

高强锚注技术在深井软岩巷道的应用

肖长春 孔 翔

[淮南矿业集团 潘一东矿井建设项目部, 安徽 淮南 232001]

摘 要 潘一矿东井 11—2 煤轨道上山为典型的深井高地应力软岩巷道, 掘进后围岩变形量大、变形速度快、支护失效严重。研究表明, 高偏主应力、巷道布置不合理、围岩力学性质差、巷道群扰动影响及原支护方案不合理等不利因素是巷道失稳的根源。针对该类巷道特点, 采用中空注浆锚索高强锚注加固补强措施, 可改善巷道顶帮范围内围岩物理力学性质, 优化支护结构受力状态, 能够有效控制围岩损伤区、破裂碎胀区的演化发展。现场监测显示, 经过高强锚注支护后, 围岩变形速率显著降低并趋于稳定, 表明高强锚注支护能有效的控制高地应力深井软岩巷道强烈挤压大变形, 实现了锚固与注浆的高效集成。

关键词 高地应力 软岩巷道 巷道修复 锚注 中空注浆锚索

前 言

深部软岩巷道一般具有地应力大、围岩松软破碎以及围岩流变特性显著等特点。如支护措施不适当, 巷道围岩变形愈加剧烈, 最终导致巷道破坏。潘一矿东井西一 11—2 采区轨道上山埋深超过 800m, 大部分巷道沿 11—2 煤底板施工, 巷道围岩主要为砂质泥岩、中细砂岩、碳质泥岩和 11—2 煤等, 围岩强度低, 具有较强的亲水性, 且围岩经历过多次构造运动的挤压和剪切作用, 软弱破碎, 赋存较高的残余构造应力, 巷道掘出后, 围岩变形十分剧烈。针对潘一矿东井西一 11—2 采区轨道上山围岩变形量大、变形速度快、变形持续时间长的复杂工程背景, 基于高强锚注支护理论, 采用 U 型钢可缩性支架+喷浆+高强锚注加固相结合的组合控制技术, 有效解决了该类巷道的修复加固难题。

1 巷道变形失稳原因

(1) 地应力高

地应力高, 且巷道走向方向与最大主应力方向近似垂直在轨道上山原岩应力测试结果为: 原岩应力场的第 1 主应力为水平应力, 方位角 87.3° , 水平最大主应力 $28.8 \sim 35.9 \text{ MPa}$, 平均最小水平主应力和垂直应力分别为 16.33 MPa 、 19.57 MPa , 最大水平主应力为垂直应力的 $1.82 \sim 2.43$ 倍, 为最小水平主应力的 $2.18 \sim 2.66$ 倍。

11—2 采区轨道上山方位角为 7.5° , 与地应力的最大主应力方向(即水平应力方向)几乎垂直, 由矿山压力理论可知, 该类情况极不利于巷道的稳定。

开挖破坏了原始平衡状态, 导致一定范围内的围岩侧压降低, 近表围岩的侧压降为零, 卸荷幅度达到 20 MPa 以上, 巷道周向的应力增加, 引起应力集中, 二次应力场将产生高偏应力。在高偏应力的影响下, 巷道围岩形成剪切破坏, 两帮岩体剧烈变形, 底板底鼓严重。

(2) 围岩软弱破碎

由表 1 可见, 轨道上山围岩主要为泥质成分, 围岩软弱, 再加上埋深大、地应力高, 构成了围岩发生挤压大变形的条件。

表 1 西一 11—2 采区轨道上山围岩力学性质

围岩位置	顶板	底板
岩性	砂质泥岩	泥岩
厚度/m	4	1.3
单轴抗压强度 σ_c /MPa	19.4	15.8

轨道上山处断层构造复杂, 在构造地应力以及巷道开挖引起的应力重新分布的影响下, 围岩破碎严重, 进一步加剧了巷道失稳。

(3) 巷道群扰动影响

西一 11—2 采区有五条上山巷道, 布置间距均为中对中 30m, 巷道净断面均为 5m, 受近距离邻近巷道开挖扰动, 二次和三次应力场相互叠加影响, 使得巷道开挖后矿压显现剧烈, 围岩裂隙快速萌生和扩展, 不断产生强烈的挤压大变形, 底鼓、顶板下沉严重, 顶、底板移近速率高。

(4) 原始支护方案不合理

采区轨道上山的原始支护设计主要为 36U 型钢支架+锚索联合支护。锚索为直径 22mm、长 7300mm 的钢绞线, 其间排距为 1800×2400 (mm)。轨道上山围岩破碎范围较大, 由于原支护参数不合理, 巷道开挖应力重分布后, 围岩支护条件未能得到本质上的改善, 因此原支护方案支护效果差, 未能有效控制巷道围岩失稳。

综合分析表明, 高偏应力场的存在、围岩力学性质差、巷道群扰动影响和原始支护方案不合理等不利因素最终导致了巷道失稳。

2 巷道围岩失稳控制对策

2.1 支护思想

针对 11—2 煤层轨道上山高地应力且围岩破碎范围较大的工程实际, 并通过分析原始支护方案存在的问题, 现基于下列支护理念提出相应的支护控制对策:

①高阻让压, 充分利用围岩承载能力。在高地应力作用下的巷道, 不论采取何种支护方式, 围岩不可避免地要进入塑性状态。在此期间, 应及时采用高预应力支护, 形成顶板预应力承载结构, 加强顶板自稳能力, 以避免岩体继续松动破坏; 同时充分利用预应力支护结构的柔性特点, 实现高阻让压, 使围岩最大限度的发挥塑性区承载能力而又不松动破坏, 充分利用围岩自身承载能力实现自稳。

②大范围改善围岩性质, 提高整体承载结构的承载能力。对于围岩破碎范围较大的松软煤巷, 关键还在于对围岩破碎区域的控制。通过大范围注浆, 将围岩深部破碎的围岩胶结成整体, 可以在较大范围内强化岩体的力学性能, 使围岩能较好地与支护体形成承载结构, 提高整体承载结构的承载能力; 同时, 利用浆液固结修复围岩破损裂隙, 降低水对围岩强度的软化作用。

基于上述支护理念, 提出采用 36U 型钢支架+喷浆+高强中空注浆锚索相结合的组合控制技术对围岩进行支护。

2.2 关键技术

高强度中空注浆锚索直径为 22mm, 安装孔径为 30mm, 屈服强度 500MPa, 破断强度 1760MPa、延伸率达 5%。锚索索体为笼型中空结构, 8 根直径 6mm 周边丝以及自带注浆芯管 (内、外径分别为 7.5mm 和 10mm)。

高强度中空注浆锚索具有下列优点:

①索体上部为树脂药卷端锚, 下端采用特制高强度防滑锁具锁紧, 安装后能立即承载, 发挥整体支护作用;

②采用全新索体结构, 实现了小孔径、大吨位的需求, 索体结构满足高压注浆的要求, 可以实现锚注一体化;

③索体为笼型中空结构, 自带注浆芯管, 采用反向注浆方式, 不仅消除了产生气穴的可能, 保证锚固浆液充满钻孔, 而且省去了排气管和注浆管专用接头 (直接利用螺纹锁紧机构作为注浆管接头), 施工步骤大为简化;

④注浆可以安排在迎头后方一定距离将一定范围的锚索一次注完。

高强锚注支护方案详见表 2，中空注浆锚索布置如图 1 所示。

2.3 支护方案

表 2 高强锚注支护方案参数表

巷道部位	顶板	帮部	底板
数量/根	5	1/帮	4
直径/mm	22	22	22
长度/mm	9300	6000	7300
间距/mm	1600	1000	1000
排距/mm	1800	1800	1800
备注	放射状布置。	距底板 1100mm 垂直巷帮布置，允许 10°误差。	中间两根锚索垂直底板布置，两边角锚索与底板呈 15°夹角布置。底板锚注锚索施工可滞后施工。

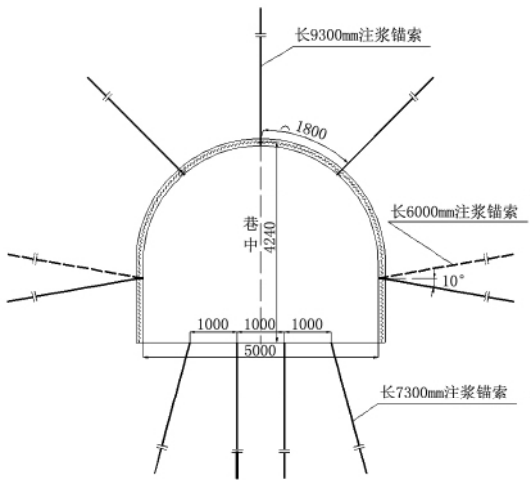
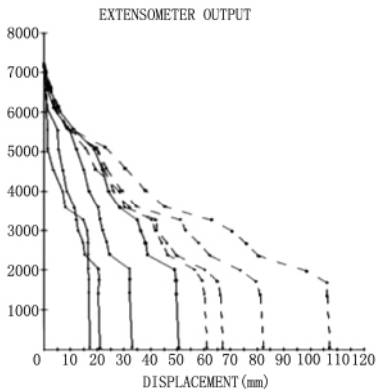


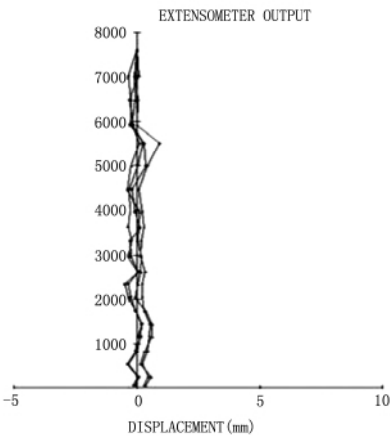
图 1 西一 11-2 采区轨道上山注浆锚索布置示意图

变形，变形范围不到 1mm，围岩达到稳定状态。

3.2 锚注前后巷道围岩结构窥视



(a) 未锚注加固支护



(b) 锚注加固支护

3 现场监测效果

3.1 锚注前后巷道深部岩体位移

在锚注加固段和未锚注加固段分别安设 1 组围岩变形观测站，采集巷道变形量数据，用于对比、验证锚注支护效果，根据观测结果及时修改锚注支护参数。每组综合观测站分别安装 3 套声波探头多点位移计，用于采集顶板下沉量及两帮位移量。锚注加固前后巷道顶板位移情况如图 2 所示：

由图 2 可以看出，原支护方案顶板最大下沉量达到 110mm，主要离层部位处于 3.5m 处和 5.5m 处，而且巷道仍未稳定，仍在继续破坏，平均每天下沉量达 5mm。经过锚注支护后，锚注范围内围岩几乎不再

图 2 顶板多点位移计观测结果

由图 5~6 可以看出，注浆前巷道围岩内裂隙十分发育，采用中空注浆锚索高强锚

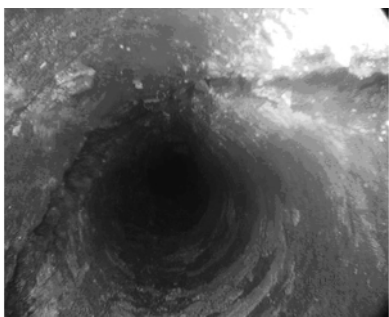


图 5 注浆前 4m 深围岩裂隙结构

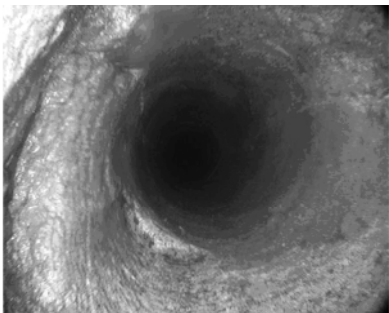


图 6 注浆后 4m 深围岩裂隙结构

注加固后, 巷道围岩内裂隙被高压浆液所充填, 宏观裂隙基本被封堵, 微观裂隙在浆液压力作用下一定程度上产生闭合, 阻止了岩体裂隙水对巷道围岩的软化, 通过高强锚注使破裂围岩裂隙胶结充填、损伤岩体的损伤修复提高围岩强度、增强围岩抗变形能力、

降低围岩破裂程度, 减小围岩渗透力, 达到了预期加固目的。

4 结 论

①深井高应力软岩巷道中采用高强度中空注浆锚索的高压注浆, 有效的控制了宏观裂隙, 优化了围岩承载结构, 提高了围岩的承载能力和强度, 阻止了裂隙水对围岩的软化作用。

②高强锚注支护技术实现了锚注一体化, 为高应力软岩巷道加固提供了一种切实可行的方法。

③高强锚注支护技术与高性能锚杆支护相结合的组合控制技术能够更好的维持巷道顶帮稳定, 降低围岩变形速率及变形量。

第一作者简介 肖长春 男, 1969 年出生, 安徽宿松人, 1992 年毕业于安徽理工大学矿建专业, 现任淮南矿业集团潘一矿东井副总工程师, 高级工程师。Tel: 13909644730; E-mail: cumtkongxiang@163.com。

(收稿日期: 2012 年 06 月 12 日, 责任编辑: 王方荣)

(上接第 29 页)

6 经济效益分析

全锚梁网修护巷道支护每排支护费用 321.61 元, 即每米支护费用 459.4 元。而采用预应力补强加固支护, 一套锚索单价 119 元, 每米巷道支护费用 85 元。与全螺纹钢等强锚杆支护系统相比, 南二采区 7 煤回风上山巷道减少维修费 374.4 元/m。

7 结 论

①采用锚、梁、网支护体系修复受动压

和深部地应力影响的巷道不能有效地控制围岩的位移变形, 而且支护成本高。

②在深部煤巷中采用预应力锚索补强加固支护是成功的, 可有效地控制巷帮和顶底板的位移, 使巷道围岩基本趋于稳定, 支护方式完全可行。

作者简介 位玉红 男, 1971 年出生, 江苏沛县人, 毕业于中国矿业大学。现在徐州矿务集团公司三河尖煤矿安监科工作, 掘进首席工程师。联系电话: 18751539238; 电子信箱: weiyuhong88888@sina.com。

(收稿日期: 2011 年 12 月 14 日, 责任编辑: 黄翔)