

山西平鲁后安煤矿涌水量预测分析

史永良

(山西朔州平鲁区后安煤炭有限公司,山西 朔州 036800)

摘要:为了更加准确地预测后安煤矿生产能力核增后的矿井涌水量,本文在分析矿区地质及水文地质条件的基础上,结合矿井近年来采掘活动生产资料,最终选用富水系数比拟法对矿井涌水量进行预测。结果表明:采用富水系数比拟法所得出的预测结果可信度较高。本次涌水量预测为矿井采掘计划和生产提供了重要依据,对其他产能变化矿井的涌水量预测也有指导价值。

关键词:矿井涌水量;富水系数比拟法;预测

中图分类号:TD163

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Prediction on Water Inflow in Houan Coal Mine of Pinglu

SHI Yongliang

(Houan Coal Mine Co., Ltd., Shuozhou 036800, China)

Abstract: In order to predict the water inflow after the increase of the production capacity in Houan Coal Mine, the water-rich index comparison method was finally selected to predict the water inflow, based on the geological and hydrogeological analysis and the production of the mining activities in recent years. The results show that the prediction obtained by the water-rich index comparison method is more reliable. The water flow prediction could provide an important basis for mine excavation planning and production, and guidance to predict the water inflow for other mines with varying production capacities.

Key words: mine water inflow; water rich index comparison method; prediction

矿井涌水量预测方法主要包括:数值法、解析法、水均衡法、水文地质比拟法。其中水文地质比拟法是工程实践中最常用的方法之一。此方法是基于稳定流的前提下,通过一些对水文地质环境较为相似,同时拥有相同开采工艺的矿井进行预测。本文以平鲁后安煤矿为例,通过研究分析矿区的地质及水文地质条件、充水因素等,同时结合矿区历年涌水情况,对矿井生产能力核增后的涌水量进行预测。

1 工程概况

山西朔州平鲁区后安煤炭有限公司位于朔州市平鲁区,井田面积4.8336 km²,开采深度为1290~980 m。2019年8月,矿井生产能力核增为500万t/a,在开采之前进行矿井涌水量预测对于矿井开采和生产具有重要意义^[1-2]。以往矿井涌水量预测是在生

产能力核定前进行的,随着生产能力的提升,矿井涌水量也随之增大^[3]。本文通过研究后安煤矿的地勘资料^[4-7],结合矿区涌水现状,进行充水因素分析对比,发现水文地质条件变化较小,故选用富水系数比拟法可更加准确地反映矿井生产能力提升后对涌水量的实际影响^[8-10]。本次预测为矿井开采时的防水工作提供了可靠的依据。

2 矿区地质及水文地质

2.1 地质条件

后安煤矿位于宁武煤田的北部东缘,地表大部分被新生界地层所覆盖,属典型的黄土丘陵地貌,仅在沟谷中出露二叠系下统下石盒子组地层。根据钻孔资料以及地质填图成果可知,区内由下至上发育有奥陶系中统上马家沟组(O₂s)、石炭系中统本溪组(C₂b)、石炭

收稿日期:2020-03-01

作者简介:史永良(1990-),男,山西朔州人,大学本科,助理工程师,从事水文地质工作,E-mail:389786049@qq.com

系上统太原组(C_3t)、二叠系下统山西组(P_1s)和下石盒子组(P_{1x})以及新生界中、上更新统(Q_{2+3})。

区域主要含煤地层为石炭系上统太原组和二叠系下统山西组。山西组一般含煤 3 层,多见 2 层,编号为 1,2,3 号煤层,煤层平均总厚度 0.19 m,平均含煤系数 0.36%,全部为不稳定不可采煤层。太原组为本区主要含煤地层,共含煤 8 层,煤层平均总厚

度 31.34 m,平均含煤系数 29.8%,从上至下编号为 4,5,6,7,8,9,10,11 号。其中 4,5 号煤层组合为上煤组,6,7 号煤层组合为中煤组,8,9,10,11 号煤层组合为下煤组。4,9,11 号煤层为本区主要可采煤层,可采煤层平均总厚度 29.43 m,平均含煤系数 28%,而其他煤层为不可采煤层。各煤层赋存情况见表 1。

表 1 各煤层赋存情况统计表
Table 1 Coal seam occurrence

煤层编号	煤层厚度/m	一般间距/m	顶板岩性	底板岩性	煤层结构	稳定性
4-1	$\frac{0.84 \sim 18.92}{8.87}$	—	砂质泥岩,中粒砂岩	砂质泥岩,泥岩	复杂	稳定
4-2	$\frac{0 \sim 6.75}{2.14}$	3.00	砂质泥岩,粉砂岩	泥岩,砂质泥岩	简单	较稳定
5	$\frac{0 \sim 17.88}{1.63}$	4.00	泥灰岩,砂质泥岩	粉砂岩,砂质泥岩	复杂	不稳定
6	$\frac{0 \sim 4.53}{1.28}$	13.00	砂质泥岩,泥岩	砂质泥岩,泥岩	复杂	不稳定
7	$\frac{0 \sim 1.63}{0.58}$	6.00	砂质泥岩,细粒砂岩	泥岩石,砂质泥岩	简单	不稳定
8	$\frac{0 \sim 3.01}{1.24}$	8.00	砂质泥岩,中、细粒砂岩	砂质泥岩,泥岩	简单	不稳定
9	$\frac{2.40 \sim 36.31}{11.76}$	5.00	砂质泥岩,泥岩	砂质泥岩,泥岩	复杂	稳定
10	$\frac{0 \sim 2.05}{0.82}$	2.00	中、细粒砂岩,砂质泥岩	砂质泥岩,粉砂岩	简单	不稳定
11	$\frac{0 \sim 9.77}{4.10}$	5.50	中、细粒砂岩,石灰岩	砂质泥岩,中、细粒砂岩	复杂	较稳定

平朔矿区位于宁武煤田的北端,井田基本为一向西南倾斜的单斜构造,地层走向总体多 $N305^\circ-330^\circ W$,总体倾向南西,地层倾角为 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。后安煤矿发育有李西沟断层(F1)和安家岭断层(F2)两条大断层。李西沟断层走向为 $N40^\circ-50^\circ E$,倾向南东,倾角 75° ,落差为 $5 \sim 38$ m,为一正断层;安家岭断层走向为 $N35^\circ E$,倾向北西,倾角 72° 。综上所述,后安煤矿地质构造除西北部受 F1、F2 断层影响外,基本上属简单类。

2.2 水文地质条件

2.2.1 含水层

井田含水层从下至上划分为奥陶系中统碳酸盐岩溶裂隙含水层组、石炭系上统太原组碎屑岩间夹碳酸盐岩溶裂隙含水层、二叠系碎屑岩裂隙含水层、二叠系下统下石盒子组碎屑岩类裂隙含水层及第四系冲积层砂孔隙潜水含水层。各个含水层的主要特征如表 2 所示。

表 2 含水层特征统计表
Table 2 Aquifer characteristics

编号	含水层	厚度/m	单位涌水量/ ($L \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$)	含水层岩性	渗透系数 ($m \cdot d^{-1}$)	富水性	水位标高/m
1	奥陶系中统碳酸盐岩溶裂隙含水层组	—	1.25	浅灰色、灰色巨厚层状石灰岩为主	0.266	强	1 058.92
2	石炭系上统太原组碎屑岩间夹碳酸盐岩溶裂隙含水层	0~29.31	0.002 4~0.076 8	中、细粒砂岩	0.001 8~ 0.349 0	弱	1 159.30~ 1 260.95
3	二叠系碎屑岩裂隙含水层	10~20	0.000 84~ 0.003 00	厚层状粗砂岩,灰色、浅灰色粉砂岩及砂质泥岩	0.004 5~ 0.005 3	弱	1 213.00~ 1 252.70
4	二叠系下统下石盒子组碎屑岩类裂隙含水层	30~50	0.000 5	黄绿色中、粗砂岩,夹粉砂岩及砂质泥岩	0.002 28	弱	1 341.95
5	第四系冲积层砂孔隙潜水含水层	10	—	粘土、亚粘土	—	弱	水位埋深 1.20~4.00

2.2.2 隔水层

1) 石炭系中统本溪组主要由泥岩、铝土岩、砂

岩、砂质泥岩等组成,最小厚度 20.5 m,夹 1~2 层薄层灰岩及不可采薄煤,可视为 11 号煤层与奥灰岩

溶水之间的隔水层。

2) 石炭、二叠系砂岩含水层之间的泥质岩类,厚6~18 m,沉积稳定。由抽水可知,各含水层之间基本无水力联系,这些泥质岩类可视为阻断太原组煤层之间的隔水层。

3) 第四系中、上更新统离石组黄土为微红色砂质黏土,夹棕褐色古土壤层,厚0~13 m左右,沿沟谷边坡出露广泛,为隔水层。

2.2.3 地下水的补给、径流、排泄

1) 奥灰岩溶水。井田内奥灰岩溶水在区域北西部的奥灰出露区接受补给,补给方式以大气降水入渗为主,河谷渗漏次之。井田内上覆较厚的非可溶性岩层,岩溶水具有承压性,为径流区。岩溶水由北西部向南东部径流,排泄区在神头泉一带,主要以泉群的形式泄出,其次人工开采也是重要的排泄方式之一。

2) 石炭、二叠系砂岩裂隙水。砂岩裂隙含水层与泥质岩类隔水层相间成层,隔水性能良好,含水层间一般不发生水力联系,属层间裂隙承压水。其水位与含水层层位高低有关,即含水层层位高,则水位也高。其富水性随深度的增加而减弱。大气降水为其主要补给来源,补给方式以沿沟谷出露区及浅埋区下渗补给为主。受地形、盖层等条件的限制,补给条件不利,下渗补给有限,大部分消耗于土壤的蒸发和形成地表径流排出区外。

2.3 充水因素及充水通道分析

2.3.1 充水因素

1) 大气降水。本区气候干燥,降水量分配极不均匀,历年降水集中在7—9月份,尤其在8月份多降暴雨,历史上日最大降水量达153 mm,暴雨强度大,来势猛,易形成集中补给,使矿坑积水严重,因此在暴雨季节开采过程中应加以防范。

2) 地表水。后安煤矿内无大的地表水体,仅在井田西部边界附近有马关河流经。马关河发源于木

瓜界、上梨园等地,流经平朔矿区南部,至赵家口、担水沟,汇入桑干河,全长27 km,为泉水汇集而成,汇水面积1.51 km²,属桑干河水系,为海河流域。该河平水期流量一般为0.04~0.06 m³/s,洪水期流量可达100~200 m³/s,沿本区边界河段一带岩层裂隙比较发育,透水性强,且井田西部受F₁和F₂断层的破坏影响,所以在采掘活动推进到本地段时应采取必要的防范措施。

3) 围岩含水层。矿井开采4⁻¹号煤层时,其直接充水因素主要是山西组砂岩含水层。开采9、11号煤层时,其直接充水因素主要以太原组砂岩含水层为主,山西组地层砂岩含水层为其间接充水因素。山西组、太原组这两层含水层单位涌水量0.0024~0.0030 L/(s·m),富水性弱,补给条件差。

现本矿大力推广煤层注水技术,对4、9号煤层进行煤层注水,9号煤层水仓内的积水来源主要为清洗巷道、煤层除尘洒水等工业用水,可见围岩地下水对本矿煤层开采的影响较小。

4) 奥灰水对煤层开采的影响。井田内奥陶系岩溶含水层为间接充水含水层,该含水层富水性强,水位标高为1058.5~1059.0 m。4号煤层最低底板标高为1080 m,高于奥灰水水位,不受奥陶系岩溶水的影响;9、11号煤层最低底板标高为1000 m和990 m,将会受到奥陶系岩溶水的影响。根据2019年5月由山西地科勘察有限公司编制的《山西朔州平鲁区后安煤炭有限公司生产地质报告》计算,9号煤层最大突水系数为0.024 MPa/m,11号煤层最大突水系数为0.030 MPa/m,均小于构造破坏临界系数0.060 MPa/m。

5) 采(古)空区积水。采(古)空区积水主要依据《山西朔州平鲁区后安煤炭有限公司生产地质报告》(2019)、《矿井水文地质类型划分报告》(2017)、《矿井水患补充调查报告》(2016),并结合近年来对积水区的探查情况进行估算,结果如表3所示。

表3 矿井老空区积水情况估算表

Table 3 Estimation of water accumulation in old mined-out areas

层号	积水区编号	积水区面积/m ²	开采厚度/m	煤层倾角/(°)	充水系数	积水量/m ³	备注
4 ⁻¹	1	26 839	8.08	4	0.35	76 100	
	2	25 205	8.08	6	0.35	71 700	
	3	92 660	8.08	3	0.20	149 900	杏园越界采空
	CKJS1	4 732	8.00	3	0.25	9 500	物探异常区
合计					307 200		

6) 周边煤矿积水情况。依据与周边相邻矿井交换的图纸及其他调查资料,井田南、东南有生产煤矿茂华白芦煤业有限公司,开采4⁻¹号煤层。井田东南

部有重组前原杏园煤矿越界开采形成的采空区积水三处,积水面积计18 138 m²,积水量约为11 600 m³。井田东部为华美奥冯西煤业有限公司,该矿与本矿

相邻部位无采掘活动。井田东北部为国兴煤业有限公司,开采 4⁻¹号煤层,采空积水区距后安煤矿较远,目前对矿井开采无充水影响。井田北部为东露天矿,与本矿相邻地段尚未开采。

2.3.2 充水通道

1)顶板垮落带、导水裂缝带。4⁻¹号煤层的导水裂缝带最大高度为 84.57 m,在井田北部沟谷附近导水裂隙会延伸至地表。9号煤层的导水裂缝带最大高度为 95.28 m,9+11号煤层的导水裂缝带最大高度为 110.48 m,煤矿下步开采下组煤时产生的导水裂缝带能够到达上组煤,进而沟通煤层之间的水力联系。因此,4⁻¹号煤层的采空积水会对下组煤的开采产生影响。

2)封孔不良的钻孔。个别封孔质量不佳的钻孔是人为导水通道。当掘进巷道或采区工作面经过没有封好的钻孔时,顶、底板含水层地下水将沿着钻孔补给矿层,造成涌(突)水事故。

3)断层导水破碎带。区内发育有 F₁ 和 F₂ 两条大断层,成为联系上下含水层导水的通道。同时在开采过程中发现落差较小的中小断层,也是矿井充水及主要水害之一。

4)废弃老窑(井筒)。本井田内无废弃井筒,周边存在已关闭旧井筒,会因填埋封闭不良而成为导水的途径,应引起注意。

3 矿井涌水量预测

3.1 矿井涌水量现状

本井田矿井涌水主要由工业用水、采空积水、砂岩裂隙水组成。特别是近年来在引进煤层注水、顶板预裂注水等先进技术的前提下,工业用水占比稳居第一。按照矿井的长期规划,针对采空区的一系列防治水措施的实施势必会增加采空积水在矿井涌水量结构中的份额。根据井下各出水点、涌水点观测资料,同时利用水化学分析法,对矿井各类型水的

化学特征差异进行了分析对比,确定矿井涌水量构成中工业用水占全矿井总涌水量的 72%,其次是采空积水占 18%、砂岩裂隙水占 7%、其他包括构造水、孔隙水等占 3%,如图 1 所示。

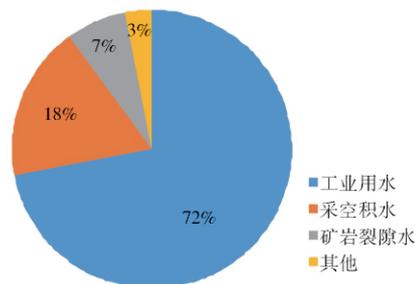


图 1 矿井涌水组成图

Fig. 1 Composition of mine water inflow

近年来在煤产量达产的条件下,根据历年气象观测资料分析,矿井涌水量基本进入稳定期,大气降水对矿井涌水量产生一定的影响,11月至次年4月涌水量较小,5月至10月涌水量较大。一般而言,矿井涌水量峰值滞后丰水期3个月,且随着降水量的增加矿井涌水量也随之增大。矿井涌水量波动有时相对迟缓,可能受其他因素影响所致。由此可知大气降水和地表水对矿井水有补给作用,矿井涌水量与降水量有较强的相关性,如图 2 所示。

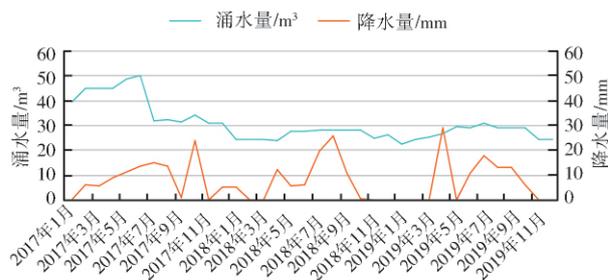


图 2 矿井涌水量与降水量动态相关曲线

Fig. 2 Dynamic correlation of mine water inflow and precipitation

本矿 2013 年 9 月开始对 9 号煤层进行回采。自 2012 年以来,逐月对矿井涌水量进行了统计,本次预测仅参考近 3 年统计资料进行分析,统计情况见表 4。

表 4 2017—2019 年矿井涌水量统计表(后安煤矿)

Table 4 Mine water inflow 2017—2019

年份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2017年	41.58	46.84	46.98	46.80	46.70	47.93	30.06	30.24	29.59	32.37	33.08	33.06
2018年	26.46	26.52	26.18	25.83	25.48	25.78	25.96	25.96	26.06	25.91	22.70	24.24
2019年	24.49	26.23	27.23	28.58	27.76	27.17	27.15	27.24	27.20	27.22	27.31	27.56

3.2 矿井涌水量预测

根据以上分析可知,该区域地质及水文地质条件中等,本矿井主要涌水量由工业用水、采空积水和砂岩裂隙水组成。本次预算采用富水系数比拟法对矿井生产能力核增为 500 万 t/a 后的矿井涌水量进

行预测分析。

矿井涌水量预测公式如下:

$$Q = K_p \times P = Q_0 \times P/P_0$$

式中:K_p 为富水系数, K_p = Q₀/P₀, m³/t; Q 为设计矿井涌水量, m³/h; Q₀ 为煤矿实际涌水量, m³/h; P₀

为煤矿实际开采量,万 t/a; P 为设计矿井生产能力,万 t/a。

计算参数的确定:本次预测实际涌水量采用正常涌水量为 $30.48 \text{ m}^3/\text{h}$ (取 2017 年 1 月—2019 年 12 月的均值),最大涌水量为 $47.93 \text{ m}^3/\text{h}$ (取 2017 年 6 月统计值),煤矿实际开采量采用近三年产量均值 293.39 万 t/a 。预计矿井生产能力达到 500 万 t/a 时,带入公式计算可知,矿井正常涌水量 Q_1 为 $51.94 \text{ m}^3/\text{h}$,最大涌水量 Q_{\max} 为 $81.68 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

$$Q_1 = 30.48 \times 500 / 293.39 = 51.94 \quad .$$

$$Q_{\max} = 47.93 \times 500 / 293.39 = 81.68 \quad .$$

4 结论

1)本次涌水量预测中,未将针对采空区进行的探放水活动考虑在内,势必造成预测结果偏小。

2)由于本次预测结果是基于地质及水文地质条

件相似的前提下进行的,受采掘活动的影响,特别是受开采区域含水层不确定性的影响,当生产条件发生变化时,需及时对预测结果进行修正。

3)通过观测数据分析发现大气降水对矿井水有补给作用,矿井涌水量与降水量有较强的相关性。

4)本次矿井涌水量预测是在矿井年产量为 300 万 t 的基础上,预测生产能力核增为 500 万 t/a 后的涌水量。在地质和水文地质条件以及充水因素相似的前提下,利用大量真实数据,选择富水系数比拟法进行预测。预测结果可信度高。

鉴于矿井涌水量影响因素较多,今后进行矿井涌水量计算时,应对各种影响因素仔细分析。可通过多种方法进行预测,再加以分析比较,最后采用适宜的方法或者多种方法耦合,来提高矿井涌水量预测的适应性及精确性。

参考文献:

- [1] Guo H, Adhikary D P, Craig M S. Simulation of mine water inflow and gas emission during longwall mining[J]. Rock Mechanics & Rock Engineering, 2009, 42(1): 25-51.
- [2] 李云峰, 胥国富, 左传明. 梁花园矿井涌水量估算[J]. 中国煤田地质, 2007, 19(5): 38-40.
LI Yunfeng, XU Guofu, ZUO Chuanming. Lianguhuayuan Mine water inflow estimation[J]. Coal Geology of China, 2007, 19(5): 38-40.
- [3] 吴翠娟. 基于神经网络的矿井涌水量预测研究[J]. 中国煤炭, 2009, 35(10): 105-108.
WU Cuijuan. A study on the nervous network based mine water inflow forecasts[J]. China Coal, 2009, 35(10): 105-108.
- [4] FENG Jie, HOU Enke, DENG Niandong, et al. Partitioning prediction on the risk of water inflow of the roof in Huangling No. 2 Mine[J]. Advanced Materials Research, 2011, 361-363: 39-42.
- [5] WU Chu, WU Xiong, ZHU Ge, et al. Predicting mine water inflow and groundwater levels for coal mining operations in the Pangpangta coalfield, China[J]. Environmental Geology, 2019, 78(5): 1-13.
- [6] LUO Ankun, CHAI Rui, LIU Qisheng, et al. Mine water inflow prediction about shallow buried type in northwest China [M]//International Conference on Energy. 2015.
- [7] MALAVARD L C. Recent developments in the method of the rheoelectric analogy applied to aerodynamics[J]. Journal of the Aeronautical Sciences, 2015, 24(5): 321-331.
- [8] TAJIKA, E. Snowball planets as a possible type of water-rich terrestrial planet in extrasolar planetary systems[J]. Astrophysical Journal, 2008, 680(1): 53-56.
- [9] 段俭君, 徐会军, 王子河. 相关分析法在矿井涌水量预测中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6): 114-116.
DUAN Jianjun, XU Huijun, WANG Zih. Correlational analysis method applied to prediction of mine water inflow quantity [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(6): 114-116.
- [10] 张彩云. 矿井涌水量预测方法及适用性评价[J]. 华北国土资源, 2018(1): 26-28.
ZHANG Caiyun. Research on mine water inflow prediction method and its applicability[J]. Land and resources of North China, 2018(1): 26-28.

(编辑: 安娜)