

困难复杂条件下的煤巷锚杆支护

Coal roadway bolting under difficult and complex conditions

侯朝炯¹, 柏建彪¹, 张 农¹, 李海燕²

(1. 中国矿业大学 矿压所, 江苏 徐州 221008; 2. 新汶矿务局 科技处, 山东 新泰 271200)

摘 要: 针对各种困难复杂条件下煤巷围岩的力学特点和生产地质条件, 提出了采用锚杆支护的基本准则和方法, 必要时辅以锚索加强与注浆加固围岩。在两个工程应用中, 取得了显著的技术经济效益。

关键词: 煤巷; 锚杆支护; 高强度; 锚索; 注浆加固

中图分类号: TD 353

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2001)01-0084-05

作者简介: 侯朝炯, 男, 1933年生, 中国矿业大学教授、博士生导师, 主要从事岩石力学、巷道支护、开采方法的教学和科研工作。

HOU Chao-jiong¹, BAI Jian-biao¹, ZHANG Nong¹, LI Hai-yan²

(1. Institute of Strata Mechanics, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Scientific and Technical Office, Xinwen Coal Mine Bureau, Xintai 271200, China)

Abstract: This paper puts forward the basic criterion and methods for bolting according to the geological condition and mechanical properties of rock surrounding coal roadway under various difficult and complex conditions. If necessary, the anchorage cable and grouting can be taken as auxiliary measure to reinforce the surrounding rocks. The obvious technical and economical effects have been obtained in two engineering projects.

Key words: coal roadway; bolting; high strength; anchorage cable; grouting reinforcement

1 前 言^{*}

锚杆具有主动支护、有效强化围岩强度和保持围岩稳定、施工简单、成本较低、安全可靠、改善作业环境等优点, 现已成为世界各国巷道支护的一种主要形式。煤巷支护与岩巷、其它地下工程支护相比, 有以下特殊性和困难: ①围岩松软, 两帮煤的单轴抗压强度很低; ②采深大、构造复杂、受强烈采动影响, 地应力很高; ③围岩变形强烈, 一般为岩巷的几倍至几十倍; ④巷道服务时间短, 支护结构造价必须低廉。因此, 煤巷锚杆支护是一种不同于岩巷及其它地下工程的特殊支护, 它不采用锚喷网, 一般为锚网、锚梁或锚梁网组合支护。

我国煤巷采用原煤炭工业部颁布的《缓倾斜、倾斜煤层回采巷道围岩稳定性分类方案》, 将回采巷道围岩稳定性分为非常稳定(I类)、稳定(II类)、中等稳定(III类)、不稳定(IV类)及极不稳定(V类)5类。每年新掘巷道总长度中80%的煤巷, 1998年锚杆支护所占比重仅20.14%, 而且主要使用在I, II, III类巷道中。研究和发 展困难复杂的IV, V类巷道的煤巷锚杆支护既有重要的理论价值, 又将对迅速提高锚杆支护在煤巷支护中所占的比重起重要作用。

困难复杂条件下的IV, V类巷道围岩一般比较松软破碎、地应力大、受采动影响强烈, 因而巷道变形速度快, 变形量很大, 维护困难。近年来, 我们对这类煤巷锚杆支护进行了大量的研究工作, 在理论和技术上

都有了新的突破, 并在全国推广。巷道类型有: ①软岩巷道; ②窄煤柱沿空掘巷; ③深井巷道; ④受采动强烈影响巷道; ⑤围岩破碎巷道; ⑥强烈底鼓巷道。

2 支护的基本准则和方法

2.1 高强度、超高强度全长树脂锚固锚杆支护系统的应用

端锚普通锚杆锚固力小, 约束围岩变形能力差, 因而顶板离层、位移量大, 甚至发生冒顶事故。理论和实践均证明, 高强度、超高强度全长树脂锚固锚杆支护系统维护顶板是行之有效的^[1]。它包含以下内容:

(1) 改变了我国长期使用锚固力仅有几十千牛的Q235低强度 $\phi 14 \sim 18$ mm圆钢锚杆的落后状态, 成功地应用了20MnSi建筑螺纹钢和左旋螺纹钢为材料的 $\phi 18 \sim 22$ mm的高强、超高强锚杆。对锚杆尾端螺纹部分热处理的高强锚杆, 极限载荷137~216 kN; 对整根锚杆强化热处理的超高强锚杆, 极限载荷206~307 kN。锚杆延伸率均在17%以上。此外, 锚杆螺母由锚杆钻机拧紧, 初锚力可达15~20 kN, 用掘锚机的液压钻机拧紧时可达40~50 kN, 有效地控制围岩早期离层。根据巷道围岩强度强化理论观点, 锚杆锚固力越高, 锚固体极限强度强化系数和残余强度强化系数越大, 锚固体的力学性能越能得到更好地改善, 能够更好地控制

* 基金项目: 博士学科点基金资助项目(1999029008)

收稿日期: 2000-03-20

围岩变形。

(2) 一般采用全长树脂锚固。由于锚杆支护系统刚度增大, 顶板变形量显著减小, 同等条件下全长锚固时围岩变形量仅为端头锚固时的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{2}$ 。同时全长锚固锚杆受力后中部轴力最大, 两端最小, 因而有利于保持顶板的完整性。如果顶板条件较好, 也可以采用加长锚固, 锚固长度一般为 1m 左右。

(3) 为了使锚杆形成整体, 保持顶板的完整, 防止局部围岩冒落, 常采用 W 钢带或钢筋梯、金属网或塑料网, 与锚杆配套使用, 形成完善的支护系统。

2.2 加长锚固可伸长增强锚杆的应用

由于煤帮最为松软, 两帮变形量大于顶板下沉量, 特别是窄煤柱护巷时更为显著。因此, 锚杆应具有一定的伸长量, 采用杆体可伸长增强锚杆是必要的。材料可用 Q235, 直径选 16 mm、18 mm, 也可用 20MnSi 螺纹钢。杆体可伸长增强锚杆是普通锚杆尾部螺纹部分强化热处理而成, 使尾部螺纹部分的强度大于杆体强度, 这样既使得杆体的延伸性能得到充分发挥, 又提高了锚杆的整体强度。用 Q235 制成的 $\phi 16$ mm 杆体可伸长增强锚杆和同材料同直径的普通锚杆比较, 极限载荷从 66.6 kN 提高到了 89 kN, 延伸量从 30~40 mm 提高到 260~330 mm。为保证帮锚杆具有一定的锚固力, 锚固长度 1m 左右。为控制片帮, 可使用钢筋梯、网等。

2.3 加固巷道帮、角控制底鼓

文献[2, 3]对加固巷道帮、角控制底鼓进行了研究。

巷道底鼓是这类巷道矿压显现的一个重要特征。严重时底鼓量占到顶底板移近量的 80% 以上, 对运输、行人造成很大的困难, 巷道断面的急剧缩小严重影响矿井通风和生产安全。

为了控制巷道底鼓, 国内外进行了大量的研究工作。主要技术措施有: 封闭型金属支架、不同形式的反拱、底板锚杆、底板注浆加固、底板卸压等。

发生底鼓的一个重要原因是在支承压力的作用下, 围岩发生不均匀的整体下沉, 煤帮下沉引起巷道底鼓。巷道角部由于应力集中造成破坏, 因而以帮、角的塑性区、破碎区为最大。图 1 是相似材料模拟试验结果。

由于煤巷两帮的下沉, 使得巷道底板承受较大的水平挤压力而引起底鼓。两帮下沉量与底鼓量近似线性关系。图 2 为黄塘岭矿煤巷两帮下沉与底鼓关系的有限元计算结果。

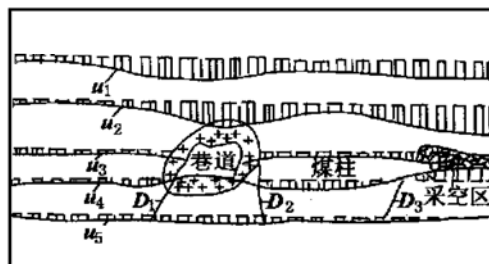
为了防治底鼓, 开掘巷道后应尽早加固围岩软弱的帮和角(主要是底角), 作用是:

(1) 减弱巷道角部应力集中程度并在两帮和底角尽快强化围岩的强度, 控制塑性区、破碎区的发展, 防止和减少因底板围岩塑性变形、粘塑性流动和破裂围岩体积膨胀造成的底鼓。

(2) 加固帮、角可提高巷道两帮围岩的自承能力, 减少两帮下沉量, 从而减少底鼓量。

加固方法可在两帮和底角打锚杆, 也可以进行围岩注浆加固。

当使用锚杆支护不能保证围岩稳定, 常采用与不同形式的金属支架联合支护。



u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 — 下沉曲线 D_1, D_2, D_3 — 破断曲线

图 1 相似材料模拟试验结果

Fig. 1 Results of simulation tests with similar material

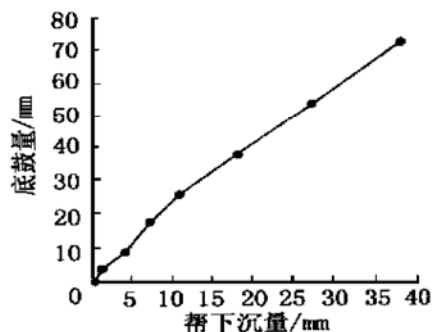


图 2 黄塘岭矿煤巷两帮下沉与底鼓的关系

Fig. 2 Relationship between settlement of roadway sides and heave of floor in Huangtangling Mine

3 锚索加强与注浆加固围岩

大断面、地质破坏地段、直接顶软弱且较厚、高地应力、综放沿空巷道等处可用预应力小孔径锚索加强。当围岩松软破碎, 可进行注浆加固。

3.1 预应力小孔径锚索加强

小孔径预应力锚索是适用于煤巷的一种施工简单、安全可靠的支护技术。采用普通锚杆钻机打眼, 孔径 $\phi 28$ mm, 孔深 7~10 m, $\phi 15.24$ mm 单根钢绞线树脂药卷加长锚固, 承载能力可达 250 kN。该技术施工设备及工艺简单, 缩短了锚固体养护和施工时间, 实现锚索快速承载, 价格低廉, 是煤巷推广锚杆支护的一项重要保证措施。

和一般锚索支护相比, 小孔径预应力锚索有以下

特点:

①施工设备简单,用锚杆钻机打孔,不需地质钻机;②孔径 $\phi 28$ mm,钻孔及安装简单方便,速度快;③用树脂药卷锚固,可以迅速凝结、张拉而承载;④价格低廉,每套锚索 100~120 元,便于在煤巷普遍推广使用。

3.2 巷道围岩注浆加固

为了改善破碎、软弱围岩巷道锚杆支护锚固力偏低的情况和提高围岩的强度,可对巷道围岩进行注浆加固。即利用浆液充填围岩内的裂隙,将破碎的岩体固结起来。

当围岩特别破碎,裂隙十分发育,巷道随掘随冒时可采取超前注浆,一般条件采取滞后注浆。

(1) 注浆加固材料的选择

目前使用的注浆材料有化学浆液和水泥浆液两大类。化学浆液的优点是渗透性好,胶凝时间可调,主要缺点是成本高、某些化学浆液污染环境,其一般只在需快速固化的重点工程中使用。水泥浆液可分为三类:一类是普通单液水泥浆,优点是材料来源广、价格低、结石体强度高,缺点是水灰比低、易沉淀析水、结石率低、可注性差、凝结时间长且不易准确控制;二类是水泥-水玻璃双液浆,优点是结石率较高、凝结时间短且可调,缺点是结石体强度较低,如控制不好结石体经过一段时间后易松散,对工艺要求也较高;三类是我们研制的 ZKD 高水速凝材料,这种新型注浆材料的优点是速凝可调、水灰比高、流动渗透性好,在高水灰比条件下 100% 结石且不析水、固结体强度显著高于水泥固结体,见图 3。当高水材料水灰比为 1.5:1 时,10 min 即可初凝,其固结体的强度达 9.5~14 MPa,不析水,100% 结石,在有泥质、膨胀成分的围岩中注浆,不会发生泥化及膨胀等现象,渗透性能好。高水速凝材料水灰比可在 1.0:1~1.5:1 之间。

(2) 高水材料围岩注浆加固参数选择

注浆加固主要参数有:注浆时间、注浆压力、浆液扩散半径、注浆孔的布置、注浆量等。

a) 注浆时间

裂隙的发育程度是注浆难易的一个重要因素。随着巷道围岩变形的增加,围岩内的裂隙和渗透性均增大,适当的滞后时间有利于浆液的渗透。通常注浆滞后时间应在围岩变形速度减小,进入掘后稳定期时进行。

b) 注浆压力

注浆压力主要取决于围岩的渗透条件、浆液的流体力学性质及注浆渗透范围等。在煤巷中注浆,围岩很破碎时取 0.5 MPa 的注浆压力,较破碎时取 1.0 MPa

左右,裂隙较小时取 1.0~2.0 MPa,最高不超过 3 MPa。

c) 浆液扩散半径及注浆孔的布置

浆液扩散半径是确定注浆孔布置及孔深的重要依据。影响扩散半径大小的因素较多,主要取决于注浆压力、围岩力学性质、裂隙密度及开度、浆液的流体力学参数及初凝时间等。正式注浆前,先进行注浆试验,实测其扩散半径。

注浆范围一般为围岩的裂隙发育区。深部围岩裂隙不发育,浆液难以渗透,因而过深的注浆孔意义不大。煤巷围岩注浆孔深度在 2 m 左右。

注浆孔的间排距主要由浆液的扩散半径确定。两孔的孔距应保证浆液渗透范围有一定的交叉,可取 2 倍扩散半径的 0.8 倍。注浆孔排距一般在 2 m 左右。

软岩巷道注浆重点应考虑帮、角。

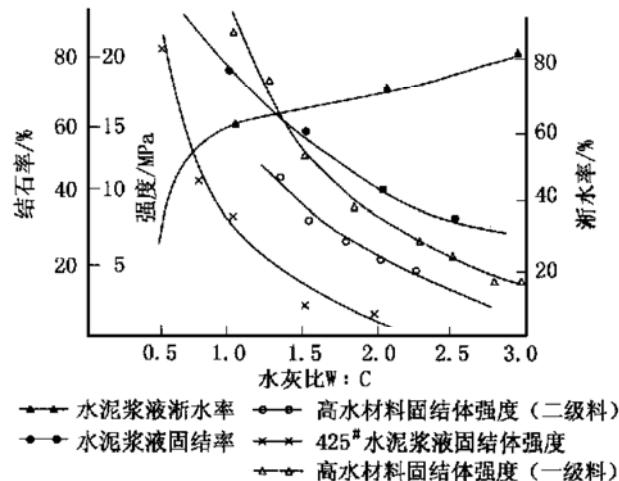


图 3 水泥浆液和高水材料的性能比较

Fig. 3 Comparison of cement paste and high water material

4 工程实例

4.1 东庞矿沿空掘巷锚杆支护

沿空掘巷由于受到侧向支承压力和超前支承压力的严重影响,围岩变形十分强烈,支护难度很大。

(1) 巷道的生产地质条件

邢台矿务局东庞煤矿 2707 工作面回风巷位于 2 号煤层中,平均煤厚 4.6 m,平均倾角 11° 。直接顶为粉砂岩,厚度 2.5 m,层理发育,质软,底部 0.4~0.7 m 之上夹有 0.1~0.15 m 的煤线;其上为 7.5 m 厚的中砂岩和 15 m 的粉砂岩;直接底为 6.5 m 的粉砂岩;其下为 2.5 m 的细砂岩。巷道为斜矩形,中高 3.5 m,宽 3.5 m,与上部 2705 采空区间护巷煤柱宽度 4 m 左右。埋深 420 m,走向长度 1050 m。

(2) 支护方案

顶板使用直径 22 mm、长 2400 mm 的超高强度螺

纹钢锚杆, 树脂药卷全长锚固。煤帮采用直径 22 mm、长 1800 mm 的高强度螺纹钢锚杆, 树脂药卷全长锚固, 锚杆布置如图 4。锚杆排距 900 mm。用金属网和 W 钢带护顶, 用塑料网护两帮。

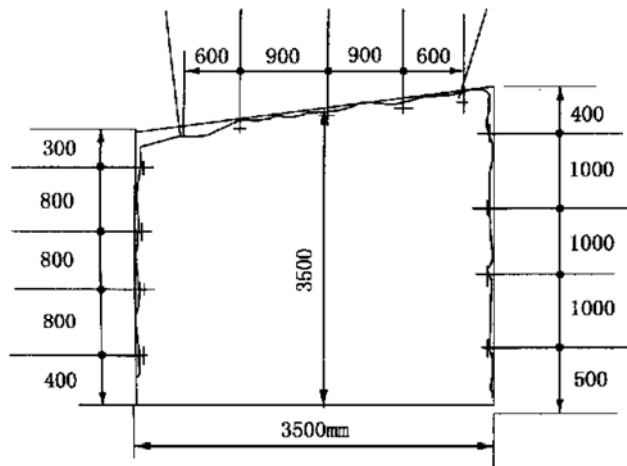


图 4 2707 工作面回风巷锚杆布置图

Fig. 4 Arrangement of bolts in return airway of working face 2707

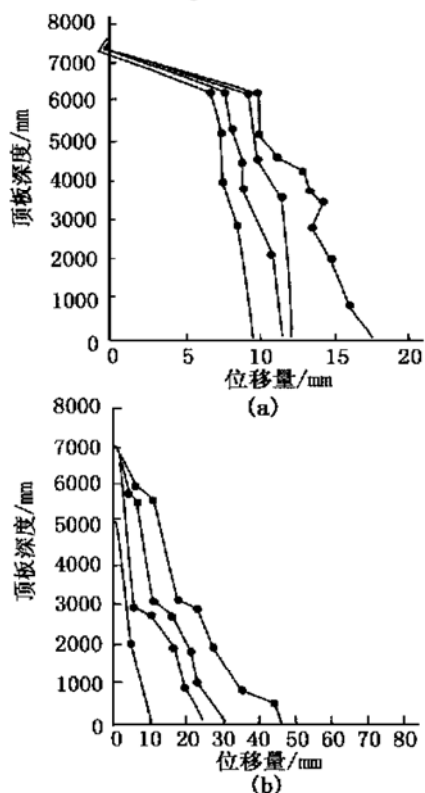


图 5 两种锚杆支护形式的巷道顶板深部位移曲线

Fig. 5 Curves of displacement in deep region of roadway roof for two types of bolting

(3) 支护效果

a) 巷道顶板深部位移

图 5(a)、(b) 分别为超高强全长锚固锚杆支护系统与普通圆钢端锚锚杆的巷道顶板深部位移观测结果。图中 4 条曲线分别为不同时期的观测结果。

由图可知, 超高强度锚杆支护时的顶板最大深部位移比普通圆钢锚杆支护时降低了 60%~70%。

b) 巷道围岩表面位移

高强度及超高强度螺纹钢锚杆支护段, 在回采期间巷道顶底板及两帮的相对移近量分别为 413, 575 mm。同一期间普通圆钢锚杆支护段分别为 1009, 1092 mm, 分别减少了 59.1% 和 47.3%。

4.2 孙村矿深井煤巷锚杆支护

(1) 巷道生产地质条件

新汶矿务局孙村煤矿 4217 区段运输平巷位于 2 层煤中, 平均煤厚 1.62 m。顶板自下而上为 1.2 m 厚的粉砂岩, 0.4 m 厚的煤, 3.3 m 厚的砂岩(夹 3 条煤线), 为典型的复合顶板; 底板为 2.8 m 厚的砂岩。埋藏深度 870 m, 最大水平应力达到 38.18 MPa, 为高地应力巷道。

(2) 支护方案

采用 3 种支护进行对比试验:

a) 高强度全长树脂锚固锚杆支护系统。顶板使用 20MnSi ϕ 18 mm、长度 2.2 m 的高强度锚杆, 全长树脂锚固, 配合使用 W 钢带和菱形金属网。两帮使用 Q235 ϕ 16 mm、长度 1.6 m 的可伸长增强锚杆, 树脂锚固长度 500 mm, 锚杆间排距均为 800 mm。巷道断面及锚杆布置见图 6。

b) 顶板用普通圆钢锚杆加锚索

巷道断面及锚杆布置见图 6, 两帮与方案 a) 相同, 顶板锚杆用 Q235 ϕ 16 mm、长度 1.8 m 的普通圆钢锚杆, 树脂药卷锚固长度 500 mm。另用小孔径锚索加强, 锚索长度 5 m, 每 2.4 m 布置 1 根。

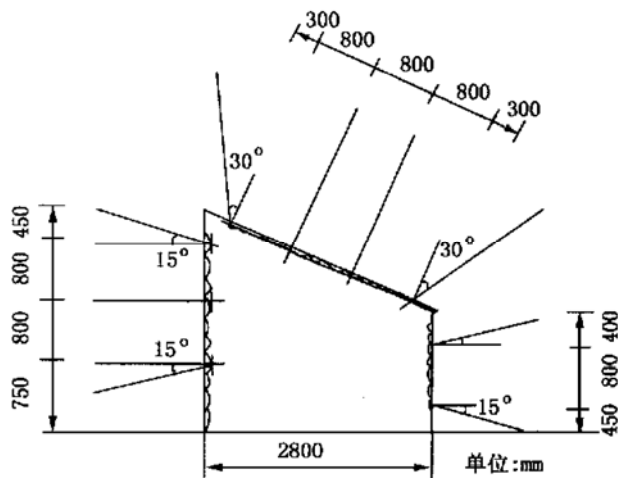


图 6 巷道断面及锚杆布置

Fig. 6 Roadway section and bolt arrangement

c) 用 11 号矿工钢刚性斜梯形支架, 水泥背板。支架棚距 0.8 m。

矿工钢刚性支架支护段围岩变形量大, 支架变形

损坏严重,巷道需要经常维修。方案 a), b) 均能有效地控制围岩变形,保持围岩的稳定,基本不需维修。两种方案均可行,而以方案 a) 更为简单方便。

(3) 支护效果

通过近 1 年时间的监测,3 种支护方式的围岩变形对比见图 7。

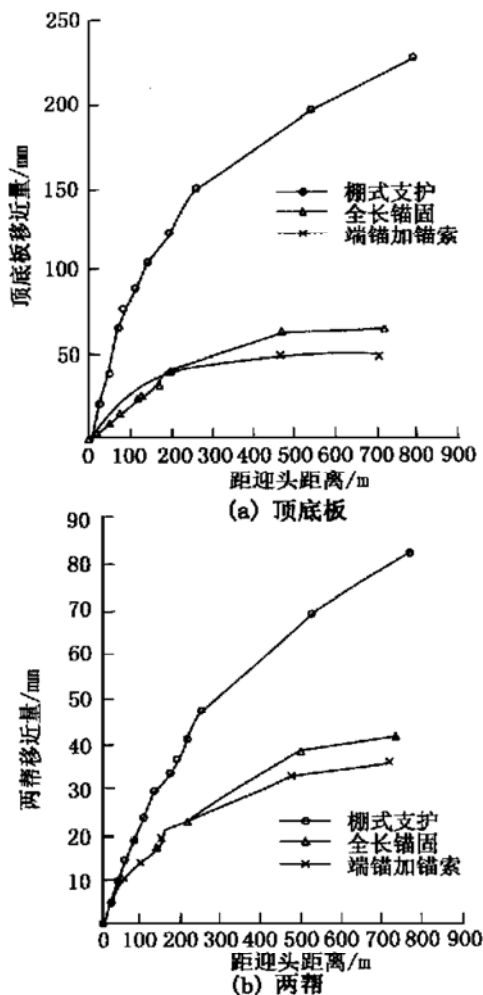


图 7 巷道围岩相对移近曲线

Fig. 7 Relative motion of rocks surrounding roadway

5 结 论

(1) 困难复杂条件下的 IV, V 类巷道包括软岩巷道、窄煤柱沿空巷道、深井巷道、受采动强烈影响巷道、围岩破碎巷道、强烈底鼓巷道等,它们一般围岩松软、地应力大,受采动强烈影响,围岩变形量很大。研究这类巷道的锚杆支护有重要的理论意义和实用价值。

(2) 这类巷道支护的基本准则和方法是:顶板宜采用高强度、超高强度全长树脂锚固锚杆支护系统;煤帮宜采用加长锚固可伸长增强锚杆;采用加固巷道帮、角控制底鼓;在特别困难时采用锚杆与其它支护的联合支护。

(3) 单纯用锚杆支护不足以保持巷道围岩的稳定时,可辅以两种加强支护:一是小孔径预应力锚索,孔径仅 28 mm,施工简单、安全可靠、价格低廉;二是巷道围岩注浆加固,当巷道围岩特别破碎,随掘随冒时可采取超前注浆,一般条件采取滞后注浆。注浆材料推荐使用 ZKD 高水速凝材料,这种材料水灰比大、渗透性能好、早强速凝、固结体强度满足需要,不渐水、100% 结石。

(4) 通过东庞矿沿空掘巷及孙村矿深井煤巷的锚杆支护实践说明高强度、超高强度树脂全长锚固锚杆支护系统适用于这类巷道的支护,技术经济效果显著。

参考文献:

- [1] 侯朝炯,郭励生,勾攀峰,等.煤巷锚杆支护[M].徐州:中国矿业大学出版社,1999.46~48;131~137.
- [2] 侯朝炯,何亚男,李 晓,等.加固巷道帮角控制底鼓的研究[J].煤炭学报,1995(3):229~234.
- [3] 马念杰,侯朝炯.回采巷道围岩整体下沉及其力学分析[J].煤炭学报,1993(2):11~18.

《四川建筑》简介

《四川建筑》由四川省建设委员会主管,四川省土木建筑学会和四川华西集团总公司联合主办的四川省建筑业唯一的综合性科技期刊。它主要报道建筑业发展动态、建筑创作成绩、建筑科技成果、建筑技术经验总结、建筑学术论文、建筑知识讲座。又是建筑界学术交流的阵地。

《四川建筑》主要栏目有:经营管理、建筑论坛、建筑设计、规划建设、工程结构、施工技术、地基基础、市政工程、工程材

料、建筑装饰、名城保护、技术信息等。该刊内容充实,以技术性、知识性、信息性和可读性为特色,两次获四川省优秀期刊奖,是建筑业工作者的良师益友。

《四川建筑》为季刊,大 16 开本,每期 72 页。

国际刊号:ISSN1007-8983 国内刊号:CN51-1133/TU

邮发代号:62-23

(《四川建筑》杂志社 供稿)