



煤炭科学技术

Coal Science and Technology

ISSN 0253-2336, CN 11-2402/TD

《煤炭科学技术》网络首发论文

题目：再论智能煤矿建设路线：人工智能 3.0 视角
作者：胡青松，钱建生，李世银，孙彦景
网络首发日期：2021-05-12
引用格式：胡青松，钱建生，李世银，孙彦景．再论智能煤矿建设路线：人工智能 3.0 视角．煤炭科学技术．
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20210512.1128.002.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

再论智能煤矿建设路线：人工智能 3.0 视角¹

胡青松^{1,2,3*}，钱建生^{1,2}，李世银^{1,2,3}，孙彦景^{1,2,3}

(1. 中国矿业大学 地下空间智能控制教育部工程研究中心，徐州 221116； 2. 中国矿业大学 信息与控制工程学院，徐州 221116； 3. 中国矿业大学 徐州市智能安全与应急协同工程研究中心，徐州 221116)

摘要：合理的建设路线是煤矿智能化技术落地应用的重要保障。指出智能煤矿=煤矿智能化愿景+人工智能 3.0 特征，只有实现了人工智能基本要素，才能让传统煤矿企业发展出“智能”；只有遵循煤矿企业发展规律、以煤炭行业高质量发展为愿景的人工智能，才能称为煤矿智能化。提出一套人工智能关键要素驱动的智能煤矿建设思路，它包括煤矿应用、计算能力、知识库、算法库和数据设施 5 大部分，简称 ACKADa (Application, Computing, Knowledge, Algorithm, Data)。应用平台包括一个大平台、若干小平台和 N 个子系统，数据设施包括感知网络、骨干网络、自动化改造与综合接入、大数据中心，计算能力包括边缘计算、云计算和部分大数据中心设施，算法库包括智能设备健康算法、智能采掘算法、智能定位导航算法、智能视频分析算法等，知识库包括周知型知识库和习得型知识库。相比其它建设方法，ACKADa 思路的建设内容更加完整合理，且具有理论上更易理解、实践中更易使用的优势，并能将综合自动化、矿山物联网、大数据、云计算、边缘计算等技术统一在一个井然有序的逻辑体系。

关键词：智能煤矿，人工智能，矿山物联网，综合自动化，大数据，云计算，边缘计算，端-边-云中图分类号：TD67;TP393 文献标志码：A

Re-discussion on the Construction Route of Intelligent Coal Mine: from the Perspective of Artificial Intelligence 3.0

HU Qingsong^{1,2,3*}，QIAN Jiansheng^{1,2}，LI Shiyin^{1,2,3}，SUN Yanjing^{1,2,3}

(1.Engineering Research Center of Intelligent Control for Underground Space, Ministry of Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou, 221116; 2.School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou, 221116 ; 3. Xuzhou Engineering Research Center of Intelligent Industry Safety and Emergency Collaboration, China University of Mining and Technology, Xuzhou, 221116)

Abstract: A reasonable construction route is an important guarantee for the application of intelligent technologies in coal mines. We point out that the intelligent coal mine = intelligent vision of coal mine + characteristics of artificial intelligence 3.0. A traditional coal mining enterprise can develop "intelligence" only by realizing the basic elements of artificial intelligence, and it can be called an intelligent coal mine only the artificial intelligence follows the development law of the coal mining enterprise and the high-quality development of coal industry. This paper puts forward an intelligent coal mine construction concept driven by key elements of artificial intelligence, which includes five parts: coal mine applications, computing infrastructure, knowledge base, algorithm base and data infrastructure, referred to as ACKADa (Application, Computing, Knowledge, Algorithm, Data). The application platform includes a large platform, several small platforms and N subsystems. The data infrastructure includes perception network, backbone network, automatic transformation and integrated access, big data center; computing infrastructure includes edge computing, cloud computing and some central facilities of the big data; algorithm base includes intelligent device health algorithms, intelligent mining algorithms, intelligent positioning and navigation algorithms, intelligent video analysis algorithms, etc.; the knowledge base includes the known knowledge base and the learned knowledge

¹ 基金项目：国家自然科学基金项目（51874299，61771474），国家重点研发计划（2018YFC0808302）

作者简介：胡青松（1978—），男，四川岳池人，副教授，博士。E-mail: hqsong722@163.com

base. Compared with other construction methods, the ACKADa concept is completer and more reasonable from the perspective of construction contents, and it is easier to understand in theory and easier to use in practice. Besides, such technologies as the integrated automation, Internet of Things, big data, cloud computing, edge computing can integrate into an orderly logic system.

Keywords: intelligent coal mine, artificial intelligence, Internet of Things, integrated automation, big data, cloud computing, edge computing, end-edge-cloud

0 引言

智能煤矿是继单机自动化、综合自动化、矿山物联网之后的又一次煤矿信息化浪潮,它融合了云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能(Artificial Intelligence, AI)等先进技术^[1],通过信息精准采集、网络化传输和规范化集成,实现全矿信息可视化展现,生产设备和生产过程自动化操作,进而为生产、安全、调度、人员定位、监测监控、灾害预警、智能排产提供智能化服务,并具有自学习自演化能力^[2]。

当前我国尚处于智能煤矿初级阶段^[3],以王院士为代表的专家学者从顶层设计^[1, 4]、框架结构^[5, 6]、关键技术^[7, 8]、开采模式^[9]、标准体系^[10, 11]、建设方法^[12]等方面开展了卓有成效的研究,颁布了国家层面的智能煤矿发展意见^[13],构建了智能煤矿建设和评价标准^[14],山东、山西、内蒙等煤炭大省制定了实施方案,并实施了智能工作面和智能煤矿示范工程。我们也在该领域进行了深入探索,提出了“3115”智能煤矿建设路线^[12],阐述了需要建设的主要内容和实施步骤,并依据该路线进行了大量工程实践。

尽管整个社会已初步形成政产学研用建设智能煤矿的合力,但是仍然存在一些质疑之声:(1)智能煤矿的框架结构太过复杂,要建设的内容太多,如何才能捋清这些建设内容之间的关系,以便在方案制定和实施过程中有条不紊?(2)智能煤矿的这些内容是否能够实现?应该怎么实现?

(3)有些厂家呈现的只是矿山物联网、综合自动化、数字矿山的内容甚至部分内容,但是也将之当作智能煤矿甚至智慧煤矿宣传,那么智能煤矿与这些技术到底存在什么区别?

显然,智能煤矿是人工智能在煤矿领域的应用和延伸,“智能”是区别于以往煤矿信息化发展阶段的核心要素。本文从人工智能 3.0 的内在特征和智能煤矿的发展目标出发,指出智能煤矿建设=煤炭产业高质量发展愿景+人工智能 3.0 特征,将智能煤矿与人工智能、大数据、云计算、综合

自动化、矿山物联网等技术纳入统一架构,构建起一套人工智能关键要素驱动的智能煤矿建设思路,即“煤矿应用”+“算力+知识+算法+数据”思路,简称 ACKADa(可读作“阿卡达”,意为 Application, Computing, Knowledge, Algorithm, Data)。

1 人工智能 3.0 与智能煤矿建设

智能煤矿是人工智能的一个垂直应用领域,智能煤矿建设应实现人工智能的核心要素,否则“智能”将无从谈起。因此,根据人工智能的核心要素对建设目标进行分解,明确智能煤矿的建设内容和实施步骤,是实施智能煤矿建设的一个可行方法。

1.1 智能煤矿愿景与人工智能特征

国家发改委和国家能源局在 2016 年发布的《能源技术革命创新行动计划(2016—2030 年)》中^[15],要求“提升煤炭开发效率和智能化水平,研发高效建井和快速掘进、智能化工作面”,到 2030 年,“全面建成安全绿色、高效智能矿山技术体系,实现煤炭安全绿色、高效智能生产。”国家发改委等八部委在 2020 年 2 月发布的《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》中指出“煤矿智能化是煤炭工业高质量发展的核心技术支撑”^[13],并确立了近期、中期、远期三个阶段目标,“推动智能化技术与煤炭产业融合发展,提升煤矿智能化水平”是智能煤矿建设必须遵循的指导思想。

目前,人工智能已历经三个发展阶段。第一代(人工智能 1.0)是知识驱动方法^[16],亦称符号主义,其核心要素是经验(知识)、算法、算力,代表性成果是专家系统。人工智能 1.0 虽然可以通过符号组合进行推理,但是获取知识的途径主要依赖人工,因此效率不高。

第二代(人工智能 2.0)是数据驱动方法,亦称连接主义,其核心要素是数据、算法、算力。人工智能 2.0 虽然借助深度学习获得了巨大成功,但是深度学习的“黑箱”特性降低了其解释性和

推广能力。更重要的是，深度学习处在特征空间，只能学到没有明确语义的“局部片段”，不能作为对象的内在语义表示。为此，必须以知识为引导，将感知信息从向量特征空间提升到符号语义空间。

可见，第一代和第二代人工智能均包含了算法和算力要素，第一代强调用知识去解决问题，第二代则强调从数据中发现规律。然而，机器直接学习知识虽然简单快捷，但是仅限于掌握既有知识，无法学到新的技能；从数据中慢慢提炼规律虽然能够不断进化，但有些知识可能永远无法正确学到，比如一些常识性知识。

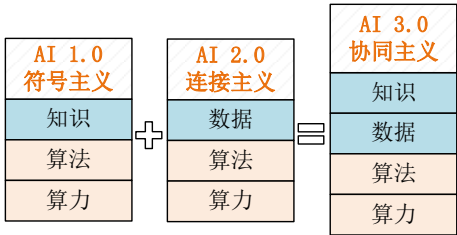


图 1 各代人工智能的核心要素

Fig.1 The core elements of each AI generation

人工智能 3.0 将知识和数据结合起来，构建

知识、数据、算法和算力 4 个基本要素（图 1）。

它能在利用旧知识的同时学得新知识，实现“感知-决策-行为-反馈”的闭环（包含了部分行为主义观点）^[17]，通过人机协同双重智能达到减人增效、降危保安的目的，因此可将人工智能 3.0 称为协同主义。

1.2 智能煤矿 ACKADa 建设思路

基于对人工智能要素特征和智能煤矿建设目标的认识，本文提出 ACKADa 建设思路，它以“提升煤矿智能化水平”为愿景，以“推动智能化技术与煤炭产业融合发展”为技术手段，通过构建数据设施、算力设施、算法库和知识库，实现人工智能的关键要素；通过构建一体化智煤矿管控平台和各类应用子系统，作为智能煤矿的人机协作界面和智能操控中心，见图 2。



图 2 ACKADa 智能煤矿建设思路

Fig.2 The ACKADa construction concept of intelligent coal mine

数据设施包括数据感知网络、骨干网络、自动化改造与综合接入和大数据中心，分别实现数据的分布式采集、集成传输、集中接入、统一存储，为智能计算和智能决策提供数据支持。算力设施由边缘计算资源和云计算中心组成，前者将感知节点采集的数据进行就近处理，以降低数据传输量和云计算中心的计算量；后者对全矿数据进行统一处理挖掘，并可进一步构建涵盖整个集团甚至整个行业的云计算中心。在实践中，云计算中心通常以大数据中心的硬件资源为基础提供各类云服务。

核心算法库将采掘、安全、机械、通信、测绘、地质等专家的研究成果模型化、算法化，比

如智能设备健康诊断算法、智能综采算法、智能综掘算法、智能定位导航算法等。这些算法将原始数据或经过边缘计算资源初步处理的数据作为输入，以算力设施为载体进行智能化处理，处理结果一方面提供给知识中心，成为知识中心的习得型知识，即通过学习而获得的知识；另一方面，还将提供给应用平台，作为决策和控制的依据。知识中心除了习得型知识外，还包括周知型知识，即已经有清晰结论的先验性知识，比如煤矿灾害有突水等 6 大主要类型、突水灾害发生前有哪些前兆特征、采煤机的常规推进速度、工作面三机之间的联动关系等。周知型知识一般通过手动录入获得。

智能煤矿应用平台包括一个能够进行全矿信息集中处理分析的大平台，以及若干执行分任务的小平台，比如决策指挥平台、安全生产平台、智能巡检平台、经营管理平台等。小平台通常又包括若干子系统，比如智能巡检平台可包括智能变电站巡检子系统、智能皮带运输巡检子系统、智能煤仓巡检子系统等。

图2中的各项建设内容可用人体采集、传输、加工和使用信息的流程对比理解^[18, 19]，见图3。智

能煤矿的感知网络、传输网络和大数据中心可类比于人体的感官系统、神经系统和记忆系统，算力设施则类比于人脑的计算处理部分，算法库类比于人脑已经学会的各种处理决策模型，知识库则对应于大脑已经学到的知识。人类在工作和生活中不断积累经验变得更为聪明，而智能煤矿应用平台在数据、算力、算法和知识的支持下，对当前事件做出反馈控制，并完成自我学习和自我演化，从而变得更加智能。

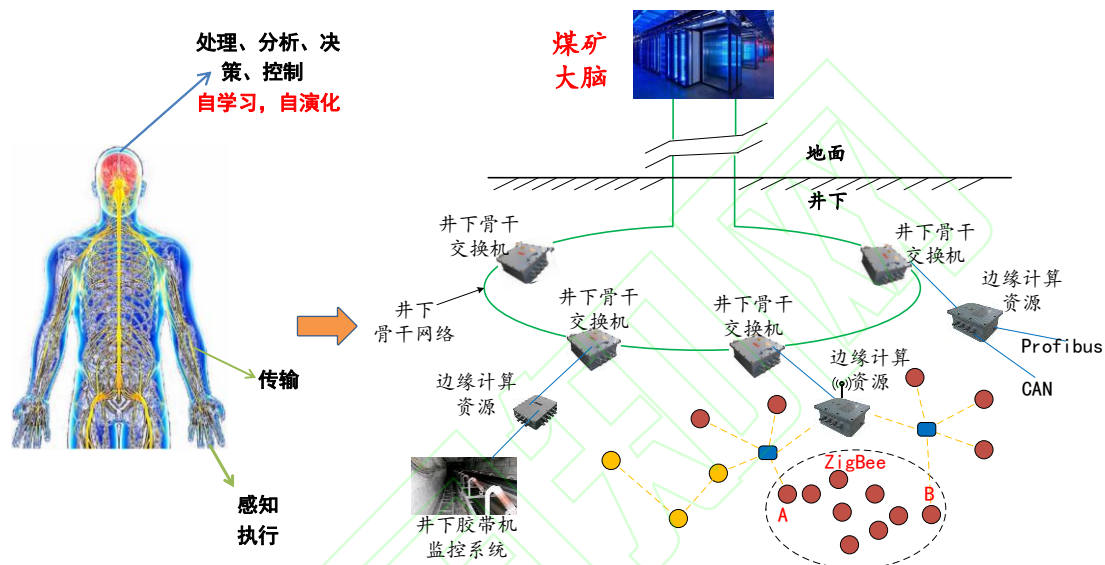


图3 智能人体与智能煤矿的类比关系

Fig.3 Comparison relationship of intelligent human and intelligent coal mine

2 ACKADa 建设思路的实施要点

ACKADa 思路围绕人工智能 3.0 的 4 个核心要素展开，并根据煤矿需要构建智能应用平台，实现人工智能和煤炭生产紧密结合，本节具体探讨其实施内容和实施方法。

2.1 智能煤矿的数据设施建设

数据设施包括数据采集设施、数据传输设施和数据存储设施，其核心是为煤矿大脑准备所需的海量数据，这需要通过建设感知网络、骨干网络、自动化改造与综合接入、大数据中心来完成数据的获取、传输、接入和初步处理工作。由于数据是监视、决策、控制、演化等一切动作和智能的基础，因此数据设施是智能煤矿建设的首要工作。

感知网络通过狭义矿山物联网（即矿山物联网的感知层）完成，主要由无线网络构成。建设要点是应用驱动、全面覆盖、节能可靠，重点解决感知网络的全覆盖、自适应、低功耗和小型化

问题，实现更敏感、更全面的感知，具体实现可采用WiFi6或5G为主、ZigBee等其它技术为辅的混合结构。

要使得感知网络能够采集数据、采集的数据能为智能煤矿系统所用，还必须注意：

(1) 对象（如采煤机）能够被感知系统感知，且能够响应平台的操控指令，即被感知对象具有感知和控制接口。如果被感对象已有该接口（新设备新系统一般具有），则可直接为感知网络所用，否则需进行自动化改造。

(2) 具有高可靠、大容量、低延时的骨干传输网络，实现感知数据的准确可靠传输。骨干网络目前多采用万兆工业以太网，辅以5G或Wi-Fi6无线网络，进行环型、星型和树形混合组网，见图3。

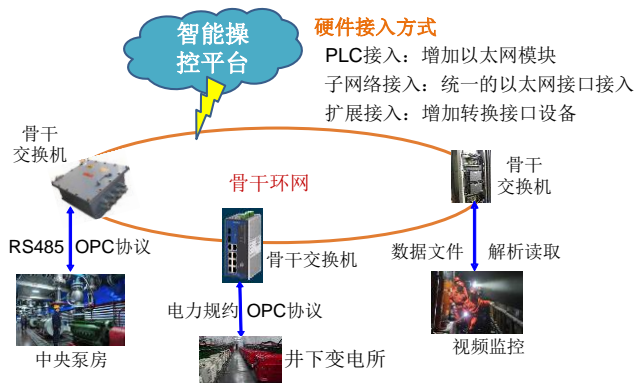


图4 异构数据接入方式

Fig.4 Access methods of heterogeneous data

(3) 能够通过一体化智能煤矿管控平台对所有子系统进行集中监控、挖掘分析和深度应用，而不用考虑设备厂家异同、软件版本高低和数据格式差异。这通常通过综合自动化接入技术实现

(图4)，接入时可通过硬件方式，如PLC

(Programmable Logic Controller) 接入、子网络接入、扩展接入等方式；也可通过软件方式，如DDE (Dynamic Data Exchange, 动态数据交换)、OPC (OLE for Process Control, 用于过程控制的OLE)等方式。

无论是原始数据，抑或是边缘计算资源和云计算中心处理提炼后的数据，以及应用系统的决策和日志数据，均通过大数据中心统一存储，因此需要建设大数据中心，以便于整个智能煤矿系统按需选择数据，针对不同需求和场景构建针对性应用。

2.2 智能煤矿的计算能力建设

计算能力是数据设施的延伸，即数据处理与挖掘能力，包括边缘计算资源和云计算中心建设，它与感知网络中的感知节点一起，构成智能煤矿中的“端-边-云”^[6, 20]，见图5，图中将5G网络同时作为感知网络和传输网络的组成部分，既可执行数据感知，也可用于数据传输。



图5 智能煤矿中的“端-边-云”

Fig.5 The 'end-edge-cloud' of intelligent coal mine

感知网络采集的数据包括掘进、采煤、机械、运输、通风、洗选、安全等多种数据。从数据处理角度看，非实时数据、长周期数据和业务决策性数据适合云平台处理，而实时数据、短周期数据和本地决策数据则适合利用边缘计算资源就近处理。此外，边缘计算资源还可降低传输带宽和云计算负荷。

边和云都包括硬件设施和软件设施，边缘硬件资源主要包括本地计算和存储服务器、网络设施、供电设施、安全设施，软件资源则主要有“边”所管辖范围内的子系统监控平台、基于算法库的

子系统智能分析平台和区域智能综合应用平台。云的硬件设施可直接采用大数据的基础设施，在此基础上构建子系统监控平台、基于算法库的子系统分析平台和全矿智能综合管控平台（这些平台是应用平台建设的组成部分，见2.5），并为网络中的其他用户提供IaaS (Infrastructure-as-a-service, 基础设施即服务)、PaaS (Platform-as-a-service, 平台即服务)、SaaS (Software-as-a-service, 软件即服务)等类型的云服务。

2.3 智能煤矿的算法库建设

数据设施和计算能力建设为智能煤矿建设奠定了硬件和数据基础，但这些设施只是为智能煤矿构建了一个躯干和煤矿大脑空壳，它尚不知道如何“思考”，更无法自学习和自演化，因此不具备智能特征。

让煤矿大脑“思考”的关键是为其提供各种场景下的“思维模式”，比如煤矿工作面如何实现自适应纠偏、自动移架、自适应截割等，这需要精确的算法控制来完成。这些算法以感知到的数据为输入，输出特定应用所需的动作指令或中间数据。将这些算法通过软件或软硬件结合的方式实现，安装于边缘计算服务器和云计算平台中，成为煤矿大脑的“脑细胞”。一体化智能煤矿管控平台根据应用场景和用户需求的变化，动态自适应的选择最合适的算法或算法组合。

以矿井移动目标定位系统为例^[21]。定位算法包括测距定位和非测距定位两大类，由于非测距定位的定位精度有限，矿井中通常使用测距定位算法。为了确定移动目标的当前位置，首先需要测定移动目标与信标节点之间的距离，进而使用位置解算算法求得目标节点的坐标位置。如果需要进一步提高定位精度，可通过卡尔曼滤波等算法进行进一步优化，或者在进行位置解算前对测距结果进行预处理。

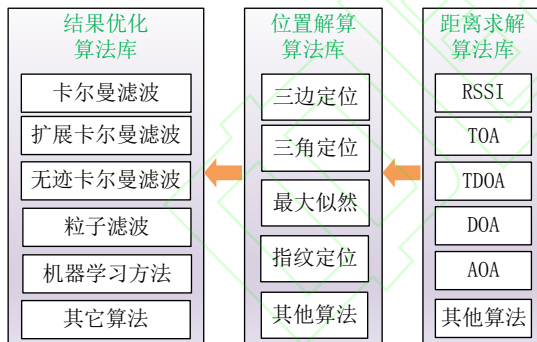


图6 移动目标定位算法库建设
Fig.6 Construction of algorithm base in mobile object localization

基于对矿井定位系统的上述认识，可以构建距离求解算法库、位置解算算法库和结果优化算法库，见图6。矿井定位系统可以根据当前的使用场景，从三个数据库中分别选择出适合当前场景的最优算法，作为系统的最优算法组合，比如先利用TDOA测距，然后利用最大似然法求解目标位置，进一步通过机器学习方法进行结果优化。如果有更优秀的算法，可随时向算法库添加，从而保证了系统的扩展能力。

智能煤矿是一个包含了上百个子系统的复杂巨系统，每个子系统均需构建相应的智能算法库。显然，仅仅依赖采煤、安全、装备等单个或几个领域的专家是不够的，需要各个领域的专家通力合作，共同攻关，渐进完成智能煤矿算法库建设。

2.4 智能煤矿的知识库建设

知识库是针对某一问题求解领域，将彼此联系的知识进行分类组织，然后按照一定的知识结构进行表示并存储在存储设备中^[22]，以供其他系统或用户使用。对于智能煤矿建设而言，有周知型知识和习得型知识两大类，可采用逻辑表示法、产生式表示法、框架表示法、面向对象表示法、语义网络表示法、XML表示法、本体表示法、神经网络表示法、矩阵分解表示法等方法进行表示^[23]。

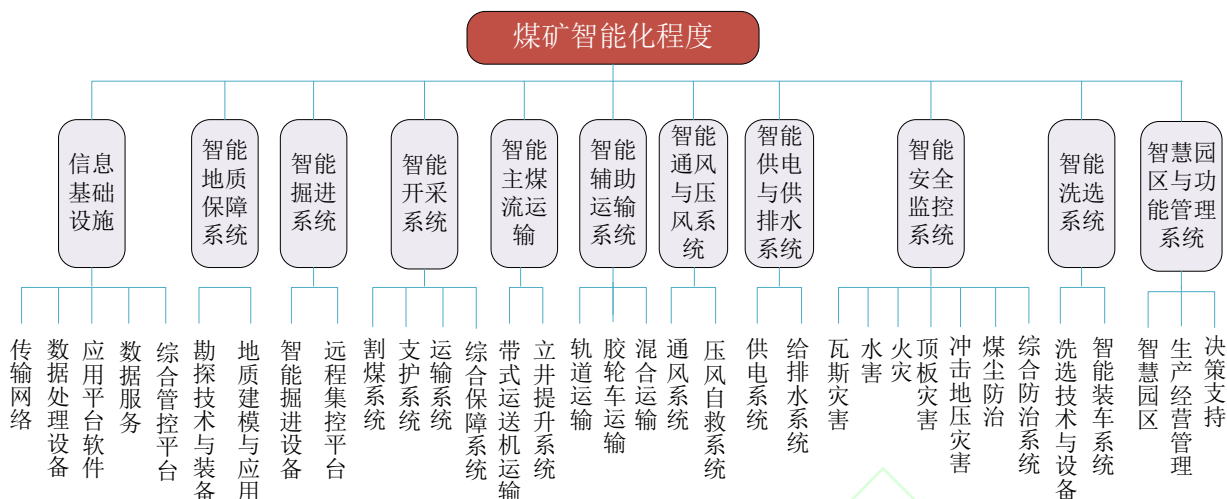


图7 智能煤矿分类分级评价指标体系^[14]

Fig.7 The classification and gradation evaluation index system for intelligent coal mine

根据“智能化煤矿（井工）分类、分级技术条件与评价”标准^[14]，智能煤矿建设应考虑“所在区域、建设规模、煤层赋存条件、生产技术条件”等因素差异，综合考虑开拓、采煤、掘进、运输、通风、洗选、安全、经营等环节的关联性，分类分级设置智能化评价指标。这些指标对智能煤矿建设具有重要影响，所建设的知识库必须与其对应方能更好的发挥效用。

具体而言，根据图7设置分类分级评价指标体系，以智能安全监控系统为例，它被分为瓦斯灾害等7大指标，构建知识库时，针对每一指标分别构建周知型知识库和习得型知识库，前者主要采用录入的方式获得，后者主要通过机器学习的方式获得。不同类型智能系统之间（如智能安全监控系统与信息基础设施之间）、同一智能系统的不同指标之间（如瓦斯灾害与水害之间）建立知识关联，采用知识树的方式构造整个智能煤矿的知识库，具体方法可参考文献[24]。

2.5 智能煤矿的应用平台建设

为用户提供丰富、精准、智能的应用是智能煤矿建设的目的所在，用户通过应用平台使用系统提供的数据设施、计算能力、算法库和知识库，以满足生产、安全、管理等个性化需求。智能煤矿的应用平台一般采用一个大平台、若干小平台、N个子应用的思路，见图8^[3]。

大平台指的是图8中的一体化智煤矿管控平台，它包括一体化控制和一体化管理^[12]，控制部分具有调度、决策和控制等功能，对调度通信、安全保障、综掘面掘进、综采面采煤、主煤流运输、辅助运输、供配电、生产辅助等核心环节进行协同控制。管理部分以煤矿企业经营计划为目标，实现勘探、规划、设计、基建、生产、销售等环节的高效衔接和协同配合，提高作业过程监管、生产成本控制和安全风险管控能力，并对整个智能煤矿软硬件系统进行综合管理。



图8 智能煤矿的应用平台^[3]

Fig.8 The application platforms of intelligent coal mine

一体化智煤矿管控平台通常由多个小平台（或分平台）支撑。分平台构建在公共智能引擎之上，如透明地址信息引擎、智能生产引擎、智能运输引擎等，见图8。常见的分平台有生产过程管控平台、决策指挥平台、智能巡检平台、经营管理平台和移动应用平台，每个分平台又由一系列子系统组成。一个煤矿企业拥有上百个子系统，并且还在继续增加中，图8中列出的分平台和子系统仅仅给出了整个智能矿山系统的一部分。智能化子系统硬件建设、改造和接入归属于数据设施中的“自动化改造与综合接入”部分，子系统间的协同联动在分平台和大平台中实现。

在工程实践中，除了可按照图8的思路建设分平台之外，亦可按照“智能化煤矿（井工）分类、分级技术条件与评价”标准中的分类分级评价指标体系建设8个分平台（图7），即：信息基础设施、智能地质保障系统、智能掘进系统、智能开采系统、智能主煤流系统、智能辅助运输系统、智能通风与压风系统、智能供电与供排水系统、智能安全监控系统智能洗选系统和智慧园区与经营管理系统。

3 ACKADa思路进一步探讨

ACKADa思路紧紧抓住智能煤矿是人工智能的行业应用与扩展的本质，将人工智能与煤矿应用紧密耦合。它与我们前期成果3115建设路线既一脉相承，也有显著区别，同时还拥有易于理解、便于实施、统筹其它技术等诸多优势。

3.1 ACKADa思路与3115路线对比

ACKADa思路与3115路线都是指导智能煤矿工程实践的模型，但是ACKADa思路的建设内容更加充实合理（图9），阐述如下：

1) 3115路线中的企业管理网、工业网络和通信联络网完成了ACKADa思路的感知网和骨干网建设，3115路线中的统一数据中心对应于ACKADa思路的大数据中心建设，而调度指挥中心、智能控制中心、安全监测中心和生产运营管理中心隐含了自动化改造与综合接入。因此，ACKADa思路与3115路线都具有完整的数据设施，因为这是智能煤矿建设的基础。

2) 3115路线中的统一智能集成操控平台对应于ACKADa思路的“一个大平台”，而调度指挥中心、智能控制中心、安全监测中心和生产运营管理中心则对应于ACKADa思路的“若干小平台、N个子系统”。因此，ACKADa思路与3115路线在应用层面也是完全对应的。

3) 3115路线中的煤矿大数据及云服务系统对应于ACKADa思路的云计算中心建设，然而边缘计算能力在3115路线中未有体现，不能获得“端-边-云”的优势。

4) 3115路线中没有考虑算法库，而是在各个系统中内置了算法，这种实现方式简单僵化、难于扩展；3115路线中也没有考虑知识库，无法利用科学技术长期演进形成的周知型知识和系统在运行过程中学习得到的习得型知识，因此没有知识驱动的优势，而仅有数据驱动的特长。

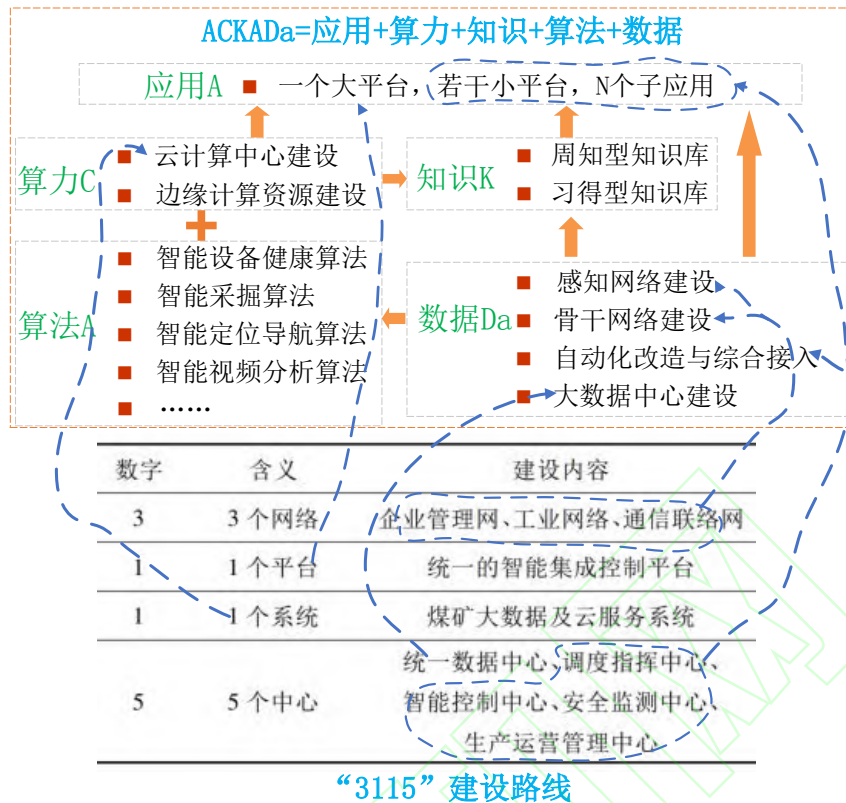


图9 ACKADa 思路与 3115 路线的内容对应关系

Fig.9 The corresponding relationship of ACKADa concept and 3115 route

3.2 ACKADa建设思路的优势特征

与其他建设方式相比，ACKADa思路具有以下显著优点：

（1）以人工智能3.0特征为核心，在理论体系上更易理解

智能煤矿是人工智能在煤炭行业的应用和拓展，只有实现了人工智能基本要素，才能让传统煤矿企业发展出“智能”；只有遵循煤矿企业发展规律、以煤炭行业高质量发展为愿景的人工智能，才能称为煤矿智能化。因此，智能煤矿=煤矿智能化愿景+人工智能3.0特征=煤矿应用+“算力+知识+算法+数据”。抓住人工智能3.0的特征，便可轻易理解ACKADa建设思路。

（2）具有清晰的建设路标，在工程实践中更易使用

与通常基于层次架构的煤矿智能化框架不同，

图2所示的ACKADa建设思路可作为智能煤矿的蓝图，使得企业在规划过程纲举目张的确定建设内容，在建设过程中以蓝图路标建设当前最需要的内容，并能清晰的知道所建设内容在整个智能化建设过程中所处的阶段和作用。具体而言，数

据设施是任何煤矿必需的基础设施，应用平台是所有煤矿必建的管控平台，具体内容和建设方法可参考3115建设路线；算法库和知识库是智能煤矿系统产生智能并不断演化的关键，但是算法库和知识库涉及到不同领域的专业知识，需要不同专业的专家共同努力，使得算法库中的算法和知识库中的知识不断壮大完善。

（3）以人工智能3.0特征为纽带，将纷繁杂乱的技术变得整洁有序

在煤矿信息化领域，存在综合自动化、数字矿山、矿山物联网、大数据、云计算、边缘计算、智能煤矿、深度学习、机器学习、知识库等名词和技术，它们给研究人员和现场用户带来了更多技术手段，同时也带来了巨大困扰，难以在“名词海洋”和“技术洪流”中建立自己的知识架构。

但是，在ACKADa建设思路下，这些技术在智

能煤矿的架构下变得井然有序、有条不紊（图2）：

狭义矿山物联网（感知网络）、骨干网络、综合自动化和大数据中心提供数据设施，云计算、边缘计算和大数据中心的基础设施提供计算能力，而以深度学习为主流的机器学习算法库基于海量数

据和已有知识,不断对当前的生产、安全和经营等态势做出判断,并产生新的知识,使得知识库更丰富。数字矿山包括信息的数字化和空间实体的数字化,前者主要通过综合自动化完成,后者主要通过GIS (Geographic Information System, 地理信息系统) 实现,它们分别是数据设施和应用平台的组成部分,它们在ACKADa建设思路中具有明确的位置和作用。

4 结 论

(1) 智能煤矿=煤矿智能化愿景+人工智能3.0特征=煤矿应用+“算力+知识+算法+数据”。智能煤矿是人工智能在煤炭行业的应用和拓展,只有实现了人工智能基本要素,才能让传统煤矿企业发展出“智能”;只有遵循煤矿企业发展规律、以煤炭行业高质量发展为愿景的人工智能,才能称为煤矿智能化。

(2) ACKADa智能煤矿建设思路从数据设施、计算能力、算法库、知识库、应用平台5个方面展开,其中数据设施包括感知网络、骨干网络、自动化改造与综合接入、大数据中心,计算能力包括边缘计算、云计算和部分大数据中心设施,算法库包括智能设备健康算法、智能采掘算法、智能定位导航算法、智能视频分析算法等,知识库包括周知型知识库和习得型知识库,应用平台包括一个大平台、若干小平台和N个子系统。

(3) ACKADa思路与3115路线都包括完整的计算能力和应用平台,但是ACKADa思路具有算法库和知识库,其建设内容更加完整合理,且具有理论上更易理解、实践中更易使用的优势,并让综合自动化、矿山物联网、大数据、云计算、边缘计算等技术统一成井然有序的逻辑体系。

参考文献:

- [1] 王国法, 杜毅博, 任怀伟, 等. 智能化煤矿顶层设计研究与实践[J]. 煤炭学报, 2020: 1-16.
WANG Guofa, DU Yibo, REN Huaiwei, et al. Top level design research and practice of smart coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2020: 1-16.
- [2] 王国法, 赵国瑞, 任怀伟. 智慧煤矿与智能化开采关键核心技术分析[J]. 煤炭学报, 2019,44(1): 34-41.
WANG Guofa, ZHAO Guorui, REN Huaiwei. Analysis on key technologies of intelligent coal mine and intelligent mining[J]. Journal of China Coal Society, 2019,44(1): 34-41.
- [3] 王国法, 任怀伟, 庞义辉, 等. 煤矿智能化(初级阶段)技术体系研究与工程进展[J]. 煤炭科学技术, 2020,48(7): 1-27.
WANG Guofa, REN Huaiwei, PANG Yihui, et al. Research and engineering progress of intelligent coal mine technical system in early stages[J]. Coal Science and Technology, 2020,48(7): 1-27.
- [4] 吴群英, 蒋林, 王国法, 等. 智慧矿山顶层架构设计及其关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2020,48(7): 80-91.
WU Qunying, JIANG Lin, WANG Guofa, et al. Top-level architecture design and key technologies of intelligent coal mine[J]., 2020,48(7): 80-91.
- [5] 王国法, 刘峰, 庞义辉, 等. 煤矿智能化——煤炭工业高质量发展的核心技术支持[J]. 煤炭学报, 2019,44(2): 349-357.
WANG Guofa, LIU Feng, PANG Yihui, et al. Coal mine intellectualization: The core technology of high quality development[J]. Journal of China Coal Society, 2019,44(2): 349-357.
- [6] 范京道, 李川, 闫振国. 融合5G技术生态的智能煤矿总体架构及核心场景[J]. 煤炭学报, 2020,45(6): 1949-1958.
FAN Jingdao, LI Chuan, YAN Zhenguo. The overall architecture and core scenario of a smart coal mine incorporating 5G technology ecology[J]. Journal of China Coal Society, 2020,45(6): 1949-1958.
- [7] 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. The status-of-art and key autonomous technology of smart coal mining in China[J]. Coal Science and Technology, 2020,48(7): 28-46.
- [8] 王国法, 杜毅博. 智慧煤矿与智能化开采技术的发展方向[J]. 煤炭科学技术, 2019,47(1): 1-10.
WANG Guofa, DU Yibo. Development direction of intelligent coal mine and intelligent mining technology[J]. Coal Science and Technology, 2019,47(1): 1-10.
- [9] 王国法, 庞义辉, 任怀伟. 煤矿智能化开采模式与技术路径[J]. 采矿与岩层控制工程学报, 2020,2(1): 6-20.
WANG Guofa, PANG Yihui, REN Huaiwei. Intelligent coal mining pattern and technological path[J]. Journal of

- Mining and Strata Control Engineering, 2020,2(1): 6-20.
- [10] 谭章禄, 马营营, 郝旭光, 等. 智慧矿山标准发展现状 & 路径分析[J]. 煤炭科学技术, 2019,47(3): 27-34.
TAN Zhanglu, MA Yingying, HAO Xuguang, et al. Development status and path analysis of smart mine standards[J]. Coal Science and Technology, 2019,47(3): 27-34.
- [11] 王国法, 杜毅博. 煤矿智能化标准体系框架与建设思路[J]. 煤炭科学技术, 2020,48(1): 1-9.
WANG Guofa, DU Yibo. Coal mine intelligent standard system framework and construction ideas[J]. Coal Science and Technology, 2020,48(1): 1-9.
- [12] 钱建生, 胡青松. 智能煤矿建设路线与工程实践[J]. 煤炭科学技术, 2020,48(7): 109-117.
QIAN Jiansheng, HU Qingsong. Construction routes and practice of intelligent coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2020,48(7): 109-117.
- [13] 国家发展改革委, 国家能源局, 应急部, 等. 关于印发《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》的通知(发改能源〔2020〕283号)[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-03/05/content_5487081.htm, 2020,3.3.
National Development and Reform Commission, National Energy Administration, Emergency Department, etc. Notice on printing and distributing the guiding opinions on speeding up the intelligent development of coal mines (No. 23, development and reform energy [2020]) [EB/OL]. http://www.nea.gov.cn/2020-03/03/c_138838778.htm, 2020.3.3
- [14] T/CCS 001-2020 智能化煤矿(井工)分类、分级技术条件与评价[S]. 北京, 2020.
T/CCS 001-2020 Technical conditions and evaluation of intelligent coal mine (underground) classification and gradation [S]. Beijing, 2020.
- [15] 国家发展改革委, 国家能源局. 国家发展改革委 国家能源局关于印发《能源技术革命创新行动计划(2016-2030年)》的通知[EB/OL]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/01/content_5078628.htm, 2020.9.23.
National Development and Reform Commission, National Energy Administration. Circular of the National Development and Reform Commission and the National Energy Administration on the issuance of the energy technology revolution and innovation action plan (2016-2030) [EB/OL]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/01/content_5078628.htm, 2020.9.23.
- [16] 张钹, 朱军, 苏航. 迈向第三代人工智能[J]. 中国科学:信息科学, 2020,50(9): 1281-1302.
ZHANG Bo, ZHU Jun, SU Hang. Toward the third generation of artificial intelligence[J]. Scientia Sinica Informationis, 2020,50(9): 1281-1302.
- [17] 李平, 杨政银. 人机融合智能: 人工智能3.0[J]. 清华管理评论, 2018(7): 73-82.
LI Ping, YANG Zhengyin. Man-machine fusion intelligence: artificial intelligence 3.0[J]. Tsinghua Business Review, 2018(7): 73-82.
- [18] 胡青松, 杨维, 丁恩杰, 等. 煤矿应急救援通信技术的现状与趋势[J]. 通信学报, 2019,40(5): 163-179.
HU Qingsong, YANG Wei, DING Enjie, et al. State-of-the-art and trend of emergency rescue communication technologies for coal mine[J]. Journal on Communications, 2019,40(5): 163-179.
- [19] 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 mine in Shenhua group[J]. Journal of China Coal Society, 2016,41(12): 3181-3189.
- [20] 姜德义, 魏立科, 王翀, 等. 智慧矿山边缘云协同计算技术架构与基础保障关键技术探讨[J]. 煤炭学报, 2020,45(1): 484-492.
JIANG Deyi, WEI Like, WANG Chong, et al. Discussion on the technology architecture and key basic support technology for intelligent mine edge-cloud collaborative computing[J]. Journal of China Coal Society, 2020,45(1): 484-492.
- [21] 胡青松, 钱建生, 李世银, 等. 全源矿井定位: 一种智能煤矿位置服务新范式[J]. 工矿自动化, 2021,47(1): 1-8.
HU Qingsong, QIAN Jiansheng, LI Shiyin, et al. All-source mine localization: a new paradigm for intelligent coal mine location services[J]. Industry and Mine Automation, 2021,47(1): 1-8.
- [22] 常力恒, 朱月琴, 汪新庆, 等. 大数据环境下的矿产知识库构建: 以钨矿为例[J]. 中国矿业, 2018,27(9): 93-96.
CHANG Liheng, ZHU Yueqin, WANG Xinqing, et al.

Construction of minerals knowledge base in big data environment: a case study of tungsten ore[J].China Mining Magazine, 2018,27(9): 93-96.

- [23] 张召霞. 面向无人驾驶车辆行为决策的知识库管理系统研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2020.

ZHANG Zhaoxia. Research on Knowledge Base Mangement System for the Behavior Decision of Unmanned Vehicle [D]. Hefei: University of Science

and Technology of China, 2020.

- [24] 刘鹏, 景江波, 魏卉子, 等. 基于时空约束的瓦斯事故知识库构建及预警推理 [J]. 煤炭科学技术, 2020,48(7): 262-273.

LIU Peng, JING Jiangbo, WEI Huizi, et al. Construction of knowledge base and early warning inference of gas accident based on time-space constraints[J]. Coal Science and Technology, 2020,48(7): 262-273.

