

涩北气田多层合采井分压测试技术

周治岳,刘俊丰,温中林,杨伟,李拉毛才旦,陈智芳

中国石油青海油田分公司采气一厂 青海格尔木 816099

通讯作者:Email:zhouzhiyueqh@petrochina.com.cn

引用:周治岳,刘俊丰,温中林,等. 涩北气田多层合采井分压测试技术[J]. 油气井测试,2019,28(2):20-26.

Cite: ZHOU Zhiyue, LIU Junfeng, WEN Zhonglin, et al. Separate pressure testing technique for commingling production wells in Sebei gas field [J]. Well Testing, 2019,28(2):20-26.

摘要 涩北气田气藏层多、层薄,气水层间互,各层压力差异较大,层间干扰复杂,多层合采压力测试无法获得各小层的压力资料,严重影响气田各种增产措施效果。结合气藏地质特征,选取多层合采井,将 JCY-II 型分采与测试一体化智控系统连接到生产管柱一同下井,地面实时控制井下工具,进行井下测试数据的录取,快速解释获取各小层的渗透率、表皮系数等储层物性参数。该气田 S3-2 井历经 5 个测试阶段,分别对 313、314 小层实施井下开井生产、关井恢复压力,成功求取了单层、合层流动压力、静压、压力恢复等资料。分层测压技术在涩北气田推广应用 13 井次,施工成功率 100%,资料录取成功率 100%,解决了涩北气田气井单层测试难题,可为后续开发方案的调整提供技术依据。

关键词 涩北气田;层间干扰;多层合采;分层测压;试井解释;动态监测

中图分类号:TE353 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.02.004

Separate pressure testing technique for commingling production wells in Sebei gas field

ZHOU Zhiyue, LIU Junfeng, WEN Zhonglin, YANG Wei, LI Lamaocaidan, CHEN Zhifang

No.1 Gas Production Plant of PetroChina Qinghai Oilfield Company, Ge'ermu, Qinghai 816099, China

Abstract: The gas reservoirs in Sebei gas field have the characteristics of thin layer development, gas-water interlayer interaction, great pressure difference among different layers and complex interlayer interference, which results in that the pressure data of each small layer cannot be obtained by pressure test of commingling production, thus seriously influencing the effect of various stimulation measures in the gas field. In view of the geological characteristics of the gas reservoir, the wells using the commingling production technology were selected as the research object, and the new JCY-II type separate production and testing integrated intelligent control system was connected to the production pipe string in these wells. This technology can control the downhole tools in real time on the ground and carry out the acquisition of downhole test data. At the same time, the reservoir physical parameters such as permeability and skin factor of each small layer can be interpreted quickly. Five test stages were conducted in the application of Well S3-2. During the test, the layers of No. 313 and No. 314 were separately opened for production and shut in for pressure build-up. The flow pressure, static pressure, build-up pressure and other information of single layer and multi-layers were successfully obtained. The separate layer pressure testing has been applicated in 13 wells in the Sebei gas field after promoting, the construction success rate was 100%, and the data acquisition success rate was 100%. This method effectively solves the problem of single-layer testing of gas wells in the Sebei gas field and can provide technical basis for the adjustment of subsequent development plans.

Keywords: Sebei gas field; interlayer interference; commingling production; separate layer pressure testing; well test interpretation; dynamic monitoring

涩北气田为疏松砂岩多产层气藏,具有层多、层薄、气水层间互、易出砂等特点^[1-2],各气层压力差异较大。其水型主要为 CaCl₂ 型,总矿化度为 156 845.54 mg/L, pH 值 5.0~7.1。天然气类型为纯干气,组分以甲烷为主,含量在 99%以上,含微量乙烷、丙烷、氮气,几乎不含丁烷以上重烃组分,无

CO₂、H₂S 等非烃成分^[3-5]。

为了充分提高涩北气田采气速度和采收率,采取了多层合采的开发方式。李得信等^[6]指出了目前涩北气田的动态监测技术以常规监测技术为主,大力发展了多层合采井的流、静压测试、产能测试、压力恢复测试等。但目前气田采用多层合测的笼

统测试工艺^[7],压力测试均为单井多层合测方式,合测层数多达5~8层,厚度为10~30 m,如S1-9井,纵向上射开6个小层,厚度15.1 m,无法获得各小层压力资料,严重制约了气田各种增产措施的应用。王善聪等^[8]报道了三层分采及分层测压技术在涩北气田的应用研究,解决了分层测压的问题。但由于气嘴采用传统投捞的方式进行调配单层气井产量^[9],测试时存在井口密封、气嘴投捞流程复杂、成功率低、压力精度低、井下工具无法实时控制、出砂对井下工具影响严重,甚至失效等问题。特殊的地下特性,需要用针对性的思想去实际问题^[10]。因此,结合涩北气田气藏的地质特征与开发的实际需要,对多层合采井采用井下关井测试工艺^[11-15],通过采用拥有自主知识产权的新型JCY-II型分采与测试一体化智控系统,在线实时录取各个产层的流动压力、压力恢复、静压、温度等资料。有效评价层间干扰及储量动用情况是挖掘当前气田开发潜力的关键^[16-17],为后期控水采气^[18-20]、层位优化组合、储量挖潜^[21]、分层开采提供了资料依据。

1 分采测试系统构成及特点

JCY-II型分采与测试一体化智控系统主要由地面测控系统、井口密封系统、数据传输系统、气动封隔系统和井下分采测试控制系统五部分组成。

(1)地面测控系统包括供电电源、控制面板、计算机、数据采集、显示及存储装置。该系统用于测试期间的供电、命令发送等数据交换。

(2)井口密封系统包括套管闸门密封装置。该装置负责测试期间测试电缆的密封,防止天然气在套管闸门处泄漏。

(3)数据传输系统包括 $\Phi 4$ mm铠装钢管电缆、井下工具通讯系统。该系统负责测试期间数据通讯、命令传输等。

(4)气动封隔系统包括气控式封隔器、气控管线($\Phi 4.2$ mm钢管)、氮气管。该系统用于在测试期间实现封隔器的坐封与解封,实现井下分层功能。

(5)井下分采测试控制系统包括电控式调配装置、配产器及其集成的内外压力、温度计。该系统为井下工具的主要部件,用于小层的开启与关闭,并实时测取小层的压力、温度等数据,压力计精度为0.5%,温度误差为 ± 1 °C。

JCY-II分采与测试一体化智控系统下的井下分采测试装置、过电缆气控封隔器通过钢管电缆和气

控钢管串联,连接生产管柱一同下井。下到预定层位后由地面气压源打压,气体由气控管线进入封隔器实现封隔器坐封进行分层,通过地面控制系统的压力显示可实时监测封隔器坐封情况。解封时,在地面打开气压阀门卸压,胶筒回缩,实现封隔器的解封,同时可进行反洗井、起下管柱等作业。

通过地面测控系统,对井下分采测试装置进行调节,控制其打开与闭合。每个井下分采测试装置装有内、外两个压力传感器和一个温度传感器,可实时监视记录生产过程中,每个小层测控装置所在油管内、外的压力和温度,并将数据通过钢管电缆实时上传到地面显示系统并存储。

针对涩北气田合采井的特点,现场作业时施工要点如下:

(1)无需下入仪器进行气嘴测调,通过地面测控系统对井下分采测试系统进行操作;根据井下特点可实时控制井下测试系统气嘴开度。

(2)井下分采测试装置采用特殊材质,高耐腐蚀,高耐磨,可应对气田的出砂情况;避免高速气流携砂对井下工具的冲击,增加井下工具的耐用性,延长工具测试周期达1~2 a。

(3)气量控制部分精细研磨,配合精度高,接合紧密,关闭状态无渗漏。

(4)封隔器采用新型气动坐封、解封方式,地面控制系统实时监控各层封隔器坐封情况,通过地面压力值可判断其可靠性。

(5)在线连续获得各生产层的压力、温度数据,气井无需停产,不影响气田日常生产。

(6)地面测控系统中配套的数据处理软件可实时对各小层压力和温度进行采集、回放、存储。

(7)井口法兰盘采用多级密封,高耐压,安全可靠。

2 现场应用实例

分层测压技术已在涩北气田多层合采井进行了13口井的应用试验,准确获得了各个小层的流动压力、压力恢复、探边测试、静压、温度等数据,施工成功率100%,资料录取成功率100%。

以S3-2井为例,该井位于一号气田的Ⅲ-1层组,测试井段1 178.3~1 185.6 m、1 194.6~1 198.7 m,气层中深1 181.9 m、1 196.7 m,储层厚度5.5 m、4.1 m,有效孔隙度28%、28%,井筒半径0.060 68 m,气组分CH₄为99.1%、C₂H₆为0.073%、C₃H₈为0.027%、N₂

为 0.8%。

2017 年 6 月 24 日开始进行分层压力测试,历经 5 个测试阶段,分别对 313、314 小层实施井下开井生产、井下关井复压,求取单层、合层流动压力、静压、压力恢复等资料。于 7 月 22 日结束,历时 28 d。

现场测试时,首先,对气井进行压井并安装封井装置;其次,下分层测试管柱,将电缆和气控管线固定在油管外壁。每下入 30 根管柱进行一次系统通讯。为了保证井下智能测控系统和封隔系统能够按设计要求下入至预定位置,此时应采取油、套磁定位技术进行校深,通过油管短节及补距对测试系统深度进行调整,使之符合研究要求;然后,将电缆及气控管线从套管闸门中引出与地面控制系统和氮气压缩机相连,安装套管防喷装置,装井口并进行替喷和气举。气井排液生产 2~3 d 后,通过地面控制系统对封隔系统进行坐封,并对坐封情况进行检验。坐封成功后,按照设计要求开启井下分采测控装置进行生产并开始分层压力资料录取(图 1、图 2)。

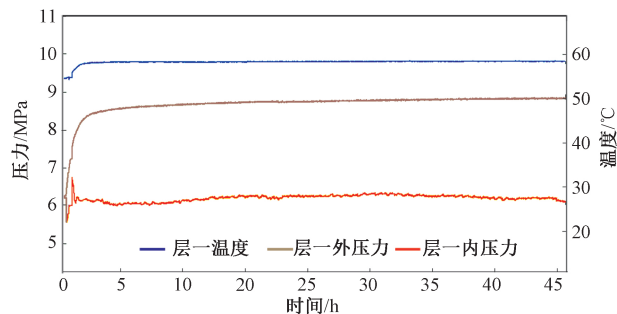


图 1 S3-2 井 313 层压力恢复、温度施工曲线图
Fig.1 Pressure recovery and temperature construction curve of 313 formation in Well S3-2

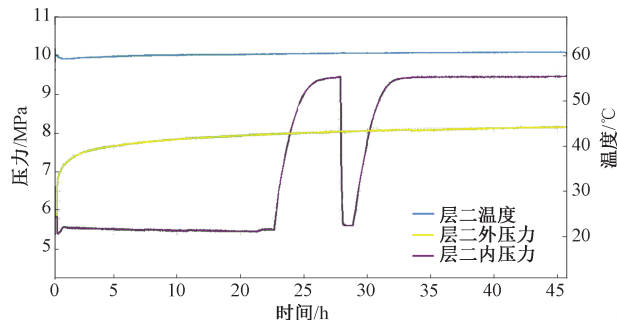


图 2 S3-2 井 314 层压力恢复、温度施工曲线图
Fig.2 Pressure recovery and temperature construction curve of 314 formation in Well S3-2

通过地面控制系统发出指令,对小层的测试装置进行控制,实现配产器的打开与关闭,可依

次进行各小层流动压力、压力恢复、静压等数据测试。

通过地面控制系统,可实现井下封隔器的坐封与解封,进而对多层合采时的小层流动压力、压力恢复、静压、温度等数据进行测试。

3 应用效果分析

以涩北气田 6 口井分层压力测试为例,JCY-II 型分采与测试一体化智控系统均能够准确录取各小层的流动压力、压力恢复及静压资料。运用试井解释理论和方法,获得小层渗透率、表皮系数等参数。该井下分采与测试一体化智控系统能够很好的满足气井分层测压需求,测试系统与工艺能够对涩北气田的小层动用、各小层的生产压差及分采对气井产量的影响等现状进行评价。

3.1 获取小层信息

通过分层测试,可以有效识别小层的层间及平面非均质性及小层的污染程度,识别小层生产压差差异的因素,进而更加准确的反映地层情况。

3.1.1 识别小层层间、平面的非均质性

以往监测的是多层合采的地层参数,本次突破常规监测限制,通过试井解释可求取到各小层渗透率参数(图 3)。

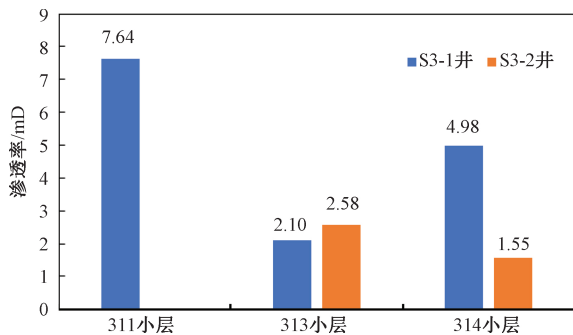


图 3 小层渗透率图
Fig.3 Permeability map of sublayer

根据图 3 解释得到的渗透率,经计算得到 S3-1 井、S3-2 井、S2-1 井的层间突进系数分别为 1.6、1.2、1.6,为均匀型表明,在相同小层、不同井区,渗透性基本相当,反映气田平面均质性较好。

3.1.2 识别各小层的污染程度

2016 年 9 月对 S3-1 井合采层测试的渗透率为 3.75 mD,表皮系数为 0.6,多层合采的测试结果反映该井略有污染。

本次测得 311、313、314 小层渗透率分别为

7.64 mD、2.10 mD、4.98 mD, 试井解释表皮系数分别为 35.00、1.96、-3.16。总体上看, 311 小层渗透率为 7.64 mD, 测试中日产气 $0.1 \times 10^4 \text{ m}^3$, 表皮系数 35.00, 说明地层受到严重污染, 导致无法产出气量, 造成低产。解释结果与生产情况相符合, 需尽快解除污染。

3.1.3 评价小层信息更为精确

2017 年 6 月对 S3-2 井多层合采测试的渗透率为 1.27 mD, 表皮系数为 -1.1, 为完善井。S3-2 井 313、314 小层双对数曲线如图 4、图 5 所示。

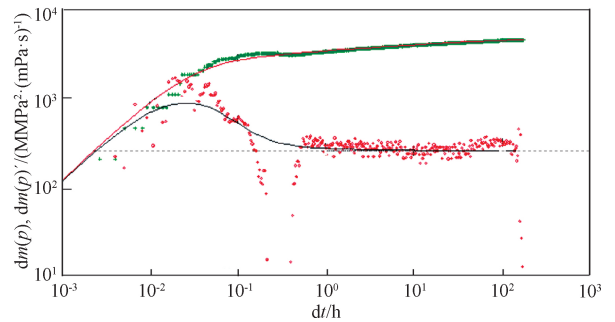


图 4 S3-2 井 313 小层双对数拟合图
Fig.4 Double logarithmic curve of 313 layer in Well S3-2

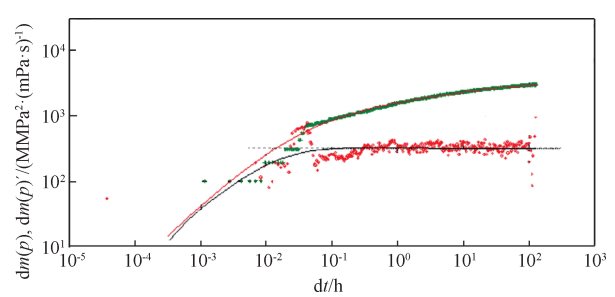


图 5 S3-2 井 314 小层双对数拟合图
Fig.5 Double logarithmic curve of 314 layer in Well S3-2

本次测得 313、314 小层渗透率分别为 2.58 mD、1.55 mD, 试井解释表皮系数分别为 2.98、-2.00。分层测压资料显示, 313 小层受到污染, 说明分层压力测试可更加准确反映地层情况, 获得更为精细的小层信息, 能够反映出被多层测试所掩盖的信息。

3.2 识别不同物性气层压力差异

S3-3 井 313 小层厚度是 314 小层厚度的近 2 倍, 生产压差比 314 小层高 0.36 MPa, 渗透率为 314 小层的 1/4, 两个小层物性差异明显。S3-3 井各小层压力、产量数据见表 1。

表 1 S3-3 井小层压力产量数据表
Table 1 Data sheet of formation pressure and production in Well S3-3

层位	有效厚度/ m	渗透率/ mD	原始静压/ MPa	目前流压/ MPa	目前静压/ MPa	生产压差/ MPa	压降幅度/ MPa	压降比/ %
313	5.0	3	12.36	8.42	10.48	2.06	1.88	15.2
314	2.6	11	12.36	8.21	9.91	1.70	2.45	19.8
合层	7.6	10	12.36	7.27	10.17	2.90	2.19	17.7

从表 1 的测试结果可以看出, S3-3 井的 313、314 小层及合层的日产量分别为 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $1.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 $2.1 \times 10^4 \text{ m}^3$; 313 小层和 314 小层的产量之和与合层产量相当。但合采生产压差为 2.9 MPa, 远高于各分层测试生产压差 (2.06 MPa、1.70 MPa)。分析认为, 由于 313 小层和 314 小层的渗透率分别为 3 mD、11 mD, 导致层间干扰严重。因此, 各小层贡献差异较大, 说明物性差异是两个小层生产压差差别大的主要因素。

3.3 多层合采时小层动用均衡程度及生产能力

通过分层测试, 可以了解小层压力下降情况, 分析生产压差对于产能的影响因素以及多层合采时对气井出水、出砂、产量的影响。

3.3.1 地层压力下降不均衡

合层测试无法识别各个小层的静压数据, 故而无法判断层间压力的差异和干扰情况, 本次测试突

破限制, 求取了单井小层静压数据 (表 2、表 3)。

表 2 涪北一号 II-3 层组小层静压数据表
Table 2 Small-bed hydrostatic data table of layer II-3 of Sebei No.1

layer II-3 of Sebei No.1						单位:MPa
井号	231 层	232 层	233 层	234 层	最大-最小	合层
S2-1	/	8.63	7.83	7.89	0.80	7.89
S2-2	7.3	8.27	/	/	0.97	7.50

表 3 涪北一号 III-1 层组小层静压数据表
Table 3 Static pressure data table for layer III-1 of sebei No.1

单位: MPa					
井号	311 层	313 层	314 层	最大-最小	合层
S3-2	/	9.07	8.40	0.67	8.75
S3-1	9.22	9.58	8.96	0.62	9.29

从表 2、表 3 中的分层测压结果可以看出, S2-1、S2-2、S3-1、S3-2 井最大与最小静压差值分别为 0.80 MPa、0.97 MPa、0.67 MPa、0.62 MPa, 各小层之间地层压力均存在一定差异, 在 0.6~1.0 MPa 之间。从

测试井压力变化趋势看,证实高压小层压力对低压层具有补充现象。

3.3.2 合采井各小层生产压差差异大

多层合测可以获得全井的生产压差,而本次测试详细获得了小层的生产压差,见表 4。

表 4 测试井小层生产压差数据表

Table 4 Data table of production pressure difference in small layers of test wells								
井号	311 层	313 层	314 层	231 层	232 层	233 层	234 层	合层
S3-2	/	2.8	2.1	/	/	/	/	2.5
S3-1	2.6	3.0	2.3	/	/	/	/	2.7
S2-1	/	/	/	/	2.0	1.2	1.3	1.3
S2-2	/	/	/	0.6	1.5	/	/	0.8

从表 4 看出,S3-2、S3-1、S2-1、S2-2 井合层开采生产压差分别为 2.5 MPa、2.7 MPa、1.3 MPa、0.8 MPa,而本次测得各小层的生产压差则存在较大差异,如 S2-1 井 232 小层生产压差达到 2.0 MPa,高于合采时 0.7 MPa;S2-2 井 232 小层生产压差达到 1.5 MPa,是合层生产压差近 2 倍;而该井 231 小层生产压差 0.6 MPa,低于合层生产压差,产能未得到完全发挥。这些情况不仅影响生产压差小的层产能发挥,对生产压差过大的小层伤害更严重,易出现出砂、出水等情况,对生产压差调整更加困难。

3.3.3 合采时生产压差增大,导致出水量增加

合采生产时无法准确识别出水层位和因素,通过分层测试手段可以突破这种限制,明确小层出水因素,见表 5。

表 5 S2-2 井分层测试数据表

Table 5 Data sheet for stratified test of Well S2-2					
层号	静压/ MPa	流动压力/ MPa	生产压差/ MPa	产量/ (10 ⁴ m ³)	产水/ m ³
231	7.3	6.97	0.33	1.90	1.52
232	8.3	6.27	2.00	0.60	/
合层	7.5	6.73	0.77	1.92	4.56

从表 5 可以看出,生产压差对出水层影响更大,如 S2-2 井,合层开采后,流动压力为 6.73 MPa,低于 231 小层单层开采时 6.97 MPa,高于 232 小层单层开采时 6.27 MPa。也就是说,合层开采后,加大了 231 小层生产压差,而使该层日产水量由 1.52 m³ 增至 4.56 m³,增加了近 3 倍;与此同时,减小了 232 小层生产压差,降低了产能贡献度。最终出现产量未增、产水量大增的情况。由此判断,分层开采可能对部分单层出水的多层开采井更有应用价值。

3.3.4 井间干扰导致气井产量下降 1/4 左右

多层合采时,由于层间压力差压,导致层间产气干扰的存在,个别小层无法充分发挥产能,影响单井产量。分层开采可以显著改变此状况,提高气井产量,见表 6、表 7。

表 6 涩北一号气田各井单层日产量统计表

Table 6 Daily production statistics of each well in Sebei No.1 gas field						
井号	311 层	313 层	314 层	合计	合层	降低率/%
S3-2	/	1.1	0.8	1.9	1.3	32
S3-1	0.1	1.3	2.1	3.4	2.8	18

表 7 涩北一号气田各井单层日产量统计表

Table 7 Daily production statistics for each well in Sebei No.1 gas field						
井号	231 层	232 层	233 层	234 层	合计	合层 降低率/%
S2-1	/	0.5	1.9	0	2.4	1.9 21
S2-2	1.9	0.6	/	/	2.5	1.9 24

从表 6、表 7 可以看出,4 口测试井在系统压力相当、井下配产器开关开度一致的情况下,S3-2、S3-1、S2-1、S2-2 井分层开采各小层产量之和分别为 1.9×10⁴ m³、3.4×10⁴ m³、2.4×10⁴ m³、2.5×10⁴ m³,合层生产产量分别为 1.3×10⁴ m³、2.8×10⁴ m³、1.9×10⁴ m³、1.9×10⁴ m³。总的来说,各小层单独生产的产量之和均高于合层产量,合层开采后,产量降低范围在 21%~32%之间,平均为 23.75%。

3.4 分层测压技术受井筒效应影响小

多层合测压力恢复时,出现径向流的时间较长,测试周期长;本技术采用井下工具开关产层时,可有效缩短压力恢复时间(图 6、图 7)。

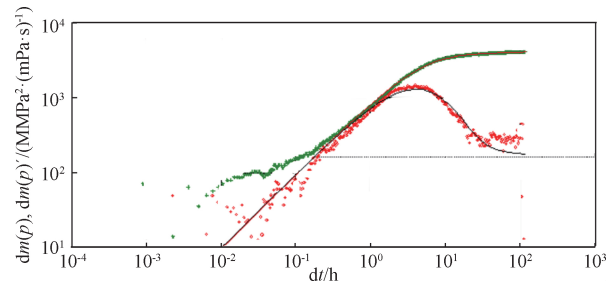


图 6 S2-1 井 232 小层压力及其导数双对数曲线
Fig.6 Double Logarithmic Curve of 232 Layer in Well S2-1

从图 6、图 7 上可以看出,目前的测试工艺由于上层以上无封隔器,大多是 10 h 以后见径向流;中、下层井 1 h 左右出现径向流。从分层测试完井管柱来看,上层井储空间大,时间长;中、下层因封隔器封隔,井储空间小,因而径向流出现较快。

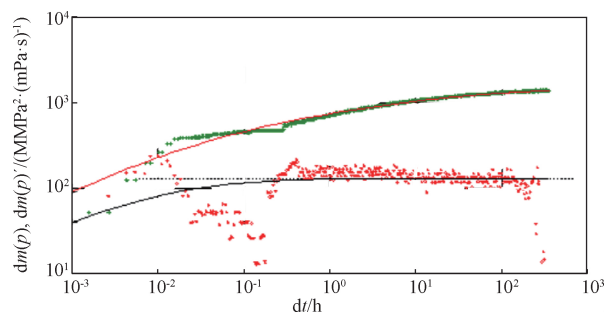


图7 S2-1井233小层压力及其导数双对数曲线
Fig.7 Double Logarithmic Curve of 233 Layer in Well S2-1

4 结论

(1) 分层测压技术解决了涩北气田多层合采井多层合测时存在的不足,突破了多层合采井的常规监测限制,获得了小层的流动压力、压力恢复等数据。解决目前气田只能笼统测试的现状,能够更好的满足气田当前开发需要。分层测压资料应用于气田开发的动态管理中,有助于充分认识各小层的真实压力情况,解决了涩北气田气井单层测试的难题,完善了动态监测体系,为后续开发方案的调整提供了有力的技术依据。

(2) JCY-Ⅱ型分采与测试一体化智控系统工艺不仅能够满足疏松气藏出水、出砂严重等地质特点,也能够适用不出砂或出砂少的气田,测试过程中不影响气井生产,具有较高的应用价值和经济效益,具有广阔的发展前景。

(3) 分层测压有助于进一步认识不同气层的物性特征,了解各产层的动用情况,以此为依据可以最大限度的发挥不同产层的潜能,提高气井采气速度和采气效率,为后续气田实施智能分采工艺、数字化气田等方面提供参考。

(4) 该技术在试验过程中,由于使用矿区集气站分离器做为产气、产液的计量手段,受单井管线、分离器设备影响计量可能存在一定的偏差,如果以井口或井下计量方式取代集气站计量,在数据反馈及时性、准确性上都会得到明显加强,这也是进一步改进测试系统的努力方向。

致谢:感谢青海油田采气一厂同意本文公开发表;感谢气田开发处姜义权、采气一厂奎明清、青海华岳石油技术有限公司贾存赢、谢钊宪等人在论文修改、施工总结和试井解释方面做出的贡献。

参考文献

[1] 管志强,徐子远,周瑞年,等. 柴达木盆地第四系生物气

的成藏条件及控制因素[J]. 天然气工业,2001,21(6): 1-5.

GUAN Zhiqiang, XU Ziyuan, ZHOU Ruinian, et al. The essential conditions and controlling factors of formation of quaternary biogenic gas reservoirs [J]. Natural Gas Industry, 2001,21(6):1-5.

[2] 饶鹏,冯胜利,谷晓峰,等. 青海涩北气田第四系疏松粉细砂岩气藏防砂工艺试验研究与评价[J]. 天然气地球科学,2006,17(2):196-200.

RAO Peng, FENG Shengli, GU Xiaofeng, et al. The research and evaluation of sand-control methods for the quaternary unconsolidated siltstone gas reservoir in SGF, Qinghai [J]. Natural Gas Geoscience, 2006,17(2):196-200.

[3] 马立宁,王小鲁,朱玉洁,等. 柴达木盆地天然气开发技术进展[J]. 天然气工业,2007,27(2):77-80.

MA Lining, WANG Xiaolu, ZHU Yujie, et al. Introduction of technology improvement on natural gas development in the Qaidam Basin [J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(2):77-80.

[4] 华锐湘,贾英兰,李清,等. 涩北气田气水分布及气水运动规律分析[J]. 天然气工业,2009,29(7):68-71.

HUA Ruixiang, JIA Yinglan, LI Qing, et al. An analysis of gas-water distribution and its movement law in Sebei Gas Field [J]. Natural Gas Industry, 2009,29(7):68-71.

[5] 邓创国,许吉瑞,郑俊彬,等. 涩北气田泡沫排水采气工艺试验研究[J]. 天然气技术与经济,2011,5(6):19-22.

DENG Chuanguo, XU Jirui, ZHENG Junli, et al. Experimental study on foam-drainage gas-production technology for Sebei Gasfield [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2011,5(6):19-22.

[6] 李得信,张洪,方惠军,等. 涩北气田动态监测技术[J]. 油气井测试,2012,21(3):46-48,51.

LI Dexin, ZHANG Hong, FANG Huijun, et al. The dynamic monitoring tech in Sebei Gas Field [J]. Well Testing, 2012,21(3):46-48,51.

[7] 刘立强,裴晓丽,潘星,等. 利用堵塞式压力计进行分层测压的研究与应用[J]. 石化技术,2015,22(7):191.

LIU Liqiang, PEI Xiaoli, PAN Xing, et al. Research and application of layered pressure measurement by using the plug type pressure gauge [J]. Petrochemical Industry Technology, 2015,22(7):191.

[8] 王善聪,赵玉,李江涛,等. 三层分采及分层测压技术在涩北气田的应用研究[J]. 天然气地球科学,2007,18(2):307-311.

WANG Shancong, ZHAO Yu, LI Jiangtao, et al. Application of triple production and stratification pressure testing techniques in Sebei Gas Reservoir [J]. Natural Gas Geoscience, 2007,18(2):307 - 311.

[9] 王克林,杨向同,刘军严,等. 库车山前高压气井钢丝投捞式试井技术[J]. 油气井测试,2018,27(4):15-20.

WANG Kelin, YANG Xiangtong, LIU Junyan, et al. Wire-

- line fishing well testing technology for high pressure gas wells in Kuqa foreland [J]. Well Testing, 2018, 27(4): 15-20.
- [10] 郑力会, 魏攀峰, 张峥, 等. 联探并采: 非常规油气资源勘探开发持续发展自我救赎之路[J]. 天然气工业, 2017, 37(5): 126-140.
- ZHENG Lihui, WEI Panfeng, ZHANG Zheng, et al. Joint exploration and development: A self-salvation road to sustainable development of unconventional oil and gas resources [J]. Natural Gas Industry, 2017, 37(5): 126-140.
- [11] 付建民, 冯卫华, 马长亮, 等. 渤海油田井下关井测压工艺技术[J]. 油气井测试, 2018, 27(5): 61-65.
- FU Jianmin, FENG Weihua, MA Changliang, et al. Downhole shut-in pressure measuring technology in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2018, 27(5): 61-65.
- [12] 卓红, 何秀玲, 王新海, 等. 井下关井测压技术改进研究[J]. 油气井测试, 2013, 22(5): 38-40.
- ZHUO Hong, HE Xiuling, WANG Xinhai, et al. The improved research of down-hole shut-in pressure measurement technology [J]. Well Testing, 2013, 22(5): 38-40.
- [13] 郭旭光, 潘彦珍, 郭小群, 等. 分层测压技术在油田开发中的应用[J]. 石油地质与工程, 2009, 23(1): 85-87.
- GUO Xuguang, PAN Yanzhen, GUO Xiaoqun, et al. Application of stratified pressure measurement technology in oilfield development [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2009, 23(1): 85-87.
- [14] 于学军, 刘鹰, 宋杰, 等. 分层测压资料在油藏工程中的应用研究[J]. 油气井测试, 2004, 13(4): 30-33.
- YU Xuejun, LIU Ying, SONG Jie, et al. Application of stratified pressure measurement data in reservoir engineering [J]. Well Testing, 2004, 13(4): 30-33.
- [15] 田泽芬, 杨道轩, 陈必威, 等. 合采油井分层压力多种测试方法研究与应用[J]. 化学工程与装备, 2011, 1(1): 170-173.
- Tian Zefen, Yang Daoxuan, Chen Biwei, et al. Research and application of various Testing methods for stratified pressure of combined production wells [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2011, 1(1): 170-173.
- [16] 谷亚贞, 卢建恒, 杨芳, 等. 开发后期分层测压技术的试验与评价[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(6): 345-348.
- GU Yazhen, LU Jianheng, YANG Fang, et al. Test and evaluation of stratified pressure measurement technology in late development [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(6): 345-348.
- [17] 马奎前, 张宏友, 王月杰, 等. 压力测试技术在海上深层湖相碳酸盐岩油藏中的应用[J]. 油气井测试, 2013, 22(5): 33-37.
- MA Kuiqian, ZHANG Hongyou, WANG Yuejie, et al. Application of pressure testing technology in offshore deep huxiang carbonate reservoir [J]. Well Testing, 2013, 22(5): 33-37.
- [18] 张立娜, 杨文领, 张恒, 等. 青海涩北气田分层开采技术研究[J]. 石油机械, 2013, 41(7): 94-97, 101.
- ZHANG Lina, YANG Wenling, ZHANG Heng, et al. Research on selective zone production technology in Sebei gasfield of Qinghai [J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(7): 94-97, 101.
- [19] 路春明, 尉亚明, 冯胜利, 等. 青海涩北气田分层开采工艺技术的发展与应用[J]. 新疆石油天然气, 2008, 4(增刊): 178-181.
- LU Chunming, WEI Yaming, FENG Shengli, et al. Development and application of stratified production technology in Sebei gas field, Qinghai [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2008, 4(S): 178-181.
- [20] 张小军, 王小鲁, 沈生福, 等. 涩北气田动态监测体系及优化研究[J]. 天然气勘探与开发, 2012, 35(3): 37-40.
- ZHANG Xiaojun, WANG Xiaolu, SHEN Shengfu, et al. Study on dynamic monitoring system and optimization of Sebei gas field [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2012, 35(3): 37-40.
- [21] 张小军, 华锐湘, 王小鲁, 等. 涩北气田精细开发管理策略研究[J]. 天然气技术与经济, 2011, 5(6): 63-65.
- ZHANG Xiaojun, HUA Ruixiang, WANG Xiaolu, et al. Research on the strategy of fine development and management of Sebei gas field [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2011, 5(6): 63-65.

编辑 刘述忍

第一作者简介: 周治岳, 男, 1987年出生, 工程师, 2008年6月毕业于吉林大学勘查技术与工程专业, 现主要从事气田开发及气藏工程工作。电话: 0937-8917303, 18997395006; Email: zhouzhuyueqh@petrochina.com.cn。通信地址: 青海省海西州格尔木市黄河路青海油田分公司化工大楼908室, 邮政编码: 816099。