

高瓦斯厚煤层放顶煤工作面堆喷沿空留巷技术及工程应用研究

武晓哲 张振兴

(冀中能源峰峰集团 辛安矿, 河北 邯郸 056200)

【摘要】沿空留巷巷旁墙体发挥隔离采空区和支撑巷道顶板的作用, 因此, 巷旁墙体应具有承载性、密封性、施工快速高效、成本低廉等特点。保持沿空巷道稳定的关键是巷旁墙体自身既要有足够的支撑力, 又要有良好的密封性。

【关键词】堆喷沿空留巷; 切顶爆破; 临时支护; 挡矸; 补强支护

一、引言

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(或潮湿)状态下按一定比例拌和均匀后装入喷射机, 用压缩空气将干混合物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。堆喷工艺构筑沿空留巷巷旁墙体施工速度快、操作方便、不损失混凝土强度、成本低, 符合煤矿井下安全生产要求。堆喷工艺的速度可达 $7 \sim 8 \text{ m}^3/\text{h}$, 对提高筑墙速度, 减少工人劳动强度, 缩短工期, 促进煤矿安全生产具有重要意义。

因此这种方法是目前为止控顶性能最好的沿空留巷工艺方法。

二、主要技术经济指标

1. 留巷基本方式: 超前切顶卸压+补强锚索+堆喷巷旁墙体联合支护。

2. 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, 并搭设木点柱挡矸, 木点柱靠巷道内侧铺双层金属网+风筒布, 风筒布夹在两道钢筋网间。

3. 留巷支护: 留巷临时支护、超前支护及滞后支护均使用单体液压支柱+铰接顶梁支护。

4. 巷旁墙体尺寸: 原巷道中线高度 3.2 m , 堆喷巷旁墙体高度为 3.7 m (含基础坑), 墙体底部宽度为 1.2 m , 顶部宽度为 1.0 m 。

5. 堆喷设备及工艺: 地面材料场按配合比混合好堆喷干料, 利用矿车下料至井下临时料场处, 紧跟采煤工作面使用混凝土喷射机堆喷作业构筑巷旁墙体。

6. 留巷作业组织: 超前爆破切顶和补打加强锚索, 日常检修班堆喷构筑巷旁墙体, 日常生产班采

煤、挡矸临时支护、滞后临时支护、运料及其他准备工作。

三、试验的过程与结果

(一) 工作面概况

辛安矿11212-2工作面运料巷为斜矩形断面, 沿2#煤层顶板掘进, 净宽 $\times$ 净高 $=4.2 \text{ m} \times 3.2 \text{ m}$, 采用锚网索支护。设计沿空留巷长度为 770 m , 留巷用于相邻11210-1工作面运煤巷。

11212-2工作面采用走向长壁后退式综采放顶煤工艺开采2#煤, 地面标高 $+177.9 \sim +215.6 \text{ m}$, 工作面标高 $-466.3 \sim -563.1 \text{ m}$; 走向长 $853.7 \sim 876.7 \text{ m}$ (平均 865.2 m), 倾向长 $83.2 \sim 196.3 \text{ m}$ (平均 139.7 m), 全部跨落法管理采空区顶板。根据《11212-2煤柱工作面回采地质说明书》, 该工作面2#煤层走向自北向南由 $\text{NW}32^\circ$ 渐变为 $\text{NE}14^\circ$, 倾向 $\text{SE} \sim \text{NE}$, 倾角 $15^\circ \sim 23^\circ$, 平均 19° , 厚度 $4.1 \sim 4.9 \text{ m}$, 平均 4.4 m , 赋存稳定, 结构简单。

11212-2工作面2#煤直接顶为粉砂岩, 厚 3.0 m , 灰黑色, 砂质胶结, 含植物化石。老顶为细粒砂岩, 厚 5.0 m , 灰色, 以石英为主, 含少量白云母片, 砂质胶结, 夹黑色粉砂岩薄层及煤线。直接底为粉砂岩, 厚 4.9 m , 灰黑色, 具大量植物根部和叶片化石及炭化的植物碎屑, 发育有细砂质成层分布的断续水平层理。老底为细粒砂岩, 厚 8.2 m , 深灰色, 层面具白云母片, 含少量植物化石, 砂质胶结, 极坚硬。

(二) 顶板深孔爆破切顶

顶板深孔爆破切顶的作用主要可概况为以下四点: 1. 切断采空区侧老顶悬臂梁, 切断采空区顶板岩梁与巷道顶板岩梁之间的力学联系, 减少沿空留巷支护结构受到的顶板压力; 2. 促进采空区顶板岩层冒落, 使采空区冒落矸石及时有效地充填采空区, 上覆顶板载荷及时转移至采空区已垮落的矸石上,

减轻沿空留巷支护结构的压力；3. 采空区侧的顶板切落后，上覆岩层顶板岩梁的回转下沉角度较小，减少沿空留巷顶板岩梁的给定变形量；4. 人为制造顶板薄弱带，控制顶板断裂位置。

辛安矿 2# 煤层顶底板岩层柱状图可知, 2# 煤层平均厚度为 4.4m, 从下至上顶板岩层分别为平均厚度 3.0m 粉砂岩、5.0m 细粒砂岩、2.1m 砂质泥岩、12.9m 细粒砂岩。

根据已有成功的切顶卸压沿空留巷经验,合理的预裂切缝深度 H 一般根据工作面采煤厚度、顶板岩层碎胀系数、顶板厚硬岩层分布情况等因素综合确定。

根据《辛安矿 11212-2 工作面回采作业规程》可知,该工作面采用综合机械化放顶煤采煤工艺,采煤机割煤高度 2.2m,放煤高度 2.2m,全部垮落法管理采空区顶板。

碎胀系数与覆岩的地层结构、岩性及破碎后块度的大小等因素有关。根据西安矿 2# 煤层顶板岩层岩性及分布情况,取碎胀系数 $\lambda=1.25$, 计算得到顶板岩层垮落后完全充满采空区需要的垮落高度 h 为:

$$h = \frac{M}{\lambda - 1} = \frac{4.4}{1.25 - 1} = 17.6 \text{ m}$$

式中: h 为顶板岩层垮落后完全充满采空区需要的垮落高度, m ; M 为 2# 煤层厚度, 取 $4.4m$; λ 为顶板岩层碎胀系数, 取 $\lambda=1.25$ 。

$$17.6 - (3.0 + 5.0 + 2.1) = 7.5\text{m}$$

按碎胀系数计算得到需要对图 1-1 中所示的第四层顶板岩层（厚度为 12.9m 细粒砂岩）的处理深度为 7.5m，打孔工作量较大，实际操作不太现实。

预裂爆破处理该岩层厚度的 $1/3$ 即可实现对其垮落方向和垮落时间的主动控制。

$$12.9 \div 3 = 4.3\text{m}$$

$$3.0 + 5.0 + 2.1 + 4.3 = 14.4\text{m}$$

因此,考虑顶板岩层厚度可能存在变化及一定富裕系数的基础上,综合确定超前预裂爆破切顶的顶板岩层厚度为 14.4m。按照钻孔水平仰角 55° 设计,钻孔倾斜长度为 15.0m。

（三）超前切顶卸压方式

本方案初期设计使用“被筒炸药+导爆索+雷管”实施超前深孔预裂爆破切顶，鉴于辛安矿及当地的火工品审批和管控政策，导爆索及设计所需规格的火药审批购买存在一定困难。

双向聚能爆破工艺在辛安矿预裂沿空切顶中多

次使用，现场施工人员对该工艺比较熟悉，相应的火工品具备购买条件。

因此,经多方面综合考虑,将超前切顶卸压方式调整为使用“双向聚能管+炸药+雷管”的爆破预裂方法。

（四）巷道加强支护

基于 11212-2 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, 支护参数如图 3-4-1 所示。

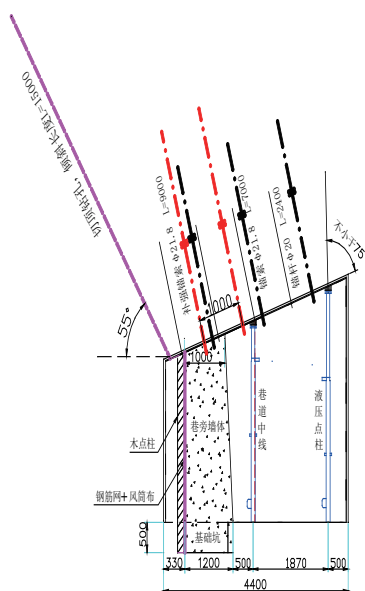


图 3-4-1 沿空留巷永久支护断面图

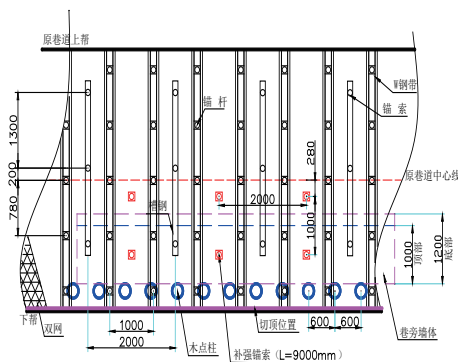


图 3-4-2 沿空留巷永久支护俯视图

支护方式和参数: 顶板补强锚索选用 $\Phi=21.8\text{mm}$, $L=9000\text{mm}$ 的强力锚索, 滞后爆破切顶卸压作业 $10\sim 15\text{m}$ 打设, 锚索间排距为 $1000\times 2000\text{mm}$, 并与巷道原有顶板锚索错排布置。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 210 kN 。

本方案同一断面设计两根补强锚索, 其中一根

补强锚索位于巷旁墙体中间位置，锚索外露部分进入墙体，通过补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；另一根补强锚索位于留巷内，与其他支护结构协同控制留巷顶板岩层。

11212-2 工作面运料巷原有的顶板锚索长度为 7.0m，直径为 21.8mm。根据图 1-1 所示的顶板岩层柱状图可知，补强锚索的最佳锚固位置为第四层厚硬岩层（厚度为 12.9m 的细粒砂岩），但这样会导致锚索的长度较长，锚索安装孔打孔工作量大及树脂锚固安装较困难，而且锚索长度过长会影响其延展性和承载性。因此，本方案设计补强锚索的长度为 9.0m，直径为 21.8mm，与巷道原有顶板锚索错层位锚固，增强对顶板岩层控制的可靠性。

11212-2 工作面回采推进过程中，不同位置的巷道受采动影响不同。工作面超前段会受到超前压力的影响。工作面开采后，顶板开始垮落，从垮落到稳定需要一定的时间，而且巷旁墙体达到设计的承载能力也需要一定的时间。因此，留巷初期需对留巷顶板进行架设单体支柱及顶梁临时加强支护。随着工作面回采继续推进，当沿空留巷距回采工作面较远时，顶板运动基本趋于稳定，巷旁墙体也达到了设计的承载能力，此时可根据现场实际情况将架后临时支护的单体支柱有序撤掉。

回撤留巷内的临时支护需要等巷旁墙体的强度增大到设计值（混凝土 28 天龄期），根据现场矿压监测数据，确保留巷段顶板稳定以后才可以撤掉。在现场生产技术条件允许的情况下，建议将留巷内的单体支柱临时支护保留，这样既可以加强对留巷顶板的控制，又可以起到抑制留巷底鼓的作用，总体有利于留巷围岩控制。

（五）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 $\Phi 6\text{mm}$ 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，并在基础坑中间向两侧各偏移 200mm（间距 400mm）、排距 1.0m 打设两排底板锚杆（底板锚杆锚固到岩体中，外露 1m）。

4. 采空侧挡矸支护。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一根锚杆打设木点柱支护顶板和挡矸，木点柱靠巷道侧布置金属网+风筒布，木点柱间距为 0.6m（与工作面移架步距一致），木点柱底部放入基础坑内，顶部接顶。

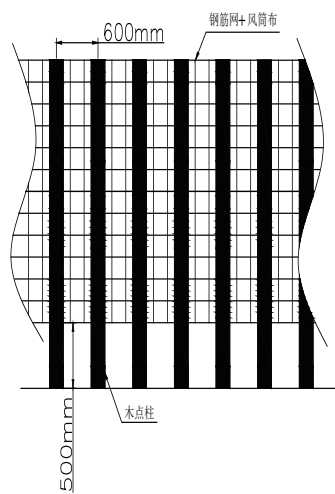


图 3-5-1 采空侧挡矸支护示意图

四、技术关键与创新点：堆喷巷旁墙体

沿空留巷巷旁墙体发挥隔离采空区和支撑巷道顶板的作用，因此，巷旁墙体应具有承载性、密封性、施工快速高效、成本低廉等特点。保持沿空巷道稳定的关键是巷旁墙体自身既要有足够的支撑力，又要有良好的密封性。

根据采掘布置，11212-2 工作面运料巷沿空留巷起始位置为从切眼外 106m 起至工作面停采线，设计留巷长度约 780m。

根据矿压规律及墙体承载性能，设计辛安矿 11212-2 工作面运料巷沿空留巷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+钢筋网+风筒布，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 根直径不小于 6mm 的横向钢筋或对拉锚杆固定网片位置（两端弯折成钩或加托盘，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),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。堆喷构筑沿空留巷巷旁墙体及墙体内构造配筋的设置示意图如图3-4所示,靠留巷侧的堆喷墙体覆盖钢筋网片50mm。根据原巷道断面及巷旁墙体尺寸,墙体内置钢筋网片规格尺寸可选择长×高=1300×1900mm

墙体底部的基础坑内铺设一层Φ6mm钢筋焊接的宽度为1.2m、网格尺寸为100mm×100mm的金属网片。

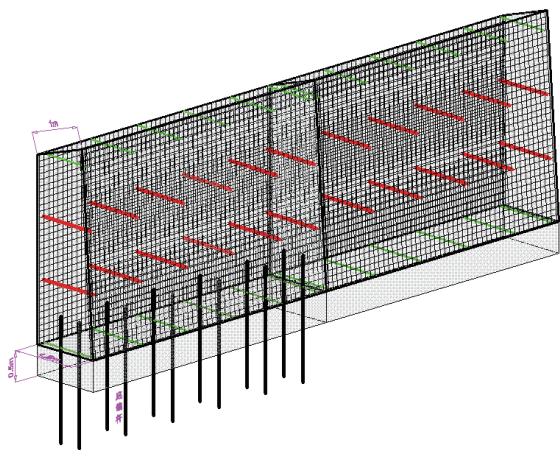


图 4-1 巷旁墙体结构及配筋示意图

五、技术要点与适宜范围:

(一) 技术要点

堆喷工艺要求:

材料要求: 1. 水泥: 优先选用 425# 普通硅酸盐水泥; 2. 粗骨料: 采用坚硬耐久的碎石或卵石(豆石), 粒径不大于 10mm; 3. 细骨料: 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。

(二) 主要设备和工艺参数

喷射机: 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。

(三) 堆喷筑墙技术要求

1. 灰骨比宜为 1:3~1:4; 2. 水灰比宜为 0.4~0.5; 3. 砂率宜为 45%~60%; 4. 拌合物的塌落度宜为 8~13cm。

堆喷材料配制。首先根据配比确定每立方堆喷

材料所用的砂子、石子、水泥和 JCT-1 喷射混凝土外加剂用量, 然后将上述材料严格按照配比在干燥或潮湿状态下充分搅拌均匀(可在地面使用搅拌机实现机械化拌料)。拌料要均匀, 堆喷为干喷或潮喷。采用潮拌工艺补充水分, 更能抑制粉尘发生, 同时水泥可得到充分水化。

(四) 质量配比

根据试验, 确定堆喷工艺施工巷旁墙体所用干混合料的质量配比为:

425# 普硅水泥: 砂子: 石子: JCT-1 喷射混凝土外加剂=1:2:1:0.1

按照上述配料比例, 配制 1m³ 干混合料需要 500kg 425# 普硅水泥, 1000kg 砂子, 500kg 石子, 50kg JCT-1 喷射混凝土外加剂。

(五) 体积配比

料场实测所用砂子的密度为 1.23g/cm³, 石子的密度为 1.50g/cm³, 砂子和石子混合料的密度为 1.41g/cm³。则配制 1m³ 干混合料的体积配比为:

425# 普硅水泥: 砂子: 石子: JCT-1 喷射混凝土外加剂=10 袋: 0.81m³: 0.33m³: 2.5 袋

(六) 井下体积配比

由于砂子和石子在地面料场已经按照设计配比混合均匀, 井下上料时, 仅需控制砂石混合料、水泥、JCT-1 喷射混凝土外加剂的用量, 因此, 这三种材料的体积比为: 砂石混合料: 水泥: JCT-1 喷射混凝土外加剂=0.426m³: 4 袋: 1 袋

六、推广应用情况效益分析

沿空留巷巷旁墙体发挥隔离采空区和支撑巷道顶板的作用, 因此, 巷旁墙体应具有承载性、密封性、施工快速高效、成本低廉等特点。堆喷工艺筑墙的速度主要和喷射机的喷射能力有关, 在喷射机喷射能力满足要求的情况下, 堆喷工艺的速度可达 7~8m³/h, 对提高筑墙速度, 减少工人劳动强度, 缩短工期, 促进煤矿安全生产具有重要意义。

七、结语

通过技术革新, 实施沿空留巷实现无煤柱开采, 提高资源回收率, 延长矿井服务年限, 缓解采掘接续紧张, 提高煤炭工业的整体科学技术水平, 同时符合绿色采矿、科学采矿的发展要求的矿井。

参考文献:

- [1] 陶刚. 调节瓦斯流向 治理采面瓦斯 [J]. 矿业安全与环保, 2005(S1)
- [2] 刘东才, 韩安杰. 铁煤集团公司瓦斯综合治理作法 [J]. 中国煤炭, 2005(06)