

宿州区块煤层气富集的水动力条件控制作用

黄亮¹, 陈松²

¹中联煤层气有限责任公司, 北京

²宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州

收稿日期: 2024年5月12日; 录用日期: 2024年7月8日; 发布日期: 2024年7月15日

摘要

为分析宿州区块水动力条件对煤层气富集的控制作用, 以宿州区块煤储层为研究对象, 结合主要含水层水位观测数据, 分析了各含水层水动力场分布特征, 讨论了水动力场对煤层气富集的影响。结果表明: 四含水动力由南向北逐渐降低, 太灰水动力由东南向西北以及由西南向东北逐渐降低, 滞流区均位于西南部祁南煤矿。奥灰水动力总体由东向西以及由东北向西南逐渐降低, 滞流区位于东部芦岭煤矿。四含和太灰地下水水流场与8煤含气量的分布规律具有对应关系。北部处于地下水排泄区, 水动力活跃, 导致区域含气量偏低, 祁南煤矿深部四含及太灰水动力较弱, 煤层气含量较高。

关键词

煤层气, 水动力场, 地下含水系统, 含气量, 宿州区块

The Control Effect of Hydrodynamic Conditions on CBM Enrichment in Suzhou Block

Liang Huang¹, Song Chen²

¹China United Coalbed Methane Corporation Ltd., Beijing

²School of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, Suzhou Anhui

Received: May 12th, 2024; accepted: Jul. 8th, 2024; published: Jul. 15th, 2024

Abstract

In order to analyze the control effect of hydrodynamic conditions on CBM enrichment in Suzhou block, the coal reservoir in Suzhou block was taken as the research object. Combined with the wa-

ter level observation data of main aquifers, the distribution characteristics of hydrodynamic field in each aquifer were analyzed, and the influence of hydrodynamic field on CBM enrichment was discussed. The results show that the hydrodynamic force of the fourth aquifer gradually decreases from south to north, the hydrodynamic force of the Taiyuan formation limestone aquifer gradually decreases from southeast to northwest and from southwest to northeast, and the stagnation zone is located in the Qinan coal mine in the southwest. The hydrodynamic force of the Ordovician limestone aquifer gradually decreases from east to west and from northeast to southwest, and the stagnation zone is located in the Luling coal mine in the eastern. There is a corresponding relationship between the groundwater flow field of the fourth and the limestone aquifer and the distribution law of the CBM content of No.8 coal. The northern is in the groundwater discharge area, and the hydrodynamic force is active, which leads to the low gas content in the area. The hydrodynamic force of the fourth and the Taiyuan formation limestone aquifer in the deep-seated place of the Qinan coal mine is weak, and the CBM content is higher.

Keywords

CBM, Hydrodynamic Field, Underground Aquifer System, Gas Content, Suzhou Block

Copyright © 2024 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

煤层气在煤层中的形成、运移和聚集受到各种地质条件的制约[1] [2]。其中水文地质条件对煤层气的储存和开采有很大的影响[3] [4]。水动力条件直接反映了储层压力状态，影响着煤层气的储存和逸散，煤层气的生产也是通过持续性地从煤储层中不断地抽水，减小储层压力来实现的，对煤层气的勘探开发至关重要[5] [6]。在煤层气生成过程中，煤系地下水与围岩以及煤层会发生各种物理化学反应，煤系地下水的演化规律与煤层气的富集息息相关[7]。地下水系统通过静水压力控制着煤层气的吸附和富集。甲烷主要以吸附气的形式储存在煤储层当中，同时还含有少量的溶解气和游离气。地下水的运移携带煤储层中的溶解气体，促进了游离气和吸附气之间的交换，导致更多的甲烷在运移过程中被带走[8] [9]。因此，本文以宿州煤层气区块为例，通过对研究区地下水动力条件分析，探讨地下水动力特征对煤层气成藏富集的影响，为圈定研究区煤层气甜点区和井位部署提供重要指导。

2. 研究区地质背景

宿南区块地处安徽省北部的宿州市南部，处于淮北平原中部，其范围包括桃园煤矿、祁东煤矿、祁南煤矿及相关深部地区。根据研究区各生产矿井综合水文地质柱状图及钻孔资料统计，区块内揭露的地层由老到新依次为：奥陶系中下统(O₁₊₂)、石炭系上统(C₂)、二叠系(P)、新生界的古近系(E)、新近系(N)和第四系(Q)。其中二叠系下石盒子组钻孔揭露两极厚度为130.93 m~325.0 m，平均为235.55 m。通常含4、5、6、7、8、9等煤层。

宿州区块主要由宿东矿区和宿南矿区组成(图 1)。其中宿东矿区位于徐宿推覆构造的前峰断夹块中，宿南矿区处于推覆构造的下伏系统及外缘带。正是由于不同矿区构造位置的不同及受推覆构造影响程度的差异性，使得各矿区构造发育各具特色，进而影响煤层空间展布和煤体结构特征。

宿南矿区位于淮北煤田东南部，处在华北古大陆板块东南缘，豫淮坳褶带东部、徐宿弧形推覆构造

南端。淮北煤田的区域基底格架受南、东两侧板缘活动带控制, 总体表现为受郯庐断裂控制的近南北向褶皱断裂, 叠加并切割早期东西向构造, 形成了许多近似网块断块式的隆坳构造系统。宿南矿区的褶皱多为开阔短轴褶皱, 与宿北断裂以北的紧闭线状褶皱明显不同。自东向西, 主要褶皱为宿东向斜、宿南向斜、宿南背斜及西部的南坪向斜。东西向的断裂主要有北部的宿北断裂、南部的楚店-泗县断裂, 北东向的有东部的长丰-固镇断裂、西部的南坪断层。上述褶皱及东西向和北北东向的断裂共同构成了矿区的基本格架, 对其内次级褶皱及北东向、北西向等断裂构造起向西寺坡逆掩断层组, 它是徐宿弧形双冲-叠瓦扇构造在本区的具体表现。

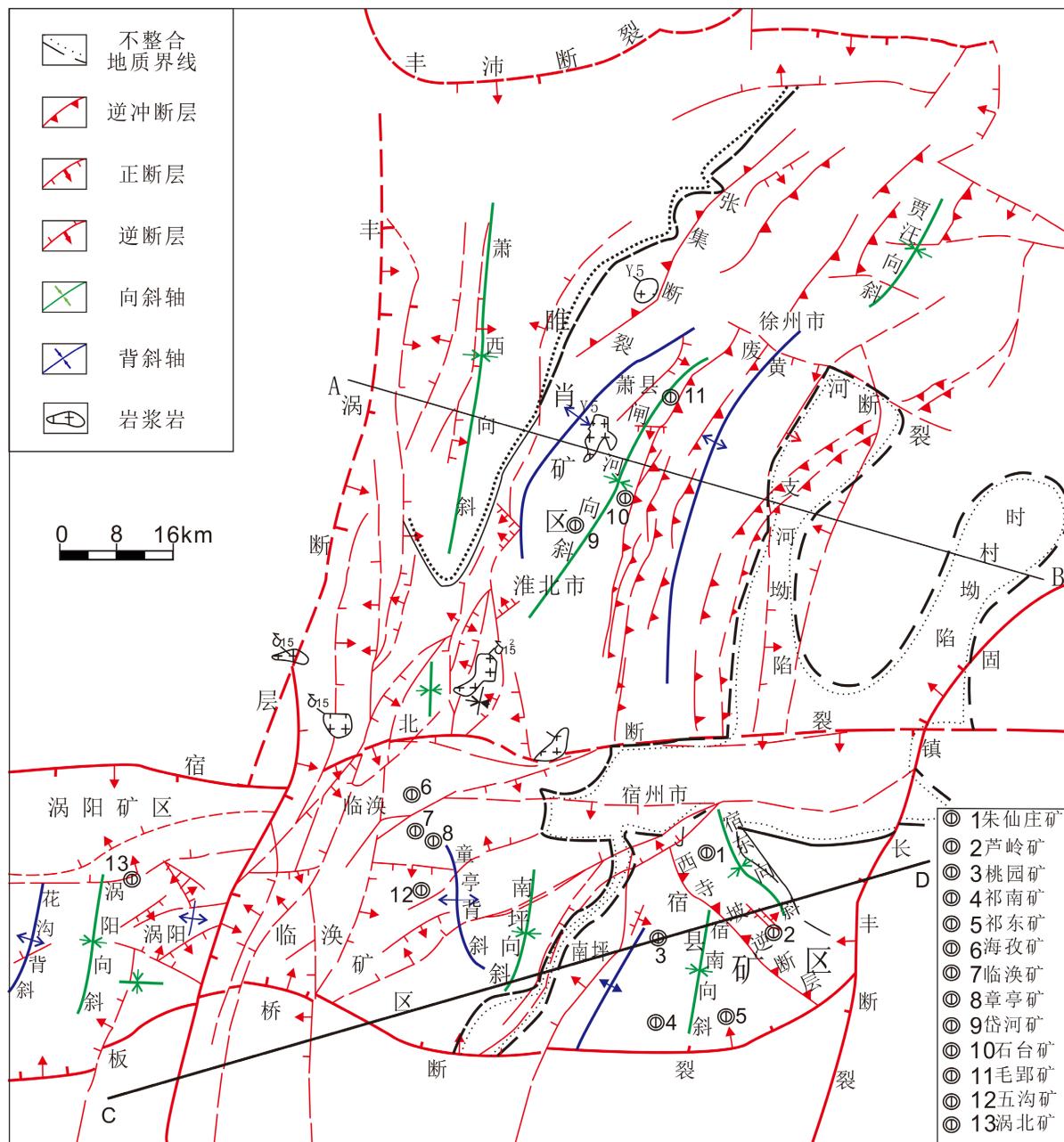


Figure 1. Xuzhou-Suzhou nappe structure and the location of main coal mines [10]

图 1. 徐-宿推覆构造及主要煤矿位置[10]

3. 宿州区块地下水含水系统

宿南区块含水系统由多个含水层组组成。根据研究区地层岩性及含水层赋存空间的分布情况, 将含水层分为新生界松散层类孔隙含水层、煤系砂岩裂隙含水层、太原组灰岩含水层和奥陶系灰岩含水层。

1) 新生界松散层类孔隙含水层

该含水层岩性以砂层、砾石层夹黏土层为主。根据含水性和岩性组合特征分为四个含水层组和三个隔水层组(图 2)。第一含水层主要以地表水和大气降水垂直入渗补给为主。第二和第三含水层主要以层间径流补给为主。第三隔水层组岩石成分主要以灰绿色、棕黄色粘土为主, 夹多层薄层粘土质砂和粉细砂, 由于三隔厚度大, 隔水性好, 因此三隔表现出良好的隔水性。第四含水层接覆盖在煤系地层之上, 受沉积条件和环境影响, 其富水性以及空间分布差异明显, 是宿州矿区内主要突水含水层。

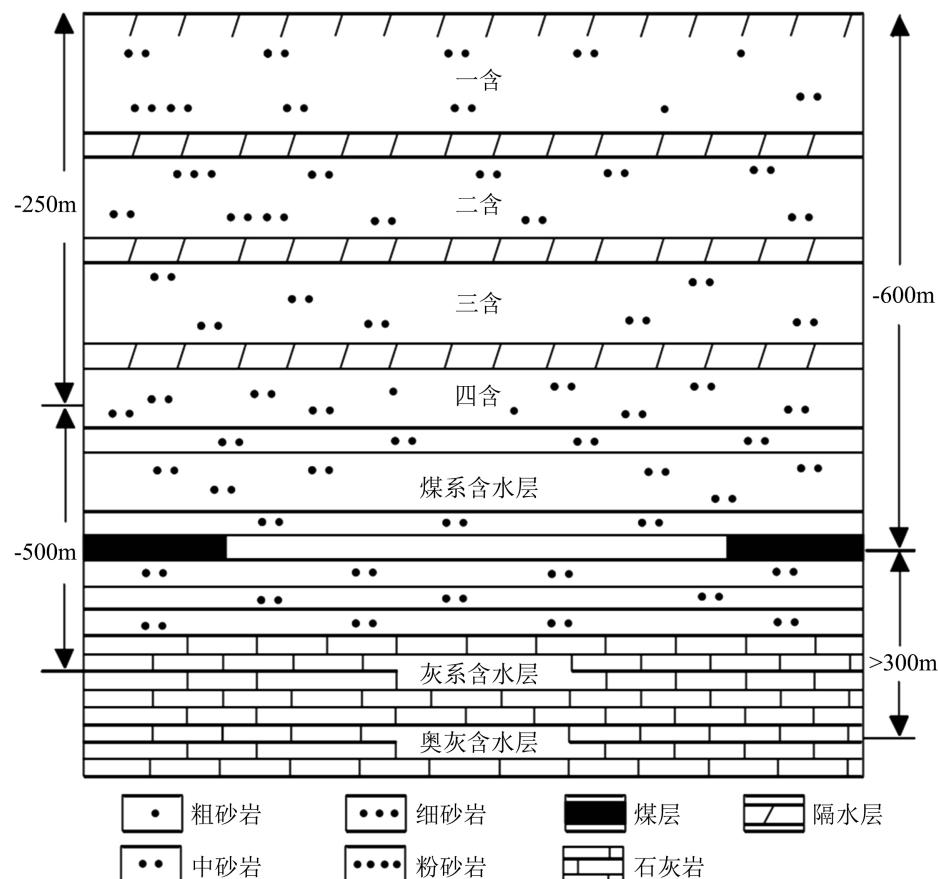


Figure 2. The hydrogeological profile of suzhou block [11]

图 2. 宿州区块水文地质剖面图[11]

2) 煤系砂岩裂隙含水层(简称煤系)

该含水层主要以燕山期火成岩和二叠系沉积岩为主, 由于受到地质构造的影响, 煤系砂岩地层裂隙发育, 为地下水的存储提供空间。含水层富水性弱, 主要以静储量为主, 水平径流微弱, 四含水在浅部露头带缓慢垂直入渗补给。

3) 石炭系太原组岩溶裂隙含水层(简称太灰)

该含水层岩性主要以泥岩、粉砂岩和太原组灰岩为主, 其中灰岩占比较大。由于受岩溶作用影响,

太灰地层岩溶裂隙发育, 因此, 太灰属于中等至强富水性, 但随着地层埋藏深度的增加, 岩溶裂隙发育程度减弱, 水动力条件由强变弱。在太灰地层浅部由于导水裂隙、岩溶陷落柱以及溶蚀溶隙等较发育, 导致其增加了太灰与煤系地层产生水力联系的可能性, 不仅严重威胁煤矿开采安全, 同时对煤层气的勘探开发产生重要影响。

4) 奥陶系岩溶裂隙含水层(简称奥灰)

该含水层主要为寒武系和奥陶系灰岩组成。由于奥灰地层厚度较大, 导水裂隙、岩溶陷落柱和溶蚀溶隙发育, 富水性强。

4. 水动力场分布特征

依据采集的宿南区块长观孔水位观测数据, 分别分析了研究区四含、太灰和奥灰地下水水流场分布特征。如图 3 所示, 研究区四含水动力总体由南向北逐渐降低, 其中桃园矿北部水势最低, 水位标高为-495 m 左右, 水位等值线密集, 水动力较强, 属于自由交替区。西南部水势最高, 水位等值线稀疏, 水动力较弱, 主要位于祁南煤矿, 属于滞流区。过渡地带为交替阻滞区。

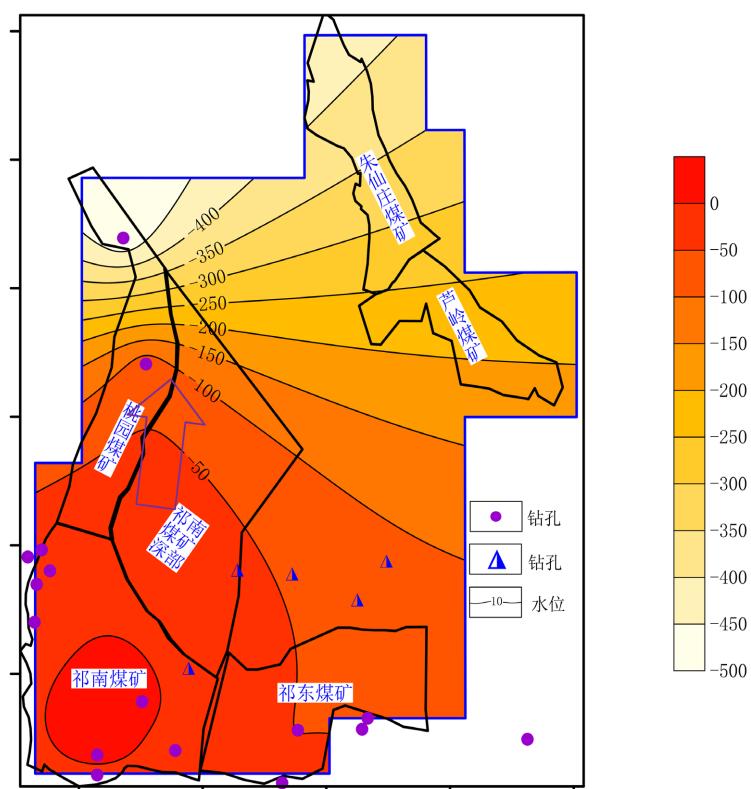


Figure 3. The groundwater flow field distribution of the fourth aquifer in Suzhou block

图 3. 宿州区块四含水流场分布

如图 4 所示, 研究区太灰水动力总体由东南向西北以及由西南向东北逐渐降低, 其中西北部所处位置水势最低, 水位标高在-247 m 左右, 其次是东北部水势较低, 水位标高在-197 m 左右, 水位等值线密集, 说明研究区桃园矿北部和芦岭煤矿中部水动力较强, 属于自由交替区。南部地区祁南煤矿和祁东煤矿水势最高, 水位等值线稀疏, 水动力较弱, 主要属于滞流区, 过渡地带为交替阻滞区。

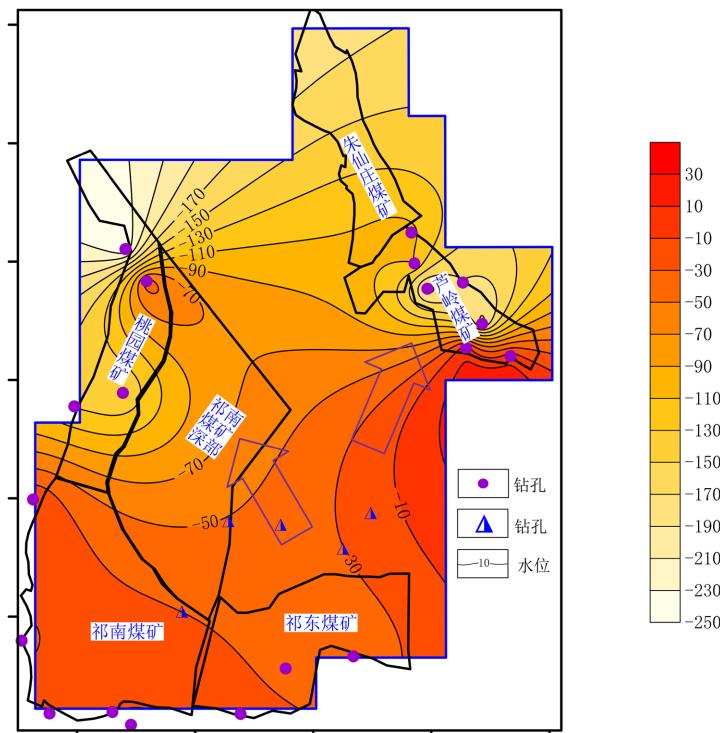


Figure 4. The groundwater flow field distribution of the Taiyuan formation limestone aquifer in Suzhou block

图 4. 宿州矿区太灰水流场分布

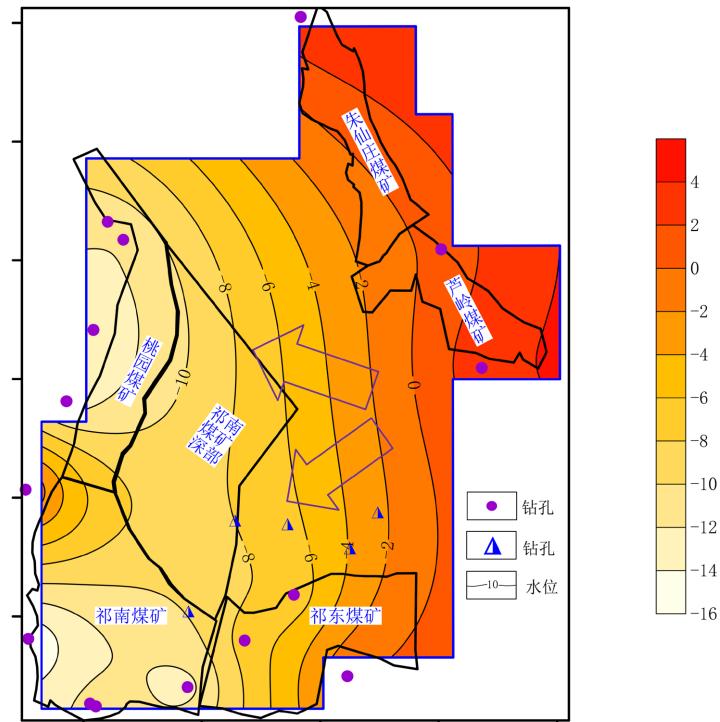


Figure 5. The groundwater flow field distribution of the Ordovician aquifer in Suzhou block

图 5. 宿州矿区奥灰水流场分布

如图 5 所示, 研究区奥灰水动力总体由东向西以及由东北向西南逐渐降低, 其中祁南煤矿所处位置水势最低, 水位标高在-15 m 左右, 其次桃园煤矿水势较低, 水位标高在-13 m 左右, 说明西南部的祁南煤矿以及西部的桃园煤矿水动力较强, 水位等值线较密集, 属于自由交替区。东部芦岭煤矿水势最高, 水位等值线较稀疏, 水动力较弱, 属于滞流区, 过渡地带为交替阻滞区。

5. 水动力场对煤层气富集的影响

煤层气富集受多种地质因素共同控制, 水文地质特征控制着煤层气的保存和运移, 其影响贯穿于煤层气的生成、运移、富集成藏与产出的整个过程。其中水文地质控气作用主要分为 3 种, 分别为水力封闭控气作用、水力运移逸散控气作用和水力封堵控气作用。

结合研究区 8#煤层的含气量数据, 绘制了宿南区块不同含水层水位与各煤层含气量的叠合图。由图 6~8 可见, 宿南区块 8#煤含气量的区域分布规律与四含和太灰地下水水流场总体形态之间具有对应关系。四含和太灰地下水水流场总体上由东南向西北以及由西南向东北逐渐降低, 水动力条件随之增强, 而 8#煤含气量也展现出南高北低、西高东低的总体趋势。研究区北部由于处于地下水排泄区, 水动力活跃, 导致区域含气量偏低。祁南煤矿深部四含及太灰水位高于-50 m, 煤层含气量基本上都大于 10 m³/t; 朱仙庄煤矿、桃园煤矿北部以及芦岭煤矿附近四含及太灰水位低于-200 m, 煤层含气量小于 10 m³/t, 局部区域出现高值; 而祁南煤矿浅部四含及太灰水位较高, 处于地下水补给区, 煤层含气量小于 10 m³/t。

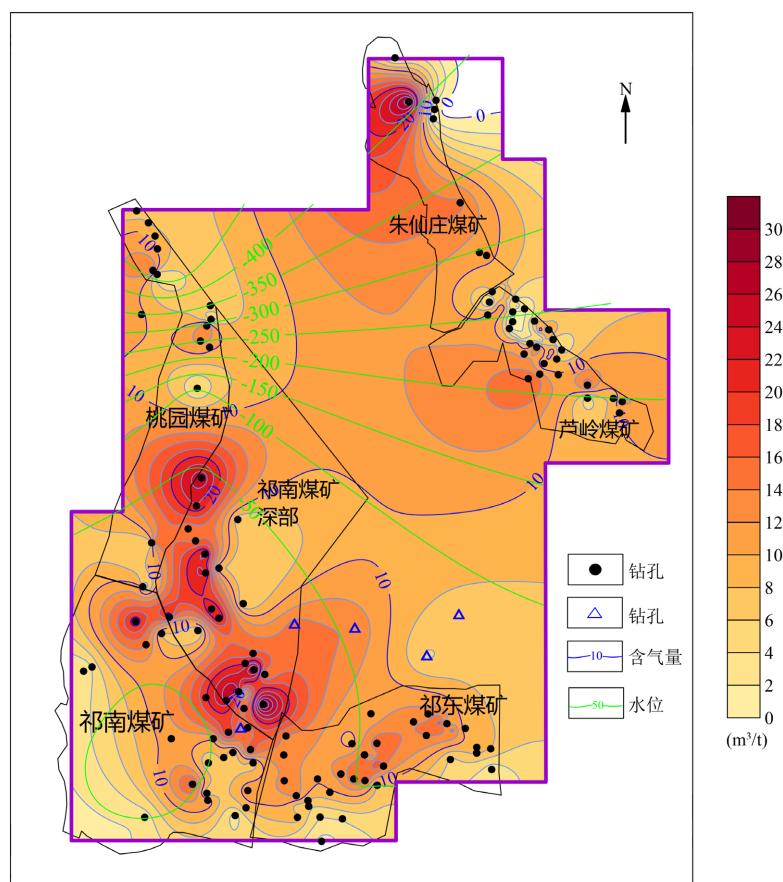


Figure 6. The composite map of the groundwater flow field of the fourth aquifer and CBM content of No.8 coal in Suzhou block

图 6. 宿南区块 8#煤含气量与四含水流场叠合图

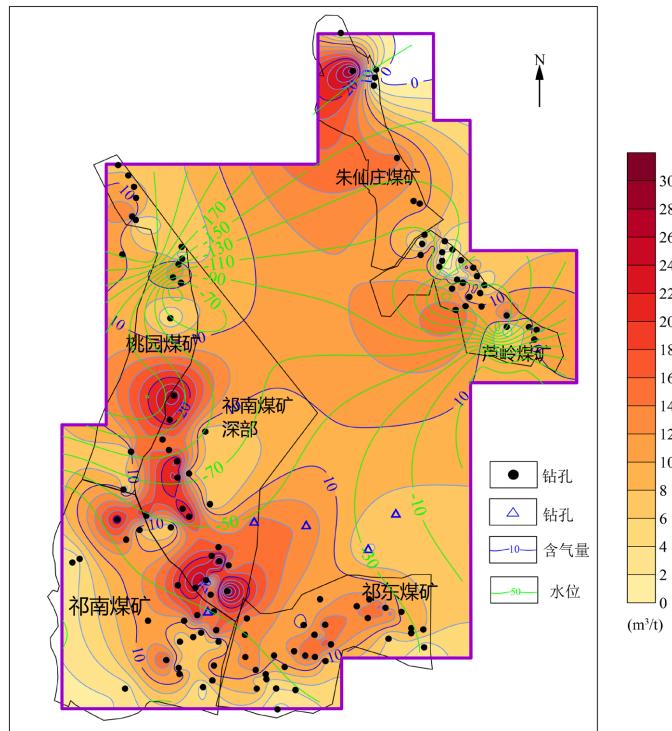


Figure 7. The composite map of the groundwater flow field of the Taiyuan formation limestone aquifer and CBM content of No.8 coal in Suzhou block
图 7. 宿南区块 8#煤含气量与太灰水流场叠合图

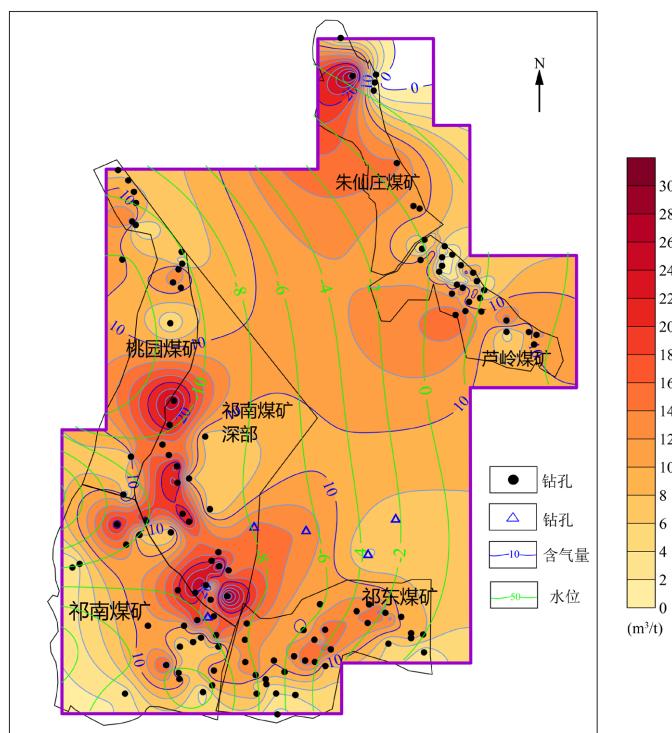


Figure 8. The groundwater flow field distribution of the Ordovician limestone aquifer in Suzhou block
图 8. 宿南区块 8#煤含气量与奥灰水流场叠合图

6. 结论

1) 四含水动力总体由南向北逐渐降低,桃园矿北部水动力较强,属于自由交替区。西南部祁南煤矿,水动力较弱,属于滞流区。太灰水动力总体由东南向西北以及由西南向东北逐渐降低,其中桃园矿北部和芦岭煤矿水动力较强,属于自由交替区。南部地区祁南煤矿和祁东煤矿水动力较弱,属于滞流区。奥灰水动力总体由东向西以及由东北向西南逐渐降低,其中西南部的祁南煤矿以及西部的桃园煤矿水动力较强,属于自由交替区。东部芦岭煤矿水动力较弱,属于滞流区。

2) 宿南区块8#煤层含气量的区域分布规律与四含和太灰地下水水流场总体形态之间具有对应关系。北部处于地下水排泄区,水动力活跃,导致区域含气量偏低,祁南煤矿深部四含及太灰水位较高,煤层含气量高,进一步说明宿南矿区水动力控藏的特点。

基金项目

安徽宿南碎裂煤水文特征与含气潜力分析项目(ZZGSSAQLFX2022-591, 2023xhx013)。

参考文献

- [1] Tao, S., Wang, Y., Tang, D., Xu, H., Lv, Y., He, W., et al. (2012) Dynamic Variation Effects of Coal Permeability during the Coalbed Methane Development Process in the Qinshui Basin, China. *International Journal of Coal Geology*, **93**, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.01.006>
- [2] Karacan, C.Ö. and Goodman, G.V.R. (2012) Analyses of Geological and Hydrodynamic Controls on Methane Emissions Experienced in a Lower Kittanning Coal Mine. *International Journal of Coal Geology*, **98**, 110-127. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.04.002>
- [3] Guo, C., Qin, Y., Wu, C. and Lu, L. (2020) Hydrogeological Control and Productivity Modes of Coalbed Methane Commingled Production in Multi-Seam Areas: A Case Study of the Bide-Santang Basin, Western Guizhou, South China. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **189**, Article ID: 107039. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107039>
- [4] Guo, C., Qin, Y., Xia, Y., Ma, D., Han, D., Chen, Y., et al. (2017) Geochemical Characteristics of Water Produced from CBM Wells and Implications for Commingling CBM Production: A Case Study of the Bide-Santang Basin, Western Guizhou, China. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **159**, 666-678. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.09.068>
- [5] Li, Z.Y. (2016) Analysis of Groundwater Hydrochemical Features and Hydraulic Connection between Aquifers in Guxian Exploration Area of Qinshui Coalfield. *Journal of Water Resources and Architectural Engineering*, **14**, 179-183.
- [6] Pashin, J.C. (2007) Hydrodynamics of Coalbed Methane Reservoirs in the Black Warrior Basin: Key to Understanding Reservoir Performance and Environmental Issues. *Applied Geochemistry*, **22**, 2257-2272. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2007.04.009>
- [7] 赵馨悦, 韦波, 袁亮, 等. 煤储层水文地质特征及其煤层气开发意义研究综述[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(4): 105-117.
- [8] Qin, S., Tang, X., Song, Y. and Wang, H. (2006) Distribution and Fractionation Mechanism of Stable Carbon Isotope of Coalbed Methane. *Science in China Series D: Earth Sciences*, **49**, 1252-1258. <https://doi.org/10.1007/s11430-006-2036-3>
- [9] 秦胜飞, 宋岩, 唐修义, 等. 水动力条件对煤层气含量的影响:煤层气滞留水控气论[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 149-152.
- [10] 姜波, 秦勇, 范炳恒, 等. 淮北地区煤储层物性及煤层气勘探前景[J]. 中国矿业大学学报, 2001, 35(5): 11-15.
- [11] 许冬清. 宿县矿区地下水化学演化特征与控制因素研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.