

深部侏罗系岩层综合隔水性能研究

张玉军 宋业杰 陈佩佩 樊振丽

(天地科技股份有限公司 开采设计事业部 北京 100013)

摘要: 为了解蒙陕矿区纳林河二号矿井岩层隔水性能,基于蒙陕矿区纳林河二号矿井开采深度大,主采煤层受多层含水层威胁、且上覆泥岩隔水层较薄的地质条件,采用统计分析和实验室试验的方法,研究了3-1煤层覆岩的岩性组合特征、岩石力学强度、水理性质以及全应力-应变渗透特性,并确定了3-1煤层覆岩的类型,评价了综合隔水性能。结果表明:3-1煤层覆岩以砂岩为主,渗透性好;泥岩属于水稳性很强的非膨胀型、非崩解性泥质岩;因此该类型覆岩受采动开裂受压后,其隔水性不易恢复,隔水性能较差;总体属于中硬偏坚硬型覆岩类型,综合隔水性能一般。

关键词: 深部煤层; 隔水性能; 渗透性; 水理性质; 覆岩类型

中图分类号: TD742 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2014)08-0095-04

Study on Comprehensive Water Insulated Performances of Deep Jurassic System Rock Strata

ZHANG Yu-jun, SONG Ye-jie, CHEN Pei-pei, FAN Zhen-li

(Department of Mining and Design, Tiandi Science and Technology Company Limited, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to obtain water insulation performances of rock strata in Nalinhe No. 2 Mine of Mengshaan Mining Area, based on the following geological conditions including deep depth seam, main mining seam threatened by many aquifers and above the thin mudstone insulated layer, the statistical analysis and a lab experiment method were applied to study the lithology combined features, rock mechanics strength, hydraulic properties and full stress-strain permeability of the overburden strata above No. 3-1 seam. The type of the overburden strata above No. 3-1 seam was determined and the comprehensive water insulation performances were evaluated. The results showed that the overburden strata above No. 3-1 seam mainly was sandstone with a good permeability. A mudstone was a no-swelling and no-disintegration mudstone with high water stability. After cracking and pressurized by the mining operation, the water insulation of the overburden would be recovered easily and the water insulation performances would be poor. Generally, the overburden belonged to medium hardness and hard strata which the comprehensive water insulated performances was common.

Key words: deep seam; water insulation performances; permeability; hydraulic properties; type of overburden strata

0 引言

目前,我国国有重点煤矿开采深度达1 000 m的煤矿有30余处,最大已接近1 500 m,而且每年以8~12 m的延深速度递增,深部开采已成为煤炭工业必须解决的重大课题^[1-3]。蒙陕矿区位于内蒙古西部鄂尔多斯地区与陕西省榆林地区的交界区域,

煤炭储量丰富,该地区已探明储量3 216亿t,约占全国探明储量的28%,为我国能源发展的战略基地。虽然本区煤层地质条件优越,但是开采煤层较多,煤层间距较小,为近距离煤层群开采;各煤层埋藏较深,普遍大于500 m,有的达到了1 000 m;矿区地表普遍为第四系风积沙和萨拉乌苏组含水层覆盖,含水丰富;白垩系地层含水丰富且胶结程度差;

收稿日期: 2014-03-18;责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.08.024

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAB13B02-04);中国煤炭科工集团创新基金面上资助项目(2012MS004);天地科技开采设计事业部基金资助项目(KJ-2013-TDKC-11)

作者简介: 张玉军(1978—),男,河北怀安人,副研究员,博士。Tel: 010-84264121, E-mail: zhangyujun@tdkcsj.com

引用格式: 张玉军,宋业杰,陈佩佩,等.深部侏罗系岩层综合隔水性能研究[J].煤炭科学技术,2014,42(8):95-98.

ZHANG Yu-jun, SONG Ye-jie, CHEN Pei-pei et al. Study on Comprehensive Water Insulated Performances of Deep Jurassic System Rock Strata [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(8): 95-98.

煤系地层均以各种粒级的砂岩、含砾粗粒砂岩夹砂质泥岩为主,分布多层承压含水层,缺乏稳定隔水层^[4-6]。目前在建的多个井筒均发生出水事故,这些特殊的地质条件给整个矿区的煤层开采带来了巨大的安全隐患,由于该地区煤田尚未开发,因此缺乏对覆岩的综合隔水性能、覆岩破坏规律以及顶板砂岩含水层的充水规律的研究,为矿井水害防治带来了难度。而水体下采煤的实践表明,水体和开采空间之间有无足够厚度的隔水层或者能否保证有足够的隔水性能是实现水体下安全开采的关键。隔水层的隔水能力一般取决于隔水层的厚度、岩性组合关系和岩石强度等因素^[7-10]。针对顶底板岩层的隔水性能,相关学者主要采用实验室试验和数值模拟的手段,从力学强度、岩石成分以及渗流特征等方面进行了一系列的研究^[11-15],为水体下防水煤岩柱的留设提供了依据。基于此,笔者将以蒙陕深部矿区纳林河二号矿井地质资料为依据,通过对钻孔取样试验,开展深部侏罗系岩层综合隔水性能研究。

1 矿井概况

纳林河二号矿井设计生产能力 8 Mt/a,服务年限 71.1 年,采用立井开拓,综合机械化开采。井田内共含可采煤层 5 层,其中 3-1 煤层为主要可采煤层。井田内地层由老至新发育为三叠系上统延长组、侏罗系中统延安组、侏罗系中统直罗组、侏罗系中统安定组、白垩系下统志丹群和第四系。含水层自地表往下依次为上更新统萨拉乌苏组孔隙潜水含水层、白垩系下统志丹群(洛河组)孔隙裂隙承压水含水层、安定-直罗组地层碎屑岩类孔隙裂隙承压水含水层、延安组地层碎屑岩类孔隙裂隙承压水含水层和三叠系延长组碎屑岩类承压水含水层。影响 3-1 煤层开采的直接充水含水层为 3-1 煤层顶板砂岩裂隙含水层及 2 煤层组顶板砂岩含水层,均属于延安组碎屑岩类孔隙裂隙承压水含水层组。含水层岩性以灰、灰白色中、粗粒砂岩为主,局部地段裂隙发育,属于孔隙裂隙层间承压水。据抽水试验可知,单位涌水量为 0.000 437 ~ 0.018 180 L/(s·m),渗透系数为 0.001 494 ~ 0.030 800 m/d,富水性弱。但是,首采区延安组各段地下水水位高出地表,均为涌水钻孔,水压大。

2 煤层覆岩综合隔水性能影响因素分析

覆岩的综合隔水能力一般取决于岩层的厚度、

岩性组合关系、水理性质和岩石强度等因素。

2.1 3-1 煤层覆岩岩性及组合特征分析

覆岩岩性结构及组合特征决定着隔水层的隔水性能、隔水能力及导水裂缝带的发育高度^[10]。通过对纳林河井田范围内 95 个钻孔的 3-1 煤层上覆岩层 40 ~ 100 m 岩性及组合特征统计分析可知,3-1 煤层顶板岩柱岩性以砂岩为主,平均含量在 60% 左右,泥岩类含量相对较少,约占 40%,顶板以上 100 m 范围内的砂岩平均含量大于顶板以上 40 m 范围内的含量。但是在井田西部边界附近及首采区范围内,泥岩类岩层厚度普遍大于 20 m,即含量超过 50%,是有利于 3-1 煤层安全开采的块段。3-1 煤层上覆 100 m 范围内泥岩累计厚度等值线如图 1 所示,总体来说,该类型的覆岩岩性结构不利于抑制导水裂缝带的发育,采动产生的导水裂缝带受压缩后不易弥合,隔水性能较差。

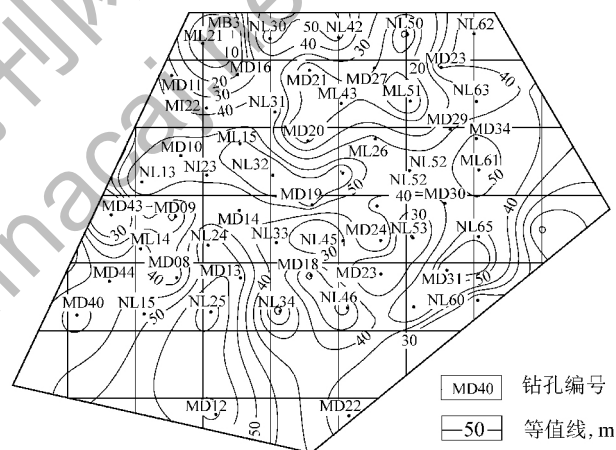


图 1 3-1 煤层上覆 100 m 范围内泥岩累计厚度等值线

2.2 3-1 煤层覆岩的水理特性试验

试验选取了纳林河二号矿井 HB4 钻孔上覆岩层不同深度岩样,完成了砂岩、泥质岩共计 26 组岩样的水理性质测试,测试内容主要包括岩石渗透性、吸水性、膨胀性和崩解性等(表 1)。由此可知,纳林河二号矿井 3-1 煤层覆岩为弱钙质胶结的砂岩,属于中等偏弱的类型,既不是工程性质最好的砂岩,也不是最差的砂岩。但该砂岩中有约 50% 因斜层理(面)富含炭质和白云母的充填物,导致垂直斜层理方向抗拉强度极低,如果巷道顶板和采场顶板有这种岩石分布,顶板将出现变形破坏问题。

饱和吸水率大小是反映岩石吸水性和水容性的指标,亦反映砂岩的密实程度^[16]。测试结果表明,粗砂岩吸水率最高(6.08% ~ 7.22%),其余不同粗细的砂岩饱和吸水率变化规律不明显,一般为

2.4% ~ 6.0%。通常岩石吸水率越大强度越低。

表 1 砂岩、泥质岩水理性质测试结果

岩层	埋深/m	饱和吸水率/%	CaCO ₃ 质量分数/%	渗透性
细砂岩 1	543.7 ~ 540.9	5.38	—	中等渗水
中砂岩 1	540.9 ~ 526.2	4.36	7.60	中等透水
细砂岩 2	526.2 ~ 517.0	4.06	—	弱透水
粗砂岩 1	517.0 ~ 499.7	6.08	—	强透水
细砂岩 3	499.7 ~ 485.5	3.87	0.13	弱透水
粗砂岩 2	478.1 ~ 468.3	7.22	0.24	强透水
中砂岩 2	466.7 ~ 457.5	6.69	—	中等透水
细砂岩 4	457.5 ~ 451.8	4.60	—	弱渗透
细砂岩 5	451.8 ~ 446.1	2.93	—	弱渗透
泥质粉砂岩	287.2 ~ 277.4	5.78	1.31	相对隔水层
泥岩	200.5 ~ 188.7	2.37	43.04	隔水层

注: 膨胀性均为非崩解; 渗透性均为非膨胀。

同时从测试结果来看, 早侏罗系砂岩中, 灰色粉砂质泥页岩、洛河组暗灰褐红色泥质粉砂岩和紫红色、灰紫色泥岩因铁质、钙质、有机质胶结物的胶结作用, 是一种水稳性很强的非膨胀型、非崩解性泥质岩。根据 CaCO₃ 质量分数进行岩石分类, CaCO₃ 质量分数为 50% ~ 75% 的称为泥灰岩, 质量分数为 25% ~ 50% 的称为钙质泥岩, 因此洛河组紫红色泥

灰岩、钙质泥岩的非膨胀、非崩解特性与 CaCO₃ 强胶结作用密切相关。因此此类岩性结构岩石易受溶蚀, 开裂受压后, 其隔水性不易恢复。

2.3 3-1 煤层覆岩的渗透特性试验分析

不同岩样全应力-应变-渗透性试验曲线如图 2 所示, 由测试结果可知, 随着外载荷(轴向载荷)的增加, 岩样发生屈服破坏, 粗砂岩的渗透率呈递减规律, 粉砂岩渗透率也呈现递减规律, 中砂岩和细砂岩总体呈现递增的规律。从每个岩样破坏形式来看, 三轴作用下 5 种岩样在破坏过程均没有出现和岩样轴向相平行的连通性较好的裂隙。5 种岩样在同围压作用下的轴向抗压强度较为接近, 渗透率与岩性存在着一定的关系, 在同等围压和渗透压力作用条件下, 泥岩的渗透率较小, 中粉砂岩的渗透率较小, 粗砂岩的渗透率最大。渗透率总体规律是粗砂岩 > 中砂岩 > 细砂岩 > 粉砂岩 > 砂质泥岩。结束加载破坏后, 试件破坏模式以张性劈裂破坏和剪切破坏组合为主, 其中以张性破坏为主、剪切破坏为辅, 并在试件表面有明显剥落的张性薄片, 破坏面较多, 角度陡, 但基本沿原裂隙延展发育。因此在煤炭开采过程中泥岩是比较好的隔水岩层。而纳林河二号矿井 3-1 煤层覆岩以砂岩为主, 因此其隔水性能较差。

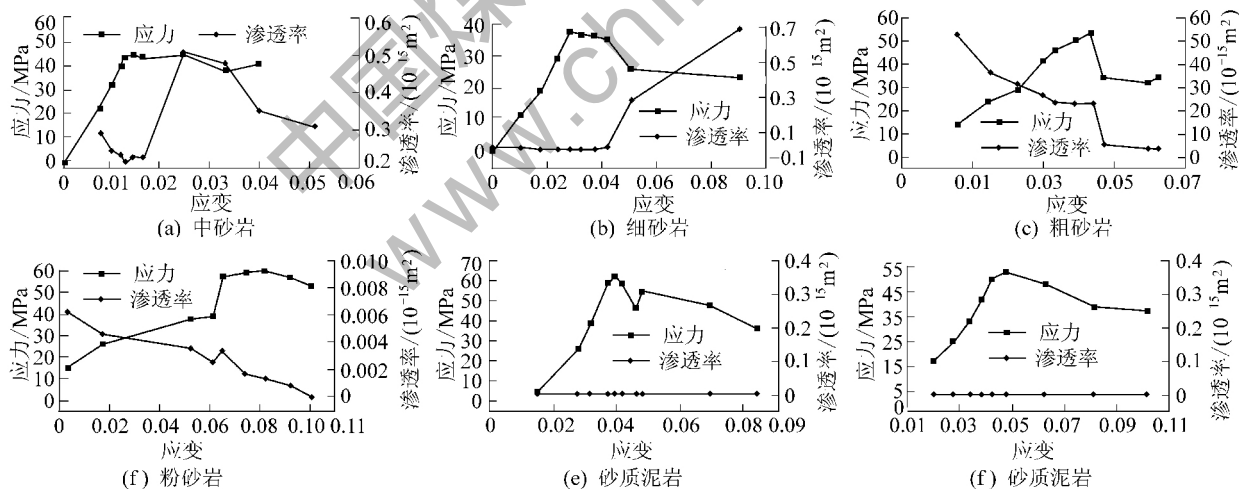


图 2 不同岩样全应力-应变-渗透率曲线

2.4 3-1 煤层上覆岩层力学参数分析

3-1 煤层上覆岩层力学参数见表 2, 由测试结果可知, 2 号、3 号样品单轴抗压强度 σ_c 为 67.332 ~ 121.240 MPa, 平均 87.480 MPa; 其余样品单轴抗压强度为 16.444 ~ 55.448 MPa, 平均 39.650 MPa。且随着埋深增大岩石单轴抗压强度降低, 在 3-1 煤层顶板 80 m 范围内的岩石, 单轴

抗压强度基本上维持在 40 MPa 左右, 岩石单轴抗压强度随埋深变化如图 3 所示, 试件应力-应变曲线如图 4 所示, 岩石破坏形式以纵向张性劈裂破坏为主, 并在试件表面有明显剥落的张性薄片, 破坏面较多, 角度陡。因此从总体上来看, 顶板岩层特征为软硬交互, 属于上硬下软型, 不利于抑制导水裂缝带高度的发育。

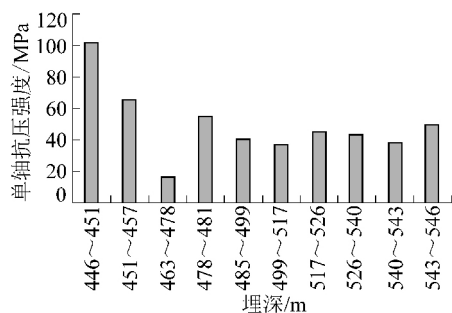


图3 岩石单轴抗压强度随埋深变化

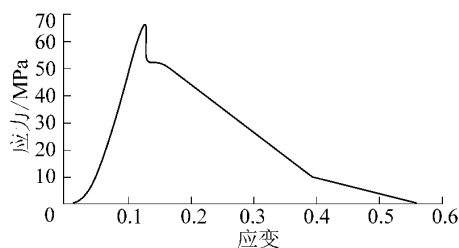


图4 试件应力-应变曲线

表2 3-1 煤层覆岩力学参数

编号	埋深/m	岩性	$\sigma_c /$ MPa	弹性模 量/GPa	泊松 比
1	543.7~540.9	灰色中细长石砂岩	43.489	7.34	0.243
2	451.8~446.0	灰色长石细砂岩	121.240	23.88	0.159
3	457.5~451.8	深灰色长石细砂岩	67.332	8.63	0.215
4	478.1~468.3	灰色粗粒长石砂岩	16.444	2.70	0.318
5	540.9~526.1	灰色长石细砂岩	43.073	8.57	0.313
6	481.7~478.1	灰色长石细砂岩	55.448	6.70	0.265
7	499.7~485.5	灰色细粒长石砂岩	42.739	11.63	0.396
8	540.9~526.1	灰色中粒长石砂岩	34.037	11.45	0.336
9	517.0~499.7	灰色长石粗砂岩	37.322	4.73	0.302
10	526.1~517.0	灰色细粒长石砂岩	45.274	7.19	0.202
11	517.0~499.7	灰色长石粗砂岩	36.270	7.64	0.307
12	499.7~485.5	灰色中粒长石砂岩	29.856	4.84	0.319
13	543.7~540.9	灰色中细长石砂岩	33.681	2.96	0.327
14	546.1~543.7	灰色粉砂质泥岩	49.469	8.47	0.383

2.5 3-1 煤层覆岩类型及隔水性能综合评价

综合上述 3-1 煤层覆岩结构统计结果和覆岩力学参数测试、覆岩水理性质测试以及覆岩全应力应变测试结果,并参照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》中煤层覆岩分类标准可知,可综合确定纳林河二号矿井 3 号煤层组覆岩属于中硬偏坚硬型类型。

而通过对 3-1 煤层覆岩岩性、岩层组合、厚度、物理力学性质、水理性质、渗透性的分析,纳林河二号矿井 3-1 煤层覆岩属于以砂岩岩层为主、岩层组合为上硬下软互层,岩石强度中等的覆岩结构,因此

不利于抑制导水裂缝带的发育,开裂受压后,其隔水性不易恢复,综合隔水性能一般。

3 结 语

1) 覆岩的综合隔水能力取决于岩层的厚度、岩性组合关系、水理性质和岩石强度等因素。

2) 3-1 煤层覆岩岩性以砂岩为主,渗透性好;覆岩中泥岩由于铁质、钙质、有机质胶结物的胶结作用,是一种水稳性很强的非膨胀型、非崩解性泥质岩;该类型覆岩采动产生的导水裂缝带受压缩后不易弥合,其隔水性不易恢复,隔水性能较差。

3) 确定纳林河二号矿井 3-1 煤层覆岩属于中硬偏坚硬型类型,不利于抑制导水裂缝带的发育,综合隔水性能一般。

参考文献

- [1] 康红普. 深部煤矿应力分布特征及巷道围岩控制技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(9): 12-17.
- [2] 祁和刚. 蒙陕地区深部煤层开采地质力学测试及应用研究[J]. 煤矿开采, 2013, 18(5): 6-9.
- [3] 王文波. 海城覆岩岩性结构特征及隔水性能研究[J]. 煤矿开采, 2010, 15(3): 10-13.
- [4] 王晓振, 许家林, 朱卫兵. 主关键层结构稳定性对导水裂隙演化的影响研究[J]. 煤炭学报, 2012, 37(4): 606-612.
- [5] 胡小娟, 李文平, 曹丁涛, 等. 综采导水裂隙带多因素影响指标研究与高度预计[J]. 煤炭学报, 2012, 37(4): 613-620.
- [6] 许家林, 朱卫兵, 王晓振. 基于关键层位置的导水裂隙带高度预计方法[J]. 煤炭学报, 2012, 37(5): 762-769.
- [7] 武强, 赵苏启, 孙文洁, 等. 中国煤矿水文地质类型划分与特征分析[J]. 煤炭学报, 2013, 38(2): 901-905.
- [8] 宋振骥, 郝建, 汤建泉, 等. 断层突水预测控制理论研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(9): 1511-1515.
- [9] 张文泉, 张广鹏, 李伟, 等. 煤层底板突水危险性的 Fisher 判别分析模型[J]. 煤炭学报, 2013, 38(10): 1831-1836.
- [10] 许延春, 刘世奇. 水体下综放开采的安全煤柱留设方法研究[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(11): 1-4.
- [11] 冯梅梅, 茅献彪, 朱庆华. 底板隔水层岩性组合特征对隔水性能的影响[J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27(3): 404-408.
- [12] 李玉民, 康永华, 高成春, 等. 我国水体下综放开采技术的应用及展望[J]. 煤炭科学技术, 2003, 31(12): 1-4.
- [13] 郭惟嘉, 常西坤, 阎卫玺. 深部矿井采场上覆岩层内结构形变特征分析[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(12): 1-4.
- [14] 孙建, 王连国, 侯化强. 底板复合隔水关键层的隔水性能研究[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(4): 560-565.
- [15] 檀双英, 康永华, 刘治国, 等. 祁东煤矿综采覆岩破坏特征[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(9): 1-4.
- [16] 张巍, 尚彦军, 曲永新, 等. 泥质膨胀岩崩解物粒径分布与膨胀性关系试验研究[J]. 岩土力学, 2013, 34(1): 66-72.