

智慧矿山建设架构体系及其关键技术

陈晓晶, 何敏

(天地(常州)自动化股份有限公司, 江苏 常州 213015)

摘要:针对矿山信息化建设存在缺乏信息化标准、信息孤岛严重等问题,研究了智慧矿山建设的架构体系及其关键技术,提出了包括数据采集与执行层、传输层、存储层、智慧决策与控制层、展示层等 5 层架构体系,描述了该架构体系中各层应构建的相关系统或建设原则;探讨了智慧矿山建设涉及的空间信息技术、智慧采煤技术、真三维地质模型与集成应用技术、先进的矿用传感器技术、自动控制技术、矿山数据仓库技术、数据通信技术、组件式矿山软件、虚拟现实技术、云网融合技术、基于大数据的智能决策技术、人工智能技术等关键技术。

关键词:智慧矿山;架构体系;智能决策;人工智能

中图分类号:TD67 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2018)02-0208-05

Framework system and key technology of intelligent mine construction

CHEN Xiaojing, HE Min

(Tiandi Changzhou Automation Company Limited, Changzhou 213015, China)

Abstract: According to the lack of the information standards, serious information island and other problems existed in the mine information construction, the paper had a study on the framework system and the key technology of the intelligent mine construction, provided a five framework system, including the data acquisition and executive layer, transmission layer, storage layer, intelligent decision making & control layer, display layer, and represented the established related system and construction principle of each layer in the framework system. The paper discussed the space information technology, intelligent coal mining technology, true 3D geological model and integrated applied technology, advance mine sensor technology, automatic control technology, mine database technology, data communication technology, component based mine software, virtual reality technology, cloud and network integrated technology, intelligent decision making technology based on the big data, artificial intelligent technology and other key technologies related to the intelligent mine construction.

Key words: intelligent mine; framework system; intelligent decision making; artificial intelligence

0 引言

随着国民经济步入新常态,煤炭行业面临着“需求增速放缓期、过剩产能和库存消化期、环境制约强化期、结构调整攻坚期”四期叠加的全新局面,煤炭行业必须不失时机地变化革命,促进转型升级^[1]。在当前不利环境下,创新驱动发展将是煤炭行业转型升级的重要途径^[2]。融合空间信息、智能采矿、自动控制、物联网、云计算、大数据、人工智能等先进技术的智慧矿山建设将成为新时期煤炭行业创新驱动发展的重要主题。

智慧矿山概念是由 IBM 提出的“智慧地球”理念衍生而来。智慧矿山相较于自动化矿山、信息化矿山、数字化矿山,是一个技术更为先进的矿山发展阶段,是未来矿山企业发展的一个新方向。智慧矿山建设是一个多学科交叉融合的前沿研究领域,其理论性、技术性和实践性都很强。我国目前在这方面的研究还处于理论研究的起步阶段,一些学者已从智慧矿山定义、框架、关键技术、信息化标准等方面进行了探索研究^[3-11],但存在框架体系构建粗略、关键技术提炼不够完善等一些问题。鉴于此,笔者在总结分析目前我国矿山信息化建设存在问题的基

收稿日期:2017-12-11;责任编辑:赵瑞 DOI:10.13199/j.cnki.est.2018.02.030

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801804);天地科技股份有限公司智慧矿山专项资助项目(2016-ZHKSZX-01)

作者简介:陈晓晶(1981—),男,江苏南通人,高级工程师。E-mail:chxjmc@163.com

引用格式:陈晓晶,何敏.智慧矿山建设架构体系及其关键技术[J].煤炭科学技术,2018,46(2):208-212,236.

CHEN Xiaojing, HE Min. Framework system and key technology of intelligent mine construction[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(2): 208-212, 236.

基础上,探讨了智慧矿山建设的架构及其关键技术。

1 矿山信息化建设存在的问题

我国矿山的信息化建设经过 20 多年的发展,已经取得了显著的成效,但仍存在着诸多问题,主要体现在以下 5 个方面。

1) 缺乏信息化标准。在矿山信息化建设中,相关标准的制定非常欠缺,由此导致种类繁多的系统之间:数据描述、分类编码、存储格式差别很大;元数据标准各不相同;通信接口和传输协议不统一;信息集成方式也不一致等。

2) 缺乏多学科交叉应用。理想层面的矿山信息化系统应该是采矿、安全、地测、机电、通信、管理等多学科交叉融合的集成应用,这就需要有一个能搭载各学科知识应用的开放性公共平台,以实现集成各学科服务于一体,但目前尚未形成这样的平台^[12]。

3) 重硬件轻软件。我国矿山信息化实施案例中普遍存在重硬件轻软件的现象,据统计,煤炭行业在信息化建设投资中,硬件投入占比接近 70%,而软件投入仅在 20%左右,从而导致煤炭企业信息资源没有得到有效的开发,难以很好满足矿井实际生产的需求^[13]。

4) “信息孤岛”现象严重。目前矿山信息化相关子系统已实现了网络化集成,但是由于前述各种原因,各个子系统之间的数据共享与融合分析无法顺利开展,大部分停留在子系统单独进行数据分析的阶段,因此导致了大量“信息孤岛”的产生,信息技术的潜在优势尚未有效发挥^[13]。

5) 我国大型矿山企业管理层级基本上分为集团总部、分公司和矿井 3 个层级,由于各个层级建设的信息化系统不一致,客观上增加了信息化系统的复杂程度,从而导致管理效率不高,甚至有些矿山企业的信息化系统不但没有提升功效,反而增加了系统维护人员和相关支出^[2]。

2 智慧矿山建设架构

十八大会议精神要求“推动两化深度融合,坚持四化同步发展”,提出了《中国制造 2025》、《“互联网+”行动的指导意见》(2015—2018 年)行动计划,以促进制造业创新发展为主题,提质增效为中心,信息化与工业化深度融合为主线,推进智能工厂与智能制造,实现传统产业进行改造实现升级换代。

在国家政策的推动下,煤炭行业又有自动化、信息化、数字化的建设基础,我国煤矿必将逐步迈入智慧化阶段。

笔者认为,智慧矿山是基于物联网、云计算、大数据、人工智能等技术,集成各类传感器、自动控制器、传输网络、组件式软件等,通过主动感知、自动分析,结合深度学习的知识库,形成最优决策模型并自动执行,实现设计、生产、运营管理等环节安全、高效、经济、绿色的矿山。相比自动化矿山、信息化矿山、数字化矿山等发展阶段,智慧矿山阶段拥有更加精准全面的井上下环境感知能力、更加强大的网络互联设备、更加准确的多学科融合的智能应用,并将能有效改善目前我国矿山信息化建设中存在的诸多问题。为了智慧矿山建设工作的有序开展,必须对其架构体系进行顶层设计,笔者构想了智慧矿山建设架构,如图 1 所示。

1) 第 1 层:数据采集与执行层。此层的主要功能是进行矿山信息数据的采集以及决策信息的执行。主要包括综合自动化、环境监测、生产管理、安全管理、经营管理等系统中的信息采集、执行软硬件,其中:综合自动化系统包括开采、掘进、机电、运输、通风、水文、探测等与关乎矿山安全生产的几十种系统。

环境监测系统包括矿井安全监控、人员定位、矿压监测、粉尘监控、煤与瓦斯突出监测、防灭火监测、水环境监测、大气环境监测、声环境监测、固体废物处置监测、危险废物储存与处置、生态环境监测等方面的相关系统。

生产管理系统包括生产计划及调度管理、生产技术管理、机电设备管理、地测防治水管理等系统。

安全管理系统包括危险源管理、隐患排查管理、违章监督管理、质量标准化管理、应急救援管理、学习培训管理、特殊工种管理(瓦检员、放炮工、点检员等)管理、一通三防管理、安全生产状态动态诊断等系统。

经营管理系统包括 OA 办公、人力资源管理、财务管理、成本管理、物资供应管理、运销管理、仓储管理、合同管理等系统。

2) 第 2 层:传输层。矿井传输网络应按一体化原则进行统筹设计,形成一个由有线和无线传输构成的全覆盖网络。

3) 第 3 层:存储层。应基于矿山信息数据流全过程进行元数据规范化和标准化,并在保证数据安全

全的基础上可以采用云存储,实现对矿山信息的高效存储和管理;而且应构建基于统一开放平台的矿山安全生产与智慧决策分析专家知识库。

4)第4层:智慧决策与控制层。此层是智慧矿山建设架构体系中的核心层,应构建涵盖矿山生产运行所有环节的软件系统。除具备数据采集与执行层中相关系统数据的智慧处理分析以外,还应构建

矿山调度指挥通信、应急救援与演练系统。应充分利用云计算、大数据等先进技术,并结合多系统数据的多学科融合分析,实现对矿山安全生产的智慧决策与控制,并能自动执行决策与控制命令;同时应具备系统自学习功能,从而不断扩展、完善存储层中的专家知识库。

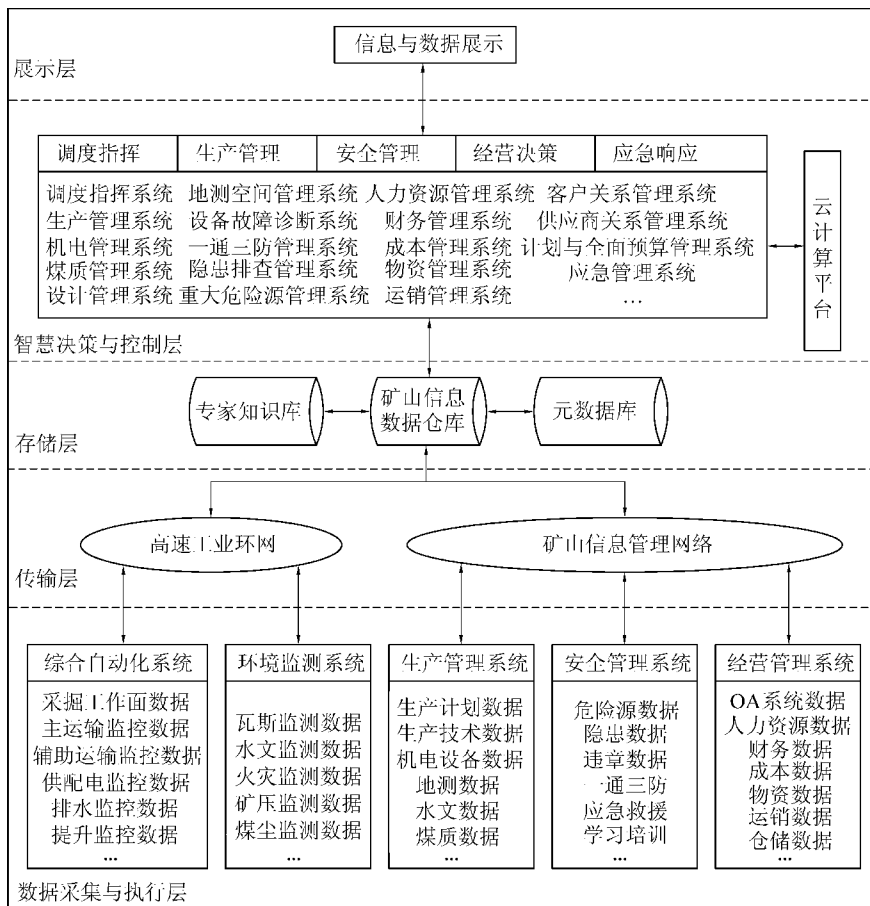


图1 智慧矿山建设架构

Fig.1 Framework of wisdom mine construction

5)第5层:展示层。通过虚拟现实、三维等技术,对经过处理的矿山信息利用固定或移动显示设备以及网络进行展示。

3 智慧矿山建设涉及的关键技术

当今世界科技的飞速发展智慧矿山建设提供了强大的技术保障。根据前述智慧矿山建设的架构体系,在煤炭行业智慧矿山建设过程中将会涉及的一些关键技术如下:

1)空间信息技术。在其他行业,以地理信息系统、定位、遥感技术为核心的空间信息技术,为快速实时获取“天空地一体化”的空间信息提供了有力

的保障^[14],矿山行业可以借鉴相关技术,并结合矿井办公自动化和调度指挥系统,实现矿山安全生产过程中数据的精准实时采集、融合分析、快速处理;形成统一的矿山信息管理机制、直观的三维可视化展现平台^[15]。

2)智慧采煤技术。我国煤炭行业,通过多年大力推行机械化、自动化装备,综采工作面装备目前已基本实现自动控制,其中有些甚至实现了智能化,但大部分装备依然处于单机自动化控制阶段^[3],智能采煤成套装备与技术还有待研究,相关研究内容包括煤岩界面智能识别技术、采煤机记忆割煤技术、设备感知及地面远程控制技术、惯性导航控制技术、工

作面视频监控系统、一键启停及保护系统、电液控制自动跟机系统、输送机控制系统、地理信息及煤层跟踪系统^[3,16]。

3) 矿山真三维地质模型与集成应用技术。随着矿井巷道的不断向前延伸,只有利用真三维地质模型对巷道设计、钻探、物探解释与实际测量等数据进行过滤与集成,并通过实时动态修正,才能实现井下最新真实状态的可视化再现^[17]。除此之外,有些矿井安全问题的仿真模拟与分析需要以构建地质体的有限元剖分模型为基础,动态真三维地质模型可以为之提供技术保障,再结合矿井环境、水文、矿压等监测系统的实时在线监测数据,便能实时对井下的危险程度进行评估^[18]。

4) 先进的矿用传感器技术。井下恶劣的环境条件致使矿用的传感器普遍精度偏低、工作寿命偏短,为满足矿山企业对在线实时监测数据的强制性需求,有必要研发精度和工作寿命更好的矿用传感器^[18]。值得一提的是:在煤矿采空区煤自燃监测方面,目前常用的是束管和光纤测温系统,这2种系统都存在不可避免的自身缺点,因此,非常有必要研发一氧化碳、二氧化碳、乙烯、乙炔、氧气和温度遥测传感器,实现在采空区附近就地可靠的监测煤自燃的发展变化趋势^[16];在水文地质的监测方面,需要对监测水化学参数的新型传感器展开研究。

5) 自动控制技术。矿山开采属于高危行业,减少井下作业人员的数量是有效遏制事故发生的重要手段之一,而广泛使用自动控制技术的装备是实现减人的有效途径。当前,对于煤矿生产运行的主要环节,已成功开发了包括采掘、供电、排水、运输、压风等多种自动控制装备系统,实现了记忆割煤、工作面少人作业、部分区域与设备的无人值守和地面远程控制^[19]。当然,还有待继续研制更多自动化控制的装备,以期实现无人开采。

6) 矿山数据仓库技术。矿山的安全、生产、经营管理等方面都会产生海量的数据,为便于数据的存储、更新、发布、检索、跨平台或系统的顺畅交互,必须对矿山数据分类组织、分类编码、元数据进行规范化和标准化,并构建完善的矿山信息数据资源目录^[18],形成统一的数据仓库技术。

7) 数据通信技术。通过研究制定便于矿山多网、多系统融合的通用通信协议;规范数据传输格式,使不同厂商的设备与系统能实现无缝互换,逐渐淘汰落后技术与装备,遴选出先进技术与装备,从而

保障数据获取的准确性与可靠性。煤矿井下环境恶劣、电磁干扰严重、数据传输路线长、高速光纤网络无法实现无盲区覆盖,因此,基于多种介质的异构网络传输技术,特别是低速传输链路限制下的高效数据传输调度算法,是改善井下数据传输实时性的重要研究内容。

8) 组件式矿山软件。在矿山设计、生产运行、经营管理、安全管理与决策等各个运行环节,矿山企业管理和技术人员都需要功能适宜的应用软件来辅助进行工作。为满足不同的应用场景的多样性需求,有针对性地开发功能合理的组件式软件是大势所趋。

9) 虚拟现实技术。利用虚拟现实技术实现的多源信息融合、交互式的动态三维可视化场景和实体行为体验,在大量领域均取得了令人瞩目的应用成果。在矿山行业,目前已成功研制基于虚拟现实技术的安全培训系统、开采模拟系统、车辆运行模拟系统、灾害过程模拟系统、三维地震可视化分析系统、带式输送机远程监控系统等应用系统^[20]。随着技术的不断进步,虚拟现实技术必将在矿井设计、生产管理、风险评价、安全管理与培训、数据可视化直观展现以及各类综合应用分析等方面提供更加完善的解决方案。

10) 云网融合技术。云网融合技术是一个将云计算与物联网进行融合的全新研究发展方向。通过物联网技术建立“人—人、人—物、物—物”互联的矿井传感网络、形成矿井信息高效获取与共享的合理机制;再融合具有强大计算能力的云计算技术,以及结合各类组件式矿山软件,将为矿山管理和技术人员对海量信息数据进行处理和分析提供高效的应用工具。

11) 基于大数据的智能决策技术。针对矿山企业信息数据海量性的特点,利用大数据技术,并采用图像识别、模式识别、关联准则以及时空序列分析等方法,来进行数据挖掘和提取有用知识十分有必要^[21]。以此为基础,再通过搭建矿山智能决策承载平台与深度学习的知识库,并结合多专业融合的分析模块,方能为矿山提供有效的智能决策服务。

12) 人工智能技术。随着科学技术水平的不断提升,人工智能理论与技术的应用领域越来越广泛。在矿山地质勘查、设计、生产、分选、安全评估、安全监测、事故预警、装备智能控制与故障诊断等领域,人工智能技术已经有了初步探索,但尚处在按预设

程序执行命令的阶段,因此,对系统自学习功能的研究还有待深入开展工作。完善的自学习功能将是真正实现智慧矿山的必要条件之一。

4 结 语

近年来,许多行业都掀起了“智慧化”建设的热潮,“智慧化”依然成为了继工业化、电气化、自动化、信息化之后,世界科技革命又一次迎来的新突破。我国煤炭工业经过多年科技攻关和工程建设实践,在信息化建设方面已经取得了许多积极的成果,但距离智慧矿山还存在较大差距。要实现少人采矿、甚至无人采矿,建设“智慧化”的矿山是一条可靠的途径。针对智慧矿山这一新兴概念,笔者提出了智慧矿山建设的5层架构体系,并对其涉及的相关关键技术进行了总结归纳,以期能为智慧矿山建设提供参考。

参考文献 (References):

- [1] 王显政.煤炭行业要主动适应新常态引领新常态[N].中国能源报,2015-11-25(15).
WANG xianzheng. The coal industry should take the initiative to adapt to the new normal and lead the new normal [N]. China Energy News, 2015-11-25(15).
- [2] 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.
- [3] 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):28-33,63.
HUO Zhonggang, WU Xianli. Development tendency of internet plus intelligent mine [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 28-33, 63.
- [4] 韩茜.智慧矿山信息化标准化系统关键问题研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2016.
- [5] 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.
- [6] 谭章禄,韩茜,任超.面向智慧矿山的综合调度指挥集成平台的设计与应用研究[J].中国煤炭,2014,40(9):59-63.
TAN Zhanglu, HAN Qian, REN Chao. Design and applied research, integrated dispatching platform for intelligent mine [J]. China Coal, 2014, 40(9): 59-63.
- [7] 雷高.智慧矿山建设的探讨[J].铜业工程,2013(4):43-46.
LEI Gao. Discuss the construction of the wisdom mine [J]. Copper Engineering, 2013(4): 43-46.

- [8] 张旭平,赵甫胤,孙彦景.基于物联网的智慧矿山安全生产模型研究[J].煤炭工程,2012(10):123-125.
ZHANG Xuping, ZHAO Fuyin, SUN Yanjing. Study on safety production model of intelligent mine base on internet of things [J]. Coal Engineering, 2012(10): 123-125.
- [9] 卢新明,尹红.数字矿山的定义、内涵与进展[J].煤炭科学技术,2010,38(1):48-52.
LU Xinming, YIN Hong. Definition, Connotations and progress of digital mine [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(1): 48-52.
- [10] 张申,丁恩杰,徐钊,等.物联网与感知矿山专题讲座之一:物联网基本概念及典型应用[J].工矿自动化,2010(10):104-108.
ZHANG Shen, DING Enjie, XU Zhao, et al. Part I of lecture of internet of things and sensor mine: basic concept of internet of things and its typical application [J]. Industry and Mine Automation, 2010(10): 104-108.
- [11] 张申,丁恩杰,徐钊,等.物联网与感知矿山专题讲座之二:感知矿山与数字矿山、矿山综合自动化[J].工矿自动化,2010(11):129-132.
ZHANG Shen, DING Enjie, XU Zhao, et al. Part II of lecture of internet of things and sensor mine: sensor mine, digital mine and integrated automation of mine [J]. Industry and Mine Automation, 2010(11): 129-132.
- [12] 赵小虎,邓园芳,慕灯聪.压缩感知技术在矿山物联网中的应用研究[J].煤炭科学技术,2016,44(7):69-72,79.
ZHAO Xiaohu, DENG Yuanfang, MU Dengcong. Applied study on compressed sensing technology to mine internet of things [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 69-72, 79.
- [13] 马昆,高顶,包慧玲.煤矿信息化现状及其发展探讨[J].煤矿机械,2011,32(3):10-12.
MA Kun, GAO Ding, BAO Huiling. Discussion on coal informatization condition and development [J]. Coal Mine Machinery, 2011, 32(3): 10-12.
- [14] 李德仁,姚远,邵振峰.智慧地球时代测绘地理信息学的新使命[J].测绘科学,2012(6):5-8.
LI Deren, YAO Yuan, SHAO Zhenfeng. New mission for surveying, mapping and geomatics in smart earth era [J]. Science of Surveying and Mapping, 2012(6): 5-8.
- [15] 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.
- [16] 孙继平.煤矿信息化与自动化发展趋势[J].工矿自动化,2015(4):1-5.
SUN Jiping. Development trend of coal mine informatization and automation [J]. Industry and Mine Automation, 2015(4): 1-5.
- [17] 吴立新,张瑞新,戚宜欣,等.3维地学模拟与虚拟矿山系统[J].测绘学报,2002(1):28-33.

(下转第236页)

- interference of frequency converter and restraining measures [J]. *Control Engineering of China*, 2013, 20(6): 1023-1026.
- [4] 冯新军, 王学锋, 刘井旭, 等. 交流变频系统对安全监控系统的谐波污染及抑制措施 [J]. *煤矿安全*, 2006, 37(1): 51-52.
FENG Xinjun, WANG Xuefeng, LIU Jingxu, *et al.* The harmonic pollution and restrain measures of AC variable frequency system for the safety monitoring system [J]. *Safety in Coal Mines*, 2006, 37(1): 51-52.
- [5] 孙继平, 任锦彪, 冯德旺, 等. 煤矿井下变电所电气设备电磁辐射特性的测试 [J]. *煤炭学报*, 2010, 35(5): 861-864.
SUN Jiping, REN Jinbiao, FENG Dewang, *et al.* The measurement on the electromagnetic radiation property of electrical equipment at transformer station in the underground coal mine [J]. *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(5): 861-864.
- [6] 孙继平, 王福增. 煤矿井下中央变电所内电磁干扰测试及分析 [J]. *工矿自动化*, 2010(4): 4-6.
SUN Jiping, WANG Fuzeng. Testing and analyzing of EMI in central substation of coal mine underground [J]. *Industry and Mine Automation*, 2010(4): 4-6.
- [7] 孙继平, 陈辉, 姜焯. 矿井电快速瞬变脉冲辐射特性研究 [J]. *北京理工大学学报*, 2013, 33(6): 628-633.
SUN Jiping, CHEN Hui, JIANG Ye. Radiation characteristics of electrical fast transient burst in coal mines [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2013, 33(6): 628-633.
- [8] 孙继平, 陈辉, 李琼琼. 矿井浪涌脉冲辐射电磁场研究 [J]. *北京理工大学学报*, 2011, 31(11): 1360-1364.
SUN Jiping, CHEN Hui, LI Qiongqiong. Radiated electromagnetic fields of surge current in coal mines [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2011, 31(11): 1360-1364.
- [9] 冯德旺, 兰建容. 皮带巷电动机暂态过程对电磁环境的影响 [J]. *北京理工大学学报*, 2014, 34(11): 1169-1174.
FENG Dewang, LAN Jianrong. Effect of motor transient process on electromagnetic environment in belt conveyor tunnel [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2014, 34(11): 1169-1174.
- [10] 陈辉, 田子建, 陆奎, 等. 煤矿井下水泵电动机辐射电磁骚扰测试研究 [J]. *微波学报*, 2016, 32(6): 27-31.
CHEN Hui, TIAN Zijian, LU Kui, *et al.* Radiated electromagnetic disturbance for the water pump motor in underground coal mines [J]. *Journal of Microwaves*, 2016, 32(6): 27-31.
- [11] PAN Tao, LIANG Hong. Analysis of electromagnetic interference from pantograph arcing with different trolley locomotive speed in coal mine tunnel [C]// *International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory*, Guilin, 2008.
- [12] ZHANG Hongwei. Analysis electromagnetic disturbance of feed switch in coal mine tunnels [C]// *International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)*, Changchun, 2013.
- [13] FRANCESCO Della Torre, ADRIANO Paolo Morando. Study on far-field radiation from three-phase induction machines [J]. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 2009, 51(4): 928-936.
- [14] GB 12668.3—2003, 调速电气传动系统 第3部分: 产品的电磁兼容性标准及其特定的试验方法 [S].

(上接第212页)

- WU Lixin, ZHANG Ruixin, QI Yixin, *et al.* 3D geoscience modeling and virtual mine system [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2002(1): 28-33.
- [18] 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.
- [19] 孙继平. 煤矿监控新技术与新装备 [J]. *工矿自动化*, 2015(1): 1-5.
SUN Jiping. New technologies and new equipments of coal mine monitoring [J]. *Industry and Mine Automation*, 2015(1): 1-5.
- [20] 张辉, 聂百胜, 许滕. 煤矿虚拟现实技术应用与发展 [J]. *煤矿安全*, 2016, 47(10): 118-121.
ZHANG Hui, NIE Baisheng, XU Teng. Utilization and development of virtual reality in coal mines [J]. *Safety in Coal Mines*, 2016, 47(10): 118-121.
- [21] 柳林, 李德仁, 李万武, 等. 从地球空间信息学的角度对智慧地球的若干思考 [J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2012(10): 1248-1251.
LIU Lin, LI Deren, LI Wanwu, *et al.* Thoughts on smarter planet from the view of geomatics [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012(10): 1248-1251.