

“互联网+”时代下智能制造技术在我国 钢铁行业的应用*

李欢¹ 莫欣岳^{*,2}

(1. 兰州大学信息科学与工程学院,兰州 730000;
2. 半干旱气候变化教育部重点实验室,兰州大学大气科学学院,兰州 730000)

摘要:我国钢铁行业历经30多年的信息化发展,目前已取得初步成效,而《中国制造2025》规划的出台和“互联网+”发展战略的提出更是为今后钢铁行业由制造向“智造”转变指明了方向。通过简要介绍德国“工业4.0”、美国“工业互联网”、《中国制造2025》等战略,从技术角度出发论述以物联网、大数据和云计算为主的智能制造技术在我国钢铁行业生产、管理和运输等方面的具体应用,分析钢铁企业在推行智能制造技术过程中遇到的问题并提出对策,以期为今后我国钢铁行业的转型升级提供借鉴和帮助。

关键词:钢铁行业;智能制造;互联网+;物联网;云计算;大数据

中图分类号:TP399 **文献标识码:**A **doi:**10.16507/j.issn.1006-6055.2016.12.004

Application of Intelligent Manufacturing Technology in China Steel Industry in Internet Plus Era*

LI Huan¹ MO Xinyue^{*,2}

(1. College of Information Science and Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;
2. Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change of the Ministry of Education, College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Steel industry in China has achieved initial success after more than 30 years of informatization development, and the strategy of “China manufacturing 2025” and “internet plus” will further lead to the transformation from normal manufacturing to intelligent manufacturing in the future. German industry 4.0, American industrial Internet, “China manufacturing 2025” are discussed briefly, and from a technical point of view, the application of intelligent manufacturing technology based on internet of things, big data and cloud computing in the production, management and transportation of China steel industry is stated. The problems encountered in the process of implementing the intelligent manufacturing technology are analyzed and the countermeasures are put forward in order to provide reference and help for the transformation and upgrading of China’s steel industry in the future.

Key words: steel industry; intelligent manufacturing; Internet plus; internet of things; cloud computing; big data

1 引言

钢铁行业作为传统大型制造业,近年来随着我国不断引进国外先进的工艺和装备技术而得到迅速发展,产品质量也显著提高。但同质化竞争问题严重,进而导致产能过剩,生产效率和产品质量未达到世界一流水平,供需关系的转变和钢铁产品价格也

造成了用户需求和生产组织管理之间的矛盾^[1]。为解决上述矛盾,钢铁企业往往开发更多的钢种,却导致了资源的浪费和生产工艺的复杂化,严重影响了钢铁制造业的可持续发展。钢铁企业急需采用新的工艺技术和生产模式,在提高产品质量的同时降低生产成本,以达到用户和企业双赢的目的。

工业自动化技术正在向智能化、网络化和集成化的新工业4.0方向发展,而互联网领域高新技术的迅猛发展更加推动了信息化和工业化的深度融合。《中国制造2025》^[2]规划纲要的实施为钢铁企业的转型升级指明了方向,我国工业和信息化部(简称工信部)选择在包括钢铁企业在内的重点制造业领域推进智能制造的发展,即充分将物联网、云

2016-10-31 收稿,2016-12-08 接受,2016-12-27 网络发表

* 国家自然科学基金面上项目(41475008),国家自然科学基金创新研究群体科学基金(41521004),国家自然科学基金青年科学基金(41605005),兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2016-k06)资助

* * 通讯作者,E-mail:moxyl4@lzu.edu.cn;Tel:15117125544

计算、大数据、移动互联网等信息化技术应用到制造业中,实现传统制造业的转型升级。

本文介绍了国内外的智能制造战略,结合具体实例对物联网、云计算、大数据等智能制造技术的理念和在我国钢铁行业的具体应用作了阐述,进而分析了智能制造技术在推进行程中遇到的问题并提出了对策,旨在帮助我国钢铁行业探索出一条提高企业核心竞争力,实现由制造转向“智造”的道路。

2 智能制造相关战略

2.1 德国“工业4.0”

“工业4.0”^[3]是2011年4月在德国汉诺威工业博览会上提出的发展战略,指互联网高速发展带来的第四次工业革命。德国作为制造业强国,制造基础已经具备,“工业4.0”的实施进一步实现了工厂、消费者、产品和信息数据的互联,为最终实现万物互联打下基础。2013年,德国电气电子和信息技术协会发布了德国首个“工业4.0”标准化路线图,主要针对的研究方向是建设“智能工厂”、实现“智能生产”,并发布了一系列研究项目,意图在2017年实现制造业的自律生产以及控制系统^[4,5]。

2.2 美国“工业互联网”

美国在经历了金融危机和主权债务危机后,为了提振经济市场,政府提出了以重振制造业为主的“再工业化”战略,通用电气公司(GE)作为美国主要的制造企业响应号召并于2012年发布《工业互联网:突破智慧和机器的界限》白皮书^[6],意在实现人类和机器间的智能连接,通过大数据等信息技术来提高工业化效率。工业互联网的精髓主要包含三个方面:智能机器、高级分析和工作人员。为加快实现智能制造,2014年,GE和思科(Cisco)、IBM和英特尔(Intel)发起并成立了工业互联网联盟,帮助制造业企业开发工业互联网应用,进一步实现制造业的智能制造技术发展^[7]。

2.3 《中国制造2025》

德国“工业4.0”、美国“工业互联网”等智能制造战略的提出为我国制造业的转型发展提供了良好的思路,通过借鉴和参考国外智能制造战略并结合具体国情和实践,我国也逐步形成了自己的智能制造战略体系。

2015年第十二届全国人民代表大会第三次会议上,李克强总理在政府工作报告中提出“互联网+”行动计划,提出要推动物联网、云计算、大数据、

移动互联网等与现代制造业的融合^[8]。同年国务院印发《中国制造2025》,强调将工业化和信息化融合,制定智能制造发展战略^[2]。2016年第十二届全国人民代表大会第四次会议上,李克强总理做政府工作报告时再一次提出要利用“互联网+”的力量来深入推进“中国制造+互联网”,实现一批智能制造示范项目^[9]。

《中国制造2025》为我国制造业发展指明了方向,工业和信息化部选择重点领域推进智能制造的发展,在工信部发布的《2016年智能制造试点示范项目名单》上,钢铁企业智能工厂建设项目被包括在内^[10]。在信息技术发展迅速的今天,钢铁企业传统的生产方式、工艺流程已经不能满足时代需求,智能制造技术将大行其道,《中国制造2025》的本质就在于要将中国制造发展为中国“智造”。

3 智能制造技术在我国钢铁行业的应用

智能制造适合自动化程度较高的行业,而我国钢铁行业是自动化程度最高的制造业之一,要实现由制造向“智造”的转型,钢铁企业必须将互联网技术特别是物联网、大数据、云计算等技术充分应用在钢铁的生产、销售、管理等各个方面,以此实现我国钢铁行业的智能化转型升级。

3.1 物联网技术

物联网是继计算机、互联网和移动通信之后,新一代信息技术的重要组成部分,也是信息化时代的重要发展阶段。作为我国国民经济的支柱性产业,钢铁行业已经有工业和信息化方面的建设经验,故物联网技术在钢铁行业有良好的应用基础。

3.1.1 物联网的概念

物联网的概念于1999年由美国麻省理工学院的Kevin^[11]提出,其定义是:通过射频识别(RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器、气体感应器等信息传感设备,按约定的协议,把任何物品与互联网连接起来,进行信息交换和通讯,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络^[12],简而言之,物联网就是“物物相连的互联网”。

物联网应用中主要有三项关键技术,分别是传感器技术、RFID标签和嵌入式系统技术。从技术架构来看,物联网可以分为三层(图1),分别是:感知层、网络层和应用层^[13]。

3.1.2 物联网技术在我国钢铁行业的具体应用

物联网技术是工业化与信息化深度融合发展的

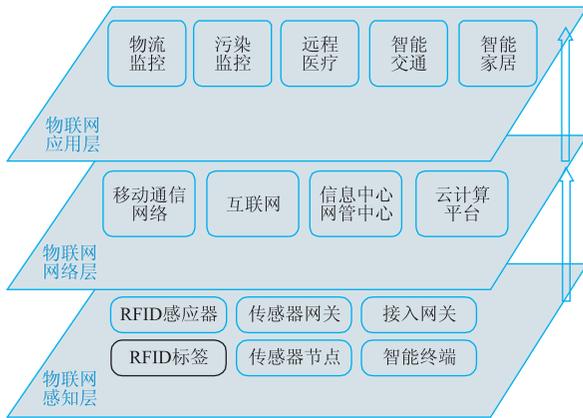


图1 物联网3层体系架构

重要应用技术,对于实现钢铁行业生产自动化、运输智能化、管理一体化等方面具有巨大的作用,结合物联网的数据集成和 RFID 等技术可以构建钢铁行业的物联网应用架构^[14](图2)。国内已经有钢铁企业从生产管理、物流管理、绿色制造以及资源管理等方面积极探索,通过改善生产流程、优化生产方式来推动其智能化进程,实现制造向智造的转型升级。

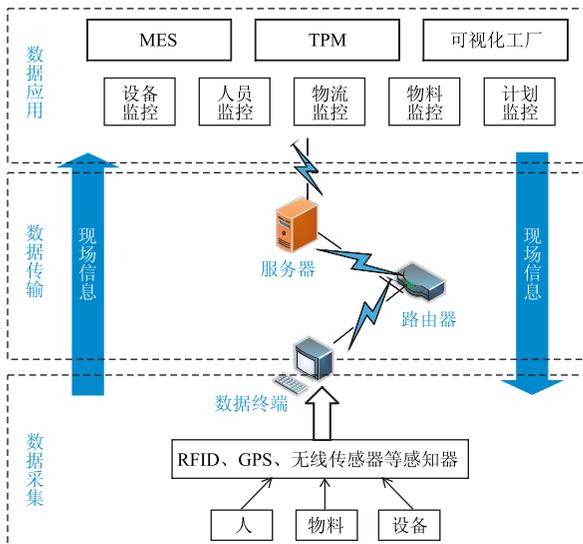


图2 钢铁行业物联网技术应用架构

1) 生产管理

以迁钢炼钢厂为例^[15],传统的钢包监控系统主要采用人工方式,工作量大、运行效率低,不能满足不断增长的生产需求。钢铁生产时的高温、强屏蔽等特殊环境,也为钢包号码、状态以及位置的获取带来困难。

为了解决迁钢炼钢厂钢包管控中存在的以上问题,迁钢炼钢厂建立基于物联网技术的钢包管理系统,利用 RFID、激光测距以及无线通信等在内的物联网技术,将炼钢、天车等数据库与钢包管理系统相

连接,开发了包括钢包跟踪模块、钢包包配模块以及钢水温度补偿模块在内的钢包控制系统,实现了对钢包的实时识别、监控、跟踪,加快了周转节奏,提高了周转效率和红包出钢率。

系统投入使用后,当日产钢量达到 38 ~ 48 炉时,钢包周转率平均值提高 0.8 炉/个,典型钢种的出钢温度平均降低 11.2℃,钢包管控效率和炼钢厂运行效率都有极大的提升,值得广泛推广。

2) 物流管理

基于 GPS、RFID、无线传感网络等技术为钢铁运输过程中车辆的远程跟踪定位、物资远程控制管理以及智能物流的实现提供了可能。针对钢铁企业内物流管理专业化水平和智能化程度较低,物流运输效率和协同性较差的问题,中国钢铁科技集团有限公司联合何冶科技股份有限公司^[16]对基于物联网的钢铁企业物流智能管理系统进行了设计开发。系统主要围绕物资运输需求、运输调度、运输计划、物流跟踪和仓储管理这些环节,通过促进物流的一体化管控、多平台协同运行和智能化管理,实现物流系统的高效、低成本运行,该物流管理系统在钢铁企业内部运行可以有效提升钢铁运输效率和企业内部运行效率。

3) 绿色制造

“十二五”期间宝钢、首钢等大型钢铁企业推行智能化的绿色制造技术,卓有成效,全国共淘汰炼铁产能 9089 万吨、炼钢产能 9486 万吨,重点大中型企业吨钢综合能耗(折合标准煤)由 605 千克下降到 572 千克,能源消耗总量呈下降态势,但是还有很多中小企业没有做到污染物达标排放。

工信部于 2016 年 4 月 18 日发布了《绿色制造 2016 专项行动实施方案》^[17]的通知,指出我国虽然是制造业大国,但没有完全摆脱高投入、高消耗和高污染的发展模式,明确提出制造业要全面推行绿色制造,构建绿色制造体系。2016 年 11 月 14 日又发布了《钢铁工业调整升级规划(2016 - 2020)》^[18],要求大中型钢铁企业全面实施绿色改造升级,将物联网等技术手段运用到生产过程中,达到节能减排的目的。

4) 资源管理

宝钢集团是较早将物联网技术运用在设备资产和厂区综合管理的大型钢铁企业^[19]。宝钢将物联网技术作为其信息化系统的补充和延伸,将其嵌入现有的管理系统中,建成仓库库位、搬运工具以及仓

储物品三合一的识别系统。此外在厂区采用网格化+重点区域监控的管控模式,对车辆、人员等植入RFID芯片,结合门禁系统,实现车辆、人员、物资以及厂区环境的综合管理,规范了生产、检修作业流程,厂区安全生产也有极大提升。

3.2 云计算和大数据

3.2.1 云计算、大数据的概念及关系

云计算(Cloud Computing)被定义为一种按使用量付费的模式^[20],用户可以通过可用的、便捷的网络访问,进入可配置的资源共享池(网络、服务器、存储、应用软件等),这里的资源共享池通常被称为“云”,“云”具有虚拟集成性程度高、可靠性高、超大规模运算能力强等特点,用户可以根据自身需要选择使用“云”资源。

大数据(Big Data)提出至今仍没有一个统一的定义,比较公认的是3V^[21]定义,指的是大数据满足的三个特性:规模性(Volume)、高速型(Velocity)以及多样性(Variety)。

大数据数据量大、增长速度快的特点使其迫切需要云计算这样的技术平台来实现安全、快捷的处理、存储操作,海量数据的潜在价值只有通过云计算进行数据挖掘才能得以发现,云计算与大数据相辅相成,二者具有不可分割的关系。

3.2.2 云计算、大数据在我国钢铁行业的具体应用

钢铁生产工艺流程漫长且复杂,在整个生产过程中会产生海量的数据,这些数据经过及时准确的处理才能挖掘出其价值,全面实现工业信息化。传统的企业单独搭建主机系统处理海量数据的方式会产生诸如投入较大、能源消耗多、管理效率低下、主机系统之间独立以及资源利用率低等问题,导致该行业大量数据只是单纯存储在硬盘上,数据的深层价值没有被挖掘出来,使得企业信息化的进程陷入停滞。此外,企业为进一步实现信息化,又引入了各种各样的服务器、硬件和设备,加剧了资源的消耗。

针对钢铁企业存在的这些问题,云计算平台实现了大量、各类数据的即时传输和高效处理,并运用数据分析模型获取海量数据的价值,为决策者提供业务数据的快速分析结果,为企业创造商业价值。

钢铁企业等大型制造业的私有云整体建设框架(图3)主要由基础架构即服务(Infrastructure as a Service, IaaS)、平台即服务(Platform as a Service, PaaS)和软件即服务(Software as a Service, SaaS)三层架构以及云计算管理平台组成。

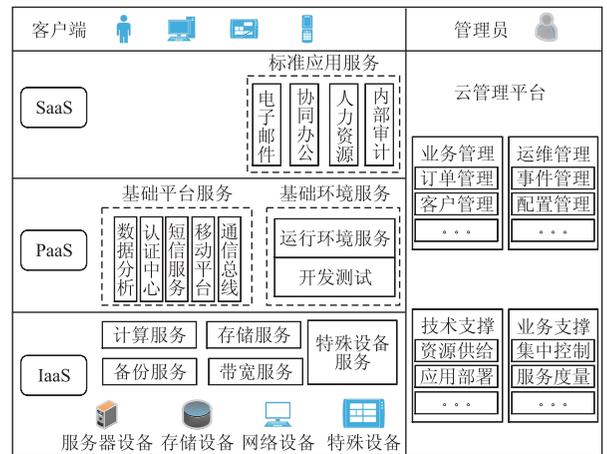


图3 钢铁行业私有云解决方案整体架构

宝钢^[22]结合上海宝信软件公司的云平台建设思想,建设宝钢私有云平台,并为其云计算平台的实施制定了规范性原则,统一规划、集中建设、分步实施。在起步期,控制孤立系统的规模来实现设备的物理集中、资源的统一分配;在过渡期,为新建系统提供PaaS服务,为迁移系统提供IaaS服务;在发展期,提供SaaS、PaaS为主的云服务,对内实现中心间互备,对外可以向社会提供云服务。总体来看,宝钢私有云投运以来,为集团内各子公司提供了近百套PaaS服务环境,同时,云中心也开始试点对外提供云服务。

以上云计算是以PC为基础的,随着无线通信技术的发展,出现了基于手机等移动终端的云计算服务,形成了集成无线通信和云计算两项技术的移动云计算。相比以PC为基础的云计算,移动云计算具有独特的优势,如设备和管理成本较低、数据存取操作便捷、智能化的均衡负载等。移动互联网的这些优势对于钢铁企业信息化的进一步精细化管理起到巨大的作用。

目前在钢铁企业信息化管理中移动云计算的应用并不广泛,所以探索这方面的应用有广阔的前景^[23]。宝钢提出基于移动云计算架构的钢铁企业私有云平台(图4),包括三层结构:移动终端层、网络传输层和应用层。

移动终端层由智能手机、平板电脑等移动设备组成,是客户端与云平台的接口,实现信息的上传下载以及现场数据的采集整理等;网络传输层主要实现传输服务,由移动通信网络和云计算中心组成;应用层为客户展现了移动云计算系统能够提供的各种应用。移动云计算技术可以将人的移动转变为信息的移动,帮助企业实现更加精细化的管理。

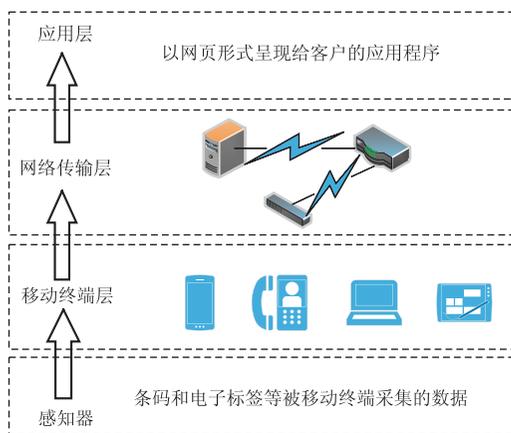


图4 钢铁行业移动云计算体系架构

钢铁行业云平台采用云计算和大数据的前沿技术,突破了传统主机系统处理海量数据的瓶颈,实现了资源的统一管理,对数据进行高速有效的处理,并将可用信息反馈给决策者,有效解决了资金投入、能源消耗和资源利用之间的矛盾。

3.3 智能制造技术在我国钢铁行业应用中存在的问题和对策

近年来,智能制造技术在我国钢铁行业的推进过程中取得了显著的成效,但是制约智能制造技术在我国钢铁行业发展的突出矛盾依然存在,同时也存在一些问题亟待解决。例如:1)我国对于物联网、云计算等智能制造技术的基础研究能力相对不足,对于引进技术的消化吸收力度不够,缺乏原始创新。控制系统和系统软件等方面的技术环节薄弱,体系也不够完整,先进技术重点前沿领域发展滞后;2)我国的智能装备难以满足制造业的发展需求,工业机器人、集成电路芯片、大型钢铁生产装备等成套控制系统对外依存度较高,新型传感器感知和分析技术、工业网络技术、典型控制系统等实现制造过程智能化的重要技术和关键部件主要依赖进口,没有针对我国实际发展情况的创新;3)我国钢铁企业数量较多,且存在大量中小型企业,发展层次不一,统一推行智能制造难度较大,且钢铁企业集中度低导致了严重的信息孤岛问题;4)受钢铁企业管理理念、城市发展水平、企业重视程度等方面的制约,大多钢铁企业缺乏智能制造方面的专业人才,发展智能制造的软环境构建和长效机制创立不完善。

针对上述问题,建议采取的策略如下:1)加强技术创新平台的建设,建立国家重点实验室以及工程技术中心,加强以企业为中心、产学研用相结合的技术创新,推动钢铁行业技术创新平台建设。加强

知识产权管理,实施专利战略,提升企业自主创新能力。对于自主可控软件产品的关键共性技术进行重点研究,缩小与发达国家的差距;2)打破国外产品比国内产品好的思维定势,深度挖掘国产大型制造设备和芯片的应用潜能,通过政策扶持和鼓励制造企业使用国产设备,并在使用过程中针对实际情况进行自主创新,扩大其在智能制造过程中的应用;3)政府支持,企业配合,实现大中小各级钢铁企业的统一规划,加快建设面向中小企业的智能制造系统,推动跨企业、跨部门的资源整合及业务协同;4)政府加大政策扶持,企业提高对信息化建设的重视程度,培育本土制造业的技术人才,壮大紧缺专业人才和高科技人才队伍,优化人才培养机制,吸引更多国内外高层次人才投入到信息化建设中。

4 结束语

通过对物联网、大数据和云计算等智能制造技术在我国钢铁行业应用情况的分析可知,智能制造在钢铁生产领域中具有广阔的发展前景,对于提高钢铁生产效率、物流运输速度,实现生产自动化、物流智能化,促使钢铁企业走新型工业化发展道路具有重要意义。

我国钢铁行业正面临转型升级的关键时期,钢铁企业家要积极探索,充分利用物联网、云计算、大数据等在信息化发展进程中不断涌现出的重要技术,加快推进工业化和信息化的深度融合,实现我国钢铁行业从制造到“智造”的转变。

参考文献

- [1]胡恒法. 智能制造技术在钢产品生产中的应用探讨[C]// 中国金属学会“第十届中国钢铁年会”暨第六届宝钢学术年会论文集. 上海:冶金工业出版社,2015:1-5.
- [2]国务院. 国务院关于印发《中国制造2025》的通知[EB/OL]. 2015-05-19. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm.
- [3]MACDOUGALL W. INDUSTRIE4.0: Smart manufacturing for the future[R]. Hannover: Germany Trade & Invest,2014.
- [4]杜品圣. 智能工厂-德国推进工业4.0战略的第一步(上)[J]. 自动化博览,2014(1):22-25.
- [5]杜品圣. 智能工厂-德国推进工业4.0战略的第一步(下)[J]. 自动化博览,2014(1):22-25.
- [6]王喜文. 工业4.0:最后一次工业革命[M]. 北京:电子工业出版社,2014.
- [7]左世全. 美国推进智能制造对我国的启示[J]. 中国国情国力,2016(6):1-2.
- [8]EVANS P C, ANNUNZIATA M. Industrial internet: Pushing the

- boundaries of minds and machines [R]. Fairfield: General Electric Co., 2012.
- [9] 李克强. 2015 年政府工作报告 [EB/OL]. 2015-03-16. http://www.gov.cn/guowuyuan/2015-03/16/content_2835101.htm.
- [10] 李克强. 2016 年政府工作报告 [EB/OL]. 2016-03-05. http://www.gov.cn/guowuyuan/2016-03/05/content_5049372.htm.
- [11] KEVIN A. That 'internet of things' thing [J]. RFID Journal, 2009 (6):1-2.
- [12] 温家宝. 2010 年政府工作报告 [EB/OL]. 2010-03-15. http://www.gov.cn/2010lh/content_1555767.htm.
- [13] 高建宇, 傅元坤. 钢铁企业中物联网技术的应用 [J]. 山西冶金, 2015, 38(4):1-3.
- [14] 武尽祥. 基于 RFID 的钢结构企业物联网平台关键技术研究 [D]. 天津: 河北工业大学. 2015.
- [15] 蔡峻, 吕冬瑞, 汪红兵. 基于物联网技术的钢包管控系统开发与应用 [J]. 冶金信息导刊, 2015(6):27-31.
- [16] 王懿, 张小坡, 郑业宁, 等. 钢铁企业厂内运输物流智能管理系统 [J]. 计算技术与自动化, 2016, 35(2):120-124.
- [17] 工业和信息化部. 工业和信息化部关于印发《绿色制造 2016 专项行动实施方案》的通知 [EB/OL]. 2016-04-18. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757016/c4719330/content.html>.
- [18] 工业和信息化部. 工业和信息化部关于印发钢铁工业调整升级规划 (2016 ~ 2020 年) 的通知 [EB/OL]. 2016-11-14. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1146592/n3917132/n4061854/c5353862/content.html>.
- [19] 王力. 物联网技术及其在宝钢的应用 [J]. 控制工程, 2013, 20(6):1147-1151.
- [20] MELL P M, GRANCE T. SP 800-145. The NIST Definition of Cloud Computing [M]. Gaithersburg: National Institute of Standards & Technology, 2011.
- [21] 孟小峰, 慈祥. 大数据管理: 概念、技术与挑战 [J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(1):146-169.
- [22] 王力. 宝信云管理平台架构及在宝钢私有云中的应用 [J]. 冶金自动化, 2014, 38(2):1-8.
- [23] 李东亭, 余基来, 黄今时. 运用移动云计算打造高科技钢铁企业的研究 [C]. 中国金属学会: “第五届宝钢学术年会”论文集. 上海: 冶金工业出版社, 2013:5-9.

生命科学领域高性能计算的发展趋势

2017 年 1 月, 生命科学计算咨询公司 BioTeam 副总裁兼总经理艾瑞·贝尔曼 (Ari Berman) 发文探讨当今生命科学领域 HPC 应用不断变化的态势, 提出了几大重要趋势。

1) 通过打造网关和门户网站来扩大 HPC 的可获范围, 减少生命科学领域 HPC 应用的障碍。

2) 基因组学数据处理不再是 HPC 的首要需求驱动: 基因测序平台在数据输出、样式、数量和规模以及输出文件数量方面正在常规化, 并开始向着标准化发展。实现下一代测序的光学技术正在转向应用于其他设备, 如数据生成的主要替代设备显微镜, 能快速且轻而易举的提供大量高分辨率的图像数据。管理和分析这种成像数据使生命科学计算超越了传统的基因组学和生物信息学, 并进入表型分型、相关性分析与结构生物学的时代, 所有这些都更需要更多的计算能力, 特别是 HPC。

3) 空间压缩和 GPU 成为生命科学核心计算趋势: 生命科学的计算需求非常广泛, 面临着系统和配置的异构性挑战。因此, 核心计算的一个趋势是把更多的系统级架构压缩到一个更小的空间; 另一个趋势是 GPU 被大量应用于生命科学领域, 尤其是成像处理等。

4) 数据管理和存储仍然是最大问题: 生命科学领域的数据存储十分复杂, 涉及数十种在管理、可扩展性、吞吐速度、复制、数据安全性等方面具有独特性的文件系统类型。同时, 数据囤积问题在生命科学领域持续存在, 催生了细化分层存储的需求。

5) 集群网络竞争激烈: InfiniBand 一度因其成本效益和快速而获追捧, 但新的 Arista 和 Juniper 能提供更具有成本效益的 100G 以太网环境, 在成本和性能方面亦能与 Mellanox 操作环境竞争。

6) 处理器的变革: Intel 面临来自 IBM、ARM、甚至 NVIDIA 的挑战。不过针对系统级处理器, Intel 在各方面都更胜一筹。

丁陈君 (中国科学院成都文献情报中心) 编译自

<https://www.hpcwire.com/2017/01/04/berman-charts-2017-hpc-trends-life-sciences/?eid=328364113&bid=1628516>

原标题: BioTeam's Berman Charts 2017 HPC Trends in Life Sciences