

煤矿无人工作面成功应用的关键影响因素

徐琦, 王向前*

安徽理工大学, 经济与管理学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2022年10月17日; 录用日期: 2022年11月23日; 发布日期: 2022年11月30日

摘要

煤矿的智能化无人开采逐步走入大众的视野并成为一种发展趋势, 本文旨在通过定性与定量相结合的方法对煤矿无人工作面项目成功应用的关键影响因素进行分析, 分析得出智能控制因素, 地质环境因素、自动技术因素这3个是影响煤矿无人工作面的关键因素; 然后针对3个关键影响因素提出了煤矿无人工作面项目成功应用的相应对策建议, 即应用多重传感器、完善相关软件系统, 运用远程遥感技术和上下高速通讯技术; 完善前期可行性研究, 确定科学的开采参数; 完善自动成巷技术和工作面调整技术, 将理论与实践相融合, 对未来煤矿无人工作面项目的成功应用提供一定理论基础。

关键词

煤矿, 煤矿开采技术, 无人工作面, 关键影响因素

Key Influencing Factors of Successful Application of Unmanned Face Project in Coal Mine

Qi Xu, Xiangqian Wang*

School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: Oct. 17th, 2022; accepted: Nov. 23rd, 2022; published: Nov. 30th, 2022

Abstract

The intelligent unmanned mining technology of coal mine is gradually coming into the public's vision and becoming a development trend. This paper aims to analyze the key factors influencing the successful application of unmanned working face technology in coal mine by combining qualitative and quantitative methods. The analysis shows that intelligent control, geological environ-

*通讯作者。

ment and automatic technology are the three key factors affecting the unmanned working face in coal mine. Then the corresponding countermeasures for the successful application of unmanned working face technology in coal mine according to the three key influencing factors are put forward: we should promote the application of multiple sensors, use remote sensing technology and up and down high-speed communication technology, and improve the relevant software system. At the same time, we need to improve the preliminary feasibility study and determine the scientific mining parameters. We also need to improve automatic roadway formation technology and working face adjustment technology, and combine theory with reality to provide a theoretical basis for the successful application of unmanned working face technology in coal mine in the future.

Keywords

Coal Mine, Coal Mining Technology, Unmanned Working Face, Key Influencing Factors

Copyright © 2022 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. 引言

在科技的持续革新和国际形势日益复杂的情况下,为更好地节约煤炭企业生产的费用,并提高采掘煤炭的工作效率和工作质量,煤矿无人工作面项目逐渐开始推行,矿井的生产条件是最危险、最恶劣的,因此,煤矿无人化工作面项目的成功应用,将会减少煤炭开采的地下工作人员,大大地降低事故发生率。在煤矿开采的过程中,为了更好地去防止可能会出现的安全事故状况,我国各个煤矿企业在煤炭开采作业流程的各环节中都建立起了严格的安全监督监管体系,尽管在某些方面取得了一些效果,但由于煤炭在开采的过程中,会受到许多种因素的影响,煤炭的安全生产形势仍然不容小觑。如果能够将煤矿安全事故发生后的被动性救援变为主动性预防,降低煤炭开采过程中施工人员的数量,甚至做到煤矿工作面的无人化施工管理,是煤矿行业一致认同的发展愿景,因此,在安全生产的前提下,促进煤矿无人化工作面项目的成功应用,将是未来世界各国煤矿企业研究的发展方向。但是由于截止到现在,在国内,煤炭行业进行的煤矿无人工作面项目能够真正成功地应用到实际开采的工作中的案例非常稀少,对于煤矿无人工作面技术的具体开展,许多煤炭行业的专业人士也是保持着一种观望的态度,对该项技术还存在着一定的争议,基于这种情况下,本文通过文献研究法梳理了前辈们的研究成果,通过调查分析法对实际煤矿开采项目中无人工作面应用中存在的问题进行研究,运用因子分析法等量化方法进行数据分析,通过定性与定量相结合的方法对于煤矿无人工作面项目成功应用的关键影响因素进行分析,旨在促进煤矿无人工作面项目的发展。

2. 研究意义及方法

2.1. 研究意义

煤矿无人工作面项目是煤炭行业发展的必然选择,但是其推广应用的进度却是十分缓慢,这使得煤矿无人工作面的建设进程也相应的迟缓,行业内的专家学者们对于这方面的研究也相对较少,所以本文对于煤矿无人工作面项目成功应用的关键影响因素进行分析,希望为后续的研究提供一些思路。

煤矿无人工作面是近些年煤矿行业逐渐兴起的新概念,它主要关注于煤矿现场的开采,旨在解决煤炭采掘过程中存在着的诸多问题和隐患,希望能通过推进煤矿无人工作面项目的应用,可以降低煤炭在

开采施工过程中安全事故的发生几率, 有效地提高煤矿开采的效率, 增强开采现场的综合管理控制能力, 所以本文针对影响煤矿无人工作面项目进一步应用的相关因素做了较为深层次的剖析和思考, 将煤矿无人工作面项目应用所需的理论与相关资料进行整理并继续研究, 对其它研究人员在煤矿无人工作面领域的调查给予一定的参考价值。

2.2. 研究方法

本文将综合运用文献分析法、调查分析法、定性与定量法等多种方法, 开展煤矿无人工作面项目成功应用的关键影响因素的相关分析, 并就煤矿无人工作面项目的应用提出可行性建议。

文献研究法。这是学术界经常采用的一种研究方式, 学者们在对文献进行了广泛的解读和整理后, 找出以往研究中存在的问题与不足, 探索新的研究角度, 而之前研究成果中的共性部分, 又为他们的研究奠定了理论基础, 本人在广泛的阅读国内外相关文献、借鉴以往学者们对煤矿无人工作面项目应用的研究后, 对煤矿无人工作面项目应用的影响因素进行分析、总结。

调查分析法。本文通过对实际煤矿开采项目中无人工作面应用中存在的问题进行研究, 通过分析总结该项目中影响无人工作面项目应用的关键影响因素, 为以后学者们对煤矿无人工作面项目的研究提供一些思路。

定性与定量法。本文通过影响煤矿无人工作面项目成功应用的关键因素进行重要性评价, 通过数据分析与构建指标关键影响因素进行定量分析。

3. 影响因素指标选取与评价

3.1. 影响因素选取

在开展的煤矿无人工作面项目的前期研究中, 超八成以上的文献是对煤矿无人工作面项目的研究都是在技术应用、体系建立与未来发展期望上, 对影响煤矿无人工作面项目成功应用的影响因素研究相对较少。通过查阅知网, 统计了近年来对煤矿无人工作面项目的研究文献, 结果如图 1 所示。



Figure 1. Trend chart of literature research quantity on unattended working face in coal mine

图 1. 煤矿无人工作面文献研究数量趋势图

从图 1 可以观察到, 从 2013 年开始, 对于煤矿无人工作面的相关研究逐渐增加, 直到 2019 年, 煤矿无人工作面的研究到达了顶峰, 相关文献重点是煤矿无人开采技术分析, 煤矿无人开采内涵、实现途径等方面。

煤矿无人工作面项目是近年来学者们关注的重点话题, 基于前期开展的对煤矿无人工作面项目的研究,

借助知网平台, 了解现有研究关于煤矿无人工作面项目关键因素的识别与选取, 最终选定地质因素、设备技术因素、工艺因素、智能控制因素、组织管理因素等五项主要影响因素作为研究重点。通过对文献进行进一步的分析处理, 得到关于煤矿无人工作面项目成功应用的关键影响因素的衡量指标, 如表 1 所示。

Table 1. Measurement index of key influencing factors for successful application of coal mine unmanned face project

表 1. 煤矿无人工作面项目成功应用的关键影响因素的衡量指标

| 序号 | 影响因素 | 衡量指标 | 指标来源 |
|-----|--------|------------------------------------|-------------|
| A1 | 地质因素 | 煤层埋深、倾角、厚度、顶底板稳定性及构造复杂度。 | 来自文献[1] [2] |
| A2 | | 工作面采高、工作面倾向长度、工作面走向长度和工作面区段煤柱。 | 来自文献[1] |
| A3 | | 自动成巷无煤柱开采新技术和智能化无人开采工作面巷道布置体系。 | 来自文献[1] |
| A4 | 设备技术因素 | 煤岩自动识别技术 | 来自文献[3] |
| A5 | | 采煤机自主定位技术 | 来自文献[3] |
| A6 | 设备技术因素 | 采煤机配套技术、刮板输送机配套技术、液压支架配套技术和其他装备配套。 | 来自文献[1] |
| A7 | | 工作面调直、调斜控制技术、俯仰采控制技术和连续推进控制技术 | 来自文献[1] |
| A8 | 工艺因素 | 工序流程的简单化 | 来自文献[4] |
| A9 | | 综采工艺和综放工艺的使用 | 来自文献[1] |
| A10 | | 远程遥感技术 | 来自文献[1] [4] |
| A11 | 智能控制因素 | 多重传感器完善软件系统 | 来自文献[4] |
| A12 | | 双向高速通讯技术 | 来自文献[3] [5] |
| A13 | | 机器人可靠性、适应能力 | 来自文献[2] [5] |
| A14 | 组织管理因素 | 组织安全管理规范 | 来自文献[5] |
| A15 | | 安全和信息保障体系 | 来自文献[1] |
| A16 | | 精细化、标准化、安全监察、员工素质管理 | 来自文献[1] |
| A17 | | 高科技人才 | 来自文献[4] |

3.2. 问卷设计与数据分析

3.2.1. 问卷设计

根据本文研究的煤矿无人工作面项目成功应用的关键影响因素及确定的衡量指标, 问卷主要调查不同矿区内各项指标的完善情况, 本文的问卷包括以下三部分:

1、被调查人员的基本情况。主要有是否从事关于“煤矿无人工作面”的工作、年龄、单位所在地、从业时间、从事岗位, 通过问卷更好地了解关键影响因素中各项指标重要度。

2、对各项指标重要度进行调查。本部分根据表 1 设计, 将影响煤矿无人工作面项目成功应用的关键因素分为五类, 分别是地质环境因素、设备技术因素、工艺因素、智能控制因素、组织管理因素, 并对这五类影响因素选定 17 项指标进行衡量, 通过让被调查者根据五分制法衡量各项指标的重要程度, 如表 2 所示。

Table 2. Quantification table of influence degree

表 2. 影响程度量化表

| 重要程度 | 非常不重要 | 不太重要 | 一般重要 | 比较重要 | 非常重要 |
|------|-------|------|------|------|------|
| 得分 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

3.2.2. 描述性统计

1、年龄

本次调研样本共 266 份, 其中 18~25 岁 26 人, 占总样本的 9.8%, 25~30 岁 71 人, 占总样本的 26.7%, 30~40 岁 96 人, 占总样本人数的 36.1%, 40 岁以上 73 人, 占总样本人数的 27.4%。这表明, 在本次参与问卷的被调查人员中 30~40 岁人群占主要部分, 也表明从事矿业的人员年龄构成在 30~40 岁为主。

2、地区

本次调研问卷中, 囊括全国不同地区, 其中东部 59 人, 占总样本的 22.2%, 中部 96 人, 占总样本的 36.1%, 西部 46 人, 占总样本的 17.3%, 东北部 65 人, 占总样本的 24.4%。中部地区所占比例最高, 西部地区所占比例最低, 这和我国矿区分布相匹配, 表明调研问卷符合实际情况。

3、从业时间

本次调研问卷中, 调研参与者的从业时间, 其中从业 1~3 年时间的有 74 人, 占总样本的 27.8%, 从业 3~5 年的有 62 人, 占总样本的 23.3%, 从业 5~10 年的有 93 人, 占总样本的 35.0%, 从业 10 年以上的有 37 人, 占总样本的 13.9%。其中从业 5~10 年的比例最高, 从业 10 年以上的比例最低。

4、岗位

本次调研问卷中, 调研参与者的岗位类别, 其中管理岗位有 57 人, 占总样本的 21.4%, 占比最高, 表明本次调查问卷中, 管理岗位参与人数最多。具体分布见表 3。

Table 3. Post composition of participants in the survey

表 3. 参与调研人员的岗位组成

| 岗位 | 频率 | 百分比 |
|------|-----|-------|
| 综合队 | 26 | 9.8 |
| 综掘队 | 24 | 9.0 |
| 皮带工区 | 19 | 7.1 |
| 通防工区 | 23 | 8.6 |
| 运输工区 | 28 | 10.5 |
| 安装工区 | 29 | 10.9 |
| 巷修工区 | 28 | 10.5 |
| 管理岗位 | 57 | 21.4 |
| 其他 | 32 | 12.0 |
| 总计 | 266 | 100.0 |

3.2.3. 信效度检验

为了保证获取准确的数据结构, 本次调查问卷首先对收集上来的 266 个问卷进行信效度检验。通过计算 Cronbach's α 值检测其信度, 得出结果 Cronbach's $\alpha = 0.879 > 0.7$, 说明本次问卷中量表对于分析目的来说信度较好。

对问卷进行效度分析, $KMO = 0.937 > 0.6$ 且巴特利特球形检验通过显著性检验, 表明该份问卷能够进行因子分析, 问卷结果效度高。

3.2.4. 因子分析

因子分析是指将各变量之间的共性因子提取出来的统计学方法, 通过采用因子分析法一方面能够汲

取原有变量的大量信息, 避免信息失真, 另一方面, 可以大大方便对于因变量的分析与总结。

1、主成分分析

采用主成分分析法抽取公因子, 本文采用主成分分析对 18 项指标进行分析, 采用 SPSS 软件对数据进行主成分分析, 提取公因子, 删除因子载荷系数小于 0.5 的指标, 保证题目的有效性。

通过主成分分析建立总方差解释表, 如表 4 所示, 表中第一列为 17 项主成分的特征值, 依据抽取成分最少, 涵盖信息最大的原则, 本文提取出 6 个主成分, 累计贡献率达到 73.234%, 表明这 6 个主成分能够解释原始数据的 73.234% 的信息。

Table 4. Total variance explanation
表 4. 总方差解释

| 成分 | 初始特征值 | | | 提取载荷平方和 | | | 旋转载荷平方和 | | |
|-----|-------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | 总计 | 方差百分比 | 累积 % | 总计 | 方差百分比 | 累积 % | 总计 | 方差百分比 | 累积 % |
| A1 | 8.213 | 48.312 | 48.312 | 8.213 | 48.312 | 48.312 | 2.959 | 17.406 | 17.406 |
| A2 | 1.026 | 6.035 | 54.347 | 1.026 | 6.035 | 54.347 | 2.559 | 15.053 | 32.459 |
| A3 | 0.948 | 5.576 | 59.923 | 0.948 | 5.576 | 59.923 | 2.247 | 13.218 | 45.677 |
| A4 | 0.859 | 5.054 | 64.977 | 0.859 | 5.054 | 64.977 | 1.936 | 11.390 | 57.068 |
| A5 | 0.706 | 4.155 | 69.132 | 0.706 | 4.155 | 69.132 | 1.674 | 9.846 | 66.914 |
| A6 | 0.697 | 4.101 | 73.234 | 0.697 | 4.101 | 73.234 | 1.074 | 6.320 | 73.234 |
| A7 | 0.601 | 3.538 | 76.772 | | | | | | |
| A8 | 0.578 | 3.402 | 80.174 | | | | | | |
| A9 | 0.484 | 2.849 | 83.023 | | | | | | |
| A10 | 0.462 | 2.718 | 85.741 | | | | | | |
| A11 | 0.440 | 2.587 | 88.328 | | | | | | |
| A12 | 0.409 | 2.404 | 90.732 | | | | | | |
| A13 | 0.387 | 2.277 | 93.009 | | | | | | |
| A14 | 0.382 | 2.244 | 95.253 | | | | | | |
| A15 | 0.301 | 1.771 | 97.024 | | | | | | |
| A16 | 0.275 | 1.618 | 98.642 | | | | | | |
| A17 | 0.231 | 1.358 | 100.000 | | | | | | |

因子负荷矩阵是每个初始变数的表达式中的一个系数, 它代表了所抽取的公因数对初始变数的作用, 而因子分数矩阵则是各个指标变数与公因素之间的关系, 分数愈高则说明两者之间的关联性愈大。这一节中的系数负荷矩阵如表 5 所示。

2、因子旋转

因子旋转的目的是为了明晰每个公因子的含义, 解释各项原始变量对公因子的意义, 由表 5 可知, 在未做因子旋转时, 各项主成分对于原始变量的公因子提取并无明确界限, 无法甄别原始变量对主成分的贡献力, 因此, 采用因子旋转法, 确定煤矿无人工作面项目成功应用的关键影响因素。本文采用方差最大法正交旋转, 取大于 0.5 为有效因子, 旋转后的因子载荷矩阵如表 6 所示。

Table 5. Factor loading matrix
表 5. 因子载荷矩阵

| 原始变量 | 成分 | | | | | |
|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| A1 | 0.712 | -0.104 | -0.377 | -0.298 | 0.151 | -0.158 |
| A2 | 0.653 | -0.015 | -0.517 | -0.012 | 0.368 | 0.215 |
| A3 | 0.692 | 0.161 | -0.256 | 0.392 | -0.089 | -0.017 |
| A4 | 0.713 | 0.065 | -0.240 | 0.312 | 0.010 | -0.192 |
| A5 | 0.741 | -0.049 | -0.015 | 0.162 | -0.202 | -0.069 |
| A6 | 0.731 | -0.215 | 0.129 | 0.222 | -0.100 | 0.188 |
| A7 | 0.709 | -0.154 | 0.191 | 0.363 | -0.081 | 0.191 |
| A8 | 0.682 | -0.179 | 0.163 | -0.019 | 0.297 | 0.422 |
| A9 | 0.691 | -0.077 | 0.311 | -0.204 | -0.027 | 0.054 |
| A10 | 0.690 | -0.269 | 0.181 | 0.082 | 0.099 | -0.255 |
| A11 | 0.740 | -0.005 | 0.273 | -0.084 | 0.061 | -0.308 |
| A12 | 0.734 | -0.065 | 0.207 | -0.231 | 0.237 | -0.018 |
| A13 | 0.762 | -0.062 | -0.053 | -0.024 | -0.105 | -0.280 |
| A14 | 0.718 | 0.237 | -0.006 | -0.212 | -0.338 | 0.232 |
| A15 | 0.733 | 0.043 | -0.074 | -0.291 | -0.103 | -0.078 |
| A16 | 0.673 | 0.325 | -0.090 | -0.225 | -0.289 | 0.172 |
| A17 | 0.338 | 0.794 | 0.269 | 0.150 | 0.323 | -0.061 |

Table 6. Factor loading matrix after rotation
表 6. 旋转后的因子载荷矩阵

| 主成分 | 原始变量 | 成分 | | | | | |
|-----|------|-------|-------|---|-------|-------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| F5 | A1 | | | | | 0.652 | |
| | A2 | | | | | 0.816 | |
| F2 | A3 | | 0.733 | | | | |
| | A4 | | 0.682 | | | | |
| | A5 | | 0.555 | | | | |
| | A7 | | 0.546 | | | | |
| F4 | A6 | | | | 0.556 | | |
| | A7 | | | | 0.585 | | |
| | A8 | | | | 0.753 | | |
| F1 | A9 | 0.537 | | | | | |
| | A10 | 0.656 | | | | | |
| | A11 | 0.729 | | | | | |
| | A12 | 0.605 | | | | | |
| | A13 | 0.574 | | | | | |

Continued

| | | |
|----|-----|-------|
| | A14 | 0.775 |
| F3 | A15 | 0.519 |
| | A16 | 0.753 |
| F6 | A17 | 0.945 |

由表 6 可知, 六项主成分包含了所有原始变量, 其中 F1 包含 A9、A10、A11、A12、A13, 表示智能控制因素, F2 包含 A3、A4、A5、A7, 表示自动技术因素, F3 包含 A14、A15、A16, 表示组织管理因素, F4 包含 A6、A7、A8, 表示工艺技术因素, F5 包含 A1、A2 两项, 反映矿区的地质环境因素, F6 包含 A17, 表示人才管理因素。

3、主要影响因素重要性分析

通过主成分分析法确定六个主成分, 本文采用 SPSS 软件, 计算 17 项原始变量在 6 个主成分中的线性组合系数, 对六个主成分进行重要性分析, 确定主要影响因素排序。6 项主成分与 17 项原始变量的线性组合如下:

$$F_1 = 0.197A_1 - 0.282A_2 - 0.240A_3 - 0.006A_4 + 0.021A_5 + 0.112A_6 - 0.153A_7 - 0.159A_8 + 0.210A_9 + 0.401A_{10} + 0.475A_{11} + 0.290A_{12} + 0.283A_{13} - 0.205A_{14} + 0.164A_{15} - 0.198A_{16} - 0.011A_{17} \quad (1)$$

$$F_2 = -0.126A_1 - 0.027A_2 + 0.504A_3 + 0.437A_4 + 0.291A_5 + 0.185A_6 + 0.282A_7 - 0.264A_8 - 0.237A_9 + 0.088A_{10} - 0.050A_{11} - 0.312A_{12} + 0.159A_{13} - 0.068A_{14} - 0.127A_{15} - 0.059A_{16} - 0.032A_{17} \quad (2)$$

$$F_3 = -0.004A_1 - 0.145A_2 - 0.028A_3 - 0.177A_4 + 0.077A_5 - 0.006A_6 - 0.081A_7 - 0.106A_8 + 0.141A_9 - 0.311A_{10} - 0.118A_{11} - 0.083A_{12} + 0.007A_{13} + 0.624A_{14} + 0.273A_{15} + 0.600A_{16} - 0.090A_{17} \quad (3)$$

$$F_4 = -0.267A_1 + 0.141A_2 - 0.097A_3 - 0.215A_4 - 0.059A_5 + 0.359A_6 + 0.404A_7 + 0.675A_8 + 0.198A_9 - 0.006A_{10} - 0.145A_{11} + 0.161A_{12} - 0.286A_{13} + 0.031A_{14} - 0.184A_{15} - 0.082A_{16} - 0.037A_{17} \quad (4)$$

$$F_5 = 0.498A_1 + 0.739A_2 + 0.031A_3 + 0.099A_4 - 0.170A_5 - 0.173A_6 - 0.248A_7 + 0.209A_8 - 0.159A_9 - 0.082A_{10} - 0.150A_{11} + 0.123A_{12} - 0.043A_{13} - 0.144A_{14} + 0.076A_{15} - 0.053A_{16} - 0.021A_{17} \quad (5)$$

$$F_6 = -0.138A_1 + 0.052A_2 + 0.084A_3 + 0.069A_4 - 0.122A_5 - 0.156A_6 - 0.051A_7 + 0.065A_8 - 0.017A_9 - 0.058A_{10} + 0.133A_{11} + 0.125A_{12} - 0.104A_{13} - 0.063A_{14} - 0.089A_{15} + 0.014A_{16} + 0.958A_{17} \quad (6)$$

根据各项主成分分析值, 将指标权重进行归一化处理, 确定 17 项原始变量系数, 并对各项指标进行标准化处理, 确定各原始指标的重要性排序, 整理得表 7。

由表 7 可知, 煤矿无人工作面项目成功应用的关键影响因素中, 影响程度最大的是 F1, 即智能控制因素, 其次依次为 F5 (地质环境因素)、F2 (自动技术因素)、F3 (组织管理因素)、F4 (工艺技术因素)、F6 (人才管理因素)。

Table 7. Index weight ranking Table
表 7. 指标权重排序表

| 原始指标 | 指标含义 | 系数 | 排序 | 公因子 |
|------|----------|--------|----|-------|
| A11 | 传感器系统 | 0.1462 | 1 | F1 |
| A10 | 遥感技术 | 0.1212 | 2 | F1 |
| A12 | 高速通讯技术 | 0.0932 | 3 | F1 |
| A13 | 机器人可靠性 | 0.0871 | 4 | F1 |
| A2 | 开采参数 | 0.0732 | 5 | F5 |
| A9 | 综采综放工艺 | 0.0675 | 6 | F1 |
| A1 | 煤层地质因素 | 0.0614 | 7 | F5 |
| A3 | 自动成巷技术 | 0.0602 | 8 | F2 |
| A15 | 安全信息保障体系 | 0.0532 | 9 | F3 |
| A14 | 安全管理规范 | 0.0520 | 10 | F3 |
| A16 | 规范化管理 | 0.0494 | 11 | F3 |
| A7 | 工作面技术 | 0.0369 | 12 | F2、F4 |
| A8 | 工艺流程简化 | 0.0367 | 13 | F4 |
| A6 | 配套技术 | 0.0267 | 14 | F4 |
| A17 | 人才管理 | 0.0168 | 15 | F6 |
| A5 | 自主定位技术 | 0.0117 | 16 | F2 |
| A4 | 自动识别技术 | 0.0067 | 17 | F2 |

3.3. 关键影响因素分析

由前文分析可知,影响煤矿无人面项目成功应用的关键因素主要为智能控制因素、地质环境因素、自动技术因素这三个方面。

3.3.1. 智能控制因素

由表 7 可知,智能控制因素在煤矿无人面项目成功应用的关键因素中影响最为显著,其主要通过传感器系统(A11)、远程遥感技术(A10)、高速通讯技术(A12)这三个方面影响。

1、传感器系统

在煤矿无人面项目的生产过程中,科学生产、安全生产、高效生产是每个项目追求的目标,因此,煤矿生产中的监测技术、信息传输技术、计算机应用技术、控制技术逐渐发展,在这些技术中,必不可少的是传感器系统,传感器系统能够稳定高效地检测环境参数,并对设备进行监测和控制,利用计算机进行处理,获取需求数据。因此,在煤矿企业智能控制系统中,传感器系统的稳定性和可靠性是科学、安全、高效生产的前提。

2、远程遥感技术

在煤矿无人化开采工作当中,工作人员要根据遥感技术合理应用,并对无人化开采方案进行合理操控和科学管理。远程遥感技术对自动化设备和机械化程度要求较高,如果无法完成自动化的煤矿资源开采工作,通过遥感设备可以获取工作面的重要数据信息[6],同时可以通过具体的信息反馈,对相关的机械设备进行操控,但如果出现较为严重的地质结构问题,仍需要相关检修人员,开展修理工作,保障煤

矿开采的正常运行。

3、高速通讯技术

煤矿井下无线通讯技术主要包括: WiFi 无线通信技术、射频识别技术、认知无线电技术。WiFi 无线通信技术采用高带宽、低成本、简易的审批手续在煤矿无人化工作面中应用广泛; 射频识别技术应用于人员定位系统, 广泛应用于中小型煤矿中; 认知无线电技术能够对环境变化做出灵敏反应, 为矿难救助提供重要信息, 实现高可靠性的监测网络系统。由此可见, 实现煤矿无人化工作面的成功应用, 离不开高速的通讯技术。

3.3.2. 地质环境因素

由表 7 可知, 地质环境因素在煤矿无人面项目成功应用的关键因素中影响显著, 其主要通过开采参数(A3)、煤层地质因素(A7)这两个方面。

1、开采参数

煤矿无人工作面项目的几何参数包括: 工作面区段的煤柱、工作面走向长度、工作面采高、工作面倾向长度。采区参数之间彼此是相互联系、相互制约的, 合理的开采参数在一方面能够提高煤矿采出率, 另一方面也能够提高采煤作业的安全性, 保证矿井中每个生产单元生产任务的顺利进行。因此, 确定科学的开采参数对于无人工作面的成功应用具有重要影响[1]。

2、煤层地质因素

煤层的厚度是影响矿井开采的重要地质条件。煤体的分叉、变薄、尖灭等不同的煤体厚度, 对矿井的正常开采有很大的影响。煤的原始厚度改变是指在泥岩地层的堆叠作用下, 在煤体的表层被覆之前, 由于多种地质条件的作用, 如地壳运动, 沉积环境的改变, 造成了煤的形状和厚度的改变。

3.3.3. 自动技术因素

由表 7 可知, 自动技术因素在煤矿无人面项目成功应用的关键因素中影响显著, 其主要通过自动成巷技术(A2)、工作面技术(A1)这两个方面。

1、自动成巷技术

煤矿无人工作面项目的开采过程中巷道布置体系对矿井安全生产和经济利益起到关键决定作用。自动成巷技术能够实现高效回采, 有利于顶板岩层控制, 相比于传统留巷方法, 既可降低留巷费用, 又可使煤矿的损失降到最低, 使煤矿资源得到最大程度的恢复。因此, 科学合理地完善巷道布置体系是至关重要的。

2、工作面技术

煤矿无人化工作面技术应用的现状是综采装备的智能化程度低, 难以适应地质条件变化, 并作出灵敏性调整。因此, 建立智能化工作面, 对复杂工作面、不透明工作面进行智能化分析, 应用故障诊断技术和大数据处理技术与复杂条件耦合协调是建立无人化工作面成功应用的重要条件。

4. 基于关键影响因素分析的建议

4.1. 对智能控制因素的对策建议

1、应用多重传感器, 完善相关软件系统

煤矿无人化工作面项目工作量较大, 项目开展前期要收集大量信息, 而信息中数据的收集在很大程度上来自于传感器信息。信息是开展一切活动的基础, 因此, 在煤矿无人工作面项目中设置多重传感器是非常重要的。传感器收集到的信息通过各种软件展现出来, 各软件是一个个子系统, 各子系统之间不是独立存在的, 而是存在交互作用、实现信息共享。因此, 在收集信息时, 应全方位使用多重传感器收

集到样本最大、数据最全的信息, 此外, 还要实现信息在多个软件中的共享, 从而保障无人工作面项目应用的稳定性。

2、运用远程遥感技术

远程遥控技术是实现无人化煤矿综采、综放的一个重要环节, 远程遥控技术可以实现一线工作的无人化作业, 使人员在一个相对安全的环境中合理操纵采矿工作地顺利开展, 一方面可以大大提高工作效率, 另一方面, 也是保障矿工安全作业的重要手段, 是实现安全管理的必由之路。因此, 在煤矿无人工作面项目应用过程中, 要实现远程遥感设备全覆盖, 加强对于远程遥感技术人才的培养和应用, 解决困扰性的问题。

3、运用上下高速通讯技术

利用井下采集井下的信号进行作业, 可以更好地对井下的仪器进行监控。利用上、下、下的高速度通信, 可以优化整个工程的作业过程, 使得工人作业更快速的传递到设备的命令接收装置, 而在井下作业的同时, 也会向井内发送相应的作业信息。

4.2. 对地质环境因素的对策建议

1、完善前期可行性研究

煤矿无人工作面成功应用的基础是全面了解煤层的地质结构, 充分开展前期可行性研究。煤矿井下的煤层角度、厚度、结构、断层等多种地质因素在一定程度上影响采矿设备的型号、功能, 甚至使用效果, 此外, 煤层环境中的各类指标的浓度、湿度、温度等参数也会影响各类传感器设备的应用。煤矿成煤时期形成的应力大小和结构, 会影响到无人工作面的开采过程。因此, 在开展无人工作面项目时, 首先应当充分了解煤层的地质结构的各项指标, 充分开展前期可行性研究, 保证项目成功应用。

2、确定科学的开采参数

科学的开采参数是煤矿无人工作面项目成功应用的基础, 无人工作面项目的几何参数主要有: 工作面区段的煤柱、工作面走向长度、工作面采高、工作面倾向长度。确定科学的工作面区段煤柱应开发相应的测量技术, 明确采取开发率的标准; 工作面走向长度的确定应利用采区的大小综合分析得出结论, 确定工作面采高应根据煤层厚度和外部环境因素综合得出结论, 工作面倾向长度根据地质环境、矿区生产技术水平综合分析得出结论。

4.3. 对自动技术因素的对策建议

1、完善自动成巷技术

煤矿无人工作面项目的开采过程中巷道布置体系对矿井安全生产和经济利益起到关键决定作用。因此, 科学合理地完善巷道布置体系是至关重要的。科学合理的工作面巷道布置对矿井安全生产和经济效益起到关键性作用[7]。煤矿无人开采工作面巷道布置体系的方式分为 121, 110 和 N00 工法巷道三种布置体系。在实际作业中, 通过加强巷道的支撑和各种自成巷的施工, 保证了切割顶护巷的安全, 保证了以后的采区的正常生产, 并在实际作业中, 对煤层组的支护和切顶工艺进行了改进, 形成了一套较为成熟的工艺系统。

2、完善工作面调整技术

在煤炭生产中, 经常会碰到工作面不平坦、煤层较少、煤层较少的情况, 在煤矿无人工作面项目成功应用过程中, 应警惕这种情况的发生。因此, 在实践中, 通常会采取调斜开采, 即对工作面进行适当调整, 在不改变应力应变的条件下, 更好地适应开采工作面。有些煤矿综采工作面采用“3-1”式调斜回采技术, 这种技术能够降低煤柱损失, 但同时也应注意对于工作面质量管理和管理水平地提高。因此,

采用“3-1”式调斜回采技术, 不仅能够提高煤矿的回收转化率, 同时也能延长矿井的使用寿命提升经济价值。

5. 结论

本文针对影响煤矿无人工作面项目进一步落地的相关因素做了较为深层次的剖析和思考, 旨在能为煤矿无人工作面项目的进一步发展和应用提供一些参考, 将煤矿无人工作面项目落地所需的理论与相关资料进行整理并继续研究, 对其它研究人员在煤矿无人工作面领域的调查给予一定的参考价值。主要研究结论如下:

1) 通过对智能控制因素、地质环境因素、自动技术因素、组织管理因素、工艺技术因素和人才管理因素六个方面进行全面分析, 深入发掘综采工作面的无人化开采的限制, 发现影响煤矿无人面项目成功应用的关键因素主要为智能控制因素、地质环境因素和自动技术因素。

2) 结合智能控制因素、地质环境因素和自动技术因素对综采工作面的无人化特征进行深度挖掘与分析, 并提出相对应建议, 主要建议为: 在智能控制方面应用多重传感器、远程遥感技术和上下高速通讯技术, 完善相关软件系统; 在地质环境方面, 完善前期可行性研究, 确定科学的开采参数; 在自动技术方面, 完善自动成巷技术和工作面调整技术。

基金项目

高校学科(专业)拔尖人才资助项目(项目编号: gxbjZD2021051)。

参考文献

- [1] 张科学, 王晓玲, 何满潮, 尹尚先, 李首滨, 孙健东, 李东, 程志恒, 赵启峰, 殷帅峰, 亢磊, 朱俊傲, 杨海江. 智能化无人开采工作面适用性多层次模糊综合评价研究[J]. 采矿与岩层控制工程学报, 2021, 3(1): 47-56.
- [2] 贾志宇. 煤矿综采工作面无人化开采的实现策略分析[J]. 当代化工研究, 2021(5): 31-32.
- [3] 史瑞. 煤矿无人工作面开采技术[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(3): 224-225.
- [4] 方志刚. 煤矿综采工作面无人化开采技术[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(19): 213-214.
- [5] 康迎春. 我国煤矿智能化建设存在的主要问题及对策分析[J]. 智能矿山, 2022, 3(5): 11-17.
- [6] 石宝军. 煤矿综采工作面无人化开采技术分析[J]. 石化技术, 2019, 26(11): 91-92.
- [7] 范凯. 影响煤矿无人化工作面开采技术的因素分析[J]. 山西煤炭, 2020, 40(3): 16-18.