

绿色智慧矿山发展现状及建设原则建议

孙呈鹏¹, 杨沛¹, 白晓帆¹, 周剑^{2,3*}

¹甘肃建投矿业有限公司, 甘肃 兰州

²中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州

³美丽华夏生态环境科技有限公司, 北京

Email: *jzhou@lzb.ac.cn

收稿日期: 2020年12月20日; 录用日期: 2021年1月25日; 发布日期: 2021年2月7日

摘要

绿色智慧矿山是以自动化、智能化、现代化为标志的新一轮工业革命和技术革命, 是国家实现高质量发展和促进安全生产的重要途径和抓手。文章综述了国内外绿色智慧矿山的发展现状及存在的问题, 并提出了绿色智慧矿山建设应遵循的原则和建议, 为我国绿色智慧矿山发展建设提供决策和参考。

关键词

绿色智慧矿山, 建设目标, 建设原则, 决策和参考

Development Status of Green Smart Mines and Construction Principles and Suggestions

Chengpeng Sun¹, Pei Yang¹, Xiaofan Bai¹, Jian Zhou^{2,3*}

¹Gansu Construction Investment Mining Co., Ltd., Lanzhou Gansu

²Northwest Institute of Eco-Environmental and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu

³Meili Huaxia Ecological Environment Technology Co., Ltd., Beijing

Email: *jzhou@lzb.ac.cn

Received: Dec. 20th, 2020; accepted: Jan. 25th, 2021; published: Feb. 7th, 2021

Abstract

Green and smart mines are a new round of industrial revolution and technological revolution marked by automation, intelligence, and modernization. It is an important way and grasp for the

*通讯作者。

country to achieve high-quality development and promote safe production. The article summarizes the development status and existing problems of green smart mines at home and abroad, and puts forward some principles and suggestions to be followed in the construction of green smart mines, and provides decision-making and reference for the development and construction of green smart mines in our country.

Keywords

Green and Smart Mine, Construction Target, Construction Principle, Decision-Making and Reference

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

“绿色智慧矿山”是以矿山数字化、信息化为前提和基础，在矿产资源开发全过程中，对生产、职业健康与安全、技术支持与后勤保障等进行主动感知、自动分析、快速处理，最终实现矿山安全化、环境生态化、开采科学化、资源利用高效化、建设清洁化、管理信息数字化和矿区社区和谐化。2016年国务院颁发《国家信息化发展战略纲要》和《“十三五”国家信息化规划》，首次提出以“信息化驱动现代化”，建立“数字中国”的战略要求，要求推进信息化和工业化深度融合，加快实施《中国制造2025》纲领。因此，面对新形势、新常态、新要求，我国矿山建设工作应牢牢把握行业自动化、智能化发展前沿趋势，加快绿色智慧矿山建设探索和研究，大力推动矿山生产模式变革、效率变革、动力变革。

随着物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术的迅速发展，以自动化、智能化、现代化为标志的新一轮工业革命、技术革命正在蓬勃兴起，颠覆性的创新和变革正在各行业不断涌现。目前，国内外都在积极推进矿山技术的智慧化研究，智慧化矿山是矿山技术发展的根本方向，适应了世界科学技术的潮流和方向，在政策不断加码和技术推动下，绿色智慧矿山建设是大势所趋。

2. 国内外发展现状

自上世纪80年代初以来，随着计算机，特别是微型计算机技术的出现和成熟，国内外都投入了大量的人力、物力开展计算机在矿山的应用研究，并召开了数十次国际学术会议，如APCOM国际学术会议，为现代化矿山的建设和生产提供了高技术支持。

2.1. 国外绿色智慧矿山发展现状

国外发达国家矿山计算机应用不仅时间早，而且已经开发出一些功能比较成熟的商业化软件系统。到目前为此，国外矿山信息化技术和软件已经实现了核心技术的研发和实用化、矿山专用软件开发队伍和研究机构已经较为成熟。

从20世纪90年代开始，芬兰、瑞典、加拿大、澳大利亚等国家为取得在采矿工业中的竞争优势，都先后制定了“智能化矿山”或“无人化矿山”的发展规划，如加拿大国际镍公司研制了基于有线电视和无线电发射技术相结合的地下通讯系统，可实现视频信号的多频道传输、每台设备可独立或联动操控[1]；相关技术还可实现诸如铲运机、凿岩台车、井下汽车等的无人驾驶[2]，工人在地面中央控制室就可直接操作生产设备[3]。在智慧矿山未来发展方面，加拿大制订出2050年远景规划，即在加拿大北部边远

地区建设一座无人化矿山[4];在芬兰,智能化矿山技术规划涉及采矿实时过程控制、资源实时管理、矿山信息网建设、新机械应用和自动控制等 28 个专题[5];瑞典则制定了向矿山自动化进军的“Grounteknik 2000”战略计划[6]。

虽然国外在矿山信息化领域发展迅速且成果丰硕,但仍存在诸多问题,如:① 软件系统大多与非层状露天采矿和设计相关,且主要满足制图和设计业务流程的需求,缺乏矿山决策支持功能,无法在矿山,尤其地采矿山中得到良好应用;② 国外目前开采的基本都是条件相对简单的矿山,导致研究成果在矿山信息化领域应用有限;③ 对 3S 技术的集成应用研究较少,而且物联网、决策支持等概念和技术与矿业的联结也刚崭露头角,矿山软件系统缺乏实用化功能模块。

2.2. 国内绿色智慧矿山发展现状

2010 年开始智慧矿山的概念逐渐从发达国家传入我国,诸多设备研发单位和科研院所竞相提出自己对智慧矿山的理解。在发展过程中,我国智慧矿山技术的发展从原始阶段、机械化、数字化阶段,逐步向智慧化阶段迈进。

在智慧生产系统方面,为了实现矿山开采的无人值守和自动化作业,不同企业从 2000 年开始逐步实现了矿业生产自动工作面、海下矿藏开采无人工作面等。例如,2005 年大同引进 DBT 刨煤机自动工作面,2010 年龙口矿业集团完成了首个海下无人面,2019 年河南义煤集团实现了首个综放工作面等[7] [9]。

在智慧生产辅助系统方面,从 50 年代开始,矿山生产辅助系统研发工作主要集中在利用 DBASE 数据库管理系统、BASIC、FORTRAN 等算法语言开展地学信息(包括地质、测量、水文、储量的管理)、采矿信息的数据库管理、多元统计方法在矿山的应用、地学和矿压参数的预测预报、通风网络的解算、矿山的优化设计等;利用 AutoCAD 进行矿图的绘制研究,矿山设计算法的研究;利用 ARC/INFO 进行与矿山生产有关的专题性研究,如矿山突水的预测预报等。进入 90 年代后,由于计算机图形技术的进一步引进和发展,井下通讯、通风等信息系统的地理空间位置表示方面引入了与采掘工程有关的简单图形。由于缺乏空间信息管理手段,矿山信息化研究仍未得到实质性突破,难以在矿山日常生产中推广使用,矿山日常空间信息的处理、查询、图形修改和绘制仍采用传统手工方式。到本世纪初,矿山空间管理信息系统理论和技术得到进一步发展,面向矿山地质、测量、通风等行业软件开始出现,例如,矿山地测专业制图系统和基于 ArcEngine 的二次开发系统[7],基于 AutoCAD 的智慧矿山模型和矿山生产技术软件包[8],以及基于 ADS 采用原型法在 AutoCAD 平台上用 C 语言开发的露天矿采剥计划 CAD 系统[9]。

在智慧职业健康和节能环保系统方面,随着矿山信息化需求加强,矿山信息化从单纯的制图软件逐步转向为矿山矿图、数据的管理、更新等提供信息的共享和服务,逐渐向矿山通风安全应用和环境保护等方面转变。近年来,工业电视系统、瓦斯监测系统、束管系统、矿压监测系统、井下人员管理及定位系统、井下工业环网、组态软件也逐步在矿山建设中得到推广[10] [11],为矿山的安全生产起到了保驾护航作用。

目前,中国诸多矿山企业都加大了信息化建设投入,为打造智慧矿山而努力。由于矿山是一个以资源开发为对象的离散生产系统,主要作业处于地表深处,地质条件复杂、环境恶劣,瓦斯、粉尘、水害、顶底板事故、火灾隐患难以探测和辨识,大型事故时有发生。中国矿山在矿山勘察、规划、设计、生产、管理、全过程监控等信息化领域与发达采矿国家的差距越来越大,中国矿山既没有把信息资源当作矿山的重要战略资源之一加以统筹开发和利用,更没有形成系统性能稳定、信息资源充足的矿山信息基础设施,智慧矿山建设任重道远。在安全生产方面,2008 年我国已经建设了安全监测监控系统(包括采掘工作及井下主要作业场所的瓦斯、粉尘、温度、CO 等的监测和超限断电控制的报警)、综合自动化系统、井下人员定位系统、无线通讯系统等;在经营管理方面,应用建设了物资经营考核管理系统、设备租赁系

统、人力资源系统、全面预算系统、财务管理系统、运销管理系统、安全闭环管控信息系统、协同办公系统、全面预算内部市场化管理系统、医疗保险、工伤保险、养老保险、职工医疗健康卫生管理系统、视频会议系统等。例如，锦界矿山通过整合 45 个监控系统，基本实现了矿山信息采集全覆盖、数据资源全共享、统计分析自动化、人机状态全监控、生产过程全纪录的“采、掘、机、运、通”等多元一张图管理，成为国家能源集团打造的首个安全、高效、绿色、智能的智慧矿山[12]。陕煤化集团黄陵矿业公司从 2008 年开始探索实施智能化无人开采技术，在国内率先实现了地面远程操控采煤，真正实现了“无人开采”常态化，填补了我国矿山综采工作面智能化无人开采的空白；通过研发的“传感 + 视频 + 虚拟现实”超前支架智能控制系统，采煤机传感器防护装置、液压支架高可靠性压力、行程、高度、倾角传感元件和 CAN 总线通讯隔离技术，构建了完备的煤 - 油 - 气共生智能化综采工作面环境安全保障技术体系，最终实现了减人提效，取得了显著的经济和社会效益[13]。同煤大唐塔山矿山通过不断摸索，2016 年在实施智慧矿山过程中在基础网络建设上率先实现了一站双网，在定位方面采用行业领先的 30 cm 高精度定位技术，使得人员、设备、车辆、物资的位置和状态实现了精准感知，真正重现一个真实、实时、精准的矿山井下世界，实现了精准管控[14]。

我国矿山信息化建设虽然取得了阶段性成果，但离智慧矿山以及实现矿山的完全信息化管理决策还有很远距离。目前还存在诸多问题，例如：信息化投入有限致使理论研究落后；数据处理的核心技术仍未全面突破；缺乏集成的数据处理平台；重硬件轻软件、重事务处理轻决策支持；缺乏与信息化相适应的企业管理制度；重大危险源分类模糊；缺乏多专业多学科集成的重大危险源检测、识别和预警模型；各检测、监测系统及数据管理平台相对独立，信息不能共享等。

3. 绿色智慧矿山建设势在必行

3.1. 建设绿色智慧矿山是改造提升煤炭产业的必然选择

当前，以自动化、智能化为标志的新一轮工业革命、技术革命正在蓬勃兴起，许多产业走上了自动化集约生产道路，一举改变了行业“标签”，颠覆性的创新和变革正在各行业不断涌现，对传统发展模式带来了巨大冲击和挑战。2018 年，美国煤炭产量 7.54 亿吨，煤炭产业工人只有 7.7 万人，而我国煤炭产量 3.7 亿吨左右，产业工人 580 万人，美国煤炭产业人均效率是我们的 15 倍，百万吨死亡率仅是我们的 1/10 [15]。究其原因，除美国的开采条件优于我们之外，根本原因是其煤炭行业保持了 100% 的综合机械化率，自动化、智能化生产已成为常态。煤炭产业再依靠成本要素驱动，大量投入人力资源和消耗环境的方式已经难以为继，迫切需要赋予新内涵、建立新路径、形成新格局，以先进技术装备对传统方式升级改造，用技术密集型替代劳动密集型，以“科技驱动”取代“人海战术”。

3.2. 建设绿色智慧矿山是实现高质量发展的重要途径

当前，我国经济正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期，对传统能源产业带来革命性、颠覆性影响，煤炭行业发展环境发生深刻变化。中央经济工作会议明确了以新发展理念为主要内容的习近平新时代中国特色社会主义思想，强调牢牢把握高质量发展这个根本。高质量发展是体现新发展理念的发展，是创新成为第一动力、协调成为内生特点、绿色成为普遍形态、开放成为必由之路、共享成为根本目的的发展。绿色矿山建设的持续推进，倒逼矿业行业优胜劣汰、转型升级，带动了区域绿色发展。如浙江省湖州市通过开展全域绿色矿山建设，矿山数量由 1000 余家关闭整合到现有的 47 家绿色矿山，其中 24 家被纳入全国绿色矿山名录[16]。湖州市所有露天矿山开采回采率达到 100%，综合利用率达到 99% 以上，彻底根除了“小散乱”的问题，通过抑尘、节能、减排，改变了“脏乱差”、“尘土扬”和“流水污”的老面孔[17]。

习近平总书记在视察山东省强调“要切实将新发展理念落到实处，不断取得高质量发展新成就”，高质量讲求高效益，高效益需要高效率。“传统产业提质增效，加快新旧动能转换”，这对煤炭产业来讲尤为紧迫和重要。当前矿井系统复杂、环节多、用人多、效率低、均量不高的问题比较突出，必须颠覆传统煤炭生产模式，促进煤炭生产方式变革、效率变革、动力变革。实现矿产资源和土地资源的高效、充分、合理利用，助推我国绿色经济发展。

3.3. 建设绿色智慧矿山是促进安全生产的重要抓手

当前，党和国家对安全的重视程度越来越高，要求越来越严，追责力度越来越大，煤矿不能出事故，也出不起事故。上世纪七八十年代，全国煤矿百万吨死亡率在 7 以上，随着经济社会发展和科技技术进步，煤矿安全管理水平不断提升，2018 年煤矿百万吨死亡率降至 0.093，首次降至 0.1 以下[18]。全面加快绿色智慧矿山建设，利用自动化、智能化减少危险作业岗点，安全薄弱时段的人工作业，践行“无人则安，少人则安”的理念，通过对系统大数据的应用与智慧化分析，实现子系统联动指令发送以及将智能诊断结果进行推送，帮助工作人员进行决策，从而提高工作效率，降低事故损失，从根本上提升安全生产的保障能力。

3.4. 建设绿色智慧矿山是提高生产效率的重要保障

矿井井下一般断层密集，地质条件复杂，由于断层数量多、落差大、分布广，大、中、小型断层互相切割，破坏了煤层的连续性和完整性，造成生产块段小，不规则工作面多，断层打放、搬家撤除频繁，因此造成系统复杂、战线长、人员多，不利于安全高效生产。矿井首先经历建成投产期，随着多年高强度、大规模开采，逐渐过渡到“调整期”和“支撑期”，最后进入“衰老期”。随着生产的推进，现场条件逐步由大块段向小块段、由厚煤层向薄煤层转变，生产效率受到严重制约，必须坚定不移走智能化开采的路子，依靠智能化提高生产效率。依靠强大的科技支撑和先进的“绿色”理念，探索出一条高效率、高效益、低能耗、低污染的可持续健康发展之路，如河北省承德县的 8 个钢铁集团，通过科技创新、绿色发展，改造并使用先进设备和工艺技术，提高了资源利用效率，实现产能大幅提升，降低了能源消耗水平，较升级改造前节电 30%、节水 17% 以上[19]。

3.5. 建设绿色智慧矿山是实现“体面劳动、尊严生活”的根本途径

特别能吃苦、特别能战斗一直是煤矿工人引以为豪的可贵精神品质，但能奉献、能战斗并不意味着一定要吃苦。吃苦耐劳是我们在环境艰苦、条件落后时不得已的自我要求，不应该成为煤矿人永远的标签和命运。对于煤炭人来说，新一代矿工在不断改善的生活环境中成长起来，他们在安全、健康、休息等方面的期待越来越高，特别是 80、90 后，对工作环境、作业条件、健康保障等有着新的认识、更高的期盼，传统的生产模式与员工日益增长的美好生活相向而行。煤矿用工正面临“招不来、留不住”的困境。因此，建设绿色智慧矿山，把职工从危险的作业区域、作业时段中解放出来，改善矿工恶劣的工作环境、营造良好工作氛围，推进企业文化建设，开展“绿色”企业精神文明建设，建立公平发展环境，不仅是体现以人为本理念的应有之义，也是改变煤炭企业形象，提升社会认知的重要途径。

4. 绿色智慧矿山建设原则及建议

4.1. 绿色智慧矿山建设的原则

建设绿色、智慧矿山已成为国内外矿业发展的新趋势，绿色智慧化矿山发展的最高形式，只有实现了智慧化、才能极大提高生产效率和安全水平，从根本上实现安全和谐矿山。因此，绿色智慧矿山建设

应遵循以下原则：第一，以提升企业的管理水平、安全水平和自动化水平为原则；第二，以提高企业核心竞争力为目标，坚持“统一规划、分步实施”的原则；第三，根据实际情况因地制宜、效益优先，坚持按照“先进性、可靠性、可扩展性”的设计原则；第四，以业务为驱动、标准先行，兼顾实用性、成熟性、安全性的原则。

4.2. 绿色智慧矿山建设的建议

绿色智慧矿山建设就是以集中管控、应急联动、数据共享、移动互联、业务融合、智能化为基础，实现矿山开采的回采智能化、掘进一体化、辅助自动化、巡检无人化、信息集成化和矿区生态化。因此，对绿色智慧矿山发展建设提出以下几点建议：

第一，建议将“智慧矿山”中的固有信息(即与空间位置直接有关的固定信息，如地面地形，井下地质、开采方案、已完成的井下工程等)数字化，按三维坐标建设成一个“智慧矿山”，全面、详尽地刻画地表、矿山及矿体。

第二，建议在矿山全面数字化基础上实现监控智能化，通过嵌入所有相关信息(即空间位置间接有关的相对变动的信息，如地测、水文、储量、安全、机电、人事、生产、技术等)组成一个意义更加广泛、多维的“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；强化绿色生态理念引入，促使绿色、可持续理念贯穿整个流程，注重生态保护，珍惜资源，全面贯彻绿色矿山理念，降低能耗，保障开发的合理性。强化资源的应用，减少资源储存量，保障资源最优。

第三，通过数据的综合分析和决策支持，建议对绿色智慧矿山的生态指标、生产指标、安全指标等各项数据进行实时采集，实现矿山运营稳定可控和生态修复稳步推进，进而为精准决策提供数据支撑。

参考文献

- [1] 吴立新, 殷作如, 钟亚平. 再论数字矿山: 特征、框架与关键技术[J]. 煤炭学报, 2003, 28(1): 1-7.
- [2] R.A.普尔, P.V.戈登, G.R.贝顿. 国际镍公司铲运机自动化发展回顾[J]. 世界采矿快报, 1998, 5(15): 34-37.
- [3] M.斯科布尔, 朱敏. 加拿大矿山自动化的进展: 数字化矿山迈向全矿自动化[J]. 国外金属矿山, 1996, 4(15): 60-65.
- [4] 张杨, 刘海燕, 杨依锋, 滕建春. 加拿大北极圈地区某矿山供电方案比选[J]. 能源技术与管理, 2014, 39(4): 150-151.
- [5] 何金祥. 芬兰矿产工业的现状与展望[J]. 国土资源情报, 2013(1): 19-23.
- [6] 刘亮生, 乔雨. 瑞典“采矿技术 2000 年”国家规划[J]. 世界采矿快报, 1994, 10(28): 3-5.
- [7] 顾华奇, 彭惠卿. 基于 ArcEngine 开发矿山地质地图制图系统[J]. 世界有色金属, 2017(23): 277-279.
- [8] 董卫军, 胡乃联. 利用 ADS 技术开发露天矿采剥计划 CAD 系统[J]. 有色矿冶, 1998, 14(2): 3-5.
- [9] 王丽. 人员定位系统在焦家金矿的应用[J]. 南方农机, 2017, 48(14): 173-174.
- [10] 王静. 关于井下环网系统的改造设计[J]. 现代工业经济和信息化, 2019(10): 29-30.
- [11] 何欢, 何忠, 曾欢, 曹臻, 徐岭灵. 元坝气田工业电视监控系统应用优化研究[J]. 计量与测试技术, 2020, 47(4): 11-14.
- [12] 苏志明. 数字矿山在锦界煤矿实践应用及成效分析[J]. 内蒙古煤炭经济, 2018(4): 64-66.
- [13] 杨米会. 黄陵矿业公司智慧化煤矿效益实证分析[J]. 经济管理文摘, 2020(2): 17-18.
- [14] 谷小虎, 赵军. 锐意进取铸辉煌——同煤大唐塔山煤矿有限公司推进现代化矿井建设纪实[J]. 中国煤炭工业, 2014(5): 18-19.
- [15] 袁益, 舒展. 中美能源安全现状比较与启示[J]. 中外能源, 2019, 24(2): 1-14.
- [16] 刘艾瑛. 政府引导标准领跑——浙江省湖州市绿色矿山建设纪实[J]. 资源导刊, 2017(7): 54-55.
- [17] 孙映祥, 吴尚昆, 侯华丽, 董延涛. 浙江省绿色矿山建设经验与启示[J]. 中国矿业, 2018, 27(S2): 46-65.

-
- [18] 席作兵. 浅谈提高煤矿采煤安全管理水平的有效途径[J]. 矿业装备, 2020(3): 122-123.
- [19] 刘玉, 孙振明. 提升经济效益建设节能型钢铁企业——基于河北省钢铁企业的能耗研究[J]. 能源与节能, 2011(10): 43-44.