

控制与决策

Control and Decision

矿山生产过程时变计算实验及精准执行方法

冯治东, 井石滚

引用本文:

冯治东, 井石滚. 矿山生产过程时变计算实验及精准执行方法[J]. *控制与决策*, 2022, 37(5): 1241–1250.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.1170>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[多无人机协同直播场景下自适应任务卸载决策](#)

Adaptive task offloading decision of multi-UAVs cooperation in live broadcasting scenario

控制与决策. 2021, 36(4): 974–982 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1104>

[多无人机协同直播场景下自适应任务卸载决策](#)

Adaptive task offloading decision of multi-UAVs cooperation in live broadcasting scenario

控制与决策. 2021, 36(4): 974–982 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1104>

[基于数据驱动的浓密-压滤过程协调优化控制](#)

Data driven coordinated optimization control of thickening-filter process

控制与决策. 2021, 36(5): 1095–1100 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1151>

[基于马尔可夫过程的多部件系统劣化状态空间划分模型](#)

Multi-component system state space partition model based on Markov process

控制与决策. 2021, 36(2): 418–428 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0480>

[带峰值能耗约束流水线调度的协同群智能优化](#)

Cooperative memetic optimization for flowshop scheduling with peak power consumption constraint

控制与决策. 2021, 36(10): 2350–2358 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0429>

矿山生产过程时变计算实验及精准执行方法

冯治东^{1,2,3†}, 井石滚²

(1. 榆林学院 信息工程学院, 陕西 榆林 719000; 2. 洛阳栾川钼业集团股份有限公司 博士后工作站, 河南 栾川 471500; 3. 西安建筑科技大学 资源工程学院, 西安 710055)

摘要: 在复杂多变的矿山开采环境下, 计划难以执行等问题较为突出, 如计划方案不可行、工序流程欠合理, 且突发事件频繁, 该问题已成为长期以来矿山企业面临的关键困难之一. 为此, 提出“先时变计算实验再精准过程执行”的智能开采新范式. 首先, 根据基本需求初始化生产计划方案; 其次, 对计划方案进行时变计算实验, 即借助多代理方法构建基于计算机的人工系统, 利用各简单代理自主推演和互动涌现进行计算实验或试验, 评估方案的合理性和可靠性, 预测生产现场人员、设备、环境的属性状态和整体系统的经济、空间及安全状态, 根据实验结果调整方案后再次实验, 直到具有稳定的实验结果为止; 最后, 以优化后的最优方案和工序流程进行现场执行, 同时对执行过程进行实时感知、分析及纠正, 实现按计划控制. 在物联网数据驱动下, 这种低成本、高效率、零风险和快速的事前预演手段及精准过程控制方法, 对于辅助计划制定及安全高效生产意义重大.

关键词: 矿山生产; 智能开采; 生产计划; 时变计算实验; 过程控制; 精准执行

中图分类号: TD80

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2020.1170

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 冯治东, 井石滚. 矿山生产过程时变计算实验及精准执行方法[J]. 控制与决策, 2022, 37(5): 1241-1250.

Time varying computation experiment and precise control method for mine production process

FENG Zhi-dong^{1,2,3†}, JING Shi-gun²

(1. School of Information Engineering, Yulin University, Yulin 719000, China; 2. Postdoctoral Workstation, Luoyang Luanchuan Molybdenum Industry Group Inc., Luanchuan 471500, China; 3. School of Resources Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: In the complex mining environment, it is difficult to implement the plan, for example, the production plan is not feasible or the process flow is not reasonable, and the unexpected events occur frequently, which is one of the key difficulties faced by mining enterprises for a long time. Therefore, a new intelligent mining paradigm of “first virtual experiment then precise implementation” is proposed. Firstly, the production plan is initialized according to the basic needs. Then, the time-varying computation experiment is carried out, which is to build a computer-based artificial system with a multi-agent method. The computing experiments are carried out with the independent deduction of each simple agent and the emergence of multi-agent interaction based on subscription awareness, so as to evaluate the rationality and reliability of the scheme. According to the experimental results, the scheme is adjusted and the experiments are carried out again until the expected results are stable. Finally, the optimized scheme and process flow are used for on-site execution. At the same time, the real-time perception, simulation and correction of the execution process are carried out to achieve the planned control. Driven by the Internet of things data, this low-cost, high-efficiency, zero risk and fast-speed preview method and precise process control method are of great significance for planning and safe-efficient production.

Keywords: mine production; intelligent mining; production plan; time varying computation experiment; process control; precise execution

0 引言

矿山开采过程中,“计划难以执行”问题已成为阻碍我国“智能化开采战略^[1]”的关键瓶颈问题之一,

如执行过程中发现生产计划方案不可行、工序流程欠合理,未在预警下的突发事件频繁出现,生产执行结果尚未达到预期效果等问题较为突出. 根据某典

收稿日期: 2020-08-20; 录用日期: 2021-03-03.

基金项目: 国家自然科学基金项目(51864046); 中国博士后科学基金项目(2019M662505); 榆林市科技计划项目(CXY-2020-007-02); 榆林市高新区科技计划项目(CXY-2020-37).

责任编辑: 梁樑.

†通讯作者. E-mail: fanston@126.com.

型矿山2019年3月至2019年12月数据:2019年3月,连采1队工作面出现小范围透水,导致1人被困,停产2天;5月至12月,某维修电工连续两次防爆检查前未验电,第2次严重触电,手臂严重受伤;仅3月至5月期间,相同员工-相同不安全行为出现18次;采煤机、装载机和皮带运输机等设备突发故障导致停产检修25次,累计故障时间65h;5月、8月及9月,生产产量超出计划20%,而6月、7月产量比计划少15%;3月、6月及10月,由于综采一队生产过快,综采二队和综采三队生产较慢,导致配煤效果不理想,短期质量控制水平较低。可见,“按计划生产”问题已成为众多企业、学者及相关技术人员关注的焦点和热点问题之一。其根本原因有二:一是计划制定问题。生产过程中人员、设备和环境的行为趋势难以掌握和预估,在没有精准预估、事先处理及应急准备条件下,制定生产计划方案并直接进入执行过程的工艺模式是欠合理的。二是过程执行问题。执行过程中,由于实时采矿及计划信息不对称,以及操作人员的主观性和自利性,导致执行结果与生产计划相差甚远。“是否可以先虚拟实验再精准执行”是本文的核心科学问题,给定生产系统现状和生产方案,利用计算机事先实验生产过程,根据实验结果调整生产方案,直到形成满意的实验结果,将实验好的计划方案进行现场执行,借助物联网等技术纠正现场按计划执行,实现精准过程控制。目前为止,尚未有学者明确提出关于先实验再执行的理论和方法,但近年来的一些研究与之有相似之处,或推动着该理论的发展,使其概念和思想逐渐清晰明朗。具体论述如下。

采矿过程的建筑信息模型(BIM)管理及其4D时空表达被提出,成为先实验再执行理论的思想基础。有学者提出了BIM矿山^[2],针对矿山生产过程,强调一种基于生命周期过程的三维可视化模型管理理念;还有一些学者研究了采矿生产过程的4D时空理念^[3-5],采用四维空间编码和空间数据库存储技术,提出了一种用于矿业开发的空间和时间综合四维数据模型,实现矿山生产过程的4D时空动态模拟和仿真,辅助优化方案的制定和执行。这些理念和思路实际上都综合考虑了时间变化问题,将其更进一步抽象,以掌握矿山生产系统的整体行为和趋势为目标,以模拟实验为手段,即时变计算实验理论和方法,从而辅助计划制定,保障安全高效执行。

平行系统理论已有一定的发展,为先实验再执行理论提供了基础支撑和可行途径。近年来,有学者提出了解决复杂系统管理和控制的平行系统方

法,即人工社会(或人工系统,artificial society)-计算实验(computational experiments)-平行执行(parallel execution)方法^[6],也称ACP理论。结合数据分析、机理研究和虚拟现实等方法和技术,构建与实际系统等价的人工系统;利用简单实体的自主性及随机性,通过各简单对象的协同推进、互动交叉和涌现观察,实现对管理策略、生产工艺、控制步骤等的零伤害、低成本和快速度的计算实验,寻求实际系统的最优管控策略;人工系统和实际系统通过感知和通讯控制实现平行执行,同步或干预实际系统。该理论在交通、水利、农业、化工工艺控制和突发事件应急管理等领域^[7-13]有了较为广泛的应用基础研究,但仍然处于初始发展阶段,其有效性和实用性还必须经过更加深入的检验。矿山生产的时变计算实验工作可以ACP系统为基础平台,利用协同推进和涌现互动的多代理系统模型进行,从而落实基于人工矿山生产系统的计算实验问题,借鉴其平行执行思想,实现对矿山生产过程的精准控制。

矿山的三维仿真、虚拟再现和模拟演练技术逐渐成熟^[14-20],成为时变计算实验和生产执行过程推演及可视化表达的基础保障。80年代后期将三维建模和可视化技术引入地质体、油藏工程和地球物理的三维辅助模拟后,矿山三维建模和可视化技术在国内外迅速发展壮大。人们借助网格剖分技术、DTM(digital terrain model)技术、布尔计算、体元技术、碰撞检测和数据智能等方法技术构建矿山虚拟场景,并利用GDI(graphics device interface)、OpenGL、DirectX实现虚拟再现。矿山生产系统的时变计算实验过程不仅需要模拟生产系统内部逻辑结构,而且要求给出虚拟再现的可视化表达,因此,三维可视化和虚拟再现技术能够保障时变计算实验的实验过程实现可视化表达。

物联网、信息物理系统(CPS)、工业4.0、工业互联网、《中国制造2025》及智能无人矿山成为近年来研究的热点问题,是先实验再执行模式的研究背景及基础,为矿山生产过程时变计算实验提供了海量的多源异质数据,可作为先实验再执行的数据驱动基础和平台框架。国内外有关智能化控制理论和框架体系取得了迅速发展^[21-26],给矿业系统工程和智能矿山领域的研究带来了新的思路和研究途径,并成为矿业智能化生产领域的热点问题:2006年美国NSF(national science foundation)提出了CPS,产生与实体空间深度融合、实时交互、互相耦合、互相更新的网络空间,进而通过自感知、自记忆、自认知、自决策、

自重构和智能支持促进工业资产的全面智能化;类似地,2012年11月美国通用电气公司提出了“工业互联网”;2013年德国政府及工业界提出了“工业4.0”;2015年3月中国政府提出了“互联网+”行动计划并于同年5月提出了《中国制造2025行动纲领》.2018年1月18日,国家标准化委员会发布了《人工智能标准化白皮书(2018版)》,标志着我国已进入人工智能发展关键阶段.

自2000年前后“矿业系统工程”“数字矿山”等概念提出以来,基于软件工程、可视化技术、自动化技术和系统科学等理论技术推动了矿山开采的高效、安全、绿色与可持续发展的快速发展^[27].近几年,智能矿山和智慧矿山被提出,并受到矿山企业、学术/技术机构和政府部门广泛的关注与重视^[28-33].2018年5月,国家标准化委员会宣布实施《GB/T 34679-2017智慧矿山信息系统通用技术规范》,同年9月宣布实施《GB/T 51272-2018煤炭工业智能化矿井设计标准》,将智能矿山和智慧矿山相关研究带入快速发展期,在应用基础研究上获得了较好的发展.这些智能开采和智慧矿山理论等关键技术,为先实验再执行方法指明了方向,是该研究的主要依据和研究背景.

针对预期的生产计划与实际生产执行过程偏差较大问题.一方面由于生产环境复杂多变,导致生产计划调整频繁,使得执行过程不能实时跟进,“计划赶不上变化”问题突出,在预估矿山生产过程行为状态下制定生产计划成为必然趋势;另一方面由于操作人员的主观性、生产设备的低可靠性,以及生产环境的复杂性,在执行过程中并未严格按照计划生产,从而使得“按计划执行”较为困难,对生产过程精准控制提出较高要求.从矿业生产的国家需求来看,随着开采深度的增加,矿山生产环境更加复杂多变,物理上更加难以拆分还原,导致生产方案试验的成本代价巨大,“计划难以控制”的瓶颈问题长期得不到解决.先虚拟实验再精准执行模式是克服问题的关键途径之一,必将成为新时期智能开采的基础保障.从学科发展来看,矿山生产先实验再执行研究相对滞后,研究工作及资料较少,而复杂系统环境下矿山生产过程的整体行为趋势确定的理论基础保障迫在眉睫,但至今对人工矿山生产系统建模、交叉涌现、序贯推演、实验式方案制定和精准过程执行等方面的基本原理和方法不甚明了,成为新时期矿业系统工程学科发展的瓶颈之一.“先虚拟实验再精准执行”是克服上述不足的关键,其低成本、零风险和速度快的事前估计手段及过程控制对辅助生产和对称性管理意义重大.

1 先实验再执行基本机理

1.1 基本功能结构

如图1所示:纵向上,从上至下主要有计划实验层、智能执行层和作业现场层;横向上,扩展了虚拟再现与人机接口层.在生产执行之前:首先进行方案的初始制定;然后对该方案进行虚拟时变计算实验,评估方案的合理性和可靠性,推演各项安全和经济指标,根据实验结果反馈调整生产方案后继续虚拟实验,直到实验结果稳定在理想的偏差范围之内;最后,在此生产计划约束下,借助物联网技术实现开采人员和设备的状态感知,对比分析计划-执行实时安全/经济状态,控制现场作业,保证按计划执行,实现生产执行的精准过程控制、跟踪、仿真分析和应急处置.

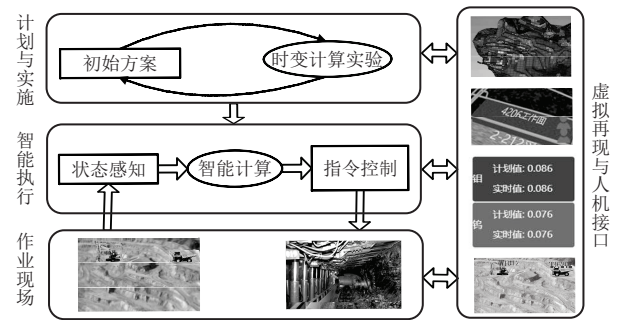


图1 先虚拟实验再精准执行基本结构

1.2 基本运行机理

定义1 人工矿山系统:利用复杂系统、智能科学、虚拟仿真等理论和技术对实际矿山系统进行情景建模,实现与实际系统相似和平行的计算机模拟系统,其所表征的对象包括矿山情景空间的人员、设备和矿山环境等要素,是矿山实际物理系统和情景的虚拟再现和逻辑拷贝.

构建人工矿山系统的基本方法是:将物理矿山系统的基本元素、属性及其关系映射为简单代理及其协调语义,建立基于多代理系统的人工矿山系统.

定义2 时变计算实验:在人工矿山系统环境下,输入生产方案和时间点,推演预测这些时间点的主要元素及关键生产指标状态(包括空间状态、健康状态及整体经济状态).

时变计算实验的具体方法是:基于人工矿山系统,以序贯推演和交叉涌现方法,基于简单一致和交叉涌现的基本思想,从序贯法的角度将生产过程阶段化,充分考虑各代理的自主性和随机性,结合其他相关代理属性状态,利用基于马尔可夫过程的序贯计算实现单个代理的状态转移,推演完成后,各代理的属性状态即为相应的矿山生产系统关键元素的属性状态,通过综合统计分析各代理状态得出矿山生产系统的总体空间状态和属性状态.

定义3 先虚拟实验再精准执行:首先对生产方案进行时变计算实验,得出最优化生产方案,然后以该最优化生产方案为依据,以物联网技术为工具,保证物理现场按计划生产,实现生产过程的精准控制。

结合平行系统理论和方法,本文对其基本结构进行改进,使其矿山场景化。如图2所示,从上至下分别为:决策层、执行层、采集控制层和物理层,层次划分上符合我国数字矿山和智慧矿山标准。其中:决策层具有时变计算实验功能,包括方案制定与优化、评估与决策、仿真与培训、故障检测与诊断、其他任务。执行层

层主要包括人工矿山系统模块及智能逻辑计算模块,人工系统实时将自身安全/经济指标信息传递到计算模块供其决策。执行层负责将属性/功能/关联/初始状态信息提交到决策层供其时变计算,决策层负责将最优生产计划方案下发到执行层执行。采集控制层主要包括状态感知和指令控制两个模块,状态感知模块采集现场数据,指令控制模块下发控制指令。采集控制层的主要作用是将现场信息实时提交到执行层,并将执行层的执行指令下发到物理系统,从而精准控制现场作业。

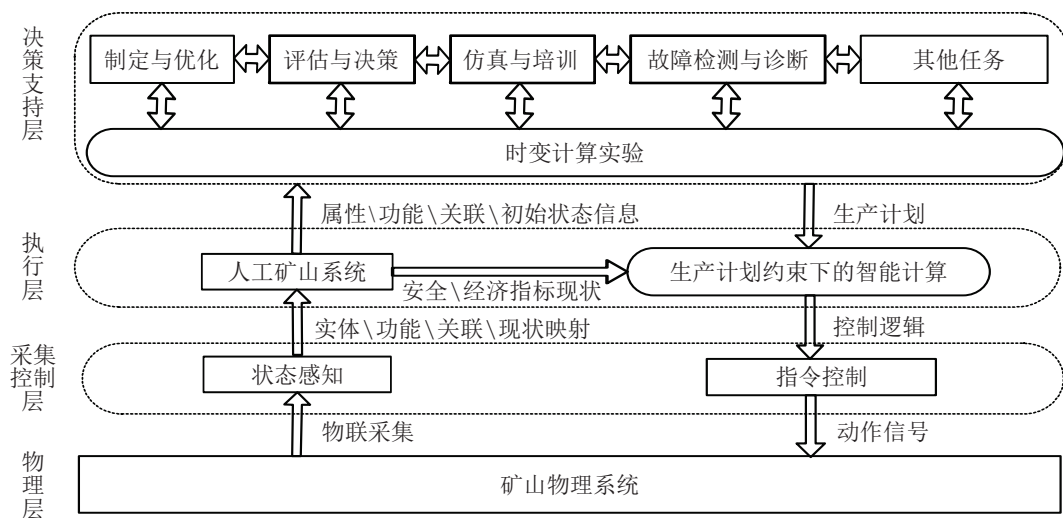


图2 先虚拟实验再精准执行机理

2 先实验再执行关键理论和技术基础——以矿井综采过程为例

根据图2所示的基本原理,先实验再执行的关键方法和技术主要包括:人工系统建模、时变计算实验和精准过程执行3部分内容。其中“人工系统建模”主要是对实际物理系统构建一个逻辑拷贝模型,“时变计算实验”是以人工系统为载体,以生产方案和时间点为输入参数,推演各时间点对应的安全/经济指标状态,“精准过程执行”主要是指在物联网技术支持下按计划执行。

矿山生产系统种类各有不同(露天、地下、金属和煤矿等),各生产环节较多(采掘、运输、计量、破碎和洗选等),为简化阐述,这里以较为经典的综采过程为例,阐明其先实验再执行的方法基础,其他种类和环节类似,本文不再赘述。

2.1 人工综采系统建模机制与方法

基本思路如下。首先提取综采过程的关键元素:人员(煤机司机、支架工和皮带机司机等)、设备(采煤机、刮板输送机、转载机、破碎机、皮带运输机和液压

支架等)和环境(工作面、顶底板和井巷等);分析和确定各元素的主要行为特征、功能及相互关系,将这些元素、相互关系及扩展元素映射为简单代理;然后借助多智能体理论和APSM协调模型,集成各简单代理为多代理系统,从而构建人工综采系统模型,作为真实矿山生产系统一定程度上的逻辑拷贝,为后续综采过程的时变计算实验做好基础准备。

根据综采系统实际,提取关键元素:煤机司机、支架工、煤机、煤机左滚筒、煤机右滚筒、支架、刮板输送机、转载机、破碎机、皮带运输机、顶板、底板、工作面和采空区14种元素,逐个映射为简单代理,分别确定各代理的感知参数和状态转移方程。同时,为保证多代理系统的完整运行,需要引入两个扩展代理:可视化交互代理和数据代理,分别负责用户交互和数据获取与存储。

首先,为综采过程的时变计算实验建立代理语义,这里提出感知输入、状态转移、特征输出的语义模型。如图3所示,整个多代理系统中,各简单代理具有感知输入、状态转移和特征输出3个基本功能。其中:感知输入是代理本身实现状态转移需要的基本

条件参数;状态转移是以感知输入为初始状态,借助适合自身功能逻辑的状态转移方程,计算下一刻状态;感知输出是代理本身状态转移计算完毕后的特征状态.根据上述语义模型,梳理综采过程中各简单的代理名称、感知输入和特征输出明细如表1所示.

代理名称
感知输入
状态转移
特征输出

图3 综采单代理语义模型

表1 人工综采系统各简单代理行为特征

序号	代理名称	信息/服务订阅(输入)	信息/服务发布(输出)
01	煤机司机	健康状况、熟练程度、安全意识、环境状况(16.b)	01.a 位置;01.b 业务技术特征; 01.c 操作特征;01.d 健康特征
02	支架工	健康状况、熟练程度、安全意识、环境状况(16.b)	02.a 位置;02.b 业务技术特征; 02.c 操作特征;02.d 健康特征
03	煤机	动力性能、控制特征、环境状况 (01.b, 01.c, 01.d, 16.b, 07.b)	03.a 驱动力;03.b 控制方向; 03.c 健康特征
04	煤机左滚筒	(滚筒)驱动性能、控制特征 (03.a, 03.b, 03.c, 16.b)	04.a 移动速度;04.b 移动方向; 04.c 健康特征
05	煤机右滚筒	(滚筒)驱动性能、控制特征 (03.a, 03.b, 03.c, 16.b)	05.a 移动速度;05.b 移动方向; 05.c 健康特征
06	支架	支架性能、(支架)控制特征 (02.b, 02.c, 02.d, 16.b)	06.a 支护性能特征;06.b 移架状态; 06.c 健康特征
07	刮板输送机	刮板机性能、(刮板机)控制特征、环境状况 (02.b, 02.c, 02.d, 04.a, 04.b, 05.a, 05.b, 16.b)	07.a 推移状态; 07.b 运行速度; 07.c 健康特征
08	转载机	转载机性能、转载速度、环境状况 (07.b, 16.b)	08.a 转载速度;08.b 转载量; 08.c 健康特征
09	破碎机	破碎机性能、破碎速度、环境状况 (08.a, 08.b, 16.b, 10.a)	09.a 破碎速度;09.b 破碎量; 09.c 健康特征
10	皮带运输机	运输皮带性能、运输速度 (09.a, 09.b, 16.b)	10.a 皮带速度;10.b 运输速度(量); 10.c 健康特征
11	顶板	地理位置、时间、地质测量资料 (04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b)(04.a, 0.4.b, 0.5.a, 0.5.b) (04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b)(04.a, 0.4.b, 0.5.a, 0.5.b)	11.a 地质特征;11.b 出水速度(量); 11.c 煤尘、瓦斯涌出速度(量)
12	底板	地理位置、时间、地质测量资料 (04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b)(04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b) (04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b)(04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b)	12.a 地质特征;12.b 出水速度(量); 12.c 煤尘、瓦斯涌出速度(量)
13	工作面	地理位置、时间、地质测量资料 (04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b)(04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b) (04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b)(04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b)	13.a 地质特征;13.b 出水速度(量); 13.c 煤尘、瓦斯涌出速度(量)
14	采空区	地理位置、时间、地质测量资料 (04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b)(04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b) (04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b)(04.a, 0.4.b, 05.a, 0.5.b)	14.a 地质特征;14.b 出水速度(量); 14.c 煤尘、瓦斯涌出速度(量)
15	3DUI代理	各代理现状/用户输入(全量信息)	15.a 虚拟再现;15.b 用户指令
16	数据代理	各代理状态(存储)/各代理需求(查询)(全量信息)	16.a 持久化存储;16.b 综合传感(环境)数据

其次,感知输入如何获取(来自其他代理或传感器),以及特征输出如何提供给其他代理使用(即各代理之间的协调方案)是进一步需要解决的问题.研究者先后提出了组织结构协商、承诺-约定协调、结果共享模型和合同网模型等协调模型,这些协调模型在人工智能、分布式处理等领域的多代理系统中发挥了重要作用,然而在面对一些工业控制系统、实时监控系统和应急救援指挥系统建模时,其复杂的协调媒

介、语义和原语模型在系统实现、可扩展性和性能上显得笨拙和滞后.

作者于2015年提出了一种新的协调模型——基于代理的订阅模型(agent publish-subscribe model, APSM)^[2],重点解决了平行应急管理人工系统建模问题.此协调模型本身就是一种代理系统,是以系统解耦为原则、编程实现为目标的人工系统合作模型.该模型定义了代理之间订阅依赖关系,众多订阅代理监

听某个主题代理,此主题代理在自身状态变化时,将信息发布给所有订阅代理,使订阅代理能够及时掌握知识,更新自身状态,因此可较为理想地应用于该研究的人工矿山系统多代理协调方案中.代理订阅模型由协调语义、发布代理、服务代理和订阅代理组成,其表示形式如下:

$$\text{APSM} = C(\text{P.A}, \text{Serv.A}, \text{S.A}). \quad (1)$$

其中: C 为协调语义,规定了P.A、Serv.A、S.A之间的通信语义;P.A为发布代理,即数据的采集生产者;S.A为订阅代理,即数据的业务处理消费者;Serv.A为服务代理,即发布代理与订阅代理之间的中间件,能够接收发布代理的发布信息,并将订阅代理感兴趣的内容转发到订阅代理.P.A、Serv.A、S.A三者之间是 $n-1-n$ 的数量关系,即系统中可能有多个发布者和多个订阅者,但只有一个服务代理.

最后,各代理之间通过上述APSM进行协调和通信,代理在演化过程中需要通过订阅相关信息作为自身演化的参考,同时发布自身的状态信息供其他代理订阅.在人工矿山生产系统中,各代理实时发布自身状态信息和服务,发布的状态和服务明细如表1中“信息/服务发布(输出)”列所示,如01煤机司机代理可发布 a 、 b 、 c 和 d 四个状态:01. a 位置、01. b 业务技术特征、01. c 操作特征和01. d 健康特征.其中01. a (01为代理号, a 为特征序号)指明01号代理的 a 特征.同时,如表1中“信息/服务订阅(输入)”列,该01煤机司机代理的推演需要健康状况、熟练程度、安全意识、环境状况等输入信息,这些信息可通过订阅16. b 特征信息获得,即订阅代理号为16(数据代理)的16. b 综合传感(环境)数据状态信息.需要注意的是,各代理可同时发布信息和服务两种特征,为降低系统耦合度,各代理尽可能降低对其他代理服务特征的订阅,以订阅信息特征的方式代替.各代理的发布和订阅信息如表1所示,以此为依据建立多代理系统模型,从而实现综采过程现场的逻辑拷贝.至此,人工矿井综采系统构建完成,需要指出的是以上列出的服务只是各代理对外可见的服务,而自身的内部功能如最优路径计算等无需发布,发布的只是演化过程中的实时信息,如人员位置、健康状况等.

2.2 时变计算实验理论和方法

2.2.1 综采过程时变计算实验的基本思路

矿井生产系统时变计算的关键是推演预测如下2个指标随着时间 t 的变化过程:1)各代理局部状态,记为 a ;2)整体经济指标,包括产量、质量、人员生命、

设备和财产的损失程度,记为 e .则推演计算可形式化表达如下:

$$[(a_i | i = 1, 2, \dots, m), e] = f(\text{init}, s, t). \quad (2)$$

即输入参数为矿井生产系统初始状态 init 、计划方案 s 和时间点 t ,返回结果为一组值:各主要元素状态信息集合 a_i (其中 $i = 1, 2, \dots, m$, m 为代理总数)以及关键经济指标 e .

矿井综采系统的行为状态在时间上是连续的,而计算机科学是一种离散科学,可将整个推演过程按照一定的时间粒度进行阶段划分,阶段之间以各简单代理为基本单位,使用简单一致原理结合深度学习方法实现简单代理的状态转移,同时在状态转移之初将各代理的订阅信息作为各自的感知输入,从而实现代理间的交叉涌现,如此逐级推演转移直到所有阶段结束.推演完成后各代理状态即为综采系统各元素状态,各代理的综合分析即为综采系统的整体行为状态,同时按照上述时变计算的基本内容逐个分析出上述2个指标状态.

2.2.2 综采过程时变计算实验的具体步骤

step 1:时序离散化(统一时间粒度阶段划分):如图4所示,作者于2015年提出了一种时序离散化推演方法,可将未来给定的时间段按照一定的时间粒度划分.三维交互层输入时间粒度、终止时间、计划方案(进刀方式、割煤路线、速度、总推进量、刮板机速度和运输皮带速度等)及初始状态信息,模型自动将所有代理的行为按照序贯法或动态规划的方式进行统一时间阶段划分,这些阶段遵循马尔可夫性,是一种典型的动态规划过程.整个计算过程是一种动态序贯法环境下的局部代理推演过程.

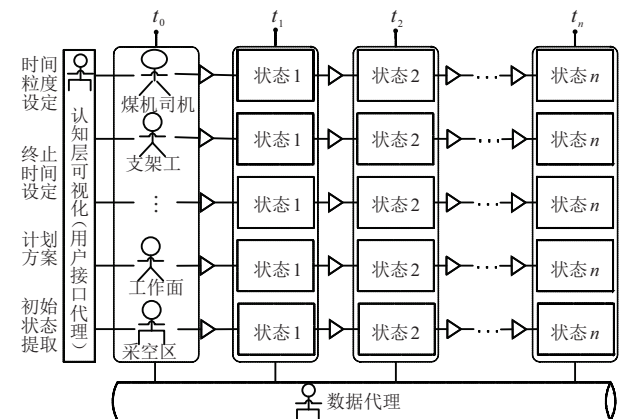


图4 虚拟实验中的时序离散化推演模型^[3]

step 2:订阅感知及局部代理初始化:各简单代理初始化自身状态信息,这些信息一方面是从数据代理获取到的环境信息(自身健康信息、瓦斯、温湿度、水

温地质等),另一方面是从其他代理订阅(推送)到的相关代理状态信息,例如刮板输送机代理可以获取到从转载机代理推送的转载速度信息,从而报告异常状态.这种订阅感知是实现交叉涌现的基础保证.

step 3: 建立各代理状态转移方程:各代理的行动方案由自身代理信息、订阅信息和时间信息决定,状态转移方程如下:

$$a_{j+1} = f(a_j, s_j, t). \quad (3)$$

其中: a_{j+1} 为代理 $j + 1$ 时刻代理状态, f 为状态转移函数, a_j 为代理 j 时刻状态, s_j 为代理 j 时刻订阅到的信息; t 为 j 时刻到 $j + 1$ 时刻所经过的时间段.

基于此,可通过数学函数的方式根据各简单代理行为状态直接建立各自的状态转移方程,也可借助人工智能的热点研究领域“深度学习”进行状态转移,根据实际历史数据形成时变数据集:(代理自身状态,订阅的其他代理状态) \implies 新的代理自身状态.

各类代理分别按照各自性质特征和历史运行轨迹形成数据集.建立深度神经网络训练状态转移模型,借助模型预测新的代理自身状态.选取 sigmoid 作为激活函数,交叉熵作为深度训练的损失函数,借助 TensorFlow 平台,使用 Python 语言进行深度网络训练和简单代理预测.需要注意的是,当训练出的模型损失率较大时,可直接按照简单规则计算下一时刻状

态,如滚筒代理的下一位置信息可直接根据移动方向和速度利用简单公式计算得出.

step 4: 结果输出与整体行为分析:计算结束后,根据各简单代理本身及异常状态报告,利用算数求和等简单方法综合统计出综采系统的关键指标即可.

2.2.3 综采过程的时变计算实验实例

现举例说明综采过程时变计算实验的具体过程.以榆神矿区某大型煤矿 31 406 工作面为例,煤层厚度 2.80 m ~ 3.53 m,煤层倾向北西,倾角 1°,整体呈宽缓单斜构造,局部出现波状起伏,平均厚 3.20 m,煤层结构简单,一般不含夹矸.采用综采一次采全高倾向长壁采煤法,采高 3.2 m,循环进度 0.865 m.通过装有截齿的螺旋滚筒旋转和采煤机牵引运行的作用进行截割,通过采煤机滚筒螺旋叶片旋转装煤和推移刮板输送机装煤.滚筒将煤装在刮板输送机溜槽上,经刮板输送机运送到转载机,经破碎机破碎后落在可伸缩皮带上运出.工作面采用双柱掩护式液压支架支护,两顺槽超前支护采用液压单体超前支护,采用顶板全部垮落法进行采空区处理.为简化问题,本例使用了简单的状态转移,且各代理尽可能减少对其他代理的信息订阅,不考虑人员代理的随机性及环境信息的突发性.各代理的基本信息包括位置信息、健康信息、生产量和其他信息.

表 2 综采过程的时变计算实验简单案例

代理名称	0 h	0.5 h	1 h	1.5 h	2 h
01 煤机司机	[(0,0,0),100]	[(120,0,0),99]	[(240,0,0),97]	[(146,0.865,-0.017),94]	[(26,0.865,-0.017),90]
02 支架工	[(0,0,0),100]	[(115,0,0),99]	[(235,0,0),97]	[(151,0.865,-0.017),94]	[(31,0.865,-0.017),90]
03 煤机	[(0,3,-0.02),100]	[(126,3,-0.02),99.9]	[(246,3,-0.02),99.7]	[(140,3.865,-0.037),99.4]	[(20,3.865,-0.037),99]
04 左滚筒	[(-1,3,-0.02),100,0]	[(125,3,0),99.9,50]	[(245,3,-0.02),99.7,100]	[(139,3.865,-0.037),99.4,150]	[(19,3.865,-0.037),99,200]
05 右滚筒	[(0,3,-0.02),100,0]	[(126,3,-0.02),99.9,50]	[(246,3,-0.02),99.7,100]	[(140,3.865,-0.037),99.4,150]	[(20,3.865,-0.037),99,200]
06 支架	[(0,0,0),100]	[(115,0,0),99.9]	[(235,0,0),99.7]	[(151,0.865,-0.017),99.4]	[(31,0.865,-0.017),99]
07 刮板机	[(0,0),100]	[(0,0,0),99.9]	[(0,0,0),99.7]	[(0,0,0),99.4]	[(0,0,0),99]
08 转载机	[(-2,0),100]	[(-2,0),99.9]	[(-2,0),99.7]	[(-2,0),99.4]	[(-2,0),99]
09 破碎机	[(-3,0,0),100,0]	[(-3,0,0),99.9,80]	[(-3,0,0),99.7,160]	[(-3,0,0),99.7,240]	[(-3,0,0),99.7,320]
10 皮带机	[(-4,0,0),84,0]	[(-4,0,0),81,100]	[(-4,0,0),77,200]	[(-4,0,0),72,300]	[(-4,0,0),66,400]
11 顶板	[(0,0,3.2),100]	[(0,0,3.2),100]	[(0,0,3.2),10]	[(0,0.865,3.173),100]	[(0,0.865,3.173),100]
12 底板	[(0,0,0),100]	[(0,0,0),100]	[(0,0,0),10]	[(0,0.865,-0.017),100]	[(0,0.865,-0.017),100]
13 工作面	[(0,0,0),100]	[(0,0,0),100]	[(0,0,0),100]	[(0,0.865,-0.017),100]	[(0,0.865,-0.017),100]
14 采空区	[(0,-5,0),100]	[(0,-5,0),100]	[(0,-5,0),100]	[(0,4.135,-0.017),100]	[(0,0.135,-0.017),100]
15 3DUI代理	实时显示	实时显示	实时显示	实时显示	实时显示
16 数据代理	采集存储	采集存储	采集存储	采集存储	采集存储

时变计算的关键是从第 j 个时间点状态计算下一时间点 $j+1$ 的状态信息.表2简单描述了综采过程2h的时变计算实验过程,时间粒度为0.5h.如对于煤机司机代理而言,设定其初始状态为 $[(0,0,0),100]$,即位置是 $(0,0,0)$,健康值为100.假定首先向 x 周方向进刀割煤, y 周指向北方,则第 j 个时刻点到第 $j+1$ 个时刻点的位置状态转移可定义为

$$x_{j+1} = \begin{cases} x_j + (x_j + 120)\%l, & \text{dFlag} = 1; \\ x_j - (x_j + 120)\%l, & \text{dFlag} = -1. \end{cases} \quad (4)$$

$$y_{j+1} = y_j + 0.865(k-1). \quad (5)$$

$$z_{j+1} = z_j - |y_{j+1} - y_j| \sin(\pi/180). \quad (6)$$

其中: l 为工作面长度(此案例为266m); x 方向为工作面方向,循环切割; k 为第 k 次割煤循环;dFlag为煤机方向标志,当煤机方向指向 x 周正方向时,dFlag=1,直到工作面尾部,此时煤机回向割煤,dFlag=-1,直到工作面头部,之后转向割煤,dFlag=1,如此循环往复.第一次状态转移时, $k=1$,根据公式推算出下一个位置信息为 $(120,0,0)$.考虑健康值随着运转时间的推移呈非线性下降,健康信息的状态转移可简单定义为

$$h_{j+1} = h_j - 2(t_{j+1} - t_0). \quad (7)$$

由此可推算出第一次状态转移后的健康值为99,即计算出0.5h时刻煤机司机代理的信息为 $[(120,0,0),99]$.

其他代理的计算过程类似.表2中的最后一列指出了计算完毕后的所有代理信息,即系统各组成部件的状态信息.

其他代理的计算过程类似.现通过这些代理信息综合分析系统整体状态信息及相关隐患信息:人员和设备的健康信息良好,大多保持在90以上,但装载机下降到66,若要求健康信息必须在60以上,则该装载机已无法继续进行(维持不了0.5h),需要停机检修;按照给出的割煤计划,左滚筒和右滚筒的割煤量综合达到了400,而此时破碎机的破碎量是320,这说明割煤计划过快,需要降低速度或增加破碎机的破碎能力;还可类似地分析设备损耗、安全风险等信息,这里不再赘述.

根据上述时变计算结果,调整计划方案,并对现场进行检修、调整速度等预处理,并再次实验,直达到理想实验结果,为生产执行做好基础准备.

2.3 精准过程控制机理

上述时变计算实验的主要目的是:1)确定最优化生产方案,以便降本增效,并提高短期质量控制和标准化安全生产水平;2)对人员、设备及环境健康进

行诊断,以便事前处理;3)预测生产过程中可能发生的非常规突发事件,以便应急准备.矿山生产的精准过程控制是以时变计算实验为前置条件,在确定最优生产方案、人员设备健康状态预处理及充分的应急准备基础上,通过循环指令式执行过程.

如图5所示,可借助物理网技术,执行层首先下发生产指令,现场接收到指令后遵照执行,同时将现场人员设备环境状态及矿岩空间和产量传输到人工系统,人工系统通过代理推演的方式综合分析当前各代理状态和整体行为状态,交由现状与计划比对模块进行比对,之后根据比对结果生成执行指令,并下发到现场,如此循环执行.指令生成的规则如下:

- 1)若经济指标已达到计划要求,则终止生产;
- 2)若人员、设备或环境健康状况已低于生产计划的最低要求,则停止生产,预警调度人员停产检修;
- 3)若监测到非常规突发事件发生或可能发生的概率达到生产计划的临界值,则停止生产,预警调度人员处理;
- 4)若生产工序上的各环节不协同,且某设备的前置设备过快,则新的指令需要体现对相应设备的速度调整;
- 5)根据矿石质量的稳定均衡要求,适当控制各出矿点的生产速度,以提高矿石生产的短期质量控制水平;
- 6)除上述情况或其他指定的特殊情况外,继续下发常规生产指令.

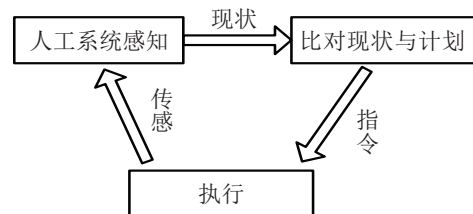


图5 循环指令式精准过程控制

3 结论

本文面向“实验-执行”式的生产模式,首次提出了先虚拟实验再精准执行机制,阐述了人工建模、虚拟实验和精准过程控制机理,强调生产执行需要以人工系统环境下的零风险、低成本、高效率和快速度的重复实验为前置条件,并以物联网支持下的实时感知为生产过程控制手段,具有较大的科学价值,特色鲜明.具体工作如下:

- 1)分析了国内外矿山“按计划执行”面临的主要问题,指出生产过程中人员、设备和环境的行为趋势难以预估和控制是根本原因.
- 2)提出了先虚拟实验再精准执行模式,阐述了该模式的基本功能结构与运行原理.

3) 以综采过程为例,揭示了人工系统建模、时变计算实验及精准过程执行机理,给出了相关理论基础和关键技术。

本文相关虚拟实验和过程执行平分的基本思路如下:借助多智能体建模工具(如机器人操作系统 ROS 或 Java agent DEvelopment framework)构建矿山系统分布式多代理系统;选用高级编程语言、实时数据库和 3D 渲染框架(如 Unity3D 或 Hoops API)实现时变计算实验软件;在此基础上对接矿山物联网开发实时数据感知、分析及纠偏控制平台。

参考文献(References)

- [1] 钱鸣高, 许家林, 王家臣. 再论煤炭的科学开采[J]. 煤炭学报, 2018, 43(1): 1-13.
(Qian M G, Xu J L, Wang J C. Further on the sustainable mining of coal[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(1): 1-13.)
- [2] Han K K, Golparvar-Fard M. Appearance-based material classification for monitoring of operation-level construction progress using 4D BIM and site photologs[J]. Automation in Construction, 2015, 53: 44-57.
- [3] 冯治东, 王桃, 顾清华, 等. 矿井突水平行应急管理理论和方法基础研究[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(12): 3289-3296.
(Feng Z D, Wang T, Gu Q H, et al. Study on parallel emergency management method for mine water inrush[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2017, 37(12): 3289-3296.)
- [4] 郭达志, 杨维平, 韩国建. 矿山地理信息系统中的空间和时间四维数据模型[J]. 测绘学报, 1993, 22(1): 33-40.
(Guo D Z, Yang W P, Han G J. A spatial and temporal 4-D data model for mine GIS[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1993, 22(1): 33-40.)
- [5] 顾清华, 卢才武, 冯治东, 等. 地下矿井巷施工及采矿生产过程的 4D 时空变化动态模拟技术[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2016, 48(4): 610-616.
(Gu Q H, Lu C W, Feng Z D, et al. The dynamic simulation technology of underground mine construction and mining production based on 4D spatial and temporal data[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2016, 48(4): 610-616.)
- [6] 王飞跃. 平行系统方法与复杂系统的管理和控制[J]. 控制与决策, 2004, 19(5): 485-489.
(Wang F Y. Parallel system methods for management and control of complex systems[J]. Control and Decision, 2004, 19(5): 485-489.)
- [7] 伦淑娴. ACP 理论的平行执行方式分类研究[J]. 自动化学报, 2012, 38(10): 1602-1608.
(Lun S X. Research on the classification of parallel execution modes of ACP theory[J]. Acta Automatica Sinica, 2012, 38(10): 1602-1608.)
- [8] 孟荣清, 邱晓刚, 张烙兵, 等. 面向平行应急管理的计算实验框架[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(10): 2459-2466.
(Meng R Q, Qiu X G, Zhang L B, et al. Parallel emergency management oriented computation experimental frame[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2015, 35(10): 2459-2466.)
- [9] Wang F Y. Parallel control and management for intelligent transportation systems: Concepts, architectures, and applications[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(3): 630-638.
- [10] Ning B, Dong H R, Wen D, et al. ACP-based control and management of urban rail transportation systems[J]. IEEE Intelligent Systems, 2011, 26(2): 84-88.
- [11] Duan W, Cao Z D, Wang Y D, et al. An ACP approach to public health emergency management: Using a campus outbreak of H1N1 influenza as a case study[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2013, 43(5): 1028-1041.
- [12] Wang F Y, Wang X, Li L X, et al. Steps toward parallel intelligence[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2016, 3(4): 345-348.
- [13] 王晓, 韩双双, 杨林瑶, 等. 基于 ACP 的动态网民群体运动组织建模与计算实验研究[J]. 自动化学报, 2020, 46(4): 653-669.
(Wang X, Han S S, Yang L Y, et al. The research on ACP-based modeling and computational experiment for cyber movement organizations[J]. Acta Automatica Sinica, 2020, 46(4): 653-669.)
- [14] 毕林. 数字采矿软件平台关键技术研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010: 1-30.
(Bi L. Study of key technologies of platform of digital mining software system[D]. Changsha: Central South University, 2010: 1-30.)
- [15] 李翠平, 曹志国, 钟媛. 矿井火灾的场量模型构建及其可视化仿真[J]. 煤炭学报, 2015, 40(4): 902-908.
(Li C P, Cao Z G, Zhong Y. Field variables modeling and visualization simulation of fire disaster in underground mine[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(4): 902-908.)
- [16] 刘光伟, 宋佳琛, 白润才, 等. 基于 C-F 方法三维地质模型精度评价研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(11): 192-198.
(Liu G W, Song J C, Bai R C, et al. Study on accuracy evaluation of 3D geological model based on C-F Method[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(11): 192-198.)
- [17] 武强, 徐华, 杜沅泽, 等. 矿山突(透)水灾害应急疏散模拟系统与工程应用[J]. 煤炭学报, 2017, 42(10): 2491-2497.
(Wu Q, Xu H, Du Y Z, et al. Emergency evacuation

- simulation for water bursting disaster in mine[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(10): 2491-2497.)
- [18] 韩彪, 江永亨, 王凌, 等. 基于即时交货的离散时间模型及其在炼油过程调度优化中的应用[J]. 控制与决策, 2020, 35(6): 1361-1368.
(Han B, Jiang Y H, Wang L, et al. Instant delivery based discrete-time model and its application in refinery process scheduling optimization[J]. Control and Decision, 2020, 35(6): 1361-1368.)
- [19] Rajendram A, Khan F, Garaniya V. Modelling of fire risks in an offshore facility[J]. Fire Safety Journal, 2015, 71: 79-85.
- [20] Fu R W, Xu Z S. Research on the effects of charring on the polymer combustion process[J]. Procedia Engineering, 2016, 135: 336-342.
- [21] 中国国家标准委员会. 人工智能标准化白皮书(2018版)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-98.
(China National Standards Commission. White paper on artificial intelligence standardization (2018)[S]. Beijing: China Standards Press, 2018: 1-98.)
- [22] Jay Lee. Industrial big data — the revolutionary transformation and value creation in industry 4.0 era[M]. Beijing: China Machine Press, 2015: 1-42.
- [23] Lee J, Behrad B, Kao H G. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems[J]. Manufacturing Letters, 2015, 3: 18-23.
- [24] 张贇宁. 信息物理融合电力系统网络化控制研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2014: 1-21.
(Zhang Y N. Research on networked control for cyberphysical power system[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2014: 1-21.)
- [25] 杨帆, 刘彦, 李仁发, 等. 一种基于数据驱动的CPS建模方法研究[J]. 计算机学报, 2016, 9(5): 961-972.
(Yang F, Liu Y, Li R F, et al. A modeling method research based on data in cyber-physical system[J]. Chinese Journal of Computers, 2016, 9(5): 961-972.)
- [26] 郑悦. 中国制造2025-构建以数据洞察为驱动的新价值网络[R]. 北京: IBM商业价值研究院, 2015: 1-24.
(Zheng Y. Made in China 2025-building a new value network driven by data insight[R]. Beijing: IBM Business Value Institute, 2015: 1-24.)
- [27] 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开采[J]. 煤炭学报, 2012, 37(3): 357-365.
(Wu L X, Wang Y J, Ding E J, 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.)
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 智慧矿山信息系统通用技术规范: GB/T 34679-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-20.
(General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. General technical specification for intelligent mine information system: GB/T 34679-2017[S]. Beijing: China Standards Press, 2018: 1-20.)
- [29] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 煤炭工业智能化矿井设计标准: GB/T 51272-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-15.
(General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Intelligent mine design standard for coal industry: GB / T 51272-2018[S]. Beijing: China Standards Press, 2018: 1-15.)
- [30] 袁亮. 煤炭精准开采科学构想[J]. 煤炭学报, 2017, 42(1): 1-7.
(Yuan L. Scientific conception of precision coal mining[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(1): 1-7.)
- [31] 任怀伟, 王国法, 赵国瑞, 等. 智慧煤矿信息逻辑模型及开采系统决策控制方法[J]. 煤炭学报, 2019, 44(9): 2923-2935.
(Ren H W, Wang G F, Zhao G R, et al. Smart coal mine logic model and decision control method of mining system[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(9): 2923-2935.)
- [32] 谢和平, 王金华, 王国法, 等. 煤炭革命新理念与煤炭科技发展构想[J]. 煤炭学报, 2018, 43(5): 1187-1197.
(Xie H P, Wang J H, Wang G F, et al. New ideas of coal revolution and layout of coal science and technology development[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(5): 1187-1197.)
- [33] 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 G F, Ren H W, Pang Y H, 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.)

作者简介

冯治东(1985—), 男, 副教授, 博士, 从事复杂系统仿真与控制、矿业系统工程、智能矿山和无人矿山等研究, E-mail: fanston@126.com;

井石滚(1967—), 男, 教授级高级工程师, 博士, 从事矿山信息化管理、系统优化与决策等研究, E-mail: Jingsg@cn.cmoc.com.

(责任编辑: 闫妍)