

# 我国矿山智能机器人应用现状及发展策略

付恩三<sup>1,2,3</sup>

1. 应急管理部信息研究院, 北京 100029
2. 煤矿机器人协同推进中心, 北京 100029
3. 辽宁工程技术大学矿业学院, 阜新 123000

**摘要** 矿山智能机器人是实现智能矿山建设的重要支撑。梳理了我国矿山智能机器人相关政策、技术发展以及应用情况;总结了矿山智能机器人内涵及应具备的智能感知、精准作业、实时定位、智能管控、智能决策以及故障诊断的6个特征;从关键核心技术、数据标准、人才培养等方面分析了我国矿山智能机器人面临的问题,提出应从政策扶持、技术自主研发、人才支撑、标准制定等方面加强对企业的扶持和培养,营造良好智能机器人生态环境。

**关键词** 矿山;智能机器人;高端制造业

机器人的研发、制造是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志<sup>[1]</sup>。我国有各类矿山4万余处,伴随着矿山开采深度增加、开采难度加大、安全事故频发等因素,矿山机器人在替代人工生产方面具有明显优势。矿用机器人正成为增强企业竞争力、降低生产成本的关键,是矿山企业战略转型过程中的重要力量。随着新一轮科技和矿山革命加速演变,新一代信息技术、大数据、人工智能与机器人技术深度融合,我国矿山智能机器人迎来跨越式发展的窗口期。我国矿山已经由高速发展转向高质量发展,建设现代化矿山体系,构建新型智能矿山,迫切需要新兴产业和技术的强力支

撑。矿山智能机器人通过信息感知和数据处理,制定出合理的开采和控制策略,协同完成矿山智能开采、安全保障、应急救援等工作,是今后矿山发展的新模式和新业态,对提高矿山安全性、高效性、推动矿山高质量发展具有重要意义。

许世范<sup>[2]</sup>在1993年提出矿业机器人将是煤炭工业技术发展的一个重要方向,2009年顾玲等<sup>[3]</sup>再次提出发展机器人技术是提升我国矿山机械行业整体科技水平的途径。30多年来,我国矿山机器人有了长足发展,在矿山救援机器人方面,马宏伟等<sup>[4-5]</sup>提出矿山钻孔救援探测机器人发展和设计,与此同时有学者围绕矿山救援机器人所涉及的超

收稿日期:2022-12-16;修回日期:2023-03-27

基金项目:国家自然科学基金项目(51974144);辽宁工程技术大学学科创新团队项目(LNTU20TD-07)

作者简介:付恩三,工程师,研究方向为露天矿山开采理论、智能化以及灾害应急,电子邮箱:429001709@qq.com

引用格式:付恩三.我国矿山智能机器人应用现状及发展策略[J].科技导报,2024,42(2):104-110;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2024.02.010

声波传感器<sup>[6-7]</sup>、视觉技术<sup>[8]</sup>、井下矿工识别理论<sup>[9]</sup>、越障机理研究<sup>[10]</sup>以及矿山救援机器人路径规划<sup>[11]</sup>等方面持续研究。徐嘉麒等<sup>[12-13]</sup>对我国矿山巷道多功能修复机器人进行设计研究。2019—2022年,我国矿山巡检机器人发展迅猛,国内学者围绕矿山巡检机器人开展了一系列研究,涵盖矿山输煤廊道<sup>[14]</sup>、井下胶带运输<sup>[15-16]</sup>、矿山巷道测风<sup>[17-18]</sup>等,并逐步优化矿山机器人的系统设计和算法<sup>[19-25]</sup>,矿山水仓清理<sup>[26]</sup>、矿用充填<sup>[27-31]</sup>等方面的研究较少。在矿山机器人发展研究中,学者不断完善机器人的应用场景,同时也聚焦机器人稳定性与协同控制研究<sup>[32-39]</sup>、精准定位<sup>[40]</sup>、路径规划<sup>[41-43]</sup>和无人驾驶<sup>[44]</sup>等方面的研究。目前,发展矿山智能机器人是我国抢抓矿业智能化发展的重要机遇,是保障我国能源安全和供给的重要支撑,对推动我国由矿业大国向着矿业强国转变,向着本质安全发展具有重要意义。

## 1 矿山智能机器人特征及内涵

### 1.1 矿山智能机器人特征

矿山智能机器人是智能矿山建设的重要组成部分。其特征需要具备智能感知、实时定位、智能管控、故障诊断、精准作业和智能决策(图1),以推动矿山生产方式向着低成本、高工效、强精准、绿色方向发展。

1) 智能感知能力:矿山智能机器人可通过传感器设备实现对作业环境、自身位置、工作状态、异常信息等关键核心信息进行实时感知和传输,实现矿山机器人智能感知能力,满足矿山井下、露天矿坑实时作业。

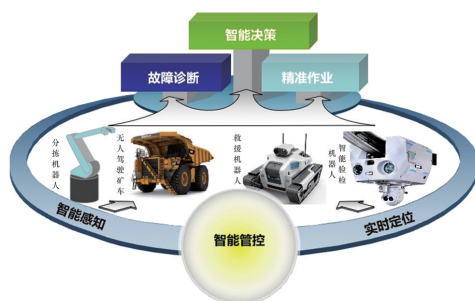


图1 矿山智能机器人特征及能力

2) 实时定位作业:矿山智能机器人依托5G和北斗导航,实现地面和井下设备的实时定位。精准的定位能力,为矿山安全生产和灾后救援提供精准位置支撑,保证矿山各生产环节的高效运行。

3) 精准作业能力:通过北斗导航定位、无人驾驶技术与智能控制技术相结合,矿山智能机器人实现精准化智能化作业。其中,自动定位和导航技术是实现矿山无人驾驶设备的基础。矿山精准作业涵盖:露天矿山的无人驾驶、精准钻孔、井下矿山智能掘进和煤流运输以及实现智能巡检和灾后应急与救援。

4) 智能管控能力:智能管控主要包括矿山智能机器人的状态终端监控、大数据、云服务、知识库以及算法模型库等。在云中心平台的管控下,实现机器人远程调度管控和智能装备的网络化管理。

5) 故障诊断能力:矿山机器人利用神经网络、支持向量机和深度神经网络等机器学习方法,建立安全风险数据库和健康寿命指标,实现对自身安全风险精准研判、潜在故障分级预警、关键部件健康寿命预测和维护流程科学优化,实现自诊断、自评估,实现自我体检,提高矿山机器人健康指数和使用寿命。

6) 智能决策能力:智能决策是智能矿山机器人进行精准控制和高效高质作业的基础和保障。智能矿山机器人通过机器学习算法分析传感器的作业数据,结合知识库和数据库的信息,制定变量作业或者路径规划的策略,进行最优行使路径规划和协同作业控制等。

### 1.2 矿山智能机器人内涵概念

目前,国内对矿山智能机器人并未有明确和统一的定义。机器人厂家在研发与应用时,没有一个准确和完整的框架和定义约束,导致目前矿山机器人仅仅是为了解决一个功能或一类问题而开发应用。随着新的需求更新,需要厂家再一次进行机器设备迭代更新,导致机器人更新换代快,多功能智能决策于一体的矿山智能机器人一直处于更新换代中,也导致行业中机器人功能和类型多种多样,而具备复合应用能力的机器人研发进展缓慢。为此,明确矿山智能机器人的概念和定义对我国矿山

智能机器人研发应用和总体功能规划具有重要的意义。结合机器人的特征,提出矿山智能巡检、救援等类别机器人的内涵概念为:融合计算机技术、信息技术、通信技术、微电子技术和机器人技术等,通过计算机编程语言实现远程控制,靠自身动力,可在矿山环境中安全、平稳、连续、精准、高效作业,具备矿山环境下的感知、定位、故障诊断和智能决策,可实现对特定场景和环节下人工操作的全替代,其使用寿命和成本投入优于人工操作或与之相当。

## 2 我国矿山智能机器人发展现状

国家高度重视矿山智能机器人的研发应用,助力矿山智能化发展和保障矿山安全、高效生产,保障我国能源安全。2019年1月,原国家煤矿安全监察局(现国家矿山安全监察局)出台煤矿机器人重点研发目录<sup>[45]</sup>,大力推动煤矿机器人研发应用,推进煤炭工业高质量发展和安全发展,提出5类38种煤矿机器人。5类为:掘进类、采煤类、运输类、安控类、救援类。2022年,工业和信息化部发布的《“十四五”机器人产业发展规划》提出推进机器人应用场景开发和产品示范推广。2023年1月,工业和信息化部等十七部门关于印发“机器人+”应用行动实施方案的通知,我国要加快拓展新的应用领域,引导机器人产品创新,加速机器人产品推广,集聚多方资源,推动机器人创新应用。

### 2.1 矿山智能机器人研发应用

在相关政策的大力支持下,国内企业和科研院所所加大研发创新力度<sup>[46-47]</sup>,矿山智能机器人关键技术攻关取得了积极进展,产业发展步伐加快,近三年5类38种机器人研发应用进展明显。截至2020年底,38种机器人应用22种,正在研发7种,空白9种,经过数据调研显示,2022年9月,5类38种机器人应用31种<sup>[48]</sup>,正在研发6种,空白1种。目前,煤矿井下高危繁重劳动岗位机器人替代率持续增加,已在370余处煤矿应用了巡检、喷浆、钻锚、气体检测、灭火救援等机器人。

1) 智能掘进设备达到世界领先水平。在矿山

智能掘进方面,形成了以中煤科工集团和中国铁建重工集团有限公司(以下简称“中铁建工”)的智能掘进设备。中煤科工集团自主研发的世界首套“煤海蛟龙”掘支运一体化系统,根据不同的地质条件配套,整个系统最长可超过200 m,重量超过230 t。整个系统在稳定围岩条件下,最高进尺3088 m/月;在中等稳定围岩条件下,最高进尺2086 m/月,是对应煤矿掘进速度的3倍以上;在复杂围岩条件下,月最高进尺856 m,是相应煤矿掘进效率的1.5倍。“中铁建工”生产的TBM全称为全断面隧道掘进机,能够完成破岩、支护、出渣等掘进一体化作业,具有安全性好、掘进速度快、整体成巷质量高等优点,在围岩稳定性好、中-高强度的岩层中的掘进环节使用效果良好。

2) 固定岗位无人值守、巡检成熟。目前煤矿井下无人值守变电所、无人值守水泵房以及井下皮带无人巡检机器人成功应用。全国首批71家智能矿山60%以上的变电所,75%的水泵房,80%以上的压风机房实现无人值守。晋能控股集团2021年无人值守硐室达到280处。依托AI智能视频识别功能,对煤矿井下皮带异物、开停、撕裂等场景进行识别,目前,国内大部分矿山均已实现基于AI智能视频巡检机器人的投入使用。

3) 无人机量测机器人成熟应用。大型露天矿山,开展无人机测量环节应用。利用无人机平台的各种传感器设备,移动测量传感器(非量测型相机、量测型相机等)、红外传感器、多镜头集成倾斜摄影相机、机载激光雷达,在满足航线安全规定要求的前提下,无人机测量使得外业测量效率大大提升,使得原来半个月测量成图,缩短至3 d,提高了矿山生产设计的效率。目前,国内特大型露天矿均已实现无人机测量。

4) 露天矿山无人驾驶逐步兴起。我国20余处大型露天矿山开展无人驾驶试验应用,融合激光雷达、卫星定位等多种感知技术,通过对复杂环境集群设备的系统仿真、测试、矿山决策指挥系统、作业设备感知及智能控制等技术的深入研究,实现了车铲协同铲装、自主导航、卸载、避障以及实现无人驾驶等。截至2022年底,全国累计已有约180辆矿

用无人卡车在露天矿山试验运行。无人驾驶矿用卡车机器人正在矿山编组运行,无人驾驶发展迅速。

## 2.2 矿山智能机器人建设成效

随着我国矿山智能机器人投入使用,煤矿井下减人和工效提升明显。大型煤炭企业原煤生产人员工效比2020年提升4.2%,井下作业人员从2020年的224万人减少到219万人,减幅2.2%。全国智能化煤矿杜绝了较大以上事故,百万吨死亡率0.024,不到全国平均数的50%。2020年大型煤炭企业原煤生产人员工效为:8.656 t/工;2021年大型煤炭企业原煤生产人员工效为:8.786 t/工。2022年末,全国大型煤炭企业原煤生产人员工效突破9.02 t/工。同时,榆家梁煤矿建成首个无人工作面,实现生产期间井下无人监护,真正实现煤机司机工作由井下转移到地面,实现在地面对井下工作面进行集中控制。无人化生产工作面效率首次超过人工割煤效率,为智能化建设树立了典范。截至2022年9月30日,全国572处煤矿建成智能化采掘工作面1019个,智能采掘工作面单班下井人数平均控制在15人以内,智能机器人应用减人成效明显。

## 2.3 机器人企业以及上下游产业链

随着智能矿山向纵深发展,我国矿山智能机器人建设成了多个新兴企业和厂家,为我国矿山智能机器人发展和智能矿山建设贡献力量。图2为我国部分矿山智能机器人。以国家矿山安全监察局发布的5类38种机器人为例,笔者调研了目前国内各类型矿山机器人的主要厂家,例如:中信重工开诚电气公司、山西中泰特种机器人有限公司以及山西戴德测控主要研发矿山救援机器人和智能巡检机器人;踏歌智行、青岛慧拓主要研发露天矿山无人驾驶机器人;三一重型装备有限公司、中煤科工集团以及“中铁建工”主要研发智能采煤工作面机器人、采煤机和掘进机器人。与此同时,矿山智能化的发展也带动了我国矿山机器人上下游产业的快速发展,例如:芯片、摄像头、激光雷达、毫米波雷达计算机主机、工程公司以及运输公司等供应商,同时也提供了更多就业机会。如今矿山智能机器人产品更加智能化,在矿山应用场景越来越多,在企业制造和研发应用呈现出蓬勃发展态势。但我国矿山机器人制造企业面临机遇的同时,也面临更加激烈的国内外竞争和关键核心卡脖子技术的制约。总体上,智能矿山的发展对矿山智能机器人企业和上下游链条提供了更广阔的发展机遇。



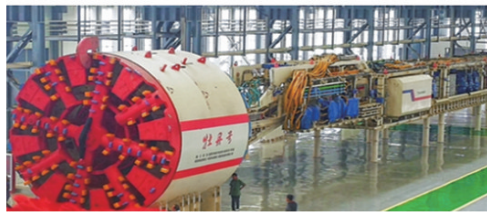
(a) 防爆消防灭火机器人



(b) 消防排烟机器人



(c) 悬臂式掘进机



(d) 掘进盾构机器人



(e) 防爆轨道巡检机器人



(f) 井下采煤机

图2 我国矿山智能机器人

### 3 我国矿山智能机器人面临的问题

#### 3.1 领军型企业不足,综合竞争力薄弱

通过对矿山行业智能机器人生产厂家进行调研,目前约有110家企业在从事矿山智能装备的生产和制造,总体来看呈现出龙头企业数量少,除天地玛珂、郑煤机、三一重工等大型企业外,企业整体综合能力和竞争力不足,大部分企业规模较小,成立时间短,核心技术不突出,企业间相互协同发展生态联系不紧密、信息交流和共享机制不灵活。以露天矿山无人驾驶企业为例,踏歌智行、青岛慧拓等企业仍然处在一边研发,一边拓展业务阶段,成套可应用的解决方案仍未应用,但企业发展和成长速度快,发展前景良好。而国内知名机器人厂家新松机器人更多关注于工业机器人的研发和应用,并未给予矿山智能机器人应用研发更多关注。如何打造具有国际竞争力、生命力、规模化和可持续发展的矿山智能机器人企业,是我国矿山智能机器人面临的首要发展问题和亟待解决的问题。

#### 3.2 关键技术待突破,应用场景不明确

从目前国内矿山智能机器人的定位来看,智能机器人的使用是在固定岗位和智能巡检、开采、运输、救援等环节释放大量劳动力,以期实现提高矿山安全水平和工效。现有的矿山机器人种属来看,明确有官方依据的是国家矿山安全监察局出台的5类38种机器人和应用场景,而实现矿山智能化和矿山智能机器人化的过程中,应用场景不明确是制约矿山机器人发展的主要因素,需要持续扩展矿山机器人场景应用。现有矿山智能机器人产品尚不能完全满足用户智能化需求,主要表现在人机交互功能、智能感知、智能决策等关键核心技术是矿山智能机器人发展的主要瓶颈,同时核心算法和专利等基础性知识产权研发投入依然不足,制约矿山智能机器人产业可持续发展。

#### 3.3 共性标准需完善,产品整体性能低

矿山智能机器人的健康可持续发展,需要具备与之相匹配的标准体系。目前,安标国家中心(以下简称“安标中心”)是专业从事我国矿用产品安全标志管理的机构。其主要职责是对矿用装备产品

进行安全把关认证,发挥矿用安标制度在矿用产品的规格和性能方面的要求,在预防和减少矿山事故的基础性方面发挥重要作用。针对矿山井下机器人,“安标中心”出台了《煤矿井下机器人基本安全要求(试行)》《煤矿井下机器人安全标志管理方案》等相关标准,上述标准主要以强制的矿山井下安全认证为主,缺乏对矿山智能机器人产品功能性等方面的认证。导致目前部分企业产品在功能和性能方面良莠不齐,部分产品价格高、功能安全与信息安全难保证。标准的缺失和整体性能低下与整个行业对矿山智能机器人场景的理解不到位,智能安全生产功能调研不清晰,标准出台不及时有密切关系。

#### 3.4 复合型人才短缺,基础研发能力弱

我国智能矿山规模不断提升,矿山产业数字化、智能化转型发展也在不断加速。智能矿山机器人产业作为创新驱动的核心要素,人才缺乏已成为制约企业数字化转型的关键因素,既懂机器人研发又懂矿山生产环节业务的复合型人才紧缺。目前行业各高校和专业职业技术学院在对人才培养主要在基础知识的学习和基本设备装备的简单操作,而在创新基础理论研究和多学科交叉研发应用方面,在本科教育阶段和职业技能院校培养中仍是短板,如何补足复合型人才短缺、强化多学科交叉融合的基础研发,是今后一段时期内要面临的主要问题。

## 4 我国矿山机器人发展建议

#### 4.1 强化推进合力,加大政策扶持

统筹各部门资源和力量,支持矿山智能机器人产业创新发展。鼓励各地、各有关部门制定发展规划及指导意见,指导矿山智能机器人产业健康可持续发展。发挥行业协会、行业专家等的作用,加强产业动态监测并及时反馈问题建议,形成各部门合力,共同支持矿山智能机器人产业做大做强。积极争取将相关科研项目纳入国家重大科技专项、重点研发计划、中央科技计划等对机器人研发应用支持,促进矿山智能机器人创新产品的应用。

#### 4.2 加强技术攻关,提升技术水平

矿山智能机器人建设研发应用,需要强化机器人的自主研发,强化核心算法和中枢芯片的研发力度,如智能辅助决策、提升机器人灵活度、机器人稳定性和路径规划以及智能关键核心零部件和传感器等。突破机器人关键精密元器件材料,探索研究操作系统等共性技术,研发仿生感知、生机电融合、精准定位等前沿技术。以华为和神东联合研发的矿鸿操作系统为例,逐步提升国产矿用操作系统技术。同时,要优化健全创新体制机制,推动技术研究和成果转化,建立一批矿山智能机器人技术实验室中心等,加强技术攻关,提升核心技术水平。

#### 4.3 强化标准体系,提升产品质量

加快矿山智能化技术装备、矿山智能机器人等相关技术规范、产品标准等制修订工作。加快推进矿山智能机器人标准体系建设工作,依托专业机构如“安标中心”或相关企事业单位,推动建立煤矿智能机器人功能标准性、性能符合性检测体系和研发技术平台,逐步形成矿山智能机器人标准制修订、咨询服务和执行监督的闭环管理体系。

#### 4.4 健全人才体系,深化国际交流

为实现矿山智能机器人产业发展,需要支持围绕矿山智能机器人领域建立人才实训基地,培育一批技能应用型人才、技术创新型人才。鼓励企业联合高校、科研院所推进专业设置、教学内容与产业发展、职业标准紧密对接,培养专业技术和复合型高端人才,深化国际交流,在技术、标准、检测认证、人才培养等领域开展合作,提升矿山智能机器人人才综合素质,健全人才体系。

#### 参考文献(References)

- [1] “十四五”机器人产业发展规划[EB/OL]. [2022-04-30]. [http://www.necti.gov.cn/zcfg/zcwj/202112/t20211228\\_54-469.html](http://www.necti.gov.cn/zcfg/zcwj/202112/t20211228_54-469.html).
- [2] 许世范. 智能机器人的发展及其在矿山的应用[J]. 煤矿自动化, 1993(1): 28-31, 66.
- [3] 顾玲, 李焯, 任海良, 等. 发展机器人技术提升我国矿山机械行业整体科技水平[J]. 矿山机械, 2009, 37(12): 5-9.
- [4] 马宏伟, 姚阳, 赵昊, 等. 矿山钻孔救援探测机器人设计[J]. 工矿自动化, 2019, 45(9): 1-6.
- [5] 马宏伟, 马琨, 田海波. 矿山钻孔救援探测机器人研究进展[J]. 工矿自动化, 2019, 45(2): 24-29.
- [6] 史兆伟, 潘涛, 樊宙. 矿山救援机器人中的超声波传感器应用[J]. 世界有色金属, 2020(5): 20-22.
- [7] 王闯, 王玉林, 赵美宁. 超声波传感器在矿山救援机器人中的应用研究[J]. 煤矿机械, 2007(1): 162-164.
- [8] 王廷军. 矿山搜寻机器人视觉技术及井下矿工识别理论的研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京), 2011.
- [9] 满翠华, 范迅. 矿山援救机器人构型研究[J]. 矿山机械, 2008, 36(12): 24-29.
- [10] 关丙火. 矿山探测机器人移动平台设计与越障机理研究[J]. 煤炭工程, 2022, 54(8): 174-179.
- [11] 周栾, 陈尔奎, 吴梅花. 基于改进遗传算法的矿山救援机器人路径规划[J]. 煤炭技术, 2019, 38(6): 139-142.
- [12] 徐嘉麟, 张瀛方. 浅谈矿山巷道多功能修复机器人技术[J]. 中国金属通报, 2022(4): 111-113.
- [13] 徐嘉麟, 张瀛方. 矿山巷道多功能修复机器人设计研究[J]. 世界有色金属, 2022(6): 63-65.
- [14] 肖鹿, 李凯, 王伟, 等. 露天矿山输煤廊道巡检机器人[J]. 露天采矿技术, 2020, 35(6): 69-73.
- [15] 徐晋伟. 矿山胶带运输智能巡检机器人的探索与应用[J]. 矿业工程, 2020, 18(4): 62-64.
- [16] 陈继勋. 矿山胶带运输智能巡检机器人的探索与应用[J]. 电子制作, 2022, 30(14): 95-97.
- [17] 徐召栋, 张安山, 王兵. 基于超声波技术的矿山测风巡检机器人系统研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021(2): 50-51.
- [18] 毛浩, 薛忠新, 范生军, 等. 张家岭煤矿回风巷道智能巡检机器人系统[J]. 煤矿安全, 2021, 52(7): 107-111.
- [19] 葛世荣, 胡而已, 裴文良. 煤矿机器人体系及关键技术[J]. 煤炭学报, 2020, 45(1): 455-463.
- [20] 任百峰. 基于YOLO-V4的矿用巡检机器人无标定视觉伺服控制系统[J]. 煤炭技术, 2022, 41(10): 216-218.
- [21] 李忠奎. 煤矿轨道巡检机器人设计研究[J]. 煤炭技术, 2022, 41(9): 170-173.
- [22] 李鑫. 矿用带式输送机巡检机器人研究及行走机构设计[D]. 太原: 太原理工大学, 2022.
- [23] 朱明亮, 苏士龙, 陈骋. 煤矿用双机驱动型吊轨式巡检机器人设计[J]. 煤炭技术, 2022, 41(6): 202-205.
- [24] 张爱民. 矿用本安轨道巡检机器人设计与应用[J]. 智能矿山, 2022, 3(3): 67-70.
- [25] 潘祥生, 陈晓晶. 矿用智能巡检机器人关键技术研究[J]. 工矿自动化, 2020, 46(10): 43-48.
- [26] 郑庚昊. 矿山井下水仓清理机器人的探讨与研究[J]. 水

- 力采煤与管道运输, 2019(3): 136-137.
- [27] 张宁菊, 王林杰. 矿用智能辅助运输机器人设计研究[J]. 煤矿机械, 2021, 42(11): 26-29.
- [28] 王锋, 颜武刚, 龙爱民. 矿用充填机器人的设计及应用[J]. 中国新技术新产品, 2021(20): 16-18.
- [29] 万祖保, 李伟, 马国芳. 矿用钻杆自动搬运系统设计研究[J]. 煤矿机械, 2022, 43(8): 19-20.
- [30] 宫成. 矿用智能遥控搬运拖拽机器人研发[J]. 煤矿机械, 2022, 43(1): 57-59.
- [31] 赵春雷, 田中华, 李航, 等. 煤矿探巷机器人感测与控制系统研发与应用[J]. 煤炭工程, 2022, 54(5): 188-192.
- [32] 刘耀忠. 矿用外骨骼机器人的稳定性研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2021.
- [33] 宫华强. 矿山巡检机器人非线性多智能体协同控制策略研究[D]. 安徽: 安徽理工大学, 2020.
- [34] 葛世荣. 煤矿机器人现状及发展方向[J]. 中国煤炭, 2019, 45(7): 18-27.
- [35] 肖伟. 金属矿山智能化与5G专网[J]. 数字通信世界, 2021(10): 36-39.
- [36] 陈明君. 智能控制在矿山机电一体化系统中的应用[J]. 当代化工研究, 2021(18): 65-66.
- [37] 齐庆国. 矿山设备中机械自动化技术及应用分析[J]. 世界有色金属, 2022(2): 37-39.
- [38] 王燕, 史兆伟. 移动矿山机器人控制系统的设计探讨[J]. 世界有色金属, 2020(6): 31-32.
- [39] 张征. 基于多传感器数据融合的煤矿井下移动机器人精确定位技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2021.
- [40] 许鹏. 矿用轨道式自动测风机器人的设计与研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2021.
- [41] 刘宇. 煤矿井下履带式机器人路径规划方法研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2021.
- [42] 杨春雨, 张鑫. 煤矿机器人环境感知与路径规划关键技术[J]. 煤炭学报, 2022, 47(7): 2844-2872.
- [43] 张春芳, 张传俊, 李艳华. 矿用井下救援机器人路径优化研究[J]. 成都工业学院学报, 2021, 24(1): 54-59.
- [44] 付恩三, 刘光伟, 邸帅, 等. 露天矿山无人驾驶技术及系统架构研究[J]. 煤炭工程, 2022, 54(1): 34-39.
- [45] 国家煤矿安全监察局. 煤矿机器人重点研发目录[R]. 北京: 国家煤矿安全监察局, 2019.
- [46] 付恩三, 白润才, 刘光伟, 等. “双碳”视角下我国露天煤矿的绿色可持续发展[J]. 科技导报, 2022, 40(19): 25-35.
- [47] 付恩三, 刘光伟, 赵浩, 等. 智慧露天矿山总体框架及关键技术研究[J]. 工矿自动化, 2021, 47(8): 27-32.
- [48] 葛世荣, 胡而已, 李允旺. 煤矿机器人技术新进展及新方向[J]. 煤炭学报, 2023, 48(1): 54-73.

## Application status and development suggestions of intelligent mine robots

FU Ensan<sup>1,2,3</sup>

1. Information Institute, Ministry of Emergency Management of the PRC, Beijing 100029, China
2. National Coal Mine Robot Collaborative Promotion Center, Beijing 100029, China
3. Liaoning Technical University the mining department, Fuxin 123000, China

**Abstract** Mine intelligent robot is an important support for realizing intelligent mine construction. The relevant policy, technology development and application of mine intelligent robot in China are summarized. The six characteristics of mine intelligent robot, such as intelligent perception, precise operation, real-time location, intelligent management and control, intelligent decision and fault diagnosis, and the connotation of mine intelligent robot are summarized. This paper analyzes the problems faced by intelligent robot in mines from the aspects of key core technology, data standards and personnel training, etc., and it is suggested that the support and cultivation of enterprises should be strengthened from the aspects of policy support, independent research and development of technology, personnel support and standard setting, so as to create a good ecological environment for intelligent robots, and to promote the high-quality development of mine intelligent robot. It also contributes to the personnel reduction, efficiency improvement, safety and green development of China's mining industry.

**Keywords** mine; intelligent robot; high-end manufacturing ●



(责任编辑 卫夏雯)