

沿空留巷技术在煤矿的 实践与应用

郝 峰

国家能源集团蒙西煤化股份有限公司棋盘井煤矿，内蒙古 鄂尔多斯

收稿日期：2022年4月15日；录用日期：2022年5月17日；发布日期：2022年5月24日

摘 要

本论文通过对棋盘井煤矿11101工作面运输顺槽沿空留巷的支护条件、施工工艺的认真分析；并详细阐述了回采巷道顶板预裂切缝，恒阻锚索补强加固技术，挡矸及临时支护技术，为工作面掘进提供了新的思路和新的技术工艺，有力地促进了工作面安全高效地生产。

关键词

沿空留巷技术，煤矿，实践与应用

Practice and Application of Gob-Side Entry Retaining Technology in Coal Mines

Feng Qie

Qipanjing Coal Mine, Mengxi Coal Chemical Co. Ltd., National Energy Group, Ordos Inner Mongolia

Received: Apr. 15th, 2022; accepted: May 17th, 2022; published: May 24th, 2022

Abstract

This paper carefully analyzes the support conditions and construction technology of the gob-side entry retaining along the 11101 working face of Qipanjing Coal Mine; elaborates on the roof pre-split and cutting seam of the mining roadway, and the reinforcement technology of constant resistance anchor cable, gangue blocking and temporary support technology; provides new ideas and new technical processes for working face excavation; and effectively promotes safe and efficient production of working face.

Keywords

Gob-Side Entry Retaining Technology, Coal Mine, Practice and Application

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

在煤矿实际生产中通常将利用特殊的专用的支护材料在巷道采空区一侧维护好顶板，并且伴随着上区段的推进自然形成一条巷道作为下区段采煤工作面的回风巷称之为沿空留巷[1]。煤矿使用沿空留巷技术具有如下优越性[2]：1) 不留设煤柱，节省了资源，提高了资源回收率；2) 节省了一条巷道掘进，节约了成本，节省了人力、物力，避免了矿井的采掘失调；3) 如果采空区留设一条尾巷，形成 Y 形通风，可以利用这条巷道排放瓦斯和热量，改善煤矿井下安全生产环境和施工条件[3]。但是在现实施工过程中也存在一些问题，例如在巷帮封闭不严的情况下容易出现采空区有害气体涌入巷道给人员生命安全带来伤害；另外，在采空区一侧的巷帮如果支护强度不够还容易出现顶板破碎冒落伤人事故，再者采空区一侧的巷帮人工造一堵墙前期投入比较大等弊端[4]。因此国内许多科研院所都曾经展开了沿空留巷的技术研究，作为专门研究顶板支护技术的资深安全生产专家安徽理工大学华心祝教授通过对淮南矿区、淮北矿区等多个矿区的煤矿顶板支护技术的大量研究和观察，撰写了《我国沿空留巷支护技术发展现状及改进建议》论文，在该论文中作者指出目前支护设计不合理，巷内支护被动支护多，主动支护少，巷旁支护与沿空留巷围岩变形不适应，缺乏对沿空留巷机理研究是沿空留巷技术存在的缺陷，也是影响其推广应用的障碍和制约因素。并提出了采用锚网索支护作为沿空留巷内基本支护等发展沿空留巷技术的建议[5]。徐州矿业集团公司的权学金在其论文《巷旁充填沿空留巷技术与应用》中根据沿空留巷围岩变形特征对巷旁支护体的力学要求，确定了经济合理的配比，并在徐州矿务集团张集煤矿 9422 工作面运输巷采用该材料进行了巷旁充填实现沿空留巷的工程实践为沿空留巷提供了一个新的技术途径[6]。综上所述，沿空留巷技术在煤矿实践中收到了较好的应用效果，但是沿空留巷技术必须结合各个煤矿的煤层地质条件、瓦斯含量、煤的自然发火特性等具体情况采取不同的施工工艺，不可千篇一律，也不可一蹴而就。针对采空区水力浸泡严重的情况下沿空留巷容易出现顶板破碎垮落等异常情况下如何进行加强支护的技术国内相关科研院所研究的比较少，本论文结合国家能源集团蒙西煤化股份有限公司棋盘井煤矿的煤层地质条件、瓦斯含量等实际情况而展开的沿空留巷技术研究，收到了较好的应用效果。

2. 矿井及工作面概况

国家能源集团蒙西煤化股份有限公司棋盘井煤矿(以下简称“棋盘井煤矿”)位于内蒙古自治区鄂尔多斯市鄂托克旗棋盘井镇。该矿含可采煤层 6 层，其中 9[#]和 16[#]煤层为全区可采煤层。区内煤层平均倾角 5°，属低瓦斯矿井。工作面采用倾斜长壁仰斜综合机械化采煤法，全部垮落法管理顶板，工作面为后退式回采。

棋盘井煤矿 11101 工作面布置在 9-1 煤层中，工作面长度 225 m，工作面走向长度 1753 m，平均厚度 3.05 m，设计可采储量约 170 万吨，采用走向长壁采煤法，一次采全高。11101 工作面胶运顺槽采用“110”工法自动成巷技术，设计留巷巷道为 11101 工作面运输顺槽，设计留巷长度为 1693 m。11101 运

输顺槽切顶卸压自成巷作业。留巷长度为 1693 m，恒阻锚索施工 2975 根，顶板切缝孔施工 3400 个，爆破顶板切缝孔根据实际爆破为准。

3. 分析问题

为了节约煤炭资源，并且依靠科技进步来降低劳动强度，提高生产效率，棋盘井煤矿的领导决定在 11101 工作面运输顺槽采用沿空留巷技术进行施工，如果施工成功再向其他类似工作面进行推广应用，并为矿井的安全生产提供了技术支撑和科学依据。

4. 11101 工作面运输顺槽沿空留巷技术的实践及应用

4.1. 回采巷道顶板预裂切缝

在煤矿生产实践中在设定两个方向上具有聚能效应的聚能装置中装上特殊性能规格炸药，当炸药爆炸后使得围岩在设定方向上受到集中拉力的作用，而在非设定的方向上受到均匀压力的作用，这样利用岩石抗压怕拉的特性就会使岩石按照一定的模型方式成型爆破，这种技术通常被称为双向聚能爆破预裂技术。该双向聚能爆破预裂技术是在研究定向爆破技术和多种聚能爆破技术的基础之上逐渐发展演变而来的一种新型爆破技术。该技术具有施工成本低、劳动强度小、施工工艺简单，具有很好的应用和推广价值[7]。在爆破施工之前首先间隔一定的距离打上一排钻孔，人为地将破坏岩石的整体性，使得各段岩石都是破碎断裂的，这样就会大幅度地降低爆破所使用炸药的消耗量，同时还能够保护周围的岩石不被破坏，保证了巷道顶板的完整性和整体性[8]。

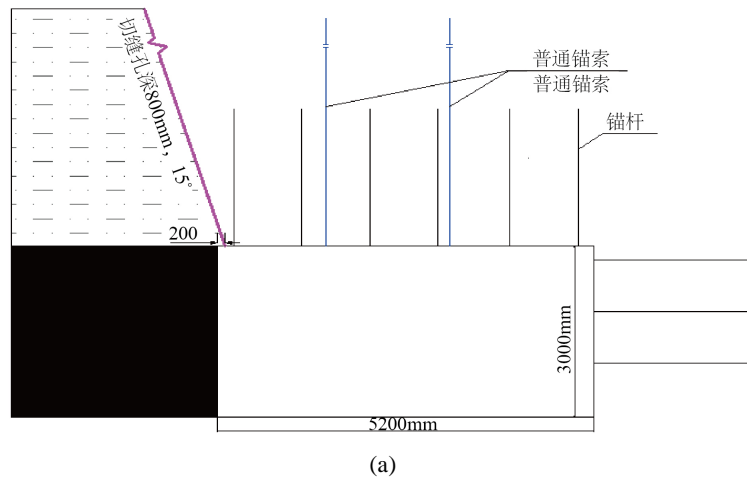
根据以往切顶卸压沿空留巷经验及《无煤柱自成巷 110 工法规范》，合理预裂切缝深度($H_{缝}$)设计一般大于等于 2.6 倍采高，即 $H_{缝} \geq 2.6 H_{采高}$ [9]；

另外预裂切缝钻孔深度与采高、顶板下沉量及底鼓量有关，通过如下方式确定[10]：

$$H_{缝} = (H_{采高} - \Delta H_1 - \Delta H_2) / (k - 1) \tag{1}$$

式中： ΔH_1 ：顶板下沉量，m； ΔH_2 ：底鼓量，m。

根据井下现场顶板围岩的实际情况收集了一定的岩石样品，在实验室测得岩石的碎胀系数为 1.3，根据以往掘进的经验再结合棋盘井煤矿的现场实际在不考虑顶板下沉、底鼓的情况下工作面最大采高 $H_{煤}$ 为 3 m 时，计算得 $H_{缝} = 7.8$ m。预裂切缝孔深度确定为 $H_{缝} = 8$ m。切缝孔布置在距回采帮 200 mm 处，与铅垂线夹角为 15° ，切缝孔间距为 500 mm。切缝钻孔布置见图 1 所示。进行顶板预裂爆破前，首先根据爆破设计方案进行单孔试验(图 2)，装药结构及药量试验方案如表 1 所示。



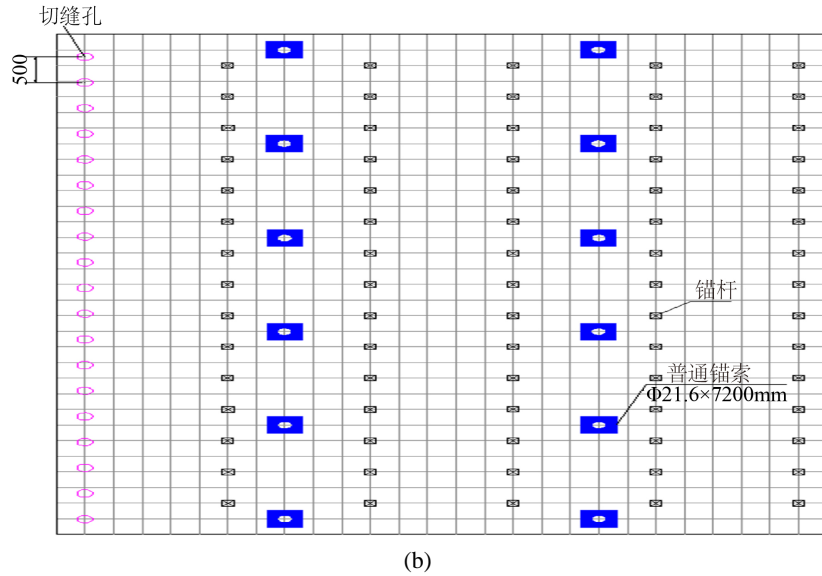


Figure 1. Slot drilling design. (a) Sectional view; (b) Floor plan
 图 1. 切缝钻孔设计。(a) 断面图；(b) 平面图

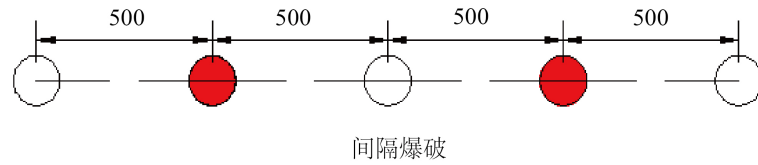


Figure 2. Test scheme of blast hole parameters
 图 2. 炮孔参数试验方案

Table 1. Charge scheme for blasting test
 表 1. 爆破试验装药方案

编号	聚能管/m	装药量/卷	封泥/m	编号	聚能管/m	装药量/卷	封泥/m
1	1.5 + 1.5 + 1.5 + 1.5	2 + 2 + 1 + 1	2	4	1.5 + 1.5 + 1.5 + 1.5	3 + 2 + 1 + 1	2
2	1.5 + 1.5 + 1.5 + 1.5	2 + 2 + 2 + 1	2	5	1.5 + 1.5 + 1.5 + 1.5	3 + 2 + 2 + 1	2
3	1.5 + 1.5 + 1.5 + 1.5	2 + 2 + 2 + 2	2	6	1.5 + 1.5 + 1.5 + 1.5	3 + 2 + 2 + 2	2

4.2. 恒阻锚索补强加固技术

提前采用恒阻大变形锚索对巷道的顶板进行补强加固是保证顶板的稳定性的重要措施。恒阻锚索长度设计 $H_{\text{缝}} + 2\text{ m}$ 锚固端必须深入稳定基岩中，主要目的是较好的发挥悬吊作用，有效地保护好锚固端，本次设计的恒阻锚索设计长度为 10,300 mm。恒阻锚索补强支护设计见图 3。恒阻大变形锚索钢绞线直径取为 21.6 mm，长度 10,300 mm，安装有效长度 10,000 mm；恒阻器长 $460 \pm 10\text{ mm}$ ，外径 79 mm，最大允许变形量 350 mm，恒阻值为 $30 \pm 2\text{ t}$ ，预紧力不小于 28 t，托盘规格 $300 \times 300 \times 16\text{ mm}$ (孔径 100 mm + 1 mm)。

为了提高巷道顶板的整体性，在采用恒阻锚索加固支护的基础上，切缝侧第一列恒阻锚索之间采用 W 钢带进行连接，恒阻锚索支护参数不变。相邻 W 型钢带搭接长度不小于 300 mm，W 型钢带尺寸如图 4 所示。

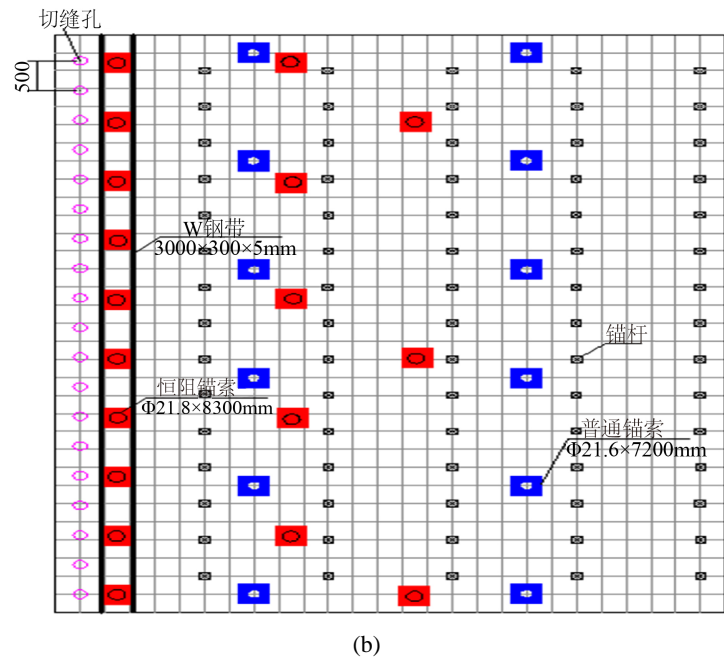
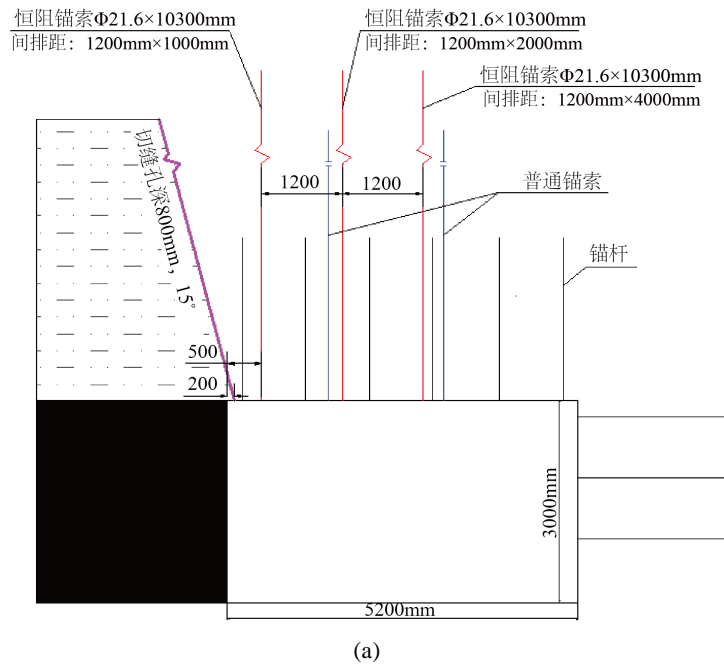


Figure 3. Design of constant resistance anchor cable support. (a) Sectional view; (b) Floor plan
图 3. 恒阻锚索支护设计。(a) 断面图; (b) 平面图

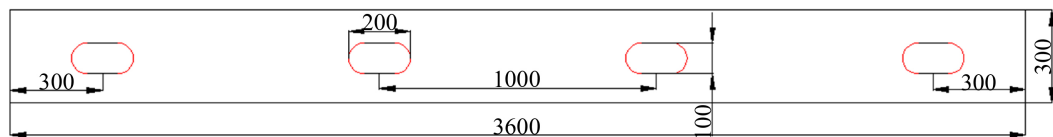


Figure 4. Dimensions and structure of W steel strip
图 4. W 钢带尺寸及结构图

4.3. 挡矸及临时支护技术

采煤工作面回采过程中由于受到顶板集中应力等因素的影响,巷道不同的位置所受到的应力大小也不尽相同。采煤工作面回采以后顶板就会垮落,巷道就会受到冲击应力、断裂、垮落等载荷影响,因此不仅仅只考虑顶板支护的问题还要考虑挡矸石进入巷道的问题。随着采煤工作面继续回采,采空区顶板应力日趋稳定就可以考虑把临时支护去掉,而工作面前方 20 m 范围内必须考虑打超前支护,来防止在集中应力的影响下造成顶板冒顶和垮落的现象。

根据工程实践经验和棋盘井煤矿的煤层地质情况将工作面附近巷道划分为三个区:超前支护区,架后临时支护区(架后 0 m~200 m)和成巷稳定区(架后 200 m 之后),其中架后临时支护区设计为 0 m~200 m,实际情况根据矿压监测结果来确定。不同区域根据需要进行不同的支护措施,分区如图 5 所示。

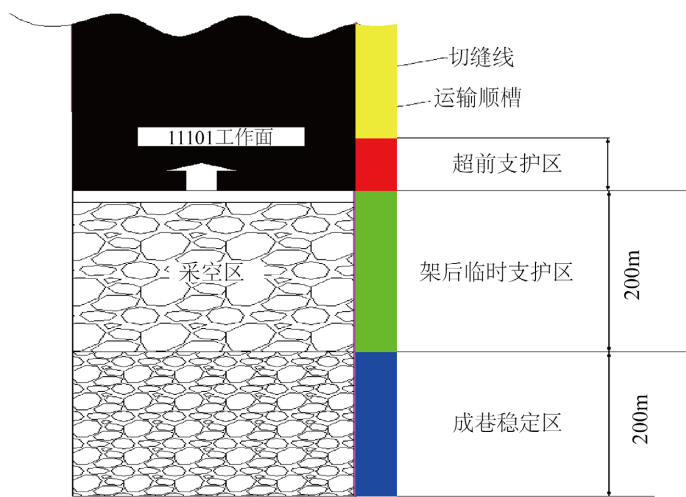


Figure 5. Design zone of temporary support of roadway
图 5. 巷道临时支护设计分区

4.3.1. 架后临时支护区(架后 0~200 m)

1) 架后临时顶板支护

在该段巷道考虑到矿压比较大,采空区矸石容易进入巷道等因素影响,采用“单体液压支柱 + π 型钢梁”进行巷道顶板支护。巷道断面共设计四列单体支柱,成巷架后 200 m 范围外临时支护可根据监测情况而定,当留巷巷道围岩应力及变形趋于稳定后,可逐步回撤巷内临时支护单体支柱和 π 型钢梁,回撤完成后,留巷巷道顶板主要依靠恒阻锚索等进行支护。巷内挡矸支护:采用可缩 36U 型钢配合钢筋网支护,沿切缝线布置,间距 800 mm。相邻可缩 U 型钢之间使用卡缆和连杆进行连接。顶板临时支护设计如图 6 所示。

2) 架后挡矸支护

结合棋盘井煤矿现场实际情况在充分考虑到采空区矸石蹿入巷道的可能性的基础上,棋盘井煤矿采用了钢筋网与 36U 型钢进行联合挡矸支护,可伸缩 U 型钢间距 500 mm。

可伸缩 36U 型钢采用上下两节可缩性搭接,U 型钢长 2200 mm (可根据巷道高度调整),搭接长度 1100 mm,搭接位置近煤层底板。采用两副卡缆连接,卡缆上下沿距 U 型钢搭接端头各 50 mm。36U 型钢埋入底板以下 300 mm,相邻可伸缩 36U 型钢可用连接杆连接,以增加整体稳固性。U 型钢支护侧视图如图 7 所示。

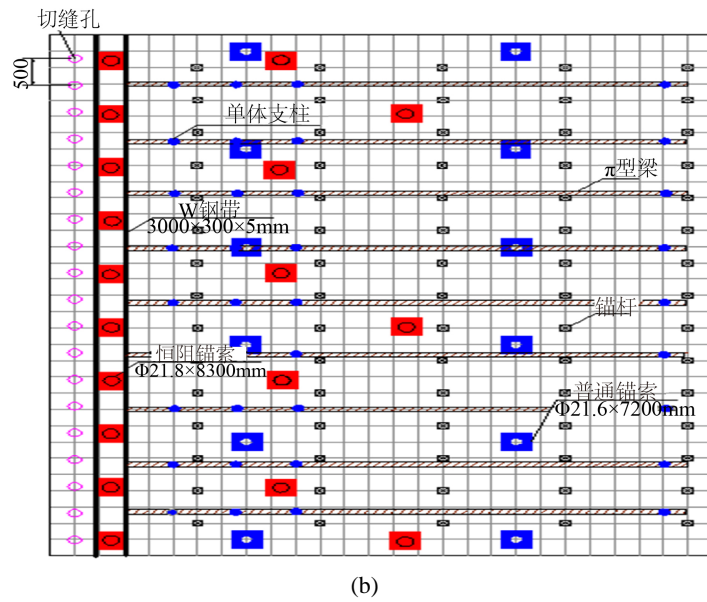
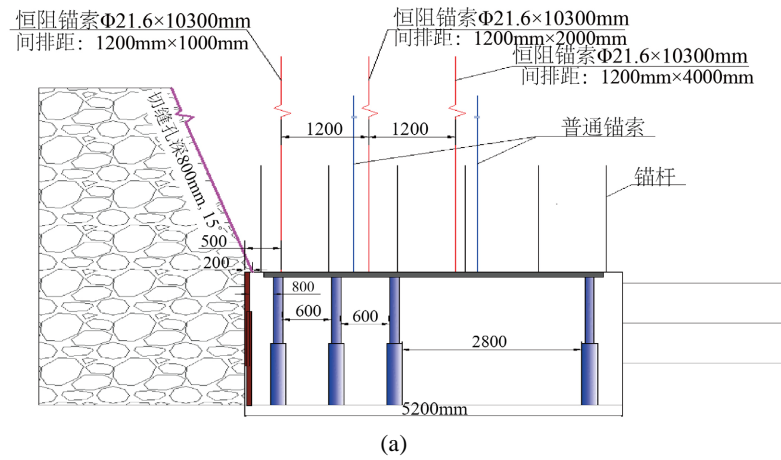


Figure 6. Temporary support for the rear top plate. (a) Sectional view; (b) Floor plan
图 6. 架后顶板临时支护。(a) 断面图; (b) 平面图

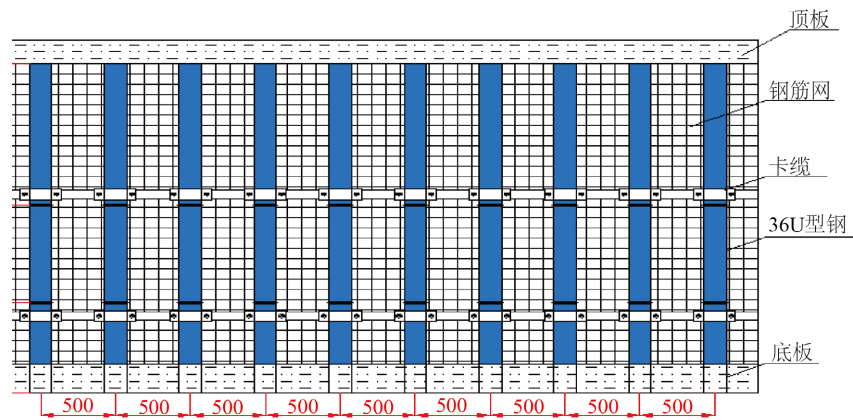


Figure 7. Rear gangue support
图 7. 架后挡矸支护

钢筋网采用直径为 6.5 mm 的钢筋焊接网，顶板钢筋网捆扎在一起，钢筋网尺寸为 2000 mm × 1000 mm，钢筋网与钢筋网之间重叠 100 mm，并用铁丝捆扎，钢筋网与原支护的金属网搭接。若出现较严重漏矸，钢筋网里边可增添菱形金属网加强挡矸支护。

4.3.2. 成巷稳定区(架后 200 m 之后)

此段巷道受采动影响很小，根据矿压监测结果，当顶底板移近量及顶板锚索受力趋于稳定时可认为该区域顶板已趋于稳定状态，可将临时支护的单体支柱撤掉，只保留可伸缩 U 型钢进行挡矸支护。

严格保证施工质量，加强矿压监测，确保巷道满足通风行人需要。根据碎石帮稳定情况，确定碎石帮侧喷浆处理的合理位置，累计喷浆厚度 100 mm。

5. 效果分析

- 1) 沿空留巷时巷道的维护工作量下降了 90%，个别甚至不进行维护；
- 2) 磕手碰脚的事故率降低了 95%，杜绝了冒顶事故的发生，极大地提高煤矿的安全生产；
- 3) 提高了矿井的人均出煤绩效，节约煤炭资源，煤炭资源回收率提高了 15%；
- 4) 有利于沿空留巷技术在该煤层中的应用；
- 5) 该支护技术可以同类煤层条件下推广应用。

6. 结论

基于棋盘井煤矿 11101 工作面运输顺槽沿空留巷技术得出如下结论：

- 1) 棋盘井煤矿 11101 工作面运输顺槽沿空留巷技术是比较切实可行的，能够指导工作面安全高效地回采；
- 2) 棋盘井煤矿 11101 工作面运输顺槽沿空留巷技术是与棋盘井煤矿煤层地质条件、煤层的瓦斯含量、煤的自然发火期都是完全相适应、相匹配的；
- 3) 棋盘井煤矿 11101 工作面运输顺槽沿空留巷技术的支护效果非常明显，达到了安全高效生产的目的；
- 4) 棋盘井煤矿 11101 工作面运输顺槽沿空留巷技术的研究具有非常重要的理论和现实意义。

参考文献

- [1] Su, X.G., Li, Y.B. and Yang, Y.K. (2011) A Research into Extra-Thick Compound Mudstone Roof Roadway Failure Mechanism and Security Control. *Procedia Engineering*, **26**, 516-523. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2200>
- [2] 李胜, 周利峰, 罗明坤, 等. 煤层群下行开采煤柱应力传递规律[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2015, 34(6): 661-667.
- [3] 姜耀东, 李波. 近距离煤层开采下位煤层巷道布置及支护技术研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2012.
- [4] 原鸿鹄. 采空区煤壁下矿压分布规律及巷道稳定性控制研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2015.
- [5] 华学祝. 我国沿空留巷支护技术发展现状及改进建议[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(12): 78-81.
- [6] 权学金. 巷旁充填沿空留巷技术与应用[J]. 煤炭科学, 2006(1): 20-21.
- [7] 郑新旺. 距离煤层采空区下底板破坏特征及影响分析[D]: [硕士学位论文]. 焦作: 河南理工大学, 2011.
- [8] 雷焱云. 近距离煤层外错式巷道失稳及其支护优化研究[J]. 煤炭工程, 2018, 50(S1): 42-46.
- [9] 徐军. 孤岛工作面沿空掘巷围岩控制技术实践[J]. 矿业安全与环保, 2016, 43(2): 91-94.
- [10] 李斌. 近距离煤层回采巷道布置方式研究[J]. 煤炭工程, 2012(z2): 27-29.