

煤层气井排采水源分析及出水量预测

——以鄂尔多斯盆地东缘韩城矿区为例

刘之的¹ 赵靖舟¹ 徐凤银² 杨秀春² 张继坤²

1.西安石油大学地球科学与工程学院 2.中石油煤层气有限责任公司

刘之的等.煤层气井排采水源分析及出水量预测——以鄂尔多斯盆地东缘韩城矿区为例.天然气工业,2014,34(8):61-67.

摘要 煤层排水降压是加速煤层气解吸的关键,查明排采出水水源并对出水量进行有效预测将有助于煤层气开发方案的合理制定。为此,利用排采、测录井等资料,基于动态刻度静态、静态预测动态的思想,通过对煤层气井排采水源和出水量的综合分析,选取煤层气井与断层之间的距离、相对构造幅度、煤层及其顶底板的含水级别这4个评价指标作为煤层气井排采出水量的主要影响因素,得出煤层气井排采出水量的预测模型,并以预测结果划分出研究区煤层出水量平面分布特征。综合评价结果认为:煤层气井排采水源来自于近断裂带、构造低幅度区、顶底板砂岩及煤层自身,出水量大的井多靠近断裂带、构造低幅度区,或存在顶底板厚层砂岩含水层,而煤层自身含水量较小;研究区5号煤层南部和北部及中部韩3-2-025井区出水量较大,呈现沿断裂带、构造低幅度区及顶底板厚层砂岩区出水量增大的趋势,与实际排采产水量吻合较好。

关键词 韩城矿区 煤层气井 排采 水源 出水量 预测 断裂带 构造低幅度区 开发方案

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2014.08.009

Analysis on water sources in a CBM gas well and forecast of water yield quantity: A case study from the Hancheng Mine at the eastern edge of the Ordos Basin

Liu Zhidi¹, Zhao Jingzhou¹, Xu Fengyin², Yang Xiuchun², Zhang Jikun²

(1.School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China;
2.PetroChina Coalbed Methane Co., Ltd., Beijing 100028, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 34, ISSUE 8, pp.61-67, 8/25/2014. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: Pressure reduction by water drainage in a CBM gas well is a key to accelerating the coalbed methane (CBM) desorption, so it is contributive to the reasonable formulation of a CBM development program to find out water sources of drainage and effectively forecast water yield quantity. According to drainage and logging data, based on the principle of "static conditions determined by dynamic conditions while hydraulic conditions forecasted with static conditions", and in combination with the comprehensive analysis on water sources and water yield quantity in coal bed mining, four assessment indicators (the distance from a CBM well to the fault, relative structure amplitude, water-yield grade respectively of a coal bed and its roof and floor) were used as main influencing factors of water yield quantity in CBM production to figure out a water-yield forecasting model and work out plane distribution characteristics of water yields of a CBM gas well in the research area according to the forecasting results. The comprehensive assessment shows that the water yield in CBM production is from the close fault zone, the structure low-amplitude zone, sandstones of roof and floor, or coal beds themselves; most wells with a great water yield are usually situated close to the fault zone, the structure low-amplitude zone, or the area with sandstone aquifers at roof and floor, but a water yield from coal beds is relatively low. A great amount of water is found at the south, north and middle around Well H3-2-025 of No.5 coal bed in the research area, showing that the water yield is increasing gradually from the fault zone, the structure low-amplitude zone to thick sandstones of coal bed roof and floor, which is consistent with that in actual CBM production with water drainage.

Keywords: Hancheng Mine, Ordos Basin, CBM, drainage, water source, water yield, forecast, fault zone, structure low-amplitude zone, development program

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划项目“煤层气水平井测井响应反演方法研究”(编号:2013JQ5008)、陕西省教育厅专项科研计划项目“煤层气水平井测井环境影响主次剖析及反演方法研究”(编号:2013JK0857)。

作者简介:刘之的,1978年生,副教授,博士;从事煤层气储层测井评价研究工作。地址:(710065)陕西省西安市电子二路东段18号。电话:15529269858。E-mail:liuzhidi@xsyu.edu.cn

部位的邻井,如泥岩直接顶较薄,或该套石灰岩岩溶含水层为直接顶,高部位的水将会沿着煤层割理流向构造低部位的韩试 20 井。该井 5 号、11 号煤层压裂排采初期日产水 40 m^3 ,表明出水的主要原因在于该井位于构造低幅度区,高部位含水层中的地层水沿着煤岩割理流向低构造幅度去的韩试 20 井,致使排采出水量增大。

1.3 顶底板

煤层顶底板为砂岩或石灰岩时,孔隙和裂隙发育,岩体的含水性增强^[13]。研究区主力煤层顶板的砂岩地层和底板的石灰岩地层厚度均较大,含水性较好。如果砂岩为直接顶,由于煤层割理的存在,砂岩含水层与煤岩成为良好的导水系统,排采时出水量较大;倘若直接顶为较薄的泥岩,压裂很容易压穿直接顶并沟通老顶砂岩含水层,排采时出水量亦将会增大。

韩试 5 井 5 号煤层顶板为砂岩,且厚度较厚,表明顶底板含水性较好;该井远离断裂带和低构造幅度区,表明断裂系统和构造幅度对排采影响较小。弹性模量和压力预测结果表明,煤层顶底板弹性模量差较小,且煤层与顶底板破裂压力差不大,压裂时产生的垂直裂缝易于沟通顶板的砂岩含水层。该井 5 号煤层压裂排采日产水 30 m^3 ,表明水源主要来自 5 号煤层直接顶板的砂岩含水层。

1.4 煤层自身

由于煤层的空隙空间(孔隙和割理)小,与顶底板砂岩或石灰岩裂隙含水层相比,煤层自身的含水量很小。地下水在煤层中主要赋存于煤层的孔隙和割理中,因此孔隙和割理的发育程度不仅决定了煤层的物性,同时也影响了煤层自身的含水性。煤层的含水性越大,煤层排采的工作难度越大,煤层中的压力降低幅度越小,煤层气井的产能也就越差。

韩 3-3-082 井 11 号煤层顶底板为泥岩,且厚度较厚,顶底板含水性较差;该井远离断裂带和构造低幅度区,指示断裂和构造幅度对排采出水量的影响较小。该井 11 号煤层压裂排采日产水 0.5 m^3 ,表明水源主要来自煤层自身。

综上所述,近断裂带和构造低幅度区产水量较大;远离断裂带和构造低幅度区,顶底板为厚层砂岩的煤层气井出水量亦比较大,但顶底板为较厚的泥岩时,产水量则很小,对煤层气排采较为有益。

2 顶底板及煤层自身排采产水量分析

基于产出水的化学组成、产水量大小及水动力活跃程度等因素,并考虑到地球物理测井技术对煤层含水性的映射能力,从顶底板和煤层自身两方面开展产

水量分析。

2.1 产水量敏感性参数分析

2.1.1 顶底板砂岩

煤层直接顶底板为砂岩时,物性较好,且砂岩厚度越大,则顶底板砂岩的含水性越强,煤层压裂后顶底板砂岩的地层水易于产出,排采出水量亦较大。如果砂岩为老顶底,但直接顶底板的泥岩较薄,压裂时容易压穿直接顶底板的泥岩,致使压裂缝沟通了老顶底的砂岩而增大出水量,且随着砂岩距煤层越近,越易于压穿直接顶而沟通砂岩含水层,为此,顶底板砂岩的厚度、孔隙度及距煤层的距离与煤层排采出水量有较大的关系。

研究中,利用声波时差、砂岩厚度、砂岩距煤层距离及孔隙度构建了图 2~5 所示的日产水关系图,由此组图得知,排采日产水与砂岩厚度、孔隙度等参数敏感性较强,于是可用此组参数来预测排采时砂岩的出水量。

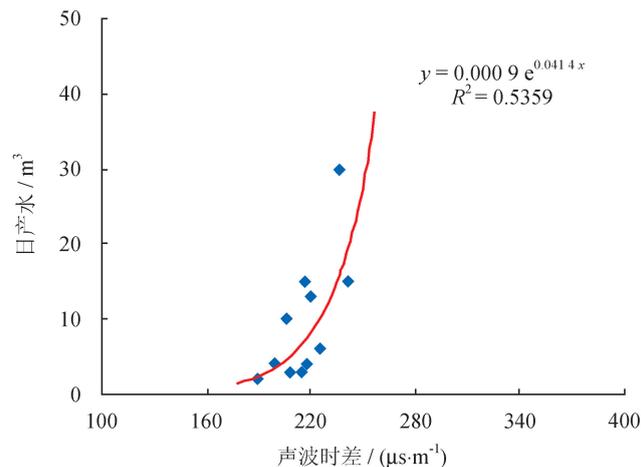


图 2 煤层顶底板日产水量与声波时差关系图

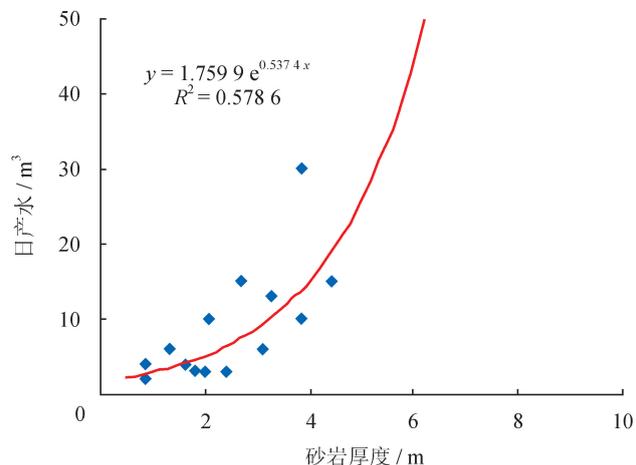


图 3 煤层顶底板日产水量与砂岩厚度关系图

2.1.2 煤层自身

一般来说,煤层的孔隙、割理越发育,则含水性越

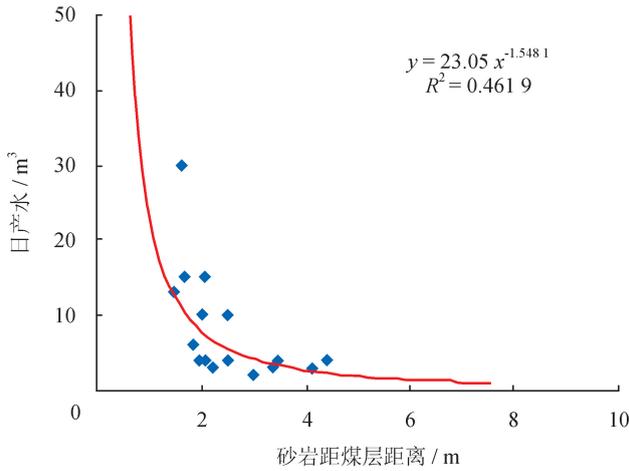


图4 煤层顶底板日产水量与砂岩距煤层的距离关系图

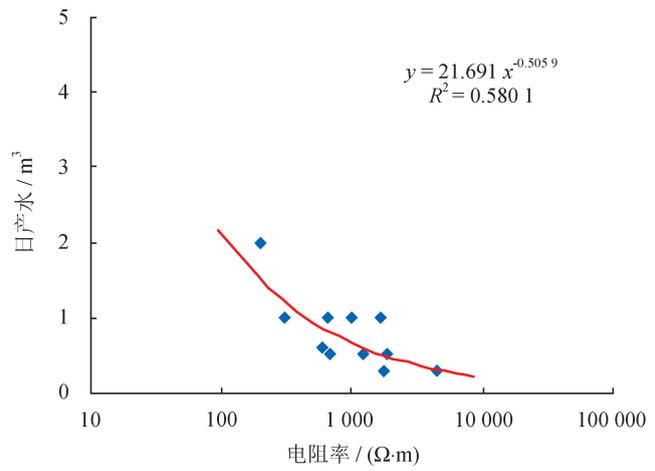


图7 煤层自身日产水量与电阻率关系图

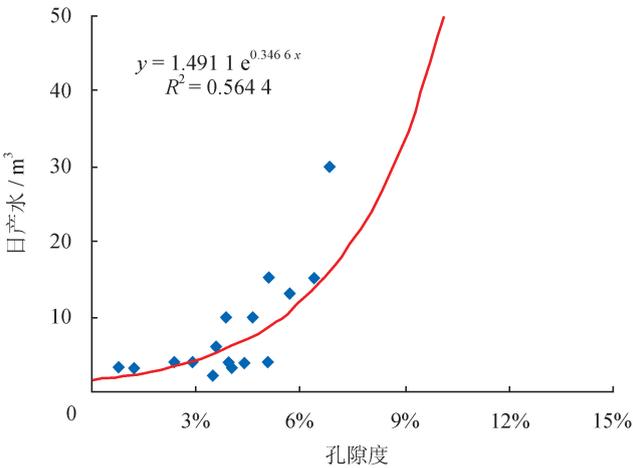


图5 煤层顶底板日产水量与孔隙度关系图

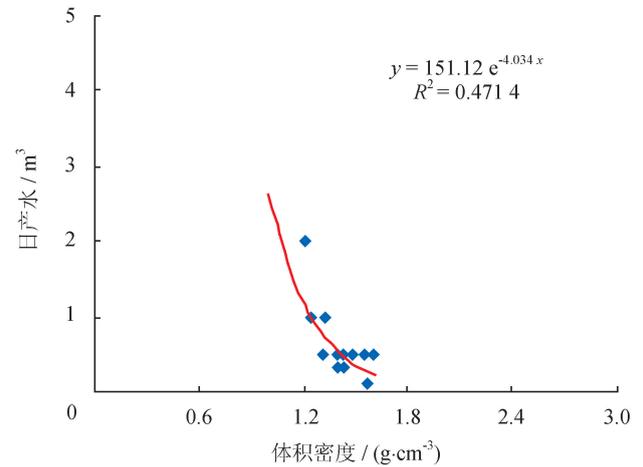


图8 煤层自身日产水量与体积密度关系图

强^[14]。鉴于此,本研究利用能够较有效反映煤层孔隙度、割理发育的密度、声波时差和电阻率及煤层厚度构建煤层出水量关系图(图6~9),由此组图可得知,声波时差和煤层厚度与煤层出水量关系较为密切,煤层

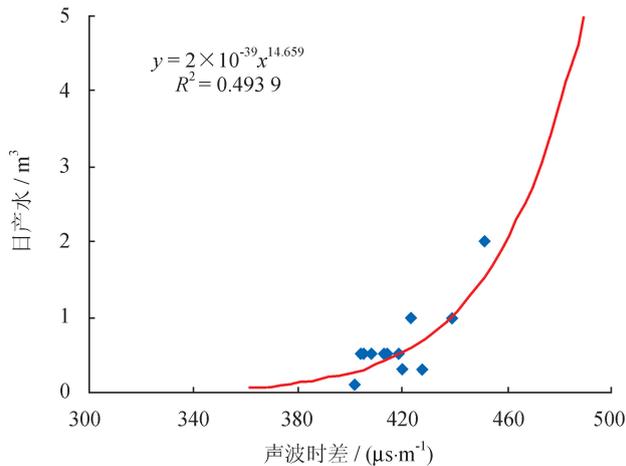


图6 煤层自身日产水量与声波时差关系图

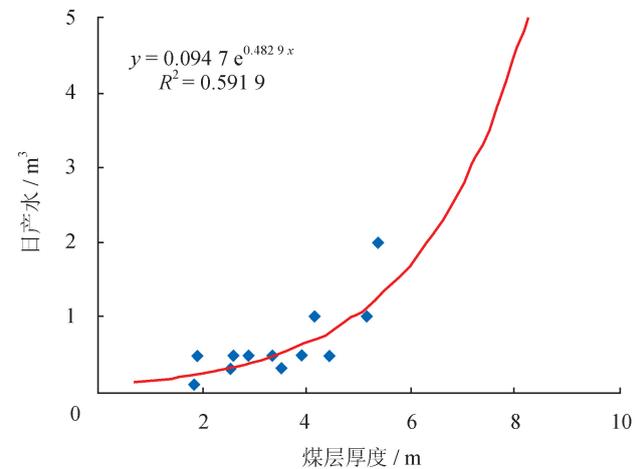


图9 煤层自身日产水量与煤层厚度关系图

体积密度和电阻率对煤层含水性亦具有一定的敏感性。因此可以利用该组参数来评价煤层的出水性。

2.2 煤层排采产水量预测模型

2.2.1 顶底板

基于上述研究可知,煤层顶底板的出水性与声波

时差、砂岩厚度、孔隙度及砂岩距煤层距离具有良好的相关性。由于声波时差地反映砂岩的孔隙度较好,故在分析评价时只用孔隙度。于是,构建与煤层厚度、孔隙度及砂岩距煤层距离 3 个参数相关的煤层顶底板产水量综合评价参数(W)。求取 W 的公式为:

$$W = C_1 H + C_2 \varphi + C_3 S \quad (1)$$

式中 H 为砂岩厚度, m; φ 为砂岩孔隙度, %; S 为砂岩距煤层的距离, m; C_1 、 C_2 、 C_3 分别为砂岩厚度、孔隙度及砂岩距煤层距离的权系数, 无量纲。

实际资料处理中,对砂岩厚度、砂岩孔隙度及砂岩距煤层的距离这 3 个评价指标进行归一化处理;并根据专家经验对 H、 φ 、S 参数取权值,本研究 C_1 、 C_2 、 C_3 分别取 0.3、0.4、0.3。

利用上述方法求取的综合评价参数(W)构建了如下顶底板出水预测模型:

$$Q_w = 1.8879 e^{0.3767W} \quad R^2 = 0.8001 \quad (2)$$

式中 Q_w 为排采出水量, m^3/d 。

2.2.2 煤层自身排采产水量预测模型

由煤层排采自身产水量敏感性参数研究可知,密度、声波时差、电阻率及煤层厚度与煤层出水量关系较为密切,于是,利用该组参数构建了如下式所示的煤层

自身排采出水量预测模型。即

$$Q_w = -7.518 - 0.375DEN + 0.021AC - 0.184\log(RT) + 0.128H \quad R^2 = 0.739 \quad (3)$$

式中 DEN 为体积密度, g/cm^3 ; AC 为声波时差, $\mu s/m$; RT 为电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

2.3 含水性平面分布特征

2.3.1 顶底板

根据研究区排采产水量的大小,结合煤矿出水含水级别划分标准,对研究区煤层顶底板的含水级别进行了划分(表 1)。

表 1 顶底板含水级别划分标准表

类型	含水级别	产水量/($m^3 \cdot d^{-1}$)
I	特高含水	>20
II	高含水	10~20
III	中含水	5~10
IV	低含水	<5

基于产水量单井测井预测结果,并依据表 1 所示的顶底板含水级别划分标准,绘制了如图 10 所示的顶底板含水性平面分布图。由图 10 可知,5 号煤层顶板南

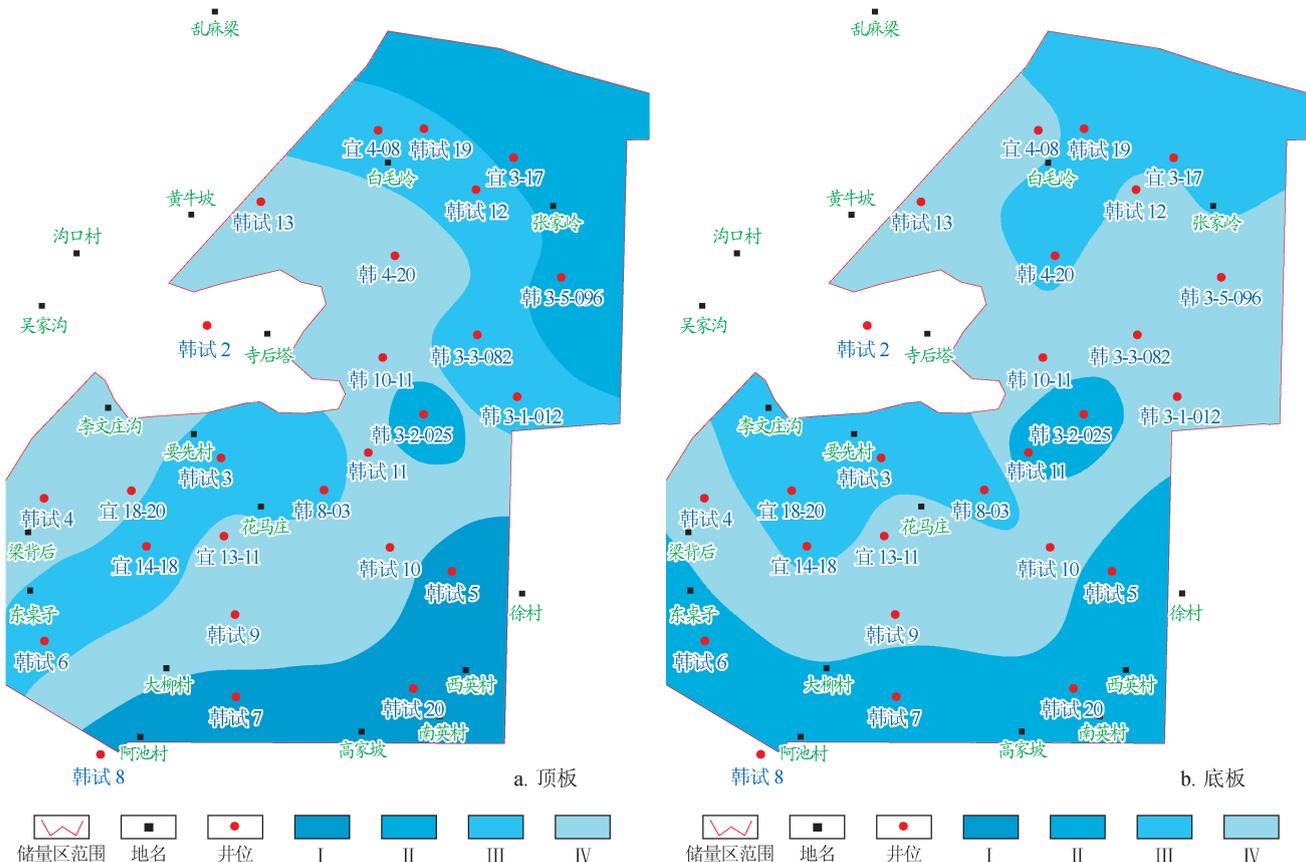


图 10 5 号煤层顶底板含水性平面分布图

部含水性强,东北部次之,其他区域较弱;底板南部、中部韩 3-2-025 井区含水性强,其他区域较弱。

2.3.2 煤层

诸如上述煤层顶底板含水级别划分方法,对研究区煤层含水级别进行了划分(表 2)。

表 2 煤层含水级别划分标准表

类型	含水级别	产水量/(m ³ ·d ⁻¹)
I	特高含水	>2.0
II	高含水	1.0~2.0
III	中含水	0.5~1.0
IV	低含水	<0.5

基于煤层自身产水量测井预测结果及上述划分标准,编绘了 5 号煤层含水性平面分布图(图 11)。由图 11 可知,5 号煤东南部韩试 5、韩试 20 井区,及西南部宜 18-20、韩试 6 井区含水性强,其他区域则相对较弱。

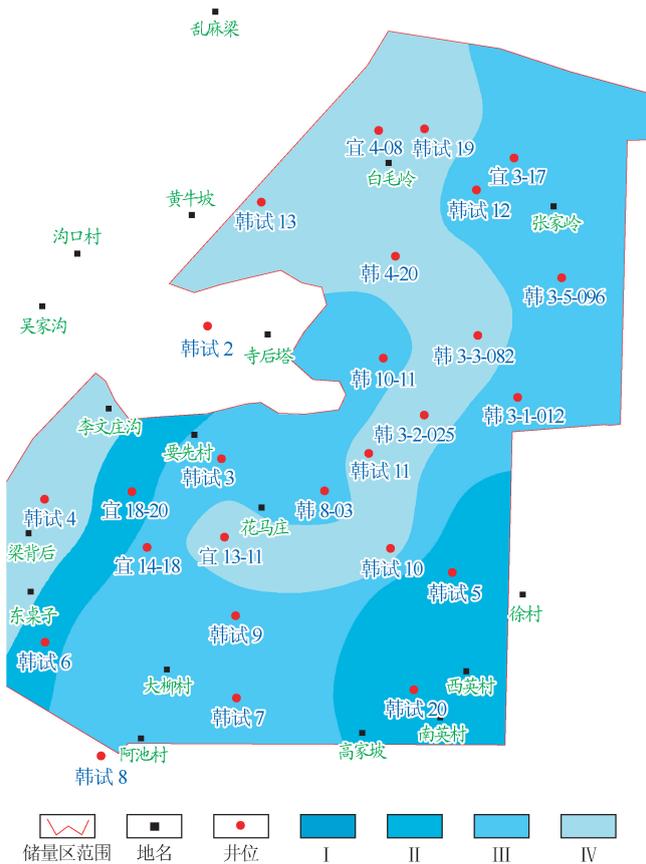


图 11 5 号煤层含水性平面分布图

3 煤层气井排采出水量综合评价

3.1 煤层含水量单井预测

由前述研究可知,煤层排采时出水量大的井受断

层、构造幅度、顶底板及煤层自身的含水性等影响,为此本研究利用距断层的距离、相对构造幅度、煤层及其顶底板的含水级别 4 个参数,构建如下煤层气排采出水量综合评价模型。即

$$Q_w = A_1 D + A_2 RSA + A_3 CWL + A_4 RWL \quad (4)$$

式中 D 为距断层的距离, m ; RSA 为相对构造幅度, m ; CWL 、 RWL 分别为煤层和顶底板的含水级别,无量纲。

基于实际排采产水量翔实分析,并结合专家经验,将式(4)中的权系数确定为: $A_1 = 0.35, A_2 = 0.25, A_3 = 0.35, A_4 = 0.05$ 。

利用此方法对煤层日产水量进行预测。韩试 3 井 5 号煤预测产水量为 2.3 m³,实际排采初期产水量为 2 m³,两者较为接近,从而说明本研究构建的煤层产水量预测模型具有一定的实用性。

3.2 煤层气井排采出水量平面分布特征

基于煤层气排采出水量预测结果,编绘了研究区 5 号煤层含水性平面分布特征图(图 12)。由该图可知,5 号煤层南部和北部及中部韩 3-2-025 井区出水量较大,呈现沿断裂带、构造低幅度区及顶底板厚层砂岩区出水量增大的趋势。

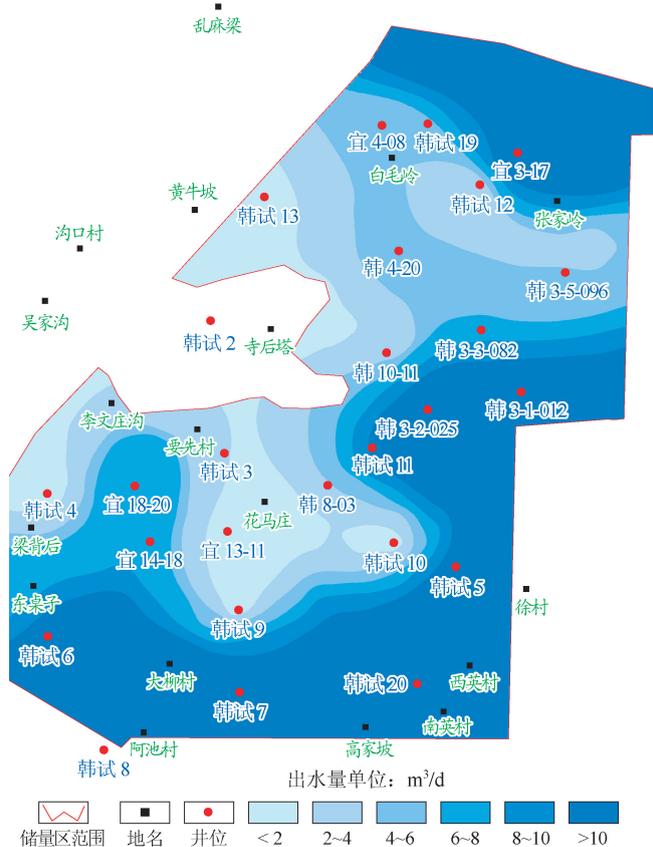


图 12 5 号煤层预测出水量平面分布图

韩试7井预测产水水量较高,为高产水井区,该井5号煤层压裂排采,日产水 25 m^3 ;宜13-11井预测的产水量较小,为低产水井区,该井压裂5号煤层压裂排采,日产水仅为 0.5 m^3 。总体上来看,预测的产水量与实际排采产水量较为吻合。

4 结 论

1)研究区煤层气井排采出水水源主要来自4个方面:①近断裂带,煤层气井位于构造裂缝发育的断层附近时,出水量往往较大;②构造低幅度区,构造低幅度区含水性较好,排采水量较大;③顶底板砂岩,随着顶底板砂岩孔隙度、厚度的增大,排采水量亦增加;④煤层自身,煤层自身含水量较小,对排采影响不大。

2)研究区5号煤层的排采水量分析表明,近断裂带和构造低幅度区排采水量较大,远离断裂带和构造低幅度区,但顶底板砂岩含水层也会致使排采水量增大。总体上呈现南部和北部及中部韩3-2-025井区出水量较大,沿断裂带、构造低幅度区及顶底板砂岩区出水量较大,是排采的不利区域。

参 考 文 献

- [1] 接铭训.鄂尔多斯盆地东缘煤层气勘探开发前景[J].天然气工业,2010,30(6):1-6.
JIE Mingxun.Prospect in coalbed methane gas exploration and production in the eastern Ordos Basin[J].Natural Gas Industry,2010,30(6):1-6.
- [2] 冯三利,胡爱梅,叶建平,等.中国煤层气勘探开发技术研究[M].北京:石油工业出版社,2007:1-8.
FENG Sanli, HU Aimei, YE Jianping, et al.Exploration and development technology research of coalbed methane in China[M].Beijing:Petroleum Industry Press,2007:1-8.
- [3] 倪晓明,苏现波,张小东,等.煤层气开发地质学[M].北京:化学工业出版社,2010:31-51.
NI Xiaoming, SU Xianbo, ZHANG Xiaodong, et al.Coalbed methane development geology[M].Beijing:Chemical Industry Press,2010:31-51.
- [4] SCOTT A R.Hydrogeologic factors affecting gas content distribution in coal beds[J].International Journal of Coal Geology,2002,50(1):363-387.
- [5] YAO Yanbin, LIU Dameng, QIU Yongkai.Variable gas content, saturation, and accumulation characteristics of Weibei coalbed methane pilot-production field in the south-eastern Ordos Basin, China[J].AAPG Bulletin,2013,97(8):1371-1393.
- [6] 孟召平,田永东,李国富.煤层气开发地质学理论与方法[M].北京:科学出版社,2010:113-235.

MENG Zhaoping, TIAN Yongdong, LI Guofu.Theory and method of coalbed methane development geology[M].Beijing:Science Press,2010:113-235.

- [7] ZHANG Pingsong, WU Jiansheng, LIU Shengdong.Testing with high density resistivity method in prevention and cure for mine water disaster and its applied effect[J].Journal of Coal Science & Engineering,2007,13(2):165-169.
- [8] 彭鉴.井下瞬变电磁法在巷道底板含水探测的应用[J].中国煤炭地质,2012,24(7):68-72.
PENG Jian.Application of underground TEM in roadway floor water-bearing property detection[J].Coal Geology of China,2012,24(7):68-72.
- [9] 汪洋.地震多属性拟测井多参数反演预测煤层顶底板岩石赋水性研究[J].中国煤炭地质,2012,24(4):56-61.
WANG Yang.A study on coal roof and floor rock aquosity prediction through seismic multiattribute pseudolog multiparameter inversion[J].Coal Geology of China,2012,24(4):56-61.
- [10] 侯俊胜.煤层气储层测井评价方法及其应用[M].北京:冶金工业出版社,2000:124-147.
HOU Junsheng.Coal bed gas reservoir well logging evaluation method and its application[M].Beijing:Metallurgical Industry Press,2000:124-147.
- [11] 申秀娟.含煤地层中断层突水机理探讨[J].西安科技大学学报,2013,33(3):259-264.
SHEN Xiuqi.Water inrush mechanism of faults in coal-bearing strata[J].Journal of Xi'an University of Science and Technology,2013,33(3):259-264.
- [12] 田文广,汤达祯,孙斌,等.鄂尔多斯盆地东缘含煤地层水动力条件及其控气作用[J].高校地质学报,2012,18(3):433-437.
TIAN Wenguang, TANG Dazhen, SUN Bin, et al.Hydrodynamic conditions and their controls of gas in coal-bearing strata in eastern edge of the Ordos Basin[J].Geological Journal of China Universities,2012,18(3):433-437.
- [13] 卜庆林,陈成星,杨成超,等.煤层顶板岩层富水性分区指标及其涌水量预测[J].山东科技大学学报:自然科学版,2005,24(3):28-31.
BU Qinglin, CHEN Chengxing, YANG Chengchao, et al.Zoning index of rich water-bearing roof strata and water inrush forecasting in coal seams[J].Journal of Shandong University of Science and Technology:Natural Science Edition,2005,24(3):28-31.
- [14] PERRY E F.Modelling rock-water interactions in flooded underground coal mines,Northern Appalachian Basin[J].Geochemistry Exploration Environment Analysis,2001,1(1):61-70.