

文章编号:1671-251X(2018)06-0052-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017110056

闭坑矿井采空区积水过程分析

毕尧山, 吴基文, 王广涛, 翟晓荣, 张红梅, 黄凯

(安徽理工大学 地球与环境学院, 安徽 淮南 232001)

摘要:为研究闭坑矿井采空区积水问题,以岱河煤矿为研究对象,根据该煤矿矿井地质、水文地质条件及已有工作面采空区探放水资料,选用回采空间法计算了该煤矿闭坑后采空区积水体积,并分析了闭坑后采空区积水过程。分析结果表明:① 岱河煤矿闭坑后采空区积水体积共 $6\,208\,267.20\text{ m}^3$,包括 $4\,808\,923.58\text{ m}^3$ 的工作面采空区积水体积和 $1\,399\,343.62\text{ m}^3$ 的废弃巷道积水体积。假设单位涌水量为 $80\text{ m}^3/\text{h}$,预计 $3\,233.47\text{ d}$ 后积水充满矿井。② 岱河煤矿闭坑后积水高度 H 与时间 t_d 关系表达式为 $H=2\times 10^{-8}t_d^3-7\times 10^{-5}t_d^2+0.131\,7t_d-415.29$ 。

关键词:煤炭开采;闭坑矿井;采空区积水;矿井水位回升;回采空间法;积水体积;积水过程;积水系数

中图分类号:TD745 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180515.0913.002.html>

Analysis of water-filling process in goaf of closed mine

BI Yaoshan, WU Jiwen, WANG Guangtao, ZHAI Xiaorong, ZHANG Hongmei, HUANG Kai
(School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract:In order to research water-filling problem in goaf of closed mine, taking Daihe Coal Mine as research object, mining space method was used to calculate water-filling volume in goaf of the closed mine according to geological and hydrogeological conditions of the coal mine as well as exploration and drainage data of previous working face goaf, and water-filling process in goaf of the closed mine was analyzed. The analysis results are as follows: ① Total water-filling volume in goaf after Daihe Coal Mine being closed is $6\,208\,267.20\text{ m}^3$, which includes $4\,808\,923.58\text{ m}^3$ in working face goaf and $1\,399\,343.62\text{ m}^3$ in abandoned roadways. If water bursting speed is $80\text{ m}^3/\text{h}$, then the closed coal mine will fully filled with water after $3\,233.47$ days. ② Relationship expression between water-filling height (H) and time (t_d) is $H=2\times 10^{-8}t_d^3-7\times 10^{-5}t_d^2+0.131\,7t_d-415.29$.

Key words:coal mining; closed mine; water-filling in goaf; water level rising in mine; mining space method; water-filling volume; water-filling process; water-filling coefficient

0 引言

近年来,受煤炭需求不振、过剩产能持续释放、

开采难度不断加大、国家宏观政策调整等影响,中国每年都有大量煤矿被迫停产关闭。随着矿井停采闭坑,可能会出现一系列地质灾害和环境问题,如地面

收稿日期:2017-11-28;修回日期:2018-05-08;责任编辑:李明。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41272278);安徽高校自然科学基金重点资助项目(KJ2017A073,KJ2016A826);安徽高校科研平台创新团队建设项目(2016-2018-24)。

作者简介:毕尧山(1992—),男,安徽黄山人,硕士研究生,研究方向为煤矿工程地质,E-mail:ysbi123@163.com。

引用格式:毕尧山,吴基文,王广涛,等.闭坑矿井采空区积水过程分析[J].工矿自动化,2018,44(6):52-56.

BI Yaoshan, WU Jiwen, WANG Guangtao, et al. Analysis of water-filling process in goaf of closed mine[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(6): 52-56.

沉降、地面塌陷、土地破坏、水体污染、采空区积水等^[1]。由于缺乏足够重视,很多矿井在关闭时没有采取相应措施来防治可能会发生的问题,其中采空区积水问题会严重威胁仍处于正常生产状态的相邻煤矿的安全。对闭坑矿井采空区积水过程进行分析,对正确认识矿井闭坑诱发的安全问题、实现绿色闭坑有重要意义。

国内外学者对废弃矿井和采空区积水过程进行了大量研究。P. L. Younger 等^[2]考虑了废弃矿井中的独特含水介质场和水动力场,将井巷系统中的高渗透性含水空间作为紊流管道区,而采空区和裂隙发育区含水介质作为高渗透性层流区,将其他围岩含水空间作为中低渗透性层流区,建立了3种适用于不同面积的废弃矿井系统模型:VSS-NET (Variably Saturated Subsurface - Network), CDGWFM (Conventional Darcian Ground Water Flow Model), GRAM (Groundwater Rebound in Abandoned Mineworkings); D. Banks 等^[3-4]认为 GRAM 模型存在基础版本不易适应矿井体积随深度的变化和假设补给水流不随水位变化的缺点,引入有效面积概念,建立了矿井体积可变、水头依赖型地下水回灌模型——MIFIM (Mine-water Filling Model),通过实际应用成功预测了煤矿观测井中的水位首次出现及随后上升的情况;周建军等^[5]根据地下水系统的水文地质条件,建立了废弃矿井地下水回灌模拟模型,分析了废弃矿井地下含水介质的空间特性,为地下水模拟计算提供了依据;张壮路^[6]分析了唐村煤矿水文地质条件和矿井废弃后地下水动力模式,对水位回升过程中矿井的积水空间、分布特点及废弃矿井水位回升的时空过程与最终到达的动态平衡模式进行了计算和分析。本文在综合考虑国内外研究现状的基础上,以岱河煤矿为研究背景,结合其矿井地质与水文地质条件,根据该矿区已有采空区探放水资料,选用回采空间法分析了岱河煤矿闭坑后采空区积水过程。

1 矿区地质概况

岱河煤矿处于淮北煤田濉萧矿区闸河向斜中部西翼,矿区面积约为 19.186 9 km²^[7],含煤地层为石炭系、二叠系。石炭系煤层太薄,不可采。煤矿主要含煤地层为二叠系下石盒子组,山西组次之,含煤地层总厚度约为 588.17 m,可采煤层有 3,4,5,6 煤

层。采区—250 m 水平以上的煤层走向变化较小,基本上为单斜构造,倾角为 8~30°,平均约为 15°,南部三采区倾角多为 25°。采区内共发现 3 个褶皱,由北向南依次为官庄向斜、吕庄背斜、马庄向斜。矿井断层较为发育,共发现 16 条落差超过 10 m 的断层,一般情况下富水性弱,导水性较差。

矿区地层中有多个含水层,受多个隔水性良好的隔水层阻隔,其对矿井充水产生不同影响。地表水、第四系全新统孔隙水受第四系更新统阻隔,一般对矿井充水无影响。矿区主要充水水源包括主采煤层砂岩裂隙水,太灰、奥灰岩溶裂隙含水层,采空区积水,断层及构造裂隙水。

2 闭坑矿井采空区积水体积计算

2.1 计算公式选择

矿井积水过程是指矿井闭坑后,矿井水达到水动力平衡、矿井最终积水标高形成及积水形成要素随时间变化的动态过程。闭坑矿井相关含水层的充水情况比较复杂,在整个区域地下水动力场作用下,原有的含水层在矿井停止排水后水位回升,而矿井积水又会对含水层进行补给^[8]。岱河煤矿闭坑后,其涌水量构成主要为开采煤层顶底板砂岩裂隙水、新生界含水层孔隙水等。目前中国对采空区积水量的预测方法主要包括回采空间法与积水空间法^[9-10]。其中回采空间法适用于采空区积水高度大于 5M(M 为采高),尤其是整个回采工作面积水的情况,对采空区积水量预测较准确;积水空间法适用于最大水头高度小于 5M,即水头高度在垮落带内的积水量预测。矿井闭坑积水符合第一种情况,因此选用回采空间法计算采空区积水量。闭坑矿井采空区积水体积一般采用《煤矿防治水规定》^[11]中的老窑水公式(式(1))计算。

$$Q = Q_1 + Q_2 = C_1 A m / \cos \alpha + C_2 S L \quad (1)$$

式中:Q 为老窑水体积, m³; Q₁ 为采空区积水体积, m³; Q₂ 为巷道积水体积, m³; C₁ 为采空区积水系数; A 为淹没采空区面积的水平投影, m²; m 为已采煤层厚度, m; α 为煤层倾角, (°); C₂ 为巷道积水系数; S 为巷道断面面积, m²; L 为巷道累计长度, m。

2.2 计算参数选取

2.2.1 积水系数

根据具体情况选取积水系数,是准确估算采空区积水体积的关键。熊崇山等^[12]认为积水系数取

决于采空区物质的质量和由矿山压力引起的压缩程度;李思标等^[13]对采矿“三带”的形成机理进行了分析,认为积水系数与采煤方法、煤层倾角、煤层顶底板岩性及采后间隔时间等因素有关,而上述因素综合作用的结果都集中且直观地表现在地表下沉上;李雪^[14]通过预计工作面采空区积水量并统计实际放水量,反算出采空区积水系数,计算结果较准确。

积水系数与局部地质条件、采矿条件等因素有关,受采空区充填方式和顶板垮落程度影响最大^[15-16]。充填方式取决于采煤方法、采出率、顶板管理方法等,顶板垮落程度取决于顶板岩性、煤层倾角、开采深度、开采时间等^[17]。岱河煤矿大部分工作面回采时间均在 10 a 以上,工作面全部采用走向长壁垮落开采方式,采用全部垮落法管理顶板,因此闭坑矿井采空区积水系数较小。综合考虑影响采空区积水系数的因素,并通过分析矿区已有采空区探放水资料,确定岱河煤矿采空区积水系数的经验取值:开采年限小于 5 a 的采空区积水系数取 0.3,5~10 a 的取 0.2,超过 10 a 的取 0.1。巷道积水系数主要与断面变化有关,煤巷一般取 0.5~0.8,岩巷取 0.8~1.0。考虑到岱河煤矿开采时间较长,巷道围岩多以泥质类为主,存在巷道坍塌现象,巷道积水体积有所缩小,其积水系数应小于 1,本文取 0.8。

2.2.2 采空区面积

根据煤层底板等高线及储量计算图,分别对 3,4,5 煤层的采空区面积进行圈定。在 CGIS 软件中打开各煤层储量图,根据煤层底板等高线求取块段倾角,对倾角划分块段,将倾角大致相等的划分为同一块段。在每一块段中以等高距 50 m 分别圈定采空区面积,然后按照相同水平进行合并,圈定面积时记录工作面开采年限。各煤层采空区面积统计结果见表 1。

2.2.3 已采煤层厚度

根据不同煤层分水平圈定采空区面积时,采用所圈矿井采空区内的平均煤层厚度作为所圈面积区块的已采煤层厚度。

2.2.4 煤层倾角

根据各煤层底板等高线,测得该煤层在各处的倾角,并根据所测的各煤层倾角对煤层划分大致块段,将倾角大致相等的划分为同一块段,并求得每一块段的平均倾角。以 3 煤层为例,在 3 煤层中根据所测煤层倾角,将煤层大致划分为 6 个块段,其平均

表 1 各煤层采空区面积
Table 1 Goaf area of each coal seam

水平/m	采空区面积/m ²			
	3 煤层	4 煤层	5 煤层	总计
—400~—450	20 831	54 455	113 124	188 410
—350~—400	998 723	1 169 031	774 620	2 942 374
—300~—350	1 390 504	1 606 106	387 948	3 384 558
—250~—300	1 525 477	1 079 359	488 539	3 093 375
—200~—250	552 669	769 717	295 254	1 617 640
—150~—200	695 646	538 916	332 608	1 567 170
—100~—150	519 553	466 206	258 874	1 244 633
—50~—100	363 459	254 682	135 362	753 503
总计	6 066 862	5 938 472	2 786 329	14 791 663

倾角依次为 7.6,11.2,17.73,28.1,20,24.24°。

2.3 积水体积计算

2.3.1 巷道体积

根据储量图上标注的岩巷,分水平对巷道长度进行量取。取巷道宽度为 4 m,高度为 3 m,则巷道断面面积为 12 m²。在测量各水平巷道长度基础上,求取巷道体积,结果见表 2。

表 2 巷道长度、体积计算结果

水平/m	巷道长度/m	巷道体积/m ³
—400~—450	4 576.991	54 923.892
—350~—400	10 705.143	128 461.716
—300~—350	27 958.328	335 499.936
—250~—300	29 784.048	357 408.576
—200~—250	33 688.487	404 261.844
—150~—200	15 372.223	184 466.676
—100~—150	10 646.209	127 754.508
—50~—100	13 033.531	156 402.372
总计	14 5764.96	1 749 179.52

2.3.2 采空区积水体积

分煤层、分水平按式(1)计算采空区积水体积,包括工作面采空区积水体积和废弃巷道积水体积,计算结果见表 3。

3 采空区积水过程预测

根据式(1)计算出的老窑水体积即为采空区储水量。积水所需时间:

$$t = Q/q$$

(2)

表3 采空区积水体积计算结果

Table 3 Calculation result of water-filling volume in goaf

水平/m	积水体积/m ³				
	3煤层	4煤层	5煤层	巷道	总计
−400~−450	39 152.083	17 059.178	96 305.906	43 939.11	196 456.28
−350~−400	508 130.489	477 319.963	337 606.835	102 769.37	1 425 826.66
−300~−350	580 879.911	267 163.143	138 636.551	268 399.95	1 255 079.56
−250~−300	646 442.747	187 302.391	187 082.465	285 926.86	1 306 754.46
−200~−250	211 302.240	194 811.675	96 533.641	323 409.48	826 057.04
−150~−200	209 903.007	125 545.843	94 224.777	147 573.34	577 246.97
−100~−150	108 508.817	78 837.074	70 821.411	102 203.61	360 370.91
−50~−100	46 127.724	51 307.473	37 918.234	125 121.90	260 475.33
总计	2 350 447	1 399 346.74	1 059 129.82	1 399 343.62	6 208 267.20

式中 q 为单位涌水量, m^3/h 。

根据岱河煤矿地质报告及台账, q 取 $80\text{ m}^3/\text{h}$ 。
采空区积水时间计算结果见表4。

表4 采空区积水时间计算结果

Table 4 Calculation result of water-filling time in goaf

水平/m	时间/d	时间累加/d
−400~−450	102.32	102.32
−350~−400	742.62	844.94
−300~−350	653.69	1 498.63
−250~−300	680.60	2 179.23
−200~−250	430.24	2 609.47
−150~−200	300.65	2 910.12
−100~−150	187.69	3 097.81
−50~−100	135.66	3 233.47

根据表4得出岱河煤矿闭坑后积水高度与时间的关系曲线,如图1所示。

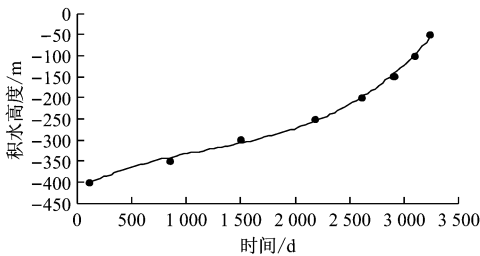


图1 岱河煤矿闭坑后积水高度与时间关系曲线

Fig.1 Relationship curve of water-filling height and time after Daihe Coal Mine being closed

由图1可知,岱河煤矿闭坑后积水高度随时间增加先上升,之后较为平缓,最后快速上升,二者关系表达式为

$$H=2\times10^{-8}t_{\text{d}}^3-7\times10^{-5}t_{\text{d}}^2+$$

$$0.131\,7t_{\text{d}}-415.29\quad R^2=0.996\,6\quad (3)$$

式中: H 为采空区积水高度, m ; t_{d} 为采空区积水时间, d ; R 为相关系数。

因矿井深部采空区面积较小,容积较小,积水后很快淹没底部;随着积水过程持续进行,由于采空区面积较大,容积较大,在积水速度一定的情况下,积水高度上升速度较慢;当矿井积水淹没矿井下部、中部到达浅部时,由于采空区面积较小,积水速度较快,表现为积水高度随时间增加快速上升。

4 结论

根据岱河煤矿矿井地质与水文地质条件,选用回采空间法计算矿井闭坑后采空区积水过程,得到以下结论。

(1) 在计算采空区积水体积时,不能忽略废弃巷道积水体积。经计算,岱河煤矿闭坑后采空区积水体积共 $6\,208\,267.20\text{ m}^3$,包括 $4\,808\,923.58\text{ m}^3$ 工作面采空区积水体积和 $1\,399\,343.62\text{ m}^3$ 废弃巷道积水体积。若选取单位涌水量 $80\text{ m}^3/\text{h}$ 计算充水时间,则预计 $3\,233.47\text{ d}$ 后积水充满矿井。

(2) 岱河煤矿闭坑后积水高度 H 与时间 t_{d} 关系表达式为 $H=2\times10^{-8}t_{\text{d}}^3-7\times10^{-5}t_{\text{d}}^2+0.131\,7t_{\text{d}}-415.29(R^2=0.996\,6)$ 。

(3) 准确计算采空区积水体积,分析矿井闭坑后水位回升的时空过程,为进行矿界隔水煤柱的安全性评价提供了可靠依据。

参考文献(References):

[1] 武强,李松营. 闭坑矿山的正负生态环境效应与对策

- [J]. 煤炭学报, 2018, 43(1): 21-32.
- WU Qiang, LI Songying. Positive and negative environmental effects of closed mines and its countermeasures[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(1): 21-32.
- [2] YOUNGER P L, ADAMS R. Predicting mine water rebound[R]. Newcastle upon Tyne: University of Newcastle upon Tyne, 1999.
- [3] BANKS D. A variable-volume, head-dependent mine water filling model[J]. Ground Water, 2001, 39(3): 362-365.
- [4] BANKS D, FROLIK A, GZYL G, et al. Modeling and monitoring of mine water rebound in an abandoned coal mine complex: siersza mine, upper silesian coal basin, poland[J]. Hydrogeology Journal, 2010, 18(2): 519-534.
- [5] 周建军, 虎维岳, 张壮路. 废弃矿井地下水回灌模拟分析研究[J]. 西安科技大学学报, 2008, 28(3): 434-438.
- ZHOU Jianjun, HU Weiyue, ZHANG Zhuanglu. Simulation of groundwater rebound in abandoned mine[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2008, 28(3): 434-438.
- [6] 张壮路. 废弃煤矿采空区积水过程分析[J]. 西部探矿工程, 2004, 16(10): 86-87.
- ZHANG Zhuanglu. Analysis of water accumulated course in abandoned coal mine [J]. West-China Exploration Engineering, 2004, 16(10): 86-87.
- [7] 陈从磊, 姚多喜. 地下水化学特征在岱河矿涌水水源判别中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2012, 24(10): 35-37.
- CHEN Conglei, YAO Duoxi. Application of groundwater chemical characteristics in Daihe coalmine water inrush source discrimination[J]. Coal Geology of China, 2012, 24(10): 35-37.
- [8] 朱现民, 刘聚友. 煤矿采空区积水探放技术与方法[J]. 煤炭技术, 2009, 28(11): 87-89.
- ZHU Xianmin, LIU Juyou. Technique and method of exploring and discharging gob water in coal mine[J]. Coal Technology, 2009, 28(11): 87-89.
- [9] 张壮路, 闫显运, 姜茂武. 废弃矿井采空区积水过程分析[J]. 陕西煤炭, 2004(1): 12-13.
- ZHANG Zhuanglu, YAN Xianyun, JIANG Maowu. Analysis on process of water accumulated in abandoned coal mine[J]. Shaanxi Meitan, 2004(1): 12-13.
- [10] YAN Shu, XUE Guoqiang, QIU Weizhong, et al. Feasibility of central loop TEM method for prospecting multilayer water-filled goaf[J]. Applied Geophysics, 2016, 13(4): 587-597.
- [11] 国家安全生产监督管理总局, 国家煤矿安全监察局. 煤矿防治水规定[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009.
- [12] 熊崇山, 王家臣. 矿井采空区积水量的研究[J]. 矿业安全与环保, 2005, 32(2): 10-11.
- [13] 李思标, 李迪昌, 孔令珍, 等. 关于充水系数的取值问题[J]. 煤炭科学技术, 2002, 30(9): 53-54.
- LI Sibiao, LI Dichang, KONG Lingzhen, et al. Issue on value set for mine water filled[J]. Coal Science and Technology, 2002, 30(9): 53-54.
- [14] 李雪. 煤矿采空积水量计算中采空区充水系数确定方法[J]. 煤, 2016, 25(3): 61-62.
- [15] 张运海, 吴祥, 李新华. 顶板托板存在对采空区充水系数的影响[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(7): 33-35.
- ZHANG Yunhai, WU Xiang, LI Xinhua. Roof bolt plate influenced to water filling coefficient in mine goaf[J]. Coal Science and Technology, 2006, 34(7): 33-35.
- [16] 孟召平, 师修昌, 刘珊珊, 等. 废弃煤矿采空区煤层气资源评价模型及应用[J]. 煤炭学报, 2016, 41(3): 537-544.
- MENG Zhaoping, SHI Xiuchang, LIU Shanshan, et al. Evaluation model of CBM resources in abandoned coal mine and its application[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(3): 537-544.
- [17] 谭军, 廉法宪, 宋辉. 负压俯角探放老空区积水技术应用[J]. 煤炭工程, 2015, 47(1): 50-52.
- TAN Jun, LIAN Faxian, SONG Hui. Application of dip angle old goaf water detection and drainage with negative pressure[J]. Coal Engineering, 2015, 47(1): 50-52.