

康继忠,杨建雄,神文龙,等. 强动压巷道围岩变形规律及分段控制技术研究[J]. 矿业安全与环保,2017,44(2):74-78.  
文章编号:1008-4495(2017)02-0074-05

## 技术经验

# 强动压巷道围岩变形规律及分段控制技术研究

康继忠<sup>1,2</sup>,杨建雄<sup>1</sup>,神文龙<sup>1</sup>,刘晓东<sup>1</sup>,赵志勇<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学,江苏徐州 221116; 2. 山西离柳焦煤集团有限责任公司,山西孝义 032300)

**摘要:**为解决某矿单翼开采工作面采掘接替紧张的难题,提出迎采动面掘巷技术。采用数值模拟的方法,分析了某矿4102回风平巷掘进过程中的应力分布和位移场分布规律,得出巷道掘进端头受到的强动压影响范围为距4101工作面-30~+80 m。采用分段控制技术,对巷道强动压影响段采取高强度延伸率锚杆和锚索网联合支护、高水材料加固窄煤柱帮、单体支柱和铰接顶梁加强支护顶板,有效控制了迎采巷道围岩变形,确保了工作面的正常接替和安全生产。

**关键词:**迎采动;数值模拟;动压影响范围;分段控制;加强支护

**中图分类号:**TD32 **文献标志码:**C **网络出版时间:**2017-04-11 10:11

**网络出版地址:**<http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1062.TD.20170411.1011.024.html>

## Study on Surrounding Rock Deformation Rule and Sectional Control Technology of Roadway with Strong Dynamic Pressure

KANG Jizhong<sup>1,2</sup>, YANG Jianxiong<sup>1</sup>, SHEN Wenlong<sup>1</sup>, LIU Xiaodong<sup>1</sup>, ZHAO Zhiyong<sup>1</sup>

(1. China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. Shanxi Liliu Coking Coal Group Co., Ltd., Xiaoyi 032300, China)

**Abstract:** To solve the difficult problems of mining and excavation replacing tension in one-way working face, the technology of roadway driving forward the face was proposed. The numerical calculation was used to analyze the distribution laws of the stress and the displacement field of 4102 air-return gateway in a mine in the driving process, and it was concluded that the the range affected by the strong dynamic pressure at the heading end of the gateway was -30 m to +80 m away to 4101 working face. Sectional control technology was used in the section affected by the strong dynamic pressure, including the combined support with high-strength and large-elongation bolts, cables anchors and wire mesh, the reinforcement of the narrow coal pillar with high moisture material and the roof support by using the individual props and articulated roof beams, which effectively controlled the deformation of the roadway forward the face and ensured the normal replacement and safe production of the working face.

**Keywords:** forward mining; numerical simulation; influence area by dynamic pressure; sectional control; reinforced support

某些大型煤矿为了满足掘进、回采、运输和通风

收稿日期:2016-10-26;2017-02-28 修订

基金项目:国家自然科学基金项目(51574227, 51474209);江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(KYLX16\_0559)

作者简介:康继忠(1971—),男,山西柳林人,博士研究生,高级工程师,现任山西离柳焦煤集团公司总经理,从事煤矿安全生产技术与管理工

作的基本要求,一方面需要回采巷道设计的断面面积较大,另一方面需要掘进的回采巷道数量较多,造成回采巷道、掘进和支护的工作量显著增大,使采掘接替关系更为紧张<sup>[1-4]</sup>,以致于某些煤矿不得不出现在采对掘的情况,加剧了巷道变形。针对此,国内外科技工作者在强动压巷道变形破坏机制与围岩控制方面进行了有益探索<sup>[5-10]</sup>。李文峰等<sup>[11]</sup>通过数值计算分析了迎采动工作面沿空掘巷与传统沿空掘巷在

垂直应力分布上的差异,提出了迎采巷道的围岩控制原理;文献[12-15]在分析原有巷道破坏原因的基础上结合数值计算,确定了强动压巷道的锚杆锚索支护技术。

笔者以某矿4102回风平巷为工程背景,通过数值模拟分析该巷道在迎采动面掘进过程中的动压影响范围,为分段控制技术参数的确定提供依据。

### 1 试验巷道生产地质条件

某矿主采4-1煤层东南部的剩余煤层,4-1煤层平均厚度7 m,稳定可采,煤层平均埋深260 m。该煤层结构简单,含夹矸1~3层,夹矸厚度0.19~0.46 m,岩性多为高岭石、泥岩和砂质泥岩。该煤层直接顶为K3砂岩,底板为砂质泥岩及泥岩。

该矿为单翼开采,根据现场条件,4102工作面需在4101工作面采完之前一切布置妥当,因此就要求在回采4101工作面的同时,留存一定尺寸的安全煤柱掘进4102工作面的回风平巷,提前掘出该巷道。因此4102回风平巷需要迎采动面掘进,采掘工程平面图如图1所示。

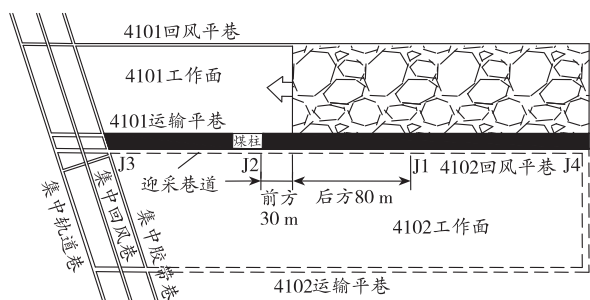


图1 采掘工程平面图

### 2 强动压巷道稳定性分析

模拟对象为某矿4102回风平巷,采用Mohr-Coulomb屈服准则,模型尺寸(长×宽×高):200 m×196 m×88 m,在顶部施加与埋深相对应的垂直应力5.75 MPa,水平侧压系数取0.8。

#### 2.1 应力分布规律

为确定邻近4101工作面采动期间对4102回风平巷围岩应力剧烈影响的范围,沿巷道轴向布置测点,根据测得的垂直应力值绘制曲线如图2所示,其中,横坐标中的“-”表示工作面前方,“+”表示工作面后方。由图2可知:当4102回风平巷与4101工作面相对推进时,4102回风平巷围岩应力在巷道掘进端头距邻近4101工作面-30 m处开始进入工作面回采动压影响范围,出现应力集中现象;在-30 ~

+70 m内,巷道围岩垂直应力先增大后减小,在60 m处达到最大值,而在70~100 m内,巷道围岩的垂直应力逐步平稳。

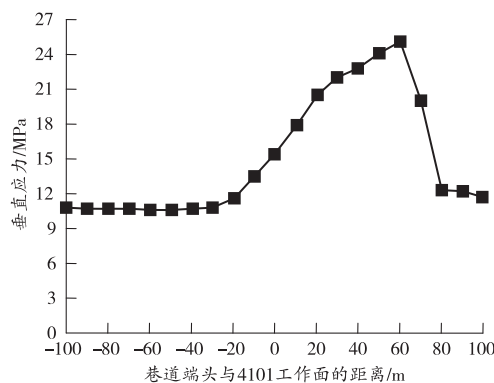
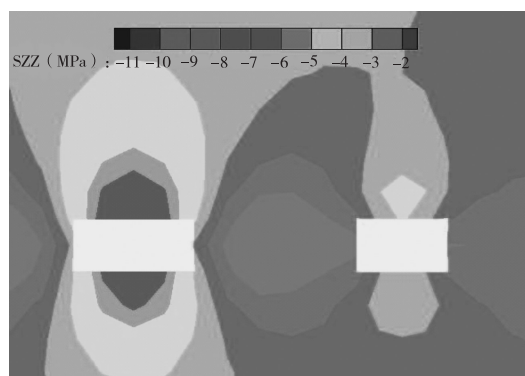


图2 4101工作面回采对试验巷道的影响范围

为研究迎采巷道在掘进过程中的围岩应力分布规律,选取邻近工作面前方30 m与后方60 m的测点断面进行分析比较,围岩垂直应力场如图3所示。



(a)工作面前方30 m



(b)工作面后方60 m

图3 巷道垂直应力场分布云图

由图3可知:邻近工作面后方巷道围岩的垂直应力集中现象比邻近工作面前方的更为突出,应力集中现象主要出现在工作面后方,同时巷道经历邻近4101工作面采动影响期间,围岩垂直应力呈现不同程度集中,顶底板应力集中程度相似,且巷道直接顶岩层均处于低应力区,并呈“拱形”分布。

### 2.2 围岩变形规律

通过在试验巷道两帮中点和顶底板中点设置测点,记录在邻近工作面回采过程中巷道围岩的位移量,如图4所示,其中横坐标“-”表示邻近工作面前方,“+”表示邻近工作面后方。

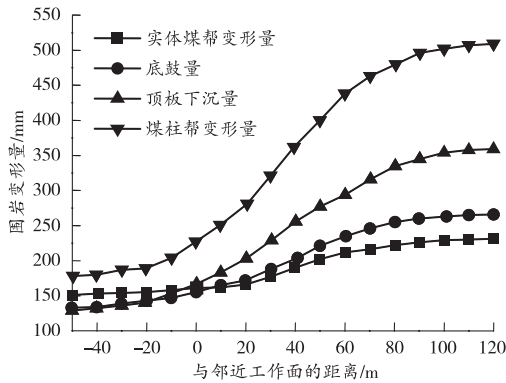


图4 巷道围岩位移曲线图

由图4可知:

1) 巷道从距邻近工作面前方 30 m 处开始进入回采动压影响范围,且巷道的围岩变形量开始呈抛物线式增长,到距邻近 4101 工作面后方 15 m 处,围岩的变形量基本增大了 1 倍。

2) 邻近工作面后方巷道围岩变形量和变形速度明显要大于邻近工作面前方的试验巷道段。同时在此后方 0~60 m 内巷道围岩变形量急剧增大,变形量增幅较大,该阶段产生的变形量为整个迎采过程中的主要来源,约占到最大变形量的 70%~80%;在此后方 60~80 m,变形量增幅明显降低,在此后方 80 m 以后逐步进入恒定变形区。

### 3 分段控制技术

根据数值模拟分析得出的巷道变形规律,巷道不同位置所处的应力环境不一样,支护要求也不同,分 J1J2 段和 J2J3、J1J4 段两段施工(见图1)。试验巷道在 4101 工作面前方 30 m 与后方 80 m 内(J1J2 段)变形较剧烈,支护应较强;在其他位置(J2J3、J1J4 段)支护较弱。

#### 3.1 J1J2 段掘巷

1) 锚杆支护参数:顶板和两帮均采用规格为  $\Phi 22$  mm $\times$ 2.4 m 的高强度大延伸率锚杆,顶锚杆间排距为 700 mm $\times$ 700 mm,帮锚杆间排距为 900 mm $\times$ 700 mm,每排锚杆均用  $\Phi 14$  mm 圆钢焊制的钢筋梯子梁连接;锚索采用  $\Phi 17.8$  mm $\times$ 7.3 m 的钢绞线,间排距为 2.4 m $\times$ 1.4 m;金属网是材质为不小于 10# 铁

丝的菱形金属网。支护断面图如图5所示。

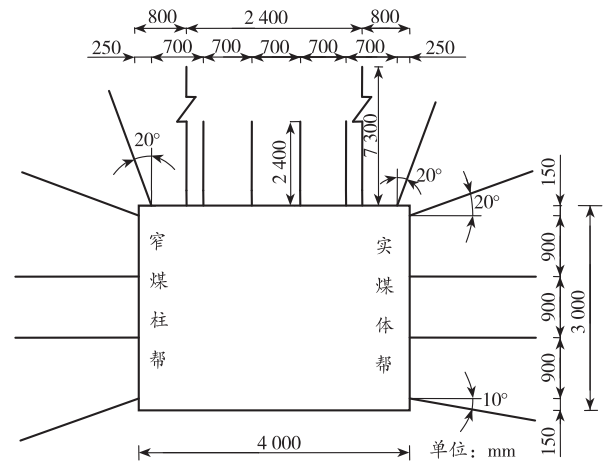


图5 4102 回风平巷 J1J2 段支护断面图

2) 窄煤柱帮加强支护:窄煤柱帮采用高水材料注浆加固,注浆孔布置如图6所示。注浆孔排距为 2.0 m,即每 2 m 打 1 排注浆孔,注浆深度应达到破碎顶煤的边缘,考虑到钻孔、机具及现场施工条件,确定孔深为 2.4 m、孔径为 42 mm,可以采用煤电钻打孔,每排 2 个孔,上部注浆孔仰角 10°,下部注浆孔俯角 10°。

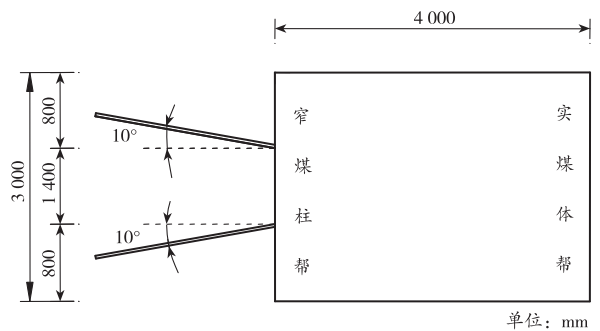


图6 4102 回风平巷 J1J2 段注浆孔布置图

3) 顶板加强支护:为了防止顶板旋转下沉引起大面积片帮,在巷道内采用单体液压支柱配合铰接顶梁加强支护,支柱间排距为 3 000 mm $\times$ 1 000 mm,每排 2 根。

#### 3.2 J2J3 及 J1J4 段掘巷

顶板和两帮均采用  $\Phi 22$  mm $\times$ 2.4 m 的高强度大延伸率锚杆,顶锚杆间排距为 900 mm $\times$ 900 mm,帮锚杆间排距为 1 100 mm $\times$ 700 mm,锚杆均用  $\Phi 14$  mm 圆钢焊制的钢筋梯子梁连接;锚索采用  $\Phi 17.8$  mm $\times$ 7.3 m 的钢绞线,间排距为 2.4 m $\times$ 2.7 m;金属网是材质为不小于 10# 铁丝的菱形金属网。支护断面图如图7所示。

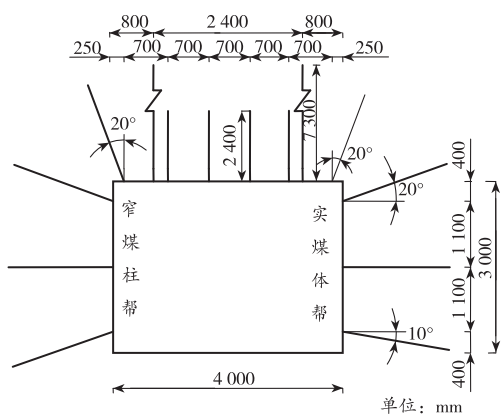


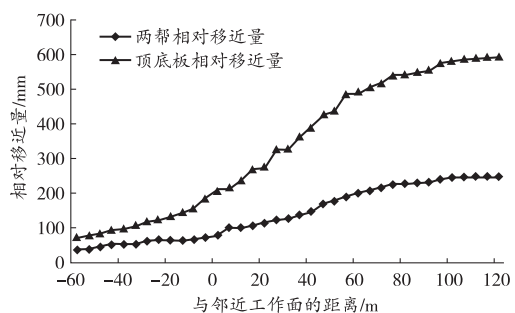
图7 4102回风平巷J2J3、J1J4段支护断面图

#### 4 工业性试验

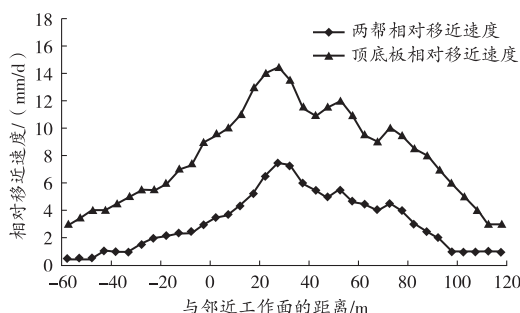
4102回风平巷沿着实体煤掘进,在超前4101工作面30 m处停止,待滞后工作面80 m后开始继续掘进。

##### 4.1 现场矿压观测

邻近工作面回采期间巷道围岩变形曲线如图8所示。



(a) 巷道围岩变形量



(b) 巷道围岩变形速度

图8 邻近工作面回采期间巷道围岩变形曲线

由图8可知:巷道在邻近4101工作面回采影响范围外掘进期间变形量较小,进入邻近工作面前方28 m内围岩变形速度明显加快;巷道变形主要发生在邻近工作面后方0~85 m内,其中在8~62 m内变形最为剧烈,邻近工作面后方85~100 m后,巷道变形趋于稳定,稳定后的顶底板、两帮相对移近量分别为595、260 mm;邻近4101工作面后方0~100 m

内,巷道变形速度会周期性发生突变,其与4101工作面顶板发生周期性破断有关。

4102工作面回采期间,回风平巷受超前支撑压力影响,巷道变形明显,选取其中一个测站断面的围岩变形量与工作面距离的关系如图9所示。

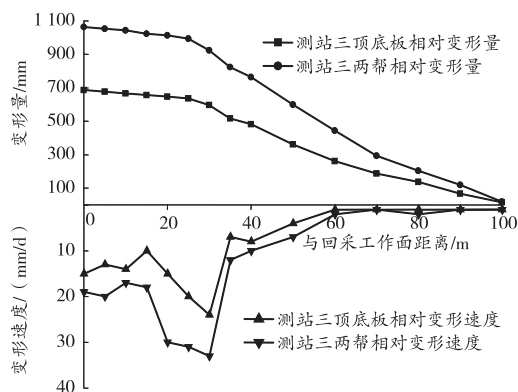


图9 4102工作面回采期间巷道围岩变形曲线

由图9可知:回采期间巷道变形以两帮为主,两帮最大变形量为1090 mm,最小为92 mm,相对移近速度最大值为34 mm/d;顶底板最大移近量为685 mm,最小为49 mm,相对移近速度最大值为25 mm/d;在超前本工作面40 m范围内时,巷道围岩变形量和变形速度较大,当达到30 m范围以内时,变形剧烈,应在此范围内进行超前支护。

##### 4.2 支护效果

4102回风平巷变形主要分为两大部分:迎采J1J2段受邻近4101工作面采动影响,巷道变形较为严重,采取单体液压支柱配合铰接顶梁加强支护,控制该阶段的变形,现场支护如图10所示。



(a) 顶板



(b) 窄煤柱帮

图10 4102回风平巷J1J2段掘巷期间现场图



其他位置 J2J3、J1J4 段受本工作面回采影响,超前 40 m 范围内巷道有一定的变形,在剧烈影响范围区域采用单体液压支柱配合铰接顶梁维护巷道,现场支护如图 11 所示。



(a) 顶板



(b) 窄煤柱帮

图 11 4102 回风平巷 J2J3、J1J4 段回采期间现场图

图 10 和 11 表明,在巷道剧烈变形区域采取了相应的加强支护措施后,巷道维护效果良好,保证了工作面的安全生产。

## 5 结语

1) 为解决某矿采掘接替紧张的问题,提出迎采动面掘巷的技术,通过数值模拟得出巷道掘进端头受到的强动压影响范围为距 4101 工作面 -30 ~ +80 m。

2) 采用分段控制技术,巷道强动压影响段采取高强大延伸率锚杆和锚索网联合支护、高水材料加固窄煤柱帮、单体支柱和铰接顶梁加强支护顶板,有效控制了迎采巷道围岩变形,解决了采掘接替紧张的问题。

## 参考文献:

[1] 宋振骥. 我国煤矿开采技术发展现状及方向[C]//重大

地下工程安全建设与风险管理——国际工程科技发展战略高端论坛(武汉),2012.

- [2] 宋振骥,赵经彻,陈立良. 中国回采巷道矿山压力控制研究现状及方向[C]// 三峡库区地质环境暨第二届中日地质环境力学国际学术讨论会(武汉),2012.
- [3] 王金华. 中国高效井工开采技术现状与发展[C]//全国煤炭工业建设高产高效矿井经济交流暨 2001 年度命名表彰大会(成都),2002.
- [4] 蔺增元,赵光绪,孟凡震. 动压条件下综采厚煤层沿空掘巷支护优化[J]. 矿业安全与环保,2014,41(6): 60-63.
- [5] 康荣,何富连,李宏彬. 桁架锚索在碎裂顶板巷道支护中的应用[J]. 煤炭科学技术,2010,38(5):28-33.
- [6] 张农,李学华,高明仕. 迎采工作面沿空掘巷预拉力支护及工程应用[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(12):2100-2105.
- [7] 王猛,柏建彪,王襄禹,等. 迎采面沿空掘巷围岩变形规律及控制技术[J]. 采矿与安全工程学报,2012,29(2):197-202.
- [8] 王德超,李术才,王琦,等. 深部厚煤层综放沿空掘巷煤柱合理宽度试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2014,33(3):539-548.
- [9] 张源,万志军,李付臣,等. 不稳定覆岩下沿空掘巷围岩大变形机理[J]. 采矿与安全工程学报,2012,29(4): 451-458.
- [10] 牛建春,高家平,张胜军,等. 深部软岩巷道围岩稳定性综合分析及支护实践[J]. 矿业安全与环保,2015,42(2):68-71.
- [11] 李文峰,孙迎辉,杨波,等. 迎回采面沿空掘巷围岩控制技术实践[J]. 煤炭工程,2010(2):24-26.
- [12] 柏建彪. 综放沿空掘巷围岩稳定性原理及控制技术研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2002.
- [13] 秦少洋,许少东,杨张杰. 深井沿空掘巷煤柱合理宽度确定及支护参数优化[J]. 煤炭科学技术,2010,38(2):15-18.
- [14] 康红普,王金华,林健. 煤矿巷道锚杆支护应用实例分析[J]. 岩石力学与工程学报,2010(4):649-664.
- [15] 王汉鹏,李术才,薛俊华,等. 深部岩巷分区破裂围岩稳定性控制方法及应用[J]. 岩土力学,2014(7): 1957-1964.

(责任编辑:陈玉涛)