

煤矿快速掘进中的锚网索支护技术分析

王保洪

东源恒鼎煤业有限公司河兴煤矿, 云南 曲靖 655502

[摘要]巷道支护是煤矿安全生产的关键保障,我国煤矿多采用井工开采,巷道类型以煤巷、半煤岩巷为主,还存在不少松软破碎围岩巷或遇水软化膨胀围岩巷的情况,保障巷道安全快速掘进、使用期间畅通及围岩稳定,控制支护维护成本,对建设安全高效矿井意义重大,煤矿巷道支护历经木支护、砌碹支护、型钢支护,最终发展为锚网索支护,这一过程相当漫长,实践表明,锚网索支护是巷道经济有效的支护形式。

[关键词]煤矿掘进;锚网索支护;影响因素;技术应用

DOI: 10.33142/ect.v3i6.16868

中图分类号: TD263.5

文献标识码: A

Analysis of Anchor Net Cable Support Technology in Rapid Mining of Coal Mines

WANG Baohong

Hexing Coal Mine of Dongyuan Hengding Coal Industry Co., Ltd., Qujing, Yunnan, 655502, China

Abstract: Tunnel support is a key guarantee for coal mine safety production. In China, coal mines mostly adopt underground mining, and the types of tunnels are mainly coal tunnels and semi coal rock tunnels. There are also many cases of soft and broken surrounding rock tunnels or water softening and expanding surrounding rock tunnels. Ensuring safe and rapid excavation of tunnels, smooth operation during use, and stable surrounding rock, controlling support and maintenance costs, is of great significance for building safe and efficient mines. Coal mine tunnel support has gone through wood support, arch support, and steel support, and finally developed into anchor net cable support. This process is quite long. Practice has shown that anchor net cable support is an economically effective form of support for tunnels.

Keywords: coal mining excavation; anchor net cable support; influencing factors; technical application

引言

煤炭是一种珍贵的能源,人类的经济和生活水平不断提高,对煤炭资源的需求也在增加。因此,煤矿开采深度会越来越深,深部开采也将给巷道支护带来一定的困难。锚网索支护在我国已经有很长一段时间的应用,目前已经能应用于大部分的煤矿开采企业,且以其高效、便捷的技术特点,通过在多年的运行与实践,现在已经成为我国煤矿巷道支护技术中的重要手段,其效果十分明显。本文将以前河兴煤矿部分巷道为例从原理、参数设计、影响因素及支护方式等多个方面来分析锚网索支护技术在煤矿巷道掘进过程中的应用。

1 锚网索支护原理分析

1.1 悬吊理论

锚网索支护的核心原理,是通过将巷道顶板中较软弱、不稳定的岩层悬吊于上部稳定岩层,以此提升软弱岩层的稳定性,针对回采巷道常见的层状岩体,巷道开挖后,直接顶常因弯曲变形与老顶脱离,若锚杆能及时对直接顶施加挤压并实现悬吊,便可有效减少甚至限制直接顶的下沉与离层,进而达到支护效果。

悬吊理论的局限性较为突出:其一,该理论未充分考虑围岩自身的承载能力;其二,当围岩条件松软且巷道宽度较大时,锚杆往往难以锚固至上部稳定岩层或自然平衡拱,此时锚网索支护却依然有效,悬吊理论对此缺乏解释力;其三,

该理论仅关注锚杆的被动抗拉作用,未涉及对岩体抗剪能力的提升,也未触及破碎岩层整体强度的改善机制,因此,基于悬吊理论计算的锚杆载荷与实际工程需求存在较大偏差。

1.2 组合梁理论

锚网索支护与巷道顶板的协同作用中,借助预紧力的约束效应,各岩层由叠合状态逐步转变为组合梁结构,从而提升顶板岩层的整体稳定性承载能力。

组合梁理论主要适用于层状岩层条件,对于端部锚固锚杆,其施加的轴向力能有效约束岩层离层趋势,同时增大岩层间摩擦力,配合锚杆杆体自身提供的抗剪力,共同阻碍岩层间的相对滑动,从岩层受力特性分析,锚杆通过对各岩层的夹紧作用形成组合梁结构,且组合梁厚度越大,梁体最大应变值越小,这一理论虽充分考量了锚杆对岩层离层及滑动的约束效应,但其有效组合厚度的确定存在困难,且未考虑水平应力对组合梁强度、稳定性以及锚杆载荷的实际影响,此外,该理论的应用范围主要局限于层状顶板条件,且在分析过程中仅关注了锚杆对离层和滑动的约束作用,未进一步探讨锚杆对岩体自身强度及应力分布的改善效果。

1.3 加固拱理论

通过实践研究发现,在软岩地层中实施锚杆支护时,需要形成有效的承载结构,锚杆安装过程中,因锚杆间距较小,各锚杆压力圆锥体相互重叠,会在岩层中共同构建

出均匀的压缩带,这种均匀压缩带能够有效承担岩层荷载,对拱内围岩产生横向与纵向的加固作用,最终使围岩处于三向受力状态,显著提升岩体承载能力,支护过程中形成的加固拱厚度越大,围岩稳定性往往越高。

加固拱理论考虑了锚网索支护的整体协同效应,在软岩巷道支护中应用广泛,但其局限性也较为突出:一方面,该理论仅将单根锚杆的支护效果简单叠加,以此推导支护系统的整体承载结构,未深入探究锚固岩体的力学特性及各影响因素的作用机制;另一方面,加固拱厚度的确定涉及诸多复杂因素,目前难以实现较为精确的估算。

2 锚网索支护效果的影响因素

在煤矿巷道掘进过程中,根据巷道围岩选择不同的支护方式,可使得巷道服务年限更加长久。锚网索支护在煤矿巷道掘进过程中具有减少运输量、降低工人劳动强度、节约经济成本、变被动支护为主动支护、巷道支护效果比较显著等优势。河兴煤矿近年来,积极推广锚网索支护,并取得良好的效果。

2.1 巷道围岩的强度和硬度

锚网索支护技术的核心在于保障围岩稳定性。在锚网索快速支护的作用下,围岩自身强度会持续增强,这表明围岩能够承受施工产生的巨大压力;反之,当围岩强度超过一定阈值时,其顶板移近率的变化会逐渐趋缓,这是因

围岩自身强度提升而分担部分荷载所致。比如河兴煤矿11805回风巷、北翼瓦斯治理大巷、煤层鉴定回风巷等巷道,煤层顶板较为稳定,围岩自身强度便可承载部分载荷,在巷道施工时,顶板横向采用锚网索+W型钢带进行支护,纵向施工三条M型钢带,两帮增加两条纵向钢带支护,取得了良好的支护效果。

2.2 巷道断面形状及其尺寸

巷道掘进施工过程中,围岩周围的应力会重新分布,导致断面形状因围岩应力分布的改变而变化,因此需借助锚杆支护体系调整应力分布,最大程度保障掘进过程中巷道顶板的完整性,掘进作业时,岩石在拉应力作用下易出现裂纹;随着巷道宽度持续增加,围岩顶板移近率会上升;巷道高度加大则会使两侧移近率增加,施工过程中必须充分考量这些因素。煤矿在施工时,要根据巷道的用途来选择合适的断面及尺寸以便选择更好的支护方式。河兴煤矿11805回风巷,属于回采巷道,煤层顶板较为稳定,倾角较小,在设计时煤矿选用矩形断面。考虑到4200L型钻机施钻,巷道尺寸采用 $5 \times 3\text{m}^2$,取得很好的支护效果;但北翼瓦斯治理大巷为全岩掘进,在掘进过程中有少数构造,煤矿采用半圆拱断面。该巷道主要用于瓦斯治理,巷道尺寸采用 $5 \times 3.8\text{m}^2$,支护效果较为显著。支护图布置如图1和图2:

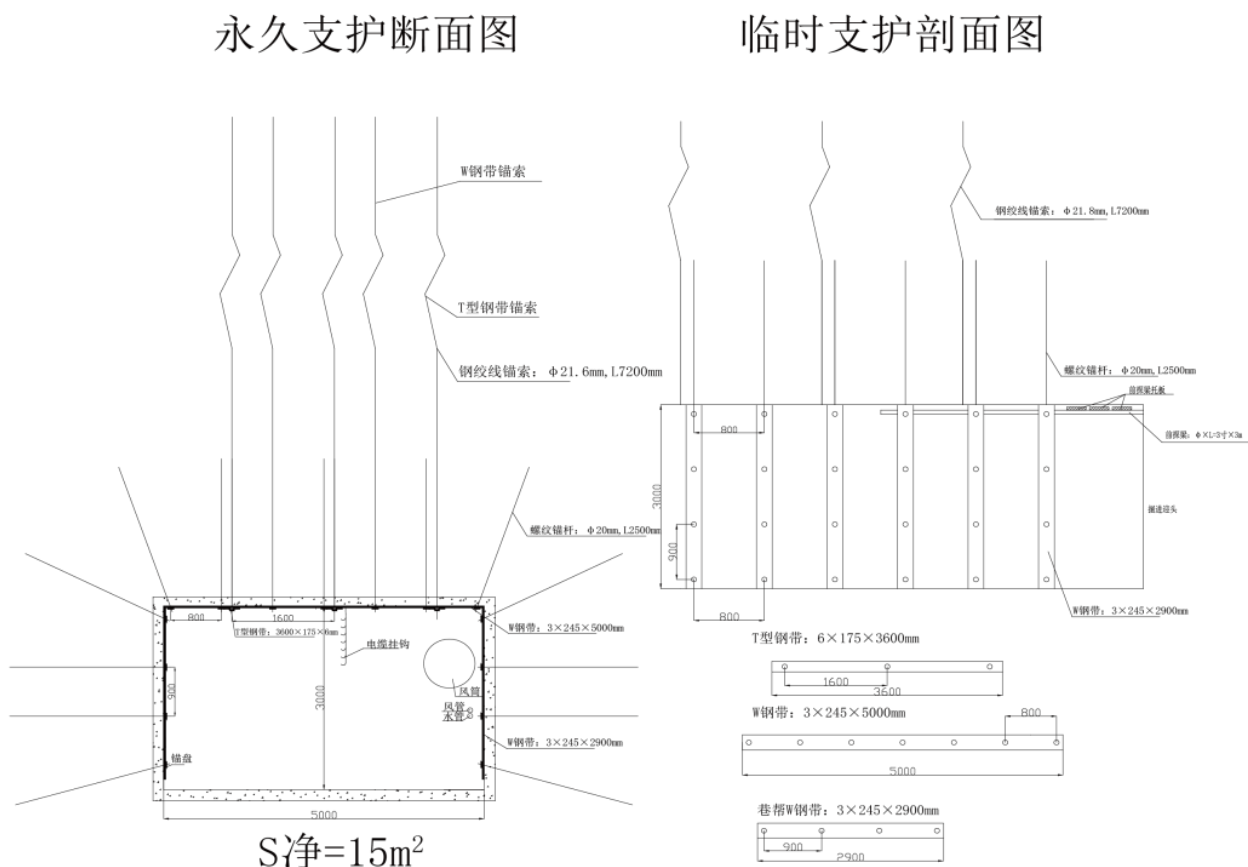


图1 永久支护断面图和临时支护剖面图

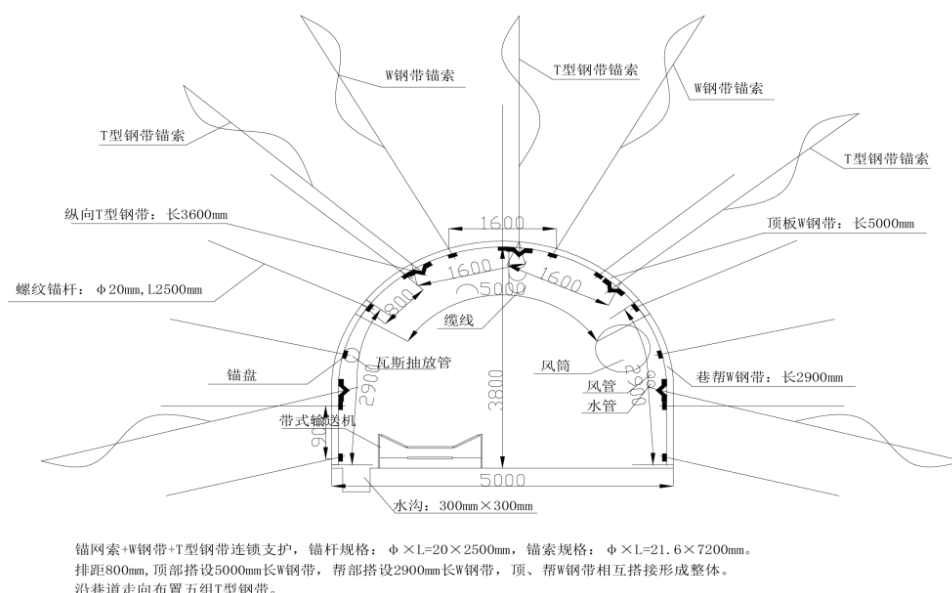


图2 支护断面图

2.3 锚杆、锚索预紧力

在巷道掘进过程中,锚杆锚网索预紧力对巷道支护效果具有决定性作用。决定锚杆、锚索预紧力的因素有支护材料的质量、锚固剂锚固岩层自身岩性、施工钻孔深度及倾角等;另外,安装过程中若搅拌时混入粉尘和水,相当于在锚固剂配料中额外添加了杂质,也会削弱锚固剂的强度,因此,安装锚杆前需先清理孔内粉尘和积水,确保锚固剂强度达标,施工锚杆时,安装前需先将锚杆孔孔壁冲洗干净,随后将规定配比的锚固剂填入孔内,再将对应型号的锚杆插入锚杆孔,确保锚杆前端顶紧树脂锚固剂,锚杆外露端头套入配套螺母;使用带专用套筒的煤电钻或风动扳手卡住螺母,启动设备带动杆体旋转钻入孔内,同步搅拌锚固剂2~5s,直至锚杆达到设计深度,静置20s后再拧紧螺母施加预紧力,最终需确保锚杆锚固力不低于100kN,螺母扭矩不小于400N·m。

3 锚网索支护参数确定及应用

煤矿在掘进过程中,根据不同断面、形状及巷道岩性,支护参数也会发生改变,下面以河兴煤矿11902回风巷为例确定支护参数。

11902回风巷巷道规格:净宽×净高=5m×3m,净断面=15m²。该巷采用锚网索+钢带支护,矩形断面。

3.1 锚杆参数计算

$$L=W \times (1.1+B/10) \quad (1)$$

式中: L——锚杆长度;

W——围岩影响系数,取1.3;

B——巷道设计跨度,取5m。

则: $L=1.3 \times (1.1+5/10)=2.08\text{m}$ 。

我矿选用2.5m长锚杆,满足设计要求。

3.1.2 锚杆间、排距的确定

$$a=\sqrt{\frac{Q}{KHR}} \quad (2)$$

式中: a——锚杆间、排距, m;

Q——锚杆设计锚固力, 100kN;

H——冒落拱高度, 取1.5m;

R——被悬吊泥岩的重力密度, 取24kN/m³;

K——安全系数, 一般取K=2;

$$a=\sqrt{\frac{100}{2 \times 1.5 \times 24}}=1.18 \text{ (m)}$$

考虑到岩石坚硬程度、安全因素及网片压接,锚杆间排距定为800×800mm。

3.1.3 锚杆直径的确定

根据公式:

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{4PK/\pi \Delta} \quad (4) \\ P &= abhr = 0.8 \times 1.1 \times 1.8 \times 24 = 38 \text{ kN/m}^2 \\ D &= \sqrt{4 \times 3800 \times 2 / 3.14 \times 2450} \\ D &= 19.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

式中: a——锚杆排距;

b——锚杆间距;

h——锚杆承载岩体高度, 取1.8m;

r——承载岩体容重, 取24kN/m³;

K——安全系数, 取2;

Δ——锚杆抗拉强度, 取24.5kN/m²。

我矿采用φ20mm的螺纹钢锚杆,满足设计要求。

3.1.4 锚杆强度验算

a、锚杆锚固力验算

根据悬吊理论:

$$F=RHS \quad (5)$$

式中: F——锚杆悬吊岩体负荷重量;

R——顶板岩石比重, 2.64t/m³;

S——支护面积, $S=0.8 \times 0.8=0.64\text{m}^2$;

H——选择锚杆锚固深度 1m。

故: $F=2.64 \times 0.64 \times 1.4=2.37$ (t/根)=24KN/根, 考虑到安全系数, 锚固力按 100 KN/根设计。

b、锚杆最大抗拉力

根据公式:

$$F=S \times Q \text{ 拉} \quad (6)$$

式中: F——锚杆最大抗拉力, KN/根;

S——锚杆断面积, $S=\pi R^2=314\text{mm}^2$;

Q 拉——锚杆抗拉强度, Q 拉=56.4kg/mm²;

故: $F=314 \times 56.4=17709.6$ (kg/根)=177.1KN/根。

通过以上计算, 选用锚杆规格: 考虑到岩石坚硬程度和安全因素, 选用 $\phi 20 \times L=2500\text{mm}$ 的螺纹钢锚杆, 锚杆间排距为 800mm $\times$ 800mm。

3.2 锚索支护参数设计

锚索长度选型, 应满足:

$$\begin{aligned} L &= L_a + L_b + L_c + L_d \\ &= 1055 + 5000 + 100 + 250 \\ &= 6405\text{mm} \end{aligned} \quad (7)$$

式中: L——锚索总长度, m;

L_a ——锚索深入到较稳定岩层的锚固长度, m;

$$\begin{aligned} L_a &\geq K \times \frac{d_1 f_a}{4 f_c} \\ &= 1.3 \times (21.8 \times 1860) / (4 \times 12.5) \\ &= 1055\text{mm} \end{aligned} \quad (8)$$

其中: K——安全系数, 取 1.3;

d_1 ——锚索直径, 21.8mm;

f_a ——锚索抗拉强度, 1860N/mm²;

f_c ——锚索与锚固剂的黏合强度, 12.5N/mm²;

L_b ——需要悬吊的不稳定岩层厚度, 5m;

L_c ——托板及锚具的厚度, 100mm;

L_d ——外露张拉长度, 250m;

设计取锚索长度为 6.405m, 11902 回风巷选用的锚索长度为 7.2m, 满足设计要求。

锚杆选择如下: 长度 2500mm, 直径 $\phi 20\text{mm}$ 。顶部锚杆间排距 800mm $\times$ 800mm, 帮部锚杆间排距 900mm $\times$ 800mm。

锚索选择如下: 长度 7.2m, 直径 $\phi 21.8\text{mm}$, W 钢带锚索间排距 1600mm $\times$ 800mm, T 型钢带锚索间排距 1600mm $\times$ 1600mm。

4 锚网索支护与架棚支护相比的优势

锚网索支护对煤矿巷道快速掘进具有重要意义, 与棚式支架相比, 锚网索支护具有显著的优越性。

(1) 能明显提升巷道支护效果。锚杆(锚索)能与岩体紧密黏结, 增强岩体整体性, 对不稳定岩层起到悬吊稳固

作用, 依靠预紧力形成压缩岩梁, 抑制层状岩体离层, 增加岩层间摩擦力, 配合锚杆(锚索)自身抗剪能力, 防止岩层间相对滑动, 提升岩层承载能力, 同时改变巷道表面岩体受力状态, 从二向受力转为三向受力, 进一步提升岩体承载力。

(2) 变“被动支护”为“主动支护”。棚式支护需等围岩变形破碎后再支撑承载, 锚网索支护则通过锚固剂、杆体、托板及各类构件(或喷层), 为围岩提供初始支护强度, 与围岩协同构成支护体系, 且随围岩变形持续增大支护力。

(3) 减少巷道维修量。锚网索支护能及时加固围岩, 减少围岩变形, 防止顶板早期离层和片帮, 在一定程度上可以减少巷道维修量。

(4) 简化工作面端头及超前支护。这一支护方式能为采煤工作面快速推进、提升产量效益创造有利条件, 推进过程中可减少支架回拆次数, 提高作业工效; 掘进时还能降低物料运输强度, 节省人力投入。

(5) 消除安全隐患。传统棚架与顶板煤层间若留空隙, 易引发煤体自燃; 大断面开切眼安装/回撤棚架、工作面顺槽回撤支架时, 还可能出现大面积冒落或伤亡事故, 采用锚网索支护可有效规避这些问题。

5 结论

综上所述, 煤炭企业要确保自己的长期稳定发展, 就必须加强对矿井掘进巷道建设的关注, 使其质量得到全方位的提高, 确保施工的安全, 从而达到安全支护的目的。有关矿井要对其进行有效支护, 就必须对锚杆支护技术进行科学安排, 以保证其高效地进行。采用锚杆支护技术, 能够提高围岩的稳定性, 保证巷道工程顺利实施。因此, 在运用该方法时, 必须要确定其使用的关键点, 并提出相应的措施, 以增强掘进巷道承载力, 保障矿井的安全、高效地生产, 促进煤炭工业的可持续发展。

[参考文献]

- [1]梁路,刘庚,于超.煤矿快速掘进中的锚杆支护技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2025(3):8-10.
- [2]张晋.煤矿快速掘进顶板稳定性高性能锚杆支护的工业性试验[J].机械管理开发,2022,37(11):112-114.
- [3]弓艳武.煤矿快速掘进技术中锚杆支护研究[J].矿业装备,2022(3):6-7.
- [4]高飞.煤矿快速掘进技术中锚杆支护影响因素及方案设计[J].当代化工研究,2022(10):113-115.
- [5]张建勋.锚杆支护半煤岩巷快速掘进技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2022(9):21-23.
- [6]邵朱军,孙柱.高庄煤矿半煤岩巷快速掘进锚杆支护参数优化[J].能源与节能,2021(9):19-21.

作者简介: 王保洪(1988.11—), 男, 毕业院校(全日制: 云南能源职业技术学院, 函授武汉理工大学), 所学专业: 煤矿开采工程, 当前就单位: 云南煤炭产业集团东源恒鼎煤业有限公司河兴煤矿, 职务: 矿长助理, 职称级别: 助理工程师。