

# 智能化掘进工作面远程操作稳定性问题及改进措施

吴文福

天地（常州）自动化股份有限公司 江苏 常州 213000

**【摘要】**：智能化掘进工作面采用远程操作技术，以提高作业效率和安全性。远程操作系统面临着网络延迟、信号干扰、设备故障等稳定性问题，影响了作业的连续性和安全性。本文分析了这些问题的原因，并提出了优化网络结构、提升设备冗余、增强自动化控制等技术措施，旨在提高远程操作系统的稳定性。还探讨了操作人员培训和智能化系统持续优化的重要性。研究表明，稳定性提升后，作业效率与安全性得到显著改善，智能化掘进技术的应用领域有望进一步扩展。

**【关键词】**：智能化掘进；远程操作；稳定性问题；改进措施；自动化

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.091

## 引言

在现代矿山和隧道施工中，智能化掘进技术的应用已成为提高作业效率和安全性关键。智能化掘进工作面在实施远程操作时，仍然面临着一系列稳定性问题，这些问题直接影响了作业效率和人员安全。由于工作面环境的复杂性，网络延迟、信号干扰、设备故障等问题时常出现，造成远程操作的不稳定，进而影响施工进度和质量。针对这一问题，需要从技术、设备、管理等多个方面进行深入分析，寻找有效的改进措施。通过研究与实践，提升远程操作系统的稳定性，推动智能化掘进技术的广泛应用和发展，成为行业技术提升的关键步骤。

## 1 远程操作技术在智能化掘进工作面中的应用现状

### 1.1 智能化掘进技术概述

智能化掘进技术应用于矿山开采、隧道建设等领域，通过集成先进的传感器、自动化控制、实时监控等技术，实现了掘进作业的自动化与智能化。通过采集现场环境数据，智能化系统能够实时调整作业参数，优化作业路径，确保安全高效的掘进作业。这种技术的核心优势在于减少人工干预，提高了生产效率，降低了事故发生率。智能化掘进系统通常配备了高度自主的决策机制，能够自适应不同的工作面环境变化，提升了作业的整体可靠性。随着技术的不断进步，智能化掘进设备的性能也在持续提升，设备的协同工作能力与操作精度不断增强，成为现代矿山与隧道作业的必备技术手段。

### 1.2 远程操作技术的应用现状

远程操作技术在智能化掘进工作面中的应用，主要依赖高效稳定的通信系统与远程控制平台，通过无线通信和数据传输，使操作人员能够在远离作业现场的地方直接控制掘进设备<sup>[1]</sup>。随着5G技术的发展，远程操作的实时性和稳定性得到了显著提升，操作员无需亲临现场即可对设备进行精准控制。该技术不仅降低了作业风险，还提高了操作的灵活性与反应速度。如今，许多现代化矿山已经逐步实现了远程集中监控与控制，减少了现场工作人员的数量，并且提高了对复杂地质条件下掘进作业的适应能力。

## 1.3 稳定性问题的表现与挑战

在智能化掘进工作面中，远程操作技术的稳定性问题主要表现在通信不稳定、信号延迟以及设备故障等方面。网络延迟会导致远程操作的指令响应滞后，影响实时决策的准确性和作业效率。尤其在深井矿或地下隧道等复杂环境中，信号容易受到干扰，导致通信中断或信息传输不及时。设备的高负荷运转也可能导致硬件故障，进而影响操作系统的稳定性。尤其在面临突发情况或紧急故障时，远程操作的灵活性和应变能力较现场操作有限，缺乏即时反应能力。如何提升远程操作系统在复杂环境下的稳定性，成为智能化掘进技术普及中的一大挑战。

## 2 智能化掘进工作面远程操作系统稳定性问题分析

### 2.1 网络延迟及其影响

网络延迟在远程操作系统中的表现为指令与响应之间的时间差，尤其在较远的工作面，信号传输需要经过多个中继设备或复杂的地质结构时，延迟问题尤为突出。该延迟直接影响到操作的实时性和精准性，掘进作业中一旦出现指令滞后，可能导致设备偏离预定轨道，增加作业风险。延迟加剧了作业过程中对突发情况的反应能力不足，操作员可能无法迅速调整参数，造成作业效率下降，甚至可能导致设备损坏或安全事故发生。因此，如何优化通信网络，减少延迟，确保指令的即时响应，成为提升远程操作稳定性的一项关键任务。

### 2.2 信号干扰与设备故障问题

矿井和隧道等地下环境具有大量的金属结构和地质障碍，这些因素都会对信号传输造成影响，导致信号衰减或中断<sup>[2]</sup>。信号不稳定会使得设备与操作端之间的通信出现问题，严重时可能导致设备失控或无法接收到有效指令，影响作业进度。设备故障也常因长时间的高负荷运转、恶劣工作环境以及操作不当等因素频繁发生，尤其是传感器、执行器等关键组件，容易受到损坏，进而影响远程操作系统的正常运作。对信号干扰的克服以及设备故障的预防与修复，成为保障远程操作稳定性的关键技术问题。

### 2.3 作业环境复杂性对稳定性的挑战

掘进工作面通常位于地下，环境复杂多变，包括温度变化、湿度过高、岩层不稳定等因素，这些都对远程操作系统的稳定性构成挑战。在极端条件下，设备可能面临过热、积尘或潮湿的情况，导致硬件故障或性能下降。网络信号在复杂的地质结构中穿透能力较弱，掘进过程中遇到的矿层或地下水等障碍物可能造成通信中断或衰减。掘进作业中的动态因素众多，如工作面突然塌方或地质突变等，远程操作系统很难应对这些突发状况，导致稳定性大幅下降。因此，如何在不稳定的作业环境下保持远程操作系统的稳定运行，是目前智能化掘进技术的重大挑战。

## 3 稳定性问题的解决思路与技术措施

### 3.1 优化网络结构与通信技术

网络结构的优化是确保远程操作系统稳定性的基础。在掘进工作面，尤其是地下复杂环境中，常见的通信方式如 Wi-Fi 和传统的无线网络由于地质障碍物和金属材料的干扰，导致信号传输效果不佳，网络延迟和中断问题时有发生。为了解决这一问题，需要采用更适合地下环境的通信技术，如基于光纤的通信方式或采用 5G 技术，5G 的低延迟、高带宽特性能够有效减少指令传输中的延时，提高远程操作的实时性。网络的多路径冗余设计能够有效避免单一网络节点故障引起的全面瘫痪，通过建立基于卫星通信、地面网络与现场网络的综合通信系统，进一步提升网络的抗干扰能力和稳定性。针对地下工作环境的特殊性，部署适合特定地质条件的专用通信设备，以及优化无线信号的分配和传输方式，是确保远程操作技术在掘进工作面稳定运行的关键。

### 3.2 提升设备冗余与自动化技术

在智能化掘进作业中，设备的稳定性与安全性直接影响远程操作系统的运行效果。为了解决设备故障引发的稳定性问题，提升设备冗余设计和自动化水平至关重要。通过对核心设备实现双重冗余设计，即使一台设备出现故障，另一台设备能够立即接管工作，确保掘进作业不受影响。冗余技术可以应用于通信、动力、传感器等重要部件，最大限度地减少单点故障对整个系统的影响<sup>[3]</sup>。自动化技术在掘进工作面中的应用，不仅能够提高作业效率，还能减少人为干预，降低设备损坏的风险。通过引入智能诊断与维修技术，系统能够实时监控设备状态，预警潜在故障，提前进行维护和修复，从而保障作业的连续性。进一步的，自动化控制系统能够根据实时数据调整工作状态，最大限度地避免因设备失效导致的作业停滞或安全事故。

### 3.3 改进操作系统智能化水平

提升操作系统的智能化水平是解决远程操作稳定性问题的根本途径之一。智能化系统能够根据环境的变化自动调整操

作策略和作业参数，减少人为干预带来的操作失误和延迟。在智能化掘进系统中，集成更多先进的人工智能（AI）算法能够提升系统的自学习能力与适应性。通过深度学习算法对掘进过程中的数据进行分析，系统能够预测作业中可能出现的障碍，提前采取应对措施，确保作业不受外部环境影响。多传感器融合技术的引入，可以有效提高作业面数据的准确性与可靠性，系统能在复杂的地质条件下自动感知并调整作业方案，优化掘进路径。与此同时，增强操作系统的自诊断能力和故障恢复能力，使得系统能够在出现异常时迅速定位问题并自动恢复，从而提高远程操作的稳定性和安全性。通过这种方式，智能化操作系统不仅能实时应对各种突发情况，还能在长时间的工作中保持高效运行，进一步提升整个掘进工作的稳定性与安全性。

## 4 稳定性提升的管理与实施策略

### 4.1 设备管理与维护措施

在复杂的地下作业环境中，设备长期处于高负荷和恶劣条件下，易受到温度、湿度、粉尘、震动等因素的影响，导致性能下降或故障发生。因此，建立全面的设备管理体系，定期对设备进行检修和维护，至关重要。设备的健康监控系统应当实时跟踪设备运行状态，及时发现潜在问题，提前进行维修或更换，以避免故障的发生。除了常规维护外，重要设备需配备冗余系统，在设备出现异常时，能自动切换至备用设备，确保作业不中断。同时，要建立设备维修档案，对设备的维修历史进行记录和分析，识别出容易出现问题的部件，进而对其进行针对性的强化或升级。对操作中出现的设备故障要进行原因追溯，并采取措施减少同类故障的发生，提升设备的整体可靠性和稳定性。

### 4.2 操作人员培训与技术支持

操作人员的专业技能直接影响远程操作系统的稳定性。在智能化掘进工作面中，操作员不仅要掌握基本的机械设备操作技能，还需熟悉远程控制系统的的工作原理和紧急处置程序。定期对操作人员进行技术培训，使其能够灵活应对不同的工作情况，及时发现并处理突发故障，确保远程操作顺畅进行<sup>[4]</sup>。培训内容应涵盖远程控制系统的操作流程、故障诊断方法、应急响应机制等，以提高操作人员在复杂环境下的应变能力。建立一支技术支持团队，在操作人员遇到难以解决的问题时，提供快速有效的技术支援，减少因操作失误或系统故障引发的作业中断。对于一些高难度的技术难题，培训过程中应融入虚拟仿真和模拟操作等方式，增强操作员的实际应对能力。通过高效的培训和技术支持，进一步提升远程操作系统的稳定性与安全性。

### 4.3 智能化掘进系统的持续优化

智能化掘进系统的持续优化不仅体现在硬件设备的更新和技术创新，还包括软件系统的不断完善。随着作业环境和技

术的发展,智能化掘进系统需要不断适应新挑战。通过对系统运行数据进行实时分析,结合大数据与云计算技术,挖掘出系统潜在的瓶颈和薄弱环节,及时对系统进行调整和优化。系统的自适应能力和智能决策能力是提升远程操作稳定性的关键因素。在实际应用中,可以通过强化深度学习算法和传感器融合技术,提高掘进过程的精确度和自动化水平,减少人为干预的必要。操作系统的智能化升级不仅限于操作界面的优化,还应着重于应急处理机制的完善,通过模拟真实环境中的异常情况,强化系统的自我修复和故障恢复能力,确保在极端条件下依然能够维持系统的正常运行。持续优化智能化掘进系统,增强其适应性和稳定性,将为长期、高效、安全的远程操作提供坚实的技术保障。

## 5 稳定性提升后的效果与应用前景

### 5.1 作业效率与安全性的提升

稳定性提升后,智能化掘进工作面的作业效率显著提高。优化后的远程操作系统减少了由于网络延迟、设备故障或信号干扰等问题引起的停工时间。更为稳定的设备和通信系统保证了作业的连续性,提升了生产效率。作业人员远程操作时可以更加精确地控制设备,减少人为操作失误,提高了整体作业的精度。同时,系统对工作面实时监控和数据反馈的能力,增强了对潜在危险的预警,降低了突发事故的发生率,从而提高了作业的安全性。设备冗余设计与自动化技术的应用也有效减少了人员直接接触危险区域的时间,进一步保障了作业人员的安全。

### 5.2 智能化掘进技术的应用扩展

随着稳定性问题的解决,智能化掘进技术的应用范围不断

扩大。从传统的煤矿、隧道掘进到更多复杂的地下作业环境,智能化掘进技术逐步渗透到更多行业。尤其在偏远地区或高危环境中,远程操作和自动化系统的普及有效降低了人工操作的风险,提高了作业效率<sup>[5]</sup>。在城市地下管网的开挖、地下矿产资源的开采等领域,智能化掘进技术已经显示出巨大的应用潜力。借助技术的进一步成熟,未来该技术的应用将从传统矿山向其他领域拓展,推动矿产资源开采方式的革新和地下作业的智能化升级。

### 5.3 未来技术发展趋势及优化方向

未来,智能化掘进系统将进一步向更高效、精准、智能化的方向发展。新一代的人工智能技术与深度学习算法将使掘进系统具备更强的自我学习和适应能力,能实时调整作业策略和路径优化。在硬件方面,更多先进的传感器和高性能计算平台将被集成到系统中,增强系统对作业环境的感知能力。通信技术的进一步发展,尤其是6G技术的应用,将大大提升系统的响应速度和稳定性,使得远程操作更加灵活和高效。随着技术的成熟,智能化掘进系统将更加注重人机协作,通过虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等技术进一步提升操作人员的互动体验,使得复杂地下作业环境下的决策更加科学和高效。

## 6 结语

智能化掘进工作面远程操作的稳定性问题已经取得一定的技术突破,设备冗余、优化通信技术和智能化系统的持续改进,为提高作业效率和安全性提供了有效保障。未来,随着新技术的不断引入,智能化掘进技术将向更高效、精准和智能化方向发展,推动地下作业向更加安全、高效的方向迈进。

## 参考文献:

- [1] 宋艳峰,刘胜凯,王哲,王如意,马忠明,高军.智能化停送电系统在电厂远程操作中的应用研究[J].现代工程科技,2025,4(6):5-8.
- [2] 周开平.煤矿智能化掘进成套装备工艺及技术研究[J].煤炭工程,2025,57(4):12-18.
- [3] 靳曙琛.矿井智能化掘进工作面建设关键技术研究[J].能源与节能,2025(7):145-148.
- [4] 张婷.智能化掘进装备远程数据采集与分析平台研究[J].煤矿机械,2021,42(2):186-188.
- [5] 胡成军,潘格格.智能化掘进工作面建设体系及应用探讨[J].智能矿山,2025,6(4):11-20.