

深部沿空掘巷巷道围岩应力状态及现场实测分析

程 蓬^{1,2}, 马晨晶³, 何 杰^{1,2}, 李育鹏³

(1. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013; 2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室, 北京 100013;
3. 阳泉煤业(集团) 有限责任公司 新景矿, 山西 阳泉 045000)

[摘 要] 通过分析阳泉矿区深部矿井 15 号煤厚煤层巷道围岩地质条件、顶底板岩性特征及煤岩体地质力学参数, 采用数值模拟方法研究了不同煤柱尺寸条件下沿空掘巷巷道围岩应力和变形特征, 并对沿空掘巷巷道工作面侧帮和煤柱侧帮煤柱应力状态进行了动态监测。结果表明, 沿空掘巷巷道工作面侧帮和煤柱侧帮煤应力状态差异较大, 其中工作面侧帮煤体应力受本工作面回采影响显著, 不同深度测点垂直应力变化明显, 煤柱侧帮煤柱应力受本工作面和临近采空区双重影响, 垂直应力峰值高, 应力波动显著。

[关键词] 沿空掘巷; 应力状态; 动压影响

[中图分类号] TD323 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1006-6225 (2018) 06-0045-04

Field Measurement and Analysis of Surround Rock Stress of Gob Side Entry Driving in Deep

沿空掘巷是在上区段工作面回采过后, 沿着采空区边缘留设一定煤柱尺寸后掘进下一工作面的回采巷道, 相对于沿空留巷和二次复用巷道, 沿空掘巷巷道支护和维护难度相对容易, 因此我国很多矿区主要采用沿空掘巷的开采方法。但是, 随着沿空掘巷技术的推广和应用, 仍然存在大量巷道变形严重, 支护难度高的问题, 为此国内外针对沿空留巷围岩应力状态、煤柱尺寸留设和巷道围岩控制等方面进行了诸多研究。康红普院士团队^[1]分析了沿空掘巷煤柱宽度与巷道围岩变形的关系, 提出了小煤柱合理宽度设计方法, 并在潞安、阳泉、邢台等地进行大量现场试验; 柏建彪等^[2]研究了综采沿空掘巷围岩应力场演化规律, 对巷道掘进前后煤柱应力状态进行了对比分析; 王卫军等^[3]采用砌体梁力学理论, 研究了综放沿空巷道顶煤力学模型, 分析了顶煤下沉量与支护强度、煤体弹模、巷道宽度的关系; 赵国贞等^[4]建立沿空掘巷围岩结构力学模型, 分析了巷道稳定性各影响因素间的相互关系; 王永等^[5]提出煤柱稳定核区, 认为稳定核区的范围要在煤柱宽度的一半以上, 从而保证煤柱的稳定性。另外, 还有很多专家学者开展了大量的研究^[6-8]。

本文在总结前人研究成果基础上, 针对阳泉矿区沿空掘巷埋藏深度大, 地质条件复杂多变, 巷道支护难度高的问题, 通过在回采工作面回风巷两侧布置煤体应力在线监测系统, 分析工作面回采全过

程煤体应力分布和变化规律, 为后续煤柱尺寸选取和巷道支护优化提供数据, 为类似条件下巷道布置和支护参数优化提供参考。

1 工程概况

1.1 矿井基本概况

新景煤矿设计能力 4.5Mt/a, 位于沁水煤田东北部, 煤层贮藏稳定, 含煤地层为石炭—二叠系的太原组和山西组, 主采煤层 3 号、8 号、9 号、15 号, 属于多煤层联合开采。15028 工作面井下位于新景矿 15 号煤一采区东南部, 如图 1 所示, 工作面东部为三矿矿界, 南部为 15029 工作面(未掘), 西为 15029 工作面(未采), 北部为 80212 工作面(2014 年 12 月回采结束), 工作面煤柱净尺寸为 20m。

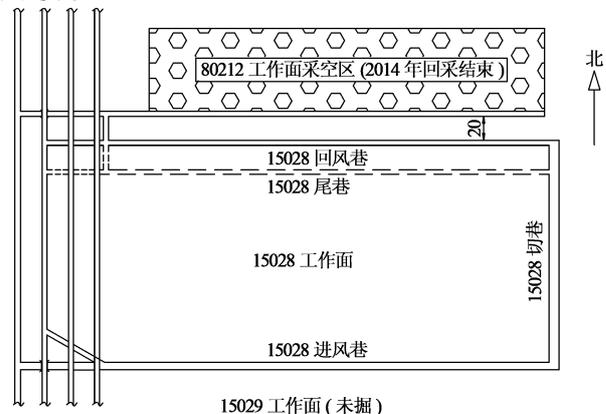


图 1 新景矿 15028 工作面巷道布置平面

[收稿日期] 2018-06-23

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2018.06.011

[作者简介] 程 蓬 (1985-), 男, 安徽宁国人, 硕士, 助理研究员, 主要从事巷道矿压与支护技术研究。

[引用格式] 程 蓬, 马晨晶, 何 杰, 等. 深部沿空掘巷巷道围岩应力状态及现场实测分析 [J]. 煤矿开采, 2018, 23 (6): 45-48.

1.2 巷道围岩条件

经过现场勘探，结合钻孔资料，确定新景矿 15 号煤层顶底板围岩条件如下：

(1) 主采煤层：15 号煤层，俗称“丈八煤”，赋存较稳定，结构复杂，厚度在 5.57~7.81m 范围内，平均厚度 6.66m，含两层夹矸，上部煤层强度偏低，下部强度相对较高。

(2) 顶板：15 号煤层顶板主要是由泥岩和石灰岩交替组成，泥岩强度低，易破碎，厚度大约在 1.0m，石灰岩强度相对较高，围岩稳定性好。

(3) 底板：15 号煤层直接底砂质泥岩，平均厚度 4.9m，强度低，遇水易软化膨胀。

1.3 煤岩体地质力学测试

为掌握 15028 工作面煤岩体地质力学参数，2016 年新景矿采用煤炭科学研究总院研发的井下原位地质力学参数测试技术对巷道围岩结构、强度和地应力进行了测试，图 2 为 15028 工作面煤顶板围岩结构观测，图 3 为 15028 工作面顶板围岩强度测试曲线，通过围岩结构和强度测试结果对比分析，测试位置顶煤厚度 2.8m，煤体裂隙发育，强度 17.01MPa，上部为 1m 泥岩和煤层互层，完整性差，之上为 2.7m 的石灰岩，完整性好，存在方解石岩脉，强度 111.91MPa，上部为 1.5m 的泥岩，强度 34.89MPa，再上部为厚度超过 1.2m 的石灰岩，强度 110.86MPa。对 15 号煤层 15028 工作面巷道围岩地应力、围岩强度和围岩结构进行全方位测试。地应力测试显示，测试区域深度 600.1m，垂直主应力 15.03MPa，最大水平主应力 16.95MPa，最小水平主应力 8.69MPa，最大水平主应力方向为北偏东 80.8°。

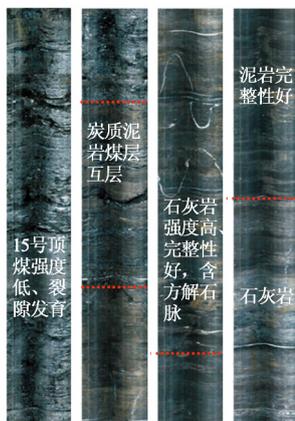


图 2 顶板围岩结构观测

2 煤柱应力数值模拟分析

2.1 数值模型

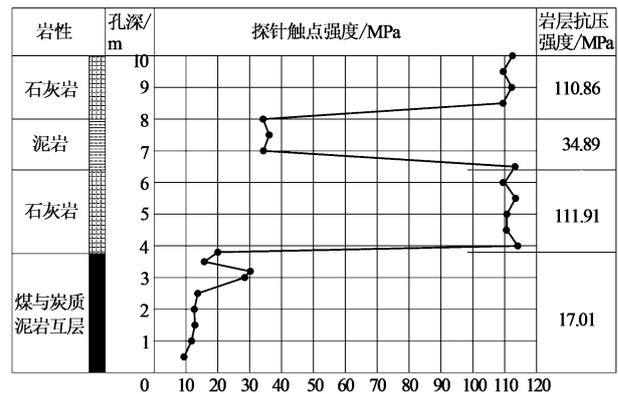


图 3 顶板围岩强度测试曲线

根据 15028 综放工作面地质条件和巷道围岩地质力学参数测试数据，采用三维有限差分软件 FL-CD^{3D} 建立数值计算模型，模型参数采用 1.3 中煤岩体地质力学测试数据，模型长×宽×高 = 300m×70m×50m，四周采用铰支，底部采用固支，上部为自由边界。建立 3 种不同计算模型，将临近回采工作面和 15028 工作面煤柱尺寸分别设定为 10m，20m 和 30m，首先开挖临近工作面形成采空区后，对沿空留巷巷道进行开挖，对比分析全过程不同煤柱条件下沿空掘巷巷道围岩应力及变形对比特征。

2.2 计算结果及分析

图 4 为在 10m，20m 和 30m 煤柱尺寸条件下，15028 回风巷围岩及煤柱内部应力分布情况。受临近 80212 采空区回采动压影响，15028 回风巷及工作面附近煤岩体应力和应力状态均发生很大的变化，且随着煤柱尺寸的不同围岩应力差异显著。

对比不同煤柱尺寸沿空掘巷巷道垂直应力和顶板下沉量数据，如图 5 所示，当煤柱尺寸为 10m，20m 和 30m 时，煤柱峰值应力分别为 41.7MPa，37.2MPa 和 37.3MPa，煤柱应力分别降低 10.8% 和 10.5%。与此同时，当煤柱尺寸为 10m，20m 和 30m 时，对应沿空留巷巷道顶板下沉量分别为 330.0mm，171.8mm 和 114mm，巷道顶板下沉量分别降低 47.9% 和 33.6%。随着煤柱尺寸的增加，煤柱应力和巷道变形量均有所降低，说明沿空掘巷巷道受临近工作面回采动压影响程度进一步降低，当煤柱尺寸增加到一定程度后，煤柱峰值应力降低不明显，但是由于煤柱尺寸的增加，沿空掘巷距离峰值应力距离的加大，巷道变形量进一步降低。

3 煤柱应力状态实测

3.1 监测方案

在 15028 回风巷布置煤柱应力监测测站，如图 6 所示，测站位置距离开切眼 100m，采用 ZYJ-25

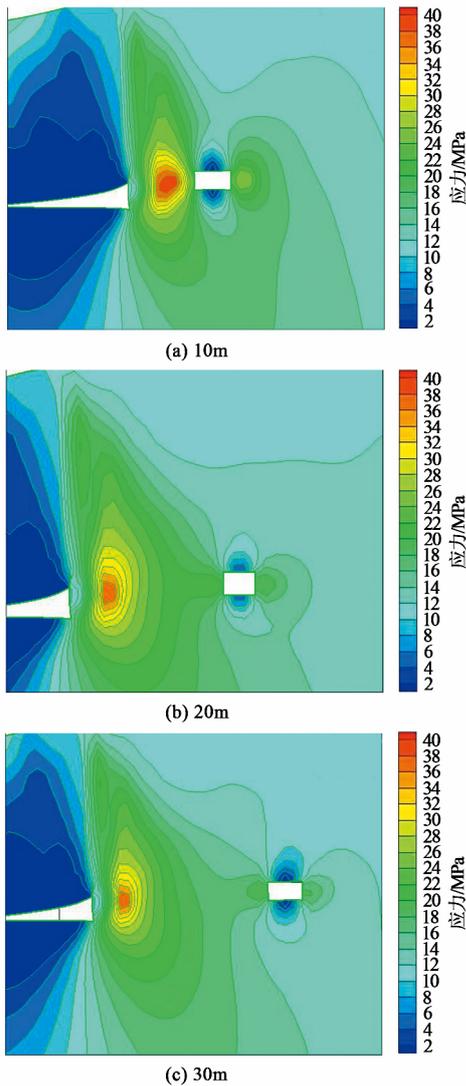


图 4 不同煤柱尺寸条件下煤柱应力分布状态

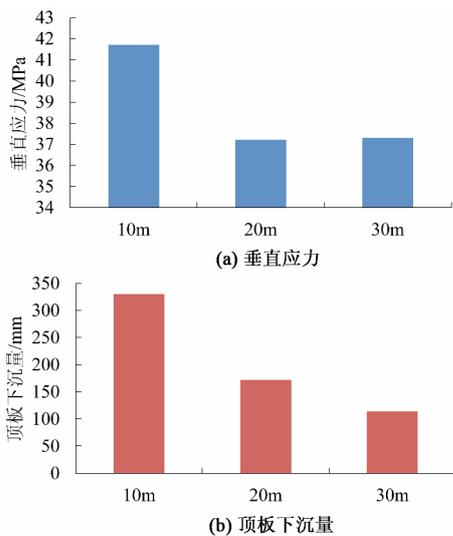


图 5 不同煤柱尺寸 15028 回风巷垂直应力和顶板下沉量对比
 型钻孔应力计, 配合在线监测系统数据进行收集。
 工作面侧帮和煤柱帮各布置 6 个测点, 测点深度
 分别为 2m, 4m, 6m, 8m, 10m 和 12m, 煤柱应力计

安装时距离地面高度 1.3m。安装流程包括: 打孔, 钻孔应力计推送至指定深度, 打压, 接线, 初读数等环节。

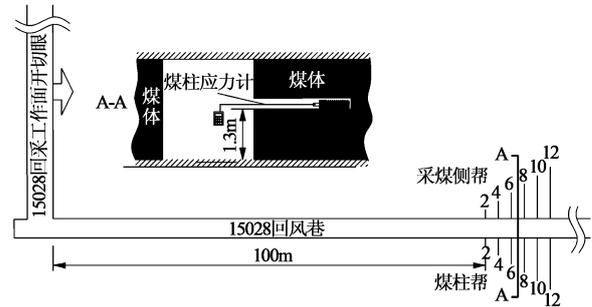


图 6 煤柱应力监测

3.2 测试结果及分析

15028 回风巷工作面侧帮垂直应力变化如图 7 所示。随 15028 工作面回采, 工作面侧帮垂直应力随深度呈现显著变化规律, 2m 和 4m 测点煤体垂直应力呈现持续降低趋势, 其中 2m 测点降幅 5.9MPa, 4m 测点降幅 3.1MPa, 说明巷道煤壁浅部煤体破坏更加严重, 随着深度增加, 破坏程度逐渐降低。6m 和 8m 测点煤柱垂直应力呈现先增后减再增的变化特征, 其中 6m 测点增幅 0.8MPa, 8m 测点增幅 3.1MPa, 此时 8m 测点处煤体较为完整。深部 10m 和 12m 测点煤柱垂直应力呈现持续增加的趋势, 其中 10m 测点增幅 3.5MPa, 12m 测点增幅 10.6MPa, 煤柱应力增幅十分显著, 此时煤柱进入弹性区。综合分析, 随着测点深度的增大, 15028 回风巷工作面侧帮煤柱逐渐从塑性破坏区转移至弹性区, 煤体完整性逐渐变好, 此时增加煤柱尺寸有利于巷帮煤帮保持完整, 对于巷帮维护较为有利。

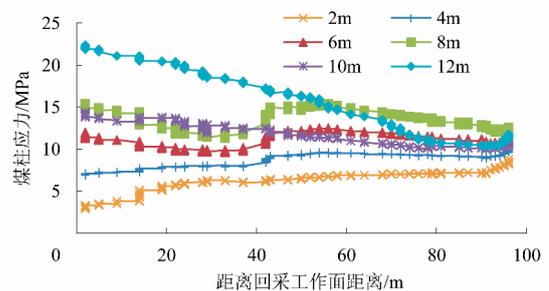


图 7 15028 回风巷工作面侧帮垂直应力实测曲线

15028 回风巷煤柱侧帮垂直应力变化如图 8 所示。随 15028 工作面回采, 煤柱侧帮垂直应力随深度呈现较大差异特征。2m 测点煤柱垂直应力变化稳定, 基本保持不变。4m 测点煤柱垂直应力逐步降低, 降幅 2.1MPa。6m 测点煤柱垂直应力呈现先降后增的变化规律。8m 测点前期波动不明显, 当距离工作面 50m 后, 受力波动变化大, 在距离工

作面 7m 时达到峰值 15.3MPa，后持续降低。10m 测点前期受力稳定，在距离工作面 37m 时由于管路漏油，导致数据缺失。12m 测点煤柱垂直应力平稳，在距离工作面 42m 后开始呈现波动增加，在距离工作面 14m 位置达到峰值 34.2MPa，后续降低。分析可见，煤柱侧帮煤柱应力受力波动明显，这主要是由于煤柱受本工作面回采和临近采空区双重因素影响。

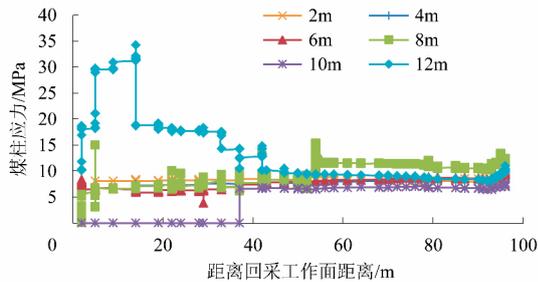


图 8 15028 回风巷煤柱侧帮垂直应力实测曲线

4 结 论

(1) 随煤柱尺寸增加，沿空留巷巷道煤柱应力和巷道变形量持续降低，当煤柱尺寸增加到一定程度后，围岩应力降低不明显，此时增加煤柱尺寸，巷道围岩应力降幅不大，但巷道变形量继续显著降低。

(2) 沿空掘巷巷道工作面侧帮垂直应力受临近采空区影响相对较小，受本工作面回采影响显

著，不同深度煤层应力变化规律明显，当深度超过 8m 后从塑性区开始进入弹性区，垂直应力持续增大。

(3) 沿空掘巷巷道采煤柱侧帮受本工作面回采和临近采空区影响显著，煤柱应力状态复杂，垂直应力峰值高，应力波动显著，易导致煤柱帮变形大，需针对性地加强煤柱帮支护强度。

[参考文献]

[1] 康红普, 王金华. 煤巷锚杆支护理论与成套技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007.

[2] 柏建彪, 王卫军, 侯朝炯, 等. 综放沿空掘巷围岩控制机理及支护技术研究 [J]. 煤炭学报, 2000, 25 (5): 478-481.

[3] 王卫军, 侯朝炯, 柏建彪, 等. 综放沿空巷道顶煤受力变形分析 [J]. 岩土工程学报, 2001, 23 (2): 209-211.

[4] 赵国贞, 马占国, 孙 凯, 等. 小煤柱沿空掘巷围岩变形控制机理研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27 (4): 517-521.

[5] 王 永. 窄煤柱沿空掘巷煤柱稳定核心区理论研究 [J]. 湖南科技大学学报, 2010, 25 (4): 5-8.

[6] 杨 科, 谢广祥. 窄煤柱综放巷道围岩应力场特征 [J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24 (3): 311-315.

[7] 黄炳香, 刘长友, 郑百生, 等. 超长孤岛综放工作面煤柱支承压力分布特征研究 [J]. 岩土工程学报, 2007, 29 (6): 932-937.

[8] 赵 鹏, 马占国, 张 帆, 等. 孤岛面小煤柱沿空巷道稳定性研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23 (3): 354-357.

[责任编辑: 林 健]

国务院安委办：立即开展高风险煤矿安全“体检”

为认真贯彻落实习近平总书记等中央领导同志有关重要指示批示精神，深刻汲取煤矿重大事故教训，严密防控重大安全风险，近日国务院安委会办公室发出《关于对高风险煤矿开展安全“体检”的通知》，决定对正常生产建设的煤与瓦斯突出、冲击地压、高瓦斯、水文地质类型复杂和极复杂、采深超千米、单班下井人数多等六类高风险煤矿开展安全“体检”。

通知指出，要提高政治站位，坚守安全底线，深刻认识抓好高风险煤矿安全“体检”的重要性，把对高风险煤矿安全“体检”作为防控重大安全风险，整治消除重大隐患，淘汰退出落后产能，有效防范遏制重特大事故的重要手段，抓实抓细抓好。要聚焦重大安全风险和重大事故隐患，对正常生产建设的煤与瓦斯突出、冲击地压等六类高风险煤矿立即组织开展安全“体检”，对安全没有保障的煤矿，无论是国有大矿还是民营煤矿，该限产的要限产，该停产的要停产，该退出的要退出，不得以任何形式、任何理由“带病”组织生产。

通知要求，严格安全标准，组织高风险煤矿全面开展自检自改。各省级安委会要督促煤矿企业全面、系统、深入开展自检自改和安全风险分析研判，煤矿上级公司要对所属煤矿自检自改加强督查检查，逐矿编制自检自改报告，形成隐患问题整改清单、安全风险管控清单。

通知强调，各省级煤矿安全监察局要立即牵头组织对 6 类高风险煤矿开展安全“体检”式重点监察，逐矿形成“体检”报告，列出问题清单，提出限产、停产、关闭煤矿的处置意见。

各地要从 2019 年 1 月份开始，每月向国家煤矿安监局报送工作进展情况，2019 年 6 月底前完成对本地区高风险煤矿安全“体检”工作。

为贯彻落实《通知》要求，国家煤矿安监局制定下发《高风险煤矿安全“体检”指导意见》，要求各地结合实际，细化工作方案，确保“体检”取得实效。

(http://www.chinacoal-safety.gov.cn/xw/mkaqjcxw/201812/t20181207_222972.shtml)