

# 大型断层奥灰防水煤柱留设及其阻渗性探究

谢华东<sup>1\*</sup>, 侯俊华<sup>1</sup>, 朱术云<sup>2</sup>

(1.兖州煤业股份有限公司 东滩煤矿, 山东 邹城 273500;  
2.中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116)

**摘要:**为了探究东滩煤矿规划设计的七采区某大型断层防水煤柱留设宽度及其阻渗性,在系统分析了研究区的地质、水文地质和奥灰水文地质条件基础上,建立了主采煤层与该断层相互之间关系的工程地质模型.从安全角度分析计算了断层在顺煤层方向和煤层底部隔水层能否承受下部奥灰含水层水压力两种情况下该大型断层防水煤柱具体留设值.最后采用类比法,根据该断层性质,结合现场压渗数据类比分析了该断层带的阻渗性,发现规范规定的偏保守.研究结果对类似断层煤柱的安全留设和阻渗性评价具有重要的参考价值.

**关键词:**奥灰水;防水煤柱;大型断层;阻渗性;类比分析

**中图分类号:**TD741 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2020)01-0054-05

## On Waterproof Coal Pillar and Permeability of Large Fault for Ordovician Limestone Water

Xie Huadong<sup>1</sup>, Hou Junhua<sup>1</sup>, Zhu Shuyun<sup>2</sup>

(1.Dongtan Coal Mine, Yanzhou Coal Mining Company Limited, Zoucheng 273500, China;  
2.School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** In order to study the width of the waterproof pillar of a large fault in the seventh mining area in Dongtan Coal Mine, the geological and hydrogeological conditions of the studied area are systematically analyzed by relevant data, and the engineering geological model is established for the relationship between the main coal seam and the fault. The specific setting values of the large fault waterproof coal pillar are calculated from the perspective of safety when the fault water is in the direction of coal seam and the water-resisting layer at the bottom of coal seam, the values can bear the water pressure of the lower Ordovician limestone aquifer. At last, the permeability resistance of the fault zone is analyzed by analogy according to the field pressure and permeability data. The study results have an important reference value for the safety of similar fault pillar and fault permeability analysis.

**Keywords:** Ordovician limestone water; waterproof coal pillar; large fault; permeability; analogy analysis

煤层的防隔水煤(岩)柱是指为确保近水体安全采煤而留设的煤层开采上(下)限至水体底(顶)界面之间的煤岩层区段<sup>[1,2]</sup>.大量突水事故分析表明,完整地段一般很少发生突水事故,绝大多数都与断层有直接关系<sup>[3-6]</sup>.为此,断层防水煤岩柱留设引起国家相关部门<sup>[1,4]</sup>和众多学者的高度关注,从不同角度进行了探讨<sup>[1-13]</sup>.留设断层防水煤柱尺寸的计算方法有多种,归纳起来主要有(1)经验类比法<sup>[5,6]</sup>; (2)理论公式

收稿日期:2019-11-14

基金项目:国家自然科学基金资助面上项目(41741020)

\*通信作者, E-mail: xhd9599@163.com

法<sup>[7,8]</sup>; (3) 依据规范(文献[1]和文献[4])中的计算公式进行计算; (4) 用数值计算或相似材料模拟试验确定煤柱的尺寸<sup>[9-12]</sup>和水化学识别法<sup>[13]</sup>. 由于断层本身非均质性, 导致在富水性和导水性方面一般都存在很大差异性, 同一条断层在不同部位导水性差异性很大, 在采动影响下原本不富水或不导水断层也有发生过突水的先例<sup>[3,6]</sup>. 因此, 由于断层本身的复杂性, 讨论断层防水煤岩柱留设尽量要结合具体断层部位进行分析, 特别是落差较大的断层. 本文就是基于这种考虑, 选择东滩煤矿两个采区边界的北公村1号落差最大位置处进行防水煤岩柱安全留设和阻渗性问题进行探究.

## 1 研究区地质与水文地质条件分析

### 1.1 研究区地质概况

研究区位于东滩煤矿规划的七采区和已开采的三采区边界位置(图1), 七采区南北长平均约4.12 km, 东西宽平均约1.39 km, 面积约5.85 km<sup>2</sup>, 采区第四系冲洪积平原, 地势较平坦, 地面标高+48.15~+54.57 m, 平均+51.80 m.

七采区内主采山西组3煤和3<sub>上</sub>煤, 采区内断层发育, 大断层多, 受断层影响, 含煤地层产状局部变化较大, 走向整体呈东西向为主, 倾向南. 北公村1号断层是东滩煤矿三采区和七采区的采区边界断层, 根据文献[14], 该断层属于正断层, 位于井田中部, 为三、七采区及一、五采区分界断层. 断层走向南北, 倾向东, 倾角60°~65°, 落差40~150 m, 延展长度1 500 m, 错断层位3, 16<sub>上</sub>, 17煤层. 三维地震时间剖面控制断点40个, 属查明断层<sup>[14]</sup>. 该断层在本论文研究区内有P<sub>1</sub>-6和补7-3 2个钻孔分别位于下盘和上盘进行初步控制(图1); 另外, 该断层也是矿井从三采区到七采区必须要穿过的. 因此, 该断层防水煤岩柱留设问题和导水性对预开采七采区意义重大.

### 1.2 研究区水文地质条件分析

七采区水文地质条件比较复杂, 主要含水层有侏罗系红层砂岩含水层, 3煤顶底板砂岩含水层和奥灰含水层, 再加上该采区断裂构造发育, 容易通过断裂构造形成导水通道而造成突水事故. 初步统计, 七采区落差大于10 m以上断层有54条, 其中北公村1号断层就是典型的一个<sup>[15]</sup>. 从开采角度, 规划开采山西组3煤层, 分析认为预开采该煤层的最大威胁就是通过断裂构造导通底板奥灰含水层, 该含水层厚度大、岩溶裂隙发育、水量丰富、补给集中和调解储量大等特点, 对研究区的开采将造成较大威胁. 为此, 以北公村1号断层为例, 重点分析大型断层条件下开采3煤层奥灰水方面的安全煤岩柱留设问题和该断层的阻渗性问题.

七采区内有补7-5和O<sub>2</sub>-1两个奥灰水文长观孔, 两个钻孔间距约1 480 m, 其中补7-5钻孔位于补7-3钻孔的东北部, 两孔间距约580 m; O<sub>2</sub>-1钻孔位于补7-3钻孔的东南部, 两孔间距约1 200 m. 图2是从2016年1月到2019年3月期间七采区内2个奥灰含水层水位长观孔数据变化曲线, 整体上奥灰水位波动较大, 呈下降-上升-下降的变化过程, 但2个观测孔奥灰水位变化趋势基本一致. O<sub>2</sub>-1孔和补7-5孔初测水位标高分别为24.31, 17.62 m, 到2019年3月底分布下降到-0.09, 0.50 m, 分别下降了24.40, 17.12 m, O<sub>2</sub>-1孔总下降幅度较大; 但从2016年1月到2019年3月期间2个观测孔的水位下降幅度差别

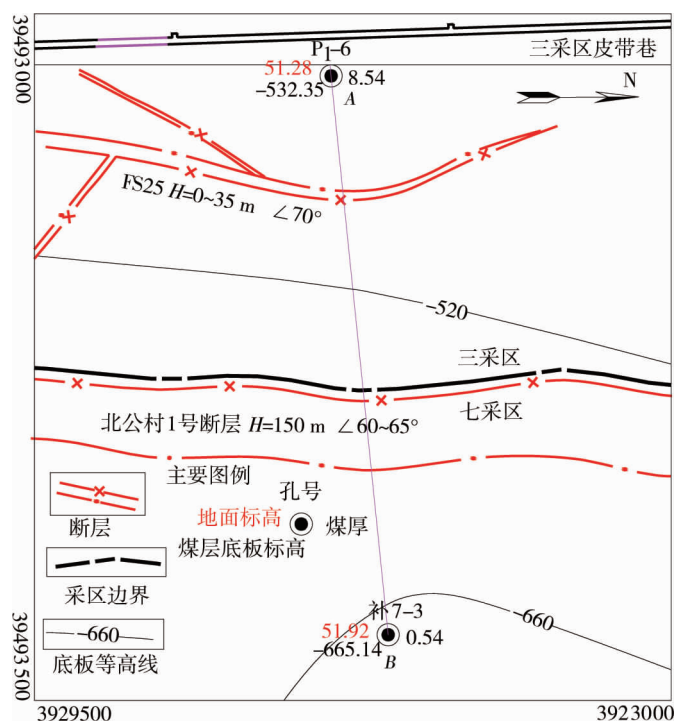


图1 研究区北公村1号断层平面

较大, O<sub>2</sub>-1 孔水位下降了 4.58 m, 而补 7-5 孔水位在波动中基本保持不变. 2 个奥灰钻孔相距约 1 480 km, 但目前两孔水位标高基本一致, 可初步推断七采区范围内还没有开采, 奥灰水位相对比较稳定, 连通性较好.

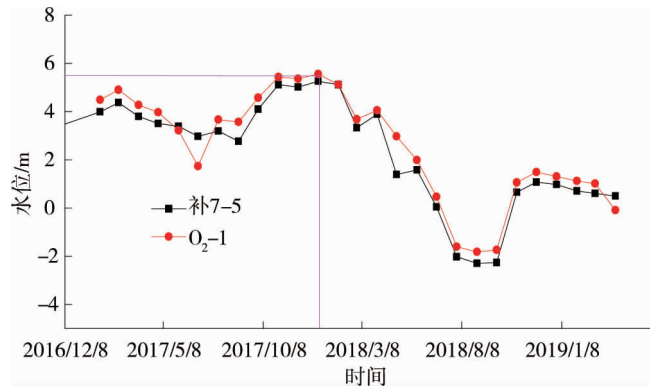


图 2 七采区两个奥灰长观孔水位变化曲线

## 2 典型断层煤柱留设分析与计算

为探讨七采区断层安全煤岩柱留设, 这里选择典型的北公村 1 号断层, 由图 1 中连接该断层下盘 P<sub>1</sub>-6 两和上盘补 7-3 两个钻孔, 形成 AB 线(图 1), 根据 2 个钻孔揭露地层资料和三维地震勘探绘制的断层产状特征, 形成 AB 剖面. 这样北公村 1 号断层和主采的 3 煤层及奥灰含水层位置关系就比较清楚了(图 3).

根据图 3, 3 煤层倾角近水平, 并位于北公村 1 号典型断层上盘, 可建立如图 3 所示的防水煤柱留设计算简图. 由于补 7-3 钻孔揭露 3 煤层时有破碎带, 导致该位置 3 煤厚度异常, 仅 0.54 m, 但正常区域 3 煤厚度一般在 5.0 m 以上, P<sub>1</sub>-6 孔揭露 3 煤层厚度 8.54 m.

根据七采区揭露奥灰 9 个钻孔统计分析(表 1), 6 个钻孔揭露主采的 3 煤层在有断层条件下到奥灰距离 52.48~167.13 m, 平均 142.5 m; 3 个钻孔揭露没有断层条件下主采的 3 煤层到奥灰距离 230.43~267.71 m, 平均 253.1 m; 明显得出有断层和没有断层平均间距相差 110 m 左右. 由此可见, 断层已导致七采区主采的 3 煤层和奥灰间距大大缩小. 根据图 2 水位观测数据和钻孔数据, 可计算得出研究区到 2019 年 3 月底为止, 奥灰水压实测值约 8.15 MPa, 由此可计算出有断层和没有断层条件下奥灰突水系数差别很大(表 1), 有断层条件下奥灰突水系数均明显偏大, 平均值已超过国家规定的临界值 0.06 MPa/m<sup>[1]</sup>.

由此可见, 七采区有断层位置 and 没有断层位置平均厚度差别约 110 m, 奥灰突水系数平均值在断层位置已大于国家规定的临界值 0.06 MPa/m, 故大型断层需要进行主采煤层的防水煤岩柱留设分析. 这里对典型的北公村 1 号断层进行研究, 该断层最大落差 150 m, 如图 3 所示, 属于高角度正断层, 设奥灰和 3 煤层沿北公村 1 号断层间距为 L<sub>1</sub>, m; 阻隔水煤柱留设宽度为 L<sub>2</sub>, m; 安全阻隔水煤岩柱宽度 H<sub>a</sub>, m.

由于该断层切割深度大、落差大, 目前井下还没有进行探测, 安全起见先假定为导水正断层, 成为奥灰

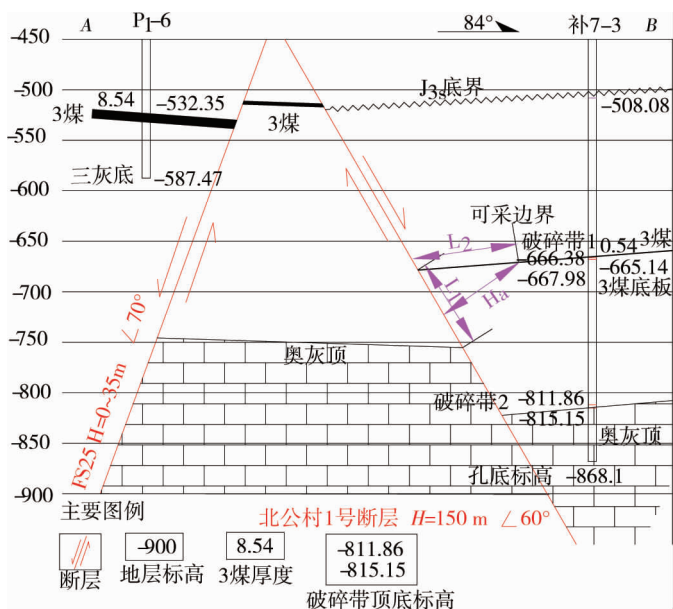


图 3 北公村 1 号断层防水煤柱留设计算示意图

水补给主采 3 煤层的通道.因此,根据文献[1]规定,其断层防水煤柱的留设应按如下 2 种方式计算,取结果中的大值进行留设.

表 1 七采区揭露奥灰钻孔相关统计分析

	七采区钻孔	3 煤底到奥灰距离 /m	突水系数 / (MPa/m)	3 煤底到奥灰平均距离/m	平均突水系数 / (MPa/m)
有断层破碎带的	补 7-3	150.01	0.054	142.5	0.069
	补 7-4	145.56	0.056		
	补 7-5	151.54	0.054		
	补 7-6	167.13	0.049		
	O <sub>2</sub> -1	52.48	0.155		
	P <sub>1</sub> -13	188.43	0.043		
没有断层破碎带的	补 5-4	261.25	0.031	253.1	0.032
	补 45	267.71	0.030		
	补 47	230.42	0.035		

1) 煤层位于含水层下方且断层导水的情况下,主要考虑断层水在顺煤层方向上的压力,防水煤柱的留设按式(1)进行计算.

$$L_2 = 0.5KM \sqrt{\frac{3P}{K_p}} \geq 20 \text{ m.} \quad (1)$$

式中:  $L_2$  为煤柱留设的宽度, m;  $K$  为安全系数, 取 5;  $M$  为煤层厚度或采高, 取剖面中最大值 8.54 m;  $P$  为奥灰水头压力, 取 6.65 MPa (用 2019 年 3 月底实测值约 8.15 MPa 减去 3 煤层底到奥灰距离 150 m 产生的 1.5 MPa);  $K_p$  为煤的抗拉强度, MPa, 取 0.8 MPa.

补 7-3 钻孔揭露奥灰顶到 3 煤层底约 150 m, 则该孔的奥灰突水系数约 0.054 MPa/m, 按照文献[1]仍属于安全开采条件.但由于北公村 1 号正断层影响, 下盘的奥灰顶部距离上盘的 3 煤层明显拉近, 斜距  $L_1$  约 70 m, 垂向上仅 60 m 左右, 则奥灰突水系数将达到 0.14 MPa/m.由此可见, 由于该断层存在, 导致开采 3 煤层引起奥灰突水危险性大大增加.

根据式(1)可计算出顺煤层方向 3 煤断层最大防水煤柱  $L_2$  为 107 m.

2) 煤层位于含水层上方且断层导水的情况下, 防水煤柱的留设主要考虑煤层下部的隔水层能否承受下部含水层的水压, 其计算可按照式(2)进行.

$$L_2 = \frac{H_a}{\sin\alpha} \geq 20 \text{ m.} \quad (2)$$

式中:  $\alpha$  为断层倾角 ( $^\circ$ ), 取  $60^\circ$ ;  $H_a$  为断层安全防水煤柱的宽度, m.

$H_a$  值东滩煤矿缺少实际观测资料确定, 可按式(3)进行计算.

$$H_a = \frac{P}{T_s} + 10. \quad (3)$$

式中:  $P$  为奥灰水头压力, 取实测值 8.15 MPa;  $T_s$  为断层临界突水系数, 按 0.06 MPa/m; 10 为保护带厚度, 一般取 10 m.

则由式(3)可得  $H_a$  为 146 m.

北公村 1 号断层倾角取  $60^\circ$  且导水时, 根据式(2), 3 煤断层最大防水煤柱  $L_2$  为 168 m.

按文献[1], 根据以上两种方法计算的结果, 应取较大的数字.则在断层导水条件下, 考虑底部奥灰含水层水压力时北公村 1 号断层防水煤柱  $L_2$  为 168 m.

### 3 典型断层阻渗性进一步探讨

课题组在 2012 年~2015 年在兖州矿区东滩、兴隆庄、鲍店、杨村等主力矿井进行了主采 3 煤层底板不同结构状态的大量压渗试验<sup>[16]</sup>, 相关主要研究成果获得了山东省 2015 年度科学技术进步二等奖, 现场压渗方面的部分主要数据见表 2.在表 2 中最主要参数就是单位抗渗强度, 我们这里现场实测了采动底板 5

种结构类型条件下单位抗渗强度,论文中主要可借鉴的是断层带阻渗性量化参数 $0.12 \text{ MPa/m}$ 。

表2 底板结构状态及其阻渗能力对应关系现场实测资料<sup>[16]</sup>

结构类型	量化指标(RQD)	定性特征(钻探揭露)	单位抗渗强度/(MPa/m)
块状结构	$\geq 75\%$	完整性较好,裂隙不发育, 冲洗液不渗漏或消耗不明显	砂岩:0.56
			泥岩:0.42
			互层:0.36
层状碎裂结构	50~75%	裂隙较发育,冲洗液消耗明显,但量小	0.15
破碎结构断层破碎带	<50%	裂隙发育,冲洗液渗漏量大,原始状态不导渗	0.12
采动底板	<50%	采动破碎带	0.03

由图3可得,开采煤层底板奥灰含水层水在采动矿压和水压力联合作用下可能沿北公村1号断层带进入采空区,根据补7-3钻孔揭露,和主采的3煤层沿着断层面方向 $L_1$ 约70 m,则由此可算出该断层的阻渗性约 $8.4 \text{ MPa}$ ,这个数值大于奥灰含水层实际水压值 $8.15 \text{ MPa}$ ,理论上来说在非采动条件下可以阻止奥灰水沿着断层面渗入到主采煤层的3煤层。

另外根据奥灰实际水压值 $8.15 \text{ MPa}$ 和断层带阻渗性 $0.12 \text{ MPa/m}$ 可反算出沿断层带的安全最小厚度约68 m,垂高约59 m。若根据文献[1],断层位置临界突水系数值 $0.06 \text{ MPa/m}$ ,则安全隔水层厚度最小需要136 m,与式(2)计算的168 m相比,相差32 m。由此可见,规程中计算明显偏保守,这对实际煤炭资源回收是不利的。

## 4 结论

1) 奥灰含水层通过大型断层作为导水通道是预开采3煤层的主要灾害性突水水源。

2) 北公村1号断层开采3煤层的奥灰防水煤柱宽度约168 m。

3) 初步分析认为在没有采动条件下北公村1号断层和主采3煤层之间沿断层带可以阻止底部奥灰水,但考虑误差或地质体的不均一性和各向异性原因,开采3煤层该断层仍将可能形成导水通道造成奥灰突水。

## 参考文献:

- [1] 国家煤矿安全监察局.煤矿防治水细则[S].2018.
- [2] 杜运夯,孙小林,陈小国.《煤矿防治水细则》专家解读[M].徐州:中国矿业大学出版社,2018.
- [3] 许进鹏,桂辉.构造型导水通道活化突水机理及防治技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2013.
- [4] 国家安全监管总局,国家煤矿安监局,国家能源局,等.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范[S].2017.
- [5] 欧阳东,安铁梁,张丁方.马家沟矿F2断层防水煤岩柱留设研究[J].煤炭科学技术,2014,42(s):64-65.
- [6] 张金才,张玉卓,刘天泉.岩体渗流与煤层底板突水[M].北京:地质出版社,1997.
- [7] 李金凯.矿井岩溶水防治[M].北京:煤炭工业出版社,1990.
- [8] 丁亚恒,赵宝林,李晶峰,等.城郊煤矿某工作面大型断层防水煤柱留设研究[J].矿业安全与环保,2018,45(3):72-75.
- [9] 张俊.断层合理留设煤岩柱宽度数值模拟研究分析[D].合肥:安徽建筑大学,2016.
- [10] 唐东旗,李运成,姚秀芳.断层带留设防水煤柱开采的相似模拟试验研究[J].矿业安全与环保,2005,32(6):26-27.
- [11] 崔芳鹏,武强,胡瑞林,等.断层防水煤(岩)柱安全宽度的计算与评价[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2009,28(4):517-520.
- [12] 张缓缓,刘启蒙,张周鑫,等.大型断层采动活化特征及对断层防水煤柱影响模拟研究[J].煤矿安全,2014,45(12):58-60.
- [13] 张胜军,丁亚恒,姜春露.深部矿井大型边界断层导水性试验研究[J].矿业研究与开发,2017,37(10):114-117.
- [14] 兖州煤业股份有限公司东滩煤矿.矿井水文地质类型划分报告[R].2016.
- [15] 兖州煤业股份有限公司东滩煤矿.七采区地质说明书[R].2012.
- [16] 中国矿业大学.兖州矿区奥灰高承压水煤层安全开采关键技术研究与应用[R].2016.