

# Research on the Technology of the Gob Side Entry Retaining of Fully Mechanized Caving Mining in Thick Coal Seam

Xiangqian Xu

Chengzhuang Mine of Shanxi Jincheng Anthracite Mining Group, Jincheng Shanxi  
Email: [419719844@qq.com](mailto:419719844@qq.com)

Received: Jul. 1<sup>st</sup>, 2015; accepted: Jul. 18<sup>th</sup>, 2015; published: Jul. 21<sup>st</sup>, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

In order to improve the recovery rate of coal resource in thick coal seam mining and reduce the amount of roadway driving, in this paper, under the engineering background of the 4311 fully mechanized coal mining group of a mine, Shanxi Coal Group, through the calculation of the filling body, the reasonable filling width was 2 m, the optimal water cement ratio of the filling material was determined, and then the construction technology of the filling of roadside packing was put forward. Field industrial test shows, under the condition of the technology, that the maintenance effect of the roadway of gob side entry retaining is good. Therefore, it can achieve the coal mine safety production requirements better.

## Keywords

Thick Coal Seam, Gob Side Entry Retaining, Filling Body

---

# 厚煤层综放开采沿空留巷技术研究

许向前

山西晋城煤业集团成庄矿, 山西 晋城  
Email: [419719844@qq.com](mailto:419719844@qq.com)

收稿日期: 2015年7月1日; 录用日期: 2015年7月18日; 发布日期: 2015年7月21日

## 摘要

为提高厚煤层开采煤炭资源回收率,减少巷道掘进量,本文以晋煤集团某矿4311综放工作面为工程背景,通过充填体支护阻力计算得出合理充填体宽度为2 m,据此确定了充填材料的最佳水灰比,并提出了巷旁充填施工工艺。现场工业性试验表明,该技术条件下的沿空留巷巷道维护效果良好,能较好地满足煤矿安全生产要求。

## 关键词

厚煤层, 沿空留巷, 充填体

## 1. 引言

为实现厚煤层开采条件下巷道围岩稳定性控制,大部分矿区一直沿用增加煤柱宽度的方法维护巷道,造成了大量优质煤炭资源损失。沿空留巷技术是无煤柱开采技术的一大发展方向,是在工作面回采过程中,通过有效的巷旁支护和巷内支护技术,将本工作面的回采巷道保留下来,作为邻近工作面的一条回采巷道使用。沿空留巷完全取消了护巷煤柱,能更加有效地提高煤炭资源回收率,少掘一条巷道可以大幅度降低掘进率,解决矿井采掘接替紧张的难题,实现采区无煤柱护巷已成为我国深部煤炭资源开采的必然趋势[1]-[3]。本文以晋煤集团某矿4311综放工作面为工程背景,重点介绍沿空留巷巷旁支护设计及其应用,本研究成果对保证安全生产和提高资源回收率具有重要意义。

## 2. 工程概况

开采煤层3#煤位于山西组下部,煤层厚度平均6.44 m,硬度为2~4,为全区稳定的主要可采煤层,也是矿井目前的开采煤层。煤层直接顶为泥岩,厚度2.45 m,岩性黑色,水产层理发育,植物化石丰富;基本顶为砂质泥岩,厚度10.10 m,岩性呈黑色,化石丰富,局部含少量砂质,水平层理发育;直接底为砂质泥岩,厚度11.45 m,岩性呈黑色,中厚层状,水平层理发育,局部砂质含量较高,夹薄层细砂岩。

4311工作面采用综放采煤方法,工作面倾斜宽210 m,走向长1318.4,可采储量2453278.06 t,回采期限9个月。工作面布置3条巷道,43111巷、43112巷和43113巷,采用两进一回通风方式,即43111和43113巷为进风巷,43112巷为回风巷。43113巷沿煤层顶板掘进,巷道断面为5×3.2 m,采用锚网索支护。

## 3. 沿空留巷巷旁支护设计

### 3.1. 留巷方式的选取

就筑墙位置而言沿空留巷有巷内充填和巷旁充填两种方式,巷旁充填是指充填体布置在巷道采空区侧,该方式保留了原巷道断面,留巷后不需要对巷道进行扩帮维修。另一种方式为巷内充填,即将充填体布置在巷道内,这种方式不但使充填体受原巷内支护保护,巷道顶板更稳定,且施工操作方便,但是需要对留巷后的巷道进行扩帮,如图1所示。

巷内充填虽可以使充填体受原巷内支护保护,巷道顶板更稳定,且施工操作方便,因此采用巷内充填留巷方式。

### 3.2. 充填体支护阻力计算

沿空留巷充填体支护阻力要考虑切顶高度,岩层垮落状态,岩层结构,煤柱支撑力,巷内锚杆锚索

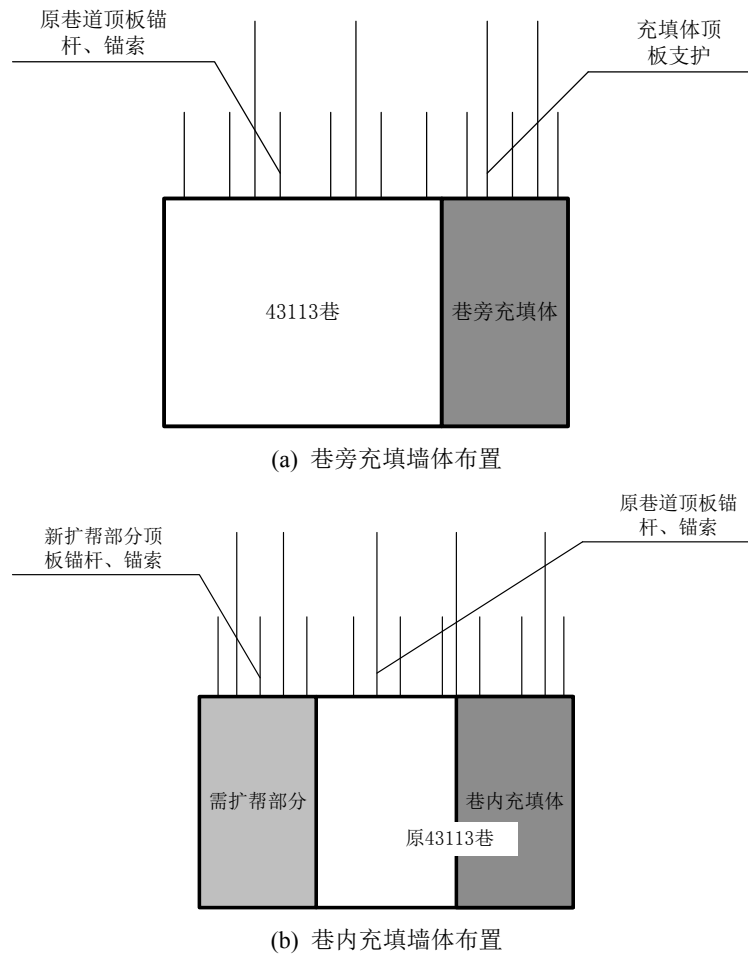


Figure 1. The way of retained roadway  
图 1. 留巷方式

支护阻力，计算较为繁杂，可以进行简化。如果不考虑煤帮的支撑作用及垮落岩层破断角  $\alpha$  的影响，可以得到简化的计算沿空留巷巷旁支护阻力的围岩结构模型如图 2 所示。充填体支护阻力可以按照式 1 进行估算[4]-[6]。

$$P = k \left[ h_E r_E \frac{L_{\max}}{2} + h_z r_z (x_0 + c + d) \right] \quad (1)$$

式中： $k$ ——应力集中系数，取值 2；

$h_z$ ——直接顶厚度(或冒落带高度)，m，按平均采高 3.2 m，岩石碎胀系数 0.3 计算， $h_z = 10.7 \text{ m}$ ；

$\gamma_z$ ——直接顶岩层密度， $\text{KN/m}^3$ ，取  $25 \text{ KN/m}^3$ ；

$h_E$ ——基本顶厚度，m，取 17.2 m (根据 4311 工作面岩层柱状，取冒落带上部的厚层泥岩和砂质泥岩层)；

$\gamma_E$ ——基本顶岩层密度， $\text{KN/m}^3$ ，取  $25 \text{ KN/m}^3$ ；

$L_{\max}$ ——周期来压步距，m，取 20 m (根据成庄矿综放工作面矿压显现规律，并考虑安全系统，取值略偏大)；

$d$ ——巷旁充填体宽度，m，分别取 1 m，1.5 m，1.8 m，2 m；

$c$ ——留巷巷道宽度，m，取 3.0 m；

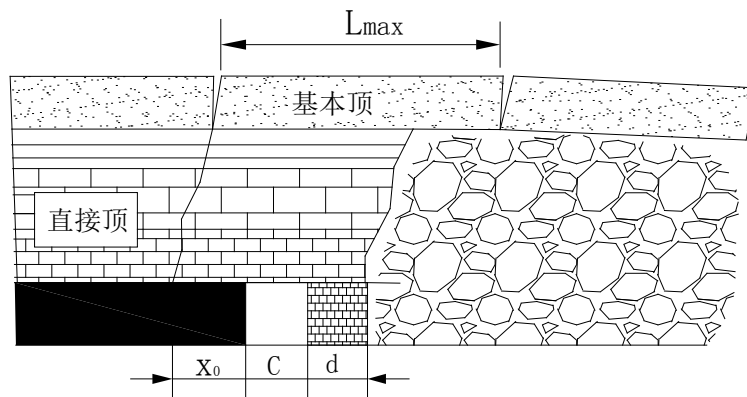


Figure 2. The surrounding rock structure model of gob-side entry retaining  
图 2. 沿空留巷围岩结构模型

$x_0$ ——煤体内极限平衡区宽度，m。

$$x_0 = \frac{M}{2\xi f} \ln \frac{K\gamma H + Cctg\phi}{\xi Cctg\phi} \quad (2)$$

其中：  $\xi = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi}$

式中： $M$ ——开采厚度，m，取 3.2 m；

$C$ ——煤的粘结力，MPa，取 3 MPa；

$f$ ——煤层内摩擦系数， $f = \tan\phi$ ，取  $\tan 30^\circ$ ；

$\phi$ ——摩擦角，取  $30^\circ$ ；

$K$ ——应力集中系数，通常  $K = 2\sim 6$  取 4；

$H$ ——煤的埋深，m，取 400 m；

$r$ ——煤层的密度， $\text{KN/m}^3$ ， $13\text{KN/m}^3$ 。

把参数代入公式(1)及公式(2)，得到： $x_0 = 7.2 \text{ m}$ ， $P = 15127 + 535 d$ ，当充填体宽度  $d$  分别取 1 m、1.5 m、1.8 m、2 m 时，经计算可得每米充填体支护阻力为：15,662 KN/m、15928.5 KN/m、16,090 KN/m、16,197 KN/m，对应的充填体强度分别为 15.6 MPa、10.6 MPa、8.9 MPa、8.1 MPa。充填体强度越高，充填材料成本消耗越大，充填留巷成本也就越大，因此，采用 2 m 的充填墙，充填体强度需达到 8~10 MPa，即采用 1.2~1.5:1 的高水充填材料即可满足要求。

### 3.3. 充填材料

采用联邦高水速凝充填材料，该材料由 A、B 两种材料组成，按 1:1 配合使用，A 和 B 两种组份分别加水搅拌后，在混合前 24 h 内不凝固，但两种浆体混合后 20 min 内即可初凝，随着水灰比的变化，充填体强度可调范围较大，但在高水灰比条件下依然不发生大量泌水，结石率仍然在 98% 以上。

高水充填留巷的主要技术优势如下：① 高水充填材料用量少、成本低，辅助运输工作量小；② 远距离输送，输送距离  $> 2000 \text{ m}$ ；③ 快速凝固、增阻速度快，能快速支撑顶板；④ 固化体有一定压缩率，适应沿空留巷大变形；⑤ 充填系统费用较低，充填工艺简单。

根据上文充填体强度估算情况，建议采用 1.2~1.5:1 的水灰比，充填浆料 A 料和 B 料通过液压柱塞泵，分别通过管路远距离输送至充填区域，在待充区域附近通过三通混合器混合，两种浆料通过混合管注入充填袋后，20 min 即可固化，2 h 强度可以达到 3~4 MPa，8 h 可以达到 4~5 MPa，24 h 可以达到 8~10

MPa，7 d 基本即可达到最终强度，约 13~15 MPa，能够满足充填留巷需要。

## 4. 工程应用

### 4.1. 施工工艺

(1) 在工作面后方待充填区域，进行清理浮煤(矸)，吊挂充填袋等工作，将适宜的充填袋放入钢筋网内，联接好钢筋网，穿上对拉钢筋，打牢单体液压支柱，背实钢筋网，准备充填；

(2) 检查充填泵工作状态，管路通畅情况，一切正常后，开动充填泵，搅拌输送，进料要等量均匀连续，严格控制好料浆配比。充填点人员观察出料口流出均匀甲、乙混合料浆后，将混合管插入充填袋内进行正式充填。

(3) 如图 3 所示，充填过程中，应巡回检查充填袋周边情况，发现问题及时处理。需要指出的是，当充填体快要接顶时，应密切观察情况，尽可能地使充填袋接顶密实，不留缝隙。一旦接顶成功，应立即将注浆管从充填袋内拿出(并立即给信号停止注浆)，并用绳将充填口捆扎结实，防止浆液外溢；



Figure 3. The process of reserving roadway with filling  
图 3. 充填留巷过程

(4) 充填结束后，用水清洗充填管路及充填泵，清洗污水进入采空区，避免污染工作面 and 巷道。

## 4.2. 应用效果分析

为了对厚煤层综放开采沿空留巷技术在该矿的应用效果进行综合评价，在试验巷道布置了 5 个测点，测点间隔 10 米。观测内容主要包括：顶板离层情况、充填体受力和变形。在实测数据的基础上，采用经典矿压理论进行分析，从而对巷旁支护的应用效果进行科学评价。

### (1) 顶板离层分析

由顶板多基点位移监测结果(图 4 所示)，顶板围岩总的位移量基本在 300~400 mm，其中，2~3 m 层位岩层的位移量最大，占总位移量的 40%左右；3~5 m 层位岩层的位移量占总位移量的将近 29%；0~2 m 和 5~6 m 层位岩层的位移量相对较小，总共占位移量的 30%左右。从变化趋势上来看，自上工作面采动影响结束到二次采动影响之前，巷道变形不明显，随着工作面距测点越来越近，巷道受下工作面动压影响越来越强烈，其变化趋势可以大致分为以下三个阶段：无明显变形阶段、剧烈变形阶段、稳定变形阶段。可知留巷后，在基本顶活动影响下，顶板出现急剧下沉。但由于直接顶锚固体被悬吊在稳定岩层上，顶板剧烈下沉过程中并没有出现失稳。

### (2) 充填体受力及变形分析

图 5 是第二次采动影响期间充填体受力变化曲线，在距工作面 80 m 以前，充填体应力为 5 MPa，距工作面 75 m 时，受到工作面采动影响，应力开始减小，20 m 范围内应力基本稳定在 4 MPa。图 6 是工作

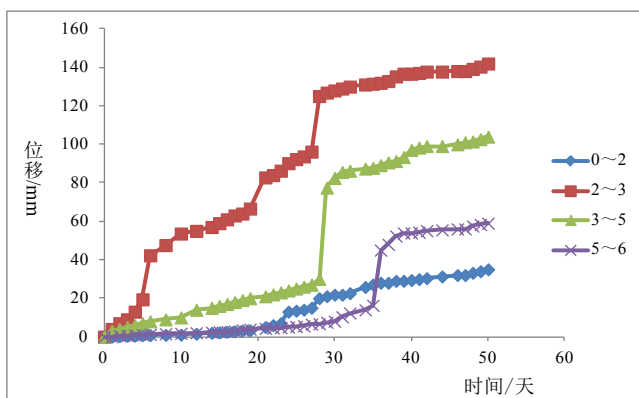


Figure 4. The 3rd station multi-point displacement curve of the roof  
图 4. 第 3 测站顶板多基点位移监测曲线

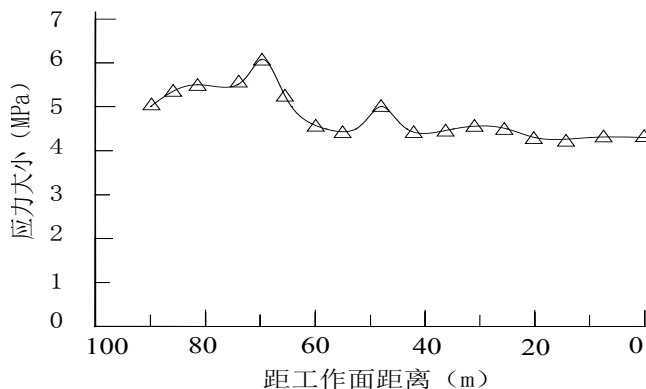


Figure 5. The force curve of the 3rd station roadway beside filling body  
图 5. 第 3 测站巷旁充填体受力变化曲线



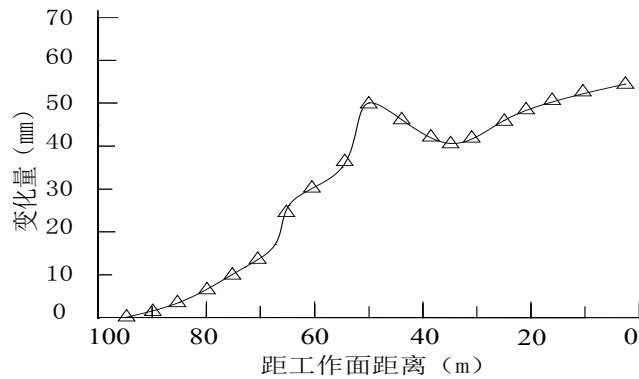


Figure 6. The deformation curve of the 3rd station roadway beside filling body

图 6. 第 3 测站巷旁充填体变形变化曲线

面推进过程中两刚性柱之间位移变化曲线，81 m 处两刚性柱位移开始变化，变形速度不大，在距工作面 40 m 范围内，刚性柱位移变化速度几乎为 0，两刚性柱之间最大移近量为 55 mm。留巷后，在老顶来压影响下巷旁充填体会出现剧烈变形，但由于充填体有一定可收缩性，而并没有被破坏。

综上所述，该技术条件下的沿空留巷巷道维护效果良好，能较好地满足煤矿安全生产要求。

## 5. 结论

本文以晋煤集团某矿 4311 综放工作面为工程背景，采用巷内充填留巷方式，通过充填体支护阻力计算得出合理充填体宽度为 2 m，据此确定了充填材料的最佳水灰比为 1.2~1.5:1，并提出了巷旁充填施工工艺。现场工业性试验表明，该技术条件下的沿空留巷巷道维护效果良好，能较好地满足煤矿安全生产要求。

## 参考文献 (References)

- [1] 华心祝 (2006) 我国沿空留巷支护技术发展现状及改进建议. *煤炭科学技术*, **12**, 78-81.
- [2] 张楠 (2015) 沿空留巷技术在煤矿开采中的应用探析. *科技与企业*, **10**, 122.
- [3] 许跃强 (2014) 厚煤层沿空留巷支护技术. *内蒙古煤炭经济*, **11**, 88.
- [4] 陈勇, 柏建彪, 朱涛垒, 等 (2012) 沿空留巷巷旁支护体作用机制及工程应用. *岩土力学*, **5**, 1427-1432.
- [5] 孙恒虎, 赵炳利 (1993) 沿空留巷的理论与实践. 煤炭工业出版社, 北京.
- [6] 陈勇, 柏建彪, 王襄禹, 等 (2012) 沿空留巷巷内支护技术研究与应用. *煤炭学报*, **6**, 903-910.