

鄂尔多斯红庆梁煤矿巷道围岩地质力学测试研究

姚新宇¹, 兰天伟^{2,3}, 周欣威⁴, 李柱⁵, 郭维强⁶, 冯伟⁵

1. 北京昊华能源股份有限公司 鄂尔多斯市昊华红庆梁矿业有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017010

2. 辽宁工程技术大学 矿业学院, 辽宁 阜新 123000

3. 辽宁工程技术大学 鄂尔多斯研究院, 内蒙古 鄂尔多斯 017010

4. 鄂尔多斯生态环境职业学院, 内蒙古 鄂尔多斯 017010

5. 国家能源集团乌海能源公司 内蒙古利民煤焦有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 016064

6. 国家能源集团宁夏煤业有限责任公司 红柳煤矿, 宁夏 银川 750000

DOI: 10.61369/SSSD.2026050012

摘 要 : 本文开展了红庆梁煤矿3-1煤层巷道的地应力和巷道围岩强度原位测试, 利用钻孔窥视法探测巷道围岩结构, 为准确测定原岩应力, 本研究基于地质代表性原则选取测点, 并采用钻孔套芯应力解除法进行测量; 采用原位取样, 实验室试验测量煤岩物理力学参数; 分析红庆梁矿井3-1煤层所处的围岩地质力学参数。测量结果表明, 3-1煤层原岩应力场以水平应力为主导, 最大水平主应力值介于 15.72 ~ 17.94MPa 之间, 其优势方位为北东 55.02° ~ 65.49° ; 区域巷帮煤体平均强度为 13.14MPa, 煤质松软, 在巷道围岩 30m 范围内, 岩性依次为砂质泥岩、细粒砂岩和砾岩, 三轴抗压强度最大为 54.06MPa。研究成果为红庆梁煤矿3-1煤层巷道围岩支护方案优化提供了技术参数依据。

关 键 词 : 地应力测量; 巷道围岩; 围岩结构; 煤矿巷道; 抗压强度

In-situ Geomechanical Testing of Roadway Surrounding Rock in Hongqingliang Coal Mine, Ordos

Yao Xinyu¹, Lan Tianwei^{2,3}, Zhou Xinwei⁴, Li Zhu⁵, Guo Weiqiang⁶, Feng Wei⁵

1. Ordos Haohua Hongqingliang Mining Co., Ltd., Beijing Haohua Energy Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia 017010

2. School of Mining, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000

3. Ordos Research Institute, Liaoning Technical University, Ordos, Inner Mongolia 017010

4. Ordos Vocational College of Ecological Environment, Ordos, Inner Mongolia 017010

5. Inner Mongolia Limin Coking Co., Ltd., Wuhai Energy Company, National Energy Group, Ordos, Inner Mongolia 016064

6. Hongliu Coal Mine, Ningxia Coal Industry Co., Ltd., National Energy Group, Yinchuan, Ningxia 750000

Abstract : In this paper, in-situ tests on in-situ stress and surrounding rock strength were carried out on the roadway of 3-1 coal seam in Hongqingliang Coal Mine, and borehole peeping method was adopted to detect the surrounding rock structure of the roadway. To accurately measure the in-situ stress, measuring points were selected based on the principle of geological representativeness, and the borehole overcoring stress relief method was applied for measurement. In-situ sampling combined with laboratory tests were conducted to determine the physical and mechanical parameters of coal and rock masses. Furthermore, the geomechanical parameters of surrounding rock in the 3-1 coal seam of Hongqingliang Coal Mine were analyzed. The test results show that the in-situ stress field of the 3-1 coal seam is dominated by horizontal stress, with the maximum horizontal principal stress ranging from 15.72 MPa to 17.94 MPa and its dominant direction being N55.02° E to N65.49° E. The average strength of coal mass at the roadway rib in the study area is 13.14 MPa, indicating soft coal quality. Within the 30-meter range of the roadway surrounding rock, the lithology is distributed in the order of sandy mudstone, fine-grained sandstone and conglomerate, with the maximum triaxial compressive strength reaching 54.06 MPa. The research results provide technical parameter support for the optimization of the surrounding rock support scheme of the 3-1 coal seam roadway in Hongqingliang Coal Mine.

Keywords : in-situ stress measurement; roadway surrounding rock; surrounding rock structure; coal mine roadway; compressive strength; borehole overcoring stress relief method; triaxial compressive strength

项目信息:

鄂尔多斯市重点研发计划项目 (YF20250274);

鄂尔多斯市标志性创新团队项目 (TD20240005);

鄂尔多斯市科技攻关“揭榜挂帅”重大项目 (JB20251447)。

作者简介: 姚新宇 (1991.10—), 男, 内蒙古赤峰市, 大学本科, 工程师, 主要从事煤矿采掘技术、地测防治水方面的研究工作。邮箱 1119086601@qq.com。

引言

地应力是导致煤矿井下巷道变形与破坏的主导控制因素^[1]。随着我国煤矿开采深度与范围的持续增加,煤岩体的应力状态及其力学行为发生显著改变,使得地质力学测试在工程实践中的重要性日益凸显。该项测试的核心目标在于将所获地质力学参数应用于煤矿开采相关的工程设计中,以提升设计的科学性与可靠性,保障开采安全^[2]。

采用井下地质力学测试方法,精准测定围岩力学指标,对经济合理的支护方案选择和实现矿井生产的降本增效具有重要意义^[1]。于可伟^[5]在蒋家河煤矿采用小孔径水压致裂技术,揭示该矿区以构造应力场为主导,水平主应力占显著优势。吴拥政^[6]等人在义马矿区深部的测量则表明,该区域原岩应力以垂直应力为主,地应力总体处于高应力水平,最大水平主应力方向沿北北东(NNE)向分布。蔡美峰等^[7]研究者在平煤十矿应用三维套孔应力解除法,完成了现场地应力实测。该研究在我国煤矿地应力测量中首次系统采用应力解除技术,并实现了超过1100m的深部测量。通过实测,成功获取了平煤十矿的三维地应力数据,揭示了矿区地应力场的基本分布规律,进而构建了相应的地应力场模型。钻孔触探法是测定煤层及围岩强度的常用原位测试技术。李晓^[8]在保德矿区应用此法,测得泰山隆安煤业11号煤层的上、下煤层强度分别为19.02MPa和22.10MPa。刘俊民^[9]也采用该方法对山西煤炭运销集团野川煤业的围岩强度进行了有效测试。

针对红庆梁矿井巷道支护设计的实际需求,本文利用钻孔套孔应力解除法进行地应力测量,在巷道顶板采用取芯钻取样,实验室测量煤岩物理力学参数,并辅以钻孔窥视法精确观测顶板岩层结构与分布。本次实测获取了红庆梁矿井地应力场类型与煤岩体强度参数,进而分析了深部地应力场的分布规律及其主控因素。研究成果为矿井开拓部署、支护设计、及冲击地压防治等工作提供了关键的数据基础。为红庆梁煤矿3-1煤层巷道围岩支护方案优化提供了技术参数依据。

一、矿井地质概况

研究区隶属于华北地台鄂尔多斯台向斜东胜隆起区的中东部,构造位置位于东胜煤田北部边缘。该矿区的构造格架是对区域含煤地层构造的直接继承,二者形态基本一致。整体呈一走向稳定、倾向200~230°、倾角不足5°的单斜构造。区内构造变形微弱,仅见局部宽缓波状起伏,未见规模性褶皱、断裂构造及岩浆活动,综合判定为构造简单区。

二、地质力学测试方法及原理

(一) 井下围岩结构观测

巷道围岩地质力学测试系统主要由三部分构成:井下围岩结构观测、地应力场测量以及围岩力学强度测试^[10]。

围岩结构观测的核心目的有二:其一在于探查顶板内部结构

面、煤层完整性及岩层分布,旨在掌握其基本地质特征,为后续围岩稳定性评估奠定基础。二则在于为后续的地应力测试甄选合适的试验区段,现场观测结论直接指导了地应力测量方法的选取,是最终确定采用钻孔套孔应力解除法的关键。

(二) 地应力场测量

在我国的地应力测试实践中,所采用的方法主要分为直接测量与间接分析两大类,直接测量法主要包括应力解除法^[11]、应力恢复法^[12]及水压致裂法^[13];而间接估算法则主要涉及地球物理法^[14]与地质测绘法^[15]。

作为应力解除法的一种,钻孔套孔应力解除法通过特定的套孔操作,使岩芯脱离地应力作用并产生弹性恢复变形。该过程引发的钻孔应变由预先安装的传感器记录,这些数据是依据弹性力学公式反演并确定原岩应力场大小与方向的直接依据^[16]。

(三) 围岩力学强度测试

本次试验利用辽宁工程技术大学拥有的相关试验、测试仪器、设备,通过室内试验,进行红庆梁煤矿3-1煤层及顶、底板岩层的煤岩样的物理力学参数测试工作。为全面表征底板岩层岩体力学行为,需获取其强度参数、变形参数等关键指标。

三、地质力学测试试验

(一) 地应力测点位置选择

本次地应力测点的布置遵循了基本选址原则,并充分考虑了红庆梁矿井的井下实际条件与生产布局。基于此,在现有巷道揭露范围内,共确定了6个用于原岩应力实测的代表性测点,其中首个测点(编号HQL-1)位于3-1煤南翼辅运大巷、第二个测点(编号为HQL-2)位于3-1煤南翼辅运大巷、第三个测点(编号为HQL-3)位于12310通风联巷、第四个测点(编号为HQL-4)位于12306胶带顺槽、第五个测点(编号为HQL-5)位于3-1煤北翼辅运大巷2号倒车硐室、第六个测点(编号为HQL-6)位于北翼第五联巷。

(二) 地应力测量结果

对各测点的应变数据进行处理后,得到以下应力场特征:首先,最大主应力为近水平的构造应力,其方向稳定在55.02~65.49°范围内;同时,应力状态表现为最大水平主应力大于垂直应力。详细的应力测量结果及分量对比见表1。

红庆梁矿井原岩应力实测结果揭示了其典型的构造应力场特征:最大主应力为水平应力,量值介于15.72~17.94MPa,优势方位为55.02~65.49°。最大水平主应力是垂直应力的1.44~1.57倍,此应力状态将对井下岩层变形破坏及矿压显现产生主导影响。同时,最大与最小水平主应力之比为1.81~1.91,表明水平应力具有显著的非均质性,致使巷道围岩的稳定性呈现出明显的方向性。此外,实测垂直应力与由上覆岩层重量计算的理论值基本吻合。

表1 红庆梁煤矿原岩应力测量结果总结表

测点	$\sigma_{hmax}/$ MPa	$\sigma_{hmin}/$ MPa	$\sigma_v/$ MPa	σ_{hmax} / σ_v	$\sigma_{hmax} / \sigma_{hmin}$
----	-------------------------	-------------------------	--------------------	------------------------------------	---------------------------------

HQL-1	17.94	9.78	12.49	1.44	1.83
HQL-2	17.53	9.66	12.11	1.45	1.81
HQL-3	16.85	8.93	11.23	1.50	1.89
HQL-4	15.72	8.60	10.04	1.57	1.83
HQL-5	17.15	9.49	11.21	1.53	1.81
HQL-6	16.99	8.88	11.15	1.52	1.91

注：垂直应力为实测数据

为直观展现地应力分布，将6个测点的三向主应力绘制于立体网格图（图1）中。分析表明，最大与最小主应力的倾角均小于 $\pm 30^{\circ}$ ，均可视作水平应力；中间主应力近于垂直。该结果清晰地证实了区域以水平构造应力为主导的应力场特征。

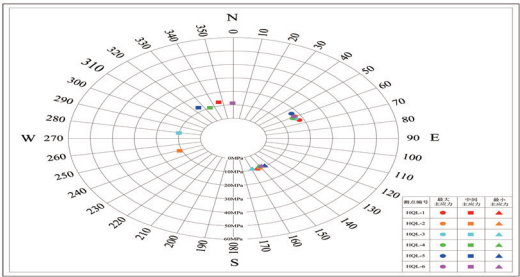


图1 主应力分布立体网格图

（三）围岩结构观测结果

现场实际取芯情况，如图2所示。同时分别结合红庆梁煤矿地质层综合柱状图及一盘区 HB40、二盘区 HQ62 钻孔的柱状图进行岩

层的层位划分，顶板按30m 计算。3-1煤层范围内煤层及顶、底板岩层情况见表2所列。



图2 现场取出的岩芯情况

表2 3-1煤层及顶底板岩层情况

盘区	序号	岩性	层厚（m）
一盘区	1	砾岩	23.63
	2	细粒砂岩	3.30
	3	砂质泥岩	3.07
	4	3-1煤	3.50
	5	砂质泥岩与粉砂岩互层	33.13
二盘区	1	砾岩	17.18
	2	细粒砂岩	8.68
	3	砂质泥岩	4.14
	4	3-1煤	5.94
	5	砂质泥岩与粉砂岩互层	33.13

（四）围岩力学强度测试结果

对红庆梁矿井3-1煤一、二盘区的顶板、煤及底板岩样进行标准制样后，系统测试了其单轴与三轴抗压强度、抗拉强度、弹性模量、泊松比、内聚力及内摩擦角等关键力学参数，具体结果列于表3。

表3 3-1煤二盘区煤层及顶底板岩层情况

盘区	岩性	干密度 / kg/m ³	饱和密度 / kg/m ³	单轴抗压强度 / MPa	弹性模量 /GPa	泊松比	三轴强度 /MPa	内聚力 /MPa	内摩擦角 /°	抗拉强度 / MPa
一盘区	细粒砂岩	1788.01	1873.25	24.60	5.27	0.31	54.06	6.23	29.60	0.99
	砂质泥岩 (R1)	2234.04	2384.63	12.51	2.85	0.33	43.86	2.92	31.14	1.38
	煤 _上	/	/	13.47	1.76	0.30	43.87	3.84	28.91	0.71
	煤 _下	/	/	12.68	1.45	0.31	42.24	3.96	29.68	0.66
	砂质泥岩 (F1)	2292.58	2459.87	15.39	4.85	0.30	49.46	3.95	33.14	1.06
二盘区	细粒砂岩 (R2)	2202.32	2295.40	13.56	3.10	0.33	44.24	3.20	30.59	0.62
	砂质泥岩 (R1)	2290.16	2465.25	13.03	2.92	0.32	42.32	2.56	29.43	1.31
	煤 _上	/	/	12.87	1.67	0.32	41.10	3.98	28.46	0.65
	煤 _中			13.62	1.59	0.34	40.89	4.23	29.26	0.61
	煤 _下	/	/	13.45	1.75	0.30	41.53	4.09	28.37	0.53
	砂质泥岩 (F1)	2328.60	2474.15	15.85	4.91	0.31	51.65	3.96	34.30	1.10

四、结 论

(1) 围岩结构观测表明：3-1煤一盘区与二盘区具有不同的顶板情况，一盘区顶板上方含有较厚的砾岩层，砾径较大（2～10cm 不等），泥质充填，非常松散，二盘区基本顶为厚达15m 的弱胶结砂岩层，从下往上强度逐渐降低，触碰掉渣，抗

拉强度很小。而对于底板情况，一、二盘区底板均为砂质泥岩，深灰色，砂泥质结构，近水平纹理，平坦状断口，岩芯完整，半坚硬。

(2) 地应力测试结果揭示：3-1煤原岩应力场以水平应力为主导，最大水平主应力值为15.72~17.94MPa，方向为55.02~65.49°。该应力是垂直应力的1.44~1.57倍，此高偏压状态将对

井下岩层变形破坏及矿压显现起主导作用。同时,最大与最小水平主应力之比为1.81-1.91,表明水平应力场具有显著的非均质性,导致巷道围岩稳定性呈现明显的方向性。此外,实测垂直应

力与基于上覆岩层自重计算的理论值基本吻合,印证了自重应力场是垂直应力的主要来源。

参考文献

- [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
- [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.
- [3] 康红普, 张镇, 黄志增. 我国煤矿顶板灾害的特点及防控技术 [J]. 煤矿安全, 2020, 51(10): 2433+38.
- [4] 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: 25-59
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 李晓. 泰山隆安煤业地质力学参数原位测试及其应用 [J]. 煤炭技术, 2020, 39(8): 86-89.
- [9] 刘俊民. 野川煤业地质力学参数原位测试研究 [J]. 煤炭技术, 2020, 39(9): 79-82.
- [10] 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..
- [11] 张宏伟, 邓智毅. 空芯包体地应力测量技术在煤矿中的应用 [J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版 2001.20(4): 472-473.
- [12] 马凤良, 何绍勇, 尹向阳. 水压致裂法测量地应力 [J]. 西部探矿工程, 2009, 21(1): 86-88.
- [13] 赵亚军, 孟楠楠. 地应力测量方法综述 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2015(5): 209 - 210.
- [14] 王向前, 刘庆林. 刘桥一矿地应力现场实测及反演分析 [J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2010, 30(3): 1-5
- [15] 冯冰, 韩立军, 孟庆彬. 地应力的测量技术研究 [J]. 煤炭技术: 2016, 38(8): 137-138.
- [16] 范超军, 李胜, 兰天伟, 等. 不同因素对水力压裂促抽煤层瓦斯的影响 [J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(12): 97-102.
- [17] 苏波. 煤岩体结构观测及对巷道围岩稳定性的影响研究 [D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2007.