第1章

制造系统概述

1.1 制造与制造系统

通常“制造”指的是产品的机械工艺过程或机械加工过程。词典中对“制造”的解释为“通过机器进行(产品)制作或生产,特别适用于大批量”。从技术角度而言,制造是运用物理或化学的方法改变原材料的几何形状、特性、外观等以形成相应产品的过程。从经济角度而言,制造是通过一个或一组工艺操作(加工、装配等)将材料转变为具有更大价值产品的过程。制造的本质是运用材料、机械设备、人,结合作业方法,使用相关检测手段,在适宜的环境下,达成质量、成本、效率、服务等目标。

随着生产力的发展,“制造”的内涵在范围和过程两个方面大大拓展。在范围方面,制造涉及的工业领域包括机械、电子、化工、轻工、食品和军工等国民经济领域的大量行业。制造业已被定义为将可用资源(物料、能源等)通过相应过程转化为可供人们使用的工业品或生活消费品的产业。在过程方面,制造不仅包括具体的工艺过程,还包括市场分析、产品设计、生产调度、工艺规划、切削加工、装配、运输、产品销售、售后服务及回收处理等产品全生命周期过程,如国际生产工程科学院(The International Academy for Production Engineering, CIRP)1990 年给出的“制造”定义是:制造是一个涉及制造业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务等一系列相关活动和工作的总称。

重庆大学张根保教授给出的定义是:制造是人类按照市场需求,运用主观掌握的知识和技能,借助手工或可以利用的客观物质和工具,采用有效的方法,将原材料转化为最终产品,并投放市场的全过程。因此,制造不是单纯的加工和装配过程,而是产品全生命周期内一系列相互联系的活动的集合。

系统是具有特定功能、相互间具有有机联系的许多要素构成的一个不可分割的整体。尽管系统可以进一步划分为更小的子系统,而且这些子系统也可以单独存在,并对外呈现一定的特性,但这些子系统都不具备原有系统的整体性质。系统具有以下性质。

(1) 目的性:所有的物理系统或组织系统都具有一定的目的。例如,制造系统的目的是将制造资源有效转变为有用的产品。为实现系统的目的,系统必须具有处理、控制、调节和管理功能。

(2) 整体性:系统由两个或两个以上可以相互区别的要素构成。系统的整体性要求从

整体协调的角度规划整个系统，从整体上确定各组成要素之间的相互联系和作用，再分别研究各要素。离开整体性研究系统的各要素，就失去了原有系统的意义，也无法实现系统的功能。

(3) 集成性：所有系统都由两个或两个以上的要素组成，每个要素都对外呈现自身特性，并有其自身的内在规律。但这些要素都要通过系统的整体规划有机集成为一个整体。因此，系统的集成性并不等于集合性，前者构成一个有机整体，可以实现系统整体运行的最优化；后者仅是各组成要素之间的简单叠加，不仅达不到最优，有时系统还会因参数不匹配而无法运行。

(4) 层次性：系统作为一个相互作用的各要素的总体，可被分解为不同级别子系统构成的层次结构。层次结构表达不同层次子系统之间的从属关系和相互作用关系。

(5) 相关性：组成系统的要素是相互联系、相互作用的，相关性表明这些要素之间的特定关系。研究系统的相关性可以明晰各要素之间的相互依存关系，提高系统的延续性，避免系统内耗，提高系统的整体运行效果。明确各要素的相关性是实现系统有机集成的前提。

(6) 环境适应性：所有系统都会受到外部环境的影响和约束，与外部环境进行物质、能量和信息的交换。一个良好的系统能够适应外部环境的改变，能够随着外部条件的变化而改变系统的内部结构，使系统始终运行于最佳状态。

对于制造系统，至今没有统一的定义，以下是几个比较权威的定义。

(1) 英国学者 Parmaby 于 1989 年给出定义："制造系统是工艺、机器系统、人、组织机构、信息控制系统和计算机的集成组合，其目的是取得产品制造的经济性和产品性能的国际竞争性。"

(2) 国际生产工程科学院(CIRP)于 1990 年公布定义："制造系统是制造业中形成的旨在生产的有机整体。在机电工程产业中，制造系统具有设计、生产、发运和销售的一体化功能。"

(3) 美国麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)教授 G. Chryssolouris 于 1992 年给出定义："制造系统是人、机器、装备及物料流和信息流的一个组合体。"

(4) 日本的人见胜人教授指出，制造系统可从结构、转变和过程三个方面定义。结构方面：制造系统是一个包括人员、生产设施、物料加工设备和其他附属装置等各种硬件的统一整体；转变方面：制造系统可定义为生产要素的转变过程，特别是将原材料以最大生产率转变为产品；过程方面：制造系统可定义为生产的运行过程，包括计划、实施和控制。

(5) 重庆大学张根保教授指出，制造系统是为达到预定的制造目的而构造的物理或组织系统。对于一个制造系统而言，信息、原材料、能量和资金是系统的输入，产品是系统的主动输出，废料及其他排放物是系统的被动输出。

综合上述定义可以认为，制造系统是制造过程及其涉及的硬件、软件和人员组成的一个将制造资源转变为产品或半成品的输入/输出系统，它涉及产品生命周期的全过程或部分环节。其中，硬件包括厂房、生产设备、工器具、计算机及网络等；软件包括制造理论、制造技术、管理方法、制造信息及相关的软件系统等。制造资源包括狭义制造资源和广义制造资源。狭义制造资源主要指物料和能源资源，包括原材料、毛坯、半成品等；广义制造资源还包括硬件、软件、数据、人员等。

制造系统可以从工艺类型、加工对象的品种和批量、层级结构、系统柔性、自动化程度和智能化程度等不同角度进行分类，如表1-1所示。

表1-1　制造系统类型

制造系统	按工艺类型分类	离散型制造系统	制造对象相互分离，制造过程按单个对象进行
		连续型制造系统	制造对象呈“连绵不断”状态
	按加工对象的品种和批量分类	少品种大批量制造系统	对提高生产率、降低成本发挥过重要作用，正在被多品种小批量制造系统取代
		多品种小批量制造系统	满足生产需求，要求系统的柔性很大
	按制造系统层级结构分类	单元级制造系统	以制造单元为单位组织生产的制造系统
		车间级制造系统	以车间为单位组织生产的制造系统
		企业级制造系统	以企业为单位组织生产的制造系统，由制造车间组成
	按系统柔性分类	刚性制造系统	难以适应制造对象的改变，适合于少品种、大批量制造
		柔性制造系统	具有较大的制造对象变化范围，适合于多品种、小批量制造
		可重构制造系统	系统的结构可随产品对象的变化而改变，加工对象范围广，适合多品种、小(变)批量制造
	按自动化程度分类	手动制造系统	以普通机床为主，设计和制造过程主要靠手工，自动化成分极少
		自动制造系统	可以是刚性自动化，可以是人机一体化，也可以是无人化制造系统
	按智能化程度分类	常规制造系统	需要大量人工干预的制造系统
		现代集成制造系统	将计算机技术、网络技术与制造系统相结合的自动化制造系统
		智能制造系统	将人工智能与现代集成制造系统相结合的自动化制造系统

1.2　典型制造系统

1.2.1　离散型/流程型制造系统

离散型制造系统制造的产品由许多零部件构成，各零件的加工过程是彼此独立的，零件通过部件装配和总装配最后成为产品。生产过程中，除了保证及时供料和稳定的加工质量外，还要控制零部件的生产进度。因为如果零部件生产的品种、数量不成套，就无法装配出产品。另外，如果生产进度导致不能按时成套，那么少数零件的生产进度拖期，必然延长整个产品的生产周期，以至延误产品交货期。同时，还会造成大量在制品积压，导致生产资金流动不畅。

离散型制造系统生产过程复杂，产品种类繁多，非标程度高，工艺路线和设备使用灵活，车间形态多样，运营维护复杂。此外，还具有以下特点。

(1) 产品结构层次明晰。离散型制造业的产品结构可以用树状结构描述，最终产品一般由固定数量的零件或部件组成，相互间的关系是固定和明确的。

(2) 产品工艺流程复杂。离散型制造业的产品生产过程是断续、离散的，主要生产工艺

方法有铸造、锻造、焊接、机械加工等，不同零件的生产工艺过程不同，同一零件产量不同时，工艺过程也会有较大区别。

(3) 生产计划管理要求高。典型的离散型制造企业是按照订单组织生产的，一般采用多品种、小批量生产方式，产品的工艺环节较多，组织生产的难度较大，采购和生产快速响应要求高，常需应用计算机辅助生产计划排产及管理工作。

流程型制造系统是以各类自然资源为原料，通过包含物理化学反应的气、液、固等多相共存的连续生产过程，为下游制造业提供原材料和能源的基础工业。连续型制造系统制造工艺具有以下特点：工艺过程是连续进行的；工艺过程的加工顺序是固定不变的，生产设施按照工艺流程布置；生产对象按照固定的工艺流程连续不断地通过一系列设备和装置，被加工、处理为成品。连续型制造系统生产管理的重点是保证连续供料和每一生产环节的正常运行。因为任一个生产环节出现故障，都会引起整个生产过程的瘫痪。由于产品和生产工艺相对稳定，通常采用各种自动化装置，实现对生产过程的自动化控制。

飞机、船舶、电子设备、机床、汽车等行业属于离散型制造业。石油化工、钢铁和有色金属、建筑材料等行业属于流程型制造业。

1.2.2 单元/车间/企业级制造系统

在生产实践中，根据制造系统的层级结构，可将制造系统分为单元级制造系统、车间级制造系统和企业级制造系统，如图 1-1 所示。

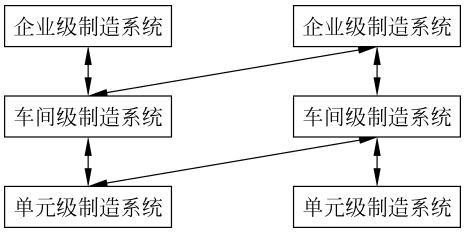

图 1-1 单元/车间/企业级制造系统

单元级制造系统(制造单元)是在成组技术(group technology，GT)的基础上发展起来的一种生产模式，它根据成组技术将零件划分为零件组，并分配给相应的机床单元组织生产，从而将小批量、多品种生产转化为大批量生产，减少生产准备时间，缩短产品交货期。

车间级制造系统的基本功能是实现从制造物料(原材料、毛坯、外购件等)到成品(零件、部件或产品)的转换，其功能可分为两大类。

(1) 直接完成物料的运输、储存、加工、装配及测试检验等生产制造活动。

(2) 在车间范围内管理、调度和控制生产过程中的相关活动，包括与其子系统进行双向信息交换活动。

在现代制造系统中，车间级制造系统完成的加工任务是动态变化的，如产品种类、规格、批量、交货期等。加工任务变化会导致加工路线、加工设备变化，因此，为满足市场/用户日益多样化和个性化的需求，车间级制造系统的组织结构应与其下属制造单元具有一定的柔性，是可动态重组的，即制造单元随着生产任务的不同而动态变化，当加工任务完成以后，旧

单元随之解散，等待新任务的需求而重新组合。重构的制造单元是一种逻辑上的单元，即虚拟单元，可通过计算机网络实现对制造单元的分布式控制。

具备物料到产品转换功能和车间结构可重组特征的车间级制造系统，其运行过程包括管理、技术两条纵向主线和生产横向主线，如图 1-2 所示。

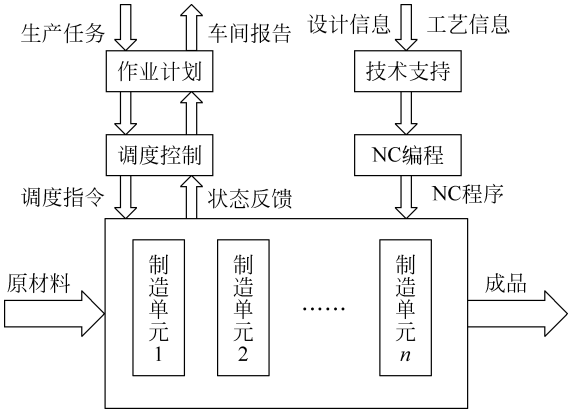

图 1-2　车间级制造系统

（1）管理主线：将上级下达的生产任务分解为可执行的作业计划；对实施情况进行控制监督，实现生产过程的优化运行；对系统内的资源进行动态调度；将车间的生产、资源、质量状况以车间报告的形式向上级部门反映。

（2）技术主线：保证工艺规程的执行，解决生产现场出现的技术问题并完成数控机床的编程任务。

（3）生产主线：完成与系统相关的物料输送，并根据控制指令和设计工艺技术要求完成零件的切削加工和部件装配任务。

企业级制造系统的组织结构如图 1-3 所示。这是传统制造企业最典型的组织结构，各部门之间的信息传递是串行的，不具备并行传递功能。因此，随着精益生产方式和并行管理方式的实施，企业级制造系统的组织结构不断向扁平化、网络化发展，与此适应的系统运行管理方式也在不断发生变化，涌现出了制造执行单元等先进的系统控制方法。

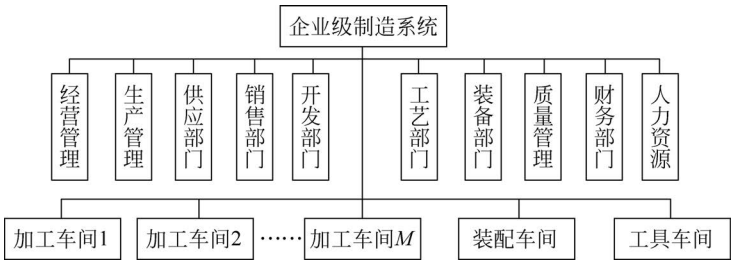

图 1-3　企业级制造系统的组织结构

目前，企业级制造系统的运行控制类似车间级制造系统的运行控制，由管理、技术两条纵向主线和生产销售横向主线组成，如图 1-4 所示。

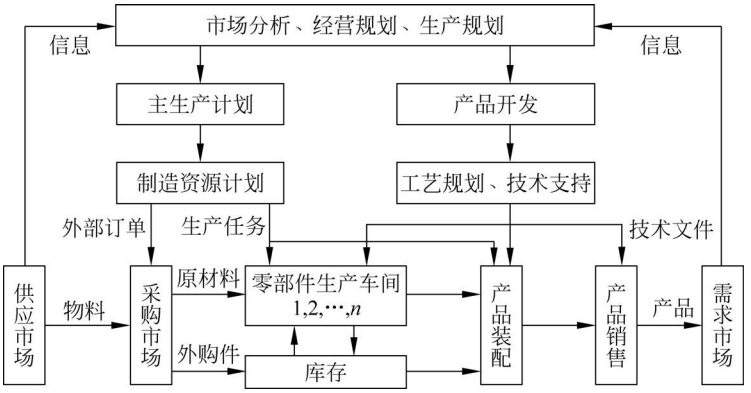

图 1-4　企业级制造系统的运行控制

1.2.3　自动化制造系统

广义上来说，自动化制造系统(automatic manufacturing system，AMS)是由一定范围的加工对象、一定的制造柔性、一定自动化水平的各种设备和高水平的技术人员组成的一个有机整体。它接受外部信息、能源、资金、外购件和原材料等，将其作为输入，在人和计算机控制系统的共同作用下，实现一定程度的柔性自动化制造。一般认为自动化制造系统具有5个典型的组成部分。

1. 一定技术水平和决策能力的人

现代自动化制造系统是充分发挥人的人机一体化的柔性自动化制造系统。因此，系统的良好运行离不开人的参与。对于自动化程度较高的制造系统，例如，柔性制造系统(flexible manufacturing system，FMS)，人的作用主要体现在对物料的准备和对信息流的监视和控制方面。对于物流自动化程度较低的制造系统，如分布式数控系统(distribute numerical control，DNC)，人不仅要监视和控制信息流，还要更多地参与和决策物流过程。总之，自动化制造系统对人的要求并未降低，而是提高了，它需要具有一定技术水平和决策能力的人。

2. 一定范围的加工对象

现代自动化制造系统能在一定的范围内适应加工对象的变化，变化范围一般在系统设计时已经设定。现代自动化制造系统加工对象的划分一般是基于成组技术原理进行的。

3. 物料流及物料处理系统

物料流及物料处理系统是自动化制造系统的主要组成部分，它在人的帮助下或自动将原材料转化为最终产品。一般来讲，物料流及物料处理系统包括各种自动化或非自动化的物料储运设备、加工设备、检测设备、清洗设备、热处理设备、装配设备、控制装置和其他辅助设备等。

4. 能量流及其控制系统

能量流为物流过程提供能量，以维持系统的运行。供给系统的一部分能量用于维持系统运行，做了有用功；另一部分能量则以摩擦和传送过程中的损耗等形式被消耗。

5. 信息流及其控制系统

自动化制造系统的信息流控制物流过程，也控制产品的制造质量。系统的自动化程度、柔性程度及与其他系统的集成程度，都与信息流控制系统关系很大。

因此，典型的自动化制造系统通常由以下子系统组成：毛坯制备自动化子系统、机械加工自动化子系统、储运过程自动化子系统、装配过程自动化子系统、辅助过程自动化子系统、热处理过程自动化子系统、质量控制自动化子系统和系统控制自动化子系统。人作为自动化制造系统的基本要素，可以与任意自动化子系统结合。

1.2.4　柔性制造系统

20世纪下半叶以后，制造企业的竞争焦点转向如何提高生产柔性，如何快速向客户提供高质量、个性化的产品和服务。在这种情况下，柔性制造系统应运而生。柔性制造系统是由计算机控制系统和物流系统连接起来的一系列自动化加工设备和辅助设备，是加工对象、工艺过程、工序内容和生产节拍等可自动调节的高度自动化制造系统。

我国国家军用标准中有关武器装备柔性制造系统的描述如下：柔性制造系统是由数控加工设备、物料运储装置和计算机控制系统等组成的自动化制造系统，它包括多个柔性制造单元，能根据制造任务或生产环境的变化迅速进行调整，适用于多品种、中小批量生产。

美国制造工程师协会将柔性制造系统定义为“使用计算机控制、柔性工作站和集成物料运储装置控制并完成零件族某一工序或一系列工序的一种制造系统”。

在硬件方面，柔性制造系统一般包括以下组成部分。

(1) 两台以上数控机床或加工中心及其他加工设备，包括测量机、清洗机、动平衡机、各种特种加工设备等。

(2) 一套能自动装卸的运储系统，包括刀具的运储和工件原材料的运储。具体结构可采用传送带、有轨小车、无轨小车、搬运机器人、上下料托盘、交换工作站等。

(3) 一套计算机控制系统。

在软件方面，柔性制造系统需要实现运行控制、质量保证、数据管理和通信网络。

在功能方面，柔性制造系统要实现以下功能。

(1) 自动进行零件批量生产。

(2) 简单地修改软件程序，便能制造出某一零件族的任意零件。

(3) 物料的运输和储存必须是自动的(包括刀具、工装和工件)。

(4) 解决多机条件下零件的混合比问题且无须增加费用。

由于柔性制造系统生产的产品品种、数量可变，能适应多品种、各种批量的自动化生产，所以能快速响应用户和技术发展对产品品种、性能、数量的需求变化。为满足现代生产需求，近年来国内外学者提出了一种新的制造系统。对于该制造系统，当市场产品需求增大时，可以很快将新设备无缝集成到原有系统中，提升原有生产系统的生产能力；当产品种类需求变化时，可以在设备上增加、更换功能模块，改变机床的加工功能，从而满足新产品的加工要求；当产品工艺路线变化时，可以快速调整原有系统的布局结构，以满足新工艺的要求。该制造系统的核心是以企业的自身变化来适应企业环境的变化。这种以变应变的制造模式使制造企业既具有很高的生产效率，又具有很好的柔性，是未来制造系统的发展方向。

有学者将该制造系统命名为可重构制造系统(reconfigurable manufacturing system,RMS),也有学者称之为快速重组制造系统(rapidly reconfigurable manufacturing system,RRMS)。

迄今为止,学术界和工业界关于可重构制造系统没有明确的定义,具有代表性的阐述有以下两种。

1. 第一种阐述

可重构制造系统是指为了在一个零件族内快速调节生产能力和制造功能以适应市场需求或政府调节的突然变化,从一开始就将结构、硬件和软件组元设计成可快速变化的制造系统。该阐述是由 1999 年密歇根大学的 Koren 教授等在 CIRP 年会上提出的,其特点包括:①将加工对象限定在按成组技术分类的一个零件组(族)内;②强调重构是由生产能力和制造功能的需求变化驱动的;③要求在可重构机床的基础上进行重构。

2. 第二种阐述

可重构制造系统是一种能够遵循市场需求变化、系统规划与设计的规定,以重排(重新组态)、重复利用和更新系统组态或子系统的方式,实现较低的重构成本、较短的系统研制周期、较高的质量和投资效益,快速调整制造过程、生产功能和生产能力的可变制造系统。该定义 2000 年由清华大学的罗振璧教授等提出,其特点包括:①将加工对象定义在系统规划与设计的范围内;②强调重构是由生产过程、生产功能和生产能力的需求变化驱动的;③强调制造系统的系统级重构,将重构层次由设备级扩展到系统级。

尽管学术界和工业界关于可重构制造系统没有明确的定义,但可重构制造系统具有以下特征。

(1) 可变性:可重构制造系统最大的特点是可变性,其生产能力和生产功能随着外界环境的变化而变化。

(2) 模块化:可重构制造系统具有模块化的结构,可根据外界环境需求变化调整制造系统的模块,改变其生产功能和生产能力。可重构制造系统的三个子系统,即可重构加工系统、可重构物流系统和可重构控制系统均具备模块化特性,从而使系统真正具备可变性。同时,模块化结构可降低制造系统的设计难度,使系统便于维护。

(3) 标准化:各种模块具有标准的接口,保证各模块的互换。

(4) 定制性:因柔性制造系统尽可能地包含一切可能的功能,所以其前期购置费用和后期维护费用高昂,可重构制造系统的设计只针对某一系列产品,而不针对各种各样的产品。

(5) 集成性:作为新一代制造系统,可重构制造系统具备集成性,保证物质流、信息流和能量流在系统内部顺利流动。

(6) 可诊断性:可重构制造系统需要经常重构,缩短其重构时间显得尤为重要,可重构制造系统可对产品加工质量和可靠性进行识别和分析。

1.2.5 现代集成制造系统

20 世纪中叶以后,随着制造业对技术进步的强烈需求,以及计算机、通信和数字控制等信息化技术的发展和广泛应用,制造系统进入数字化制造时代。数字化制造是在制造技术和数字化技术融合的背景下,对产品信息、工艺信息和资源信息进行数字化描述、集成、分

析、决策和执行，进而快速生产出满足用户需求的产品。数字化制造主要聚焦提升企业内部竞争力，提高产品设计和制造质量、提高劳动生产率、缩短新产品研发周期、降低成本和提高能效。数字化制造的主要特征表现为以下4个方面。

(1) 产品设计数字化。在产品设计阶段，引入大量的CAD/CAE/CAM软件进行数字化设计，实现设计过程、制造过程、结构分析和装配过程的仿真和优化，提高产品研发效率，降低研发成本。

(2) 制造装备数字化。在产品制造阶段，引入大量的数字化装备和工器具，例如，广泛应用数控机床、加工中心进行切削加工，利用增材制造设备实现原型机/试验机的快速制造。

(3) 过程控制数字化。在生产过程中，引入制造执行系统(manufacturing execution system，MES)、过程控制系统(process control system，PCS)等，以改善生产过程的自动化程度，提高现场的生产效率，降低劳动强度。

(4) 生产管理数字化。从宏观上，通过企业资源规划(enterprise resource planning，ERP)系统的实施，提高企业生产的计划性和规律性，从微观上，利用数字化技术实现仓储管理和控制自动化，开发提高质量管控水平的计算机辅助质量管理系统，同时为提高生产过程自动化程度，开发产品数据管理系统和产品全生命周期管理系统。

数字化技术能够实现制造全部过程各环节的集成和优化运行，产生以计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system，CIMS)为标志的解决方案。在这个阶段，以现场总线为代表的早期网络技术和以专家系统为代表的早期人工智能技术在制造业得到应用。CIMS以自动化技术、信息技术及制造技术为基础，利用计算机技术及信息通信技术，将企业全部生产活动所需的分散软件系统集成起来，在系统层面实现产品研制和制造过程的优化，适用于多品种、中小批量生产。

20世纪80年代，世界各国都十分重视计算机集成制造系统的发展，美国国家标准局和欧洲共同体等都制定了基于CIMS的发展战略。在中国“863”高技术研究发展计划的支持下，自动化领域CIMS专家组结合我国国情，总结提出了新的数字化集成制造系统——现代集成制造系统。现代集成制造系统的主要特征包括以下几点：①提出了CIMS数字化、虚拟化、网络化、智能化和绿色化的现代化特征；②拓展了系统集成优化的内容，包括异构系统信息集成、串行到并行的制造过程集成；③建立了CIMS的技术体系，突出了信息技术的赋能作用，强调管理与技术结合，以及人在系统中的重要作用，扩展了CIMS的应用范围。

现代集成制造系统是基于CIMS理念的一种信息时代新型生产制造模式与系统。现代集成制造系统是建立在价值链基础上的制造大系统，以信息集成为基础，以企业优化为目标，旨在实现制造业企业管理模式由生产制造型向经济效益型转变，增强企业产品设计能力，提高生产制造效率，提升市场响应能力。

1.2.6　智能制造系统

20世纪末至21世纪初，互联网技术快速发展并得到普及和广泛应用，“互联网＋”不断推进制造业和互联网融合发展，制造技术与数字技术、网络技术的密切结合重塑制造业的价值链，推动制造业从数字化制造向网络化制造转变。在数字化制造的基础上，深入应用先进的通信技术和网络技术，通过网络将人、流程、数据与实物连接起来，通过企业内、企业间的协同和各种社会资源的共享与集成，实现产业链的优化，快速、高质量、低成本地为市场提供

所需的产品和服务。先进制造技术与数字化网络化技术的融合，使企业对市场变化具有更强的适应性，能够更好地收集用户对产品使用和产品质量的评价信息，在制造柔性化和管理信息化方面达到更高的水平。

因此，网络化制造系统是指通过与先进的网络技术、信息技术和制造技术相结合，构建面向企业特定需求的基于网络的制造系统。它突破了空间地域对企业生产经营范围和经营方式的约束，开展覆盖产品全生命周期的全部或部分环节的企业业务活动，实现企业间制造能力的协同和各种社会资源的共享与集成，高效、高质量、低成本地为市场提供产品和服务。网络化制造系统体现了制造技术与云计算、物联网、大数据等信息技术的融合，强调产品全生命周期制造要素的互联，解决制造全流程“数据孤岛”问题。网络化制造系统以云制造服务平台为载体，为用户提供可随时获取、按需使用、安全可靠和质优价廉的制造全生命周期服务，实现制造资源/能力协同共享。

近年来，随着人工智能算法的重大突破，引发了互联网真正的大数据革命，在算法、算力、数据三大核心技术与其他各种先进技术互融互通的基础上，人工智能技术已经实现战略突破，进入“新一代人工智能”时代，新一代人工智能呈现出深度学习、跨界融合、人机协同和群体智能等新特征。新一代人工智能技术与先进制造技术的深度融合，形成了新一代智能制造，智能制造由此诞生。

那么，到底什么是智能制造呢？科技部 2012 年 3 月发布的《智能制造科技发展“十二五”重点专项规划》指出，智能制造技术是在现代传感技术、网络技术、自动化技术等先进技术的基础上，通过智能化的感知、人机交互、决策和执行技术，实现设计过程、制造过程和制造装备智能化，是信息技术和智能技术与装备制造技术的深度融合与集成。工信部 2016 年发布的《智能制造发展规划(2016—2020 年)》中明确定义了智能制造：“智能制造是基于新一代信息通信技术与先进制造技术深度融合，贯穿设计、生产、管理和服务等制造活动的各环节，具有自感知、自学习、自决策、自执行和自适应等功能的新型生产方式。”

周济院士曾给出智能制造的定义：“智能制造是由数字化、网络化、智能化技术向制造赋能，并与制造技术深度融合而形成的。其中，制造领域技术是本体技术，数字化网络化智能化技术是赋能技术，智能制造技术是技术融合和系统集成式创新技术。”

李培根院士也曾给出智能制造及智能制造系统的极简定义：“智能制造是将机器智能融合于制造的各种活动中，以满足企业相应的目标。智能制造系统是将机器智能融入人和资源等形成的系统中，使制造活动能够动态地适应需求和制造环境的变化，从而满足系统的优化目标。”

因此，相较于自动化制造系统、现代集成制造系统等先进制造系统，智能制造系统最大的变化在于人工智能技术对先进制造技术的主导作用。智能制造系统中增加了基于新一代人工智能技术的学习认知部分，不仅具有更强大的感知、决策与控制的能力，还具有学习认知、产生知识的能力，即拥有了真正意义上的“人工智能”。信息系统中的“知识库”由人和信息系统自身的学习认知系统共同建立，它不仅包含人输入的各种知识，更重要的是，还包含信息系统自身学习到的知识，尤其是那些人类难以描述与处理的知识。并且知识库可以在使用过程中不断学习，进而不断积累、不断完善、不断优化。

新一代人工智能技术赋予信息系统强大的“智能”，从而为智能制造带来了三个重大技术进步：①从根本上提高了制造系统建模的能力，极大提高了处理制造系统复杂性、不确定