

/ 摘要 /

为推动矿产行业的可持续高效发展,提高矿山开采管理质量和效率,响应国家“双碳”战略,智慧矿山理念应运而生。智慧矿山结合物联网、互联网、大数据、云计算、三维可视化等多种先进技术,融合先进的管理方式和手段,实现各项矿山生产信息和数据的科学采集、整合及有效分析,优化矿山生产过程。

非煤智慧矿山建设与展望

方江杰 林东 罗腾 杨凡

国家发展和改革委员会先后发布了《有色金属行业智能矿山建设指南(试行)》《有色金属行业智能冶炼厂建设指南(试行)》《有色金属行业智能加工厂建设指南(试行)》等重要文件,明确了有色金属矿山智能化分类分级建设目标与技术路径。2018年5月1日国家《智慧矿山信息系统通用技术规范》(GB/T34679—2017)正式颁布实施,该技术规范是我国第一部以“智慧矿山”命名的国家标准规范,标志着我国智能化矿山建设领域迈入了新的发展阶段,智慧矿山的推广与发展成为矿山企业实现高质量发展的主要路径。

智慧矿山研究与建设在部分矿山已经取得了较好成果,但大部分的研究成果更多是针对智慧矿山某些特定业务的探索,对全局规划和未来发展方向和趋势,成果及分析报道较少。因此,本文从宏观角度,针对我国非煤智慧矿山建设和发展方向,多维度探讨分析重点研究方向。

智慧矿山定义与建设必要性

定义

智慧矿山是指具备深度分析采集后的安全生产

数据,为决策者提供可视化、直观合理的分析结果,实现自动远程控制,进一步迭代优化系统的数据和算法,实现精准可靠的智能管控。智慧矿山建设和发展为阶段性完成。目前,智慧矿山基于数字矿山,融合人工智能、物联网、云计算储备和大数据等技术,矿山生产的实时监测、故障分析、全面感知和协调发展等全方位、多维度的智能化管理,为无人矿山建设奠定基础,推动矿山资源、采矿全阶段计划、生产、管理和决策等过程的数字化和智能化。

建设必要性

智慧矿山建设是我国矿业科技创新发展的前沿方向,是矿业可持续发展的重要保障。近年来,在国内大数据、5G、云计算、物联网等技术与矿业融合发展背景下,智慧矿山建设进程加快,并产生了一系列蝴蝶效应,存在着巨大的行业发展前景。2022年我国智慧矿山服务市场规模,从2017年的468亿元增长至2 326亿元,2023年智慧矿山服务市场规模突破3 000亿元。国内2018—2023年智慧矿山市场规模如图1所示。

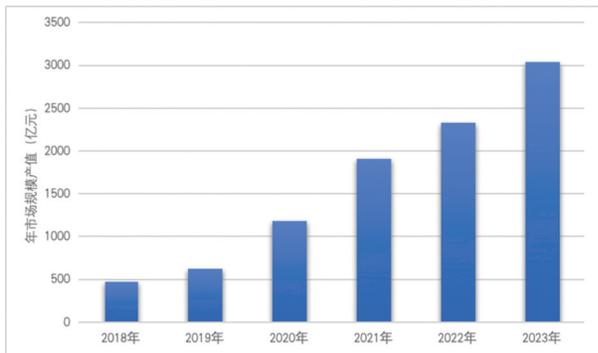


图1 2018—2023年智慧矿山市场规模

智慧矿山发展历程及存在问题

发展历程

我国矿山开采经历了机械化、自动化、智能化的3个发展阶段。结合自动化矿山、信息化矿山及数字化矿山的发展背景及特点，智慧矿山发展分成4个阶段，具体如图2所示。

(1) 单机自动化阶段 (20世纪90年代)

矿山生产过程中，分类传感技术和二维GIS平台得到应用，形成单机传输通道，实现了可编程控制、远程集控运行、报警与闭锁。解决了传统控制器占用空间大、成本高等问题，提高了矿用设备控制的可靠性，减少了设备停机时间。但由于有线网络通信是信号传输的唯一方式，单机系统只能在本地采集信号，各系统间难以进行信息交换，形成子

系统信息孤岛格局，通信网络严重制约了矿山自动化的发展。

(2) 综合自动化阶段 (21世纪初)

随着BIM、大数据、云计算技术的应用，实现了局部闭环运行、多系统联动及专业决策。人工智能及大数据技术应用，实现了协同控制，为矿山分析决策、动态预测提供了新渠道。但装备智能化水平还需提升，信息语义化描述未形成统一标准，信息通信技术和传统矿山技术的融合应用，还停留在初级阶段。

(3) 局部智能化阶段 (2010年至今)

综合集成平台与3D GIS数字平台的应用，以及高速网络传输网络建设，实现了初级数据处理及系统联动、信息综合发布。无线传感网络及以太网技术，解决了子系统信息孤岛问题，实现了全矿信息共享。但传感器与各装备未实现完全互联，智能控制局限于本系统，设备间无法协同控制，且未进行数据深度挖掘与应用。

(4) 全面智能化阶段 (未来)

智慧物联与机器人广泛应用，云计算及边缘计算深度融合，实现数据的高效复杂处理。大数据及人工智能满足智慧矿山日常需求。进一步优化各类传感器，大量智慧体及各子系统接入到云平台，更高效的智能决策方案，满足矿山智能化需求。

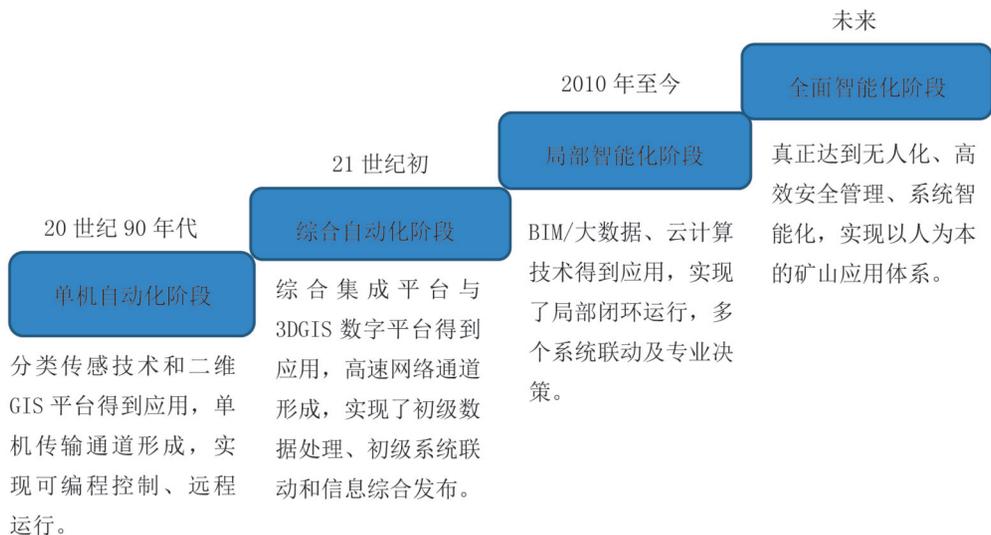


图2 智慧矿山发展阶段

存在问题

智慧矿山建设仍处在培育和示范阶段。发展不充分、不平衡、整体水平不够高、常态化运行困难等突出问题，与真正实现全面智慧矿采还有一定距离。具体情况体现在以下6个方面。

(1) 智慧矿山建设相关标准有待完善

矿山企业在实施信息化过程中，缺少顶层设计和规划，以及相应的规范和标准，各企业间盲目竞争，所建系统交互性低、重复性高、实用性差。

(2) 企业对智慧矿山认识不够

企业对自身智慧矿山建设的程度和目的，缺乏清晰认知，未充分认识到智慧矿山建设对产业转型、发展前景的意义和价值。

(3) 智慧矿山建设不够“智慧”，存在“信息孤岛”

矿山企业信息化进程中，已经实现了各子系统网络化整合，但从各个系统中获得的大量数据并未有效共享，各系统间相互独立，造成了矿山企业“信息孤岛”，需进一步发掘和利用大数据蕴含的巨大价值和优势。

(4) 重视硬件设备，软件集成有待提高

矿山企业在实施信息化过程中，注重硬件设备投资，忽视软件使用，对软件集成控制投入甚少。根据相关部门统计，矿山行业中对应用软件的投资只占信息化投资20%，造成大量信息资源未得到合理、高效使用，未能更好地为矿井生产经营提供数据服务。

(5) 员工对智慧矿山的认知水平有待加强，缺乏相关培训

智慧矿山建设中，最大阻力来自于底层员工，由于缺乏相关的培训以及对智慧矿山建设的认知，在推广应用的过程中存在障碍。

(6) 智慧矿山最早应用于煤矿，逐渐应用于非煤矿山

不同矿山在实现智能化的技术路径过程中差异巨大，智能化煤矿建设技术及装备，在非煤矿山应用较缓慢。基于上述问题，非煤矿山的智慧矿山发展和建设，需要循序渐进不断发展完善的过程，具

有阶段性，在具体实施过程中，存在很多亟须解决的问题。

智慧矿山建设目标及内容

建设目标

智慧矿山建设的总体目标是建设具有感知、联动、分析、决策能力的智慧矿山管控一体化，建设全流程数据中心、安全生产联动解决方案、子系统无人值守等智能化综采工作面系统；实现信息化与自动化深度融合，助力企业转型升级，建成“安全、绿色、高效、智能”的智慧化矿山，最终达到减员增效、无人值守的目的。

基于空间和时间的四维地理信息，建设通信“一张网”、云计算、大数据虚拟化、计算机软件及各种网络，集成应用各类智能感知、数据通信、自动控制、智能决策等技术，深度融合矿山信息化、工业自动化；实现矿山开采过程的全流程、全过程数字化，并有效存储和管理数据，持续应用于生产过程并优化生产，以保障矿山生产安全、提高生产效率。完成矿山企业所有信息的精准实时采集、高可靠网络化传输、规范化信息建设、实时可视化展现、生产环节自动化运行，为各类决策提供智能化服务和数字化智慧体，并提前预测和防治人一机一环的隐患、故障和危险源，整个矿山具有自我学习、分析和决策能力。通过智慧矿山建设，全面提升矿山生产、经营、管理的智能化水平，并实现以下3方面目标。

(1) 建立智慧矿山信息化标准体系

实现矿山环境监测、生产过程控制、人员及设备管理的软件定义，实现各子系统互联互通、融合联动。对矿山人、机、环位置和状态信息的全时、全域智能感知，主动预防和应急处置，创建本质安全型矿山。

(2) 按照智能化需求对业务流程进行优化与再造

建立管理协同化与流程自动化的智能管控体系，实现精简高效的现代化企业管理。基于智能管控体



系,实现地质、测量、水文、储量、通风、生产设计、生产调度、安全、内部市场化、物流、运销、办公、党建等矿山业务的信息化、智能化协同管理,提高矿山企业工作效率。

(3) 构建矿山数字孪生

基于矿山的协同设计与模拟运行,并通过虚拟矿山与真实矿山的相互影响与动态修正,实现矿山全生命周期管理。实现矿山回采、掘进、运输、通风、压风、排水、供电等主要生产环节的智能化决策和自动化运行,实现矿山无人或少人化作业。

主要建设内容

(1) 加强非煤智慧矿山建设

智慧矿山最早提出并在煤矿建设与应用。目前逐步应用到非煤矿山、智慧城市等领域。全国有3万多座非煤矿山及露天矿山,同样由于安全管理、资源储量等原因亟须“智慧化”改造。非煤矿山相比较煤矿没有瓦斯爆炸风险,但因矿体条件复杂,风险规避及“智慧化”改造存在一定差异,智能化建设具有较大需求。合理借鉴煤矿智能矿山建设的成功经验,并应用于非煤矿山,加强非煤智慧矿山的建设。

智能矿山建设满足顶层设计、施工建设、运行维护一体化,内容包括远程控制平台、智能系统基站、配套传感器、智能摄像头等基础设施,智能化改造大型装备,建立交互式信息平台、数据分析系统平台等,各子(分)控制系统相互衔接与融合,实现综采、综掘、安全等子系统融合,形成整个智能矿山的成套控制系统。

截至2024年4月,全国具备智能化工作面的煤矿约1400座,产能每年约21亿t。另外228座非煤矿山,破碎、运输、给排水、在线监测监控等环节实现了智能化,其他环节正在逐步应用。

(2) 制定相关技术规范

智慧矿山建设的必要前提是制定技术规范与标准。优先制定顶层设计、关键技术规范和标准,主要包括智慧矿山指标体系及评价标准、体系架构及

数据交互规范、决策平台及设计规范、矿井一体化通信技术要求、数字化矿井数据交互标准、元数据标准、数据仓库技术要求、数据融合规范、数据库技术要求、数据挖掘技术要求、云计算技术要求、大数据技术要求等。

(3) 构建标准化体系

智慧矿山建设的关键是实现层、级、链多维度的集,链集成是矿山生产整个流程集成,通过链集成解决系统繁杂、数据库分离、信息查看不便问题;级集成是整合矿山经营生态环境,实现组织间信息系统连接和数据共享。集成过程中需建立标准体系。由于价值链活动主要基于矿山开采、生产、销售等信息化、数字化,链集成主要标准需求是矿山行业标准。级集成是各组织层级到整个社会的整合,因此级集成基于国家标准或国际标准制定。

在标准的制定中,立足于现有的国际、国家以及地方相关标准,结合矿山行业及智慧矿山建设的目标和任务,充分考虑标准的实用性、适用性和专业性。智慧矿山建设相关标准参考见表1。

(4) 研发智能化装备

矿山智慧化开采方面

需研究成套智能采选装备,需突破多项关键核心技术,包括采矿技术运输发动机的基于有机物质的混合替代燃料的技术、基于非煤矿山开采极薄矿体的采矿技术、压缩空气储能绿色低碳湿法采矿技术、高速率采矿技术仿真建模技术及各种采矿充填技术等。

矿山安全保障

研究安全防控多系统井下融合与应急联动技术、基于5G+矿山安全管理技术、多种传感器等。还需要不同种类的非煤矿山实际应用环境,部分传感器增加视、听、振动、雷达等功能。

开发系统性模块与组件

通过各种系统模块监测控制相对应区域,实现采矿、选矿智能远程统一管理,采集数据统一集中监测。实际案例具体架构如图3所示。

矿山安全保障系统采用B/S架构平台,划分将为9个功能模块:生产监控、设备管理、调度管理、

表1 智慧矿山建设国内外相关标准

序号	标准号	标准名称
1	IEC 62890	工业流程测量、控制和自动化系统及产品生命周期管理标准
2	IEC 61512	批量控制标准
3	DOL 30 CFR 56-2018	安全与健康标准-露天金属和非金属矿山
4	GB/T 34679-2017	智慧矿山信息系统通用技术规范
5	CFR 30(PTS1-199)-2015	矿产资源
6	DZ/T 0376-2021	智能矿山建设规范
7	NB/T 10520-2021	现代化安全高效绿色露天煤矿评价规范
7	GB 50070-2020	矿山电力设计标准
8	DB13/T 5641-2022	煤矿智能通风建设技术规范
9	DB1506/T 33-2023	露天煤矿智能化建设与管理规范
10	DB23/T 3474-2023	非煤智慧矿山信息系统技术规范

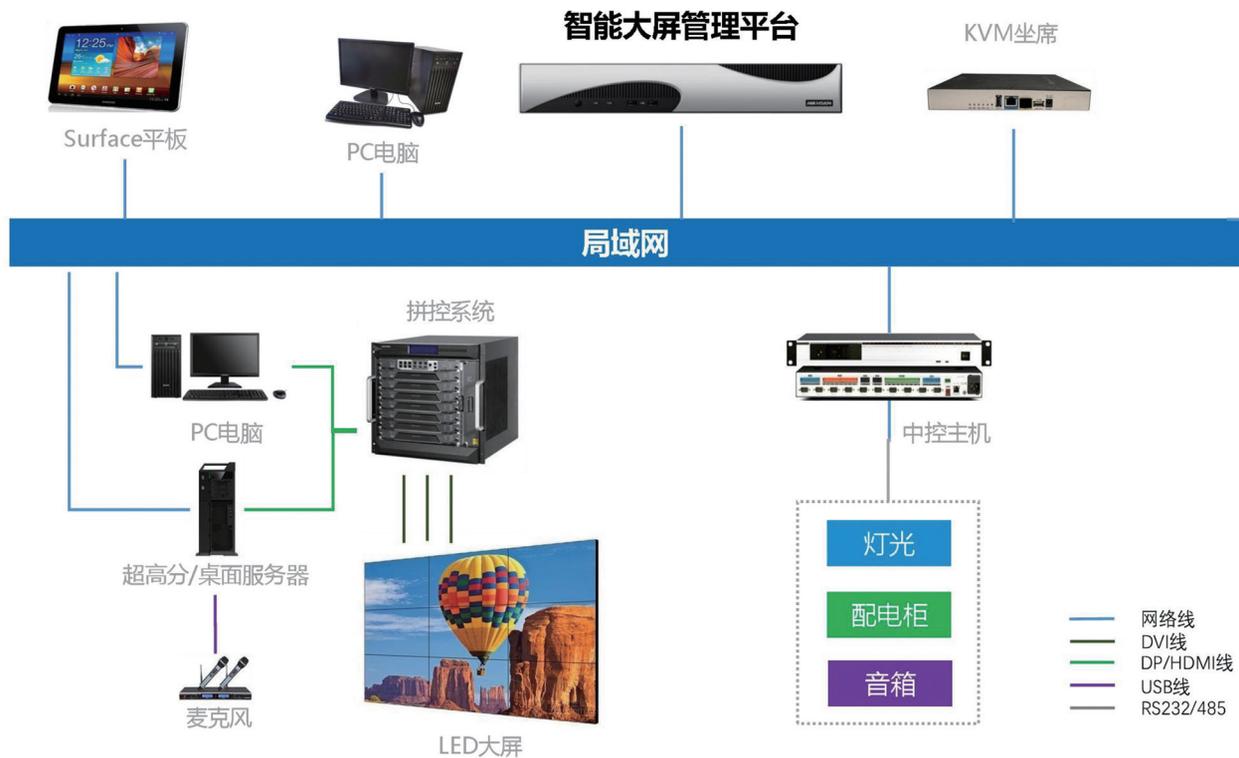


图3 矿山安全保障系统架构

计划管理、能源管理、数据融合、人员管理、系统管理、安全管理，后期可依据生产规划定制设计各板块。各子系统与矿山安全生产管控系统，提升矿山安全生产的综合管控能力，加强内部协作与通信，有效控制运营成本，提高生产和管理效率，具体如图4所示。

“1+N”整体解决方案

针对矿山智能化需求，制定“1+N”整体解决

方案。其中“1”是指打造1个经营管理中心，用于全矿运行的经营、管理和决策。并建设“N”个子系统，实现互联互通。由上述“1+N”共同组成矿山的综合信息化系统，实现集中管控，数据共享，移动互联，业务融合，科学高效的运营体系。矿山根据自身需求确定智慧矿山建设的规模和类型，在N个子系统中选择需要的子系统。管控一体化平台如图5所示。



图4 各板块功能概况

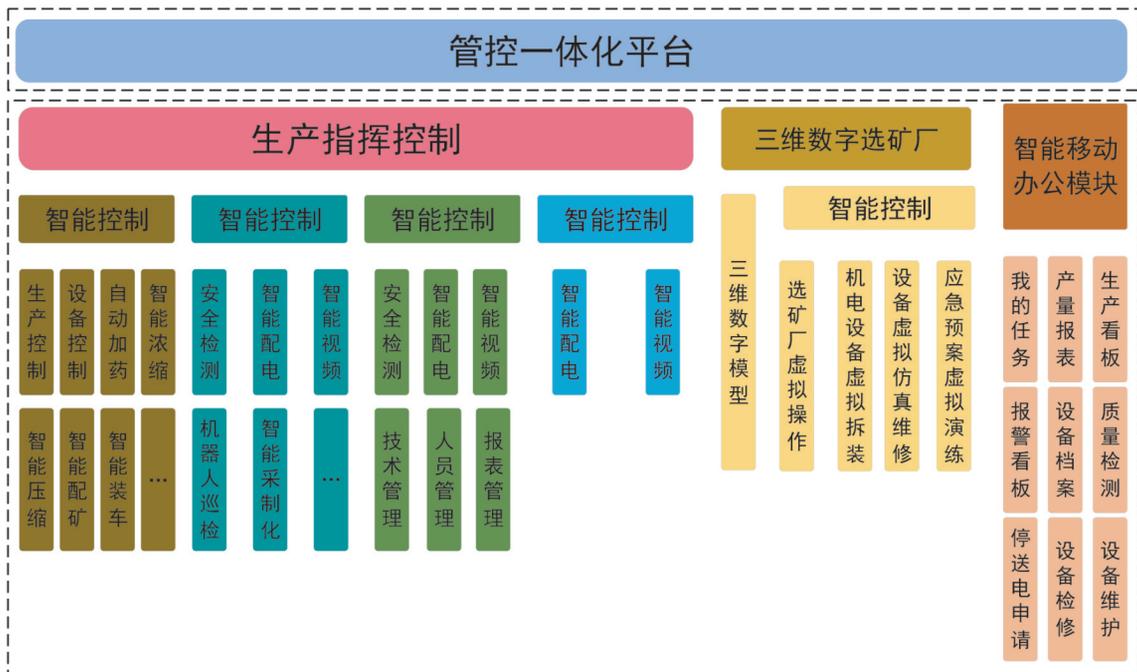


图5 管控一体化平台

建立集中管控平台

集中管控平台面向定制开发，主要建设内容包括：智慧矿山云平台、矿区资源总览中心、矿山远程视频监控中心、固定场所设施无人值守监控中心、

选矿厂生产自动化管控中心、采场生产自动化管控中心、矿山安全监测预警中心、矿山环保环境监测中心、矿区水环境监测中心、矿山复垦区动态监测中心、矿山地质环境动态监测中心、矿山经营管理

中心等构成了矿山自动化集中管控平台，统一集中显示自动控制系统、远程监控系统等。实际应用效果如图6所示。

智慧矿山建设展望

智慧矿山的理论研究和建设实践为循序渐进过程，对实现绿色矿山、矿山可持续发展等战略性目标具有重要意义，也是资源可持续化和矿业行业长久发展的保障。在未来，智慧矿山将主要从以下3方面进行探究。

(1) 安全环保，绿色矿山

2017年国家六部门联合印发《关于加快建设绿色矿山的实施意见》，其中明确提出新建矿山全部达到绿色矿山建设要求，生产矿山加快改造升级，逐步达到要求，实施100个绿色勘查项目示范，建设50个以上绿色矿业发展示范区。2019年下半年自然资源部正式公布了九大行业的《国家绿色矿山建设规范》，也指明了今后我国矿山行业的战略方向。

(2) 资源可视化

根据自然资源部披露信息可知，2021年我国建100个初级智能化示范矿山，到2025年，大型矿山和灾害严重的矿山将基本实现智能化；到2035年，各类矿山基本实现智能化，构建多产业链、多系统集成的矿山智能化系统，建成智能感知、智能决策的矿山智能化体系，实现安全绿色、高效、智能化生产。矿山多类型传输网络、管理、自动化等系统高度集成打造“智慧大脑”。

(3) 流程无人化

随着我国矿山开采深度增加，行业风险也随之

上升。在2022年8月，科技部发布《关于支持建设新一代人工智能示范应用场景的通知》指出，运用人工智能等技术，建成矿井“数字网联、无人操作、智能巡视、远程干预”的常态化运行示范采掘工作面，开展露天矿矿车无人驾驶、铲运装协同自主作业示范应用，通过智能化减人换人，全面提升我国矿山行业本质安全水平。

总结

我国智慧矿山建设经过近20年的发展，在理论研究、软硬件产品研发以及实践应用等方面取得了多方面的成果，但仍存在缺乏顶层统一设计、标准和规范缺失、企业重视程度不够、员工综合素质参差不齐等问题，本研究总结归纳了现阶段的存在问题，明确了建设目标、展望了建设方向，得出了以下结论。

(1) 梳理并分析各矿山中的固有信息（如地理位置、周围地貌、井下地质、工艺流程、开采方案、员工工作区域等），利用三维建模建设成数据化“智慧矿山”模型。

(2) 在矿山实现全面数字化的基础上，加快实时监控的全面智能化，导入相关生产数据信息（如海拔、厂房位置、水文、储量、机电、人事、生产等）组成更加可控、多维度的“智慧矿山”，实现矿山生态环境、生产过程、安全管理的全天候无死角的智能化监控。

(3) 通过综合分析数据，实时采集智慧矿山的生态指标、生产指标、安全指标等各项关键数据，实现矿山生产运营稳定可控，为精准决策提供可靠的数据支撑。

■ 策划:李金松 编辑:戴春雷



图6 矿山集控云平台

作者简介:

方江杰，硕士，主要从事智慧矿山解决方案研究工作。E-mail: koenigseggj@163.com

作者单位: 北京矿冶数科信息技术有限公司