

文章编号: 1001-1986(2020)03-0093-07

# 六盘水地区煤层气井合层排采实践与认识

刘江<sup>1</sup>, 桑树勋<sup>1</sup>, 周效志<sup>1</sup>, 毕彩琴<sup>2</sup>, 金军<sup>3</sup>, 单衍胜<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116; 2. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100089; 3. 贵州省煤田地质局, 贵州 贵阳 550009)

**摘要:** 为了提高煤层气井合层排采效果, 需要合理划分排采阶段并制定与之对应的管控措施。基于贵州六盘水地区以往煤层气勘查与试采工作, 分析该区二叠系龙潭组煤层气地质条件和煤储层特征, 对比分析两口煤层气井合层排采管控制度及其效果。结果表明: 研究区具有煤层层数多、单层厚度薄、含气量高、储层压力大、煤层渗透率低、局部构造煤发育等煤层气地质特点, 使煤层气井排采过程中压敏效应和贾敏效应较明显, 储层伤害较严重, 煤层气井高产时间较短, 产气量较低。应该优选厚度较大、含气性好的原生结构煤层或煤组进行射孔压裂。在合层排采过程中, 对排采阶段进行合理划分, 并根据排采阶段控制流压、套压、流压降幅、套压降幅和液面高度等参数, 可有效减小压敏效应、贾敏效应、速敏效应等储层伤害。合理的合层排采管控有助于实现控制产气量稳定平稳上升、煤层气井长期稳产与高产的目标。

**关键词:** 煤层气; 多层段开发; 合层排采; 排采控制; 贵州六盘水

**中图分类号:** P618.13 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2020.03.014



移动阅读

## Practice and understanding of multi-layer drainage of CBM wells in Liupanshui area

LIU Jiang<sup>1</sup>, SANG Shuxun<sup>1</sup>, ZHOU Xiaozhi<sup>1</sup>, BI Caiqin<sup>2</sup>, JIN Jun<sup>3</sup>, SHAN Yansheng<sup>2</sup>

(1. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. Oil and Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100089, China; 3. Coal Geological Bureau of Guizhou, Guiyang 550009, China)

**Abstract:** To improve the effect of drainage and extraction of coalbed methane wells, it is necessary to divide the drainage and production stages reasonably and formulate corresponding control measures. Based on the previous exploration and trial production of coalbed methane in Liupanshui area, this paper analyzed the geological characteristics of coalbed methane and the development characteristics of coal reservoirs in the area, and studied the drainage effect of the combined layers of two wells comparatively. The research shows that the area has several basic characteristics, including many coal seams, thin single-layer thickness, high gas content, high reservoir pressure, low coal seam permeability, and local developed tectonic coal, which leads to the pressure-sensitive effect and obvious Jiamin effect in the drainage process, so it caused serious reservoir damage, short production time and low production of coalbed gas wells. Therefore, it is preferable to perform perforating fracturing for a native structure with excellent media and good gas-bearing properties. During the combined mining and drainage process, the phases of combined mining and drainage was clearly divided, and it was pointed out that according to the drainage and mining stage, the flow pressure, casing pressure, flow pressure drop, sleeve pressure drop and liquid height should be controlled to reduce reservoir damage such as pressure sensitivity effect, Jiamin benefit, and speed sensitivity effect; The steady rise in gas production should be controlled, and long-term stable production and high production of coalbed gas wells should be achieved.

收稿日期: 2019-12-26; 修回日期: 2020-04-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFB0605600); 中国地质调查局地质调查二级项目(DD20160186); 贵州省地勘基金项目(208-9912-JBN-UTS0)

**Foundation item:** National Key R&D Program of China(2018YFB0605600); Geological Survey Project of China Geological Survey(DD20160186); Geological Exploration Foundation of Guizhou Province(208-9912-JBN-UTS0)

第一作者简介: 刘江, 1995年生, 男, 湖北十堰人, 硕士研究生, 从事煤层气地质与开发工艺研究与应用工作. E-mail: jiangcumt@yeah.net

通信作者: 桑树勋, 1967年生, 男, 河北唐山人, 博士, 教授, 博士生导师, 从事煤层气地质与开发技术研究工作. E-mail: shxsang@cumt.edu.cn

引用格式: 刘江, 桑树勋, 周效志, 等. 六盘水地区煤层气井合层排采实践与认识[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(3): 93-99.

LIU Jiang, SANG Shuxun, ZHOU Xiaozhi, et al. Practice and understanding of multi-layer drainage of CBM wells in Liupanshui area[J]. Coal Geology & Exploration, 2020, 48(3): 93-99.

**Keywords:** CBM; development of multi-layer section; multi-layer drainage; drainage control; Liupanshui area in Guizhou

我国煤层气开发技术不断取得进展，为降低开发成本、提高单井产量，煤层气合层排采技术得到应用。合层排采过程中流压和日产水量影响总产气量<sup>[1]</sup>，合层排采过程中要控制动液面和排采速率，降低储层伤害<sup>[2]</sup>；“低速-低套-阶梯式降压”的排采控制措施，可提高单井排采效益<sup>[3]</sup>。贵州六盘水地区煤储层总体具有低渗、高压、煤体结构复杂、弱含水的地质特征<sup>[1]</sup>，合层排采过程中储层伤害问题未能有效解决，排采阶段划分与排采控制措施不明确、不合理，导致煤层气井出现高产时间短、效益低等问题。基于此，笔者根据六盘水地区煤层气井开发实践和 2 口排采井的实际资料，基于研究区煤储层地质条件及煤层气井排采动态，分析煤层气产量和排采效果的影响因素，探讨不同排采阶段的排采控压技术措施，以期提高煤层气开发效果。

### 1 煤层气地质条件与煤层气井排采现状

#### 1.1 煤层气地质条件

贵州省六盘水地区区域地质构造以隔档式褶皱为主，正断层较发育<sup>[4-5]</sup>，可采煤层常沿背斜轴或翼部分布(图 1)，且东西差异较大，地质条件复杂。研

究区内出露的最老地层为志留系中统马龙群，最新地层为第四系，缺失上志留统、下泥盆统、上侏罗统及白垩系，大面积出露地层为石炭系、二叠系及三叠系<sup>[5]</sup>。含煤地层主要为上二叠统龙潭组，煤层埋深 500~1000 m，可采煤层 9~84 层<sup>[6]</sup>，煤层总厚 31.1~54.2 m(图 2)，煤储层具有单煤层厚度小、渗透率低、储层压力大的总体特征(表 1)。区内龙潭组以裂隙充水含水层为主，含水性弱，下伏峨眉山玄武岩具有良好的隔水性，含煤地层与下二叠统茅口组灰岩岩溶含水层之间水力联系弱<sup>[7]</sup>。

区内上二叠统龙潭组煤层宏观煤岩类型以半暗煤为主，半亮煤、光亮煤次之；显微煤岩类型主要为微暗煤、微镜惰煤、微亮煤和微三合煤；显微煤岩组分中，镜质组体积分数为 49.2%~93.7%，惰质组为 8.3%~31.1%，壳质组 0~22.7%；煤的镜质体最大反射率( $R_{max}$ )介于 1.59%~2.03%<sup>[8]</sup>，煤的变质程度一般由西向东呈带状逐渐增高。煤体结构以条带状、线理状为主，次为均一状等；煤的构造多为块状、粒状、鳞片状，块状煤内生裂隙发育且易碎，构造煤相对发育<sup>[9-10]</sup>。煤的总有机碳质量分数为 71.76%~92.09%；原煤干燥基灰分质量分数为 2.06%~41.08%，原煤干燥无灰基挥发分产率为 5.43%~45.87%<sup>[11]</sup>，多数赋煤向斜 1 000 m 以浅煤层平均含气量在 13 m<sup>3</sup>/t 以上，部分煤层含气量超过 30 m<sup>3</sup>/t，煤层含气饱和度普遍高于 80%，部分煤层含气饱和度达到 150%。

#### 1.2 研究区煤层气井开发现状

据不完全统计，目前六盘水地区开发的煤层气参数井与试验井共有 68 口，大多数煤层气井采用的是单层开采方式，开采效率低下，近年来随着合层排采技术的使用，煤层气井开采效率大幅上升，部分参数井日产气量能够达到 3 000 m<sup>3</sup>/d<sup>[12-14]</sup>，但受到复杂的地质条件和煤储层条件的影响，总体产气效果不佳。研究区 Th1 井和 Th2 井作为合层排采的先导性试验井(图 1)，对合层排采效果评价及技术分析具有借鉴意义。两口井均位于土城向斜，井间距 200 m，井深均超过 900 m，主要钻遇层位为下三叠统飞仙关组、上二叠统长兴组、龙潭组和玄武岩组，钻遇 22 层煤(图 2)。Th1 为三段压裂方式，第一段：5、6、9 号煤层组，累计煤层厚度 11 m；第二段：10、12、13 号+15 号煤层组，累计煤层厚度 12 m；第三段：16、29<sub>1</sub>、29<sub>2</sub>、29<sub>3</sub> 号煤层组，累计煤层厚度 9 m。Th2 井也是三段压裂方式，第一段：1+3、

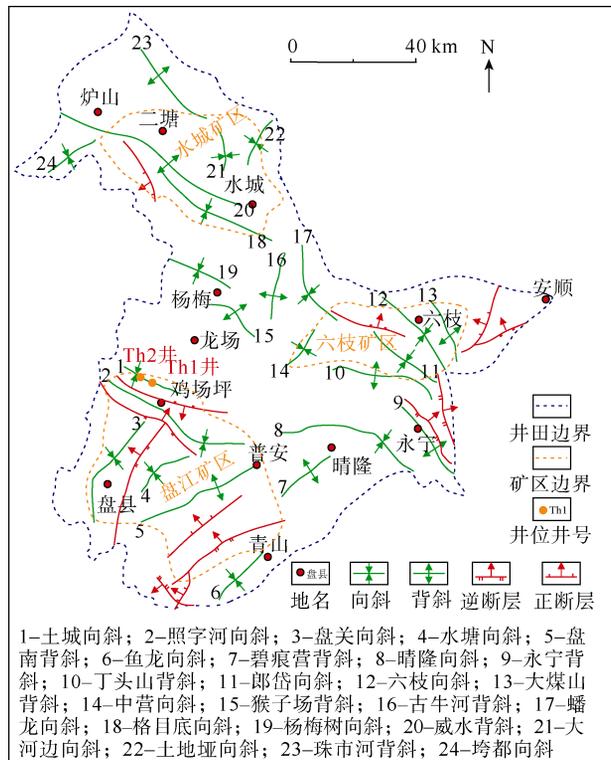


图 1 六盘水地区构造纲要<sup>[6]</sup>

Fig.1 Tectonic outline of Liupanshui area

表 1 六盘水地区局部构造储层特征  
Table 1 Reservoir properties of local tectonics in Liupanshui area

矿区	构造单元	储层物性							煤体结构
		煤层 层数	累计煤层 厚度/m	储层压 力/MPa	压力梯度/ (MPa·hm <sup>-1</sup> )	含气量/ (m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	含气 饱和度/%	渗透率/ 10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup>	
六枝 矿区	六枝向斜	10~33	14.80	5.3~8.1	0.89~1.21	7.3~18.2	74~153	0.025~2.45	碎裂煤、糜棱煤
	郎岱向斜	15~30	14.62	5.2~7.4	0.79~1.05	8.3~17.7	65~131	0.012~0.92	
盘江 矿区	盘关向斜	1~29	16.25	8.3~11.2	0.93~1.32	7.4~25.6	92~133	0.026~2.10	原生结构煤
水城 矿区	格目底向斜	9~22	11.56	4.8~9.6	1.02~1.35	10.3~28.5	87~125	0.07~3.50	原生结构煤、碎裂煤

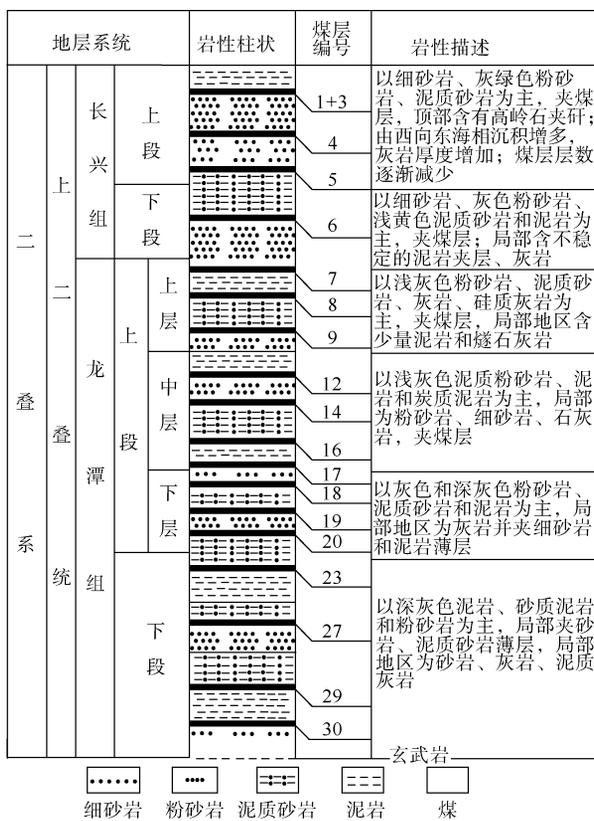


图 2 六盘水地区上二叠统地层综合柱状<sup>[5]</sup>

Fig.2 Comprehensive histogram of the upper Permian strata in Liupanshui area<sup>[5]</sup>

5号煤层组, 累计煤层厚度 10 m; 第二段: 9、10、11号煤层组, 累计煤层厚度 13 m; 第三段: 13、15、16号煤层组, 累计煤层厚度 11 m。

## 2 煤层气井合层排采效果评价

### 2.1 排采曲线分析

Th1 和 Th2 井目标煤储层特征相近, 排采时间均超过 500 d, 并且在前期均获得较高产气量, 其中, Th1 井最高日产气量 1 200 m<sup>3</sup>(图 3), 但其高产时间共有 120 d; 而 Th2 井最高日产气量达到 2 850 m<sup>3</sup>(图 4), 但其高产时间明显低于 Th1 井。

根据两口井排采曲线分析, 排采控制制度不同, 是造成排采效果具有明显差异的主要原因。由于较高的储层压力和含气饱和度, 两口井套压出现时间偏早, Th1 井在套压显现后液柱高度以 16 m/d 的速度迅速下降, 在第 39 天降到最低值 14.98 m, 与此同时, 套压也上升到最大值 3.71 MPa, 较高的憋压上限与过快的动液面下降速率导致煤储层有效应力迅速增加, 产生较为严重的应力敏感性伤害<sup>[13]</sup>, 严重影响产气效果。在控压增产阶段后期, Th1 井由于产气量、套压和流压的骤变产生了严重的储层激荡<sup>[14]</sup>, 大量煤粉运移到近井地带, 最终导致卡泵停机检修, 进一步造成储层伤害。Th2 井在套压显现后, 液柱高度下降速度明显低于 Th1 井, 憋压阶段套压最大值仅为 2.8 MPa, 动液面高度保持在 170 m, 应力敏感性伤害较小, 所以其产气量最大值高于 Th1 井。但由于 Th2 井在排水降压阶段日产水量过低(5 m<sup>3</sup> 以下), 压裂液反排率极低, 在控压增产阶段, 流压降幅与套压降幅过大导致产水量与产气量的剧烈波动, 出现了短暂的高产峰值(图 4), 贾敏效应严重, 产气效果不佳。

### 2.2 合层排采效果影响因素

a. 煤层发育特征 六盘水地区上二叠统薄至中厚煤层群发育, 煤层层数多、总厚度大, 但单煤层厚度小, 煤层气资源密度低, 煤层间距变化大、煤层不稳定, 这是影响合层排采效果的重要因素<sup>[15-16]</sup>。由于单煤层厚度小且存在较大差异, 各煤层含气量、供液能力也具有较大差异, 难以控制单产层的排采强度。排采过程中, 产层间距过大和煤层稳定性较差, 会加重储层伤害, 影响压裂液的返排, 影响煤层气并产气量。

b. 煤储层含气性 六盘水地区部分煤层具有高含气量、高含气饱和度的特点, 煤储层中存在大量的游离气, 煤层气井见气后产气量会迅速上升, 液面高度快速下降, 容易暴露上部产层, 产生较为

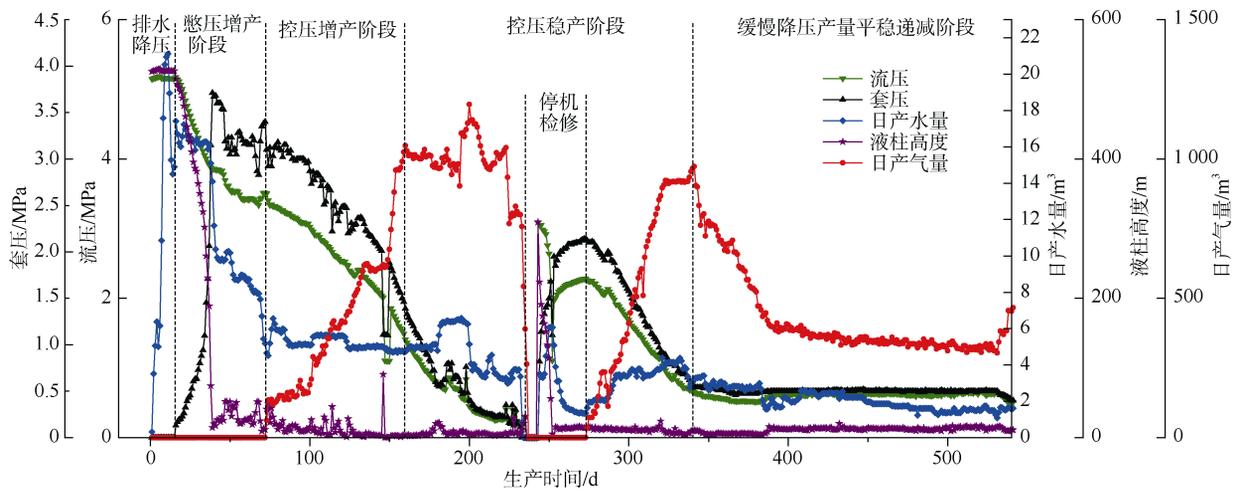


图 3 六盘水地区 Th1 井排采曲线

Fig.3 Drainage curves of well Th1 in Liupanshui area

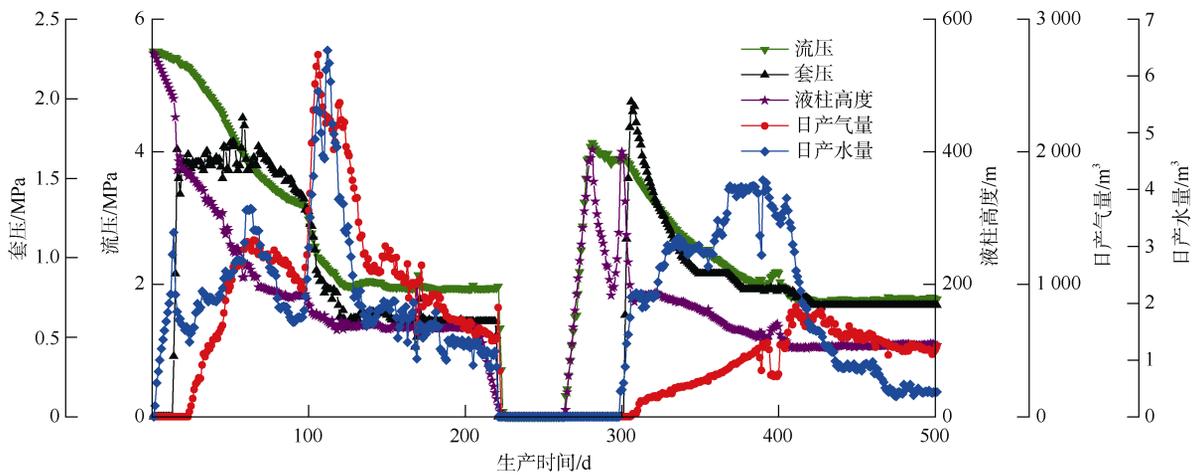


图 4 六盘水地区 Th2 井排采曲线

Fig.4 Drainage curves of well Th2 in Liupanshui area

严重的储层伤害，对上部煤层渗透率产生不可恢复的影响<sup>[17-18]</sup>。产气初期大量的游离气会冲刷流体运移通道，产生较多的煤粉，堵塞排采设备，影响产气效果。在产气中期，随着煤层气大量解吸、运移，煤层中含气饱和度突变，产气量与产水量容易发生剧烈波动，产生贾敏效应，影响煤层气井的高产产量与高产时间。

**c. 煤储层渗透率与煤体结构** 渗透率是衡量煤层渗流能力的主要参数，在煤层气资源条件明确的条件下，煤储层渗透率是决定煤层气开发成败的关键因素<sup>[19-20]</sup>。六盘水地区煤储层渗透率为 $(0.012\sim 3.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，属于中低等渗透率煤储层(表 1)。较低的渗透率限制了压降漏斗的有效传播，降低了煤层气井的井控范围，影响产气量。为了增加煤层渗透率，必须进行储层改造，而大量研究表明，煤体结构不仅影响煤层的渗透率，也是制约储层改造技术的重要因素。在煤层气开采过程中应该尽量选择

煤体结构完整，煤体强度高的原生结构或碎裂结构煤层(组)进行合层排采。

**d. 合层排采的控制措施** 合层排采控制措施是决定煤层气井能否长期高产与稳产的重要因素。排采初期，随着液体的排出，地层压力降低，有效应力增加，煤层裂缝容易闭合，导致渗透率降低，所以，必须控制排采初期产水量与流压降幅，减小压敏效应和贾敏效应的影响；排采中期，应控制流压降幅与套压降幅，使产气量稳定上升，避免出现剧烈波动和短暂的高峰产气量(图 4)；排采后期，需要稳定流压与套压，从而降低产气量衰减速度，延长产气时间。

### 3 煤层气井合层排采技术

#### 3.1 分层控压合层排采技术原则

六盘水地区煤层单层薄、层数多，生产井段长，且该含煤地层上覆致密的砂岩与泥岩，不存在较厚



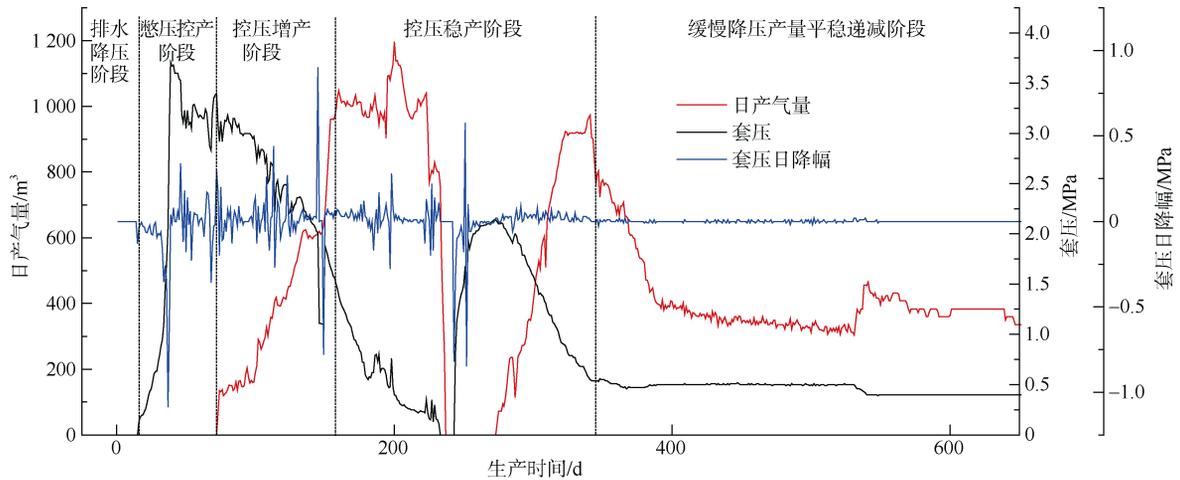


图 6 六盘水地区 Th1 井套压日降幅与产气量关系

Fig.6 Relationship between daily flow pressure drop and gas production of well Th1 in Liupanshui area

控制在 0.02 MPa/d 以内(图 5), 避免产气量、流压和套压的大幅波动而造成储层伤害。

**d. 控压稳产阶段** 此阶段近井地带是以水为主的稳定两相流, 需要控制井底流压和套压, 延长高产时间。随着液面高度下降, 上部产层开始暴露, 煤层的排液能力降低(图 3), 流体压力几乎全部由气体承担, 容易再次产生压敏效应。此阶段, 套压降幅应小于 0.2 MPa/d, 套压最小值大于 0.8 MPa(图 6), 维持较高的流体压力, 确保液面高度始终大于主要产气煤层深度。产气过程中避免产气量和产水量剧烈波动而产生短暂的产气量峰值(图 4), 流压降幅低于 0.05 MPa/d(图 5), 维持液面高度和产气量的相对稳定, 实现长期稳产与高产。

**e. 缓慢降压产量平稳递减阶段** 随着煤层气不断解吸, 近井地带解吸区域不断扩大, 有效解吸范围越来越小, 需要控制流压和套压减小产气量衰减速度。随着井底流压逐渐降低到 1.2 MPa 以下, 部分煤层暴露在液面以上, 煤层气井产气量会逐渐衰减到工业气流以下。产气量降低过程中, 需要控制流压降幅低于 0.01 MPa/d, 套压降幅低于 0.005 MPa/d, 当产气量低于 500 m<sup>3</sup>/d 后, 维持流压 0.55 MPa, 套压 0.5 MPa, 释放储层产气潜力。

#### 4 结论

**a.** 六盘水地区煤层以薄-中厚煤层群为主, 单层厚度小, 煤层气资源密度低, 适宜进行合层开发, 但排采过程中煤储层受弱含水、高储层压力、低渗透率的影响, 煤层气井见套压早、压裂液反排率低、产气量波动幅度大、储层伤害严重, 容易造成产气效果欠佳。

**b.** 合层排采过程中优选性质接近、厚度适中、

含气量高的原生结构与碎裂结构煤层进行合采, 避开糜棱煤和碎粒煤等构造煤层段。煤层间距一般控制在 15 m 以下。

**c.** 研究区煤层气井合层排采可划分为排水降压、憋压控产、控压增产、控压稳产、缓慢降压产量平稳递减 5 个阶段。排水降压阶段流压降幅应小于 0.05 MPa/d, 稳定排液, 减小压敏效应; 憋压控产阶段要控制套压上限和液面高度, 避免上部产层过早暴露; 控压增产阶段避免产气量、流压和套压的大幅波动, 阶梯式降低套压, 减弱储层伤害, 使产气量稳定上升; 控压稳产阶段流压降幅低于 0.05 MPa/d, 套压降幅应小于 0.2 MPa, 套压最小值大于 0.8 MPa, 控制套压维持流体压力, 控制液面高度, 实现长期稳产与高产; 缓慢降压产量平稳递减阶段缓慢降低流压与套压, 减缓产气衰减速度, 释放储层产气潜力。

请听作者语音介绍创新技术成果  
等信息, 欢迎与作者进行交流



OSID 码

#### 参考文献(References)

[1] 黄华州, 桑树勋, 苗耀, 等. 煤层气井合层排采控制方法[J]. 煤炭学报, 2014, 39(增刊 2): 422-431.  
HUANG Huazhou, SANG Shuxun, MIAO Yao, et al. Drainage control of single vertical well with multi-hydraulic fracturing layers for coalbed methane development[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(S2): 422-431.

[2] 吴国代, 郭东鑫, 程礼军, 等. 松藻矿区多煤层合采储层层降特征及启示[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(5): 123-128.  
WU Guodai, GUO Dongxin, CHENG Lijun, et al. Characteristics and revelation of pressure drop of reservoir during combined CBM production of multi-coal seams in Songzao mining area[J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(5): 123-128.

- [3] 徐宏杰. 贵州省薄-中厚煤层群煤层气开发地质理论与技术[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2012.  
XU Hongjie. Geological theory and technology for coalbed methane development with thin and medium coal seam zones in Guizhou[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2012.
- [4] 周培明, 金军, 罗开艳, 等. 黔西松河井田多层叠置独立含煤层气系统[J]. 煤田地质与勘探, 2017, 45(5): 66-69.  
ZHOU Peiming, JIN Jun, LUO Kaiyan, et al. Unattached multiple layer superimposed coalbed methane system in Songhe mine, west Guizhou[J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(5): 66-69.
- [5] 陈本金, 温春齐, 曹盛远, 等. 贵州六盘水煤层气勘探开发有利目标区优选[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(3): 56-60.  
CHEN Benjin, WEN Chunqi, CAO Shengyuan, et al. Determination of favorable target areas of coalbed methane exploration and production in Liupanshui, Guizhou[J]. Journal of Southwest Petroleum University(Science and Technology Edition), 2010, 32(3): 56-60.
- [6] 蔡佳丽, 汤达祯, 许浩, 等. 黔西上二叠统煤的孔隙特征及其控制因素[J]. 煤田地质与勘探, 2011, 39(5): 6-10.  
CAI Jiali, TANG Dazhen, XU Hao, et al. Pore characteristics and controlling factors of Upper Permian coal in western Guizhou[J]. Coal Geology & Exploration, 2011, 39(5): 6-10.
- [7] 韩文龙, 王延斌, 刘度, 等. 煤层气直井产气曲线特征及其与储层条件匹配性[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(3): 97-104.  
HAN Wenlong, WANG Yanbin, LIU Du, et al. The matching of gas production curve characteristic and reservoir conditions in vertical coalbed methane wells[J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(3): 97-104.
- [8] 易同生, 李新民. 贵州省六盘水煤田盘关向斜煤层气开发地质评价[J]. 中国煤田地质, 2006, 18(2): 30-32.  
YI Tongsheng, LI Xinmin. Development geology assessment on coalbed methane in Panguan syncline of Liupanshui coal field[J]. Coal Geology of China, 2006, 18(2): 30-32.
- [9] 易同生, 高为, 周培明. 贵州省煤层气资源特征及开发技术[J]. 中国煤炭地质, 2018, 30(6): 35-40.  
YI Tongsheng, GAO Wei, ZHOU Peiming. CBM resource features and exploitation technology in Guizhou Province[J]. Coal Geology of China, 2018, 30(6): 35-40.
- [10] 易同生, 周效志, 金军. 黔西松河井田龙潭煤系煤层气-致密气成藏特征及共探共采技术[J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 212-220.  
YI Tongsheng, ZHOU Xiaozhi, JIN Jun. Reservoir forming characteristics and co-exploration and concurrent production technology of Longtan coal measure coalbed methane & tight gas in Songhe field, western Guizhou[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(1): 212-220.
- [11] 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.
- [12] YANG Zhaobiao, QIN Yong, YI Tongsheng, et al. Analysis of multi-coalbed CBM development methods in western Guizhou, China[J]. Geosciences Journal, 2019, 23(2): 315-325.
- [13] 姜杉钰, 康永尚, 杨通保, 等. 云南恩洪煤层气区块单井多煤层合采方式探讨[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(2): 80-89.  
JIANG Shanyu, KANG Yongshang, YANG Tongbao, et al. Combined CBM drainage of multiple seams by single well in Enhong block, Yunnan Province[J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(2): 80-89.
- [14] 杨建超, 李贵红, 刘钰辉, 等. 晋城地区煤层气井多层合采效果评价[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(6): 26-31.  
YANG Jianchao, LI Guihong, LIU Yuhui, et al. Evaluation of coalbed methane drainage effect for multi-target seams in Jincheng region[J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(6): 26-31.
- [15] 徐晓乾, 孟应芳, 段正鹏, 等. 贵州省煤层气(瓦斯)开发适用性技术分析[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(6): 8-13.  
XU Xiaoqian, MENG Yingfang, DUAN Zhengpeng, et al. Analysis of suitable development technology of CBM(gas) in Guizhou[J]. Coal Geology & Exploration, 2019, 47(6): 8-13.
- [16] 侯登才, 周效志, 黄华州. 黔西土城区块煤层气井合层排采工艺研究[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(2): 78-83.  
HOU Dengcai, ZHOU Xiaozhi, HUANG Huazhou. Study on gas drainage technique for combined seam with coalbed methane well in Tucheng block of west Guizhou[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(2): 78-83.
- [17] 李国彪, 李国富. 煤层气井单层与合层排采异同点及主控因素[J]. 煤炭学报, 2012, 37(8): 1354-1358.  
LI Guobiao, LI Guofu. Study on the differences and main controlling factors of the coalbed methane wells between single layer and multi-layer drainage[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(8): 1354-1358.
- [18] 姜玮. 多煤层区煤层气单井压裂/排采模式研究: 以纳纳煤田为例[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2015.  
JIANG Wei. Study on the CBM single wells fracturing/drainage model of multi-coalbeds area in Zhina coal field[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2015.
- [19] JU Wei, YANG Zhaobiao, QIN Yong, et al. Characteristics of in-situ stress state and prediction of the permeability in the Upper Permian coalbed methane reservoir, western Guizhou region, SW China[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2018, 165: 199-211.
- [20] LIU Huihu, SANG Shuxun, XUE Junhua, et al. Evolution and geochemical characteristics of gas phase fluid and its response to inter-well interference during multi-well drainage of coalbed methane[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2017, 162: 491-501.