



移动扫码阅读

于可伟.煤矿井下巷道围岩地质力学测试试验研究[J].煤炭科学技术,2019,47(12):62-67. doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.12.009

YU Kewei.Experimental study on geo-mechanics test of surrounding rock of underground roadway in coal mine[J]. Coal Science and Technology,2019,47(12):62-67. doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.12.009

煤矿井下巷道围岩地质力学测试试验研究

于 可 伟

(陕西彬县煤炭有限责任公司 蒋家河煤矿,陕西 彬州 713500)

摘 要:蒋家河矿开采的侏罗系延安组 4 煤埋深已超过 650 m,进入深部煤炭开采,受埋深、采动压力以及构造应力影响,巷道围岩破坏严重,出现大范围底鼓、帮鼓、顶板下沉等情况,严重影响矿井正常生产。为解决巷道围岩破坏严重问题,通过采用小孔径水压致裂地应力测量方法与装置和钻孔触探法,对蒋家河煤矿井下深部开采区域的 2 个测点的地应力和巷道围岩强度进行了原位测试,分析了蒋家河矿 4 煤所处的围岩地质力学分布规律和力学参数。研究结果表明:蒋家河煤矿井下最大水平主应力 σ_H 平均值为 16.00 MPa,最小水平主应力 σ_h 平均值为 8.56 MPa,垂直应力 σ_v 平均值为 15.31 MPa,应力场类型为 $\sigma_H > \sigma_v > \sigma_h$ 型应力场;区域应力场以构造应力场为主,水平主应力占优势,最大水平主应力方向为 NEE 方向;顶板围岩结构观测结果显示,该区域 4 煤厚度差异较大,煤体完整性相对较好,4 煤煤体强度平均值为 16.84 MPa,属中硬煤体;4 煤顶板以上 20 m 范围内主要有泥岩,泥质砂岩和中砂岩,均布存在小煤夹层,岩性变化较多,岩层结构复杂,泥岩遇水软化特征明显,强度较低,裂隙发育,测试结果为该矿的二采区巷道布置及其支护方式提供准确的技术决策。

关键词:深部开采;地质力学;围岩强度;应力场分布

中图分类号:TD313

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2019)12-0062-06

Experimental study on geo-mechanics test of surrounding rock of underground roadway in coal mine

YU Kewei

(Jiangjiahe Coal Mine, Shaanxi Bin County Coal Co., Ltd., Binzhou 713500, China)

Abstract: No. 4 coal seam from Yan'an Formation of the Jurassic in Jiangjiahe Coal Mine has a buried depth of more than 650 m, indicating that it has belonged to deep coal mining. Affected by deep buried depth, mining-induced pressure and tectonic stress, serious damage was observed in roadway and surrounding rocks with falling from large range of floor heave, rib spalling, and roof subsidence etc, causing serious disruption to normal mining operations. In order to solve the damage to roadway surrounding rock, investigations were carried out to obtain the geo-mechanical distribution law and mechanical parameters of the surrounding rock in the No.4 coal seam of Jiangjiahe Coal Mine. In-situ measurement of in-situ stress and strength of roadway surrounding rock were performed at two measuring points using methods such as in-situ measurement of in-situ stress and device and borehole penetration method. The studies have found that in Jiangjiahe Coal Mine the average value of the maximum horizontal principal stress is 16.00 MPa, the average value of the minimum horizontal principal stress is 8.56 MPa, the average value of the vertical stress is 15.31 MPa, and it has a stress field type of $\sigma_H > \sigma_v > \sigma_h$. The regional stress field is mainly a tectonic stress field, with dominating horizontal principal stress, and NEE as the direction of the maximum horizontal principal stress. The structure analysis for the roof, surrounding rock implied a coal layer with fairly significant deviation in depth and a relatively good wholeness of coal body. Besides the average strength of coal body is 16.84 MPa, a typical medium hard coal body, the area 20 meters above the roof of coal seam is mainly filled with mudstone, argillaceous sandstone and medium sandstone with even distribution of small coal inter-beds, wide range on lithology and a complex structure of rock layer. This study would provide an accurate technical base for the roadway layout and relating supporting methods in the second mining area of the mine.

Key words: deep mining; geo-mechanics; surrounding rock strength; stress field distribution

收稿日期:2019-06-18;责任编辑:曾康生

作者简介:于可伟(1984—),男,宁夏隆德人,工程师。E-mail:yukewei1212@163.com

0 引言

地应力是引起煤矿井下巷道变形和破坏的根本作用力^[1]。随着我国煤矿开采向深度与广度发展,煤岩体的应力环境、变形与破坏特性都发生了显著变化,地质力学测试显得越来越重要。测试的目的是将地质力学测试成果应用到煤矿开采相关的工程设计中,提高工程设计的科学性与合理性,确保工程安全^[2]。

在煤矿井下地质力学测试中,目前应用最广泛的是采用小孔径水压致裂地应力测量仪和三维应力解除法井下煤岩体强度测定装置以及矿用电子钻孔窥视仪,形成了一整套煤岩体地质力学快速测试系统,并在宁东、潞安、徐州、义马、平顶山等矿区得到大面积应用,获得了大量的煤矿井下地质力学测试数据和研究成果。陈治中等^[3]在宁东矿区采用水压致裂法对枣泉煤矿东、西翼采区进行了8个测站的地应力现场实测,获得该区地应力以水平应力为主,实测最大水平主应力为8.60~13.37 MPa,最大水平主应力方向大致为北偏西方向,没有大的偏斜,一致性较好;康红普等^[4]在山西潞安矿区的13个煤矿采用小孔径水压致裂地应力测量装置,完成了60个测点的原岩应力测量工作,实测数据表明:潞安矿区55%的测点最大水平主应力大于垂直主应力,由于受埋藏深度与地质构造影响,矿区内各矿地应力差别较大,但地应力大小总体上属于中等地应力;张国锋等^[5]为了指导徐州矿区深部巷道维护及开采安全,在5个埋深超过800 m的深井采用空心包体三维应力解除法进行了原岩地应力测量;蔡美峰等^[6]在平煤十矿采用三维套孔应力解除地应力测量技术,完成了矿区6个水平、11个测点的现场地应力实测,最大测点深度达到1 123 m。这是我国煤矿首次采用应力解除法进行系统的矿区地应力测量并且测量深度超1 100 m,通过测量获得了矿区11个测点的三维地应力状态,揭示了矿区地应力场的分布规律,建立了矿区地应力场模型。

彬长矿区煤层顶板上覆巨厚砂砾岩,煤层埋藏深度较大,煤层开采深度普遍超过600 m,近年来冲击地压逐渐显现。蒋家河矿位于彬长矿区南部边缘,开采深度已达到650 m,进入深部煤炭资源开采的行列^[7],在深部开采引起的高应力和强烈的开采扰动影响下,围岩破坏极为严重。因此,研究蒋家河煤矿井下煤岩体力学分布规律和地应力场类型,了解和掌握目前巷道所处的地质力学环境及各项地质力学参数是最为基础且重要的前期工作,对于揭示

冲击地压矿井深部巷道变形破坏机理、优化巷道布置方式与锚杆支护设计具有重要的意义^[8-9]。

本次研究采用水压致裂法和钻孔触探法在蒋家河煤矿井下2个测点完成了地质力学测试工作,共包括2个测站的地应力测试和围岩强度原位测试。通过本次实测,获得了矿井地应力场类型、煤岩体强度,分析了矿井深部地应力场分布特征与规律以及地应力的主要影响因素,为矿井的开拓布局、支护设计、瓦斯治理、冲击地压灾害防治等方面提供了可靠的基础数据。

1 矿井地质概况

蒋家河井田位于太峪背斜以北、彬县背斜以南,仅发育赵坡向斜,地层厚度、产状、煤层厚度及其起伏受南北2个背斜的影响,总体呈走向NE的向斜,北翼倾向SE,倾角2°~6°,南翼倾向NW,倾角5°~11°。含煤地层为侏罗系中统延安组,全井田分布,结构单一,开采4煤,厚度0.8~10.85 m,煤层厚度变化较大,开采深度已达到650 m。伪顶为炭质泥岩,厚度一般小于0.6 m,直接顶主要为砂质泥岩、细砂岩及中砂岩,属于稳定性较差岩体;基本顶岩性为砂岩,属中等稳定岩体,厚度一般在5~10 m;4煤底板主要为灰色铝土质泥岩,属稳定性较差岩体,膨胀性极强^[10]。蒋家河煤矿受埋深、采动压力以及构造应力的影响,大巷、采区下山以及回采巷道均出现了大范围的巷道变形、底鼓等情况,顶板下沉量约为500 mm,两帮移近量约为1 000 mm,最大底鼓量达到了1 800 mm,严重影响矿井的安全生产,不得不投入大量的人力、物力和财力进行巷道维修,但是效果并不理想。

2 测试方法与原理

2.1 地应力测试

水压致裂法地应力测量是目前国内外最有效的地应力测量方法,具有操作简便、测试深度较深且无需知道岩石的弹性参数等特点,在地质力学研究、地下工程等领域得到广泛应用和发展^[11]。水压致裂法地应力测量是在巷道围岩钻孔中进行的,如图1所示。在打好的钻孔中用一对橡胶封隔器封闭选定的钻孔段,然后对封隔器之间的岩孔进行高压注水,直至将围岩压裂。

根据压裂曲线和裂纹方向确定最大水平主应力、最小水平主应力及最大水平主应力的方向。垂直主应力由上覆岩层重量求得。水压致裂法力学模型,如图2所示。

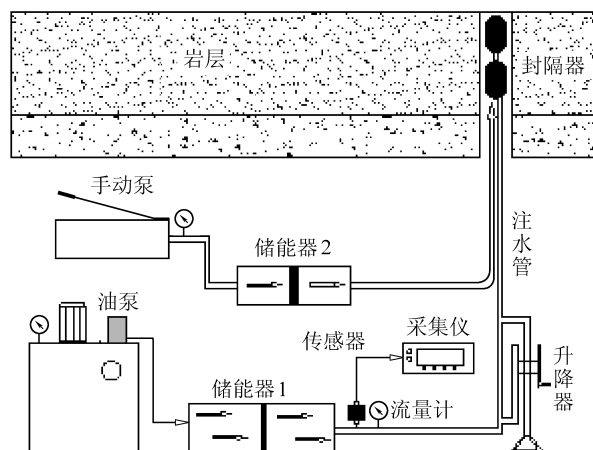


图1 水压致裂法地应力测量示意

Fig.1 Schematic of stress measured by hydraulic fracturing

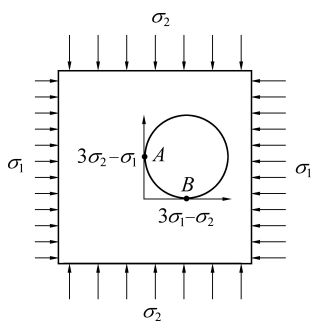


图2 水压致裂法力学模型

Fig.2 Mechanical model of hydraulic fracturing method

根据水压致裂法测量地应力知识,可知应力为

$$\sigma_h = P_s \quad (1)$$

$$\sigma_H = 3P_s - P_r - P_0 \quad (2)$$

$$\sigma_v = \rho g H \quad (3)$$

式中: σ_h 为最小水平主应力; σ_H 为最大水平主应力; σ_v 为垂直应力; P_s 为关闭压力; P_r 为重张压力; P_0 为岩石的孔隙压力; ρ 为岩石密度; g 为重力加速度; H 为埋深。

2.2 巷道围岩强度测试

采用钻孔触探法进行井下巷道围岩强度测试^[12],这种方法具有以下优点:①测定结果比较接近岩体;②能够测出井下不能取样的软弱破碎煤岩体的强度;③能够测出钻孔不同深度、不同层位煤岩体的强度及分布;④仪器操作比较简单,可实现快速测量;⑤与现场原位大尺寸试验相比经济得多。围岩强度的测定是在井下巷道围岩钻孔中进行的(图3)。

3 地质力学测试及结果分析

3.1 测站布置

为了全面了解蒋家河矿地质力学的特征,在ZF201工作面回风巷布置2个测站,如图4所示,进行地应力和巷道围岩强度测试。1号测站:

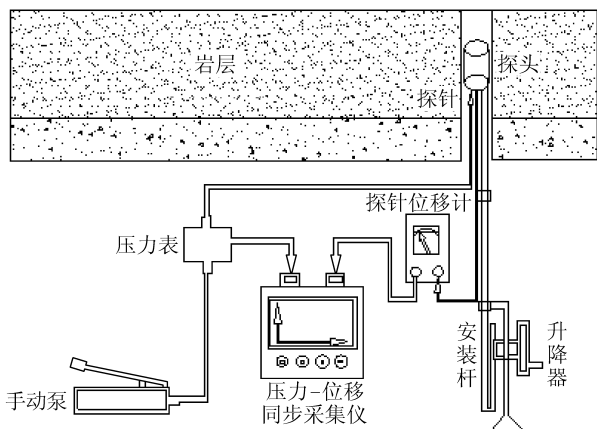
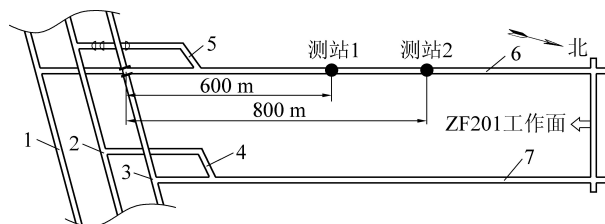


图3 钻孔触探法围岩强度测定示意

Fig.3 Schematic of surrounding rock strength test by drilling sounding method

ZF201回风巷600 m处,测点处埋深626.4 m;2号测站:ZF201回风巷800 m处,测点处埋深630.8 m。



1—回风大巷;2—轨道大巷;3—运输大巷;4—201运输联络巷;
5—201回风联络巷;6—工作面回风巷;7—工作面运输巷

图4 ZF201回风巷地应力测点位置

Fig.4 Position of ground stress measuring point of Air-return Roadway ZF201

3.2 钻孔参数

钻孔直径(56±2)mm;顶部钻孔铅垂布置,帮部钻孔近似水平布置,要求有3°~5°的仰角,以便使打钻过程中的水能从钻孔中顺利排出。顶部钻孔深度为20~25 m;帮部钻孔深度为10 m。其钻孔布置方法如图5所示。

3.3 测试结果及分析

3.3.1 地应力测试结果

根据钻孔窥视结果,1号测站测试位置选在距孔口15.8 m的岩层中;2号测站测试位置选在距孔口17.3 m的岩层中。孔壁岩石的压裂曲线,如图6所示。地应力测量结果见表1。

表1 地应力测量结果

Table 1 Results of geostress measurement

测站	埋深/m	垂直应力/MPa	最大水平主应力/MPa	最小水平主应力/MPa	最大水平主应力方向
1	626.4	15.27	15.48	8.00	N 43.6°E
2	630.8	15.34	16.46	9.13	N 59.5°E

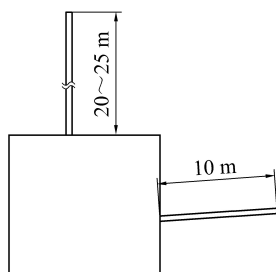
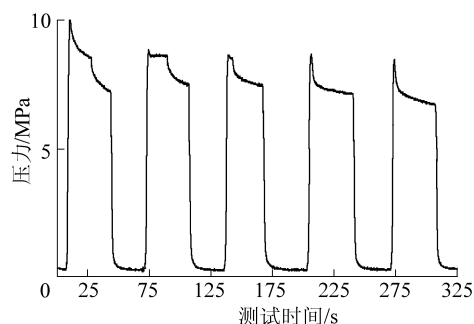
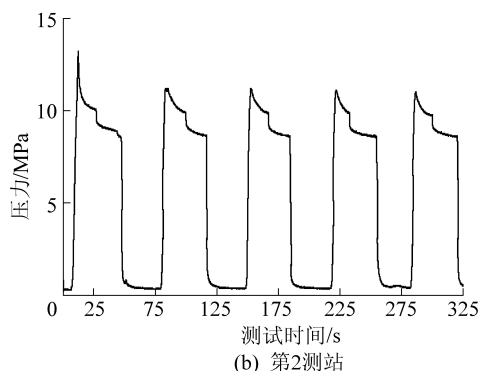


图5 地应力测试钻孔布置

Fig.5 Layout of drilling hole for geostress test



(a) 第1测站



(b) 第2测站

图6 各测站水力压裂曲线

Fig.6 Hydraulic fracturing curves of each station

3.3.2 地应力分布规律

通过对蒋家河煤矿 ZF201 工作面回风巷进行地应力测量,并对测试结果进行计算,结合相关资料^[13-14]综合分析可以得到以下结果。

1)本次测试中,第1测站最大水平主应力为 15.48 MPa,最小水平主应力为 8.00 MPa,垂直应力为 15.27 MPa;第2测站最大水平主应力为 16.46 MPa,最小水平主应力为 9.13 MPa,垂直应力为 15.34 MPa。根据相关判断标准:0~10 MPa 为低应力区,10~18 MPa 为中等应力区,18~30 MPa 为高应力区;大于 30 MPa 为超高应力区。由此,判断测试区域地应力场在量值上属于中等偏高应力值区域。

2)从测试结果看,2个测站中最大水平主应力均大于垂直应力,最小水平主应力为最小主应力。

应力场类型为 $\sigma_H > \sigma_v > \sigma_h$ 型应力场,初步判断所测区域以构造应力场为主,水平应力占优。2个测站最大水平主应力方向分别为 N43.6°E 和 N59.5°E。

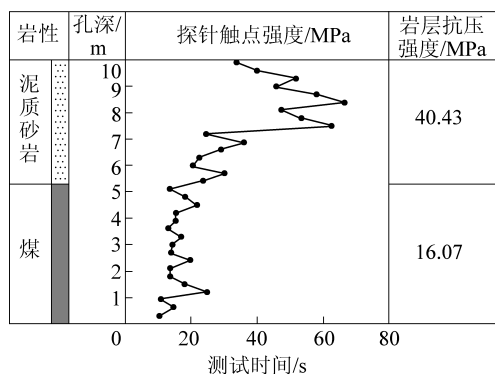
3)2012 年曾在蒋家河煤矿二采区回风大巷及 3 号联络巷中进行过地应力测试。测试结果为最大水平主应力分别为 23.99、27.82 MPa;最小水平主应力分别为 12.06、14.03 MPa;垂直应力分别为 14.70、14.95 MPa;最大水平主应力方向分别为 N 50.4°E、N 71.2°E。对比 2 次地应力测试结果,区域应力场类型和最大水平主应力方向没有大的差异,但水平主应力在量值上差异较大,最大水平主应力平均相差 10 MPa 左右。结合收集到的地质资料判断,2 次测试水平主应力的差异主要是由于二采区回风大巷南侧紧邻采空区,而 ZF201 工作面回风巷两侧均为实体煤。由于回采,煤层顶板结构产生较大的改变导致区域最大水平主应力在量值上增大。

4)蒋家河煤矿 ZF201 工作面回风巷地应力场在应力测量值属于中等偏高应力区域,最大水平主应力平均值约为 16.00 MPa,最小水平主应力平均值为 8.56 MPa,垂直应力平均值为 15.31 MPa。应力场类型为 $\sigma_H > \sigma_v > \sigma_h$ 型应力场,区域应力场以构造应力场为主,水平主应力占优势,最大水平主应力方向为 NEE 方向。相关研究成果表明^[15],水平主应力对巷道顶底板的影响作用大于对巷道两帮的影响,垂直应力主要影响巷道两帮的变形和受力。结合 2 次测试结果,井下区域应力场在水平主应力方面存在较大的差异,主要是由于二采区回风大巷南侧紧邻采空区,而 ZF201 工作面回风巷两侧均为实体煤。由于工作面回采,煤层顶板结构产生较大的改变导致区域最大水平主应力在量值上增大。

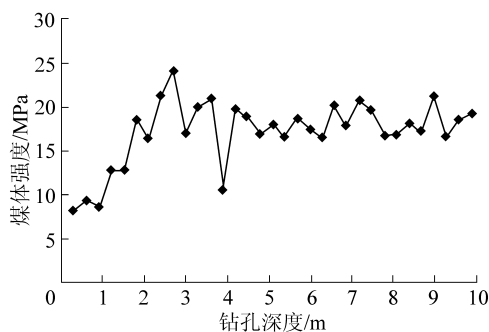
3.2.3 巷道围岩强度测试及结果

地应力测试结束后,在地应力测孔中利用 WQCZ-56 型围岩强度测试装置对巷道顶板以上及巷帮 10 m 范围内的煤岩体进行了原位强度测试,测试数据经过统计、分析和换算后,得到蒋家河矿煤顶板和煤帮煤岩体强度分布情况,如图 7 所示。

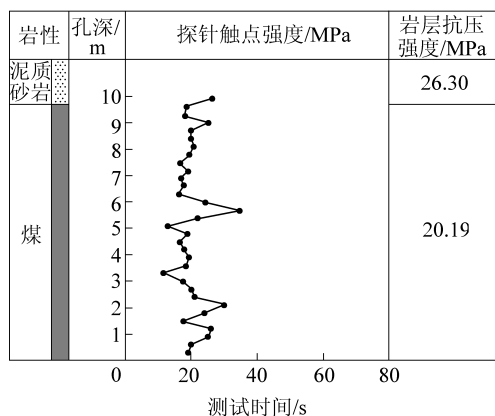
通过对蒋家河煤矿 ZF201 工作面回风巷 2 个测站进行煤岩体强度测试和钻孔窥视,并对测试结果进行整理和计算可以得到:第1测站顶板以上 0~5.3 m 为 4 煤,煤层强度平均值为 16.07 MPa,5.3~10 m 为泥质砂岩,岩层强度平均值为 40.43 MPa。第2测站顶板以上 0~9.7 m 为 4 煤,煤体强度平均值为 20.19 MPa。结合顶孔及煤帮孔 4 煤煤体强度测试结果,经计算得出蒋家河煤矿 4 煤煤体强度平均值为 16.84 MPa,煤体中硬。



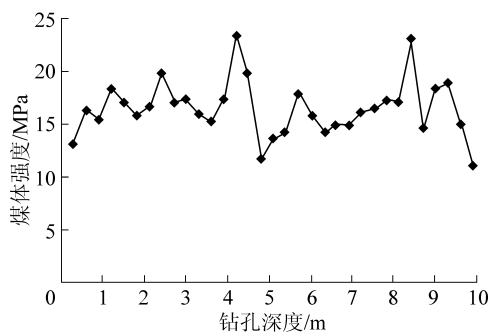
(a) 第1测站顶板岩体强度



(b) 第1测站煤体强度



(c) 第2测站顶板岩体强度



(d) 第2测站煤体强度

图7 各个测站煤岩体强度测试结果

Fig.7 Test results of coal mass strength at each station

ZF201 工作面回风巷 2 个测站 4 煤顶板以上 20 m 范围内岩层以泥质砂岩和砂岩为主,岩性变化较少,岩层结构简单,完整性相对较好。回风大巷两测点顶板围岩结构观测结果显示,4 煤顶板以上 20 m 范围内存在的主要岩层为泥岩、泥质砂岩和中砂岩,均布存在小煤夹层,岩性变化较多,岩层结构复杂,泥岩遇水软化特征明显,强度较低,裂隙发育。单从顶板岩层条件来看,ZF201 工作面回风巷及附近区域顶板围岩条件较好,利于支护。ZF201 工作面回风巷两测站顶板围岩结构观测结果显示,该区域 4 煤厚度存在非常大的差异,两测站顶煤厚度差异在 4.5 m 左右,煤体完整性相对较好。

工作面回采时结合 4 煤厚度的较大差异,在工艺及工序的选择上给予考虑。靠近工作面巷道掘进和支护时,应根据煤层厚度的变化重视对煤体完整性的控制,提高煤岩体自身承载能力^[16-17]。

4 结 论

通过对蒋家河煤矿 ZF201 工作面回风巷两个

测站进行现场地质力学测试,并与 2012 年二采区回风大巷 2 个测点实测数据进行对比分析,可以得到以下结论:

1) 蒋家河煤矿二采区地应力场在量值上属于中等偏高应力值区域,应力场类型为 $\sigma_H > \sigma_v > \sigma_h$ 型应力场,区域应力场以构造应力场为主,水平主应力占优势,最大水平主应力方向为 NEE 方向。

2) 煤体强度测试结果可知,4 煤体强度平均值为 16.84 MPa,属中硬煤体,区域 4 煤煤体直接顶板泥质砂岩强度在 40 MPa 左右。

3) 区域煤层厚度变化较大,煤层顶板岩性主要以泥质砂岩和砂岩为主。但是岩性变化较多,岩层结构复杂,裂隙发育。

4) 2 次测试结果对比可得,二采区区域地质条件存在较大差异,建议加强区域地质条件勘查和资料收集分析,掌握二采区区域煤层厚度变化规律,煤层顶板岩层分布规律及区域应力场特征,为二采区采掘生产提供更为详细和准确的数据支持。

参考文献 (References):

[1] 康红普,伊丙鼎,高富强,等.中国煤矿井下地应力数据库及地

- 应力分布规律[J].煤炭学报,2019,44(1):23-33.
- KANG Hongpu, YI Bingding, GAO Fuqiang, *et al.* China coal mine underground stress database and geostress distribution law [J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(1): 23-33.
- [2] 侯俊敏. 矿井深部地应力测试及分析研究[J]. 山东煤炭科技, 2014(11): 176-178.
- HOU Junmin. Mine deep stress test and analysis research [J]. Shandong Coal Technology, 2014(11): 176-178.
- [3] 陈治中, 汪占领, 王文新. 枣泉煤矿地应力测试及其分布特征分析[J]. 煤矿开采, 2011, 16(5): 81-82.
- CHEN Zhizhong, WANG Zhanlin, WANG Wenxin. Analysis of coal mine stress test and its distribution characteristics in Zaoquan Mine [J]. Coal Mining Technology, 2011, 16(5): 81-82.
- [4] 康红普, 林健, 张晓. 等. 潞安矿区井下地应力测量及分布规律研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(3): 827-831, 844.
- KANG Hongpu, LIN Jian, ZHANG Xiao, *et al.* In-situ stress measurements and study on their distribution law in Lu'an underground coal mines [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(3): 827-831, 844.
- [5] 张国锋, 朱伟, 赵培. 徐州矿区深部地应力测量及区域构造作用分析[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(12): 2318-2324.
- ZHANG Guofeng, ZHU Wei, ZHAO Pei. In-situ stress measurements and analysis of action of geological structures of deep coal mines in Xuzhou [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(12): 2318-2324.
- [6] 蔡美峰, 郭奇峰, 李远. 等. 平顶山十矿地应力测量及其应用[J]. 北京科技大学学报, 2013, 35(11): 1399-1306.
- CAI Meifeng, GUO Qifeng, LI Yuan, *et al.* In-situ stress measurement and its application in No. 10 mine of Pingdingshan Coal Group [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2013, 35(11): 1399-1406.
- [7] 康红普, 林健, 张晓. 深部矿井地应力测量方法研究与应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(5): 929-933.
- KANG Hongpu, LIN Jian, ZHANG Xiao. Research and application of in-situ stress measurement in deep mines [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(5): 929-933.
- [8] 吴拥政, 何杰, 司林坡. 等. 义马矿区深部矿井地应力分布规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(10): 16-21.
- WU Yongzheng, HE Jie, SI Linpo, *et al.* Study on the law of stress distribution in deep mines in Yima Mining Area [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(10): 16-21.
- [9] 靖洪文, 朱谭谭, 苏海健. 等. 节理岩体内砂浆锚杆锚固力演化特征试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(1): 16-21.
- JING Hongwen, ZHU Tantan, SU Haijian, *et al.* Experimental study on anchoring force evolution characteristics of mortar anchor in joint rock mass [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(1): 16-21.
- [10] 韦文奎. 等. 蒋家河井田勘探地质报告[R]. 西安: 煤田地质局一八六队, 2006.
- [11] 康红普, 林健. 我国巷道围岩地质力学测试技术新进展[J]. 煤炭科学技术, 2001, 29(7): 27-30.
- KANG Hongpu, LIN Jian. New Progress in geomechanics test technology of roadways in China [J]. Coal Science and Technology, 2001, 29(7): 27-30.
- [12] 康红普. 煤岩体地质力学原位测试及在围岩控制中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [13] 杨凯. 煤矿深部巷道原始地应力测试与分析[J]. 煤炭科技, 2016(4): 36-37.
- YANG Kai. Test and analysis of original ground stress in the deep roadway of coal mine [J]. Coal Science & Technology Magazine, 2016(4): 36-37.
- [14] 刘江. 伊泰矿区井下地应力测量及应力场分布特征研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(4): 562-586.
- LIU Jiang. Study on underground stress measurement and stress field distribution characteristics in Yitai Mining Area [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(4): 562-586.
- [15] 孙玉福. 水平应力对巷道围岩稳定性影响[J]. 煤炭学报, 2010, 35(6): 891-896.
- SUN Yufu. Effect of horizontal stress on the stability of roadway surrounding rock [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(6): 891-896.
- [16] 康红普, 司林坡. 深部矿区煤岩体强度测试与分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(7): 1312-1320.
- KANG Hongpu, SI Linpo. Test and analysis of coal mass strength in deep mining areas [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(7): 1312-1320.
- [17] 赵德安, 陈志敏, 蔡小林. 等. 中国地应力场分布规律统计分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(6): 1265-1271.
- ZHAO Dean, CHEN Zhimin, CAI Xiaolin, *et al.* Analysis of distribution rule of geostress in China [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(6): 1265-1271.