

# 智慧矿山框架与发展前景研究

李梅<sup>1</sup> 杨帅伟<sup>1</sup> 孙振明<sup>2</sup> 吴浩<sup>3</sup>

(1. 北京大学 遥感与地理信息系统研究所 北京 100871; 2. 中国矿业大学(北京) 资源与安全工程学院 北京 100083;  
3. 神华和利时信息技术有限公司 北京 100011)

**摘要:** 首先回顾了我国数字矿山的现状,阐述了当前数字矿山建设的主要内容,并剖析了当前数字矿山建设中存在的问题和挑战。从创新技术角度提出了智慧矿山的技术框架,并对智慧矿山发展中面临的安全、管理、效益等关键技术问题进行了研究,提出物联网、大数据挖掘与知识发现、虚拟现实、柔性生产、扁平化管理等新思路将成为未来矿山企业发展新的契机。

**关键词:** 数字矿山; 智慧矿山; 物联网; 数据挖掘; 扁平化管理

**中图分类号:** TD67; TP311.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2017)01-0121-08

## Study on framework and development prospects of intelligent mine

Li Mei<sup>1</sup>, Yang Shuaiwei<sup>1</sup>, Sun Zhenming<sup>2</sup>, Wu Hao<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Remote Sensing and Geographical Information System, Peking University, Beijing 100871, China;  
2. School of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;  
3. Shenhua Hollysys Information Technology Company Limited, Beijing 100011, China)

**Abstract:** The paper firstly reviewed the present status of the digital mine in China, expounded the major contents of the present digital mine construction and analyzed the problems and challenges existed in the present digital mine construction. From a view of the innovation technology, the technical framework of the intelligent mine was provided and a study was conducted on the safety, management, benefit and key technology faced to the intelligent mine development. The paper provided that the internet of the things, big data mining and knowledge discovery, virtual reality, flat management and new idea would be the new opportunity of the future mine enterprise development.

**Key words:** digital mine; intelligent mine; internet of things; data mining; flat management

## 0 引言

全球产业竞争格局正在发生重大调整,我国在新一轮发展中面临巨大挑战。采矿业是国民经济的基础性产业,是经济社会发展的命脉。从2015年以来,我国经济发展逐渐步入新常态。资源和环境约束不断强化,劳动力等生产要素成本不断上升,依靠资源要素投入、规模扩张的能源粗放发展模式难以持续,民营矿山减产停产,大型国有煤炭企业通过裁员降薪、削减产能、转型经营进行自救,石油、天然气等传统能源行业也受到了重大的影响。在当前能源行业低迷的环境下,创新驱动发展将成为未来能源

行业发展的新主题。智能开采技术与扁平化管理将在传统产业的发展中扮演重大角色。传感网络、Web2.0、云计算、大数据、互联网+、数据密集型科学和知识发现等新概念将逐渐进入传统的采矿行业,促使从数字矿山到智慧矿山的重大飞跃。

## 1 数字矿山进展及存在问题

### 1.1 我国数字矿山进展

20世纪90年代后期,随着计算机科学技术、空间信息科学技术、网络技术的迅速发展,美国副总统戈尔首先提出“数字地球”的概念<sup>[1]</sup>。数字矿山由数字地球的定义延伸而来,即在矿山范围内以三维

收稿日期:2016-11-12;责任编辑:赵瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2017.01.021

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801807)

作者简介:李梅(1978—),女,陕西岐山人,副教授,博士。Tel: 13810002132 E-mail: limeicug@163.com

引用格式:李梅,杨帅伟,孙振明,等.智慧矿山框架与发展前景研究[J].煤炭科学技术,2017,45(1):121-128,134.

Li Mei, Yang Shuaiwei, Sun Zhenming, et al. Study on framework and development prospects of intelligent mine [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(1): 121-128, 134.

坐标信息及其相互关系为基础而组成的信息框架,并在该框架内嵌入所获得信息的总和<sup>[2-6]</sup>。

在过去近20年的时间里,煤炭行业作为传统能源的代表,在信息化领域取得了很大进展。政府和煤矿企事业建设了信息化基础设施,大型能源企业已经实现了集团公司、分公司、矿山企业的三层级网络化管理,建立了若干个标准化软硬件平台,在安全生产和减员增效等方面发挥了重要作用。在自动化方面,很多矿山企业建立了千兆光纤网络,实现数据、视频、语音三网合一<sup>[7-8]</sup>;建设了井下综合自动化系统,实现了井下生产系统的地面监测监控,实现矿山井下自动化管控<sup>[9-11]</sup>。在生产装备智能化方面,天地科技股份有限公司等单位联合研发的综采成套装备,能够实现采煤机智能记忆割煤、液压支架跟机自动化、运输系统煤流负荷平衡、智能集成供液、远程遥控等技术,实现了正常连续生产过程中采场少人操作,大幅减少了工作面作业人员数量和劳动强度<sup>[12-13]</sup>。在安全生产信息化方面,从最初的单机版数据库或制图软件拓展到涵盖地测、通风、安全、采掘、调度、煤质管理等业务的生产执行平台;通过“井上下一张图”建设,建立矿井、二级公司、集团公司三级统一的空间数据库,实现对煤矿各专业空间数据与生产调度数据的一体化管理<sup>[14-15]</sup>,为各类生产、管理应用提供全面、及时、准确的矿井基础地图空间数据支持。

2012年,神华集团结合国家“863计划”资助项目和神华集团科技创新基金重点资助项目,进行了数字矿山规划研究,并选择锦界煤矿建设数字矿山示范矿井<sup>[16]</sup>。2013年,陕煤集团对数字矿山建设进行了详细规划<sup>[17]</sup>,下属黄陵矿业集团的数字矿山建设处于国内领先水平。中煤集团遵循“统一规划、统一标准、统一投资、统一建设、统一管理”的指导方针,完成了中煤集团的综合管理系统等系列信息化建设。

通过这些研究,国内对数字矿山建设达成了一定的共识。普遍认为,数字矿山的系统建设可以分为5个层次、3大平台和3个中心。5个层次是指:决策支持层、经营管理层、生产执行层、控制层、设备层。3大平台即生产综合自动化平台(DCS, Distributed Control System)、安全生产执行控制平台(MES, Manufacturing Execution System)和企业管理平台(ERP, Enterprise Resource Planning)。这3大平台中,通过千兆工业以太环网建立3个数据中心,分别

是矿用监控数据中心、矿用空间数据中心、矿用管理数据中心。3个数据中心实现执行层数据采集、数据过滤、分级和融合,为DCS、MES和ERP三大平台提供数据支撑。此外,大型煤矿企业组织架构一般为集团总部、分公司和矿山企业三级,从部署位置上看,设备层与控制层部署在矿一级,生产执行层可部署在分公司或者矿一级,经营管理层和决策支持层部署在集团或分公司,通过分级授权方式使用,不同层次的信息系统之间通过长途专网或本地局域网连接。数字矿山建设的框架如图1所示。

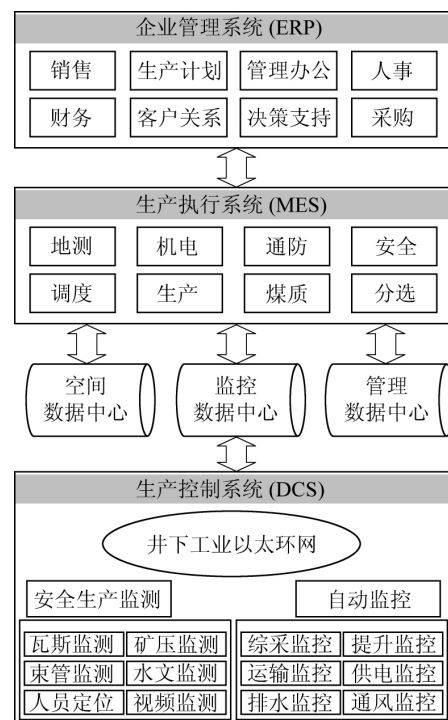


图1 数字矿山建设的框架

Fig. 1 Framework of digital mine

## 1.2 我国数字矿山发展中存在的问题

虽然数字矿山已经取得了很大成绩,但从系统性、实用性等方面来看还存在某些不足,仍然需要从深度和广度上开展大量研究和实践工作<sup>[18]</sup>。2012年,受工业和信息化部委托,中国煤炭工业协会组织开展了煤炭行业首次两化融合发展水平评估工作。通过对85家煤炭企业评估样本数据的整理和分析,他们确定煤炭行业两化融合发展水平总体处于中级水平阶段,与机械、电子等先进行业相比,还有很大的发展空间和漫长的发展路程。笔者认为主要存在如下问题:

1) 矿山企业生产过程的独特性,决定了矿山信息化过程的复杂性和难度。信息化建设与采矿生产

尚未达到深度结合。矿山生产仍然是较为粗放的发展方式。生产过程中的信息化集成应用程度较低。一方面,煤炭企业地理分布范围广,采掘业生产条件复杂、不可预见因素多,完全依赖信息化手段进行地质保障、矿山开采、安全管理、质量控制的难度较大。另一方面,矿山企业生产环节较多,煤矿开采、运输、分选、销售的物流过程是不连续的,原料与大宗成品之间没有严格的数量对应关系,难以像制造业等行业一样对需求进行实时精准的预测,建立实时的客户反馈机制。由于煤炭生产的特殊性,也无法通过市场信息快速修改生产计划,完成产运销一体化优化<sup>[19]</sup>。

2) 缺乏信息化建设标准,各个信息化系统之间的接口、传输协议和兼容性还不够完善,大量的数据无法得到及时共享。除了煤矿安全、瓦斯监测等出台了行业标准,上层信息化系统还没有形成统一的设计、开发、实施标准,与智能化服务的系统设计模式有差距,形成了“信息烟囱”。

3) 由于煤炭企业管理层级过多,集团总部、分公司和矿三级设置不同的信息化系统,导致系统较为复杂,管理效率偏低。管理不到位导致一部分软硬件系统没有被充分利用起来。某些信息化建设不但没有提高工作效率,反而增加人员和支出。

## 2 智慧矿山技术框架

在经历自动化、数字化发展阶段后,矿山正快步迎来智慧化时代。有学者提出智慧矿山、无人矿山、感知矿山等概念<sup>[20-23]</sup>。中国传统采矿业,正在面临新一代信息技术的挑战和洗礼。在煤炭工业“两化”深度融合的背景下,随着行业的兼并整合、安全标准的提升、煤矿投资的增长和开采难度的加大,智慧化、精细化的生产方式将逐渐成为促进煤炭工业健康快速发展的重要手段。传感网络、Web2.0、云计算、大数据、互联网+、数据密集型科学和知识发现等新技术将逐渐进入传统的采矿行业,发挥更大的作用<sup>[24-31]</sup>。

笔者认为,智慧矿山是指将云计算、物联网、虚拟现实、数据挖掘等新技术结合起来,实现矿山生产流程的智能化决策和管理的过程。与数字矿山相比,智慧矿山不仅停留在数据采集、数据处理和系统集成,更需要智能化地响应安全生产过程中的各种变化和需要,做到智能决策支持、安全生产和绿色开采。这里需要明确的是,智慧矿山并非是云计算、物

联网、虚拟现实、大数据等技术的简单堆积,概念的包装炒作,而是如何采用这些技术手段解决矿山开采中的效率问题、安全问题和效益问题。

### 2.1 智慧矿山的技術框架

构想的智慧矿山技术框架如图 2 所示,智慧矿山技术框架体系是在数字矿山架构的基础上的全面升级。

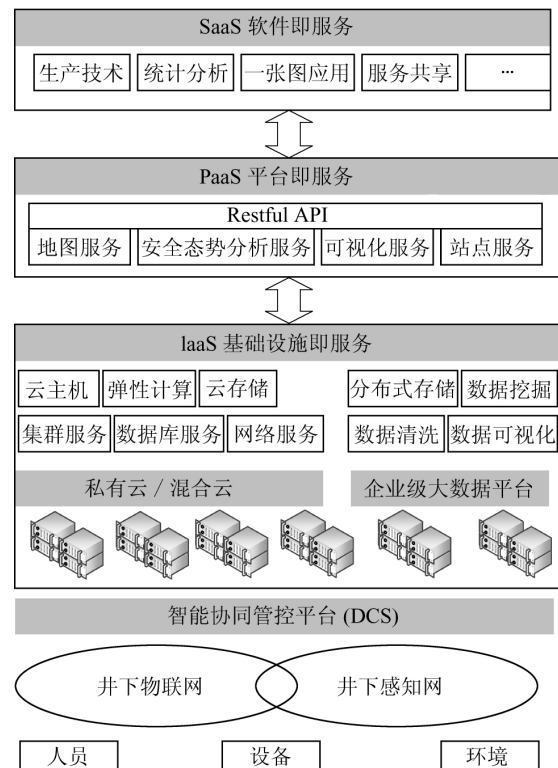


图 2 智慧矿山技术框架

Fig. 2 Technology framework of smart mine

1) 第一层, IOT 层。IOT 为 Internet of Things 物联网,物物相连的网络。智慧矿山要构建井下物联网和传感网,实现双网融合的网络架构和传输技术,在此基础上实现矿山“人-机-环”信息感知与数据实时接入。基于超宽带(UWB)、惯导(INS)、ZigBee 等多信息混合井下精确定位技术将在物联网中发挥重要的作用。井下人员和设备能够实现米级甚至厘米级定位精度。在矿山安全生产物联网的编码标准、交互协议研究基础上,带有地理位置的各种传感设备相互连接起来,与互联网结合形成的一个巨大网络,实现对矿山的实时监控、态势分析和预测预警。

2) 第二层, IaaS 层。IaaS 为 Infrastructure as a Service 基础设施即服务。将分散在各个业务部门的机房、服务器等硬件资源,逐渐变为统一规划的、

低 PUE(能耗指标)值的数据中心(IDC, Internet Data Center)。并在此基础上建设公有云/私有云/企业云平台和大数据平台。云平台统一为上层应用提供各种虚拟资源,包括虚拟主机、云存储、数据库服务、网络服务和集群服务等。针对数据密集、高并发访问、计算密集、时空密集等新需求,按需动态分配资源,每一用户弹性地调用资源,迅速完成任务并释放,最大限度提高 IT 资源利用率。

3) 第三层 PaaS 层。PaaS 为 Platform as a Service,平台即服务。将过去各自分散的数据库服务、平台服务、应用服务集成到云平台上,转变为丰富的应用容器、数据库和消息处理组件,同时提供了应用程序部署和管理服务。在该层次上,软件开发人员利用云平台的开放资源,不再重复采购开发平台,开发定制化的应用,如数据库应用、地图服务、大数据分析服务和可视化服务等。

4) 第四层 SaaS 层。SaaS 为 Software as a Service,软件即服务。在体系最上层,构建各类丰富的专业应用,开发和部署矿山安全生产和管理定制化的软件,形成包含矿山生产全生命周期业务系统,诸如资源量管理、安全生产、工业自动化、产运销一体化调度、设备管理、质量与销售、健康环境管理、人力资源、财务管理、企业门户等业务系统。这些业务系统除了具备日常的工作功能,还将具有实时信息处理、远程诊断与预测预报、支撑决策等智能化功能。

## 2.2 数字矿山与智慧矿山的区别

数字矿山和智慧矿山从技术架构上的主要区别可以从纵向和横向 2 个方面来分析。

1) 从纵向上看,要将传统的 DCS、MES 和 ERP 的 3 层架构升级为基于云计算和物联网为核心的智慧矿山云平台技术框架,DCS、MES 和 ERP 都成为 PaaS 和 SaaS 层的若干应用。数字建设存在突出的问题是:各个部门针对自己的业务需求,购买硬件设备并开发了不同的应用软件,但系统之间无法实现数据和服务共享。智慧矿山的云平台将建设统一的数据中心,提供硬件资源池,同时构建大数据中心,构建统一的平台服务,上层业务应用无需单独购买硬件就能完成专业应用开发,避免重复建设,多个业务系统更加容易在云平台上完成系统集成。

2) 从横向上看,智慧城市的数据更加丰富,应用更加智能。从工业以太网中的“采、掘、机、运、通”监测监控转变为物联网实时接入和感知,实现了井下物联网的实时接入、精确定位、有机整合、深

度利用;从传统的关系型数据库转变为支持海量数据的分布式数据库,不仅存储地理信息、监测信息、生产业务信息,还支持激光点云、街景数据、视频数据等新型数据,同时还记录历史数据,总之,智慧矿山可以存储矿山开采过程中精确、实时、丰富的现势信息和历史信息,从单一的结构化业务数据向视频、多媒体、互联网数据转变。业务系统,不仅能够完成日常的生产、安全、经营等业务管理,而且具备服务智能化和决策支持等智能化的要求,通过对“人、事、物”特定行为的数据分析,找到并解决规律性、关键性问题,实现绿色生产、安全生产和高产高效。

## 3 智慧矿山框架下的关键技术

### 3.1 智慧矿山的物联网关键技术

井下综合自动化管控平台将逐渐转变为更丰富的物联网平台,具有精确定位、协同管控、组态与地理信息的一体化这 3 个特点。

1) 在精确定位方面,几年前的 RFID 定位技术和 Wifi 定位技术精度、稳定度都难以得到保障,未来将被 ZigBee 定位或超宽带(Ultra-wide Bandwidth,简称 UWB)技术<sup>[32-36]</sup>逐步取代。ZigBee 定位是指以 ZigBee 终端与 ZigBee 基站(锚结点)之间的信号强度或信号飞行时间(ToF)来进行定位的方法。UWB 定位是指利用带宽很宽(一般是 500 MHz 以上)的电磁波信号来实现定位的方法。基于电磁波传输时间的定位比基于电磁波信号强度的定位在模型上更优,所以精度更高,而且抗干扰性强。UWB 利用了电磁波的传输时间,即发送端发送一个带宽很宽的无线信号(如一个窄脉冲),接收端收到后,可以测出发送端与接收端之间信号的传输时延,从而可得到定位距离。UWB 与 ZigBee 信号 ToF 定位的区别是,因为 UWB 的带宽很宽,在时域上来看,时间分辨率就很高,故可测的时间精度就更高,从而定位更精确,一般可达 30 cm,甚至更高。

2) 在协同管控方面,将实现物联网和传感网的融合,实现井下的智能感知。建设物联网规范,并建立动态耦合的网络化协同管控机制,将传统各自独立的监测控制系统进行关联和集成,对井下危险区域进行监测和控制,实现煤矿危险源和空间对象状态(如水、火、瓦斯、顶板、地表沉降、人员位置等)的实时数据诊断和预测预警。例如,在发生瓦斯事故或火灾时,瓦斯传感器、风速传感器、温度传感器、人员定位传感器等协同对灾区进行监测,通风系统、供

电系统、开采设备、煤流系统等根据监测数据实现智能化协同作业,关停灾区设备。整个井下物联网从传统的被动接受数据,转变为主动智能化协同监测和监控。

3) 在组态与地理信息融合方面,智慧矿山综合自动化形态将组态数据和地理信息 GIS 平台进行融合,实现基于真实地理信息的综合自动化管控平台。也就是说,将所有的生产、监测和控制信息以矿井采掘平面地图为载体,在平面地图上分层集中显示,实现集中显示和集中控制、数据管理分析、为生产决策提供数据依据。德国的鲁尔集团与 PSI 公司合作后,采用基于地理信息的综合自动化管控平台,不仅实现了开采设备和煤流系统的精确控制,单矿采煤效率提高 39.5%、吨煤成本下降 29%。

### 3.2 智慧矿山的数据挖掘与知识发现

大数据 2.0 是指在传统数据资源基础上,实现海量数据的数据挖掘、统计分析和智能搜索。在综合自动化、专业信息化建设下,传统矿山行业的各类专业数据库已经存储了 TB 级的数据,如何将数据后面的规律寻找出来用于矿山安全生产,是一个非常重要的研究课题。大数据的特点是 4V 特征,即构成海量的数据规模(Volume)、快速的数据流转和动态的数据体系(Velocity)、多样和多元化的数据类型(Variety)和巨大的数据价值(Value)等基本特征。由于大数据在研究思维和研究方式等很多方面与传统研究有较大不同,因此在推动传统矿山行业的智能化方面将有很大的发掘潜力。

1) 大数据智能化决策。智能化分析决策在安全、生产、管理及决策中的作用将日益凸显。例如,在矿山安全管理领域,安全监控系统及其监测联网已经相当普遍,构建了完善的灾害监控和预测预警体系,达到了对矿井瓦斯、水害、火灾、冲击地压等事故的防控。未来,在云平台和大数据平台上,融合多源在线监测数据、专家决策知识库进行数据挖掘与知识发现,结合数值计算和模拟仿真等,将实现基于 GIS 的空间分析技术,实现设备、线路和通风网络系统的故障诊断、水和瓦斯危险区采掘报警等关键技术;基于 GIS 空间分析结果,实现应急预案和救援方案的自动生成和动态更新。

2) 大数据知识发现。坚持强调大数据的理念和方法,采用新型的物联网、互联网、激光扫描、街景等技术手段收集数据,不同于一贯采用的逐级上报统计数据,在“机器”的帮助下,数据数量和种类都

非常丰富,数据的实效性更强,单元粒度更细。例如,将传统的 PDCA(Plan, Do, Check 和 Action) 安全管理闭环系统中人为录入数据,转变为大数据收集和處理安全隐患数据,用信息系统手段公开监管安全生产中的各类隐患问题以及是否及时处理。这些创新的研究方法,将体现出大数据在传统矿山行业潜在的价值。

### 3.3 智慧矿山的虚拟现实、增强现实与安全培训

随着技术的升级,移动智能设备的普及和移动互联网技术的进一步发展,虚拟现实技术(Virtual Reality,简称 VR)将逐步走向成熟,硬件生产将逐渐实现产业化、规模化<sup>[36-39]</sup>。近 2 年,虚拟现实市场化步伐更快。谷歌、微软、索尼、三星、HTC 陆续进入虚拟现实领域。很多互联网公司认为未来 3~5 年后 VR 成为独立于手机平板电脑之外的第 4 种主流平台级设备。另一方面,增强现实(Augmented Reality,简称 AR)是将计算机产生的虚拟物体或其他信息与用户所看到的真实环境进行融合的一种技术,具有虚实结合、实时交互、三维注册的特点。与传统的虚拟现实不同,增强现实技术主要是在已有的真实世界基础上,为用户提供一种复合的视觉效果,当用户在真实场景中移动时,虚拟物体也随之做出相应变化,使虚拟物体与真实环境能有一个完美的结合。

国外美国、澳大利亚、加拿大等国家在十几年前就已经将虚拟现实、增强现实技术应用于煤矿安全、事故调查、教育培训等领域。未来的虚拟现实与矿山安全培训结合,在低成本 VR 设备基础上,可以实现以“严肃游戏”(Serious Game)为目标设计,采用新一代虚拟现实图形引擎,实现多人协同演练,未来可以拓展到掘进工艺、瓦斯抽放工艺、应急救援、事故推演或者全矿井应急救援预案推演和人员疏散等其他应用领域。

增强现实技术与应急救援结合后可以设计定位罗盘,该罗盘能够为用户提供他们当前的位置和如何在环境中进行漫游。环境中提供了指示杆和平面图等,可以实现井下自主逃生的引导。安全管理与增强现实技术结合,能够提供更加强大的设备培训和员工训练。例如,矿工通过“数字眼镜”查看出现故障的机器。电脑会给出非常详细的、有动画演示的维修步骤。矿工不需要亲自去检查机器,完全由电脑来检查并处理数据。

### 3.4 智慧矿山的智能生产模式和轻资产运营方式

智能生产是传统矿山行业保持竞争力的核心。智能生产应该立足于能源企业本身的问题,采用创新的手段实现最终减员增效、提高企业竞争力的目的。

1) 智能生产模式。智能生产是指以基于价值链的战略成本管理,将传统的刚性生产转变为柔性生产方式;将传统的粗放开采方式转变为精细化开采模式。刚性企业经营模式是指传统能源企业以生产为中心的经营模式。例如,现有煤炭等生产还是粗放经营和刚性生产阶段,按照国家需求进行生产计划、销售计划、价格制定等,延续了国家计划经济的生产和经营方式。

柔性化产品制造的模式是指,随着批量生产时代正逐渐被适应市场动态变化的生产所替换,一个企业的生存能力和竞争能力在很大程度上取决于它是否能在很短的开发周期内,生产出较低成本、较高质量的不同品种产品的能力。柔性化的生产是可以做小批量生产,也可以做大批量生产,要快速反应市场需求。

传统矿山行业未来应该建立起一套生产过程的智能调度系统,将目前的刚性生产转变为较为灵活的柔性生产,以产品追踪查询模块为基础,以订单管理与生产计划模块为核心,智能实现生产计划的自动生成,加工过程的全程在线追踪记录,设备和水电能源的监控,人、材料、资金的计划管理,打破信息孤岛,以实现优质、高效、低耗、清洁、敏捷、柔性生产,提高对市场动态多变的适应能力和竞争能力。目前神华在这方面的研究与实践已经走在行业前列。

2) 轻资产运营。轻资产运营是指企业将一些重资产环节如技术含量较低的产品、零部件的生产转移给更有成本优势的公司生产,这样不仅节约了大量的基建、设备投资,而且节约了大量的人工费用,大幅降低了生产成本。企业保留高附加值环节,将企业的资金和精力集中于核心业务,如核心技术研发、品牌提升、市场拓展等,从而大幅度提升企业的核心竞争力。矿山企业从重资产经营企业转型为轻资产经营企业,将是一次经营模式的飞跃。在这种模式中,传统的行业界限将消失,并会产生各种新的活动领域和合作形式。例如,出现大量的中小型专业技术服务企业。通过中小企业技术服务合作,能够快速调整生产计划、配采方案、分选方案和营销方案,将需求快速分解到设计、生产、检测、销售、服

务的全过程,实现个性化定制和柔性化生产。据研究数据表明,内蒙古伊泰集团有限公司采用这种轻资产经营模式,与神东公司相比,将核心的综采业务保留,传统的设备维修、生产辅助和后勤服务完全外包市场化,人工成本减少约2/3,吨煤成本减少约2/3,大幅提升了企业利润。另一个例是澳大利亚猎人谷煤炭链的纵向管控方式<sup>[40]</sup>,猎人谷煤炭链的成功经验表明,随着市场化水平的不断提升,纵向一体化运营也可以通过企业间网络来得以有效实现。

### 3.5 智慧矿山下的扁平化管理和首席信息官制度

传统矿山企业大部分是国有企业,还属于劳动密集型产业和资本密集型产业,虽然信息化已经产生了很好的效果,但是层级过多、人多,企业管理效率低的问题并未得到充分解决。根本原因是在于企业原有生产方式、经营方式、管理方式和制度等与信息技术没有很好地融合,由于企业管理方式没有根本性质的改变,信息化无法最大程度发挥减员增效的作用。因此通过信息化、智能化的手段来改造整个企业管理流程,实现成本最小化、效益最大化成为了未来能源行业智能化发展的关键问题。

1) 扁平化管理。在当前经济下行的压力下,应该取消或者减少管理层级,压缩职能部门和机构,实施人员分流和大量冗员退出等措施,使得决策层和操作层之间的管理层级尽可能的少,以便使企业快速地将决策权延至企业生产、营销的最前线,从而提高企业效率而建立起富有弹性的新型管理模式,这种扁平化管理中,信息化手段将发挥更大的作用。

“互联网+”所具有的垂直性,与矿山扁平化管理在本质上是相通的。高度行政化的管理模式导致的是低效运行。以“互联网+”的垂直性对现有的管理结构进行精简优化,消除管理的中间环节,缩短管理流程,提升管理效率,最终实现矿山高效发展。

2) 首席信息主管(Chief Information Officer, CIO)制度。大多数企业领导人把主要精力用于安全和生产,认为安全上不出事,高产高效,企业就有效益,而缺乏用发展的眼光看待企业信息化问题。信息化的成败关键在于管理。由于管理不到位,很多信息系统没有发挥其强大的优势。信息化能够规范业务流程、监督个体行为、科学考核评价和提升管理精度,同时根据企业管理制度清理和规范权力,压缩权力寻租空间,打破原有的部门利益格局。国际大企业都采用CIO管理模式,这是一种新型的信息管理者。首席信息主管不同于一般的信息

技术部门或信息中心的负责人,而是已经进入公司最高决策层,相当于副总裁或副经理地位的重要官员。CIO熟悉企业业务流程,并能够挖掘企业信息资源、制定企业信息化战略、合理布局企业信息化、评估信息化对企业的价值等,能够带领企业在利用信息技术实现传统能源行业向智能化生产的跨越过程中取得长足进步。著名的迪士尼公司的CIO们的任务就是降低成本,改善IT服务,通过技术项目实现商业价值。正是这些技术革新推动迪士尼近年来的发展。

#### 4 结 论

未来10年矿山行业将产生巨大变革,以O2O为代表的“互联网+服务”模式从衣食住行等方面改变着人们的生活方式。作为工业制造业的产业“龙头”,矿业行业自然也绕不过信息化变革的过程。德国提出了工业4.0的战略目标,美国提出了“工业互联网”的战略目标,而中国在2015年提出了“中国制造2025”的发展战略目标。这些战略目标虽然侧重点各有不同,但是都指出要用新一代信息技术来激活和改造传统工业,保持传统工业的长期竞争力。

未来智慧矿山的发展将会集中在3个层面。一个是矿山硬件的发展。如智能工作面开采、精准人员定位、智能矿山机器人和无人机、井下激光或街景等技术等,这些技术会大幅度提高企业生产效率。第二是矿山软件的发展。基于物联网和云平台的技术框架,能提高软件系统开发和使用效率,涌现出更多优秀的智能化软件系统,提高数据共享和服务能力,提升生产管理效率,减少管理层级,实现企业管理的扁平化。第三是软硬结合后的智能化服务。充分利用企业内部大数据和互联网大数据,进行综合分析和数据挖掘,对传统的业务进行创新或者变革,将提高安全生产决策支持水平,达到智慧的生产状态。笔者从多个方面对智慧矿山的前景进行了展望,智慧矿山将是解决矿山安全、管理和效益的必然选择。

#### 参考文献(References):

- [1] 戈 尔.数字地球:对21世纪人类星球的理解[J].地球信息科学学报,1998(2):8-11.  
Al Gore.The digital earth: understanding our planet in the 21st century [J].Geo-Information Science,1998(2):8-11.
- [2] 吴立新,殷作如,邓智毅,等.论21世纪的矿山:数字矿山[J].

煤炭学报,2000,25(4):337-342.

Wu Lixin,Yin Zuoru,Deng Zhiyi et al.Research to the mine in the 21st century: digital mine [J].Journal of China Coal Society,2000,25(4):337-342.

- [3] 吴立新,殷作如,钟亚平.再论数字矿山:特征、框架与关键技术[J].煤炭学报,2003,28(1):1-7.  
Wu Lixin,Yin Zuoru,Zhong Yaping.Restudy on digital mine: characteristics,framework and key technologies [J].Journal of China Coal Society,2003,28(1):1-7.
- [4] 毛善君,刘桥喜,马蔼乃,等.“数字煤矿”框架体系及其应用研究[J].地理与地理信息科学,2003(4):56-59.  
Mao Shanjun,Liu Qiaoxi,Ma Ainai et al.Study on frame and application of digital coal mine [J].Geography and Geo-Information Science,2003(4):56-59.
- [5] 吴立新,朱旺喜,张瑞新.数字矿山与我国矿山未来发展[J].科技导报,2004(7):29-31.  
Wu Lixin,Zhu Wangxi,Zhang Ruixin.Digital mine and the future development of mines in China [J].Science & Technology Review,2004(7):29-31.
- [6] 吴立新.数字地球、数字中国与数字矿区[J].矿山测量,2000(1):6-9.  
Wu Lixin.Digital earth,digital China and digital mine [J].Mine Surveying,2000(1):6-9.
- [7] 李鑫,王坤,郭勇.基于工业以太网的三网合一在数字化矿山中的应用[J].中小企业管理与科技,2009(10):279-280.  
Li Xin,Wang Kun,Guo Yong.Three-in-one network based on industrial Ethernet in the application of the digital mine [J].Journal of Small and Medium Enterprises and Management,2009(10):279-280.
- [8] 李晓炜.浅谈榆林神华能源公司郭家湾煤矿“三网合一”[J].数字技术与应用,2012(8):205-207.  
Li Xiaowei.Introduction to the three nets in Guojiawan Mine [J].Digital Technology and Application,2012(8):205-207.
- [9] 张申.煤矿自动化发展趋势[J].工矿自动化,2013(2):27-33.  
Zhang Shen.Development of coal mine automation [J].Industry and Mine Automation,2013(2):27-33.
- [10] 刘道玉,安基胜,王宏耀,等.基于物联网的矿井综合自动化系统的研究与应用[J].矿山机械,2012(3):111-118.  
Liu Daoyu,An Jisheng,Wang Hongyao et al.Study and application of integrated automation system used in mines based on internet of things [J].Mining & Processing Equipment,2012(3):111-118.
- [11] 吴义祥.煤矿综合自动化系统的研究[J].工矿自动化,2010(9):151-154.  
Wu Yixiang.Research of coal mine integrated automation system [J].Industry and Mine Automation,2010(9):151-154.
- [12] 王金华,黄曾华.中国煤矿智能开采科技创新与发展[J].煤炭科学技术,2014,42(9):1-6.  
Wang Jinhua,Huang zenghua.Innovation and development of intelligent coal mining science and technology in China [J].Coal Science and Technology,2014,42(9):1-6.

- [13] 王金华, 黄乐亭, 李首滨, 等. 综采工作面智能化技术与装备的发展[J]. 煤炭学报, 2014, 42(8): 1418-1423.  
Wang Jinhua, Huang Leting, Li Shoubin *et al.* Development of intelligent technology and equipment in fully-mechanized coal mining face[J]. *Journey of China Coal Society*, 2014, 42(8): 1418-1423.
- [14] 温慧明, 焦洋, 王志东, 等. 煤矿综合信息化管理平台设计[J]. 煤矿现代化, 2012(3): 53-55.  
Wen Huiming, Jiao Yang, Wang Zhidong *et al.* Platform design of comprehensive information-based management for coal mines[J]. *Coal Mine Modernization*, 2012(3): 53-55.
- [15] 杨明强, 鞠尊洲. 煤矿地理空间数据一体化管理的数据模型与数据结构的研究[J]. 工矿自动化, 2009(1): 5-9.  
Yang Mingqiang, Ju Zunzhou. Research of data model and data structure of integrated management of coal mine geospatial data[J]. *Industry and Mine Automation*, 2009(1): 5-9.
- [16] 王继生, 潘涛. 数字矿山建设实践探索[J]. 工矿自动化, 2014(3): 32-35.  
Wang Jisheng, Pan Tao. Practical exploration on digital mine construction[J]. *Industry and Mine Automation*, 2014(3): 32-35.
- [17] 田心. 数字化矿山平台规划的分析[J]. 中国煤炭, 2014, 40(7): 81-85.  
Tian Xin. Analyze of planning of digital mine platform[J]. *China Coal*, 2014, 40(7): 81-85.
- [18] 王季管. 数字矿山技术与我国矿山技术升级思考[J]. 世界有色金属, 2015(7): 13-18.  
Wang Liguan. Thoughts on digital mine technology and mine technology's upgrading in China[J]. *World Nonferrous Metals*, 2015(7): 13-18.
- [19] 马俊. 神华集团煤炭产运销一体化运营模式分析[J]. 煤炭经济研究, 2012(1): 30-35.  
Ma Jun. Analysis on integrated operation mode of coal production, transportation and sales in shenhua group[J]. *Coal Economic Research*, 2012(1): 30-35.
- [20] 毛善君. “高科技煤矿”信息化建设的战略思考及关键技术[J]. 煤炭学报, 2014, 39(8): 1572-1583.  
Mao Shanjun. Strategic thinking and key technology of informatization construction of high-tech coal mine[J]. *Journal of China Coal Society*, 2014, 39(8): 1572-1583.
- [21] 霍中刚, 武先利. 互联网+智慧矿山发展方向[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(7): 28-33.  
Huo Zhonggang, Wu Xianli. Development tendency of internet plus intelligent mine[J]. *Coal Science and Technology*, 2016, 44(7): 28-33.
- [22] 王莉. 智慧矿山概念及关键技术探讨[J]. 工矿自动化, 2014(6): 37-41.  
Wang Li. Study on concept and key technology of smart mine[J]. *Industry and Mine Automation*, 2014(6): 37-41.
- [23] 王向星. 智慧矿山建设体系探讨[J]. 科技资讯, 2014(20): 96-97.  
Wang Xiangxing. Discussion on intelligent mine construction system[J]. *Science & Technology Information*, 2014(20): 96-97.
- [24] 孙继平. “互联网+煤炭”与煤矿信息化[J]. 煤炭经济研究, 2015(10): 16-19.  
Sun Jiping. "Internet+coal" and coal mine informatization[J]. *Coal Economic Research*, 2015(10): 16-19.
- [25] 岳一领, 李东升. 基于数据挖掘技术的煤矿远程监控系统研究[J]. 太原理工大学学报, 2005(2): 211-215.  
Yue Yiling, Li Dongsheng. The research on the remote monitoring system of coal mine based on data mining technology[J]. *Journal of Taiyuan University of Technology*, 2005(2): 211-215.
- [26] 王海军, 武先利. “互联网+”时代煤矿大数据应用分析[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(2): 139-143.  
Wang Haijun, Wu Xianli. Analysis on application of coal mine big data in age of 'Internet+'[J]. *Coal Science and Technology*, 2016, 44(2): 139-143.
- [27] 孙继平. 煤矿事故分析与煤矿大数据和物联网[J]. 工矿自动化, 2015(3): 1-5.  
Sun Jiping. Accident analysis and big data and internet of things in coal mine[J]. *Industry and Mine Automation*, 2015(3): 1-5.
- [28] 解海东, 李松林, 王春雷, 等. 基于物联网的智能矿山体系研究[J]. 工矿自动化, 2011(3): 63-66.  
Xie Haidong, Li Songlin, Wang Chunlei *et al.* Research of intelligent mine system based on internet of things[J]. *Industry and Mine Automation*, 2011(3): 63-66.
- [29] 蔡茜, 张程. 基于云计算的一体化煤矿安全监管信息系统应用研究[J]. 煤炭技术, 2013(11): 208-209.  
Cai Qian, Zhang Cheng. Research on integration of coal mine safety supervision information system based on cloud computing[J]. *Coal Technology*, 2013(11): 208-209.
- [30] 马小平, 胡延军, 缪燕子. 物联网、大数据及云计算技术在煤矿安全生产中的应用研究[J]. 工矿自动化, 2014(4): 5-9.  
Ma Xiaoping, Hu Yanjun, Mou Yanzi. Application research of technologies of internet of things, big data and cloud computing in coal mine safety production[J]. *Industry and Mine Automation*, 2014(4): 5-9.
- [31] 吴立新, 汪云甲, 丁恩杰, 等. 三论数字矿山: 借力物联网保障矿山安全与智能采矿[J]. 煤炭学报, 2012, 37(3): 357-365.  
Wu Lixin, Wang Yunjia, Ding Enjie *et al.* Thirdly study on digital mine: serve for mine safety and intelligent mine with support from IoT[J]. *Journal of China Coal Society*, 2012, 37(3): 357-365.
- [32] 肖竹, 王勇超, 田斌, 等. 超宽带定位研究与应用: 回顾和展望[J]. 电子学报, 2011(1): 133-141.  
Xiao Zhu, Wang Yongchao, Tian Bin *et al.* Development and prospect of ultra-wideband localization research and application[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2011(1): 133-141.
- [33] 肖竹, 黑永强, 于全, 等. 脉冲超宽带定位技术综述[J]. 中国科学, 2009(10): 1112-1124.  
Xiao Zhu, Hei Yongqiang, Yu Quan *et al.* Review on impulse radio ultra-wideband[J]. *Science China Press*, 2009(10): 1112-1124.
- [34] Roy S, Foerster J R, Somayazulu V S. Ultrawideband radio design:

(下转第134页)



- grated automation of mine [J]. *Industry and Mine Automation*, 2010( 11): 130-132.
- [13] 温良. 基于物联网的数字式煤矿安全监测监控技术研究 [R]. 北京: 煤炭科学技术研究院有限公司, 2014: 408-409.
- [14] 孙继平. 煤矿物联网特点与关键技术研究 [J]. *煤炭学报*, 2011, 36( 1): 169-170.  
Sun Jiping. Research on characteristics and key technology in coal mine internet of things [J]. *Journal of China Coal Society*, 2011, 36( 1): 169-170.
- [15] 孙继平. 煤矿自动化与信息化技术回顾与展望 [J]. *工矿自动化*, 2010( 6): 28-30.  
Sun Jiping. Review and prospect of technologies of automation and informatization of coal mine [J]. *Industry and Mine Automation*, 2010( 6): 28-30.
- [16] 胡继红. 煤矿安全监控系统存在的问题与发展方向 [J]. *中国煤炭*, 2010, 36( 12): 62-63.  
Hu Jihong. Coal mine safety monitoring system in China: existing problems and future development [J]. *China Coal*, 2010, 36( 12): 62-63.
- [17] 赵延明, 高军, 杨国庆, 等. 煤矿安全监控系统的现状与发展 [J]. *煤矿机电*, 2007( 3): 39-41.
- Zhao Yanming, Gao Jun, Yang Guoqing, *et al.* The status and development of safety monitor and control system for coal mine [J]. *Colliery Mechanical & Electrical Technology*, 2007( 3): 39-41.
- [18] 谭章禄, 张长鲁, 于金枝. 基于物联网的煤矿设备管理体系构建研究 [J]. *煤矿机械*, 2013, 34( 6): 285-286.  
Tan Zhanglu, Zhang Changlu, Yu Jinzhi. Research on construction of equipment management system in coal mines based on application of internet of things [J]. *Coal Mine Machinery*, 2013, 34( 6): 285-286.
- [19] 丁恩杰, 赵志凯. 煤矿物联网研究现状及发展趋势 [J]. *工矿自动化*, 2015( 5): 4-5.  
Ding Enjie, Zhao Zhikai. Research advances and prospects of mine internet of things [J]. *Industry and Mine Automation*, 2015( 5): 4-5.
- [20] 张申, 丁恩杰, 徐钊, 等. 物联网与感知矿山专题讲座之三: 感知矿山物联网的特征与关键技术 [J]. *工矿自动化*, 2010( 12): 119-121.  
Zhang Shen, Ding Enjie, Xu Zhao, *et al.* Part III of lecture of internet of things and sensor mine: characteristics and key technologies of sensor mine internet of things [J]. *Industry and Mine Automation*, 2010( 12): 119-121.
- ( 上接第 128 页)
- the promise of high-speed short-range wireless connectivity [J]. *IEEE Proceedings*, 2004, 92( 2): 295-311.
- [35] Yang L Q, Giannakis G B. Ultra-wideband communications an idea whose time has come [J]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2005( 11): 26-54.
- [36] Win M Z, Dardari D, Molisch A F, *et al.* History and applications of UWB [J]. *Proceeding of the IEEE*, 2009, 97( 2): 198-204.
- [37] 姜学智, 李忠华. 国内外虚拟现实技术的研究现状 [J]. *辽宁工程技术大学学报: 自然科学版*, 2004, 23( 2): 238-240.  
Jiang Xuezhi, Li Zhonghua. Present situation of VR researching at home and abroad [J]. *Journal of Liaoning Technical University: Natural Science*, 2004, 23( 2): 238-240.
- [38] 邹湘军, 孙健, 何汉武, 等. 虚拟现实技术的演变发展与展望 [J]. *系统仿真学报*, 2004( 9): 1905-1909.  
Zou Xiangjun, Sun Jian, He Hanwu, *et al.* The development and prospects of virtual reality [J]. *Journal of System Simulation*, 2004( 9): 1905-1909.
- [39] 陈浩磊, 邹湘军, 陈燕, 等. 虚拟现实技术的最新发展与展望 [J]. *中国科技论文在线*, 2011( 1): 1-5.  
Chen Haolei, Zou Xiangjun, Chen Yan, *et al.* Overview of the advance in virtual reality technology [J]. *Sciencepaper Online*, 2011( 1): 1-5.
- [40] 马俊. 猎人谷煤炭链纵向一体化运营分析 [J]. *煤炭经济研究*, 2015( 9): 45-50.  
Ma Jun. Analysis of the vertically integrated operations of hunter valley coal chain [J]. *Coal Economic Research*, 2015( 9): 45-50.