

# 构建树型生态系统 助力智能化煤矿安全高效发展

符如康 段建涛 刘助民 王岩 张豪



## 符如康

教授级高级工程师，现任河南能源化工集团永煤公司城郊煤矿机电副矿长

获得河南省青年岗位能手、河南省百名职工技术英杰、河南能源劳动模范、商丘市新长征突击手、永城市五一劳动奖章等荣誉称号。提出了煤矿新型岩巷智能化连续排矸系统关键技术，解决了煤矿岩巷连续运输排矸的技术难题；建立了先进的中厚煤层综采工作面快速回撤关键技术体系，为矿井的安全高效发展提供了有力保障；主持开展“永城矿区矿井综合自动化技术”“采掘机电运输规范化、统一化、精细化技术标准”等相关技术、标准体系的研究与制定工作。主持编写了《矿井维修钳工》教材，发表学术论文20余篇。

“十四五”期间,我国生态文明建设进入了以降碳为重点战略方向,推动减污降碳协同增效,促进社会经济全面向绿色转型,实现生态环境质量改善由量变到质变的关键时期。2020年9月,习近平总书记在联合国大会上提出中国将力争2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和的重大战略决策。在新发展阶段,贯彻落实达到“碳达峰、碳中和”的战略目标,加快经济社会发展全面向绿色转型,对我国实现高质量发展、全面建设社会主义现代化强国具有重要意义。

能源是社会发展的基础,能源开发和利用的技术进步是人类社会文明发展的重要标志。目前,化石能源仍然是我国的主要能源,2020年,我国能源消费总量中非化石能源消费比例不足16%,煤炭仍在我国能源结构中占有较大比例,且短时间内难以取代<sup>[1]</sup>。随着中国煤炭经济的不断发展,只有构建煤矿智能化的树型生态系统,使人员从劳动型向技能型、智能型转变,消除煤炭生产、利用对环境产生的负效应,实现安全高效绿色智能开采和清洁高效利用,积极探索构建一套煤矿树型生态系统体系,引导智能化煤矿企业向绿色低碳发展,激发智能化煤矿企业转型的内生动力和创新活力,形成一批可复制、可推广的树型生态体系模式,对推动我国“碳达峰、碳中和”目标的如期实现具有重要的现实意义。

## 国内外智能化煤矿主要技术现状

### 国外智能化煤矿技术现状

中国、美国、印度、澳大利亚、印度尼西亚、俄罗斯是世界排名前6位的产煤大国。美国、德国、澳大利亚等国家以露天开采为主,其中美国露天煤矿开采产量所占比例达70%以上。国外率先研发了先进的智能化连续开采系统,大幅提高了开采效率,其中以澳大利亚的LASC技术和美国的

IMSC技术为代表。澳大利亚的LASC技术采用高精度光纤陀螺仪和定位导航算法,可实现采煤机的三维空间定位、自动工作面调直和自动调高控制、3D虚拟的远程可视化控制等功能;美国的IMSC技术可实现远程监控煤矿设备运行,将报警、故障信息通过发邮件或电话的方式通知矿井工程师进行调整,实现智能化煤矿的安全生产。

### 我国智能化煤矿技术现状

目前,我国煤炭智能化开采关键技术仍有待攻关,安全保障面临较大压力,生态系统还不够完善,主要开采技术还需不断改进与提升<sup>[2]</sup>。2015年以来,我国煤矿智能化开采技术取得快速发展,中东部地区煤矿的生产工作面装配了电液控装备及控制技术,但受现场地质环境多变性影响,需人为干预方能实现远程控制;距离全面实现“无人值守、有人巡视、远程监控”还有一定差距,主要体现在智能化树型生态系统建设不均衡、不完善,严重制约了智能化矿井的高效安全开采和绿色低碳发展,因此,构建均衡完善的系统势在必行。

## 智能化煤矿树型生态系统架构

### 智能化煤矿树型生态系统简介

智能化煤矿整体可视为一个智能物联网生态系统,从技术架构上看,典型的物联网可分为感知层、传输层和应用层。智能化煤矿树型生态系统主要分为树根、树干和树叶3个部分,如图1所示。

1) 树型生态系统树根部分。树根部分为煤矿数据采集及生产控制,利用各类传感器采集矿井各类信息,通过执行机构实现现场控制,并将信息传输给树干。

2) 树型生态系统树干部分。树干部分为煤矿数据传输和处理存储,由各种工业网络、有线和无线通信网络、服务器、云计算数据中心等组成,负

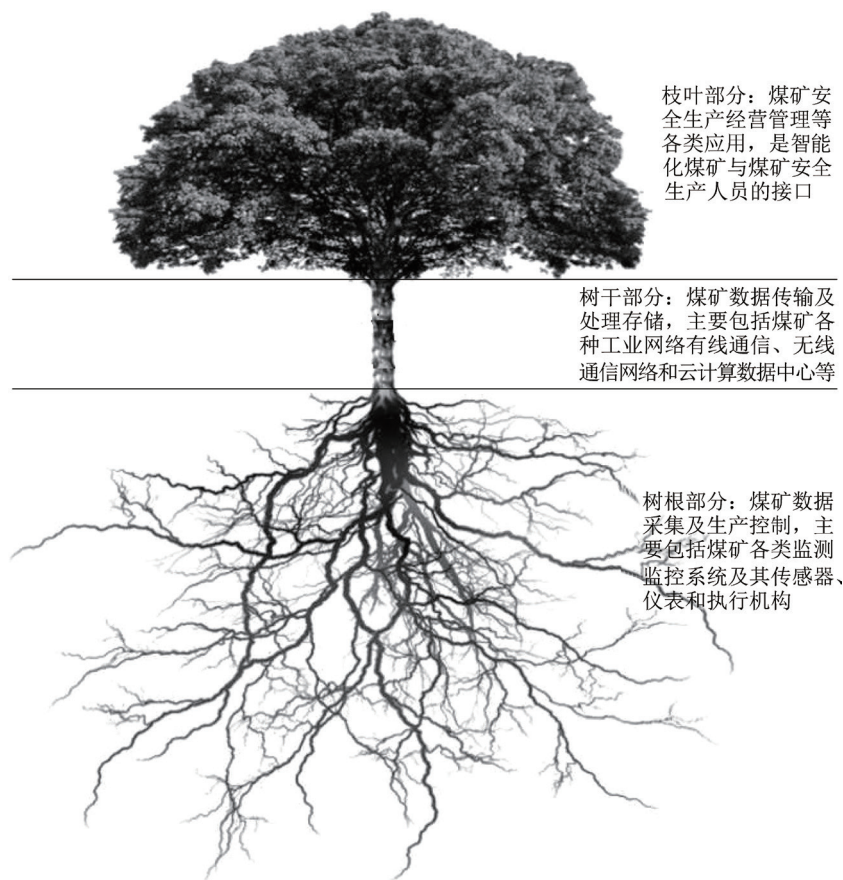


图1 智能化煤矿树型生态系统架构示意

责传递和处理数据信息，树干传输过来的养分经过一系列的处理可转变成枝叶。

3) 树型生态系统枝叶部分。枝叶部分为煤矿安全生产经营管理等应用，枝叶是智能化煤矿与煤矿安全生产人员的接口，与煤矿安全生产管理人员及职工的需求相结合，以实现煤矿智能化应用的需求。

### 树根——煤矿树型生态架构的智能感知与控制层

智能化煤矿生态系统的树根部分，主要实现基础数据的采集及生产控制等功能，包括煤矿各类监测监控系统及传感器、仪表和执行机构等。根据系统构成、技术实现和功能侧重的不同，可分为环境监测和智能控制2类。

1) 环境监测类。主要是人员位置、瓦斯抽取、矿压、矿井水文、自然发火(束管)、冲击地压、井筒安全、环保、产量等监测系统。此类系统

本身不存在控制需求或需求相对较少，系统类别已基本能够满足需要；但系统采集的数据精度和广度存在缺陷，且随着各类传感器的增加，巷道内缆线增多，其安装维护工作量随之加大，造成矿井投资及维护成本加大。

2) 智能控制类。主要指采煤工作面、掘进工作面、主通风、压风、主排水、主井提升、副井提升、主煤流、供配电、瓦斯泵站、架空乘人装置、主斜巷绞车、轨道运输、单轨吊运输、无轨运输、局部通风机、注浆、供水、选煤厂自动分选、自动储装运等监控系统。此类系统本身需要实现远程控制或无人自动控制功能，现阶段只有少数系统能够实现无人值守、有人巡视和远程监控功能。

各类监测、监控系统通过传感器采集煤矿现场的瓦斯、一氧化碳、温度、振动、压力、流量、速度、液位、质量、人员信息、视频画面、各类开关量等数据，局部汇总至现场的控制箱、分站、网关



等设备,实现了智能化煤矿树型生态系统的智能感知和控制。

### 树干——煤矿树型生态架构的互联互通传输层

智能化煤矿生态系统的树干部分,主要实现数据的传输、处理及存储等功能,包括煤矿各类有线和无线通信网络、网络安全设备和数据中心。煤矿通信采用有线和无线、固定和移动、有源和无源相结合,并通过基站、分站、交换机与数据中心连接,实现矿井固定和移动设备设施监控数据、语音、视频、人员等多种信息相融合,在保障数据安全的前提下做到全方位地互联、互通。

1) 通信网络技术。有线网络应采用带冗余功能的千兆或千兆以上的工业光网络,可采用工业以太网技术、F5G技术进行组网;无线网络可根据实际情况由4G、5G、WiFi6、UWB等组成。

2) 数据中心云架构。矿井智能控制类系统存在毫秒级控制反馈的需求,需在矿井本地建设数据中心,数据中心应采用虚拟化、集群、负载均衡、超融合架构、分布式存储等技术,构建成稳定、可靠、高效的云计算架构,提高设备资源的利用率与可用性。

3) 综合管理平台。矿井综合自动化平台与矿井信息管理平台在云计算平台上划分成独立的计算单元、存储单元,并分别进行管理;此外,该平台需建立具备容灾功能的备份系统。

智能化煤矿树型生态系统由树干部分实现高效传输功能,树干部分的技术产品在树型生态系统发育最好,其网络通信和数据中心类产品从其他行业复制到煤矿相对简单,具有可借鉴的成熟经验。

### 枝叶——煤矿树型生态架构的应用层

智能化煤矿生态系统的树叶部分,主要实现煤矿安全、生产、经营、管理等功能,包括智能综合信息管控平台等应用。面向矿井生产管理与调度、生产过程控制管理、矿井安全监测监控和日常经营

管理等实现各类信息化应用,同时可基于智能终端实现移动互联应用与服务,最终实现应用资源的集成融合、智能联动与动态扩展,真正做到用数据进行管理、决策和服务。

1) 吸收补充养分。枝叶部分承担吸收养分、补充智能化生态系统的作用,其养分来自于矿井安全生产经营管理的各类信息,目前主要指各类暂未实现自动采集或自动生成的数据,如矿井勘探地质、水文水质、钻孔、瓦斯勘探、测量、设计资料、矿图资料、定期检测、检查资料、计划、验收、设备流转、配件材料、管理经验等数据。

2) 物联网应用。综合信息管控平台以地理信息系统为纽带通过微服务架构集成各类应用系统,面向煤矿采、掘、机、运、通防、地测、调度、防治水、人、财、物、产、供、销等专业的物联网应用,以管理流程信息为主线,通过管理制度化、制度表单化、表单信息化,实现所有数据的查询、分类、汇总、分析等功能,做到各专业、各系统之间数据的共享互通,可在多部门、多专业、多层空间业务进行数据展示,形成了煤矿设计、地质测量、调度、生产、安全、机电、通防、办公等主要安全生产经营环节的信息化传输和智能化管控。

智能化煤矿树型生态枝叶部分的智能综合信息管控平台是目前很多服务于煤矿企业集成厂商的重点主攻产品,其中包括中国移动通信集团有限公司也推出了煤矿互联网平台、煤矿智能管控平台。从技术层面上讲,社会现有技术已基本满足了智能化煤矿对应用的需求;从实践过程来看,IT技术与煤矿企业、煤矿服务企业的对接还需进一步深化融合。智能化煤矿网络通信架构如图2所示。

### 智能化煤矿树型生态系统亟待解决的关键问题

#### 智能化煤矿树型生态系统树根暂不发达

智能化煤矿树型生态系统树根部分存在的关键问题是:缺乏高可靠性、高精密的传感器及系统,

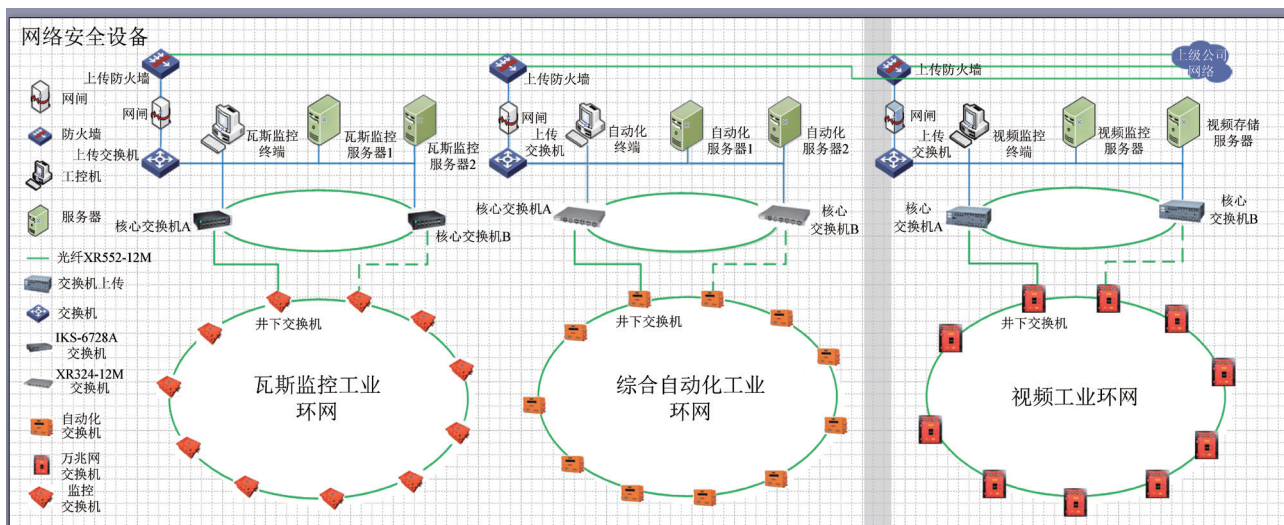


图2 智能化煤矿网络通信架构示意

同时，市场上难以采购到满足无人化、智能化运行和后期数据分析需要的，且数据采集齐全精准的相关系统，严重制约了煤矿智能化的发展。

1) 在采集精度上，煤矿环境信息、设备设施的状态信息未被完全采集，远控人机交互界面无法如实反映出煤矿状态，在远控和智控时，给生态系统运行埋下较大隐患；且灾害严重、地质条件复杂的矿井对传感器的精度要求更高。

2) 在装配成本上，物资采购、现场安装、维护时，在现有技术条件下将各类传感器装配齐全，需要很高的采购成本，且巷道内缆线海量敷设，会造成较大的维护工作量。

3) 在标准规范上，除煤矿安全监控系统外，矿井现有的其他监测监控各类系统在国家标准、行业规范上缺少明确的采集精度和广度要求。

### 智能化煤矿树型生态系统枝叶虚假繁荣

智能化煤矿树型生态系统枝叶部分存在的主要问题如下：与煤矿实际结合不紧密，服务于煤矿的智能化提供商技术人员缺乏煤矿工作经历，对煤矿了解深度不够，对系统的需求把握不清，难免在系统开发中出现偏差性问题。

1) 煤矿发展模式差异性大。煤矿一般远离城

镇，是一个相对封闭的区域式管理模式，各个煤矿管理模式大相径庭，但细节上又存在迥异，煤矿管理延续性相对较差，管理模式的继承性、标准性不强。

2) 厂商智能化产品质量差。智能化厂商提供的各类应用无法形成标准化产品，且存在每实施一个矿井即开发一套全新产品的现象，造成无法提供高质量的产品及技术服务，煤矿生态系统表面建设较好，但实际使用效果一般。

### 智能化煤矿树型生态系统技术解决方向及展望

1) 发展高精尖传感器技术。高精尖传感器的缺乏是制约智能化发展的一个瓶颈，传感器技术每突破一小步，工业智能化将会迈出一大步<sup>[3]</sup>。煤炭行业及设备厂商必须正视传感器技术的发展，创新突破传感器关键技术，方能夯实发展根基，确保生态系统枝叶各类智能应用的良好效果。在解决传感器精度的同时，必须考虑传感器的无线化、无源化问题，优化、简化安装维护工作，从而更好地适应煤矿的智能化发展。

2) 精心打磨高端服务工具。实现煤矿智能化不可能一蹴而就，智能化技术不能解决煤矿的所有问题，随着现代化技术的不断发展，对方便快捷的

服务期望越来越高,但容易忽视高端服务工具是不断完善积累的过程,其服务工具必须精心研发,在实践中不断改进升级,方能适应煤矿的安全发展,智能化煤矿方可发挥出应有作用。

3) 强化人才素养,提高工资待遇。现阶段,煤矿重视采、掘、机、运、通等传统专业,而信息化、智能化技术人才匮乏,工资待遇、晋升通道重视力度不够,煤矿信息化建设及运维架构过于依赖厂商;煤矿亟需加快解决人才培养问题,提升人才工资待遇,方能扭转煤矿人才缺乏带来的不利局面。

## 结 语

未来智能化煤矿绿色低碳发展将发生巨大变革,煤矿智能化物联网的树型生态系统的构建与研究,实现了从煤矿树型生态系统的树根、树干到树叶完整生态体系的构建,可在智能感知与控制技术、互联互通技术、实践应用等方面推动智

能化矿井建设。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,中国在2015年提出了“中国制造2025”的发展战略目标。这些目标侧重点各有不同,但都指出要用了新一代智能化技术来激活和改造煤矿企业,保持智能化树型生态系统的长期竞争力、生命力的不断增长,促进煤矿企业安全健康稳定和绿色低碳发展。

现阶段,努力做好我国“碳达峰、碳中和”工作,构建一套智能化煤矿树型生态系统体系,加强国家智能化煤矿的绿色低碳科技创新,持续深化煤矿树型生态系统的绿色低碳产业和技术研究,大力实施节能减排,全面推进清洁生产,加快发展循环经济,有助于完善智能化煤矿生产方式,形成绿色经济新动能和可持续增长,显著提升智能化煤矿经济社会发展,不断促进生态文明建设取得新成就,为我国全面建设社会主义现代化、智能化煤矿企业提供强大动力。

■ 责任编辑:赵 瑞



## 参考文献

- [1]符如康,张长友,张豪.煤矿综采综掘设备智能感知与控制技术研究及展望[J].煤炭科学技术, 2017, 45(9):72-78.
- [2]张飞,张豪.煤矿智能化掘进工作面装备技术研究与应用[J].煤矿机械, 2021, 42(11):155-158.
- [3]吴光润,张豪,时培源.煤矿主煤流运输智能化控制技术研究[J].能源与环保, 2021, 41(10):136-142.

## 热点问答

### 矿井水净化处理混凝剂投加量智能控制的关键技术有哪些?

①优化前端的预沉淀工艺,通过一级或多级沉淀的方式去除矿井水中的大颗粒悬浮污染物,使进入混凝沉淀(澄清)单元的水质波动幅度变小,控制在正常值 $\pm 50\%$ 范围内,为降低后续的药耗奠定基础;②混凝反应效果在线检测分析设备的应用,包括反应区图像识别分析,反应后矾花的粒径分析等,用于混凝剂投加量的实时调整;③调整混凝剂投加量的控制算法,实现投加量的多环智能控制系统,从传统的PID控制过渡到预测控制、模糊控制等现代先进智能控制算法;④在自动化投加的基础上,利用长期收集的基础数据信息,构建基于大数据处理和分析加药影响因素控制系统,形成具有自主分析和控制药剂投加系统。

——来源:《中国煤矿智能化发展报告》(2020年)