西门子的 S5-115U-CPU945 PLC，其开关量总点数可达 8 192，另外还可有 512 路模拟量。

以上这种划分是不严格的，只是大致的，目的是便于系统的配置及使用。一般来讲，根据实际的 I/O 点数，凡落在上述不同范围者，选用相应的机型，性能价格比必然要高；相反，肯定要差一些。但也有特殊情况，如控制点数不是非常多，不是非用大型机不可，但因大型机的特殊控制单元多，可进行热备配置，所以采用了大型机。

## 2. 按结构分类

PLC 按结构可分为固定式和组合式（模块式）两种。固定式 PLC 包括 CPU 板、I/O 板、显示面板、内存块、电源等，这些元素组合成一个不可拆卸的整体。模块式 PLC 包括 CPU 模块、I/O 模块、内存、电源模块、底板或机架，这些模块可以按照一定的规则组合配置。微型机、小型机多为箱体式，但从发展趋势看，小型机也逐渐发展成模块式结构。如 OMRON 公司原来的小型机都是箱体式，现在的 CQM1 则为模块式的。

箱体式结构的 PLC 把电源、CPU、内存、I/O 系统都集成在一个小箱体内。一个主机箱体就是一台完整的 PLC，就可用以实现控制。控制点数满足不了需要，可再接扩展箱体，由主箱体及若干扩展箱体组成较大的系统，以实现较多点数的控制。

模块式结构的 PLC 按功能分成若干模块，如 CPU 模块、输入模块、输出模块以及电源模块等。大型机的模块功能更单一一些，因而模块的种类也相对多些。这也可说是趋势。目前一些中型机，其模块的功能也趋于单一，种类也在增加。如 OMRON 公司的 C20 系列 PLC，H 机的 CPU 单元就含有电源，而 Ha 机则把电源分出，有单独的电源模块。模块功能更单一、品种更多，可便于系统配置，使 PLC 更能物尽其用，达到更高的使用效益。由模块连接成系统有三种方法：

① 无底板，靠模块间接口直接相连，然后再固定到相应导轨上。OMRON 公司的 CQM1 机就是这种结构，比较紧凑。

② 有底板，所有模块都固定在底板上。OMRON 公司的 C200Ha、CV2000 等中、大型机就是这种结构。它比较牢固，但底板的槽数是固定的，如 3、5、8、10 槽等。槽数与实际模块数不一定相等，配置时难免有空槽。这既浪费又多占空间，还得用空单元对多余的槽作填补。

③ 用机架代替底板，所有模块都固定在机架上。这种结构比底板式的复杂，但更牢靠。一些特大型的 PLC 采用的多为这种结构。

## 3. 按生产厂家分类

目前生产 PLC 的厂家较多，但能配套生产大、中、小、微型 PLC 的生产厂家并不太多。较有影响并在中国市场占有较大份额的公司有：

① 德国西门子公司。德国西门子公司有 S5 系列的产品，如 S5-95U、100U、115U、135U 及 155U。135U、155U 为大型机，控制点数可达 6 000 多点，模拟量可达 300 多路。最近还推出了 S7 系列，如 S7-200（小型）、S7-300（中型）及 S7-400 机（大型），性能比 S5 系列大有提高。

② 美国公司。

- 美国莫迪康公司（施耐德）系列产品中的 E984-785 可连接 31 个远程站点，总控制规模可达 63 535 点。小的为紧凑型的，如 984-120，控制点数为 256 点，在最大与最小之间共 20 多个型号。

- 美国 AB (Alien-Bradley) 公司的 PLC-5 系列有 PLC-5/10、PLC-5/11……PLC-5/250 多种型号。另外，它也有微型 PLC，SLC-500 即为其中的一种。有三种配置可供选择，I/O 点数分别为 12/8、18/12 及 24/16。

- 美国 IPM 公司的 IP1612 系列产品，由于自带模拟量控制功能，自带通信口，集成度又非常高，虽点数不多（16 点输入，12 点输出），但性价比高，适合于系统不大但又有模拟量需要控制的场合。新推出的 IP3416 机，其 I/O 点数扩大到 34 点输入、12 点输出，而且还自带一个简易编程器，性能又有改进。

- 美国 GE 公司、日本 FANAC 公司合资生产的 GE-FANAC 90-70 系列产品具有用软设定代替硬设定、结构化编程、多种编程语言等特点，它有 914、781/782、771/772、731/732 等多种型号。另外，还有中型机 90-30 系列，其型号有 344、331、323、321 多种；还有 90-20 系列小型机，型号为 211。

### ③ 日本公司。

- 日本 OMRON 公司。它生产的 CPM1A、P、H、CQM1、CVM、CV、Ha、F 型机中，大、中、小、微型均有，特别在中、小、微型方面更具特长，在中国及世界市场都占有相当大的份额。

- 日本三菱公司。小型机有 FI 系列和 FXZ 系列，中、大型机 A 系列有 AIS、AZC、A3A 等。

- 日本日立公司。E 系列为箱体式，基本箱体有 E-20、E-28、E-40、E-64，其 I/O 点数分别为 12/8、16/12、24/16 及 40/24。另外，还有扩展箱体，规格与主箱体相同，其中 EM 系列为模块式的，可在 16~160 点之间组合。

- 日本东芝公司。主要产品有 EX 小型机、EX-PLUS 小型机和 EX100 系列模块式 PLC。

- 日本松下公司。FPI 系列为小型机，结构也是箱体式的，尺寸紧凑。FP3 为模块式的，控制规模也较大，工作速度很快，执行基本指令仅需 0.1 $\mu$ s。

- 日本富士公司。NB 系列为箱体式的，小型机 NS 系列为模块式的。

④ 国内生产的产品。国内 PLC 厂家规模多不大，如无锡华光公司生产有多种型号与规格的 PLC，如 SU、SG 等。

## 1.2 PLC 控制系统的构成及工作方式

### 1.2.1 PLC 控制系统的构成

PLC 是基于计算机技术和自动控制理论发展而来的，它既不同于普通的计算机，又不同于一般的计算机控制系统，PLC 实质上是一种专用于工业控制的计算机，其硬件结构基本上与微型计算机相同。作为一种特殊形式的计算机控制装置，PLC 在系统结构、硬件组成、软件结构、I/O 通道以及用户界面诸多方面都有其特殊性。PLC 的基本结构如图 1-1 所示。

一般来讲，PLC 分为箱体式和模块式两种，但它们的组成是相同的，无论哪种结构类型的 PLC 都属于总线式开放型结构，其 I/O 能力可按用户需要进行扩展与组合。

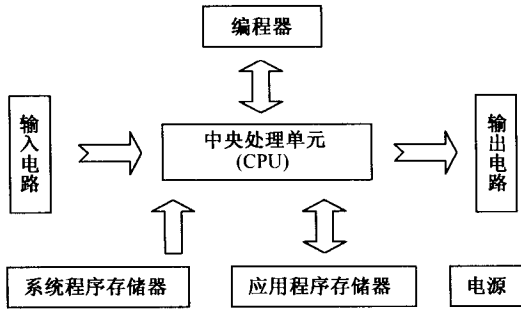


图 1-1 PLC 的基本结构图

### 1. CPU 的构成

CPU 是 PLC 的核心，起神经中枢的作用。每套 PLC 至少有一个 CPU，它按 PLC 的系统程序赋予的功能接收并存储用户程序和数据，用扫描的方式采集由现场输入装置送来的状态或数据并存入规定的寄存器中，同时用扫描的方式检查电源、存储器、I/O 模块以及定时器的状态，并能诊断用户程序中的语法错误。当 PLC 投入运行时，首先它以扫描的方式接收现场各输入装置的状态和数据，并分别存入 I/O 映像区，然后从用户程序存储器中逐条读取用户程序，经过命令解释后按指令的规定执行逻辑或算数运算，结果送入 I/O 映像区或数据寄存器内。等所有的用户程序执行完毕之后，最后将 I/O 映像区的各输出状态或输出寄存器内的数据传送到相应的输出装置中，去控制有关的外部电路。如此循环运行，直到停止。

在 PLC 中，CPU 的概念与普通微型计算机的 CPU 有很大的不同。在 PLC 中，CPU 指的不是一块集成电路，而是一个模板，其上不仅包括 CPU 芯片，还有 RAM 和 ROM（或者 EPROM）。而且，在中、大型 PLC 中，CPU 模板中一般有两块 CPU 芯片，其中一块作为主处理器，用于字节指令的处理，并实现各种控制作用；另一块作为辅助处理器，用于实现位信息的高速处理。

CPU 主要由运算器、控制器、寄存器及实现它们之间联系的数据线、控制线及状态总线构成。CPU 单元还包括外围芯片、总线接口及有关电路。内存主要用于存储程序及数据，是 PLC 不可缺少的组成单元。

在使用者看来，不必详细分析 CPU 的内部电路，但对各部分的工作机制还是应有足够的理解。CPU 的控制器控制 CPU 工作，由它读取指令、解释指令及执行指令，但工作节奏由时钟信号控制。运算器用于进行数字或逻辑运算，在控制器的指挥下工作。寄存器参与运算，并存储运算的中间结果，它也是在控制器的指挥下工作的。

CPU 的运行速度和内存容量是 PLC 的重要参数，它们决定着 PLC 的工作速度、I/O 数量及软件容量等，因此限制着控制规模。为了进一步提高 PLC 的可靠性，近年来对大型 PLC 还采用双 CPU 构成冗余系统，或采用三 CPU 构成表决式系统。这样，即使某个 CPU 出现故障，整个系统仍能正常运行。

CPU 模块的外部表现就是它的工作状态的种种显示、种种接口及设定或控制开关。一般来讲，CPU 模块总要有相应的状态指示灯，如电源显示、运行显示、故障显示等。箱体式 PLC 的主箱体也有这些显示，它的总线接口用于连接 I/O 模板或底板，内存接口用于安装内存，外设接口用于连接外部设备。有的还有通信口，用于进行通信。CPU 模块上还有许多设定开关，用以对 PLC 作设定，如设定起始工作方式、内存区等。



## 2. 内存模块

用户内存主要用以存储用户程序，个别的还将其中的一部分划归系统所用。系统内存是与 CPU 配置在一起的。CPU 既要具备访问这些内存的能力，还应提供相应的存储介质。用户内存的大小与可存储的用户程序量有关，内存容量大，可存储的程序量大，也就可以进行更为复杂的控制。不同的内部器件占据系统内存的不同区域。

内存器件种类越多，数量越多，越便于 PLC 进行逻辑量及模拟量控制。它也是表示 PLC 性能的重要指标。PLC 内部的 I/O 继电器（或称映射区）与 PLC 所能控制的 I/O 点数及模拟量的路数直接相关。在结构上内存模块都是附加于 CPU 模块之中的。PLC 常用的存储器类型有：

① 只读存储器（ROM）。ROM 只能读而不能写，程序是由厂家或开发商事先固化在其中，不能更改，即使失电也不丢失。

② RAM（Random Access Memory）。这是一种读/写存储器（随机存储器），其存取速度最快，由锂电池支持。

③ EPROM（Erasable Programmable Read Only Memory）。这是一种可擦除的只读存储器，在断电情况下存储器内的所有内容保持不变（在紫外线连续照射下可擦除存储器的内容）。

④ EEPROM（Electrical Erasable Programmable Read Only Memory）。这是一种电可擦除的只读存储器，使用编程器就能很容易地对其所存储的内容进行修改。

存储器是具有“记忆”功能的设备，它用具有两种稳定状态的物理器件来表示二进制数码“0”和“1”，这种器件称为记忆元件或记忆单元。记忆元件可以是磁芯、半导体触发器、MOS 电路或电容器等。位（bit）是二进制数的基本单位，也是存储器存储信息的最小单位，8 位二进制数称为一个字节（byte），可以由一个字节或若干个字节组成一个字（word），在 PLC 中一般认为 1 个或 2 个字节组成一个字。若干个记忆单元组成一个存储单元，大量的存储单元的集合组成一个存储体（Memory Bank）。为了区分存储体内的存储单元，必须将它们逐一进行编号，称为地址。地址与存储单元之间一一对应，且是存储单元的唯一标志。

根据存储器在 PLC 中所处位置的不同，可分为主存储器和辅助存储器。在 PLC 内部，直接与 CPU 交换信息的存储器称主存储器或内存储器。在程序执行期间，程序的数据放在主存储器内。各个存储单元的内容可通过指令随机读写访问的存储器称为随机存取存储器（RAM）。另一种存储器叫只读存储器（ROM），里面存放一次性写入的程序或数据，仅能随机读出。RAM 和 ROM 共同分享主存储器的地址空间。RAM 中存取的数据掉电后就会丢失，而掉电后 ROM 中的数据可保持不变。由于结构、价格因素，主存储器的容量受限。为满足计算的需要，可采用大容量的辅助存储器（或称外存储器），如磁盘、光盘等。描述存储器的技术参数有：

① 存储容量。存储器可以容纳的二进制信息量称为存储容量。一般主存储器（内存）的容量为几十千字节到几十兆字节，辅助存储器（外存）的容量为几百千字节到几千兆字节。

② 存取周期。存储器的两个基本操作为读出与写入，是指将信息在存储单元与存储寄存器（MDR）之间进行读写。存储器从接收读出命令到被读出信息稳定在 MDR 的输出端为止的时间间隔，称为取数时间（ $T_A$ ）；两次独立的存取操作之间的最短时间称为存储周期（ $T_{MC}$ ）。半导体存储器的存取周期一般为 60~100ns。

③ 可靠性。存储器的可靠性用平均故障间隔时间（MTBF）来衡量。MTBF 可以理解为两次故障之间的平均时间间隔。MTBF 越长，表示可靠性越高，即保持正确工作的能力越强。