柿庄南区块煤层气高产井排采制度分析

杨国桥[1,2],唐书恒[1,2],李忠城[3],张松航[1,2],时 伟[1,2]

(1. 中国地质大学(北京) 海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室,北京 100083; 2. 中国地质大学(北京) 页岩气资源勘查与战略评价国土资源部重点实验室,北京 100083; 3. 中联煤层气有限责任公司,北京 100011)

摘 要: 为了研究排采制度对柿庄南区块煤层气井产气量的影响,通过对柿庄南区块 4 口高产井排采曲线进行对比分析,探索总结了高产井排采曲线的共同特征,优选出了适合柿庄南区块的排采制度。结果表明: 高产井的排采曲线呈现阶梯状变化规律特征。产气后井底流压的变化分为 4 个阶段,即: 缓慢下降阶段、逐级降压阶段、迅速下降阶段和稳定阶段; 缓慢降压阶段为排采初期排水降压阶段到不稳定产气阶段的过渡阶段; 逐级降压阶段储层压力逐渐下降,压降漏斗稳定向远端延伸; 在迅速下降阶段,出现了井间干扰使得压降漏斗相互叠加并向深处扩展,产气量陡增; 稳定阶段,是井底流压下降到一个较低水平并保持长期稳定,气体稳定解吸,产气量稳定在一个较高水平。迅速下降阶段之前稳定套压,之后缓慢释放套压,有利于储层防护。井底流压见气前平缓下降,见气后阶梯状变化的排采制度有利于柿庄南区块排采井的高产。

关键词: 柿庄南区块; 煤层气井; 井底流压; 排采制度; 阶梯状

中图分类号: TE371 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)08-0176-06

Analysis on drainage system of coalbed methane high production well in south block of Shizhuang

Yang Guoqiao[1,2], Tang Shuheng[1,2], Li Zhongcheng[3], Zhang Songhang[1,2], Shi Wei[1,2]

(1. *MOE Key Lab of Marine Reservoir Evolution and Oil and Gas Enrichment Mechanism, China University of Geosciences (Beijing), Beijing* 100083, *China*; 2. *MOLR Key Lab of Shale Gas Resources Survey and Strategic Evaluation, China University of Geosciences (Beijing), Beijing* 100083, *China*; 3. *China United Coalbed Methane Corporation Limited, Beijing* 100011, *China*)

Abstract: In order to study the drainage system affected to the gas production of the coalbed methane wells in the South Block of Shizhuang, a comparison analysis was conducted on the drainage curves of four high production wells in the south block of Shizhuang. The paper discovered and summarized the common features of the gas drainage curves from the high production wells and optimized the drainage system suitable to the south block of Shizhuang. The results showed that the drainage curves of the high production wells had ladder-style variation law and features. After the wells in the gas production, the variation of the bottom flowing pressure had four stages and they were a slow pressure drop stage, steady pressure reduction stage, rapid drop stage and stable stage. The slow pressure drop stage was a transitional stage from the water pumping and pressure drop stage to the instable gas production stage in the gas drainage initial period. The reservoir pressure at the steady pressure reduction stage would be steadily reduced and the pressure drop hopper would be stably extended to a far end. In the pressure rapid drop stage, the interferences occurred between the wells would make the pressure drop hoppers overlapping and expanded to the deep section and the gas production would be sharply increased. The stable stage would mean the bottom flowing pressure drop to a low level and keeping a long period stable, the gas would be stably desorbed and the gas production would be stable at a high level. Before the rapid pressure drop stage, the casing pressure should be kept in stable, then the casing pressure could be slowly released and would be favorable to protect the reservoir. The bottom flowing pressure should be steadily reduced before the gas occurred in

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

收稿日期: 2016-03-12; **责任编辑:** 曾康生 **DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2016.08.030

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05060,2011ZX05034-003)

作者简介: 杨国桥(1993—),男,湖北宜昌人,土家族,硕士研究生。**通讯作者:** 唐书恒,教授,博士生导师。Tel: 010-82320601,E-mail: tangsh@cugb.edu.cn

引用格式: 杨国桥,唐书恒,李忠城,等.柿庄南区块煤层气高产井排采制度分析[J].煤炭科学技术,2016,44(8):176-181,28.

Yang Guoqiao, Tang Shuheng, Li Zhongcheng, *et al*. Analysis on drainage system of coalbed methane high production well in south block of Shizhuang[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(8): 176-181, 28.

the well and after the gas occurred in the well, the drainage system with a ladder-style variation would be favorable to the high production of the gas drainage wells in the study area.

Key words: south block of Shizhuang; coalbed methane well; flowing pressure of well bottom; drainage system; ladder-style

0 引　言

沁水盆地南部柿庄南区块煤层气已经进入大规模开发阶段,部分煤层气井已经进入稳定产气阶段,部分处于排采初期阶段。目前,柿庄南区块存在高产井数量较少,产气规模增加缓慢的问题。如何提高煤层气井的产能成为了亟待解决的问题。影响煤层气井产能的因素包括 2 个方面: 一方面是地质因素,主要有含气量、渗透性、埋深、厚度、水动力条件、构造部位等; 另一方面是工程因素,主要有钻井、压裂、排采等[1-5]。

排采作为生产过程中最重要的一个环节,不仅影响产气量,而且控制着储层渗透率、储层压力的动态变化。排采效果的影响因素有排采的连续性、抽排强度、生产压差、井底流压。非连续排采使液面波动,地层压力回升,产生气锁、水锁,压降漏斗不能有效扩展。排采强度过大易引起煤层激动,煤粉产出堵塞孔眼,压裂砂返吐影响压裂效果。过高或过低的生产压差易使裂缝闭合,降低储层渗透率。较低的井底流压增大了生产压差,有利于增加气的解吸速度和解吸气体量[6-7]。整个排采过程可以分为 4 个阶段,排水阶段、不稳定产气阶段、稳定产气阶段和衰减阶段[8]。研究区目前大部分煤层气井处于排水阶段和不稳定产气阶段,经历了水的单相流到气水两相流的变化,产气量从无到有,产水量逐渐减少,储层渗透率变化较大。排水阶段和不稳定产气阶段的排采控制,对储层的保护和提高煤层气井后期产能有重要意义。因此,找到适合该区和该排采阶段的排采制度,不仅可以有效地提高排采井产能,更可对后期新井排采制度提供依据。笔者选择柿庄南区块连续排采的 4 口高产井的排采曲线进行对比,分析高产井排采曲线的排采规律,对于指导生产有重要参考价值。

1 区域概况

柿庄南区块位于沁水盆地东南部,垂向上各含水层系之间形成了独立的水动力系统,一般不存在水力联系。平面上该区处于地下水滞留区。3 号煤层为煤层气主要开发煤层,其顶板以厚层泥岩为主,储层封盖性好,煤层气保存条件较好。煤层厚度大,埋深适中而且分布稳定,煤变质程度高,煤层吸附能力较强,含气量高。北部深煤层断层较发育,南部除少量陷落柱外少见断层,煤渗透率一般小于 1×10^{-3} μm^2,渗透率低[9-11]。

2 排采数据

2.1 排采时间的选择

在不同的排采阶段,产水量、产气量、井底流压的变化趋势具有不同的特征。排水阶段和不稳定产气阶段作为初期 2 个非常重要的排采阶段,对煤储层渗透性以及后期产能具有重要的影响。因而,对于处于开发初期阶段的柿庄南区块,本次研究选择产气后,产气 1 年作为对比的时间基准,主要是由于: ①保证所有井都已经历单相水排采期,保证产气时间相近,产能具有可比性; ②产气 1 年时间内能够包含足够多的产能井; ③产气 1 年的排采时间可以保证气井有足够长的产气期; ④产气 1 年的排采时间后期,气井的生产制度较为稳定,有利于对气井产能进行对比和分析; ⑤包含了稳定排水、不稳定产气阶段,具有研究价值。

2.2 排采连续性

柿庄南区块多口煤层气井因设备故障、井下故障和工农关系等问题停机,导致排采不连续。排采不连续的井与排采连续的井之间进行产能对比,并不具有可比性。因此,从产气时间达到 1 年的所有井中挑选出了产气阶段排采连续的井来进行比较。

2.3 产能划分

以产气后一年内日均产气量的大小来进行产能比较,具体划分原则: ①高产井,日均产气量>1 000 m^3/d; ②中产井,日均产气量 500 ~ 1 000 m^3/d; ③低产井,日均产气量<500 m^3/d。

3 高产井排采曲线特征

所选择的 4 口高产井,相关地质参数见表 1。煤层气井排采过程中,井底流压变化对产气量影响较大,尤其在不稳定解吸阶段。井底流压可通过套压和液柱高度相互调整来控制[12-15]。产水量反映了地层供水能力的大小与排采强度。综合利用井底

流压、液柱高度、套压、日产水量、日产气量的变化曲线对煤层气井的排采状况进行分析，并着重分析了见气后一年内的不稳定产气阶段。四口井排采曲线如图 1 所示。

表 1　4 口高产井相关地质参数

Table 1　Geological parameters of four high production wells

井号	储层压力/MPa	临界解吸压力/MPa	临储比	埋深/m	渗透率/(10^{-3} μm²)	煤厚/m	含气量/($m^3 \cdot t^{-1}$)	含气饱和度/%	平均产气量/($m^3 \cdot d^{-1}$)
A	2.62	1.98	0.76	570.14	0.42	6.3	18.10	66.28	1 475
B	2.49	1.92	0.77	763.65	0.59	5.9	14.05	76.01	1 172
C	2.37	1.27	0.53	768.16	0.59	6.01	10.96	68.33	1 482
D	2.58	2.04	0.79	698.29	0.63	6.3	14.84	77.71	1 111

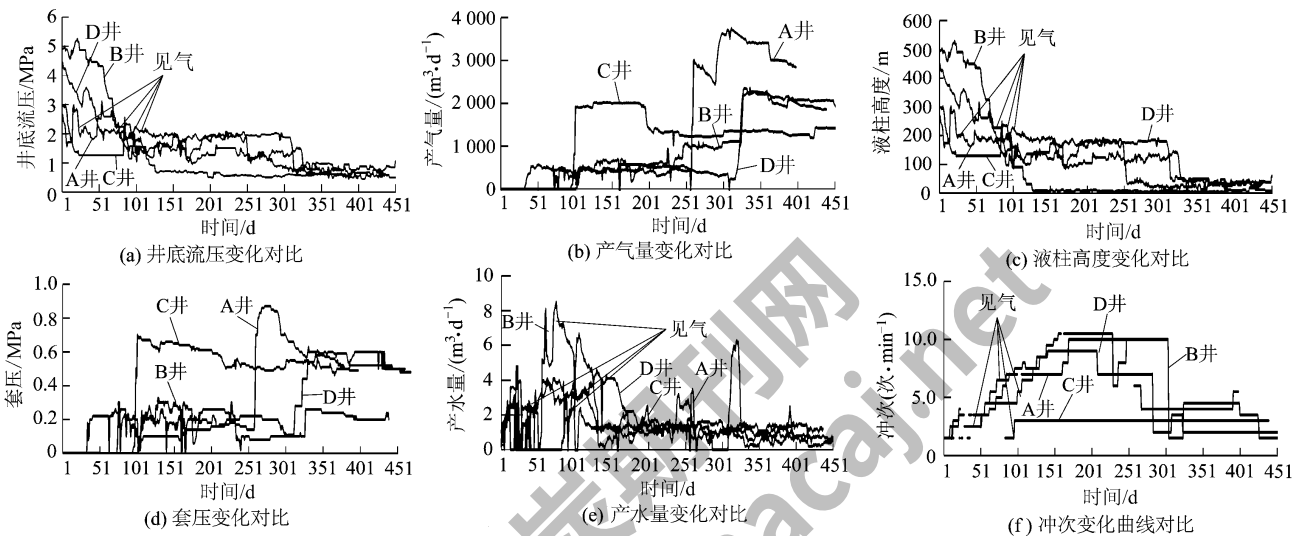


图 1　4 口井排采指标变化曲线对比

Fig. 1　Comparision of drainage index of four coalbed methane wells

如图 1 所示，开机后，B、D 井冲次从 1.5 次/min 逐渐增大到 5.5 次/min，井底流压平缓下降，平均压降速度分别为 0.038、0.027 MPa/d。二者产水量初期为 2~3 m^3/d，后期 B 井增大至 6 m^3/d，D 井增大至 3.5 m^3/d 左右，排水 3 个月左右见气。A、C 井初始井底流压相对 B、D 井较低。A 井冲次从 1.5 次/min 增大到 2.5 次/min，井底流压平均压降速度为 0.069 MPa/d，产水量逐渐增至 2.5 m^3/d。第 13 d 因设备故障停机，井底流压逐渐回升，8 d 后开机，排水 4 d 后见气。C 井冲次从 1.5 次/min 逐渐增至 4 次/min，井底流压平均压降速度为 0.07 MPa/d，产水量逐渐增至 5 m^3/d，第 23 d 因管线施工停机，59 d 后开机，排水 12 d 后产气。

4 口井排采曲线见气后除了 C 井，其他 3 口井的排采曲线具有很大的相似性。A、B、D 井见气时井底流压均约 2.2 MPa，井底流压变化曲线都呈现台阶式变化特征。大致分为 4 个阶段：缓慢下降阶段、稳定阶段、迅速下降阶段、下一次稳定阶段。①缓慢下降阶段，三者的冲次呈阶梯式逐渐加快至 9~10 次/min。A、D 井底流压降速约 0.06 MPa/d，B 井降速约 0.033 MPa/d。A、B、D 三口井套压均较低且稳定，约 0.2 MPa。产水量较高，整体呈现略微上升后下降特点，平均 4 m^3/d，产气量都处于较低水平，约 500 m^3/d。②稳定阶段，三者的冲次在 8~10 次/min 保持相对稳定。井底流压、动液面均保持相对稳定，期间存在一定波动。套压继续稳定在 0.2 MPa 附近，产气量、产水量稳定在一个较低水平，平均产水量 1.5 m^3/d。但第 230 d 时 B 井套压有一定释放，导致井底流压略微下降，产气量有一定幅度上升。③迅速下降阶段，三者冲次迅速减慢，或呈阶段式减慢，由 8~10 次/min 降至 2~4 次/min。此时，3 口井井底流压、动液面迅速下降，随后液柱高度均低于 50 m。套压均迅速增大，产气量迅速上升，达2 000 m^3/d，A 井甚至最高达 3 600 m^3/d。产水量曲线在此阶段产生一个小峰。④下一个稳定阶段，井底流压、动液面、产水量稳定在一个较低值，产

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

气量高且较稳定,套压缓慢下降。

C 井冲次基本稳定在 3 次/min。见气后,井底流压下降相对迅速,动液面降速最快约 5 m/d。液柱高度下降至 90 m 时,套压迅速上升至 0.6 MPa,产气量陡增至 1 900 m^3/d。动液面继续下降至煤层深度,套压略微降低,产气量略微上升至 2 000 m^3/d,稳定 3 个月后降低,随后稳定在 1 400 m^3/d 左右。产水量在井底流压快速下降时有一个小峰,约 3 m^3/d,随后稳定在 1.5 m^3/d 左右。

4　高产井排采曲线分析

4.1　排采曲线分析

排水阶段中 B、D 井初始井底流压相对较大,排水连续且井底流压降速缓慢,动液面降速为 3~5 m/d。产水量波动并呈增大趋势,排水 3 个月左右见气。A、C 井初始井底流压相对较低,排水出现间断,井底流压降速较缓,动液面降速为 5~7 m/d。总的来看,4 口井井底流压降速较缓,排采曲线未发现明显规律。因排水强度不大,虽 B、D 井产水量有波动,A、C 井发生排水间断,但并未对后期产气产生明显影响。

见气后一年内的时间段内,主要处于不稳定产气阶段,对于柿庄南区块的高煤阶煤层,此时渗透率处于总体降低,逐渐恢复的趋势,由有效应力、基质收缩效应共同主导[8,16-17]。压降速度对于储层渗透率和压降漏斗的扩展具有重要的影响,最终影响到煤层气井的产能[7,18]。压降过快,煤储层裂隙由于应力敏感而过早闭合,会导致压降漏斗局限于井筒附近,无法继续向远端扩展,远处的煤层气也无法解吸运移到井筒[19]。在生产上需要控制压降传递速度,根据生产的不同阶段,稳定井底压力一段时间,让煤岩持续解吸一段时间后,保证煤岩解吸向远处扩展,然后进行下一阶段压降传递[20]。

C 井冲次较低而且稳定,但由于地层供液能力不足,导致产气后井底流压下降相对迅速。储层产生应力敏感,对储层有一定伤害,但产气量上升迅速,基质收缩效应对有效应力效应有一定抑制作用。见气后初期由于井底流压下降较快,压降漏斗扩展不远,所以后期产气量有所下降。A、B、D 井底流压变化趋势如图 2 所示。

A、B、D 井产气后,冲次逐渐加快,动液面逐渐缓慢下降,套压基本稳定,井底流压下降缓慢,对储层伤害性小。随后井底流压以及冲次逐渐保持稳定,使得压降漏斗向远端得到稳定扩展,基质收缩效应的比重也逐渐增大,渗流通道变好。后期井底流压、动液面迅速下降,套压陡增,产气量迅速增大,该阶段冲次反而降低,分析推测是由于受到井间干扰的作用,井间压降漏斗连通,漏斗由向远端转为向深处扩展。泄压体积迅速增大,气体解吸量增多,产气量陡增。

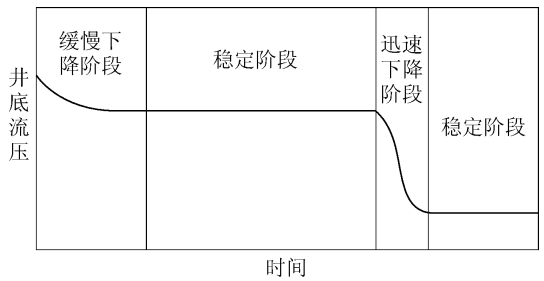


图 2　井底流压变化趋势示意

Fig. 2　Diagrammatic sketch of flowing bottom hole pressure change

1) 缓慢下降阶段: 冲次逐步升高,井底流压、动液面缓慢下降,动液面降速小于 3 m/d,井底流压下降一定幅度后,保持稳定。套压稳定在一个较低值。此阶段是近井地带储层降压的过程,也是排水阶段向不稳定产气阶段以及从降压到稳压的过渡,产水量较大,排采曲线上表现为一个峰,产气量上升并稳定在一个较低水平。

2) 稳定阶段: 冲次保持稳定,井底流压、动液面基本稳定,套压稳定在一个低值,产水量较低且稳定。此阶段是压降漏斗向远端扩展的过程,泄压面积逐渐增大,产水量等于远端的水流入井筒的量。压降漏斗稳定的扩展能够防止有效应力敏感,以及排水过程中由于水流速度的改变导致煤储层受到扰动,进而产生较多的煤粉堵塞渗流通道,致使排水降压困难。

3) 迅速下降阶段: 冲次降低,井底流压下降迅速,液柱高度一般迅速下降到 50 m 左右,套压迅速上升,产气量陡增,产水量曲线产生小峰。当同时排采的 2 口煤层气井相距较近时,随着抽水的进行,各个煤层气井的降落漏斗不断延伸,将最终交汇在一起,形成煤层气井井间干扰。此时,由于降落漏斗的边缘没有更多的补给区域,降落漏斗将不再向远处延伸,而是向深处扩展,使该处的煤层压力快速下降,甲烷大量释放,产气量大幅增加[22-23]。此阶段时间短,推测是井间压降漏斗连通,漏斗由向远端转为向深处扩展,井底流压下降较快。该阶段泄压体

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

积迅速增大，产气量迅速上升，基质收缩效应与有效应力效应相比，逐渐占主导地位，渗流通道变好，所以在井底流压迅速下降时，对储层的伤害并不明显。产水量会因为渗流通道的变好，而使得原来无法流动的水，一起产出，所以产水量会突然增多，形成另外一个小峰。

4) 下一个稳定阶段：冲次较低且稳定，井底流压稳定，液柱高度稳定在 50 m 左右，套压缓慢降低，产水量较低，产气量达到一个峰值后下降并稳定在一个较高水平。此阶段煤层气解吸范围广且稳定，并不断的向井口运移，煤层气井持续高产。套压缓慢释放保证了井底流压的稳定，从而降低了储层产生伤害的概率。

4.2　排采制度建立

文献 [21] 中提出逐级降压的排采制度的思想，即分级逐次降低煤层气井的井底流压，其好处是使每一级压降都持续了一定的时间，压降漏斗能够充分的扩展。建立数学模型后，其在数值模拟中发现该制度可以较大程度地提高泄压体积。文献 [20] 也提到根据生产的不同阶段，需要稳定井底压力一段时间，让煤岩持续解吸一段时间后，保证煤岩解吸范围扩展，然后进行下一阶段压降传递。文献 [12] 中通过数值模拟后认为煤层气井排采的流体效应，即流体产出以及其产出相关作用，取决于是否对排采见气初期套压进行控制，提出排水阶段结束后采用墁压、控压的排采制度，可有效提高煤层气井的产能。

结合前人研究成果与柿庄南区块高产井的排采曲线特征，笔者提出适于柿庄南区块的排采制度，井底流压变化模式如图 3 所示。

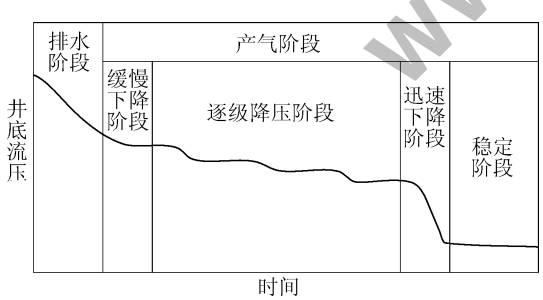


图 3　井底流压管控制度示意

Fig. 3　Diagrammatic sketch of flowing bottom hole pressure control system

见气前，排水阶段应尽量保持井底流压平缓下降，动液面降速不超过 5 m/d。见气后，分为 4 个阶段，即缓慢下降阶段、逐级降压阶段、迅速下降阶段、稳定阶段。

1) 缓慢下降阶段：该阶段是对排水阶段的一个缓冲，以及对储层的控压过程。逐渐稳定冲次至 7~8 次/min，保持井底流压缓慢降低直至稳定，控压 2 个月左右，并维持套压稳定。产水量逐渐降低并稳定。

2) 逐级降压阶段：控制井底流压稳定一段时间后，分多个阶段逐级降低，期间稳定套压。先略微加大排液量，控制动液面下降一定高度，接着维持动液面高度稳定一段时间，之后不断重复此过程，直至迅速下降阶段的到来。每次降压过程，压降漏斗会向下扩展一定深度，产气量会相应增多，套压有一定幅度上升。逐级降压应该尽量控制每次降压幅度不大且缓慢，动液面降速应在 3 m/d 左右。据 4 口高产井的排采规律，迅速下降阶段在见气后 200~250 d 到来，因此每个降压阶段稳定时间约 2 个月，冲次控制为 8~9 次/min。这样可以有效的扩展压降漏斗，减小有效应力效应带来的储层伤害，为后期产能增大打下基础。产气量阶梯式递增，产水量较低。

3) 迅速下降阶段：此阶段时间短，由于井间干扰，井底流压快速下降，产气量陡增，套压迅速增大。通常液柱高度降至 50 m 以内，与此同时应降低冲次至 4 次/min。

4) 稳定阶段：液柱高度降至 50 m 以内，井底流压保持稳定，并呈降低趋势，套压应保持缓慢下降趋势，冲次稳定在 3 次/min。产气量较大且稳定，产水量低。

5　结　　论

1) 排采是煤层气生产中一个关键环节。合理的排采制度，能够帮助提高煤层气井的产能。根据柿庄南区块高产井的排采特征，将不稳定产气阶段划分为缓慢下降阶段、逐级降压阶段、迅速下降阶段和稳定阶段。

2) 缓慢下降阶段是后期控压和逐级降压阶段的一个缓冲。逐级降压阶段稳定排水、不断降低储层压力，可以扩大压降漏斗泄压面积。迅速下降阶段由于井间干扰使压降由向远端转为向深处扩展，产气量迅速增大。稳定阶段煤层气井达到产气高峰并持续高产。迅速下降阶段之前稳定套压，之后缓慢释放套压，有利于储层防护。

3) 根据高产煤层气井生产规律总结出的见气前平缓降压，见气后阶梯状控压排采制度，对于沁水

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

盆地高煤阶煤层气井的生产管理具有重要参考价值。

参考文献(References) :

[1] 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.

[2] Gao Lijun,Tang Dazhen,Xu Hao,*et al*.Geologically controlling factors on coalbed methane (CBM) productivity in Liulin[J].Journal of Coal Science & Engineering,2012,18(4):362-367.

[3] Zhao Xinglong,Xu Zuwei,Tang Dazhen,*et al*.The influence of high yield water characteristics on productivity of CBM wells and expulsion and production method carried out in Yanchuannan Block of the Ordos Basin,China[J].Journal of Coal Science & Engineering,2013,19(4):514-521.

[4] 郑德顺,周　璐,李明龙,等.煤层气储存富集主控因素简述[J].中州煤炭,2013(3):23-26.
Zheng Deshun,Zhou Lu,Li Minglong,*et al*.A review on controlling factors of storage and enrichment of coalbed methane[J].Zhongzhou Coal,2013(3):23-26.

[5] 齐治虎.郑庄区块煤层气排采影响因素探析[J].中州煤炭,2010(9):28-30.
Qi Zhihu.Analysis on factors affecting coal bed methane mining and drainage in Zhengzhuang Area[J].Zhongzhou Coal,2010(9):28-30.

[6] 饶孟余,江舒华.煤层气井排采技术分析[J].中国煤层气,2010,7(1):22-25.
Rao Mengyu,Jiang Shuhua.Analysis on drainage techniques of coalbed methane well[J].China Coalbed Methane,2010,7(1):22-25.

[7] 张遂安,曹立虎,杜彩霞.煤层气井产气机理及排采控压控粉研究[J].煤炭学报,2014,39(9):1927-1931.
Zhang Suian,Cao Lihu,Du Caixia.Study on CBM production mechanism and control theory of bottom hole pressure and coal fines during CBM well production[J].Journal of China Coal Society,2014,39(9):1927-1931.

[8] 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.

[9] 丰庆泰.沁水盆地柿庄南区块煤层气藏地质特征[J].山西大同大学学报:自然科学版,2012,28(3):72-74.
Feng Qingtai.The geological characteristics of CBM reservoir of southern Shizhuang in Qinshui Basin[J].Journal of Shanxi Datong University:Natural Science,2012,28(3):72-74.

[10] 孙　强,孙建平,张　健,等.沁水盆地南部柿庄南区块煤层气地质特征[J].中国煤炭地质,2010,22(6):9-12.
Sun Qiang,Sun Jianping,Zhang Jian,*et al*.CBM geological characteristics in Shizhuang South Block,southern Qinshui Basin[J].Coal Geology of China,2010,22(6):9-12.

[11] 黄少华,孙同英,冀　昆,等.柿庄南区块煤层气井早期生产特征及开采建议[J].中国煤炭地质,2013,25(7):14-17.
Huang Shaohua,Sun Tongying,Ji Kun.*et al*.CBM early stage production characteristics in Shizhuang Southern Block and exploitation proposals[J].Coal Geology of China,2013,25(7):14-17.

[12] 宋　革,傅雪海,葛燕燕,等.压力控制下高煤阶储层煤层气井排采的流体效应[J].煤炭科学技术,2014,42(8):60-64.
Song Ge,Fu Xuehai,Ge Yanyan,*et al*.Fluid effect during coalbed methane well drainage of high rank coal reservoir under pressure control[J].Coal Science and Technology,2014,42(8):60-64.

[13] 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.

[14] 杨秀春,李明宅.煤层气排采动态参数及其相互关系[J].煤田地质与勘探,2008,36(2):19-23.
Yang Xiuchun,Li Mingzhai.Dynamic parameters of CBM well drainage and relationship among them[J].Coal Geology & Exploration,2008,36(2):19-23.

[15] 张艳玉,孙晓飞,尚凡杰,等.沁水煤层气井产能预测及其影响因素研究[J].石油天然气学报,2012,34(11):118-122.
Zhang Yanyu,Sun Xiaofei,Shang Fanjie,*et al*.The productivity evaluation and influential factors of Qinshui coalbed methane (CBM) wells[J].Journal of Oil and Gas Technology,2012,34(11):118-122.

[16] 刘会虎,桑树勋,冯清凌,等.沁水盆地南部煤层气井排采储层应力敏感研究[J].煤炭学报,2014,39(9):1873-1878.
Liu Huihu,Sang Shuxun,Feng Qingling,*et al*.Study on stress sensitivity of coal reservoir during drainage of coalbed methane well in southern Qinshui Basin[J].Journal of China Coal Society,2014,39(9):1873-1878.

[17] 郭春华,周　文,孙晗森,等.考虑应力敏感性的煤层气井排采特征[J].煤田地质与勘探,2011,39(5):27-30.
Guo Chunhua,Zhou Wen,Sun Hansen,*et al*.The relationship between stress sensitivity and production of coalbed methane wells[J].Coal Geology & Exploration,2011,39(5):27-30.

[18] 张晓阳,吴财芳,刘　强.基于排采速率的煤层气井排采制度研究[J].煤炭科学技术,2015,43(6):131-135.
Zhang Xiaoyang,Wu Caifang,Liu Qiang.Study on drainage system of coalbed methane well based on drainage rate[J].Coal Science and Technology,2015,43(6):131-135.

[19] 赵　金,张遂安.煤层气排采储层压降传播规律研究[J].煤炭

(下转第 28 页)

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

Gt Yongxi,Zhou Zhongning,Li Yimin.Research on resource utilization of mine water in goaf [J].Coal Science and Technology,2007,35(4):90-92.

[12] 陈苏社,鞠金峰.大柳塔煤矿矿井水资源化利用技术 [J].煤炭科学技术,2011,39(2):125-128.
Chen Sushe,Ju Jinfeng.Utilization technology of mine water resources in Daliuta Mine [J].Coal Science and Technology,2011,39(2):125-128.

[13] 龙卿吉,张福斌.挡水墙设计及施工应注意的几个问题 [J].煤矿安全,2001,32(9):32-34.
Long Qingji,Zhang Fubin.Some problems to be noticed in design and construction of water retaining wall [J].Safety in Coal Mines,2001,32(9):32-34.

[14] 齐蓬勃.煤层中挡水墙施工工艺 [J].煤矿开采,2008,13(8):22-24.
Qi Pengbo.Construction technique of water-retaining wall in coal seam [J].Coal Mining Technology,2008,13(8):22-24.

[15] 袁　航,石　辉.矿井水资源利用的研究进展与展望 [J].水资源与水工程学报,2008,19(5):50-57.
Yuan Hang,Shi Hui.Research progress and prospect of coal mine water resource utilization [J].Journal of Water Resources and Water Engineering,2008,19(5):50-57.

[16] 何绪文,李福勤.煤矿矿井水处理新技术及发展趋势 [J].煤炭科学技术,2010,38(11):17-22.
He Xuwen,Li Fuqin.New technology and development tendency of mine water treatment [J].Coal Science and Technology,2010,38(11):17-22.

[17] 武　强.我国矿井水防控与资源化利用的研究进展、问题和展望 [J].煤炭学报,2014,39(5):795-805.
Wu Qiang.Progress,problems and prospects of prevention and control technology of mine water and reutilization in China [J].Journal of China Coal Society,2014,39(5):795-805.

[18] 范立民,马雄德,冀瑞君.西部生态脆弱矿区保水采煤研究与实践进展 [J].煤炭学报,2015,40(8):1711-1717.
Fan Limin,Ma Xiongde,Ji Ruijun.The progress of research and engineering practice of water-preserved coal mining in western eco-environment frangible area [J].Journal of China Coal Society,2015,40(8):1711-1717.

[19] 莫　樊,郁钟铭,吴桂义.煤矿矿井水资源化及综合利用 [J].煤炭工程,2009(6):20-23.
Mo Fan,Yu Zhongming,Wu Guiyi.Mine water resources and comprehensive utilization of coal mine [J].Coal Engineering,2009(6):20-23.

(上接第 181 页)

科学技术,2012,40(10):65-68.
Zhao Jin,Zhang Suian.Study on pressure drop transmission law of coal bed methane drainage reservoir stratum [J].Coal Science and Technology,2012,40(10):65-68.

[20] 樊　彬,秦　义,崔金榜,等.压降速度对煤层气井产量的影响分析 [J].中国煤层气,2010,7(6):20-23.
Fan Bin,Qin Yi,Cui Jinbang,*et al*.Analysis of the influence of pressure drop velocity on CBM well production [J].China Coalbed Methane,2010,7(6):20-23.

[21] 康永尚,邓　泽,刘洪林.我国煤层气井排采工作制度探讨 [J].天然气地球科学,2008,19(3):423-426.
Kang Yongshang,Deng Ze,Liu Honglin.Discussion about the CBM well draining technology [J].Natural Gas Geoscience,2008,19(3):423-426.

[22] 刘世奇,桑树勋,李梦溪,等.沁水盆地南部煤层气井网排采压降漏斗的控制因素 [J].中国矿业大学学报,2012,41(6):943-950.
Liu Shiqi,Sang Shuxun,Li Mengxi,*et al*.Control factor of coalbed methane well depressurization cone under drainage well network in southern Qinshui Basin [J].Journal of China University of Mining & Technology,2012,41(6):943-950.

[23] 王兴隆,赵益忠,吴　桐.沁南高煤阶煤层气井排采机理与生产特征 [J].煤田地质与勘探,2009,37(5):19-22.
Wang Xinglong,Zhao Yizhong,Wu Tong.Analysis on typical production mechanism and characteristics of coalbed methane wells for high rank coal in south Qinshui Basin [J].Coal Geology & Exploration,2009,37(5):19-22.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net