

泊江海子矿地下水动态特征及控制因素研究

尹宏昌¹, 朱翔斌¹, 田丰¹, 王凤祥¹, 王凯², 刘倩²

¹淮河能源西部煤电集团泊江海子矿, 内蒙古鄂尔多斯

²安徽理工大学地球与环境学院, 安徽淮南

收稿日期: 2023年3月2日; 录用日期: 2023年4月3日; 发布日期: 2023年4月12日

摘要

泊江海子矿位于鄂尔多斯盆地北部, 煤层埋藏深度大于500 m, 含水层富水性和渗透性极不均匀, 水文地质条件较为复杂, 开采中因受顶板水害威胁, 研究地下水动态特征及控制因素对于水害防治具有十分重要意义。通过分析井下疏放水量和采空区涌水量以及各含水层地下水位动态变化过程, 阐明了井田地下水流场变化规律, 并从自然与采动等方面分析其控制因素, 结果表明: 开采前第四系和白垩系含水层主要受大气降水与蒸发影响, 而白垩系与侏罗系之间含水层垂向水力联系弱, 排水对白垩系含水层无影响; 开采后垮落带和垂直断裂带的形成, 导致白垩系含水层和侏罗系含水层存在水力联系, 最终形成以一盘区为中心的地下水降落漏斗; 煤层顶板含水层富水性和地下水流场变化的内在控制因素是沉积过程的环境和后期的构造地质作用, 而井下疏放水 and 采动是引起地下水变化外在因素。

关键词

地下水动态, 采动影响, 控制因素, 泊江海子矿

Dynamic Characteristics and Control Factors of Groundwater in Bojianghaizi Coal Mine

Hongchang Yin¹, Xiangbin Zhu¹, Feng Tian¹, Fengxiang Wang², Kai Wang², Qian Liu²

¹Bojianghaizi Coal Mine, Huaihe Energy Western Coal and Power Group, Erdos Inner Mongolia

²School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: Mar. 2nd, 2023; accepted: Apr. 3rd, 2023; published: Apr. 12th, 2023

Abstract

Bojianghaizi coal mine is located in the north of Ordos Basin. The burial depth of the coal seam is more than 500 m. The water abundance and permeability of the aquifer are extremely uneven, and the hydrogeological conditions are complex. The mining is threatened by roof water disaster.

文章引用: 尹宏昌, 朱翔斌, 田丰, 王凤祥, 王凯, 刘倩. 泊江海子矿地下水动态特征及控制因素研究[J]. 矿山工程, 2023, 11(2): 177-187. DOI: 10.12677/me.2023.112023

It is of great significance to study the dynamic characteristics and control factors of groundwater for water disaster prevention and control. By analyzing the dynamic changes of underground drainage water, goaf water inflow and groundwater level in each aquifer, the variation law of groundwater flow field in the mine field is clarified, and the control factors are analyzed from the aspects of nature and mining. The results show that the Quaternary and Cretaceous aquifers are mainly affected by atmospheric precipitation and evaporation before mining, while the vertical hydraulic connection between the Cretaceous and Jurassic aquifers is weak, and the drainage has no effect on the Cretaceous aquifer. The formation of caving zone and vertical fault zone after mining leads to the hydraulic connection between Cretaceous aquifer and Jurassic aquifer, and finally forms a panel as the center of groundwater depression cone. The internal control factors of the water abundance of the coal seam roof aquifer and the change of the groundwater flow field are the environments of the sedimentary process and the later tectonic geology, while the underground drainage and mining are the external factors causing the change of groundwater.

Keywords

Groundwater Dynamics, Mining Influence, Control Factors, Bojianghaizi Coal Mine

Copyright © 2023 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

随着煤炭资源向深部开采, 矿井水害严重威胁程度日益突出[1]。在采掘过程中, 因水文地质条件复杂性增大, 水害因素隐蔽程度加大, 常造成煤矿突水事故发生, 产生严重经济损失和社会不良影响[2] [3]。其中, 顶板突水往往给矿井生产带来极大危害, 直接影响煤矿安全开采[4]。中国西部的采矿活动不仅破坏了生态环境, 而且破坏了原有的地下水系统。因此, 研究矿区地下水动态特征是防治矿井突水的主要措施之一[5]。

关于矿区地下水动态研究, 国内外学者对矿山开采引起的地下水水位、水质及渗流场的时空变化规律开展了相关工作。如 Elliot T 等采用同位素示踪粒子技术对法国废弃矿井的水质进行研究, 分析其地下水运动特点[6]; Malcolm 等从时间序列上构建了水文地质概念模型, 分析了地下水动态变化[7]; Jacek 等分析了波兰奥尔库斯矿区铅锌矿开采下, 水位变化对水化学类型的影响[8]。

我国因矿井开采导致地下水动态变化研究始于 20 世纪 90 年代[9] [10], 如韩宝平等以重庆南桐矿区为例, 预测了煤矿开采涌水量及其变化规律[11]; 乔小娟等从水量水质两方面分析太原西山煤开采对地下水资源与环境的影响[12]; 董震雨等通过对杭来湾煤矿水文地质工程地质条件分析, 探讨了煤矿开采对榆溪河流域地下水资源破坏影响[13]; 李明泽通过对乌兰察布玫瑰营矿地下水渗流场的动态变化特征分析, 采用模型方法预测了矿井最大涌水量[14]; 刘璐琦等通过对露天煤矿开采的地下水流场和水化学场的时空演化规律研究, 揭示了人为影响下矿区地下水环境的变化[15]; 高宇航等采用地下水系统分析、构造控水理论及统计分析等方法, 对淮南煤田潘二矿内主要含水层间水力联系和断层导(阻)水性进行了系统分析, 并提出疏放条件下岩溶水文地质模式[16]。

泊江海子矿作为鄂尔多斯北部深井开采的代表, 水文地质条件不清晰, 煤层开采受到侏罗系中、下统砂岩裂隙水威胁。前人对其研究主要为矿井涌水量的预测, 从控制因素上揭露地下水动态特征方面的研究有待完善, 基于此, 围绕矿井安全开采, 从水文地质条件、放水试验、影响地下水动态因素等方面

对地下水水流场进行研究[17] [18]。

本次统计了 2015 年矿井涌水量及不同含水层观测水位数据,分析地下水动态变化规律及含水层之间的水力联系,并从前期沉积环境、后期地质构造以及采动等方面,分析其控制因素和成因模式,对西部地区煤矿安全开采与矿井水害防治有一定的指导意义。

2. 水文地质概况

2.1. 研究区自然地理

研究区位于鄂尔多斯盆地北部的沙漠高原地貌单元,区内地表水水系不甚发育,主要沟谷为鸡沟河,位于勘查区南部,该河流为季节性河谷,旱季一般较为干旱,但雨季可形成洪水或短流,具有流量大、历时短的特点,由西北向东南流出区外,其他河谷均为其支流。研究区属半干旱温带高原大陆性气候,太阳辐射强,日照充足,干燥少雨,多风沙,无霜期短,冬季漫长而寒冷,夏季炎热而短促,春季升温较快,秋季降温明显,年最高气温 36.6℃,最低气温为-27.9℃,年平均降雨量为 396 mm,基本集中在夏季,年蒸发量为 2297 mm~2833 mm,而年降水量为 283 mm~450 mm。由于第四系松散层受到白垩系地下水的侧向径流补给,故第四系含水层和白垩系志丹群含水层与大气降水关系密切,研究区平面图见图 1。

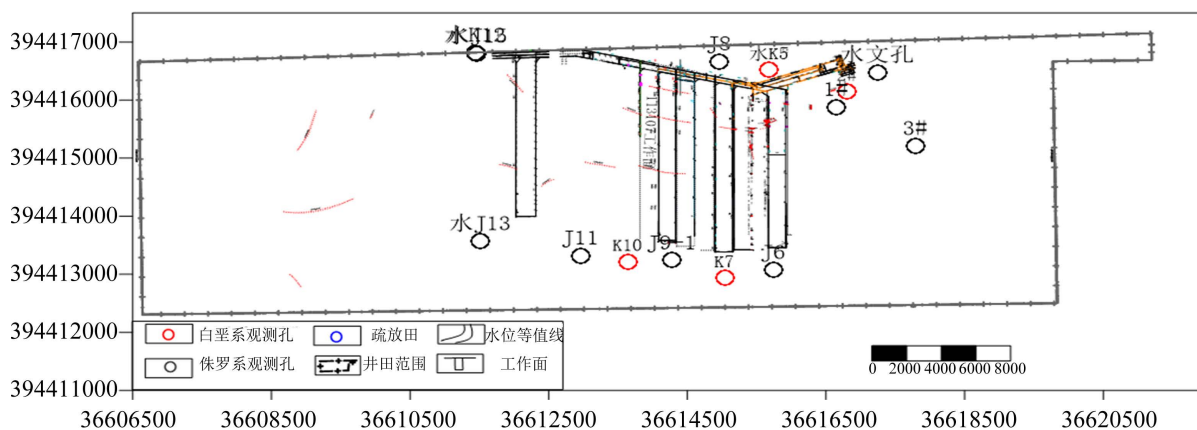


Figure 1. Plan of the study area

图 1. 研究区平面图

2.2. 研究区水文地质条件

2.2.1. 含水层结构特征

泊江海子矿位于鄂尔多斯盆地北部,开采煤层为埋藏深度在 500 m 以下的中生代侏罗系延安组 3₁ 煤层。根据地下含(隔)水层赋存特征(地层时代、岩性、富水性等),自上而下可划分为五个含水层和三个隔水层[19] (见图 2), 具体如下:

(1) 第四系松散层孔隙潜水含水层

含水层主要由残坡积物、风积沙和冲积物组成,厚度为 1.30 m~9.00 m,地下水埋深 1.60 m~8.30 m,大部分地区水位埋深 3 m~5 m,地表水储量和大气降水量的多少直接影响地下水位的高低。矿区属于半干旱区,降水较少,补给条件差,受强烈蒸发影响较大。通过基岩风化带与下伏白垩系承压含水层发生一定程度的水量交换,单位涌水量约 0.016 L/(s·m)~1.120 L/(s·m),富水性弱~中等,透性强, TDS 含量 313 mg/L~1210 mg/L, pH 值 7.3~7.5, 水温 1℃~12℃, 地下水类型为 HCO₃-Cl-Mg·Ca 与 HCO₃-Ca-Na。

(2) 白垩系孔隙-裂隙含水层

含水层主要由砾岩组成，厚度为 182 m~259 m。东部厚度波动相对较大，含水层底部砂质泥岩厚度约 4.15 m~55.65 m，平均 22.55 m，较好地阻隔了与侏罗系含水层的水力联系，单位涌水量约 0.029 L/(s·m)~0.047 L/(s·m)，富水性弱，TDS 含量为 1110 mg/L~3251 mg/L，pH 值 7.3~8.3，渗透系数 0.004859 m/d~0.0217 m/d，地下水类型为 Ca-Cl 与 Ca-Cl-SO₄ 型水。

(3) 侏罗系中统裂隙含水层

含水层主要为中粗砂岩组成，厚度为 210 m~350 m。含水层顶部存在隔水层，厚度为 40 m~60 m，含水层与白垩系含水层之间的水力联系受阻，砾岩隔水层沉积于含水层底部，平均厚度 22.83 m。含水层与中下侏罗统含水层水力联系受阻，单位涌水量约 0.01343 L/(s·m)~0.02571 L/(s·m)，TDS 为 37.54 mg/L~100.06 mg/L，富水性弱，pH 值约 8.92~9.23，地下水补给径流条件差，渗透系数 0.012556 m/d~0.019865 m/d，地下水类型为 Na-SO₄-Cl-HCO₃、Na-Cl 和 Na-Cl-SO₄ 型水。

(4) 侏罗系中下统延安组裂隙含水层

含水层为砂质泥岩和中粗砂岩组成，上下隔水层隔水效果好，因此主要受侧向水流补给，单位涌水量 0.0013 L/(s·m)~0.036 L/(s·m)，TDS 为 1.11 mg/L~405.82 mg/L，富水性弱，pH 值约 7.40~9.50，渗透性差，渗透系数 0.0024 m/d~0.0239 m/d，地下水类型为 Na-Cl-SO₄、Na-Cl 与 Na-Cl-HCO₃ 型水。

(5) 三叠系上统延长组孔隙-裂隙含水层

含水层主要为粗粒砂岩组成，是煤系地层的直接沉积基底，含水层与上覆含水层水力联系差，主要补给为侧向水流。水位埋深达到 63.42 m，单位涌水量 0.00204 L/(s·m)，富水性弱，透水性差，渗透系数仅为 0.00673 m/d。

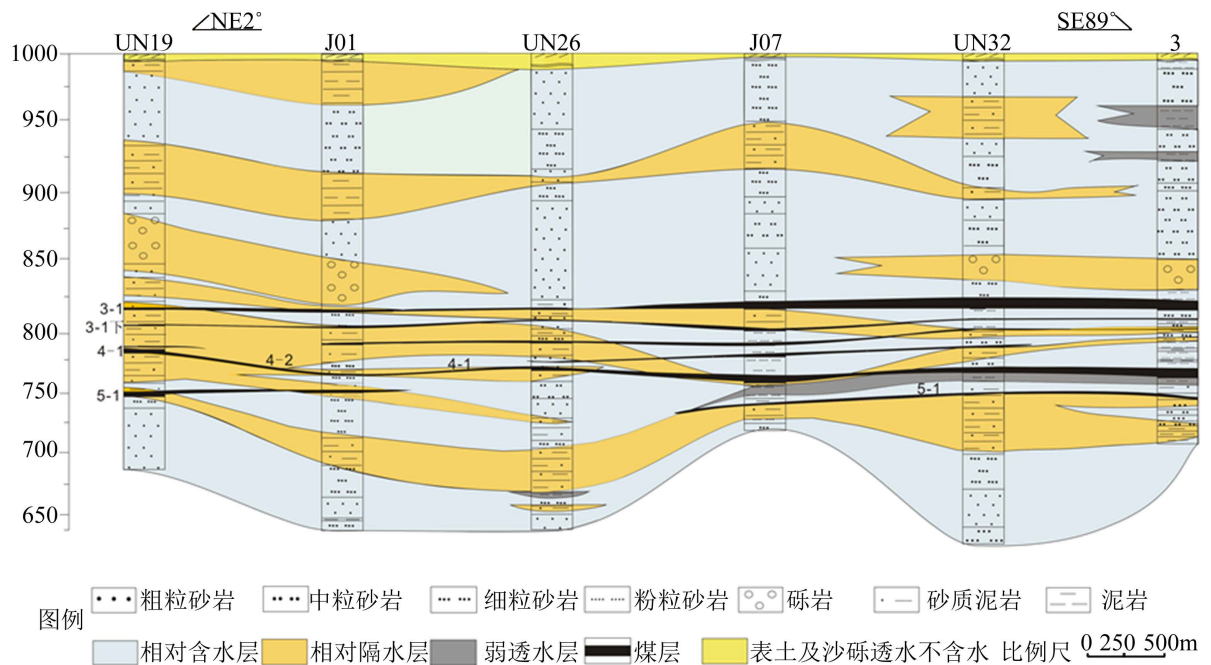


Figure 2. Hydrogeological profile of the study area

图 2. 研究区水文地质剖面图

2.2.2. 隔水层特征

(1) 侏罗系直罗组中统隔水层

隔水层介于中细砂岩和中粗砂岩之间，厚度为 0 m~106 m，平均 30.91 m。沉积分布不均，是研究区

有效隔水层,工作面采动区沉积厚度相对稳定。

(2) 侏罗系延安组上部隔水层

隔水层为砾石层,砾石粒径 0.5 cm~10 cm,通过岩屑颗粒的底部胶结和泥质胶结提高隔水层的强度。隔水层沉积厚度分布不稳定,一般在 12.91 m~60.28 m 之间,平均 29.78 m,研究区北中部沉积厚度较为稳定。

(3) 侏罗系延安组下部隔水层

隔水层主要由砂质泥岩组成,不仅发育稳定,而且连续性较好,厚度 12.08 m~16.30 m,平均 14.19 m,隔水性较好。

2.2.3. 各含水层之间的水力联系分析

井下含水层地下水动态变化主要受大气降水、蒸发和井下巷道排水和采动影响。地表以下松散潜水层受大气降水和蒸发作用控制,除下部含水层接受大气降水由周边白垩系露头区的垂向入渗补给外,第四系松散层也接受其部分侧向径流补给,因此,大气降水通过包气带补给裸露的白垩系志丹群与浅部松散含水层。

白垩系志丹群承压含水层在自然条件下受底部隔水层影响,与下部侏罗系中统含水层之间联系极弱,侏罗系中下统延安组顶部发育稳定砾石隔水层和泥岩,通常情况下,该含水层与侏罗系中统承压水含水层水力联系较差。

因受沉积环境影响,含、隔水层厚度在矿井范围内变化较大,且由于后期的多期次地质构造作用,形成宽缓褶皱,两翼的断层、裂隙较为发育,局部水力联系较为密切。

在疏放条件下,白垩系水位有微弱下降,侏罗系中统水位下降明显,因此,侏罗系中统、中下统延安组水力联系较为密切,与上部白垩系有微弱水力联系。工作面回采后,导水裂隙带高度的发育,一定程度上破坏了侏罗系中统和与白垩系含水层之间隔水层,导致白垩系含水层水位下降或波动。

2.2.4. 地下水补径排

通过前期勘探揭露,浅部含水层受大气降水、蒸发作用影响较大,深部受井下巷道疏放水影响,且位于第四系下部的白垩系志丹群含水层与第四系含水层及大气降水之间存在密切联系。自然条件下,侏罗系中统承压含水层径流方向为自东南至西北,白垩系与侏罗系中统含水层之间存在一定厚度隔水层,水力联系较弱,侏罗系中统含水层主要以水平径流为主,与侏罗系中、下统延安组之间发育有砾石隔水层,水力联系差,垂向水力联系弱。后期井下疏放水工程,在平面上形成“无限含水层系统抽水”的降落漏斗,煤层开采使得煤层上覆含水层通过垂向裂隙通道发生一定的水力联系,侏罗系中统及中下统砂岩水为主要的充水水源,补给量较大,白垩系砂岩水为间接补给水源。

3. 地下水动态特征

3.1. 矿井涌水量动态变化特征

3₁ 煤层开采过程中,侏罗系中统含水层为直接充水含水层,白垩系下统含水层为间接充水含水层。为了监测侏罗系和白垩系含水层在开采过程中地下水的动态变化,以便针对性采取防治水措施,系统掌握工作面巷道掘进、含水层疏水及工作面回采过程等地下水动态变化特征,泊江海子矿分期施工了 14 个地下水位观测孔,其中,白垩系含水层为 4 个,侏罗系含水层为 9 个,二者混合孔为 1 个,观测孔平面位置如图 1 所示。

2015 年以后,随着一盘区系统逐渐完善,在水害威胁区先后进行了疏放水工程,2015 年 12 月最大总涌水量为 484.5 m³/h。为保证 01、02、06 工作面安全回采,在 2016 年 5 月启动了工作面疏放水工程;

2017年4月中下旬,因环保局检查,部分钻孔关闭,因此总涌水量有所下降;随着2017年12月工作面老塘排水工作的展开,总涌水量也逐渐增大,如图3所示。

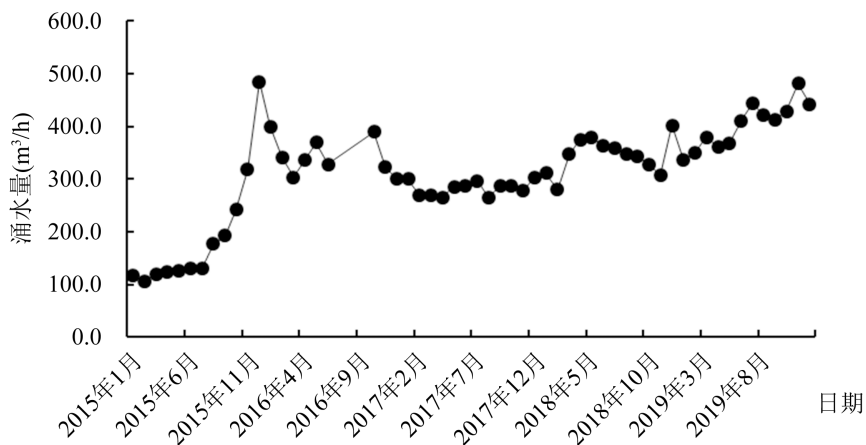


Figure 3. Time-varying curve of total water inflow in mine
图3. 矿井总涌水量历时变化曲线

近期矿井总涌水量为443 m³/h,其中113106工作面和113107工作面涌水量分别为104 m³/h和110.35 m³/h,占整个矿井的23.48%和24.91%。采掘工作面、巷道滴淋水及施工用水涌水量99.18 m³/h;113113工作面顶板疏放水量89.5 m³/h;113113工作面涌水量10.36 m³/h;系统大巷涌水量50 m³/h;井筒涌水量18.9 m³/h;113100工作面涌水量7 m³/h;113103工作面涌水量1.55 m³/h,其他各块涌水量变化如图4所示。

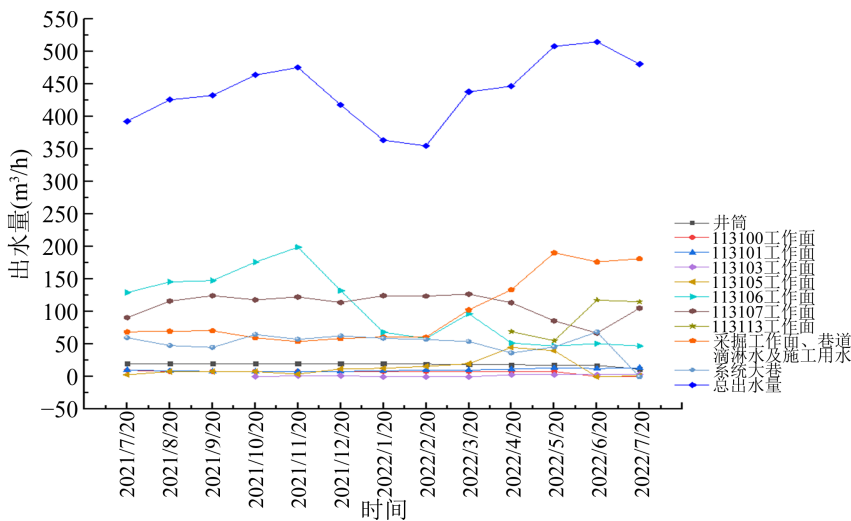


Figure 4. Water inflow duration curve (a panel)
图4. 涌水量历时变化曲线(一盘区)图

3.2. 各含水层地下水位动态变化特征

3.2.1. 白垩系含水层水位动态变化

观察白垩系4个水文孔自2015年初至2022年6月末的地下水位动态变化(图5),发现随着工作面回采增加,矿区总涌水量也随之增加,各观测孔水位均发生一定程度的下降;水文2#孔从2016年末至2021年3月下降趋势较为明显,水位为1358.84 m~1368.17 m;水K₅孔前期较平稳,但2016年末至2018年

末水位下降较快,范围 1311.01 m~1351.03 m,下降近 40 m;水 K₇孔从 2016 年末至 2017 年初、2017 年 9 月至同年 12 月这两个时间段下降较明显,变化范围为 1362.57~1367.98 m;水 K₁₀孔水位下降较小,水位变化为 1368.89 m~1371.94 m;其中 2016 年末至 2018 年 6 月,水文 2#孔、水 K₅孔和水 K₇孔均有明显的下降趋势,是由于该时间段在进行大巷疏放水工程,且水 K₅孔观测孔位于放水大巷附近,故下降幅度大。

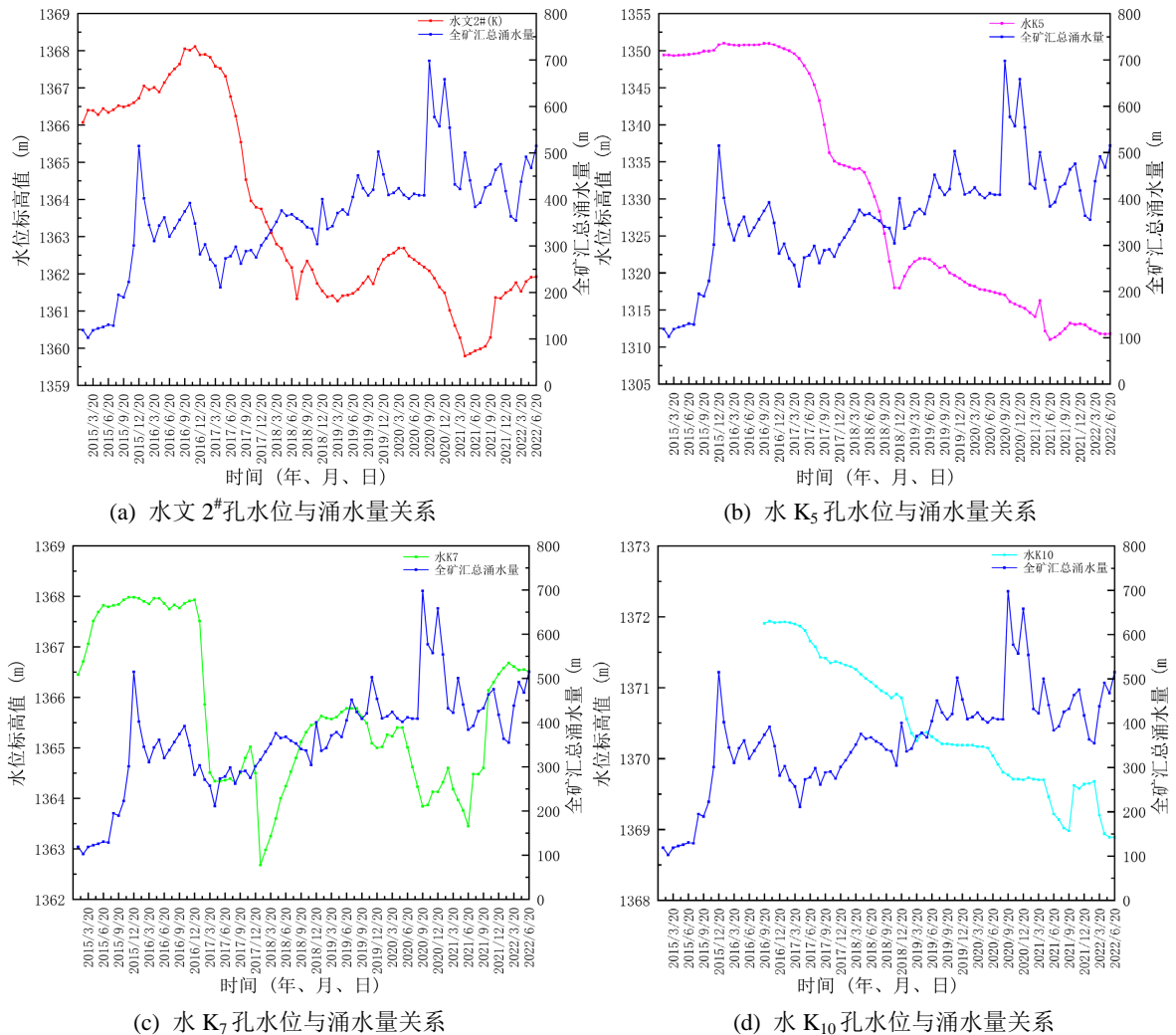


Figure 5. Relationship curve between Cretaceous groundwater level and mine water inflow

图 5. 白垩系地下水位与矿井涌水量关系曲线

白垩系承压水含水层与侏罗系中统含水层在自然状态下水力联系弱,主要来自大气降水和侧向径流补给。侏罗系中统含水层水疏放对白垩系含水层水位影响极小,主要由于白垩系与侏罗系中间存在一定厚度且较为稳定隔水层。白垩系地下水位出现不同幅度下降,主要受采动影响导致裂隙带发育并破坏二者之间隔水层,导致上述水位变化。

3.2.2. 侏罗系含水层水位动态

观察侏罗系 10 个水文观测孔地下水水位自 2015 年初至 2022 年 6 月的变化(图 6),发现随着一盘区涌水量增加,各观测孔水位持续变化,但存在一定差异性:其中,水文 1#孔大体呈稳定下降趋势,水位波动范围为 1244.33 m~1317.64 m;水 J₁₁孔整体上呈平稳下降趋势,水位波动范围为 1153.47 m~1292.28 m;

2016年9月下降最为明显,水位波动范围为1000.247 m~1328.64 m;水 J_{9-1} 孔呈稳定下降趋势,水位波动范围为972.29 m~989.28 m;水文孔呈下降趋势,水位波动范围为1299.49 m~1335.26 m;水文3#孔呈下降趋势,水位波动范围为1294.1 m~1345.38 m;水 J_6 孔呈下降趋势,2016年末至2018年3月、2019年9月至同年末和2020年9月至2021年初这三个时间段下降最为明显,水位波动范围为1276.42 m~1346.69 m;水 J_9 孔整体呈平稳的上升趋势,水位波动范围为1306.42 m~1320.78 m;水 J_{13} 孔水位变化不大,水位波动范围为1329.55 m~1330.78 m;水 J_{15} 孔呈下降趋势,水位波动范围为1327.96 m~1346.07 m。

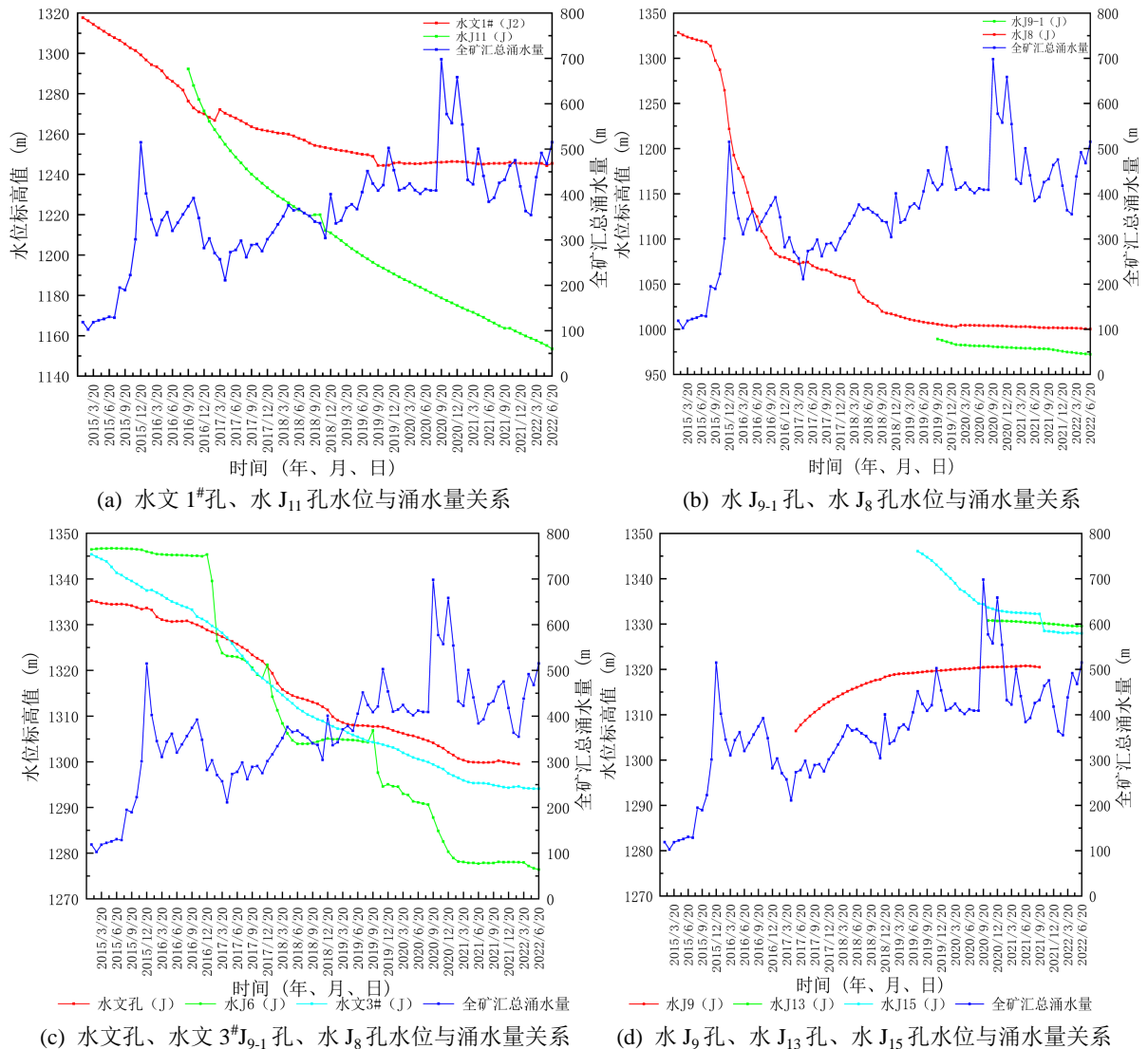


Figure 6. Relationship curve between Jurassic groundwater level and mine water inflow
图 6. 侏罗系地下水位与矿井涌水量关系曲线

侏罗系地下水主要补给来源是侧向径流补给,但因受采动影响,白垩系和侏罗系之间隔水层产生垂向导水裂隙,因此,在局部范围接受白垩系地下水补给,同时也受到侏罗系下统延安组含水层补给。此外,不同含水层水位下降幅度和趋势,明显受采动和井下疏放影响,如 J_8 孔位于DF8断层处,前期水位下降陡度较大,主要受上述因素影响,后期随着工作面调整,水位下降的幅度明显减小,并趋于稳定,如图6。

3.3. 地下水流场变化特征

通过对侏罗系中统含水层疏放, 其水位变化形成以一盘区采空工作面和疏放工作面为中心的地下水疏降漏斗, 其形态如图 7 所示。

侏罗系中统含水层接受西部和北部方向地下水补给, 含水层富水性好, 渗透性强, 为一相对较强的径流补给带, 矿井的南部和东部水力坡度相对较大, 表明渗透性差, 为一弱径流补给带。对比三个不同时期侏罗系中统含水层地下水位动态变化流场图, 发现形成的水位降落漏斗范围随时间增加, 深度也随之增加, 说明工作面通过井下巷道钻孔疏放水效果良好。

疏干排水导致侏罗系中统含水层水位显著下降, 水力坡度变大, 而白垩系含水层变化相对较小, 反映出两者之间有水力联系。随着煤层的不断开采, 上覆含水层呈现出富水性增强、透水性增强的趋势。

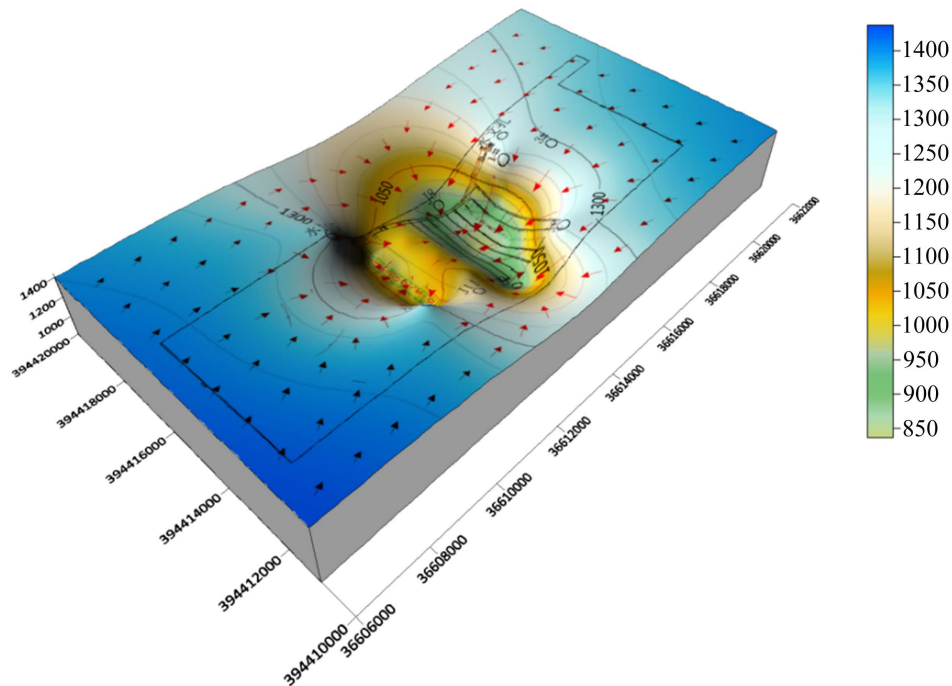


Figure 7. Water level depression cone diagram of Jurassic (J_2) aquifer in well field (May 30, 2022)
图 7. 井田内侏罗系(J_2)含水层水位降落漏斗图(2022 年 5 月 30 日)

4. 控制因素分析

4.1. 沉积环境对含水层渗透性和单位涌水量影响

从沉积环境上, 3_1 煤层为河流润湾相沉积, 中统含水层为河道相沉积。沉积中后期, 高差减小, 区域古气候逐渐干热, 演变为湖泊和河流三角洲沉积环境, 使得沉积结构发生改变, 即为“砂包泥”和“泥包砂”, 含水层连续性和渗透性变差。

煤层顶板直罗系中统含水层为辫状河道沉积, 以中、粗砂为主, 底部为厚层状山前冲积扇沉积, 沉积物颗粒较粗, 磨圆度和分选性较差至中等。因此, 中统直罗组下段不仅为地下水提供了储存空间, 又是富水性较强的地段, 说明了沉积相变对地下水的富水条件起到重要的控制。

依据井田的水文地质勘探成果, 井田范围内侏罗系中统含水层的渗透系数和单位涌水量在空间变化较大, 如表 1。

Table 1. Statistical table of unit water inflow and permeability parameters of Middle Jurassic aquifer
表 1. 侏罗系中统含水层单位涌水量及渗透参数统计表

孔号	含水层名称	降深 S (m)	抽水量 Q (L/s)	单位涌水量 q (L/s·m)	渗透系数 K (m/d)
20	J ₂	85.11	1.750	0.02056	0.016804
		69.16	1.570	0.02270	0.018130
		52.12	1.340	0.02571	0.019865
12	J ₂	84.29	1.390	0.01649	0.012556
		68.03	1.230	0.01808	0.013425
		47.95	0.990	0.02065	0.014673
15	J ₂	77.42	1.040	0.01343	0.015655
		69.20	0.950	0.01373	0.015762
		58.03	0.820	0.01413	0.015833
水文 1 [#]	J ₂	33.03	0.052	0.00160	0.000770
		63.47	0.050	0.00079	0.000430
水 J ₆	J ₂	81.68	0.123	0.00150	0.000890
		35.25	3.857	0.10940	0.065400
水 J ₈	J ₂	23.68	2.638	0.11140	0.062800
		13.56	1.554	0.11460	0.059200
		23.10	2.585	0.11900	0.062900
		15.38	1.753	0.11400	0.061000
		7.64	0.895	0.11710	0.054700

4.2. 地质构造

受燕山运动和新构造运动作用, 表现为抬升作用和水平挤压作用, 再加上各种风化作用, 最终形成了以孔隙储水、裂隙导水的双重介质特性。井田位于苏家村向斜, 含水层起伏相对较大, 褶皱范围内裂隙发育, 特别发育垂向裂隙, 为地下水储存提供良好的空间和导水通道。现有巷道揭露了苏家村向斜, 四周发育较多小断层, 且断层带附近煤岩层较为破碎。

矿区地层整体构造形态为近东西向, 倾向北北西向, 倾角范围 1°~10°, 矿区内断层不甚发育, 井下巷道共揭露断层 21 条, 均为正断层, 未发现大中型断层, 断层落差一般 0 m~1.2 m, 最大落差 2.8 m, 均小于 3 m, 三维地震解译出断层 28 条, 均为正断层, 落差一般在 0 m~3 m, 盆地在抬升过程中受多期构造运动影响, 形成了不同规模的垂直裂缝, 作为良好的导水通道。

4.3. 井下疏放水与采动对含水层的影响

煤层顶板覆岩主要由粉砂岩和泥岩组成, 沿工作面布置的钻孔对上覆中统含水层进行疏放水后, 含水层水位持续下降, 形成了冒落带和裂缝带, 波及到白垩系含水层, 导致含水层水位下降, 最终形成形态不对称的降落漏斗, 类似越流。

由于 3₁ 煤层埋藏较深, 开采时, 煤层顶板受到周期来压影响, 导致顶板出现不同程度的损伤破坏, 形成“两带”, 不仅与褶皱两翼裂隙发生沟通, 也破坏了白垩系和侏罗系之间的隔水层, 使得二者之间发生了水力联系, 在垂向上形成统一的地下水流动系统。

5. 结论

(1) 第四系和白垩系含水层间水力联系主要为大气降水和蒸发影响,受古地形影响,白垩系含水层与侏罗系中统含水层间水力联系弱,地下水呈现水平流动。

(2) 因回采影响,导致侏罗系和白垩系含水层之间发生水力联系,形成统一的地下水流场。

(3) 地下水动态变化的内在因素是早期沉积环境和后期构造地质作用导致煤层上覆含水层富水性和渗透性改变,外在因素是井下疏放水及煤层开采影响。

参考文献

- [1] 叶力进,许进鹏,刘统学,等. 煤矿水害基本类型与动态演化类型划分[J]. 煤矿安全, 2022, 53(11): 207-211.
- [2] 刘卫卫. 工作面顶板水立体疏放长短钻孔钻进技术[J]. 煤炭技术, 2020, 39(12): 106-109.
- [3] 邢世平. 基于 FAHP-CRITIC 的孔庄矿东部采区灰岩突水危险性评价[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2018.
- [4] 李振兴,刘春平. 内蒙古泊江海子矿煤层顶板涌(突)水危险性分区评价[J]. 中国煤炭地质, 2018, 30(4): 45-49.
- [5] 李旭. 泊江海子矿地下水动态特征及其数值模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2016.
- [6] Elliot, T. and Younger, P.L. (2007) Hydrochemical and Isotopic Tracing of Mixing Dynamics and Water Quality Evolution under Pumping Conditions in the Mine Shaft of the Abandoned Frances Colliery, Scotland. *Applied Geochemistry*, **22**, 2834-2860. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2007.07.007>
- [7] Malcolm, E.C., Allan, J., Amy, H., et al. (2013) Groundwater Visualisation System (GVS): A Software Framework for Integrated Display and Interrogation of Conceptual Hydrogeological Models, Data and Time-Series Animation. *Journal of Hydrology*, **491**, 56-72. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.03.023>
- [8] Motyka, J., et al. (2013) Impact of Zn-Pb Mining in the Olkusz Ore District on the Permian Aquifer (SW Poland). *Environmental Science and Pollution Research International*, **20**, 7582-7589. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1740-8>
- [9] 仵彦卿,李俊亭. 地下水动态研究现状与展望[J]. 长安大学学报(地球科学版), 1992, 14(4): 58-64.
- [10] 石晓枫,杨国栋. 煤炭开采对地下水资源破坏环境影响评价浅析[J]. 环境科学进展, 1997(S1): 133-137.
- [11] 韩宝平,郑世书,谢克俊,等. 煤矿开采诱发的水文地质效应研究[J]. 中国矿业大学学报, 1994, 23(3): 70-77.
- [12] 乔小娟,李国敏,周金龙,等. 采煤对地下水资源与环境的影响分析——以山西太原西山煤矿开采区为例[J]. 水资源保护, 2010, 26(1): 49-52.
- [13] 董震雨,王双明. 采煤对陕北榆溪河流域地下水资源的影响分析——以杭来湾煤矿开采区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(3): 185-190.
- [14] 李明泽. 基于导水裂缝带的地下水动态模拟及预测[J]. 中国煤炭, 2017, 43(12): 55-62.
- [15] 刘璐琦. 煤矿开采对地下水水量及水化学环境的影响分析[J]. 粘接, 2022, 49(10): 114-117.
- [16] 高宇航,许光泉,党保全,等. 隐伏岩溶地下水动态特征及水文地质模式分析[J]. 煤矿安全, 2021, 52(3): 204-210.
- [17] 疏义国,李亚昊,王宏伟,等. 侏罗系含水层地下水动态特征及其涌水量预测[J]. 煤炭与化工, 2020, 43(6): 50-57.
- [18] 李守好,金修如,黎志豪,等. 泊江海子矿放水试验及地下水位动态特征与影响因素分析[J]. 地下水, 2017, 39(5): 43-45.
- [19] 许光泉,潘生强,李亚昊,等. 鄂尔多斯北部地下水动态特征及其成因模式[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2021, 41(3): 7-14.