

新一代信息技术的迅猛发展极大地拓展了制造业的广度和深度。随着现代制造对产品开发要求的不断提高,以及产品逐步转向多品种、小批量的订单模式,企业内各系统之间的统一性与有效整合问题逐渐凸显,因此有必要对企业内部进行梳理,在原来信息化建设的基础上,充分考虑制造企业未来发展的需要,推进现代制造企业的数字化工厂建设。数字化工厂作为信息技术和制造技术融合的最佳结合点,作为制造企业迈向智能工厂的基础,研究其如何建设,探讨数字世界与物理世界之间怎样实现无缝衔接,具有十分重要的意义。

5.1 数字化工厂建设概述

5.1.1 建设原则

在数字化工厂建设过程中,要遵循以下几个原则。

1) 统一规划与管理

“统筹规划,资源共享”是数字化工厂建设的核心。在建设全过程中统一规划,并在企业领导的大力支持下,由项目实施小组指导各部门进行数字化建设,实现数字化网络的整合,共享资源,防止重复建设。“应用主导,面向市场”是数字化建设的内在动力和重要手段。信息化发展重在信息技术的普及应用,要重视需求导向和应用效果。

2) 选择最适合的技术

在数字化建设过程中,要依据企业自身的功能、用途需求选择最适合的技术,而不是最先进的技术。先进的技术并不一定能在企业数字化建设中发挥最大的效用。同时,也要考虑其适用范围,若该项先进技术的适用范围狭小,外部接口性不佳,只能在局部范围内适用,则其使用成本过高,也是一种资源的浪费。

3) 层层推进,追求实效

制造业的数字化工厂建设是一个大的系统工程,并非几天、一个月就能建设好并投入使用的,它需要一个较长的实施周期,不能跨越式建设;每个阶段的建设都以前一阶段的建设为基础,需要逐步推进;而且在建设过程中准备时间较长,因为很多问题并不是技术上的问题,而是管理、组织方式的变革。例如在一些传统制造企业中,无论是组织架构还是人员观念的改变,都不是一步到位的,需要充分的准备,理清思路,通过一步一步实践取得成就,让管理者与员工切身感受数字化建设所带来的好处,以更好地推进数字化的建设。

4) 系统本身要“扁平”

在数字化建设的过程中,我们肯定会碰到的一个问题都是“信息孤岛”。在信息化建设过程中,企业为了提高作业的效率等,肯定开发了各类系统,但由于不具备统一性,就会造成所谓的“信息孤岛”。为了解决这一问题,要全面推进数字化建设,要对数据进行必要的集中与统一,淘汰一部分不合适的系统,这也是系统扁平化提出的需求。但具体也要依情况而定,对于某些系统可以考虑是否可以建立桥梁等。

5) 以“应用”促“建设”

数字化工厂的建立,其主动对象还是人。在这一过程中,不仅仅是让人去适应先进的技术,更是要让人们了解这项技术的好处,通过培训实践,发挥其主观能动性,吸收员工参与到数字建设中来。员工是数字化工厂建设现场的第一人员,要充分考虑他们的意见与想法,这样数字化工厂建设的推进才会更加顺畅,其实际效果才能得到更好的提高,建设更为有效。

5.1.2 难点与问题

数字化工厂内容庞大,体系较多,企业在建设中往往存在诸多问题,也成为企业数字化转型中的障碍。本书在这里将归纳诸多企业在建设过程中存在的共性难点与问题。

1) 环境的变化与不确定性增加

当今企业内外部环境愈发复杂,新技术、新要求等层出不穷。面对企业之前的业务、系统、思维与当今新的变化,企业周边的不确定性增多。例如引入新技术、新系统等,企业无法预知是否带来效益,无法预知的风险因素增多。随着大环境的推动,企业需要提高对数字化的重视程度,要主动拥抱数字化;在数字化转型过程中,数据资源的重要性、数字化投入的“常态化”,需要企业建立数字化规划与 IT 治理体系等越来越多的新内容,因此碰到的问题逐渐复杂与深入。

2) 多车间、多业务系统存在整合问题

随着企业规模的扩大,多车间、多系统建设已成常态化,往往带来整合集成问题。例如系统间数据的共享、人员的管理等,正困扰着多数企业。如何合理地整合集成海量信息数据、管理多系统是当下需要解决的重要问题。

3) 现有业务系统应用深度不够

引入新系统的目的在于数字化、集成化地完成业务,获取更多价值。但由于企业对系统的认知不足、对数据信息的整合不够等,导致系统应用浮于表面,仅仅应用了基础功能,因此也无法达到数字化工厂的要求。以 ERP 系统为例,存在如下问题:基础数据和动态数据存在问题,数据无法为决策提供支持;很多业务游离在系统之外,无法纳入规范化管理;

系统功能应用不完全,许多功能未应用,在很多企业中沦为记账工具;重建设、轻运维,中领导应用系统较少;业务流程未优化,系统运行效率低下等。

4) 战略规划、管理方式、生产执行间无法匹配

战略规划为企业项目建设提供方向性指引,是企业稳定运营的方向盘;良好的管理模式为企业业务的正常运转保驾护航;生产执行是企业的根本性支柱。然而,企业在数字化建设中却经常存在三者无法匹配的问题。例如,数字化建设缺乏整体规划,导致内部系统按部门需求建设,各自为政,相互独立;数字化无法为集团管控提供有力的支撑,无法与集团发展战略相适应;重项目建设,轻日常运维,导致系统没有发挥出应有的价值;数字化缺乏统一要求与指导,导致后期数字化建设路径混乱;系统重复性建设,导致资源浪费;以旧的管理模式对接数字化工厂建设,缺乏对于组织文化的营造;数字化能力不足,导致数字化建设无力运行、流于形式等。

5) 数据无法有效管理

数据作为工业企业的“血液”和数字化转型的关键核心要素,地位无比重要。然而在企业内往往存在以下问题:数据采集设备与技术不足;一物多码现象普遍存在,系统中的数据不具有可信度;数据分散在多个系统中,管理混乱;数据无法为决策服务,甚至导致错误决策;数据安全问题缺乏统一管理,存在隐患;数据治理体系不完善,不重视对数据的治理。

综上所述,企业的数字化工厂建设要有基本能力、知识、数据治理、业务整合集成等方面的储备和建设,以保证数字化工厂持续稳步有序地推进。

5.2 数字化工厂建设架构

企业架构是把企业的商业愿景和业务战略转化为有效的信息化建设和管理的过程。为了明确数字化工厂的总体框架与建设思路,清楚各业务系统、业务流程的布局安排,需要制定数字化工厂建设架构。架构的制定以业务战略为指导,对企业的战略目标进行分解,进而转化为日常业务运作的过程。基于前述内容的分析,笔者试图以中台思维来构建数字化工厂的建设架构。中台的理论知识在本书 2.2.1 节中已经阐述,构建依据参考图 2.4 所示的中台架构图,建设思路为“前台+中台+后台”(见图 5.1)。

数字化工厂建设架构的建立首先考虑了其应有的核心功能和基本要素,完善的功能和有活力的建设要素可以为数字化工厂建设及后续的实施运营提供充足的动能;其次,基于对已有研究的归纳总结,从研发设计数字化、生产运行数字化、企业管理数字化和支撑保障数字化四个方面论述数字化工厂建设内容;最后,结合“前台+中台+后台”的建设思路,搭建数字化工厂建设架构。结合 2.2.1 节对数字中台的介绍,这里综合考虑以数字中台的思想将建设数字化工厂的基础设施、业务系统、设备资源等沉淀为企业后台,将业务系统、设备等产生的数据信息等利用工业互联网的连接、聚合、分析功能来统一构建企业的数字中台,作为企业的核心业务能力和智能中心。前台则基于中台和后台的数据、信息等放置工业 App,以可视化的方式连接客户、第三方合作者等群体。而数字化技术、标准和规范则为数字化工厂的建设提供支持。架构图同时将层级、平台整合进去,以符合中台的特征,以有效提高企业的资源整合效率。

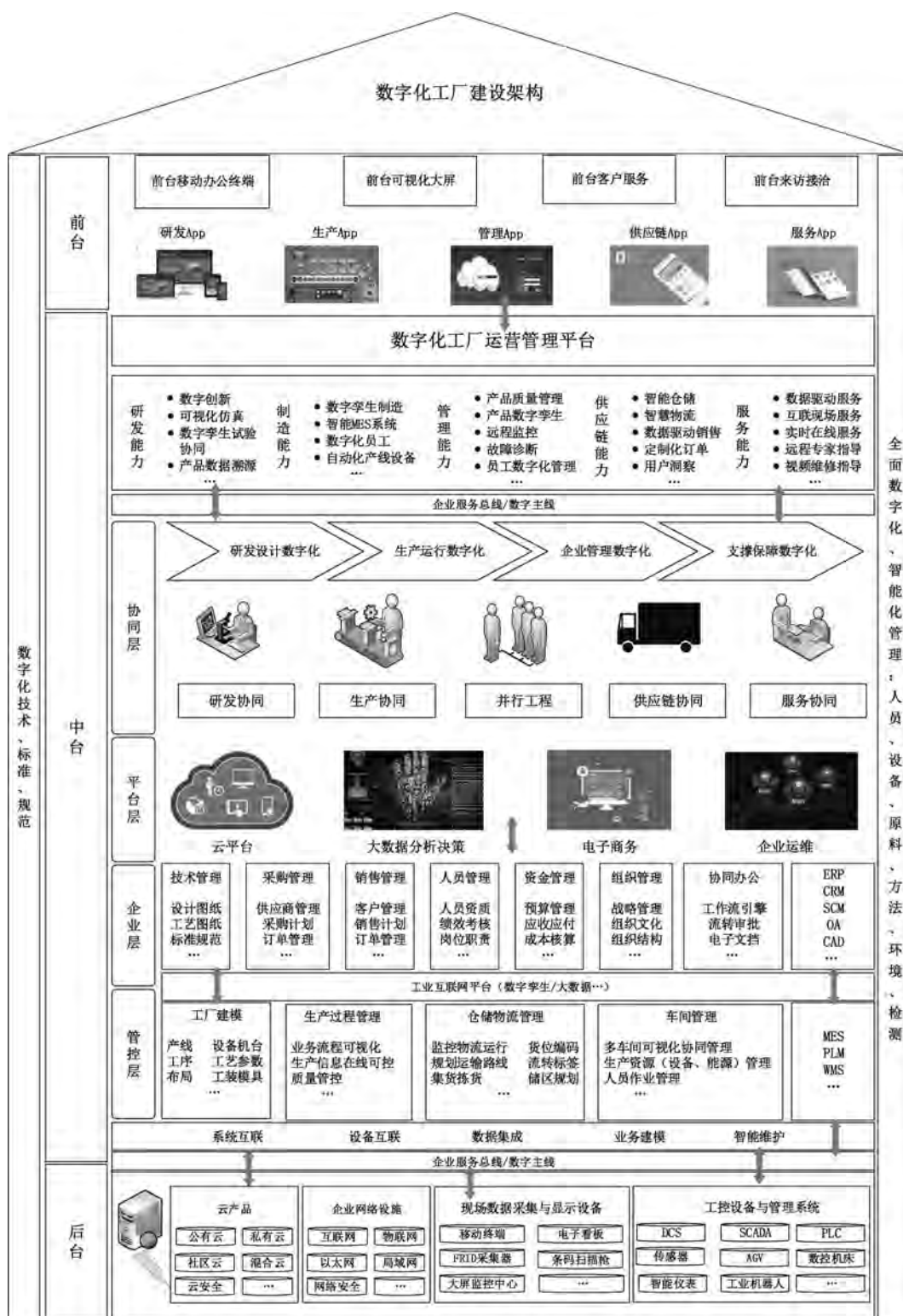


图 5.1 数字化工厂建设架构

通过中台的搭建,聚合业务、技术、知识、数据等,进而将其沉淀、加工为有价值的信息,一方面供给前台使用;另一方面以中台的智能、连接、聚合功能,及时洞察到环境的变化、客户的需求并反馈给后台,使得机会、风险、需求等重要信息及时地被企业获取,从而赢得先机。

5.2.1 数字化工厂建设应具备的核心功能要素

数字化工厂建设应实现三个核心功能,分别是互联互通、系统集成、数据信息融合。

1. 互联互通

数字化工厂的核心是连接,要把设备、生产线、工厂、供应商、产品、客户等紧密地连接在一起。数字化工厂适应了万物互联的发展趋势,将无处不在的传感器、嵌入式终端系统、生产加工检测设备通过信息化系统形成一个网络,使得生产设备之间、设备与产品之间以及数字世界(虚拟世界)与物理世界之间能够互联,使得机器、工作部件、系统以及人通过网络持续地保持数字信息的交流。

(1) 生产设备之间的互联。生产设备之间互联是指单机设备的互联,不同类型的功能的单机设备互联组成生产线,不同的生产线间互联组成数字化车间,不同的数字化车间互联组成数字化工厂,不同地域、行业、企业的数字化工厂互联组成一个制造能力无所不在的数字化制造系统联盟。

(2) 设备与产品的互联。产品和生产设备之间能够通信,使得操作人员能够随时了解产品目前所处的加工阶段、下一步的操作以及产品的制造时间等信息。

(3) 虚拟与现实的互联。通过信息化手段将物理设备连接到互联网上,让物理设备具有计算、通信、控制、远程协同等功能,从而实现虚拟网络世界与现实物理世界的融合。

2. 系统集成

数字化工厂将传感器、嵌入式终端系统、控制系统、生产加工检测等物理设备通过信息化手段形成一个网络,使得人与人、人与设备、设备与设备以及服务与服务之间能够互联,从而实现企业横向集成、纵向集成以及未来价值链端到端的集成。

1) 横向集成

横向集成是指企业通过信息网络所实现的一种资源整合,包括生产线设备与设备之间、生产线和生产线之间、车间和车间之间、工厂和工厂之间的联网,这是实现数字化工厂的物理基础,也是未来实现企业间资源共享的基础。

为了实现某一智能产品的生产,也许需要世界范围内的资源配置,需要分布在全球的机器设备连接产品所需的自动化系统。生产智能产品的价值网络横向地集成了各个智能工厂的相关信息,以为智能制造服务。得益于互联网基础设施的完善,企业间的横向集成将在全球范围内进行。那些 IT 系统和企业计划过程也许是跨洲的、越洋的、分布在互联网所在的任何地方。价值网络所连接的公司也可能分布在互联网所在的任何地方。信息物理系统价值网络的横向集成是在世界范围内网络制造的成功经验基础上(如 A380 飞机的制造),在物联网和服务互联网(Internet of service, IoS)的支持下实现的新的互联网网络制造,其机理如图 5.2 所示。价值网络也包含了所连接的实体间的商业价值链。

2) 纵向集成

纵向集成指企业内部信息流的集成。采用统一的数据库和软件平台对设备资源数据、生产过程数据、产品数据等信息进行管理,使得主要设备互操作性和关键信息一致性得到

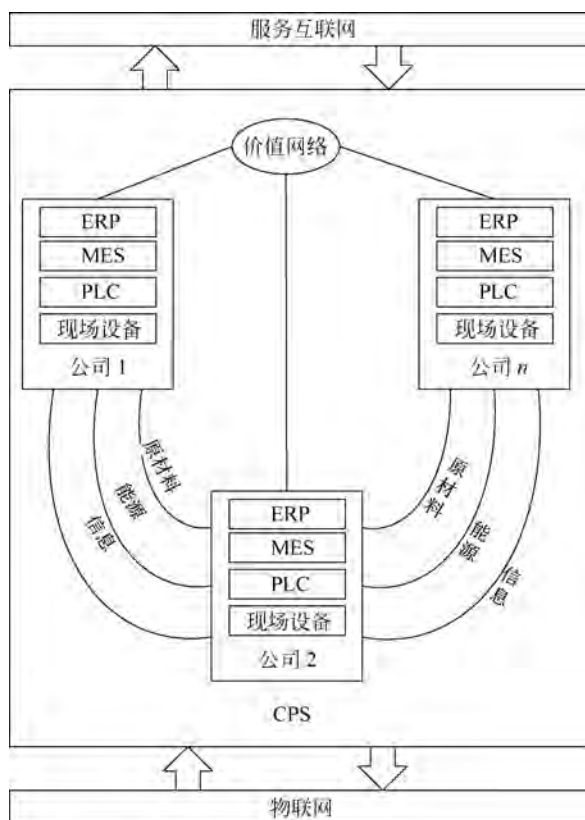


图 5.2 价值网络的横向集成

解决,数据或信息可以自上而下和自下而上地有效流动,从而为下一步的大数据分析和高级智能决策奠定基础。

3) 价值链端到端集成

价值链端到端集成指围绕产品全生命周期的价值链创造。通过价值链上不同企业资源的整合,实现从产品设计、生产制造、物流配送到使用维护的产品全生命周期的管理和服 务,即将产品制造企业的分析需求、获取订单、供应链和制造、物流交付、获取收入、售后服务直至获取新的订单的整个循环集成起来。

信息孤岛是当前我国制造业企业在信息化升级建设中普遍遇到的问题。信息孤岛的存在阻碍了各个生产单元之间信息的有效传递,从而对整个生产系统带来了负面影响。PLM 关系集成模型可以用于描述企业中各个数字业务或者各个学科之间的关系。事实上,企业在信息化的过程中建立系统也正是为了解决众多的业务问题。从底层技术角度来看,只要实现对 PLM 关系集成模型中的关系管理,就能实现端到端的整体协同,因此这是一种不错的解决方案。

从业务场景模型(见图 5.3)中,可以看出如下信息。

- (1) 需要多个 IT 厂商的共同努力才能为制造业提供完整的支撑。
- (2) 数据的交换与互通在制造业的四大关键环节中均有存在。
- (3) 业务场景模型的中间是一个主系统模型,实现了与各个信息系统的关联。

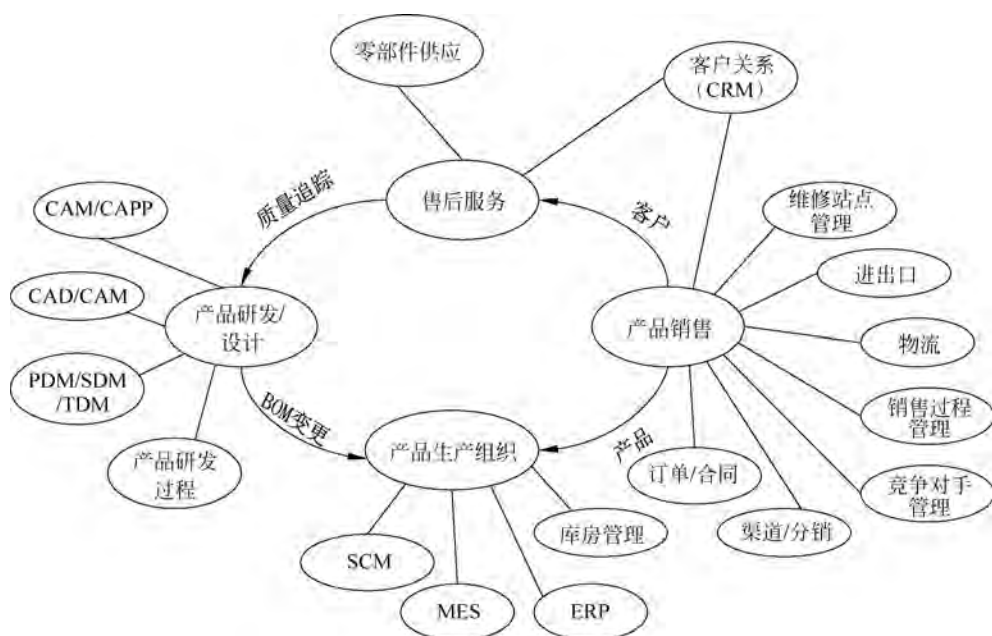


图 5.3 端到端的制造业业务场景模型

3. 数据信息融合

数据信息融合在系统集成和通信的基础上,利用云计算、大数据等新一代信息技术,在保障信息安全的前提下,实现数据信息协同共享,主要包括以下三种数据信息。

(1) 产品数据信息:包括产品全生命周期各阶段的数据信息。产品的各种数据信息被传输、处理和加工,使得产品全生命周期管理个性化服务成为可能,使得产品管理能够贯穿其全部生命历程,使得用户能够参与产品设计、加工的各种活动中。

(2) 运营数据信息:包括企业内部的生产线、生产设备的数据,它可以用于对设备本身进行实时监控,并反馈到生产过程中,使得生产控制和管理最优化;还包括经济运行、行业、市场竞争对手等企业外部数据,通过对采购、仓储、销售、配送等供应链环节上数据采集分析,可以减少库存、动态调整生产、改进和优化供应链。

(3) 产业链数据信息:包括客户、供应商、合作伙伴等数据信息。通过了解技术开发、生产作业、采购销售、内外部后勤等产业链各环节竞争要素等数据信息,为企业管理者 and 参与者提供价值链的信息,使得企业有机会把价值链上更多的环节转化为企业的战略优势。

5.2.2 基本要素

数字化工厂建设是制造企业数字化转型的基础实践方式。企业面临着复杂多变的内外部环境,要实现转型就需紧紧把握好被誉为工业血液的数据,以数据的自动循环流动化解复杂不确定的系统和环境,实现资源的优化配置,顺利地进行数字化转型。那么应该从哪些方面入手进行数字化转型呢?

中国数字化企业联盟认为可以从运营管理、商业模式、行业平台生态以及数字化力等方面入手;中国数字化学会认为可以从战略(业务和数据)、数字化基础设施和能力以及数

字化产品全寿期业务系统等方面入手；国信院(北京国信数字化转型技术研究院,以下简称国信院)和中信联(中关村信息技术和实体经济融合发展联盟,以下简称中信联)则认为要以战略、数据、能力、系统方案、价值体系推进数字化转型。

基于第4章数字化工厂的规划内容,下面结合笔者从相关的研究报告、白皮书等资料中的提炼归纳,给出数字化工厂建设四大要素并明确以业务为转型重点,以数据为关键驱动,以新能力为核心主线,以价值为引领导向,然后辅以中台(平台)搭建为载体的建设思路,以此来推进数字化工厂建设。如图5.4所示,在以平台或中台为载体的基础上,业务、数据、能力、价值四大要素相辅相成,彼此交互。其中图中带箭头的虚线代表各要素之间的交互关系,每一个箭头表示一个节点(用1,2,3,...,8编号),每一节点的含义已在图中标示。以业务和数据为例,通过业务转型,将业务系统产生的有用记录和信息等转变为可存储、可流动的数据,实现业务数据化;进一步,以业务系统沉淀的数据加工、封装、复用,以数据驱动业务,反哺业务,最终释放数据价值,并升级为新的业务板块。另外,这里辅以PDCA(计划、执行、检查和处理)循环明确即使是新型的数字化转型,也要遵循这一经典经营管理循环,以稳定有序地促使转型活动的开展。

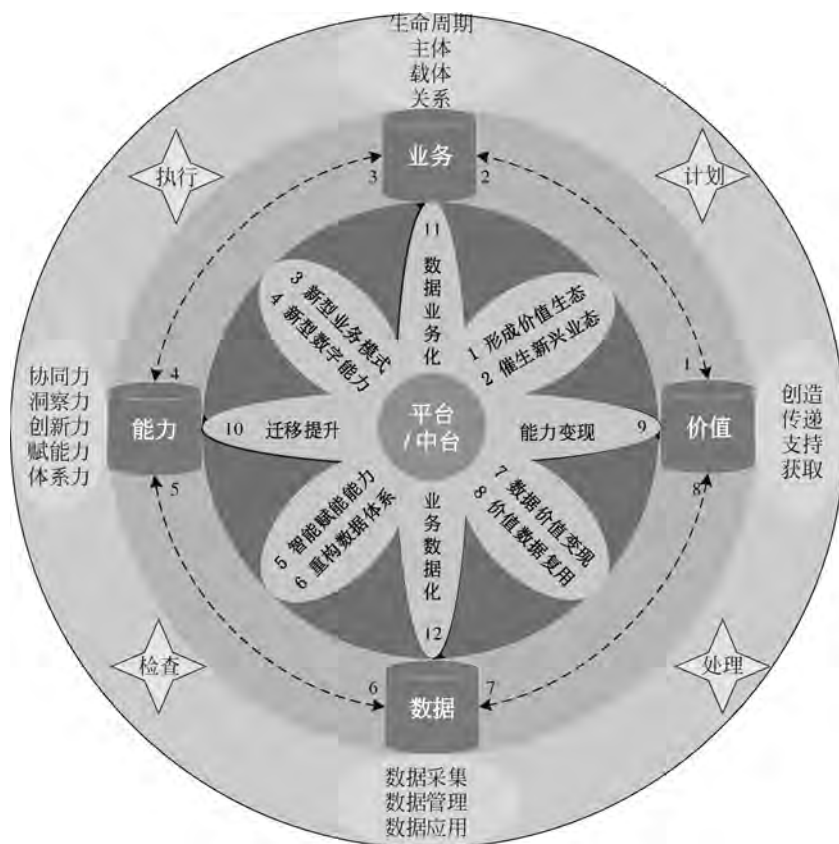


图 5.4 数字化工厂建设的基本要素

1. 以业务为转型重点

企业有业务是其得以运行的前提,越来越多的企业把业务转型也作为持续价值创造的

战略重心。业务转型包含四部分内容：全生命周期、业务运营主体、业务运营载体和业务运营中的关系，这四部分并非相互独立而是相互作用，以各种关系为媒介，形成一个智能业务闭环，如图 5.5 所示。

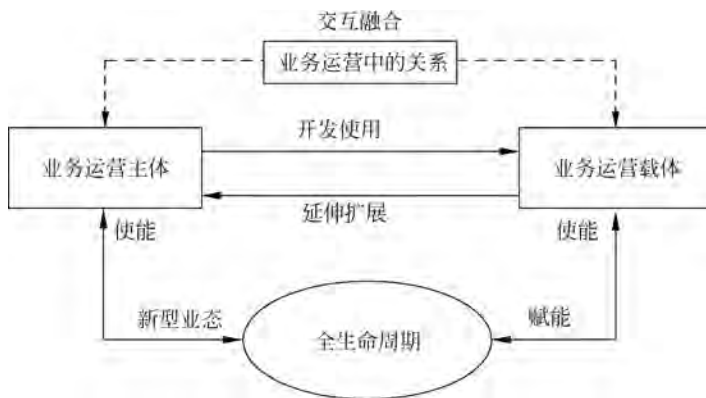


图 5.5 业务转型四部分内容的关系

企业业务的最终目的是产品，业务运营与产品应是一体的，都可以从全生命周期来全面反映每一个阶段的运营状况，因此业务转型可从全生命周期入手。本书将其划分为研发设计数字化、生产运行数字化、企业管理数字化和支撑保障数字化，将在 5.4 节中详细阐述其内容。

业务运营主体应是人员和组织。企业推行转型时应关注人员和组织的作用，通过构建数字转型顶层设计，以组织的维度分步骤、分阶段地对业务进行划分，找出重点业务环节，分清主次，稳步推进；同时关注人员对于转型的态度，培养转型所需人才；营造适宜转型的组织文化，构建转型的组织氛围，发挥转型主体应有的作用。

业务运营载体可以是平台（例如工业互联网平台），也可以是产品与服务的创新等。凡是可以为承载业务升级转型的客体都可以成为载体。企业在转型中应利用有价值载体。

业务转型是基于已有的资源，以新的思维、技术等为依托进行的业务变革，因此需要企业处理各种关系，包括业务流程的设计与管控、生产方式变革和组织模式的变革等，应做好协同调整。

2. 以数据为关键驱动

数据是继土地、劳动力、资本、技术之后的第五大生产要素。中信联认为应充分发挥数据作为信息沟通媒介、信用媒介、知识经验和技能新载体等方面的核心关键作用，有效激发数据创新驱动潜能、资源配置效率，驱动数字化转型快速见成效。

数据驱动包括数据采集、数据管理和数据应用。数据采集是通过采集设备、技术等对设备设施、业务活动、供应链、产业链、全生命周期全过程乃至产业生态相关数据的采集等。数据管理包括数据的集成共享和数据治理。数据集成共享是指多源异构数据在线交换和共享等；数据治理是为了管控数据，提升数据的价值，是数字化转型的基础。数据应用强调通过数据建模以及基于模型的决策支持与优化等。

3. 以新能力为核心主线

新能力已经成为数字化转型中常见的词汇，但这种能力只是一种综合能力，是伴随着

数字化转型产生的,因此也可称为数字化能力或者新型能力,代表着企业的软实力,却是企业的核心竞争力,具有不可迁移、不可替代、不可模仿性。通过新型能力建设,能够充分发挥信息技术的赋能作用,打破工业技术的专业壁垒,支持业务的按需调用,以快速响应市场需求变化,形成轻量化、协同化、社会化的业务服务新模式,动态响应用户的个性化需求,获取多样化的发展效率,开辟新的价值增长空间。

根据业界对新能力的描述,可将其归纳为五个要素:协同力、洞察力、创新力、赋能力和体系力。

(1) 协同力。协同力是指企业的业务、数据信息、人员、资源等要素之间基于某种触发事件所表现出的集成、调配和共享的能力,它是企业内部数字化、网络化健全的产物。企业在数字化运作过程中将内外部信息通过各种渠道进行相互传递、流动和集成共享,从而形成跨所有客户触点进行渠道整合和链接的能力。

(2) 洞察力。洞察力是企业内外集成能力的体现,指企业基于对数据的聚集、融合和分析而获得的对信息的研判能力,对市场、未来的预见能力,以及对客户需求的响应和服务能力。洞察力基于大数据分析,可帮助企业进行预测和决策,感知客户行为和市场环境变化,进而洞悉市场趋势,把握商机。

(3) 创新力。创新力是企业形成核心竞争力、加速完成数字化转型的硬核力量。对企业而言,创新有内源性创新和外源性创新两种。内源性创新意味着企业具备可供创新的文化、资源、氛围、人才等,是需要企业逐步建立起来的;外源性创新是企业通过合作、交流、购买等方式获得的,可转化为企业的内源性创新。大部分企业以外源性创新开始。

(4) 赋能力。赋能力是指企业通过变革技术、思维、文化、企业环境等,使得组织和个人能够敏捷、有效完成工作目标,从而达成组织使命和战略目标。对于数字化转型,企业需要及时将转型所需要的能力赋予组织和员工,主要包括人才开发能力、知识赋能能力等。

(5) 体系力。体系力是在数字化转型过程中企业需要具备标准体系能力、技术体系能力和治理体系能力。标准体系能力要求企业掌握数字化转型的相关国家和地方标准、行业标准,并建立自己的标准体系(质量标准、工艺标准等);要对需要使用的技术形成体系(IT软硬件、网络、设备设施和平台),便于技术的应用和扩展;建立相匹配的治理体系并推进管理模式持续变革以提供管理保障,包括组织文化、组织结构、管理方式和数字化治理。其中对于治理体系,中信联^①和国信院^②也给出了明确的划分:组织文化可以从价值观、行为准则等方面入手,建立与新型能力建设、运行和优化相匹配的组织文化,把数字化转型战略愿景转变为组织全员主动创新的自觉行为;组织结构可以从组织结构设置、职能职责设置等方面,建立与新型能力建设、运行和优化相匹配的职责和职权架构;管理方式可以从管理方式创新、员工工作模式变革等方面,建立与新型能力建设、运行和优化相匹配的组织管理方式和工作模式,推动员工自组织、自学习、主动完成创造性工作;数字化治理可以运用架构方法,从数字化领导力培育、数字化人才培养、数字化资金统筹安排、安全可控建设等方面,建立与新型能力建设、运行和优化相匹配的数字化治理机制。

^① 中关村信息技术和实体经济融合发展联盟

^② 北京国信数字化转型技术研究院

4. 以价值为引领导向

价值效益导向型的转型是新时代数字化转型的需求,符合企业的最终目的。以价值效益为导向实际上贯穿了整个数字化工厂的基本模型,因为任何生产要素都能发挥价值。因此企业需要明确几个问题:哪些核心过程、相关方能够创造价值?怎么传递价值给相关方才能互利共赢?如何最大化获取价值?需要什么资源来支撑价值获取?中信联认为按照业务转型方向和价值空间大小,数字化转型可实现的价值效益可分为生产运营优化、产品服务创新、业态转变三个类别,这也为企业提供了一定的参考。

5. 以平台为载体

如2.2.1节所述,中台以其聚合、共享、快捷、知识沉淀等特性对前台业务形成强有力的支撑。中台可将共性技术、数据、知识等进行聚合、沉淀,搭建统一平台,支撑业务前台,连接反馈后台,从而促使企业数字化转型取得显著的成效。在数字化转型的过程中,有条件的企业要建设数字中台,其强大的聚合输出能力可以为企业转型提供强大支撑;当然不具备中台条件的也可以建立统一平台,总之利用平台的集成共享能力,将技术、数据、创新、能力模块化放置于平台,也可以为转型提质增效。

数字化工厂建设基本模型的建立,提出了建设的重点,为转型企业提供一定的参考。

5.3 数字化工厂的建设内容

由5.2节的数字化工厂建设架构可知,数字化工厂建设内容可以分为研发设计数字化、生产运行数字化、企业管理数字化、支撑保障数字化四个部分,这里通过罗盘图(见图5.6)进行详细展示。它们既是业务流程,又与企业的数字、能力和价值密切关联。笔者认为可以在总体上以业务为主线,同时把数据、能力和价值三要素统筹考虑,制定各自的建设方案,做到主次分明,重点建设数字化工厂。通过这四个部分的建设,带动产品设计方法和工具创新、企业管理模式创新、企业间协作关系创新,实现产品设计制造和企业管理信息化、生产过程控制智能化、制造装备数控化,本节将详细介绍数字化工厂的建设内容,可为制造企业的数字化工厂建设提供一定的参考借鉴。

5.3.1 研发设计数字化

研发设计数字化是指以实现新产品设计为目标,以计算机软硬件技术为基础,以数字化信息为辅助手段,支持产品建模、分析、修改、优化以及生成设计文档等相关技术的有机集成应用,以实现产品设计方法和设计过程的数字化和智能化,从而缩短产品研发设计周期,提高产品的研发创新能力。

随着企业全球化进程的不断加快以及市场对产品要求的不断提高,现代制造业也面临着诸多新的挑战,主要表现在:产品复杂性不断增加;激烈的市场竞争对产品开发时间提出了更高的要求,导致生命周期不断缩短;产品的设计风险和各种不确定因素增加;产品设计要更多地考虑环境和社会因素等。企业要想提高自身竞争力,获得更好的收益,就必须适应、满足竞争激烈的市场需求,就必须生产出交货期更短、质量更高、成本更低、服务质量更优以及满足环境保护要求的新产品。这就要求制造企业的研发设计能力不断增强,重视研发设计数字化的建设。

在几何建模的基础上延伸出的一项基本功能,有助于几何建模更加完善、精确、合理。

几何建模是以机械结构为基础的产品开发过程中最基础的工作,涵盖了从产品最初的概念设计到后续的产品维护的全过程,为产品开发设计者提供产品草图设计、详细设计、零件装配与装配模拟等功能。几何建模的基本功能随着 CAD 技术的发展以及外部需求的不断提升,逐步从早期的二维建模、线框建模,发展到曲面建模、实体建模,再到现今的三维参数化建模、特征建模,逐步朝着集成化、网络化、智能化和可视化的方向发展,如表 5.1 所示。

表 5.1 各类建模方法

类 型	定 义	特 点
二维建模	主要是点、线的生成和编辑	用于计算机辅助绘图,缺点在于二维视图的表达方式很不直观
线框建模	通过由许多线性元素互相连接而构成物体的立体线型框架模型	构造基本的线框元素,为实体建模、曲面建模等其他应用建立基本元素;缺点在于缺乏面的信息,易引起多义性
曲面建模	定义基本的曲面,对基本曲面进行剪裁、过渡、拼接等编辑处理	CAD 和计算机图形学中最活跃、最关键的学科分支之一
实体建模	用实体体素构成产品集合形状	与线框模型相比,可严格定义产品的几何形状,不产生二义性;与曲面模型相比,具有封闭、有向的特点
三维参数化建模	通过参数化方法建立产品三维模型	主要用于实体体素的参数化定义、界面轮廓的参数化定义、实体体素的相对位置定义、参数管理、参数值驱动模型的修改、参数分析及空间元素的参数化定义
特征建模	通过数字化方法来表示产品模型中特定工程意义的形状和功能的两种特征属性	为开发过程后续环节提供具有特定应用的信息,是 CAD 发展的一个里程碑,是产品设计、工艺过程设计、数控加工自动编程及数控检验等环节集成需要的结果

数字化预装配是指在产品数字化定义的基础上,利用计算机模拟产品的装配过程,以检查产品的可装配性,主要用于在产品的设计过程中及时进行静、动态界面设计以及干涉检查、工艺性检查、可拆卸检查和可维护性检查等。通过数字化预装配过程,可以使设计者在开发的初期阶段就能够对所设计的产品进行分析与协调,提高设计的速度与质量。

数字化工厂的建设对 CAD 技术提出了更高的要求。而 CAD 技术的不断发展、完善,其所提出的三维几何模型也能够为数字样机建立提供更广泛的公共几何模型基础和进一步技术应用发展的空间,是研发设计数字化建设的重要内容。

2) CAM 技术的应用提升

CAM 技术是指将计算机系统用于制造过程的工艺过程设计、工艺参数设计、加工制造的控制、生产计划及管理制造活动中的所有技术,其最重要的组成部分是计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助数控编程和加工过程仿真、计算机辅助工装设计及计算机辅助检测和检验等。

(1) 计算机辅助工艺过程设计。

计算机辅助工艺过程设计(computer-aided process planning, CAPP)是实现 CAD/

CAM 一体化、建立集成制造系统的桥梁。CAPP 是一种通过计算机技术,以系统化、标准化的方法,辅助确定零件或产品从毛坯到成品的制造工艺流程规划的方法与技术。它通过加工工艺信息(材料、热处理、批量等)的输入,利用人机交互方式由计算机自动生成零件的工艺路线和工序内容等工艺文件。与传统的手工艺过程设计相比,CAPP 能够显著提高工艺文件的质量和工作效率,减少工艺编制工作对工艺人员技能的依赖,缩短生产准备周期,便于保留企业生产经验,建立工艺知识库,便于改进工艺方法,引入新工艺。

根据工作原理的不同,目前的 CAPP 系统常用的工艺设计方式有四种,即检索式、变异式、创成式、人工智能式,如表 5.2 所示。

表 5.2 各类 CAPP 系统对比

类 型	特 点
检索式 CAPP 系统	将各类零件的工艺规程输入计算机,对已建立的工艺规程进行管理,其功能相当于一个工艺文件的管理系统
变异式 CAPP 系统	在成组技术的基础上,利用零件的相似性建立具有相似工艺过程的一组零件的标准工艺
创成式 CAPP 系统	通过输入或读取的零件信息,依靠系统中储存的知识、规则、逻辑和决策规划及有关的制造工程数据信息自动进行工艺规划
人工智能式 CAPP 系统	利用专家系统技术来生成工艺规划方法,一般有数据、知识、控制三级结构,用来实现专家系统的智能功能

目前占多数的还是检索式、变异式或半创成式的 CAPP 系统,原因之一在于工艺规划问题本身的复杂性和知识表达的“瓶颈”与推理的“匹配冲突”,同时,CAPP 系统无法直接从 CAD 系统中读取零件信息也是一个重要原因。

数字化工厂的建设对 CAPP 提出了新的要求,也为 CAPP 的进一步发展提供了坚实的基础。CAD/CAPP 集成成为 CAPP 应用的关键技术,特征建模和特征识别技术正是为解决 CAD/CAPP 集成而发展起来的。CAPP 的总体发展趋势是集成化、网络化、智能化。

(2) 计算机辅助数控编程和加工过程仿真。

计算机辅助数控编程和加工过程仿真是指利用计算机程序控制数控机床,按数字化产品描述进行产品的加工制造和加工过程仿真,在某些情境下是狭义的 CAM 的概念。CAD 中的设计结果(零件几何模型)经过 CAPP 系统生成工艺流程图后,最终在 CAM 中生成加工轨迹并进行仿真,产生数控加工代码,控制数控机床进行加工。

数控加工技术的应用水平直接反映了数字化工厂建设的程度。计算机辅助数控编程和加工过程仿真改变了传统的人工手动编程,大大提高了产品的开发效率和质量。

(3) 计算机辅助工装设计。

工艺装备是产品制造过程中必备的设备和工具,用来保证产品的质量,提高劳动效率,减轻劳动强度。有关资料表明,根据我国现有生产水平,生产准备周期一般要占整个生命周期的 50%~70%,而工艺装备的设计周期又占生产准备周期的 50%~70%,因此工艺装备开发设计的效率与质量至关重要。

计算机辅助工装设计摆脱了传统的依靠工艺人员的经验应用绘图工具进行设计的方式,而是采用数字化的方法,应用计算机辅助设计技术(CAD/CAE/CAPP)对工艺装备进行

设计。同时,在工装设备标准化、模块化的基础上有效地利用成组技术形成工装设备知识库,应用专家系统自动进行工装的模块化组合设计,从而大大提高工装设计的质量与效率。

数字化工装系统能够直接利用产品零部件的三维数字化信息进行工装的三维设计,并对设计的工装进行虚拟装配,或利用数值仿真来模拟工装使用中如何安装产品、检测和提高安装定位精度、预测产品的加工质量等。

3) 计算机辅助工程分析技术的应用。

计算机辅助工程分析(computer-aided engineering, CAE)主要指依托计算机系统提供的强大计算分析工具对产品模型进行工程计算分析、校验和仿真模拟的技术。借助 CAE 能够在设计的初期,依据科学预测与数值分析提高设计的决策水平与能力。计算机辅助工程分析多应用于产品结构静/动力学分析、装配件结构分析、变形装配件公差分析、气动分析、流场分析等。

CAE 可取代相当部分的传统物理试件和实验,设计者能够更快捷、更方便地判断所设计的产品功能、性能和各种指标的优劣,进行设计方案的校验、评价分析和仿真优化,甚至能够实现某些物理实验难以做到的分析评价及仿真,减少了物理实验及试件的制作,从根本上改变了传统设计中依赖试凑、类比和定性分析的原始做法,实现了迅速、直观、准确的量化评价和预测。

2. CAD/CAPP/CAE/CAM 的集成

所谓 CAD/CAPP/CAE/CAM 的集成,是指完成新产品的零件设计、工艺设计、零件制造全过程自动化中的信息共享。通过建立集成的信息基础设施构建集成系统,以解决产品数据的集成应用,实现各分系统间的“无缝”集成,从而最大限度地提高产品的设计、研发数据信息的共享,降低数据的冗余,实现信息的顺畅流动,解决产品研发过程中的“信息孤岛”问题。

CAD/CAPP/CAE/CAM 的集成主要通过采用统一的格式来描述零件设计、工艺设计、零件制造全过程的零件信息,实现 CAD/CAPP/CAE/CAM 的集成;也可通过计算机辅助软件实现产品模型间的自动转换和数据交换,减少信息传递和人工输入的差错,保证零件信息描述和表达的统一,提高产品设计研发的效率与质量。CAD/CAPP/CAE/CAM 的集成保证了产品信息数据流的畅通,最终保证了 NC 加工的精度,真正实现了研发设计数字化。

CAD/CAPP/CAE/CAM 集成的实现在技术上具体有两种方式,如表 5.3 所示。

表 5.3 CAD/CAPP/CAE/CAM 的集成方式

方 式	内 容	优 缺 点
方式一	通过数据交换,开发专用的接口文件或采用数据交换标准,如 STEP、IGES、DFX 等来实现集成	只能为某一类型产品开发特定使用,系统的可扩展性不好
方式二	以 PDM 系统为基础平台,建立统一的产品模型,开发集成的 CAD/CAPP/CAE/CAM 系统	属于并行的集成方式,系统的可扩展性好,支持产品的并行开发模式

3. 虚拟试验验证技术的运用

虚拟试验验证(virtual test and evaluation, VT&E)是指运用系统工程、虚拟现实和计算机仿真技术,以虚拟样机和真实的试验数据为基础,构建数字化的试验和测试环境,以分析、评价产品的功能和性能是否符合要求,为产品的成功试验、开发提供可靠的支持。这大

大简化了产品的实际研发过程,用数字化的形式代替了传统实物样机的实验,减少了产品开发试验的费用和成本,大幅地缩短了研发周期,提高了产品研发的成功率。

综合国内外对虚拟试验验证的相关定义和研究,虚拟试验验证可具体分为虚拟试验和虚拟验证两大块内容,两者相辅相成,缺一不可。虚拟试验是指以数字化模型、传感和测量模型为基础,运用可视化的渲染和交互机制,建立一个以虚拟样机为主的数字化环境,以模拟真实的物理试验过程。虚拟验证是指运用特定试验方案和方法,在数字化的虚拟环境中进行一次或者多次的虚拟试验,并通过对试验得到的数据作合理分析,考核、评价复杂产品的性能,进而为实物验证提供坚实的支撑。

虚拟试验验证和实物试验验证的关系是相互并存的,取长补短,虚实结合。虚拟试验验证并不是为了完全取代实物试验验证,而是对实物试验验证的强有力补充,是降低实物验证风险和提高实物试验验证效率的有效手段。在产品的设计研发阶段,通过虚拟试验验证对设计的初步模型进行验证,依据其试验验证所得到的分析结果,不断修改和逐步优化产品模型,以使大多数问题在制造实物样机之前就及时得到修正,可提高实物试验验证的效率和成功率。

5.3.2 生产运行数字化

企业要在工厂的车间级完成数字化转型,就意味着对涉及生产运行的全流程进行数字化的变革。生产运行过程是一个动态过程,从开始投料到最终形成产品,需要对其中的入、设备、物料、产品等进行管控和优化,以保证生产运行过程的可靠性、高效性、优化性。生产运行数字化建设可以分为工厂装备数字化、生产过程数字化、质量管理数字化和物料管控数字化四个子部分来建设。

1. 工厂装备数字化

企业在信息化阶段已经建设了较好的网络环境,各个环节已基本实现联网。然而作为生产制造的执行系统,生产制造装备如果不能数字化,其运行的实时情况就无从知晓,从而形成一个个信息孤岛,成为制约数字化工厂的瓶颈。

工厂装备的数字化是数字化工厂建设的前提与基础,为设计、研发、生产计划等各个环节提供基础数据的支持,如机床的加工时间和故障率、刀具的寿命与损耗等。及时准确的工厂装备数据是数字化工厂的基础。如果没有生产制造装备实时信息的及时反馈,即使有再好的网络环境和管理软件,其信息化管理的程度也会大打折扣。管理者必须尽可能实时掌握生产的动态,并及时做出反应。所以对现场的工厂装备进行数字化至关重要。

现有装备数字化改造主要分为工厂装备数字化改造和工厂装备数字化集成。提升制造企业的装备能力,实现工厂装备的数字化,并不能完全依赖于先进机电装备的大批量采购,应根据实际需求合理引进,实现资金的合理利用。因此,工厂装备的数字化建设不仅包括引进先进的数控装备、工业机器人等,也包括将企业现阶段存在的普通机床进行数字化改造;最后将包括数控装备在内的各种装备进行数字化集成,消除各个装备之间的“信息孤岛”,更有效、快速地实现装备数字化的建设,如图 5.7 所示。

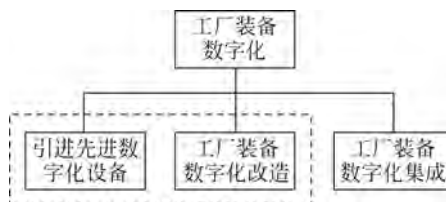


图 5.7 工厂装备数字化的建设内容

工厂装备数字化改造侧重于单台装备数字化,装备数字化集成则是面向车间层装备和区域装备的数字化,两者相辅相成,都是建设工厂装备数字化不可或缺的因素。

1) 工厂装备数字化改造

工厂装备数字化改造主要是对现有的设备进行数字化提升,一般分为经济型数字化改造和高档型数字化改造两类。经济型数字化改造主要是对普通机床、中小型装备的改造,通过采用 PLC、CNC 系统、数字驱动电机以及其他数字化外设,对原机床电气系统进行替换和提升。高档型数字化改造主要是针对大型装备、已有数控装备的数字化翻新和改造,一般改造内容多,技术水平提升明显。工厂装备数字化改造是一种适合我国国情的中小企业装备能力提升手段。中小型企业的发展过程中需要不断地提高装备能力,但限于资金因素的制约,不可能大量新购装备。若对原有装备进行数控化、自动化技术改造,可以达到投资少、见效快的效果,其主要优点如下。

(1) 提高产品质量,同时降低因废品而产生的损失。这是因为相较普通装备,数控装备有更高的加工精度,加工出的产品尺寸一致性更好,合格率更高。

(2) 可以解决复杂零件的加工精度控制问题。如一个复杂工件,原来由一个高级车工用双手摇动两个手柄,边加工边对样板,每件费时费力,且质量无法保证。而改造后的经济型数控机床能提高加工效率数十倍。

(3) 适用于多品种、中小批量产品的自动化生产,对产品的适应性强。在普通车床上加工的产品,大都可在经济型数控车床上加工。加工不同零件时,只要改变加工程序,就能很快适应和达到批量生产的要求。

(4) 价格便宜,性能价格比适中。与标准数控机床相比,价格降低 45%~76%,因此适合于改造在装备中占有较大比重的普通车床。

(5) 节约大量工装费用,降低生产成本。

(6) 减轻工人的劳动强度。使用经济型数控机床,可将工人从紧张、繁重的体力劳动中解脱出来。

(7) 增强了企业的应变能力,为提高企业竞争能力创造了条件。

2) 工厂装备数字化集成

在数字化工厂中,工厂装备已经不再是孤立的工厂加工设备,而是网络环境下与工程设计系统、管理信息系统直接连接的一个有加工能力的节点。装备能力不仅体现在设备单台能力方面,更体现在由单台装备组成的装备系统方面。因此,从装备系统角度进行能力提升,是装备能力提升的另一个重要方面。工厂装备数字化集成提升技术主要指通过数字化手段,将多台装备集成为一个装备系统,以实现装备的数字化管理、调度、优化,从而提高装备的利用率和运行效率。

(1) 数控装备的 DNC 集成。

装备集成技术研究目前主要集中在数控设备的 DNC 集成方面。DNC 是 direct numerical control 或 distributed numerical control 的简称,意为直接数字控制或分布式数字控制。DNC 的最早含义是直接数字控制,指的是将若干台数控装备直接连接在一台中央计算机上,由中央计算机负责 NC (numerical control, 数字控制) 程序的管理和传送,如图 5.8 所示。当时的研究目的主要是为了解决早期数控装备因使用纸带输入数控加工程

序而引起的一系列问题和早期数控装备的高计算成本等问题。

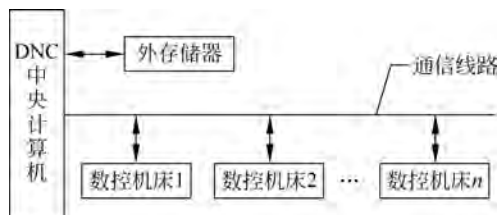


图 5.8 DNC 概念示意图

20 世纪 70 年代以后,DNC 的含义由简单的直接数字控制发展为分布式数字控制。它不但具有直接数字控制的所有功能,而且具有系统信息收集、系统状态监视以及系统控制等功能。

20 世纪 80 年代以后,随着计算机技术、通信技术和计算机集成制造系统技术的发展,DNC 的内涵和功能不断扩大,与六七十年代的 DNC 相比已有很大区别。它开始着眼于车间的信息集成,针对车间的生产计划、技术准备、加工操作等基本作业进行集中监控与分散控制,把生产任务通过局域网分配给各个加工单元,并使其信息相互交换而物流、仓储等系统可以在条件成熟时再扩充,既适用于现有的生产环境,提高了生产率,又节省了成本。

20 世纪 90 年代,DNC 得到了新的发展概念。如美国计算机集成制造公司副总裁 D. L. Firm 提出的 Broad Scope DNC,认为在计算机集成制造的推动下,DNC 已不仅仅作为编程系统(DNC 主机)和 CNC 机床的一种连接方式,而是可扩充到支持车间级数据的人工采集(通过键盘录入)、半自动采集(使用条形码)和全自动采集(通过全闭环系统的离散信号采集)。

随着计算机技术、网络通信技术的快速发展,原有的 DNC 技术无论在装备集成深度还是广度上,都存在明显的不足。特别是可靠性高、成本低廉的嵌入式技术的发展,使普通设备、数字化设备的集成方便易行。通过该技术,不仅能使车间相关设备全部集成起来,而且对于实现 CAD/CAPP /CAM/PDM/ERP 的全方位集成起到了重要支撑作用。

由于车间装备现场环境的限制,采用各种小型化、一体化计算机系统是实现装备集成的有效手段。目前,一体化工控机在车间装备集成中得到了一定范围的应用,但其存在价格高、附件装置多等缺陷。一种新的趋势是采用信息化终端,它体积小、摆放方便、成本低,可实现一机配置一台终端,是车间设备集成的一种切实可行的方法。

(2) 基于信息化终端的车间层装备集成。

车间设备层信息化系统是基于以太网的网络设备集成系统,它是在装备上嵌入基于 B/S 模式的信息化终端,从而实现车间设备层与设计和管理层的信息双向传输。

① 基于信息化终端的设备集成网络结构。

基于信息化终端的设备集成网络结构如图 5.9 所示。利用信息交互终端可以将车间设备集成为 Intranet 的一个站点,将设备信息融合集成到企业信息系统或其他应用中,同时可通过 Internet 实现远程控制和管理及远程机床故障诊断和维护。这样,设备层数控系统在 Internet/Intranet 技术支持下直接联网构成基于 Web 网络环境的站点,通过共享分布式网络数据库技术成为工艺信息、NC 程序、生产管理、制造控制和工况信息等制造信息中心,成

功能和工厂其他应用实现融合集成的一种网络化分布式数字制造系统。

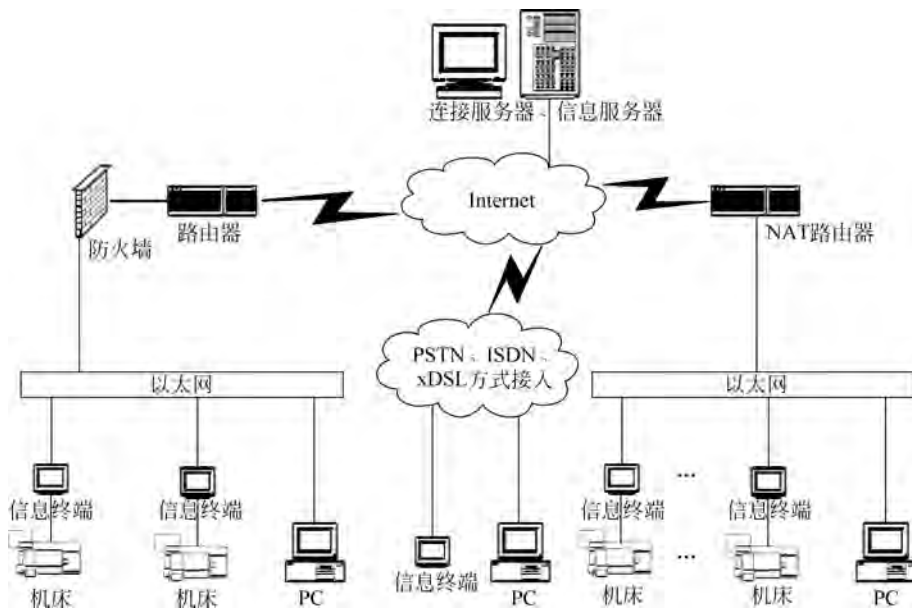


图 5.9 基于信息化终端的设备集成网络结构

制造企业车间层数控设备通过此信息交互终端、信息技术和制造技术、生产管理和制造控制融合集成,支持企业实现网络化制造及企业集成,能较好地解决企业纵向和横向间的信息集成,从根本上填补了现存制造车间与设计层间存在的鸿沟,提高企业的整体制造技术水平、生产率、创新能力和快速响应能力,从而提升了企业综合竞争力,以适应全球竞争的新经济环境。

嵌入信息化终端后,设备网络系统能实现以下功能:工作任务单下达;二维和三维零件图下达,加工工艺单下发,加工过程示教,多媒体演示;作业计划管理;生产工艺管理;设备资源管理;现场信息反馈和采集;工作过程音视频对话;装备工作状态监视与控制。

② B/S 结构模式。

B/S(browser/server)模式是指在 TCP/IP 的支持下,以 HTTP 为传输协议,客户端通过浏览器访问 Web 服务器以及与之相连的后台数据库的技术及体系结构。它由浏览器、Web 服务器、应用服务器和数据库服务器组成。B/S 模式突破了传统的文件共享及 C/S 模式的限制,实现了更大程度的信息共享。任何用户只要通过浏览器即可访问数据库,从而克服了时间和空间的限制。

基于 B/S 模式的信息系统通常采用三层或更多层的结构:浏览器、Web 服务器和数据库服务器。以 Web 服务器作为系统的核心,用户端通过浏览器向 Web 服务器提出请求(HTTP 协议方式),Web 服务器根据需要再和数据库服务器发出数据请求。数据库服务器则根据检索与查询条件返回相应的数据结果给 Web 服务器,由 Web 服务器把结果翻译成 HTML 或各类脚本语言的相应格式发回至浏览器,用户通过浏览器浏览所需结果。下面以三层的 B/S 结构为例加以分析。

三层的 B/S 结构以访问 WEB 数据库为中心,以 HTTP 为传输协议,客户端通过浏览

器访问 Web 服务器和与其相连的后台数据库。其三级结构组成如图 5.10 所示,从左到右分为如下三个层次。

第一层是客户端(即浏览器),主要完成客户和后台的交互及最终查询结果的输出功能。在客户端向指定的 Web 服务器提出请求,Web 服务器用 HTTP 协议把所需文件资料传给用户,客户端接收并显示在 WWW 浏览器上。

第二层 Web 服务器(即功能层),主要完成客户的应用功能,即 Web 服务器接受客户请求,并与后台数据库连接后进行申请处理;然后将处理结果返回 Web 服务器,再传至客户端。

第三层数据库服务器(即数据层),数据库服务器应客户请求独立地进行各种处理。与传统的 C/S 模式相比,B/S 结构把处理功能全部移植到了服务器端,用户的请求通过浏览器发出,无论是使用和数据库维护都比传统模式更加经济方便;而且使维护任务层次化,管理员负责服务器硬件的日常管理和维护,系统维护人员负责后台数据库数据的更新维护。

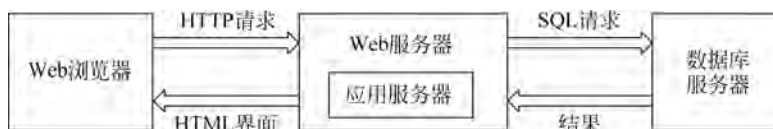


图 5.10 三层的 B/S 结构

由以上的比较分析可知,三层结构也可以理解为增加了 Web 服务器的 C/S 模式。

③ 面向产品数据安全的外协车间数控装备集成技术。

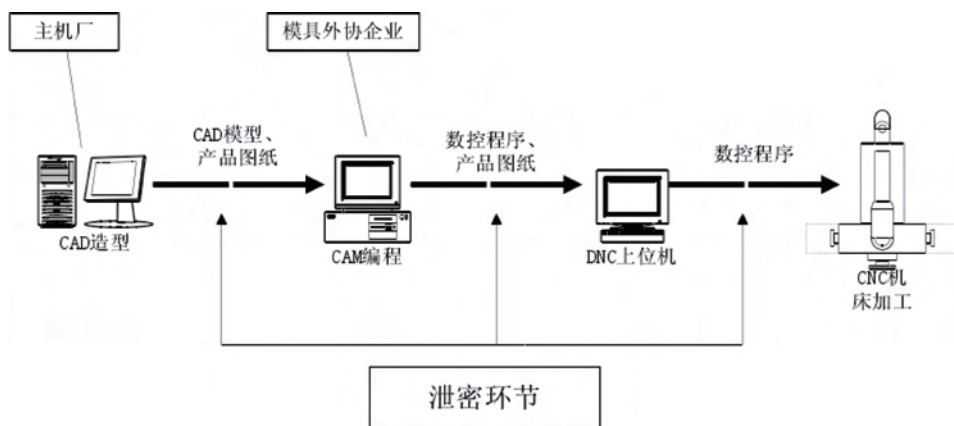
当前,企业装备能力不平衡现象较为明显,主要表现为:一些企业由于产品结构调整等原因,致使部分高档数控装备处于显性闲置(完全不用)或隐性闲置(开工率不足);而另一些企业生产任务饱满,但由于数控装备或应用人才缺乏,急需寻求外协加工。因此,通过外协加工可有效利用区域装备资源,提高重大装备利用率,减轻企业自身设备、人员及技术方面的压力。

在现有条件下,要共享外协企业的数控机床进行产品加工,企业必须把产品的全套资料(包括产品图纸甚至产品的三维 CAD 模型)提供给外协厂,整个过程中存在很多数据泄密环节(见图 5.11),其数据安全性不能得到保障,给企业带来了损失,因此许多企业为了数据安全原因,宁愿自己额外添置数控设备,或者等待本单位设备排产也决不进行外协加工。所以,数据安全问题正越来越成为制约区域数控装备共享的“瓶颈”问题。

3) 引进先进智能数控设备

引进先进智能数控设备包括购置智能数控机加设备、工业机器人等。例如智能数控机床,机床内设置了多处传感器。如果机床出现故障,设备振动幅度等传感器采集到的信息就会发生变化。在连接机床的计算机屏幕上,机器振动幅度曲线实时推进显现,能更好地监测和验证机床稳定性。依托边缘计算网关和工业边缘计算管理平台,动态信号采集分析系统将采集到的数据经过网关过滤后,实时上传到边缘计算云平台进行分析处理。

工业机器人的应用越来越广泛。相比于传统的工业设备,工业机器人有众多的优势,例如工业机器人具有易用性、智能化水平高、生产效率及安全性高、易于管理且经济效益显著等特点。由于工业机器人技术发展迅速,与传统工业设备相比,不仅产品的价格差距越



图

生产现场数据的采集和回馈,而 ERP、JIT 等强调企业的计划性,因此在车间生产管理和控制上,ERP、JIT 等生产管理系统就显得力不从心,其原因如下。

(1) 按照 MRP/ERP 的方式组织生产,存在四个明显的问题:产品结构的不确定性;实际工作提前期有偏差;工时定额数据过旧;生产现场的反馈失效易导致计划不准确。因此,在实际应用过程中存在在制品的库存量过多的问题,造成管理混乱和资金占用过多。

(2) 目前 MRP/ERP 软件大多属于企业的上层生产计划管理系统,其中一些软件的开发初始点是财务管理和物料管理,车间生产管理层级上基本不能完善地解决生产、调度过程中出现的复杂多变问题,软件的适应性比较差。例如,大多数 MRP/ERP 商品软件只能做到零部件级生产计划,且其计划的精度只能精确到日,生产计划比较粗糙,以致难以充分利用企业的所有资源和能力,满足生产任务的要求,进而可能引发新一轮的设备采购。

(3) 随着市场竞争越来越激烈,上层计划管理系统(MRP/ERP 等)受市场影响越来越大,以致生产计划的适应性问题愈来愈突出,计划跟不上变化。面对客户对交货期的苛刻要求、更多产品的改型和订单的不断调整,计划的制定和执行应该依赖于市场和实际的作业执行状态,而不是单纯以物料和库存汇报来控制生产。

基于上述内容可知,企业已无法有效应对当前竞争加剧、动态多变的环境。为了生存发展,适应时代要求,业界和学界进行了长期的实践和研究,认为利用数字化手段应对更复杂的车间生产过程管理,将数字化应用从需求管理延伸到生产过程管理,即实现生产过程数字化,已成为当今制造企业提高自身竞争力的关键途径,也是建设数字化工厂的一项重要内容。

为解决生产计划的适应性以及增加底层生产过程的信息流动,提高计划的实时性和灵活性,实现生产过程的数字化,美国先进制造研究(AMR)机构于 20 世纪 90 年代初提出了“制造执行系统”(manufacturing execution system, MES),其定位于重点解决车间生产管理问题,即基于信息通信技术建立面向车间生产过程的信息管理系统。

针对传统企业的生产过程问题,基于 MES 可以建立统一集成的平台,从而使生产正常而有效地进行。制造执行系统是数字化工厂的核心,其通过数字化生产过程控制以及依靠现代设计的自动化和智能科技手段,使现代化工厂的制造控制体系更加智能,生产过程更加透明,生产信息更趋于集成一体化,现代装备的数控技术优势更加明显。

下面阐述利用 MES 实现生产过程的数字化:首先介绍 MES 的设计方案,基于 MES 的结构特点对企业传统的生产执行过程进行改造;其次以生产过程数字化的内容展开说明,包括对产品、人员、工单等的使用方式的变革,这些环节的数字化变革使生产过程逐步数字化、智能化;最后基于数字化工厂集成的特点,搭建生产过程管理平台,加速、规范企业生产制造活动的数字化。

1) MES 的设计方案

(1) MES 的技术架构。

MES 是一个基于 B/S 架构的 4 层应用系统,包括数据库层、应用逻辑层、服务传递层、展示层。如图 5.12 所示, MES 底层数据库层支持 SQL Server、Oracle 等数据库管理系统;应用逻辑层采用 .NET 开发,主要包含系统的业务逻辑和规则;服务传递层则利用 IIS (internet information services, 网络信息服务)技术实现;展示层通过页面展示系统具体的功能模块。

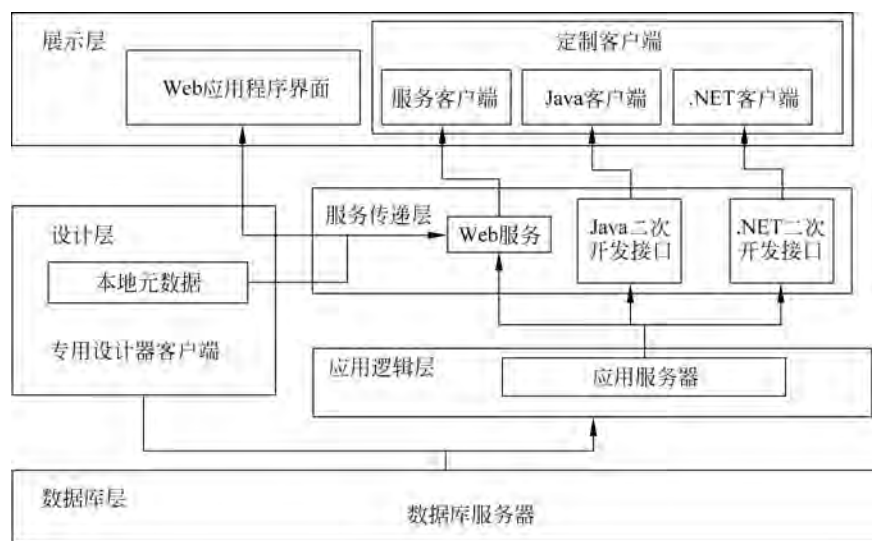


图 5.12 MES 技术结构

① 展示层。展示层为用户提供了多种访问应用 MES 的方式和界面。企业可以根据业务和用户情况选择最适合的客户端。

② 服务传递层。服务传递层运行在 Web 应用服务上,负责展示层和应用逻辑层之间的通信;发布 MES 的面向服务的体系架构服务对象,为客户端提供业务逻辑服务。

③ 应用逻辑层。应用逻辑层用来管理 MES 的业务逻辑服务器和服务器端组件,从数据库检索数据并将数据存入数据库。作为 MES 最核心的组件,应用逻辑层包括 UI(user interface,用户界面)框架、XML(extensible markup language,可扩展标记语言)框架、业务逻辑服务、数据模型和业务建模拓展框架等。

④ 数据库层。数据库层用来管理 MES 的数据库,可以根据实际业务的需求配置业务数据库的服务器、报表数据库的服务器等。MES 支持 Oracle、Microsoft SQL Server 数据库系统。客户能够部署一个单一中央数据库,集中管理多车间、跨地域的制造数据,也可以部署多个单一数据库管理工厂制造数据。

(2) 异地多站点 MES 的硬件架构与部署。

MES 支持把所有的分布站点集成到一个单一的逻辑站点,目的是把分散的、孤岛式的制造单元集成到一个虚拟的协同制造环境中,实现数据同步、信息交互、业务集成,让跨地域的制造单元好像在一个地点一样,达到本地制造的协作效率,从而确保分布式产品制造的成功,降低制造成本,提升交货能力。异地多站点网络部署如图 5.13 所示。

2) 生产过程数字化的内容

传统企业的生产过程大多是以人力负责生产信息的收集和处理,但由于生产信息繁多且不易被及时收集,往往导致信息收集不准确,甚至是缺失遗漏,并且也无法实现信息的追溯,直接影响到产品的质量。数字化工厂本身就要求生产过程人机交互,由数字化智能设备或者系统负责信息的采集和预处理,再由人来根据信息进行决策,因此可以有效地解决生产过程的信息不连续、质量问题频发等的问题。例如,西门子作为数字化工厂的领先者

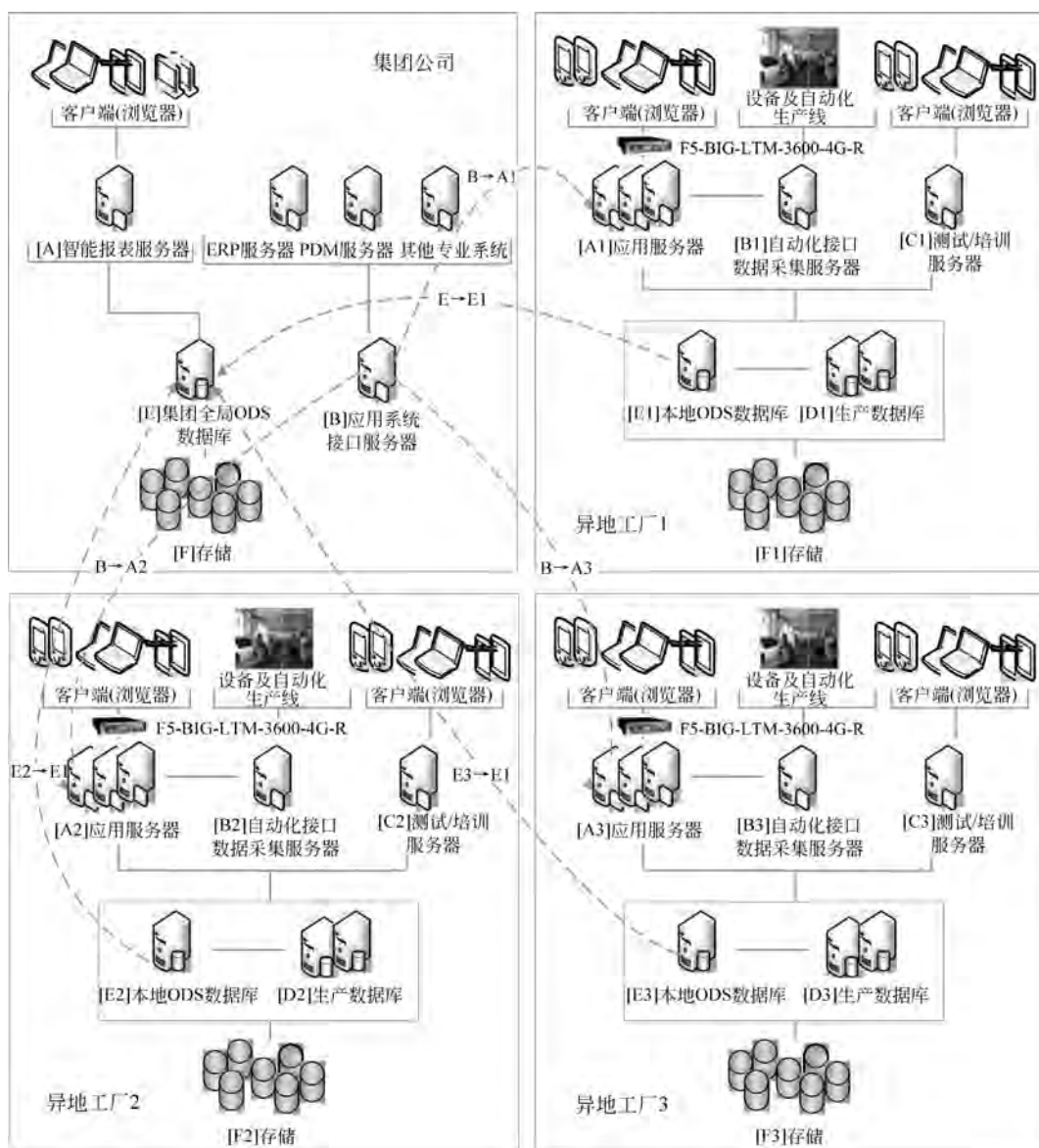


图 5.13 MES 异地多站点网络部署架构

和标杆企业,就使用了一套工业软件来实现生产过程的数字化,有效地保证了生产过程的良好运行。本部分将结合西门子的 SIMATIC IT 制造执行系统平台来说明生产过程数字化的基本内容。

(1) 产品定义和产品生产。

MES 产品定义管理器是制造执行系统中的一个组件,用来更简便地管理产品和生产,让不同产品能被配置在系统中,并让操作人员在生产过程中尽量节省工作,以便提高生产效率。产品定义管理器的功能是在配置过程中定义说明各种产品和生产所需的资源、步骤、过程,是按照国际标准 ISA-95 来制定的,以最大限度地满足行业规范。

产品定义管理器就是要回答“如何来生产”一个产品,建立每一个生产步骤的描述、生产途径、生产线关系等,还需要把设备、物料、人员和各种相关参数一并关联起来。也可以这样来理解:当要生产一个确定的产品时,由具备何种技能的人员在什么设备上生产,需要什么样的物料,所有这些信息都是产品定义所需要的。

① 理论框架。

- 产品生产规则。

产品生产规则是指产品的生产必须符合一定的规则。

根据 ISA-95 国际标准,产品生产规则定义了生产一个产品的步骤,给出了基本问题“这个产品是怎样生产的”的答案。

- 产品段。

产品段是指产品成品的各个阶段。

根据 ISA-95 国际标准,产品段定义了完成每个特定生产步骤的变量、物料、设备等资源配置,回答了一个生产中的基本问题:“一个生产操作的完成需要什么样的资源?”产品段是直接和产品操作相关的,对应于生产中的流程段,不同点是流程段不和具体产品相关,而产品段和某一特定产品紧密相关。

- 产品段的资源类型。

每个产品段都会给出相应的资源,大致分为变量、设备、物料、人员。在相应的生产步骤中,这些资源会共同参与,以完成特定产品的生产。

对于一个产品来说,MES 应当给出它采用的生产工艺流程。这里介绍产品定义管理器使用的规范,包括产品生产规则,管理产品生产规则的生命周期、版本,产品段的生成和管理,以及定义后的合格检测。

② 产品生产规则。

在产品定义管理器中,生成产品生产规则是第一步。产品生产规则有以下两种。

- 标准型规则:允许在生产系统中定义。
- 变量型规则:是一类特殊的规则,其用途是在标准型规则中作为某类输入。

对产品生产规则可以做全新定义,也可以重用。产品生产规则拥有可重用性,这大大提高了产品生产的速度;在同类系列产品只有少量配置不同但基本生产都相同的情况下,应用不同版本号来表达不同型号;版本高的产品并不表明是现有产品,版本低的产品依然可以恢复生产。

在生产过程中,工单会和产品生产规则关联,这样一来,生产的流程就和客户所需要的订单在生产体系上匹配起来。产品生产过程清晰以后,就知道具体的生产线是否可以生产这种产品。

③ 产品生产规则的生命周期。

任何一个产品都有生命周期,产品生产规则也一样,它在发布给生产之后就不可以再进行编辑。管理生命周期是配置生产的重要环节。

产品定义管理器提供标准型和变量型两类产品生产规则,基本的生命周期如下。

- 开发状态(DEV)。
- 标准状态(STD)。

产品定义管理器中的生命周期有两个主要特性。

- 启用：确定规则是否能在工单管理器建立生产工单时被使用。
- 编辑：确定规则的配置可以被编辑或消除。

关于生命周期中的开发状态，其规则一般是用来进行开发和测试的，不会要求任何审核，并且此类开发状态的规则可以随时转换成标准状态的规则。

关于生命周期中的标准状态，标准状态有若干个生命周期环节，每个状态都是启用和编辑特性的组合，它们决定了此状态情况如何工作。以某规则为例，它以编辑作为状态的开始，正常情况下下一步是等待批准。在编辑和等待的情况下，此规则是可以被修改的，但不能被用来生成生产工单。并且在这两种情况下，状态可被转换到开发状态。从等待变成批准后，规则就不能再被修改了，而工单可以由此创建。另外，批准也可以直接转变为废弃，即不被批准。

总体来说，MES 对产品进行定义之后，产品的性质和生产过程就都有了明确的系统信息。实际将依据定义在系统中的信息进行产品的生产，使得生产过程更加清晰、透明。

(2) 人员管理和生产规划。

工厂生产一般来说都需要生产调度，而人员管理是生产调度中的重要环节。不同技能和不同班次的人员在生产过程中，都需要针对不同产品进行编排。人员管理是制造执行系统要建立的一个组件，用于实现便捷地管理人员，在工厂中能够按照系统配置的技能进行一系列工作。

人员管理器主要针对生产过程中的人力资源进行管理，其在 ISA-95 的规范中帮助回答了“什么时间有什么产品被生产出来”的问题，因为人员记录了产品生产的进度。在系统中进行配置的时候，需要把各种人员特质，例如资质、分组等都配置出来。此外，系统也需要指定人员到各个班组，还可以查看人员操作的过程记录。最终的人员数据和生产数据将会被系统整合，例如某操作员完成了什么任务、操作了哪台机器、使用了哪些物料、完成了哪个工单等。

(3) 工单管理数字化和制造执行。

工单管理的重要性是不言而喻的，因为只有有了工单才有生产。在我们定义好了生产系统之后，就可以根据生产的定义阐述工单执行了。MES 将工单作为它的一个组件，可用来更简便地实现系统操作与过程控制，让生产能在要求的时间内开始。

工单管理器不但和客户订单相关联，也和产品生产、生产排程有紧密的关系。在 ISA-95 国际标准里，工单管理器帮助回答了“什么可以被生产”的问题。工单管理器可以根据生产运行条件来构建工单的层级关系。

工单管理器的功能是为了让工单能够在系统遵循规则的情况下被结构性配置，以最大限度地满足市场行业规范。

① 工单层级模型。

工单管理器使用规划树来管理工单结构，如图 5.14 所示。

- 规划：任务的最上层是规划，用来定义特殊生产排程，并收集某时间段内的生产要求。
- 工单：规划将一系列的生产要求归组，工单则用来定义特殊的生产要求，可由多个

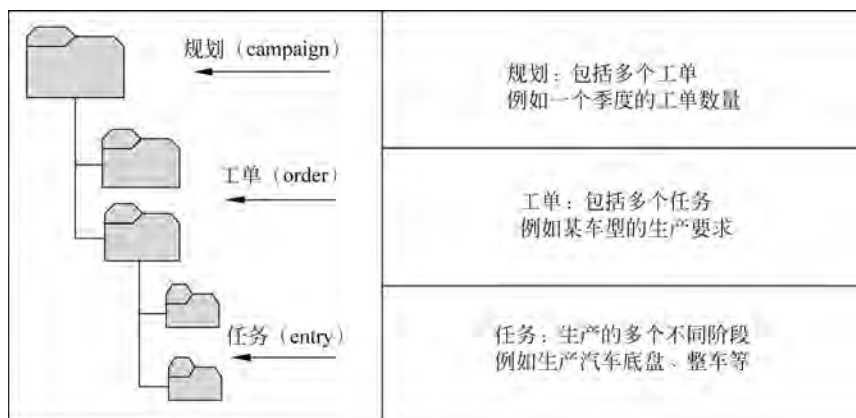


图 5.14 工单结构层级

需求子集组成。

- 任务：工单是由系列要求阶段组成的，任务则用来定义特殊的需求子集，以支持生产操作。

② 时间范围。

时间范围可以是生产要求的计划阶段，用来确认分配时间的合理性。规划的配置过程会确认配置的阶段是否合理，用以限制规划的开始和结束时间。工单管理器中的时间范围表达了某确定的时间段，例如月、年。工单也可与时间范围关联，用以限制工单的开始和结束。

③ 家族和类型。

工单虽然可以用层级的方式来划分，但要按照具体情况清楚归类工单也不是一件容易的事情。SIMATIC IT 采用家族和类型两种归类方法。

- 家族：代表汇集起来的、有共同目的的工单、任务。
- 类型：用于定义有相同特性的工单、任务。

3) 综合生产过程的管理思想

制造企业所应用的信息系统种类繁多，其中主流系统包括以数据管理、文档管理、工艺设计、工装管理等为主的产品数据管理系统；以资源、财务、供应、营销、计划等管理为主的企业资源计划(enterprise resource planning, ERP)系统；以底层控制、数控程序管理、机床状态监控等管理为主的分布式数控(distributed numerical control, DNC/MDC)系统；以制造数据、计划排产、产品跟踪、质量控制、生产过程控制等管理为主的 MES, 以及其他一些信息管理系统，如质量管理系统、编码系统、库存管理系统等。各个系统间通过 MES 搭建起一个以工艺数据为基础、以计划管理为驱动、以质量管理为核心的，包含物料管理和设备管理的综合生产管理平台，将计划层与底层控制层有效、有机地集成起来，向下发出大生产指令计划，向上收集产品生产信息，可有效记录生产的过程信息和质量信息，为生产过程的优化和资源的统筹安排、调度提供方便，从而实现精细化和数字化的生产过程管理。

MES 的成功实施与建设能提高产品制造生产的柔性和及时性，最大化企业的资源利用效率，促进生产过程的数字化，加强企业的纵向管理，是数字化工厂建设的重要组成部分。

3. 质量管理数字化

质量管理数字化也叫数字化质量管理,它将现代信息技术、自动化技术、先进制造技术、现代测量技术与现代质量管理模式相结合,综合应用于企业的市场营销、产品设计、制造、管理、试验测试和使用维护等全生命周期质量管理的各个阶段。通过质量数据的自动实时采集、分析与反馈控制,以及质量信息资源的共享和质量管理的协同,建立一套以数字化、集成化、网络化和协同化为特征,预警和报警相结合的企业质量管理新体系。

1) 质量管理数字化的意义

制造企业实现质量管理数字化对于数字化工厂的建设具有重要意义。

(1) 提高质量数据的有效性。质量管理的基础就是质量数据,如果没有大量、准确、及时的质量数据作保证,决策者就无法全面掌握企业的质量状态,就只有依靠经验、凭感觉作决策。在传统质量管理模式下,大量的质量数据靠手工处理,靠纸质文件记录和传递,使得信息的透明度差,造成数据不准确、不及时、不全面,导致质量数据的有效性差。利用计算机管理质量数据,结合现代化的数据采集方法,可以大大提高质量数据的有效性,为质量管理打下坚实的基础。

(2) 提高质量数据的利用率。在 ISO 9000 提出的八项质量管理原则中,一条非常重要的原则就是“基于事实的决策”。决策依赖事实,事实来自数据,因此必须提高数据的利用率。在传统质量管理模式中,由于数据的有效性差和分析处理手段落后,造成数据的利用率极低。利用计算机处理质量数据,将数据全部存储在计算机中,再使用计算机提供的查询和统计处理功能,可以方便地实现质量数据的分析和处理,从而大大提高质量数据的利用率。

(3) 强调按规范办事,消除人的“随意性”,提高管理水平。在现代企业管理中,标准化是基础。标准化工作包括流程的规范化、工作的规范化、数据的规范化等。但在传统企业中,标准化工作的水平比较低,造成没有规范可依或者有规范但不遵守的局面。也就是说,工作人员的随意性很大,这是传统企业管理水平和产品质量难以提高的主要原因之一。利用计算机管理后,工作流程、操作程序和数据(数量和质量)都处在计算机管理下。如果不按规范工作,流程就无法进行下去,计算机就会进行预警和报警,从而在最大程度上消除了工作人员的随意性。

(4) 解决质量体系管理的“两张皮”现象,提高质量体系的运行质量。质量管理体系是个非常庞大复杂的系统,它的建立和运行涉及企业的方方面面,要对它进行全面实时的控制难度极大。另外,质量体系的规范主要体现在质量体系文件中。建立了质量体系的企业都有大量的文件,但如何使这些文件与质量体系的实际运行结合起来,仍然是个没有解决的问题。这一事实造成质量管理体系的“两张皮”现象,即一方面建有大量的质量体系规范,另一方面员工仍然根据自己的方式进行工作。“两张皮”现象使得质量体系流于形式,对企业质量管理水平的提高很难起到应有的作用。利用计算机管理质量体系后,可以将质量管理流程建立在计算机中,借助于计算机控制流程的运行,强迫工作人员按流程办事,可以有效解决质量体系管理的“两张皮”现象。

(5) 推进统计质量控制技术的应用。统计质量控制技术的提出已有半个多世纪的历史,在质量管理中曾经发挥了巨大的作用。在现代质量管理模式中,统计质量控制技术的

作用非但没有削弱,反而发挥着越来越大的作用,“六西格玛”质量管理就是个典型例子。因此可以说,统计技术仍然是现代质量管理的基石。由于人员素质等各种原因,统计质量控制技术在我国一直应用得很不理想,其主要原因是需要操作人员具备数理统计知识,需要大量的数据作为支撑,在应用时还需要进行大量的计算工作。采用计算机技术后,数据靠数据库管理,采用简便易用的统计分析软件,可以将操作人员从复杂的计算中解放出来,非常有利于统计技术的推广应用。

2) 质量管理的数字化架构

数字化质量管理体系又称为 e-质量管理体系,其核心是质量管理的数字化。数字化质量管理架构如图 5.15 所示。

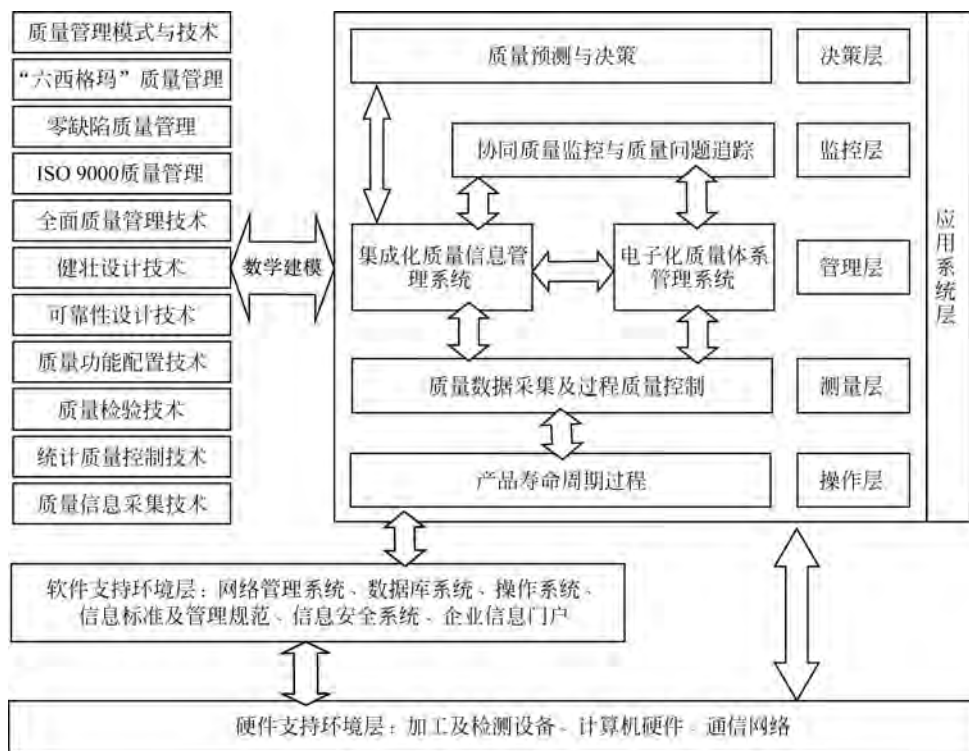


图 5.15 数字化质量管理体系的参考结构

数字化质量管理体系从大的层次上可以分为硬件支撑环境层、软件支撑环境层和应用系统层。硬件支撑环境层为数字化质量管理体系提供硬件支撑,包括加工及检测设备、计算机硬件、通信网络等,其中检测设备包括各种计量器具、条码数据采集系统。软件支持环境层为数字化质量管理体系的运作提供软件保证,包括网络管理系统、数据库系统、操作系统、信息标准及管理规范、信息安全系统、企业信息门户等,其中企业信息门户为数字化质量管理体系与企业其他数字化应用系统的数据交换提供信息通道。应用系统层可分为操作层、测量层、管理层、监控层和决策层,各层的主要功能如下。

(1) 操作层。操作层指的是产品质量形成的各种过程,包括市场调研、设计开发、试制、生产准备、加工制造、质量检验和试验、包装运输、应用及售后服务等。操作层完成产品的设计与制造,并产生质量管理中所需的各种数据,数字化质量管理体系以操作层作为管理

与控制的主要对象。

(2) 测量层。测量层的主要功能是通过各种测量和评审手段从操作层采集各种数据,包括通过产品设计质量评审采集产品研发过程的各种数据,通过质量检验采集产品生产过程的各种数据,通过过程评价采集经营管理各种过程的工作质量数据,通过质量体系评审采集质量体系运行有效性方面的数据,并通过对数据的统计分析(特别是控制图技术)实现质量管理系统的控制和持续改进,是提高数据有效性的基本保障。

(3) 管理层。管理层主要包括电子化质量体系管理和集成化质量信息管理两大部分内容。电子化质量体系管理是将质量体系过程流程化并建立在计算机中,通过计算机控制质量体系的运行有效性。集成化质量信息管理主要是借助于数据库管理技术对数字化质量管理系统的各种数据进行全面管理,包括应用各种统计分析工具对数据进行处理和分析。

(4) 监控层。监控层主要用于对质量管理体系的运行过程进行监控。由于质量管理体系基本上覆盖了产品质量形成的各种过程,因此只要能够保证质量管理体系的正常运行,企业的质量管理水平和产品质量就有了保障。监控层利用可视化技术和各种主动监控与追踪技术,实现对企业质量状态的全面监控和报警。在发生质量问题时,监控层可以从集成化质量信息管理系统提取信息,从而实现质量问题的追踪和处理。

(5) 决策层。决策层根据质量体系的运行结果和来自集成质量信息管理系统的统计信息,对企业的质量现状进行分析,发现质量管理中存在的问题;也可采用各种数学方法对质量的发展趋势进行分析,作出实事求是的决策。为了保证数字化质量管理系统的有效运行,需要采用数学建模技术将各种现代质量管理模式和技术转化为数字化质量管理系统可以接受的形式。从计算模式看,数字化质量管理系统主要采用由数据库服务器、应用服务器和浏览器组成的三层结构形式,即通称的 B/S 模式。

3) 数字化质量管理系统中的质量数据采集

数字化质量管理系统中的质量数据采集技术如前所述。质量数据的有效性是质量管理的核心,要实现数字化质量管理,必须首先解决质量数据的采集问题。质量数据一般可以分为四种。

(1) 通过质量检验获得的检验数据,包括原材料检验数据、外协件检验数据、配套件检验数据、加工过程检验数据、装配过程检验数据、成品实验数据等。

(2) 通过质量体系评审获得的数据,包括内审结论和不合格项、管理者评审结论、外部审核结论和不合格项等。

(3) 通过过程评审和评价获得的数据,包括设计评审结果、工作质量评审结论等。

(4) 与质量数据有关的其他数据,包括检验人员代码、质量问题代码、质量故障代码、工序号、零件号等。

在这四种类型的质量数据中,有些可以采用测量仪器设备进行自动采集,有些可通过手工采集,有些则可通过条码系统进行采集,还可通过数据接口的方式从其他数字化应用系统采集数据。

4. 物料管控数字化

物料管控数字化的重点是建立数字化仓储、自动配送传输装置、公共资源定位等物流管控条件。数字化仓储目前是一个研究的新方向,也是实现物料管控数字化的重要环节。

后两者属于物联网技术在物料管控环节的应用,可以实现物流过程的自动化、数字化与智能化。

1) 仓储、物料传输等过程的数字化建设

在建设现代化仓储系统的过程中,最为关键的是要实现信息化、数字化管理。现代化的仓储系统与传统仓储系统有着显著的区别,现代化的仓储系统对计算机信息技术、网络技术及机械自动化技术都有很广泛的应用,如使用计算机信息管理系统、货物电子标签技术、电子数据交换技术、网上订货系统等,不仅可以用于仓库与上游供货单位的信息交流,还可以和下游提货单位保持良好的信息沟通。自动化的入库作业、出库作业和一体化的分拣、装卸、运输过程既有效地节约了人力资源成本,同时又提高了工作效率。日新月异的计算机信息技术、网络技术和机械自动化技术为信息化仓储系统提供了很好的技术支持,同时现代化的仓储系统也可以推动和促进供货方和提货方的信息化改造进程。

建设现代化仓储系统的关键是以信息数字化带动仓储现代化,没有信息数字化就没有仓储的现代化。数字化仓库指的就是运用现代信息技术来实现仓库管理并保障仓库的合理高效运行。就目前情况而言,大多数企业的仓储系统都依赖于以笔和纸张为基础手段的文字系统来记录、追踪、管理进出的货物,仓库中各个系统之间的通讯也依靠有线的通信手段来实现。

与有计算机信息技术支持的现代仓储管理信息系统相比,人为因素的不确定性不仅极易导致操作上的失误,而且效率低下,最终致使企业仓储效率降低以及人力资源的严重浪费,企业效益严重下降。与此同时,随着经济全球化的进程,货物种类的增多、数量的增加以及出入库频率的剧增,使企业对于仓储的需求越来越多元化,这种传统的人工模式必将严重地影响企业的正常运行,数字化仓库的建设势在必行。

目前,有关学者认为仓储管理成本高的主要原因有以下几点。

- (1) 仓库存储空间没有被充分利用,造成浪费。
- (2) 仓库作业流程时间长,导致效率低下。
- (3) 仓库区域设置复杂、缺乏合理性,对相关仓库作业造成不利影响。
- (4) 硬件条件落后,机械化程度低,人力资源浪费严重。
- (5) 仓储系统与运输系统等物流中的其他系统衔接不够好。

为了有效地降低仓储管理成本,最大限度地提升仓储管理效率,一方面在硬件上可以使用一系列现代化的设备,让仓库管理人员从繁重的体力劳动中解脱出来,从而大大地提高仓库管理的效率和服务质量;另一方面在软件上,可使用信息化仓储管理系统来避免和减少仓储管理过程中因为人工失误而出现的错误,这样既提高了效率,又降低了成本。

2) 物料管控中的数字化相关设施建设

物料的管控主要发生在企业内部。对传统的人力管理物料进行数字化改造,就要利用相关的数字化技术和理念,使之应用在实施过程中,目前主要包括仓库存储方式、射频识别技术、无线传感网络以及仓库管理信息系统。

(1) 仓库存储方式。

仓库存储方式主要有平库(地面和低层货架)和立体仓库两种。由于库房受到层高和成本限制,一般的小型仓库多采用平库的存储方式,采用单货格、双货位模式,存/取货方式

为人工(小型货物)或叉车(大型货物),托盘的使用方式也根据具体的存/取货方式而定。在大型货物的平库中,巷道中多采用普通叉车作业,当然也可以使用自动导引车或者是驶入式货架存储。立体仓库也称为自动存取系统适用于规模比较大的企业物流系统,是一种先进的存储方式,主要优点是机械化程度高、存/取货物速度快,基本实现了存/取货物的自动化。立体仓库主要由立体高层货架、堆垛机和传动控制系统组成。由于四向进叉式托盘的具体受力和变形状态等特点,在目前的立体仓库中主要采用横梁挂片式货架,再根据货物的重量、尺寸、堆垛机相关参数以及仓库的地形特点进行设计。

(2) 射频识别技术。

射频识别技术(RFID)是一项非接触性自动识别技术,它兴起于20世纪80年代,无须人工干预,可工作于各种恶劣环境。它的核心工作原理是通过无线射频信号来自动识别目标并获取目标对象的相关数据,可识别移动物体并可同时识别多个标签,操作快捷方便。但这样的技术并不是一项新兴技术,它的出现要追溯到19世纪40年代的第二次世界大战期间,当时这项技术被用来分辨敌方飞机与我方飞机。近些年来,随着科学技术的不断发展,相关技术领域出现了突破性进展,RFID也再次登上历史舞台,开始呈现出良好的发展势头和更加宽广的应用前景,目前在身份识别、生产自动化控制、交通、车辆管理、军事领域以及仓储系统等方面都有应用。

(3) 无线传感网络。

无线传感网络是由大量的传感器节点组成的网络,微小而且价格低廉,通过无线通信的模式相互通信,并通过自组织网络的方式形成一个多级网络,其目的是通过相互协作采集其覆盖目标区域内的特定对象的相关信息。

然而这种无线传感网络技术(如蓝牙、红外等)对于网络通信中的高延时和高能耗等问题不能很好地予以解决。ZigBee技术的出现很好地解决了这一问题。ZigBee技术是一种低功耗、低传输速率、低成本的短距离信息传输新技术,它的低复杂性、低功耗都满足了数字化仓库对无线传感网线的需求。此外ZigBee网络层规范由ZigBee联盟制定,它主要可以实现自组织网络、路由发现、路由维护等功能,可支持多种网络拓扑结构。在ZigBee技术的理论体系结构中,所有的标准都是通过协议来表示的,每层协议完成各自的任务,还要向上提供服务;而每层协议之间则是通过管理实体服务访问点以及数据实体服务访问点进行信息交互。ZigBee体系结构从下至上依次分为四层,分别是物理层、媒体接入控制层、安全层/网络层和应用层,各层间的关系如图5.16所示。

(4) 仓库管理信息系统。

随着社会经济的发展,企业对仓储系统的要求越来越专业化。过去那种手工操作的工作运行方式已经远远不能满足要求,于是仓库管理信息系统应运而生。仓库管理信息系统是现代化仓储系统中进行货物管理和操作作业的业务操作系统,它能使仓储服务得到高效的执行和准确的监控,对仓库各个作业环节实施全过程的管理和控制,并实现对货物的出/入库等操作,从而实现仓储系统的自动化管理和操作。目前,条码技术和RFID技术已较广泛地应用到国内外的仓库管理信息系统中,便携终端、数据库和计算机网络都很好地支持了仓库管理信息系统的应用。仓库管理信息系统在软件模式上主要有B/S、C/S两种,Web技术、远程通信技术的发展也极大地完善了仓库管理信息系统的功能。

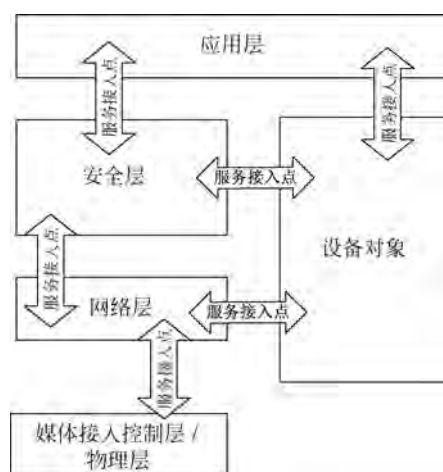


图 5.16 ZigBee 的结构关系

物联网下的数字化仓库给产品嵌入 RFID 电子标签,经 RFID 阅读器将标签内部的物品信息读取之后,由节点自带的无线收发单元通过无线自组织网络、计算机网络将物品信息自动录入企业的数据库系统中,在计算机管理软件的支持下,实现仓库内各作业环节的数字化信息采集,并通过数字化仓库管理系统进行统一的管理与控制,从而实现整个工厂的物料管控数字化建设。数字化仓储管理结构如图 5.17 所示。

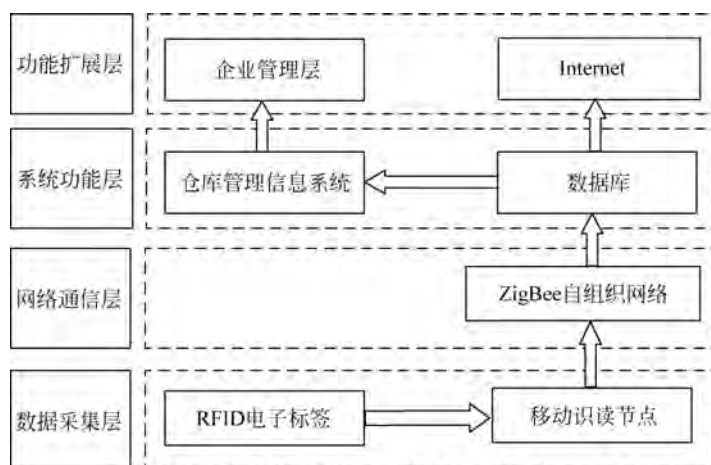


图 5.17 基于物联网技术的数字化仓储管理结构

5.3.3 企业管理数字化

1. 企业管理数字化概述

企业管理数字化主要是指通过实现企业内外部管理的数字化,促进企业的重组和优化,提高企业的管理效率,促进企业资源的最大化利用,并采用电子商务的手段提高企业的市场拓展和应变能力。建设管理数字化可提高现代制造企业的现代化管理水平、科学化经营管理与决策能力、行业快速响应的企业间协作能力、产品的全面质量管理与保证能力。

当今企业市场竞争日趋激烈,顾客对产品质量和供货时间的要求越来越高,同时产品复杂程度增大,这些都给企业带来了现实的压力。然而,压力也意味着转机,通过实现生产管理数字化,可以大大提高企业的管理水平,最大化、最优化企业的各项资源,增强企业的综合竞争能力,具体效益如下。

- (1) 缩短交货期。
- (2) 降低研发和制造成本。
- (3) 优化资源配置。
- (4) 提高协作能力。
- (5) 积累管理知识。
- (6) 实现产品全生命周期追踪。
- (7) 改进业务流程和服务流程。
- (8) 提高企业产品质量。

对现代制造企业而言,企业管理数字化是建立在其先行实施的管理信息化基础上的。信息化是为数字化服务的,是数字化的使能器。数字化的本质是使企业的所有资源和经营行为,包括管理规则、业务与流程、生产哲理、决策与执行行为、生产资源等完全实现信息的量化与可储存化,使整个生产经营系统无论是资源还是经营行为完全可视化、透明化,在系统内留有痕迹,从而极大地提高企业运营系统的可控性,使企业内部的业务集成与协同、企业间的业务集成与协同成为可能。

企业集成一般划分为信息集成、过程集成和企业间集成三个层次,从信息化是否完整的角度可将其信息化划分为不完全信息化与完全信息化两类。不完全信息化是指局部的信息共享,主要特征是只涉及结果性的静态信息管理与集成;完全信息化则更加关注企业深层次的运行过程与变化,包括决策与执行过程、流程与动态运行过程等方面。因此,不完全信息化对企业而言是表面化的和浅层的数字化,其作用是有限的信息共享;而完全信息化则为企业构造了一个健全而敏捷的数字化神经系统,这个神经系统植根于企业的各个运营细节,它不仅能将执行结果而且能把执行过程中的所有信息与数据及时、准确、全面地采集到,将这些信息迅速传递到企业的管理中枢并能对异常情况及时做出响应。这一数字化的神经系统对企业系统来说是完整的,没有盲区,因此,它是企业响应内外部变化必不可少的管理与控制系统。显然,不完全信息化是难以达成这一目标的,只有完全信息化才能实现企业的管理数字化,因此,企业的管理数字化必须建立在完全信息化的基础上。企业的信息化与集成阶段的关系如图 5.18 所示。

2. 企业管理数字化的目标与内容

1) 企业管理数字化的目标

现代制造企业管理数字化的目标是实现实体企业资源、业务、流程及生产运作模式规则的数字化,并在此基础上进一步实现企业间相关业务、流程与共享资源的数字化,从而使企业不仅能够实现实体企业内部管理的数字化,同时具备参与供应链数字化管理和进行敏捷制造的能力。

基于上述目标,现代制造企业不能把其企业信息化目标简单设定为提高本企业业务生产的经营效率与效益水平,也不能仅仅实现本企业内部的管理数字化,而必须使其信息化工程的目标既面向内部供应链业务集成,又可敏捷地与其他相关企业组成虚拟企业,以支

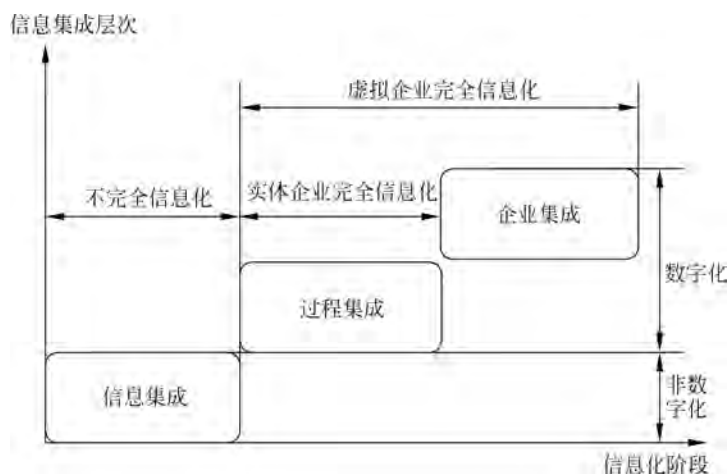


图 5.18 企业的信息化与集成阶段关系图

持供应链管理,实现企业之间的管理数字化。

2) 企业管理数字化的建设内容

将信息技术和管理技术用于企业管理领域,可提高企业的管理水平和经营效益。总体上可以将企业管理数字化分为企业内管理数字化和企业间管理数字化两大部分,二者可以实现集成。

企业内管理数字化建立以产品为主线的 PLM 和以物料流为主线的 ERP 企业内管理数字化框架,辅助相应的办公自动化、质量信息系统、试验数据管理系统、产品数据管理系统(试验数据管理和产品数据管理系统重点在产品研发设计数字化阶段使用)、合同管理系统、人力资源管理系统、财务管理系统、设备管理系统、知识管理系统、企业门户平台、数据决策支撑系统等条件手段。

企业间管理数字化在企业内管理数字化的基础上进一步实现企业间的相关业务、流程与共享资源的数字化,从而使企业具备参与供应链数字化管理和敏捷制造的能力,重点建设供应链管理(supply chain management, SCM)系统、客户关系管理,以及商务智能(business intelligence, BI)等内容。

实施针对实体企业资源、业务、流程与运行规则等的数字化量化工程及信息化工具与系统,不仅要实施企业资源计划系统、针对产品数据源管理的产品数据管理系统、质量信息系统以及行政管理数字化工具办公自动化系统、供应商关系管理系统、客户关系管理等管理数字化系统,更要在实施这些系统之前先重点对企业的上述过程与资源进行全面系统的数字化量化以及为便于数字化量化而对运营系统进行的优化与调整等工作。此外,还需要集成涉及加工过程、装备的相关支持工具和制造执行系统等和数据信息,并在此基础上进一步实施支撑虚拟企业的管理数字化工具供应链管理系统、电子商务系统以及企业信息统一集成平台(或称信息集成门户)系统。

简而言之,管理数字化最重要的支撑系统是 ERP、PDM 系统(实体企业内部)和 SCM 系统(企业之间)。此外,完整的管理数字化系统还必须集成与企业业务相关的其他业务子系统,是一个以业务管理为核心的基于 ERP、PDM 和 SCM 的企业大集成系统,其系统结构

其主要业务流程包括如下。

(1) 经营规划。经营规划是企业为一定的目的而策划、制订的比较全面、长远的发展计划。

(2) 销售与运作计划。销售与运作计划也是企业中长期计划的一种,它把经营规划中用货币表达的目标转化为产品的产量目标,从而对经营规划进行落实和细化。

(3) 主生产计划。主生产计划是企业计划期内独立需求型产品的一种生产安排,它依据获得的订单和市场预测,确定在各个生产周期内独立需求性产品的生产数量和生产规格。

(4) 物料需求计划。物料需求计划是一种管理相关需求的计划,是对主生产计划的细化和落实。它依据主生产计划和物料清单(bill of materials,BOM),将独立需求的计划分解展开并规划相关需求,从而获得外购零件和原材料的需求计划及企业自制零件的生产计划。

(5) 能力需求计划。能力需求计划是对 MRP 计划依据工艺路线和能力文件进行能力核算与能力平衡,确保 MRP 计划可执行性的一种规划分析方法。

(6) 车间作业管理。车间作业管理主要对企业自制零件依据工艺路线和工艺过程进行全面的规划。

(7) 采购管理。采购管理主要是对企业外购原材料、外购零部件的采购需求和采购过程进行全面的规划。

(8) 库存管理。库存管理是为达到合理控制库存量的目的而对库存项目信息(制成品、备件、装配件、子装配件、零部件和采购物料等,统称库存项目)和库存过程信息(出库、入库、调拨、盘点等)进行全面管理,维护其完整性和准确性,同时还要进行库存信息分析、控制库存量等。

2) 企业资源计划

企业资源计划既体现为一种先进管理模式,又体现为一种集成化管理与决策信息系统,也体现为企业决策与管理层对企业实施现代化管理的软件平台。可简要概括为,ERP 是以 ERP 原理为核心、以 ERP 软件为平台的现代企业管理系统。

ERP 系统的主要功能如图 5.21 所示。

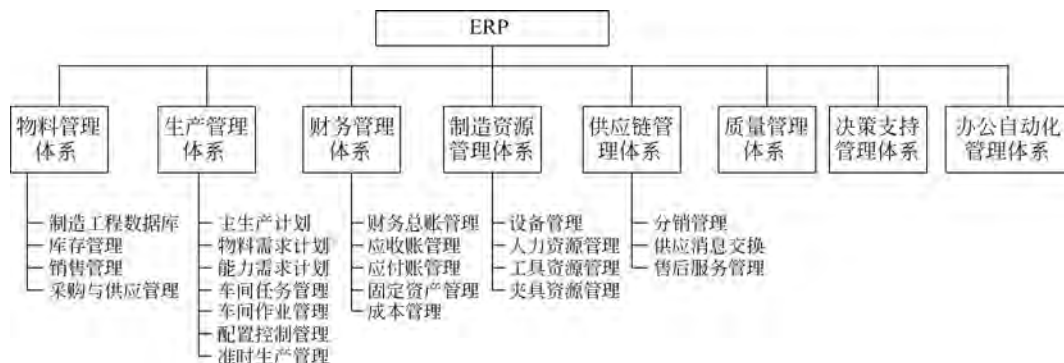


图 5.21 ERP 系统的功能结构图

从管理思想的角度来看,ERP 是在 MRP II 的基础上,考虑企业内外部资源的集成管理与多类型制造企业的混合管理发展而成的面向供应链的现代企业管理模式。从软件产品

的角度来看,ERP是以现代管理思想为核心,采用先进的软硬件技术实现的现代管理软件产品。从管理系统的角度来看,ERP是整合企业现代管理理念、业务流程、软件产品和数据信息于一体的人机交互管理系统,实现企业内外部物流、信息流、价值流的集成。

4. 供应链管理与电子商务

1) 供应链管理

供应链管理是指对供应链上供应者与需求者之间的各种需求与交易进行物流、资金流和信息流的集成化管理。SCM主要强调企业之间的信息共享、计划管理与经营协调,强调从管理单个企业到管理有供需关系的所有企业,不仅强调范围的扩展,而且强调总体上的优化。

供应链管理主要围绕供应、生产作业、物流和需求订单来实施,其主要功能如下。

- (1) 供应链计划与协调。
- (2) 比价采购与供应商伙伴选择。
- (3) 分布式库存管理和供应商管理库存。
- (4) 分销管理。
- (5) 配送与运输管理。
- (6) 销售与客户服务管理。
- (7) 财务预算和清算管理。

除此之外,还包括多渠道服务管理、信息交换管理以及与ERP系统的集成等功能。

SCM覆盖了供应链上的所有环节,将整个供应链的需求计划、生产计划、供应网络计划整合在一起,加强了对供应链上企业的协调和企业外部物流、资金流、信息流的集成,弥补了ERP的不足,提高了整个供应链对客户的响应能力和竞争能力。这种企业间的供应链的本质在于使供应链上下游企业以适当方式联合共享计划信息,减少因需求预测不准确而生产过多或生产不足,从而最大限度地减少整个链条上的成本。

2) 电子商务

电子商务是指业务交往的各方通过电子方式进行其业务活动的总称,也指买家、卖家在计算机网络上实现的买卖交易。电子商务技术的出现缩小了企业与企业之间、企业与个人之间的时空距离,改变了人们传统的思维模式和企业的生产经营模式。

电子商务的典型功能有企业信息门户管理、电子信息交换平台、电子交易、网上招投标、电子支付、物流服务、电子商务安全保障等功能。

5. 集成化管理的实现

要实现管理数字化,除了所实施的管理系统必须支持企业内部的业务集成和企业间的业务集成外,支持这些管理系统的企业业务、资源、流程和规则等的数字化量化是不可缺少的基础。企业必须在规划实施其管理信息化方案的同时,重视传统工业工程技术的应用,将其业务、资源、流程和规则等全部数字化量化,为管理信息化和管理数字化提供必要的基础数据与支持。基础工作是一项长期的积累工作,企业必须高度重视和持之以恒,把管理基础的数字化工作与管理信息化和管理数字化系统实行同样重要的对待才能取得预期的效果。任何业务、资源、流程和规则等的不完全数字化量化和数字化量化不彻底都会严重影响到管理信息化与管理数字化的实施效果。

全面集成的数字化企业的发展目标是:通过全面采用先进的信息技术,实现设计数字

化、制造装备数字化、生产过程数字化、管理数字化,并通过集成实现企业数字化;实现客户、企业和供应商的无缝集成,实现人、技术、经营目标和管理方法的集成;实现企业不同产品线的均衡发展。全面集成的数字化企业不仅为用户提供满足其需求的产品,更重要的是实现对产品全生命周期的管理和服务。从某种角度来说,现代企业的竞争是供应链与供应链之间的竞争,是先进生产集成运作模式之间的竞争。然而,无论是数字化企业的实现还是供应链管理与先进生产运作模式的实现,都离不开管理数字化的支撑。

要成功实现企业内外部的各项集成,必须解决好以下问题。

1) 业务内容、流程的集成与集成规则

管理数字化必须能够支撑企业内外部供应链的业务集成。因此,在实施相应的信息系统之前,必须深入分析企业内外部业务集成的规律、特点和需求,优化并建立业务集成的模型,确定集成的内容、流程与规则,为开发或选取相应的业务集成工具或系统提供依据与需求。

2) 业务集成系统与工具的开发

由于支撑企业内外部业务的系统不止一个且须同时运行,因此,在规划、开发支撑企业内部和企业间业务的业务系统时,必须同时考虑业务自身管理和业务集成这两种需求,必须依据这两种需求来选择或定制相应的业务集成系统与工具,这对业务系统的选择与定制提出了更高的要求。

3) 集成技术与接口

对不少制造企业而言,能否把多年信息化实施形成的异构系统及其管理的业务集成起来是其最终能否实现管理数字化目标的重要条件。由于各信息产品开发商在规划开发其软件时并未考虑与企业其他相关业务管理系统之间的集成接口与需求,因此,要把这些系统按企业业务集成的需要改造成相互集成的一个大系统是十分困难的,必须在集成技术与接口标准上进行突破,制定相关的集成技术标准,按集成技术与接口标准要求开发可重用的集成中间件产品,方能有效解决当前困扰许多企业的“信息孤岛”问题,为实现管理数字化扫除障碍。这对实现实体企业与虚拟企业的管理数字化都是非常重要的。

5.3.4 支撑保障数字化

支撑环境和运行条件作为数字化工厂的支撑保障条件,需与产品研发、生产制造、企业管理数字化条件同步开展。支撑保障数字化主要包括以下六个方面建设内容。

1. 基础设施

(1) 网络基础:包括异地网建设和本地局域网建设。异地网建设包括不同企业之间以及本企业不同地点的网络建设;本地局域网建设目前包括涉密网、工业互联网(又称物联网、含能源互联网)、国际互联网等。

(2) 数据中心/灾备中心:包括机房建设,研发、生产、管理各类应用系统的硬件服务器,高性能计算集群系统,以及数据存储与备份软硬件配置。

(3) 总控中心:即数字化工厂的信息中心,将反映企业运营状况的信息系统在总控中心进行集中监控管理,从而实现信息系统管理效率和管理质量的同步提升。

2. 数据库及标准规范

数据库建设根据产品研制需要建立设计、工艺、制造、试验等各环节产品专用数据库,

以及关系数据库、文件数据库、实时数据库等通用商业数据库系统,如 Oracle 数据库、SQL Server 数据库,以及数据库的管理系统。标准规范建设是指依据国家信息化相关标准体系,根据公司级信息化标准体系,建立数字化工厂标准体系库,包括数字化管理标准、测试与试验标准、设计标准、产品信息交换标准等。标准规范体系的建设具有很强的客户化性质,不存在现成的固定模式的商业软件。

3. 信息安全

信息安全是指保障网络安全稳定运行,重点建设面向涉密网络的物理安全、信息安全、运行安全和保密管理等信息安全防护体系,建设面向工业互联网的工业防火墙、工业通讯网关、工控网络安全监测审计系统、安全监测平台、工控网络安全防御平台、工业信息安全在线监测预警平台、工业互联网可信计算机主动免疫平台等。

4. 能源保障

以建设能源互联网为信息运行载体,结合能源管理模型的虚拟仿真,通过建设能源管理系统,综合采用计算机技术、数据库技术、网络技术、仪表控制技术,对数字化工厂运行所需的各种能源(供电、供水、供气、供暖等)的详细使用情况进行在线监视、动态分析,实时掌控能源消耗,以便及时查找能耗弱点,动态进行用能调整,实现实时测量、数据处理、远程控制等功能。

5. 服务保障

服务保障是指后方技术保障人员应用远程通信技术指导前方的装备操作或维修人员对装备的故障进行排除,迅速恢复装备的性能,重点包括远程诊断和维修服务(如与维修保障机构搭建远程诊断系统)、可视化维修服务如建设交互式电子技术手册、维修知识服务(如培训或公司门户)、便携式维修辅助设备、维修服务管理等五部分内容。

6. 系统集成

系统集成是指通过构建面向研发设计、生产制造、经营管理的数字化工厂集成支撑平台(利用应用软件接口和协议可使各类软件系统具有互操作能力),有效支持数字化工厂各阶段集成,使企业各功能系统协同地工作。从目前的发展趋势看,研究人员认为以研发为主的企业可以建立以产品数据管理为核心的集成平台,以制造为核心的企业可以建立以 ERP+MES 为核心的集成平台,研发制造混合型企业可以建立以 PLM 为核心的集成平台,实现产品生命周期的集成。

5.4 数字化工厂的建设模式与阶段

根据业界的研究探索现状,目前数字化工厂的建设可以分为原生型和非原生型两种。由于二者的基础、现状等情况不一样,因此在建设时还是需要加以区分对待的。

原生型数字化工厂的建设类似于新建项目,是一个从无到有的过程,因此需要在一开始就采用数字化手段,对规划设计、采购建设、试验验证等阶段所产生的数据信息进行管理,以便于后续数字化、智能化技术、设备、人员等的介入。另外笔者认为,原生型数字化工厂的建设应包含从外部厂房建造到内部车间建设的全过程,外部厂房可以利用建筑信息模型技术,实施建筑全生命周期的运维。它的好处是有了厂房的数据模型后,可以为后期车

间的建设提供可视化仿真模拟,便于车间内的设备、生产线、仓储物流等的规划布局,大大降低后期的偏差,从而节省资源、人力和成本。对于内部车间建设而言,基于厂房模型进行仿真规划、布局、模拟,做到最大限度地利用空间,在设计阶段即可完成后期的部分工作,大大提高了效率。

非原生型数字化工厂的建设类似于项目的改扩建,是一个改造升级的过程,需要企业内部信息技术部门、管理部门等的合作。非原生型数字化工厂的建设对象大多是旧厂房,经历了诸多的变更和改造,在三维模型这方面比较欠缺,因此需要在改造时采用逆向建模的方式,实现对于基础数据信息模型的建立。非原生型数字化工厂的改造通常是升级版的,比如从数字化工厂 1.0 到数字化工厂 X.0,是一个较为复杂、庞大的工程,因此需要企业予以重视,建立团队,以合适的方法进行管理,引入必要的资源以及企业上下的通力合作。

数字化工厂建设不是一个单一的建设项目,它与企业的信息化水平、管理方式、技术水平、人才、环境等息息相关,建设的水平和程度也受制于这些因素,需要企业结合实际情况做好规划和实施策略。因此,数字化工厂建设具有长期性、阶段性、综合性的特点,需要充分考虑企业现有的硬件、软件、人力、财力、需求等,踏踏实实地做好规划,并完成每一阶段的建设,最终实现数字化工厂。无论是原生型还是非原生型,数字化工厂建设一般可分为三大阶段,如图 5.22 所示。

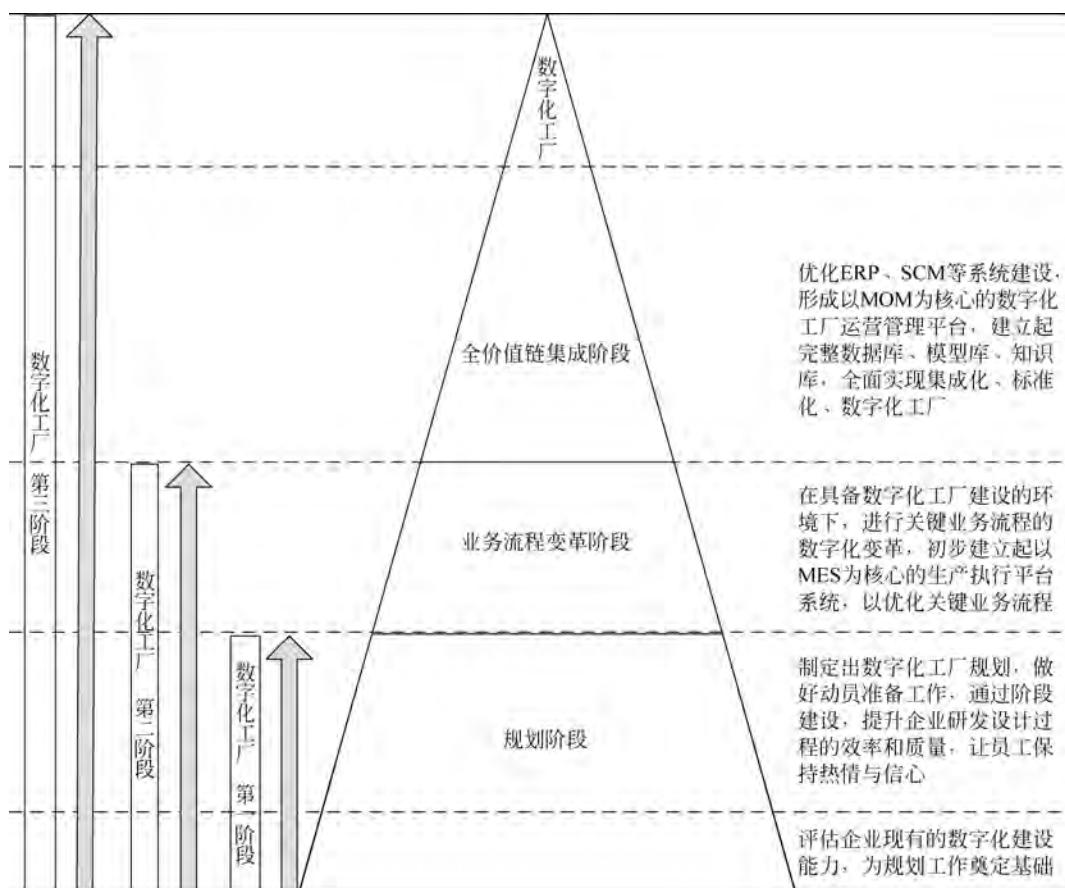


图 5.22 数字化工厂建设阶段

1) 第一阶段：规划阶段(局部信息化、数字化)

规划阶段的主要任务是做好数字化工厂规划,挖掘可以建设数字化工厂的条件,具体做法是:以工厂装备数字化和研发设计数字化为主,辅以企业管理数字化的部分功能的建设;调查分析现场基础设备的建设水平,了解现有的产品研发设计流程与先进程度,收集企业内部的第一手资料,找出企业基础设施建设的薄弱环节,计算现有工厂装备的生产能力与集成水平,分析现有设计研发过程的优劣之处,提出具体的实施步骤。传统的设计研发方式以及先进数控机床的引进会给员工带来心理上的不适应,要充分将员工吸入到工厂装备和设计研发数字化的建设过程中来,通过演示、培训,让员工明白数字化工厂的建设是必要的、可行的。通过第一阶段的建设提升企业研发设计过程的效率和质量,增强企业工厂装备的生产能力,力求在初期达到立竿见影的示范,让员工保持热情与信心,同时做好基础数据源的建设,为下一级各个系统之间的集成打下基础。

2) 第二阶段：业务流程变革

第二阶段主要在初步实现工厂装备数字化和研发设计数字化的基础上,结合生产现场的具体情况,实现生产过程数字化建设,主要做法是:在具备数字化基础的环境下(包括设备、人才、技术等),通过对制造执行系统的实施,优化整个生产流程,采集更详细的数据,完善计划排程系统;对质量管理、设备维护、文档控制、客制报表等功能做到深入的实现与应用,并初步实现 MES 系统与设计研发各软件系统的集成,实现企业关键业务流程的数字化变革。在此阶段,员工应该逐渐掌握数字化工厂的操作流程。

3) 第三阶段：系统集成、全价值链集成

第三阶段主要根据企业的实际需要,完善 ERP、SCM、QIS 等系统的进一步建设,主要做法是:在 MES 实施的基础上扩展至 MOM(manufacturing operations management,制造运营管理)系统,并将 ERP、SCM、QIS 等涉及企业生产运营的系统进行集成,形成数字化工厂运营管理系统;优化系统与系统、系统与设备间的接口格式,使各个系统做到无缝对接,真正实现集成化;建立完整的单一基础数据库,使企业的各项业务真正实现数字化,消除各系统之间的“鸿沟”,打通信息交流壁垒,彻底实现“数字化工厂”的概念;掌握使数字化工厂达到成熟的技术与方法,形成数字化工厂技术体系;在管理上实现平台化管理,使企业内的人、设备、资源、资金、数据、模型等都能够数字化工厂平台上进行统一的调度与管理,达到在线化协同,实现所见即所得的数字孪生环境。在此阶段,企业形成以自身为核心的一个数字化生态系统,形成产业链的上下游贯通和价值链的全集成。此时,企业员工已经熟练掌握全部数字化控制技能。

5.5 数字化工厂建设应用示例

1. 数字化工厂建设标杆

西门子安贝格工厂是全球知名的数字化工厂。图 5.23 非常清晰地展示了西门子的一个数字化工厂的嬗变过程和日益成形的工业 4.0 工厂建设足迹。从 1982 年开始引入车间管理系统起,到射频识别技术的引入,到数据优化的管理,到工艺路线管理系统,这是一个蝶变的过程,也是一个持续改善的过程。这座外观与工人数量基本维持原状、连生产面积都未增加的工厂,三十多年一直在向着工业 4.0 自我进化。在这个演化过程中,该工厂的产

能较 26 年前提升了 8 倍,每年可生产约 1200 万件 SIMATIC 系列产品,按每年生产 230 天计算,差不多平均每秒就能生产出一件产品。

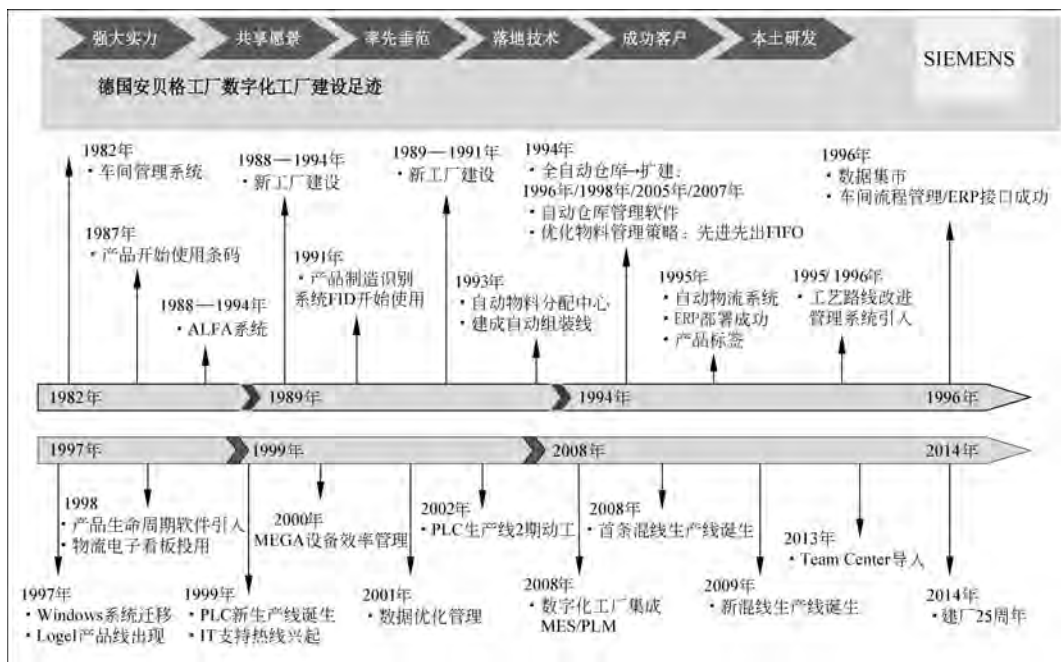


图 5.23 安贝格工厂数字化大项建设足迹

西门子成都工厂作为安贝格的姊妹工厂,是西门子在德国之外的首家数字化企业,也是西门子在全球第三个工业自动化产品研发中心。2011 年 10 月,西门子与成都市政府双方签署投资协议;2013 年 9 月,工厂正式建成投产,从签署协议到全部建成只用了不到 3 年的时间。西门子安贝格工厂的 30 年是先驱的探索,西门子成都工厂的 3 年是在安贝格工厂 30 年经验和技能积累基础上的厚积薄发。沿着标杆工厂的建设足迹,我们会发现,做到这个高度不可能是一蹴而就的,需要在最佳实践的基础上科学规划,摒弃浮躁,脚踏实地,不断前行。

2. 新的研究视角——基于虚实结合技术的数字化工厂整体解决方案

1) 传统工厂建设模式

工厂建设是一个系统工程。传统工厂常规建设项目在完成环评、规划审批等前期相关审批后,会由设计单位主导,参照相关工业建筑设计标准、产品工艺要求进行厂房整体设计、配套设计和工厂布局设计,最终设计以平面施工图为标准输出。在设计图纸获得批准认可后,建设项目进入到厂房建设阶段。在工厂产品工艺流程及生产布局规划设计方面,要考虑的因素非常多:各工序的人、机、料、法及其平衡匹配,设备能力和数量配比,工艺路线及节拍平衡,人流、生产物流方式及物流路径,缓存区设置,环境、健康、安全等要素。传统的设计方式在遵循相关设计标准的同时,更多地依赖设计者的经验和积累,很多设计问题往往在建设过程甚至试制生产过程中才被发现并进行修正和调整,因此建设周期、建设成本和建设质量都会受到诸多影响。传统工厂的建设模式示意如图 5.24 所示。



图 5.24 传统工厂的建设模式

2) 数字化工厂建设模式

根据 2.4 节的论述,数字化工厂的定义有着众多不同的表述,其中德国工程师协会定义的数字化工厂强调数据可视化及工厂未来预测。

在国内,上海东方申信科技发展有限公司(简称“东方申信”)依托上海交通大学计算机集成制造研究所二十多年的制造业信息化研究开发与应用积累,广泛研究并分析了国内外数字工厂的发展现状,在国内率先提出虚实结合的数字化工厂定义,即将虚拟仿真技术、信息技术、自动化技术、管理技术等融合运用于企业工厂运行中,实现多视角信息、多层次业务的高度集成,实现生产运行自动化和智能化,支持动态环境下的快速变化和精准决策。该数字化工厂的定义更多强调虚实结合,强调虚拟工厂技术与物理工厂技术的有效融合和贯通应用。同时,虚实结合的数字化工厂定义强调几个特征:

(1) 高融合。强调虚拟仿真技术、信息技术、自动化技术、管理技术等多种技术的融合。

(2) 大数据。可以从时间域、空间域,通过数据多视角、多层次地展现工厂视图,实现过去可追溯、现在可控制、未来可预测。

(3) 动态化。具备高柔性,生产可按需组织并实现快速响应。

(4) 智能化。具备自学功能,并可以实现复杂预测,支持精准决策。

采用数字化工厂技术改进工厂建设模式,可有效破解传统工厂建设模式中的技术难题。这些难题往往在建设过程中甚至在试制生产过程中才被发现并进行修正和调整,从而带来高风险、高成本。在规划设计和技术改造设计阶段,场地利用是否最大化、设备配置是否合理、各工位和生产线人员配置是否合理、物流设施和物流路径调配是否合理、生产节拍是否均衡、生产班次安排是否合理、多生产模式的有效性推演/工厂预设产能是否能够有效达成、空间域和时间域的系统干涉校验等复杂系统问题都可以通过建立虚拟工厂,并通过生产系统仿真来进行计算分析和模拟运行;以优化目标为导向,通过资源调整和虚拟仿真优化,输出理想的工厂建设和实施方案;利用数字化工厂技术输出的方案进行工厂建设和实施,可以从源头消除很多潜在的问题,大大降低工厂建设过程中的修正调整成本,有效保障建设工期和建设质量。利用数字化工厂技术实现工厂规划建设模式如图 5.25 所示。

相对于传统的工厂建设模式,数字化工厂建设模式因为有虚拟工厂尤其是 3D 可视化虚拟工厂这个载体,充分考虑产品类型和产品工艺、生产计划和产量要求、生产制造资源的可用性和有效性,可以有效地实现规划设计的全员性参与,并可以全方位、多维度地进行评估分析,通过各种可能的制造模式进行能力测算和组织模式推演及优化。数字化工厂建设

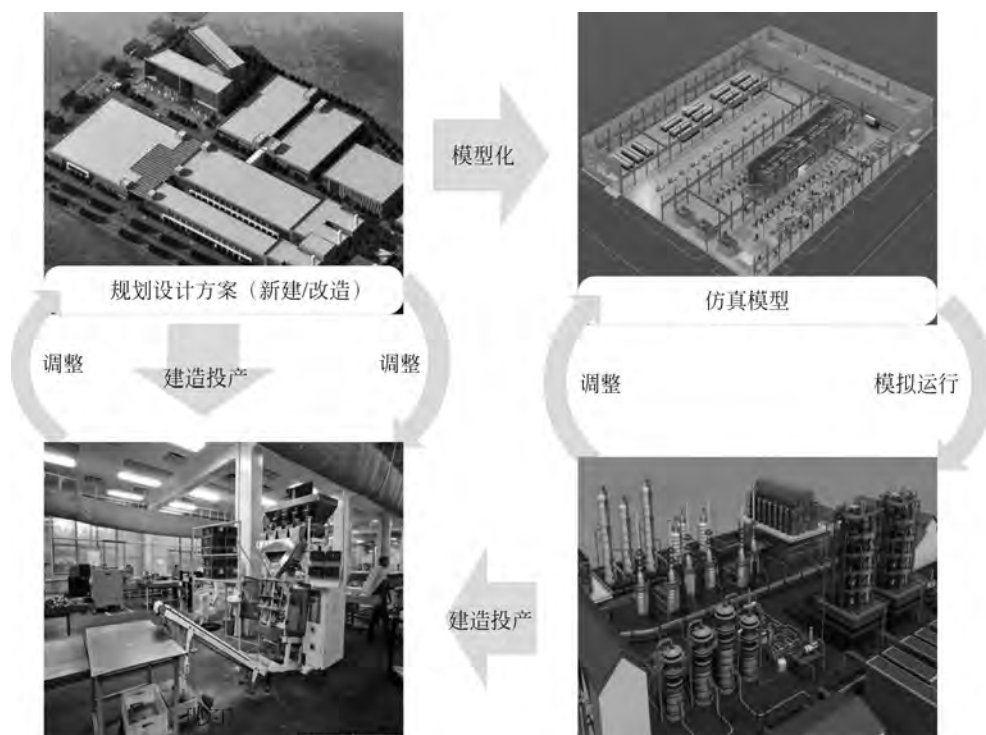


图 5.25 数字化工厂建设模式示意图

模式已经得到越来越多的工业企业的认可。德国的大众汽车、中国的三一集团等都已经将数字化工厂纳入到工厂规划建设企业标准中。

3) 虚实结合的数字化工厂建设推进

虚拟工厂技术包括生产要素单元 3D 可视化建模技术、建筑信息模型技术、生产物流仿真技术、生产制造资源系统仿真技术、虚拟现实及虚拟漫游技术、虚拟制造与装配技术、虚拟监控技术等。虚拟工厂技术广泛应用于系统对象干涉校验、制造资源评估、生产过程可视化、生产计划仿真、3D 作业指导、数字沙盘与虚拟漫游、工厂 3D 可视化虚拟监控、制造模式推演等应用领域。

物理工厂技术除了传统的 CAD、PLM、ERP、自动化等相关技术以外,还包括设备物联网和数据采集技术、产品制造工艺数据协同管理技术、制造执行和生产管理技术、智能控制技术、立体仓储技术、设备维护维修管理技术、机器人等。物理工厂技术主要应用于实际工厂运营中的精详设计、精准控制、精密加工、精准物流、精确维保、精益生产和精细管理。

数字化工厂的规划建设、投产运营及优化改进是企业两化融合不断深入的过程。在这个过程中,虚拟工厂与物理工厂不断迭代,支持企业生产制造资源系统优化和管理提升中各环节的 PDCA 循环得到闭环改进和提升。不管是规划建设开始阶段还是投产运营过程中的技术改造,优化项目都会预设项目建设目标和阶段计划,明确定义资源要素的类型、数量和优先级,然后通过虚拟工厂技术对设计方案进行仿真、分析、验证,并在模拟分析的基础上进行优化和完善。在模拟分析的基础上,项目建设单位针对设计优化方案进行有效实施和建设落实,在工厂运营中实现设计制造协同,保障数据源统一和快速无误传递。对设

备进行适度、有效的维护管理可保障生产系统的安全可靠运行,同时有效的设备互联和底层通信实现可以保证控制指令准确无误地下达。物理工厂技术旨在提供支持智能制造的生产管理系统,以实现优化业务模式的完美固化。虚实结合的数字化工厂推进模式如图 5.26 所示。



图 5.26 虚实结合的数字化工厂推进示意图

作为一个由大量生产制造资源组成的复杂系统,数字化工厂的优化和固化都是动态过程中的相对平衡,所以系统的优化和改进也是一个持续过程。虚实结合的数字化工厂解决方案充分利用了虚拟工厂技术和物理工厂技术的特点,以尽量低的成本、最适当的技术方案和最小的风险,获取最大的可靠性保障和尽量大的收益。以三一集团某事业部为例,通过规划建设阶段几个月的数字化工厂的实施应用,修正厂房结构规划漏洞十余处,调整工位布局 30 多处,厂房面积利用率提高近 10 个百分点,有效节约设备投资 2800 万元,效果卓著。

5.6 本章小结

本章基于数字化工厂建设理论和工业企业所面临的问题构建了数字化工厂建设架构,明确了数字化工厂建设应有的核心功能和基本要素(业务、数据、能力、价值),进而基于现有研究探讨了数字化工厂的建设内容,梳理了数字化工厂的建设模式和阶段,最后介绍了数字化工厂建设的实际案例。