

# 智慧矿山系统工程与关键技术探讨

徐 静<sup>1</sup>, 谭章禄<sup>2</sup>

(1. 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 中国矿业大学(北京) 管理学院, 北京 100083)

**摘要:** 针对矿山企业生产、经营管理特点及其信息化需求, 在自动化、数字化、智能化矿山的基础上, 阐释智慧矿山概念。基于智慧地球理念, 以透彻感知、深度互联、智能应用为核心特征, 通过对采矿系统工程及矿山工程价值链的分析, 构建了智慧矿山系统3层架构, 即物联网感知层、深度互联层和智能应用层, 研究了物联网化、互联化和智能化涉及的关键技术及其实现路径, 旨在构建智慧矿山理论框架和方法体系, 为智慧矿山工程实践提供参考。

**关键词:** 智慧矿山; 矿山物联网; 自动化矿山; 数字矿山; 感知矿山

中图分类号: TD67 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2014)04-0079-04

## Smart Mine System Engineering and Discussion of Its Key Technology

XU Jing<sup>1</sup>, TAN Zhang-lu<sup>2</sup>

(1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Management School, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** According to mining enterprise's production and management characteristics and information demands, the conception of smart mine based on automated mine, digital mine and intelligent mine was demonstrated. Based on the concept of smart earth, a smart mine was instrumented, interconnected and intelligent, which represents three core features. Then, smart mine system architecture including perception layer, interconnection layer and intelligent layer were built by theoretical analysis of mining system engineering and mine engineering value chain. Further, key techniques and its implementation path were discussed, so as to build theoretical framework and methodology for smart mine and provide guidance for smart mine engineering practice.

**Key words:** smart mine; mine internet of things; automated mine; digital mine; intelligent mine

## 0 引言

随着物联网、云计算等新一代信息技术的发展及其在地球科学领域的应用, 以透彻感知、深度互联、智能应用为特征的智慧地球(Smart Planet)理念应运而生, 智慧化成为继工业化、电气化、信息化之后世界科技革命又一次新的突破。由于地质采矿条件复杂、生产体系庞大、采掘环境多变等特点<sup>[1]</sup>, 矿山企业生产和经营管理也具有不同于其他行业的特殊性。因而, 在自动化矿山、数字化矿山的基础上, 迫切需要创新管理模式和技术手段, 建设绿色、智能和可持续发展的智慧矿山。笔者基于智慧地球的理念, 研究智慧矿山的内涵、架构、关键技术和路径, 旨在构建智慧矿山工程理论框架和方法体系。

## 1 矿山工程及其信息化发展历程

矿山工程是以矿产资源为基础, 在矿山进行资源开采作业的过程, 包括井塔、卷扬机、压风机、通风机等地面工程, 以及井巷、硐室等地下工程。采矿系统工程经过数十年的发展, 应用范围相当广泛, 已经深入到采矿工程的各个领域<sup>[2]</sup>, 如矿山地质系统、矿山规划与设计系统、矿山生产工艺系统、矿山管理系统等。采矿工程涉及面广、作业点分散、影响因素多, 矿山企业普遍具有生产环境的恶劣性、生产对象的不确定性和生产方式的传统性等缺点, 因此需要借助信息化技术作为技术支撑。

在早期的矿山自动化建设过程中, 矿山企业仅是在原有生产和经营管理格局上进行局部、简单的

收稿日期: 2013-09-11; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2014.04.021

作者简介: 徐 静(1981—), 女, 安徽宿州人, 博士研究生。Tel: 010-62754739; E-mail: xujinge@126.com

引用格式: 徐 静, 谭章禄. 智慧矿山系统工程与关键技术探讨[J]. 煤炭科学技术 2014 A2(4): 79-82.

XU Jing, TAN Zhang-lu. Smart Mine System Engineering and Discussion of Its Key Technology [J]. Coal Science and Technology 2014 A2(4): 79-82.

信息化系统构架,从而解决矿山企业生产运营所面临的关键问题。伴随着采矿科学、信息科学、人工智能、计算机技术和3S技术的发展,矿山行业逐步引入了遥控采矿、矿山数字神经系统、数字矿山、矿山物联网、智能采矿、感知矿山、智慧矿山等相关概念。

1999年,“国际数字地球”大会首次提出数字矿山概念。2000年,吴立新等<sup>[3-4]</sup>参考数字地球将数字矿山定义为对真实矿山整体及相关现象的统一认识与数字化再现。2003年,周强等<sup>[5]</sup>认为在数字化、信息化、智能化和虚拟化的基础上,需要建立一个协调运作系统,即矿山数字神经系统。关于数字矿山的其他描述还有:数字矿山是以空间信息为基础的矿山信息系统体系<sup>[6]</sup>;数字矿山是以计算机及其网络为手段,将矿山所有空间和有用属性数据实现数字化存储、传输、表述和深加工,并应用于各个生产环节与管理和决策之中<sup>[7]</sup>;数字化矿山是一个矿山范围内的以三维坐标及其相互关系组成的信息框架,并在该框架内嵌入所获得的信息总称<sup>[8]</sup>;数字矿山是真实矿山整体及其生产经营过程的全面数字化、信息化和可视化,是存储于计算机网络上并能供多用户访问和应用的一种虚拟矿山<sup>[9]</sup>。

2009年后,智慧地球理念促生了智能采矿、感知矿山、智慧矿山等概念。智能矿山的出处可追溯至1992年芬兰提出的智能矿山(Intellimine)计划,该计划涉及采矿过程实时控制、资源实时管理、矿山信息网建设、新机械应用和自动控制等28个专题<sup>[10]</sup>。我国古德生院士<sup>[11]</sup>于2004年曾指出矿山智能化主要指的是智能采矿,即采矿决策过程高度可靠、准确。中国矿业大学物联网(感知矿山)研究中心提出了感知矿山概念,指出其目标是将矿山信息全面数字化,将感知技术、传输技术、信息处理、智能计算、云计算等与现代采矿及矿物加工技术紧密结合,构成矿山人与人、人与物、物与物相联的网络,描述并控制矿山安全生产与运营的全过程<sup>[12]</sup>。关于智慧矿山(Smart Mine),卢新明等<sup>[13]</sup>认为智慧矿山是能够完成矿山企业所有信息的精准实时采集、网络化传输、规范化集成、可视化展现、自动化操作和智能化服务的数字化智慧体;张锋等<sup>[14]</sup>认为智慧矿山是充分应用信息通信技术,智慧的感知、分析、协同以应对企业在安全生产与经营活动中的需求,创造一个安全高效的矿山;张旭平等<sup>[15]</sup>认为在矿山物联网基础上,结合多网融合技术、智能融合分析技术等先进技术,利用云计算和超级计算机实现对海

量数据的整理和分析,完成矿山生产网络内的人员、机器、设备、物资、信息等的自动管理和控制,以实现智慧矿山。

归纳来说,矿山综合自动化、数字化是智慧矿山的基础。自动化系统通过自动化技术实现了无人采矿和遥控采矿;数字化实现了对真实矿山整体及相关现象的统一认识与数字化再现;智慧化则表现为矿山的高度信息化、自动化、智能化与高效安全开采,智能矿山、感知矿山、智慧矿山是数字矿山、矿山综合自动化等概念的升华。目前,矿山信息化在经历自动化、数字化发展阶段后,正迎来智慧化时代。

## 2 智慧矿山系统工程

智慧矿山是一项复杂的系统工程,它是矿山工程与先进的科学技术、管理理念、管理方式和管理手段,以及与3G移动互联网、光纤网络(FTTH)、物联网、云计算等新一代信息技术紧密结合的产物。智慧矿山描述了一种管控智能、安全可靠、经济高效、绿色环保和可持续发展的新型矿山信息化形态。

### 2.1 核心特征

智慧矿山伴随智慧地球而生,是“智慧”理念在矿山领域的具体应用。因而,智慧矿山以透彻感知(Instrumented)、深度互联(Interconnected)和智能应用(Intelligent)为基本特征,其目标是要实现更透彻的感知、更深度的互联互通、更广泛的智能应用。

1)更透彻的感知。物联感知是智慧矿山的基础。矿山企业是一个复杂的生产系统,综合机械化与自动化程度的不断提高,生产规模的不断扩大,以及生产管理与控制需求的增加,要求安装各类传感器,将物联网相关技术应用到矿山生产、经营和管理各方面,以实现对矿区的人(人员定位、无线通信)、设备(综合自动化)、环境(安全监控、矿压监控等)等数据的全面、透彻感知。

2)更深度的互联互通。现代矿山的传感检测系统、控制系统、管理与决策系统日益复杂化,需要借助网络通信、信息集成等技术,在系统内部以及系统与系统之间实现跨领域、跨时空的互联互通,使各系统及时、可靠、全面地获取所需要的各项信息,降低各部门和个人获取信息的成本。

3)更广泛的智能应用。矿山系统工程的复杂性需要在传统的控制理论和管理方法的基础上,结合人工智能、自动控制、运筹学、计算机科学、管理工程、模糊数学、神经网络理论、进化论、模式识别、信

息论、仿生学和认识心理学、人工生命学等其他学科的知识,建立一种更有效的智能控制和智能管理方法,实现智能化应用。

## 2.2 系统结构

智慧矿山系统围绕矿山系统工程的整个价值链,运用现代管理方法和新一代信息技术优化运行中的物质流、信息流、控制流、知识流、价值流,是覆盖矿山生产和经营管理各环节的复杂智慧系统。

根据智慧矿山的特征和建设内容,其总体框架应包括物联感知层、深度互联层和智能应用层,系统结构如图1所示。

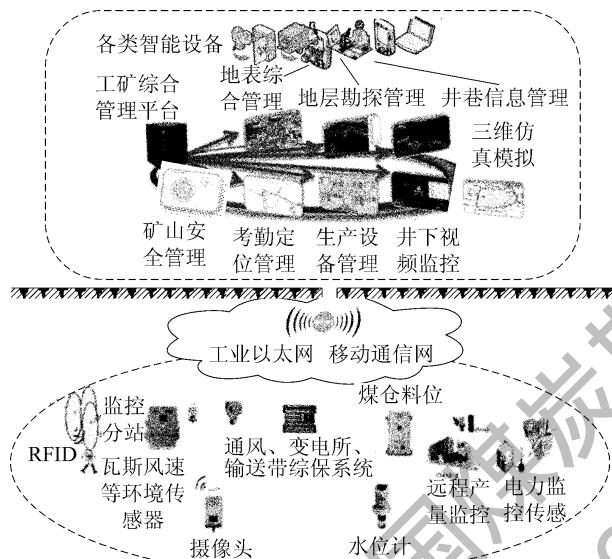


图1 智慧矿山总体架构

1) 物联感知层。物联感知层负责识别物体和采集信息。感知层设备由大量感知环境、机电、人员等信息传感器构成,如风速、风量、温度、转速、振动、电压、电流、功率等传感器,甲烷、CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、锚杆压力、钻孔应力、顶板离层环境等传感器,跑偏、堆煤、烟雾、输送带打滑等传感器,煤仓料位计、水位计等传感器以及摄像机、RFID人员定位系统等。这些传感器在矿区地面、井下构建了庞大的传感体系。

2) 深度互联层。网络互联层负责将来自物联感知层的各类信息通过基础承载网络传输到应用层。网络层设备主要有铺设在地面、井下的吉比特光环网、网络交换机、光电转换设备、路由器、防火墙、服务器等,以及用来实现无线覆盖的PHS或WiFi网络,共同构建了覆盖整个矿山的数据网络。

3) 智能应用层。智能应用层提供普适、敏捷和智能的服务。矿山智能应用系统包括综合自动化系统、人员管理系统、视频监控系统、应急指挥系统、调

度系统、矿区3DGIS系统、安全管理系统等。智能应用层软件提供各种通用的数据接口,以方便将提升机监控、安全监控、矿井通信、应急救援通信、视频监控、井下调度无线通信、大巷运输、选煤厂计算机控制、主通风机监控、压风机监控、中央泵房监控、工业电视等系统进行无缝链接,最后经过工业以太网平台传输到应用层上进行统一的管理,真正实现矿井“采、掘、运、风、水、电、安全”等生产环节的信息化、自动化和智能化,从而优化生产和经营管理。

## 3 智慧矿山关键技术及实现路径

智慧矿山可视为一个复杂的自感知、自调节的闭环系统,该系统包含感知、传输与互联、优化(或称智慧化处理)与反馈,以及复杂的信息流、控制流、知识流、价值流的协同优化。实施智慧矿山工程的关键在于物联化、互联化和智能化。

### 3.1 物联化

物联化是基于传感器将可见性扩展到矿山系统中,提供以前无法利用(不可用或数据收集成本过高)的新实时数据源。物联化层主要由各类传感器、致动器、可编程的逻辑控制器和分布式智能传感器组成,它以控制引擎为基础,具有大量实体基础设施。现代无线通信技术的应用意味着无需物理布线就可将传感器和致动器放在一个环境中。

矿山地质采矿条件复杂、生产体系庞大、采掘环境多变,需要应用物联网技术进行实时监测监控,获得更多信息。按照透彻感知的要求,矿山的自然对象、机械设备、各类系统都可植入感知器和数据提取装置,通过感知器反映对象的静态、动态属性。为保障矿山的安全生产,感知提取的信息应包括:①感知矿山灾害风险,实现各种灾害事故的预警预报;②感知矿工周围安全环境,实现主动式安全保障;③感知矿山设备工作健康状况,实现预知维修。

物联化关键技术和功能要求如下:①数据捕获和控制。集成大量传感器和设备;能够收集和移动数据;执行本地命令,采取行动;运行分布式操作逻辑。②管理分布式设备基础设施。能够管理设备和传感器;提供设备的远程配置和管理;能够监控和提供这些设备及其数据的安全性。

### 3.2 互联化

互联化旨在将各种输入数据映射到关注事件中的事件服务,这类数据可结合其他存在于整个矿山中的相关事件信息,形成丰富的数据源,用于改善决

策。互联化层由互联软件工具、各类互联模型和支撑智慧应用的软件包组成,通过各类通信设备将信息局部汇总、全局汇总,实现系统的按需组合、运算、优化,按照智慧性、广域性进行加工和关联,最后通过各类设备反馈给用户。

在一个矿山系统工程中,可同时存在成百甚至上千个控制系统,每个系统执行各自的专门任务。目前,全国矿山已基本完成了监测监控、人员定位、紧急避险、压风自救、供水施救和通信联络等系统的建设。为了有效监控这些领域,需要聚集所有的单独系统,将不同系统的监测数据进行有效集成,并在互联化层执行任务。

互联化关键技术和功能要求如下:①事件处理和服务。事件和流处理;数据识别、聚集和关联。②数据建模和集成。针对域的信息模型;可互操作的信息框架;与现有数据集成;联合数据管理。③流程整合。扩展现有系统,并启用新的业务流程;监控业务流程;为系统和人员提供信息。

### 3.3 智能化

智能化是数学算法和统计工具针对系统集成的进一步拓展。基于智慧应用软件和工具,智能化层可执行结果预测、场景建模和模拟,以辅助管理,使决策过程更加科学。

智能化的关键在于理解矿山业务需求,为矿山管理者提供工具和用户接口(访问应用程序和数据)。智能化主要体现在:①随需性,即按照用户的要求提供任何形式的服务;②普适性,即任何时间、任何地点的服务;③敏捷性,即提供操作可视、便捷的服务;④综合性,即按照复杂的计算模型和数学模型,给决策人员智慧的优化服务。根据这些特点,智慧矿山的应用端包括:计算机终端、电话、移动手机、智能终端、IPTV、电视、移动视频、三维图形终端、自然界模型终端等。

智能化关键技术和功能要求如下:①分析功能。针对域的分析应用程序和数学模型的应用程序设计;绩效指示板和关键绩效指标的确定。②业务优化。用于实现优化的模型业务流程;优化技术的应用程序;优化资产使用情况并简化业务流程;改善操作逻辑和业务规则。③业务流程服务。事件驱动SOA流程;动态传感和响应;企业应用程序集成。

## 4 结语

智慧矿山伴随智慧地球而生,是矿山系统工程

与先进的科学技术、管理理念、管理方式和管理手段,以及与3G移动互联网、光纤网络(FTTH)、物联网、云计算等新一代信息技术紧密结合的产物。以透彻感知、深度互联、智能应用为核心特征的智慧矿山,描述了一种管控智能、安全可靠、经济高效、绿色环保、可持续发展的新型矿山信息化形态,是新经济、新技术时代下,新型矿山企业转变发展方式、实现科学发展的必经之路。目前,我国正在逐步扩大智慧矿山工程实践的规模,实施了夹河煤矿、利国铁矿、中矿集团等一批智慧矿山示范工程,而关于智慧矿山的理论框架和方法体系仍有待完善。笔者基于对智慧矿山系统工程的理解,构建了智慧矿山的系统架构;基于智慧化的关键技术,提出了物联化、互联化和智能化的智慧矿山实现路径,以期为智慧矿山系统工程的建设提供参考。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 邵登陆,岳宗洪.采矿系统工程的发展现状与新趋势[J].中国矿业,2012,17(9):99-102.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 周强,许世范,孙继平.矿山数字神经系统研究[J].煤炭学报,2003,28(3):280-284.
- [6] 孙豁然,周伟,刘伟.我国金属矿采矿技术回顾与展望[J].金属矿山,2003(10):6-9.
- [7] 王青,吴惠城,牛京考.数字矿山的功能内涵及系统构成[J].中国矿业,2004,13(1):7-10.
- [8] 李白萍,赵安新,卢建军.数字化矿山体系结构模型[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2008,27(6):829-831.
- [9] 吴冲龙,田宜平,张夏林,等.数字矿山建设的理论与方法探讨[J].地质科技情报,2011,30(2):102-108.
- [10] Seppanen,Pukkila. Intellimine Research and Development[J]. World Mining Equipment,1993(11):15-16.
- [11] 古德生.地下金属矿采矿科学技术的发展趋势[J].黄金,2004,25(1):18-22.
- [12] 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):117-121.
- [13] 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.
- [14] 张锋,顾伟.物联网技术在煤矿物流信息化中的应用[J].中国矿业,2010,19(8):101-104.
- [15] 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.