

互联网+煤矿安全信息化关键技术及应用构架

李树刚¹, 马莉², 杨守国¹

(1. 西安科技大学 能源学院, 西安 710054; 2. 西安科技大学 通信与信息学院, 西安 710054)

摘要: 针对煤矿安全生产信息化的发展及现状, 总结“互联网+”背景下煤矿安全信息化的内涵, 提出互联网+煤矿安全信息化就是将物联网、云计算、大数据等新一代 IT 创新变革技术及概念与煤炭工业深度融合, 实现煤矿生产的安全、低耗及高效。同时, 从煤矿物联网、煤矿云计算、煤矿大数据三方面分析互联网+煤矿安全信息化的关键技术, 并在此基础上提出了由信息感知层、数据传输层、云计算资源层、应用服务层、用户接口层组成的互联网+煤矿安全信息化应用构架及专有云构建模式, 使煤矿物联网产生的大数据在弹性可扩展的云计算平台支撑下, 为煤矿防灾、减灾, 改善煤矿安全现状提供高效、科学的决策依据与技术手段。最后分析了煤矿安全信息化在互联网+背景下面临的机遇与挑战。

关键词: 互联网+; 云计算; 大数据; 煤矿安全; 物联网

中图分类号: TD67 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2016)07-0034-07

Key technology and application framework of internet plus mine safety informationization

Li Shugang¹, Ma Li², Yang Shouguo¹

(1. School of Energy, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. School of Communication and Information Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: According to the development and present status of the mine safety and production informationization, the paper summarized the connotation of the mine safety informationization under the background of “internet plus”. The paper provided that internet plus mine safety informationization would be to put the internet of things, cloud computing, big data and other new generation IT innovated and reform technology and conception deeply integrated with the coal industry to realize safety, low consumption and high efficiency of the mine production. Meanwhile, from the mine internet of things, mine cloud computing and mine big data, the paper analyzed the key technology of the internet plus mine safety informationization. Based on the circumstance, the application framework and the special cloud established mode of the internet plus mine safety informationization consisted with the information perception layer, data transmission layer, cloud computing resources layer, application and service layer and user interfaces layer. Thus under the support of the cloud computing platform with expanded elasticity, the big data from the mine internet of the things could provide the basis and technical means of the high efficient and scientific decision making for the mine disaster prevention, disaster reduction and mine safety status improved. Finally, the paper analyzed the opportunity and challenges faced to the mine safety informationization under the background of “internet plus”.

Key words: internet plus; cloud computing; big data; mine safety; internet of things

0 引 言

煤炭是我国的主要消费能源,但也被认为是安

全事故高发行业,瓦斯爆炸、煤与瓦斯突出、煤尘爆炸、冲击地压、矿井火灾、顶板脱落、透水等灾害事故影响着煤矿安全生产^[1]。随着信息通信技术的快

收稿日期: 2016-03-18; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2016.07.006

基金项目: 国家自然科学基金科学仪器基础研究资助项目(51327007); 国家自然科学基金资助项目(51174157); 陕西省科技计划经费资助项目(2013K11-20); 陕西省教育厅科技专项资助项目(14JK1486)

作者简介: 李树刚(1963—),男,甘肃会宁人,教授,博士生导师,博士,现任西安科技大学副校长。Tel: 029-85583143 E-mail: lishg@xust.edu.cn

引用格式: 李树刚,马莉,杨守国.互联网+煤矿安全信息化关键技术及应用构架[J].煤炭科学技术,2016,44(7):34-40.

Li Shugang, Ma Li, Yang Shouguo. Key technology and application framework of internet plus mine safety informationization [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 34-40.

速发展,煤矿自动化、数字化、信息化程度明显提高,煤矿各类监测监控系统的推广应用使我国煤矿事故发生率、百万吨死亡率及伤亡人数均大幅下降^[2]。在“两化融合”总体方针引领下,煤矿安全生产的重点工作则是信息技术在煤矿生产各个环节的深化应用。然而要进一步实现对煤矿生产过程中煤与瓦斯突出、火灾、水害、冲击地压、围岩等事故隐患的动态实时监测、预警和科学决策,这是“互联网+”背景下煤矿实现安全高效生产的必然选择。

作为我国传统重化工业的煤炭行业,也迎来了“互联网+”行动计划时期产业转型升级的重要契机。“互联网+”的出现,使物联网、云计算和大数据为代表的新一轮IT创新变革技术叠加在原有煤炭工业基础设施之上,从而使煤矿安全生产预警、无人值守、虚拟现实、智慧矿山成为可能,将使煤矿安全信息化进入一个新时期。未来煤炭行业IT技术的发展,将以煤矿安全生产及经营管理多种应用为导向、大数据为业务引擎、云计算为基础支撑更加快速地发展。其中2个核心问题就是云计算提供信息基础设施,以及大数据提供新的业务引擎。基于此,笔者分析了煤矿信息化的发展现状,提出了“互联网+”背景下煤矿安全信息化内涵、应用构架及专有云构建模式,并分析了“互联网+”下的煤矿安全信息化建设面临的机遇与挑战。

1 煤矿信息化发展现状

煤矿井下生产环境具有特殊性和复杂性的特点,除了瓦斯等易燃易爆气体外,还有煤矿粉尘和淋水,工作空间相对狭小,环境潮湿,无线传输衰减大,煤矿井下用电网电压波动较大。这种特殊的工作环境使井下电器需要具有防爆特性,这种特殊需求在一定程度上制约了煤矿信息化技术在井下的直接应用^[3]。因此,需针对煤矿井下生产环境的特殊性选择和应用煤矿信息化技术。而煤矿信息化建设在我国起步较晚,信息技术的整体应用水平与其他行业有很大差距。

从煤矿通信网络的发展来看,从最初的RS485总线开始,逐渐从现场总线发展到工业以太网,目前我国信息化建设水平较高的煤矿已采用具有冗余功能的千兆或以上以太光网络,传输通道的整合以及各控制子系统的集成应用,实现了煤矿数据、视频和音频的三网融合,建立了煤矿综合自动化平台,实现对煤矿生产环境和生产设备的远程监测与监控^[4]。

因此,有学者认为,从通信网络来看,煤矿目前的综合自动化阶段正处于煤矿物联网的早期阶段^[5]。

从煤矿安全信息系统的发展来看,从初期单一的监控系统,如煤矿安全监控、采煤工作面监控、瓦斯抽采监控、通风机监控、掘进工作面监控、矿井排水监控、煤矿供电监控、矿井火灾监控、矿山压力监测与预警等子系统^[6],过渡到各类监控系统的融合,结合煤矿生产系统和煤矿管理系统建立全矿井综合自动化信息平台。如针对煤矿综采工作面的特殊复杂性,采用结合了三维虚拟现实技术的人员定位系统,通过在矿井出入口、重点区域、限制区域等地点设置分站,可动态监测井下人员/车辆,实时掌握井下人员数量、分布情况和工作路线等情况,实现了安全远程监控、矿井三维漫游、灾害模拟、安全避灾训练和应急救援等三维可视化功能,对煤矿安全生产起到有力推动作用^[7]。

从煤矿物联网技术领域的发展来看,文献[8]提出利用物联网技术建设煤矿自动化系统、数字化煤矿集成平台,并在此基础上,结合虚拟化、云存储等技术,将新一代互联网技术NGIP技术应用于云矿山的建设方案。文献[9]提出了构建新一代全覆盖的煤矿物联网系统的思路。

从煤矿信息化基础设施构架的发展来看,当业务应用遇到系统资源不足时,这种基于单点高性能服务器的传统信息化IT构架就遭遇了挑战。具体来说,在煤矿各类信息系统中,传统DBMS数据库通常部署在一台独立的服务器上。因此,为了能够存储和处理海量数据,满足数据库的高可用性、高可靠性及高可扩展性等需求,煤矿信息中心只能依赖增加硬件投入来提升系统容量和处理能力。同时在拥有海量数据规模的数据表中进行SQL查询,处理时间也会很长。而采用基于云计算基础设施的构架,煤矿信息中心就可以通过网络接入弹性可扩展的物理或虚拟资源池,并能够以按需、自服务的方式对资源进行部署和管理的服务模式的时候,可以随时要求增加CPU核心、内存、带宽、存储。这种方式才是“互联网+”行动计划下煤矿安全信息化“节能、高效、低成本”的真正价值体现。基于云计算的核心思想,文献[10]提出了基于云计算的一体化煤矿安全监管信息系统,文献[11]提出了基于云计算的煤矿物联网一体化平台体系构架。

从大数据技术在煤炭行业的发展应用来看,文献[12]探讨了大数据在应对煤与瓦斯突出、火灾、

水害、冲击地压等事故时的预警方法,以及煤矿重大关键设备故障诊断,煤炭需求和价格预测等方面的应用,文献[13]提出了云计算环境下煤矿应急管理海量数据存储技术,文献[14]认为基于物联网、云计算和大数据的煤矿安全生产监测监控系统是一个多数据融合、主动式并具备预警功能的系统。

从煤矿应用软件设计的发展来看,对于一些传统的功能强大的应用软件,用户必须升级到更高级的计算机硬件才能够支撑软件运行,而基于云计算的软件服务对于用户最低硬件配置的需求相对要低很多。原因在于云计算软件服务可以将用户界面与程序内核演算功能区分开来。举例来说,煤矿技术人员将安装有通风决策模型及其数据库管理系统的便携式计算机带到生产现场,其数据读写能力及处理能力有限,这将使得通风决策结果的生成时间超出可以容忍的等待时间。而其真正的内核演算功能,则在远端的云计算服务器上快速执行,并将结果通过网络回传并显示在现场技术人员便携式终端屏幕上。因此,煤矿用户可以根据信息化的总体构架和自身需求考虑采用传统的应用软件还是云计算服务软件。

可以看出,随着煤矿信息化建设的不断深入,各类传感器大量投入使用,使传统的煤矿信息中心在面对海量的信息数据时,对异构数据难以集成,各系统集成后生产的数据也未能得到充分利用。而物联网、大数据挖掘分析等新一轮IT创新变革技术的涌现,为煤矿安全生产信息化的后续建设提供了更新的建设思路。同时虚拟化技术的引入,将固定的、难以共享的IT硬件资源变为灵活的、可移动的、更有利于实现共享的虚拟IT资源,有效地将空闲资源整合起来,形成一个可被重新利用的弹性虚拟化资源池,这种新型的“数据中心”可以更好地利用煤矿企业现有的应用系统,短期内更容易为用户所接受。因此,建设安全、绿色、高效的智能矿山,需进一步研究煤矿安全生产信息化与智能化技术,而“互联网+”行动计划的出现,是我国工业和信息化深度融合的成果与标志,将为煤矿安全信息化带来重要的发展机遇。

2 互联网+煤矿安全生产信息化内涵

暨2007年出现“互联网化”概念之后,2012年业界又提出与其一脉相承的“互联网+”概念,重点强调各传统产业借助互联网,加快推进物联网、云计

算、大数据与传统工业相结合,进行工业化与信息化深度融合^[15-17]。“互联网+工业”与工业互联网内涵一致,指的是传统制造业企业采用物联网、大数据、云计算以及多种信息通信技术及智能技术,对原有生产方式进行改造,使有效信息被挖掘和充分应用,从而提高传统产业生产力。

互联网+煤矿安全信息化是基于工业以太网和无线传感网技术,将信息感知、信息传输等物联网技术与现代煤矿安全生产技术相结合,针对煤矿安全生产监测监控、预测预警、应急救援等需求,采用云计算与大数据技术,实现煤矿井下复杂环境下生产系统内的人、机、环系统的智能管理与控制,构建煤矿灾害情况动态感知、设备健康状态智能监测、人员安全环境主动感知的智慧矿山,有效解决煤矿重大危险源防范和煤矿安全开采问题,提高整个矿井安全系数和生产效率。

3 互联网+煤矿安全信息化关键技术

随着信息通信技术的进步,互联网、智能终端、智能芯片等在传统工业生产中的广泛应用,煤炭行业的信息化潜力进一步释放,基于物联网、云计算和大数据的新时期信息技术正在改变传统煤矿信息化模式。由于大量传感器和无线传感网的使用,使煤矿物联网成为了煤矿大数据的来源,而煤矿云计算平台作为煤矿信息化基础设施资源池,支撑着上层煤矿大数据的存储和处理,煤矿大数据的实时交互式查询效率和分析能力为煤矿安全生产预警与决策提供了重要的科学依据。

3.1 煤矿物联网

煤矿物联网是通过RFID射频识别技术、ZigBee、全球定位系统等传感设备,按约定的协议,通过各类矿用传感器采集煤矿井下环境信息、生产信息,并通过煤矿工业以太网、3G、4G与互联网连接,进行信息交换和通信,以实现煤矿井下作业的环境气体监测与预警、生产设备监控、煤矿安全生产隐患的智能化识别、井下人员定位等功能。煤矿物联网技术有利于加快煤矿生产过程中实时数据的采集、传输和智能处理,是保证煤矿安全、高效生产的基础^[18-19]。

根据物联网技术构架,煤矿物联网也可分为感知层、网络层和应用层3层。

1) 感知层由各种矿用传感器构成,包括矿用甲烷传感器、用于掘进工作面和采掘设备等的矿用无

线传感器、一氧化碳浓度传感器、湿度传感器、温度传感器、RFID 射频识别技术、二维码标签、全球定位系统 GPS、摄像头等多种感知终端设备,用于采集煤矿生产作业的环境数据及生产设备信息。

2) 网络层对感知层获取的信息进行传输,主要由连通井上、井下的工业以太环网及 3G、4G 网络和 WiFi 等无线网络共同构建而成,形成了覆盖整个矿区的物联网网络层,实现了煤矿物联网数据的交互与传输。

3) 应用层作为煤矿用户与煤矿物联网的接口,结合了煤矿安全生产监测监控及预测、预警、决策等需求,是煤矿物联网智能应用的最终体现,实现了煤矿工业与信息化的两化融合。

3.2 煤矿云计算

近年来,云计算技术发展迅速,在工业界和学术界共同的推动下,云计算使人们可以像使用“水、电”一样方便、低价地获取和使用计算机服务,这种新型的商业计算模型正改变着人们使用计算机的思维方式。随着煤矿物联网技术的大规模使用,物联网感知层采集到的煤矿井下生产环境实时数据、生产数据和井下视频监控等流式数据,这些规模巨大的数据量需要能够支撑海量数据存储和处理的基础设施,而云计算作为一种在网格计算、并行计算、分布式计算等计算模式上发展起来的新型服务化商业计算模式,承载煤矿大数据的存储和处理具有非常显著的性价比优势,将为煤矿安全生产信息化建设提供强有力的辅助和支撑。

在煤矿安全生产过程中,预测预警是主要任务,需要进行信息监测和数据采集,如瓦斯、一氧化碳、烟雾、风速、温度、负压、风门开关等环境参数,压风机风压、箕斗计数、水仓水位、煤仓煤位及各种机电设备的开停状态等生产参数,而这些数据通常都由各监测监控系统提供。虽然部分大中型矿井尤其是新建矿井,采购并实施了全矿井综合自动化系统,但由于各监测监控系统接口和协议不完全统一,并没有实现预计的数据集成、系统集成和应用集成的目标。而这些数据如果能够通过一个统一接口、统一标准的平台汇总起来,再将这些数据输入到相应的预测预警模型中,这样通过大量计算就可以获得相关预警及决策依据,云计算恰好为这些数据应用提供了开发环境。同时,云计算可以集成煤矿多源数据,包括煤矿安全事故的现场数据、历史数据、决策支持模型、知识及案例、应急设备物资、救援人员及

专家等网络化的多源异构信息,通过标准化接口为信息快速采集、传递存储的实现提供了可能,采用数据挖掘等技术手段对实时、异构数据进行统计分析,并提取出对决策有利的相关数据。

利用云计算技术建设煤矿企业云数据中心平台,并把现有的煤矿信息化建设成果与云计算技术相结合,充分发挥和挖掘煤矿海量数据的价值,为煤矿安全生产提供更有力的保障。目前,煤矿云计算数据中心的建设主要是在现有的煤矿信息基础设施上,购置计算服务器、存储设备及网络设备,利用虚拟化技术将信息化物理基础资源转化为虚拟化资源,通过虚拟资源池为煤矿各应用系统提供计算、存储及网络资源,在资源层面实现了资源整合与高效利用,在数据层面打破原有“烟囱式”孤立的信息系统,实现各信息系统在数据层面的共享与交互。

3.3 煤矿大数据

煤矿大数据是指为了在煤矿安全生产过程更有效地从高采样频率获取的、大容量的、不同结构和类型的煤矿数据中获取价值而设计的新一代构架和技术。其数据来源主要是指井下物联网感知层的各个监测设备采集到的环境参数,如甲烷、一氧化碳、氧气、温度、压力等实时监测数据,以及控制设备相关数据。煤矿大数据具有 4V 的特点:

1) 数据体量(Volume)巨大。煤矿生产过程中会产生大量以甲烷为主的环境监测数据、井下人员定位信息、设备信息和井下空间信息等动态数据。特别用于监测环境数据的传感器,其数据采集周期短,因此这种大量实时监测和控制等实时系统产生的流式数据会形成一个大规模历史数据,其更新数据集也会在数分钟内就达到巨大的数据量规模。

2) 数据产生和增长速度(Velocity)快。随着物联网技术、传感器网络技术和无线射频技术的大规模部署,各类数据以前所未有的速度增加,这些多源异构数据即使通过过滤只保留有效的数据,其数据规模也很庞大。

3) 数据类别(Variety)多。大数据来自多种数据源,格式和种类多样,它不仅包含传统关系型库的结构化数据,还包含视频监控等流式数据、文档、主动系统和被动系统的传感器数据等结构化、半结构化和非结构化等多种数据形式,如 GIS 数据、监控视频、矿图数据、图像数据、应急预案、应急知识及事故案例等,并且此类数据所占份额越来越大。

4) 价值密度低(Value)。随着煤矿物联网的广

泛应用,信息感知将贯通煤矿生产的各个环节^[20],面对大量传感器产生的海量信息,可以使用机器学习算法高效地完成数据价值的提炼,为煤矿安全生产提供科学依据和决策,是煤矿大数据核心价值的体现。

由于煤矿安全事故发生原因复杂,人们还未能完全掌握各类事故发生规律,不能准确对煤矿安全事故进行预测预警,因此,基于煤矿大数据深入发掘数据价值,对煤与瓦斯突出、冲击地压、火灾、水害等煤矿重大危险源进行科学预警具有重要意义。

4 互联网+煤矿安全信息化应用构架

互联网+煤矿安全信息化应用构架,综合应用了煤矿物联网、煤矿云计算和煤矿大数据技术,通过煤矿物联网采集并传输煤矿安全生产相关的各类数据,然后采用云平台对煤矿各种监控系统数据进行统一存储和分析处理,最后通过煤与瓦斯突出、冲击地压等预警模型对煤矿大数据进行分析与处理,实现煤矿安全事故的预测预警,为煤矿管理人员提供科学决策。该应用构架主要由信息感知层、数据传输层、云计算资源层、应用服务层、用户接口层5个部分组成(图1),为煤矿防灾、减灾,改善矿井安全现状提供高效、科学的决策依据与技术手段。

4.1 信息感知层建设

信息感知层采集的数据主要来自煤矿井下环境监测(如甲烷、负压、温度、湿度、一氧化碳、氧气、烟雾等监测)、机电设备监测监控(如通风机、提升机等机电设备的电压、电流、功率等电量参数,开停、流量、翻笼计数等生产参数,以及速度、跑偏、轴承温度等工况参数的监控)、人员精确定位、压风自救、供水施救、紧急避险、通信联络和生产自动化(如采煤自动化、机车调度、产量调运)等信息系统与自动化系统,以及煤矿固有基础数据信息采集。

4.2 数据传输层建设

传输层的主要功能是把信息感知层采集到的数据,通过云平台的标准接口传输至云计算资源层。该层由安装在煤矿井下生产环境中的有线和无线终端、监控系统的数据传输软件组成。该层可以有效利用现有的有线网络、无线网络和移动网络来实现数据的不间断传输,同时该层具有数据缓存功能,在数据传输速率低或无可用网络的情况下,为保证数据不丢失,将启用数据本地缓存。

4.3 云计算资源层建设

云计算资源层是该应用构架的重要组成部分,

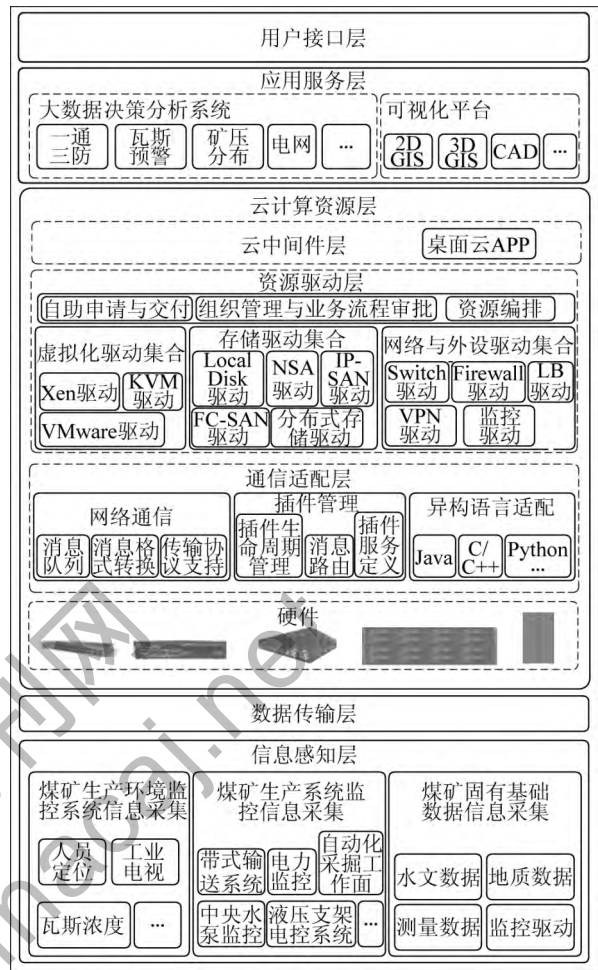


图1 互联网+煤矿安全信息化应用构架

Fig. 1 Application framework of internet plus coal mine safety informatization

也是实现智能矿山的信息化基础设施保障。该层由硬件层、通信适配层、资源驱动层和中间件层组成,云中间件是指集成了云计算能力的中间件平台,该层负责整个煤矿信息基础设施的虚拟化资源池(虚拟化的计算资源、存储资源及网络资源)的建设及管理。

4.4 应用服务层建设

应用服务层主要向煤矿企业及各级监管部门提供可见的面向管理人员的大数据分析决策系统,如一通三防、瓦斯预警、矿压分布等,以及满足日常业务要求的软件服务,各级监管部门的工作人员可以实时掌握其管辖范围内的煤矿安全生产情况,包括井下实时环境参数、各种数据报表查询与打印,相关业务流程处理等功能,以及可视化平台服务(2D GIS、3D GIS等),此外,它还用于实现用户统一身份认证、权限控制、个性化配置等相关功能。

根据煤矿用户和各级监管部门的要求,必须对

上传的煤矿监测数据做相应的分析处理,如煤矿生产环境参数异常判断分析、历史数据统计分析、报警统计等。特别对于煤矿人、机、环高度耦合的大系统来说,海量数据在高维度矿井灾害预警模型的支持下,预测预警将更加精确,而其实现的信息化基础则是具有弹性分布式计算能力的煤矿云平台。

同时,由于煤矿视频监控产生的非结构化数据规模庞大,而且增长迅速,但其价值密度较低,所以只有对其进行深度的挖掘,才能使其发挥出数据本身所应具有的应用价值,使视频监控从分析事故原因为主的事后查看转变为智能预警为主的事前分析。

4.5 用户接口层

不同层面的用户可通过适合的终端,如 Web Access 和专属客户端)接入该平台,使用平台提供的高效、丰富的煤矿安全生产应用服务。

5 互联网+煤矿安全信息化私有云平台构建模式

为了保证对数据、安全性和服务质量的最有效控制,煤矿企业可选择私有云构建模式。该构架基于煤矿企业现有的基础设施环境,对服务器、网络、存储进行统一规划和构架,并通过虚拟化平台实现。可采用市面上主流的虚拟化技术,如基于 X86 构架的 VMware 的 ESX 平台、Citrix 的 Xen 平台、微软的 Hyper-V 平台,以及 RedHat 公司的 KVM 平台。煤矿安全信息化私有云平台构建模式如图 2 所示。

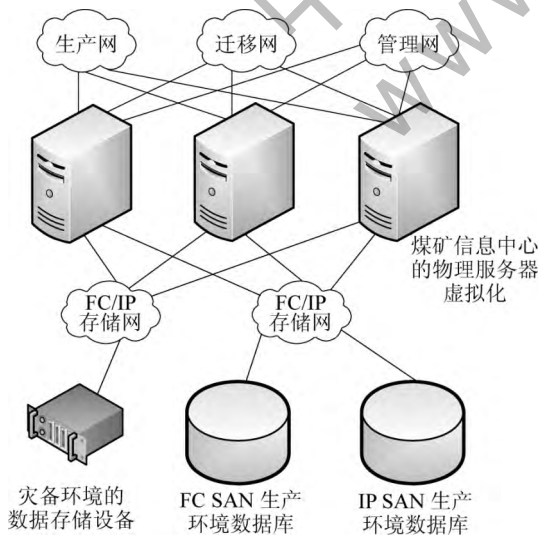


图 2 煤矿安全信息化私有云平台构建模式

Fig. 2 Private cloud construction model of coal mine safety informatization

这种基于虚拟化技术的私有云构架模式主要由生产、灾备存储、多组服务集群、无阻塞网络组成。其中,存储网负责整个应用构架平台所有数据的集中统一存储,可以采用 FC/SAN 或 IP/SAN 进行生产环境的数据存储,采用 NAS 作为灾备环境的数据存储设备。可满足多个用户的数据存储和并发访问需求,保证为煤矿各级用户及煤矿监管机构提供高效、高速的数据存取服务。

同时,煤矿信息中心物理服务器安装虚拟化平台软件,并通过存储虚拟化技术使得同一集群组内的服务器共享生产与灾备存储空间,是现行煤矿企业易于实施的一种构架模式。而该方案投入成本较高,采购所需的软硬件平台,如服务器、各式存储设备、存储交换机、商业虚拟化软件授权均需要大量的预算。虽然会付出一定成本,但相比于“云化”后的价值来说还是值得选择的,该构架使资源池化与服务可度量,业务可快速响应,服务器总体采购成本降低、运维管理成本降低、节能降耗,同时,通过商用虚拟化平台通常可保障云平台的高可靠性和高稳定性。

6 结 语

在互联网+行动计划的带领下,物联网、云计算、大数据等最新的信息技术将应用到煤炭工业的各个环节,获取一切可提供洞察分析价值的信息。未来煤矿企业可以着眼于从所有数据中获得洞察价值,这些数据不仅来源于物联网,而是要超越传感器等相关设备,来源于可以从中得到洞察价值数据信息的其他设备,如各种监测监控系统的服务器日志、地理位置及来自互联网的所有数据。在全息大数据的基础上,逐渐掌握事故发生规律,及早发现安全隐患并及时处理,有效预防煤矿安全事故的发生,为煤矿防灾、减灾,改善矿井安全现状提供高效、科学的决策依据与技术手段,尽可能发掘煤矿生产及管理中海量数据中潜在的信息价值,实现真正的智能矿山。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] 袁显平,严永胜,张金锁.我国煤矿矿难特征及演变趋势[J].中

- 国安全科学学报 2014 24(6):135-140.
Yuan Xianping ,Yan Yongsheng ,Zhang Jinsuo. Characteristics of coal mine disasters in China and their evolution trend [J].China Safety Science Journal 2014 24(6):135-140.
- [3] 孙继平 潘涛 田子建.煤矿井下电磁兼容性探讨[J].煤炭学报 2006 31(3):377-379.
Sun Jiping ,Pan Tao ,Tian Zijian.Study on electromagnetic compatibility in coalmine [J].Journal of China Coal Society 2006 31(3):377-379.
- [4] 陈运启 钟宇.面向移动互联网的煤矿安全监测平台[J].煤矿安全 2015 46(3):237-240.
Chen Yunqi ,Zhong Yu.Coal mine safety monitoring platform for mobile internet [J].Safety in Coal Mines 2015 46(3):237-240.
- [5] 宋震 陈剑 卢冰清.等.面向服务的智慧矿山建设[J].资源与产业 2013(2):55-59.
Song Zhen ,Chen Jian ,Lu Bingqing ,et al. Service-oriented smart mine construction [J].Resources & Industries 2013(2):55-59.
- [6] 孙继平.煤矿信息化与智能化要求与关键技术[J].煤炭科学技术 2014 42(9):22-25 71.
Sun Jiping.Requirement and key technology on mine informatization and intelligent technology [J].Coal Science and Technology 2014 42(9):22-25 71.
- [7] 孟祥瑞 徐雪战 赵光明.等.基于三维可视化与 Zigbee 技术的真三维煤矿人员定位[J].煤炭学报 2014 39(S2):603-608.
Meng Xiangrui ,Xu Xuezhao ,Zhao Guangming ,et al. True three-dimensional coal mine personnel positioning system based on 3D visualization and Zigbee technology [J].Journal of China Coal Society 2014 39(S2):603-608.
- [8] 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):167-171.
Sun Jiping. Research on characteristics and key technology in coalmine internet of things [J].Journal of China Coal Society , 2011 36(1):167-171.
- [9] 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.
- [10] 康瑛石 吴吉义 王海宁.基于云计算的一体化煤矿安全监管信息系统[J].煤炭学报 2011 36(5):873-877.
Kang Yingshi ,Wu Jiyi ,Wang Haining. Overall coalmine safety monitoring and management system based on cloud computing [J].Journal of China Coal Society 2011 36(5):873-877.
- [11] 裴忠民 李波 徐硕.等.基于云计算的煤矿物联网一体化平台体系构架[J].煤炭科学技术 2012 40(9):90-94.
Pei Zhongmin ,Li Bo ,Xu Shuo ,et al. Integrated platform system framework of mine internet of things based on cloud computation [J].Coal Science and Technology 2012 40(9):90-94.
- [12] 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.
- [13] 马莉 李树刚 肖鹏.等.云计算环境下煤矿应急管理海量数据存储技术[J].西安科技大学学报 2014(5):596-601.
Ma Li ,Li Shugang ,Xiao Peng ,et al. Massive data storing technique of coal mine emergency management in cloud computing [J].Journal of Xi'an University of Science and Technology 2014(5):596-601.
- [14] 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 ,Miao Yanzi. Application research of technologies of Internet of Thing ,big data and cloud computing in coal mine safety production [J].Industry and Mine Automation , 2014(4):5-9.
- [15] 中国新闻网.李克强:制定“互联网+”计划促电子商务健康发展[EB/OL]. [2016-01-05]. http://www.chinanews.com/gn/2015/03-05/7103116.shtml.
- [16] 于佳宁.“互联网+”的三个重要发展方向[J].物联网技术, 2015(4):3-4.
Yu Jianing. Three important development way of “Internet+” [J]. The Things of Internet Technology 2015(4):3-4.
- [17] 胡晶.工业互联网、工业4.0和“两化”深度融合的比较研究[J].学术交流 2015(1):151-158.
Hu Jing. Comparison and research on industry Internet ,Industry 4.0 and “double informationization” deeply combination [J].Academic Exchange 2015(1):151-158.
- [18] 谢苗苗 李华龙 罗伟.基于物联网的煤矿井下电力谐波在线监测节点设计[J].煤矿机械 2016 37(1):234-236.
Xie Miaomiao ,Li Hualong ,Luo Wei. Design of real-time online monitoring node of coal mine electric power harmonic based on internet of thing [J]. Coal Mine Machinery ,2016 ,37(1):234-236.
- [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):1-5.
Ding Enjie ,Zhao Zhikai. Research advances and prospects of mine Internet of Thing [J].Industry and Mine Automation ,2015(5):1-5.
- [20] 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.