

驱动装置（如电机、阀门）及与运动控制相关的驱动器电机等。

第 2 层现场控制层：包括可编程逻辑控制器（PLC）、分布式控制系统（DCS）、运动控制器和机器人控制器等。这些控制器接收并处理来自现场设备层的数据，实现对设备和执行器的监视与控制，确保生产过程的稳定性和效率。

第 3 层过程监控层：数据采集与监视控制（Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA）系统是基于计算机的系统，用于实时监视和控制生产过程。它提供了可视化界面，帮助操作员监控设备状态、收集生产数据，并进行必要的调度和控制。

第 4 层生产管理层：制造执行系统（Manufacturing Execution System, MES）连接了上层的计划管理系统与工业控制系统，是面向车间的管理信息系统。MES 包括生产计划与调度、物料管理、库存管理、工艺控制、质量管理、安全环保（HSE）、设备管理、能源管理、成本管理和绩效管理等功能，有效提升生产效率和管理水平。

第 5 层企业决策层：企业资源计划（Enterprise Resource Planning, ERP）是基于信息技术的管理平台，为企业决策层提供决策支持和运行手段。ERP 整合了企业的各个部门和功能，包括供应链管理、财务管理、人力资源管理等，帮助企业实现资源优化和整体运营效率的提升。

这些层次之间通过标准化的通信协议和网络连接紧密协作，构建了一个完整的工业控制系统，支持制造业在自动化和数字化转型中的各个环节与需求。

1.2 下位机发展应用

下位机是工业控制网络中现场控制层的核心，一般以控制器的形式存在，通常指的是一种相对于主机或上位机的次要计算机或控制设备。下位机可以直接对接现场的各种输入输出设备，通常配备了各种硬件接口，如数字量输入/输出、模拟量输入/输出、图像采集、串行接口、以太网接口等，用于实现与外部设备进行通信和控制。因此，下位机的主要功能包括执行特定的控制、数据采集、实时处理或低级操作任务。与其相对应的上位机则承担着更高级的任务，如业务处理、逻辑处理、数据处理等。两者相辅相成，共同构成了一个相对完整的控制系统。

下位机在工业领域中的应用非常广泛，特别是在嵌入式系统、自动化控制和通信设备等领域。常用的下位机控制器包括 PLC、单片机、运动控制器（运动控制卡）等。

1.2.1 PLC

1968 年，美国通用汽车公司提出了取代继电器控制装置的要求，随后在 1969 年，美国数字设备公司成功研制出了首台可编程控制器 PDP-14。自此之后，PLC 在自动化控制系统中扮演着至关重要的角色。经过超过半个世纪的发展历程，PLC 不仅没有被其他竞争者〔如基于个人计算机的控制系统（PC-Based）和可编程自动化控制器（PAC）〕所替代，而且还不断地发展和演进。

PLC 的种类繁多，根据控制规模一般分为小型、中型和大型 PLC。典型的小型 PLC 产品包括西门子的 S7-200/S7-200 Smart 系列 PLC、三菱的 FX 系列 PLC、欧姆龙的 CP 系列 PLC、

汇川的 H1U/H3U 系列 PLC、台达的 DVP 系列 PLC，以及信捷的 XC 系列等，西门子 S7-200 Smart 系列 PLC 的实物图如图 1-2 所示。



图 1-2 西门子 S7-200 Smart 系列 PLC 的实物图

除小型 PLC 外，针对控制规模较大的控制系统，我们也会使用一些中型和大型 PLC。中型和大型 PLC 包括西门子的 S7-1200/1500 系列 PLC、三菱的 L 系列/Q 系列/R 系列 PLC、欧姆龙的 NX/NJ 系列 PLC、汇川的 AM400/AM600 系列 PLC、台达的 AS/AH 系列 PLC 等。图 1-3 和图 1-4 分别是西门子 S7-1200 和 S7-1500 系列 PLC 的实物图。



图 1-3 西门子 S7-1200 系列 PLC 的实物图



图 1-4 西门子 S7-1500 系列 PLC 的实物图

在当前工业自动化领域，除了传统的信号采集、逻辑控制、高速计数和网络通信功能，PLC 逐渐扩展至运动控制领域。多家厂商推出了专门用于运动控制的 PLC 产品，如西门子的 1500T 运动控制 PLC、三菱的 QD77 运动控制模块、汇川的 H5U 系列 EtherCAT 总线 PLC 等。

近年来，随着工控编程语言国际标准 IEC 61131-3 的广泛应用和完善，软 PLC 作为一项新的控制技术迅速发展。软 PLC 利用通用操作系统和个人电脑（PC）作为软硬件平台，通过软件实现传统硬件 PLC 的控制功能，同时融合了 PC 的各种优点。

1986 年，德国倍福公司（Beckhoff）推出了第一款基于 PC 的设备控制器，随后在 1988 年推出了基于 PC 的软 PLC/NC（DOS），从而开启了新的运动控制时代。倍福公司自诞生以来，始终坚持以基于 PC 的自动化新技术为发展理念，其生产的工业 PC、现场总线模块、驱动产品和 TwinCAT 自动化软件构成了一套完整的、相互兼容的控制系统。倍福的 PC 控制器、持续发展的 EtherCAT 实时以太网通信技术和 TwinCAT 软件平台，共同构成了德国倍福公司 PC-Based 控制系统的核心组成部分。倍福（Beckhoff）PLC 的实物图如图 1-5 所示。



图 1-5 倍福 (Beckhoff) PLC 的实物图

在自动化应用的早期阶段, PC-Based 解决方案面临着来自传统 PLC 阵营的广泛质疑, 市场上存在着相关的争议。主要问题集中在 PC-Based 系统的稳定性、可靠性以及程序设计的不稳定性等方面。这些因素限制了 PC-Based 技术在工业控制领域的广泛应用。为了克服这些问题并实现 PLC 与 PC-Based 系统的整合, 美国研究机构 ARC 提出了可编程自动化控制器(PAC)架构。PAC 将传统的 PLC 和现代 PC-Based 技术进行了融合, 在 PC 层面大量应用嵌入式技术, 以提升系统的稳定性和可靠性。

尽管从功能上看, PC-Based 和 PAC 可以作为传统 PLC 的替代品, 但各自的控制器类型具有独特的优势和特点, 适用于不同的应用场景和市场背景。长期来看, PC-Based、PLC 和 PAC 这三种控制器类型将会共同存在, 满足不同行业和应用需求的多样化。

1.2.2 单片机

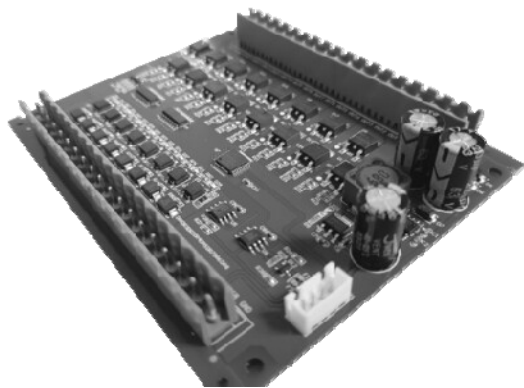


图 1-6 单片机开发板的实物图

单片机, 全称单片微型计算机, 英文名为 Micro Controller Unit, 简称 MCU, 是一种采用超大规模集成电路技术的微型计算机系统。它将具有数据处理能力的中央处理器 (CPU)、随机存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、多种 I/O 口、中断系统、定时器/计数器等以及各种电路系统 (包括显示驱动电路、脉宽调制电路、模拟多路转换器、A/D 转换器等) 集成到一块硅片上, 构成了一个小型而完整的微型计算机系统。在工业控制领域, 单片机应用十分广泛。图 1-6 是单片机开发板的实物图。

初学者在学习单片机和 PLC 时, 常会比较这两者, 以便理解它们的区别和联系。从技术实现的角度看, PLC 经历了多个发展阶段, 从早期的位带式处理器到单片机实现, 再到现代的 FPGA 和软 PLC 等, 甚至包括 ASIC 芯片 PLC 和基于 PC 技术的高速软 PLC。这种演化表明, PLC 本质上可以视为建立在单片机基础上的产品。在某些阶段, PLC 底层实际上运行在单片机之上, 其开发基于单片机技术, 并通过添加外围电路等组合而成。PLC 相对于单片机的最大优势在于其简单易用性和高稳定性。作为