呼吉尔特矿区矿井涌水量变化规律与影响因素

覃意新
（中天合创能源有限责任公司，内蒙古 鄂尔多斯　017000）

摘　要：呼吉尔特矿区属于鄂尔多斯盆地侏罗系煤田深埋区，可采煤层上覆较强富水性厚层砂岩含水层。随着煤层开采，顶板水进入矿井，严重影响矿井安全生产。矿区范围内，各生产矿井涌水量均较大，最大矿井涌水量达到 2 289 m^3/h，且仍呈上升趋势。针对这一情况，以该矿区涌水量最大的某矿井为例，对该矿区矿井涌水量变化规律和影响因素，从开采煤层上覆含水层赋存特征、巷道掘进长度、采空区半径、含水层疏降等方面，做了分析研究。结果表明：该矿区煤层顶板导水裂缝带范围内，发育有 2～3 层砂岩含水层，富水性差异较大，不同程度地影响矿井涌水量。在建井阶段，矿井涌水量随着巷道进尺的增加而增大，而矿井单位进尺涌水量和巷道单位进尺涌水量呈减小趋势。采前对工作面上覆含水层静储量进行计算，采取超前预疏放措施，充分疏放含水层静储量，可达到安全回采条件。矿井生产建设过程中，矿井涌水量先期呈大幅度增大的趋势，随着矿井采空区面积的不断增大，疏放影响范围增大，矿井涌水量增长幅度趋缓。

关键词：呼吉尔特矿区；矿井涌水量；变化规律；砂岩含水层；预疏放
中图分类号：TD163$^+$.1　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1002-6029(2019)06-0029-06

Variation Law and Influence Factors of Mine Water Inflow in Huji Erte Mining Area

QIN Yixin
(*Zhongtian Hechuang Energy Company Limited*, *Ordos*　017000, *China*)

Abstract: Huji Erte Mining Area belonged to the deep underground area of the Jurassic Coalfield in Ordos Basin. Above the mineable seam, there was a high watery aquifer in the thick sandstone. With the mining operation of the seam, the roof water came into the mine and was seriously affected to the mine safety production. Within the mining area, the mine inflow in each mine was all high, a max mine inflow was 2 289 m^3/h and mine water inflow was in an increasing tendency. According to the condition, based on a mine with a max mine water inflow taken as a case, an analysis study was conducted on the variation law and influence factors of the mine water inflow in the mining area from the aquifer occurrence characteristics above the mining seam, the driving length of the gateway, the radius of the goaf, the dewatering of the aquifer and other aspects. The results showed that within the water flowing cracking zone scope in the seam roof of the mining area, there ware two to three sandstone aquifers developed, the watery difference was large and was affected to the mine water inflow in deferent degree. In the mine construction period, the mine water inflow would be increased with the gateway driving footage increased and the mine water inflow of the mine unit heading footage and the water inflow of the gateway unit driving would be in a reduced tendency. Before the mining operation, a calculation was conducted on the static water reserves of the aquifer above the coal mining face. Advance pre-

收稿日期：2019-10-16　　**DOI：**10.19458/j.cnki.cn11-2456/td.2019.06.008
作者简介：覃意新(1991—)，男，内蒙古鄂尔多斯人，助理工程师。Tel：19847303650，E-mail：972229275@qq.com
引用格式：覃意新. 呼吉尔特矿区矿井涌水量变化规律与影响因素[J]. 建井技术，2019，40(6)：29-34.

drainage measures were conducted, the static water reserves of the aquifer were fully drained and were reached to the safety mining condition. During the mine production construction processing, the initial mine water inflow was in a high increased tendency. With the area of the mine goaf continuously increased, the water drainage influence scope was increased and the increasing of the mine water inflow was in a stable tendency.

Key words: Huji Erte Mining Area; mine water inflow; variation law; aquifer in sandstone; pre-drainage

呼吉尔特矿区属于鄂尔多斯盆地侏罗系煤田深埋区，可采煤层上覆较强富水性厚层砂岩含水层。随着煤层开采，顶板水进入矿井，严重影响矿井安全生产。矿区范围内，各生产矿井涌水量均较大，最大矿井涌水量达到 2 289 m^3/h，且仍呈上升趋势。

呼吉尔特矿区主要开采侏罗系延安组煤层，上覆地层为侏罗系直罗组、安定组、白垩系地层；断层构造较少，且落差较小，垂向导水构造不甚发育，属地质构造简单型[1]。从地层组合结构看，白垩系志丹群底板至延安组顶部为泥质岩、粉砂岩与中粗粒砂岩等组成的含、隔水层相互叠置的组合结构，且隔水层厚度所占比例较大，含水层间水力联系较弱。由于其特殊的陆相沉积背景、多相变层叠的覆岩结构和错综复杂的地下水径流系统，含水层富水性强，且不均一，侧向补给量大，导致矿井水文地质条件比较复杂[1-2]。矿区大规模开发历史较晚，水文地质条件勘探和研究程度较低；且在矿井生产、建设过程中，对矿井涌水量变化规律研究不足，多数矿井面临比较严峻的水害形势[3]。因此，有必要对该矿区侏罗系含煤地层水文地质条件进行深入研究，剖析影响矿井涌水的相关因素，掌握矿井涌水量变化规律，为矿区内煤层开采和矿井水害防治提供安全保障和数据支撑。

1 顶板水文地质条件

鄂尔多斯台向斜是一个中生代陆相地层沉积的巨厚向斜盆地。呼吉尔特矿区裂隙水属于华北地台鄂尔多斯台向斜东胜隆起区裂隙地下水系统，具有补给面积大、补给条件较好、径流途径长、富水性及渗透性相对较强等特征，并具有独立的补给、径流和排泄的地下水循环系统[4]。呼吉尔特矿区基本构造形态为一向西缓倾斜的单斜构造，倾向 270°左右，地层倾角 1～3°[5]，属于鄂尔多斯盆地侏罗系煤田深埋区，煤层埋深超过 600 m，开采煤层顶板导水裂缝带导通延安组三段和直罗组下段含水层，为河流相沉积。某煤矿井田内，延安组三段地层厚度 40.25～135.24 m，平均 98.70 m；3-1 煤至 2-2 中煤间发育 1 层弱富水薄层砂岩含水层。研究区东北部，延安组三段上部 2-2 中煤顶板至 2-1 煤底板为真武洞砂岩，岩性以灰白细粒长石砂岩为主，其次为中粒长石砂岩，发育底冲刷侵蚀面构造，厚度 0～26 m，该地层西南部因受冲刷剥蚀作用而缺失。真武洞砂岩受冲刷剥蚀区域，富水性中等，与上覆七里镇砂岩共同构成较强富水砂岩含水层。直罗组下段地层厚度 63～111 m，平均 85 m，底部发育有七里镇砂岩，角度不整合于延安组三段之上。七里镇砂岩在某煤矿首采区南翼发育最好，富水性较其他区域强，含水层厚度(7.40～88.2 m，平均33.5 m)大，水压高，富水性较强且极不均一，部分区域发育有较为明显的富水条带。

建井阶段，3-1 煤顶板延安组砂岩含水层单孔涌水量为 0～38 m^3/h，水压 0.5～2.3 MPa。一般情况下，揭露真武洞砂岩时，涌水量、水压均较大。2-2 中煤或 2-1 煤顶板直罗组砂岩含水层单孔涌水量 32～187 m^3/h，水压最大达 5.8 MPa。经综合分析可知，呼吉尔特矿区煤层开采过程中，导水裂隙带发育高度范围内，由上而下，富水性变弱。其中，直罗组底部七里镇砂岩含水层富水性最强，真武洞砂岩含水层次之，3-1 煤顶板延安组薄层砂岩含水层最弱[6]。

2 涌水量变化规律

2.1 建井阶段

呼吉尔特矿区某煤矿建井阶段矿井涌水量主要由井筒淋水、钻孔出水和巷道涌水三大部分组成。巷道涌水量变化与巷道掘进具有较好的相关性。矿井涌水量与巷道掘进进尺成非线性正相关关系，总体表现为随着掘进进尺的增加而增大；受井筒淋水和钻孔出水影响，具有较大波动性。

巷道掘进 0～4 800 m 阶段，矿井井筒未全部进行注浆封堵，井筒涌水量较大，矿井涌水量主要为井筒淋水 32～116 m^3/h，占矿井涌水量的 60% 以上。4 800～18 000 m 阶段，井筒淋水量约

50 m^3/h。在井底车场施工 1 组顶板探查钻孔，揭露 2-2 中煤顶板直罗组底部砂岩含水层，涌水量 40 m^3/h，矿井涌水量从 125 m^3/h 突增至 185 m^3/h。18 000～24 830 m 阶段，集中上仓斜巷穿过 2-2 煤层，揭露直罗组底部中粗粒砂岩含水层，施工 17 个疏放水钻孔进行疏放，矿井涌水量从 247 m^3/h 突增至 305 m^3/h；疏放一段时间后，涌水量逐渐减小，加上井筒进行了注浆堵水，矿井涌水量减小至 226 m^3/h。24 830～34 605 m 巷道掘进过程中，矿井涌水量从 226 m^3/h 突增至 321 m^3/h。二盘区泄水巷顶板孔出水 58 m^3/h，疏放一段时间后封堵。在此期间，封堵井底车场涌水量约 40 m^3/h，矿井涌水量减小至 266.3 m^3/h。34 605～48 880 m 阶段，矿井涌水量变化幅度较小。

如图 1 所示，在不排除其他因素的情况下，矿井单位进尺涌水量较大，为 5.7～45.6 $m^3/(h \cdot 1\ 000\ m)$；在仅考虑巷道涌水量的情况下，巷道单位进尺涌水量为 4.0～15.0 $m^3/(h \cdot 1\ 000\ m)$。通过对巷道顶板水文地质资料及掘进揭露情况的分析，巷道掘进阶段，主要受 3-1 煤顶板薄层砂岩含水层影响，巷道出水形式以顶板锚索孔和锚杆孔淋水为主，其次为巷帮淋水，巷道涌水量波动小，单位进尺涌水量随掘进时间的增加而减小。说明 3-1 煤顶板薄层砂岩含水层富水性弱，水源补给性差，易于疏放。

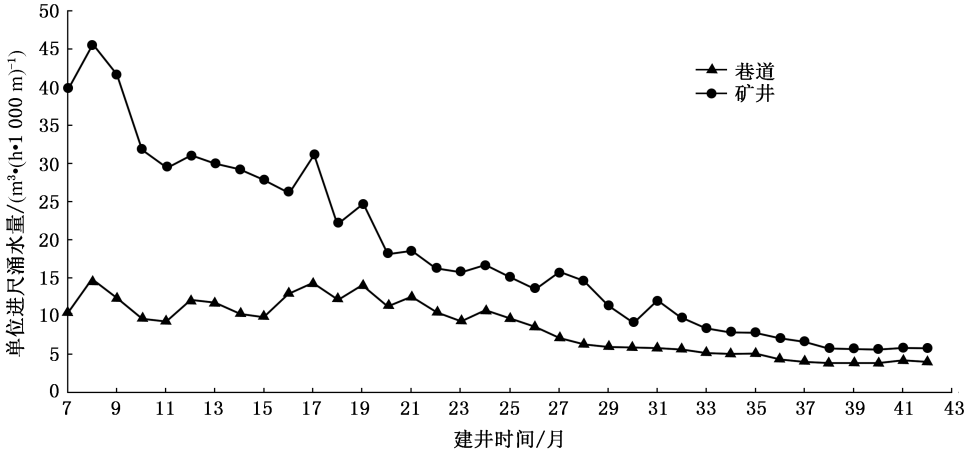

图 1　矿井及巷道单位进尺涌水量变化曲线

2.2　首采面顶板疏放水

研究区范围内，煤层顶板涌水是砂岩含水层孔隙、裂隙水，顶板涌水量主要由静储量和动态补给量组成。静储量是来自顶板导水裂缝带范围内的含水层裂隙水和孔隙水，其大小主要与含水层的储水率、给水度、采空影响范围、降落漏斗形态有关；动态补给量是由于采动裂隙范围内水头降低，导致周围一定范围内含水层的水向采空区内流动而形成的，其大小与渗透系数大小、进水边界长度及补给来源等有关[7]。

静储量 Q_j 由含水层弹性释水量 Q_t 和重力释水量 Q_z 构成，即

$$Q_j = Q_t + Q_z = \mu_t F h + \mu_d V \tag{1}$$

式中：μ_t 为弹性释水系数；F 为评价区疏干范围面积；h 为采空区内顶板砂岩承压水位降深；μ_d 为含水层重力给水度；V 为含水层体积。

一般情况下，弹性释水系数取值范围为 10^{-3}～10^{-6} 级别，弹性释水量计算数值非常小，可忽略不计，因而有

$$Q_j \approx Q_z = \mu_d V \tag{2}$$

静储量的确定关键在于重力给水度和回采影响范围的确定。研究区直罗组中、粗粒砂岩含水层岩性特征基本相似；根据周边矿井实测情况，直罗组粗粒砂岩含水层段给水度实测正常值为 0.018 9，最大值为 0.0 213。本次计算，给水度 μ_d 取 0.018 9。工作面回采过程中，顶板垮落实测移动角为 70°。考虑 70° 移动角，疏干区长度为 4 792 m，宽度为 347 m，计算得到疏干范围面积 $F = 1\ 662\ 824\ m^2$；含水层平均厚度为 39.1 m。将数据代入式(2)计算，得到首采面静储量 $Q_j \approx 1\ 228\ 810\ m^3$。

以上计算结果，说明研究区顶板静储量较大，必须进行预疏放。预疏放采用“削峰平谷，分段疏放”的方式。根据对某矿首采面顶板疏放水量和采空区涌水量数据的分析，工作面回采前，对采面前方 0～600 m 范围进行集中疏放，最终疏放水量稳定在 395～405 m^3/h，认为 400 m^3/h 为开切眼附近动态补给量。工作面回采前 140 d，距开切

眼 600 m 范围内，顶板疏放水钻孔累计疏放 130 万 m^3 左右。疏放水工作分为 3 个阶段进行：第 1 阶段(0～34 d)为试验孔施工和放水试验阶段；钻孔施工期间，部分钻孔少量疏放；放水试验阶段，放水量不超过 200 m^3/h。第 2 阶段(34～60 d)，由于受矿井水处理站处理能力的限制，实行控制性放水，放水量一般小于 300 m^3/h。第 3 阶段(60～140 d)，开始集中放水，放水量一般大于 400 m^3/h。前 2 个阶段，由于放水量过小，小于含水层动态补给量，对含水层静储量的消耗有限；第 3 阶段由于放水量大于动态补给量，含水层静储量消耗明显。

按照“削峰平谷，分段疏放”的疏放方式，首先对工作面前方 600 m 范围内(包含一次见方、二次见方影响范围)的顶板进行疏放。通过计算，工作面前方 600 m 范围内的顶板含水层静储量为 24.5 万 m^3。通过对水量数据的分析，集中疏放阶段，疏放量达到 109.2 万 m^3。其中静储量疏放 30.5 万 m^3，动储量疏放 78.7 万 m^3。施工的 36 个疏放水钻孔，单孔涌水量下降至 20 m^3/h 以下，大部分钻孔水压小于 1.0 MPa。分析认为，采面前方 600 m 范围内的顶板静储量基本疏干。通过对工作面涌水量变化情况的分析，结合煤层与主要含水层的层间距大小，认为首采面将含水层水压疏降至 1.0 MPa 以下，单孔平均涌水量小于 10 m^3/h，即可实现工作面安全回采[8]。首采面顶板疏放水期间，矿井涌水量猛增，从 268 m^3/h 增加至最大时的 914 m^3/h。随着持续疏放，矿井涌水量与疏放水量成线性衰减，如图 2 所示。

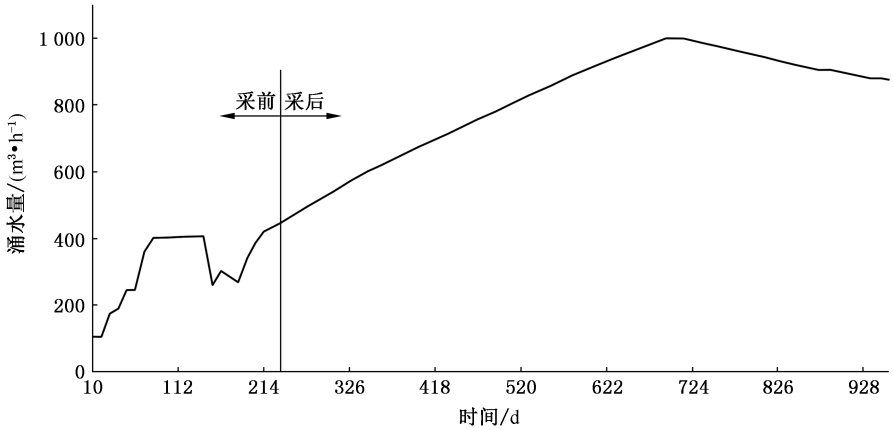

图 2 首采面动态补给涌水量变化曲线

2.3 首采面回采阶段

顶板疏放钻孔超前预疏放，静储量基本疏干，含水层仍残留有少量静储量。首采面回采初期，随着煤层顶板砂岩的周期性垮落和导水裂缝带的逐渐发育，顶板延安组和直罗组一段的砂岩裂隙水不断涌入采空区；随着采空区面积的增大，工作面涌水量大幅增加。工作面回采前期，动态补给量和静储量疏放量不断增大，采空区顶板及工作面附近含水层疏放效果较好。工作面回采后期，含水层得到充分疏降，顶板疏放影响半径增大，工作面周边上覆含水层水压下降，含水层水力坡度减小，动态补给量较少，含水层静储量充分疏放后，几乎无残留，工作面涌水量随着采空区面积的继续增大而减小。综合分析可知，首采面回采阶段，首采面采空区涌水量变化曲线呈非对称正态分布形态。首采面涌水量具有以下几个特点：

(1)工作面推进至 260 m 左右处时，工作面出现一次见方，工作面涌水量从连续增加变为突增，采空区涌水量达到 374.9 m^3/h；推进至 400 m 左右处时，工作面出现二次见方，采空区涌水量突增至 616.7 m^3/h，且维持时间较短，随后快速减小。

(2)工作面回采从开切眼到 3 300 m 位置，工作面涌水量与推进长度成正相关关系；从3 300 m 位置至回采结束，工作面涌水量与推进长度成负相关关系；推进至 3 300 m 时，采空区涌水量达到最大值 1 372 m^3/h(见图 3)，工作面总涌水量为 1 523 m^3/h。

(3)排除疏放钻孔控制疏放因素，工作面顶板疏放水量随着推进长度的增加，呈减小趋势。说明随着工作面推进，上覆砂岩含水层静储量得到充分疏放，钻孔涌水量减小，如图 4 所示。

(4)工作面动态补给量先逐渐增加，而后减小，与工作面涌水量变化趋势基本一致。工作面回采结束时，动态补给量约等于工作面涌水量，静储量疏放量很小。

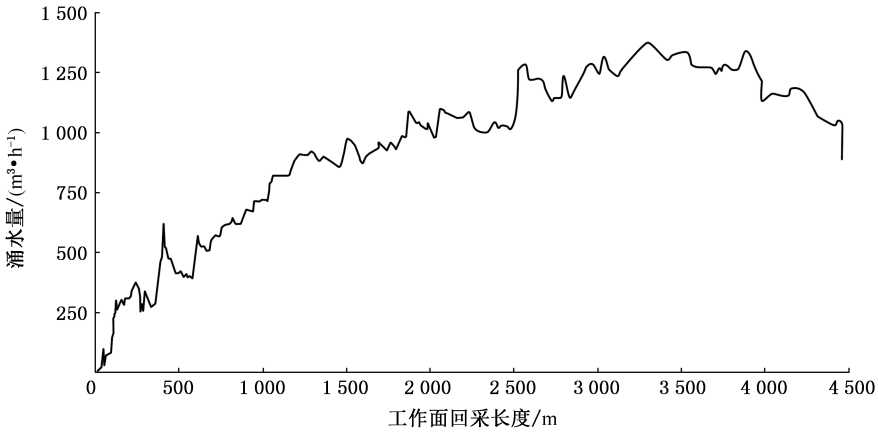

图 3　首采面采空区涌水量与回采长度关系

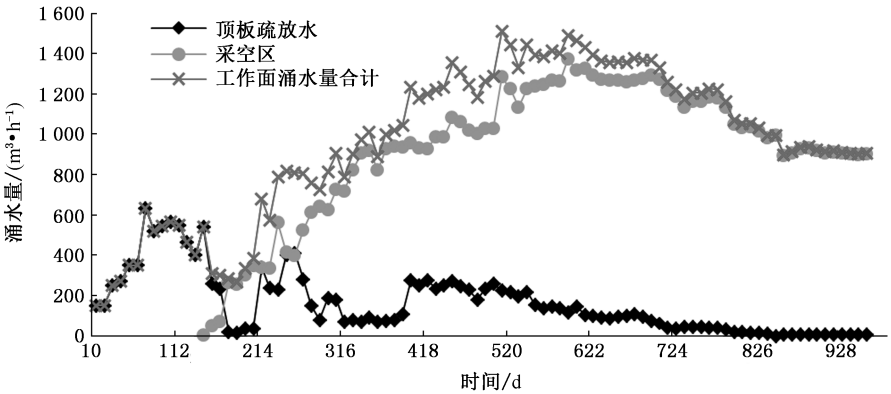

图 4　首采面涌水量变化曲线

(5)首采面回采阶段研究区范围内,煤层顶板涌水来源是砂岩含水层孔隙、裂隙水,顶板涌水量主要由静储量和动态补给量组成。

2.4　接续工作面回采阶段

2.4.1　工作面涌水量变化规律

各工作面涌水量变化特征显示,工作面采空区涌水量整体上均随推进距离的增加而增大;工作面推进至一次见方与二次见方位置附近时,涌水量增长幅度相对较大,随后有所减小;工作面推进至一定距离时,工作面涌水量不再随推进距离的增加而增大。如南翼首采面(01 工作面)回采至 3 300 m 位置之后,采空区涌水量不再随工作面的推进而增大;北翼首采面(03 工作面)回采至 3 100 m 位置之后,采空区涌水量增大到最大值,随后出现回落,亦表现出减小趋势。

2.4.2　矿井涌水量变化规律

分析矿井涌水量变化曲线可知,矿井涌水量呈非线性增长。首采面 2016 年 10 月开始回采,2018-04-14 和 2019-08-03,全矿井涌水量分别达到最大值 2 278 和 2 289 m^3/h。矿井涌水量先期呈大幅度增大的趋势;后来由于生产接续调整,明显下降。之后,随着生产逐步恢复正常,矿井涌水量增大到前期高点,处于上升阶段,如图 5 所示。分析图 5 中曲线可知,矿井涌水量是成非线性增长。剔除生产接续调整因素影响,正常情况下,矿井生产建设初期,矿井涌水量大幅度增长;而后随着矿井采空区面积的不断增大,疏放影响半径不断增大,主要含水层得到充分疏放,矿井涌水量增长幅度趋缓。随着矿区各矿井开采范围的不断扩大,在矿井采动互相袭扰影响下,经过一段时间开采,各矿井涌水量出现衰减,最终稳定在某一区间。

3　结　　语

(1)呼吉尔特矿区 3-1 煤层顶板导水裂缝带范围内,共发育 2～3 层含水层,富水性差异较大,对巷道和采空区涌水量变化有着不同程度的影响。

3-1 煤层顶板薄层砂岩含水层是 3-1 煤巷道掘进期间的主要充水含水层,影响巷道掘进阶段的矿井涌水量。直罗组底部七里镇砂岩含水层富水性最强,真武洞砂岩含水层富水性次之,它们是矿井主要充水含水层,主要影响工作面回采阶段涌水量。

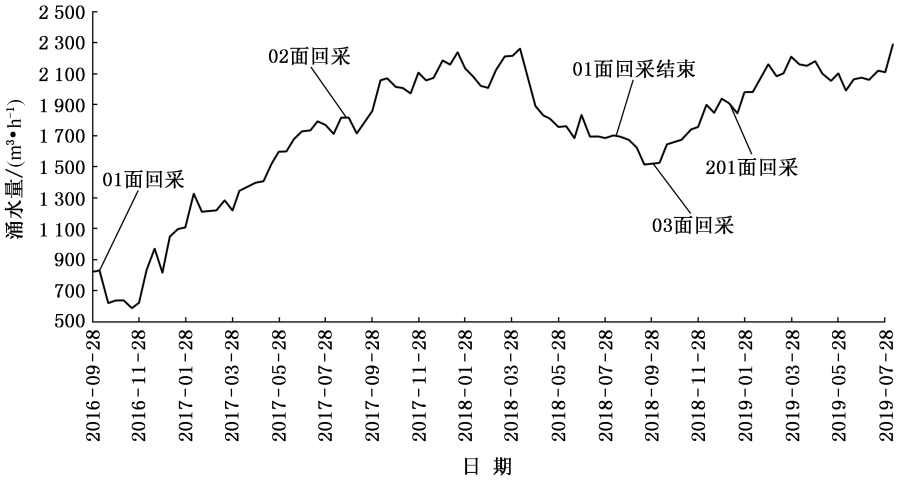

图 5 矿井涌水量变化曲线

(2)矿井涌水量与巷道掘进进尺成非线性正相关关系,总体表现为矿井涌水量随着掘进进尺的增加而增大,单位进尺涌水量呈下降趋势。说明 3-1 煤顶板砂岩含水层富水性弱,水源补给性差,易于疏放。

(3)首采面回采后,导水裂隙带范围内的延安组和直罗组含水层砂岩裂隙水不断涌入采空区。首采面开始回采至结束,首采面采空区涌水量曲线呈宽缓的非对称正态分布形态,矿井涌水量与首采面涌水量相关性较好。

(4)各工作面涌水量变化特征显示,工作面采空区涌水量整体上均随推进距离的增加而增大;工作面推进至一次见方和二次见方位置附近时,涌水量增长幅度相对较大,随后有所减小。工作面推进至一定距离时,工作面涌水量不再随推进距离的增加而增大。

(5)矿井生产建设初期,矿井地下水自然平衡状态未遭受严重破坏,矿井涌水量快速增大。随着矿井采空区面积的不断增大,再加上矿区内各矿井采动袭扰,主要含水层得到充分疏放,矿井涌水量增长幅度趋缓,最终衰减至某一稳定的数值范围内。

参考文献:

[1] 邸春生,丁 湘,黄 浩. 深埋侏罗系煤层顶板水探放技术实践—以呼吉尔特矿区葫芦素矿井为例[J]. 煤田地质与勘探,2016,44(6):96-100.

[2] 黄 浩. 基于沉积分析的顶板疏放水技术研究[J]. 西部探矿工程,2018,31(8):117-119.

[3] 杨 建,梁向阳,丁 湘. 蒙陕接壤区深埋煤层开发过程中矿井涌水量变化特征[J]. 煤田地质与勘探,2017,45(4):97-101.

[4] 王世文. 陕北某矿矿坑涌水量预测[D]. 石家庄:石家庄经济学院,2013.

[5] 朱宏军. 鸳鸯湖矿区涌水量预测方法研究[D]. 西安:煤炭科学研究总院西安研究院,2014.

[6] 闫建华,王朝引,丁 湘. 鄂尔多斯侏罗系煤田水文地质特征及防治水对策[J]. 建井技术,2013,34(6):36-39.

[7] 刘英锋,王 新. 黄陇侏罗纪煤田顶板水害防治问题及对策探讨[J]. 西安科技大学学报,2013,33(4):431-435.

[8] 赵宝峰. 煤层顶板砂岩含水层疏放水效果评价[J]. 矿业安全与环保,2013,40(6):36-38.

(上接 28 页)

[7] 柳朝印. 玄武岩纤维在沥青混凝土路面中的应用分析[J]. 交通世界,2016(20):48-49.

[8] 叶学华,许金余,朱靖塞. 玄武岩纤维对早强混凝土早期动力特性的影响研究[J]. 硅酸盐通报,2015,34(6):1565-1569.

[9] 张向冈,秦文博,田 琦,等. 玄武岩纤维混凝土材料性能研究进展[J]. 混凝土,2018(2):94-97.