

深井油页岩工作面无煤柱开采技术实践

张佳华^{1,2*}, 张自政^{1,2}, 周泽³, 袁越^{1,2}

(1.湖南科技大学 南方煤矿瓦斯与顶板灾害预防控制安全生产重点实验室,湖南 湘潭 411201;

2.湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室,湖南 湘潭 411201;

3.湖南科技大学 资源环境与安全工程学院,湖南 湘潭 411201)

摘要:以海石湾矿深井油页岩工作面无煤柱开采为工程背景,研究深井厚煤层的沿空留巷围岩稳定性问题,提出了高预应力、适应沿空留巷大变形基础支护和高支撑阻力、可控制沿空留巷顶底板剧烈变形的巷内加强支护的巷内支护体系,以及高强度、快速增阻、可缩性好的巷旁充填体和良好的充填区域顶板维护的巷旁支护体系.研究成果可为类似条件下沿空留巷提供参考.

关键词:深井;厚煤层;油页岩;沿空留巷

中图分类号:TD322

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2017)03-0027-05

A Case Study of Non-Pillar Mining Face with Oil Shale Surrounding Rock in Deep Mine

Zhang Jiahua^{1,2}, Zhang Zizheng^{1,2}, Zhou Ze³, Yuan Yue^{1,2}

(1. Work Safety Key Lab on Prevention and Control of Gas and Roof Disasters for Southern Coal Mines,

Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

3. School of Resource, Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Taking non-pillar mining face with oil shale surrounding rock in Haishiwan Mine as the engineering background, the surrounding rock stability of deep mine gob-side entry retaining with thick seam is analyzed. The control theory of surrounding rock is proposed, namely the high prestressed bolting support suited to large roadway deformation, the high support resistance secondary support which can control the roof and floor deformation, the high strength roadside packing wall which has fast increasing resistance and good solubility, and outstanding roadside roof supporting techniques. Results are of references for the similar engineering specifications.

Keywords: deep well; thick coal seam; oil shale; gob-side entry retaining

无煤柱开采技术实现了往复连续开采,缓解了矿井接替紧张,同时深部沿空留巷实现了下部煤层的卸压开采,巷道维护更易^[1-3].到目前为止,我国在无煤柱开采技术方面进行了大量的工程实践,深部沿空留巷随着煤炭资源开采深度逐年增大应用越来越多^[4-6].但是,与浅部巷道相比较,深部巷道维护更为困难,矿山压力显现更加剧烈,巷道变形呈现明显的蠕变特性.因而,如何保证深部沿空巷道的稳定性是实现深部无煤柱开采的关键因素^[7-10].谢生荣等^[11]以邢东矿为工程背景,对深部沿空巷道的稳定性进行数值模拟,得到了围岩塑性区的分布特征以及主应力差的变化规律,并且求解了支护参数,为实际工程提供了

收稿日期:2017-02-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51434006;51374105);湖南科技大学博士启动基金资助项目(E51768);湖南省教育厅科研资助项目(15C0551)

*通信作者,E-mail:1010090@hnust.edu.cn

参考价值.武书理和武泉林^[12]针对深部沿空巷道的稳定性对不同的煤柱宽度进行了数值模拟,得到了护巷煤柱宽度以及锚杆支护参数,并且将支护参数应用于实际工程,效果良好.李伟和冯增强^[13]针对软弱围岩分析其受力状态,提出深部沿空巷道耦合支护方案,并且有效地控制了围岩的稳定性.焦积润^[14]对深部沿空巷道的稳定性进行数值模拟,得到了塑性区的变化特征,讨论了充填墙体的宽度,并且通过实际案例验证了计算结果的正确性.上述研究均对深部沿空巷道的稳定性进行了分析,但只是得到了支护参数,而并没有提出相应的围岩控制理论.因此,本文以海石湾矿深井油页岩工作面无煤柱开采为工程背景,针对深井厚煤层的沿空留巷围岩稳定性问题,提出了围岩控制理论,为实际工程提供参考价值.

1 地质概况

海石湾煤矿 6113 工作面走向长 1 040 m,倾向长 180 m,主采煤一层为油页岩,平均采高 4.0 m,普氏系数为 3.46~5.03.6113 工作面 2 顺槽均布置在煤一层中,工作面平均倾角 10°,属于高瓦斯煤层.6113 工作面顶底板岩性见表 1.工作面通风方式采用两进一回的“Y”型通风方式,两进:6113 下运输顺槽,6113 上进风顺槽;一回:6114 下运输顺槽.工作面采用走向长壁法布置工作面,“三八”制作业,两采一准,一次采全高综合机械化采煤.工作面呈后退式开采,全部垮落法管理顶板.

沿空留巷选择 6113 运输顺槽为试验巷道,6113 运输顺槽断面为矩形,净宽为 4.5 m,净高不低于 3.5 m,采用锚网索支护,巷道支护设计考虑后期沿空留巷的支护强度需要.顶板锚杆采用 $\Phi 22$ mm \times 2 400 mm 的 HRB335 高强度预应力让压锚杆,锚杆间排距为 700 mm \times 700 mm,每排 7 根;锚索采用 $\Phi 18.9$ mm \times 8 000 mm 的钢绞线锚索,间排距为 2 000 mm \times 700 mm,每排 2 根;帮锚杆选用 $\Phi 22$ mm \times 2 400 mm 的 HRB335 高强度预应力让压锚杆,间排距为 750 mm \times 700 mm,每排 5 根.

表 1 煤一层顶底板岩性

岩体	厚度/m	特征
粉砂岩	10.00	灰黑色或灰色,含大量植物化石,属极弱含水层
泥灰岩	6.00	黑色或黑绿色,致密坚硬,层位厚度稳定,为标志层,属不含水层
油页岩(煤一层)	4.00	褐黑色,致密块状,比重大,含油较高,为腐泥煤,属弱含水层
油页岩	3.95	黑色或黑棕色,条痕棕色,呈页片状,属弱含水层
煤 B1 层	0.54	黑色,以亮、镜煤为主,块状,属弱含水层
粉砂岩	4.90	灰色,含丰富的植物化石,属弱含水层
煤 B2 层	0.44	黑色,以亮、镜煤为主,块状
粉砂岩	4.90	灰色,含丰富的植物化石,属弱含水层
煤 B3 层	0.27	黑色,以亮、镜煤为主,块状,属弱含水层
粉砂岩	1.00	灰黑色,属弱含水层
煤二层	19.61	黑色,以亮、镜煤为主,属主要煤层,属不含水层

2 深部厚煤层沿空留巷围岩控制原理

2.1 深部厚煤层沿空留巷矿压特征

在进行开采时,深部厚煤层工作面矿压显现强烈,超前支承应力集中系数和侧向支承应力集中系数较浅部和薄煤层工作面大,支承应力影响范围增大,因而深部厚煤层沿空留巷围岩变形持续较长;深部巷道由于高地应力的影响,巷道围岩呈现明显的蠕变特征,尤其是沿空留巷这类大变形巷道,其巷道底鼓持续时间更为明显;由于受侧向支承应力的影响,沿空留巷巷道底鼓量较实煤体巷道大.

2.2 深部厚煤层沿空留巷围岩控制原理

巷内支护、巷旁支护是决定深部厚煤层沿空留巷稳定性的 2 大因素,所以应从这 2 个方面来考虑,实现深部厚煤层沿空留巷围岩稳定.

2.2.1 巷内支护

合理的沿空留巷巷内支护设计应在巷道预掘期间考虑其矿压显现特征,沿空留巷巷内支护主要包括巷内基本支护和巷内加强支护.

1) 高阻让压支护,适应深部沿空留巷围岩长时大变形.深部沿空留巷在开采过程中,巷道围岩变形量较大,变形速度快,对巷内支护结构提出了较高要求.深部沿空留巷巷内支护结构不仅应具有较大的承载力,同时还应具有支护刚度和强度.因此,在深部矿井中经常采用高强度锚杆进行沿空留巷支护,同时,由

于深部巷道变形有明显的时间效应,故要求支护锚杆能够适应并控制围岩的长时大变形。

2) 高强底角锚杆,控制沿空留巷底鼓.沿空巷道上覆顶板的回转下沉决定了沿空巷道顶板的下沉量,随着顶板应力的转移,沿空留巷底鼓明显,底板采用高强度螺纹钢锚杆,增强底板抗剪切能力,抑制两帮向巷内底鼓的挤压运动,减小巷道底鼓。

2.2.2 巷旁支护

1) 高强度、快速增阻、具有塑性特性的巷旁充填体.在充填体承载之前,基本顶岩层回转下沉,巷旁充填体难以阻止巷道上覆顶板的回转下沉;充填体开始承载之后,在基本顶、老顶、充填体及底板的相互作用下,基本顶回转触矸形成具有自稳能力的承载结构.因而巷旁充填体要具有快速增阻的特性.同时,沿空留巷服务时间较长,巷道旁边的充填体应具有一定的塑性特性,防止充填体被压垮,以实现控顶载荷向侧向煤体及采空区冒落矸石转移.同时巷旁充填体具有高强度可以切落采空区侧上方顶板以减小顶板回转下沉带来的压力。

2) 良好的顶板维护和临时支护.当沿空留巷支护不当时,巷道变形严重,无法提供足够的操作空间,且施工人员面临较大的安全问题.因此,在不同的顶板条件下往往需要采用针对性的临时支护.临时支护的主要作用是保证施工人员安全,防止具有冒落倾向的矸石落入巷道内.同时,当巷道顶板较坚硬时,巷旁支护很难切落顶板,此时可以在充填墙体的上方设置锚索,阻止顶板下沉,从而减小充填墙体的压力。

3 工程实践

3.1 沿空留巷支护设计

3.1.1 巷内支护

为了提高实煤体帮承载能力,现对实煤体帮进行锚索补强支护.补强方案:在实煤体帮提前补打2根锚索,锚索规格为 $\Phi 18.9 \text{ mm} \times 5\ 300 \text{ mm}$ 的7股钢绞线,锚索间排距为 $1\ 500 \text{ mm} \times 1\ 400 \text{ mm}$;在顶板靠充填体侧 200 mm 提前补打1根锚索,锚索规格为 $\Phi 18.9 \text{ mm} \times 8\ 300 \text{ mm}$ 的7股钢绞线,排距 $1\ 400 \text{ mm}$.每根锚索采用1支K2335,2支Z2360树脂药卷锚固.每根锚索配用1块规格为 $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ 的碟形托盘,配套锁具。

在巷道两侧底角分别补打2根底板锚杆.锚杆规格为 $\Phi 22 \text{ mm} \times 2\ 400 \text{ mm}$ 左旋无纵筋螺纹钢锚杆,距实煤体帮和充填体帮 200 mm 倾斜 45° 分别打设1根锚杆,排间距为 700 mm ,并且采用K2335和Z2360树脂药卷将锚杆进行锚固.每根锚杆配套使用树脂减摩垫圈、金属垫圈、让压管、高强螺帽、规格为 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 碟型钢板托盘.加强支护见图1。

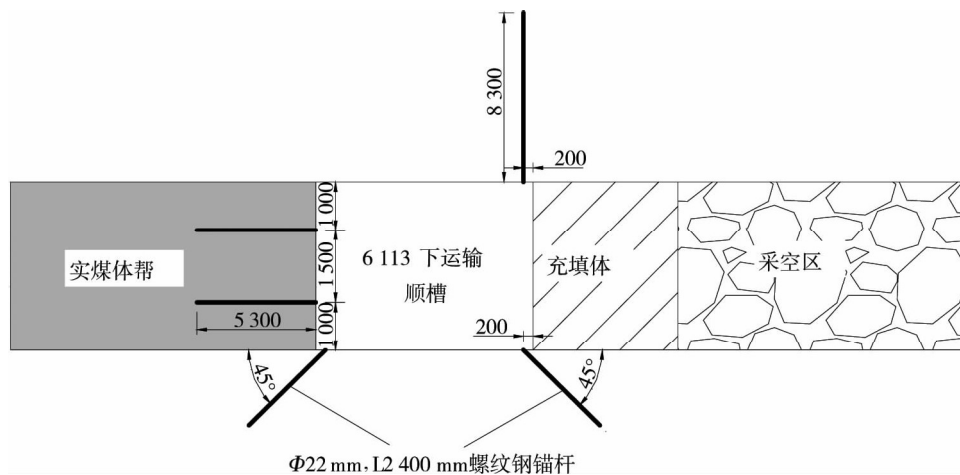


图1 加强支护

3.1.2 巷道内加强支护

采用单体液压支柱并且配置长钢梁对工作面后方 150 m 的范围进行加强支护,其参数:单体液压支柱配套铁鞋,柱距为 1.1 m ,排距为 1.0 m ,每排布置3根单体液压支护.巷道内加强支护如图2所示。

3.1.3 充填区域巷旁顶板支护

为了增强巷旁支护效果,在充填区域上方补打2根锚索,锚索规格为 $\Phi 18.9 \text{ mm} \times 5.3 \text{ m}$,锚索的间排距为 $1.5 \text{ m} \times 1.6 \text{ m}$,如图3所示,图中最外侧1根锚索为巷内加强支护锚索。

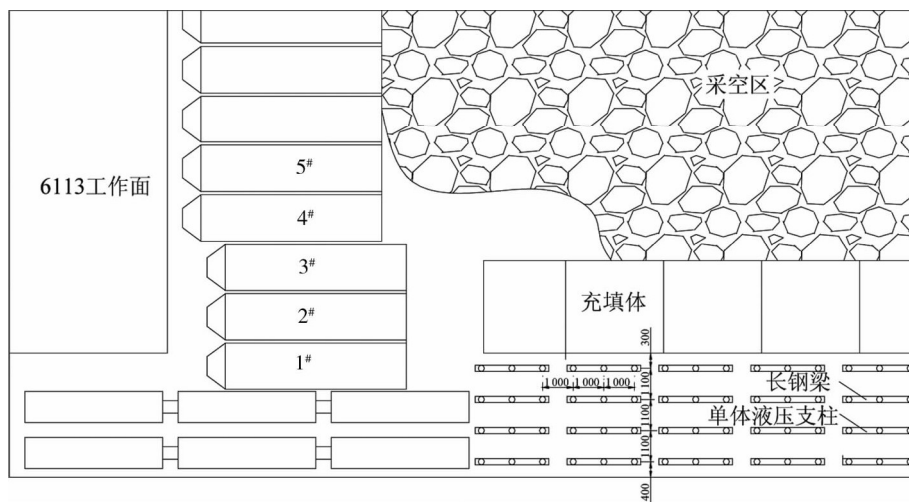


图2 留巷段加强支护

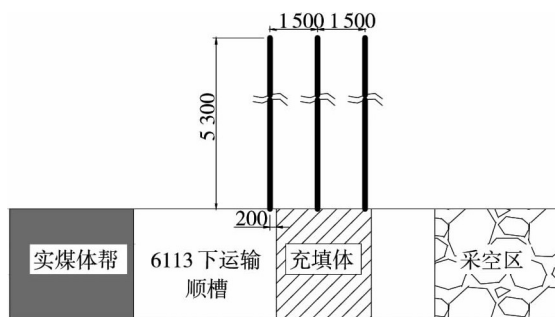


图3 充填区顶板锚索加固

3.1.4 巷旁支护

1) 巷旁充填材料

目前,沿空留巷的充填材料一般采用混凝土、膏体或高水速凝等材料.高水速凝材料水含量比较大,其基料为硫铝酸盐水泥熟料混入石灰、石膏、悬浮剂、复合缓凝剂、复合速凝剂等配制而成.高水速凝材料基料来源比较广泛,成本较低、强度较大,最终强度可达到 30 MPa.可以说高水速凝材料是沿空留巷一种理想的充填材料.

2) 锚固充填体

采用对拉锚杆对巷旁充填体进行锚固,加固充填体,以用来提高充填体轴向以及横向的抵抗变形能力.充填体设计净宽度为 3 m,对拉锚杆布置形式如图 4 所示,其排距为 700 mm(700 mm.对拉锚杆直径为 $\Phi 22$ mm,锚杆与锚杆之间采用 $\Phi 14$ mm 圆钢焊制的 H 型钢筋梯子梁连接.如图 4 所示,钢筋网联网丝为 12# 铁丝双股联网,且钢筋网搭接部分应不小于 80 mm.

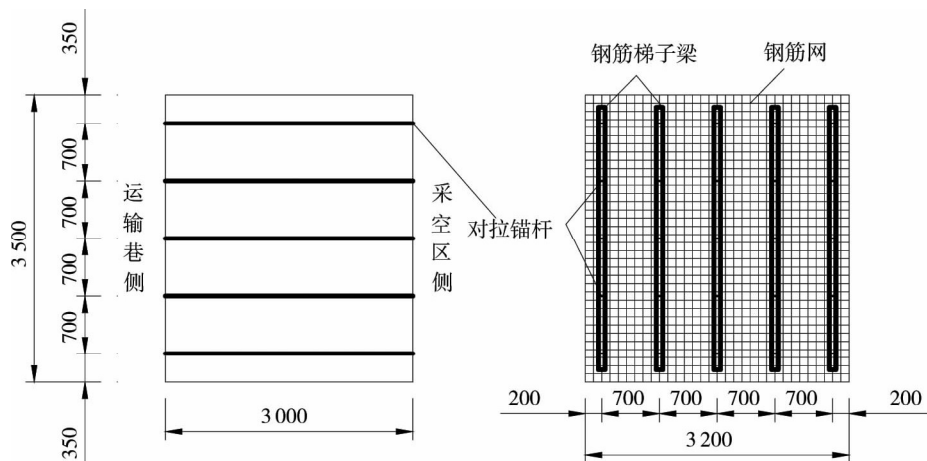


图4 充填体加固

3) 巷旁充填施工

基于6113运输顺槽沿空留巷的情况,选取高水速凝材料的水灰比为1.5 : 1.0,泵送巷旁充填方式,以及随采随充的构筑方式.

3.2 巷道围岩变形监测

在6113工作面沿空留巷期间,在巷道表面设置位移测站.图5为表面位移监测曲线.从监测曲线可以看出,影响范围在工作面后方80 m,充填体侧顶板下沉量大于实煤体侧顶板下沉量,这与顶板回转下沉相一致.此期间,巷道底鼓最大在800 mm,底鼓量较大,经过拉底之后巷道底鼓量增加不明显,说明巷道围岩变形得到了有效的控制.

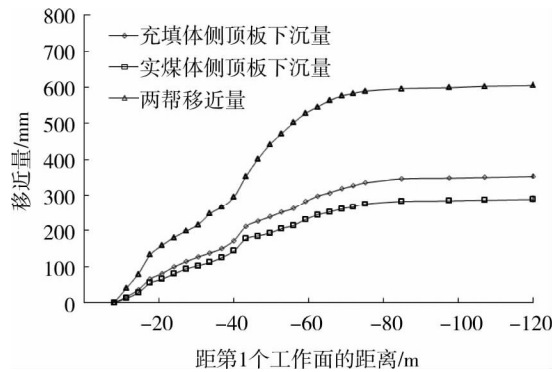


图5 表面位移监测曲线

4 结论

1) 深部巷道由于高地应力的影响,沿空留巷巷道围岩呈现明显的蠕变特征,其巷道底鼓持续时间更为明显;由于受侧向支承应力的影响,沿空留巷巷道底鼓量较实煤体巷道大.

2) 巷内支护以及巷旁支护是深井厚煤层沿空留巷围岩稳定性的关键.

3) 采用高预应力、适应巷内大变形的锚网索及单体液压支护配合长钢梁的高支撑阻力的巷内加强支护组成的巷内支护体系与高水速凝材料浇筑的巷旁充填墙体组成的巷旁支护体系能够对深部沿空留巷围岩稳定性进行控制.

参考文献:

- [1] 柏建彪,周华强,侯朝炯,等.沿空留巷巷旁支护技术的发展[J].中国矿业大学学报,2004,33(2):183-186.
- [2] 康红普,牛多龙,张镇,等.深部沿空留巷围岩变形特征与支护技术[J].岩石力学与工程学报,2010,29(10):1977-1987.
- [3] 陆士良.无煤柱护巷的矿压显现[M].北京:煤炭工业出版社,1982.
- [4] 华心祝.我国沿空留巷支护技术及发展现状[J].煤炭科学技术,2006,34(12):78-81.
- [5] 邓月华,唐建新,朱祥可,等.缓倾斜中厚煤层混凝土沿空留巷工业试验[J].西南交通大学学报,2011,46(3):523-528.
- [6] 孙恒虎,赵炳利.沿空留巷的理论与实践[M].北京:煤炭工业出版社,1993.
- [7] 郑西贵,白云勃.深井沿空留巷充填区顶板支护技术[J].煤矿开采,2012,17(3):42-45.
- [8] 刘坤,张晓明,李家卓,等.薄煤层坚硬顶板工作面沿空留巷技术实践[J].煤炭科学技术,2011,39(4):17-20.
- [9] 袁亮.深井巷道围岩控制理论及淮南矿区工程实践[M].北京:煤炭工业出版社,2006.
- [10] 郭统一,张自政,冯平海,等.厚煤层坚硬顶板工作面沿空留巷技术[J].煤矿安全,2014,45(9):72-74.
- [11] 谢生荣,李世俊,黄肖,等.深部沿空巷道围岩主应力差演化规律与控制[J].煤炭学报,2015,40(10):2355-2360.
- [12] 武书理,武泉林.深井沿空掘巷支护技术研究[J].现代矿业,2015(10):166-168.
- [13] 李伟,冯增强.南屯煤矿深部沿空巷道耦合支护技术[J].辽宁工程技术大学学报,2008,27(5):683-685.
- [14] 焦积润.深部沿空巷道围岩变形特征及支护技术[J].山西焦煤科技,2015(5):20-22.