

软泥填充型岩溶发育区顶板控制技术

常宏伟 崔璐玮

(山西兰花科技创业股份有限公司望云煤矿分公司)

摘 要:望云煤矿 15106 设备回撤联络巷掘进中局部出现岩溶空洞伴随黄泥入侵型复合顶板,岩层的多孔、软泥结构导致顶板原位强度低、整体性差、锚杆索可锚性差,为满足单轨吊运输要求,提出大断面巷道顶板注浆加固联合锚杆索支护的控制技术,工程应用后发现,巷道围岩控制效果良好,能够满足大型设备的运输要求。

关键词:岩溶发育;软泥填充;围岩控制;注浆加固

0 引言

望云煤矿在 15 号煤层开采中经常会遇到了一种特殊的地质条件——岩溶空洞区伴随黄泥入侵型复合顶板。常见的石灰岩顶板具有厚度大、强度高、整体性好的特点,但是经过高温、高压、溶解、侵蚀等物理环境和化学环境的耦合作用下,岩层结构和力学性能弱化,形成了岩溶空洞区,同时伴随黄泥填充,形成了一种结构完整性差、结构强度低、富含软弱夹层的岩溶空洞伴随黄泥入侵型复合顶板。

根据 2022 年采掘计划安排,15106 综采工作面是今年的主采面,于 2022 年 1 月形成系统,为满足设备安装及工作面对接时的设备回撤要求,需

施工 15106 设备回撤联络巷。联络巷掘进过程中发现,局部出现岩溶空洞伴随黄泥入侵型复合顶板,岩层的多孔、架空结构导致巷道顶板原位强度低、整体性差,此种条件下锚杆(索)支护困难,若仅采用传统的架棚被动支护方法,又无法满足单轨吊运输支架等大型设备的要求,因此亟需寻求一种针对此类地质构造条件下的围岩控制新技术。

1 地质概况

望云煤矿现采 15 号煤层,位于太原组下部 K2 灰岩之下,煤层平均厚 4.86m,煤层倾角平缓,多在 $2^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 范围内。

分层厚度 (m)	柱状图	岩矿层名称及岩性描述
1.23~11.52	— —	灰黑色泥岩, 有时相变为粉砂质泥岩, 底部有时含 10号薄煤层。
0~1.12	— —	10 10号煤, 灰黑色, 光亮一半亮型, 区内不稳定, 不可采。
0.80~1.20	— —	灰黑色泥岩, 有时相变为砂质泥岩。
0.33~1.88	— —	K4 深灰色生物屑微晶灰岩。
6.20~8.80	— —	12 灰黑色泥岩, 中部夹薄层状灰岩 (K4下) 和 12号煤。
2.26~4.34	— —	K3 深灰色生物屑微晶灰岩。
8.04~10.17	— —	13 灰黑色泥岩夹粉砂质泥岩, 顶部有时含 13号薄煤层, 不可采。
5.87~11.60	— —	K2 深灰色生物屑微晶灰岩, 含腕足、海百合、蜓及螺类化石。
2.40~12.55	— —	15 15号煤, 半亮型, 条带状结构, 层状构造, 含黄铁矿结核, 全区稳定可采。
6.10~13.00	— —	K1 灰黑色泥岩, 有时相变为铝土质泥岩、炭质泥岩, 底部为灰色中薄层状中细粒岩屑石英砂岩。

图 1 煤层及顶底板岩性柱状图

15106 设备回撤联络巷为矩形断面, 断面尺寸为 5000mm×4500mm(宽×高)。顶板为 K2 灰岩, 上覆泥岩、砂岩、砂质泥岩等多种岩层。在长期高温、高压、水化、侵蚀等复杂地质应力环境的作用下, 在灰岩顶板中形成了众多不规则分布的黄泥入侵空洞层, 使之变为含多软弱夹层的岩溶区多空洞黄泥入侵复合顶板。底板为黑色泥岩、砂质泥岩, 煤层及顶

底板岩性柱状图如图 1 所示。

通过对现场进行窥视后发现(结果见图 2), 黄泥入侵空洞层的分布主要体现出以下规律特征: 黄泥入侵空洞层呈现不规则发育, 有些位置发育较深, 有些较浅。一般来说, 黄泥入侵空洞层集中分布在顶板 1.0~1.4m 和 2.3~2.5m 的范围, 厚度发育不均, 基本都不超过 1.0m。

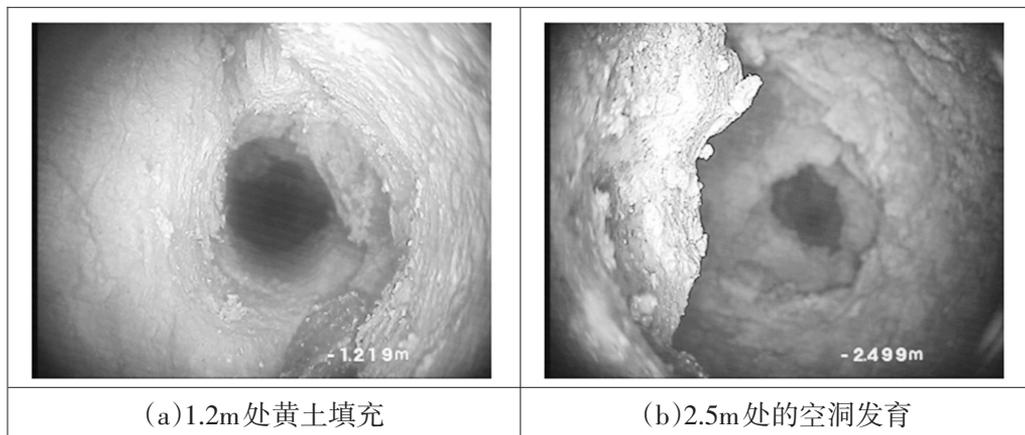


图 2 钻孔窥视结果

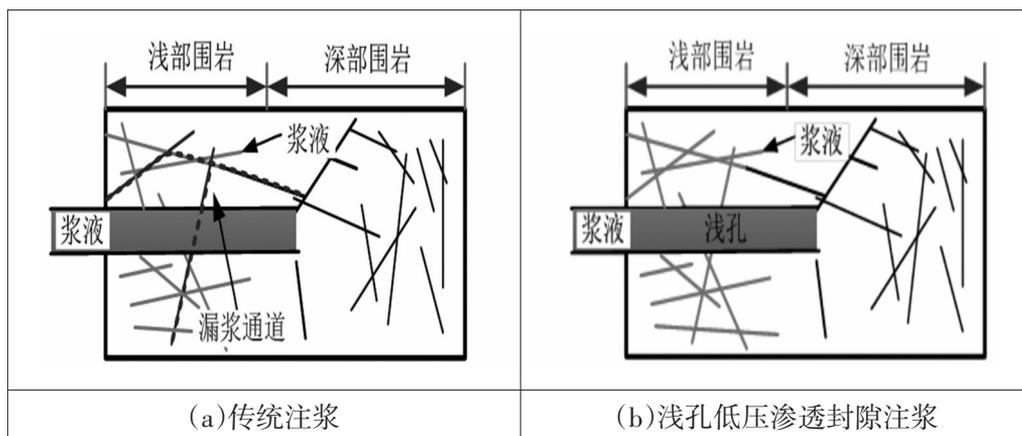


图3 注浆技术方案

2 软泥填充型岩溶发育区巷道围岩控制原则

复合顶板巷道的顶板空洞层和黄泥入侵软弱夹层对顶板围岩的结构完整性以及岩体的强度都有很大的弱化作用,在采动应力的作用下顶板岩层更容易发生破坏。因此,对于多空洞黄泥入侵复合顶板巷道围岩控制的关键,应注意以下围岩控制原则:

(1)围岩结构自稳性。巷道开挖后的应力释放仅依靠传统的被动支护(架棚、u型钢)形式无法取得想要的支护效果,支护体往往被挤压变形甚至破坏。应采取主动支护的方式,利用注浆加固、锚杆索支护等形式,使围岩内部形成梁拱耦合自稳结构。

(2)各部围岩协调控制,提高巷道各个部位(尤其是顶底角等应力集中区)的围岩稳定性,使之相互协调共同抵抗变形压力。

(3)支护体的可变形性。提高支护体的柔性,避免出现支护体的突然断裂而引起围岩的突发性破坏。

(4)支护的多层次性。加强支护深度,采用锚杆+锚索协同支护,同时联合注浆加固技术进行补强。

3 注浆加固技术

3.1 注浆加固技术方案

提出采用浅部低压渗透封隙注浆+深部高压注浆的加固方式,能够及时封闭浅部漏浆通道,充填破碎围岩裂隙和空洞,将破碎围岩胶结成连续的整体结构,显著提高破碎围岩的内聚力和抗拉强度,提高深部岩体的注浆效果。注浆加固原理见上图3。

3.2 注浆设计参数

注浆材料采用近纳米级预应力注浆复合材料(FZY-I型),粒度为 $2.0\sim 1.5\mu\text{m}$,扩散性能良好,凝固性能可控,该材料具有高流动性、高渗透性、凝固速度可控、强度高、膨胀力大、阻燃、抗静电等特性。现场施工操作简单,可用水泥基注浆设备进行注入施工。该材料按照水灰比 $0.4\sim 0.7$ 的比例配制浆液,然后用水泥基注浆设备,通过注浆钻孔注入到破碎煤岩体的裂隙内。在一定注浆压力的作用下,浆液在破碎煤岩体裂隙中流动、渗透,并通过化学反应产生分子的膨胀力和粘结力,在浆体凝固后产生二维预应力加固效果,形成的预应力加固体和凝结体的整体强度大于母岩强度 $1\sim 1.5$ 倍,对一般破碎煤体的加固强度可达 $15\sim 20\text{MPa}$ 。

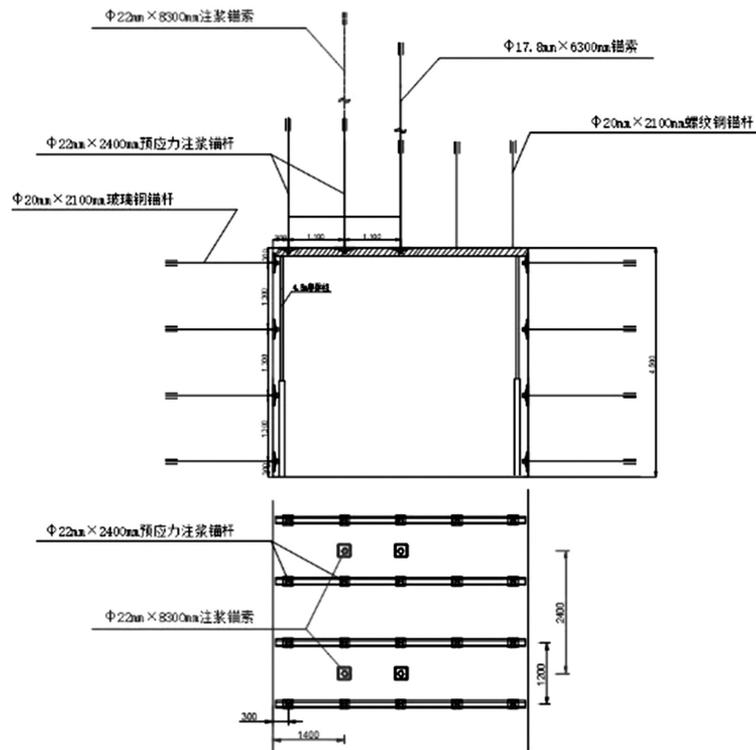


图4 具体支护参数

采用预应力注浆锚杆+注浆锚索联合加强支护,具体支护参数如图4所示。

注浆锚杆。在巷道顶板左侧区域布置预应力注浆锚杆:长度 $L=2400\text{mm}$ 、直径 $\varphi=22\text{mm}$,配套止浆塞、临时封孔盖和蝶形托盘(150mm×150mm×10mm),加长锚固,推荐锚固剂CK2335和Z2360各一支;距左帮300mm,锚杆间排距1100mm×1200mm,每个断面布置2根预应力注浆锚杆,预应力注浆锚杆如图5所示。

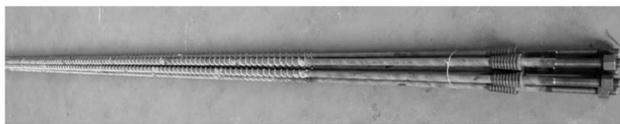


图5 注浆锚杆

根据工程类比结果,综合考虑煤矿井下施工条件、浆液固结强度及材料消耗成本等因素,确定采用微纳米级预应力注浆复合料(FZY-I型)通过注浆锚

索对顶板和两帮进行注浆,推荐水灰比为0.4~0.6。注浆压力2.0~3.0MPa。注浆方式为排间间隔注浆,即1、3、5排……先注浆,2、4、6排……后注浆。注浆泵采用ZBQ-20/3气动注浆泵,注浆压力不小于2.0MPa。

4 岩溶发育区顶板加强支护方案与参数设计

4.1 顶板锚杆支护参数

顶板每排采用 $\varphi 20 \times 2100\text{mm}$ 左旋无纵筋螺纹钢锚杆5根,锚杆排距为1000mm,间距为1100mm,每孔采用1支CKa2335药卷+2支ZK2360药卷。托盘采用150mm×150mm×10mm扁钢钢板,配套球形垫及尼龙圈。

4.2 斜拉锚索加强支护

在确保补打锚杆预紧力及锚固力均达标的基础

上,进行斜拉锚索加强支护,支护原理见图6所示。锚索规格: $\varnothing 17.8\text{mm}\times 4300\text{mm}$ 的锚索,锚索间排距 $3800\text{mm}\times 2000\text{mm}$,距巷帮 800mm ,锚索与垂直夹角 30° 向两帮倾斜,托盘为 $300\times 300\times 16\text{mm}$ 蝶形托盘,采用 $\Phi 14\text{mm}\times 4700\times 80\text{mm}$ 圆钢焊制的双筋双梁钢筋梯子梁横向连接。

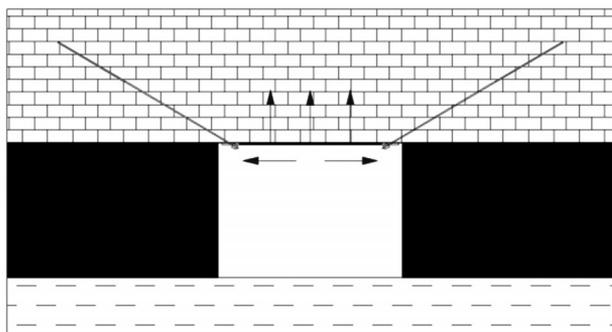


图6 斜拉锚索支护

4.3 锚固方式

由于15106设备回撤联络巷需安装单轨吊进行支架等大型设备的运输作业,因此必须确保单轨吊悬挂锚杆的锚固力达到要求。而岩溶空洞区锚固剂难以送入孔底,无法起到有效锚固,因此通过在锚杆锚索端部套入一种具有一定刚度的PVC薄管来固定锚固剂,确保锚固剂能够在钻机顶推下顺利通过空洞层送入孔底,起到有效锚固的作用。考虑到顶板岩层裂隙较多,且多为黄土填充,锚杆索锚固力很难达标,因此采用加长锚固方式,其中锚杆采用1支CK2330+2支ZK2360树脂锚固剂,锚索采用1支CK2330+3支ZK2360树脂锚固剂。

5 结语

本文针对望云煤矿15106设备回撤联络巷局部顶板出现的软泥填充型岩溶发育区锚杆索支护困难的问题,提出了注浆加固联合锚杆索加长锚固支护的顶板控制技术。在现场注浆后顶板岩溶空洞区胶

结成整体结构,提高了岩层自承能力与锚杆索的可锚基础,增强了锚杆索的主动支护能力,最终巷道整体变形较小。同时通过采用锚固剂固定套管及加长锚固长度,确保了锚杆的锚固力,提高了单轨吊的悬挂吊点安全性。

参考文献:

- [1] 吴涛. 通合煤业2101工作面破碎顶板注浆加固技术研究[J]. 煤, 2022, v.31; No.269(01):62-64.
- [2] 董书宁, 柳昭星, 王皓, 等. 导水断层破碎带注浆浆液扩散机制试验研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2022, v.39; No.160(01):174-183.
- [3] 胡少银, 刘泉声, 李世辉, 等. 裂隙岩体注浆理论研究进展及展望[J]. 煤炭科学技术, 2022, v.50; No.567(01):112-126.
- [4] 程利兴, 张辉, 姜鹏飞, 等. 软弱煤岩体扩孔锚固力学特性与试验研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2019, v.36; No.147(06):1153-1160.
- [5] 苏锋, 梁乐. 煤巷复合顶板的稳定性分析[J]. 陕西煤炭, 2019, v.38; No.186(05):26-29+34.
- [6] 邹虎. 复合顶板大跨度煤巷围岩稳定性及其控制技术[J]. 煤, 2013, v.22; No.169(09):45-47.
- [7] 邓文平. 煤矿井下岩溶黄泥带快速掘进技术应用实践[J]. 煤矿现代化, 2021, v.30; No.165(06):26-28+31.

