

智能化矿山救援装备的发展现状与趋势探讨

潘永刚

陕煤集团神南产业发展有限公司 陕西 榆林 719300

摘要: 本文深入探讨智能化矿山救援装备的发展现状与趋势。首先阐述了智能化矿山救援装备在提升救援效率、保障救援人员安全等方面的重要性。接着详细分析当前各类智能化矿山救援装备,如探测机器人、排水设备、通信系统等的发展水平及应用情况,揭示存在的续航、通信稳定性等问题。随后探讨智能化矿山救援装备在技术创新、应用场景拓展等方面的发展趋势。通过对智能化矿山救援装备的研究,为矿山救援工作的高效开展提供理论支持与技术参考,推动矿山救援行业的进步与发展。

关键词: 智能化; 矿山救援装备; 发展现状; 趋势

1 引言

矿山行业作为国家基础产业,在经济发展中占据重要地位。然而,矿山开采环境复杂,事故频发,严重威胁矿工生命安全与国家财产安全。据国家矿山安全监察局数据显示,近年来我国矿山事故虽呈下降趋势,但形势依然严峻。例如,2023年共发生矿山事故299起,死亡477人。矿山救援作为减少事故损失的关键环节,其重要性不言而喻。智能化矿山救援装备的出现,为提升救援效率、保障救援人员安全提供了有力支撑,成为矿山救援领域的研究热点与发展方向。

2 智能化矿山救援装备的发展现状

2.1 探测类装备

在矿山救援中,快速、准确地获取井下信息至关重要。目前,智能化探测类装备发展迅速。例如,矿山钻孔救援探测机器人得到广泛研究与应用。此类机器人可通过 $\phi 225\text{mm}$ 救援钻孔抵达煤矿井下,利用携带的传感器和摄像头获取灾变区域的环境信息和被困人员信息,并实时传输至地面^[1]。以NI myRIO作为控制核心,采用LabVIEW图形化编程构建控制系统,通过有线通信方式实现远程控制。其具有体积小、质量轻、越障能力强等特点,能顺利通过救援孔,为地面救援指挥中心决策提供第一手资料。但现有探测机器人仍存在信息探测范围窄、探测距离较短、功能单一等问题,在复杂矿山环境下,难以全面满足救援需求^[2]。

2.2 排水类装备

矿山透水事故是常见且危害极大的事故类型,排水是透水事故救援的关键环节。近年来,智能化排水装备取得显著进展。如内蒙古第一机械集团股份有限公司等单位研发的矿山快速排水救援成套技术装备,集机电液一体化,包括为运输装备及水泵提供动力的动力车、运

输水泵的跨运车及吊运车、可漂浮在水面上连续排水的抢险排水艇、不间断排水管路与配套应急救援水泵。动力车、跨运车、吊运车采用轮履切换机构,兼顾有轨、无轨运输条件。应急救援水泵通过电磁优化设计,减轻约30%的重量,并采用圆盘扭曲式径向导叶,缩短了水泵轴向尺寸。然而,传统应急排水过程中存在管线对接速度慢、移泵困难、自动化程度低、劳动强度大等问题,部分智能化排水装备虽有所改善,但在极端复杂的矿山井下环境中,仍面临可靠性和适应性的挑战。

2.3 通信类装备

高效稳定的通信是矿山救援指挥的关键。目前,矿山救援通信系统逐渐向智能化、集成化方向发展。例如,一些矿山采用了基于5G和物联网技术的通信系统,能够实现救援现场视频、音频及各类数据的实时传输,为指挥中心提供全面准确的救援信息。但在矿山井下复杂的电磁环境和特殊地形条件下,通信信号易受干扰,出现中断或延迟现象,影响救援工作的顺利开展。此外,不同品牌、型号的救援装备通信接口和协议存在差异,导致装备间信息共享困难,降低了救援协同效率^[3]。

2.4 防护与辅助类装备

智能化防护与辅助类装备在保障救援人员安全、提高救援效率方面发挥着重要作用。例如,智能头盔集成了定位、通信、环境监测等多种功能,救援人员佩戴后可实时获取自身位置、周围环境信息,并与指挥中心及其他救援人员保持联系。一些矿山还配备了智能担架,具备自动调节姿态、监测伤员生命体征等功能,为伤员转运提供了更好的保障。然而,现有防护与辅助类装备在功能完善性、佩戴舒适性和耐用性等方面仍有待提高,以更好地适应长时间、高强度的矿山救援工作^[4]。

3 智能化矿山救援装备发展面临的挑战

3.1 技术瓶颈

3.1.1 能源与续航问题

许多智能化矿山救援装备,如探测机器人、通信设备等,对能源依赖度高。目前,常用的电池技术能量密度有限,导致装备续航能力不足。在矿山救援中,长时间、远距离的作业需求难以满足,限制了装备的应用范围和救援效果。例如,一些井下探测机器人在工作数小时后就需返回充电,无法持续深入危险区域进行探测,影响救援进度。

3.1.2 通信可靠性难题

矿山井下环境复杂,存在大量金属设备和巷道转弯,对通信信号造成严重干扰和衰减。现有的通信技术难以保证在各种复杂工况下都能实现稳定、高速的数据传输。一旦通信中断,救援人员与指挥中心失去联系,救援装备无法接收远程控制指令,将使救援工作陷入混乱,增加救援风险。

3.1.3 智能算法与决策优化

智能化矿山救援装备需要依靠先进的智能算法实现自主决策和任务执行。但目前的智能算法在复杂多变的矿山救援场景下,还存在决策准确性和适应性不足的问题。例如,在面对多种灾害并发的情况时,救援装备的智能决策系统可能无法快速、准确地制定最优救援方案,影响救援效率。

3.2 成本与维护

3.2.1 研发与制造成本高

智能化矿山救援装备涉及先进的传感器技术、通信技术、人工智能技术等,研发难度大,成本高昂。同时,由于矿山救援装备市场需求相对较小,生产规模有限,难以通过大规模生产降低成本。这使得许多矿山企业因资金问题,无法及时更新和配备先进的智能化救援装备。

3.2.2 维护保养复杂

智能化矿山救援装备结构复杂,技术含量高,对维护人员的专业素质要求极高。一旦装备出现故障,需要专业技术人员进行维修,且维修所需的零部件和工具往往较为特殊,获取难度大。此外,装备在矿山恶劣环境下使用,易受到磨损、腐蚀等损害,需要定期进行维护保养,这进一步增加了维护成本和难度。

3.3 标准与规范缺失

目前,我国智能化矿山救援装备领域缺乏统一、完善的标准与规范。不同厂家生产的装备在性能指标、接口标准、通信协议等方面存在差异,导致装备之间兼容

性差,难以实现协同作业。例如,在多支救援队伍联合开展救援行动时,由于各队伍装备标准不一致,可能出现通信不畅、设备无法互联互通等问题,严重影响救援效率。

4 智能化矿山救援装备的发展趋势

4.1 技术创新趋势

4.1.1 新型能源技术应用

为解决能源与续航问题,未来将加大对新型能源技术在矿山救援装备中的应用研究。例如,研发适用于煤矿领域的新能源电池,如氢燃料电池、固态锂电池等。氢燃料电池具有能量密度高、续航里程长、零排放等优点,有望成为未来矿山救援装备的重要动力源。通过在救援机器人、排水设备等装备上应用新型能源技术,可显著提升装备的续航能力和工作时间,为救援工作提供更有力的支持。

4.1.2 通信技术升级

随着5G、6G通信技术的不断发展,以及量子通信等前沿通信技术的研究推进,未来矿山救援通信系统将实现质的飞跃。5G/6G通信技术将提供更高的传输速率、更低的延迟和更稳定的连接,确保救援现场的高清视频、大量数据能够实时、准确地传输至指挥中心。量子通信具有绝对安全的通信特性,可有效解决通信信号在矿山井下易受干扰和窃听的问题,保障救援通信的安全性和可靠性。同时,通过统一通信接口和协议标准,实现不同救援装备之间的无缝通信和信息共享,提升救援协同作战能力。

4.1.3 智能算法优化与人工智能深度应用

不断优化智能算法,提高其在复杂矿山救援场景下的决策准确性和适应性。引入深度学习、强化学习等先进人工智能技术,使救援装备能够根据实时获取的环境信息和任务要求,自主学习和调整救援策略。例如,利用深度学习算法对大量矿山事故案例和救援数据进行分析,训练救援装备的智能决策系统,使其能够在面对类似事故时迅速制定出最优救援方案。此外,人工智能技术还将应用于救援装备的故障诊断与预测,通过对装备运行数据的实时监测和分析,提前发现潜在故障隐患,及时进行维护保养,提高装备的可靠性和稳定性。

4.2 装备集成化与智能化趋势

4.2.1 多功能集成化设计

未来智能化矿山救援装备将朝着多功能集成化方向发展。例如,将探测、通信、灭火、排水等多种功能集成于一体的综合救援机器人。该机器人在抵达事故现场后,可利用自身搭载的多种传感器进行环境探测,确定

火源位置、透水范围等关键信息；同时，通过通信模块将信息实时传输至指挥中心，并接收指挥中心的指令；在必要时，可启动灭火和排水功能，开展现场救援工作。多功能集成化设计不仅可减少救援装备的数量和体积，便于运输和部署，还能提高救援效率，实现快速、全面的救援作业。

4.2.2 高度智能化与自主作业

随着人工智能技术的不断进步，矿山救援装备将具备更高的智能化水平，实现自主作业。救援机器人将能够自主识别和分析复杂的矿山环境，规划最优行动路径，避开障碍物，完成各项救援任务。例如，在井下火灾救援中，智能灭火机器人可根据火势大小、燃烧物质种类等信息，自动选择合适的灭火方式和灭火药剂，精准扑灭火灾。高度智能化的救援装备可极大地减少救援人员在危险环境中的作业时间，降低救援风险，提高救援成功率。

4.3 绿色环保与可持续发展趋势

4.3.1 绿色能源驱动

在“双碳”目标的推动下，绿色能源将在矿山救援装备领域得到更广泛应用。除前文提到的氢燃料电池等新型能源外，太阳能、风能等可再生能源也将逐步应用于矿山救援装备。例如，在一些矿山救援基地，可利用太阳能板为救援装备充电，或通过小型风力发电机为通信设备等提供电力支持。采用绿色能源驱动救援装备，不仅可降低对传统化石能源的依赖，减少碳排放，还能提高装备在野外、偏远地区的能源供应保障能力。

4.3.2 可回收与环保材料应用

未来智能化矿山救援装备在材料选择上将更加注重可回收性和环保性。采用可回收材料制造装备外壳、零部件等，在装备报废后可进行回收再利用，减少资源浪费和环境污染。同时，研发和应用环保型的防护材料、润滑剂等，降低对矿山环境的污染。例如，使用生物降解材料制作救援人员的防护服，在使用后可自然降解，避免传统防护服废弃后对环境造成的长期污染。

4.4 标准化与协同化趋势

4.4.1 统一标准制定

国家和行业将加快制定智能化矿山救援装备的统一标准，涵盖装备的性能指标、安全规范、接口标准、通信协议等各个方面。通过统一标准，确保不同厂家生产的救援装备能够相互兼容、协同工作。例如，规定所有

矿山救援通信设备必须采用统一的通信接口和协议，实现不同品牌通信设备之间的互联互通。统一标准的制定将促进智能化矿山救援装备市场的规范化发展，提高装备的通用性和互换性，降低装备采购、维护成本，提升救援协同效率。

4.4.2 跨区域、跨部门协同救援体系构建

未来将构建更加完善的跨区域、跨部门协同救援体系。不同地区的矿山救援队伍之间将建立常态化的合作机制，通过定期开展联合演练、技术交流等活动，提高协同作战能力。同时，矿山救援队伍将与消防、医疗、公安等其他应急救援部门加强合作，实现资源共享、信息互通。在发生重大矿山事故时，能够迅速整合各方力量，形成高效的联合救援行动。例如，在救援现场，消防部门负责灭火，医疗部门负责救治伤员，矿山救援队伍负责井下救援作业，各部门之间通过统一的指挥调度系统，密切配合，共同完成救援任务^[5]。

5 结束语

智能化矿山救援装备作为提升矿山救援能力的关键力量，其发展对于保障矿山安全生产、减少事故损失具有重要意义。当前，智能化矿山救援装备在探测、排水、通信等多个领域取得了一定进展，但仍面临技术瓶颈、成本高昂、标准缺失等诸多挑战。展望未来，随着新型能源技术、通信技术、人工智能技术等不断创新与应用，智能化矿山救援装备将朝着技术创新、装备集成化与智能化、绿色环保与可持续发展、标准化与协同化等方向不断迈进。通过持续的技术研发和产业推动，智能化矿山救援装备将为矿山救援工作提供更加高效、安全、可靠的支持，为矿山行业的安全发展保驾护航。

参考文献

- [1]文虎,刘一丹,郑学召,等.极端条件下应急通信系统关键技术[J].西安科技大学学报.2025,45(2).224-235.
- [2]文虎,周博,郑学召,等.UWB雷达在矿山钻孔救援中的应用研究[J].工矿自动化.2023,49(6).88-94.
- [3]郑学召,孙梓峪,张婉妮,等.面向钻孔救援的超宽带雷达技术研究现状与方向[J].工矿自动化.2021,47(8).20-26.
- [4]肖明国,张彪,林中湘,等.矿山钻孔垂直救援技术的思考及发展趋势[J].煤矿安全.2024,55(4).245-250.
- [5]文虎,唐瑞,刘名阳,等.矿山生命信息探测仪在事故救援中的应用[J].煤矿安全.2022,53(4).162-166.