

文章编号:1671-251X(2020)10-0061-08

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020030033

生产视角下的智能化矿山建设及关键技术探讨

罗明坤¹, 李胜², 范超军²

(1. 山西潞安矿业(集团)有限责任公司 技术中心, 山西 长治 046299;
2. 辽宁工程技术大学 矿业学院, 辽宁 阜新 123000)



扫码移动阅读

摘要:针对当前我国煤矿智能工作面建设存在的开采煤层厚度薄、普氏系数大、截割轨迹以记忆截割为主、对复杂地质条件适应性较差等问题,结合煤炭企业现场生产的大量经验和应用需求,提出了智能化矿山的层级化设计理念,将智能化矿山系统划分成感知控制层、通信层、数据层、应用层4个层级,明确了各层级的作用和建设内容,各层级彼此独立、相互依托。探讨了智能化矿山建设的关键技术,指出多源传感器体系搭建、井下复杂条件信息传输、智能化矿山云平台开发、安全生产系统构建、矿井设备智能联动控制、矿井智能应急处置等关键技术是智能化矿山建设的根本,尤其是云平台开发和安全生产系统构建是智能化矿山建设的核心。针对传统观念、资金筹集、人才队伍、技术难题等方面存在的问题,提出了相应的应对策略,倡导智能化矿山建设宜遵循“统筹兼顾、主次分明、模块建设、分步实施、基地示范”的建设思路,为煤矿智能化建设提供了参考。

关键词:智能化矿山; 层级化; 感知控制层; 云平台; 物联网; 大数据分析; 矿山透明地质体; 智能应急处置

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Discussion on construction and key technologies of intelligent mine from production perspective

LUO Mingkun¹, LI Sheng², FAN Chaojun²

(1. Center of Technology, Shanxi Lu'an Mining (Group) Limited Liability Company, Changzhi 046299, China; 2. College of Mining, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In view of existing problems in construction of intelligent working face of coal mine in China, such as thin thickness of mining coal seam, large Platts coefficient of mining coal seam, main cutting track is memory cutting, and poor adaptability to complex geological conditions, a hierarchical design concept of intelligent mine was put forward combining with a wealth of experience and application requirements of site production of coal enterprises. Intelligent mine system was divided into four levels, namely perception control layer, communication layer, data layer and application layer. At the same time, the functions and construction contents of each level were defined, each level is independent and relies on each other. The key technologies of intelligent mine construction was discussed, it is pointed out that many key technologies, such as multi-source sensor system construction, underground complex condition information transmission, intelligent mine cloud platform development, safety production system construction, intelligent linkage control of mine equipment, intelligent mine emergency response and so on, are the foundation of intelligent mine construction. In particular, cloud platform development and safety production system construction are the core of intelligent mine construction. In view of the traditional concept, fund raising, talent team and technical problems, the corresponding countermeasures

收稿日期:2020-03-11;修回日期:2020-09-22;责任编辑:张强。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801407);国家自然科学基金资助项目(51674132)。

作者简介:罗明坤(1989—),男,重庆开州人,工程师,博士后,现主要从事智慧矿山、瓦斯治理等方面的研究工作,E-mail:971081876@qq.com。

引用格式:罗明坤,李胜,范超军.生产视角下的智能化矿山建设及关键技术探讨[J].工矿自动化,2020,46(10):61-68.

LUO Mingkun, LI Sheng, FAN Chaojun. Discussion on construction and key technologies of intelligent mine from production perspective[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(10): 61-68.

were put forward. It is suggested that the construction of intelligent mine should follow the construction idea of "overall consideration, clear priorities, module construction, step-by-step implementation, base demonstration", which provides a reference for the construction of intelligent mine.

Key words: intelligent mine; hierarchy; perception control layer; cloud platform; Internet of things; big data analysis; transparent geological bodies of mines; intelligent emergency response

0 引言

当前,我国煤矿发展面临着生产成本、作业安全、从业人员短缺等诸多挑战,发展智能化、无人化开采技术,建设智能矿山,是我国煤炭资源开发,尤其是深部煤炭资源开采的必然选择。国家发展和改革委员会和国家能源局发布的《能源技术创新行动计划(2016—2030 年)》明确了能源技术创新的 15 个重点任务,其中重要任务就是“实现煤炭无害化开采技术创新,2030 年实现智能化开采,重点煤矿区基本实现工作面无无人化”^[1]。随着大数据、人工智能、区块链等技术的不断突破,传统矿山正加快向智能化矿山迈进^[2-3]。

现有矿井的基础设施建设已建成或部分建成了工业以太环网、无线网、专网、调度指挥中心、数据中心及各专业子系统^[4-6]。调度通信子系统可实现程控调度、无线通信、井下广播等功能。监测监控系统能实现安全监控、顶板压力、水文监控、人员管理等功能^[7]。自动化控制子系统能实现主副井提升、主煤流运输、水泵房、变电所、掘进工作面、采煤工作面等的远程控制^[8-10]。专业应用子系统能实现安全生产质量标准化、地测防治水、一通三防、采掘计划、机电设备等的初级模块化管理^[11]。现有生产矿井和在建矿井已基本实现了煤矿数字化,为煤矿智能化建设奠定了良好的基础,但从煤矿智能化的总体层面来看,还存在如下一些亟待解决的问题:

(1) 独立建设或重复建设。各子系统独立建设,未进行统一集成管理,业务流程缺乏梳理,存在大量信息孤岛,信息资源难以共享,重复建设问题较多。

(2) 缺乏统一标准。各子系统建设过程中未进行统一的顶层规划和设计,系统的可拓展性差,系统间的信息不易融合^[12]。

(3) 局部人工管控。各控制系统目前处于局部和有限控制,过程需要人为干预,尚达不到完全自动化,系统的稳定性和普适性有待进一步挖掘和优化^[13]。

(4) 缺乏智能分析。各系统采集的数据多数依靠经验判断、阈值报警,大多只是将某段时间内的数据绘制成趋势图进行简单分析,未进行快速联动、多

方融合、深度挖掘的综合智能分析,不易抓住问题的本质^[14]。

(5) 缺乏风险预警和应急救援。风险预警体系不超前,应急救援基本都是事后被动响应,响应速度有待提升。

陕西陕煤黄陵矿业有限公司一号煤矿率先完成了 1.4~2.2 m 煤层国产装备智能化无人综采技术研究与应用,在我国首次实现了地面指挥控制中心远程操控采煤作业^[15]。神华宁夏煤业集团有限责任公司、山西潞安矿业(集团)有限责任公司、山西焦煤集团有限责任公司、山东能源集团等各大企业陆续投入智能工作面建设中,截至 2019 年,全国已有 152 座煤矿建设成了 183 个智能化采煤工作面^[16]。然而,煤矿开采具有过程复杂、系统庞大、环境恶劣等特点,我国综采装备整体智能化程度不高,不能智能感知工作面地质条件变化,并通过智能分析决策系统进行装备及工艺的自适应调整,关键技术攻关不够,整体技术尚处于智能化开采初级阶段。当前我国煤矿的智能工作面建设存在如下特点:

(1) 开采煤层厚度薄。为了便于管理顶板,一般开采的都是小于 5 m 的可一次采全高的煤层,智能综采顶煤开采工艺还未见报道。

(2) 开采煤层普氏系数大。为了有效降低煤墙片帮的风险,开采煤层的普氏系数均较大,对软弱煤层的智能化开采还存在较多瓶颈。

(3) 截割轨迹以记忆截割为主。受煤岩界面识别技术不成熟、透明地质体模型精度不高的制约,采煤机截割轨迹仍然依靠记忆截割,有待进一步突破。

(4) 对复杂地质条件适应性较差。现有智能工作面均布置在无(或少)地质构造的区域。

(5) 系统构建有待进一步完善。智能工作面建设正处于初级阶段,对工作面综合智能分析较少,系统配套不足。

针对现有智能化矿山建设存在的问题,本文结合煤炭企业现场生产的大量经验和应用需求,完善了智能化矿山系统架构,提出了智能化矿山的层级化设计理念;研究了智能化矿山建设的关键技术,包括多源传感器体系搭建、井下复杂条件信息传输技术、智能化矿山云平台开发、矿山透明地质体模型、安全生产系统构建、矿井设备智能联动控制和矿井

智能应急处置;指出了智能化矿山建设中的问题及策略,为煤矿智能化发展提供了一定借鉴。

1 智能化矿山系统架构

智能化矿山系统架构采用层级化的设计理

念^[17],结构上必须具有统筹性、前瞻性、开放性、可拓性。按照功能和位置的不同,智能化矿山系统架构可划分为感知控制层、通信层、数据层、应用层 4 个层级,如图 1 所示。各个层级彼此独立、相互依托,从而形成有机的统一体。

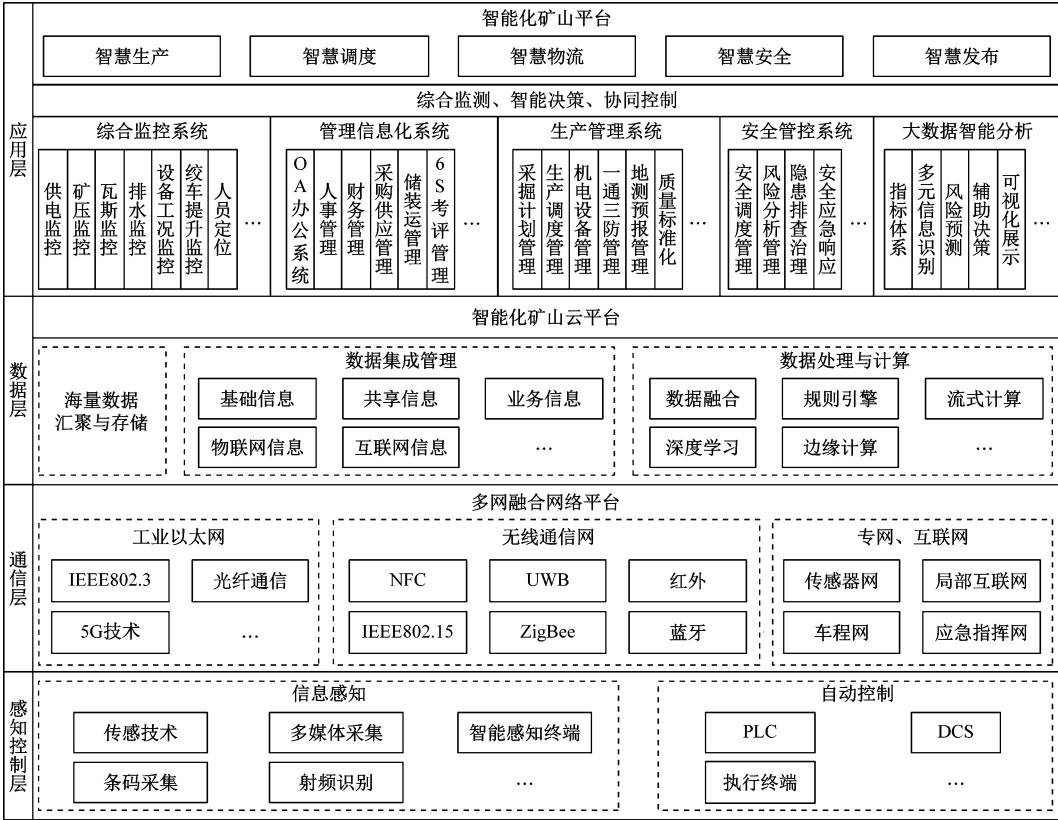


图 1 智能化矿山整体架构

Fig. 1 Overall framework of intelligent mine

感知控制层处在整个系统的最前端,它既是信息的收集者,也是动作指令的执行者。信息感知是整个系统的神经元,通过传感技术、多媒体采集、智能感知终端、条码采集、射频识别等方式将各类信息传递给通信层^[14,18-19]。自动控制单元是具体执行系统指令的执行终端,其关键技术包括 PLC (Programmable Logic Controller, 可编程逻辑控制器)、DCS (Dynamic Control System, 动态控制系统)等。

通信层是整个系统的信息高速公路,其任务是保证信息能够准确传递。智能化矿山系统要形成多网融合的网络平台。平台要达到多网并存、相互验证、相互弥补的目的,主要涉及工业以太网的升级^[20]、光纤通信的优化、5G 技术的引进和突破^[21]、无线通信网络的稳定性、各类专网的补充和完善。图 1 中无线通信网络中的 NFC 表示近场通信, UWB 表示超宽带。

数据层是云平台的基础,它将海量数据进行汇聚和存储,将数据按照基础信息、共享信息、业务信

息、物联网信息、互联网信息等集成管理,对数据进行简单的处理与计算,为数据的应用做准备。

应用层是整个系统的最终归宿,针对具体的业务、任务构建智能化矿山平台,实现智慧生产、智慧调度、智慧物流、智慧安全、智慧发布。综合监控系统实现对供电、矿压、瓦斯、排水、设备工况、人员定位等的实时监测,掌握井下人、机、环的实时状态。管理信息化系统要将 OA 办公、人事管理、财务管理、采购供应管理、地面仓储运管理、6S 考评管理、环保管理、后勤管理等系统融入到统一的管理平台^[22-23],实现协调管理。生产管理系统要实现采掘计划、生产调度、机电设备、一通三防、地测预报、质量标准化等方面的智能精准协同管理,从根本上杜绝各自为战、盲区现象的出现。安全管控系统要实现安全调度、风险分析、隐患排查治理、安全应急响应等方面的管控,结束安全员履职不全面、隐患填写形式化、应急响应无序等不良现状。大数据智能分析是智能化矿山先进性的具体体现,在建立完备的指标体系基础上,能够敏锐地识别人、机、环的多元

信息,预测安全生产风险,拟定解决方案,辅助决策^[24-25]。

2 智能化矿山建设关键技术

2.1 多源传感器体系搭建

传感技术是感知控制层信息感知的主要方式。传感器按照使用属性可分为人员参数、设备参数、环境参数、运维参数等几类。人员参数类传感器用于定位、通信、测距等;设备参数类传感器用于测量电流(气流、液流)、电压(气压、液压)、转速、扭矩、振动、位置、姿态等;环境参数类传感器用于测量 CH₄ 浓度、CO 浓度、O₂ 浓度、CO₂ 浓度、地应力、瓦斯压力、温度、湿度、涌水量等;运维参数类传感器用于测量信号可靠性、信号稳定性等。多源传感器体系搭建过程中,要用好现有传感器,合理布设;要改良缺陷传感器,优化设计;要研制新型传感器,适应矿山建设需求。总之,要最大限度地增加智能化矿山体系的“神经元”。

不同类型的传感器输出的信号形式各异,为了保证整个传感器网络的合理兼容和信息融合,需研发不同类型传感器的适配器,对传感器前端数据进行统一编码、统一标准、统一管理。

2.2 井下复杂条件信息传输技术

煤矿井下传输空间狭长、大功率电气设备电磁干扰复杂、粉尘容易聚集、空气潮湿等特殊环境给信息传输的准确性和稳定性带来了巨大挑战。信息传输技术要适应井下复杂条件的同时,还要满足高精度、大带宽、低延时等需求。

随着 5G 时代的到来,信息传输中的很多技术难题得到了突破。现代矿山所拥有的工业以太网、局部无线通信、专业子系统网络等多网并存结构为矿山信息传输奠定了良好的基础,煤矿可引进 5G 技术,结合矿山环境,搭建多网融合网络平台,打造与实际相匹配的智能化矿山信息高速公路。

2.3 智能化矿山云平台开发

2.3.1 云平台建设思路

智能化矿山建设的宗旨是安全、高效、绿色、智慧。安全方面,不仅是矿山本身安全,还有网络平台安全;高效方面,不仅是矿山生产高效,还有运算处理高效;绿色方面,不仅要开采绿色环保,还有网络绿色和谐;智慧方面,不仅是自动感知控制,还有拟人决策思维。这就要求矿山有一颗强大的“大脑”,具备自动分析处理能力,云平台则是这一切的基础。

目前,腾讯云、阿里云、百度云等云平台已经在物流、交通、金融等领域取得了较大突破,云服务的基本模式已经初步形成。智能化矿山云平台要以专

业采矿理论为基础,充分引进大数据、区块链、物联网、人工智能等先进技术,研究适用于煤矿开采实际的算法,实现拟人化的逻辑推理,达到煤矿开采过程中的生产管理、风险判识、故障诊断等目标。智能化矿山云平台架构如图 2 所示。

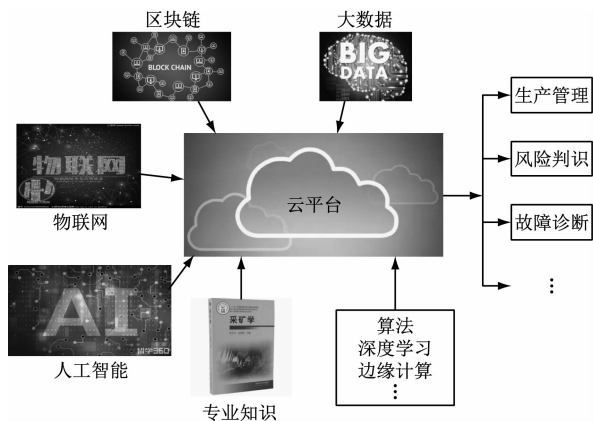


图 2 智能化矿山云平台架构

Fig. 2 Cloud platform framework of intelligent mine

2.3.2 云平台架构部署

标准体系构建是云平台建设的首要任务。所有的标准中,数据标准是最基础的,它必须开放性好、可拓性强,能够为多方数据融合提供保障,例如,数据的采集、分类、传输、存储标准必须统一。智能化矿山所有的应用服务都是在标准体系架构顶层设计下实现的,按照服务对象的不同,云平台应用可分为政府安监、集团公司、基层矿井等 3 个不同的层级,不同层级只需设置不同的权限即可。

政府安监应用服务能够从云平台直接获取最原始的数据,从国家安全监管及行业的角度对安全相关数据进行实时采集和分析,实现安全预警、安全审计、应急预案、应急指挥等功能。

集团公司应用服务能够从云平台获取集团关注的安全、生产、设备、运营等汇总数据,从而进行集团层面的分析报表、预测预警、应急调度等,便于协调各方资源。

基层矿井应用服务能够从云平台获取本矿安全生产的相关数据,通过数据实时分析、决策学习、综合判断等,实现有序生产、调度指挥、预测预警、应急管控、经营管控等功能。

2.4 矿山透明地质体模型

精准地质模型的构建是进行智能开采和智能管控的基础。智能工作面只有在精准的地质体模型下才能提前采取管控措施,精确调整采煤机姿态,提高采出率,降低含矸率。整个矿井只有在精准地质体模型下才能实施人、机、物的精细化管控。

地质勘探钻孔数据、瓦斯抽采钻孔数据、超前地质钻孔数据、各类高精度物探数据等资料是构建采

掘工作面地质体模型的重要支撑。 γ 射线探测、振动探测、雷达探测、截割力探测(如截齿应力、摇臂振动、电动机电流、调高油缸压力等信号)、图像分析探测等不同的煤岩界面识别技术可作为修正地质体模型的重要手段。大地坐标、地层标高、巷道布置信息等资料是构建整个矿井地质体模型的必要保证。

构建模型不难,使模型精准很难。为了构建精准模型,一方面要提高基础地测数据的精准度,另一方面需要革新地质体模型的构建方法。地理信息系统(Geographic Information System,GIS)具有强大的空间信息管理功能,建筑信息模型(Building Information Modeling,BIM)在建筑信息集成方面具有明显优势^[26-27],龙软“一张图”技术在图形管理上行业领先。将以上三者有机结合是一种可行的解决方案,GIS+BIM+“一张图”的智能化矿山透明地质体如图3所示。

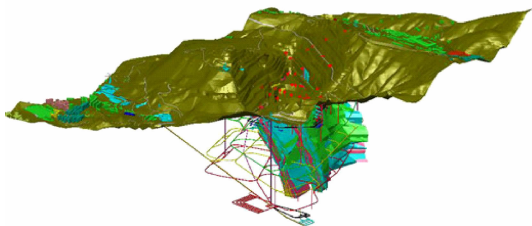


图3 GIS+BIM+“一张图”的智能化矿山透明地质体
Fig. 3 Transparent geological body of intelligent mine based on GIS+BIM+“one map”

2.5 安全生产系统构建

智能矿山的首要任务是建设智能化安全生产系统,这是应用层最核心的服务,尤其是智能综采工作面。生产、机电、通风、运输等模块是构建过程中的重点。

(1) 正规生产组织。智能采掘工作面的机组割煤管理一直是智能化矿山建设的热点,除此之外,顶板管理和排水管理也很重要。采煤工作面端头大面积空顶的常规管理,过陷落柱、断层等地质构造区域的特殊管理,破碎煤体的片帮管理,需要有相应的顶板智能管控方案。工作面自然来水和设备冷却水需要配套相应的智能排水系统。

(2) 机电管理。机电管理是智能开采的重要部分。首先,要做好采煤机、液压支架、通风机等主要设备的工况监测、隐患预测、故障诊断等工作。其次,要保证煤流系统运转的稳定性,解决例如胶带跑偏、胶带裂口、刮板输送机直线度、刮板输送机断链等问题。另外,要做好替代装备的改良和研发,例如水泵司机、胶带司机、瓦斯员等零散作业人员的岗位替代设备;工作面散落岩块、炭块、浮煤影响设备运转姿态,需要配套相应清煤装置或改良装备使其避

免漏煤;矿山巡检、矿山救援等特殊用途矿山智能机器人的研发。

(3) 通风管理。通风管理是矿井安全的重要保障。首先,利用云计算的优势,对矿井通风系统的稳定性进行智能解算,优化系统;其次,需做好瓦斯抽采动态参数管控,深入分析挖掘大数据,优化钻孔布置,提升治理效果;另外要做好防尘、防火、防突的智能装备升级及配套工作。

(4) 辅助运输管理。辅助运输管理是井下物流畅通的有力支撑。首先,做好箕斗、罐笼、绞车等牵引设备钢丝绳的智能无损监测;其次,研发单轨吊智能无损检测技术;最后,将无人驾驶技术引入井下,优化运载部署,降低运输成本和安全风险。

2.6 矿井设备智能联动控制

智能化矿山的智能体现在其自身的自主处置能力,而设备的联动控制是具体的着力点。根据智能化矿山平台的分析决策结果,需要通过手动、半自动、自动等多种方式对采掘工作面、通风系统、瓦斯抽采等设备参数进行反向智能联动控制,使其向良性方向发展。常规控制可进行自动控制,异常控制以手动控制为主。

智能联动控制决不能是随意的,需要通过快速模拟验证,保证可行之后再动作;同时,操作过程中要实时进行参数监控和现场监控,环环相扣,确保万无一失。

2.7 矿井智能应急处置

针对生产过程中所发生的事故或灾害,智能化矿山必须具备相应的应急处置能力。云平台智能分析系统获悉事件后,将以语音广播、短信、分析报告等形式发送给现场人员、管理人员、值班人员,从而进行应急指挥,安排应急队伍执行应急预案,以便及时妥善地处理各类事件。其中,参数超限、紧急事故、设备故障、意外故障等突发事件采取即时发送方式;重要数据、日常汇总等常规事件采用定时发送方式。智能化矿山应急处置流程如图4所示。

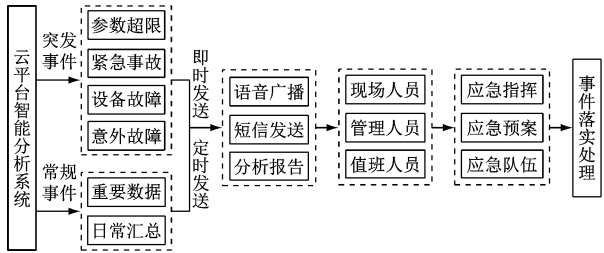


图4 智能化矿山应急处置流程

Fig. 4 Emergency disposal process of intelligent mine

采矿员应该配有采矿服。采矿服上应配备相应的智能穿戴装备,可实现视频通信、语音通信、抗冲击、甲烷—一氧化碳—氧气三合一浓度监测、人员定

位、井下导航等功能。这样个体安全防护得到了质的提升,各类信息传达也清晰精准,应急响应迅速且精准。

3 智能化矿山建设中的问题及策略

3.1 传统观念颠覆较难问题及策略

智能化矿山建设是一个漫长的过程,短期内的投入产出比小,导致部分企业投资积极性不高。同时,部分煤炭企业的生产模式和思维固化,对新鲜事物持保守态度。尽管部分煤炭企业、设备厂商、科研院所投入智能化矿山建设多年,但存在各干各的、各自为战的现象,存在很多重复建设,产品创新没有形成合力。因此,企业的体制、机制有待完善,要倡导长远发展观念。

纵观智能化矿山建设的整体框架,智能开采完全是以综合机械化采煤工艺为基础的,管控地点多,管控内容复杂,管控对象动态变化,管控难度极大,始终没有摆脱综采的影子,或许叫“综采+”更贴切。航天飞船、智慧工厂、无人驾驶等领域的智能化程度领先当前智能化矿山,对比发现,智能化要“管控环境透明化、管控对象集约化、管控方式多样化”才能良好运转。因此,智能化矿山条件下的采煤方法和工艺应向激光落煤、气化开采、化学开采的方向发展。

3.2 建设资金筹集不足问题及策略

智能化矿山建设的硬件、软件都需要巨大的资金投入。近年来,各煤炭企业在智能化重点项目建设方面的投入资金已达数十亿元,但离智能化矿山建设的总目标还很遥远,资金问题成为智能化矿山建设的较大“拦路虎”之一。另外,各家单位存在各自为战、重复投资的现象,国家拨款金额相对有限,智能化矿山建设的合力不足。

煤炭行业应重点选定智能化矿山建设示范单位,采取“重点攻关,逐渐推广”的策略。智能化矿山建设资金主要由 3 个部分组成:

(1) 国家级科技项目投入经费。如应加大国家重点研发计划项目、国家自然科学基金、国家重点实验室基金等国家级科技项目的经费投入。

(2) 税收优惠。进一步优化智能化矿山建设单位的税收优惠政策,减轻企业税收负担。

(3) 配套经费。智能化矿山建设是全行业的使命,相关企业应根据利润额的多少配套相应经费,主管部门出台配套政策。

3.3 专业人才培养队伍欠缺问题及策略

智能化矿山建设融合了采矿、安全、机电、地质、自动化、数学、力学、计算机等专业知识。研发、运

行、维护都需要理论功底强、编程水平高、现场经验足的高素质专业人才完成。科研院所、高校、企业都应组建自己的人才队伍,尤其是数学、软件工程人才。科研院所和高校以研发为主,企业主要起到本企业智能化矿山建设的业务牵头、业务管理、外界对接、技术研发等作用。

3.4 核心技术难题攻关困难问题及策略

(1) 云平台智能算法推演。智能化矿山的“智”体现在其具有“思考”能力,而这种能力依靠算法实现,它不是某个简单或复杂的数学公式,而是一个动态的复杂系统。不同的子系统其算法肯定不一样,同一子系统,关注点不同,其算法肯定也不一样。因此,对于生产、安全、通风、运输、供电等不同的子系统,要加大专家库的构建,从其运行规律、作用机理、评价指标、管理方法、生产标准化等方面深入研究。

(2) 现有子系统升级改造。现有的通风管理、瓦斯抽采管理、安全避险系统、监测监控系统等诸多子系统已为智能化矿山建设奠定了良好的基础,但各子系统与智能化矿山目标系统的兼容性、技术落后性是主要问题,应按照智能化矿山建设的统一标准,加强对现有子系统的升级、改造、融合工作。

(3) 智能工作面配套完善。智能工作面已经实现采煤机远程调姿、割煤、行走等功能,液压支架已基本实现远程电液控制,但系统配套的完善难题较多,如采煤机煤岩识别,液压支架的跑冒滴漏、安全阀状态、连接耳状态、连接销状态、立柱状态等全面监测,刮板输送机的刮板松动监测、直线度控制、块煤堵塞刮板输送机的自动处置,端头端尾大面积顶板管理。

4 智能化矿山建设思路

智能化矿山建设的思路可用“统筹兼顾、主次分明、模块建设、分步实施、基地示范”这二十字方针来体现。

(1) 统筹兼顾。统筹兼顾是智能化矿山建设的首要原则,智能化矿山自上而下的系统架构有助于建设过程的统筹实施。

(2) 主次分明。安全、生产、经营是智能化矿山建设的主线,这是重点攻关的方向,例如,应优先实施综采工作面智能化建设。

(3) 模块建设。智能化矿山应用层的每个应用即为一个模块,模块化建设是系统可拓性的具体体现。

(4) 分步实施。智能化矿山建设并非一朝一夕,按照技术水平发展规律,智能化矿山势必会经历监测监控(初级)、人为干预(中级)、智能处置(高级)

等不同阶段,各阶段逐步实施。例如,率先实现变电所、排水泵房、局部通风机、压风机房等的无人值守,逐步实现主煤流系统、地面瓦斯抽放泵站、地面主要通风机房、主副井摩擦提升机房集中智能控制,最后实现全矿井智能开采。

(5) 基地示范。示范就是任务书,要“创造百家争鸣的态势,树立重点攻关的导向,形成优势互补的格局”,各单位各具特色,树立示范典型,才能推动行业稳步向前发展。

5 结论

(1) 智能化矿山是煤炭行业发展的必然趋势,同时也是现在行业内及今后相当长时间内的研究热点。煤炭企业、科研院所、高等院校等不同性质的单位均不同程度投入到智能化矿山建设中来,整个行业内呈现出百家争鸣的良好态势。

(2) 智能化矿山适合采用层级化的可拓设计,系统划分为感知控制层、通信层、数据层、应用层4个层级,各层级彼此独立、相互依托。

(3) 智能化矿山建设涉及多源传感器体系搭建、井下复杂条件信息传输、智能化矿山云平台开发、安全生产系统构建、矿井设备智能联动控制、矿井智能应急处置等多项关键技术。

(4) 智能化矿山建设过程中还存在传统观念颠覆较难、建设资金筹集不足、专业人才培养欠缺、核心技术难题攻关困难等问题亟待解决。

(5) 智能化矿山建设宜遵循“统筹兼顾、主次分明、模块建设、分步实施、基地示范”的思路,全行业要长期团结起来,共同推动智能化矿山稳步向前发展。

参考文献(References):

[1] 葛世荣,郝尚清,张世洪,等.我国智能化采煤技术现状及待突破关键技术[J].煤炭科学技术,2020,48(7):28-46.
GE Shirong, HAO Shangqing, ZHANG Shihong, et al. Status of intelligent coal mining technology and potential key technologies in China [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(7): 28-46.

[2] 王国法,王虹,任怀伟,等.智慧煤矿2025情景目标和发展路径[J].煤炭学报,2018,43(2):295-305.
WANG Guofa, WANG Hong, REN Huaiwei, et al. 2025 scenarios and development path of intelligent coal mine [J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(2): 295-305.

[3] 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 intellimine with support from IoT [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(3): 357-365.

[4] 杨俊哲,陈苏社,王义,等.神东矿区绿色开采技术[J].煤炭科学技术,2013,41(9):34-39.
YANG Junzhe, CHEN Sushe, WANG Yi, et al. Green mining technology of Shendong Mining Area [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 34-39.

[5] 韩建国.神华智能矿山建设关键技术研发与示范[J].煤炭学报,2016,41(12):3181-3189.
HAN Jianguo. Key technology research and demonstration of intelligent mines in Shenhua Group [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(12): 3181-3189.

[6] 王爱国.大同矿区千万吨级综放工作面智能控制关键技术现状及展望[J].同煤科技,2019(5):1-4.
WANG Aiguo. The present situation and prospect of intelligent control key technology of ten million ton fully mechanized caving face in Datong Mining Area [J]. Datong Coal Science & Technology, 2019(5): 1-4.

[7] 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 on integrated dispatching platform for intelligent mine [J]. China Coal, 2014, 40(9): 59-63.

[8] 王国法.综采自动化智能化无人化成套技术与装备发展方向[J].煤炭科学技术,2014,42(9):30-34.
WANG Guofa. Development orientation of complete fully-mechanized automation, intelligent and unmanned mining technology and equipment [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(9): 30-34.

[9] 王国法,李占平,张金虎.互联网+大采高工作面智能化升级关键技术[J].煤炭科学技术,2016,44(7):15-21.
WANG Guofa, LI Zhanping, ZHANG Jinhua. Key technology of intelligent upgrading reconstruction of Internet plus high cutting coal mining face [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(7): 15-21.

[10] 张良,李首滨,黄曾华,等.煤矿综采工作面无人化开采的内涵与实现[J].煤炭科学技术,2014,42(9):26-29.
ZHANG Liang, LI Shoubin, HUANG Zenghua, et al. Definition and realization of unmanned mining in fully-mechanized coal mining face [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(9): 26-29.

[11] 吕鹏飞,郭军.我国煤矿数字化矿山发展现状及关键

- 技术探讨[J]. 工矿自动化, 2009, 35(9): 16-20.
- LYU Pengfei, GUO Jun. Discussion on development situation and key technologies of digital mine in China [J]. Industry and Mine Automation, 2009, 35(9): 16-20.
- [12] 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.
- [13] 王梦佳, 王雪彤. 数字矿山、智慧矿山、虚拟矿山的对比剖析[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(9): 183-185.
- WANG Mengjia, WANG Xuetong. The analysis and comparison of digital mine, intelligent mine and virtual mine [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2015, 38(9): 183-185.
- [14] 张申, 刘鹏, 张彭. 感知矿山物联网云计算应用探索[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(9): 72-75.
- ZHANG Shen, LIU Peng, ZHANG Peng. Applied discovery on cloud computation of sensory mine Internet of things[J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(9): 72-75.
- [15] 唐恩贤, 张玉良, 马骋. 煤矿智能化开采技术研究现状及展望[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(10): 111-115.
- TANG Enxian, ZHANG Yuliang, MA Cheng. Research status and development prospect of intelligent mining technology in coal mine [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(10): 111-115.
- [16] 王国法, 刘峰, 孟祥军, 等. 煤矿智能化(初级阶段)研究与实践[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(8): 1-36.
- WANG Guofa, LIU Feng, MENG Xiangjun, et al. Research and practice of intelligent coal mine construction(primary stage) [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(8): 1-36.
- [17] 何敏. 智能化矿山重要特征与实现途径[J]. 工矿自动化, 2018, 44(3): 31-35.
- HE Min. Important characteristics and realization ways of wisdom mine [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(3): 31-35.
- [18] 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, 36(12): 117-121.
- 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, 36(12): 117-121.
- [19] 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, 36(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, 36(11): 129-132.
- [20] KWITOWSKI A J, MAYERCHECK W D, BRAUTIGAM A L. Teleoperation for continuous miners and haulage equipment[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1992, 28(5): 1118-1125.
- [21] DEVRIM U, MOHAMMAD H, MEHMET S K. Policy specification and verification for blockchain and smart contracts in 5G networks [J]. ICT Express, 2020, 6(1): 43-47.
- [22] 徐静, 谭章禄. 智能化矿山系统工程与关键技术探讨[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(4): 79-82.
- XU Jing, TAN Zhanglu. Smart mine system engineering and discussion of its key technology[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(4): 79-82.
- [23] 李梅, 杨帅伟, 孙振明, 等. 智能化矿山框架与发展前景研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(1): 121-128.
- 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.
- [24] 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, 41(3): 1-5.
- SUN Jiping. Accident analysis and big data and Internet of things in coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(3): 1-5.
- [25] 杨真, 郭昌放, 王静宜, 等. 由数据驱动的智能矿山建设研究[J]. 中国煤炭, 2019, 45(11): 41-48.
- YANG Zhen, GUO Changfang, WANG Jingyi, et al. Research on construction of intelligent mine driven by data[J]. China Coal, 2019, 45(11): 41-48.
- [26] 张佼, 赵康. 基于 BIM 技术的智慧化矿山建设内容[J]. 陕西煤炭, 2019, 38(5): 57-60.
- ZHANG Jiao, ZHAO Kang. Research on the intelligent mine construction based on BIM technology[J]. Shaanxi Coal, 2019, 38(5): 57-60.
- [27] 高家奎, 殷大发. 基于 GIS+BIM 的煤层气发电站智能化综合管控平台构建研究[J]. 能源与环保, 2020, 42(4): 137-140.
- GAO Jiakui, YIN Dafa. Research on construction of intelligent integrated control platform for coalbed methane power station based on GIS+BIM[J]. China Energy and Environmental Protection, 2020, 42(4): 137-140.