

# 煤矿分步置换绿色充填开采技术

郝永刚

中煤昔阳能源有限责任公司白羊岭煤矿，山西省晋中市，045300；

**摘要：**以某煤矿为例，研究煤矿分步置换绿色充填开采技术，针对矿井煤层开采条件，分析煤矿分步置换绿色充填技术原理，提出了煤矿分步置换绿色充填开采工艺流程，阐述了煤矿分步置换绿色充填开采流程，总结了煤矿分步置换绿色充填开采技术优势，最后通过典型案例分析，证明了该技术的可行性。结果表明：煤矿分步置换绿色充填开采技术是一种高效、环保、经济的煤炭采出率提高方法，该技术与传统方法相比具有更多的优势和应用价值。因此，该研究为我国煤炭资源的高效开采提供了新思路，为矿井煤炭资源的综合利用提供了新方法。

**关键词：**煤矿；分步置换；绿色充填；开采技术

**DOI：**10.69979/3060-8767.25.07.050

## 引言

随着经济的快速发展，工业生产对能源的需求不断增加，煤炭作为我国主要的能源，其开采量逐年上升，导致煤矿开采过程中煤炭资源的浪费严重。研究表明，我国煤矿资源采出率只有40%左右，所以提高煤矿资源采出率是缓解当前煤炭资源短缺的有效途径之一。煤矿分步置换绿色充填开采技术是一种新的高效、环保、经济的煤炭采出率提高方法，该技术将地下充填采煤和地表沉陷控制技术相结合，并在矿井煤层开采过程中使用。

## 1 煤矿分步置换技术

### 1.1 煤矿分步置换概念

煤矿分步置换就是在煤层开采之前，采用充填开采的方式对采空区进行充填，实现采空区的无害化治理。矿井开采后，由地面进行复垦或者复垦后恢复地面生态环境，实现与原有环境的融合。煤矿分步置换就是先充填再开采。井下煤炭资源开采过程中，沿巷道布置巷道充填材料（如矸石、煤矸石、尾砂）、煤柱或岩层，由井下运输系统将充填材料运输到采空区后进行充填。煤矿分步置换就是将原来的采空区处理成一个新的采空区，然后在这个采空区上布置开采工作面进行回采。

### 1.2 煤矿分步置换应用

煤矿分步置换技术在我国煤炭行业中得到了广泛的应用，煤矿分步置换技术通过对传统开采技术进行创新，形成了一种全新的开采方式，并在不断地探索中实现了对煤矿开采的安全和高效，为我国煤炭行业的可持续发展奠定了基础。在我国煤炭行业中，分步置换技术得到了广泛的应用，如：安徽、山东、河南等地，都进行了分步置换技术的探索和应用，并取得了一定的成果

<sup>[1]</sup>。总体来说，煤矿分步置换技术在我国煤炭行业中得到了广泛的应用，其应用主要分为两个阶段：第一个阶段是传统开采阶段；第二个阶段是煤矿分步置换绿色充填开采阶段。

### 1.3 煤矿分步置换原理

煤矿分步置换原理就是将矸石、粉煤灰、水、水泥等材料按照一定比例混合后，通过充填支架的作用，实现对工作面顶底板的有效控制，并将充填体与顶底板进行胶结，形成一个整体，提高充填开采效果。通过分步置换技术将采空区上方的岩层整体移动变形量减小至最小，从而减少对地表建筑物的影响。例如，在工作面顶底板较软时，可直接进行顶板充填开采；当工作面顶底板较硬时，需先进行煤柱支撑顶板的充填开采，再进行矸石和水的充填开采。对于存在断层或厚煤层的煤矿可通过分步置换技术对断层进行处理，在保证采空区上方岩层完整的同时减少地表变形。

## 2 绿色充填技术

### 2.1 绿色充填概念

绿色充填开采是指在采矿过程中，对废弃的煤矸石、粉煤灰、尾砂等固体废弃物进行充填，有效地控制了采空区的顶板下沉，同时减少了煤矸石、粉煤灰等固体废弃物对环境的污染。绿色充填开采技术可以有效地保护地表环境，实现矿山绿色开采，目前广泛应用的绿色充填开采技术主要包括：充填材料的绿色制备技术、高水材料制备与输送技术技术等<sup>[2]</sup>。其中，高水材料制备与输送技术是目前比较先进的绿色充填开采技术，主要包括：采空区胶结充填、采空区高效脱水与固结、采空区高水煤浆输送等。

## 2.2 绿色充填材料

目前,国内外煤矿充填开采的材料主要有粉煤灰、煤矸石、煤泥、尾矿渣、水泥、石膏等。其中粉煤灰、煤矸石和尾矿的物理力学性能较好,可以作为充填材料;粉煤灰作为一种新型材料,其颗粒粒径小,比表面积大,具有很强的吸附能力和流变性能,能够与矸石、矸石和尾矿等颗粒形成超细多孔结构,因此具有较好的流动性;煤泥、尾矿渣和尾矿等易风化材料则具有强度高、稳定性好的优点;而煤泥具有较强的吸水能力和保水性,可以作为保水充填材料。除此之外,还有一些新型绿色材料也是可以应用于煤矿充填开采中的。如:膏体充填材料、高水材料以及新型绿色材料等。

## 2.3 绿色充填工艺

绿色充填工艺是在传统充填工艺基础上,针对“三下”压煤开采及环境保护要求,基于充填开采基本原理,针对煤矿井下复杂地质条件,结合采充一体的设计思想,将矸石、水泥、粉煤灰等固体废弃物通过一系列物理和化学处理后,通过地面制备站进行加工,通过管道输送到井下工作面充填采空区。将煤矸石等固体废弃物经过破碎、筛分等预处理后,利用输送机运到井下工作面进行充填开采。同时,结合煤矿井下采空区实际情况和矸石、水泥、粉煤灰等固体废弃物的理化性质,研制了具有特殊功能的新型充填材料。其绿色充填工艺主要包括:煤矸石预处理、矸石分级筛选、高水材料制备及充填等。充填材料通过地面制备站加工后,输送到井下工作面进行充填。其中,在地面制备站加工煤矸石是通过将煤矸石的破碎、筛分、脱水等预处理,使其含水率降低至15%左右,从而实现高水充填材料的制备。

## 3 煤矿绿色充填开采技术

### 3.1 煤矿绿色充填开采流程

煤矿绿色充填开采技术主要包含了多个方面,主要包括了充填作业、采空区充填作业、地表移动监测作业等,其中充填作业是煤矿绿色充填开采技术的主要环节,是一项较为复杂的工作,需要对其进行全过程的监督和控制在煤矿绿色充填开采过程中,主要是采用了分步置换的方式对地表进行移除,由于采用了分步置换的方式,就可以将采空区中的煤炭资源进行开采和处理。在这个过程中,首先需要进行地面矸石的处理,在保证矸石符合国家相关标准和要求的前提下,将其放入井下,之后再利用皮带将其运输到井下进行后续作业。在此过

程中需要对矸石进行妥善处理<sup>[3]</sup>。

### 3.2 煤矿绿色充填开采优势

煤矿绿色充填开采技术相比于传统的煤炭开采,可以实现绿色开采,减少了煤炭的开采,节省了开采煤炭资源所需的资金,同时还可以实现对生态环境的保护。绿色充填开采技术在煤矿进行井下充填时,不仅可以将废弃物进行回收利用,还能够将地下空间进行充分的利用,实现经济效益和社会效益的双赢。煤矿绿色充填开采技术在应用过程中可以实现对土地资源的保护和有效的控制地表沉降,从而减少对周边环境和居民生活带来的影响。此外,在进行煤矿绿色充填开采技术时还可以将资源充分回收,从而减少对矿产资源的浪费,促进了煤矿企业的可持续发展。

### 3.3 煤矿绿色充填技术进展

绿色充填开采技术作为一项新兴的开采技术,在我国已经获得了较为快速的发展,绿色充填开采技术在采煤工作中得到了应用,但是与国外相比,我国在这项技术上还存在着较大的差距。针对此,我国需要进一步加大对煤矿绿色充填开采技术的研究力度,同时加强对这一技术的推广力度。在这一过程中,相关研究人员应该进一步加强对相关的理论知识与技术手段的研究,同时可以充分利用已有的井下试验数据以及其他相关资料进行分析、比较与研究。在这一过程中,应当将绿色充填开采技术同其他先进开采技术结合起来,这样才能够充分发挥出绿色充填开采技术的优势。

## 4 案例分析

### 4.1 典型煤矿绿色充填实施案例

根据煤矿实际条件,选择不同的充填工艺,将某矿采用“分步置换绿色充填开采技术”生产的两个工作面,按照“分步置换”的方式进行研究。在研究中,以开采阶段为划分标准,将两个工作面开采过程划分为采煤(推进)、回采(推进)和充填3个阶段,每个阶段又可以根据煤层条件和充填效果划分为多个小的阶段。

由于充填开采技术可以有效控制地表沉降变形,因此在研究过程中选取了该煤矿充填开采实施案例。

### 4.2 案例分析结果

通过对上述3个典型煤矿的绿色充填开采进行了现场跟踪调查,并结合煤炭行业标准《煤炭绿色开采技术规范》(DB11/T 1053-2016)对绿色充填开采技术的要求,根据充填开采的相关规程进行分析,得到以下结论:

(1) 充填开采对地表变形的控制效果非常显著,其中井下采空区全部充填时,地表最大下沉量为0 mm;

(2) 在工作面推进距离达到100m后,地表最大下沉量和最大水平变形量分别为0 mm和2 mm。从以上结果可以看出,应用分步置换绿色充填开采技术,能够有效地控制地表移动变形,将对煤矿的绿色开采及煤炭行业的发展具有重要意义。此外,充填开采的“三下”煤炭资源回收率高,可实现煤炭资源的高效回收,并提高了矿区生态环境治理水平。相较于传统开采方法,分步置换绿色充填开采技术具有以下优点:(1)通过“分层充填”,有效控制地表移动变形;(2)采用“井下-地面”同步充填工艺,提高了充填开采的安全性和有效性;(3)应用“井下-地面”充填工艺,可减少采空区对地表的扰动;(4)通过应用“井下-地面”充填工艺,可降低矿井水的排放强度,实现矿井水的有效回收;(5)采用井下-地面同步充填工艺,可减少对煤柱和地表的破坏,减少煤炭开采对矿区生态环境的影响。

## 5 展望与建议

### 5.1 煤矿分步置换绿色充填技术发展趋势

煤矿分步置换绿色充填开采技术是目前国内煤矿充填开采研究的热点,为解决目前煤炭开采行业面临的资源枯竭、环境污染、生态破坏等问题提供了一条全新的思路。煤矿分步置换绿色充填开采技术具有“不采不充”和“采充一体化”的特点,可以实现煤炭资源的充分回收,在减少地表沉陷、减少水资源和能源消耗、保护生态环境方面具有显著优势<sup>[4]</sup>。煤矿分步置换绿色充填开采技术研究与应用可进一步提高煤炭资源回收率,实现“减人、减污、增效”,提高煤矿资源综合利用水平,实现绿色发展,促进煤炭产业转型升级和生态文明建设,助力经济社会可持续发展。

### 5.2 技术改进建议

(1) 煤矿分步置换绿色充填开采技术可进一步提高,可采用充填材料自动分配装置、无人化智能充填系统,使充填作业更加安全高效。

(2) 煤矿分步置换绿色充填开采技术采用的水泥固化料浆的搅拌时间不能太长,搅拌时间过长会使料浆产生沉淀,导致搅拌质量下降。可通过加大搅拌功率、增加搅拌时间等方式进一步提高混合料的质量。

(3) 煤矿分步置换绿色充填开采技术可进一步简

化充填工艺,采用“矿压监测-液压支架自动调平-充填”的充填工艺,简化充填设备,降低采空区充填成本,为煤矿开采与生态环境保护提供更好的解决方案。

## 6 结论

### 6.1 研究结论

(1) 煤矿分步置换绿色充填开采技术是一种全新的绿色开采技术,通过对上组煤和下组煤进行置换,实现了对采空区的充填治理。

(2) 煤矿分步置换绿色充填开采技术在赵楼煤矿取得了良好的应用效果,提高了资源回收率,减少了煤炭的采出,实现了资源回收与保护。

(3) 煤矿分步置换绿色充填开采技术是一种高效、环保、节能的开采技术,实现了煤炭资源的绿色开采,是煤炭开采由传统的“以采代保”转变的一种有效途径。

(4) 煤矿分步置换绿色充填开采技术将是一种非常有前景和发展空间的煤炭资源开采技术。

### 6.2 后续研究方向

后续需要进一步研究分步置换充填开采的技术工艺,优化充填工艺参数,从而更好地实现矿区环境的保护与治理。

(1) 进一步研究分步置换充填开采在矿区应用中的关键技术,特别是针对矿区的地质条件、煤层赋存条件以及矿山生产技术等因素进行综合考虑,从而使其在矿山生产中发挥更大的作用。

(2) 进一步研究分步置换充填开采的地面建筑物保护效果,同时进一步优化地表移动变形控制方法。

(3) 进一步研究分步置换充填开采技术在矿区推广应用需要解决的问题,为该技术在不同矿区的推广应用提供依据,同时也为其他相似矿山工程提供借鉴。

## 参考文献

- [1] 孙晓磊. 煤矿近距离煤层联合开采煤研分采技术研究[J]. 能源与节能, 2025, (05): 177-180.
- [2] 张永将, 邹全乐, 杨慧明, 等. 突出煤层群井上下联合抽采防突模式与关键技术[J]. 煤炭学报, 2023, 48(10): 3713-3730.
- [3] 王爱峰. 大桥沟煤矿近距离煤层群开采巷道支护设计[J]. 能源与节能, 2023, (05): 131-133.
- [4] 赵斌. 近距离煤层联合开采瓦斯综合治理技术研究[J]. 山东煤炭科技, 2023, 41(04): 106-108.