

回采煤柱复杂条件下采煤工作面堆喷沿空留巷技术及工程应用研究

殷张雷

(冀中能源峰峰集团有限公司辛安矿, 河北 邯郸 056000)

【摘要】峰峰集团辛安矿属于衰老矿井, 已经进入煤柱回收阶段, 在此期间积累了丰富的过巷采煤技术。11216-2 煤柱采煤工作面采煤过程中需要跨过五条采区上山等诸多老巷 13 条, 煤炭是不可再生资源, 提高煤炭资源回收率具有重要的意义。目前在 11216-2 煤柱工作面复杂条件下沿空留巷回采技术研究与应用获得了成功, 对提高煤炭资源回收率具有很好的作用, 也为今后老矿井在设计和回采方面提供了丰富的借鉴经验。

【关键词】沿空留巷; 无煤柱开采; 切顶爆破; 堆喷; 档矸

辛安矿隶属于冀中能源峰峰集团有限公司, 省属国有重点煤矿, 位于河北磁县境内, 井田面积为 18.2807km², 核定生产能力 150 万吨/年。为高瓦斯, 水文地质条件极复杂型矿井, 主采 2 号煤, 煤尘具有爆炸性, 自燃倾向性等级为 II 类; 冲击倾向性属于 I 类。

引言:

沿空留巷巷道为 11216-2 煤柱运料巷, 计划从运料巷 638 经纬点里 2m 开始留巷至 632 经纬点外 38m 结束, 留巷长度约 192m。所留巷道计划作为 11216-3 煤柱采煤工作面的运煤巷使用。随工作面推进需通过 216 轨道坡、216 通风坡、216 运煤坡、214 轨道坡、216 新运煤坡运局部基本平行工作面。在通过老巷期间, 给沿空留巷带来了很大困难, 为解决相关问题, 采取了过老巷段的顶板特别加固技术, 保证了煤柱工作面过老巷期间, 沿空留巷的顺利进行。参考本煤层邻近 11216-2 煤柱工作面已回采段有关矿压观测数据分析结论。

一、辛安矿 11216-2 煤柱工作面复杂情况下堆喷沿空留巷技术及工程应用研究背景

(一) 巷道断面及支护

1. 原巷道断面。原巷道断面为斜矩形, 巷道规格 4200×3200mm (宽×高)。

2. 原巷道支护。原巷道支护方式: 采用锚网索+梯子梁+槽钢联合支护。

原巷道顶板支护参数: 顶锚杆间排距为 800×1000mm, 顶锚杆采用 $\Phi 20 \times 2400$ mm 左旋无纵筋螺纹钢锚杆, 每根锚杆配备两支 MSCKb2335 型树脂药卷, 配合梯子梁和钢筋网+塑料网联合支护。顶锚索采用 $\Phi 21.8$ mm×7000mm 钢绞线, 沿走向布置三排顶锚索, 顶锚索矩形布置, 间排距 2000×1300mm, 每

根锚索配备三支 MSCKb2335 和一支 MSCKa2335 型树脂药卷, 并配合槽钢或梯子梁联合支护。

原巷道两帮支护: 帮锚杆间排距为 800×1000mm, 帮锚杆采用 $\Phi 20 \times 2000$ mm 全螺纹钢锚杆, 每根锚杆配备两支 MSCKb2835 型树脂药卷, 配合塑料网联合支护, 帮锚索采用 $\Phi 21.6$ mm×4000mm 钢绞线, 两帮沿走向各布置一排, 间距 2000mm, 每根锚索配备两支 MSCKb2835 和一支 MSCKa2835 型树脂药卷, 并配合梯子梁联合支护。

(二) 沿空留巷支护

1. 留巷参数。留巷基本方式: 沿空切顶+补强锚索+堆喷巷旁墙体联合支护。巷旁挡矸方式: 紧跟工作面液压支架, 沿采空区边缘开挖基础坑, 并打设木点柱挡矸, 木点柱靠巷道内侧铺风筒布+金属网, 风筒布在钢筋网与木点柱之间。

2. 留巷支护。超前支护区 (煤壁前方 0-50m) 采用 1.0m 铰接顶梁配合单体液压柱沿走向布置 3 趟, 一梁一柱支护顶板 (顶板破碎处一梁两柱), 上排单体液压支柱距上帮 0.2-0.5m, 下排单体液压支柱距下帮 0.2-0.5m, 中、下排间距为 0.5-1.0m, 上、中排为人行道, 间距不小于 1.6m, 超前支护不小于 50m。

3. 架后临时支护区 (架后 50m)。架后临时支护采用液压点柱配合铰接梁, 沿空留巷以后上隅角不再打设密集点柱与戗棚。架后采用 1.0m 铰接顶梁配单体液压支柱沿走向布置 2 趟, 一梁一柱支护顶板, 上排梁距上帮不小于 0.5m, 下排梁距下帮沿空留巷墙体不小于 0.3m。采用木点柱+风筒布+金属网挡矸, 木点柱紧贴切顶线里侧打设, 点柱间距 0.6m。堆喷混凝土墙厚度由底部 1.2m 渐变至顶部 1.0m, 混凝土强度为 C30。

4. 成巷稳定区。此段巷道受采动影响很小, 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。从里往外逐段回撤液压点柱和铰接梁,回撤区域确保下帮墙体凝固期不小于28天,施工现场必须保证巷道净高不低于1.6m,拆除下来的点柱、铰接顶梁及铁鞋分类摆放整齐。补强锚索滞后切顶位置10—15m,沿空留巷每次密闭前将上排临时支护回撤,并对下排点柱进行维护;巷旁堆喷滞后切顶线(后溜机尾外侧)不大于5m,架后临时挡杆支护与液压点柱临时支护随推进度及时支护。

5. 巷旁墙体尺寸。堆喷墙体接顶接底,墙体底部宽度为1.2m,顶部宽度为1.0m。

6. 堆喷设备及工艺。地面材料场按配合比混合好堆喷干料,利用矿车下料至沿空留巷喷浆料场处,紧跟采煤工作面使用混凝土喷浆机堆喷作业构筑巷旁墙体。

二、堆喷巷道支护主要内容

1. 施工程序:顶板预裂爆破钻孔施工及顶板预裂爆破施工——补强锚索加强支护——运料巷超前支护——架后挡杆及挂梁临时支护——堆喷巷旁墙体支护。

2. 巷道加强支护。(1)基于11216-2采煤工作面的地质条件及巷道已有基本支护强度,沿空留巷后巷道采用加强锚索+巷旁墙体永久支护。(2)具体支护参数:①顶板补强锚索选用 $\Phi=21.8\text{mm}$, $L=9000\text{mm}$ 的强力锚索。②锚索托盘采用钢托盘或U箍改制托盘,规格 $300\text{mm}\times 300\text{mm}\times 16\text{mm}$ (配合槽钢使用 $120\text{mm}\times 120\text{mm}\times 18\text{mm}$)。③锚固剂:每根锚索配备三根MSCKb2335和一根MSCKa2335型树脂药卷。④沿空留巷补强锚索分2段支护形式,瓦斯钻场口已加固,打设点锚加固。⑤补强锚索支护间排距:锚索间排距为 $2000\times 1100\text{mm}$,配合槽钢垂直巷道进行支护,上排锚索距巷道中线偏上帮100mm打设,下排锚索距第一排锚索1100mm打设。

补强锚索加固顶板滞后切顶10~15m打设,补强锚索树脂锚固剂的锚固长度不得少于2.0m,安装张拉预紧力不低于210kN,锚索外露150—250mm。

同一断面设计两根加强锚索,下排锚索位于巷旁墙体中间位置,锚索外露部分进入墙体,通过加强锚索的悬吊及巷旁墙体的支撑双重作用,共同控制留巷的顶板岩层;另一根加强锚索位于留巷内,与其他支护结构协同控制留巷顶板岩层。

3. 筑墙空间维护。(1)支架尾梁与顶梁平齐。为了维护设计墙体位置顶板的完整性,防止顶板漏冒,工作面液压支架支撑到位后,需要立即将尾梁升起,确保尾梁与顶板充分接触,支护有效。(2)保护原有顶板支护。当机头支架所在位置的顶板上有锚网支护结构时,回采过程中需要在顶梁上部背足木

梁,木梁轴向与工作面煤壁平行,通过木梁支护顶板,严禁支架顶梁直接作用顶板,确保支架升降、移架过程中不破坏顶板原有锚网支护结构。(3)开挖底板基础坑。紧跟工作面液压支架,在筑墙位置开挖深度为0.5m、宽度为1.2m的基础坑,在基础坑底部铺设 $\Phi 6$ 钢筋焊接的宽度为1.2m、网格尺寸为 $0.1\text{m}\times 0.1\text{m}$ 的金属网片,并在基础坑底部按照间距1.0m,距墙体0.3m各打设两排底板锚杆,锚杆 $\Phi 20\text{mm}$, $L=2\text{m}$ 左旋高强度无纵筋螺纹钢,每根锚杆配1个MSKb2835型树脂药卷,底板锚杆锚固到岩体中,且锚杆外露0.8—1m,锚杆不上托盘。(4)采空侧挡杆支护。工作面采煤移架后,在顶网及原有支护结构的保护下,紧跟支架沿运料巷采空侧最边缘(切顶线往上帮侧)打设木支柱支护顶板和挡杆,木点柱靠巷道侧布置风筒布+金属网挡杆,木点柱间距为0.6m,木点柱底部放入基础坑内,顶部接顶,木点柱采用 $\Phi\geq 16\text{cm}$ 的优质红松。

4. 堆喷巷旁墙体。堆喷构筑巷旁墙体的底部厚度为1.2m,顶部厚度为1.0m,强度等级为C30,墙体靠采空侧为木点柱+风筒布+钢筋网,墙体靠留巷侧架设一层直径为6mm、网格尺寸为 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 的钢筋网片(一方面发挥构造配筋的作用,另一方面起到控制墙体外形轮廓的作用),相邻钢筋网片与钢筋网片之间重叠100mm,并用铁丝捆扎;沿墙体高度用4根长度为1m~1.2m的横向钢筋,顶底拉筋直径不小于6mm,(中间两根采用直径18mm的锚杆,锚杆靠近采空区侧折成弯钩,巷道侧上 $120\times 120\times 16\text{mm}$ 的托盘,垂直中间两排对拉锚杆,每排顺巷道再加两趟对拉锚杆;为加强墙体稳固性,对拉锚杆按照墙体中往两侧各0.2m支设,间距0.4m)固定网片位置,沿竖直方向同一列横向固定钢筋的间距为1.0m,相邻两列之间的排距为1.0m,配筋与顶板底板外露锚杆用14号铁丝固定牢固。

墙体底部的基础坑内铺设一层 $\Phi 6$ 钢筋焊接的宽度为1.2m、网格尺寸为 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 的金属网片。

三、超前预裂爆破切顶卸压

(一)爆破器材

1. 切顶爆破材料包括:炸药、雷管、引爆脚线、聚能管、装药炮棍、封孔炮泥等。

2. 爆破所用的炸药为煤矿许用三级乳化炸药,炸药规格为 $\Phi 32\times 300\text{mm}$ /卷,质量为0.3kg/卷。

3. 爆破所用的雷管为煤矿专用电子雷管。

4. 爆破所用的聚能管为双向聚能管,外径为42mm,内径为36.5mm,管长1500mm。

(二)超前预裂爆破参数设计

1. 施工顺序:钻孔→装药→封孔→爆破。

2. 钻孔施工工艺。使用锚杆钻机进行施工, 施工的主要工艺流程有: 一是切缝钻孔距巷道中线偏下帮 1.9m, 钻孔顺巷道一条直线, 钻孔间距 0.5m。二是调整钻机位置, 使钻机钻杆在三维空间上与水平面成 65° , 钻孔与铅垂线成 25° 。三是使用直径为 48mm 的专用钻头, 按照上述角度, 在巷道顶板钻孔标注位置准确定位, 并进行钻进施工, 钻进深度为 12000mm, 准确操作钻机, 保证成孔平直度。

四、西安矿 11216-2 煤柱运料巷堆喷沿空留巷旁墙体施工技术及其工程应用研究的主要做法

(一) 巷旁墙体施工工艺

堆喷工艺是一种新型的构筑混凝土墙体的方法(授权发明专利: 一种用于煤矿井下的堆喷混凝土快速筑墙方法, ZL 201810566315.0), 是将砂石料、水泥、JCT-1 喷射混凝土外加剂在干燥状态下按比例拌和均匀后装入喷浆机, 用压缩空气将干混合料沿管路输送至喷头处与水混合, 并高速喷射至作业面形成喷层或构筑墙体。

(二) 堆喷工艺要求

1. 材料要求: (1) 水泥: 优先选用 425# 普通硅酸盐水泥; (2) 石子: 粒径不大于 10mm 的石子; (3) 砂子: 采用坚硬耐久的中砂, 细度模数大于 2.5, 含泥量不大于 3%; (4) 在使用 JCT-1 喷射混凝土外加剂前, 应做与实际使用水泥的适应性试验, 初凝时间不大于 5min, 终凝时间不大于 10min; (5) 水应符合工程用水的有关标准, 不使用酸性水。

2. 主要设备和工艺参数: 喷浆机: 转子式 - II 型喷浆机; 喷枪: 双水环锥形喷头; 风压、水压分别为: 0.1 ~ 0.2Mpa、0.2Mpa; 水灰比: 0.4 ~ 0.5; 水环: 喷枪设置双水环, 环上钻有微孔, 经水压射出细的水流, 水流呈交叉网状, 充分润湿物料。

3. 堆喷材料配制。425# 普硅水泥: 砂子: 石子: JCT-1 喷射混凝土外加剂 = 1: 1.5: 1.5: 0.1

(三) 巷旁墙体施工方法

堆喷巷旁墙体沿空留巷施工包括施工前准备工作和堆喷巷旁墙体工作。其中, 准备工作包括辅助运料、拌料、临时支护、设置采空侧木点柱及钢筋网 + 风筒布、搭设留巷侧钢筋网片及横向对拉钢筋等。

1. 巷旁墙体施工位置选择。巷旁墙体位于原巷道内, 紧贴挡杆点柱留设, 不进入采空区作业, 施工巷旁墙体的位置在工作面液压支架后方原有巷道支护结构下。

巷旁墙体厚度设计为底部 1.2m、顶部 1.0m, 且内置配筋, 沿巷道宽和高全断面堆喷施工一次连续成型。

2. 开挖基础坑。施工沿空留巷巷旁墙体的位置确定后, 在巷道底板开挖深度为 0.5m 的基础坑, 并

在基础坑底部铺设一层 $\Phi 6$ 钢筋焊接的宽度为 1.2m、网格尺寸为 0.1m $\times$ 0.1m 的金属网片, 并在基础坑中部按照间距 1.0m 打设一排底板锚杆(底板锚杆锚固到岩体中), 保证墙体的整体稳定性。

3. 采空侧挡杆。为了使靠采空侧的墙体成形规整并阻挡采空区矸石进入留巷内, 因地制宜地利用木柱和钢筋网 + 风筒布材料, 在靠近采空侧沿巷道全断面设置一个简易的挡杆结构, 该挡杆结构在堆喷施工巷旁墙体过程中发挥阻挡作用, 目的是使靠近采空侧的巷旁墙体成形规整。

4. 搭设钢筋网片。在拟构筑巷旁墙体留巷侧, 搭设一层直径为 6mm、网格尺寸为 100mm $\times$ 100mm 的钢筋网片, 相邻钢筋网片与钢筋网片之间重叠 100mm, 并用铁丝捆扎; 沿墙体高度用 4 根直径为 6mm、长度为 1m ~ 1.2m 的横向钢筋(两端弯折成钩)固定网片位置, 沿竖直方向同一列横向固定钢筋的间距为 1.0m, 相邻两列之间的排距为 1.0m。

5. 堆喷材料现场准备。基础坑开挖、底板锚杆施工、采空区侧挡杆结构设置好、堆喷施工巷旁墙体前, 现场确保堆喷所需设备和材料准备到位且充足。堆喷所需设备为混凝土喷浆机、风管、水管、铁锹, 堆喷所需材料为 425# 普通硅酸盐水泥、混合料、JCT-1 喷射混凝土外加剂。

五、堆喷沿空留巷推广应用情况效益分析:

(一) 经济效益

1. 创造经济效益 = 新增原煤产量 $\times$ (吨煤售价 - 吨煤成本) $\times$ 利润率。11500 $\times$ (1100 - 300) $\times$ 75% = 692.5500 万元, 从留巷本身考虑, 创造纯效益为 1289.9250 万元

2. 节约价值。沿空留巷项目的实施, 可少掘进一条长度 190m 的煤巷, 增加扩整煤巷 190m, 根据我矿目前煤巷掘进成本及整修成本, 可减少掘进支出 190m $\times$ (6000 - 3000) 元 / m = 57 万元。

(二) 社会效益

此研究能够较好地未来煤矿在过老巷期间工作面的沿空留巷施工提供需要, 使其工作面的沿空留巷施工成功穿巷回采的经验说明, 只要做到科学组织、措施得当, 并做到超前实施, 即使在没有煤岩柱的条件下进行穿巷采煤, 同样也可以达到安全高效生产的目的。因此多回收及提高煤炭回收率对于延长我矿服务年限具有重大意义。

参考文献:

- [1] 范延东. 沿空留巷围岩变形规律及控制分析[J]. 能源与节能, 2021(03)
- [2] 孙秋荣, 胡鑫印. 李堂煤矿薄煤层开采沿空留巷技术研究与应用[J]. 中国煤炭, 2020(02)