

引用格式:王文升,张亚飞,杜丰丰,等.寿阳地区15号煤层地下水动力场特征及控气作用[J].油气藏评价与开发,2022,12(4):643-650.

WANG Wensheng, ZHANG Yafei, DU Fengfeng, et al. Characteristics of groundwater dynamic field and its controlling gas effects in No. 15 coal seam of Shouyang area[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2022, 12(4): 643-650.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2022.04.012

寿阳地区15号煤层地下水动力场特征及控气作用

王文升¹,张亚飞²,杜丰丰³,韩冬¹,倪小明³

(1.中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司,天津300450;2.中联煤层气有限责任公司,北京100010;
3.河南理工大学能源科学与工程学院,河南焦作,454000)

摘要:查明煤层气开发区的水文地质条件及其控气作用能为进一步开发井位部署提供依据。以寿阳地区松塔区块的15号煤层为研究对象,对11口煤层气井的产出水进行常规离子测试,得出了产出水的矿化度、离子分布特征;参考苏林分类法划分了产出水的类型;根据煤层气井排采初期的动液面高度,结合煤层底板标高,计算出各口煤层气井的等折算水位;在此基础上划分出滞流区、弱径流区和径流区。从水化学和水动力角度,分析了水文地质条件对15号煤层含气量的控制作用。结果表明:研究区水质类型主要为NaHCO₃型和CaCl₂型;自北向南可分为径流区、弱径流区和滞流区;当钠氯系数小于1.04,脱硫系数小于0.12,碳酸盐平衡系数小于10.39时,煤层气含气量大于12 m³/t,为煤层气的富集区;水动力封闭型、水动力封堵型的地下水动力条件有利于煤层气的富集;水动力逸散型则导致煤层气含气量降低。该研究结果为研究区煤层气富集区优选及勘探开发提供了参考。

关键词:水文地质;离子特征;水化学参数;控气作用;寿阳地区

中图分类号:TE37

文献标识码:A

Characteristics of groundwater dynamic field and its controlling gas effects in No. 15 coal seam of Shouyang area

WANG Wensheng¹, ZHANG Yafei², DU Fengfeng³, HAN Dong¹, NI Xiaoming³

(1. CNOOC Energy Tech-Drilling & Production Co., Tianjin 300450, China; 2. China United Coalbed Methane Corporation Ltd., Beijing 100010, China; 3. School of Energy Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

Abstract: Finding out the hydrogeological conditions and its controlling gas effects of CBM (coalbed methane) development area is important, which can provide a foundation for further development well location deployment. Taking the No. 15 coal seam of Songta Block in Shouyang area as a research object, the conventional ion of the produced water in 11 coalbed methane wells has been tested, and the mineralization and ion distribution characteristics of the produced water are obtained. According to the Sulin classification, the types of produced water are divided. And according to the dynamic liquid level height at the initial stage of drainage of coalbed methane wells and combined with the elevation of coalbed floor, the equivalent water level of each coalbed methane well is calculated. On this basis, the hydrodynamic field in studying area are divided into stagnant area, weak runoff area and runoff area. Meanwhile, the controlling gas effects of hydrogeological parameters on gas content of No. 15 coal seam are analyzed from the aspects of perspective of hydrochemistry and hydrodynamics. The results show that the main types of water quality in the studying area are NaHCO₃ and CaCl₂. The runoff area, weak runoff area and stagnant area are successively distributed from north to south. For some areas, when the sodium chloride coefficient is less than 1.04, the desulfation coefficient is less than 0.12, and the carbonate balance coefficient is less than 10.39, the gas content is more than 12 m³/t. These areas are beneficitation areas in coalbed methane. The hydrodynamic conditions of hydrodynamic sealing type and hydrodynamic plugging type are conducive to the enrichment of coalbed methane. The hydraulic escape type leads to the decrease of coalbed methane gas content. The research results provide a reference for the optimization, exploration and development of CBM enrichment areas in the study area.

Keywords: hydrogeology; ion characteristic; hydrochemical parameter; controlling gas effect; Shouyang area

收稿日期:2022-04-13。

第一作者简介:王文升(1978—),男,硕士,高级工程师,主要从事开发地质及非常规油气研究。地址:天津滨海新区滨海新村西区合作楼,邮政编码:300452。E-mail:Wangwsh5@cnooc.com.cn

通信作者简介:韩冬(1987—),男,硕士,工程师,主要从事非常规油气勘探研究。地址:天津滨海新区滨海新村西区合作楼,邮政编码:300452。E-mail:Handong5@cnooc.com.cn

煤层气井是通过排水降压使气体解吸产出的,地下水动力条件对煤层气的富集及煤层气井的开发具有重要影响。关于地下水动力条件及其与煤层气富集成藏关系的研究,国内外研究者通过对煤层气井排采水进行常规水离子、微量元素、氢氧同位素等测试,得出水地球化学和水化学参数特征^[1-4],或者采用地下水模拟软件Feflow、Modflow、GMS研究地下水动力条件^[5-7],或通过地下水势划分补给区、径流区和滞留区。根据研究区煤层气勘探开发资料,得出研究区煤层气富集程度,在此基础上,研究地下水动力条件与煤层气富集的关系。这些研究方法对某一区块煤层气进一步勘探开发起到了很好的指导作用。

寿阳地区经过20余年的煤层气勘探开发,在南燕竹地区积累了较丰富的煤层气资料,研究开发程度较高;松塔地区煤层气井资料相对较少,前期煤层气开发井的产水量、产气量差别较大,水文地质条件及与煤层气富集的关系不明。鉴于此,对该区煤层气排采井产出水的矿化度、水动力场进行分析,并探讨其对煤层气富集的影响,以期为该区进一步勘探开发提供理论指导。

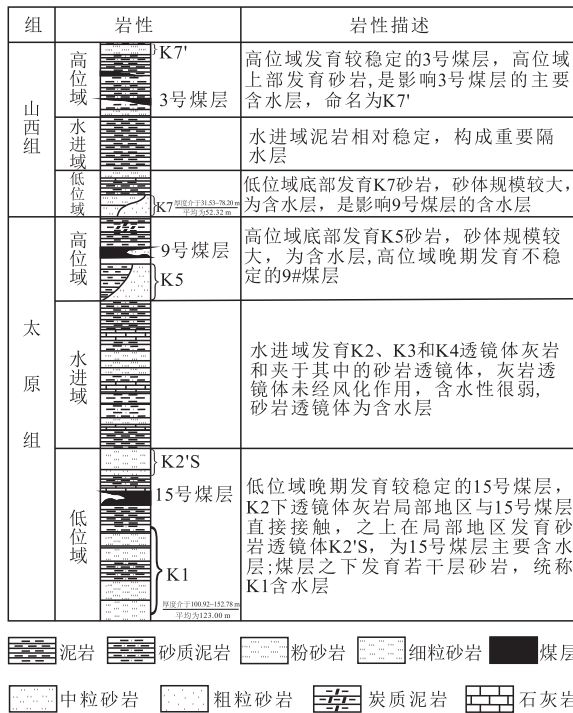
1 研究区地质概况

寿阳地区位于山西省中部,西距省会太原市约50 km,松塔区块位于寿阳的南部,地处太行山脉西麓,太原东山背斜之东南翼。整体上,研究区为NW倾向的单斜构造。根据二维地震解释结果可知:该区断层以NNE向和NE向正断层为主,断距介于0~240 m,差异较大。研究的目标煤层为15号煤层。研究区内15号煤层埋深介于769.2~970.7 m,平均为859 m;含气量介于3.85~16.09 m³/t,平均为10.89 m³/t。15号煤层顶部岩性一般为灰岩和砂岩;灰岩含水性弱,K2'S为主要含水层。研究区含煤地层柱状图和断层特征如图1所示。

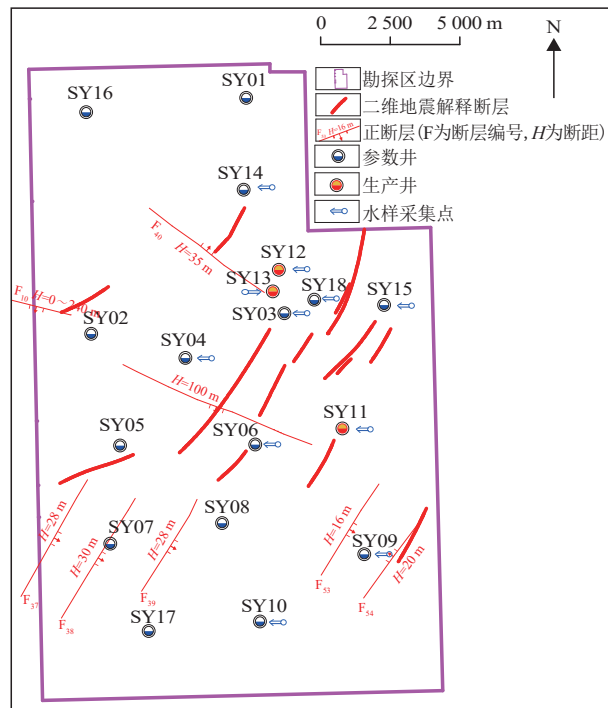
2 基于地下水矿化度和水势的水动力场分区

2.1 排采井产出水矿化度分布特征

对研究区11口煤层气生产井采集样品,水样采



a. 含煤地层柱状图



b. 研究区断层特征

图1 寿阳地区松塔区块含煤地层柱状图和断层特征

Fig. 1 Histogram and fault-block characteristics of coal bearing strata in Songta Block of Shouyang area

集井位如图1b所示。水样测试遵照石油行业标准《油田水分析方法:SY/T 5523—2016》在中海油能源发展股份有限公司非常规实验中心进行。部分测试结果见表1。

由表1可知:研究区15号煤层排采水中阳离子以Na⁺、K⁺为主;阴离子以Cl⁻和HCO₃⁻为主。参考苏林分类方法进行排采水类型划分^[8-9],方法如下:

$$\text{当 } \frac{r(\text{Na}^+)}{r(\text{Cl}^-)} > 1, \text{ 且 } \frac{r(\text{Na}^+) - r(\text{Cl}^-)}{r(\text{SO}_4^{2-})} > 1 \text{ 时 (} r \text{ 为阴、}$$

阳离子的浓度, mmol/L), 为NaHCO₃型, 否则为Na₂SO₄型。

$$\text{当 } \frac{r(\text{Na}^+)}{r(\text{Cl}^-)} < 1, \text{ 且 } \frac{r(\text{Cl}^-) - r(\text{Na}^+)}{r(\text{Mg}^{2+})} > 1 \text{ 时, 为 CaCl}_2$$

型, 否则为MgCl₂型。

根据该判识方法可知:研究区排采水主要为CaCl₂与NaHCO₃型(表1)。表明研究区地下水活动较弱,属于封闭环境,如SY03、SY15、SY11、SY12井附近;较小部分为开放区域,如SY10井附近。

矿化度的大小可以反映地下水的封闭性,即矿化度越高封闭性越好,地下水动力越弱,反之,地下水动力越强^[10]。根据水质分析测试结果,做出矿化度等值线(图2)。

从图2可看出,松塔区块排采水矿化度介于2 199~15 387 mg/L,北部地下水势较低,南部及中部部分区域较高。其中SY03、SY18、SY11井附近的矿化度最高,说明与外界水联系少且远离补给区;

SY01、SY16、SY07、SY08井附近的矿化度较低,说明其与外界水联系较紧密。

2.2 产出水动力场分布特征

等折算水位常用来代替地层水头的大小,可根

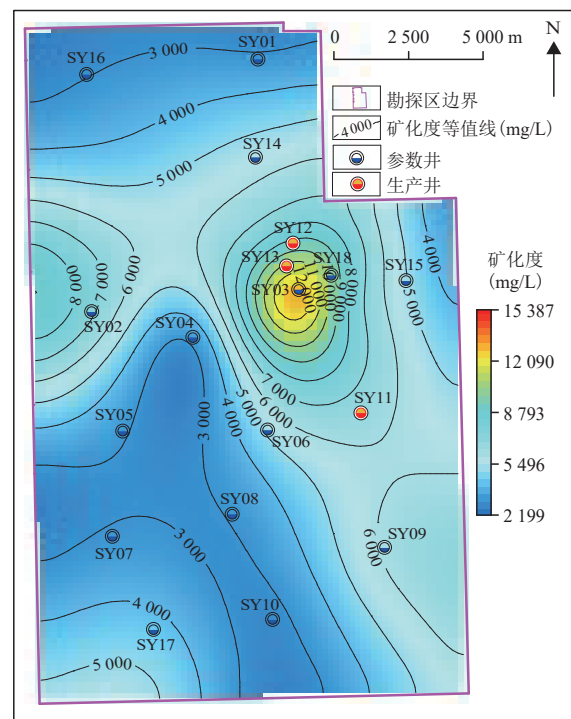


图2 寿阳地区松塔区块煤层气井排采水的矿化度等值线
Fig. 2 Mineralization isoline of production water in CBM wells of Songta Block in Shouyang area

表1 寿阳地区松塔区块煤层气井排采水常规离子分析结果

Table 1 Conventional ion analysis results of drainage water of CBM wells in Songta Block of Shouyang area

井号	阳离子质量浓度(mg/L)				阴离子质量浓度(mg/L)				矿化度 (mg/L)	水质 类型
	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻		
SY03	5 849.65	27.32	62.43	149.10	9 210.37	2.96	696.505	17.172	16 015.51	CaCl ₂
SY04	1 649.07	73.99	12.25	45.43	2 331.15	0	614.442	16.506	4 742.84	NaHCO ₃
SY06	1 797.60	6.23	8.69	21.85	2 071.05	0	1 332.473	38.196	5 276.09	NaHCO ₃
SY09	2 144.59	674.30	64.53	285.01	4 183.60	0	177.042	10.044	7 539.12	CaCl ₂
SY10	1 175.34	88.54	7.55	32.08	1 594.04	10.98	668.166	15.918	3 592.61	NaHCO ₃
SY18	2 422.89	4 631.46	115.86	454.12	8 358.00	0	100.545	0	16 082.88	CaCl ₂
SY11	2 360.11	1 875.15	62.31	190.77	5 585.73	7.95	38.855	3.639	10 124.51	CaCl ₂
SY12	2 526.53	1 105.27	52.19	173.31	5 003.32	6.55	343.099	0	9 210.27	CaCl ₂
SY13	3 095.24	581.15	53.55	278.79	5 671.55	8.12	342.900	0	10 031.30	CaCl ₂
SY14	2 923.51	613.18	29.14	107.25	5 086.91	14.44	82.100	0	8 856.53	CaCl ₂
SY15	2 684.09	906.11	24.76	199.20	4 764.09	0	554.711	0	9 132.96	CaCl ₂

据地层水水头的大小确定地下水的流动方向。根据排采的初始动液面,可得出储层压力,结合底板等高线,求取各排采井的等折算水位^[11]。计算公式为:

$$S = H_1 + \frac{\rho gh}{10^4} \quad (1)$$

式中: S 为等折算水位, m; H_1 为煤层底板的绝对标高, m; ρ 为水的密度, 10^3 kg/m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 ; h 为煤层气井排采时初始动液面高度, m。

根据式(1)进行等折算水位计算,等折算水位等值线如图3所示。

从图3可看出:研究区地下水由西北向中西和东流,另外从中部向东南流。

2.3 水动力强弱分区

地下水径流强弱与等折算水位梯度大小密切相

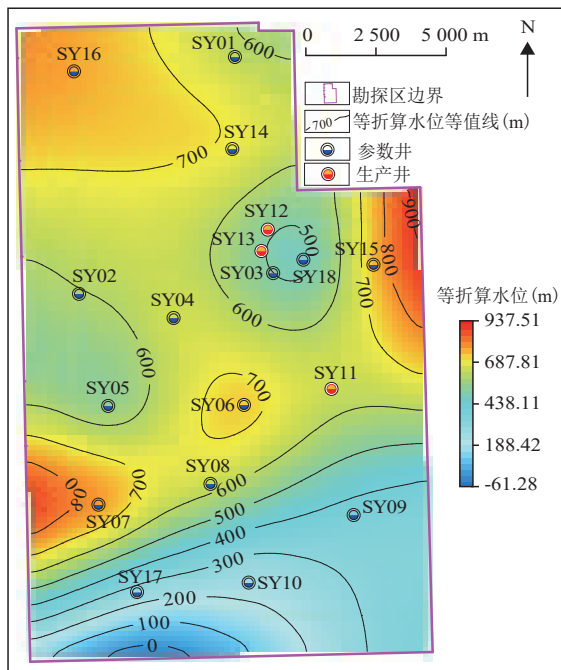


图3 寿阳地区松塔区块15号煤层等折算水位等值线
Fig. 3 Equivalent line of converted water level in No.15 coal seam of Songta Block in Shouyang area

表2 水动力分区划分依据

Table 2 Division basis of hydrodynamic zoning

水动力分区	等折算水位梯度 (m/m)	等折算水位 (m)	矿化度 (mg/L)
径流区	>0.02	>700	<4 000
弱径流区	<0.02	600 ~ 700	4 000 ~ 6 000
滞留区		<600	>6 000

关,其中等折算水位梯度为单位高程差距下等折算水位的变化量。等折算水位梯度越大,地下水径流强度越强。利用井位与等折算水位大小可计算等折算水位梯度大小。根据矿化度、等折算水位及等折算水位梯度大小,可划分为弱径流区、径流区、滞留区。划分依据见表2,划分结果如图4所示。

研究区水动力由北向南逐渐降低,部分区域由于等折算水位梯度较高,水动力增强。研究区北部SY16井附近等折算水位大于700 m,矿化度小于4 000 mg/L,为径流区;中部SY02、SY18井附近等折算水位小于600 m,矿化度大于6 000 mg/L,为滞留区,其他区域等折算水位介于600~700 m,矿化度介于4 000~6 000 mg/L,为弱径流区;南部等折算水位普遍小于600 m,但SY17井附近矿化度小于4 000 mg/L,等折算水位梯度大于0.2 m/m,为地下水径流区;西南部地下水势最低,划分为地下水滞留区。

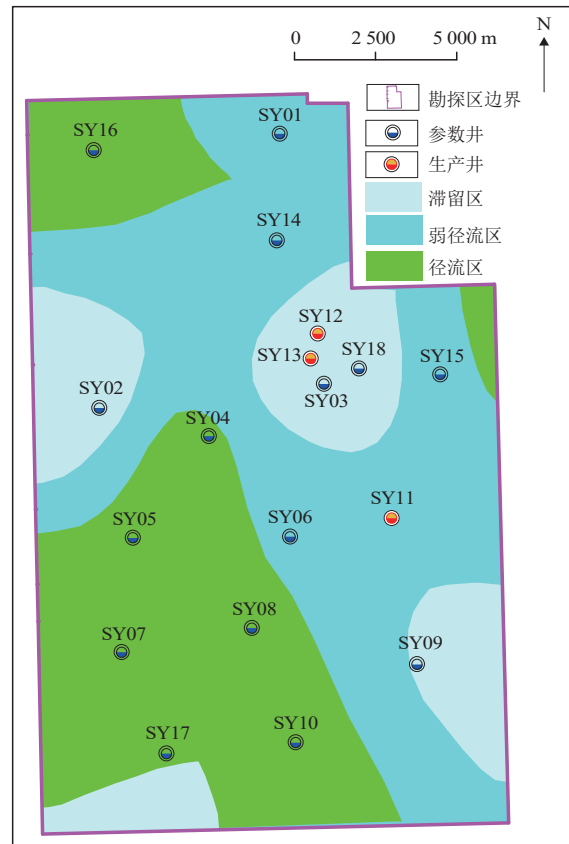


图4 寿阳地区松塔区块15号煤层水动力强弱分区
Fig. 4 Hydrodynamic field zoning map of No.15 coal seam in Songta Block of Shouyang area

3 含气量分布特征及水文地质条件的控气作用

3.1 含气量分布特征

采用朗缪尔(Langmuir)等温吸附方程,计算出各排采井的实际含气量^[12],公式为:

$$V = \frac{V_L p}{(p + p_L)} \quad (2)$$

式中: V 为实际含气量, m^3/t ; V_L 为各煤层气井的兰氏体积, m^3/t ; p_L 为各煤层气井的兰氏压力,MPa; p 为对应煤层气井的临界解吸压力,MPa。

参数井采用实测含气量数据;生产井采用相邻参数井的兰氏压力、兰氏体积,通过排采数据获取各排采井的临界解吸压力,计算得出含气量,分布特征如图5所示。

从图5可看出:研究区中部、东北部与西南部含气量较高,在 $12 m^3/t$ 以上;其他区域含气量较低。

3.2 水文地质条件的控气作用

3.2.1 水化学参数的控气作用

研究表明一定程度上水化学参数可以表征地

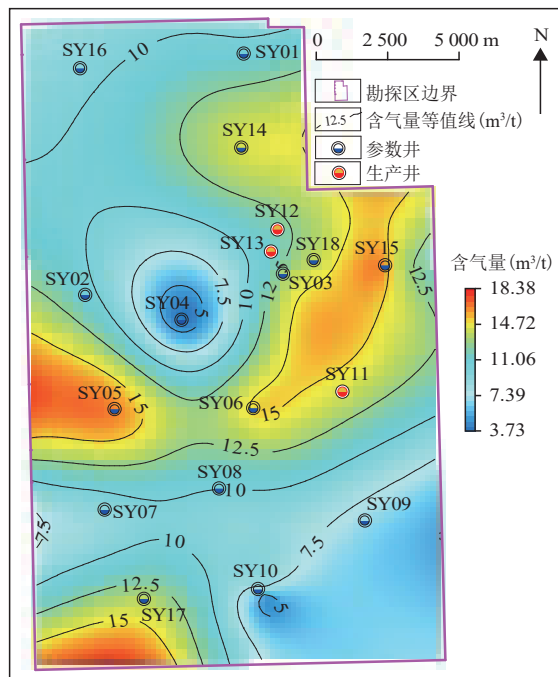


图5 寿阳地区松塔区块15号煤层含气量等值线
Fig. 5 Gas content contour of No.15 coal seams in Songtao Block of Shouyang area

下水运移规律。其中钠氯系数 $[r(Na^+)/r(Cl^-)]$ 、脱硫系数 $[100 \times r(SO_4^{2-})/r(Cl^-)]$ 、碳酸盐平衡系数 $[r(HCO_3^-) + r(CO_3^{2-})/r(Ca^{2+})]$ 可以反映地层封闭性^[13-16]。根据表1数据,求取各井的3个参数值,并做出等值线,见图6。

从图6可看出:钠氯系数整体上呈现北高南低的特征,中部小部分区域最大,北部与南部小部分区域较大。SY04井附近达到最大值1.90,SY03、SY15井附近较小;脱硫系数整体上呈现高低值交替特征。SY04井、SY03井、SY10井附近较大,SY05、SY17井附近值为0;碳酸盐平衡系数整体上呈现中部及东部小部分区域值最大,西北、东北、西南部小部分区域出现较大值。

剔除一些异常点后,将15号煤层含气量与这3个参数做散点图,如图7所示。

从图7可看出:含气量与3个参数拟合关系较好,均呈现负相关关系。当钠氯系数介于1.04~1.38,脱硫系数介于0.12~0.28,碳酸盐平衡系数介于10.39~13.64时,含气量介于 $8 \sim 12 m^3/t$ 。当钠氯系数、脱硫系数、碳酸盐平衡系数分别小于1.04,0.12,10.39时,煤层含气量大于 $12 m^3/t$ 。

3.2.2 水动力场控气作用

研究表明:水动力对煤层气藏的控制作用大体分为3种:水动力封闭、水动力封堵、水动力逸散^[17-20]。将水动力场划分结果与煤层含气量等值线进行对比,分析水动力对研究区煤层气富集成藏的控制作用(图8)。

1) 水动力封闭型

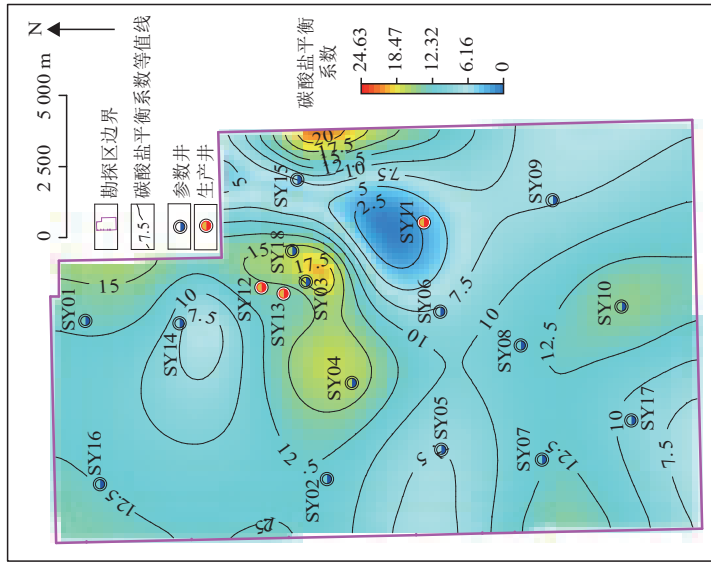
中西部(SY02井、SY05井)与中东部(SY03井、SY12井、SY13井、SY18井)地下水滞留区受中部(SY04井)高等折算水位影响,煤层气较为富集。形态上,两处分别为中部水动力弱,四周水动力强,形成水动力封闭,有利区煤层气富集。

2) 水动力封堵型

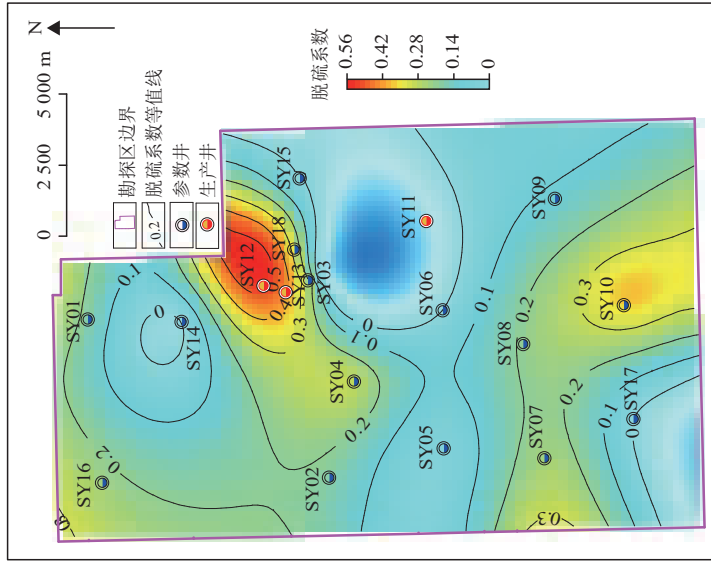
西南部(SY17井)地下水滞留区为等折算水位最低区,水动力强度较小,为向斜的单斜核部,受到水力封堵作用煤层气相对富集。

3) 水动力逸散型

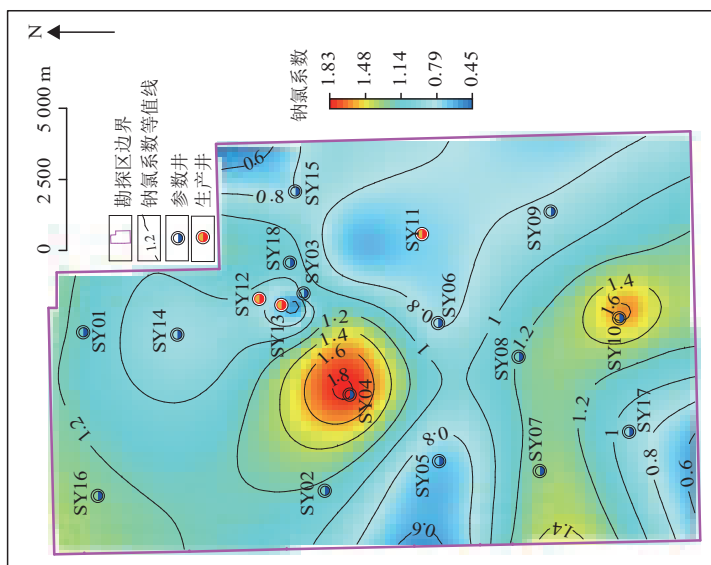
北部(SY16井)与南部(SY07井、SY10井)为地下水径流区,前者等折算水位较大、后者等折算水位梯度较大,水动力较强。因此,含气量较低,为煤层



a. 钠氯系数等值线



b. 脱硫系数等值线



c. 碳酸盐平衡系数等值线

图6 寿阳地区松塔区块水化学参数等值线
Fig. 6 Isolines of hydrochemical characteristic parameters in Songta Block of Shouyang area

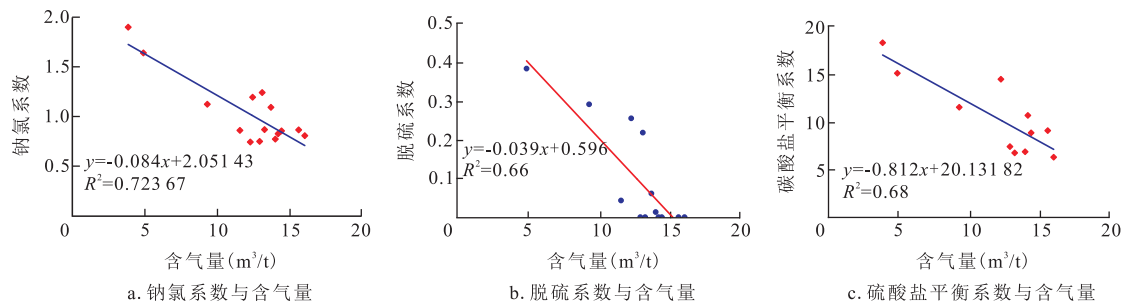


图7 寿阳地区松塔区块水化学参数与含气量关系

Fig. 7 Relationship between hydrogeological parameters and gas content of Songta Block in Shouyang area

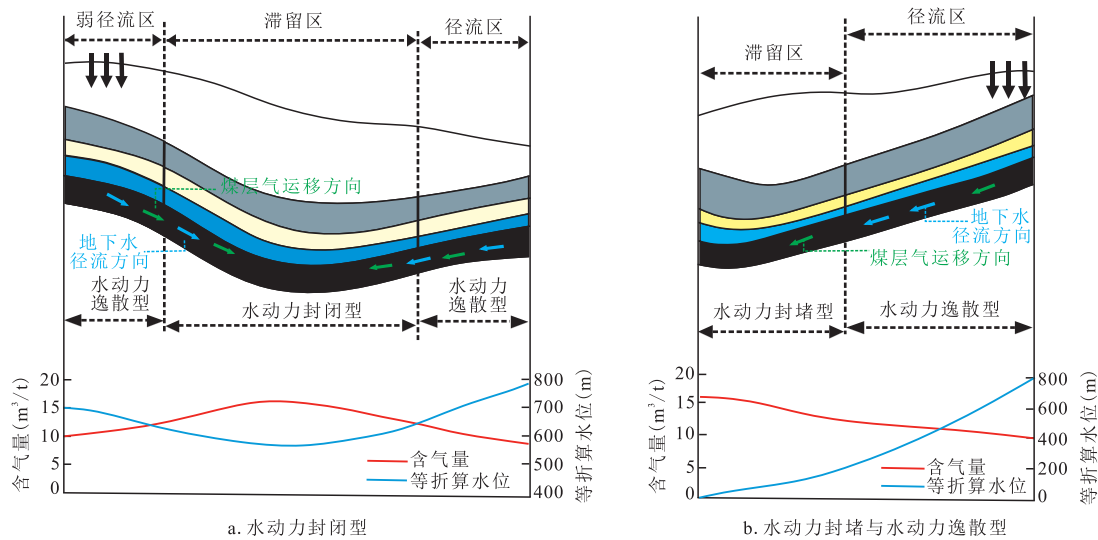


图8 寿阳地区松塔区块水动力控气作用类型

Fig. 8 Types of hydrodynamics controlling gas content of Songta Block in Shouyang area

非富集区;中部区域(SY04井)为东西分水岭中部,等折算水位较高,不利于区煤层气保存。

4 结论

1) 进行了排采水常规离子测试,结果表明:排采水类型以 NaHCO_3 和 CaCl_2 为主;绘制了等折算水位与矿化度等值线,研究区自北向南大体可分为径流区、弱径流区和滞流区;中西部、中东部、西南部低洼处以及东南部等折算水位梯度较小为滞留区。

2) 水化学参数与含气量呈现较好的负关系,即当钠氯系数小于 1.04,脱硫系数小于 0.12,碳酸盐平衡系数小于 10.39 时,煤层气含气量大于 $12 \text{ m}^3/\text{t}$;研究区中西部与中东部地下水滞留区受水动力封闭作

用富集成藏,西南部地下水滞留区受水动力封堵作用富集成藏,北部与南部地下水径流区受水动力逸散作用,煤层气含量较低。

参考文献

- [1] 徐锐,汤达祯,陶树,等.沁水盆地安泽区块煤层气藏水文地质特征及其控气作用[J].天然气工业,2016,36(2):36-44.
XU Rui, TANG Dazhen, TAO Shu, et al. Hydrogeological characteristics of CBM reservoirs and their controlling effects in Block Anze, Qinshui Basin[J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(2): 36-44.
- [2] 杨兆彪,吴丛丛,张争光,等.煤层气产出水的地球化学意义——以贵州松河区块开发试验井为例[J].中国矿业大学学报,2017,46(4):830-837.
YANG Zhaobiao, WU Congcong, ZHANG Zhengguang, et al. Geochemical significance of CBM Produce water: A case study of developed test wells in Songhe block of Guizhou Province[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2017, 46

- (4): 830-837.
- [3] 秦勇,张政,白建平,等.沁水盆地南部煤层气井产出水源解析及合层排采可行性判识[J].煤炭学报,2014,39(9):1892-1898.
QIN Yong, ZHANG Zheng, BAI Jianping, et al. Source apportionment of produced-water and feasibility discrimination of commingling CBM production from wells in Southern Qinshui Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(9): 1892-1898.
- [4] 张松航,唐书恒,李忠城,等.煤层气井产出水化学特征及变化规律——以沁水盆地柿庄南区块为例[J].中国矿业大学学报,2015,44(2):292-299.
ZHANG Songhang, TANG Shuheng, LI Zhongcheng, et al. The Hydrochemical characteristics and changes of the produced water: Taking Shizhuangnan block, South of the Qinshui basin as an example[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2015, 44(2): 292-299.
- [5] 刘玲,陈坚,牛浩博,等.基于FEFLOW的三维土壤—地下水耦合铬污染数值模拟研究[J].水文地质工程地质,2022,49(1):164-174.
LIU Ling, CHEN Jian, NIU Haobo, et al. Numerical simulation of three-dimensional soil-groundwater coupled chromium contamination based on FEFLOW[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2022, 49(1): 164-174.
- [6] 李凡,李家科,马越,等.地下水数值模拟研究与应用进展[J].水资源与水工程学报,2018,29(1):99-104.
LI Fan, LI Jiako, MA Yue, et al. The research and application progress of numerical simulation on groundwater[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2018, 29(1): 99-104.
- [7] 罗杰,王文科,段磊,等.银川平原地下水位变化特征及其成因分析[J].西北地质,2020,53(1):195-204.
LUO Jie, WANG Wenke, DUAN Lei, et al. Dynamic analysis of groundwater level in Yinchuan Plain[J]. Northwestern Geology, 2020, 53(1): 195-204.
- [8] 苏林 B A. 天然气水系中的油田水[M].北京:石油工业出版社,1956.
Сулин Б А. Oilfield water in natural water systems[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1956.
- [9] 国家能源局.油田水分析方法:SY/T 5523—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
National Energy Administration. Method for analysis of water: SY/T 5523—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [10] 高玉巧,李鑫,何希鹏,等.延川南深部煤层气高产主控地质因素研究[J].煤田地质与勘探,2021,49(2):21-27.
GAO Yuqiao, LI Xin, HE Xipeng, et al. Study on the main controlling geological factors of high yield deep CBM in Southern Yanchuan Block[J]. Coal Geology & Exploration, 2021, 49(2): 21-27.
- [11] 朱亚茹,孙蓓蕾,曾凡桂,等.西山煤田古交矿区煤层气藏水文地质特征及其控气作用[J].煤炭学报,2018,43(3):759-769.
ZHU Yaru, SUN Beilei, ZENG Fangui, et al. Hydrogeological characteristics of CBM reservoirs and their controlling effects in Gujiao Mining Area, Xishan Coalfield[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(3): 759-769.
- [12] 赵丹,蔡长宏,安瑛东,等.页岩中基于孔隙度和有机碳含量的甲烷吸附量计算[J].石油与天然气化工,2021,50(2):88-92.
ZHAO Dan, CAI Changhong, AN Juedong, et al. Calculation of methane adsorption in shale based on porosity and organic carbon content[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2021, 50(2): 88-92.
- [13] 李雯霞,张西营,苗卫良,等.柴达木盆地北缘冷湖三号构造油田水化学特征[J].盐湖研究,2016,24(2):12-18.
LI Wenxia, ZHANG Xiyang, MIAO Weiliang, et al. Hydrochemical characteristics of oilfield waters in Lenghu No.3 structure area of north edge of Qaidam Basin[J]. Journal of Salt Lake Research, 2016, 24(2): 12-18.
- [14] 张治波,刘腾,李丽荣,等.鄂尔多斯盆地CD区块长6地层水化学性质及其地质意义[J].矿物岩石,2017,37(3):61-68.
ZHANG Zhibo, LIU Teng, LI Lirong, et al. Chemical characteristics and geological significance of Chang 6 formation water in CD Area of Ordos Basin[J]. Mineralogy and Petrology, 2017, 37(3): 61-68.
- [15] ARUMUGAM K, KUMAR A R, ELANGO VAN K. Evolution of hydro chemical parameters and quality assessment of groundwater in Tirupur region, Tamil Nadu, India[J]. International Journal of Environmental Research, 2015, 9(3): 1023-1036.
- [16] 李剑,王勃,邵龙义,等.水文地质分区及其控气作用——以鄂东气田保德区块为例[J].中国矿业大学学报,2017,46(4):869-876.
LI Jian, WANG Bo, SHAO Longyi, et al. Hydrogeological zoning and its gas-controlling mechanism: A case study of Baode block, eastern Ordos gas field[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2017, 46(4): 869-876.
- [17] 宋岩,李卓,姜振学,等.非常规油气地质研究进展与发展趋势[J].石油勘探与开发,2017,44(4):638-648.
SONG Yan, LI Zhuo, JIANG Zhenxue, et al. Progress and development trend of unconventional oil and gas geological research[J]. Petroleum Exploration and Development, 2017, 44(4): 638-648.
- [18] 原俊红,付玉通,蔡念.延川南水文地质控气作用研究[J].地质科技情报,2018,37(6):239-244.
YUAN Junhong, FU Yutong, CAI Nian. Function of hydrogeology on coalbed methane in Yanchuannan[J]. Geological Science and Technology Information, 2018, 37(6): 239-244.
- [19] TAO S, TANG D Z, XU H, et al. Factors controlling high-yield coalbed methane vertical wells in the Fanzhuang block, southern Qinshui basin[J]. International Journal of Coal Geology, 2014, 134-135: 38-45.
- [20] 刘大猛,王颖晋,蔡益栋.低阶煤层气富集主控地质因素与成藏模式分析[J].煤炭科学技术,2018,46(6):1-8.
LIU Dameng, WANG Yinjin, CAI Yidong. Analysis of main geological controls on coalbed methane enrichment and accumulation patterns in low rank coals[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(6): 1-8.

(编辑 李青)