

近距离采空区下回采顺槽支护参数的设计与应用

李 伟 (山西汾西矿业集团两渡煤业公司, 山西 灵石 031302)

摘要: 面对正中煤业公司二采区内 9、10_下号煤层近距离煤层分层开采后, 10_下号煤层顶板受 9 号煤采空区影响支护困难, 设计了回采顺槽的锚杆(索)+金属网+钢带联合支护参数; 与原工字钢棚支护, 降低了工人的劳动强度, 掘进速度快, 衔接顺畅。

关键词: 近距离煤层; 分层开采; 锚网联合支护

Abstract: facing the difficulty of supporting the roof of No. 10 coal seam influenced by No. 9 Coal mined-out area in No. 9 and No. 10 coal seam in No.2mining area of Zhengzhong Coal Industry Co., the parameters of Bolt (cable)+metal net +steel belt combined support are designed, which can reduce the labor intensity of workers, speed up excavation and connect smoothly.

Keywords: short-distance Coal Seam; slicing mining; combined support with Bolting and Wire Mesh

山西汾西瑞泰正中煤业公司属于兼并重组矿井, 低瓦斯矿井, 生产能力 0.9Mt/a, 主斜副立开拓方式, 现有井筒 4 个, 批采煤层为 2-11 号煤层, 现采 9、10_下号煤层, 开采水平 +670m, 煤层自燃倾向性为自燃, 水文地质类型中等。以前待 9 号煤采空区稳定后, 10 号煤工作面两顺槽支护主要采用工字钢棚支护, 工人劳动强度大、运输量大、准备时间长、采掘衔接紧张。为改变支护形式、提高巷道掘进速度、提高采掘效率, 研究 10 号煤顺槽采用锚杆(索)+金属网+钢带联合支护, 改善巷道围岩压力, 降低劳动强度。

1 二采区情况

二采区位于井田中西部即 F₃ 断层以西, 西部、南部、北部以井田边界为界, 上部为一采区; 二采区东西长约 1470m, 南北长约 2200m, 9 号煤层可采区总面积约 3.3072km²; 二采区内 9、10_下号煤层工业资源储量为 12842kt, 生产能力按 0.90Mt/a。

二采区 9 号煤层平均煤厚度为 0.97m, 10 号煤层平均煤厚度为 3.25m; 10_下号煤层工作面运输、回风顺槽均沿 10_下号煤层底板掘进, 为矩形断面, 运输顺槽尺寸为宽 4.8m, 高 2.8m, 断面积 13.44m², 回风顺槽宽 4.5m, 高 2.8m, 断面积 12.60m²。

2 顺槽支护参数确定

由于考虑 9、10_下号煤层为近距离煤层, 9 号煤层与 10_下号煤层层间距为 1.79~3.49m, 平均 2.83m, 为避开 9 号煤层开采期间动压影响 10_下号煤层巷道支护, 设计 10_下号煤层顺槽外错 7m (中-中) 布置; 若 9、10_下号煤层距离 3m 以上, 10_下号煤层顺槽支护采用锚杆(索)+金属网+钢带联合支护; 若 9、10_下号煤层距离 1.79~3.00m, 10_下号煤层顺槽支护采用锚杆+金属网+钢棚联合支护; 现将锚杆(索)相关参数计算如下:

2.1 锚杆支护参数确定

2.1.1 锚杆长度的确定

根据锚杆作用机理和悬吊作用理论, 锚杆施工长度计算如下:

$$L=L_{\text{外露}}+L_{\text{有效}}+L_{\text{锚固}}$$

式中: L- 锚杆长度, m; L_{外露}- 外露长度, m; L_{有效}- 有效长度, m; L_{锚固}- 锚固长度, m。

锚杆外露长度 L₁ 的确定: L_{外露}= 垫板厚度+螺母厚度+(0.02~0.03) m; 一般 L_{外露}=0.15m。

锚杆有效长度 L_{有效} 的确定: 在松散介质及中硬以下岩石, 以及小跨度地下空间, 可以得用 M.M. 普罗托奇雅可诺夫的抛物形压力拱理论估计冒落带高度:

当 $f \geq 3$ 时:

$$L_{\text{有效}}=b=K \frac{B}{2f}$$

当 $f < 3$ 时:

$$L_{\text{有效}}=b_1=\frac{\frac{B}{2}+H \tan(45^\circ-\frac{\omega}{2})}{f_{\text{顶}}}$$

其中: $c=H \tan\left(45^\circ-\frac{\omega}{2}\right)$ 为帮部破碎深度。

式中: K- 安全系数, 取 1.5~2; b 或 b₁- 围岩松动圈冒落高度, m; B- 巷道开掘宽度, 10 号煤层取 B=4.8m; f- 巷道顶板的岩石普氏坚固性系数, (10 号煤层取 2.5); H- 巷道掘进高度, 10 号煤层取 2.8m; f_顶- 顶板岩石普氏系数, 取 2.5; ω - 围岩的岩石的似内摩擦角, 取 f_顶 反算; $\omega=\arctan(f_{\text{顶}})=\arctan(2.5)=68.2^\circ$ 。因此, 10 号煤层顶锚杆 L_{有效} 采用下式计算:

$$L_{\text{有效顶}}=\frac{1}{f}\left[\frac{B}{2}+H \tan\left(45^\circ-\frac{\omega}{2}\right)\right]=\frac{1}{2.5}\left[\frac{4.8}{2}+2.8 \times \tan\left(45^\circ-\frac{68.2^\circ}{2}\right)\right]=1.18m$$

10_下号煤层帮锚杆:

$$L_{\text{有效帮}}=c=H \tan\left(45^\circ-\frac{\omega}{2}\right)=2.8 \times \tan\left(45^\circ-\frac{68.2^\circ}{2}\right)=0.54m$$

锚杆锚固长度 L_{锚固} 的确定: 按经验 L_{锚固}=0.3~0.4m。

10_下号煤层顺槽顶锚杆长度 L=0.15+1.18+0.3=1.63m, 取 2.0m; 帮锚杆长度: L=0.15+0.54+0.3=0.99m, 取 1.8m。

2.1.2 锚杆间排距

根据每根锚杆悬吊载荷大小确定锚杆间 (a)、排距 (b), 即锚杆悬吊岩石载荷 (G=abL₂γ) 小于或者等于锚杆的锚固力 (Q)。考虑安全系数 K 的情况下: Q ≥ Kl₂ab · γ, 则:

$$ab \leq \frac{Q}{K \cdot l_2 \cdot \gamma}$$

式中：a、b- 锚杆间、排距，m； γ - 被悬吊软弱岩平均容重，取 25kN/m³；K- 安全系数，一般取 K=1.3~1.8；考虑到松软岩层不稳定，K=1.8；l₂- 软弱岩层厚度或冒落拱高度，顶取 1.22m；Q- 锚杆锚固力（以 ϕ 20mm 螺纹钢计算，屈服强度 $\sigma_{屈} = 340\text{MPa}$ ）：

$$Q = \frac{\pi}{4} (d^2 \times \sigma_{屈}) = 0.25 \times 3.14 \times (20)^2 \times 340 = 107 (\text{kN})$$

则顶锚杆间排距计算结果为：

$$ab \leq \frac{Q}{K \cdot l_2 \cdot \gamma} = \frac{107}{1.8 \times 1.22 \times 25} = 1.95 \approx 1.0 \times 1.95\text{m}$$

本次设计考虑到矿方实际经验，10 号煤层顺槽帮、顶锚杆采用 Φ 22mm 的高强度左旋无纵筋螺纹钢等强锚杆时，运输顺槽间排距为 900 × 800mm，回风顺槽间排距为 800 × 800mm。

2.1.3 锚杆直径的确定

按锚杆杆体承载力与锚固力等强度原则，确定锚杆直径 $d_{锚杆}$

$$d_{锚杆} = \sqrt{\frac{4Q_{锚固力}}{\pi \sigma_t}}$$

式中： $d_{锚杆}$ - 直径，m； $Q_{锚固力}$ - 锚固力，取 107 (kN)； σ_t - 杆体材料本身的抗拉强度 520MPa。

$$d_{锚杆} = \sqrt{\frac{4Q_{锚固力}}{\pi \sigma_t}} = 1.13 \sqrt{\frac{107000}{520 \times 10^6}} = 0.0162\text{m} = 16.2\text{mm}$$

锚杆直径大于 16.2mm 可满足支护需要，按矿方支护经验顶、帮锚杆取 Φ 22mm 的高强度左旋无纵筋螺纹钢等强锚杆。

2.2 锚索支护参数的确定

2.2.1 锚索长度的确定

$$X = X_{外露} + X_{软弱岩层} + X_{锚固} = 0.25 + 2.5 + 1.3 = 4.05\text{m}$$

取 5.2m。

式中： $X_{外露}$ - 外露长度，取 0.25m； $X_{软弱岩层}$ - 潜在软弱岩层高度，取 2.5m； $X_{锚固}$ - 锚索锚固长度，取 1.3m。

$$X_{锚固} \geq f_{st} / \pi f_{cs}$$

$$d_{钢} = (1860 / 3.14 \times 10) \times 21.6 = 1279\text{mm}$$

设计锚固长度 1.3m > 1.279m

式中： $d_{钢}$ - 钢绞线直径，mm； f_{st} - 钢绞线抗拉强度，MPa； f_{cs} - 锚索与锚固剂的设计粘接强度，按 10MPa 计算。

2.2.2 锚索间距

10 号煤层两顺槽巷道宽度分别为 4.8m 和 4.5m，顶锚杆间距分别为 900mm 和 800mm，设计每排布置 3 根锚索，间距分别为 1800mm 和 1600mm。

2.2.3 锚索排距

根据锚杆失效时，上覆岩石重量需锚索承担，来锚索数应满足以下公式：

$$N \geq K \frac{W}{P_{断}} = K \frac{B \times \sum h \times \sum \gamma \times D}{P_{断}}$$

式中： N - 锚索数目，10_下号煤层每排取 3 根； K - 安全系数，取 2； $P_{断}$ - 钢绞线最低破断力，取 350kN； W - 被悬吊岩石的自重，kN。

可计算：

$$W = B \times \sum h \times \sum \gamma \times D$$

式中： B - 巷道掘进巷宽，m； D - 排距，m； $\sum h$ - 岩石厚度，取 1.22m； $\sum \gamma$ - 岩石平均容重，25kN/m³。

通过以上公式，确定锚索排距应满足以下公式：

$$D_1 \leq \frac{P_{断} \times N}{K \times B_1 \times \sum h \times \sum \gamma} = 2.8\text{m}$$

$$D_2 \leq \frac{P_{断} \times N}{K \times B_2 \times \sum h \times \sum \gamma} = 3.6\text{m}$$

结合矿方支护经验及顶锚杆排距，10_下号煤层两顺槽锚索排距为 1600mm。

2.3 工字钢棚支护确定

若 9、10_下号煤层距离 1.79~3.00m，10_下号煤层顺槽支护采用锚杆 + 金属网 + 工字钢棚联合支护。根据煤层间距图，9、10_下号煤层距离 1.79~3.00m 开完后，采用锚杆 + 钢网初次支护后，11# 工字钢加木垛支护，及时维护围岩，防止塌方、冒顶。巷道断面特征表详见表 1。

表 1 巷道断面特征表

序号	巷道名称	断面形状	断面尺寸 (mm)		支护方式	净断面积 (m ²)	掘进断面 (m ²)
			净宽	净高			
1	10 下号煤回风顺槽	矩形	4500	2800	锚网或工字钢棚	12.60	12.60
2	10 下号煤运输顺槽	矩形	4800	2800	锚网或工字钢棚	13.44	13.44

3 结论

正中煤业公司 10_下号煤层运输（回风）顺槽顺槽顶锚杆采用 ϕ 22mm 的高强度左旋无纵筋螺纹钢等强锚杆，间排距为 800 × 800mm，长度 1800mm（2000mm）；运输（回风）顺槽锚索采用 ϕ 21.6mm、长度为 5200mm 的高强度预应力钢绞线，锚索间排距为 1800mm（1600mm）× 1600mm，每排 3 根。顺槽采用上述支护方法后，掘进队组由原来 100m/ 月提高到 180m/ 月采掘衔接顺畅，有效控制围岩变形，实现了很好的经济技术效果。

参考文献：

- [1] 侯京凯. 采空区下回采巷道支护参数优化研究 [J]. 山东煤炭科技, 2019:83-85.
- [2] 王效宗. 近距离煤层采空区下巷道锚杆支护 [J]. 能源与节能, 2019:125-126.
- [3] 张宝春. 近距离煤层采空区下锚网索支护技术研究与应用 [J]. 中国资源综合利用, 2017.

作者简介：

李伟 (1985-)，男，汉族，山西灵石人，2007 年毕业于大同大学工学院专科综合机械化采煤，工程师，现任职于汾西矿业集团两渡煤业调度室，主要从事采掘工作。