

引用格式:葛静涛,姚荣昌,马继胜.延川南煤层气井无损智能间抽技术研究[J].油气藏评价与开发,2020,10(4):97-100.

GE J T, YAO R C, MA J S. Research on non-destructive intelligent inter-pumping technology for CBM wells in South Yanchuan Block [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2020, 10(4): 97-100.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2020.04.015

## 延川南煤层气井无损智能间抽技术研究

葛静涛,姚荣昌,马继胜

(中国石化华东油气分公司临汾煤层气分公司,山西 临汾 041000)

**摘要:**延川南煤层气田经过数年的开发后,部分井已进入递减期,大部分井日产液量逐渐减少,面临间抽对产能和生产管理带来的影响,通过对煤层气渗流机理的研究,对于不同井况的低产液井采用无损智能间抽技术,综合考虑井下压力计、市电的峰谷电价、井下口袋的深度、远程启动抽油机安全风险等因素,在不影响气井稳产的情况下实施无人值守的间抽,减轻了排采井管理强度,提高了精细管理的效率,有一定的推广价值。

**关键词:**煤层气;无损;智能;间抽;可编程控制器(PLC)

中图分类号:TE37

文献标识码:A

### Research on non-destructive intelligent inter-pumping technology for CBM wells in South Yanchuan Block

GE Jingtao, YAO Rongchang, MA Jisheng

(Linfen CBM Company, Sinopec East China Oil and Gas Company, Linfen, Shanxi 041000, China)

**Abstract:** After years of development, some wells in South Yanchuan coalbed methane field have entered the decline period, and the daily liquid production of most wells has gradually decreased. Therefore, it is about to face the impact of intermittent pumping on productivity and production management. By studying the seepage mechanism of CBM, the non-destructive intelligent intermittent pumping technology is adopted for low-yield liquid wells with different well conditions. Considering such factors as downhole pressure gauge, peak and valley electricity price of municipal electricity, depth of downhole pocket, safety risk of remote pumping unit and so on, the implementation of unattended intermittent pumping without affecting the stable production of gas wells reduces the intensity of drainage and production well management, improves the efficiency of fine management, and has higher popularization value.

**Key words:** CBM, non-destructive, intelligent, intermittent pumping, PLC

延川南煤层气田作为中国石化唯一的煤层气田,是目前国内开发深度最深的煤层气田,在经历5 a的勘探评价和开发准备后,于2013年启动 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 产能建设。延川南煤层气井开发进入产气阶段后,目前大部分井日产液量逐渐减少,其中有90%的井进入供液不足期,最低冲次0.2次/min,不能满足煤层气“连续、缓慢、稳定、长期”排采要求,且泵效明显下降,导致活塞在泵筒里干磨,容易损坏泵,同时检泵周期缩短,增加作业费用;泵效降低还导致电能的浪费,增加煤层气井排采费用<sup>[1]</sup>。

### 1 智能间抽技术现状及创新点

为了解决抽油机在低渗透油田运行时因供液不足引起的空抽、干磨等一系列问题,间抽技术屡有应用。2003年3月,美国得克萨斯电子资源公司发表了“抽空控制已经是一个成熟的技术”,标志着油井采用时钟和电子定时器控制间抽技术已经到达了成熟的阶段。由于煤层气开采的特殊性,现有的定时间抽技术在煤层气开采中的应用受到限制,定时间

收稿日期:2019-04-10。

第一作者简介:葛静涛(1980—),男,硕士,工程师,从事煤层气开发研究。通讯地址:山西省临汾市尧都区华州路九星佳苑,邮政编码:041000。E-mail:gejt@163.com

抽对煤层气的解吸、渗流会产生很大的影响。2016年,在夏店区块对动液面在煤层以下的井采用了间抽技术<sup>[2]</sup>,提高了部分井的机采效率,但对于动液面在煤层气以上需要控流压生产的井并没有应用先例。

延川南区块目前供液不足的井占总井数的49.78%,而在这些供液不足的井中几乎均采用控套压稳流压生产,采用低冲次,日产液控制在 $1\text{ m}^3$ 以下,这部分井常出现“干磨”泵、偏磨严重、产液速度过慢、煤粉无法携带出井筒等问题,因此,研究不影响地层压力扰动的间抽方式是解决此类问题的方法之一<sup>[3]</sup>。

针对延川南深煤层的开发特点,严格遵守煤层气开采八字方针“缓慢、稳定、长期、持续”<sup>[4-5]</sup>,从煤层气的渗流机理入手,利用井下压力计、井场视频监控、井口压力传感器、抽油机变频器等自动化采集和控制设备,综合考虑设备运行安全、井下泵筒防卡、市电峰谷计价等因素,在减小地层压力波动的前提下实现智能间抽。

## 2 定时间抽对煤层气生产的影响因素分析

延川南煤层气田开采的是二叠系山西组2号煤层,构造简单、地层平缓,谭坪构造带储层埋深 $800\sim 1\,000\text{ m}$ ,万宝山构造带储层埋深 $1\,000\sim 1\,500\text{ m}$ ,煤相以中位泥炭森林沼泽相为主<sup>[6-7]</sup>,宏观煤体结构以原生—碎裂煤为主,含气量平均 $12\text{ m}^3/\text{t}$ ,孔隙度 $3.0\%\sim 6.7\%$ ,渗透率 $(0.01\sim 0.48)\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ ,压力系数 $0.5\sim 0.8$ ,生物碎屑含量 $15\%\sim 30\%$ ,水动力条件为较弱径流—高压滞留区,属低孔、低渗、低压煤层气藏<sup>[8]</sup>。

煤层气的排采是通过排出地层水,降低地层孔隙压力,实现井筒近井地带与地层远端压力差变大,在保持地层压差处于动态平衡状态时,地层水与煤层气在储层中形成解吸—渗流—采出—降压—解吸两相流的动态循环。保持这种动态循环从而保障煤层气的产能<sup>[9]</sup>。而常规的定时间抽在不适当的时刻停抽时会造成排采中断,地层水停止渗流,煤储层孔隙度、渗透率等物性参数的稳定变化受到抑制,导致压力扩散波及范围缩小,此外还可能造成降压漏斗不能够顺利扩展,如果恢复排采,则需要较长的排水时间,导致产气效率降低。地层水极易将煤层裂隙

填充,从而导致气流阻隔,地层压力回升,煤层中甲烷被再次吸附<sup>[10]</sup>。

## 3 无损智能间抽原理

无损智能间抽即是在不伤害储层不影响产量的前提下实现间抽。通过分析间抽影响煤层气生产的因素可知,间抽在停抽和启抽时不影响或减少井底流压的波动,即可避免降压漏斗的扩展,防止产生速敏、气锁等影响<sup>[11]</sup>。结合延川南目前生产情况,可把需要间抽的井分为两类:一类是动液面已经降到煤层或煤层以下,地层供液不足,液面深度满足不了机抽的沉没度,需要间抽;另一类是液面在煤层以上,地层供液能力减小,气井进入递减期,为了提高采收率减缓递减速率,采用间抽控制液面下降速度,即控制流压生产。

对于第一类井,只需要把动液面控制在煤层以下,启抽时间设定为动液面在产层下底板时,停抽时间设定为动液面在泵的吸入口附近,柱塞停在上止点防止煤粉卡泵<sup>[12]</sup>。因停抽和启抽时,动液面均不与产层在同一个压力系统下,所以间抽不影响产层流体压力的变化,可实现无损间抽。

对于第二类井,据现场大量数据的收集和整理可知,在停井后压力并不是立刻传递到地层远端,而是在流压上升一段时间后,上升速率逐渐降低(图1)。由此可以判断,在停抽时,压降漏斗还在向远端扩散<sup>[13]</sup>,只是速率在不断减小,当井筒近井地带的压力变化率趋于水平时,压降漏斗才停止传递,如果在此时之前启抽,即可保证压降漏斗的扩散不停。

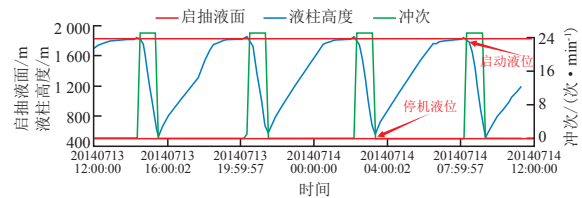


图1 间抽流压变化曲线

Fig. 1 Curve of flow pressure variation for intermittent pumping

## 4 无损智能间抽的实现

煤层气开采主要是控流压排水采气,无损智能间抽必须实时获取准确的井底流压或者动液面值。因此,建议对采用无损间抽的井,在泵筒的下方安装

井下压力计,在实时测得流压的同时也可以获得泵筒下方的井温,在发生“干磨”的现象时,泵筒温度会上升,此时可以通过井下压力计获取的井温变化来判断是否发生“干磨”的现象。

根据无损间抽的原理,井场采用PLC控制器控制抽油机的启停,为减轻前端控制器的运算量<sup>[14]</sup>,在延川南采用了OPC服务提取单井PLC数据,通过上位机服务器<sup>[15-17]</sup>。根据单井的井况统一运算,综合分析后,分别下达指令实现无损智能间抽<sup>[18]</sup>。

实现远程启动抽油机时,在抽油机运动部件区域内可能有人或动物,存在安全风险,因此,在抽油机周边设定电子围栏,通过摄像头 SDK 反馈的信息程序判断井场是否有人或动物<sup>[19]</sup>。在启抽前如发现电子围栏内有人和动物,必须停止启抽并喊话驱赶<sup>[20]</sup>。在确定电子围栏内没有人和动物时再启抽。

第一类煤层气井只需要控制动液面在煤层产层底板以下,结合市电峰谷电价选择在峰电价时停抽,再实时读取井下压力计的压力、温度,由上位机进行逻辑计算,控制流程如图2。动液面计算方法:

$$h=(p-p_2)\times 100-(h_1-h_0) \quad (1)$$

式中: $h$ 为动液面深度,m; $p$ 为井下压力计读数,MPa; $p_2$ 为套压,MPa; $h_1$ 为井下压力计下深(垂深),m; $h_0$ 为煤层下底板垂深,m。

第二类煤层气井启抽时间参考值主要是动液面的变化率,井下压力计的数据读取频次可达到1次/s,为了数据更为精确判断动液面的变化率,每10s取一次井下压力计数据,取前后5个数据点采用最小二乘法做曲线拟合<sup>[21]</sup>,即可得到动液面的变化曲线的线

性表达式,将线性表达式求一阶导数做为动液面的变化率 $K$ 值,当 $K=0$ 时即为动液面变化率趋近于水平,此时为启抽时间,控制流程如图3。

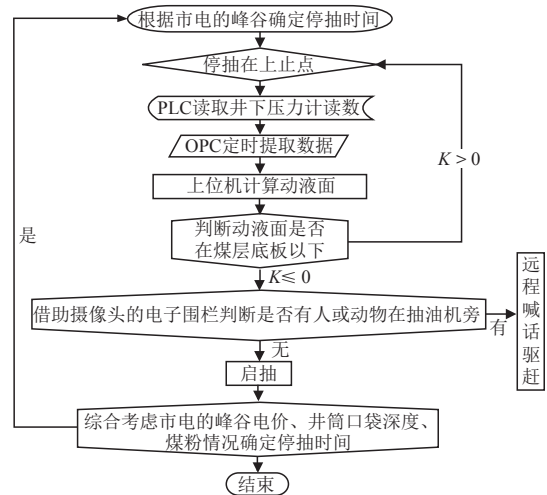


图3 第二类程序  
Fig. 3 Process type II

## 5 现场应用

延A井于2014年4月采用抽油机投产,煤层中深1431.30m,煤层厚4.6m,管式泵下入深度1452.2m,泵吸入口在煤层底板下两根油管处。该井在连续产气1a后出现供液不足,动液面降到煤层以下,井底流压为0MPa,产气量出现波动。在采用无损智能间抽后,每天工作约2h,产液约0.5m<sup>3</sup>,系统自动判断停抽和启抽时间,始终控制动液面在煤层以下,采用这种控制方法得到延A井排采综合曲线如图4。

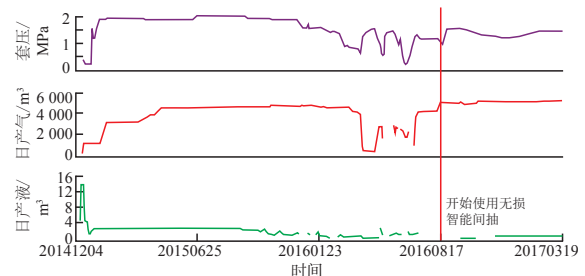


图4 延A井排采综合曲线  
Fig. 4 Comprehensive recovery curve of well-Yan-A

延B井于2014年9月投产,日产液在1m<sup>3</sup>以下,地层产液量小,见气后控套压生产,在采用无损间抽后,井底流压和套压均得到有效控制,日产气量进入稳产期。采用这种控制方法得到延B井排采综合曲线如图5。

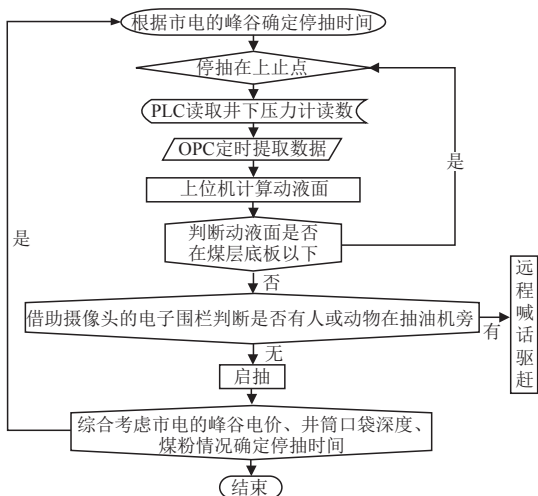


图2 第一类程序  
Fig. 2 Process type I

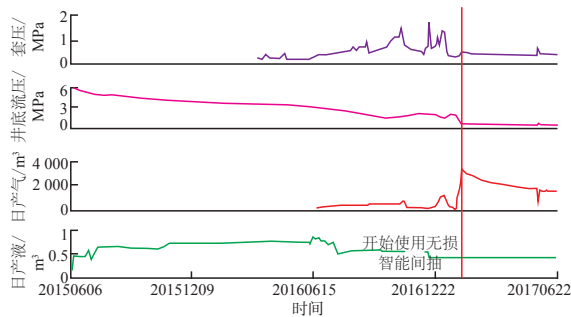


图5 延B井排采综合曲线

Fig. 5 Comprehensive recovery curve of well-Yan-B

## 6 结论

1) 利用井下压力计、井场视频监控、井口压力传感器、抽油机变频器等自动化采集和控制设备,综合考虑设备运行安全、井下泵筒防卡、市电峰谷计价等因素,针对延川南不同井况的低产液井,采用无损智能间抽技术,均取得较好效果。

2) 无损智能间抽技术避免了间抽对煤层气产能的影响,有效延长了延川南低产液井的稳产期,降能提效、延长设备使用寿命,提高了煤层气的采收率;

3) 该技术实现了煤层气间抽井无人值守定期巡井的管理方式,提高了排采井管理效率,为煤层气的效益开发奠定了坚实的基础。

### 参考文献

- [1] 李金海,苏现波,林晓英,等.煤层气井排采速率与产能的关系[J].煤炭学报,2009,34(3):377-378.  
LI J H, SU X B, LIN X Y, et al. Relationship between discharge rate and productivity of coalbed methane wells[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(3): 377-378.
- [2] 窦武,王冀川,李洪涛.夏店区块煤层气井智能间抽技术研究及应用[J].中国煤层气,2016,13(3):22-26.  
DOU W, WANG J C, LI H T. Research and application of intelligent interwell drainage technology for CBM wells in Xiadian Block[J]. China Coalbed Methane, 2016, 13(3): 22-26.
- [3] 王宁,王立志,周芊芊.延川南区块煤层气单井产能影响因素分析[J].油气藏评价与开发,2012,2(5):78-82.  
WANG N, WANG L Z, ZHOU Q Q. Influence factors on production of CBM wells in South Yanchuan block[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2012, 2(5): 78-82.
- [4] 孙茂远,黄盛初.煤层气开发利用手册[M].北京:煤炭工业出版社,1998.  
SUN M Y, HUANG S C. Manual of CBM development and utilization[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1998.
- [5] 苏现波,陈江峰,孙俊民,等.煤层气地质学与勘探开发[M].北京:科学出版社,2001.  
SU X B, CHEN J F, SUN J M, et al. Coalbed methane geology and exploration and development[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [6] 陈贞龙,王烽,陈刚,等.延川南深部煤层气富集规律及开发特征研究[J].煤炭科学技术,2018,46(6):80-84.  
CHEN Z L, WANG F, CHEN G, et al. Study on enrichment law and development features of deep coalbed methane in South Yanchuan Field[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(6): 80-84.

- [7] 余林.延川南地区水文地质条件及煤层气成藏[J].煤田地质与勘探,2017,45(4):70-71.  
YU L. Groundwater conditions and relative CBM accumulation feature in Yanchuannan area[J]. Coal Geology & Exploration, 2017, 45(4): 70-71.
- [8] 周琦忠.沁南樊庄区块煤层气井产气压力特征及其对产能的影响[D].徐州:中国矿业大学,2016.  
ZHOU Q Z. Characteristics of gas production pressure and its influence on productivity in Fanzhuang Block of Southern Qinshui Basin[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2016.
- [9] BUSTIIN R M, CLARKSON C R. Geological controls on coalbed methane reservoir capacity and gas content[J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 38(1-2): 3-26.
- [10] 司淑平,李文峰,马建民.煤层气井产气影响因素分析及对策[J].断块油气田,2001,8(5):50-53.  
SI S P, LI W F, MA J M. Influence factors of production capacity and strat[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2001, 8(5): 50-53.
- [11] 娄剑青.影响煤层气产量的因素分析[J].天然气工业,2004,24(4):62-64.  
LOU J Q. Factors of influencing production of coal-bed gas wells[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(4): 62-64.
- [12] 谢听翰,赵兴龙,陶文雯.延川南煤层气田万宝山构造带煤层气排采工艺及效果分析[J].石化技术,2017,24(11):103-105.  
XIE X H, ZHAO X L, TAO W W. Application and effect analysis of CBM extraction process in Wanbaoshan structural belt, South Yanchuan gas field[J]. Petrochemical Industry Technology, 2017, 24(11): 103-105.
- [13] 张建国,苗耀,李梦溪.沁水盆地煤层气水平井产能影响因素分析——以樊庄区块水平井开发示范工程为例[J].中国石油勘探,2010,15(2):49-54.  
ZHANG J G, M Y, LI M X. Influential factors of CBM horizontal well productivity in Qinshui Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2010, 15(2): 49-54.
- [14] 马云峰,樊俊秀.PLC系统设计分析[J].自动化技术与应用,2006,25(2):15-18.  
MA Y F, FAN J X. The design of PLC system[J]. Techniques of Automation and Applications, 2006, 25(2): 15-18.
- [15] OPC Foundation. OPC Overview[EB/OL].(2019-04-19)[2019-06-20].<https://opcfoundation.org/products/view/open62541-server-sdk>.
- [16] 刘兆峰,杜旭明,王作棠,等.基于PLC的煤炭地下气化过程测控系统[J].计算机系统应用,2018,27(10):106-111.  
LIU Z F, DU X M, WANG Z T, et al. UCG measurement and control system based on PLC[J]. Computer Systems & Applications, 2018, 27(10): 106-111.
- [17] ZHAO Y, HE X, XU X. The research on OPC-based heterogeneity data integration[C]// paper presented at the International Conference on Computer Science & Software Engineering, IEEE, December 12-14 2008, Wuhan, China.
- [18] 廖常初.PLC编程及应用[M].北京:机械工业出版社,2004.  
LIAO C C. Programming and application of PLC[M]. Beijing: China Machine Press, 2004.
- [19] 韩兴温.智能油田远程管控技术的研究与应用[D].西安:西安石油大学,2014.  
HAN X W. Research and application of oilfield intelligent remote control[D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2014.
- [20] 张立亚.矿山智能视频分析与预警系统研究[J].工矿自动化,2017,43(11):16-20.  
ZHANG L Y. Research on intelligent video analysis and early warning system for mine[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(11): 16-20.
- [21] 李庆扬.数值分析[M].北京:清华大学出版社,2008.  
LI Q Y. Numerical analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.

(编辑 徐佩)