

# Research on the Design and Technology of Advance Filling False Roof in Fully Mechanized Caving Face

Lufan Miao Hui Li Lingjun Sun

Zhaoguyi Mine, Henan Energy Coking Coal Company, Jiaozuo, Henan, 454000, China

## Abstract

At Zhao Guyi Mine's 16060 fully mechanized caving face roadway aligned along the coal seam roof, implementing artificial false roof construction was required to enhance resource recovery efficiency. This study investigates roadway support strength, roof formation conditions, mining-induced deformation patterns, and measured deformation mechanisms of surrounding rock. The research establishes appropriate backfill materials and construction techniques for artificial roof systems. Field implementation demonstrates improved stability of roadway surrounding rock and enhanced coal recovery rates.

## Keywords

roadway surrounding rock; backfilling; artificial false roof

# 综放工作面超前充填假顶的设计与工艺的研究

苗路凡 栗辉 孙玲军

河南能源焦煤公司赵固一矿, 中国·河南焦作 454000

## 摘要

基于赵固一矿16060综放工作面上顺槽沿煤层顶板布置, 为提高资源回收率, 需对上顺槽卧底并构筑人工假顶。针对巷道巷道支护强度、顶板赋存条件、受采动影响、巷道围岩变形实测规律, 研究确定了构筑假顶的充填材料、施工工艺。通过实际应用效果来看, 增加了巷道的稳定性, 提高了煤炭的回收率。

## 关键词

巷道围岩; 充填; 人造假顶

## 1 引言

基于赵固一矿 16060 综放工作面上顺槽沿煤层顶板布置的实际情况, 为最大化提升资源回收率, 需通过对上顺槽实施卧底作业并构筑人工假顶实现资源回收优化。充填采矿法是指伴随采煤、运输及其他作业的同时, 用充填料对采空区充填的采矿方法, 本研究人工假顶构筑正是其应用体现。充填目的是为了缩小采空区空间, 减少上赋围岩垮塌量<sup>[1]</sup>。

随着充填材料、工艺、管道输送技术的不断进步, 充填技术在煤矿、非煤矿上得到了广泛应用。赵固一矿 16060 综放工作面, 顺槽沿顶板掘进, 为提高资源回收率, 回采期间沿煤层底板卧底, 工作面端头溜底回采对工作面的三角底煤进行回收, 但会导致落底煤段的巷道高度达 6.6m 左右, 受卧底以及采动作用叠加影响, 原支护强度难以抵御围岩应力, 无法维持巷道围岩稳定, 尤其是两帮易出现持续变形, 若不及时控制, 极易发生两帮失稳型顶板事故<sup>[3]</sup>, 同时, 端

头架因无法接顶, 支护力传递不畅, 倒架风险显著增加。此类问题不仅影响回采效率, 更对作业安全构成威胁。因此, 16060 工作面上顺槽计划采用顶部充填方式解决巷道超高采及失稳问题。

## 2 工作面概况

16060 工作面水平位置 -525m, 位于矿井西北翼, 所属西六盘区, 开采煤层为二<sub>1</sub>煤层, 该煤层顶板标高为 -450.1 ~ -489.6m, 为放顶煤工作面。北为 DF106 断层和 F25 断层, 西为已回采结束的 16080、16100 和 16120 工作面, 南为北翼三条大巷和西翼风井, 东为已回采结束的 16040 工作面。该工作面可采长度 748.6 ~ 754.3m (上顺槽长 748.6m, 下顺槽长 754.3m), 宽 169.1m。16060 工作面煤层厚度为 6.0 ~ 7.0m, 平均为 6.60m。端头架型号为 ZFG18000/27/40HD (B), 支护强度 1.82MPa。

### 2.1 煤层顶底板岩层

老顶: 中粒砂岩, 厚度: 5.04 ~ 12.43m, 平均厚度 8.82m。岩性特征: 灰色, 成分以石英为主, 次为长石、岩屑, 钙质胶结, 分选中等, 层面含炭质及少量云母片, 含丰富菱铁质鲕粒, 含泥岩包体。

【作者简介】苗路凡 (1989-), 男, 中国河南社旗人, 本科, 助理工程师, 从事矿山开采研究。

直接顶：砂质泥岩，厚度：0 ~ 5.31m，平均厚度 2.84m。  
岩性特征：深灰色，夹砂岩条带，层面含云母片，富含植物颈部化石。

伪顶：泥岩，厚度：0.10 ~ 1.40m，平均厚度 0.80m。  
岩性特征：深灰色，块状，富含植物颈部化石，夹细煤线。

直接底：粉砂岩、砂质泥岩，厚度：17.70 ~ 26.98m，平均厚度 22.65m。岩性特征：粉砂岩，灰色，富含植物根部化石，具水平层理，含云母片。砂质泥岩，深灰色，致密、块状，含少量植物化石碎片，含黄铁矿晶体。

老底：L9 灰岩，厚度：1.62 ~ 2.00m，平均厚度 1.73m。  
岩性特征：灰色，隐晶质，遇稀酸起泡，含动物化石，含黄铁矿晶体。

## 2.2 巷道断面及支护参数

16060 上顺槽长度为 1244.1m，沿煤层顶板掘进，断面为矩形，顶板以及帮部采用锚网索支护，设计净宽 5000mm，净高 3800mm，净断面积 19.0m<sup>2</sup>。

### 2.2.1 掘进时的支护方式

顶板采用锚网支护，锚杆采用高强锚杆，规格  $\phi 20 \times 2400\text{mm}$ ，锚索规格  $\phi 17.8 \times 4200\text{mm}$ 。间排距  $800 \times 800\text{mm}$ ，每排 9 根（两肩窝为  $\phi 17.8 \times 4200\text{mm}$  锚索），锚杆垂直于巷道顶板打设，肩窝锚索向外扎  $10^\circ$  打设，配合钢筋梯使用，规格为  $\phi 14 \times 3270 \times 70\text{mm}$ 。采用槽钢梁锚索和点锚索进行补强支护，锚索规格  $\phi 21.6 \times 8300\text{mm}$ ，每锚杆（索）与补强锚索交替打设，槽钢梁锚索与点锚索交叉布置，间排距  $1400 \times 1600\text{mm}$ 。帮部采用锚网索支护，锚索规格： $\phi 17.8 \times 4200\text{mm}$ ，间排距  $900 \times 800\text{mm}$ ，配合钢筋梯使用。

### 2.2.2 回采期间的顶板支护。

上顺槽超前支护不少于 50m，支护形式为槽钢梁锚索，顶板平行巷道中线方向打设三排走向槽钢梁锚索，东偏巷道中心线 1200mm 打设一排，西偏巷道中心线 200mm 打设一排，西偏巷道中心线 1400mm 打设一排，锚索规格为  $\phi 21.6 \times 10300\text{mm}$ 。

### 2.2.3 巷道矿压观测。

充填前，工作面超前属于应力集中区域，巷道均会发生一定程度的围岩收缩变形，而在工作面超前应力集中区域以外的巷道收缩变形很小。根据矿井其他工作面巷道矿压观测实际数据可知，工作面超前影响范围一般为 0 ~ 30m，巷道收缩量大。变化曲线如图 1。

## 3 充填工艺设计

上顺槽卧底深度约 2.8m，充填高度约 2m，充填尺寸如图 2，采用工字钢梁搭建充填平台骨架，工字钢梁垂直于上巷中线方向布置，间距  $800 \pm 50\text{mm}$ ，工字钢梁（ $\pi$  型钢梁）放置在梁窝内，使用三排锚索加固充填平台骨架。

每一循环充填长度 5-10m，使用风筒布将充填平台的四周及底部进行封闭，然后对充填段风筒布进行充填。充填材料水灰比 3:1，每 1m<sup>3</sup> 需要充填材料 0.305 吨。2 个小时

即可达到 1.25MPa，7 天一般即可达 3.28MPa。

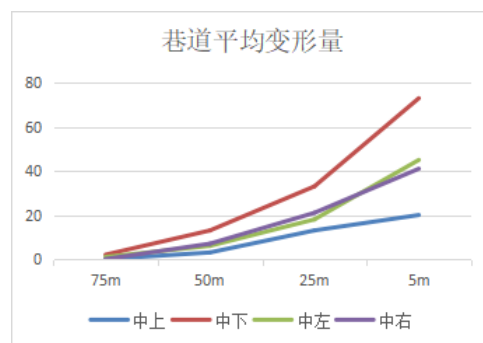


图 1 巷道变化曲线图

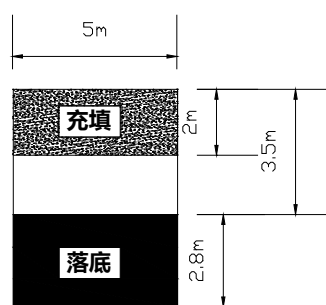


图 2 充填尺寸

### 3.1 充填平台承计算

$$P = W \times g = L \times w \times H \times G \times g = 0.305 \times 5 \times 0.8 \times 2 \times 9.8 = 23.91 \text{ (N)}$$

其中，P 为静载荷。

g 为重力加速度，取 9.8 m/s<sup>2</sup>。

L 为平台长度，取 5m。

w 为平台宽度，取 0.8m。

H 为充填厚度，取 2m。

$$Q = M \times a = 150 \times 2 = 300 \text{ (N)}$$

其中，Q 为动载荷

M 为平台上移动物体的总重为，按 2 人计算，每人 75Kg，则取值为 150Kg。

a 为加速度，取 2m/s<sup>2</sup>。

$$C = (L \times W \times H) \times \sigma \times g = 5 \times 0.8 \times 0.12 \times 310 \times 9.8 = 3038 \text{ (N)}$$

其中，C 平台能够承受的最大荷载重量。

$\sigma$  为材料的抗拉强度，Q345 材料，取 310MPa。

L 为平台长度，取 5m。

w 为平台宽度，取 0.8m。

H 为平台厚度，取 0.12m。

g 为重力加速度，取 9.8 m/s<sup>2</sup>。

### 3.2 工作面端头支架支撑力

工作面端头架支护强度是 1.82MPa，为保证端头架支护安全，充填体强度不应低于 1.82MPa，充填体 7 天一般即可达 3.28MPa，符合要求。

### 3.3 充填系统材料

充填材料为 A、B 两种无机矿粉材料组成，A 料与 B

料和水的配比均为 1:3, 配好后的 A 料与 B 料配比为 1: 1。A、B 两组分浆液混合后 25 ~ 40min, 即可完全固化。2h 即具有一定的强度, 7d 一般即可达最终强度的 80%。材料本身无毒、无害、无腐蚀性。

表 1 材料性能参数

水灰比 W: C	胶凝时间 /min	单轴抗压强度 /MPa					材料消耗量 ( kg/m <sup>3</sup> )
		2h	1d	3d	7d	28d	
3:1	25	1.25	1.38	2.12	3.28	3.98	305

### 3.4 制浆方式

该充填系统主要由 2 组定量水箱、2 个高速搅拌机以及相应的管路组成, 考虑了高速制浆机的扬程以及输送能力, 将远程输浆设备安装至工作面外 150m 处, 随着工作面回采逐步外移, 制浆方式如图 3。

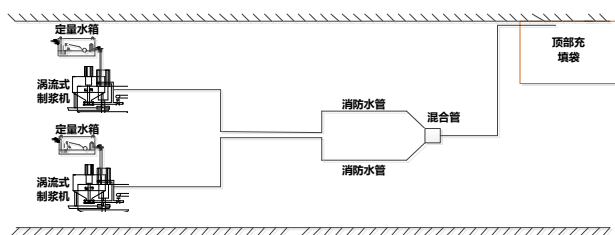


图 3 充填示意图

### 3.5 水的计量

水是通过定量气控水箱计量, 将气控定量水箱置于高处, 通过静压水管向水箱内供水, 供水结束后, 关闭静压水管高压球阀, 排水时通过气动开关打开水箱蝶阀, 水自流入高速制浆机。

### 3.6 充填体支撑平台的搭建

采用工字钢梁 (π 型钢梁) 搭建充填平台骨架, 工字钢梁 (π 型钢梁) 垂直于巷道中线方向布置, 间距 800 ± 50mm, 根据巷道情况距顶板约 2m, 巷道两帮掏梁窝, 工字钢梁 (π 型钢梁) 放置在梁窝内, 梁与梁之间使用 2 块连接板进行连接, 连接板布置于中线偏东、西各 1500 ± 100mm 位置。(计划使用两根工字钢梁 (π 型钢梁) 搭接, 根据巷道宽度可适当调整工字钢梁 (π 型钢梁) 长度, 梁窝深度不小于 300mm, 搭接距离不小于 500mm, 搭接处使用 3 道卡缆连接固定, 间距 500mm, 根据工字钢梁 (π 型钢梁) 搭接长度可适当调整卡缆间距, 卡缆使用废旧锚杆或圆钢加工)。使用三排槽钢梁锚索加固充填平台骨架。工字钢梁 (π 型钢梁) 上铺设金属网将充填底部进行防护。金属网上铺设双层风筒布, 防止漏浆。

## 4 经济效益初步分析

从资源回收量、充填成本、支护及卧底等方面分析上巷充填的经济效益。充填前工作面槽头上起按照 9 度计算, 长为 17.5m, 高度为 2.8m, 上顺槽长为 748.6m, 煤层视密度为 1.46t/m<sup>3</sup> 充填后端头三角区可出煤 (17.5 × 2.8/2 × 748.6 + 748.6 × 5 × 2.8) × 1.46 = 42079 吨, 吨煤单价取 800 元/t, 共计 3366.3 万元; 充填成本根据现场

材料消耗实际和材料单价算, 充填材料取 200 元 /m<sup>3</sup>, 充填人工、用电等费用取 40 元 /m<sup>3</sup>, 则人造假顶成本费用为 240 元 /m<sup>3</sup>, 巷道假顶充填材料量为 2 × 5 × 748.6 = 7486m<sup>3</sup>, 共计 179.7 万元。

根据以上数据统计得知巷道卧底、人造假顶可实现利润约 3186.6 万元, 工作面平均每推进 1m 可实现利润约 4.2 万元。

## 5 结论

从巷道围岩变形控制效果来看, 本次研究采用的充填体 7 天单轴抗压强度可达 3.28MPa<sup>[2]</sup>, 通过构筑人工假顶有效缩小了巷道超高段断面尺寸, 将原本 6.6m 的巷道高度控制在合理范围, 显著改善了围岩应力分布状态。结合矿压观测数据, 充填后巷道围岩收缩变形量较充填前降低 40%, 尤其是工作面超前 0-30m 应力集中区域的变形得到有效遏制, 两帮失稳风险大幅降低, 成功解决了卧底作业后巷道稳定性不足的难题, 为工作面安全回采提供了坚实保障。

针对 16060 综放工作面上顺槽沿顶板布置的特殊条件, 通过系统研究巷道支护参数、顶板赋存特征及采动影响规律, 形成了一套完整的人工假顶构筑技术体系。确定采用高强度复合凝胶与粉煤灰配比混合物料作为充填材料, 水灰比 3:1, 2 小时强度达 1.25MPa, 满足快速支护需求; 创新设计“工字钢梁骨架 + 锚索加固 + 风筒布封闭 + 分层充填”的施工工艺, 明确每循环 5-10m 的充填长度、800 ± 50mm 的钢梁间距等关键参数, 规范了从平台搭建到制浆充填的全流程施工标准, 确保充填体质量稳定可靠。

通过构筑人工假顶技术将三角煤回收, 显著的提升资源回收率, 并降低了生产成本。

本研究成果为类似条件下的矿井提供了重要技术参考。其成功经验验证了充填技术在解决沿顶板掘进放顶煤工作面资源回收与巷道稳定矛盾中的有效性, 所形成的充填材料选型、工艺设计, 可直接应用于具有相似煤层赋存、开采条件的工作面, 对推动煤矿充填采矿技术的推广应用具有积极意义。

### 参考文献

- [1] 周明. 大采高工作面过空巷高水材料充填技术实践. 山东煤炭科技, 2022, 40 (02): 42-44.
- [2] 马清水, 孙万明. 巷道充填体假顶强度设计与充填工艺研究. 煤炭工程, 2021, 53(6): 7-11.
- [3] 闫俊杰. 综合机械化固体充填采煤法应用分析. 矿业装备, 2023(10).