

缓倾斜薄煤层开采沿空留巷支护方案设计及试验分析

巩奉刚

(内蒙古鲁新能源开发有限责任公司 内蒙古 锡林郭勒盟 026321)

摘要: 在缓倾斜薄煤层的开采中, 巷道围岩所受支承压力较大, 加上开采、爆破等带来的振动影响, 围岩变形、开裂甚至是崩塌的情况时有发生。基于此本文在介绍某矿井情况的基础上, 从巷内支护和巷旁支护两方面概述了缓倾斜薄煤层开采沿空留巷的支护方案, 然后按照该支护方案, 选择一段巷道进行支护试验, 并监测锚杆的锚固力和顶底板移近量。结果表明, 使用沿空留巷支护方案后, 锚固力得到加强, 顶底板移近量较小, 切实提升了巷道的安全性和稳定性。

关键词: 巷内支护; 锚索间距; 放炮断顶; 锚固力监测

0 引言

沿空留巷技术最早应用在薄煤层中, 而技术的成熟发展, 目前该技术在中厚煤层中也得到了广泛使用。在缓倾斜薄煤层的开采中, 采用沿空留巷技术进行巷道支护, 能够有效解决倾斜顶板滑移、下沉的情况, 保障巷道围岩不发生明显的变形, 从而保障巷道结构稳定和井下作业安全。因此, 本文结合某矿井实例, 探究沿空留巷支护方案的设计要点与应用效果。

1 矿井概况

某煤矿所在山区的最高峰海拔 1545.7m, 最低沟谷海拔 541.2m, 矿区地貌为构造侵蚀中高山区。地表植被稀疏, 基岩多裸露。煤层厚度变化较大, 整体上呈东上部较薄, 向下、向西逐渐加厚的变化趋势。煤层厚度变化在 0.71 ~ 1.84m 之间, 平均煤层厚度为 1.5m, 属缓倾斜薄煤层。煤层结构较为简单, 硬度较大, 完整性好, 靠近顶板处与厚度为 0.3 ~ 0.5m 的透镜状夹石。该煤矿有一处长度约为 150m 的综采面, 巷道呈倒梯形, 高度 2.3m、上宽 4.3m、下宽 3.0m; 围岩变形极小, 相对稳定。为保障井下作业安全, 防止沿空留巷顶板发生下沉、坍塌事故, 必须要采取相应的支护措施。

2 沿空留巷支护方案设计

本文结合矿井现场情况, 提出了一种“双排锚索支护+单柱皮带挡矸”的沿空留巷支护方案。该方案取消了传统的以煤柱、矸石垛、密集支柱进行

支护的方法, 创新性地提出了锚索支护技术, 既可以最大程度上保留既有围岩结构的完整性与稳定性, 维护采后留巷空间, 同时还能降低支护成本。

该方案主要包括巷内支护和巷旁支护两方面, 其中, 巷内支护方面主要分析了锚索长度、锚固长度和锚索间距的确定方法; 巷旁支护方面主要分析了放炮断顶的炮眼布置和起爆方法。

2.1 巷内支护设计

2.2.1 锚索长度

锚索的科学选用是决定巷内支护效果的关键因素之一。锚索长度 (L) 主要取决于煤层高度、煤层倾角等因素, 其计算公式为:

$$L = \frac{H}{(K-1)\cos\alpha} \quad (1)$$

式中: H — 煤层采高, 本项目中取平均值, $H=1.5\text{m}$;

K — 冒落岩石碎胀系数, 取 $K=1.35$;

α — 煤层倾角, 同样取平均值, $\alpha=15^\circ$ 。

将各项数据带入式 (1) 后, 求得 $L=4.44\text{m}$ 。另外, 锚索还要插入岩层 (即锚固深度) 1.2m, 同时考虑到锚杆托板厚度 (通常 $> 0.1\text{m}$) 和外露张拉长度 (通常 $> 0.1\text{m}$), 因此锚索长度不应低于 $4.44+1.2+0.1+0.1=5.84\text{m}$, 取整后将锚索长度确定为 6m。

2.2.2 锚索的锚固长度

在锚索支护中, 其破坏形式主要表现为锚索从锚固体中被拉出, 在巷内支护设计中, 要想保证钢绞线与锚固体之间连接可靠, 提高支护效果, 必须要保证锚固长度合适^[1]。锚固长度 (L_a) 的计算公式为:

$$L_a \geq K \times \frac{df_a}{4f_c} \quad (2)$$

式中: K —安全系数, 这里取 $K=1.5$;

d —锚索直径, 本项目中使用的是低松弛 $\phi 5.24\text{mm}$ 钢绞线锚索, $d=15.24\text{mm}$;

f_a —锚索的抗拉强度, $f_a=1860\text{MPa}$;

f_c —锚索与锚固剂之间的粘合强度, $f_c=10\text{MPa}$ 。

将各项数据带入式(2)后, 求得 L_a 值为 1063mm 。在锚索的实际应用中, 还有可能出现回到顶板离层、局部压增加等情况, 因此要想保证锚索的锚固段可靠地嵌入岩石中, 要求锚固长度至少要达到 1200mm 。

2.2.3 锚索间距

在设计锚索间距时, 应从两个方面考虑: 其一是保证锚索支护效果, 其二是控制支护成本。如果锚索间距太大, 两根锚索中间部分的弯沉效应明显, 达不到理想的支护效果; 如果锚索间距太小, 需要的锚索数量偏多, 导致成本上升。本文在设计支护方案时, 根据以下公式计算锚索间距:

$$M = K \frac{W}{P_b} \quad (3)$$

式中: M —锚索数量;

K —安全系数, 这里取 $K=2$;

W —每米巷道的静压力;

P_b —锚索的最小破断力, 本项目中使用的锚索最小破断力为 260.7kN 。

其中, W 可根据以下公式求得:

$$W = B \Sigma h \Sigma \gamma \quad (4)$$

式中: B —巷道的宽度, 本项目中巷道宽度为 2.4m ;

Σh —悬吊岩层的厚度, 这里取 $\Sigma h=4.8\text{m}$;

$\Sigma \gamma$ —悬吊岩层的容重, 取平均值, $\Sigma \gamma=22\text{kN/m}^3$ 。

将各项数据带入上式后, 可以求得 M 值为 1.94 根/m。取整后, 本项目沿空留巷支护中锚索间距为 2.0m 。

2.2 巷旁支护设计

2.2.1 放炮断顶炮眼布置

工作面向前推进约 100m 后进行回柱, 回收巷道内的支护单柱, 保证锚索在点柱的内侧。在相邻的 2 根点柱之间挂上废皮带, 并通过铁丝绑扎的方式将废皮带固定在点柱上, 可以起到拦挡采空区矸石的作用^[2]。考虑到采空区垮落顶板产生的应力全部集中在单柱上, 为了避免出现单柱变形、断裂的情况, 需要在工作面下巷进行沿空留巷放炮断顶。下巷内放炮断顶炮眼布置如图 1 所示。

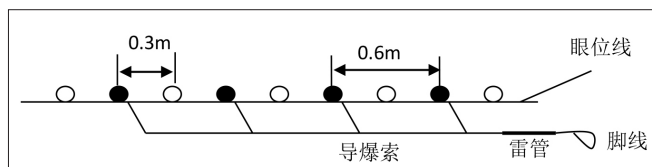


图 1 下巷放炮断顶炮眼布置平面图

结合图 1 可知, 炮眼沿着下巷的上帮连成了一条直线。现场钻眼时, 除了要严格按照设计方案进行现场测量放线外, 还要符合炮眼的位置, 保证坐标和间距精确。然后采用垂直于断面的方式钻眼, 炮眼的直径为 45mm , 深度为 3.6m , 相邻两个炮眼之间的间隔距离为 0.3m , 采用隔空装药的方式填入乳化炸药。中间保留的孔眼, 有利于起爆之后形成断面, 获得更好的爆破效果。

2.2.2 起爆方法

提前完成炮眼布置并且经检查符合爆破要求后, 使用木塞或纱布临时封堵炮眼。等工作面推过炮眼后, 将封堵物拔出, 然后开始装填炸药。乳化炸药的药卷直径为 40mm , 药卷长度为 50cm , 每个炮眼内装入 4 卷炸药。当爆破区进入到采空区后即可开始放炮断顶。使用导爆索将炮眼连接起来, 每次同时起爆的炮眼数目为 10 个, 在导爆索的前端使用瞬发雷管, 保证 10 个炮眼内的炸药可以同时起爆^[3]。

2.2.3 断顶后沿空留巷巷道喷浆封闭

炸药装填完毕后, 现场人员撤离, 确认安全后开始起爆。正常情况下, 爆破完毕后断顶的顶板会整体落下, 清理现场的落石, 去除沿空巷道上帮松动的浮石后, 喷射封堵材料。将准备好的水泥砂浆喷涂在沿空巷道的上帮, 为保证封闭效果, 可分 2~3 次进行。第 1 次喷射水泥砂浆后, 保证无流挂、无滴落现象, 并且厚度均匀; 带水泥砂浆初凝后, 按照同样的操作方式继续喷射第 2、3 层水泥砂浆, 总厚度约为 20mm 。

3 沿空留巷支护试验分析

3.1 试验内容

为验证本文设计的沿空留巷支护方案的应用效果, 在巷停采线以里 100m 范围内开展支护试验。试验前要严格按照上文设计的支护方案分别进行巷内和巷旁支护。完成支护后, 现场布置测点, 密切监测矿压, 并通过数据分析验证沿空留巷的支护效果^[4]。在本次试验中, 分别设置了 12 组顶底板位移监测站、4 个锚固力监测点。锚杆的锚固力监测点布置如图 2

所示。

自回收巷开始，沿着采空区方向每 5m 布置 1 处顶底板监测站，共有 12 个测站。沿空留巷顶底板的位移监测点布置如图 3 所示。

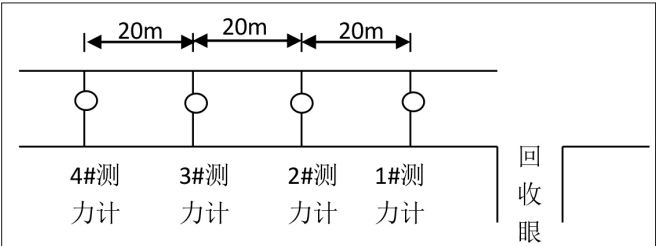


图 2 锚杆锚固力监测安装位置图

在 4 个测点处安装 MCZ-300 型锚杆测力计后，从 3 月 7 日至 13 日，连续进行 1 周的锚杆锚固力跟踪观测，每天记录 1 次数据，做好锚固力数据统计。巷道顶底板的位移变化则使用 3m 钢卷尺测量。

3.2 结果分析

对 4 个锚杆测力计的观测数据进行统计。锚杆锚固力统计数据见表 1。

结合表 1 数据可知，随着时间的推移，4 个锚杆的锚固力均有不同程度的增加，但是增幅并不大。1# 测点的锚固力增加了 14.3%，2# 测点的锚固力增加了 9.5%，3# 测点的锚固力增加了 11.1%，4# 测点的锚固力增加了 4.8%。分析其原因，试验地段采空区顶板垮落不完整，导致锚杆所受应力增加；直到顶板完全垮落后，锚杆受力不再增加，相应的锚杆测力计的监测数值趋于稳定^[5]。

巷道顶底板位移观测数据见表 2。

结合表 2 数据可知，随着时间的推移，巷道顶底板在受到外侧作用力后均出现了不同程度的移动，不同测点的顶底板移近量存在较为明显的差异。其

表 1 锚杆锚固力观测数据 单位：kN

观测时间	1# 测力计	2# 测力计	3# 测力计	4# 测力计
3 月 7 日	21	21	36	21
3 月 8 日	21	21	36	21
3 月 9 日	23	21	36	22
3 月 10 日	23	22	38	22
3 月 11 日	23	23	40	22
3 月 12 日	24	23	40	22
3 月 13 日	24	23	40	22

中，10# 测站的顶底板移近量最小，截止到监测结束顶底板最大移近量为 13.3mm；8# 测点的顶底板移近量最大，截止到监测结束最大移近量为 39.6mm。整体来看，巷道顶底板的变化较小，支护效果较好。

从矿压观测结果来看，本文设计的沿空留巷支护方案能够较好地满足支护要求，同时还能减少沿空留巷单柱使用量，兼顾了经济性和实用性，为煤矿井下安全生产提供了保证。

4 结语

随着煤矿开采年限和开采深度的增加，巷道支护的重要性也逐渐显现出来。传统的被动支护方案会破坏巷道围岩的完整性，实用性较差。本文提出的“双排锚索支护+单柱皮带挡杆”的组合式沿空留巷支护方案，既可以最大程度上保留巷道围岩的完整性，同时还能预留出较多的巷道空间。从矿压观测结果来看，使用该支护方案进行沿空留巷加强支护，顶底板的移近量较小，支护锚索的锚固力有所增加，起到了很好的巷道加固效果，保障了井下作业的安全。

参考文献：

[1] 王国龙，常云博，林陆，等．三软煤层巷道布置优化与联合支护技术研究[J]．煤炭工程，2022，54(02):55-61.

[2] 孙德全，苏怀瑞，曲泽良，等．基于光纤锚杆监测的急倾斜厚煤层巷道支护技术研究[J]．中国煤炭，2022，48(12):34-42.

[3] 王星星，童荣．特

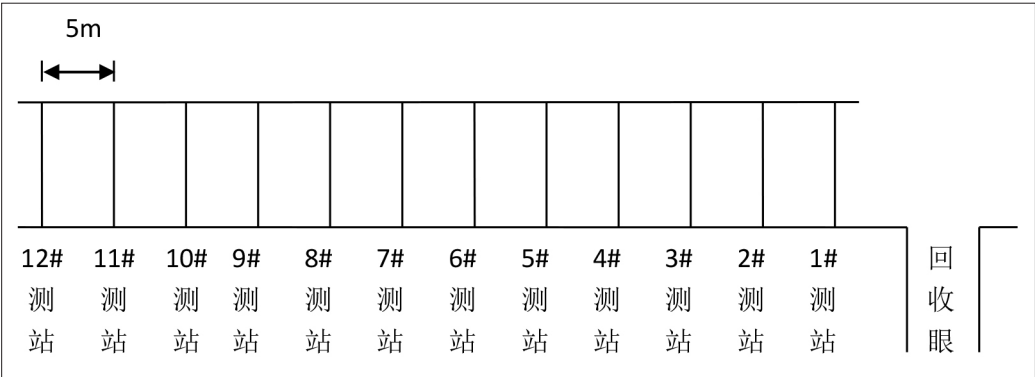


图 3 沿空留巷顶底板位移监测站布置示意图

表 2 巷道顶底板移近量统计表 单位: mm

测站	3 月 7 日	3 月 8 日	3 月 9 日	3 月 10 日	3 月 11 日	3 月 12 日	3 月 13 日
1# 测站	26.5	27.4	27.9	28.3	28.7	29.0	29.2
2# 测站	31.4	32.1	32.6	32.9	33.0	33.1	33.1
3# 测站	33.7	34.0	34.3	34.6	34.8	34.8	34.8
4# 测站	30.1	30.4	30.5	30.5	30.5	30.6	30.6
5# 测站	14.6	14.9	15.0	15.1	15.1	15.2	15.2
6# 测站	37.4	38.0	38.3	38.5	38.6	38.6	38.7
7# 测站	24.5	24.8	25.1	25.2	25.2	25.3	25.3
8# 测站	38.5	38.8	39.2	39.4	39.6	39.6	39.6
9# 测站	33.0	33.5	33.7	33.7	33.8	33.9	33.9
10# 测站	12.7	13.0	13.2	13.2	13.2	13.3	13.3
11# 测站	36.4	36.5	36.5	36.7	36.8	36.8	36.8
12# 测站	35.8	36.0	36.3	36.4	36.4	36.4	36.5

厚煤层综放工作面小煤柱巷道支护技术研究[J]. 煤, 2022, 31(09):13-20.

[4] 冯思儒, 暴斌. 伯方煤矿松软厚煤层巷道支护技术研究[J]. 煤炭与化工, 2022, 45(11):35-37+103+107.

[5] 张大明, 孙贵洋, 李刚. 双重采动影响下复采煤层巷道稳定性分析与维护方案设计[J]. 工程地质学报, 2021, 29(04):1028-1036.

作者简介: 巩奉刚(1988.01-), 男, 汉族, 山东泰安人, 本科, 工程师, 研究方向: 煤矿开采。

