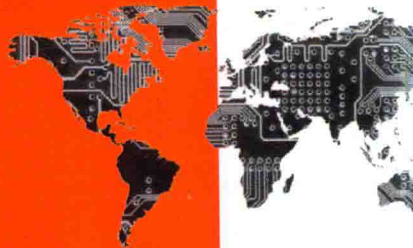


江苏省社会科学基金后期资助项目（项目批准号：18HQ011）



陈国华 江惠民 著

基于大数据的 智慧工厂生产系统研究

智慧工厂即一个由不同企业交互组成的智能网络系统，其研究聚焦于智能生产系统与过程，以及网络化分布生产设施。网络化系统包括智慧的创新网络、智慧的制造网络和智慧的管理网络。智慧工厂建立在“云制造”基础上，物理基础是互联网、无线网和物联网，具有更透彻的感知、更广泛的互联互通、更深入的智能化的特征。

海外借



南京大学出版社

江苏省社会科学基金后期资助项目（项目批准号：18HQ011）

陈国华 江惠民 著

基于大数据的 智慧工厂生产系统研究



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

基于大数据的智慧工厂生产系统研究 / 陈国华, 江惠民著. — 南京: 南京大学出版社, 2019.12

ISBN 978-7-305-22551-2

I. ①基… II. ①陈… ②江… III. ①信息技术—应用—企业管理—生产管理—研究 IV. ①F273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 158727 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
出 版 人 金鑫荣

书 名 基于大数据的智慧工厂生产系统研究
著 者 陈国华 江惠民
责任编辑 王日俊 编辑热线 025-83594087

照 排 南京南琳图文制作有限公司
印 刷 虎彩印艺股份有限公司
开 本 710×1000 1/16 印张 13 字数 193 千
版 次 2019 年 12 月第 1 版 2019 年 12 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-305-22551-2
定 价 69.80 元

网址: <http://www.njupco.com>
官方微博: <http://weibo.com/njupco>
官方微信号: njupress
销售咨询热线: (025) 83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

大数据时代,不管是云计算、社交网络,还是物联网、移动互联网、智能制造和智慧城市,都与大数据有关。大数据已经成为有特别含义的专用词汇,不再单指数据体量大。当前大数据影响着企业的运营与商业模式,促使工业化与信息化深度融合,促进企业的发展与壮大。大数据时代的来临,整个社会发展的各方面都将在大数据发展中获益。

自 20 世纪 80 年代以来,发达国家掀起了一股“再工业化”浪潮。如德国为了巩固制造业的传统优势,增强工业的竞争力,提出了“工业 4.0”,将“德国工业 4.0”上升为国家战略。为应对挑战,我国借鉴“德国工业 4.0”,为现代化工业强国描绘出清晰的路线图,提出了“中国制造 2025”。不管是“德国工业 4.0”,还是“中国制造 2025”,其战略立足点并不是单纯提升某几个工业制造技术,而是从制造方式最基础层面上进行变革,从而实现整个工业发展质的飞跃。

在全球制造业竞争加剧的背景下,互联网、大数据、人工智能等技术成为现代工厂发展的动力引擎,智能制造装备也将呈现模块化、开源化和个性化的发展趋势,为智慧工厂提供基础。

中国制造业行业的分布广,发展不均衡。为此,中国制造业的转型升级一方面要兼顾到我们的企业在价值理念和战略视野、管理基础和技术基础方面的欠缺,另一方面又要聚焦大数据、智能制造等技术发展趋势,明确发展方向,找到具体的落脚点。

智慧工厂是研究智能生产系统与过程及网络化分布生产设施,是一个由不同企业间相互组成的网络。网络化系统包括智慧的创新网络、智慧的

制造网络和智慧的管理网络。其是建立在“云制造”基础上的,物理基础是互联网、无线网和物联网,具有更透彻的感知、更广泛的互联互通、更深入的智能化的特征。

本书用八章的篇幅来分析阐述“基于大数据的智慧工厂生产系统”。首先,分析大数据时代的到来及其对企业管理的影响。通过描述大数据、大数据时代及大数据时代到来的基础条件,围绕大数据对人类社会各项活动的影响,来说明大数据推动运营模式、企业管理变革的合理性与颠覆性。其次,阐述大数据助推智慧工厂发展。第三,全面描述智慧工厂时代的特征及其发展。通过描述“互联网+制造”“物联网+制造”“大数据+云计算”,来说明智能制造及其发展。第四,研究“智慧工厂的基础理论”。阐述了CIMS 计算机集成制造理论、CPS 信息物理理论、项目管理理论、数据挖掘技术。第五,从智慧工厂组织、信息组织、安全组织、能源组织等方面论述智慧工厂的组织构架,研究智慧工厂的生产组织系统。阐述生产运作管理的地位和作用,概括了生产运作管理的发展历程,总结现代生产运作管理的特征。第六,论述智慧工厂生产过程系统。传统生产过程及其组成,探讨智慧工厂生产过程,阐述成组技术及其发展。第七,探讨生产控制系统,研究智慧工厂的车间作业控制系统,库存控制模型。第八,讨论了智慧工厂的发展。

我的思想来自学界、产业界的已有研究成果,在写作过程中,得到各界的大力支持,谨向为本书提供帮助的单位和人士致以崇高的敬意和衷心的感谢!

与此同时,感谢我的科研团队,他们为本成果提供了大量的资料。

陈国华

2019年6月于淮海园

目 录

前 言	i
第 1 章 大数据推动企业管理发展	1
1.1 大数据到来	1
1.2 大数据发展	6
1.3 大数据对企业管理的影响	9
第 2 章 大数据驱动下的智慧工厂	23
2.1 智能制造	23
2.2 智慧工厂	31
2.3 智慧管理	37
2.4 智慧营销	46
2.5 智慧服务	48
第 3 章 智慧工厂基础平台	50
3.1 互联网平台	52
3.2 物联网平台	58
3.3 “大数据+云计算”平台	61
3.4 智慧工厂运行平台	63
第 4 章 智慧工厂的相关理论	65
4.1 产业关联理论	65
4.2 消费行为理论	66
4.3 整合营销理论	66
4.4 电子商务和网络经济理论	67

4.5	技术创新理论	67
4.6	计算机集成制造理论	68
4.7	CPS 信息物理理论	69
4.8	项目管理理论	71
4.9	数据挖掘技术理论	72
4.10	企业成熟度理论	77
第 5 章	智慧工厂生产组织系统	84
5.1	智慧工厂组织	84
5.2	智慧工厂信息组织	88
5.3	智慧工厂安全组织	91
5.4	智慧工厂能源组织	101
5.5	智慧工厂 5A 融合	109
第 6 章	智慧工厂生产过程系统	114
6.1	智慧工厂生产系统构建	114
6.2	智慧工厂生产过程	119
6.3	智慧生产过程的特征	122
第 7 章	智慧工厂生产系统控制	131
7.1	智慧工厂的车间作业管理系统	131
7.2	库存控制	141
7.3	智慧工厂物料调度系统	155
7.4	大数据背景下质量控制	158
第 8 章	大数据助推智慧工厂发展	165
8.1	大数据驱动下的智慧工厂	165
8.2	基于大数据的智慧工厂技术框架	168
8.3	大数据助推智慧工厂制造优化技术发展	187
	参考文献	197

第 1 章 大数据推动企业管理发展

20 世纪 60 年代,成立于 1968 年的英特尔集成电子公司(Integrated Electronics Corporation)联合创始人之一戈登·摩尔(Gordon Moore)提出摩尔定律,揭示了信息技术进步的速度,也就是:随着工程技术的不断进步,当价格不变时,集成电路上可容纳的元器件的数目,大约每隔 18 到 24 个月便会翻一番,性能也将提升一倍^①。现实生活中计算机技术的发展速度也印证了这一定律的合理性。随着科学技术进步,摩尔定律中的间隔时间呈现缩小的趋势,博通公司 CTO 兼董事长亨利·萨缪里(Henry Samueli)在庆祝以太网诞生四十周年大会的报告中指出摩尔定律很快就要走向终结,许多业内专家也认为摩尔定律将走向终结。由于科学技术的发展,它已经不能真正反映未来数字技术的发展速度与趋势^②。

1.1 大数据到来

1.1.1 大数据

大数据(Big Data)又称黑暗数据,是巨量数据聚合的数据集合,是数据采集、数据分析、数据处理、数据挖掘、数据应用等的过程。大数据本质也是数据,但是又包含新的特性,如数据来源广、数据格式多样化(结构化数据、非结构化数据、Excel 文件、文本文件等)、数据量大(最少也是 TB 级别的、甚至可能是 PB 级别)、数据增长速度快等。牛津大学教授维克托·迈尔-

^① Gordon Moore. Cramming More Components onto Integrated Circuits[J]. *Electronics Magazine*, 1965, 4: 114.

^② 马文方. 硅光电子学:IT 新曙光[N]. 中国计算机报,2014,7.

舍恩伯格(Viktor Mayer-Schönberger)及《经济学人》数据编辑肯尼斯·库克耶(Kenneth Cukier)在合著的《大数据时代》一书中指出:大数据所采用的分析方法不是走所谓的“捷径”,如随机分析法,而是针对所有数据进行全面进行分析处理的数据^①。全球最大的战略咨询公司麦肯锡咨询公司(McKinsey & Company)在 *Big Data, Analytics, and the Future of Marketing & Sales* 一书中指出:“数据渗透到现代社会中每一个行业和组织业务职能领域,成为关键的资源要素。人们对于巨大数量数据的采集、分析、挖掘和应用,它预示着一个新时代的到来——新的生产增长和消费浪潮”^②。从大数据的特征来看,大数据并不仅仅是数据“量”的庞大和数据“聚”的积累,还表现在数据“质”的复杂以及形成条件“变”的频繁,对“量”“聚”“质”“变”的深入分析也是我们全面而正确认识大数据时代形成原因及发展前景的前提。

麦肯锡全球研究院针对大数据的特点和作用,给大数据归纳出以下概念:大规模数据集远远超出了传统统计工具在采集、存储、管理和分析方面的能力,具有规模大、速度快、多样化和低密度四大特征^③。

1.1.2 大数据时代

美国麦肯锡咨询公司于2011年在全球率先提出“大数据时代”已经到来,而数字技术的飞速发展是“大数据时代”的基础条件,也是“大数据时代”发展的产物。正如前面所述,由摩尔定律进展可以看出,计算机硬件技术的发展夯实了计算机性能的技术基础,也为应对大数据“量”“聚”“质”“变”和数据处理能力的提升创造了条件。据不完全统计数据显示,预计到2020年,一年将生成35ZB的数据^④,其变化趋势如图1.1所示。

① [英]维克托·迈尔·舍恩伯格,肯尼思·库克耶. 大数据时代[M]. 杭州:浙江人民出版社,2013.

② 程学旗,王元卓. 大数据计算的技术体系与引擎系统[J]. 高科技与产业化,2013(5):62-65.

③ 程学旗,王元卓. 大数据计算的技术体系与引擎系统[J]. 高科技与产业化,2013(5):62-65.

④ 程学旗,王元卓. 大数据计算的技术体系与引擎系统[J]. 高科技与产业化,2013(5):62-65.

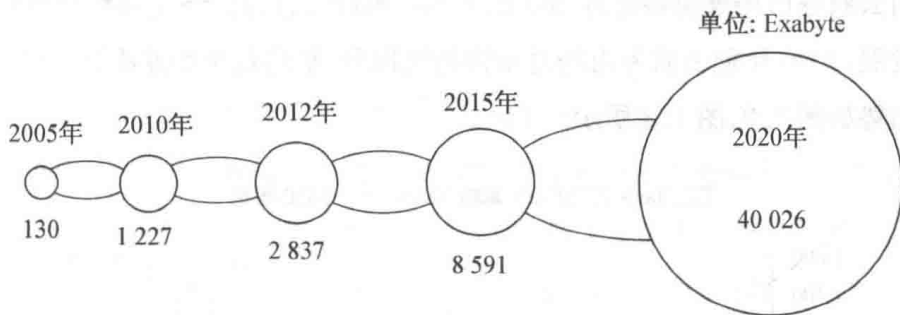


图 1.1 2005—2020 年全球信息化数据资料量发展图^①

当今,人类社会的发展所产生的各类数据量呈现极数级的增长趋势,其根源在于硬件技术和软件技术的飞速发展。大数据时代背景下所形成的几何级增长的数据量导致“信息爆炸”,传统的“小数据时代”所产生的数据规模小,其数据信息增长规模与大数据时代数据规模无法比拟。如今,人类活动的印刷材料数据规模已达 200 PB。^②

1.1.3 云计算

“云计算”技术近些年来迅速崛起,颠覆性地改变着“小数据”的计算技术构架。“云计算”以一种简单的方式通过因特网访问服务器、存储空间、数据库和各种应用程序服务。“云计算”一般分为三个层面类型,即 IaaS (Infrastructure as a Service, IaaS)、PaaS(Platform as a Service, PaaS)、SaaS(Software as a Service, SaaS),分为将基础设施作为服务、将平台作为服务、将软件作为服务。根据需要选择合适的“云计算”类型可以帮助您保持适当的控制平衡,同时避免没有意义的繁重工作。“云计算”过程中的运算能力、存储能力从终端向服务器的聚集,极大地提高了数据信息整体利用率与分析处理速度。“云计算”在经过数年的凝练后开始在全球范围趋向广泛应用,影响着各行各业,改变了企业管理的发展格局。

2017 年国际云服务市场规模达 1 000 亿美元,中国国内云服务市场规模达 120 亿美元;预计 2020 年国际云服务市场规模将超过 1 400 亿美元,

^① 陈勇. 大数据及其商业价值[J]. 通信与信息技术, 2013(1): 59-61.

^② 1 024 GB=1 TB, 1 024 TB=1 PB, 1 024 PB=1 EB, 1 024 EB=1 ZB.

国内云服务市场规模将超过 200 亿美元。预计“云计算”在全球将获得迅速的发展,2020 年前云服务市场总量将持续提升,平均每年增速将达 30%,具体趋势如图 1.2、图 1.3 所示。

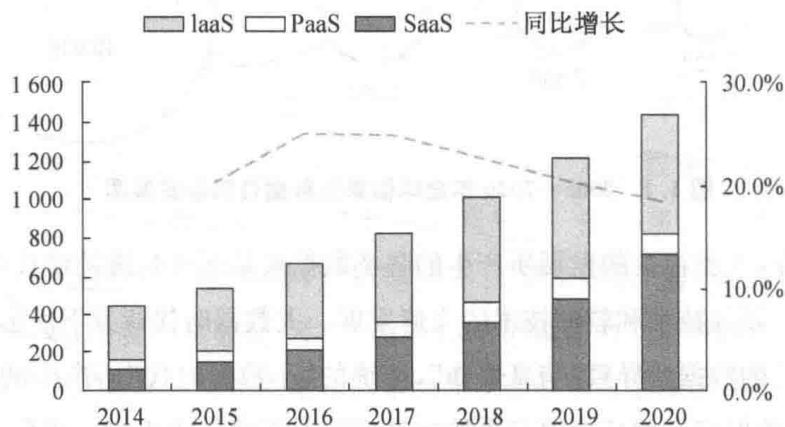


图 1.2 2014—2020 年全球云服务发展趋势^①

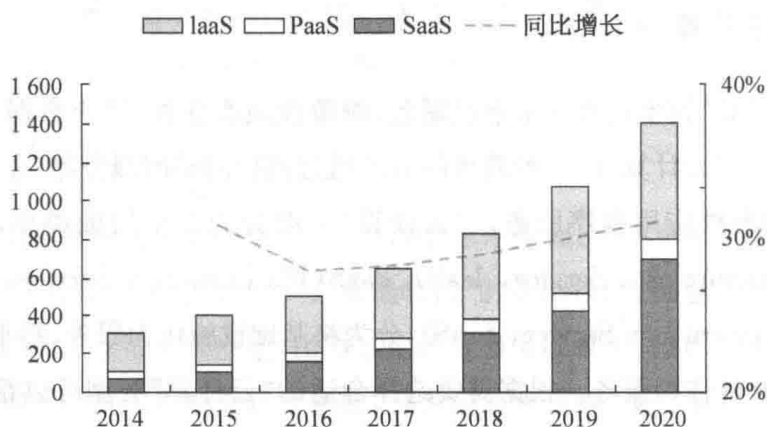


图 1.3 2014—2020 年中国云服务发展趋势^②

“云计算”技术的快速发展和应用为大数据构建了基础平台,推动大数据从理论走向现实。

(1) “云计算”加速智能化的进程

“云计算”技术的迅速发展能够促进不同的行业智能化的进程,有利于

① 2018 年中国云计算行业发展现状分析及未来发展趋势预测, www. huaon. com.

② 2018 年中国云计算行业发展现状分析及未来发展趋势预测, www. huaon. com.

大数据的形成,是大数据“量”得以实现几何级数增长的基础。

(2) “云计算”提高数据资源利用效率

“云计算”汇集了数据的计算能力、存储能力、处理能力,极大地提高了数据资源利用效率。海量、繁杂的大数据集合,要挖掘其有效价值,必须有大数据处理和挖掘技术。因此,在涉及相关的技术方面有着更高的要求,如分布式文件系统、数据库技术、智能数据分析等数据的存储与数据的处理技术等方面。而“云计算”技术的迅速发展为解决以上技术方面问题提供了基础性的条件。运用“云计算”可以扩大数据收集的范围、加快数据分析速度、减少数据处理的成本、提高数据利用的效率,以实现大数据技术的价值。因此,随着大数据技术的不断发展,提升了“云计算”保障和基础技术,使大数据得以发挥出其作用。

(3) “云计算”有效推动大数据发展

随着计算机、大数据、互联网等技术的发展,大数据技术广泛地渗入到人类社会各个领域,有效地推动了“云计算”技术的发展。“云计算”技术是大数据的推动因素,为大数据的发展打下了坚实的基础,计算机硬件“一日千里”的发展速度,致使大数据的处理、存储、运用等不仅越来越“快捷”、“方便”和“便宜”,使得“海量”的数据分析与处理最终成为现实。譬如,美国政府部门之一——国家安全局和中央情报局都拥有超级巨大的数据库,美国国家安全局正是从电话监控的数据记录中发现了本·拉登的蛛丝马迹;而美国国家安全局(National Security Agency, NSA)对美国全国电话实施监控,每6个小时所产生的数据量就相当于美国国会图书馆(American Memory: Remaining Collections)所有藏书信息量的总和^①,美国国会图书馆是世界馆藏量最大的图书馆之一。上述仅仅是大数据成功应用于现实过程的事例之一,随着科学技术的不断进步,大数据将会越来越广泛应用于人类社会的多个方面。人类已经处于一个被数据包围的世界,大数据人类社会的生产、生活等诸多领域逐渐步入“数据化”的轨道,“大数据时代”已经悄

^① 涂子沛. 大数据:正在到来的数据革命,以及它如何改变政府、商业和我们的生活[M]. 桂林:广西师范大学出版社,2012.

悄渗入到人们日常生活中,改变着人们的生活方式。

随着“云计算”技术的深入发展及广泛普及,“数据企业”、“智能城市”、“网络地球”等成为现实。而围绕数据的挖掘和应用、处理,也还会产生许许多多具有开创性的技术手段和方法,人类社会发展的实践需要是推动科学技术进步的动力源,科学技术进步反过来又促进社会经济的发展^①。

1.2 大数据发展

大数据及其技术经过多年的积累与发展,与人工智能、云计算、物联网、区块链等技术日益融合,成为各国抢抓未来发展机遇的战略性技术。当前,随着大数据基础技术条件的不断发展,其在数据规模、商业模式及盈利渠道发展到一定程度之后,人类社会将进入到一场数据革命中,大数据技术将改变着政府的运作方式、企业的商业模式和民众的生存状态。

1.2.1 科技基础平台支撑大数据发展

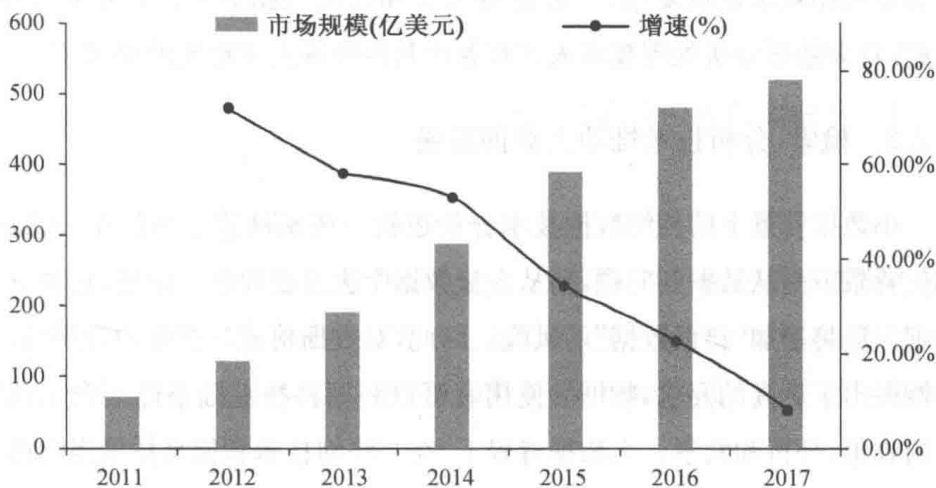
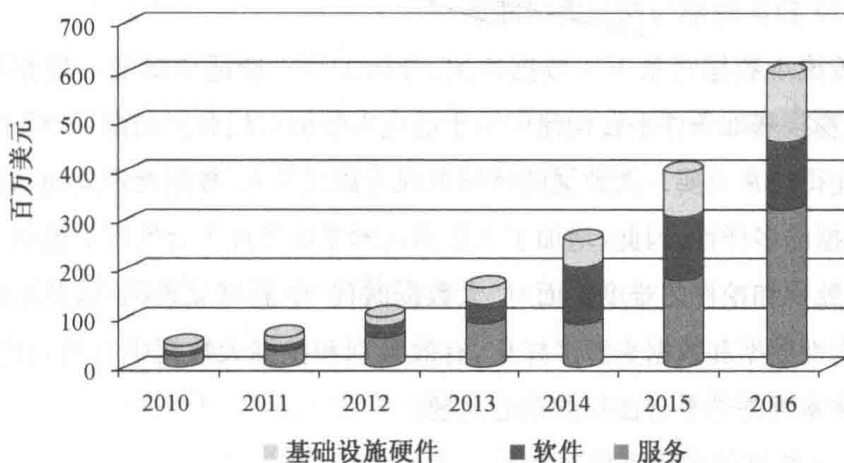
大数据对科技基础平台条件技术的依赖,体现在“硬”和“软”两个方面,“硬”是指硬件方面,大数据的数据规模巨大并且飞速增长,数据量级别从TB级跃升到PB乃至EB级,对大数据的基础技术提出了更高的要求,如技术软件、存储设备、处理设备等等,在软件技术方面的要求主要反映在以下两方面。

(1) 管理方法与商业模式

“小数据时代”的主要应用的是传统数理统计分析工具,适用于结构化数据,“大数据时代”的大数据分析处理工具可以适用于非结构化数据,同时也提高了数据处理与分析的速度。当然,大数据背景下数据量的增长也对管理方法、商业模式等提出了新的要求。鉴于大数据对人类生活带来的多方位的影响,世界各国都加大投入,积极推动大数据技术在国家社会管理、技术进步、经济发展等方面的应用和研究,试图利用大数据技术革命实现自

^① 陈勇. 大数据及其商业价值[J]. 通信与信息技术, 2013(1): 59-61.

身跨越式的发展,从而使大数据具备了更大的市场规模和价值潜力。2017年全世界大数据市场规模总量为501亿美元,同比增长率为79.2%,2016年中国大数据技术和服务市场规模为6亿美元^①。未来的几年,“大数据”分析与管理工具将会成为一项回报丰厚的投资,全球大数据份额会实现爆发式的增长,如图1.4、1.5所示。

图 1.4 全世界大数据市场规模^②图 1.5 中国大数据技术和服务市场规模^③

① 2016年中国大数据行业市场现状分析及发展前景预测, www.chyxx.com.

② 2016年中国大数据行业市场现状分析及发展前景预测, www.chyxx.com.

③ 刘峰. 大数据时代的电视媒体营销研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2014.

(2) 大数据技术相关领域的人才

随着海量的大数据的获取、存储和处理方法和技术的飞速发展,带动了行业人才的爆炸式需求,市场需求更多大数据专业技术人才。大数据分析 & 处理一般是针对原始数据,这些数据中不仅包括结构性数据,还包括大量非结构性数据,分析处理主要基于预测、建模或未来趋势分析,所运用的技术和方法相对来说较复杂,一般业务人员和传统数据分析人员很难掌握。因此,对大数据分析处理技术人才有着比其他领域人才更高的要求。^①

1.2.2 检索、分析技术推动大数据发展

小数据背景下的传统数据技术分析逻辑一般是从关系到数据,大数据时代背景下是从数据到问题,是从大量数据中去发现问题。但是,这种分析处理方法将增加“错误数据”的风险。因此,对数据检索与挖掘的合理性、准确性提出了更高的要求,数据的使用者可以利用科技基础条件平台实现数据的收集、分析和共享。大数据背景下,在互联网技术和信息技术强大推动力的驱使下,大数据研究过程中的数据基础技术面临新的要求,从而对数据的检索与分析提出了新的挑战,这种挑战主要来自数据检索和挖掘。

(1) 数据甄别与挖掘更加困难

传统小数据背景下的数据挖掘、分析工具不能适应新的环境需要,因此,在科技基础条件平台构建中对于适应大数据时代数据挖掘、分析工具的开发变得非常重要。大数据的特征表现为数据量大、数据处理高速、数据较低、数据的多样性,因此,增加了大数据技术基础条件平台实现数据的采集、清洗、甄别和挖掘的难度。面对“大数据时代”中的海量数据,以及半结构、非结构性数据和数据来源多样化,有效甄别和挖掘大数据中有价值的数据是科技基础条件平台面临的核心问题。

(2) 数据的利用更加复杂

与“小数据时代”信息相对贫乏不同,大数据背景下数据信息呈海量增长,但数据信息“泛滥”的情况也会出现,增加了科技基础条件平台数据利用

^① 刘峰. 大数据时代的电视媒体营销研究[D]. 上海:华东师范大学,2014.

的困难。“大数据时代”因科技水平技术的发展,虽然数据处理变得快捷方便,但也会面临海量数据所带来的数据“胀库”的问题。由于有价值的数据常常被淹没在大量无效数据之中,在数据检索与分析处理时面临更加复杂的局面,使得科技基础条件平台性能急剧下降甚至无法响应。

1.2.3 数据安全技术保障大数据发展

大数据背景下科技基础条件平台的组成要素是网络、计算机和信息技术,网络攻击、黑客、个人隐私和有组织网络袭击等问题都会给平台的数据带来安全方面的挑战。

(1) 利益诱惑更大

科技基础条件平台汇集了大量复杂、敏感的数据,这些敏感数据往往成为黑客和有组织网络袭击的对象。与此同时,这个平台一旦被攻破,其所汇集的海量数据使攻击者可以获得更多数据,无形中降低了攻击者的进攻成本,提高了他们的收益。

(2) 攻击手法更隐蔽

相比过去,现今攻击者的组织能力更强、攻击工具更先进、攻击手法更隐蔽,导致科技基础条件平台安全形势更为严峻。

(3) 个人隐私泄露的风险越来越大

在大数据技术分析处理平台上的数据集中存储,以及一些数据资产所有权和使用权难以界定,将会加大个人隐私泄露的风险。

1.3 大数据对企业管理的影响

当今,传统企业越来越意识到捕获、管理和分析可用数据的重要性,大数据已经渗入社会组织各个领域,正逐渐改变着组织的生存状态。随着大数据分析与发展技术的发展,任何规模和行业的组织能够挖掘结构化和非结构化的数据源,并且可以更快地刷新这些数据,成功地将这些数据用于企业运营决策。大数据时代的到来改变了传统企业运营决策依靠经验、管理理论和思想的决策方式。企业管理决策者通过大数据的采集、分析处理等

过程,得出的结论用于发现和解决存在的问题,同时也可以预测机遇与挑战,尽可能实现规避风险,这就对高层决策者在决策水平和决策能力方面有更高的要求。

尽管大数据进入人们生活的时间还比较短,但是大数据技术对于人类社会影响却比较大,特别是企业在分析利用大数据方面已经成为企业决策的关键,现在企业越来越离不开大数据了。人们对大数据的了解还处于比较浅表的层面上,人类社会生活的方方面面因“大数据”而发生的变化,对人们传统的思维、工作方法提出了新的要求,人们必须能够对“大数据时代”社会各方面所产生的新的变化、新的趋势进行科学的预见和把握。大数据背景下影响到企业决策过程,如数据采集方式、决策方案制定、评估、选择和实施。

1.3.1 大数据对企业经营活动的影响

2011年3月29日,美国政府以“大数据是一个大问题”为主题对世界发布公告,宣布投资2亿美元正式启动“大数据研究和发展计划”,通过大数据推进计划力图增强大数据采集、分析、处理、挖掘、提取价值数据的能力。同年的5月23日,美国政府针对大数据运用又出台了五项重要措施,其主要内容是美国政府开放大数据计划,将政府公共大数据和一些企业大数据对社会公众开放,通过大数据的广泛运用以图改善美国民众的生活方式和消费方式,不断为美国公众创造工作机会和工作岗位。2011年第41届“世界经济论坛(World Economic Forum)”发布了《大数据,大影响力》报告,该报告阐述大数据为国际社会和经济发展带来的新机会,倡导世界各国的政府、非营利性机构、科研院所、学术界、工业界共同关注大数据,合作利用大数据,把握大数据所带来的新机会。同年,麦肯锡咨询公司对外发布《大数据:下一代创新、竞争、生产力前沿》(*Big Data: The Next Generation of Innovation, Competition, and Productivity*)研究报告,该报告阐述了数字、数据和文档的结构状态,同时分析了这些数据所带来的有效价值。与此同时,产业界出现大数据技术及大数据利用的热潮,相关组织及机构纷纷推出大数据解决方案。总之,对复杂世界的观测、分析、了解是大数据发展的