中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

移动扫码阅读

常会珍,郝春生,张 蒙,等.寺河井田煤层气产能分布特征及影响因素分析[J].煤炭科学技术,2019,47(6):171-177.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.06.026

CHANG Huizhen, HAO Chunsheng, ZHANG Meng, *et al*. Analysis on distribution and its influencing factors of coalbed methane productivity in Sihe Minefield[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(6): 171-177. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2019.06.026

寺河井田煤层气产能分布特征及影响因素分析

常会珍[1,2],郝春生[1,2],张 蒙[3],田庆玲[1,2],季长江[1,2],杨昌永[1,2],贾晋生[1,2],邵显华[1,2]

(1.煤与煤层气共采国家重点实验室,山西 晋城 048012;2.易安蓝焰煤与煤层气共采技术有限责任公司,山西 太原 030000;
3.山西蓝焰煤层气集团有限责任公司,山西 晋城 048012)

摘 要:为研究寺河井田煤层气产能分布特征及其影响因素,以气井整个生命周期不同阶段的时间节点为分类标准,利用统计分析法对其历史排采数据进行归类,追踪气、水随时空变化特征,并从地质及工程两方面分析产能分布主控因素。结果表明:随着排采时间延长,煤层气井高产区范围逐渐扩大,低产区范围逐渐缩小,产能分布区域差异性大;构造、含气性、渗透率是产能的主控地质因素,含气性与产能分布一致度较高,构造通过影响含气性间接控制产能分布,渗透率差别较大时,产能与渗透率相关性显著;压裂、储层伤害、井下采掘活动是产能的工程影响因素,特别是储层伤害和井下采掘活动对产能影响较大,布井时需合理规划井上下联合开采时间关系,使气井达到产能最优化。

关键词:煤层气;生命周期;产能分布;储层伤害

中图分类号:P618.11 **文献标志码**:A **文章编号**:0253-2336(2019)06-0171-07

Analysis on distribution and its influencing factors of coalbed methane productivity in Sihe Minefield

CHANG Huizhen[1,2], HAO Chunsheng[1,2], ZHANG Meng[3], TIAN Qingling[1,2], JI Changjiang[1,2], YANG Changyong[1,2], JIA Jinsheng[1,2], SHAO Xianhua[1,2]

(1. *State Key Laboratory of Coal and Coalbed Methane Extraction, Jincheng* 048012, *China*; 2. *Yi' an Lanyan Coal and Coalbed Methane Extraction Technology Co., Ltd., Taiyuan* 030000, *China*; 3. *Shanxi Lanyan Coalbed Methane Company Ltd., Jincheng* 048012, *China*)

Abstract: This paper studies the distributions and its influencing factors of coalbed methane productivity in Sihe mine field using statistical analysis on historical drainage data. Time nodes in different stages of the whole gas well life cycle are used as the classification method. The changes of gas and water with time and space are also tracked. The main controlling factors for productivity distributions are studied geographically and engineeringly. The results show that the range of high production area of coalbed methane wells gradually expands with drainage time while the range of low production area gradually decreases. The productivity distribution at different regions are varied significant. Geographic structure, gas-bearing properties, and permeability are the main geological factors that control the gas productivity. The gas-bearing and productivity distribution are highly correlated and structure influences gas-bearing, thus affects productivity distribution. When permeability difference is great, productivity and permeability are significantly correlated. Furthermore, fracturing, reservoir damage, and underground mining activities are engineering factors that affect productivity, especially reservoir damage and underground mining activities. To optimize the productivity of gas wells, planning the time order for upper and lower seam injoint production is significantly important.

Key words: coalbed methane; life cycle; productivity distribution; reservoir damage

0 引 言

寺河井田是我国首个实现煤层气地面规模性商业开发的地区[1],突破了国外煤层气行业高阶无烟煤开采禁区,成功实现了煤层气高产高效开发。但井田内煤层气井产能区域性差异较大,中低产井占

收稿日期:2018-12-27;**责任编辑**:王晓珍

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05067001-008);山西省科技重大专项资助项目(MQ2015-02)

作者简介:常会珍(1985—),女,河南开封人,工程师,硕士。E-mail:chzhj052@126.com

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

比较高[2],如何提高煤层气井产能,目前仍是一个亟待解决的关键问题[3]。分析煤层气井产能差异,研究其主控因素,可以更精细地认识储层,指导工程施工[4]及排采。

众多学者开展了大量煤层气产能特征及影响因素分析方面的研究,韩贤军对沁水盆地南部煤层气的排采特征进行分析,表明沁南煤储层非均质性强,气水产量平面差异大[5]。文献[6-7]通过分析沁水盆地产气量特征,认为资源丰度、渗透率、临界解吸压力是控制气井产能的关键参数,徐涛等[8]认为资源丰度一定的情况下,临储比和含气饱和度对产气量影响较大。刘刚[9]研究了樊庄区块内 185 口煤层气井的产能特征,陶树等[10]总结了沁水盆地南部排采时间为 1.5 年内的 57 口煤层气井数据、康圆圆等[11]分析了樊庄、韩城矿区 100 余口煤层气井的生产数据,3 位学者均对产能影响因素进行了探究,一致认为煤层气产能主要受煤层埋深、地下水动力条件、含气量、气井所处的构造等地质因素及压裂改造规模、井底流压下降速度、排采速度等工程因素的影响。但由于收集到有关参数的煤层气井数有限,排采时间较短,大多数学者较为关注煤层气井产能影响因素分析,对煤层气井产能研究多集中在排采初期阶段,少有学者考察气井整个生命周期内产能随时空变换的分布特征。

鉴于此,笔者基于寺河井田煤层气井排采特征,按其生命周期阶段进行分类,研究全井田煤层气井产能动态变化及差异性分布特征,从地质及工程 2 个方面探讨煤层气产能影响因素,以期为晋城矿区煤层气开发提供依据。

1　研究对象及分类标准

寺河井田位于沁水复式向斜盆地的南端东翼,隶属于沁水煤层气田,煤系地层为二叠系下统山西组(P_1s)和石炭系上统太原组(C_3t),其中可采和局部可采煤层主要为 3 号、9 号、15 号煤层,这也是该区煤层气排采目的煤层,井田内煤层气开发自 1993 年的 7 口煤层气试验井[12]已发展至近千口井,按目的煤层不同可分为单采 3 号煤、3+9+15 号煤合采及 9+15 号煤合采等类型。统计发现,489 口不同目的煤层的气井中,单采 3 号煤煤层气井居多,占 63.8%,且在井田内均匀分布,排采时间较长。因此,笔者选取单采 3 号煤层气井 312 口井为本次研究对象,研究范围如图 1 所示,排采时间跨度为 2005—2018 年。

寺河井田煤层气井典型排采曲线可分为稳步上升型、产量衰减型及先降后升型[13],对 257 口煤层气井排采曲线分析,稳步上升型即单峰型煤层气井约占 1/2,该类型的井只出现一个产气高峰且稳产时间较长,为典型的煤层气排采曲线[14]。据此类曲线可将煤层气井生命周期分为排水降压期、早期产气期、稳产期、产量递减期[15-16]。排水降压期是指缓慢、连续排出煤层气井筒中的水,降低井底流压,不断扩大压降漏斗范围,当井底流压降至临界解吸压力以下,气井出现套压开始产气,此阶段气井产水量稍大;早期产气期是指气产量上升、水产量下降阶段;稳产期是指气产量出现高峰期,且在较长一段时间内维持高产,水产量较低;产量递减期指气产量逐渐减小,水产量低甚至为零。该类型煤层气井在经历 1 年的排水降压期后,井底压力降至临界解吸压力,气井进入早期产气期,该阶段为 2~3 年,之后达到产气高峰进入稳产期,稳产时间长达 6~8 年,随后产量有所降低进入产量递减期(图 2)。

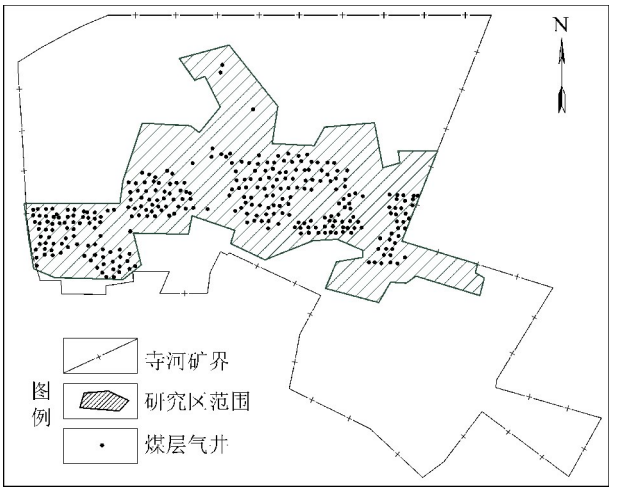


图 1　研究区范围

Fig.1　Map of study area

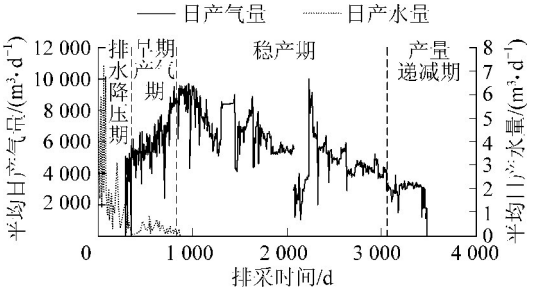


图 2　寺河井田典型煤层气井排采曲线

Fig.2　Typical coalbed methane wells drainage curves in Sihe minefield

由于寺河井田开采煤层气较早,且为我国高煤阶煤煤层气商业性开发成功示范区之一,区内煤层气井排采时间不一且跨度较大,煤层气单井产气量

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

普遍较高,为研究寺河井田煤层气井产气量、产水量随时间及空间演变特征,可将气井历史排采数据按生命周期各阶段时间节点分为排采 1、3、3~10、大于 10 年四类,将单井平均日产气量按大于 4 000、2 000~4 000、小于 2 000 m^3/d 的标准将煤层气划分为高产井、中产井、低产井,以时空变换追踪煤层气井气、水变化特征。

2　煤层气产能差异性分布特征

2.1　煤层气井产气量变化特征

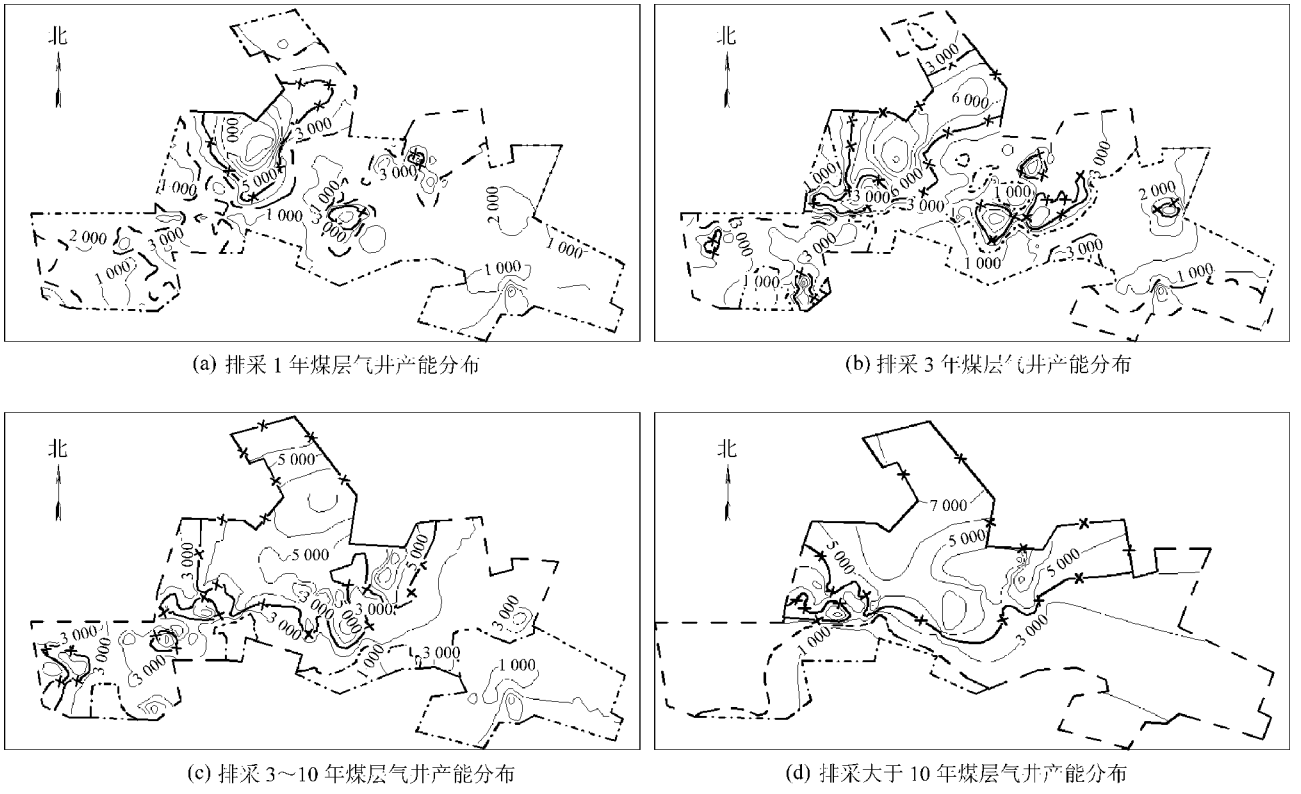
采用统计分析方法对 300 余口煤层气井产气量数据进行总结分析可得:煤层气井在排采初期产气量较低,排采 1 年 301 口煤层气井单井平均日产气量为 18.65~12 089.74 m^3/d,平均产气量为 1 929 m^3/d,低产井占 67.44%,这是由于在该时段内大部分煤层气井处于排水期,煤层气产量普遍较低;随着排采时间延长,压降漏斗不断增大,煤层气井产气量逐渐增高,排采 3 年 307 口煤层气井单井平均日产气量为 223.47~10 799.68 m^3/d,平均产气量为 2 837.08 m^3/d,煤层气井中高产气井占比逐渐增高,煤层气井在各个产气等级区间逐渐趋于均一;排采 3~10 年 281 口煤层气井单井平均日产气量为 529.93~8 257.49 m^3/d,平均产气量为 3 383.47 m^3/d,此时大部分气井进入稳产期,低产井数逐渐减少,中高产煤层气井增多;排采大于 10 年时间内 76 口煤层气井单井平均日产气量为 890.80~7 932.10 m^3/d,平均产气量为 3 899.57 m^3/d,此时虽有部分气井开始进入产量递减期,但统计内的气井排采年限均未超过 12 年,气井衰减幅度较小,单井平均日产气量整体居高(表 1)。

表 1　煤层气井产气量分布统计

Table 1　Statistical of gas production distribution in coalbed methane wells

排采时间/年	井数	煤层气井产气量占比/%		
		低产井	中产井	高产井
1	301	67.44	25.25	7.31
3	307	38.43	39.74	21.83
3~10	281	23.49	44.48	32.03
大于 10	76	15.79	40.79	43.42

从研究区煤层气井产能空间分布图来看,研究区高产井范围始终处于区域中北部,中产区范围位于区域中部,低产区范围位于区域南部,随着排采时间延长,中高产气井范围逐渐扩张,低产井范围逐渐缩小(图 3)。



(a) 排采 1 年煤层气井产能分布　(b) 排采 3 年煤层气井产能分布

(c) 排采 3~10 年煤层气井产能分布　(d) 排采大于 10 年煤层气井产能分布

图 3　煤层气井产能变化趋势

Fig.3　Trend chart of productivity change of coalbed methane wells

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

2.2　煤层气井产水量变化特征

统计分析该区煤层气井产水量数据可得:研究区煤层气井产水量普遍较低,排采 1 年时间内 281 口煤层气井单井平均日产水量为 0.03~19.97 m^3/d,平均产水量为 2.65 m^3/d,单井平均日产水量以低产水井为主,小于 2 m^3/d 占比 59.79%;随着排采时间延长,产水量进一步降低,排采 3 年时间内 265 口煤层气井单井平均日产水量为 0.01~11.51 m^3/d,平均产水量为 1.81 m^3/d,小于 2 m^3/d 的占比 72.45%;排采 3~10 年的 184 口煤层气单井平均日产水量为 0.02~6.09 m^3/d,平均产水量为 1.38 m^3/d,大部分气井产水量极少,部分气井进入无水期;排采时间大于 10 年,多数井已不再产水(表 2)。

表 2　煤层气井产水量分布统计

Table 2　Statistical of water production distribution in coalbed methane wells

排采时间/年	井数	煤层气井产水量占比/%			
		1~2 m^3/d	2~5 m^3/d	5~10 m^3/d	>10 m^3/d
1	281	59.79	27.76	8.89	3.56
3	265	72.45	20.00	7.17	0.38
3~10	184	74.46	22.82	2.72	—

从研究区煤层气井产水量空间分布(图 4)来看,排采初期研究区中高产水区主要位于区块中北部与中部区域,随着气井排采年限增长,产水量逐渐降低;在气井排采至 3 年,除中部区域局部块段排水量稍高,大部分气井平均日产水量均降至 4 m^3/d;在排采时间超过 3 年,除中北部、西部边缘地带及东部部分块段平均日产水量为 2~4 m^3/d,其余范围内产水量均在 2 m^3/d 以下,在中部及西南部、南部区域产水量降至 1 m^3/d,部分气井甚至不产水。

2.3　煤层气产能差异性分布特征

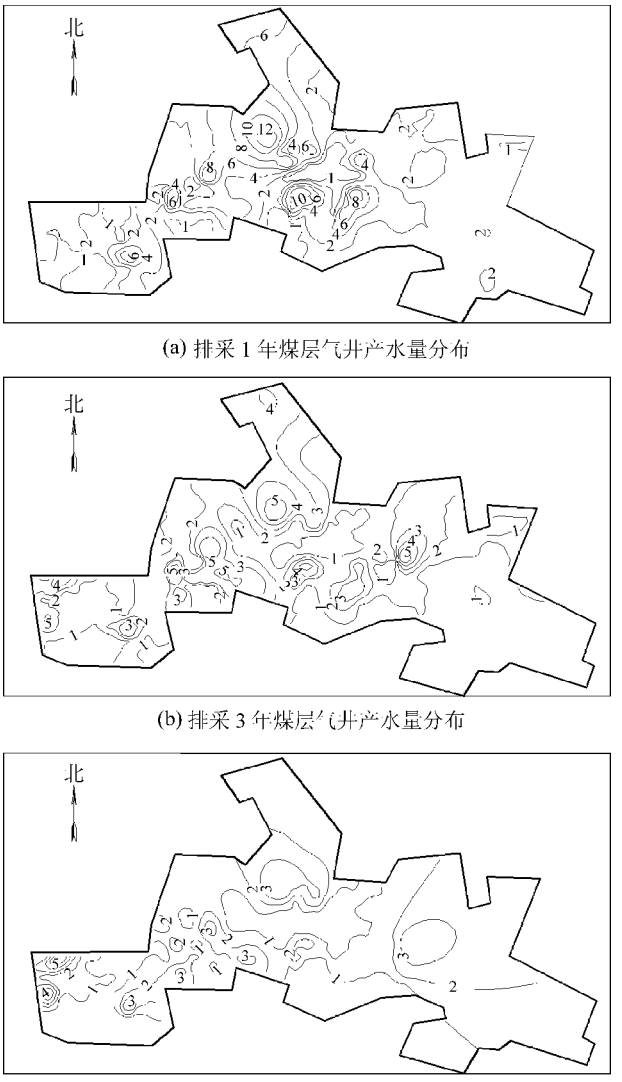
为查明寺河井田煤层气产能差异性分布特征,此次产能分区采用排采时间为 3~10 年的煤层气井,此时气井已进入稳产期且未到衰减期,根据寺河井田产能分布特征(图 3c),煤层气井高产区分布于研究区中北部,中产区分布于研究区中部,低产区分布于研究区南部。

3　产能主控因素分析

3.1　地质因素对煤层气井产能的影响

3.1.1　构造对煤层气井产能的影响

寺河井田地质构造简单,基本构造形态为走向 NNE,倾向 NWW,倾角 3°~15°的单斜构造,发育一系列近南北—北北东向的次级缓波状褶曲,断层较少[17]。



(a) 排采 1 年煤层气井产水量分布

(b) 排采 3 年煤层气井产水量分布

(c) 排采 3~10 年煤层气井产水量分布

图 4　煤层气井产水量变化趋势

Fig.4　Trend chart of water production change in coalbed methane wells

寺河井田产气量高的煤层气井多数集中在向斜轴部及其翼部区域,构造对煤层气井产能影响较为显著,这多与该区域煤层气含气性特征及水文条件密切相关(图 5)。

3.1.2　含气性特征对煤层气井产能的影响

对 136 口煤层气取心井煤样进行含气量测试,得到了可靠详实的试验数据,结果显示,寺河井田煤层含气量总体较高,3 号煤层含气量两极分化较大,为 3.36~28.96 m^3/t,平均 19 m^3/t。煤层含气量在研究区中部较高,西南及东南边缘处煤层含气量较低,为考察煤层含气量对气井产能的影响,将其与煤层气井产能分布特征(图 3c、图 6)对比发现,产能与含气量高低总体一致,高产气井大多集中在含气量大于 20 m^3/t 区域范围内,中产气井多处于含气

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

量 16~20 m^3/t 区域范围内,低产气井多位于含气量较低区域,集中在区域南部边缘部位,含气量小于 16 m^3/t 区域范围内。

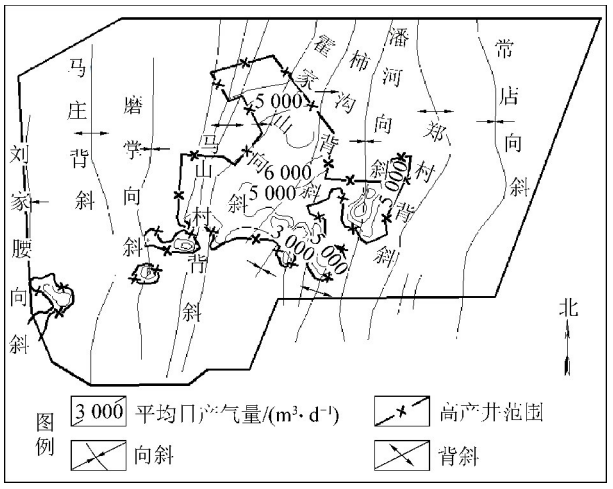


图 5　煤层气井产能与构造关系

Fig.5　Relationship between productivity and structure of coalbed methane wells

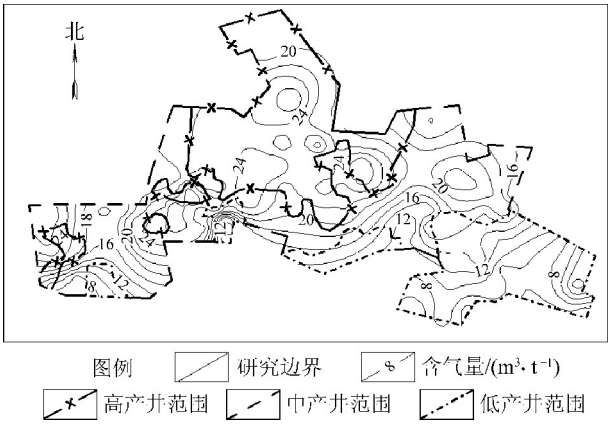


图 6　寺河井田 3 号煤层含气量等值线

Fig. 6　Isogram of gas content in No.3 coal seam of Sihe Mine Field

3.1.3　煤层渗透率对产能的影响

采用注入/压降测试法对该区 35 口煤层气井进行试井作业,测得 3 号煤渗透率为(0.12~42.35)×10^{-3} μm^2,平均 5.28×10^{-3} μm^2,煤层渗透率在区域上极不均衡,具有一定的分异现象。统计分析单井平均日产气量与试井渗透率得出,整体上随着试井渗透率的增大,煤层单井平均日产气量增加,大于 2×10^{-3} μm^2 的气井产能与渗透率相关性显著,但在小于 2×10^{-3} μm^2 的井与渗透率相关性极差(图 7),这可能是由于在煤层渗透率相差不大的情况下,渗透率并不是影响煤层气产能的主控因素,气井产量还可能受到资源丰度、构造、排采制度等方面的影响。

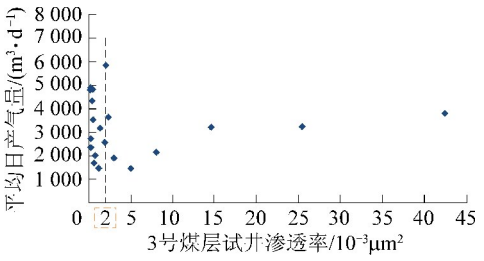


图 7　平均日产气量与试井渗透率关系

Fig.7　Diagram of relationship between average daily gas production and well test permeability

3.2　工程因素对煤层气井产能的影响

3.2.1　压裂对煤层气井产能的影响

统计了 22 口煤层气井裂缝监测数据,得出该区压裂裂缝长度为 107~224 m,平均 147.36 m,煤层气井压裂裂缝高度为 1.7~20.0 m,平均 10.33 m。因寺河井田 3 号煤层稳定,埋深多集中在 300~400 m,厚度为 3.4~8.7 m,平均 6.19 m,井田内煤层埋深及煤厚差别不大,压裂规模亦相当。单采 3 号煤层气井压裂总液量为 498.2~594.2 m^3,平均 555.8 m^3,压裂总注入砂量 29~36 m^3,平均 34.46 m^3。经对比分析,压裂缝长随总液量增加而增大,通过对压裂缝长与煤层气井产气量相关性分析,结果发现产气量随压裂缝长增加而增大,但二者相关性不显著。这主要是因为气井压裂规模差别不大,气井的产气量主要受控于地质及其他工程参数等因素及其耦合作用的影响。

3.2.2　储层伤害对煤层气井产能影响

由于钻井、完井作业或采取增产措施,使井底附近地层的渗透率变差或变好,从而引起附加流动压力的效应,这种现象称为表皮效应。表征表皮效应大小的无因次参数称为表皮系数。表皮系数 S 所反映的储层特征:$S>0$:储层受污染,S 数值越大,污染越严重;$S=0$:储层未受污染;$S<0$:增产措施见效,S 绝对值越大,增产措施的效果越好[18]。

煤层气井平均日产气量随负表皮系数绝对值增大而增大,随正表皮系数增大而减少(图 8),显示储层伤害对煤层气井产气量影响较大,在钻完井、储层改造过程中应采取一定措施,尽量增大改造效果,减少储层伤害。

3.2.3　井下采掘活动对煤层气井产能的影响

寺河井田煤层气地面抽采井对降低该区煤层含气量、保障煤矿安全生产具有重要意义[19-20]。煤层气地面抽采应与矿井生产规划相衔接,当气井受到井下采掘活动影响发生倒吸现象,需对气井进行关闭并拆除,若这些井当前产气量较高且拆除比例较大时,其对井田整体产能影响很大[21]。

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

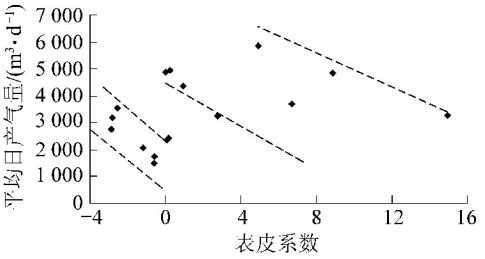


图 8　平均日产气量与表皮系数关系

Fig.8　Relationship between average daily gas production and epidermis coefficient

以 SHX-X 井为例,该井自 2007 年 8 月 31 日开始排采,2008 年 9 月 24 日达到高产(4 000 m^3/d),后 2012 年 8 月 5 日产气量下降,至 2012 年 12 月 1 日发现该井存在倒吸现象,产气量迅速下降至零,至此再无升高,至 2013 年 8 月 1 日拆除(图 9)。目前统计了该区 592 口煤层气地面直井,其中由于受到井下采掘活动影响进行拆除的气井约有 174 口,对寺河区块煤层气井群整体产能影响较大。

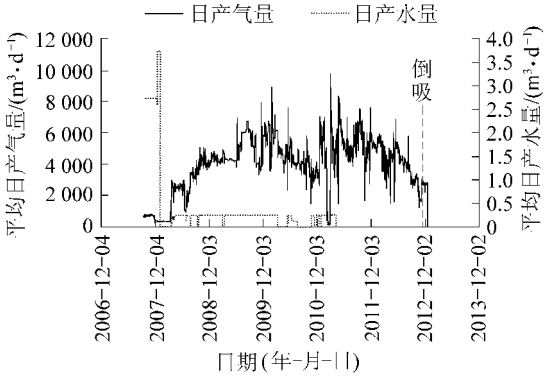


图 9　SHX-X 排采曲线

Fig.9　SHX-X drainage curves

4　结　　论

1)通过考察煤层气井全生命周期内气水随时空变换而变化的过程及分布特征,发现寺河井田煤层气井产能分布区域差异性大,煤层气井产能高产区均分布于研究区中北部,中产区分布于研究区中部,低产气区分布于研究区南部,并随着排采时间的延长,高产水区缩小,高产气区范围逐渐扩大,低产区范围逐渐缩小。

2)煤层气井所处构造部位、煤层含气性、渗透率是影响煤层气井产能的主控地质因素,其中,含气性分布与产能分布一致度较高,构造通过影响含气性分布间接控制煤层气井产气量;渗透率对产能的影响分为 2 类,一类是渗透率大于 2×10^{-3} μm^2 以上时,产能与渗透率相关性显著,一类是渗透率小于 2×10^{-3} μm^2 时,二者相关性极差,此时气井产量除受渗透率影响外,还可能受到资源丰度、构造、排采制度等方面的影响。

3)压裂、储层伤害、井下采掘活动是影响煤层气产能的工程影响因素,寺河井田煤层厚度与埋深变化不大,压裂规模亦相当,产气量虽随压裂规模增加而增大,但二者相关性不显著。煤层气井产能主要受控于储层伤害和井下采掘活动的影响,在钻完井、储层改造过程中应采取一定措施,尽量增大改造效果,减少储层伤害,在煤层气开采时应与煤矿井下紧密衔接,尽量将预抽井布置在煤矿开采规划区以延长煤层气井地面预抽采时间,提高抽采效果,保证气井达到最优产能。

参考文献(References):

[1] 张　政,秦　勇,傅雪海,等.潘庄区块煤层含气性分布规律及地质控制因素分析[J].煤炭科学技术,2014,42(5):98-102.
ZHANG Zheng,QIN Yong,FU Xuehai,*et al*.Distribution law of gas-bearing property of coal seams and analysis on geological control factors in Panzhuang Block[J].Coal Science and Technology,2014,42(5):98-102.

[2] 邵先杰,董新秀,汤达祯,等.韩城矿区煤层气中低产井治理技术与方法[J].天然气地球科学,2014,25(3):435-443.
SHAO Xianjie,DONG Xinxiu,TANG Dazhen,*et al*.Teatment technology and method of low-to-moderate production coalbed methane wells in Hancheng mining[J].Natural Gas Geoscience,2014,25(3):435-443.

[3] 刘世奇,桑树勋,李梦溪,等.樊庄区块煤层气井产能差异的关键地质影响因素及其控制机理[J].煤炭学报,2013,38(2):277-283.
LIU Shiqi,SANG Shuxun,LI Mengxi,*et al*.Key geologic factors and control mechanisms of water production and gas production divergences between CBM wells in Fanzhuang block[J].Journal of China Coal Society,2013,38(2):277-283.

[4] 张培河,刘钰辉,王正喜,等.基于生产数据分析的沁水盆地南部煤层气井产能控制地质因素研究[J].天然气地球科学,2011,22(5):909-914.
ZHANG Peihe,LIU Yuhui,WANG Zhengxi,*et al*.Geological factors of production control of CBM well in South Qinshui Basin[J].Natural Gas Geoscience,2011,22(5):909-914.

[5] 韩贤军,杨焦生.沁水盆地南部煤层气产能特征及影响因素分析[J].科学技术与工程,2013,13(33):9940-9945.
HAN Xianjun,YANG Jiaosheng.Coalbed methane deliverability characteristic and its controlling factors in southern Qinshui basin[J].Science Technology and Engineering,2013,13(33):9940-9945.

[6] 刘升贵,陈　含,彭智高,等.沁水盆地煤层气产能差异及采收率[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2013,32(6):721-724.

中国煤炭行业知识服务平台www.chinacaj.net

LIU Shenggui, CHEN Han, PENG Zhigao, *et al*. Coalbed methane productivity differences and gas recovery in Qinshui Basin[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2013, 32(6): 721-724.

[7] 娄剑青.影响煤层气井产量的因素分析[J].天然气工业,2004,24(4):62-64.
LOU Jianqing. Factors of influencing production of coal-bed gas well[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(4): 62-64.

[8] 徐 涛,苏现波,倪小明.沁南地区潘庄区块煤层气井产能主控因素研究[J].河南理工大学学报:自然科学版,2013,32(1):25-29.
XU Tao, SUN Xianbo, NI xiaoming. Study on CBM production main controlling factors of Qinnan Panzhuang block[J]. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science, 2013, 32(1): 25-29.

[9] 刘 刚.樊庄区块煤层气地质特征及产能分析[D].徐州:中国矿业大学,2017.

[10] 陶 树,汤达祯,许 浩,等.沁南煤层气井产能影响因素分析及开发建议[J].煤炭学报,2011,36(2):194-198.
TAO Shu, TANG Dazhen, XU Hao, *et al*. Analysis on influence factors of coalbed methane wells productivity and development proposals in southern Qinshui Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(2): 194-198.

[11] 康园园,邵先杰,王彩凤.高—中煤阶煤层气井生产特征及影响因素分析:以樊庄、韩城矿区为例[J].石油勘探与开发,2012,39(6):728-732.
KANG Yuanyuan, SHAO Xianjie, WANG Caifeng. Production characteristics and affecting factors of high-mid rank coalbed methane wells: Taking Fanzhuang and Hancheng mining areas as examples[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(6): 728-732.

[12] 张志义.晋煤集团高瓦斯矿井煤层气抽采及利用效果[J].煤炭技术,2008,27(11):91-92.
ZHANG Zhiyi. Effect of withdrawal and application of coal seam gas in high cgassy mine of Jincheng coal industry group[J]. Coal Technology, 2008, 27(11): 91-92.

[13] 陈召英,王保玉,郝海金,等.寺河区块煤层气井排采特征及抽采效果分析[J].煤炭科学技术,2017,45(7):100-105.
CHEN Zhaoying, WANG Baoyu, HAO Haijin, *et al*. Analysis on drainage features and drainage effect of coalbed methane well in Sihe Block[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(7): 100-105.

[14] 李国富,侯泉林.沁水盆地南部煤层气井排采动态过程与差异性[J].煤炭学报,2012,37(5):798-803.
LI Guofu, HOU Quanlin. Dynamic process and difference of coalbed methane wells production in southern Qinshui Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(5): 798-803.

[15] 孟艳军,汤达祯,李治平,等.高煤阶煤层气井不同排采阶段渗透率动态变化特征与控制机理[J].油气地质与采收率,2015,22(2):66-71.
MENG Yanjun, TANG Dazhen, LI Zhiping, *et al*. Dynamic variation characteristics and mechanism of permeability in high-rank CBM wells at different drainage and production stages[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(2): 66-71.

[16] 杨秀春,接铭训,王国强.潘河煤层气试验区产能影响因素分析[J].天然气工业,2008,28(3):99-101.
YANG Xiuchun, JIE Mingxun, WANG Guoqiang. Influencing factors on CBM productivity in Panhe trial production area[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(3): 99-101.

[17] 吴光亮.三维地震探采对比及再分析初探[J].中国煤炭地质,2008,20(6):81-83.
WU Guangliang. Correlation and reanalyzing of 3D seismic prospecting and mining information[J]. Coal Geology of China, 2008, 20(6): 81-83.

[18] 罗 政,程 政,王晓龙,等.贵州煤储层异常表皮系数的研究[J].煤炭技术,2017,36(8):105-107.
LUO Zheng, CHENG Zheng, WANG Xiaolong, *et al*. Research on abnormal skin factor of Guizhou Coal Reservoir[J]. Coal Technology, 2017, 36(8): 105-107.

[19] 李国富,李贵红,刘 刚.晋城矿区典型区煤层气地面抽采效果分析[J].煤炭学报,2014,39(9):1932-1937.
LI Guofu, LI Guihong, LIU Gang. Analysis on the ground extraction effect of coal-bed methane at typical area in Jincheng, China[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(9): 1932-1937.

[20] 龙威成,孙四清,李国富.煤矿区地面煤层气抽采效果评价方法探讨:以寺河煤矿某区块为例[J].煤田地质与勘探,2016,44(6):55-63.
LONG Weicheng, SUN Siqing, LI Guofu. Evaluation method of coalbed methane surface drainage effect in coal mines: Take a block of Sihe mine as an example[J]. Coal Geology & Exploration, 2016, 44(6): 55-63.

[21] 张光波,祁空军,于家盛,等.煤矿采掘对煤层气开发影响模式探讨[J].中国煤层气,2018,15(5):40-43.
ZHANG Guangbo, QI Kongjun, YU Jiasheng, *et al*, Discussion on influence mode of coal mining on CBM development[J]. China Coalbed Methane, 2018, 15(5): 40-43.