

智能制造与数据生态系统

1.1 智能制造的内涵、发展现状和发展趋势



第1章

1.1.1 智能制造的内涵

制造业是一个国家的立国之本,是支撑国民经济发展的基石。随着全球化的发展,市场竞争日益激烈,资源和生产要素跨国优化配置促进生产成本降低,用户个性需求快速变化,在互联网、移动互联网、云计算、人工智能和大数据等先进技术和先进制造理念的推动下,全球制造业正在发生根本性的转变。2009年,美国制定重振制造业的“再工业化”战略,以高新技术为依托,发展高附加值的制造业,并于2011年正式启动包括发展机器人在内的先进制造伙伴计划;2013年作为欧洲工业模式代表的德国提出“工业4.0”概念^[1],旨在提升制造业的智能化水平,将物联网和智能服务引入制造业,推进第四次工业革命。欧盟在欧洲“2020智慧可持续包容增长”战略中,提出重点发展以智能为核心的先进制造。

改革开放以来,中国已发展成为制造大国,有世界工厂之称。但制造业大而不强,许多环节处于产业链低端,距离制造强国仍有较大距离。打造中国制造新优势,实现由制造大国向制造强国的转变,对我国新时期的经济发展至关重要。2015年5月,国务院印发《中国制造2025》,部署全面推进实施制造强国战略的第一个十年行动纲领,将智能制造作为主攻方向,加速培育我国新的经济增长动力,抢占新一轮产业竞争制高点,以应对制造业转型升级与快速发展所带来的机遇以及发达国家制造业回归本国所带来的挑战。

当前,世界范围内先进制造技术正向信息化、自动化、智能化的方向发展,智能制造日益成为未来制造业发展的核心内容^[2]。《智能制造发展规划(2016—2020年)》(工信部联规〔2016〕349号)指出,智能制造(intelligent manufacturing)是指基于新一代信息通信技术与先进制造技术深度融合,贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节,具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能的新型生产方式。与传统制造相比,智能制造涉及4个层面的智能化:①产品的智能化,智能制造的产品均趋于成为智能终端,可通过物联网相互连接。②装备的智能化,

从智能制造的单元、单机、机器人向智能的生产线、智能的生产系统演变。③流程的智能化,管理的组织架构、企业之间的交互,需要重新构建与调整以适应产品和装备的智能化。④服务的智能化,制造服务化就是制造企业为了获取竞争优势,将价值链由以制造为中心向以服务为中心转变,因此将数字技术、智能技术、泛在网络技术以及其他新兴信息技术的集成应用到服务中是智能制造需要重点考虑的问题。

1.1.2 智能制造的发展现状

美国为了保持其在全球制造业中的优势地位,从1992年起就大力支持关键重大技术创新,期望借助智能制造新技术改造传统制造业。2008年金融危机后,美国政府又先后推出了一系列制造业振兴计划,如2009年12月提出的“A Framework for Revitalizing American Manufacturing”(《美国制造业振兴框架》)^[3]、2011年6月提出的“Advanced Manufacturing Partner Program”(《先进制造合作伙伴计划》)以及2012年2月提出的“A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing”(《国家先进制造战略计划》)等。这些计划旨在依靠新一代信息技术、新材料与新能源技术等,快速发展以先进传感器、工业机器人、先进制造测试设备为代表的智能制造。2013年6月,通用电气提出了工业互联网革命(industrial internet revolution)^[4],通过开放和全球化的网络,将人、数据和机器连接起来,实现升级关键工业领域的目标。工业互联网的本质和核心是通过工业互联网平台把设备、生产线、工厂、供应商、产品和客户紧密地连接融合起来,形成跨设备、跨系统、跨厂区、跨地区、跨生态链的互联互通,从而提高效率,推动整个制造服务体系智能化,实现制造业和服务业之间的融合发展,促进工业经济各种要素资源能够高效共享^[5]。

德国希望依仗其在制造业的传统优势,保证德国制造业未来的发展。德国通过对新制造技术在创新方面的研究、开发以及在复杂工业制造业进程的专业化管理,成为制造设备行业的全球领导者。2013年德国提出“工业4.0”概念,将智能工厂作为发展方向。在“工业4.0”阶段,新型的智能工厂基于信息物理系统(cyber-physical systems,CPS),借助社交网络实现自然的人机互动,这将重塑传统制造工厂模式下人与生产设备之间操控与被动反应的机械关系。大数据经过实时汇聚和分析处理,形成“智能数据”,经过可视化和互动式加工,向智能工厂反馈产品和工艺流程的实时优化方案,驱动生产系统走向智能化。在智能工厂的基础上,通过物联网和服务互联网,实现智能交通、智能物流、智慧城市、智能产品和智能电网等相互连接,以新型工业化实现经济社会系统的全面智能化。

我国对智能制造的研究开始于20世纪80年代末,并在近年来得到了越来越广泛的重视。2015年出台的《中国制造2025》是我国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领。《中国制造2025》以创新驱动发展为主题,以信息化与工业化深度融合为主线,以推进智能制造为主攻方向。制造业数字化、网络化、智能化是新一

轮工业革命的核心技术。2019年1月18日,工业和信息化部印发《工业互联网网络建设及推广指南》,明确提出以构筑支撑工业全要素、全产业链、全价值链互联互通的网络基础设施为目标,着力打造工业互联网标杆网络,创新网络应用,规范发展秩序,加快培育新技术、新产品、新模式、新业态。到2020年,形成相对完善的工业互联网网络顶层设计。

2015年7月,国务院发布《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》,提出推动互联网与制造业融合,提升制造业数字化、网络化、智能化水平,加强产业链协作,发展基于互联网的协同制造新模式。

2016年5月,国务院发布《国务院关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见》,提出充分释放“互联网+”的力量,改造提升传统动能,培育新的经济增长点,加快推动“中国制造”提质增效升级,实现从工业大国向工业强国迈进。

2017年11月,国务院发布《国务院关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》,提出增强工业互联网产业供给能力,持续提升我国工业互联网发展水平,深入推进“互联网+”,形成实体经济与网络相互促进、同步提升的良好格局。

2018年7月,工业和信息化部印发了《工业互联网平台建设及推广指南》,指南提出:到2020年,培育10家左右的跨行业、跨领域工业互联网平台和一批面向特定行业、特定区域的企业级工业互联网平台。

2018年12月,工业和信息化部印发了《工业互联网网络建设及推广指南》,指南提出:初步建成工业互联网基础设施和技术产业体系,包括建设满足试验和商用需求的工业互联网企业外网标杆网络,建设一批工业互联网企业内网标杆网络,建成一批关键技术和重点行业的工业互联网网络实验环境,建设20个以上网络技术创新和行业应用测试床,形成先进、系统的工业互联网网络技术体系和标准体系等。

2019年3月,工业互联网写入《2019年国务院政府工作报告》。报告提出:围绕推动制造业高质量发展,强化工业基础和技术创新能力,促进先进制造业和现代服务业融合发展,加快建设制造强国。打造工业互联网平台,拓展“智能+”,为制造业转型升级赋能。

2020年3月,工业和信息化部印发《关于推动工业互联网加快发展的通知》,通知中要求各有关单位要加快新型基础设施建设、加快拓展融合创新应用、加快健全安全保障体系、加快壮大创新发展动能、加快完善产业生态布局、加大政策支持力度。深入贯彻习近平总书记在统筹推进新冠肺炎疫情防控和经济社会发展工作部署会议上的重要讲话精神,落实中央关于推动工业互联网加快发展的决策部署,统筹发展与安全,推动工业互联网在更广范围、更深程度、更高水平上融合创新,培植壮大经济发展新动能,支撑实现高质量发展。

1.1.3 智能制造的发展趋势

智能制造的发展趋势既需体现智能、绿色、高效等宏观方向特点,同时又依托诸多细分技术的交叉结合与不断更新。在工厂管理及运营方面,首先需要构建先进的信息化平台架构,并依托广泛的信息采集与工业通信机制,建立灵活、稳健的工厂信息流,使工厂内横向和纵向基于各个层面、职能与环节的分支系统实现更加紧密的连接和集成。在生产规划上,需要实现从预估计划性生产到由精准需求拉动柔性化生产的转变;在产品管理上,需要实现产品的全生命周期管理,并在这一过程中受益于数字孪生、数据挖掘等新技术的应用实践。在设备层面,推广、研发支持信息交互、柔性化生产、自诊断等功能的新型智能化设备,以及具有高精度、高速度等性能的特种设备;需要大力推进机器视觉系统、智能电机系统、高级运动控制等产品与技术在生产设备上的应用,提高生产设备的智能性、精准性、安全性及效率水平。

与此同时,需要进一步提升大数据分析和云计算等在智能制造核心领域所占有的重要地位,其与工业制造业的融合以及在经济管理上的应用是智能制造发展的关键。网络通信技术作为设备互联的基础,对智能制造而言也具有相当重要的地位。而控制领域也需要和数据、人工智能技术等紧密结合,实现自适应控制。

1.2 智能制造的数据生态系统

以智能制造为主体的新一轮工业革命正在世界范围内广泛展开,不管是德国提出的“工业 4.0”战略,美国提出的“工业互联网”,日本提出的“智能制造系统”国际合作计划,还是我国提出的“中国制造 2025”战略,它们的主要特征都是基于 CPS 实现对人、机、物的实时状态的全面感知,对海量异构的工业现场数据和信息进行智能分析并处理,推动制造业向基于工业大数据分析与应用智能化的产品需求、设计、制造、销售及服务的转型。多源各异的消费者需求数据、海量异构的工业现场数据和对这些大数据的理解、分析、利用及转化共同构成了智能制造的数据生态系统。智能制造的数据生态系统可以从两个层面来理解:一是依托对上游消费者通过网络提出的具体需求的数据分析,提供精确及时的产品服务,同时记录整个实现过程的基础数据;二是通过对大量消费需求实现过程数据的分析、挖掘,了解具体消费需求实现过程中存在的问题、造成的影响和解决方法,将这些数据信息抽象化建模后转化成知识数据,再利用这些知识数据去认识、解决和避免新的问题,这个过程能够自发自动地循环进行。

1.2.1 智能制造的主要数据

1. 智能制造的数据来源

智能制造的数据源于制造全生命周期的各个阶段,主要包含三大部分:①传统数据,包括解决某些业务问题的单元工具软件如 CAD/CAE/CAM/CAPP,以及企业资源规划、客户关系管理、供应链管理等企业业务管理软件产生的数据;②传感数据,通过物联网及泛在计算技术在制造企业中的广泛应用,实现自动、实时、准确、详细地获取企业物理环境的数据信息,如使用 RFID (radio frequency identification)、Auto-ID、Bluetooth、Wi-Fi、全球移动通信系统(global system for mobile communications,GSM)、ZigBee 等来采集和同步生产的现场数据;③社交媒体数据,随着社交网络、移动计算等社会化媒体的兴起,网络上产生了大量图片数据、文本及多媒体数据,这些数据反映了用户需求、消费习惯和兴趣爱好等。利用这些来自多渠道的数据建立分析模型,可以全方位、多角度地观察用户行为、预测用户需求,主动配置和优化制造资源。

2. 智能制造数据的分类

从宏观上看,智能制造的数据主要包括以下几类:

- (1) 市场客户信息,如需求市场信息、供应市场信息、客户信息等。
- (2) 产品数据,如产品图纸、物料清单数据、零件几何特征编码等。
- (3) 生产控制数据,如生产计划、调度命令、控制指令等。
- (4) 工艺信息,如工艺文件、数控程序、加工过程状态等。
- (5) 生产状况数据,如设备数据、物料数据、人员信息数据等。
- (6) 经营管理数据,如预测信息数据等。

除此之外,制造信息数据还有决策信息数据、财务信息数据和企业状况信息数据等。智能制造过程可以看作是对制造过程中各种信息数据资源的采集、传输和加工处理的过程,其最终形成的产品是信息数据的物质表现,即信息数据的物化。

1.2.2 智能制造数据生态系统的概念和主要特征

智能制造数据生态系统是以海量异构的大数据技术为生态依托,基于数据生命周期全过程所形成的有机复杂系统,以数据价值挖掘及实现为发展核心,由制造数据及相关数据生产者、传递者、消费者、分解者等生态因子共同构成,主要有开放性、协同性、动态性及多样性4个特征。

(1) 开放性。智能制造的数据生态系统是参与到需求、生产、消费、服务等产业制造全过程循环的特殊有机体,通过能量流、物质流及数据流等的流入、流出与周围环境和平台相联系,如智能制造数据的“分解”需要从外部环境输入能量和物质,对大数据分析结果的应用需要外部的消费市场,开放性是智能制造数据生态系

统的自然属性。

(2) 协同性。智能制造数据生态系统是一个有机整体,系统功能需要系统内各生态因子按照特定规则自动形成,同时各生态因子在结构和功能上能够相互补充、相互协调配合,进而实现系统整体功能大于部分功能之和。

(3) 动态性。动态性是智能制造数据生态系统最明显的特征,这种动态性基于空间视角,是指系统内各构成要素可以与外界有选择性地双向交流;基于时间视角,表现为智能制造数据生态系统会随着内外部环境的变动向更高层级演化。

(4) 多样性。多样性表明生态系统是由多种物种相互依赖而构成的有机体,多样性是生态系统生存的关键。同样,多样性也是智能制造数据生态系统的重要特征,既体现在海量数据自身的来源与种类上,也体现在大数据的消费群体及大数据生态系统功能上。

1.2.3 智能制造数据生态系统模型

智能制造的数据生态系统以数据生命周期全过程为基础架构,通过数据生产者、数据传递者、数据分解者与数据消费者等生态因子的协同配合保证系统稳健运行。

(1) 数据获取阶段。数据获取是指获得海量数据的过程,在该阶段借助数据采集技术使数据源(生产者)中的数据为智能制造的数据生态系统所用,并将数据以标准化形式整合,便于后续数据存储、数据分析与挖掘活动的顺利进行。

(2) 数据清洗与存储阶段。将数据获取阶段所得到的数据进行清洗,剔除无效数据后将其余数据分类存储于数据存储系统中。随着数据量的爆发式增长,智能制造数据生态系统对存储技术提出了新的要求,存储系统不仅必须具备安全性与永久性,同时还应便于数据的检索与提取。

(3) 数据分析与挖掘阶段。该阶段根据消费者需求,利用数据分析及数据挖掘技术对海量数据进行处理,既要满足消费者需求,也要在海量数据间建立关联性,实现系统价值增值。数据分析与挖掘阶段是海量数据价值实现的重要过程,也是智能制造数据生态系统实现演进发展的关键环节。

(4) 结果发布阶段。通过可视化、搜索引擎等数据技术将数据分析结果以消费者可理解的方式进行发布,是数据价值的应用阶段。数据分析结果可为个体与组织机构提供决策依据、为企业发现潜在市场机遇、帮助科研人员识别研究问题、辅助政府部门制定政策等。

1.2.4 智能制造数据生态系统的应用及意义

智能制造数据分析应用带来的效益将渗透于整个制造业价值链,如产品创新、市场需求预测、优化产品生产流程、生产过程精准控制、企业业务流程精细化管理

等。主要应用有：

(1) 实现大规模个性化定制。在产品生产之前通过大数据分析感知用户的情景信息,快速洞察用户需求及兴趣点,针对客户的个性化需求进行参数配置、优化和建模,从而精准地向用户提供制造服务的主动推荐、检查和建议。

(2) 产品故障诊断与预测。通过分布在生产线不同环节的传感器实时采集制造装备运行数据,并进行建模分析,及时跟踪设备信息(如实际健康状态、设备表现或衰退轨迹),进行故障预测与诊断,从而减少这些不确定因素造成的影响,降低停产率,提高实际运营生产力。

(3) 精准制造服务推送。通过多渠道收集用户大数据,如身份信息、行为数据和交易数据,从各个维度了解客户需求,在整合数据之后,企业可以了解哪些客户群体需要怎样的制造服务,从而挖掘商业机会,主动发现制造任务,辅助制造企业做出合理决策,减少因盲目制造与需求不匹配而造成的资源浪费。

(4) 制造流程优化控制。传统的制造流程建模方法和自动控制方法是以事先建立对象模型为前提,然后根据对象理论模型加以闭环控制,从而使输出结果符合要求。然而,面对复杂的工业生产系统时,其特性和行为难以被理解和掌握,建立优化控制模型十分困难,通过智能制造数据生态系统处理分析,以数据为基础来发现模型,可以解决现有机理建模方法难以解决的问题。

总之,基于数据生态系统的智能制造的基本目的就是对制造设备本身以及产品制造过程中产生的数据进行系统分析,转换成实际有用的信息或知识,并通过这些信息或知识对外部环境及情形做出判断和采取适当的行动,进而产生优化的业务决策和个性化的服务,创造价值并获得更多的收益。

1.3 数字化供应链

数字化供应链是以客户为中心的平台模型,通过多渠道实时获取并最大化利用数据,实现需求刺激、匹配、感知与管理,以提升企业业绩,并最大程度降低风险^[6]。

传统的供应链体系结构分为供应网络和分销渠道两大部分,如图 1-1 所示。有别于传统的供应链从配套零件开始到制成中间产品及最终产品、最后由销售网络把产品送到消费者手中的“链式”模式,数字化供应链利用云计算、物联网、大数据、认知技术及人工智能等多种新技术将传统供应链的“链式”模式提升为“网状”模式(图 1-2)。数字化供应链主要包括:数字化计划、数字化供应、数字化制造和数字化物流 4 个部分。

数字化供应链的应用不仅可以帮助企业通过智能化的方式来节省成本,提高效率,控制风险,还可以给供应链运营带来根本性的改变,构建不断优化的端到端的供应链运营模式。此外,新兴科技还有助于将正确的信息“提前”放在决策制定

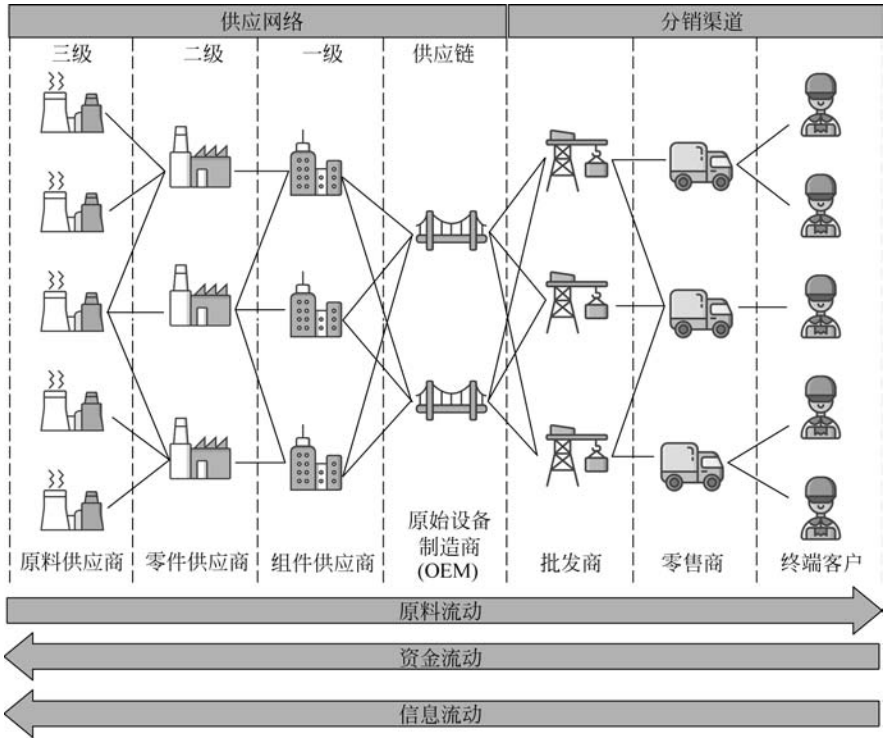


图 1-1 传统供应链体系结构

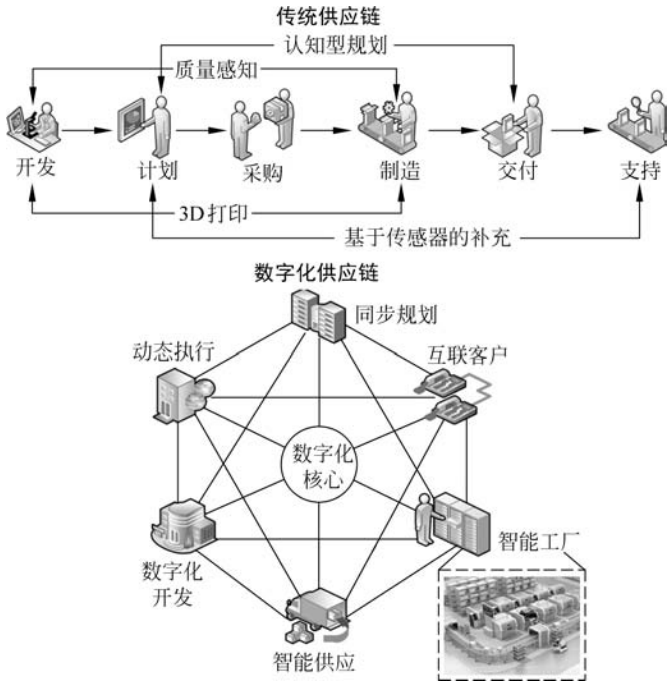


图 1-2 传统供应链向数字化供应链的转化

者的手中,使得专家团队可以做出更迅速、基于事实的决策,从而产生更大的收益。2017年国务院办公厅印发《关于积极推进供应链创新与应用的指导意见》,其中指出要全面部署供应链创新与应用的有关工作,推动我国供应链发展水平全面提升。由此可见,供应链创新已经成为国家的重要战略。数字化供应链作为供应链创新的重要改革方向之一,也引起了社会各界的普遍关注。

1.3.1 数字化供应链的技术体系结构

数字化供应链的技术体系结构如图1-3所示,利用云计算、物联网、大数据、认知技术及人工智能等多种新技术对传统供应链进行改进,使得供应链网络具备主动感知、实时可视、完全透明、卓越可靠、即时可用的特点。在数字化计划过程中,对从原料市场和销售市场中采集到的历史大数据利用人工智能算法进行深入分析,刻画出产品供需关系的变化规律,并结合目前的市场状况,对之后的生产计划做出合理规划。在数字化供应过程中,可以分析市场对原材料的需求状况,合理生产、采集原材料,防止出现原材料供应过剩等状况。在数字化制造过程中,充分利用人工智能技术最大可能地实现生产的智能化、自动化,降低生产成本。在数字化物流、销售过程中,及时考虑地域、季节等因素对产品销售的影响,积极调整销售策略。

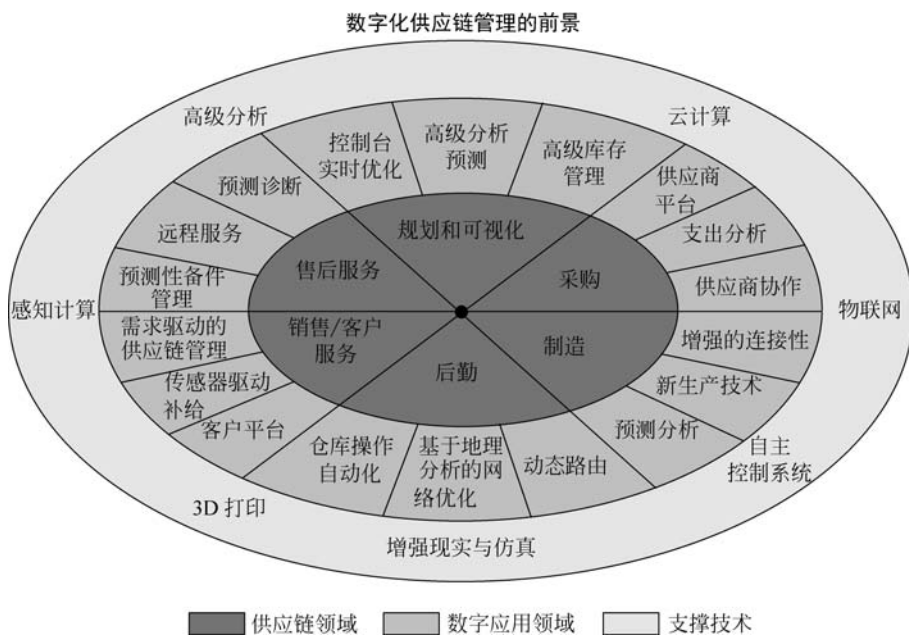


图 1-3 数字化供应链的技术体系结构

1.3.2 数字化供应链的安全体系结构

为应对以上所提到的数字化供应链所面临的安全威胁,应该从以下 3 个方面构建数字化供应链的安全体系结构,如图 1-4 所示。

(1) 建立完善的政策与管理制度。通过规章制度来规范相关人员的操作,以减少人为原因所带来的安全问题。

(2) 设计高效安全的数据安全和隐私保护方案。利用密码学、隐私保护等方面的技术来对企业所收集到的敏感信息进行保护,防止由于企业数据泄露带来的隐私安全威胁。隐私保护则是对数据中包含的个人敏感信息进行保护。数据安全包括身份认证、访问控制、数据传输和存储加密、数据交易的完整性和不可否认性。

(3) 构建完备的网络防御系统。通过完善的网络防御系统来抵御攻击者对数字化供应链中各个环节所进行的攻击。



图 1-4 数字化供应链的安全体系结构

1.4 智能制造面临的安全威胁

智能制造给制造业带来了前所未有的变革与活力,但与此同时智能制造系统中也会存在传统制造业从未考虑过的信息安全问题。智能制造系统的安全涉及系统可用性、机密性和完整性^[7],涉及认证、访问控制、数据安全与数据共享、网络安全、系统弹性、可维护性、安全监控等方面^[8]。本节重点分析工业控制系统安全、云服务的数据安全、数字化供应链安全等方面的威胁。

1.4.1 工业控制安全威胁

在智能制造的推动下,工业控制系统逐步从封闭走向开放,彻底告别信息“孤岛”时代。工业控制系统(industrial control system, ICS, 以下简称工控系统)的发展开始不断融合以 TCP/IP 标准协议、通用操作系统为代表的互联网。随着业务网络、信息系统的逐步融合,工控系统逐渐暴露在互联网的安全威胁下,开始遭受黑客针对工控系统的安全攻击。工控系统各分层存在脆弱性,如图 1-5 所示^[9]。