

Risk Evaluation of Water Inrush from Effective Water-Retaining Layer and Floor of Coal Seam of Yonghong Mine Field

Peng Li

Hydrogeology Engineering Geology Environmental Geological Exploration Institute, China Coal Geology Bureau, Handan Hebei
Email: 4302147@qq.com

Received: Jul. 23rd, 2020; accepted: Aug. 7th, 2020; published: Aug. 14th, 2020

Abstract

The difference from previous studies is that this study analyzes from the previous drilling and the current drilling, from the bottom coal seam to the top impervious layer of the Fengfeng Formation and the relative impervious layer of the top layer of the Austrian lime. The calculation takes into account the effective water barrier of the coal formation under the Yonghong mine field. Through analysis and calculation, the effective interval thickness of the lower coal seam floor is 45.88~64.32 m. Based on this, the risk of water inrush from the lower coal seam floor is evaluated, and the whole area of Yonghong mine field is obtained. Water inrush coefficient is less than 0.06 MPa/m, indicating that its water inrush threat is small.

Keywords

Lower Coal Seam, Austrian Gray Top, Relative Aquifer, Effective Water Barrier, Water Inrush Coefficient

永红井田下组煤层有效隔水层及底板突水危险性评价研究

李 鹏

中国煤炭地质总局水文地质工程地质环境地质勘查院, 河北 邯郸
Email: 4302147@qq.com

收稿日期: 2020年7月23日; 录用日期: 2020年8月7日; 发布日期: 2020年8月14日

摘要

与以往研究的不同之处, 在于本研究通过之前钻孔及本次施工钻孔, 从下组煤层底板至峰峰组顶面隔水层以及奥灰顶部岩层相对隔水层两个方面来分析计算, 综合考虑了永红井田下组煤的有效隔水层。通过分析计算得出了下组煤层底板有效隔水层厚度区间值为45.88~64.32 m, 并在此基础之上对下组煤层底板突水危险性进行了评价, 得出了永红井田全区突水系数小于0.06 MPa/m, 表明其突水威胁性小。

关键词

下组煤层, 奥灰顶部, 相对隔水层, 有效隔水层, 突水系数

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 随着浅层煤炭资源逐渐的开采枯竭, 一些煤田逐渐开始开采下组煤层, 而下组煤层往往会受到奥陶系灰岩岩溶裂隙含水层的威胁。因此, 国内外学者为了能够更好地解放下组煤层煤炭资源, 开始从各自的专业领域, 结合当前的先进技术与理论, 从下组煤层底板突水机理、预测与防治等各方面进行了研究, 并取得了一定的研究[1] [2] [3] [4] [5]。通过文献分析研究, 发现这些研究观点主要集中在奥灰水水压在传导中的变化对煤层底板的作用大小, 把奥陶系灰岩层当作含水层, 往往却忽略了其岩层本身的隔水性, 尤其是在对下组煤突水性评价时, 简单地认为下组煤层埋藏越深, 其奥灰水的压力越大, 突水的可能性也就越大。

随着下组煤层的开采及水文地质勘探的揭露, 越来越多的学者认识到了下组煤底板至奥陶系灰岩顶部, 岩溶裂隙不发育可能能够作为隔水层。例如, 在白海波[6]等人提出下组煤层奥陶系峰峰组顶部存在隔水层并可作为隔水关键层的观点后, 牟林、唐鑫、李春意、施龙青等开展了奥陶系峰峰组顶部隔水层的成因理论和隔水性能测试等研究[7] [8] [9]。从地层运动的角度来讲, 在加里东期, 华北煤田奥陶系顶界面以下的岩溶型风化壳, 经成熟的风化产物充填, 在晚古生代地层沉积、充填和压实胶结作用下形成隔水层[10] [11]。本文以沁水煤田永红煤矿为例, 与以往的研究不同的是, 本研究不仅仅分析研究奥灰顶部隔水层厚度, 而且也分析研究了下组煤底板至奥灰顶界面的隔水层厚度, 二者叠加后获得下组煤底板开采的有效隔水层厚度, 最后对下组煤层底板突水危险性进行了评价, 旨在为安全开采受奥灰岩溶水威胁的下组煤层提供一定的科学依据。

2. 井田概况

永红煤矿隶属沁和能源集团有限公司, 行政区划属山西省沁水县嘉峰镇, 位于沁水煤田东南部, 井田面积为 9.3398 km², 批准开采 3 号~15 号煤层, 生产规模 120 万 t/a, 开采深度由+450 m 至+230 m; 主要含煤地层为二叠系山西组和石炭系太原组, 主要可采煤层为 3 号、9 号、15 号煤层。由于长期开采, 3 号煤层资源量已接近枯竭。为了实现永红煤矿可持续长远发展, 需要 15 号煤开拓延深工程, 而其开采面临的最大问题是来自煤层基底奥灰岩溶含水层的威胁, 为了尽早实现永红矿区 15 号煤带压安全开采, 本研究对永红煤矿下组煤开采底板的隔水性能进行了分析, 为 15 煤的安全开采提供一定的指导。

3. 下组煤底板开采有效隔水层及其厚

3.1. 下组煤底板至峰峰组顶面隔水层

下组煤底板至峰峰组顶面隔水层主要是指回采工作面或巷道底板至奥陶系峰峰组顶板之间的隔水岩层。在以往的研究中一些学者忽略了其底板含水层，仅考虑了奥陶系峰峰组顶部的隔水层，而隔水层岩性、厚度变化对下组煤开采至关重要[12]。

通过本次钻探及以往钻探资料，15号煤层至奥陶系峰峰组顶面隔水层岩性主要为铝土质泥岩、砂质泥岩。据钻孔资料显示，这些粘土岩本身不含水，泥浆液消耗量很小，具有良好的隔水性能，该岩层厚度薄且分布不均匀，厚度 10.88~29.32 m。钻孔实际揭露的 15 号煤层至奥灰顶面隔水层岩性组合如下图 1。

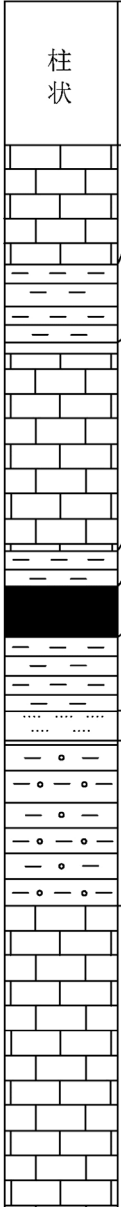
柱状	煤层编号	累深 (m)	层厚 (m)	采长 (m)	采取率 (%)	岩石名称
		237.07	3.12	2.68	85.9	K3灰岩
		243.32	6.25	4.68	74.9	泥岩
		254.38	11.06	7.89	94.4	K2灰岩
		254.79	0.41	1.30	100	泥岩
	15号煤	256.93	2.14	2.56	94.8	15号煤
		262.83	5.90	2.54	100	泥岩
		266.05	3.22	2.84	88.2	K1砂岩
		281.30	15.25	13.63	89.4	铝土质泥岩
		331.65	50.35	48.26	95.8	石灰岩

Figure 1. Histogram from No.15 coal seam to Ordovician limestone stratum
图 1. 井田 15 号煤层至奥灰地层柱状图

井田钻孔资料显示的 15 号煤层到奥灰顶面之间隔水层厚度、岩性及奥灰顶部灰岩段特征见表 1。

Table 1. 15 thickness and lithology of aquifuge between coal seam and Ordovician limestone top surface and limestone section characteristics on top of Ordovician limestone

表 1. 15 煤层到奥灰顶面之间隔水层厚度、岩性及奥灰顶部灰岩段特征

钻孔编号	隔水层厚度(m)	终孔层位位置	隔水层岩性	顶部灰岩特征
补 1	19.06	进入 O ₂ f 4.75 m		
补 2	22.57	进入 O ₂ s 207.95 m		
补 3	18.08	进入 O ₂ f 7.95 m		
补 4	10.88	进入 C ₂ b 5.6 m		
补 5	29.32	进入 C ₂ b 20.1 m		
补 6	18.11	进入 O ₂ f 8.15 m	砂质泥岩、铝土质泥岩	风化壳被充填，或裂隙被方解石充填，质地坚硬，冲洗液消耗量很小
补 7	11.06	进入 O ₂ f 16.55 m		
补 8	19.31	进入 O ₂ f 4.85 m		
HY-1	17.05	进入 O ₂ s 121.15 m		
HY-2	24.37	进入 O ₂ s 96.10 m		
HY-3	23.52	进入 O ₂ s 99.25 m		

从上表可以看出该部分岩层厚度值在 10.88~29.32 m 之间，最薄厚度为 10.88 m，从总体上来说，15 号煤层底板至奥陶系峰峰组顶面间的岩层厚度全部在 30 m 以下。就钻孔岩层分布和岩性而言，15 号煤层底板至奥陶系峰峰组顶面岩层主要为太原组一段下部和本溪组岩层，该段岩层岩性组合主要为泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩、铝土泥岩，偶夹薄层石灰岩或泥灰岩，含较多黄铁矿结核，与奥陶系灰岩接触关系为平行不整合接触，该部分岩层具有隔水性，可看作隔水层。

3.2. 奥灰顶部岩层相对隔水层

对于峰峰组这一套浅海相碳酸盐岩地层，总体特征是泥质、SiO₂ 等难溶于水的成分含量较高，具有一定的可塑性，泥质成分遇水后有一定膨胀性，在收到应力作用挤压破坏产生裂隙时，通过变形、泥分膨胀，减少了客观通的渗水裂隙、通道。岩层本身的完整性较好，岩块内部发育的各种小裂隙多被次生方解石脉充填结晶。部分岩层中夹大量角砾，岩层断面发黄，泥分高，具有纹理易变形，表明其海-陆交换沉积环境。

根据本井田及相邻矿井钻孔资料统计，峰峰组相对隔水层厚度在 35~44 m 之间(见表 2)，其中，本井田峰峰组相对隔水层厚度在 35~38 m 之间。

奥陶系石灰岩的阻水层段主要为峰峰组顶部，其阻水性的强弱直接关系到上马家沟组下部强含水层对煤层开采时的威胁程度，对峰峰组顶部的阻水性加以分析：峰峰组顶部厚 50~72.79 m，岩性由灰绿色、灰黑色泥灰岩、泥质灰岩、灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩和角砾状泥灰岩互层组成，质地不均匀，泥质含量高达 26%~61%。多呈薄层状，交互成层，垂向变化快，裂隙不发育，裂隙率为 1%，且多被泥质充填，透水性弱，可作为隔水层。

奥陶系灰岩中的岩溶发育具有非均质和各向异性的特征，峰峰组隔水层厚度不仅与古沉积环境、地貌等因素有关，还与地下水运动有关。本次勘查经现场测试，YH-1 钻孔进峰峰组顶部 35 m 钻井液几乎没有消耗，进入峰峰组 36 m 以后钻井液开始出现消耗，相比之前消耗量并不大。YH-2 钻孔进入峰峰组

顶部 36 m 钻井液几乎没有消耗。进入峰峰组 37 m 以后钻井液开始出现消耗，相比之前消耗量略大。YH-3 钻孔进峰峰组顶部 38 m 钻井液几乎没有消耗，进入峰峰组 39 m 以后钻井液开始出现消耗，相比之前消耗量略大。

Table 2. Statistics of relative aquifuge thickness of Fengfeng formation

表 2. 峰峰组相对隔水层厚度统计表

孔号	厚度(m)	主要岩性描述	泥质岩类含量	备注
YH-1	35		43%	
YH-2	36		38%	永红煤矿
YH-3	38		41%	
GZ	38		50%	
SC2	43		66%	
SWY1	38	石灰岩、泥灰岩、角砾状泥灰岩、白云质灰岩交互沉积，峰峰组顶部有 6-8m 的风化壳胶结层，未见裂隙	82%	
SWY2	36		49%	
SB1001	44		31%	寺河煤矿
SB1002	35		33%	
SB1003	37		30%	
SB1004	36		26%	
SX1001	44		61%	

通过现场抽(压)水试验及岩芯采取描述可知，峰峰组岩溶发育情况下部相比顶部发育，总体上看峰峰组富水性弱，而上马家沟组岩溶发育情况相比峰峰组发育，总体上看上马沟组富水性强。本次勘查揭露的永红煤矿峰峰组厚度在 106.98~109.79 m 之间，考虑到导水构造对底板隔水层隔水性的不利影响，本次仅把峰峰组顶部作为隔水层段。由前人的研究成果可知，当渗透系数 $K < 0.001$ m/d 时，可将岩层看作隔水层[13]，根据压水实验渗透系数在 0.000097 m/d~0.000252 m/d 之间，可知峰峰组上部 35 m 厚的岩层区域渗透系数的数量级为 10^{-4} ，峰峰组上部 35 m 之后渗透系数及流量发生突变，并且岩层区域渗透系数的数量级为 10^{-3} 。由此可得，峰峰组顶部 35 m 层段岩层的总体透水性微弱，作为相对隔水层。

结合以往文献中的研究成果，在 15 号煤层底板完整地段开采时，为保证煤层的安全开采，本研究统一取峰峰组顶部 35 m 厚度的灰岩作为相对隔水层。在实际开采中可根据进一步的针对性的水文地质勘探资料作适当调整。

3.3. 下组煤底板开采有效隔水层

永红煤矿 15 号煤开采底板有效隔水层由两部分构成，即 15 号煤层底板与峰峰组顶界面间的隔水层与峰峰组顶部相对隔水层。此处奥陶系峰峰组顶部相对隔水层段根据上章研究分析的厚度为 35 m 左右，而 15 号煤层底板与奥陶系峰峰组顶界面间的隔水岩层厚度，见表 3。综合考虑，可得永红煤矿有效隔水层厚度在 45.88~64.32 m 之间，详见下表 3。

Table 3. List of effective aquiclude thickness of No.15 coal seam
表 3. 15 号煤有效隔水层厚度一览表

孔号	15#煤底板标高(m)	奥灰水位标高(m)	奥灰顶界面标高(m)	隔水层底板承受水压(MPa)	终孔层位位置	有效隔水层厚度(m)
补 1	241.72	483.63	222.66	2.960	进入 O ₂ f 4.75 m	54.06
补 2	298.1	481.78	275.53	2.413	进入 O ₂ s 207.95 m	57.57
补 3	313.02	480.12	294.94	2.202	进入 O ₂ f 7.95 m	53.08
补 4	292.97	480.17	282.09	2.331	进入 C ₂ b 5.6 m	45.88
补 5	338.3	479.68	308.98	2.057	进入 C ₂ b 20.1 m	64.32
补 6	318.76	478.52	300.65	2.129	进入 O ₂ f 8.15 m	53.11
补 7	337.49	477.13	326.43	1.857	进入 O ₂ f 16.55 m	46.06
补 8	309.39	477.32	290.08	2.222	进入 O ₂ f 4.85 m	54.31
HY-1	362.82	476.29	345.78	1.655	进入 O ₂ s 121.15 m	52.05
HY-2	344.67	479.95	320.3	1.947	进入 O ₂ s 96.10 m	59.37
HY-3	268.79	482.38	246.39	2.710	进入 O ₂ s 99.25 m	58.52

根据所计算的各钻孔处的有效隔水层厚度值, 绘制永红煤矿 15 号煤层有效隔水层厚度等值线图空间分布图(图 2)。

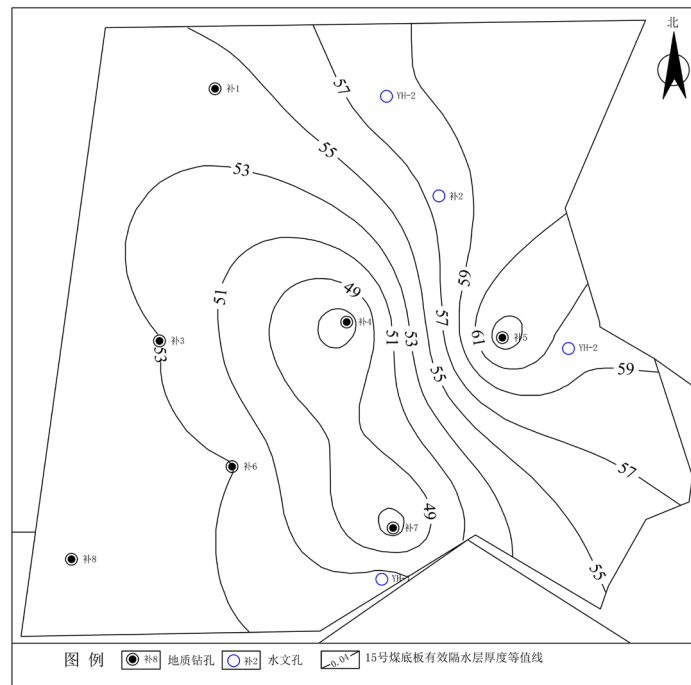


Figure 2. Contour line of effective water resisting layer thickness of No.15 coal seam floor
图 2. 15 号煤底板有效隔水层厚度等值线

4. 下组煤底板突水危险性评价

目前, 针对下组煤底板突水危险性评价, 主要采用的方法为突水系数法, 突水系数法是将突水系数

临界值作为了下组煤层底板突水性的标准,该方法有物理概念明确,简单实用的特点,在煤矿生产实践中获得广泛应用,并被编入《煤矿防治水细则》、《矿井安全规程》、《矿井水文地质规程》中[14],其公式如下:

$$T_s = \frac{P}{M} \quad (\text{公式 1})$$

式中: T_s ——突水系数, MPa/m; P ——隔水岩层底面承受的水压值, MPa; M ——等效隔水层厚度, m。永红煤矿整个 15 号煤层全部带压,在 15 号煤采掘的过程中将会受到底板突水的威胁。根据《煤矿防治水细则》中的规定,当 15 号煤层底板受构造破坏地段突水系数一般不得大于 0.06 MPa/m,隔水层完整无断裂构造破坏的地段不得大于 0.1 MPa/m 时,15 号煤层突水的可能性较小。

根据《煤矿防治水细则》中规定的计算方法,将峰峰组隔水段因素考虑进去,不考虑底板扰动深度,15 号煤底板突水系数见表 4,突水系数等值线见图 3。

Table 4. Effective water resisting layer thickness and water inrush coefficient of No.15 coal seam floor mining
表 4. 15 煤层底板开采有效隔水层厚度及突水系数一览表

孔号	15#煤底板 标高(m)	奥灰水位 标高(m)	奥灰顶界面标 高(m)	隔水层底板承受水压 (MPa)	有效隔水层 厚度(m)	突水系数 T_s (MPa/m)
补 1	241.72	483.63	222.66	2.960	54.06	0.0548
补 2	298.1	481.78	275.53	2.413	57.57	0.0419
补 3	313.02	480.12	294.94	2.202	53.08	0.0415
补 4	292.97	480.17	282.09	2.331	45.88	0.0508
补 5	338.3	479.68	308.98	2.057	64.32	0.0320
补 6	318.76	478.52	300.65	2.129	53.11	0.0401
补 7	337.49	477.13	326.43	1.857	46.06	0.0403
补 8	309.39	477.32	290.08	2.222	54.31	0.0409
HY-1	362.82	476.29	345.78	1.655	52.05	0.0318
HY-2	344.67	479.95	320.3	1.947	59.37	0.0328
HY-3	268.79	482.38	246.39	2.710	58.52	0.0456

由表 4 可知,全井田范围内 15 号煤层底板突水系数小于 0.06 MPa/m。由此可知,考虑峰峰组相对隔水层厚度对改善 15 号煤层带压开采条件意义重大。另外,由于考虑了相对隔水层厚度之后,底板带压值也会相应增大,在原本突水系数很小的区域,也可能计算出突水系数增大的情况,这是由于突水系数公式本身所决定的,并不代表该位置的计算结果有误[15]。

通过钻探取芯,井田内 15 号煤层底板至奥陶系峰峰组顶界面之间泥岩的平均厚度为 18 m 左右。如果在 15 号煤层开采过程中,由于采动条件、奥灰强大的水压以及地质构造的影响,在两个含水层之间产生沟通通道,对开采 15 煤产生很大的威胁,所以本文在研究突水系数时有效隔水层厚度取奥灰含水层顶部相对隔水层至 15 号煤底面之间岩层的厚度。井田周边寺河煤矿利用峰峰组顶部的相对隔水层 15 号煤层工作面已形成,说明了峰峰组顶部相对隔水层对 15 号煤层的带压开采有重要的意义。

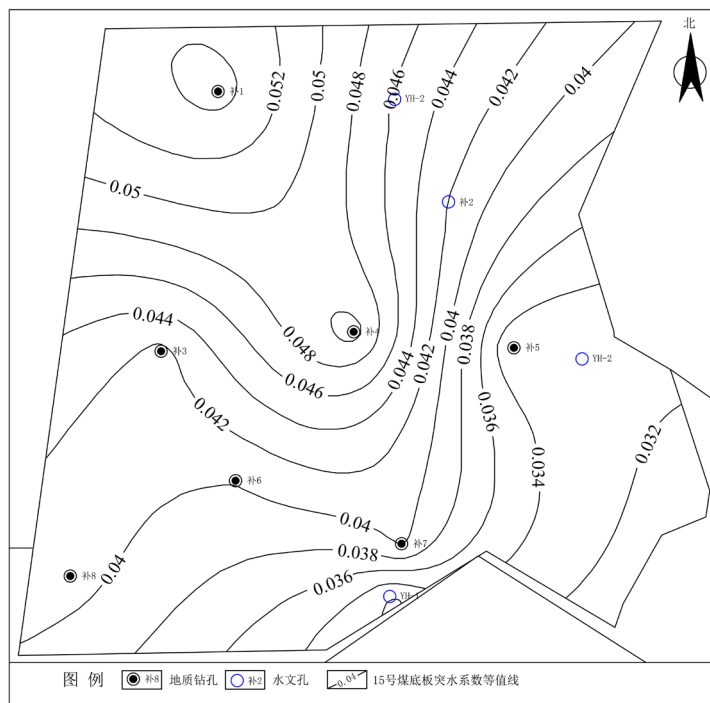


Figure 3. Contour map of water inrush coefficient of No.15 coal seam considering water resisting property of Fengfeng formation
图 3. 考虑峰峰组隔水性能 15 号煤突水系数等值线图

综合分析，在得出 15 号煤层有效隔水层厚度在 45.88~64.32 m 之间的基础之上，所计算的永红煤矿全区突水系数小于 0.06 MPa/m。从图 3 可以看出，突水系数由从南往北逐渐增大的趋势。井田北部的突水危险性要高于井田南部。根据《煤矿防治水细则》相关要求，永红煤矿全区突水系数小于 0.06 MPa/m，适用于采煤工作面。

5. 结论与建议

5.1. 结论

1) 本文通过以往钻孔与本次施工的钻孔，分析研究了 15 号煤层底板至峰峰组顶面隔水层，并得出了 15 号煤层煤底板至峰峰组顶面隔水层厚度值在 10.88~29.32 m 之间，最薄厚度为 10.88 m；

2) 通过现场抽(压)水试验及岩芯采取描述可知，根据压水实验渗透系数 $K < 0.001$ m/d 可作为隔水层，可知峰峰组顶部 35 m 层段岩层的总体透水性微弱，作为相对隔水层；

3) 永红煤矿 15 号煤开采底板有效隔水层由两部分构成，即 15 号煤层底板与峰峰组顶界面间的隔水层与峰峰组顶部相对隔水层，综合考虑，永红煤矿有效隔水层厚度在 45.88~64.32 m 之间；

4) 通过计算，永红煤矿全区突水系数小于 0.06 MPa/m，突水系数由从南往北有逐渐增大的趋势，井田北部的突水危险性要高于井田南部。根据《煤矿防治水细则》相关要求，永红煤矿全区突水系数小于 0.06 MPa/m，适用于采煤工作面。

5.2. 建议

1) 坚持“预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采”的防治水原则，开展水害预测预报工作和正常的水文地质观测、编录工作。

2) 奥灰突水的发生受多种因素的影响，导水断层、裂隙密集带或导水陷落柱是主导因素，虽然目前

井田内断层、陷落柱等构造不发育,但不排除存在隐伏构造的可能性,故在后期15号煤巷道掘进和工作面回采过程中一定要注意防范隐伏构造,加强隐伏构造的精细化探测及防治工作。

3) 本次研究过程中采用了部分寺河煤矿的水文地质勘探数据,寺河煤矿距永红煤矿有一定的距离。因此,建议在未来开采15号煤时,应根据开采过程中实际揭露情况,及时研究论证隔水层厚度及突水影响。

参考文献

- [1] 王连国,宋扬,缪协兴. 基于尖点突变模型的煤层底板突水预测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(4): 573-577.
- [2] 周瑞光,成彬芳,叶贵钧,等. 断层破碎带突水的时效特性研究[J]. 工程地质学报, 2000, 8(4): 411-418.
- [3] Wang, L.G., Miao, X.X., Dong, X., et al. (2008) Application of Quantification Theory to Risk Assessment of Mine Flooding. *Journal of China University of Mining and Technology*, **18**, 39-41.
[https://doi.org/10.1016/S1006-1266\(08\)60008-5](https://doi.org/10.1016/S1006-1266(08)60008-5)
- [4] Kong, H.L., Miao, X.X., Wang, L.Z., et al. (2007) Analysis of the Harmfulness of Water-Inrush from Coal Seam Floor Based on Seepage Instability Theory. *Journal of China University of Mining and Technology*, **17**, 253-258.
[https://doi.org/10.1016/S1006-1266\(07\)60124-2](https://doi.org/10.1016/S1006-1266(07)60124-2)
- [5] 靳德武. 我国煤层底板突水问题的研究现状及展望[J]. 煤炭科学技术, 2002, 30(6): 1-4.
- [6] 白喜庆,白海波,沈智慧. 新驿煤田奥灰顶部相对隔水性及底板突水危险性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(2): 273-280.
- [7] 牟林,李功宇,姬亚东. 晋城寺河矿下组煤底板带压开采条件的探讨[J]. 煤炭学报, 2012, 37(5): 755-761.
- [8] 唐鑫. 兴隆庄煤矿下组煤安全带压开采条件评价[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2015.
- [9] 李春意,崔希民,郎博,等. 霍宝干河矿含隔水层特性及对下组煤开采的影响分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27(3): 438-442.
- [10] 施龙青,娄华群. 肥城煤田下组煤底板隔水能力影响因素分析[J]. 煤田地质与勘探, 1998(2): 47-49.
- [11] 崔祥琨,侯玉德,张琪. 蔚州煤田中-下侏罗统下组煤底板带压开采可行性研究[J]. 煤矿开采, 2011(4): 48-51.
- [12] 缪协兴,白海波. 华北奥陶系顶部碳酸岩层隔水特性及分布规律[J]. 煤炭学报, 2011(2): 85-89.
- [13] 白海波. 奥陶系顶部岩层渗流力学特性及作为隔水关键层应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011(6): 243-249.
- [14] 刘其声. 关于突水系数的讨论[J]. 煤田地质与勘探, 2009, 37(4): 34-37.
- [15] 施龙青. 突水系数由来及其适用性分析[J]. 山东科技大学学报, 2012, 31(6): 6-9.