

综合防腐技术在高硫煤层顶板支护中的应用

张文龙

开滦能源化工股份范各庄矿业分公司 河北 唐山 063000

摘要: 范各庄矿是一座年产480万吨的现代化中大型矿井,拥有5、7、8、9、12、12下六层可采煤层。自上世纪90年代开始推广使用煤巷锚杆支护技术,其支护技术和施工工艺已趋于成熟。近年来,为满足现代化高效采煤需求,致力于全面普及锚网支护技术,截止到2022年,锚网支护率达到90%,基本实现应锚尽锚。在7、9、12煤层,外围准备巷道多为锚网支护,而这三层煤种原煤含硫量高。以南五采区为例,7煤硫份0.5%左右,而9、12煤硫份均在2%以上,且不同程度存在顶板裂隙水。随之带来的问题是含有 H_2S 、 SO_2 等酸性气体的水对金属支护材料造成严重的腐蚀,时间稍长导致支护体失效,发生片帮、冒顶事故,不但造成生产系统受限,也给安全埋下极大隐患。为此,锚杆支护在高硫煤层顶板支护的防腐问题成为制约巷道服务年限、影响安全生产的关键问题,急需对综合防腐技术进行研究、探索,以解决腐蚀带来的诸多问题。

关键词: 聚酯纤维网;锚杆;锚索注浆;全长锚固;表层喷浆封闭

1 当前我矿锚杆支护的现状及其面临的问题

1.1 锚杆支护强度的现状

我矿当前生产水平主要集中在三水平南五采区,三水平南四采区及三下采区,埋深在-490—600。采区布置方式为集中煤层上山双翼开采,倾斜长度800m-1200m,服务年限8-12年。主要可采煤层为5、7、8、9、12煤层,主要煤种为气肥煤,其中7、9、12煤层含硫较高,7煤硫份0.5%左右,而9、12煤硫份均在2%以上。从目前我矿锚杆支护的现状来看,锚杆支护覆盖5、7、9、12煤层,根据工程类比法及理论计算,主要选用支护参数为风道、运道间、排距800mm--1000mm,支护工艺为锚、梁、网、索支护工艺,锚杆、锚索的锚固方式全部为加长锚固。

1.2 当前面临的问题

目前主要生产区域集中在-490m--800m,随埋深增加,巷道原岩应力明显增大,围岩裂隙发育程度增大,瓦斯、水等危害日益凸显。尤其是顶板裂隙发育导致顶板淋水成为普遍现象,对围岩稳定、施工环境造成不利影响。而7、9、12煤层因为含硫量高,顶板淋水溶解了 H_2S 、 SO_2 等酸性气体后,对金属支护材料造成严重的腐蚀,时间稍长造成菱形网破损、锚杆强度降低、锚索锁具失效甚至断裂等支护体失效,导致发生漏冒、片帮、大面积冒顶事故,不但造成生产系统破坏,也给安全埋下极大隐患。特别是腐蚀造成的锚杆、锚索自由段的破坏,具有隐蔽性强,不易被发现,支护体强度整体下降的特点,一旦受到采掘活动动压影响,可能导致突发性大范围冒顶,已成为不可忽视的隐蔽至灾因素。

2 巷道破坏机理

由于酸性顶板淋水的腐蚀作用,顶网破损,失去对顶板围岩的约束作用,局部锚杆失效,原始预应力锚杆对顶板围岩的压应力圆锥体出现点失衡,从而导致原支护在岩体中形成的压应力拱形压缩带平衡被打破,出现局部的漏冒,而一旦原支护的平衡被打破,就会形成“骨牌效应”,进而演变为周边锚杆、锚索的连续破坏。

如此期间巷道周边邻近区域有采掘活动,叠加的采掘动压会导致原支护巷道围岩应力出现波动,如此时已发生局部锚杆失效,锚杆、锚索自由段腐蚀强度大幅降低,临近周边区域的采掘动压带来的应力波动突破了老巷围岩支护体的残余强度,就会导致老巷突发性冒顶,进而可能造成不可预估的损失。

3 解决方案

3.1 支护对策

1)依据跨界支护理论,使用以注浆锚索为主、高强玻璃钢锚杆为辅的锚—梁—网—索联合支护,保持顶板锚杆支护的整体性;

2)选取一种新型护网、锚杆代替金属菱形网,既满足支护强度又能完美解决腐蚀问题;

3)选择一种支护工艺能够解决锚杆、锚索自由段与顶板淋水、潮湿空气接触而被腐蚀问题;

4)选择一种技术解决锚杆、锚索外露部分与顶板淋水、潮湿空气接触而被腐蚀问题

3.2 支护方案确定

为满足生产和安装的需要,在7、9、12煤层仍然沿用锚-梁-网-索联合支护体系。以3527上山为例,依据临

界支护理论, 计算顶板压力拱高度H;

临界值计算

① 冒落拱计算公式:

b——巷道设计宽度, 4.6m

h——巷道设计高度, 3.2m

α ——直接顶为泥岩, 岩层内摩擦角取 20°

f——顶板岩石抗压强度, 1.8.

$$\text{则冒落拱高度} H_m = \frac{4.6 + 2 * 3.2 \tan(30^\circ)}{2 * 1.8} = 2.3m$$

即临界支护深度为2.3m。

$$\text{② 冒落拱圆弧半径} R = \frac{a^2 + h^2}{2h} = 4.876m$$

$$a \text{—弦长的一半, 即} 4.14m \quad H_m = \frac{b + 2h \tan(45^\circ - \alpha/2)}{2f} \quad h \text{—}$$

拱高, 取2.3m

$$\text{扇形圆心角} \beta = 2 \arcsin \frac{a}{R} = 116^\circ 10'$$

$$\text{拱形面积} S = S_{扇} - S_{三角} = 24.08 - 10.66 = 13.42m^2$$

若设计排距L = 1.4m, 则临界支护载荷(冒落拱岩体自重)

$$T = SLr = 432.124KN$$

r——冒落拱岩体容重, 取23KN/m³

支护间排距设计

临界支护深度2.3m, 若使用锚杆支护, 则长度不低于2.8m, 不利于现场操作, 故选取 $\phi 22mm * 3500mm$ 短锚索支护顶板, 间排距1.4m, 即每排4根短锚索, 临界支护载荷相当于2条锚索的预紧力(锚索预紧力值取200KN)。

$$\text{支护强度验算: } P = \frac{200KN * 4 + 200 * 0.5}{2aL} = 0.776MPa$$

$$\text{安全系数} \delta = (200 * 4 + 200 * 0.5) / 432.124 = 2.08$$

为防止因顶板凹凸不平造成顶网接顶不实、出现兜兜现象, 可使用高强玻璃钢锚杆补打单杆, 加强顶网对顶板威压的约束作用。

3.3 支护材料的选择

支护材料中, 选取高强度阻燃聚酯纤维网代替金属菱形网, 选取高强玻璃钢锚杆代替金属锚杆, 实现支护材料防腐。

3.3.1 高强度聚酯纤维网是一种以聚酯纤维为主要材料的非金属压、塑一体的新型护网, 相较于金属菱形网具有耐高温、耐酸碱、抗拉强度高、整体性能好, 阻燃防腐等优点, 其特殊的压、塑一体编织工艺, 保证了横向、纵向强度的均一可靠性, 可根据支护强度需求定制化选择。

3.3.2 选取SKZ22-1/1860型3.5m中空注浆锚索(以下简称注浆锚索)代替MSGLW-500/22左旋无纵筋高强锚

杆, 选取SKZ22-1/1860型7.5m中空注浆锚索代替SKP22-1/1770型普通锚索, 实现全长锚固。

在不改变锚索施工工艺及初始预紧力的前提下, 通过后期注浆实现全长锚固, 可有效保护锚索自由段不受顶板水和空气腐蚀。相对于加长锚, 实现锚固圈层敏感度更高、抗剪切性能更强, 锚固刚度更高, 稳定性更强, 服务寿命更长, 延长其服务年限^[1]。

① 中空注浆锚索采用中空结构设计, 索体由高强度螺旋肋预应力钢丝围绕中心管杆呈螺旋状捻制而成, 强度等级达到1860MPa, 可分为中部柔性段和端部刚性段, 中部柔性段可弯曲, 满足锚索运输、盘卷要求, 两端刚性段可起到强化保护作用, 便于实现端锚和张拉预紧, 其索体破断力可达到420KN, 满足施工强度要求。中空注浆锚索由索体、紧箍、软止浆管、硬止浆管、托盘、锁具组成, 上部实心段用于搅拌树脂实现端锚, 中间段内有软性芯管, 便于锚索弯曲和注浆, 中间段与上部实心段具有出浆口。锚索尾部为紧固段, 内用高强合金管, 保证锁具紧固时索体不收缩。

② 锚索技术参数: 巷帮采用规格型号为SKZ22-1/1860-3500mm中空注浆矿用锚索, 配长1mU型钢托盘。

顶补强锚索采用规格型号为SKZ22-1/1860-7500mm中空注浆矿用锚索, 配300×300×16mm方形托盘, 锚索预紧力初定不低于200KN;

③ 钻孔参数与要求: 中空注浆矿用锚索安装孔径 $\phi 32mm$, 顶锚索孔深7200mm, 帮锚索孔深3700mm, 要求以实际轮廓表面为准, 误差不得大于50mm。两帮下部锚索距巷道底板500mm, 锚索孔下扎 10° ; 上部锚索距下部锚索800mm, 锚索孔上仰 10° ^[2]。

④ 注浆材料: 注浆材料是锚注支护体系的重要组成部分。目前注浆材料品种中应用最为广泛主要有水泥基注浆材料和化学注浆材料。选取标号不低于P.O42.5R级硅酸盐水泥按不低于8%的比例添加ACZ-I水泥添加剂作为注浆材料, 要求注浆压力不低于5MPa。既具有化学注浆材料渗透性强, 性能稳定, 结石体韧性好等优点, 同时价格低廉, 性价比高。有具有水泥浆价格低廉、取材简便、配制简单等优点。

⑤ 注浆管及封孔方式: 顶锚索钻孔施工于顶板岩层, 钻孔成型好, 采用外置封孔方式, 两帮煤体强度低, 孔口易生裂隙, 采用内置封孔方式封孔, 防止漏浆。

3.4 喷涂护表隔绝顶板水、空气, 保护锚杆、锚索外露端免受腐蚀

薄喷工艺是通过高压空气流将混凝土材料以高速喷射到岩体表面, 与锚杆、护网形成致密、均一的保护

层,从而起到填充表明面不连续面裂隙,隔绝空气、防止风化、及时支护的作用。其喷浆设备简单,混凝土材料价格低廉,取材方便,在岩巷光爆工艺施工中是一项颇为成熟的支护技术。在锚-梁-网-索支护工艺体系完成后,在巷道后路通过喷射薄层混凝土保护层,起到对锚杆、锚索外露端,钢带等巷道表面的金属材料与顶板水、潮湿空气封闭隔绝的保护作用,解决巷道表层支护的腐蚀问题^[3]。

3.4.1 喷涂设备

采用PC51型转子式混凝土喷射机,具有技术先进,结构合理,性能稳定,操作维护方便,使用寿命长等特点,输料最大水平距离100m,输料气压0.5MPa,生产能力5m³/h。

3.4.2 喷涂材料

使用标号42.5的普通硅酸盐水泥和红矸;按水泥:红矸=1:4均匀掺拌,同时加入水泥重量4%-6%的速凝剂均匀掺拌使用。

混凝土材料干湿度确定:采取手抓物料攥团,物料及其松散不成团时说明物料干燥需要加水;物料成团松手后物料便散开了,说明物料潮湿度适宜;物料成团但松手后不散开或有明显水溢出,说明物料湿度较大不宜使用。

3.4.3 喷浆方式及技术参数

喷浆方式为潮喷,喷浆量小时采取人工地面拌料,喷浆量大时采取拌料机拌料。要按自下而上、先墙后拱的顺序喷射,喷头运行轨迹应呈椭圆形,按直径200mm~300mm,一圆压半圆的方法均匀缓慢移动;喷头与受喷面间距保持在0.8m~1.2m之间,喷头尽可能垂直受喷面,夹角不得小于70°。巷顶、巷帮一次喷涂,每次喷浆厚度不大于50mm—70mm。同一喷射点复喷间隔时间不小于10分钟。特殊地段遇断层或破碎带时需加强支护,变更支护方式和技术要求,另制定补充措施。

4 技术效果与经济效益分析

4.1 技术效果

实践证明,采用常规锚网支护技术,7、9、12煤层巷道3-4年需要二次补强支护加以维护,不但影响巷道正常作用发挥,而且隐藏巨大的冒顶、片帮风险。采取综合防腐支护技术后,巷道支护强度整体提高,消除了因

锚杆、锚索自由段腐蚀带来的应力下降风险,以及局部锚杆、锚索失效带来的片帮、冒顶风险,预计巷道服务年限可以达到10年以上,基本满足服务采区的年限,技术效果显著。

4.2 经济效益对比

1)常规锚网支护延米材料成本及服务年限

根据目前三水平南五7、12煤层锚网支护设计,统计延米支护成本为2650元/m(具体见附表4-1),按现有巷道经验,三年左右需要二次补强支护,补强支护材料成本为1195.2元/m(见附表4-2),若采区上山服务年限8-10年,期间至少需要二次加固支护一次,合计延米支护成本3845.2元/m。

采取以上综合防腐措施,延米支护材料成本为3845.2元/m。巷道服务年限预计可以到15a以上,完全满足服务采区需求。

仅对比延米支护材料成本,常规支护+二次加固综合延米支护材料成本为3795.8元/m,综合防腐支护延米材料成本为3741.4元/m,每米材料成本低于二次加固综合成本54.4元,且可节约二次支护投入的人工成本及时间成本,经济效益显著。

5 结语

(1)采用大断面锚网支护,极大地提高了采区准备巷道围岩整体性和支护强度,提高了巷道围岩抗变形能力,是采区巷道的首选支护方式。

(2)在7、9、12煤层等高硫煤层巷道采用综合防腐技术支护,不但能够降低酸性气、液环境腐蚀带来的锚杆应力降低,巷道围岩体支护性能下降的风险,消除片帮、冒顶等安全隐患,而且可以大大延长准备巷道使用寿命,技术效果、经济效益显著。特别是即将施工3525W专用回风上山,服务5、7、8、9、12五个煤层的回采,服务年限15a以上,该技术的实施具有重要意义。

参考文献

- [1]毛晓飞,左志雄,汪正海,等. 燃用高硫煤四角切圆锅炉水冷壁高温腐蚀治理[J]. 热力发电,2019,48(4):96-103.
- [2]周三多. 燃烧高硫煤对冲锅炉水冷壁高温腐蚀研究[J]. 重庆电力高等专科学校学报,2022,27(2):30-34.
- [3]郝大为. 论煤巷锚网支护[J]. 现代商贸工业,2012,24(3):283-283.